

USLE式による土壌流出予測方法

比嘉榮三郎・満本裕彰

The Estimate method of Soil loss by USLE

Eisaburo HIGA and Hiroaki MITSUMOTO

要旨：パイン畑やサトウキビ畑における降雨時の土壌流出量(実測量)とUSLE式による土壌流出予測量を比較した。一連降雨の実測量に比べ予測量にかなりのバラツキがみられたが、総量では実測量の約70~85%の範囲となり、また全体的な変動特性も同じようなパターンを示した。USLE式は、5つの係数を現地の実態に合うよう適切に設定することで、土壌流出量を予測する式として十分活用できることが示唆された。

Key words : 土壌流出量, 農地, USLE式, 国頭マ-ジ, 島尻マ-ジ

はじめに

これまで、土壌流出量を予測する式として広く一般的に用いられているUSLE式を使って、既存農地や開発事業など県内における年間の赤土等流出予測量¹⁾²⁾を推算した。既存農地では、サトウキビやパインなどの主要作物について、土壌の違いによる土壌流出量を比較検討した。この結果、土壌流出量は国頭マ-ジのパイン畑が最も多く、ジャ-ガルのサトウキビ畑、国頭マ-ジのサトウキビ畑、島尻マ-ジのサトウキビ畑の順に低くなることを明らかにしてきた。

しかしながら、USLE式は降雨係数、地形係数、土壌係数、保全係数、作物係数と5つの係数からなり、これらの係数を設定するのは容易ではなくまだまだ改善すべき点が多い。また、実際のほ場(畑)からの土壌流出量と予測量を比較検討した調査研究はこれまで少ない。

今回、平成12年度流域赤土流出防止対策調査報告書(沖縄県)のデータを用いて、農地からの土壌流出量(実測量)とUSLE式による土壌流出予測量との適合性などについて検討を行なったので報告する。

方法

1. 土壌流出量の予測方法

土壌流出量の予測は、農地からの土壌流出を予測する式として土地改良事業設計指針(以下、設計指針という。)³⁾で採用されているUSLE式(1式)により行なった。

$$A = R \cdot K \cdot L S \cdot P \cdot C \quad (\text{t/ha/年}) \quad (1)$$

A : 年間土壌流出予測量

R : 降雨係数

K : 土壌係数

LS : 地形係数

P : 保全係数

C : 作物係数

a 降雨係数

降雨係数は、一連降雨の降雨エネルギーの累計(E)と最大60分間降雨強度(I_{60})の積の1/100として定義されている。

$$R (\text{降雨係数}) = (E \times I_{60}) / 100 \quad (2)$$

ここで降雨エネルギーは次式のような関係がある。

$$E = (210 + 89 \log I) \times r \quad (3)$$

I : 一連降雨中の1時間最大降雨強度(cm/時間)

r : 区間雨量(cm)

一連降雨とは、降雨開始後、無降雨の状態が6時間以上続くまでの降雨となっている。

s 土壌係数

土壌の侵食性を示す係数で、土壌の透水性、分散性などの特性に左右される指数である。

これまでの研究報告などから、沖縄県の主要土壌である国頭マ-ジを0.3、島尻マ-ジを0.1とした。

d 地形係数

畑の斜面長や傾斜度により決まる係数で、次式で与えられている。

$$LS = (L / 20.0)^{0.5} (68.19 \sin^2 + 4.75 \sin + 0.068)$$

..... (4)

L: 斜面長 (m) : 勾配 (度)

f 保全係数

保全係数は、作物を栽培する際に畝立ての方向や等高線栽培など耕作の方法によって決まる係数である。

畑面勾配により表1のように、設計指針では設定されている。

表1. 保全係数Pの値.

畑面の勾配	横畝栽培
1～4度	0.27
4～7度	0.30
7～10度	0.40
10～15度	0.45
15～25度	0.50

g 作物係数

作物係数は、作物の地上部の大きさや根域の状況及び被服率などにより変化し、裸地状態を1.0として、作物によりほ場全面が被覆されると0に近くなる。

これまで、筆者らは沖縄県の主要作物であるサトウキビ、パインや野菜などの作物係数⁴⁾を月毎、年毎に設定している。パインの一般的な栽培期間は4年で、作物係数は植付け後0～1年の平均が0.80、1～2年目の平均0.50、2～3年の平均0.15、3～4年の平均が0.05となり、4年間の総作物係数は0.33となる。

サトウキビの作型には、キビ収穫後、株を残したまま生長させる株だし、3～4月に植付けをする春植え、7～10月に植付けをする夏植えの3種類がある。

栽培期間は株だし、春植えが1年で、夏植えは約1年半となる。作物係数は株だし0.05、春植え0.15、夏植えでは1年目が0.68、2年目0.02となり総作物係数は0.35となる。

2. 解析に用いたデータ

平成12年度流域赤土流出防止等対策調査（環境省委託業務結果報告書）⁵⁾の測定データを用いた。この報告書では、主に農地での防止対策の有無による土壌流出量の違いを報告しており、USLE式による予測量との比較は行われていない。

表2. 各地区の栽培状況.

	作物	土壌	面積(m ²)
東村	パイン	国頭マージ	21,100
恩納村	サトウキビ	国頭マージ	1,924
石垣市	サトウキビ	島尻マージ	3,986

表3. 各地区の測定データ.

	測定期間	降雨量(mm)	土壌流出量(t/ha)
東村	2000.7～2001.1	1,777	7.4
恩納村	1999.12～2001.3	1,647	4.0
石垣市	1999.12～2001.1	1,035	1.7

この報告書の測定データから、一連降雨の降雨係数やUSLE式を用いて土壌流出予測量を計算し解析した。各地区の栽培状況などは、表2のとおりである。

また、測定期間内で、機器故障等による欠測値や報告書で収穫時の土壌かく乱による異常値として記載されているデータなどを除いた。測定期間中の土壌流出量（実測量）の合計量を表3に示した。

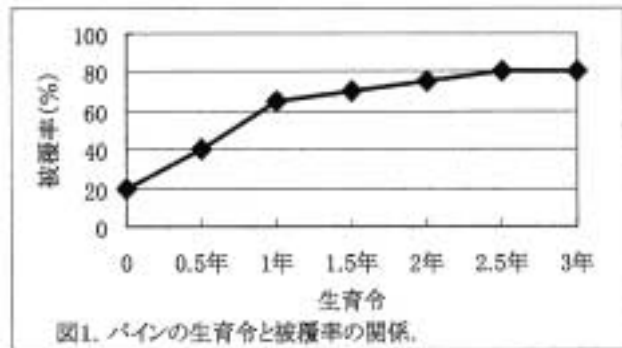
東村では、9ヶ月間の測定期間中に37回、恩納村では16ヶ月間に32回、石垣市では14ヶ月間に39回の一連降雨が観測されている。

結果と考察

1. 東村のパイン畑からの土壌流出予測量

a 土壌流出予測量

今回の土壌流出調査は、パイン植付け後3年前後で表土の被覆率が80%とかなり高くなっている（図1）。



パインは生長が遅く、植付け時の被覆率は20%前後であるがその後1～2ヶ月間はほとんど生長せず半年後の被覆率が40%、1年後でも60%前後とかなり低い。このため1～2年目は土壌流出量が多くなり、3～4年目は少なくなる。

土壌係数は国頭マージの0.3を、地形係数は先の報告書から斜面長50m、勾配を1度として(4)式から0.3となり、保全係数は表1から0.27に設定した。

作物係数は、被覆率や現地の栽培状況などから1999年7～12月を0.2に、翌年の2000年1～3月を0.1に設定した。

一連降雨の降雨係数、作物係数及び土壌流出予測量の計算結果を表4に示した。測定期間9ヶ月間の降雨量は1,777mmと多く、250mmを超える豪雨が3回ある。降雨係数はいずれも300を超え、最大値は441と非常に高い。このため測定期間の降雨係数も1,320と那覇での年間の降雨係数897に比べかなり高い数値となっている。

表4. 東村・パイン畑における一連降雨ごとの土壌流出予測量

年月日	降雨量 (mm)	降雨係数	作物係数	予測量 (kg/ha)
2000/7/28~8/3	461.3	390.1	0.20	1895.9
2000/8/7~8/9	289.1	301.8	0.20	1466.7
2000/8/15	3.0	0.1	0.20	0.5
2000/8/22	7.7	0.4	0.20	1.9
2000/8/23	3.0	0.1	0.20	0.5
2000/8/29~8/30	75.1	26.1	0.20	126.8
2000/10/4	7.3	0.7	0.20	3.4
2000/10/6	9.2	1.1	0.20	5.3
2000/10/8	6.5	0.6	0.20	2.9
2000/10/16	12.8	1.2	0.20	5.8
2000/10/24	11.8	2.5	0.20	12.2
2000/10/26~10/27	45.8	15.5	0.20	75.3
2000/10/29	35.7	12.2	0.20	59.3
2000/10/31	15.5	1.7	0.20	8.3
2000/11/5	19.7	3.6	0.20	17.5
2000/11/9~11/10	267.5	440.5	0.20	2140.8
2000/11/14	67.8	23.6	0.20	114.7
2000/11/20~11/21	44.7	21.2	0.20	103.0
2000/12/13~12/14	53.8	10.2	0.20	49.6
2000/12/17~12/18	17.4	1.3	0.20	6.3
2000/12/20~12/21	25.4	4.6	0.20	22.4
2001/1/13	9.3	1.0	0.10	2.4
2001/1/20	7.4	0.8	0.10	1.9
2001/1/25~1/26	65.4	29.3	0.10	71.2
2001/1/31~2/1	9.5	1.2	0.10	2.9
2001/2/3	8.1	0.7	0.10	1.7
2001/2/4~2/5	14.4	2.0	0.10	4.9
2001/2/10~2/11	12.5	0.4	0.10	1.0
2001/2/12	15.6	3.1	0.10	7.5
2001/2/13	13.9	1.2	0.10	2.9
2001/2/23~2/24	23.9	2.2	0.10	5.3
2001/2/26	1.8	0.03	0.10	0.1
2001/2/28	4.4	0.2	0.10	0.6
2001/3/17	8.7	0.5	0.10	1.1
2001/3/24	21.6	2.8	0.10	6.8
2001/3/25	9.3	0.4	0.10	0.9
2001/3/27~3/28	70.8	15.6	0.10	37.9
合計	1776.7	1320.5		6268.4

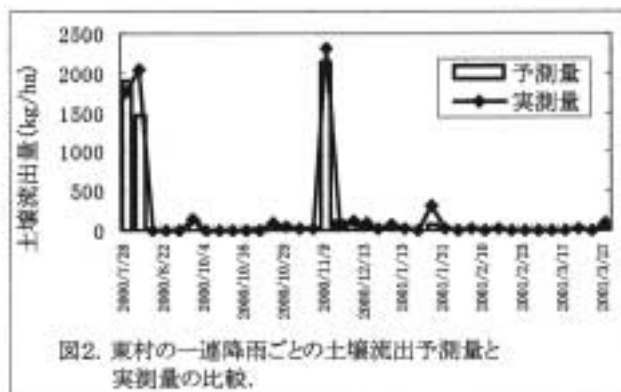


図2. 東村の一連降雨ごとの土壌流出予測量と実測量の比較.

s 土壌流出実測量との比較

一連降雨ごとのUSLE式による土壌流出予測量と土壌流出実測量の変化を示したのが図2である。

一連降雨ごとの予測量と実測量は、2000年7月28日、11月9日などの大量の土壌流出時にも再現性が高く、測定期間を通して同じような流出パターンを示している。

また、予測量と実測量の関係を示したのが図3である。

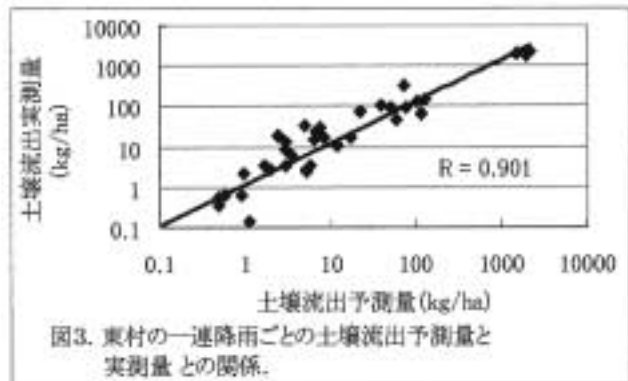


図3. 東村の一連降雨ごとの土壌流出予測量と実測量との関係.

実測量が1~2,000kg/haと広い範囲で予測量に近くなるため両数値間の相関性(R=0.901)は高い。測定期間の2000年7月~2001年3月までの実測量が7.4t/haであるのに対し予測量は、6.3t/ha(85%)とかなり近い数値が得られている。

これは作物係数の変化が少ない栽培後期の測定データであり、土壌流出予測量に影響を与える因子として降雨係数が特に大きくなるためだと考えられる。

d 従来法との比較

USLE式の5係数の内、作物係数を設計指針で採用されている数値を用いて、一連降雨の土壌流出予測量を推算し今回の予測量と比較した。

通常USLE式では、作物の生育期ごとの作物係数から総作物係数を設定しているが、設計指針では、植付け後1年目から4年目まで細かい区分をせずにパインの作物係数を0.5としている。

パインの作物係数を0.5として、一連降雨ごとの土壌流出量予測量の変化を示したのが図4である。

7月28日、11月9日などの予測量は、実測量の2倍以上になっている。予測量の合計量では16.0t/haとなり、実測量に比べ2倍以上高くなっている。今回予測量の1.2倍よりもかなり高く予測精度が悪くなっている。

従来法の予測量が高くなるのは、パインの総作物係数が実際よりも高く設定されているのが大きな原因の一

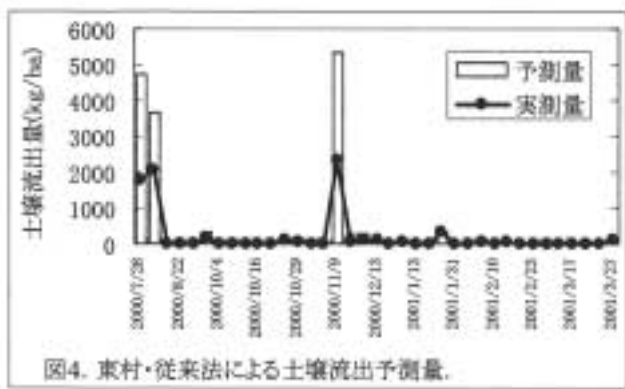


図4. 東村・従来法による土壌流出予測量.

つである。

また、生育期ごとの作物係数が設定されず、植付け直後の裸地が多い時期も表土が被覆される時期でも一定の値(0.5)をとり、作物の生長による土壌流出の軽減効果が反映されないからである。

2. 恩納村のサトウキビ畑からの土壌流出予測量

a 土壌流出予測量

土壌係数を国頭マ - ジの0.3, 地形係数は先の報告書から斜面長35m, 勾配1度として(4)式から0.25となり, 保全係数は表1から0.27に設定した。これらの数値を用いて、一連降雨ごとの予測量を推算し表5に示した。

測定期間中の降雨量は1,647mmで、降雨係数が697となっている。100mm以上の降雨は3回観測され、最高191mmであるが、測定期間中30~100mmの比較的中程度の降雨が観測されている。降雨係数も100を超えるのは1回で128が最高となっている。

s 土壌流出実測量との比較

一連降雨ごとの土壌流出予測量と実測量の変化を示したのが図5である。

2000年9月11日などは予測量に対し実測量が3倍以上も高くなっている。逆に、7月30日は実測量が約1/2と少なくなっている。

9月11日の観測では、降雨量に対し流量(表面流量)が約1.2倍と試験区外からも濁水が流入しているが、この流入量だけでは土壌流出量の増加量を十分説明することができず7月30日についても原因がわかっていない。

また、実測量と予測量の関係を示したのが図6である。

実測量が低くなると、予測量が若干バラツクが相関性(R=0.838)は高くなっている。

栽培期間の1999年12月~2001年3月までの実測量が4.0

表5. 恩納村・サトウキビ畑での一連降雨ごとの土壌流出予測量.

年月日	降雨量 (mm)	降雨係数	作物係数	予測量 (kg/ha)
1999/12/1	34.0	11.0	1.00	222.8
2000/3/2	48.3	5.6	0.80	90.7
2000/4/30	30.0	6.7	0.80	108.5
2000/6/16	7.4	1.1	0.50	11.1
2000/6/17	42.7	24.5	0.50	248.1
2000/7/9	81.1	28.0	0.50	283.5
2000/7/28~7/29	71.2	15.3	0.50	154.9
2000/7/30	21.8	3.9	0.50	39.5
2000/7/30~7/31	167.8	128.8	0.50	1304.1
2000/8/1	68.2	21.9	0.20	88.7
2000/8/3	19.6	2.2	0.20	8.8
2000/8/7~8/8	97.5	20.5	0.20	83.0
2000/8/29	16.6	6.3	0.20	25.5
2000/8/29~8/30	60.7	14.3	0.20	57.9
2000/9/8	90.0	66.7	0.10	135.1
2000/9/9	6.2	0.6	0.10	1.2
2000/9/11~9/13	191.0	84.1	0.10	170.3
2000/9/14~9/15	5.5	0.2	0.10	0.4
2000/10/26	33.3	11.9	0.10	24.1
2000/11/1	9.7	1.7	0.05	1.7
2000/11/5	7.1	0.6	0.05	0.6
2000/11/9	144.2	76.5	0.05	77.5
2000/11/20	54.4	34.6	0.05	35.0
2000/12/14	77.9	22.5	0.05	22.8
2000/12/18	9.8	0.8	0.05	0.8
2000/12/20	35.5	16.6	0.05	16.8
2000/12/30~12/3	54.6	8.4	0.05	8.5
2001/1/7	37.2	25.2	0.01	5.1
2001/1/25~1/27	68.3	49.5	0.01	10.0
2001/3/17	23.8	4.7	0.01	1.0
2001/3/21	12.8	0.7	0.01	0.1
2001/3/24	18.7	1.8	0.01	0.4
合計	1646.9	697.2		3238.5

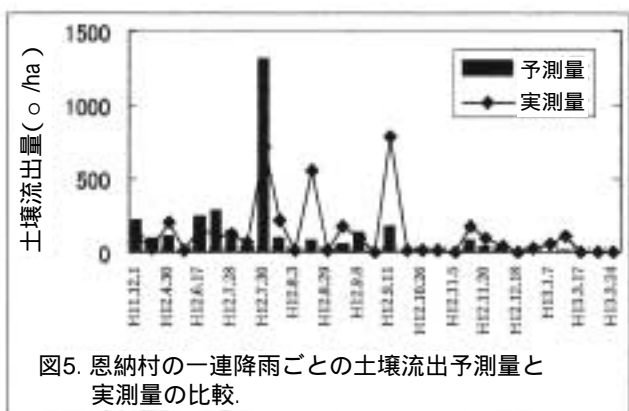
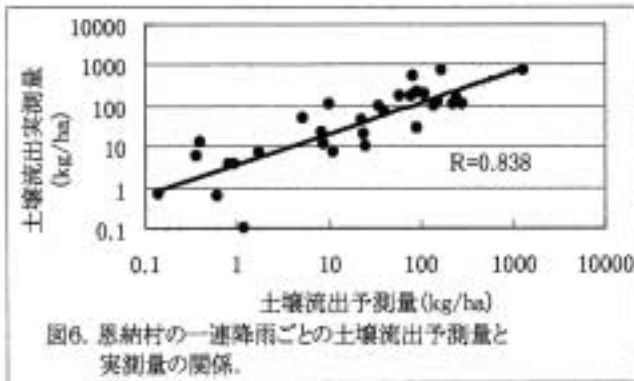


図5. 恩納村の一連降雨ごとの土壌流出予測量と実測量の比較.

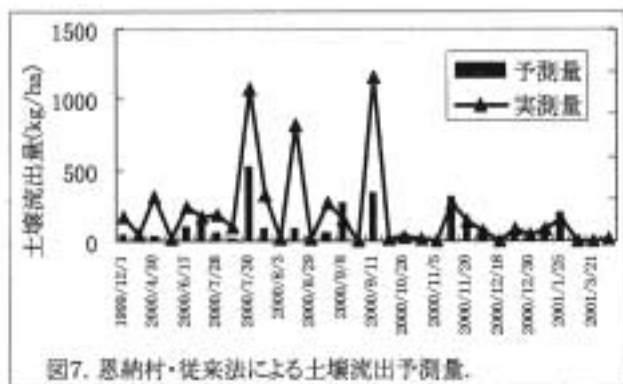
t / haであるのに対し、予測量は3.2 t / ha, 約80%と合計量ではかなり近い数値が得られている。



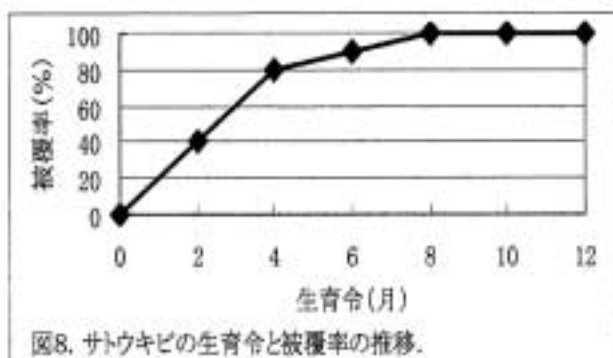
d 従来法との比較

設計指針ではサトウキビの作物係数が0.2に設定されており、この数値を使って一連降雨ごとの予測量の変化を示したのが図7である。

栽培初期から翌年の9月までの予測量は、実測量に比べかなり低くなっている。これは図8にも示したように栽培初期の被覆率が低い時期の作物係数は1.0~0.8と大きくなるのが一般的であるが、設計指針では0.2と過少評価されているためである。



このため従来法による予測量の合計量は2.8 t / haで、今回予測量3.2 t / haに比べ低く予測精度が悪くなっている。



3. 石垣市の土壌流出予測量

土壌係数は島尻マ - ジの0.1、地形係数は先の報告書から斜面長50m、勾配1度として(4)式から0.3、保全係数は表1から0.27に設定した。恩納村同様に、一連降雨ごとの土壌流出予測量を表6に示した。

測定期間中の降雨量は1,035mmで、降雨係数は597となっている。

100mm以上の降雨観測はなく、最高92mmとなっているが、測定期間をとおして30~100mmの比較的中程度

表6. 石垣市・サトウキビ畑での一連降雨ごとの土壌流出予測量。

年月日	降雨量 (mm)	降雨係数	作物係数	予測量 (kg/ha)
1999/12/16	8.5	1.2	1.00	9.7
1999/12/17	16.6	1.7	1.00	13.8
1999/12/18	9.2	1.8	1.00	14.6
1999/12/19	17.2	1.2	1.00	9.7
1999/12/19	12.3	0.5	1.00	4.1
1999/12/27	16.1	3.2	1.00	25.9
1999/12/28	4.1	0.2	1.00	1.6
2000/1/5	3.6	0.2	0.80	1.3
2000/1/6	24.7	5.1	0.80	33.0
2000/3/9	42.4	14.2	0.80	92.0
2000/3/11	46.3	8.7	0.80	56.4
2000/4/23	19.9	1.5	0.50	6.1
2000/4/30	7.2	0.4	0.50	1.6
2000/6/5	21.6	10.3	0.50	41.7
2000/6/6	16.3	2.0	0.50	8.1
2000/6/15	23.3	7.6	0.50	30.8
2000/6/17	56.1	20.6	0.50	83.4
2000/6/18	46.1	18.9	0.50	76.5
2000/7/3	23.2	2.6	0.50	10.5
2000/7/4	14.2	2.5	0.50	10.1
2000/7/5	4.8	0.4	0.50	1.6
2000/7/9	7.2	6.0	0.50	24.3
2000/7/31	81.5	67.0	0.50	271.3
2000/8/1	6.5	0.8	0.20	1.2
2000/8/2	9.7	0.9	0.20	1.5
2000/8/3	34.9	17.1	0.20	27.7
2000/8/5	8.9	1.2	0.20	1.9
2000/8/22	7.5	0.6	0.20	1.0
2000/8/22	53.3	46.4	0.20	75.2
2000/8/28	26.0	13.5	0.20	21.9
2000/8/29	16.3	1.4	0.20	2.3
2000/8/30	58.4	16.2	0.20	26.2
2000/9/9	14.1	1.2	0.20	2.0
2000/9/10	13.4	2.0	0.20	3.2
2000/9/14	34.1	12.4	0.20	20.1
2000/11/12	73.0	85.0	0.20	137.7
2000/12/13	51.0	47.1	0.01	3.8
2000/12/18	92.0	169.1	0.01	13.7
2001/1/25	13.1	3.8	0.01	0.3
合計	1034.6	596.5		1168.0

の降雨が観測されている。降雨係数も100を超えるのは1回で169が最高となっている。

s 実測量との比較

一連降雨ごとの土壌流出予測量と実測量の変化を示したのが図9である。

2000年1月6日, 11月12日は予測量に対し実測値が5

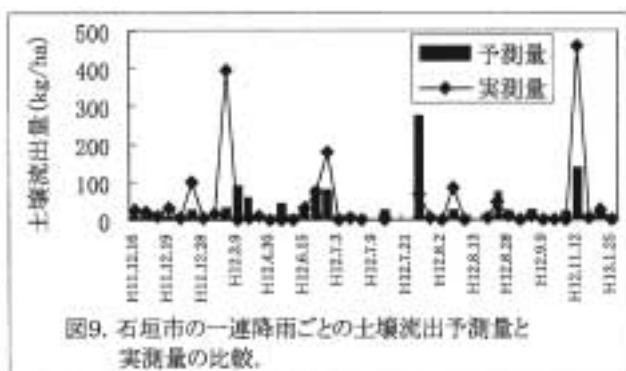


図9. 石垣市の一連降雨ごとの土壌流出予測量と実測量の比較。

倍以上も高くなっている。逆に, 7月31日は実測値が約1/4と低くなっている。1月, 11月の観測では, 流量が通常よりも約3倍以上高く, 試験区外から濁水の流入が考えられるが, これだけでは土壌流出量の増加量を十分説明することができず, 7月についても原因がわかっていない。今回の試験区は, 国頭マ - ジ土壌が分布する地域との境界にあり, 国頭マ - ジ土壌の混入による土壌流出量増加の可能性も考えられる。

実測量と予測量の関係を示したのが図10であるが, 実測量が多くなるほど予測量が大きくバラツクため相関性 ($R=0.616$) がやや低くなっている。

栽培期間の1999年12月~2001年1月までの実測量が1.7 t / haであるのに対し, 予測量は1.2 t / ha, 約70%とやや低くなっている。

島尻マ - ジ土壌での土壌流出量予測に関しては, さらなる調査研究が必要であり, 予測精度の向上を図ることが必要である。

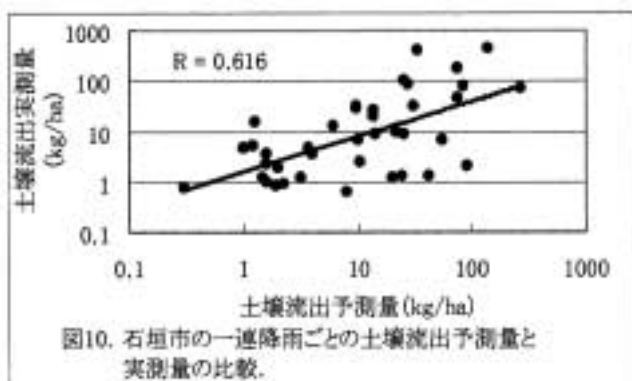


図10. 石垣市の一連降雨ごとの土壌流出予測量と実測量の比較。

(3) 従来法による予測量

サトウキビの作物係数0.2を用い, 一連降雨ごとの予測量の変化を示したのが図11である。

恩納村と同じような理由により, 栽培初期の予測量が実測量に比べかなり低くなっている。従来法による予測

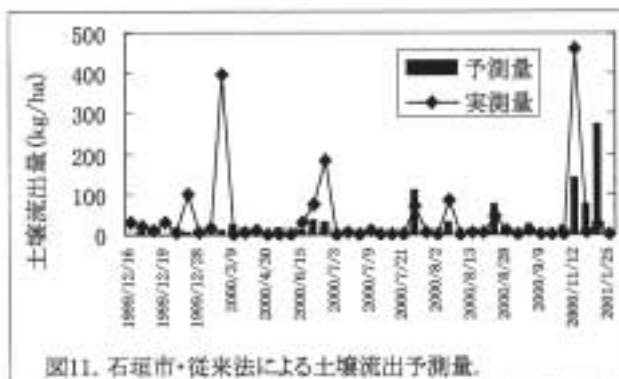


図11. 石垣市・従来法による土壌流出予測量。

量合計は1.0 t / haで, 今回予測量1.2 t / haに比べやや低くなっている。

4. 3地区の比較

一連降雨の土壌流出予測量と実測量の比を次式のように予測比と定義すると, 予測比が1に近づくほど予測量

$$\text{予測比} = \frac{\text{土壌流出実測量}}{\text{土壌流出予測量}}$$

と実測量が等しくなり予測精度が高いことを示している。逆に1よりも大きくなると実測量が多くなり, 1よりも小さくなると予測量が多くなり, とともに予測精度は悪くなる。

3地区の土壌流出予測量と予測比の関係を示したのが図12, 13, 14である。

東村, 恩納村では土壌流出予測量が10kg/ha以上になると, 予測比が10以下と低くなる。東村では予測量が10kg/ha以下でも予測比は低くなるのに対し, 恩納村では10以上と高くなっている。国頭マ - ジ土壌である東村, 恩納村では, 比較的土壌流出量の多い場合にも予測精度が高くなるため, U S L E 式は土壌流出量を予測する式

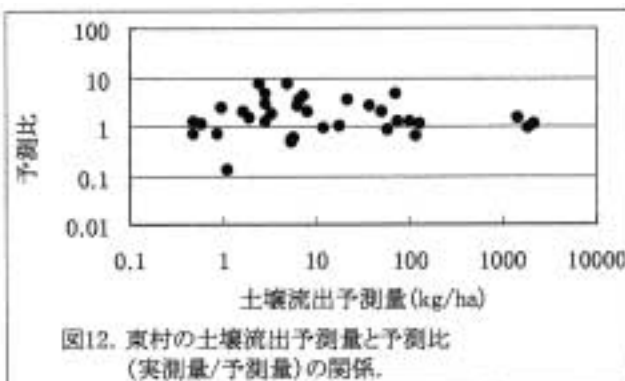
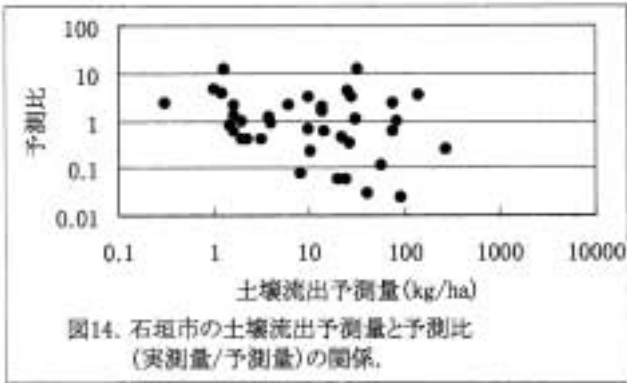
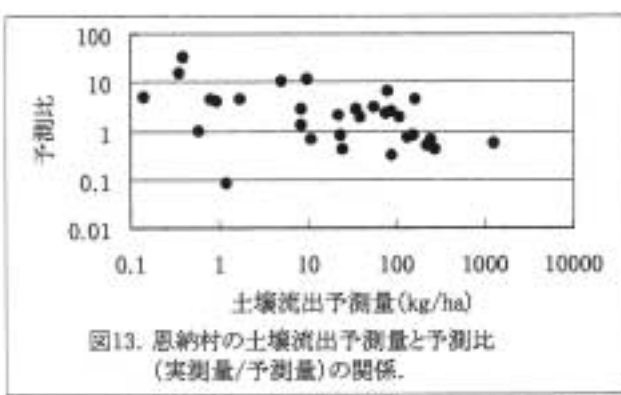


図12. 東村の土壌流出予測量と予測比 (実測量/予測量) の関係。



として十分活用可能であると考えられる。

一方石垣市の島尻マ - ジ土壤では、東村や恩納村とは逆に土壌流出量が10kg/ha以上になると予測比が高くなり、少なくなると低くなる傾向にある。他の2地区に比べ、個々の予測精度はやや悪くなっているが、石垣市でも予測式が適用可能と考えられる。

5. USLE式による土壌流出予測量の妥当性

USLE式は、5つの係数から構成されているが、このうち降雨係数と地形係数は、降雨量データなどを基に計算式(2, 3, 4式)から算出可能である。土壌係数と作物係数は、県内の主要土壌や主要作物などについて、これまでの調査研究から実情に合うよう細かく設定を行っている。

これに対し、保全係数はデータの蓄積がなく、先の設計指針の数値をそのまま採用する形になっている。県内の農地での適用性に関し十分な調査研究が実施されていないため、現地の実情に即した数値設定が困難となっている。

このようにUSLE式に関しては、改善すべき点もあるが、今回の予測方法を用いると従来法に比べ、個々の土壌流出の変動パターンがより実測量に近くなっている。また、合計量で考えると予測量が若干低く実測量の約70~85%となっているが、かなり近い数値が得られている。さらに、3地区の予測量を比較した場合でも、国頭マ -

ジのパン畑での土壌流出量が最も多く、次に国頭マ - ジのサトウキビ畑で島尻マ - ジのサトウキビ畑が最も少なくなるなど実測量と同様な結果が得られている。

現時点において、栽培作物や土壌の違いからくる土壌流出量の多少を比較するために、USLE式による土壌流出予測は最も有効な方法の一つであることが示唆された。

まとめ

今回、農地における土壌流出実測量とUSLE式による土壌流出予測量との比較検討し次のような結果が得られた。

1. USLE式による土壌流出予測量

国頭マ - ジ土壤のパン畑、サトウキビ畑と島尻マ - ジのサトウキビ畑において土壌流出予測量を推算した。

一連降雨ごとの予測量と実測量を比較した場合、国頭マ - ジ土壤のパン、サトウキビ畑では高い相関が得られたが、島尻マ - ジ土壤において十分精度の高い関係が得られず、各係数の設定に関しさらなる調査研究が必要となっている。

しかし、土壌流出の総量で比較した場合、予測量は実測量の70~85%の範囲内に収まりUSLE式が土壌流出量を予測する式として十分活用できるという結論が得られた。

2. 今後の検討課題

農地での測定データを増やすことにより、USLE式の各係数の設定に関し検討が必要である。また、今回できなかったジャ - ガル土壌における実測量とUSLE予測式との整合性の検討がさらに必要である。

参考文献

- 1) 比嘉榮三郎・大見謝辰男・花城可英・満元裕影 (1996) 沖縄県における年間土砂流出量について。沖縄県衛生環境研究所報, 29: 83 - 88.
- 2) 仲宗根一哉・比嘉榮三郎・大身謝辰男・満元裕影 (1998) 沖縄県における赤土等年間流出量(第2報)。沖縄県衛生環境研究所報, 32: 67 - 72.
- 3) 農林水産省構造改善局計画部(1992) 土地改良事業計画指針, 158 - 171.
- 4) 比嘉榮三郎・大見謝辰男・仲宗根一哉・満元裕影 (1997) 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, 31: 147 - 151.
- 5) 沖縄県文化環境部(2001) 平成12年度流域赤土流出防止等対策調査。

