

土木学会
平成16年度「重点研究課題」報告書

研究課題名：
「沖縄における流域管理と赤土流出抑制
システムに関する研究開発」

代表研究者：
池田駿介（東京工業大学）

目次

．目的・体制・活動内容	1
．赤土流出防止対策のハード的アプローチ	5
．赤土流出防止対策のソフト的アプローチ	17
．総括	23

．目的・体制・活動内容

1．研究の目的

地球環境委員会では、この数年間、国土管理と資源循環に関連する研究に取り組んできた。この重点研究課題では、これまでの研究範囲を沖縄へと拡げ、流域の開発によって生じる多量の赤土流出で消滅しているサンゴ礁の保全対策に着目し、特に経営基盤の弱い農業部門における赤土流出抑制対策に関わる政策提言型の研究を行った。

これまでの筆者らの現地調査等の結果から、赤土流出問題の対処方法として、農地における発生源対策が有効であることが示されているが、農業経営の脆弱性などの問題から導入上の請託が大きく、実効性が課題となっている。そのような経緯をふまえ、農業部門における赤土流出抑制対策への支援の仕組みに関する政策提言を目的として、ワークショップ方式をもとに、基金制度等に関わる事例研究や適用性について研究を行った。

2．研究体制

地球環境委員会の「国土の流域管理と森林資源循環に関する研究小委員会」の構成員を主体に、関連学会や関連団体の専門家や有識者も含めた総合的な研究体制を立ち上げた。

研究代表者：池田駿介（東京工業大学・大学院理工学研究科・教授）

研究全体の総括，赤土流出抑制対策のハード的アプローチの総括

研究分担者：松下 潤（芝浦工業大学・システム工学部・教授）

赤土流出抑制対策のソフト的アプローチの総括

惠小百合（江戸川大学・社会学部・教授）

赤土流出抑制対策のソフト的アプローチ，流域経営モデルの構築

宮本善和（中央開発（株）・部長）

赤土流出抑制対策のソフト的アプローチ，基金事例調査

桜井国俊（沖縄大学・学長）

赤土流出抑制対策のソフト的アプローチ，住民参加事例調査

島田正志（東京大学・農学生命科学研究科・助教授）

赤土流出抑制対策のハード的アプローチ，営農的対策の評価

岡本峰雄（東京海洋大学・海洋科学部・助教授）

サンゴの再生実験，赤土流出のサンゴへのインパクト

安東正行（（財）日本生態系協会・研究センター・研究員）

赤土流出抑制対策のハード的アプローチ，海外事例調査

大澤和敏（東京工業大学・大学院理工学研究科・助手）

赤土流出抑制対策のハード的アプローチ，土砂流出シミュレーション

3. 活動内容

第1回 ワークショップ(2004年4月, 土木学会)

研究方針・分担の確認

第2回 ワークショップ(2004年5月, 東京工業大学)

「赤土流出対策に伴う新たな地域産業システムの創生の可能性」について, 国際農林水産業研究センター(科学技術事業財団, 重点研究支援研究員)の干川明氏を招いて講演をして頂いた。干川氏は沖縄県石垣島にて赤土流出防止対策に関して長年研究してきた実績を持つ。講演では, 赤土流出防止対策となるエネルギー作物の栽培およびバイオマスエネルギー化について, これまでの研究成果を発表して頂いた。

第3回 ワークショップ(2004年6月, 東京工業大学)

「サンゴの生態, 再生技術, 汚染に対する抵抗力に関する研究成果」について, 東京海洋大学助教授の岡本峰雄氏を招いて講演をして頂いた。岡本氏は沖縄県各地にてサンゴの再生技術に関して長年研究してきた実績を持つ。講演では, 基礎的なサンゴの生態から応用的な人的付加の影響とサンゴの再生の関係について発表して頂いた。

第4回 ワークショップ(2004年7月, 東京工業大学)

「赤土流出防止対策のソフト的アプローチ」について, 芝浦工業大学の松下助教授, 江戸川大学の恵教授, (株)中央開発の宮本部長にそれぞれの研究成果を発表して頂いた。発表では, 地域環境の向上のための基金作りの事例などをいくつか紹介し, 沖縄の赤土流出問題へのアプローチの方法について議論した。その結果, ハード的対策とソフト的対策を融合させた「沖縄モデル」の構築が急務である結論に至り, その具体的な方策について話し合った。

第1回 研究協議会・現地調査(2004年8月, 沖縄県那覇市, 石垣市)

議 題: 内閣府 沖縄総合事務局 次長 渡口 潔 氏を招いての研究説明会(8/29)
サンゴの分布およびサンゴの再生研究の現地視察(8/30)
赤土流出防止対策研究圃場の視察, 名蔵川およびその河口部(マングローブ林)における赤土流出現況調査(8/31)
沖縄県八重山支庁との合同研究・政策情報交換会(8/31)
石垣市役所において赤土流出対策担当者(新良 満氏)と会見(8/31)

本現地調査および研究会議では, 池田らの研究グループが赤土流出の現場である沖縄県へ赴き, 現地行政者とのディスカッションおよびフィールドトリップを主に行った。

議題 において, 沖縄における赤土流出の現状や研究成果を説明し, ハード対策およびソフト対策の現状, そして新産業創生の可能性について情報交換を行った。

議題 において、岡本氏の案内で研究対象流域としている石垣島名蔵川沿岸域におけるサンゴの生息分布、赤土流出による被害を実際に海に潜って観察した。また、岡本氏が行っているサンゴの再生技術の実験現場海域に赴き、実験の様子を海に潜って観察した。

議題 において、池田らが観測を行っている赤土流出防止対策研究圃場に赴き、対策方法や観測システムの説明を受けた。また、名蔵川中流域およびその河口部(マングローブ林)における赤土流出の現況を踏査した。

議題 において、沖縄県八重山支庁において土木建築課職員、農業水産整備課職員、地元企業職員(合計約30名)に集まっていたいただき、研究・政策情報交換会を開催した。会議では、これまでの研究成果(ハード対策、ソフト対策、新産業創生)を政策提案として発表し、来場者と議論した。

議題 において市役所職員と会見し、今後の研究計画等を説明し協力を促した。

第5回 ワークショップ(2004年11月、東京工業大学)

「石垣島における赤土流出抑制対策の現地試験結果報告」について、東京工業大学の山口氏に研究成果を発表して頂いた。サトウキビの不耕起栽培、植生帯(グリーンベルト)による微細土砂流出削減量はそれぞれ、約90%、約15%となり、不耕起栽培が赤土流出防止対策として極めて重要であることがわかった。

第2回 研究協議会・現地調査(2005年3月、沖縄県那覇市、石垣市)

議題： 沖縄県 技監 松井 正樹 氏および赤土関連課を招いての研究成果説明会
(3/4)

石垣島農業生産法人 代表取締役 入嵩西 正治 氏と面会(3/5)

赤土流出防止対策研究圃場の視察、名蔵川およびその河口部(マングローブ林)における赤土流出現況調査(3/6)

議題： 本現地調査および研究会議では、本年度の研究成果を沖縄県にフィードバックする目的のもとで、赤土流出の現場である沖縄県へ赴き、沖縄県 技監 松井 正樹 氏および赤土関連課の職員と面会し、これまでの研究成果の説明およびそれに基づく政策提言を行った。その結果、沖縄県は本研究グループの提案の実現へ向けて、今後、本研究グループと共同で定期的なワークショップを開催することを承認した。

議題： 石垣島にて赤土流出防止対策の実現性について石垣島農業生産法人 代表取締役 入嵩西 正治 氏と面会しディスカッションを行った。また、国際農林水産研究センターの研究員の干川明氏、石垣市農業委員の池原吉克氏にも同席していただき、具体的な赤土流出対策メニューの策定および農業者へのフィードバックシステムについて話し合った。

議題 において、池田らを中心に観測を行っている赤土流出防止対策研究圃場に赴き、対策方法や観測システムの説明を受けた。また、名蔵川中流域およびその河口部(マングローブ林)における赤土流出の現況を踏査した。

研究成果説明会(2005年3月, 沖縄県石垣市)

「流域対策による赤土流出抑制シナリオの検討報告・意見報告会」

日本生態系協会が主催し, 沖縄県, 国土交通省, 農林水産省の担当部局が出席した集会にて, 本研究グループの成果の一部を公表した。内容としては, 研究代表者の池田らの研究成果である「営農形態別の赤土流出比較試験」, 「WEPPを用いた名蔵側流域対策シミュレーション」を公表し, 赤土流出抑制の方策の方向性を示した。また, 総合討議で基金制度のあり方について議論した。

．赤土流出防止対策のハード的アプローチ

～農業流域から河川へ流入する微細土砂の抑制対策試験および解析～

1．はじめに

微細土砂の生産源として農地などの面源からの流出を適切に評価することが、流域一貫土砂管理法の策定のために必要とされている。面源における土砂生産が顕著である沖縄県では、この問題を赤土流出と称して、サンゴをはじめとす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している。営農地域を対象とした赤土流出規制について検討するためには、営農的土砂流出防止対策の効果を定量的に把握し、流域内での土砂動態解析の中に組み込んだ形で統合的な流域土砂管理計画を策定する必要がある。

そこで、本研究では沖縄県石垣島の実際に営農されてきた畑地において同一条件の4つの試験区を設置し、土砂流出抑制対策に伴う侵食量の削減量を定量的に計測することを第1の目的とした。具体的には、畑を4つに区切り、無耕作(裸地)区、サトウキビ慣行栽培区、植生帯(グリーンベルト)を有するサトウキビ慣行栽培区、そして無耕起状態でのサトウキビ栽培区の4種類の営農形態で侵食量の同時計測による比較試験を行った。それらの試験結果を用いて、作物の慣行栽培による侵食抑制効果、無耕起栽培による侵食抑制効果、そして植生帯による流出土砂の捕捉効果について検討する。第2の目的として、農地における土砂生産過程に加え土砂の流下過程も表現可能な物理的モデルである WEPP (Water Erosion Prediction Project) を用いたシミュレーションを行う。得られた試験結果を用いてモデルの適合性を検証し、農地における対策シミュレーションを行う。そして、石垣島名蔵川流域内の農地主体の小流域における現状の土砂動態把握および適切な対策を行った場合の土砂流出削減量を試算する。

2．農地における土砂生産の比較試験

(1) 試験農地の概要

試験地は沖縄県石垣市新川におけるサトウキビ畑とした。表層土壌の粒度組成は、国際法による粒径区分を用いると、粘土 5%、シルト 19%、砂 32%、礫 44%であった。設置した試験区の概要を図-1 に示す。試験区は St-1~St-4 の4種類あり、St-1 を無耕作(裸地)区、St-2 をサトウキビ春植え栽培(慣行栽培)区、St-3 を試験区末端に植生帯を有するサトウキビ春植え栽培区、そして St-4 を無耕起状態でのサトウキビ株出し栽培区とした。サトウキビの春植え栽培とは2~3月に苗を植え付け、翌年の1~2月に刈り取る栽培方法で、株出し栽培とは刈り取り後の株を用いて生育させる栽培方法である。その他のサトウキビの栽培方法として、8~9月に苗を植え付け、翌々年の1~2月に刈り取る夏植え栽培がある。St-3の植生帯の植生には高麗芝を用い、試験区末端より上流に向かい約0.6m および斜面幅方向

全面に植え付けた

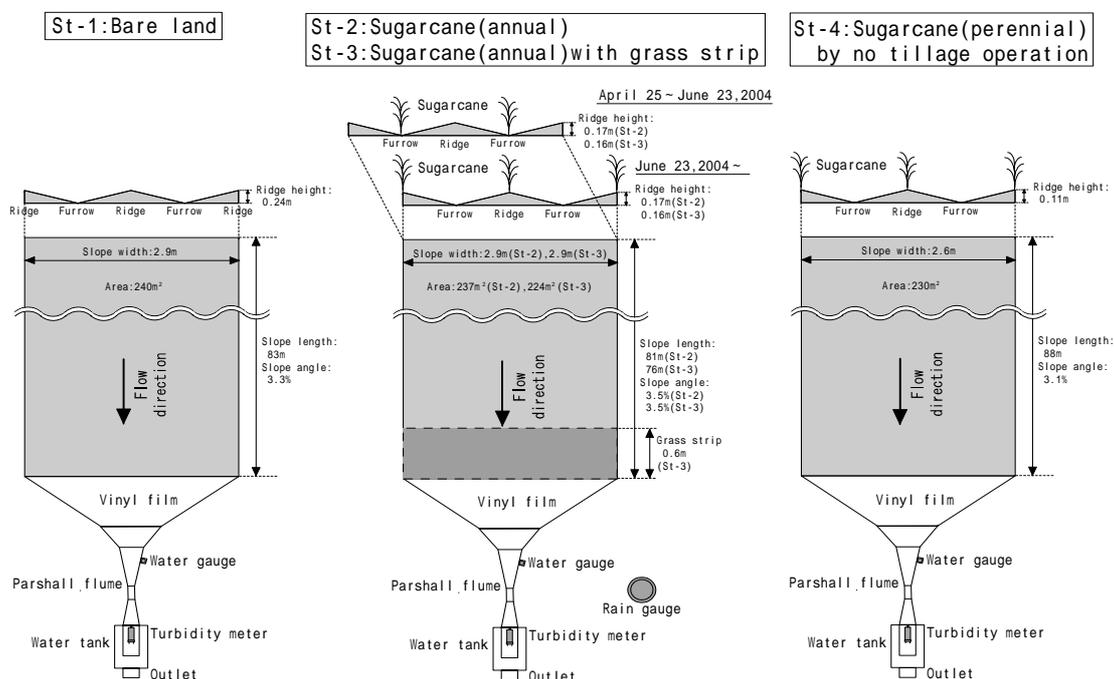


図-1 試験区の概要

(2) 計測方法

各試験区における連続測定項目は降水量，流量，浮遊土砂濃度とした．それとともに適時，被覆率測定や水準測量を行った．降水量は転倒マス式雨量計(MW-010，栄弘精機)を用いて1分間隔で測定し，流量はパーシャルフリューム(3インチ型，ウイジン)およびフロート式水位計(UIZ-GY30，ウイジン)を用いて1分間隔で測定し，浮遊土砂濃度は降雨時に手採水した試料の分析および後方錯乱光式濁度計(Compact-CLW，アレック電子)によって2~5分間隔で測定した．なお，浮遊土砂を流水中に存在する土粒子(最大粒径100 μ m程度)と定義する．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．試験は2004年6月から2005年1月の作物の収穫まで行った．なお，畑地から流出したがパーシャルフリュームまで運搬されず集水部に堆積した土砂は降雨毎に浚渫し，乾燥重量を求めた．

(3) 試験結果および考察

試験期間中における主要な降雨イベントにおける浮遊土砂流出量の経時変化を図-2に示す．St-1が常時最も大きく，St-4は顕著な浮遊土砂流出が起こっていない．St-2およびSt-3はほぼ同じであった．また，降雨時に採水した流出水に含まれる土砂の粒度分布をレーザー回折式粒度分析計(SALD-3100，島津製作所)によって測定した結果，試験区または経時的に多少異なったが，0.1~50 μ mの範囲であった．

試験期間中の全降水量の約80%を占めた2004年6月から9月において，土砂流出のあ

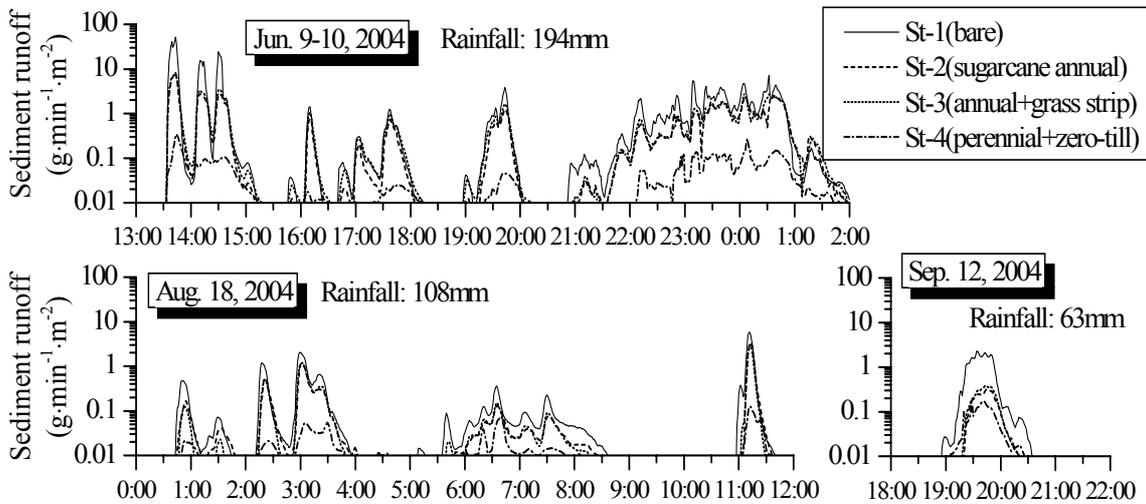


図-2 各試験区における浮遊土砂流出量の経時変化
(上：6月9~10日，左下：8月18日，右下：9月12日)

った月毎またはイベント毎で総計した結果を図-3に示す。St-2とSt-1を比較することによって、作物の被覆による侵食抑制効果を検証する。St-2はSt-1の41%であり、削減率は59%であった。降雨イベント毎の削減率では、無耕作区における雑草の影響があった降雨イベントを除くと39%(6月8日)~92%(9月13日)の範囲であった。

St-4に対するSt-1およびSt-2の土砂流出量を比較することによって、無耕起状態での株出し栽培による侵食抑制効果を検証する。St-4はSt-1の6%、St-2の15%であり、削減率

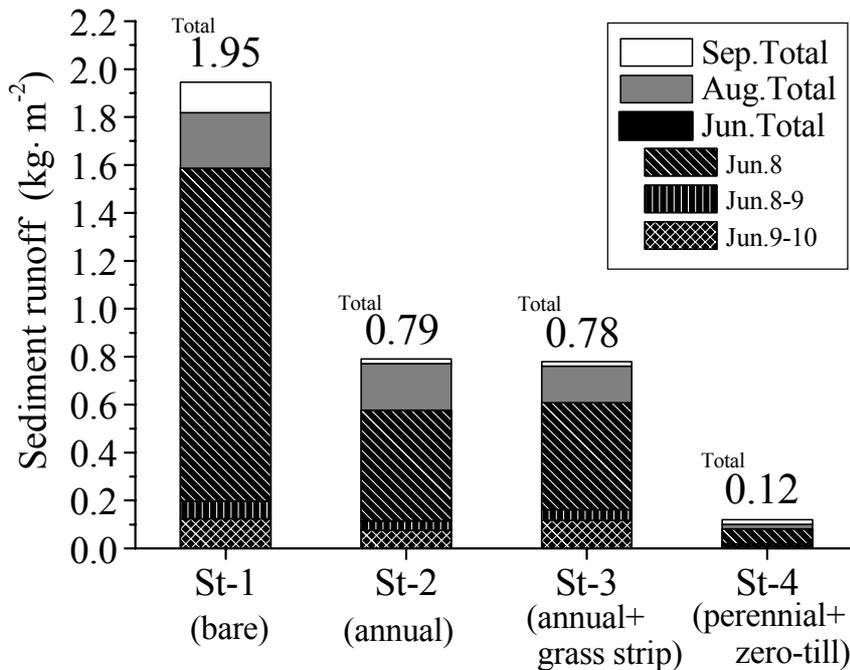


図-3 各試験区における土砂流出量

はそれぞれ 94%、85%であった。これは、サトウキビの株出し栽培は栽培方法上、新たな苗から生育させる春植え栽培より生育が早く作物の被覆率が高かったこと、前年度の収穫後、耕起を行わないことによって土壌の攪乱による侵食量の増大が無いことや地表面の残渣が多く存在していたことが侵食抑制に大きく関与したと考えられる。また、サトウキビの収量調査を行った結果、St-2 が $54\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ 、St-4 が $53\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ となり、ほぼ同じであった。

St-3 と St-2 の比較を行い、植生帯による流出土砂の捕捉効果を検証する。植生帯部分の土壌を乱した直後であった 6 月 8 日のイベントを除くと St-3 ($6.6\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) は St-2 ($7.2\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$) の 92% で、削減率は 8% となった。この結果から、沖縄県において既に実用化されている長さ 0.6m の植生帯による土砂の捕捉量は僅かであり、効果的な削減を行うためには適切でないことが言える。

以上のことから、営農による侵食抑制方法として、無耕起状態および作物・残渣による被覆率を常時高く保つ方法が極めて効果的であることが明らかになった。

3. 農地での WEPP の検証およびシミュレーション

(1) WEPP の概要および農地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¹⁾、現在、ソフトウェア化され無償で配布されている²⁾。WEPP は農地(斜面)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。

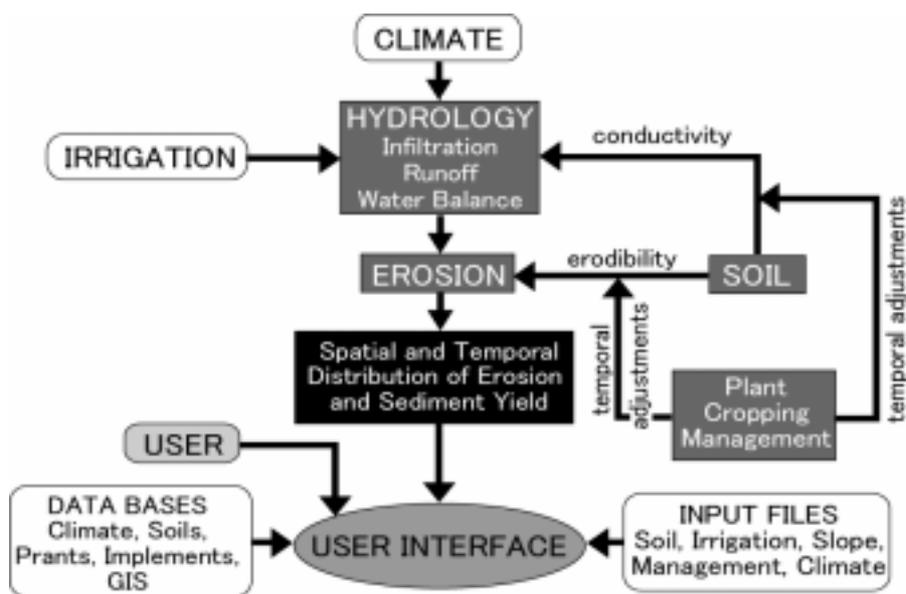


図-4 WEPP の土壌侵食過程の概要

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-4 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に変化する。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³⁾に記されている。

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。

$$\frac{dG}{dx} = D_i + D_f \quad (1)$$

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。

$$D_i = K_i I_e q_{ir} \quad (2)$$

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($G \leq T_c$ かつ $\tau_f > \tau_c$)、次式により D_f を求める。

$$D_f = K_r (\tau_f - \tau_c) \left(1 - \frac{G}{T_c}\right) \quad (3)$$

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、 $G \leq T_c$ かつ $\tau_f \leq \tau_c$ 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。

$$D_f = \frac{\beta V_f}{q_r} (T_c - G) \quad (4)$$

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-1 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。

(2) WEPP の適合性の検証

WEPP による計算値と本論文の第 2 章で述べた現地試験結果を比較し、観測値に対する WEPP の計算値の適合性の検証を行う。2004 年 6~9 月における降雨開始日毎に区切った流出高および土砂流出量の観測値および WEPP による計算値を図-5 に示す。

流出高の結果を見ると、全ての試験区で概ね観測値と適合している。無耕起状態の株出し栽培試験区である St-4 では、多くの降雨イベントに対して計算値が観測値より小さい結果となった。これは、無耕起状態では雨水の浸入速度が実際には小さかったのに対して、

表-1 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, 日射量のみ実測, 他は最寄り(石垣島)の気象庁地上気象観測データを利用.
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.
地形	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.

WEPP では耕起を行わないことによる透水係数の減少を十分に表現できていないことが要因であったと考えられる。今後、沖縄の土壌特性を反映させた形で、透水係数などのパラメータを決定できるようにモデルを改良する必要がある。

土砂流出量の結果を見ると、計算値は概ね観測値と適合している。特に、確立降雨年が2.6年と算定され、観測期間中で最大の土砂流出量が観測された6/9の降雨イベントでは、全ての試験区において適合性が高い結果を得た。これは、雨滴衝撃や流水による掃流力による土粒子の剥離機構や土砂の運搬機構をほぼ正確に表現している結果であったと考えられる。また、その他の降雨イベントにおいても、St-2における作物の存在による侵食抑制効果、St-4における無耕起、作物被覆、地表面における残渣被覆による顕著な侵食抑制効果、そしてSt-3における植生帯の存在に伴う微小な土粒子の捕捉効果をWEPPの計算値でも的確に表現している。

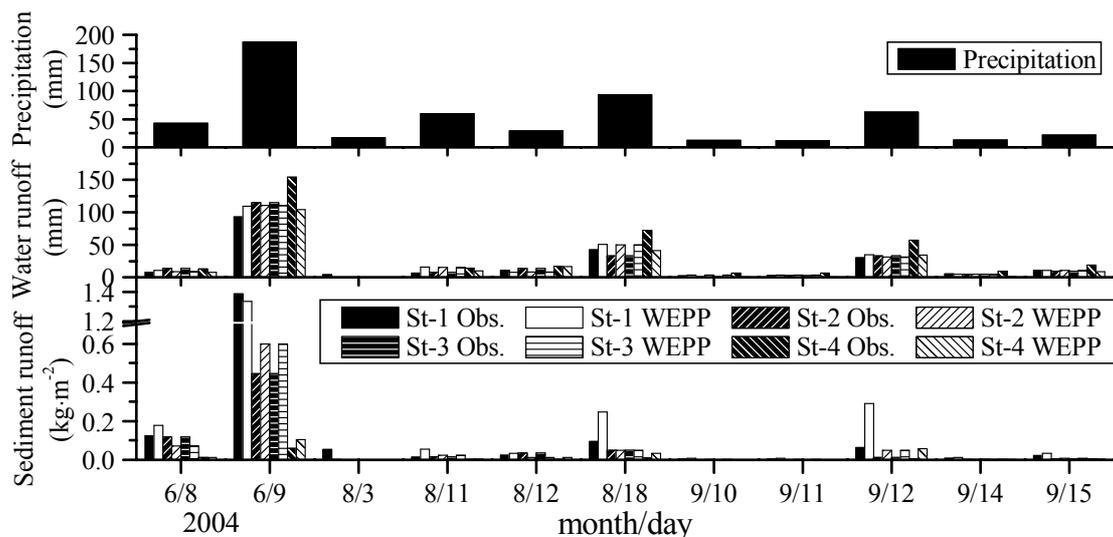


図-5 各試験区における観測値に対する WEPP による計算値

一方、無耕作区の St-1 では、8/18 や 9/12 の降雨イベントにおいて計算値が観測値を大きく上回った。これは、その期間、試験区内に雑草が繁茂してしまい裸地状態ではなかったことが大きな要因と考えられる。また、6 月における降雨後、St-1 では地表面の粗粒化が起り通常の裸地状態より土砂生産量が減少した可能性があるのに対し、WEPP では粗粒化の過程が組み込まれておらず、過大評価となったと考えることもできる。以上のように、WEPP は無耕作状態が続いた場合における適合性に問題が残ったが、通常の農地管理(作物の栽培、一時的な裸地化)をする場合の侵食過程を十分な精度で表現することができる。と評価できる。

(3) WEPP による農地における対策シミュレーション

第 2 章で実施した試験を各種対策別、作物・作業スケジュール別、地形別の各ケースで行い、体系的に取りまとめる必要があるが、それには非常に長い試験期間を有する。そこで、前節で検証を行った WEPP を用いて、シミュレーションによる対策評価を行う。

本研究で行うシミュレーションの土地利用形態として、裸地、サトウキビ夏植え栽培、サトウキビ春植え-株出し栽培の 3 種類とした。想定する対策として、農地末端における 0.5m の植生帯の設置、サトウキビの残渣によるマルチング、そして不耕起栽培の 3 種類を設定した。ここで、サトウキビの夏植え栽培は現在の沖縄県石垣島におけるサトウキビ生産面積の大部分を占め、栽培期間は前述のように約 1.5 年であり 2 年周期で行われている。一方、サトウキビ春植え-株出し栽培は、夏植え栽培と比較して栽培面積が非常に少なく、一般的に 1 年目に春植え栽培を行い、続く 2, 3 年目に株出し栽培を行う方法で 3 年周期となる。対策の設定として、植生帯は前節と同じ方法とした。残渣によるマルチングは夏植えまたは春植え栽培時における苗の植え付け直後に実施することとした。そして、不耕起栽培として、夏植えおよび春植え栽培時において、前年期の作物の収穫後、農地の全面耕起を実施せず、苗を植えるための溝のみを耕起し、その溝に苗を植えつける方法を想定した。なお、3 種類の対策方法の中で、不耕起栽培以外は実用段階にある。

WEPP の適用方法として、対策方法は上記の設定を行い、営農作業種・スケジュールは沖縄県における実状に即して設定し、地形は斜面長 100m、勾配 3%とした。土壌は表-1 の値を用いた。気象データは石垣島における 1994~2003 年(10 年間)の気象庁地上気象観測値を用いた。

シミュレーションの結果を図-6 に示す。なお、示した土砂流出量は年間の平均値である。結果を見ると、春植え-株出し栽培は夏植え栽培と比較して土砂流出量が著しく小さい(削減率:61%)。夏植え栽培における 1 年目の梅雨期および台風期は、苗の植え付け前にあたるために裸地となっていることが大きく影響している。各農地に植生帯を設けることによってそれぞれ 8%、10%の削減となり、高い削減率は見込めない結果が第 2 章と同様に得られた。残渣によるマルチングによって、苗の植え付け直後(夏植え栽培 1 年目、春植え栽培時)の土砂流出が減少した結果、顕著な抑制効果が算定され、削減率は無対策と比較して、夏

植え栽培で 59%、春植え-株出し栽培で 29%であった。不耕起栽培によって夏植え栽培 1 年目、春植え栽培時の土砂流出が顕著に抑制され、削減率はそれぞれ 68%、34%であった。なお、気象・地形・土壌条件を変更することによってこれらの数値は異なると予想されることから、今後、それらの体系的整理を行う必要がある。

以上のように、WEPP は作業種やスケジュールを任意に決定できることから、様々な状況および対策のシミュレーションが可能であることが示された。

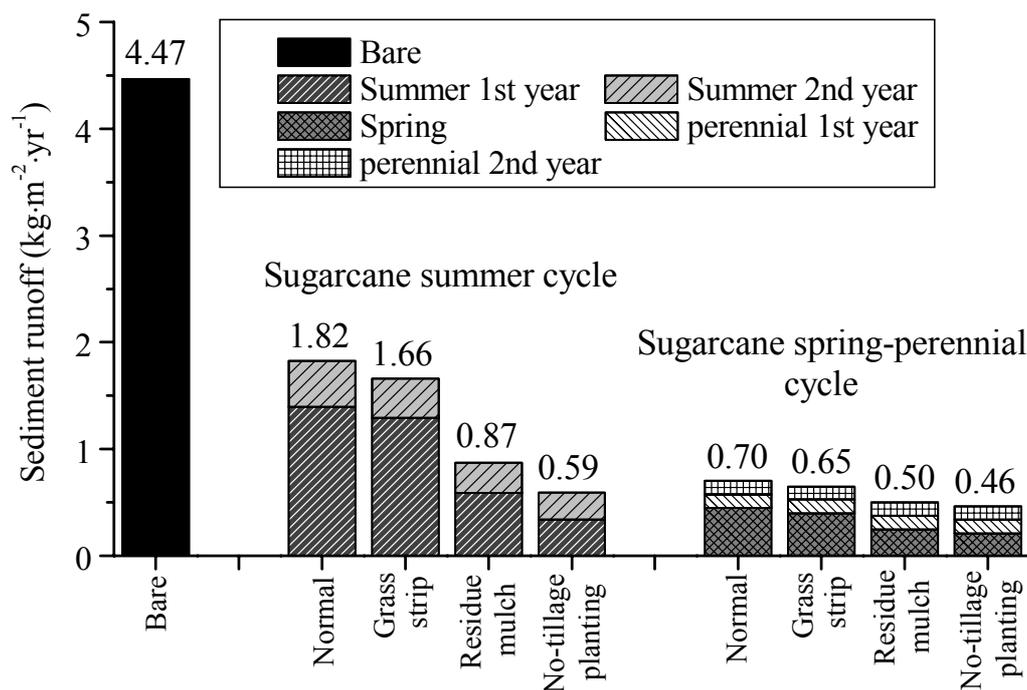


図-6 WEPP による農地における対策シミュレーションの結果

4. 流域での WEPP による対策シミュレーション

(1) 対象流域の概要および適用方法

対象流域を沖縄県石垣島西部の名蔵川流域内に位置する神田原地区(集水面積：0.82km²)とした。2005年に調査した土地利用を図-7に示す。対象流域は農地が全体の大部分を占め、その中でもサトウキビ畑の割合が流域全体の49%(夏植え:38%、春植え:4%、株出し:6%)を占めているのが特徴的である。サトウキビ以外の作物としては水稻が24%、牧草または草地在が14%、パインが2%を占めている。

WEPPを流域規模に拡張するためには、農地(斜面)・水路・沈砂池(貯水池)における各種設定が必要となる。農地における設定は前章と同様の方法を全ての農地に対して行った。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

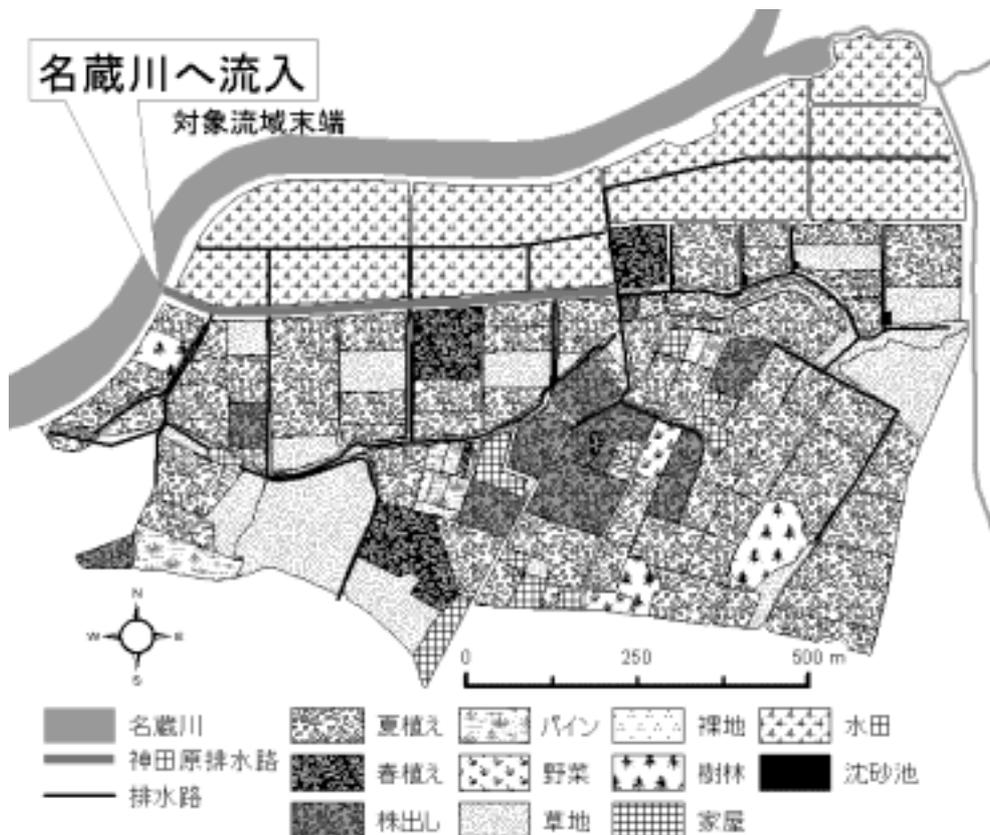


図-7 石垣島名蔵川流域内神田原地区における土地利用

定した．水路における土砂生産および運搬過程は，農地内での流路(リル部)における生産および運搬過程と同様な解析方法を用いる．沈砂池では，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³⁾に記載されている．気象データは石垣島における1994~2003年(10年間)の気象庁地上気象観測値を用いた．

(2) 流域における対策シミュレーション

WEPPによる現状(2005年)の計算結果を図-8に示す．図では各農地における単位面積あたりの年平均土砂生産量および流域末端における名蔵川への年平均土砂流出量が示されている．土地利用と合わせて見ると，サトウキビ夏植え栽培やパイン畑における土砂生産量が大きいことがわかる．また，勾配や斜面長によっても土砂生産量は異なった．

この結果をもとに対策シナリオを定める．本来ならば河川または沿岸域における生態系への影響評価に基づいて土砂流出量の許容量を定め，その量を目標値とするべきであるが，現段階までの研究では許容量の定量化には至っていない．そのため，本研究では，実現可能な範囲で対策を行った場合における土砂流出量の最小値の算定を行う．想定する対策として以下の3種類を挙げた．サトウキビ夏植え栽培から春植え-株出し栽培へ変更，サ

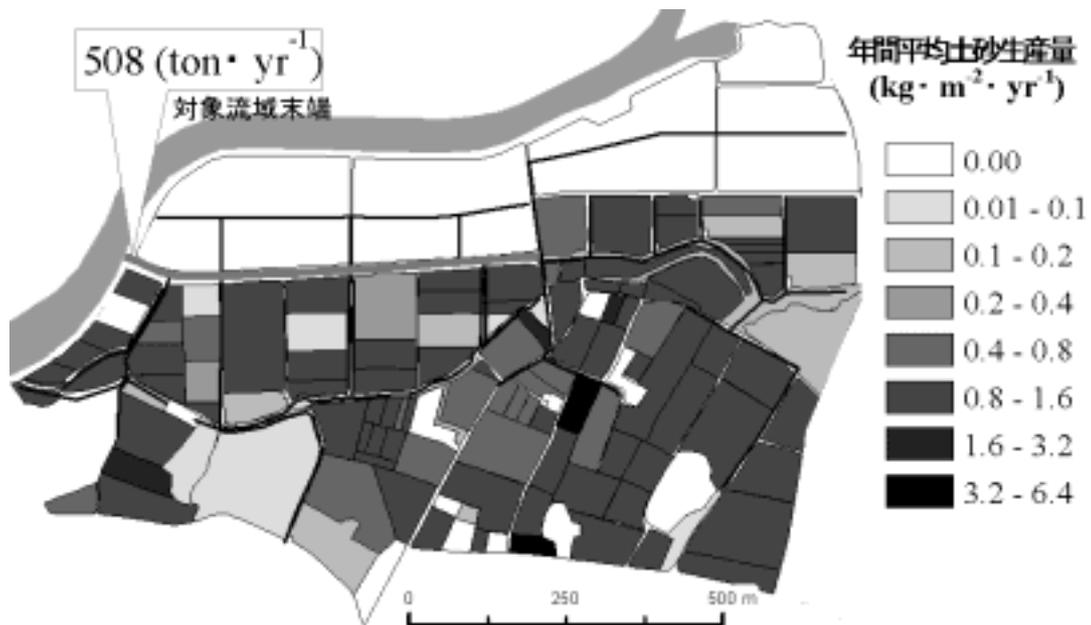


図-8 現状の土砂生産量分布および土砂流出量の試算結果

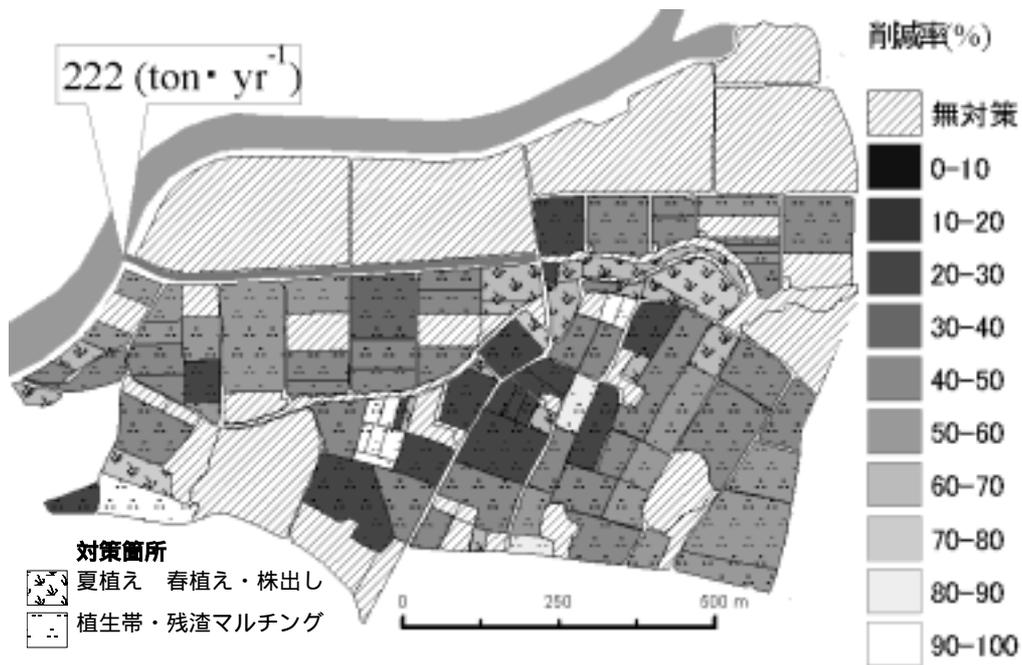


図-9 農地での対策を想定した試算結果(土砂生産量の削減率)

トウキビの残渣によるマルチングの実施， グリーンベルトの設置， に関して， 沖縄県の報告⁴⁾によると， 沖縄県内の製糖計画および農家へのアンケート調査から夏植え栽培と春植え-株出し栽培の面積割合は2:1が限度としている． よって本研究においても， 面積割合を2:1と定め， 約4.5haの夏植え栽培農地を春植え-株出し栽培へ変更した． および

に関して、流域内全てのサトウキビ、パイン、野菜畑に第3章で行った農地における対策方法と同様な方法で施策することとした。

対策後の結果を図-9に示す。図では対策箇所、対策を行った農地における年平均土砂生産量の削減率、そして流域末端における名蔵川への年平均土砂流出量が示されている。結果を見ると、対策を想定した全ての農地において土砂生産量が減少している。特に、の対策を想定したサトウキビ畑およびの対策を想定したパイン畑における削減率が大きい。流域末端における土砂流出量は現状と比較して56%減少する結果が得られた。以上のように、WEPPは面源における対策効果の算定などの土砂動態解析のためのモデルとして有望であることが示された。今後、流域内において多点同時計測等の現地観測を行い、WEPPの精度を検証する必要がある。

5. 結論

面源から生産された微細土砂の河川および沿岸域への過剰な流出が社会的問題となっている沖縄において、農地での土砂流出抑制対策に着目し、同一条件下での比較試験を行った。また、農地における土砂生産抑制対策を伴う流域土砂動態解析を検討するためにWEPPを採用し、試験結果を用いたモデルの検証、農地における対策シミュレーション、そして、農業流域における対策シミュレーションを行った。本研究の結果から次のことが明らかになった。

- (1) 営農による侵食抑制方法として、無耕起状態および作物・残渣による被覆率を常時高く保つ方法が極めて効果的であることが明らかになった。一方、長さ0.6mの植生帯は農地から流出した土砂を有意な削減率で捕捉するためには十分な長さではない。
- (2) WEPPは営農条件が異なる農地における侵食過程の違いを十分な精度で表現することができる。また、WEPPは各種営農作業やスケジュールを任意に決定できることから、農地における様々な状況および対策のシミュレーションが可能である。
- (3) 石垣島名蔵川流域内の農業流域における現状の土砂動態および適切な農地対策を行った場合の土砂流出削減量を試算した結果、流域末端における土砂流出量の削減率は56%であった。WEPPは面源における対策効果の算定などの土砂動態解析のためのモデルとして有望であることが示された。

参考文献

- 1) 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.
- 2) WEPP Home Page:
<http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/weppmain/wepp.html>.

- 3) USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory: USDA-Water Erosion Prediction Project hillslope profile and watershed model documentation, *NSERL Report No.10*, 1995.
- 4) 沖縄県: 平成 16 年度轟川流域農地赤土対策推進検討委員会第 1 回検討委員会資料, 2004.

・赤土流出防止対策のソフト的アプローチ

(1) ナショナル・トラスト運動・NPO 活動にみる公益センスの潮流把握

石垣島の農業構造改善政策による農業だけの側面からの対応では、赤土流出対策とサンゴ礁被害を防ぐことはできない。利害当事者だけの問題ではないという意味で、石垣島をはじめとする八重山諸島の環境健全さの確保を国民の関心事としていくこと、日本と世界の環境財産を保全することに多くの人々に気づいてもらうことが重要である。

そのためには、ナショナル・トラスト運動など全国的な関心事として石垣島をシンボルとした保全活動への理解を得、訪問者だけではなく心の支援者が募金や会費による参加を起こせる。しれとこ100平方メートル運動が現在の知床エリアを世界遺産登録地域としていく運動につながっている。また、石垣島を含む八重山、ひいては沖縄諸島がその環境を保全することで観光立県の道をひとつの選択肢とすることが産業構造の改革と経済構造の再構築につながる。市民が関心を持ってナショナル・トラスト運動で支えている環境が全国に50ヶ所あり、国立公園など国が規制をしながら保全している地域以外の身近な自然環境の保全に貢献し、国土保全の多様な担い手を育てている。

自国の環境保全に役立つことに参加したいという国民も増えており、1998年NPO法(特定非営利活動法人法)制定以降、市民が自分の保全したい対象に支援する、また、その行動が不特定多数の利益(公益)につながることを理解して、参加する潮流がある。

英国のナショナル・トラスト運動は、産業革命後の英国土の緑の減少と労働者の劣悪な環境改善を行うことがベンサム流の費用便益計算からは、効果的であるという私益に根ざした発想がひとつと、オクタビア・ヒル女史ら3人の市民が労働者に青空と緑を！という不特定多数の人々のため魅力ある空間をナショナル・トラストという団体が確保維持管理し、公開利用する運動があいまって起きたが、これは当時の貴族たちによる環境や私有地の囲い込み運動へのアンチテーゼとしてディスクロージャー運動でもあった。

ナショナル・トラスト運動の全国組織である(社)日本ナショナル・トラスト協会の設立1992年以来、全国の活動を、また、世界のNPOやアメリカの環境保全組織をJohns Hopkins大学にて研究してきた成果から日本の石垣島が世界標準の関心と呼ぶ魅力を持っていることを本研究にて証し、運動展開の手法を検討した。

(2) 流域概念の形成と流域経済循環構築・直接支払い制度の適用

ひとは、自分の住む地域や都市がどの流域に属しており、その上流、下流との関係で影響を相互に及ぼしあっていることを理解することが新たな国土保全、環境政策、農林漁業等産業政策の総合化という新たな地平を拓く。

この流域という概念を源流から海域まで、また、サンゴの生息種数が360種という世界有数のサンゴ礁である石西礁湖のエリアを大きな海流の源流とすると、日本列島は海流の

下流に位置する。源流の保全が流域の海洋資源を育て、その恩恵を下流が受けていることを認識するしくみをつくる。

そして、流域環境保全は、その恩恵を受ける大都市部の消費者がその流域資源を買い支える、あるいは、好んで“流域ブランド”品として選択することで経済的な循環を興す、また、ドイツの MEKA2 という制度のように、ノルトバイエルン州の中で、環境配慮型農業を実施することによる農家の減収分を、その流域の消費者が農産物を買取る、上流域環境保全により水源地保全をしているので水道料金上乘せによる農家への費用還元をする、あるいは、農地に化学肥料農薬を使わない場合に生息できる指標生物種を指定し、それらが農地に見られる場合は、直接、減収分を農家に税から支払う、というメカニズムの石垣島エリアへの適用研究を検証している。

(3) 都市域と森林域の連携に基づく流域経営の視点

土木学会地球環境委員会、「都市域と森林域の連携に基づく流域経営の視点から」ワークショップにて、平成 15、16 年度に流域全体から見た流域資源を流域経営という視点でとらえる研究を行った。

とくに本テーマである、土砂管理を石垣島の名倉川流域での事例から池田駿介東京工業大学教授が講演、森林資源・農業資源の流域での循環管理方策について、森林の多面的機能を東京農業大学太田猛彦教授が、また、公共として、国土交通省、農林水産省、林野庁から森林資源と流域に関する政策の体系と現状課題を、高知県、豊田市から森林環境税制度、水道水源税制度について、さらに、森林資源の私益的利用を通じた国土保全について速水林業、オークビレッジの事例、最後に流域経営について流域協議会による総合的な対策を民間で行っている霞ヶ浦のアサザ基金の事例、国内外の流域協議会等のしくみについて研究メンバーの宮本善和氏からの報告により研究会で成果をまとめた。この結果が、本研究のソフトの対策部門の主流をなす内容につながるものである。

(4) エコプライドの醸成

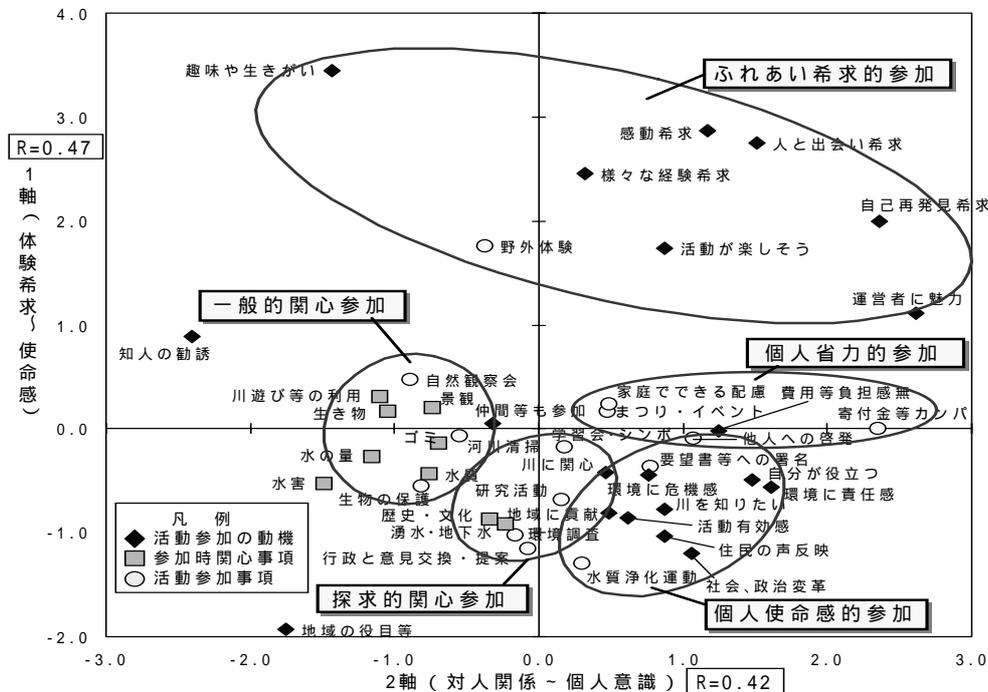
石垣島およびこのエリアのサンゴ礁、生物多様性、環境を保全し、持続可能性を担保するために貢献したいというエコロジカルなプライド、そして、流域経済循環を支える、人、もの、かね、情報の循環を支えることの意義を理解し、経済的にも少々高くても応分の費用負担をする、例えば、石垣島への観光をする際に、島へ入るときに入島料のように環境保全資金を支払う、ナショナル・トラスト運動などへの会費や寄付、チャリティーへの参加、島の産品を少々高くても買い支えるというようなエコノミカル・プライドを地元の住民、沖縄県民、全国民が理解していくこと、こうしたエコプライドの醸成をはかる手段を検討している。このための手法展開を研究中である。

(5) 京都議定書 CO2 削減対策のための社会科学研究

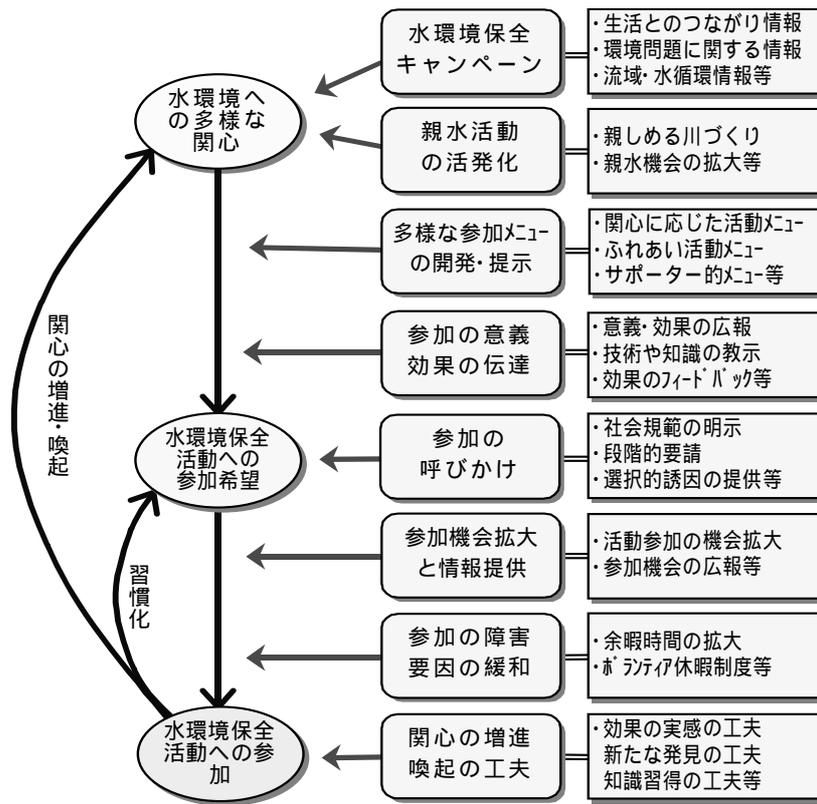
石垣島をはじめ八重山群島、沖縄諸島での緑の増加対策による京都議定書約束を果たすため CO2 削減対策は大変工夫を要するが、陸域の不耕起栽培などの農業構造改善による緑被率の通年向上と流域の緑地拡大、河口部分でのマングローブ林の再生、さらに、沿岸海域での水生植物の増加とサンゴ礁の増加対策が CO2 固定に効果的である。沿岸域のすい瀬植物の再生は、絶滅危惧種のジュゴンの保全などへの効果も期待される。こうした流域全体の総合的な対策が効果的に、かつ、社会システムとして、このエリアの関係者の心理的な参加に関する動機付け、経済的な参加意欲の喚起が重要な研究の社会科学的な側面でのチャレンジであり、先駆的な取り組みとなる。

(6) 水環境保全への参加の方法論（参加の循環アプローチ）

流域住民の水環境保全への関心を向上し、参加を促進するため、「参加のタイプ分類」を明らかにするとともに、「参加の循環アプローチ」と称する方法論を体系化した。即ち、「身近な川」への流域住民の多様な関心を高め、多彩な水環境保全活動への参加意向を向上して活動参加につなげ、参加の習慣化を促進したり、新たな関心の増進・喚起を促すというアプローチである。この研究成果によって、水環境保全に対する関心向上や参加促進のための具体方策を検討することが可能となった。



水環境保全活動の参加のタイプ分類

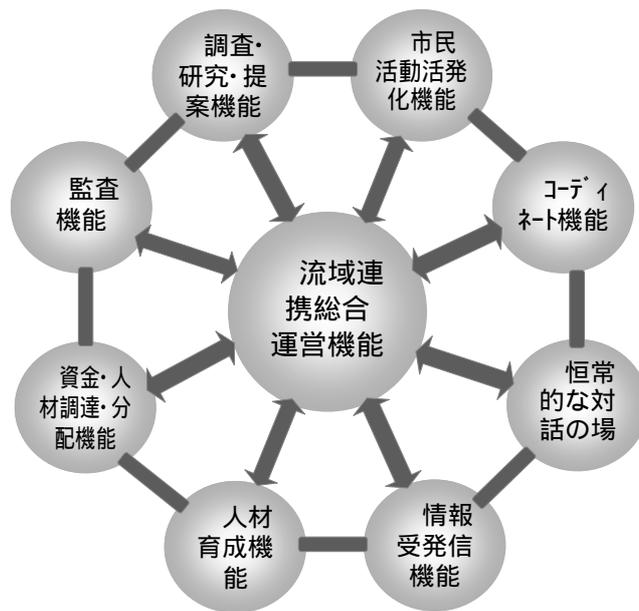


参加の循環アプローチ

(7) 流域連携支援の9つの機能

流域連携を促進する支援機能として、調査・研究・提案機能、市民活動活発化機能、コーディネート機能、恒常的な対話の場、情報受発信機能、人材育成機能、資金調達・分配機能、監査機能、総合統括機能の9つが必要であることを明らかにした。

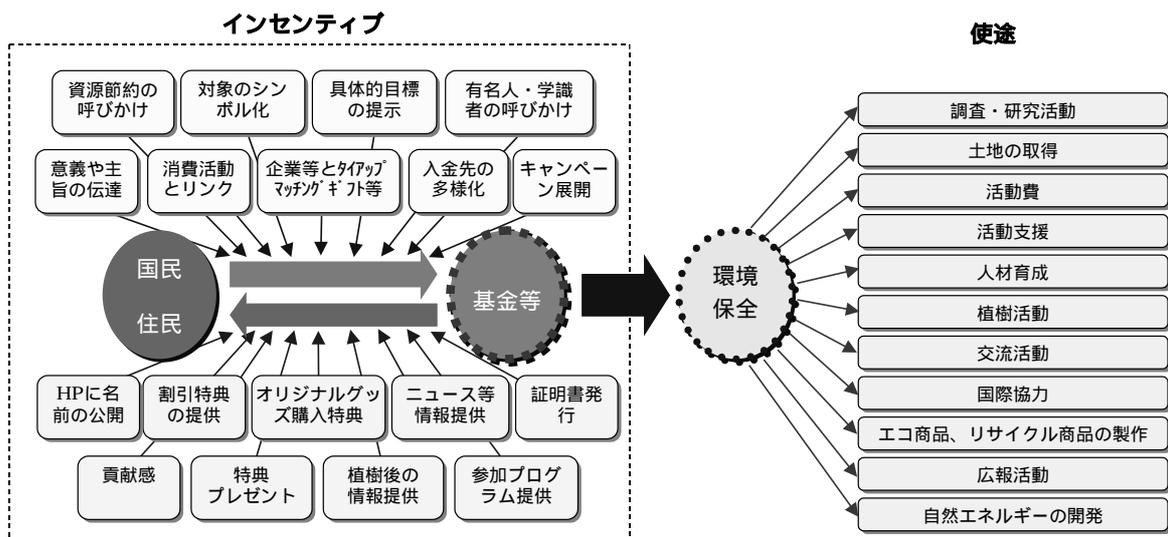
この成果によって、流域連携の取組みを行うためのシステムが検討でき、各地の流域連携の態勢や仕組みの点検ができるようになった。



流域連携支援の9つの機能

(8) 環境保全のための基金制度モデル

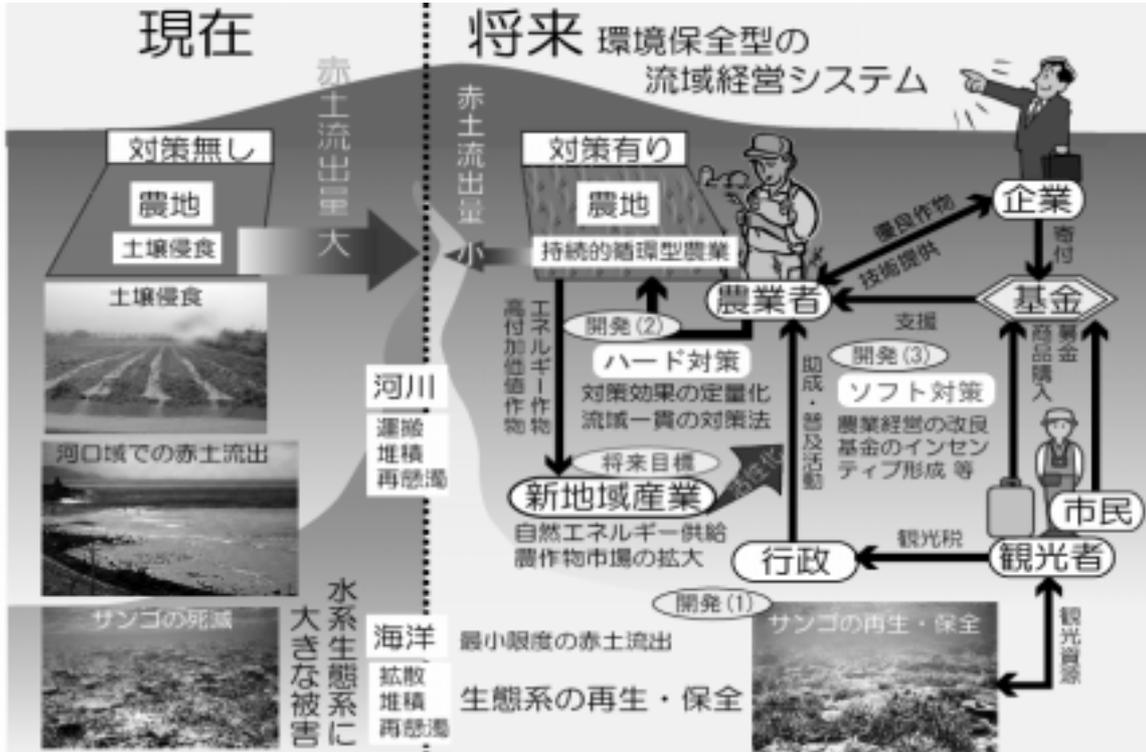
環境保全を促すための基金制度の事例分析を行い、望ましい基金制度のモデルを構築した。このモデルは、国民と基金との間で双方向のやりとりを行うことによって、国民に様々なインセンティブを働かせて募金やボランティア等の行動を引き出すモデルである。この研究成果によって、環境保全の基金の制度設計を行うことが可能となった。



環境保全の基金モデル

(9) 環境保全型の流域経営システムのイメージ

陸域（農地）において表土保全型農耕法を促進することにより、持続性の高い流域経営の実現に向けたハード・ソフトを包括した環境保全型の流域経営システムを下図のように描いた。



．総括

地球環境委員会では、この数年間、国土管理と資源循環に関連する研究に取り組んできた。本重点研究課題では、これまでの研究範囲を沖縄へと広げ、流域の開発によって生じる多量の赤土流出で消滅しているサンゴ礁の保全対策に着目し、特に経営基盤の弱い農業部門における赤土流出抑制対策に関わる政策提言型の研究を行った。

これまでの筆者らの現地調査等の結果から、赤土流出問題の対処方法として、農地における発生源対策が有効であることが示されているが、農業経営の脆弱性などの問題から導入上の制約が大きく、実効性が課題となっている。そのような経緯をふまえ、農業部門における赤土流出抑制対策への支援の仕組みに関する政策提言を目的として、ワークショップ方式をもとに研究を遂行した。

研究体制として、地球環境委員会の「国土流域管理と森林資源循環に関する研究小委員会」の構成員を主体に、関連学会や関連団体の専門家や有識者も含めた9人とした。その中で、現地観測およびシミュレーション等を担当するハード班とそれらの結果を活用し、基金制度等を検討するソフト班に分かれて研究を遂行した。

ハード面の研究成果として、農地での土砂流出抑制対策に着目し、沖縄県石垣島において営農形態別の比較試験を行った。また、農地における土砂生産抑制対策に伴う流域土砂動態を検討するために、WEPPモデルを採用し、試験結果を用いたモデルの検証、農地における対策シミュレーション、そして沖縄県石垣島名蔵川流域における対策シミュレーションを行った。その結果、農地における赤土流出抑制方法として、無耕起状態および作物や残渣による被覆率を常時高く保つ営農方法が極めて効果的であることが明らかになった。

一方、ソフト面の研究成果として、環境保全を促すための基金制度の事例分析を行い、望ましい基金制度のモデルを構築した。このモデルは、国民と基金との間で双方向のやりとりを行うことによって、国民に様々なインセンティブを働かせて募金やボランティア等の行動を引き出すモデルである。この研究成果によって、環境保全の基金の制度設計を行うことが可能となった。

これらの研究成果を沖縄県、国土交通省、農林水産省の関連部門へ赤土流出抑制対策案として公表し、問題解決型の研究開発とした。