

沖縄県における年間土砂流出量について

比嘉榮三郎・大見謝辰男・花城可英・満本裕彰

Quantity of Soil Run-Off on Okinawa Island

Eisaburou HIGA, Tatsuo OMIJA, Kaei HANASHIRO, and Hiroaki MITSUMOTO

Keywords : 年間流出量, 開発事業, 米軍基地, 農地

I はじめに

沖縄県における赤土流出は、昭和20年代頃まで極めて微々たるものであったと言われている。それが、昭和30年代のバイナップルの導入により、それまで農業収入に乏しかった農家にとってパインは唯一の換金作物となったことから、大型機械の導入等これまでにない山地での急速な農地開発等が赤土流出の始まりとされている。

しかしながら当時は、畑造成規模が小さく沿岸域を極度に汚染するほどではなかったため赤土流出問題は大きな社会問題とはならなかった。

ところが、昭和47年の本土復帰とともに、沖縄振興開発計画に基づく農業基盤整備事業、ダム建設等の公共事業や、本土資本の大量投入によるゴルフ、リゾート施設の建設等大規模な土地改変が短期間に集中的に実施されたため、大雨の度に沿岸域が赤く染まり、水産業や環境への被害が出るに至り赤土流出問題は大きな社会問題となった。

このような中で、赤土等流出防止条例が制定され1995年10月施行されることになっており、今後全県的な取り組みがなされようとしている。これほどまでに、赤土流出問題は大きな社会問題となっているが、沖縄県で年間にいったいどれくらいの赤土等の流出があるのか、これまでに報告された事例は少ない。

そこで、本県における赤土等年間流出量を米国で開発されたUSLE式及び各事業のSS（浮遊物質）の実測値を用いて推算した。

II 方法

1. 赤土等流出量の一般予測式

(1) USLE式

一般的に、農地から水食により流亡する土壌を予測する式として、米国の農務省土壌保全局が開発したものであり、我が国の実状に合うように各地の観測値をもとに一部修正されている¹⁾。

この式を参考にして農地及び開発事業からの流出量を

推算した。

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot P \cdot C \text{ [t/ha/年]}$$

A : 単位面積あたりの年間土壌流出量

R : 降雨係数

降雨エネルギーや降雨強度を示す。

那覇での897の値を用いた。

K : 土壌係数

土壌の侵食性を示す値で、0.1~0.6の範囲の中で暫定的に値が設定されている。ここでは国頭マージ及びジャーガルを0.3、沖積土壌を0.2、島尻マージを0.1に設定した。

ジャーガルの母岩となっている島尻層群泥岩（以下、クチャという）については、これまでの調査から暫定的に1.0とした。

LS : 地形係数（傾斜面長係数）

斜面長と傾斜の度合いを示す地形要素の侵食性指数である。

P : 保全係数

侵食対策効果に関する指数で、無対策な裸地状態を1とする。

開発事業では、土砂流出係数を保全係数として用いた。

C : 作物係数

作物の種類、生育状態などの栽培管理の条件によって異なり、休閑地での裸地の状態ではC = 1、密生した牧草地などは0に近くなる。ここでは細かく生育期等を区分せず、標準作期を通した作物係数として取り扱った。

(2) 各種事業等におけるSSの実測値からの予測

USLE式は、もともと農地のような緩傾斜地からの土壌流出を予測するために開発された式であり、森林などの急傾斜地からの流出量を予測するためには適当でない。

そこで、森林からの流出量については、降雨時におけ

るSSの実測値を用いて推算した。

米軍基地でも実弾砲撃演習場となっている恩納岳、ブート岳地域に広がる急傾斜な裸地からの流出量については、環境条件が似かよった土取り場におけるSSの実測値を用いて推算した。

III 結果

1. 各種開発事業からの流出量

(1) 公共事業

1) 土地改良事業

事業面積は、農林水産部の資料²⁾から615haとし、土壌別の面積については、各事業の事業面積を積み上げて算出した。

降雨係数は那覇での値が897となっているが、1年のうち、半年間工事が行われ、残り半年間は工事終了後の裸地状態になるものとしてそれぞれ497とした。

傾斜面長係数は、設計図面の得られた事業について、現況地形傾斜などから工事期間中、工事終了後に分け、それぞれの係数を求めた。

1994年1～6月、土地改良事業における流出防止対策を国頭地域で26事業、クチャ地域で10事業、島尻マージ地域で10事業、沖積土壌で1事業調査した。この調査で評価した、国頭マージ0.53、クチャ0.86、島尻マージ0.15及び沖積土壌0.8の土砂流出係数を保全係数として用いた³⁾。

作物係数は、1.0とした。

年間流出量は、98,500tとなる。

2) 土地区画整理事業

土木建築部の資料⁴⁾より、事業箇所22ヶ所、国頭マージ70ha、クチャ50ha、島尻マージ10ha、合計130haとした。

クチャの土壌係数を1.0、傾斜面長係数、土砂流出係数及び作物係数を1.0とした。

ただし、1事業30haについては、流出防止対策が進んでおり土砂流出係数を0.18とした。

$$897 \times 1.0 \times 1 \times 0.18 \times 1 \times 30.0 = 4,844t/\text{年}$$

$$897 \times 1.0 \times 1 \times 1 \times 1 \times 20.0 = 17,940t/\text{年}$$

クチャ以外の地域については、土壌係数を0.3、斜面長係数、土砂流出係数及び作物係数を1.0とした。

$$897 \times 0.3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 70.0 = 18,837t/\text{年}$$

年間流出量は、41,600t/年となる。

3) 公園造成事業

土木建築部の1人当たり公園面積の推移などの資料⁵⁾より、事業面積を21.6haとした。

土壌係数0.3、斜面長係数、土砂流出係数及び作物係数を1.0とした。

$$897 \times 0.3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 21.6 = 5,812t/\text{年}$$

年間流出量は、5,800t/年となる。

4) 道路事業

土木建築部⁶⁾、農林水産部の資料²⁾より、平成5年度実績で、一般道148ha、農道22ha、林道2ha、計172haとなっている。

土壌係数を0.3、斜面長係数、土砂流出係数及び作物係数は1.0とし、2ヶ月で舗装されるものとした。

$$897 \times 0.3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 172 \times 2/12 = 7,714t/\text{年}$$

年間流出量は、7,700tとなる。

5) 河川事業

前述の土木建築部の資料⁵⁾より、河川改修事業を実施しているのは国場川をはじめ22河川となっている。

河川事業からの流出量については、河川の平均流量にSSの濃度を乗じて求めた。

作業時間を1日4時間とし、SS濃度を4河川工事の平均値500mg/lを用いた。

工事期間は、平均120日とした。

年間流出量は、14,100tとなる。

(2) 民間事業

1) リゾート関連

企画開発部の資料⁸⁾より1993年に工事中または、造成して中断しているのが、レイクリッジゴルフリゾート、ブセナリゾート、海邦カントリークラブ、イザラバカントリークラブ、高松インターナショナル、千代田カントリークラブである。

上記2事業で排水のSSは概ね100mg/l以下に抑えられている。

$$2,300\text{mm} \times 10^{-3} \times 405\text{ha} \times 10^4 \times 0.7 \times 100\text{g}/\text{m}^3 \times 10^{-6} = 652t/\text{年}$$

年間流出量は、652tとなる。

2) 民間その他

上記企画開発部の資料より、事業面積を83haとし、造成工事は半年間行うものとした。

$$897 \times 0.3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 83 \times 6/12 = 11,168t/\text{年}$$

年間流出量は、11,200tとなる。

2. 農地等既存地目からの流出量

1) 農地

沖縄県農林水産部の資料⁷⁾では、平成5年度の耕地面積は46,700ha、水田が973ha、畑45,727haで耕地利用率

は、85.4%となっている。

耕地をさとうきび、パイナップル、野菜他の普通畑、牧草地、樹園地、田、放置され原野化されているものに分類した。作物の特性や栽培地域の偏りにより、パイナップル、果樹は国頭マージ地域に、水稻は沖積土壌地域に作付けされているものとして、各土壌別の利用面積を算定した。(表 1)

保全係数及び作物係数はこれまでの数値を用いた¹⁾。ただし、サトウキビは、株出し 0.05、春植え 0.15、夏植え 0.20とし、パイナップルは0.30と、当研究室のこれまでの調査より得られた数値を用いた。

斜面長は20m、傾斜はサトウキビ畑や普通畑は 2度、パイナップル畑は 5度、樹園地10度、田 0度として、土壌別に年間流出量を算定した。(表 2)

年間流出量は、103,100 tとなる。

2) 森林・草地

森林・草地については、これまでの降雨時のSSの平均値、5mg/l 及び6mg/l から推定した。

沖縄県林業試験場の業務報告⁹⁾ から、年間降水量 2,300mmのうち森林では40%が、草地では60%が流出するものとした。

米軍基地内を除く民間地域にある森林面積を87,500 ha、草地面積を13,312haとした。

$$2,300\text{mm} \times 10^{-3} \times 87,500\text{ha} \times 10^4 \times 0.4 \times 5\text{g/m}^3 \times 10^{-6} = 4,025\text{t/年}$$

$$2,300\text{mm} \times 10^{-3} \times 13,312\text{ha} \times 10^4 \times 0.6 \times 6\text{g/m}^3 \times 10^{-6} = 1,100\text{t/年}$$

年間流出量は、森林から4,000tが草地から1,100tが流出する。

3) 住宅商業地、道路、その他

これまでの、調査報告¹⁰⁾ などから、土壌係数 0.3、傾斜面長係数0.17、保全係数0.1及び作物係数を0.01として推定した。

住宅商業地

$$897 \times 0.3 \times 0.17 \times 0.1 \times 0.01 \times 12,843 = 587\text{t/年}$$

道路

$$897 \times 0.3 \times 0.17 \times 0.1 \times 0.01 \times 9,250 = 423\text{t/年}$$

その他

$$897 \times 0.3 \times 0.17 \times 0.1 \times 0.01 \times 27,565 = 1,261\text{t/年}$$

3. 米軍基地からの流出量

米軍基地の面積¹¹⁾ は25,012haとなっているが、北部訓練場、安波訓練場など約80%が森林・原野となっている。

米軍基地からの赤土等の流出で特に問題になるのが実弾砲撃演習場などがあるキャンプ・ハンセン、キャンプ・シュワブの両基地である。これは、実弾砲撃などの着弾地となっているブート岳、恩納岳及び久志岳などの山の斜面に、広大な裸地が常時存在しているからである。

そこで、これらの裸地面積を航空写真から計測すると61haとなり、国頭マージの土取り場でのSSの実測値 40g/l から土砂流出量を推定した。流出率は、0.7とした。また、これらの下流域には砂防ダムが設置されていることから、保全係数を0.6とした。

$$2,300\text{mm} \times 10^{-3} \times 61\text{ha} \times 10^4 \times 0.7 \times 40\text{kg/m}^3 \times 10^{-3} \times 0.6 = 23,570\text{t/年}$$

この裸地部分以外の米軍基地からの流出量については、USLE式で推定し、3,800tが得られた。

年間流出量は27,400tとなる。

表 1. 作物の土壌別栽培面積. (単位: ha)

	面積	割合(%)	島尻マージ	ジャーガル	沖積土壌
サトウキビ	23600	50.5	11470	5120	2170
パイナップル	1380	3.0	0	0	0
樹園地	1050	2.2	0	0	0
牧草地	3900	8.4	800	200	0
肥料作物	2720	5.8	1175	422	253
野菜他	6177	13.2	2668	957	574
田	973	2.1	0	0	973
原野化	6900	14.8	4060	539	373
計	46700	100.0	20174	7238	4343

表 2. 農地からの土壌流出量. (単位: t/年)

	国頭マージ	島尻マージ	ジャーガル	沖積土壌	合計
サトウキビ	19210	12622	12323	5741	49897
パイナップル	31751	0	0	0	31751
樹園地	3928	0	0	0	3928
牧草地	1483	33	102	0	1618
肥料作物	215	48	104	42	409
野菜他	7342	1651	3554	1421	13968
田	0	0	0	0	0
原野化	985	168	276	62	1491
計	64914	14522	16359	7265	103062

IV 考察

1. 赤土等年間流出量

沖縄県における赤土等年間流出量をUSLE式及びこれまでの各事業におけるSSの実測値から推算した。(表3)

表3. 赤土等年間流出量.

区分	面積 (ha)	単位流出量 (t/ha年)	流出量 (t/年)
県全体	226,523	—	317,500
既存地目	200,084	—	110,500
森林	87,497	0.05	4,000
草地等	13,312	0.08	1,100
農地(耕地)	46,700	2.21	103,100
住宅商業地	12,843	0.04	600
道路等	9,250	0.04	400
水面	2,917	0.00	0
その他	27,565	0.04	1,300
米軍基地	25,012	—	27,400
裸地	61	386	23,600
その他	24,951	0.15	3,800
開発事業	1,427	—	179,600
公共事業	939	—	167,700
土地改良	615	160	98,500
区画整理	130	320	41,600
道路造成	172	44.8	7,700
公園造成	22	263	5,800
河川事業	—	—	14,100
民間事業	488	23.6	11,900
リゾート関連	405	1.6	652
民間その他	83	135	11,200

※ 森林及び米軍基地はSS濃度の測定値から推定。それ以外はUSLE式から推定。開発事業には、海岸・護岸、ダム工事などすべての流出量は含まれていない。

それによると、既存の森林、農地、住宅その他等から年間110,500 t が、米軍基地から 27,400 t、また、公共工事等の開発事業から179,600 t の流出量が算定された。

しかしながら、今回の算定では、開発事業においてすべての事業量を把握できず流出量が過小評価されており、今後の検討課題となっている。

(1) 開発事業からの流出量

開発事業からの流出量は、公共・民間を問わずすべての事業から流出量を把握することが非常に困難で、海岸・護岸、ダム工事などからの流出量を加えていないにもかかわらず、農地などの既存地目よりもかなり多くなっている。

さらに農地などの単位面積当たりの流出量と比較した場合でも、開発事業はリゾート関連を除いて20倍以上も高くなっている。

このように、開発事業では流出量、単位流出量とも既存地目よりも多くなっており、水産業、環境への影響の大きさを考えると、条例による早急な規制などによる流

出量の軽減化が必要となっている。

条例施行後、開発事業からの濁水濃度が200mg/l以下に低減された場合、単位流出量は降雨量を2,300mm、流出率を0.7として試算すると次のような値になる。

$$2,300\text{mm} \times 10^{-3} \times 1\text{ha} \times 10^4 \times 0.7 \times 0.2\text{kg/m}^3 \times 10^{-3} = 3.2\text{t/ha/年}$$

現在の開発事業では、リゾート関連を除いてすべての事業において、この数値の10~100倍もの値になっており、流出防止対策の強化と流出量の低減化に向けた取り組みが急務となっている。

単位流出量を3.2t/ha/年まで抑制した場合、開発事業からの年間流出量は、179,600tから3,500tに激減し、実に98%が削減されることになる。

(2) 農地からの流出量

年間流出量からすると、開発事業の次に農地からの流出量が多くなっており、農地においても、開発事業同様、当面、この3.2t/ha/年の数値を目標とした防止対策への取り組みが必要であると考えている。

農地からの流出量であるが、作物別、土壌別及び栽培方法別の単位流出量を考慮する必要がある。

作物別の単位流出量をみると、この数値を大きく越えているのはパイン畑で、サトウキビ畑などは若干高くなっている程度である。(表4)

表4. 作物別単位流出量. (単位: t/ha/年)

	国頭マージ	ジャーガル	島尻マージ	沖積土壌
サトウキビ	4.0	2.4	1.1	2.6
パイン	23.0	—	—	—
野菜他	3.7	3.7	0.6	2.5
樹園地	3.7	3.7	0.1	0.4
牧草地	0.5	0.4	0.0	0.2
肥料作物	0.3	0.3	0.0	0.2
田	0.0	0.0	0.0	0.0

特にパイン畑については、単位流出量が23.0t/ha/年と最も高くなっている。

しかしながらパイン畑でも、土地改良された畑と、山の傾斜面にある個人の畑では流出量に大きな違いが見られる。

土地改良された圃場では、圃場勾配が緩くなり傾斜面長係数が小さくなるとともに、古株すき込み、等高線栽培などの効果により保全係数も小さくなる。このため、単位流出量は8.5t/ha/年とかなり小さくなる。

これに比べ、個人畑では急傾斜に加え、パイン更新時の表土剥ぎ、法面などからの流出量が多くなり、単位流出量も128t/ha/年と、開発事業なみの値となる。

このように同じパイン畑でも、圃場の形態や管理方法により流出量に大きな差が見られ、個人畑における単位流出量の軽減化が今後の大きな課題である。

農地からの流出量で、最も大きな比重を占めているサトウキビは、国頭マージ、ジャーガルの夏、春植えで、沖積土壌では夏植えでこの数値を超えている。(表5)

表5. サトウキビの栽培別単位流出量。(単位:t/ha/年)

	国頭マージ	ジャーガル	島尻マージ	沖積土壌
夏植え	6.7	6.7	1.2	4.5
春植え	5.0	5.0	0.9	3.3
株出し	1.7	1.7	0.3	1.1

株出しによる栽培方法は、すべての土壌でこの数値以下となっており、土壌保全の観点からみれば、もっとも優れた栽培方法であると言える。

島尻マージでは、すべての栽培方法でこの数値以下となっている。

ジャーガルでは、ほとんどの圃場で株出しを行っているために、国頭マージと同じ程度土壌が流出しやすいという条件にもかかわらず、土壌別の単位流出量は2.4と小さくなっている。

国頭マージでは、株出しが約50%と少なく、夏植えが約40%と多くなっているため、土壌別の単位流出量が最も高くなっている。

この地域では、夏植えから株だしへの栽培方法の変更や、植え付け初期あるいは植え付けするまでの裸地対策が必要となっている。

この植え付け初期の対策がいかに効果的であるかという点、例えば緑肥植物による植被などにより、この期間の作物係数1(裸地状態)を0.1まで減少させたものとする。

春植えの場合では、4~6月の3ヶ月間流出対策を実施すれば、流出量は3分の1に、夏植えの場合だと、4~10月までの半年間同様な対策を行うことにより、流出量は、3分の1以下に減少する。

このようにサトウキビは、パインに比較して単位流出量はかなり低くなっている。植え付け初期及び植え付けするまでの期間の流出を抑制することで、単位流出量を目標以下にすることが比較的容易な作物であると言える。

(3) 米軍基地からの流出量

一方、米軍基地からの赤土等流出であるが、キャンプ・ハンセン及びキャンプ・シュワブ内にある裸地からの流出量は、年間11,800tとなり、単位流出量も193t/ha/年と高くなっている。

両基地内を流れる河川については、基地内に砂防ダムが建設されているが、これだけでは対策が十分でなく金武町の加武川、石川川等では、大雨の度に赤く汚染されている状況にある。

単位流出量からも推察できるように、両基地内にある裸地対策が今後の重要な課題である。

2. 環境容量を考慮した流出量

陸地から流出した土砂は、年間どれぐらいの割合で海域に到達するのか、サンゴ礁海域を健全な状態で維持できる流出量の上限值とははたしてどれぐらいなのか、これまで研究報告が少なく、現在のところ、具体的な数値は把握されていない。

しかしながら、島尻マージが分布する宮古島では、島内全域で土地改良事業が実施されているにも関わらず、海域での懸濁物質含有量は県内でも低いレベルの海域となっている¹²⁾。これは、島尻マージが透水性が高いうえに、島が平坦で河川がないなど、自然的条件に恵まれたためだと言われている。

この地域の土地改良事業での単位流出量が8.5t/ha/年となっていることから、これぐらいの流出量であれば、サンゴ礁海域を保全できる許容範囲内であると考えられることもできる。

仮にこの数値付近に環境容量の上限值があると仮定した場合、リゾート関連を除いたすべての開発事業、米軍基地ではキャンプハンセン、キャンプシュワブ内の裸地からの流出がこの数値を大きく超えている。

農地ではパイン畑だけが、この数値を越えていることになる。

やはり、このようなことから、環境保全を図るためには、開発事業からの流出量を早急に抑制することが、最も緊急な課題であることがわかる。

V まとめ

1. 各種開発事業

年間流出量、単位流出量が最も多く、水産業、環境へ与える影響が大きいため流出防止対策の強化を図り流出量を抑制することが、最優先されるべき緊急な課題である。

2. 農地

当面パイン畑とサトウキビ畑の流出防止対策を重点的に行う必要がある。

特にパイン畑では、個人畑からの単位流出量が、開発事業なみの128t/ha/年となることから緊急な対策が必要である。少なくとも、等高線栽培、パイン更新時の古株

すぎ込みなどを徹底するなど、環境に配慮した農業の普及啓発を図る必要がある。

サトウキビ畑では、春、夏植えでの流出防止対策が必要である。

植え付け初期あるいは植え付けするまでの裸地対策の強化を図ることが、最も効果的であり、流出量を3分の1以下に抑制することが可能である。

3. 米軍基地

キャンプ・ハンセン、キャンプ・シュワブ内にある裸地からの流出をいかに抑制するかが、今後の大きな課題である。

VI 参考文献

- 1) 農林水産省構造改善局計画部(1992)土地改良事業計画指針：pp.158-171
- 2) 沖縄県農林水産部(1995)沖縄県の農業農村整備
- 3) 大見謝辰男，比嘉榮三郎，花城可英，満本裕彰
- (1995)沖縄県の赤土等の流出とサンゴ礁の保全．農業土木学会誌，63(3)：267-272.
- 4) 沖縄県土木建築部(1993)沖縄県の土地区画整理
- 5) 沖縄県土木建築部(1994)土木建築部要覧：pp.109-110
- 6) 沖縄県土木建築部(1994)道路施設現況調
- 7) 沖縄県企画開発部(1994)平成6年度土地利用動向調査
- 8) 沖縄県農林水産部(1995)農業関係統計
- 9) 沖縄県林業試験場(1993)業務報告，第4号：pp.36-38
- 10) 沖縄県環境保健部(1993)赤土汚濁に関する流域解析調査報告書：pp.30-40
- 11) 沖縄県基地対策室(1993)沖縄の米軍基地
- 12) 大見謝辰男，大山峰吉，池間修宏(1993)沖縄県内各地における赤土汚染の現状(第2報)．第23回沖縄県衛生監視員研究発表抄録：pp.50-60