

11.1 積雪寒冷地における流域からの濁質流出と環境への影響評価・管理手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地水圏研究グループ（水環境・
寒地河川）

研究担当者：平井康幸、矢部浩規、渡邊和好、
西原照雅、水垣滋、阿部孝章

【要旨】

山地から沿岸域までを一連の系とした濁質動態の把握とそれらの河口域環境への影響評価手法の開発を目的に、流域の土砂生産・流出特性、栄養塩流出特性の季節変化、また流域水文水質モデルの適用可能性について検討した。岩石の風化の量・タイミングは岩種により異なり、流域スケール内の土砂生産量も地質により異なり、地すべり地分布密度と相関が認められた。また、SS・栄養塩の年間流出量における融雪期の役割は大きく、水系・地点によって季節変化パターンが異なることがわかった。既存の流域水文水質モデルに適用可能な土壌データベースを構築し、鵒川及び沙流川の日流量を比較的良好に再現できた。

キーワード：SS、風化特性、土砂生産量、栄養塩、SWAT

1. はじめに

水・森林資源開発や高度な土地利用開発、治水対策といった人口増加に伴う流域の改変は、河川を通じた水・土砂・物質の動態を変化させ、少なからず河川的环境に影響を与えてきた。またゲリラ豪雨に代表される気候変動の影響によって崩壊や地すべりといった大規模な土砂生産・流出が各地で頻発し、長期的な濁水の発生をもたらしている。北海道においても、高濃度の濁水は、水道取水の停止や漁獲量の減少、サケやシシャモの産卵床の減少など、さまざまなインパクトを与えている。

一方、1950年代以降、全国的に顕著な海岸侵食が指摘されており、鵒川河口周辺では1948年から2004年までに約500mの汀線の後退が認められ（図-1）、2006

年には下水処理場の越波被害が報告されている。鵒川河口域は、北海道でも最大規模の河口干潟があり、渡り鳥の重要な休息の場として、北海道を代表する自然環境を形成するが、海岸侵食に伴い干潟が消失するなど¹⁾、国土保全だけでなく生態系保全の観点からも海岸侵食の防止が求められている。

流域からの流出土砂のうち大部分を占める浮遊土砂は、河川高水敷や干潟・沿岸域を構成する成分として適切な土砂供給が求められている。一方、シルト・粘土などの微細粒分が過剰な場合、水質・生態系に大きな影響を与える可能性がある。浮遊土砂は、大半が山地から海域まで河床にとどまることなく流下するため、生産源における対策が重要となる。これまでに、流域や沿岸域での土砂動態については、各領域・関係



図-1 鵒川河口周辺の汀線変化

機関において様々な調査・解析が行われてきており、近年になって河川上流域から海域まで一貫した研究事例がみられるようになった²⁾。しかし、これもダムを上流端とした流砂系での事例であり、土砂の生産源(流域)から堆積域(氾らん原・沿岸・海岸)を一連のシステム(流砂系)として捉えて検討された事例はほとんどみられない。

また、鵠川及び沙流川沖の沿岸流による土砂動態については、これまでに多くの調査・研究が行われてきた^{3), 4), 5)}。しかし、これらの研究は短期的な土砂流出イベントについて検討したものであり、長期的な流域の土砂動態と連動して検討された事例はみられない。干潟や海岸といった海岸地形の保全を考えるためには、流域と沿岸域の長期的な土砂動態を把握し、連動して検討することが重要である。

本研究の目的は、山地から沿岸域までを一連の系とした浮遊土砂・濁質動態を明らかにするとともに、それらの把握手法の開発、及び河道・海岸の堆積・侵食や水質・生態系への影響評価手法を開発することである。本年度は、①積雪寒冷地域における風化特性の岩石による違い、②流域スケールにおける土砂生産量の推定法、③栄養塩流出における季節変化特性、④分布型流出モデルのための土壌データベース構築と水流出の再現、について研究を行った。

2. 方法

2.1 研究対象流域

調査対象流域は、北海道中央部の鵠川流域及び沙流川流域とした(図-2)。鵠川は、流域面積 1270 km²、幹川流路延長 135 km の一級河川である。北海道勇払郡占冠村の狩振岳(1323 m)に源を発し、パンケシユル川、双珠別川、穂別川を合わせて、むかわ町市街地を経て太平洋に注いでいる。河床勾配は、上流域で 1/150 以上、中流域で約 1/100~1/1000、下流域で約 1/1000 である⁶⁾。

沙流川は、流域面積 1350 km²、幹川流路延長 104 km の一級河川である。日高山脈の熊見山(1175 m)に源を発し、ウエンザル川、パンケヌシ川、千呂露川、額平川等の支川と合流し、ほぼ南西方向に流下して日高町富川にて太平洋に注いでいる⁷⁾。河床勾配は、上流で 1/130~1/50、中流域で約 1/190、下流域で 1/500~1/800 である⁸⁾。

年平均降水量は、鵠川流域では上流域の占冠で 1300 mm、下流域の鵠川(むかわ)で 1000 mm、沙流川流

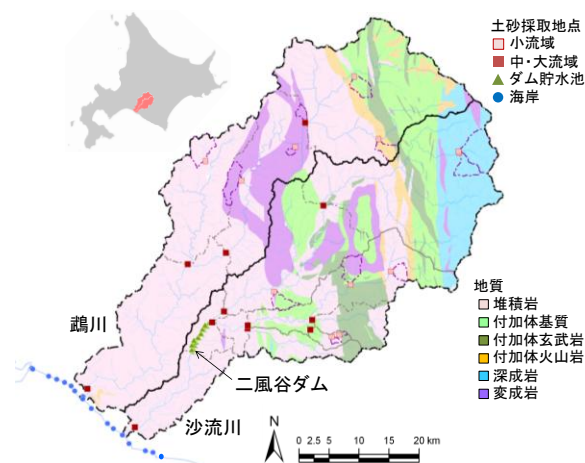


図-2 研究対象流域

域では、上流域の日高で 1353 mm、下流域の日高門別で 975 mm である⁸⁾。地質はきわめて複雑に入り組んでいる。鵠川流域の最上流域では、白亜紀から古第三紀の堆積物および変成岩類・深成岩類などが日高山脈を構成する。上流域にはジュラ紀~白亜紀の砂岩・泥岩が主に分布し、軟質で開析の進んだ山地を形成する。また一部に蛇紋岩などの変成岩類が含まれ、地すべりや斜面崩壊を起こしやすい。上流から下流に広く分布する新第三紀の堆積岩類は、礫岩・砂岩・泥岩からなり、比較的軟質で、起伏の少ない山地を形成している⁹⁾。

沙流川流域では、古生層の一部を除き主に白亜紀層と新第三紀層の堆積岩や貫入岩で形成されている。貫入岩帯は主稜部に発達し、火成岩類では斑禰岩、カンラン岩、変成岩では結晶変岩・変麻岩が多い。層群では水系の東側より、黒色粘板岩・細砂岩のなかに硅質岩・輝緑凝灰岩を介在又は互層する日高累層群、砂岩・泥岩を主とする富良野層群、輝緑凝灰岩を主に硅質岩・粘板岩等を含む空知層群(この層群には蛇紋岩が振内北部から左岸にかけて分布する)などが南北に帯状に連なり、そしてその両側には滝の上層・川端層から成る新第三紀層が連なっている。地表は一般に砂礫を混入した砂壤土・植壤土でおおわれているが、川に面する急斜地では基岩の露出している箇所が多い。下流部においては、土砂の堆積等で土壌も厚いが、表層には樽前火山灰が 5~20 cm 程度堆積している⁸⁾。土地利用は、ほとんどが森林に覆われている。鵠川流域は森林、農地及び市街地がそれぞれ 82%、5%及び 13%であり、沙流川流域ではそれぞれ 88%、6%及び 6%となっている。

2.2 研究方法

土砂生産特性の地質（岩石）による違いや凍結・融解を含む季節変化による影響を調べるために、岩石の暴露試験を行った（3章）。また、流域内の土砂生産源の分布特性を明らかにするために、放射性同位体トレーサによる土砂生産源推定と水文観測を行い、土砂生産量を評価した（4章）。流域から沿岸への土砂・栄養塩流出の季節変化特性を明らかにするために、SSや存在形態別栄養塩の流出負荷量の推定手法の構築を試みた（5章）。既存の流域水文水質モデルを用いて気候変動や土地利用が流域・沿岸域環境に及ぼす影響を評価できるツールを開発するため、モデルに適用可能な土壌データベースを構築し、鵜川及び沙流川流域の日流量の再現を試みた（6章）。

3. 積雪寒冷地域における風化特性の岩石による違い

3.1 調査の目的

流砂系を考慮した総合的な流域土砂管理において、山地斜面から河川を通じて一気に沿岸域へ到達する浮遊土砂（浮遊砂・ウォッシュロード）の質的な特性（粒径）を把握することは、生産源や流出土砂量を明らかにすることとともに、重要な課題の一つである。一般に、深層崩壊や斜面崩壊といった山地斜面の土砂移動現象やダム堆砂といった流域スケールの土砂生産・流出量は、地質条件が主要因の一つであり、岩石による風化特性の違いが密接に関連している。Mizugaki et al.（2012）⁹⁾は、岩石由来の放射性同位体をトレーサとして流域の土砂生産源を6種の地質（岩石）に区分し、浮遊土砂に対する生産源寄与の推定法を提案した。この手法を用いて、鵜川及び沙流川水系を対象に山地小

流域から海岸¹⁰⁾・沿岸¹¹⁾まで浮遊土砂・堆積土砂の生産源寄与を推定したところ、微細な浮遊土砂は主に堆積岩や変成岩の地域が、粗粒な海岸砂や沿岸底質は主に深成岩や付加コンプレックス（メランジ基質・堆積岩）の地域が主要な生産源であることがわかった。この生産源寄与の粒径依存性は、一般的な岩石の風化特性からも支持されるが、実際のデータに基づく検証は行われていない。

本研究の目的は、放射性同位体トレーサにより浮遊土砂生産源として区分された岩石種の風化特性を明らかにすることである。本研究では、自然環境下における凍結・融解に伴う浮遊土砂生産を評価するために、岩石の暴露試験を行った。

3.2 調査方法

3.2.1 供試体

試料の採取地は、北海道南部に位置する一級河川鵜川水系及び沙流川水系における山地河川流域の溪岸裸地斜面である（表-1）。斜面から採取した岩石は、直径3～5 cm程度のものを4個ずつ選び、電気乾燥炉により35～45℃で風乾後、暴露試験の供試体とした。

3.2.2 暴露試験

暴露試験は、独立行政法人土木研究所寒地土木研究所（札幌市）の屋上で実施した。暴露試験装置は、供試体を設置する2 mmメッシュの篩、細粒化土砂を捕捉する塩ビ容器、定期的に供試体を撮影するインターバルカメラ（Brinno社; Garden Watch Cam, Taiwan）から構成される。観測期間は2013年10月1日から2014年3月19日の169日間とし、容器の回収は、最初は約4週間ごとに2回、それ以降は約2週間ごとに8回、計10回行った。容器に捕捉された水と土砂をガラス繊維フィルター（ADVANTEC GF/F; ポアサイズ0.7 μm）でろ過し、105℃で絶乾したろ紙上の残留物を秤量し、細粒化した土砂重量とした。風化の程度を比較するために、細粒化した土砂重量を供試体の初期重量で除した、風化率で評価した。また観測期間ごとに風化率を比較するため、風化率を観測時間で除し10日当たりに換算したものを風化速度とした。気象データは、試験地から北西に3.3 km離れた札幌気象台が観測した気温及び降水量を用いた。

3.3 結果と考察

10/1～3/19までの累積風化率は、A-1（第三紀堆積岩・砂岩）が12.1%と最も大きく、B-1（変成岩・蛇紋岩）の2.2%、C-2（付加コンプレックス・玄武岩岩体）

表-1 供試体の諸元

記号	地質	採取場所	密度 (g/cm ³)
A-1	堆積岩 新第三紀・砂岩	沙流川 オパラダイ川	2.25
A-2	堆積岩 白亜紀・泥岩	鵜川 ヌタボマナイ川	2.66
B-1	変成岩 時代不詳・蛇紋岩	沙流川 ニセウ川	2.50
B-2	変成岩 白亜紀・カムイコタン変成岩	鵜川 弓立沢	2.28
C-1	付加コンプレックス ジュラ紀・白亜紀・玄武岩ブロック	沙流川 パンケヌシ川	3.04
C-2	付加コンプレックス ジュラ紀・白亜紀・玄武岩岩体	鵜川 双珠別川五の沢	2.68
C-3	付加コンプレックス 白亜紀・メランジ（砂岩泥岩）	鵜川 大滝の沢	2.60
D	深成岩 古第三紀・片麻岩	鵜川 トマム	2.95

の1.4%の5~8倍以上であった(図-3)。A-2(白亜紀堆積岩・泥岩)、B-2(カムイコタン変成岩・泥質片岩)、C-1(付加コンプレックス・玄武岩ブロック)、C-3(付加コンプレックス・メランジ基質)、D(深成岩・片麻

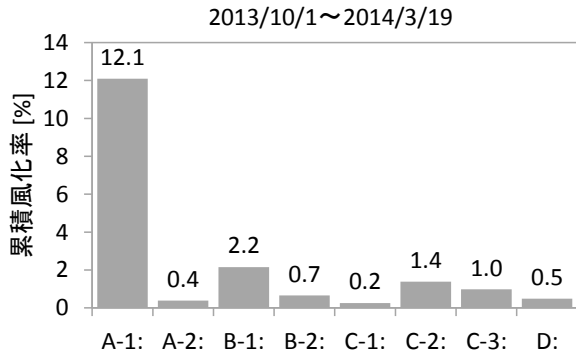


図-3 観測期間中の累積風化率

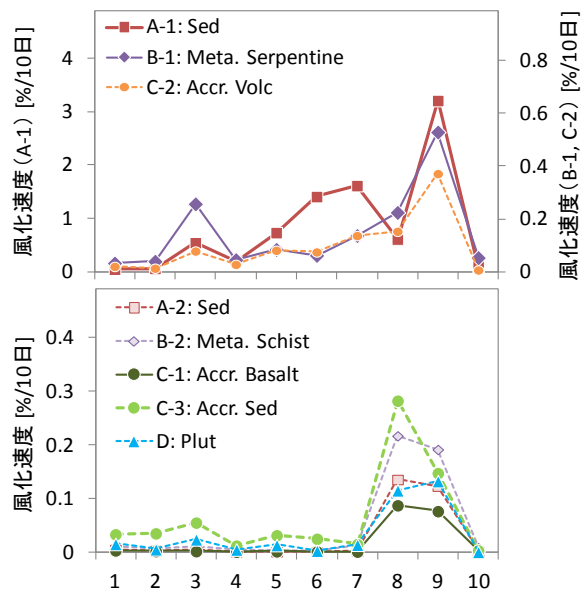


図-4 風化速度の時系列変化パターン

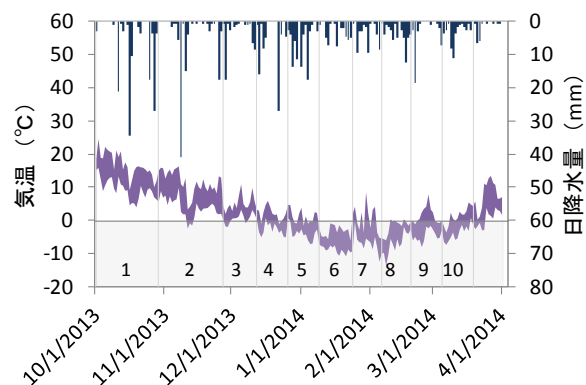


図-5 観測期間中の気温・降水量

岩)の風化率は1%以下と小さかった。

風化速度(10日当たりの風化率)の時系列変化について、累積風化率が大きかったA-1、B-1及びC-2は3回目から9回目まで風化速度が増加する傾向がみられた(図-4上)。一方、累積風化率が小さかったA-2、B-2、C-1、C-3及びDは、8回目及び9回目の風化速度が大きかったものの、その他の時期はほとんど風化が進まなかった(図-4下)。風化率が高い岩石は、篩上にも細粒化した土砂が認められ(写真-1のA-1、B-1)、気温が0度を頻繁にまたぎ始める12月から凍結-融解作用による細粒化が進んだものと推察される(図-5)。一方、風化率が小さいグループは、篩上に細粒化

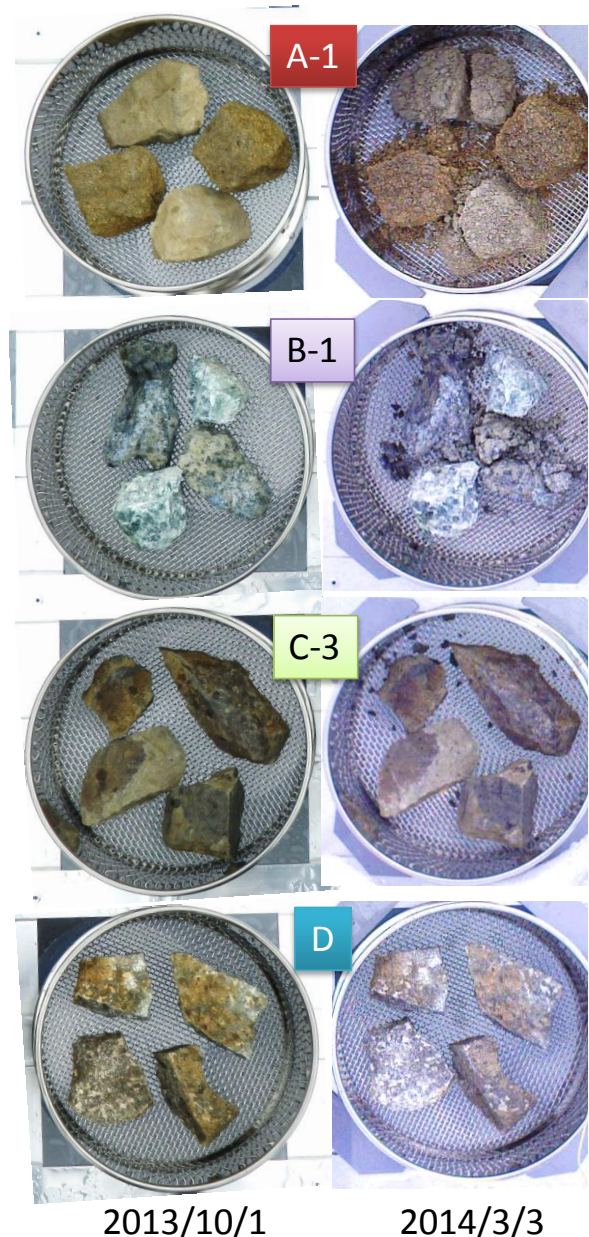


写真-1 試験前と9回目の供試体の様子

された土砂が少ないか、またはほとんど認められなかった（写真-1 の C-3, D）。冬の終わりの融雪期に水分が継続的に岩石に浸透する機会が増えることで、この時期に細粒化が生じた可能性が示唆される¹²⁾。

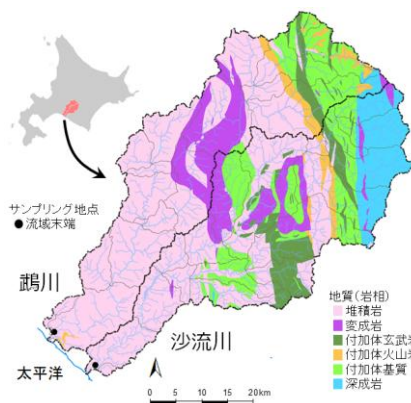
4.流域スケールにおける土砂生産量推定法

4.1 調査の目的

土砂生産量は流域の土砂生産特性の代表的な指標であり、砂防計画やダム堆砂対策を立案する際の基本的かつ極めて重要な情報である。土砂生産量は、一般に砂防・発電・多目的ダムの堆砂データを用いて、掃流砂や浮遊砂を対象にした数十年間の平均値として評価した例が多く、主な規定要因の一つに地質特性の影響が知られている¹³⁾。しかし、流域がさまざまな地質で構成される場合、流域内の土砂生産量の空間的な違い（ばらつき）は把握できない。効率的な土砂生産源対策を計画・実施するには、流域内の土砂生産源の分布を明らかにする必要がある。

著者らは、沙流川水系額平川流域を対象として、放射性同位体トレーサを用いた地質別の土砂生産源推定法を構築し、降雨出水イベント時の土砂生産量を地質別に推定した⁹⁾。この手法をより長期的な観測データに適用できれば、流域内の土砂生産量の分布を評価できる可能性がある。本研究の目的は、流域末端からの流出土砂量とその生産源を定量的に評価する手法を構築することである。そのために、水文観測、水質試験、放射性同位体トレーサを用いた地質別の生産源寄与推定を行った。また、土砂生産量とその潜在的要因との関係を GIS 解析により調べた。

4.2 調査方法



グループ名	岩相	時代
堆積岩	A 泥岩（海成）	後期白亜紀前期
	泥岩優勢砂岩泥岩互層（海成）	後期白亜紀後期
	堆積岩類（海成及び非海成層）	中-後期中新世
変成岩	B 泥質片岩	白亜紀
	蛇紋岩等	時代未詳
付加 コンプレックス	C-1 玄武岩ブロック （海底火山起源）	ペルム紀 （ジュラ紀-前期白亜紀）
	C-2 玄武岩岩体	ジュラ紀-前期白亜紀
	C-3 メランジュ基質	前-後期白亜紀
	砂岩優勢砂岩泥岩互層	後期ジュラ紀-前期白亜紀
	砂岩優勢砂岩泥岩互層	後期白亜紀後期-前期漸新世
深成岩	D 花崗閃緑岩	前-中期中新世
	苦鉄質深成岩類（斑れい岩質）	中期始新世

図-6 対象流域と表層地質の分布

4.2.1 調査地概要及び野外調査

研究対象流域は、北海道中央部～南部で隣接している一級河川鶴川（1270 km²）及び沙流川（1350 km²）流域とした（図-6）。流域の表層地質は、上流から下流に向けて主に深成岩、付加体、堆積岩で構成され、蛇紋岩や泥質片岩等の変成岩が中流域に分布する（図-6）。土地利用は森林、農地及び市街地がそれぞれ 85%, 6% 及び 9% を占める。年平均降水量は下流で 975 mm、上流で 1353 mm である。

観測地点は鶴川橋（河口から 2.55 km）及び沙流川橋（2.7 km）の 2 地点とした（図-6）。2011 年 4 月から 2013 年 9 月までの融雪出水及び降雨出水を対象に、可能な限り水位上昇時、ピーク時、逓減時を網羅するように表面採水（18 リットル）を行った。

4.2.2 分析方法

採取した水サンプルの一部をとり、SS 濃度（ポアサイズ 1 μm）を調べた。また、水サンプル（16.5 リットル）の濁度成分を蒸発乾固して抽出し、粒径 0.425 mm 以下の画分について、ガンマ線スペクトロメトリーにより放射性同位体濃度（²¹²Pb, ²²⁸Ac, ⁴⁰K）を調べた。

4.2.3 土砂生産源の推定

濁度成分に対する各地質別生産源グループの寄与の推定は、Mizugaki et al. (2012)⁹⁾の方法にしたがった。6 つの生産源グループ（図-6 の A～D）と濁度成分の ²¹²Pb, ²²⁸Ac, ⁴⁰K 濃度からマハラノビスの距離を計算した。生産源寄与を距離の逆数に比例するものと仮定し、以下の式で各生産源からの寄与を算出した。

$$p_i = \frac{\frac{1}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}}, \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1$$

ここに p_i は濁度成分に対する生産源 i からの寄与、 d_i は生産源 i と濁度成分とのマハラノビスの距離である。

4.2.4 地質別土砂生産量の推定

年間流出土砂量は、水試料採取時の流量と SS 濃度を乗じて算出した流出土砂量を流量のべき乗式 (L-Q 式) で近似することにより、流量の毎正時データから連続的に評価した (2010~2012 年の 3 年分)。地質別の土砂生産量について、SS 濃度に流量を乗じた流出土砂量に、放射性同位体トレーサで推定した地質別の土砂生産源の寄与を乗じることで、地質別の土砂流出量とし、流量との関係をべき乗式で近似して地質別 L-Q 式を作成した。土砂生産量は、年間の土砂流出量及び地質別土砂流出量を流域面積あるいは各地質面積で除すことにより算出した。

4.2.5 支流域スケールの土砂生産量と GIS 解析

支流域スケールの土砂生産量を推定するために、鵜川・沙流川流域を各 17 の支流域に分割し、地質の面積割合を調べた。4.2.4 で推定した地質別土砂生産量に地

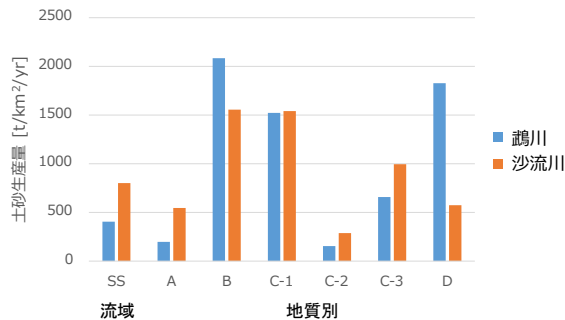


図-7 地質別土砂生産量

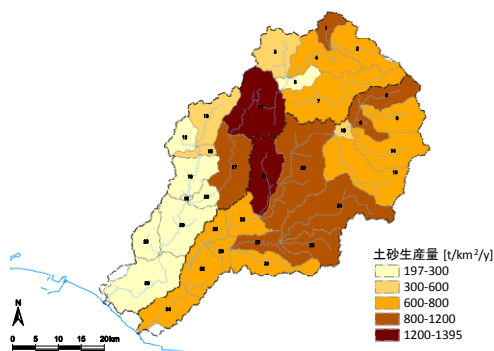


図-8 支流域ごとの土砂生産量

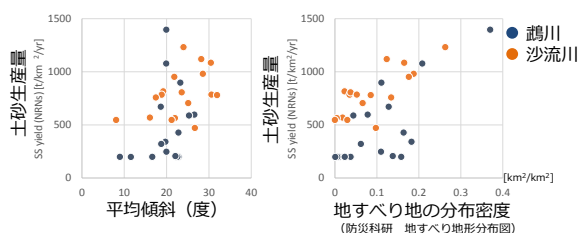


図-9 支流域の土砂生産量と潜在的要因との関係

質面積割合を乗じて、支流域ごとの土砂生産量とした。また、土砂生産・流出の潜在的要因として、支流域ごとに平均傾斜や地すべり地の分布密度を GIS (ArcGIS Ver. 10.0, Spatial analyst; Esri 社) を用いて調べ、支流域の土砂生産量との相関を調べた。なお地質は産総研 20 万分の 1 シームレス地質図、傾斜は国土地理院の 10m メッシュ標高データ、地すべり地は防災科研の地すべり地分布図を用いた。

4.3 結果と考察

流量と流出土砂量との関係を調べたところ、鵜川、沙流川ともにべき乗式 (L-Q 式) で近似できた。地質別に L-Q 式を構築したところ、鵜川の変成岩、深成岩、沙流川の変成岩でばらつきが大きかったが、近似可能であった。

構築した L-Q 式を用いて 2010 年~2012 年の流域の年平均土砂流出量及び土砂生産量を調べたところ、鵜川でそれぞれ 50 万 t 及び 406 t/km²/年、沙流川でそれぞれ 106 万 t 及び 801 t/km²/年であり、沙流川流域の方が鵜川に比べて約 2 倍大きかった。地質別土砂生産量は流域によって異なる傾向が認められ、鵜川では変成岩 (B)、付加体玄武岩ブロック (C-1)、付加体基質 (C-3)、深成岩 (D) が流域平均より大きく、沙流川は変成岩、付加体玄武岩ブロック、付加体基質が流域平均より大きかった (図-7)。

流域ごとに得られた地質別土砂生産量から支流域ごとに土砂生産量を算出したところ、197~1395 t/km²/年となり、鵜川・沙流川中流域に土砂生産量が多い地域が集中していることがわかる (図-8)。土砂生産量と平均傾斜、地すべり地の分布密度との関係を調べたところ、いずれも有意な正の相関が認められ、とくに沙流川では地すべり地分布密度と線形の関係が認められた (図-9)。これらのことから、推定した土砂生産量が概ね主要な土砂生産プロセスを反映していると考えられ、地質別土砂生産量推定法の有効性が示された。一方、沙流川中流域は 2003 年 8 月の豪雨時に表層崩壊が多発した地域であることから (村上・中津川, 2004)、表層崩壊の分布密度とも関係についても、今後検討する必要がある。

5. 栄養塩流出における季節変化特性

5.1 調査の目的

沿岸域の自然環境には、そこに寄与するさまざまな河川流域の水・土砂・物質流出特性が大きく関与して

11.1 積雪寒冷地における流域からの濁質流出と環境への影響評価・管理手法に関する研究

いる。特に積雪寒冷地域である北海道では、年間の水・栄養塩流出負荷に占める融雪期の割合が60%以上に達するとの報告もあり¹⁴⁾、水・土砂・物質の流出が陸域・海域の自然環境の形成に重要な役割を果たしている。したがって、陸域・海域の自然環境を保全するためには、沿岸域に寄与する複数の流域の水・土砂・物質流出特性の理解が欠かせない。

一般に浮遊土砂（以下、SS）濃度は流量に対して増加傾向を示すが、窒素やリンの濃度は溶存態か懸濁態かによって流量に対する応答が異なる^{15), 16), 17)}。また、これらの濃度特性は流域の土地利用や地質^{18), 19)}、降雨特性や季節^{20), 21)}によっても異なる。したがって、流域の土砂・物質流出特性を把握するためには、観測地点において水文観測や採水、水質分析などを一定の期間継続し、物質濃度の流量に対する応答特性、任意期間

の総流出負荷量や収支を評価する必要がある。

しかし、複数の流域において上流域から下流域までの同時観測を単独機関で実施することは、コスト面や労力的な面で困難である。一方、水文観測地点を設けている様々な関係機関が出水時の観測を連携して実施すれば、多地点における同時観測データの蓄積と総合的な解析が可能となる。本研究の目的は、複数流域における水・土砂・栄養塩の流出特性を明らかにすることである。

寒地土木研究所と室蘭開発建設部は、融雪出水時及び降雨出水時に多地点における水文・水質の同時観測を2011年～2014年まで連携して実施してきた。水垣ら（2013）²²⁾は2012年の融雪出水について、さらに水垣ら（2014）²³⁾は2012年の融雪及び降雨出水について、流量、SS濃度、栄養塩濃度の相互関係と流出応答、観測地点間の収支を検討してきた。これらの報告では、

- 1) 河川縦断方向の水収支が下流で減となることがあり、地点間の水・SS・栄養塩流出量の正確な地点間比較が容易でないこと、
- 2) 各観測地点では、比流量-比SS流出量の関係式（ $Q-Q_{ss}$ 式）は、観測地点によって異なり、また地点によっては季節によって異なることがあること、
- 3) 総窒素、総リンの流出量は流量との関係式から推定できるが、溶存態窒素及びリンの流出量は流量だけから推定することは困難であること、
- 4) 窒素及びリンの懸濁態・溶存態の存在比がSS濃度と関係があること、などがわかってきた。

本研究では、さらに詳細な水・SS・栄養塩の流出特性を把握するために、これまでの知見をもとにSS及び栄養塩の流出負荷量を流量から推定する方法を構築し、観測地点ごとに水・SS・栄養塩（懸濁態・溶存態の窒素及びリン）について流出量の季節変化特性を調べた。

5.2 調査方法

5.2.1 研究対象流域及び野外調査

研究対象流域は、北海道中央部～南部で隣接している鵡川及び沙流川流域とした（図-10）。流域面積及び幹川流路延長はそれぞれ鵡川流域で1270 km²、135 km、沙流川流域で1350 km²、104 kmであり、ともに一級河川である。観測地点は鵡川流域に5地点、沙流川流域に10地点、合計15地点とした（図-10）。採水は2012年4月から2014年5月までの融雪出水及び降雨出水を対象に、可能な限り水位上昇時、ピーク時、逓減時を網羅するようにそれぞれ3回ないし7回行った。

5.2.2 水質分析

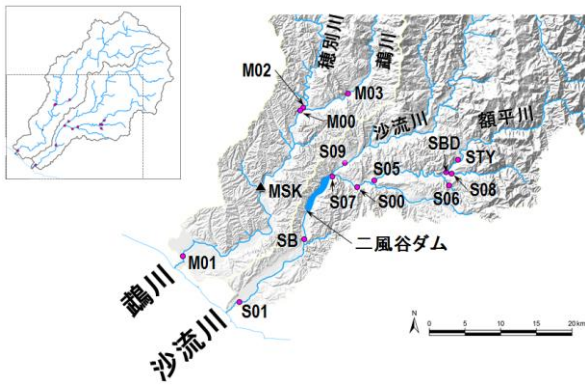


図-10 調査地位置図

表-2 観測地点と有効データの有無

コード	河川名	観測地点	流域面積 [km ²]	有効データの有無				備考
				Q	SS TN, TP	PN, DN PP, DP		
M02	鵡川	中島橋	199.9	○	○	○		
M03	鵡川	富内橋	722.5	○	○	○		
M00	鵡川	穂別橋	949.5	○	○	○		
MSK	鵡川	栄和橋	1069.2	○	○	○		
M01	鵡川	鵡川橋	1238.8	○	○	○		
S08	宿主別川	芽生	63.9	○	○	○		
S08	宿主別川	宿主別橋	63.9	×	○	○		
STY	額平川	豊糠橋	167.2	○	○	×	***	
SBD	額平川	平取ダムサイト	236.0	○	○	×		
S06	総主別川	町道1号橋	16.8	○	○	○		
S05	額平川	貫気別橋	290.5	×	○	○		
S00	額平川	貫気別観測所	373.0	×	○	×		
S07	額平川	額平橋	383.5	×	○	○	*	
S09	沙流川	長知内橋	784.5	○	○	○	**	
SB	沙流川	平取橋	1215.0	○	○	○		
S01	沙流川	沙流川橋	1333.0	○	○	○		

*: 貫気別観測所の流量データを使用

**: 幌毛志橋の流量データを使用

***: 融雪期・降雨出水期それぞれ別のL-Q式を適用

採取した水試料について、SS、総窒素 (Total Nitrogen; 以下 TN)、溶存態窒素 (Disolved Nitrogen; 以下、DN)、総リン (Total Phosphorous; 以下、TP)、溶存態リン (以下、DP) の濃度を測定した。SS 濃度の測定にはポアサイズ 1 μmm のフィルターを用いた。また懸濁態窒素 (Particulate N; 以下、PN) 及び懸濁態リン (以下、PP) の濃度は、それぞれ TN 濃度と DN 濃度、TP 濃度と DP 濃度の差からもとめた。

5.2.3 解析方法

各観測地点において SS、栄養塩の流出量を評価するには、流量とともに SS や栄養塩の濃度の時系列データを得る必要がある。しかし、これらを直接、自記計などで連続観測することができないため、様々な流量ステージで採水して水質試験を行い、SS や栄養塩の流出量を流量から近似的に推定する手法が用いられるのが一般的である。本報では、観測地点毎に SS 及び栄養塩の流出量を評価するために、これらを流量データから推定する手法を構築した。

観測地点毎に流域面積が異なるため、単位流域面積あたりの流出量 (以下、比負荷量) と流量 (以下、比流量) との関係を、べき乗式により近似した。

$$L = a q^b \quad [1]$$

ここに、 L は比負荷量 [kg/s/km^2]、 q は比流量 [$\text{m}^3/\text{s/km}^2$]、 a 及び b は係数である。この式は、SS、TN 及び TP に適用しうる。存在形態別の栄養塩、特に DN や DP については、式[1]による近似はよくない^{9), 10)}。一方、存在形態別の栄養塩濃度について、著者ら^{9), 10)}は、懸濁態の存在割合が SS 濃度の双曲線関数によって近似できることを報告してきた。

$$PN / TN = a \sinh^{-1}(SS / b) \quad [2]$$

$$PP / TP = c \tanh(SS^n / m) \quad [3]$$

ここに、 $\sinh^{-1}$ (アークハイパボリックサイン) は逆双曲正弦、 $\tanh$ (ハイパボリックタンジェント) は双曲正接、 PN / TN 及び PP / TP は窒素またはリンの総濃度に対する懸濁態の存在比、 SS は SS 濃度 [mg/L]、 a 、 b 、 c 、 n 及び m は係数である。

SS、TN 及び TP の任意期間における比負荷量は、式[1]により流量の連続データにより推定できるが、栄養塩の存在形態別の比負荷量は式[1]の近似が比較的悪い^{22), 23)}。一方、式[2] 及び[3]のとおり、窒素及びリンの懸濁態・溶存態の存在比は SS 濃度によって異なることから、式[1]で得た TN 及び TP に、式[2]または[3]で得た懸濁態・溶存態の存在比を乗じることで、窒素及びリンの比負荷量を存在形態別に推定できる。

$$L_{px} = L_{tx} P_{px} \quad [4]$$

$$L_{dx} = L_{tx} - L_{px} = L_{tx} (1 - P_{px}) \quad [5]$$

ここに、 L_{tx} 、 L_{px} 及び L_{dx} はそれぞれ窒素またはリンの全体、懸濁態及び溶存態の比負荷量 [kg/s/km^2]、 P_{px} は窒素またはリンの総濃度に対する懸濁態の存在比である。

式[4]または[5]によって任意期間における PN、DN、PP 及び DP の比負荷量の総量を求めるためには、懸濁態の存在比を式[2]または [3]から代入するが、その際に連続的な SS 濃度の値が必要となる。濁度計などで連続データを得られている場合はそれを用いるのがよいが、本報では、SS 濃度を以下の式で算出することとした。すなわち、比負荷量は、濃度と流量の積を流域面積で除して得られるから、

$$L_{ss} = 10^{-3} C_{ss} Q / A = 10^{-3} C_{ss} q \quad [6]$$

ここに、 L_{ss} は SS 比負荷量 [kg/s/km^2]、 C_{ss} は SS 濃度 [mg/L]、 Q は流量 [m^3/s]、 A は流域面積 [km^2]、 q は比流

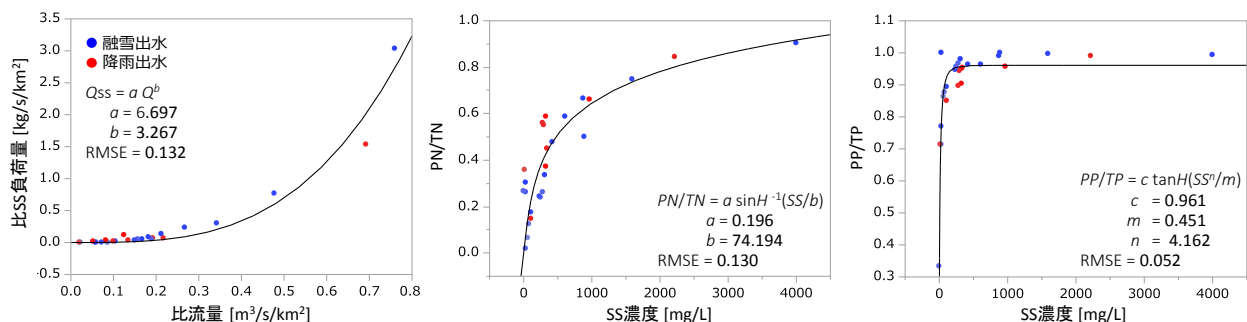


図-11 比 SS 負荷量、PN/TN 及び PP/TP の近似例 (M01)

比 SS 負荷量は式[1]、PN/TN は式[2]、PP/TP は式[3]で近似。青○は融雪出水時、赤○は降雨出水時のサンプル。

量 $[\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2]$ である。SSの比負荷量は式[1]において比流量より連続的に得られるから、式[1] 及び[6]から、

$$a q^b = 10^{-3} C_{ss} q \quad [7]$$

式[7]を C_{ss} について整理すると、

$$C_{ss} = 10^{-3} a q^{b-1} \quad [8]$$

となる。このように、式[2]または[3]のSS濃度に式[8]で求めた値を代入することで、懸濁態及び溶存態の窒素またはリンについても、比負荷量を比流量から推定できる。

以上、式[1]～[8]より、各観測地点におけるSS、PN、DN、PP及びDPの比負荷量を流量の毎時データを用いて推定し、2012年1月～2013年12月の2年間について、月別に総量を積算した。まず、各観測地点において、得られた流量、SS、TN、PN、TP及びPP流出量または濃度の値から式[1]、[2] 及び[3]の各係数を求めるために、非線形回帰分析（統計解析ソフト JMP 11.2.1）を行い、最適解と2乗平均平方根誤差(RMSE)を調べた（図-11）。この最適解を用いて、SS、PN、

DN、PP 及び DP の流出量の時系列データを得た。次に、観測地点毎に各流出量の季節的な変化を評価するため、2年間の総流出量に対する月別流出量の割合を評価した。なお、流量データについて2013年は暫定値を用いた。流量データに欠測が多かった額平川のS05、S00及びS07地点は解析から除いた。また宿主別川S08については、宿主別橋地点の流量データ（寒地土研）に欠測があるため、芽生地点（開発局）のデータを用いた。

5.3 結果と考察

5.3.1 鵠川・沙流川における水・SS・栄養塩流出

鵠川及び沙流川から沿岸域へ流出するSS及び栄養塩の流出特性を把握するために、鵠川（M01）と沙流川（S01）の結果を図-12及び図-13に示した。

鵠川流域の水流出量は、2012年4月が最も多く、ついで、2013年の4月と5月、2013年9月が多い。SS流出量は、2012年9月に最も多く、ついで2013年9月、2012年4月となっている（図-12）。窒素流出について、PNとDNは傾向が異なる。PNはSSと同様に2012年9月、2013年9月、2012年4月に多いが、DNは2012年4月が20%以上と最も多く、ついで2013年

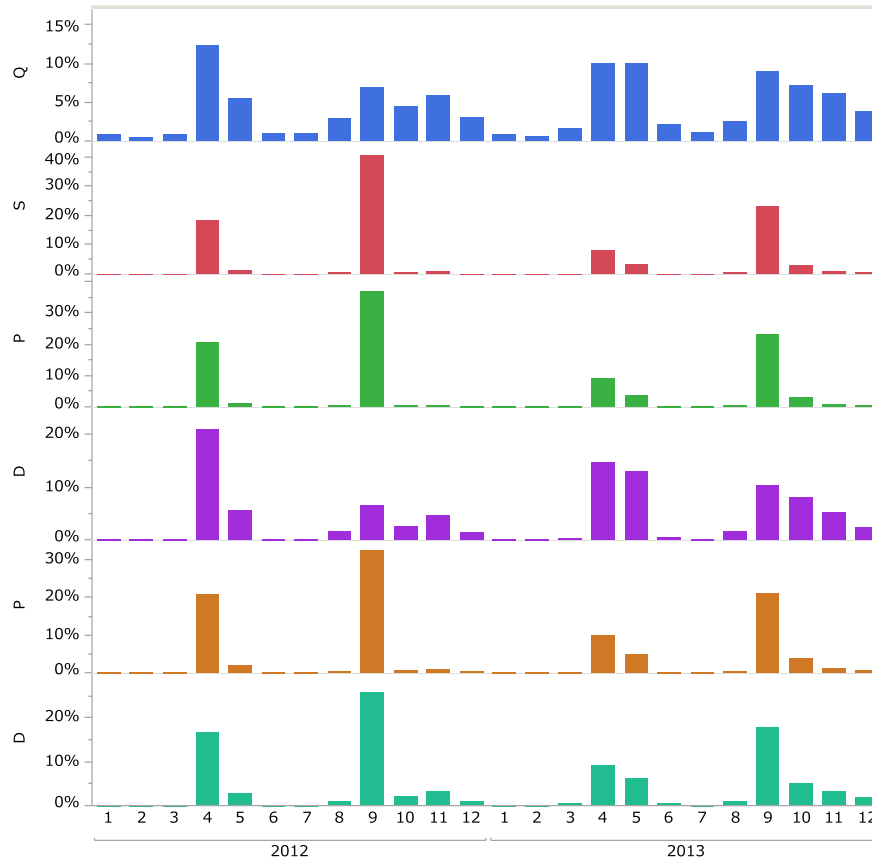


図-12 鵠川 M01 の流量、SS 及び栄養塩の月別流出割合

4月、5月と、水流出のパターンと類似している。ただし、2012年の降雨期の流出量は少ない。リン流出について、SSやPNと同様に、2012年9月が最も多く、ついで2013年9月、2012年4月に多い。これらのことから、栄養塩の流出量の季節変化特性は、PN、PP、DPはSSと同様のパターンを示し、DNは流量のパターンと類似していることがわかった。いずれの栄養塩も、年間の流出量における融雪出水の役割が大きいことがわかる。

沙流川流域の水流出量は、融雪期の4月、5月が最も多く、ついで、2012年11月、2013年9～11月の降雨期が多い。SSの流出は、2012年4月に最も多く、ついで2013年5月、4月、9月となっている(図-13)。窒素流出について、鵜川ほど顕著ではないが、PNとDNは傾向が異なる。PNはSSと同様に2012年4月、2013年5月、4月、9月に多いが、DNは水と同様に、融雪期の4月、5月に多く、2012年11月、2013年9～11月の降雨期に多い。リン流出について、窒素と同様、懸濁態PPはSSと、溶存態DPは水と同様のパターンが認められた。これらのことから、栄養塩の流出量の季節変化特性は、PN、PPはSSと同様のパターンを示し、DN、DPは流量のパターンと類似しているこ

とがわかった。いずれの栄養塩も、年間の流出量における融雪出水の役割が大きいことがわかる。

鵜川と沙流川を比較すると、2012年の9月のSS、栄養塩の流出パターンに大きな違いが認められた。また、鵜川ではDPもSSに類似した季節変化を示すが、沙流川では流量に類似した季節変化を示しており、栄養塩の流出特性が隣接する流域間で異なっていることがわかった。

5.3.2 様々な地点における水・SS・栄養塩流出

鵜川水系と沙流川水系の水、SS及び栄養塩の流出量の季節変化特性を比較するために、2年間(2012年～2013年)の総流出量に対する月流出量の割合を折れ線グラフで示した(図-14)。流量Qについて、鵜川水系(青色)と沙流川水系(赤色)ではほぼ同様の季節変化を示している。一方、SSや栄養塩については、M01(図-12)とS01(図-13)でみたように、鵜川水系と沙流川水系で異なる季節変化が認められる。

SSについては、M01と同様、鵜川水系ではどの地点でも2012年9月に高い流出割合が認められる。一方、沙流川水系では、地点によって異なるパターンが見られるものの、おおむねS01と同様の季節変化が認められた。

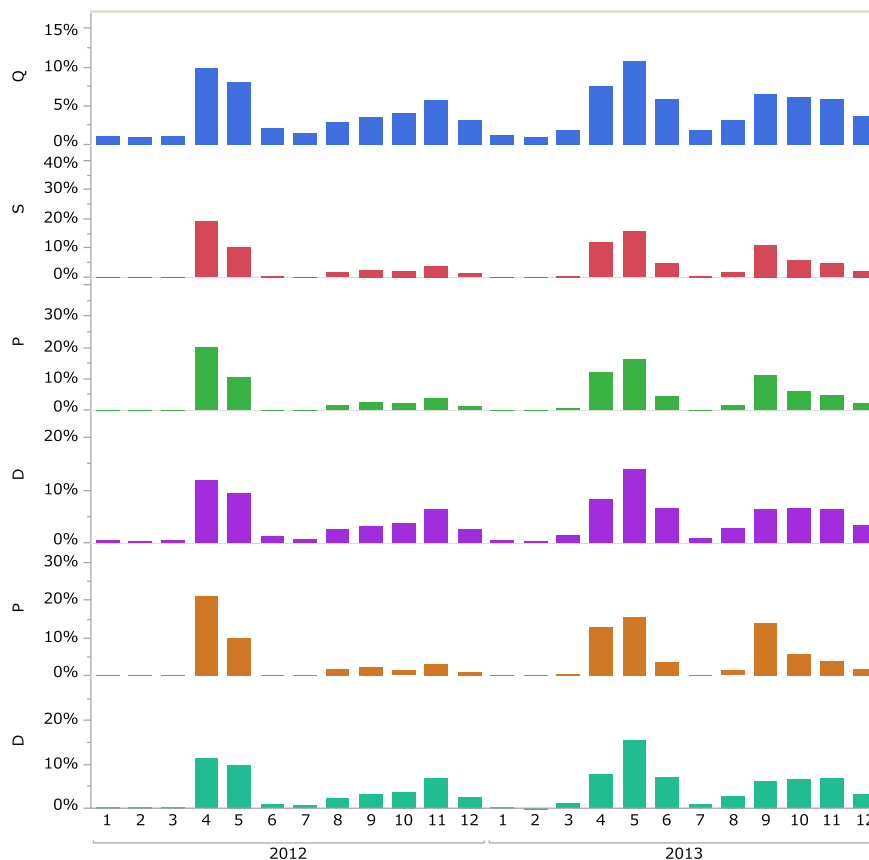


図-13 沙流川 S01 の流量、SS 及び栄養塩の月別流出割合

窒素流出について、鵜川水系、沙流川水系ともに、PN は SS と同様の季節変化が認められたが、DN は地点によるバラツキがかなり大きいことが見て取れる。鵜川水系では、中・下流域の M01、MSK、及び M00 はほぼ同じであるが、M02 と M03 はかなり異なるパターンを示している。沙流川水系では、二風谷ダム下流の S01、SB や二風谷ダム上流の沙流川本川 S09、平取ダム上流の額平川 STY はほぼ同様の季節変化パターンだが、平取ダム地点 SBD、平取ダム上流の宿主別川 S08、平取ダム下流の小支川 S06 では、それぞれ異なる季節変化を示している。

リン流出について、PP、DP は SS と同様のパターンが認められた。DP については、M02 のみ、2 月に極めて高い流出割合を示しており、これについてはさらに詳細な検討が必要である。

5.3.3 栄養塩の流出量評価における今後の課題

本研究では、鵜川及び沙流川流域の多地点で同時水文観測を実施した結果を用い、流量から SS、窒素（総窒素、懸濁態窒素、溶存態窒素）、リン（総リン、懸濁態リン、溶存態リン）の流出負荷量を推定する手法を

構築した。またこれらの手法を用いて、地点毎に 2012 年～2013 年の 2 年間、月ごとの SS 及び栄養塩の流出負荷量を算出し、季節変化特性を調べた。その結果、鵜川と沙流川ともに、年間の流出量における融雪期の役割が大きく、鵜川流域においては特に、溶存態窒素において、融雪期の流出量が多いことがわかった。また、鵜川と沙流川とでは、SS 及び栄養塩の流出における季節変化パターンが異なることがわかった。SS 及び栄養塩流出の季節変動を多地点間で比較したところ、特に溶存態窒素に地点間の違いが認められた。このように、SS・栄養塩の流出負荷量を定量的に把握し、その流出特性について季節的な変動を明らかにすることができた。また上流（小流域）になるほど、これらの流出特性にバラツキが認められる可能性も示唆された。これらの結果は、精力的な現地調査による貴重なデータに基づいて初めて得られるものであり、多機関が連携しているとはいえ、この調査体制を継続することは必ずしも容易ではない。今後の流域管理や沿岸・河川生態系への影響評価に向けて、これらの水質モニタリングを継続していくことが望ましいが、より簡便な栄養塩流出量のモニタリング・評価手法が求められる。

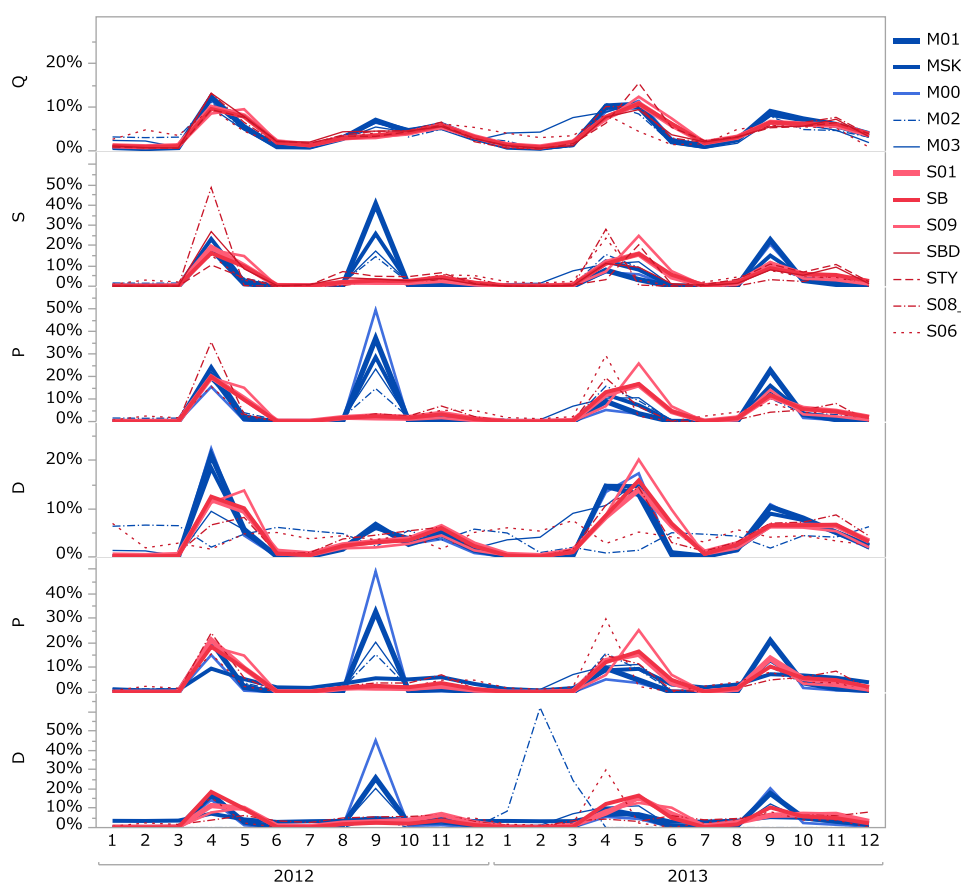


図-14 全観測地点の流量、SS 及び栄養塩の月別流出割合

11.1 積雪寒冷地における流域からの濁質流出と環境への影響評価・管理手法に関する研究

例えば、濁度計等の自記観測機器や、水や物質循環を扱うことができる分布型流出モデルなどの援用も含めて、流域からの水・土砂・栄養塩の動態評価を検討していく必要がある。

形・気象・水文データのみならず土壌データの公開が進みつつあるが、農地土壌と森林土壌は異なる機関が調査・公開してきたため、流域全体をカバーするには、農地・森林の土壌データを統合する必要がある。これが可能となれば、森林が優占する流域においても

6. SWAT モデルのデータベース構築と水流出の再現

6.1 調査の目的

気候変動や土地利用が流域・沿岸域環境に及ぼす影響を評価する上で、水・土砂・栄養塩の流出予測は重要である。米国USDAとTexas A&M大学にて開発されてきた流域水文水質モデルSWAT（Soil and Water Assessment Tool）（Arnold et al., 1998）²⁴⁾は、主に農業流域を対象に、水循環、土壌侵食、栄養塩等の動態を再現、予測する流域総合評価モデルであり、データの編集や計算をGISで扱うことができる。米国のみならず、世界各国でSWATの適用事例が増加しつつあるが（Gassman et al., 2007）²⁵⁾、森林が国土の約7割を占める日本においてはSWATを適用した事例は必ずしも多くはない。国内でのSWAT適用事例として、農業流域を対象とした事例が報告されるようになってきたものの^{26~29)}、森林流域に適用した事例はほとんど認められない。その理由の一つに、入力値のデータベースを独自に構築する必要があることが挙げられる。公開されているSWATには、米国内の様々なデータベースが組み込まれており、米国内の流域であれば、利用者はすぐにでも使い始めることができる。近年、日本でも地

表-3 土壌図と国有林、道・民有林及び農地土壌調査データの統合（概要）

20万分の1土壌図			国有林 民有林	農地
属性1	属性2			
グライ土	グライ土壌	G		○
	粗粒グライ土壌	G_c		○
ボドゾル	ボドゾル化土壌高山性岩屑土壌	P_LH	○	
	細粒灰色低地土壌	GL_f		○
灰色低地土	粗粒灰色低地土壌	GL_c		○
褐色森林土	暗色系褐色森林土ーボドゾル化土壌	DB_P	○	
	褐色森林土ー黒ボク土	B_A	○	○
	褐色森林土ー粗粒火山抛物体未熟土壌	B_RVc	○	
	褐色森林土Ⅰ	B_I	○	
	褐色森林土Ⅱ	B_II	○	
	褐色森林土Ⅲ	B_III	○	
	褐色森林土Ⅳ	B_IV	○	
褐色低地土	褐色低地土壌	BL		○
	粗粒褐色低地土壌	BL_c		○
岩石地	岩屑土壌ー岩石地	L_RL		○
	高山性岩屑土壌ー岩石地	LH_RL		○
黒ボク土	黒ボク土壌a(黒ボク土)	A_a		○
	黒ボク土壌b(ローム質黒ボク土)	A_b		○
	累層黒ボク土壌	AT		○
	未熟黒ボク土壌	AE		○
	湿性黒ボク土壌a(黒ボク土)	AW_a		○
	湿性累層黒ボク土壌	AT_w		○
	湿性未熟黒ボク土壌	AE_w		○
	淡色黒ボク土壌	AO		○
泥炭土	砂礫地など	SG		○
	低位泥炭土壌	Lp		○
未熟土	残積性未熟土壌	RG	○	
	砂丘未熟土壌	RS		○
	粗粒火山抛物体未熟土壌	RV_c	○	
	湿性粗粒火山抛物体未熟土壌	RV_cw	○	

表-4 土壌図と林野土壌分類の対応例（褐色森林土Ⅱ）

20万分の1土壌図				国/民有林（林野土壌）		
属性1	属性2	混在区	属性2ID	林野土壌亜群	林野土壌型・亜型	土壌型ID
褐色森林土	褐色森林土Ⅱ	乾性褐色森林土壌	B_II	褐色森林土	乾性褐色森林土（細粒状構造型）	BA
					乾性褐色森林土（粒状・堅果状構造型）	BB
					弱乾性褐色森林土	BC
				赤色系褐色森林土	乾性赤色系褐色森林土（細粒状構造型）	rBA
					乾性赤色系褐色森林土（粒状・堅果状構造型）	rBB
					弱乾性赤色系褐色森林土	rBC
		褐色森林土壌	B_II	黄色系褐色森林土	乾性黄色系褐色森林土（細粒状構造型）	yBA
					乾性黄色系褐色森林土（粒状・堅果状構造型）	yBB
					弱乾性黄色系褐色森林土	yBC
				褐色森林土	適潤性褐色森林土	BD
					適潤性褐色森林土(偏乾亜型)	BD(d)
				赤色系褐色森林土	適潤性赤色系褐色森林土	rBD
					適潤性赤色系褐色森林土(偏乾亜型)	rBD(d)
				黄色系褐色森林土	適潤性黄色系褐色森林土	yBD
					適潤性黄色系褐色森林土(偏乾亜型)	yBD(d)
		湿性褐色森林土壌	B_II	褐色森林土	弱湿性褐色森林土	BE
					湿性褐色森林土	BF

SWATを適用できる可能性がある。本研究の目的は、
鵠川及び沙流川流域に適用可能なSWATモデルを構築
することである。そのために、様々な土壌調査資料か
らSWAT用土壌データベースを構築し、鵠川・沙流川
流域の日流量の再現を試みた。

6.2 研究方法

研究対象流域は、鵠川流域（鵠川水位観測所：流域
面積 1270 km²）及び沙流川流域（富川水位観測所：流
域面積 1350 km²）とした。分布型流出モデルは
ArcSWAT（ArcGIS Ver. 10.0; SWAT2009）を用いた。
SWAT 用のキャリブレーションソフトウェアとして
SWAT-CUP2012（Eawag, 2014）を用いた。

使用するデータセット（DEM、土地利用、土壌分布、
気象、流量）は、すべて国内で公開されているもので、
特に GIS データは WEB 上で容易に入手できる。土壌
図については、広域での GIS データが整備されている
20 万分の 1 土地分類基本調査（土壌図）「北海道」を
用いることとした。一方、現地の土壌調査データは、
国有林、道・民有林及び農地についてそれぞれ、林野
土壌調査報告（森林総合研究所）、森林土壌情報デー

タベース（北海道総合研究機構林業試験場）及び地力
保全土壌図データ CD-ROM（一般財団法人日本土壌協
会）があり、土地利用区分により異なる機関が公開し
ており、それらを利用した。

土壌データベースは、20 万分の 1 土地分類基本調査
（土壌図）「北海道」の土壌区分（属性 2 レベル）ご
とに、国有林（林野土壌調査報告）、道・民有林（森林
土壌情報データベース-北海道・民有林）及び農地（地
力保全土壌図データ）の土壌区分を対応させた。土壌
調査データの適用範囲は、GIS を用いて土壌区分ごと
にティーセン法でポリゴンレイヤを作成し決定した。

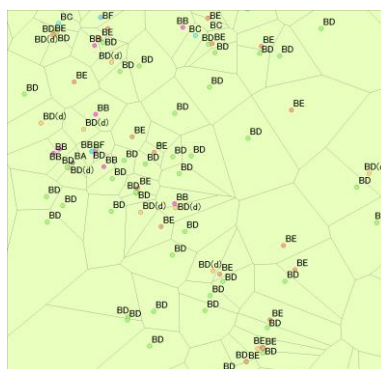
6.3 結果と考察

6.3.1 土壌データベース

SWAT モデルにおいて実際の土壌調査データを最大
限活用するために、土壌データベースを統合すること
とした。各土壌データベースを統合するために、土壌
図の土壌区分（属性 2 レベル）ごとに、各現地土壌調
査データの土壌区分を対応させた（表-3）。土壌調査
データの適用範囲は、GIS を用いて土壌区分ごとにテ
ィーセン法でポリゴンレイヤを作成し決定した。



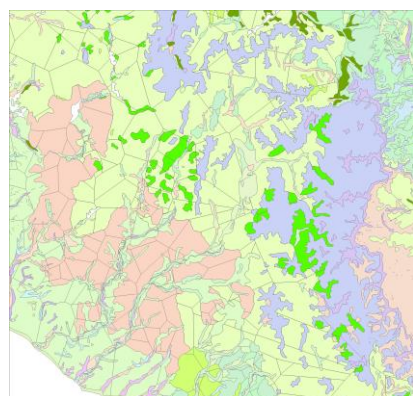
1. B II の調査地点を抽出



2. 調査地点でティーセン分割



3. 土壌図B II の範囲でクリップ



4. 他の分類群も同様に作成



5. 完成(調査地点で色分け)

図-15 土壌データベースの構築手順

例として、土壌図と林野土壌分類（国・道・民有林）との対応について、褐色森林土Ⅱの場合を表-4 に示した。20 万分の 1 土壌図において属性 2 の褐色森林土Ⅱ（B_Ⅱ）には、乾性褐色森林土壌、褐色森林土壌、湿性褐色森林土壌が含まれ、それぞれに対応する林野土壌分類の林野土壌亜群、林野土壌型・亜型が関連づけられている。このような一覧表を、土壌図のすべての属性 2 について作成した。

土壌調査データの適用範囲の作成手順についても、同じく褐色森林土（B_Ⅱ）の例を図-15 に示した。まず、B_Ⅱの調査地点を抽出し、ティーセン分割を行い、ポリゴンを発生させる（図-15 (1), (2)）。ティーセン分割されたポリゴンを、土壌図の B_Ⅱのポリゴンでクリップした範囲が、B_Ⅱの各調査地点の適用範囲となる（図-15 (3)）。この作業を、土壌図のその他の分類群（属性 2）についても行い、統合する（図-15 (4)）。その結果、鵠川及び沙流川流域の SWAT モデル用に統合土壌データベースを構築することができた（図-15 (5)）。現時点では、これ以上に詳細な土壌データベースを構築することが困難であり、もっとも現地状況を反映した土壌図と考えられる。

6.3.2 SWAT モデルによる日流量の再現

ArcSWAT において、統合した土壌データベースを用いて HRU（水文応答単位）を作成し、鵠川流域（鵠川水位観測所）及び沙流川流域（富川水位観測所）の

日流量（2010～2012）の再現を試みた。統合土壌データベースを用いることで、SWAT モデルのキャリブレーションにおいて土壌に関する変量を除外できるため、変量数を減少し計算負荷を減じることができた。SWAT-CUP を用いた SWAT モデルの感度分析とキャリブレーションの結果、鵠川及び沙流川の日流量の推定値について、Nash-Sutcliffe 係数³⁰⁾（モデル予測値と観測値の適合性を評価する指標）がそれぞれ 0.76 及び 0.78 であった（図-16）。Nash-Sutcliffe 係数は、1.0 に近いほどモデルの精度が高いとされ、0.7 以上でモデルの再現性は高いとされることから、SWAT モデルにより比較的高い再現性を得ることができたといえる。図-16 からわかるように、流量変動パターンは概ね再現できているが、ピーク流量や冬季低水時の流量は再現性があまりよくない。降雨や融雪、地下水に関する入力値やパラメータ設定の妥当性など、再現性を確保できるようさらなる検討が必要である。

謝辞

北海道開発局室蘭開発建設部には水質同時観測において多大なるご協力をいただいたほか、流量及び水質データを提供いただいた。ここに記して謝意を表します。

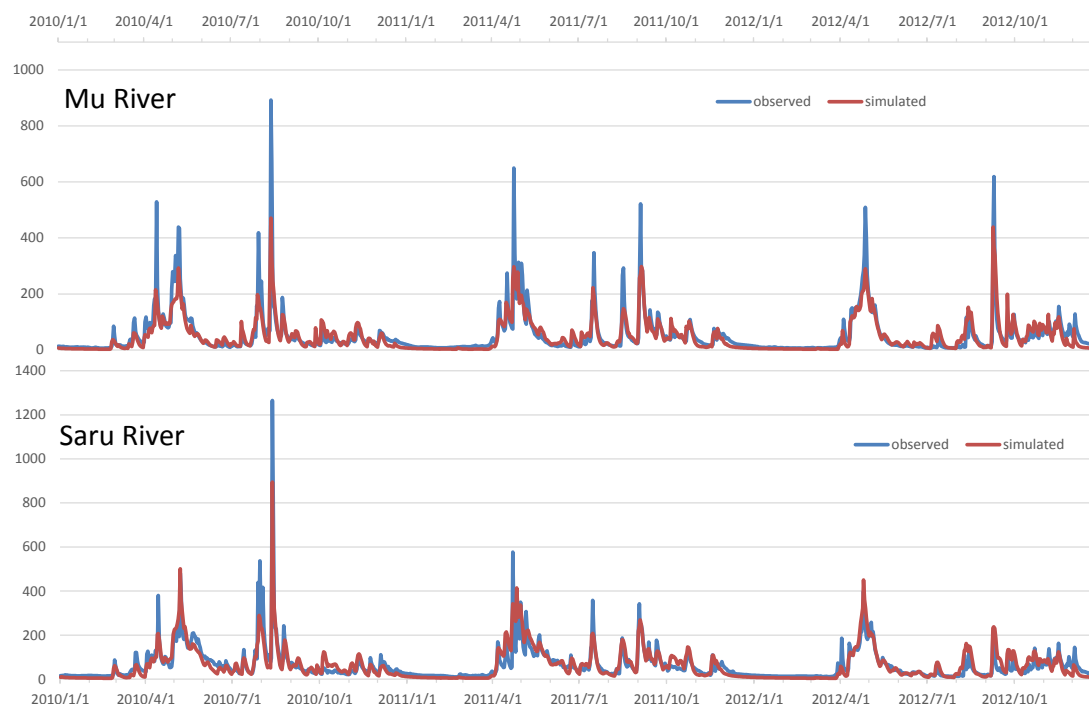


図-16 SWAT モデルによる日流量の推定値と観測値の比較（2010～2012）

参考文献

- 1) 大束淳一, 須田誠, 村上泰啓: 日高・胆振地方の海岸変遷と保全の取り組み. 第 51 回 (平成 20 年度) 北海道開発技術研究発表会, 環-47, 2008 年 2 月
- 2) たとえば佐藤慎司, 宇多高明, 岡安徹也, 芹沢真澄: 天竜川一遠州灘流砂系における土砂移動の変遷と土砂管理に関する検討. 海岸工学論文集, 51, 571-575, 2004 年
- 3) 船木淳悟, 新目竜一: 鵠川河口海域における洪水後の土砂拡散について. 水工学論文集, 43, 449-454, 1999 年 2 月
- 4) 山崎真一, 奈良俊介, 宮下将典, 新山雅紀, 山下俊彦: 鵠川河口海域における流動と底質の堆積・移動特性. 海岸工学論文集, 47, 646-650, 2000 年
- 5) 山下俊彦, 宮下将典, 山崎真一, 渡邊康玄: 河川から供給された物質の河口沿岸域での挙動. 海岸工学論文集, 47, 1026-1030, 2000 年
- 6) 北海道開発局: 鵠川水系河川整備計画. p1, 2009 年 2 月
- 7) 北海道開発局: 明日につなぐ、川づくり沙流川流域の未来へ向けた河川整備一沙流川水系河川整備計画 [変更] (直轄管理区間). 2007 年 3 月
- 8) 国土交通省河川局: 沙流川水系流域及び河川の概要. 沙流川水系河川整備基本方針, 2005 年 11 月
- 9) Mizugaki S, Abe T, Murakami Y, Maruyama M, Kubo M. 2012. Fingerprinting Suspended Sediment Sources in the Nukabira River, Northern Japan. *International Journal of Erosion Control Engineering* 5: 60-69.
- 10) 水垣滋, 大塚淳一, 丸山政浩, 矢部浩規, 浜本聡. 2013. 鵠川海岸の土砂生産源と粒径の季節変化. *土木学会論文誌 B2(海岸工学)* 69: I_671-I_675.
- 11) 大橋正臣, 山本潤, 須藤賢哉, 水垣滋, 門谷茂, 田中仁. 2012. 鵠川沿岸の漁場環境に及ぼす河川出水の影響. *土木学会論文誌 B2 (海岸工学)* 68: I_1121-I_1125.
- 12) 福田正己, 岩崎一孝. 1991. アメダスデータに基づく北海道内の凍結-融解出現頻度分布について. *北海道の雪氷* 10: 18-21
- 13) 大久保駿. 1970. 流出土砂量について-従来の研究の紹介-. *土木技術資料* 12: 34-39
- 14) 橘治国, 安藤正治, 大森博之, 飯田真也, 梅本延彦. 1991. 融雪期における山地森林域河川からの栄養塩流出. *衛生工学研究論文集* 27: 33-44.
- 15) Williams GP. 1989. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. *Journal of Hydrology* 111, 89-106.
- 16) 倉茂好匡. 1996. 浮流土砂の測定および解析方法. 恩田裕一, 奥西一夫, 飯田智之, 辻村真貴(編). *水文地形学-山地の水循環と地形変化の相互作用-*. 古今書院, 東京, 132-142p.
- 17) Ide J, Haga H, Chiwa M, Otsuki K. 2008. Effects of antecedent rain history on particulate phosphorus loss from a small forested watershed of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*). *Journal of Hydrology* 352: 322-335.
- 18) 村上泰啓, 中津川誠, 高田賢一. 2004. 流域条件と土砂・水質成分の流出特性について. *水工学論文集* 48: 1105-1110.
- 19) 横山勝英, 藤塚慎太郎, 中沢哲弘, 高島創太郎. 2008. 多点濁度観測による筑後川水系の SS 流出・輸送特性に関する研究. *水工学論文集* 52: 553-558.
- 20) Abe T, Mizugaki S, Toyabe T, Maruyama M, Murakami Y, Ishiya T. 2012. High range turbidity monitoring in the Mu and Saru river basins: All-year monitoring of hydrology and sediment transport in 2010, *International Journal of Erosion Control Engineering* 5(1): 70-79.
- 21) 吉川泰弘, 渡邊康玄. 2005. 物質輸送に与える大規模洪水の影響. *北海道開発土木研究所月報* 628: 2-17.
- 22) 水垣滋, 吉川契太郎, 旭峰雄. 2013. 鵠川・沙流川流域における融雪期の土砂・物質流出特性. 第 56 回(平成 24 年度)北海道開発局技術研究発表会 KK-19.
- 23) 水垣滋, 吉川契太郎, 佐々木晋. 2014. 鵠川・沙流川流域における土砂・栄養塩収支, 第 57 回(平成 25 年度)北海道開発技術研究発表会 KK-36
- 24) Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment Part I: Model development. *Journal of the American Water Resources Association* 34: 73-89.
- 25) Gassman PW, Reyes MR, Green CH, Arnold JG. 2007. The oil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. *Transaction of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 50: 1211-1250
- 26) Somura H, Arnold J, Hoffman D, Takeda I, Mori Y, Di Luzio M. 2009. Impact of climate change on the Hii River basin and salinity in Lake Shinji: a case study using the SWAT model and a regression curve. *Hydrological Processes*, 23: 1887-1900.
- 27) Somura H, Takeda I, Arnold JG, Mori Y, Jeong J, Kannan N, Hoffman D. 2012. Impact of suspended sediment and nutrient loading from land uses against water quality in the Hii River basin, Japan. *Journal of Hydrology* 450-451: 25-35.
- 28) 清水裕太, 小野寺真一, 齋藤光代. 2013. 郊外農業流域におけるリン流出量推定への SWAT モデルの適用可能性. *水文・水資源学会誌*, 26: 153-173.
- 29) 加藤亮, 渡邊裕純, Boulange J, 江口定夫, 坂口敦, 宗村広昭. 2013. SWAT モデルの水田を含む流域への適用の問題点と改善に向けて (小特集私のお薦めのシミュレ

ーションモデル). 水土の知 : 農業農村工学会誌 81:
983-987

30) Nash JE, Sutcliffe JV. 1970. River flow forecasting through

11.1 積雪寒冷地における流域からの濁質流出と 環境への影響評価・管理手法に関する研究

conceptual models part I - A discussion of principles. Journal
of Hydrology 10: 282-290.

ASSESSMENT OF SUSPENDED SEDIMENT DYNAMICS AND ITS IMPACT ON ENVIRONMENT FOR WATERSHED MANAGEMENT IN COLD REGION

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Watershed Environmental
Research Team, River
Engineering Research
Team

Author : Yasuyuki HIRAI

Hiroaki YABE

Kazuyoshi WATANABE

Terumasa NISHIHARA

Shigeru MIZUGAKI

Takaaki ABE

Abstract:

To elucidate suspended sediment dynamics from mountain to coast and their impacts on coastal environment for the Mu River and Saru River watersheds, we investigated the weathering features and sediment yield, nutrient runoff and its seasonal change, and availability of distributed-runoff model (SWAT). The exposure weathering test showed the differences in the rate and timing of weathering among the various lithological types of rock. Fingerprinting technique and hydrological monitoring could evaluate the sediment yield for various lithological areas, suggesting the deep-sheeted landslide as an important controlling factor. The snow melt flood was found to play an important role in annual runoff of suspended sediment and nutrient by hydrological monitoring campaign. The soil database was integrated for SWAT model, resulting in good fitting to daily discharge for both the Mu River and the Saru River.

Key words: suspended sediment, weathering, sediment yield, nutrient, SWAT