

## 降雨エネルギーに基づく WEPP のインターリル侵食過程の評価 Study on interrill erosion process in WEPP model based on rainfall energy

○近藤 航樹\* 大澤 和敏\*\* 松井 宏之\*\* 西村 拓\*\*\*

○Kazuki KONDO\*, Kazutoshi OSAWA\*\*, Hiroyuki MATSUI\*\* and Taku NISHIMURA\*\*\*

### 1. 背景と目的

土壌侵食(水食)を予測するための解析モデルとして、米国農務省によって開発された USLE (Universal Soil Loss Equation)<sup>1)</sup>や WEPP (Water Erosion Prediction Project)<sup>2)</sup>が挙げられる。WEPPは作物管理、気象、土壌、地形の4条件を入力値として水や土砂の動態を解析するプロセスベースのモデルである。雨滴侵食や面状侵食を含むインターリル侵食量の解析過程において、降雨強度が変数として用いられている。一方、USLEの降雨係数には雨滴が地表面に与える運動エネルギーが考慮されており、精度の良い侵食量の予測を可能とする一因となっている。同じ降雨強度でも雨の降り方によっては雨滴の粒径分布が異なり、それが侵食量に影響を及ぼすことが予想される。そこで本研究では、雨滴の粒径や落下速度から降雨エネルギーを評価し、その違いが WEPP のインターリル侵食過程に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

### 2. 方法

【侵食試験】栃木県宇都宮市で採取した黒ボク土を供試土壌としてインターリル侵食試験を実施した。測定は小島ら<sup>3)</sup>の方法に準拠した。2種類のノズル(標準ノズル、豪雨ノズルと呼ぶ)を装備した降雨装置(レインカーテン、テクノコア)を用いて供試土壌に雨を降らせ、土壌固有の降雨による侵食の程度の指標であるインターリル受食係数  $K_{ib}$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-4}\cdot\text{s}$ ) を式(1)から算出した。

$$D_i = K_{ib} \cdot I \cdot \sigma \cdot S \quad (1)$$

ここで、 $D_i$ : インターリル侵食量 ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )、 $I$ : 降雨強度 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )、 $\sigma$ : 流出高 ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )、 $S$ : 傾斜を考慮した係数である。降雨装置の設定として、標準ノズルのみを用いた場合と標準ノズルと豪雨ノズルを併用した場合の2種類で試験を行った。

【降雨エネルギーの測定】ディストロメータ (5.4110.00, THIES) を用いて、1 分間ごとの粒径・落下速度別の雨滴数の分布を測定した。そのデータを基に単位降水量あたりの降雨エネルギー  $KE$  ( $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$ ) を算出した。さらに、 $KE$  に降雨強度  $I$  をかけることによって、単位時間当たりの降雨エネルギー  $E_t$  ( $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ) を算出した。

### 3. 結果と考察

【降雨装置の降雨エネルギー】降雨装置の雨について単位降水量あたりのエネルギー  $KE$  を測定した結果、降雨強度に関わらずノズルごとにほぼ一定の値となり、標準ノズルでは  $14.4 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$ 、豪雨ノズルでは  $38.3 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$  となった。 $KE$  の違いは雨滴の粒径や落下速度の違いによるものであった。

【降雨とインターリル侵食量の関係】インターリル侵食試験の結果を Fig. 1 に示した。図は  $I\cdot\sigma\cdot S$  と  $D_i$  の関係を表しており、原点を通る近似直線の傾きが  $K_{ib}$  となる。降雨装

\* 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)

\*\*\* 東京大学大学院農学生命科学研究科 (Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo)

キーワード: 農地保全, 土壌侵食, 降雨装置, ディストロメータ

置に用いたノズルの違いによって、 $K_{ib}$  は異なる値となり、標準ノズルと豪雨ノズルを併用した方が  $K_{ib}$  は大きくなった。このことから、インターリル侵食量やインターリル受食係数は降雨エネルギーと関係があることが予想される。

侵食試験における  $I \cdot \sigma \cdot S$  の値に  $KE$  を乗じて  $E_t \cdot \sigma \cdot S$  とし、それと  $D_i$  の関係を Fig. 2 に示した。Fig. 1 とは異なり、ノズルの違いによらず 1 つの近似直線で表すことができた。このことから、降雨強度  $I$  ではなく降雨エネルギー  $E_t$  の方が、インターリル侵食量との関係性が強いことが示された。

【自然降雨に対応した受食係数の推定】坂西ら<sup>4)</sup> は、つくばと石垣島における自然降雨の  $KE$  を観測した結果、三原の式(式(2))を下限、Wischmeier の式(式(3))を上限として分布したと報告している。

$$KE_M = 8.4I^{0.2} \quad (2) \quad KE_W = 11.9 + 8.7 \log I \quad (3)$$

上述の侵食試験の結果と  $KE_M$ ,  $KE_W$  を用いて、自然降雨のエネルギーを反映した  $K_{ib}$  を降雨強度ごとに算出した結果を Fig. 3 に示した。受食係数の範囲は降雨強度と降雨エネルギーによって変動することが示唆された。Fig. 1 の標準ノズルによる受食係数 ( $0.76 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}$ ) に着目すると、 $12.3 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  以上の降雨強度の範囲で受食係数の下限値より小さい値をとる。つまり、降雨強度の大きい降雨イベントを含む気象条件を設定した場合、標準ノズルのみを用いた侵食試験で得られた受食係数を用いると、WEPP の侵食量の解析結果は過小評価となる。そのため、ユーザーは図中の灰色の範囲から任意の受食係数を選択利用することで、適切な侵食量の評価が可能になると考えられる。

#### 4. 結論と今後の課題

降雨強度ではなく降雨エネルギーを用いることで、インターリル侵食量を的確に評価できることが分かった。また、自然降雨の条件下では、降雨強度によって取りうる受食係数の範囲が異なることが示唆された。この結果は、短時間強雨等に対する侵食量の評価に用いるなどの応用が期待される。今後は複数土壌による検証を行い、降雨エネルギーと侵食量との関係性について知見を深める必要がある。

#### 引用文献

- 1) Wischmeier, W.H. and D.D. Smith: Predicting rainfall-erosion losses, *Agricultural Handbook No. 537*, USDA Washington D.C., 1978.
- 2) USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory: USDA-Water Erosion Prediction Project hillslope profile and watershed model documentation, *NSERL Report No. 10*, 1995.
- 3) 小島 塁, 大澤 和敏, 松浦 麻希, 藤澤 久子, 富坂 峰人, 松井 宏之: 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), 74(5), pp.1 233-1 239, 2018.
- 4) 坂西研二, 麓多門, 大脇良成, 菅原和夫: Disdrometer を用いた雨滴粒径分布と運動エネルギーの測定, 農業土木学会論文集, 204, 67(6), pp.119-125, 1999.

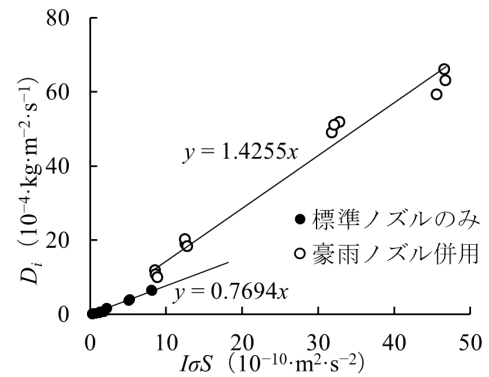


Fig. 1 インターリル侵食試験の結果  
Result of interrill erosion test

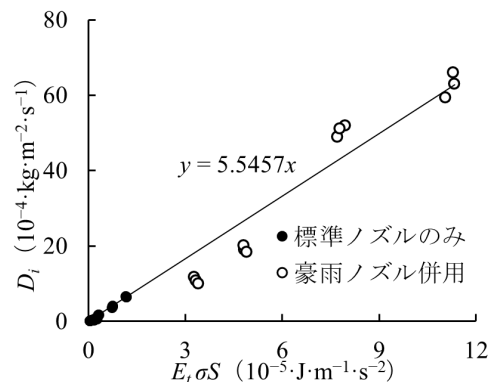


Fig. 2  $E_t$  を指標とした変数と  $D_i$  の関係  
Relationship between  $E_t \sigma S$  and  $D_i$

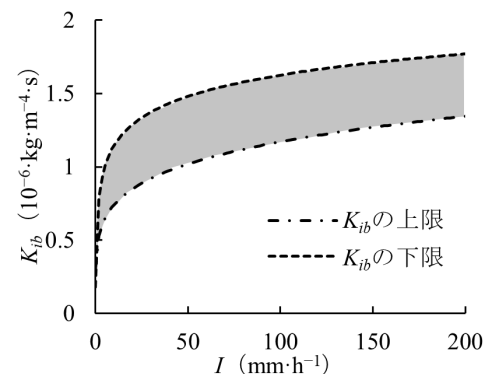


Fig. 3 自然降雨の降雨強度  $I$  に対する  
受食係数  $K_{ib}$  の範囲  
Range of interrill erodibility for natural  
rainfall intensity