

WEPPによる畑地流域からの土砂流出量の推定

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム ○ 高須賀 俊之
鵜木 啓二
中村 和正

農地からの土砂流出が生じると、農地の生産力低下や土砂堆積による排水路の機能低下、下流域での水生生物の生育環境や漁業への影響が問題となる。土砂流出対策の適切な実施のためには、流出量の予測技術が必要である。本研究では畑地流域からの土砂流出量予測技術の開発に向けて、土砂流出モデルであるWEPP(Water Erosion Prediction Project)の適用方法と実測値の再現性を検討した。

キーワード：土砂流出、WEPP、物理モデル、農地

1. はじめに

農地からの土砂流出は、作土の流亡による生産性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、その濁水が下流域の水環境を変化させる原因となり、水生生物の生育環境や漁業への悪影響も懸念される。北海道の畑地は、表面流出が集中しやすい大区画圃場や傾斜圃場が存在すること、受食性の比較的高い火山灰土壌等が分布すること、地表面が被覆されていない状態で融雪出水の影響を受けることなどから、土壌浸食を受けやすい。農地の土壌侵食や河川への土砂流出を抑制する対策を適切に実施するためには、流出量の予測技術が必要である。

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(Universal Soil Loss Equation 汎用土壌流亡予測式)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という長所があるものの、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などの短所がある。

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(Water Erosion Prediction Project)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

効果を見積ることができる。

本研究では、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。

2. WEPPモデルについて

(1) WEPPの概要

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¹⁾。

WEPPモデルは、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-1)。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。

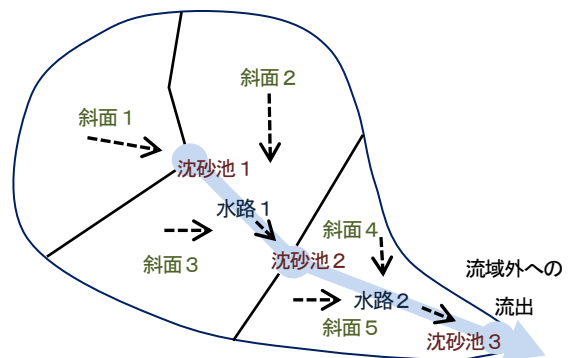


図-1 WEPPモデルの流域構成
(WEPP Model Documentation²⁾より作図)

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-2）。

WEPPを適用するために必要な主な入力データを表-1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。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。

(2) 日本での 適用事例

日本国内においてもWEPPを扱った研究が取り組まれており、数件の適用事例が存在する。

沖縄県の事例⁴⁾では、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⁵⁾では、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。

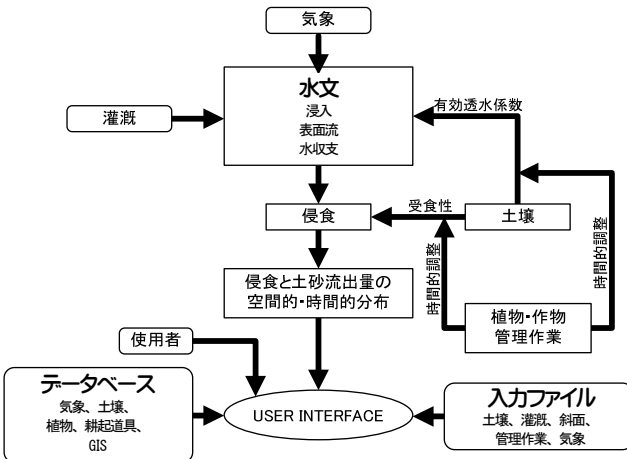


図-2 WEPPモデルの土壌侵食過程
(WEPP Model Documentation²⁾より作図)

表-1 WEPPの入力データ³⁾

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
斜面	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
	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	
	地形	斜面と同じ
	管理	
	特性	形状、粗度、侵食に関するパラメータ群
沈砂池	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

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。

3. 対象流域と条件設定

(1) 対象流域

WEPPによる土砂流出量算出の精度検証には、網走川支流のあやめ沢、豊幌川、シンケビホロ川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-3および表-2に示す。

上記3流域の下流端に設置されている沈砂池で、堆積土砂量と流出土砂量を観測し、これらを合わせて流域からの流出土砂とした。本研究で検証に用いた土砂流出量の観測期間は平成14年6月5日から翌年の6月4日までの1年間である。

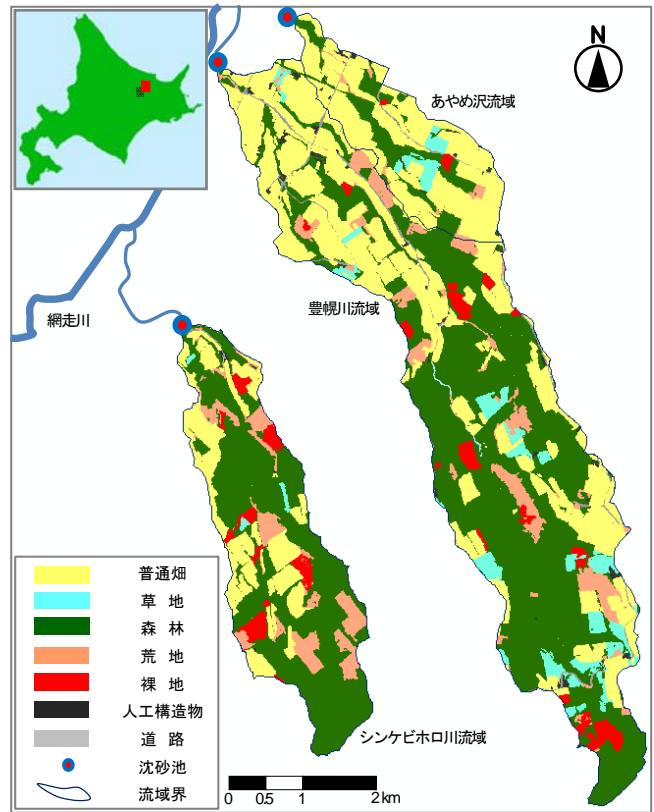


図-3 対象流域位置図および土地利用図

表-2 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

(2) データセットの作成

上記の3流域について、表-1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⁶⁾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、GIS(ArcGIS)で作成した。実際の斜面は不規則な形状をしているが、WEPPモデル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価となるように設定した(図-4)。

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。作物管理スケジュールについては、WEPPモデルでは当該年の1月1日から12月31日の1年間で計算するのに対し、現地の土砂流出量を実測した期間が6月5日から翌年6月4日であるため、すべての作物管理の日程を実際の日付から156日前に移行し、計算上1月1日から開始する解析を行った。

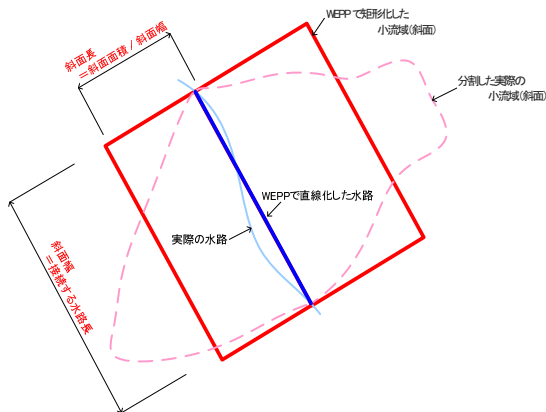


図-4 斜面平面形状の矩形化

4. 結果と考察

(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%と大きく乖離した。そこで、感度分析の結果、最も影響の大きかった土壌の有効透水係数に着目し、これを調整することで再現性の向上を試みた。

今回対象とした3流域で、0.1mm/hきざみで有効透水係数を変化させて流出土砂量を算出し、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(図-5)。その結果、有効透水係数を1.8mm/hとしたとき、最も誤差が小さい解析結果を得られることが分かった(図-6)。

当該流域の土壌は2~4種類で構成されており、土壌固有のCEC(陽イオン交換量)、粒度構成割合などのパラメータは、既存の調査結果に基づき個別に数値を入力した。しかし、調整後の有効透水係数は、いずれの土壌も同じ値を入力した。つまり、今回の調整では有効透水係数に関しては各流域の土壌構成の違いを無視しており、今後各土壌の有効透水係数を個別に検証、設定することで、流域ごとの計算値と実測値の差異を低減できる可能性がある。

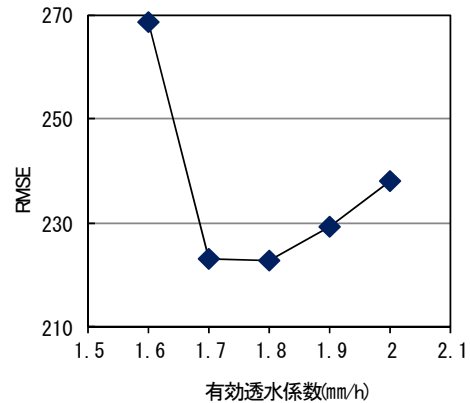


図-5 有効透水係数とRMSEの関係

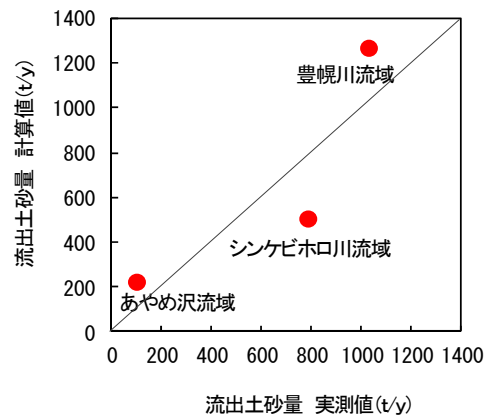


図-6 実測値と計算値の関係
(有効透水係数1.8mm/h)

(2) 土地利用と流亡土砂量

3つの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-7に示す。

図-3に示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1.0t/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大きい結果となった。

これらの土地利用と流亡土砂量の計算値の対応は、森林など植生が1年を通じて存在する場所で土砂流出が少

なく裸地が多い、農地の中でも草地より普通畑のほうが土砂流出が多い、など一般的に知られる土砂流出の特性に合致している。

(3) 斜面勾配と流亡土砂量

流域の標高を図-8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が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-7に示した解析結果および、図-3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、斜面勾配の大小による流亡土砂量の差は少なかった。

これらのことから、WEPPモデルでは入力した地形条件に即した、斜面からの土砂流亡量を再現できることを確認した。

5. おわりに

本研究では、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、

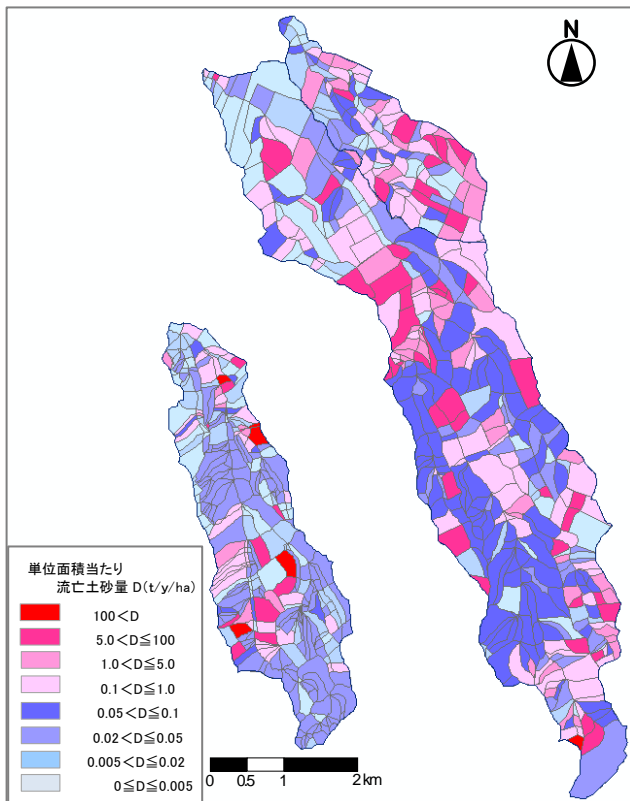


図-7 各斜面の単位面積あたり流亡土砂量

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亡土砂量が少なく、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。

今後は、流域モデルの斜面以外の構成要素である、沈砂池等についても注目し、パラメータの調整による再現性の向上を図った上で、流域内に土砂流出対策工を設置した場合の効果をシミュレーションする予定である。

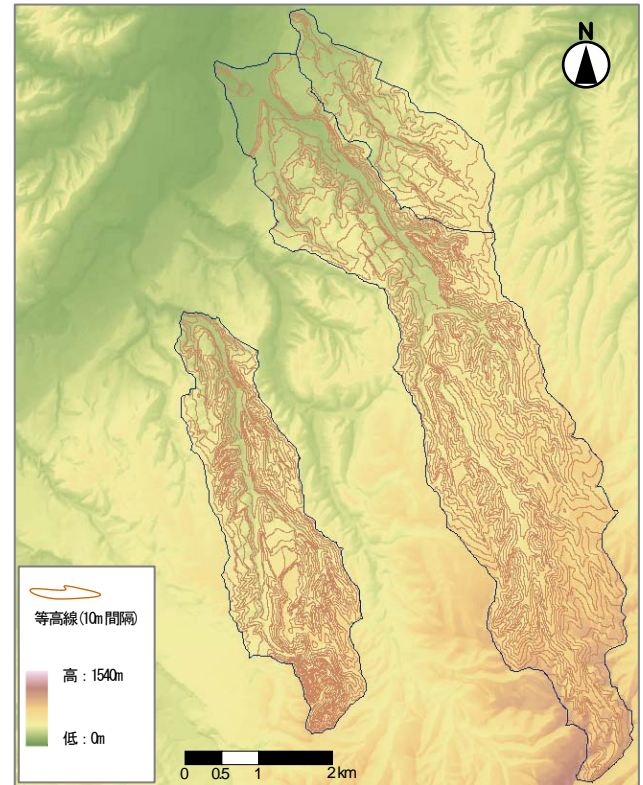


図-8 3流域の標高

参考文献

- 1) USDA ARS National Soil Erosion Research Lab : <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=10621>
- 2) USDA ARS National Soil Erosion Research Lab : WEPP Model Documentation, USDA, 1995 <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=18073>
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 今井啓・石渡輝夫: 統計資料等を用いて整理した北海道における土壌侵食因子の地域性について, 寒地土木研究所月報 No. 640, pp. 40-41, 2006