9.5 大規模農地流域からの土砂流出抑制技術に関する研究

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:水利基盤チーム

研究担当者:中村和正、鵜木啓二、

古檜山雅之、高須賀俊之

【要旨】

農地からの土砂流出は、農地の生産力低下や土砂堆積による排水路の機能低下を引き起こす。また、河川に流入した土砂は下流の湖沼等に流出し、土砂に含まれる栄養塩類とともに水環境を悪化させ、水生生物の生育環境 や漁業への影響が問題となる。以上の背景より、本研究では、排水路の機能保全と水環境の保全のために、農地 からの土砂流出抑制技術を提案する。平成25年度までに以下の成果を得た。

(1)流域からの土砂流出に対する抑制対策を実施するためには、土砂流出量の予測技術を開発する必要がある。この予測技術の精度確認のためには、現地データを取得しなければならない。本研究では、大規模農地流域の下端 に整備されている沈砂池で堆積土砂量と流入・流出土砂量の調査を行い、流域から流出する土砂量を把握した。

(2)農業農村整備事業で利用されている土砂流出モデルのUSLE について、係数の設定方法を見直した。降雨係数 は、1976年から2010年までの北海道全域の気象庁データを用いて北海道全域の値を算出した。土壌係数は、農 地に農林水産省データ、農地以外には国土交通省データを用いた新たな土壌図を作成し、これに既存資料で整理 されている土壌統群ごとの土壌係数を付与して北海道全域の分布図を作成した。地形係数は、形状が様々で起伏 のある圃場について、GISを利用した設定方法を示した。

(3) 土砂流出抑制対策の効果予測に利用可能な分布型物理モデルのWEPP について、土砂流出解析を行い、複数流域で実測値との適合度の高いパラメータを設定した。また、解析結果が土地利用や地形に対応した土砂流出現象と適合すること、積雪寒冷地特有の融雪流出が表現できることを確認した。

キーワード:土砂流出、USLE、WEPP

1. はじめに

農地からの土砂流出は、肥沃な土壌の流出による農地 の生産力低下や土砂堆積による排水路の機能低下を引き 起こす。また、排水路に流入した土砂は下流の湖沼等に 流出し、土砂に含まれる栄養塩類とともに水環境を悪化 させ、水生生物の生育環境や漁業への影響が問題となる。 北海道の畑地は、圃場の大規模化で降雨や融雪水が集中 しやすいこと、受食性の比較的高い火山性土壌等が分布 している地域があること、収穫後に地表面が被覆されて いない裸地状態で融雪出水があること、傾斜圃場が広く 分布することなどから、水食の危険性が高いと考えられ る。一部の湖沼では土砂の堆積による生態系への影響が 顕在化している。流域からの土砂流出に対する抑制対策 を実施するためには、土砂流出量の予測技術を開発する 必要がある。

この予測技術の精度確認のためには、現地データを取 得しなければならない。河道を流下する土砂の形態はウ オッシュロード、浮遊砂、掃流砂に大別されるが、農地 からの土壌流亡のみを対象とするのであれば、観測対象 はウォッシュロードと浮遊砂のみで十分と考えられる。 しかし、流域面積が数km²の農地流域を対象とした場合、 流出土砂発生箇所は農地だけでなく、林地や林道、河道 等が想定され、掃流砂も流下している。そのため、土砂 流出対策施設の規模決定には、掃流砂も含めた土砂流出 量を把握する必要がある。なお、本稿では、ウォッシュ ロードと浮遊砂を合わせて浮遊砂と記す。

本研究では、大規模農地流域から流出する土砂量を二 つの方法で観測した結果を報告する。一つは、流域末端 に整備された沈砂池を利用し、沈砂池の堆積土砂量と流 出土砂量を観測する方法である。しかし、流域の下端に 沈砂池があることは稀であるため、この土砂量観測方法 では観測可能な箇所が限られる。大規模農地からの土砂 流出状況を把握するには、土地利用状況や地形、気候条 件等の異なる地域でのデータの蓄積が不可欠である。そ こで、二つ目の方法として、沈砂池の無い流域でも土砂 量が観測できるように自動計測機器である濁度計と音響 式掃流砂計(ハイドロフォン)により、河川を流下する 土砂量の定量化を試みた。農地流域を対象とした音響式 掃流砂計による観測事例は無いため、本研究では観測機 器を沈砂池の直上流に設置し、沈砂池を利用する方法の 観測値と比較することで、観測精度を検証した。

また、土砂流出量の予測技術として土砂流出モデルの 検討を平成24年度より行っている。本研究において、土 砂流出現象をモデル化する目的は以下の通りである。

- ①土砂流出を定性的・定量的に評価することで、土砂流 出対策の実施箇所を選定するとともに、対策施設の設 置位置、規模を決定することが可能となる。
- (2)パラメータの同定が十分であれば、パラメータ(地形 条件など)を変更することで、土砂流出対策を実施し た場合の効果を予測することができる。
- ③パラメータを同定した流域と条件の近似した流域にお いて、土砂流出現象、土砂流出対策工の効果の検討が 可能となる。

本年度は、農業農村整備事業で利用されることの多い USLE (Universal Soil Loss Equation) のパラメータの 見直しと、実態の再現だけでなく土砂流出抑制工の効果 予測にも利用可能と思われる分布型物理モデルの WEPP (Water Erosion Prediction Project)の適用性の検証 を行った。

2. 農地流域から流出する土砂量の観測

2.1 調査方法

2.1.1 調查地点概要

調査は、国営総合農地防災事業において美幌町に整備 された沈砂池で実施した。この地域は、受食性の高い軽 しょうな火山灰土の農地が広がり、融雪期や降雨時に侵 食を受けて土壌流亡が生じやすい地域である。当該事業 では、沈砂池が11箇所整備された。本研究では、事業実 施中に重点的に調査が行われてデータが蓄積されている 3地点を選定して調査した(図-1、表-1)。

2.1.2 調查方法概要

本研究では、すべての掃流砂と一部の浮遊砂が沈砂池 に堆積し、沈砂池から流出する土砂は浮遊砂のみと考え た。すなわち、流出口には掃流砂が含まれないことにな るので浮遊物質(SS)を測定することで沈砂池からの流 出土砂量を観測できることになる(図-2)。また、沈砂池 に堆積した土砂量は測量により把握した。これにより、 流域から流出する土砂量は、沈砂池から流出する浮遊物 質量と堆積土砂量の和として観測できることになる。

沈砂池 a2 では自動観測機器による流入土砂量(掃流砂



図-1 流域図

表-1 沈砂池諸元

流域名	冻状毒痣	土地利用割合(%)				
(沈砂池名) 	<u> </u>	森林	農地	裸地	その他	
A流域 (沈砂池a1)	17 2 km ²	43	33	8	16	
A流域 (沈砂池a2)	11.4km ²	63	25	3	9	
B流域 (沈砂池b)	1.8km ²	33	55	6	6	



と浮遊砂)の観測を行った。沈砂池への流入土砂量(= 掃流砂+浮遊砂)は、沈砂池の堆積土砂量と沈砂池から の流出土砂量(=浮遊砂)の和に等しいことになるので、 自動観測機器の精度が確認できる。

なお、観測する沈砂池の堆積物や水中の浮遊物質には 有機物も含まれるが、堆積土砂、浮遊砂として整理した。

2.1.3 **堆積土砂量調査**

沈砂池に堆積した土砂量は、沈砂池を縦 5m 横 1m(a2 では縦 2m 横 1m)の格子で区切り、各格子点における堆積 土砂頂部の標高の変化を測量により計測することで把握 した。さらに、測量により求められた土砂量の体積に単 位体積重量を乗じて重量に換算した。調査は、2011年か ら 2013年まで、各年の5月上旬、7月、10月、11月末 に実施した。

単位体積重量は、堆積土砂が十分に締まっていてコア 採取が可能な場合には、1000cm³の不撹乱試料を採取して 乾燥密度を求めた。水中部分などで堆積土砂のコア採取 が困難な場合には、「北海道開発局 港湾・漁港工事監督 マニュアル暫定版」¹⁾に記載の湿潤飽和状態における中 詰材の単位体積重量の測定方法に準拠して 1000cm³の試 料を作成して乾燥密度を求めた。

2.1.4 流出土砂量調査

沈砂池から流出する土砂量調査として、各沈砂池の流 出口直下流において流量と浮遊物質(SS)の観測を実施 した。観測期間は2011年から2013年まで各年の3月1 日~11月30日である。流量は、水位観測と流量観測か らH-Q曲線を作成し、自記水位計で観測した連続水位か ら連続流量に換算した。SSは、自動採水器を用いた採水 試料による実測濃度と、自記濁度計による濁度との相関 から連続濃度を求めた。河川の凍結のため観測の困難な 冬期間(前年12月から当年2月まで)のSS濃度と流量 は、上記観測期間の最低値を一律に当てはめた。

2.1.5 流入土砂量調査

沈砂池a2では流入土砂量を観測した。観測期間は2011 年9月16日~2013年11月30日である。流入土砂量の うち掃流砂量は音響式掃流砂計で観測した。音響式掃流 砂計とは、内部にマイクロフォン備えた金属管(掃流砂 計)を流れに対して垂直方向に河床に埋設し、河床を移 動してきた砂礫が金属管に衝突した時の音響データをロ ガーに記録する装置である。音響データの記録方式には、 パルス法³²と音圧法³³があるが、本研究では、現地での 簡易なキャリブレーション試験のみで記録値から流砂量 に換算する一連の手法が確立している音圧法を採用し た。音響データから掃流砂量への変換は、鈴木ら⁴⁰の理 論により行った。

掃流砂計設置箇所の河床幅は1.5m、掃流砂計の測定部 長さは0.8mである。掃流砂計は図-3に示すような形状 に加工し、現地では河床を掘削し、河床のセンターライ ンと掃流砂計中心部が合うように設置・固定を行った。 観測間隔は15分で、1回の観測につきサンプリング周期 100kHz(10μs)で5秒間記録した。

浮遊砂量は、流出土砂量と同様に自記濁度計による濁 度と自動採水器による採水試料の浮遊物質量を相関させ て連続的な浮遊砂濃度を観測し、流量を乗じて算出した。



	-	1X-2	121/11	2/11-0	5174	୰⊥୳୬≞	主い未可	I	単位:t
	ホルキ		佳計	期間		流入士	L砂量	流出	堆積
加以白	儿吵吧		未可	刑间		浮遊砂	掃流砂	土砂量	土砂量
A流域	a1	2010/	/11/11-	-2011/1	1/30			420	395
		2011/	/11/30-	-2012/1	1/19	-	_	511	289
		2012/	/11/19-	2013/1	1/21			1,639	595
	a2	2011/	/11/30-	2012/1	1/22	438	38	324	167
		2012/	/11/22-	-2013/1	1/21	1,275	112	1,002	666
B流域	b2	2010/	/11/11-	2011/1	1/30			27	141
		2011/	/11/30-	2012/1	1/19	-	-	27	326
		2012/	/11/19-	2013/1	1/21			136	493

表 2 各沈砂池における土砂量の集計

濁度に欠測のある期間は流量と負荷量の関係式から換算 した。

2. 2 観測結果

観測結果として、沈砂池 al の堆積土砂量、流出土砂量 の変化を図-4に、各沈砂池の土砂量観測結果一覧を表-2 に示す。2013年は各沈砂池で土砂量が多かった。これは、 4月中旬の融雪出水期に降雨があったこと、9月中旬に一 連降水量が123mmの大規模降雨出水があったことによる ものである。沈砂池 a2における約2年の観測結果は、自 動観測機器による流入土砂量は1,863t、堆積土砂量と流 出土砂量の合計値は2,159tであり、濁度計と音響式掃流 砂計による自動観測機器でも高い精度で土砂量が観測可 能であることが分かった。

2.3 小括

本章では、大規模農地流域から流出する土砂量を流域 末端に整備されている沈砂池を利用して観測した。この 結果は、土砂流出モデルの検討において、精度検証のた めの実測データとして利用する予定である。

4. USLE の検討

4.1 検討内容

農業農村整備事業では農地防災事業や環境保全型かん がい排水事業など排水路の整備を含む事業において、土 砂や栄養塩類の下流への流出を抑制するために沈砂池を 設置してきた。沈砂池の容量決定には、経験モデルであ る USLE を用いることが多い。その場合、当該地区の代表 的なパラメータを定めて単位面積当たりの年間流亡土量 を求め、これに面積を乗じた数値を1年間に流域から流 出する土砂量とし、この土砂量をもとに沈砂池の堆砂容 量を決定している。

USLE の適用方法は「土地改良事業計画指針 農地開発 (改良山成畑工)」⁵(以下、事業計画指針と記す)のな かで解説されているが、すでに発行から20年以上経過し ている。現在は、事業計画指針発行時と比べて、降雨等 のデータの蓄積が進んでいること、USLEの改良版である RUSLE が広まっていること、GISにより広域での解析が容 易になっていることなど、係数設定の環境が進歩してい る。そこで、本研究では、USLEの最新の適用方法につい て検討し、パラメータの設定方法等を整理することとし た。本年度は、各パラメータのうち、降雨係数、土壌係 数、地形係数について検討した。

5.2 USLE の概要⁶

USLE は米国農務省を中心に開発され、同国の農地保全 基準として採用されてきた。USLE による流出土砂量予測 の目的は、侵食を引き起こす要因を定量評価し、その地 域に適合する保全方法の指針を与えることにある。日本 においても、農地の保全対策の基礎となる土壌流亡量の 予測方法として事業計画指針のなかで解説されている。 USLE は降雨毎の流亡土量を予測するのではなく、長期間 の平均的な土壌流亡量を予測するために用いられる。

USLEによる土壌流亡量の予測は6つの係数の積で次式 のように表される。なお、USLEの単位系は、最初に開発 が行われたアメリカの慣習単位であるヤード・ポンド法、 事業計画指針で使われているメートル法、国際単位であ るSI単位と3種類ある。本研究の単位系は、国内の一般 技術者に利用されることを想定して事業計画指針と同じ とした。

- A = RKLSCP
- A:単位面積当たり流亡土量(tf·ha⁻¹)
- R:降雨係数 (tf·m²·ha⁻¹·h⁻¹)

一連降雨(無降雨時間 6 時間以内)の降水量が 0.5 inch (12.7 mm)以上、または 15 分当たりの降雨 強度が 0.25 inch (6.35 mm)以上と定義される侵食 性降雨の運動エネルギー E とその降雨の最大 30 分間降雨強度 I_{30} の積 EI_{30} の年間合計値である。 積雪寒冷地では融雪流出も考慮する。

(1)

K:土壌係数(h·m²) 単位降雨当たりの流亡十量を与える係数で、その

地域の土壌の受食性を示す指標である。

- LS:地形係数(無次元) 傾斜地における勾配と斜面長の影響を表す係数 である。
- C:作物係数(無次元) 作物被覆と営農管理の影響を表す係数で、裸地区 に対する流亡土量の比である。作物ごとの標準値が 整理されている。
- P:保全係数(無次元) 畝立て方向、等高線栽培など保全的耕作の効果を 示す係数で、平畝、上下耕に対する流亡土量の比で ある。

5.3 **降雨係数の検討**

5.3.1 係数算出の課題とパラメータの整理方針

雨の降り方は、隣接した2地点のアメダスデータでも 状況が異なることが多い。また、降水量は年変動が大き く、近年ではゲリラ豪雨など雨の降り方がこれまでと異 なってきていると言われている。そのため、適切な降雨 係数の算出には、対象地点の近傍で長期間かつ最新の降 水量データを用いる必要がある。しかし、北海道につい てみると、事業計画指針において示されている道内の降 雨係数は7地点(稚内、網走、旭川、札幌、室蘭、函館、 帯広)と少ない。本州等においては、各都府県で1地点 程度しか示されていない。また、算出期間は1959年から 1973年までとデータが古く、かつ期間が短い。さらに、 1時間の降雨データから求めた値を10分値データから求 めた値に換算する係数も示されていない。そのため、実 際の適用においては、算出地点近傍の最新の気象データ を用いて独自に算出する場合や上記7地点のうち対象地 点から最も近い地点のデータを用いる場合、他の既往の 研究成果を引用する場合など、個々に技術者により、様々 な手法による対応が想定される。

以上より、降雨係数について、最新の資料を含む長期 の降水量データと統一的な手法によって分布状況を整理 する必要がある。本研究では、とくに北海道を対象とす るが、同様のデータを用いれば全国で同等の降雨係数が 算出可能である。

5.3.2 データ整理

(1) 使用データ

本研究で降雨係数の算出に使用した降水量のデータ は、北海道内の気象台、測候所、特別地域気象観測所(旧 測候所)、地域気象観測所(アメダス)地点のうち、1994 年から2010年までの10分値の降水量データが揃ってい る196地点の1時間値と10分値の観測値である(図-5)。 なお、1時間値は1976年から2010年まで、10分値は1994 年から2010年まである。10分値は1994年4月から観測 開始した地点が大部分であるが、1時間値は観測点によ り開始時期が大きく異なる。なお、礼文島の船泊アメダ ス(2003年10月16日まで観測)と礼文アメダス(2003 年10月17日から観測)は同一地点として礼文アメダス で整理した。



図-5 データ取得地点

(2) 降雨係数の算出方法

USLEによる侵食性降雨の定義は前節で示したが、USLE が開発された米国と日本では降水量の観測態勢が異なる ので、本研究では侵食性降雨を一連降水量が 13mm 以上 (無降雨時間6時間以内)、または一連降雨が 13mm 未満 であっても4.5 mm/10 min 以上の降雨強度がある場合と 定義した。水食は降雨と融雪により引き起こされ、降雨 係数も降雨流出係数(Rr)と融雪流出係数(Rs)の年間 値の和として算出される。降雨流出係数は4~11月の降 水量、融雪流出係数は前年 12月~当該年3月の降水量か ら算出した。

降雨流出係数は、ひと雨ごとに算出される降雨侵食指数(EI値)の積算値である。10分値データの場合は最大

30 分降雨強度 (I_{30}) を用いた EI_{30} を、1 時間値データの 場合は最大 60 分降雨強度 (I_{60}) を用いた EI_{60} を算出し、 それぞれの年間積算値を当該年の降雨流出係数 Rr_{10} 、 Rr_{60} とした。

$$Rr_{10} = \Sigma EI_{30} \div 100 \quad (tf \cdot m^2 \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1})$$
 (2)

$$Rr_{60} = \Sigma EI_{60} \div 100 \quad (tf \cdot m^2 \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1})$$
(3)

 $E = (210 + 89 \log I) \times r$ (m·tf·ha⁻¹) (4)

ここに、E:一連降雨の降雨エネルギー

I:区間雨量の降雨強度(cm・h⁻¹)

r:区間雨量 (cm)

融雪流出係数は、USLEの定義どおり降雨流出係数算出 の前年12月から当該年3月までの降水量(cm)を1.0 倍(換算係数)することで求めた。この換算係数につい て長沢ⁿは、土壤凍結が無い地域では値が過大になる場 合があると指摘している。しかし、北海道全域に適用可 能な換算係数に関するデータは蓄積されておらず、また、 土壤凍結の有無は年によっても状況は異なることから、 地域ごとの換算係数を設定することは困難である。よっ て、本研究ではUSLEの本則通りの算出方法とした。

5.3.3 降雨流出係数

(1)採用データの検討

前項にて10分値と1時間値のデータを用いる場合の降 雨係数の算出方法を示したが、USLE本来の算出方法は10 分値を用いた場合に近い。しかし、日本で広域に10分間 隔での降水量観測が始まったのは1994年からである。そ のため1992年に発行された事業計画指針では、1時間値 で降雨流出係数(*R*₁₀)を求めたのちに*R*₁₀への換算のた めの係数(*EI*₃₀/*EI*₆₀比)を乗じることとしている⁵。現 在は10分値データの蓄積が進んでいるため*R*₁₀の算出は 可能だが、1時間値にくらべて観測年数が少ないため、 データに偏りのあることが想定される。そこで、1時間 値の1976-2010年、1994-2010年のデータを用いて降雨 流出係数を算出し、算出期間による降雨流出係数の違い について検討した。

表-3に1時間値データを用いた降雨流出係数(Rr₆₀)の1976-2010年と1994-2010年の平均値等を示す。具体的な数値は代表点として気象台と測候所のみ示した。二つの期間のRr₆₀の比は最大で1.29、最小で0.79となり、観測地点により最大で2割程度過大または過小に算出されることが分かった。しかし、二つの平均値の差を検定(t検定)すると、全地点において5%水準で有意差無し、すなわち平均値に統計的な差は無いという結果となった。一方、気象学では30年を平年値算出の統計期間としていることから、降雨流出係数についても1976-2010

	降雨流出係		. 44.45 *	
観測地点	1976-2010 年	1994-2010 年	(B)(A)	(東位)
	の平均 (A)	の平均 (B)		(p値)
稚内	81	103	1.28	0.146
旭川	80	80	1.00	0.841
札幌	84	83	0.98	0.708
網走	47	47	1.01	0.901
釧路	125	131	1.05	0.750
帯広	77	81	1.05	0.832
室蘭	147	160	1.09	0.650
函館	118	128	1.08	0.617
全地点0	D平均值		1.07	0.605
全地点0	D最大値		1.29	0.998

表-3 算出期間の異なる Rrmの比較

0.79 ^{*}平均値 (A) , (B) の差の検定

0.077

年の平均値が気象学的な平年値に近似していると考えら れる。以上に加え、後述するように Rr₆₀と Rr₁₀には高い 相関があり、Rronから Rronの推定が可能であることから、 観測期間の短い 10 分値により降雨流出係数を算出する よりも観測期間の長い1時間値で算出した方が平均的な 値が求められると考えられる。以上より、本研究におけ る降雨流出係数の算出には、長期間の1時間値データに よる Rr₆₀を算出し、これに換算係数を乗じて Rr₁₀に換算 する方法を採用した。

(2) Rr₁₀/Rr₆₀ 比の検討と全道の降雨流出係数

全地点の最小値

先述したように、USLEの適用において Rran により土砂 流出量を算出するには Rr₆₀を Rr₁₀に換算するための係数 (EI_a/EI_a比)が必要であるが、事業計画指針に値は示 されていない。また、Rr₆₀を Rr₁₀に換算するのであるか ら、ひと雨ごとに算出される EI₂₀と EI₆₀の比ではなく、 Rrowを Rrowの比を直接求めればよい。 辻ら⁸は、道内8 地点(函館、室蘭、札幌、旭川、稚内、釧路、網走、帯 広) における 1976 年から 1987 年の降雨データを用い、 道内平均で Rr10/Rr60=1.51 という値を示している。しか し、北海道内においても、雨の降り方は日本海側、太平 洋側、オホーツク海側など地域により異なることが知ら れていることから、Rr₁₀/Rr₆₀比にも地域性のあることが 予想される。そこで、1994-2010 年の Rr10/Rr60 比を算出 し、道内の分布状況を調べた。算出対象期間は短いが、 後述するように相関性が十分に高いので問題ないと判断 した。

表-4に Rr₁₀/Rr₆₀の算出結果を示す。Rr₁₀/Rr₆₀比は最小 1.29、最大1.88、平均1.58とばらついていた。つぎに、 道内全域の状況をみるために分布図を作成した(図-6)。 図化にはGIS(ArcGIS 10)を用いた。地域的な傾向が明 らかにみられ、日本海沿岸の一部(江差南部、石狩、留 萌と宗谷の一部)、空知、上川で大きく、太平洋沿岸東部

表-4 Rr₁₀/Rr₆₀の算出結果(1994-2010)

観測地点	相関係数*	Rr_{10}/Rr_{60}
稚内	0.97	1.69
旭川	0.99	1.77
札幌	0.96	1.61
網走	0.96	1.59
釧路	0.97	1.43
帯広	0.93	1.46
室蘭	0.95	1.59
函館	0.97	1.58
全地点の平均値	0.98	1.58
全地点の最高値	1.00	1.88
全地点の最低値	0.92	1.29

*相関係数は Rr₁₀とRr₆₀の相関で、全地点において1% 水準で有意性あり。



(1976-2010年の平均値)

に向かうに従い小さくなった。これにより、Rr_mを Rr₁₀ に換算するには、地域を考慮した Rr 10/Rr 60 比を用いる 必要のあることが示唆された。

以上により、1976-2010年のデータにより算出した Rr₆₀ の平均値に観測点ごとの Rr 10/Rr 60 比を乗じて北海道全 域の降雨流出係数を算出した(図-7)。道南や太平洋岸西 部で大きく、オホーツク海沿岸南部で小さくなっている ことが分かる。

5.3.4 融雪流出係数

図-8 に全道の融雪流出係数の分布図を示す。融雪流出

係数は算出方法で示したように、対象年の前年12月から 対象年の3月までの降水量の総量で決定されるため、10 分値と1時間値で違いは無い。全体的な傾向として、日 本海側で大きく、太平洋沿岸東部、オホーツク海沿岸南 部に向かうに従い小さくなった。

5.3.5 降雨係数

前節までの検討をもとに、北海道の降雨係数(=降雨 流出係数+融雪流出係数)の分布図を作成した(図-9)。 先述した辻ら⁸⁰の報告でも同様の図を作成しており、道 南の噴火湾付近や釧路付近で高く、道央・道北に向かう に従い低くなると記していた。本稿の検討でも、同様の 傾向はみられるが、地点数が多くなったことで、道南全 域や根室地域、空知など日本海寄りの内陸部でも比較的 値が大きいことなど道内での分布の詳細が明らかとなっ た。

5. 4 土壤係数の検討

5.4.1 土壤係数の整理方針

土壌係数は、本来、形状の定まっている基準枠によっ て、現地観測から求められる係数である⁶。基準枠の形 状は長さが 22. 1m、勾配が 9%で地形係数(*LS*)は1 であ り、地表条件を未耕地の裸地状態かつ上下耕とすること で、作物係数(*C*)と保全係数(*P*)も1となる。すなわち、



式(1)は*K=A/Rとなり、降水量*(降雨係数*Rを*算出)と 基準枠からの流亡土量(*A*)を実測することで*K*値を求め ることができる。ただし、降雨係数と流亡土量の関係は バラツキが大きいので、当該土壌の平均的な土壌係数を 求めるには長期間の現地観測が必要となる。そのため、 USLEの開発にあたっては、膨大な地点での基準枠試験か ら土壌の性質と*K*値の関係を検討し、ノモグラフや推定 式によって簡易に*K*値が設定できるようにしている⁶。

実際の適用では、当該地区の代表土壌の物理データを 用いて上記推定式により土壌係数を算出し、この数値を 地区全体に適用する場合が多い。しかし、同一地区であ っても、川沿いの低地と斜面上部の台地では異なる土壌 である可能性が高く、分布状況に応じた係数を設定しな ければ流亡土量を適正に推定することはできない。

本節では、既存の土壌図データを統合して新たな土壌 図を作成し、これに土壌群および土壌統群ごとに整理さ れている K 値を付与することで、北海道全域における K 値の分布図を作成した。

5.4.2 作業方法

(1)使用した資料

本研究で使用した土壌図データは、国土交通省から発 行されている「20万分の1土地分類基本調査及び土地保 全基本調査」の土壌図(以下、国交省土壌図と記す)と、 農林水産省の助成により各都道府県で実施された地力保 全基本調査により作成された5万分の1土壌図(以下、 農水省土壌図と記す)である。国交省土壌図の特徴は、 都市の一部を除き空白部分がほとんど無く、日本全城の データが揃っていることである。農水省土壌図の特徴は、 農地部分のみのデータであるが、国交省土壌図の特徴は、 農地部分のみのデータであるが、国交省土壌図よりも大 縮尺で作成されているため分布状況が詳細に描写されて いる。例えば、図-10において赤線で記した河川網と土 壌分布がおおよそ合っているように、実際の地形状況に 比較的よく合致していた。以上より、本研究では、農地 部分には農水省土壌図を、農地以外には国交省土壌図を 適用した土壌図を作成することとした。

土壌ごとの土壌係数について、谷山。は、全国の試験



図-10 土壌図による詳細部の違い(凡例省略)

機関が実施した土壌環境基礎調査の定点 1855 地点のデ ータからノモグラフ法にて各土壌の土壌係数を算出し、 土壌統群別に整理した。本研究では、作成した土壌図に 谷山の整理した K値を付与することとした。

(2)作業手順

土壌図の統合は、農水省土壌図の空白部分を国交省土 壌図データで補完することとし、前節と同様にArcGIS 10 により作業を行った。

農水省土壌図と谷山の整理した K値⁹は農耕地土壌の 分類(第2次案改訂版)¹⁰による土壌分類に従って作成 されており、国交省土壌図と異なっていた。そこで、本 研究では、国交省土壌図の土壌分類を農耕地土壌の分類

(第2次案改訂版)の土壌分類の名称と特徴に対応する よう変更した。

作成した土壌図の属性には、それぞれの土壌分類に対応する谷山の整理した K値[®]を入力した。国交省土壌図にあったポドゾルは対応する土壌分類が農水省土壌図に 無いため、同じく岩石地は農水省土壌図で対応する岩屑 土に K値が無いため、それぞれ欠測とした。

5.4.3 北海道全域の土壤係数

作成した土壌係数の分布図を図-11 に示す。北海道全 域の森林に褐色森林土が広がっているため、大部分が 0.25~0.35となっている。農地部分に注目すると、畑作 地域である上川、網走、十勝の一部で土壌係数が比較的 大きい土壌が分布していることがわかる。

5.5 地形係数の検討

5.5.1 地形係数の算出方針

地形係数は斜面長係数 *L* と傾斜係数 *S* から成るが、地 形係数 *LS* として一体的に扱われることが多い。USLE で は、以下の式による算出方法を示している(メートル法 に換算)。

$L = (\lambda/22.$	13) ^m	(5)
<i>S</i> = (65. 41	$\sin^2\theta + 4.56\sin\theta + 0.065$	(6)

-	<pre></pre>		 	、 -
	λ :斜面長	(m)		

θ:勾配 (度)

```
m:0.5(勾配5%以上)、0.4(勾配3.5-4.5%)、
0.3(勾配1-3%)、0.2(勾配1%未満)
```

適用範囲:勾配 3~18%、斜面長 9.14~91.44m

USLEの改良版である RUSLE は、USLE より適用範囲が広い式として、傾斜係数の算出式を以下に定義している。

 $S = 10.8 \sin \theta + 0.03$ 勾配 9%未満 (7)

S = 16.8 sin θ-0.50 勾配 9%以上 (8)
 圃場や斜面に適用する際にも、上記式により係数を算出できるが、実際の圃場や斜面は様々な形状をしており、



かつ起伏があることから、*2*やθを一意に決定すること は困難である。塩野¹¹⁾はキャベツ畑圃場からの流亡土量 の推定で、GIS により Kamimura¹²⁾の手法で*LS*を算出し ている。しかし、この手法は、起伏のある斜面を勾配の 均一な板状の斜面に近似するものであり、地形変化の小 さい圃場では適用可能と思われるが、林地も含まれるよ うな地形の複雑な斜面(小流域)では適用が難しいと予 想される。Moore ら¹³⁾¹⁴⁾は、複雑な地形で*LS*値を算出 するために、USLEの定義による LS 値との相関が高いス トリームパワー理論による以下の式を示した。

 $LS = 1.4(As/22.13)^{0.4}(\sin\beta/0.0896)^{1.3}$ (9)

As: specific catchment area

β:勾配 (度)

上記式の As、βとも DEM データからグリッドごとに設 定する値で、手計算で決定することは困難であり、GIS の機能を利用することが前提となっている。ここで、As は任意のグリッドに流れ込むグリッドの面積をグリッド 幅で除した値である¹³⁾。具体的な集計方法は、図-12の 例に示すように、赤枠で囲ったグリッドには緑枠で囲ん だグリッドから流入するので、流入するグリッド数(20) にグリッド幅を乗じた値が赤枠部分の As となる。

本研究における土砂流出抑制の対象は、農地(圃場)だけでなく林地も含まれ、様々な形状かつ起伏のある流

域なので、Moore ら¹⁴による(9)式で地形係数を算出する こととした。

5.5.2 作業方法

地形係数の算出には ArcGIS 10 を利用した。以下に作 業手順を示す。係数算出に利用した DEM データは国土交 通省から発行されている基盤地図情報(数値標高モデル、 10m メッシュ)である。(括弧〔〕内は ArcGIS でのツ ール名)

①DEM データの平滑化 [Fill]

②流向ラスタの作成 [Flow Direction]

③累積流量ラスタの作成 [Flow Accumulation]

④As ラスタの作成 (③×10m) [Raster Calculator]

⑤①データから傾斜ラスタ作成 [Slope]

(6)(4)、(5)より(9)式からグリッドごとの*LS*値算出

⑦小流域や圃場ごとに⑥のデータを切り出して集計 [Intersect]

lintersect

5.5.3 地形係数算出結果

図-13 にグリッドごとの LS 値の算出事例を示す。尾根 部や平地部で小さく、斜面や水みちで大きな値となって いることが分かる。つぎに、図-13 と同じ範囲を対象に、 LS 値を圃場形状に切り出して圃場ごとの平均値を算出 した事例を図-14 に示す。圃場ごとの流亡土量を算出す るには、このような集計方法が有効であろう。

5.6 小括

本章では、USLEの係数について見直しを行った。降雨 係数については、北海道全域を対象に最新の気象庁の観 測データを用いて全道の降雨係数を整理した。土壌係数 は、既存の資料を組み合わせることで全道の分布状況を 示した。地形係数は、GISの利用による複雑な形状や起 伏のある斜面での算出方法を示した。これらの係数につ いては、これまでよりも適切な値の設定が可能になった と考えられる。作物係数と保全係数については次年度に 検討を行う予定である。

6. WEPP の検討

6.1 検討内容

農業農村整備事業の排水路関連事業では、土砂の下流 への流出を制御するための沈砂池の容量決定に、USLE が 主として用いられてきた。経験モデルである USLE は、実 測値に基づいてパラメータを決めた後は比較的容易に利 用できるが、流域内の侵食が発生している場所、河川に 流出した土壌の流下過程における堆積についてなど、詳 細な部分の評価ができない。

経験モデルに対し、侵食に関する各素過程をそれぞれ



図-13 LS 算出事例 (グリッドごと)



数式化して統合する手法が物理モデルである。物理モデ ルは作物や保全対策だけではなく、降雨、土壌の性質と いった条件を変化させてシミュレーションを行うことが できる。物理モデルの一つである WEPP は、個々の圃場や 斜面の土壌侵食だけでなく、流下する先の水路も流域の

要素として個別に取扱うことが可能である。このことに より実態の再現だけでなく、土砂流出に対する土木的対 策や営農的対策の効果を推定することができる。

本章では、WEPP の適用方法について整理するととも に、畑地帯の3流域について実測値の再現性を検討した。

6.2 WEPP モデルについて

6.2.1 WEPP の概要¹⁵⁾

WEPP は、アメリカ農務省により主に1985 年から 1995 年にかけて開発されたモデルで、現在も随時更新されて おり、インターネットを通じて無償で入手できる。

WEPP は、斜面での侵食、水路または河川における侵 食・堆積・輸送、貯水池における堆積・輸送という3つ の過程で構成され、これらを複数配置し、結合すること で流域を表現することができる(図-15)。これにより従 来の経験モデルでは対応できない、流域のどの部分で侵 食が発生しているか、斜面からの流出物が水路や沈砂池 においてどのように堆積するか、といった個々の現象を、 詳細な物理則に基づいて表現することが可能である。ま た、土壌侵食の影響因子である気象、作物の生長、土壌 状態の変化、耕起等の各種営農管理作業を実態に即して



図-16 WEPPモデルの土壌侵食過程 (WEPP Model Documentation¹⁵より作図)

表-5 WEPPの入力データ¹⁶⁾

要素	項目	入力データ					
共通	気象	降水量、気温、風向、風力(風速)、日射量、露点温度					
	土壌	土性(粘土・シルト・砂の割合)、有機物含有率、 CEC、アルベド、初期含水率					
A .1	地形						
斜面		管理スケジュール					
	管理	作物の生長に関するパラメータ群、耕起、播種、 灌漑、収穫などの営農作業に関するパラメータ群					
	土壌						
-1-04	地形	斜面と同じ					
小哈	管理						
	特性	形状、粗度、侵食に関するパラメータ群					
: • •••••	種類	貯水形態や流出形態を選択					
77149718	特性	形状、初期貯水量などのパラメータ群					

時間的な要素として盛り込んでいる(図-16)。

WEPP を適用するために必要な主な入力データを表-5 に示す。これらの入力データについては米国の複数の地 点のデータベースが整理されており、インターネット上 から WEPP インストールプログラムをダウンロードする ことで同時に入手できる。データが一式そろえられてい るため、初期状態から特定の斜面の土砂流出解析を行う ことができるが、米国以外では、当該地点のデータを個 別に入手する必要がある。

6.2.2 日本での 適用事例

日本国内における WEPP の適用として、沖縄県の事例で は¹⁷⁾、サトウキビ圃場において WEPP の予測精度および 適用性を検証し、1 年間の適用期間全体で WEPP の予測精 度が高く、誤差のばらつきも小さく、適用性が高いとし ている。また、畑地と樹林帯が混在する流域に適用した 研究では¹⁸⁾、比較的大きな降雨イベントで適合性が良好 で、通年の流出土砂量でも概ね一致したとしており、さ らに土地利用による土砂流出量の傾向の違いを再現して いる。

本研究の対象は、大規模農地、積雪寒冷地といった特徴を有する流域であり、既往の事例と異なる条件でWEPPの適用性を検討するものである。

6.3 対象流域と条件設定

6.3.1 対象流域

WEPP による土砂流出量算出の精度検証には、網走川支流の3流域のデータを用いた。いずれの流域も南北方向に細長く、河川は標高の高い南側から、北側の網走川に向け流れている。各流域の土地利用を図-17 および表-6 に示す。

上記3流域の下流端に設置されている沈砂池で、堆積 土砂量と流出土砂量を観測し、これらを合わせて流域からの流出土砂の実測値とした。本研究で検証に用いた土 砂流出量の観測期間は2002年6月5日から翌年の6月4 日までの1年間である。

6.3.2 データセットの作成

上記の3流域について、表-5に示す入力データを収集 した。気象データは近隣のアメダスを利用した。水路や 沈砂池の種類、特性については既存資料および現地調査 により確認した。土壌の分布は、「国土交通省発行20万 分の1土地分類基本調査(土壌図)」に基づいて作成され たGISデータを用い、各土壌の特性は既存資料⁹⁾を参照 したほか、現地土壌の調査により陽イオン交換容量を確 認した。

土地利用および地形は、ArcGIS 10 で作成した。実際

の斜面は不規則な形状をしているが、WEPP では斜面の平 面形状を矩形でモデル化することから、斜面幅は斜面下 流端が接続する水路の始点と終点の直線距離とし、斜面 長は斜面の実面積と等しくなるように設定した(図-18)。



図-17 対象流域位置図および土地利用図

流域名 土地利用	シンケビホロ川 流域	豊幌川流域	あやめ沢流域
普通畑	20.3%	30.9%	63.2%
草地	0.5%	5.0%	3.7%
森林	62.2%	51.6%	24.2%
荒地	10.4%	5.8%	4.6%
裸地	4.4%	2.4%	0.7%
人工構造物	0.5%	1.7%	1.7%
道路	1.7%	2.7%	1.9%
合計面積	696.7ha	1725.1ha	410.0ha

表-6 流域の土地利用割合



農地や水路の管理は対応する WEPP モデルのデフォル ト値を使用したほか、現地の農協への聞き取り調査をお こなった。作物管理スケジュールについては、WEPP モデ ルでは当該年の1月1日から12月31日の1年間で計算 するのに対し、現地の土砂流出量を実測した期間が6月 5日から翌年6月4日であるため、すべての作物管理の 日程を実際の日付から156日前に移行し、計算上1月1 日から開始する解析を行った。

6.4 結果と考察

6.4.1 有効透水係数の調整による流出土砂量の再現

収集した現地条件を反映した流域モデルにおいてシミ ユレーションを実行したところ、流域末端からの流出土 砂量で、計算値が実測値の3%~49%と大きく乖離した。 そこで、感度分析の結果、最も感度の高かった土壌の有 効透水係数に着目し、これを調整することで再現性の向 上を試みた。

今回対象とした3流域で、0.1 mm/h きざみで有効透水 係数を変化させて流亡土砂量を算出し、実測値との誤差 を二乗平均平方根誤差(RMSE)により評価した。その結果、 有効透水係数を1.8 mm/h としたとき、最も誤差が小さい 解析結果を得られることが分かった(図-19)。有効透水 係数調整後の実測値と計算値の関係を図-20に示す。当 該流域の土壌は2~4種類で構成されており、土壌固有の CEC(陽イオン交換量)、粒度構成割合などのパラメータは、



既存の調査結果に基づき個別に数値を入力した。しかし、 調整後の有効透水係数は、いずれの土壌も同じ値を入力 した。つまり、今回の調整では有効透水係数に関しては 各流域の土壌構成の違いを考慮しておらず、今後各土壌 の有効透水係数を個別に検証、設定することで、流域ご との計算値と実測値の差異を低減できる可能性がある。

6.4.2 土地利用と流亡土砂量

3 流域の解析結果について、単位面積当たりの流亡土 砂量を構成斜面に割り当てた図を図-21 に示す。図-17 に示した土地利用図と比較すると、広い範囲に分布する 森林は、単位面積あたり流亡土砂量が少ない傾向が明ら かに認められ、ほとんどの斜面で1.0t/y以下となってい る。農地のうち普通畑は森林と比較して流亡土砂量が多 くなっている。しかし、豊幌川流域の南部に点在する草 地は、隣接する普通畑と比べて、流亡土砂量が小さい値 となっている。シンケビホロ川流域に点在する裸地につ いては、対応する斜面で最も流亡土砂量が大きい結果と なった。このように、流亡土砂量の計算値は、一般的に 知られる土地利用ごとの土砂流出特性に合致していた。

6.4.3 斜面勾配と流亡土砂量

流域の標高を図-22 に示す。各流域とも、南側すなわち流域の上流のほうが傾斜の大きい傾向にあるほか、一部の沢沿いに急傾斜が存在することがわかる。

図-21 に示した解析結果および、図-17 の土地利用図と 比較すると、普通畑からの流亡土砂量について、斜面勾 配との関係性が認められる。たとえば豊幌川流域の最下 流部および、あやめ沢流域の北西部(下流側)に位置する 農地は平坦な地形であるため流亡土砂量が少なく、南部

(上流側)の傾斜の大きい農地では流亡土砂量が多くなっている。森林や草地は、比較的流亡土砂量が少なく、 斜面勾配の大小による流亡土砂量の差は少なかった。 これらのことから、WEPPでは入力した地形条件に即した、 斜面からの土砂流亡量を再現できることを確認した。

6.4 小括

本章では、3 流域に対して WEPP による土砂流出解析を 行った。今回の検討では、実測値に近似させるために土 壌の有効透水係数を調整した。複数の土壌に対して、1 つの係数を与え、3 流域で概ね妥当な結果を得られたが、 土壌ごとに係数を入力することで再現性が向上する可能 性がある。実測値とシミュレーション結果を比較した結 果、森林と草地は勾配に関わらず流亡土砂量が少なく、 普通畑は森林に比べて多く、かつ勾配が急であると特に 多いなど、実態を反映した結果を得られることが分かっ た。



図-21 各斜面の単位面積あたり流亡土砂量



図-22 3 流域の標高

今後は、流域モデルの斜面以外の構成要素である、沈 砂池等についても注目し、パラメータの調整による再現 性の向上を図った上で、流域内に土砂流出対策工を設置 した場合の効果をシミュレーションする予定である。

7. まとめ

本研究では、大規模農地流域の下端に整備されている 沈砂池で堆積土砂量と流入・流出土砂量の調査を行い、 流域から流出する土砂量を把握した。この結果は、土砂 流出モデルの検討において、精度検証のための実測デー タとして利用する

農業農村整備事業で利用されている土砂流出モデルの USLE について、係数の設定方法を見直した。降雨係数は、 1976 年から 2010 年までの北海道全域の気象庁データを 用いて北海道全域の値を算出した。土壌係数は、農地に 農林水産省データ、農地以外には国土交通省データを用 いた新たな土壌図を作成し、これに既存資料で整理され ている土壌統群ごとの土壌係数を付与して北海道全域の 分布図を作成した。地形係数は、形状が様々で起伏のあ る圃場について、GIS を利用した設定方法を示した。

土砂流出抑制対策の効果予測に利用可能な分布型物理 モデルの WEPP について、土砂流出解析を行い、複数流域 で実測値との適合度の高いパラメータを設定した。また、 解析結果が土地利用や地形に対応した土砂流出現象と適 合することを確認した。

次年度は、USLEの係数見直しを進めるとともに、WEPP による流出土砂量予測の精度向上に取り組む。また、土 砂流出抑制対策技術の提案としてWEPPを用いた土砂流 出抑制対策の効果予測に着手する。

参考文献

- 北海道開発局:港湾・漁港工事監督マニュアル暫定版、p. 159、 1999
- 水山高久,野中理伸,野中伸久:音響法 (ハイドロフォン) による流砂量の連続計測,砂防学会誌,vol.49,No.4, pp.34-37,1996
- 中谷洋明,鶴田謙次,吉村暢也:手取川上流域でのハイドロフォンを用いた流砂量観測及び解析,砂防学会誌,vol.60, No.3, pp.1-6,2007
- 4) 鈴木拓郎,水野秀明,小山内信智,平澤良輔,長谷川祐治: 音圧データを用いたハイドロフォンによる掃流砂量計測手 法に関する基礎的研究,砂防学会誌,vol. 62, No. 5, pp. 18-26, 2010

- 5)農林水産省:「土地改良事業計画指針 農地開発(改良山成畑工) 平成4年5月」, pp. 158-178, 1992
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith : Predicting Rainfall Erosion Losses, Agriculture Handbook 537, 1977
- 7)長沢徹明,梅田安治,大西峰隆:降雨係数の推定に関する雨水と融雪水の影響ー北海道における土壌侵食抑制に関する研究(III)-,農土論集,167, pp.97-102,1993
- 26、松田豊, 土谷富士夫: 北海道における降雨係数の推定、

 平成3年度農業土木学会大会講演要旨集, pp. 562–563, 1991
- 9)谷山一郎:農耕地からの表面流去水の発生に関わる土壌要因の解明と MI の策定、農林水産業及び農林水産物貿易と資源・環境に関する総合研究、農林水産技術会議、pp. 149-152、2003
- 10)農業技術研究所科学部土壌第3科:農耕地土壌の分類(第 2次案改訂版),農業技術研究所,1983
- 11) 塩野隆弘: 圃場および広域レベルにおける野菜畑の土壌侵 食量推定に関する研究, 北海道大学学位論文, 2004
- 12) Kamimura, K : Short-term expert report on practical application of GIS for farmland conservation, JICA, pp. 1-34, 1998
- 13) Moore, I.D., Turner, A.K., Wilson, J.P., Jenson, S.K. and Band, L.E. : GIS and Land-Surface-Subsurface Process Modeling, Environmental Modeling with GIS, Oxford university Press, pp. 196-230, 1993
- Moore, I. D., and Burch, G. J.: Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. Soil Sci. Soc. Am., pp. 1294-1298, 1986
- 15) USDA ARS National Soil Erosion Research Lab : WEPP Model Documentation, USDA, 1995 (http://www.ars.usda.gov/ Research/docs.htm?docid=18073
- 16) 大澤和敏, 酒井一人, 池田駿介: WEPP モデルによる土壌侵
 食・土砂流出解析, 水土の知81(12), pp. 989-1002, 2013
- 17) 大澤和敏, 酒井一人, 田中忠次, 吉永安俊: 降雨毎の侵食
 予測における USLE および WEPP の検証, 農土論集 232,
 pp. 43-50, 2004
- 18) 大澤和敏,池田駿介,久保田龍三郎,乃田啓吾,赤松良久: 石垣島名蔵川における土砂輸送に関する長期観測および WEPPの検証,水工学論文集52,pp.577-582,2008

A STUDY ON TECHNOLOGIES TO REDUCE SEDIMENT RUNOFF FROM LARGE-SCALE FARMLAND ALONG RIVERS

Budged : Grants for operating expenses General account Research Period : FY2011-2015 Research Team : Cold-Region Agricultural Development

Research Group (Irrigation and Drainage Facilities)

Author : NAKAMURA Kazumasa, UNOKI Keiji,

KOHIYAMA Masayuki and TAKASUKA Toshiyuki

Abstract : The runoff of sediment from farmland reduces farm productivity, and the deposition of such sediment causes the functional deterioration of drains. Sediment flowing into rivers is carried to lakes at the lower reaches and, together with the nutrient salts in the sediment, it causes deterioration of the water environment. These effects in turn influence aquatic habitats and the fishing industry. The research outlined here was conducted to examine technologies aimed at reducing sediment runoff from farmland for the maintenance of drain functionality and the conservation of the water environment. As of FY 2013, the following results were obtained:

(1) A demand was identified for the development of a technology to predict the amount of sediment runoff so that measures can be taken to reduce the sediment output of basins. However, before the accuracy of such predictive technology can be verified, data from a suitable location needs to be collected. This study involved the surveying of sediment deposition, inflow and discharge in a settling basin at the end of a river basin with a number of large-scale farms, toward clarifying the volumes of sediment being discharged from the basin.

(2) Regarding the sediment runoff model that USLE uses in agricultural and rural infrastructure development projects, methods for obtaining coefficients were modified. Data collected by the Japan Meteorological Agency between 1976 and 2010 was used to calculate the rainfall coefficients for all of Hokkaido. To obtain the soil coefficients, a soil map was created by applying data from the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries to farmland and data from the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism to other land. A distribution chart of soil coefficients in Hokkaido was developed by using these data and the soil coefficients which were known for each soil series. A method utilizing GIS was developed for obtaining topography coefficients regarding diverse landforms of undulating agricultural fields.

(3) The WEPP model, a distributed physical model for predicting the effectiveness of measures taken to reduce sediment output, was used for sediment runoff analysis. The values calculated by using the parameters that were set on the basis of the analysis were highly consistent with the values measured in multiple basins. It was also confirmed that the analysis results predicted the sediment runoff that varied depending on the land use and topography as well as the snowmelt runoff specific to cold snowy regions.

Key words : turbidity-meter, hydrophone, settling basin