ＩＳＳＮ　０３８６－５８７８
土木研究所資料　第４４１９号

土 木 研 究 所 資 料

降雨流出解析と連動した
土石流の流出・氾濫解析法

令和４年３月

国立研究開発法人土木研究所
土砂管理研究グループ火山・土石流チーム

土 木 研 究 所 資 料
第 4419 号　2022 年 3 月

降雨流出解析と連動した
土石流の流出・氾濫解析法

火山・土石流チーム　元研究員　山崎祐介
火山・土石流チーム　研究員　清水武志
火山・土石流チーム　前上席研究員　石井靖雄
火山・土石流チーム　上席研究員　石田孝司

要　旨：

土石流による被害の防止・軽減のためには、土石流の発生時期や氾濫範囲を推定する必要がある。近年、降雨や空中写真、標高データなどの時間・空間分解能が高く、かつ、リアルタイム性の高いデータを得られる環境が整いつつあることから、火山・土石流チームでは、土石流の氾濫危険度評価のさらなる精度向上を図るための土石流流出・氾濫モデルの開発に取り組んでいる。本資料では、開発したモデルの説明と実際の土石流への適用事例を紹介する。また、解析プログラムソースコードと計算に用いたデータを添付する。

キーワード：降雨流出、土石流氾濫、数値解析

目次

1. はじめに

1.1. 背景と目的

土石流による被害の防止・軽減のためには、土石流の発生時期や氾濫範囲の推定が重要である。天然ダムの形成や火山の噴火に伴う降灰が確認された場合には、改正土砂災害防止法により、国土交通省が土石流の被害が想定される区域を示す必要がある[1)]。そのため、数値シミュレーション手法に基づく QUAD モデル（Quick Analysis System for Debris Flow）が開発された。しかし、このモデルは火山噴火直後に迅速に解析結果を得ることに主眼を置いているため，ある特定の状況のシミュレーションに機能が限定される[2)]。一方、無償で利用できる汎用的な土石流の数値シミュレーションソフトウェアも公開されており、例えば、高橋らの研究成果[3) 4) 5)]に基づいた Kanako モデル[6) 7) 8) 9)]（Kanako 1D および Kanako 2D を示す）や江頭らの研究成果[10),11)]に基づいた iRIC のソルバーである Morpho2DH モデル[12) 13)]が知られている。

近年では、雨量や空中写真、標高などの時間・空間分解能が高く、かつ、リアルタイム性の高いデータを得られる環境が整いつつある[14)]ことから、火山・土石流チームでは、土石流氾濫危険度のさらなる評価精度の向上を図るための土石流流出・氾濫モデルの開発に取り組んでいる。本資料では、開発したモデル（以降、本解析モデルという）の説明と実際の土石流への適用事例を紹介するとともに、計算に用いたデータおよびプログラムソースコードを添付する。なお、本稿では、水および土砂の混合物、例えば土石流、泥流、土砂流や、流砂をともなう洪水流などを総称して土石流という。

解析プログラム、入出力データ処理プログラム、および可視化プログラム群は「Debris Flow Simulator for Sabo (DFSS)」と称する。「DFSS」の著作者は土木研究所である。ライセンスは、「政府標準利用規約（第 2.0 版）」を参考に、クリエイティブ・コモンズ表示-継承 4.0 国際パブリック・ライセンス（以下 CC BY-SA 4.0）とする。したがって、利用者は，ソースコードの利用にあたり、次の 2 点を承諾し、遵守しなければならない。

1.著作権表示

2.継承（2 次著作物を作った場合，CC BY-SA 4.0 のライセンスを付与）

また、利用者はいかなる利用に対しても以下の点を承諾したものとする。

1.利用者は商用利用や改変も含めて自由に利用できること

2.利用者の利用に対して、著作者および関係者は一切その責任を負わないこと

3.著作者および関係者は一切のサポートを行わないこと

1.2. 本資料の構成

本資料の構成は、次に示すとおりとする。

1 章では、本解析モデルを開発した背景と目的、本解析モデルの特徴、本解析モデルの今後の課題をまとめた。本解析モデルの特徴として、既往の土石流のモデルにおける、土石流の流量の形成過程の扱いと氾濫条件の設定方法の考え方とを比較しながら、本解析モデルが採用した方法の特徴を概説する。

2 章では、本解析モデルを構成している、降雨流出モデル、土石流流出モデル、および土石流氾濫モデルのそれぞれについての基礎式およびその離散化について、詳細を説明している。

3 章では、実際に発生した降雨流出、土石流流出、および土石流氾濫について、本解析モデルを適用し、その結果を示している。

4 章では、3 章の結果から、本解析モデルの適用性を評価している。

5 章では、3 章で行った計算のフォルダ構成、解析プログラム名、データ処理プログラム名、入力ファイル名、および出力ファイル名を示している。

6 章では、プログラム一式のソースコードを示している。

1.3. 本解析モデルの特徴

土石流の氾濫範囲は、氾濫地形および土石流の氾濫条件、つまり、氾濫発生位置と、その地点における土石流の流量によって概ね決定される。これらを精度良く推定するためには、土石流の発生・流下過程を解析することが重要である。本解析モデルの特徴は、土石流の発生・非発生については、降雨条件が重要な役割を果たしていることを考慮して、降雨流出過程、土石流の発生・流下過程、および土石流の氾濫過程を扱うところにあり、そのため、降雨流出モデル、土石流流出モデル、土石流氾濫モデルから構成されている。土石流の発生から流下過程における流量の形成過程と氾濫条件の設定については、モデルによって考え方が異なることもある。よって、ここでは既往のモデル（QUAD、Kanako、Morpho2DH）と本解析モデルにおける違いを示す。

1.3.1. 土石流の流量の形成過程

土石流の発生から流下過程における流量の形成過程は、崩壊により生産された崩土の移動過程における流動化、崩土により形成された河床堆積物（河道閉塞）あるいは元から河床に存在していた堆積物が洪水流の侵食によって流れに取り込まれて流動化するものであると考えられているものの、これらは観測に基づいて示されているわけではない。よって、これらの過程によって形成される土石流の流量の扱いについては、前述のモデルによって、次のような違いがみられる。

QUAD では、天然ダムが形成された場合は、湛水状態を初期条件とした越流侵食過程に土石流の支配方程式[15]を適用して、河床堆積物が洪水流の侵食によって流れに取り込まれて流動するものと考えて、天然ダム天端位置における土石流の流量を定めており、火山の噴火に伴う降灰の場合は、降灰が地表面の浸透能へ及ぼす影響を考慮した降雨流出解析を適用し、得られた流量とその地点の勾配に見合う土砂量を加算して、谷出口における土石流の流量を定めている。Kanako では、崩壊土量と崩壊継続時間から流量波形を作成し、境界条件として与えている[16]。Morpho2DH では、崩壊によって生産された流動土砂を初期条件として土石流の支配方程式を適用して定めている。

本解析モデルでは、流域を対象として降雨流出解析[17]を適用して斜面から河道への降雨流出を算出し、水供給された河床堆積物に無限長斜面の安定解析を適用し[17]、不安定と判定された部分が流動化するものとして扱い、土石流の支配方程式[10),11),18),19)]を適用して土石流の流量を定めている。ここには、土石流の形成と規模の決定機構に重要な役割を果たす微細砂の流体層への遷移現象[20)]も考慮している。

火山噴火に伴う降灰が生じた直後では、降灰による地表面被覆が浸透能を減少させ、表面流が発生しやすくなり、土石流が発生しやすくなるといわれている。一方、その合理的なモデルは示されていないため、本解析モデルでは、浸透と降灰厚を関係づけてよいかは不明であるが便宜上、降灰後の各位置の浸透能は降灰厚を変数とする 1 次関数に従って減少するモデルを仮定して定めている。

1.3.2. 氾濫条件の設定

QUAD の土石流の氾濫計算では、谷出口を氾濫開始地点として設定し、そこに土石流の流量波形を境界条件として与える方法が用いられている。したがって、谷出口周辺の土石流の流動の計算結果は、境界条件の影響を受ける。Kanako（Kanako 2D）では、1 次元領域（Kanako 1D）を 2 次元領域まで延伸し、重なっている部分において土石流の侵食・堆積を伴う流動の相互作用を評価している。Morpho2DH では、計算領域の全体を 2 次元平面で計算しているため、氾濫開始点の設定についての問題は生じない。

本解析モデルでは、降雨流出モデルと土石流流下モデルは同じ空間に設定され、土石流氾濫モデルは、別の空間に設定される。これらの空間の重なっている部分において、土石流流下モデルで計算された土石流の表面標高が地盤標高を上回った地点では、土石流の水深に越流公式を適用して土石流の溢流量を算出し、これを土石流氾濫モデルに境界条件として与えている。本解析モデルでは、氾濫発生地点は、土石流が河道を流下していく過程で土石流の表面標高と流路側岸の地盤標高によって定まるため、条件を満たす氾濫発生地点が計算過程で定められていく。一方、各氾濫発生地点で計算される溢流量は、境界条件として氾濫モデルへ与えられるため、土石流流下モデルと土石流氾濫モデル間の相互作用は考慮していない。

1.4. 本解析モデルの課題

本解析モデルにおいては、土石流の氾濫範囲推定に重要な過程を既往研究に基づき、できる限りモデル化するように努めたが、次の点を考慮しておらず課題として挙げられる。

・山腹崩壊により生産される土砂の流出（崩土の流出）
・河床堆積物における微細砂含有率の時空間変化の評価
・溢流時の土石流の流れの鉛直構造
・土石流対策施設の効果評価

崩土の流出において、当該豪雨により発生した崩壊による生産土砂（崩土）は、地域によっては微細砂を多く含有していることが考えられ、微細砂の供給源として重要である。崩壊の発生については、本稿で用いている降雨流出解析と無限長斜面の安定解析を組み合わせた方法の他、過去の崩壊データと地形データなどの統計解析に基づいた方法[21]などを用いることができる。崩壊によって生産された崩土の流出については、崩壊発生から土石流が形成される過程を理論的に定める方法、崩土の侵食・堆積をともなう流出過程に質点系方程式を適用する方法[23]、および崩壊土量と崩壊継続時間から流量波形を作成し、土石流の境界条件として設定する方法[16]がある。

河床堆積物は、当該豪雨以前に形成されたものと当該豪雨によって発生した崩土の流出過程において形成されるものから構成される。当該豪雨以前に形成された堆積物は、流水作用により微細砂が流亡していることが考えられる。一方、当該豪雨で形成された堆積物には、微細砂が多く含有していることも考えられる。土石流の侵食により、流れに取り込まれた微細砂は、流体相に遷移し、間隙流体の質量密度を増加させるとともに固相の濃度を減少させるため、土石流の流動性に及ぼす影響が大きい[20]。よって、河床堆積物における微細砂の時空間変化を評価することが重要である。これには、移動床水理学でよく用いられている、多層モデル[24]を適用することが有効であると考えられる。

谷出口などの勾配が小さい地点においては、固相を形成する粗粒砂が流れの表面まで分布しない場合がある。このような場合、溢流する大部分は、水と微細砂から形成される流体であると考えられる。粗粒砂の分布範囲（粒子流動層厚）の評価は、土石流の構成則から導くことができる[10),11)]。粗粒砂の質量保存則は、このことを考慮して変更する必要がある。

砂防堰堤などの土石流対策施設の効果評価において、水深平均の支配方程式を適用する場合、砂防堰堤直上流地点の流れには適用できない場合が考えられる。このような場合には、便宜的に、計算点の空間配置を変更[7]したり、堰堤を越流する際の境界条件を設定[7]したりする方法を取り入れることが考えられる。

2. 解析モデル

2.1. 解析モデルの概要

本解析モデルは、降雨により流域斜面に飽和側方浸透流（以降浸透流という）・表面流が発生し、これらが河道に流出し、河床堆積物の不安定化により土石流が発生・流下し、土石流の氾濫が発生する現象を表現したものである。本解析モデルは、地形モデル、降雨流出モデル、土石流流出モデル、土石流氾濫モデルの各サブモデルから構成されている。これらの各サブモデルには、既往の研究成果を活用している。

図 1 に地形モデルを示す。地形モデルは流域地形モデル(□と－)と氾濫原地形モデル(□)から構成されている。流域地形モデルは、斜面系(□)および河道系(－)によって構成され、それぞれ降雨流出モデルおよび土石流流出モデルの計算領域である。斜面系は直交座標上に等分割されたグリッドセルで表現され、河道系は隣接する周囲 8 方向のグリッドセルの中心を結ぶ線分で表現されている。河道の上流端は、ある閾値以上の集水面積を持つグリッドセルであり、最急勾配方向の下流側のグリッドセルに接続していき、下流端に至る。河道の幅・深さは、グリッドセルのサイズから独立して設定することが可能である。氾濫原地形モデルは、等分割されたグリッドセルで表現されている。降雨流出モデルおよび土石流氾濫モデルは平面 2 次元座標を用いて表現され、土石流流出モデルは、1 次元座標を用いて表現されている。

降雨流出モデルは、平面 2 次元で表現された斜面とその上部に設定された表土層において、表土層の湿潤・乾燥、浸透流および表面流の発生・流下過程を計算[17]する。浸透流および表面流には、それぞれダルシー則およびマニング則が適用されている。河道が設定されているグリッドセルにおいては、グリッドセルの水深に越流公式[25]を適用して河道への流出量を計算し、これを土石流流出モデルに境界条件として与えている。

土石流流出モデルは、1 次元で表現された河道において、斜面からの浸透流および表面流を境界条件とし、土石流の発生および侵食・堆積をともなう流下過程を計算する。土石流の発生は、河床堆積物に無限長斜面の安定解析[17]を適用し、斜面からの流入量により不安定となった場合に、その地点の堆積物の全層が流動化するものとする。流動化した堆積物には、土石流の支配方程式[10),11),18),19)]を適用している。土石流の形成と規模の決定機構に重要な役割を果たす、微細砂の流体相への遷移現象[20),16)]を考慮するため、質量保存則は、固相として流れを支配する粗粒砂と、水とともに流体相として挙動する微細砂に分けて記述されている。土石流の流下過程において、土石流の表面標高が地盤標高を上回った地点では、土石流の水深に越流公式[25]を適用して土石流の溢流量を算出し、これを土石流氾濫モデルに境界条件として与えている。本解析モデルでは、氾濫発生地点は、土石流が河道を流下していく過程で、土石流の表面標高と流路側岸の地盤標高によって定まる。

土石流氾濫モデルは、河道から溢流した土石流の氾濫過程を計算する。土石流の支配方程式は、平面 2 次元座標における表現であることを除き、土石流流出モデルの支配方程式と同

様である。なお、計算領域は、任意の形状の設定が可能である。

図 2 にサブモデル間の接続関係と入出力項目・設定項目を示す。入力データは、可能蒸発散量（省略可)、降雨データおよび地形データであり、設定項目は、土層・堆積層の水理・水文条件、粒径である。赤い矢印がサブモデル間の接続を示し、降雨流出モデルと土石流流出モデル間では、降雨流出モデルから河道へ浸透流と表面流による流出量が渡され、土石流流出モデルと土石流氾濫モデル間では、土石流流出モデルから氾濫原へ溢流量が渡される。

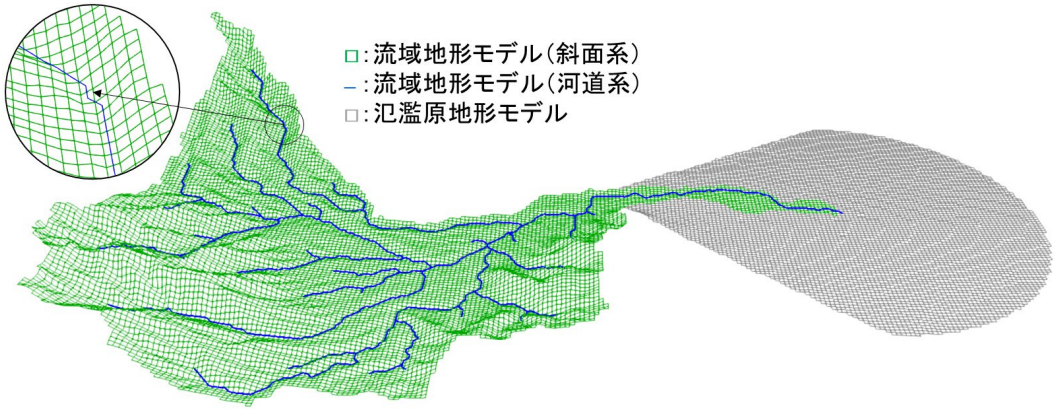


図 1　地形モデルの模式図

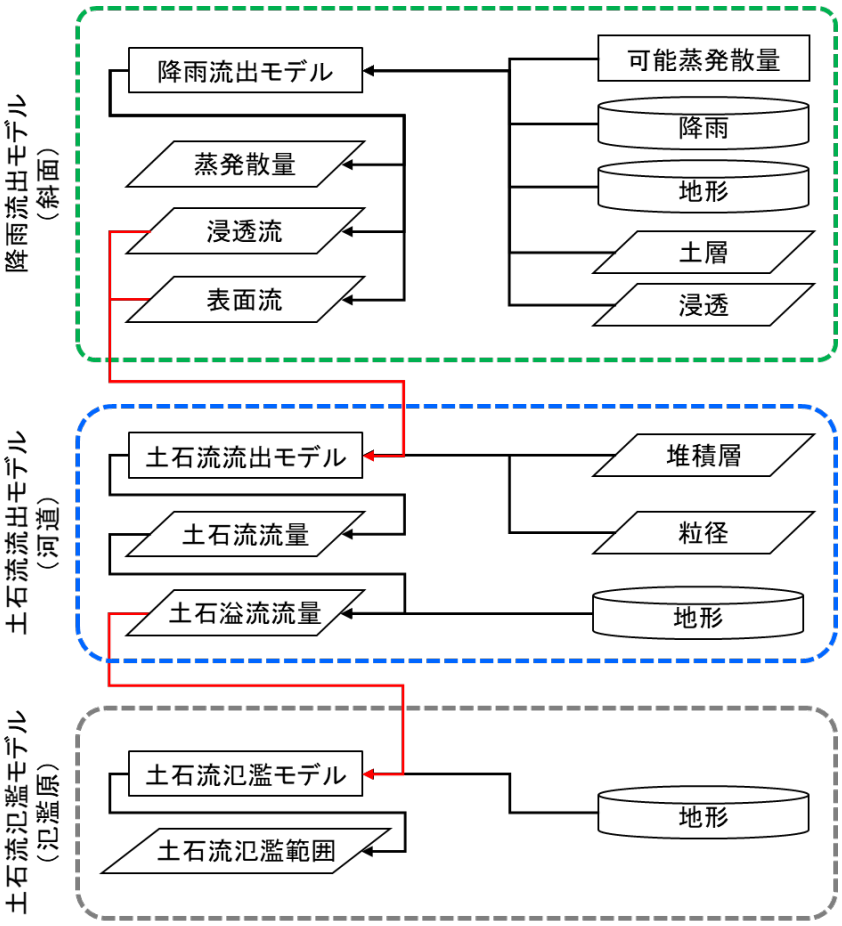


図 2　サブモデル間の接続関係と入出力項目・設定項目

2.2. モデル分割の目的

本解析モデルをサブモデルに分割しているのは、計算処理の効率化のためである。降雨流出、土石流流出、および土石流氾濫の計算処理における特徴は以下のとおりである。

・降雨流出：計算領域が広く、現象の継続時間が長い
・土石流流出：対象現象の時間変化が大きい
・土石流氾濫：計算領域の空間解像度が高い

これらを共通のモデルで表現して計算する場合、広い領域を高い空間解像度で表現し、時間刻みを小さくして長い継続時間にわたって計算することになるため、計算資源の消費が大きくなる。本解析モデルは、試行錯誤の計算などを行った上で即時的に結果の概要を得ることについても目的としているため、以上のような計算処理の効率化を図っている。

2.3. 降雨流出モデル

降雨流出モデルは、平面 2 次元で表現された斜面とその上部に設定された表土層において、表土層の湿潤・乾燥、浸透流および表面流の発生・流下過程を計算する。図 3 に斜面における表土層、およびそこに形成される浸透流および表面流の水面の模式図を示す。ここに、z_sおよびzは表土層の下端および表層の標高、Dは表土層の厚さ、θは最急勾配、f_{s1}, f_{s2}はそれぞれ表層、表層から下層への浸透能、p_wは表土層の平均水分含有率、h_sは浸透流水深、hは表面流水深である。このような斜面に降雨rが与えられると、雨水の鉛直移動によって表土層が湿潤してp_wが増加し、上限に達すると浸透流が形成され、さらに浸透流水深h_sが表土層厚Dに達すると、表面流が形成される。降雨が停止すると、蒸発散により浸透流が減少し、表土層が乾燥してp_wが減少する。噴火後の降灰が表土層の透水性に及ぼす影響は、f_{s1}に反映される。土壌の透水性は、孔隙径分布、孔隙の屈曲度、孔隙同士の連結といった孔隙構造に依存する[26]が、本研究では簡潔に、f_{s1}は降灰厚による経験的な関数によって表現されるものとしている。これらの過程について、次のようにモデル化する。

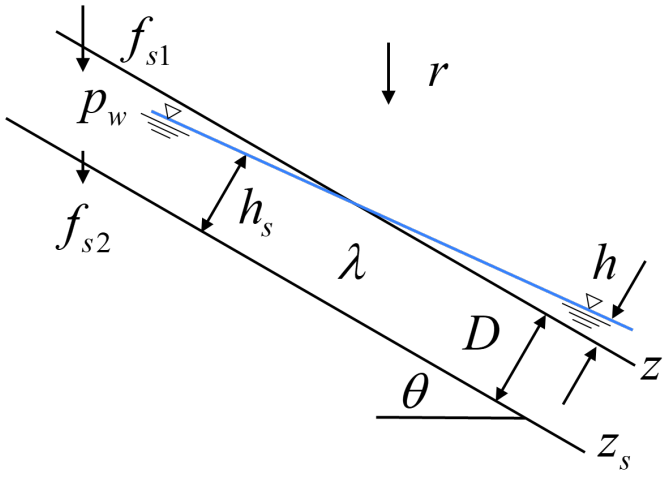


図 3　斜面と水面の模式図[17)]

2.3.1.　斜面における浸透流・洪水流の支配方程式

表土層における水分含有率、浸透流、表面流の質量保存則は、次式で表される[17)]。

$$\frac{\partial(p_w D)}{\partial t} = r - e \tag{1}$$

ここに、p_wは表土層における水分含有率、eは蒸発散強度である。p_wの取り得る最大値をp_{wc}とすれば、同式におけるp_wの取り得る値は$0 \le p_w \le p_{wc}$であり、$p_w = p_{wc}$のとき飽和帯が形成されて浸透流が発生する。降雨が停止すると、蒸発散eによって乾燥過程に移行する。

浸透流および表面流については、従来の研究においてよく用いられている水深平均の 2 次元支配方程式を採用し、浸透流および表面流にそれぞれダルシー則およびマニング則を適用している。

浸透流の質量保存則は、次のように表される[17)]。

$$\frac{\partial h_s}{\partial t}+\frac{1}{\lambda-p_w}\left(\frac{\partial q_{sx}}{\partial x}+\frac{\partial q_{sy}}{\partial y}\right)=\frac{\cos\theta}{\lambda-p_w}(f_{s1}-f_{s2}-e) \tag{2}$$

ここに、tは時間、x,yは直交直線座標、$x-y$面は斜面に沿う平面、λは表土層の空隙率、q_{sx}、q_{sy}はそれぞれ浸透流フラックスq_sのx成分およびy成分、q_sは最急勾配方向の浸透流フラックスである。また、降雨rが表層の浸透能f_{s1}を下回る$r<f_{s1}$のとき、表層の浸透強度は降雨量に等しいから$f_{s1}=r$とおく。火山地域においては、噴火にともなう降灰により浸透能が小さくなるといわれている。これを表現する関数は不明であるが、便宜的に$f_{s1}=f_{s0}(1-D_a/D_{a0})$で表現する。ここに、$f_{s0}$は降灰前の浸透能、$D_a$は降灰厚、$D_{a0}$は浸透能がゼロとなる降灰厚である。

浸透流の運動量保存則は次式で表される[17)]。

$$q_{sx}=-\frac{\partial H}{\partial x}I^{-1}q_s \tag{3}$$

$$q_{sy}=-\frac{\partial H}{\partial y}I^{-1}q_s \tag{4}$$

$$q_s=khI \tag{5}$$

$$I=\sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial H}{\partial y}\right)^2} \tag{6}$$

ここに、Hは浸透流あるいは表面流の水位で$H=z_s+h_s\cos\theta$あるいは$H=z+h\cos\theta$、Iは水面の最急勾配、kは飽和透水係数である。

表面流の質量保存則は、次式で表される[17)]。

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial q_x}{\partial x}+\frac{\partial q_y}{\partial y}=(r-f_{s2}-e)\cos\theta-\frac{2q_{sr}L}{\Delta x\Delta y} \tag{7}$$

ここに、q_x、q_yはそれぞれ表面流フラックスのx成分およびy成分、qは表面流フラックス、q_{sr}は斜面から河道への単位幅流量で、負の場合は河道から斜面への流量となる（後述）、Lは単位河道の流下方向の長さであり、流下方向がx方向のとき$L=\Delta x$、y方向のとき$L=\Delta y$である。

表面流の運動量保存則は、次式で表される[17)]。

$$q_x=-\frac{\partial H}{\partial x}I^{-1}q \tag{8}$$

$$q_y=-\frac{\partial H}{\partial y}I^{-1}q \tag{9}$$

$$q=\frac{1}{N}\sqrt{I}h^{5/3} \tag{10}$$

ここに、Nは等価粗度係数[25)]である。

2.3.2. 河道への流出量の算出方法

図 4 に河道が設定されたグリッドセルの模式図を示す。河道の水位がグリッドセルの水位よりも低い場合は、グリッドセルから河道へ流出する。河道の水位がグリッドセルの水位よりも高い場合は、河道からグリッドセルへ流出する。q_{sr}は河道への単位幅流量であり、完全越流の式[25]で表すものとする。

$$q_{sr} = \mu h\sqrt{2gh} \tag{11}$$

ここに、μは定数で$\mu = 0.35$[25]、gは重力加速度である。

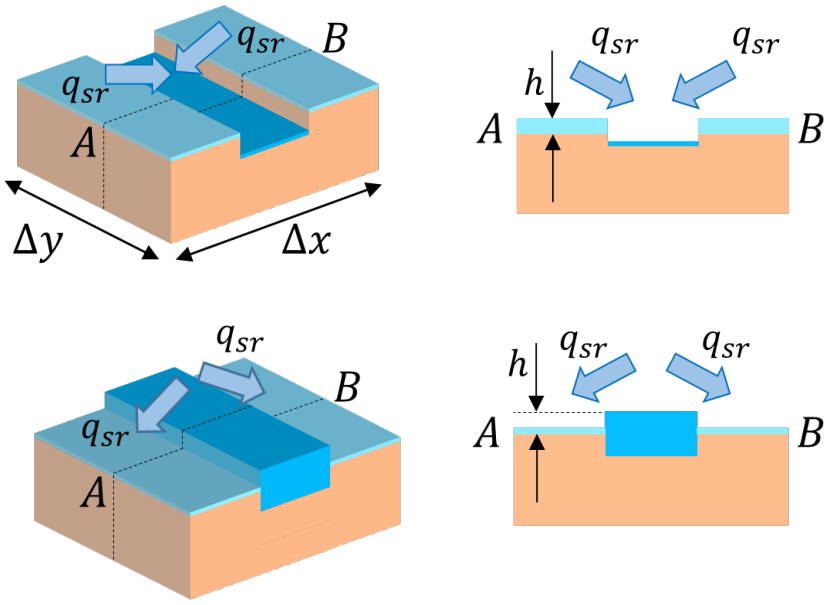


図 4　斜面から河道への流量（上：河道の水位がグリッドセルの水位よりも低い場合、下：河道の水位がグリッドセルの水位よりも高い場合）

2.3.3. 河道における洪水流の支配方程式

河道における洪水流の質量保存則は次式で表される。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{B}\frac{\partial uhB}{\partial x} = \frac{2q_{sr}L}{BL} \tag{12}$$

ここに、Bは川幅、Lは流下方向の長さである。

洪水流の運動方程式には、マニング則を適用しており、次式で表される。

$$u = \frac{1}{n}\sqrt{\frac{\partial H}{\partial x}}h^{2/3} \tag{13}$$

ここに、nはマニングの粗度係数である。

2.3.4. 離散化

前述の支配方程式を図 5 に示す変数配置によって風上差分により離散化する。図のs（●）、u（▷）、v（△）は、それぞれスカラー、x方向のベクトル、y方向のベクトルを示す。s（●）は体積含水率p_w、浸透流水深h_s、表面流水深h、最急勾配I、最急勾配方向の浸透流q_sおよび表面流qを示す。u（▷）は、浸透流および浸透流フラックスのx成分であるq_{sx}, q_xを示す。v（△）は、浸透流および表面流フラックスのy成分であるq_{sy}, q_yを示す。時刻および位置に関する添え字を(t)、(i,j)とそれらの増分をΔを用いて表すが、添え字に記載のないものは、時刻(t)、位置(i,j)におけるものとする。iおよびjの範囲は、スカラー型の変数では、それぞれ$i=1$から$i=iend$および$j=1$から$j=jend$、ベクトル型の変数では、それぞれ$i=1$から$i=iend+1$および$j=1$から$j=jend+1$とする。境界条件はディリクレ境界条件（第 1 種境界条件）としている。

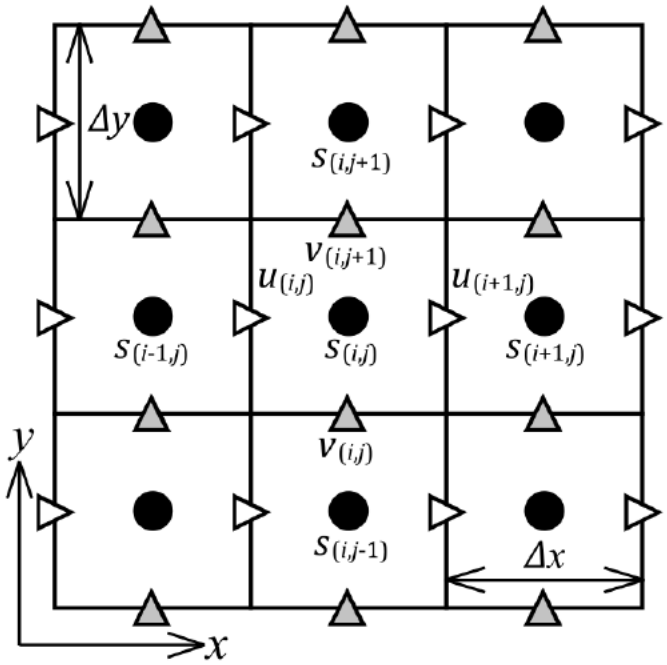


図 5　時刻tにおける変数配置図

2.3.4.1. 質量保存則および運動量保存則の離散化

表土層の質量保存則を離散化すると、次式で表される。

$$\frac{p_w^{(t+\Delta t)}D - p_w^{(t)}D}{\Delta t} = r_{(t)} - e_{(t)} \tag{14}$$

浸透流の質量保存則を離散化すると、次式で表される。

$$\frac{h_s^{(t+\Delta t)} - h_s^{(t)}}{\Delta t} + \frac{1}{\lambda - p_w}\left(\frac{q_{sx(i+1,j)} - q_{sx(i,j)}}{\Delta x} + \frac{q_{sy(i,j+1)} - q_{sy(i,j)}}{\Delta y}\right) = \frac{\cos\theta}{\lambda - p_w}(f_{s1} - f_{s2} - e) \tag{15}$$

ダルシー則を適用して評価している最急勾配方向の浸透流のx成分およびy成分は、それぞれ次式で近似している。

$$\begin{aligned} q_{sx(i,j)} &= -k_{(i-1,j)}h_{(i-1,j)}\frac{H_{(i,j)}-H_{(i-1,j)}}{\Delta x} && 0 \le \frac{H_{(i,j)}-H_{(i-1,j)}}{\Delta x} \\ q_{sx(i,j)} &= -k_{(i,j)}h_{(i,j)}\frac{H_{(i,j)}-H_{(i-1,j)}}{\Delta x} && \frac{H_{(i,j)}-H_{(i-1,j)}}{\Delta x} < 0 \end{aligned} \tag{16}$$

$$\begin{aligned} q_{sy(i,j)} &= -k_{(i,j-1)}h_{(i,j-1)}\frac{H_{(i,j)}-H_{(i,j-1)}}{\Delta y} && 0 \le \frac{H_{(i,j)}-H_{(i,j-1)}}{\Delta y} \\ q_{sy(i,j)} &= -k_{(i,j)}h_{(i,j)}\frac{H_{(i,j)}-H_{(i,j-1)}}{\Delta y} && \frac{H_{(i,j)}-H_{(i,j-1)}}{\Delta y} < 0 \end{aligned} \tag{17}$$

表面流の質量保存則を離散化すると次式で表される。

$$\frac{h^{(t+\Delta t)}-h^{(t)}}{\Delta t}+\left(\frac{q_{x(i+1,j)}-q_{x(i,j)}}{\Delta x}+\frac{q_{y(i,j+1)}-q_{y(i,j)}}{\Delta y}\right)=(r-f_{s2}-e)\cos\theta \tag{18}$$

マニング則を適用して評価している最急勾配方向の表面流のx成分およびy成分は、それぞれ次式で近似している。

$$\begin{aligned} q_{x(i,j)} &= \frac{-1}{N_{(i-1,j)}}\sqrt{\frac{H_{(i,j)}-H_{(i-1,j)}}{\Delta x}}\,h_{(i-1,j)}{}^{5/3} && 0 \le \frac{H_{(i,j)}-H_{(i-1,j)}}{\Delta x} \\ q_{x(i,j)} &= \frac{1}{N_{(i,j)}}\sqrt{\left|\frac{H_{(i,j)}-H_{(i-1,j)}}{\Delta x}\right|}\,h_{(i,j)}{}^{5/3} && \frac{H_{(i,j)}-H_{(i-1,j)}}{\Delta x} < 0 \end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned} q_{y(i,j)} &= \frac{-1}{N_{(i,j-1)}}\sqrt{\frac{H_{(i,j)}-H_{(i,j-1)}}{\Delta y}}\,h_{(i,j-1)}{}^{5/3} && 0 \le \frac{H_{(i,j)}-H_{(i,j-1)}}{\Delta y} \\ q_{y(i,j)} &= \frac{1}{N_{(i,j)}}\sqrt{\left|\frac{H_{(i,j)}-H_{(i,j-1)}}{\Delta y}\right|}\,h_{(i,j)}{}^{5/3} && \frac{H_{(i,j)}-H_{(i,j-1)}}{\Delta y} < 0 \end{aligned} \tag{20}$$

2.3.4.2. 境界条件

計算開始時刻$t=0$における各変数の値を初期条件や初期値という。また、$i=1, i=iend, j=1, j=jend$における各変数の値を境界条件や境界値という。境界条件にディリクレ境界条件を適用している。浸透流の境界値は次式で表される。

$$q_{sx(1,j)} = -k_{(1,j)}h_{(1,j)}\frac{H_{(2,j)}-H_{(1,j)}}{\Delta x} \tag{21}$$

$$q_{sx(iend+1,j)} = -k_{(iend,j)}h_{(iend,j)}\frac{H_{(iend,j)}-H_{(iend-1,j)}}{\Delta x} \tag{22}$$

$$q_{sy(i,1)} = -k_{(i,1)} h_{(i,1)} \frac{H_{(i,2)} - H_{(i,1)}}{\Delta y} \tag{23}$$

$$q_{sy(i,jend+1)} = -k_{(i,jend)} h_{(i,jend)} \frac{H_{(i,jend)} - H_{(i,jend-1)}}{\Delta y} \tag{24}$$

表面流については式の変数が変わるだけで、採用する変数の空間関係は同様である。また、河道における洪水流の計算方法については、採用する変数の空間関係は土石流流出モデルと同様のため、後述する。

2.4. 土石流流出モデル

土石流流出モデルは、1 次元で表現された河道において、斜面からの浸透流および表面流を境界条件とし、土石流の発生および侵食・堆積をともなう流下過程を計算する。土石流の発生は、河床堆積物に無限長斜面の安定解析[17]を適用し、斜面からの流入量により不安定となった場合に、その地点の堆積物の全層が流動化するものとする。流動化した堆積物には、土石流の支配方程式[10),11),18),19)]を適用している。土石流の形成と規模の決定機構に重要な役割を果たす、微細砂の流体相への遷移現象[20),16)]を考慮するため、質量保存則は、固相として流れを支配する粗粒砂と、水とともに流体相として挙動する微細砂に分けて記述されている。

河床堆積物は様々な粒径の土粒子から構成される。ここでは、それらの土粒子を定数と考えられる閾値以上のものを粗粒砂、閾値未満のものを微細砂として扱う。図 6 に堆積物の粗粒土砂と微細土砂の静止、流動化、および堆積時における挙動を示す。粗粒砂および微細砂の含有率をそれぞれ、p_cおよびp_f $(p_c + p_f = 1)$、堆積物における体積濃度をc_*とすると、粗粒砂および微細砂はそれぞれ、$p_c c_*$および$p_f c_*$で表される。堆積物が水で飽和され流動化すると、微細砂は流体相へ遷移して水とともに間隙流体を形成し、粗粒砂のみが固相を形成するとする。この時、粗流砂の体積濃度c_cは$c_c = p_c c_*$、流体相における微細砂の体積濃度c_fは$c_f = p_f c_*/(1 - c_c)$で表される。堆積時には、粗粒砂により形成された堆積物の空隙に水と微細砂で構成される間隙流体が取り込まれるものとする。このとき、微細砂を間隙に取り込んだ粗粒砂と微細砂の合計の土砂体積濃度c_{*D}は、$c_{*D} = c_* + (1 - c_*)c_f$で表される。

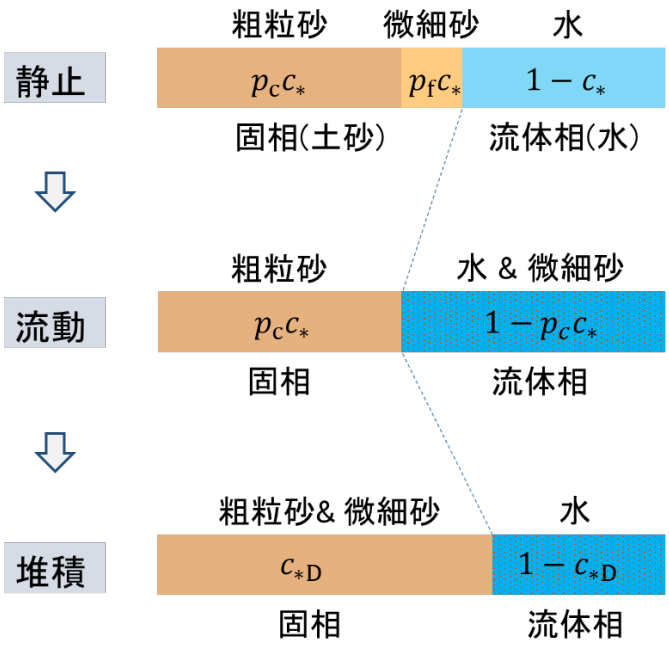


図 6　堆積物の静止、流動化および堆積時の挙動[17)]

2.4.1. 河床堆積物の安定条件

表面流および浸透流が形成されている場において、無限長斜面の釣合条件を用いて崩壊の発生・非発生を判定する。この時、斜面に沿った重力成分Gは、表土層、浸透流および表面流に作用する重力の流れ方向成分から構成され、抵抗力Rはクーロン摩擦および粘着力から構成されるものとすれば、これらは次式で表される[17)]。

$$G = \rho g D \sin\theta \left\{ \left(\frac{\sigma}{\rho}\right) c_* + \left(1 - \frac{h_s}{D}\right) p_w + \left(\frac{h_s}{D}\right)(1 - c_*) + \frac{h}{D} \right\} \tag{25}$$

$$R = \rho g D \cos\theta \left\{ \left(\frac{\sigma}{\rho}\right) c_* + \left(1 - \frac{h_s}{D}\right) p_w - \left(\frac{h_s}{D}\right) c_* \right\} \tan\phi + c \tag{26}$$

ここに、σは土粒子の質量密度、gは重力加速度、ρは水の質量密度、c_*は表土層の体積土砂濃度、Dは土層厚、ϕは内部摩擦角、cは表土層とその下層の境界における粘着力である。上式には浸透流による浮力の発生に伴い有効応力が減少することが考慮されている。崩壊の発生限界条件は$G = R$より次式のようになる[17)]。

$$\tan\theta_c = \frac{\left(\frac{\sigma}{\rho} - \frac{h_s}{D}\right) c_* + \left(1 - \frac{h_s}{D}\right) p_w + c'}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - \frac{h_s}{D}\right) c_* + \frac{(h_s + h)}{D} + \left(1 - \frac{h_s}{D}\right) p_w} \tan\phi \tag{27}$$

ここに、θ_cは崩壊発生の限界勾配で、c'は粘着力の無次元量で、$c' = c/(\rho g D \cos\theta \tan\phi)$である。$\theta_c < \theta$の領域において崩壊が発生すると判定される。崩壊発生時には、堆積物の全層が流動化するものとする。

河床堆積物が非粘着性で構成され、水で飽和されている場合には、次式のようになる。

$$\tan\theta_c = \frac{(\sigma/\rho - 1) c_*}{(\sigma/\rho - 1) c_* + (1 + h/D)} \tan\phi \tag{28}$$

2.4.2. 土石流の支配方程式

2.4.2.1. 質量保存則

解析モデルでは、微細砂の流体相への遷移後の間隙流体の質量密度を与えるため、流体相へ遷移した微細砂を質量で設定する必要がある。土石流全体、粗粒砂、および微細砂についての質量保存則[18),19)]を水深平均1次元で表すと、次式で表される。

侵食過程：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial u h B}{\partial x} = \frac{E}{c_*} + f_{in} - f_{out} \tag{29}$$

$$\frac{\partial c_c h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial \gamma c_c u h B}{\partial x} = p_c E - c_c f_{out} \tag{30}$$

$$\frac{\partial c_f (1 - c_c) h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial c_f (1 - c_c) u h B}{\partial x} = p_f E - (1 - c_c) c_f f_{out} \tag{31}$$

堆積過程：

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{1}{B}\frac{\partial uhB}{\partial x}=\frac{E}{c_*}+f_{in}-f_{out} \tag{32}$$

$$\frac{\partial c_c h}{\partial t}+\frac{1}{B}\frac{\partial \gamma c_c uhB}{\partial x}=E-c_c f_{out} \tag{33}$$

$$\frac{\partial c_f(1-c_c)h}{\partial t}+\frac{1}{B}\frac{\partial c_f(1-c_c)uhB}{\partial x}=(1/c_*-1)c_f E-(1-c_c)c_f f_{out} \tag{34}$$

ここに、hは流動深、tは時間、Bは川幅、xは河床に沿う軸、uはx軸方向の水深平均の流速、Eは侵食・堆積速度、c_*は河床堆積物の静止体積濃度、f_{in}は流域斜面から河道への量、f_{out}は河道からの溢流量（後述の氾濫モデルの境界条件となる）、c_cは粗粒砂の水深平均の体積濃度、γは土砂輸送補正係数、c_{f}は流体相における微細砂の体積濃度、c_{*D}は堆積過程における粗粒砂静止体積濃度である。侵食・堆積速度は、次式で表される[11)]。

$$\frac{E}{u}=c_*\tan(\theta-\theta_e) \tag{35}$$

ここに、θは河床勾配、θ_eは土石流の平衡勾配であり、次式で表される[11)]。

$$\tan\theta_e=\frac{(\sigma/\rho-1)c_c}{(\sigma/\rho-1)c_c+1}\tan\phi \tag{36}$$

ここに、σは砂礫の質量密度、ρは間隙流体の質量密度、およびϕは砂礫の内部摩擦角である。平衡勾配の式における間隙流体の質量密度ρは、流体相における微細砂濃度c_fを用いて次式で表される。

$$\rho=(\sigma-\rho_w)c_f+\rho_w \tag{37}$$

ここに、ρ_wは水の質量密度である。これにより、微細砂の流体相への遷移により間隙流体密度が増加することが表されている。上の 2 つの式において、微細砂の含有率p_fが増加すると、間隙流体密度ρの増加と粗粒砂濃度c_cの減少により、平衡勾配θ_eが小さくなることが表現されている。

河床堆積物の質量保存則は、次式で表される。

$$\frac{\partial z}{\partial t}=-\frac{E}{c_*\cos\theta} \tag{38}$$

ここに、zは河床の標高である。

2.4.2.2. 運動量保存則

土石流の運動量保存則は、水深平均 1 次元で表すと次のように記述される。

$$\frac{\partial uh}{\partial t}+\frac{1}{B}\frac{\partial \beta uuhB}{\partial x}=-gh\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{\tau_b}{\rho_m} \tag{39}$$

ここに、βは運動量補正係数、Hは土石流の流れの表面の位置で$H=z+h\cos\theta$で表され、ρ_mは土石流の質量密度、τ_bは河床せん断力[10)]であり、次式で表される。

$$\tau_b=\tau_y+\rho f_b u^2 \tag{40}$$

ここに、τ_yはクーロン型の降伏応力、f_bは流動抵抗係数である。これらは、それぞれ次式で表される。

$$\tau_y = \left(\frac{c_c}{c_*}\right)^{1/5} (\sigma - \rho) c_c g h \cos\theta \tan\phi \tag{41}$$

$$f_b = \frac{25}{4}\left(f_d + f_f\right)\left(\frac{h}{d}\right)^{-2} \tag{42}$$

$$f_d = k_d \left(\frac{\sigma}{\rho}\right)(1 - e^2) {c_c}^{1/3} \tag{43}$$

$$f_f = k_f (1 - c_c)^{5/3} {c_c}^{-2/3} \tag{44}$$

ここに、dは粗粒砂の代表粒径、k_f、k_dは定数で、それぞれ、$k_f = 0.16$[10]、$k_d = 0.0828$[10]、eは砂礫同士における反発係数である。勾配が小さい領域や粒径が小さい場合に粒子流動層の上部に形成される乱流層の影響が卓越される場合を想定し、f_bに関する実測値[27]を参考にして、f_bを次式[28]によって評価し、式(42)によるf_bの値よりも大きい場合は、この値を採用する。

$$f_b = \left(A_r - \frac{1}{\kappa} + \frac{1}{\kappa}\ln\frac{h}{\kappa_s}\right)^{-2} \tag{45}$$

ここで、A_rは定数、κはカルマン定数、およびκ_sは相当粗度で、当面$A_r = 8.5$[28]、$\kappa = 0.4$[28]、$\kappa_s = d$[19]を採用する。

2.4.3. 土石流の溢水量の算出方法

土石流の流下過程において、土石流の表面標高が地盤標高を上回った地点では、土石流の水深に越流公式[25]を適用して土石流の溢流量を算出し、これを土石流氾濫モデルに境界条件として与えている。本解析モデルでは、氾濫発生地点は、土石流が河道を流下していく過程で、土石流の表面標高と流路側岸の地盤標高によって定まる。図 7 は、河道から氾濫原に土石流が溢流する模式図である。土石流の溢流時における単位幅の溢流量は、便宜的に次式[25]で評価している。

$$q_{sr} = \mu h \sqrt{2gh} \tag{46}$$

ここに、μは定数で$\mu = 0.35$[25]、gは重力加速度である。なお、一度溢流した土石流が氾濫原を流動し、河道に再び流入することは考慮していない。

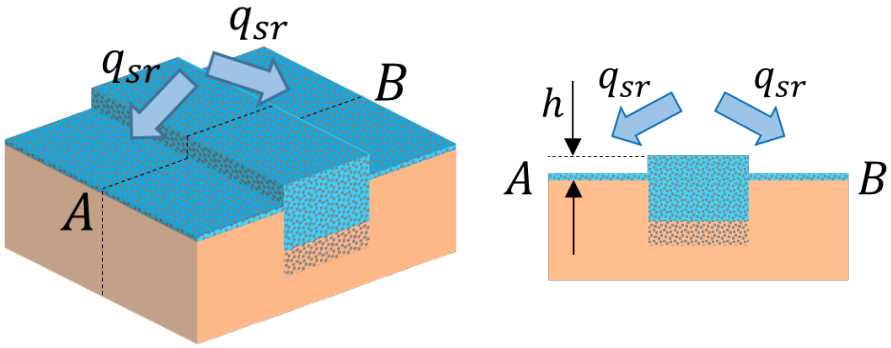


図 7　土石流の溢流

2.4.4.　離散化

前述の支配方程式を図 8 に示す変数配置によって風上差分により離散化する。図のs、uは、それぞれスカラー、x方向のベクトルを示す。sは水深h、粗粒砂濃度c_c、微細砂濃度c_fを示し、uは、流速を示す。時刻および位置に関する添え字を(t)、(i)とそれらの増分をΔを用いて表すが、添え字に記載のないものは、時刻(t)、位置(i)におけるものとする。

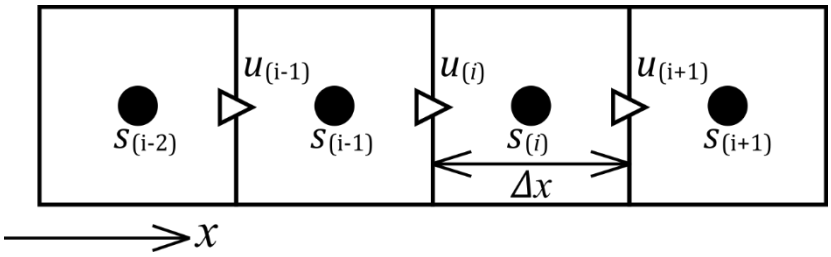


図 8　変数配置図

2.4.4.1. 質量保存則

土石流全体、粗粒砂、および微細砂の質量保存則の侵食過程を離散化すると、次のように表される。

土石流全体の質量保存則(29)を離散化すると次式で表される。

$$\frac{h^{(t+\Delta t)}-h^{(t)}}{\Delta t}+\frac{1}{B}\frac{M_{(i+1)}-M_{(i)}}{\Delta x}=\frac{E}{c_*}+f_{in}-f_{out} \tag{47}$$

ここに、Mはuの位置における水・土砂の全流量で、次式で表される。

$$\begin{aligned} M_{(i)} &= u_{(i)}h_{(i-1)}B_{(i-1)} && 0 \le u_{(i)} \\ M_{(i)} &= u_{(i)}h_{(i)}B_{(i)} && u_{(i)} < 0 \end{aligned} \tag{48}$$

$$\begin{aligned} M_{(i+1)} &= u_{(i+1)}h_{(i)}B_{(i)} && 0 \le u_{(i+1)} \\ M_{(i+1)} &= u_{(i+1)}h_{(i+1)}B_{(i+1)} && u_{(i+1)} < 0 \end{aligned} \tag{49}$$

粗粒砂の質量保存則(30)を離散化すると次式で表される。

$$\frac{{c_c}^{(t+\Delta t)}h^{(t+\Delta t)}-{c_c}^{(t)}h^{(t)}}{\Delta t}+\frac{1}{B}\frac{M_{(i+1)}-M_{(i)}}{\Delta x}=p_cE-c_cf_{out} \tag{50}$$

ここに、Mはuの位置で定義される粗粒砂の全流量で、次式で表される。

$$\begin{aligned} M_{(i)}&=\gamma_{(i-1)}c_{c(i-1)}u_{(i)}h_{(i-1)}B_{(i-1)} && 0\le u_{(i)} \\ M_{(i)}&=\gamma_{(i)}c_{c(i)}u_{(i)}h_{(i)}B_{(i)} && u_{(i)}<0 \end{aligned} \tag{51}$$

$$\begin{aligned} M_{(i+1)}&=\gamma_{(i)}c_{c(i)}u_{(i+1)}h_{(i)}B_{(i)} && 0\le u_{(i+1)} \\ M_{(i+1)}&=\gamma_{(i+1)}c_{c(i+1)}u_{(i+1)}h_{(i+1)}B_{(i+1)} && u_{(i+1)}<0 \end{aligned} \tag{52}$$

$h^{(t+\Delta t)}$を既知とする必要が生ずるが、プログラムの計算順序で先に計算されているため、疑似的に$t+\Delta t$のものとみなしている。

微細砂の質量保存則(31)を離散化すると次式で表される。

$$\begin{aligned} &\frac{{c_f}^{(t+\Delta t)}\left(1-{c_c}^{(t+\Delta t)}\right)h^{(t+\Delta t)}-{c_f}^{(t)}\left(1-{c_c}^{(t)}\right)h^{(t)}}{\Delta t}+\frac{1}{B}\frac{M_{(i+1)}-M_{(i)}}{\Delta x} \\ &\quad=p_fE-(1-c_c)c_ff_{out} \end{aligned} \tag{53}$$

ここに、Mはuの位置で定義される微細砂の全流量で、次式で表される。

$$\begin{aligned} M_{(i)}&=c_{f(i-1)}\left(1-c_{c(i-1)}\right)u_{(i)}h_{(i-1)}B_{(i-1)} && 0\le u_{(i)} \\ M_{(i)}&=c_{f(i)}\left(1-c_{c(i)}\right)u_{(i)}h_{(i)}B_{(i)} && u_{(i)}<0 \end{aligned} \tag{54}$$

$$\begin{aligned} M_{(i+1)}&=c_{f(i)}\left(1-c_{c(i)}\right)u_{(i+1)}h_{(i)}B_{(i)} && 0\le u_{(i+1)} \\ M_{(i+1)}&=c_{f(i+1)}\left(1-c_{c(i+1)}\right)u_{(i+1)}h_{(i+1)}B_{(i+1)} && u_{(i+1)}<0 \end{aligned} \tag{55}$$

以上、土石流全体、粗粒砂、および微細砂の質量保存則の堆積過程における離散化においても、左辺は同様である。

河床堆積物の質量保存則を離散化すると、次式で表される。

$$\frac{z^{(t+\Delta t)}-z^{(t)}}{\Delta t}=-\frac{E}{c_*\cos\theta} \tag{56}$$

2.4.4.2. 合流点の計算方法

合流は、式(48)、(51)、(54)における$M_{(i)}$において考慮する。図 9 に本川支川の合流点における変数配置を示す。本解析では、合流点において、より大きい集水面積を持つ河道を本川、それ以外を支川としている。ここに、本川および支川の添字を、それぞれm、tとしている。式(48)を例にすると、$M_{(i)}$は次式で表される。

$$\begin{aligned} M_{(i)}&=u_{(i_m)}h_{(i_m-1)}B_{(i_m-1)}+u_{(i_t)}h_{(i_t-1)}B_{(i_t-1)} && 0\le u_{(i_m)} && 0\le u_{(i_t)} \\ M_{(i)}&=u_{(i_m)}h_{(i_m-1)}B_{(i_m-1)}+u_{(i_t)}h_{(i_m)}B_{(i_m)} && 0\le u_{(i_m)} && u_{(i_t)}<0 \\ M_{(i)}&=u_{(i_m)}h_{(i_m)}B_{(i_m)}+u_{(i_t)}h_{(i_t-1)}B_{(i_t-1)} && u_{(i_m)}<0 && 0\le u_{(i_t)} \\ M_{(i)}&=u_{(i_m)}h_{(i_m)}B_{(i_m)}+u_{(i_t)}h_{(m)}B_{(i_m)} && u_{(i_m)}<0 && u_{(i_t)}<0 \end{aligned} \tag{57}$$

これは、粗粒砂および微細砂における連続条件についても同様である。また、逆流する場合には、本川のみに逆流するものとしている。

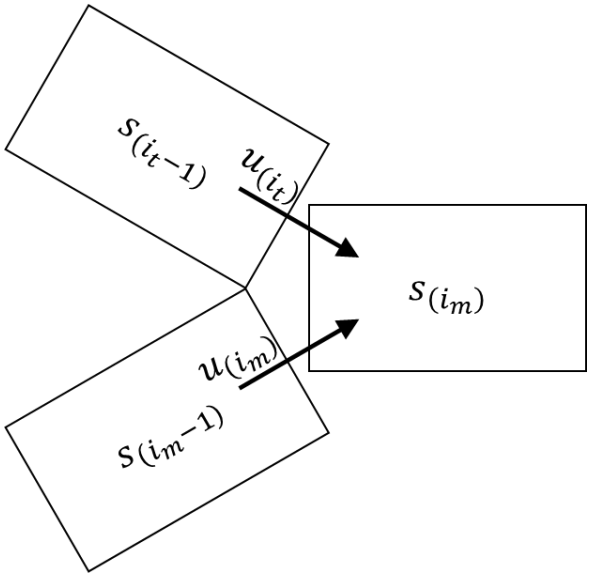


図 9　合流点の変数配置図

2.4.4.3. 運動量保存則

運動量保存則(39)の左辺第二項および右辺第一項をそれぞれX、Yとして、離散化すると次式で表される。

$0 \leq u_{(i)}$の時、次式で表される。

$$\frac{u_{(i)}^{(t+\Delta t)} h_{(i-1)}^{(t+\Delta t)} - u_{(i)}^{(t)} h_{(i-1)}^{(t)}}{\Delta t} + X = -Y - \frac{\tau_{y(i-1)} + \rho_{(i-1)} f_{b(i-1)} u_{(i)}^{(t+\Delta t)} |u|_{(i)}^{(t)}}{\rho_{m(i-1)}} \tag{58}$$

ここに、右辺の第二項には、Vasiliev 不安定回避 [29] のため、$u_{(i)}^{(t+\Delta t)}$を用いている。$h_{(i-1)}^{(t+\Delta t)}$を既知とする必要が生ずるが、プログラムの計算順序で先に計算されているため、疑似的に$t + \Delta t$のものとみなしている。

Xは次式で表される。

$$X = u_{(i)} \frac{1}{B_{(i-1)}} \frac{M_{(i)} - M_{(i-1)}}{\Delta x} \tag{59}$$

ここに、Mはuの位置で定義される水および土砂の全流量で、次式で表される。

$$M_{(i)} = \beta_{(i-1)} u_{(i)} h_{(i-1)} B_{(i-1)} \qquad 0 \leq u_{(i)} \tag{60}$$

$$\begin{aligned} M_{(i-1)} &= \beta_{(i-2)} u_{(i-1)} h_{(i-2)} B_{(i-2)} && 0 \leq u_{(i-1)} \\ M_{(i-1)} &= \beta_{(i-1)} u_{(i-1)} h_{(i-1)} B_{(i-1)} && u_{(i-1)} < 0 \end{aligned} \tag{61}$$

Yは次式で表される。

$$Y = g h_{(i-1)} \frac{H_{(i)} - H_{(i-1)}}{\Delta x} \tag{62}$$

$u_{(i)} < 0$の時は次式で表される。

$$\frac{u_{(i)}^{(t+\Delta t)}h_{(i)}^{(t+\Delta t)}-u_{(i)}^{(t)}h_{(i)}^{(t)}}{\Delta t}+X=-Y-\frac{\tau_{y(i)}+\rho_{(i)}f_{b(i)}u_{(i)}^{(t+\Delta t)}|u|_{(i)}^{(t)}}{\rho_{m(i)}} \tag{63}$$

Xは次式で表される。

$$X=u_{(i)}\frac{1}{B_{(i)}}\frac{M_{(i+1)}-M_{(i)}}{\Delta x} \tag{64}$$

ここに、Mはuの位置で定義される水および土砂の全流量で、次式で表される。

$$\begin{aligned} M_{(i+1)}&=\beta_{(i)}u_{(i+1)}h_{(i)}B_{(i)} && 0\le u_{(i+1)} \\ M_{(i+1)}&=\beta_{(i+1)}u_{(i+1)}h_{(i+1)}B_{(i+1)} && u_{(i+1)}<0 \end{aligned} \tag{65}$$

$$M_{(i)}=\beta_{(i)}u_{(i)}h_{(i)}B_{(i)} \qquad u_{(i)}<0 \tag{66}$$

Yは次式で表される。

$$Y=gh_{(i)}\frac{H_{(i)}-H_{(i-1)}}{\Delta x} \tag{67}$$

合流点においては、$0\le u_{(i)}$かつ$0\le u_{(i-1)}$の場合のみ、式(57)と同様に計算を行い、それ以外の場合では、本川にのみ逆流する。

2.5. 土石流氾濫モデル

土石流氾濫モデルは、河道から溢流した土石流の氾濫過程を計算する。土石流の支配方程式は、平面 2 次元座標における表現であることを除き、土石流流出モデルの支配方程式と同様である。

2.5.1. 土石流の支配方程式

土石流全体、粗粒砂、微細砂、および河床堆積物の質量保存則[18),19)]において、侵食過程は次式で表される。

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial uh}{\partial x}+\frac{\partial vh}{\partial y}=\frac{E}{c_*}+f_{df} \tag{68}$$

$$\frac{\partial c_c h}{\partial t}+\frac{\partial \gamma c_c uh}{\partial x}+\frac{\partial c_c vh}{\partial y}=p_c E+f_{cc} \tag{69}$$

$$\frac{\partial c_f(1-c_c)h}{\partial t}+\frac{\partial c_f(1-c_c)uh}{\partial x}+\frac{\partial c_f(1-c_c)vh}{\partial y}=p_f E+f_{cf} \tag{70}$$

堆積過程は次式で表される。

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial uh}{\partial x}+\frac{\partial vh}{\partial y}=\frac{E}{c_{*D}}+f_{df} \tag{71}$$

$$\frac{\partial c_c h}{\partial t}+\frac{\partial \gamma c_c uh}{\partial x}+\frac{\partial c_c vh}{\partial y}=E+f_{cc} \tag{72}$$

$$\frac{\partial c_f(1-c_c)h}{\partial t}+\frac{\partial c_f(1-c_c)uh}{\partial x}+\frac{\partial c_f(1-c_c)vh}{\partial y}=(1/c_*-1)c_f E+f_{cf} \tag{73}$$

ここに、hは流動深、tは時間、x、yは直交直線座標で、$x-y$平面は水深平均流速ベクトルが作る面に一致している、uはx軸方向の水深平均の流速、vはy軸方向の水深平均の流速、Eは侵食・堆積速度、c_*は河床堆積物の静止体積濃度、f_{df}は河道から氾濫原への土石流の溢流、c_cは粗粒砂の水深平均の体積濃度、γは土砂輸送補正係数、f_{cc}は河道から氾濫原への土石流における粗粒砂の溢流、c_fは流体相における微細砂の体積濃度、c_{*D}は堆積過程における粗粒砂静止体積濃度、f_{cf}は河道から氾濫原への土石流における微細砂の溢流である。侵食・堆積速度は、次式で表される[11)]。

$$\frac{E}{\sqrt{u^2+v^2}}=c_*\tan(\theta-\theta_e) \tag{74}$$

ここに、θは土石流の流速ベクトルと水平面となす角、θ_eは平衡勾配で、それぞれ次式で表される。

$$\tan\theta=\left(-\frac{\partial z}{\partial x}u-\frac{\partial z}{\partial y}v\right)\frac{1}{\sqrt{u^2+v^2}} \tag{75}$$

$$\tan\theta_e=\frac{(\sigma/\rho-1)c_c}{(\sigma/\rho-1)c_c+1}\tan\phi \tag{76}$$

ここに、σは砂礫の質量密度、ρは間隙流体の質量密度で次式で表される。

$$\rho = (\sigma - \rho_w)c_f + \rho_w \tag{77}$$

運動量保存則は次式で表される。

$$\frac{\partial uh}{\partial t} + \frac{\partial \beta uuh}{\partial x} + \frac{\partial \beta vuh}{\partial y} = -gh\frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_m} \tag{78}$$

$$\frac{\partial vh}{\partial t} + \frac{\partial \beta uvh}{\partial x} + \frac{\partial \beta vvh}{\partial y} = -gh\frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_m} \tag{79}$$

ここに、βは運動量補正係数、Hは土石流の流れの表面位置、τ_{bx}、τ_{by}はそれぞれ河床せん断力τ_b[10] のx、y方向成分、ρ_mは土石流の質量密度であり、次式で表される。

$$\rho_m = (\sigma - \rho)c_c + \rho \tag{80}$$

河床せん断力τ_{b}とそのx、y方向成分τ_{bx}、τ_{by}はそれぞれ次式で表される。

$$\tau_{bx} = \frac{\tau_b u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \tag{81}$$

$$\tau_{by} = \frac{\tau_b v}{\sqrt{u^2 + v^2}} \tag{82}$$

$$\tau_b = \tau_y + \rho f_b(u^2 + v^2) \tag{83}$$

ここに、τ_{y}はクーロン型の降伏応力、f_{b}は流動抵抗係数であって、それぞれ次式で与えられる。

$$\tau_y = \left(\frac{c_c}{c_*}\right)^{1/5}(\sigma - \rho)c_c gh\cos\theta\tan\phi \tag{84}$$

$$f_b = \frac{25}{4}\left(f_d + f_f\right)\left(\frac{h}{d}\right)^{-2} \tag{85}$$

$$f_d = k_d(\sigma/\rho)(1 - e^2){c_c}^{1/3} \tag{86}$$

$$f_f = k_f(1 - c_c)^{5/3}{c_c}^{-2/3} \tag{87}$$

ここに、dは粗粒砂の粒径、$k_f = 0.16$、$k_d = 0.0828$、eは砂礫同士における反発係数である。勾配が小さい領域や粒径が小さい場合に粒子流動層の上部に形成される乱流層の影響が卓越される場合を想定しf_bに関する実測値 [27] を参考にしてf_bを次式 [28] によって評価し、式(85)によるf_bの値よりも大きい場合は、この値を採用する。

$$f_b = \left(A_r - \frac{1}{\kappa} + \frac{1}{\kappa}\ln\frac{h}{\kappa_s}\right)^{-2} \tag{88}$$

ここで、A_{r}は定数、κはカルマン定数、およびκ_sは相当粗度で、当面$A_r = 8.5$[28]、$\kappa = 0.4$[28]、$\kappa_s = d$[19] を採用する。

2.5.2. 離散化

前述の支配方程式を図 10 に示す変数配置によって風上差分により離散化する。図のs、u、vは、それぞれスカラー、x方向のベクトル、y方向のベクトルを示す。sは水深h、粗粒

砂濃度c_c、土砂輸送補正係数γ、微細砂濃度c_fを示し、u、vは、流速を示す。時刻および位置に関する添え字を(t)、(i,j)とそれらの増分をΔを用いて表すが、添え字に記載のないものは、時刻(t)、位置(i,j)におけるものとする。

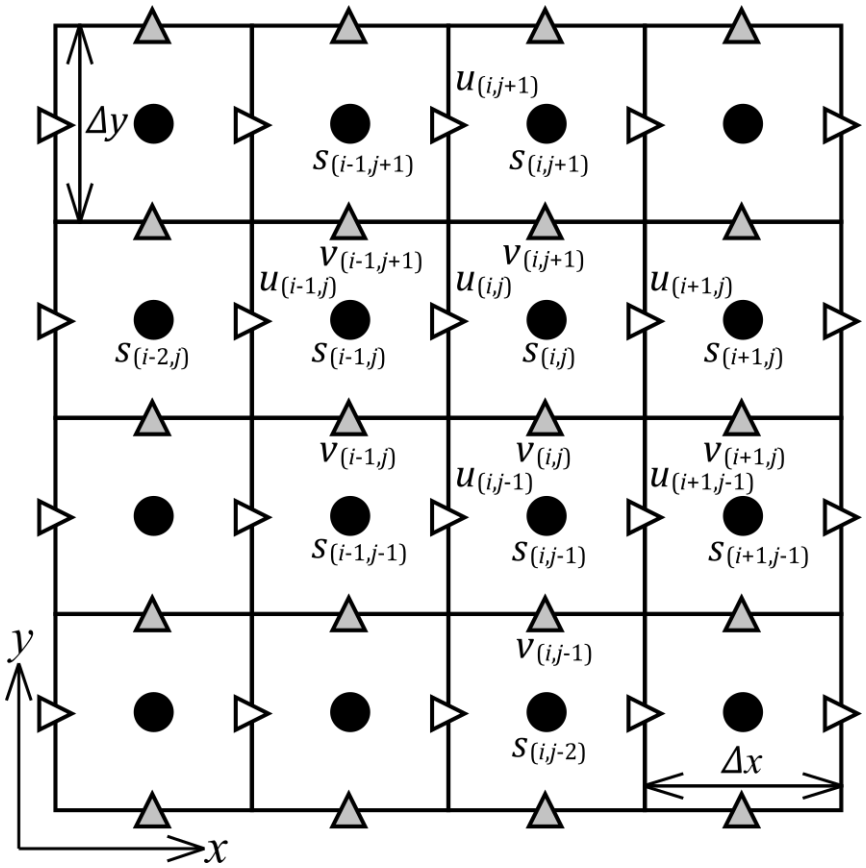


図 10　変数配置図

2.5.2.1. 質量保存則

土石流全体、粗粒砂、および微細砂の質量保存則の侵食過程を離散化すると、次のように表される。土石流全体の質量保存則(68)を離散化すると次式で表される。

$$\frac{h^{(t+\Delta t)}-h^{(t)}}{\Delta t}+\frac{M_{(i+1,j)}-M_{(i,j)}}{\Delta x}+\frac{N_{(i,j+1)}-N_{(i,j)}}{\Delta y}=\frac{E}{c_*}+f_{af} \tag{89}$$

ここに、Mはuの位置における水・土砂の全流量、Nはvの位置における水・土砂の全流量で次式で表される。

$$\begin{aligned} M_{(i,j)} &= u_{(i,j)}h_{(i-1,j)} && 0 \le u_{(i,j)} \\ M_{(i,j)} &= u_{(i,j)}h_{(i,j)} && u_{(i,j)} < 0 \end{aligned} \tag{90}$$

$$\begin{aligned} M_{(i+1,j)} &= u_{(i+1,j)}h_{(i,j)} && 0 \le u_{(i+1,j)} \\ M_{(i+1,j)} &= u_{(i+1,j)}h_{(i+1,j)} && u_{(i+1,j)} < 0 \end{aligned} \tag{91}$$

$$N_{(i,j)} = v_{(i,j)}h_{(i,j-1)} \qquad 0 \le v_{(i,j)} \tag{92}$$

$$\begin{aligned} N_{(i,j)} &= v_{(i,j)}h_{(i,j)} && v_{(i,j)} < 0 \\ N_{(i,j+1)} &= v_{(i,j+1)}h_{(i,j)} && 0 \le v_{(i,j+1)} \\ N_{(i,j+1)} &= v_{(i,j+1)}h_{(i,j+1)} && v_{(i,j+1)} < 0 \end{aligned} \tag{93}$$

粗粒砂の質量保存則(69)を離散化すると次式で表される。

$$\frac{{c_c}^{(t+\Delta t)}h^{(t+\Delta t)} - {c_c}^{(t)}h^{(t)}}{\Delta t} + \frac{M_{(i+1,j)} - M_{(i,j)}}{\Delta x} + \frac{N_{(i,j+1)} - N_{(i,j)}}{\Delta y} = p_c E + f_{cc} \tag{94}$$

ここに、Mはuの位置における粗粒砂の全流量、Nはvの位置における粗粒砂の全流量で次式で表される。

$$\begin{aligned} M_{(i,j)} &= c_{c(i-1,j)}\gamma_{(i-1,j)}u_{(i,j)}h_{(i-1,j)} && 0 \le u_{(i,j)} \\ M_{(i,j)} &= c_{c(i,j)}\gamma_{(i,j)}u_{(i,j)}h_{(i,j)} && u_{(i,j)} < 0 \end{aligned} \tag{95}$$

$$\begin{aligned} M_{(i+1,j)} &= c_{c(i,j)}\gamma_{(i,j)}u_{(i+1,j)}h_{(i,j)} && 0 \le u_{(i+1,j)} \\ M_{(i+1,j)} &= c_{c(i+1,j)}\gamma_{(i+1,j)}u_{(i+1,j)}h_{(i+1,j)} && u_{(i+1,j)} < 0 \end{aligned} \tag{96}$$

$$\begin{aligned} N_{(i,j)} &= c_{c(i,j-1)}\gamma_{(i,j-1)}v_{(i,j)}h_{(i,j-1)} && 0 \le v_{(i,j)} \\ N_{(i,j)} &= c_{c(i,j)}\gamma_{(i,j)}v_{(i,j)}h_{(i,j)} && v_{(i,j)} < 0 \end{aligned} \tag{97}$$

$$\begin{aligned} N_{(i,j+1)} &= c_{c(i,j)}\gamma_{(i,j)}v_{(i,j+1)}h_{(i,j)} && 0 \le v_{(i,j+1)} \\ N_{(i,j+1)} &= c_{c(i,j+1)}\gamma_{(i,j+1)}v_{(i,j+1)}h_{(i,j+1)} && v_{(i,j+1)} < 0 \end{aligned} \tag{98}$$

$h^{(t+\Delta t)}$を既知とする必要が生ずるが、プログラムの計算順序で先に計算されているため、これを疑似的に$t+\Delta t$のものとみなしている。

微細砂の質量保存則(70)を離散化すると次式で表される。

$$\begin{aligned} &\frac{{c_f}^{(t+\Delta t)}\left(1-{c_c}^{(t+\Delta t)}\right)h^{(t+\Delta t)} - {c_f}^{(t)}\left(1-{c_c}^{(t)}\right)h^{(t)}}{\Delta t} \\ &+ \frac{M_{(i+1,j)} - M_{(i,j)}}{\Delta x} + \frac{N_{(i,j+1)} - N_{(i,j)}}{\Delta y} = p_f E + f_{cf} \end{aligned} \tag{99}$$

ここに、Mはuの位置における微細砂の全流量、Nはvの位置における微細砂の全流量で次式で表される。

$$\begin{aligned} M_{(i,j)} &= c_{f(i-1,j)}\left(1-c_{c(i-1,j)}\right)u_{(i,j)}h_{(i-1,j)} && 0 \le u_{(i,j)} \\ M_{(i,j)} &= c_{f(i,j)}\left(1-c_{c(i,j)}\right)u_{(i,j)}h_{(i,j)} && u_{(i,j)} < 0 \end{aligned} \tag{100}$$

$$\begin{aligned} M_{(i+1,j)} &= c_{f(i,j)}\left(1-c_{c(i,j)}\right)u_{(i+1,j)}h_{(i,j)} && 0 \le u_{(i+1,j)} \\ M_{(i+1,j)} &= c_{f(i+1,j)}\left(1-c_{c(i+1,j)}\right)u_{(i+1,j)}h_{(i+1,j)} && u_{(i+1,j)} < 0 \end{aligned} \tag{101}$$

$$\begin{aligned} N_{(i,j)} &= c_{f(i,j-1)}\left(1-c_{c(i,j-1)}\right)v_{(i,j)}h_{(i,j-1)} && 0 \le v_{(i,j)} \\ N_{(i,j)} &= c_{f(i,j)}\left(1-c_{c(i,j)}\right)v_{(i,j)}h_{(i,j)} && v_{(i,j)} < 0 \end{aligned} \tag{102}$$

$$\begin{aligned} N_{(i,j+1)} &= c_{f(i,j)}\left(1-c_{c(i,j)}\right)v_{(i,j+1)}h_{(i,j)} && 0 \le v_{(i,j+1)} \\ N_{(i,j+1)} &= c_{f(i,j+1)}\left(1-c_{c(i,j)}\right)v_{(i,j+1)}h_{(i,j+1)} && v_{(i,j+1)} < 0 \end{aligned} \tag{103}$$

2.5.2.1. 運動量保存則

x方向における運動量保存則(39)の左辺第二項および第三項をX、右辺第一項Yとして、離

散化すると次式で表される。

$$\frac{u^{(t+\Delta t)}\bar{h}^{(t+\Delta t)}-u^{(t)}\bar{h}^{(t)}}{\Delta t}=-X-Y-\frac{\overline{\tau_b}}{\overline{\rho_m}}\frac{u^{(t+\Delta t)}+u^{(t)}}{2\sqrt{{u^{(t)}}^2+\bar{v}^2}} \tag{104}$$

右辺第三項には、Vasiliev 不安定回避 [29] のため、$u^{(t)}$を$\left(u^{(t+\Delta t)}+u^{(t)}\right)/2$に置き換えている。$h^{(t+\Delta t)}$を既知とする必要が生ずるが、プログラムの計算順序で先に計算されているため、これを疑似的に$t+\Delta t$のものとみなしている。ここに、$\bar{h}$、$\overline{\tau_b}$、$\overline{\rho_m}$、$\bar{v}$はそれぞれ、h、τ_b、ρ_m、vの空間的な平均値であり次式で表される。

$$\bar{h}=\left(h_{(i-1,j)}+h_{(i,j)}\right)/2 \tag{105}$$

$$\overline{\tau_b}=\left(\tau_{b(i-1,j)}+\tau_{b(i,j)}\right)/2 \tag{106}$$

$$\overline{\rho_m}=\left(\rho_{m(i-1,j)}+\rho_{m(i,j)}\right)/2 \tag{107}$$

$$\bar{v}=\left(v_{(i,j)}+v_{(i,j+1)}+v_{(i-1,j+1)}+v_{(i-1,j)}\right)/4 \tag{108}$$

Xは次式で表される。

$$X=u\frac{M_{(i,j)}-M_{(i-1,j)}}{\Delta x}+\bar{v}\frac{M_{(i,j)}-M_{(i,j-1)}}{\Delta y} \qquad 0\le u \qquad 0\le \bar{v} \tag{109}$$

$$X=u\frac{M_{(i,j)}-M_{(i-1,j)}}{\Delta x}+\bar{v}\frac{M_{(i,j+1)}-M_{(i,j)}}{\Delta y} \qquad 0\le u \qquad \bar{v}<0 \tag{110}$$

$$X=u\frac{M_{(i+1,j)}-M_{(i,j)}}{\Delta x}+\bar{v}\frac{M_{(i,j)}-M_{(i,j-1)}}{\Delta y} \qquad u<0 \qquad 0\le \bar{v} \tag{111}$$

$$X=u\frac{M_{(i+1,j)}-M_{(i,j)}}{\Delta x}+\bar{v}\frac{M_{(i,j+1)}-M_{(i,j)}}{\Delta y} \qquad u<0 \qquad \bar{v}<0 \tag{112}$$

ここに、Mはuの位置における水・土砂の全流量で次式で表される。

$$M=\bar{\beta}u\bar{h} \tag{113}$$

ここに、$\bar{\beta}$はβの空間的な平均値であり次式で表される。

$$\bar{\beta}=\left(\beta_{(i-1,j)}+\beta_{(i,j)}\right)/2 \tag{114}$$

Yは次式で表される。

$$Y=g\bar{h}\frac{H_{(i,j)}-H_{(i-1,j)}}{\Delta x} \tag{115}$$

y方向における運動量保存則(39)の左辺第二項および第三項をX、右辺第一項をYとして、離散化すると次式で表される。

$$\frac{v^{(t+\Delta t)}\bar{h}^{(t+\Delta t)}-v^{(t)}\bar{h}^{(t)}}{\Delta t}=-X-Y-\frac{\overline{\tau_b}}{\overline{\rho_m}}\frac{v^{(t+\Delta t)}+v^{(t)}}{2\sqrt{{v^{(t)}}^2+\bar{u}^2}} \tag{116}$$

右辺第三項には、Vasiliev 不安定回避 [29] のため、$v^{(t)}$を$\left(v^{(t+\Delta t)}+v^{(t)}\right)/2$に置き換えている。ここに、$\bar{h}$、$\overline{\tau_b}$、$\overline{\rho_m}$、$\bar{v}$はそれぞれ、$h$、$\tau_b$、$\rho_m$、$u$の空間的な平均値であり次式で表される。

$$\bar{h}=\left(h_{(i,j-1)}+h_{(i,j)}\right)/2 \tag{117}$$

$$\overline{\tau_b}=\left(\tau_{b(i,j-1)}+\tau_{b(i,j)}\right)/2 \tag{118}$$

$$\overline{\rho_m} = \left(\rho_{m(i,j-1)} + \rho_{m(i,j)}\right)/2 \tag{119}$$

$$\bar{u} = \left(u_{(i,j)} + u_{(i,j-1)} + u_{(i+1,j-1)} + u_{(i+1,j)}\right)/4 \tag{120}$$

Xは次式で表される。

$$X = \bar{u}\frac{N_{(i,j)} - N_{(i-1,j)}}{\Delta x} + v\frac{N_{(i,j)} - N_{(i,j-1)}}{\Delta y} \qquad 0 \le \bar{u} \qquad 0 \le v \tag{121}$$

$$X = \bar{u}\frac{N_{(i,j)} - N_{(i-1,j)}}{\Delta x} + v\frac{N_{(i,j+1)} - N_{(i,j)}}{\Delta y} \qquad 0 \le \bar{u} \qquad v < 0 \tag{122}$$

$$X = \bar{u}\frac{N_{(i+1,j)} - N_{(i,j)}}{\Delta x} + v\frac{N_{(i,j)} - N_{(i,j-1)}}{\Delta y} \qquad \bar{u} < 0 \qquad 0 \le v \tag{123}$$

$$X = \bar{u}\frac{N_{(i+1,j)} - N_{(i,j)}}{\Delta x} + v\frac{N_{(i,j+1)} - N_{(i,j)}}{\Delta y} \qquad \bar{u} < 0 \qquad v < 0 \tag{124}$$

ここに、Nはvの位置における水・土砂の全流量で次式で表される。

$$N = \bar{\beta} v \bar{h} \tag{125}$$

ここに、$\bar{\beta}$はβの空間的な平均値であり次式で表される。

$$\bar{\beta} = \left(\beta_{(i,j-1)} + \beta_{(i,j)}\right)/2 \tag{126}$$

Yは次式で表される。

$$Y = g\bar{h}\frac{H_{(i,j)} - H_{(i,j-1)}}{\Delta y} \tag{127}$$

3. モデルの適用事例

本モデルにおける降雨流出、土石流流出および土石流氾濫それぞれの解析モデルについて、実際に発生した事例に適用し、その再現性とモデルの設定値を検討する。検討は次の３つの事例について行う。

１．降雨流出

2017 年九州北部豪雨における寺内ダム流域に適用する。寺内ダムのダム流入量データは、国土交通省水文水質データベース[30]にて公開されている。ダム流入量を、ダムを流域下端とした場合の流出量と同様とみなし、ダム流入量を用いて降雨流出計算の検証を行う。2017 年九州北部豪雨時における寺内ダムに降雨流出モデルを適用し、その結果とダム流入量のデータを比較して、降雨流出解析モデルの適用性を検討する。

２．土石流流出

桜島有村川において 2014 年 8 月に発生した土石流に適用する。桜島有村川では、有村川 3 号堰堤において、土石流の表面流速、表面形状、荷重が計測されている。このデータを用いて、土石流の水深平均流速および流動深の時間変化を算出し、計算結果を比較して、土石流流出解析モデルの適用性を検討する。

３．土石流氾濫

1999 年九州北部豪雨時における阿蘇古恵川の土石流に適用する。1990 年 7 月の豪雨により、阿蘇市一の宮町では古恵川から土石流が氾濫し、土砂災害が発生した。この災害においては、災害の発生時刻、土石流の痕跡、氾濫範囲や氾濫した土砂量に関する調査結果[31]がある。これらの情報を用いて、土石流流出および土石流氾濫解析モデルの再現性を検討する。

3.1. 降雨流出

2017 年九州北部豪雨における寺内ダム流域に適用する。寺内ダムのダム流入量データは、国土交通省水文水質データベース [30] にて公開されている。ダム流入量を、ダムを流域下端とした場合の流出量と同様とみなし、ダム流入量を用いて降雨流出計算の検証を行う。2017 年九州北部豪雨時における寺内ダムに降雨流出モデルを適用し、その結果とダム流入量のデータを比較して、モデルの適用性を検討する。

3.1.1. 解析モデル

解析モデルは、「2.3　降雨流出モデル」を適用している。

3.1.2. 計算に用いたデータと条件

計算に用いたデータと条件は次の通りである。

- 地形データ：国土地理院数値標高モデル（10 m）[32] を用いている。地形モデル作成時には、JGD2011II への投影変換を行っており、その際に Bilinear 補間を行っている。図 11 にモデルの適用範囲と河道網を示す。集水面積は 51 km^2 である。河道の上流端は、集水面積が 0.9 ha 以上となるグリッドセルとしている。
- 河道断面：河道の断面形状は矩形に近似し、その幅Wおよび深さDを、$W = C_w A^{S_w}$、$D = C_d A^{S_d}$で表現する [33]。ここに、Aは集水面積（km^2）、C_w、S_w、C_d、およびS_dは経験的に定めるパラメーターである。
- 降雨データ：国土交通省より提供された XRAIN データの 10 分値を用いている。ただし、DIAS により提供されている XRAIN[34] とは異なる。図 12 に、流域平均雨量の時間変化を示す。
- 流出量データ：国土交通省水文水質データベース [30] の寺内ダム流入量をダム流域からの流出量とみなして計算結果との比較に用いている。
- 初期条件：表土層の平均水分含有率にはp_{wc}を与え、浸透流水深には 0 を与えている。

表 1 に計算に与えた物性値を示す。これらの値は、計算値が計測結果に近くなるように試行錯誤で定めている。

3.1.3. 計算結果

図 13 に流出量の計算結果と観測結果の比較を示す。計算による流出量の急増する時刻や、ピーク流量、減水時間変化は、観測による値に近いことが示されている。

表 1　計算に与えた物性値

降雨流出モデル：2 次元	値	流出モデル：1 次元	値
空間刻み$\Delta x, \Delta y$ (m)	30	距離刻みΔx (m)	30
表土層厚D (m)	1.0	川幅係数C_w	4.73
飽和体積含水率 λ[35]	0.4	川幅係数S_w	0.58
残留体積含水率p_{wc}[35]	0.1	深さ係数C_d	1.5
表層浸透能f_{s1}[35] (mm/h)	200.0	深さ係数S_d	0.4
下層浸透能 f_{s2}(mm/h)	0.0	マニングの粗度係数n	0.05
飽和透水係数 k[35] (cm/s)	1.0		
等価粗度係数 N[35]	0.5		

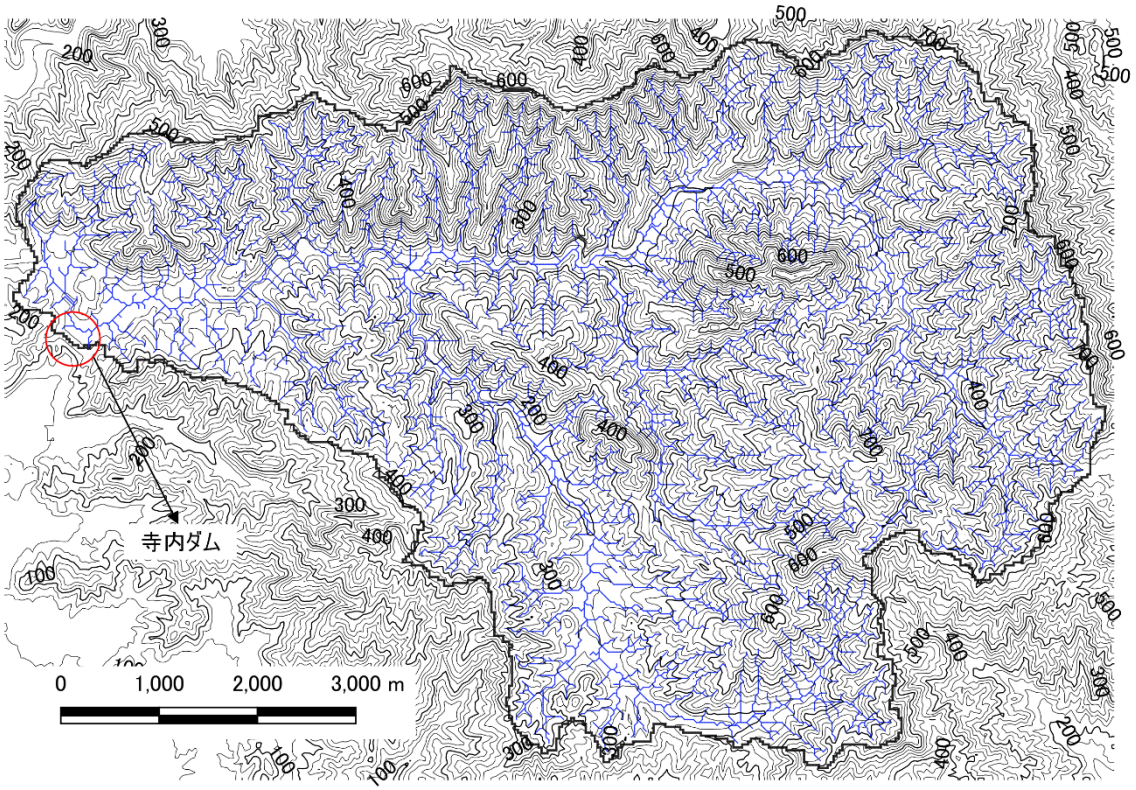


図 11　モデルの適用範囲と河道網（国土地理院 数値標高モデルから等高線生成）

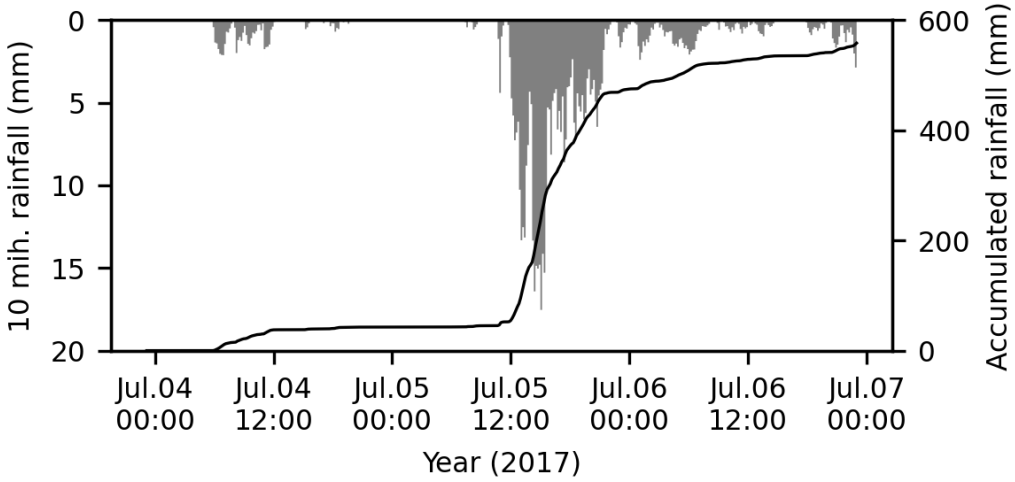


図 12　流域平均雨量の時間変化

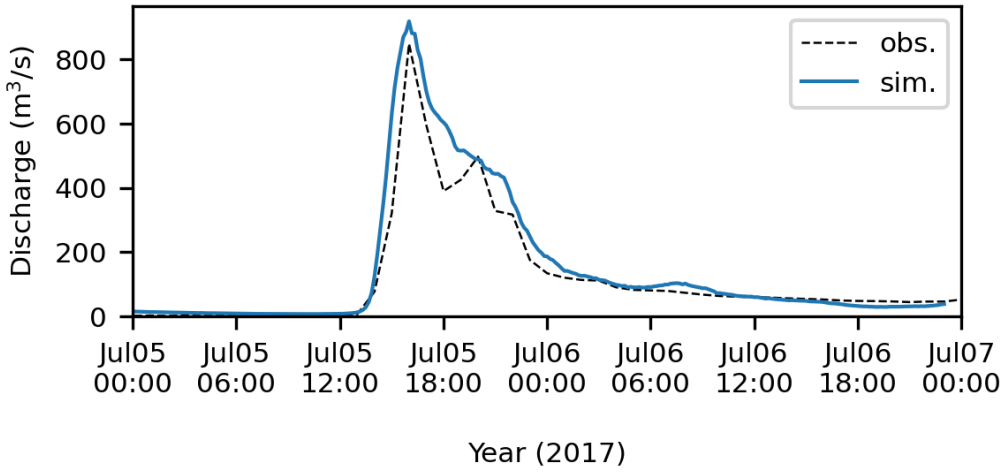


図 13　ダム流域下端の計算流出量（sim.）と観測ダム流入量（obs.）

3.2. 土石流流出

桜島有村川において 2014 年 8 月に発生した土石流に適用する。桜島有村川では、有村川 3 号堰堤において、土石流の表面流速、表面形状、荷重が計測されている。このデータを用いて、土石流の水深平均流速および流動深の時間変化を算出し、計算結果を比較して、モデルの適用性を検討する。

3.2.1. 桜島有村川における土石流観測

3.2.1.1. 対象河道

図 14 に有村川 3 号堰堤（以下、堰堤という）上流の地形図を、図 15 に R01、R02 河道の縦断図を示す。有村川流域は桜島南東斜面に位置しており、堰堤上流の流域面積は約 1.6 km^2 である。R01 河道では、1,500 m から上流は 22～33° の急勾配となっているが、R02 河道では、勾配が最も急な区間でも 12° である。図 14 には 2013 年 10 月 17、26 日に計測された航空レーザー測量成果と 2014 年 10 月 24、26、27 日に計測された標高差分値も示している。標高差分値の-0.5 m から 0.5 m を除外し、標高が減少した領域を侵食域とみなすと、R01 および R02 流域における 2013 年 10 月から 2014 年 10 月の土砂流出量は、それぞれ 118 千 m^3、5 千 m^3 となる。よって、堰堤における土砂は、主に R01 河道により供給されているものと推察され、この R01 河道を数値解析の対象範囲としている。堰堤から上流 50 m 区間における河床勾配は 4° 、堆積勾配は 3～6° 程度である。

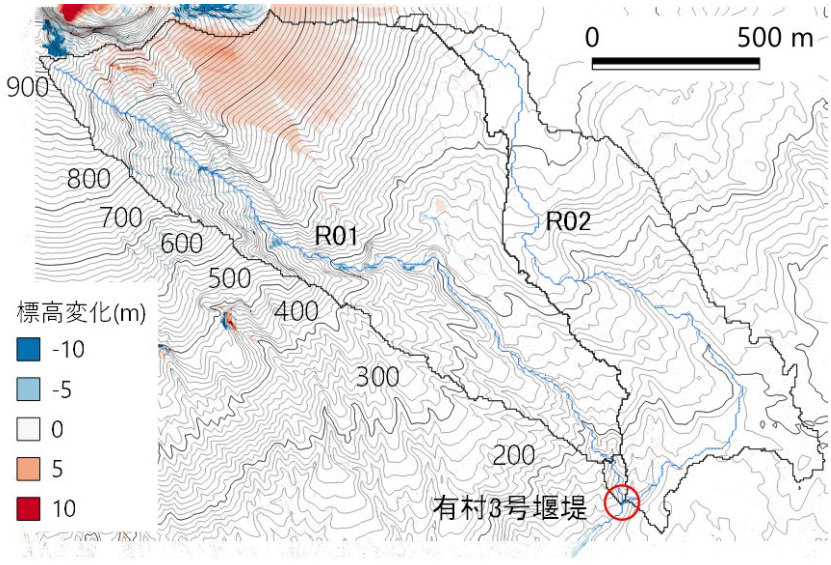


図 14　有村川の位置および平面図（国土地理院 数値標高モデルから等高線生成）

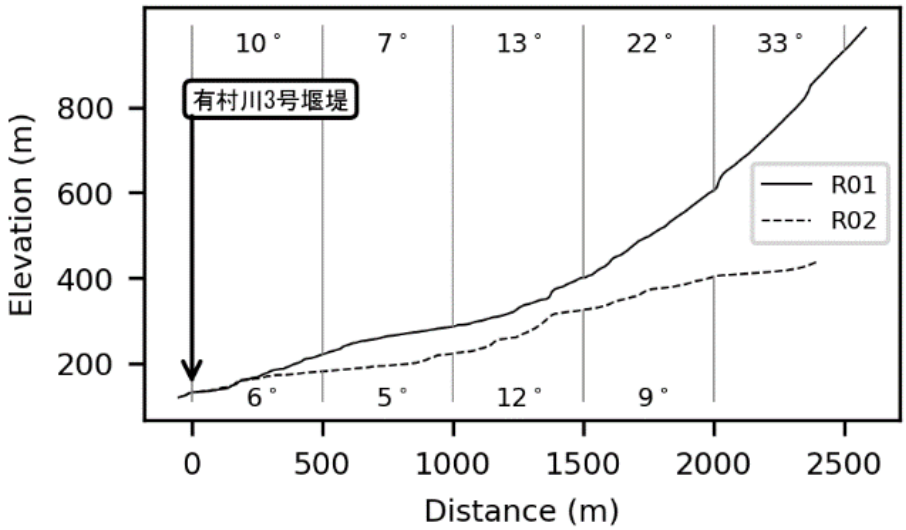


図 15　R01, R02河道の縦断図

3.2.1.2. 観測項目・方法

図 16 に 2019 年 10 月 18 日に撮影した堰堤、荷重計、測域センサー、および流速計の配置状況を示す。荷重計は堰堤水通し部の左岸側に設置された幅 4 m 奥行き 2 m、厚さ 32 mm の鉄板の下部に 4 基設置されている [36]。堰堤の上部には測域センサーと超音波式流速計が設置されており、測域センサーは、堰堤水通し部の横断方向の土石流の表面形状を計測している [36]。荷重計、測域センサー、および超音波流速計のサンプリングレートは、それぞれ 100 Hz、20 Hz、および 1 MHz である。荷重計の分解能は 1.62 kPa/m^2、測域センサーの分解能は、1 mm、 0.25° /回転、流速計の分解能は 1 m/s である。これらのセンサーは独立したシステムで稼働しており、時刻も独立であるため、1～2 か月ごとのメンテナンス時に時刻補正を行なっている。

図 16　2019年10月18日に撮影した堰堤における観測機器の配置

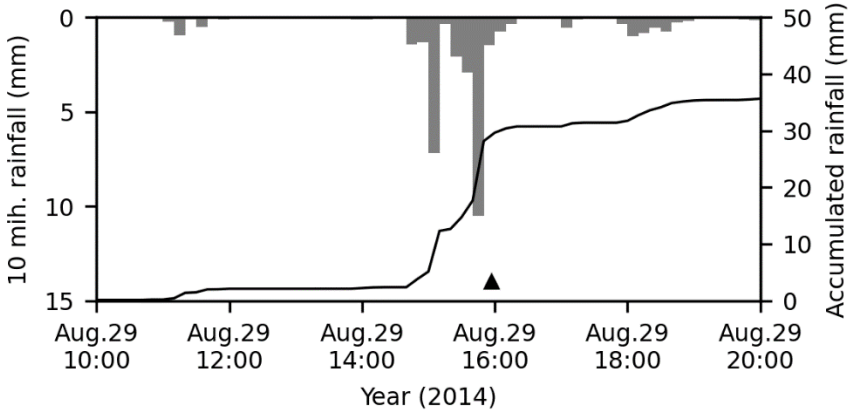


図 17　XRAINによる流域平均雨量の時間変化（▲は土石流発生の時刻を示す）

3.2.1.1. 観測結果

本稿では、解析の簡潔さのため、単一のピークを持ち、波形が明瞭な 2014 年 8 月 29 日 15 時 57 分（以下 8 月 29 日）に発生した土石流を観測結果から選定し、解析の対象とする。8 月 29 日の流域平均雨量、流動深、および表面流速の時間変化は、次のとおりである。

図 17 に、XRAIN[34] から作成した流域平均雨量の時間変化を示す。また、▲は土石流が発生した時刻を示している。土石流発生時刻における 10 分雨量は 10 mm で、8 月 29 日の 24 時間雨量は 36 mm である。

図 18 に 2014 年 8 月 29 日 15 時 57 分に発生した土石流の流動深h、表面流速u、および土石流密度ρ_mの発生時刻からの変化を示す。流動深hは、荷重計の横断幅 4 m における平均値である。土石流密度ρ_mは、計測された荷重を垂直応力値とみなして、荷重計上の土石流を

直方体近似した体積で除して算出している[36]。土石流発生から 7 分後に流動深h、流速uおよび土石流密度ρ_mがともに急増していることから、この時土石流が堰堤に到達したと考えられる。流動深h、流速u、および土石流密度ρ_mについて、明瞭な単一のピークが見られ、ピーク出現のタイミングは、それぞれ 10、11、17 分であり、その値は、0.95 m、4.8 m/s、1.67 cm^3/s である。土石流密度ρ_mの時間変化は、流動深hおよび流速uの時間当たりの変化よりも小さく、ピーク出現のタイミングも遅くなっている。

また、粗粒砂濃度c_cおよび間隙流体密度ρを次のように推定している。堰堤における土石流の流れを平衡状態と仮定し、前述の平衡勾配の式(36)と土石流の質量密度の式(37)において平衡勾配を河床勾配に置き換えれば、土石流の粗粒砂濃度c_cおよび間隙流体密度ρは、次式により表される。

$$t\tan\theta_e = \frac{(\sigma/\rho - 1)c_c}{(\sigma/\rho - 1)c_c + 1}\tan\phi \tag{128}$$

$$\rho_m = (\sigma - \rho)c_c + \rho \tag{129}$$

$$c_c = \frac{\rho_m}{\sigma - (1 - \tan\theta/\tan\phi)\rho_m}\frac{\tan\theta}{\tan\phi} \tag{130}$$

$$\rho = \left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right)\rho_m \tag{131}$$

図 19 に式(130)、(131)により算出した粗粒砂濃度c_c、間隙流体密度ρの発生時刻からの変化を示す。土石流密度ρ_mには観測により得られた時系列の値、河床勾配θには観測地の河床勾配 4° を入力して算出している。粗粒砂濃度c_cは、17 分にピークが見られ、その値は 0.14 である。間隙流体密度ρも同時刻にピークとなり、1.51 g/cm^3 である。

有村川で観測されている土石流の主な材料は、火山灰や河床の堆積物である。これらの粒度分布は、土石流の流動性に大きな影響を及ぼす、微細砂含有率や代表粒径を決定づける。図 20 に、火山灰と河床堆積物の粒度分布を示す。火山灰の粒度分布は、2014 年 10 月 21 日および 11 月 13 日に堰堤付近で採取された試料をふるい分析および沈降分析により算出している。河床堆積物の粒度分布は、2014 年 10 月 23 日に堰堤付近で採取された 37.5 mm 未満の試料のふるい分析および沈降分析結果、2019 年 10 月 18 日に撮影した画像（図 21）の分析結果と合成して算出した。

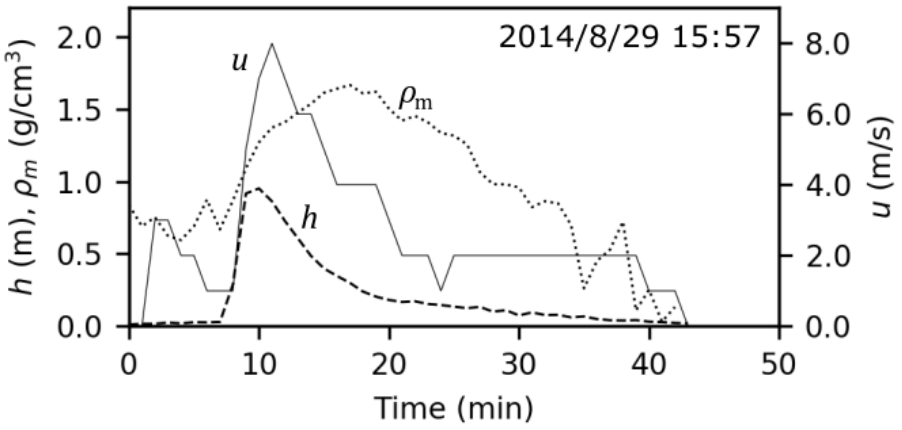


図 18　土石流発生時刻からの土石流の流動深h，流速u，および密度ρ_{m}の時間変化

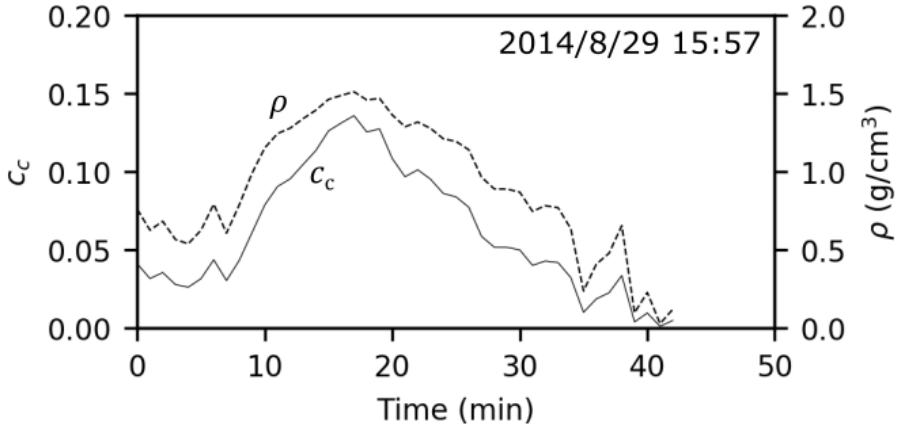


図 19　土石流発生時刻からの土石流の粗粒砂濃度c_{c}，および間隙流体密度ρ時間変化

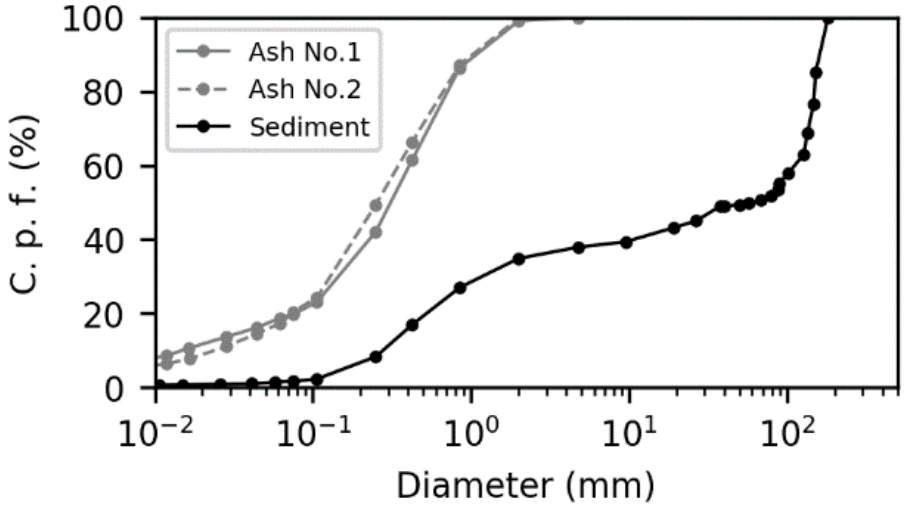


図 20　火山灰と河床堆積物の粒度分布

図 21　2019年10月18日に撮影した堰堤付近の堆積物における礫

3.2.2.　解析モデル

解析モデルには、「2.4　土石流流出モデル」を適用している。

3.2.3.　計算に用いたデータと条件

地形データについては、国土地理院数値標高モデル（10 m）[32] を用いている。表 2 に計算に与えた物性値を示す。堆積物厚、代表粒径、微細砂含有率、および粘着力は、計算による流動深と流速の時間変化が観測値に近くなるように試行錯誤で定めている。斜面から河道への給水条件の実態は不明であるため、試行錯誤によって便宜的に、堆積物を水で飽和させ、河道の上流端から定常で 0.01 m^3/s を与えている。

表 2　計算に与えた物性値

土石流流出モデル：1 次元	値
距離刻みΔx (m)	10
河道幅B (m)	10
堆積深（侵食可能深）D (m)	1.0
代表粒径d (m)	0.2
微細砂含有率p_f	0.3
水の質量密度ρ_w[19] (kg/m^3)	1000
砂礫の質量密度 σ[19] (kg/m^3)	2650
砂礫の内部摩擦角 ϕ[19] (°)	35
堆積土砂濃度c_*[19]	0.6
マニングの粗度係数n	0.05

3.2.4. 計算結果

再現計算結果より、図 22 に堰堤地点における流動深hと流速uの計算値を示す。また、図 18 に示した観測値も示している。発生源での土石流の発生時刻は不明であるため、計算値、観測値ともに、堰堤地点における流動深h、流速uが 0 から急増してピーク値を示すことに着目し、図 18 の 8 分の値が図 22 の計算開始後 4 分の値となるように重ね合わせて、計算結果の再現性を評価している。流速uの計算値は、計算開始から 4 分後に急増し 5 分後に 4.2 m/s を示し、その後は観測値と同様に減少している。流動深hの計算値は、4 分後に急増し、5 分後に 1.4 m を示し、その後は観測値と同様に減少している。

図 23 に、土石流観測に基づく粗粒砂濃度c_cの計算値と、解析モデルによる計算値を、図 22 と同様に重ね合わせて表示している。粗粒砂濃度c_cの計算値は、4 分より 5 分にかけて、0 から 0.2 まで直線的に急増し、その後は緩やかに減少している。一方、観測値については上に凸の変化を示し、ピーク値は 0.14 を示している。

このように、再現計算では、流動深、流速ともに観測値に近い値を示し、増加・減少傾向も整合する結果が得られている。この結果は、土石流流出モデルが、実際の土石流の解析にも適用できる可能性を示している。

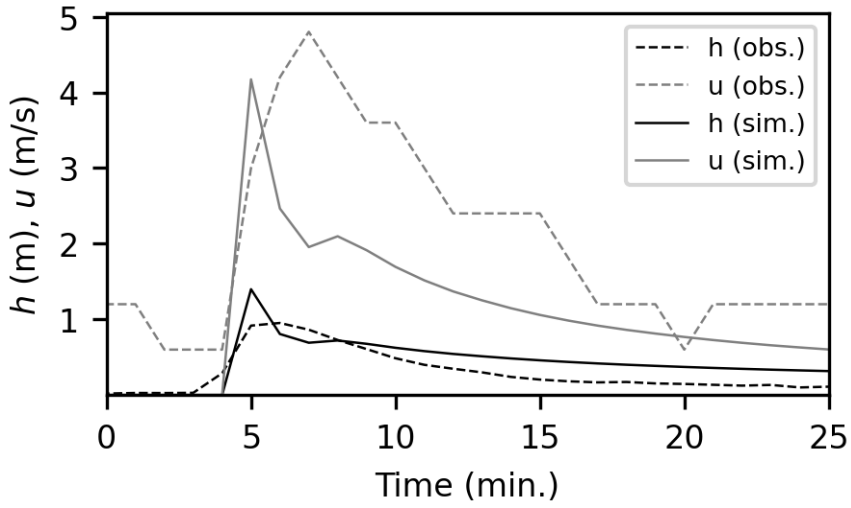


図 22　流動深hと水深平均流速vの時間変化（obs.：観測値、sim.：計算値）

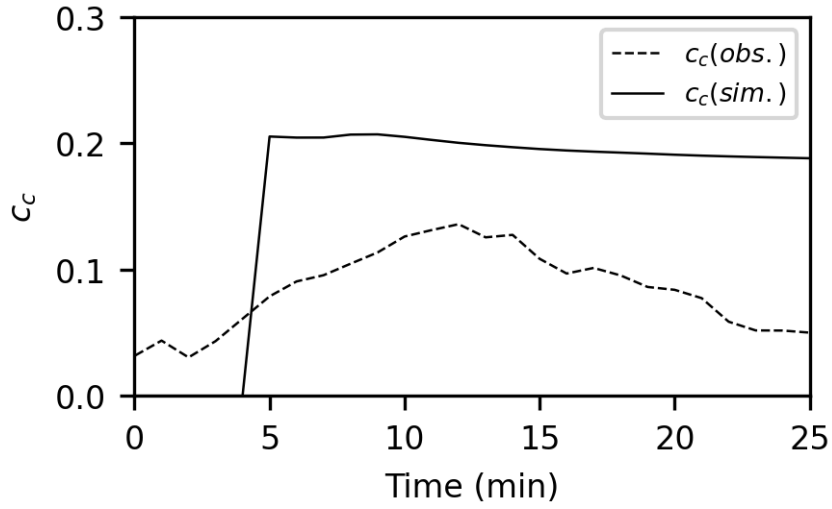


図 23　粗粒砂濃度c_cの時間変化（obs.：観測値、sim.：計算値）

3.3. 土石流氾濫

1999 年九州北部豪雨時における阿蘇古恵川の土石流に適用する。1990 年 7 月の豪雨により、阿蘇市一の宮町では古恵川から土石流が氾濫し、土砂災害が発生した。この災害においては、災害の発生時刻、土石流の痕跡、氾濫範囲や氾濫した土砂量に関する調査結果[31]がある。これらの情報を用いて、土石流流出および土石流氾濫の再現性を検討する。

3.3.1. 阿蘇古恵川の土石流災害の概要

図 24 にアメダス阿蘇乙姫地点の 1990 年 7 月 2 日の時間雨量を示す。最大時間雨量は、7 月 2 日 9 時から 10 時の 67 mm、24 時間雨量は 448 mm である。坂梨地区、松原橋ともに 9 時 20 分に土石流が到達し、松原橋の土石流の流下継続時間は 1 時間である[31]。阿蘇古恵川により氾濫した土砂の総量は 36 万 m^3 と推定されている[31]。谷出口地点（後述図 25○）における痕跡調査[31]によると、ピーク流量は 960 m^3/s である。

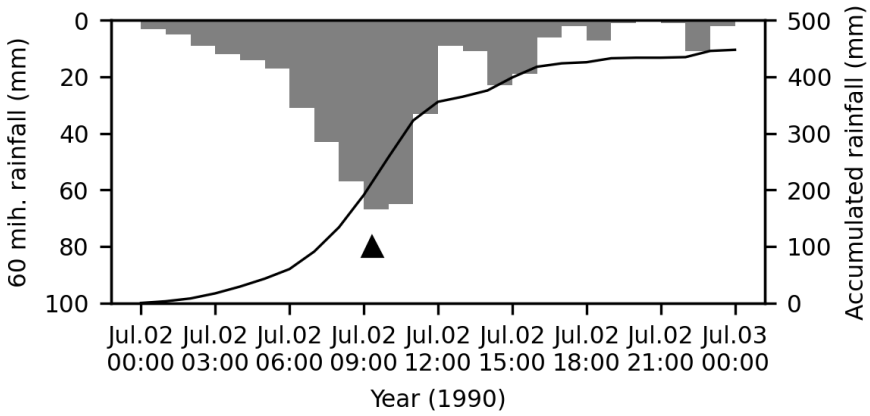


図 24　アメダス阿蘇乙姫地点の時間雨量

3.3.2. 解析モデル

解析モデルは、「2.3　降雨流出モデル」および「2.4　土石流流出モデル」を、氾濫が発生した範囲の上流の集水域に適用し、「2.5　土石流氾濫モデル」を氾濫範囲に適用している。図 25 に降雨流出モデルおよび土石流流出モデルの適用範囲、土石流氾濫モデルの適用範囲を示す。

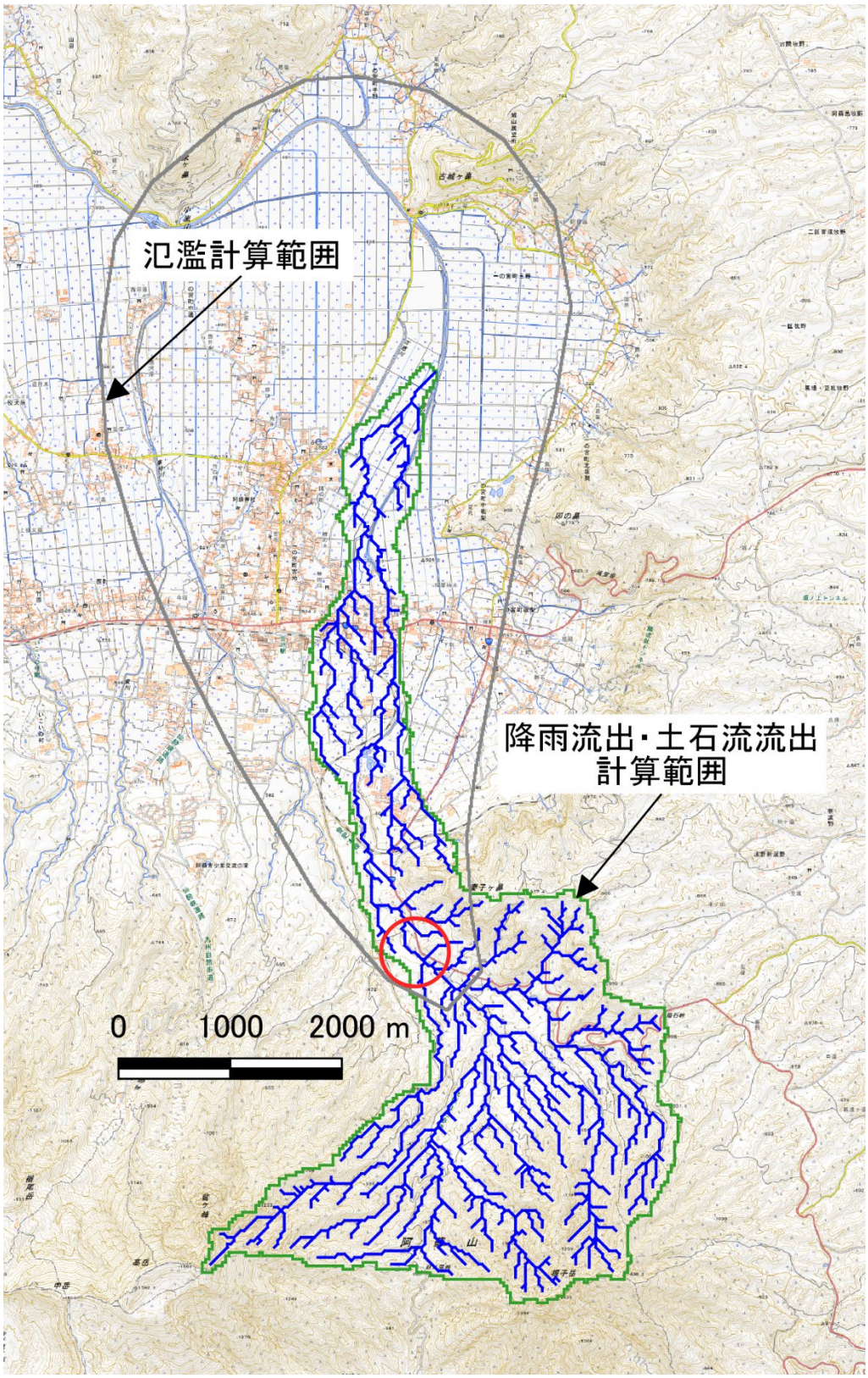


図 25　モデルの適用範囲と谷出口地点（○）（背景図に地理院地図を使用）

3.3.3. 計算に用いたデータと条件

計算に用いたデータと条件は次の通りである。

・地形データ：国土地理院数値標高モデル（10 m）[32] を用いている。地形モデル作成時には、JGD2011II への投影変換を行っており、その際に Bilinear 補間を行っている。図 25 にモデルの適用範囲と河道網を示す。谷出口上流域の集水面積は 8.4 km^2 である。河道の上流端は、集水面積が 0.9 ha 以上となるグリッドセルとしている。

・河道断面：河道の断面形状は矩形に近似し、その幅$W = 15$ m、深さ$D = 2$ m としている。

・降雨データ：アメダス阿蘇乙姫地点の 1 時間データ（図 24）を計算領域全体に均等に与えている。土石流の発生・非発生を判定する雨量の時間分解能は、10 分程度が必要である [37)、38)] ため、土石流の現象を解析する上では、10 分データを用いることが望ましいが、本検討では災害当時のデータが存在している 1 時間データを用いている。

図 25 の○で示した点より上流では、溢流の発生を制御している。本解析モデルでは、溢流の発生する地点は、土石流の表面標高と流路側岸の地盤標高によって定まる。しかしながら、便宜的に溢流の発生を制御したい場合に、この地点を定めると、それより上流では溢流が発生しなくなり、溢流による河道流量の減少を避けることができる。再現性の高い地形モデルを作成できた場合にはこの処理は不要である。

表 3 に計算に与えた物性値を示す。参考にする資料がない場合は、現地調査 [31)] により推定されたピーク流量 960 m^3/s および流出土砂量 36 万 m^3 に計算値が近くなるように試行錯誤で定めている。

浸透流水深の初期条件は、次のようにして与えている。まず浸透流水深の初期値を 0 として、さらに堆積物の移動を考慮しない状態（侵食・堆積速度を常に 0 に設定した状態）で計算し、計算終了時の浸透流水深を与えている。

表 3　計算に与えた物性値

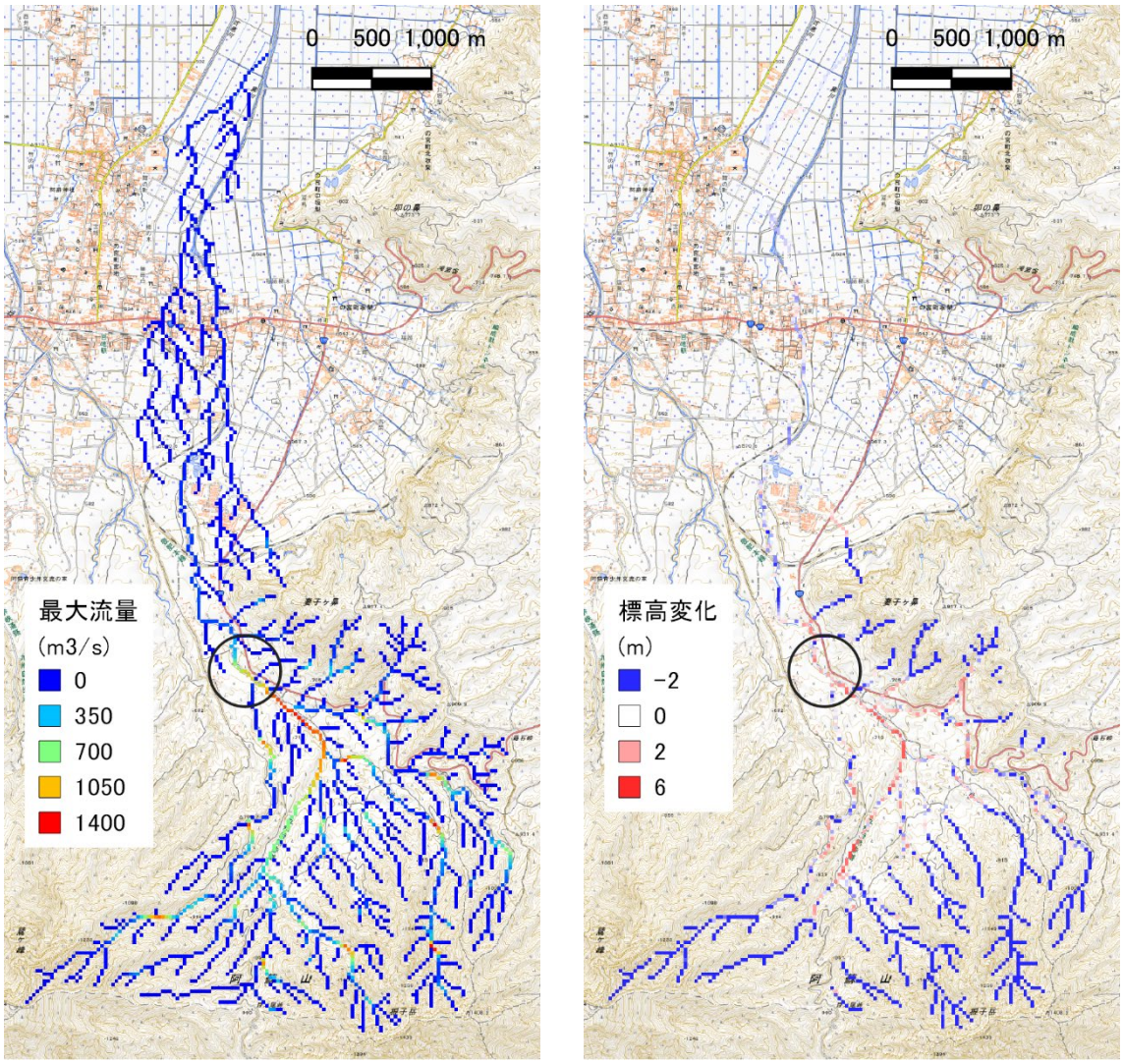
降雨流出モデル：2 次元	値
空間刻み$\Delta x, \Delta y$ (m)	30
表土層厚D (m)	2.0
飽和体積含水率 λ[35]	0.43
残留体積含水率p_{wc}[35]	0.045
表層浸透能f_{s1}[35] (mm/h)	36.0
下層浸透能 f_{s2}(mm/h)	36.0
飽和透水係数 k[35] (cm/s)	0.001
等価粗度係数 N[35]	0.1

土石流流出モデル：1 次元	値
距離刻みΔx (m)	30
河道幅B (m)	15
堆積深（侵食可能深）D (m)	2.0
代表粒径d (m)	0.1
微細砂含有率p_f	0.4
水の質量密度ρ_w[19] (kg/m^3)	1000
砂礫の質量密度 σ[19] (kg/m^3)	2650
砂礫の内部摩擦角 ϕ[19] (°)	35.0
粘着力 c (N/m^2)	3000
堆積土砂濃度c_*[19]	0.6

土石流氾濫モデル：2 次元	値
空間刻み$\Delta x, \Delta y$ (m)	10
堆積深 D (m)	0.0
代表粒径d (m)	0.01
微細砂含有率p_f	0.2
水の質量密度ρ_w[19] (kg/m^3)	1000
砂礫の質量密度 σ[19] (kg/m^3)	2650
砂礫の内部摩擦角 ϕ[19] (°)	35.0
堆積土砂濃度c_*[19]	0.6

3.3.4. 計算結果

図 26 に土石流流出モデルにより設定時間毎に出力された土石流流量から抽出された最大値の空間分布（a）と、計算終了時の河床標高変化量の空間分布(b)を示す。最大流量は、設定した溢流開始点より上流 1000 m 程度の地点における 1400 m^3/s である。溢流開始点における最大流量は 960 m^3/s である。



(a) 最大流量 **(b)河床の標高変化**

図 26 最大流量と河床の標高変化（〇は谷出口を示す）（背景図に地理院地図を使用）

3.3.4.1. 土石流ハイドログラフ

図 27 に、谷出口における土石流（水、粗粒砂、微細砂）、粗粒砂、および微細砂の流出量と累積流出量の時間変化を示す。粗粒砂と微細砂の累積流出量は、それぞれ 78.6×10^3 m^3、186.7×10^3 m^3 である。これらは空隙を含まない量であるため、空隙を 0.4 とすると、合計で

$442\times10^3\,m^3$ となっている。また、土石流のピーク流量は $1050\,m^3/s$ となっており、その発生時刻は、実際に土石流が発生した時刻 [31] である 9 時 20 分に近い。また、ピーク流量が図 26 のものと異なるのは、図 26 の場合は出力設定時間毎の瞬間値から抽出した値であり、一方、図 27 の場合は累積値から算出した値であることから生じる違いである。

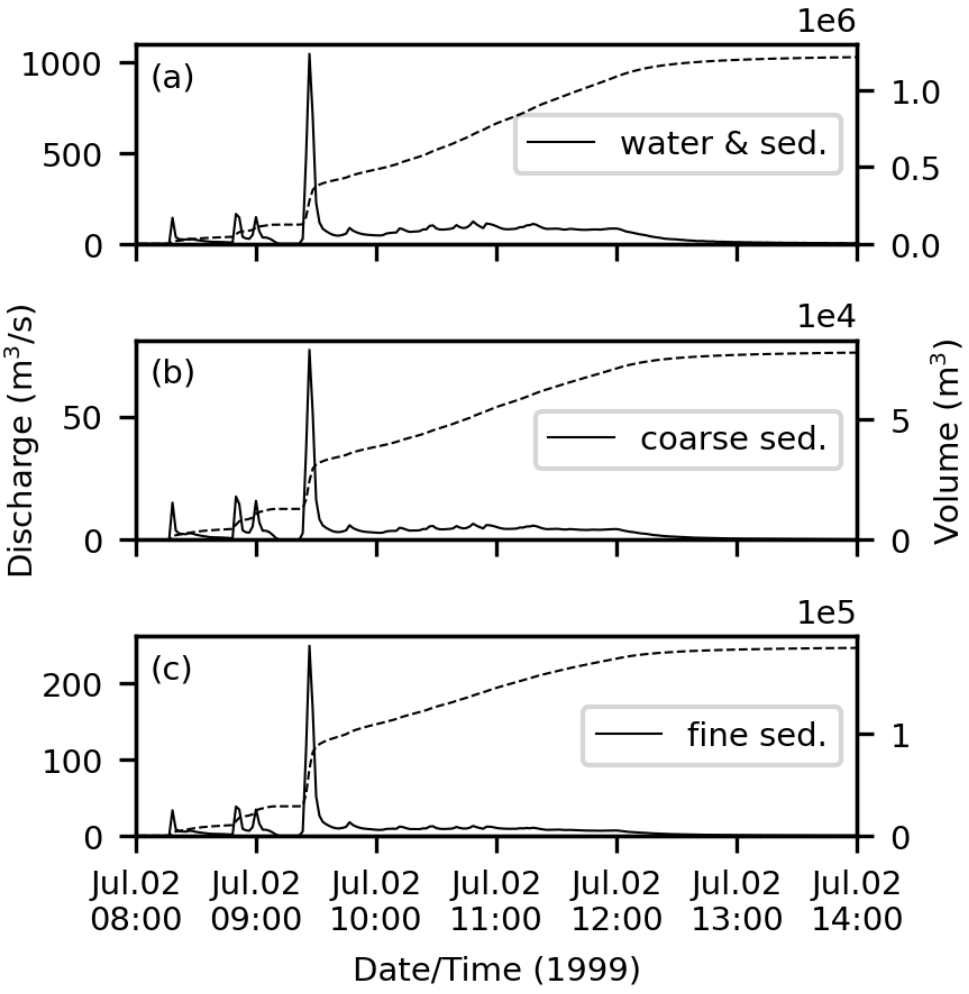


図 27　土石流のハイドログラフ（実線：時間変化、破線：累積値、a：水+粗粒砂+微細砂、b：粗粒砂、c:微細砂）

3.3.4.2. 土石流氾濫

図 28 に最大流動深の計算値と調査結果による氾濫範囲を示す。最大流動深は 0.01 m 未満を非表示にしている。計算による流動深は、領域の北端に氾濫水が滞留している。これは、地形モデルに水路や道路盛土などを表現することで改善されるものと推定される。

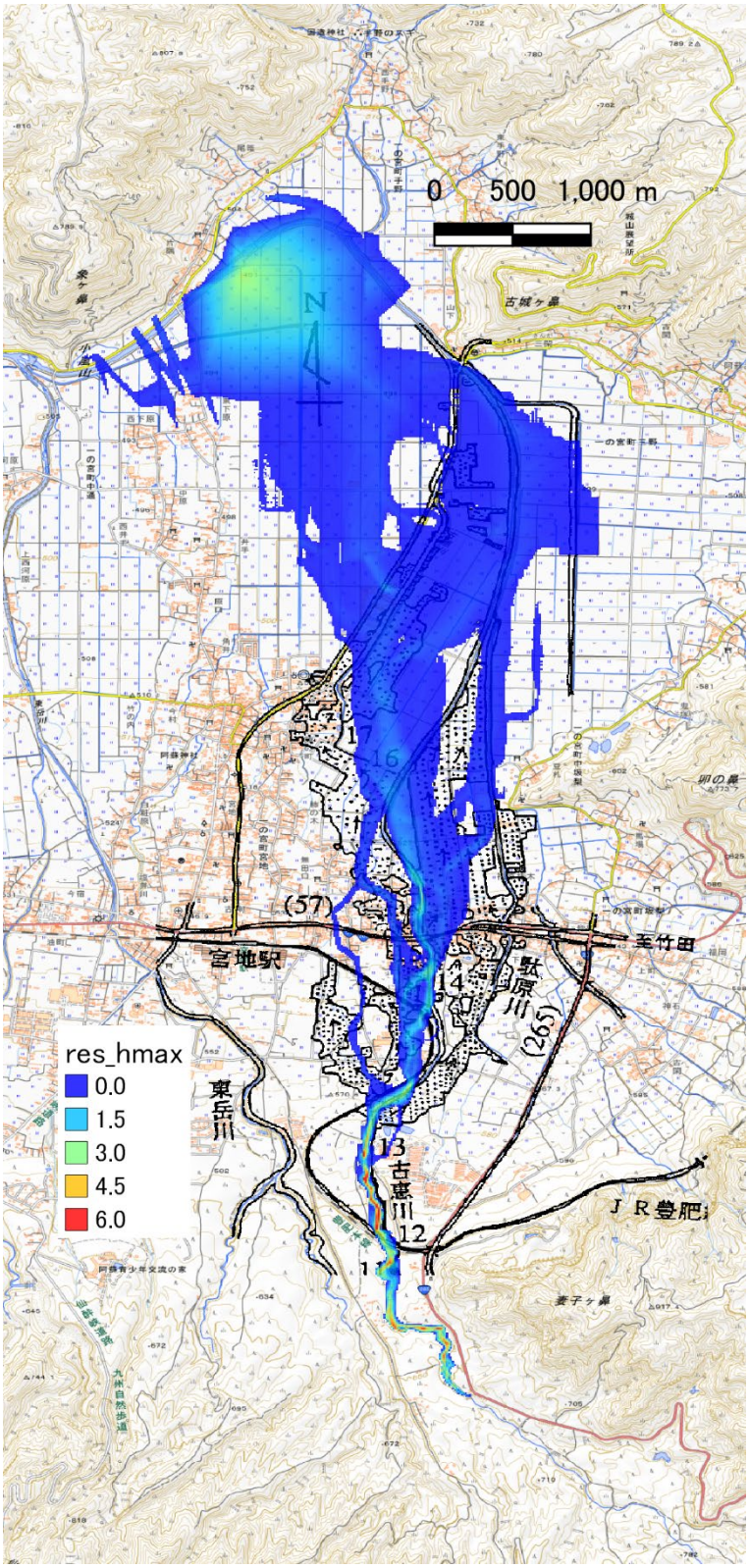


図 28　最大流動深(0.01m未満非表示)と調査結果[31)]　（背景図に地理院地図を使用）

4. おわりに

本稿では、降雨や降灰厚分布などの時間・空間分解能が高く、かつ、リアルタイム性の高い、データを活用でき、土石流の氾濫危険度評価のさらなる精度向上を図るための降雨流出-土石流流出-土石流氾濫モデルを紹介し、実際に発生した事例に適用して検証を行った。その結果、以下の点が示された。

降雨流出では、洪水流量の時間変化、土石流流出では、流速・流動深の時間変化、および土石流氾濫では、谷出口からの土石流流量および氾濫範囲についての再現性を検討した。その結果、洪水流量、土石流の流速・流動深の時間変化、および谷出口の土石流流量についての再現性は良好であった。土石流の氾濫範囲については調査結果と一致しない部分も見られた。これは、氾濫原地形において、水路は道路盛土の表現によって改善されるものと推察される。

本解析モデルにおいて、各サブモデルに適用している理論には既往の成果[10),11)]を活用しているが、現地で発生した水・土砂移動現象への適用事例は多くない。よって、今後、様々な事例に適用し、モデル設定の妥当性などについての検討を行う必要がある。また、このことにより、土砂災害が発生していない地域への適用における設定は、慎重に行う必要がある。

本稿で使用し、付録に添付しているプログラムソースコードは既往の成果[17) 19)]を編集したものである。

参考文献

1） 内田太郎，山越隆雄，清水武志，吉野弘祐，木佐洋志，石塚忠範：河道閉塞（天然ダム）及び火山の噴火を原因とする土石流による被害範囲を速やかに推定する手法，土木技術資料，Vol.53，No.7，pp.18-23，2011.

2） 清水武志，内田太郎，山越隆雄，石塚忠範：天然ダムによる土石流想定範囲計算システム（QUAD-L）の開発と 2011 年台風 12 号災害における適用，土木技術資料，Vol.54，No.10，pp.14-17，2012.

3） 高橋保・匡尚富：変勾配流路における土石流の形成，京都大学防災研究所年報，29 号，B-2，pp.343-359，1986.

4） 高橋保・中川一：豪雨時に発生する石礫型土石流の予測，砂防学会誌，44 巻，3 号，pp.12-19，1991.

5） 中川一・高橋保・里深好文・川池健司：1999 年ベネズエラのカムリグランデ流域で発生した土砂災害についてー数値シミュレーションによる再現計算と砂防施設配置効果の評価ー，京都大学防災研究所年報，44 号，B-2，pp.207-228，2001.

6） 中谷加奈，里深好文，水山高久：GUI を実装した土石流一次元シミュレータ開発，砂防学会誌，61 巻，2 号，pp.41-46，2008.

7） 里深好文，水山高久：砂防ダムが設置された領域における土石流の流動・堆積に関する数値計算，砂防学会誌，58 巻，1 号，pp.14-19，2005.

8） 中谷加奈，和田孝志，里深好文，水山高久：GUI を実装した汎用土石流シミュレータ開発，第 4 回土砂災害に関するシンポジウム論文集，pp.149-154，2008.

9） 和田孝志，里深好文，水山高久：土石流計算における 1 次元・2 次元シミュレーションモデルの結合，砂防学会誌，61 巻，2 号，pp.36-40，2008.

10）江頭進治，宮本邦明，伊藤隆郭：掃流砂量に関する力学的解釈，水工学論文集，Vol.41，pp.789-794，1997.

11）江頭進治：土石流の停止・堆積のメカニズム（１），砂防学会誌，46 巻，1 号，pp.45-49，1993.

12）竹林洋史，江頭進治，藤田正治：2013 年 10 月に伊豆大島で発生した泥流の平面二次元解析，河川技術論文集，第 20 巻，pp.391-396，2014.

13）江頭進治，伊藤隆郭：土石流の数値シミュレーション，日本流体力学会数値流体力学部門 Web 会誌，第 12 巻，第 2 号，pp.33-43，2004.

14）山崎祐介，林真一郎，石井靖雄：火山噴火後に発生する土石流の氾濫リスク評価の精度向上と、降灰厚分布情報を迅速にリスク評価に反映するシステムの開発，土木技術資料，Vol.61，No.12，pp.8-11，2019.

15）里深好文，吉野弘祐，小川紀一朗，森　俊勇，水山高久，高濱淳一郎：高磯山天然ダム決壊時に発生した洪水の再現，砂防学会誌，59 巻，6 号，pp.32-37，2007.

16）西口幸希，内田太郎，田中健貴，蒲原潤一，奥山遼佑，日名純也，松原智生，桜井　亘：

深層崩壊の発生に伴う土砂移動現象と被害発生位置の実態，砂防学会誌，68 巻，6 号，pp.31-41，2016.
17）山崎祐介，江頭進治，岩見洋一：避難予警報のための土砂災害シミュレーターに関する研究，土木学会論文集 B1（水工学），Vo.72，No.4，pp.I_1327-I_1332，2016.
18）江頭進治，萬矢敦啓，エスカローナ・ロシレット，山崎祐介，工藤　俊：土石流形成における微細砂の役割，平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集，B，pp.72-73，2016.
19）山崎祐介，江頭進治：豪雨に伴う土砂・流木の生産と流下過程に関する研究，河川技術論文集，第 24 巻，pp.71-76，2018.
20）江頭進治，宮本邦明，竹林洋史：崩壊に伴う土石流・泥流の形成と規模の決定機構，砂防学会誌，68 巻，5 号，pp.38-42，2016.
21）Chen C.Y., Fujita M.: A method for predicting landslides on a basin scale using water content indicator，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.70，No.4，pp.I_13-I_18，2014.
22）竹林洋史，江頭進治，藤田正治：2013 年 10 月に伊豆大島で発生した泥流の現地調査と数値解析，京都大学防災研究所年報，57 号，B，pp.372-378，2014.
23）山崎祐介，江頭進治，南雲直子：豪雨時における土砂流出量の推定法，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.74，No.4，pp.I_931-I_936，2018.
24）芦田和男，江頭進治，劉炳義：二層モデルによる複断面河道の流れおよび河床変動の数値解析，京都大学防災研究所年報，第 35 号，B-2，pp.41-62，1992.
25）国土交通省水管理・国土保全局：河川砂防技術基準　調査編，2014.
26）森林水文学編集委員会編：森林水文学　森林の水のゆくえを科学する，森北出版株式会社，2007.
27）Julien P. Y., Paris A.: Mean velocity of mudflows and debris flows, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.136, No.9, pp.676-679, 2010.
28）日野幹雄：明解水理学，丸善，1983.
29）高橋保，中川一，西崎丈能：堤防決壊による洪水危険度の評価に関する研究，京都大学防災研究所年報，29 号，B-2，pp.431–450，1986.
30）国土交通省水管理・国土保全局：水文水質データベース，http://www1.river.go.jp/
31）橋本晴行，平野宗夫，林　重徳，梅村　順：1990 年 7 月熊本県一の宮町の土石流災害について，水文・水資源学会誌，Vol.4，No.1，pp.25-32，1991.
32）国土地理院基盤地図情報：https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php
33）田中茂信, 佐山敬洋：降雨の極値統計と流出・氾濫現象の現地調査及びモデリング, 2017 年九州北部豪雨災害調査報告書，京都大学防災研究所，pp.72-79，2018.
34）DIAS XRAIN リアルタイム雨量情報システム：https://diasjp.net/service/xrain/
35）田方　智，山越隆雄，栗原淳一，笹原克夫，桜庭雅明，高橋　秀，小野寺勝：新規細粒火山灰が堆積した流域における分布型流出解析モデルの検討, 砂防学会誌, 60 巻, 4 号, pp.15-24，2007.

36）大坂　剛，髙橋英一，國友　優，山越隆雄，能和幸範，木佐洋志，石塚忠範，宇都宮玲，横山康二，水山高久：桜島における土石流荷重計による単位体積重量測定，砂防学会誌，65 巻，6 号，pp.46-50，2013.
37）奥田節夫：土石流の計測法に関する研究，京都大学防災研究所年報，15 号，A，pp.35-41，1972.
38）池田暁彦，水山高久，原口勝則：土石流の発生を支配する降雨量に関する考察，砂防学会誌，60 巻，3 号，pp.26-31，2007.

A. 付録

ここでは、解析事例で用いた解析モデルのプログラム、入出力ファイル処理および可視化プログラム Debris Flow Simulator for Sabo (DFSS)を紹介する。プログラムの実行環境は、OSGeo4W（https://trac.osgeo.org/osgeo4w/）において構築される GRASS GIS、Python、GDAL が実行できる環境と FORTRAN のコンパイラである。

OSGeo4W の環境構築については、セットアップで「アドバンストインストール」を選択すると、以下のパッケージとそのバージョンが選択できる。

・GRASS GIS(7.8.6-1)

・Python(3.9.5-2)

・The GDAL/OGR Python3 Bindings and Scripts(3.3.1-1)

・Python plotting package(3.3.2-1)

FORTRAN コンパイラ

・gfortran：MinGW-w64 - for 32 and 64 bit Windows（https://sourceforge.net/projects/mingw-w64/files/）より、x86_64-8.1.0-release-posix-seh-rt_v6-rev0.7z のパッケージを利用しているが、「Fortran 90」の言語仕様であれば問題ないと思われる。

A.1.寺内ダムの計算セット「Terauchi_Dam」

フォルダ構成と各フォルダにおける作業内容は以下のとおりである。

├01_SET_BASIN：計算領域の設定と標高データ・流下方向データの抽出
　├01_RR_DR：降雨流出モデル（RR モデル）・土石流流出モデル（DR モデル）共通
　├data_from_GSI：国土地理院の数値標高モデル(zip)の tif への変換
　└grass：GRASS GIS 用フォルダ
├02_MK_TOPO：地形モデルファイルの作成
　└01_RR_DR：降雨流出モデル（RR モデル）・土石流流出モデル（DR モデル）共通
├03_MK_RAIN：降雨データファイルの作成
├04_EXE_SIMU：計算プログラムの実行
　└01_RR_DR：降雨流出モデル（RR モデル）・土石流流出モデル（DR モデル）共通
└05_MK_FIG：結果の可視化

A.1.1「01_SET_BASIN」フォルダ

1. 作業内容

国土地理院基盤地図情報ダウンロードサービスから得られる数値標高モデルから計算対象領域のデータを抽出する。

2. 処理プログラムとフォルダ構成

├data_from_GSI:国土地理院の数値標高モデル(zip)を tif へ変換する。解析に用いた DEM ファイルは以下の通り。著作権により同梱していない。

fgddem.py(© 2012, Minoru Akagi)：xml を geotif へ変換。実行するためには、「fgddem.py.droptarget.bat」のアイコンに zip ファイルをドロップする。

FG-GML-5030-05-DEM10B.zip
FG-GML-5030-06-DEM10B.zip
FG-GML-5030-15-DEM10B.zip
FG-GML-5030-16-DEM10B.zip

├grass：GRASS GIS 用フォルダ（GRASS によって作成、以降 GRASS のみが利用）

JGD2011（GSI のデータに合わせている）

JGD2011_II（計算領域に適した座標系を作成する）

└01_RR_DR

01_latlon.py（GRASS GIS のテキストモードで実行）:1 回目は「python3 ␣ 01_latlon.py」（コマンドは「python」でも可能な場合がある）で実行すると、DEM ファイルの読み込み、結合を行い、集水面積の分布図（acc_ll.tif）を出力する。これをもとに対象とする流域末端のセル中心座標を取得（緯度経度）する。2 回目に「python3 ␣ 01_latlon.py ␣ [経度] ␣ [緯度] 」（緯度 ␣ 経度の順ではないので注意）として実行すると、十進法による ddd.ddddddd のフォーマットで与えた緯度経度（以下, [経度]、

[緯度]のフォーマットは同様)を末端とする流域が設定され出力される(basin_ll.tif)。これにより設定された流域を確認し、適切に設定されていない場合は、流域末端のセル中心座標の取得からやり直す。

02_xy.py（GRASS GIS のテキストモードで実行）: 1 回目は「python3 ␣02_xy.py」で実行すると、平面直角座標系への投影を行い、acc_ll.tif を出力する。これをもとに流域末端座標を取得する。この時、データは平面直角座標系に変換されているが、流域末端座標は経度、緯度とする。2 回目に「python3 ␣02_xy.py ␣[経度] ␣[緯度]」として実行すると、与えた緯度経度を末端とする流域が設定され、標高および流下方向ファイルが出力される。空間解像度は、02_xy.py の内部で定義されている変数 res で指定する(サンプルは res=30 m)。

dem_30m.asc（出力）: 標高ファイル（設定した解像度で作成される）

dir_30m.asc（出力）: 流下 8 方向ファイル（設定した解像度で作成される）

A.1.2「02_MK_TOPO」フォルダ

1） 作業内容

流域地形モデルファイルおよび河道地形モデルファイルを作成する。「01_SET_BASIN」で出力された標高ファイルおよび流下方向ファイルを「input」フォルダにコピーする。

2） 処理プログラムとフォルダ構成

└01_RR_DR

01_mk_topographyFiles.f90 : 地形ファイルを作成。01.bat にてコンパイル・ビルド・実行。gfortran が実行できる環境が必要。

02_mk_watershedConfigurationFiles.f90：流域地形モデルファイルを作成。02.bat にてコンパイル・ビルド・実行。gfortran が実行できる環境が必要。

03_mk_streamConfigurationFiles.f90 : 河道地形モデルファイルを作成。03.bat にてコンパイル・ビルド・実行。gfortran が実行できる環境が必要。

topographyConfiguration.txt : 設定ファイル。x@outlet、y@outlet には下流端の x,y 座標を平面直角座標系で入力する。自然な地形であれば「01_SET_BASIN」で設定した流域末端位置の平面直角座標系の x,y の値でよいが、ダム流域の場合はダムの堤体や水面が地形としてデータ化されている場合が多いため、下流端処理の都合により、計算下流端はダム湖内部とする。

├input

dem_30m.asc：標高ファイル

dir_30m.asc：流下 8 方向ファイル

├output

targetArea_inRR.asc：計算対象領域ファイル

elevation_inRR.asc：標高ファイル

flowDir_inRR.asc：流下 8 方向ファイル

flowAcc_inRR.asc：集水セル数ファイル

controlVolume_centerPoint_inRR.txt：スカラー計算点配列番号ファイル

fluxPoint_x_inRR.txt：x 方向ベクター計算点配列番号ファイル

fluxPoint_xBoudary_inRR.txt：x 方向境界点配列番号ファイル

fluxPoint_y_inRR.txt：y 方向ベクター計算点配列番号ファイル

fluxPoint_yBoudary_inRR.txt：y 方向境界点配列番号ファイル

streamConfiguration_inRR.txt：河道構成ファイル

volcanicAsh_inRR.asc：火山灰厚さファイル。便宜的に内容がすべて 0 のファイルをここで作成しているだけである。実際に計算する必要がある場合は別途用意する。

└misc

dir_deg.txt：流下 8 方向確認ファイル

streamConfiguration_Checker.txt：河道網確認ファイル

streamOrder.asc：河道次数ファイル（Horton–Strahler）

A.1.3「03_MK_RAIN」フォルダ

1） 作業内容

国交省により DIAS 経由で提供される XRAIN データから、解析プログラム用の降雨ファイルを作成する。

2） 処理プログラムとフォルダ構成

└XRAIN_from_DIAS

201707040000-201707080000-10-FUK-130.7031-33.5000-130.8500-33.3688.zip：zip 圧縮された csv ファイル群。著作権により同梱していない。DIAS でオーダーした条件は次のとおり。

開始データ日時：2017/07/04 00:00、終了データ日時：2017/07/08 00:00

データ時間間隔：10 分

領域北西端：33.5000N、130.7031E、領域南東端：33.3688N、130.8500E

1 ファイルあたりのデータ数：南北 64、東西 48

ファイル形式：CSV、圧縮形式：zip

01_mk_rain.py：雨量ファイル作成プログラム。この Python プログラムの実行には、Python の実行環境の設定が必要である。01.bat を実行すると、環境構築およびプログラムの実行が行われる。

targetArea_inRR.asc（入力）:「02_MK_TOPO」にて作成した計算対象領域ファイル

rain_time_201707040000_201707080000.txt（出力）: 計算領域範囲の降雨時系列ファイ

ル

A.1.4「04_EXE_SIMU」フォルダ

1） 作業内容

降雨流出計算を行う。

2） 処理プログラムとフォルダ構成

└01_RR_DR

RR.bat : gfortran が実行できる環境において、コンパイル・ビルド、OpenMP のスレッド数の設定、プログラムの実行を行う。スレッド数は変更可能。

RR_ver_1.0.f90：降雨流出計算プログラム

RR_input.txt：モデル設定ファイル

├input：計算入力ファイル群

→ 02_MK_TOPO¥01_RR_DR¥output のファイルをコピーする。

targetArea_inRR.asc：計算対象領域ファイル

elevation_inRR.asc：標高ファイル

flowDir_inRR.asc：流下 8 方向ファイル

flowAcc_inRR.asc：集水セル数ファイル

controlVolume_centerPoint_inRR.txt：スカラー計算点配列番号ファイル

fluxPoint_x_inRR.txt：x 方向ベクター計算点配列番号ファイル

fluxPoint_xBoudary_inRR.txt：x 方向境界点配列番号ファイル

fluxPoint_y_inRR.txt：y 方向ベクター計算点配列番号ファイル

fluxPoint_yBoudary_inRR.txt：y 方向境界点配列番号ファイル

streamConfiguration_inRR.txt：河道構成ファイル

volcanicAsh_inRR.asc：火山灰厚さファイル

← 02_MK_TOPO¥01_RR_DR¥output のファイルをコピーする。

rain_Terauchi.txt : 計算領域範囲の降雨時系列ファイル : 国交省提供のデータを用いているため、「03_MK_RAIN」で作成したものとは異なる。

├output_RR：結果ファイル群

res_1d_??????????.txt：指定時間毎の 1 次元河道のファイルファイル

res_2d_*_??????????.asc：指定時間・変数毎の 2 次元平面のファイルファイル

res_2d_hmax.asc：表面流の計算期間最大値

res_2d_hsmax.asc：浸透流の計算期間最大値

└output_misc：モデル設定確認用ファイル群

flowVolume_RRtoDR.txt（出力）：RR モデルから DR モデルへの受渡し流量

A.1.5「05_MK_FIG」フォルダ

1） 作業内容

計算結果の可視化を行う。

2） 処理プログラムとフォルダ構成

RR_out_hyeto.py：RR モデルによる流域平均雨量のハイエトグラフを出力する。

RR_out_hydro.py：RR モデルによるハイドログラフを出力する。

この Python プログラムの実行には、Python の実行環境の設定が必要である。01.bat を実行すると、環境構築およびプログラムの実行が行われる。最終行のプログラム実行のコマンドの後ろにスペース区切りで出力したい計算点番号を与える。

A.2.桜島有村川の計算セット「Arimura_Riv」

フォルダ構成と各フォルダにおける作業内容は以下のとおりである。

├01_SET_BASIN：計算領域の設定と標高データ・流下方向データの抽出
　├01_RR_DR：降雨流出モデル（RR モデル）・土石流流出モデル（DR モデル）共通
　├data_from_GSI：国土地理院の数値標高モデル(zip)の tif への変換
　└grass：GRASS GIS 用フォルダ
├02_MK_TOPO：地形モデルファイルの作成
　└01_RR_DR：降雨流出モデル（RR モデル）・土石流流出モデル（DR モデル）共通
├03_MK_RAIN：降雨データファイルの作成
├04_EXE_SIMU：計算プログラムの実行
　└01_RR_DR：降雨流出モデル（RR モデル）・土石流流出モデル（DR モデル）共通
└05_MK_FIG：結果の可視化

A.2.1「01_SET_BASIN」フォルダ

1） 作業内容

国土地理院基盤地図情報ダウンロードサービスから得られる数値標高モデルから計算対象領域のデータを抽出する。

2） 処理プログラムとフォルダ構成

├data_from_GSI:国土地理院の数値標高モデル(zip)を tif へ変換する。解析に用いた DEM ファイルは以下の通り。著作権により同梱していない。

fgddem.py(© 2012, Minoru Akagi)：xml を geotif へ変換。実行するためには、「fgddem.py.droptarget.bat」のアイコンに zip ファイルをドロップする。

FG-GML-4730-24-DEM10B.zip
FG-GML-4730-25-DEM10B.zip
FG-GML-4730-34-DEM10B.zip
FG-GML-4730-35-DEM10B.zip

├grass：GRASS GIS 用フォルダ（GRASS によって作成、以降 GRASS のみが利用）

JGD2011（GSI のデータに合わせている）
JGD2011_II（計算領域に適した座標系を作成する）

└01_RR_DR

01_latlon.py（GRASS GIS のテキストモードで実行）:1 回目は「python3 ␣ 01_latlon.py」（コマンドは「python」でも可能な場合がある）で実行すると、DEM ファイルの読み込み、結合を行い、集水面積の分布図（acc_ll.tif）を出力する。これをもとに対象とする流域末端のセル中心座標を取得（緯度経度）する。2 回目に「python3 ␣ 01_latlon.py ␣ [経度] ␣ [緯度] 」（緯度 ␣ 経度の順ではないので注意）として実行すると、与えた緯度経度を末端とする流域が設定され出力される（basin_ll.tif)。これ

により設定された流域を確認し、適切に設定されていない場合は、流域末端のセル中心座標の取得からやり直す。

02_xy.py（GRASS GIS のテキストモードで実行）：1 回目は「python3␣02_xy.py」で実行すると、平面直角座標系への投影を行い、acc_ll.tif を出力する。これをもとに流域末端座標を取得する。この時、データは平面直角座標系に変換されているが、流域末端座標は経度、緯度とする。2 回目に「python3␣02_xy.py␣[経度]␣[緯度]」として実行すると、与えた緯度経度を末端とする流域が設定され、標高および流下方向ファイルが出力される。空間解像度は、02_xy.py の内部で定義されている変数 res で指定する(サンプルは res=10 m)。

dem_10m.asc（出力）：標高ファイル（設定した解像度で作成される）

dir_10m.asc（出力）：流下 8 方向ファイル（設定した解像度で作成される）

A.2.2「02_MK_TOPO」フォルダ

1） 作業内容

流域地形モデルファイルおよび河道地形モデルファイルを作成する。「01_SET_BASIN」で出力された標高ファイルおよび流下方向ファイルを「input」フォルダにコピーする。

2） 処理プログラムとフォルダ構成

└01_RR_DR

01_mk_topographyFiles.f90 : 地形ファイルを作成。01.bat にてコンパイル・ビルド・実行。gfortran が実行できる環境が必要。

02_mk_watershedConfigurationFiles.f90：流域地形モデルファイルを作成。02.bat にてコンパイル・ビルド・実行。gfortran が実行できる環境が必要。

03_mk_03_mk_streamConfigurationFiles_Arimura.f90 : 河道地形モデルファイルを作成。03.bat にてコンパイル・ビルド・実行。gfortran が実行できる環境が必要。有村川は本川のみの計算を行う為、河道上流端の検出に特別処理を行っている。

topographyConfiguration.txt : 設定ファイル。x@outlet、y@outlet には下流端の x,y 座標を平面直角座標系で入力する。

├input

dem_10m.asc：標高ファイル

dir_10m.asc：流下 8 方向ファイル

├output

targetArea_inRR.asc：計算対象領域ファイル

elevation_inRR.asc：標高ファイル

flowDir_inRR.asc：流下 8 方向ファイル

flowAcc_inRR.asc：集水セル数ファイル

controlVolume_centerPoint_inRR.txt：スカラー計算点配列番号ファイル
fluxPoint_x_inRR.txt：x 方向ベクター計算点配列番号ファイル
fluxPoint_xBoudary_inRR.txt：x 方向境界点配列番号ファイル
fluxPoint_y_inRR.txt：y 方向ベクター計算点配列番号ファイル
fluxPoint_yBoudary_inRR.txt：y 方向境界点配列番号ファイル
streamConfiguration_inRR.txt：河道構成ファイル
volcanicAsh_inRR.asc：火山灰厚さファイル。便宜的に内容がすべて 0 のファイルをここで作成しているだけである。実際に計算する必要がある場合は別途用意する。

└misc
dir_deg.txt：流下 8 方向確認ファイル
streamConfiguration_Checker.txt：河道網確認ファイル
streamOrder.asc：河道次数ファイル（Horton–Strahler）

A.2.3「03_MK_RAIN」フォルダ

1） 作業内容

降雨を与える代わりに、上流端から一定流量を流入させるファイルを作成する。

2） 処理プログラムとフォルダ構成

01_mk_fv.py：流量作成ファイル雨量ファイル作成プログラム。この Python プログラムの実行には、Python の実行環境の設定が必要である。01.bat を実行すると、環境構築およびプログラムの実行が行われる。

streamConfiguration_inRR.txt（入力）：「02_MK_TOPO」で作成されたファイル。
flowVolume_RRtoDR.txt（出力）：計算で用いる上流端からの流量データ。

A.2.4「04_EXE_SIMU」フォルダ

1） 作業内容

土石流流出計算を行う。

2） 処理プログラムとフォルダ構成

└01_RR_DR

DR.bat : gfortran が実行できる環境において、コンパイル・ビルド、OpenMP のスレッド数の設定、プログラムの実行を行う。スレッド数は変更可能。

DR_ver_1.0.f90：土石流流出計算プログラム

DR_input.txt：モデル設定ファイル

├input：計算入力ファイル群

→ 02_MK_TOPO¥01_RR_DR¥output のファイルをコピーする。

streamConfiguration_inRR.txt：河道構成ファイル

← 02_MK_TOPO¥01_RR_DR¥output のファイルをコピーする。

└output_DR：結果ファイル群

res_??????????.txt：指定時間毎の 1 次元河道のデータファイル

flowVolume_RRtoDR.txt（入力）: RR-DR モデルへの受渡し流量。「03_MK_RAIN」で作成したもの。

flowVolume_ws_DRtoDF.txt（出力）: DR-DF モデルへの受渡し（水・粗粒砂・微細砂）

flowVolume_cs_DRtoDF.txt（出力）: DR-DF モデルへの受渡し（粗粒砂）

flowVolume_fs_DRtoDF.txt（出力）: DR-DF モデルへの受渡し（微細砂）

A.2.5「05_MK_FIG」フォルダ

1） 作業内容

計算結果の可視化を行う。

2） 処理プログラムとフォルダ構成

DR_out_hu.py：DR モデルによる流動深と流速を出力する。

DR_out_cc.py：DR モデルによる粗粒土砂濃度を出力する。

この Python プログラムの実行には、Python の実行環境の設定が必要である。01.bat を実行すると、環境構築およびプログラムの実行が行われる。最終行のプログラム実行のコマンドの後ろにスペース区切りで出力したい計算点番号を与える。

A.3.阿蘇古恵川の計算セット「Furuegawa_Riv」

フォルダ構成と各フォルダにおける作業内容は以下のとおりである。

├01_SET_BASIN：計算領域の設定と標高データ・流下方向データの抽出
　├01_RR_DR：降雨流出モデル（RR モデル）・土石流流出モデル（DR モデル）共通
　├02_DF：土石流氾濫モデル（DF モデル）
　├data_from_GSI：国土地理院の数値標高モデル(zip)の tif への変換
　└grass：GRASS GIS 用フォルダ
├02_MK_TOPO：地形モデルファイルの作成
　├01_RR_DR：降雨流出モデル（RR モデル）・土石流流出モデル（DR モデル）共通
　└02_DF：土石流氾濫モデル（DF モデル）
├03_MK_RAIN：降雨データファイルの作成
├04_EXE_SIMU：計算プログラムの実行
　├01_RR_DR：降雨流出モデル（RR モデル）・土石流流出モデル（DR モデル）共通
　└02_DF：土石流氾濫モデル（DF モデル）
└05_MK_FIG：結果の可視化

A.3.1「01_SET_BASIN」フォルダ

1） 作業内容

国土地理院基盤地図情報ダウンロードサービスから得られる数値標高モデルから計算対象領域のデータを抽出する。

2） 処理プログラムとフォルダ構成

├data_from_GSI:国土地理院の数値標高モデル(zip)を tif へ変換する。解析に用いた DEM ファイルは以下の通り。著作権により同梱していない。

fgddem.py(© 2012, Minoru Akagi)：xml を geotif へ変換。実行するためには、「fgddem.py.droptarget.bat」のアイコンに zip ファイルをドロップする。

FG-GML-4931-20-DEM10B.zip
FG-GML-4931-21-DEM10B.zip
FG-GML-4931-30-DEM10B.zip
FG-GML-4931-31-DEM10B.zip

├grass：GRASS GIS 用フォルダ（GRASS によって作成、以降 GRASS のみが利用）

JGD2011（GSI のデータに合わせている）
JGD2011_II（計算領域に適した座標系を作成する）

├01_RR_DR

01_latlon.py（GRASS GIS のテキストモードで実行）:1 回目は「python3 ␣01_latlon.py」（コマンドは「python」でも可能な場合がある）で実行すると、DEM ファイルの読み込み、結合を行い、集水面積の分布図（acc_ll.tif）を出力する。これをもとに

対象とする流域末端のセル中心座標を取得（緯度経度）する。2 回目に「python3␣01_latlon.py␣[経度]␣[緯度]」（緯度␣経度の順ではないので注意）として実行すると、与えた緯度経度を末端とする流域が設定され出力される（basin_ll.tif)。これにより設定された流域を確認し、適切に設定されていない場合は、流域末端のセル中心座標の取得からやり直す。

02_xy.py（GRASS GIS のテキストモードで実行）: 1 回目は「python3␣02_xy.py」で実行すると、平面直角座標系への投影を行い、acc_ll.tif を出力する。これをもとに流域末端座標を取得する。この時、データは平面直角座標系に変換されているが、流域末端座標は経度、緯度とする。2 回目に「python3␣02_xy.py␣経度␣緯度」として実行すると、与えた緯度経度を末端とする流域が設定され、標高および流下方向ファイルが出力される。空間解像度は、02_xy.py の内部で定義されている変数 res で指定する(サンプルは res=30 m)。

dem_30m.asc（出力）: 標高ファイル（設定した解像度で作成される）

dir_30m.asc（出力）: 流下 8 方向ファイル（設定した解像度で作成される）

└02_DF

02_xy_01.py（GRASS GIS のテキストモードで実行）:「python3␣02_xy_01.py」と実行すると、area.shp の領域が設定され、標高および流下方向ファイルが出力される。空間解像度は、02_xy_01.py の内部で定義されている変数 res で指定する(サンプルは res=10 m)。

area.shp（入力）: 氾濫範囲指定ファイル（GIS などで作成する）土石流の氾濫量は、RR モデルおよび DR モデルで計算されるのでこれらの領域を含む（すべて包括する必要はない）ように作成する。

basin_10m.asc（出力）: 計算対象領域ファイル

dem_10m.asc（出力）: 標高ファイル（設定した解像度で作成される）

dir_10m.asc（出力）: 流下 8 方向ファイル（設定した解像度で作成される）

A.3.2「02_MK_TOPO」フォルダ

1） 作業内容

流域地形モデルファイルおよび河道地形モデルファイルを作成する。「01_SET_BASIN」で出力された標高ファイルおよび流下方向ファイルを「input」フォルダにコピーする。

2） 処理プログラムとフォルダ構成

├01_RR_DR

01_mk_topographyFiles.f90 : 地形ファイルを作成。01.bat にてコンパイル・ビルド・実行。gfortran が実行できる環境が必要。

02_mk_watershedConfigurationFiles.f90：流域地形モデルファイルを作成。02.bat にて

コンパイル・ビルド・実行。gfortran が実行できる環境が必要。

03_mk_streamConfigurationFiles.f90 : 河道地形モデルファイルを作成。03.bat にてコンパイル・ビルド・実行。gfortran が実行できる環境が必要。

topographyConfiguration.txt : 設定ファイル。x@outlet、y@outlet には下流端の x,y 座標を平面直角座標系で入力する。

├input

dem_30m.asc：標高ファイル

dir_30m.asc：流下 8 方向ファイル

├output

targetArea_inRR.asc：計算対象領域ファイル

elevation_inRR.asc：標高ファイル

flowDir_inRR.asc：流下 8 方向ファイル

flowAcc_inRR.asc：集水セル数ファイル

controlVolume_centerPoint_inRR.txt：スカラー計算点配列番号ファイル

fluxPoint_x_inRR.txt：x 方向ベクター計算点配列番号ファイル

fluxPoint_xBoudary_inRR.txt：x 方向境界点配列番号ファイル

fluxPoint_y_inRR.txt：y 方向ベクター計算点配列番号ファイル

fluxPoint_yBoudary_inRR.txt：y 方向境界点配列番号ファイル

streamConfiguration_inRR.txt：河道構成ファイル

volcanicAsh_inRR.asc：火山灰厚さファイル。便宜的に内容がすべて 0 のファイルをここで作成しているだけである。実際に計算する必要がある場合は別途用意する。

└misc

dir_deg.txt：流下 8 方向確認ファイル

streamConfiguration_Checker.txt：河道網確認ファイル

streamOrder.asc：河道次数ファイル（Horton–Strahler）

└02_DF

01_mk_floodplainConfigurationFiles.f90：氾濫原地形モデルファイルを作成。01.bat にてコンパイル・ビルド・実行。gfortran が実行できる環境が必要。

02_mk_streamFloodplainConectionFiles.f90：河道との空間結合ファイルを作成。02.bat にてコンパイル・ビルド・実行。gfortran が実行できる環境が必要。

topographyConfiguration.txt：設定ファイル

├input（入力）

basin.asc：計算対象領域ファイル

dem.asc：標高ファイル

dir.asc：流下 8 方向ファイル

streamConfiguration_inRR.txt：01_RR_DR で作成したデータ

└output

targetArea_inDF.asc：計算対象領域データ

elevation_inDF.asc：標高データ

flowDir_inDF.asc：最急勾配 8 方向データ

controlVolumeCenterPoint_inDF.txt：スカラー計算点配列番号データ

fluxPoint_xBoudary_inDF.txt：x 方向境界点配列番号データ

fluxPoint_x_inDF.txt：x 方向ベクター計算点配列番号データ

fluxPoint_yBoudary_inDF.txt：y 方向境界点配列番号データ

fluxPoint_y_inDF.txt：y 方向ベクター計算点配列番号データ

fluxPoint_eBoudary_inDF.txt：x 方向（東側）境界点配列番号データ

fluxPoint_nBoudary_inDF.txt：y 方向（北側）境界点配列番号データ

fluxPoint_sBoudary_inDF.txt：-y 方向（南側）境界点配列番号データ

fluxPoint_wBoudary_inDF.txt：-x 方向（西側）境界点配列番号データ

streamFloodplainConnection.txt：河道との空間結合ファイルを作成

d.asc：堆積厚データ*

hs_ini.asc：浸透流水深データ*

*便宜的に内容がすべて 0 のファイルをここで作成しているだけである。実際に計算する必要がある場合は、別途用意する。ただし，ファイルのヘッダー情報はここで作成されるものと同様にする。

A.3.3「03_MK_RAIN」フォルダ

1） 作業内容

気象庁アメダス阿蘇乙姫地点における 1990 年 7 月 2 日の時間データから解析プログラム用の降雨データを作成する。

2） 処理プログラム

特になし。書式に従って rain_Aso.txt を作成する。

A.3.4「04_EXE_SIMU」フォルダ

1） 作業内容

降雨流出計算を行う。

2） 処理プログラムとフォルダ構成

├01_RR_DR

RR.bat : gfortran が実行できる環境において、コンパイル・ビルド、OpenMP のスレッド数の設定、プログラムの実行を行う。スレッド数は変更可能。

RR_ver_1.0.f90：降雨流出計算プログラム

RR_input.txt：モデル設定ファイル

├input：計算入力ファイル群

→ 02_MK_TOPO¥01_RR_DR¥output のファイルをコピーする。

targetArea_inRR.asc：計算対象領域ファイル

elevation_inRR.asc：標高ファイル

flowDir_inRR.asc：流下 8 方向ファイル

flowAcc_inRR.asc：集水セル数ファイル

controlVolume_centerPoint_inRR.txt：スカラー計算点配列番号ファイル

fluxPoint_x_inRR.txt：x 方向ベクター計算点配列番号ファイル

fluxPoint_xBoudary_inRR.txt：x 方向境界点配列番号ファイル

fluxPoint_y_inRR.txt：y 方向ベクター計算点配列番号ファイル

fluxPoint_yBoudary_inRR.txt：y 方向境界点配列番号ファイル

streamConfiguration_inRR.txt：河道構成ファイル

volcanicAsh_inRR.asc：火山灰厚さファイル

← 02_MK_TOPO¥01_RR_DR¥output のファイルをコピーする。

rain_Aso.txt：計算領域範囲の降雨時系列ファイル：03_MK_RAIN で作成

├output_RR：結果ファイル群

res_1d_??????????.txt：指定時間毎の 1 次元河道のファイルファイル

res_2d_*_??????????.asc：指定時間・変数毎の 2 次元平面のファイルファイル

res_2d_hmax.asc：表面流の計算期間最大値

res_2d_hsmax.asc：浸透流の計算期間最大値

└output_misc：モデル設定確認用ファイル群

flowVolume_RRtoDR.txt（出力）：RR モデルから DR モデルへの受渡し流量

DR.bat : gfortran が実行できる環境において、コンパイル・ビルド、OpenMP のスレッド数の設定、プログラムの実行を行う。スレッド数は変更可能。

DR_ver_1.0.f90：土石流流出計算プログラム

DR_input.txt：モデル設定ファイル

├input：計算入力ファイル群

→ 02_MK_TOPO¥01_RR_DR¥output のファイルをコピーする。

streamConfiguration_inRR.txt：河道構成ファイル

← 02_MK_TOPO¥01_RR_DR¥output のファイルをコピーする。

└output_DR：結果ファイル群

res_??????????.txt：指定時間毎の 1 次元河道のデータファイル

flowVolume_RRtoDR.txt（入力）: RR-DR モデルへの受渡し流量。「03_MK_RAIN」で作成したもの。

flowVolume_ws_DRtoDF.txt（出力）: DR-DF モデルへの受渡し（水・粗粒砂・微細砂）

flowVolume_cs_DRtoDF.txt（出力）: DR-DF モデルへの受渡し（粗粒砂）

flowVolume_fs_DRtoDF.txt（出力）: DR-DF モデルへの受渡し（微細砂）

└02_DF

DF.bat : gfortran が実行できる環境において、コンパイル・ビルド、OpenMP のスレッド数の設定、プログラムの実行を行う。スレッド数は変更可能。

DF_ver_1.0.f90：土石流氾濫計算プログラム

DF_input.txt：モデル設定ファイル

├input：計算入力ファイル群

→ 02_MK_TOPO¥02_DF¥output のファイルをコピーする。

targetArea_inDF.asc：計算対象領域データ

elevation_inDF.asc：標高データ

flowDir_inDF.asc：最急勾配 8 方向データ

controlVolumeCenterPoint_inDF.txt：スカラー計算点配列番号データ

fluxPoint_xBoudary_inDF.txt：x 方向境界点配列番号データ

fluxPoint_x_inDF.txt：x 方向ベクター計算点配列番号データ

fluxPoint_yBoudary_inDF.txt：y 方向境界点配列番号データ

fluxPoint_y_inDF.txt：y 方向ベクター計算点配列番号データ

fluxPoint_eBoudary_inDF.txt：x 方向（東側）境界点配列番号データ

fluxPoint_nBoudary_inDF.txt：y 方向（北側）境界点配列番号データ

fluxPoint_sBoudary_inDF.txt：-y 方向（南側）境界点配列番号データ

fluxPoint_wBoudary_inDF.txt：-x 方向（西側）境界点配列番号データ

streamFloodplainConnection.txt：河道との空間結合ファイルを作成

d.asc：堆積厚データ

hs_ini.asc：浸透流水深データ

← 02_MK_TOPO¥02_DF¥output のファイルをコピーする。

→ 01_RR_DR の DR モデルの計算結果ファイルをコピーする。

flowVolume_ws_DRtoDF.txt

flowVolume_cs_DRtoDF.txt

flowVolume_fs_DRtoDF.txt

← 01_RR_DR の DR モデルの計算結果ファイルをコピーする。

streamConfiguration_inRR.txt（RR モデル、DR モデルと共通）

rain_Aso.txt（RR モデルと共通）

└output_DF：結果ファイル群

res_*_??????????.asc：指定時間・変数毎の 2 次元平面のデータファイル

res_hmax.asc：流動深の最大値

A.3.5「05_MK_FIG」フォルダ

1） 作業内容

計算結果の可視化を行う。

2） 処理プログラムとフォルダ構成

RR_out_hyeto.py：RR モデルによる流域平均雨量のハイエトグラフを出力する。

RR_out_hydro.py：RR モデルによるハイドログラフを出力する。

DR_out_hydro.py：DR モデルによる水+土砂、粗粒土砂、微細土砂のハイドログラフを出力する。

この Python プログラムの実行には、Python の実行環境の設定が必要である。

01_RR.bat を実行すると、「RR_out_hyeto.py」および「RR_out_hydro.py」の環境構築およびプログラムの実行が行われ、02_DR.bat を実行すると、「DR_out_hydro.py」の実行が行われる。最終行のプログラム実行のコマンドの後ろにスペース区切りで出力したい計算点番号を与える。

├mk_map：DR モデルの計算結果を平面にマッピングする。

map.py：DR モデルの計算結果を平面にマッピングする。

qmax.asc：計算期間における流量の最大値

hmax.asc：計算期間における流動深の最大値

umax.asc：計算期間における流速の最大値

dz.asc：計算終了時の侵食・堆積深

r prof.py：DR モデルの計算結果の縦断図を出力する。

└mk_vtk：RR、DR、DF モデルの出力から vtk ファイルを作成する。

vtk_line_RR.py：DR のラインベクターファイルの作成プログラム

vtk_line_DR.py：DR のラインベクターファイルの作成プログラム
vtk_cell_DF.py：RR および DF のラスターファイルの作成プログラム
RR.bat、DR.bat、DF.bat をそれぞれ実行すると、「vtk_line_RR.py」、「vtk_line_DR.py」、「vtk_cell_DF.py」の環境構築およびプログラムの実行が行われる。最終行のプログラム実行のコマンドの後ろにスペース区切りで出力したい時間間隔（秒）を与える。
┗out：作成された vtk ファイルの保存先

B. 付録 プログラムソースコード
Debris Flow Simulator for Sabo (DFSS)

Public Works Research Institute (P.W.R.I.)*

目次

* 火山・土石流チーム

1 01_SET_BASIN

1.1 01_RR_DR

01_latlon.py

```
import sys
import os
import glob
files=glob.glob(os.path.join('..','data_from_GSI','FG-GML-????-??-DEM10B.tif'))
res=10
print('input ---> ',sys.argv)
fdem='dem_%dm'%res
if len(sys.argv)==1:
    fns=[]
    for fn0 in files:
        fn=os.path.basename(fn0)
        print (fn)
        cmd='r.in.gdal -o in=%s out=%s --o'%(fn0,fn[:-4])
        os.system(cmd)
        fns.append(fn[:-4])
    cmd='g.region rast=%s'%(','.join(fns))
    os.system(cmd)
    cmd='r.patch in=%s out=%s --o'%(','.join(fns),fdem)
    os.system(cmd)
    cmd='r.watershed -a ele=%s drain=dir acc=acc --o'%fdem
    os.system(cmd)
    cmd='r.out.gdal in=acc out=acc_ll.tif --o'
    os.system(cmd)
    print('Step 1, output ---> acc_ll.tif')
elif len(sys.argv)==3:
    lon=sys.argv[1]
    lat=sys.argv[2]
    try:
        x=float(lon)
        y=float(lat)
        cmd='r.water.outlet input=dir output=basin coordinates=%f,%f --o'%(x,y)
        os.system(cmd)
        cmd='r.out.gdal in=basin out=basin_ll.tif --o'
        os.system(cmd)
        cmd='r.to.vect in=basin out=basin type=area --o'
        os.system(cmd)
        cmd='v.buffer in=basin out=basin_buf dis=%f --o'%(3./3600)# map unit
        os.system(cmd)
        print('Step 2, set outlet <--- (x,y)=({}, {})'.format(x,y))
        print('Step 2, output ---> basin_ll.tif')
    except:
        print('Format Error@(x,y) ---> exit')
        exit()
else:
    print('Error@input? ---> exit')
```

```
import sys
import os
import glob
def trs(lon,lat,src_EPSG,dst_EPSG):
    from osgeo import ogr, osr, gdal
    src_srs, dst_srs = osr.SpatialReference(), osr.SpatialReference()
    src_srs.ImportFromEPSG(src_EPSG)
    dst_srs.ImportFromEPSG(dst_EPSG)
    trans = osr.CoordinateTransformation(src_srs, dst_srs)
    return trans.TransformPoint(lat,lon)[::-1][1:3] # lat,lon -> lon,lat
res_ll=10
res=30
loc='JGD2011'
print('input ----> ',sys.argv)
fdem='dem_%dm'%res_ll
if len(sys.argv)==1:
    cmd='v.proj in=%s out=area loc=%s --o'%('basin_buf',loc)
    os.system(cmd)
    cmd='g.region -a vect=area res=%d'%(res)
    os.system(cmd)
    cmd='r.proj in=%s out=dem_%dm  loc=%s method=bilinear --o'%(fdem,res,loc)
    os.system(cmd)
    cmd='r.watershed -a ele=dem_%dm acc=acc drain=dir --o'%res
    os.system(cmd)
    cmd='r.fill.dir input=dem_%dm dir=dir output=dem_filled_%dm  --o'%(res,
    res)
    os.system(cmd)
    cmd='r.watershed -a ele=dem_filled_%dm acc=acc drain=dir --o'%res
    os.system(cmd)
    cmd='r.out.gdal in=acc out=acc_xy.tif --o'
    os.system(cmd)
    print('Step 1, output ----> acc_xy.tif')
elif len(sys.argv)==3:
    #x=sys.argv[1]
    #y=sys.argv[2]
    ### ---->
    lon=sys.argv[1]
    lat=sys.argv[2]
    ### <----
    try:
        #x=float(x)
        #y=float(y)
        ### ---->
        lon=float(lon)
        lat=float(lat)
        (x,y)=trs(lon,lat,6668,6670)
        print('({},{}) ----> ({},{})'.format(lon,lat,x,y))
        ### <----
        cmd='g.region -a vect=area res=%d'%(res)
        os.system(cmd)
        dem='dem_filled_%dm'%res
        cmd='r.water.outlet input=dir output=basin coordinates=%f,%f --o'%(x,
    y)
```

```
52          os.system(cmd)
53          cmd='r.buffer␣in=basin␣out=basin_buf␣dis=%d␣--o'%res
54          os.system(cmd)
55          cmd='g.region␣zoom=basin_buf'
56          os.system(cmd)
57          for f in [['dir','dir_%dm'%res,0],[dem,'dem_%dm'%res,-999]]:
58              fi=f[0]
59              fo=f[1]
60              nv=f[2]
61              os.system('r.out.gdal␣in=%s␣out=%s.asc␣format=AAIGrid␣nodata=%d␣
    --o'%(fi,fo,nv))
62          print('Step␣2,␣set␣outlet␣<----␣(x,y)=({},␣{})'.format(x,y))
63          print('Step␣2,␣output␣---->␣dem_%dm.asc,␣dir_%dm.asc'%(res,res))
64      except:
65          print('Format␣Error@(x,y)␣---->␣exit')
66          exit()
67  else:
68      print('Error@input?␣---->␣exit')
```

1.2 02_DF

02_xy_01.py

```
import os
res_ll=10
res=10
area='area.shp'
loc='JGD2011'
fdem='dem_%dm'%res_ll
cmd='v.in.ogr␣in=%s␣out=area_DF␣--o'%(area)
os.system(cmd)
cmd='v.buffer␣in=area_DF␣out=area_buf␣dis=%d␣--o'%(res)
os.system(cmd)
cmd='g.region␣-a␣vect=area_buf␣res=%d'%(res)
os.system(cmd)
cmd='v.to.rast␣in=area_DF␣out=area_DF␣use=val␣val=1␣--o'
os.system(cmd)
fdem2='dem_%dm'%res
cmd='r.proj␣in=%s␣out=%s␣loc=%s␣method=bilinear␣--o'%(fdem,fdem2,loc)
os.system(cmd)
cmd='r.watershed␣-a␣ele=%s␣acc=acc␣drain=dir␣--o'%(fdem2)
os.system(cmd)
for f in [['dir','dir_%dm'%res,0],[fdem2,'dem_%dm'%res,-999],['area_DF','
    basin_%dm'%res,0]]:
    fi=f[0]
    fo=f[1]
    nv=f[2]
    os.system('r.out.gdal␣in=%s␣out=%s.asc␣format=AAIGrid␣nodata=%d␣--o'%(fi,
    fo,nv))
exit()
```

2 02_MK_TOPO

2.1 01_RR_DR

01_mk_topographyFiles.f90

```
1  implicit none
2  integer,allocatable :: ibasin(:,:),iacc(:,:),idir(:,:),ibasin2(:,:),iacc2(:,:), &
3                         i_2d(:,:),j_2d(:,:),id_2d(:,:)
4  integer,allocatable :: i_1d(:),j_1d(:),i_out(:),j_out(:)
5  integer :: iend,jend,i,j,k,i1,j1,i2,j2,itmp,itr,i0,j0,iout,jout
6  integer :: n_1d,n_out,n_ij_out,l
7  real(8),allocatable :: z_2d(:,:),facc(:,:)
8  real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,x_out,y_out
9  character(len=100) :: fname,ctmp,i_fmt,f_fmt
10 !
11 open(1,file='topographyConfiguration.txt')
12 read(1,*)iend
13 read(1,*)jend
14 allocate(ibasin(iend,jend),iacc(iend,jend),idir(iend,jend),ibasin2(iend,jend),iacc2(iend,
       jend), &
15            i_2d(iend,jend),j_2d(iend,jend),id_2d(iend,jend), z_2d(iend,jend),facc(iend,jend))
16 read(1,*)
17 read(1,*)fname !dem
18 call r_fasc(10,fname,z_2d,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
19 fname='output/elevation_inRR.asc'
20 !write(ctmp,*)n_out
21 !write(i_fmt,*)len(trim(adjustl(ctmp)))+1
22 !i_fmt='(*(i'//trim(adjustl(i_fmt))//'))'
23 f_fmt='(*(f10.3))'
24 !call w_iasc(20,fname,iriver(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0)
25 call w_fasc_fmt(20,fname,z_2d,f_fmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0.d0)
26 read(1,*)fname !dir
27 call r_iasc(10,fname,idir,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
28 idir=abs(idir)
29 !where(idir==0)idir=8
30 !where(idir==128)idir=0
31 !
32 ibasin=1
33 !
34 n_ij_out=1
35 allocate(i_out(n_ij_out),j_out(n_ij_out))
36 read(1,*)x_out
37 read(1,*)y_out
38 i_out=nint((x_out-xllcorner-0.5*cellsize)/cellsize)+1
39 j_out=nint((y_out-yllcorner-0.5*cellsize)/cellsize)+1
40 !
41 !! ---> find outlet
42 !n_ij_out=0
43 !do i=1,iend
44 !  do j=1,jend
45 !    if(1<=ibasin(i,j))then
46 !      call f_next(iend,jend,idir,i,j,i1,j1)
47 !      if(ibasin(i1,j1)==0)then
```

```
48 !          write(*,'(a,2i5)')'outlet(i,j)=',i,j
49 !          iout=i
50 !          jout=j
51 !          n_ij_out=n_ij_out+1
52 !        end if
53 !      end if
54 !    end do
55 !end do
56 !allocate(i_out(n_ij_out),j_out(n_ij_out))
57 !!
58 !n_ij_out=0
59 !do i=1,iend
60 !  do j=1,jend
61 !    if(1<=ibasin(i,j))then
62 !      call f_next(iend,jend,idir,i,j,i1,j1)
63 !      if(ibasin(i1,j1)==0)then
64 !        n_ij_out=n_ij_out+1
65 !        i_out(n_ij_out)=i
66 !        j_out(n_ij_out)=j
67 !      end if
68 !    end if
69 !  end do
70 !end do
71 !! <-- find outlet
72 !
73 i_2d(:,:)=0
74 j_2d(:,:)=0
75 id_2d(:,:)=0
76 ibasin2(:,:)=0
77 iacc2(:,:)=0
78 itr=1
79 do i=1,iend
80   do j=1,jend
81     i_2d(i,j)=i
82     j_2d(i,j)=j
83     id_2d(i,j)=(i-1)*jend+j
84     if(itr/=(i-1)*jend+j)then
85       write(*,*) itr,(i-1)*jend+j
86       read(*,*)
87     end if
88     itr=itr+1
89   end do
90 end do
91 !
92 n_1d=count(1<=ibasin(:,:))
93 allocate(i_1d(n_1d),j_1d(n_1d))
94 i_1d(1:n_1d)=pack(i_2d(:,:),(1<=ibasin(:,:)))
95 j_1d(1:n_1d)=pack(j_2d(:,:),(1<=ibasin(:,:)))
96 !write(*,'(a,i18)')' no. of data=',n_1d
97 !
98 do k=1,n_1d
99   itmp=0
100  i0=i_1d(k)
101  j0=j_1d(k)
102  i=i_1d(k)
```

```
103     j=j_1d(k)
104     itr=1
105     i2=0
106     j2=0
107     do while(itmp==0)
108       iacc2(i,j)=iacc2(i,j)+1
109       call f_next(iend,jend,idir,i,j,i1,j1)
110       do l=1,n_ij_out
111         if(i==i_out(l) .and. j==j_out(l))then
112           ibasin2(i0,j0)=1
113           itmp=1
114           !cycle
115         end if
116       end do
117       if(i1<=1 .or. iend<=i1 .or. j1<=1 .or. jend<=j1)then
118         itmp=1
119       end if
120       i2=i
121       j2=j
122       i=i1
123       j=j1
124       itr=itr+1
125     end do
126   end do ! k
127   !
128   deallocate(i_1d,j_1d)
129   !
130   fname='output/targetArea_inRR.asc'
131   write(ctmp,*)n_out
132   write(i_fmt,*)len(trim(adjustl(ctmp)))+1
133   i_fmt='(*(i'//trim(adjustl(i_fmt))//'))'
134   !call w_iasc(20,fname,iriver(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0)
135   call w_iasc_fmt(20,fname,ibasin2,i_fmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0)
136   !
137   fname='output/flowAcc_inRR.asc'
138   write(ctmp,*)maxval(iacc2)
139   write(i_fmt,*)len(trim(adjustl(ctmp)))+1
140   i_fmt='(*(i'//trim(adjustl(i_fmt))//'))'
141   !call w_iasc(20,fname,iriver(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0)
142   call w_iasc_fmt(20,fname,iacc2,i_fmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0)
143   !
144   fname='output/flowDir_inRR.asc'
145   write(ctmp,*)maxval(idir)
146   write(i_fmt,*)len(trim(adjustl(ctmp)))+1
147   i_fmt='(*(i'//trim(adjustl(i_fmt))//'))'
148   !call w_iasc(20,fname,iriver(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0)
149   call w_iasc_fmt(20,fname,idir,i_fmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0)
150   !
151   fname='output/volcanicAsh_inRR.asc'
152   write(ctmp,*)maxval(idir)
153   write(f_fmt,*)len(trim(adjustl(ctmp)))+1
154   f_fmt='(*(f10.3))'
155   !call w_iasc(20,fname,iriver(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0)
156   call w_fasc_fmt(20,fname,dble(idir)*0.d0,f_fmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0.d0)
157   !
```

```
158 write(*,'(a)')'---␣nomal␣end␣---'
159 stop
160 end
161 !
162 !
163 !
164 subroutine b_up(iend,jend,iriver,idir,i,j,itmp)
165 implicit none
166 integer :: i,j,iend,jend,itmp
167 integer :: iriver(iend,jend),idir(iend,jend)
168 !
169 ! nw n ne ! 3  2  1
170 !  \ | /  !  \ | /
171 ! w-|- e ! 4 -|- 8
172 !  / | \    !  / | \
173 ! sw s se  ! 5  6  7
174 !if(iriver(i,  j+1)==1)itmp=itmp+1 ! n
175 !if(iriver(i+1,j+1)==1)itmp=itmp+1 ! ne
176 !if(iriver(i+1,  j)==1)itmp=itmp+1 ! e
177 !if(iriver(i+1,j-1)==1)itmp=itmp+1 ! se
178 !if(iriver(i,  j-1)==1)itmp=itmp+1 ! s
179 !if(iriver(i-1,j-1)==1)itmp=itmp+1 ! sw
180 !if(iriver(i-1,  j)==1)itmp=itmp+1 ! w
181 !if(iriver(i-1,j+1)==1)itmp=itmp+1 ! nw
182 if(idir(i-1,j-1)==1 .and. iriver(i-1,j-1)==1)itmp=itmp+1 ! 5 -> 1
183 if(idir(i  ,j-1)==2 .and. iriver(i  ,j-1)==1)itmp=itmp+1 ! 6 -> 2
184 if(idir(i+1,j-1)==3 .and. iriver(i+1,j-1)==1)itmp=itmp+1 ! 7 -> 3
185 if(idir(i+1,j  )==4 .and. iriver(i+1,j  )==1)itmp=itmp+1 ! 8 -> 4
186 if(idir(i+1,j+1)==5 .and. iriver(i+1,j+1)==1)itmp=itmp+1 ! 1 -> 5
187 if(idir(i  ,j+1)==6 .and. iriver(i  ,j+1)==1)itmp=itmp+1 ! 2 -> 6
188 if(idir(i-1,j+1)==7 .and. iriver(i-1,j+1)==1)itmp=itmp+1 ! 3 -> 7
189 if(idir(i-1,j  )==8 .and. iriver(i-1,j  )==1)itmp=itmp+1 ! 4 -> 8
190 !
191 end subroutine b_up
192 !
193 !
194 !
195 subroutine f_next(iend,jend,idir,i,j,i1,j1)
196 implicit none
197 integer :: i,j,iend,jend,i1,j1,idir(iend,jend)
198 !
199 ! nw n ne ! 3  2  1
200 !  \ | /  !  \ | /
201 ! w-|- e ! 4 -|- 8
202 !  / | \    !  / | \
203 ! sw s se  ! 5  6  7
204 if(      idir(i,j)==1)then
205   i1=i+1
206   j1=j+1
207 else if(idir(i,j)==2)then
208   i1=i
209   j1=j+1
210 else if(idir(i,j)==3)then
211   i1=i-1
212   j1=j+1
```

```
213 else if(idir(i,j)==4)then
214   i1=i-1
215   j1=j
216 else if(idir(i,j)==5)then
217   i1=i-1
218   j1=j-1
219 else if(idir(i,j)==6)then
220   i1=i
221   j1=j-1
222 else if(idir(i,j)==7)then
223   i1=i+1
224   j1=j-1
225 else if(idir(i,j)==8)then
226   i1=i+1
227   j1=j
228 !else if(idir(i,j)<=-1 .or. iriver(i,j)==0)then
229 !   write(*,'(a,4i5)')'river end @ i,j,dir,iriv=',i,j,idir(i,j),iriver(i,j)
230 !   itmp=1
231 else if(idir(i,j)==0)then
232   i1=-1
233   j1=-1
234 else
235   write(*,'(a,4i5)')'river course? @ i,j,dir,iriv=',i,j,idir(i,j) !,iriver(i,j)
236   write(*,*)'Don''t come here?'
237   write(*,*)'iend,jend',iend,jend
238   stop
239 end if
240 !
241 end subroutine f_next
242 !
243 !
244 !
245 subroutine r_iasc(fon,fname,ia,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
246 implicit none
247 integer :: j,iend,jend,fon,ncols,nrows,ia(1:iend,1:jend)
248 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
249 character(len=100) :: ctmp,fname
250 !
251 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
252 read(fon,*)ctmp,ncols
253 read(fon,*)ctmp,nrows
254 if (ncols /= iend .or. nrows /= jend) then
255   write(*,*)'Check ncols /= iend or nrows /= jend'
256   stop
257 end if
258 read(fon,*)ctmp,xllcorner
259 read(fon,*)ctmp,yllcorner
260 read(fon,*)ctmp,cellsize
261 read(fon,*)
262 do j=jend,1,-1
263   read(fon,*)ia(1:iend,j)
264 end do
265 close(fon)
266 !
267 end subroutine r_iasc
```

```
268 !
269 !
270 !
271 subroutine r_fasc(fon,fname,a,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
272 implicit none
273 integer :: j,iend,jend,fon,ncols,nrows
274 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,a(1:iend,1:jend)
275 character(len=100) :: ctmp,fname
276 !
277 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
278 read(fon,*)ctmp,ncols
279 read(fon,*)ctmp,nrows
280 if (ncols /= iend .or. nrows /= jend) then
281   write(*,*)'Check␣ncols␣/=␣iend␣or␣nrows␣/=␣jend'
282   stop
283 end if
284 read(fon,*)ctmp,xllcorner
285 read(fon,*)ctmp,yllcorner
286 read(fon,*)ctmp,cellsize
287 read(fon,*)
288 do j=jend,1,-1
289   read(fon,*)a(1:iend,j)
290 end do
291 close(fon)
292 !
293 end subroutine r_fasc
294 !
295 !
296 !
297 subroutine w_iasc(fon,fname,ia,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
298 implicit none
299 integer :: j,iend,jend,fon,nv,ia(1:iend,1:jend)
300 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
301 character(len=100) :: fname,ciend
302 !
303 write(ciend,*)iend
304 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
305 write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
306 write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
307 write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
308 write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
309 write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize␣',cellsize
310 write(fon,'(a,i5)')'NODATA_value',nv
311 do j=jend,1,-1
312   write(fon,'(*(i2))')ia(1:iend,j)
313 end do
314 close(fon)
315 !
316 end subroutine w_iasc
317 !
318 !
319 !
320 subroutine w_iasc_fmt(fon,fname,ia,str,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
321 implicit none
322 integer :: j,iend,jend,fon,nv,ia(1:iend,1:jend)
```

```
323 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
324 character(len=100) :: fname,ciend,str
325 !
326 write(ciend,*)iend
327 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
328 write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
329 write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
330 write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
331 write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
332 write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize␣',cellsize
333 write(fon,'(a,i5)')'NODATA_value',nv
334 do j=jend,1,-1
335   write(fon,str)ia(1:iend,j)
336 end do
337 close(fon)
338 !
339 end subroutine w_iasc_fmt
340 !
341 !
342 !
343 subroutine w_fasc(fon,fname,a,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
344 implicit none
345 integer :: j,iend,jend,fon,nv
346 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,a(1:iend,1:jend)
347 character(len=100) :: fname,ciend
348 !
349 write(ciend,*)iend
350 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
351 write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
352 write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
353 write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
354 write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
355 write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize␣',cellsize
356 write(fon,'(a,i5)')'NODATA_value',nv
357 do j=jend,1,-1
358   write(fon,'(*(f10.3))')a(1:iend,j)
359 end do
360 close(fon)
361 !
362 end subroutine w_fasc
363 !
364 !
365 !
366 subroutine w_fasc_fmt(fon,fname,a,str,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
367 implicit none
368 integer :: j,iend,jend,fon
369 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,nv,a(1:iend,1:jend)
370 character(len=100) :: fname,ciend,str
371 !
372 write(ciend,*)iend
373 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
374 write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
375 write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
376 write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
377 write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
```

```
378 write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize␣',cellsize
379 write(fon,'(a,f10.3)')'NODATA_value',nv
380 do j=jend,1,-1
381    write(fon,str)a(1:iend,j)
382 end do
383 close(fon)
384 !
385 end subroutine w_fasc_fmt
```

```
1  implicit none
2  integer, allocatable :: ibasin(:,:)
3  integer, allocatable :: i_2d(:,:),j_2d(:,:)
4  integer, allocatable :: iqx_bd_basin(:,:),iqy_bd_basin(:,:)
5  ! scalar 2d -> 1d
6  logical, allocatable :: m_cv(:,:)
7  integer :: n_ij_cv
8  integer, allocatable :: ij_cv(:,:)
9  ! vector 2d -> 1d
10 logical, allocatable :: m_u(:,:),m_v(:,:)
11 integer :: n_ij_u,n_ij_v
12 integer, allocatable :: ij_u(:,:),ij_v(:,:)
13 ! basin boundary
14 logical, allocatable :: m_u_w(:,:),m_u_e(:,:),m_v_n(:,:),m_v_s(:,:)
15 integer :: n_ij_u_w,n_ij_u_e,n_ij_v_n,n_ij_v_s, &
16            n_ij_u_we,n_ij_v_sn
17 integer, allocatable :: ij_u_w(:,:),ij_u_e(:,:), ij_v_n(:,:),ij_v_s(:,:), &
18                          ij_u_we(:,:),ij_v_sn(:,:)
19 integer :: i,iend,j,jend
20 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,dx,dy
21 character(len=100) :: fname,head,fn_bsn,fn_dir,fn_dem
22 !
23 real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),D2R=PI/180.d0,R2D=180.d0/PI
24 integer :: k,i1,j1
25 real(8) :: dl,deg,tele,dtr,dep
26 integer, allocatable :: idir(:,:)
27 real(8), allocatable :: z(:,:),d(:,:),grad(:,:),hsc(:,:),str(:,:)
28 character(len=100) :: ctmp,ffmt
29 !
30 open(1,file='topographyConfiguration.txt')
31 read(1,*)iend
32 read(1,*)jend
33 read(1,*)
34 read(1,*)fn_dem
35 fn_dir='output/flowDir_inRR.asc'
36 fn_bsn='output/targetArea_inRR.asc'
37 !
38 allocate(ibasin(iend,jend))
39 allocate(i_2d(iend+1,jend+1),j_2d(iend+1,jend+1))
40 allocate(iqx_bd_basin(iend+1,jend+1),iqy_bd_basin(iend+1,jend+1))
41 !
42 call r_iasc(10,fn_bsn,ibasin,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
43 dx=cellsize
44 dy=cellsize
45 !
46 do i=1,iend+1
47   do j=1,jend+1
48     i_2d(i,j)=i
49     j_2d(i,j)=j
50   end do
51 end do
52 ! ---> set control volume
53 allocate(m_cv(iend,jend))
```

```
54 m_cv(1:iend,1:jend)=(ibasin(1:iend,1:jend)/=0)
55 n_ij_cv=count(m_cv)
56 allocate(ij_cv(n_ij_cv,2))
57 ij_cv(:,1)=pack(i_2d(1:iend,1:jend),m_cv)
58 ij_cv(:,2)=pack(j_2d(1:iend,1:jend),m_cv)
59 !<---- set control volume
60 !
61 !----> set boundary flag
62 iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)=-1
63 iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)=-1
64 call set_flux_boundary_basin(iend,jend,ibasin(:,:), &
65       iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1),iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1))
66 ! boundary flags
67 ! 1: flux@slope qx,qy
68 ! 50: north basin qy
69 ! 51: east  basin qx
70 ! 52: south basin qy
71 ! 53: west  basin qx
72 !<---- set boundary flag
73
74 !----> set flux
75 allocate(m_u(iend+1,jend+1), m_v(iend+1,jend+1))
76 !m_u(1:iend+1,1:jend+1)=(iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==1) ! mask
77 !m_v(1:iend+1,1:jend+1)=(iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==1) ! mask
78 m_u(1:iend+1,1:jend+1)=(iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==1  .or. &
79                         iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==51 .or. &
80                         iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==53) ! mask
81 m_v(1:iend+1,1:jend+1)=(iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==1  .or. &
82                         iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==50 .or. &
83                         iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==52) ! mask
84 n_ij_u=count(m_u)
85 n_ij_v=count(m_v)
86 allocate(ij_u(n_ij_u,2),ij_v(n_ij_v,2))
87 ij_u(:,1)=pack(i_2d,m_u)
88 ij_u(:,2)=pack(j_2d,m_u)
89 ij_v(:,1)=pack(i_2d,m_v)
90 ij_v(:,2)=pack(j_2d,m_v)
91 !<----  set flux
92 !
93 !----> set boundary
94 allocate(m_u_w(iend+1,jend+1),m_u_e(iend+1,jend+1), &
95          m_v_n(iend+1,jend+1),m_v_s(iend+1,jend+1))
96 m_u_w(1:iend+1,1:jend+1)=(iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==53)! mask
97 m_u_e(1:iend+1,1:jend+1)=(iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==51)! mask
98 m_v_s(1:iend+1,1:jend+1)=(iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==52)! mask
99 m_v_n(1:iend+1,1:jend+1)=(iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==50)! mask
100 n_ij_u_w=count(m_u_w)
101 n_ij_u_e=count(m_u_e)
102 n_ij_v_s=count(m_v_s)
103 n_ij_v_n=count(m_v_n)
104 allocate(ij_u_w(n_ij_u_w,2), &
105          ij_u_e(n_ij_u_e,2), &
106          ij_v_s(n_ij_v_s,2), &
107          ij_v_n(n_ij_v_n,2))
108 ij_u_w(:,1)=pack(i_2d,m_u_w)
```

```
109 ij_u_w(:,2)=pack(j_2d,m_u_w)
110 ij_u_e(:,1)=pack(i_2d,m_u_e)
111 ij_u_e(:,2)=pack(j_2d,m_u_e)
112 ij_v_s(:,1)=pack(i_2d,m_v_s)
113 ij_v_s(:,2)=pack(j_2d,m_v_s)
114 ij_v_n(:,1)=pack(i_2d,m_v_n)
115 ij_v_n(:,2)=pack(j_2d,m_v_n)
116 n_ij_u_we=n_ij_u_w+n_ij_u_e
117 n_ij_v_sn=n_ij_v_s+n_ij_v_n
118 !
119 allocate(ij_u_we(n_ij_u_we,8),ij_v_sn(n_ij_v_sn,8))
120 !
121 do i=1,n_ij_u_w
122   !west  h(i  ,  j),(wl(i+1,  j)-wl(i  ,  j))/dx (0 , 0),( 1,  0),( 0,  0),flux<0
123   ij_u_we(i,1:2)=ij_u_w(i,1:2)
124   ij_u_we(i,3:8)=(/0,0,1,0,0,0/)
125 end do
126 do i=1,n_ij_u_e
127   !east  h(i-1,  j),(wl(i-1,  j)-wl(i-2,  j))/dx (-1, 0),(-1,  0),(-2,  0),flux>0
128   ij_u_we(n_ij_u_w+i,1:2)=ij_u_e(i,1:2)
129   ij_u_we(n_ij_u_w+i,3:8)=(/-1,0,-1,0,-2,0/)
130 end do
131 do i=1,n_ij_v_s
132   !south h(i  ,  j),(wl(i  ,j+1)-wl(i  ,  j))/dy (0 , 0),( 0,  1),( 0,  0),flux<0
133   ij_v_sn(i,1:2)=ij_v_s(i,1:2)
134   ij_v_sn(i,3:8)=(/0,0,0,1,0,0/)
135 end do
136 do i=1,n_ij_v_n
137   !north h(i  ,j-1),(wl(i  ,j-1)-wl(i  ,j-2))/dy (0 ,-1),( 0,-1),( 0,-2),flux>0
138   ij_v_sn(n_ij_v_s+i,1:2)=ij_v_n(i,1:2)
139   ij_v_sn(n_ij_v_s+i,3:8)=(/0,-1,0,-1,0,-2/)
140 end do
141 ! <---- set boundary
142 !
143 ! ----> output
144 fname=trim(adjustl('output/controlVolume_centerPoint_inRR.txt'))
145 call point2(20,fname,xllcorner+dx*0.5,yllcorner+dy*0.5,dx,n_ij_cv,ij_cv(:,1),ij_cv(:,2))
146 fname=trim(adjustl('output/fluxPoint_x_inRR.txt'))
147 call point2(20,fname,xllcorner,yllcorner+dy*0.5,dx,n_ij_u,ij_u(:,1),ij_u(:,2))
148 fname=trim(adjustl('output/fluxPoint_y_inRR.txt'))
149 call point2(20,fname,xllcorner+dx*0.5,yllcorner,dx,n_ij_v,ij_v(:,1),ij_v(:,2))
150 !
151 fname=trim(adjustl('output/fluxPoint_xBoudary_inRR.txt'))
152 head='x,y,cvx,cvy,f1x,f1y,f2x,f2y,f3x,f3y,cs'
153 call point3(20,fname,xllcorner,yllcorner+dy*0.5,cellsize, &
154             n_ij_u_w+n_ij_u_e,ij_u_we(:,1),ij_u_we(:,2),ij_u_we(:,1:),8,head)
155 fname=trim(adjustl('output/fluxPoint_yBoudary_inRR.txt'))
156 head='x,y,cvx,cvy,f1x,f1y,f2x,f2y,f3x,f3y,cs'
157 call point3(20,fname,xllcorner+dx*0.5,yllcorner,cellsize, &
158             n_ij_v_s+n_ij_v_n,ij_v_sn(:,1),ij_v_sn(:,2),ij_v_sn(:,1:),8,head)
159 ! <---- output
160 !
161 !allocate(z(iend,jend),d(iend,jend),grad(iend,jend),idir(iend,jend),hsc(iend,jend),&
162 !          str(iend,jend))
163 !call r_iasc(10,fn_dir,idir,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
```

```
164 !call r_fasc(10,fn_dem,z,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
165 !
166 !do k=1,n_ij_cv
167 !   i=ij_cv(k,1)
168 !   j=ij_cv(k,2)
169 !   call f_next(iend,jend,idir,i,j,i1,j1)
170 !   if(mod(idir(i,j),2)==0)then
171 !     dl=cellsize
172 !   else
173 !     dl=cellsize*sqrt(2.d0)
174 !   end if
175 !   deg=-atan((z(i1,j1)-z(i,j))/dl)*R2D
176 !   grad(i,j)=deg
177 !end do
178 !
179 !write(ctmp,*)iend
180 !ffmt='('//trim(adjustl(ctmp))//trim(adjustl('f10.3'))//')'
181 !fname='grad.asc'
182 !call w_fasc(20,fname,ffmt,grad(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-9999.d0)
183 !
184 !where(ibasin==1)
185 !   d=dep
186 !elsewhere
187 !   d=0.d0
188 !end where
189 !fname='d.asc'
190 !call w_fasc(20,fname,ffmt,d(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-9999.d0)
191 !
192 !where(tele<=z)
193 !   str=dtr
194 !elsewhere
195 !   str=0.d0
196 !end where
197 !fname='str.asc'
198 !call w_fasc(20,fname,ffmt,str(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-9999.d0)
199 !
200 !call cal_stability_hsc(n_ij_cv,ij_cv(:,:),iend,jend,d,grad,hsc)
201 !write(ctmp,*)iend
202 !ffmt='('//trim(adjustl(ctmp))//trim(adjustl('f10.3'))//')'
203 !fname='hsc.asc'
204 !call w_fasc(20,fname,ffmt,hsc(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-9999.d0)
205 !
206 write(*,'(a)')'---␣nomal␣end␣---'
207 stop
208 end
209 !
210 !
211 !
212 subroutine set_flux_boundary_basin(iend,jend,ibasin,iqx_bd_rs,iqy_bd_rs)
213 implicit none
214 integer :: i,j,iend,jend
215 integer :: ibasin(1:iend,1:jend),iqx_bd_rs(1:iend+1,1:jend+1),iqy_bd_rs(1:iend+1,1:jend+1)
216 !
217 ! boundary flags
218 ! 50: north basin qy
```

```
219 ! 51: east  basin qx
220 ! 52: south basin qy
221 ! 53: west  basin qx
222 do i=2,iend
223   do j=2,jend
224     if(ibasin(i-1,j)==0 .and. ibasin(i,j)/=0)then
225       iqx_bd_rs(i,j)=53 !west
226     else if(ibasin(i-1,j)/=0 .and. ibasin(i,j)==0)then
227       iqx_bd_rs(i,j)=51 !east
228     else if(ibasin(i-1,j)/=0 .and. ibasin(i,j)/=0)then
229       iqx_bd_rs(i,j)=1
230     end if
231     if(ibasin(i,j-1)==0 .and. ibasin(i,j)/=0)then
232       iqy_bd_rs(i,j)=52 !south
233     else if(ibasin(i,j-1)/=0 .and. ibasin(i,j)==0)then
234       iqy_bd_rs(i,j)=50 !north
235     else if(ibasin(i,j-1)/=0 .and. ibasin(i,j)/=0)then
236       iqy_bd_rs(i,j)=1
237     end if
238   end do
239 end do
240 !
241 do i=2,iend
242   j=1
243   if(ibasin(i-1,j)==0 .and. ibasin(i,j)/=0)then
244     iqx_bd_rs(i,j)=53 !west
245   else if(ibasin(i-1,j)/=0 .and. ibasin(i,j)==0)then
246     iqx_bd_rs(i,j)=51 !east
247   end if
248 end do
249 !
250 do j=2,jend
251 i=1
252   if(ibasin(i,j-1)==0 .and. ibasin(i,j)/=0)then
253     iqy_bd_rs(i,j)=52 !south
254   else if(ibasin(i,j-1)/=0 .and. ibasin(i,j)==0)then
255     iqy_bd_rs(i,j)=50 !north
256   end if
257 end do
258 ! ---> qx boundary
259 i=1
260 do j=1,jend
261   if(ibasin(i,j)/=0)then
262     iqx_bd_rs(i,j)=53 !west
263   end if
264 end do
265 !
266 i=iend+1
267 do j=1,jend
268   if(ibasin(i-1,j)/=0)then
269     iqx_bd_rs(i,j)=51 !east
270   end if
271 end do
272 ! <--- qx boundary
273 !
```

```
274 ! ---> qy boundary
275 j=1
276 do i=1,iend
277   if(ibasin(i,j)/=0)then
278     iqy_bd_rs(i,j)=52 !south
279   end if
280 end do
281 !
282 j=jend+1
283 do i=1,iend
284   if(ibasin(i,j-1)/=0)then
285     iqy_bd_rs(i,j)=50 !north
286   end if
287 end do
288 ! <--- qy boundary
289 !
290 end subroutine set_flux_boundary_basin
291 !
292 !
293 !
294 subroutine w_fasc(fon,fname,cfmt,a,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
295 implicit none
296 integer :: j,iend,jend,fon
297 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,nv,a(1:iend,1:jend)
298 character(len=100) :: cfmt,fname
299 !
300 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
301 write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
302 write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
303 write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
304 write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
305 write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize ',cellsize
306 write(fon,'(a,f10.3)')'NODATA_value',nv
307 do j=jend,1,-1
308   write(fon,trim(cfmt))a(1:iend,j)
309 end do
310 close(fon)
311 !
312 end subroutine w_fasc
313 !
314 !
315 !
316 subroutine w_iasc(fon,fname,ia,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
317 implicit none
318 integer :: j,iend,jend,fon,nv,ia(1:iend,1:jend)
319 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
320 character(len=100) :: fname
321 !
322 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
323 write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
324 write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
325 write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
326 write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
327 write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize ',cellsize
328 write(fon,'(a,i5)')'NODATA_value',nv
```

```
329 do j=jend,1,-1
330   write(fon,'(*(i2))')ia(1:iend,j)
331 end do
332 close(fon)
333 !
334 end subroutine w_iasc
335 !
336 !
337 !
338 subroutine r_iasc(fon,fname,ia,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
339 implicit none
340 integer :: j,iend,jend,fon,ncols,nrows,ia(1:iend,1:jend)
341 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
342 character(len=100) :: ctmp,fname
343 !
344 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
345 read(fon,*)ctmp,ncols
346 read(fon,*)ctmp,nrows
347 if (ncols /= iend .or. nrows /= jend) then
348   write(*,*)'Check␣ncols␣/=␣iend␣or␣nrows␣/=␣jend'
349   stop
350 end if
351 read(fon,*)ctmp,xllcorner
352 read(fon,*)ctmp,yllcorner
353 read(fon,*)ctmp,cellsize
354 read(fon,*)
355 do j=jend,1,-1
356   read(fon,*)ia(1:iend,j)
357 end do
358 close(fon)
359 !
360 end subroutine r_iasc
361 !
362 !
363 !
364 subroutine r_fasc(fon,fname,a,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
365 implicit none
366 integer :: j,iend,jend,fon,ncols,nrows
367 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,a(1:iend,1:jend)
368 character(len=100) :: ctmp,fname
369 !
370 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
371 read(fon,*)ctmp,ncols
372 read(fon,*)ctmp,nrows
373 if (ncols /= iend .or. nrows /= jend) then
374   write(*,*)'Check␣ncols␣/=␣iend␣or␣nrows␣/=␣jend'
375   stop
376 end if
377 read(fon,*)ctmp,xllcorner
378 read(fon,*)ctmp,yllcorner
379 read(fon,*)ctmp,cellsize
380 read(fon,*)
381 do j=jend,1,-1
382   read(fon,*)a(1:iend,j)
383 end do
```

```
384 close(fon)
385 !
386 end subroutine r_fasc
387 !
388 !
389 !
390 subroutine point(fon,fname,a,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
391 implicit none
392 integer :: i,j,iend,jend,fon,a(1:iend,1:jend),iflg
393 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,x,y
394 character(len=100) :: fname
395 !
396 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
397 write(fon,'(a)')'x,y,i,j,flag'
398 do i=1,iend
399   do j=1,jend
400     x=xllcorner+cellsize*float(i-1)
401     y=yllcorner+cellsize*float(j-1)
402     iflg=int(a(i,j))
403     write(fon,'(2(f15.3,a),3(i5,a))')x,',',y,',',i,',',j,',',iflg
404   end do
405 end do
406 close(fon)
407 !
408 end subroutine point
409 !
410 !
411 !
412 subroutine point2(fon,fname,xllcorner,yllcorner,cellsize,n_1d,i_1d,j_1d)
413 implicit none
414 integer :: ni,n_1d,i_1d(1:n_1d),j_1d(1:n_1d),i,j,fon
415 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
416 character(len=100) :: fname
417 !
418 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
419 write(fon,*)n_1d
420 write(fon,'(a)')'x,y,i,j,cs'
421 do ni=1,n_1d
422   i=i_1d(ni)
423   j=j_1d(ni)
424   write(fon,'(2(f15.3,a),2(i5,a),f10.3)')&
425   xllcorner+cellsize*float(i-1),',',yllcorner+cellsize*float(j-1),',',i,',',j,',',cellsize
426 end do
427 close(fon)
428 !
429 end subroutine point2
430 !
431 !
432 !
433 subroutine point3(fon,fname,xllcorner,yllcorner,cellsize,n_1d,i_1d,j_1d,flg,n_flg,head)
434 implicit none
435 integer :: ni,n_1d,n_flg,i_1d(n_1d),j_1d(n_1d),flg(n_1d,n_flg),i,j,fon
436 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
437 character(len=100) :: head,fname,cn_flg
438 !
```

```
439 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
440 write(fon,*)n_1d
441 write(fon,'(a)')head
442 write(cn_flg,*)n_flg
443 do ni=1,n_1d
444   i=i_1d(ni)
445   j=j_1d(ni)
446   write(fon,'(2(f15.3,:,","),'//trim(adjustl(cn_flg))//'(i5,:,","),f10.3)') &
447   xllcorner+cellsize*float(i-1),yllcorner+cellsize*float(j-1),flg(ni,:),cellsize
448 end do
449 close(fon)
450 !
451 end subroutine point3
452 !
453 !
454 !
455 subroutine f_next(iend,jend,idir,i,j,i1,j1)
456 implicit none
457 integer :: i,j,iend,jend,i1,j1,idir(iend,jend)
458 !
459 ! nw n ne ! 3  2  1
460 !  \ | /  !  \ | /
461 ! w-|- e ! 4-|- 8
462 !  / | \    !  / | \
463 ! sw s se  ! 5  6  7
464 if(      idir(i,j)==1)then
465   i1=i+1
466   j1=j+1
467 else if(idir(i,j)==2)then
468   i1=i
469   j1=j+1
470 else if(idir(i,j)==3)then
471   i1=i-1
472   j1=j+1
473 else if(idir(i,j)==4)then
474   i1=i-1
475   j1=j
476 else if(idir(i,j)==5)then
477   i1=i-1
478   j1=j-1
479 else if(idir(i,j)==6)then
480   i1=i
481   j1=j-1
482 else if(idir(i,j)==7)then
483   i1=i+1
484   j1=j-1
485 else if(idir(i,j)==8)then
486   i1=i+1
487   j1=j
488 else if(i1<1 .or. i1>iend .or. j1<1 .or. j1>jend)then
489   i1=-1
490   j1=-1
491 else
492   write(*,'(a,4i5)')'river␣course?␣@␣i,j,dir,iriv=',i,j,idir(i,j)
493   write(*,*)'Don''t␣come␣here?'
```

```
494     stop
495   end if
496   !
497   end subroutine f_next
498   !
499   !
500   !
501   subroutine cal_stability_hsc(n_1d,ij_1d,iend,jend,d,grad,hsc)
502   implicit none
503   real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),D2R=PI/180.d0,R2D=180.d0/PI
504   real(8), parameter :: g=9.8d0,sig=2650.d0,rho=1000.d0,lamda=0.4d0,pw=0.1d0, &
505                         c=3000.d0, tanp=tan(35.d0*D2R)
506   integer :: ni,n_1d,ij_1d(n_1d,2),i,j,iend,jend
507   real(8) :: d(iend,jend),grad(iend,jend),c2,hsc(iend,jend),hsc0,csta,tant,cost
508   !
509   csta=1.d0-lamda
510   do ni=1,n_1d
511     i=ij_1d(ni,1)
512     j=ij_1d(ni,2)
513     tant=grad(i,j)*D2R
514     cost=cos(atan(tant))
515     c2=c/(rho*g*d(i,j)*cost*tanp)
516     hsc0=((1.d0-tant/tanp)*(csta*sig/rho+pw)+c2) / &
517           ((1.d0-tant/tanp)*(csta+pw)+tant/tanp)
518     hsc(i,j)=hsc0/d(i,j)
519   end do
520   !
521   end subroutine cal_stability_hsc
```

```
1  implicit none
2  real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),deg2rad=PI/180.d0,rad2deg=180.d0/PI
3  integer,parameter :: upcell=1 ! start point of river
4  integer,allocatable :: ibasin(:,:),idrain(:,:),iriver(:,:),istream_order(:,:),iacc(:,:), &
5                         i_2d(:,:),j_2d(:,:),i1_2d(:,:),j1_2d(:,:),i2_2d(:,:),j2_2d(:,:)
6  integer :: iend,jend,i,j,k,i1,j1,i2,j2,itmp,iacc_thresh,nirs,itr,iso_max
7  integer,allocatable :: i_1d(:),j_1d(:),in_1d(:),jn_1d(:),ip_1d(:),jp_1d(:),idrain_1d(:),
       iso_1d(:),iacc_1d(:), &
8                         iriver_sta_i(:),iriver_sta_j(:)
9  integer :: n_1d,n_inf,iflg_in0,iflg_in1
10 real(8),allocatable :: x_2d(:,:),y_2d(:,:),z_2d(:,:)!,acc(iend,jend)
11 real(8),allocatable :: x_1d(:),y_1d(:),z_1d(:)!,acc_1d(:)
12 real(8) :: x,y,xllcorner,yllcorner,cellsize,ba
13 character(len=100) :: fname,ctmp,ftmp
14 !
15 integer,allocatable :: id_from(:,:),id_to(:),idx(:)
16 integer :: iexit
17 logical :: mask
18 real(8),allocatable :: b_1d(:),d_1d(:),dx(:)
19 real(8) :: dx0,dy0,x_vec,y_vec,deg,dl,grad,wm,wp,wmin,dm,dp,dmin,mn,dsoil
20 !
21 open(1,file='topographyConfiguration.txt')
22 read(1,*)iend
23 read(1,*)jend
24 allocate(ibasin(iend,jend),idrain(iend,jend),iriver(iend,jend),istream_order(iend,jend),iacc
       (iend,jend), &
25           i_2d(iend,jend),j_2d(iend,jend),i1_2d(iend,jend),j1_2d(iend,jend),i2_2d(iend,jend),
       j2_2d(iend,jend), &
26           x_2d(iend,jend),y_2d(iend,jend),z_2d(iend,jend))
27 read(1,*)
28 read(1,*)
29 !
30 fname='output/elevation_inRR.asc'
31 call r_fasc(10,fname,z_2d,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
32 !
33 read(1,*)
34 read(1,*)
35 read(1,*)
36 read(1,*)
37 read(1,*)
38 read(1,*)iacc_thresh
39 !
40 fname='output/targetArea_inRR.asc'
41 call r_iasc(10,fname,ibasin,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
42 !
43 fname='output/flowAcc_inRR.asc'
44 call r_iasc(10,fname,iacc,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
45 where(iacc(1:iend,1:jend)>iacc_thresh .and. ibasin(1:iend,1:jend)/=0)
46   iriver(1:iend,1:jend)=1
47 elsewhere
48   iriver(1:iend,1:jend)=0
49 end where
50 !
```

```
51  fname='output/flowDir_inRR.asc'
52  call r_iasc(10,fname,idrain,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
53  !
54  ! --> set start of river
55  ! nw n ne ! 3  2  1
56  !  \ | /  !  \ | /
57  ! w-|- e ! 4-|- 8
58  !  / | \  !  / | \
59  ! sw s se ! 5  6  7
60  nirs=0
61  open(20,file='misc/river_bounds.txt')
62  write(20,*)'x,y,i,j'
63  do i=1,iend
64    do j=1,jend
65      if(iriver(i,j)==1)then
66        !
67        iflg_in1=0
68        if(idrain(i,  j+1)==6 .and. iriver(i,  j+1)==1)iflg_in1=iflg_in1+1 ! n
69        if(idrain(i+1,j+1)==5 .and. iriver(i+1,j+1)==1)iflg_in1=iflg_in1+1 ! ne
70        if(idrain(i+1,  j)==4 .and. iriver(i+1,  j)==1)iflg_in1=iflg_in1+1 ! e
71        if(idrain(i+1,j-1)==3 .and. iriver(i+1,j-1)==1)iflg_in1=iflg_in1+1 ! se
72        if(idrain(i,  j-1)==2 .and. iriver(i,  j-1)==1)iflg_in1=iflg_in1+1 ! s
73        if(idrain(i-1,j-1)==1 .and. iriver(i-1,j-1)==1)iflg_in1=iflg_in1+1 ! sw
74        if(idrain(i-1,  j)==8 .and. iriver(i-1,  j)==1)iflg_in1=iflg_in1+1 ! w
75        if(idrain(i-1,j+1)==7 .and. iriver(i-1,j+1)==1)iflg_in1=iflg_in1+1 ! nw
76        !
77        iflg_in0=0
78        if(idrain(i,  j+1)==6 .and. iriver(i,  j+1)==0)iflg_in0=iflg_in0+1 ! n
79        if(idrain(i+1,j+1)==5 .and. iriver(i+1,j+1)==0)iflg_in0=iflg_in0+1 ! ne
80        if(idrain(i+1,  j)==4 .and. iriver(i+1,  j)==0)iflg_in0=iflg_in0+1 ! e
81        if(idrain(i+1,j-1)==3 .and. iriver(i+1,j-1)==0)iflg_in0=iflg_in0+1 ! se
82        if(idrain(i,  j-1)==2 .and. iriver(i,  j-1)==0)iflg_in0=iflg_in0+1 ! s
83        if(idrain(i-1,j-1)==1 .and. iriver(i-1,j-1)==0)iflg_in0=iflg_in0+1 ! sw
84        if(idrain(i-1,  j)==8 .and. iriver(i-1,  j)==0)iflg_in0=iflg_in0+1 ! w
85        if(idrain(i-1,j+1)==7 .and. iriver(i-1,j+1)==0)iflg_in0=iflg_in0+1 ! nw
86        !
87        itmp=0
88        if(iriver(i,  j+1)==1)itmp=itmp+1 ! n
89        if(iriver(i+1,j+1)==1)itmp=itmp+1 ! ne
90        if(iriver(i+1,  j)==1)itmp=itmp+1 ! e
91        if(iriver(i+1,j-1)==1)itmp=itmp+1 ! se
92        if(iriver(i,  j-1)==1)itmp=itmp+1 ! s
93        if(iriver(i-1,j-1)==1)itmp=itmp+1 ! sw
94        if(iriver(i-1,  j)==1)itmp=itmp+1 ! w
95        if(iriver(i-1,j+1)==1)itmp=itmp+1 ! nw
96        !
97        if(iflg_in0>=upcell .and. iflg_in1==0)then
98        !if(itmp==1  .or. iflg_in==0)then
99          call f_next(iend,jend,idrain,i,j,i1,j1)
100         if (iriver(i1,j1)==1)then
101           nirs=nirs+1
102          ! write(*,*)'inlet(i,j)=',i,j
103           write(20,'(2(f15.3,a),3(i5,a))')xllcorner+cellsize*(0.5+i-1),',', &
104           yllcorner+cellsize*(0.5+j-1),',',i,',',j
105         else
```

```
106             ! write(*,*)'outlet',i,j,'Ent.'
107              !read(*,*)
108           end if
109         end if
110       end if
111     end do
112   end do
113   close(20)
114   !
115   allocate(iriver_sta_i(nirs),iriver_sta_j(nirs))
116   !write(*,*)'Input OK, Ent.','No. point =',nirs
117   ! <-- set start of river
118   !
119   istream_order(:,:)=0
120   x_2d(:,:)=-1
121   y_2d(:,:)=-1
122   i_2d(:,:)=0
123   j_2d(:,:)=0
124   i1_2d(:,:)=0
125   j1_2d(:,:)=0
126   i2_2d(:,:)=0
127   j2_2d(:,:)=0
128   open(20,file='misc/river_bounds.txt')
129   read(20,*)
130   do k=1,nirs
131     read(20,*)ftmp,ftmp,iriver_sta_i(k),iriver_sta_j(k) !,nirs_dirflag(k)
132     i=iriver_sta_i(k)
133     j=iriver_sta_j(k)
134     !write(ctmp,'(i3.3)')k
135     !write(ctmp,'(a,i3.3,a,i3.3)')'i',i,'_j',j
136     !fname='rivers/river_'//trim(adjustl(ctmp))//'.csv'
137     !open(100,file=fname)
138     !write(100,'(a)')'x,y,z,i,j,i-1,j-1,i+1,j+1'
139     !write(*,*)iriver_sta_i(k),iriver_sta_j(k) !,nirs_dirflag(k)
140     itmp=0
141     !i=iriver_sta_i(k)
142     !j=iriver_sta_j(k)
143     istream_order(i,j)=1
144     itr=1
145     i2=0
146     j2=0
147     do while(itmp==0)
148       call f_next(iend,jend,idrain,i,j,i1,j1)
149       x=xllcorner+cellsize*(0.5+i-1)
150       y=yllcorner+cellsize*(0.5+j-1)
151       x_2d(i,j)=x
152       y_2d(i,j)=y
153       i_2d(i,j)=i
154       j_2d(i,j)=j
155       i1_2d(i,j)=i1
156       j1_2d(i,j)=j1
157       i2_2d(i,j)=i2
158       j2_2d(i,j)=j2
159       !if(iriver(i1,j1)==0)then
160       !   write(100,'(3(f15.3,a),6(i5,a))')x,',',y,',',z_2d(i,j),',',i,',',j,',',i2,',',j2
```

```
      ,',',0,',',0
161   !else
162   !  write(100,'(3(f15.3,a),6(i5,a))')x,',',y,',',z_2d(i,j),',',i,',',j,',',i2,',',j2,',',
      i1,',',j1
163   !end if
164   if(i1==-1 .or. j1==-1 .or. ibasin(i1,j1)==0)then
165     exit
166   end if
167   !
168   iso_max=0
169   n_inf=0
170   if(idrain(i1+1,j1+1)==5 .and. idrain(i,j)/=5) iso_max=max(iso_max,istream_order(i1+1,j1
      +1))
171   if(idrain(i1  ,j1+1)==6 .and. idrain(i,j)/=6) iso_max=max(iso_max,istream_order(i1  ,j1
      +1))
172   if(idrain(i1-1,j1+1)==7 .and. idrain(i,j)/=7) iso_max=max(iso_max,istream_order(i1-1,j1
      +1))
173   if(idrain(i1-1,j1  )==8 .and. idrain(i,j)/=8) iso_max=max(iso_max,istream_order(i1-1,j1
       ))
174   if(idrain(i1-1,j1-1)==1 .and. idrain(i,j)/=1) iso_max=max(iso_max,istream_order(i1-1,j1
      -1))
175   if(idrain(i1  ,j1-1)==2 .and. idrain(i,j)/=2) iso_max=max(iso_max,istream_order(i1  ,j1
      -1))
176   if(idrain(i1+1,j1-1)==3 .and. idrain(i,j)/=3) iso_max=max(iso_max,istream_order(i1+1,j1
      -1))
177   if(idrain(i1+1,j1  )==4 .and. idrain(i,j)/=4) iso_max=max(iso_max,istream_order(i1+1,j1
       ))
178   !if (iso_max>0) write(*,*)'iso_max',iso_max
179   if(istream_order(i,j)<iso_max)then
180     istream_order(i1,j1)=iso_max
181   else if(istream_order(i,j)==iso_max)then
182     istream_order(i1,j1)=iso_max+1
183   else if(istream_order(i,j)>iso_max)then
184     istream_order(i1,j1)=istream_order(i,j)
185   else
186     write(*,*)'from',istream_order(i,j)
187     write(*,*)'␣to␣',istream_order(i1,j1)
188   end if
189   i2=i
190   j2=j
191   i=i1
192   j=j1
193   !write(*,*)'iteration =',itr
194  ! itr=itr+1
195  end do
196  !close(100)
197 end do
198 close(20,status='delete')
199 !
200 fname='misc/streamOrder.asc'
201 call w_iasc(20,fname,istream_order(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0)
202 !fname='IO/iriver.asc'
203 !call w_iasc(20,fname,iriver(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0)
204 n_1d=count(istream_order(:,:)/=0)
205 !write(*,*)'n_1d=',n_1d
```

```
206 allocate(i_1d(n_1d),j_1d(n_1d),in_1d(n_1d),jn_1d(n_1d),ip_1d(n_1d),jp_1d(n_1d),idrain_1d(
      n_1d),iso_1d(n_1d),iacc_1d(n_1d))
207 allocate(x_1d(n_1d),y_1d(n_1d),z_1d(n_1d))!,acc_1d(n_1d))
208 i_1d(1:n_1d)=pack(i_2d(:,:),istream_order(:,:)/=0)
209 j_1d(1:n_1d)=pack(j_2d(:,:),istream_order(:,:)/=0)
210 in_1d(1:n_1d)=pack(i1_2d(:,:),istream_order(:,:)/=0)
211 jn_1d(1:n_1d)=pack(j1_2d(:,:),istream_order(:,:)/=0)
212 ip_1d(1:n_1d)=pack(i2_2d(:,:),istream_order(:,:)/=0)
213 jp_1d(1:n_1d)=pack(j2_2d(:,:),istream_order(:,:)/=0)
214 !
215 iacc_1d(1:n_1d)=pack(iacc(:,:),istream_order(:,:)/=0)
216 idrain_1d(1:n_1d)=pack(idrain(:,:),istream_order(:,:)/=0)
217 iso_1d(1:n_1d)=pack(istream_order(:,:),istream_order(:,:)/=0)
218 !
219 x_1d(1:n_1d)=pack(x_2d(:,:),istream_order(:,:)/=0)
220 y_1d(1:n_1d)=pack(y_2d(:,:),istream_order(:,:)/=0)
221 z_1d(1:n_1d)=pack(z_2d(:,:),istream_order(:,:)/=0)
222 !open(20,file='IO/river_struc.txt')
223 !write(20,'(a)')'x,y,z,i,j,i-1,j-1,i+1,j+1,km2,iacc,drain,stream_order'
224 !do i=1,n_1d
225 !   !write(*,'(2f15.3,6i5)')x_1d(i),y_1d(i),i_1d(i),j_1d(i),in_1d(i),jn_1d(i),ip_1d(i),jp_1d(
      i)
226 !   ba=cellsize*cellsize*float(iacc_1d(i))/1000000.d0
227 !   if(i_1d(i)==0 .or. j_1d(i)==0)then
228 !     write(*,'(a,10i5)')' i=0 or j=0 @',i_1d(i),j_1d(i),ip_1d(i),jp_1d(i),in_1d(i),jn_1d(i)
229 !   end if
230 !   write(20,'(3(f15.3,a),6(i5,a),(f10.5,a),(i10,a),2(i5,a))')x_1d(i),',',y_1d(i),',',z_1d(i
      ),',',i_1d(i),',',j_1d(i),',',  &
231 !   ip_1d(i),',',jp_1d(i),',',in_1d(i),',',jn_1d(i),',',ba,',',iacc_1d(i),',',idrain_1d(i
      ),',',iso_1d(i)
232 !end do
233 !close(20)
234 allocate(id_from(n_1d,3),id_to(n_1d),idx(3),dx(n_1d),b_1d(n_1d),d_1d(n_1d))!,acc_1d(n_1d))
235 ! Width & depth Tanaka & Sayama 2018 DPRI
236 ! Width
237 wm=4.73d0
238 wp=0.58d0
239 wmin=5.d0
240 ! Depth
241 dm=1.57d0
242 dp=0.33d0
243 dmin=1.d0
244 !
245 mn=0.1d0 ! Manning coefficient
246 dsoil=1.d0
247 !
248 do i=1,n_1d
249   id_from(i,:)=0
250   itr=0
251   do j=1,n_1d
252     if(in_1d(j)==i_1d(i) .and. jn_1d(j)==j_1d(i))then
253       itr=itr+1
254       id_from(i,itr)=j
255     end if
256   end do
```

```
257   idx(1:itr)=id_from(i,1:itr)
258   iexit=0
259   do j=1,itr
260     mask=iso_1d(idx(j))==maxval(iso_1d(idx(1:itr)))
261     if(mask .and. iacc_1d(idx(j))==maxval(iacc_1d(idx(1:itr))) .or. &
262        mask .and. count(iso_1d(idx(1:itr))==maxval(iso_1d(idx(1:itr))))==1)then
263       id_from(i,1:itr)=cshift(idx(1:itr),j-1)
264       exit
265     end if
266   end do
267 end do
268 !
269 do i=1,n_1d
270   idx(:)=0
271   iexit=0
272   do j=1,n_1d
273     do k=1,3
274       if(id_from(j,k)==i .and. minval(id_from(j,1:k))>=1)then
275         idx(1)=j
276         iexit=1
277         exit
278       end if
279     end do
280     if(iexit==1)exit
281   end do
282   !
283   do j=1,n_1d
284     if(ip_1d(j)==i_1d(i) .and. jp_1d(j)==j_1d(i))then
285       idx(2)=j
286     end if
287   end do
288   !
289   id_to(i)=maxval(idx(:))
290   if(id_to(i)==0)then
291     dx(i)=-999
292   else
293     dx0=x_1d(id_to(i))-x_1d(i)
294     dy0=y_1d(id_to(i))-y_1d(i)
295     dx(i)=(dx0*dx0+dy0*dy0)**0.5d0
296   end if
297   ba=cellsize*cellsize*float(iacc_1d(i))/1000000.d0
298   b_1d(i)=max(wmin,wm*ba**wp)
299   d_1d(i)=max(dmin,dm*ba**dp)
300 end do
301 !
302 open(20,file='output/streamConfiguration_inRR.txt')
303 write(20,'(i5,a)')n_1d,',# of node'
304 !write(20,'(a)')'x,y,z,b,dep,dx,id,id_to,id_from1,id_from2,id_from3,iacc,i,j'
305 write(20,'(a)')'id,id_to,id_from1,id_from2,id_from3,z_2d,z_1d,zs_1d,dx,b,n,iacc,x_2d,y_2d,
      i_2d,j_2d'
306 do i=1,n_1d
307   if(id_to(i)==0)then
308     if(mod(idrain_1d(i)*(-45.d0)+90.d0,90.d0)==0)then
309       !dx(i)=1.d0
310       dx(i)=maxval(dx)/2.d0**0.5d0
```

```
311       else
312         !dx(i)=2.d0**0.5d0
313         dx(i)=maxval(dx)
314       end if
315     end if
316     write(20,'(10(i5,:'',''))',advance='no')i,id_to(i),id_from(i,1:3)
317     write(20,'(a,6(f10.3,'',''))',advance='no')',',z_1d(i),z_1d(i)-d_1d(i),z_1d(i)-d_1d(i)-
          dsoil,dx(i),b_1d(i),mn
318     !write(20,'((i10,:'',''),(f15.5,:'',''))',advance='no')ifld,acc(i)-sum(acc(id_from(i
          ,1:3)))
319     !write(20,'((i10,:'',''),(f15.5,:'',''))',advance='no')ifld,acc(i)
320     write(20,'((i5,:'',''))',advance='no')int(iacc_1d(i))!-sum(acc(id_from(i,1:3)))
321     write(20,'(a,2(f15.5,:'',''),2(i5,:'',''))')',',x_1d(i),y_1d(i),i_1d(i),j_1d(i)
322   end do
323   close(20)
324   !
325   open(20,file='misc/streamConfiguration_Checker.txt')
326   write(20,'(a)')'x,y,b,i,i_to,dx,deg,grad'
327   do i=1,n_1d
328     idx(1)=id_from(i,1)
329     idx(2)=id_to(i)
330     if(id_to(i)==0)then
331       cycle
332       deg=idrain_1d(i)*(-45.d0)+90.d0
333       x_vec=x_1d(i)+dx(i)*cos(idrain_1d(i)*45.d0*deg2rad)*0.5d0
334       y_vec=y_1d(i)+dx(i)*sin(idrain_1d(i)*45.d0*deg2rad)*0.5d0
335       grad=0.d0
336     else
337       x_vec=(x_1d(i)+x_1d(idx(2)))*0.5d0
338       y_vec=(y_1d(i)+y_1d(idx(2)))*0.5d0
339       deg=idrain_1d(i)*(-45.d0)+90.d0
340       dl=((x_1d(i)-x_1d(idx(2)))**2.0d0+(y_1d(i)-y_1d(idx(2)))**2.0d0)**0.5d0
341       grad=(z_1d(idx(2))-z_1d(i))/dl
342         !write(20,'(2f10.3,2i5,2f10.3)')x_vec,y_vec,i,idx(2),dx(i),deg
343       write(20,'(3(f15.3,'',''))',advance='no')x_vec,y_vec,b_1d(i)
344       write(20,'(2(i5,'',''))',advance='no')i,idx(2)
345       write(20,'(3(f15.3,:'',''))')dx(i),deg,atan(-grad)*rad2deg
346     end if
347     !
348     !write(20,'(2f10.3,2i5,2f10.3)')x_vec,y_vec,i,idx(2),dx(i),deg
349     !write(20,'(3(f15.3,'',''))',advance='no')x_vec,y_vec,b_1d(i)
350     !write(20,'(2(i5,'',''))',advance='no')i,idx(2)
351     !write(20,'(3(f15.3,:'',''))')dx(i),deg,atan(-grad)*rad2deg
352     !
353   end do
354   close(20)
355   !
356   open(20,file='misc/dir_deg.txt')
357   write(20,*)'x,y,i,j,dx,deg'
358   do i=1,iend
359     do j=1,jend
360       if(ibasin(i,j)/=0)then
361         if(mod(idrain(i,j),2)==0)then
362           dl=cellsize
363         else
```

```
364           dl=cellsize*2.d0**0.5d0
365         end if
366         x=xllcorner+cellsize*(0.5+i-1)
367         y=yllcorner+cellsize*(0.5+j-1)
368         deg=idrain(i,j)*(45.d0)
369         x=x+dl*0.5d0*cos(deg2rad*deg)
370         y=y+dl*0.5d0*sin(deg2rad*deg)
371         deg=idrain(i,j)*(-45.d0)+90.d0
372         write(20,'(2(f15.3,'','',),2(i5,:'','',),2(f10.3,:'','',))')x,y,i,j,dl,deg
373       end if
374     end do
375   end do
376   close(20)
377   !
378   write(*,'(a)')'---␣nomal␣end␣---'
379   stop
380   end
381   !
382   !
383   !
384   subroutine f_next(iend,jend,idrain,i,j,i1,j1)
385   implicit none
386   integer :: i,j,iend,jend,i1,j1
387   integer :: idrain(iend,jend)
388   !
389   ! nw n ne ! 3  2  1
390   !  \ | /  !  \ | /
391   ! w-|- e ! 4 -|- 8
392   !  / | \    !  / | \
393   ! sw s se  ! 5  6  7
394   !idrain(i,j)=abs(idrain(i,j))
395   if(      idrain(i,j)==1)then
396     i1=i+1
397     j1=j+1
398   else if(idrain(i,j)==2)then
399     i1=i
400     j1=j+1
401   else if(idrain(i,j)==3)then
402     i1=i-1
403     j1=j+1
404   else if(idrain(i,j)==4)then
405     i1=i-1
406     j1=j
407   else if(idrain(i,j)==5)then
408     i1=i-1
409     j1=j-1
410   else if(idrain(i,j)==6)then
411     i1=i
412     j1=j-1
413   else if(idrain(i,j)==7)then
414     i1=i+1
415     j1=j-1
416   else if(idrain(i,j)==8)then
417     i1=i+1
418     j1=j
```

```
!else if(idrain(i,j)<=-1 .or. iriver(i,j)==0)then
!   write(*,'(a,4i5)')'river end @ i,j,dir,iriv=',i,j,idrain(i,j),iriver(i,j)
!   itmp=1
else if(i1<1 .or. i1>iend .or. j1<1 .or. j1>jend)then
!   write(*,'(a,4i5)')'river end @ i,j,dir,iriv=',i,j,idrain(i,j)
    i1=-1
    j1=-1
    !itmp=1
else
    write(*,'(a,4i5)')'river course? @ i,j,dir,iriv=',i,j,idrain(i,j) !,iriver(i,j)
    write(*,*)'Don''t come here?'
    stop
end if
!
end subroutine f_next
!
!
!
subroutine r_iasc(fon,fname,ia,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
implicit none
integer :: j,iend,jend,fon,ncols,nrows,ia(1:iend,1:jend)
real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
character(len=100) :: ctmp,fname
!
open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
read(fon,*)ctmp,ncols
read(fon,*)ctmp,nrows
if (ncols /= iend .or. nrows /= jend) then
    write(*,*)'Check ncols /= iend or nrows /= jend'
    stop
end if
read(fon,*)ctmp,xllcorner
read(fon,*)ctmp,yllcorner
read(fon,*)ctmp,cellsize
read(fon,*)
do j=jend,1,-1
    read(fon,*)ia(1:iend,j)
end do
close(fon)
!
end subroutine r_iasc
!
!
!
subroutine r_fasc(fon,fname,a,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
implicit none
integer :: j,iend,jend,fon,ncols,nrows
real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,a(1:iend,1:jend)
character(len=100) :: ctmp,fname
!
open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
read(fon,*)ctmp,ncols
read(fon,*)ctmp,nrows
if (ncols /= iend .or. nrows /= jend) then
    write(*,*)'Check ncols /= iend or nrows /= jend'
```

```
474     stop
475   end if
476   read(fon,*)ctmp,xllcorner
477   read(fon,*)ctmp,yllcorner
478   read(fon,*)ctmp,cellsize
479   read(fon,*)
480   do j=jend,1,-1
481     read(fon,*)a(1:iend,j)
482   end do
483   close(fon)
484   !
485 end subroutine r_fasc
486 !
487 !
488 !
489 subroutine w_iasc(fon,fname,ia,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
490 implicit none
491 integer :: j,iend,jend,fon,nv,ia(1:iend,1:jend)
492 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
493 character(len=100) :: fname
494 !
495 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
496 write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
497 write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
498 write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
499 write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
500 write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize ',cellsize
501 write(fon,'(a,i5)')'NODATA_value',nv
502 do j=jend,1,-1
503   write(fon,'(*(i2))')ia(1:iend,j)
504 end do
505 close(fon)
506 !
507 end subroutine w_iasc
```

2.2 02_DF

01_mk_floodplainConfigurationFiles.f90

```
implicit none
integer, allocatable :: ibasin(:,:)
integer, allocatable :: i_2d(:,:),j_2d(:,:)
integer, allocatable :: iqx_bd_basin(:,:),iqy_bd_basin(:,:)
! scalar 2d -> 1d
logical, allocatable :: m_cv(:,:)
integer :: n_ij_cv
integer, allocatable :: ij_cv(:,:)
! vector 2d -> 1d
logical, allocatable :: m_u(:,:),m_v(:,:)
integer :: n_ij_u,n_ij_v
integer, allocatable :: ij_u(:,:),ij_v(:,:)
! basin boundary
logical, allocatable :: m_u_w(:,:),m_u_e(:,:),m_v_n(:,:),m_v_s(:,:)
integer :: n_ij_u_w,n_ij_u_e,n_ij_v_n,n_ij_v_s, &
           n_ij_u_we,n_ij_v_sn
integer, allocatable :: ij_u_w(:,:),ij_u_e(:,:), ij_v_n(:,:),ij_v_s(:,:), &
                        ij_u_we(:,:),ij_v_sn(:,:)
integer :: i,iend,j,jend
real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,dx,dy
character(len=100) :: fname,head,fn_bsn,fn_dir,fn_dem
!
real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),D2R=PI/180.d0,R2D=180.d0/PI
integer :: k,i1,j1
real(8) :: dl,deg,tele,dtr,dep
integer, allocatable :: idir(:,:)
real(8), allocatable :: z(:,:),d(:,:),grad(:,:),hsc(:,:),str(:,:)
character(len=100) :: ctmp,i_fmt,f_fmt
!
open(1,file='topographyConfiguration.txt')
read(1,*)iend
read(1,*)jend
read(1,*)
read(1,*)fn_bsn
read(1,*)fn_dem
read(1,*)fn_dir
close(1)
!
allocate(ibasin(iend,jend),z(iend,jend),idir(iend,jend))
allocate(i_2d(iend+1,jend+1),j_2d(iend+1,jend+1))
allocate(iqx_bd_basin(iend+1,jend+1),iqy_bd_basin(iend+1,jend+1))
!
call r_iasc(10,fn_bsn,ibasin,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
fname='output/targetArea_inDF.asc'
write(ctmp,*)iend
write(f_fmt,*)len(trim(adjustl(ctmp)))+1
f_fmt='(*(i'//trim(adjustl(f_fmt))//'))'
!call w_iasc(20,fname,iriver(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0)
call w_iasc_fmt(20,fname,ibasin,f_fmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0)
!
```

```
call r_fasc(10,fn_dem,z,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
fname='output/elevation_inDF.asc'
f_fmt='(*(f10.3)))'
call w_fasc_fmt(20,fname,z,f_fmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-999.d0)
!
call r_iasc(10,fn_dir,idir,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
fname='output/flowDir_inDF.asc'
write(ctmp,*)maxval(idir)
write(i_fmt,*)len(trim(adjustl(ctmp)))+1+1
i_fmt='(*(i'//trim(adjustl(i_fmt))//'))'
call w_iasc_fmt(20,fname,idir,i_fmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0)
!
dx=cellsize
dy=cellsize
!
do i=1,iend+1
  do j=1,jend+1
    i_2d(i,j)=i
    j_2d(i,j)=j
  end do
end do
! ---> set control volume
allocate(m_cv(iend,jend))
m_cv(1:iend,1:jend)=(ibasin(1:iend,1:jend)/=0)
n_ij_cv=count(m_cv)
allocate(ij_cv(n_ij_cv,2))
ij_cv(:,1)=pack(i_2d(1:iend,1:jend),m_cv)
ij_cv(:,2)=pack(j_2d(1:iend,1:jend),m_cv)
! <--- set control volume
!
! ---> set boundary flag
iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)=-1
iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)=-1
call set_flux_boundary_basin(iend,jend,ibasin(:,:), &
      iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1),iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1))
! boundary flags
! 1: flux@slope qx,qy
! 50: north basin qy
! 51: east  basin qx
! 52: south basin qy
! 53: west  basin qx
! <--- set boundary flag

! ---> set flux
allocate(m_u(iend+1,jend+1), m_v(iend+1,jend+1))
!m_u(1:iend+1,1:jend+1)=(iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==1) ! mask
!m_v(1:iend+1,1:jend+1)=(iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==1) ! mask
m_u(1:iend+1,1:jend+1)=(iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==1  .or. &
                        iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==51 .or. &
                        iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==53) ! mask
m_v(1:iend+1,1:jend+1)=(iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==1  .or. &
                        iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==50 .or. &
                        iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==52) ! mask
n_ij_u=count(m_u)
n_ij_v=count(m_v)
```

```
106 allocate(ij_u(n_ij_u,2),ij_v(n_ij_v,2))
107 ij_u(:,1)=pack(i_2d,m_u)
108 ij_u(:,2)=pack(j_2d,m_u)
109 ij_v(:,1)=pack(i_2d,m_v)
110 ij_v(:,2)=pack(j_2d,m_v)
111 !<---- set flux
112 !
113 !----> set boundary
114 allocate(m_u_w(iend+1,jend+1),m_u_e(iend+1,jend+1), &
115          m_v_n(iend+1,jend+1),m_v_s(iend+1,jend+1))
116 m_u_w(1:iend+1,1:jend+1)=(iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==53)! mask
117 m_u_e(1:iend+1,1:jend+1)=(iqx_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==51)! mask
118 m_v_s(1:iend+1,1:jend+1)=(iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==52)! mask
119 m_v_n(1:iend+1,1:jend+1)=(iqy_bd_basin(1:iend+1,1:jend+1)==50)! mask
120 n_ij_u_w=count(m_u_w)
121 n_ij_u_e=count(m_u_e)
122 n_ij_v_s=count(m_v_s)
123 n_ij_v_n=count(m_v_n)
124 allocate(ij_u_w(n_ij_u_w,2), &
125          ij_u_e(n_ij_u_e,2), &
126          ij_v_s(n_ij_v_s,2), &
127          ij_v_n(n_ij_v_n,2))
128 ij_u_w(:,1)=pack(i_2d,m_u_w)
129 ij_u_w(:,2)=pack(j_2d,m_u_w)
130 ij_u_e(:,1)=pack(i_2d,m_u_e)
131 ij_u_e(:,2)=pack(j_2d,m_u_e)
132 ij_v_s(:,1)=pack(i_2d,m_v_s)
133 ij_v_s(:,2)=pack(j_2d,m_v_s)
134 ij_v_n(:,1)=pack(i_2d,m_v_n)
135 ij_v_n(:,2)=pack(j_2d,m_v_n)
136 n_ij_u_we=n_ij_u_w+n_ij_u_e
137 n_ij_v_sn=n_ij_v_s+n_ij_v_n
138 !
139 allocate(ij_u_we(n_ij_u_we,8),ij_v_sn(n_ij_v_sn,8))
140 !
141 do i=1,n_ij_u_w
142   !west  h(i  ,  j),(wl(i+1,  j)-wl(i  ,  j))/dx (0 , 0),( 1, 0),( 0, 0),flux<0
143   ij_u_we(i,1:2)=ij_u_w(i,1:2)
144   ij_u_we(i,3:8)=(/0,0,1,0,0,0/)
145 end do
146 do i=1,n_ij_u_e
147   !east  h(i-1,  j),(wl(i-1,  j)-wl(i-2,  j))/dx (-1, 0),(-1, 0),(-2, 0),flux>0
148   ij_u_we(n_ij_u_w+i,1:2)=ij_u_e(i,1:2)
149   ij_u_we(n_ij_u_w+i,3:8)=(/-1,0,-1,0,-2,0/)
150 end do
151 do i=1,n_ij_v_s
152   !south h(i  ,  j),(wl(i  ,j+1)-wl(i  ,  j))/dy (0 , 0),( 0, 1),( 0, 0),flux<0
153   ij_v_sn(i,1:2)=ij_v_s(i,1:2)
154   ij_v_sn(i,3:8)=(/0,0,0,1,0,0/)
155 end do
156 do i=1,n_ij_v_n
157   !north h(i  ,j-1),(wl(i  ,j-1)-wl(i  ,j-2))/dy (0 ,-1),( 0,-1),( 0,-2),flux>0
158   ij_v_sn(n_ij_v_s+i,1:2)=ij_v_n(i,1:2)
159   ij_v_sn(n_ij_v_s+i,3:8)=(/0,-1,0,-1,0,-2/)
160 end do
```

```
! <---- set boundary
!
! ----> output
fname=trim(adjustl('output/controlVolume_centerPoint_inDF.txt'))
call point2(20,fname,xllcorner+dx*0.5,yllcorner+dy*0.5,dx,n_ij_cv,ij_cv(:,1),ij_cv(:,2))
fname=trim(adjustl('output/fluxPoint_x_inDF.txt'))
call point2(20,fname,xllcorner,yllcorner+dy*0.5,dx,n_ij_u,ij_u(:,1),ij_u(:,2))
fname=trim(adjustl('output/fluxPoint_y_inDF.txt'))
call point2(20,fname,xllcorner+dx*0.5,yllcorner,dx,n_ij_v,ij_v(:,1),ij_v(:,2))
!
fname=trim(adjustl('output/fluxPoint_xBoudary_inDF.txt'))
head='x,y,cvx,cvy,f1x,f1y,f2x,f2y,f3x,f3y,cs'
call point3(20,fname,xllcorner,yllcorner+dy*0.5,cellsize, &
            n_ij_u_w+n_ij_u_e,ij_u_we(:,1),ij_u_we(:,2),ij_u_we(:,1:),8,head)
fname=trim(adjustl('output/fluxPoint_yBoudary_inDF.txt'))
head='x,y,cvx,cvy,f1x,f1y,f2x,f2y,f3x,f3y,cs'
call point3(20,fname,xllcorner+dx*0.5,yllcorner,cellsize, &
            n_ij_v_s+n_ij_v_n,ij_v_sn(:,1),ij_v_sn(:,2),ij_v_sn(:,1:),8,head)
! <---- output
!
open(10,file='output/fluxPoint_wBoudary_inDF.txt')
write(10,*)n_ij_u_w
write(10,'(a)')'x,y,i,j'
do k=1,n_ij_u_w
  i=ij_u_w(k,1)
  j=ij_u_w(k,2)
  write(10,'(2(f15.3,:,","),2(i5,:,","))') &
  xllcorner+cellsize*float(i-1),yllcorner+dy*0.5+cellsize*float(j-1),i,j
end do
close(10)
!
open(10,file='output/fluxPoint_eBoudary_inDF.txt')
write(10,*)n_ij_u_e
write(10,'(a)')'x,y,i,j'
do k=1,n_ij_u_e
  i=ij_u_e(k,1)
  j=ij_u_e(k,2)
  write(10,'(2(f15.3,:,","),2(i5,:,","))') &
  xllcorner+cellsize*float(i-1),yllcorner+dy*0.5+cellsize*float(j-1),i,j
end do
close(10)
!
open(10,file='output/fluxPoint_sBoudary_inDF.txt')
write(10,*)n_ij_v_s
write(10,'(a)')'x,y,i,j'
do k=1,n_ij_v_s
  i=ij_v_s(k,1)
  j=ij_v_s(k,2)
  write(10,'(2(f15.3,:,","),2(i5,:,","))') &
  xllcorner+dx*0.5+cellsize*float(i-1),yllcorner+cellsize*float(j-1),i,j
end do
close(10)
!
open(10,file='output/fluxPoint_nBoudary_inDF.txt')
write(10,*)n_ij_v_n
```

```
216 write(10,'(a)')'x,y,i,j'
217 do k=1,n_ij_v_n
218   i=ij_v_n(k,1)
219   j=ij_v_n(k,2)
220   write(10,'(2(f15.3,:,","),2(i5,:,","))') &
221   xllcorner+dx*0.5+cellsize*float(i-1),yllcorner+cellsize*float(j-1),i,j
222 end do
223 close(10)
224 !
225 do i=1,n_ij_u_e
226   !east  h(i-1,  j),(wl(i-1,  j)-wl(i-2,  j))/dx (-1, 0),(-1, 0),(-2, 0),flux>0
227   ij_u_we(n_ij_u_w+i,1:2)=ij_u_e(i,1:2)
228   ij_u_we(n_ij_u_w+i,3:8)=(/-1,0,-1,0,-2,0/)
229 end do
230 do i=1,n_ij_v_s
231   !south h(i  ,  j),(wl(i  ,j+1)-wl(i  ,  j))/dy (0 , 0),( 0, 1),( 0, 0),flux<0
232   ij_v_sn(i,1:2)=ij_v_s(i,1:2)
233   ij_v_sn(i,3:8)=(/0,0,0,1,0,0/)
234 end do
235 do i=1,n_ij_v_n
236   !north h(i  ,j-1),(wl(i  ,j-1)-wl(i  ,j-2))/dy (0 ,-1),( 0,-1),( 0,-2),flux>0
237   ij_v_sn(n_ij_v_s+i,1:2)=ij_v_n(i,1:2)
238   ij_v_sn(n_ij_v_s+i,3:8)=(/0,-1,0,-1,0,-2/)
239 end do
240 !
241 write(*,'(a)')'---␣nomal␣end␣---'
242 stop
243 end
244 !
245 !
246 !
247 subroutine set_flux_boundary_basin(iend,jend,ibasin,iqx_bd_rs,iqy_bd_rs)
248 implicit none
249 integer :: i,j,iend,jend
250 integer :: ibasin(1:iend,1:jend),iqx_bd_rs(1:iend+1,1:jend+1),iqy_bd_rs(1:iend+1,1:jend+1)
251 !
252 ! boundary flags
253 ! 50: north basin qy
254 ! 51: east  basin qx
255 ! 52: south basin qy
256 ! 53: west  basin qx
257 do i=2,iend
258   do j=2,jend
259     if(ibasin(i-1,j)==0 .and. ibasin(i,j)/=0)then
260       iqx_bd_rs(i,j)=53 !west
261     else if(ibasin(i-1,j)/=0 .and. ibasin(i,j)==0)then
262       iqx_bd_rs(i,j)=51 !east
263     else if(ibasin(i-1,j)/=0 .and. ibasin(i,j)/=0)then
264       iqx_bd_rs(i,j)=1
265     end if
266     if(ibasin(i,j-1)==0 .and. ibasin(i,j)/=0)then
267       iqy_bd_rs(i,j)=52 !south
268     else if(ibasin(i,j-1)/=0 .and. ibasin(i,j)==0)then
269       iqy_bd_rs(i,j)=50 !north
270     else if(ibasin(i,j-1)/=0 .and. ibasin(i,j)/=0)then
```

```
271         iqy_bd_rs(i,j)=1
272       end if
273     end do
274   end do
275   !
276   do i=2,iend
277     j=1
278     if(ibasin(i-1,j)==0 .and. ibasin(i,j)/=0)then
279       iqx_bd_rs(i,j)=53 !west
280     else if(ibasin(i-1,j)/=0 .and. ibasin(i,j)==0)then
281       iqx_bd_rs(i,j)=51 !east
282     end if
283   end do
284   !
285   do j=2,jend
286   i=1
287     if(ibasin(i,j-1)==0 .and. ibasin(i,j)/=0)then
288       iqy_bd_rs(i,j)=52 !south
289     else if(ibasin(i,j-1)/=0 .and. ibasin(i,j)==0)then
290       iqy_bd_rs(i,j)=50 !north
291     end if
292   end do
293   ! ---> qx boundary
294   i=1
295   do j=1,jend
296     if(ibasin(i,j)/=0)then
297       iqx_bd_rs(i,j)=53 !west
298     end if
299   end do
300   !
301   i=iend+1
302   do j=1,jend
303     if(ibasin(i-1,j)/=0)then
304       iqx_bd_rs(i,j)=51 !east
305     end if
306   end do
307   ! <--- qx boundary
308   !
309   ! ---> qy boundary
310   j=1
311   do i=1,iend
312     if(ibasin(i,j)/=0)then
313       iqy_bd_rs(i,j)=52 !south
314     end if
315   end do
316   !
317   j=jend+1
318   do i=1,iend
319     if(ibasin(i,j-1)/=0)then
320       iqy_bd_rs(i,j)=50 !north
321     end if
322   end do
323   ! <--- qy boundary
324   !
325 end subroutine set_flux_boundary_basin
```

```
326 !
327 !
328 !
329 subroutine w_fasc(fon,fname,cfmt,a,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
330 implicit none
331 integer :: j,iend,jend,fon
332 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,nv,a(1:iend,1:jend)
333 character(len=100) :: cfmt,fname
334 !
335 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
336 write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
337 write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
338 write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
339 write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
340 write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize␣',cellsize
341 write(fon,'(a,f10.3)')'NODATA_value',nv
342 do j=jend,1,-1
343   write(fon,trim(cfmt))a(1:iend,j)
344 end do
345 close(fon)
346 !
347 end subroutine w_fasc
348 !
349 !
350 !
351 subroutine w_iasc(fon,fname,ia,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
352 implicit none
353 integer :: j,iend,jend,fon,nv,ia(1:iend,1:jend)
354 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
355 character(len=100) :: fname
356 !
357 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
358 write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
359 write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
360 write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
361 write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
362 write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize␣',cellsize
363 write(fon,'(a,i5)')'NODATA_value',nv
364 do j=jend,1,-1
365   write(fon,'(*(i2))')ia(1:iend,j)
366 end do
367 close(fon)
368 !
369 end subroutine w_iasc
370 !
371 !
372 !
373 subroutine r_iasc(fon,fname,ia,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
374 implicit none
375 integer :: j,iend,jend,fon,ncols,nrows,ia(1:iend,1:jend)
376 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
377 character(len=100) :: ctmp,fname
378 !
379 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
380 read(fon,*)ctmp,ncols
```

```
381 read(fon,*)ctmp,nrows
382 if (ncols /= iend .or. nrows /= jend) then
383   write(*,*)'Check ncols /= iend or nrows /= jend'
384   stop
385 end if
386 read(fon,*)ctmp,xllcorner
387 read(fon,*)ctmp,yllcorner
388 read(fon,*)ctmp,cellsize
389 read(fon,*)
390 do j=jend,1,-1
391   read(fon,*)ia(1:iend,j)
392 end do
393 close(fon)
394 !
395 end subroutine r_iasc
396 !
397 !
398 !
399 subroutine r_fasc(fon,fname,a,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
400 implicit none
401 integer :: j,iend,jend,fon,ncols,nrows
402 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,a(1:iend,1:jend)
403 character(len=100) :: ctmp,fname
404 !
405 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
406 read(fon,*)ctmp,ncols
407 read(fon,*)ctmp,nrows
408 if (ncols /= iend .or. nrows /= jend) then
409   write(*,*)'Check ncols /= iend or nrows /= jend'
410   stop
411 end if
412 read(fon,*)ctmp,xllcorner
413 read(fon,*)ctmp,yllcorner
414 read(fon,*)ctmp,cellsize
415 read(fon,*)
416 do j=jend,1,-1
417   read(fon,*)a(1:iend,j)
418 end do
419 close(fon)
420 !
421 end subroutine r_fasc
422 !
423 !
424 !
425 subroutine point(fon,fname,a,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
426 implicit none
427 integer :: i,j,iend,jend,fon,a(1:iend,1:jend),iflg
428 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,x,y
429 character(len=100) :: fname
430 !
431 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
432 write(fon,'(a)')'x,y,i,j,flag'
433 do i=1,iend
434   do j=1,jend
435     x=xllcorner+cellsize*float(i-1)
```

```
436       y=yllcorner+cellsize*float(j-1)
437       iflg=int(a(i,j))
438       write(fon,'(2(f15.3,a),3(i5,a))')x,',',y,',',i,',',j,',',iflg
439     end do
440   end do
441   close(fon)
442   !
443   end subroutine point
444   !
445   !
446   !
447   subroutine point2(fon,fname,xllcorner,yllcorner,cellsize,n_1d,i_1d,j_1d)
448   implicit none
449   integer :: ni,n_1d,i_1d(1:n_1d),j_1d(1:n_1d),i,j,fon
450   real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
451   character(len=100) :: fname
452   !
453   open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
454   write(fon,*)n_1d
455   write(fon,'(a)')'x,y,i,j,cs'
456   do ni=1,n_1d
457     i=i_1d(ni)
458     j=j_1d(ni)
459     write(fon,'(2(f15.3,a),2(i5,a),f10.3)')&
460     xllcorner+cellsize*float(i-1),',',yllcorner+cellsize*float(j-1),',',i,',',j,',',cellsize
461   end do
462   close(fon)
463   !
464   end subroutine point2
465   !
466   !
467   !
468   subroutine point3(fon,fname,xllcorner,yllcorner,cellsize,n_1d,i_1d,j_1d,flg,n_flg,head)
469   implicit none
470   integer :: ni,n_1d,n_flg,i_1d(n_1d),j_1d(n_1d),flg(n_1d,n_flg),i,j,fon
471   real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
472   character(len=100) :: head,fname,cn_flg
473   !
474   open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
475   write(fon,*)n_1d
476   write(fon,'(a)')head
477   write(cn_flg,*)n_flg
478   do ni=1,n_1d
479     i=i_1d(ni)
480     j=j_1d(ni)
481     write(fon,'(2(f15.3,:,","),'//trim(adjustl(cn_flg))//'(i5,:,","),f10.3)') &
482     xllcorner+cellsize*float(i-1),yllcorner+cellsize*float(j-1),flg(ni,:),cellsize
483   end do
484   close(fon)
485   !
486   end subroutine point3
487   !
488   !
489   !
490   subroutine f_next(iend,jend,idir,i,j,i1,j1)
```

```
491 implicit none
492 integer :: i,j,iend,jend,i1,j1,idir(iend,jend)
493 !
494 ! nw n ne ! 3  2  1
495 !  \ | /  !  \ | /
496 ! w-|- e ! 4 -|- 8
497 !  / | \    !  / | \
498 ! sw s se  ! 5  6  7
499 if(      idir(i,j)==1)then
500   i1=i+1
501   j1=j+1
502 else if(idir(i,j)==2)then
503   i1=i
504   j1=j+1
505 else if(idir(i,j)==3)then
506   i1=i-1
507   j1=j+1
508 else if(idir(i,j)==4)then
509   i1=i-1
510   j1=j
511 else if(idir(i,j)==5)then
512   i1=i-1
513   j1=j-1
514 else if(idir(i,j)==6)then
515   i1=i
516   j1=j-1
517 else if(idir(i,j)==7)then
518   i1=i+1
519   j1=j-1
520 else if(idir(i,j)==8)then
521   i1=i+1
522   j1=j
523 else if(i1<1 .or. i1>iend .or. j1<1 .or. j1>jend)then
524   i1=-1
525   j1=-1
526 else
527   write(*,'(a,4i5)')'river course? @ i,j,dir,iriv=',i,j,idir(i,j)
528   write(*,*)'Don''t come here?'
529   stop
530 end if
531 !
532 end subroutine f_next
533 !
534 !
535 !
536 subroutine cal_stability_hsc(n_1d,ij_1d,iend,jend,d,grad,hsc)
537 implicit none
538 real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),D2R=PI/180.d0,R2D=180.d0/PI
539 real(8), parameter :: g=9.8d0,sig=2650.d0,rho=1000.d0,lamda=0.4d0,pw=0.1d0, &
540                       c=3000.d0, tanp=tan(35.d0*D2R)
541 integer :: ni,n_1d,ij_1d(n_1d,2),i,j,iend,jend
542 real(8) :: d(iend,jend),grad(iend,jend),c2,hsc(iend,jend),hsc0,csta,tant,cost
543 !
544 csta=1.d0-lamda
545 do ni=1,n_1d
```

```
546     i=ij_1d(ni,1)
547     j=ij_1d(ni,2)
548     tant=grad(i,j)*D2R
549     cost=cos(atan(tant))
550     c2=c/(rho*g*d(i,j)*cost*tanp)
551     hsc0=((1.d0-tant/tanp)*(csta*sig/rho+pw)+c2) / &
552           ((1.d0-tant/tanp)*(csta+pw)+tant/tanp)
553     hsc(i,j)=hsc0/d(i,j)
554   end do
555   !
556   end subroutine cal_stability_hsc
557   !
558   !
559   !
560   subroutine w_iasc_fmt(fon,fname,ia,str,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
561   implicit none
562   integer :: j,iend,jend,fon,nv,ia(1:iend,1:jend)
563   real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
564   character(len=100) :: fname,ciend,str
565   !
566   write(ciend,*)iend
567   open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
568   write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
569   write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
570   write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
571   write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
572   write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize ',cellsize
573   write(fon,'(a,i5)')'NODATA_value',nv
574   do j=jend,1,-1
575     write(fon,str)ia(1:iend,j)
576   end do
577   close(fon)
578   !
579   end subroutine w_iasc_fmt
580   !
581   !
582   !
583   subroutine w_fasc_fmt(fon,fname,a,str,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
584   implicit none
585   integer :: j,iend,jend,fon
586   real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,nv,a(1:iend,1:jend)
587   character(len=100) :: fname,ciend,str
588   !
589   write(ciend,*)iend
590   open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
591   write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
592   write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
593   write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
594   write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
595   write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize ',cellsize
596   write(fon,'(a,f10.3)')'NODATA_value',nv
597   do j=jend,1,-1
598     write(fon,str)a(1:iend,j)
599   end do
600   close(fon)
```

```
601  !
602  end subroutine w_fasc_fmt
```

```
1  implicit none
2  real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),deg2rad=PI/180.d0,rad2deg=180.d0/PI
3  !
4  integer :: n_ij_cv,n_ij_u,n_ij_v
5  integer, allocatable :: ij_cv(:,:),ij_u(:,:),ij_v(:,:),ibasin(:,:)
6  !
7  integer,allocatable :: ij_1d2d(:,:,:),i_to(:),i_from(:)
8  real(8),allocatable :: xy_1d2d(:,:)
9  real(8),allocatable :: f2d(:,:)
10 !
11 integer :: iend_1d,iofs,jofs,itr
12 integer :: i,j,iend,jend,itmp,k
13 real(8) :: x,y,xllcorner,yllcorner,cellsize,x1,x2,y1,y2
14 real(8) :: dist,dlx,dly,tmp,cs_c
15 character(len=100) :: fn,ctmp,ffmt
16 !
17 fn='output/targetArea_inDF.asc'
18 open(10,file=fn)
19 read(10,*)ctmp,iend
20 read(10,*)ctmp,jend
21 close(10)
22 write(*,*)iend,jend
23 allocate(ibasin(iend,jend))
24 call r_iasc(10,fn,ibasin,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
25 !
26 open(1,file='output/controlVolume_centerPoint_inDF.txt')
27 read(1,*)n_ij_cv
28 allocate(ij_cv(n_ij_cv,2))
29 read(1,*)
30 do k=1,n_ij_cv
31   read(1,*)x,y,ij_cv(k,1:2)
32 end do
33 close(1)
34 !
35 open(1,file='output/fluxPoint_x_inDF.txt')
36 read(1,*)n_ij_u
37 allocate(ij_u(n_ij_u,2))
38 read(1,*)
39 do k=1,n_ij_u
40   read(1,*)x,y,ij_u(k,1:2)
41 end do
42 close(1)
43 !
44 open(1,file='output/fluxPoint_y_inDF.txt')
45 read(1,*)n_ij_v
46 allocate(ij_v(n_ij_v,2))
47 read(1,*)
48 do k=1,n_ij_v
49   read(1,*)x,y,ij_v(k,1:2)
50 end do
51 close(1)
52 !
53 open(10,file='input/streamConfiguration_inRR.txt')
```

```
54 read(10,*)iend_1d
55 allocate(ij_1d2d(iend_1d,2,1),xy_1d2d(iend_1d,2),i_to(iend_1d),i_from(iend_1d))
56 read(10,*)
57 do i=1,iend_1d
58   read(10,*)itmp,i_to(i),i_from(i),itmp,itmp,tmp,tmp,tmp,dist,tmp,tmp,itmp,&
59              xy_1d2d(i,1),xy_1d2d(i,2),ij_1d2d(i,1,1),ij_1d2d(i,2,1)
60   if(i == 1)then
61     cs_c=dist
62   else if(dist < cs_c)then
63     cs_c=dist
64   end if
65   !write(*,*)xy_1d2d(i,1),xy_1d2d(i,2),ij_1d2d(i,1),ij_1d2d(i,2),i_to(i)
66 end do
67 deallocate(ij_1d2d)
68 close(10)
69 !
70 itr=int(cs_c/cellsize)
71 allocate(ij_1d2d(iend_1d,2,itr))
72 ij_1d2d(:,:,:)=0
73 write(*,*)'# of div. =',itr
74 open(20,file='output/streamFloodplainConnection.txt')
75 write(20,'(i5,a)')itr,',# of div'
76 write(20,'(a)')'x,y,i2d,j2d,i1d,itr,dist'
77 do i=1,iend_1d
78   !dist=(cellsize*dble(iend)*cellsize*dble(jend))**0.5d0
79   do k=1,n_ij_cv
80     x=xllcorner+cellsize*(dble(ij_cv(k,1)-1)+0.5d0)
81     y=yllcorner+cellsize*(dble(ij_cv(k,2)-1)+0.5d0)
82     dlx=xy_1d2d(i,1)-x
83     dly=xy_1d2d(i,2)-y
84     if(k==1)dist=(dlx*dlx+dly*dly)**0.5d0
85     if((dlx*dlx+dly*dly)**0.5d0 <= dist)then
86       ij_1d2d(i,1,1)=ij_cv(k,1)
87       ij_1d2d(i,2,1)=ij_cv(k,2)
88       dist=(dlx*dlx+dly*dly)**0.5d0
89     end if
90   end do
91   if(ij_1d2d(i,1,1)==0 .or. ij_1d2d(i,2,1)==0)then
92     write(*,*)'vol 1d -> 2d point missing @1D(i)',i,'<<<STOP>>>'
93     stop
94   end if
95   !
96   x1=xy_1d2d(i,1)!x1
97   y1=xy_1d2d(i,2)!y1
98   x2=xy_1d2d(i_to(i),1)!x2
99   y2=xy_1d2d(i_to(i),2)!y2
100  !
101  if(i_to(i)==0)then
102    x1=xy_1d2d(i_from(i),1)!x1
103    y1=xy_1d2d(i_from(i),2)!y1
104    x2=xy_1d2d(i,1)!x2
105    y2=xy_1d2d(i,2)!y2
106  end if
107  !
108  if(x2==x1)then
```

```
109       iofs=0
110     else
111       iofs=nint(sign(1.d0,x2-x1))
112     end if
113     if(y2==y1)then
114       jofs=0
115     else
116       jofs=nint(sign(1.d0,y2-y1))
117     end if
118     !
119     do j=1,itr
120       if(j==1)then
121       else
122         ij_1d2d(i,1,j)=ij_1d2d(i,1,j-1)+iofs
123         ij_1d2d(i,2,j)=ij_1d2d(i,2,j-1)+jofs
124       end if
125       if(dist<cellsize/2.d0**0.5d0)then
126         if(ibasin(ij_1d2d(i,1,j),ij_1d2d(i,2,j))==0)then
127           write(*,*)'outof basin? @2D(i,j)',ij_1d2d(i,1,j),ij_1d2d(i,2,j)!,'<<<STOP>>>'
128           !stop
129         else
130           write(20,'(2(f15.3,a),2(i5,a),(i10,a),(i5,a),f10.3)'&
131             xllcorner+cellsize*(dble(ij_1d2d(i,1,j)-1)+0.5d0),',', &
132             yllcorner+cellsize*(dble(ij_1d2d(i,2,j)-1)+0.5d0),',', &
133             ij_1d2d(i,1,j),',',ij_1d2d(i,2,j),',',i,',',j,',',dist
134         end if
135       else
136         !write(*,*)'dist=',dist,'<<<STOP>>>'
137         !stop
138       end if
139     end do
140   end do
141   close(20)
142   !
143   allocate(f2d(iend,jend))
144   f2d=0.d0
145   fn='output/d.asc'
146   write(ctmp,*)maxval(f2d)
147   write(ffmt,*)len(trim(adjustl(ctmp)))+1
148   ffmt='(*(f'//trim(adjustl(ffmt))//'))'
149   ffmt='(*(f10.3))'
150   write(*,*)trim(adjustl(fn)),' ',ffmt
151   call w_fasc_fmt(20,fn,f2d,ffmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0.d0)
152   !
153   f2d=0.d0
154   fn='output/hs_ini.asc'
155   write(ctmp,*)maxval(f2d)
156   write(ffmt,*)len(trim(adjustl(ctmp)))+1
157   ffmt='(*(f'//trim(adjustl(ffmt))//'))'
158   ffmt='(*(f10.3))'
159   write(*,*)trim(adjustl(fn)),' ',ffmt
160   call w_fasc_fmt(20,fn,f2d,ffmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,0.d0)
161   !
162   write(*,'(a)')'--- nomal end ---'
163   stop
```

```
164 end
165 !
166 !
167 !
168 subroutine r_iasc(fon,fname,ia,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
169 implicit none
170 integer :: j,iend,jend,fon,ncols,nrows,ia(1:iend,1:jend)
171 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
172 character(len=100) :: ctmp,fname
173 !
174 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
175 read(fon,*)ctmp,ncols
176 read(fon,*)ctmp,nrows
177 if (ncols /= iend .or. nrows /= jend) then
178   write(*,*)'Check␣ncols␣/=␣iend␣or␣nrows␣/=␣jend'
179   stop
180 end if
181 read(fon,*)ctmp,xllcorner
182 read(fon,*)ctmp,yllcorner
183 read(fon,*)ctmp,cellsize
184 read(fon,*)
185 do j=jend,1,-1
186   read(fon,*)ia(1:iend,j)
187 end do
188 close(fon)
189 !
190 end subroutine r_iasc
191 !
192 !
193 !
194 subroutine w_fasc_fmt(fon,fname,a,str,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
195 implicit none
196 integer :: j,iend,jend,fon
197 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,nv,a(1:iend,1:jend)
198 character(len=100) :: fname,ciend,str
199 !
200 write(ciend,*)iend
201 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
202 write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
203 write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
204 write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
205 write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
206 write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize␣',cellsize
207 write(fon,'(a,f10.3)')'NODATA_value',nv
208 do j=jend,1,-1
209   write(fon,str)a(1:iend,j)
210 end do
211 close(fon)
212 !
213 end subroutine w_fasc_fmt
```

3 03_MK_RAIN

01_mk_rain.py

```
import zipfile
import io
import numpy as np
import sys
import datetime
import os
import glob
import matplotlib.pyplot as plt
#
def aoi(rasterfn):
    #https://pcjericks.github.io/py-gdalogr-cookbook/raster_layers.html#get-raster-band
    #import gdal
    from osgeo import gdal
    raster = gdal.Open(rasterfn)
    geotransform = raster.GetGeoTransform()
    originX = geotransform[0]
    originY = geotransform[3]
    pixelWidth = geotransform[1]
    pixelHeight = geotransform[5]
    band = raster.GetRasterBand(1)
    array = band.ReadAsArray()
    cols = array.shape[1]
    rows = array.shape[0]
    xmin,xmax=originX,originX+pixelWidth*cols
    ymin,ymax=originY+pixelHeight*rows,originY
    return(xmin,xmax,ymin,ymax)
#
def eva(doy):
    import math
    e0,m,ofs,lam=2.6,1.7,205,365
    e=math.cos((doy-ofs)/lam*math.pi*2.)*m+e0
    e=e/24.
#
    e=0.
#
    return e
#
def trs(lon,lat,src_EPSG,dst_EPSG):
    from osgeo import ogr, osr, gdal
    src_srs, dst_srs = osr.SpatialReference(), osr.SpatialReference()
    src_srs.ImportFromEPSG(src_EPSG)
    dst_srs.ImportFromEPSG(dst_EPSG)
    trans = osr.CoordinateTransformation(src_srs, dst_srs)
    return trans.TransformPoint(lat,lon)[::-1][1:3] # lat,lon -> lon,lat
#
ROI_xmin,ROI_xmax,ROI_ymin,ROI_ymax=aoi('targetArea_inRR.asc')
print('ROI(xy)',ROI_xmin,ROI_xmax,ROI_ymin,ROI_ymax)
pnts = [(ROI_xmin, ROI_ymin), (ROI_xmax, ROI_ymax)]
pnts=[trs(*pnt,6670,6668) for pnt in pnts]
```

```
[(ROI_xmin, ROI_ymin), (ROI_xmax, ROI_ymax)]=pnts
print('ROI(ll)',ROI_xmin,ROI_xmax,ROI_ymin,ROI_ymax)
files=glob.glob(os.path.join('XRAIN_from_DIAS','201707040000-201707080000-10-FUK-130.7031-33.5000-130.8500-33.3688.zip'))
files.sort()
for fn in files:
    fn_ps='_'.join(os.path.basename(fn).split('-')[0:2])
    myzip=zipfile.ZipFile(fn, mode='r')
    fs=','
    ls='\n'
    dt_min=float(os.path.basename(fn).split('-')[2])
    print('dt=',dt_min)
    xmin,ymin=[float(fn[:-4].split('-')[i]) for i in [4,7]]
    xmax,ymax=[float(fn[:-4].split('-')[i]) for i in [6,5]]
    fname=myzip.namelist()[0]
    myfile=myzip.open(fname)
    zipcont = io.StringIO(myfile.read().decode())
    output=np.loadtxt(zipcont,dtype=np.float,delimiter=fs)
    jend,iend=np.shape(output)
    dx,dy=(xmax-xmin)/float(iend-1),(ymax-ymin)/float(jend-1)
    xmin=xmin+0.5*dx
    ymin=ymin+0.5*dy
    print('AOI(ll)',xmin,xmin+float(iend)*dx,ymin,ymin+dy*float(jend))
    #print(dx,dy)
    x=np.linspace(xmin,xmin+(iend-1)*dx,iend)
    y=np.linspace(ymin,ymin+(jend-1)*dy,jend)
    X,Y=np.meshgrid(x,y)
    ij=np.where((ROI_xmin-dx < X) & (X < ROI_xmax+dx) & \
                (ROI_ymin-dy < Y) & (Y < ROI_ymax+dy))
    data=(np.vstack((X[ij],Y[ij]))).T
    xy=np.array([trs(*pnt,6668,6670) for pnt in data])
    fo=open('grid.csv','w')
    fo.write('lon,lat,x,y%s'%ls)
    for (lat,lon),(x0,y0) in zip(data,xy):
        #print(lat,lon,x0,y0)
        fo.write('%f,%f,%f,%f%s'%(lat,lon,x0,y0,ls))
    fo.close()
    fo=open('rain_time_%s.txt'%fn_ps,'w')
    fo.write('%d%s'%(len(xy.T[0]),ls))
    fo.write('x,'+fs.join(['%f'%f for f in xy.T[0]])+ls)
    fo.write('y,'+fs.join(['%f'%f for f in xy.T[1]])+ls)
    with zipfile.ZipFile(fn) as myzip:
        for i0,fn in enumerate(myzip.namelist()[:]):
            year,month,day,hour,minu=[int(fn[i1:i2]) for i1,i2 in
    [[0,4],[4,6],[6,8],[9,11],[11,13]]]
            date=datetime.datetime(year,month,day,hour,minu)
            if i0==0: date0=date
            #print(fn,date)
            with myzip.open(fn) as myfile:
                zipcont = io.StringIO(myfile.read().decode())
                output = np.loadtxt(zipcont,dtype=np.float,delimiter=fs)
                output=output[::-1]
                if date == datetime.datetime(2017,7,5,15,10):
                    plt.pcolor(X,Y,np.where(output<0.,np.nan,output),cmap=plt
    .get_cmap('jet'))
```

```
102                         plt.colorbar(label='Rain (mm)')
103                         plt.contour(X,Y,np.where(output<0.,np.nan,output),levels
    =[50,100],colors=['white'])
104                         plt.axes().set_aspect(dx/dy)
105                         #plt.show()
106                         plt.savefig('{0:%Y%m%d%H%M.png}'.format(date),dpi=300)
107                     R2=output[ij]
108                     if min(R2)<0.:
109                         print('{} ---> '.format(min(R2)),end='')
110                         R2=np.where(R2<0.,0.,R2)
111                         print('{}   '.format(min(R2)),'{0:%Y/%m/%d %H:%M}'.format
    (date))
112                     R2=R2*dt_min/60. # mm/h -> mm/dt
113                     doy=(date-datetime.datetime(date.year,1,1)).days+hour/24.
114                     e=eva(doy)
115                     nl=fs.join(['%f'%f for f in R2])
116                     nl="{0:'%Y/%m/%d %H:%M',}".format(date)+nl+',%f'%e
117                     #print (nl)
118                     fo.write(nl+ls)
119                 if (datetime.timedelta(minutes=dt_min) < date-date0):
120                     print('Leap!',date0,'--->',date)
121                 date0=date
122         fo.close()
```

4 04_EXE_SIMU

4.1 01_RR_DR

RR_ver_1.0.f90

```
! Program: RR_ver_1.0.f90
! Copyright (2021) by Public Works Research Institute (P.W.R.I.)
! License: CC-BY-SA
!-------------------------------------------------------------------------------
!     1    2    3       end  end+1
! FX  q    q    q        q    q
!     ->   ->   ->   ->   ->   ->
! CV  | z  | z  | z |...| z  |
!     | 1  | 2  | 3 |...|end |
!-------------------------------------------------------------------------------
implicit none
real(8), parameter :: PI=acos(-1.0d0),deg2rad=PI/180.0d0,rad2deg=180.0d0/PI, &
                      g=9.8d0,dtlim=0.0001d0,cfl=0.01d0
real(8), allocatable :: z(:,:),n(:,:),zs(:,:),d(:,:),lamda(:,:),pwc(:,:), &
                        kk(:,:),finf1(:,:),finf2(:,:),d_vash(:,:),facc(:,:)
real(8), allocatable :: h(:,:),ho(:,:),hs(:,:),hso(:,:),pw(:,:),pwo(:,:), &
                        eva1(:,:),eva2(:,:),ha(:,:),htmp(:,:),dqd(:,:),dqsd(:,:), &
                        hmax(:,:),hsmax(:,:),grdmax(:,:),grdave(:,:)
real(8), allocatable :: qx(:,:),qy(:,:),qxo(:,:),qyo(:,:), &
                        qsx(:,:),qsy(:,:),qsxo(:,:),qsyo(:,:), &
                        qx_acc(:,:),qy_acc(:,:),qsx_acc(:,:),qsy_acc(:,:), &
                        umax(:,:),vmax(:,:),h_umax(:,:),h_vmax(:,:)
integer, allocatable :: i_2d(:,:),j_2d(:,:),iriver(:,:),ibasin(:,:), &
                        iacc(:,:),idrain(:,:)
logical, allocatable :: m_cv(:,:)
integer :: n_ij_cv,n_ij_u,n_ij_v,n_ij_u_we,n_ij_v_sn
integer, allocatable :: ij_cv(:,:),ij_u(:,:),ij_v(:,:),ij_u_we(:,:),ij_v_sn(:,:)
real(8), allocatable :: rseries(:,:,:),r(:,:),rmap(:,:,:),x_rpnt(:),y_rpnt(:), &
                        r_rpnt(:),d_idw(:),eva_tmp(:)
integer :: n_rpnt,minl(1)
character(len=100) :: rname
real(8) :: dx,dy,dt,rdt,output_f_time,output_d_time,xllcorner,yllcorner,cellsize, &
           vad0,d_uni,rn_uni,fs1,fs2,lam_uni,k_uni,pwc_uni,hs0,pw0,hthr
real(8) :: time,time0,time1,time2,end_time,dt0,dtdiv,dtmin,dtmin_h2d,flxd, &
           umax_disp,vmax_disp,h_umax_disp,h_vmax_disp, &
           r_total,qs_total,q_total,eva1_total,eva2_total,out_total,out_total_ini,
    finf2_total, &
           x,y,dist,deg,basin_area,rain_tmp,tmp1
integer :: iend,jend,itsp_max,itsp_f_out,itsp_d_out,itsp_rain,rnum
integer :: i,j,k,itsp,itr,itr2,maxloc_2d(2),i_umax,j_umax,i_vmax,j_vmax
character(len=100) :: fname,cfmt,ctmp,fotime,out_dir
character(len=18),allocatable :: datetime(:)
! ---> 1d
real(8), allocatable :: zini_1d(:),z_1d(:),zs_1d(:),b_1d(:),d_1d(:),n_1d(:), &
                        h_1d(:),ho_1d(:),q_in(:),q_out(:),dx_scal(:)
real(8), allocatable :: u_1d(:),uo_1d(:),q_1d(:),qo_1d(:),grad_z_1d(:),grad_w_1d(:),dx_vect
    (:)
integer :: ni_inlet,ni_outlet
```

```
47 integer, allocatable :: i_inlet(:),i_outlet(:)
48 !real(8), allocatable :: qin0(:)
49 integer :: ni_scal,ni_vect
50 integer, allocatable :: i_node(:),i_to(:),i_from(:,:),i_scal(:),i_vect(:)
51 integer, allocatable :: ij_2d1d(:,:),iacc_1d(:)
52 logical, allocatable :: mask_1d(:)
53 real(8) :: rn_river,wid_m,wid_p,wid_min,dep_m,dep_p,dep_min,hlim_1d
54 real(8) :: umax_1d,dtmin_h1d,h1,h2,ba,q_1d_total
55 real(8), allocatable :: x_2d_1d(:),y_2d_1d(:),vsl_out(:)
56 integer :: iend_1d,iflg_1d
57 !<--- 1d
58 !
59 open(1,file='RR_input.txt')
60 read(1,*)
61 read(1,*)iend
62 read(1,*)jend
63 read(1,*)dx
64 read(1,*)dy
65 !
66 allocate(z(iend,jend),n(iend,jend),zs(iend,jend),d(iend,jend), &
67          lamda(iend,jend),pwc(iend,jend),kk(iend,jend),finf1(iend,jend), &
68          finf2(iend,jend),d_vash(iend,jend),facc(iend,jend))
69 allocate(h(iend,jend),ho(iend,jend),hs(iend,jend),hso(iend,jend), &
70          pw(iend,jend),pwo(iend,jend),eva1(iend,jend),eva2(iend,jend), &
71          ha(iend,jend),htmp(iend,jend),dqd(iend,jend),dqsd(iend,jend), &
72          hmax(iend,jend),hsmax(iend,jend),grdmax(iend,jend),grdave(iend,jend))
73 allocate(qx(iend+1,jend+1),qy(iend+1,jend+1),qxo(iend+1,jend+1),qyo(iend+1,jend+1), &
74          qsx(iend+1,jend+1),qsy(iend+1,jend+1),qsxo(iend+1,jend+1),qsyo(iend+1,jend+1), &
75          qx_acc(iend+1,jend+1),qy_acc(iend+1,jend+1),qsx_acc(iend+1,jend+1),qsy_acc(iend+1,
    jend+1), &
76          umax(iend+1,jend+1),vmax(iend+1,jend+1),h_umax(iend+1,jend+1),h_vmax(iend+1,jend
    +1))
77 allocate(i_2d(iend+1,jend+1),j_2d(iend+1,jend+1),iriver(iend,jend), &
78          ibasin(iend,jend),iacc(iend,jend),idrain(iend,jend),m_cv(iend,jend))
79 !
80 read(1,*)
81 read(1,*)dt
82 read(1,*)output_f_time
83 read(1,*)output_d_time
84 read(1,*)
85 read(1,*)rname
86 read(1,*)rnum
87 read(1,*)rdt
88 !
89 allocate(rseries(iend,jend,0:rnum))
90 allocate(eva_tmp(0:rnum),datetime(0:rnum))
91 !
92 read(1,*)
93 read(1,*)fname
94 write(*,*)'elevation',trim(adjustl(fname))
95 call r_fasc(10,fname,z,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
96 !
97 read(1,*)fname
98 write(*,*)'targetArea',trim(adjustl(fname))
99 call r_iasc(10,fname,ibasin,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
```

```
100 basin_area=float(count(ibasin(:,:)/=0))*dx*dx
101 write(*,'(a,f15.3)')'␣area␣(m2)',basin_area
102 !
103 read(1,*)fname
104 write(*,*)'flowAcc',trim(adjustl(fname))
105 call r_fasc(10,fname,facc,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
106
107 read(1,*)fname
108 write(*,*)'flowDir',trim(adjustl(fname))
109 call r_iasc(10,fname,idrain,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
110 !
111 read(1,*)fname
112 write(*,*)'volcanicAsh',trim(adjustl(fname))
113 call r_fasc(10,fname,d_vash,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
114 read(1,*)vad0 !depth of ash(m) when fs=0
115 !
116 read(1,*)
117 read(1,*)i,d_uni,fname !soil depth(m)
118 if(i/=0)then
119   write(*,*)'d␣␣␣␣␣␣␣␣␣<---␣',trim(adjustl(fname))
120   call r_fasc(10,fname,d,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
121 else
122   d(:,:)=d_uni
123 end if
124 fname=trim(adjustl('output_misc/depth.asc'))
125 cfmt='(*(f10.3))'
126 call w_fasc(20,fname,cfmt,d,iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,-9999.0d0)
127 !
128 read(1,*)i,rn_uni,fname !Maning's roughness
129 if(i/=0)then
130   write(*,*)'n␣␣␣␣␣␣␣␣␣<---␣',trim(adjustl(fname))
131   call r_fasc(10,fname,n,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
132 else
133   n(:,:)=rn_uni
134 end if
135 fname=trim(adjustl('output_misc/roughness.asc'))
136 cfmt='(*(f10.3))'
137 call w_fasc(20,fname,cfmt,n,iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,-9999.0d0)
138 !
139 read(1,*)i,fs1,fname !surface infiltration(mm/h)
140 if(i/=0)then
141   write(*,*)'fs1(cm/s)␣<---␣',trim(adjustl(fname))
142   call r_fasc(10,fname,finf1,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
143   finf1(:,:)=finf1(:,:)/3600.0d0/1000.0d0 !change unit (mm/h) -> (m/s)
144 else
145   finf1(:,:)=fs1/3600.0d0/1000.0d0 !change unit (mm/h) -> (m/s)
146 end if
147 !
148 read(1,*)i,fs2,fname ! infiltration to lower layer(mm/h)
149 if(i/=0)then
150   write(*,*)'fs2(cm/s)␣<---␣',trim(adjustl(fname))
151   call r_fasc(10,fname,finf2,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
152   finf2(:,:)=finf2(:,:)/3600.0d0/1000.0d0 !change unit (mm/h) -> (m/s)
153 else
154   finf2(:,:)=fs2/3600.0d0/1000.0d0 !change unit (mm/h) -> (m/s)
```

```
155 end if
156 !
157 finf1(:,:)=(-d_vash(:,:)/vad0+1.d0)*finf1(:,:)
158 where(finf1(:,:)<0.d0)finf1(:,:)=0.d0
159 where(ibasin(:,:)/=0)finf2(:,:)=0.d0 !fs2
160 fname=trim(adjustl('output_misc/fs1_mm_h.asc'))
161 cfmt='(*(f10.3))'
162 call w_fasc(20,fname,cfmt,finf1*3.6d+6,iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,-9999.0d0)
163 fname=trim(adjustl('output_misc/fs2_mm_h.asc'))
164 cfmt='(*(f10.3))'
165 call w_fasc(20,fname,cfmt,finf2*3.6d+6,iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,-9999.0d0)
166 !
167 read(1,*)i,lam_uni,fname !porosity
168 if(i/=0)then
169   write(*,*)'lamda     <---',trim(adjustl(fname))
170   call r_fasc(10,fname,lamda,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
171 else
172   lamda(:,:)=lam_uni
173 end if
174 fname=trim(adjustl('output_misc/lamda.asc'))
175 cfmt='(*(f10.3))'
176 call w_fasc(20,fname,cfmt,lamda,iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,-9999.0d0)
177 !
178 read(1,*)i,k_uni,fname !saturated hydraulic conductivity(cm/s)
179 if(i/=0)then
180   write(*,*)'k(cm/s)    <---',trim(adjustl(fname))
181   call r_fasc(10,fname,kk,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
182 else
183   kk(:,:)=k_uni
184 end if
185 kk=kk/100.d0
186 fname=trim(adjustl('output_misc/k_cm_s.asc'))
187 cfmt='(*(e10.3))'
188 call w_fasc(20,fname,cfmt,kk*1.d+2,iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,-9999.0d0)
189 !
190 read(1,*)i,pwc_uni,fname !clitic vwc for subsurface flow initiation
191 if(i/=0)then
192   write(*,*)'pwc       <---',trim(adjustl(fname))
193   call r_fasc(10,fname,pwc,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
194 else
195   pwc(:,:)=pwc_uni
196 end if
197 fname=trim(adjustl('output_misc/pwc.asc'))
198 cfmt='(*(f10.3))'
199 call w_fasc(20,fname,cfmt,pwc,iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,-9999.0d0)
200 !
201 read(1,*)i,pw0,fname !initial soil vwc
202 if(i/=0)then
203   write(*,*)'pw_ini     <---',trim(adjustl(fname))
204   call r_fasc(10,fname,pw,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
205 else
206   pw(:,:)=pw0
207 end if
208 where(ibasin(:,:)==0)pw(:,:)=0.d0
209 fname=trim(adjustl('output_misc/pw_ini.asc'))
```

```
210 cfmt='(*(f10.3))'
211 call w_fasc(20,fname,cfmt,pw,iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,-9999.0d0)
212 !
213 read(1,*)i,hs0,fname !initial hs(m)
214 if(i/=0)then
215   write(*,*)'hs_ini     <---',trim(adjustl(fname))
216   call r_fasc(10,fname,hs,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
217   else
218     hs=hs0
219 end if
220 where(ibasin(:,:)==0)hs(:,:)=0.d0
221 fname=trim(adjustl('output_misc/hs_ini.asc'))
222 cfmt='(*(f10.3))'
223 call w_fasc(20,fname,cfmt,hs,iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,-9999.0d0)
224 !
225 zs(:,:)=z(:,:)-d(:,:)
226 call cal_grad(iend,jend,dx,zs,grdave)
227 fname=trim(adjustl('output_misc/gradave.asc'))
228 cfmt='(*(f10.3))'
229 call w_fasc(20,fname,cfmt,grdave*rad2deg,iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,-9999.0d0)
230 !
231 read(1,*)
232 read(1,*)hthr !threshold of water depth to move(m)
233 !
234 ! ---> stream
235 read(1,*)
236 read(1,*)iflg_1d
237 read(1,*)rn_river
238 read(1,*)wid_m
239 read(1,*)wid_p
240 read(1,*)wid_min
241 read(1,*)dep_m
242 read(1,*)dep_p
243 read(1,*)dep_min
244 ! <--- stream
245 close(1)
246 write(*,*)'ctl read end'
247 !
248 end_time=dble(rnum-1)*rdt
249 itsp_max=nint(end_time/dt)
250 itsp_f_out=nint(output_f_time/dt)
251 itsp_d_out=nint(output_d_time/dt)
252 itsp_rain=nint(rdt/dt)
253 !
254 out_dir='output_RR/'
255 write(*,*)trim(adjustl(out_dir))
256 write(*,*)''
257 ! ---> control points etc.
258 do i=1,iend+1
259   do j=1,jend+1
260     i_2d(i,j)=i
261     j_2d(i,j)=j
262   end do
263 end do
264 !
```

```
265 m_cv(:,:)=(ibasin(:,:)/=0)
266 !
267 open(1,file='input/controlVolume_CenterPoint_inRR.txt')
268 read(1,*)n_ij_cv
269 allocate(ij_cv(n_ij_cv,2))
270 read(1,*)
271 do k=1,n_ij_cv
272   read(1,*)x,y,ij_cv(k,1:2)
273 end do
274 close(1)
275 open(1,file='input/fluxPoint_x_inRR.txt')
276 read(1,*)n_ij_u
277 allocate(ij_u(n_ij_u,2))
278 read(1,*)
279 do k=1,n_ij_u
280   read(1,*)x,y,ij_u(k,1:2)
281 end do
282 close(1)
283 open(1,file='input/fluxPoint_y_inRR.txt')
284 read(1,*)n_ij_v
285 allocate(ij_v(n_ij_v,2))
286 read(1,*)
287 do k=1,n_ij_v
288   read(1,*)x,y,ij_v(k,1:2)
289 end do
290 close(1)
291 open(1,file='input/fluxPoint_xBoudary_inRR.txt')
292 read(1,*)n_ij_u_we
293 allocate(ij_u_we(n_ij_u_we,8))
294 read(1,*)
295 do k=1,n_ij_u_we
296   read(1,*)x,y,ij_u_we(k,:)
297 end do
298 close(1)
299 open(1,file='input/fluxPoint_yBoudary_inRR.txt')
300 read(1,*)n_ij_v_sn
301 allocate(ij_v_sn(n_ij_v_sn,8))
302 read(1,*)
303 do k=1,n_ij_v_sn
304   read(1,*)x,y,ij_v_sn(k,:)
305 end do
306 close(1)
307 ! <---- control points etc.
308 !
309 ! ----> rain and eva
310 open(11,file=rname)
311 read(11,*)n_rpnt
312 allocate(r(iend,jend),rmap(iend,jend,0:n_rpnt),x_rpnt(n_rpnt),y_rpnt(n_rpnt), &
313          r_rpnt(n_rpnt),d_idw(n_rpnt))
314 read(11,*)ctmp,x_rpnt(1:n_rpnt)
315 read(11,*)ctmp,y_rpnt(1:n_rpnt)
316 rseries(:,:,0:rnum)=0.0d0 ! from 0
317 rmap(:,:,:)=0
318 do i=1,iend
319   do j=1,jend
```

```
    if(ibasin(i,j)/=0)then
      x=xllcorner+dx*(0.5+i-1)
      y=yllcorner+dx*(0.5+j-1)
      d_idw(1:n_rpnt)=((x-x_rpnt(1:n_rpnt))**2.d0+(y-y_rpnt(1:n_rpnt))**2.d0)**0.5d0
      minl=minloc(d_idw)
      !write(*,*)i,j,minl
      rmap(i,j,1:n_rpnt)=0.d0
      rmap(i,j,minl(1))=1.d0  !d_idw(1:n_rpnt)/sum(d_idw(:))
      rmap(i,j,0)=minl(1)
    end if
  end do
end do
fname='output_misc/rain_map.asc'
cfmt='(*(f10.3))'
call w_fasc(20,fname,cfmt,rmap(:,:,0),iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,-9999.d0)
!
do k=1,n_rpnt
  write(ctmp,'(i4.4)')k
  fname='output_misc/rain_map'//trim(ctmp)//'.asc'
  cfmt='(*(f10.3))'
  !call w_fasc(20,fname,cfmt,rmap(:,:,k),iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,-9999.d0)
end do
!
open(20,file='output_misc/basin_rain.txt')
write(20,'(a)')'datetime,rain(mm),maxval'
!
rseries(:,:,:)=0.0d0
do k=0,rnum-1
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
  read(11,*)datetime(k),r_rpnt(1:n_rpnt),eva_tmp(k)
  if(k==0 .or. k==rnum)write(*,'(x,a,a,i5)')datetime(k),' rain # ',k
  eva_tmp(k)=max(eva_tmp(k),0.d0)/rdt/1000.0d0
    do i=1,iend
      do j=1,jend
        if(ibasin(i,j)/=0)then
          !rain_tmp=sum(r_rpnt(1:n_rpnt)*rmap(i,j,1:n_rpnt))
          rain_tmp=r_rpnt(int(rmap(i,j,0)))
          !write(*,'(2i4,10f7.3)')i,j,rain_tmp,r_rpnt(:),rmap(i,j,:)
          rseries(i,j,k)=rain_tmp/rdt/1000.0d0
        end if
      end do
    end do
    !write(*,*)datetime(k),maxval(rseries(:,:,k),mask=ibasin/=0)*rdt*1000.d0
    write(20,'(a,2(a,f10.3))')trim(adjustl(datetime(k))),',', &
    sum(rseries(:,:,k),mask=ibasin/=0)*dx*dx/basin_area*rdt*1000.0d0,',',maxval(rseries(:,:,
    k),mask=ibasin/=0)*rdt*1000.d0
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!rseries(:,:,k)=rain_tmp/rdt/1000.0d0
!where(ibasin(:,:)==0) rseries(:,:,k)=0.0d0
!write(fname,'(i10.10)')nint(k*rdt)
!fname='output_rain/rain_'//trim(adjustl(fname))//'.asc'
!write(*,*)trim(adjustl(fname)),' mm/h'
!cfmt='(*(f10.3))'
!call w_fasc(20,cfmt,rseries(:,:,k)*3600.*1000.0d0,iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,-9999.0
    d0)
```

```
373 !
374 !open(10,file=fname)
375 !do i=1,6
376 !   read(10,*)
377 !end do
378 !do j=jend,1,-1
379 !   read(10,*)rseries(1:iend,j,k)
380 !   rseries(1:iend,j,k)=rseries(1:iend,j,k)/rdt/1000.0d0
381 !end do
382 !
383 end do
384 close(11)
385 close(20)
386 !
387 fname='output_misc/rain_sum.asc'
388 r=0.d0
389 do k=0,rnum-1
390   r(:,:)=r(:,:)+(rseries(:,:,k))*rdt*1000.
391 end do
392 write(*,'(a,f10.3,a)')' basin ave. rain: ',sum(r(:,:))*dx*dx/basin_area,' mm'
393 write(*,*)''
394 cfmt='(*(f10.3))'
395  call w_fasc(20,fname,cfmt,r(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,-9999.0d0)
396 r=0.d0
397 rseries(:,:,rnum)=rseries(:,:,rnum-1)
398 datetime(rnum)=datetime(rnum-1)
399 eva_tmp(rnum)=eva_tmp(rnum-1)
400 !<--- rain and eva
401 !
402 !---> 1d
403 open(10,file='input/streamConfiguration_inRR.txt')
404 read(10,*)iend_1d
405 i=iend_1d
406 !
407 allocate(zini_1d(i),z_1d(i),zs_1d(i),b_1d(i),d_1d(i),n_1d(i),h_1d(i),ho_1d(i), &
408          q_in(i),q_out(i),iacc_1d(i),dx_scal(i))
409 allocate(u_1d(i),uo_1d(i),q_1d(0:i),qo_1d(0:i),grad_z_1d(i),grad_w_1d(i),dx_vect(i))
410 !allocate(qin0(0:qnum),cin0(0:qnum))
411 allocate(i_node(i),i_to(i),i_from(i,3),mask_1d(i))
412 allocate(ij_2d1d(i,2),x_2d_1d(i),y_2d_1d(i),vsl_out(i))
413 !
414 read(10,*)
415 do i=1,iend_1d
416   read(10,*)i_node(i),i_to(i),i_from(i,1),i_from(i,2),i_from(i,3), &
417             tmp1,z_1d(i),zs_1d(i),dx_scal(i),b_1d(i),n_1d(i),iacc_1d(i), &
418             x_2d_1d(i),y_2d_1d(i),ij_2d1d(i,1),ij_2d1d(i,2)
419   dx_vect(i)=dx_scal(i)
420   tmp1=z(ij_2d1d(i,1),ij_2d1d(i,2))
421   if(iflg_1d==0)then
422     ba=cellsize*cellsize*float(iacc_1d(i))/1000000.d0
423     b_1d(i)=max(wid_min,wid_m*ba**wid_p)
424     d_1d(i)=max(dep_min,dep_m*ba**dep_p)
425     z_1d(i)=tmp1-d_1d(i)
426     n_1d(i)=rn_river
427   end if
```

```
428 end do
429 close(10)
430 !
431 zini_1d(:)=z_1d(:)
432 mask_1d=(i_from(:,1)/=0)! .and. i_to(:)/=0)
433 ni_scal=count(mask_1d)
434 allocate(i_scal(ni_scal))
435 i_scal(1:ni_scal)=pack(i_node(:),mask_1d)
436 open(20,file='output_misc/scal_point.txt')
437 write(20,*)'x(s(i)),y(s(i)),s(i),i'
438 do i=1,ni_scal
439   write(20,'(2(f15.5,:'','',''),2(i5,:'','',''))')x_2d_1d(i_scal(i)),y_2d_1d(i_scal(i)),i_scal(i),
      i
440 end do
441 close(20)
442 !
443 mask_1d=i_to(:)/=0
444 ni_vect=count(mask_1d)
445 allocate(i_vect(ni_vect))
446 i_vect(1:ni_vect)=pack(i_node(:),mask_1d)
447 open(20,file='output_misc/vect_point.txt')
448 write(20,*)'x(v(i)),y(v(i)),dist,deg,i,i_to'
449 do i=1,ni_vect
450   x=x_2d_1d(i_vect(i))
451   y=y_2d_1d(i_vect(i))
452   x=(x+x_2d_1d(i_to(i_vect(i))))*0.5d0
453   y=(y+y_2d_1d(i_to(i_vect(i))))*0.5d0
454   h1=x_2d_1d(i_to(i_vect(i)))-x_2d_1d(i_vect(i)) !dx->h1
455   h2=y_2d_1d(i_to(i_vect(i)))-y_2d_1d(i_vect(i)) !dy->h2
456   dist=(h1*h1+h2*h2)**0.5d0
457   h1=h1/dist !dx->h1
458   h2=h2/dist !dy->h2
459   if(0<h1)then
460     deg=atan(h2/h1)*rad2deg
461   else if(h1<0)then
462     deg=atan(h2/h1)*rad2deg
463   else
464     deg=90.
465   end if
466   deg=deg*(-45.d0)+90.d0
467   write(20,'(2(f15.5,:'','',''),2(f10.3,:'','',''),2(i5,:'','',''))')&
468         x,y,dist,deg,i_vect(i),i_to(i_vect(i))
469 end do
470 close(20)
471 !
472 mask_1d=i_from(:,1)==0
473 ni_inlet=count(mask_1d)
474 allocate(i_inlet(ni_inlet))
475 i_inlet(1:ni_inlet)=pack(i_node(:),mask_1d)
476 open(20,file='output_misc/inlet_point.txt')
477 write(20,*)'x(s(i)),y(s(i)),s(i),i'
478 do i=1,ni_inlet
479   write(20,'(2(f15.5,:'','',''),2(i5,:'','',''))')x_2d_1d(i_inlet(i)),y_2d_1d(i_inlet(i)),i_inlet(
      i),i
480 end do
```

```
481 close(20)
482 !
483 mask_1d=i_to(:)==0
484 ni_outlet=count(mask_1d)
485 allocate(i_outlet(ni_outlet))
486 i_outlet(1:ni_outlet)=pack(i_node(:),mask_1d)
487 open(20,file='output_misc/outlet_point.txt')
488 write(20,*)'x(s(i)),y(s(i)),s(i),i'
489 do i=1,ni_outlet
490   write(20,'(2(f15.5,:'','',''),2(i5,:'','',''))')x_2d_1d(i_outlet(i)),y_2d_1d(i_outlet(i)),
      i_outlet(i),i
491 end do
492 close(20)
493 !
494 u_1d(:)=0.d0
495 uo_1d(:)=u_1d(:)
496 h_1d(:)=0.d0
497 ho_1d(:)=h_1d(:)
498 q_1d(:)=0.d0
499 qo_1d(:)=q_1d(:)
500 q_in(:)=0.d0
501 q_out(:)=0.d0
502 hlim_1d=hthr
503 ! <---- 1d
504 !
505 ! ----> initial conditions
506 h(:,:)=0.d0
507 ho(:,:)=h(:,:)
508 hso(:,:)=hs(:,:)
509 hmax(:,:)=0.d0
510 hsmax(:,:)=0.d0
511 pwo(:,:)=pw(:,:)
512 eva1(:,:)=0.d0
513 eva2(:,:)=0.d0
514 !
515 qx(:,:)=0.0d0
516 qy(:,:)=0.0d0
517 qxo(:,:)=qx(:,:)
518 qyo(:,:)=qy(:,:)
519 qsx(:,:)=0.0d0
520 qsy(:,:)=0.0d0
521 qsxo(:,:)=qsx(:,:)
522 qsyo(:,:)=qsy(:,:)
523 qx_acc(1:iend+1,1:jend+1)=0.0d0
524 qy_acc(1:iend+1,1:jend+1)=0.0d0
525 qsx_acc(1:iend+1,1:jend+1)=0.0d0
526 qsy_acc(1:iend+1,1:jend+1)=0.0d0
527 !
528 r_total=0.0d0
529 q_total=0.0d0
530 qs_total=0.d0
531 eva1_total=0.d0
532 eva2_total=0.d0
533 finf2_total=0.d0
534 q_1d_total=0.d0
```

```
535 out_total_ini=finf2_total+qs_total+q_total+eva1_total+eva2_total+(sum(h)+sum(hs*(lamda-pwc
      ))+sum(pw*d))*dx*dx
536 out_total=0.d0
537 vsl_out(:)=0.d0
538 umax_disp=0.d0
539 vmax_disp=0.d0
540 h_umax_disp=0.d0
541 h_vmax_disp=0.d0
542 maxloc_2d=0
543 i_umax=0
544 j_umax=0
545 i_vmax=0
546 j_vmax=0
547 dtmin=dt
548 dqd=0.d0
549 dqsd=0.d0
550 ! <---- initial conditions
551 !
552 dt0=dt
553 dtmin=dt
554 time=0.0d0
555 time0=0.d0
556 open(200,file='RR_summary.txt')
557 write(200,'(10a21,4a11,a10)')&
558 'time,', 'rain,', 'out_t,', 'out_qs,', 'out_q,', 'out_eva1,', 'out_eva2,', &
559 'sum_hs,', 'sum_h,', 'sum_pw,', 'slope,', 'debris,','fs2,','out_q1d','out_h1d'
560 open(201,file='flowVolume_RRtoDR.txt')
561 write(201,'(a10,"",a10,*(i12,:,""))')'','i_2d',ij_2d1d(:,1)
562 write(201,'(a10,"",a10,*(i12,:,""))')'','j_2d',ij_2d1d(:,2)
563 write(200,'(a,i10,9(a,E20.10e3),2(a,i10),6(a,E20.10e3))')&
564 'time(s)=',nint(time),',',r_total,',',out_total, &
565 ',',qs_total,',',q_total,',',eva1_total,',',eva2_total,',', &
566 sum(hs*(lamda-pwc))*dx*dx,',',sum(h)*dx*dx,',',sum(pw*d)*dx*dx,',', &
567 0,',',0, ',',finf2_total,',',0.d0,',',0.d0
568 write(201,'(a10,"",i10,*(e12.3,:,""))')'time(s)=',nint(time),vsl_out(:)
569 !
570 write(*,*)'t=0 ---> ',datetime(0)
571 write(*,*)''
572 !
573 do itsp=1,itsp_max
574   time=time0+dt
575   k=itsp/itsp_rain
576   ! ---> rain
577   !r(:,:)=rseries(:,:,k)+(rseries(:,:,k+1)-rseries(:,:,k))*(itsp-k*itsp_rain)/dble(itsp_rain
      )
578   r(:,:)=rseries(:,:,k) ! r=0,1,2,,,
579   where(ibasin(:,:)==0) r(:,:)=0.d0
580   ! <---- rain
581   ! ---> eva
582   eva1(:,:)=eva_tmp(k)+(eva_tmp(k+1)-eva_tmp(k))*(itsp-k*itsp_rain)/dble(itsp_rain)
583   where(ibasin(:,:)==0) eva1(:,:)=0.d0
584   eva2(:,:)=eva1(:,:)
585   ! <---- eva
586   time1=time0
587   itr=1
```

```
588   dt=dt0
589   umax(:,:)=0.d0
590   vmax(:,:)=0.d0
591   h_umax(:,:)=0.d0
592   h_vmax(:,:)=0.d0
593   flxd=0.d0
594   call cal_q(n_ij_u,ij_u,iend,jend,z,h+r*dt,n,-1,0,hthr,dx,qx,umax,h_umax,dt,0.d0)
595   call cal_q(n_ij_v,ij_v,iend,jend,z,h+r*dt,n,0,-1,hthr,dx,qy,vmax,h_vmax,dt,0.d0)
596   flxd=max(flxd,maxval(umax)*dt,maxval(vmax)*dt)
597   call cal_qs(n_ij_u,ij_u,iend,jend,zs,hs,-1,0,kk,hthr,dx,qsx,umax,h_umax)
598   call cal_qs(n_ij_v,ij_v,iend,jend,zs,hs,0,-1,kk,hthr,dx,qsy,vmax,h_vmax)
599   flxd=max(flxd,maxval(umax)*dt,maxval(vmax)*dt)
600   dtmin_h2d=dt
601   call cal_dq(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dx,h,qx,qy,dqd,dtmin_h2d) ! h as dq
602   if(dt < dtmin_h2d)then
603     write(*,*)'dt␣<␣dtmin_h2d',dt,dtmin_h2d
604     dt=dtmin_h2d
605     read(*,*)
606   end if
607   !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
608   if ((dx*cfl) < flxd .or. dtmin_h2d < dt)then
609     itr=max(1,ceiling(flxd/(dx*cfl)),nint(dt0/dtmin_h2d))
610     if(itr<=0)then
611       write(*,*)'itr',itr,flxd,dx*cfl,nint(dt0/dtlim)
612       read(*,*)
613     end if
614     dt=dt0/dble(itr)
615     write(*,'(a,f15.7,a,i10)', advance='yes')'2d␣dt=',dt,',␣itr=',itr
616     if(dt<dtmin)dtmin=dt
617   end if
618   !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
619   do while (itr>0)
620     ! ---> cal 2D
621     call cal_dq(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dx,h,  qx, qy,dqd,0.d0)  ! h as dq
622     call cal_dq(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dx,hs,qsx,qsy,dqsd,0.d0) ! hs as dqs
623     where(m_cv(:,:)) htmp(:,:)=min(ho(:,:)+(r(:,:)+dqd(:,:))*dt,finf1(:,:)*dt)
624     where(m_cv(:,:)) ha(:,:)=htmp(:,:)+(lamda(:,:)-pwc(:,:))*hs(:,:)+d(:,:)*pw(:,:)+&
625     !dt*(dqsd(:,:)-eva1(:,:)-eva2(:,:)) ! dt!
626     dt*(dqsd(:,:)) ! dt!
627     !where(m_cv(:,:)) finf2(:,:)=fs2
628     where(m_cv(:,:)) finf2(:,:)=fs2*hs(:,:)
629     call cal_divha(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,lamda,pwc,ha,h,hs,pw,d,finf2,dt,qx,qy,qsx,qsy)
630     where(m_cv(:,:))htmp(:,:)=max(ho(:,:)+(r(:,:)+dqd(:,:))*dt-finf1(:,:)*dt,0.d0)
631     h(:,:)=h(:,:)+htmp(:,:)
632     ! ---> cal eva
633     call cal_eva(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,r,hs,pw,lamda,pwc,d,dt,eva1,eva2)
634     ! <--- cal eva
635     !
636     ! ---> cal flow from 2d to 1d
637     call cal_2d1d(iend,jend,ij_2d1d,iend_1d,dx,dt,z,h,z_1d,h_1d,b_1d,dx_scal,vsl_out)
638     ! <--- cal flow from 2d to 1d
639     !
640     ! ---> cal surface flux
641     call cal_q(n_ij_u,ij_u,iend,jend,z,h,n,-1,0,hthr,dx,qx,umax,h_umax,dt,cfl)
642     call cal_q(n_ij_v,ij_v,iend,jend,z,h,n,0,-1,hthr,dx,qy,vmax,h_vmax,dt,cfl)
```

```
643     !<---- cal surface flux
644     !
645     !----> cal subsurface flux
646     call cal_qs(n_ij_u,ij_u,iend,jend,zs,hs,-1,0,kk,hthr,dx,qsx,umax,h_umax)
647     call cal_qs(n_ij_v,ij_v,iend,jend,zs,hs,0,-1,kk,hthr,dx,qsy,vmax,h_vmax)
648     !<---- cal subsurface flux
649     !
650     qx_acc(1:iend+1,1:jend+1)=qx_acc(1:iend+1,1:jend+1)+qx(1:iend+1,1:jend+1)*dx*dt
651     qy_acc(1:iend+1,1:jend+1)=qy_acc(1:iend+1,1:jend+1)+qy(1:iend+1,1:jend+1)*dx*dt
652     qsx_acc(1:iend+1,1:jend+1)=qsx_acc(1:iend+1,1:jend+1)+qsx(1:iend+1,1:jend+1)*dx*dt
653     qsy_acc(1:iend+1,1:jend+1)=qsy_acc(1:iend+1,1:jend+1)+qsy(1:iend+1,1:jend+1)*dx*dt
654     ho(:,:)=h(:,:)
655     hso(:,:)=hs(:,:)
656     pwo(:,:)=pw(:,:)
657     qxo(:,:)=qx(:,:)
658     qyo(:,:)=qy(:,:)
659     qsxo(:,:)=qsx(:,:)
660     qsyo(:,:)=qsy(:,:)
661     where(hmax(:,:)<h(:,:))hmax(:,:)=h(:,:)
662     where(hsmax(:,:)<hs(:,:))hsmax(:,:)=hs(:,:)
663     eva1_total=eva1_total+sum(eva1)*dx*dx*dt
664     eva2_total=eva2_total+sum(eva2)*dx*dx*dt
665     finf2_total=finf2_total+sum((pack(finf2(:,:),mask=m_cv(:,:)))*dt)*dx*dx
666     do k=1,n_ij_u_we
667       qs_total=qs_total+abs(-qsx(ij_u_we(k,1),ij_u_we(k,2)))*dx*dt
668       q_total =q_total +abs(- qx(ij_u_we(k,1),ij_u_we(k,2)))*dx*dt
669     end do
670     do k=1,n_ij_v_sn
671       qs_total=qs_total+abs(qsy(ij_v_sn(k,1),ij_v_sn(k,2)))*dx*dt
672       q_total =q_total +abs( qy(ij_v_sn(k,1),ij_v_sn(k,2)))*dx*dt
673     end do
674     r_total=r_total+sum(r(:,:))*dx*dx*dt
675     out_total=-out_total_ini+finf2_total+qs_total+q_total+eva1_total+eva2_total+(sum(h)+sum(
        hs*(lamda-pwc))+sum(pw*d))*dx*dx
676     if(umax_disp<maxval(umax))then
677       umax_disp=maxval(umax)
678       maxloc_2d=maxloc(umax)
679       i_umax=maxloc_2d(1)
680       j_umax=maxloc_2d(2)
681       h_umax_disp=h_umax(i_umax,j_umax)
682     end if
683     if(vmax_disp<maxval(vmax))then
684       vmax_disp=maxval(vmax)
685       maxloc_2d=maxloc(vmax)
686       i_vmax=maxloc_2d(1)
687       j_vmax=maxloc_2d(2)
688       h_vmax_disp=h_vmax(i_vmax,j_vmax)
689     end if
690     !<---- cal 2D
691     !
692     !----> cal 1d
693     time2=time1
694     itr2=1
695     dtdiv=dt
696     umax_1d=0.d0
```

```
    call cal_1d_uhb(ni_vect,i_vect,iend_1d,i_to,z_1d,h_1d,b_1d,n_1d,dtdiv,0.d0,dx_vect,u_1d,uo_1d,hlim_1d,umax_1d,q_1d)
    u_1d(i_outlet(:))=u_1d(i_from(i_outlet(:),1))
    flxd=umax_1d*dtdiv
    q_1d(i_outlet(:))=b_1d(i_outlet(:))*h_1d(i_outlet(:))*u_1d(i_outlet(:))
    q_in(i_scal(:))=q_1d(i_from(i_scal(:),1))+q_1d(i_from(i_scal(:),2))+q_1d(i_from(i_scal(:),3))
    q_in(i_inlet(1:ni_inlet))=0.d0 !qin
    q_out(:)=q_1d(i_node(:))
    dtmin_h1d=dtdiv
    ho_1d=h_1d
    call cal_1d_h(iend_1d,i_node,iend_1d,dtdiv,dx_scal,b_1d,h_1d,iend_1d,q_in,q_out,dtmin_h1d)
    h_1d=ho_1d
    !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
    if ((dx*cfl) < flxd .or. dtmin_h1d < dt )then
      itr2=max(nint(dt/dtmin_h1d),ceiling(flxd/(dx*cfl)))
      if(itr2<=0)then
        write(*,*)'itr2',itr2,flxd,dx*cfl,nint(dt0/dtlim)
        read(*,*)
      end if
      dtdiv=dt/dble(itr2)
      if(dtdiv<dtmin)dtmin=dtdiv
    end if
    !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
    do while (itr2>0)
      dtmin_h1d=0.d0
      call cal_1d_h(iend_1d,i_node,iend_1d,dtdiv,dx_scal,b_1d,h_1d,iend_1d,q_in,q_out,dtmin_h1d)
      call cal_1d_uhb(ni_vect,i_vect,iend_1d,i_to,z_1d,h_1d,b_1d,n_1d,dtdiv,cfl,dx_vect,u_1d,uo_1d,hlim_1d,umax_1d,q_1d)
      u_1d(i_outlet(:))=u_1d(i_from(i_outlet(:),1))
      q_1d(i_outlet(:))=b_1d(i_outlet(:))*h_1d(i_outlet(:))*u_1d(i_outlet(:))
      q_in(i_scal(:))=qo_1d(i_from(i_scal(:),1))+qo_1d(i_from(i_scal(:),2))+qo_1d(i_from(i_scal(:),3))
      q_in(i_inlet(1:ni_inlet))=0.d0 !qin
      q_out(:)=qo_1d(i_node(:))
      uo_1d(:)=u_1d(:)
      ho_1d(:)=h_1d(:)
      qo_1d(:)=q_1d(:)
      !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
      q_1d_total=q_1d_total+sum(q_out(i_from(i_outlet(:),1)))*dtdiv
      h_1d(i_outlet(1:ni_outlet))=0.d0
      !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
      time2=time2+dtdiv
      itr2=itr2-1
    end do ! div, do while
    ! <--- cal 1d
    !
    time1=time1+dt
    itr=itr-1
  end do ! do while
  time0=time
  dt=dt0
  ! <--- output
```

```
746   if (mod(itsp, itsp_d_out) ==0) then
747     ! ---> disp out
748     write(*,*)
749     write(*,'(i5,a,a,a,i5,a,a)')itsp/itsp_rain,' ',datetime(itsp/itsp_rain),' +', &
750     int(mod(itsp,itsp_rain)*dt0),' (s) --->',datetime(itsp/itsp_rain+1)
751     write(*,'(a,f10.4,a,f10.3)')'time(day) =',time/86400.d0,', time(hour)=',time/3600.d0
752     write(*,'(a,i10,a,f10.3,a,f6.2,a,2i4)')&
753           'time(s)   =',nint(time),', rain(mm/h)=',maxval(r(:,:))*1000.d0*3600.d0
754     write(*,'(2(a,f6.2,a,2i4,a))')&
755           ' qx_max=',maxval(abs(qx)) ,' @ i,j=',maxloc(abs(qx)) ,',', &
756           ' qy_max=',maxval(abs(qy)) ,' @ i,j=',maxloc(abs(qy))
757     write(*,'(2(a,f6.2,a,2i4,a))')&
758           'qsx_max=',maxval(abs(qsx)),' @ i,j=',maxloc(abs(qsx)),',', &
759           'qsy_max=',maxval(abs(qsy)),' @ i,j=',maxloc(abs(qsy))
760     write(*,'(2(a,f6.2,a,2i4,a))')&
761           '  h_max=',maxval(h)       ,' @ i,j=',maxloc(h)       ,',', &
762           ' hs_max=',maxval(hs)      ,' @ i,j=',maxloc(hs)
763     write(*,'(2(a,f10.3),a,2i5)')'umax=',umax_disp,', h@umax=',h_umax_disp,', i,j=',i_umax,
      j_umax
764     write(*,'(2(a,f10.3),a,2i5)')'vmax=',vmax_disp,', h@vmax=',h_vmax_disp,', i,j=',i_vmax,
      j_vmax
765     write(*,'(2(a,f10.5))')'dt_min=',dtmin,', dt_lim=',dtlim
766     umax_disp=0.d0
767     vmax_disp=0.d0
768     dtmin=dt0
769     write(*,'(4(a,e12.5))')&
770           'rain=',r_total,',  pw=',sum(pw*d)*dx*dx,',  e1=',eva1_total,',  e2=',eva2_total
771     write(*,'(4(a,e12.5))')&
772           '  hs=',sum(hs*(lamda-pwc))*dx*dx,',  h=',(sum(h))*dx*dx,',  qs=',qs_total,',  q
      =',q_total
773     write(*,'(3(a,e12.5))')' sum=',q_1d_total+out_total+sum(h_1d*b_1d*dx_scal), &
774           ',h_1d=',sum(h_1d*b_1d*dx_scal),',q_1d=',q_1d_total
775     !do i=1,ni_outlet
776       !write(*,'(2(a,e12.5))')'q_1d=',q_1d_total,  ',h_1d=',sum(h_1d*b_1d*dx_scal)
777     !end do
778     write(*,*)
779     ! <--- disp out
780     write(200,'(a,i10,9(a,E20.10e3),2(a,i10),6(a,E20.10e3))')&
781           '  time(s)=',nint(time),',',r_total,',', &
782     out_total,',',qs_total,',',q_total,',', &
783     eva1_total,',',eva2_total,',',sum(hs*(lamda-pwc))*dx*dx,',',sum(h)*dx*dx,',', &
784     sum(pw*d)*dx*dx,',',0,',',0,',', &
785     finf2_total,',',q_1d_total,',',sum(h_1d*b_1d*dx_scal)
786     write(201,'(a10,"",i10,*(e12.3,:,""))')'time(s)=',nint(time),vsl_out(:)
787   end if
788   !
789   if (mod(itsp, itsp_f_out) ==0 .or. itsp==itsp_max) then
790     write(fotime,'(i10.10)')nint(time)
791     ! ---> 1d output
792     fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_1d_'//trim(adjustl(fotime))//'.txt'
793     open(20,file=fname)
794     do i=1,iend_1d
795       write(20,'(2i5,i10,3f10.3,f15.3)')ij_2d1d(i,1),ij_2d1d(i,2),i,z_1d(i),h_1d(i),u_1d(i),
      q_1d(i)
796     end do
```

```
797       close(20)
798       !<--- 1d output
799       cfmt='(*(f10.3))'
800       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_2d_hs_'//trim(adjustl(fotime))//'.asc'
801       call w_fasc(20,fname,cfmt,hs(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,0.d0)
802       !
803       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_2d_h_'//trim(adjustl(fotime))//'.asc'
804       call w_fasc(20,fname,cfmt,h(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,0.d0)
805       !
806 !     fname='output/pw_'//trim(adjustl(fotime))//'.asc'
807 !     call w_fasc(20,fname,cfmt,pw(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,0.d0)
808 !     !
809       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_2d_hmax.asc'
810       call w_fasc(20,fname,cfmt,hmax(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,0.d0)
811 !     !
812       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_2d_hsmax.asc'
813       call w_fasc(20,fname,cfmt,hsmax(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx,0.d0)
814 !     !
815 !     fname='output/qx_ave_'//trim(adjustl(fotime))//'.asc'
816 !     call w_fasc(20,fname,cfmt,qx_acc(:,:)/output_f_time,iend+1,jend+1, &
817 !     xllcorner-dx*0.5,yllcorner,dx,0.d0)
818 !     !
819 !     fname='output/qy_ave_'//trim(adjustl(fotime))//'.asc'
820 !     call w_fasc(20,fname,cfmt,qy_acc(:,:)/output_f_time,iend+1,jend+1, &
821 !     xllcorner,yllcorner-dx*0.5,dx,0.d0)
822 !     !
823 !     fname='output/qsx_ave_'//trim(adjustl(fotime))//'.asc'
824 !     call w_fasc(20,fname,cfmt,qsx_acc(:,:)/output_f_time,iend+1,jend+1, &
825 !     xllcorner-dx*0.5,yllcorner,dx,0.d0)
826 !     !
827 !     fname='output/qsy_ave_'//trim(adjustl(fotime))//'.asc'
828 !     call w_fasc(20,fname,cfmt,qsy_acc(:,:)/output_f_time,iend+1,jend+1, &
829 !     xllcorner,yllcorner-dx*0.5,dx,0.d0)
830       !
831       qx_acc(:,:)=0.0d0
832       qy_acc(:,:)=0.0d0
833       qsx_acc(:,:)=0.0d0
834       qsy_acc(:,:)=0.0d0
835       !
836     end if
837     !<--- output
838     !
839   end do
840   !
841   write(*,*)'---␣nomal␣end␣---'
842   !
843   stop
844   end
845   !
846   !
847   !
848   subroutine cal_q(n_1d,ij_1d, &
849                    iend,jend,z,h,n,ioffset,joffset,hthr,dx,flux,uvmax,h_uvmax,dt,cfl)
850   use omp_lib
851   implicit none
```

```
852 real(8), parameter :: hm=5.0d0/3.0d0
853 integer :: ni,n_1d,ij_1d(1:n_1d,1:2),i,j,iend,jend,ip,jp,ioffset,joffset
854 real(8) :: z(iend,jend),h(iend,jend),wl(iend,jend),n(iend,jend), &
855             flux(iend+1,jend+1),uvmax(iend+1,jend+1),h_uvmax(iend+1,jend+1), &
856             grad,htmp,uv,dt,cfl,hthr,dx,cost,sint
857 !
858 !uvmax=0.d0
859 wl=z+h
860 !$omp parallel do private(ni,i,j,ip,jp,grad,cost,sint,htmp,uv)
861 do ni=1,n_1d
862   i=ij_1d(ni,1)
863   j=ij_1d(ni,2)
864   ip=i+ioffset
865   jp=j+joffset
866   grad=(wl(i,j)-wl(ip,jp))/dx
867   grad=sign(sin(atan(abs(grad))),grad)
868   cost=cos(atan(grad))
869   sint=sin(atan(grad))
870   if(grad>0.0d0)then
871     if(wl(i,j)<z(ip,jp) .or. h(i,j)<hthr)then
872       flux(i,j)=0.0d0
873     else
874       htmp=wl(i,j)-max(z(i,j),z(ip,jp))
875       htmp=htmp*cost
876       flux(i,j)=sign(1.0d0/n(i,j)*abs(sint)**0.5d0*htmp**hm,-grad)
877       uv=abs(flux(i,j))/htmp
878     end if
879   else
880     if(wl(ip,jp)<z(i,j) .or. h(ip,jp)<hthr )then
881       flux(i,j) = 0.0d0
882     else
883       htmp=wl(ip,jp)-max(z(i,j),z(ip,jp))
884       htmp=htmp*cost
885       flux(i,j)=sign(1.0d0/n(ip,jp)*abs(sint)**0.5d0*htmp**hm,-grad)
886       uv=abs(flux(i,j))/htmp
887     end if
888   end if
889   if(dx/dt*cfl < uv .and. 0.d0<cfl)then
890     uv=sign(dx/dt*cfl,flux(i,j))
891     flux(i,j)=uv*htmp
892   end if
893   if(uvmax(i,j)<uv)then
894     uvmax(i,j)=uv
895     h_uvmax(i,j)=htmp
896   end if
897 end do
898 !$omp end parallel do
899 !call cal_q_bd(n_1d_bd,ij_1d_bd,iend,jend,z,h,n,dd,flux)
900 !
901 end subroutine cal_q
902 !
903 !
904 !
905 subroutine cal_q_bd(n_1d,ij_1d,iend,jend,z,h,n,dx,flux)
906 implicit none
```

```
907 real(8), parameter :: hm=5.0d0/3.0d0
908 integer :: ni,n_1d,ij_1d(n_1d,8),i,j,iend,jend,iofs1,jofs1,iofs2,jofs2,iofs3,jofs3
909 real(8) :: z(iend,jend),h(iend,jend),wl(iend,jend),n(iend,jend), &
910             flux(iend+1,jend+1),grad(iend+1,jend+1),cost,sint,dx
911 !
912 ! west  h(i  ,  j),(wl(i+1,  j)-wl(i  ,  j))/dx (0 , 0),( 1, 0),( 0, 0),flux<0
913 ! east  h(i-1,  j),(wl(i-1,  j)-wl(i-2,  j))/dx (-1, 0),(-1, 0),(-2, 0),flux>0
914 ! north h(i  ,j-1),(wl(i  ,j-1)-wl(i  ,j-2))/dy (0 ,-1),( 0,-1),( 0,-2),flux>0
915 ! south h(i  ,  j),(wl(i  ,j+1)-wl(i  ,  j))/dy (0 , 0),( 0, 1),( 0, 0),flux<0
916 wl=z+h
917 do ni=1,n_1d
918   i    =ij_1d(ni,1)
919   j    =ij_1d(ni,2)
920   iofs1=ij_1d(ni,3)
921   jofs1=ij_1d(ni,4)
922   iofs2=ij_1d(ni,5)
923   jofs2=ij_1d(ni,6)
924   iofs3=ij_1d(ni,7)
925   jofs3=ij_1d(ni,8)
926   grad(i,j)=(wl(i+iofs2,j+jofs2)-wl(i+iofs3,j+jofs3))/dx
927   cost=cos(atan(grad(i,j)))
928   sint=sin(atan(grad(i,j)))
929   flux(i,j)=sign(1.0d0/n(i+iofs1,j+jofs1) *&
930   abs(sint)**0.50d0*(h(i+iofs1,j+jofs1)*cost)**hm,-grad(i,j))
931   if(iofs2>0 .or. jofs2>0)then
932     if(flux(i,j)>0.0d0)flux(i,j)=0.0d0
933   else if (iofs2<0 .or. jofs2<0)then
934     if(flux(i,j)<0.0d0)flux(i,j)=0.0d0
935   end if
936 end do
937 !
938 end subroutine cal_q_bd
939 !
940 !
941 !
942 subroutine cal_qs(n_1d,ij_1d, &
943                   iend,jend,z,h,ioffset,joffset,kk,hthr,dx,flux,uvmax,h_uvmax)
944 use omp_lib
945 implicit none
946 integer :: ni,n_1d,ij_1d(1:n_1d,1:2),i,j,iend,jend,ip,jp,ioffset,joffset
947 real(8) :: z(iend,jend),h(iend,jend),wl(iend,jend),kk(iend,jend), &
948             flux(iend+1,jend+1),uvmax(iend+1,jend+1),h_uvmax(iend+1,jend+1), &
949             grad(iend+1,jend+1),cost,sint,hthr,dx,htmp,uv
950 !
951 !uvmax=0.d0
952 wl=z+h
953 !$omp parallel do private(ni,i,j,ip,jp,cost,sint,htmp,uv)
954 do ni=1,n_1d
955   i=ij_1d(ni,1)
956   j=ij_1d(ni,2)
957   ip=i+ioffset
958   jp=j+joffset
959   grad(i,j)=(wl(i,j)-wl(ip,jp))/dx
960   cost=cos(atan(grad(i,j)))
961   sint=sin(atan(grad(i,j)))
```

```
962     if ( grad(i,j) > 0.0d0 ) then
963       htmp=wl(i,j) -max(z(i,j),z(ip,jp))
964       htmp=htmp*cost
965       flux(i,j)=sign(abs(sint)*(wl(i,j)-max(z(i,j),z(ip,jp)))*kk(i,j),-grad(i,j))
966       if(htmp>0.d0)then
967         uv=abs(flux(i,j))/htmp
968       else
969         uv=0.d0
970       end if
971       if ( wl(i,j) < z(ip,jp) .or. h(i,j) < hthr ) then
972         flux(i,j) = 0.0d0
973         uv = 0.d0
974       end if
975     else
976       htmp=wl(ip,jp)-max(z(i,j),z(ip,jp))
977       htmp=htmp*cost
978       flux(i,j)=sign(abs(sint)*(wl(ip,jp)-max(z(i,j),z(ip,jp)))*kk(ip,jp), &
979       -grad(i,j))
980       if(htmp>0.d0)then
981         uv=abs(flux(i,j))/htmp
982       else
983         uv=0.d0
984       end if
985       if ( wl(ip,jp) < z(i,j) .or. h(ip,jp) < hthr )then
986         flux(i,j) = 0.0d0
987         uv = 0.d0
988       end if
989     end if
990     if(uvmax(i,j)<uv)then
991       uvmax(i,j)=uv
992       h_uvmax(i,j)=htmp
993     end if
994   end do
995   !$omp end parallel do
996   !call cal_qs_bd(n_1d_bd,ij_1d_bd,iend,jend,z,h,kk,dd,flux)
997   !
998   end subroutine cal_qs
999   !
1000  !
1001  !
1002  subroutine cal_qs_bd(n_1d,ij_1d,iend,jend,z,h,kk,dx,flux)
1003  implicit none
1004  integer :: ni,n_1d,ij_1d(n_1d,8),i,j,iend,jend,iofs1,jofs1,iofs2,jofs2,iofs3,jofs3
1005  real(8) :: z(iend,jend),h(iend,jend),wl(iend,jend),kk(iend,jend), &
1006             flux(iend+1,jend+1),grad(iend+1,jend+1),cost,sint,dx
1007  !
1008  ! west  h(i  ,  j),(wl(i+1,  j)-wl(i  ,  j))/dx (0 , 0),( 1,  0),( 0,  0),flux<0
1009  ! east  h(i-1,  j),(wl(i-1,  j)-wl(i-2,  j))/dx (-1, 0),(-1,  0),(-2,  0),flux>0
1010  ! north h(i  ,j-1),(wl(i  ,j-1)-wl(i  ,j-2))/dy (0 ,-1),( 0, -1),( 0, -2),flux>0
1011  ! south h(i  ,  j),(wl(i  ,j+1)-wl(i  ,  j))/dy (0 , 0),( 0,  1),( 0,  0),flux<0
1012  wl=z+h
1013  do ni=1,n_1d
1014    i    =ij_1d(ni,1)
1015    j    =ij_1d(ni,2)
1016    iofs1=ij_1d(ni,3)
```

```
1017    jofs1=ij_1d(ni,4)
1018    iofs2=ij_1d(ni,5)
1019    jofs2=ij_1d(ni,6)
1020    iofs3=ij_1d(ni,7)
1021    jofs3=ij_1d(ni,8)
1022    grad(i,j)=(wl(i+iofs2,j+jofs2)-wl(i+iofs3,j+jofs3))/dx
1023    cost=cos(atan(grad(i,j)))
1024    sint=sin(atan(grad(i,j)))
1025    flux(i,j)=sign(abs(sint)*(h(i+iofs1,j+jofs1)*cost)*kk(i+iofs1,j+jofs1), &
1026   -grad(i,j))
1027    if(iofs2>0 .or. jofs2>0)then
1028      if(flux(i,j)>0.0d0)flux(i,j)=0.0d0
1029    else if (iofs2<0 .or. jofs2<0)then
1030      if(flux(i,j)<0.0d0)flux(i,j)=0.0d0
1031    end if
1032  end do
1033  !
1034  end subroutine cal_qs_bd
1035  !
1036  !
1037  !
1038  subroutine cal_divha(n_1d,ij_1d,iend,jend,lamda,pwc,ha,h,hs,pw,d,finf2,dt,qx,qy,qsx,qsy)
1039  use omp_lib
1040  implicit none
1041  integer :: ni,n_1d,ij_1d(n_1d,2),i,j,iend,jend
1042  real(8) :: lamda(iend,jend),pwc(iend,jend),ho, &
1043             ha(iend,jend),h(iend,jend),hs(iend,jend),pw(iend,jend),d(iend,jend), &
1044             finf2(iend,jend),dt,qx(iend+1,jend+1),qy(iend+1,jend+1), &
1045             qsx(iend+1,jend+1),qsy(iend+1,jend+1)
1046  !
1047  !$omp parallel do private(ni,i,j,ho)
1048  do ni=1,n_1d
1049    i=ij_1d(ni,1)
1050    j=ij_1d(ni,2)
1051    ho=h(i,j)
1052    if(ha(i,j)>lamda(i,j)*d(i,j)+finf2(i,j)*dt)then
1053      h(i,j)=ha(i,j)-(lamda(i,j)*d(i,j)+finf2(i,j)*dt)
1054      hs(i,j)=d(i,j)
1055      pw(i,j)=pwc(i,j)
1056    else if(ha(i,j)>pwc(i,j)*d(i,j)+finf2(i,j)*dt)then
1057      h(i,j)=0.d0
1058      hs(i,j)=(ha(i,j)-(pwc(i,j)*d(i,j)+finf2(i,j)*dt))/(lamda(i,j)-pwc(i,j))
1059      pw(i,j)=pwc(i,j)
1060    else if(ha(i,j)>pwc(i,j)*d(i,j))then
1061      h(i,j)=0.d0
1062      hs(i,j)=0.d0
1063      pw(i,j)=pwc(i,j)
1064      finf2(i,j)=(ha(i,j)-pwc(i,j)*d(i,j))/dt
1065    else if(ha(i,j)>=0.d0)then
1066      h(i,j)=0.d0
1067      hs(i,j)=0.d0
1068      pw(i,j)=ha(i,j)/d(i,j)
1069      finf2(i,j)=0.d0
1070    else
1071      write(*,'(a)')'ha␣<␣0,␣@cal_divha␣->␣stop'
```

```
1072      write(*,'(2i5,2f10.3)')i,j,ha(i,j),ho
1073      write(*,'(5f10.3)')qx(i+1,j),qx(i,j),qy(i,j+1),qy(i,j), &
1074                    &  (-(qx(i+1,j)-qx(i,j))-(qy(i,j+1)-qy(i,j)))*dt
1075      write(*,'(5f10.3)')qsx(i+1,j),qsx(i,j),qsy(i,j+1),qsy(i,j), &
1076                    &  (-(qsx(i+1,j)-qsx(i,j))-(qsy(i,j+1)-qsy(i,j)))*dt
1077      if(ha(i,j)<-0.01d0)then
1078      read(*,*)
1079      end if
1080      h(i,j)=0.d0
1081      ha(i,j)=0.d0
1082      !read(*,*)
1083      !stop
1084    end if
1085  end do
1086  !$omp end parallel do
1087  !
1088  end subroutine cal_divha
1089  !
1090  !
1091  !
1092  subroutine cal_eva(n_1d,ij_1d,iend,jend,r,hs,pw,lamda,pwc,d,dt,eva1,eva2)
1093  use omp_lib
1094  implicit none
1095  integer :: ni,n_1d,ij_1d(n_1d,2),i,j,iend,jend
1096  real(8) :: lamda(i,j),pwc(i,j),dt,d(iend,jend), &
1097             r(iend,jend),hs(iend,jend),pw(iend,jend),eva1(iend,jend),eva2(iend,jend)
1098  !
1099  !$omp parallel do private(ni,i,j)
1100  do ni=1,n_1d
1101    i=ij_1d(ni,1)
1102    j=ij_1d(ni,2)
1103    if(r(i,j)>0.d0)then
1104      eva1(i,j)=0.d0
1105      eva2(i,j)=0.d0
1106    else if(hs(i,j)>0.d0)then
1107      eva1(i,j)=min(eva1(i,j),(lamda(i,j)-pwc(i,j))*hs(i,j)/dt)
1108      hs(i,j)=hs(i,j)-eva1(i,j)*dt/(lamda(i,j)-pwc(i,j))
1109      eva2(i,j)=0.d0
1110    else if(pw(i,j)>=0.d0)then
1111      eva1(i,j)=0.d0
1112      eva2(i,j)=min(eva2(i,j),pw(i,j)*d(i,j)/dt)
1113      pw(i,j)=pw(i,j)-eva2(i,j)*dt/d(i,j)
1114    end if
1115  end do
1116  !$omp end parallel do
1117  !
1118  end subroutine cal_eva
1119  !
1120  !
1121  !
1122  subroutine w_fasc(fon,fname,cfmt,a,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
1123  implicit none
1124  integer :: j,iend,jend,fon
1125  real(8) :: a(iend,jend),xllcorner,yllcorner,cellsize,nv
1126  character(len=100) :: cfmt,fname
```

```
1127 !
1128 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
1129 write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
1130 write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
1131 write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
1132 write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
1133 write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize ',cellsize
1134 write(fon,'(a,f10.3)')'NODATA_value',nv
1135 do j=jend,1,-1
1136   write(fon,trim(cfmt))a(1:iend,j)
1137 end do
1138 close(fon)
1139 !
1140 end subroutine w_fasc
1141 !
1142 !
1143 !
1144 subroutine w_iasc(fon,fname,ia,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
1145 implicit none
1146 integer :: j,iend,jend,fon,nv,ia(iend,jend)
1147 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
1148 character(len=100) :: fname
1149 !
1150 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
1151 write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
1152 write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
1153 write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
1154 write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
1155 write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize ',cellsize
1156 write(fon,'(a,i5)')'NODATA_value',nv
1157 do j=jend,1,-1
1158   write(fon,'(*(i2))')ia(1:iend,j)
1159 end do
1160 close(fon)
1161 !
1162 end subroutine w_iasc
1163 !
1164 !
1165 !
1166 subroutine r_iasc(fon,fname,ia,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
1167 implicit none
1168 integer :: j,iend,jend,fon,ncols,nrows,ia(iend,jend)
1169 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
1170 character(len=100) :: ctmp,fname
1171 !
1172 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
1173 read(fon,*)ctmp,ncols
1174 read(fon,*)ctmp,nrows
1175 if (ncols /= iend .or. nrows /= jend) then
1176   write(*,*)'Check ncols /= iend or nrows /= jend'
1177   stop
1178 end if
1179 read(fon,*)ctmp,xllcorner
1180 read(fon,*)ctmp,yllcorner
1181 read(fon,*)ctmp,cellsize
```

```
1182 read(fon,*)
1183 do j=jend,1,-1
1184   read(fon,*)ia(1:iend,j)
1185 end do
1186 close(fon)
1187 !
1188 end subroutine r_iasc
1189 !
1190 !
1191 !
1192 subroutine r_fasc(fon,fname,a,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
1193 implicit none
1194 integer :: j,iend,jend,fon,ncols,nrows
1195 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize, a(iend,jend)
1196 character(len=100) :: ctmp,fname
1197 !
1198 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
1199 read(fon,*)ctmp,ncols
1200 read(fon,*)ctmp,nrows
1201 if (ncols /= iend .or. nrows /= jend) then
1202   write(*,*)'Check ncols / = iend or nrows / = jend'
1203   stop
1204 end if
1205 read(fon,*)ctmp,xllcorner
1206 read(fon,*)ctmp,yllcorner
1207 read(fon,*)ctmp,cellsize
1208 read(fon,*)
1209 do j=jend,1,-1
1210   read(fon,*)a(1:iend,j)
1211 end do
1212 close(fon)
1213 !
1214 end subroutine r_fasc
1215 !
1216 !
1217 !
1218 subroutine point(fon,fname,a,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
1219 implicit none
1220 integer :: i,j,iend,jend,fon,a(iend,jend),iflg
1221 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,x,y
1222 character(len=100) :: fname
1223 !
1224 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
1225 write(fon,'(a)')'x,y,i,j,flag'
1226 do i=1,iend
1227   do j=1,jend
1228     x=xllcorner+cellsize*float(i-1)
1229     y=yllcorner+cellsize*float(j-1)
1230     iflg=int(a(i,j))
1231     write(fon,'(2(f15.3,a),3(i5,a))')x,',',y,',',i,',',j,',',iflg
1232   end do
1233 end do
1234 close(fon)
1235 !
1236 end subroutine point
```

```
1237 !
1238 !
1239 !
1240 subroutine point2(fon,fname,xllcorner,yllcorner,cellsize,n_1d,i_1d,j_1d)
1241 implicit none
1242 integer :: ni,n_1d,i_1d(1:n_1d),j_1d(1:n_1d),i,j,fon
1243 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
1244 character(len=100) :: fname
1245 !
1246 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
1247 write(fon,'(a)')'x,y,i,j'
1248 do ni=1,n_1d
1249   i=i_1d(ni)
1250   j=j_1d(ni)
1251   write(fon,'(2(f15.3,a),2(i5,a))')&
1252   xllcorner+cellsize*float(i-1),',',yllcorner+cellsize*float(j-1),',',i,',',j
1253 end do
1254 close(fon)
1255 !
1256 end subroutine point2
1257 !
1258 !
1259 !
1260 subroutine cal_dq(n_1d,ij_1d,iend,jend,dx,h,qx,qy,dq,dt)
1261 use omp_lib
1262 implicit none
1263 integer :: ni,n_1d,ij_1d(n_1d,2),i,j,iend,jend
1264 real(8) :: dx,dt,h(iend,jend),dq(iend,jend), &
1265            qx(iend+1,jend+1),qy(iend+1,jend+1)
1266 !
1267 !$omp parallel do private(ni,i,j)
1268 do ni=1,n_1d
1269   i=ij_1d(ni,1)
1270   j=ij_1d(ni,2)
1271   dq(i,j)=-((qx(i+1,j)-qx(i,j))/dx+(qy(i,j+1)-qy(i,j))/dx)
1272   if(h(i,j) + dq(i,j)*dt < 0.d0 .and. 0.d0 < dt)then
1273     dt=min(dt,h(i,j)/dq(i,j))
1274   end if
1275 end do
1276 !$omp end parallel do
1277 !
1278 end subroutine cal_dq
1279 !
1280 !
1281 !
1282 subroutine cal_1d_uhb(ni_vect,i_vect,iend,i_to,z,h,b,n,dt,cfl,dx,u,uo,hlim,umax,q)
1283 use omp_lib
1284 implicit none
1285 real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),deg2rad=PI/180.d0,rad2deg=180.d0/PI, &
1286                       hm=5.d0/3.d0,rm=4.d0/3.d0
1287 integer :: i,iend,j,ni_vect,i_vect(ni_vect),i_to(iend)
1288 real(8) :: hlim,u_tmp,h1,r1,b1,umax,cost,sint,dt,cfl,grad(iend),dx(iend), &
1289            z(iend),h(iend),u(iend),uo(iend),n(iend),b(iend),q(0:iend)
1290 !
1291 !        from   i     to
```

```
1292 ! FX       q     q     q
1293 !          ->    ->    ->
1294 ! CV | z   | z   | z   |
1295 !     |from| i   | to  |
1296 !umax=0.d0
1297 !$omp parallel do private(j,i,cost,sint,h1,r1,b1,u_tmp) reduction(max: umax)
1298 do j=1,ni_vect
1299   i=i_vect(j)
1300   if(h(i)<hlim .and. h(i_to(i))<hlim)then
1301     u(i)=0.d0
1302     q(i)=0.d0
1303     cycle
1304   end if
1305   grad(i)=(z(i_to(i))+h(i_to(i))-z(i)-h(i))/dx(i)
1306   cost=cos(atan(grad(i)))
1307   sint=sin(atan(grad(i)))
1308   !if(uo(i)>=0.d0)then ! Be careful when uo=0
1309   if(uo(i)>0.d0 .or. (uo(i)==0.d0 .and. grad(i)<=0.d0 .and. h(i)>=hlim))then
1310     h1=z(i)+h(i)-max(z(i),z(i_to(i)))
1311     h1=h1*cost
1312     r1=h1*b(i)/(2.d0*h1+b(i))
1313     b1=b(i)
1314     if(h1<hlim)then
1315       u(i)=0.d0
1316       q(i)=0.d0
1317       cycle
1318     end if
1319   else if(uo(i)<0.d0 .or. (uo(i)==0.d0 .and. grad(i)>0.d0 .and. h(i_to(i))>=hlim))then
1320     h1=z(i_to(i))+h(i_to(i))-max(z(i),z(i_to(i)))
1321     h1=h1*cost
1322     r1=h1*b(i_to(i))/(2.d0*h1+b(i_to(i)))
1323     b1=b(i_to(i))
1324     if(h1<hlim)then
1325       u(i)=0.d0
1326       q(i)=0.d0
1327       cycle
1328     end if
1329   else
1330     u(i)=0.d0
1331     q(i)=0.d0
1332     cycle
1333   end if
1334   !u_tmp=sign(1.d0/rn*h1**(2.d0/3.d0)*abs(grad(i))**0.5d0,-grad(i))
1335   u_tmp=sign(1.d0/n(i)*r1**(2.d0/3.d0)*abs(sint)**0.5d0,-grad(i))
1336   u(i)=u_tmp
1337   if(uo(i)*u(i) < 0.d0)u(i)=0.d0
1338   if(dx(i)/dt*cfl<abs(u(i)) .and. 0.d0<cfl)then
1339  !    write(*,*)'@u_1d cfl',u(i),dx(i)/dt*cfl
1340  !    write(*,*)'@u_1d cfl',dt,dx(i)*cfl/abs(u(i)),dt-dx(i)*cfl/abs(u(i))
1341     !read(*,*)
1342     u(i)=sign(dx(i)/dt*cfl,u(i))
1343   end if
1344   q(i)=b1*h1*u(i) ! A*V
1345   if(abs(u(i))>umax)umax=abs(u(i))
1346 end do
```

```
1347 !$omp end parallel do
1348 !
1349 end subroutine cal_1d_uhb
1350 !
1351 !
1352 !
1353 subroutine cal_1d_h(ni_scal,i_scal,iend,dt,dx,b,h,iqnum,q_in,q_out,dtmin_h1d)
1354 use omp_lib
1355 implicit none
1356 real(8),parameter :: dtmin0=0.00001d0
1357 integer :: i,iend,j,ni_scal,i_scal(ni_scal),iqnum
1358 real(8) :: dt,dt2,dtmin_h1d,b(iend),h(iend),ho,dx(iend),q_in(iqnum),q_out(iqnum)
1359 !
1360 !          from   i     to
1361 ! FX        q     q     q
1362 !           ->    ->    ->
1363 ! CV | z   | z   | z   |
1364 !      |from| i   | to  |
1365 dt2=dt
1366 !$omp parallel do private(j,i,ho) reduction(min: dt2,dtmin_h1d)
1367 do j=1,ni_scal
1368   i=i_scal(j)
1369   ho=h(i)
1370   h(i)=ho-(q_out(i)-q_in(i))/dx(i)/b(i)*dt
1371   if(h(i)<0.d0)then
1372     if(dtmin_h1d<=0.d0)then
1373       write(*,'(a,4f15.7)')'h<0 @h_1d (dt,h,qo,qi)=',dt,h(i),q_out(i),q_in(i)
1374       !h(i)=0.d0
1375       !q_out(i)=0.d0
1376       read(*,*)
1377     end if
1378     !write(*,'(a,2i5,5f10.5)')'@1dh h1d < 0 ',i,j,ho,h(i),q_out(i),q_in(i)
1379     !write(*,'(a,f10.5)')'dt=',dt
1380     !read(*,*)
1381     !h(i)=0.d0
1382     !q_out(i)=0.d0
1383     if(0.d0 < (q_out(i)-q_in(i)))then
1384       dt2=min(dt2,ho/(q_out(i)-q_in(i))*dx(i)*b(i))
1385     else
1386     !   write(*,*)'qout-qin=0'
1387     !   read(*,*)
1388       !dt2=dt
1389     end if
1390     !write(*,'(a,3f15.7)')'@h_1d (dt2,h2,dt)=',dt2,h(i),dt
1391     if(dt2<0.00001d0)then
1392       write(*,'(a,3f15.7)')'dt<lim@h_1d (dt2,h2,dt)=',dt2,h(i),dt
1393       write(*,*)'stop'
1394       read(*,*)
1395     end if
1396   dtmin_h1d=dt2
1397   end if
1398 end do
1399 !$omp end parallel do
1400 !
1401 end subroutine cal_1d_h
```

```
1402 !
1403 !
1404 !
1405 subroutine cal_2d1d(iend,jend,ij_2d1d,iend_1d,dx,dtdiv,z,h,z_1d,h_1d,b_1d,dx_scal,vsl_out)
1406 !https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/chousa/pdf/07.pdf
1407 use omp_lib
1408 implicit none
1409 real(8), parameter :: u1=2.d0/3.d0**(3.d0/2.d0),u2=0.35d0,u3=0.91d0,g=9.8d0
1410 integer :: i,j,k,iend,jend,iend_1d,ij_2d1d(iend_1d,2)
1411 real(8) :: dx,dtdiv,wl2d,wl1d,h1,h2,qsr,vsr,z(iend,jend),h(iend,jend), &
1412            z_1d(iend_1d),h_1d(iend_1d),b_1d(iend_1d),dx_scal(iend_1d),vsl_out(iend_1d)
1413 !
1414 !$omp parallel do private(k,i,j,wl2d,wl1d,h1,h2,qsr,vsr)
1415 do k=1,iend_1d
1416   i=ij_2d1d(k,1)
1417   j=ij_2d1d(k,2)
1418   wl2d=z(i,j)+h(i,j)
1419   wl1d=z_1d(k)+h_1d(k)
1420   if(wl1d <= wl2d)then ! s->r from surface
1421     h1=h(i,j)
1422     h2=max(0.d0,wl1d-z(i,j))
1423     !if(z(i,j) <= wl1d)then
1424       if(h2<2.d0/3.d0*h1)then
1425         qsr=u2*h1*(2.d0*g*h1)**0.5d0
1426       else
1427         qsr=u3*h2*(2.d0*g*(h1-h2))**0.5d0
1428       end if
1429     !else                    ! fall
1430     !  qsr=u1*h1*(g*h1)**0.5d0
1431     !end if
1432   else ! r->s from surface
1433     h1=wl1d-z(i,j)
1434     h2=h(i,j)
1435     if(h2/h1<2.d0/3.d0)then
1436       qsr=-u2*h1*(2.d0*g*h1)**0.5d0
1437     else
1438       qsr=-u3*h2*(2.d0*g*(h1-h2))**0.5d0
1439     end if
1440   end if
1441   vsr=qsr*dx_scal(k)*dtdiv*2.d0
1442   if(vsr>=0.d0)then
1443     vsr=min(vsr,h(i,j)*(dx*dx))
1444   else
1445     vsr=max(vsr,-(wl1d-z(i,j))*(b_1d(k)*dx_scal(k)))
1446   end if
1447   vsl_out(k)=vsl_out(k)+vsr
1448   h_1d(k)=h_1d(k)+vsr/(b_1d(k)*dx_scal(k))
1449   h(i,j)=h(i,j)-vsr/(dx*dx)
1450   if(h(i,j)<0.d0)then
1451     !write(*,*)'@2d1d h2d<0',h(i,j),i,j
1452     !read(*,*)
1453     h(i,j)=0.d0
1454   end if
1455   if(h_1d(k)<0.d0)then
1456     !write(*,*)'@2d1d h1d<0',h_1d(k),k
```

```
1457       !read(*,*)
1458       h_1d(k)=0.d0
1459     end if
1460   end do
1461   !$omp end parallel do
1462   !
1463   end subroutine cal_2d1d
1464   !
1465   !
1466   !
1467   subroutine cal_grad(iend,jend,dx,z,grdave)
1468   implicit none
1469   integer :: i,iend,j,jend
1470   real(8) :: dx,z(iend,jend),dzdx(iend,jend),dzdy(iend,jend),grdave(iend,jend)
1471   !
1472   dzdx(2:iend-1,:)=(z(3:iend,:)-z(1:iend-2,:))/(2.d0*dx)
1473   dzdx(1,:)=(z(2,:)-z(1,:))/dx
1474   dzdx(iend,:)=(z(iend,:)-z(iend-1,:))/dx
1475   !
1476   dzdy(:,2:jend-1)=(z(:,3:jend)-z(:,1:jend-2))/(2.d0*dx)
1477   dzdy(:,1)=(z(:,2)-z(:,1))/dx
1478   dzdy(:,jend)=(z(:,jend)-z(:,jend-1))/dx
1479   !
1480   grdave(:,:)=(dzdx**2.d0+dzdy**2.d0)**0.5d0
1481   !
1482   end subroutine cal_grad
```

```
1  ! Program: DR_ver_1.0.f90
2  ! Copyright (2021) by Public Works Research Institute (P.W.R.I.)
3  ! License: CC-BY-SA
4  !-------------------------------------------------------------------------
5  !          from   i     to
6  ! FX        q     q     q
7  !          ->    ->    ->
8  ! CV | z   | z   | z   |
9  !    |from| i   | to  |
10 !-------------------------------------------------------------------------
11 implicit none
12 real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),deg2rad=PI/180.d0,rad2deg=180.d0/PI, &
13                       g=9.8d0,dtlim=0.001d0,cfl=0.01d0
14 real(8), allocatable :: zini(:),z(:),zs(:),b(:),h(:),ho(:),um(:), &
15                         cc(:),cco(:),cf(:),cfo(:),e(:),rho(:),rhm(:),tant_e(:),n(:), &
16                         q_in(:),q_out(:),qcc_in(:),qcc_out(:),qcf_in(:),qcf_out(:), &
17                         hs(:),d(:),c(:),pw(:),sf(:),hsc(:)
18 real(8), allocatable :: u(:),uo(:),grad_z(:),grad_w(:),grad_s(:),q(:),qcc(:),qcf(:), &
19                         qs(:),qs_in(:),qs_out(:),q_a(:),qc_a(:),qf_a(:)
20 integer :: ni_inlet,ni_outlet
21 integer, allocatable :: i_inlet(:),i_outlet(:)
22 real(8), allocatable :: qin0(:),cin0(:),rin0(:),fsr_in0(:,:),fsr_in(:)
23 real(8) :: qin,cin,rin
24 real(8) :: dt,time,end_time,dout_time,fout_time,qdt
25 integer :: i,iend,k,itsp,itsp_end,itsp_dout,itsp_fout,qnum,itsp_q,i_umax,itmp
26 integer :: ni_scal,ni_vect
27 integer, allocatable :: i_node(:),i_to(:),i_from(:,:),i_scal(:),i_vect(:),ifld(:)
28 real(8), allocatable :: dx_scal(:),dx_vect(:)
29 integer :: iflg_1d
30 real(8) :: ba,d_1d,rn_1d,wid_m,wid_p,wid_min,dep_m,dep_p,dep_min
31 real(8) :: sig,dm,tanp,csta,cstad,pc,pf,rhow,gam,cmin,hmin,hlim,umax,humax, &
32             ks,lam,fs2,cohe,hs_ini
33 real(8) :: cin_sum,cout_sum,dz_sum,q_sum,qcc_sum,qcf_sum,qs_sum, &
34             h_sum,hs_sum,cc_sum,cf_sum,fsr_sum
35 logical, allocatable :: mask(:)
36 character(len=100) :: fname,out_dir,ctmp
37 integer :: itr
38 real(8) :: flmax,time0,time1,dxmin,dt0,dtmin
39 ! out ---> 2D
40 real(8), allocatable :: z_2d(:),va_out(:),vc_out(:),vf_out(:)
41 integer, allocatable :: iacc(:)
42 integer :: iaccmax,iacc_up
43 !
44 open(1,file='DR_input.txt')
45 read(1,*)
46 read(1,*)iend
47 read(1,*)iacc_up
48 read(1,*)
49 read(1,*)dt
50 read(1,*)dout_time
51 read(1,*)fout_time
52 read(1,*)
53 read(1,*)qnum
```

```
54  read(1,*)qdt
55  !
56  allocate(zini(iend),z(iend),zs(iend),b(iend),h(iend),ho(iend),um(iend), &
57           cc(iend),cco(iend),cf(iend),cfo(iend),e(iend),rho(iend),rhm(iend),tant_e(iend),n(
        iend), &
58           q_in(iend),q_out(iend),qcc_in(iend),qcc_out(iend),qcf_in(iend),qcf_out(iend), &
59           hs(iend),d(iend),c(iend),pw(iend),sf(iend),hsc(iend))
60  allocate(u(iend),uo(iend),grad_z(iend),grad_w(iend),grad_s(iend),q(0:iend),qcc(0:iend),qcf
        (0:iend), &
61           qs(0:iend),qs_in(iend),qs_out(iend),q_a(0:iend),qc_a(0:iend),qf_a(0:iend))
62  allocate(qin0(0:qnum),cin0(0:qnum),rin0(0:qnum),fsr_in0(0:qnum,iend),fsr_in(iend))
63  allocate(i_node(iend),i_to(iend),i_from(iend,3),dx_scal(iend),dx_vect(iend))
64  allocate(mask(iend),ifld(iend),iacc(iend),z_2d(iend),va_out(iend),vc_out(iend),vf_out(iend))
65  !
66  !open(10,file='bound_BSR.txt')
67  do i=0,qnum-1 ! i=0: initial
68  !   read(10,*)qin0(i),cin0(i),rin0(i)
69     qin0(i)=0.d0
70     cin0(i)=0.d0
71     rin0(i)=0.d0
72     rin0(i)=rin0(i)/dble(1000*3600)
73  end do
74  qin0(qnum)=qin0(qnum-1)
75  cin0(qnum)=cin0(qnum-1)
76  rin0(qnum)=rin0(qnum-1)
77  !close(10)
78  read(1,*)
79  read(1,*)dm
80  read(1,*)pf
81  read(1,*)ks  ! (mm/h)
82  ks=ks/100.0d0  ! (mm/h) -> (m/s)
83  read(1,*)csta
84  read(1,*)rhow
85  read(1,*)sig
86  read(1,*)tanp  ! deg
87  tanp=tan(tanp*deg2rad)  ! deg ---> rad
88  read(1,*)cohe
89  read(1,*)iflg_1d,hs_ini,fname
90  if(iflg_1d/=0)then
91     open(10,file=fname)
92     read(10,*)
93     do i=1,iend
94        read(10,*)itmp,hs(i)
95     end do
96     close(10)
97  else
98     hs(:)=hs_ini
99  end if
100 read(1,*)
101 read(1,*)hlim
102 read(1,*)
103 read(1,*)iflg_1d
104 read(1,*)fname
105 !
106 open(10,file=fname)
```

```
107 read(10,*)i
108 if(i/=iend)then
109 write(*,*)'Check iend'
110 end if
111 read(10,*)
112 do i=1,iend
113   read(10,*)i_node(i),i_to(i),i_from(i,1),i_from(i,2),i_from(i,3),&
114   z_2d(i),z(i),zs(i),dx_scal(i),b(i),n(i),iacc(i)
115   dx_vect(i)=dx_scal(i)
116 end do
117 close(10)
118 dxmin=minval(dx_vect(:))
119 !
120 read(1,*)d_1d
121 read(1,*)rn_1d
122 read(1,*)wid_m
123 read(1,*)wid_p
124 read(1,*)wid_min
125 read(1,*)dep_m
126 read(1,*)dep_p
127 read(1,*)dep_min
128 close(1)
129 !
130 if(iflg_1d==0)then
131   write(*,*)'Stream config. <--- DR_input.txt'
132   do i=1,iend
133     ba=dxmin*dxmin*float(iacc(i))/1000000.d0
134     b(i)=max(wid_min,wid_m*ba**wid_p)
135     d(i)=max(dep_min,dep_m*ba**dep_p)
136     z(i)=z_2d(i)-d(i)
137     n(i)=rn_1d
138     zs(i)=z(i)-d_1d
139   end do
140 else
141   write(*,*)'Stream config. <---',trim(adjustl(fname))
142 end if
143 zini(:)=z(:)
144 ifld(:)=0
145 !
146 open(20,file='DR_streamChecker.txt')
147 write(20,'(a5,",",*(a10,:,","))')'id','z_2d','z_1d','zs_1d','dx','b','n'
148 do i=1,iend
149   write(20,'(i5,",",5(f10.3,:,","),*(f10.5,:,","))')i_node(i),z_2d(i),z(i),zs(i),dx_scal(i),
      b(i),n(i)
150 end do
151 close(20)
152 !
153 open(10,file='flowVolume_RRtoDR.txt')
154 read(10,*)
155 read(10,*)
156 do i=0,qnum-1 ! i=0: initial
157   read(10,'(a10,i10,*(e12.2))')ctmp,k,fsr_in0(i,:)
158   fsr_in0(i,:)=fsr_in0(i,:)/(b(:)*dx_scal(:))/qdt
159 end do
160 fsr_in0(1:qnum-1,:)=fsr_in0(1:qnum-1,:)-fsr_in0(0:qnum-2,:)
```

```
161 fsr_in0(qnum,:)=fsr_in0(qnum-1,:)
162 where(fsr_in0<0.d0)fsr_in0=0.d0
163 close(10)
164 !do i=0,qnum-1 ! i=0: initial
165 !   write(*,'(f5.1,a,f10.3,a)')dble(i)*qdt/3600.d0,'(h)',&
166 !   sum(fsr_in0(i,:))/dble(size(fsr_in0(i,:)))*(1000.d0*3600.d0),' (mm/h)'
167 !end do
168 !
169 mask=i_from(:,1)/=0
170 ni_scal=count(mask)
171 allocate(i_scal(ni_scal))
172 i_scal(1:ni_scal)=pack(i_node(:),mask)
173 !
174 mask=i_to(:)/=0
175 ni_vect=count(mask)
176 allocate(i_vect(ni_vect))
177 i_vect(1:ni_vect)=pack(i_node(:),mask)
178 !
179 mask=i_from(:,1)==0
180 ni_inlet=count(mask)
181 allocate(i_inlet(ni_inlet))
182 i_inlet(1:ni_inlet)=pack(i_node(:),mask)
183 !
184 mask=i_to(:)==0
185 ni_outlet=count(mask)
186 allocate(i_outlet(ni_outlet))
187 i_outlet(1:ni_outlet)=pack(i_node(:),mask)
188 !
189 out_dir='output_DR/'
190 write(*,*)trim(adjustl(out_dir))
191
192 lam=1.d0-csta
193 fs2=0.d0
194 iaccmax=iacc(iacc_up)
195 c(:)=cohe
196 cstad=csta
197 pc=1.d0-pf
198 hmin=0.01d0
199 cmin=0.001d0
200 gam=1.d0
201 !
202 end_time=dble(qnum-1)*qdt
203 itsp_end=nint(end_time/dt)
204 itsp_dout=nint(dout_time/dt)
205 itsp_fout=nint(fout_time/dt)
206 itsp_q=nint(qdt/dt)
207 !
208 h(:)=0.d0
209 u(:)=0.d0
210 e(:)=0.d0
211 ho(:)=h(:)
212 uo(:)=u(:)
213 cc(:)=0.d0
214 cf(:)=0.d0
215 cco(:)=cc(:)
```

```
216 cfo(:)=cf(:)
217 q(:)=0.d0
218 qcc(:)=0.d0
219 qcf(:)=0.d0
220 dz_sum=0.d0  !sum(b(1:iend-1)*dx*(z(1:iend-1)-zs(1:iend-1))*csta)
221 cin_sum=0.d0
222 cout_sum=0.d0
223 !hs(:)=0.d0
224 pw(:)=0.d0  ! <--- dummy
225 d(:)=z(:)-zs(:)
226 !
227 q_sum=0.d0
228 qcc_sum=0.d0
229 qcf_sum=0.d0
230 qs_sum=0.d0
231 h_sum=0.d0
232 hs_sum=0.d0
233 cc_sum=0.d0
234 cf_sum=0.d0
235 fsr_sum=0.d0
236 !
237 q_a(:)=0.d0
238 qc_a(:)=0.d0
239 qf_a(:)=0.d0
240 !
241 umax=0.d0
242 humax=0.d0
243 i_umax=0
244 !
245 va_out(:)=0.d0
246 vc_out(:)=0.d0
247 vf_out(:)=0.d0
248 !
249 ! ---> cal start
250 open(200,file='DR_summary.txt')
251 write(200,'(a10,*(a15,:))')'time(s)','q_sum','qs_sum','h_sum','hs_sum', &
252                            'qcc_sum','qcf_sum','cc_sum','cf_sum','dz_sum','fsr_sum'
253 open(201,file='flowVolume_ws_DRtoDF.txt')
254 open(202,file='flowVolume_cs_DRtoDF.txt')
255 open(203,file='flowVolume_fs_DRtoDF.txt')
256 dt0=dt
257 dtmin=dt
258 time=0.d0
259 time0=0.d0
260 write(201,'(a10,"",i10,*(E20.10e3,:,""))')'time(s)=',idnint(time),va_out(:)
261 write(202,'(a10,"",i10,*(E20.10e3,:,""))')'time(s)=',idnint(time),vc_out(:)
262 write(203,'(a10,"",i10,*(E20.10e3,:,""))')'time(s)=',idnint(time),vf_out(:)
263 !
264 do itsp=1,itsp_end
265   time=time0+dt
266   k=itsp/itsp_q
267   qin=qin0(k)+(qin0(k+1)-qin0(k))*(itsp-k*itsp_q)/dble(itsp_q)
268   cin=cin0(k)+(cin0(k+1)-cin0(k))*(itsp-k*itsp_q)/dble(itsp_q)
269   fsr_in(:)=fsr_in0(k,:)+(fsr_in0(k+1,:)-fsr_in0(k,:))*(itsp-k*itsp_q)/dble(itsp_q)
270   rin=rin0(k+1)
```

```
271   !
272   flmax=0.d0
273   call cal_u(ni_vect,i_vect,iend,3,i_from,i_to,dtlim,g,n,z,b,h,ho,grad_w,dx_vect,&
274         u,uo,hlim,rho,rhm,sig,dm,csta,tanp,cc,umax,i_umax,humax)
275   flmax=umax
276   !
277   time1=time0
278   itr=1
279   !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
280     if ((dxmin*cfl) < flmax)then
281       itr=max(1,ceiling(flmax/(dxmin*cfl)))
282       dt=max(dtlim,dt0/float(itr))
283       !write(*,'(a,f8.4)', advance='yes') 'dt=',dt
284       if(dt < dtmin)then
285         dtmin=dt
286         itr=nint(dt0/dt)
287       end if
288     end if
289   !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
290   umax=0.d0
291   i_umax=0
292   humax=0.d0
293   do while (itr>0)
294     d(:)=z(:)-zs(:)
295     call cal_hs(iend,i_node,iend,dt,dx_scal,fsr_in,lam,b,hs,iend,qs_in,qs_out)
296     where(hs(:)>d(:))
297       h(:)=h(:)+(hs(:)-d(:))*lam
298       hs(:)=d(:)
299     end where
300     !
301     call cal_sf(ni_scal,i_scal,iend,g,rhow,sig,tanp,lam,hlim,d,grad_z,hs,h,pw,c,sf,hsc)
302     where(1.d0<sf(:) .and. d(:)==hs(:))
303       ifld(:)=1
304     end where
305     do i=1,ni_inlet
306       k=i_to(i_inlet(i))
307       do while (k/=0)
308         if( ifld(i_from(k,1))==1 )then
309           ifld(k)=1
310         end if
311         k=i_to(k)
312       end do
313     end do
314     where(ifld==0)e=0.d0
315     !
316     call cal_h(iend,i_node,iend,dt,dx_scal,b,h,iend,q_in,q_out,e,csta,cstad)
317     call cal_cc(iend,i_node,iend,dt,dx_scal,b,h,ho,cc,cco,iend,qcc_in,qcc_out,e,gam,pc)
318     call cal_cf(iend,i_node,iend,dt,dx_scal,b,h,ho,cf,cfo,cc,cco,iend,qcf_in,qcf_out,e,gam,
      pf,cstad)
319     call cal_z(iend,i_node,iend,dt,csta,z,zs,e,tant_e)
320     z(i_outlet(1))=zs(i_outlet(1))+(z(i_from(i_outlet(1),1))-zs(i_from(i_outlet(1),1)))
321     !
322     call cal_vout(iend,i_node,iend,dt,dx_scal,b,h,z,z_2d,cc,cf,iacc,iaccmax, &
323                   va_out,vc_out,vf_out)
324     !
```

```
325     call cal_qs(ni_vect,i_vect,iend,i_to,b,hs,grad_s,qs,ks)
326     i=i_from(i_outlet(1),1)
327     qs(i_outlet(1))=b(i)*ks*hs(i)*min(1.0d0,abs(grad_s(i)))
328     qs_in(i_scal(:))=qs(i_from(i_scal(:),1))+qs(i_from(i_scal(:),2))+qs(i_from(i_scal(:),3))
329     qs_out(:)=qs(i_node(:))
330     do i=1,ni_inlet
331       qs_in(i_inlet(i))=0.d0
332     end do
333     !
334     call cal_u(ni_vect,i_vect,iend,3,i_from,i_to,dt,g,n,z,b,h,ho,grad_w,dx_vect,&
335           u,uo,hlim,rho,rhm,sig,dm,csta,tanp,cc,umax,i_umax,humax)
336     u(i_outlet(1))=u(i_from(i_outlet(1),1))
337     !
338     call cal_q(ni_vect,i_vect,iend,i_to,b,h,u,q(0:iend),cc,cf,qcc(0:iend),qcf(0:iend))
339     ! one outlet
340     i=i_outlet(1)
341     q(i)=b(i)*h(i)*u(i)
342     qcc(i)=q(i)*cc(i)
343     qcf(i)=q(i)*cf(i)*(1.d0-cc(i))
344     !
345     q_in(i_scal(:))=q(i_from(i_scal(:),1))+q(i_from(i_scal(:),2))+q(i_from(i_scal(:),3))
346     qcc_in(i_scal(:))=qcc(i_from(i_scal(:),1))+qcc(i_from(i_scal(:),2))+qcc(i_from(i_scal
        (:),3))
347     qcf_in(i_scal(:))=qcf(i_from(i_scal(:),1))+qcf(i_from(i_scal(:),2))+qcf(i_from(i_scal
        (:),3))
348     !
349     q_out(:)=q(i_node(:))
350     qcc_out(:)=qcc(i_node(:))
351     qcf_out(:)=qcf(i_node(:))
352     !
353     do i=1,ni_inlet
354       q_in(i_inlet(i))=qin
355       qcc_in(i_inlet(i))=qin*pc*cin
356       qcf_in(i_inlet(i))=qin*pf*cin
357     end do
358     !
359     rho(i_node)=(sig-rhow)*cf(:)+rhow
360     rhm(:)=(sig-rho(:))*cc(:)+rho(:)
361     !
362     do k=1,ni_vect
363       i=i_vect(k)
364       grad_w(i)=(z(i_to(i))+h(i_to(i))-z(i)-h(i))/dx_scal(i)
365       grad_s(i)=(zs(i_to(i))+hs(i_to(i))-zs(i)-hs(i))/dx_scal(i)
366       grad_z(i)=(z(i_to(i))-z(i))/dx_scal(i)
367     end do
368     grad_w(i_outlet(1))=grad_w(i_from(i_outlet(1),1))
369     grad_s(i_outlet(1))=grad_s(i_from(i_outlet(1),1))
370     grad_z(i_outlet(1))=grad_z(i_from(i_outlet(1),1))
371     !
372     um(i_scal(:))=(u(i_scal(:))+u(i_from(i_scal(:),1)))*0.5d0
373     where(h(i_inlet(:))<hlim)
374       um(i_inlet(:))=u(i_inlet(:))*0.5d0
375     elsewhere
376       um(i_inlet(:))=(u(i_inlet(:))+qin/(h(i_inlet(:))*b(i_inlet(:))))*0.5d0
377     end where
```

```
378     um(i_inlet(:))=u(i_inlet(:))
379     !
380     call cal_e(iend,i_node,iend,dt,dx_scal,b,z,zs,sig,rho,csta,cstad,pf,pc,tanp,cc,cf,e,h,um
        ,grad_z, &
381                 q_in,q_out,qcc_in,qcc_out,qcf_in,qcf_out,tant_e)
382     !
383     uo(:)=u(:)
384     ho(:)=h(:)
385     cco(:)=cc(:)
386     cfo(:)=cf(:)
387     !
388     q_a(:)=q_a(:)+q(:)*dt
389     qc_a(:)=qc_a(:)+qcc(:)*dt
390     qf_a(:)=qf_a(:)+qcf(:)*dt
391     !
392     cin_sum=cin_sum+sum(qcc_in(i_inlet(:)))*dt+sum(qcf_in(i_inlet(:)))*dt
393     cout_sum=cout_sum+qcc(i_outlet(1))*dt+qcf(i_outlet(1))*dt
394     q_sum=q_sum+q(i_outlet(1))*dt
395     qcc_sum=qcc_sum+qcc(i_outlet(1))*dt
396     qcf_sum=qcf_sum+qcf(i_outlet(1))*dt
397     qs_sum=qs_sum+qs(i_outlet(1))*dt
398     h_sum=sum(h(:)*b(:)*dx_scal(:))
399     hs_sum=sum(hs(:)*b(:)*dx_scal(:))*lam
400     dz_sum=sum(d(:)*b(:)*dx_scal(:))
401     cc_sum=sum(h(:)*cc(:)*b(:)*dx_scal(:))
402     cf_sum=sum(h(:)*(1.d0-cc(:))*cf(:)*b(:)*dx_scal(:))
403     fsr_sum=fsr_sum+sum(fsr_in(:))*dt
404     !
405     time1=time1+dt
406     itr=itr-1
407   end do ! do while
408   !
409   time0=time
410   dt=dt0
411   ! output
412   if (mod(itsp, itsp_dout) ==0) then
413     write(*,'(a,i8,5(a,f10.3))')'time(s)=',nint(time), &
414     ',␣qin=',sum(q_in(i_inlet(:))),',␣qout=',q(i_outlet(1)),',␣␣␣umax=',umax
415     write(*,'(a,f8.3,2(a,f10.3),(a,i6))')'time(h)=',(time/3600.d0), &
416     '␣␣qcc=',sum(qcc_in(i_inlet(:))),',␣qout=',qcc(i_outlet(1)),',␣i@umax=',i_umax
417     write(*,'(a,5(a,f10.3))')'␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣', &
418     '␣␣qcf=',sum(qcf_in(i_inlet(:))),',␣qout=',qcf(i_outlet(1)),',␣h@umax=',humax
419     write(*,'(2(a,f10.5))')'dt_min=',dtmin,',␣dt_lim=',dtlim
420     umax=0.d0
421     humax=0.d0
422     dtmin=dt
423     ! ---> summary
424     write(200,'(i10,"",*(e15.5e3,:,""))')nint(time),q_sum,qs_sum,h_sum,hs_sum, &
425                                          qcc_sum,qcf_sum,cc_sum,cf_sum,dz_sum,fsr_sum
426     ! <--- summary
427     write(201,'(a10,"",i10,*(E20.10e3,:,""))')'time(s)=',idnint(time),va_out(:)
428     write(202,'(a10,"",i10,*(E20.10e3,:,""))')'time(s)=',idnint(time),vc_out(:)
429     write(203,'(a10,"",i10,*(E20.10e3,:,""))')'time(s)=',idnint(time),vf_out(:)
430   end if
431   ! ---> output to files
```

```
432     if(mod(itsp, itsp_fout) ==0) then
433       write(fname,'(i10.10)')idnint(time)
434       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_'//trim(adjustl(fname))//'.txt'
435       open(100,file=fname)
436       write(100,'(a5,15a12,3a15)')'id','z','h','u','q','cc','cf','rho','e',&
437       'zini','grd_w','hs','qs','sf','hsc/d','ifld','qa','qcca','qcfa'
438       do i=1,iend
439         write(100,'(i5,14f12.5,i12,3e15.5e3)')i,z(i),h(i),um(i),q(i),cc(i),cf(i),rho(i),e(i),
          zini(i),&
440         grad_w(i),hs(i),qs(i),sf(i),hsc(i),ifld(i),q_a(i),qc_a(i),qf_a(i)
441       end do
442       close(100)
443     end if
444     ! <--- output to files
445   end do
446   ! <--- cal start
447   close(200)
448   close(201)
449   close(202)
450   close(203)
451   write(*,*)'---␣nomal␣end␣---'
452   !
453   stop
454   end
455   !
456   !
457   !
458   subroutine cal_u(ni_vect,i_vect,iend,nifrom,i_from,i_to, dt,g,n,z,b,h,ho,grad,&
459                    dx,u,uo,hlim,rho,rhm,sig,dm,csta,tanp,c,umax,i_umax,humax)
460   use omp_lib
461   implicit none
462   real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),deg2rad=PI/180.d0,rad2deg=180.d0/PI, &
463                         hm=5.d0/3.d0,rm=4.d0/3.d0
464   real(8), parameter :: f1d5=1.d0/5.d0,f1d3=1.d0/3.d0,f5d3=5.d0/3.d0,f2d3=2.d0/3.d0, &
465                         kf=0.16d0,kd=0.0828d0,e2=0.85d0**2.d0
466   integer :: i,iend,j,i_umax,iloc(1),ni_vect,i_vect(ni_vect),nifrom,i_from(iend,nifrom),i_to(
        iend)
467   real(8) :: dt,g,x1,x2,x3,hlim,h(iend),ho(iend),u(iend),uo(iend), &
468               h1,b1,c1,rho1,rhm1,n1,z1,h2,z2,hnw, &
469               c(iend),rho(iend),rhm(iend),z(iend),b(iend),n(iend), &
470               sig,csta,dm,taub,tauy,fb,fb1,fb2,tanp,fd,ff,cost, &
471               grad(iend),dx(iend),umax,uhb(nifrom),humax,htmp(iend)
472   !
473   umax=0.d0
474   u(:)=0.d0
475   htmp(:)=0.d0
476   humax=0.d0
477   i_umax=0
478   !$omp parallel do private(i,j,cost,hnw,h1,z1,h2,z2,b1,n1,c1,rho1,rhm1, &
479   !$omp                     x1,x2,x3,tauy,fd,ff,fb1,fb2,fb,taub)
480   do j=1,ni_vect
481     i=i_vect(j)
482     grad(i)=sign(min(abs(grad(i)),tanp),grad(i))
483     cost=cos(atan(grad(i)))
484     if(uo(i)>=0.d0)then ! when uo=0
```

```
485       hnw=h(i)
486       if(hnw<=0.d0)then
487         u(i)=0.d0
488         cycle
489       end if
490       h1=ho(i)
491       z1=z(i)
492       h2=ho(i_to(i))
493       z2=z(i_to(i))
494       b1=b(i)
495       n1=n(i)
496       c1=c(i)
497       rho1=rho(i)
498       rhm1=rhm(i)
499       if(h1<hlim .or. z1+h1<z2)then
500         u(i)=0.d0
501         cycle
502       end if
503       where(i_from(i,:)==0)
504         uhb(:)=0.d0
505       elsewhere
506         uhb(:)=uo(i_from(i,:))*ho(i_from(i,:))*b(i_from(i,:))
507       end where
508       x1=-uo(i)*(uo(i)*ho(i)*b(i)-sum(uhb(:)))/(dx(i)*b(i))
509     else
510       hnw=h(i_to(i))
511       if(hnw<=0.d0)then
512         u(i)=0.d0
513         cycle
514       end if
515       h1=ho(i_to(i))
516       h2=ho(i)
517       z2=z(i)
518       b1=b(i_to(i))
519       n1=n(i_to(i))
520       c1=c(i_to(i))
521       rho1=rho(i_to(i))
522       rhm1=rhm(i_to(i))
523       if(h1<hlim .or. z1+h1<z2)then
524         u(i)=0.d0
525         cycle
526       end if
527       x1=-uo(i)*(uo(i_to(i))*h1*b1-uo(i)*ho(i)*b(i))/(dx(i)*b(i))
528     end if
529     !
530     x2=-g*h1*grad(i)
531     !
532     if(c1<0.05d0)then
533       !x3=-g*n1*n1*uo(i)*abs(uo(i))/h1**f1d3
534       fb=(6.d0+2.5d0*log((h1/dm)))**(-2.d0)
535     else
536       fd=kd*sig/rho1*(1.d0-e2)*c1**(f1d3)
537       ff=kf*(1.d0-c1)**f5d3/c1**(f2d3)
538       fb1=6.25d0*(fd+ff)*((h1/dm))**(-2.d0)
539       fb2=(6.d0+2.5d0*log((h1/dm)))**(-2.d0)
```

```
540       fb=fb1
541       if(fb1<fb2)fb=fb2
542     end if
543     tauy=(c1/csta)**f1d5*(sig-rho1)*c1*g*h1*cost*tanp
544     taub=sign(tauy+rho1*fb*uo(i)*uo(i),uo(i))
545     x3=-taub/rhm1
546     u(i)=(uo(i)*h1-(-X1-X2+tauy/rhm1)*dt)/(hnw+rho1*fb*abs(uo(i))*dt/rhm1)
547     !u(i)=(uo(i)*h1+(x1+x2+x3)*dt)/hnw
548     if(u(i)*uo(i)<0.d0)then
549       u(i)=0.d0
550     end if
551   end do
552   !$omp end parallel do
553   umax=maxval(abs(u(:)))
554   iloc=maxloc(abs(u(:)))
555   i_umax=iloc(1)
556   humax=h(i_umax)
557   !
558   end subroutine cal_u
559   !
560   !
561   !
562   subroutine cal_q(ni_vect,i_vect,iend,i_to,b,h,u,q,cc,cf,qcc,qcf)
563   use omp_lib
564   implicit none
565   integer :: i,iend,j,ni_vect,i_vect(ni_vect),i_to(iend)
566   real(8) :: b(iend),h(iend),u(iend),q(0:iend),cc(iend),cf(iend),qcc(0:iend),qcf(0:iend)
567   !
568   !$omp parallel do private(i,j)
569   do j=1,ni_vect
570     i=i_vect(j)
571     if(u(i)>=0.d0)then
572       q(i)=b(i)*h(i)*u(i)
573       qcc(i)=q(i)*cc(i)
574       qcf(i)=q(i)*cf(i)*(1.d0-cc(i))
575     else
576       q(i)=b(i_to(i))*h(i_to(i))*u(i)
577       qcc(i)=q(i)*cc(i_to(i))
578       qcf(i)=q(i)*cf(i_to(i))*(1.d0-cc(i_to(i)))
579     end if
580   end do
581   !$omp end parallel do
582   !
583   end subroutine cal_q
584   !
585   !
586   !
587   subroutine cal_qs(ni_vect,i_vect,iend,i_to,b,hs,grad,qs,ks)
588   use omp_lib
589   implicit none
590   integer :: i,iend,j,ni_vect,i_vect(ni_vect),i_to(iend)
591   real(8) :: b(iend),hs(iend),grad(iend),qs(0:iend),ks,tant
592   !
593   !$omp parallel do private(i,j,tant)
594   do j=1,ni_vect
```

```
595     i=i_vect(j)
596     tant=grad(i)
597     if(tant>0.d0)then
598       qs(i)=sign(b(i_to(i))*ks*hs(i_to(i))*min(1.0d0,abs(tant)),-tant)
599     else
600       qs(i)=sign(b(i)*ks*hs(i)*min(1.0d0,abs(tant)),-tant)
601     end if
602   end do
603   !$omp end parallel do
604   !
605   end subroutine cal_qs
606   !
607   !
608   !
609   subroutine cal_e(ni_scal,i_scal,iend,dt,dx,b,z,zs,sig,rho,csta,cstad,pf,pc,tanp,cc,cf,e,h,um
        ,gradm, &
610                    q_in,q_out,qcc_in,qcc_out,qcf_in,qcf_out,tant_e)
611   use omp_lib
612   implicit none
613   real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),deg2rad=PI/180.d0,rad2deg=180.d0/PI
614   integer :: i,iend,j,ni_scal,i_scal(ni_scal)
615   real(8) :: dt,sig,tanp,tant,tane,csta,cstad,pf,pc,emax,emin1,emin2,emin3, &
616              z(iend),zs(iend),cc(iend),cf(iend),e(iend),h(iend),gradm(iend), &
617              um(iend),rho(iend),tant_e(iend),q_in(iend),q_out(iend), &
618              qcc_in(iend),qcc_out(iend),qcf_in(iend),qcf_out(iend),dx(iend),b(iend)
619   !
620   !$omp parallel do private(i,j,tant,tane,emax,emin1,emin2,emin3)
621   do j=1,ni_scal
622     i=i_scal(j)
623     if(um(i)>=0.d0)then
624       tant=-gradm(i)
625     else
626       tant=gradm(i)
627     end if
628     tant=max(-gradm(i),0.d0)
629     tant_e(i)=tant
630     tane=(sig/rho(i)-1.d0)*cc(i)*tanp/((sig/rho(i)-1.d0)*cc(i)+1.d0)
631     ! tan(a-b)=(tan(a)-tan(b))/(1+tan(a)*tan(b))
632     e(i)=csta*(tant-tane)/(1.d0+tant*tane)*abs(um(i))
633     if(e(i)>=0.d0)then ! ero
634       emax=(z(i)-zs(i))/dt*csta*cos(atan(tant))
635       e(i)=min(emax,e(i))
636     ! if(ifld(i)==1)e(i)=emax
637     else ! depo
638       ! -h(i)/dt+(q(i+1)-q(i))/dx=e(i)/csta
639       ! -cc(i)*h(i)/dt+(qcc(i+1)-qcc(i))/dx=e(i)
640       ! -cf(i)*(1.d0-cc(i))*h(i)/dt+(qcf(i+1)-qcf(i))/dx=(1.d0-csta)/csta*cf(i)*e(i)
641       emin1=min(0.d0,(-h(i)/dt*cstad+(q_out(i)-q_in(i))/dx(i)/b(i))*cstad)
642       emin2=min(0.d0,-cc(i)*h(i)/dt+(qcc_out(i)-qcc_in(i))/dx(i)/b(i))
643       if(cf(i)>0.d0)then
644         emin3=min(0.d0,(-cf(i)*(1.d0-cc(i))*h(i)/dt+(qcf_out(i)-qcf_in(i))/dx(i)/b(i))*cstad
        /((1.d0-cstad)*cf(i)))
645       else
646         emin3=e(i)
647       end if
```

```
648       e(i)=max(emin1,emin2,emin3,e(i))
649     end if
650   end do
651   !$omp end parallel do
652   !
653   end subroutine cal_e
654   !
655   !
656   !
657   subroutine cal_h(ni_scal,i_scal,iend,dt,dx,b,h,iqnum,q_in,q_out,e,csta,cstad)
658   use omp_lib
659   implicit none
660   integer :: i,iend,j,ni_scal,i_scal(ni_scal),iqnum
661   real(8) :: dt,csta,cstad,b(iend),h(iend),e(iend),dx(iend),q_in(iqnum),q_out(iqnum)
662   !
663   !$omp parallel do private(i,j)
664   do j=1,ni_scal
665     i=i_scal(j)
666     if(e(i)>=0.d0)then
667       h(i)=h(i)-(q_out(i)-q_in(i))/dx(i)/b(i)*dt+e(i)/csta*dt
668     else
669       h(i)=h(i)-(q_out(i)-q_in(i))/dx(i)/b(i)*dt+e(i)/cstad*dt
670     end if
671     if(h(i)<0.d0)then
672       if(h(i)<-0.001d0)then
673         write(*,'(a,f10.3,i5,f12.7)')'h<0 @ (i)',h(i),i,e(i)
674         write(*,*)q_out(i),q_in(i)
675         !read(*,*)
676       end if
677       h(i)=0.d0
678     end if
679   end do
680   !$omp end parallel do
681   !
682   end subroutine cal_h
683   !
684   !
685   !
686   subroutine cal_hs(ni_scal,i_scal,iend,dt,dx,rin,lam,b,hs,iqnum,qs_in,qs_out)
687   use omp_lib
688   implicit none
689   integer :: i,iend,j,ni_scal,i_scal(ni_scal),iqnum
690   real(8) :: dt,lam,b(iend),hs(iend),rin(iend),dx(iend),qs_in(iqnum),qs_out(iqnum)
691   !
692   !$omp parallel do private(i,j)
693   do j=1,ni_scal
694     i=i_scal(j)
695     hs(i)=hs(i)-(qs_out(i)-qs_in(i))/dx(i)/b(i)/lam*dt+rin(i)/lam*dt
696     if(hs(i)<0.d0)then
697       !write(*,'(a,i5,3f12.7)')'hs<0 @ (i)',i,hs(i),qs_out(i),qs_in(i)
698       !read(*,*)
699     end if
700   end do
701   !$omp end parallel do
702   !
```

```
703 end subroutine cal_hs
704 !
705 !
706 !
707 subroutine cal_sf(ni_scal,i_scal,iend,g,rhow,sig,tanp,lam,hlim,d,grad,hs,h,pw,c,sf,hsc)
708 use omp_lib
709 implicit none
710 integer :: i,iend,j,ni_scal,i_scal(ni_scal)
711 real(8) :: g,rhow,sig,lam,hlim,tant,cost,sint,tanp,ctmp,fg,fr,hsc0, &
712            d(iend),grad(iend),hs(iend),h(iend),pw(iend),c(iend),sf(iend),hsc(iend)
713 !
714 !$omp parallel do private(i,j,tant,cost,sint,fg,fr,hsc0)
715 do j=1,ni_scal
716   i=i_scal(j)
717   tant=-grad(i)
718   cost=cos(atan(tant))
719   sint=sin(atan(tant))
720   if(d(i)>=hlim)then
721     ctmp=c(i)/(rhow*g*d(i)*cost*tanp)
722     fg=rhow*g*d(i)*sint*(sig/rhow*(1.d0-lam)+(1.d0-hs(i)/d(i))*pw(i)+hs(i)/d(i)*lam+h(i)/d(i
      ))
723     fr=rhow*g*d(i)*cost*(sig/rhow*(1.d0-lam)+(1.d0-hs(i)/d(i))*pw(i)-hs(i)/d(i)*(1.d0-lam))*
      tanp+c(i)
724     sf(i)=fg/fr
725     !if(sf(i)>1.d0)ifld(i)=1
726     hsc0=((1.d0-tant/tanp)*((1.d0-lam)*sig/rhow+pw(i))+ctmp) &
727     /((1.d0-tant/tanp)*((1.d0-lam)+pw(i))+tant/tanp)
728     hsc(i)=max(0.d0,min(1.d0,hsc0/d(i)))
729   else
730     sf(i)=1.d0
731     hsc(i)=1.d0
732   end if
733 end do
734 !$omp end parallel do
735 !
736 end subroutine cal_sf
737 !
738 !
739 !
740 subroutine cal_cc(ni_scal,i_scal,iend,dt,dx,b,h,ho,cc,cco,iqnum,q_in,q_out,e,gam,pc)
741 use omp_lib
742 implicit none
743 integer :: i,iend,j,ni_scal,i_scal(ni_scal),iqnum
744 real(8) :: dt,gam,pc,b(iend),h(iend),ho(iend),cc(iend),cco(iend),e(iend), &
745            dx(iend),q_in(iqnum),q_out(iqnum)
746 !
747 !$omp parallel do private(i,j)
748 do j=1,ni_scal
749   i=i_scal(j)
750   if(h(i)<=0.d0)then ! checking h(i)==hmin
751     cc(i)=0.d0
752   else
753     if(e(i)>=0.d0)then
754       cc(i)=(cco(i)*ho(i)-(q_out(i)-q_in(i))*gam/dx(i)/b(i)*dt+pc*e(i)*dt)/h(i)
755     else
```

```
756         cc(i)=(cco(i)*ho(i)-(q_out(i)-q_in(i))*gam/dx(i)/b(i)*dt+e(i)*dt)/h(i)
757       end if
758     end if
759     if(cc(i)<0.d0)then
760       if(cc(i)*h(i)<-0.0001d0)then
761         write(*,'(a,i5,5f15.7)')'cc*h<0 @ i,cc,h,e',i,cc(i),h(i),e(i)*dt/h(i)
762         !read(*,*)
763       end if
764       cc(i)=0.d0
765     end if
766   end do
767   !$omp end parallel do
768   !
769   end subroutine cal_cc
770   !
771   !
772   !
773   subroutine cal_cf(ni_scal,i_scal,iend,dt,dx,b,h,ho,cf,cfo,cc,cco,iqnum,q_in,q_out,e,gam,pf,
          cstad)
774   use omp_lib
775   implicit none
776   integer :: i,iend,j,ni_scal,i_scal(ni_scal),iqnum
777   real(8) :: dt,gam,pf,cstad,b(iend),h(iend),ho(iend),cf(iend),cfo(iend),e(iend), &
778              cc(iend),cco(iend),dx(iend),q_in(iqnum),q_out(iqnum)
779   !
780   !$omp parallel do private(i,j)
781   do j=1,ni_scal
782     i=i_scal(j)
783     if(h(i)<=0.d0)then ! checking h(i)==hmin
784       cf(i)=0.d0
785     else
786       if(e(i)>=0.d0)then
787         cf(i)=(cfo(i)*(1.d0-cco(i))*ho(i) &
788                -(q_out(i)-q_in(i))*gam/dx(i)/b(i)*dt+pf*e(i)*dt) &
789                 /((1.d0-cc(i))*h(i))
790       else
791         cf(i)=(cfo(i)*(1.d0-cco(i))*ho(i) &
792                -(q_out(i)-q_in(i))*gam/dx(i)/b(i)*dt &
793                +((1.d0-cstad)/cstad)*cfo(i)*e(i)*dt) &
794                /((1.d0-cc(i))*h(i))
795       end if
796     end if
797
798     if(cf(i)<0.d0)then
799       if(cf(i)<-0.0001d0)then
800         write(*,'(a,i5,5f15.7)')'cf<0 @ i,cf,h',i,cf(i),h(i)
801         read(*,*)
802       end if
803       cf(i)=0.d0
804     end if
805   end do
806   !$omp end parallel do
807   !
808   end subroutine cal_cf
809   !
```

```
!
!
subroutine cal_z(ni_scal,i_scal,iend,dt,csta,z,zs,e,tant_e)
use omp_lib
implicit none
real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),deg2rad=PI/180.d0,rad2deg=180.d0/PI
integer :: i,iend,j,ni_scal,i_scal(ni_scal)
real(8) :: dt,csta,tant,cost,z(iend),zs(iend),e(iend),tant_e(iend)
!
!$omp parallel do private(i,j,tant,cost)
do j=1,ni_scal
  i=i_scal(j)
  !tant=slope(i)
  tant=tant_e(i)
  cost=cos(atan(tant))
  z(i)=z(i)-e(i)/csta/cost*dt
  if(z(i)<zs(i))then
    !write(*,'(a,i5,5f10.3)')'z < zs at ',i,z(i),zs(i),e(i)
    !read(*,*)
    z(i)=zs(i)
  end if
end do
!$omp end parallel do
!
end subroutine cal_z
!
!
!
subroutine cal_vout(ni_scal,i_scal,iend,dt,dx,b,h,z1,z2,cc,cf,iacc,iaccmax,&
                    va_out,vc_out,vf_out)
use omp_lib
implicit none
real(8), parameter :: u2=0.35d0,g=9.8d0
integer :: ni_scal,i_scal(ni_scal),i,iend,j,iacc(iend),iaccmax
real(8) :: dt,wl,h1,qout,vtmp,b(iend),dx(iend),h(iend),z1(iend),z2(iend),&
           cc(iend),cf(iend),va_out(iend),vc_out(iend),vf_out(iend)
!
!$omp parallel do private(i,j,wl,h1,qout,vtmp)
do j=1,ni_scal
  i=i_scal(j)
  wl=z1(i)+h(i)
  if(z2(i)<wl .and. iaccmax<iacc(i))then
    h1=min(h(i),wl-z2(i))
    qout=u2*h1*(2.d0*g*h1)**0.5d0
    vtmp=qout*dt*2.d0*dx(i)
    va_out(i)=va_out(i)+vtmp
    vc_out(i)=vc_out(i)+vtmp*cc(i)
    vf_out(i)=vf_out(i)+vtmp*(1.d0-cc(i))*cf(i)
    h(i)=h(i)-vtmp/(b(i)*dx(i))
    if(h(i)<0.d0)then
      write(*,*)h(i),wl,z2(i),z1(i)
      read(*,*)
    end if
  end if
end do
```

```
865 !$omp end parallel do
866 !
867 end subroutine cal_vout
```

4.2 02_DF

DF_ver_1.0.f90

```
! Program: DF_ver_1.0.f90
! Copyright (2021) by Public Works Research Institute (P.W.R.I.)
! License: CC-BY-SA
!-------------------------------------------------------------------------------
!      1    2    3       end  end+1
! FX   q    q    q        q    q
!     -->  -->  -->  -->  -->  -->
! CV  | z  | z  | z |...| z |
!     | 1  | 2  | 3 |...|end|
!-------------------------------------------------------------------------------
implicit none
real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),deg2rad=PI/180.d0,rad2deg=180.d0/PI, &
                      g=9.8d0,u2=0.35d0,dtlim=0.0001d0,cfl=0.01d0
real(8), allocatable :: z(:,:),zo(:,:),zini(:,:),zs(:,:),h(:,:),ho(:,:),d(:,:), &
                        hs(:,:),hso(:,:),coh(:,:),sf(:,:),hmax(:,:),hsmax(:,:), &
                        cc(:,:),cco(:,:),cf(:,:),cfo(:,:),e(:,:), tant_e(:,:),&
                        grad_z(:,:),grad_w(:,:),rho(:,:),rhom(:,:),fdir(:,:)
real(8), allocatable :: u(:,:),uo(:,:),v(:,:),vo(:,:),ua(:,:),va(:,:),uv(:,:), &
                        uh(:,:),vh(:,:),qx(:,:),qy(:,:),qsx(:,:),qsy(:,:), &
                        qccx(:,:),qccy(:,:),qcfx(:,:),qcfy(:,:), &
                        q_a(:,:,:),qcc_a(:,:,:),qcf_a(:,:,:)
real(8), allocatable :: qin0(:),cin0(:)
integer, allocatable :: iacc(:,:),ibasin(:,:),idir(:,:),ifld(:,:)
real(8) :: dx,dy,dt,qdt,dout_time,fout_time,xllcorner,yllcorner,cellsize, &
           dm,csta,cstad,pf,pc,rhow,sig,tanp,coh_tmp,ks,rn,hlim
real(8) :: time,time0,time1,end_time,dt0,dtmin, &
           x,y,flxd,umax,vmax,h_umax,h_vmax,tmp,usmax,vsmax, &
           qin,cin,q_out,qcc_out,qcf_out
integer :: iend,jend,itsp_max,itsp_dout,itsp_fout,qnum,itsp_q
integer :: i,j,k,itsp,itr,i_umax,j_umax,i_vmax,j_vmax
integer :: ijofs_uv(8,0:4,2)= &     ! see subroutine cal_u
reshape((/0, 0,-1,-1, 0, 1, 1, 0,& ! @u case0 i=1:4,j=5:8
          0,-1, 0, 0, 0, 0, 0,-1,& ! @u case1 i=1:4,j=5:8
          0,-1, 0, 0, 0, 0, 1, 0,& ! @u case2 i=1:4,j=5:8
          1, 0, 0, 0, 0, 0, 0,-1,& ! @u case3 i=1:4,j=5:8
          1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0,& ! @u case4 i=1:4,j=5:8
          0, 1, 1, 0, 0, 0,-1,-1,& ! @v case0 i=1:4,j=5:8
          0, 0, 0,-1, 0,-1, 0, 0,& ! @v case1 i=1:4,j=5:8
          0, 0, 1, 0, 0,-1, 0, 0,& ! @v case2 i=1:4,j=5:8
          0, 0, 0,-1, 1, 0, 0, 0,& ! @v case3 i=1:4,j=5:8
          0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0 & ! @v case4 i=1:4,j=5:8
          /),(/8,5,2/))            ! 0:4 --> 5
integer, allocatable :: ij_cv(:,:),ij_u(:,:),ij_v(:,:),ij_u_we(:,:),ij_v_sn(:,:), &
                        ij_w(:,:),ij_e(:,:),ij_s(:,:),ij_n(:,:)
integer :: n_ij_cv,n_ij_u,n_ij_v,n_ij_u_we,n_ij_v_sn, &
           n_ij_w,n_ij_e,n_ij_s,n_ij_n
! --> 1d
integer,allocatable :: ij_1d2d(:,:,:),ivin(:),i_1d(:,:)
real(8),allocatable :: xy_1d2d(:,:),va_in0(:,:),vcc_in0(:,:),vcf_in0(:,:), &
                       va_in(:),vcc_in(:),vcf_in(:)
```

```
51 integer :: iend_1d,itmp,n_ivin,itr_vin,io,n_ivin0,itmp1,itmp2
52 real(8) :: va_acc,vcc_acc,vcf_acc
53 !<---- 1d
54 real(8), allocatable :: rseries(:,:,:),r(:,:),rmap(:,:,:),x_rpnt(:),y_rpnt(:),r_rpnt(:),
       d_idw(:)
55 real(8) :: rdt,rain_tmp
56 integer :: l,rnum,itsp_r,n_rpnt,minl(1)
57 character(len=100) :: rname
58 !
59 integer :: nsci,nscj
60 integer, allocatable :: iffx(:,:),iffy(:,:)
61 real(8),allocatable :: mvals(:)
62 character :: cline*1000
63 !
64 character(len=100) :: fname,ctmp,cfmt,out_dir
65 !
66 open(1,file='DF_input.txt')
67 read(1,*) ! grid
68 read(1,*)iend
69 read(1,*)jend
70 read(1,*)dx
71 read(1,*)dy
72 !
73 allocate(z(iend,jend),zo(iend,jend),zini(iend,jend),zs(iend,jend),h(iend,jend),ho(iend,jend
       ),d(iend,jend),&
74           hs(iend,jend),hso(iend,jend),coh(iend,jend),sf(iend,jend),hmax(iend,jend),hsmax(
       iend,jend), &
75           cc(iend,jend),cco(iend,jend),cf(iend,jend),cfo(iend,jend),e(iend,jend),tant_e(iend,
       jend), &
76           grad_z(iend,jend),grad_w(iend,jend),rho(iend,jend),rhom(iend,jend),fdir(iend,jend))
77 allocate(u(iend,jend),uo(iend,jend),v(iend,jend),vo(iend,jend),ua(iend,jend),va(iend,jend),
       uv(iend,jend), &
78           uh(iend,jend),vh(iend,jend),qx(iend,jend),qy(iend,jend),qsx(iend,jend),qsy(iend,
       jend), &
79           qccx(iend,jend),qccy(iend,jend),qcfx(iend,jend),qcfy(iend,jend), &
80           q_a(iend,jend,2),qcc_a(iend,jend,2),qcf_a(iend,jend,2))
81 allocate(qin0(0:qnum),cin0(0:qnum))
82 allocate(iacc(iend,jend),ibasin(iend,jend),idir(iend,jend),ifld(iend,jend))
83 !
84 read(1,*)
85 read(1,*)dt
86 read(1,*)dout_time
87 read(1,*)fout_time
88 read(1,*)
89 read(1,*)rname
90 read(1,*)rnum
91 read(1,*)rdt
92 read(1,*)
93 read(1,*)qnum
94 read(1,*)qdt
95 read(1,*)
96 read(1,*)fname ! elevation
97 call r_fasc(10,fname,z(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
98 !
99 read(1,*)fname ! targetArea
```

```
100 call r_iasc(10,fname,ibasin(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
101 !
102 ifld(:,:)=0
103 !fname='input/fld.asc'
104 !call r_iasc(10,fname,ifld(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
105 !open(11,file='ifld_in.txt')
106 !read(11,*)nifld
107 !do k=1,nifld
108 ! read(11,*)i,j
109 ! ifld(i,j)=1
110 !end do
111 !
112 read(1,*)fname ! flowDir
113 call r_iasc(10,fname,idir(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
114 fdir(:,:)=idir(:,:)*45*deg2rad
115 !
116 read(1,*)fname ! soil depth(m)
117 call r_fasc(10,fname,d(:,:),iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
118 zs(:,:)=z(:,:)-d(:,:)
119 zini(:,:)=z(:,:)
120 !
121 read(1,*)fname ! initial hs(m)
122 call r_fasc(10,fname,hs,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
123 hso(:,:)=hs(:,:)
124 !
125 read(1,*)
126 read(1,*)dm
127 read(1,*)csta
128 read(1,*)pf
129 read(1,*)rhow
130 read(1,*)sig
131 read(1,*)tanp ! deg
132 tanp=tan(tanp*deg2rad) ! deg ---> rad
133 read(1,*)coh_tmp
134 read(1,*)ks ! (mm/h)
135 ks=ks/100.0d0 ! (mm/h) -> (m/s)
136 read(1,*)rn
137 read(1,*)hlim
138 !
139 cstad=csta
140 pc=1.d0-pf
141 end_time=dble(qnum-1)*qdt
142 itsp_max=nint(end_time/dt)
143 itsp_dout=nint(dout_time/dt)
144 itsp_fout=nint(fout_time/dt)
145 itsp_q=nint(qdt/dt)
146 itsp_r=nint(rdt/dt)
147 out_dir='output_DF/'
148 write(*,*)trim(adjustl(out_dir))
149 write(*,*)''
150 !
151 read(1,*)
152 read(1,*)nsci
153 allocate(iffx(nsci,3))
154 write(cline,'(a10)')'time'
```

```
155 do i=1,nsci
156    read(1,*)iffx(i,1),iffx(i,2),iffx(i,3) ! i,j1,j2
157    write(ctmp,'(a,i0,a,i0,a,i0,a)')'i(',iffx(i,1),')&j(',iffx(i,2),':',iffx(i,3),'),'
158    ctmp=adjustr(ctmp)
159    cline=trim(cline)//ctmp(56:100)
160 end do
161 !
162 read(1,*)nscj
163 allocate(iffy(nscj,3))
164 do i=1,nscj
165    read(1,*)iffy(i,1),iffy(i,2),iffy(i,3)
166    write(ctmp,'(a,i0,a,i0,a,i0,a)')'i(',iffy(i,2),':',iffy(i,3),')&j(',iffy(i,1),'),'
167    ctmp=adjustr(ctmp)
168    cline=trim(cline)//ctmp(56:100)
169 end do
170 open(30,file='flux_sed.txt')
171 write(30,'(a)')cline
172 !
173 allocate(mvals((nsci+nscj)*3))
174 !
175 ! ---> set cv & flux
176 open(1,file='input/controlVolume_centerPoint_inDF.txt')
177 read(1,*)n_ij_cv
178 allocate(ij_cv(n_ij_cv,2))
179 read(1,*)
180 do k=1,n_ij_cv
181    read(1,*)x,y,ij_cv(k,1:2)
182 end do
183 close(1)
184 !
185 open(1,file='input/fluxPoint_x_inDF.txt')
186 read(1,*)n_ij_u
187 allocate(ij_u(n_ij_u,2))
188 read(1,*)
189 do k=1,n_ij_u
190    read(1,*)x,y,ij_u(k,1:2)
191 end do
192 close(1)
193 !
194 open(1,file='input/fluxPoint_y_inDF.txt')
195 read(1,*)n_ij_v
196 allocate(ij_v(n_ij_v,2))
197 read(1,*)
198 do k=1,n_ij_v
199    read(1,*)x,y,ij_v(k,1:2)
200 end do
201 close(1)
202 !
203 open(1,file='input/fluxPoint_xBoudary_inDF.txt')
204 read(1,*)n_ij_u_we
205 allocate(ij_u_we(n_ij_u_we,2))
206 read(1,*)
207 do k=1,n_ij_u_we
208    read(1,*)x,y,ij_u_we(k,1:2)
209 end do
```

```
close(1)
!
open(1,file='input/fluxPoint_yBoudary_inDF.txt')
read(1,*)n_ij_v_sn
allocate(ij_v_sn(n_ij_v_sn,2))
read(1,*)
do k=1,n_ij_v_sn
   read(1,*)x,y,ij_v_sn(k,:)
end do
close(1)
!
open(1,file='input/fluxPoint_wBoudary_inDF.txt')
read(1,*)n_ij_w
allocate(ij_w(n_ij_w,2))
read(1,*)
do k=1,n_ij_w
   read(1,*)x,y,ij_w(k,:)
end do
close(1)
!
open(1,file='input/fluxPoint_eBoudary_inDF.txt')
read(1,*)n_ij_e
allocate(ij_e(n_ij_e,2))
read(1,*)
do k=1,n_ij_e
   read(1,*)x,y,ij_e(k,:)
end do
close(1)
!
open(1,file='input/fluxPoint_sBoudary_inDF.txt')
read(1,*)n_ij_s
allocate(ij_s(n_ij_s,2))
read(1,*)
do k=1,n_ij_s
   read(1,*)x,y,ij_s(k,:)
end do
close(1)
!
open(1,file='input/fluxPoint_nBoudary_inDF.txt')
read(1,*)n_ij_n
allocate(ij_n(n_ij_n,2))
read(1,*)
do k=1,n_ij_n
   read(1,*)x,y,ij_n(k,:)
end do
close(1)
!<---- set cv & flux
!
!open(10,file='input/bound.dat')
!do i=0,qnum ! i=0: initial
!   read(10,*)qin0(i),cin0(i)
!end do
!qin0(qnum+1)=qin0(qnum)
!cin0(qnum+1)=cin0(qnum)
!close(10)
```

```
265 !
266 ! ---> set vol from 1d
267 open(10,file='input/streamConfiguration_inRR.txt')
268 read(10,*)iend_1d
269 allocate(ij_1d2d(iend_1d,2,1),xy_1d2d(iend_1d,2))
270 read(10,*)
271 do i=1,iend_1d
272   read(10,*)itmp,itmp,itmp,itmp,itmp,&
273             tmp,tmp,tmp,tmp,tmp,tmp,itmp,&
274             xy_1d2d(i,1),xy_1d2d(i,2),ij_1d2d(i,1,1),ij_1d2d(i,2,1)
275 end do
276 close(10)
277 deallocate(ij_1d2d)
278 !
279 open(10,file='input/streamFloodplainConnection.txt')
280 read(10,*)itr_vin
281 read(10,*)
282 itmp=0
283 io=0
284 do while(io==0)
285   read(10,*,iostat=io)
286   itmp=itmp+1
287 end do
288 close(10)
289 itmp=itmp-1
290 n_ivin=itmp
291 if(mod(n_ivin,itr_vin)/=0)then
292   write(*,*)'n%itr/=0 <<<STOP>>>'
293   stop
294 else
295 n_ivin=n_ivin/itr_vin
296 n_ivin0=n_ivin
297 end if
298 !
299 allocate(ij_1d2d(n_ivin,2,itr_vin),i_1d(n_ivin,itr_vin))
300 open(10,file='input/streamFloodplainConnection.txt')
301 read(10,*)
302 read(10,*)
303 do i=1,n_ivin
304   do j=1,itr_vin
305     read(10,*)tmp,tmp,ij_1d2d(i,1,j),ij_1d2d(i,2,j),i_1d(i,j)
306   end do
307 end do
308 close(10)
309 !
310 allocate(va_in(iend_1d))
311 open(10,file='./input/flowVolume_ws_DRtoDF.txt')
312 do i=1,qnum
313   read(10,'(a10,i10,*(E20.10e3))')ctmp,k,va_in(:)
314 end do
315 close(10)
316 !
317 itmp=0
318 do i=1,n_ivin
319   if(0.d0 < va_in(i_1d(i,1)))then
```

```
320       itmp=itmp+1
321     end if
322   end do
323   n_ivin=itmp
324   !
325   deallocate(ij_1d2d,i_1d)
326   allocate(ivin(n_ivin))
327   allocate(ij_1d2d(n_ivin,2,itr_vin),i_1d(n_ivin,itr_vin))
328   !
329   open(10,file='input/streamFloodplainConnection.txt')
330   read(10,*)
331   read(10,*)
332   k=0
333   do i=1,n_ivin0
334     j=1
335     read(10,*)tmp,tmp,itmp,itmp,itmp1,itmp2
336     backspace(10)
337     if(0.d0 < va_in(itmp1))then
338       k=k+1
339       do j=1,itr_vin
340         read(10,*)tmp,tmp,ij_1d2d(k,1,j),ij_1d2d(k,2,j),i_1d(k,j)
341       end do
342       if(i_1d(k,1)==i_1d(k,itr_vin))then
343         ivin(k)=i_1d(k,1)
344       else
345         write(*,*)'n_vin␣?␣<<<STOP>>>'
346         stop
347       end if
348     else
349       do j=1,itr_vin
350         read(10,*)
351       end do
352     end if
353   end do
354   deallocate(va_in)
355   !
356   allocate(va_in0(0:qnum,iend_1d),vcc_in0(0:qnum,iend_1d),vcf_in0(0:qnum,iend_1d), &
357            va_in(iend_1d),vcc_in(iend_1d),vcf_in(iend_1d))
358   va_in0=0.d0
359   vcc_in0=0.d0
360   vcf_in0=0.d0
361   va_in=0.d0
362   vcc_in=0.d0
363   vcf_in=0.d0
364   open(10,file='./input/flowVolume_ws_DRtoDF.txt')
365   do i=0,qnum-1 ! i=0: initial
366     read(10,'(a10,i10,*(E20.10e3))')ctmp,k,va_in0(i,:)
367     if(i==0)then
368       va_in(:)=va_in0(i,:)
369     else
370       va_in0(i,:)=va_in0(i,:)-va_in(:)
371     end if
372     va_in(:)=va_in(:)+va_in0(i,:)
373   end do
374   close(10)
```

```
375 va_in0(qnum,:)=va_in0(qnum-1,:)
376 va_in0(:,:)=va_in0(:,:)/(cellsize*cellsize*qdt)
377 !
378 open(10,file='./input/flowVolume_cs_DRtoDF.txt')
379 do i=0,qnum-1 ! i=0: initial
380   read(10,'(a10,i10,*(E20.10e3))')ctmp,k,vcc_in0(i,:)
381   if(i==0)then
382     vcc_in(:)=vcc_in0(i,:)
383   else
384     vcc_in0(i,:)=vcc_in0(i,:)-vcc_in(:)
385   end if
386   vcc_in(:)=vcc_in(:)+vcc_in0(i,:)
387 end do
388 close(10)
389 vcc_in0(qnum,:)=vcc_in0(qnum-1,:)
390 vcc_in0(:,:)=vcc_in0(:,:)/(cellsize*cellsize*qdt)
391 !
392 open(10,file='./input/flowVolume_fs_DRtoDF.txt')
393 do i=0,qnum-1 ! i=0: initial
394   read(10,'(a10,i10,*(E20.10e3))')ctmp,k,vcf_in0(i,:)
395   if(i==0)then
396     vcf_in(:)=vcf_in0(i,:)
397   else
398     vcf_in0(i,:)=vcf_in0(i,:)-vcf_in(:)
399   end if
400   vcf_in(:)=vcf_in(:)+vcf_in0(i,:)
401 end do
402 close(10)
403 vcf_in0(qnum,:)=vcf_in0(qnum-1,:)
404 vcf_in0(:,:)=vcf_in0(:,:)/(cellsize*cellsize*qdt)
405 !
406 open(10,file='va.txt')
407 write(10,'((i10),(a10),*(i20))')n_ivin*itr_vin,'i_1D',((i_1d(j,k),k=1,itr_vin),j=1,n_ivin)
408 write(10,'((i10),(a10),*(i20))')n_ivin*itr_vin,'i_2D',((ij_1d2d(j,1,k),k=1,itr_vin),j=1,
      n_ivin)
409 write(10,'((i10),(a10),*(i20))')n_ivin*itr_vin,'j_2D',((ij_1d2d(j,2,k),k=1,itr_vin),j=1,
      n_ivin)
410 do i=1,qnum
411   write(10,'((a10),(i10),*(E20.10e3))')'time(s)=',i*int(qdt),((va_in0(i,i_1d(j,k))/dble(
      itr_vin),k=1,itr_vin),j=1,n_ivin)
412 end do
413 close(10)
414 !
415 open(10,file='vcc.txt')
416 write(10,'((i10),(a10),*(i20))')n_ivin*itr_vin,'i_1D',((i_1d(j,k),k=1,itr_vin),j=1,n_ivin)
417 write(10,'((i10),(a10),*(i20))')n_ivin*itr_vin,'i_2D',((ij_1d2d(j,1,k),k=1,itr_vin),j=1,
      n_ivin)
418 write(10,'((i10),(a10),*(i20))')n_ivin*itr_vin,'j_2D',((ij_1d2d(j,2,k),k=1,itr_vin),j=1,
      n_ivin)
419 do i=1,qnum
420   write(10,'((a10),(i10),*(E20.10e3))')'time(s)=',i*int(qdt),((vcc_in0(i,i_1d(j,k))/dble(
      itr_vin),k=1,itr_vin),j=1,n_ivin)
421 end do
422 close(10)
423 !
```

```
424 open(10,file='vcf.txt')
425 write(10,'((i10),(a10),*(i20))')n_ivin*itr_vin,'i_1D',((i_1d(j,k),k=1,itr_vin),j=1,n_ivin)
426 write(10,'((i10),(a10),*(i20))')n_ivin*itr_vin,'i_2D',((ij_1d2d(j,1,k),k=1,itr_vin),j=1,
      n_ivin)
427 write(10,'((i10),(a10),*(i20))')n_ivin*itr_vin,'j_2D',((ij_1d2d(j,2,k),k=1,itr_vin),j=1,
      n_ivin)
428 do i=1,qnum
429   write(10,'((a10),(i10),*(E20.10e3))')'time(s)=',i*int(qdt),((vcf_in0(i,i_1d(j,k))/dble(
      itr_vin),k=1,itr_vin),j=1,n_ivin)
430 end do
431 close(10)
432 !
433 open(10,file='connection_mod.txt')
434 write(10,*)n_ivin*itr_vin
435 do i=1,n_ivin
436   do j=1,itr_vin
437     x=xllcorner+cellsize*(0.5+ij_1d2d(i,1,j)-1)
438     y=yllcorner+cellsize*(0.5+ij_1d2d(i,2,j)-1)
439     write(10,'(2(f15.3,'','',),5(i5,'','',))')x,y,(i-1)*itr_vin+j,ij_1d2d(i,1,j),ij_1d2d(i,2,j
      ),i_1d(i,j),ivin(i)
440   end do
441 end do
442 close(10)
443 !<---- set vol from 1d
444 !
445 !----> reconfiguration of input vol
446 deallocate(ij_1d2d)
447 open(10,file='connection_mod.txt')
448 read(10,*)n_ivin
449 allocate(ij_1d2d(n_ivin,2,1))
450 do i=1,n_ivin
451   read(10,*)x,y,itmp,ij_1d2d(i,1,1),ij_1d2d(i,2,1)
452 end do
453 !
454 deallocate(va_in0,vcc_in0,vcf_in0,va_in,vcc_in,vcf_in)
455 allocate(va_in0(0:qnum,n_ivin),vcc_in0(0:qnum,n_ivin),vcf_in0(0:qnum,n_ivin), &
456          va_in(n_ivin),vcc_in(n_ivin),vcf_in(n_ivin))
457 va_in0=0.d0
458 vcc_in0=0.d0
459 vcf_in0=0.d0
460 va_in=0.d0
461 vcc_in=0.d0
462 vcf_in=0.d0
463 open(10,file='va.txt')
464 read(10,*)
465 read(10,*)
466 read(10,*)
467 do i=1,qnum ! i=0: initial
468   read(10,'((a10),(i10),*(E20.10e3))')ctmp,k,va_in0(i,1:n_ivin)
469 end do
470 close(10)
471 !
472 open(10,file='vcc.txt')
473 read(10,*)
474 read(10,*)
```

```
read(10,*)
do i=1,qnum ! i=0: initial
  read(10,'((a10),(i10),*(E20.10e3))')ctmp,k,vcc_in0(i,1:n_ivin)
end do
close(10)
!
open(10,file='vcf.txt')
read(10,*)
read(10,*)
read(10,*)
do i=1,qnum ! i=0: initial
  read(10,'((a10),(i10),*(E20.10e3))')ctmp,k,vcf_in0(i,1:n_ivin)
end do
close(10)
! <--- reconfiguration of input vol
!
! ---> set rain
open(11,file=rname)
read(11,*)n_rpnt
allocate(rseries(iend,jend,0:rnum),rmap(iend,jend,0:n_rpnt),r(iend,jend), &
         x_rpnt(n_rpnt),y_rpnt(n_rpnt),r_rpnt(n_rpnt),d_idw(n_rpnt))
read(11,*)ctmp,x_rpnt(1:n_rpnt)
read(11,*)ctmp,y_rpnt(1:n_rpnt)
rseries(:,:,0:rnum)=0.0d0 ! from 0
rmap(:,:,:)=0
do i=1,iend
  do j=1,jend
    if(ibasin(i,j)/=0)then
      x=xllcorner+dx*(0.5+i-1)
      y=yllcorner+dx*(0.5+j-1)
      d_idw(1:n_rpnt)=((x-x_rpnt(1:n_rpnt))**2.d0+(y-y_rpnt(1:n_rpnt))**2.d0)**0.5d0
      minl=minloc(d_idw)
      !write(*,*)i,j,minl
      rmap(i,j,1:n_rpnt)=0.d0
      rmap(i,j,minl(1))=1.d0 !d_idw(1:n_rpnt)/sum(d_idw(:))
      rmap(i,j,0)=minl(1)
    end if
  end do
end do
fname=trim(adjustl(out_dir))//'rain_map.asc'
cfmt='(*(f10.3))'
call w_fasc_fmt(20,fname,rmap(:,:,0),cfmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-9999.d0)

do k=0,rnum-1
  rseries(:,:,k)=0.0d0
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
  read(11,*)ctmp,r_rpnt(1:n_rpnt)
  do i=1,iend
    do j=1,jend
      if(ibasin(i,j)/=0)then
        rain_tmp=sum(r_rpnt(1:n_rpnt)*rmap(i,j,1:n_rpnt))
        !write(*,'(2i4,10f7.3)')i,j,rain_tmp,r_rpnt(:),rmap(i,j,:)
        rseries(i,j,k)=rain_tmp/rdt/1000.0d0
      end if
    end do
```

```
  end do
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
   !rseries(1:iend,1:jend,k)=rain_tmp/rdt/1000.0d0
   !where(ibasin(1:iend,1:jend)==0) rseries(1:iend,1:jend,k)=0.0d0
   !write(fname,'(i10.10)')nint(k*rdt)
   !fname='output_rain/rain_'//trim(adjustl(fname))//'.asc'
   !write(*,*)trim(adjustl(fname)),' mm/h'
   !call w_fasc(20,fname,cfmt,rseries(:,:,k)*3600.*1000.0d0,iend,jend,xllcorner,yllcorner,dx
      ,-9999.0d0)
   !open(10,file=fname)
   !do i=1,6
   !   read(10,*)
   !end do
   !do j=jend,1,-1
   !   read(10,*)rseries(1:iend,j,k)
   !   rseries(1:iend,j,k)=rseries(1:iend,j,k)/rdt/1000.0d0
   !end do
end do

fname=trim(adjustl(out_dir))//'rain_sum.asc'
write(*,*)trim(adjustl(fname)),' mm'
r=0.d0
do k=0,rnum-1
  r(:,:)=r(:,:)+(rseries(:,:,k))*rdt*1000.
end do
!write(*,*)'r_ave=',sum(r(:,:))*dx*dx/basin_area
call w_fasc_fmt(20,fname,r(:,:),cfmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-9999.0d0)
r=0.d0
close(11)
rseries(:,:,rnum)=rseries(:,:,rnum-1)
!<--- set rain
!
!---> initial conditions
h(:,:)=0.d0
u(:,:)=0.d0
v(:,:)=0.d0
uh(:,:)=0.d0
vh(:,:)=0.d0
ho(:,:)=h(:,:)
uo(:,:)=u(:,:)
vo(:,:)=v(:,:)
zo(:,:)=z(:,:)
cc(:,:)=0.d0
cf(:,:)=0.d0
cco(:,:)=cc(:,:)
cfo(:,:)=cf(:,:)
e(:,:)=0.d0
q_a(:,:,1:2)=0.d0
qcc_a(:,:,1:2)=0.d0
qcf_a(:,:,1:2)=0.d0
!hs(:,:)=0.d0
coh(:,:)=coh_tmp
sf(:,:)=0.d0
hmax=0.d0
hsmax=0.d0
```

```
584 umax=0.d0
585 vmax=0.d0
586 i_umax=0
587 j_umax=0
588 h_umax=0.d0
589 i_vmax=0
590 j_vmax=0
591 h_vmax=0.d0
592 va_acc=0.d0
593 vcc_acc=0.d0
594 vcf_acc=0.d0
595 q_out=0.d0
596 qcc_out=0.d0
597 qcf_out=0.d0
598 !<--- initial conditions
599 !
600 !---> cal start
601 dt0=dt
602 dtmin=dt
603 time=0.d0
604 time0=0.d0
605 do itsp=1,itsp_max
606    time=time0+dt
607    k=itsp/itsp_q
608    l=itsp/itsp_r
609    qin=qin0(k)+(qin0(k+1)-qin0(k))*(itsp-k*itsp_q)/dble(itsp_q)
610    cin=cin0(k)+(cin0(k+1)-cin0(k))*(itsp-k*itsp_q)/dble(itsp_q)
611    r(:,:)=rseries(:,:,l+1)
612    va_in(:)=va_in0(k,:)+(va_in0(k+1,:)-va_in0(k,:))*(itsp-k*itsp_q)/dble(itsp_q)
613    vcc_in(:)=vcc_in0(k,:)+(vcc_in0(k+1,:)-vcc_in0(k,:))*(itsp-k*itsp_q)/dble(itsp_q)
614    vcf_in(:)=vcf_in0(k,:)+(vcf_in0(k+1,:)-vcf_in0(k,:))*(itsp-k*itsp_q)/dble(itsp_q)
615    !
616    time1=time0
617    itr=1
618    flxd=0.d0
619    !
620    call cal_qs(n_ij_u,ij_u,iend,jend,-1, 0,dx,ks,zs,hs,qsx,usmax)
621    call cal_qs(n_ij_v,ij_v,iend,jend, 0,-1,dx,ks,zs,hs,qsy,vsmax)
622    !flxd=max(usmax*dt,vsmax*dt,ks*dt)
623    !flxd=max(flxd, maxval(abs(qsx))*dt, maxval(abs(qsy))*dt)
624    !
625    call cal_rho(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,sig,rhow,cc,cf,rho,rhom) ! i=i to iend
626    !u
627    call cal_u(n_ij_u,ij_u,iend,jend,dtlim,dx,g,zo,h,ho,tant_e,hlim,rn,u,uo,uh, &
628               rho,sig,dm,csta,tanp,cco,ijofs_uv(1:8,0:4,1),vo,umax,i_umax,j_umax,h_umax)
629    !v
630    call cal_u(n_ij_v,ij_v,iend,jend,dtlim,dx,g,zo,h,ho,tant_e,hlim,rn,v,vo,vh, &
631               rho,sig,dm,csta,tanp,cco,ijofs_uv(1:8,0:4,2),uo,vmax,i_vmax,j_vmax,h_vmax)
632    !
633    !flxd=max(flxd, umax*h_umax*dt, vmax*h_vmax*dt)
634    flxd=max(umax*dt, vmax*dt)
635    !tmp=u2*maxval(va_in(:))*(2.d0*g*maxval(va_in(:)))**0.5d0
636    tmp=(g*maxval(va_in(:)))**0.5d0
637    flxd=max(flxd, tmp*dt)
638    !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
```

```
639   if ((dx*cfl) < flxd)then
640     itr=min(ceiling(flxd/(dx*cfl)),nint(dt0/dtlim))
641     if(itr<=0)then
642       write(*,*)'itr',itr,flxd,dx*cfl,nint(dt0/dtlim)
643       write(*,*)tmp,h_umax,h_vmax,maxval(va_in(:))
644       read(*,*)
645     end if
646     dt=dt0/dble(itr)
647     !write(*,'(a,f10.7)', advance='yes') 'dt=',dt
648     if(dt<dtmin)dtmin=dt
649   end if
650   !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
651   !
652   do while (itr>0)
653     !
654     !d(:,:)=z(:,:)-zs(:,:)
655     !call cal_hs(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dt,dx,hs,r(:,:),qsx,qsy,csta)
656     !where(d(:,:) < hs(:,:))
657     !  ho(:,:)=ho(:,:)+(hs(:,:)-d(:,:))*(1.d0-csta)
658     !  hs(:,:)=d(:,:)
659     !elsewhere
660     !end where
661     !
662     !call cal_stability(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend, &
663     !                   grad_w,h,hs, &
664     !                   (1.d0-csta),rhow,sig,d,tanp,coh,g,sf)
665     !where(0.d0 < e(:,:) .and. hs(:,:) < d(:,:))
666     !  e(:,:)=0.d0
667     !elsewhere
668     !end where
669     !
670     call cal_h(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dt,dx,h,ho,qx,qy,e,csta,cstad)
671     call cal_cc(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dt,dx,hlim,h,ho,cc,cco,qccx,qccy,e,pc)
672     call cal_cf(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dt,dx,hlim,h,ho,cf,cfo,cc,cco,qcfx,qcfy,e,pf,cstad)
673     call cal_z(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dt,csta,z,zs,e,tant_e)
674     !
675     ! ---> from 1d
676     do k=1,n_ivin
677       i=ij_1d2d(k,1,1)
678       j=ij_1d2d(k,2,1)
679       ho(i,j)=h(i,j)
680       cco(i,j)=cc(i,j)
681       cfo(i,j)=cf(i,j)
682       h(i,j)=ho(i,j)+va_in(k)*dt
683       if(0.d0<h(i,j))then
684         cc(i,j)=(cco(i,j)       *ho(i,j)          + vcc_in(k)*dt) /                  h(i,j)
685         cf(i,j)=((1.d0-cco(i,j))*ho(i,j)*cfo(i,j) + vcf_in(k)*dt) / ((1.d0-cc(i,j))*h(i,j
    ))
686       else
687         cc(i,j)=0.d0
688         cf(i,j)=0.d0
689       end if
690       va_acc = va_acc+ va_in(k)*dt*cellsize*cellsize
691       vcc_acc=vcc_acc+vcc_in(k)*dt*cellsize*cellsize
692       vcf_acc=vcf_acc+vcf_in(k)*dt*cellsize*cellsize
```

```
693     end do
694     ! <--- from 1d
695     !
696     call cal_qs(n_ij_u,ij_u,iend,jend,-1, 0,dx,ks,zs,hs,qsx,usmax)
697     call cal_qs(n_ij_v,ij_v,iend,jend, 0,-1,dx,ks,zs,hs,qsy,vsmax)
698     !u
699     call cal_u(n_ij_u,ij_u,iend,jend,dt,dx,g,zo,h,ho,tant_e,hlim,rn,u,uo,uh, &
700                rho,sig,dm,csta,tanp,cco,ijofs_uv(1:8,0:4,1),vo,umax,i_umax,j_umax,h_umax)
701     !v
702     call cal_u(n_ij_v,ij_v,iend,jend,dt,dx,g,zo,h,ho,tant_e,hlim,rn,v,vo,vh, &
703                rho,sig,dm,csta,tanp,cco,ijofs_uv(1:8,0:4,2),uo,vmax,i_vmax,j_vmax,h_vmax)
704     !
705     ua(1:iend-1,:)=(u(1:iend-1,:)+u(2:iend,:))*0.5d0
706     ua(iend,:)=u(iend,:)
707     va(:,1:jend-1)=(v(:,1:jend-1)+v(:,2:jend))*0.5d0
708     va(:,jend)=v(:,jend)
709     uv=(ua*ua+va*va)**0.5d0
710     !
711     call cal_q(n_ij_u,ij_u,iend,jend,-1, 0,h,u,qx,cc,cf,qccx,qcfx,uh)
712     call cal_q(n_ij_v,ij_v,iend,jend, 0,-1,h,v,qy,cc,cf,qccy,qcfy,vh)
713     !
714     call cal_rho(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,sig,rhow,cc,cf,rho,rhom) ! i=i to iend
715     !
716     call cal_grad(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dx,z,grad_z)
717     call cal_grad(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dx,zs+hs+h,grad_w)
718     !
719     call cal_e(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dt,dx,z,zs,sig,rho,csta,tanp,cc,cf,e,h,hlim, &
720                ua,va,qx,qy,qccx,qccy,qcfx,qcfy,ifld,tant_e,uv) ! output: i=1 to iend-1
721     !
722     uo(:,:)=u(:,:)
723     vo(:,:)=v(:,:)
724     ho(:,:)=h(:,:)
725     zo(:,:)=z(:,:)
726     cco(:,:)=cc(:,:)
727     cfo(:,:)=cf(:,:)
728     !
729     q_a(:,:,1)=q_a(:,:,1)+qx(:,:)*dt
730     q_a(:,:,2)=q_a(:,:,2)+qy(:,:)*dt
731     qcc_a(:,:,1)=qcc_a(:,:,1)+qccx(:,:)*dt
732     qcc_a(:,:,2)=qcc_a(:,:,2)+qccy(:,:)*dt
733     qcf_a(:,:,1)=qcf_a(:,:,1)+qcfx(:,:)*dt
734     qcf_a(:,:,2)=qcf_a(:,:,2)+qcfy(:,:)*dt
735     !
736     do k=1,n_ij_w
737       q_out=q_out-qx(ij_w(k,1),ij_w(k,2))*dt*dx
738       qcc_out=qcc_out-qccx(ij_w(k,1),ij_w(k,2))*dt*dx
739       qcf_out=qcf_out-qcfx(ij_w(k,1),ij_w(k,2))*dt*dx
740     end do
741     do k=1,n_ij_e
742       q_out=q_out+qx(ij_e(k,1),ij_e(k,2))*dt*dx
743       qcc_out=qcc_out+qccx(ij_e(k,1),ij_e(k,2))*dt*dx
744       qcf_out=qcf_out+qcfx(ij_e(k,1),ij_e(k,2))*dt*dx
745     end do
746     do k=1,n_ij_s
747       q_out=q_out-qy(ij_s(k,1),ij_s(k,2))*dt*dx
```

```
748       qcc_out=qcc_out-qccy(ij_s(k,1),ij_s(k,2))*dt*dx
749       qcf_out=qcf_out-qcfy(ij_s(k,1),ij_s(k,2))*dt*dx
750     end do
751     do k=1,n_ij_n
752       q_out  =q_out  +qy(  ij_n(k,1),ij_n(k,2))*dt*dx
753       qcc_out=qcc_out+qccy(ij_n(k,1),ij_n(k,2))*dt*dx
754       qcf_out=qcf_out+qcfy(ij_n(k,1),ij_n(k,2))*dt*dx
755     end do
756     !
757     where(hmax(:,:)<h(:,:))hmax(:,:)=h(:,:)
758     where(hsmax(:,:)<hs(:,:))hsmax(:,:)=hs(:,:)
759     !
760     time1=time1+dt
761     itr=itr-1
762     !write(*,'(a,3f10.5,i5)')'in do while1, time,time0,time1',time,time0,time1,itr
763   end do ! do while
764   !write(*,'(a,3f10.5)')'af do while1, time,time0,time1',time,time0,time1
765   !
766   time0=time
767   dt=dt0
768   ! ---> output
769   if (mod(itsp, itsp_dout) ==0) then
770     ! ---> to disp
771     write(*,'(a,f10.3)')      'time(day)␣=',time/86400.d0
772     write(*,'(a,f10.3)')      'time(hour)=',time/3600.d0
773     write(*,'(a,i10,2(a,f7.3))')'time(sec)␣=',nint(time),',␣rain(mm/h)=',maxval(r
        (:,:)*1000*3600.),&
774     ',␣va_in(m/s)=',maxval(va_in(:)/dble(itr_vin))
775     write(*,'(2(a,f10.3),a,2i5)')'umax=',umax,',␣h@umax=',h_umax,',␣i,j=',i_umax,j_umax
776     write(*,'(2(a,f10.3),a,2i5)')'vmax=',vmax,',␣h@vmax=',h_vmax,',␣i,j=',i_vmax,j_vmax
777     write(*,'(2(a,f10.5))')'dt_min=',dtmin,',␣dt_lim=',dtlim
778     write(*,'(a,3e20.5e3)')'va_in,␣vcc_in,␣vcf_in',va_acc,vcc_acc,vcf_acc
779     write(*,'(a,3e20.5e3)')'vasum,␣vccsum,␣vcfsum',q_out+sum(h)*cellsize*cellsize,&
780     qcc_out+sum(h*cc+(z-zini)*csta)*cellsize*cellsize,&
781     qcf_out+sum(h*(1.d0-cc)*cf)*cellsize*cellsize
782     write(*,'(a,3e20.5e3)')'q_out,qcc_out,qcf_out',q_out,qcc_out,qcf_out
783     ! <--- to disp
784     umax=0.d0
785     vmax=0.d0
786     dtmin=dt
787     !
788     ! ---> flux at section
789     cline=''
790     ! ---> sec i
791     do i=1,nsci
792       j=(i-1)*3
793       mvals(j+1)=sum(q_a(  iffx(i,1),iffx(i,2):iffx(i,3),1))*dx
794       mvals(j+2)=sum(qcc_a(iffx(i,1),iffx(i,2):iffx(i,3),1))*dx
795       mvals(j+3)=sum(qcf_a(iffx(i,1),iffx(i,2):iffx(i,3),1))*dx
796     end do
797     ! <--- sec i
798     ! ---> sec j
799     do i=1,nscj
800       j=nsci*3+(i-1)*3
801       mvals(j+1)=sum(q_a(  iffy(i,2):iffy(i,3),iffy(i,1),2))*dx
```

```
802       mvals(j+2)=sum(qcc_a(iffy(i,2):iffy(i,3),iffy(i,1),2))*dx
803       mvals(j+3)=sum(qcf_a(iffy(i,2):iffy(i,3),iffy(i,1),2))*dx
804     end do
805     !<--- sec i
806     write(30,'(a,i5,20f15.3)')'time=',nint(time),mvals
807     !<--- flux at section
808     !
809     !---> to files
810     if(mod(itsp, itsp_fout) ==0) then
811       ua(1:iend-1,:)=(u(1:iend-1,:)+u(2:iend,:))*0.5d0
812       ua(iend,:)=u(iend,:)
813       va(:,1:jend-1)=(v(:,1:jend-1)+v(:,2:jend))*0.5d0
814       va(:,jend)=v(:,jend)
815       uv=(ua*ua+va*va)**0.5d0
816       cfmt='(*(f10.3))'
817       write(ctmp,'(i10.10)')idnint(time)
818       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_h_'//trim(adjustl(ctmp))//'.asc'
819       call w_fasc_fmt(20,fname,h(:,:),cfmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-9999.d0)
820       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_hs_'//trim(adjustl(ctmp))//'.asc'
821       !call w_fasc_fmt(20,fname,hs(:,:),cfmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-9999.d0
          )
822       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_hmax.asc'
823       call w_fasc_fmt(20,fname,hmax(:,:),cfmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-9999.
          d0)
824       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_hsmax.asc'
825       call w_fasc_fmt(20,fname,hsmax(:,:),cfmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-9999.
          d0)
826       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_sf_'//trim(adjustl(ctmp))//'.asc'
827       !call w_fasc_fmt(20,fname,sf(:,:),cfmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-9999.d0
          )
828       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_cc_'//trim(adjustl(ctmp))//'.asc'
829       call w_fasc_fmt(20,fname,cc(:,:),cfmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-9999.d0)
830       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_cf_'//trim(adjustl(ctmp))//'.asc'
831       !call w_fasc_fmt(20,fname,cf(:,:),cfmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-9999.d0
          )
832       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_dz_'//trim(adjustl(ctmp))//'.asc'
833       call w_fasc_fmt(20,fname,z(:,:)-zini(:,:),cfmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize
          ,-9999.d0)
834       !fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_e_'//trim(adjustl(ctmp))//'.asc'
835       !call w_fasc_fmt(20,fname,e(:,:),'(*(f10.3))',iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize
          ,-9999.d0)
836       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_qx_a_'//trim(adjustl(ctmp))//'.asc'
837       !call w_fasc_fmt(20,fname,q_a(:,:,1),cfmt,iend,jend,xllcorner-dx*0.5d0,yllcorner,
          cellsize,-9999.d0)
838       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_qy_a_'//trim(adjustl(ctmp))//'.asc'
839       !call w_fasc_fmt(20,fname,q_a(:,:,2),cfmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner-dx*0.5d0,
          cellsize,-9999.d0)
840       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_qccx_a_'//trim(adjustl(ctmp))//'.asc'
841       !call w_fasc_fmt(20,fname,qcc_a(:,:,1),cfmt,iend,jend,xllcorner-dx*0.5d0,yllcorner,
          cellsize,-9999.d0)
842       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_qccy_a_'//trim(adjustl(ctmp))//'.asc'
843       !call w_fasc_fmt(20,fname,qcc_a(:,:,2),cfmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner-dx*0.5d0,
          cellsize,-9999.d0)
844       fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_qcfx_a_'//trim(adjustl(ctmp))//'.asc'
```

```
845         !call w_fasc_fmt(20,fname,qcf_a(:,:,1),cfmt,iend,jend,xllcorner-dx*0.5d0,yllcorner,
        cellsize,-9999.d0)
846         fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_qcfy_a_'//trim(adjustl(ctmp))//'.asc'
847         !call w_fasc_fmt(20,fname,qcf_a(:,:,2),cfmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner-dx*0.5d0,
        cellsize,-9999.d0)
848         !fname=trim(adjustl(out_dir))//'res_uv_'//trim(adjustl(ctmp))//'.asc'
849         !call w_fasc_fmt(20,fname,uv(:,:),cfmt,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,-9999.d0
        )
850         ! q_a(:,:,1:2)=0.d0
851         ! qcc_a(:,:,1:2)=0.d0
852         ! qcf_a(:,:,1:2)=0.d0
853       end if
854       !<--- to files
855     end if
856     !<--- output
857   end do
858   !<--- cal start
859   close(30)
860   write(*,*)'---␣nomal␣end␣---'
861   !
862   stop
863   end
864   !
865   !
866   !
867   subroutine cal_u(n_1d,ij_1d,iend,jend,dt,dx,g,zo,h,ho,tan_a,hlim,rn,u,uo,uh, &
868                    rho,sig,dm,csta,tanp,cco,ijofs,v,umax,i_umax,j_umax,h_umax)
869   ! FX q1   q2   q3    qe
870   !    ->   ->   ->    ->
871   ! CV | z1 | z2 | ....| ze |
872   use omp_lib
873   implicit none
874   real(8), parameter :: f1d5=1.d0/5.d0,f1d3=1.d0/3.d0,f5d3=5.d0/3.d0,f2d3=2.d0/3.d0, &
875                         kf=0.16d0,kd=0.0828d0,e2=0.85d0**2.d0
876   integer :: ni,n_1d,ij_1d(n_1d,2),i,iend,j,jend,i_umax,j_umax,ijofs(8,0:4),io(4),jo(4),i2,j2,
        iloc(2),icase
877   real(8) :: va,dt,dx,g,x1,x2,x3,hlim,rn,umax,h_umax,htmp(iend,jend), &
878              zo(iend,jend),h(iend,jend),ho(iend,jend),tan_a(iend,jend), &
879              u(iend,jend),uo(iend,jend),v(iend,jend),h1,hnw,c1,rho1,z1,z2,tan1, &
880              cco(iend,jend),rho(iend,jend),uh(iend,jend), &!,vh(iend,jend)
881              sig,csta,dm,taub,tauy,fb,fb2,tanp,fd,ff,cost,rhom,dhdx
882   !
883   umax=0.d0
884   u(:,:)=0.d0
885   htmp(:,:)=0.d0
886   h_umax=0.d0
887   i_umax=0
888   j_umax=0
889   !$omp parallel do private(ni,i,j,i2,j2,icase,io,jo, &
890   !$omp                     va,dhdx,h1,hnw,c1,rho1,z1,z2,tan1,x1,x2,x3, &
891   !$omp                     cost,tauy,fd,ff,fb2,fb,taub,rhom)
892   do ni=1,n_1d
893     i=ij_1d(ni,1)
894     j=ij_1d(ni,2)
895     i2=i+ijofs(4,0)
```

```
896     j2=j+ijofs(8,0)
897     if(ho(i,j)<hlim .and. ho(i2,j2)<hlim)then ! .or. &
898       !h(i,j)<hlim .and. h(i2,j2)<hlim)then
899       u(i,j)=0.d0
900       cycle
901     end if
902     if(0.d0<uo(i,j) .or. uo(i,j)==0.d0 .and. zo(i,j)+ho(i,j) <= zo(i2,j2) +ho(i2,j2) )then
903       h1=ho(i2,j2)
904       hnw=h(i2,j2)
905       c1=cco(i2,j2)
906       rho1=rho(i2,j2)
907       z1=zo(i2,j2)
908       z2=zo(i,j)
909       tan1=tan_a(i,j)
910     else if(uo(i,j)<0.d0 .or. uo(i,j)==0.d0 .and. zo(i2,j2) +ho(i2,j2) < zo(i,j)+ho(i,j))then
911       h1=ho(i,j)
912       hnw=h(i,j)
913       c1=cco(i,j)
914       rho1=rho(i,j)
915       z1=zo(i,j)
916       z2=zo(i2,j2)
917       tan1=tan_a(i2,j2)
918     else
919       write(*,*)'@cal_u',uo(i,j),h1,i,j
920       read(*,*)
921     end if
922     if(h1<hlim .or. z1+h1<=z2)then! .or. hnw<hlim .or. z1+hnw<=z2)then
923       u(i,j)=0.d0
924       cycle
925     end if
926     h1=(ho(i,j)+ho(i2,j2))/2.d0
927     hnw=(h(i,j)+h(i2,j2))/2.d0
928     c1=(cco(i,j)+cco(i2,j2))/2.d0
929     rho1=(rho(i,j)+rho(i2,j2))/2.d0
930     tan1=(tan_a(i,j)+tan_a(i2,j2))/2.d0
931     !if(h1<hlim .or. z1+h1<=z2)then! .or. hnw<hlim .or. z1+hnw<=z2)then
932     !  u(i,j)=0.d0
933     !  cycle
934     !end if
935     io(1:4)=ijofs(1:4,0)
936     jo(1:4)=ijofs(5:8,0)
937     va=v(i+io(1),j+jo(1))+ &
938        v(i+io(2),j+jo(2))+ &
939        v(i+io(3),j+jo(3))+ &
940        v(i+io(4),j+jo(4)) / 4.d0
941     if(0<uo(i,j))then
942       if(0<va)then !case1
943         icase=1
944         io(1:4)=ijofs(1:4,icase)
945         jo(1:4)=ijofs(5:8,icase)
946       else         !case2
947         icase=2
948         io(1:4)=ijofs(1:4,icase)
949         jo(1:4)=ijofs(5:8,icase)
950       end if
```

```
951   else
952     if(0<va)then  !case3
953       icase=3
954       io(1:4)=ijofs(1:4,icase)
955       jo(1:4)=ijofs(5:8,icase)
956     else          !case4
957       icase=4
958       io(1:4)=ijofs(1:4,icase)
959       jo(1:4)=ijofs(5:8,icase)
960     end if
961   end if
962   !@u (i1,j1),(i2,j2),(i3,j3),(i4,j4) | @v (i1,j1),(i2,j2),(i3,j3),(i4,j4)
963   !va:( 0, 0),( 0, 1),(-1, 1),(-1, 0) | ua:( 0, 0),( 1, 0),( 1,-1),( 0,-1)
964   ! 1:( 0, 0),(-1, 0),( 0, 0),( 0,-1) |  1:( 0, 0),( 0,-1),( 0, 0),(-1, 0)
965   ! 2:( 0, 0),(-1, 0),( 0, 1),( 0, 0) |  2:( 0, 0),( 0,-1),( 1, 0),( 0, 0)
966   ! 3:( 1, 0),( 0, 0),( 0, 0),( 0,-1) |  3:( 0, 1),( 0, 0),( 0, 0),(-1, 0)
967   ! 4:( 1, 0),( 0, 0),( 0, 1),( 0, 0) |  4:( 0, 1),( 0, 0),( 1, 0),( 0, 0)
968   !for u
969   !va=v(i,j)+v(i,j+1)+v(i-1,j+1)+v(i-1,j)
970   !0<u,0<va: u(i,j)*(m(i  ,j)-m(i-1,j))/dx + va(i,j)*(m(i,  j)-m(i,j-1))/dy
971   !0<u,va<0: u(i,j)*(m(i  ,j)-m(i-1,j))/dx + va(i,j)*(m(i,j+1)-m(i,  j))/dy
972   !u<0,0<va: u(i,j)*(m(i+1,j)-m(i  ,j))/dx + va(i,j)*(m(i,  j)-m(i,j-1))/dy
973   !u<0,va<0: u(i,j)*(m(i+1,j)-m(i  ,j))/dx + va(i,j)*(m(i,j+1)-m(i,  j))/dy
974   !for v
975   !ua=u(i,j)+u(i+1,j)+u(i+1,j-1)+u(i,j-1)
976   !0<v,0<ua: v(i,j)*(n(i,  j)-n(i,j-1))/dy + ua(i,j)*(n(i  ,j)-n(i-1,j))/dx
977   !0<v,ua<0: v(i,j)*(n(i,  j)-n(i,j-1))/dy + ua(i,j)*(n(i+1,j)-n(i  ,j))/dx
978   !v<0,0<ua: v(i,j)*(n(i,j+1)-n(i,  j))/dy + ua(i,j)*(n(i  ,j)-n(i-1,j))/dx
979   !v<0,ua<0: v(i,j)*(n(i,j+1)-n(i,  j))/dy + ua(i,j)*(n(i+1,j)-n(i  ,j))/dx
980   x1=uo(i,j)*(uh(i+io(1),j+jo(1))-uh(i+io(2),j+jo(2)))/dx + &
981            va*(uh(i+io(3),j+jo(3))-uh(i+io(4),j+jo(4)))/dx
982   !
983   dhdx=(zo(i,j)+ho(i,j)-zo(i2,j2)-ho(i2,j2))/dx
984   x2=g*h1*dhdx
985   !
986   cost=cos(atan(tan1))
987   tauy=(c1/csta)**f1d5*(sig-rho1)*c1*g*h1*cost*tanp
988   !if(c1<0.05d0)then
989   !  x3=-g*rn*rn*uo(i,j)*abs(uo(i,j))/h1**f1d3
990   !else
991   if(c1<0.05d0)then
992     fb=(6.d0+2.5d0*log(h1/dm))**(-2.d0)
993   else
994     fd=kd*sig/rho1*(1.d0-e2)*c1**(f1d3)
995     ff=kf*(1.d0-c1)**f5d3/c1**(f2d3)
996     fb=6.25d0*(fd+ff)*(h1/dm)**(-2.d0)
997     !fb=6.25d0*(fd+ff)*(max(h1,dm)/dm)**(-2.d0)
998     fb2=(6.d0+2.5d0*log(h1/dm))**(-2.d0)
999     if(fb<fb2)fb=fb2
1000  end if
1001  taub=tauy+rho1*fb*(uo(i,j)*uo(i,j)+va*va)
1002  rhom=(sig-rho1)*c1+rho1
1003  !if(uo(i,j)*uo(i,j)+va*va<0.00001d0)then
1004  if(uo(i,j)*uo(i,j)+va*va<g*hlim)then
1005    x3=0.d0
```

```
1006     else
1007       !x3=taub*uo(i,j)/(uo(i,j)*uo(i,j)+va*va)**0.5d0/rhom
1008       x3=taub/(2.d0*rhom*(uo(i,j)*uo(i,j)+va*va)**0.5d0)
1009     end if
1010     !u(i,j)=(uo(i,j)*h1+(-x1-x2-x3)*dt)/hnw
1011     u(i,j)=(uo(i,j)*(h1-x3*dt)-(x1+x2)*dt)/(hnw+x3*dt)
1012     !
1013     if(u(i,j)*uo(i,j)<0.d0)then
1014       u(i,j)=0.d0
1015     end if
1016     htmp(i,j)=hnw
1017   end do
1018   !$omp end parallel do
1019   umax=maxval(abs(u(:,:)))
1020   iloc=maxloc(abs(u(:,:)))
1021   i_umax=iloc(1)
1022   j_umax=iloc(2)
1023   h_umax=htmp(i_umax,j_umax)
1024   !
1025   end subroutine cal_u
1026   !
1027   !
1028   !
1029   subroutine cal_q(n_1d,ij_1d,iend,jend,iofs,jofs,h,u,qx,cc,cf,qccx,qcfx,uh)
1030   use omp_lib
1031   implicit none
1032   integer :: ni,n_1d,ij_1d(n_1d,2),i,iend,j,jend,iofs,jofs
1033   real(8) :: h(iend,jend),u(iend,jend),qx(iend,jend),cc(iend,jend),cf(iend,jend), &
1034              qccx(iend,jend),qcfx(iend,jend),uh(iend,jend)
1035   !
1036   !u:iofs=-1,jofs=-0
1037   !v:iofs= 0,jofs=-1
1038   !$omp parallel do private(ni,i,j)
1039   do ni=1,n_1d
1040     i=ij_1d(ni,1)
1041     j=ij_1d(ni,2)
1042     uh(i,j)=u(i,j)*(h(i,j)+h(i+iofs,j+jofs))*0.5d0
1043     if(u(i,j)>0.d0)then
1044       qx(i,j)=h(i+iofs,j+jofs)*u(i,j)
1045       qccx(i,j)=qx(i,j)*cc(i+iofs,j+jofs)
1046       qcfx(i,j)=qx(i,j)*cf(i+iofs,j+jofs)*(1.d0-cc(i+iofs,j+jofs))
1047     else
1048       qx(i,j)=h(i,j)*u(i,j)
1049       qccx(i,j)=qx(i,j)*cc(i,j)
1050       qcfx(i,j)=qx(i,j)*cf(i,j)*(1.d0-cc(i,j))
1051     end if
1052   end do
1053   !$omp end parallel do
1054   !
1055   end subroutine cal_q
1056   !
1057   !
1058   !
1059   subroutine cal_qs(n_1d,ij_1d,iend,jend,iofs,jofs,dx,ks,zs,hs,qsx,umax)
1060   use omp_lib
```

```
1061 implicit none
1062 integer :: ni,n_1d,ij_1d(n_1d,2),i,iend,j,jend,iofs,jofs,i1,j1
1063 real(8) :: zs(iend,jend),hs(iend,jend),qsx(iend,jend), &
1064             dx,ks,grad,u,umax,hs1
1065 !
1066 !u:iofs=-1,jofs=0
1067 !v:iofs= 0,jofs=-1
1068 umax=0.d0
1069 !$omp parallel do private(ni,i,j,i1,j1,grad,hs1,u) reduction(max: umax)
1070 do ni=1,n_1d
1071   i=ij_1d(ni,1)
1072   j=ij_1d(ni,2)
1073   i1=i+iofs
1074   j1=j+jofs
1075   grad=(zs(i1,j1)+hs(i1,j1)-(zs(i,j)+hs(i,j)))/dx
1076   if(grad>0.d0)then
1077     hs1=hs(i1,j1)
1078   else
1079     hs1=hs(i,j)
1080   end if
1081   if(hs1<=0.d0)then
1082     qsx(i,j)=0.d0
1083     u=0.d0
1084   else
1085     qsx(i,j)=hs1*grad*ks
1086     u=qsx(i,j)/hs1
1087   end if
1088   if(umax<abs(u))then
1089     umax=abs(u)
1090   end if
1091 end do
1092 !$omp end parallel do
1093 !
1094 end subroutine cal_qs
1095 !
1096 !
1097 !
1098 subroutine cal_hs(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dt,dx,hs,r,qsx,qsy,csta)
1099 use omp_lib
1100 implicit none
1101 integer :: ni,n_ij_cv,ij_cv(n_ij_cv,2),i,iend,j,jend
1102 real(8) :: dt,dx,csta,hs(iend,jend),qsx(iend,jend),qsy(iend,jend),r(iend,jend)
1103 !
1104 !$omp parallel do private(ni,i,j)
1105 do ni=1,n_ij_cv
1106   i=ij_cv(ni,1)
1107   j=ij_cv(ni,2)
1108   hs(i,j)=hs(i,j) &
1109           - (qsx(i+1,j)-qsx(i,j))/dx*dt/(1.d0-csta) &
1110           - (qsy(i,j+1)-qsy(i,j))/dx*dt/(1.d0-csta) &
1111           + r(i,j)/(1.d0-csta)*dt
1112   if(hs(i,j)<0.d0)then
1113     write(*,'(a,2i5,E20.10e3)')'hs<0␣(i,j,h)',i,j,hs(i,j)
1114     hs(i,j)=0.d0
1115   end if
```

```
1116 end do
1117 !$omp end parallel do
1118 !
1119 end subroutine cal_hs
1120 !
1121 !
1122 !
1123 subroutine cal_stability(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,grads,h,hs,lamda,rho,sig,d,tanp,c,g,sf)
1124 use omp_lib
1125 implicit none
1126 real(8), parameter :: PI=acos(-1.0d0),deg2rad=PI/180.0d0,rad2deg=180.0d0/PI
1127 integer :: ni,n_ij_cv,ij_cv(n_ij_cv,2),i,j,iend,jend
1128 real(8) :: lamda,rho,sig,tanp,g,grads(iend,jend), &
1129            h(iend,jend),hs(iend,jend),c(1:iend,1:jend),sf(iend,1:jend),pw(iend,jend), &
1130            d(iend,jend),grav,resi,cost,csta,sint,tant
1131 !
1132 csta=1.d0-lamda
1133 !$omp parallel do private(ni,i,j,sint,cost,tant,grav,resi)
1134 do ni=1,n_ij_cv
1135   i=ij_cv(ni,1)
1136   j=ij_cv(ni,2)
1137   sint=sin(atan(grads(i,j)))
1138   cost=cos(atan(grads(i,j)))
1139   tant=grads(i,j)
1140   pw(i,j)=0.d0
1141   !G=rho*g*D*sint*(sig/rho*csta+(1.-hs/D)*pw+hs/D*(1.-csta)+h/D)
1142   !R=rho*g*D*cost*(sig/rho*csta+(1.-hs/D)*pw-hs/D*csta)*tanp+c
1143   if(0.d0<d(i,j))then
1144     grav=rho*g*d(i,j)*sint*(sig/rho*(1.d0-lamda)+(1.d0-hs(i,j)/d(i,j))*pw(i,j)+hs(i,j)/d(i,j
      )*lamda+h(i,j)/d(i,j))
1145     resi=rho*g*d(i,j)*cost*(sig/rho*(1.d0-lamda)+(1.d0-hs(i,j)/d(i,j))*pw(i,j)-hs(i,j)/d(i,j
      )*(1.d0-lamda))*tanp+c(i,j)
1146     sf(i,j)=grav/resi !G/R
1147   else
1148     sf(i,j)=0.d0
1149   end if
1150   !
1151 end do
1152 !$omp end parallel do
1153 !
1154 end subroutine cal_stability
1155 !
1156 !
1157 !
1158 subroutine cal_h(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dt,dx,h,ho,qx,qy,e,csta,cstad)
1159 use omp_lib
1160 implicit none
1161 integer :: ni,n_ij_cv,ij_cv(n_ij_cv,2),i,iend,j,jend
1162 real(8) :: dt,dx,csta,cstad,h(iend,jend),ho(iend,jend),qx(iend,jend),qy(iend,jend),e(iend,
      jend)
1163 !
1164 !$omp parallel do private(ni,i,j)
1165 do ni=1,n_ij_cv
1166   i=ij_cv(ni,1)
1167   j=ij_cv(ni,2)
```

```
1168    if(e(i,j)>=0.d0)then
1169      h(i,j)=ho(i,j)-(qx(i+1,j)-qx(i,j))/dx*dt-(qy(i,j+1)-qy(i,j))/dx*dt+e(i,j)/csta*dt
1170    else
1171      h(i,j)=ho(i,j)-(qx(i+1,j)-qx(i,j))/dx*dt-(qy(i,j+1)-qy(i,j))/dx*dt+e(i,j)/cstad*dt
1172    end if
1173    if(h(i,j)<0.d0)then
1174      write(*,'(a,2i5,4E15.5e3)')'h<0␣(i,j,h,e)',i,j,h(i,j),e(i,j),(qx(i+1,j)-qx(i,j)),(qy(i,j
          +1)-qy(i,j))
1175      h(i,j)=0.d0
1176    end if
1177  end do
1178  !$omp end parallel do
1179  !
1180  end subroutine cal_h
1181  !
1182  !
1183  !
1184  subroutine cal_cc(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dt,dx,hlim,h,ho,cc,cco,qccx,qccy,e,pc)
1185  use omp_lib
1186  implicit none
1187  integer :: ni,n_ij_cv,ij_cv(n_ij_cv,2),i,iend,j,jend
1188  real(8) :: dt,dx,pc,hlim,h(iend,jend),ho(iend,jend),cc(iend,jend),cco(iend,jend), &
1189             qccx(iend,jend),qccy(iend,jend),e(iend,jend)
1190  !
1191  !$omp parallel do private(ni,i,j)
1192  do ni=1,n_ij_cv
1193    i=ij_cv(ni,1)
1194    j=ij_cv(ni,2)
1195    if(h(i,j)<hlim)then
1196      cc(i,j)=0.d0
1197    else
1198      if(e(i,j)>=0.d0)then
1199        cc(i,j)=(cco(i,j)*ho(i,j)-(qccx(i+1,j)-qccx(i,j))/dx*dt-(qccy(i,j+1)-qccy(i,j))/dx*dt+
          pc*e(i,j)*dt)/h(i,j)
1200      else
1201        cc(i,j)=(cco(i,j)*ho(i,j)-(qccx(i+1,j)-qccx(i,j))/dx*dt-(qccy(i,j+1)-qccy(i,j))/dx*dt+
          e(i,j)*dt)/h(i,j)
1202      end if
1203      if(cc(i,j)<0.d0)then
1204        if(cc(i,j)<-0.001d0)write(*,'(a,2i5,4f15.10)')'cc<0␣(i,j,cco*ho,cc*h,e,dqx+dqy)', &
1205                                i,j,cco(i,j)*ho(i,j),cc(i,j)*h(i,j),e(i,j), &
1206                                (qccx(i+1,j)-qccx(i,j))/dx*dt + (qccy(i,j+1)-qccy(i,j))/dx*dt
1207        !read(*,*)
1208        cc(i,j)=0.d0
1209      end if
1210    end if
1211  end do
1212  !$omp end parallel do
1213  !
1214  end subroutine cal_cc
1215  !
1216  !
1217  !
1218  subroutine cal_cf(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dt,dx,hlim,h,ho,cf,cfo,cc,cco,qcfx,qcfy,e,pf,cstad
        )
```

```
1219 use omp_lib
1220 implicit none
1221 integer :: ni,n_ij_cv,ij_cv(n_ij_cv,2),i,iend,j,jend
1222 real(8) :: dt,dx,pf,cstad,hlim,h(iend,jend),ho(iend,jend),cf(iend,jend),cfo(iend,jend), &
1223            qcfx(iend,jend),qcfy(iend,jend),e(iend,jend),cc(iend,jend),cco(iend,jend)
1224 !
1225 !$omp parallel do private(ni,i,j)
1226 do ni=1,n_ij_cv
1227   i=ij_cv(ni,1)
1228   j=ij_cv(ni,2)
1229   if(h(i,j)<hlim)then
1230     cf(i,j)=0.d0
1231   else
1232     if(e(i,j)>=0.d0)then
1233       cf(i,j)=(cfo(i,j)*(1.d0-cco(i,j))*ho(i,j)-(qcfx(i+1,j)-qcfx(i,j))/dx*dt-(qcfy(i,j+1)-
      qcfy(i,j))/dx*dt+pf*e(i,j)*dt) &
1234              /((1.d0-cc(i,j))*h(i,j))
1235     else
1236       cf(i,j)=(cfo(i,j)*(1.d0-cco(i,j))*ho(i,j)-(qcfx(i+1,j)-qcfx(i,j))/dx*dt &
1237                                                 -(qcfy(i,j+1)-qcfy(i,j))/dx*dt+((1.d0-cstad)/
      cstad)*cfo(i,j)*e(i,j)*dt) &
1238              /((1.d0-cc(i,j))*h(i,j))
1239     end if
1240   end if
1241   if(cf(i,j)<0.d0)then
1242     write(*,'(a,2i5,4E20.10e3)')'cc<0 (i,j,cc,cf,h)',i,j,cc(i,j),cf(i,j),e(i,j),h(i,j)
1243     write(*,'(4f15.10)')qcfx(i+1,j),qcfx(i,j),qcfy(i,j+1),qcfy(i,j)
1244     !read(*,*)
1245     cf(i,j)=0.d0
1246   end if
1247 end do
1248 !$omp end parallel do
1249 !
1250 end subroutine cal_cf
1251 !
1252 !
1253 !
1254 subroutine cal_e(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dt,dx,z,zs,sig,rho,csta,tanp,cc,cf,e,h,hlim,ua,va,
      &
1255                  qx,qy,qccx,qccy,qcfx,qcfy,ifld,tant_e,uv)
1256 use omp_lib
1257 implicit none
1258 real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),deg2rad=PI/180.d0,rad2deg=180.d0/PI
1259 integer :: ni,n_ij_cv,ij_cv(n_ij_cv,2),i,iend,j,jend,ifld(iend,jend)
1260 real(8) :: dt,dx,sig,tanp,tant,tane,csta,emax,dzdx,dzdy,hlim, &
1261            z(iend,jend),zs(iend,jend),cc(iend,jend),cf(iend,jend),e(iend,jend), &
1262            h(iend,jend),rho(iend,jend),wl(iend,jend), &
1263            qx(iend,jend),qy(iend,jend),qccx(iend,jend),qccy(iend,jend),qcfx(iend,jend),qcfy(
      iend,jend), &
1264            emin1,emin2,emin3,ua(iend,jend),va(iend,jend),uv(iend,jend),tant_e(iend,jend)
1265 !
1266 wl=z+h
1267 !$omp parallel do private(ni,i,j,dzdx,dzdy,tant,tane, &
1268 !$omp                     emax,emin1,emin2,emin3)
1269 do ni=1,n_ij_cv
```

```
1270    i=ij_cv(ni,1)
1271    j=ij_cv(ni,2)
1272    if(h(i,j)<hlim .and. ifld(i,j)==0)then
1273      e(i,j)=0.d0
1274      cycle
1275    end if
1276    if(ua(i,j)>=0.d0)then
1277      dzdx=(wl(i+1,j)-wl(i,j))/dx
1278    else
1279      dzdx=(wl(i,j)-wl(i-1,j))/dx
1280    end if
1281    if(va(i,j)>=0.d0)then
1282      dzdy=(wl(i,j+1)-wl(i,j))/dx
1283    else
1284      dzdy=(wl(i,j)-wl(i,j-1))/dx
1285    end if
1286    if(uv(i,j)==0.d0)then
1287      tant=0.d0
1288    else
1289      !tant=max(0.d0,-(dzdx*ua(i,j)+dzdy*va(i,j))/((ua(i,j)*ua(i,j)+va(i,j)*va(i,j))**0.5d0))
1290      tant=(dzdx*dzdx+dzdy*dzdy)**0.5d0
1291    end if
1292    !tant=(dzdx*dzdx+dzdy*dzdy)**0.5d0
1293    tant_e(i,j)=tant
1294    tane=(sig/rho(i,j)-1.d0)*cc(i,j)*tanp/((sig/rho(i,j)-1.d0)*cc(i,j)+1.d0)
1295    !tan(a-b)=(tan(a)-tan(b))/(1+tan(a)*tan(b))
1296    e(i,j)=csta*(tant-tane)/(1.d0+tant*tane)*uv(i,j)
1297    emax=(z(i,j)-zs(i,j))/dt*csta*cos(atan(tant))
1298    if(e(i,j)>=0.d0)then  ! ero
1299      e(i,j)=min(emax,e(i,j))
1300      !if(ifld(i,j)==1)e(i,j)=emax
1301    else                  ! depo
1302      emin1=min(0.d0,(-h(i,j)/dt*csta+(qx(i+1,j)-qx(i,j))/dx+(qy(i,j+1)-qy(i,j))/dx)*csta) !
          cstad -> csta
1303      emin2=min(0.d0,-cc(i,j)*h(i,j)/dt+(qccx(i+1,j)-qccx(i,j))/dx+(qccy(i,j+1)-qccy(i,j))/dx)
1304      if(cf(i,j)>0.d0)then
1305        emin3= &
1306        (-cf(i,j)*(1.d0-cc(i,j))*h(i,j)/dt+(qcfx(i+1,j)-qcfx(i,j))/dx+(qcfy(i,j+1)-qcfy(i,j))/
          dx) &
1307        *csta/((1.d0-csta)*cf(i,j))
1308      else
1309        emin3=e(i,j)
1310      end if
1311      emin3=min(0.d0,emin3)
1312      e(i,j)=max(emin1,emin2,emin3,e(i,j))
1313    end if
1314    if(e(i,j)>emax)then
1315      write(*,'(a,5f10.3)')'e <--- max',e(i,j),emax,emin1,emin2,emin3
1316      read(*,*)
1317      e(i,j)=emax
1318    end if
1319  end do
1320  !$omp end parallel do
1321  !
1322  end subroutine cal_e
```

```
1323 !
1324 !
1325 !
1326 subroutine cal_grad(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dx,z,grad)
1327 use omp_lib
1328 implicit none
1329 real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),deg2rad=PI/180.d0,rad2deg=180.d0/PI
1330 integer :: ni,n_ij_cv,ij_cv(n_ij_cv,2), i,iend,j,jend
1331 real(8) :: dx,dx2,dzdx,dzdy,z(iend,jend),grad(iend,jend)
1332 !
1333 dx2=dx*2.d0
1334 !do j=2,jend-1
1335 !do i=2,iend-1
1336 !$omp parallel do private(ni,i,j,dzdx,dzdy)
1337 do ni=1,n_ij_cv
1338   i=ij_cv(ni,1)
1339   j=ij_cv(ni,2)
1340   dzdx=(z(i+1,j)-z(i-1,j))/dx2
1341   dzdy=(z(i,j+1)-z(i,j-1))/dx2
1342   grad(i,j)=(dzdx*dzdx+dzdy*dzdy)**0.5d0
1343 end do
1344 !$omp end parallel do
1345 !
1346 end subroutine cal_grad
1347 !
1348 !
1349 !
1350 subroutine cal_z(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,dt,csta,z,zs,e,tant_e)
1351 use omp_lib
1352 implicit none
1353 real(8), parameter :: PI=acos(-1.d0),deg2rad=PI/180.d0,rad2deg=180.d0/PI
1354 integer :: ni,n_ij_cv,ij_cv(n_ij_cv,2),i,iend,j,jend
1355 real(8) :: dt,csta,tant,cost,z(iend,jend),zs(iend,jend),e(iend,jend),tant_e(iend,jend)
1356 !
1357 !$omp parallel do private(ni,i,j,tant,cost)
1358 do ni=1,n_ij_cv
1359   i=ij_cv(ni,1)
1360   j=ij_cv(ni,2)
1361   tant=tant_e(i,j)
1362   cost=cos(atan(tant))
1363   z(i,j)=z(i,j)-e(i,j)/csta/cost*dt
1364   if(z(i,j)<zs(i,j))then
1365     if(z(i,j)-zs(i,j)<-0.0001d0)write(*,'(a,2i5,5f15.5)')'z␣<␣zs␣@␣(i,j)=',i,j,e(i,j),z(i,j
      )-zs(i,j)
1366     z(i,j)=zs(i,j)
1367   end if
1368 end do
1369 !$omp end parallel do
1370 !
1371 end subroutine cal_z
1372 !
1373 !
1374 !
1375 subroutine cal_rho(n_ij_cv,ij_cv,iend,jend,sig,rhow,cc,cf,rho,rhom)
1376 use omp_lib
```

```
1377 implicit none
1378 integer :: ni,n_ij_cv,ij_cv(n_ij_cv,2),i,iend,j,jend
1379 real(8) :: sig,rhow,cc(iend,jend),cf(iend,jend),rho(iend,jend),rhom(iend,jend)
1380 !
1381 !$omp parallel do private(ni,i,j)
1382 do ni=1,n_ij_cv
1383   i=ij_cv(ni,1)
1384   j=ij_cv(ni,2)
1385   rho(i,j)=rhow+cf(i,j)*(sig-rhow)
1386   rhom(i,j)=rho(i,j)+cc(i,j)*(sig-rho(i,j))
1387 end do
1388 !$omp end parallel do
1389 !
1390 end subroutine cal_rho
1391 !
1392 !
1393 !
1394 subroutine r_iasc(fon,fname,ia,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
1395 implicit none
1396 integer :: j,iend,jend,fon,ncols,nrows,ia(1:iend,1:jend)
1397 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
1398 character(len=100) :: ctmp,fname
1399 !
1400 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
1401 read(fon,*)ctmp,ncols
1402 read(fon,*)ctmp,nrows
1403 if (ncols /= iend .or. nrows /= jend) then
1404   write(*,*)'Check␣ncols␣/=␣iend␣or␣nrows␣/=␣jend'
1405   stop
1406 end if
1407 read(fon,*)ctmp,xllcorner
1408 read(fon,*)ctmp,yllcorner
1409 read(fon,*)ctmp,cellsize
1410 read(fon,*)
1411 do j=jend,1,-1
1412   read(fon,*)ia(1:iend,j)
1413 end do
1414 close(fon)
1415 !
1416 end subroutine r_iasc
1417 !
1418 !
1419 !
1420 subroutine r_fasc(fon,fname,a,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize)
1421 implicit none
1422 integer :: j,iend,jend,fon,ncols,nrows
1423 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize,a(1:iend,1:jend)
1424 character(len=100) :: ctmp,fname
1425 !
1426 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
1427 read(fon,*)ctmp,ncols
1428 read(fon,*)ctmp,nrows
1429 if (ncols /= iend .or. nrows /= jend) then
1430   write(*,*)'Check␣ncols␣/=␣iend␣or␣nrows␣/=␣jend'
1431   stop
```

```
1432 end if
1433 read(fon,*)ctmp,xllcorner
1434 read(fon,*)ctmp,yllcorner
1435 read(fon,*)ctmp,cellsize
1436 read(fon,*)
1437 do j=jend,1,-1
1438   read(fon,*)a(1:iend,j)
1439 end do
1440 close(fon)
1441 !
1442 end subroutine r_fasc
1443 !
1444 !
1445 !
1446 subroutine w_fasc_fmt(fon,fname,a,str,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
1447 implicit none
1448 integer :: j,iend,jend,fon
1449 real(8) :: a(1:iend,1:jend),xllcorner,yllcorner,cellsize,nv
1450 character(len=100) :: fname,ciend,str
1451 !
1452 write(ciend,*)iend
1453 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
1454 write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
1455 write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
1456 write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
1457 write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
1458 write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize ',cellsize
1459 write(fon,'(a,f10.3)')'NODATA_value',nv
1460 do j=jend,1,-1
1461   write(fon,trim(adjustl(str)))a(1:iend,j)
1462 end do
1463 close(fon)
1464 !
1465 end subroutine w_fasc_fmt
1466 !
1467 !
1468 !
1469 subroutine w_iasc_fmt(fon,fname,ia,str,iend,jend,xllcorner,yllcorner,cellsize,nv)
1470 implicit none
1471 integer :: j,iend,jend,fon,nv,ia(1:iend,1:jend)
1472 real(8) :: xllcorner,yllcorner,cellsize
1473 character(len=100) :: fname,ciend,str
1474 !
1475 write(ciend,*)iend
1476 open(fon,file=trim(adjustl(fname)))
1477 write(fon,'(a,i5)')'ncols',iend
1478 write(fon,'(a,i5)')'nrows',jend
1479 write(fon,'(a,f15.3)')'xllcorner',xllcorner
1480 write(fon,'(a,f15.3)')'yllcorner',yllcorner
1481 write(fon,'(a,f10.3)')'cellsize ',cellsize
1482 write(fon,'(a,i5)')'NODATA_value',nv
1483 do j=jend,1,-1
1484   write(fon,trim(adjustl(str)))ia(1:iend,j)
1485 end do
1486 close(fon)
```

```
1487  !
1488 end subroutine w_iasc_fmt
```

5 05_MK_FIG

RR_out_hyeto.py

```python
import os
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import datetime
from matplotlib.dates import DateFormatter
########################################
r_gold=(1.+5.**0.5)*0.5
r_silver=(1.+2.**0.5)
r_yamato=2.**0.5
w_inchi=4
h_inchi=w_inchi/r_gold*0.8
r_top=0
r_bottom=0
r_left=0
r_right=0
fsize=7.5
########################################
#plt.figure(figsize=(w_inchi,h_inchi))
plt.rcParams["font.size"] = fsize
from matplotlib.font_manager import FontProperties
fp = FontProperties(fname=r'C:\WINDOWS\Fonts\msgothic.ttc')
########################################
fig, ax = plt.subplots(1, 1, figsize=(w_inchi,h_inchi))
ax.xaxis.set_major_formatter(DateFormatter('%b%d\n%H:%M\n'))
#ax.xaxis.set_major_formatter(DateFormatter('%H'))
ax2=ax.twinx()
ax2.xaxis.set_major_formatter(DateFormatter('%b.%d\n%H:%M'))
ls='\n'
fs=','
tdir=os.path.join('..','04_EXE_SIMU','01_RR_DR')
fn=os.path.join(tdir,'output_misc','basin_rain.txt')
txt=np.loadtxt(fn,dtype=str,delimiter=',',skiprows=1)
date=txt.T[0]
hyet=txt.T[1].astype(float)
time1=[]
for line in txt.T[0]:
    date=line.split()[0].split('/')
    year,month,day=int(date[0]),int(date[1]),int(date[2])
    time=line.split()[1].split(':')
    hour,minute=int(time[0]),int(time[1])
    time0=datetime.datetime(year,month,day,hour,minute)
    time1.append(time0)
dt=time1[1]-time1[0]
ax.fill_between(time1,hyet,linewidth=0.,facecolor='gray',alpha=1.,step='pre')
ax.plot(datetime.datetime(1990,7,2,9,20),80,marker='^',color='k')
arain=[sum(hyet[0:i]) for i in range(1,len(hyet)+1)]
ax2.plot(time1,arain,lw=0.8,ls='-',color='k')
ax2.set_ylim(0,500)
#plt.xlim(datetime.datetime(2017,7,5,0), datetime.datetime(2017,7,6,12))
ax.set_xlabel(u'Year (1990)',fontsize=fsize)
```

```
51 plt.xticks(fontsize=fsize*0.8)
52 ax.set_ylim(100,0)
53 #ax.set_ylabel(u'%d分雨量 (mm)'%int(dt.seconds/60),fontproperties=fp,fontsize
       =fsize)
54 #ax2.set_ylabel(u'累積雨量 (mm)',fontproperties=fp,fontsize=fsize)
55 ax.set_ylabel(u'%d mih. rainfall (mm)'%int(dt.seconds/60),fontsize=fsize)
56 ax2.set_ylabel(u'Accumulated rainfall (mm)',fontsize=fsize)
57 #plt.legend(fontsize=fsize)
58 plt.tight_layout()
59 #plt.grid()
60 #plt.yscale("log")
61 plt.savefig('RR_hyeto.png',dpi=300)
62 #plt.show()
```

```
import os
import glob
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.cm as cm
import datetime
from matplotlib.dates import DateFormatter
import sys
#####################################
r_gold=(1.+5.**0.5)*0.5
r_silver=(1.+2.**0.5)
r_yamato=2.**0.5
w_inchi=4
h_inchi=w_inchi/r_gold*0.8
r_top=0
r_bottom=0
r_left=0
r_right=0
fsize=7.5
#####################################
#plt.figure(figsize=(w_inchi,h_inchi))
plt.rcParams["font.size"] = fsize
from matplotlib.font_manager import FontProperties
fp = FontProperties(fname=r'C:\WINDOWS\Fonts\msgothic.ttc')
#####################################
fig, ax = plt.subplots(1, 1, figsize=(w_inchi,h_inchi))
ax.xaxis.set_major_formatter(DateFormatter('%b%d\n%H:%M\n'))
#ax.xaxis.set_major_formatter(DateFormatter('%H'))
# fname='Terauchi_dam.csv'
# dt=3600
# data=np.loadtxt(fname,dtype=str,delimiter=',',skiprows=0)
# iskp=0
# q_obs=np.transpose(data)[1].astype('float')
# cont=np.transpose(data)[0][0]
# date,time=cont.split()[0].split('/'),cont.split()[1].split(':')
# year,month,day=int(date[0]),int(date[1]),int(date[2])
# hour,minute=int(time[0]),int(time[1])
# time0=datetime.datetime(year,month,day,hour,minute)
# time0=time0-datetime.timedelta(seconds=0)
# time=[time0+datetime.timedelta(seconds=dt*i) for i in range(len(q_obs))]
# plt.plot(time,q_obs,lw=0.6,ls='--',color='k',              label=r'obs.')
#
    ##########################################################################################

ls='\n'
dirs=glob.glob(os.path.join('..','04_EXE_SIMU','01_RR_DR'))
#loc=[4575,4741] # 343:St.1, 1574 1562:st.7
loc=sys.argv[1:]
loc=[int(s) for s in loc]
print('out_@',loc)
model='RR'
lgs=[[1] for i in range(len(dirs))]
for lg,tdir in zip(lgs,dirs):
```

```
52      if model=='RR': files=glob.glob(os.path.join(tdir,'output_RR','res_1d_*.
    txt'))
53      files.sort()
54      iend=len(files)
55      label=tdir.split('_')[-1]
56      fn=os.path.join(tdir,'output_misc','basin_rain.txt')
57      cont=open(fn).read().split(ls)[1].split(',')[0].strip("'")
58      date,time=cont.split()[0].split('/'),cont.split()[1].split(':')
59      year,month,day=int(date[0]),int(date[1]),int(date[2])
60      hour,minute=int(time[0]),int(time[1])
61      time0=datetime.datetime(year,month,day,hour,minute)
62      time0=time0-datetime.timedelta(seconds=0)
63      hydro,hhh,uuu=[],[],[]
64      qdf,pcc,pcf=[],[],[]
65      qa,qca,qfa=[],[],[]
66      time=[]
67      for i0,afile in enumerate(files[:]):
68          res=np.loadtxt(afile,usecols=(3,4,5,6))
69          sec=float(os.path.basename(afile).split('_')[2][:-4])
70          #print (afile)
71          z=np.transpose(res)[0]
72          h=np.transpose(res)[1]
73          u=np.transpose(res)[2]
74          q=np.transpose(res)[3]
75          hydro.append([q[l-1] for l in loc])
76          hhh.append([h[l-1] for l in loc])
77          uuu.append([u[l-1] for l in loc])
78          time.append(time0+datetime.timedelta(seconds=sec))
79          #print(sec,time[-1])
80      for i in range(len(loc)):
81          plt.plot(time,np.transpose(hydro)[i],lw=lg[0],marker='',label='No.%d'
    %loc[i])
82  plt.xlim(datetime.datetime(1990,7,2,8), datetime.datetime(1990,7,2,14))
83  plt.xlabel(u'Time/Date (1999)',fontsize=fsize)
84  plt.ylabel(u'Discharge (m$^3$/s)',fontsize=fsize)
85  plt.ylim(0,)
86  plt.legend(fontsize=fsize)
87  #plt.grid()
88  plt.tight_layout()
89  plt.savefig('%s_hydro.png'%model,dpi=300)
90  #plt.show()
```

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import os
import glob
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.cm as cm
import datetime
from matplotlib.dates import DateFormatter
from matplotlib.ticker import ScalarFormatter
import sys
#####################################
r_gold=(1.+5.**0.5)*0.5
r_silver=(1.+2.**0.5)
r_yamato=2.**0.5
w_inchi=3.1496
h_inchi=w_inchi
r_top=0
r_bottom=0
r_left=0
r_right=0
fsize=7
#####################################
#plt.figure(figsize=(w_inchi,h_inchi))
plt.rcParams["font.size"] = fsize
from matplotlib.font_manager import FontProperties
fp = FontProperties(fname=r'C:\WINDOWS\Fonts\msgothic.ttc')
#####################################
fig, ax = plt.subplots(3,1, figsize=(w_inchi,h_inchi))
for i in range(3):
    ax[i].xaxis.set_major_formatter(DateFormatter('%b.%d\n%H:%M'))
ax2=[ax[i].twinx() for i in range(3)]
[ax2ax.xaxis.set_major_formatter(DateFormatter('%b.%d\n%H:%M')) for ax2ax in
    ax2]
ls='\n'
dirs=glob.glob(os.path.join('..','04_EXE_SIMU','01_RR_DR'))
loc=sys.argv[1:]
loc=[int(s) for s in loc]
print('out_@',loc)
lgs=[[1] for i in range(len(dirs))]
for lg,tdir in zip(lgs,dirs):
    files=glob.glob(os.path.join(tdir,'output_DR','res_*.txt'))
    files.sort()
    iend=len(files)
    label=tdir.split('_')[-1]
    #fn=os.path.join(tdir,'RR_input.txt')
    #cont=open(fn).read().split(ls)[8].split()[0]
    #rdt=float(cont.replace('d0','0'))
    fn=os.path.join(tdir,'output_misc','basin_rain.txt')
    cont=open(fn).read().split(ls)[1].split(',')[0].strip("'")
    date,time=cont.split()[0].split('/'),cont.split()[1].split(':')
    year,month,day=int(date[0]),int(date[1]),int(date[2])
    hour,minute=int(time[0]),int(time[1])
    time0=datetime.datetime(year,month,day,hour,minute)
```

```
    time0=time0-datetime.timedelta(seconds=0)
    hydro,hhh,uuu=[],[],[]
    qdf,pcc,pcf=[],[],[]
    qa,qca,qfa=[],[],[]
    time=[]
    for i0,afile in enumerate(files[:]):
        #print (afile)
        res=np.loadtxt(afile,usecols=(4,5,6,16,17,18),skiprows=1)
        sec=float(os.path.basename(afile).split('_')[-1][:-4])
        #
        q=np.transpose(res)[0]
        cc=np.transpose(res)[1]
        cf=np.transpose(res)[2]
        qdf.append([q[l-1] for l in loc])
        pcc.append([cc[l-1] for l in loc])
        pcf.append([cf[l-1] for l in loc])
        #
        qaa=np.transpose(res)[3]
        qcaa=np.transpose(res)[4]
        qfaa=np.transpose(res)[5]
        qa.append([qaa[l-1] for l in loc])
        qca.append([qcaa[l-1] for l in loc])
        qfa.append([qfaa[l-1] for l in loc])
        #
        time.append(time0+datetime.timedelta(seconds=sec))
    for i in range(len(loc)):
        dt=(time[1]-time[0]).seconds
        qa,qca,qfa=np.array(qa),np.array(qca),np.array(qfa)
        q=np.append([0],(qa.T[i][1:]-qa.T[i][:-1])/dt)
        qc=np.append([0],(qca.T[i][1:]-qca.T[i][:-1])/dt)
        qf=np.append([0],(qfa.T[i][1:]-qfa.T[i][:-1])/dt)
        #
        ax[0].plot(time,q,lw=0.5,color='k',ls='-',marker='',label='water & sed.')
        ax2[0].plot(time,qa.T[i],lw=0.5,color='k',ls='--',marker='',label='No.%d'%loc[i])
        ax[1].plot(time,qc,lw=0.5,color='k',ls='-',marker='',label='coarse sed.')
        ax2[1].plot(time,qca.T[i],lw=0.5,color='k',ls='--',marker='',label='No.%d'%loc[i])
        ax[2].plot(time,qf,lw=0.5,color='k',ls='-',marker='',label='fine sed.')
        ax2[2].plot(time,qfa.T[i],lw=0.5,color='k',ls='--',marker='',label='No.%d'%loc[i])
ti=['(a)','(b)','(c)']
for i in range(3):
    ax[i].set_xlim(datetime.datetime(1990,7,2,8), datetime.datetime(1990,7,2,14))
    if i==1: ax[i].set_ylabel(u'Discharge (m$^3$/s)',fontsize=fsize)
    if i<2: ax[i].axes.xaxis.set_ticklabels([])
    ax[i].set_ylim(0,)
    ax[i].legend(loc='center right',fontsize=fsize)
    #ax2=ax[i].twinx()
    #ax2[i].yaxis.set_major_formatter(ScalarFormatter(useMathText=True))
    ax2[i].ticklabel_format(style='sci',axis='y',scilimits=(0,0))
```

```
101         ax2[i].set_ylim(0,)
102         if i==1: ax2[i].set_ylabel(u'Volume (m$^3$)',fontsize=fsize)
103         ax2[i].annotate('%s'%ti[i], xy=[0., 0.], xytext=[0.02,0.79], xycoords='
        axes  fraction')
104 #ax[0].axes.xaxis.set_ticklabels([])
105 #ax[1].axes.xaxis.set_ticklabels([])
106 #ax3=ax[2].twinx()
107 #ax3.xaxis.set_major_formatter(DateFormatter('%b.%d\n%H:%M'))
108 ax[2].set_xlabel(u'Date/Time (1999)',fontsize=fsize)
109 #plt.grid()
110 plt.tight_layout()
111 plt.savefig('DR_hydro.png',dpi=300)
112 #plt.show()
```

5.1 mk_map

map.py

```
import os
import numpy as np
import glob
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.colors import Normalize
ls='\n'
tdir=os.path.join('..','..','04_EXE_SIMU','01_RR_DR')
files=glob.glob(os.path.join(tdir,'output_DR','res_??????????.txt'))
files.sort()
fn=os.path.join(tdir,'input','targetArea_inRR.asc')
head=open(fn).read().split(ls)[:6]
xllcorner=float(head[2].split()[1])
yllcorner=float(head[3].split()[1])
dx=float(head[4].split()[1])
dy=dx
head=ls.join(head)
#
ij2d=np.loadtxt(fn,skiprows=6)
ij2d=np.full(np.shape(ij2d),0,dtype=int)
jend,iend=np.shape(ij2d)
x=np.linspace(xllcorner,xllcorner+iend*dx,iend)
y=np.linspace(yllcorner,yllcorner+jend*dy,jend)
Xg,Yg=np.meshgrid(x,y)
fn=os.path.join(tdir,'input','streamConfiguration_inRR.txt')
idxs=np.loadtxt(fn,skiprows=2,delimiter=',',dtype=int,usecols=(14,15))
i_id=np.transpose(idxs)[0]
j_id=np.transpose(idxs)[1]
#
a=np.full(np.shape(ij2d),0,dtype=float)
qmax=np.full(np.shape(ij2d),0,dtype=float)
umax=np.full(np.shape(ij2d),0,dtype=float)
hmax=np.full(np.shape(ij2d),0,dtype=float)
dze=np.full(np.shape(ij2d),0,dtype=float)
ifld=np.full(np.shape(ij2d),0,dtype=int)
hsc=np.full(np.shape(ij2d),0,dtype=float)
for fn in files[0:]:
    print (fn,)
    ucols=tuple(range(17))
    data=np.loadtxt(fn,skiprows=1,usecols=ucols)
    za=np.transpose(data)[1]
    ha=np.transpose(data)[2]
    ua=np.transpose(data)[3]
    zinia=np.transpose(data)[9]
    dza=za-zinia
    ifldа=np.transpose(data)[15]
    hsca=np.transpose(data)[14]
    qa=np.transpose(data)[4]
    dero=np.sum(np.where(dza<0,dza,0))
    ddep=np.sum(np.where(dza>0,dza,0))
    #print ('%10.1f%10.1f%10.1f'%(dero,ddep,ddep-dero))
```

```
51      #for i,j,h,u,dz,hs,qs,ifld0,hsc0,q in zip(i_id,j_id,ha,ua,dza,hsa,qsa,
        iflda,hsca,qa):
52      for i,j,h,u,dz,ifld0,hsc0,q in zip(i_id,j_id,ha,ua,dza,iflda,hsca,qa):
53          if i==0:
54              print (i,j)
55              continue
56          umax[jend-j,i-1]=max(u,umax[jend-j,i-1])
57          hmax[jend-j,i-1]=max(h,hmax[jend-j,i-1])
58          dze[jend-j,i-1]=dz
59          ifld[jend-j,i-1]=max(ifld0,ifld[jend-j,i-1])
60          hsc[jend-j,i-1]=max(hsc0,hsc[jend-j,i-1])
61          qmax[jend-j,i-1]=max(q,qmax[jend-j,i-1])
62      isec=int(os.path.basename(fn)[4:-4])
63      if isec%36000==0:
64          levels = [-1,0,1]
65          fign=os.path.join('pic','dz_%s.png'%(os.path.basename(fn)[4:-4]))
66          plt.pcolor(Xg,Yg[::-1],dze,cmap='coolwarm', norm=Normalize(vmin=-1,
        vmax=1))
67          plt.xlabel('East-West (m)')
68          plt.ylabel('Sauth-North (m)')
69          plt.colorbar(label='dz (m)')
70          plt.axes().set_aspect(dx/dy)
71          plt.savefig(fign)
72          plt.close()
73          fign=os.path.join('asc','dz_%s.asc'%(os.path.basename(fn)[4:-4]))
74          np.savetxt(fign,dze,fmt='%7.3f',header=head,comments='')
75  np.savetxt('umax.asc',umax,fmt='%f',header=head,comments='')
76  np.savetxt('hmax.asc',hmax,fmt='%7.2f',header=head,comments='')
77  np.savetxt('dz.asc',dze,fmt='%6.2f',header=head,comments='')
78  np.savetxt('qmax.asc',qmax,fmt='%f',header=head,comments='')
79  #raw_input()
```

5.2 mk_vtk

vtk_line_RR.py

```
import os
import numpy as np
import io
import glob
import sys
#
dt_out=sys.argv[1]
dt_out=int(sys.argv[1])
print('dt_out = ',dt_out)
#
ls='\n'
tpath=os.path.join('..','..','04_EXE_SIMU','01_RR_DR')
fo_h='RR_{0:010d}.vtk'
files=glob.glob(os.path.join(tpath,'output_RR','res_1d_??????????.txt'))
#
fvtk=open('stream_line.vtk','w')
fn=os.path.join(tpath,'input','streamConfiguration_inRR.txt')
flgs=np.loadtxt(fn,skiprows=2,delimiter=',',dtype=str)
xa=flgs.T[12].astype(float)
ya=flgs.T[13].astype(float)
za=flgs.T[ 5].astype(float)
ba=flgs.T[ 9].astype(float)
acc=flgs.T[ 11].astype(int)
acc=np.log10(acc)
na=flgs.T[ 0].astype(int)
npo=len(na)
head=['# vtk DataFile Version 2.0',
      'Line example','ASCII','DATASET POLYDATA','POINTS %d float'%npo]
io_head = io.StringIO()
io_head.write(ls.join(head)+ls)
for x,y,z in zip(xa,ya,za) :
    io_head.write('%f %f %f%s'%(x,y,z,ls))
na2=flgs.T[1].astype(int)
nli=np.size(np.where(na2!=0))
io_head.write('LINES %d %d%s'%(nli,3*nli,ls))
for i,i2 in zip(na,na2):
    if 0<i2:
        io_head.write('%d %d %d%s'%(2,i-1,i2-1,ls))
head=['CELL_DATA %d'%nli,'SCALARS %s %s 1'%('z','float'),
      'LOOKUP_TABLE default']
io_head.write(ls.join(head)+ls)
itr=1
for i,i2 in zip(na,na2):
   if 0<i2:
       z=za[i-1]
       if itr%10==0:
           io_head.write('%f%s'%(z,ls))
       else:
           io_head.write('%f '%(z))
   itr=itr+1
```

```
51 for fn in files:
52     sec=int(os.path.basename(fn).split('_')[-1][4:-4])
53     if sec%dt_out==0:
54         data=np.loadtxt(fn,skiprows=0,dtype=str)
55         za=data.T[3].astype(float)
56         ha=data.T[4].astype(float)
57         ua=data.T[5].astype(float)
58         qa=data.T[6].astype(float)
59         fvtk=fo_h.format(sec)
60         fvtk=os.path.join('out',fvtk)
61         print('output ---->',fvtk)
62         vtk=open(fvtk,'w')
63         vtk.write(io_head.getvalue())
64         for cvar,var in [['h',ha],['u',ua],['q',qa],['z',za]]:
65             vtk.write(ls)
66             head=['SCALARS %s %s 1'%(cvar,'float'),'LOOKUP_TABLE default']
67             vtk.write(ls.join(head)+ls)
68             itr=1
69             for i,i2 in zip(na,na2):
70                 if 0<i2:
71                     v=var[i-1]
72                     if itr%10==0:
73                         vtk.write('%f%s'%(v,ls))
74                     else:
75                         vtk.write('%f '%(v))
76                 itr=itr+1
77         vtk.close()
78 io_head.close()
```

```
import os
import numpy as np
import io
import glob
import sys
#
dt_out=sys.argv[1]
dt_out=int(sys.argv[1])
print('dt_out = ',dt_out)
#
ls='\n'
tpath=os.path.join('..','..','04_EXE_SIMU','01_RR_DR')
fo_h='DR_{0:010d}.vtk'
files=glob.glob(os.path.join(tpath,'output_DR','res_??????????.txt'))
#
fvtk=open('stream_line.vtk','w')
fn=os.path.join(tpath,'input','streamConfiguration_inRR.txt')
flgs=np.loadtxt(fn,skiprows=2,delimiter=',',dtype=str)
xa=flgs.T[12].astype(float)
ya=flgs.T[13].astype(float)
za=flgs.T[ 5].astype(float)
ba=flgs.T[ 9].astype(float)
acc=flgs.T[ 11].astype(int)
acc=np.log10(acc)
na=flgs.T[ 0].astype(int)
npo=len(na)
head=['# vtk DataFile Version 2.0',
      'Line example','ASCII','DATASET POLYDATA','POINTS %d float'%npo]
io_head = io.StringIO()
io_head.write(ls.join(head)+ls)
for x,y,z in zip(xa,ya,za) :
    io_head.write('%f %f %f%s'%(x,y,z,ls))
na2=flgs.T[1].astype(int)
nli=np.size(np.where(na2!=0))
io_head.write('LINES %d %d%s'%(nli,3*nli,ls))
for i,i2 in zip(na,na2):
    if 0<i2:
        io_head.write('%d %d %d%s'%(2,i-1,i2-1,ls))
head=['CELL_DATA %d'%nli,'SCALARS %s %s 1'%('z','float'),
      'LOOKUP_TABLE default']
io_head.write(ls.join(head)+ls)
itr=1
for i,i2 in zip(na,na2):
   if 0<i2:
       z=za[i-1]
       if itr%10==0:
           io_head.write('%f%s'%(z,ls))
       else:
           io_head.write('%f '%(z))
   itr=itr+1
for fn in files:
    sec=int(os.path.basename(fn).split('_')[-1][4:-4])
    if sec%dt_out==0:
```

```
54          data=np.loadtxt(fn,skiprows=1,dtype=str)
55          za=data.T[1].astype(float)
56          ha=data.T[2].astype(float)
57          ua=data.T[3].astype(float)
58          qa=data.T[4].astype(float)
59          cca=data.T[5].astype(float)
60          cfa=data.T[6].astype(float)
61          z0a=data.T[9].astype(float)
62          dza=za-z0a
63          #fvtk=os.path.basename(fn)[:-4]+'.vtk'
64          fvtk=fo_h.format(sec)
65          fvtk=os.path.join('out',fvtk)
66          print('output ---->',fvtk)
67          vtk=open(fvtk,'w')
68          vtk.write(io_head.getvalue())
69          for cvar,var in [['h',ha],['u',ua],['q',qa],['cc',cca],['cf',cfa],['
    dz',dza]]:
70              vtk.write(ls)
71              head=['SCALARS %s %s 1'%(cvar,'float'),'LOOKUP_TABLE default']
72              vtk.write(ls.join(head)+ls)
73              itr=1
74              for i,i2 in zip(na,na2):
75                  if 0<i2:
76                      v=var[i-1]
77                      if itr%10==0:
78                          vtk.write('%f%s'%(v,ls))
79                      else:
80                          vtk.write('%f '%(v))
81                  itr=itr+1
82          vtk.close()
83  io_head.close()
```

```
import os
import numpy as np
import io
import glob
import sys
#
dt_out=sys.argv[1]
dt_out=int(sys.argv[1])
print('dt_out = ',dt_out)
#
ls='\n'
tpath=os.path.join('..','..','04_EXE_SIMU','02_DF_small_shift')
varis=('h','cc','dz')
fo_h='DF_{}_{:010d}.vtk'
fz=os.path.join(tpath,'input','elevation_inDF.asc')
fb=os.path.join(tpath,'input','targetArea_inDF.asc')
files0=glob.glob(os.path.join(tpath,'output_DF','res_*_??????????.asc'))
#
z=np.loadtxt(fz,skiprows=6,dtype=float)
basin=np.loadtxt(fb,skiprows=6,dtype=int)
for var in varis:
    files=[fn for fn in files0 if '_%s_'%var in os.path.basename(fn)]
    for fn in files:
        sec=int(os.path.basename(fn).split('_')[-1][4:-4])
        if sec%dt_out==0:
            #fvtk=os.path.basename(fn)[:-4]+'.vtk'
            fvtk=fo_h.format(var,sec)
            fvtk=os.path.join('out',fvtk)
            print('output ---->',fvtk)
            vtk=open(fvtk,'w')
            head=open(fn).read().split(ls)[:6]
            ncols,nrows=int(head[0].split()[1]),int(head[1].split()[1])
            xco,yco=float(head[2].split()[1]),float(head[3].split()[1])
            cs=float(head[4].split()[1])
            #
            h=np.loadtxt(fn,skiprows=6,dtype=float)
            head=['# vtk DataFile Version 3.0','cell',
                  'ASCII','DATASET STRUCTURED_POINTS',
                  'DIMENSIONS %d %d %d'%(ncols,nrows,1),
                  'SPACING %f %f %f'%(cs,cs,0),
                 #'ORIGIN %f %f %f'%(xco+0.5*cs,yco+0.5*cs,0),
                  'ORIGIN %f %f %f'%(xco,yco,0),
                  'POINT_DATA %d'%(ncols*nrows),
                  'SCALARS %s %s 1'%('z','float'),
                  'LOOKUP_TABLE default']
            vtk.write(ls.join(head)+ls)
            io1 = io.StringIO()
            np.savetxt(io1,z[::-1])
            vtk.write(io1.getvalue())
            io1.close()
            #
            subhead=['SCALARS %s %s 1'%('basin','int'),'LOOKUP_TABLE default'
    ]
```

```
53              vtk.write(ls.join(subhead)+ls)
54              io1 = io.StringIO()
55              np.savetxt(io1,basin[::-1],fmt='%d',delimiter=' ')
56              vtk.write(io1.getvalue())
57              #
58              subhead=['SCALARS %s %s 1'%(var,'float'),'LOOKUP_TABLE default']
59              vtk.write(ls.join(subhead)+ls)
60              h=np.loadtxt(fn,skiprows=6,dtype=float)
61              io2 = io.StringIO()
62              np.savetxt(io2,h[::-1],fmt='%f',delimiter=' ')
63              vtk.write(io2.getvalue())
64              #
65              vtk.close()
```