

WEPP モデルによる小流域における土砂流出量の推定

Estimation of Sediment Yield for Small Watershed by WEPP

北見工業大学社会環境工学科 正 員 ○早川 博(Hiroshi Hayakawa)

北見工業大学大学院土木開発工学専攻 張 新慶(Zhang Xinqing)

1. はじめに

近年の地球温暖化の影響は日本各地で異常な気象現象をもたらしている．その一つが首都圏で頻発しているゲリラ降雨とも呼ばれる局地的な集中豪雨がある．北海道北見市では2007年6月22日の局所的な集中豪雨によって発生した高濃度の濁水を浄水場に引入れてしまったために市内全域が数日間にわたって断水する事態に至った¹⁾．濁水の発生要因の一つに畑地からの流出土砂が挙げられ，関係諸機関で軽減のための流域対策が検討されている．

本研究は流域からの流出土砂量の動態を把握するために，米国農務省が中心となって開発した分布型物理モデル **WEPP**²⁾(Water Erosion Prediction Project)を常呂川流域の小流域に適用して，流域の地形，植生，土地利用などの流域の空間分布特性を考慮した土砂動態を明らかにする．

2. 土砂侵食モデルの概要

流域からの土砂侵食モデルは数多くあり，大別すると経験的，概念的，物理的の3つのモデルに分かれる．経験則の代表的なモデルが米国農務省土壤保全局の **USLE**(Universal Soil Loss Equation)³⁾モデルであり，秀島らは網走川流域の農地整備が進んだ小流域に適用し，土壌侵食を検討している⁴⁾．また，概念的モデルとしては **KINEROS**⁵⁾(KINematic runoff and EROsion)などがあり，本研究で適用する **WEPP** モデルは分布型物理的モデルである．物理的モデルは種々の入力データが必要であり，一般に解析対象が小流域に制限されている．

2.1 WEPP モデル

WEPPモデルは斜面域における土壌侵食過程，水路における土砂運搬過程と貯水池における土砂運搬過程の3つのプロセスから構成されており，ソフトウェアは無償で配布されている⁶⁾．**WEPP**モデルは技術資料⁷⁾に詳述されているので，ここでは**WEPP**モデルの土壌侵食過程について簡単に述べる．

土壌侵食過程は図-1に示すように気象，斜面域の地形，農地（圃場）の土壌，農作物の営農管理作業，灌漑条件など表-1の各要素を，降雨－流出過程の水文モデルに入力する．**WEPP**モデルは有効雨量の算定にGreen-Amptモデル，表面流解析にKinematic Waveモデル，土壌層の中間流解析にKinematic storage-dischargeモデル⁸⁾を用いている．次に，流出量が得られると土壌侵食モデルによって斜面域での侵食量・堆積量の時・空間分布を算定することができる．**WEPP**モデルはインターリル侵食とリル侵

表-1 WEPP の入力要素

地域情報	観測地点、経度、緯度、標高	気象、地形及び地表データの収集（境界）
気象	降水量、気温、風向、風力、日射量、露点温度	アメダスによる降水量、温度（最高、最低）の日観測データを利用．それ以外のデータはWEPPに収録のアメリカの観測地点のデータの中から境界に最も気象条件に近いデータを準用
土壌	土壌分類、土性（土壌厚、砂、粘土、有機物の組成比率、CEC、礫・岩の含有量）、アルベド、初期含水量、地質	土壌データは昭和40年度北見地域訓子府町の地力保全基本調査成績のデータを参照．表層地質は国土地理院の国土地数値情報を参照．初期含水量はWEPPの推奨値を使用
傾斜	斜面方向における標高、長さによる勾配情報	国土地数値情報の数値標高DEMから擬河道網を作成して、斜面域と河道部とに分離し、斜面域と河道部の地形量を抽出
農作物管理	農地、草地、森林及び水路	地表面の植生情報及び圃場管理を設定．圃場は農作物の生長・農作業に合わせて1年間の作業スケジュールを設定するが、それ以外の森林、草地、水路の条件は不変

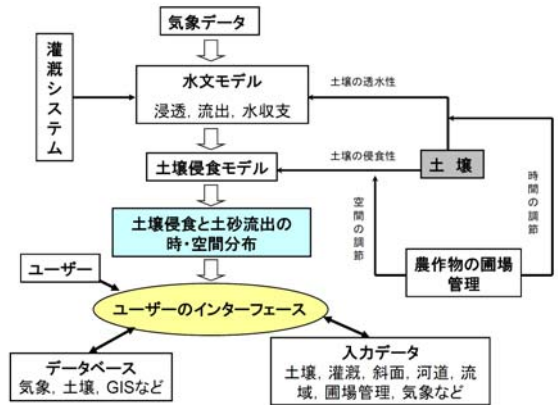


図-1 WEPP の土砂侵食モデル

食を考慮して，次式の連続式から土砂の運搬過程をモデル化している．

$$\frac{dG}{dx} = D_i + D_f$$

(1)

ここで， G ：単位幅あたりの土砂流出量(kg/s/m)， x ：斜面の流下方向距離(m)， D_i ：インターリルからリルへの土砂流入量(kg/s/m²)， D_f ：リル侵食量(kg/s/m²)である． D_i は次式で算定する．

$$D_i = K_i I_e q_{ir}$$

(2)

ここで， K_i ：インターリル侵食係数(kg・s/m⁴)， I_e ：有効降雨強度(m/s)， q_{ir} ：インターリル流量(m/s)である．なお，インターリル侵食係数は土壌，地形，作物等に関する変数で算定され，今回は**WEPP**の既定値を準用した．また，リル侵食量は運搬可能土砂量 T_c (kg/s/m)を掃流力 τ_f (Pa)の関数として，リルにおける土粒子の限界掃流力 τ_c (Pa)を超えたとき($\tau_f > \tau_c$)に土壌の剥離が生ずると考え，次式で表す．

$$D_f = K_r (\tau_f - \tau_c) \left(1 - \frac{G}{T_c} \right)$$

(3)

ここで、 K_r ：リル侵食係数(s/m)も土壌、地形、作物等に関する変数として算定される。

WEPPモデルは1年間を通した水収支、土砂流出量の算定を基本としており、日単位の時系列データを入力して、計算結果は日単位で出力される。**WEPP**モデルはまた、冬季間の降雪、積雪、融雪過程と土壌層の凍結・融解過程の物理モデルも組み込まれており、積雪地域の年間水収支も算定可能である。

一方、近年、流域の地形、地質などの情報データを統合的に扱うGISソフトウェアが普及しており、**WEPP**モデルとGISを結合した**GeoWEPP**(Geo-spatial interface for **WEPP**)モデルが開発されている⁹⁾。本研究では**GeoWEPP**モデルを用いて流出量並びに土砂流出量の解析を行う。

3. 解析対象流域の概要

解析対象は図-2 に示す常呂川流域の中流域に位置するオシマ川流域(流域面積 9.25km²)である。オシマ川流域は北見市浄水場の常呂川本川取水地点の上流にあり、周囲は畑作地帯に囲まれ、断水事故では高濃度の濁水を流出していた支流の一つである。図-3 はオシマ川流域

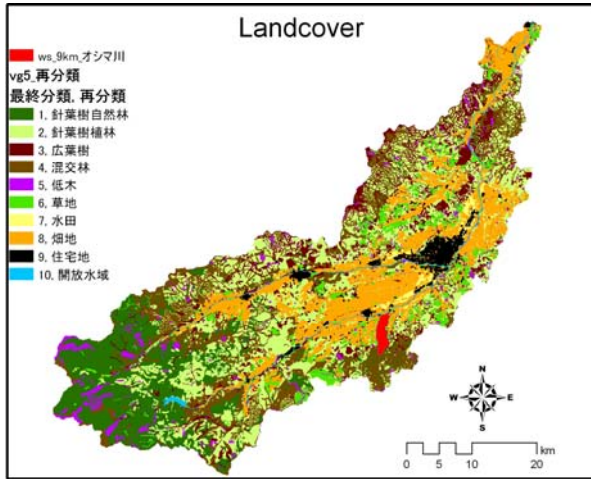


図-2 常呂川流域の土地利用

の 50m メッシュ標高¹⁰⁾、土地利用と植生(1998 年)¹¹⁾、土壌(1966 年)¹²⁾のデータである。流域の最下流部は平地の畑地であるが、中・上流域は比較的起伏があり、斜面傾斜の緩い所が畑地、やや急な所が牧草地として利用され、最上流域は森林になっている。**WEPP**モデルでは詳細な土壌データを必要とし、本研究では 1965 年度に調査された畑地の土壌の土性特性量¹²⁾(砂・シルト・粘土組成比、土層厚、など)を使用した。

4. 結果と考察

本研究では、2006 年から 2008 年の 3 年間についてオシマ川流域から流出する土砂量の推定を行った。気象データは隣接する境野アメダス観測地点の観測データをしたが、日射量、露点温度など観測していない気象要素は網走気象台の観測値を参考にして与えた。また、**WEPP**モデルでは 1 年間の畑地の営農管理スケジュールを与えることができるが、今回は畑地の耕作データが入手できなかったので全て小麦耕作を仮定して計算を行った。その他、水文モデル、土砂侵食モデル、水路の河道追跡モデルなどのモデルパラメータは **WEPP** の既定値を用いているので、計算結果は必ずしも実際の水文現象を再現しているとは言えないものの、定性的な評価は可能と考えられる。

4.1 流出量と土砂流出量

表-2 は各年の年間の流出量と土砂流出量のである。2006 年は 8 月と 10 月に 2 回、総降水量が 100(mm)を超える降雨があり、2007、2008 年に比して土砂流出量が

表-2 オシマ川流域の年間土砂流出量

年	降水量	流出量	土砂流出量
2006 年	1,081(mm)	287.2(mm)	21,145(ton)
2007 年	721(mm)	87.6(mm)	6,358(ton)
2008 年	601(mm)	55.8(mm)	4,583(ton)

注)2008 年は 1 月から 11 月まで

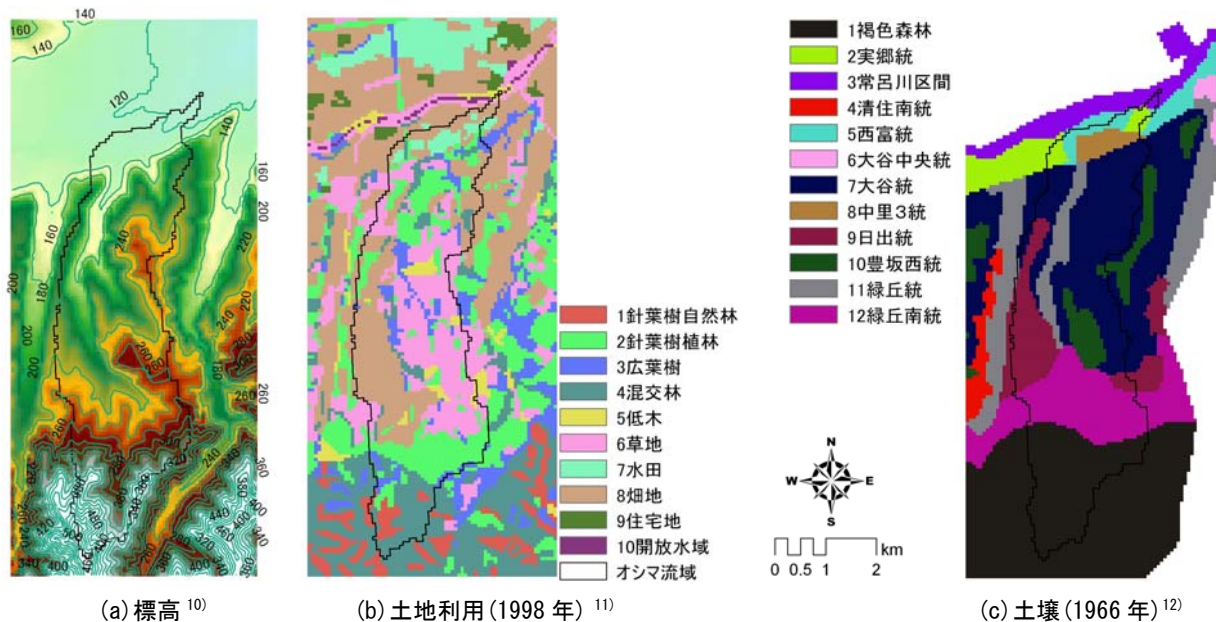


図-3 オシマ川流域の概要

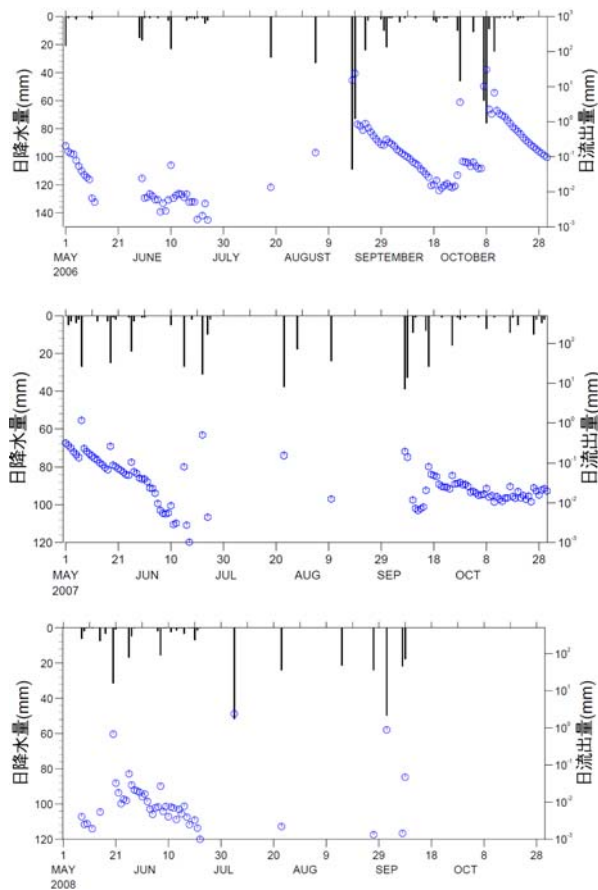


図-4 オシマ川流域の日流出量(2006～2008 年)

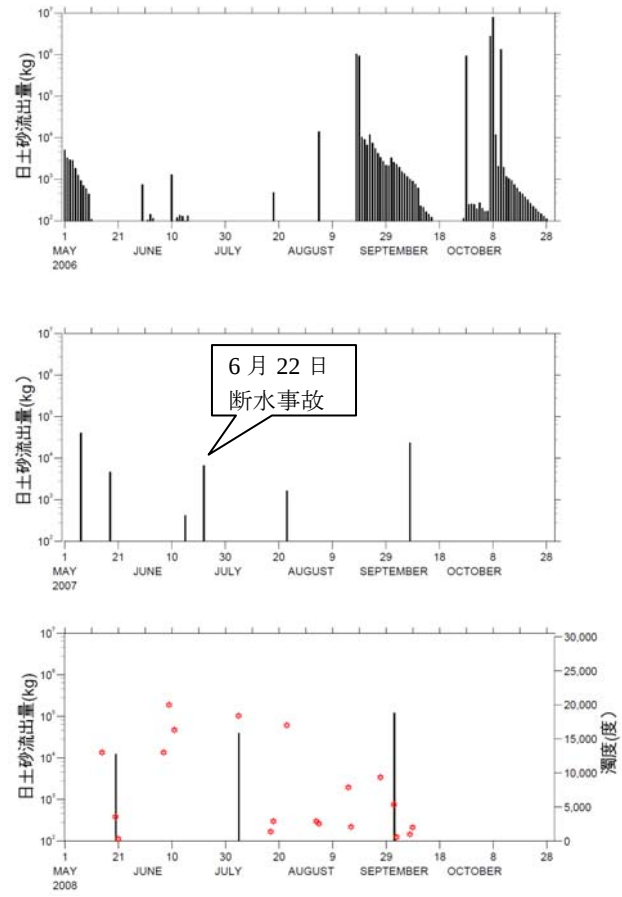


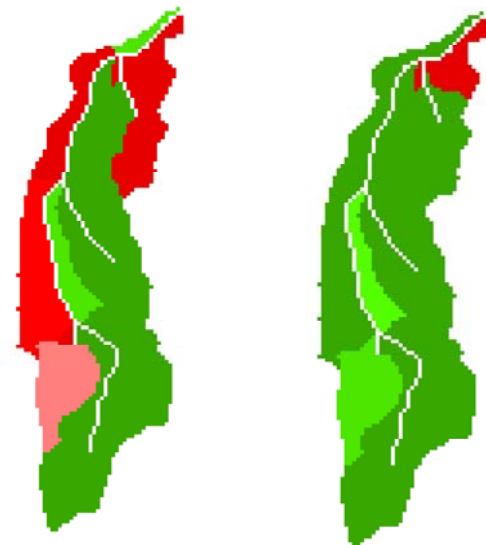
図-5 オシマ川流域の土砂流出量(2006～2008 年)

1 オーダー大きくなっている。

次に図-4 と図-5 は各年の流出量と土砂流出量の日単位の計算結果である。オシマ川では流量を観測していないのでその妥当性の検証はできないが、計算結果を見ると、夏季の日流出量がほとんどない期間がある。また、図-5 の土砂流出量は 2008 年のようにある規模以上の流出量がなければ土砂流出が発生しない計算結果になっている。2008 年の図には出水時の濁度の観測結果を併記しているが、今回の計算結果と比較すると日単位の計算では再現が難しいことが分かる。濁水は短時間に降雨が集中する場合に発生しているので、少なくとも 1 時間単位、あるいは 10 分単位のシミュレーションが必要となるが、WEPP の出力形式は 1 時間単位に対応していない。

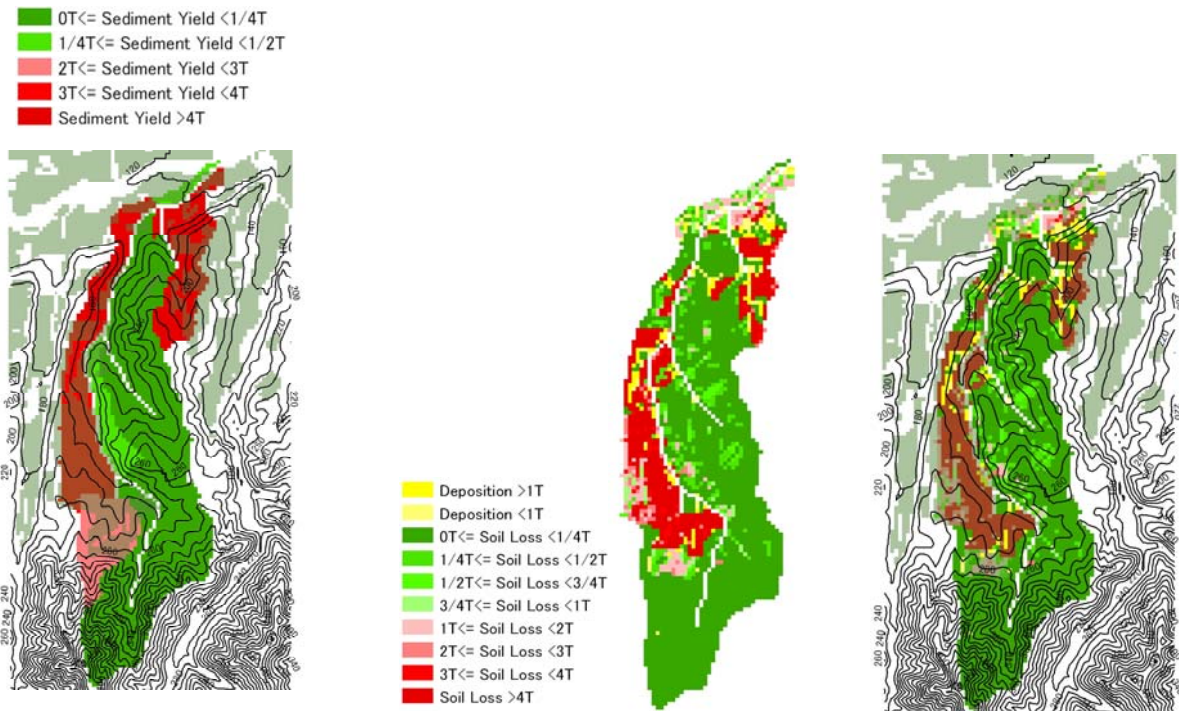
4.2 土砂流出量の空間分布

WEPP モデルは流域全体だけでなく、斜面あるいは水路毎に計算結果を出力できる。図-6 は流域分割した斜面から排出される 1 年間の土砂量の総量で、各斜面の色区分は T 値 (2006 年は $T=20 \text{ ton/ha}$, 2007 年は $T=1 \text{ ton/ha}$) を指標に区分している。2006 年は最下流部の右斜面とその上流河道の左斜面が最大(赤色)であり、2007 年は最下流の右斜面が最大の土砂流出量になっている。その要因を調べるために同図に等高線と畑地の土地利用(灰色)だけを重ねて表示したのが図-7 である。該当する斜面は他の流域に比べて畑地の割合が高く、等高線間隔が密になった急斜面を持っていることがわかる。



(a) 2006 年 ($T=20 \text{ ton/ha}$) (b) 2007 年 ($T=1 \text{ ton/ha}$)

図-6 土砂流出量の空間分布 (斜面単位)



2006 年(畑地を重ねる)

(a) 2006 年(T=20ton/ha)

(b) 2006 年(畑地を重ねる)

図-7 土砂流出量の空間分布(斜面単位)

図-8 土砂流出量の空間分布(メッシュ単位)

次に **WEPP** モデルは用いたメッシュ単位(本研究では 50m サイズ)で流出する土砂量と堆積量を計算することができる。図-8 は 2006 年のメッシュ単位の土砂量の空間分布を表している。図-6, 7 の斜面単位の図と比較すると、最下流河道の右斜面の上部域で土砂侵食が大きく、斜面下端の平坦部では土砂が堆積(黄色)していることが分かる。流域の中流部の左斜面は大部分が畑地であり、斜面全域から土砂が流出している。

5. おわりに

本研究は常呂川流域の小流域における土砂動態を把握するために、土砂侵食モデル **WEPP** を適用して流出土砂量の経時変化を算定した。その結果、流域の土地利用、地形特性によって土砂流出量は空間的に大きく変動していることが明らかとなったが、短時間に降雨が集中するケースについては、**WEPP** モデルは再現性が困難であることも明らかとなった。ただし、**WEPP** モデルは降雪、積雪、融雪過程や土壌の凍結、融解過程もモデル化されており、積雪地域における水収支、土砂流出量を把握するのに有用なモデルである。また、流域の土地利用の改変や、農作物の営農管理スケジュールの違いによる土砂流出量への影響評価も可能である。

謝 辞

本研究で使ったオシマ川の濁水データは北見市上水道課から提供して頂いた。記して謝意を表する。

参考文献

1) 北見市水道水の断水原因に関する技術検討委員会報告書, 2007.

- 2) Ascough II, J.C., C. Baffaut, M.A. Nearing, B. Y. Liu : The WEPP Watershed Model: I. Hydrology and Erosion, Transactions of the ASAE, 40(4), pp.921-933, 1997.
- 3) Wischmeier, W.H. and D.D. Smith : Predicting rainfall-erosion losses, Agricultural Handbook No. 537, USDA Washington D.C., 1978.
- 4) 秀島・大野・中村・小野寺・渡辺：火山灰土壌が分布する積雪寒冷地流域の浮流土砂流出抑止に関する研究－II．農耕地を広く抱える小流域での浮流土砂流出の特徴－，水文・水資源学会誌，Vol.15，No.2，pp.187-195，2002.
- 5) KINEROS Homepage : <http://www.tucson.ars.ag.gov/kineros/>
- 6) WEPP Homepage: <http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/wepp.html>
- 7) USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP), Hillslope Profile and Watershed Model Documentation, NSERL Report #10, 1995.
- 8) Sloan, P. G. and I. D. Moore : Modeling subsurface stormflow on steeply sloping forested watersheds. Water Resour. Res. 20(12), pp.1915-1922, 1984.
- 9) GeoWEP Homepage: <http://www.geog.buffalo.edu/~rensch/geowep/>
- 10) 国土地理院：数値地図 50m メッシュ(標高)，(財)日本地図センター。
- 11) 環境省：自然環境保全基礎調査・第 5 回植生調査データ，<http://www.biodic.go.jp/kiso/gisddl/gisddl.html>.
- 12) 北海道立中央農業試験場：昭和 40 年度地力保全基本調査成績(北見地域訓子府町)および土壌生産性分級図，1966.