

1. 沖縄における赤土特性と流出防止技術について

九州農業試験場 山 田 一 郎

沖縄では、本土復帰以降、大規模な土地開発、大型観光レジャー産業関連の開発、米軍演習場内の訓練場や戦車道建設が進み、既存の土地に対する人的インパクトが急激に増大し、海洋への土壌の大量流出が問題化した。特に沖縄本島中・北部地域、石垣島、久米島等の赤・黄色土(国頭マージ)地帯では、強雨時の土壌の流出による河川や海域の赤濁が著しく、自然環境、沿岸漁業、観光産業等に及ぼす影響が大きい。赤土汚染として深刻な問題となっている。また、農耕地から流出する赤土は作土が主体であるため、農業生産上にも多大の負の影響を及ぼしている。そのため沖縄県では平成7年10月に、10a以上の一団の土地の区画形質を変更する場合を対象として赤土等流出防止条例を施行した。

このように沖縄での赤土流出問題は、早急な解決が求められているため、九州農業試験場では、公害防止等プロジェクト研究「南西諸島における海洋への土砂流出の発生機構の解明と防止技術に関する研究(赤土流出)」を平成3年～平成7年に実施し、引き続き、同プロジェクト研究「亜熱帯地域での農地からの細粒赤土流出防止技術の確立と海洋生態系への影響解明に関する研究(細粒赤土)」を平成8年度から実施している。ここでは、赤土流出プロジェクトの研究成果と細粒赤土プロジェクトの研究概要を紹介するとともに、赤土流出は本地域の主要な土壌である赤・黄色土(国頭マージ)、暗赤色土(島尻マージ)、陸生未熟土(ジャーガル)の土壌特性と密接に関係しているため、これらの土壌の諸性質も紹介し、赤土流出問題解決のための一助としたい。

1. 沖縄の土壌

わが国は火山国であるため畑地土壌の約50%は火山灰に由来する黒ボク土で、次いで褐色森林土が15%を占める。一方沖縄県の農耕地では石灰岩由来の島尻マージが43%、国頭マージが32%、ジャーガルが13%と、本土とは異なる土壌型が主体である。島尻マージは沖縄本島の中・南部、宮古島、石垣島等のサンゴ石灰岩由来の段丘地帯に、赤・黄色土は本島中・北部、久米島、石垣島、西表島等の山地やその周辺丘陵地の国頭礫層地帯に、ジャーガルは本島中・南部の泥灰岩地帯に分布する(第1図)。島尻マージとジャーガル地帯では主にサトウキビが赤・黄色土地帯では主にパインアップルとサトウキビが栽培されている。

島尻マージは、石灰岩を母材とするため弱酸性～弱アルカリ性で、腐植は少なく、粘土(0.002mm以下)は50%と多いが、その組成が水分保持の弱いイライトやカオリン鉱物を主体とし、土壌孔隙も多く、有効土層が薄いため保水性が低く、少雨年にはサトウキビに早魘が出やすい。農耕地での大型機械の使用で下層土の緻密化が近年問題化している。国頭マージは、酸性～中性の塩基の少ない堆積岩や火成岩を母材とするため強酸性で、腐植は少なく、粘土含量は20～30%で、その組成はイライト、カオリナイト、パーミキュライト・クロライト中間種鉱物からなり、土壌の塩基が乏しいこと等のため分散性が高く、特に傾斜畑では強雨時に土壌流出が起こりやすい。この土壌の下層土は、構造の発達が弱く、粗孔隙も少ないため透水性が不良であることが多い。ジャーガルは灰色～灰褐色で、カルシウム、マグネシウム等の塩基に富み、弱アルカリ性を示し、腐植は少ない。粘土は40%前後と多く、その組成はスメクタイト主体であるため養水分の水分の保持能が高いが、透水性は不良である。湿潤時には膨張して粘性が高くなり、乾燥時には収縮して固結する性質があり、耕耘に注意を要する土壌である(第1表)。

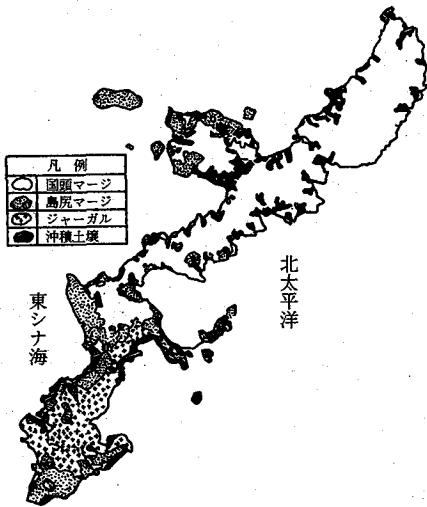
赤土流出にもっとも関係する土壌の性質は土壌団粒の発達、土壌の分散性、土壌の透水性等の物理性である。第2図に示すように、島尻マージは耐水性団粒が多く、分散性も弱く、そして土壌構造も良く発達し透水性も良いので、沖縄の主要3土壌の中では土壌浸食を受けにくい土壌である。国頭マージは他の土壌に比べて砂が多いので受食性土壌の性質を持つ。耐水性団粒は少なく、分散率が高く、かつ土壌構造の発達が弱いため土壌浸食を受けやすい。ジャーガルは耐水性団粒は多いが、分散率が高いので粘土は分散しやすい。そして、強雨

後には土壤表面に緻密な土壤皮膜が形成され、透水性や通気性は悪化することが多い。

赤土流出の難易は地形とも関係しており、傾斜が急な山地や丘陵に分布する国頭マージは平坦な段丘面に分布する島尻マージや小起伏丘陵に分布するジャーガルより土壤浸食を受けやすい。さらに、南西諸島は台風の襲来が多く5・6月の梅雨にも大雨が多いことも、沖縄で土壤浸食が起こりやすい一因である。

2. 赤土流出プロジェクトでの営農的赤土流出防止技術

赤土流出防止技術は、土木工学的な土砂流出防止対策と営農的な対策に区分される。土木工学的な対策としては区画の大きさ(特に、斜面方向の長さや畑面の勾配)と圃場から流出した土砂を圃場外へ出さない土砂溜マスや沈砂池の設置がある。区画の大きさは大型機械の作業効率上、斜面長50m以上の畑が多く、浸食に対する危険性が大きい。勾配は現在はほとんど3%以内に抑えられており、問題は少なくなっている。土砂溜マス等に濁水の流入が多量の場合は、細粒の粒子がしばしばオーバーフローし、赤土流出の原因となっている。



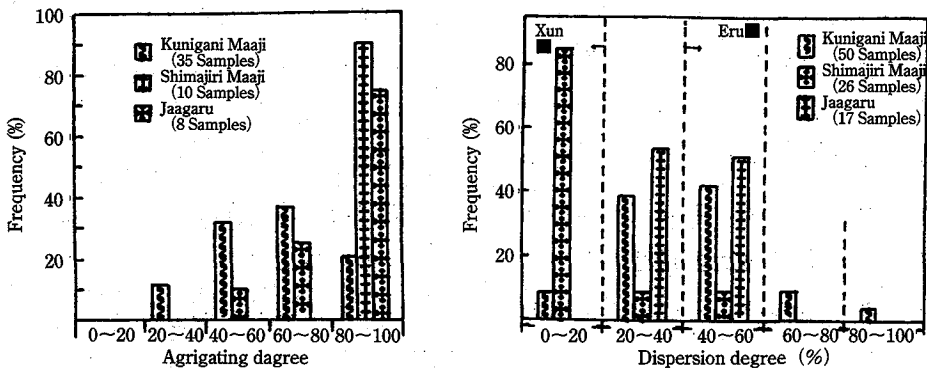
第1図 沖縄本島の土壌型

第1表 沖縄本島土壌の諸性質

土壌型	土層	粒徑組成(%)			假比重	緻密度	pH	全炭素
		砂	シルト	粘土				
島尻マージ	作土	25	34	49	1.17	14	7.1	1.3
	下層土	20	30	50	1.31	24	7.2	0.9
国頭マージ	作土	48	26	26	1.34	14	4.9	1.0
	下層土	49	22	29	1.43	22	4.8	0.3
ジャーガル	作土	15	45	40	1.38	22	7.5	1.1
	下層土	18	40	42	1.40	21	7.9	0.6

土壌型	土層	CEC me/100g	交換性塩基 (me/100g)				リン酸吸収係数 mgP ₂ O ₅ /100g
			Ca	Mg	K	Na	
島尻マージ	作土	18	23	1.5	0.4	0.4	817
	下層土	18	11	1.4	0.2	0.4	910
国頭マージ	作土	11	2	0.4	0.2	0.2	553
	下層土	9	2	0.4	0.1	0.3	578
ジャーガル	作土	23	45	2.5	0.4	0.3	906
	下層土	21	49	2.9	0.2	0.4	1190

(当間他1979, 石原1985)



第2図 土壤の耐水性団粒の比率と分散率 (翁長・吉永1988)

そのため、本プロジェクトでは営農的赤土流出防止対策を重点にして研究を進めてきた。対象としたのは、農業生産活動に伴い赤土流出が問題となっている沖縄県の基幹作物であり、国頭マージ地帯で広く栽培されているパインアップルとサトウキビの圃場である。

サトウキビは夏植え、春植え、株出しの3種の栽培型があるが、浸食を受けやすいのは夏植えと春植えである。夏植えは植え付けが7～9月で、植え付け準備のための耕耘や生育初期の作物による土壌の表面被覆率の低い時期に台風の襲来があり、浸食の危険がある。春植えでは植え付けが2～3月で、植え付け後の梅雨と台風時に浸食を受けやすい、株出し圃場では多量の収穫残渣物により土壌の表面が被覆されるため浸食の危険は少ない。サトウキビ栽培では耕耘、植え付け後も施肥や培土、中耕作業など機械作業がしばしばなため、これらの作業後の浸食も問題である。

パインアップルは春植えと夏植えの2つの栽培型があり、どちらも植え付け後4～5年間栽培を続け、その間3～4回の収穫をして、植え変えを行うのが普通である。春植えと夏植えの時期はサトウキビと同じであり、植え付けから生育初期に土壌浸食の危険があるのも同じである。パインアップルはサトウキビに比べて生育が遅く、急傾斜地でも栽培されているため、サトウキビ畑より浸食の危険が大きい。

営農的対策では1) 雨滴の土壌への衝撃を弱めるために植性や被覆資材等により裸地部分を被覆する方法、2) 表面流去水の水量を低減するために圃場の深耕、土壌破碎、植生等により雨水を浸透させる方法、3) 表面流去水の流速を低減するために植生、植物残渣等障害物を設置する方法、4) 団粒形成を促進させる方法等がある。

1) サトウキビ畑から赤土流出を軽減する土壌破碎と深耕技術

サトウキビの株出し圃場(傾斜度3%、圃場長20m)に、中耕ロータリにより畝間の中耕培土を行う慣行区、チゼル付き中耕ロータリ区(チゼル部最大深耕35cm)、R型刃(刃幅20cm、破碎間隔140cm、深耕43cm)による全層土壌破壊+中耕ロータリ区、前者と同様に耕耘しさらに圃場の中央と下部に帯状のススキの残渣マルチを施用した区を設けた。

高培土直前の強雨における圃場からの積算流出水量は、慣行区を100%とした場合、チゼル付き中耕ロータリ区で70%、R型刃区で21%、R型刃区+残渣区で20%で、全層土壌破碎による雨水浸透性が高いことがわかった。土砂マスへの沈砂量は、慣行区を100として、チゼル付き中耕ロータリ区が83%、R型刃区が48%、R型刃+残渣区が14%となり、R型刃の土壌破碎により圃場の浸透性が大きく改善され、残渣と組み合わせることにより土砂流出軽減効果が高いことがわかった。

2) パインアップル畑から赤土流出を軽減する技術

①植生(カバークロープ)と植物残渣(マルチング)による方法

圃場長11m、傾斜度3%の斜面下端幅1mにウィーピング・ラブグラスを栽培した区でのパインアップル定植後1年間の土壌流亡量(0.07kgm⁻²)は対照区の土壌流亡量(7.48kgm⁻²)の1/100以下と少なかった(第2表)。同区画圃場の斜面に5月上旬から8月中旬までピジョンピーを栽培した後刈り倒し、9月中旬にパインアップルを不耕起定植した場合、定植後8か月間の土壌流亡量は(0.07kgm⁻²)は、対照区のその(1.01kgm⁻²)の1/14以下であった(第3表)。これらのことから、パインアップル栽培で赤土流出を軽減するには、4月に耕起した斜面の下端にウィーピング・ラブグラスを、畑面にピジョンピーを栽培した後、8月にピジョンピーを刈り倒してパインアップルを不耕起栽培する方法が適当である。

第2表 斜面下端の植被の効果(93-94年)

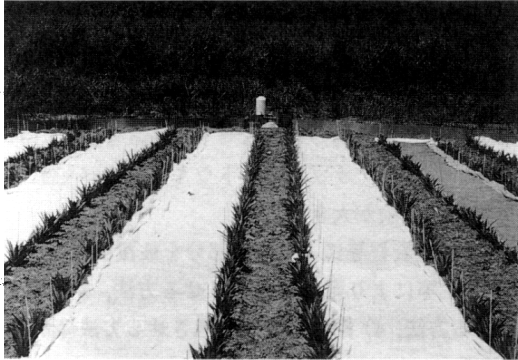
処理区	積算土壌流亡量(kg・m ⁻²)		
	4か月	8か月	12か月
対象	0.00	1.12	7.48
ウィーピング・ラブ	0.01	0.02	0.07
アラキス・ピントイ	0.00	0.01	0.01
有機物マルチ	0.00	0.00	0.03

第3表 不耕起栽培の効果(94-95年)

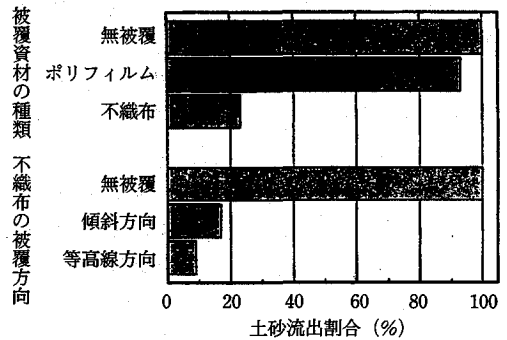
処理区	積算土壌流亡量(kg・m ⁻²)		
	4か月	8か月	12か月
対象	0.82	1.01	1.80
不耕起栽培	0.02	0.07	0.61
緑肥すき込み	0.30	0.72	1.84
有機物マルチ	0.00	0.00	0.04

②被覆物質で土壌をカバーする方法

ポリプロピレン性の不織布をパインアップル畑土壌に表面被覆した。このマルチは、雨滴の衝撃から土壌表面を保護して土壌粒子の分散を抑え、かつ土壌中へ水も浸透するため、表面流去水の発生を減少させた。不織布マルチの土砂流出防止効果は、ススキマルチよりは劣るがポリマルチよりは高く、被覆率60%で土砂流出量は慣行無被覆栽培の数％減少した(第3図、第4図)。この不織布は作業性はポリマルチと変わらず、入手も容易である。



第3図 不織布マルチの設置状況



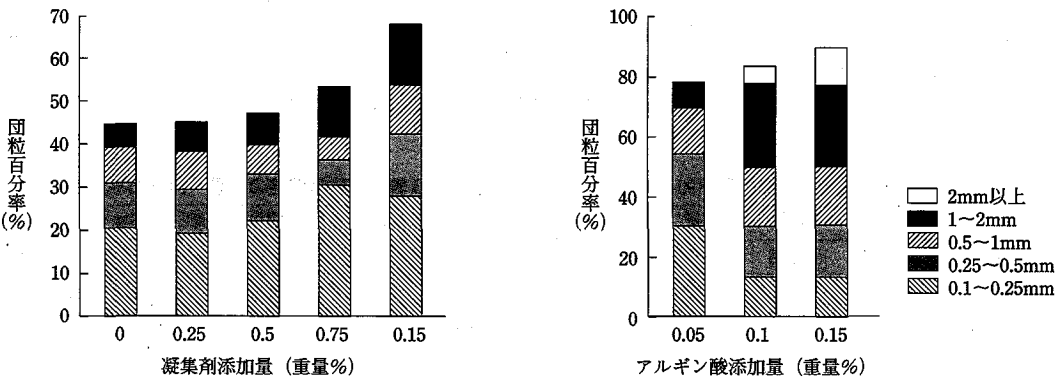
第4図 不織布の60%土壌表面被覆による土砂流出防止効果 (無被覆対比)

③リレーカバーリングで土壌カバーする方法

前記の不織布に牧草の種子を付着させ、不織布が腐った後は牧草で土砂流出を軽減させた。種子付着資材で被覆処理した区と対照区を比較すると、資材被覆後2か月目までに溜樹内に堆積した土砂量は、対照区で8816kg/10a、資材にセンチピードグラス種子を付着させた区で2867kg/10a、資材にイタリアンライグラス種子を付着させた区で3372kg/10aとなり、土砂流出量は対照区に比較して各々32%、38%に減少した。牧草の生育が良かった11月では、土砂流出量は対照区に比較して各々、24%、28%に減少して、効果が高まった。

3) 資材で団粒形成を促進させる方法

開発した三種類の天然素材(粘土、水酸化鉄とシリンガ酸)からなる土壌凝集剤に混和する耐水性団粒形成に必要な架橋材としてアルギン酸(褐藻類から抽出される海藻多糖類でワカメや昆布に含まれている)の効果が高いことがわかった。この資材は0.25mm以下の赤土を0.5mm以上の大きさの団粒にすることができるが、凝集剤0.25wt%のみの添加では、0.1mm以上の団粒になったのは25g中2.7gであったが、これにアルギン酸ナトリウム0.1wt%を添加すると0.1mm以上の11.7gに増加し、このうち0.5mm以上の画分が83%を占めた。



第5図 資材添加による耐水性団粒形成効果

新規凝集剤とアルギン酸剤の併用による耐水性団粒の形成は、表面流去水量を減少させる効果が大きく、赤土の流出防止に良好な結果をもたらした（第5図）。

4) 複合的流出防止方法

無処理区 (①), 凝集剤区 (②), コットン (不織布) 部分マルチ区 (③), ススキ部分マルチ区 (④), ススキ部分マルチ+月桃区 (⑤), ススキ部分マルチ+ベチブル (⑥), ススキ部分マルチ+クロラタリヤ・プレビフローラ (プレビフローラ) (⑦) の各処理の試験を斜面長 40m, 幅 2.5m, 傾斜 3% の圃場で行った。①と②は前面裸地, ③~⑦はコットンとススキで斜面下部 4m をマルチ, マルチ最下部に⑤は月桃を, ⑥はベチブルを植え, ⑦は部分マルチ以外にプレビフローラを植えた。流出土砂の総量から判断して, 最も効果の高かったのは⑦区で, ①区 (無処理区) の 2% 以下であった。④, ⑤, ⑥のススキを用いて斜面下部に部分マルチした区の流出土砂の総量は①の 7% 以下であったが, 最下端部に植生を設けた⑤と⑥は④より効果が高かった。凝集剤は散布直後の雨で流出したため効果がでなかった。

3. 細粒赤土プロジェクトでの営農的赤土流出防止の試験設計

赤土流出プロジェクトでは, 各研究室の作った個々の圃場で試験を行い赤土流出防止に関する多くの基礎的知見や技術の開発がなされたが, 赤土のかなりの部分を占める細粒部分 (0.02mm 以下) の流出防止に問題を残した。また, 沿岸海洋域の生物に対する赤土の影響解明はなされなかった。そのため, 本プロジェクトに引き続き, 公害防止等プロジェクト研究「亜熱帯地域での農地からの細粒赤土流出防止技術の確立と海洋生態系への影響解明に関する研究 (細粒赤土)」が平成 8 年度から開始された。本プロジェクトは赤土流出プロジェクトで開発された個々の赤土流出防止技術と新規に開発する技術を複合した赤土流出防止技術を, 農家規模圃場での共同試験により開発し, 普及することを目指す。

1) パインアップル畑

この試験では赤土流出を, 1) 畝間の植物残渣, 2) 下部の植物残渣, 3) 下部の 2 種の植生帯と最大 4 段構えで防止する設計を行った。植物残渣や植生帯に置く植物残渣にはススキ等手軽に設置できる物を, 植生帯として用いたプレビフローラは酸性土壌でも生育でき, 茎は基部から多くの分岐を出すので流水力の低減, そして深根性のため流去水の浸透改善の役目もする。

10a の圃場に斜面長 30m, 幅 3m の 6 処理区を設け, 4 区を春植えパインアップル用, 2 区を夏植えパインアップル用とした。畝間植物残渣 (10m ごとにススキ等をおく) + 下部植生帯 (プレビフローラを幅 3m に播種し最下部に月桃を 2 列植え) を基本として, 春植えでは①畝間植物残渣+植生帯上部の植物残渣 (幅 1m) + 植生帯 (幅 2m. プレビフローラ+月桃), ②畝間植物残渣+植生帯 (3m. プレビフローラ+月桃) を設け, 下端部に流量計, 濁水採取装置, 土砂溜柵を設置した。夏植えでは, ①畝間植物残渣+植生帯上部の植物残渣 (幅 1m) + 植生帯 (幅 2m. プレビフローラ+月桃), ②畝間植物残渣+植生帯 (3m. プレビフローラ+月桃) を下端部には流量計等を設置した。

2) サトウキビ畑

サトウキビ栽培では, 植物残渣や植生帯を使用する他, 裸地期間の短縮を図るため収穫後に直接更新植え付け用機械 (本プロジェクトで改良中) を用いるミニマムティレージと圃場浸透性の改善のため土壌破碎の効果についても検討する。サトウキビ畑はパインアップル畑に比べ, 傾斜は緩いが, 圃場規模が大きく, 赤土流出を助長する機械作業が多いこと等から, 機械の改良・開発を伴う赤土流出防止技術の開発が必要である。

圃場は, 長さ 40m, 幅 6m の 8 処理区を設け, 3 区を夏植え, 2 区を株出し, 3 区を春植え用とした。夏植えと春植えでは, ①ミニマムティレージ+畝間の植物残渣 (ススキ等を 10m 間隔に置く) + 植生帯 (幅 3m でシグナルグラスあるいはセタリアグラスを植える), ②ミニマムティレージ+植生帯, ③慣行区+植生帯を設け, 最下部に流量計, 濁水採取機, 土砂溜柵を設置する。株出しでは, ①土壌破碎+植物残渣+植生帯, ②慣行区+植生帯を設け, 下部には流量計等を設置する。

本プロジェクトで得られた赤土流出防止技術を農家に普及するためには、その技術が、①安価である、②簡単である、③農作物に対して安全であること等を念頭におく必要がある。そのためには、本技術の経営的評価も重要である。

また、わが国の亜熱帯地域に分布する土壌は、前述したように本土とは異なる土壌が多い。しかし、これらの土壌は世界各地に広く分布しており、本地域で開発された赤土流出防止技術は、熱帯や亜熱帯地域に分布するこれらの土壌地帯にも応用できる可能性がある。

参 考 文 献

- 大屋一宏（1985）亜熱帯沖縄の土壌特性とその改良，沖縄の農業（琉球大学放送公開講座）．p.13-28．琉球大学．
- 喜名景秀（1993）沖縄の土地改良と土壌保全，沖縄本島の土壌と自然（平山良二・山田一郎編）．p.59-62．ペドロジスト懇談会．
- 渡嘉敷義浩（1993）ジャーガル，島尻マージ，フェイチシャ，国頭マージ．沖縄本島の土壌と自然（平山良二・山田一郎編）．p.63-88．ペドロジスト懇談会．