

# WEPPによる畑地流域からの土砂流出抑制対策の検証

(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  
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム 鵜木 啓二  
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 水利基盤チーム 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。土砂流出を抑制する対策を適切に計画・設計するためには、その予測技術が重要である。本研究では土砂流出モデルであるWEPP(Water Erosion Prediction Project)を用いて畑地流域を対象に土地利用や地形と土砂流出量の関係を分析した。また、モデル内で緩衝林帯や傾斜改良といった、土砂流出抑制対策の効果を検証した。

キーワード：土砂流出、WEPPモデル、農地、緩衝林帯、傾斜改良

## 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、土壌侵食を受けやすい。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。

土砂流出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的対策や営農的対策の効果を見積ることができる。

前報<sup>1)</sup>では、複数の畑地流域を対象にWEPPモデルの再現性を検証した。その結果、WEPPモデルのパラメータの1つである土壌の有効透水係数を調整すると流出土砂量の実測値と近似できることを明らかにした。また、斜面からの流出土砂量の計算値は、森林と草地は勾配に関わらず少ないこと、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傾向であることなど、実態を反映した結果となっていることを確認した。

本研究では、前報にてパラメータの調整により実測値と近似させた結果を用い、土地利用や地形と土砂流出量の関係を詳細に分析した。また、この分析結果から緩衝

林帯や傾斜改良といった土砂流出抑制対策が有効と判断されたので、これらを実施した場合の効果をWEPPモデルにて予測した。

## 2. WEPPモデルの概要

### (1) WEPPの概要

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。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

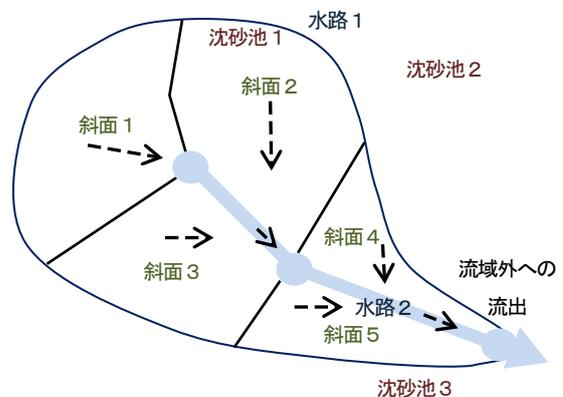


図-1 WEPPモデルの流域構成  
(WEPP Model Documentation<sup>2)</sup>より作図)

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。

### 3. 対象流域と条件設定

#### (1) 対象流域

分析の対象は、前報<sup>1)</sup>で対象とした網走川支流の3流域のなかで、農地率の最も高いあやめ沢流域とした。流域面積は410haで、その土地利用の内訳は普通畑63.2%、森林24.2%、草地3.7%、荒地、道路などその他が8.9%となっている(図-2)。

#### (2) WEPPモデルのデータ作成

WEPPモデルには、表-1に示すデータを入力した。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、国土交通省発行の「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データを用いた。土壌についてのデータには既存資料<sup>4)</sup>を参照して決定した値を用いたほか、現地土壌の調査による陽イオン交換容量(CEC)を用いた。土地利用および地形のデータは、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図-3のように矩形でモデル化する。斜面幅は斜面下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。あやめ沢の場合、109の斜面と、35本の水路、3つの沈砂池の集合体として表現される。農地や水路の管理は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

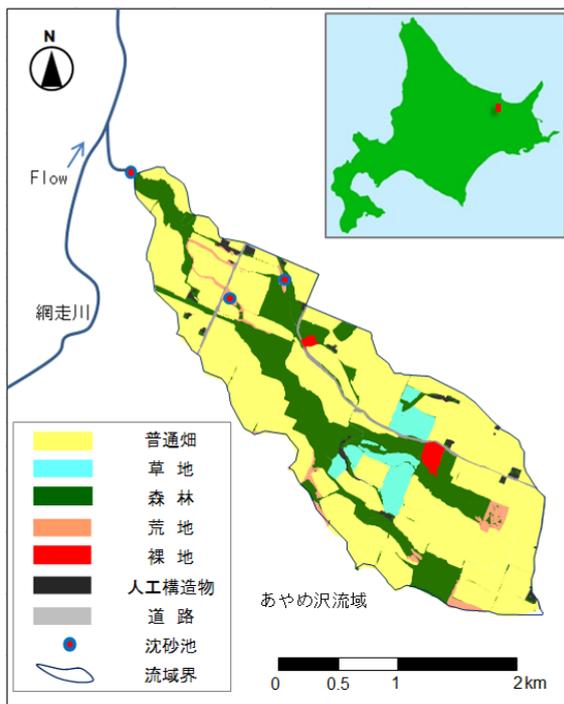


図-2 対象流域位置図および土地利用図

取り調査を行った。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2001年10月18日から翌年10月17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290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。

#### (3) 結果の出力と抑制対策の設定

WEPPモデルのシミュレーション結果は、斜面、水路、沈砂池それぞれの個別の要素に対し期間内の排水量と流出土砂量の合計値のほか、降雨・融雪等の出水イベント毎の流出土砂量が出力される。また、斜面の傾斜方向のどの位置で土砂の流亡と堆積があったかを参照できる。

今回の検討では、斜面からの流出土砂量を抑制することを目的として、斜面の土地利用や、斜面勾配・斜面長と土砂流出量の関係を分析した。斜面に対して行う土砂流出抑制対策の1つに緩衝林帯の設置や傾斜改良があり、WEPPモデルでは、個別の斜面の条件設定を変更することでそれらの対策の効果を推測することができる。緩衝林帯は、斜面の一部分の土地利用を森林に変更し、傾斜改良は、斜面の傾斜方向の線形を変更することで対応した。

表-1 WEPPの入力データ<sup>3)</sup>

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
	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
斜面	管理スケジュール	管理スケジュール
	管理	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	斜面と同じ
	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

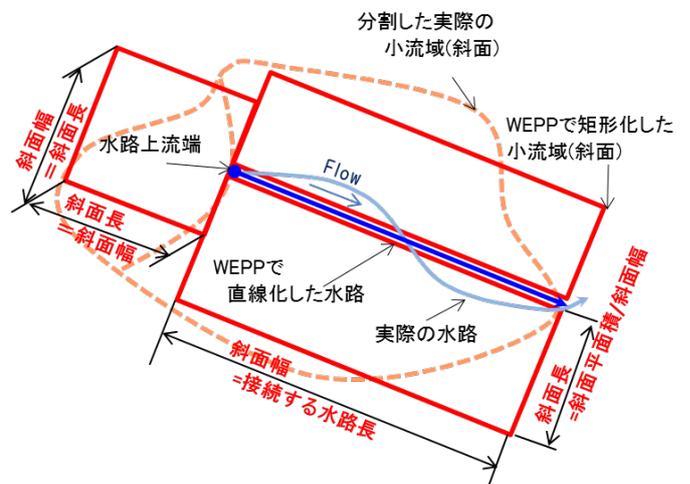


図-3 斜面のモデル化の一例

#### 4. 斜面の土地利用と流出土砂量

##### (1) 流出土砂量と土地利用の関係

各斜面の土地利用と流出土砂量の関係を分析した。図-4では色分けした棒グラフが各斜面の土地利用状況を示し、各要素の色分けの順序と高さの割合は、モデルで設定した斜面の土地利用の順序と長さに対応している(棒グラフの下端が水路に接している)。その手前に表示する細い赤色の棒グラフは各斜面からの1年間の単位幅あたりの流出土砂量を表している。図-4では流出土砂量の順に並べ替えて表示している。これを見ると、流出土砂量が多い斜面においては、森林の割合が少ない傾向にあることは明らかである(斜面番号99以降)。また、斜面上部に比較的長大な農地があっても、斜面の下端に森林が存在する斜面(斜面番号80, 82等)では土砂流出量が少ないことが確認できた。

##### (2) 緩衝林帯の整備による土砂流出抑制効果

前節にて斜面下端に森林があると土砂流出が抑制される効果のあることが確認されたことから、土砂流出抑制対策として、河畔緩衝林帯の効果をシミュレーションした。整備する緩衝林の幅は、既往研究<sup>5)</sup>では3~4mで緩衝帯を通過する土砂のほとんどが捕捉されるとしているから、余裕を見て5mとした。緩衝林帯で捉えられた土砂

は発生源に戻すことで、畑地の地力維持が期待できる。

WEPPモデル上で、すべての斜面の最下部5mの土地利用を森林にした。この時の各斜面の土地利用と単位幅あたり流出土砂量を図-5に示す。このグラフの斜面番号は図-4と同じである。9つの斜面で流出土砂量が0になったほか(斜面番号84, 102等)、全109斜面末端部からの流出土砂量合計が671t/yから212t/yに減少した。また、許容流出土砂量10t/ha<sup>6)</sup>以上の土砂流出があった斜面は、緩衝林帯整備前に4斜面であったのに対し、5mの緩衝林帯を整備することで1斜面になった。各斜面単位幅あたり流出土砂量の減少率の平均は30%であるが、緩衝林帯整備前で流出土砂量が大きかった20斜面については、その減少率の平均は73%であり、最大100%から最小33%と幅があった。これは緩衝林帯に至るまでの斜面上部で侵食された土砂量が大きいと、5mの緩衝林帯で十分捕捉できず、斜面末端まで流下する場合があること、緩衝林帯とした斜面最下部の傾斜の大きさによって、その土砂捕捉能力に違いがあることなどによる影響と考えられる。

さらに5mの緩衝林帯を設置してなお、許容流出土砂量を超える斜面に対し、緩衝林帯の幅を増やした条件を想定した。この斜面は、斜面長278mの畑地でジャガイモが作付けされており(斜面番号106)、緩衝林帯がない場合には年間の流出土砂量は16t/haである。緩衝林帯の幅を7m想定した場合に8t/haとなり初めて許容流出土砂量以

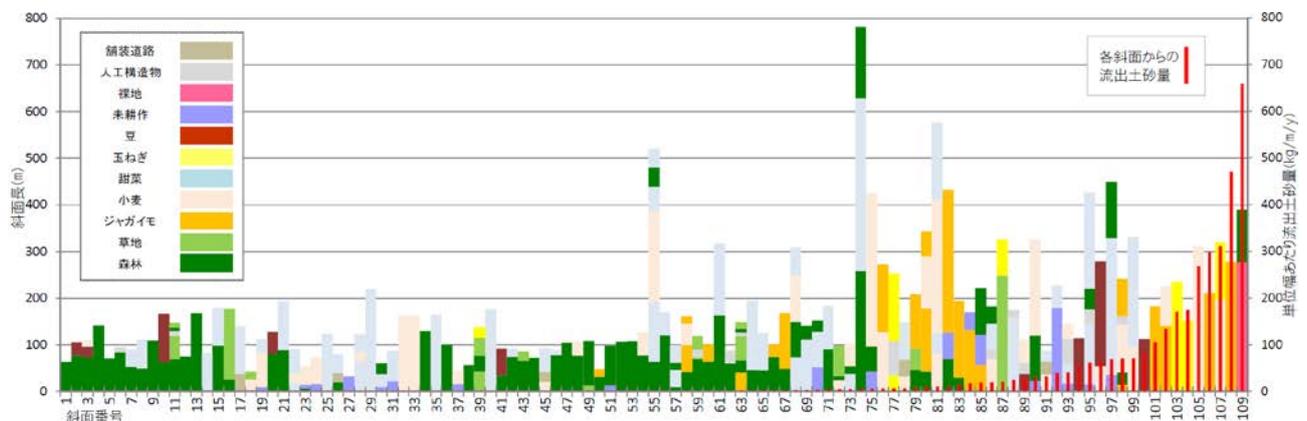


図-4 各斜面の土地利用と単位幅あたり流出土砂量

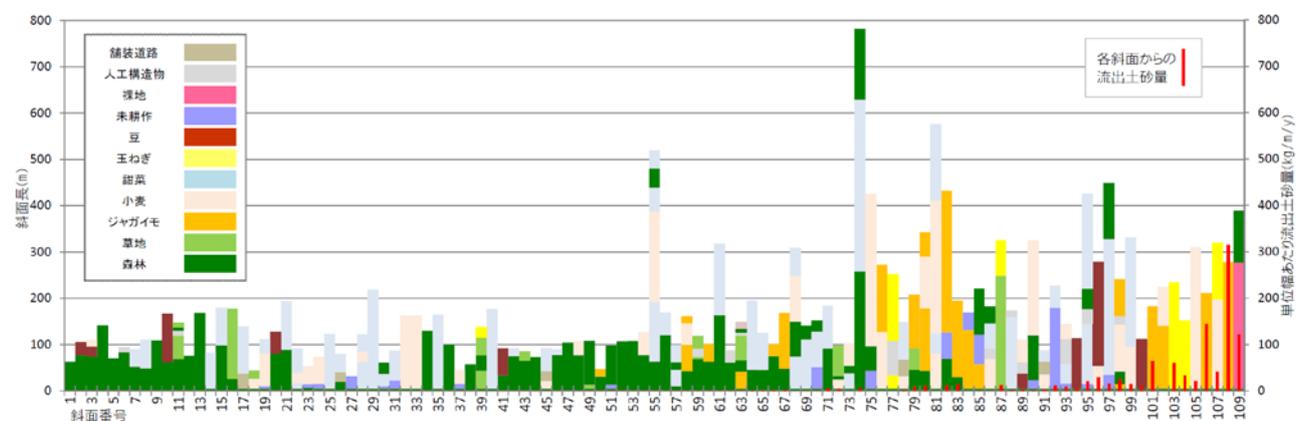


図-5 各斜面の土地利用と単位幅あたり流出土砂量(緩衝林帯5m整備時)

下となった。さらに緩衝林帯の幅を大きく設定した場合では、流出量自体は減り続けるものの、その低減する割合は小さくなっていくことがわかった。

## 5. 斜面の地形と流出土砂量

### (1) 流出土砂量と地形の関係

各斜面の傾斜と流出土砂量の関係に注目した。各斜面の平均勾配と流出土砂量の関係进行分析したところ、明確な相関関係を見出すことはできなかった(図-7)。傾斜が急であれば流出土砂量は増加すると考えられるが、前節で検討したように土地利用の違いの影響が大きく、斜面の傾斜の影響が出にくいためであると考えられる。また、斜面の傾斜の特に大きい場所は、畑地としての利用に適さない場所であり、森林として残されている場合が多く、急傾斜であってもそこからの土砂流出は比較的少ないことも要因である。

次に、流出土砂量の多かった20斜面について、その流出土砂量と斜面長および平均勾配の関係を図-8に示す。流出土砂量と斜面長・平均勾配の関係は明確ではないものの、特に大きな土砂流出は、斜面長200m以上か平均勾配5%以上の条件の斜面で発生していることがわかる。

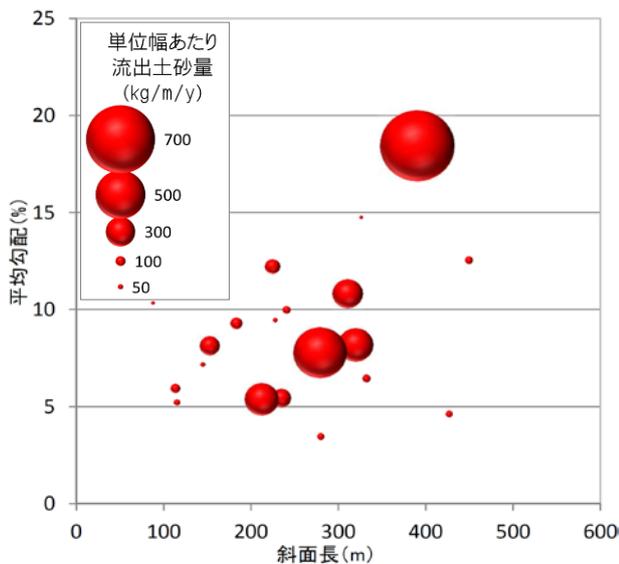


図-8 流出土砂量と斜面長・平均勾配の関係

### (2) 傾斜改良の実施による土砂流出抑制効果

流出土砂量の多かった斜面に対し、土砂流出抑制対策として傾斜改良を実施した条件で計算を行った。対象は、平均勾配が5%以上あり、かつ抑制対策を実施していない状態で流出土砂量が多い5つの斜面(斜面番号21, 37, 42, 61, 97)とした。このうち3つの斜面は許容流出土砂量10t/haを超える土砂流出がある。普通畑のほ場整備の計画設計で緩傾斜地の上限とされる14%(8°)<sup>7)</sup>以上の勾配を部分的に含む斜面は4つ(斜面番号21, 42, 61, 97)あり、その部分に対し勾配を14%まで緩和する改良を想定した計算をおこなった。すると、流出土砂量は対策前の84~92%に抑えられた。もっとも大きく減少した斜面はNo.97で、今回傾斜改良の対象とした斜面の中では、平均勾配・斜面長共に一番大きな斜面である。しかし、斜面のすべてを14%以下の緩傾斜としても許容流出土砂量を上回る土砂流出が認められたため、さらに勾配の上限を14%から半減し、7%(4°)として計算を行った。その結果、最高で対策前の36%にまで土砂流出が抑制された斜面があるものの、対策前に許容流出土砂量を超えていた3斜面については、許容値に収まらなかった。以上より、WEPPモデルにおいて傾斜改良による土砂流出の抑制は確認できたが、抑制効果自体は緩衝林帯の整備と比較すると限定的であることがわかった。

## 6. おわりに

本研究では、WEPPモデルを用いて畑地流域における土砂流出解析を行い、流出土砂量と土地利用および地形の関係について分析した。また、土砂流出抑制対策として緩衝林帯と傾斜改良の効果をモデル上で検討した。その結果、斜面下端部に林帯を配置することで土砂流出を抑制できることを確認した。また緩衝林帯よりも効果は限定的であったが、傾斜改良による流出土砂量の低減効果を確認した。

今後は、土砂流出抑制対策の効果予測手法としての汎用性、信頼性を高めるため、沈砂池も含めた抑制効果の検討や、異なる条件での検討を重ねていく予定である。最終的には、実際の事業計画や設計において効率的な土

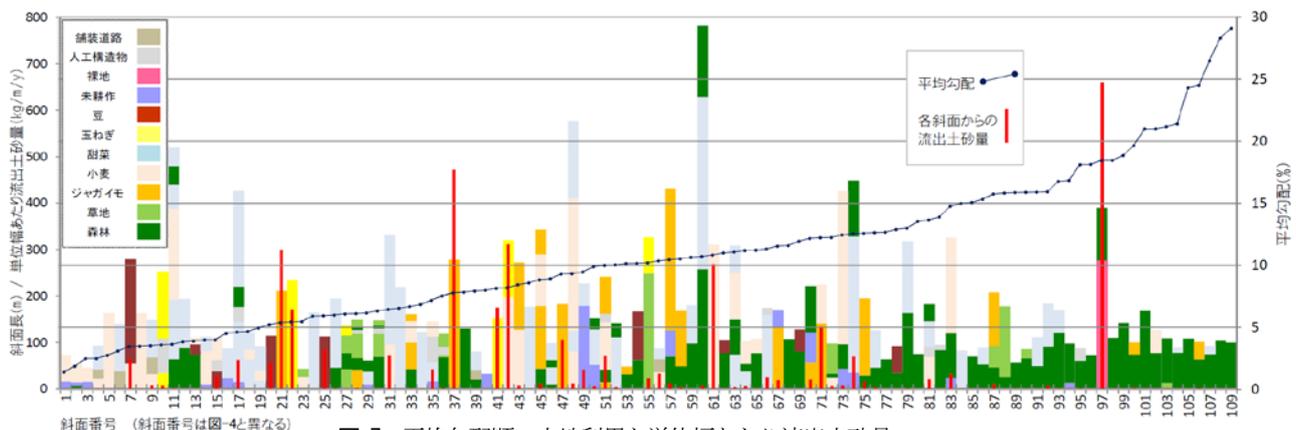


図-7 平均勾配順の土地利用と単位幅あたり流出土砂量

砂流出抑制対策を検討する手法としてWEPPモデルの活用を提案していきたい。

#### 参考文献

- 1) 高須賀俊之, 鶴木啓二, 中村和正: WEPPによる畑地流域からの土砂流出量の推定, 第57回(平成25年度)北海道開発技術研究発表会, 2014
- 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) 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
- 5) 高橋和也, 鈴木洋一郎: 土砂の捕捉に必要な水辺緩衝林帯幅に関する考察, 応用地質技術年報 No.24, pp.93-98, 2004
- 6) 農林水産省構造改善局計画部: 土地改良事業計画指針 農地開発(改良山成畑工), p.158, 1992
- 7) 農林水産省農村振興局: 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「ほ場整備(畑)」, p.5, 2007