

北海道の農地における USLE を用いた土壌流亡量評価と将来予測

鵜木啓二* 田中健二* 松岡直基**

* 土木研究所 寒地土木研究所, 〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-34

** (株)北海道気象技術センター, 〒064-0824 北海道札幌市中央区北 4 条西 23 丁目 1-18

Correspondence : 鵜木啓二, e-mail : unoki@ceri.go.jp

要 旨

土壌侵食の危険度が高い大区画の傾斜畑が多い北海道全域を対象に、土壌流亡量予測式 USLE を適用して圃場ごとの土壌流亡量を予測した。土壌流亡量の算出には GIS を用い、広域解析における係数設定手法を検討した。降雨係数の設定には、文部科学省が実施した気候変動適応研究推進プログラムで予測された降水量を利用し、将来の気候変動を想定した土壌流亡量を評価した。保全対策を行わない条件での土壌流亡量の地域性をみると、農地の年間許容流亡土量を超える圃場は急傾斜の普通畑が広がる道南などで多く確認された。普通畑において営農的な保全対策（横畝栽培）を実施しても許容土量を超過している普通畑については、持続的な農地維持の観点から、土壌流亡を抑制させる対策の必要性が示唆された。また、将来の土壌流亡量は、降雨係数の上昇により北海道平均で現在の 1.26 倍となると予測された。

キーワード：農地保全、気候変動、GIS、広域評価、許容流亡土量

1. 背景と目的

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第 6 次評価報告書（文部科学省・気象庁，2022）では、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、1950 年代以降、大雨の頻度と強度が陸域のほとんどで増加したと記されている。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て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考えられている。降水量の増加や降雨強度の上昇は土壌侵食を増加させるため、今後、傾斜農地からの土壌流亡が現在よりも顕著化する可能性がある。「土地改良事業計画指針 農地開発（改良山成畑工）」（以下、事業計画指針と記す）（農林水産省構造改善局計画部，1992）では、表土層が 30cm 以上であれば、農地の年間許容流亡土量（以下、許容土量と記す）を $10 \sim 15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ 以下としており、将来においても、これを超過しないことが農地の生産性維持のために必要と考えられる。今後、土壌流亡量が許容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転換や土壌改良、水食を抑制するような基盤整備や圃場管理など、事前に適切な対策を実施する必要がある。なお、本稿では、土壌侵食対策という観点から安全側にみて、許容土量を $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ とした。

土壌侵食は降水状況の違いなどにより地域性があると予想されるため、侵食危険地域を絞り込むための広域解析が

必要である。また、危険地域内でも傾斜や作物種によって侵食程度は異なるので、土壌侵食の危険度を圃場ごとに予測する必要がある。このような背景から、将来の降水量変化に対応した土壌侵食対策を検討するには、圃場ごとの推定が可能な土砂流出モデルに、気候モデルによる降水量の予測値を入力した解析が有効と考えられる。

農業地域を対象とした土砂流出モデルのうち、圃場ごとの解析が可能で国内での利用が多いモデルとして USLE（Universal Soil Loss Equation）と WEPP（Water Erosion Prediction Project）がある。WEPP は分布型の物理モデルで斜面での土壌侵食や堆積、河川に流出後の土砂の移動など、詳細な土砂流出を評価可能であるが、モデル自体が小面積（最大 2.6 km^2 ）での使用を想定している（Flanagan and Nearing, 1995）ほか、パラメータの入力に多大な労力を要するため広域解析には向かない。一方、USLE は経験モデルで、簡易な係数の設定により圃場ごとの土壌流亡量を予測可能であり、広域解析に適していると考えられる。USLE を利用して広域解析を行った事例として、全国の農地を対象とした神山ら（2012）の研究は解析単位を 1 km メッシュとしており、侵食危険箇所の概定には適するが、圃場ごとの評価はできない。岡山県を対象とした小川ら（2009）の研究では、比較的小面積の農地ポリゴンを解析対象としているが、係数の設定方法の一部に課題が残っていた。このような解析を実行するためには GIS が有用であり、上記先行研究でも用いている。一方、現在は当時と比較して計算機

の性能や解析用データの環境（例えば、無償の圃場区画データ）が向上しており、各係数の設定方法を網羅的に再検討する必要がある。

本稿では、土壌侵食の危険度が高い大区画の傾斜畑が多い北海道全域を対象に、USLE を適用して圃場ごとの土壌流亡量を算出した。土壌流亡量の算出には GIS を用い、広域解析における係数設定手法を検討し、算出結果から土壌流亡状況の地域性や土壌流亡対策の効果を評価した。また、降雨係数の算出には、文部科学省が 2010 年度から 2014 年度に実施した気候変動適応研究推進プログラム（Research Program on Climate Change Adaptation: RECCA）の研究成果である降水量の予測値を用い、現在から将来への土壌流亡量の変化状況を予測した。

2. USLE と降水量予測値の概要

2.1 USLE 概要

USLE は米国農務省を中心に開発されたモデルであり、降雨ごとの土壌流亡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 による土壌流亡量予測の目的は、侵食を引き起こす要因を定量的評価し、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、農地保全を目的に、事業計画指針のなかで適用方法が解説されている。

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（Wischmeier and Smith, 1978）。

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

ここで、 A は単位面積当たり土壌流亡量 ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) であり、 A を算出するための各係数は以下のように定義されている。なお、既往の資料における USLE の単位系は、開発が行われたアメリカの慣習単位であるヤード・ポンド法のほか、メートル法、SI 単位が存在する。本稿の単位系は、日本国内の一般技術者に参照されることを想定して事業計画指針に合わせた。なお、本稿で用いた非 SI 単位である t , ha , h はいずれも SI 単位との併用が認められている（産業技術総合研究所計量標準総合センター, 2020）単位である。

R : 降雨係数 ($\text{t} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

一連降雨（無降雨時間 6 時間以内）の降水量が約 12.7mm 以上、または 15 分当たりの降雨強度が約 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 (I_{30}) の積 (EI_{30}) の年間合計値の 1/100 である。積雪寒冷地では融雪流出も考慮する。

K : 土壌係数 ($\text{h} \cdot \text{m}^2$)

土壌流亡量算出地点における土壌の受食性を示す指標である。

$L \cdot S$: 地形係数（無次元）

斜面長係数 (L) と傾斜係数 (S) により、斜面長と傾斜の影響を表す係数である。基準斜面長（約 22.1m）、基準勾配（9%）のとき 1.0 となる。

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、裸地を 1.0 とする。作物ごとの値が事業計画指針に示されている。

P : 保全係数（無次元）

畝立て方向など保全的耕作の効果を示す係数で、平畝、上下耕を 1.0 とする。事業計画指針には横畝を実施した場合の係数が傾斜度ごとに整理されている。

2.2 利用した降水量の予測値の概要

降雨係数 (R) の算出には、RECCA の成果うち「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（佐藤ら, 2013）を用いた。

この予測値は、全球の気候モデルによる全世界の気候予測値から、領域気象モデルによる力学的ダウンスケーリングによって 10km 間隔での密な気象データを算出したものである。使用されている気候モデルは、東京大学などによる MIROC3.2-hires（以下、MIROC と記す）、ドイツ・マックスプランク研究所の ECHAM5/MPI-OM（同、MPI）、米国大気科学研究所の CCSM3（同、NCAR）の 3 種類、領域気象モデルは、気象庁の JMA-NHM（同、NHM）、米国スク립ス海洋研究所の RSM、米国を中心に開発された WRF-ARW（同、WRF）の 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 種類の予測値が算出されている。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（SRESA1B シナリオ）であり、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っている。

降水量は将来の予測値（以下、「将来値」と記す）のほか、1990 年代（同、現在）の計算値（同、「現在値」）を用いた。「将来値」の年代は、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 程度上昇した年代としている。各々の気候モデルが持つ気候感度の違いのため将来の年代は異なっており、MIROC は 2050～2060 年、MPI は 2060～2070 年、NCAR は 2080～2090 年である。

算出された降水量データは、後述する実測値との比較のため、10km の算出メッシュ内に含まれる気象庁の気象観測点（以下、アメダス観測点と記す）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抽出した。対象としたアメダス観測点は、1994 年から 10 分値の降水量データが揃っている 195 地点（Fig. 1）とした。

3. 広域解析に向けた USLE 各係数の設定方法

3.1 土壌流亡量の算出方針と圃場データの前処理

USLE の各係数は、GIS ソフトウェアの ArcGIS10.2 と QGIS3.10 により整理した。整理された各係数は、農林水産省から無償提供されている農地の区画情報「筆ポリゴン」において区切られたポリゴンごとに付与して圃場区画ごと

の土壌流亡量を計算した。

筆ポリゴンは、市町村ごとにデータが提供されているので、広域解析に合わせて北海道内の全データを結合した。また、圃場内に高架線の鉄塔敷地などがあることで穴抜け状態となっているドーナツポリゴンは、後述する地形係数の算出に支障となるので穴を埋めた。これに加え、筆ポリゴンのデータには、実際には林地や宅地など農地以外の土地利用となっている箇所が散見されたことから、国土交通省の国土数値情報土地利用細分メッシュ平成28年度版(国土交通省, 2016)(以下、細分メッシュと記す)で農地と区分されているメッシュと重なる区画のみ農地として扱うこととし、これ以外は削除した。

3.2 降雨係数

一般に、水食による土壌流亡の大部分は降雨と融雪により引き起こされる。降雨係数(R)も降雨による降雨流出係数(Rr)と融雪による融雪流出係数(Rs)の年間値の和として算出される。本稿で対象とする北海道は12~3月が降雪期間であることから、12~3月を融雪流出係数の算出期間、4~11月を降雨流出係数の算出期間とした。

降雨流出係数をUSLEの定義に沿って算出するには、10分値など短時間間隔の降水量データが必要である。近年、比較的短時間間隔の予測値も公表されつつあるが(上田ら, 2019), 降雨係数を精密に算出するには十分な時間間隔とはいえない。一方、Fig. 2に示すように、実測値による4~11月の期間降水量と降雨流出係数には高い相関性がある。そこで、この相関性を利用し、4~11月の期間降水量から降雨流出係数を推測することとした。なお、気候変動により短時間降雨が増加すると、同程度の期間降水量であっても、降雨流出係数が現在よりも大きくなることが想定されるが、これを予測するには短時間間隔の降水量データが必要であり、現時点では考慮することができない。従って、本稿では、期間降水量と降雨流出係数の関係は現在と将来で同一という仮定で降雨流出係数を算出した。

期間降水量と降雨流出係数の関係には地域性があると考えられるので、Fig. 1に示したアメダス観測点ごとに回帰式を求めた。用いたデータは、アメダス観測点における1976年から2010年までの10分値と1時間値の降水量であり、降雨流出係数の算出は鶴木ら(2014)の方法に従った。回帰式は、線形近似($y=ax+b$)と累乗近似($y=ax^b$)のうち寄与率(決定係数)の高い方を採用した。採用した回帰式は、線形近似が45地点、累乗近似が150地点であり、すべての地点において1%水準で有意な相関性が得られた。

アメダス観測点ごとに設定された回帰式に前章で説明した「現在値」と「将来値」を代入して降雨流出係数を算出した(以下それぞれ、「現在 Rr 」、「将来 Rr 」と記す)。算出された降雨流出係数はArcGISの内挿機能によって北海道全域に付与した(Fig. 3)。各モデルに共通でみられた結果として、道南や太平洋岸西部で高く、オホーツク海沿岸で低いといった地域性や、全域で将来は現在より上昇する傾

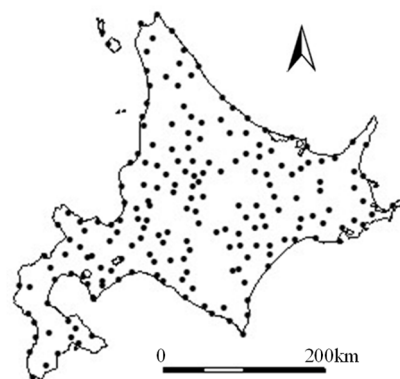


Fig. 1 降雨係数算出対象アメダス観測点
AMeDAS observation points for calculating rainfall factor

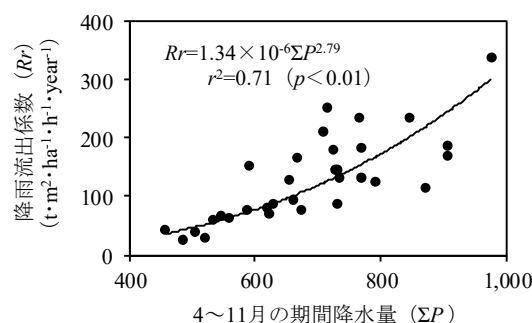


Fig. 2 降水量と降雨流出係数の関係(宗谷岬アメダス)
Relationship between precipitation and rainfall-runoff factor
(at Souyamisaki AMeDAS)

向などが確認できる。しかし、係数の絶対値はモデルによって大きく異なっていた。RMSE (Root Mean Square Error) で1990年代の実測値(以下、「実測 Rr 」と記す)との誤差を比較すると、最も誤差の小さいモデルは「NCAR-WRF」の組み合わせであったが、このモデルでも実測値と乖離したデータが多くみられた(Fig. 4)。本稿で算出する将来の土壌流亡量は、現在との比較(相対評価)だけでなく、許容土量を超えていないかどうかの絶対評価が重要なので、まずは基準となる現在の値が実測と近似していなければならないと考えた。そこで、土壌流亡量算出のための降雨流出係数について、現在には「実測 Rr 」を用い、将来は「実測 Rr 」に「将来 Rr 」と「現在 Rr 」の比率(「将来 Rr 」/「現在 Rr 」)を乗じて求めることとした。「将来 Rr 」と「現在 Rr 」の比率は、アメダス観測点ごとに全9モデルについて算出し、その平均値を採用した。

融雪流出係数(Rs)は、USLEの定義通り冬期間(12~3月)の降水量(mm)を0.1倍することで求めた。現在の値には降雨流出係数と同様に実測を用い、将来の値は実測に将来と現在の比率を乗じて求めた。以上から算出された降雨流出係数と融雪流出係数を合わせて降雨係数(R)を設定した(Fig. 5)。

3.3 土壌係数

土壌係数を付与するための基本となる土壌図は、国土庁土地局(1975, 1976, 1977a, 1977b, 1978a, 1978b, 1978c,

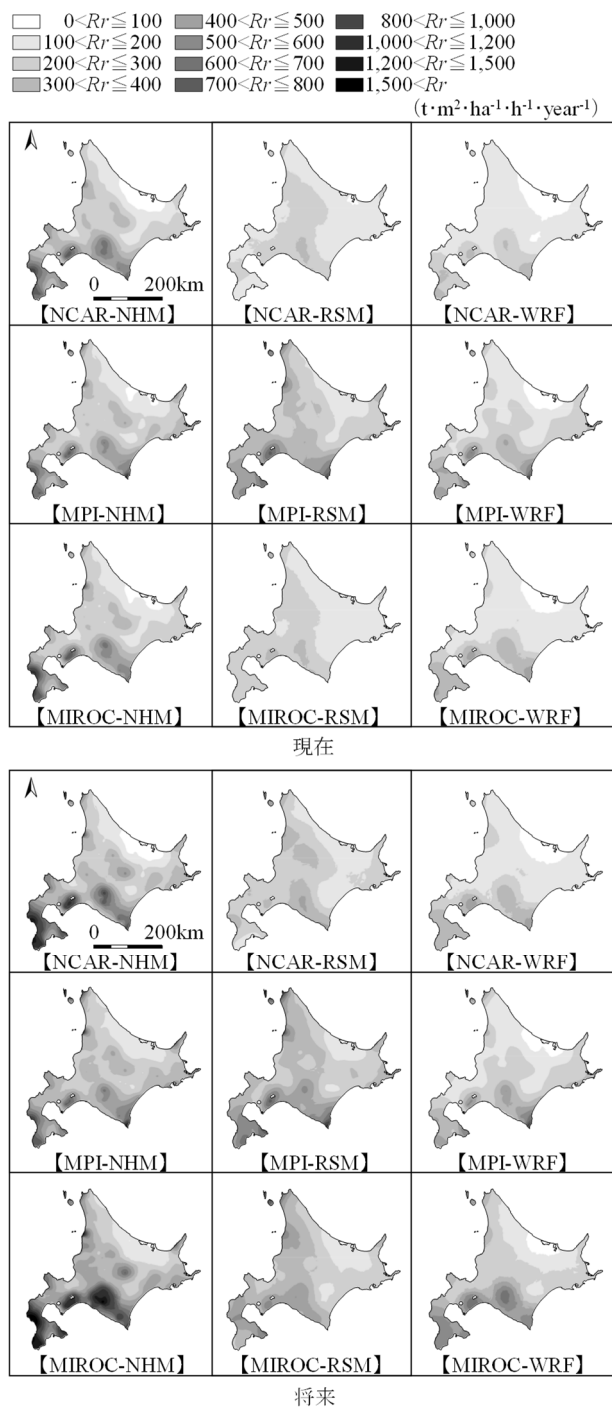


Fig. 3 各気候モデルの組み合わせによる現在と将来の降雨流出係数 (R_r)

Current rainfall-runoff factors and future rainfall-runoff factors for different combinations of climate models

1979)が発行した20万分の1の土地分類図(土壌図)を用いた。地力保全基本調査によるデータなど農耕地土壌の分布状況が詳細に記載されている資料もあるが、土地利用区分図で農地に該当する部分に土壌データが無い場合があることから、市街地等を除く北海道全域の土壌分布が記載されている本資料を用いることとした。

土壌ごとの土壌係数は、谷山(2003)が土壌環境基礎調査(定点調査)のデータからUSLEで定義されているノモグラフ法によって算出した値(以下、谷山の資料と記す)

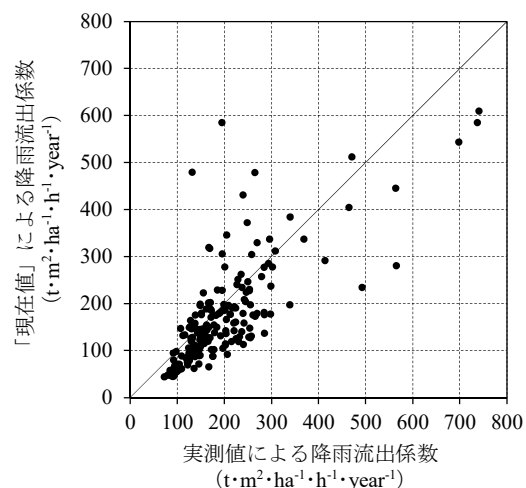


Fig. 4 実測値と「現在値」の降雨流出係数 (R_r) の関係 (「現在値」は「NCAR-WRF」の組み合わせ)

Relationship between measured values and current values of rainfall-runoff factor (R_r) (Note: Current values are based on combination of NCAR and WRF.)

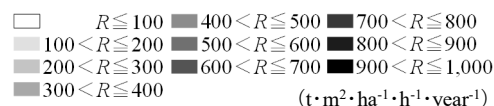


Fig. 5 現在と将来の降雨係数 (R)

Current rainfall factors and future rainfall factors (R)

を用いた。「土地分類図(土壌図)」と谷山の資料では土壌分類の方法が異なっているので、北海道開発局農業水産部農業計画課(1987)による土壌分類に関する資料を参考に

Table 1 既存資料に対応した土地分類図（土壌図）の土壌係数（*K*）
Soil erodibility factors (*K*) of soils shown in the land classification map complemented by existing source materials

20万分の1土地分類図（土壌図）の土壌区分		谷山（2003）の資料との対応	単位（ $\text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ ）
大分類	小分類	土壌区分	<i>K</i> 値
未熟土	残積性未熟土壌	砂丘未熟土	0.19
	砂丘未熟土壌		
	湿性砂丘未熟土壌		
黒ボク土	火山抛出物未熟土壌	淡色黒ボク土，淡色多湿黒ボク土， 粗粒火山抛出物未熟土壌 淡色黒ボクグライ土の平均	0.34
	粗粒火山抛出物未熟土壌		
	湿性粗粒火山抛出物未熟土壌		
黒ボク土	未熟黒ボク土壌	表層腐植質黒ボク土，厚層腐植質黒ボク土，表層多腐植 質黒ボク土*2，厚層多腐食質黒ボク土*2の平均	0.12
	黒ボク土壌a, b		
	累層黒ボク土壌		
黒ボク土	湿性未熟黒ボク土壌	表層腐植質多湿黒ボク土，厚層腐植質多湿黒ボク土，表 層多腐植多湿黒ボク土，厚層多腐植質多湿黒ボク土，腐 植質黒ボクグライ土，多腐植質黒ボクグライ土*3の平均	0.22
	湿性黒ボク土壌a, b		
	湿性累層黒ボク土壌		
褐色森林土	淡色黒ボク土壌	淡色黒ボク土	0.31
	全分類		
	褐色森林土の平均		
ポドゾル	全分類	—	0.19*1
赤黄色土	赤色土壌	赤色土の平均	0.38
	暗赤色土壌		
褐色低地土	全分類	褐色低地土の平均	0.52
灰色低地土	細粒灰色低地土壌	灰色低地土の平均	0.46
	灰色低地土壌		
	粗粒灰色低地土壌		
グライ土	灰色台地土壌	灰色台地土の平均	0.40
	細粒グライ土壌		
	グライ土壌		
グライ土	粗粒グライ土壌	グライ土の平均	0.42
	グライ台地土壌		
泥炭土	全分類	グライ台地土の平均	0.33
岩石地	全分類	泥炭土	0.19
その他	砂礫地など	—	0.19*1
		砂丘未熟土	0.19

*1: 対応する土壌が無い。未熟土に相当すると考え、砂丘未熟土の値を付与した。

*2: 有機物含有量が多く、係数が適切に算出されていないため、平均値算出から除外した。

*3: 多腐植質黒ボクグライ土は資料にデータが無いため、平均値算出から除外した。

類似土壌を対応させて整理した（Table 1）。谷山の資料に無い岩石地とポドゾルは未熟土に相当すると考え、砂丘未熟土の 0.19 を付与した。両土壌とも、北海道の農地における分布はほとんど無かった。

3.4 地形係数

3.4.1 算出方法

地形係数は斜面長係数（*L*）と傾斜係数（*S*）から成る。USLE の定義では、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）。

$$L = (\lambda/22.1)^m \quad (2)$$

$$S = (65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065) \quad (3)$$

ここで、 λ は斜面長（m）、 θ は勾配（°）、*m* は 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）である。この式は、一様勾配の斜面を想定したものであり、不規則な勾配の場合は斜面を分割して計算を実施することとしており、広域解析に適用することは困難である。

USLE の改良版である RUSLE（Renard et al., 1997）では、一様勾配斜面への適用方法として、式（2）の係数 *m* を斜面勾配等により詳細に算出する方法や、適用範囲の広い傾斜

係数の算出式を示している。しかし、不規則勾配斜面への適用は、当初の USLE と同様に、斜面を分割する方法を示しており、広域解析に適用することは困難である。一方、Moore et al.（1991）や Desmet and Govers（1996）は、RUSLE で定義された算出方法との整合性が高く、かつ広域解析に適用可能な方法として、GIS を用いて DEM (Digital Elevation Model: 数値標高モデル) から *LS* 値を算出する手法を示した。本稿では、算出方法が明確な Moore et al.（1991）の手法によって計算を行うこととした。DEM の最小単位であるグリッドごとの *LS* 値の算出式は以下の通りである。

$$LS = 1.4(As/22.13)^{0.4}(\sin \theta/0.0896)^{1.3} \quad (4)$$

ここで、 θ は勾配（°）である。また、*As* は specific catchment area と呼ばれる係数であり、当該グリッドの集水面積をグリッド幅で除した値である（Moore and Wilson, 1992）。具体的には、ArcGIS の水文解析機能である「累積流量ラスターの作成」で算出された値（これは当該グリッドの集水域内にあるグリッド数に相当する）にグリッド面積を乗じることで算出される集水面積を、グリッド幅で除すことで求められる。DEM から地形係数を算出する GIS 上の処理手順は以下の通りとなる。なお、DEM は北海道全域のデータが揃っている基盤地図情報数値標高モデルの 10m メッシュを

用いる。

- ① DEM から傾斜ラスター作成
- ② DEM から流向ラスター作成
- ③ 流向ラスターから累積流量ラスター作成
- ④ 式 (4) と①, ③の値からグリッドごとの LS 値算出
- ⑤ 圃場ごとに LS 値の平均値 (算術平均) 算出

3.4.2 バッファ処理

前項で示した LS 値を求める手順は, 対象範囲内においてグリッドごとの LS 値を一括で算出可能である。しかし, 計算処理上の問題点として, ひとつの斜面で傾斜方向に区画が連続する場合, 実際には耕作道等により斜面の連続性が途切れている場合でも, DEM が連続していれば繋がった斜面として計算されることで LS が過大に算出されることがある。実際, 斜面に階段状で連続する水田圃場の場合, 畦畔により斜面は連続せず, かつ圃場は平坦なので各圃場の地形係数はゼロに近くなるはずだが, DEM が連続していることで下部の圃場ほど値が大きくなってしまいう事例が多数確認された。圃場区画単位で DEM を抽出してから LS 値を算出できれば問題無いが, 対象圃場数は 83 万筆以上あり, 圃場ごとに LS 値を計算させることは現実的なデータ処理方法ではないと判断した。そこで, これに対処するため, 累積流量ラスターの作成前, これに使用する流向ラスターを, 筆ポリゴンの区画より内側に 2.5m 小さいポリゴンで抽出する処理を行うこととした (以下, この処理をバッファ処理と記す)。バッファ処理は同一の電子データ上で一括処理するものなので, 逐一データの切り取りが必要となる圃場区画単位で DEM を抽出する方法に比べて格段に処理時間が短縮される。

バッファ処理には, 10m メッシュの DEM を共一次内挿法により 5m メッシュにリサンプルしたデータを用いた。バッファ処理により, 隣接する区画でも最小で 5m 離れることとなり, 5m メッシュの DEM では 1 グリッド分以上の間が空くので (Fig. 6), 隣接圃場間の累積流量の繋がりを遮断することができる。ただし, DEM の配列に対して斜めに位置する圃場間の場合, バッファ処理してもグリッドの角が接していることがあり, 累積流量が下方の圃場に繋がってしまうことがある。バッファ処理の幅を大きく設定し, 圃場間の繋がりを完全に遮断することは可能だが, その場合, 地形係数を算出する圃場範囲が小さくなりすぎ, 地形係数を過小評価することになる。メッシュの小さな DEM を用いれば解決できるが, コンピューターの計算処理能力の制約から, 現時点では DEM サイズは 5m (バッファ処理幅は 2.5m) が適当と判断した。

Fig. 7 にバッファ処理の有無による LS 値算出結果の違いの事例を示す。表示している圃場区画は, すべて水田である。バッファ処理が無い場合は, 隣接している圃場群の下部圃場ほど LS 値が高くなっているが, バッファ処理を行った場合, かなり解消されており, 妥当な処理方法であったと考えている。しかし, 処理後でも, 水田の LS 値がゼロに近い値とならず, 1 以上の圃場が多く残っていた。これは,

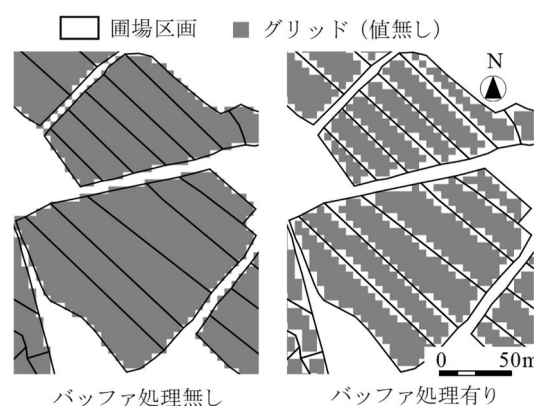


Fig. 6 バッファ処理によるラスターデータの抽出
Extraction of raster data after buffering

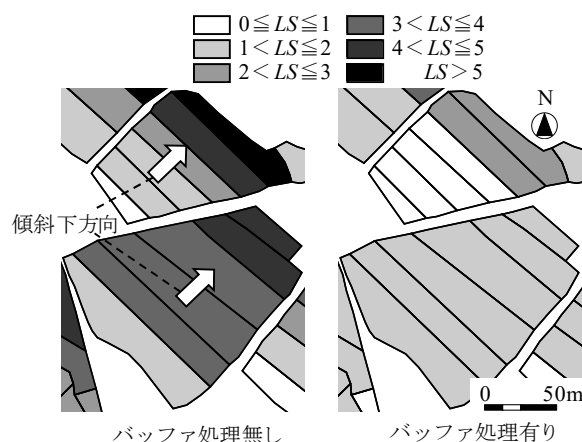


Fig. 7 バッファ処理の有無による地形係数の違い
Difference in the slope length and steepness factor with versus without buffering

元データの 10m メッシュ DEM が, 2.5 万分の 1 地形図の等高線から得られた標高値により作成されているため, 水田であっても傾斜のある圃場になっているからである。そこで, Fig. 7 と同じ範囲で, 全国で部分的に整備されている基盤地図情報数値標高モデルの 5m メッシュデータを用いて, 同様の解析を行った。5m メッシュのデータは, 航空レーザ測量または写真測量により約 5m メッシュで標高値を計測しており, 水田であれば圃場内は平坦なデータとなっている。Fig. 8 に解析結果を示す。大部分の圃場で LS 値は 1 以下となっており, より適正に水田の地形係数を算出できている。このことから, 5m メッシュの DEM が整備されている範囲の解析であれば, これを利用してバッファ処理する方法が傾斜地の LS 値を算出するのに最も適切と考えられる。しかし, 北海道は 5m メッシュデータの欠測域が多く, 10m メッシュデータから変換したデータと併用すると, 両データの境界部分の標高に不整合が出るため利用することは難しい。以上より, 本稿では, 10m メッシュを 5m メッシュにリサンプルした DEM を用いることとした。バッファ処理を含めた地形係数の算出手順を再整理すると以下のようになる。

- ① 10m メッシュ DEM を 5m メッシュにリサンプル

- ② 5m メッシュ DEM から傾斜ラスター作成
- ③ 5m メッシュ DEM から流向ラスター作成
- ④ 流向ラスターをバッファ処理
- ⑤ ④の流向ラスターから累積流量ラスター作成
- ⑥ 式 (4) と②, ⑤の値からグリッドごとの LS 値算出
- ⑦ 圃場ごとに LS 値の平均値 (算術平均) 算出

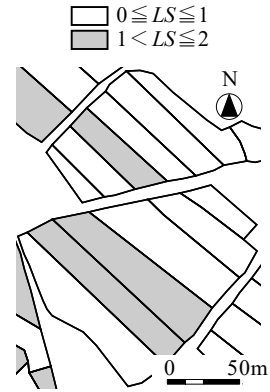


Fig. 8 基盤地図情報数値標高モデル 5m メッシュを用いてバッファ処理した場合の地形係数
Slope length and steepness factors after buffering, determined by using fundamental geospatial data (5 m-mesh Digital Elevation Model)

3.5 作物係数

3.5.1 土地利用区分データの作成

USLE の各係数を格納する筆ポリゴンの属性には、耕地の種類として、田と畑が付与されているが、水田から畑への転換など、近年の耕作状況が反映されていないデータが多くみられた。また、後述するように、普通畑、牧草畑、樹園地の作物係数は大きく異なることから、畑は各々に区分する必要がある。これらが区分された土地利用データとして、農林水産省の第4次土地利用基盤整備調査 (農林水産省, 2001) の結果 (以下、基盤整備データと記す) があるが、調査時期が古いこともあり、筆ポリゴンと同様に近年の耕作状況が反映されていないデータが散見された。近年の土地利用状況を解析したデータとして、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 地球観測研究センターで作成された日本全域の土地被覆図「高解像度土地利用土地被覆図【2014~2016年】 (バージョン 18.03)」 (以下、JAXA データと記す) がある。鶴木・田中 (2020) は、複数の土地利用データを比較し、JAXA データは水田、普通畑、牧草畑の分類精度が高いことを示した。しかし、JAXA データには樹園地の分類は無い。

以上より、前処理を含めた土地利用データの作成手順を **Fig. 9** のようにした。すなわち、筆ポリゴンの区画データのうち、細分メッシュデータから農地と判別された区画に対し、樹園地は基盤整備データにより区分し、これ以外 (水田、普通畑、牧草畑) は JAXA データにより区分した。最終的に区分されなかった筆ポリゴンの農地区画はすべて普通畑とした。

3.5.2 作物係数

土地利用種別ごとの作物係数のうち、水田は渡辺 (2002) の資料にある値を、樹園地と牧草畑、普通畑は事業計画指針にある値を付与した。事業計画指針に記載されていない作物については、生育状況の類似している作物の値を割り当てた。対象とした作物と作物係数を **Table 2** に示す。

普通畑については、地域により作付状況が異なるので、全道一律の作物係数を付与することはできないと考えられる。そこで、小川ら (2009) と同様の手法を用い、市町村の作付状況を「農林水産統計公表資料 (北海道)」から整理し、市町村ごとに作付面積割合で按分して普通畑の作物係数を算出した。対象年は、畑作物の作付面積が詳細に記録されている「野菜 (主要品目の上位市町村)」が公表されている 2012 年から 2014 年 (農林水産省, 2012~2014) までとした。現在と設定した 1990 年代から参考資料の年代、将来においては、気候変動に伴う作付作物の変化も想定されるが、

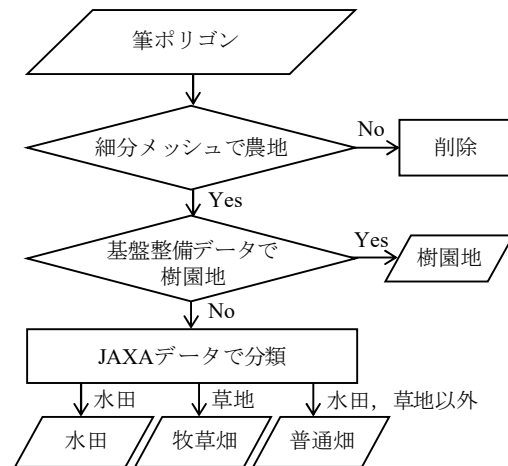


Fig. 9 土地利用データ作成手順
Process for creating land use data

Table 2 作物種ごとの作物係数 (C)
Cover-management factor (C) for various crop species

作物	C 値
水田	0.01
牧草	0.02
樹園地	0.1
コムギ, 二条大麦	0.2
カボチャ, キャベツ, スイカ ソバ, トマト, ハクサイ, メロン ブロッコリー, バレイショ レタス	0.3
エダマメ, ダイコン, キュウリ ゴボウ, カブ, スイートコーン コマツナ, ダイズ, テンサイ ナタネ, ニンジン, ピーマン ハウレンソウ, ミツバ	0.4
アズキ, サヤインゲン, ネギ サヤエンドウ, タマネギ ヤマイモ, インゲン	0.5
アスパラガス	0.6

Table 3 市町村ごと普通畑の作物係数 (C)
Cover-management factors (C) for upland fields by municipality

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
全道平均	0.32	黒松内町	0.34	由仁町	0.31	美深町	0.30	訓子府町	0.37	士幌町	0.33
札幌市	0.40	蘭越町	0.33	長沼町	0.30	音威子府村	0.30	置戸町	0.31	上士幌町	0.35
江別市	0.28	ニセコ町	0.35	栗山町	0.30	中川町	0.41	佐呂間町	0.25	鹿追町	0.32
千歳市	0.33	真狩村	0.38	月形町	0.29	幌加内町	0.30	遠軽町	0.27	新得町	0.30
恵庭市	0.32	留寿都村	0.38	浦臼町	0.27	留萌市	0.29	湧別町	0.35	清水町	0.31
北広島市	0.33	喜茂別町	0.37	新十津川町	0.31	増毛町	0.30	滝上町	0.28	芽室町	0.32
石狩市	0.26	京極町	0.34	妹背牛町	0.23	小平町	0.29	興部町	-	中札内村	0.35
当別町	0.25	倶知安町	0.35	秩父別町	0.28	苫前町	0.35	西興部村	-	更別村	0.35
新篠津村	0.27	共和町	0.29	雨竜町	0.27	羽幌町	0.31	雄武町	-	大樹町	0.35
函館市	0.34	岩内町	0.33	北竜町	0.31	初山別村	0.26	大空町	0.31	広尾町	0.34
北斗市	0.39	泊村	-	沼田町	0.30	遠別町	0.26	室蘭市	0.30	幕別町	0.32
松前町	0.30	神恵内村	-	旭川市	0.32	天塩町	0.30	苫小牧市	0.33	池田町	0.34
福島町	0.30	積丹町	0.30	士別市	0.33	稚内市	0.30	登別市	-	豊頃町	0.35
知内町	0.36	古平町	0.30	名寄市	0.34	猿払村	-	伊達市	0.34	本別町	0.34
木古内町	0.30	仁木町	0.32	富良野市	0.34	浜頓別町	-	豊浦町	0.30	足寄町	0.34
七飯町	0.41	余市町	0.38	鷹栖町	0.29	中頓別町	-	壮瞥町	0.37	陸別町	0.25
鹿部町	-	赤井川村	0.32	東神楽町	0.32	枝幸町	-	白老町	-	浦幌町	0.34
森町	0.35	夕張市	0.33	当麻町	0.32	豊富町	-	厚真町	0.34	釧路市	0.35
八雲町	0.35	岩見沢市	0.28	比布町	0.30	礼文町	-	洞爺湖町	0.41	釧路町	0.40
長万部町	0.40	美瑛市	0.27	愛別町	0.31	利尻町	-	安平町	0.34	厚岸町	0.30
江差町	0.34	芦別市	0.28	上川町	0.35	利尻富士町	-	むかわ町	0.36	浜中町	0.30
上ノ国町	0.33	赤平市	0.28	東川町	0.35	幌延町	-	日高町	0.36	標茶町	0.40
厚沢部町	0.34	三笠市	0.38	美瑛町	0.32	北見市	0.33	平取町	0.33	弟子屈町	0.32
乙部町	0.32	滝川市	0.28	上富良野町	0.31	網走市	0.28	新冠町	0.28	鶴居村	0.30
奥尻町	0.30	砂川市	0.36	中富良野町	0.35	紋別市	0.33	浦河町	0.30	白糠町	0.30
今金町	0.34	歌志内市	-	南富良野町	0.33	美幌町	0.33	様似町	-	根室市	-
せたな町	0.36	深川市	0.30	占冠村	0.30	津別町	0.33	えりも町	-	別海町	0.30
小樽市	0.30	南幌町	0.27	和寒町	0.31	斜里町	0.29	新ひだか町	0.30	中標津町	0.32
島牧村	0.30	奈井江町	0.28	剣淵町	0.34	清里町	0.29	帯広市	0.31	標津町	0.32
寿都町	0.35	上砂川町	-	下川町	0.29	小清水町	0.29	音更町	0.32	羅臼町	-

—：統計資料上、対象とする作物の作付けが無い

北海道の畑作における輪作体系に必要な不可欠な作物であるバレイショ、コムギ、ビート、マメ類は継続して栽培されており、今後も継続すると考えられる。上記 4 品は普通畑の作付面積において 7～8 割を占めることから、これらの作付状況が不変であれば、作物係数もほとんど変わらないものと考えられる。よって、本稿では現在と将来の作物係数は同値とした。各市町村における 3 カ年の作物係数の平均値を **Table 3** に示す。道東の酪農地域など普通畑の少ない市町村では、統計資料に対象とするデータが無いため、係数を算出できなかった。しかし、そのような市町村でも土地利用区分データ上では普通畑が存在することがあるので、その場合は全道平均値の 0.32 を付与した。

3.6 保全係数

保全係数について、USLE の技術書 (Wischmeier and Smith, 1978) では横畝栽培 (等高線栽培)、植生帯、テラス工の係数が掲載されている。植生帯やテラス工を選択すると、圃場形状 (とくに斜面長) が変わり地形係数にも影響するため、現状の圃場区画のままで取り得る対策として横畝栽培を実施した場合の評価を行うこととした。

係数は、事業計画指針に示されている畑面の勾配ごとに整理された値を採用した (**Table 4**)。本稿では、横畝栽培を

Table 4 保全係数 (P)
Support practice factor (P)

畑面の勾配	横畝栽培の P 値
1° ～ 4°	0.27
4° ～ 7°	0.30
7° ～ 10°	0.40
10° ～ 15°	0.45
15° ～ 25°	0.50

全圃場で実施する場合 (保全対策有り) と、実施しない場合 (保全対策無し) の 2 ケースで計算を行った。前者は、普通畑のポリゴンごとに GIS で平均勾配を算出し、事業計画指針に沿って勾配ごとの保全係数を付与した。後者は、普通畑について係数を 1.0 とした。普通畑以外の保全係数はいずれも 1.0 とした。

4. 結果と考察

4.1 降雨係数の将来変化

全道の降雨係数 (**Fig. 5**) は地域により大きな差があり、現在 (1990 年代の実測) は $91 \sim 781 \text{ t} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ 、将来 (気温 2℃ 上昇後の予測) は $104 \sim 951 \text{ t} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ と、最低地点と最高地点の差は現在の 8.6 倍から 9.1 倍に広

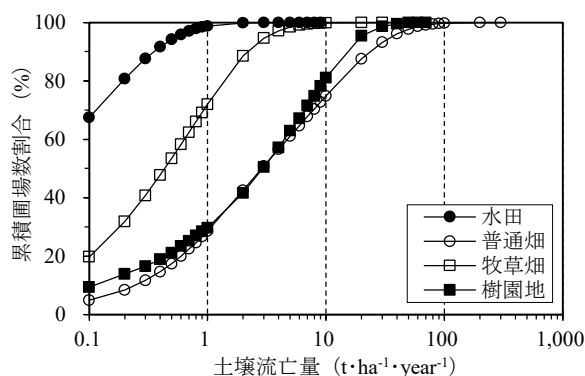


Fig. 13 作付けごとの土壌流亡量の圃場数割合
(現在, 保全対策無し)

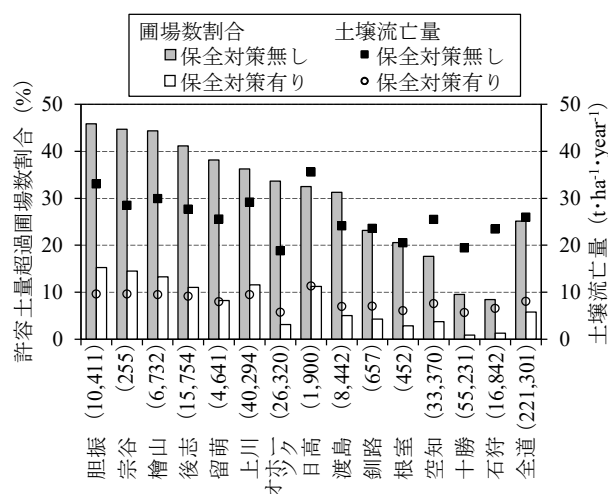
Percentage of each field type associated with current volume of soil loss (without conservation measures)

された地域もあり, このような地域では, とくに保全対策が重要となる.

4.2.2 保全対策の効果

前項にて許容土量を超過する割合の高かった普通畑について, 保全対策として横畝栽培を実施した場合の土壌流亡抑制効果を評価した. Fig. 14 に, 「保全対策無し」と「保全対策有り」の場合について, 許容土量を超過した普通畑圃場の普通畑圃場数全体に対する割合と土壌流亡量の平均値を地域ごとに示した. 保全対策無しで許容土量超過圃場数割合の高い地域から順に左から並べている. まず, 北海道全体 (図中の全道) をみると, 保全対策を実施することで許容土量超過圃場の割合が 25.2% から 5.8% に減少すると予測された. 既往の研究 (土壌保全調査事業全国協議会, 1991) では, 北海道における普通畑の実態として, 侵食の危険性が高い圃場の割合 (面積) は 10% 程度とされていた. 今回の予測結果と実態を合わせると, 普通畑の許容土量超過割合は, 全く保全対策しなければ 25.2% (予測値), 一部対策を実施している実態として 10%, すべての圃場で対策すれば 5.8% (予測値) と低下しており. 本稿の予測結果がおおよそ妥当であったことが分かる. また, すべての圃場で対策を実施すれば, 超過割合 10% の実態を 5.8% まで低下させることが可能であると示唆された. 次に, 圃場数が 1,000 筆以上の地域についてみると, 保全対策有りとすることでオホーツクや十勝は超過圃場数が 90% 以上減少したが, 胆振や檜山, 上川, 日高は 70% 程度の減少に止まった. 保全対策無しの場合, 前者の土壌流亡量は $19\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ 程度であるのに対し, 後者の土壌流亡量は $30\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ 程度と多かった. 各地域とも, 保全対策を実施することで土壌流亡量は平均で 7 割程度減少していたが, 胆振などは元の土壌流亡量が多いことで許容土量を下回る圃場が相対的に少なかったと考えられる.

保全対策 (ここでは横畝栽培) を実施しても依然として許容値を超過している普通畑圃場については, 持続的な農地維持の観点から, 土壌流亡を抑制する対策が求められる. 土壌流亡対策には営農のなかで行う対策 (営農的対策) と大がかりな土木工事を伴う対策 (土木的対策) がある. 営



- ・振興局名の後の数字は普通畑の圃場数である.
- ・「保全対策無し」の土壌流亡量は許容土量を超過した圃場の平均値であり, これら圃場に横畝栽培を実施した場合の土壌流亡量を「保全対策有り」として記した.
- ・保全対策無しの圃場数割合が高い順に並べた.

Fig. 14 許容土量を超過した普通畑圃場の割合と保全対策の効果 (現在)

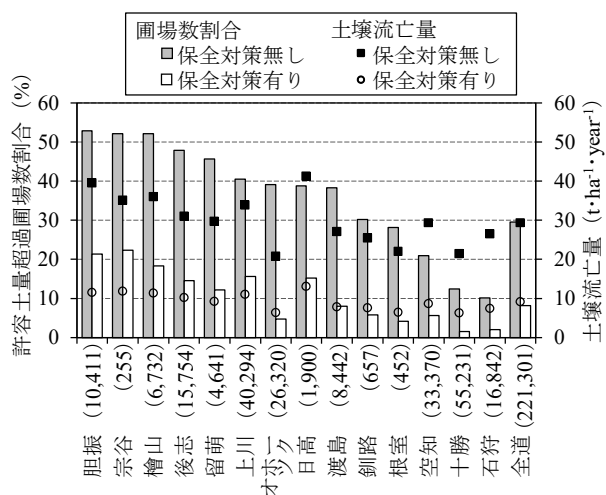
Percentage of upland fields where soil loss volume is forecast to exceed the acceptable level, and effectiveness of conservation measures (current)

農的対策として, 等高線栽培や等高線畝立, 草生帯, マルチング, 有機物施用, 輪作を含む作付けの工夫, 土壌改良などがある (西潟, 1963 ; 長澤, 2019). 土土的対策には, 承水路や沈砂池の設置, 区画整理, 傾斜改良などが考えられる. これらのなかで, 圃場内での土壌流亡量を予測する USLE の係数に關係する対策には, 土壌係数 (K) を低下させる有機物施用や土壌改良, 地形係数 (LS) を低下させる傾斜改良や区画整理, 作物係数 (C) を低下させる牧草畑への転用などが考えられる. 傾斜改良は, 横畝栽培を実施した場合の保全係数 (P) を低下させることも期待できる.

4.3 将来の土壌流亡量評価

将来の土壌流亡量評価として, 降雨係数を現在から将来の予測値に置き換え, かつ保全対策の有無を変化させて計算を行った. まず, 現在の土壌流亡量予測値からの変化割合をみると, 将来の計算条件は現在の条件から降雨係数のみ変化させているので, Fig. 10 で示した降雨係数の変化割合と同じとなる. すなわち, 将来の土壌流亡量が減少する地点は無く, 現在と比較して最小で 1.04 倍, 最大で 1.54 倍, 平均は 1.26 倍となった. 変化割合の地域性についても降雨係数と同様で, 中程度 (1.2~1.3 倍) の地域が全道に広がり, 増加率の高い (1.3 倍以上) 地点は石狩北部から宗谷にかけての日本海側, 渡島半島, 胆振東部から日高西部, 十勝北東部に多く, 増加率の低い (1.2 倍以下) 地点はオホーツクで多かった.

保全対策が無い場合における将来の土壌流亡量予測のうち, 許容土量 $10\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ を超過する圃場数は現在の保全対策無しの場合より約 18% 増加した. 許容土量を超過した



- ・ 振興局名の後の数字は普通畑の圃場数である。
- ・ 「保全対策無し」の土壤流亡量は許容土量を超過した圃場の平均値であり、これら圃場に横畝栽培を実施した場合の土壤流亡量を「保全対策有り」として記した。
- ・ 保全対策無しの圃場数割合が高い順に並べた。

Fig. 15 許容土量を超過した普通畑圃場の割合と保全対策の効果 (将来)

Percentage of upland fields where soil loss volume is forecast to exceed the acceptable level, and effectiveness of conservation measures (future)

圃場数割合を土地利用 (作付け) ごとにみると、水田が 0.0%, 牧草畑が 0.4%, 普通畑が 29.5%, 樹園地が 25.0% となっており、現在からの増加の大部分が普通畑と樹園地であった。

土壤流亡量の地域性は、作物係数を変化させていないので、Fig. 12 に示した現在とほとんど変わらない。ここで、前節と同様、普通畑について許容土量を超過した圃場数の割合と土壤流亡量の平均値を「保全対策無し」と「保全対策有り」で振興局ごとに整理した (Fig. 15)。保全対策無しの許容土量超過圃場数割合をみると、現在からの上昇幅は各地域で異なるものの、割合の高い地域の順番は現在と変わらなかった。また、現在の評価 (Fig. 14) と比較すると、現在では保全対策を実施することで日高以外は許容土量以下に土壤流亡量は減少したが、将来は日高に加えて胆振、宗谷、檜山、後志、上川で保全対策を実施しても許容土量以下とはならず、15~22%の圃場で許容土量を超過する結果となった。このことは、将来も普通畑として継続して利用していくためには、営農的な保全対策 (横畝栽培) 以外に、前節で示したような土木的対策が現在よりも必要となることを示唆するものである。

5. まとめ

本稿では、土壤侵食の危険度が高い大区画の傾斜畑が多い北海道全域を対象に、USLE を適用して圃場ごとの土壤流亡量を予測・評価した。土壤流亡量の算出には GIS を利用し、広域解析における係数設定手法を検討した。降雨係数の算出には、気候変動適応研究推進プログラム (RECCA)

で予測された降水量を利用し、将来の気候変動を想定した土壤流亡量を評価した。概要を以下に示す。

USLE の降雨係数 (R) は、現在 (1990 年代) の実測値を基準とし、RECCA が用いた 9 パターンの気候モデルによる現在の予測値から将来 (全球平均気温が現在に比べて 2°C 程度上昇した年代) の予測値への変化率を用いて、将来の値を設定した。土壤係数 (K) は、旧国土庁が発行した土壤図の土壤区分ごとに、土壤環境基礎調査のデータから算出された既存資料の値を付与した。地形係数 (LS) は、隣接する圃場の影響を極力排除するバッファ処理を行ったうえで、GIS の機能を利用して数値標高モデル (DEM) から算出した。作物係数 (C) は、農林水産省と国土交通省、宇宙航空研究開発機構のデータを組み合わせて土地利用データを作成し、事業計画指針等で示されている既存の値を付与した。普通畑の作物係数については、公表されている作付面積データを元に市町村ごとに設定した。保全係数 (P) は、すべての土地利用で保全対策無しにした場合と、普通畑のみ保全対策として横畝栽培を実施した場合を想定して事業計画指針に従って付与した。

将来の降雨係数は、現在と比較して北海道平均で 1.26 倍となっており、減少すると予測された地点は無かった。そのため、将来の土壤流亡量も北海道全域で増加すると予測された。保全対策を行わない条件での土壤流亡量の実地性をみると、普通畑や樹園地が多い地域で $1\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ 以上の圃場が多くみられ、とくに、急傾斜の普通畑が広がる道南や上川、オホーツクなどで許容土量である $10\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ を超える圃場が多く確認できた。普通畑において営農的な保全対策 (横畝栽培) を実施しても許容土量を超過している圃場については、持続的な農地維持の観点から、土壤流亡を抑制させる対策の必要性が示唆された。

謝辞 : RECCA の北海道グループ (代表 山田朋人氏) には、降水量の解析結果を御提供いただいた。記して謝意を表す。

引用文献

- Desmet, P.J.J. and Govers, G. (1996) : A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units, *Journal of Soil and Water Conservation*, **51**(5), 427-433.
- 土壤保全調査事業全国協議会 (1991) : 日本の耕地土壌の実態と対策 新訂版, 博友社, 17-55.
- Flanagan, D.C. and Nearing, M.A. (1995) : *USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation*, NSERL Report No. 10, USDA-ARS.
- 北海道開発局農業水産部農業計画課 (1987) : 石狩川水系の土壤 農牧地および農牧適地, 1-16.
- 神山和則, 谷山一郎, 大倉利明, 中井 信 (2012) : 土壤侵食量推定のための 1km メッシュデータの作成, インベントリー, **10**, 3-9.
- 国土交通省 (2016) (参照 2020.10.14) : 国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ 平成 28 年度版, (オンライン), 入手先く

- <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>>
- 国土庁土地局 (1975) : 土地分類図(土壤図)北海道 I (石狩・後志・胆振支庁) .
- 国土庁土地局 (1976) : 土地分類図(土壤図)北海道 II (日高・十勝支庁) .
- 国土庁土地局 (1977a) : 土地分類図(土壤図)北海道 III (空知支庁) .
- 国土庁土地局 (1977b) : 土地分類図(土壤図)北海道 IV (上川支庁) .
- 国土庁土地局 (1978a) : 土地分類図(土壤図)北海道 V (渡島支庁・松山支庁) .
- 国土庁土地局 (1978b) : 土地分類図(土壤図)北海道 VI (網走支庁) .
- 国土庁土地局 (1978c) : 土地分類図(土壤図)北海道 VII (釧路支庁・根室支庁) .
- 国土庁土地局 (1979) : 土地分類図(土壤図)北海道 VII (宗谷・留萌支庁) .
- 文部科学省, 気象庁 (2022) (参照 2023.9.27) : IPCC 第 6 次評価報告書 第 1 作業部会報告書 政策決定者向け要約 暫定訳, (オンライン), 入手先<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WGI_SPM_JP.pdf>
- Moore, I.D., Grayson, R.B. and Ladson, A.R. (1991) : Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications, *Hydrological Processes*, **5**(1), 3-30.
- Moore, I.D. and Wilson, J.P. (1992) : Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation, *Journal of Soil and Water Conservation*, **47**(5), 423-428.
- 長澤徹明 (2019) : 傾斜畑の土壤保全, 畑地農業, **723**, 2-8.
- 西潟高一 (1963) : 北海道における土壤侵蝕発現基盤とその防止に関する研究, 北海道農業試験場報告, **62**, 121-155.
- 農林水産省 (2001) (参照 2019.5.27) : 第 4 次土地利用基盤整備調査結果, (オンライン), 入手先<<http://www.nngis.jp/>>
- 農林水産省 (2012~2014) (参照 2019.5.27) : 北海道農林水産統計年報, (オンライン), 入手先<<https://www.maff.go.jp/hokkaido/toukei/kikaku/nenpou/index.html>>
- 農林水産省構造改善局計画部 (1992) : 土地改良事業計画指針 農地開発 (改良山成畑工), 158-178.
- 小川茂男, 塩野隆弘, 吉迫 宏, 島 武男 (2009) : 農地の持つ土壤侵食防止機能量の GIS をベースとした評価—岡山県を事例として—, システム農学, **25**(3), 145-155.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C. (1997) : *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, Agriculture Handbook No. 703, USDA.
- 産業技術総合研究所計量標準総合センター (2020) : 国際単位系 (SI) 基本単位の定義改定と計量標準, 114-115.
- 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 (2013) : 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, **65**, 12-22.
- 塩野隆弘, 小川茂男, 宮本輝仁, 亀山幸司, 上田達己 (2011) : 気候変動が畑地の土壤侵食の降雨因子に与える影響, 平成 23 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 208-209.
- 谷山一郎 (2003) : 農耕地からの表面流去水の発生に関わる土壤要因の解明と 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 (プロジェクト研究成果シリーズ 414), 農林水産技術会議事務局, 149-152.
- 上田聖也, 中津川 誠, 千田侑磨, 小松麻美 (2019) : 流域水収支が検証された北海道全域の高解像度 Downscaling 情報の作成, 土木学会論文集 B1 (水工学), **75**(2), I_1051-I_1056.
- 鶴木啓二, 中村和正, 古檜山雅之, 高須賀俊之 (2014) : 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**, 31-36.
- 鶴木啓二, 田中健二 (2020) : 農地を対象とした広域土壤侵食予測のための土地利用データ作成手法, 寒地土木研究所月報, **808**, 38-44.
- 渡辺康志 (2002) : GIS 利用による陸域影響に関する調査研究, 平成 13 年度内閣府委託調査研究 サンゴ礁に関する調査研究報告書, 亜熱帯総合研究所, 103-134.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978) : *Predicting Rainfall Erosion Losses*, Agriculture Handbook No. 537, USDA.

Soil Loss Estimation and Forecast Using the USLE for Farmland in Hokkaido

UNOKI Keiji*, TANAKA Kenji* and MATSUOKA Naoki**

* *Civil Engineering Research Institute for Cold Region, Public Works Research Institute,*
1-34, Hiragishi 1-jo 3-tyome, Toyohira-ku, Sapporo, Hokkaido 062-8602, JAPAN

** *Hokkaido Weather Technology Center Co. Ltd.,* 1-18, N4W23, Chuou-ku, Sapporo, Hokkaido 064-0824, JAPAN

Correspondence: UNOKI K., e-mail: unoki@ceri.go.jp

Abstract

The soil loss amount was estimated by using the Universal Soil Loss Equation (USLE) for each farm field in Hokkaido, where many fields are at high risk of soil erosion because of their large size and slope. A GIS was used to calculate the soil loss amount, and methods for determining factors relevant to wide-area analyses were examined. In setting a rainfall factor, the amount of precipitation that was forecast under the Research Program on Climate Change Adaptation (RECCA) conducted by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan was used to estimate the soil loss amount in anticipation of future climate changes. In terms of the regional characteristics of soil loss at fields without protective measures, it was confirmed that many such fields whose soil loss was forecast to exceed the annual acceptable level were located in southern Hokkaido, where steep upland fields are common. Regarding the upland fields whose soil loss was forecast to exceed the annual acceptable level even with protective measures (e.g., furrowing transversely across the slope) taken for farming management, it was suggested that measures for controlling soil loss would be necessary from the viewpoint of sustainable farmland maintenance. Additionally, it was predicted that the average amount of soil loss across Hokkaido would be 1.26 times the current level due to the increase in the rainfall factor.

Key words : *Farmland conservation, Climate change, GIS, Wide-area estimation, Acceptable soil loss volume*