

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、鶴木啓二、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 27 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において堆積土砂量と流入・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 (Universal Soil Loss Equation) について、GIS を利用した広域解析に利用可能なように係数の設定方法を示した。また、気候変動適応研究推進プログラム (RECCA) の研究成果である降水量の予測値を利用し、USLE により北海道における将来の土壌流出量を予測した。

(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 (Water Erosion Prediction Project) について、パラメータの設定方法を示すとともに、積雪寒冷地の大規模農地流域に適用可能であることを示した。

(4) 農業農村整備事業で実施可能な土砂流出抑制対策として、畑地流域河畔緩衝林帯と傾斜改良による土砂流出抑制効果を WEPP で評価した。その結果、5m 幅の河畔緩衝林帯は、流域からの土砂流出を 50% 程度抑制可能なこと、急傾斜地の勾配を緩傾斜に区分される 8 度まで緩くしても効果は限定的であることを明らかにした。また、沈砂地は緩衝林帯や傾斜改良で対応できない範囲を補完するために設置することなど、農地流域からの土砂流出抑制技術の提案を行った。

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ォッ

シュロード、浮遊砂、掃流砂に大別されるが、農地からの土壌流出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行った。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。

本研究では、農業農村整備事業で利用されることの多い USLE (Universal Soil Loss Equation) について、GIS を利用した広域解析に利用可能なように係数の設定方法を示した。また、気候変動適応研究推進プログラム (RECCA) の研究成果である降水量の予測値を利用し、USLE により北海道における将来の土壌流出量を予測した。

さらに、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) について、パラメータの設定方法を示すとともに、積雪寒冷地の大規模農地流域に適用可能であることを示した。

また、農業農村整備事業で実施可能な土砂流出抑制対策として、畑地流域河畔緩衝林帯と傾斜改良による土砂流出抑制効果を WEPP で評価するとともに、沈砂池を含めた土砂流出抑制技術を提案した。

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 調査地点概要

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、受食性の高い軽しよ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出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

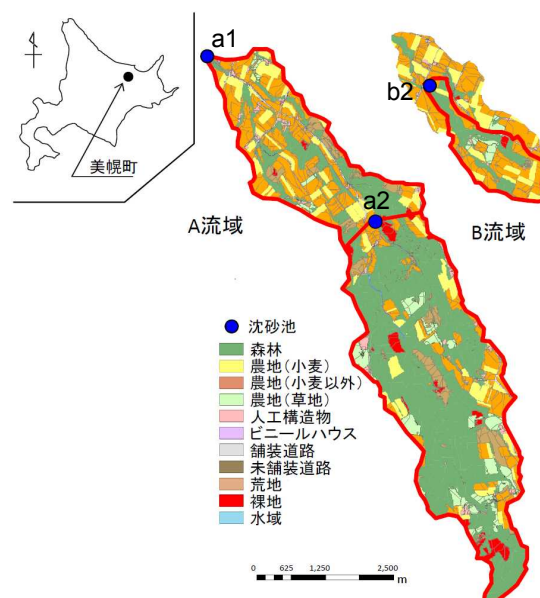


図-1 流域図

表-1 沈砂池諸元

流域名 (沈砂池名)	流域面積	土地利用割合 (%)			
		森林	農地	裸地	その他
A流域 (沈砂池a1)	17.2km 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

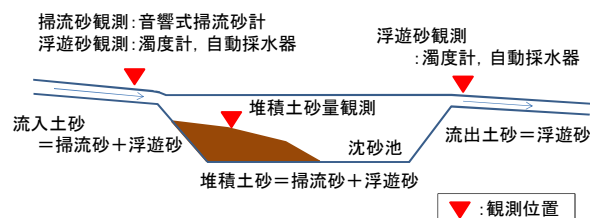


図-2 沈砂池に流入する土砂と観測内容

(流入部の観測は a2 のみ)

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 調査方法概要

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ればコア採取が可能なお場合には、1000cm³の不攪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お場合には、「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²⁾と音圧法³⁾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⁴⁾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

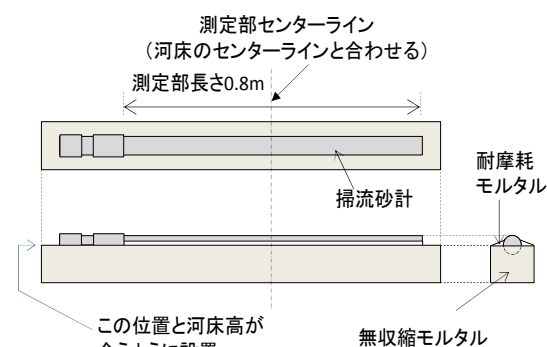


図-3 掃流砂計の設置方法

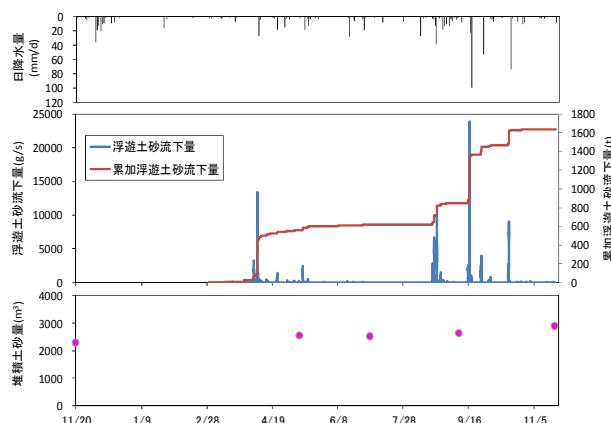


図-4 沈砂池への浮遊土砂流入量と堆積土砂変化状況 (沈砂池a1、2012年11月20日～2013年11月21日)

表-2 各沈砂池における土砂量の集計

流域名	沈砂池	集計期間	単位:t			
			流入土砂量 浮遊砂	流入土砂量 掃流砂	流出土砂量	堆積土砂量
A流域	a1	2010/11/11-2011/11/30			420	395
		2011/11/31-2012/11/19	-		511	289
		2012/11/20-2013/11/21			1,639	595
B流域	a2	2011/11/30-2012/11/22	438	38	324	167
		2012/11/23-2013/11/21	1,275	112	1,002	666
		2010/11/11-2011/11/30			27	141
B流域	b2	2011/12/1-2012/11/19			27	326
		2012/11/20-2013/11/21			136	493

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。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a1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。

3. USLEの検討

3.1 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出土量を求め、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。過年度は、各パラメータのうち、降雨係数、土壌係数、地形係数について示した。本年度は、作物係数と保全係数の設定方法について示した。

3.2 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出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

降雨毎の流出土量を予測するのではなく、長期間の平均的な土壌流出量を予測するために用いられる。

USLEによる土壌流出量の予測は6つの係数の積で次のように表される。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。

$$A = RKLSCP \quad (1)$$

A : 単位面積当たり流出土量 (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0.5inch(12.7mm)以上、または15分当たりの降雨強度が0.25inch(6.35mm)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I₃₀の積EI₃₀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。

K : 土壌係数 (h・m⁻²)

単位降雨当たりの流出土量を与える係数で、その地域の土壌の侵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、裸地区に対する流出土量の比である。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表す係数で、平畝、上下耕に対する流出土量の比である。

3.3 降雨係数の設定

3.3.1 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。

3.3.2 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。

(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（ R_r ）と融雪流出係数（ R_s ）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 R_{r10} 、 R_{r60} とした。

$$R_{r10} = \sum EI_{30} \div 100 \quad (\text{tf} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}) \quad (2)$$

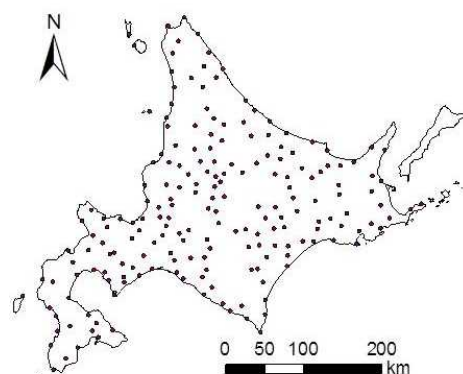


図-5 データ取得地点

$$R_{r60} = \sum EI_{60} \div 100 \quad (\text{tf} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}) \quad (3)$$

$$E = (210 + 89 \log I) \times r \quad (\text{m} \cdot \text{tf} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (4)$$

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（ $\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$ ）

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⁷⁾は、土壌凍結が無い地域では値が過大になると指摘している。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、土壌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。

3.3.3 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_{r60} ）を求めたのちに R_{r10} 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_{r10} 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（ R_{r60} ）の1976-2010年と1994-2010年の平均値等を示す。具体的な

表-3 算出期間の異なる Rr_{60} の比較

観測地点	降雨流出係数 (Rr_{60})		(B)/(A)	t検定* (p値)
	1976-2010年 の平均(A)	1994-2010年 の平均(B)		
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
全地点の平均値			1.07	0.605
全地点の最大値			1.29	0.998
全地点の最小値			0.79	0.077

*平均値(A), (B)の差の検定

表-4 Rr_{10}/Rr_{60} 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 Rr_{10} と Rr_{60} の相関で、全地点において1%水準で有意性あり。

数値は代表点として气象台と測候所のみ示した。二つの期間の Rr_{60} 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 Rr_{60} と Rr_{10} には高い相関があり、 Rr_{60} から Rr_{10} 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 Rr_{60} を算出し、これに換算係数を乗じて Rr_{10} に換算する方法を採用した。

(2) Rr_{10}/Rr_{60} 比の検討と全道の降雨流出係数

先述したように、USLEの適用において Rr_{60} により土砂流出量を算出するには Rr_{60} を Rr_{10} に換算するための係数 (EI_{30}/EI_{60} 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、 Rr_{60} を Rr_{10} に換算するのであるから、ひと雨ごとに算出される EI_{30} と EI_{60} の比ではなく、 Rr_{60} を Rr_{10} 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 $Rr_{10}/Rr_{60}=1.51$ 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、 Rr_{10}/Rr_{60} 比にも地域性のあることが予想される。そこで、1994-2010年の Rr_{10}/Rr_{60} 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ですが、後述するように相関

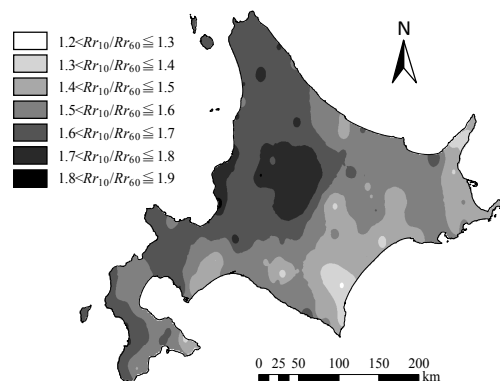


図-6 北海道における Rr_{10}/Rr_{60} 比の分布図 (1994-2010年の平均値)

性が十分に高いので問題ないと判断した。

表-4に Rr_{10}/Rr_{60} の算出結果を示す。 Rr_{10}/Rr_{60} 比は最小1.29、最大1.88、平均1.58とばらついていて、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なり、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(向かうに従い小さくなった。これにより、 Rr_{60} を Rr_{10} に換算するには、地域を考慮した Rr_{10}/Rr_{60} 比を用いる必要があることが示唆された。

以上より、1976-2010年のデータにより算出した Rr_{60} 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。

3.3.4 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。

3.3.5 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⁸⁾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。

3. 4 土壌係数の設定

3.4.1 土壌係数の整理方針

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。

3.4.2 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

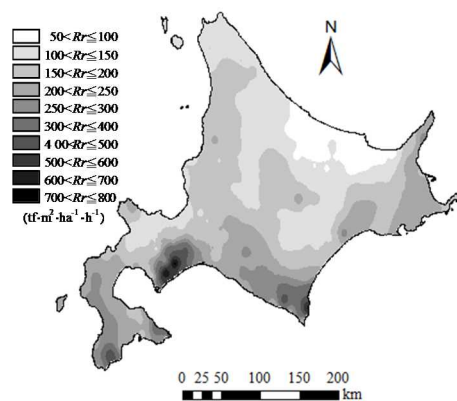


図-7 北海道における降雨流出係数の分布図
(1976-2010年の平均値)

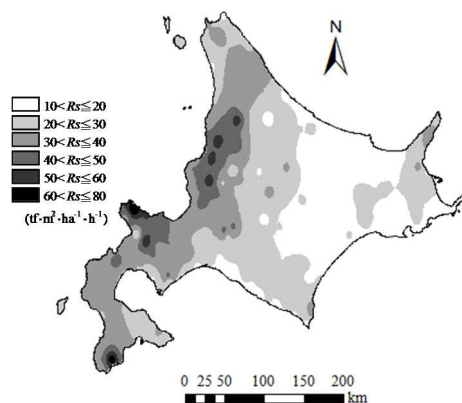


図-8 北海道における融雪流出係数の分布図
(1976-2010年の平均値)

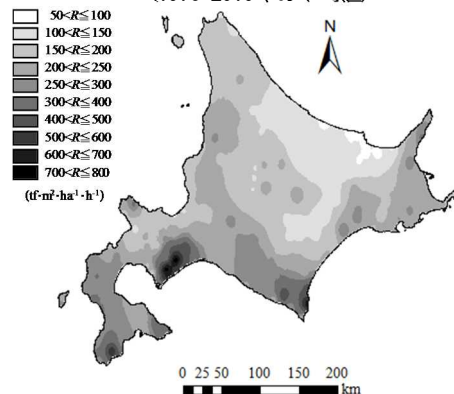


図-9 北海道における降雨係数の分布図
(1976-2010年の平均値)

の一部を除き空白部分がほとんど無く、日本全域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⁹⁾は、全国の試験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⁹⁾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。

3.4.3 北海道全域の土壌係数

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。

3.5 地形係数の設定

3.5.1 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)。

$$L = (\lambda/22.13)^m \quad (5)$$

$$S = (65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065) \quad (6)$$

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。

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

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.50 \quad \text{勾配 9\% 以上} \quad (8)$$

圃場や斜面に適用する際にも、上記式により係数を算出

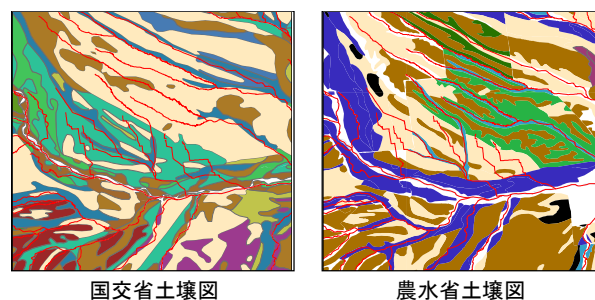


図-10 土壌図による詳細部の違い (凡例省略)

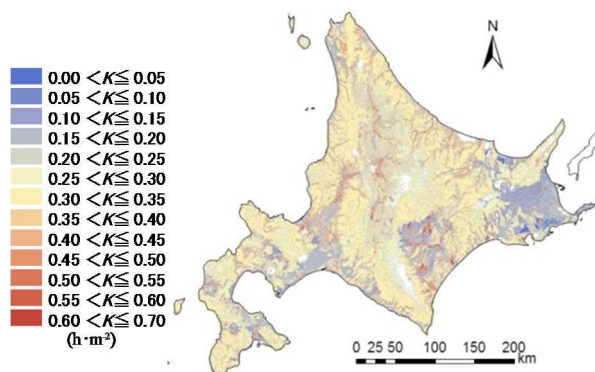


図-11 土壌係数分布図

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、 λ 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。Moore¹³⁾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。

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

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とBurch¹⁴⁾による(9)式で地形係数を算出する

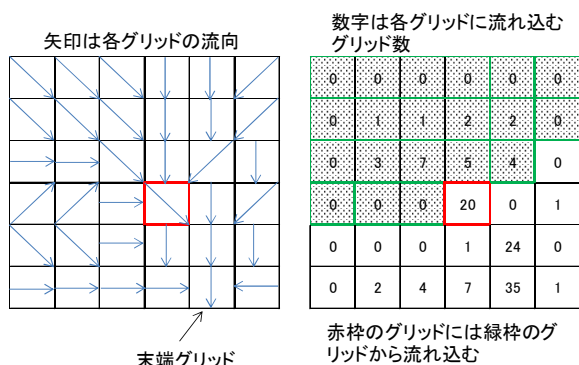


図-12 係数 A_s の集計方法

こととした。

3.5.2 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]
- ④ A_s ラスタの作成 (③×10m) [Raster Calculator]
- ⑤①データから傾斜ラスタ作成 [Slope]
- ⑥④、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]

3.5.3 地形係数算出例

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。

3.6 作物係数の設定

作物係数 (C) を設定するには、まず土地利用図を用意する必要がある。精度の高い解析が必要な場合は、最新の衛星写真を判読するなどして詳細な土地利用データを作成する必要がある。地域の概略を知るための広域解析であれば、既存の土地利用データを利用することができる。以下に、既存の土地利用データから作物係数を設定する方法を示す。

USLE の解析が必要となる土地利用区分は、森林、農地（水田、畑地、牧草地、樹園地）、人工構造物、水域、荒地などである。USLE で農地の土壌流亡を評価するには、作物係数の大きく異なる普通畑と牧草畑が区別されてい

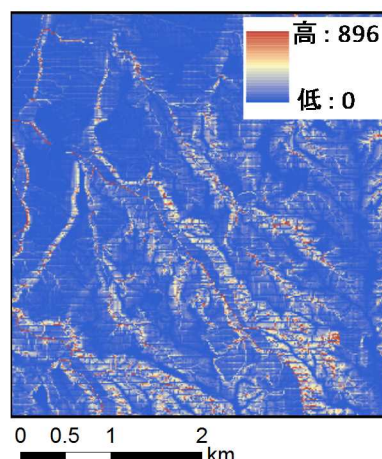


図-13 LS 算出事例（グリッドごと）

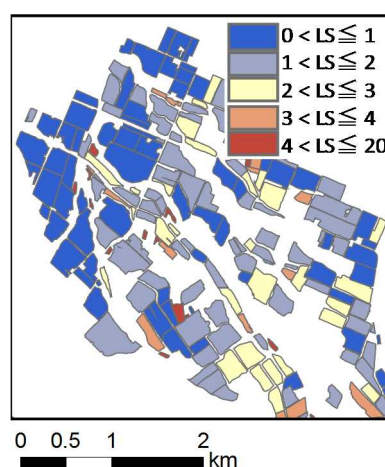


図-14 LS 算出事例（圃場ごと）

ることが必要である。表-5 に一般に入手可能な全国を対象とした土地利用データ (GIS データ) の特徴を示す。この中で、牧草地と普通畑を比較的精度良く区分しているのは、農林水産省の第4次土地利用基盤整備調査データだけである。しかし、このデータの農地以外の土地利用には「その他地域」と入力されているので、この部分を森林や人工構造物等に区分できる他のデータと組合せて利用する必要がある。農地以外の土地利用について、誤判読が少ない無償データには、国土交通省が提供している国土数値情報の土地利用細分メッシュがある。よって、国土数値情報の土地利用細分メッシュをベースデータとし、このデータの水田以外の農地部分（「その他の農用地」と区分）を、第4次土地利用基盤整備調査データの情報により再分類する手法で新たな土地利用データを作成した。土地利用細分メッシュデータの土地利用種別のうち、「その他の農用地」を畑地と牧草地、樹園地に区分した北海道の土地利用区分図を図-15 に示す。

全道に分布する「普通畑」は、地域により作付状況が異なるので、全道一律に作物係数を付与することはできな

表-5 全国を対象とした土地利用図の特徴

地図名称	提供元	特徴
国土数値情報 土地利用細分メッシュ	国土交通省	100mメッシュ。草地と畑地の区別無し。
現存植生図(自然環境保全基礎調査)	環境省	1/25000相当。全国を対象としているが、抜けが多い。草地の区別有り。
AVNIR-2高解像度土地利用土地被覆図	JAXA	30m程度のメッシュ。自動判別なので森林、荒地、草地、畑地の誤判読が多い。
第4次土地利用基盤整備調査データ	農林水産省	1/25000相当。農地が水田、普通畑、牧草畑、樹園地に細分されている。農地以外は「その他地域」と区分。
GISMAP Texture	北海道地図(株)	1/50000相当。草地と畑地の区別無し。有償。
数値地図2万5千分の1	国土地理院	草地と畑地の区別無し。画像データのみ。

い。そこで、市町村ごとの作付状況を整理し、作付面積割合から市町村ごとの値を算出した。市町村の作付面積は、農林水産省より公表されている平成23年と24年の「農林水産統計公表資料(北海道)」を北海道農政事務所のWEBサイトより入手した。作物ごとの作物係数は、事業計画指針に整理されている値を使用した。平成23年と24年で係数値の差はほとんどなく、市町村別の両年の平均値を「畑地」に付与する(表-6)。畑地以外には、事業計画指針と渡辺¹⁵⁾が整理した値を適用させる(表-7)。

3.7 保全係数の設定

保全係数(P)は、横畝栽培の場合における勾配ごとの値が事業計画指針に整理されている。しかし、広域解析の場合、畝方向を特定することは困難である。そこで、本研究では、農地では横畝と縦畝(もしくは平畝)の割合が1

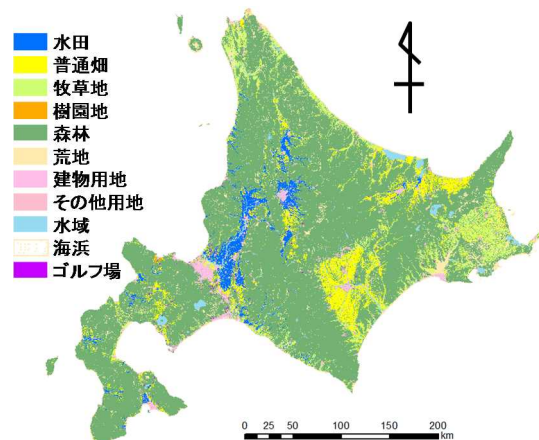


図-15 土地利用細分メッシュと第4次土地利用基盤整備調査データを組み合わせた土地利用図

表-6 全道各市町村別の畑地の作物係数

市町村名	C値	市町村名	C値	市町村名	C値	市町村名	C値	市町村名	C値	市町村名	C値
札幌市	0.18	蘭越町	0.16	長沼町	0.23	音威子府村	0.14	置戸町	0.16	上士幌町	0.12
江別市	0.16	ニセコ町	0.26	栗山町	0.21	中川町	0.10	佐呂間町	0.10	鹿追町	0.15
千歳市	0.20	真狩村	0.31	月形町	0.18	幌加内町	0.23	遠軽町	0.09	新得町	0.11
恵庭市	0.21	留寿都村	0.30	浦臼町	0.14	留萌市	0.13	湧別町	0.09	清水町	0.17
北広島市	0.14	喜茂別町	0.36	新十津川町	0.07	増毛町	0.15	滝上町	0.08	芽室町	0.28
石狩市	0.13	京極町	0.31	妹背牛町	0.10	小平町	0.12	興部町	0.02	中札内村	0.24
当別町	0.17	倶知安町	0.30	秩父別町	0.10	苫前町	0.14	西興部村	0.02	更別村	0.26
新篠津村	0.16	共和町	0.23	雨竜町	0.11	羽幌町	0.12	雄武町	0.02	大樹町	0.06
函館市	0.25	岩内町	0.11	北竜町	0.14	初山別村	0.10	大空町	0.25	広尾町	0.04
北斗市	0.19	泊村	-	沼田町	0.12	遠別町	0.07	室蘭市	0.06	幕別町	0.20
松前町	0.04	神恵内村	0.40	旭川市	0.12	天塩町	0.02	苫小牧市	0.10	池田町	0.21
福島町	0.28	積丹町	0.10	士別市	0.17	稚内市	0.03	登別市	0.03	豊頃町	0.15
知内町	0.14	古平町	0.02	名寄市	0.16	猿払村	0.02	伊達市	0.18	本別町	0.20
木古内町	0.06	仁木町	0.28	富良野市	0.28	浜頓別町	0.02	豊浦町	0.11	足寄町	0.08
七飯町	0.20	余市町	0.38	鷹栖町	0.12	中頓別町	0.02	壮瞥町	0.27	陸別町	0.04
鹿部町	0.08	赤井川村	0.25	東神楽町	0.16	枝幸町	0.02	白老町	0.02	浦幌町	0.18
森町	0.21	夕張市	0.36	当麻町	0.12	豊富町	0.03	厚真町	0.17	釧路市	0.02
八雲町	0.06	岩見沢市	0.18	比布町	0.12	礼文町	0.42	洞爺湖町	0.28	釧路町	0.08
長万部町	0.03	美瑛市	0.17	愛別町	0.10	利尻町	0.42	安平町	0.21	厚岸町	0.02
江差町	0.22	芦別市	0.14	上川町	0.10	利尻富士町	0.40	むかわ町	0.13	浜中町	0.02
上ノ国町	0.16	赤平市	0.14	東川町	0.13	幌延町	0.02	日高町	0.04	標茶町	0.02
厚沢部町	0.28	三笠市	0.25	美瑛町	0.25	北見市	0.28	平取町	0.06	弟子屈町	0.06
乙部町	0.26	滝川市	0.14	上富良野町	0.25	網走市	0.24	新冠町	0.02	鶴居村	0.02
奥尻町	0.06	砂川市	0.16	中富良野町	0.25	紋別市	0.04	浦河町	0.02	白糠町	0.02
今金町	0.16	歌志内市	0.40	南富良野町	0.23	美幌町	0.30	様似町	0.04	根室市	0.02
せたな町	0.10	深川市	0.14	占冠村	0.04	津別町	0.27	えりも町	0.02	別海町	0.02
小樽市	0.34	南幌町	0.18	和寒町	0.22	斜里町	0.27	新ひだか町	0.03	中標津町	0.03
島牧村	0.11	奈井江町	0.10	剣淵町	0.25	清里町	0.27	帯広市	0.27	標津町	0.03
寿都町	0.25	上砂川町	0.40	下川町	0.07	小清水町	0.26	音更町	0.25	羅臼町	0.02
黒松内町	0.09	由仁町	0.20	美深町	0.13	訓子府町	0.27	士幌町	0.21		

表-7 土地利用細分メッシュと既往研究の土地利用種別の対応と作物係数

土地利用細分メッシュ の土地利用種別	既往文献 ¹⁵⁾ のデータ	
	土地利用種別	作物係数
田	田	0.01
その他の農用地	—	—
森林	広葉樹林等	0.005
荒地	野草地	0.05
建物用地	一般住宅地等	0.01
幹線交通用地	道路	0.01
その他の用地	公共業務地	0.01
河川地及び湖沼	海・ダム・池など	0
海浜	裸地	1
海水域	海・ダム・池など	0
ゴルフ場	公園緑地	0.02

対1と仮定する手法を示す。横畝の P 値は、谷山⁹⁾が整理した値($P=0.323$)を用いると、縦畝は $P=1$ なので、農地の保全係数は約0.66となり、これを「畑地」の P 値として付与する。これ以外の土地利用は、 $P=1.0$ とする。

3.8 小括

本章では、GISによる広域解析に対応できるよう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。作物係数は既存の土地利用データと各市町村の作付データにより、全道の詳細な値を示した。保全係数については、圃場の畝方向を縦畝と横畝の比率を1対1と仮定した値を示した。

4. USLEを利用した将来の土壌流出量予測

4.1 検討内容

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第5次評価報告書では¹⁶⁾、温室効果ガスの継続的な排出によって地球温暖化が進行することで気候システムが変化し、陸域での降水量や降雨特性が変化すると予測されている。すなわち、温暖化することで蒸発散量が増加し、大気中の水分が増えることにより、降水量が増加するとともに、激しい降雨の回数も多くなるとしている。土壌流出の大部分は降雨により発生することから、降水量の増加や降雨強度の上昇は土壌流出量を増加させる。すでに、北海道においても気候変動により雨の降り方が変化していると指摘されており¹⁷⁾、地球温暖化の継続により、さらに降水量が増加することで、土壌流出量が現在よりも増加する可能性がある。事業計画指針では、農地の年間許容流出土量を10～15t/ha/y以下としており⁵⁾、将来においても、これを超過

しないことが農地の維持のために必要である。

今後、将来の降水量変化に対応した土壌流出対策を考えるうえで、気候モデルによる降水量の予測値を用いた土壌流出量の解析が有効と考えられる。土壌流出量の予測値が許容流出土量を超過する可能性があるならば、受食性の低い作物への変更や土壌改良、水食を抑制するような圃場管理など、事前に対策を実施することができるからである。また、このような目的のためには斜面ごと、または小流域ごとといった比較的狭い範囲の土壌流出量を予測する必要がある。これは、同一の市町村等でも、地形や土地利用など土壌流出に関わる因子が様々なため、土壌流出状況も多様であると予測されるからである。

本章では、文部科学省が実施している気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)の研究成果である、気候モデルによる降水量の予測値を利用し、USLE(汎用土壌流出量推測式)を用いて北海道における将来の土壌流出量を予測した。土壌流出量の算出にはGISを用い、広域解析における係数設定手法を検討した。

4.2 降水量予測手法の概要

降雨係数(R)の算出には、文部科学省が実施している「気候変動適応研究推進プログラム」のうち、「北海道を対象とする総合的ダウンスケーリング手法の開発と適用」の研究成果である降水量の予測値¹⁸⁾を用いた。以下に気候予測手法と取得した降雨データの概要を記す。

北海道内の土壌流出量の地域性を解析するには、地域性を反映した降水量データが必要であるが、現在ある世界の気候モデルによる全世界の気候シミュレーションは、計算機性能の制限により100km間隔程度でしか計算できない。このような予測値では、北海道内の地域性検討のような詳細な解析は困難である。そこで、佐藤ら¹⁸⁾は、領域気候モデルを用いた力学的ダウンスケーリングと呼ばれる手法により、粗い気候モデルのデータから10km間隔での密な気象データを算出した。

温室効果ガスの排出量を左右する将来の社会経済シナリオは、経済発展を重視しつつ化石燃料と新エネルギーの技術をバランス良く使う社会(SRES A1Bシナリオ)である。使用している気候モデルは、東京大学などのMIROC3.2(hires)(以降、MIROC)、ドイツ・マックスプランク研究所のECHAM5/MPI-OM(以降、MPI)、米国大気科学研究所のCCSM3(以降、NCAR)の3種類である。気候モデルによって温室効果ガスの濃度変化に対する応答が異なる。領域気候モデルは、気象庁のJMA/MRI NHM(以降、NHM)、米国スクリプス海洋研究所のRSM、米国を中心に開発されているWRF-ARW(以降、WRF)3種類である。気候モデルと

領域気象モデルの組み合わせにより、9つの予測値が算出される。

土壌流出量の将来予測値の解析には、現在との比較という視点も重要であることから、将来の予測値（以下、「将来」と記す）だけでなく、1990年代の現在の推測値（以下、「現在」と記す）も算出した。「将来」は、気候モデルの推測による全球平均気温が現在に比べて2°C程度上昇した年代である。「将来」の算出期間の設定は、各々の気候モデルが持つ気候感度の違いによる推測の不確実性を排除するためということである。すなわち、気温が2°C上がったときの北海道の変化状況を評価する、という視点である。算出期間は、「現在」がMIROC：1991～2000年、MPI：1991～2000年、NCAR：1990～1999年であり、「将来」がMIROC：2050～2060年、MPI：2060～2070年、NCAR：2080～2090年である。算出された降水量データは、算出メッシュ内に含まれる気象庁の気象観測点（以降、アメダス観測点）における、4～11月降水量、および12～3月降水量の年間平均値として整理した。

4.3 対象斜面と USLE の各係数

4.3.1 対象斜面の設定

土壌流出量の算出対象斜面は、北海道全域（一部の島嶼を除く）を数ha程度に区分した小流域とした。小流域の区分は、国土交通省より無償で提供されている基盤地図情報の10mメッシュ標高データを利用し、GIS（ArcGIS 10.2。以下、同様）の水文解析機能により、大小の河川を含む水みちを設定し、その集水域とした。算出対象の全体面積は約7.8万km²で、区分した小流域数は約250万、小流域の平均面積は約3ha程度となった。

4.3.2 降雨係数の設定

水食による土壌流出は降雨と融雪により引き起こされ、降雨係数（ R ）も降雨流出係数（ R_r ）と融雪流出係数（ R_s ）の年間値の和として算出される。降雨流出係数は4～11月、融雪流出係数は12～3月の降水量を用いる。降雨係数を算出するアメダス観測点は、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地点とした。

降雨流出係数（ R_r ）の算出には、USLEの定義に従うと10分値の降水量データが必要である。しかし、気候モデルでは、短時間間隔での降水量を精度良く予測することは困難である。そこで、本稿では4～11月の降水量の総量から降雨流出係数を推測する手法を用いた。図-16に示すように、1時間値の降水量から求めた降雨流出係数（ R_{r60} ）と期間降水量には高い相関がある。ここで、1時間値を使用したのは、10分値よりも観測期間が長いからである。降雨流出係数の算出手順は、まず実測値により、年ごとに

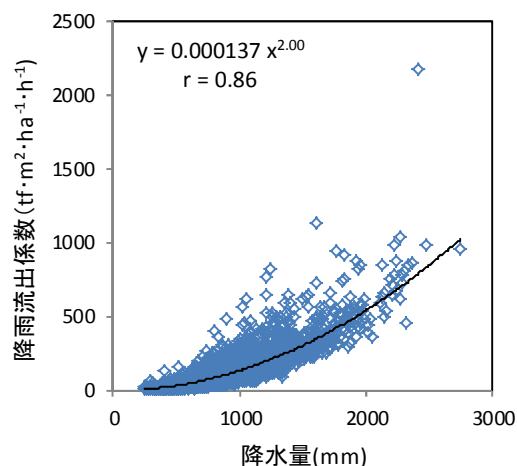


図-16 降水量と降雨流出係数（ R_{r60} ）の関係

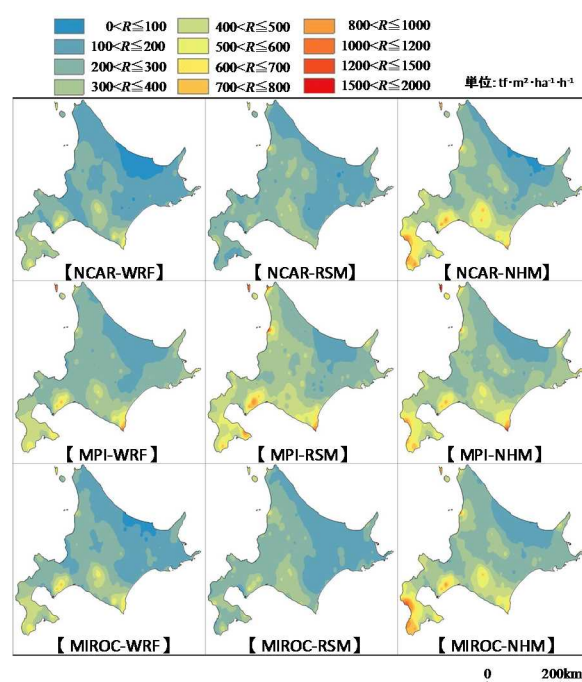


図-17 各モデルによる「現在」の降雨係数

算出した1時間値による降雨流出係数（ R_{r60} ）と総降水量の相関式をアメダス観測点ごとに求める。この相関式より、アメダス観測点ごとに降水量の予測値から「現在」と「将来」の降雨流出係数を算出した。この降雨流出係数は、1時間値から算出された R_{r60} に相当するので、10分値による降雨流出係数（ R_{r10} ）相当に換算する係数（ R_{r10}/R_{r60} 比）を乗じる必要がある¹⁹⁾。 R_{r10}/R_{r60} 比は、アメダス観測点ごとに実測値により1994年から2010年までの R_{r10}/R_{r60} 比を算出して平均値を求めた。

融雪流出係数（ R_s ）は、USLEの定義どおり冬期間（12～3月）降水量（cm）を1.0倍することで求めた。

以上から算出された降雨流出係数（ R_r ）と融雪流出係数（ R_s ）を合わせて降雨係数（ R ）を算出した。図-17に

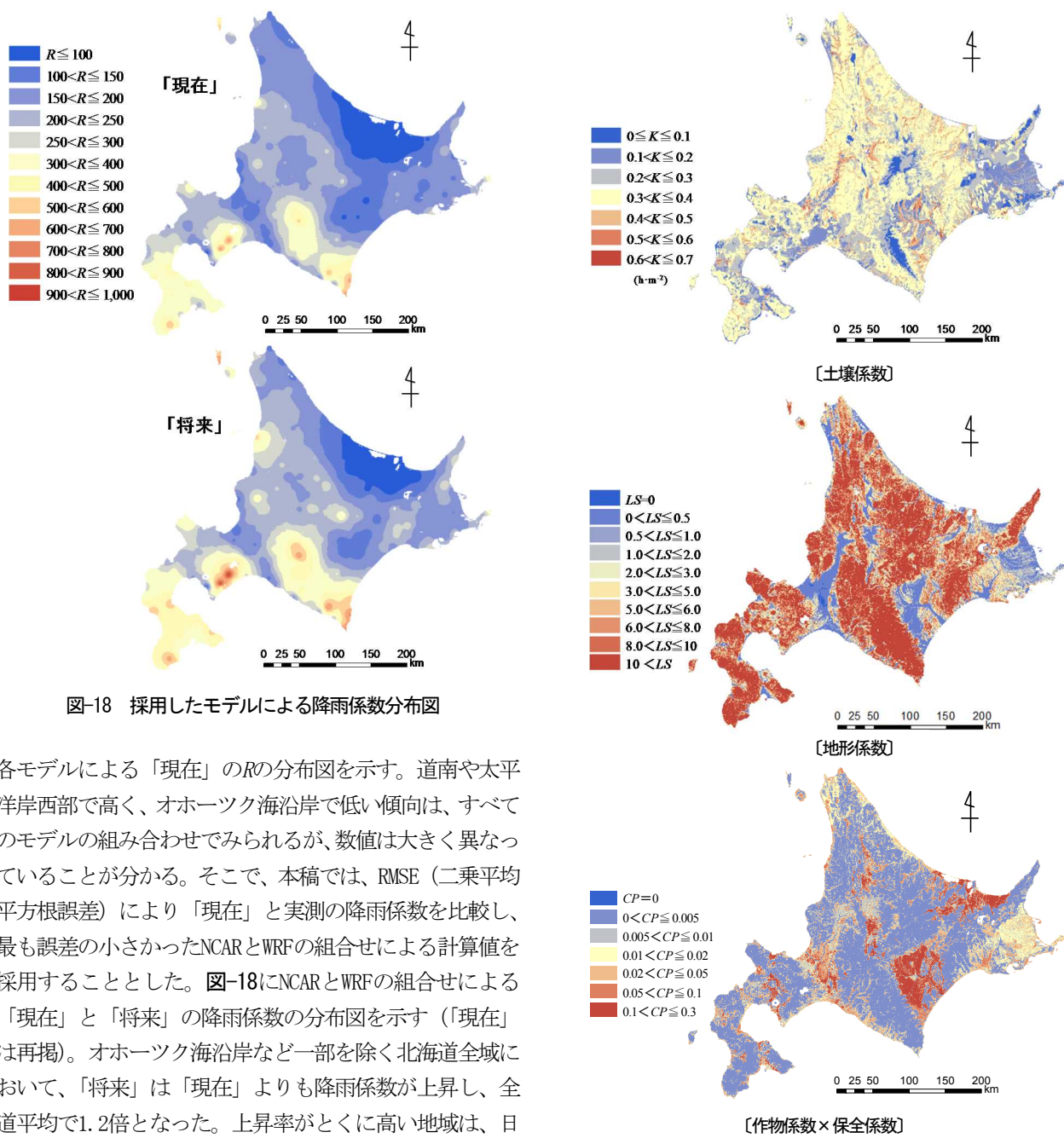


図-18 採用したモデルによる降雨係数分布図

各モデルによる「現在」の R の分布図を示す。道南や太平洋岸西部で高く、オホーツク海沿岸で低い傾向は、すべてのモデルの組み合わせでみられるが、数値は大きく異なっていることが分かる。そこで、本稿では、RMSE（二乗平均平方根誤差）により「現在」と実測の降雨係数を比較し、最も誤差の小さかったNCARとWRFの組合せによる計算値を採用することとした。図-18にNCARとWRFの組合せによる「現在」と「将来」の降雨係数の分布図を示す（「現在」は再掲）。オホーツク海沿岸など一部を除く北海道全域において、「将来」は「現在」よりも降雨係数が上昇し、全道平均で1.2倍となった。上昇率がとくに高い地域は、日本海沿岸北部、道東内陸部、太平洋岸西部、道南である。

4.3.3 その他の係数

降雨係数以外の各係数は、前章で示した手法により全道の値を設定し、対象斜面に付与した。図-19に各係数の全道分布状況を示す。

4.4 土壌流亡量算出結果

前章にて検討したUSLEの各係数により、「現在」と「将来」について、北海道全域の土壌流亡量を算出した（図-20）。降雨量の増加による降雨係数の上昇のため、オホーツク海沿岸など一部を除く北海道全域において土壌流亡量が増加する結果となった。つぎに、このデータから農地部分を切り出し、許容流亡土量（10t/ha/y）を超過してい

図-19 降雨係数以外の各係数

る部分のみ表示すると図-21のようになる。許容流亡土量を超過している農地は、全道に分布しており、面積は「現在」が2,141km²、「将来」が2,527km²と約2割増加する予測結果となった。とくに、十勝では超過農地の増加が顕著にみられた。

4.5 小括

本章では、気候変動適応研究推進プログラム（RECCA）の北海道グループが予測した北海道における降水量の予測値を利用し、USLEを用いて北海道における将来の土壌流亡量を予測した。将来、北海道全域で降水量が増加傾向

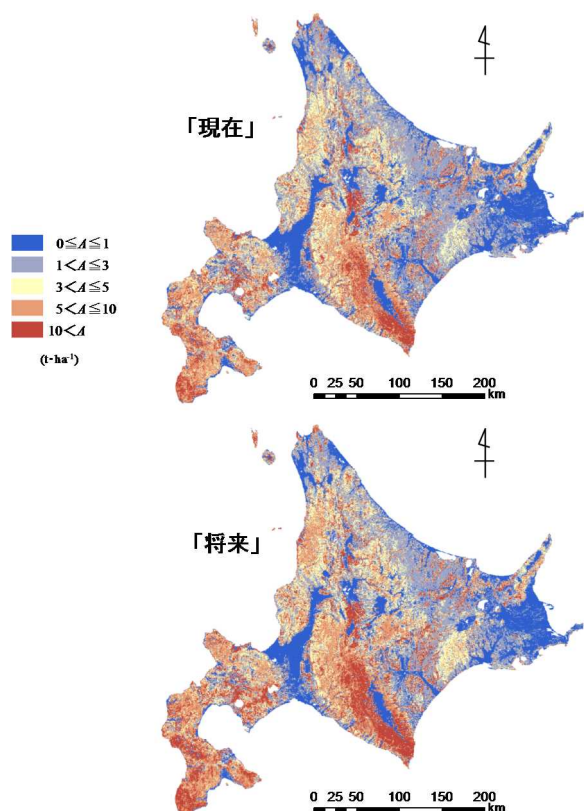


図-20 全道の土壌流亡量算出結果

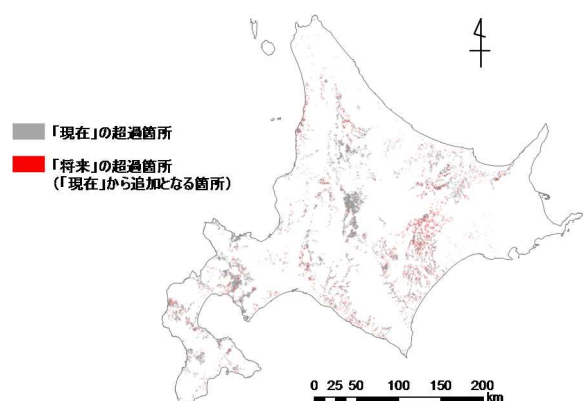


図-21 土壌流亡量の予測値が許容流亡土量 (10t/ha/y) を超過している農地の分布

にあり、それに伴い、USLE の降雨係数値も増加することで、北海道全域で土壌流亡量が増加すると予測された。今後、各係数の設定方法を精査する予定である。

5. WEPP の適用性検討

5.1 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の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。5.

2 WEPP モデルについて

5.2.1 WEPP の概要²⁰⁾

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 つの場における過程で構成され、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-22)。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時間的な要素として盛り込んでいる (図-23)。

WEPP を適用するために必要な主な入力データを表-8 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。よって、米国では、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。

5.2.2 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²¹⁾、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

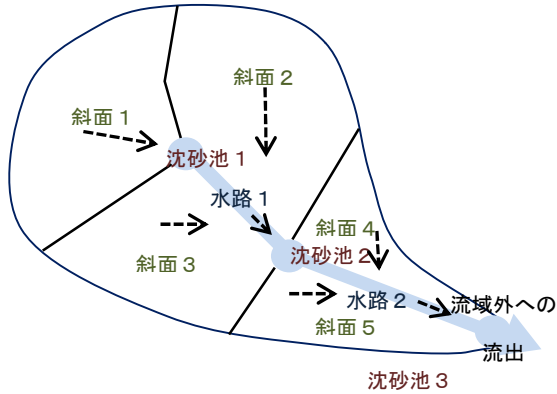


図-22 WEPPモデルの流域構成
(WEPP Model Documentation²⁰)より作図)

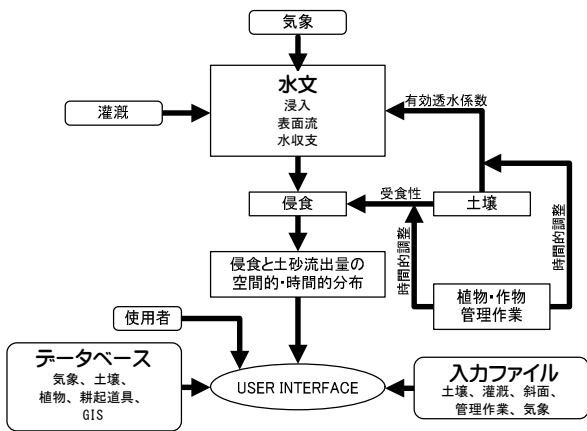


図-23 WEPPモデルの土壌侵食過程²⁰⁾

は²²⁾、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。

5.3 対象流域と条件設定

5.3.1 対象流域と解析期間

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-24 および表-9に示す。

対象とした流域の下流端には沈砂池が設置されており、ここで観測した堆積土砂量を土砂捕捉率で除した数値を流域からの流出土砂の実測値とした。今回検証に用いた期間は、あやめ沢流域では平成13年10月から2年間、豊幌川流域とシンケビホロ川流域では平成14年6月からの2年間とし、いずれも1年区切りで計算を行った。

表-8 WEPPの入力データ²³⁾

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
斜面	地形	斜面長、流下方向における勾配
	管理	管理スケジュール 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
水路	土壌	斜面と同じ
	地形	
	管理	
沈砂池	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
	特性	形状、初期貯水量などのパラメータ群

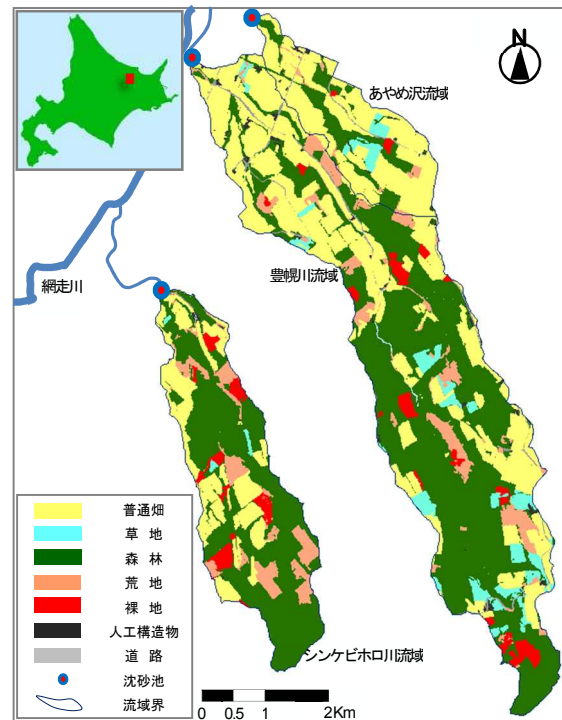


図-24 対象流域位置図および土地利用図

表-9 流域の土地利用割合

流域名	シンケビホロ川流域	豊幌川流域	あやめ沢流域
土地利用			
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

5.3.2 データセットの作成

上記の3流域について、表-9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

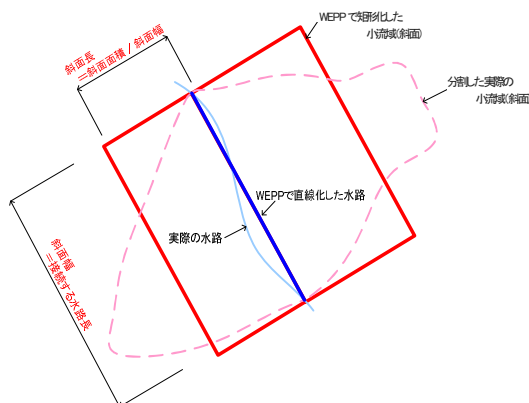


図-25 斜面平面形状の矩形化

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-25)。

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。

5. 4 結果と考察

5.4.1 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ュ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%と大きく乖離していた。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を調整することで実測値に近似させた。

有効透水係数は 0.1 mm/h きざみで変化させ、1 つのパターンにつき対象 3 流域の 2 年分、すなわち 6 回の計算を行い、計算値と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 1.4 mm/h としたとき、最も誤差が小さい解析結果を得られた(図-26)。有効透水係数調整後の実測値と計算値の関係を図-27 に示す。なお、当該流域の土壌は 2~4 種類で構成されているが、有効透水係数の調整では、いずれの土壌にも同じ値を入力した。

5.4.2 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-28 に示す。図-24 に示

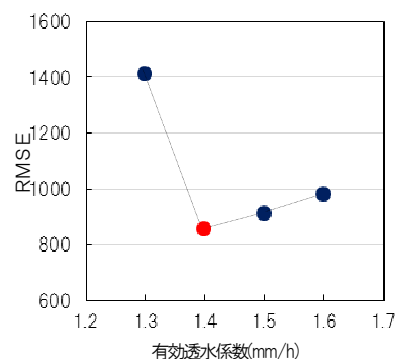


図-26 有効透水係数と RMSE の関係

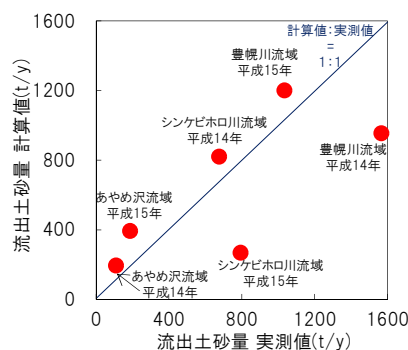


図-27 実測値と計算値の関係

(有効透水係数 1.4 mm/h)

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 1.0 t/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。

5.4.3 斜面勾配と流亡土砂量

流域の標高を図-29 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-28 に示した解析結果および、図-24 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

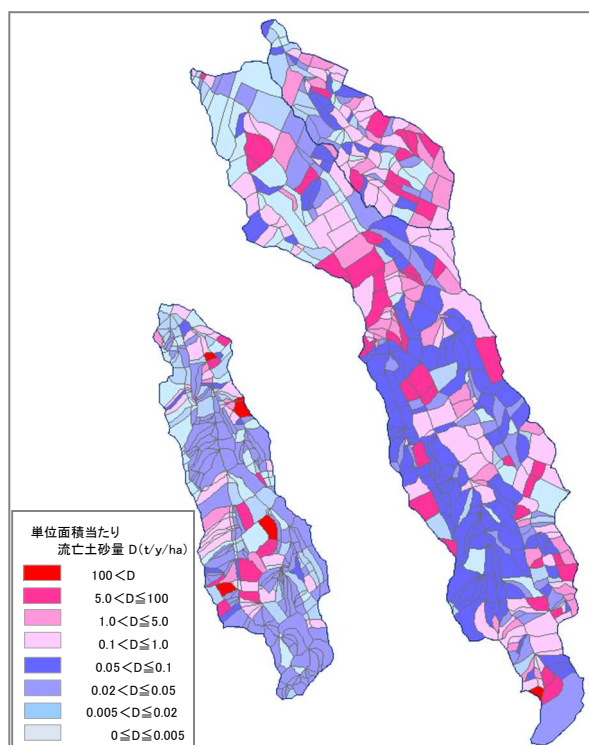


図-28 各斜面の単位面積あたり流出土砂量

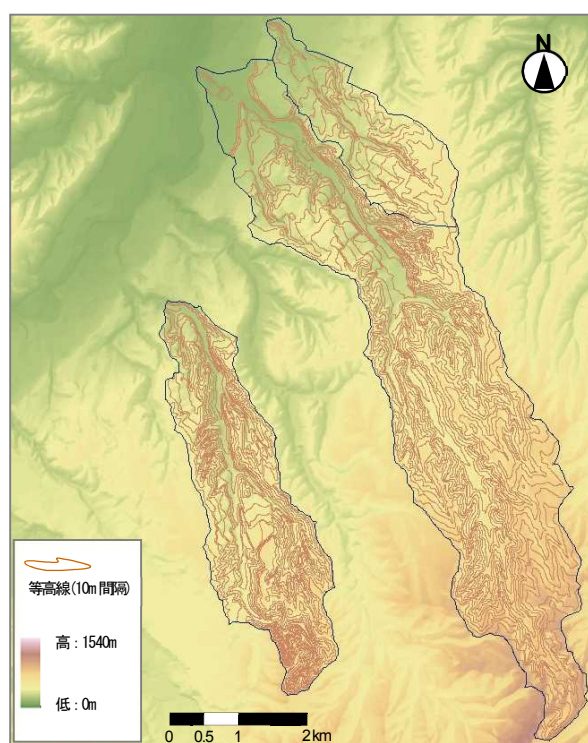


図-29 3流域の標高

による流出土砂量の差は少なかった。

以上のように、WEPP では入力した地形条件に即した、斜面からの土砂流出量を再現できることを確認した。

5.5 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出土砂量が少なく、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。

6. WEPP を利用した土砂流出対策の効果評価

6.1 本章の目的

本章では、前章にてパラメータの調整により実測値と近似させた結果を用い、土地利用や地形と土砂流出量の関係を詳細に分析する。また、この分析結果から緩衝林帯や傾斜改良といった土砂流出抑制対策が有効と判断されたので、これらを実施した場合の効果を WEPP モデルにて予測する。

6.2 斜面の土地利用と流出土砂量

6.2.1 流出土砂量と土地利用の関係

各斜面の土地利用と流出土砂量の関係を分析した。図-30は、シンケビホロ川流域における平成14年6月から1年の計算結果であり、図-31は、その後1年間の計算結果である。グラフを構成する各々の棒の色分けが各斜面の土地利用状況を示し、各要素の色分けの順序と高さは、モデルで設定した斜面の土地利用の順序と長さに対応している(棒グラフの下端が水路に接している)。上から下に伸びる棒グラフは各斜面からの1年間の単位幅あたりの流出土砂量であり、赤と白の合計で対策前の土砂流出量を、白色部分は後述する緩衝林帯整備による土砂流出の抑制量を表している。上下の棒とも右から流出土砂量の多い順に流域を構成する333個の斜面を並べて表示している。これをみると、流出土砂量が多い斜面においては、農地割合が多く森林の割合が少ない傾向が明らかである。さらに、平成14年と15年の計算結果を比較すると、全斜面からの流出土砂量の合計で、平成14年が1,199t/yに対し平成15年は2,088t/yと、約1.7倍の差があった。この2年の計算に入力した年間の積算降水量は、平成14年が774mmに対し平成15年は736mmであり、WEPPによる計算値と降水量は比例していない。この差異は、まとまった降雨の影響と考えられ、平成14年は1時間あたり10mm以上の降水は4回分散してあったのに対し、平成15年では2日間の連続降雨の中で4回集中してあったほか、20mm/hの降雨が一度発生している。WEPPの計算結果では、この集中した降水に対応した土砂流出が確認でき(図-32)、積算雨量の大小によらず、集中豪雨により大き

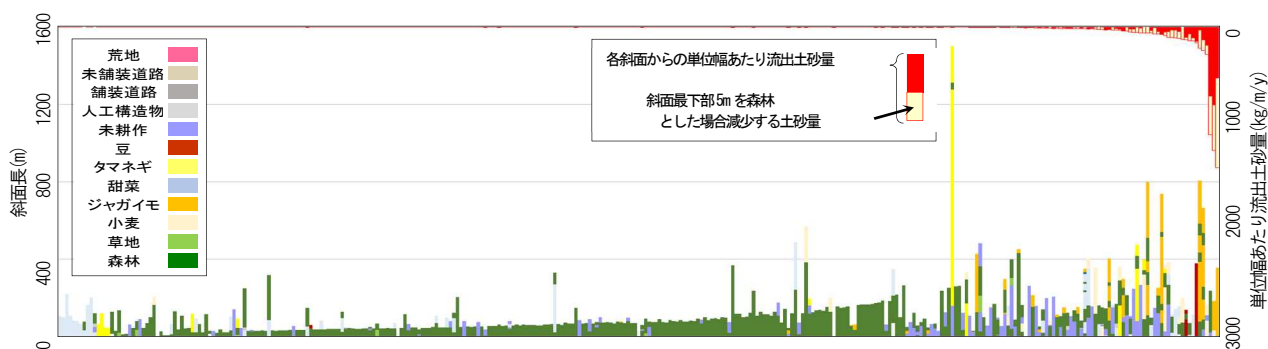


図-30 シンケビホロ川流域の各斜面の土地利用と単位幅あたり流出土砂量(平成14年6月から1年間)

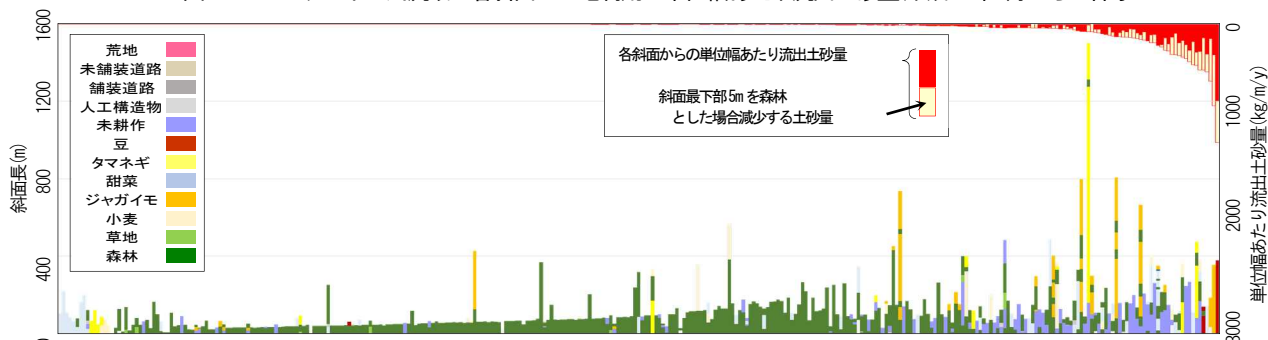


図-31 シンケビホロ川流域の各斜面の土地利用と単位幅あたり流出土砂量(平成15年6月から1年間)



図-32 平成14年と15年の降水量と土砂流出の関係

な土砂流出がおこるとい状況が算出されている。

6.2.2 緩衝林帯の整備による土砂流出抑制効果の推定

土砂流出抑制対策として、WEPP 上にて斜面の最下部を森林にすることで河畔緩衝林帯の効果をシミュレーションした。整備する緩衝林の幅は、既往研究²⁴⁾では3~4mで緩衝帯を通過する土砂のほとんどが捕捉されるとしているから、余裕を見て5mとした。緩衝林帯で捉えられた土砂は発生源に戻すことで、畑地の地力維持が期待できる。

図-30 および図-31 で上から下に伸びる棒グラフの要素で白抜き部分が、WEPP 上ですべての斜面の最下部5mの土地利用を森林にした場合に減少する流出土砂量である。全斜面からの流出土砂量の合計で、平成14年が570t/yとなり緩衝林帯がない場合の約48%にまで低減し、平成15

表-10 緩衝林帯設置前後の土砂流出量と削減率

		流出	削減率
		土砂量 (t)	(%)
あやめ沢 流域	対策前	1,800	64
	対策後	650	
豊幌川 流域	対策前	6,200	50
	対策後	3,100	
シンケビホロ川 流域	対策前	3,300	42
	対策後	1,900	

年では1,290t/yで約62%になった。また、5mの緩衝林帯を整備することによって、許容流亡土砂量10t/ha/y²⁵⁾以上の土砂流出を生じる斜面の数は、平成14年が6斜面から3斜面に、平成15年で18斜面から6斜面に減少すると算出された。

3流域2年分の対策前後の土砂流出量の計算値は表-10のようになり、3流域平均で52%の土砂流出が抑制されるという結果となった。農地率の高いあやめ沢流域で最も高い効果が得られると予測された。

6.3 斜面の地形と流出土砂量

6.3.1 流出土砂量と地形の関係

土砂流出に関して一般的には、斜面長が長く傾斜が急な斜面では流出土砂量は増加すると考えられる。ここで斜面長と土砂流出の関係を図-30 および図-31 でみると、すべて森林である斜面において、長い斜面ほど流出土砂量が多

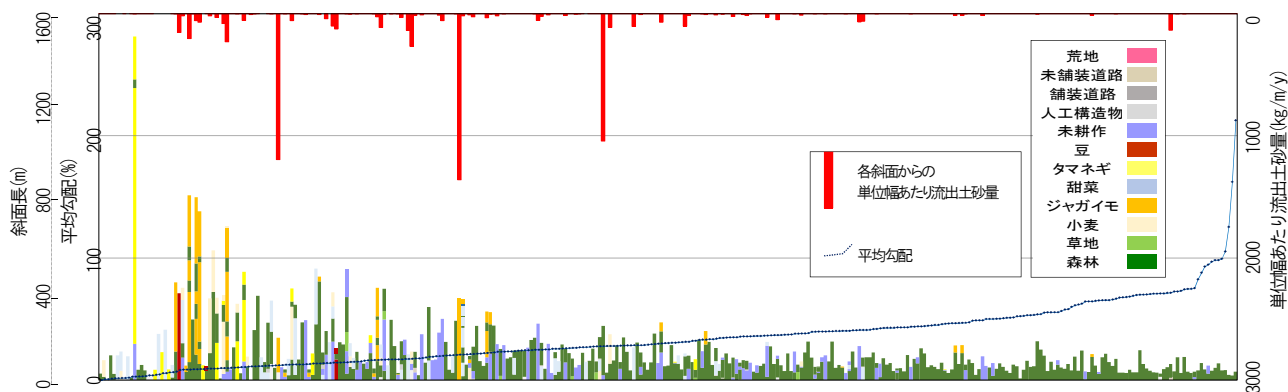


図-33 平均勾配順の土地利用と単位幅あたりの流出土砂量

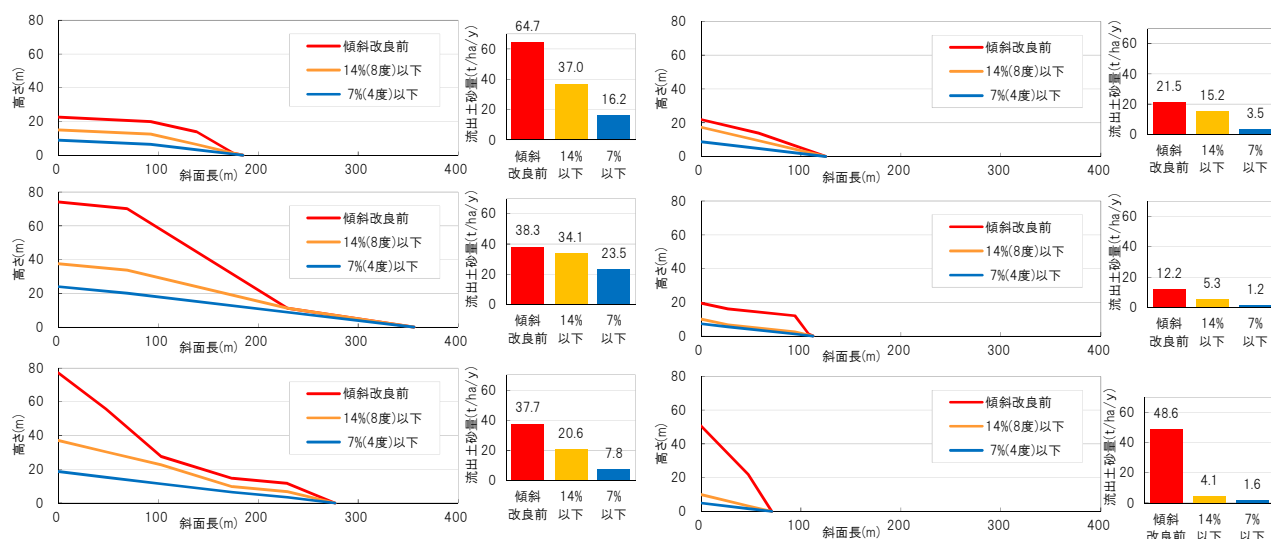


図-34 傾斜改良を行った斜面の縦断と計算結果

い傾向が見られるものの、農地割合の多い斜面では、一定の傾向は確認できなかった。また、各斜面の平均勾配と流出土砂量の関係は、明確な相関関係を見出すことはできなかった(図-33)。このような状況は、他の2流域も同様であった。これは、前章で検討したように土地利用の違いの影響が大きく、地形の影響が出にくいためであると考えられる。

6.3.2 改良の実施による土砂流出抑制効果

流出土砂量の多かった斜面に対し、土砂流出抑制対策として傾斜改良を実施した条件で計算を行った。対象はシンケビホロ流域の平成14年で、土砂流出抑制対策を実施していない解析条件において許容流亡土砂量 10t/ha/y を超えていた6つの斜面とした。そのすべてにおいて普通畑の圃場整備の計画設計で緩傾斜地の上限とされる 14%(8度)²⁶⁾以上の勾配を部分的に含んでおり、その部分に対し勾配を14%まで緩和する改良を想定した計算をおこなった(図-34)。その結果、流出土砂量は対策前の89~8%に抑えられたが、4つの斜面で許容流亡土砂量を上回る土砂流

出が生じていた。そこで、さらに勾配の上限を14%から半減し、7%(4度)として計算を行った。その結果、土砂流出抑制効果は向上したが、流出土砂量が対策前の61%程度にしか下がらない斜面があり、6斜面のうち2斜面で許容流亡土砂量を上回るなど、抑制効果にはばらつきがあった。これら斜面において、許容流亡土量以下に抑制するには、河畔域だけでもさらに緩勾配とするか、緩衝帯を設けるなどといった対策が必要と考えられる。

6.4 小括

本章では、WEPPを用いて畑地流域における土砂流出解析を行い、複数の気象条件下で流出土砂量と土地利用および地形の関係について分析した。また、土砂流出抑制対策として緩衝林帯と傾斜改良の効果をモデル上で検討した。その結果、斜面下端部に林帯を配置することで土砂流出を抑制できることを確認した。また傾斜改良による流出土砂量の低減効果を確認した。

現在、国営農業農村整備事業で実施可能な土砂流出抑制対策として、図-35のような事業と工種が考えられる。最

も重要なのは発生源対策であるが、農地再編整備事業における区画整理の主な目的は圃場の大区画化であり、傾斜方向に長大化すると土壌侵食のリスクが増大してしまう(図-36、計画1)。よって、小区画圃場を大区画化するにあたっては、短辺が傾斜方向になるよう計画することが重要である(図-36、計画2)。また、WEPPの解析で示したように、すでに斜面方向に長大な大区画圃場(図-36の計画1のような圃場)では、多少傾斜を緩くしても大きな土砂流出抑制効果は望めないことから、土砂流出抑制のためには、図-36の計画2のような圃場区画に再編されることが望ましい。

つぎに、水系に土砂が流出する直前の対策として河畔域での対策がある。WEPPの解析で示したように、河畔緩衝林帯の設置には大きな土砂流出抑制効果が期待される。河畔緩衝林帯の土砂流出抑制メカニズムは、斜面上部からきた表面流出水の流速緩和または地下浸透により、土砂を捕捉・堆積することである。そのために必要な条件として、十分な幅、緩い勾配、侵入能の高い土壌、植生が存在することが挙げられる。幅については、WEPPでの解析で示したように5m程度で大きな効果が得られる。勾配については、可能な限り緩くすることが望ましい。土壌については、新たに林帯を造成するのであれば、耕起してから植樹することで樹木の活着が促進されるとともに、侵入能が高まる。植生については、地面の粗度係数を大きくすること、雨滴侵食を防止すること、根群域により地面の透水性を向上させることがその役割であるので、かならずしも樹木である必要はないと考えられる。

最後に、水系での対策として沈砂池の設置がある。沈砂池は、上記した発生源対策、河畔域対策のできない箇所からの流出土砂を下流域に流出させないために設置することが想定される。土砂は洪水時に大量の水とともに移動してくるので、下流にいくほど沈砂池の規模は大きくする必要がある。また、規模が大きいと維持管理で土砂除去を行うときに土砂の処分先の選定に苦慮すると聞いている。よって、沈砂池はできるだけ上流部に発生源に隣接して設置することが望ましいと考える。発生源が農地だけの沈砂池であれば、堆積土砂を農地に還元することも可能であろう。

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。また、砂防分野で利用されつつある音響式掃流砂計の精度を検証し、農地流域で利用可能であることを示した。

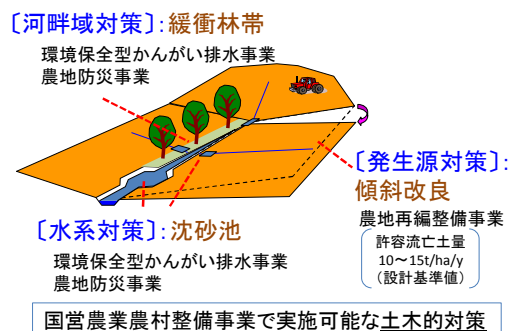


図-35 流域での総合的な土砂流出対策

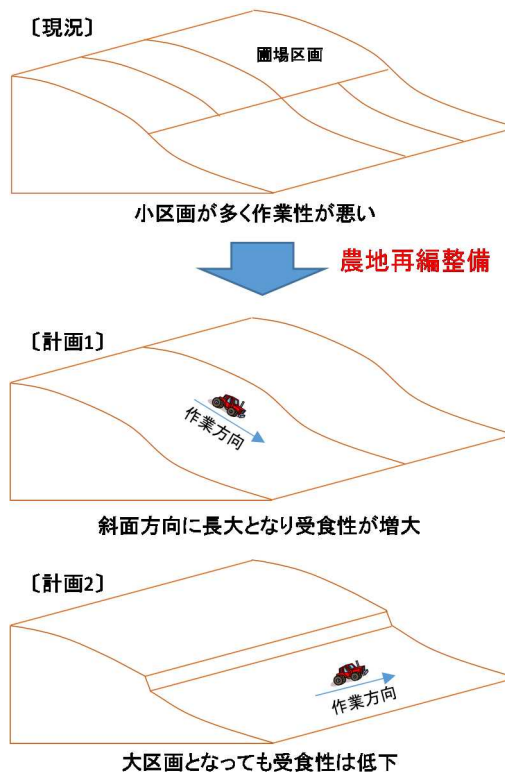


図-36 農地の大区画化と受食性の変化

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については、GISを利用した広域解析に利用可能なように係数の設定方法を示した。また、気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)の研究成果である降水量の予測値を利用し、USLEにより北海道における将来の土壌流出量を予測した。

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については、パラメータの設定方法を示すとともに、積雪寒冷地の大規模農地流域に適用可能であることを示した。また、WEPPを用いて、河畔緩衝林帯と傾斜改良による土砂流出抑制効果を評価した。また、この結果を用いて、農地流域からの土砂流出抑制技術の提案を行った。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 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
- 6) 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—北海道における土壌侵食抑制に関する研究(III)一, 農土論集, 167, pp. 97-102, 1993
- 8) 辻修, 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
- 14) 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) 渡辺康志: GIS 利用による陸域影響に関する調査研究, 財団法人沖縄化学技術振興センター平成 13 年度内閣府委託事業 (サンゴ) 調査研究の結果, 2002
- 16) IPCC: 気候変動 2013 自然科学的根拠 概要 (気候変動に関する政府間パネル第 5 次評価報告書第 1 次作業部会報告書の一部), 気象庁訳 (2014 年 9 月 30 日版), 2013
- 17) 菊池渉, 村上泰啓, 石谷隆始: 北海道内の気候区別こみた豪雨傾向の経年特性について, 土木学会第 64 回年次学術講演会, pp. 341-342, 2009
- 18) 佐藤友徳, 山田朋人, 稲津 将, 中村一樹, 杉本志織, 宮崎真, 久野龍介: 北海道を対象とした地域気候予測研究の動向, 北海道の農業気象, 第 65 号, pp. 12-22, 2013
- 19) 鶴木啓二, 中村和正, 古樽山雅之, 高須賀俊之: 気象庁データから算出した北海道全域の降雨係数, 農業農村工学会論文集, 293, pp. 31-36, 2014
- 20) USDA ARS National Soil Erosion Research Lab: WEPP Model Documentation, USDA, 1995 (<http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=18073>)
- 21) 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
- 22) 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
- 23) 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
- 24) 高橋和也, 鈴木洋一郎: 土砂の捕捉に必要な水辺緩衝林帯幅に関する考察, 応用地質技術年報 No. 24, pp. 93-98, 2004
- 25) 農林水産省構造改善局計画部: 土地改良事業計画指針 農地開発 (改良山成畑工), p. 158, 1992
- 26) 農林水産省農村振興局: 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「圃場整備 (畑)」, p. 5, 2007

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

Budget : Grants for operating expenses General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Irrigation and Drainage Facilities Research Team

Author : NAKAMURA Kazumasa, UNOKI Keiji, 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 drainage functionality and the conservation of the water environment. The following results were obtained by FY 2015:

(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) The Universal Soil Loss Equation (USLE) is a soil runoff model that has been used for agricultural and rural infrastructure development projects. We proposed a method for setting the coefficient for the USLE such as to enable wide-area analyses by using GIS data. The amount of future soil loss in Hokkaido was predicted by using the USLE. For the prediction, a forecast of precipitation amount obtained from the Research Program on Climate Change Adaptation (RECCA) was used as a parameter.

(3) A method for setting parameters for the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model, which is a distribution-type physical model that can be used for predicting the effectiveness of measures for controlling sediment runoff, was presented, and the applicability of the WEPP in large-scale agricultural areas in cold and snowy regions was demonstrated.

(4) The effectiveness of controlling sediment runoff by improving riparian slopes and buffer zone forests was assessed by using the WEPP. As a result, a riparian forest buffer zone with 5m width decreased sediment discharge from a basin about 50 %. Even if the gradient of steep slope was made decrease to 8 degrees, which are the upper limit of the class of gentle pitch, the sediment discharge didn't decrease so much. A sediment basin should be constructed on the place where a buffer zone and a slope improvement can't put into effect. The sediment discharge restraint technology in farmland basin was proposed like the above.

Key words : sediment runoff, USLE, WEPP