

熱研資料 No.79

ISSN - 0917 - 0464

Tech. Doc.
TARC No.79
1990

熱帯畑地における有機物マルチの効果

上野義視

平成2年10月



農林水産省
熱帯農業研究センター

Technical Document of TARC No. 79, 1990

Yoshimi Ueno

*Effect of Organic Mulches on Soil and Water
Conservation in the Tropical Upland Fields*

Tropical Agriculture Research Center

所 長 都 留 信 也

編集委員長 大 野 芳 和

編集委員 小 林 登史夫, 日 高 輝 展, 山 口 武 夫

村 田 伸 夫, 蘭 道 生, 濱 村 邦 夫

目 次

第 I 章 緒 言	1
第 II 章 タイ国における降雨分布と畑作物の生産性	5
1. タイ国の主要地域の降雨分布の概要と農業	5
2. 降雨分布と干ばつの危険度	7
3. 要 約	10
第 III 章 タイ国における降雨の土壌侵食性	11
1. 熱帯スコールの土壌侵食性	12
1. 方 法	12
1) 雨滴の大きさの測定法	12
2) 測定場所および日時	12
3) 降雨の運動エネルギーの計算	12
2. 結果および考察	12
2. タイ国とわが国の降雨の侵食性の比較	14
1. 降雨係数 R 値による比較	14
2. 侵食危険降雨の出現頻度による比較	15
3. 要 約	18
第 IV 章 土壌侵食防止のための作物残渣・雑草等の利用	19
1. 主要畑土壌の受食性とマルチによる土壌侵食防止効果	19
1) 人工降雨による主要畑土壌の受食性の比較	19
2) 主要畑土壌の受食性要因の解明	21
3) 主要畑土壌の侵食防止に対する作物残渣、雑草マルチの効果	26
2. 作物残渣、雑草等のマルチによる赤褐色ラテライト性土壌畑の侵食防止効果	33
1. 目 的	33
2. 方 法	33
1) 供試圃場の概要	33
2) 試験枠の構造	33
3) 試験処理区の設定	33
4) 試験処理の内容	34
5) 調査項目とその方法	35
3. 結果および考察	35
1) マルチ処理と土壌侵食発生限界降雨強度	35
2) 傾斜地におけるマルチ処理の土壌侵食防止効果	38
3) トウモロコシ作付の有無および生育過程におけるマルチ等による土壌侵食防 止効果	39

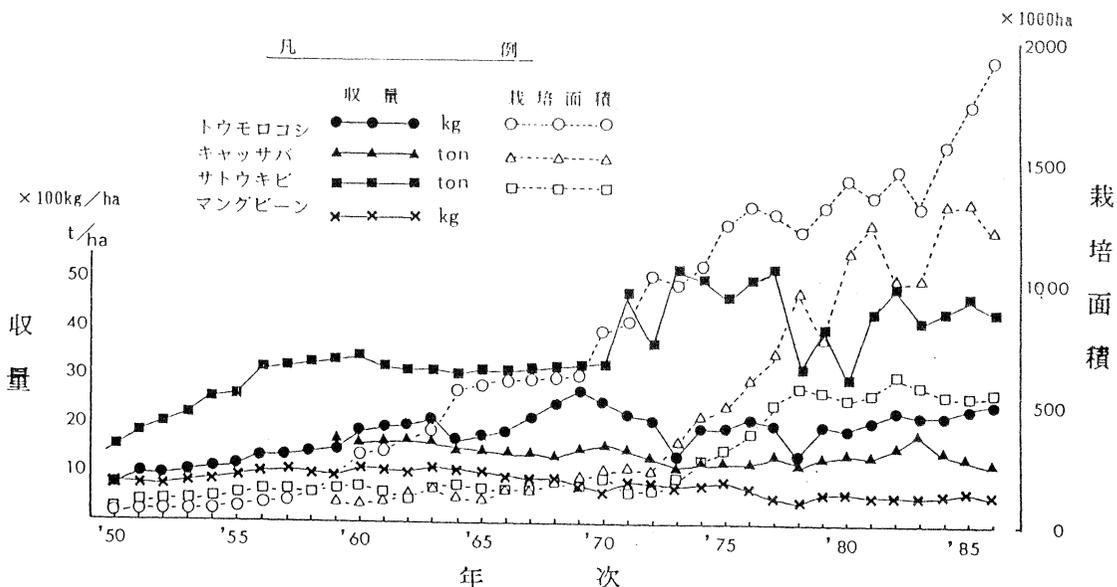
4) マルチ材料の種類別の土壌流亡防止効果	41
5) 実際圃場における土壌侵食量の推定と評価	41
3. 作物残渣、雑草等のマルチ、土壌管理、被覆作物導入による灰色ポドソル性 土壌畑の侵食防止効果	43
1. 目的	43
2. 方法	43
1) 供試圃場の概要	43
2) 試験枠とその設置条件	43
3) 試験処理区的设计	43
4) 調査項目とその方法	44
3. 結果および考察	44
4. 要 約	48
第V章 雨水の有効利用による生産安定のための作物残渣・雑草等の利用	50
1. 表層土壌水分保持に対するマルチの効果と作物種子の発芽への影響	50
1. 目的	50
2. 方法	50
1) 供試圃場の概要	50
2) 試験処理区的设计	51
3) 試験期間	52
4) 調査項目とその方法	52
3. 結果および考察	52
1) 表層土壌水分の変化に対するマルチ処理の影響	52
2) マルチ処理による発芽可能日数の延長効果	56
2. 雨水の浸透促進に対するマルチの効果と作物の生育、収量への影響	57
1. 目的	57
2. 方法	57
3. 結果および考察	58
1) マルチ処理によるトウモロコシの生育期毎の表面流去抑制効果	58
2) 土壌水分およびトウモロコシの水分ポテンシャルに対するマルチ処理の影 響	60
3) トウモロコシの収量に対するマルチ処理の影響	62
3. トウモロコシの収量に対する有機物マルチと施肥の効果—特に降雨分布との 関連について—	63
1. 目的	63
2. 方法	63
3. 結果および考察	64
1) 降雨分布と収量	65
2) マルチの経済評価	66
4. 要 約	67

第VI章 マルチ資材の自給生産を組み入れた作付体系ーキャッサバ栽培におけるス イトコーン導入事例ー	69
1. 背景と目的	69
2. 方 法	69
1) 供試圃場の概要	69
2) 供試作物	70
3) 試験処理区的设计	70
4) 耕種概要	70
3. 結果および考察	71
1) スイトコーンの生育と収量	72
2) キャッサバの生育と収量	72
3) 圃場に還元される作物残渣量	74
4) 経済評価	75
4. 要 約	76
第VII章 総合考察	77
第VIII章 総括および結論	82
文 献	85
Summary	91

第I章 緒 言

途上国における農業生産は、人口増加に伴う国内消費量の増大、国際商品としての需要の増加あるいは外貨獲得のため、1950年代以後飛躍的に増大している。このような生産量の増大は単収増によるものではなく、主に森林や野草地の開発による面積的拡大によって達成されている。開発による農地の拡大は原始的な焼畑から機械力を駆使した大規模開発にいたるさまざまな形態がとられている。一方、このようにして開発された農地の多くは、土壌保全を無視し、無肥料による収奪栽培法によって荒廃化が進行している^{17,32)}。現在の世界の人口増加率 2.5%からして西暦2000年には60億を越えることは確実であり、そのために必要な食糧生産は、2000年までの農地の増加率から推算して十分でなく、世界的な食糧需給のバランスが崩れるであろうとの予測がある¹⁾。途上国においては今後も引続き生産の拡大が必要であるが、面積的拡大には適地不足と環境保全の面から次第に困難になりつつある。そこで今後は生産環境の劣悪な土地、例えば、急傾斜地、瘠薄地、乾燥地、塩類地などへの拡大が予想される。一方、より集約的な作付体系への移行がある。その一つの方向として、水分環境のマージナルな雨季始めまたは乾季始めへの時間的拡大があり、もう一つは灌水、施肥等集約栽培による単収拡大の方向が考えられる。

タイ国では1960年代以降、輸出畑作物の生産振興策によって生産量は急激な増大を続けている。この伸びは第1図からもわかるように栽培面積の拡大によるものであって、単収増によるものではない。最近、開墾可能な未耕地が少なくなったことや、国土的水資源の保全、涵養の面から森林開発による耕地の拡大が制限されるに至り、タイ国の畑生産は面積的拡大から単収拡大の方向に転換しなければならない状況にある。



第1図 タイ国における主要畑作物の平均収量および栽培面積の推移 (タイ農業統計資料1970⁹⁾、同1975/76¹⁰⁾、同1980/81¹¹⁾、同1985/86⁷⁾ より作成)

タイ国の畑作物の生産性は一般に低く、年によって大きく変動する。その第1の要因は干ばつの頻発である。国土の大部分が熱帯サバンナ気候「Aw」下にあり、明瞭な雨季と乾季とがある。年平均降雨量は1100～1500mmでその80%以上が雨季にあたる5月から10月の間に集中する。タイ国の畑作はほとんどが天水依存農業であるために栽培はこの間に行われる。この間の降雨は量的、時期的分布の変動が大きく干ばつの大きい原因となっている。その他、タイ国の畑地の生産性の低い原因として低い肥沃度と無肥栽培が考えられる。

このように不安定な降雨分布と土壤の肥沃度に依存する畑作農業はその地帯の気候条件、とくに降雨の量的、時期的分布と土壤の性質とくに水分と養分条件に立脚した作物が栽培されている⁹¹⁾。タイ国は、全国を北部、東北部、中央部および南部の4農業地帯に区分しているため、それによって地帯別の主な土壤降雨条件と作物との関係をみると次のとおりである。

中央西部に分布する非石灰質褐色土はタイ国の最も肥沃な土壤の一つである。有効土層が厚く、主作物はサトウキビである。降雨量はやや少ないが比較的灌漑水路が多く灌水可能地域が広いこと、また、1番刈り収穫以後は収穫残渣であるサトウキビの葉が圃場を覆い雨水の浸透促進と蒸発防止に役立っていることが、比較的雨の少ないこの地帯に、水分要求度の高いサトウキビの栽培を可能にしている。サトウキビは収益性が高いので化学肥料を施用している農家が多く、単収は漸増している。

中央部の高地には石灰岩や苦灰岩に由来する赤褐色ラテライト性土、レンジナ、グルムゾルが分布している。この地帯は1960年代にトウモロコシの輸出が盛んになるにしたがって林野が焼畑によって開墾され、その後連作を続けている。赤褐色ラテライト性土の畑では数年に1回程度干ばつによって収穫が皆無に近くなることがあるので農家は施肥投資をせず、無肥料栽培を続けており、収量は年々低下している。しかし、同じ地域にある肥沃度の高いレンジナ、グルムゾルの畑では生産性の低下は顕在化していない。この土壤は土壤構造がよく発達し、また、保水性が高く、養分も豊富で、トウモロコシ栽培後にソルガムや豆類など年2作を可能にしている。このことは、降雨を有効に利用すれば、天水依存地帯でもかなり安定した生産が可能であることを示唆するものである。

東北部に広く分布している灰色ポドソル性土地帯はキャッサバ単作地帯を形成している。この土壤は全層を通じて砂質で、粘土鉱物はカオリン型が主体であるため塩基置換容量は2～3me以下と小さく、養分的にはきわめて瘠薄であり、保水性も低い。このような土地帯にキャッサバが特化した理由は、他の作物が十分育たないほど瘠薄で水分ストレスの大きいところでもかなりの収量が期待できることによると考えられる。また、根を収穫する関係で砂質土が有利であることも理由の一つであろう。石英を主体とする砂岩に由来するこの土壤は⁹²⁾、養分的にきわめて貧弱な土壤であるが、熱帯林を開墾した直後はトウモロコシの経済栽培が可能であったと言われている。しかし、開墾後数年をまたずしてケナフ、キャッサバなどに置き換えられ、その後放棄されたと思われる荒地が広く分布している。また、キャッサバは吸肥力が強く、主産地である東北および中央東部の土壤は劣化しやすいために短期間のうちに著しい土壤の悪化が懸念される。キャッサバ収量が統計的にも、圃場試験でも低下傾向にあることは現在キャッサバに続く有力な作物がないだけに検討すべきである。

乾季が短く年間降雨量が1400mmを越える南部の半島部や中央東南部ではゴム栽培に特化

し、河川流域の低沖積地は水田地帯を形成している。

このようにタイの天水畑地帯の農業は降雨と土壤水分に関係する要因に大きく支配されているといえる。したがって天水依存畑の生産の向上と安定のためには、干ばつ対策が急務であり、そのためには不規則に降る雨水をできるだけ多く、長く土壤中に保持して作物生産に役立てる栽培法を確立しなければならない。

一方、土壤侵食は、農地の塩類土壌化、砂漠化とともに、世界の農地の荒廃化の三大原因の一つであり、とくに湿潤熱帯は侵食の激しい地帯である²⁰⁾。その原因はスコールに代表される高い侵食性 (erosibility)²⁷⁾ と一般に土壤構造が脆弱な熱帯畑土壌の高い受食性 (erodibility) によるものと考えられる。作物の収量に対する土壤侵食の影響は、短期的に現れにくいために看過しがちであるが、除々に土地生産力を奪い荒廃化する。東北部や、中央部から北部にかけて、かつては畑地であったと思われるところが作土の消失と緻密な下層土の出現によって放棄されているところが多くみられる。

以上のようにタイ国の天水依存畑地帯の低収性の原因として干ばつ、低肥沃度、土壤侵食が考えられる。これらのことを背景に熱帯農業研究センターではタイ国との共同研究で1975年頃から施肥法、土壤改良法、マルチ栽培法などの有効性が検討されており⁶⁰⁾、この研究はそれを引継ぎ、とくにマルチ栽培について研究を進めた。

とくにこの研究のねらいは得られた成果が現地農業にできるだけスムーズに受け入れられることを考慮した。そのためには低コストで大きい効果を得ることは勿論であるが、より高収益を得るためにある程度コストをかける集約的な栽培法についてもトライした。マルチ資材としては一般に、耕起前に焼却している作物残渣や圃場内外に自生する雑草の活用を目的としてそれらのマルチとしての有効性について試験をした。

その結果、トウモロコシ稈や雑草 (*Pennisetum* spp.) をマルチとして施用することによって表面流失率および流亡土量を約7分の1に減少することが出来、トウモロコシ収量は約40%増収した。また、マルチをすることによって施肥効果が確実となり、収量の高位安定にはこれらの併用がきわめて有効であることを明らかにした。

本論文は、1980年から1984年まで熱帯農業研究センターがタイの農業局との共同研究として実施した「熱帯における生産力向上のための有機物管理法に関する研究」のうち著者が担当した土壤水分と侵食関係の研究結果を取りまとめたものである。

研究の進め方と内容の概要は次のとおりである。

- ①タイ国の降雨分布について、とくに作物栽培との関係で検討し、天水依存畑の問題点を明らかにしようとした。
- ②タイ国の降雨の侵食性について、熱帯スコールの雨滴のエネルギーや降雨の侵食性についてわが国の場合と比較することによって問題点を摘出しようとした。
- ③タイ国の畑土壌の受食性の解明と作物残渣や雑草マルチによる侵食防止効果を明らかにし、それらの資材の有効性を評価しようとした。
- ④土壤水分の保持、雨水の浸透および作物の生育・収量に対する作物残渣や雑草マルチの効果を明らかにし、それら資材の有効性を評価しようとした。
- ⑤マルチ資材および有機物資材の確保を目的として、主作物であるキャッサバにスイートコーンを導入することの可能性を明らかにしようとした。

謝 辞

本稿の取りまとめにあたり、懇切なる指導と校閲の労をとられた東京農業大学蜷木翠教授、同高須俊行教授、同高井康雄教授に対し、深甚な謝意を表します。

また、熱帯農業センター梶原敏宏元所長、高橋達児前研究第一部長（現JICA）、同仲谷紀男企画科長（現北陸農業試験場水田利用部長）には終始暖かいご激励と取りまとめについての有益なご教示をいただいた。なお、農業環境技術研究所久保田徹土壤管理科長には本研究への端緒と適切な助言を賜り、徳留昭一前農業環境技術研究所環境立地研究室長（現JICA）には土壌侵食関係について永きに亙り懇切なご指導を賜った。タイ国において本研究を実施中、熱帯農業研究センター井上隆弘元主任研究官（現農業研究センター畑土壌肥料研究室長）、同上原洋一元主任研究官（現北海道農業試験場土壌微生物研究室長）および同吉田博哉元主任研究官（現JICA）には貴重な意見と協力をいただいた。さらに、タイ農業局の Mr.Pongpit Piyapongse、Mr.Kamrop Billamas、Mr.Thiraphong Piyasirananda、Mr.Samnao Phetchawee、Dr.Wisit Cholitkulには多大な協力をしていただいた。中国農業試験場濱田龍一虫害研究室長にはコンピュータ関係で大変お世話になった。以上の方々に対して、心から感謝の意を表します。

第II章 タイ国における降雨分布と畑作物の生産性

総面積51.4万Km²、北緯5～22°に位置するタイ国は、国土の大部分が熱帯サバンナ気候に属し、明瞭な雨季と乾季をもつ。雨季は南西風が卓越する5月から、北東モンスーンが南西に通過する10月までの約6か月間で年降水量1100～1500mmの80%以上がこの間に集中する。天水に依存するタイの畑作物はこの間の雨を利用して栽培されている。しかし、この間の降水量は、作物の生育に必ずしも十分でないためにしばしば干ばつが発生する。

本章ではタイ国の降雨分布特性を作物の生産性の面から検討し、天水依存畑作地帯の生産安定のための問題点を明らかにすることを目的とする。

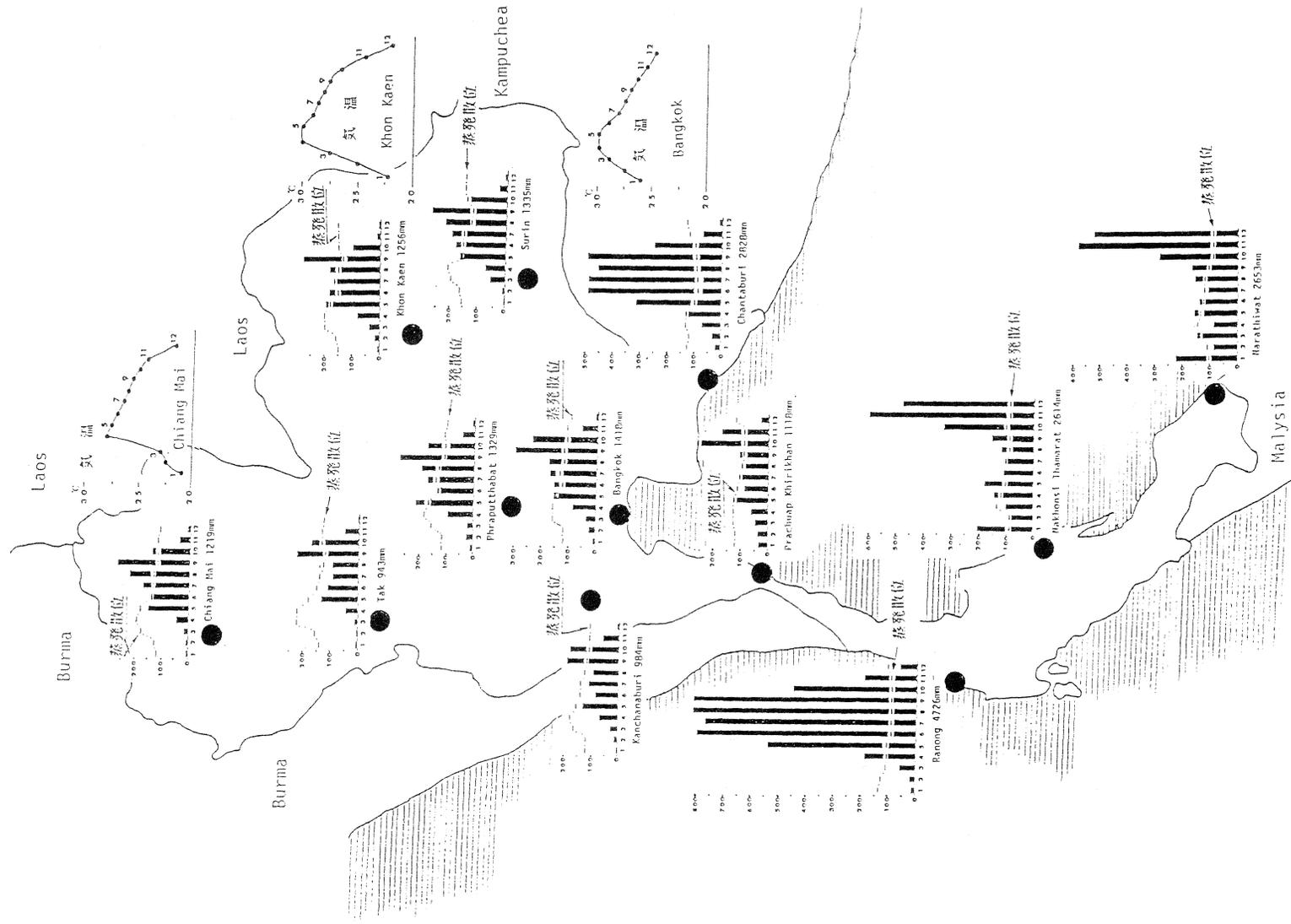
1. タイ国の主要地域の降雨分布の概要と農業

タイ国は北半球の熱帯圏に位置し、モンスーンの影響下にある。したがって気温の変化や風向、降雨量やその分布はタイ国に吹くモンスーンに大きく左右されている。降雨条件からみればタイの季節は乾季と雨季に分けられるが、乾季をさらに寒季と暑季とに分け、一般に次の3季に分けられている。

(1) 寒季 北東モンスーンが卓越する11月から2月頃までである。東北および北部タイではこの間の気温が平均気温で20～25℃であり、バンコク以南では25～27℃である。寒季には大部分の地域でほとんど雨が降らない。第2図に示すように蒸発散位に比べて降雨量が少ないために天水依存の畑地帯では、永年作物あるいは耐干性の優れている作物を除き、栽培は不可能である。しかし、この時期北東モンスーンがタイ湾上を通過するとき吸収した水蒸気がナコンシタマラート、ナラチワットなどタイ湾側の地帯で凝縮し相当量の降雨をもたらすのでこの地帯の降雨分布は他の地帯と逆になる。

(2) 暑季 3月から5月中旬頃までの約2月半で最も暑い時期である。理由としては太陽が赤道から北に移動したこと。冷涼な北東モンスーンの勢力が衰えたこと、雨が降らないために地面が乾燥状態にあり、そのために日射エネルギーが蒸発潜熱に奪われることなく温度を上昇させたことが考えられる。5月に入ると湿気を含んだ南西モンスーンが勢力を強め、雨が降り始める。日中、湿気を帯びた大気が地表の熱を受けて急上昇し、午後、猛烈なスコールを発生する。降雨分布が安定し始める5月下旬頃から畑作物の植付が始まる。

(3) 雨季 南西モンスーンが安定する5月下旬から10月中旬、南部では11月頃までの期間である。大部分の畑作物はこの間に栽培される。この間の降雨量の月別分布は第2図に示すように9月を除き、蒸発散位にほぼ匹敵している。したがってこの間の降雨の量的、時期的分布はタイ国畑農業に大きい影響を与えている。タイ国では、農作物の生産環境情報図として、単年作物の生産安定図(Production Stability Map of Annual Crops in Thailand)⁷⁷⁾、農業生態区分図(Agroecological Zones of Thailand)⁶⁷⁾、農業気候区分図(Agroclimatological Zones and Map)⁹¹⁾を作成している。これらの図は気候と土壌の要因の組合せによって作成しているが、とくに降雨分布要因が基本となっており、タイ国農業の生産性が降雨分布に密接にかかわっていることを示している。各図の内容の概略は次のとおりである。



第2図 タイ国主要地域の降雨分布、蒸発散位および気温

①単年作物の生産安定図は次の評価式をもとに作成している。

$$\text{評価値} = 50R + 21(S + D) + 8m$$

R、S、D、mはそれぞれ降雨量、土性、地下水位、土壤有機物含量要因で、最終的に Very stable、Stable、Medium、Less stable、Unstable の5段階評価としている。評価図によると、乾季の最中である1月は全国土の約80%がUnstableで占められ、雨季始めの4月には中部にMediumが出現し、5～6月には80%以上の国土がMediumないしStableとなり、9月にはStableが80%以上となる。その後は急速にLessないしUnstableの面積が増加している。以上のようにタイ農業の安定性は降雨の時期的分布にきわめて密接に関係している。

②農業生態区分図は降雨要因として、降雨量200mm以上の湿潤月数と100mm以下の乾燥月数とを組合せた降雨区分(R_1 、 R_2 ----- R_6)、土壤的要因として土壤断面の発達程度による土壤区分(S_1 、 S_2 ----- S_6)とを組合せて作図している。図からは干ばつの危険度の大小と土壤の肥沃度の高低との組合せた広がりとして読み取ることができ、適作物の導入あるいは、水保全、施肥管理等の要否の判断基準として活用されている。また、現在地域的に特化している作物分布をオーバーラップさせると、土壤水分と肥沃度に対する作物の適応性をうかがい知ることができる。

③農業気候区分図は月別降水量： P mm、土壤水分保持量 S ：50mm、月別蒸発散量ETP：直径1.2m蒸発計蒸発量mm $\times 0.6$ とし、 $(P + S) / ETP$ の値が1より大きい月を湿潤月、0.5～1を中間月、0.5以下を乾燥月とし、それぞれの月の長短から作物の作付開始時期、作付可能期間、作付終了時期などを示す地図を作成している。

2. 降水分布と干ばつの危険度

干ばつは、タイ国の天水依存畑地帯の生産が不安定な大きい要因である。ここではタイ国中央部トウモロコシ地帯のほぼ中央部にあるロップリ県プラブタバ畑作試験場の水収支の実態調査から干ばつの危険性などの問題点を明らかにしようとした。

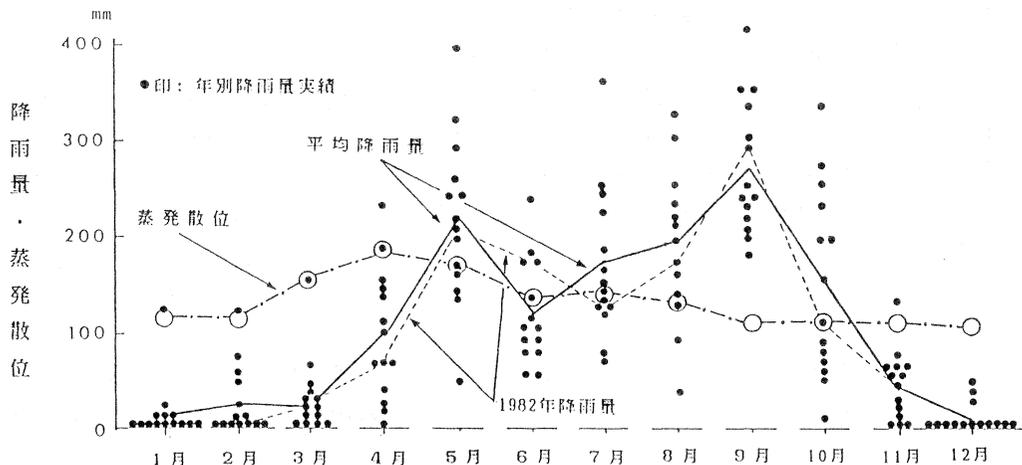
天水依存畑作地帯では、水分の供給は降雨のみで、降った雨水は蒸発散、地表流去、地下流出、土層内貯留に配分され、次の式で表わされる。

$$P = ET + R + D + S$$

ここでP：降雨量、ET：蒸発散量、R：地表流去量、D：地下流出量、S：土層内貯留量を示す。

土壤水分の供給側である降雨量については、1974年から87年までの間の月別降雨量を第3図に示した。11月から3月までは雨が少なく、4月から若干多くなり、5月から10月までが雨季で、この間に作物が栽培される。しかし、図の中の黒丸印の分布からわかるように、降雨量は年によって大きく変動していた。

作物の生長に対して十分な水分を与えた場合の蒸発散量を蒸発散位：Potential evapotranspiration と呼び¹⁵⁾この値は水分の過不足の目安と考えられる。蒸発散位の測定はライシメータを用いて行われる⁶²⁾が正確な測定には大掛りな装置を必要とするので、一般の気象データから推定する方法が試みられている。タイにおける蒸発散位として van den Eelaart⁹¹⁾はClass A pan evaporimeterによる測定値の0.6倍とし、久保田³⁹⁾はThornth-



第3図 月別、年別の降雨分布と蒸発散位（ブラブタバ畑作試験場1974～1987年）

waiteの式によって求め、Ohbaら⁶⁶⁾はMorton's methodに従って算出している。Seino⁷⁵⁾は東北タイのナコンラチャシマの気象データにもとづいて、Class A pan evaporimeter による蒸発量と Penmanmethod、Thornthwaite method、Hargreaves method、Priestley and Taylormethod による蒸発散位との比較の結果、A pan 蒸発量に対し、それぞれ87、130、90、91%を示しており、この結果からタイの蒸発散位は A pan 蒸発量×0.9に近いことが考えられる。

タイ国ではA panによる測定値は比較的充実しているので、第2図及び第3図に示す蒸発散位はA panの蒸発量×0.9値を蒸発散位として記入した。

地表流去水および地下流出水量を無しと仮定すれば、第2図および第3図の蒸発散位を示すグラフより降雨量が少ない場合は水不足となることになる。雨季の間（5月から10月）に平均降雨量に相当する雨があればほとんど月は蒸発散位を越えているために水不足にはならないが、実際には年による降雨変動が大きいので、9月以外の月は干ばつの危険がかなりの確率で存在することになる。

土層内に浸透した雨水が土層の保水能を越えると過剰水となって地下に流出する。作物根によって吸水可能な土層の深さを1mとすれば、その土層の有効保水量（pF1.7～4.0）は約100mmであり³⁹⁾、これ以上に供給される水は余剰水として流出することになる。

地表流去水の発生量は、降雨量や降雨強度、土壌の性質、土壌管理法、植生被覆率によって可成り異なり、人為的にある程度コントロールできる要因である。ここで、降雨が全部土壌中に浸透し、作物が正常に生育し蒸発散が活発に行われていると仮定して、ブラブタバ畑作試験場の水収支を計算すると第1表のとおりである。

11月から4月までの6月間は蒸発散位が降雨量を凌駕し、不足水量は474mmに達した。5月中旬頃から土壌中に貯留がはじまり、8月下旬に飽和し、10月中旬頃までに235mmが余剰水として下層に流出する。11月には降雨量が減少するので土壌中に保持されていた水は蒸発散によって失われる。一般畑作物の植付はほとんどが5月中下旬に行われている。しかし、6月は蒸発散位の方が降水量より10mm多く、7月は降水量の方が30mm多いが、こ

第1表 プラプタバ畑作試験場における水収支

単位: mm

項目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
平均降雨量 [*]	12	27	19	97	215	122	170	191	272	151	44	9	1329
蒸発散位	117	116	156	182	168	132	140	129	110	107	111	100	1568
土壤保水量 ^{**}	0	0	0	0	47	37	67	100	100	100	33	0	
余剰水量	0	0	0	0	0	0	0	29	162	44	0	0	235
不足水量	105	89	137	85	0	0	0	0	0	0	0	58	474

* 1974～1987年平均値

** 土壤の有効保水量を100mmと仮定

の2か月間の降雨による供給量は蒸発散位を、20mm上まわる程度で、僅かな降雨分布の変動や表面流去水の発生によって水不足により干ばつとなる。とくにトウモロコシ栽培では、7月は栄養成長期から生殖成長期に移行する重要な時期にあたり、水不足は減収の大きい引金となる。また、この時期、主作物の作付前ないし生育初期に緑肥や間作作物を導入することは主作物との水競合により干ばつの危険性が増加する。一方、生育の後半にあたる8月下旬から10月上旬にかけては無効の雨が多く、余剰水として下方に排出される。年間を通してみると絶対水量が不足する熱帯サバンナ気候帯の農業において、この間の余剰水を作物生産に如何に有効に利用するかは重要な研究課題である。

実際の降雨分布は第3図に示すように変動が大きく、翌月の降雨量の予測も困難なために、平均降雨量に基づく水分の過不足の検討は十分な意味を持たない。そこで、降雨の変動要因を考慮に入れて作物に対する干ばつ発生の危険度を計算した。先ず、水分の供給要因としては降雨量と土壤に保持されている有効水分量、消費要因としては第1表に示す蒸発散位とした。土壤から供給される水分量を平均50mmとして必要な臨界降雨量を計算すれば、例えば6月は、132mm(蒸発散位) - 50mm(土壤からの供給量) = 82mm(臨界降雨量)となり、同様に7月の臨界降雨量は90mm、8月は79mm、9月は60mmとなる。各月の降雨量が臨界降雨量以下になる確率をWebsterら⁹²⁾によって計算すると、例えば6月の場合、6月の平均降雨量は122mm ± 52.4(標準偏差)である。6月の臨界降雨量を82mmとすれば、

$$t = (122\text{mm}(\text{平均降雨量}) - 82\text{mm}(\text{臨界降雨量})) / 52.4(\text{標準偏差})$$

で $t = 0.76$ となる。Fisher 表より $t = 0.76$ は45%、すなわち平均降雨量 122mm から ± 40mm(平均と臨界との差)以上変動する確率は45%であり、122mm から -40mm、すなわち臨界降雨量以下になる確率は $45/2 = 22.5\%$ で4～5年に1度の割合で出現する。同様にして各月の確率を計算した結果、第2表に示すように、6月は4～5年に1回、7月は6～7年に1回、8月は13～14年に1回となった。月別降雨量と収量との関係は第V章に述べるように播種後2か月間(6月、7月)の降雨量との間に高い相関性があるので、6月、7月の2か月の臨界降水量 222mm(=蒸発散位6月:132mm+同7月:140mm-土壤水分からの供給50mm)以下になる確率を計算した結果5年に1回程度となった。もし播種後2か月間の降雨量の13%が表面流失すると3年に1度、24%が流失すると2年に1度の割合で水不足になる計算となった。第V章3節(第34表)では10年間に4度干ばつによって収量が2.6ton/ha以下と減収しており、雨水の表面流失はタイ国の水不足による低収の大きい原因の一つで

第2表 トウモロコシ栽培月の水分不足年の出現頻度

月	月降雨量*	臨界降水量以下になる確率%	出現頻度
6	122 ± 52.4mm	82mm 以下になる確率 = 22.5	4~5年に1回
7	170 ± 77.5mm	90mm 以下になる確率 = 15.2	6~7年に1回
8	191 ± 77.1mm	79mm 以下になる確率 = 7.4	13~14年に1回
9	272 ± 70.0mm	60mm 以下になる確率 = 0.1	800年に1回
6, 7	291 ± 78.1mm	222mm 以下になる確率 = 19.0	5年に1回
6, 7 ①**	253 ± 78.1mm	222mm 以下になる確率 = 33%	3年に1回
6, 7 ②**	222 ± 78.1	222mm 以下になる確率 = 50%	2年に1回

* 1974~1987年プラプラタバ畑作試験場のデータによる

** ①は降雨量の13%、②は24%が表面流去したと仮定した値

あると云える。

3. 要 約

タイ国における降雨量の地域的、量的、時間的分布を作物の生育に必要な水分量すなわち蒸発散位との関係で検討し、次のような問題点を明らかにした。

- 1) タイ国の大部分の地域は約半年毎に明確な雨季と乾季がある。年間降雨量の80%以上が雨季に集中するが、作物生育に必ずしも十分でなく、水不足の危険が大きい地域が多い。
- 2) 作付、生育初期など作物栽培上重要な時期にあたる雨季の前半は平均降雨量と蒸発散位がほぼ同程度であるが、変動が大きいために干ばつの危険が大きい。
- 3) 雨季期間中の干ばつの発生は予知できない小乾季の出現によるので、それに備えるためにできるだけ多くの雨水を土壤中に浸透、貯留しなければならない。
- 4) 土壤中に浸透した雨水をできるだけ多く貯留し、作物生産に役立てるためには、雨水をできるだけ多く土壤中に浸透させ、深耕等による有効土層の拡大による保水能の量的拡大、土壤の孔隙構造の改良による保水能の質的拡大、蒸発損失の防止、雑草による蒸散損失の防止、主作物と水競合を起こす間作、混作を行なわないことなどが考えられる。
- 5) 雨季後半の余剰雨水の有効利用を図る必要がある。
- 6) タイ国のコーンベルトの干ばつ発生頻度を蒸発散位、有効土壌水分量、降雨量および降雨変動に基づいて計算すると5年に1度となった。もし、播種後2か月間の降雨量の13%~24%が表面流失すると2~3年に1度の割合で水不足になる計算となった。この研究の第V章3節の結果によれば2~3年に1度の割合で干ばつによって大きく減収しており、表面流失はタイ国の畑作物の低収の大きい原因の一つであると云える。

第三章 タイ国における降雨の土壤侵食性

世界的にみて水食の最も激しい地域は湿潤熱帯地帯といわれている²⁹⁾。その主な原因は降雨量が多く、降雨強度が大きいことであるがそれに発展途上国では急速な農地拡大による受食性の増大、単作栽培による裸地期間の長期化などの要因が水食を顕在化し、深刻な問題となっている。

水食は雨滴による土粒子の分散作用および表面流去水の運搬作用によって発生し、降雨、土壤、地形、植生および人為的要因に影響される³⁾。この中で降雨要因は土壤侵食をひきおこす側であり、降雨強度、降雨量およびそのエネルギー量と流亡土量との間に種々な指標化が試みられている。

雨滴による土壤の侵食については、Neal and Baver⁵⁹⁾が単位面積当りの雨滴による衝撃の強さは雨滴の数、その大きさ、落下速度に関係し、落下速度は風の影響をうける場合があることを示した。わが国では三原⁵¹⁾が福岡と東京における自然降雨についての研究から雨滴のエネルギー強度を明かにし、表面流去水の発生量は降雨のエネルギーに対応することを明かにした。徳留⁸⁵⁾は善通寺における自然降雨の強度、雨滴の粒径分布および運動エネルギー等について調べ、当地における降雨の土壤侵食性について明かにした。Ellison¹⁸⁾は降雨によって飛散する土壤の量は雨滴の速度、大きさ及び降雨強度の関数で表わされるとして次の式を導いた。

$$E = K V d I$$

ここでEは飛散される土壤の量、Kは土壤係数、Vは雨滴の速度、dは雨滴の径、Iは降雨強度である。

Wischemeier and Smith⁹³⁾はLaws and Parsons⁴³⁾の降雨強度と雨滴径の関係データを用いて次の式を導いた。

$$E = 916 + 331 \log I$$

ここで、Eは降雨の運動エネルギー、Iは降雨強度を表している。

西潟⁶¹⁾は、北海道地方の土壤条件において水食に対する降雨の限界強度を3mm/10分とするのが妥当であるとした。川村³⁷⁾は花崗岩および安山岩質の土壤では、前者は2mm/10分、後者は3mm/10分であるとし、瀬戸内地帯では受食性の高い花崗岩質土壤の分布が多いことから、一般にこの地域の限界降雨強度を2mm/10分とすることが妥当であるとした。2mm/10分以上の降雨分布は6～9月に多くこの期間土壤侵食防止対策について留意することを提言した。

タイの降雨は、日中熱せられた空気が上昇して積乱雲を発生し、夕方熱雷をともなって降るいわゆる熱帯スコールが多い。また乾季から雨季に変わる南西モンスーンが通過する5月、逆に乾季に変わる北東モンスーンが通過する9月頃には夕立の他に前線に伴う大雨がある。何れも降雨強度が大で侵食性はきわめて大きいと考えられる。

本章の研究は、1)熱帯スコールの降雨強度、雨滴の粒径分布、降雨エネルギーの経時変化を調査することによって土壤侵食への影響を明らかにするとともに、2)タイ国とわが国の降雨の土壤侵食性の比較によってタイ国の土壤侵食の問題点を明らかにしようとした。

1. 熱帯スコールの土壤侵食性^{注)}

1. 方 法

1) 雨滴の大きさの測定法

三原⁵¹⁾の方法に準じて測定した。すなわち十分洗浄乾燥したガラス板上に雨滴を受ける。このとき雨滴が重ならないよう特に強雨のときは速やかに行う必要がある。雨滴が薄くひろがって付着したガラス面にろ紙(東洋ろ紙 No. 2)を静かに押し付けると円形の斑痕ができる。これを一定の条件で乾燥する。ろ紙に予めメチレンブルー1に対しタルク20の割合の混合粉末を塗布しておくで斑痕が鮮明に定着できその後の測定作業が容易である。

このようにして得られた斑痕の大きさを第3表に従ってもとの雨滴の大きさおよび重さを読み取った。

2) 測定場所および日時

タイ国バンコク市バンケン農業局で1981年9月29日14時36分から15時28分にかけて降った19mmの雨について、経時的に降雨強度と雨滴の粒径分布を測定した。

3) 降雨の運動エネルギーの計算

雨滴の大きさと落下終速度の関係は Laws

⁴²⁾、Gunn²¹⁾、三原⁵¹⁾によって研究されているがほぼ近似した値を得ているために三原の経験式を用いて計算した。すなわち、

$$\text{終速度 } v \text{ (cm/sec)} = 9.1549 r - 2.5946 + 2.5946 e^{-3.727r} - 0.38090 r^{2.18}$$

ここで、 r は雨滴の半径、 e は自然対数である。各測定時の雨滴の粒径分布から雨滴の重量 m を求め、一方雨滴の大きさから求めた終速度 v を用いて運動エネルギー(E)を、

$$E = 1/2 \cdot mv^2$$

の式から求めた。

2. 結果および考察

計測した雨は降雨量19mm、降雨時間は52分、その間の10分間最大降雨強度は降雨開始後16分から26分までの7.5mmであった。この雨の規模は第8表に示すように、同地区において1982年4月から11月までの間の1雨当りの平均降雨量15.4mm、10分間強度7.3mmよりやや大

第3表 東洋ろ紙No. 2の斑痕と雨滴・粒径との関係

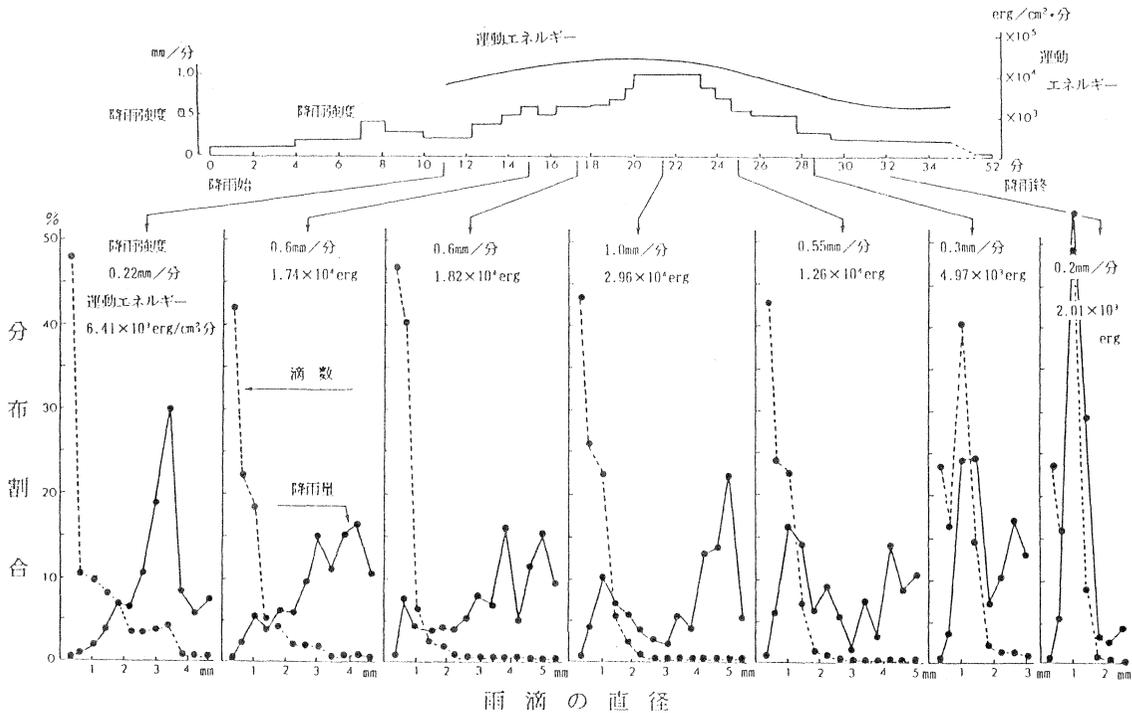
斑痕の径 mm	雨滴の粒径 mm	粒径の中央 値と重量	
		(mm)	(mg)
< 1.04	< 0.6	0.3	0.10
1.04 ~ 2.05	0.6 ~ 0.8	0.6	0.19
2.05 ~ 4.38	0.8 ~ 1.2	1.0	0.52
4.38 ~ 6.80	1.2 ~ 1.6	1.4	1.44
6.80 ~ 9.40	1.6 ~ 2.0	1.8	3.05
9.40 ~ 12.05	2.0 ~ 2.4	2.2	5.58
12.05 ~ 14.90	2.4 ~ 2.8	2.6	9.2
14.90 ~ 18.00	2.8 ~ 3.2	3.0	14.2
18.00 ~ 21.14	3.2 ~ 3.6	3.4	20.6
21.14 ~ 24.40	3.6 ~ 4.0	3.8	28.8
24.40 ~ 28.00	4.0 ~ 4.4	4.2	33.8
28.00 ~ 31.74	4.4 ~ 4.8	4.6	51.0
31.74 ~ 35.93	4.8 ~ 5.2	5.0	65.5
35.93 ~ 40.45	5.2 ~ 5.6	5.4	82.4
40.45 ~	5.6 ~	5.8	102.1

注) 三原⁵¹⁾より作成

注) 本節の内容の一部は J A R Q⁸⁷⁾に発表した。

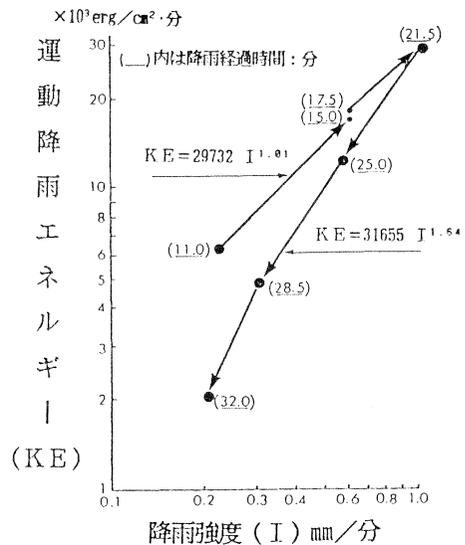
きいが、ほぼ平均的な規模の雨と云える。

この一連の雨の降雨強度の経時変化は第4図上段に示すように降雨開始22分後にピーク



第4図 降雨の強度、粒径分布および運動エネルギー (1981. 9. 29、19mmの雨量、バンコク)

クが現れ、その後急に衰えている。雨滴の粒径分布は最大5.5mmで降雨強度が強くなる程大粒が出現する一方、1mm以下の小粒の頻度分布が高くなる。この傾向は三原⁵¹⁾、徳留⁸⁵⁾が降雨強度の異なる雨についての測定結果とほぼ同じであった。降雨強度のピークが過ぎると降雨は急に弱くなり、大部分が直径1mm前後の雨滴となった。降雨強度が大きい時には、小粒の数は多いが、水量の面からみれば第4図下段の実線で示すように大粒に由来する割合が多くなっていった。このように降雨強度が大きくなることは単に単位時間当りの雨量が増加するだけでなく粒径の構成も変わるので降雨強度と運動エネルギーとの関係は一次直線にはならない。計測した一連の降雨のエネルギーの経時変化と降雨強度との関係は第5図に示すように、降り始めから降雨強度が大きくなるに従ってエネルギーは指数的に増加し、ピーク後は降雨強度の低下



第5図 降雨経過時間と降雨強度および運動(降雨)エネルギーの変化

とともに急速に減少した。ピークの前と後では同一降雨強度でもピーク前の方が大粒成分が多いためにエネルギーが大であった。

降り始めからピークまでの間降雨量は全降雨量の55%であったが運動エネルギーは全体の値、すなわち $3.88 \times 10^5 \text{ erg/cm}^2$ の3分の2にあたる $2.6 \times 10^5 \text{ erg/cm}^2$ であった、このことから主にこの間に土粒子の剥離分散と分散土粒子による表面孔隙の閉塞が行われ、侵食と地表水が発生すると推定した。

2. タイ国とわが国の降雨の侵食性の比較

一般に熱帯の雨は温帯の雨に比べて侵食性が大きいといわれている。侵食性に関係する要因としては降雨量、降雨強度、降雨の地表面に及ぼすエネルギー量等がある。一方、農作業の立場からは、整地、播種、生育初期のように裸地面積割合の高い時期の雨は影響が大きい。ここでは熱帯の降雨の侵食性の特性と対策をタイ国とわが国の降雨の侵食性の比較から明らかにしようとした。

二つの地域の降雨の侵食性の比較は、侵食に関係する要因を降雨のデータから抽出し、検討、評価しなければならない。その方法として土壤侵食の一般予測式 (Universal Soil Loss Equation) の構成要因である降雨係数R値の比較と、もう一つは、わが国で一般的に知られている10分間に2または3mm以上の強度の降雨または連続20mm以上の降雨⁶⁵⁾の出現頻度から比較する方法がある。

1. 降雨係数R値による比較

R値の内容と算出方法の概略は次の通りである。

Wischmeier ら⁹³⁾がLaws ら⁴³⁾の降雨強度と雨滴分布のデータおよびアメリカにおける8250の現地試験のデータ処理によって個々の降雨エネルギーの算出式として、 $E = 916 + 331 \log I$ を導き出し (Eは降雨の運動エネルギー、Iは降雨強度を表わす)、これに個々の雨の最大30分間降雨強度 (I_{30}) を乗じた値、即ち、 $E I_{30}$ を土壤侵食のパラメータとした。この値を所定の期間の雨について合計すると、その期間のパラメータを得ることができ、R値はその1年間の合計値である。この計算にあたって、Wischmeierは12.7mm以上の雨を採用している。R値の算出方法には、地域の土壤侵食に適合するよう修正が施されている^{25, 41)}。わが国においても細山田ら^{22, 23, 24)}種田⁸¹⁾は、最大30分間降雨強度 (I_{30}) に変って最大60分間降雨強度 (I_{60}) の採用などE I値の簡便計算法を確立し、それに基づいてわが国の57か所のR値を算出した⁸²⁾。

タイ国では、従来のアメリカにおけるUS慣習単位法によって算出したR値と年平均降雨量との間に、危険率1%水準で有意な次の式が成立することを明らかにし、縮尺100万分の1のR-value地図を作成した⁸⁾。

$$R = 0.739X - 0.405$$

ここで、R = R値、X = 年平均降雨量mm。

細山田ら²³⁾は、わが国の簡便計算法による単位、 $\text{m}^2 \cdot \text{ton f}_1 / \text{ha} / \text{hr}$ と、US慣習単位法による単位、 $\text{hundreds of foot} \cdot \text{ton f}_1 \cdot \text{inch} / \text{acre} / \text{hr}$ とを、宮崎地方の雨について比較した。その結果、US慣習単位法がわが国の簡便計算法に比べて約3~6%大き

い程度であることが確かめられ、わが国の簡便法とUS慣習法によって算出された降雨の土壌侵食性(R)についての相対評価が容易であると報告している。

わが国のR値は第4表のとおりで最大値は潮岬の1100、ついで高知、那覇の約800、宮崎の700、最少値は網走の29、帯広の51、青森の60であったが、タイ国の場合は第5表のように400から3000の範囲にあり、大部分の地域は日本で最も高い値を示した南海型と同じ500から1000の間にあった。タイの雨の土壌の侵食性は日本の2倍ないし数倍大きいと云える。

第4表 日本の気候区分別のR値

気候区分	R 値
気候区分1 裏日本型	
1 a: オホーツク型	30~50
1 b: 東北・北海道型	50~150
1 c: 北陸・山陰型	150~300
気候区分2 九州型	300~500
気候区分3 南海型	500~1000
気候区分4 瀬戸内型	150~400
気候区分5 東日本型	
5 a: 東部北海道型	50 前後
5 b: 三陸・常磐型	100~150
5 c: 東海・関東型	200~500
5 d: 中央高原型	100~250

注) 種田⁸³⁾より作成
・ 関口の気候区分⁹⁸⁾

第5表 タイの地域別R値

地域	R 値
北部北	700~1100
北部南	500~700
東北部東	1100~1600
東北部中	500~700
中央部東	2200~3000
中央部中	600~1100
中央部西	400~600
南部東	2000~3000
南部西	500~1500

注) タイ国土開発局の
資料⁸⁾より作成

2. 土壌侵食危険降雨の出現頻度による比較

土壌侵食危険降雨の条件として川村³⁷⁾が瀬戸内の安山岩質および花崗岩質土壌を対象に3か年間の調査から抽出した土壌侵食発生の限界降雨強度2.0mm/10分、同降雨量20mm以上にもとづき、1981および1982年タイ国バンコク市バンケンとつくば市の雨について土壌侵食危険降雨の出現頻度を比較した。結果は第6表に示すように、降水量は約1300mmでほぼ同程度であったが、降雨の回数(1mm以下の降雨を除く)はタイ国(バンケン)はわが国(つくば)の1.5倍であった。土壌侵食発生の危険をとまなう最大10分間降雨強度2mm以上、または、20mm以上の雨の出現回数はタイ国の方がわが国の2.5倍で、降雨回数の約3分の2に

第6表 タイ国(バンケン)とわが国(つくば)の侵食危険降雨の比較
降水量: mm/年、降雨回数: 回/年

測定場所	降水量	降雨回数	侵食危険降雨***	
			出現回数	出現頻度%
バンケン	1344	112.5	75	67
つくば	1326	75	29.5	39

・ 1981年および1982年の2年間測定した平均値

** タイ国バンコク市バンケン区農業局
茨城県つくば市農業環境技術研究所

*** 一連の雨で10分間強度が2mm以上または降雨量が20mm以上の雨

相当する67%が土壌侵食危険降雨であった。これに対しわが国の場合は約3分の1にあたる39%であった。川村³⁷⁾は四国農試で1951年から60年までの測定結果によると降雨日数168日のうち土壌侵食危険降雨はそのうちの20%にあたる228日であり、月別にみると6月から9月までの4か月間は30%を越えていたと報告している。タイ国とつくばにおける1982年4月から11月まで危険降雨の出現頻度は第7表に示すように84%と54%で、タイ国では6~7月の96%、つくばでは8~11月の60~64%が高かった。危険降雨条件の内容をみると、タイ国の場合は降雨量20mm以上の雨は比較的少ないが降雨強度10分間2mm以上の雨が

多く、わが国の場合は反対に降雨強度は比較的小さいが降雨量が多い。この降雨強度と降雨量との関係を第6図に示した。この図は、4月から11月までの2か月毎の降雨について、個々の雨の表示は省略し、降雨量と10分間降雨強度との回帰直線のみを示した。なお、各線分の長さは所定期間内の降雨量の範囲を示した。また、土壌侵食危険降雨の臨界強度ならびに降雨量を破線で示した。図に示すよう、タイ国の2か月毎の雨の回帰直線を比較すると何れの月もほぼ同様で相関性も高かった。このことは、降雨量の多い雨は降雨強度が大きいワンパターンの雨が多いことを意味する。線分のほとんどが土壌侵食危険降雨を示す破線の外に延びていることは大部分の雨が土壌侵食発生の危険性を含むことを示している。したがって土壌侵食防止対策としては、まず、マルチなどによって強雨から地表面土壌の孔隙構造を保護する一方、短時間に多量に発生する地表水の流速をマルチなどによって減速することが重要である。

これに対し、わが国の雨の回帰直線は月によって位置、勾配、線分の長さともに様々であった。このことは梅雨や秋雨前線による長雨、降雨量は少ないが強度が大きい夕立、台風など降雨形態の多様性を反映しているものと考えられる。線分の約半分が危険降雨を示す破線より少ない側にあることは、タイの雨に比べて土壌の侵食性が少ないことを意味するが、時に台風や台湾坊主⁷³⁾のように降雨強度が大きく200mmに近い雨があり、莫大な土壌流亡をひき起こすことがある。

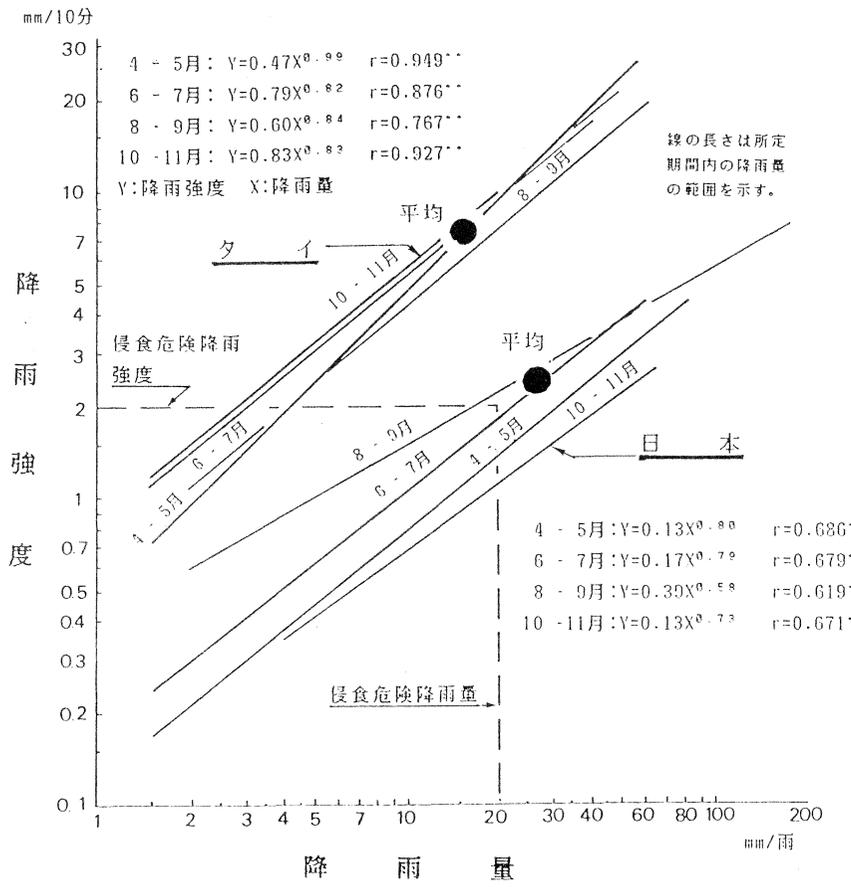
川村³⁷⁾は土壌侵食危険降雨日の出現頻度が30%を越える6月から9月までの4か月間を

第7表 タイ国(バンケン)とわが国(つくば)の降雨回数、侵食危険降雨回数、平均降雨量および強度の比較

1982年値

測定場所	項目	4~5月	6~7月	8~9月	10~11月	4~11月
バンケン	全降雨回数	19	26	25	21	91
	危険降雨回数*	14	25	19	18	76
	>2mm/10分回数*	14	25	19	18	76
	>20mmの雨回数*	9	8	5	4	26
	平均降雨量mm	19.2	15.6	14.3	13.2	15.4
	平均強度mm/10分	8.3	7.7	6.0	6.9	7.3
つくば	全降雨回数	11	15	15	11	52
	危険降雨回数*	4	8	9	7	28
	>2mm/10分回数*	3	6	8	3	20
	>20mmの雨回数*	3	8	7	7	25
	平均降雨量mm	18.9	23.1	31.0	26.5	25.2
	平均強度mm/10分	1.7	3.4	3.2	1.7	2.6

* 侵食危険降雨：最大降雨強度2mm/10分以上または降雨量20mm以上の降雨



第6図 タイ国とわが国の降雨の侵食性の比較
(1982年バンコク市バンケンおよびつくば市の雨)

危険性が最も高い時期として対策の重要性を述べている。種田^{82,83)}は限界土壌侵食期をEI値30以上として気候区別に限界土壌侵食期を決め、その間は全面耕耘を避けるなど保全対策の必要性が述べられた。限界土壌侵食期が最も長い気候区は南海型の4月から11月の8か月、次いで九州型の5月から10月の6か月間、なお、瀬戸内型気候区の限界土壌侵食期は6月から9月までの4か月間で川村³⁷⁾の報告による危険降雨日の出現頻度が30%を越える期間と一致した。

タイ国の雨の分布は第2図に示すように南西モンスーンが北上する5月と北東モンスーンが南下する9月に雨が多い。9月は収穫期にあたり圃場は作物残渣や雑草におおわれて土壌侵食の危険性は比較的少ないが、5月は耕起、播種期にあたり、植生被覆も少ないので土壌侵食の危険性は高く、とくに傾斜地では4月、5月は土壌侵食が多く対策の重要性が指摘されている^{56,88)}。しかし、いずれにしても雨季に全面耕耘をすると土壌流亡が激発することが容易に予想できる。

3. 要 約

タイ国の雨の土壌侵食性について、雨滴の粒径分布、降雨の運動エネルギーおよびわが国の雨との比較においてタイ国の土壌侵食の問題点を明らかにし、次のように要約した。

1) タイ国の平均的な規模のスコール（降雨量19mm、降雨時間52分）について次のことを明らかにした。

(1) 雨滴の粒径分布は最大5.5mmで、降雨強度が大になるほど大粒が出現する一方、1mm以下の小粒の割合が高くなった。

(2) 降雨強度は最大7.5mm/10分に達した。

(3) 降雨強度のピークは全降雨時間のうち、降り始めから40%経過後に現れたが、それまでの降雨量は全体の55%であった。しかも、運動エネルギーは全体 ($3.9 \times 10^5 \text{ erg/cm}^2$) の3分の2にあたる $2.6 \times 10^5 \text{ erg/cm}^2$ であり、土壌侵食の発生は降雨の前半早くから発生すると推定した。

2) タイ国とわが国の雨の土壌侵食性について

(1) 土壌侵食予測一般式 (USLE) の降雨係数R値で比較すると、タイ国の大部分の地域は500から1,000の間であり、わが国の平均的な値である約250の2倍から数倍であった。

(2) 土壌侵食危険降雨、すなわち土壌侵食発生の限界降雨強度2.0mm/10分、同降雨量20mmを越える降雨の出現頻度で比較すると、タイ国（バンコク市）は降雨回数の67%、わが国（つくば市）は39%であった。4月から11月までの1雨平均降雨量と10分間降雨強度は、タイ国はそれぞれ15.4mm、7.3mm、わが国は25.2mm、2.6mmでタイ国は降雨強度が大きいこと、わが国は主として降雨量が多いことによって土壌侵食が発生すると云える。したがってタイ国における土壌侵食対策は、マルチなどによって強雨から地表保護する一方、短時間に多量に発生する地表水の流速を減じて流水による土壌侵食を少なくすることに重点をおかなければならない。

第IV章 土壤侵食防止のための作物残渣、雑草等の利用

降雨による土壤侵食、すなわち水食は降雨条件、土壤の理化学性、傾斜角度や斜面の長さなどの地形、作物（植被）の種類や栽培条件、土壤保全管理など多くの要因が複合的に作用しあって発生する。降雨、地形、栽培などの条件が同じでも土壤の種類によって流亡土量は異なる。これは土壤の受食性に関係する性質の違いによるものであって、雨滴や表面流去水の破壊運搬作用に対する土壤構造の抵抗性などが関与する。従って土壤侵食防止対策としては、降雨要因の面からはマルチなどによって雨滴による土壤構造の破壊作用から地表面を保護することが考えられ、土壤の面からは土壤の受食性に関係する理化学的要因を明らかにし、それに基づいて対策がたてられなければならない。そのためにはまず対象となる土壤について降雨による土壤侵食量を知る必要がある。土壤侵食量の測定は、現地の降雨条件下で行われるのが基本であるが、必要なデータを得るためには長年月を要し、しかも再現性に乏しく土壤侵食要因の考察には種々な困難が伴う。これに対して人工降雨装置の活用は、Meyer^{47, 48, 49)}によると反復実験が容易に行えること、研究効率の向上、適用範囲が広いことなど土壤侵食研究を行ううえで多くの利点をもっているとしている。

この章の研究では、1)人工降雨による熱帯（タイ）、亜熱帯（沖縄）、温帯（本州、四国）の土壤の受食性の比較、2)その内の代表的な土壤について土壤流亡に関する土壤的要因の解明と作物残渣・雑草などのマルチによる土壤流亡防止効果、3)赤褐色ラテライト性土の現地トウモロコシ畑および灰色ポドソル性土壤畑において、自然降雨条件下でマルチ、ミニマムティレッジ（除草剤で自然雑草を枯らしてそのままマルチとして利用し、施肥・播種部分のみ最小限耕起する方法）、カバークロップ導入などによる土壤侵食防止効果を明らかにするとともに、一般に耕起前に焼却している作物残渣や雑草などのマルチ資材としての活用の可能性について検討しようとした。

1. 主要畑土壤の受食性と作物残渣・雑草による土壤侵食防止効果

1) 人工降雨による主要土壤の受食性の比較

1. 目的

土壤には、安定した構造を有し、侵食されにくい土壤から反対に容易に分散、流失する土壤、また開発等のインパクトによって急速に土壤侵食に対する抵抗性を失いつつある土壤など様々である。この項の研究は、きわめて性質の異なる土壤間の受食性を比較するための実験法の検討をかねて、熱帯畑土壤の受食性を亜熱帯、温帯土壤との比較において評価しようとした。

2. 方法

測定条件は次の事柄を考慮して設定した。

- (1) 同一降雨条件下で流亡土量を測定、比較するために人工降雨装置を用いた。
- (2) 供試した人工降雨装置は降雨強度や雨滴の粒径分布などの再現性の高い、細い管（注射針）による雨滴型の雨滴発生器（大起製DIK 6000型）を用いた。

(3) 降雨条件は、侵食されにくい土壌からの流亡土量も測定できるよう降雨強度は100mm/時と高くした。降雨処理時間は30分間とした。自然降雨に近い降雨条件を得るためには約12mの高さから降らさなければならぬ²⁶⁾が、機器操作の都合上、雨滴発生器は供試土壌面上2mの高さに設置した。

(4) 発生する雨滴の大きさは注射針の太さとその振動数によってある程度制御できる。注射針を静止状態にして雨滴を発生させると最も大きい径の雨滴が得られるが地表面の同一場所に落下するので、落下地点の均一化を考慮して注射針を毎分800回振動させた。

(5) 供試土壌は第8表に示すようにタイ国の土壌10種類、沖縄の土壌4種類、本州、四国の土壌4種類の18種類とした。

(6) 試験枠の構造は、作業性と降雨処理後試験枠の中の土壌から100ml容試料円筒(径5cm、長さ5.1cm)で数点採取できることなどを考慮して次のように決めた。縦25cm、横50cm(面積1250cm² = 1/8 m²)、深さ22cm、ただし、表面流去水が流出する前面は深さと12cmとして集水用の樋を設置した。枠の底部には1~2cmの厚さに排水用疎水材を敷き前面下部に径2cmの排水孔をあけた。

(7) 試験枠内の土壌の充填は、同一条件でしかも再現性の高い方法として風乾細土容積重の測定法¹⁶⁾に準じ次の方法で行った。試験枠に10mm円孔篩を通過した風乾土を満たし、5cmの高さから10秒の間隔をおいて5回落下させ表面流去水集水樋(底から12cm)より上面の余分な土壌を除去した。

(8) 降雨処理前の土壌水分条件を一定にするために、土壌を充填した試験枠を深さ10cmの水槽に浸漬し、下方から24時間飽水させ、次に水槽から取り出して勾配10%、排水孔が下になるように設置して24時間排水した。

(9) 土面勾配は10%(5.7°)として降雨処理をした。

(10) 表面流去水量および流亡土壌量の測定は、降雨処理期間中に集水樋に流入した流亡土壌を含む表面流去水を集め、総容量から土壌の容量(重量÷土の真比重2.65)を差し引いて表面流去水量を求め、降雨処理量に対する表面流去率(%)として表示した。流亡土量はm²当りのg数で示した。なお、流去水中の土の分離は状況に応じ、傾斜法(decantation)遠心法、蒸発法およびこれらを組合せた方法で行った。

3. 結果および考察

結果は第7図に示すように、流亡土量は試料No.13の国頭マージ赤の10.6gからNo.9 Yasothonの2542g、表面流去率は同じくNo.13の9.6%からNo.2 Pakchongの96.4%まで、同一測定条件で測定比較することができた。このことは、本試験の測定方法が広い範囲の性質の土壌の受食性の比較に適用できることを意味するものと考えられる。

タイ国の土壌は、流亡土量1000g以上で表面流去率90%前後と、流亡土量約100gで流去率40%前後の2群に区分された。試料No.1と2の赤褐色ラテライト性土とNo.3の非石灰質褐色土は流亡土量1000g以上の区分にはいるが、灰色ポトソル性土は両区分にまたがっていた。

瀬戸内地帯の代表的な土壌であるNo.18安山岩およびNo.17花崗岩に由来する土壌の流亡土量と表面流去率はタイ国の二つの区分の土壌の中間に位置した。沖縄の4種類の土壌のうちNo.11、12、14、の3種の土壌はタイ国および四国の土壌と同じ程度の高い受食性を示し

たが、沖縄の細粒赤色土壌（試料 No.13）と静岡の細粒黄色土壌（No. 15）は流亡の少ない土壌であった。国吉⁴⁰⁾はこの二つの土壌は鉍質土壌であるが分散率が4%以下と低く団粒化度が高いいわゆる耐食性の大きい土壌であると報告している。

一般的にみて、熱帯土壌には流亡土量が1000gを越えるきわめて受食性の高い土壌が多く、また亜熱帯、温帯にもそれに近い土壌があるが、熱帯は降雨の土壌侵食性が大きいために実際の土壌侵食量ははるかに多いことが考えられる。

2) 主要畑土壌の受食性要因解明

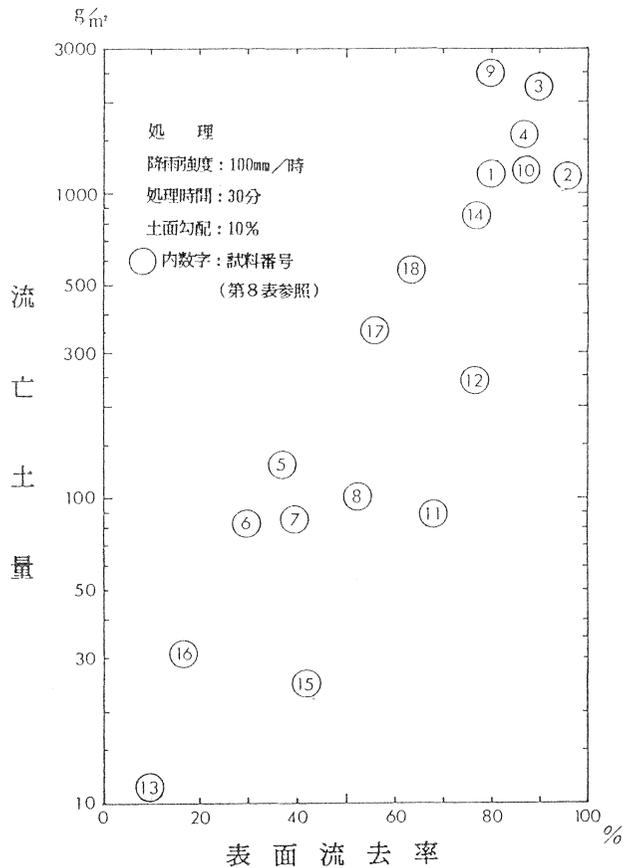
1. 目的

前項の試験において、土壌によって表面流去率および流亡土量に大きい差があることを明かにした。土壌の受食性に関係する要因は多く、土壌によって要因の種類、要因強度が異なる。したがって、その地域において卓越するいくつかの要因を抽出し、それに基づいて近似的に受食性の評価を行い、対策をたてなければならない。この項では人工降雨装置を用いて、土壌の受食性に関係する土壌的要因を明かにしようとした。

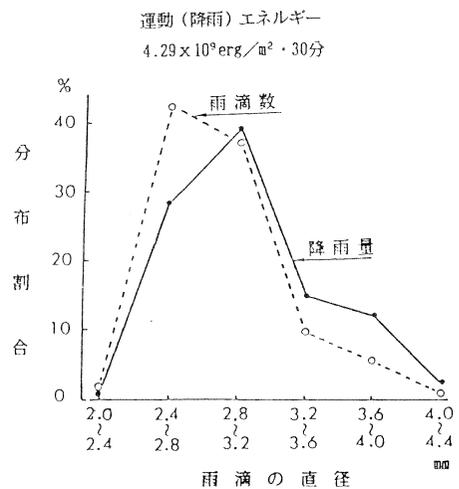
2. 方法

1) 降雨処理条件

前の項では性質のきわめて異なる土壌間の差異を明らかにするために降雨強度100mm/時で処理したが、ここでは比較的類似の土壌であるために60mm/時で処理した。その理由は土壌間の流亡土量および表面流去水率の差を大きく明確にするためと、2mの高さから60mm/時の強度で30分処理したとき地面にあ



第7図 人工降雨実験における表面流去率と流亡土量



第8図 人工降雨装置による雨滴の直径別分布割合および降雨エネルギー（雨滴発生位置：供試土面上2m、降雨強度：1mm/分）

第8表 供試土壌の概要

試料 番号	土壌略名	採取場所	大土壌群名 ^{5,4)} 土壌統群名 or	母材-堆積様式	作目
1	Phra Put	ロフ'リ県フ'ラフ'タハ'	赤褐色ラテライト性土	古生界石灰岩-残積・崩積	トウモロコシ
2	Pakchong	ナコンラチャンマ県ハ'クチョン	上に同じ	上に同じ	トウモロコシ
3	U-Thong	サラブ'リ県ウ'トン	非石灰質褐色土	中生界堆積岩-残積・崩積	サトウキビ
4	Rayong	ラヨン県ホ'イ'ン	灰色ホ'ド'ソル性土(粘質)	古生界砂岩-残積・崩積	キャッサバ
5	Kao Hin	チョンセンサオ県カ'オヒンソ'ン	灰色ホ'ド'ソル性土(砂質)	上に同じ	キャッサバ
6	Satuk	コンケン市コ'アソ'ン	灰色ホ'ド'ソル性土	上に同じ	サトウキビ
7	Chokchai	ナコンラチャンマ県'ョク'チャイ	上に同じ	上に同じ	キャッサバ
8	Warin	コンケン市'イン'テ'ーン	上に同じ	上に同じ	キャッサバ
9	Yasothon	コンケン市'イン'テ'ーン	上に同じ	上に同じ	キャッサバ
10	Nampong	コンケン市'ン'ポン	上に同じ	上に同じ	キャッサバ
11	島尻マーヅ暗赤	沖縄県糸満市	細粒質暗赤色土	琉球石灰岩-残積	カンショ
12	ジャーガル灰	沖縄県東風平町	灰色台地土石灰質	島尻層群泥岩-残積	サトウキビ
13	国頭マーヅ赤	沖縄県名護市	細粒赤色土	国頭れき層-洪積世堆積	パイナップル
14	国頭マーヅ黄	沖縄県恩納村	中粗粒黄色土	上に同じ	野菜
15	牧ノ原黄	静岡県牧ノ原	細粒黄色土	非固結堆積岩-洪積世堆積	林地
16	黒ボク	群馬県嬬恋村	表層多腐植質黒ボク土	火山放出物-風積	野菜
17	花崗岩土	香川県善通寺市	中粗粒質褐色森林土	花崗岩-残積	林地
18	安山岩土	香川県善通寺市	細粒質褐色森林土	安山岩-残積	草地

える降雨の運動エネルギーは第8図に示すように $4.29 \times 10^9 \text{ erg/m}^2$ で、この値は第III章で測定した熱帯の平均的なスコールのエネルギー $3.88 \times 10^9 \text{ erg/m}^2 / \text{雨}$ にほぼ匹敵するためである。なお、人工降雨の雨滴分布の測定およびエネルギー計算は三原⁵¹⁾の方法に準じて行った。

2) 供試土壌

第8表の試料No.1赤褐色ラテライト性土、同3非石灰質褐色土、同4粘質灰色ポドソル性土、同5砂質灰色ポドソル性土、同17花崗岩質土、同18安山岩質土以上6種類を供試した。土壌の調製、充填方法、降雨処理前の水分条件、土壌面の傾斜、測定データの処理方法などは前項に準じた。

3) 土壌分析

供試土壌について、粒径組成はピペット法¹⁶⁾、真比重はピクノメータ法¹⁶⁾、分散率はMiddletonによる方法¹⁶⁾、全炭素は小坂・本田・井積法³⁸⁾で分析した。飽和透水性、仮比重、粗孔隙率(pF1.5気相率V%)については、降雨処理試験後100ml(内径5cm、高さ5.1cm)の試料円筒で試験枠中の土壌を採取し、飽和透水性は変水位法、仮比重は採取試料の絶乾重から求めた。粗孔隙率は土柱法¹⁶⁾によってpF1.5とし、その重量と仮比重および真比重から固相率、液相率、気相率を計算し、その気相率を粗孔隙率とした。

3. 結果および考察

供試土壌の物理、化学性と表面流去率および流亡土量を第9表に示した。このうち、粘土率、透水係数、粗孔隙率、分散率、全炭素、表面流去率の6項目と流亡土量との関係について検討した。検討は直線回帰、対数回帰、指数回帰、べき乗回帰により、最も相関性の高いものについて行った。

粒径組成の一つの指標である粘土率⁶⁾と流亡土量との関係式は、

$$Y = 2.79X^{-0.567}$$

ここでXは粘土率、Yは流亡土量(g/m^2)、 $r = -0.748$ であったが危険率5%の有意水準としては認められなかった(Probability error:0.087)。徳留⁸⁵⁾は火山灰土壌および洪積土壌を除くわが国の土壌で同様にべき乗の関係を危険率1%の有意水準で認めたと有機物含量や遊離二三酸化物による団粒形成、粘土鉱物形成の違いなどが影響して粒径組成のみでは土壌の受食性判定の決め手にならないとしている。

透水性と流亡土量との関係は、

$$Y = 19.11X^{-0.311}$$

ここでXは透水係数(cm/sec)、Yは流亡土量(g/m^2)のべき乗の関係が、 $r = -0.903$ 、危険率5%の有意水準で認められた。透水性は雨水の土壌中への浸透にかかわるところが大きく、表面流去水量の多少となって顕在化する。

透水性と表面流去水量との関係は、

$$Y = -3.81 \log X - 7.81$$

ここでYは表面流去率(%）、Xは透水係数(cm/sec)の対数関係が $r = -0.935$ 、危険率1%の有意水準で認められた。また、透水性は土壌の孔隙構造とも関係が深く、

$$Y = 2244 X + 10.1$$

但し、Yは粗孔隙率(%）、Xは透水係数(cm/sec)の関係が $r = 0.976$ 、危険率1%の

第9表 供試土壌の物理・化学性と表面流去率および流亡土量

試料番号 土壌型	1 赤褐色ラテ ライト性土	3 非石灰質 褐色土	4 粘質灰色ボ ドソル性土	5 砂質灰色ボ ドソル性土	17 花崗岩質土	18 安山岩質土
粒径組成%						
粗砂	12.1	0.7	43.1	56.6	40.7	31.6
細砂	33.5	57.1	26.7	37.4	33.2	21.4
シルト	33.0	22.1	4.7	0.9	13.3	26.7
粘土	21.4	19.9	25.5	5.1	12.8	20.3
土性	CL	CL	SC	LS	SL	CL
粘土率*	3.69	4.02	2.92	18.66	6.79	3.93
仮比重	1.39	1.39	1.48	1.74	1.18	1.29
真比重	2.67	2.68	2.62	2.63	2.71	2.66
粗孔隙率**%	10.5	10.6	10.3	13.5	14.1	10.3
透水係数cm/sec	8.6×10^{-5}	5.8×10^{-5}	9.7×10^{-5}	1.4×10^{-3}	1.8×10^{-3}	3.9×10^{-4}
分散率***%	57.4	69.2	38.6	20.6	20.3	24.6
全炭素%	0.84	1.00	0.61	0.31	0.93	0.87
表面流去率%	74.8	84.8	72.2	15.1	36.8	60.5
流亡土量g/m ²	381	472	233	124	152	259
(log流亡土量)	2.58	2.67	2.37	2.09	2.18	2.41

* 粘土率 = (粗砂 + 細砂 + シルト) / 粘土

** 粗孔隙率% = pF1.5の気相率

*** 分散率% = $\frac{\text{蒸留水のみにより分散した後の} < 0.05\text{mm} \text{ 粒子}}{\text{粒径分析法に準じて完全分散した後の} < 0.05\text{mm} \text{ 粒子}} \times 100$

有意水準で認められた。

このように透水性は地表面流去水量、侵入度など土壌侵食発生に関する重要な因子と深く係わっており⁸⁵⁾、多くの場面で土壌の受食性判定指標となっている^{55, 71, 74, 85, 95)}。

土壌構造の一つの指標である粗孔隙率と流亡土量との関係は、

$$Y = 5.38 e^{-2.83X}$$

ここでYは流亡土量 (g/m²)、Xは粗孔隙率 (%)、r = 0.830、危険率5%の有意水準で認められた。

土壌の分散率 (X%)と流亡土量 (Yg/m²)とは、

$$Y = 6.16 X + 33.3$$

の関係がr = 0.952、危険率1%有意水準で認められ、土壌の分散性の影響が大きいことを示している。土壌の受食性と分散率との関係については多くの報告があり^{4, 40, 44, 78, 85, 96, 100)}受食性判定の指標となっている^{37, 50, 55, 74, 85)}。

全炭素含有率と分散率および流亡土量との間に相関性は認められなかった。

表面流去率と流亡土量との間には、

$$Y = 85.3 e^{0.018X}$$

ここでYは流亡土量 (g/m²) Xは表面流去率 (%), の指数関係が $r = 0.938$ 、危険率 1% の有意水準で認められた。内田⁹⁶⁾ は水食量予測式として、粘土比、団粒係数、侵入率をパラメータとして一次多元式を提案し、侵入率は表面流去率と逆の関係にあって、地表面における雨水の動態が土壌侵食に深く関係していることを報告している。

第10表は流亡土量 (対数値) と前述の6種類の土壌の理化学性との単相関係数を示した。これによると流亡土量との相関性が高い項目は透水係数、分散率、粗孔隙率、表面流去率で、粘土率、全炭素含有率の Probability errorは何れも0.05 (5%) より大きかった。表面流去率との関係は、全炭素含有率との関係を除いて何れも危険率 5% の有意水準が認められた。

第10表 単相関行列表

土壌の性質	1.粘土率	2.透水係数	3.粗孔隙率	4.分散率	5.全炭素	6.表面流去率	7.log流亡土
1.粘土率	1.000	0.659	0.708	-0.508	-0.774	-0.877*	-0.731
2.透水係数		1.000	0.976**	-0.753	-0.280	-0.894*	-0.860*
3.粗孔隙率			1.000	-0.622	-0.313	-0.868*	-0.809*
4.分散率				1.000	-0.462	0.826*	0.913*
5.全炭素					1.000	0.637	0.652
6.表面流去率						1.000	0.941**
7.log流亡土							1.000

** 危険率 1% 有意、* 危険率 5% 有意

土壌の性質のうち、実験室で測定可能な粘土率、透水係数、粗孔隙率、分散率の4項目の説明変数 (因子) が目的変動である流亡土量をどこまで説明できるかを調べるために重回帰分析を行った。第11表に全部の独立変数または2~3項目を組合せた独立変数と流亡土量との重相関係数と分散比Fを示した。4種類の性質がまとまると表のように相関性係数0.999、 $F = 224.2$ 、危険率 5% 有意の分散比から流亡土量はかなりよく説明できたが、独立変数として透水係数、粗孔隙率、分散率の3項目の方が、 $r = 0.999$ 、 $F = 402.5$ 、危険率 1% 有意の分散比となって流亡土量をよりよく説明でき、受食性により深くかかわっている重要な土壌の性質であることを明らかにした。第12表はこの3項目を用いた分散分析表である。

受食性に深くかかわる因子を単純化して受食性の判定および対策をたてやすくするために土壌の

第11表 独立変数と流亡土量との重相関係数

独立変数番号	重相関係数	分散比F
1,2,3,4	0.999	224.2*
1,2,3	0.923	3.8
1,2,4	0.972	11.5
1,3,4	0.977	13.8
2,3,4	0.999	402.5**
1,2	0.887	5.5
1,3	0.839	3.6
1,4	0.963	19.7*
2,3	0.872	4.8
2,4	0.950	13.8*
3,4	0.963	19.4*

** 危険率 1% 有意、* 危険率 5% 有意
注) 独立変数番号 1: 粘土率、2: 透水係数、3: 粗孔隙率、4: 分散率

2種数の性質（独立変数）を1組として重相関を求めた。結果は第11表のように粘土率と分散率、粗孔隙率と分散率の組合せが高く、次いで透水係数と分散率で、何れも危険率5%の有意水準を示した。徳留⁹⁵⁾は受食性判定の側から2種類の性質では分散率と風乾率が最もよく、ついで粘土率と分散率であり、3性質では粘土率、分散率、風乾率が最も良いが受食性の判定には測定法を考慮すると相関係数はやや落ちるが風乾率より透水性の方がよいと報告している。

この試験では分散率、粗孔隙率、透水係数が受食性の判定に有力であり分散率の低下、粗孔隙率の増加が対策として効果的であると考えられる。

第12表 分散分析表（独立変数として第11表の2,3,4を用いた場合）

要因	平方和	自由度	分散	分散比F
回帰による	0.24872	3	0.08291	402.47**
残渣	4.1199×10^{-4}	2	2.05996×10^{-4}	
全体	0.24913	5		

注) 重相関式

$$\log Y = 738.489X_2 - 0.31674X_3 + 0.013672X_4 + 5.0444$$

但し、Y: 流亡土量、 X_2 : 透水係数、 X_3 : 粗孔隙率、 X_4 : 分散率

$$r = 0.999^{**} \text{ (Probability error 0.00248)}$$

3) 主要畑土壌の侵食防止に対する作物残渣、雑草マルチの効果^{注)}

1. 目的

降雨の地表面流出とそれに伴う土壌流亡は、降雨、土壌条件が同一でも、作目の違いやマルチなどの諸管理によって異なることが知られている^{5, 28, 29, 33, 35, 37, 45, 61)}。ここではタイ国の代表的な4種の畑土壌についてトウモロコシ稈、雑草、稲わらマルチによる土壌侵食防止効果を明らかにするとともに資材の種類による効果の違いについて検討した。

2. 方法

1) 供試土壌

赤褐色ラテライト性土、非石灰質褐色土、粘質灰色ポドソル性土、砂質灰色ポドソル性土の4種類の土壌を用いた。これらの土壌は前項の試験に使用した試料No. 1、3、4、5とほぼ同じ場所から採取した土壌である。土壌の物理性と粘土鉱物組成は第13表のとおりである。

2) 人工降雨装置および降雨処理

人工降雨装置は前項と同じ型の雨滴発生器(D I K 6000型)を用いたが、熱帯のスコールにみられる大粒の雨滴を発生させるために雨滴を形成させる細い管の下端に直径約0.5cm半球形のチップを付けた。

雨滴の粒径分布、エネルギーをできるだけ自然降雨に合わせるため雨滴を発生する部分

注) 本項の要旨は昭和58年度日本土壌肥料学会京都大会⁹⁹⁾で発表した。

第13表 供試土壌の物理性と粘土鉱物組成²⁾

土壌型 項目	赤褐色ラテ ライト性土	非石灰質 褐色土	粘質灰色ボ ドソル性土	砂質灰色ボ ドソル性土
粒径分布 (%)				
粘土	24.5	20.0	29.5	1.4
シルト	40.0	28.1	7.5	4.5
細砂	23.1	49.0	15.6	21.9
粗砂	12.4	2.9	47.4	72.2
土性	CL	CL	SC	S
仮比重	1.54	1.57	1.71	1.36
粗孔隙率 (%)	6.9	7.0	5.3	37.1
飽和透水係数(K)	9.9×10^{-4}	3.8×10^{-4}	3.0×10^{-6}	1.6×10^{-3}
粘土鉱物				
主成分	Kaolinite	Illite	Kaolinite	Kaolinite
副成分	Montmori -llonite	Kaolinite		

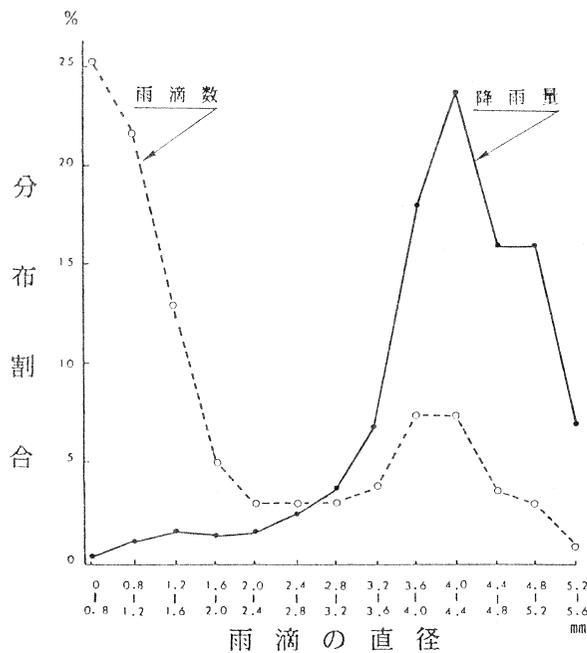
注) 仮比重、粗孔隙率 (pF0.0-pF1.7v/v%)、飽和透水係数の測定は、降雨処理試験後、試験枠内の土壌を100ml容試料円筒で採土し測定した。

は供試土壌面上8mの高さに設置し、雨滴を形成する細い管の部分振幅約10cmで毎分700回振動させた。以上の条件で降雨強度1mm/分のときの雨滴の粒径別分布とエネルギーを三原の方法⁵⁾に準じて測定した。結果は第9図のようになり、自然降雨で測定した第4図の降雨強度0.6~1.0mm/分のときとほぼ同じ分布を示した。降雨の運動エネルギーを比較すると、自然降雨強度1.0mm/分のときの1分間のエネルギーは 2.96×10^4 erg/cm²であったのに対し、 3.25×10^4 erg/cm²で約1.1倍となり、自然降雨に近い条件が得られた。

降雨処理時間は30分とし、強度は赤褐色ラテライト性土、非石灰質褐色土、粘質灰色ボドソル性土は1mm/分とした。砂質ボドソル性土はマルチ処理をするとこの強度では地表水が発生しないので2mm/分とした。

3) 試験枠の構造と土壌の充填および前処理

面積0.64m² (縦160cm、横40cm)、深さ55cmの有底枠の底部に排水用多孔質管を設置し、その上30cmの厚さに排水の良い粗い砂をしいた。その上に15cmの厚さに供試土壌を現地の仮比重とほぼ同程度になるように充填し、土面の勾配が10%になるよう枠を傾斜させた。降雨処理前の水分条件を一定にするために、試験枠の低部排水孔から注水し、



第9図 人工降雨装置による雨滴の直径別分布割合 (雨滴発生位置: 供試土面上8m、降雨強度: 1mm/分)

水面が地表面に達した状態で数時間放置後排水して約24時間放置した。

実際の圃場の地表面には大小の土塊によってたくさんの凹凸があり、雨水を一時的に留めておく作用があるのでこれに似せてマルチ処理直前に移植こてで斜面と直角方向に幅3cm、深さ3cm程度土が少し動く程度に耕し、地表面に凹凸をもたせた。

4) マルチの材料と処理

マルチの材料はトウモロコシ稈、雑草、稲わらを供試した。

トウモロコシ稈は子実を収穫後約4か月間圃場に立毛(枯死)していたもので、葉身は若干脱落していた。

雑草は圃場内および周辺に自生している *Pennisetum* spp. (俗称 Communist grass) を供試した。採取時期は実際にマルチを行う時期を想定して一般に耕起が始まる5月上旬とした。この時期の *Pennisetum* spp. はすでに枯死して葉身はほとんど脱落し、葉鞘と茎だけであった。

稲わらは収穫後約2か月経過している水稻のわらを用いた。

これらの材料を m^2 当り500g相当量(絶乾物換算量)を試験枠内の土壤面上にマルチした。このとき、トウモロコシ稈や *Pennisetum* spp. は均一にマルチするために10~15cmの長さに切断したものを供試した。

これらの資材による地表面の被覆率は目視計測で、トウモロコシ稈:85%、雑草:75%、稲わら:95%と推定した。

5) 試験区の構成

土壤4種類と無マルチ、トウモロコシ稈マルチ、雑草マルチ、稲わらマルチの4処理とを組み合わせる16区とした。

6) 調査項目とその方法

(1) 表面流去水量と流亡土量については、傾斜下部に流下してくる地表水を320ml(0.5mm相当量)毎に計測できる転倒ます式量水器に導き降雨処理開始後の経過時間との関係で日記録した。表面流去水量に含まれている流亡土量は静置法、傾斜法(decantation法)、遠心法、蒸発法などを状況によって組合せて分離し乾燥秤量して求めた。なお、表面流去水量はmmおよび流去率%、流亡土量は m^2 あたりのg数で表示した。

(2) 供試土壤および流亡土の物理性の測定は前項と同様の方法で実施した。

3. 結果と考察

土壤流亡の発生は土粒子の搬送媒体である地表流去水の発生と雨滴による土粒子の剥離分散とに分けることができる。土壤型別のマルチ処理の違いと表面流去との関係を第14表に示し、同じく流亡土との関係を第15表に示した。

1) 地表流去水について

表面流去水の発生は、無マルチの場合、粘質灰色ポドソル性土では降雨量の83%以上が流去し、一方、砂質灰色ポドソル性土は同一降雨条件(1mm/分)では僅か5%であった。赤褐色ラテライト性土と非石灰質褐色土はその中間の60%前後であった。マルチをすると表面流去率は明らかに低くなるが、マルチ資材の種類との関係でみると、種類の違いによる差が明瞭にみられる土壤として赤褐色ラテライト性土と砂質灰色ポドソル性土とがあり、反対に材料の違いがほとんど認められない土壤として粘質灰色ポドソル性土と非石灰質褐

第14表 土壌型別、マルチ処理と表面流去水

傾斜度：10%、降雨強度1mm/分、処理時間：30分

土壌型	マルチ処理	表面流去水量 mm/30分	表面流去率 %	対無マルチ比 %	表面流出発生 までに要した 時間分'秒"	定常流出まで に要した時間 分	定常流出 速度 mm/時	対無マ ルチ比 %
赤褐色ラテラ イト性土	無 マ ル チ	19.0	63.3	100	6' 30"	15	55.0	100
	トウモロコシ稈	5.3	17.7	28	18 35	21	29.3	53
	雑 草	13.0	43.3	68	9 50	24	41.2	75
	稲 わ ら	2.6	8.6	14	11 50	12	6.8	12
非石灰質褐色 土	無 マ ル チ	17.2	57.3	100	9 00	20	55.7	100
	トウモロコシ稈	10.8	36.0	63	11 10	17	35.5	64
	雑 草	11.0	36.7	64	9 30	17	36.4	65
	稲 わ ら	11.2	37.3	65	11 20	17	38.5	69
灰色ポドソル 性土（粘質）	無 マ ル チ	25.0	83.3	100	4 10	5	57.5	100
	トウモロコシ稈	19.6	65.3	78	5 30	15	50.6	88
	雑 草	18.2	60.7	73	4 30	15	47.5	83
	稲 わ ら	16.5	55.0	66	5 40	15	45.0	78
*								
灰色ポドソル 性土（砂質）	無 マ ル チ	31.5 (1.5)	52.2 (5.0)	100	2 20 (19 30)	16	74.8	100
	トウモロコシ稈	2.5	4.2	8	18 25	19	12.2	15
	雑 草	9.5	15.8	30	2 20	15	25.4	34
	稲 わ ら	0.8	1.3	3	27 40	28	4.6	6

* 砂質灰色ポドソル性土のみ2mm/分の強度で30分間処理した、但し（）内は他の土壌と同様に1mm分で処理したときの値を示す。

第15表 土壤型別、マルチ処理と流亡土量
傾斜度：10%、降雨強度1mm/分、処理時間：30分

土壤型	マルチ処理	流亡土量 g/m ²	対無マルチ比 %	流去水中の 土量 g/l	対無マルチ比 %
赤褐色ラテラ イト性土	無 マ ル チ	852	100	44.8	100
	トウモロコシ程	18	2	3.4	8
	雑 草	235	28	18.1	40
	稲 わ ら	6	1	2.3	5
非石灰質褐色 土	無 マ ル チ	403	100	23.4	100
	トウモロコシ程	38	9	3.5	15
	雑 草	62	15	5.6	24
	稲 わ ら	30	7	2.7	12
灰色ポドソル 性土（粘質）	無 マ ル チ	688	100	27.5	100
	トウモロコシ程	103	15	5.3	19
	雑 草	127	18	7.0	25
	稲 わ ら	58	8	3.5	13
* -----					
灰色ポドソル 性土（砂質）	無 マ ル チ	295	100	9.4	100
	トウモロコシ程	16	5	6.4	68
	雑 草	53	18	5.6	60
	稲 わ ら	0	0	—	

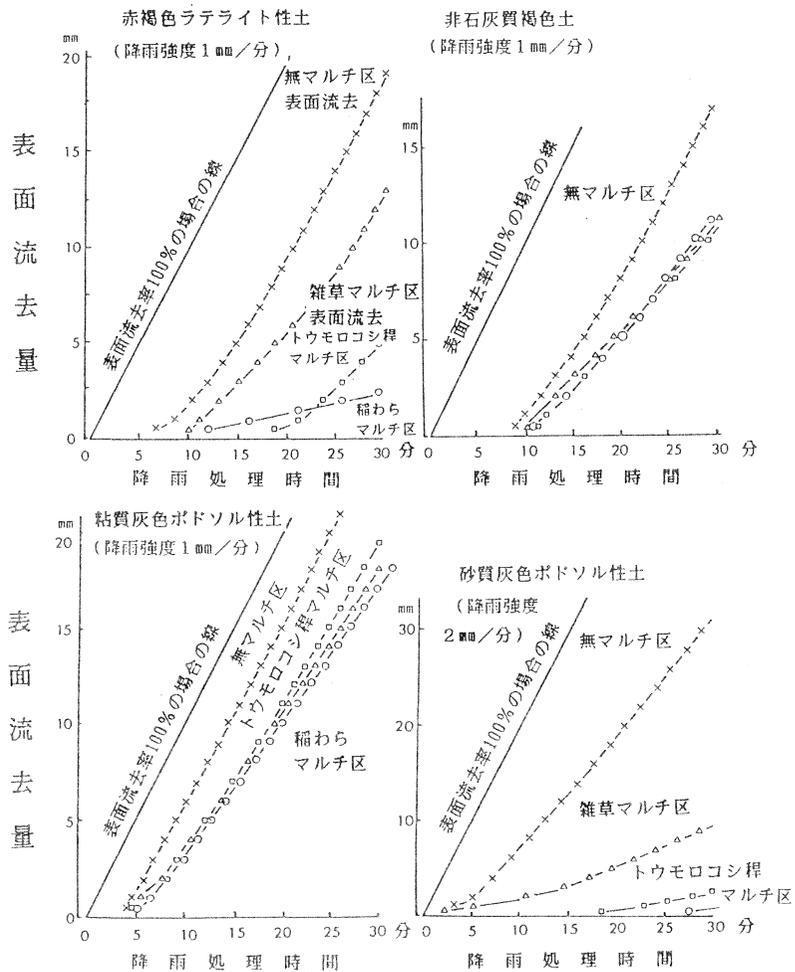
* 砂質灰色ポドソル性土のみ2mm/分の強度で30分間処理した。

色土とがあった。斜面からの表面流出は降雨強度が土壤の浸透能や保持能を越えたときに発生する。広域の流出には気候、地形、微地形、土壤の性質、植生など多くの要因が関係するが、圃場規模では、降雨条件、土壤の浸透能、微地形（地表面の凹凸）が考えられる。そのうち、土壤の浸透能に関する要因は土壤の水分条件、滲水性⁵⁷⁾、透水性⁸⁵⁾などがあるが、とくに透水性に関しては地表面から下層に至る透水性の連続性とその持続性が重要である⁸⁶⁾。微地形に関しては凹部の分布、大きさ、形状の安定性が考えられる。

この試験では降雨条件および土壤の水分条件は同じであるために土壤型別、マルチ処理別の流去水量の違いは主に土壤の透水性と微地形に関連する要因によって生じたと考えられる。第10図は土壤別にマルチ処理の種類と表面流去水の経時変化を示した。地表流出は雨水がマルチ資材をぬらし、土壤間隙と地表凹部を満たしたのち発生するので、降雨開始から流出開始までのタイムラグはマルチ材の種類、量、透水性の大小、土壤間隙の多少、地表凹部の大きさ、分布などが関与するが、この間地表面の裸地部分は雨滴の衝撃を受けつつけているので土壤構造の安定性も関与する。さらに、流出当初、流出速度は小さいが流出に関係する土壤の諸条件が安定化するに至って流出速度は安定する。徳留⁸⁵⁾は定常状態における積算流去水量Yと経過時間Xとの関係式、 $Y = a + bX$ 、a、b：定数において、aとともに、とくに流出直線の傾きを表す定数bは土壤の降雨流出能に関する説明項となることを報告している。

この試験でも、第14表、第10図に示すように土壤の種類やマルチ処理の違いによって、

表面流去水および定常流出までに要した時間、定常表面流出速度が異なる結果を得た。赤褐色ラテライト性土では無マルチ（裸地）の場合、降雨処理開始後6分30秒から地表流出がみられ、15分後には降雨の92%を流出する定常流となった。マルチ処理による表面流去抑制効果は顕著で稲わらマルチが最も効果が高く、ついでトウモロコシ程、雑草の順となった。稲わら処理区は被覆率が最も高いため（推定95%）に地表面の凹凸構造および浸透能に関する孔隙構造を保護し変化が少なかったことが流出発生から定常流出までの時間の短さと



第10図 土壌別マルチ処理別表面流去水の経時変化

低い定常流出速度から推定できる。これに対し、被覆率の低い（推定75%）雑草マルチ区は被覆されていない部分の地表面構造が雨滴の衝撃によって、次第に破壊され地表流出速度が増加していったことが、定常流出までに要した時間の長さや流出速度の大きいことから推定できる。赤褐色ラテライト性土における表面流出はマルチの種類によって明らかに異なった。砂質灰色ポドソル性土における場合もこれとほぼ同様に、稲わらマルチが最も効果的で、ついでトウモロコシ程、雑草の順となった。

これに対し、非石灰質褐色土と粘質灰色ポドソル性土の場合は、マルチ資材間の差は認められなかった。この違いは雨水の侵入を規制する土層の存在する位置に関係があると推定した。すなわち、雨滴の作用は地表面の土粒子を分散移動して孔隙を塞ぎ地表面に透水性の低い土層を形成するが、マルチ処理は雨滴の衝撃から地表面を保護して透水性の低い土層の形成を防ぐ作用がある。雨水の侵入速度がこの地表面の透水性の低い土層に規制されるとすれば、マルチによる被覆率の多少が浸透量（降水量－表面流去量）の多少に直接的に影響することになる。マルチ材料の違い（被覆率の違い）が浸透量の違いとして顕著

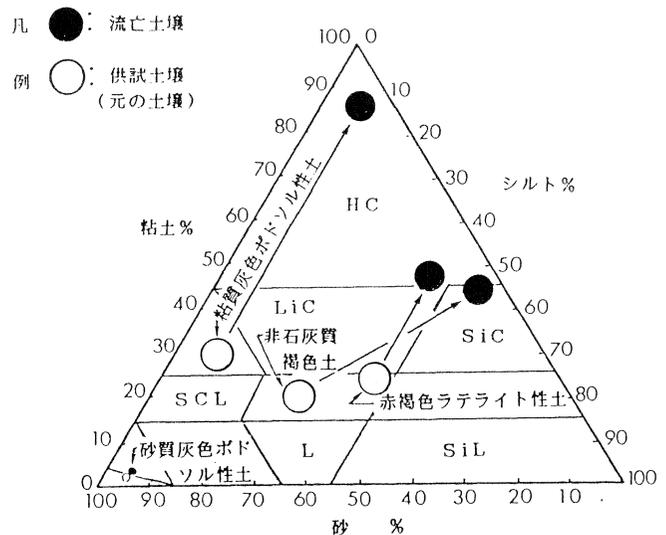
に認められた赤褐色ラテライト性土と砂質灰色ポドソル性土は雨滴によって地表に透水性の低い土層を形成しやすい土壌と考えられる。これに対し、非石灰質褐色土と粘質灰色ポドソル性土は雨水の浸透速度を規制する土層は地表ではなく、地表直下ないしより下部にあるためにマルチ処理のもつ地表面保護作用が地表面流出の抑制効果として発揮されなかったと考えられる。粘質灰色ポドソル性土においては、土壌構造が脆弱で、無マルチ区は、地表面の凹凸は降雨によって直ちに均平化され、降雨の96%が流出した。マルチをした場合も地表の流水や、マルチ材をとおして滴下する水滴によって除々に均平化されたことが観察された。非石灰質褐色土においては雨滴の衝撃に対して地表面の凹凸形状が安定していたために初期の雨水は凹部に保持され、第10図、第14表に示すように表面流去水発生までに無マルチ条件で9分間を要している。その後地表形状は除々に崩壊していったが、マルチ条理条件下では30分間の降雨処理後も初期に近い形状で残されていた。この違いが無マルチ区とマルチ区の流出量の差となって現れたと考えられる。すなわち、表面流出量にマルチ資材の種類の違いの影響が認められなかった理由としては、粘質灰色ポドソル性土においては透水性の極端な不良と土塊構造の脆弱さにあり、非石灰質褐色土では逆に土塊構造が安定していたためと推定した。

2) 土壌流亡について

降雨処理開始後の単位時間内に流亡する土の量は、流去水中の土粒子の濃度と流去水量との積で表される。流去水中の土粒子は雨滴の衝撃と地表水の掃流力によって地表から剥離分散したものである。しかし、掃流力は雨滴の衝撃力に比べてはるかに小さいこと²¹⁾、この試験では試験規模が小さくかつ緩傾斜であることなどのため、流出する土粒子は大部分雨滴の剥離、分散作用によって生成したと考えられる。

単位流去水量中の土の量、言い換えれば流出する濁水中の土粒子の濃度は第15表に示すように何れの土壌もマルチをした区の値が無マルチ(裸地)区より明らかに低い値を示している。また、マルチの種類別では稲わらマルチ区の値が最も低く、次いで、砂質灰色ポドソル性土を除けば、トウモロコシ程、雑草マルチの順である。

川村³⁷⁾は10a当り300kg程度の敷草は侵食を10%以下にまで抑制すると報告しており、一戸²⁹⁾は自然降雨のもとで、作物による被覆度と流亡土壌量との間に高い負の相関関係を認め、防蝕率 $\left[(A - B) \times 100 / A \right]$ A: 裸地からの流亡土量、B: 処理区からの流亡土量と被覆度との間には $r = 0.785$ 、危険率5%の有意水準で認められている。Borst⁵⁾は人工降雨装置を用い、ha当り4.5t相当量の敷わ



第11図 土壌別供試土壌と流亡土壌の粒径分布

らをし、時間雨量55mmで処理した結果、土壌流亡がきわめて少なかったこと、また地表面上に設置した金網の高さと流亡土量から雨滴の衝撃が侵食の大きい原因であると報告している。三原⁵¹⁾も金網を用い自然降雨条件下で実験して同様の結論をえている。

この試験において、赤褐色ラテライト性土と砂質灰色ポドソル性土では単位流去水中の土粒子の濃度が無マルチ、雑草マルチ、トウモロコシ程マルチ、稲わらマルチの順に小さくなっており、それら資材の目視計測による地表面被覆率の逆順と一致していた。一方、前述したように、これら資材による表面流出水の抑制効果は大きい順に稲わら、トウモロコシ程、雑草の順であり、結果として土壌流亡防止効果は稲わらマルチが最も効果的で、次いでトウモロコシ程マルチ、雑草マルチの順となった。この試験において、流亡した土壌の粒径組成は第11図に示すように赤褐色ラテライト性土、粘質および砂質灰色ポドソル性土では元の土壌に比べて粘土成分が多く、シルトの量がほとんど同じであった。非石灰質褐色土では、粘土、シルト含量が元土より高くなっていた。徳留も水食試験に供試した原土および流亡土の粒径組成からほぼ同様の結果を得ており⁸⁵⁾ 土壌肥沃度に最も関与する表土の粘土分が多く流出することは土壌侵食が土壌の量的損失だけでなく、質的劣化をもたらすものであると云える。

注)

2. 作物残渣、雑草等のマルチによる赤褐色ラテライト性土壌畑の侵食防止効果

1. 目的

タイ国のトウモロコシ地帯の代表的な土壌である赤褐色ラテライト性土の畑において自然降雨条件下で土壌侵食防止に対するトウモロコシ程、雑草のマルチおよびミニマムティレッジの効果について検討、評価することを目的として実施した。

2. 方法

1) 供試圃場の概要

トウモロコシ地帯の一角にあるロップリ県プラプタバ畑作試験場で実施した。この地帯は石灰岩や苦灰岩に由来する崩積地で、地下水位は数m以下、自然傾斜は約1%でトウモロコシを中心にソルガム、マングビーンを栽培している。供試圃場の土壌型は赤褐色ラテライト性土で物理性は第16表のとおりである。作土直下に透水係数 10^{-5} (cm/秒)の層がある。作土の分散率は47.8%と高く、受食性は高いと考えられる。

2) 試験枠の構造

第12図に示すように長さ5m、幅1.5mをトタン板で囲み、表面流去水、流亡土を集めるための樋とタンクを所定の斜面畑に設置した。樋およびタンクの部分には雨水を防ぐ覆いをした。

3) 試験処理区の設定

第17表に示すように地表面処理4種×傾斜度1%と5%×トウモロコシ作付と無作付を組合せ、合計16処理とし、無反覆でおこなった。

注) 本節の要旨は昭和61年度日本土壌肥料学会筑波大会⁸⁹⁾で発表した。

第16表 供試圃場の土壌の物理性（赤褐色ラテライト性土壌）
ブラプタバ畑作試験場

項目	層位 深さ	A _p 0 ~ 16 cm,		A _{1,2} 15 ~ 30 cm,		B ₁ 30 ~ 55 cm,		B ₂ 55 ~
	深さ cm	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~	
仮比重		1.39	1.55	1.55	1.59	1.50	1.43	
飽和透水係数(K)		3×10 ⁻³	5×10 ⁻⁵	2×10 ⁻⁵	2×10 ⁻⁵	2×10 ⁻⁵	4×10 ⁻⁴	
pF-含水比(%)								
pF 0.0		34.9	27.5	27.5	25.8	29.6	32.9	
pF 1.7		24.4	24.1	23.7	23.6	24.5	24.0	
pF 2.7		19.8	20.0	21.0	20.0	20.0	20.8	
pF 4.0		10.2	11.1	13.0	13.2	14.0	15.5	
土性		C L	C L	C L	LiC	LiC	LiC	

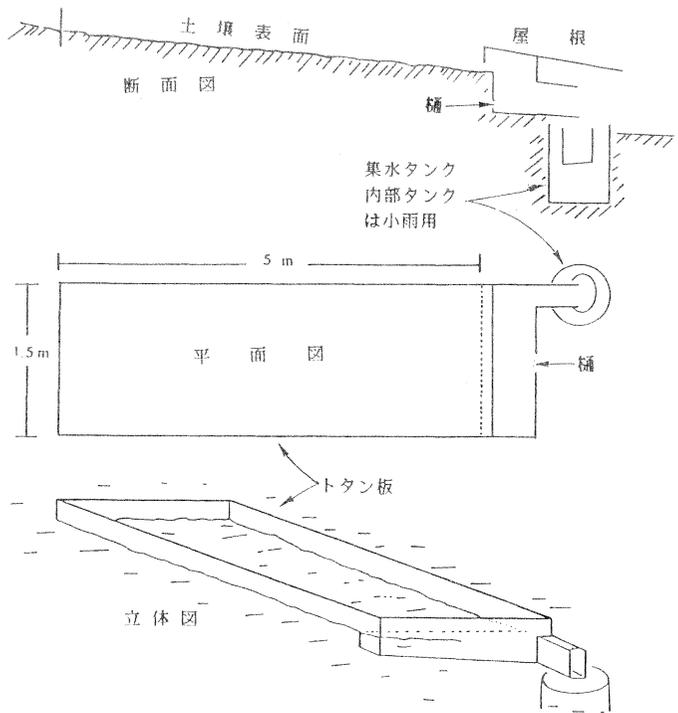
4) 試験処理の内容

(1) 地表面処理 播種床準備のため試験枠内は深さ約15cm耕起した。枠内の下端約30cmは樋内への土塊の崩落を避けるために浅く耕起した。無作付区も同様に耕起した。

マルチ資材として供試したトウモロコシ稈は前年に収穫したあと枯死状態で立毛のまま放置していたものや刈り取り後集積していたものを利用した。形態は葉身が一部（10~20%程度）脱落していた。雑草は前年の雨季の終わり頃近接圃場内外に群生し、乾季に立毛のまま枯死した *Pennisetum* spp. (俗称 Communist grass) を用いた。なお、葉身はほとんど脱落していた。施用量はいずれもm²当り乾物換算で500gを耕起直後の畑面上にマルチした。

ミニマムティレッジは試験枠内に自生した雑草をトウモロコシ播種10日前と1日前に除草剤（グラモキソン）で処理し、枯死した雑草はそのまま畑面上に残した。播種当日は80cm間隔に幅7~8cm、深さ3~5cm耕起し、施肥とトウモロコシの播種をした。

(2) 傾斜畑の作製 勾配1%圃場は、供試圃場の自然傾斜をそのまま利用した。5%傾



第12図 試験枠

第17表 赤褐色ラテライト性土壤畑における処理
プラプタバ畑作試験場

記号	地表面処理	傾斜	トウモロコシ
Ct	無処理		
Cs	トウモロコシ稈マルチ（乾物5t/ha相当）	× $\left[\begin{array}{l} 1\% \text{ (自然)} \\ 5\% \text{ (人工)} \end{array} \right]$	× $\left[\begin{array}{l} \text{作付} \\ \text{無作付} \end{array} \right]$
Wd	雑草マルチ（ <i>Pennisetum</i> spp., 同上量）		
Mt	ミニマムティレッジ（除草剤施用，一部耕起）		

斜面は、周辺の作土を盛土して作製した。試験を実施する1年半前、1981年1月にほぼ完成し、その後、土壤の着きと傾斜度の微調整をかねて1981年雨季には予備試験を行った。1982年雨季から本試験に供した。

(3) トウモロコシ栽培 1982年6月8日、栽植密度 80×25cmにトウモロコシ（品種：Thai Composit 1）を播種した。施肥はN、P₂O₅、K₂Oを成分量として各々6.25g/m²相当量を硫酸、重過石、硫酸で全量元肥として播溝に施用した。なお、試験枠の樋側を除く三方の枠外にも枠内と同様に播種、施肥マルチ処理などを行い、試験区の周辺効果の軽減に努めた。また、栽培期間中の除草は適宜鋤および手でおこなった。

9月15日に収穫した。

5) 調査項目とその方法

(1) 降水量 1982年6月1日から10月31日まで各雨毎の降水量を供試圃場に近接して設置した自記降雨計で測定した。

(2) 表面流去水量 各雨毎に集水タンクに流入した表面流去水量を測定した。大雨で集水タンク（200 l容）のオーバーフローが懸念されるときは随時タンク内の水を計量しながら汲み出した。

(3) 流亡土量 集水タンク内の透明に近い部分は汲み出して捨て、濁りの色調が濃くなったところで土粒子の沈澱を促すために加里明ばんを流去水1 lに対して2 g相当量加えた。上部の透明部分を捨てながら大型の蒸発皿に集めて秤量し、乾燥後秤量して水分中の加里明ばん量を差引き流亡土量とした。なお、大部分の流亡土は集水タンク内にあったが一部は樋の部分に沈積していたのでこれも集めて加算した。

(4) トウモロコシの生育・収量 生育期間中数回草丈を測定した。収量は総重量と子実量を測定した。

3. 結果および考察

1982年6月から10月まで、トウモロコシ生育期毎の降雨量および各処理区の表面流去水量と流亡土量を第18表に示した。また、マルチ処理の種類、傾斜、作付と流亡土量との関係を第13図に示した。

1) マルチ処理と土壤侵食発生限界降雨強度

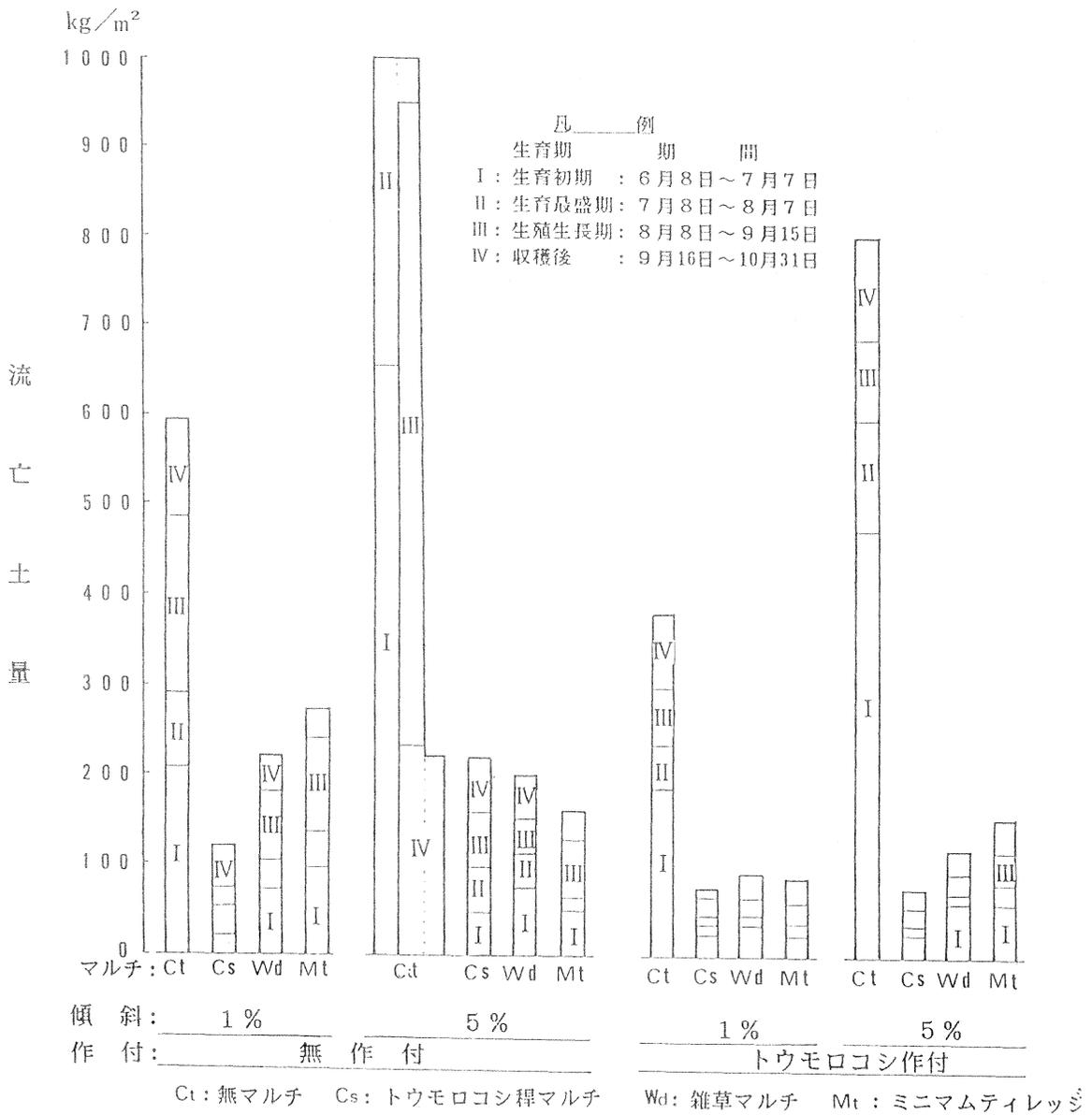
6～10月の5か月間に2 mm以上の降雨は53回を数え、その内土壤流亡をともなった雨の回数は、無作付・無マルチ区、すなわち裸地では1%傾斜で41回、5%傾斜で43回で降雨回数の約80%が土壤流亡をともなった。これに対し、マルチをした区は33～37回、比率に

第18表 トウモロコシ生育期毎の降雨量および各処理区の表面流去水量と流亡土量

タイ国ロップリ県プラプタバ畑作試験場 1982年

生育期	期 間 月日～月日 降 雨 量 mm	流去水量 流去水率 流亡土量	無 作 付								トウモロコシ 作 付							
			1 % 傾 斜				5 % 傾 斜				1 % 傾 斜				5 % 傾 斜			
			Ct	Cs	Wd	Mt	Ct	Cs	Wd	Mt	Ct	Cs	Wd	Mt	Ct	Cs	Wd	Mt
			mm	%	g/m ²	mm	%	g/m ²	mm	%	g/m ²	mm	%	g/m ²	mm	%	g/m ²	mm
生育 初期	6.8～7.7	mm	83.24	3.28	12.34	23.75	91.09	8.71	22.44	23.15	81.37	1.31	4.11	1.17	92.58	5.97	16.69	22.57
		%	52	2	8	15	57	5	14	14	51	1	3	1	58	4	10	14
	160.9	g/m ²	209.1	20.1	73.2	95.0	654.4	49.1	75.6	49.4	183.5	26.5	34.5	27.4	474.8	26.6	62.4	60.9
生育 最盛期	7.8～8.7	mm	42.11	2.18	6.10	12.70	52.42	8.54	10.79	9.61	33.46	0.80	0.88	0.88	38.72	3.83	9.89	6.43
		%	39	2	6	12	49	8	10	9	31	1	1	1	36	4	9	6
	108.0	g/m ²	84.7	13.1	30.7	41.4	396.5	52.9	40.0	16.2	53.2	8.7	11.0	9.1	119.6	7.1	10.2	17.7
生殖 生長期	8.8～9.15	mm	127.71	17.04	41.55	58.06	162.14	52.79	42.38	62.97	72.82	11.63	4.36	25.33	87.97	14.23	19.74	32.44
		%	37	5	12	17	47	15	12	18	21	3	1	7	25	4	6	9
	345.6	g/m ²	194.7	43.2	81.6	104.0	714.4	60.4	37.8	65.4	61.3	10.3	20.1	25.3	97.0	20.1	20.1	34.8
収穫後	9.15～ 10.31	mm	118.5	40.25	37.20	44.42	143.11	73.51	50.99	42.54	94.97	6.77	7.02	30.71	123.07	20.35	22.41	42.42
		%	44	15	14	16	53	27	19	16	35	3	3	11	46	8	8	16
	270.0	g/m ²	108.6	44.7	38.6	31.5	390.9	54.0	45.7	30.2	84.2	29.4	24.1	23.4	110.7	20.5	27.6	39.9
全期	6.8～10.31	mm	371.64	62.75	97.19	138.93	448.76	143.55	126.60	138.27	282.62	20.51	16.37	58.09	342.34	44.38	68.73	103.86
		%	42	7	11	16	51	16	14	16	32	2	2	7	39	5	8	12
	884.5	g/m ²	597.1	121.1	224.1	271.9	2156.2	216.4	199.1	161.2	382.2	74.9	89.7	85.2	802.1	74.3	120.3	153.3
		g/m ² /mm	1.61	1.93	2.31	1.96	4.80	1.51	1.57	1.17	1.35	3.65	5.48	1.47	2.34	1.67	1.75	1.47

注) Ct: 無マルチ CS: トウモロコシ稈マルチ Wd: 雑草マルチ Mt: ミニマムティレッジ



第13図 マルチ処理、傾斜、作付と流亡土量
(プラプタバ畑作試験場 赤褐色ラテライト性土、1982年6月~10月 降水量885mm)

して60~70%が流亡をともなった。10分間当りの降雨強度と流亡土量との関係は第14図のとおりである。なお、作図にあたっては土壤侵食発生限界降雨強度を知ることが目的としているので7mm/10分を越える降雨例は除いた。無マルチの場合は図に示すように1.5mm/10分強度の降雨においても土壤流亡がわずかにみられるが、2.5mm/10分以上では例外なく流亡がみとめられた。トウモロコシ程をマルチした区では6mm/10分強度においても流亡しない事もあったが、4mm/10分未満では例外なく流亡は認められなかった。

西潟⁶¹⁾は北海道地方の条件において、土壤侵食が発生する降雨の限界強度は3mm/10分

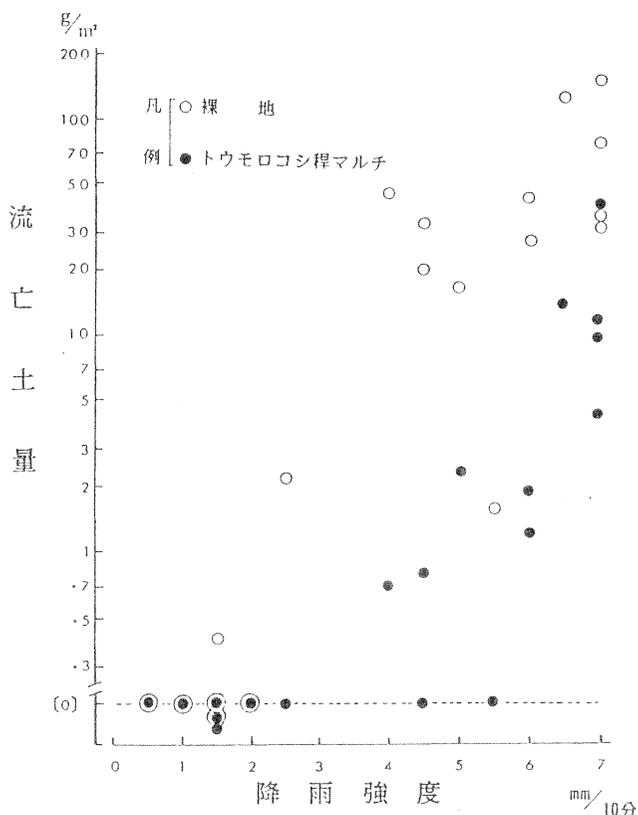
とするのが妥当であるとし、川村³⁷⁾は四国地方において、花崗岩質土壤では2 mm/10分、安山岩質土壤では3 mm/10分であるとした。Nagahoriら⁵⁶⁾、Takahasiら⁸⁰⁾は東北タイの焼畑での観測で土壤侵食発生限界強度を3 mm/10分とし、降雨回数の80~90%以上がその強度を越えていたと報告している。

本試験の結果では裸地においては2 mm/10分が限界強度であり、マルチ処理をした区では裸地の約2倍の強度である4 mm/10分が限界強度と云える。

2) 傾斜地におけるマルチ処理の土壤侵食防止効果

6月から10月までの5か月間(1982年雨季)に流亡した土壤量は第19表に示すように無作付・無マルチ処理区、すなわち裸地の場合、傾斜度1%で597gに対し、5%では2156gと増加していた。絶対量は少ないが同様の傾向が、トウモロコシ作付・無マルチ処理区においても認められた。しかし、マルチを行った各区では、傾斜度1%と5%との流亡土量の差に明瞭な傾向は認められなかった。

畑面の傾斜度は、斜面長とともに侵食発生の主要な因子であり^{3, 27)}、一般に傾斜度の方が斜面長より大きい影響を及ぼす



第14図 裸地およびマルチ処理区における降雨強度と流亡土量との関係(傾斜5%圃場、降雨強度10分間7mm以下の雨について)

第19表 作付および傾斜度の異なる条件下におけるマルチおよびミニマムティレッジ処理の侵食防止効果 6~10月(1982年)流亡土量g/m²

作付	処 理	傾 斜 度		差	対無マルチ比
		1 %	5 %		
無作付	無マルチ	597.1	2156.2	1559.1	100
	トウモロコシ程	121.1	216.4	93.7	6
	雑草	224.1	199.1	-25.0	-2
	ミニマムティレッジ	271.9	161.4	-110.5	-7
作付	無マルチ	382.2	802.1	419.9	100
	トウモロコシ程	74.9	74.3	-0.6	0
	雑草	109.8	120.3	10.5	3
	ミニマムティレッジ	85.7	153.3	67.6	16

トウモロコシ

53)とされている。流亡土量と傾斜度との関係は Neal 59)は傾斜度が大きくなるにしたがって流亡土量はS曲線を描くとし、Zingg101)はアメリカ南東部の圃場試験のデータから経験式として、

$$X_e = 0.65 S^{1.47}$$

但しX_e: 流亡土量、S: 傾斜度、を導いた。井田39)は四国の鈹質土壌について、流亡土量は傾斜度の1乗(0.7~1.7乗範囲の平均値)に比例し、また斜面長の0.5乗(0.4~0.6乗範囲の平均値)に比例すると報告している。一戸29)は傾斜度の増大にともなって流亡土量は増加するが、さらに降雨強度が大きくなればその増加率が増大すると報告している。川村37)は花崗岩質土壌で夏作期間、傾斜3度の流亡土量を1とすれば10、14、23度はそれぞれ6.8、22.5、31.2倍となっており10~14度付近にcritical slopeがあると推定している。

この試験においてもわずか1%と5%の差であるが、無マルチ区の流亡土量にその差が明らかに認められた。一戸29)の報告にあるように、降雨強度が大きいために傾斜度の差はわずかでも流亡土量にその差が明瞭にあらわれたと考えられる。傾斜による流亡土量の差はトウモロコシ作付区は無作付区より小さくなり、マルチ処理区では明かな差は認められなかった。傾斜度がさらに大きい条件下では流亡量は大きくなるものと考えられるが、タイ中央部のコーンベルトでは傾斜度は大きくても5%程度であり、土壌侵食防止のためにはトウモロコシ稈あるいは雑草を乾物換算5t/haマルチで十分であると云える。

3) トウモロコシ作付の有無および生育過程におけるマルチ等による土壌侵食防止効果

第15図、第20表は、傾斜度5%の区における無マルチ・無作付(裸地区)、無マルチ・トウモロコシ作付(慣行栽培区)、トウモロコシ稈マルチ・無作付区、トウモロコシ稈マルチ・作付区以上4処理区の流亡土量の経時変化を示めした。

第20表 トウモロコシの生育期毎の流亡土量と裸地(無マルチ・無作付処理区)に対する各処理区の流亡土量比

傾斜角度: 5%、流亡土量: g/m²

処 理 区	生 育 初 期		生 育 最 盛 期		生 殖 生 長 期		収 穫 後		全 期	
	比	比	比	比	比	比	比	比	比	
無マルチ 無作付	654.4	100	396.5	100	714.4	100	390.9	100	2156.2	100
	474.8	73	119.6	30	97.0	14	110.7	28	802.1	37
マルチ 無作付	49.1	8	52.9	13	60.4	8	54.0	14	216.4	10
	26.6	4	7.1	2	20.1	3	20.5	5	74.3	3

生育初期: 6月8日~7月8日、生育最盛期: 7月8日~8月7日、

生殖生長期: 8月8日~9月15日、収穫後: 9月16~10月31日

無マルチ・無作付区、すなわち裸地に比べ、トウモロコシ作付のみの区、すなわち慣行栽培区の流亡土量は、生育初期70%と裸地に近かった。その後は30%程度であったが、トウモロコシ稈マルチのみの区およびトウモロコシ作付・マルチ処理区はいずれも約10%以下で明らかに少なかった。

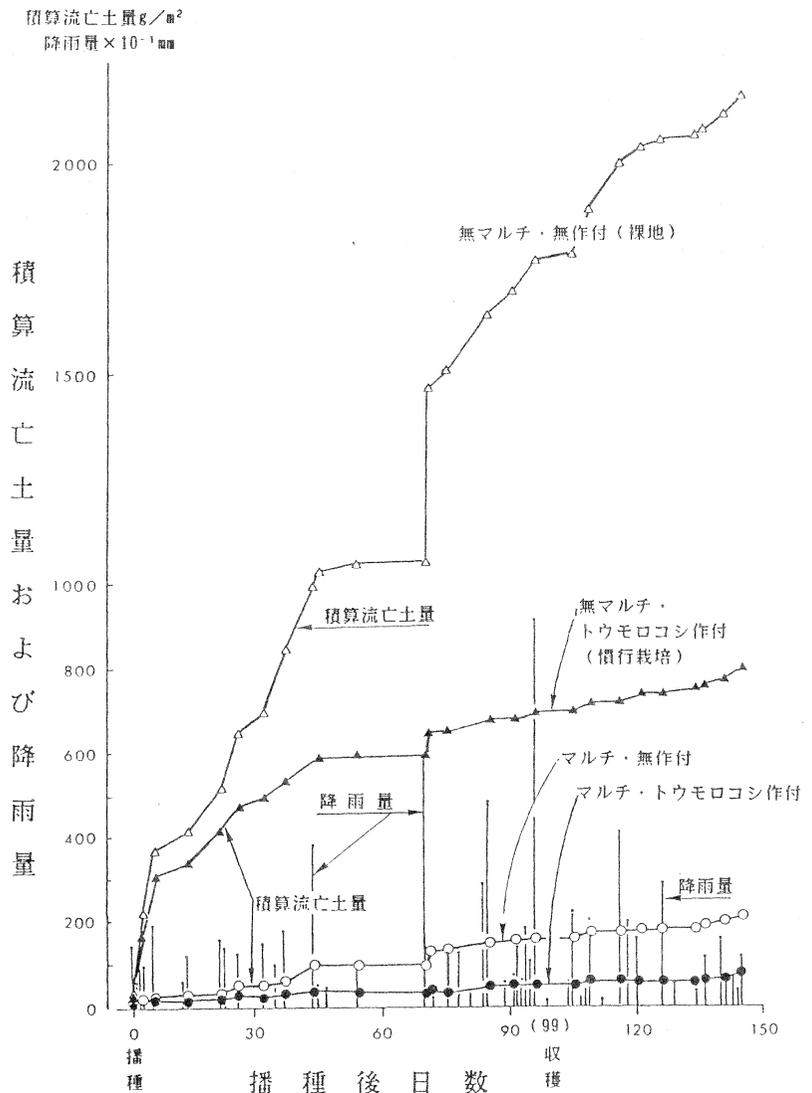
Baverら3)によると植生被覆による水食の低減は、(1)雨滴による地表面土粒子の剥離、

分散作用の軽減、(2)表面流出水の速度低下による地表面土粒子の剥離作用の軽減、(3)植物根の活動による土壌粒子の団粒化など耐食性強化、浸透量の増大等に原因するとしている。植生被覆と流亡土量との関係についての研究は多く^{28,29,45,61,85} いずれも植生による侵食防止効果の大きい結果を示しており、被覆率の大小に関係が深いことを報告している。谷山ら⁸⁴は赤外線写真を利用した画像解析法によるトウモロコシ植被率の経時変化の測定事例において、播種約1か月後から植被率の急増が認められ、約2か月半後81%に達し、その後は減少していた。この試験において、裸地と慣行栽培区における流亡土量の差は、播種後約30日(7月上旬)まで両者の差は小さかったが播種後40日頃(7月中旬)以後は差が大きく開き、その後の慣行栽培区の流亡土量は少なかった。

とくに、播種70日後、8月17日に約60mm(最大18mm/10min)の雨による流亡土量は裸地区の411g/m²に対し、トウモロコシ栽培区は、その約7.5分の1にあたる55gであり、植被による土壌侵食防止効果の大きいことを示している。

トウモロコシ慣行栽培区の流亡土量は、最終的には800g/m²であったが、そのうちの6割にあたる約500gが播種後1か月間に流亡していた。このことは、生育初期の土壌侵食防止対策の重要性を示唆するものである。

マルチによる土壌流亡防止効果は前節の人工降雨装置による試験と同様にきわめて効果的であった。裸地を基準にとれば、第20表に示すように、マルチ処理のみで流亡土量は10



第15図 マルチおよび作付の有・無と積算流亡土量ならびに降雨分布(ブラブタバ畑作試験場5%傾斜圃場1982年雨季)

%に減少した。この値は川村³⁷⁾一戸²⁸⁾とほぼ同程度であった。さらに、マルチをしてトウモロコシを作付すると生育期間および収穫後を通して5%以下であった。次に慣行栽培を基準として土壌侵食防止に対するトウモロコシ程マルチ、雑草 (*Pennisetum* spp.) およびミニマムティレッジの効果を比較すると第21表に示すように各処理区において何れの時期も慣行栽培に比べて6~40%と低く、とくに土壌侵食防止対策を必要とする生育初期の1か月間は6~20%に軽減していた。

第21表 無マルチ（慣行栽培）とマルチおよびミニマムティレッジを取り入れた区との流亡土量の比較

トウモロコシ作付区、流亡土量：g/m²

傾斜	処理	生育初期	生育比	生育最盛期	生育比	生殖期	生殖期比	収穫後	収穫後比	全期	全期比
1%	無マルチ	183.5	100	53.2	100	61.3	100	84.2	100	382.2	100
	Csマルチ	26.5	14	8.7	16	10.3	17	29.4	35	74.9	20
	Wdマルチ	34.5	19	11.0	21	20.1	33	24.1	29	89.7	23
	Mini Til	27.4	15	9.1	17	25.3	41	23.4	28	85.2	22
5%	無マルチ	474.8	100	119.6	100	97.0	100	110.7	100	802.1	100
	Csマルチ	26.6	6	7.1	6	20.0	21	20.5	19	74.3	9
	Wdマルチ	62.4	13	10.2	9	20.1	21	27.6	25	120.3	15
	Mini Til	60.9	13	17.7	15	34.8	36	39.9	36	153.3	19

Cs：トウモロコシ程、Wd：雑草、Mini Til：ミニマムティレッジ
生育期：第20表に同じ

4) マルチ材料の種類別の土壌侵食防止効果

雑草 (*Pennisetum* Spp.) はトウモロコシ程に比べてやや劣る傾向にあったが、流亡土量の絶対量が少ないので、トウモロコシ程と同程度と考えてよく、マルチ資材として十分利用できるかと推定した。ミニマムティレッジは効果が不安定で前二者に比べて劣る傾向を示した。原因は除草剤で枯殺し、マルチ資材として利用する野草が前もって十分量しかも均一に生育していなかったこと、除草剤処理後雑草の発生が多く、枠内をたびたび人力除草したことが考えられる。ミニマムティレッジは除草剤などによる雑草のコントロールに成功すれば有力な土壌侵食防止方法と考えられる。

5) 実際圃場における土壌侵食量の推定と評価

本調査期間中のトウモロコシ慣行栽培区の流亡土量は5%傾斜でm²当り800g、1%傾斜で約400gであった。この間の降水量は約900mmであった。年降雨量1300mmとして単純に比例計算すると、5%傾斜で1150g/m²、1%傾斜で580g/m²となる。これをha当りに換算すると11.5t/年、5.8t/年となる。しかし実際の圃場では斜面長は数10mの場合が多く、それだけ土壌侵食量は増加する。Wischmeierら⁹⁴⁾は長期間の現地調査から流亡土量と斜面長との間に次のような経験式を導いた。

$$Sp = f [(L/22.13)^a]$$

ここで、L：斜面長、a：傾斜によって決まる指数で10%以下であれば0.5、1%を超える場合は0.6、また、井田³⁸⁾も傾斜長の0.5乗に比例すると報告している。これらの報告に

に基づいて、実際圃場の斜面長を50mとして流亡土量を計算すると第22表のように1%および5%傾斜のトウモロコシ慣行栽培圃場ではそれぞれ17.4tおよび36.5t/ha/年となった。マルチあるいはミニмумティレヅジ処理をしてトウモロコシを栽培した区は3.4から6.9tの間、平均4.5tとなった。

世界的にみて、土壤侵食の許容量は11.2t/ha/年といわれている⁴⁶⁾。作土層が浅く、瘠薄な土地帯では当然これより低く抑えなければならない。タイ国の土地開発局では土壤侵食の程度を第23表のように5段階に区分している⁸⁾。本試験の結果をこの表の値に用いて区分すれば、傾斜度1%のトウモロコシ畑は「Slight」、同5%は「Moderate」の範ちゅうにはいる。マルチあるいはミニмумティレヅジをしてトウモロコシを栽培した場合、ミニмумティレヅジの1件(6.9t)は「Slight」であったが他は「Very slight」に軽減され、土壤侵食の許容量と考えられている11.2t/ha/年の半分以下となった。

第22表 タイ国コーンベルトにおける侵食防止対策と侵食土壌量
(赤褐色ラテライト性土壤畑) ton/ha/年

侵食防止対策	1%傾斜圃場	5%傾斜圃場
慣行法(無マルチ)	17.4	36.5
トウモロコシ稈マルチ	3.4	3.4
雑草マルチ	4.1	5.5
ミニмумティレヅジ	3.9	6.9
裸地	27.2	98.3

1. 侵食防止対策

慣行法: トウモロコシ栽培、とくに対策なし

トウモロコシ稈マルチ: トウモロコシ播種後、前年のトウモロコシ稈をha当り5tマルチしてトウモロコシ栽培

雑草マルチ: トウモロコシ播種後、雑草(乾物)を同5tマルチしてトウモロコシ栽培

ミニмумティレヅジ: 圃場内の自生雑草を除草剤で処理し、部分耕起してトウモロコシ栽培

裸地: 年間通して完全に裸地状態

2. 年間降雨量1,300mm(平均降雨量)に修正

3. 圃場斜面長50m(平均斜面長)に修正

第23表 タイ国の侵食評価区分表⁸⁾

評価	流亡土量 t/rai/年	流亡土量* t/ha/年
Very slight	0.01 ~ 1.00	0.1 ~ 6.3
Slight	1.01 ~ 5.00	6.4 ~ 31.3
Moderate	5.01 ~ 20.00	31.4 ~ 125.0
Severe	20.01 ~ 100.00	125.1 ~ 625.0
Very severe	100.01 ~	625.1 ~

* 1ha=6.25raiとして計算

raiとはタイの慣用圃場面積単位: 1600m²

3. 作物残渣、雑草等のマルチ、土壌管理、被覆作物導入による灰色ポドソル性土壌畑の侵食防止効果

1. 目的

タイ中央部の東部に分布する砂質の瘠薄な灰色ポドソル性土の畑において、自然降雨条件下で土壌侵食防止に対するマルチ資材の種類、被覆植物の種類、ミニナムティレッジ、中耕の効果について検討、評価することを目的として実施した。

2. 方法

1) 供試圃場の概要

バンコクの東約150Kmにあるチャチェンサオ県カオヒンソン開発センターで実施した。自然勾配は3～5%の波状地形で、主要作物はキャッサバである。石英の多い砂岩に由来する石灰ポドソル性土できわめて瘠薄である。土壌の物理性は第24表に示すように土性はS～LS、作土の透水性は高く、分散率(Middleton)は62%と高い値であった。圧密されやすく、仮比重は大きい。

第24表 供試圃場の土壌の物理性 (灰色ポドソル性土壌)
カオヒンソン開発センター

2) 試験枠とその

設置条件
第12図と同じサイズの枠を使用した。枠の設置場所は自然傾斜度が約4%であったために作土を剥ぎ、下層土を切盛りし、作土を返して正確に4%とした。

層 深	位 置	A _p		A ₁₂		B	
		0 ~ 20cm		20 ~ 35cm		35 ~ 100 +	
深	さ	cm	0 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50
仮	比	重	1.35	1.79	1.87	1.72	1.66
飽	和	透	2 × 10 ⁻²	4 × 10 ⁻³	5 × 10 ⁻⁴	4 × 10 ⁻³	4 × 10 ⁻³
粗	孔	隙	27.8	14.3	13.4	16.4	10.0
土	性		S	LS	LS	LS	S

・ 粗孔隙: pF 1.7 気相率v/v%

・ 表土の粒径組成: 粗砂72.2、細砂21.9、シルト5.0、粘土1.4

なお、枠の設置は試験の1年半前、1981年1月に行った。その後傾斜度の微調整を行いながら1981年の雨季には被覆植物の植付と予備試験を行い、1982年雨季から本試験を行った。

3) 試験処理区的设计

次の8処理区を設けた。

- (1)無マルチ区 15cmの深さに耕起し、その後は裸地状態を保った。
- (2)トウモロコシ稈マルチ区 15cmの深さに耕起後、m²当り乾物換算500g相当のトウモロコシ稈でマルチした。
- (3)雑草マルチ区 *Pennisetum* spp. (俗称Communist grass) を用い、(2)と同様にマルチした。材料は乾季の終り頃採取したため枯死しており、茎と葉鞘だけで葉身はほとんど脱落していた。
- (4)除草剤処理区 試験開始時枠内に自生していた雑草を除草剤で処理した。枯草はそのままマルチ材料として残した。自生していた雑草の量は、隣接場所ではほぼ同じ程度生えて

いるところを調査した結果 m^2 当り約60g(乾物換算)と推定した。

(5)中耕区 砂質土であるが土膜を形成しやすいので2週間に1回の割で鍬で深さ10 cm程度耕起した。

(6)クズ栽植区 試験開始1年前にクズ(*Pueraria lobata* Ohwi.)を植えた。試験開始時の被覆率は約80%であった。

(7)シラトロ栽植区 カバークロップとして1年前にシラトロ(*Macroptilium atropurpureum* Urb.)を植えた。試験開始時の被覆率は約80%であった。

(8)野草区 試験開始1年前から終了まで放置、試験開始時の被覆率は80~90%であった。

4) 調査項目とその方法

(1)降雨量 1987年5月21日から11月30日まで供試圃場に近接して設置した自記雨量計で測定した。

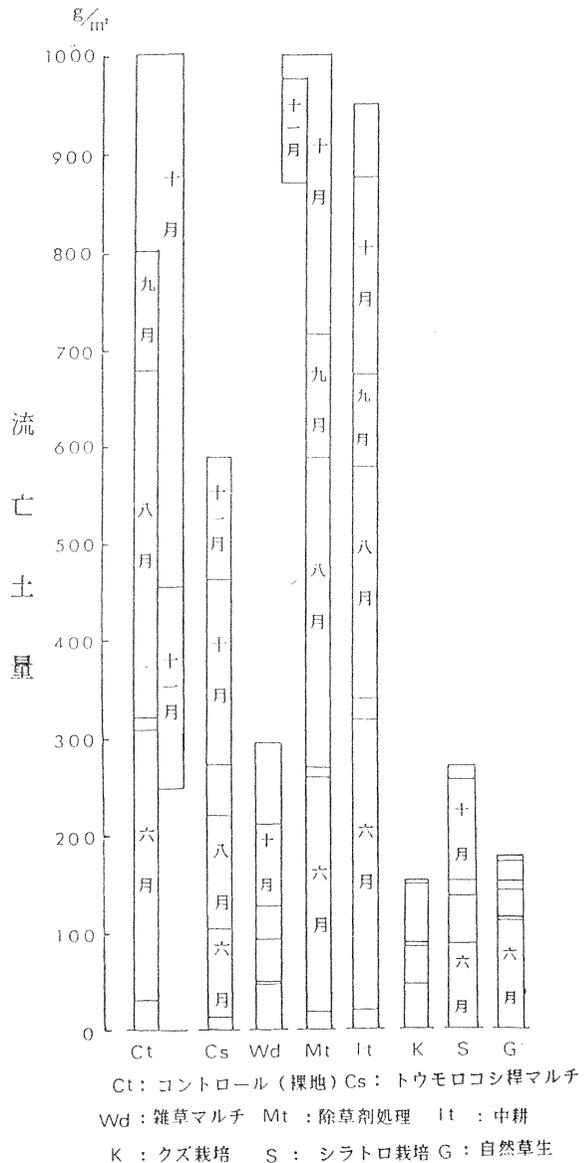
(2)表面流去水量 前節の試験と同じ方法で行った。

(3)流亡量 前節の試験と同じ方法で行った。

2. 結果および考察

調査期間中、すなわち1982年5月21日から11月30日までの測定値を月毎にまとめ、第25表および第16図に示した。この間の降雨量996.6mm、は平年並であったが、月別の分布は平年値に比べ、6月と10月は1.2倍、7月は4分の1、8月と11月が2倍、9月は半分で変動の大きい年であった。

裸地区は降雨の16%にあたる159mmが表面流去し、 $1,755g/m^2$ の土壤が流亡した。これに対し、マルチ、中耕、草生など何れの処理区も値が小さかった。第26表に示すように、マルチや草生(クズ、シラトロ、野草)によって流亡土量は10~26%に減少し、除草剤処理や中耕によって3分の2~半分になった。表面流去水量も減少したが、とくに草生区は裸地比で約5%、全降雨量の1%が



第16図 各種地表面処理と流亡土量(カオヒンソン開発センター、砂質灰色ポドソル性土1982年5月21日~11月30日、降水量996mm)

第25表 調査月毎の降雨量および各処理区の表面流去水量、表面流去率および流亡土量、
砂質灰色ポドソル性土、カオヒンソン開発センター 1982年

月	降雨量 mm	表面流去水量 表面流去率 流亡土量	裸地	Csマルチ*	Wdマルチ*	除草剤	中耕	クズ栽植	シロシ栽植	野草
5月 下旬	19.4	mm	0.17	0.15	0.14	0.08	0.15	0.12	0.10	0.07
		%	0.9	0.8	0.7	0.4	0.8	0.6	0.5	0.4
		g/m ²	31.0	10.0	9.1	21.3	21.2	14.6	5.9	12.7
6月	200.2	mm	5.21	2.07	0.92	3.68	3.37	1.00	1.34	0.98
		%	2.6	1.0	0.5	1.8	1.7	0.5	0.7	0.5
		g/m ²	276.8	67.5	39.0	239.4	299.8	32.2	83.2	100.9
7月	38.4	mm	0.15	0.04	0.03	0.03	0.13	0.05	0.02	0.03
		%	0.4	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1
		g/m ²	13.1	2.8	1.4	9.4	20.1	2.8	2.3	3.7
8月	316.5	mm	69.66	5.25	3.58	66.70	26.37	2.29	2.05	4.80
		%	22.0	1.7	1.1	21.1	8.3	0.7	0.6	1.5
		g/m ²	360.2	92.8	44.3	369.4	239.3	35.0	44.6	27.6
9月	127.1	mm	10.00	1.06	0.49	5.36	1.17	0.40	0.73	0.49
		%	7.9	0.8	0.4	4.2	0.9	0.3	0.6	0.4
		g/m ²	123.3	43.0	34.4	76.9	94.9	6.2	3.40	9.6
10月	199.8	mm	54.51	11.76	8.15	47.26	9.04	1.81	3.34	1.00
		%	27.3	5.9	4.1	23.7	4.5	0.9	1.7	0.5
		g/m ²	739.9	147.4	84.3	305.8	198.9	59.2	120.1	17.6
11月	95.3	mm	19.72	6.37	3.97	13.71	2.40	0.87	1.16	1.00
		%	20.7	6.7	4.2	14.4	2.5	0.9	1.2	1.0
		g/m ²	210.9	97.7	86.6	104.8	76.9	8.7	14.9	9.5
5月下旬 11月	996.6	mm	159.42	26.70	17.28	136.82	42.63	6.54	8.74	8.37
		%	16.0	2.7	1.7	13.7	4.3	0.7	0.9	0.8
		g/m ²	1755.2	461.2	299.1	1127.0	951.1	158.7	305.0	181.6

* Csマルチ：トウモロコシ稈マルチ， Wdマルチ：雑草マルチ

第26表 各処理区の流亡土量、流去水量と対裸地比

期間：5月下～11月

処理区	流亡土量 g/m ²	対裸地比 %	流去水量 mm	対裸地比 %	流土量/流水 g/l
裸地	1755.2	100	159.4	100	11.0
Csマルチ	461.2	26	26.7	17	17.3
Wdマルチ	299.1	17	17.3	11	17.3
除草剤	1127.0	64	136.8	86	8.2
中耕	951.1	54	42.6	27	22.3
クズ栽植	158.7	9	6.5	4	24.3
シロロ栽植	305.0	17	8.7	5	34.9
野草	181.6	10	8.4	5	21.7

流去水量 1 mm 当りの流亡土量 g/m² = 流去水 1 l 中の流亡土の g 数

流出したに過ぎなかった。

流亡土量は流去水量と流去水中の土の含有率の積である。第26表中の流土/流水の列に示す数値は流去水 1 l 中の流亡土の g 数となる。裸地および除草剤処理区の流亡土量が多いのは比較的低濃度の流去水が多量に発生したことによる。逆にマルチや草生区では流去水の土の濃度は高いが、流去水量が少ないために流亡土量が少くなっている。

供試圃場の土壌は第24表に示すように透水性が大きく、粗砂の多い砂土であるにもかかわらず次のような過程でかなりの土壌流亡が発生した。まず最初に大粒の雨滴の衝撃によって、地表 3～4 mm の厚さの中に含まれる粘土、有機物、シルト、細砂の一部が瞬間的に下方に移動し、地表下 3～4 mm のところに集積して土膜を形成する。土膜上に残された粗砂は発生した表面流去水や雨滴の衝撃によって移動、流亡する。粗砂が移動して土膜が露出すると雨滴の衝撃によって壊され、土膜が薄くなると雨滴の衝撃作用によって最初と同様に地表下 3～4 mm のところに新しい膜を形成し、膜上の土砂を流亡する。このような現象は大粒の雨が地面を叩くときに観察され、供試圃場のように透水性が大きくしかも粗砂の多い、いわゆる土壌侵食のおこりそうのない圃場における土壌流亡の発生の主な原因と考えられる。

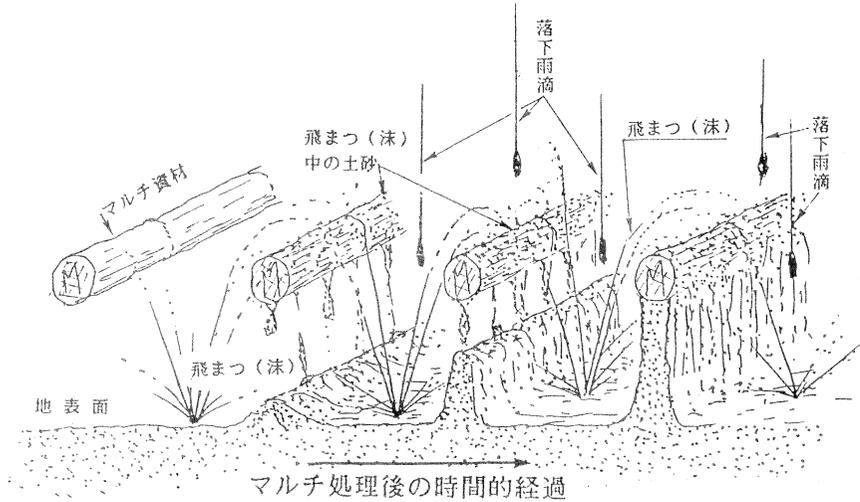
除草剤処理区の流亡土量が裸地区について多かった原因は処理前の草生が貧弱で不均一であったことと、処理後約 2 か月間に被覆していた枯草が地表からほとんど消失し裸地と同様な状態になったことによると考えられる。草生が貧弱だった原因は除草剤処理区は前年の予備試験につづいて 2 年目であり、前年に 2～3 回除草剤で処理したことと肥沃度がきわめて低いことが草生の快復を遅らせたと考えられる。このことは、このような瘠薄な土壌地帯において草生利用による土壌侵食防止法、例えばミニマムティレッジを導入する場合の新たな問題点となるであろう。

中耕区は地表面に形成される土膜を破壊することによって雨水の浸透を促し土壌流亡を抑制することを期して実施した。結果は第26表に示すように裸地に比べて流亡土量で約半分、流去水量で 4 分の 1 に減少し、一応の効果を認めた。

マルチによる土壌流亡防止効果はトウモロコシ稈および雑草マルチでそれぞれ裸地の約

4分の1と6分の1で顕著であった。

マルチのもつ侵食防止機作のうち特に本試験で有効と考えられたことは、地表面にひろげたトウモロコシや雑草 (*Pennisetum* spp.) の茎葉の下の地面は雨滴の衝撃から保護されているために土膜の形成が認められなかったこと、もう一つは第17図および写真に示すように作物残渣やマルチ資材の下に高エネルギーの雨滴の衝撃によってはね上げられた土粒子が集積し、複雑な微地形を形成して、発生した地表水を保留ないし流速を減じたためと考えられる。なお、この地表面の形態は赤褐色ラテライト性の土壤畑でも観察された。



雨滴の衝撃によって跳ね上げられた(飛沫)土壌粒子がマルチ資材を伝って地表面上に落下、堆積している状態、何回かの降雨によって高さ数cmの壁を形成することがある。

第17図 マルチ資材と雨滴の作用による地表面形態の変化



写真 第17図に示す地表面形態の変化の事例

クズ、シラトロ、野草植生による土壌流亡防止効果は対裸地比で6分の1～10分の1と
きわめて高かった。これらの植生は試験開始当初、目視計測で被覆率はすでに80%を越
えており、しかも松岡ら⁴⁵⁾が指摘しているように地表面に近い位置で繁茂していたために
防止効果が高かったと考えられる。

この試験で得られた各処理区
の流亡土量を基に前節と同様の
計算方法、すなわち、年降雨量
1300mm、斜面長50mとして1年間
に1haの圃場から流亡する土の
量は、第27表に示すように、裸
地区と除草剤区がそれぞれ72.4
tおよび46.5tで「Moderate」の
カテゴリーに入った。その他の
区は何れも「Slight」であり、
とくに植生被覆、すなわちクズ、
シラトロ、野草栽植区の土壌侵
食防止効果は大であった。

第27表 斜面長を50mとした場合の年間推定
流亡土量および土壌侵食評価
砂質灰色ポドソル性土

処 理 区	流亡土量 t/ha/年	土壌侵食 評 価*
裸 地	72.4	Moderate
Csマルチ	19.0	Slight
Wdマルチ	12.3	Slight
除 草 剤	46.5	Moderate
中 耕	30.1	Slight
クズ栽植	6.5	Slight
シラトロ栽植	12.6	Slight
野 草	7.5	Slight

一戸²⁹⁾は自然降雨条件下、
勾配28°斜面長25mの傾斜地にお

第23表をもとに評価

いて、牧草帯の幅と土壌侵食との関係の試験を行い、2mおよび4m幅（チモシー、オーチ
ャード、赤クローバー混播牧草帯幅）区の流去水量はそれぞれ裸地の44.1%、24.5%、
流亡土量で11.5%、1.6%を示し、土壌侵食防止効果の大きいことお認められた。本試験におい
て供試した植物は何れも瘠薄で良く生育し、その優れた土壌侵食防止機能を圃場で発揮さ
せるためには圃場の一部に植生帯として配置し、面状（sheet）ないしリル（rill）侵食
によって流下する地表水および土砂を浸透、沈積させることが効果的であると考えた。こ
のうちクズの導入に関しては毒ヘビの増加（クズの貯蔵根、種子→ネズミ→ヘビ）、野草
に関しては圃場内への種子の侵入について農民の懸念が聞かれた。

4. 要 約

熱帯、亜熱帯および温帯土壌の受食性の比較、受食性に関係する土壌的要因の抽出、作
物残渣や雑草などによる土壌侵食防止効果について試験し、次の成果を得た。

- 1) 人工降雨装置を用いてきわめて性質の異なる土壌間の流亡土量の比較をした。タイ国の
土壌は四国の花崗岩風化土より3倍～10倍侵食されやすいグループと4分の1程度のグル
ープにわかれた。亜熱帯（沖縄）の土壌はタイ国の土壌に近い値からほとんど流亡しない
土まで変化に富んでいた。わが国に広く分布している火山灰土は花崗岩風化土の約10分の
1であった。これらの結果から、熱帯の土壌の受食性はきわめて高いと考えられる。
- 2) 流亡土量と分散率、透水性、粗孔隙率との間に有意の相関性が認められた。この3項を
説明変数として流亡土量との重相関をとると $r = 0.999$ 、危険率1%有意水準で認められ有
力な受食性判定要因となることおよび土壌侵食防止対策の要因を明らかにした。

3) 土壌の種類によってマルチ処理による土壌侵食防止効果は異なった。粘質灰色ポドソル性土は効果が小さく、非石灰質褐色土は効果は認められるが、マルチ材料の種類の違いの影響は認められなかった。赤褐色ラテライト性土と砂質灰色ポドソル性土はマルチ処理の効果は大きく、材料間の比較では稲わらが最も大きく、ついでトウモロコシ程、雑草 (*Pennisetum spp.*) の順であった。

4) 土壌侵食によって流亡する土壌の粒径組成は元の土壌より粘土含量が高く、土壌侵食が土壌の量的損失とともに、質的劣化をともなっていることを明らかにした。

5) タイ国トウモロコシ地帯の赤褐色ラテライト性土壌畑では慣行栽培法では1%傾斜圃場で年間1haの面積から約17t、5%傾斜で37tの土壌が侵食流亡すると推定した。これを、トウモロコシ程や雑草などを5t/haマルチすることによって7分の1にあたる4~5tに減らすことができた。この値は土壌侵食許容量といわれている約11t/ha/年の半分以下であり、マルチ処理が土壌侵食防止にきわめて有効であることを明らかにした。従来、耕起前に焼却しているトウモロコシ程や雑草の活用の道を開いた。

6) 瘠薄な灰色ポドソル性土壌地帯ではマルチ用資材の確保に問題があり、この地帯で比較的良好に生育するクス、シラトロの土壌侵食防止効果の高いことからグリーンベルトとして配置するのが有効と推定した。

第V章 雨水の有効利用による生産安定のための作物残渣・雑草等の利用

タイ国の天水依存の畑地帯においてしばしば発生する干ばつは雨量の絶対量が不足する場合の他に地表面流去によって多量の雨水が失われることによる水不足が考えられる。5月から10月にいたる雨季の間の月別平均降雨量は蒸発散位から推して必ずしも不足していないことから、降雨を無駄なく作物生産に活用できれば、絶対量が不足する異常干ばつ年を除き生産はかなり安定できるものと考えられる。

一般に畑地の水収支は次の式で表される⁷³⁾

$$r = \Sigma E + \Delta W + \Delta H + f + F_D$$

ここで r は降雨量、 $\Sigma E = E + T$ で、 E は蒸発量、 T は蒸散量、 ΔW は土壌水分量の変化、 ΔH は地面滞水層の深さの変化、 f は地表流失量、 F_D は地下滲透量を示す。

この式を作物生産に消費される蒸散量の関係で示すと、

$$E_c = r - (E + E_w + f + F_D) + (W_1 - W_2)$$

ここで E_c は作物による蒸散量、 E_w は雑草などによる蒸散量、 r 、 E 、 f 、 F_D は前述と同じ、 ΔW は $W_1 - W_2$ とし、 ΔH は省略、となる。降雨量 (r) を一定として作物生産に必要な蒸散量 (E_c) を大きくするためには蒸発 (E) や雑草などによる蒸散 (E_w) による損失を少なくし、雨水の地表面からの流失 (f) と作物が利用可能な根域外への浸透 (F_D) を少なくしなければならない。また、土壌による有効水の保水能力を強化して供給可能な水量を多く ($W_1 - W_2$ を大きく) しなければならない。

マルチはこれらの項目のうち、蒸発防止と表面流去による損失防止に有効であるところから、本章ではマルチ処理による 1) 表層土壌の水分保持効果と種子の発芽への影響、2) 雨水の浸透促進効果とトウモロコシの生育、収量への影響、および 3) トウモロコシの収量に対するマルチの効果について、とくに降雨分布との関係で明らかにしようとした。

1. 表層土壌水分保持に対するマルチの効果と作物種子の発芽への影響

1. 目 的

タイ国では大部分の畑作物は雨季のはじめ、すなわち、5～6月に播種する。この両月の平均降雨量はほぼ蒸発散位に匹敵しているので、降雨分布が平年並で雨水の全量が土壌中に浸透、保持されるならば作物の発芽、生育にほとんど支障がないものと考えられる。現実には、播種後数日間無降雨であれば、その後降雨があったとしても、十分な個体数は得られず、そのために追播あるいは播き直しをしている場合がしばしば見られる。その主な原因は、水分の不足によって発芽が遅れ、その間にネズミ、鳥、アリなどによって被害されるためである。このような地帯において発芽をより確実なものにするためには、表層部の土壌水分の蒸発損失を防ぎ、発芽可能な土壌水分条件を維持しなければならない。

本節では、マルチ処理によって土壌水分の減少がどの程度抑制され、発芽可能な期間が延長できるかを明らかにしようとした。

2. 方 法

1) 供試圃場の概要

次の2種類の土壌地帯で行った。

(1) タイ国中央平原のコーンベルトの一角にあるロップリ県プラプタバ畑作試験場で行った。土壌は同地帯の代表的な赤褐色ラテライト性土で、供試圃場の土壌の物理性は第16表のとおりである。

(2) 同国東部の主としてキャッサバ栽培地帯にあるライヨン県ホイボン畑作試験場の圃場で土壌は同国中央東部および東北部に広く分布する灰色ポドソル性土であった。供試圃場の土壌の性質は第28表のとおりで、土性はLSないしSL、表層10cmは透水性が良く、保水性は土層10cm当り7.6mmであったが次層は約3mmと少なかった。

第28表 供試圃場の土壌の物理性
灰色ポドソル性土、ホイボン畑作試験場

深 さ	0 ~ 10cm	10 ~ 20cm	20 ~ 30cm	30 ~ 40cm	40 ~ 50cm
仮比重	1.350	1.794	1.775	1.716	1.664
透水係数cm/秒	1.5×10^{-2}	4.2×10^{-3}	5.4×10^{-4}	3.9×10^{-3}	3.9×10^{-3}
pF-水分比Mo%					
pF 0.0	36.4	18.0	18.6	20.5	22.4
1.7	15.8	10.0	11.0	11.0	16.4
2.7	11.0	8.8	9.3	7.5	11.1
4.0	5.5	6.8	5.9	3.1	2.0
保水性mm/10	7.6	2.7	2.9	4.6	8.7
土 性	LS	LS	SL	LS	LS

土層10cm当りの保水量mm: (pF1.7-4.0 Mo%) / 仮比重より算出

2) 試験処理区の設定

(1) 前処理 供試圃場を15cmの深さに耕耘整地後、最大容水量に相当する約100mm灌水し、翌日に次のマルチ処理を行った。

(2) マルチ資材の種類と処理 風乾状態のトウモロコシ稈と雑草 (*Pennisetum* spp.) を用い灌水1日後、下記の処理を行った。

a. 裸地 マルチ処理せず裸地状態

b. トウモロコシ稈多マルチ . . 乾物重として m^2 当り500g相当量のトウモロコシ稈をマルチ

c. 雑草多マルチ 同500g相当量の雑草をマルチ

d. 雑草少マルチ 同250g相当量の雑草をマルチ

(3) 発芽試験に用いた作物の種類と播種 トウモロコシ (Suwan 2)、マングビーン (U-thong)、ラッカセイ (Tainan 9) の3種類とした。各種子の発芽率はそれぞれ76、96、90%であった。

播種は第18図に示すように灌水後1、3、5、7、9日後の計5回、所定の播種日に間隔5cm×25cm、深さ2.5cmに1粒ずつ、1作物につき100粒播種した。播種14日後に発芽数を確認した。

4.2に達した。マルチ処理をした場合、トウモロコシ程多マルチ区は水分含有量が高く経過し、初期萎凋点には灰色ポドソル性土で裸地より2日遅い7日目に達し、赤褐色ラテライト性土では4日遅い9日目に達した。雑草少マルチ区では、灰色ポドソル性土では裸地に近い水分状態を示したが、赤褐色ラテライト性土ではむしろ雑草多マルチ区に近い経過を示した。

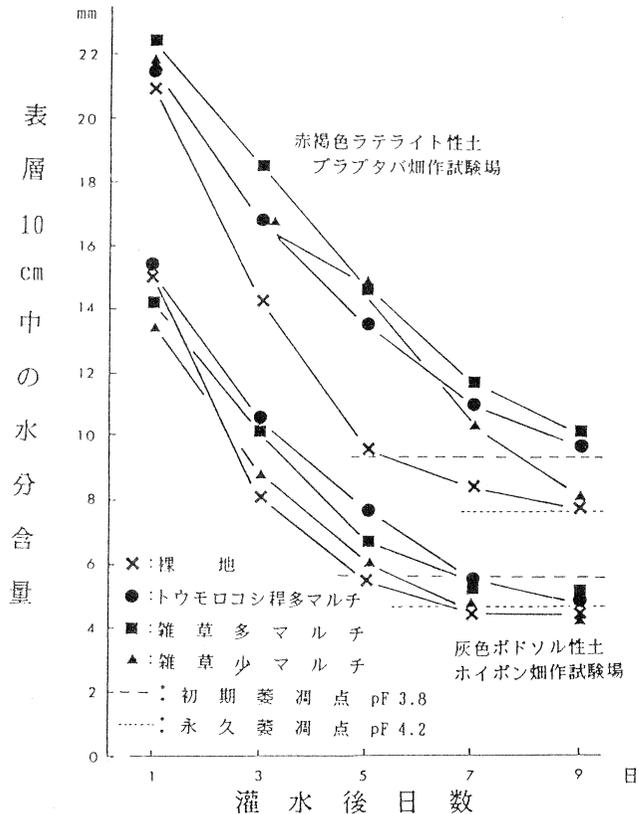
表層土中の水分が失われる速さは、第29表に示すように、各処理区とも灌水1～3日後の減少量が最も多く、日時の経過とともに少なくなった。裸地の場

合灌水1日後から3日目までの2日間に失われる量は、9日目までの8日間に失われる量の半分以上であり、さらに、5日目までの4日間の損失水量は9日目までの損失量の86%～89%に達した。

一方マルチ処理をした区の減少傾向は、灌水後1～3日の土壤水分が多い段階では、裸地区の3分の2程度と小さく、マルチによる蒸発損失防止効果は明らかであった。

土壤表面付近では、大気との蒸気圧勾配が大きいので日射エネルギーを消費して蒸発する。水の気化には 563cal/g (20°C)を要するので、太陽定数 ($1.94\text{cal/cm}^2/\text{分}$)の50%が地表に到達し、その約70%が水の気化に消費されたとしても蒸発量は毎時約 0.7mm 、1日日照8時間で約 6mm になる¹⁴⁾。この調査期間中、直径 1.2m の蒸発計からの蒸発量は最高 6.4mm 、最低 2.5mm 、平均 4.7mm であった。十分に湿った土面からの蒸発は、土面が水面のように平滑でないので水面蒸発量より多くなることもあると言われている。

十分に湿らされた土壤が乾燥する過程には二つの段階がある^{19,68)}まず第一は、土壤表面からの蒸発によって失われる速度(消費速度)より土壤水分が土壤表面に移動する速度(供給速度)が大きい段階で、この段階での蒸発速度は日射エネルギーの供給量の多少や水蒸気の拡散の程度など気象要因や表面被覆物の影響を受ける。第二は、土壤表面からの蒸発速度が土壤内の水分移動の速度によって決定される段階である。



第19図 土壤およびマルチ処理の違いと表層土中の水分の変化

第29表 土壤およびマルチ処理の違いと表層土壤水分の減少速度および蒸発計蒸発量
表土10cm中の水分減量mm/所定日数*

土 壤 処 理	灌 水 後 経 過 日 数 (所定日数) *				
	1~3日	3~5日	5~7日	7~9日	1~9日
赤 褐 地	6.7	4.7	1.2	0.7	13.3
ラ テ ラ イ ト Cs多マルチ**	4.6	3.3	2.6	1.3	11.8
Wd多マルチ	3.9	3.9	3.0	1.6	12.4
Wd少マルチ	4.9	2.0	4.2	2.3	13.4
灰 色 地	6.8	2.6	1.1	0.1	10.6
ポ ト ソ ル Cs多マルチ	4.6	2.8	2.2	0.8	10.4
Wd多マルチ	4.0	3.5	1.2	0.7	9.4
Wd少マルチ	4.6	2.9	1.5	0.2	9.2
蒸発計蒸発量	9.7	7.5	9.1	9.5	35.8

- * 所定日数：例えば1~3日の場合は1日9時から3日9時までの実質2日間、3~5日は3日目9時から5日目9時までの2日間
** Cs多マルチ：トウモロコシ稈500g/m²、Wd多マルチ：雑草500g/m²、Wd少マルチ：雑草250g/m² 何れも乾物換算量マルチ（灌水1日後に処理）

第一段階では、表層水分の減少にともなって下層との吸引圧勾配が増大し、上向きに移動が継続する。土層の水分含量の低下につれて水分移動にかかわる透水係数は低下するが、吸引圧勾配も増大するので蒸発速度は、ほぼ一定に保たれる。さらに土層の水分が減少し、蒸発速度が供給速度を越えると地表面土層に空気が入り白っぽい風乾状態となり、第二段階へと進む。風乾域が拡大しはじめると表面近くの各深さの吸引圧勾配の減少と透水係数の低下によって蒸発面への水の供給が急減し、蒸発速度も必然的に低下する。したがって第一段階から第二段階に移行するときは蒸発速度に明らかな変局点が現れる。

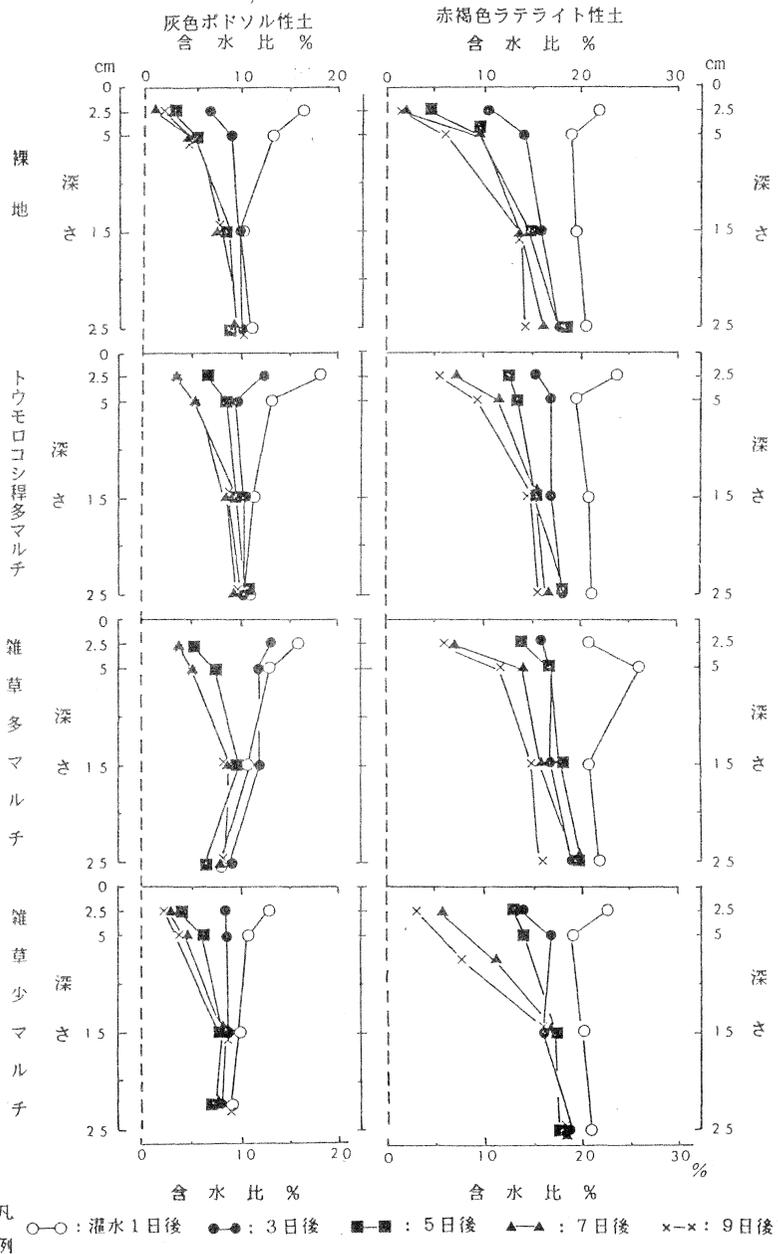
この試験において、裸地区の土壤水分の減少過程をみると、第29表のように、赤褐色ラテライト性土では灌水後3~5日と5~7日との間に明らかな差が認められ、灰色ポトソル性土では3日~5日のあたり変局点があり、マルチ処理をした各区では両方の土壤とも裸地区よりさらに2日後に変局点が認められ、蒸発の第二段階に移行したと考えられる。このように降雨あるいは灌水によって十分湿らされた土が蒸発によって脱水される場合、脱水は地表面から下層に向かって進行する。当初脱水によって失われた分だけ土壤の容積は収縮するが、収縮限界を越えて脱水されると空気が入り、風乾域が下方に拡大される。

この試験における灌水1日後の土壤水分の垂直的な分布とその後の変化を第20図に示した。灰色ポドソル性土では、当初、深さ2.5cmで13~18%、25cmで9~10%を示している。地表に近いほど変動幅が大きく、深さ2.5cmでは、萎凋点(pF4.0)に達するのに裸地では灌水3日後、雑草少量マルチ区で約4日、同多量マルチ区は5日後であった。

赤褐色ラテライト性土では、灌水1日後、各深さとも20%前後であったが、日時の経過とともに深さ15~25cmの土層においても減少傾向が認められた。透水性が、 $2 \sim 5 \times 10^{-5}$ と低いために灌水1日後では重力水が十分排出されずその後も若干重力水の下方移動があったものと考えられる。

浅い層ほど変動は大きく、2.5cmの深さでは、萎凋点に達するのに、裸地区では、灰色ポドソル性土と同様灌水3日後、マルチ処理区では灰色ポドソル性土で5日後、赤褐色ラテライト性土で6日後であった。正確には5日と7日の測定値の中間値が萎凋点に相当する10%であった。深さ5cmの土壤水分も裸地区では5日後に萎凋点に達したのに対し、マルチ処理区ではそれより2~4日間多く要した。

萎凋点を越えた乾燥状態では、含水比の経時変化はきわめて小さかった。したがって、マルチ処理による蒸発抑制作用は乾燥過程の第一段階に効果的であったと云える。第一段階において表層部の有効水分を多く確保することは蒸発による水分損失を少なくすることであり、発芽苗立ちの安定化にきわめて重要なことである。



第20図 土壤および処理別の灌水後の土壤水分の深さ別分布

2) マルチ処理による発芽可能日数の延長効果

灌水または降雨によつて十分湿らした土壌が自然の乾燥過程で、何日後まで種子が発芽できるか、それがマルチをすることによつて何日ぐらい延長できるかについて試験し、結果を第30表に示した。

播種後3日目くらいから地表に発芽がみられ、約1週間後まで発芽数は増加した。その後新しい発芽は認められなかったので、2週間後の発芽数を種子発芽率で除し、この試験条件下での発芽率として第30表に示した。

第30表 マルチ処理による発芽可能日数の延長効果
発芽率：%、 地温：℃

処 理	供試作物	灰色ポドソル性土			赤褐色ラテライト性土			
		灌 水 1日後 播種区	灌 水 3日後 播種区	灌 水 5日後 播種区	灌 水 1日後 播種区	灌 水 3日後 播種区	灌 水 5日後 播種区	灌 水 7日後 播種区
裸 地	トウモロコシ	0	0	0	36.3	0	0	0
	マングビーン	10.4	0	0	75.0	16.7	0	0
	ラッカセイ	71.1	0	0	80.0	4.4	0	0
	地 温*	31.9	32.4	35.9	30.2	31.7	36.2	36.7
Cs 多 地	トウモロコシ	52.6	21.1	0	73.7	21.1	0	0
	マングビーン	75.0	37.5	16.7	100.0	58.4	4.2	0
	ラッカセイ	100.0	48.9	17.8	75.6	40.0	8.9	0
	地 温*	29.7	29.4	29.7	28.9	29.1	30.0	31.1
Wd 多 地	トウモロコシ	84.2	47.3	0	100.0	31.6	26.3	0
	マングビーン	91.7	20.8	0	100.0	75.0	50.0	25.0
	ラッカセイ	100.0	53.3	0	80.0	88.9	71.1	13.3
	地 温*	29.7	29.7	29.7	29.1	28.6	29.4	29.4
Wd 少 地	トウモロコシ	5.3	0	0	84.2	15.8	0	0
	マングビーン	58.4	0	0	87.5	45.8	12.5	0
	ラッカセイ	48.9	0	0	75.6	8.9	0	0
	地 温*	32.2	31.8	33.2	30.4	30.9	31.4	31.9

* 地温は14時、深さ5cmの測定値を示す。

灰色ポドソル性土では灌水7日以降、赤褐色ラテライト性土では9日以降の播種区は何れも発芽を認めなかった。実用上約50%以上の発芽を必要とすれば、灰色ポドソル性土では、灌水の1日後、すなわち、土壌水分条件が有効水分の上限である24時間容水量¹³⁾であるにもかかわらずマルチをしなかった裸地区ではトウモロコシの発芽は認められず、マングビーンは10%程度と低率であった。ところが、播種直後トウモロコシ稈あるいは雑草をマルチすることによつて50%以上の発芽率を確保できた。しかし、灌水1日後にマルチ処理を行つて放置し、3日後(灌水3日後)に播種した場合、マルチ区でも発芽率は50%

前後ないしそれ以下であった。このことからマルチによる発芽可能日数の延長効果は長くても2～3日と考えられる。

赤褐色ラテライト性土では灌水1日後に播種すればマルチの有無にかかわらずほぼ50%以上の発芽率を確保できたが、灌水3日後の播種ではマルチを必要とし、同5日後ではマルチをしても発芽率は50%以下であった。このことから、赤褐色ラテライト性土は灰色ポドソル性土より発芽可能日数が約2日長いことと、マルチ処理は無マルチに比べて発芽可能日数を2～3日間長くすることができることが明らかとなった。

調査期間中、高温による発芽障害を懸念したが、深さ5 cm、14時の地温は第29表に併記しているように、30～35℃であり、トウモロコシおよびマングビーン（リョクトウ）の発芽適温、32～35℃および36～38℃、最高温度は40～44℃および50～52℃⁶⁴⁾、から推して、温度環境としては問題ないものと考えられる。種子に対する水分供給に関しては、川尻ら³⁶⁾、美園⁵²⁾は土壤水分の供給速度に関する研究において、ダイズ種子への水分の供給速度は土壤の種類、粗、密によって異なり、圧密区は、粗耕区より、また水分率の大きい土壤は小さい土壤より供給速度が大きいと報告している、この試験において裸地区に比べてマルチ処理区の発芽率が高かった理由は、マルチ処理区の表層土の水分含量が多く、種子への水分供給が多かったことによると考えられる。灰色ポドソル性土が赤褐色ラテライト性土に比べて発芽率が低かった原因は、保水性が劣り、しかも砂質であるために種子面と土壤面との接触が不十分で種子への水分移動が少なかったと考えられる。

一般に、播種後雨がなければ発芽は不安定で、この試験でも無マルチ区にその傾向がみられた。しかしマルチをすることによって、発芽可能な日が無マルチの0日（灰色土）ないし1日（赤褐色）に比べて2～3日間延長することができた。熱帯では1日でも早く発芽、発根を促して鳥や小動物による食害を少なくし、乾燥領域の拡大前に幼根を下層に伸長させて下層からの水分供給の安定化をはかる必要がある。その意味から僅か2～3日の延長効果ではあるがきわめて大きい意義があると云える。

2. 雨水の浸透促進に対するマルチの効果と作物の生育、収量への影響^{注)}

1. 目的

タイ国のトウモロコシ地帯の代表的な土壤である赤褐色ラテライト性土の畑において、雨水の浸透促進（表面流去の抑制）および土壤水分の増加に対するトウモロコシ程、雑草などのマルチの効果およびトモロコシ生育、収量への影響を明らかにすることを目的として実施した。

2. 方法

第4章2節の土壤侵食圃場試験において得られたデータのうち、とくに降水量、表面流去水量等のデータを土壤水分およびトウモロコシの生育、収量との関係で検討することとした。したがって、試験区の構成および内容、試験規模、トウモロコシ栽培概要などは前

注)本節の要旨は昭和59年度日本土壤肥料学会仙台大会⁹⁰⁾および International Conference on Steepland Agriculture in the Humid Tropics. 17～21, Aug., 1987, Kuala Lumpur, MALAYSIA⁹⁰⁾で発表した。

述の試験と共通である。

水分動態をトウモロコシの生育との関係で検討する都合上トウモロコシの生育期を次の三期に区分した。すなわち、生育初期：6月8日（播種）～7月7日、生育最盛期：7月8日～8月7日、生殖生長期：8月7日～9月15日（収穫）。

土壌水分は7月7日（播種29日後）深さ1mまで10cm毎に採土し、乾熱法と加圧板法で測定した。

植物体の水分ストレスは7月8日（播種後30日後）Pressure Chamber 法⁷⁰⁾で測定した。測定は午前6時（日の出前）から午後9時まで毎時刻に行った。供試葉は完全に展開している最高位の葉とした。日中には、太陽光線があたっている葉を用いた。なお、このとき切葉から計測までのタイムラグをできるだけ少なくした。測定値は1回につき数点計測し、その平均値とした。

3. 結果および考察

トウモロコシの生育期別の降水量は第31表に示すように生育初期と生殖生長期は平均降水量より約20%多く、その中間の生育最盛期には約40%少なく、生育を通してみるとほぼ平年並であった。

第31表 トウモロコシの生育期別の降雨分布

降雨量：mm

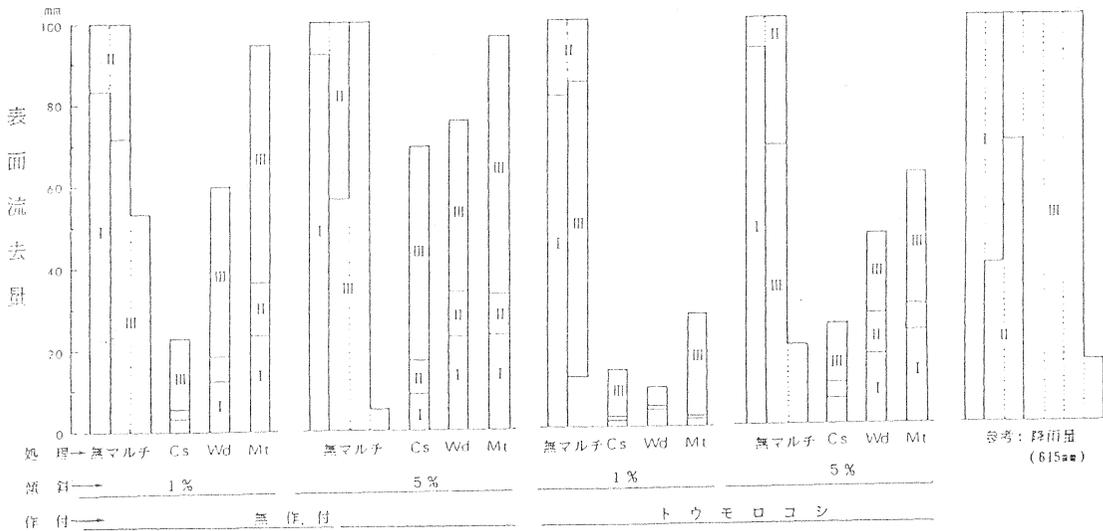
生育期 期間 月・日	生育初期 6.8～7.7	生育最盛期 7.8～8.7	生殖生長期 8.8～9.15	生育期間 6.8～9.15
試験年降雨量	160.9	108.0	345.6	614.5
平均降雨量*	137.7	175.4	280.3	593.4

* 1976年から1985年までの10年間の平均値

1) マルチ処理によるトウモロコシの生育期毎の表面流去抑制効果

各処理区におけるトウモロコシ生育期別の表面流去量は、第21図に示すように、無マルチ区では降水量約600mmのうち200～300mmが表面流去していたがマルチをすることによって何れの区も100mm以下となった。傾斜との関係でみると1%より5%の区の方が若干多い傾向にあり、作付の有無との関係では、作付区の方が明らかに少ない傾向にあった。生育期別にみると降雨量が比較的少なかった生育最盛期にあたる7月8日から8月7日の間が最も少なく、ついで生育初期、生殖生長期の順に多くなった。各処理区の生育期別の表面流去率の推移を第22図に示した。慣行栽培法に相当する無マルチ・トウモロコシ作付区では、生育初期の1か月間は降雨量の半分以上にあたる約57%が流出した。生育が進むにしたがって低下し、生殖生長期には5%傾斜区で25%となった。栽培期間中の平均流去率は36%で降水量の約3分の1が流出したことになった。これに対し、マルチをしてトウモロコシを栽培した区では全生育期間を通じて10%以下と僅かであった。

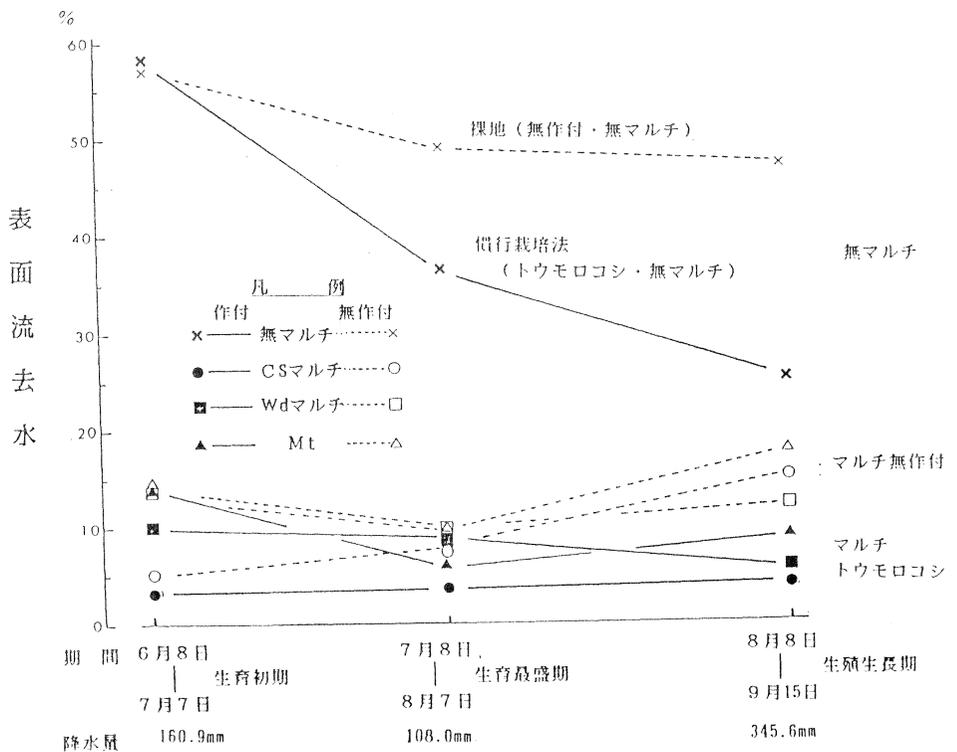
このように表面流去率が小さくなった理由として作物とマルチ資材による被覆の影響が



Cs: トウモロコシ程マルチ Wd: 雑草マルチ Mt: ミニムムティレツジ
 * I: 生育初期6月8日~7月7日 II: 生育最盛期7月8日~8月7日 III: 生殖生長期8月8日~9月15日

第21図 トウモロコシ作付期間中の各処理区の表面流去水量
 (プラプタバ畑作試験場 赤褐色ラテライト性土1982年)

考えられる。まず、作物の被覆の影響は第22図に示す裸地(無マルチ 無作付)と慣行栽培との差から分かるように、生育初期は個体が小さく、被覆度が小さいために裸地とほぼ同じ表面流去率であったが生育の進行とともに裸地と作付区と間の差が大きくなり被覆度の増加が表面流去率を小さくしたと考えられる。一方、マルチ資材の影響は、第22図の裸地とマルチをした各区と



第22図 トウモロコシ栽培期間中の表面流去率の推移(圃場傾斜度5%)

の差から分かるように、裸地の表面流去率50%前後に対し、マルチをした区は10%前後とマルチの影響はきわめて大きいことが明らかである。マルチ資材は日時の経過とともに風化分解によって消失し、後半に流去率の増加がみられた。トウモロコシの作付とマルチ処理を組合せた区は生育期間中10%以下であった。トウモロコシの生育に伴う茎葉の被覆度の増加がマルチ資材の消失による裸地化をカバーしたためと推定した。

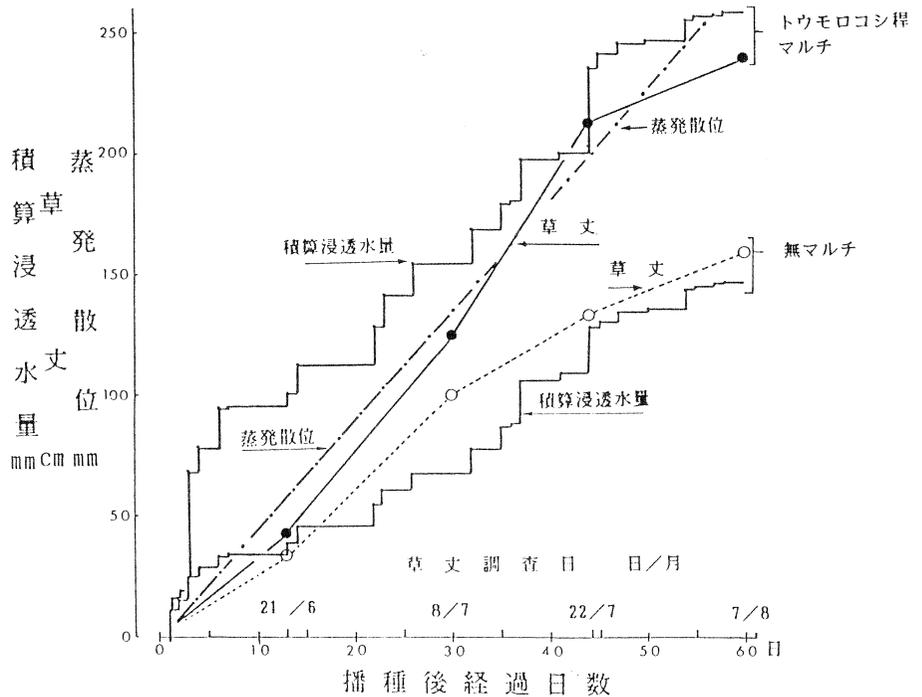
降雨量と蒸発散量とが拮抗する地帯における多量の表面流失は、水不足による減収の大きい原因となる。本試験において、降雨量の約半分が流出した無マルチ区のトウモロコシは日中しばしば萎凋し、生育が遅延した。第23図はマルチの有無による降雨の積算浸透水量およびトウモロコシの生育の違いについて示した。この中で浸透水量とは降雨量から表面流去水量を差し引いた値とした。なお、図の中に水分の過不足を評価するため蒸発散位を併記した。

降雨の95%以上浸透したトウモロコシ程マルチ区の積算浸透水量は蒸発散位にほぼ匹敵した。一方、無マルチ

区では、蒸発散位より明らかに低く土壤水分に大きく影響することが考えられる。

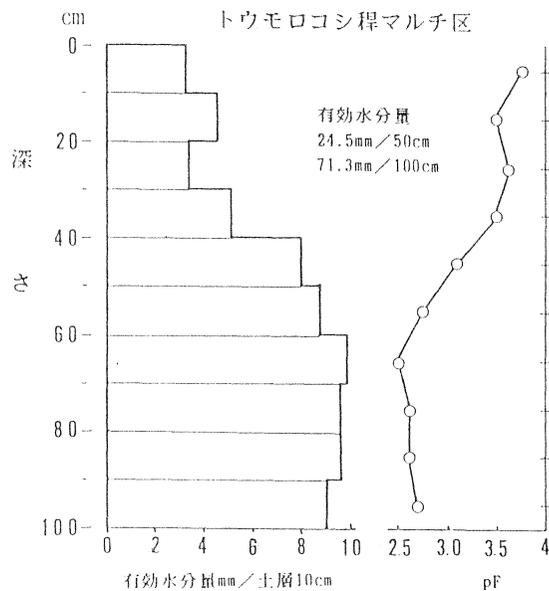
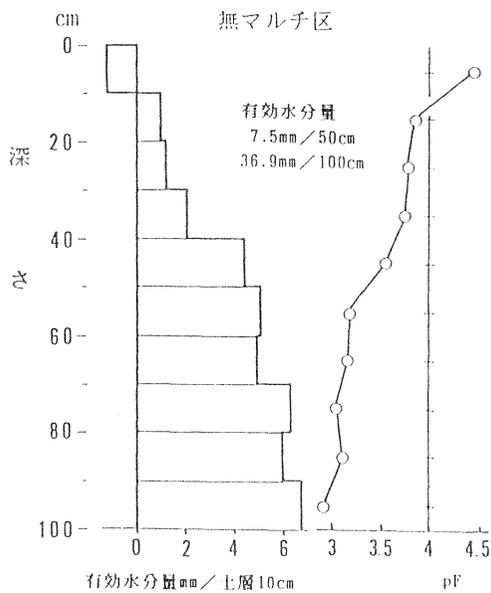
2) 土壤水分およびトウモロコシの水分ポテンシャルに対するマルチ処理の影響

生育初期から生育最盛期移る播種29日後の有効土壤水分(pF1.7-4)量は第24図に示すように、降雨の95%が浸透したトウモロコシ程マルチ区の71.3mm/100cmに対し、降雨量の43%しか浸透しなかった無マルチ区は、その約半分にあたる36.9mmであった。深さ別の分布をみると、50cmまでの有効水分量は前者の24.5mmに対し、7.5mmと約3分の1であり、地表10cmは永久萎凋点⁷²⁾を越えるpF4.5を示し、以下50cmまでは初期萎凋点⁶⁹⁾と云われる3.5~3.9であった。深さ50cmから100cmまでの間には、マルチをした区では pF2.5~2.8で



積算浸透水量：降雨量－表面流去水量の積算値
草丈：トウモロコシ葉先までの高さ
蒸発散位：Class A pan 蒸発量×0.9

第23図 マルチ処理の有・無と積算浸透水量およびトウモロコシの生育(草丈)との関係並びに蒸発散位との比較(プラプタバ畑作試験場5%傾斜圃場1982)



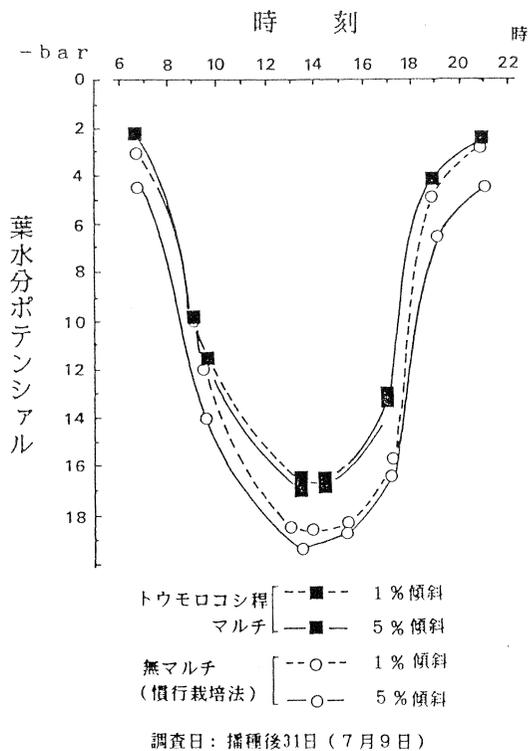
調査日：播種後30日（7月8日）、有効水分：pF 1.7~4.0

第24図 マルチ処理の有・無と有効水分の深さ別分布
(プラプタバ畑作試験場5%傾斜トウモロコシ栽培圃場1982)

47mmの有効水があり、無マルチ区は2.9~3.2で約30mmの有効水があった。このように無マルチ区において若干量の有効水分の存在を認めましたが、トウモロコシは日中に萎凋した。これに対し、マルチをした区では終日、萎凋は認められず、処理による土壤水分の違いがトウモロコシ体内の水分ポテンシアルに大きい影響を及ぼしたと推定した。

第25図は、播種後30日目のトウモロコシの葉水分ポテンシアルを示した。

日の出前の葉水分ポテンシアルは夜間に蒸散などの水分消費がなければ土壤の水分ポテンシアルと密接な関係を示すと云われている⁷⁰⁾。この試験において、マルチをした区のトウモロコシは、-2.1bar、無マルチ5%傾斜区では-4.5 barで、この値を土壤pFに換算すると、それぞれ、3.3および3.65となり、第24図に示す深さ50cmまでの土壤pFに近い値を示した。日の出以後急速に低下し、午前10時に無マルチ区では-14barに達した頃萎凋がはじまった。11時頃、-16barに達したときほとんど



第25図 マルチ処理の有・無、圃場傾斜度とトウモロコシの葉水分ポテンシアル

萎凋し、13時から15時にかけては-19barに達した。その後は急に上昇し、17時頃萎凋の回復がみられた。一方、トウモロコシ程をマルチした区も、無マルチ区と同様に低下したが、最も低い時で-16.5barで、萎凋は終日認められなかった。葉の水分ポテンシャルと光合成との関係については第32表の数値が示されている⁶³⁾。この試験において、無マルチ区におけるトウモロコシの光合成が、マルチをした区に比べて大きく抑制されたことは容易に推定でき、第23図に示す生育遅延の主要因と考えられる。一方、マルチをした区トウモロコシは外見的には萎凋は認められず、正常に生育していたが、第32表の値から推して光合成が抑制されていることが考えられる。

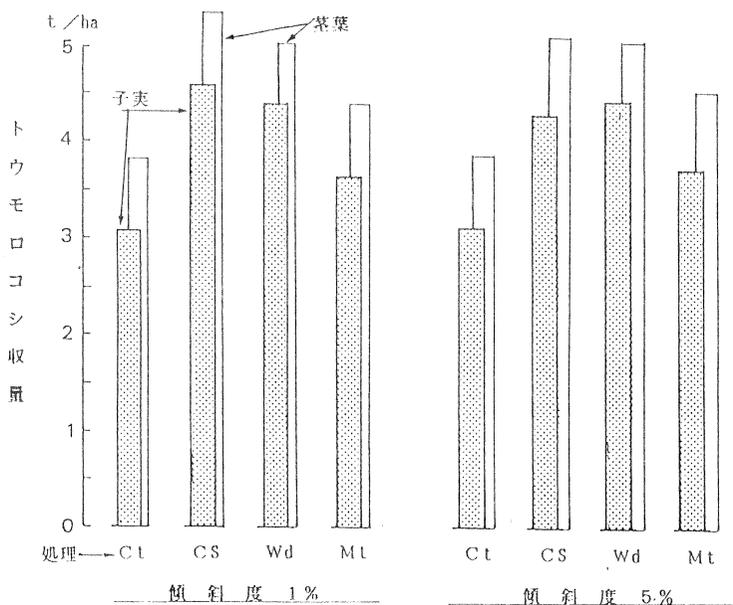
第32表 トウモロコシ葉の水ポテンシアルと光合成との関係

生育期	光合成	光合成	光合成
	低下開始	50%抑制	100%抑制
幼植物	-3 bar	-11bar	-12bar
生殖生長期	-8	-17	-20

注) 農学大事典⁶³⁾ より作成

3) トウモロコシ収量に対するマルチ処理の影響

JICAが実施した生育最盛期(播種後45日)から受粉期(播種後65日)までの期間の灌水量と収量との関係の試験において、無灌水区の収量3.3ton/haに比べ、灌水量3.6mm(×0.5Pan evapo.)区、7.3mm(×1 Pan evapo.)区、10.9mm(×1.5Pan evapo.)区の収量比はそれぞれ4.3、5.0、5.1tonであった³⁴⁾。この結果は生育最盛期後半には1日平均7.3mmの水分供給の必要性を示唆しているものと考えられる。本試験においてこの間に相当す



処理: Ct: 無マルチ、CS: トウモロコシ程マルチ、Wd: 雑草マルチ、Mt: ミニマムティレージ

第26図 マルチ処理別、圃場傾斜度別トウモロコシの収量 (プラブタバ畑作試験場赤褐色ラテライト性土1982年)

る播種後40日から60日までの降雨による供給水分量（浸透量）はマルチをした区でも1日2.9~3.0mmでこの期間に限れば水分供給量は十分とは云えなかった。しかし、第26図に示すように、収量は、4.3~4.6t/haであり、水分供給量が少ない割に多収を得ている。これはマルチによる蒸発損失の防止効果と土壌からの水分供給に負うところが大きいと考えられる。生育後半は降雨量が多く、生育には好適と考えられたがマルチをしなかった区は生育初期および生育最盛期に受けた水不足（萎凋）による生育の遅延を回復できず収量は約3tであった。これに対しマルチ処理による増収効果は顕著で無マルチ区の約1.5倍に相当する4.3~4.5tonであった。トウモロコシ程と雑草のマルチとしての効果の違いはほとんど認められず、両者ともマルチ材料として十分利用可能である。なお、ミニマムティレッジについてはトウモロコシ程や雑草（*Pennisetum* spp.）マルチに近い表面流去水の減少効果を示したが、雑草防除に問題があり収量はha当り3.6tonであった。

3. トウモロコシの収量に対する有機物マルチと施肥の効果 —特に降雨分布との関連について—

1. 目 的

マルチ処理は少ない雨水を作物生産に有効に利用するための優れた方法である。したがって、マルチによる増収効果は年による降雨分布に左右され、効果の評価には長年月にわたる圃場試験が必要である。

1976年五十嵐ら³¹⁾は、トウモロコシ地帯の代表的な土壌である赤褐色ラテライト性土の畑において、トウモロコシの生育、収量に対する施肥と稲わらマルチの効果についての試験を開始し、その後同じ設計での試験を10年間継続している。

ここでは、その10年間のトウモロコシの収量の変動とそれに関連する降雨分布、マルチおよび施肥の影響を明らかにするとともに若干の経済的評価を行ってマルチ栽培の有利性を裏付けようとした。

2. 方 法

場 所：ロップリ県ブラプタバ畑作試験場

試験規模：1区画6m×5.25m（31.5m²）、3反復

施 肥：N、P₂O₅、K₂Oを1976年から79年まではそれぞれ100、100、50kg/ha、1980年以降は63、63、0kg/haを全量元肥として施用

供試作物：トウモロコシ、後作はマングビーン

栽植密度：75cm×25cm

処 理：稲わらマルチの有（M）、無（O）と施肥の有（F）、無（O）を組み合わせた4処理

マルチ区はトウモロコシ播種後4ton/ha相当量の稲わらでマルチ

播種および収穫期：第33表に併記した。

トウモロコシの生育期区分：トウモロコシの生育期を次のように区分し種々な考察供した。

生育初期：播種後1か月間

生育前半期：播種後1.5か月間

生育前中期：播種後2か月間

生育最盛期：播種1か月後からの1か月間（播種後30日から60日までの間）

生殖生長期：播種後61日から収穫日まで

3. 結果および考察

1976年から85年まで、各年毎のトウモロコシの生育期別および栽培期間中の降雨分布を第33表に示した。生育初期ないし前半期には最少値と最大値に約3倍の開きが認められたが、全生育期間を通してみると約480から780mmまでの間に分布していた。

第33表 生育期毎の降雨分布と変動係数

降雨量：mm、変動係数CV：%

生育期	1976	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	平均	CV
生育初期	191	89	235	85	232	249	236	100	150	97	166	40
生育前半期	262	139	433	128	251	354	299	131	177	158	233	43
生育最盛期	135	140	267	94	115	160	114	99	182	224	153	35
生育前中期	326	229	502	179	347	409	350	199	332	321	319	31
生殖生長期	363	332	465	297	299	368	149	463	278	217	323	29
全生育期	689	561	967	476	646	777	499	662	610	538	642	22
播種日 月・日	6.4	6.8	6.15	6.13	6.2	7.1	5.18	6.2	5.19	5.20	-	-
収穫日 月・日	9.3	9.15	9.28	10.5	9.15	10.12	8.23	9.19	9.11	9.3	-	-

・ 生育初期：播種後1か月間、生育前半期：同後1.5か月間、生育最盛期：同1か月後からの1か月間、生育前中期：播種後2か月間、生殖生長期：同後61日から収穫日まで

第34表は各処理区における各年毎および10年間の平均収量を示した。平均収量で比較すると施肥またはマルチ処理をした区は、無施肥または無処理区に比べて何れも優った。無施肥の二つの区（O・OとM・O区）は1.8ton、2.5tonと低い収量レベルで大きく変動した。施肥だけの区（O・F）は、平均3tonであるが、0.3tonから5.3tonまで大きく変動していた。これに対し、マルチと施肥を併用した区（M・F）は4.7tonと高い収量水準で安

第34表 各処理区の収量の比較と変動係数

収量：t/ha、変動係数CV：%

処 理	1976	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	平均	CV
O・O	3.1	0.4	2.6	0.7	2.5	1.0	1.2	2.5	1.0	2.8	1.78	53
O・F	4.2	0.3	5.3	0.5	3.2	4.4	3.5	2.6	2.1	4.2	3.03	52
M・O	3.2	1.8	1.5	1.4	2.7	1.5	2.4	2.6	1.5	5.9	2.45	52
M・F	4.6	4.4	4.2	3.9	4.0	4.8	5.0	3.5	5.4	7.6	4.70	23

・ マルチ有（M）無（O）・施肥有（F）無（O）を組み合わせせて表示した。
LSD：平均収量について危険率5% = 0.91、危険率1% = 1.22

定していた。この結果は、天水依存地帯の畑生産の高位安定にはマルチと施肥の併用が極めて有効であることを示唆している。

1) 降雨分布と収量

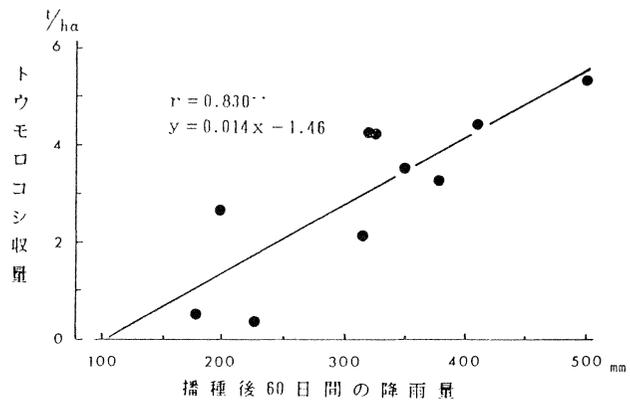
各生育期別の降雨量と収量との関係は第35表に示すように、無施肥の二つの処理区（O・OとM・O）ではどの生育期においても降雨量と収量との間に有意の相関性は認められず、収量変動の原因は水分以外の要因、例えば地力窒素の有効化速度と量など養分的な要因によると考えられる。一方、施肥だけの区（O・F）では、生育前中期（播種後2か月間）までの降水量との間に高い相関性が認められた。この関係を第27図に示した。施肥によって十分量の養分が与えられているので、水分の多少が生育に直接影響を及ぼしていると考えられる。

第35表 生育期別降雨量と収量との相関係数

作 期	r 値					
	生育初期	生育前半	生育前中期	生育最盛期	生殖生長期	全生育期間
播種後日数	0 ~ 30	0 ~ 45	0 ~ 60	30 ~ 60	60 ~ 収穫	0 ~ 収穫
O・O	0.210	0.230	0.342	0.427	0.292	0.349
O・F	0.701*	0.775**	0.830**	0.597	0.164	0.669*
M・O	0.226	-0.257	-0.032	0.224	-0.349	-0.259
M・F	-0.148	-0.095	0.167	0.492	-0.581	-0.277

- ・ 危険率5%水準有意
- ** 危険率1%水準有意

降雨量が少ない場合は肥効が発現しにくく、第28図に示すように生育前中期（播種後60日間）の降雨量が200mm以下になると収量は無施肥区と同程度となった。調査した10年間のうちに3回、すなわち約3年に1回の割合で施肥による増収効果が認められなかった。一方、マルチと施肥を併用した区（M・F）では第35表に示すように何れの生育期の降雨量も収量との間に相関性は認められなかった。収量水準が高く、降雨量との間に相関



第27図 無マルチ・施肥（O・F）区における播種後60日間の降雨量と収量との関係

性が認められなかったことは、各作期の生育において降雨量が制限要因にならなかったものと考えられる。しかし、生育最盛期（播種1か月後からの1か月間）の降雨量と収量との関係を詳細に検討すれば、第29図に示すように、この期間の平均降雨量の約1.8倍に相当

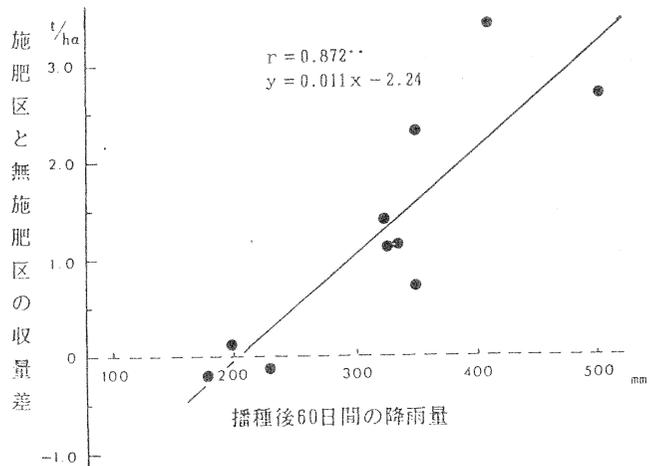
する約270mm（9mm/日）降った1978年の特異な例を除けば、この期間に限って高い正の相関性が認められた。一方、JICAの報告³⁴⁾では十分な収量を得るためには生育最盛期の後半にあたる出穂期前後に1日平均7.3mm（降雨量を含む）の灌漑を必要としており、本試験の生育最盛期間の平均降雨量150mm（5mm/日）ではマルチ処理をしても子実生産に必ずしも十分でなかったことを意味するものと考えられる。

マルチ処理は少ない雨水を作物生産に有効に利用するためにはきわめて優れた手段である。したがって、降雨による水分供給量が作物の要求量に近づくにしたがってマルチの効果は少なくなり、更に供給量が増えると効果は認められなくなる。第30図は降雨量とマルチによる増収効果を示した。すなわち、播種後45日または60日間の降雨量と、マルチ区と無マルチ区の収量差との関係を示した。これらの期間の降雨量が少ないほどマルチによる増収効果は大きく、降雨量が増加するにしたがって小さ

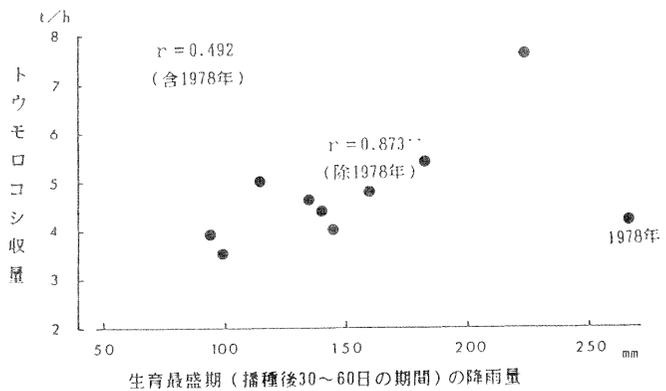
くなった。播種後45日間の降雨量が360mm（8mm/日）、または、同後60日間の降水量が450mm（7.5mm）でマルチによる増収効果は無く、それ以上では、1978年の例のように、むしろ減収していた。原因はマルチによって増加した浸透水が土壤養分、とくに硝酸態窒素を流亡させたことによる養分欠乏と考えられる。

2) マルチの経済評価

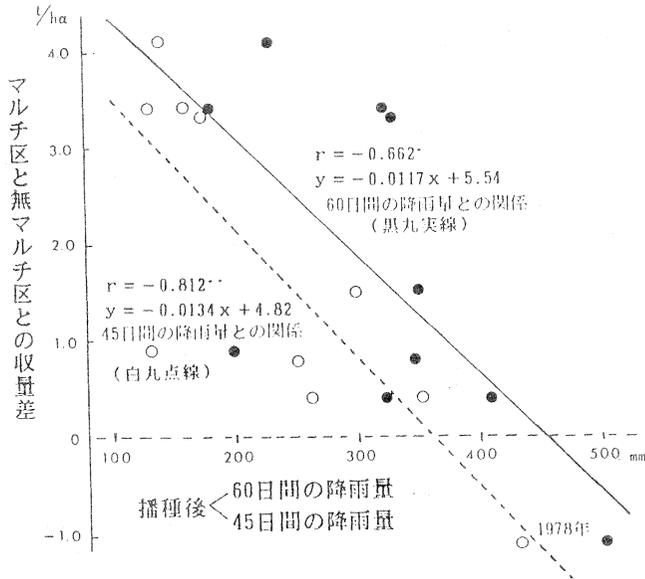
施肥とマルチとの併用によって生産性を向上・安定することができた。しかし、農産物価格に比べて肥料費が高く、ha 当り、N、P₂O₅、K₂Oの施用量をそれぞれ63、63、0kgとすれば、それに要する肥料費は2016bahtで、トウモロコシ1 tonの販売価格、2200bahtにほぼ匹敵する。第36表はトウモロコシ生産量と肥料費の二つの要因だけを用いた評価値である。無マルチの場合、施肥による純収益増認められず、施肥が無意味であることを示している。施肥とマルチを併用することによって2倍の純収益を上げることができ、しかも、最低約5000baht以上の純収益となった。



第28図 無マルチ区における播種後60日間の降雨量と施肥による増収効果との関係



第29図 マルチ・施肥（M・F）区における生育最盛期の降水量と収量との関係



第30図 降雨量とマルチによる増収効果との関係

第36表 各処理区の純収益の比較と変動係数

純収益: baht、変動係数CV: %

処 理	1976	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	平均	CV
○・○	6820	880	5720	1540	5500	2200	2640	5500	2200	6160	3916	54
○・F	5590	-2990	8010	-2550	5020	7660	5680	3700	2600	7220	3994	94
M・○	7040	3960	3300	3080	5940	3300	5280	5720	3300	12980	5390	22
M・F	6740	6030	5590	4930	6780	8540	8940	5680	9860	14700	7779	36

注) 純収益 = 粗収益 - 肥料費

粗収益 = トウモロコシ農家庭先価格 (1982年) 2200baht × 収量 t/ha とした

肥料費 = N、P₂O₅、K₂O の市場 (1982) 単価 19、13、9 baht × (1976~1979年) 施肥量 100、100、50kg/ha および同 × (1980~1985) 施肥料 63、63、0 kg/ha とした。

LSD: 平均純収益について危険率 5% = 2073、危険率 1% = 2800

4. 要 約

1) マルチ処理による表層水分保持効果は、灌水または雨水によって十分水が与えられても、播種位置に相当する 2.5 cm の深さの水分は、3 日後にすでに萎凋点 (pF4) に達した。これに対しトウモロコシ稈または雑草をマルチした区では、灰色ポドソル性土で 5 日後、赤褐色ラテライト性土で 6 日後に萎凋点に達し、マルチによって 2~3 日長く土壤水分を保持できた。

2) 十分な雨または灌水後の発芽可能日数は無マルチの 0~1 日 (灰色ポドソル性土) ない

し2日（赤褐色ラテライト性土）に比べマルチをすることによって2～3日間延長することができた。

3) 6、7月の降雨分布が平年の80%程度の年（1982）のトウモロコシ栽培において、無マルチ（慣行）区は生育初期～最盛期にしばしば萎凋し、生育が遅れ、収量は約3 t/haであった。これに対し、マルチ処理区は正常に生育し、収量は約4.5 t/hであった。この違いは、無マルチ区では降雨量の約3分の1が流失（3分の2が土壌中に浸透）したのに対し、マルチ処理区では降雨の90%以上が浸透しており雨水の有効利用によると考えた。播種1か月後の深さ50cmまでの有効土壌水分は無マルチ区では7.5mmで日中は萎凋し、光合成は抑制されていたと考えられる。これに対しマルチ処理区では24.5mmの有効水分があり正常に生育していた。このようにマルチ処理はトウモロコシの生育にきわめて有効であった。

4) マルチ資材として、トウモロコシ稈と雑草（*Pennisetum* Spp.）との間に優劣はみとめられなかったが、ミニナムティレッジは雑草制御に難点があり、収量は3.6 tと劣った。

5) 作物生産の増強と安定に対するマルチの主要な効果は雨水の有効利用にあるといえる。したがって、その効果はその年の雨量分布に大きく左右される。10年間に及ぶトウモロコシの生育、収量に対する施肥とマルチの効果についての試験の結果、施肥・無マルチ区の平均収量は3 t/haであるが、年によって0.3 tから5.3 tまで大きく変動し（CV 52%）、平均して3年に1度の割合で殆ど収穫皆無となった。これに対し、施肥とマルチの併用区は平均収量4.7 tで変動係数も23%と小さく安定していた。無施肥・無マルチ区、無施肥・マルチ区は何れも収量が劣った。この結果は、天水依存地帯の畑生産の高位安定にはマルチと施肥の併用がきわめて有効であることを明らかにした。

第VI章 マルチ資材の自給生産を組み入れた作付体系

— キャッサバ栽培におけるスイートコーンの導入事例 —

1. 背景と目的

タイ国の天水畑地帯の農業生産の安定と土壌保全のため圃場残渣によるマルチ栽培法がきわめて有効であることを明らかにした。しかし、実用技術として定着させるためには解決すべき多くの問題が残されている。その一つに低コストで良質なマルチ資材の確保と施用があげられる。主作物栽培前、あるいは生育初期の余剰水分と空間を利用してマルチ資材用作物の導入が可能であれば問題の大部分は解決されと考えられる。しかし、緑肥作物の栽培を組み入れた多く作付体系は未だ実用化されていない。その最大の原因は年によって水分の競合による主作物の減収があり、収益増につながらないからである。そこで主作物には水分ストレスにつよく、栽植密度の粗いキャッサバを主作物とし、マルチ資材用作物として生育期間が短く、ある程度の収益が期待できるスイートコーンの導入を試みた。

キャッサバはタイ国の主要農産物の一つで、外貨獲得商品としては米について2番目である⁷⁹⁾生産量は1976年から1981年の間に1,020万 tonから1,770万 tonに増加し、栽培面積はその間に69万haから127万haに拡大した¹¹⁾。その原動力は他作物に比べて経済的に有利であったことと干ばつや低肥沃度条件に対する抵抗性が大きであったためと考えられる。タイのキャッサバの約90%は東部および東北タイの瘠薄な土地帯で栽培されており、その代表的な土壌は灰色ポドソル性土である。この土壌は石英を主成分とする一次鉱物とカオリンからなる砂土ないし砂壤土で²⁾有機物や有効態養分がきわめて少ない土壌である。タイ国の東部で1955年から1977年にかけて行ったキャッサバの無肥料栽培試験の結果によると、試験開始当初の収量30t/haから17t/haに減少しており⁷⁶⁾養分の収奪による土壌の劣化を示すものと考えられる。また、分散しやすい土壌であるために土壌侵食による劣化が進行しやすい土壌である。このような地帯の土壌生産力の回復をはかるためには、施肥による養分補給と有機物施用、とくにマルチによる方法が効果的である。しかし、現状は肥沃度の低いキャッサバ地帯では作物、雑草などバイオマス生産量が低く、マルチ資材の確保が困難であり、一方、施肥は、生産費に占める肥料費が大きいこと、農家の経済基盤が脆弱であることによってほとんど行われていない。

この試験では、これらのことを背景に、キャッサバ栽培前、またはキャッサバ生育初期に生育期間が短くてある程度のマルチ資材と現金収入が期待できるスイートコーンを導入し、収穫残渣をマルチ資材として利用するシステムを考え、その可能性について試験をした。

2. 方 法

1) 供試圃場の概要

ライオン県ホイボン畑作試験場で実施した。供試圃場は古い海成沖積台地の平坦面にあり。土壌の性質は第37表のとおりである。作土層の土性はCLでその直下のA₁₂層(20~30cm)には作業機によると思われる圧密層の形成がみられた。下層土には、鉄班紋が僅かに認められ、季節的に水の停滞がうかがわれる。灰色ポドソル性土としては粘土含量の多い土壌である。

2) 供試作物

主作物：キャッサバ (Rayong 1)
 マルチ資材用作物：スイートコーン

第37表 供試圃場の土壌の性質
 ホイボン畑作試験場、灰色ポドソル性土

3) 試験処理区の設定

処理は、第38表に示すように三つの要素によって構成されている。

第1の要素として次のAからDまでの作付体系を考えた。

A: スイートコーンを2.5か月間栽培後キャッサバを8.5か月間栽培した。

B: スイートコーンとキャッサバを同時に混植し、スイートコーンは3か月間栽培後残渣をマルチに使用した。キャッサバの栽培期間はAと同様8.5か月間とした。

C: Bと同様に混作した。但し、スイートコーンは2.5か月、キャッサバは11か月間栽培した。

D: キャッサバのみ11か月間栽培した。

これらの作付体系は次のことを目的として設定した。

Aはスイートコーンを単作する事によって雌穂の販売による収益増とマルチ用茎葉の多収を目的として設定した。そのかわりキャッサバの生育期間は8.5か月とやや短くなった。

Bは雨季の前半に他の作物を導入することを想定して、Aのキャッサバ植付と同じ時期にスイートコーンの混作を試みた。

CはBに比べてスイートコーンとの混作によるキャッサバの生育、収量の不利をキャッサバの生育期間を延長することによって補償することを目的として設置した。

Dはコントロールとしてキャッサバを単作した。

第2番目の要素として施肥レベルを2段階とした。

第3番目としては栽培したスイートコーン残渣をマルチとして施用および無施用とした。以上を組み合わせ、11処理区とした。

1 処理区 100m² (10m×10m) 3 反覆とし、乱塊法による配置とした。

4) 耕種概要

スイートコーンの栽植密度は 25×75cm、53300本/ha、キャッサバは約20cmの長さに切断した茎を75×100cm、ha当り13300本を第38表に示す所定の日日に植付けた。同時に元肥を条施した。追肥時期は、A、C、D作付体系においては8月9日(植付後76日目)、D作付体系では11月10日(植付後92日目)に株元に施用した。肥料は硫安、重過石、塩加を使用した。

層位	深さ cm	A _p	A ₁₂	B ₁	B ₂
		0-20	20-30	30-55	55-100
仮比重		1.64	1.81	1.67	1.58
透水係数 (cm/sec) *		1.9 ⁻⁴	1.0 ⁻⁶	4.3 ⁻⁴	4.8 ⁻⁵
pF-水分 (v/v%)					
pF 0.0		37.4	32.6	37.6	40.4
pF 1.0		27.1	26.4	26.7	29.6
pF 1.7		26.5	25.6	24.3	27.6
pF 2.0		25.6	24.4	22.5	26.5
pF 3.0		22.5	22.7	18.1	23.8
pF 4.0		16.9	17.1	15.3	19.4
粘土含有率(%)		18.5	20.3	26.2	33.5
シルト含有率(%)		24.8	27.0	24.1	20.6
細砂含有率 (%)		34.2	32.6	28.2	24.1
粗砂含有率 (%)		22.6	20.1	21.6	21.8
土性		CL	CL	LiC	LiC
有機態炭素含有率(%)		0.72	0.75	0.51	-

* 透水係数、例えば1.9×10⁻⁴を1.9⁻⁴のように記した。

第38表 試験処理と内容

作付体系	施肥レベル	マルチ	5月 22日(植付)	8月6日(収穫) 8月9日(植付)	11月10日(収穫)	4月29日(収穫)
A 単作	H	M	P ₁ ← スイートコーン → H _{v1}	Cs mulch (Cornstalk mulch)	P ₂ ← キャッサバ 8.5か月 → H _{v2}	
	L					
B 混作	H	O	P ₁ ← スイートコーン → H _{v1}	no mulch	P ₂ ← キャッサバ 8.5か月 → H _{v2}	
	L					
C 混作	H	M	P ₁ ← スイートコーン → H _{v1}	Cs mulch ₁	P ₂ ← スイートコーン 3か月 → H _v	Cs mulch
	L		P ₁ ← 2.5か月	キャッサバ 11か月		H _{v2}
D 単作	H	O	P ₁ ← スイートコーン → H _{v1}	no mulch		
	L		P ₁ ← 2.5か月	キャッサバ 11か月		H _{v2}
	L	O	P ₁ ←	キャッサバ 11か月		H _{v2}

A : スイートコーン収穫後キャッサバ植付
 B : キャッサバの生育初期にスイートコーン混作
 C : 上に同じ
 D : キャッサバ単作
 施肥レベル H : 元肥80-80-80, 追肥, 80-0-0kg/ha N-P₂O₅-K₂O
 L : 元肥40-80-80, 追肥, 40-0-0kg/ha N-P₂O₅-K₂O
 マルチ M : スイートコーン収穫後稈をマルチに使用
 O : スイートコーン収穫後稈を撤去
 植付 P₁ : 5月22日、P₂ : 8月9日 収穫 H_{v1} : 8月6日、H_{v2} : 4月29日

3. 結果および考察

試験期間中の月別の降雨分布は第39表に示すように平年に比べてやや多く、1981年11月および1982年4月は過去17年間の最高値、10月は平年値の半分以下であ

第39表 試験期間中の降雨分布
ホイボン畑作試験場内観測値: mm

月	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	計
平年	262	145	123	114	220	235	102	17	30	62	45	77	1432
試験年	191	251	79	184	219	106	264	1	0	44	63	208	1610

* 1966~1982年
 ** 1981年5月~1982年4月

ったが他の月はほぼ平年並であった。

1) スイートコーンの生育と収穫

7月前半、8月後半、10月後半に12~13日の小乾季があり、この間スイートコーンは日中しばしば萎凋した。

生育および収量調査は、1処理区10個体について草丈、葉数、最大葉身幅、雌穂数、乾物重について行い、結果を第40表に示した。

第40表 作付体系、施肥レベルとスイートコーンの生育収量
ホイボン畑作試験場 1981年

調査時期	作付体系 施肥レベル	A: コーン 単作		B: コーン・キャッサバ 混作		C: コーン・キャッサバ 混作		L. S. D. (危険率5%)
		H	L	H	L	H	L	
出穂期	草丈 cm	161	165	—	—	166	153	24
AC: 7月9日	葉数 枚/本	12.0	11.6	—	—	11.6	10.8	0.7
播種後48日	最大葉身幅 cm	7.6	7.6	—	—	7.8	7.8	0.8
収穫期	草丈 cm	174	167	173	161	179	161	21
AC: 8月9日	葉数 枚/本	12.2	12.3	10.3	10.0	12.7	12.6	0.4
播種後76日	全雌穂数×10 ³ 個/ha	102.2	91.5	58.3	53.0	90.7	82.7	12.6
B: 11月10日	良雌穂数×10 ³ 個/ha	61.3	50.0	40.0	37.0	57.8	44.4	11.4
播種後93日	乾雌穂重 t/ha	1.56	1.18	0.79	0.66	1.22	0.85	0.44
	乾茎葉重 t/ha	2.90	2.79	2.75	1.76	2.74	1.87	0.67

・ AとCは、5月22日播種、Bは8月9日播種

キャッサバとの混作の影響は、表の作付体系A（：スイートコーン単作）とC（：コーン・キャッサバ混作）との比較でわかるように、出穂期の調査では有意な差はほとんど認められなかった。収穫期においても雌穂数、雌穂重、茎葉重が混作することによってやや劣る傾向にあったが、5%水準の有意差は認められず、混作の影響は、きわめて小さいものと考えられる。

播種時期の違いの影響はBとCとの比較でわかるように8月9日播種したCの雌穂収量が明らかに劣った。8月中、下旬と9月下旬から10月上旬にかけての小乾季によって生育が阻害されたものと考えられる。

施肥の影響は、A、B作付体系ともH（多肥）系列がL（少肥）系列に雌穂数、乾物重で優る傾向を認めた。

2) キャッサバの生育と収量

キャッサバの初期生育に対するスイートコーン混作の影響は、第41表の播種後48日目の作付体系C（：コーン・キャッサバ混作）とD（：キャッサバ単作）との測定値の比較によって明らかのように、草丈はスイートコーンとの混作によって優り、逆に主枝の節数、主幹直径、最大葉の長さで劣った。これらのデータとともに、調査時点において混作しているスイートコーンの草丈はすでに約160cmに達し、キャッサバを覆っていることから徒長

第41表 作付体系、施肥レベル、マルチ処理とキャッサバの生育収量

ホイボン畑作試験場1981~1982年

調査及び	作付体系	A:コーン後キャッサバ				B:コーン・キャッサバ混作		C:コーン・キャッサバ混作				D:キャッサバ単作	L, S, D.
処理日	施肥レベル	H	H	L	L	H	L	H	H	L	L	L	危険率5%
7月9日	草丈 cm							65.2	コ	59.1		34.8	6.8
	主枝の節数 個/枝							18.2		19.4		24.4	1.7
播種後	枝数 本/個	(スイートコーン前作)				(裸地)		2.13	ソ	2.10		2.20	0.16
48日	主幹直径 cm							0.93	混	0.97		1.20	0.12
	最大葉長 cm							19.2	作	19.1		24.4	4.8
8月9日	植付:P, マルチ:M*	P.M	P.O	P.M	P.O	P.O	P.O	M	O	M	O	O	
8月16日	草丈 cm	-	-	-	-	-	コ	125		108		100	11
播種後	主枝の節数 個/枝	-	-	-	-	-	ソ	40.4		38.7		40.0	6.0
86日	枝数 本/個	-	-	-	-	-	混	2.17		2.13		2.20	0.17
	最大葉長 cm	-	-	-	-	-	作	23.0		22.3		24.2	4.0
11月10日	マルチ:M*					M	M						
4月29日	草丈 cm	179	179	162	157	221	198	294	274	266	256	252	22
播種後	塊根収量 t/ha	24.1	25.2	25.1	24.3	22.5	19.4	28.6	26.9	33.7	32.9	41.3	6.4
AB:8.5か月	澱粉含有率 %	18.5	18.4	17.8	19.2	19.9	19.5	18.7	20.5	20.4	20.5	20.0	3.0
CD:11か月	収穫指数** %	0.53	0.55	0.57	0.59	0.47	0.41	0.41	0.43	0.52	0.53	0.55	0.10
	茎葉収量 乾t/ha	5.88	5.87	5.21	4.78	7.20	6.16	11.76	9.84	8.63	8.29	8.79	2.33

* M:同一圃場内で栽培したスイートコーンの茎葉を刈倒しマルチした。O:無マルチ

** 収穫指数:塊根と収穫時茎葉重との合計値に対する塊根の重量(生重比)

- 未調査

したものと考えられる。播種後86日目の調査では多施肥レベル（H）の草丈が優った以外に有意の差位は認められなかった。

生育期間11か月系列の収穫期の草丈および茎葉収量はD（：キャッサバ単作）に比べC・H（：スイートコーン・キャッサバ混作多肥レベル）区は草丈が高く混作による徒長の形態が継続したと考えられる。塊根収量はD（：キャッサバ単作）区が41.3t/haで最も優り、ついで少肥レベルのコーン・キャッサバ混作区、多肥レベルの同混作区の順で比率をとるとおよそ100：80：67となり、混作によって約20%減収した。しかし、タイの1980～84年の平均収量15.8ton⁷⁾に比べると高い収量を示した。マルチ処理の有無との間に有意差は認められなかった。生育期間8.5か月系列でもほぼ同様の傾向がみとめられた。すなわち、キャッサバ単作に相当するA系列とスイートコーンとキャッサバを混作したB系列との比較において、草丈および茎葉収量はB系列が優り、塊根収量は5%水準の有意差は認められなかったが平均収量の比較では、混作区の方が約15%劣った。

施肥量の多少、マルチング処理の有無と草丈、収量等との間に有意差は認められなかった。

3) 圃場に還元される作物残渣量

圃場で得られたスイートコーンおよびキャッサバの茎葉は第42表に示すようにha当り乾物重として10～20tonであった。D（：キャッサバ単作）区に比べ、C・H（多肥レベルでスイートコーンを混作した）区は約1.5倍にあたる19tonの作物残渣が圃場に還元された。

第42表 作付体系、施肥レベルと作物残渣量

作付体系	施肥 レベル	作物残渣量 (t/ha)			合計
		コーン 茎葉重	キャッサバ [*] 茎葉重	キャッサバ [*] 落葉重	
A：コーン後キャッサバ [*]	H	2.90	5.88	2.76	11.54
	L	2.79	5.21	2.45	10.45
B：コーン・キャッサバ [*] 混作	H	2.75	7.20	2.86	12.81
	L	1.76	6.16	2.45	10.37
C：コーン・キャッサバ [*] 混作	H	2.74	11.76	4.90	19.40
	L	1.87	8.63	3.63	14.13
D：キャッサバ単作	L	0	8.79	3.63	12.42

* 落葉重 = (節葉の形成速度：1枚/日/個体×生育日数：AおよびBは263日、CおよびDは342日) - 収穫期平均生葉数：100枚) × 落葉の平均重量：1.5g/枚 × 個体数：10000/ha として少肥レベルの落葉重とした。多肥レベルはキャッサバ茎葉重の多肥と少肥の比率を乗じて求めた。なお、節葉の形成速度は本試験とほぼ同一条件で栽培しているYoshidaら⁹⁾の報告から算出した。また、収穫期平均生葉数と落葉の平均重量は実測によった。

L, S, D：合計値について危険率5% = 2.43, 危険率1% = 3.41

キャッサバの生育期間が8.5か月であるAおよびB系列ではコーンとキャッサバ残渣を合わせて10~13tonであった。一方生育期間11か月のキャッサバ単作区の残渣量は12.4tonとAおよびB系列とほぼ同程度であった。

タイのキャッサバの平均収量 $15.8\text{ton}/\text{ha}^{7)}$ から圃場で生産されるキャッサバの茎葉および落葉重を次の数値を用いて計算した。

収量指数すなわち塊根収量 / (塊根収量 + 収穫時茎葉重) : 0.5 (第40表の平均値)、収穫時茎葉の乾物 % は28、生育中の落葉重は収穫時の茎葉乾物重 $\times 0.4$ (第42表の平均値)、これらの数値をもとに収穫期の茎葉乾物重は、 $((15.8/0.5) - 15.8) \times 0.28 = 4.4\text{ton}$ 、これに生育中の落葉重: $4.4 \times 0.4 = 1.8\text{ton}$ を加えると合計 $6.2\text{t}/\text{ha}$ となり、一般農家圃場ではこれだけの残渣が生産されたことになる。これに対し、本試験の結果ではこの2~3倍量の作物残渣が生産され圃場に還元されることになる。

4) 経済評価

従来キャッサバ栽培に比べて集約度の高い作付体系を導入したので、収益について若干の経済評価を試みた。

結果は第43表に示すように、純収益についてキャッサバ単作に対する比率でみると、多

第43表 経済評価

作付体系	施肥レベル		スイートコーン		キャッサバ		粗収益 baht/ha	肥料費 baht/ha	純収益 baht/ha	対キャッサバ 単作比 %
	処理		雌穂 本/ha	価格 baht/ha	塊根重 ton/ha	価格 baht/ha				
A: コーン後キャッサバ	H	M	61300	15330	24.1	12050	27380	4800	22560	130
	//	O	//	//	25.2	12600	27930	//	23130	133
	L	M	50000	12500	25.1	12550	25050	3280	21770	125
	//	O	//	//	24.3	12150	24650	//	21370	123
B: コーン・キャッサバ混作	H	M	40000	10000	22.5	11250	21250	4800	16450	95
	L	M	37000	9250	19.4	9600	18850	3280	15570	90
C: コーン・キャッサバ混作	H	M	57800	14450	28.6	14300	28750	4800	23950	139
	//	O	//	//	26.9	13450	27900	//	23100	133
	L	M	44400	11100	33.7	16850	27950	3280	24670	142
//	O	//	//	32.9	16450	27550	//	24270	140	
D: キャッサバ単作	L		0	0	41.3	20650	20650	3280	17370	100
農村事例**			0	0	15.1	7550	7550	60	7490	43

* 純収益 = 粗収益 - 肥料費 $L \cdot S \cdot D \cdot (5\%) : 5138$ (農村事例を除いた算出値)

粗収益 = (スイートコーン農家庭先価格 $0.25\text{baht} \times \text{収量本}/\text{ha}$) + (キャッサバ農家庭先価格 $500\text{baht}/\text{t} \times \text{収量t}/\text{ha}$)

肥料費 = N, P_2O_5 , K_2O の市場各単価19, 13, 9baht/kg \times 施肥量Hレベル160-80-80kg/ha (=4800bhat)、同Lレベル80-80-80kg/ha (=3280bhat) とした。

生産物および肥料の価格は1982年の市場調査によった。なお、同年の為替ルートは1baht \approx 10円であった。(1988年1baht \approx 5.5円)

** 農村事例: タイ農業局農業経済部1977/78年資料¹²⁾によった。

肥レベルでスイートコーン収穫後キャッサバを8.5か月間栽培したA・H区は30%、生育始めにスイートコーンを混作し生育期間を11か月としたC・H、C・L区は約40%優った。

タイ農業局農業経済部1977/78の資料¹²⁾によると、南東タイにおけるキャッサバの平均収量は15.1 t/haで生産費は4280baht、そのうち肥料費は60bahtである。先の計算方法による純収益は第43表の農村事例に示すようにha当り7490bahtでこの試験における収益の半分ないし三分の一であった。実際問題としてキャッサバの栽培には耕起、栽植、除草、収穫作業に多くの労力を要し、生産費の大部分が労賃である¹²⁾。この試験事例のように集約栽培をすればそれだけ多くの労賃が必要となるので、このシステムの定着には労賃を含めた評価とともに作物残渣によるの土壌および水保全機能の評価、スイートコーンの市場性など総合的な評価が行われなければならない。

4. 要 約

キャッサバ栽培前および生育初期に生育期間が短くてある程度のマルチ用資材と現金収入が期待できるスイートコーンの導入の可能性について試験を実施し次の結果を得た。

- 1) スイートコーンを混作することによってキャッサバは徒長し、収量が約20%減収した。
- 2) スイートコーンの生育、収量に対するキャッサバ混作の影響は認められなかった。
- 3) スイートコーンを導入することによって圃場に還元される作物残渣の量はha当り約 15 tonと多く、この量は一般のキャッサバ単作農家圃場の2～3倍量であった。
- 4) キャッサバの生育、収量に対するスイートコーンの茎葉マルチの効果は認められなかった。
- 5) 農村事例ではキャッサバによる純収入はha当り約7500bahtに対し、本試験では、キャッサバ単作で17000baht、スイートコーンの混作で27000bahtに達した。
- 6) 本試験におけるスイートコーンとキャッサバを混作したCシステムは従来の収奪粗放農業に変わって多肥による高収益と有機物による地力の増強を図る農業の可能性を示すものである。

第Ⅶ章 総合考察

熱帯における天水依存の畑地帯の生産性が低い原因としては土壤侵食による土壤および養分の流亡、高温による土壤有機物の急速な分解などに伴う肥沃度の低下、無肥料栽培、降雨分布の変動が大きいことによる干ばつ被害の発生などがあげられる。このような地帯の生産性の向上と安定のためには侵食による土壤劣化を防ぐとともに施肥、有機物施用による肥沃度の増進、雨水の有効利用をはかる必要がある。有機物によるマルチ栽培法はこのような目的の達成に有効な手段である。

この研究はタイ国畑地帯の低い生産性の原因の把握と対策上の問題点を明らかにし、現地に適用できる対策技術として、従来圃場で焼却されていた圃場残渣を用いたマルチ栽培法の有効性を明らかにすることを目的としている。

タイ国における畑作物の生産性の低い原因の一つに干ばつがある。タイ国の主要畑地帯の降雨量は1100mmから1500mmでその80%が5月から10月までの雨季に降り、作物はこの雨を利用して栽培される。雨季の期間中の雨の分布は、5月と9月は多いが概して前半が少なく、後半が多い。前半の平均降雨量は作物が正常に生育するために必要と考える蒸発散位よりやや多い程度である。したがって、降雨の僅かな変動によっても水不足となり、また、表面流去による損失も水不足の原因となる。トムロコシの長期栽培試験の結果2～3年に1度の割合で干ばつによって著しく減収している。タイ国のコーンベルトの干ばつ被害年の出現頻度を次の条件によって計算すると約5年に1回となった。すなわち、播種後60日間（普通6月と7月）の降雨量と収量との間には高い相関性が認められたので、6月と7月の水収支、すなわち、水の供給項として平均降雨量＋土壤有効水分量（ここでは50mmとした）、消費項として蒸発散位（ここではClass A pan 蒸発計蒸発量×0.9）とした。ここで降雨量が（蒸発散位－土壤からの供給量）より少ないと干ばつになるとして、降雨の分布変動からその出現頻度を求め、前述の約5年に1回の結果を得た。干ばつの実情すなわち、2～3年に1度の発生に合わなかった理由として表面流去を考えた。6月と7月の降雨量の13%が表面流去によって無駄に失われたとすれば水不足による低収年の出現頻度は3年に1度、24%とすれば2年に1度の割合となる。この程度の表面流去は十分起こり得る範囲にあるのでタイ国の畑作物の低収性は降雨分布の変動による供給水量の絶対量の不足の他に表面流去に原因するところが大きいと推定した。このような地帯の畑作物の生産の安定には雨水をできるだけ多く、長く土中に貯留し作物生産に役立てる必要があると云える。そのためには表面流出の防止、保水性の強化、地表面蒸発および雑草などによる蒸散損失の防止などの技術、農法の開発が必要である。一方、雨季後半の過剰水の有効利用は水分供給量の絶対量が不足する天水依存地帯の生産拡大にとって重要な課題である。

雨によって侵食、流亡する土壤量の多少は基本的には雨の侵食性と土壤の受食性（侵食され易さ）によって左右される。これに地形、土壤管理、作物栽培などの要因が関与する。降雨の侵食性は土壤侵食量と最も相関性の高い降雨の諸量（降雨量、降雨強度、降雨の運動エネルギーなど）の単独あるいは組合せによってあらわそうとしている。土壤侵食は雨滴の衝撃力によって土壤が分散、飛散する雨滴侵食と土壤の浸透能をこえて地表を流去する水の掃流力によって発生する。雨滴侵食に直接影響する降雨の運動エネルギーは、掃流力に比べて計算上数千倍以上も大きいので²¹⁾降雨の侵食性の重要な指標となる。熱帯の

スコールは短時間に激しい雨が降り畑圃場に多量の濁水を発生する。タイ国のほぼ平均的な規模のスコール（降雨量19mm、10分間最大強度7.5mm、降雨時間52分）について、降り始めから終わりまでの降雨強度と運動エネルギーの経時変化を調べた。運動エネルギーは雨滴の質量と落下速度から算出した。その結果この平均的な降雨の全エネルギーは $3.9 \times 10^5 \text{ erg/cm}^2$ であった。降雨強度は降り始めから次第に大となり、全降雨時間の10分の4を経過した時にピークに達し、その後次第に弱くなった。ピークまでの降雨量は全体の降雨量の55%であったが、降雨エネルギーは全体の3分の2にあたる $2.6 \times 10^5 \text{ erg/cm}^2$ であり、スコールの侵食性は降雨初期から強度がピークに達するまでの間が大きいことが明らかになった。したがってこの間に雨滴の衝撃力によって土粒子は分散し、地表面の孔隙構造を破壊、閉塞して土膜を形成し、浸透能を低下させる。その後降雨強度が弱くなっても浸透能が低下しているので雨水の多くが表面流去すると考えられ、激しいスコールのあと地表面が僅か2~3cmしか湿らなかったことをしばしば観察した。

雨の侵食性は地域や季節によって異なるので、それによって発生する土壌侵食防止対策も当然異なることが考えられる。ここではタイ国とわが国の雨の侵食性を一般土壌侵食予測式（USLE）のR値と侵食危険降雨の出現頻度とで比較した。タイ国各地域のR値はタイ国土地開発局がUS慣習法にもとづいて計算しており、わが国では細山田ら^{22, 23, 24}、種田²¹によって改良した簡便計算法によって57か所のR値が計算されている。この両方のR値の侵食性の違いは僅か（US慣習法値が3~6%大）であるために相対評価が容易である²³。そこでこの値に基づいて比較すると、タイのR値は400から3000の範囲で大部分の地域は500から1000の間であった。これに対し、わが国は30から約1000の範囲でほとんどの地域が100から500の範囲に含まれ、タイ国の雨の侵食性はわが国の2倍ないし数倍大きいと云える。また、わが国で一般に用いられている侵食危険降雨すなわち、降雨強度2mm/10分以上または20mmを越える降雨の出現頻度についてバンコクとつくばの例で比較すると、バンコクでは全降雨回数²⁵の3分の2にあたる67%、つくばでは3分の1強の39%であったのに対し、つくばの雨はそれぞれ2.6mm、25.2mmであり、タイ国の雨の侵食性は降雨強度が大きいことにより、わが国の雨は降雨量の多いことによると云える。このようにタイ国の雨は比較的短時間内に強い雨が降る特徴を有するので、対策としては地表面を被覆して浸透に関係する孔隙構造を雨滴の破壊作用から保護することが第一である。次に降雨量としては多くないので一時的に多量に発生する地表水の流速を減じ、また、地表面に小起伏を造って一時的に貯留し、土壌中への浸透を促すことが考えられる。

世界的にみて降雨による土壌侵食の最も激しい地帯は湿潤熱帯と云われている²⁰。これは主として降雨の侵食性が大きいことその他に土壌の受食性が大きいと考えられる。タイ国の土壌10点、わが国の土壌8点（沖縄4点、本州2点、四国2点）について、傾斜度10%、降雨強度（人工）100mm/時で30分処理した結果、流亡土量は、タイの土壌の m^2 当り80~2600gに対しわが国の土壌は10~900gであった。タイ国の代表的な畑土壌である赤褐色ラテライト性土、非石灰質褐色土、粘質灰色ポドソル性土および細砂の多い砂質灰色ポドソル性土はいずれも1000g以上であった。この値はわが国の花崗岩に由来するマサ土の380gに比べ3~数倍にあたり、タイの土壌の受食性の大きいことを示している。

土壌の受食性には多くの土壌的要因が関係している。ここではタイの土壌4種と受食性

の比較的高いわが国の土壌2種を用いて、人工降雨装置による流亡土量と土壌の理化学性との関係を試験した結果、分散率、透水性、粗孔隙率と流亡土量との相関性はいずれも危険率5%の有意水準で認められた。また、これら三つの項目を用いた重相関係数は $r = 0.999$ で危険率1%の有意水準で認められ、土壌の受食性の判定の有力な要因であるとともにこれらの性質の改善が土壌侵食防止に有効であると推定した。

マルチによる土壌侵食防止作用には雨滴のエネルギーを吸収して地表面の土壌分散を防止、透水性を確保すること、地表流去水の流速を低下すること、地表面の微地形を保護することなど様々である。したがって土壌の性質によってマルチの効果の現れ方は異なる。赤褐色ラテライト性土と砂質灰色ポドソル性土はマルチの効果が顕著で、マルチ資材の違いによる被覆率の若干の差も流亡土量に影響した。これらの土壌は雨滴の衝撃によって地表面に不透水性の皮膜を形成しやすいために被覆による効果が顕著に現れたと考えられる。非石灰質褐色土と粘質灰色ポドソル性土は透水性が低いために、マルチの効果の発現しにくい土壌であった。しかし、非石灰質褐色土は地表面の凹凸構造がマルチによって保護され、そこに地表水が残ったために流出量はそれだけ少なかった。供試した4種の土壌から流出した土壌中の粘土含有率は元の土壌より高かった。養水分保持等土壌肥沃度に深く係わる粘土の損失は侵食が単に土壌の量的損失でなく、質的損失の大きいことを示している。

自然降雨条件下におけるマルチの土壌侵食防止効果を明らかにするために、タイ国の赤褐色ラテライト性土のトウモロコシ栽培地帯に幅1.5m、長さ5mの試験枠を傾斜度1%と5%の圃場に設置し、マルチなどの処理を行いトウモロコシを作付して雨季間の流亡土量を調査した。これを次のような手順で1haの面積から1年間に流亡する土の量として計算した。すなわち、試験枠から1年間に流亡する土量は試験期間中(6月から10月まで)の降雨量と年平均降雨量1300mmとから単純比例計算で求めた。次に、トウモロコシ地帯の平均斜面長は約50mであるために、5mの試験枠から流出した土壌量を50mに補正する必要がある。土壌侵食量は斜面長の約0.5乗に比例する^{38, 85, 94)}ので $\sqrt{50/5}$ を乗じて補正した。結果は第22表に示すように、マルチをする事によって浸食による流亡土量は約7分の1に減少した。タイ土地開発局の土壌侵食評価区分に従えば、5%傾斜の慣行栽培圃場の土壌侵食量36.5tonは「Moderate」であり、マルチ区の平均土壌侵食量5tonは「Very Slight」の区分になった。また、世界的に許容されている土壌侵食量11.2t/ha/年⁴⁶⁾の半分以下にまで軽減されたことは、マルチ処理が土壌侵食防止にきわめて有効であることを示している。

土壌流亡が発生する限界降雨強度は、無マルチの場合10分間当たり約2mmで川村³⁷⁾の報告にある四国地方の花崗岩土壌の場合と同じであった。マルチをした場合はそれより2倍強い4mm以上ではじめて土壌流亡が発生した。トウモロコシ栽培期間中の全流亡土量の60%~70%が、生育初期の1か月間に流亡し、初期における土壌侵食防止対策の重要性を確認した。

砂質灰色ポドソル性土畑の裸地からの流亡土量は、前項と同様の方法によって測定、算出した結果、72.4t/ha/年となった。これがトウモロコシ稈や雑草のマルチによって5分の1、クズ、シラトロの栽培あるいは自然雑草草生で8分の1に減少した。灰色ポドソル性土は瘠薄であるためにマルチ用有機資材の確保に問題のあることが考えられる。植生による侵食防止効果が大きいこととクズ、シラトロがこの地帯で比較的良く生育することか

らこれらの植生帯の適正な配置が土壤侵食防止法として効果的であると考えられる。侵食防止に対するマルチ資材の種類の違いによる効果の差位は認められず、何れもきわめて有効であった。

マルチは太陽からの輻射熱を反射して蒸発を防止する効果がある。タイ国において降雨または灌水等によって十分湿らされた後、2.5cm（播種の深さ）の深さの土壤水分の変化は、裸地では3日後に萎凋点に達したが、マルチ区では灰色ポドソル性土で5日後、赤褐色ラテライト性土では6日後となった。これを種子発芽との関係でみると、灰色ポドソル性土では給水の翌日播種しても十分な発芽は得られないが、マルチをすることによって給水1日後播種で発芽率は50%以上、3日後播種で50%より若干劣った程度であった。赤褐色ラテライト性土では給水1日後では無マルチでも十分発芽し、3日後播種ではマルチをして乾燥を防止する必要があった。何れの土壤もマルチによって発芽可能な期間を2～3日間延長することができた。普通、マルチをしない場合、播種前の土壤水分条件に関係なく播種後に降雨がなければ水分欠乏で発芽せず、次の降雨を待たなければならない。播種後一週間無降雨が続けばその間に鳥、ネズミ、アリなどによって食害されるので播き直している。マルチをすることによって降雨後の2～3日間発芽可能な水分条件を維持できることは発芽、苗立ちの安定化にきわめて大きい意味がある。

タイ国のトウモロコシ地帯では、平年並の降雨をやや下まわっても雨水が全部利用されれば蒸発散位と土壤の保水能から推して水不足にはならない。播種後2か月間の降雨量が平年より約20%少なかった1982年の無マルチ（慣行栽培）区のトウモロコシは水不足によって日中萎凋し、生育が劣って収量は3t/haであった。これに対し、マルチ処理区は正常に生育し、収量は4.3～4.6tonであった。

無マルチ区の表面流去率は、トウモロコシの生育初期（30日間）は約55%であった。その後、生育が進むにつれて流去率は低下し、全生育期間を通してみると降雨の約36%が表面流去した。これに対し、マルチ処理区の表面流去率は終始約5%、即ち降雨量の95%が土壤中に浸透した。

作物が正常に生育するのに必要な水量と考えられる蒸発散位水分量の積算値と、実際に土壤中に浸透した雨水の量との積算値を比較すると、無マルチ区は終始蒸発散位を下まわり、逆にマルチ処理区は多かった。播種1か月後、深さ50cmまでの有効水分量は無マルチ区で7.5mm、マルチ区で24.5mmでありマルチは土壤水分保持にきわめて効果的であった。

トウモロコシ程マルチ区と雑草マルチ区との間に効果の差は認められなかったが、ミニマムティレッジ区は雑草の発生が多く、収量は3.6t/haと劣った。

マルチ栽培の利点は雨水を効率良く土壤中に浸透することによって干ばつ被害の危険性を少なくすることにある。したがって、降雨の多い年にはマルチの効果が小さくなるなど年によって異なる。トウモロコシの収量に対するマルチと施肥の効果について10年間実施したデータによると、10年間の平均収量および年による変動係数は無マルチ・無施肥区1.8t/ha、53%、無マルチ・施肥区3.0t、52%、マルチ・無施肥区2.5t、52%、これらに対しマルチと施肥を併用した区は4.7t、23%と収量は高く安定していた。施肥だけの区（無マルチ）は収量が0.3tから5.3tと大きく変動し、3年に1度の割で収穫皆無に近い干ばつがあった。この区では播種後60日間の降雨量mm（X：範囲179-502）と収量t/ha（Y）との間に、

$$Y = 0.014X - 1.46$$

の相関性が $r = 0.830$ 、危険率 1% 有意水準で認められた。干ばつによって収量が皆無に近かった年の降雨量 (X) は約 200mm であった。降雨量の少ない年ほど無施肥区との収量差が小さくなることから、水不足が肥効を低下させていると考えられる。

このように施肥効果はその年の降雨条件に左右され、また、平均的には施肥によって収量は優るが、増収による販売収入の増加額と肥料費としての支出額とがほぼ同額であることが農民の施肥投資の意欲を少なくし、収量が低迷している原因であると考えられる。

マルチ処理による増収効果は、干ばつ被害の軽減の他に、土壤水分を保持することによって施肥養分の利用効率を上げるためと考えられる。降雨量の多い年ほど増収効果は認められず、播種後 45 日間に 433mm 降った 1978 年にはマルチ区 4.2t に対し無マルチ区 5.3t とマルチ区が 20% 劣った。多雨による施肥養分の流亡によるものと考えられる。しかし、タイ国のトウモロコシ地帯ではこのような年は希であり、収量も 4t 以上と高水準であり、マルチによる減収問題は少ないと考えられる。播種後 45 日間の降雨量 (X mm) とマルチによる増収効果 (Y t/ha = マルチ区の収量 - 無マルチ区の収量) との間には、

$$Y = -0.0134X + 4.82$$

の相関性が $r = -0.812$ 、危険率 1% の有意水準で認められた。

途上国における低収性の打破には多肥とマルチとの併用法が、その効果とコストの面から最も有効であると云える。しかし、実用化には、解決すべき、また、留意すべき問題、例えばマルチ資材の持込みにもなう雑草の種子や植物病原菌の侵入、マルチ資材を棲息場所とする有害、有毒小動物の増加、火災の発生、安価なマルチ資材の確保および施用法などの問題が残されている。

圃場残渣によるマルチ栽培法の有効性を明らかにしてきたが、マルチ資材の確保や施用に問題がのこされている。とくにマルチによる生産の向上と安定を必要とする瘠薄な灰色ポドソル性土の畑地帯では、圃場内外で生産されるバイオマスが少なくそれが圃場への有機物還元量を少なくして益々瘠薄化していると考えられる。これらのことを背景に、主作物として、初期の生育量が小さく、しかも水分ストレスに強いキャッサバを対象に、マルチ資材用の作物として生育期間が短く、バイオマスが多く、しかも現金収入が期待できるスイートコーンの導入の可能性について試験した。スイートコーンの混作によってキャッサバの収量は約 20% 減収した。形態的には生育初期に徒長し収穫指数：塊根 / (塊根 + 地上部) が低下した。しかし一般農家の栽培法に比べて施肥量が多く、収量は 2 倍程度であった。スイートコーンの茎葉によるマルチの効果は認められなかった。

キャッサバ収量、スイートコーン収量、肥料費の 3 項目で単純に経済評価をすると、生産物販売価格から肥料費を引いた純収益は ha 当り一般農家の場合は 7500baht、これに対し、本試験におけるキャッサバ単作栽培は 17000baht、キャッサバの生育初期にスイートコーンを混作した区は 27000baht で、そのうえに圃場に還元される作物残渣は 14~19 t/ha で一般農家の約 3 倍であった。この試験は従来の収奪粗放農業に比べ、施肥量を増加することによって収入の増加と地力の増強を図る集約農業の可能性についてのトライアルであり、一つの可能性を見い出したと云える。

熱帯における畑地帯の生産性は不適切な土壌および水管理などによって低く不安定である。このような地帯の生産性の向上と安定のためには雨水の有効利用、土壌侵食防止、有機資材や肥料の投入による肥沃度の向上が重要であり、対策としてはその地帯の農業環境条件に適合できる技術でなければならない。有機物資材によるマルチ栽培法はこれらの目的の達成に有効な手段である。

この研究はタイ国の畑地帯における低位生産性の原因の把握と問題点を明らかにし、それに基づく対策技術として従来圃場で焼却されていた作物残渣や雑草を用いたマルチ栽培法の有効性を明らかにしようとした。なお、本論文は、1980年から1984年まで熱帯農業研究センターがタイの農業局との共同研究として実施した「熱帯における生産力向上のための有機物管理法に関する研究」のうち著者が担当した土壌水分と侵食関係の研究結果を取りまとめたものである。

得られた成果を要約すると次の通りである。

1. タイ国の降雨分布について、特に作物栽培との関連

1) タイ国の主要畑地帯は明瞭な乾季と雨季がある。畑作物は雨季にあたる5月から10月の間に栽培されるが、作物の植付や生育初期にあたる雨季前半の降雨量は必ずしも十分とは云い難く、降雨量は年によって、また月によって大きく変動するので干ばつの危険性が高い。トウモロコシの長期栽培試験の結果2～3年に1度の割合で干ばつによって著しく減収した。

2) タイ国のコーンベルトの干ばつの発生頻度は降雨および土壌からの水分の供給量、降雨分布の変動、蒸発散位から計算すると約5年に1度の割合となった。ここで降雨量の13%が表面流去によって失われるとすれば水不足による低収年は3年に1度となり、24%流失すれば2年に1度の割合で出現することとなる。この程度の表面流去率は十分考えられるのでタイ国の畑作の低収性は降雨供給水量の絶対量の不足の他に表面流去による損失も大きい原因と考えられる。

2. 熱帯スコールの土壌侵食性およびタイ国とわが国の雨の土壌侵食性

1) 熱帯のスコールは、強度が大きいため多量の表面流去水とともに土壌を流亡させる。タイ国のほぼ平均的な規模のスコール（降雨量19mm、降雨時間52分、10分間最大強度7.5mm）について、降雨強度と雨滴の粒径分布の経時変化を計測した結果、降雨強度のピークは降雨経過時間の前半40%にあった。しかし、全降雨量の55%が降り始めからピークの間であり、しかも、その間に降雨の全エネルギーの3分の2が集中していた。したがって、土壌流亡は降り始め後間もなく発生すると推察した。

2) タイ国とわが国の雨の土壌侵食性について、一般土壌侵食予測式（USLE）の雨の因子であるR値で比較すると、わが国の大部分の地域が100から500の間にあるのに対し、タイ国の大部分は500から1000の間であり、侵食性は数倍大であった。

3) わが国で一般に用いられている侵食発生危険降雨である10分間最大降雨強度2mm以上または20mm以上の雨の出現頻度は、バンコクでは全降雨回数の3分の2にあたる67%、これ

に対しつくばでは約3分の1にあたる39%であった。

4) バンコクの雨の10分間最大降雨強度の平均値は7.3mm、一雨平均降雨量は15.4mmであったのに対し、つくばの雨はそれぞれ2.6mmと25.2mmで、タイ国の雨の土壤侵食性の大きい原因は降雨量が多いことより降雨強度が大きいことによると云える。これらのことから熱帯における土壤侵食防止対策は強雨から地表面を保護することが最も重要であると結論した。

3. タイ国の主要畑土壌の受食性と作物残渣や雑草マルチの土壤侵食防止効果

1) タイの主要な畑土壌である赤褐色ラテライト性土、非石灰質褐色土、灰色ポドソル性土は、同一人工降雨処理条件下における流亡試験において、わが国の花崗岩（瀬戸内）に由来するマサ土の3～8倍多く流亡した。

2) 流亡土量と土壌の分散率、透水性、粗孔隙率との相関性はいずれも危険率5%の有意水準で認められた。また、この三つの項目を用いた重相関係数は $r = 0.999$ 危険率1%の有意水準で認められ、これらの性質は受食性判定の有力な因子であるとともにこれらの性質の改善が侵食防止に有効であると考えた。

3) 赤褐色ラテライト性土と砂質灰色ポドソル性土はマルチ資材による被覆率が高いほど流亡土量が低い傾向にあった。これらの土壌は雨滴の衝撃によって地表面に透水性不良の土膜を形成しやすいためにマルチによる土膜形成防止効果が表面流去率と土壤流亡に影響したと考えられる。粘質灰色ポドソル性土は土層の透水性が低いために、マルチの有無にかかわらず多量の土壌および地表水が流亡した。

4) 現地枠試験の結果から、自然降雨条件下で斜面長50m、傾斜度5%、面積1haのトウモロコシ栽培圃場からの年間流亡土量は36.5tonと推定した。トウモロコシ稈や雑草マルチ、ミニマムティレッジ処理圃場からは4～5tonとなった。これらの値はタイ国土地開発局の土壤侵食基準によって評価すると、ModerateからマルチによってVery Slightに軽減されることとなった。

5) トウモロコシ栽培期間中に流亡した土量のうちの60～70%が生育初期（全期間の3分の1）に集中しており、この間の防止対策が重要であると考えた。

6) 土壤流亡の発生する降雨強度は裸地からは10分間強度として2mm以上、マルチ処理区では同4mm以上であった。

7) 傾斜度4%の砂質灰色ポドソル性土の裸地からの流亡土量は72.4t/ha/年と推定した。トウモロコシ稈や刈取雑草でマルチすることによって裸地の5分の1、クズ、シラトロ、自然雑草で地表を覆うことによって8分の1に減少した。

4. 土壌水分の保持、雨水の浸透および作物の生育、収量に対する作物残渣や雑草マルチの効果

1) 降雨後、トウモロコシや豆類の発芽可能な日数は、裸地状態では1～2日であったが、マルチすることによって2～3日間延長することができた。

2) 無マルチ区ではトウモロコシの生育初期、降雨量の55%、中期36%、後期に25%が表面流去した。これに対し、マルチ処理区では全生育期間を通じて10%以下（90%以上の雨が土壌中に浸透）であった。マルチ資材間に効果の差位は認められなかった。

3) マルチ処理区の土壤水分は高く保たれ、トウモロコシの収量は約 4.5 t / haであった。これに対し、無マルチ区は生育初期および中期にしばしば干ばつによって萎凋し、収量は 3.1 t / haであった。

4) 10年間にわたるトウモロコシの収量に対するマルチと施肥効果の試験の結果、マルチと施肥の併用区は平均4.7 ton / ha、cv:23%で収量は高く安定していた。これに対し無マルチ・施肥区は3.0 ton / ha、cv:53%と収量変動が大きく、3年に1度の割で収穫皆無に近い干ばつがあった。播種後60日間の降雨量 (X: mm、範囲179-502) と収量 (Y: t / ha) との間には

$$Y = 0.014 X - 1.64$$

の相関性が $r = 0.830$ 、危険率 1 % 有意水準で認められた。

マルチによる増収効果は干ばつ年に顕著であった。播種後45日間の降雨量 (X: mm、範囲128-433) とマルチによる増収効果 (Y: t / ha = マルチ区収量 - 無マルチ区収量) との間には、

$$Y = -0.0134 X + 4.82$$

の相関性が $r = -0.812$ 、危険率 1 % 有意水準で認められた。

5) 作物残渣や雑草など圃場残渣を利用するマルチ栽培法は低コストで生産の向上と安定にきわめて効果的でありタイ国天水畑地帯に適用できる技術であると結論した。

5. マルチ資材など有機物自給生産を目的とする主作物キャッサバとスイートコーン混作の可能性

1) キャッサバの生育初期にスイートコーンを混作導入することによってキャッサバの収量が約20%低下した。しかし、生産物販売価格 - 肥料費、は混作した場合、ha当り27000baht (≒1000US\$)、この試験におけるキャッサバ単作でも17000bahtであった。肥料を殆ど施用しない南東タイの農家事例では7500bahtであった。さらに農家事例の約3倍にあたるha当り乾物換算15tの作物残渣が生産され、土壤肥沃度増進やマルチの材料として利用されることになった。

2) この試験は集約栽培によって高収益を得るとともに多量に副産する有機物利用による土壤肥沃度の増進の可能性を示したものである。

引 用 文 献

- 1) アメリカ合衆国政府 (逸見謙造, 立花一雄監訳) : 西暦2000年の地球 2. 家の光協会, p.526, 東京 (1981)
- 2) 有田 裕: 熱帯畑土壌の肥沃度に関する研究 - 鉍物組成 - 。熱帯農研集報, 50, p. 32~35 (1985)
- 3) Baver, D.L., Gardner, W.H., and Gardner, W.R.: Soil Physics.(4th ed.) p.446, John Wiley and Sons, New York (1972)
- 4) Bhatia, K.S., and Shanker, H.: Erodibility of the Soils of Central Alluvial Tract of Utta Pradesh. Indian J. Agri. Sci., 51, p.244~252 (1981)
- 5) Borst, H.L., Woodburn, R. : Effect of Mulches and Surface Conditions on the Water Relations and Erosion of Muskingum Soils. U.S.Dept. Agr., Tech. Bull., No.825, p.1~16 (1952)
- 6) Bouyoucos, G.J.:The Clay Ratio as a Criterion of Susceptibility of Soil Erosion. J. Am. Soc. Agron.,27, p.738~741 (1935)
- 7) Center for Agricultural Statistics: Agricultural Statistics of Thailand, Crop Year 1985/86. p.1~258, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand (1986)
- 8) Department of Land Development: Soil Erosion in Thailand. Dept. of Land Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand, p.1~14 (1980)
- 9) Division of Agricultural Economics: Agricultural Statistics of Thailand, 1970. p.1~148, Ministry of Agriculture, Thailand (1972)
- 10) Division of Agricultural Economics: Agricultural Statistics of Thailand, Crop Year 1975/76. p.1~169, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand (1976)
- 11) Division of Agricultural Economics: Agricultural Statistics of Thailand, Crop Year 1980/81. p.1~205, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand (1982)
- 12) Division of Agriculture Economy: Report of Agriculture Economy, 1977/78. Department of Agriculture, Bangkok, Thailand (1978)
- 13) 土壤物理研究会: 土壌の物理性と植物生育. p.17~19, 養賢堂 (1979)
- 14) 土壤物理研究会: 土壌の物理性と植物生育. p.21, 養賢堂 (1979)
- 15) 土壤物理研究会: 土壌物理用語事典. p.142, 養賢堂 (1974)
- 16) 土壤物理性測定法委員会: 土壌物理性測定法. p.44, 養賢堂 (1972)
- 17) Eckholm, E.P. (石 弘之、水野憲一訳) : 地球レポート, 緑と人間の危機. 朝日新聞社, P.276, 東京 (1984)
- 18) Ellison, W.D.: Studies of Raindrop Erosion. Agr. Eng.,25, p.131~136 (1944)
- 19) Fisher, E.A.: Some Factors Affecting the Evaporation of Water from Soil. J. Agr. Sci., 13, p.121~143 (1923)

- 20) Greenland, D.J. :The Magnitude and Importance of the Problem. In: Greenland, D.J., and Lal, R. Soil Conservation and Management in the Humid Tropics, p.3 ~7, John Wiley and Sons, New York (1977)
- 21) Gunn, R., and Kinzer,G.D. : Terminal Velocity of Water Droplets in Stagnant Air. J. Meteorology, 6, p.243~248 (1949)
- 22) Hosoyamada, K. : On Erosion by Rainfall at Bare Sloping Field Composed of Kuroboku Soil -Studies on the Estimation of Erosive Soil Loss(I)-. Trans. Japanese Soc. Irr. Drain. Recl. Eng., 91, p.8~14 (1981)
- 23) 細山田 健三, 藤原 輝男: 侵食流亡土量の予測に関するUSLEの適用について (I) -USLE適用の背景及び降雨係数-. 農土誌, 52, p.43~49 (1984)
- 24) 細山田 健三, 種田 行男: 黒ボクの裸地斜面からの侵食土量の推定に関する研究 (第1報), 第15回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, p.424~427 (1987)
- 25) Hudson, N.: Soil Conservation. Cornell Univ. Press, p.65~66 New York (1971)
- 26) Hudson, N.: Soil Conservation. 2nd. ed.. Cornell Univ. Press, New York, p. 320 (1973)
- 27) Hudson, N.W. : The Factor Determining the Extent of Soil Erosion. In : Greenland, D.J., and Lal, R., (eds), 1977, Soil Conservation and Management in the Humid Tropics. John Wiley and Sons, New York, p.11~ 16 (1977)
- 28) 一戸 貞光: 土壌侵食に関する研究. 東北農試報, 8, p. 1~39 (1956)
- 29) 一戸 貞光: 作物と土壌侵蝕との相互関係、特に作物の防蝕性に関する研究. 北農試報, 67, p. 1~87 (1964)
- 30) 井田 明: 農耕地の土壌水食と対策-とくに四国傾斜畑について-, 農及園. 62, p. 30~36 (1987)
- 31) Igarashi, T., Vibulsukh, N., Chairaj, P., Phetchawee, S., Cholitkul, W., and Ishida, H. : Behavior of Nutrient in Upland Soils and Effect of Mulching on Soil Fertility and Growth of Upland Crops in Thailand. A Report of Joint-research Work on " Studies on Soil Fertility in Tropical Upland Farming " Under the Cooperative Research Work Program between Thailand and Japan, Tropical Agriculture Research Center, Japan and Department of Agriculture, Thailand, p.1~56 (1980)
- 32) 石 弘之: 蝕まれる森林. 朝日新聞社, P.225, 東京 (1985)
- 33) 伊藤 健次, 松岡 匡一, 川上 剛志: 傾斜地の土壌保全的作付体系に関する研究 第2報. 四国農試報, 3, p.21~43 (1957)
- 34) JICA: Water Management Test, a Study on the Effects of Intensive Irrigation on the Tasseling and Pollination Period of Maize. the Report for the Technical Co-operation Project on Maige Development in Thailand 1977-1984, JICA Japan p.57~65 (1984)
- 35) 川井 一之: 瀬戸内海地帯における傾斜地農業の研究. 広島県農業試験場, p.69 (1960)
- 36) 川尻 美智子, 美園 繁: 土壌の水分供給速度に関する研究 (第1報). 土肥誌,

- 34, p.283~286 (1963)
- 37) 川村 秋男：瀬戸内鉾質土壌の侵食性とその保全に関する研究. 四国農業の 新技術, 3, p.113~230 (1966)
- 38) Kosaka, J., Honda, C., and Iseki, A.: A New Rapid and Accurate Method for the Determination of Carbon in Soils. *Soil and Plant Food*, 5, p.77~83(1959)
- 39) 久保田 徹：熱帯畑土壌の肥沃度に関する研究—タイ国の畑土壌水分系の実態と土壌管理による改善—。熱帯農研集報, 50, p.36~63 (1985)
- 40) 国吉 清：土壌侵食（水食）の要因解析，とくに沖縄土壌の受食性について。沖縄県農試報12号, p.53~64 (1987)
- 41) Lal, R.: Analysis of Factors Affecting Rainfall Erosivity and Soil Erodibility. *Soil Conservation and Management in Humid Tropics*, p.49~56, John Wiley and Sons, New York (1977)
- 42) Laws, J.O.: Measurements of Fall-velocity of Water-drops and Raindrops. *Trans. Am. Geophy. Union*, 22, p.709~721 (1941)
- 43) Laws, J.O., and Parsons, D.A.: The Relation of Raindrop-size to Intensity. *Trans. Am. Geophy. Union*, 24, p.252~259 (1943)
- 44) Lyle, W.M., and Smerdon, E.T.: Relation of Compaction and Other Soil Properties to Erosion Resistance of Soils. *Trans, Am. Soc. Agr. Eng.*, 8, p.419~422 (1965)
- 45) 松岡 匡一, 川上 剛志：作物の種類と土壌侵食との関係についての研究. 四国農試報, 1, p.18~22 (1953)
- 46) McCormack, D.E. and Young, K.K.: Technical and Societal Implications of Soil Loss Tolerance. In: Morgan, R.P.C.(ed), 1981, *Soil Conservation*, p.365~376, John Wiley and Sons, New York (1981)
- 47) Meyer, L.D., and McCune, D.L.: Rainfall Simulator Runoff Plots. *Agri. Engin.* 39, p.644~648 (1958)
- 48) Meyer, L.D.: Use of the Rainulator for Runoff Research. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24, p.319~322 (1960)
- 49) Meyer, L.D.: Simulation of Rainfall for Soil Erosion Research. *Trans. Am. Soc. Agr. Eng.*, 8, p.63~65 (1963)
- 50) Middleton, H.E.: Properties of Soils Which Influence Soil Erosion. *Tech. Bull. No.178*, p16, U.S.Dept. Agr., Washington, D.C., (1930)
- 51) 三原 義秋：雨滴と土壌侵食。農技研報. A1, p.1~89 (1951)
- 52) 美園 繁：土壌水分供給速度に関する研究（第2報）。土肥誌, 34, p.349~353 (1963)
- 53) Moldenhauer, W.C., and Foster, G.R.: Empirical Studies of Soil Conservation Techniques and Design Procedures. In: Morgan, R.P.C.(ed), 1981, *Soil Conservation*, p.14~29, John Wiley and Sons, New York (1981)
- 54) Moorman, F.R., and Rojansoonthon, S : The Soils of the Kingdom of Thailand. Div. of Soil Survey, Dept. of Land Development Thailand and FAO, Report SSR-

- 72A, p.1~59, Bangkok (1972)
- 55) 本村 悟: 水食発生予察図の作成. ベドロジスト, 23, p.2~10 (1979)
 - 56) Nagahori, K., Takahashi, T., Mongkolsawat, C., and Losirikul, M.: Runoff and Soil Loss in the First Year After Clearing and Burning-Field Studies on Erosion Control in Shifting Cultivation and Its Sustained Upland Farming in the Monsoon Tropics in Northeast Thailand(1). Trans. Japanese Soc. Irr. Drain. Recl. Eng., 111, p.43~53 (1984)
 - 57) 仲谷 紀男: 有機物が関与する土壤の水分特性について-とくに, 土壤有機物の存在様式と滲水性を中心にして-. 農技研報, B32, 1~74 (1981)
 - 58) Neal, J.H., and Bayer, L.D.: Measuring the Impact of Raindrops. J. Am. Soc. Agron., 29, 708~709 (1937)
 - 59) Neal, J.H.: The Effect of the Degree of Slope and Rainfall Characteristics on Runoff and Soil Erosion. Missouri Agr. Expt. Sta. Research Bull., p.280 (1938)
 - 60) 熱帯農業研究センター: 熱帯畑土壤の肥沃度に関する研究. 熱研集報, 50, p.1~119 (1985)
 - 61) 西潟 高一: 北海道における土壤侵蝕発現基盤とその防止に関する研究. 北農試報, 62, p.1~194 (1963)
 - 62) 日本農業気象学会関東支部: 農業気象の測器と測定法. p.254, 農業技術協会, 東京 (1983)
 - 63) 農学大事典編集委員会: 農学大事典. 第2次増訂改版, p.856, 養賢堂 (1987)
 - 64) 農学大事典編集委員会: 農学大事典. 第2次増訂改版, p.903~904, 養賢堂 (1987)
 - 65) 農林水産省農蚕園芸局農産課: 我が国の耕地における水蝕と風蝕-地力変動調査. 農林水産省, p.1~237 (1979)
 - 66) Ohba, K., and Ponsana, P.: Evapotranspiration in the Northeast District of Thailand as Estimated by Morton Method. 農業気象 42(4), p.329~336 (1987)
 - 67) Panabokke, C.R.: Agrp-Ecological Zones of Southeast Asia. FAO, Bangkok(1982)
 - 68) Pearse, J.F., Oliver, T.R., and Newitt, D.M.: The Mechanism of the Drying of Soild Part I. The Forces Giving Rise to Movement of Water in Granular Beds During Drying. Trans. Inst. Chem. Eng.(London)27, p.1~8 (1935)
 - 69) Richards, L.A., and Weaver, L.R.: Moisture Retention by Some Irrigated Soil as Related to Soil Moisture Tension. J. Agr. Res.,69, p.215~235 (1944)
 - 70) Ritchie, G.A., and Hinckley, T.M.: The Pressure Chamber as an Instrument for Ecological Research. Advance in Ecological Research, 9, p.165~254 (1975)
 - 71) Romkens, M. J. M., Roth, C. B., and Nelson, D. W.: Erodibility of Selected Clay Subsoil in Relation to Physical and Chemical Properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 41, p.954~960 (1977)
 - 72) Schofield, P.K.: The pF of the Water in Soil. Trans. 3rd Intern, Congr. Soil Sci., 1, p.6~10(1935)
 - 73) 新編農業気象ハンドブック編集委員会: 新編農業気象ハンドブック. P.23, 養賢堂

(1973)

- 74) 植物栄養土壤肥料大事典編集委員会：植物栄養土壤肥料大事典，P.813～816，養賢堂（1976）
- 75) Seino, H.: Introduction of Agro-climatological Technique to Estimate Soil Water Content in Northeast Thailand. JICA, ADRC Report of Short Term Expert No.8, p.1～14 (1986)
- 76) Sittibusaya, C., and Kurmarohita, K.: Soil Fertility and Fertilization for Cassava. Paper Presented at the Workshop on "Cassava Production and Utilization, p.10～12 May 1978, Khon Kaen, Thailand (1978)
- 77) Sūwanwaong, S., and Chandrangse, V.: Major Landforms and Agroclimate of Thailand. p.1～8, Dept. of Agriculture, Thailand (1982)
- 78) 田熊 勝利：土の侵食性を規定する土壤因子。農地保全の研究，6，p.15～25(1985)
- 79) タイ国経済概況編集委員：1980～81年版タイ国経済概況。p.143，バンコク日本人商工会議所，バンコク（1980）
- 80) Takahashi, T., Nagahori, K., Mongkolsawat, C., and Losirikul, M.: Discussion on Soil Conservation Practices for Establishing Sustained Upland Farming—Field Studies on Erosion Control in Shifting Cultivation and Its Sustained Upland Farming in the Monsoon Tropics in Northeast Thailand(II). Trans. Japanese Soc. Irr. Drain. Recl. Eng., 111, p.55～62 (1984)
- 81) 種田 行男：農地の土壤侵食量の予測、農土論集，56，p.8～12（1975）
- 82) 種田 行男：降雨侵食の可能性を示す降雨係数の算定。農土論集，65，p.15～19（1976）
- 83) 種田 行男：農地の侵食—その現状と保全対策—。農及園，57，p.1093～1098(1982)
- 84) 谷山 一郎，石原 暁，前田 乾一：赤外線写真による植被率測定法。土肥誌，57，p.179～180（1986）
- 85) 徳留 昭一：四国地方傾斜耕地における主要土壤の受食性と土壤侵食（水食）発生予察法に関する研究。四国農試報，50，p.1～148（1988）
- 86) 内田 勝利：土の侵食性と物理的性質。土壤の物理性，39，p.50～56(1979)
- 87) Ueno, Y., Billamas, K., and Piyasirananda, T.: A Property of Tropical Rain Shower. JARQ, 17, p.145～147 (1983)
- 88) 上野 義視, Piyasirananda, T., Billamas, K., and Piyapongse, P.: タイ国における畑作物生産安定のための有機物管理法—雨水の侵入とトウモロコシの生育収量に対するマルチの効果—。土肥要旨集，30，p.5（1984）
- 89) 上野 義視, Piyasirananda, T., Billamas, K., and Piyapongse, P.: タイ国における畑作物生産安定のための有機物管理法—作物残渣、雑草等のマルチによる土壤侵食防止効果—。土肥要旨集，32，p.5（1986）
- 90) Ueno, Y., Piyasirananda, T., Billamas, K., and Piyapongse, P.: Effect of Mulches on Soil and Water Conservation for Crop Cultivation in Thailand. In Inter. Conf. on Steepland Agriculture in the Humid Tropics, Souvenir Programme (Extended Summary) p.55, August 17-21, 1987, Kuala Lumpur, Malaysia (1987)

- 91) van den Eelaart, A.L.J.: Climate and Crops in Thailand. Div. of Soil Survey, Dept. of Land Deveropment Thailand and FAO, Report SSR-72A, p.1~23, Bangkok (1972)
- 92) Webster, C.C. and Wilson, P.N.: Agriculture in the Tropics. p.12~17, Longmans, Green and Co LTD, London (1966)
- 93) Wischmeier, W.H., and Smith, D.D.: Rainfall Energy and its Relationship to Soil Loss. Trans. Am. Geophys. Union, 39, p.285~291(1958)
- 94) Wischmeier, W.H. and Smith, D.D.: Predicting Ranfall-Erosion Losses. Agr. Handbook, No.537, U.S.Dept.Agr., Washington, D.C., P.47 (1965)
- 95) Wischmeie, W.H., Johnson, C. B., and Cross, B. V. : A Soil Erodibility Nomo-graph for Farm Land and Construction Sites. J. Soil Water Cons., 26, 189~193 (1971)
- 96) Yamamoto, T., and Anderson, H.W.: Splash Erosion Related to Soil Erodibility Index and Other Forest Soil Properies in Hawaii. Water Resou. Res., 9, p.336~345 (1973)
- 97) Yoshida, H., Limsila, A., Katong, S., Thongglum, A., Tiraporn,C., and Sinthuprama, S.: Study on the Methods of Cultivation of Early-maturing Cassava Varieties in Thailand, Under Cooperative Program Joint Research Work between Thailand and Japan. Tropical Agriculture Research Center, Japan and Department of Agricultrre, Thailand, p.1-149 (1986)
- 98) 吉野 正敏: 気候学. p.38~39, 大明堂 (1987)
- 99) 吉野 昭夫, 上野 義視, Nilnond, C., and Piyapongse, P.: タイ国畑土壌における土壌侵食について, 土肥要旨集, 29, p.2 (1983)
- 100) Young, R.A.: Interpretation of Rainfall Simulator Data. Proceedings of the Rainfall Simulator Workshop, March 7~9, 1979, Tucson, Arizona, p.108~112 (1979)
- 101) Zingg, A.W., and Whitfield, C.J.: A Summary of Research Experience with Stubblemulch Farming in the Western States. Tech. Bull. 1166, U. S. Dept. Agr., Washington, D.C.(1959)

Effect of Organic Mulches on Soil and Water Conservation for Crop Cultivation in the Tropical Upland Fields

Summary

Productivity of tropical upland fields is low and fluctuates due to inadequate management and insufficient emphasis on soil and water conservation. Prevention of soil loss, effective use of rain water and improvement of productivity by using organic matter are important for the stabilization of upland crop production, and mulching practice with organic materials is one of the most effective methods to achieve these objectives.

The study was conducted in order to evaluate the effect of mulching practices on the control of erosion, soil moisture regime and crop growth, and the possibility of applying unutilized organic materials which are easily available in fields, such as crop residues and weeds as mulching materials. In this experiment, cornstalk, weeds and weed stubbles killed by herbicide, which are available in sufficient amounts in upland fields and which are usually burned before the plowing operation to prepare the seedbeds were used as mulching materials.

1. In this chapter, water balance and rainfall reliability are discussed in order to analyse the general characteristics of water supply to crops in rainfed upland farming in Thailand.

1) A large part of Thailand has a climate characterized by a distinct rainy and dry season and the average annual rainfall ranges from 1100 to 1500 mm. More than 80 % of the rain falls in the rainy season from May through October, and most of the upland crops are cultivated during this season. The pattern of rainfall is close to that of the potential evapotranspiration. Therefore annual upland crops are likely to suffer from moisture stress if the dry spells are prolonged during the cultivation period and a large amount of rain water is lost by runoff. According to the result obtained from this study, corn plant in corn belt in Thailand suffered from drought one year in two or three.

2) Drought in the corn belt occurring at a frequency of one every five years was estimated based on the amount of rainfall, potential evapotranspiration and the fluctuation of rainfall. If 13% of the water of the total rainfall is lost by runoff during the two month period following corn seeding, drought frequency occurs one every three years and one every two years if 24% of the water is lost by runoff. Based on the results obtained from this study corn plants cultivated in the corn belt in Thailand experience drought one every two or three years. Therefore it is considered that the loss of water by runoff is one of the major reason of the low productivity of upland in Thailand, and the effective use of rain water is the most important factor for the stabilization of upland crop

production in the rainfed area.

2. In this chapter, the amount of rainfall, rain intensity, sizes of raindrops and velocity of falling raindrops were analyzed in order to determine the erosivity caused by rain in Thailand.

1) Rainfall in the tropics is characterized by convective thunderstorms with high intensity, large size of rain drops and high energy. As a result even limited precipitation induces soil erosion. During one of the typical rain shower (rainfall: 19 mm, duration: 52 min, maximum intensity: 7.5 mm/10 min) in Bangkok Thailand, the peak of intensity was observed in the initial 40 % of the total rainfall period, corresponding to 55 % of the total amount of rainfall and 67 % of the total rainfall energy. Therefore runoff is likely to take place in early period of rainfall.

2) The R-value of the erosivity index of the "Universal Soil Loss Equation" ranges from 500 to 1000 in the central and northeastern parts of Thailand, compared with 100 and 500 in most of Japan.

3) A rainfall intensity of more than 2 mm/10min and an amount of rain of more than 20 mm had often been adopted as the threshold of erosive rain in Japan, and the term "Critical rain" is often used. Such value of "Critical rain" are observed in 67 % of total rainfall frequency in Bangkok Thailand, whereas in 39% in Tsukuba Japan.

4) Average precipitation and maximum intensity in ten minutes in Bangkok were 15.4 mm and 7.3 mm respectively, whereas the corresponding values in Tsukuba were 25.2 mm and 2.6 mm, respectively. Therefore such a intensity is considered to be responsible for the high erosivity of rainfall in Thailand.

5) Results of the investigation in this chapter suggest that the soil surface should be protected from the impact of heavy rain intensity for the control of erosion in the tropics.

3. Experiments were carried out to evaluate the erodibility of some typical upland soils in Thailand and to analyse the soil physical properties relating to soil loss in order to determine the effect of mulches of crop residues or weeds on the reduction of soil loss.

1) The amount of soil loss in upland soils, such as Reddish brown lateritic soils, Noncalcic brown soils and Gray podzolic soils was three to eight times as large as that of the "Masa" soil in Japan which is derived from granite and is characterized by a relatively high erodibility.

2) There was a significant correlation between the soil loss and the dispersion ratio, permeability and macro pore ratio of the soils. A multiple regression analysis was carried out between these three soil properties and the soil loss, and the correlation coefficient was found to be 0.999 with 1 % probability error.

3) The Reddish brown lateritic soils and sandy Gray podzolic soils readily developed on impermeability crust by the impact of raindrops on the unmulched surface of the soils.

Therefore runoff and soil loss tended to decrease in proportion to the increase of the covering of the soil surface by mulching materials. On the other hand soil loss and runoff were pronounced on clayey Gray podzolic soils regardless of mulching practices due to the low permeability of the soil (3×10^{-6} cm/sec).

4) In a 50 m long field with 5% slope belonging to Reddish brown lateritic soils, soil loss amounted to 98 ton/ha/year when the soil surface was bare and 36.5 ton when the field was planted to corn without mulch treatment. On the other hand soil loss amounted to only 5 ton for a corn field to which 5 ton/ha of cornstalk mulch or weed mulch or weed stubble mulch with minimum tillage had been applied.

Based on the classification of erosion in the Department of Land Development, Thailand a corn field without mulch treatment as in farmers' practice falls in the category of "Moderate" erosion, but "Very slight" when mulch treatment is applied.

5) In the early growth stage of corn, 30 days after seeding, 15 ton/ha of soil (i.e. more than 40 % of soil loss in total) was lost in the corn field without mulch treatment. The loss was ascribed to the fact that the soil was loose and plant coverage scarce. Therefore the soil loss gradually decreased as corn growth proceeded. Consequently erosion control is most important at the early growth stage.

6) Soil loss from the bare field occurred when the maximum rainfall intensity exceeded 2 mm/10 min, whereas 4 mm/10 min for a field with mulch treatment.

7) In a 50 m long field with a 4 % slope belonging to sandy Gray podzolic soils, soil loss amounted to 72.4 ton/ha/year when the soil surface was bare and 15 ton when the field was subjected to cornstalk or weed mulch treatment. The loss amounted to 7 - 13 ton for the field which was covered with Kudzu (*Pueraria lobata* Ohwi) or Siratro (*Macroptilium atropurpureum* Urb.) or natural grasses.

4. The experiments were conducted in order to evaluate the effect of mulch practices on the stabilization of crop production and the possibility of applying crop residues and weeds as mulching materials.

1) Germination of corn was only possible one or two days after the application of water in a field with a bare soil surface, whereas three or four days for a field to which 5 ton/ha cornstalk mulch or weed mulch had been applied.

2) Runoff from a corn field (5 % slope) without mulch treatment accounted for 55, 36 and 25 % of the rainfall in the early, middle and late stages of corn growth, respectively, but less than 10 % throughout the corn growing period in a field with mulch treatment.

3) Soil moisture in the mulched corn field was maintained at a high level throughout the period of corn growth and about 4.5 ton/ha of corn grain was obtained, whereas the corn crop in the field without mulch treatment experienced drought in the early and middle growth stages, and the yield was 3.1 ton/ha.

4) The use of crop residues as mulching with fertilizer application was effective in maintaining a high level of corn

yield throughout a ten year period and the average yield was 4.7 ton/ha.

5) When the mulch practice was omitted, the corn yield fluctuated year by year in a range of 0.3 - 5.3 ton/ha, which depended on the rainfall pattern. Serious injury by water shortage occurred four times in the ten year period.

6) The relation between yield and precipitation was expressed by the following equation,

$$Y = 0.014 X - 1.64$$

Y:yield of corn ton/ha, X:precipitation mm (range:179-502mm) during 60 days after seeding, $r=0.830$ with 1 % of probability error. As a result the beneficial effect of fertilizer application on corn yield was recognized in years with a relatively adequate amount of rain water. On the contrary, the effect of the mulch treatment was recognized clearly in years of drought, the relation between yield and precipitation being

$$Y = - 0.0134 X + 4.82$$

Y:yield ton/ha = mulch - no mulch, X:precipitation mm during 45 days after seeding, and the coefficient of correlation was -0.812 with 1 % of probability error.

7) The mulching practice which is a low input technology could be readily adopted by the farmers for the stabilization of corn production in the rainfed areas of Thailand.

5. A trial was made to evaluate the possibility to develop an intensive cropping system of cassava and sweet corn in a Gray podzolic soil field, so as to utilize the cornstalk residues as mulching materials for cassava. The crop were also incorporated into the field for improving the soil fertility.

In a cropping system in which sweet corn was introduced at the initial stage of cassava growth, the yield of cassava roots was 20 % lower than that in the case of cassava monocropping. However the net income which expressed as the difference between the farm gross income(cassava root + corn grain income) and the cost of fertilizer amounted to 25000 baht(about 1000 US\$)/ha for the cropping system described above, 17000 baht for the cassava monocropping in this experiment, and 7500 baht for the farmers' practice of cassava monocropping in the southeastern part of Thailand. In addition, about 15 ton/ha of crop residues(dry basis) were produced and incorporated into the field(about three times the amount produced in the case of farmer's practice), which may contribute to the increase of the soil fertility of the field. The author concluded that the use of organic materials as mulches may enable to increase the productivity of soils with a low fertility and improve farmers' income.

熱 研 資 料

- No.40. スリランカにおける水稲栽培の農業気象的研究
41. 東南アジアにおける雑草問題の現状と今後
 42. ばれいしょ遺伝資源の探索、導入、保存と育種利用に関する調査報告書
 43. The Brown Planthopper in India and Sri Lanka
 44. ブラジルにおける大豆栽培の調査報告書 研究報告書
 45. Field Observations and Laboratory Analyses of Paddy Soils in Thailand
 46. フィリピンのマメ類、とくに Mungbean の生産・研究事情調査報告書
 47. Proceeding of SABRAO Workshop on Animal Genetic Resources in Asia Oceania
 48. Field Observations and Laboratory Analyses of Upland Soils in Thailand
 49. タイ国における Land Consolidation について
 50. セラードシンポジウムIV抄訳
 51. マレーシアムダカンがい計画地域における水稲二期作経営の実態
 52. ブラジルサンパウロおよびパラナ州の土壌と農業調査報告書
 53. スーダンの農業と農業研究
 54. インドネシアにおける作付方式と土壌肥沃度に関する調査報告書
 55. 中国の熱帯農業と農業研究
 56. スリランカにおける牛肉生産の現状と問題
 57. タイ、インドネシアにおける地下作物の栽培様式の品種特性調査報告書
 58. アフリカからの新作物探索導入調査報告書
 59. 中南米の地下作物探索導入調査報告書
 60. 南米における有用マメ科植物の探索導入と試験研究状況調査報告書
 61. フィリピンにおける地下作物の栽培様式と品種特性に関する調査報告書
 62. アマゾン地域の自然 一気候及び土壌を中心として一
 63. スリランカ・ドライゾーンにおける水田用水量に関する研究
 64. パプアニューギニア、ソロモン、フィジーにおける農業事情と地下作物
 65. アマゾニアの農業開発
 66. Genetic Information in Rice
 67. 西マレーシア及びタイにおける熱帯特用作物の実態調査報告（研究技術情報No.1）
 68. 乾燥地農業の研究事情調査報告書（研究技術情報No.2）—シリア・パキスタン・インド—
 69. 乾燥地農業の研究事情調査報告書（研究技術情報No.3）—オランダ・エジプト・ケニア、シリア・エチオピア—
 70. マレーシア・ムダ地区における水稲二期作の水収支と水田基盤整備に関する研究
 71. 乾燥地農業の研究事情調査報告書（研究技術情報No.4）—エジプト・イスラエル—
 72. 乾燥地農業の研究事情調査報告書（研究技術情報No.5）—オーストラリア—
 73. インドネシアにおける特用作物の生産並びに研究動向調査報告（研究技術情報No.6）
 74. ブラジル熱帯畑土壌の肥沃度特性と土壌管理法
 75. アブラヤシのイラガ類の形態ならびに生態に関する研究
 76. 東アフリカの農業及び農業研究調査（研究技術情報No.7）—イタリア・エチオピア・スーダン・フランス—
 77. ラテンアメリカにおける自然条件と農業類型の関連（研究技術情報No.8）
 78. 亜熱帯高温期に適応する有望野菜の選定

平成 2 年 10 月 1 日 発行

編集発行 農林水産省熱帯農業研究センター

〒305 茨城県つくば市大わし 1-2
TEL (0298) 38-6340
