

WEPP による侵食解析に用いる土壌の受食係数の検討

A study on soil erodibility for applying the WEPP model to Japan

○大澤 和敏* 石崎 弘真** 町田 元**
○Kazutoshi OSAWA*, Hiromasa ISHIZAKI**, Gen MACHIDA**

1. 背景と目的

世界各地で土壌侵食が現在でも問題視されており、日本でも畑地における表土流出に伴う営農の問題や過剰な土砂や汚染物質の流出に伴う環境的問題が生じている地域が多くある。水食を予測するための解析モデルとして、WEPP (Water Erosion Prediction Project) が挙げられる。WEPPはUSDA(アメリカ農務省)によって開発された水食による土壌侵食量を予測するプロセスベースのモデルである。WEPPに入力する条件として作物管理条件、気象条件、土壌条件、地形条件などの項目がある。WEPPに入力する土壌条件には受食係数という、土壌の侵食されやすさに関する指標があるが、日本国内の土壌に対して係数の実測や検証の事例はほとんどない。そこで本研究では、複数の日本国内の土壌を対象として、受食係数の測定、既存の推定値との比較、実圃場における侵食量の実測値とWEPPの計算値との比較を行い、日本土壌に受食係数を設定するための留意点について検討することを目的とする。

2. 研究方法

【受食係数の測定】WEPPで用いられている受食係数には、流路での流水による土壌の受食性を表すリル受食係数 K_{rb} 、限界掃流力 τ_{cb} 及び流路間の斜面における土壌の受食性を表すインターリル受食係数 K_{ib} がある。これらの受食係数の決定方法としては、土壌の粒度や有機物含有率などを変数とする推定式を用いる方法が一般的であるが、本研究では日本各地の土壌を対象に K_{rb} 、 τ_{cb} 、 K_{ib} を実測する。供試土壌は、Table 1 に示した 11 土壌である。受食係数の測定は小島ら(2018)が行った室内試験に準拠する。インターリル受食係数は供試土を充填した土壌槽に対して降雨装置(レインカーテン、テクノコア社)による模擬降雨によって発生するインターリル侵食量、土壌槽の傾斜、降雨強度から算出する。リル受食係数は、供試土を充填した土壌槽の表面に作成した流路に発生させた水流によるリル侵食量、土壌槽の傾斜、水流の流量から算出する。各受食係数の算定には以下の式を用いる。

$$D_i = K_{ib} \cdot I \cdot \sigma \cdot S \quad (1) \quad D_f = K_{rb} \cdot (\tau_f - \tau_{cb}) \quad (2)$$

ここで、 D_i : インターリル侵食量($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、 K_{ib} : インターリル受食係数($\text{kg} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}$)、 I : 降雨強度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)、 σ : 流出高($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)、 S : 傾斜を考慮した係数、 D_f : リル侵食量($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、 K_{rb} : リル受食係数($\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$)、 τ_f : 表面流の掃流力(Pa)、 τ_{cb} : 土粒子の限界掃流力(Pa)である。

【WEPPの解析条件】 上述の侵食試験によって得られた受食係数の試験値をWEPPの土壌入力データに用いてWEPPによる侵食解析を行い、受食係数に推定値を用いた解析結果と比較する。また、沖縄県石垣市における島尻マージ土壌の受食係数をWEPPの土壌入力データに反映させて、土壌採取場所である畑地(斜面長約80m、傾斜3%)に適用し、侵食量の実測値(大澤ら、2005)と比較する。

3. 結果および考察

群馬県嬬恋の黒ボク土のインターリル侵食量とリル侵食量の測定結果をFig.1に示す。それぞれの近似直線の傾きがインターリル受食係数 K_{ib} 、リル受食係数 K_{rb} となり、リル侵食量の近似直線の横軸切

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

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

キーワード: 農地保全, 土壌侵食, WEPP, 受食性

片が限界掃流力 τ_{cb} となる。同様に測定した各土壌の受食係数を **Table 1** に示す。WEPP で定められている受食係数の推定式による推定値と比較すると、 K_{rb} は同程度

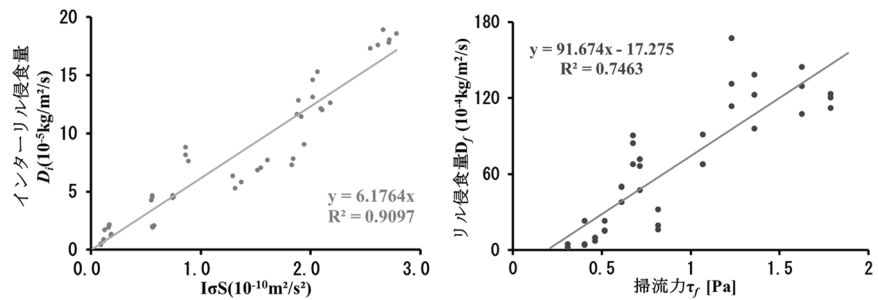


Fig.1 インターリル侵食量 (左図) とリル侵食量 (右図) (群馬県嬭恋の黒ボク土)

の値をとることが多かつたが、 K_{ib} と τ_{cb} は大きく異なる傾向にあった。 K_{ib} の試験値は推定値と比べて変動範囲が小さく、 τ_{cb} の推定値は 3.5 で頭打ちになる傾向にあった。受食係数に試験値または推定値を用いた場合における WEPP による侵食量の解析結果を **Fig.2** に示す。なお、米国土壌の結果は、WEPP の開発時に測定された Elliott ら(1989)の受食係数を用いた。また、解析では土壌入力データ以外の入力条件は同じとした。日本土壌では概ね 1:1 に対応したが、沖縄における 3 つの土壌では、推定値による侵食量は試験値による侵食量の 0.5~2.6 倍となり、差が大きい傾向にあった。

上述の推定値と試験値を用いた侵食量の差が比較的大きかった沖縄県石垣市の畑地における侵食量の実測値と WEPP による計算値を **Table 2** に示す。全ての試験区において受食係数に試験値を用いた侵食量の計算値は、推定値を用いた計算値と比べて適合性が高かった。

4. 結論

各受食係数の推定式を使用した場合、多くの日本土壌に適用しても侵食量には影響が小さいことが確認できたが、一部の土壌では予測精度が低下することや物理的な侵食過程 (インターリル侵食, リル侵食過程) を十分に表現できない可能性があることに留意する必要がある。今後、更に受食係数の試験値を蓄積するとともに、土壌特性を反映させた形で新たな推定式を提案し、日本各地における土壌の受食係数をデータベースとして整備することが、WEPP の適用性の向上のために必要である。

引用文献

Elliott, W.J., A.M. Liebenow, J.M. Laflen and K.D. Kohl. (1989) A Compendium of Soil Erodibility Data from WEPP Cropland Soil Field Erodibility Experiments 1987 & 1988. NSERL Report No.3, USDA-ARS National Soil Erosion Research Lab.
 小島 晃, 大澤 和敏, 松浦 麻希, 藤澤 久子, 富坂 峰人, 松井 宏之 (2018) 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 G (環境), Vol. 74, No.5, pp. I 233-I 239.
 大澤和敏, 山口悟司, 池田駿介, 高椋恵 (2005) 農地における土砂流出抑制対策の比較試験, 水工学論文集, 第 49 巻, pp.1099-1104.

Table 1 各土壌の受食係数の試験値と推定値

土壌 (採取場所)	K_{ib} ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-4}\cdot\text{s}$) *	K_{rb} ($\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$) *	τ_{cb} (Pa) *
黒ボク土	0.55×10^6	0.15×10^{-2}	2.38
(北海道津別)	(3.95×10^6)	(0.39×10^{-2})	(2.82)
黒ボク土	1.58×10^6	0.58×10^{-2}	1.21
(群馬県太田)	(3.55×10^6)	(0.32×10^{-2})	(3.31)
黒ボク土	0.62×10^6	0.92×10^{-2}	0.19
(群馬県嬭恋)	(8.43×10^6)	(1.11×10^{-2})	(1.34)
黒ボク土	0.66×10^6	0.52×10^{-2}	0.66
(栃木県宇都宮)	(4.86×10^6)	(0.53×10^{-2})	(2.59)
黒ボク土	0.74×10^6	0.24×10^{-2}	0.14
(福島県飯館)	(3.21×10^6)	(0.27×10^{-2})	(3.44)
褐色森林土	0.69×10^6	1.23×10^{-2}	0.15
(福島県飯館)	(6.67×10^6)	(0.81×10^{-2})	(1.83)
灰色低地土	0.48×10^6	0.15×10^{-2}	0.20
(福島県飯館)	(5.17×10^6)	(0.58×10^{-2})	(2.96)
国頭マーヅ	1.22×10^6	0.97×10^{-2}	1.02
(沖縄県東)	(4.18×10^6)	(0.71×10^{-2})	(3.50)
ジャーガル	1.12×10^6	0.08×10^{-2}	2.26
(沖縄県八重瀬)	(3.31×10^6)	(0.69×10^{-2})	(3.50)
島尻マーヅ	0.25×10^6	0.30×10^{-2}	1.56
(沖縄県八重瀬)	(4.52×10^6)	(0.74×10^{-2})	(3.50)
島尻マーヅ	0.65×10^6	0.10×10^{-2}	0.23
(沖縄県石垣)	(3.53×10^6)	(0.32×10^{-2})	(2.76)

* () の値は推定値

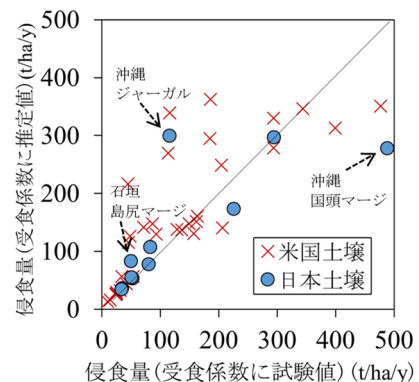


Fig.2 受食係数の決定方法別の侵食量の関係

Table 2 侵食量の実測値と WEPP による計算値

試験区	侵食量 実測値 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	推定値による 侵食量計算値 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	試験値による 侵食量計算値 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)
無耕作区	1.87	5.08 (-3.08) *	2.14 (0.96) *
サトウキビ 慣行栽培区	0.58	0.46 (0.60) *	0.50 (0.84) *
サトウキビ 不耕起栽培区	0.062	0.160 (-14.95) *	0.056 (0.28) *

* () の数値は Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient (NSE)