

WEPP における受食係数推定式の更新と推定精度の検証

Update of soil erodibility estimation formula and verification of accuracy in WEPP

○石崎 弘真* 大澤 和敏** 松井 宏之**

○Hiromasa ISHAZAKI*, Kazutoshi OSAWA*, Hiroyuki MATSUI*

1. 背景と目的

日本国内では土壌侵食(水食)が問題となっており、侵食を抑制するために様々な対策が検討されている^{1),2)}。その対策を事前に評価し、効率的な対策を実施するためには、水食のシミュレーション解析を行い、土壌侵食量を予測することが有効的である。WEPP(Water Erosion Prediction Project)³⁾は土壌侵食量が出力されるプロセスベースモデルである。WEPP を国内で適用する際の課題として、土壌条件の入力項目である粒度と受食係数の決定方法が挙げられる。粒度に関して、粒径区分が WEPP では USDA 法、日本国内では国際法が一般的であるため WEPP に適用することはできない。また受食係数に関して、WEPP では、各土壌固有の侵食のされやすさを受食係数(インターリル受食係数 K_{ib} 、リル受食係数 K_{rb} 、限界掃流力 τ_{cb})として表現している。受食係数は、侵食試験によって求める試験値を用いるのが理想的であるが、試験値が得られていない場合には、米国土壌を対象として構築された推定式から算出される推定値を用いる。町田ら⁴⁾は、沖縄県の土壌の受食係数について検討した結果、推定値は適切でないことを報告している。そのため、日本の土壌に適用可能であるかは不明であり、確認事例も少ない。石崎ら⁵⁾は日本の 11 土壌を対象に新たな受食係数の推定式を構築したが、推定精度の検証はなされていない。そこで本研究では、WEPP の日本における適用性向上を目指し、12 土壌を対象として粒度分析および侵食試験を行い、受食係数推定式を更新し、侵食量の実測値と比較することで、推定精度を検証する。

2. 方法

2.1 室内試験

【供試土壌】土壌は、石崎ら⁵⁾がまとめた北海道、福島、栃木、群馬、沖縄の 11 土壌に加え、津別土壌の流水試験および北海道標茶土壌の粒度と降雨試験を対象とした。また、WEPP における既存の推定式(以降、既存式)の構築のために測定された米国土壌 33 種の受食係数や物理的特性を用いる⁶⁾。

【粒度試験】ふるい分析は JISA 1205 の方法に従い、沈降分析には ISO 11277 の方法に従っている圧力変化から粒度を算出する装置(PARIO, アイネクス社)を用いた。

【侵食試験の方法】小島ら²⁾の試験方法に従った。降雨試験ではインターリル受食係数 K_{ib} を算出し、流水試験では、リル受食係数 K_{rb} および限界掃流力 τ_{cb} を算出した。

2.2 推定式の構築方法

粒度区分の変換式の構築および、受食係数推定式の構築方法は石崎ら⁵⁾の方法に従った。

Table 1 WEPP の入力条件

土壌	受食係数：各推定式より算出
営農	裸地
地形	斜面長：20m, 傾斜：3, 5, 8%
気象	降水量：金武町(不足データは読谷) その他：那覇

2.3 侵食量の解析値と実測値との比較

沖縄県金武町で行われた侵食量の実測値⁷⁾と比較する。土壌は粒度などの物理的特性が異なる 2 種の国頭マージ、粒度は国際法で区分されていたため、本研究で提案した変換式を用いて USDA 法に変換した。WEPP への入力条件を Table 1 に示す。

*宇都宮大学大学院地域創成科学研究科 (Graduate School of Regional Development and Creativity, Utsunomiya University)

**宇都宮大学 農学部 (School of Agriculture, Utsunomiya University)

キーワード：土壌侵食, WEPP モデル, 受食係数

3. 結果と考察

3.1 受食係数推定式

津別土壤の流水試験結果 K_{rb} は $1.76 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, τ_{cb} は 1.15 Pa となった。また、標茶土壤の降雨試験結果, K_{ib} は $0.632 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となった。これらの試験結果を加え, 新たな受食係数の推定式を構築した (Table 2)。以前

の推定式³⁾と比較して K_{rb} の NSE の値が 0.27 から 0.39 となり, 推定精度は向上した。一方で, K_{ib} と τ_{cb} は, NSE の値がそれぞれ 0.27 から 0.21, 0.77 から 0.67 となり, 推定精度が若干低下したが, NSE と RMSE の値から依然として既存式よりも推定精度が高いことが言える。

3.2 侵食量の解析値と実測値との比較

国頭マージ土壤 A の野外試験に関して, 全期間の実測の侵食量と計算値を比較した結果を Fig. 1 に示す。既存式を用いた侵食量は, 過小評価する傾向にあった。一方, 新たな式を用いた侵食量は, 観測値と概ね適合した。また, USLE は新たな式と同程度の推定精度であった。イベントごとの侵食量を比較した結果, NSE は USLE, 既存式, 新たな式の順に 0.79, -0.04, 0.70 となり, 新たな式は既存式よりも推定精度が高まることが分かった。

国頭マージ土壤 B の野外試験に関して, 全期間の実測の侵食量と比較した結果を Fig. 2 示す。USLE は全傾斜において侵食量を過大評価する傾向にあった。既存式は 5°において過小評価であったが, その他の傾斜では概ね適合した。新たな式は 8°において過大評価する結果となった。イベントごとの侵食量を比較した結果, NSE は USLE, 既存式, 新たな式の順に -13.95, -2.11, -5.10 となり, 全ての解析条件において推定精度が低かった。これは, 新たな式を構築するための対象とした土壤におけるもっとも粘土が多い土壤は 49.7%であるのに対して, 国頭マージ土壤 B は 63.4%であるため, 対応できなかったと考えられ, 推定式の構築方法に課題が残る結果となった。

4. 結論および今後の課題

更新した受食係数の推定式は NSE の値から以前の式よりも推定精度は若干低下したが, 依然として既存式よりも推定精度は高いことが言える。また 2 事例の野外試験の実測値と比較した結果, 一方では推定精度が高まり, 他方ではすべての解析条件で推定精度が低かった。推定値は負の値となる可能性があるため, 説明変数の上下限值および式の関数形などを今後再検討する必要がある。

引用文献

- 1) 塩野ら: 黒ボク土畝立て圃場の土壌侵食に対するキャベツ栽培の影響, 農業土木学会論文集, pp.1-9, 2004.
- 2) 小島ら: 藻類・菌類による被覆土壌の受食性評価および WEPP による侵食解析. 土木学会論文集, 2018.
- 3) Nearing et al.: A Process-Based Soil Erosion Model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology, Transactions of the ASAE, 32(5), pp.1587-1593,1989.
- 4) 町田ら: 沖縄県における赤土流出の解析を目的とした WEPP モデルの適用性の向上, 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.350-351, 2019.
- 5) 石崎ら: WEPP の日本における適用性向上を目指した土壌の受食性の評価, 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, pp.613-614, 2020
- 6) William J. Elliot.: "A Compendium of Soil Erodibility Data from WEPP Cropland Soil Field Erodibility Experiments 1987 and 1988" NSERL Report No. 3, 1989.
- 7) 翁長謙良: 沖縄県島北部地方における土壌侵食の実証的研究. 琉球大学農学部学術報告, 第 33 号, pp111-209,1986.

Table 2 構築した受食係数推定式の評価

種別	変換式	推定式	NSE	RMSE
粒度区分		$Sand_{US} = -0.906 Clay_{int} - 1.109 Silt_{int} + 0.886$	0.903	0.06
K_{ib} ($\text{kg} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-4}$)	既存式	$Sand_{US} \geq 30\% : K_{ib} = 2728000 + 1921000 vfs$ $Sand_{US} < 30\% : K_{ib} = 6054000 - 5513000 Clay_{US}$	-137.71	4.3×10^6
	新たな式	$K_{ib} = 6.95 \times 10^5 Clay_{US} - 1.83 \times 10^5 Ln(vfs_{US}) + 1.87 \times 10^5$	0.21	3.1×10^5
K_{rb} ($\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$)	既存式	$Sand_{US} \geq 30\% : K_{rb} = 0.00197 + 0.03 vfs + 0.03863 e^{-184 orgmat}$ $Sand_{US} < 30\% : K_{rb} = 0.0069 + 0.134 e^{-20 clay_{US}}$	-0.03	0.005
	新たな式	$Sand_{US} \geq 30\% : K_{rb} = 0.00124 + 0.032 vfs + 0.08140 e^{-533 orgmat}$ $Sand_{US} < 30\% : K_{rb} = 0.0048 + 0.4615 e^{-13.3 clay_{US}}$	0.39	0.003
τ_{cb} (Pa)	既存式	$Sand_{US} \geq 30\% : \tau_{cb} = 2.67 + 6.5 Clay_{US} - 5.8 vfs$ $Sand_{US} < 30\% : \tau_{cb} = 3.5$	-9.32	2.16
	新たな式	$\tau_{cb} = 2.12 clay - 0.458 Ln(Sand_{US}) - 0.006$	0.67	0.38

Sand_{US}, Silt_{US}, Clay_{US}: USDA 法による砂, シルト, 粘土の含有率(0-1), *vfs*: 極細砂の含有率(0-1), *Sand_{int}, Silt_{int}, Clay_{int}*: 国際法による砂, シルト, 粘土の含有率(0-1), *orgmat*: 有機物含有率(0-1)

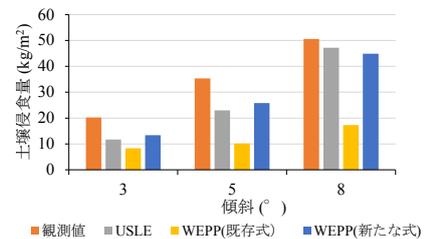


Fig. 1 国頭マージ A の侵食量(総量)

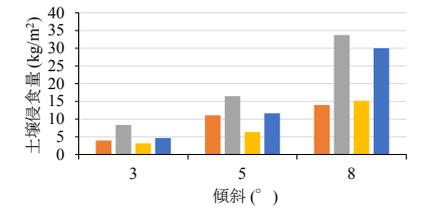


Fig. 2 国頭マージ B の侵食量(総量)