

農業流域における土砂動態の現地観測および USLE・WEPPによる評価

FIELD OBSERVATION OF SEDIMENT MOVEMENT IN AGRICULTURAL BASIN AND APPLICATION OF USLE AND WEPP

大澤和敏¹・池田駿介²・酒井一人³・島田正志⁴

Kazutoshi OSAWA, Syunsuke IKEDA, Kazuhito SAKAI, Masashi SHIMADA

¹正会員 農博 東京工業大学助手 大学院理工学研究科土木工学専攻
(〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1-M1-1)

²フェロー会員 工博 東京工業大学教授 大学院理工学研究科土木工学専攻(同上)

³農博 琉球大学助教授 農学部(〒903-0129 沖縄県中頭郡西原町千原1)

⁴農博 東京大学助教授 大学院農学生命科学研究科(〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1)

In these years, red-soil erosion and runoff have led to agricultural and environmental problems in Okinawa, and sediment movements (erosion, transportation, and sedimentation) have to be grasped and its analysis models are demanded. In this study the sediment movements were grasped at a watershed scale from the results of multi-point simultaneous observation in the small agricultural basin including erosion observation. It was substantiated that the low canopy covered farm lands and agricultural managements affect sediment yield, the structure and the arrangement of settling basins affect sedimentation. After the observation, the Universal Soil Loss Equation (USLE) and the Water Erosion Prediction Project (WEPP) were tested to verify their applicability in predicting sediment runoff at rainfall event. In case of the field level application, WEPP was more accurate and practical than USLE. These models were expanded to the watershed level; WEPP was more accurate and practical than USLE. This result was due to appropriate representation of suspended sediment movements at channels and impoundments.

Key Words : Red-soil runoff, Multi-point field observation, Soil erosion, Sediment balance, WEPP, USLE, Agricultural basin

1. はじめに

沖縄地方では、近年、赤土流出が顕著になり、河川や海洋における沖縄地方独自の自然形態を破壊する要因として問題視されている。現状では、経常的な土砂流出発生源である農地は規制(赤土等流出防止条例)の対象外であるが、沖縄県としては、近い将来規制対象にする方針である。営農地域を対象とした規制について検討するためには、集水域内での土砂の動態(侵食、運搬、堆積)の現状を時間・空間的に捉え、さらに防止対策の効果について予測する必要がある。しかし、これまで、農地における侵食とそれを含む集水域での土砂流出を同時にとらえた観測事例は非常に少ない。農業流域での土砂の動態を時間・空間的に捉えるためには、土砂生産源となる農地における侵食量観測および複数の集水域における多点観測が必要である。

そこで、本研究では圃場整備事業が行われた地区を

有する小流域において多地点同時観測を行い、農地における侵食を含めた流域全体における土砂動態を把握することを第1の目的とした。具体的には、複数回の降雨イベントにおいて十分短い間隔で測定された土砂流出量を農地、集水域、沈砂池において把握する。第2の目的は赤土流出の予測性について、既存のモデルの検証を行うこととした。具体的には、農地における土砂生産量の算定が可能なUSLE(Universal Soil Loss Equation)および農地における土砂生産に加え土砂の流下過程も表現可能なWEPP(Water Erosion Prediction Project)の適用を行い、圃場スケールおよび流域スケールにおける土砂動態の予測精度およびモデルの適用性を検討する。なお、USLEは最も代表的な土壌侵食モデル(経験的モデル)であり、適用事例は沖縄地方を含めて多い。一方、WEPPはUSLEとは対照的な物理的モデルであり、日本における適用事例は無い。

2. 観測地の概要および観測方法

(1) 観測地の概要

対象流域は沖縄県本島恩納村の安幸地土地改良区を含む小流域である。図-1に概要を示す。流域面積は約0.12km²であり、流域内には大小51筆の農地、それに付随したコンクリート製の排水路(幅:0.3~1.3m)、大小9基の沈砂池、そして下流の湿地を有する。2002年6月26日の土地利用を図-2に示す。流域内においてサトウキビが最も多く栽培され、流域面積の37%を占める。

集水域における観測は図-1におけるSt-1~St-7の7地点で行った。雨量計は図中のR-1に設置した。St-1~St-7の観測地点によって、流域はA~Eの集水域に分割される。St-1およびSt-2は集水域A末端における沈砂池SB-4の流出入地点であり、St-3~St-6は流域中流に位置する沈砂池SB-7の流出入地点である。沈砂池SB-4は約228m²の面積を有し、中央部に布団籠が設置され、流入地点1つ(St-1)、流出地点1つ(St-2)が直線的に配置された比較的単純な構造である。一方、沈砂池SB-7は約485m²の面積を有し、流入地点3つ(St-3~St-5)、流出地

点1つ(St-6)で沈砂池内に布団籠および植生を有する。流域内における集水域Bを農地における侵食量観測地点とした。図-3に概要を示す。各畑は畝が水路に垂直方向に施されており、侵食された土砂は畝間から水路に流出する。各畑における畝方向の平均勾配は約3%である。土壌は一般に国頭マージと呼ばれる赤土であり、表層土の粒度組成は粘土9%、シルト29%、細砂および粗砂34%、礫28%である。サトウキビ畑S-1の末端である観測点St-3aで長期連続観測を行い、作物の生育期間である約1年間を通して観測を継続した。加えて、サトウキビ畑S-2~S-3の末端であるSt-3b~St-3cで多点同時観測を行い、短期間ではあるが同じ降雨イベントで複数の圃場における侵食量を比較できるようにした。サトウキビは3~4月に植え付けを行い、翌年の2~3月に刈り取りを行う春植え型(S-2、S-3の一部)と刈り取り後の株を用いて生育させる株出し型(S-1、S-3の一部)の2種類の方法で栽培されている。

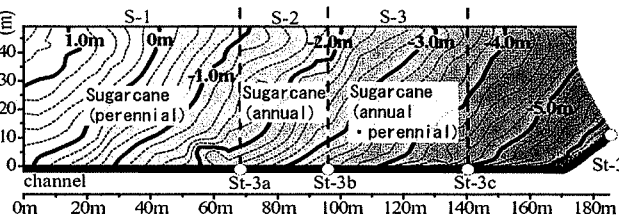


図-3 観測圃場の概要

(2) 観測方法

各観測地点における観測項目を表-1に示す。流量は、常時連続計測される水位を換算して得られる。St-7以

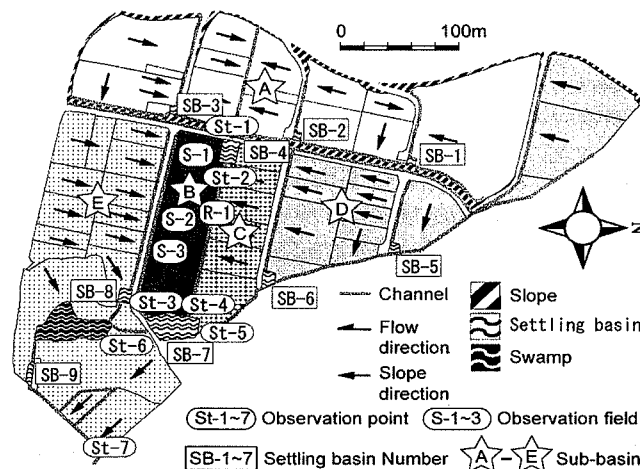


図-1 観測流域の概要

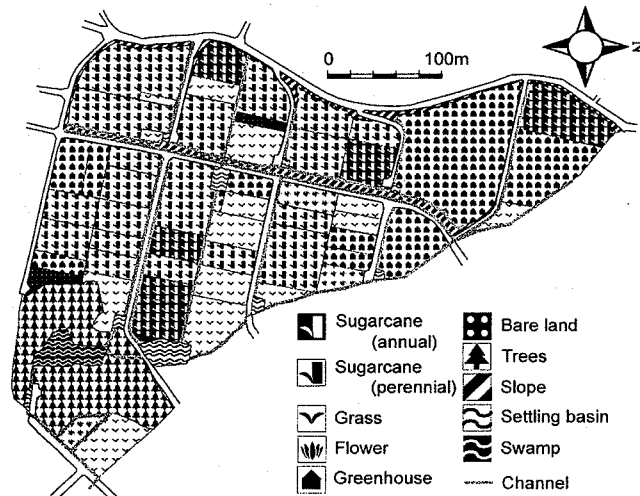


図-2 観測流域における土地利用分布

表-1 各観測地点における観測項目

地点	項目	時間間隔	測定機器
St-1~St-6	流量	—	全幅堰(自作, 検定なし)
	水位	1分	圧力式水位計 (Diver, (株)大起理化学工業)
	流速	適時*	プロベラ式流速計 (SAT-200-10, (株)東京計測)
	採水	5~60分*	手採水
	流量	—	全幅堰 (自作, JIS基準)
St-7	水位	5分	圧力式水位計 (KADEC21-MIZU, (株)コーナシステム)
	流速	適時*	プロベラ式流速計 (SAT-200-10, (株)東京計測)
	濁度	5分	後方錯乱光式濁度計 (UC-61H, (株)セントラル科学)
	採水	30分*	自動採水器 (ISCO 6700, ISCO社)
	流量	—	四角堰 (自作, 検定済み)
St-3a	水位	1分	圧力式水位計 (UIZ-WL500, (株)ウイジン)
	濁度	2~5分	後方錯乱光式濁度計 (COMPACT-CLW, (株)アレック電子)
	採水	10分*	自動採水器 (ISCO 6700, ISCO社)
St-3b, St-3c	採水	5~10分*	手採水
R-1	降水量	1分	転倒マス式雨量計 (RG 2-M, オンセットコンピュータ社)

*: 降雨による出水があった時のみ測定

外の堰は、JISに規定されている条件を満たさないの
で流量観測によりH-Q曲線を作成した(決定係数:0.97
以上)。また、St-3bおよびSt-3cは流量の測定ができな
かったので、上流側のSt-3aと下流側のSt-3の観測値と
圃場面積を用いて内挿した。浮遊土砂濃度は降雨流出
時の流水を採取して、吸引濾過法または直接炉乾する
ことによって測定される。なお、浮遊土砂を流水中に
存在する土粒子(浮遊砂とウォッシュロードの混合、
最大粒径100 μ m程度)と定義する。取水は手採水また
は自動採水器によって行われた。手採水による採水時
間間隔は流出規模に応じて、流量増加時では短く、
ピーク後の流量が減少するにつれて間隔を徐々に長く
とった。St-3aおよびSt-7では採水の間の濃度を内挿す
るために、濁度計を用いて常時連続計測した。観測に
より得られた流量と浮遊土砂濃度の積から浮遊土砂流
出量が求められる。観測期間はSt-3aで2002年5月
~2003年4月、それ以外の観測点で2002年6月10日~16日
であり、沖縄地方では梅雨時期であった。

3. 観測結果

(1) 農地における侵食量観測の結果

長期連続観測圃場のS-1および多点同時観測圃場の
S-2、S-3における降水量、流量、侵食量(土砂流出量)、
作物および残渣の被覆率の観測値を図-4に示す。S-1
における降雨-流出の傾向を見ると、時期的な変化は
明確に見られなかったことから、サトウキビの生長に
伴う表面流出の変化は小さいことがわかる。一方、侵
食量はサトウキビの生長に伴い、低下していることが
わかる。よって、作物の被覆による雨滴遮断が顕著に
なり雨滴侵食が抑えられたと推定される。また、収穫
および耕起後の2003年4月では、圃場の裸地化に伴い
大きな侵食量を示した。

多点同時観測時(2002年6/12~6/15)のS-1~S-3における
侵食量を比較すると、S-1<S-3<S-2の関係になってい
る。これは、栽培方法の違いにより、植生の被覆、地
表面における残渣被覆、耕起回数および耕起方法が圃
場によって異なることが影響していると考えられる。

(2) 流域における土砂収支

St-1~St-7の観測地点で得られた浮遊土砂流出量から、
各降雨イベントにおける土砂収支を図-5にまとめた。
なお、各地点における数値の正値は浮遊土砂の堆砂量
を示し、負値は観測点における浮遊土砂流出量を示す。
沈砂池では堆砂、集水域内では侵食に伴う土砂生産が
起きたことがわかる。なお、今後、集水域における土
砂生産量を各観測点における浮遊土砂流出量の絶対値

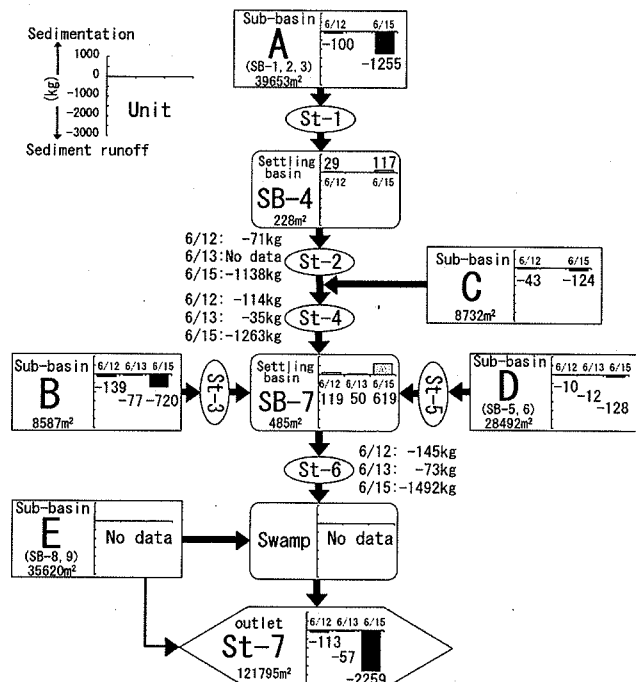


図-5 流域全体における土砂収支

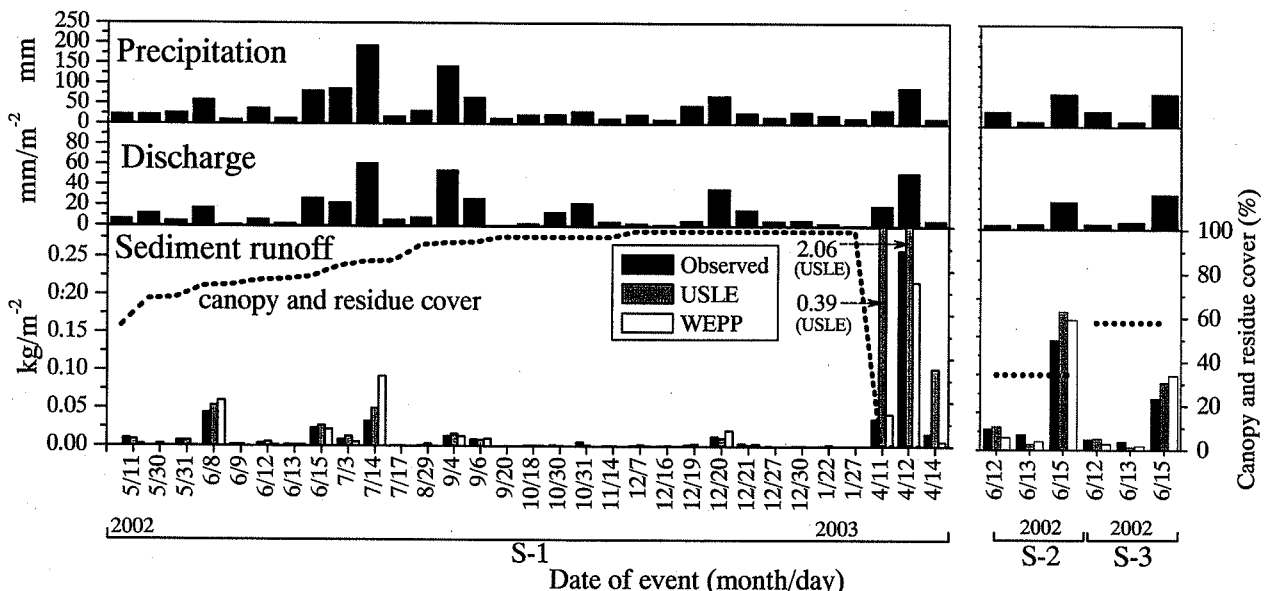


図-4 各観測圃場における観測値およびUSLE, WEPPによる計算値 (上: 降水量, 中: 流量, 下: 土砂流出量・被覆率)

(正值)として表現する。集水域Aでは観測されたイベントは2回あるが、いずれの結果でも土砂生産量が多い。これは、サトウキビや裸地などの受食性の高い土地利用の面積が大きいことによる。また、集水域内には3基の沈砂池を有するが、沈砂池を介さない農地が複数あることも原因である。このことは、集水域Bにおいても同様であり、集水面積は小さいが、集水域全体が受食性の高い土地利用のために土砂生産量が多い。逆に、集水域Bと同等な集水面積を持つ集水域Cは、受食性の高い土地利用面積が小さいので土砂生産量は小さい傾向にある。集水域Dは集水域Cより受食性の高い土地利用面積が大きいのに関わらず、土砂生産量は同等または小さい。これは集水域D内には小規模の沈砂池が2基あり、それらの配置が全ての農地からの流出水を集水する位置にあるので、土砂の流出が軽減されていると推定される。

ここで、各沈砂池における降雨イベント毎の堆砂率(堆砂量/土砂流入量)を図-6に示す。沈砂池SB-7の方が沈砂池SB-4より堆砂量(図-5参照)および堆砂率が多い。これは、沈砂池における規模(貯水容量)、流入部と流出部の位置関係、そして布団籠や植生などの抵抗の有無に起因するものと考えられる。イベント毎の堆砂率を比較すると、両沈砂池において比較的大きなイベント(6/15)の場合、堆砂率は比較的小さなイベント(6/12や6/13)より低いことがわかる。特に、小規模の沈砂池の方が堆砂率の低下が著しい。

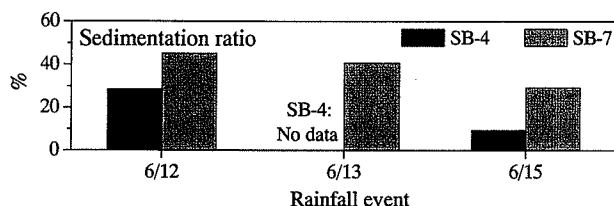


図-6 沈砂池SB-4およびSB-7における堆砂率

4. 圃場スケールでのUSLEおよびWEPPの検証

(1) USLEの概要および適用方法

USLEはWischmeier・Smithによってまとめられた経験的モデルであり、圃場単位の空間スケールにおける年間侵食量が推定可能とされている¹⁾。

USLEは次式のように定式化されている。

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

ここでA:予測侵食量($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)、R:降雨係数($\text{J} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)、K:土壌係数($\text{kg} \cdot \text{h} \cdot \text{J}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)、LS:地形係数(以下無次元)、C:作物管理係数、P:保全係数。USLEでは、一連降雨を降水量が12.7mm以上または降雨強度が6.4mm/15min以上の降雨で、降雨後の無降雨期間が6時間以上と定義している。一連降雨での降雨係数Rは次式となる。

$$R = E \cdot I_{30} \times 10^{-3} \quad (2)$$

$$E = \sum \{ (11.9 + 8.73 \log I_i) \cdot r_i \} \quad (3)$$

ここで、E:侵食性一連降雨の運動エネルギー($\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$)、 I_{30} :一連降雨の最大30分間降雨強度($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)、 I_i :一定強度に区分された各降雨強度($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)、 r_i :一定強度に区分された降水量(mm)。土壌係数Kは土壌特有の受食性(水の浸透能や土粒子の分散性)を年間平均値として評価したものであり、定数として用いられる。降雨イベント毎の適用のためには、その値を適時決定する必要があるが、そのような研究事例が非常に少ないために、比嘉・満本²⁾が用いた国頭マージの0.031を期間全体および全圃場で用いた。この値は翁長³⁾が観測侵食量を用いて逆算した値(0.019~0.057)の範囲内にある。地形係数LSは勾配を畝方向にとって算出した。作物管理係数Cは作物の種類や圃場管理作業を評価したものであり、サトウキビの作物管理係数は、比嘉⁴⁾が作成した作物の成育段階別の値および実測した圃場の被覆率を用いて降雨イベント毎に算出した。保全係数Pは保全対策が行われていないので全圃場で1とした。

(2) WEPPの概要および圃場スケールでの適用方法

WEPPはNearingらによって開発が始められ⁵⁾、現在、ソフトウェア化され無償で配布されている⁶⁾。WEPPは農地における土壌侵食過程、水路または河川における土砂運搬過程、そして貯水池における土砂運搬過程の3つの過程で構成されている。中でも土壌侵食過程では作物の生長、土壌状態の変化、各種営農管理作業などを実際の現象に即した形で表現している。

WEPPの土壌侵食過程の要素として、気候、表面流、水収支、作物、土壌、圃場管理がある。これらと侵食機構から侵食量を算定する。その概要を図-7に示す。気候因子によって作物は生長し、作物による被覆率などが侵食に関わる変数として算定される。また、耕起などの圃場管理作業に伴い、乾燥密度などの土壌状態および地表面における残渣量が変化する。これらの作物、残渣、土壌の状態は日変動する。降雨-流出機構は、有効降雨の算定にGreen-Amptモデルに基づいた式を用い、Kinematic waveモデルを用いて表面流解析を行う。これらの各機構および後述の侵食機構の詳細は技術資料⁷⁾に記されている。

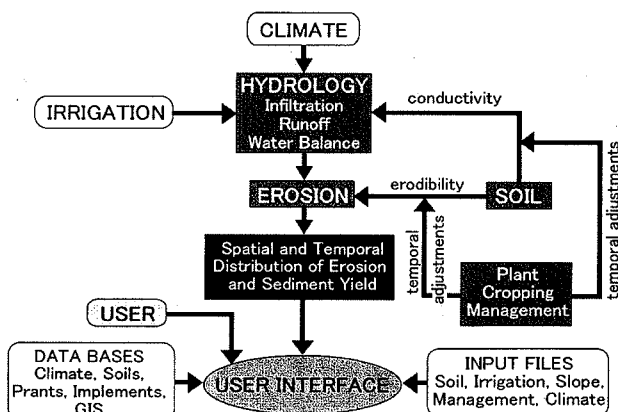


図-7 WEPPの土壌侵食過程の概要

侵食機構はインターリル侵食およびリル侵食を考慮し、次式の連続式を用いて土砂の運搬過程を表現する。

$$\frac{dG}{dx} = D_i + D_f \quad (4)$$

ここで、 G :単位幅あたりの土砂流出量($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$)、 x :流下方向距離(m)、 D_i :インターリルからの土砂流入量($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$)、 D_f :リル侵食量($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$)、 D_i は次式で表現される。

$$D_i = K_i I_e q_{ir} \quad (5)$$

ここで、 K_i :インターリル侵食係数($\text{kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}$)、 I_e :有効降雨強度($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)、 q_{ir} :インターリル流量($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)。なお、インターリル侵食係数は作物、残渣、土壌、地形などに関するいくつかの変数を用いて算定される。リル領域では運搬可能土砂量 T_c ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$)を掃流力の関数として定義し、流水による土壌剥離が起こる場合($G = T_c$ かつ $t_f > t_c$)、次式により D_f を求める。

$$D_f = K_r (\tau_f - \tau_c) \left(1 - \frac{G}{T_c}\right) \quad (6)$$

ここで、 K_r :リル侵食係数($\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$)、 τ_f :掃流力(Pa)、 τ_c :リルにおける土粒子の限界掃流力(Pa)。なお、 K_r および τ_c は作物、残渣、土壌などに関するいくつかの変数を用いて算定され日変動する。一方、 $G = T_c$ かつ $t_f = t_c$ の場合、 $D_f = 0$ である。 $G > T_c$ の場合、 D_f は沈降量として次式で表される。

$$D_f = \frac{\beta V_f}{q_r} (T_c - G) \quad (7)$$

ここで、 β :雨滴による攪乱係数、 V_f :土粒子の有効沈降速度($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)、 q_r :単位リル幅あたりの流量($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)。

本研究で用いた各要素における入力データを表-2に示す。なお、WEPPの適用をする際、各種パラメータの同定は行わず、実測値やWEPPで予め用意されている推奨値を用いた。

表-2 WEPPにおける入力データ

気象	降水量、気温、風向、風力、日射量、露点	降水量のみ実測、他は最寄り(金武町または名護市)のアメダスデータを利用。
土壌	土性、有機物含有量、CEC、アルベド、初期含水率	土性および有機物含有量のみ実測、CECは既存の値を使用、その他のデータはWEPPの推奨値を使用。
傾斜	斜面方向における傾斜、斜面長	水準測量結果を使用。
作物管理	作付け品目、各種管理スケジュール	品目および管理作業はWEPPで定められている項目から選択、スケジュールは実状を設定。

(3) 圃場スケールでのUSLEおよびWEPPの適用結果

観測圃場におけるUSLEおよびWEPPの適用結果を前章の図-4に示した。結果を見ると、USLEはS-1におけるサトウキビの収穫前(2003年3月)までの期間、およびS-2、S-3における精度が高い。しかし、2003年4月の降雨イベントでは著しく過大評価する。これは、イベントの直前に耕起を行ったために、透水性をはじめとする土壌の諸状態が大きく変化したことや土中お

よび地表面に残渣が大量に存在したのにも関わらず、土壌係数を一定値(0.031)とし、作物管理係数をほぼ1としたためであると考えられる。このようにUSLEは耕起などの管理作業に伴う土壌状態の変動を係数に反映させることが、現状では困難であると言える。

それに対して、WEPPは、S-1における2002年7/14などの過大評価部分もあるが、多くの圃場および降雨イベントにおいて、USLEと同程度またはそれ以上の精度である。特に、USLEの精度が低かった2002年4月における侵食量の増大を明確に表現できている。これは、耕起などの各種営農作業のスケジュールおよび方法を入力値として設定可能で、それに伴う土壌特性や残渣の変化を明確に表現できているからである。また、WEPPはパラメータの同定を行っていないことから、USLEより適用性が高いモデルであると評価できる。

5. 流域スケールでのUSLEおよびWEPPの検証

(1) 両モデルの流域スケールへの拡張方法

USLEは水路および沈砂池における土砂の運搬過程を表現できないので、流域内の全ての圃場における適用のみとした。新たに設定する係数として、サトウキビ以外の土地利用における作物管理係数はWischmeier・Smith¹⁾の値を参照した。

WEPPを流域規模に拡張するためには、圃場・水路・沈砂池(貯水池)における各種設定が必要となる。圃場における設定は前章と同様な方法を全ての圃場に対して行った。水路は断面形状、勾配、材質、沈砂池は容量、流出部の形状をそれぞれ実状に基づいて設定した。水路における土砂運搬過程の機構として、圃場における土壌侵食過程の流路(リル部)における侵食・運搬過程とほぼ同様な解析方法を用いている。沈砂池は貯水池の機構として、滞留時間に基づいた経験式によって運搬・堆砂過程が表現される。なお、各機構の詳細は技術資料⁷⁾に記されている。

(2) 両モデルの流域スケールでの適用結果

適用した降雨イベントは多点同時観測を行った2002年6/12、6/13、6/15で、その中で最大出水規模の6/15における各圃場の侵食量および各沈砂池における堆砂量(WEPPのみ)を図-8に示す。結果から、サトウキビや被覆率の比較的小さい草地などの受食性の高い土地利用の農地において、大きな侵食量を示していることがわかる。また、WEPPでは各沈砂池における堆砂量が算定可能となり、規模や流入土砂量によって堆砂量が異なる結果となった。

ここで、各集水域または流域末端における観測値に対する計算値を図-9に示す。なお、USLEは水路および沈砂池における土砂の流下過程は表現できないことから、集水域内の圃場における侵食量の総和とした。結果より、各集水域では両モデルとも観測値と概ね一

致している。しかし、流域末端のSt-7ではWEPPの方が精度が高い。これは各集水域に含まれていない沈砂池SB-4、SB-7、そして湿地における堆砂過程がWEPPでは表現可能であったためである。以上のことからWEPPは流域規模における土砂動態解析のための有効な手法であると評価できる。

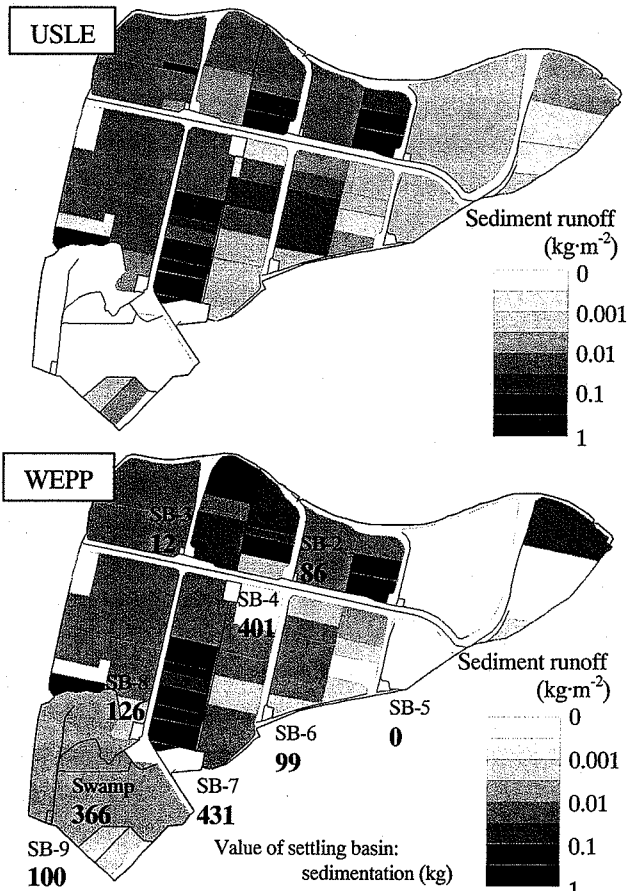


図-8 WEPPおよびUSLEの適用結果 (2002年 6/15)

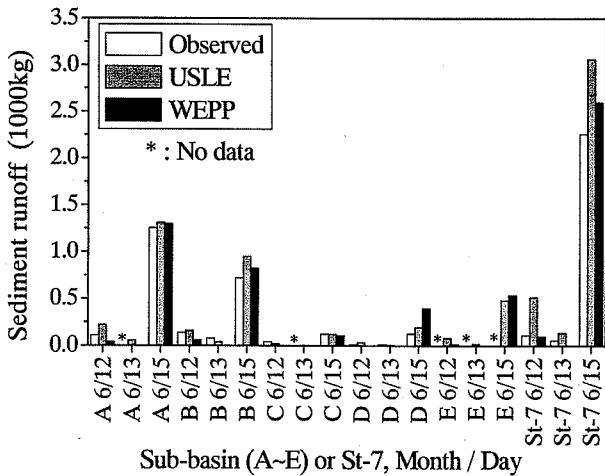


図-9 各集水域での観測値に対する計算値の比較

6. 結論

農業流域における多地点同時観測を行い、農地にお

ける土壌侵食過程を含む流域全体における土砂動態を把握した。そして、土壌侵食モデルとして代表的な経験的モデルであるUSLEおよび分布型物理的モデルであるWEPPを適用し、モデルの検証を行った。

本研究の結果から次のことが明らかになった。

- ・ 圃場における侵食量は作物の生長に伴い減少する傾向を示した。また、耕起などの管理作業によって侵食量は著しく増大した。サトウキビの栽培方法の違いによって侵食量に大きな違いが見られた。
- ・ 流域全体における土砂収支をとることによって、各流域における土砂生産は土地利用、流下途中の沈砂池の構造およびその配置、そして出水規模によって浮遊土砂流出量の大小関係が異なる傾向にあることがわかった。
- ・ 圃場スケールでUSLEおよびWEPPを適用した結果、約一年間の営農サイクルを通してWEPPの方が観測値に対する適合性が高かった。特に耕起による侵食量の増大をほぼ正確に表現した。
- ・ 流域スケールに両モデルを拡張した結果、WEPPは水路や沈砂池における土砂運搬過程を明確に表現可能であることから、流域内における土砂動態解析に有効な解析手法であると評価できる。

今後は、赤土流出防止対策の定量的評価を現地観測やWEPPによる解析などによって検討する予定である。

謝辞：この研究は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(A)(2)(課題番号：14205070、研究代表者：池田駿介)の補助を受けている。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Wischmeier, W.H. and D.D. Smith: Predicting rainfall-erosion losses, *Agricultural Handbook No.537*, USDA Washington D.C., 1978.
- 2) 比嘉 榮三郎, 満本 裕彰: USLE式による土壌流出予測方法, 沖縄県衛生環境研究所報, Vol.35, pp.121-128, 2001.
- 3) 翁長 謙良, 呉屋 昭, 松村 輝久: 沖縄県北部赤黄色土の土壌侵食の評価と対策, 土壌の物理性, Vol.63, pp.19-33, 1991.
- 4) 比嘉 榮三郎, 大見謝 辰夫, 仲宗根 一哉, 満本 裕彰: 沖縄県における各種作物の作物係数, 沖縄県衛生環境研究所報, Vol.31, pp.147-151, 1997.
- 5) Nearing M.A., G.R. Foster, L.J., Lane, and S.C. Finkner: A Process-Based Soil Erosion Model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology, *Transactions of the ASAE*, 32(5), pp.1587-1593, 1989.
- 6) WEPP Home Page:
<http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/wepp.html>.
- 7) USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory: USDA-Water Erosion Prediction Project hillslope profile and watershed model documentation, *NSERL Report No.10*, 1995.

(2004. 4. 7受付)