

土壌の物理性

第 63 号

1991年8月

巻頭言.....長堀 金造... 1

報 文

東北タイ砂質土壌における浅層地下水の挙動とキャッサバ湿害の関係.....谷山 一郎・三浦 憲蔵... 3

インドの半乾燥熱帯地域の土壌の物理性と作物生産.....有原 丈二・阿江 教治・岡田 謙介...13

沖縄島北部赤黄色土の土壌侵食の評価と対策.....翁長 謙良・呉屋 昭・松村 輝久...19

ニジェール河流域の砂漠化防止
—— その可能性と農用地整備公団のとりくみ ——.....村山 忠一...35

熱帯低湿地開発の諸問題.....久馬 一剛...43

東北タイにおける森林破壊による土壌の塩類化と
植林による防止対策.....三浦 憲蔵・タルサック サブハラサム...51

総合討論

第32回シンポジウム「熱帯における持続的土地利用をめぐる土壌物理的諸問題」より.....60

土 粒 子

モンモリロナイトに端・面結合は存在するか.....赤江 剛夫...64

書 評

土の物質移動学.....千家 正照...67

会務報告.....72

編集後記

土 壌 物 理 研 究 会

土 壌 の 物 理 性 Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn.
--



土壌物理研究会第33回シンポジウムのお知らせ

土壌中における非保存性物質の動態と 土 壌 物 理 性

大気組成の変化にともなう地球温暖化問題、生態システムの形成問題、環境の富栄養化問題、窒素固定や脱窒の機構、鉱山廃水処理さらにはヘドロ処理問題などで、今日的課題としてあらためて土壌の役割が問われています。このような中で、ガス拡散、水分含有状態、酸化還元電位やpH、土壌微生物の種類と活動などの土壌の化学性や物理性と密接な関連を持ち、今後ますます重要な研究課題になると予想される、非保存性物質の生成と移動（ガス生成と拡散）ならびにその制御に関連して、土壌科学の分野でのこれまでの研究蓄積、最近のトピックス、個別研究などを材料にして、新しい視点からの研究レビューを報告いただき、今後の土壌物理研究の展開方向について論議することを目的として、シンポジウムを開催したいと思います。

なお、次回第34回のシンポジウムでは、塩類集積や重金属の移動集積と深く関わる、保存性の物質の問題を取り上げる予定です。

と き：平成3年11月6日（水） 10：00～17：00

ところ：岡山大学大学院自然科学研究科大会議室

（岡山大学北キャンパス、岡山駅から17番バス岡大東門下車、所要時間約20分）

〔特別講演〕 大気中でのガス輸送とその計測………大滝英治 岡山大学教授

〔話題提供〕 以下の4課題の報告を予定しております。

1. 炭素の挙動
2. 窒素の挙動
3. 硫黄の挙動
4. 有機物の腐植化

〔コメント〕 2名のコメントーターを予定しております。

〔総合討論〕

なお、昼食後に1991年度の総会を予定しております。

主催：土壌物理研究会（岡山大学農学部農地整備学研究室内）

岡山市津島中1-1-1 TEL 0862-52-1111 (752)



巻 頭 言

砂 層 の 物 理

長 堀 金 造

「砂地畑に水が溜り湿害が発生するので暗渠を布設して欲しい」、(土壌の分析結果は?)、「土性は砂土、透水性は大きい」、(そのような所へ何故暗渠を施工する必要があるのですか?)

以上は中海干拓弓浜地区の作物営農試験場担当者と筆者との会話である。

透水性の良い、砂土に暗渠を施工することなど土壌物理の常識からすれば納得し難いことだったからである。

ところが、実際、現地の砂土畑で降雨後の排水性を調べたところ確かに地下水位の低下は遅く、暗渠を布設している区は明らかに地下水位低下も早く湿害は見られなかった。

当初、営農試験圃では土壌の物理測定の結果、土性は砂土、透水性は $10^{-2}\sim 10^{-3}$ cm/sec オーダーであるから当然降雨後の迅速な地下水位の低下を期待していたのに地下水位は下がらず湿害が発生した。このような状況では今後の営農に大きな支障を来すことは明らかである。

しかし、事業所としては砂地圃場の排水が悪いことはわかっていても土壌物理の分析結果をみる限りでは暗渠を施工する理由にはならないのでその原因を明らかにしないと事業として実施するわけにはいかないことも当然である。

そこで排水不良の原因を探るために、試験圃場を設定し、暗渠を施工した区としない区を設け、暗渠施工の有無による地下水位の影響(排水性)を判定するために地下水位測定パイプを埋設した。

試験圃場の土壌について改めて分析した結果、粒径分布は平均値で $2.0\sim 0.02$ mmの砂分が92~95%、 $0.02\sim 0.002$ mmのシルト分が3~6%、 0.002 mm以下の粘土分が1~3%で土性は明らかに砂土と判別された。

調査結果からみると、暗渠区は排水良好で、無暗渠区は降雨によって急速に地下水位が地表面近くまで上昇し、その後の地下水面の低下は極めて遅く、排水不良で暗渠の必要なことが明らかとなった。

それらの原因を究明するため、試験圃場の土層を丹念に調査した結果、シルト分と粘土分の合計が12~15%に達する薄い層がサンドイッチ状に何層も存在することがわかり、部分的には薄い粘土質ロームに分類される層も存在することがわかった。

このような状況は、型通りの土壌物理試験の調査では見い出せない現象であった。

そこで、このような砂層の中に難透水性の薄いシルト層がどのようにして形成されたかを検討してみることにした。

この弓浜地区は、中海の海底砂を竣漂船で吐き出して造成した地区である。そのため、竣漂砂土に含まれているシルト分も大量の水と共に泥砂水として吐き出されたため工事終了のたびごとに水中での振るい分け作用によって先ず、砂が沈澱し、その上にシルトや粘土分が沈積して薄層を造る。翌日また、その上に土砂が吐き出されて同様な状態となり、最終的には幾重もの薄い難透水性のものを挟む砂土層が造成されることになったものと考えられた。

このような理由から弓浜地区には砂土ではあるが暗渠を布設することが決まり20 mの間隔で暗渠が埋設され、営農に支障のない畑地として整備されたのである。

以上は単純な砂の土層で物理測定値には把握されない微量な薄層が排水性を大きく規制する因子としての物理性を示した事例であるといえる。

* 岡山大学農学部

〒700 岡山市津島中1-1-1

東北タイ砂質土壌における 浅層地下水の挙動とキャッサバ湿害の関係

谷 山 一 郎*・三 浦 憲 蔵**

Shallow Groundwater Movement in Sandy Texture Field and
its Effect on Cassava Root Growth in Northeast Thailand

Ichiro TANIYAMA* and Kenzo MIURA**

*National Agriculture Research Center

**Tropical Agriculture Research Center

1. はじめに

タイ東北部に分布する砂質土壌は、砂岩またはシルト岩の風化物中の粘土分が選択的に流出し、砂面分が多く残った土壌である¹⁾。そのため、土壌有機物は1%以下、陽イオン交換容量は3 me/100 g程度と、肥沃度が著しく低い問題土壌として知られている²⁾。さらに、この地域には明瞭な雨季と乾季があり、湿害、干害、塩害および土壌侵食など、土壌水分の動きに起因する障害が多くみられる³⁾。その中で、東北タイにおける主要畑作物であるキャッサバは湿害を受けやすく、1日でも冠水すると、根が腐り、商品価値を失う(Photo 1)。キャッサバ湿害は、世界的にみると重粘な排水不良地での発生が主で、東北タイのような砂質土壌での報告例は少ない⁴⁾。



Photo 1 Wet injury symptom of cassava roots.

この地域は地形的には緩波状をなす台地であるが、キャッサバ湿害の発生状況を詳細に調査すると、地形や土壌断面形態と密接な関係があることが判明した⁵⁾。そこ

で、湿害対策を確立するため、発生場所における土壌水分移動の実態とその要因を明らかにしようとして、研究をおこなった。

2. 実験方法

調査は1988年と89年の8月から12月の雨季の後期から乾季の初期にかけておこなった。なお、以下の水分動態の結果は、特に断りがない限り1989年の調査データに基づいている。調査地点は東北タイ、Khon Kaen市から南南西70 km離れたKhon Kaen県Phon村の農家圃場に設定した。調査地域は標高220~240 mの緩波状丘陵、平均傾斜3°で、1 km四方の一流域である。Fig. 1に調査地域の地形を立体図で示した。図の標高は平面の縮尺の5倍に拡大され、実際の景観よりもかなり強調されている。また、図中の数字は土壌断面を調査し、ピエゾメーターを設置した地点の番号である。谷にあたるには、灌漑用のため池が設けられている。大量の降雨後、数日間は水が谷筋に沿って流れるが、普段は表流水は認められない。台地上や台地斜面にはキャッサバ、サトウキビおよびクワが、谷部には水稻が栽培されている。

この地域では、既に測量がおこなわれ、地形図が作成されている⁶⁾が、再度精密測量をおこない、テンシオメーターやピエゾメーターの設置位置を把握した。Fig. 1に示した17地点の土壌断面を調査するとともに、3つの代表的断面から土壌試料を採取し、全炭素含量、CEC、三相分布、仮比重、粒径組成、飽和透水係数、不飽和透水係数、pF水分特性を測定した。また、各地点にピエゾメーターを設置し、地下水位を1日から2日おきに測定した。斜面上部の地点No. 5と中腹のNo. 3などに長谷川ら⁷⁾が開発したテンシオメーターを深さ10, 30, 50, 70 cmに二組埋設し、土壌水分吸引圧を測定した。その結果をもとに、pF水分曲線から土壌水分率や空気率を

*農業研究センター 〒305 つくば市観音台3-1-1

**熱帯農業研究センター 〒305 つくば市大わし1-2
土壌の物理性 第63号 pp. 3~12 (1991)

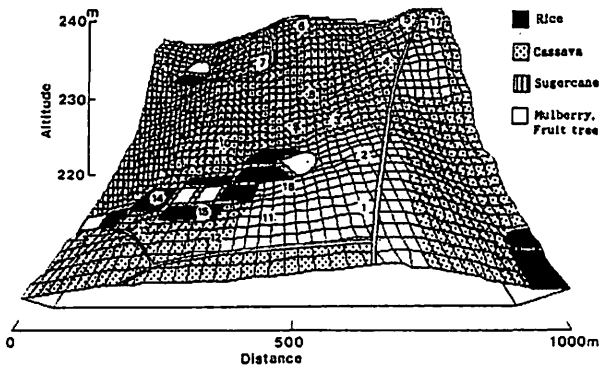


Fig. 1 Landscape of experimental field at Phon.

求めた。

浅層地下水の流速を測定するため、トレーサー投入井およびそれから1 mと2 mはなれたところに地下水採取用観測井を地点No. 3と5に設置した。井戸として、内径5 cm、長さ2 mの塩化ビニル製パイプの側面に細孔を多数空けたものを使用した。パイプの周囲にサランネットを巻いて砂の流入を防ぎ、土壌孔に挿入後パイプの周りに砂利を入れ、土壌を埋め戻した。トレーサーとして重水の濃度10%およびNaCl濃度10%の混合水溶液3,000 cm³を投入井に入れ、投入井の地下水を一定時間ごとに採取した (Point dilution method)。24時間以降は観測井の地下水を適宜採取して電気伝導度 (EC) およびトレーサー濃度変化を追跡した。塩素イオン濃度はイオンクロマト法で、重水濃度は佐久間らの方法⁹⁾に従って分析した。地下水の流速はトレーサーの濃度変化からDrostらの方法⁹⁾によって求めた。

キャッサバは前年の10月に植え付けをおこなっている。キャッサバの根系分布を調査するため、地点No. 3では9月5日、No. 5では9月19日にキャッサバ地上部直下とそこから20, 40, 60 cm離れた地点において、幅1 m、深さ1 mの土壌断面の根の分布状態をスケッチした。また、塊根を掘り出し、新鮮重と乾物重を測定するとともに、深さ10 cmごとに土壌を1,000 cm³採取し、土壌を水洗して細根を取り出したのち、NewmanのIntercept methodを改良したRowseらの方法¹⁰⁾で根長を、その後乾物重を測定した。また、キャッサバ塊根を10月18日に採取し、褐変部の有無による湿害被害の判定をおこなった。

3. 結果および考察

(1) 降雨と土壌断面

Fig. 2に1987年から89年のPhon村における日および積算降水量を示した。東北タイでは、5月から10月が雨季である。平均的な降雨パターンとしては、1987年のよ

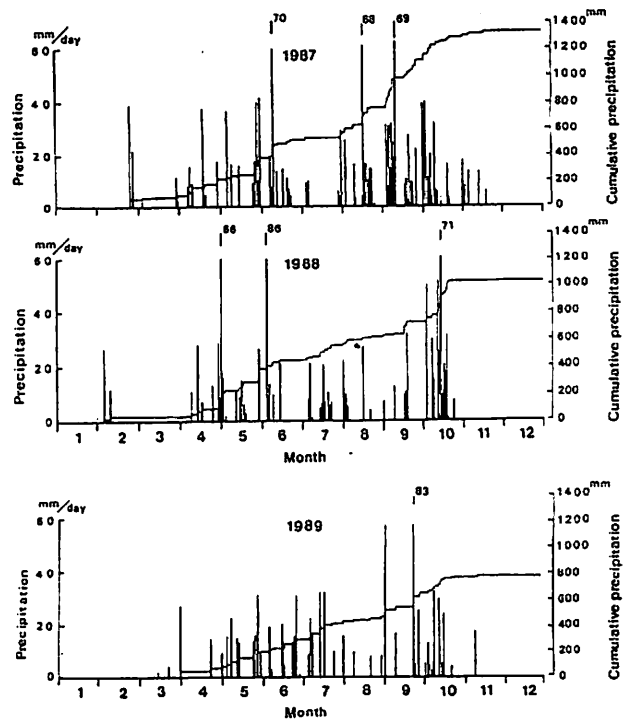


Fig. 2 Daily and cumulative precipitation at Phon field.

うに、初期にまとまった降雨があり、7月と8月にやや少なくなるが、末期には再び集中して降る。この地域の過去11年間の平均降水量は1,022 mmと、東北タイでは少ない。降雨変動は大きく、最少が578 mm、最多が1,295 mmであった。1989年は過去二番目に少ない年で、年降水量は801 mmであった。しかし、他の年と同じように、雨季末期に地下水位が表層近くまで上昇するのが観測された。

代表的な地点の土壌断面をFig. 3に示した。図中の土色表示の右横には土性を、下欄には斑紋の大きさと括弧内に色を記述してある。Ap層は深さ20~25 cmまでで、全炭素含量は0.3%程度と低く、石英を主成分とする砂から成り、土性はSandないしはLoamy sandを示した。その下部の50~160 cmでは、全炭素含量は0.1%以下と低下したが、土性はAp層と同様であった。この層位には鉄の斑紋が認められ、その出現位置は地点によってさまざまであった。その層位のさらに下には、明瞭かつ平坦な層界で土性がSandy loamからSandy clay loamの層が続いていた。この層位は、凸型地形や斜面上部では薄く、すぐ下に粒状のラテライトに富む粘土質の層位が現れたが、凹型地形では、ラテライト層まで2 m以上の厚さがあるところもあった。これらの土壌断面形態から、この地域の土壌は、アメリカ合衆国のSoil Taxonomy¹¹⁾の方式ではQuartzipsamments、タイ国の方式¹²⁾では

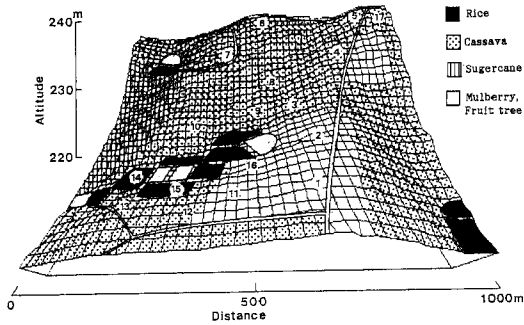


Fig. 1 Landscape of experimental field at Phon.

求めた。

浅層地下水の流速を測定するため、トレーサー投入井およびそれから1 mと2 mはなれたところに地下水採取用観測井を地点No. 3と5に設置した。井戸として、内径5 cm, 長さ2 mの塩化ビニル製パイプの側面に細孔を多数空けたものを使用した。パイプの周囲にサランネットを巻いて砂の流入を防ぎ、土壌孔に挿入後パイプの周りに砂利を入れ、土壌を埋め戻した。トレーサーとして重水の濃度10%およびNaCl濃度10%の混合水溶液3,000 cm³を投入井に入れ、投入井の地下水を一定時間ごとに採取した (Point dilution method)。24時間以降は観測井の地下水を適宜採取して電気伝導度 (EC) およびトレーサー濃度変化を追跡した。塩素イオン濃度はイオンクロマト法で、重水濃度は佐久間らの方法⁸⁾に従って分析した。地下水の流速はトレーサーの濃度変化からDrostらの方法⁹⁾によって求めた。

キャッサバは前年の10月に植え付けをおこなっている。キャッサバの根系分布を調査するため、地点No. 3では9月5日, No. 5では9月19日にキャッサバ地上部直下とそこから20, 40, 60 cm離れた地点において、幅1 m, 深さ1 mの土壌断面の根の分布状態をスケッチした。また、塊根を掘り出し、新鮮重と乾物重を測定するとともに、深さ10 cmごとに土壌を1,000 cm³採取し、土壌を水洗して細根を取り出したのち、NewmanのIntercept methodを改良したRowseらの方法¹⁰⁾で根長を、その後乾物重を測定した。また、キャッサバ塊根を10月18日に採取し、褐変部の有無による湿害被害の判定をおこなった。

3. 結果および考察

(1) 降雨と土壌断面

Fig. 2に1987年から89年のPhon村における日および積算降水量を示した。東北タイでは、5月から10月が雨季である。平均的な降雨パターンとしては、1987年のよ

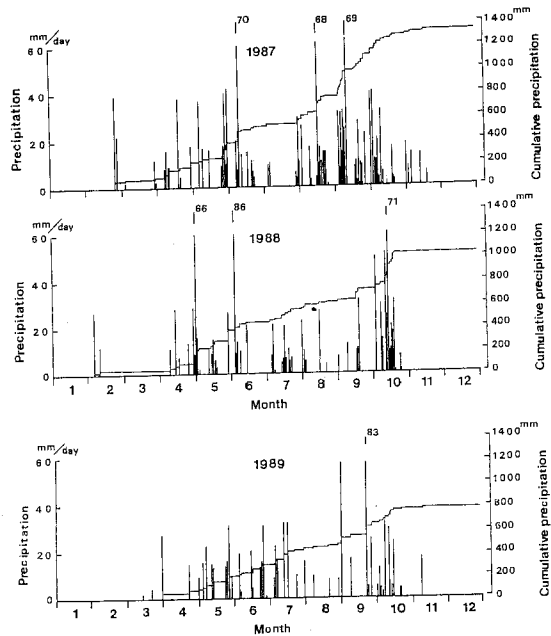


Fig. 2 Daily and cumulative precipitation at Phon field.

うに、初期にまとまった降雨があり、7月と8月にやや少なくなるが、末期には再び集中して降る。この地域の過去11年間の平均降水量は1,022 mmと、東北タイでは少ない。降雨変動は大きく、最少が578 mm, 最多が1,295 mmであった。1989年は過去二番目に少ない年で、年降水量は801 mmであった。しかし、他の年と同じように、雨季末期に地下水位が表層近くまで上昇するのが観測された。

代表的な地点の土壌断面をFig. 3に示した。図中の土色表示の右横には土性を、下欄には斑紋の大きさと括弧内に色を記述してある。Ap層は深さ20~25 cmまでで、全炭素含量は0.3%程度と低く、石英を主成分とする砂から成り、土性はSandないしはLoamy sandを示した。その下部の50~160 cmでは、全炭素含量は0.1%以下と低下したが、土性はAp層と同様であった。この層位には鉄の斑紋が認められ、その出現位置は地点によってさまざまであった。その層位のさらに下には、明瞭かつ平坦な層界で土性がSandy loamからSandy clay loamの層が続いていた。この層位は、凸型地形や斜面上部では薄く、すぐ下に粒状のラテライトに富む粘土質の層位が現れたが、凹型地形では、ラテライト層まで2 m以上の厚さがあるところもあった。これらの土壌断面形態から、この地域の土壌は、アメリカ合衆国のSoil Taxonomy¹¹⁾の方式ではQuartzipsamments, タイ国の方式¹²⁾では

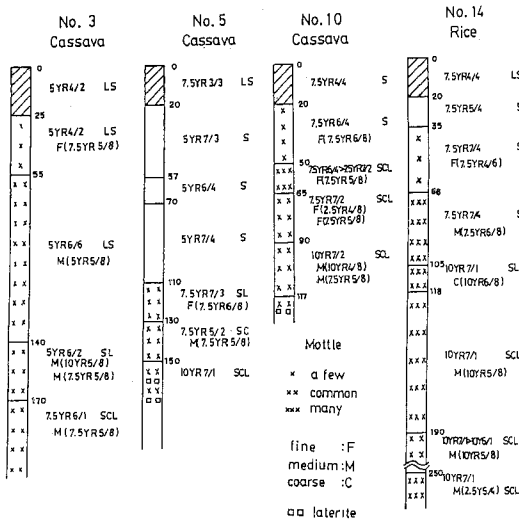


Fig. 3 Soil profiles of experimental field.

Regosol (Nam Phong series) に分類された。

(2) 土壌物理性

表層から深さ50~160 cmまでの砂層の物理性は、粘土含量が5%未満、固相率が55から60%、容積重が1.4から1.5と高いが、飽和透水係数はどの地点でも 10^{-3} cm/secのオーダーと、透水性は良好であった (Fig. 4)。また、不飽和透水係数は、pFが1.7を越えると 10^{-4} または 10^{-5} cm/secのオーダーから急速に低下し、pF2以上では 10^{-6} cm/sec以下となり、測定不能であった。その下のSandy loamまたはSandy clay loamの層は固相率は60%以上に増え、容積重も1.8に達し、飽和透水係数は 10^{-6} から 10^{-7} cm/secに低下した。

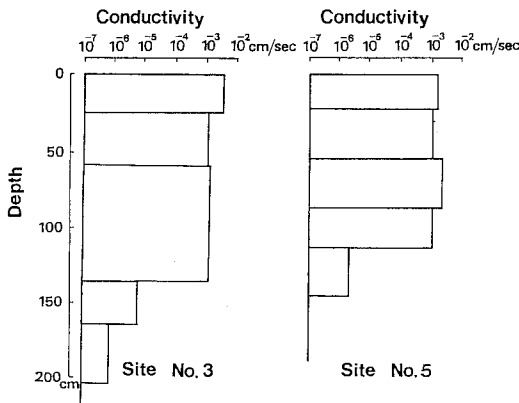


Fig. 4 Saturated hydraulic conductivity of soil profiles.

地点No. 3の土層別のpF水分率曲線を見ると、表層から深さ140 cmまでの砂質の層位ではpF0から1.8までの重力水域の容積水分率が $0.1 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 程度しかなく、pF1.8から4.2までの有効水域が $0.3 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 以上であるなど、一般の砂土とは異なる性質を示した (Fig. 5)。これは、粒径組成において直径0.02から0.2 mmまでの細砂が70から80%を占めていること、および有機物含量が少なく容積重が高いことなどから、最密充填構造を形成し、粗孔隙が少ないためと推定される。これに対し、深さ140から170 cmのSandy loamや170 cm以下のSandy clay loamの層では、シルトおよび粘土が増えた分、砂質層よりも有効水分量が少なくなっていた。また、この層でpF0の水分率が低いのは測定において飽水が不十分であったためと考えられる。

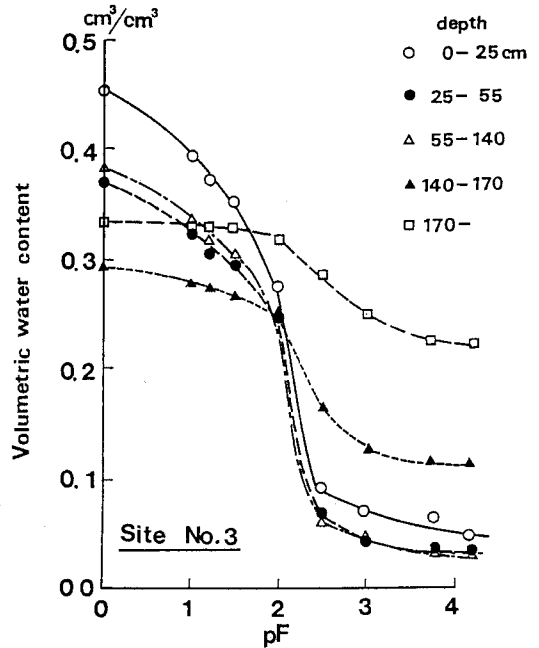


Fig. 5 Soil moisture characteristic curves.

(3) 土壌水分動態

1989年の日降雨量と地点No. 3, 10, 14における地下水位 (表層からの深さ) の推移を Fig. 6 に示した。No. 3と14では9月18日まで、No. 10では10月6日まで地下水は観測されなかった。No. 3と14では9月20日の83 mmの降雨の後、No. 10では10月7日から、水位が上昇を開始し、短期的な下降・上昇を繰り返しながら、全体的には10月15日にピークに達し、No. 10では深さ10 cmまで上

昇した。この時、圃場内は泥濘状態で歩行は困難を極めた。その後、降雨が停止するとともに、No. 3と10の水位は急速に低下し、No. 10では11月3日に地下水はなくなった。しかし、谷底部のNo. 14は10月15日以降も地下水水位の上昇が続き、10月20日からほぼ一ヵ月間、深さ20 cmを保っていた。No. 3と14など谷型地形の地点では12月に入っても地下水が存在した。

Fig. 7の10月15日の地下水位の分布を見ると、表層から20 cm以内まで上昇したのは地点No. 8, 9, 16などの谷型地形の場所と地点No. 10や12など斜面中腹であっても、砂層が薄く粘土質の不透水層の位置が高い所であった。それに対し、No. 1や5など斜面上部や凸型地形では地下水位は地表から50 cm以内には上昇していない。また、谷底の地点No. 14と15のこの時点での地下水位はそれほど高くなかったが、その後深さ20 cm付近まで上昇した。

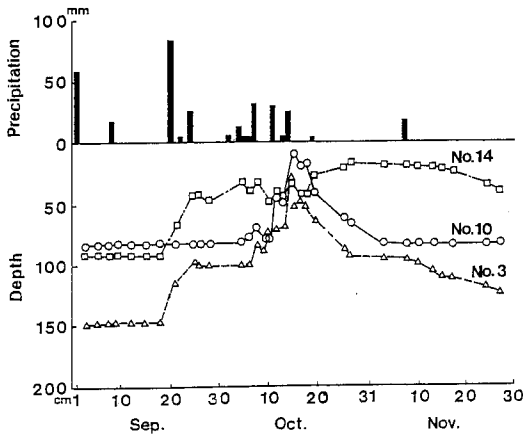


Fig. 6 Fluctuations in precipitation and watertable level at site No. 3, 10, and 14.

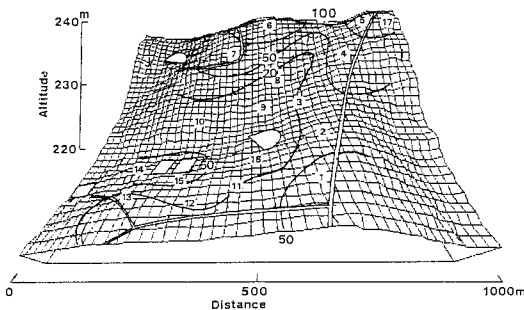


Fig. 7 Watertable level distribution at the field. Numbers in the figure indicate watertable level (cm) below the soil surface.

以上のような、浅層地下水の水平方向の流れを、重水および塩素イオンのトレーサー実験によって確認した。トレーサー投入後、観測井から採取した地下水中のトレーサー濃度は上昇・下降の形を示したが、測定期間中降雨があり、正確な流速の算出は困難であった。そこで、投入井から採取した地下水中のトレーサーの濃度減少傾向から流速を計算した。Table 1にはEC、塩素イオンおよび重水濃度の変化から計算した流速および飽和透水係数とコアで採取した土壌の飽和透水係数を示した。ECから計算した流速は塩素イオンや重水から計算した流速よりもやや遅い傾向を示した。これは、イオン濃度とECが直線関係にないことから、ECの低下が塩素イオン濃度の低下よりも小さいためと考えられる。また、流速から計算した飽和透水係数とコアで採取した土壌の飽和透水係数はほぼ同じ値を示し、構造のちがいによる縦方向と横方向の透水係数の差は小さいことから、コア法で測定した透水係数から地下水流速を推定できる。さらに、塩素イオンと重水ではほとんど同じ値を示し、この土壌では陰イオン吸着など固相との相互作用を無視して解析が可能である。したがって、重水を使用しなくても食塩水など安価な試薬を使ってトレーサー実験が可能であることがわかった。不飽和帯における水平方向の水移動は、不飽和透水係数が重力水範囲でも飽和透水係数より1オーダー以上低いことから量的には無視できる

Table 1 Hydraulic properties of the soil.

Item	No. 3 cm/sec	No. 5 cm/sec
Lateral water flux (EC)	9.7×10^{-5}	1.6×10^{-5}
(Cl)	1.1×10^{-4}	2.0×10^{-5}
(D ₂ O)	1.2×10^{-4}	2.0×10^{-5}
Gradient	0.0304 cm/cm	0.0068 cm/cm
Saturated hydraulic conductivity (EC)	3.2×10^{-3}	2.3×10^{-3}
(Cl)	3.5×10^{-3}	2.9×10^{-3}
(D ₂ O)	3.8×10^{-3}	3.0×10^{-3}
Saturated — Core — hydraulic conductivity (Ap)	5.0×10^{-3}	1.6×10^{-3}
(C1)	1.6×10^{-3}	1.1×10^{-3}

EC: Calculated with groundwater EC data.

Cl: Calculated with groundwater Cl concentration data.

D₂O: Calculated with groundwater D₂O concentration data.

Ap: Ap horizon. C1: C1 horizon.

あろう。

次に、10月15日の地下水の水平方向の流速 F (cm/sec) を次式¹³⁾ から求め、方向とともに分布図として示したのが Fig. 8 である。

$$F = K * \Delta H \quad (1)$$

K : 地下水層の飽和透水係数 (cm/sec)

ΔH : 地下水面勾配 (cm/cm)

地下水流速はほぼ地形勾配の傾向と一致し、最大の流速は 2.5×10^{-4} cm/sec に達していた。また、Fig. 6 で例示した地点 No. 10 の標高は、同じ斜面中腹の No. 3 よりも低い、地下水の分散型地形になっている。それに対し、No. 3 は地下水が集まりやすい場所である。さらに、谷底地形の No. 14 は、両側の斜面から地下水が集中する上、流速は遅いところであることが図から理解された。これらの地下水の分散・集中程度の違いが、地下水位の低下速度に反映している。

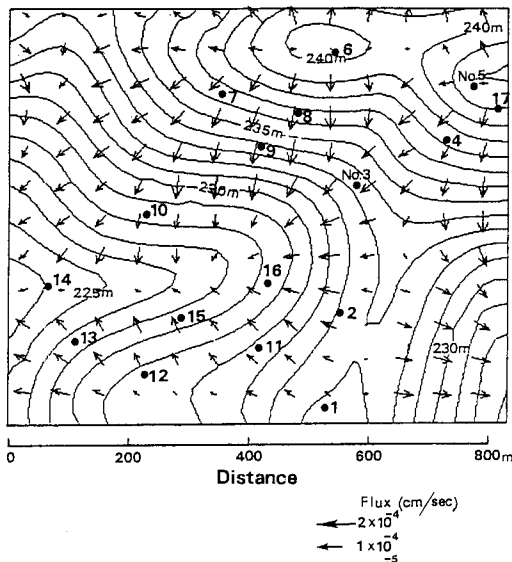


Fig. 8 Distribution of lateral water flux in the field on October 15. Contour lines mean altitude above sea level.

浅層地下水の横方向の移動量の地点によるちがいがどの程度であるかを知るために、10月15日から26日までの11日間の各地点の水収支を計算した。表面流去水がない場合の不透水層までの土層中の水収支式は一般的には (2) 式で表される¹⁴⁾。

$$\Delta F = Pr - Et - Pc + \Delta S \quad (2)$$

ここで、

ΔF : ある鉛直面における地下水の流入量と流出量の差 (mm)

Pr : 降水量 (mm)

Et : 蒸発散量 (mm)

Pc : 浸透水量または漏水量 (mm)

ΔS : 貯留水量の変化量 (mm)

試験地区では、裸地やクワを作付けた圃場で表面流去水があったが、キャッサバやサトウキビ畑での表面流去水の発生は認められなかった。キャッサバ畑の蒸発散量を、晴天が2~3日続いた時、地下水層がない場所において水収支法で求めたものでは、3.8から4.9 mm/dayであった。Ohba¹⁵⁾ は東北タイの10月の平均蒸発散量を Molton 法で 4 mm/day と計算している。そこで、この期間の日蒸発散量を 4 mm と仮定した。不透水層における鉛直方向の浸透速度は飽和透水係数から計算した。貯留水量の変化は、地下水位の変動と水分吸引圧から求めた不飽和帯の土壌水分量によって計算した。その結果が Fig. 9 である。凸型斜面中腹の地点 No. 10 は、不透水層までの深さが浅いため地下水位は高く、その後急速に地下水位は低下したが、流入より流出が 22 mm 多く、排出型であった。谷底斜面中腹の地点 No. 3 では、流入と流出の差はほとんどなく、地下水位低下のほとんどは蒸発散によるものと解釈できた。しかし、この地点を通過した地下水流速は 404 mm に達した。谷底地形の地点 No. 14 では蒸発散量を上回る斜面上部からの地下水の供給によって、地下水位が上昇した。すなわち、土壤中に浸透した降雨水は、地下水層を形成した後、斜面上部では横

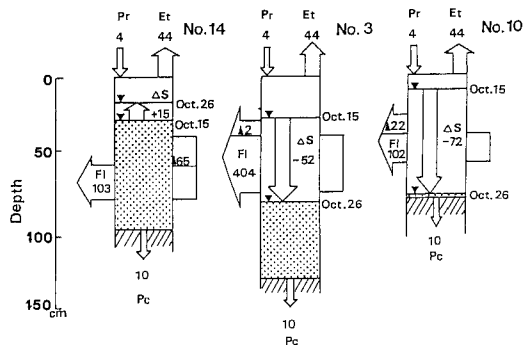


Fig. 9 Water balances in drainage process from October 15 to 26 at site No. 3, 10, and 14. Numbers in the figures indicate water flux or water storage (mm). (Pr: Precipitation, Et: Evapotranspiration, Pc: Percolation, Fl: lateral water flux, ▲: Difference of water flux, ▼: Watertable level)

方向からの地下水供給が少ないため、排出型となって地下水位を急速に低下させる。斜面中腹では斜面地形によって排出型、通過型および貯留型にわかれて、水位の低下程度はさまざまであるが、斜面下部では貯留型になり水位の低下は斜面上部よりも遅れることになる。

(4) キャッサバ湿害

作物の湿害の原因として、地下水位上昇により根圏への酸素の供給が制限されることや二酸化炭素の高濃度化などがあげられる。より直接的には根圏土壌の気相が、水によって置換されてしまったときに起こる。そこで土層中の気相率の推移を見ると、斜面上部の地点No. 5では、深さ10 cmで常に空気率は $0.15 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 以上あり、キャッサバの塊根に褐変が見られた斜面中腹の地点No. 3よりも常に高い (Fig. 10)。No. 3の深さ30 cmでは、地下水位が表層近くまで上昇した10月15日前後は空気率がほとんど0まで低下したが、No. 5ではその頃でも $0.1 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 以上を維持していた。三好¹⁶⁾は根群伸長に必要な空気率は一般的には $0.16 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 以上、最も湿害に強い作物でも $0.1 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 以上としている。地点No. 3の深さ30 cmでは、9月末から10月末までほぼ一ヶ月間、空気率が $0.1 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 以下であり、根の伸長および地上部

の生長または塊根の肥大を阻害する条件にあったことになる。このことは、地下水位がそれよりも高い状態が長く続いた地点でより深刻であった。

根系調査のため地下水上昇前の9月5日に採取したキャッサバ塊根の収量は 9.4 t/ha であった。これは、他の地域と比較して低い東北タイにおける1986年の平均収量 12.0 t/ha ¹⁷⁾よりもやや低い水準であった。

地点No. 3における、キャッサバ根の地上部直下での分布状況を Fig. 11 に示した。大きな楕円形で表されている塊根および白丸や黒点の細根とも、主に表層から30 cm以内に分布し、その下部にはほとんど認められない。また、4断面の平均根長密度も0~10 cmで最も高く、 0.9 cm/cm^3 、20~30 cmで 0.2 cm/cm^3 、30~40 cmでは 0.06 cm/cm^3 と急減する (Fig. 12)。深さ30 cm以下には細根重で全体の10%未満しか存在しなかった。一般にキャッサバの塊根や細根は土層深く伸び、根箱実験では、細根が深さ225 cmまで到達していたという報告がある¹⁸⁾。梅村はキャッサバ根は、乾季には深く伸長するが、雨季に入ると地下水位が上がると、深層の根は不活性化し、上層に新根を生じると述べている¹⁹⁾。しかし、この地点での根の採取は、地下水の上昇する以前におこなった。また、排水の良い地点No. 5での根の分布状態もNo. 3

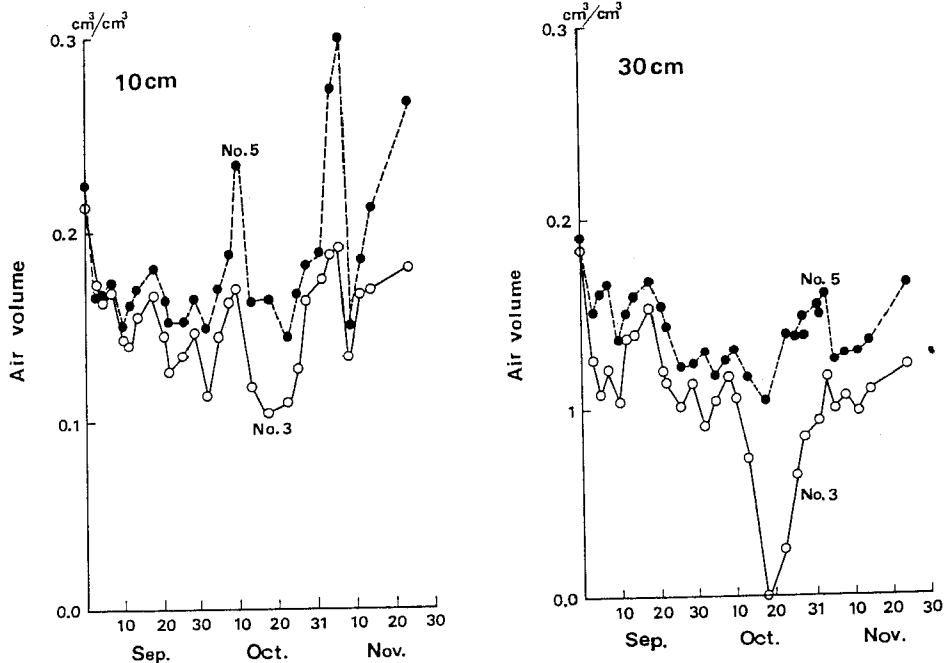


Fig. 10 Soil air volume vs. time at site No. 3 and 5.

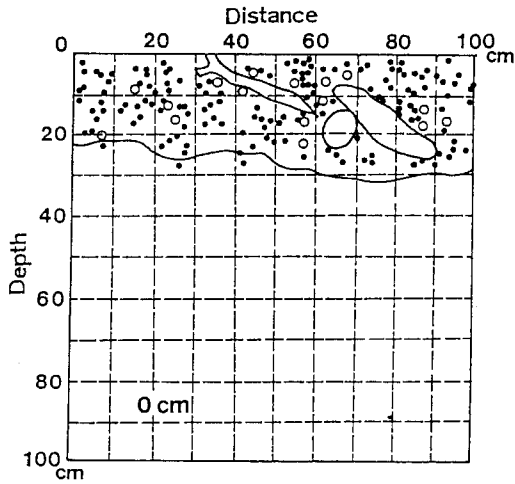


Fig. 11 Distribution of live roots at a soil profile surface of site No. 3. Black circles mean roots below 1 mm diameter and open circles mean above 1 mm.

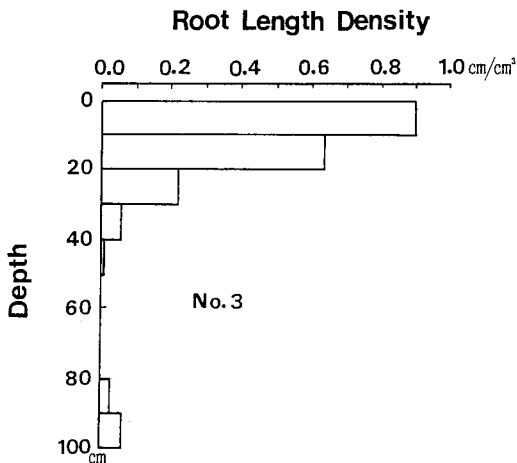


Fig. 12 Average root length density distribution with depth.

と同じように表層集積型であったことなどから、このような根系分布の表層集積の原因として、雨季初期の降雨による地下水位の上昇や土壌養分の分布状態の反映などが考えられる。

キャッサバの湿害には、先に述べた、空気率不足による根の伸長阻害または生育停滞とともに、塊根が1日以上冠水することによって褐変、腐敗する現象があげられる⁴⁾。この湿害または病害防止のためには、地下水位の上昇に対して注意を払わねばならない。調査地域ではキ

ャッサバを栽培していた9地点のうちNo. 3, 10, 13など5地点の塊根に褐変が認められた。この結果とこの地域のキャッサバ塊根の分布状態から推定すると、地下水位が30 cm以内に上昇すると湿害を受ける危険性が高いといえる。

(5) 土壌断面形態と地下水位

ところで、この地域の土壌断面に出現する鉄の斑紋は地下水の上昇過程で二次的に生成したもので、周期的に地下水の影響を受け、酸化・還元が反復されてできたものである。斑紋層の位置は地下水位の位置と密接な関係があるとされる²⁰⁾。そこで、地下水位のピークの高さと鉄の斑紋が“含む”以上(断面に占める面積率で2%以上)の層位における上部の境界の位置(表層からの深さ)の関係を見ると、両者の間には高い相関関係が認められた(Fig. 13)。また、キャッサバの塊根に褐変部を認めた場所では、地下水位が高く、斑紋も浅い位置に現れた。したがって、鉄の斑紋層の出現する位置が地下水位または作物の湿害が起こる危険の高い場所を示す指標になると考えられる。地下水位のピーク値は降雨量によって変動するが、1988年と89年のデータから、斑紋が深さ60 cm以内に出現すると地下水位は30 cm以内まで上昇する可能性があることが判明した。すなわち、斑鉄が“含む”以上の層位の上端が深さ60 cm以内にあるところはキャッサバが湿害を受ける危険性が非常に高いと推定できる。

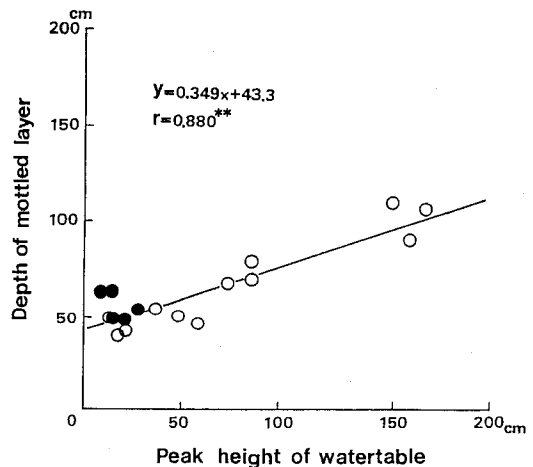


Fig. 13 Relationship between peak height of watertable and depth of mottled layer in 1989. Black dots mean the site where the cassava wet injury was observed.

(6) ま と め

降雨にともなう不飽和浸透により浅層地下水に達した土壌水は地下水位を上昇させるとともに、砂層中を不透水層斜面に沿って下方に流れ、水の集中および停滞地形のところに滞留する。そこでは降雨停止後の水位の低下が遅れ、作物の湿害が甚大となることが明かとなった。さらに、鉄の斑紋の出現深さは地下水位と高い相関があり、作物の湿害発生予測の指標となることを示した。

ところで、この地域では不透水層が深さ50から160 cmと深いところにあり、深耕や混層耕など、土層改良による湿害の回避は不可能である。また、明渠や暗渠などの排水設備の設置については、土壌が砂質であることを考慮しなければ、排水効果をあげることや持続させることは困難である。しかし、乾季に入り、雨が2ヶ月間ほとんど降らなくても浅層地下水が存在する場所があることから、逆にこの水を積極的に利用することも考えられよう。

今回調査したような粗粒質土壌(Entisol)は東北タイの全面積の14%に達する²¹⁾が、そのすべてで湿害が発生しているわけではない。既に述べたように、地形、土壌断面および栽培作物によっては問題のないところもある。また、この土壌の他に、より層位分化の見られるUltisolではクワの湿害が報告されている²²⁾。このUltisolは東北タイ全面積の73%を占めており、軽視することはできない。さらに、地下水位の上昇は、タイ東北部における土壌塩類化とも密接な関係がある²³⁾。当然のことながら、地下水位の上昇によって降雨の貯留許容量が減少すれば、表面流去水量が増加し、土壌侵食が加速されることも予想できる。これらの問題に対する早急な調査と対策の確立が望まれる。

4. 要 約

東北タイに分布する砂質土壌に発生するキャッサバの湿害原因把握のため、土壌水分動態の実態とその要因を明らかにしようとした。

その結果、以下のことが明かとなった。

1) この地域の降水量は年1,000 mm程度で、雨季末期の9月から10月にかけて集中して降雨があり、その頃地下水位が表層近くまで上昇する。

2) 土壌はQuartzipsammentsに分類され、表層から50~160 cmの厚さの透水性の良好な砂質な層位(土性:LS, 飽和透水係数: 10^{-3} cm/sec)があり、その下に透水性の不良な粘土質の層位(SCL, 10^{-6} ~ 10^{-7} cm/sec)が存在する。砂土の粗孔隙量は 0.1 cm³/cm³程度と小さく、湿润状態では容易に飽和する。

3) 地形的に高いところでは、地下水位は一時的に上昇した10月中旬以降、乾季に入ると速やかに低下するが、低地で凹型地形のところではその日以降も上昇を続け、その後ゆっくりと低下した。

4) 重水および塩素イオンのトレーサー実験で、水平方向の流れが観測された。また、水収支を計算したところ、凸型地形のところでは、地下水の横方向への水収支がマイナスとなり排出型となったが、低地で凹型地形のところでは横方向の水収支がプラスとなり貯留型となった。

5) 降雨にともなう不飽和浸透により浅層地下水に達した土壌水は、地下水位を上昇させるとともに、砂層中を不透水層斜面に沿って下方に流れ、水の集中および停滞地形のところに滞留する。その場所では降雨停止後の水位の低下が遅れた。

6) キャッサバの根系調査から、地下水位が深さ30 cm以内に上昇すると塊根の褐変、腐敗が発生することが明かとなった。そのような湿害が起こるのは、地下水の集中しやすい地形とそれ以外の地形でも不透水層が浅い場所である。

7) 鉄の斑紋の出現する深さは地下水位と高い相関があり、作物の湿害発生予測の指標となる。

謝 辞

この研究は、筆者らが国際協力事業団東北タイ農業開発研究プロジェクト派遣専門家として、1988年と1989年、東北タイ農業開発研究センター(Agricultural Development Research Center in Northeast Thailand)においておこなったものである。研究の便宜をはかられた前所長Dr. Paitoon Ponsanaおよび八田貞夫前チームリーダー(現(株)太陽コンサルタンツ)に感謝します。また、有益なご助言を頂いたMr. Terdsak Subhasaram, Mr. Kuriengsak Junthotai(DLD), Mr. Kobkiet Paisanchareon(DOA)および白石勝恵専門家(当時)にお礼申し上げます。

引用文献

- 1) Mitsuchi, M., Wichaidit, P. and Jeungnijirund, S.: Outline of soils of the northeast plateau Thailand, ADRC in Northeast Thailand, Tech. Paper No.1, p. 1-76 (1986)
- 2) Kubota, T., Verapattanirund, P., Piyapongse, P. and Petchawee, S.: Improvement of soil moisture regime of upland soils in Thailand by soil manage-

- ment. Trop. Agric. Res. Ser., No. 15, 351-370(1982)
- 3) Panichapong, S. : Distribution, characteristics and utilization of problem soils in Thailand, Proc. Inter. Sympo. Distribution, Characteristics and Utilization of Problem Soils, 83-96 (1981)
 - 4) Cock, J. H. : Cassava—New potential for a Neglected crop—, p. 1-191, Westview (1985)
 - 5) Taniyama, I. : Preliminary survey on moisture regime of the Northeast sandy soils affected by water-logging. Report of ADRC short Term Expert, 20, p. 1-35 (1989)
 - 6) Office of Land Development, Region 5 : Land development project for rainfed agriculture, p. 1-17 (1988)
 - 7) 長谷川周一・粕淵辰昭：携帯型デジタルマンメーター利用による土壌水分吸引圧の測定, 土壌物理性, 58, 49-51 (1988)
 - 8) 佐久間敏雄・倉持寛太・齊藤英樹・増谷雪雄・望月美千代・森下諦三：土壌における重水の挙動追跡法—分析精度と試料調整法—, 土肥誌, 60, 197-202 (1989)
 - 9) Drost, W., Klotz, D., Koch, A., Moser, H., Neumaier, F. and Rauert, W. : Point dilution methods of investigating ground water flow by means of radioisotopes. Water Resour. Res., 4, 125-146 (1968)
 - 10) Rowse, H. R. and Phillips, D. A. : An instrument for estimating the total length of root in a sample. J. Appl. Ecol., 11, 309-314 (1974)
 - 11) Soil Survey Staff : Soil taxonomy, Agriculture Handbook, No. 436, Soil Conservation Service, USDA (1975)
 - 12) Moncharoen, L. : Soil survey and classification of lowland soils in Thailand, Proc. Symp. on Soils and Fertilizers in Thailand, Soils and Fertilizers Association, Bangkok (1979) (in Thai)
 - 13) 山本莊毅：新版地下水調査法, 266-339, 古今書院 (1983)
 - 14) 山本莊毅・榎根勇：再訂地下水学, 82-100, 山海堂 (1977)
 - 15) Ohba, K. and Ponsana, P. : Evapotranspiration in the northeast district of Thailand as estimated by Morton Method. J. Agr. Met., 42, 329-336 (1987)
 - 16) 三好 洋：根群発達の良い土壌条件からみた畑地の有効土層の検討, 土肥誌, 43, 92-97 (1972)
 - 17) Lal, R. and Maurya, P. R. : Root growth of some tropical crops in uniform columns. Plant Soil, 68, 193-206 (1982)
 - 18) Tongglum, A., Tiraporn, C. and Sinthuprama, S. : Cassava cultural practices research in Thailand, Cassava breeding and agronomy research in Asia, 131-144, CIAT(1987)
 - 19) 梅村芳樹：キャッサバの生育特性, 熱帯農業, 29, 45-48 (1985)
 - 20) Richardson, J. L. and Hole, F. D. : Mottling and iron distribution in a Glossoboralf-Haplaquoll hydrosequence on a glacial moraine in Northwestern Wisconsin, Soil Sci. Soc. Am. J., 43, 552-558 (1979)
 - 21) Duangpatra, P. : Soil and climatic characterization of major cassava growing areas in Thailand, Cassava breeding and agronomy research in Asia, 157-184, CIAT (1987)
 - 22) 山川一弘・三浦憲蔵・Sewatanon, M.・白石勝恵・稲松勝子：東北タイのクワ根ぐされ症発生に対する土壌環境面からの検討—予報—, 日蚕学会講演要旨集, 61, 5 (1991)
 - 23) 三浦憲蔵・タルサック サブハサラム：東北タイにおける森林破壊による土壌の塩類化と植林による防止対策, 土壌の物理性, 63, 51-59 (1991)

Summary

Cassava is frequently damaged with a water-logging during rainy season in a sloping field of Northeast Thailand. The degree of damages depends on the topographic condition and soil profile morphology. Piezometers and tensiometers were installed to measure the watertable levels and a tracer experiment was conducted to determine the soil water flow in a sloping field. We found the followings after analysing a three-dimensional subsurface soil water flow.

After a rain water infiltrated into the soil layer and reached to the groundwater zone with the vertical flow, the watertable level came up and the groundwater flowed laterally along the down slope in the permeable sand layer. Whereas the watertable level fell rapidly at the upper points of the slope after rainfall had stopped, it lowered slowly at valley slopes where the groundwater concentrated or was retained. At that place the cassava root rot was caused with increasing watertable level less than 30 cm depth from the surface.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 63, 3-12, 1991)

インドの半乾燥熱帯地域の土壌の 物理性と作物生産

有原 丈二*・阿江 教治**・岡田 謙介***

Soil Physical Conditions and Crop Production in Alfisols
and Vertisols of the Indian Semi-Arid Tropics.

Joji ARIHARA*・Noriharu AE**・and Kensuke OKADA***

*Hokkaido National Agricultural Experiment Station, **National Institute of
Agro-Environmental Sciences, ***Tropical Agriculture Research Center

1. はじめに

半乾燥熱帯とは1年のうち蒸発散量が降雨量を越える期間が5~10ヵ月以上の地域と定義されている。半乾燥熱帯は南アジアとアフリカを中心に広く分布しており、熱帯の実に7割を占める広大な地域である。

半乾燥熱帯地域の作物の生産性は低く、かつその変動も著しく、その住民は、常に飢餓の危険にさらされている。その原因は、降雨量が少く不安定である事と、土壌の肥沃度が低い事にあるとされてきている。

しかしながら、年間500~1,200mmの降雨は雨期の数ヵ月間に集中し、主要な作期である雨期に限れば雨が少ないとは言いがたい。また、半乾燥熱帯に分布する2つの主要な土壌である Alfisols と Vertisols は、熱帯の土壌の中ではむしろ肥沃な部類に属しているのである。

私たちはインドのデカン高原のほぼ中心に位置するハイデラバード市近郊の国際半乾燥熱帯作物研究所(International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, ICRISAT)に派遣され、「熱帯半乾燥地域における土壌管理とマメ科作物の栽培」の研究に6年間携わってきた。その中で、半乾燥熱帯では、降雨量や土壌の肥沃度よりも、土壌の物理性が作物生産を大きく左右している事を経験した。そして、インドの在来農法では、マメ科作物の栽培や、簡易な土壌管理法によって土壌の物理性を改善しつつ、作物生産を行なっている事を学んだ。ここでは、その事に付いて述べてみたい。

2. 半乾燥熱帯の気候

図1に半乾燥熱帯の気候の例として、ハイデラバード

*北海道農業試験場 〒062 札幌市羊ヶ丘1番地

**農業環境技術研究所 〒305 つくば市観音台3-1-1

***熱帯農業研究センター 〒305 つくば市大おし1-1
土壌の物理性 第63号 pp.13~18 (1991)

市の年間の降雨と日射量のパターンを示した。降雨は6月初旬から10月初旬までの雨期に集中しており、それ以外の期間には殆ど降雨はない。雨期の降雨量は図2に示すように、350mmの乾燥年から1,450mmという湿潤年まで、年によって大きく変動する。年次内の降雨のパターンも一定せず、図3の様に、数回の豪雨の間に、乾燥した期間が続く事が多い。そして、このような不規則さは降雨量の少ない年ほど甚だしくなる。このため、土壌は豪雨の直後には極端な湿潤になるが、高い蒸発能のため、乾燥するのも早い。作物はこのような激しい土壌水分の変化について行けず、生育が阻害される事が多い。

3. 半乾燥熱帯の土壌

半乾燥熱帯における最も代表的な土壌は Alfisols であり²⁾、半乾燥熱帯の陸地面積の約33%を占めている。Alfisols には鉄分が多く含まれ、赤色を呈している。土壌表層には粘土粒子が少なく、シルトや細砂が多く、また粘土鉱物のカオリナイトは活性が低いために、降雨の後には土壌孔隙が塞がりやすく、表層にクラストを発生しやすい。クラストが形成されると、通気性が低下し、降雨後には土壌中の酸素不足から作物に湿害を生じやすい。しかも、降雨は土壌に浸透しにくくなり、元来保水力の劣る土壌であるため、乾燥が著しくなる。さらに、深さ60cm附近には数10cmの鉄の集積層があり、多くの作物の根はこの層を通過できず浅根性となり、乾燥の害を受けやすくなる。Alfisols に、近縁の土壌である Aridisols, Oxisols, Ultisols を加えると、その面積は半乾燥熱帯のほぼ70%を占める。

半乾燥熱帯のもう1つの代表的な土壌は Vertisols で²⁾、半乾燥熱帯の11%を占めている。塩基性にとも母材から形成された比較的若い土壌である。モンモリロナイトを主体とする粘土の含量は60%以上と高く、乾燥すると収

縮して亀裂を生じ、湿潤となると膨潤する。このため、土壌が水で飽和するまでの期間は透水性に極めて優れ、作物も良好に生育するが、いったん飽和すると透水性は極端に低下し、通気性も失われ、作物は湿害を被ることになる。

このように、半乾燥熱帯では、降雨と土壌の特性から、降雨量の少ない地帯でありながら作物は湿害を被りやすい。また、Alfisolsとそれに近縁な土壌の分布する地帯では、極端な湿潤と乾燥が繰返され、作物の生育は甚だしく阻害される。

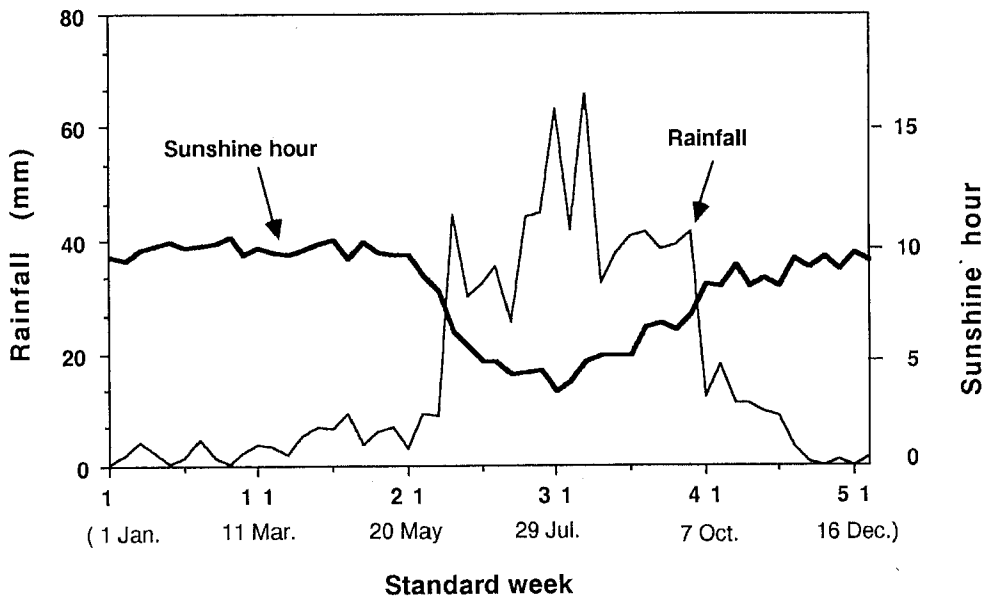


Fig. 1 Long-term average pattern of rainfall and sunshine hours at ICRISAT Center (1974-88).
ICRISATセンターにおける年間降雨量と日照時間の平均値 (1974-88)

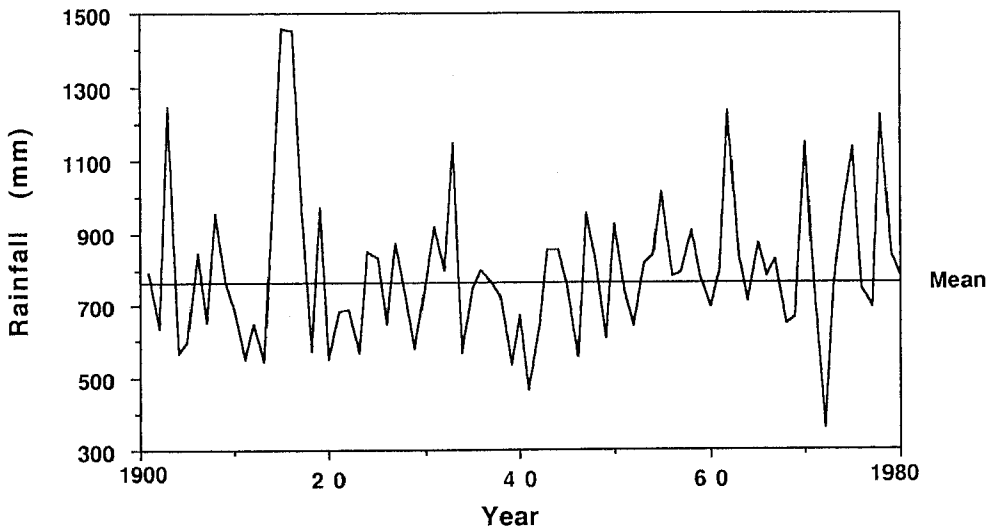


Fig. 2 Annual rainfall totals at Hyderabad, India, during the period 1901-1980 (from Virmani et al., 1980⁶).

インド、ハイデラバード市における年間降雨量の1901年から1980年までの変動

4. キマメとヒヨコマメの特異的磷酸吸収と根系の発達

キマメはインドで広く栽培されているマメ科作物であるが、とくに南部の Alfisols 地帯で重要である。Alfisols 中の磷酸は鉄と結合して極めて難溶性となっていて、多くの作物はそれを吸収出来ないため、生育はかなり貧弱で、根系は小さい。また、鉄の集積層を貫通できず、根

は浅くなっている。ところが、キマメは根から鉄とキレート結合するピスシジン酸を分泌して、磷酸を解き放ち、それを吸収利用するため、Alfisols でも旺盛な生育を示す¹⁴⁾。このため、キマメの根系は大きくなり、さらには鉄の集積層も容易に貫通出来るため、下層の養水分の豊富な粘土層まで根が発達している(図4)。

ヒヨコマメが広く栽培されている Vertisols は、カル

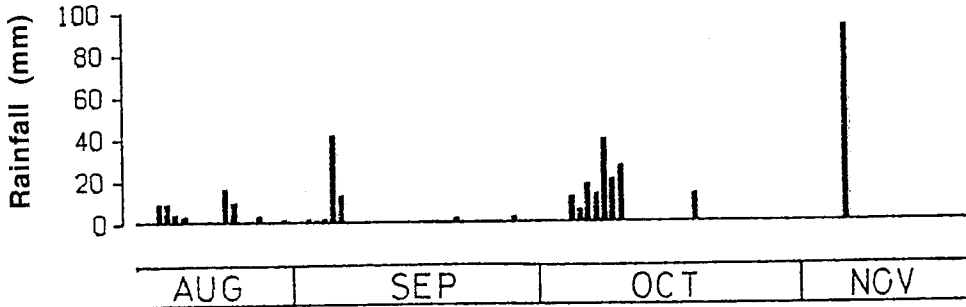


Fig. 3 Rainfall distribution pattern at ICRISAT Center in 1987 when annual rainfall is 12% above average or 879 mm.

降雨量が平年より12%多かった1987年の ICRISAT センターにおける降雨パターン

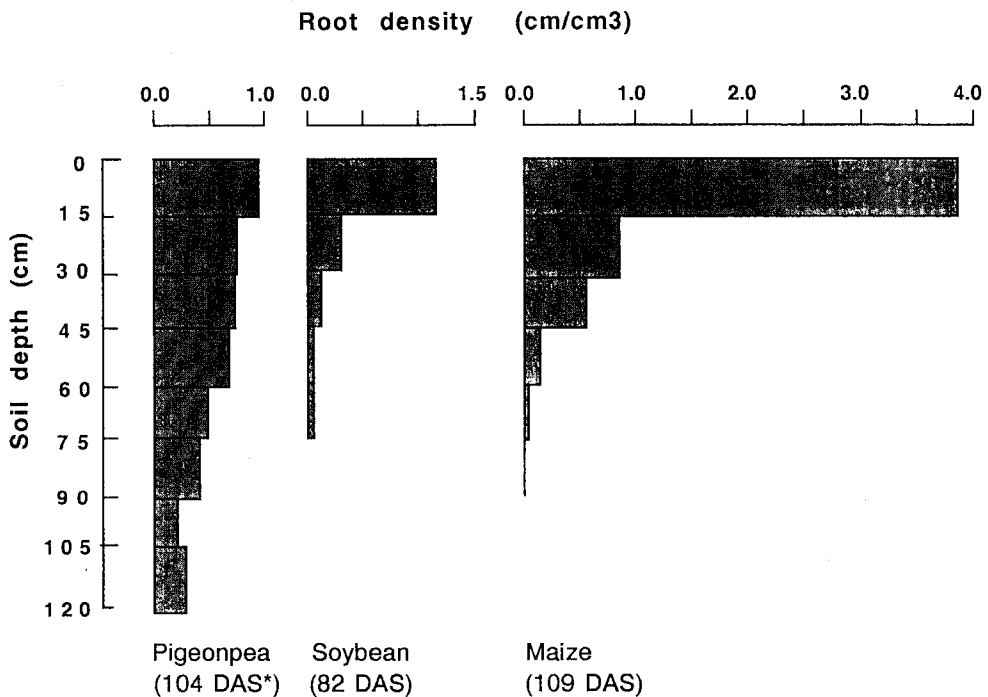


Fig. 4 Root distribution of pigeonpea, soybean, and maize in an Alfisol field, rainy season, 1985.

*DAS : Days after sowing.

アルフィソルにおけるキマメ、大豆、そしてトウモロコシの根系 (1985年雨期)

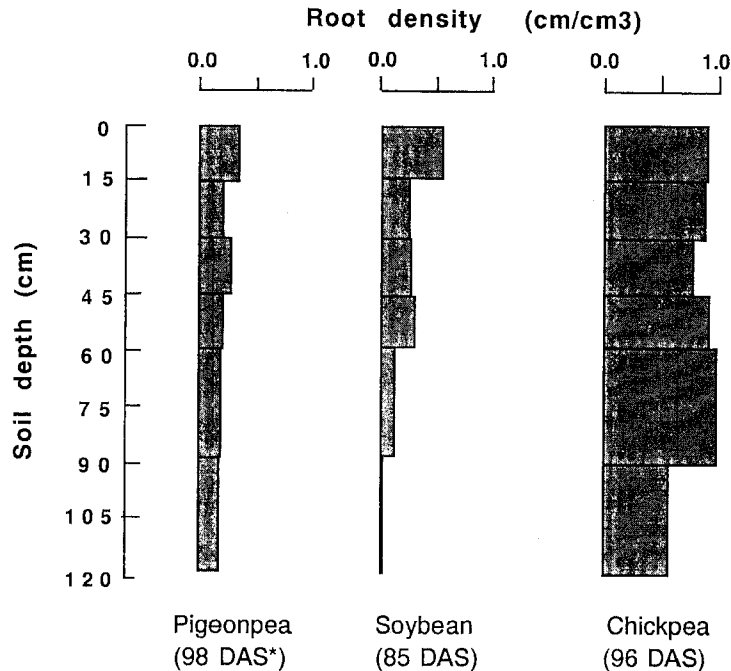


Fig. 5 Root distribution of pigeonpea and soybean (rainy season, 1985), and chickpea (postrainy season, 1984/85) in a Vertisol field.

*DAS : Days after sowing.

パーティソルにおけるキマメと大豆 (1985年雨期), そしてヒヨコマメ (1984/85年乾期) の根系

シウムを多く含むアルカリ土壌であり、リン酸はカルシウムと結合し、溶解性も低くなっている。ところがヒヨコマメは、その根からクエン酸を大量に分泌して根圏域の土壌 pH を低下させ、カルシウムと結合したリン酸を溶解して、吸収する事が出来る⁴。とくに、Vertisols の下層はアルカリ度が高く、カルシウムも多いためリン酸の溶解度も低い。ヒヨコマメは下層への根の発達が他作物より優れている (図 5) が、これには、ヒヨコマメのクエン酸を分泌してリン酸を吸収するという特性の影響と考えられた。

5. キマメとヒヨコマメによる土壌の物理性の改善

土壌の透水性は、土壌表面のクラスト、土壌孔隙、団粒構造などの程度によって左右されるため、土壌の物理性の良い指標となると考えられる。

Alfisol の圃場で、前年にソルガムを栽培した区と、キマメを栽培した区にソルガムを栽培して、その透水性を比較したところ、キマメ栽培後区の方が、ソルガム連作区より明らかに勝っていた。これは、キマメが土壌の物理性を改善した事を示している。ソルガムの子実収量も、

ソルガム連作区よりもキマメ栽培後区の方がかなり高くなっていた。ソルガムへの施肥は十分であったので、土壌の物理性が改善された事が、収量向上の原因と考えられた。

キマメの作付けは、後作のソルガムの根系の発達にも影響しており、3年間裸地として放置した区と、キマメを連作した区にソルガムを作付けして根系の発達を比較したところ、キマメ後のソルガムでは裸地後に比べて、根系がかなり深くなっていた。

一方、キマメを栽培した Alfisol 圃場の透水性は、ソルガム栽培後区の方が、キマメ連作区よりも優れていた。これは、土壌の物理性の改善に輪作が重要であることを示すものである。

このように、キマメとソルガムの組合せは、Alfisols の土壌の物理性を改善しつつ、作物生産を向上させ得る、望ましい組合せである。

これに対して Vertisol 圃場では、キマメは Alfisol 圃場の様に、ソルガムの収量を改善しなかった。しかし、ヒヨコマメの後作のキマメの収量は、ソルガムの後作のものに比べてかなり高くなっていた。この場合も肥料は

十分に施用しているので、Vertisol 圃場の物理性がヒヨコマメによって改善された可能性を示唆していた。しかし、これについては、検討が不十分であり、今後の研究を期待している。

6. キマメとソルガムの間作と土壌通気性

ソルガムとキマメの間混作はインドの半乾燥熱帯地域で広く行なわれており^{6,7)}、その収量性は単作した場合よりも高い。ソルガムが間作で収量性が向上するのは、生長の早いソルガム群落がキマメ群落を覆って、単作した場合よりも受光量が增大するためとされてきた⁷⁾。

私たちが行なった間作の試験でも、ソルガムの畦当りの収量は単作の場合よりも高かった。しかし、間作のソルガムの出穂期の葉面積はキマメより少なく、ソルガムが受光上、単作よりも有利であったとは言えなかった。

これから、間作によるソルガムの収量向上の原因は地下部にあると考えたが、窒素、リン酸、カリに不足は無いことから、土壌の物理性が関与しているものと考えられた。

土壌空気中の酸素は、植物の根や土壌微生物等の呼吸によって消費され、土壌の通気性が劣ると、その濃度は低下しやすい。そこで、土壌の通気性の指標として、土壌空気中の酸素濃度を間作と単作とで比較した。ソルガムとキマメの単作では、AlfisolとVertisolのいずれの圃場においても、酸素濃度はキマメの方がソルガムよりも高く推移していた。そして、間作区ではソルガム単作区よりも高く推移していて、土壌の通気性がキマメとの間作によって、改善されている事を示していた。これがソルガムの収量が間作によって向上した大きな理由の1つと考えられた。

しかしながら、間作による土壌の通気性の改善効果は、もともと通気性の良い圃場では見られなかった。この場合には、土壌の通気性への影響以外の要因が、ソルガムの収量の向上に関与しているものと思われる。

7. 畦立による土壌の通気性の改善

土壌表面の形状を変える事は、その通気性の改善に効果的であるとされる³⁾。

Vertisolsでは、幅が1m程の広畦を作る事によって、畦が乾燥し、また排水が促進され、雨期における湿害の防止に効果的であり、作物生産の安定と向上に繋がる事がICRISATにおける試験で実証されている。

一方、Alfisolsでは、畦立てによってクラストが形成され、土壌浸食を助長するとされ、これまで畦立ては奨励されていなかった。ところが、私たちがキマメを用い

て行なった実験では、高さ10cm程度の畦を作る事によって、Alfisol圃場とVertisol圃場のいずれでも、大きな増収効果が見られた。

土壌空気中の酸素濃度は、畦立区の方が平畦区よりも常に高く維持され、土壌の通気性が畦立てによって改善された事を示していた。また、根系の発達も畦立区が平畦区に勝っていて、キマメの開花期から登熟期の水ストレスも、畦立区の方が平畦区よりも小さかった。

これから、Alfisols, Vertisolsのいずれの土壌でも畦立てをする事によって、土壌の通気性の改善が出来ると考えられた。

8. おわりに

半乾燥熱帯の作物生産は土壌の物理性の悪さによって大きく阻害されている。しかしながら、半乾燥地帯は世界で最も貧しい地帯であるため、農業機械や資材を投入して、それを改良する事は極めて難しい。私たちは、インドでの経験を通じて、マメ科作物の栽培や、ごく簡単な耕起作業が、土壌の物理性の改善に極めて効果的である事を知る事が出来た。これらの技術の多くは、インドの在来農法の中ですでに広く行なわれている。このような在来農法の合理性を解明していく事は、半乾燥熱帯に導入可能な技術を確認する上で極めて大切な事と思われる。このことはまた、環境の荒廃の危険が叫ばれ、資源多投型の近代農法の見直しが迫られている日本の農業技術にとっても、多くの示唆を与えるように思える。

参考文献

- 1) Ae, N., Arihara J., Okada, K., Yoshihara, T. and Johansen, C. (1989) : *Science* 248 : 477-480.
- 2) El-Swaify, S. A., Pathak, P. and Singh, S. (1985) : *Advances in Soil Science* 1 : 1-64.
- 3) ICRISAT (1987) : *Alfisols in the Semi-Arid Tropics*. ICRISAT, Patancheru, A. P., 502324 India.
- 4) ICRISAT (1991) : *Phosphorus Nutrition of Grain Legumes in the Semi-Arid Tropics*. ICRISAT, Patancheru, A. P., 502324 India.
- 5) Ofori, K. and Stern W. R. (1987) : *Advances in Agronomy*. 41: 41-90.
- 6) Virmani, S. M., M. V. K. Sivakumar and S. J. Reddy (1980) : *Agroclimatological Research Needs of the Semi-Arid Tropics*. Page 5-16. ICRISAT, Patancheru, A. P., 502324 India.
- 7) Willey, R. W. (1985) : *Experimental Agriculture* 21 : 119-133.

Summary

Alfisols and Vertisols are major soil types in the Indian Semi-Arid Tropics (SAT). An unstable crop production in the Indian SAT caused by the undependable rainfall is quite often aggravated by the poor physical conditions of these soils, such as poor soil aeration, crust formation, low infiltration rate etc.

Pigeonpea grown on Alfisols was confirmed to develop deep root systems and to improve soil physical conditions, such as infiltration rate, aeration etc., in an Alfisol field at ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics) Center. As a result of these improvements, sorghum grain yield in the same field was increased after the cultivation of pigeonpea under an adequate fertilizer management.

Residual effect of chickpea was found to improve grain production of subsequent pigeonpea in a Vertisol field at ICRISAT Center. As an adequate amount of fertilizer was applied in this field, the beneficial effect of chickpea could be ascribed to improvement of soil physical conditions. However, this possible effect awaits quantification.

In an intercropping system, pigeonpea also improved the grain yield of the associated sorghum. Planting crops on ridges also increased grain yields of sorghum and pigeonpea in both Alfisol and Vertisol fields. These increases of yield were attributed to the enhanced root development through the improvement of soil physical conditions especially soil aeration.

Traditional cropping systems of the Indian SAT are found to maintain the crop productivity under low input conditions through the utilization of those legumes.

Many suggestions could be drawn out from them for the development of the technology suitable for the SAT and the ecologically healthy crop production system for developed countries.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 63, 13-18, 1991)

報 文

沖縄島北部赤黄色土の土壤侵食の評価と対策

翁 長 謙 良*・呉 屋 昭*・松 村 輝 久**

Soil Erosion and Conservation Measure in Northern Part of Okinawa Island

Kenryo ONAGA, Akira GOYA, and Teruhisa MATSUMURA

*College of Agriculture, University of the Ryukyus,

**Japan Road Construction Public Corporation

1. はじめに

沖縄地方は、湿潤亜熱帯のアジアモンスーン地域に位置し、降雨は平年値的には2,000~2,300 mmと多く、我が国でも多雨地域である。また、土壤は受食性の高い国頭マージと呼ばれる赤色土、黄色土が多く分布しており、農地の造成方法、形態とも相まってこれらの土壤の分布地域では、降雨による土壤侵食の危険性が極めて高い。すなわち、造成工法は改良山成畑工で畑面勾配は3%~5%が一般的であり、比較的緩傾斜に仕上げられているが、造成農地からの土壤流亡は避けられない現状にある。このため保全対策に特段の配慮が必要となっている。このことが、造成の基本である圃場面勾配や、事業費に大きな影響を及ぼすことから、土壤侵食対策は造成計画上、大きな課題となっている。本稿は、沖縄の主要土壤である国頭マージの農地開発地区の圃場における侵食流亡土量を降雨との関係で調査解析し、土砂流亡抑止対策に資することを目的とするものである。

2. 沖縄の降雨特性

気候要因のなかで、水食に最も深く関与するものは降雨である。降雨による土壤侵食の要因は、その営力の形態から、降雨、浸潤水、流去水に分類される。その中で降雨要因は、侵食を蒙る土壤に関する諸条件に無関係な指標として取り扱うことができる。即ち、浸潤水や流去水の侵食性(Erosivity)は土壤条件に左右されるのに対し、降雨のそれは風、湿度等他の気象条件の影響を受けるが、降雨それ自体の特性によるところが大である。そして降雨のもつ特性の中で量、強度、時間的分布が土壤に対する分散性、流出水の量と速度、そして侵食による土壤流亡を決定する主な要因といわれている¹⁾。沖縄に関するこれらの降雨要因については、すでに筆者が検討を

加えた成果²⁾があるので、ここではその中から土壤侵食に深く関与する降雨要因との関連で降雨強度と降雨エネルギーをとりあげてみる。

1) 降雨強度

降雨強度は水食に関与する降雨要因の中で最も重要な意味をもつものとされている³⁾。また、Barnettら⁴⁾は降雨強度の中でも最大60分間強度が土壤侵食に最も密接な関係にあると指摘している。

降雨エネルギーを降雨強度の関数として数式により求める方法は、Wischmeier, Smith⁵⁾が提唱したものが、計算基礎としての基準降雨強度や基準降雨量をいくらにするかは、その地域の侵食要因の特性によって異なるものと思われる。Hudson⁶⁾は、アフリカでの実験結果から、時間雨量25 mm以上の降雨強度による降雨の運動エネルギーが、他のどの降雨強度要因によるよりも土壤流亡との関係が深いとしている。我が国の場合は、後述のエネルギー計算の基礎としての基準値は、4の(1)、①に示すとおりである。これらの基準値と(2)式とにより、降雨エネルギーを求め降雨量と対比させると表-1のようになる。また、日降水量10 mm以上、30 mm以上の月別日数を示すと表-2のとおりである。それぞれにおいて那覇の降雨量、降雨日数は高知、宮崎より下回っている。それにもかかわらず降雨エネルギーが相対的に高くなっているのは、基準値の指標となる降雨強度が那覇では高いことを意味している。

2) 降雨エネルギー

Wischmeierら⁵⁾は、降雨量、降雨強度、降雨エネルギーおよびこれらの組み合わせによる要因のなかで、一雨の降雨エネルギーと30分間降雨強度の積が、流亡土量との間に最も高い相関があることを提唱した。そして、Lawsら(Lenardらによりヨーロッパで実測された雨滴データと、彼ら自身がワシントン D.C で採取したものをもとにした)の雨滴分布に関しての研究の成果をもとに単位降雨量(1 inch)、単位面積(1 acre)当りの降雨エネルギー KE (foot·tons/acre·inch) と降雨強度 I (inch/

* 琉球大学農学部

** 日本道路公団

hr) の間に次式の関係があったとした²⁾。

$$KE = 916 + 331 \log_{10} I \quad \dots\dots (1)$$

これより単位面積当りの一雨の降雨エネルギーは、 $\sum |KE \cdot I \Delta t|$ で与えられ、これと、 I_{30} (一降雨の最大30分間強度) との積を USLE の降雨係数 R とした。ここに Δt は強度 I の降雨時間である。(1) 式をメートル単位で表すと

$$KE = 210 + 89 \log_{10} I \quad \dots\dots (2)$$

筆者が沖縄の雨についてウォーターブルー紙により採取した雨滴(12万6千余滴)の粒度分布特性をもとに降雨エネルギー K ($J/m^2 \cdot mm$) と降雨強度 I (mm/hr) との関係を求めると次式を得た²⁾。

$$KE = 9.81 + 10.6 \log_{10} I \quad \dots\dots (3)$$

また、(1) 式を(2) 式と同じ単位で表すと

$$KE = 11.9 + 8.7 \log_{10} I \quad \dots\dots (4)$$

(3), (4) 式から沖縄の降雨エネルギーはワシントン D. C のそれよりも降雨強度の影響が強いといえる。

3. 沖縄の主要土壌

沖縄の主な土壌は、沖縄方言で古くから親しまれている呼称で大まかにマージ、ジャーガルに分類される。マージの呼称は土色や分布地域を反映した沖縄島の方言名で、赤黄色系、暗赤色系の土壌は、それぞれ国頭地方、島尻地方に分布するので、国頭マージ(千枚岩や国頭レキ層などに由来する酸性土壌)、島尻マージ(琉球石灰岩に由来する弱酸性-弱アルカリ性土壌)と呼ばれている。また、灰色系の土壌は中南部に広く分布し、ジャーガル(新第三紀層の泥岩に由来するアルカリ性土壌)と呼ばれている。

表-1 降雨特性の比較

Table 1 Comparison of rainfall characteristics

Item Station	Annual rainfall (mm) (1951-1980)	指数* Index	Rainfall factor, R ($m^2 \cdot tf/ha \cdot hr$) (1955-1974)	指数* Index
Naha	2,123	80	897.3	99
Miyazaki	2,490	93	782.3	87
Kôchi	2,666	100	903.0	100

*Kôchi の降雨量、降雨エネルギーを100とした場合の Naha, Miyazaki のそれぞれの割合

表-2 日降水量 10 mm 以上、30 mm 以上の月別日数の平均値 (1951~1980)
(上段 10 mm 以上、下段 30 mm 以上)

Table 2 Frequency of daily rainfall over 10mm (upper Column) and over 30mm (lower Column). Mean value of 1951~1980

地点 Location	Month												計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
高知 Kôchi	2.4	2.9	4.6	7.1	7.2	9.0	6.7	6.8	6.9	5.4	3.0	1.7	63.7
	0.4	0.6	1.3	3.5	3.5	4.6	3.1	3.2	3.6	1.7	1.2	0.5	27.2
宮崎 Miyazaki	2.3	2.9	4.5	6.6	7.3	9.7	7.1	6.3	6.3	4.5	2.7	2.0	62.2
	0.4	0.5	1.0	2.7	3.5	4.9	3.1	2.6	3.0	1.9	1.4	0.4	25.4
那覇 Naha	3.6	3.7	4.3	4.6	6.0	6.9	3.9	5.7	3.7	4.5	3.2	3.5	53.6
	0.9	0.6	1.0	1.9	2.8	3.5	1.9	2.3	1.6	1.9	1.2	0.8	20.4

しかし、このような呼称では、これら土壌の諸性質が特定されないで、地力保全調査の分類基準によって分類され、表-3に示すように全国共通の名称が付されている。また、岩佐⁸⁾は、沖縄の赤黄色土は本土のそれより粘土鉱物の組成からみても、より風化が進んでいるという意味から、ラテライト性赤黄色土の呼称を提唱している。国際的に通用する USDA 方式の分類とも併せて今後の検討課題であろう。

しかしながら、本研究では、ローカリティを反映した呼び方にする。表-3によると国頭マージの畑土壌はそれぞれ2土壌群、7土壌統群、13土壌統に分類されている。

近年の土地造成、道路建設等の山地、丘陵部の開発に伴う赤土流出が顕著にみられる地域は赤黄色土壌、すなわち国頭マージ地帯である。この国頭マージは、沖縄本島では西側は読谷村、東側は具志川市以北の北部地域に広く分布しており、その他、石垣島、西表島、久米島、伊平屋島、伊是名島、慶良間諸島などに分布している。島尻マージは沖縄本島中南部、北部の本部半島、伊江島、宮古島、石垣島の南部に分布し、ジャーガルは沖縄島中南部に卓越している。沖縄島におけるそれぞれの土壌の分布を図-1に示す。なお、我が国の赤・黄色土は北海道から沖縄まで分布し、暗赤色土を含めた合計面積はわが国全農耕地のほぼ8% (41万 ha) を占めているといわ

れる⁹⁾。国頭マージ地帯は、地形的な制約のため、比較的近年まで開発(農地造成など)が抑制されてきた。これらの森林土壌や山成畑の土壌は、自然の風化や堆積によって生成されたものであり、層位を攪乱するような急激な変化がない限り、土壌の理化学性の変化は極めて緩慢であり、比較的安定したものと考えられる。しかし、機械力によって地形を大きく改変するような改良山成畑

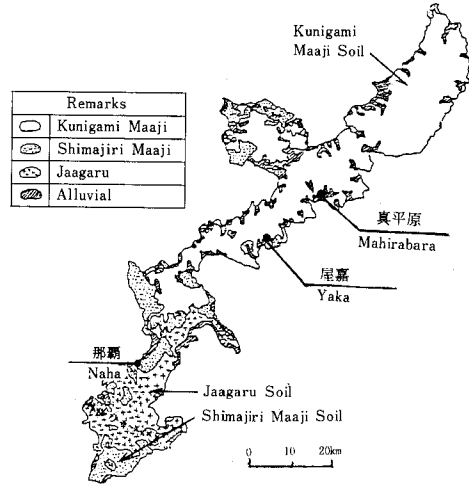


図-1 沖縄島の土壌分布図

Fig.1 Soil map of Okinawa island

表-3 国頭マージ(畑地)の分類*

Table 3 Classification of Kunigami Maaji soil (upland)

大分布 (土壌郡) Soil group	中分布 (土壌統群) Soil series group	小分布 (土壌統) Soil series
赤色土 Red soils	細粒赤色土 Fine-textured red soils	2
	中細粒赤色土 Medium and coarse-textured red soils	1
	礫質赤色土 Gravelly yellow soils	1
黄色土 Yellow soils	細粒黄色土 Fine-textured yellow soils	4
	中粗粒黄色土 Medium and coarse-textured yellow soils	2
	礫質黄色土 Grayelly yellow soils	2
	細粒黄色土、斑紋あり Fine-textured yellow soils with mottling	1

*地力保全基本調査総合成績書 沖縄県(47年)より作成

工による造成畑土壌は、本来の層位と土壤構造が破壊され、土壌の理化学性を变化させ降雨侵食に対してもろくなるおそれがある。

Bennett⁹⁾は、受食性に関する主な特性として、1) 土の粒度組成、2) 土壤構造一分散性、団粒化度、間隙率、透水性、3) 有機質含量、4) 化学的性質などをあげている。これらの特性は、前述した土壌の被分散性、被運搬性のほかに、雨水の浸透能に関係する土壌の物理性に関与するものである。本稿では、調査地区の主としてUSLEの土壤係数要因と関連して、上記1)、2)の物理性について後述する。

4. 土壤侵食の要因と USLE

降雨によって起こる水食は、雨滴の分散作用と地表流去水の分散・運搬作用とによるもので、これらは主として、i) 降雨、ii) 地形、iii) 土質と土層、iv) 地表および植生の状態、によって規定される¹⁰⁾。

以上のように、土壤侵食量を決定する要因はさまざまである。そこで、これを統一的に理解するために、米国で例えば Wischmeier, Smith¹¹⁾が中心となって侵食流亡土量予測式、すなわち、USLE (Universal Soil Loss Equation) を提案した¹¹⁾。

これは(5)式に示す右辺の各因子を数値化し、それらの積により侵食流亡土量を算出するものである。すなわち、

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad \dots\dots (5)$$

ここに、*A* : 侵食流亡土量
R : 降雨係数
K : 土壤係数
LS : 傾斜・斜面長係数
C : 作物管理係数
P : 保全係数、である。

USLE では、1年間に流亡した土壌の総量をもって1個のデータとし、それ等の値の20~30年間の平均値が解析の基準として用いられている。これは次の2つの理由

による¹²⁾。

1) *K* は、暖期・寒期別又は四季別に違った値を示すが、年間を通しての平均的な *K* の値はあまり変わらない。したがって、長年の試験によって得られた *K* はその土壌の年間の平均値であり、年間の侵食量を予測する場合に、USLE に用いることができる。

2) 一降雨ごとの侵食量データを採取するのは、実際上かなり困難であり、また測定値が得られたとしても、土壤条件(含有量、地温、その他土壌の理化学性)が異なるために一降雨ごとの解析は簡単ではない。

(1) 各因子の数値化

① 降雨係数 *R*

前述したように降雨係数 *R* の計算には(1)式を(2)式のようにメートル単位法のものに変換したものが用いられる。

$$KE = 210 + 89 \log_{10} I \quad \dots\dots (2)$$

(2)式に *I*₃₀ (一連降雨中の最大30分間雨量の1時間強度の換算値)を掛けた値 *EI*₃₀ の合計が *R* (m²ton/ha・hr) である。ここで一連降雨とは、その総雨量が0.5 inch (12.7 mm) 以上であり、その間無降雨期間は6時間以内のものである。ただし、降雨強度が15分間に0.25 inch (6.4 mm) 以上なら一降雨とみなす。我が国では、*R* の計算において最大60分間降雨強度を採用している。表-1は我が国の多雨地帯を代表する高知、宮崎と那覇の降雨エネルギーを降水量との対比で比較したものである。表-4は、那覇の月別 *EI* 値を表したものである。那覇は周年的に降雨エネルギーが高いといえる。

② 土壤因子 *K*

K は土の種類によって大きささまざまな値となり、土壌の受食性の程度を示す。また、同一土壌でも土の物理・化学的变化、例えば温度・水分含量などによっても微妙に変化する。しかし、年間または暖・寒期別、四季別の平均値はある一定値を示すものと考えられる。

③ 地形因子 *LS*

USLE では、斜面長・傾斜度を組み合わせた *LS* を地形因子とし、斜面長72.6 feet (22.1m)、傾斜度9%

表-4 那覇の月別 *EI* 値*
 Table 4 Monthly *EI* value of Naha, Okinawa

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
<i>EI</i> value m ² ·tf/ha·hr	18.2	29.6	70.7	30.8	106.5	121.5	98.3	137.8	52.1	98.5	86.0	47.3	897.3

*日本農業土木総合研究所 改良山成工調査総括報告書(第2次案)平成3年2月より引用

(5.1°) を標準傾斜とし、この場合、 $LS = 1$ とする。米国では、斜面長 l (m)、傾斜度 θ の場合次式を用いて任意の斜面の LS 係数を算定している。

$$LS = (l/22.1)^m \times (65.41 \cdot \sin^2 \theta + 4.56 \cdot \sin \theta + 0.065) \dots \dots (6)$$

ただし、 m は傾斜による指数で

- 5%以上: 0.5,
- 3.5%~4.5%: 0.4,
- 1.0%~3.0%: 0.3,
- 1%以下: 0.2,

④ 植生因子 C

USLE において C は、裸地の場合を 1 として植生による侵食流亡土量の軽減割合を示すものである。 C は作物の栽培期間中の平均的な値を用いることになるが、実際には栽培ステージごとに変動する。したがって、同一作物について長期の試験によって有意な平均値を求めることが必要である。

⑤ 保全工因子 P

横畝栽培・等高線帯状栽培・芝生帯設定・敷草などの水食防止農法と、承水路・排水路・階段造成などの水食防止工法によって土壌侵食を人為的に減少させることができる。

USLE において P は、圃場表面を上下方向に耕しし表面がひどく固くなったりして作物の生長を防げることがない程度の状態を 1 とし、保全工による侵食量の軽減割合を示すことになる。

(2) 許容侵食量

土壌保全は土壌侵食を抑制し土地の生産力を維持増進することである。土地が傾斜している場合、土壌侵食量を 0 にすることは不可能である。したがって、土壌侵食防止の目標は侵食量を完全に 0 にすることではなく、ある許容量以上に侵食を生じさせないことにある。

Bennett によれば、耕作をし施肥を行なっている土壌の場合、年間約 15 t/ha、土層厚にして年間約 1 mm の新しい培養土が生成されるという¹²⁾。したがって、農地においてはこの範囲内の土壌流亡であれば農業生産性の水準を維持できるとし、米国では年間 2.5 t~12.5 t/ha、土層厚にして年間 0.2 mm~1 mm を許容侵食量としている¹³⁾。培養土の生成速度は土壌の種類によっても異なるが、我が国においても許容侵食量を土層厚にして年間 1 mm 程度とするのが適当とされている¹⁴⁾。

5. 調査地区における USLE 要因の解析

4 で述べたようにアメリカにおける USLE 要因の数

値は、20~30年間の観測データから導き出されているが、我が国では、まだ 5~6年のデータ蓄積にとどまっている。長年月の調査資料による数値化はより高い精度を期待できるが、USLE の我が国への適用を検討するとともに、我が国独自の流亡土量予測手法の確立が早急に望まれている。沖縄でもデータの蓄積は少ないが、亜熱帯の赤黄色土の侵食防止方法を確立するうえで、今後の観測データをより効率的に解析するための手はじめとして USLE 要因の解析を試みた。解析に用いた流亡土量のデータは、昭和52~54年にかけて金武町屋嘉の侵食試験区からの流亡土量と、昭和62年4月~12月(途中7月~9月欠測)の約6ヶ月間、県営総合農地開発事業真平原地区圃場の侵食流亡土量である。降雨資料はそれぞれの近傍の観測点および那覇の資料を用いた。

1) 屋嘉地区

データは、斜面長 20 m、幅 2 m、傾斜度 3°、5°、8°及び 10°の試験区において得られたものである。10°区は裸地区とパイン区、他の3区は全て裸地区である。

侵食流亡土量は、各試験区の流末端に設置されている土砂留マスに溜まった土の容積とサンプリングした土の乾土重より算出したものである。降雨資料は、200 m 程度離れた小学校に設置されている有線ロケット気象計によるものである。それぞれの試験区における観測結果を表-5 および表-6 に示す。

① 土壌特性

3°、5°、8°区はレキ混じりシルト質で粘土分の少ない土壌(A土壌)と粘土分の多い土壌(B土壌)とに別れており、10°区は裸地、パイン両区とも粘土分の多い土壌である。3°、5°、8°区の土壌の比重と粒度組成は表-7、10°区の土壌の物理性と粒度組成は表-8及び表-9のとおりである。

② R の算出

前述の有線ロケット気象計の自記紙より4の(1)、①で述べたように、一雨の降雨量 I (mm/hr) とその最大60分間降雨強度 (I_{60}) を読みとり(2)式より KE を求めその値に I_{60} を乗じたものが EI_{60} である。観測期間中の EI_{60} 値の合計は表-5、表-6より次のようになる。

3°区 (A)	809.9	(B)	359.1
5°区 (A)	797.7	(B)	359.1
8°区 (A)	797.7	(B)	359.1
10°区 (裸)	818.2	(ハ)	818.2

(単位: $m^2 \cdot \text{tonf} / \text{ha} \cdot \text{hr}$)

(A): A土壌, (B): B土壌
(裸): 裸地区, (ハ): パイン区

10°区の値は2ヶ年分の平均値であるが、他の3区の

値はこれに表-4から欠測月の月のEI値を次式によって計算し年間のR値とする必要がある。

$$R \text{ 値} = \text{観測期間の EI 値} + \frac{\text{欠測月の EI 値の和}}{\text{那覇の年間の EI 値 (R 値)}} \times \text{観測期間の EI 値} \dots\dots\dots (7)$$

A 土壤において3°区と5°区、8°区の欠測月は、それぞれ1, 5, 10月と1, 5, 10, 11月の各月であり、B 土壤では、各区とも1, 2, 3, 4, 12月の各月であった。よって年間の値は次のようになる。

- 3°区 (A) 1011.4 (B) 437.8
 - 5°区 (A) 1072.6 (B) 437.8
 - 8°区 (A) 1072.6 (B) 437.8
 - 10°区 (裸) 818.2 (ハ°) 818.2
- (単位：m²・tonf/ha・hr)

③ A の算出

観測期間中の侵食流亡土量の合計値は、表-5、表-6より次のようになる。

- 3°区 (A) 207.22 (B) 35.15
- 5°区 (A) 331.74 (B) 99.22
- 8°区 (A) 456.47 (B) 126.08
- 10°区 (裸) 612.45 (ハ°) 342.10

(単位：t/ha)

3°, 5°, 8°区の値は1年間の侵食流亡土量に換算する必要がある。換算の方法を次式により行くと年間の侵食流亡土量は次のようになる。

$$\text{年間の侵食流亡土量 (A)} = \text{観測期間中の流亡土量} \times \frac{\text{換算した年間の EI 値}}{\text{観測期間中の EI 値}} \dots\dots\dots (8)$$

表-5 EI 値と流亡土量 (屋嘉)
Table 5 EI value vs. soil loss at each plot

No. of obs.	Rainfall (mm)	EI value ① m ² ・tf/ha・hr	Soil loss ② (t/ha)			②/①		
			8°区	5°区	3°区	8°区	5°区	3°区
1	71	111.2	62.68	44.26	12.21	0.564	0.398	0.110
2	36	27.5	13.28	9.08	4.66	0.483	0.330	0.169
3	84	46.9	33.10	20.78	11.87	0.706	0.443	0.253
4	59	9.2	17.19	10.43	3.61	1.868	1.134	0.392
* 5	183	189.7	110.65	83.61	68.89	0.583	0.441	0.363
A 6	86	167.3	73.53	60.21	27.73	0.440	0.360	0.166
7	33	12.2	—	—	6.45	—	—	0.529
8	34	11.2	111.69	7.26	4.14	1.044	0.648	0.370
9	59	18.4	15.87	16.10	9.26	0.863	0.875	0.503
10	104	120.4	58.66	33.74	26.80	0.487	0.280	0.223
11	59	45.9	12.74	11.56	9.06	0.278	0.252	0.197
12	50	16.3	6.33	6.86	5.93	0.388	0.421	0.364
13	96	33.7	40.75	27.85	16.61	1.209	0.826	0.493
1	73	10.2	7.11	2.94	1.29	0.697	0.228	0.126
2	94	17.3	4.09	2.30	0.41	0.236	0.133	0.024
3	104	8.2	1.66	1.28	0.07	0.202	0.156	0.009
* 4	88	19.4	9.06	6.33	0.54	0.467	0.326	0.028
B 5	101	28.6	20.14	18.03	4.08	0.704	0.634	0.143
6	61	4.1	6.16	5.03	1.32	1.502	1.405	0.322
7	40	9.2	25.37	17.13	4.51	2.758	1.862	0.490
8	106	84.7	21.83	16.73	9.60	0.258	0.198	0.113
9	101	12.2	4.12	3.92	1.54	0.338	0.321	0.126
10	275	165.2	26.54	24.80	11.79	0.161	0.150	0.071

*注) A 土壤：レキ混じりシルト質で粘土分が少ない土壤， B 土壤：粘土分が多い土壤
*Soil A: Silty soil with gravel, Soil B: Clayey soil

3°区 (A) 258.78 (B) 42.85
 5°区 (A) 446.06 (B) 120.96
 8°区 (A) 613.78 (B) 153.71
 10°区 (裸) 612.45 (ハ°) 342.10

(単位: t/ha·year)

④ K の算出

土壌係数 K は、裸地区の場合は、C=1, P=1 とし
 て、次式によって K を求めることができる。

$$K = A / (R \cdot LS) \quad \dots\dots (9)$$

ここで LS を式 (6) により求めると、3°区が0.46、
 5°区が0.91、8°区が1.87、10°区が2.69となる。

よって、K は次のようになる。

3°区 (A) 0.56 (B) 0.21
 5°区 (A) 0.46 (B) 0.30
 8°区 (A) 0.31 (B) 0.19
 10°区 (裸) 0.28

(単位: ton·hr/m²·tonf)

10°区のパイン区の K を求めるためには、パインの C
 の値を求める必要がある。10°区の裸地区とパイン区は、

表-6 EI 値と流亡土量 (屋嘉10°区)
 Table 6 EI value vs. soil loss of 10° plot (Yaka)

No. of obs.	Rainfall (mm)	EI value ① m ² ·tf/ha·hr	Soil loss ② (ton/ha)		①/②	
			Pineapple plot	Bare plot	Pineapple plot	Bare plot
1	106	18.3	8.10	9.58	0.443	0.523
2	138	133.0	98.45	77.85	0.740	0.585
3	58	45.0	14.63	10.52	0.325	0.234
4	50	16.5	44.61	35.40	2.704	2.145
5	215	156.2	88.76	97.82	0.568	0.626
6	17	3.9	3.19	4.16	0.818	1.067
7	64	26.6	40.53	59.97	1.524	2.255
8	254	98.8	115.81	173.00	1.172	1.751
9	165	104.4	64.70	132.70	0.620	1.271
10	135	168.5	18.38	65.05	0.109	0.386
11	99	90.4	2.17	12.43	0.024	0.138
12	81	40.3	20.42	57.28	0.507	1.421
13	54	29.4	4.34	11.77	0.148	0.400
14	157	80.3	27.42	58.78	0.341	0.732
15	70	65.2	18.45	41.13	0.283	0.631
16	184	81.0	6.37	28.02	0.079	0.346
17	45	17.3	3.06	27.92	0.177	1.614
18	243	58.9	4.30	41.10	0.073	0.698
19	58	11.6	7.50	30.10	0.647	2.595
20	73	9.7	1.50	12.80	0.155	1.320
21	94	17.2	0.40	6.50	0.023	0.378
22	104	8.3	3.60	15.70	0.434	1.892
23	88	18.4	4.40	40.40	0.239	2.196
24	101	27.8	9.30	36.00	0.335	1.295
25	61	4.1	3.20	4.10	0.780	1.000
26	40	8.9	16.00	32.50	1.798	3.652
27	106	83.2	47.20	46.50	0.567	0.559
28	47	9.9	—	5.26	—	0.531
29	101	11.6	1.59	2.10	0.137	0.181
30	141	26.0	1.85	11.57	0.071	0.445
31	275	162.4	3.74	35.43	0.023	0.218
32	95	3.2	0.22	1.45	0.069	0.453

表-7 比重と粒度組成(%) (屋嘉)
Table 7 S.G. and soil grading (%) (Yaka)

土 壤 Soil*	比 重 S.G	レ キ Gravel	粗 砂 Coarse sand	細 砂 Fine sand	シルト Silt	粘 土 Clay	コロイド Coloid
A	2.68	29.7	11.4	17.6	17.4	23.9	12.0
B	2.78	6.0	7.2	16.8	10.4	59.6	40.0

*注) A土壤：レキ混じりシルト質で粘土分が少ない土壤，B土壤：粘土分が多い土壤
*Soil A: Silty soil with gravel, Soil B: Clayey soil

表-8 土壤の物理性(屋嘉10°区)
Table 8 Physical properties of Yaka plot soil

比 重 S.G	間隙率 Porosity	透水係数 Permeability coeffecient	分散率 Dispersion ratio	侵食率 Erosion ratio
2.70	54.0%	5.2×10^{-3} cm/sec	42.0%	61.8%

表-9 粒度組成(%) (屋嘉10°区)
Table 9 Soil grading of Yaka plot (%)

レ キ Gravel	粗 砂 Coarse sand	細 砂 Fine sand	シルト Silt	粘 土 Clay	コロイド Coloid
5.0	9.0	24.0	16.0	46.0	34.0

植生因子以外は全て同一条件であるので、パイン区の侵食量と裸地区の侵食量との比をもってパインのCの値とすることができる。したがって、

$$C = 342.10/612.45 = 0.56$$

となる。また、Pは表-10を参考に横畝栽培の0.90を採用すると、Kは(2)式より次のようになる。

$$K = 342.10/(818.2 \times 2.69 \times 0.56 \times 0.90) \\ = 0.31$$

2) 真平原地区

この地区は、改良山成工法で造成された農地で大区画緩傾斜圃場に仕上げられている。調査対象圃場が、200m×200mで5つの耕区から成り、1耕区は長辺200m、短辺40mである。圃場面勾配は、長辺、短辺いずれの方向も1.4°(2.5%)である。なお、圃場の地被状態は裸地およびパインの植付初期(1~2ヶ月)であった。

侵食流亡土量は、耕区末端に設置されている土砂溜マスに流入、堆積した量を測定した。土砂溜マスの堆積状況をもとに影響降雨との関連で4個の土砂溜マスの土砂流亡量の平均を求めると表-11のようになる。

① 土 壤 特 性

土壤の比重と粒度組成は表-12のとおりである。粘土分が多く細粒質土壤である。

透水係数を表-13、浸透能を図-2に示す。透水性が非常に小さく、地表流出が生じ易いといえる。また、三相分布は図-3のとおりで気相率が低く密化している。

保水性の増進や耐水性団粒の形成に関係の深い有機物含有量は、1.7%程度で極めて少ない。一般に有機物含有量の乏しい土壤は比較的侵食を受けやすいとされており、この点からも受食性土壤といえる。

② R の 算 出

降雨データは、現地近くに設置されている自記雨量計のものを用いた。自記紙から一連降雨の総雨量13mm以

表-10 各種保全法に対する P 値
Table 10 P values for contouring and contour strip cropping

傾 斜 Slope degree	横畝栽培 Contouring	等高線帯状 Contour strip cropping
1°~4°	0.55	0.27
4°~7°	0.60	0.30
7°~10°	0.80	0.40
10°~15°	0.90	0.45
15°<	1.00	0.50

上のものを読みとり、USLEのメートル単位法による降雨エネルギーの式(3)を用い、最大60分間降雨強度 I_{60} (mm/hr) を乗じた $E \cdot I_{60}$ の年間合計値を USLE の降雨係数 R ($m^2 \cdot tonf/ha \cdot hr$) とした。ただし、欠測月ものは表-4 の那覇の月別 EI 値を採用した屋嘉地区の場合と同様(7)式により求めると、1,401を得た。

③ A の算出

乾燥密度 $\rho_d = 1.42$ として、滞砂量 V (m^3) を重量 (t) に換算する。さらに、圃場の流域面積 (0.8 ha) で除し、

単位面積当りの土量 (t/ha) とする。これを R と同じく那覇の月別 EI 値を用いて、その比によって1年間の侵食流亡土量 A ($ton/ha \cdot year$) に換算した。その計算式を示す。

年間の侵食流亡土量

$$A = 73.27 \times (1401/877) \\ = 117.05 \text{ (ton/ha} \cdot \text{year)}$$

④ K の算出

USLE 式(5)より、土壌係数 K は次の式によって求

表-13 飽和透水係数(真平原)

Table 13 Coefficient of saturated permeability (cm/sec)(Mahirabaru)

Upper layer (0~10 cm)	8.87×10^{-5}
Middle layer (10~20 cm)	1.03×10^{-5}
Lower layer (20~30 cm)	7.59×10^{-6}

表-11 降雨エネルギー (EI 値) と流亡土量(真平原, 1987)

Table 11 EI value vs. soil loss at Mahirabaru (1987)

No. of oba.	Rainfall (mm)	EI value ($m^2 \cdot tf/ha \cdot hr$)	Soil loss (t/ha)	影響降雨 (mm) と降雨月日 Effective rainfall and its date (parenthesis)
1	334	258	21.19	40 (5/6) 24 (5/13) 64 (5/16) 89 (5/17) 96 (5/17~18) 21 (5/18)
2	416	524	21.67	73 (6/17~18) 68 (6/18~19) 275 (6/21~22)
3	243	81	18.64	18 (11/23) 77 (11/28) 28 (11/28~29) 74 (11/29~12/1) 46 (12/5~6)
4	54	6	3.99	54 (12/9~11)
5	38	15	7.78	17 (12/15) 21 (12/21)
Total	1,085	877	73.27	

表-12 比重と粒度組成(真平原)

Table 12 Specific gravity and soil grading (%) (Mahirabaru)

比 重 S. G	粗 砂 Coarse sand	細 砂 Fine sand	シルト Silt	粘 土 Clay	コロイド Colloid
2.691	15.9	23.3	19.8	41.0	29.0

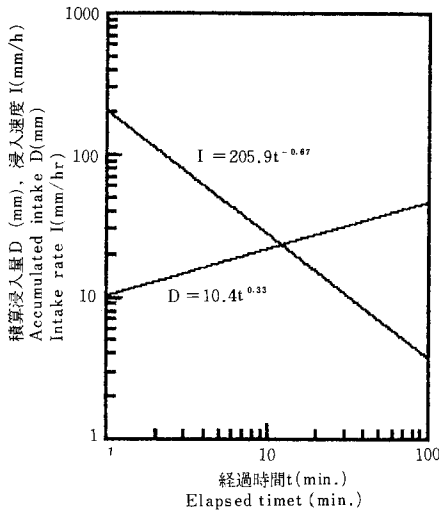


図-2 浸入能 (真平原)
Fig. 2 Infiltration capacity of Kunigami Maaji soil (Mahirabaru)

められる。

$$K = A / (R \cdot LS \cdot C \cdot P) \quad \dots\dots (10)$$

LS は式 (4) により、傾斜度 2.5% ($\theta = 1.4^\circ$)、傾斜長 $l = 200$ m として算出すると $LS = 0.43$ となる。C は、

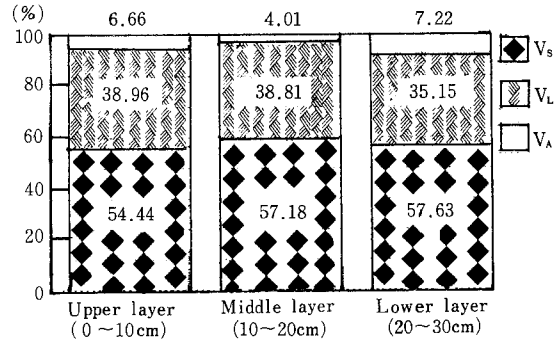


図-3 三相分布 (真平原)
Fig. 3 Three phases of Kunigami Maaji soil (Mahirabaru)

表-14 傾斜土と侵食流亡土量および土壤係数

Table 14 Relationship among slope degree, soil loss and soil factor of USLE

試験地 Testing site	傾斜度 Slope degree	土壌 Soil	流亡土量 Soil loss (A) (t/ha·year)	降雨係数 R factor (m ² ·tf/ha·hr)	傾斜斜面長 係数 LS factor	土壤係数 K factor (t·hr/m ² ·tf)	備考 Remarks
金武町 屋嘉 Yaka Kin-cho	10° (17.6%)	B	612.45	818.2	2.69	0.28	裸地 Bare soil C=1, P=1
			342.10			0.31	パイナップル Pineapple C=0.56, P=0.90
	8° (14.1%)	A*	613.78	1,072.6	1.87	0.31	裸地 Bare soil C=1, P=1
		B*	153.71				
	5° (8.7%)	A	446.06	1,072.6	0.91	0.46	裸地 Bare soil C=1, P=1
		B	120.96				
	3° (5.2%)	A	258.78	1,011.4	0.46	0.56	裸地 Bare soil C=1, P=1
		B	42.85				
宜野座村 真平原 Mahirabaru Ginoza	1.4° (2.5%)	B	117.05	1,401	0.43	0.63	パイナップル Pineapple C=0.56 P=0.55 斜面長=200 m Slope length: 200 m

*注) A土壌：レキ混じりシルト質で粘土分が少ない土壌、B土壌：粘土分が多い土壌

*Soil A: Silty soil with gravell, Soil B: Clayey soil

パイナップルの0.56を用いた。この値は屋嘉のデータから得られたもので、その算出方法については後に述べる。Pは、表-10を参考に横畝栽培の0.55を採用した。②および③のそれぞれにおいて求めたR値およびA値とこれらの値を用いてKを算出すると次のようになる。

$$K = 117.05 / (1,401 \times 0.43 \times 0.56 \times 0.55) \\ = 0.63$$

以上の解析結果をまとめると表-14のとおりとなる。

6. 結果と考察

1) 土壌係数 K

Kに関しては、9個の事例についての値が得られた。真平原のものについては、観測データ数が少なく信頼性はあまり高いものとはいえない。屋嘉のものについては、レキ混じりシルト質で粘土分の少ないA土壌が粘土分の多いB土壌よりも3°、5°、8°区いずれにおいてもKの値が大きくなっている。したがって、レキ混じりシルト質で粘土分が少ない土壌の方が侵食流亡土量が多くなるものと予測される。

2) 降雨係数 R

Rの値は437.8~1,072.6 (m²·ton·f/ha·hr)と年によってかなり差がある。平均すると920~930程度となり、表-4の那覇の897.3よりも大きくなる。したがって、沖縄本島北部等のRも一般化する必要があると思われる。

3) 作物管理係数 C

Cに関しては、屋嘉の10°区からパインの0.56が得られた。しかし、この値は2年間のトータルのもので、実際は値付けから生育段階によって変動する。

一般に、パインは植付け後1年は被覆効果や根の土壌

保定作用が低い。そこで、値付け後半年間、半年~1年、1年~2年と3段階に分けてCの値を求めると表-15のようになる。

値付け後半年間は被覆効果がほとんどないことがわかる。しかし、2年目にはCの値はかなり小さくなっており、被覆効果や根の発育による土壌保定作用により侵食流亡土量が減少することがうかがえる。

4) 侵食流亡土量 A

流亡土量は、当然のことながら、3°、5°、8°、10°と傾斜度の高い方が多くなっている。その侵食量の比は、B土壌の場合およそ1:2.8:3.6:7.5となる。ただし、10°区の場合は他の3区とRの値が異なるのでRの比によって換算した。

また、流亡土量を土層厚に換算すると表-16のようになり、緩斜面でも許容侵食量とされる約1mm/yearを大幅に上回る大量の流失となっている。

したがって、造成工費が見合えば圃場面の勾配をできるだけ緩やかにする必要がある。

7. 水食防止対策

先に述べた侵食要因の中で侵食を助長する要因の強度を下げるのが土砂流出抑止対策の糸口となる。これまでの調査結果を踏まえUSLEを基本とした対策を検討してみる。

造成段階におけるUSLEの適用については、今後の課題として検討する必要があるもので、ここでは耕地組織と営農の面からの対応を考えてみる。

1) 耕地組織からの検討

畑の耕地組織とは圃区の大きさ、形状、排水路や農道の位置関係等耕地が農作業に適するように有効に機能す

表-15 試験区別の流亡土量とパインのC値(屋嘉10°区)
Table 15 C values of pineapple calculated by soil loss from the plot

植付け後の期間 Time elapsed after planted	流亡土量 (t/ha) Soil loss		C
	裸地区 Bare plot	パイン区 Pineapple plot	
半年 6 months	328.29	325.54	0.99
半年~1年 6 months-1 year	552.14	271.69	0.49
1年~2年 1 year-2 years	391.45	124.13	0.32

表-16 土層厚に換算した流亡土量
Table 16 Soil loss converted into soil layer thickness (mm/year)

調査区 Plots		土層厚 Soil layer thickness (mm/year)	仮比重 Bulk density
10°	Bare soil	47.1	1.30
	Pineapple	26.3	
8°	A soil	46.7	
	B Soil	14.1	
5°	A soil	34.0	
	B soil	11.1	
3°	A soil	19.2	
	B soil	3.9	
1.4°	Pineapple	7.8	1.42

る団地をいうが、農地保全上からは圃区の構成単位となる耕区の形態、承水路、排水路の配置、砂防施設の構造、規模等が重要な意味をもつ。

(1) 区画の形態

圃区の形状、大きさは作物、作業体系、経営条件などの観点から検討する必要がある。耕区の形状を決めるさい、長辺（等高線方向）の長さは作業体系、灌漑方法、農地保全、農地所有形態によって制約を受ける。また、短辺（傾斜方向）の長さは主として、農機の作業性、農地保全上の観点から決定される。この場合、畑面の勾配が重要な要素となる。これについては大略「畑面勾配の最大傾斜は栽培管理機械の利用と、農地保全を重視した

観点からは緩傾斜ほど有利であるが、土工費の節約等経済性のバランスをとる必要から5°(8.7%)以内を計画する」との指針¹⁵があるが、表-14が示すように、1.4°(2.5%)でもかなりの土砂流亡が観測されている。

しかし、現在は造成勾配が殆ど3%(1.7°)程度に仕上げる傾向にあり、勾配の問題は解決されつつある。さて侵食抑制上から耕区の短辺の長さを検討する場合は農地保全と機械の作業性をと考慮する必要がある。保全上は短いほどよいが、作業効率の点からは20~25mの整数倍がよいとされている¹⁶。このようにみえてくると、圃場（耕区）の短辺長（傾斜方向）と短辺の勾配を組み合わせたUSLEのLS要因の数値を考慮にいれた形状の検討が必要となる。例えば表-17で $\theta = 30^\circ$, $\theta = 2^\circ$ と、 $\theta = 60^\circ$, $\theta = 2^\circ$ のLSを比較すると、それぞれ、0.342, 0.452となり、他の要因が同じであれば土砂流亡量は76%増となる。

(2) 排水路、承水路の配置

耕区の短辺を上記のようにしただけでは侵食問題は解決しない。圃区全体からの見直しが必要になってくる。圃区短辺の長さの制限は侵食防止上必要条件だが十分条件たり得ないのである。侵食要因が予期せぬ働きをする場合が往々にしてあるものである。耕区界の承水路が等高線方向への排水機能を発揮できない場合は、決壊し、傾斜方向へ水みちを作って流れ出す。水みちが縦道路に沿って形成されると、次々に承水路が決壊し圃区末端の横道路にも被害をおよぼす。また、圃場の傾斜方向いかによっては縦道路に沿った集水路へ流入し、または、集水路の取り付け部が洗掘される。このようなことから耕地組織が侵食抑止対策に果たす役割は大きいものと考えられる。これまでの調査結果からみると、圃場からの土砂流亡の顕著なところは圃区の形態に問題がある。圃区の

表-17 圃場面形態別のLSの値
Table 17 Values of the LS factors for combination of slope length and steepness

[L: 圃場の短辺長（傾斜方向） θ : 傾斜度]

θ \ L	L					
	20m	30m	40m	50m	60m	100m
3度 (5.2%)	0.456	0.558	0.644	0.720	0.789	1.019
2度 (3.5%)	0.291	0.342	0.384	0.420	0.452	0.554
1度 (1.7%)	0.178	0.201	0.219	0.234	0.247	0.288

短辺長と畑面勾配の両者が大きい程侵食の相乗効果が高まる。したがって土砂流亡の軽減が図れる圃区、耕区形態にすることが肝要である。

そのためには①2～3の耕区単位ごとの承水路を耕作道に代える。②耕区および耕区の下流端に貯水機能をもたせる沈砂池を設ける。③急傾斜地での造成形態は畑面に1～2%程度の傾斜をもたせた一時湛水区画とする。①は耕作道に承水路と縦方向への流亡土砂の砂防機能をもたせ、②は沈砂池に堆砂と貯水の機能をもたせることにより、かんがい水として利用できる。③は水田のもつ貯水と洪水調節、地下水函養の機能が直接土砂流出防止に役立つことを期待するものである。

(3) 砂防施設

侵食抑止的な対策は、圃区や耕区の形態にその機能をもたせる前述の方法で対応できるが、圃区から流出する土砂の耕区外、圃区外あるいは農区外への流出抑止をはかるには、それぞれの流域末端に土砂留マス、沈砂池等を設置し土粒子の沈澱、滞砂をはかる方策がとられている。これらの土砂流出防止効果はその構造、規模によって異なるが、一般に施設内の流速に左右されるが流出水が溢水すると微細粒子の流出阻止は困難な現状にある。

従って微細粒子の流出阻止をはかるには、①流域内の表流水を収容できる大規模な沈砂池を設置するか、②土粒子の沈澱を速やかにする構造で対応するか、または、③濁水の浄化機能をはかるための物理的、化学的処理をするかである。これまでの調査結果をもとに経済性、合理性から判断すると前記②および③の併用が望ましいと考えられる。②は沈砂池等の形態別の水理現象を把握することにより、③は化学資剤による急速沈澱、真水排水により抑止効果はかされる。ただし、③の場合の化学処理は生態系への影響がないという前提が必要である。

2) 農法的対策

前述の(1)、(2)、(3)は主として土本的対策で、USLEの保全係数 P に対応するものだが、それぞれの要因の数値の適用は正常な営農条件下でなされるものとされており、前述の P は数値化は困難である。したがって、 R 要因以外は農法的対策の要因となる。但し、 LS は前述したように土本的対策の要因とした。

表-18は過去の観測データをもとに、 R 要因と K 要因を変化させた場合の A の値である。平均的な R (900)、 K (0.3)による土砂流亡は年間194 t/haで、土壌の仮比重を1.35とした場合、土層厚に換算すると14 mmとなり

表-18 土壌係数、降雨係数の変動に伴う A の値 (t/ha·year)
Table 18 Values of the A for variation of K and R factors
 $LS = 0.72$ (斜面長 50m, 傾斜 3度) $C = 1, P = 1$

R \ K	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
	500	72.0* (5.5mm)	108.0	144.0	180.0
600	86.4	129.6	172.8	216.0	259.2
700	100.8	151.2	201.6	252.0	302.4
800	115.2	172.8	230.4	288.0	345.6
900	129.6	194.1* (14 mm)	259.2	324.0	388.8
1,000	144.0	216.0	288.0	360.0	432.0
1,100	158.4	237.6	316.8	396.0	475.2
1,200	172.8	259.2	345.6	432.0	518.4
1,300	187.2	280.8	374.4	468.0	561.6* (42 mm)

* () 内の数値は土壌の仮比重を1.35とした場合の土層厚

*Parentheses indicate the thickness of soil layer for 1.35 bulk density.

表-19 C の変化に伴う土砂流出量 A の値 (t/ha・year)
 Table 19 Values of the A for variation of R and C factors
 (LS=0.72, K=0.3, C=1, P=1 の場合)

R \ C	0.005	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500
500	0.54	1.08	10.8	21.6	32.4	43.2	54.0
600	0.65	1.30	13.0	26.0	39.0	52.0	65.0
700	0.76	1.51	15.1	30.2	45.3	60.4	75.5
800	0.86	1.73	17.3	35.2	51.9	69.2	86.5
900	0.97	1.94	19.4	38.9	58.3	77.8	97.2
1,000	1.08	2.16	21.6	43.2	64.8	86.4	108.0
1,100	1.19	3.38	23.8	47.5	71.3	95.0	118.8
1,200	1.30	2.59	25.9	51.8	77.8	103.7	129.6
1,300	1.40	2.81	28.1	56.2	84.2	112.3	140.4

表-20 各種作物の作物係数 C
 Table 20 Values of the C factors of each crop

作物	作物係数 C	作物	作物係数 C
牧草 Grass	0.02	砂糖キビ Sugar cane	0.2
ワラ, 乾燥マルチ Straw, mulch	0.1	ダイコン Radish	0.3
パイナップル Pineapple	0.5	ナス Eggplant	0.4
キャベツ Cabbage	0.3	ピーマン Pimiento	0.4
カボチャ Pumpkin	0.3	インゲン Bean	0.5
カンショ Sweet potato	0.3	タバコ Tobacco	0.6

極めて大きい値となり、営農上許容できないものとなる。両要因が最も小さい場合でも 5.5 mm の土層厚となる。R の値は変化させることができないので K による土砂流出量の許容値達成は不可能である。それ故他の要因の係数低下をはかる必要がある。表-19は表-18の K 要因を 0.3として、R と C を変化させた場合の A の値である。R = 900として 1.4 mm 以下に土砂流出量(土層厚)を抑制するには C = 0.1以下にしなければならない。そのためには表-20により、ワラ、乾燥マルチが必要となる。更に土砂流出量を軽減させるためには、牧草等の導入が

不可欠となる。種々の営農形態を考えねばならないので、P 要因の低減化も併せて検討されねばならない。

以上のことから水食防止対策としてつぎのことがあげられる。

- ① 排水を考慮した圃場面勾配を有する一時湛水可能な区画の採用
- ② 牧草の導入
- ③ 敷草、敷わらなどのマルチ栽培
- ④ 堆肥など有機物の施用による土壌物理性の改善
- ⑤ 承水路、排水路などの排水路網の合理的配置

⑥ 適切な規模や配置の土砂溜や砂防施設の設置

8. おわりに

今回は若干の観測データと、既往のデータや土壌の物理性の測定結果をもとに、USLEの要因の数値化を試みたが、今後の課題として次のようなものが残されている。

1) 長期にわたる観測により、より平均的で信頼できる値を求める必要がある。特に土壌関数に関して R 値と流亡土量の更なる観測が必要である。

2) 各土壌に適応した諸係数を数値化し、独自の土壌流亡予測式を確立する必要がある。また沖縄の場合、諸係数の数値化のためつぎのような研究が急がれる。

- ① 国頭マージの広く分布する本島北部や石垣島等の R 値を一般化すること。
- ② 国頭マージの K を数値化すること。
- ③ 主要作物であるサトウキビやパイナップルの C 及び P を数値化することなどである。

今回の調査は主として真平原地区の1ブロックを対象にしたが、計測器機の不備や土砂溜マスの滞水による観測の困難さもあり、十分な観測結果が得られなかった。また、サトウキビ更新による圃場の裸地化と、土壌管理の不備による土砂災害のため、観測施設(三角ゼキ・水位計)の機能のマヒなどもあって観測体制が十分でないことを痛感した。なお、USLEの我が国への適用については、改良山成工調査委員会(構造改善局資源課委託)で鋭意検討中であるのでその成果をまって沖縄でのUSLEの諸要因を更に検討したい。

謝 辞

本稿をまとめるにあたって御助言をいただいた宮崎大学農学部細山田健三教授に深謝します。

引用文献

- 1) Baver, L. D. : Soil physics. John Wiley & Sons, Inc, New York · London · Sydney. 432 (1966)
- 2) 翁長謙良: 沖縄島北部地方における土壌侵食の実証的

研究, 琉大農学報33, 111-209 (1986)

- 3) Neal, J. H. : Effect of degree of slope and rainfall characteristics on runoff and soil erosion. *Agri. Engin.* 213-217 (May, 1938)
- 4) Barnett, A. P. and J. S. Rogers : Soil Physical properties related to runoff and erosion from artificial rainfall, *Trans. ASAE.*, 123-128 (1966)
- 5) Wischmeier, W. H. and D. D. Smith : Rainfall energy and its relationship to soil loss, *Trans. Amer. Geophys. Union.* Vol. 39, No. 2 April, 285-290 (1958)
- 6) Hudson, N. : Soil conservation, Cornell University Press, 69-70, Ithaca, New York (1981)
- 7) 藤原輝男・望月善晴・南信弘・小椋正澄: 降雨エネルギーの算定式に関する研究, *農土論集*, 114, 7-13 (1984)
- 8) 岩佐安: 赤・黄色土の分類と粘土鉱物組成の分布, *農地工学へのエンジニアリング・ペドロロジーの適用*, 昭和61年度化学研究費補助金研究成果報告書, 14-21 (1987)
- 9) Bennett, H. H. : Soil conservation, McGraw-Hill Book Company Inc, 169-178 New York and London
- 10) 山崎不二夫: 農地工学(下), 東京大学出版会, 471 (1987)
- 11) 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(1)-USLE適用の背景および降雨係数-*農土誌*, 52, 4, 315-321 (1984)
- 12) 勸日本農業土木総合研究所, 昭和61年度改良山成工調査報告書, 50 (1987)
- 13) Wischmeier, W. H. and Smith D. D. : Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537, 2-3 (1958)
- 14) 農林省構造改善局: 土地改良事業計画設計基準, 計画, 農地開発, 22 (1977)
- 15) 沖縄県総合事務局, 土地改良事業計画指針畑地整備, 25 (1986)
- 16) 山崎不二夫: 農地工学(下) 東大出版会, 524 (1981)

Summary

Okinawa prefecture is located in the monsoon region of Asia and has a humid subtropical climate. Therefore the properties of the soil in this district reflect the climatic factors. One particular kind of soil, called Kunigami Maji because of the locality and the local dialect, is distributed mainly in the northern parts of Okinawa island, Ishigaki island, and Iriomote island. Kunigami Maji soil is red-yellow in color and is regarded as a problem soil from the point of view of erosion.

This study was made in order to estimate and to establish controlling soil erosion on reclaimed fields in the northern parts of Okinawa island. The relations among the factors of USLE (Universal Soil Loss Equation) were analyzed on the basis of rainfall energy and soil loss from the fields.

The method of analysis adopted in the current study is indicated with reference cited. The results obtained from the investigation are summarized as follows:

- 1) According to 9 samples obtained from the field plots tested, K value of USLE factors is higher in silty soil than in clayey soil in each plot of inclination of 3° – 8° .
- 2) R value changes from 438 ($\text{m}^2\text{tonf}/\text{ha} \cdot \text{hr.}$) to 1073 ($\text{m}^2\text{tonf}/\text{ha} \cdot \text{hr.}$) by the year test was conducted.
- 3) C value of pineapple was estimated at 0.56
- 4) Countermeasures against soil erosion and areas for further study were proposed as follows:
 - (1) The field lot like paddy is recommended to protect soil loss from reclaimed area.
 - (2) Mulching with layers of grass or leaves to decrease rainfall energy and runoff.
 - (3) Stabilization of soil particle by using compost or humus.
 - (4) Reasonable layout of terrace and drainage channel.
 - (5) Decreasing muddiness of runoff to minimize river and ocean contamination.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 63, 19–34, 1991)

報	文
---	---

ニジェール河流域の砂漠化防止

—その可能性と農用地整備公団のとりくみ—

村山 忠一

Desertification Control in the Niger River Basin
—The Possibility and the Role of JALDA—

Chuichi MURAYAMA

Japan Agricultural Land Development Agency

1. はじめに

この報文は、農用地整備公団の「砂漠化防止対策基礎調査」をベースとしたものである。この基礎調査は、農林水産省の補助金により当公団が、1985年から1989年にかけて現地調査を行い、1990年にそのとりまとめを行ったものである。

調査の方法は、既存文献、資料の収集、現地調査、現地関係機関からの聞きとり、およびLANDSAT, NOAAのデータ解析をもとに、砂漠化の現状と原因、そしてその防止対策を考察したものである。

砂漠化の定義は、1977年ナイロビで開かれた「国連砂漠化会議」による。すなわち、「砂漠化とは、生物の潜在的生産力が低下するか破壊され、最終的には、砂漠のような状態になる現象である。例えば、放牧地の生産力が低下し、半乾燥地の農業が不可能になり、かんがい農地が土壌の塩性化によって放棄され、あるいは他の何らかの形で、土壌の生産力の低下をきたす現象」である。

2. 調査目的

この調査の目的は、世界で最も深刻な砂漠化の影響を受けているサハラ砂漠以南のニジェール河流域（主としてサヘル地域）において、この地域の砂漠化の進行状況とその原因を調査し、砂漠化防止対策の基本構想を作成すること、および現地の自然と社会状況にあった農地開発の可能性を見出すことである。

3. 調査範囲

調査範囲は、ニジェール河流域（流域面積209万km²、

*農用地整備公団 〒105 東京都港区芝公園2の4の1
秀和芝パークビルB館

土壌の物理性 第63号 pp.35~42 (1991)

流路延長4,130 km、年間総流出量8,990億m³)の内、サハラ砂漠を除く141万km²を対象とする。対象関係国は、ギニア、コートジボアール、ブルキナファソ、マリ、ニジェール、ベニン、ナイジェリア、チャド、カメルーンの9カ国である。

4. 砂漠化の原因と進行状況

砂漠化の原因としては、この地域の降雨量が少なく、そして不規則であり、高温であるという自然要因があって、これに人為的要因が作用することによって自然の生態系のバランスが失われるためと考えられる。

人為的な要因とは、人口増加にともなって、自然の回復力を越えた過剰耕作、過剰放牧、まき採取の増大があって、これによって植生と森林が減少し、土壌の劣悪化が進行しているのである。

砂漠化の進行状況については、人工衛星NOAAの植物指標データの分析と、FAO作成によるハザードマップを参考にして砂漠化総合図(図-1)を作成した。

降雨量が少いという自然要因からすると、この地域の北にあるサハラ砂漠の南縁が徐々に南下する現象がある。こうしたところは、すでに植生が乏しく、生産活動は、季節によって移動する放牧しか行われていないところであり、砂漠化の進行という視点からみると特に著しいものではない。

ニジェール河流域の砂漠化の進行は、サハラ砂漠の南縁地帯よりも、もっと南側の、降雨量が500mm前後ある耕作地帯の方が砂漠化が著しいといえる。特に、人口の都市集中によるまき使用量の増大によって、都市近郊からの森林の減少による砂漠化の拡大が、最も著しいものである。(図-1 砂漠化総合図、および図-2 農業・土地利用形態区分図 参照)

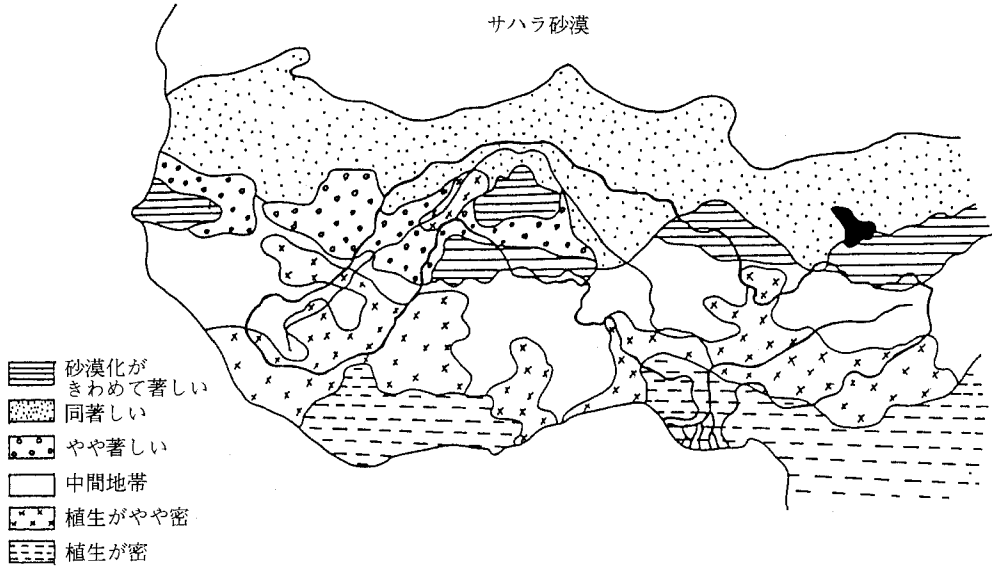


図-1 砂漠化総合図

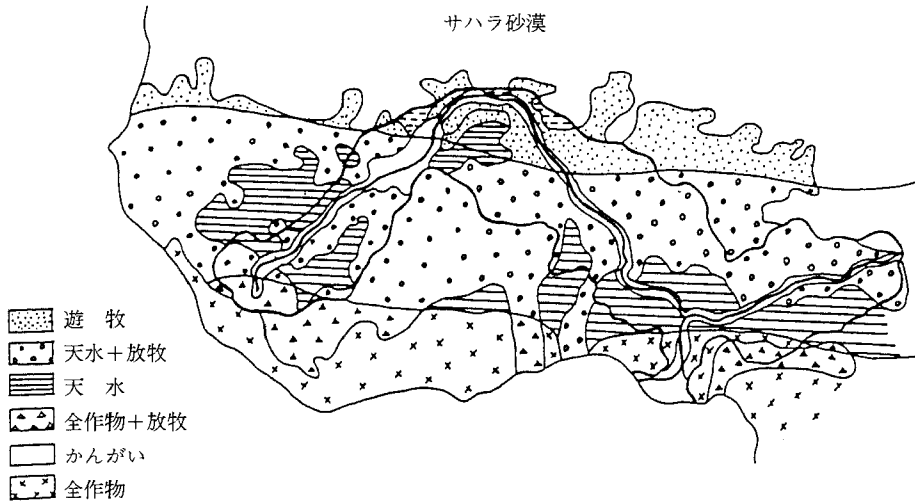


図-2 農業・土地利用形態区分図

5. 砂漠化防止対策の基本構想

サヘル地域の砂漠化の実態、土地・水資源の開発の可能性がおおむね明らかとなったところで次の基本構想を提案するに至った。

- ① 調和ある土地利用
- ② 拠点地域における農業・農村開発

- ③ 拠点地域を結ぶ回廊
- ④ 森林および水資源地帯の保護
- ⑤ 緑の防衛帯の創成

技術的な考え方の基本は、土地・水資源の開発ポテンシャルの高い地域から、農業・農村開発にとりくみ、この拠点地域をベースとした緑と流通のネットワーク(道路・水路の整備と、これに沿った防風林の育林)をつく

り出し、年間 300 mm 程度の耕作可能北限地域には、特に育林を密にして、森林地帯(緑の防衛帯)をつくり出そうとするものである。

6. 基本構想の背景

サハラ砂漠は、紀元前6000年頃から2500年頃までの数千年間は、緑のサハラであったことが記録されている。その当時と今日では、気候条件が異なるため、以前と同様の緑を再生させることは不可能であろう。しかし、現在の気候条件のもとでも、人間生活が十分に営める程度の緑を回復させることが部分的には可能であると考えられる。

サヘル諸国は、厳しい自然環境と、社会経済的な歴史のもとで、国際的な経済援助に頼らなければならない状況にある。この厳しい現実を知りながら、緑の回復を可能と考えるには、下記の理由がある。

- ① サヘル諸国は、いずれも砂漠化の進行に苦しんでいる状況にあるが、その程度は画一的なものではない。こうした半乾草地の中にも、ニジェール河やワジの伏流水、湧水などの水資源に恵まれた緑豊かな地域もある。こうした地域を拠点として、かんがいを中心とした農業開発と育林を積極的に実施していくことにより、緑豊かな大地を回復し、拡大していくことができるものと考えられる。
- ② 厳しい自然条件のもとでも、遊牧、天水耕作などにより、現にその土地資源と水資源を活用した生産活動が営まれている。住民のこうした生産活動が、この地域の生態系の一環をなしているとの視点から、耕作と牧畜、および林地の調和ある土地利用を確立することにより、この地域の砂漠化防止が可能であると考えられる。
- ③ 水が集り、土壌水分が保持される地形条件の所には、植生が定着している。かん木林が虎斑模様の植生をなしている所や、国道の盛土に沿った植生の定着などがそうである。これらの現象は、降雨時に流れ去ってしまう表流水をコントロールすれば、農業生産の安定と増産が可能であることと、適地と樹種を選定すれば、かんがいなしの育林が可能であることを示すものである。
- ④ 水資源のかん養と土壌保全について、農家レベルの具体的な技術と、各国ごとおよび国際的な技術の普及と啓蒙活動が現在実施されている。そして、かんがいプロジェクトや、育林プロジェクトが数多く実施されている。

このように、見方によっては、この地域は自然条件に恵まれていて、採取経済的な生活が成立していたのである。これが西欧文化との交流によって、生活様式が変わ

ってきたことと、急速な人口増加によって、農業開発や育林対策なしには砂漠化が進行するような状況となっているのである。

7. 砂漠化防止対策の具体例

砂漠化の原因は複合的である。また、農業生産の安定的増産対策として取り入れたかんがい農業が、塩害をおこして砂漠化の原因になったり、マラリヤ等の伝染病の拡大の原因となる恐れもある。したがって、砂漠化防止対策は、数多くの専門分野に及ぶ慎重な検討が必要である。

ここでは、その具体例を「直接的な対策」と「間接的な対策」の2つに区分してみた。

1) 直接的な対策

直接的な砂漠化防止対策には、土壌の風食・水食防止、防風・防砂林、砂丘移動防止をあげることができる。水食や風食により土壌が移動している所には植生は定着しない。また、人為的な原因により、植生が減退したところの土壌は、風食と水食を受けて砂漠化が進行する。

直接的な砂漠化防止対策とは、この土壌移動の悪循環を断ち切って、土壌を固定し、植生を定着させることを直接の技術目的とするものである。

植生の定着条件のないところに、防風・防砂効果が表れる程の広範囲にわたって、人為的に環境を改善することであるから、コストの高いことが特徴の一つとなる。新設した国際道路が移動する砂丘に埋ってしまうのを防止するとか、オアシスの集落を、防風・防砂林で守ること等の事例がある。目的と受益者が明確になり、その資金対策がつけば既存の事例にならってこの対策を実施できる。

この調査で提案した「緑の防衛帯」の目的は、地球規模の環境対策の一つとして、国際協力のもとにとりくもうとするもので、この合意形成には時間がかかる。

2) 間接的な対策

間接的な砂漠化防止対策としては、農業・農村整備、水資源開発、人口対策、エネルギー対策、インフラ整備、教育・啓蒙等があげられる。

住民の生活がこの地域の生態系の一環をなし、しかも、影響力の強い因子であるとの視点から、自然との調和ある生活様式と資源利用を見出そうとするものである。人間生活の諸活動を改善することが間接的に砂漠化防止になるものと考えられる。

間接的な対策のうち、農業・農村開発についての考察を述べる。

農業・漁業就業率は、沿岸諸国では60%前後であるが、

砂漠化が進行しているマリ、ブルキナファソ、ニジェールでは80%を越える。内陸国の農業は自給自足的な小農がほとんどである。農繁期の労働は苛酷であるが、生産性は低く、収穫は不安定である。そして、慢性的な食糧不足のために、耕作地の面積拡大を図っているが、単位収量は年々低下している。

生活の中で通貨経済の比重が大きくなっているのに、20～30歳代の男性は、農閑期に都市へ出稼ぎにでる。都市では、これを吸収できる雇用機会がある訳ではないので、市場や空港等集って、荷物運搬などの偶発的な仕事を待っている若者が多い。

こうした貧しい農村地域の、農業・農村開発の方法を次のように考える。

(1) 農業開発

- ① 耕作地と休閑地を計画的に配置する。
- ② 休閑地には家畜を放牧し、家畜の糞尿による地力回復を図る。このことにより、遊牧民と農耕民の協調を図る。現に実施されている方法であるが、休閑地の減少のため遊牧民と農耕民の争いが起ることもある。
- ③ 施肥技術を普及し、耕地の連続栽培を可能とし、単位収量の増収を図る。
- ④ 小ダム・畦づくり等の伝統的技術による表流水の貯留技術の普及を図る。この農業基盤の整備は、農閑期に実施するようにし、労賃と資材費相当分の奨励金を支給して、若者の農村における就労機会をつくり出す。
- ⑤ 土壌と水資源条件にあわせて、栽培を多様化する。野菜、キャッサバ、甘しょ、果樹の導入を図る。
- ⑥ 防風、防砂林、庇蔭林の奨励。
- ⑦ 薪需要にみあった造林計画の実施。

(2) 農村整備

若者の都市集中を防ぎ、若者が農村で就労できるようにするために次の事項を提案する。

- ① 地方道の整備、生活用水施設の整備、および集落周辺の育林を公共事業で計画的に実施し、安定した雇用機会をつくり出す。
- ② 農器具、荷車、自転車、バイク、自動車等の修理加工施設をできるだけ多く地方に配備する。ここの技術者の職業訓練所を地方都市に設置する。
- ③ 流通施設(市場、出荷場、穀物倉庫等)を建設整備し、農業共同組合による流通の活性化と広域化を図る。
- ④ 農産物加工技術(貯蔵食品)の改善と普及を図る。
- ⑤ 初等教育の普及、子供たちの教育の機会を保証し、学校給食を実施する。このための教員養成が必要である。
- ⑥ 医療機関の地方配置。

8. 実証調査の実施

農用地整備公団は、「砂漠化防止基礎調査」に引続いて、ここで提案した砂漠化防止対策の技術的裏付けを得るため、平成2年度から6ヵ年計画で実証調査を実施する予定である。

この実証調査は、ニジェール国ニアメイ市の南西55 kmにあるトロディに、100 haの実証圃場を設置して行うものである。調査内容は、気象水文観測、作物栽培の実証、水資源確保の方法とかんがい技術の調査、太陽エネルギー活用方法の調査である。また、この周辺地域において、砂丘移動の実態把握と、リモートセンシング手法による砂漠化の進行状況の調査を行う。

9. 土壌条件からみた農業開発と緑化の可能性

1) ニジェール河流域の土壌と植性の特徴

(1) 虎斑模様植生

サヘル地帯の土壌は、大部分が赤色のラテライトで占められている。ラテライトは、大きな気温差による岩石の風化、雨水による塩基や有機物が溶脱し、そして不溶性の鉄とアルミニウムが残ることによって生成される。砂漠化の進行は、このような養分の乏しいラテライト土壌の分布域において、薄い表土が失われ、不毛化していくケースが多い。

この地域の植生状況は、種類が多様であることと、その生育状況にムラが目立つことが特徴的である。平坦な地形において、土壌と表流水が流去する所と集積する所との土壌・水分状況の違いが、植生の生育状況に反映しているのである。

例えば、この地域特有の虎斑模様の自然かん木林がある。50万分の1以上の地形図には、Brosse Tigreeの表示があって、地図上からその規模を読みとると、幅数km、長さ数10kmの虎斑状のしま模様であるが、実際に地上でみると、幅数m、長さ数10mくらいの小規模のしま模様であり、これを航空機により上空から見ると、この小規模なしま模様の群が、より大規模の疎密のしま模様を形成している。

この成因については次のように考えられる。

平坦な地形に降雨があると、凸地の水は流れて凹地に集まり、一時的には水たまりとなって地下に浸透し、土壌水および地下水となる。サヘル地域の厳しい自然条件のもとでは、表流水が流れ去ってしまう地形のところには植生は定着せず裸地であるが、表流水が集る凹地では土壌水分が多く、植生が定着する。平坦な地形であっても、微妙な凹凸の地形のうねりがあり、そのうねり模様に従

って土壌水分が異り、そして、土壌水分の多いところに虎斑状にかん木が定着しているのである。

この虎斑模様は、自然のかん木林形成だけでなく、ミレット、ソルゴの耕作畑にも、作物の生育状況に同じようなしま模様の濃淡が、10m幅くらいのサイクルで見られる。ミレット、ソルゴ耕作は、すじ状点播と除草をするだけで、施肥はほとんどないので、地形の微妙な凹凸のうねりによる土壌と水分の違いが、作物の生育状況に反映しているものと考えられる。

(2) 国道盛土の上流側と下流側の植生の違い

盛土により建設された道路の左右に、植生状況の差がみられることがある。上流側には植生が多く、あるいは耕作利用されていても、下流側は植生が少なく、荒地となっているような例である。これは、道路の盛土によって、表流水が上流側に一時滞留し、土壌水分がかん養された結果と考えられる。

こうした国道ルートは昔からあったが、高速道路として整備されたのは最近であって、マリ国のガオでは完成が1985年、ブルキナ・ファソ国のワガドグからニジェール国のニアメイ間が完成したのは1982年頃であるという。そして、この道路建設にともなう盛土によって、表流水が滞留する上流側には、数年もすると植生が定着するようになる。地形によって、その規模はいろいろであるが、こうしたところでは、乾燥に強い樹種を選定すれば、無かんがいによる育林が可能であろう(写真-1 道路盛土によって上流側に土壌水分がかん養されて植生が定着)。

(3) 現地における緑化技術の例

現地における緑化技術の一つとして、半円弧の溝を掘って表流水をキャッチし、ここに植樹または、は種する方法がある。植樹した当初の状況は、これで育つのだろうかと心細い状況であるが、実用となっている方法であり、効果のある方法であることを現地で確認している(写真-2 ウォータハーベストによる植樹、写真-3 ウォータハーベストによる緑化(2年目))。

(4) 土壌条件の厳しさ

平成2年度から開始した実証調査で、裸地における土壌層別地温を測定した(図-3、図-4)。ニジェール国トロディにおける乾季の地温である。表層は連日最高55°C前後、最低15°C前後をくり返している。下層5cmでも、連日40°Cを越えるので、植物にとっては厳しい条件である。

2) 農業開発と緑化の可能性

「6 基本構想の背景」で、農業開発と緑化を可能と考える理由を述べたが、なお、これを補足して本報のまとめとする。

まず、砂漠化防止の目的は何かを考え直してみたい。

今、地球規模の環境問題が国際的な課題となっていて、砂漠化防止もその一つである。——砂漠のような不毛の土地がどんどん拡大している。CO₂を分解する緑が減少してゆけば、やがて地球全体が砂漠になってしまう——確かにその通りかもしれない。

だからといって、押しよせてくる砂漠化の最前線を、



写真-1 ウォータハーベストによる植樹(1年目、トロディ)



写真-2 ウォーターハーベストによる緑化（2年目，トロディ）



写真-3 道路盛土によって上流側に土壤水分がかん養されて植生が定着（ガオ）

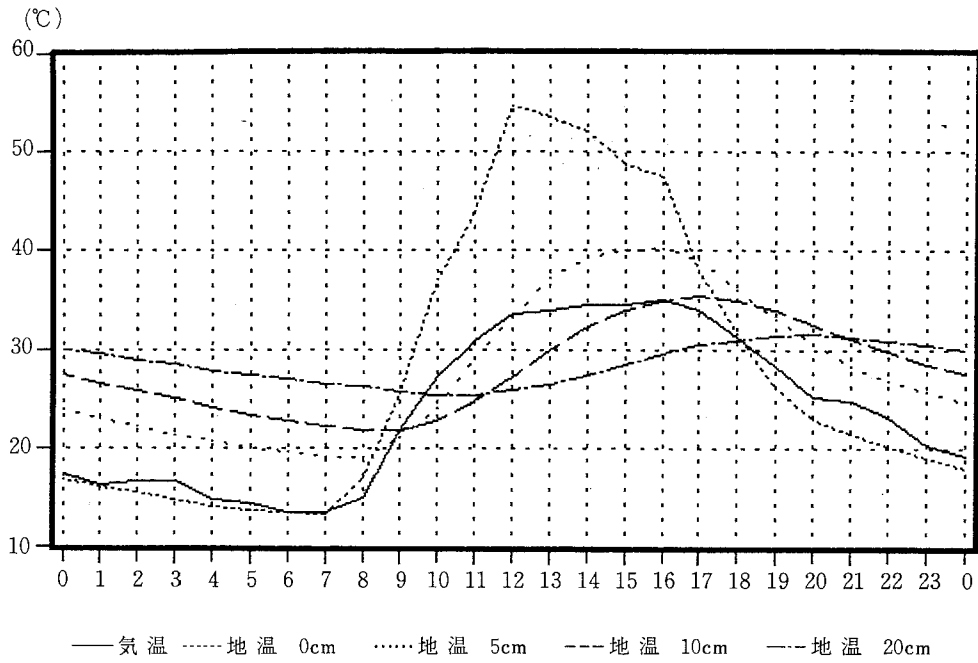


図-3 土壌層別地温 (1990年12月8日, トロディ)

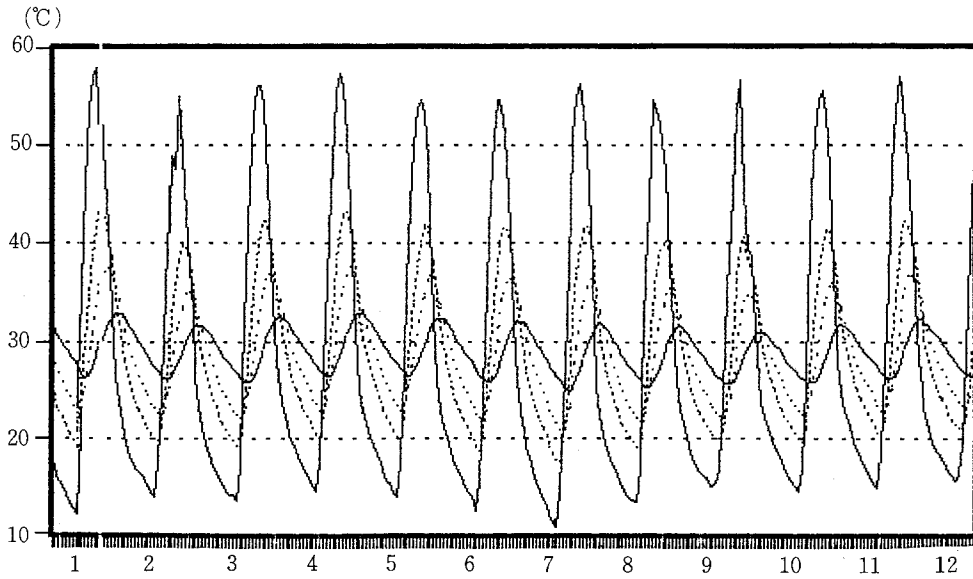


図-4 土壌層別地温 (1990年12月1~12日, トロディ)

国際的な組織で対応すればこれを守ることができるだろうか。

UNEPが、過去10数年の砂漠化防止対策を反省してとりまとめようとしている、「Save Man not, the Land」という報告書の案文を見る機会を得た。その基本的な考えは、砂漠化の影響を生活そのものに受けながら、なお、そこに居住する住民が居ることを主題として、その生活環境を守ることが砂漠化防止の目的であり、その住民の活力こそが、砂漠化防止の原動力となるとの認識である。

これは、本報における砂漠化防止についての基本的な考え方と一致していると思う。

西アフリカ、ニジェール河流域、サヘル……トロディ……、これらは、一様なものではなく、調査して知れば知る程に多様である。そして、砂漠化防止の対策も多様であるが、その技術的な指標となるものは、土と水が基本的なものである。

土壌物理学の対応と可能性、そしてその必要性は、砂漠化防止において多大である。

Summary

This report is done from the information of the Basic Study for Agricultural Development in the Niger River Bassin done by JALDA (Japan Agricultural Land Development Agency). JALDA has studied the factors of the causes, and the actual stage of desertification and the control of it in the basin of Niger River from 1985 to 1990. The main purpose of it is to seek for the possibility of agriculture development in that area. We thought that the desertification control is synonym to keep environment of life. The occupants of that environment are farmers and nomadas, so the point of the desertification control is to find out how to continue modern and traditional farming system and stable grazing.

In that area, the desertification doesn't constantly make progress from the Sahara desert to the south. We can observe the vegetation recover according to the precipitation fluctuation. The intense desertification can be observed near by city side because of the population growing and the culture zones where the precipitation is about 500 mm.

JALDA proposed the concepts of desertification control as the result of the study as follows.

- (1) Improving the high potential area for the agriculture and social-economic condition.
- (2) Land management.
- (3) Connecting this high potential area with the development of the rural roads, the waterway and forest (trees and bushes).
- (4) Construction of green defense zone at the northern boundary areas of culture to prevent the southward desertification.
- (5) Protection forests in the water resource area and the tropical rainy zone.

The typical topography in that area is a vast combination of the upland plain and alluvial lowland areas. In the vast land, the soil and water condition are different from each points. The vegetation makes typical ecological patterns, and there are many kind of cultivations according to the different natural conditions.

Considering the different condition and ecology, we have to prepare many kind of method of desertification control, and the possibility in agriculture development and stabilizing vegetation are many also.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 63, 35-42, 1991)

熱帯低湿地開発の諸問題

久馬 一 剛*

Problems Related to Coastal Lowland Development in the Tropics

Kazutake KYUMA

Faculty of Agriculture, Kyoto University

I. 東南アジアの低湿地—マングローブ林と湿地林—

一般に、熱帯圏に特異的に低湿地が多いとは言えないかもしれないが、東南アジア熱帯には確かに低湿な条件にある土地が際立って広く分布しているといえそうである(表1参照)。このことが東南アジアを世界の米の主産地にした条件の一つであることは、すでに指摘したところである(Kawaguchi and Kyuma, 1977)が、ここでは今後の東南アジア熱帯における低湿地開発に際し、如何なる問題に直面するかについて考えてみることにしたい。

開発の対象となる低湿地という限定をおくと、すでに水田地帯としてほとんど開発されつくした大陸部東南アジアのデルタ主要部は考慮から外すことになる。したがって、ここでの論議は大陸部ではデルタの先端部にあるマングローブやニッパで覆われた潮間帯の湿地を、また島しょ部ではマングローブのある汽水性の湿地とその内陸側に広がる淡水湿地林で覆われた泥炭湿地を主たる対象とすることになる。

ところで、低湿地を上のようにマングローブ林や湿地林で覆われた農業的に未利用の低地に限定した場合、どれぐらいの面積になるかを資料によってみてみると、表2と3によ

て、マングローブ林の面積は約500万ha(Christensen, 1979)、湿地林の面積は約2,000万ha(Driessen, 1978)と見積もられている。マングローブについては世界の他の大陸における分布面積を示すデータがないが、種数の多さなどから東南アジア熱帯がマングローブの起源地であるとされていることを考慮すると、世界における東南アジアのマングローブ面積のシェアは小さくないものと思われる。また湿地林については表3に明らかなように、世界の熱帯湿地林の総面積約3,000万haの実に2/3が、面積では熱帯陸地の僅かに1/11しかない東南アジアに集中している。このことは湿地林が東南アジア島しょ部に特異的な景観であることを示すものにほかならない。以下には東南アジアの自然の特徴を見る中で、そのことの原因を考えてみよう。

II. 東南アジア低湿地の気候・地質・地形・地史

東南アジア大陸部にある大河の作るデルタは、いずれもKoeppenの熱帯サバンナ気候(Aw)区に属し、雨季には過剰な水で湛水されるが、乾季には逆に土壌を極端な乾燥条件にさらすことになる。他方東南アジア島しょ部

Table 1 Importance of Alluvial Land
(in million hectares)

	Land Area		Alluvial Soil Area	
	Total	Potentially Arable	Total	Potentially Arable
World	13000	3152	588	316
Asia*	2704	620	—	192
Tropical Asia	987	344	168	114

*Excluding USSR

(Source: World Food Problem, White House, 1967)

の大部分は、Koeppenの熱帯雨林気候(Af)区に属し年間を通じて潤潤であるか、乾季はあっても短期間かつ微弱である。このように東南アジアの大陸部と島しょ部の区分は、ほぼ正確にケッペン(Aw, Af)の2気候区に対応しており、これはまた大陸部と島しょ部の植生型の違いにも対応している。すなわち島しょ部の主要地域では、高層木が40~60mにも達する多層構造の密な熱帯雨林が成立するのに対し、大陸部低山帯では樹高も低く、より疎開した半落葉ないし落葉季節林が優占する。

この植生の差は地表の被覆を通じて土壌侵食状況にも反映され、島しょ部の熱帯雨林気候域では降水量が多いにも関わらず侵食による表土流失が少ないのに対し、大陸部の熱帯サバンナ気候域ではもともと植生が疎である上に、早くから人間が干渉を加えてきたという歴史的な事情もあって土壌侵食が激しいということになる。ひいてはそれが大陸部と島しょ部での海岸低湿地の土砂堆積過程の差異を引き起こし、陸化の速度や土地利用をも規制する結果となっていると考えられる。

さらに大陸部にはヒマラヤをはじめとする大山塊があって大河の源流地域となり、大量の土砂の供給源となるのに対し、島しょ部では一般に山塊が小さく高度も低いので土砂供給のポテンシャルは本来小さく、また河川の規模も小さいために土砂の運搬量も少ない。これに加えて、土砂の堆積を受けるべき海岸域の特殊性をも考慮に入れる必要がある。いわゆるスンダ陸棚の存在である。

スンダ海は最大水深70m程度の浅い海であるが、洪積世の最終氷期には海面の低下によってスマトラ、ボルネオ、ジャワは大陸部と一続きの陸地—スンダランド—をなしていたと考えられている。スンダ陸棚は最終氷期以後の海進によって海面下に沈んだスンダランドの準平原面に他ならない。このようにスンダ陸棚に面する海岸はもともとの準平原面によって規定される遠浅の海底に、海進の過程で積った粘土やシルト質の堆積物が乗っているものとして理解することができる。最終氷期以後の海進は、今から約6,000年ぐらい前のいわゆる後氷期高温期に最高水位に達したものと思われ、それ以後は変動はあるものの僅かに海退が起こって現在の海岸線を示していると考えられる。しかしここで注意すべきは、スンダ陸棚に面する遠浅の海岸では、この僅かな海退で新たに露出した陸地の広がりも極めて大きかったと考えられることである。

上に述べたことを総合して考えれば、東南アジアの低湿地のもつ特殊性が浮び上がってこよう。大陸部では気候的にも、地質・地形的にも土砂の供給が大きく、これが浅い海に運ばれるために大河のデルタはよく発達し、現在も海岸湿地は埋積されて年々デルタは成長を続けて

いる。それに対し島しょ部では、気候的にも地形的にも土砂の供給量が小さいにもかかわらず、埋積すべき低湿地の広がりも大きく、このアンバランスが広大な泥炭湿

Table 2 Mangrove Areas in Southeast Asia

Burma	500,000ha
Thailand	317,700
Cambodia	?
Malaysia	688,459
Indonesia	3,000,000?
Philippines	251,577
Vietnam	300,000?

(Source: Christensen, 1979)

Table 3 Distribution of Tropical Peat Areas in the World

	Location	Tropical Peats (ha)
Asia	Thailand	200,000
	Vietnam	1,500,000
	Peninsular Malaysia	800,000
	Sarawak, Sabah, Brunei	1,650,000
	Kalimantan	6,265,000
	Sumatra	9,700,000
	Irian Jaya	70,000
	Papua	500,000
	Others	1,500,000(?)
	Subtotal	22,185,000
Africa	Kenya/Uganda	500,000
	Zaire	1,000,000
	Others	1,500,000
	Subtotal	to 3,000,000
America	Guianas	500,000
	Brazil	1,000,000
	Colombia	350,000
	Venezuela	3,000,000
	Others	300,000(?)
	Subtotal	5,150,000

(Source: Driessen, 1978)

地を生起させることになったと考えられる。このように気候、地質、地形、地史の特異な組合せがあつて、東南アジア島しょ部の特異な景観としての湿地林が成立したものと考えられる。

Ⅲ. 低湿地の土壌—酸性硫酸塩土壌と泥炭土壌—

以上のように、ここでの議論の対象をマングローブ林と湿地林で覆われた沿岸低湿地に限ることにすると、これらがそれぞれ特殊な性質をもつ問題土壌—酸性硫酸塩土壌と泥炭土壌—と結びついていること、従つてその開発に当つては深刻な土壌問題に直面するであろうことを予期させる。以下にはこれら土壌のそれぞれについて問題点を抽出し概説することにした。

1. 酸性硫酸塩土壌

マングローブ林下の汽水性堆積物がパイライト (FeS_2) を含み、マッドクレイともよばれる潜在的酸性硫酸塩土壌であることはすでによく知られている。自然あるいは人為による陸化に際しての堆積物の熟化過程で、パイライトが酸化しキヤットクレイとよばれる酸性硫酸塩土壌に転化すると、強い硫酸酸性のため農地として、あるいは養魚池としての利用を阻害することになり、現在東南アジアの各地で問題を生じている。

マングローブは比較的海流のおだやかな内湾や河口域の海水ないし汽水性の環境に成立する特殊な森林であるが、一度定着するとその特異な根系によって土砂の堆積を促し、陸化を進める傾向がある。また大量の有機物を底質に供給するために、根域を嫌氣的にし、海水由来の硫酸根を還元して硫化物を作り、これを底質中に蓄積する。この硫化物の安定な蓄積形態がパイライトにほかならない。

このようなマングローブ林下の堆積物が、前進する海岸線の浜堤と河川の自然堤防に囲まれた湿地として海から切り離された形でデルタの中に取残された例は各地に見られ、メコンデルタの「芦の原 (Plain of Reeds)」やチャオプラヤデルタのランシット—オンカラック地区などはよく知られた例である。農地としての大規模な開発が図られるのはこの場合であり、現に存在する海岸のマングローブ林を切払つて農地を開発しようとすることは稀にしかないとされる。しかし近年東南アジア各国で進められている養魚池の開発はすべて、現在海岸にあるマングローブを潰して人工の池を作る方式で行なわれており、これが急激なマングローブ林の面積減少を引き起こしている主因である。マレーシアあたりで、木炭用に大規模にマングローブを伐採する場合には、跡地に適当なマングローブ樹種を植栽する慣行ができており問題は

小さいが、養魚池の開発は根こそぎマングローブを取除くわけであり、大きい問題を生ずる。

農地開発の場合にも養魚池の開発の場合にも共通する問題は、土壌の酸性化により十分な利用がなされないままに放置あるいは放棄されるケースのあることである。養魚池では土盛りをした堰堤部でのパイライトの酸化で、流入する酸によって池水の pH が < 5 に下がると養魚池としては使えないという。農地の場合には乾土の pH が 4 を越えれば水田としての利用は可能になるが、自然のプロセスに頼つてそこまで pH を上げることは容易でない。なぜなら海岸の低湿地に多い粘土質の堆積物では、土塊の中にとじ込められたパイライトが全部酸化されるまでには非常に長時間を要するし、また水の降下浸透もあまり起らないので生成する酸を有効に洗浄することもできない。それだけでなく少し pH が上がると、パイライトの酸化中間産物として生成する塩基性硫酸第二鉄としてのジャローサイト $[\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6]$ が加水分解してまた酸を遊離する。このようにパイライト含有堆積物の酸化と土壌の改良過程は極めて緩慢にしか進まないが、遊離された硫酸があらかじめ洗浄されたとして土壌の pH はどれぐらいになるのであろうか。van Breemen (1976) は水田のように年間に湛水する期間がある場合に、硫酸酸性を示す土壌が最終的に到達する pH は 4.5 ~ 5 となることを理論的に説明したが、これは多くのデルタ土壌や干拓地土壌についてのデータで裏付けられている。

もっと積極的に酸性硫酸塩土壌を改良しようとする、やはり適当な深さまでの排水と酸化を促し、天水あるいは良質の灌漑水で、生成する酸や塩基性硫酸塩などを洗浄してやる必要があらう。農民レベルでは土地の一部を盛り上げたり、高うねを立てて堆積物の酸化と洗浄を促進する方法がとられ、ココナツや水稻が作られている。インドネシアではスルジャン (surjan) システムという幅の広い高うねを立てる方式があつて低湿地で広く見られる。バンコク周辺の小輪中と高うねの組合せも同じ意図に出ている。

このようにしてある程度積極的な熟成酸化と生成物の洗浄の効果が上がった上でなら、石炭施用によって残りの酸を中和することも現実的な改良策となる。van Breemen and Pons (1978) の計算によれば、3% のパイライトを含む土壌を石灰施用だけで深さ 50 cm まで中和しようとするれば、かりに生成した酸の半量が洗浄によって除去されたとしても、なおかつ 150 トン/ha の石灰が必要となるという。このような大量の石灰の投入が経済的に引合わないのはいうまでもないが、かりに資材があつたとしてもともと低湿な足場の悪い場所に、この大量の石灰を運搬し散布することの困難さも忘れてはなるまい。

このような酸性硫酸塩土壌の改良の困難さを考えると、マングローブ林下に堆積したパイライト含有堆積物の、農地としてあるいは養魚池としての利用は十分慎重な考慮の上でなされねばなるまい。メコンデルタでは、長く低利用状態におかれていた「芦の原」に、ベトナム戦争後水田開発を試みたが結局は成功せず、もともとこの地に自生していた *Melaleuca leucadendron* (マレー語でグラム、英語では俗に paper bark tree) を再植林した地域があるという。養魚池としての開発の場合には土壌問題だけでなく、さらにマングローブ林の保全の視点が重視されねばならない。マングローブが果している海岸線の保護、魚の産卵やふ化の場所の提供などいろいろの機能を考慮する必要がある。

2. 泥炭土壌

湿地林が淡水湿地にたまった仮比重が0.1~0.2程度の泥炭の上にありながら、有用な大径材を産出している事実は驚嘆に値する。熱帯泥炭はほとんどすべて木質泥炭であるが、温帯の高位泥炭と同様、広い泥炭地の中央部

ではドーム状の隆起を示し、その厚さが10m以上にも達する場合がある。もちろんこのようなドーム状泥炭の頂部では、植生はマレー語でバダゲン林とよばれる貧弱なものとなっている。

現在熱帯泥炭の開発はインドネシア、マレーシア、タイの各国で急速に進められつつあるが、その中で主要な問題は次の3点に要約できよう。

- 排水による土地の沈下；脱水、収縮、泥炭の分解などにより急速に土地の沈下が起こり、さらなる排水を余儀なくされ、ついには泥炭の消滅に至る。
- 泥炭の貧栄養性；温帯の高位泥炭と比較してもさらに貧栄養である。
- 水稲の不稔；水稲は泥炭の持続的利用に最適の作物なのであるが、青立ち不稔のためこれまでのところ栽培に成功していない。

さらにいえば、泥炭の消滅後にマッドクレイが地表に現われ、酸性硫酸塩土壌化して困っている例が多い。泥炭地開発に際して注意深い事前調査が不可欠である所以である。今上で述べた問題点のそれぞれについて、現在われわ

Table 4 Total Respiration, Rate of Peat Decomposition, Rate of Land Subsidence and Rate of Nutrient Release From Decomposing Peat in Johore, Malaysia

	Ayer Baloi Drained Swamp Forest (AB 1-1)		Pontian Peat Expt. Station (PN 1-1)
Total Respiration (t C/ha/yr)		11.5	21
Rate of Peat Decomp. (t/ha/yr)		14	42
Rate of Land Subsidence (cm/yr) Due to Peat Decomp.		0.73	1.79
Rate of Nutrient Release (kg/ha/yr)	N	24.9	59.6
	P	2.0	4.6
	K	1.4	3.1
	Ca	23.2	1059.1
	Mg	6.2	24.0
	Mn	0.07	1.3
	Fe	14.5	107.5
	Cu	0.02	4.2
	Zn	0.08	1.4

Note : 1. Rate of peat decomposition at Ayer Baloi was assumed to be 60% of total respiration, the rest being the respiration of living plant roots.

2. Rate of land subsidence was calculated on bulk density of 0.192g/cc for Ayer Baloi and 0.235g/cc for Pontian.

れが実施中のタイ、マレーシア両国における現地研究者との共同研究*の中で得られた成果に基づいてやや詳しく見てみよう。

(1) 排水による土地の沈下には脱水、圧縮、泥炭の分解などの要素が関与している。このうち泥炭の分解はまさに土地の実体が失われることにはかならず、sustainabilityの根幹に関わっている。筆者自身の見聞の範囲でも、南カリマンタンにガンブトという地名のところが、今から約50年前に開拓されたと聞いて調査に出向いたことがある。ガンブト (gambut) というのはインドネシア語で泥炭のことであり、もともと泥炭地を開発したところであった。筆者が調査に出かけたのは10何年か前のことであるが、その時すでにそこに泥炭は残っていなかった。この場合には幸い下から酸性硫酸塩土壌が出てこなかったから、なお水田として利用されていたが、場合によっては泥炭の消失と共に放棄されていたかもしれないところである。

マレーシアのジョホール州ポンチアンに泥炭試験地があり、ここでの測定で開発後十数年を経た泥炭の年沈下量は2.5 cm程度に落ち着くことが知られている。この試験地内の裸地と近くにある湿地林の下とで土壌呼吸量を1年間測定した結果年間の呼吸量として表4の値が得られた。この湿地林はすでに排水が行なわれていてインタクトのものとはいえないが、なお40 mにおよぶ高木を含む約290トンの地上部現存量を有している。この森林下で測定した土壌呼吸は、従って、生きている植物の根の呼吸量を含んでいるので、この量を全呼吸量の40%と仮定して差引くと泥炭の分解量が得られる。その値は表に示したよ

うに約14トンであり、試験地の裸地における分解量約42トンの1/3にとどまることがわかった。また試験地で別に測定した泥炭の仮比重をもとにして年間沈下量への泥炭分解の寄与を計算すると70%を超えることが明らかとなった。このように泥炭地開発後ある程度地盤が安定した後の沈下量の大部分は泥炭の分解によるものであり、泥炭の消滅がかなり速やかに起ることをあらためてデータとして裏付けることができた。なお林内での泥炭分解に起因する沈下量は見かけの値であって、この分解量にほぼ見合う有機物が新たに蓄積されていると考えるべきであろう。

(2) 熱帯の木質泥炭の貧栄養性は表5のデータから明らかである。参考として表6に温帯の泥炭について与えられている栄養性の評価基準を示してあるが、これとの比較で熱帯泥炭が如何に極端に貧栄養であるかがわかるだろう。泥炭試験地の表層の分析値でCa, Fe, Mn, Cu, Znが湿地林下での値と比べて異常に高いのは、人為による干渉の結果であると思われる(例えば施肥や道路のラテライト舗装)。

Table 6 Fleischer's Criteria for the Trophic Levels of Temperate Peats

	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	CaO	Ash
	in % of Dry Matter				
Eutrophic (富栄養)	2.5	0.10	0.25	4	10
Mesotrophic (中々)	2.0	0.10	0.20	1	5
Oligotrophic (貧々)	0.8	0.03	0.05	0.25	2

(Cited from Driessen and Soeraptohardjo, 1974)

Table 5 Nutrient Content in Some Tropical Peat Samples

Element	Ayer Baloi (AB 1-1 site) Swamp Forest				Pontian (PN 1-1 site) Peat Expt. Station			
	hor. 1	hor. 2	hor. 3	hor. 4	hor. 1	hor. 2	hor. 3	hor. 4
N (%)	0.178	0.112	0.166	0.140	0.142	0.100	0.101	0.107
P (%)	0.014	0.009	0.009	0.007	0.011	0.007	0.006	0.006
K (%)	0.010	0.010	0.013	0.009	0.007	0.008	0.008	0.007
Ca (%)	0.166	0.047	0.051	0.044	2.522	0.317	0.191	0.135
Mg (%)	0.044	0.051	0.048	0.049	0.057	0.058	0.035	0.032
Mn (ppm)	5.111	3.569	2.509	2.849	31.795	10.693	9.614	11.911
Fe (ppm)	1034.279	672.712	346.476	295.150	2559.843	484.870	252.377	323.549
Cu (ppm)	1.644	1.493	1.393	1.763	100.291	6.476	3.794	4.488
Zn (ppm)	5.936	3.934	3.008	3.070	33.410	7.696	4.538	3.622

*文部省科学研究費海外学術研究「東南アジアにおける沿岸域低湿地の土壌生態系の特性と利用可能性」(久馬一剛, 高井康雄, 但野利秋, 米林甲陽, 長野敏英, 鈴木邦夫, 岡崎正規, 金子信博, Pisoot Vijarnsorn, Zahari Abu Bakar)

表4には表5のデータと先に求めた年間分解量のデータに基づいて計算した年間の養分解放量も示してある。ここでも森林下での値は見かけのもので、これらの養分は再循環されているものと思われる。試験地での養分解放量のうち、チッソだけは施肥に際してある程度考慮に入れることができるが、リンもカリも極めて少量でほとんど期待するに足りない。なおCu, Mn, Znなどの微量元素は、解放されてもすぐに泥炭の有機物によって安定なキレートとして固定され、実際には植物には有効とならない場合が多いと思われる。

(3) 泥炭地の利用の仕方として、湛水下での水稻栽培は最も優れたものといえよう。なぜなら、もともと低地であって水を得やすいことと、嫌気的な環境におくことにより泥炭の分解を抑制でき、泥炭の保全に資するからである。しかし泥炭の上での水稻栽培には致命的な問題がある。それは水稻の青立ち不稔である。泥炭の上での水稻の不稔現象は、北海道に5万haの泥炭地水田を持っているにもかかわらず、わが国では全くといっていいほど問題とはなっていない。ところがインドネシアでは1950年代のPolak (1952) 以来現在まで、多数の水稻栽培試験はいずれも成功を収めていない。わが国でこれが問題とならなかったのは、泥炭地の水田開発にあたって、いつでも客土が行なわれているためであると思われる。

この水稻不稔の原因としては泥炭につきもののCu欠乏と、泥炭分解過程で遊離されるポリフェノールによる障害が考えられてきた。しかしわれわれのチームで、但野らは圃場ならびにポット試験を繰返し、Cu欠乏もポリフ

ェノールも単独では水稻生育を阻害はするが、必ずしも決定的な不稔の原因ではないことをみており、最近ではホウソ (B) 欠乏が水稻を不稔に導く重要な因子である可能性を指摘している (未発表)。

われわれが別に行なったポット試験の結果を表7に示してあるが、ここでも上に述べたことが裏付けられている。すなわち泥炭単独でも、泥炭にCuを施用しただけでも稔実粒は得られなかったが、泥炭に石灰を施用して酸性を矯正すると少なくともはあっても収量が得られ、さらにそれにCuを添加するとかなりの収量が得られることがわかった。さらにある程度の量の無機質土壌を泥炭の上に載せるか、混ぜてやるとかなりの収量が得られ、もはやCu施用の効果は見られなくなる。この試験ではホウソについての分析を行っていないので、ホウソについては何もいえない。

このように泥炭における水稻不稔問題の解明はかなり進んできたが、現実的な解決の方法を見出すまでにはなお圃場レベルでの試験を重ねる必要があるであろう。

IV. 低湿地の開発はどこまで可能か

上にはマングローブや湿地林で覆われた海岸低湿地の成因、開発に当たっての問題の所在などについて述べてきたが、こういう低湿地はどこまで開発可能なのであろうか。

メコンデルタの「芦の原」のように、デルタの内部に取込まれた元マングローブ下の堆積物の場合には、土壌改良が難しくはあってもこれを開発の対象とすることに

Table 7 Response of Rice on Peat Treated with Soil, Lime, and Copper in Pot Experiments.

Treatment	Straw (g/pot)	Total Grains (g/pot)	Sterile Grains (%)	Filled Grains (g/pot)
P	0.95b	0.00	0.00	0.00
P+Cu	2.49d	0.00	0.00	0.00
P+S(7.5cm)	92.94bc	105.39c	3.40bc	101.81cd
P+S(7.5cm)+Cu	113.14ab	105.06c	2.20c	102.75cd
P+S(15cm)	124.01ab	119.98bc	5.60ab	113.26bc
P+S(15cm)+Cu	162.26a	127.76b	4.40bc	122.14b
Mix/P+S(7.5cm)	97.00abc	103.40c	3.70bc	99.57cd
Mix/P+S(7.5cm)+Cu	96.92abc	108.97c	4.20bc	104.39cd
S	163.73a	160.76a	4.20bc	154.01a
S+Cu	151.46ab	159.77a	3.00bc	154.98a
P+L	38.86cd	45.10d	9.10a	41.00e
P+L+Cu	119.20ab	112.00bc	4.40bc	107.07cd

P; Peat; S; Soil; L; Lime; Cu; Copper

問題は無い。大規模な土木工事を起こして灌漑と排水のシステムを整備し、入念に土壌の肥沃度管理をすれば、これを長く農地として利用することが可能である。また土壌の改良の難しさを考慮すれば、場合によっては、排水工事の後で工場用地や住宅地とすることを考える方が得策であるかも知れない。

しかし、現存する海岸のマングローブを伐採して農地や養魚池を開発することには極めて慎重でなければならない。マングローブの果している海岸線の保全や水産資源のかん養のような機能の方が、長期的にみると人間にとってより大きい価値があるかも知れないからである。その意味では、直接マングローブに手を下さないが、マングローブを損うような陸上での開発行為にも注意を払うことが必要である。

湿地林の場合には、開発が必ず排水を伴い、排水が必ず泥炭の分解を伴うことを考えると、ほとんど開発の余地はないということになる。殊に泥炭とその上の湿地林が東南アジアに特有の景観であることを考慮すると、この感が強い。しかしどうしても開発が不可避であるとして、一体どこまで開発できるのであろうか。

ドーム状泥炭の中心部の深い泥炭は極めて貧栄養であるから、これには触れないでおくのが得策であろう。泥炭層の厚さと泥炭表層土の栄養状態との関連をスマトラで調査した結果 (Suhardjo and Widjaja-Adhi, 1976) を援用すると、泥炭層の厚さが2~3mより浅い周縁部では中心部に比べてpH、塩基状態などが相対的によくなるという。より安全側をとって2mを開発可能な限度とすると、全く別に西サラワクで土壌調査をした Andriess (1972) の引いた線と一致する。そしてこの2m以下の厚さを持つ泥炭の面積は、西サラワクについてみれば、全泥炭面積の14%弱にしかならないのである。ここでさらにもう一つの考慮が必要である。それは泥炭層の下にバイライトを含むマッドクレイが出ないかどうかの考慮であり、特に泥炭層の厚さが1m以下の場合に十分注意しなければならない。なぜなら薄い泥炭は何十年かの間に、泥炭層が全部分解して消失してしまうことを予期しなければ

ならないからである。このようにいろいろな考慮を入れれば、広大な湿地林の面積のうちで開発の対象となり得るのは僅かに数パーセントということになると思われる。

参考文献

- 1) Andriess, J. P. 1972. The Soils of West Sarawak. Memoir 1. Sarawak Gov't. Printing Office.
- 2) Christensen, B. 1979. Mangrove Forest Resources and Their Management in Asia and Far East. Bangkok ; FAO Regional Office.
- 3) Driessen, P. M. 1978. Peat Soils. In "Soils and Rice", edited by IRRI, pp. 763-779., IRRI.
- 4) Driessen, P. M. and Soeprahardjo, M. 1974. Soils for Agricultural Expansion in Indonesia. Soil Res. Inst. Bogor, Bull. 1 : 41-55.
- 5) White House, 1967. World Food Problem : A Report of the President's Science Advisory Committee. Vol. II, Report of the Panel on the World Food Supply, Washington, D. C.
- 6) Kawaguchi, K. and Kyuma, K. 1977. Paddy Soils in Tropical Asia, Their Material Nature and Fertility. Univ. Press of Hawaii.
- 7) Polak, B. 1952. Cited from Driessen (1978)
- 8) Suhardjo, H. and Widjaja-Adhi, I. P. G. 1976. Chemical Characteristics of the Upper 30cm of Peat Soils from Riau. Soil Res. Inst. Bogor, Bull. 3 : 74-92.
- 9) van Breemen, N. 1975. Acidification and Deacidification of Coastal Plain Soils as a Result of Periodic Flooding. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 39: 1153-1157.
- 10) van Breemen, N. and Pons, L. J. 1978. Acid Sulfate Soils and Rice. In "Soils and Rice", edited by IRRI, pp. 739-761., IRRI.

Summary

Coastal swamp areas are the object of reclamation for agricultural and aquacultural development in southeast Asia. First, reasons for an extraordinarily wide distribution of mangroves and swamp forests in insular southeast Asia were considered in terms of climate, vegetation, geology, geomorphology and geohistory.

Then the problems expected to arise from reclamation of these swamp lands were considered. The present and past mangrove swamps, the latter being broad depressions engulfed in a delta proper due to rapid sedimentation along the delta front, are often associated with pyritic sediments which, upon drainage and reclamation, rapidly develop into acid sulfate soils. The difficulty of their amelioration was discussed.

Swamp forests in the tropics are developed on woody peats that are sometimes more than 10m thick and extremely oligotrophic. Reclamation of swamp forest lands inevitably accompanies drainage, which in turn leads to land subsidence due to dewatering and compaction, and eventually to decomposition of peat itself. Results of a recent study concerning the changes brought about by peat land reclamation were presented concerning oligotrophy, peat decomposition and land subsidence. Sterility of rice on peat was also dealt with based on experimental results.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 63, 43-50, 1991)

東北タイにおける 森林破壊による土壌の塩類化と植林による防止対策

三 浦 憲 蔵*・タルサック サブハサラム**

Soil Salinization after Deforestation and Control by Reforestation
in Northeast Thailand

Kenzo MIURA*・Terdsak SUBHASARAM**

*Tropical Agriculture Research Center

**Region V Office, Department of Land Development, Thailand

1. はじめに

東北タイでは土壌の塩類化により生産力の低下した土地が各地に見られ、極端な場合には荒地へと化している。現在、強度～弱度に塩類化した土壌は東北タイ全土の17%にも達しているが、近い将来その面積は約2倍に拡大する危険性があるとさえいわれている¹⁾。

東北タイは波状を成す台地であり、地形的には低位

面で、地質的には白亜紀～古第三紀のマハサラカム層 (Mahasarakham Formation) が基盤岩となっている地域で土壌塩類化が見られる (図-1)。このマハサラカム層は岩塩 (rock salt) 層と碎屑岩 (clastic rock) 層の互層から構成されており、マハサラカム層の最上部を成す碎屑岩層の砂岩やシルト岩自体が塩分を含み、これが東北タイの土壌塩分の給源とされている^{2,3)}。

したがって、こうした含塩岩石層が地表付近にあれ

表-1 東北タイにおける林地および耕地面積と人口の推移^{6,7,8)}
Table 1 Changes in the forest land and the arable land area, and the population in Northeast Thailand since 1950^{6,7,8)}

Year	Forest land		Arable land		Population (×1,000)
	Area (×1,000 ha)	Ratio (%)	Area (×1,000 ha)	Ratio (%)	
1950	10,435	61.8	4,356	25.8	6,764
1962	7,762	46.0	4,227	25.0	9,560
1973	5,067	30.0	7,836	46.4	13,396
1978	3,122	18.5	7,888	46.7	15,494
1982	2,589	15.3	8,858*	52.5*	18,100*

*Data in 1985.

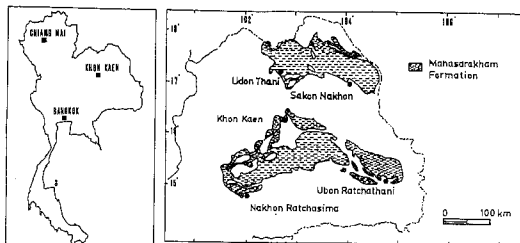


図-1 東北タイにおけるマハサラカム層の分布
Fig. 1 Distribution of the Mahasarakham Formation in Northeast Thailand

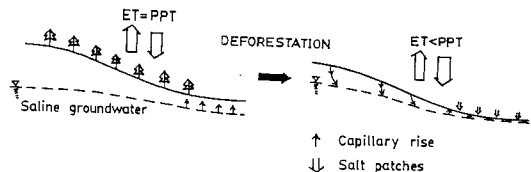


図-2 森林伐採による土壌の塩類化
Fig. 2 Soil salinization caused by the clearance of the native vegetation

*熱帯農業研究センター 〒305 つくば市大わし1-2

**タイ国土開発局第五地域事務所 Khon Kaen, Thailand
土壌の物理性 第63号 pp.51~59 (1991)

受理月日 1991年1月30日

ばその直上部で、またその塩分が地形的に下方へ流出すれば低位面に土壌塩類化が起こることになる。

しかしながら、過去数10年間に拡大した塩類化の主因はこうした自然的要因によるものではなく、ダム建設、製塩業、含塩水による灌漑、道路建設、森林伐採などの様々な人為的要因によるものと強く指摘されている^{4,5)}。これらのうち、本地域で最も大規模に行われた森林伐採による土壌塩類化はおそらく最も広範に存在していると考えられる。表-1に示すとおり、1950年には東北タイ全土の約62%を占めていた森林面積は30数年間でその4分の1にまで激減した。これは人口急増に伴う食糧増産の必要から耕地面積の拡大を迫られたことが背景にある。

森林伐採は土壌からの蒸発散量の減少を招き、降雨水の土壌中への浸透と地下水の低位面への横流れを増加させる。その結果、こうした水の集まる低位面では地下水位が地表面近くまで上昇し、土壌の塩類化が起こるとされている(図-2)^{4,5,9,10)}。そして、土壌の塩類化の原因がこうした森林伐採にある場合にはユーカリ植林を行うことで土壌塩類集積を軽減したり、塩類化の拡大を防止できるといわれている^{10,11)}。しかしながら、このような研究報告は現在まで非常に少なく、科学的な根拠を得るまでには至っていない。

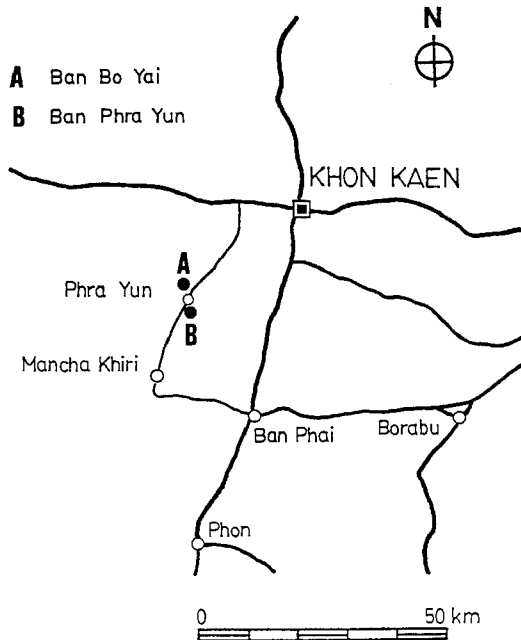


図-3 コンケン県プラユン郡の調査地区の位置
Fig. 3 Location of the study area in Phra Yun, Khon Kaen

本報では、このような背景から森林伐採により発現した土壌塩類化に的を絞って、土壌塩類集積の実態の把握と塩類化防止に対するユーカリ植林の効果を明確にすることを目的とした。

2. 調査地区

コンケン市の南西約30 kmに位置するコンケン (Khon Kaen) 県プラユン (Phra Yun) 郡(図-3)には森林破壊により発現した土壌塩類化が随所に見られる。本研究ではプラユン郡のバン・ボーヤイ (Ban Bo Yai, A地区とする) およびバン・プラユン (Ban Phra Yun, B地区とする)を調査地区に選んだ。

両地区では30数年前に林地が開墾され、農耕地に転換された。しかしながら、その後土壌の塩類化が急速に進み、低位面を中心に不毛地化して行った。そのために現

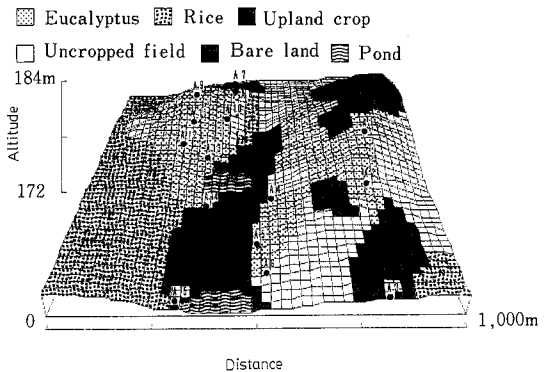


図-4 バン・ボーヤイ (A) 地区における土地利用状況
Fig. 4 Land use map in Ban Bo Yai (A) district

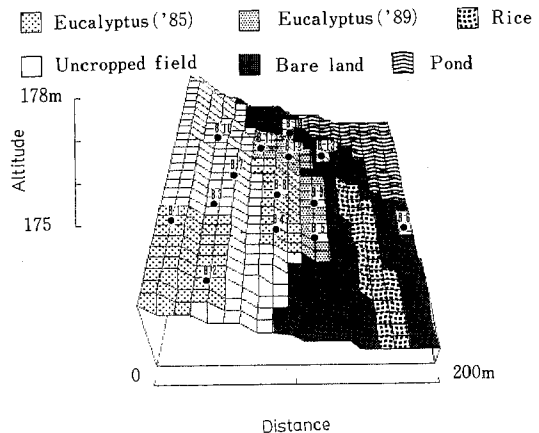


図-5 バン・プラユン (B) 地区における土地利用状況
Fig. 5 Land use map in Ban Phra Yun (B) district

在裸地化した低位面は放棄された状態となっている。一方、地形的に高位面は塩類化を免れており、キャッサバ、桑、陸稻などが栽培されているほか、数年前からユーカリ植林も行われている(図-4, 5)。

3. 方法

A地区では15地点(図-4), B地区では14地点(図-5)を対象にした。全地点で断面の観察と記載を行うとともに、ピエゾメーターを用いて地下水位の測定、地下水のECとpH並びに土壌の深さ別のECの測定を毎月定期的実施した。これらの観測はA地区では1988年2月から1990年2月までの約2年間、B地区では1989年10月から1990年2月までの約4ヶ月間にわたり継続して行った。

両地区の一部の地点については土壌の物理性[粒径分布, 三相分布, pF-水分特性]および化学性[pH, 飽和抽出液のEC(CEc), 1N酢酸アンモニウム(pH7)法によるCECおよび可溶性塩基]の測定を行った。

また、両地区の1989年10月から12月までの地下水の試料55点について、Naを原子吸光度法により、Clをイオンクロマトグラフによりそれぞれ定量した。

さらに、B地区の一部の地点ではテンシオメーターを埋設して深さ別に土壌水分の消長を経時的に追跡した。

4. 結果および考察

(1) 断面形態の特徴

① 低位面の土壌

A3地点に代表されるように塩類集積は低位面に分布

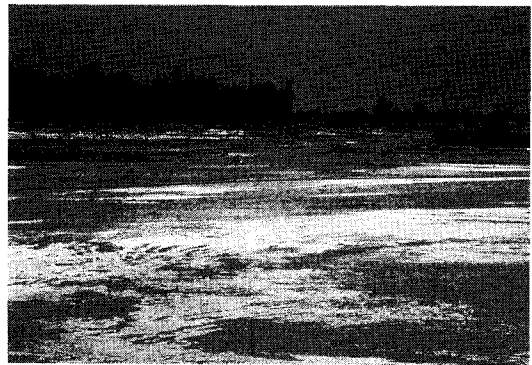


写真-1 バン・ボーヤイ地区のA4とA14地点間の塩類集積の状況

Photo 1 Salt-accumulation between A4 and A14 site in Ban Bo Yai district

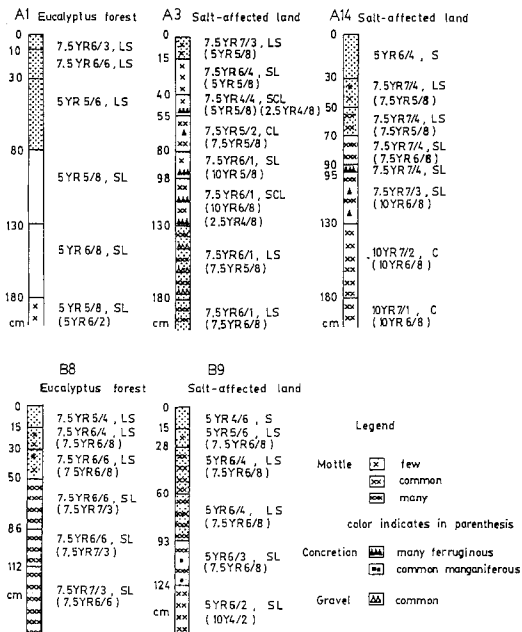


図-6 調査地区のいくつかの土壌断面の形態 (注) 影付きの部分は砂層を示す

Fig. 6 Morphology of some of the soil profiles in the study area cf. Shading representing a sandy layer

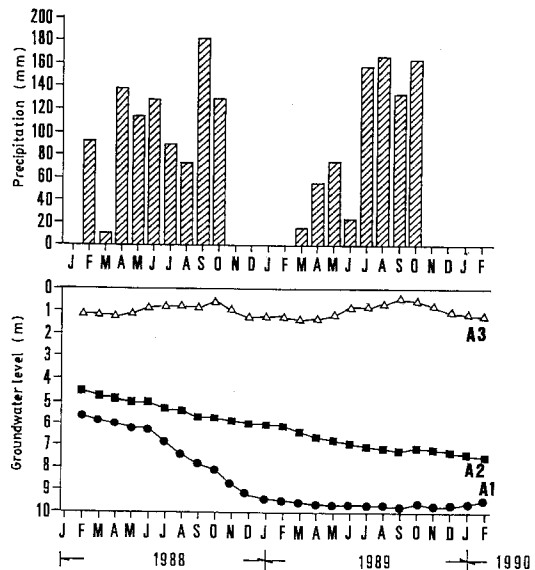


図-7 バン・ボーヤイ地区のA1, A2, A3地点における地下水位の季節変動

Fig. 7 Seasonal fluctuations of the groundwater level at A1, A2, and A3 site of Ban Bo Yai district

する土壌のほとんどで見られた(写真-1)。これらの土壌の断面下層部は灰色化しており、黄色～褐色の鉄の斑紋が多量に存在した(図-6)。これは例年雨季末期(9～10月)に地下水位が最も高まり(図-7)、下層部が水で飽和されて還元条件が発達することによるものと解釈できた。また、表層部は砂質で粘土含量は低かったが、下層部では粘土含量が増減したり(表-2)、鉄質結塊が不規則に分布するなどの点から、断面形成には斜面上部からの土壌材料の供給・堆積が関与しているものと推測された。

このように塩類集積の認められる土壌は粘土集積(argillic)層を持たないこと、交換性ナトリウムの飽和度がほぼ全層位で15%以上と高いこと(表-2)、雨季末期には地下水位が1m以上に高まることなどの特性を持つことから、アメリカ合衆国の現行の土壌分類方式であるSoil Taxonomy¹²⁾によれば、Halaquepts(Udon series)に分類される。また、土壌の水飽和抽出液のEC(ECe)が4mS/cmを越えるものは塩類土壌(Saline soils)とされており¹³⁾、A3地点の土壌はこれに該当した。

② 高位面の土壌

高位面に分布する土壌の断面上部は厚い砂層から成り、その厚さはA地区ではA1地点のように80cm以上、B地区ではB8地点のように40cm以上に及ぶことが多かった。その下部では粘土含量がわずかに増加し、鉄の斑紋が“含む”以上程度存在した(図-6)。ところが、A地

区の場合、A1地点などで斑紋層の位置は現在の地下水面の位置よりはるかに高かったことから、現在の地下水の影響で形成されたものとは考えられなかった。後述のとおり、斑紋層はユーカリ植林以前の地下水位の高かった頃に形成されたものと解釈できよう。

Soil Taxonomyの方式によれば、高位面に分布する土壌でA1、B8地点などのように深層部に赤色～黄色味の強いB層が存在する場合、Ustoxic Dystrupepts(Yang Talat series)に分類されるが、その他で土層分化の微弱なものの場合には、Quartzipsamments(Nam Phong series)に分類される。

(2) 地下水の水質

図-8にはA、B両地区の地下水の試料55点のECと塩化ナトリウム(NaCl)濃度の関係を示した。両者の間には高い相関($r=0.960$)が認められ、しかも多くの試料は別に求めた検量線上およびその近傍に分布していた。したがって、地下水中の塩類の主成分は塩化ナトリウムであるといえる。なお、多くの場合、地下水のECは10～40mS/cm、pHは6.0～7.5を示した。

低位面の地下水のECはA3地点のように降雨水の影響で雨季(5～10月)に低下し、乾季に上昇する傾向が見られた(図-9)。また、年間を通じて地下水のECはA1、A2地点のように高位面で低く、A3地点のように低位面で高かったが、これは経年的に塩分が低位面に移動・濃

表-2 A3地点におけるいくつかの土壌性質
Table 2 Some soil properties at A3 site

Sample	Depth	Clay (%)	pH (H ₂ O)	ECe ^a (mS/cm)	CEC ₇ ^b	Ext. Na ^c (meq/100 g)	Exc. Na ^d	Na Sat. ^e (%)
	(cm)							
A3 site								
A	0～15	7.2	5.1	101.3	3.6	20.5	1.3	36.1
II B	15～40	12.1	4.5	44.0	4.9	4.6	0.6	12.2
III B2cn	40～55	25.5	4.6	29.5	9.0	6.6	2.3	25.6
III B3g	55～80	28.5	4.5	33.0	9.2	8.3	2.4	26.1
IV B2gcn	80～98	18.7	5.6	26.5	7.6	7.8	2.1	27.6
IV B3gcn	98～130	23.0	6.2	20.0	12.5	16.5	9.9	79.2

^aEC of the saturation extract.

^bCation exchange capacity determined by 1N NH₄OAc(pH7).

^c1N NH₄OAc(pH7)-extractable Na, which includes free and exchangeable forms of Na.

^dCorrected exchangeable Na estimated by subtraction of concentration of water-soluble Na from that of NH₄OAc-extractable Na.

^ePercentage of corrected exchangeable Na saturation.

Soil samples were taken on March 1, 1989, except for the samples for ECe which were taken on January 10, 1989.

縮し続けてきた結果と考えられる。地下水のpHは地形的な位置による差異や季節変動は認めにくかった。

(3) 土壌中における塩分の季節変動

① 低位面の土壌

図-10に示すとおり、低位面に分布する土壌ではA3

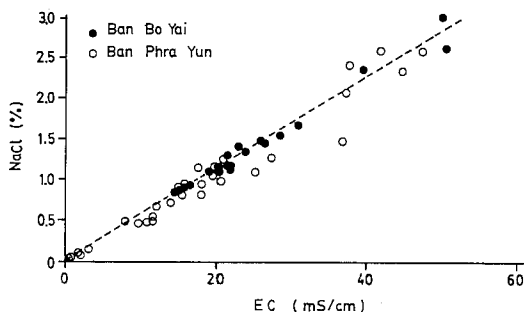


図-8 地下水のEC値とNaCl濃度の関係
注) 点線は標準NaCl溶液のEC値と濃度の関係を示す

Fig. 8 Relationship between EC values and NaCl contents of the groundwater samples cf. The dotted line indicating the calibration line

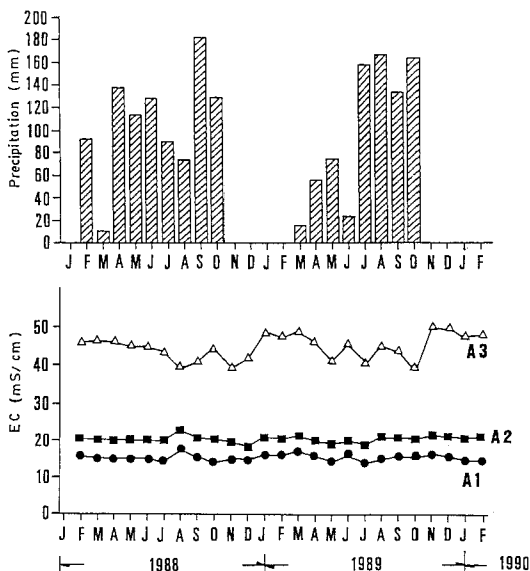


図-9 バン・ボーヤイ地区のA1, A2, A3地点における地下水のEC値の季節変動

Fig. 9 Seasonal fluctuations of EC values of the groundwater samples at A1, A2, and A3 site of Ban Bo Yai district

地点に代表されるように、乾季(11月~4月)には表層部への塩類集積が明瞭に認められた(1988年4月12日)。一方、雨季(5月~10月)には表層部の塩分は降雨水により下層部へ溶脱するが、数日間晴天が続くと塩分は再び表層部へ上昇した。雨季ではこうした不安定な塩分の動きを繰り返した。また、雨季末期(1988年10月14日)に降雨による浸透水で表層部から下層部(10~50 cmの部分)へ洗脱された塩分は乾季の初期(1988年11月25日)には再び表層部へ移動・集積した。A3地点と同様にB9地点も乾季に塩類集積が見られ、表層部の塩分は降雨直後の1989年10月16日には下層部に溶脱・移動したが、1990年1月初旬までに徐々に表層部へ移動・集積して行った(図-10)。

こうした乾季における塩類集積は後にも述べる通り、雨季末期に下層部へ移動した塩分が乾季に入り土壌表層部から乾燥化するにしたがって、毛管上昇による水の移動に伴って表層部に移動・集積することによるものである。

一方、A14地点は低位面に位置するにもかかわらず、年間を通じて表層部への塩類集積は認められなかった(図-10)。これは後述のとおり表層部で毛管孔隙の連続性が切断されているためである。

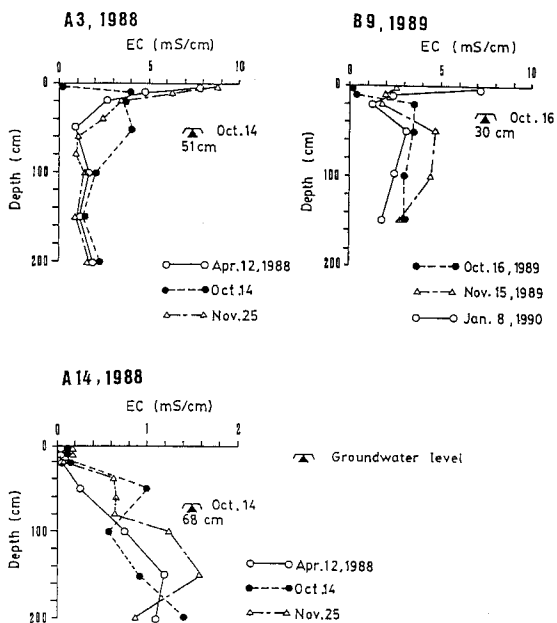


図-10 A3, A14, B9地点における土壌中の塩分の季節的動向

Fig. 10 Seasonal movement of salt within the soil profiles at A3, A14, and B9 site

② 高位面の土壌

A 地区で現在ユーカリ林となっている高位面の土壌では深さ 2m まで土壌の EC は年中 0.1mS/cm 以下と非常に低く、塩類集積は認められなかった。

B 地区のユーカリ林地内の地点でも同様に土壌 EC は非常に低かった。しかし、B4, B8 地点では深さ 1.5m 以下の部分で EC は 1mS/cm 前後にまで高まったが、この部分の塩分は表層部へ移動・集積することはなかった。

(4) 塩類集積を引き起こす要因

① 地下水位の上昇

低位面の地下水位は降雨水の影響を強く受け、雨季

(5月~10月) に上昇し、乾季に低下する傾向を示した。豪雨のある雨季末期には地下水位は最も高くなった(図-7)。図-11に示すとおり、雨季末期の地下水位と土壌中の斑紋層の位置の間には高い相関が認められた($r = 0.846$)。表層部に塩類集積の認められる地点では地下水位と斑紋層の位置がともに高かったが、地下水位が 70cm 以上まで上昇すると塩類集積が起こる危険度が非常に高いことが明らかとなった。

② 毛管孔隙の連続性

図-11においては地下水位が 70cm 以上に高まるにもかかわらず、塩類集積が認められない地点(A14, B11, B12 地点)が存在している。図-12には層位別の固相率と孔隙分布を示している。この図によれば、A14 地点では表層部の非毛管孔隙(pF0~1.8)は全孔隙の80%近くを占めているが、毛管孔隙(pF1.8~4.2)は11%弱にすぎず、第2層めの毛管孔隙の割合より著しく低かった。これは表層部の土壌材料が砂面分を主体(砂含量95.7%)としていることに起因しており、こうした表層部での毛管孔隙の不連続性により塩類集積は起こらなかった。一方、これとは対照的にA3 地点では第1~3層めまで毛管孔隙は全孔隙の40%前後を占めており、地下水位は雨季末期には第3層めまで上昇するため、毛管上昇による水の移動に伴って表層部への塩類集積が容易に起こることを明らかにできた。

以上より、雨季末期に最高となる地下水の位置より上部で毛管孔隙が連続しているかどうか塩類集積を引き起こすもう一つの要因であるといえた。

したがって、表層部への塩類集積を軽減・防止するためには雨季末期の地下水位の上昇を防ぐまたは毛管孔隙の連続性を断ち切ることが有効な対策といえよう。しかしながら、対策の根本は地下水位の上昇を防ぐことにある。

(5) 塩類化防止に対するユーカリ植林の効果

① 地下水位の低下

A 地区の高位面に位置する A1, A2 地点では1985年にユーカリ植林が行われた。A1, A2 地点においては植林後約1年の1986年10月24日の地下水位は A1 地点で地表面から 4.24m, A2 地点で 2.86m の位置にあった。しかし、その後地下水位は経年的に低下し続け、1989年10月10日までの間に地下水位の低下は A1 地点で 5.34m, A2 地点で 4.19m にも達した。その結果、植林後間もない時期には地下水は地形的に下方の A3 地点へ向かって流れる様相を呈していたが、1989年にはこのような徴候はほとんど認められなくなった(図-13)。

なお、これとの関連で A 地区の高位面の土壌に見られ

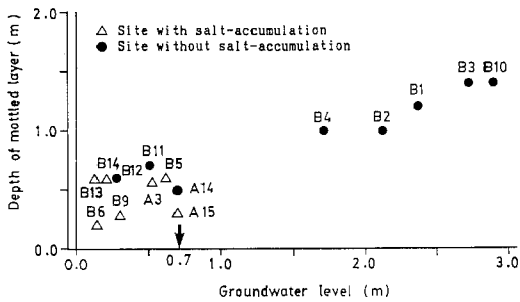


図-11 1989年雨季末期における地下水位と斑紋層の位置の関係

Fig. 11 Relationship between the groundwater level at the end of the rainy season in 1989 and the depth of the mottled layer

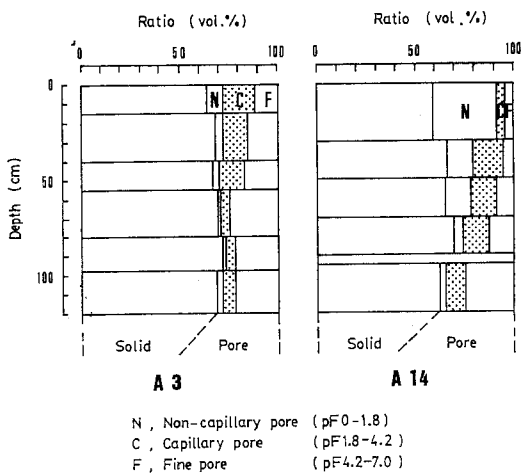


図-12 A3 および A14 地点における土壌の固相率と孔隙分布

Fig. 12 Solid and pore-size distribution of the soils at A3 and A14 site

た斑紋層はユーカリ植林以前の地下水位の高かった頃に形成されたものと解釈できた。

② 土壌の乾燥化

B地区のB8地点付近は1985年にユーカリ植林が行われた。雨季末期で最高の地下水位を記録した1989年10月16日、ユーカリ林地内のB8地点の地下水位はそれより低位面に位置するB9地点のそれより44 cm低かったが、乾季中期の1990年2月12日にはこのような現象は認められなくなった(図-14)。一時的ではあるが雨季末期に見られたこの現象は高位面から低位面への地下水の流れを減少させるものであると考えられた。

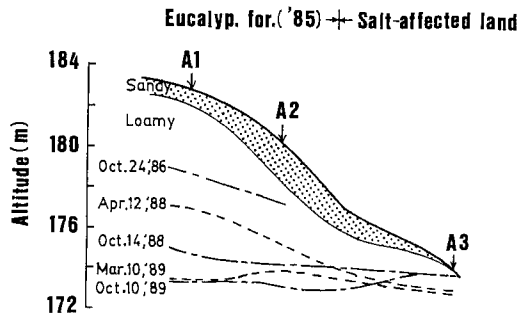


図-13 バン・ボーヤイ地区のA1とA3地点間の横断面で示したユーカリ植林後の地下水位の低下

Fig. 13 Cross section between A1 and A3 site, showing the lowering of the groundwater level since reforestation with eucalyptus trees in Ban Bo Yai district

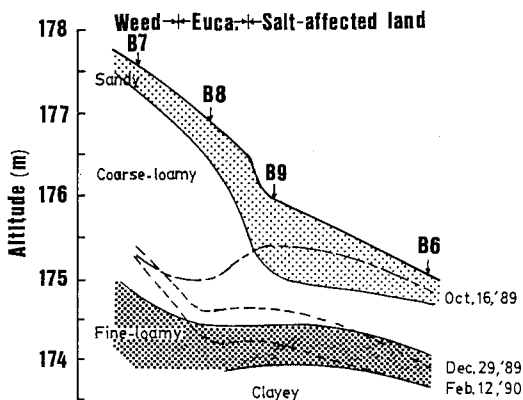


図-14 バン・ブラユン地区のB7とB6地点間の横断面で示した雨季末期から乾季中期の地下水位の変動

Fig. 14 Cross section between B7 and B6 site, showing the fluctuations of the groundwater level from the end of the rainy season to the middle of the dry season

図-15には土壌の深さ別の水分吸引圧分布の経時変化を等値線図で示している。ユーカリ林地内のB8地点の土壌水分は雨季末期から乾季中期にかけて急速に減少していった。とりわけ深さ30~50 cmの部分ではユーカリの根の分布に関係して乾燥化の進行が速く、1990年1月初旬には600 cm H₂O (pF 2.8)程度に達した。したがって、土壌水分の毛管上昇はこの部分で事実上妨げられることになり、表層部への塩類集積は起こらなかった。これとは対照的にB8地点より地形的にはやや低位にあるB9地点では土壌表層部から非常に緩やかに乾燥化が進み、表層部に塩類集積の見られた1月初旬(図-10)においても表層部の水分吸引圧は120 cm H₂O (pF 2.1)程度で依然として土壌水分の毛管上昇が続いていることを示していた。

これとの関連で、ユーカリ林地内のB8地点で雨季末期における大量の降雨が地下水位の上昇にほとんど結びつかなかったのはユーカリ根による吸水で同地点の土壌が著しく乾燥していたためと解釈できた(図-16)。

以上より、ユーカリは土壌水分を極めて有効に利用する能力を有しており、高位面にユーカリ植林を行うとその旺盛な蒸散能により土壌を乾燥化させる。その結果、

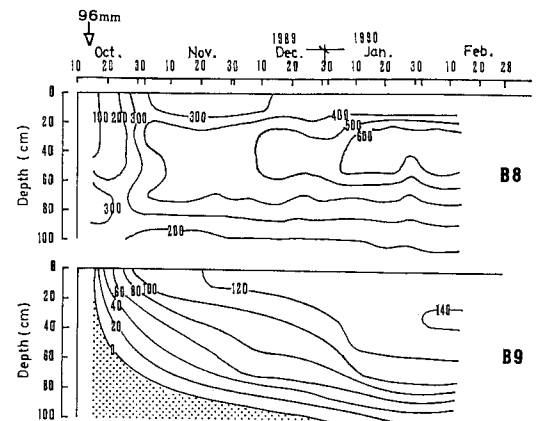


図-15 バン・ブラユン地区のB8およびB9地点における雨季末期から乾季中期の土壌水分の変動(注) 図中の数値は吸引圧 (cm H₂O); 10月12日から15日まで計96 mmの降雨

Fig. 15 Changes in the moisture suction within the soil profiles at B8 and B9 site in Ban Phra Yun district from the end of the rainy season to the middle of the dry season

cf. Figures indicating the soil moisture suction in cm H₂O; total rainfall of 96 mm from October 12 to 15

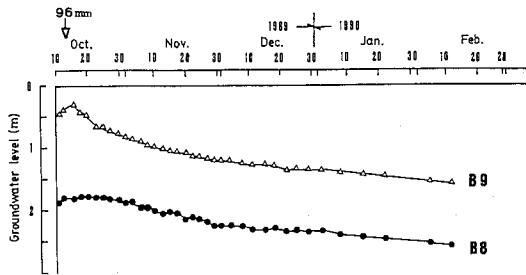


図-16 バン・プラユン地区のB8およびB9地点の雨季末期から乾季中期における地下水位の変動
注) 10月12日から15日まで計96mmの降雨

Fig. 16 Fluctuations of the groundwater level at B8 and B9 site in Ban Phra Yun district from the end of the rainy season to the middle of the dry season
cf. Total rainfall of 96 mm from October 12 to 15

降雨の地下浸透量を減少させ、地下水位の上昇を防ぐとともに毛管上昇を抑制して塩類集積を防止すること、さらに長期的には地下水の低位面への横流れを効果的に減少させ得ることを検証できた。

5. おわりに

森林破壊が主因で低位面の土壌の塩類化が起こった場合には、高位面にユーカリ植林を行うと低位面の土壌塩類集積の軽減や防止に有効な対策となり得ることを明確にできた。

ユーカリの持つ高い蒸散能や耐塩性、成長速度の速さを利用した低投資の植林対策は他の国々の塩類土地帯にも普及し得るが、効率的な植林方法など実際の技術の確立には検討すべき課題が残されている。

謝 辞

著者のひとり、三浦は1987年4月から1990年5月までの3年2ヶ月にわたり国際協力事業団東北タイ農業開発研究計画の長期派遣専門家として土壌生成・分類の分野の研究に携わる機会を得た。ここで報告したものはその間に得た成果の一部である。本研究を遂行するに当たり、御協力を得た多くの関係者の方々に感謝の意を考します。

引用文献

1) Arunin, S. : Problems and research strategies of

saline soil. *In Proc. Workshop on Problems and Research Strategies of Cropping in the Problem Soils in the Northeast*, 60-62 (1987)

- 2) Sinuwong, S. and Takaya, Y. : Saline soils in Northeast Thailand, their possible origin as deduced from field evidence, *Southeast Asian Studies*, Kyoto, 12, 105-120 (1974)
- 3) Takaya, Y., Hattori, T., and Wichaidit, P. : Study of problems of soil salinization consequent on irrigation development in the Korat plateau. *In Interim Committee for Coordination of Investigation of the lower Mekong Basin*, Bangkok, 37pp. (1984)
- 4) Mitsuchi, M., Wichaidit, P. and Jeungnijirund, S. : Soils of the Northeast Plateau, Thailand, *Tech. Bull. Trop. Agr. Res. Center, Japan*, No. 25 (1989)
- 5) 三土正則：海外における土壌肥料研究の成果4，東北タイの問題土壌，*土肥誌*，61(3)，323-329 (1990)
- 6) 国際農林業協力協会：東北タイの現状と将来，農用地の限界とかかえている将来の問題 (1983)
- 7) 千葉 稔：東北タイの農業事情，低位生産性の諸要因に対する私見，*海外農業開発1989-6*，海外農業開発協会 (1989)
- 8) Thai Royal Forest Department : Table on comparison of forest land in northeastern Thailand estimated from landsat imageries in 1978 and 1982
- 9) Tuckson, M., Hunter, G., and Thompson, W. : Salinization of landforms in part of Northeast Thailand. *In Proc. First Intern. Symposium on Soil, Geology and Landforms, Impact on Land Use Planning in Developing Countries*, A19, 1-14 (1982)
- 10) Arunin, S. : Characteristics and management of salt-affected soils in the Northeast of Thailand. *In Proc. Intern. Seminar on Ecology and Management of Problem Soils in Asia*, Paper No. 19, 26pp. (1983)
- 11) Arunin, S. : Prevention of soil salinity occurrence by means of reforestation. *In Proc. Workshop on Research and Development Strategies on Soil and Water Conservation in the Northeast*, 263-278 (1989) (in Thai with English abstract)
- 12) Soil Survey Staff : Soil Taxonomy, A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys, *Agric. Handb. No. 436*, SCS-USDA, Washington, D. C. (1975)
- 13) United States Salinity Laboratory Staff : Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, *Agric. Handb. No. 60*, USDA (1954)

Summary

Soil salinity is one of the serious constraints for crop production in Northeast Thailand, where variously salt-affected soils estimated to be approximately 17% of the Northeast are present. However, an additional 18% of the region may be salinized without any proper countermeasures.

Source of salt is red siltstone and sandstone, i.e., the upper elastic member of the Maharakham Formation in the Northeast. There are the natural and the artificial causes of salinization. However, not the natural causes associated with the geological and topographical factors, but the artificial causes by various human activities have enhanced salinization in recent years.

In the present study, salt-accumulation on sandy surface soils after the clearance of the native vegetation in Phra Yun, Khon Kaen was investigated in order to clarify the process of salinization and to identify methods of control. Deforestation changes the balance between rainfall and evapotranspiration, resulting in the increase of percolation and seepage water. Saline seepage water induces salinization in the footslopes and the low-lying lands.

Salt-affected soils displayed mottlings in the upper part of the profile in connection with the elevation of the groundwater table in the rainy season. In these soils, salt reached the surface through the upward movement of saline water consisted mainly of NaCl, at the beginning of the dry season. Salt could also be easily leached out to the subsoil with rainwater in the rainy season.

Accumulation of salt on the soil surface in the dry season was associated with the elevation of the groundwater table to a critical level higher than 70cm from the surface at the end of the rainy season and the continuity of capillary pores above the groundwater level.

To control salt-accumulation, the planting of eucalyptus trees which led to the drying of the soils and the lowering of the groundwater table was found to be effective in interrupting capillary rise of saline water and in preventing saline seepage water from reaching the low-lying lands. The low-input technology of reforestation with eucalyptus trees can be hopeful of controlling soil salinization in the other countries.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 63, 51-59, 1991)

総合討論

本総合討論は、下記の第32回シンポジウムに関するものである。
各講演内容は本誌に報文として掲載されているが、報文としての
内容に適したタイトルで掲載されている。

記

日時：1990年11月9日（金）10：00～17：00

場所：農業環境技術研究所大会議室

テーマ：熱帯における持続的土地利用をめぐる土壌物理
的諸問題

講演

1. 東北タイ砂質土壌のキャッサバ湿害と塩類化の実態
—傾斜畑における水・溶質三次元移動計測の重要性—
谷山 一郎（農業研究センター）
三浦 憲蔵（熱帯農業研究センター）
2. インド重粘土壌の畑作利用と物理問題
キマメとヒヨコマメの作付体系における意義を中
心にして
有原 丈二（北海道農業試験場）
阿江 教治（農業環境技術研究所）
岡田 健介（熱帯農業研究センター）
3. 沖縄島北部赤黄色土の土壌侵食の評価と対策
翁長 謙良（琉球大学農学部）
4. ニジェール河流域の砂漠化防止
村山 忠一（農用地整備公団）
5. 熱帯低湿地開発の諸問題
久馬 一剛（京都大農学部）

司会：長谷川周一（農環研）、

井上 隆弘（農研センター）

【司会・長谷川】

公演発表のときに質問できなかった方、複数の方に對して同様の質問をされたい方の質問を受けます。

【千葉農試・安西】

谷山さんに質問ですが、キャッサバの根の土壌断面の
写真で、深さ30cmより下に根が入らないということ
ですが、あそこは砂質で透水性はよいと思います。それ
に對して30cmより下の土壌はかなり硬いと思いますが、
いかがでしょうか。

【谷山】

根が入らないというのは、食用として商品的に利用す
る太い根が30cmまでしか分布してないということで、
細い根については下の方まで伸びています。ただし、量的
には深さ30cmまでの有機物を含む層での分布が多くな
っています。土壌は乾燥してもかちかちというような硬
さにはならないと思いますので、土壌構造が阻害因子に
なっているとは思いません。たぶん水の影響か、養分の
問題が絡んでいるんだろうと思います。

【安西】

土壌硬度は実際に測っていますか。

【谷山】

土壌硬度は測定していません。水を含んでいる時には
硬度も測れないような状態ですし、感触では乾燥すると
結構硬いようです。ただし、根が入れない状態ではない
と思います。

【草地試・岩間】

谷山さんか三浦さんに質問します。東北タイの土壌断
面では上の方が必ず砂の層で、下がloamとかclay loam
の土層がありますが、東北タイでは普遍的に存在する土
壌と考えてもよいですか。また、その場合の土の分類名
はどうなりますか。さらに、ユーカリを植えて地下水面
を下げたことで、塩類化を防止できることが明かにな
ったわけですが、土地利用という点では、ユーカリ林と畑
を組み合わせたアグロフォレストリを考えることになり
ます。そのとき、ユーカリは横に根をはって畑地から養
分を奪い、畑作物の生育を悪くすると言われていま
すので、ユーカリに代わる樹木が考えられるのか、お聞かせ
ください。

【谷山】

最初の質問に関しては、私よりも三土さんか秋山さんに
答えていただければと思いますが、あのようなRegosols、
Soil TaxonomyではQuartzipsammentsですが、石英を
主成分とする砂の非常に厚い土層は、東北タイの台地
では多く分布しています。ユーカリについては、アレロパ
シー物質を出すという説もあり、それが事実だとすれば、

塩類化した土壌にユーカリを植えて除塩し、それを伐って作物を植え、また塩類が溜ってきたらユーカリを植えるというアグロフォレストリー的なローテーションでは、問題が起こるだろうと思います。ですから、他に土壌塩類に強くて成長の速い木があれば、その方がよいだろうと思っていますし、タイでもスクリーニングをやっていると聞いています。

【司会】

三土さん、土壌についてコメントをお願いします。

【農環研・三土】

東北タイで砂地の下に少し粘質な難透水性の土層を持つ土壌断面は、かなり普遍的だと感じています。成因については、上の砂層の生成と下の粘質な土層の生成は表裏の関係にあり、上層から粘土分が抜けて、少なくともその一部が下層の砂の目を詰めたと考えています。おそらく、粘土の全部が下に溜ったのではなく、過半の部分は表面流去水が粘土を持ち去ったと考えています。分類は、先ほど谷山さんがおっしゃったように Quartzipsamments というように、石英質な砂、砂土というように分類されていますが、もし粘土が動いたということになると、おそらく Alfisols もしくは Ultisols、先ほどの谷山さんの写真ですとかなり斑紋のある土でしたから、かなりの部分は Aqualfs か Aquults に修正されると考えています。

【農研センター・長野間】

有原さんに伺います。八郎瀨の粘土は 2 : 1 型の粘土鉱物で、地理的には日本海側ですので、麦の生育期間は非常に湿った状況が続き、5月に入ると比較的雨が少なくなって急速に生長を始めます。麦の根域が浅いと、深さ 10 cm ぐらいのところ急速に硬くなり、根が入れなくて成熟期間が短くなることがあります。一方、夏作の場合はひび割れをして、根が下層に入っていくという状況が観察されます。そこで、乾期と雨期があった場合、雨期から乾期に移って行く過程で急速に土壌が収縮をして、根が伸びれないという現象が起こらないかというのが第一の質問です。それから、膨張収縮する Vertisols で Strip Deep Tillage をおやりになったことがないかという二つのことをお聞きします。

【有原】

インドのハイデラバードのように乾期に乾燥が進み、雨期の開始とともに徐々に上の土層から湿っていくと、根の伸び方はスムーズにいくと思います。ところが、7~8月になりますと土壌が水で飽和して、孔隙がほとんどなくなるので根がダメージを受けることが多いようです。その場合、その後乾燥が続いてイリゲーションをすると、かえって作物をだめにすることがあります。また、雨期に降雨量が少ない場合、耕盤が壊れているような状

態になり、根が比較的スムーズに伸びて行く感じがします。Vertisols では乾期のソルガムの収量が、雨期の降雨量と -0.7 の相関があり、雨が多くて耕盤が残る状況だと収量が落ちてしまいます。チックピーも雨の多い年の乾期には、収量が下がることがあります。ですから、下層の乾燥程度が、根の発達と非常に関係あるようです。二つめの Alfisols のことですが、検討したのですが、結局やれないで帰国しました。最近、ある雑誌で Vertisols で不耕起栽培すると、pH が低下したりナトリウム含量が下がるという話が載り、おもしろいと思いました。

【農工研・小前】

谷山さんに質問します。私は、比較的広域の地下水を使うという立場で、土壌物理的アプローチよりはメッシュが荒い仕事をしています。地下水資源も汚染という問題があり、細やかな透水構造にまで目を向けないと、地下水資源が語れなくなってきています。谷山さんのされた水溶質の三次移動計測の重要性には、共通な認識を持っていますし、私自身、手法としてトレーサーを使っています。谷山さんの発表は、室内透水実験などから得られた透水係数とオーダー的に一致したという記述と、水収支をバックアップしたという取扱で終わっていたような気がします。そこで質問ですが、動水勾配が大きなところで百分の三、小さなところで千分の七ぐらいでは、トレーサーは限られた部分しか流れていないのではないのでしょうか。どの pF までの水が、トレーサーを運ぶのに関与していたとお考えなのか、検討されていたらお教えてください。

【谷山】

今回の実験はかなり大ざっぱにやっています、トレーサーは飽和水位の中だけを流れていくという仮定で測定しています。

【小前】

飽和水だとは思いますが、透水係数で求められたのは、断面平均流速だと思います。トレーサーで出て来るのは見かけ流速で、そのピークの値をもって計算すれば、間隙平均流速に近いものかと思っています。その間に介在するパラメーターは、有効間隙率といわれる流れに関与した間隙のレートだろうと思います。これをどの程度に見込まれたかを聞きたかったわけです。

【谷山】

ドロストの式等にあるように、飽和透水の値からそのパラメータや定数を選んで計算しています。

【司会】

流動に関与する間隙は pF で表すとの程度までか、すなわち、全体の土の断面の中の何パーセント位が関与しているのかという質問だと思いますが、いかがでしょ

うか。

【谷山】

まだそこまでは計算しておりません。

【司会・井上】

今日のシンポジウムの課題である、熱帯における持続的土地利用に焦点を合わせてみたいと思います。もともと熱帯の土壌は極めてセンシティブで脆弱で、光と温度が十分にありながら、それを利用しようとする場合、風化や分解や侵食などで、短期間に土壌が物理的にも化学的にも劣化します。土壌物理が持続的土地利用を考える場合、技術をどうレベルで導入すべきか、いわゆる作物生産を続けていく或は増大させるために、どの程度まで技術を投入できるかということや、むしろ触らない方がよいという考えもあると思います。日本型とは違った熱帯の土壌の特異性に関連したコメントや、意見があれば伺いたいと思います。

もう一つは持続型土地利用を考える上で、研究の手法として新しい考えをお持ちの方があれば、コメントしていただきたいと思います。

【三土】

久馬先生に伺います。日本では客土をしない泥炭地の利用は考えられませんが、熱帯では客土は考えられないというお話でした。それを難しくしているのは自然条件なのか、財政的な条件なのでしょう。また、サステイナブルという見方からすると、客土して利用した方が、長持ちすると思いますがいかがでしょうか。

【久馬】

今の点ですが、私は両方あると思います。北海道であれだけ広い泥炭地で客土できたのは、雪が積もるという条件があるからだだと思います。大変にウェットで足場の悪いところで、重い材料をたくさん運んで貯めていくことは、本来難しいと思いますが、北海道の場合はソリを使って土を運べました。一方、東南アジア泥炭地に客土するのは、自然条件からして非常に難しいような気がします。それと、それらの国は基本的に貧しく、そういう投資に耐えられないと思います。確かにドイツあたりでは泥炭の上に砂客土をして、コンサベーションに役立っているといいますが、分解を遅らせる手段の一つにしています。そういうことは確かにあるわけですが、東南アジアでは現実問題としては、客土は難しいと思っています。実験では都合で7.5cmと決めましたが、どれだけ無機物を混ぜたら作物がとれるようになるのか、ミニマムのレベルを押さえるような試験を、やりたいと考えています。

【谷山】

東北タイで湿害の研究をしたわけですが、東北タイは

半乾燥地域です。ケッペン気候区分でも熱帯サバンナでははっきり雨季と乾期が分かれ、雨季には湿害を起こすほどの雨が降りますが、乾期になるとぱたっと止まります。雨季の雨が少しでも乾期の方に延びてくれば、それだけ生産量が増えるのですがそうもいきません。それで湿害の対策ということで、最初は水を抜けばよいと単純に考えていたのですが、地元の意向はそうではありません。雨季が終わってキャッサバを挿し木で植えますが、乾期に入ると土壌の保水力でなんとか生育していますが、それもなくなってくると葉を落として蒸発散を抑制し、それで水が足りなくなってくると、一回太らせた根のでんぷんを分解して水をえて、何とか歯を食いしばって翌年の雨季まで持ちこたえるわけです。このような状況を考えますと、単に湿害防止ということで水を抜いたり、孔隙を増やすとかして有効水分量を減らすということをする、問題が起こるということです。日本みたいの一つの作物ステージだけで、問題を単純に解決しようとすると、誤ることになると思います。私も雨季に2回行きましたが、雨季に何度行っても湿害の対策はできないので、乾期に行つて総合的に考えなければと感じています。対策を何とかしろと言われるわけですが、頭を抱えてしまいます。

【司会】

今、日本型サステイナビリティと熱帯での違いという発言がありましたが、対策をどうするかについて、阿江さんお願いします。

【農環研・阿江】

インドではピジョンピーとチックピーの特性が、在来型農業を研究することで明かになり、いわゆる在来型の農業の中にも科学的な根拠があると思います。こういう所から持続型農業を考えなければならないんじゃないかと思っています。もう一つは熱帯低開発地域に近代的な農業が入ってきたのは、最近ではないかと思っています。先ず歴史的な背景を考えてもらいたいと思います。ニジェールの場合でも、砂漠化する前にどういうことをして砂漠化を止めていたか、歴史的な背景をもう少し研究する、学ぶという必要があると思います。

【司会】

村山先生、今の点についてコメントがあればお願いします。

【村山】

どういう対策をしていたかについて、調べる必要があるというご指摘ですが、実際には何も対策をしていなかったといえますか、人口が増えてきて食糧不足の中で、畑を耕せるだけ耕してきたようです。昔は輪作体系があったそうですが、今見るときちつとした輪作ではなく、

種を蒔けるだけ蒔いて、収穫できるかはお天気任せというものです。昔の余裕がある中での輪作が、計画的な輪作であったかどうかですが、カウンターパートに聞くとかなり分けていたと言っていました。アフリカを旅していて、開発という言葉は当てはまらないなという気がすることがあります。というのは、畑として耕している所、そうでない所は家畜の放牧に利用され、木は薪採りに使用されています。家畜は移動していい草を求めて移っていく。そうすると、土地所有や利用権はお互いにあるのだらうと思います。そういうふうに見たとき、私達の感覚ではあそこは雑木林だから耕して畑にしようとしても、すでにいろんな形で利用され尽くしています。そこで、今みたいに畑は瘦せていてもなんでも種を蒔くというのではなくて、生産性の高い畑をきちんと整備して、そうでないところは計画的に林にするとか、草地にする方がよいと提案してみたいと思っています。

【北 大・佐久間】

村山先生のお聞きします。年降雨量が300~500mmですと水は貴重品ですから、現地の人達はいろいろ水を集める工夫をやっていると思います。どんな小規模な水を集める工夫をやっておられたでしょうか。

【村 山】

地元でやっている一つの方法が、スライドで紹介した半月形の水集めです。あれも植樹の古典的なテクニックの一つというふうに聞いています。もう一つは、ワジから雨期に降った雨を深い池に導水して、回りに木を植えて木陰を作って蒸発を防ぐという方法があるそうですが、現物は見ていません。それから、布団籠を使ってワジをせき止めて地下への浸透を図り、伏流水をできるだけ長続きさせるという方法を、ブルキナフソとかその奥の方で見せていただきました。材料は布団籠、布団籠を使わない場合もあるようですが、スライドで紹介したアイアンストーンの手大から頭大まであるのを集めて材料にしていますが、きちっとした堤防という訳ではありません。

【佐久間】

1977年に有珠山が大爆発して、有珠の山が大変に荒れました。あの時に近代的な砂防ダムをたくさん作ったのですが、結果的にあまり効果がなかったわけです。結局、麓に作った砂防ダムよりもう少し上に、木で作った小さい柵を数多く作ることによって、下流への土砂の流出をおさえるのにはば成功したと言うような経験があります。こういう降雨量500mm以下という所では、あらゆる所にそういうものを作って、細かく細かく水を稼ぐことが必要で、非常に大きなダムを作ってもあまりうまくいかないと感じます。砂漠化の防止でも非常に大きい事業を局部的にやるのではなくて、対象とする地域を非常に細かく

カバーできるような対策、手法というのを考えないといけないと思っています。

【司 会】

佐久間先生のコメントに、エロージョンの問題も入ってきましたので、翁長先生から沖縄のエロージョンの問題について、コメントを頂きたいと思います。

【翁 長】

沖縄の赤・黄色土は、本来の土壌の姿ではなく、農地造成や圃場整備などで本来の土壌構造が攪乱され、層位もないいわゆる人工土壌的な要素を帯びた土壌と言っていると思います。そのために土壌に対する農民の価値観が、昔とかなり変わってきたという印象を受けます。つまり、肥沃な土壌が流れていくわけではなく、土壌が流されることに対して農業側のデメリットはあまりないという考え方が、支配的になってきていると思います。ですから、パイン作にもっとも典型的に見られるケースですが、数ミリの土壌が流されても、化学肥料で補えばいいと考えるわけです。土壌侵食の対策とは、従来は防災施設としていろいろなハード的なアプローチがなされていますが、荒い粒子は止められても、微少微細な粒子は海へ流れていきます。そこで、今の沖縄では土砂の防止対策というよりは、むしろ赤濁水の対策に視点が変わりつつあり、きびしい対策が迫られている現状です。国頭マージは酸性の強い土壌で、お茶とかパイナップルが生産されていますが、さとうきびとかその他の野菜ではあまり生産性が高くないということで、中南部に分布するジャーガルの母材である泥岩、これをクチャといいます。これを客土します。

パイナップルも最近では自由化になるということで、ハウス栽培になりつつありますが、エロージョンという点からは、土壌が保全されるというふうに考えています。

【司 会】

時間がきてしまいました。ここで結論を出すというシンポジウムでもありませんが、総合討議の後半部分は、対象となる社会的経済的バックグラウンドをよく認識して、あるいは古来の人類の知恵が何処にあったかということをよく認識して、持続的土地利用に対して土壌物理はどうアタックすればよろしいかを検討したということに集約されるんと思います。

【会 長・久保田】

今日、シンポジウムにご参加くださいました皆様には、お礼を言わせていただきます。本日のテーマに含まれます風土、水、伝統、技術移転などのさまざまな問題について、土壌物理という角度から掘り下げられ、成功であったと思います。どうもありがとうございました。これで閉会に致したいと思います。

土 粒 子

モンモリロナイトに端・面結合は存在するか

赤 江 剛 夫*

板状粘土粒子間に形成される結合(ここでいう結合は通常の化学的な結合と比較して強度的にはかなり弱い相互作用を含むので、単に配列と呼ぶ方がよいかも知れない)には、面・面結合、端・面結合、端・端結合の3種が考えられている。各々の結合の存在量と存在割合は、表面の電気的性質、塩の種類と濃度、pHなどの条件によって決まる。どのような結合が存在するかによって系の分散凝集や、流動などの力学的な性質が大きく影響される。逆にどの結合が存在するかを調べるのに、系の流動特性をいろいろな条件で測定して粒子間相互作用の大きさを知り、結合種を推定することがしばしば行われている。

ビンガム降伏値と粒子間結合の関係について、Gillespie¹⁾は次の理論式を提出している。

$$\theta = K_1 E_A N^2 / 2 \quad (1)$$

ここで、 θ : 降伏値、 N : 単位体積(cm^3)中の粒子数、 E_A : 2粒子間の結合エネルギー、 K_1 : 定数である。

この関係によって巨視的な流動特性である降伏値が、

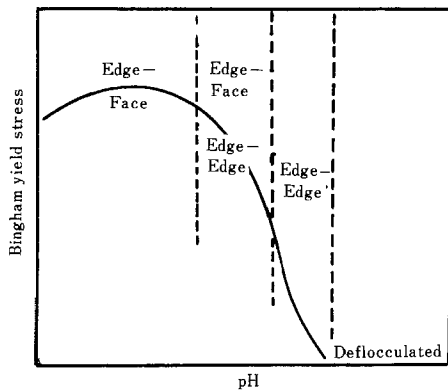


Fig. 1 Interpretation of the effect of pH on the Bingham yield stress of kaolinite suspensions, in terms of the mode of particle interactions.

(Rand, B. and I. E. Melton²⁾ より引用)

微視的な粒子間結合に結び付けられる。(1)式の意味するところによると、降伏値は、単位体積中の粒子数(行動単位数)の2乗に比例し、結合当りのエネルギーに比例する。降伏値は結合の数とその強度の両方の情報を含んでいる。

Fig. 1はカオリナイトの降伏値のpHによる変化と粒子間結合の存在を模式的に表現したものである²⁾。酸化物表面の性質をもつ端では、Hイオンが電位決定イオンとなって、低pHでは正の電位を持ち、高pHでは負の電位をもつ。低pHでは端の正電位と、同型置換により生じる面の負荷電との間に電気的引力が働いて、端・面結合を生じる。pHが上昇し、端電位の絶対値が低下するとともに端の拡散2重層が圧縮して端・端結合が卓越する。端・端結合はvan der Waals力が原因であるため、端・面結合よりも弱いので、降伏値は低下する。高pHでは端、面とも負荷電が高くなり結合が消滅し、降伏値は低い。このように、カオリナイトの降伏値の変化は結合種の変化とよく対応することが多くの研究者によって認められている。

塩濃度が増加するとこの曲線は徐々に平坦な形になるが、塩濃度の異なる曲線群は、たがいにほぼ一点で交わり、このpHが粒子端の等電点に一致する。等電点以上のpHでは塩濃度の増加にともない端・端結合が増加し、降伏値は増大する。等電点以下のpHでは塩濃度の増加にともない端・面結合が端・端結合に変化し、降伏値は減少する。

ところがモンモリロナイトについての実験結果はこれとはかなり異なっている。

Fig. 2は、NaモンモリロナイトサスペンションのNaCl濃度と降伏値の関係測定した1例である³⁾。Na濃度のわずかな増加で降伏値は急激に低下し、さらにNa濃度が増大すると降伏値はふたたび増大している。van Olphenは、これを次のように説明している⁴⁾。

非常に塩濃度が薄い時、正の端荷電と負の面荷電の間で端・面結合が起こるが、このとき面と面の間は拡散2重層反発力大きいのでT状のカードハウス構造をとる。わずかにNaを添加すると加えた対イオンによって粒子表面荷電が遮閉され、結合が消滅して分散する。さらに塩を加えると拡散2重層が圧縮して端・面結合や端・端結合が再生し、降伏値が再び増大する。このとき、面・面間には反発力が働くためやはりカードハウス構造を形成

*滋賀県立短期大学農学部

〒525 草津市西洪川2丁目8-4

土壌の物理性 第63号 pp.64~66 (1991)

する。非常に塩濃度が高くなると面・面結合が発生してカードハウスを形成する粒子数が減少するため、降伏値はふたたび低下する。

pHと降伏値の関係についてはFig. 3のように、中間pH領域で最小値を取り、その前後で大きい。しかも、塩濃度が高い程大きい値をとる結果がHeath and Tadrosに

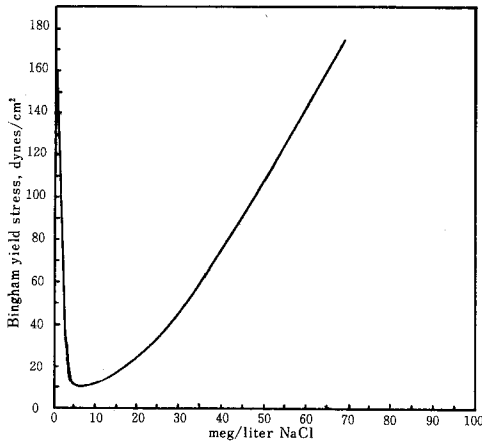


Fig. 2 Bingham yield stress of a 3.22% sodium-bentonite gel as a function of the amount of salt added.

(van Olphen, H³)より引用)

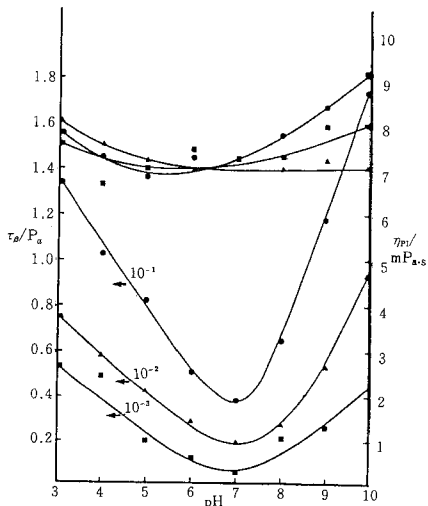


Fig. 3 Yield value (τ_0) and plastic viscosity (η_{pl}) of 4% sodium montmorillonite dispersions in 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} mole dm^{-3} NaCl at various pH's.

(Heath, D. and TH. F. Tadros⁵)より引用)

より報告されている⁵。彼らは等電点以下のpHでのゲル化を主として端・面結合によると考えている。光散乱測定の結果から端面結合の存在を推定した例もある⁶。

しかしこのような説明に疑問を呈する意見もある。塩濃度が低いときにも、カオリナイトでは低pHで凝集が生じたのに、モンモリロナイトではニュートン流を生じたことから、この条件では端・面結合が存在しないと考えられた⁷。また、モンモリロナイトの降伏値とpHの関係は中間pH領域で最小値を取り、塩濃度を変えても交点が生じず、カオリナイトのような等電点が検出されない^{5,7}。

こうした問題はモンモリロナイト粒子端がカオリナイトのように定電位表面として機能しているどうかにかかってくる。

Callanganら⁸は、Naモンモリロナイトの電気泳動度がpHによりほとんど変化しないことを、モンモリロナイト粒子が非常に薄く、面の電位分布が端の荷電を覆ってしまうためと推論している。同様の実験結果は他にも報告されており、カオリナイトの電気泳動度がpHにより大きく変化する⁹のと比べ、大きな違いである。

最近、SecorとRadke¹⁰はモンモリロナイト粒子を円盤状にモデル化し、端と面の両方が定荷電密度境界を持つ条件のもとで端近傍の電位分布を計算した。Fig. 4は、端と面の荷電密度を各々 $+10 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ と $-10 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、NaCl濃度 10^{-4} mol/l 、粒子の直径と厚さの比が100とした時の粒子端近傍の電位分布を示している。粒子端が正荷

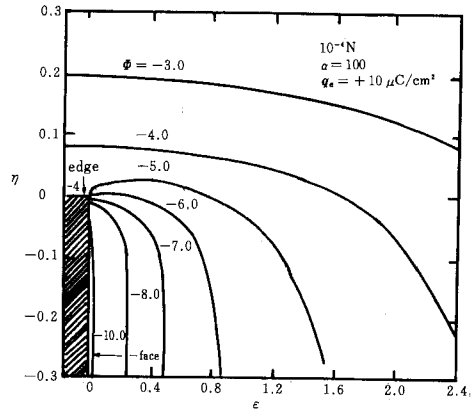


Fig. 4 The electrostatic potential around the montmorillonite particle. One quadrant of the profile is displayed, and the particle edge and face are labeled. The face charge density is $q_f = -10 \mu\text{C}/\text{cm}^2$, and the edge charge density is $q_e = +10 \mu\text{C}/\text{cm}^2$.

(Secor, R. B. and C. J. Radke¹⁰)より引用)

電を持つにもかかわらず、端の電位は面荷電の影響を受けて負の値となるのは興味深い結果である。また、塩濃度が低いほど、端荷電量が小さいほど、面電位の溢れ出し効果は大きい。低 pH で端・面結合が生じないことや電気泳動度が pH により変化しないことは、この結果を適用するとうまく説明できる可能性がある。

Zhao ら¹¹⁾もモンモリロナイト粘土の降伏値が pH の増大とともに減少する事実を、端荷電は常に負で pH の増大により負の値がさらに増大するためと考え、端がカオリナイトのように定電位的に働くことについて疑問を提起した。

塩濃度が高いとき、高 pH で電気泳動度がかなり増大することから、pH の増加で面の電位が増加するとする見方もあるが⁸⁾、これでは降伏値の pH 変化のごく一部しか説明できない。また、Na 添加にともない粒子端から溶出してくる Mg 量と降伏値の関係がきわめて似ていることから、Mg による表面の改質を示唆した最近の報告もある¹²⁾が、いまだ少し不明な点も残されている。

このように粒子表面の荷電と結合の発生をめぐっていろいろ詳細な検討が加えられてきているけれども、端の電位と結合の形成については、およそ次のように整理できると考えられる。

電気泳動は粒子全体の平均的な荷電状態に支配される。一方、粒子間の結合は結合に有利な部分があればその場所に選択的に発生する現象であり、電気泳動とは異なった立場から理解しなければならない。カオリナイトの降伏値と pH 関係の理解との統一性からも、面荷電の pH 変化を重視することは出来ないだろう。端は基本的には pH によって決定される定電位表面として働くが、それに加えて、特に塩濃度が低い時、面荷電の溢れ出しの効果も顕著に受けてモンモリロナイト特有の挙動が生じるものと考えられる。扱い方としては、端の荷電量と pH の関係を特定したうえで端・面両方とも定荷電密度境界の条件で電位分布を計算するか、あるいは端の定電位境界と面の定荷電密度境界の条件で電位分布を計算する 2 つの方法が考えられる。こうした補正を組み込みながら、結合発生の条件をより定量的に示していく作業が、現時点で明らかになりつつある課題である。

引用文献

- 1) Gillespie, T : An Extension of Goodeve's Impulse Theory of Viscosity to Pseudoplastic Systems, *J. Colloid Sci.* **15**, pp. 219-231 (1960)
- 2) Rand, B. and I. E. Melton : Particle Interactions in Aqueous Kaolinite Suspensions 1. Effect of pH and Electrolyte upon the Mode of Particle Interaction in Homoionic Sodium Kaolinite Suspensions, *J. Colloid and Interface Sci.* **60** (2), pp. 308-320 (1977)
- 3) van Olphen, H. : Internal Mutual Flocculation in Clay Suspensions, *J. Colloid Sci.* **19**, pp. 313-322 (1964)
- 4) van Olphen, H. : An Introduction to Clay Colloid Chemistry, 2nd ed., John Wiley and Sons, NY, pp. 101-105 (1971)
- 5) Heath, D. and T. H. F. Tadros : Influence of pH, and Poly (Vinyl Alcohol) Addition on the Rheological Characteristics of Aqueous Dispersions of Sodium Montmorillonite, *J. Colloid and Interface Sci.* **93** (2), pp. 307-319 (1983)
- 6) Schweitzer J. and B. R. Jennings : The Association of Montmorillonite Studied by Light Scattering in Electric Fields, *J. Colloid and Interface Sci.* **37** (2), pp. 443-457 (1971)
- 7) Rand, B., E. Pekenc, J. W. Goodwin and R. W. Smith : Investigation into the Existence of Edge-Face Coagulated Structures in Na Montmorillonite Suspensions, *J. C. S. Faraday I*, **76**, pp. 225-235 (1980)
- 8) Callaghan, I. C. and R. H. Ottewill : Interparticle Forces in Montmorillonite Gels, *Faraday Discuss. Chem. Soc.* **57**, pp. 110-118 (1974)
- 9) Melton, I. E. and B. Rand : Particle Interactions in Aqueous Kaolinite Suspensions 2. Comparison of Some Laboratory and Commercial Kaolinite Samples, *J. Colloid and Interface Sci.* **60** (2), pp. 321-330 (1977)
- 10) Secor, R. B. and C. J. Radke : Spillover of the Diffuse Double Layer on Montmorillonite Particles, *J. Colloid and Interface Sci.* **103** (1), pp. 237-244 (1985)
- 11) Zhao, Huifang, P. F. Low and J. M. Bradford : Effects of pH and Electrolyte Concentration on Particle Interaction in Three Homoionic Sodium Clay Suspensions, *Soil Sci.* **151** (3), pp. 196-207 (1991)
- 12) Chen, J. S., J. H. Cushman and P. F. Low : Rheological Behavior of Na Montmorillonite Suspensions at low Electrolyte concentration, *Clays and Clay Minerals* **38** (1), pp. 57-62 (1990)

 書 評

土の物質移動学

中野政詩著

 東京大学出版会 1991年刊
 A 5 版 189pp. 3,600円

近年の農林業は、石油エネルギーの農地への投入、開発途上国にみられる焼畑農業や乱開発など、自然生態系の中で永続的に営まれてきた物質循環システムを破壊しながら農業生産活動が行われている。これが一因となって、世界各地で耕地の荒廃が進行し、身近な自然現象のなかでも感知し得るほど地球規模の環境破壊は深刻化している。そこで、砂漠の緑化、土の荒廃や劣化の防止、水質浄化といった地球環境の保全は今日解決しなければならぬ重大な課題となっているが、いずれの場面においても土中の物質分解と移動、貯留といった物質循環機構を正確に評価することが工学的立場から強く要求されている。

本書はこのような時代的要請を意識しながら書かれたものである。すなわち、土壌を環境構成要素として捉え、そこで生起する水、溶質、ガス、エネルギーなどの循環現象を支配する物理的諸原理を解説している。さらに、生態系構成要素である微生物や植物も含めた1つのシステムを形成し、個々相互の連関性を整理しながら、簡潔に全体像を表現している。

本書のまえがき以降は、以下の8章で成立っている。

- 第1章 土と物質移動
- 第2章 水の移動と浸潤
- 第3章 溶質の集積・溶脱と移動
- 第4章 ガスと水蒸気の移動
- 第5章 土の乾燥と移動
- 第6章 微生物活動と物質移動
- 第7章 粘土の膨張・収縮と水移動
- 第8章 水移動と熱エネルギー

本書の構成は、著者が「まえがき」でも述べているように、第1章に現象解析の一般的な見方や扱い方を述べた後、各章で、個別具体的な問題に即した解析および予測の方法と実態を述べ、最後の第8章で、水移動に関わる基礎的な部分に触れている。また、各章は、相互に関連するものであるが、それぞれそだけで一つの特徴ある体系が理解できるように、できるだけ完結しほぼ独立した体裁をとっているのので、どの章からでも抜き読みが

できるように意図されて執筆されている。

各章の内容のあらましは以下の通りである。

第1章は、物質移動の場となる土の構造について概説し、様々な境界条件で発生する物質移動現象とそれを支配する基礎方程式を紹介している。

第2章は、水移動の基礎方程式について解説し、実際の現象として、土中への浸潤、地下水かん養としての水移動、マクロポアによる水移動の例を紹介している。

第3章は、土壌間隙中で発生する溶質移動のメカニズムと基礎方程式を解説し、塩類と水中懸濁微粒子の土中移動について紹介している。

第4章は、気体移動を表す基礎方程式を解説し、土中のガス移動について言及している。

第5章は、土壌面からの蒸発、植物の蒸散にともなう土-植物-大気系の水移動システムについて解説している。

第6章は、微生物活動による物質の分解作用を考慮した土中の溶質移動現象について解説している。

第7章は、膨潤や収縮を引き起こす粘土中の水移動の基礎方程式と粘土中の水移動にともなう固相率の変化について解説している。

第8章は、エネルギー、水および水蒸気の移動方程式と土中における熱移動の基礎方程式を解説している。

このように、本書は、土壌物理学の分野はもとより土壌化学、土壌学、植物栄養・肥料学、植物生理学、微生物学、土質工学、土木工学、資源工学、環境科学、地球科学などの広範な分野の総計185にも及ぶ文献を体系的に集大成している。書名の「土の物質移動学」にもあるように、一つの「学」としての内容と体裁を整えている。

また、高度で広範な内容を論じているにも拘らず、専門書に有りがちな難解な表現は少なく、豊富な図表と噛み砕いた解説によって大学院生はもとより学部学生にも理解できるものとなっている。

この書は、新しい「学」を提唱する先駆的な資料となるばかりでなく、最良の教科書として広く活用されることが期待される。

(岐阜大学 千家正照)

公開講演会成功裡に開催さる

平成3年2月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議は、例年どおり、平成2年度においても、主催の公開講演会を3回開催しました。今回の日本学術会議だよりでは、その講演会に加えて、本会議の国際的活動や最近公表された「委員会報告」などについてお知らせします。

平成2年度日本学術会議主催公開講演会

本会議は、本会議の会員が、学術の成果について広く市民と語り合う機会として、時宜に合ったテーマを選定して、毎年、公開講演会を開催している。本年度は、次の3回の講演会を開催したが、いずれも成功裡に終了した。

I 公開講演会「高度技術と市民生活」

標記講演会は、去る平成2年10月13日(土)13時30分～17時に、兵庫県加東郡社町の社町福祉センターホールで、約250人の聴講者を得て開催された。各演題と講師は、①「高齢化社会と高度技術」原沢道美(第7部会員、東京通信病院院長)、②「消費生活と高度技術」正田彬(第2部会員、上智大学教授)、③「地域振興と人間主導型高度技術」竹内啓(第3部会員、東京大学教授)であった。

II 公開講演会「資源エネルギーと地球環境に関する展望」

標記講演会は、去る平成2年10月30日(火)13時～17時に、本会議講堂で、約330人の聴講者を得て開催された。各演題と講師は、①「人間と環境」大島康行(第4部会員、早稲田大学教授)、②「エネルギーと環境」石井吉徳(第5部会員、東京大学教授)、③「エネルギーと経済問題」則武保夫(第3部会員、立正大学教授)、④「エネルギーとCO₂対策」上之園親佐(第5部会員、摂南大学教授)であった。

III 公開講演会「人間は21世紀を生きられるか」

標記講演会は、去る平成3年2月19日(火)13時30分～17時に、本会議講堂で約200人の聴講者を得て開催された。各演題と講師は、①「科学・技術・政策」杉本大一郎(第4部会員、東京大学教授)、②「科学と人間—生存のための条件づくり」下山瑛二(第2部会員、大東文化大学教授)、③「人間の適応能力とリスク」土屋健三郎(第7部会員、産業医科大学長)であった。

いずれの講演会も、時期にあった、関心の呼ぶ企画であったため、外くの聴講者が来場する盛会となり、また、各講師の講演後の質疑応答では、聴講者から活発な質問や意見の開陳がなされ、まさに市民との対話の感があり、極めて有意義であった。

なお、これらの講演会については、後日、「日学双書」として、(財)日本学術協力財団から出版される予定である。

平成2年度二国間学術交流事業

本会議では、二国間学術交流事業として、毎年2つの代表団を外国に派遣し、各訪問国の科学者等と学術上の諸問題について意見交換を行って、相互理解の促進を図る事業を行っている。

この事業は、昭和58年度から実施されており、これまで、アメリカ、マレーシア、西ドイツ、インドネシア、スウェーデン、タイ、フランス、大韓民国、連合王国、シンガポール、チェコスロヴァキア、ポーランド、カナダ、イタリア、スイス及びインドの16か国に代表団を派遣してきた。

平成2年度には、①9月11日から22日まで、中華人民共和国へ、渡辺格副会長以下4名の会員等から成る代表団を、②9月17日から27日まで、オーストラリア及びニュー・ジーランドへ、大石泰彦副会長以下5名の会員等から成る代表団をそれぞれ派遣した。

中華人民共和国派遣代表団は、中国科学院、中国社会科学院、中国医学科学院、北京大学、西安交通大学、復旦大学など約20機関を訪問し、中華人民共和国の学術や今後の交流の推進策などについて会談、意見交換を行った。中華人民共和国側からは、すでに、日本の多くの大学、研究機関と交流を行っているが、さらに交流を拡大したいとの期待が表明され、両国間の今後のより積極的な交流・協力をめぐる活発な意見の交換が行われた。

オーストラリア及びニュー・ジーランド派遣代表団は、オーストラリアでは、オーストラリア科学アカデミー、オーストラリア国立大学、シドニー大学、連邦科学・産業研究機構など、ニュー・ジーランドでは、ニュー・ジーランド王立協会、マッセイ大学、ウィクトリア大学、科学技術研究機構など、両国合わせて20を越える諸機関を訪問し、それぞれの国の学術、今後の交流の可能性などについて、会談、意見交換を行った。特に、両国では近年、国家、国民に実際に役立つ技術の発展を目指した科学技術の大きな改革が進められており、これらの問題等について、熱心な意見の交換が行われた。

今回の成果は、代表団派遣時だけのものではなく、今後のわが国の学術の国際交流・協力の進展に大きく役立つものと期待される。

平成3年(1991年)度共同主催国際会議

本会議は、国際的な活活の一環として、毎年、日本で開催される学術関係国際会議を関係学術研究団体と共同主催してきている。平成3年(1991年)度には、次の6件の国際会議を開催する。

■第21回国際農業経済学会議

開催期間 平成3年8月22日～29日
開催場所 京王プラザホテル(東京都新宿区)
参加者数 国外550人, 国内950人, 計1,500人
共催団体 日本農業経済学会外4学会

■国際医用物理・生体工学学会議(第16回国際医用生体工学学会議・第9回国際医学物理学会議)

開催期間 平成3年7月7日～12日
開催場所 国立京都国際会館(京都市)
参加者数 国外1,000人, 国内1,500人, 計2,500人
共催団体 (社)日本エム・イー学会, 日本医学物理学会

■国際純正・応用化学連合1991国際分析科学学会議

開催期間 平成3年8月25日～31日
開催場所 日本コンベンションセンター(千葉市)
参加者数 国外500人, 国内1,000人, 計1,500人
共催団体 (社)日本分析化学会

■第22回国際シミュレーション&ゲーミング学会総会

開催期間 平成3年7月15日～19日
開催場所 立命館大学, 国立京都国際会館(京都市)
参加者数 国外170人, 国内300人, 計470人
共催団体 日本シミュレーション&ゲーミング学会

■一般相対論に関する第6回マーセルグロスマン学会議

開催期間 平成3年6月23日～29日
開催場所 国立京都国際会館(京都市)
参加者数 国外380人, 国内170人, 計550人
共催団体 (社)日本物理学会

■第22回国際動物行動学会議

開催期間 平成3年8月22日～29日
開催場所 大谷大学(京都市)
参加者数 国外400人, 国内400人, 計800人
共催団体 日本動物行動学会

経営学研究連絡委員会報告—経営学教育改善のために—(要旨)

(平成2年11月26日 第763回運営審議会承認)

企業環境の激変, 就中技術革新, 高度情報化, 国際化等々の急進展に伴って, 経営学教育は, 大きく見直され, かつ新たな体系化と一層の内容の充実の必要性に迫られている。すなわち, 学術的分野の広がり, 国際化や情報化の急進展は, 経営学の外延的拡大を要請し, また経営管理の高度化, 複雑化および戦略的視点の重要性増加は, 斯学の多面的な内容の充実強化を要求している。本報告は, かかる状況下において経営学教育の現状分析を行い, かつ(1)教育体系(とくにカリキュラム)の再編成と(2)教育方式の新たな在り方を探り, もって経営学に対する社会的ニーズへの即応と経営学教育の総合的な体系化への試みを展開したものである。とくに教育する側, される側両面での人材育成を強く念頭に置いて経営学教育改善の方途を示すとともに, 大学院教育へのつながりを意識しながら将来への展望を示唆しようとしたものである。

統計学研究連絡委員会報告—統計学研究教育体制の整備のための具体的方策について(要旨)

(平成2年12月21日 第764回運営審議会承認)

現今, 高度情報化の進展による情報資源の多激な蓄積にともない, 統計的情報処理を適切に行える人材に対する社会的需要が著しく高まっている。現在米国では60を超える大学に統計学科が存在するのに対し, 我が国では統計学関連の大学院専攻はただ一つあるのみである。最近の学術研究における, 調査, 実験, 観測等の活動の急速な増大を考慮するとき, データ有効利用の学としての統計学の研究教育体制の不備は, 我が国の学術研究の将来に対し, 国際的に見て著しく不利な状況を生み出しつつある。

本報告では, 統計学を一つの専門分野として狭く捉える従来の考え方を避け, 本来学際的な性格を持つ統計学研究の実態に即して, 諸科学との関連をより重視する統計科学の概念を確立し, 広範な関連分野の研究者の協力により統計科学研究所あるいは専攻等を設立することの推進を提案する。この提案を具体化することにより, 国際的に見ても先進的な統計学研究教育体制を実現することが可能になるものと期待される。

実験動物研究連絡委員会報告—動物実験を支援する人材育成について—(要旨)

(平成2年12月21日 第764回運営審議会承認)

医学, 生物学領域において, 動物を用いた実験研究が先導的な形で寄与し, 社会に貢献してきたことの意義は大きい。遺伝子・分子・細胞の各レベルにおける研究成果を総合して個体の生物機能・生理現象を理解し, 病的現象に適切な対応を計るために, 個体レベルの研究, すわち, 動物実験による研究の必要性はますます増加し, 多種類かつ高品質の動物が精細な計画・技術のもとで実験に供されるようになった。以上の観点から動物実験を取り囲む現状を詳しく検討した結果, 動物実験の高度化・多様化に対応できる, 専門的知識と技術を習得した技術者の数が著しく不足していることを強く認識するに至った。

本報告は, このような現状に対する改善の方向を明らかにするとともに, バイオサイエンス研究支援体制を一層整備するための方策として, 特に動物実験技術者の教育機関の設立を中心に, 技術の審査・認定制度の確立, 技術者の採用制度の検討, 身分・処遇保障等についての将来展望を示唆するものである。

日学双書の刊行案内

日本学術会議主催公開講演会の記録をもとに編集された次の日学双書が刊行されました。

・日学双書No.10「くらしと学問の近未来」

〔定価〕1,000円(消費税込み, 送料210円)

※問い合わせ先:

(財)日本学術協力財団(〒106 東京都港区西麻布3-24-2, 交通安全教育センタービル内, TEL 03-3403-9788)

御意見・お問い合わせ等がありましたら, 下記までお寄せください。

〒106 東京都港区六本木7-22-34

日本学術会議広報委員会 電話03(3403)6291

第14期最後の総会終わる

平成3年6月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議は、去る5月29日から31日まで第111回総会を開催しました。今回の日本学術会議だよりでは、その総会で採択された勧告を中心に、同総会の議事内容等についてお知らせします。

日本学術会議第111回総会報告

日本学術会議第111回総会（第14期・第7回）は、平成3年5月29日～31日の3日間開催された。

総会冒頭に逝去された大谷茂盛、石原智男両会員の冥福を祈り黙禱を捧げた。会長からの経過報告の後各部・各委員会の報告があった。続いて規則の一部改正1件、国際対応委員会の設立等運営内規の改正1件、申し合わせ2件、勧告1件、要望1件、対外報告等3件、計9議案の提案があった。これらの議案については、同日午後の各部会での審議を経て、第2日目の午前に採決された。

なお、総会前日の午前には連合部会を開催し、これらの議案の説明、質疑を行った。また、総会に平行し、第1日目の夕方には第771回運営審議会が開催されて、これら議案についての各部の審議状況が報告された。

第2日目の午後は、「ポスト湾岸をめぐる諸問題」について自由討議が行われた。

第3日目の午前には各特別委員会が、午後には各常置委員会が開催された。

今回の総会では、「大学等における人文・社会科学系の研究基盤の整備について（勧告）」と「公文書館の拡充と公文書等の保存利用体制の確立について（要望）」が採択され、同日（30日）午後、内閣総理大臣に提出され、関係各省に送付された。

日本学術会議としての国際対応組織の問題は、前期からの懸案事項であったが、今期においてもこの問題は新たに増幅され、国際対応委員会を当分の間設立することが決まり、それに伴い運営内規の一部を改正することとなった。

対外報告としては、「人間活動と地球環境に関する日本学術会議の見解」を〔人間活動と地球環境に関する特別委員会〕が、「医療技術と社会に関する特別委員会報告—脳死をめぐる問題に関するまとめ—」についてを〔医療技術と社会に関する特別委員会〕がまとめ採択された。また、会長提案のバイオテクノロジー国際科学委員会及び国際微生物学連合への加盟も採択された。

「ポスト湾岸をめぐる諸問題」についての自由討議は、大石泰彦副会長の司会で、はじめに話題提供として第2部の西原道雄部長、第2常置委員会の星野安三郎委員長、平和及び国際摩擦に関する特別委員会の川田 侃委員長がそれぞれ部・委員会の審議状況を報告した。それに基づき、会員間での意見交換が行われた。

大学等における人文・社会科学系の研究基盤の整備について（勧告）

国家・社会の健全な発展は、人文・社会科学と自然科学のバランスのとれた学術研究の成果が常にその土壌となっている。ところが、戦後の我が国では、自然科学の急速な進展に比して、人文・社会科学がそれに対応できない状況にある。それは、大学等における人文・社会科学系の研究基盤が整備されないまま放置されていたことに起因する。その上、これからの我が国は、国内的には広く生涯教育を推進し、国際的には各国との研究交流や留学生の受け入れなどを一層積極的に行うことを要請されている。すでに日本学術会議は、第13期において「大学等における学術予算の増額について（要望）」などを要望しており、これを踏まえて第14期では、さきに、主として自然科学系の「大学等における学術研究の推進について—研究設備等の高度化に関する緊急提言—（勧告）」の勧告をした。それに続いて、ここに人文・社会科学系の大学等における研究基盤を早急に改善し、整備するよう勧告する。

まず、人文・社会科学系の研究基盤を改善し、整備するためには、研究に関わる人的構成の強化を必要とする。したがって、なによりも研究者の増員が必要であり、それに関連して、特に若手研究者の養成と研究補助者の増員が求められる。今日、人文・社会科学も自然科学と同様に、研究分野が細分化されるとともに総合化も図られ、それに応じて新しい分野が開発され、それぞれの分野において総合的かつ多面的な研究方法が採られるようになったからである。

また、国内外でのフィールド・ワーク等の研究調査や外国人研究者の招へいなどがより活発に行われるためには、研究費の大幅な増額を必要とする。なお、国公立大学等における研究費の実験系と非実験系による区分は適正な基準により是正する必要がある。

さらに、人文・社会科学系の研究基盤の整備には、図書や資料の収集・保管など学術情報の充実が要求される。それを充たすには、それぞれの研究室における情報処理機器を整備・充実するとともに、図書館・情報センターなどの学術情報機関の拡充を図るべきである。その際、情報処理機器の購入と維持のために相対的に図書購入に当てる費用が圧迫されてはならず、図書費全体についても特段の増額が必要である。

以上のように人文・社会科学の人的・物的な研究基盤の速やかな整備が、国公立大学のみならず、すべての研究機関において今日切実に要望されている。なお、大学等における研究基盤の整備に役立つ民間からの寄付等の援助には、それに対する包括的かつ柔軟な免税措置等が講じられるよう配慮すべきである。

公文書館の拡充と公文書等の保存利用体制の確立について(要望)〔要旨〕

わが国の公文書等の保存体制は、公文書館法が公布・施行されて大きく前進したが、その体制はなお国際的にみて大きく立ち遅れた状況にある。公文書等はきわめて重要な学術情報であり、かつ、国民共有の文化的・歴史的資産として貴重であることから、その保存・利用体制を確立するために以下の措置を早急に講じられるよう要望する。

1. 国立公文書館の拡充とその権限の強化

現在の国立公文書館はその設備・人員等がきわめて貧弱であり、また、権限が著しく弱小である。国の公文書等の保存利用体制の確立のために、まず国立公文書館の権限を強化し、その設備・人員を大幅に拡充整備する必要がある。

2. 地域文書館の設立・整備のための国の支援の強化

公文書館法の公布以後、地方公共団体において公文書館を設立する動きがあるが、まだ、その動きは限られている。設立を促進し機能を強化するために、国の財政的援助を拡充すると共に、地方公共団体の自主性を尊重しつつ国の技術的な指導・助言を強化する必要がある。あわせて、公文書等の保存に関して、文書館の権限を強化する必要がある。

3. 公文書館専門職員養成制度と資料学・文書館学研究体制の整備

公文書館専門職員の養成・確保は緊急な課題であり、わが国にふさわしい専門職養成制度を早急に確立すべきである。この確立のためには、資料学・文書館学の研究者を確保し研究を推進するための体制を整備する必要がある。

4. 公文書館法の整備

以上のような措置を講じる上で、現在の公文書館法は、公文書館の設置義務とその権限、専門職員の資格と地位、地域文書館への国の支援などについて不十分な点が多くみられるので、これを早急に整備して、公文書等の保存利用体制の確立を推進する必要がある。

人間活動と地球環境に関する日本学術会議の見解〔要旨〕

日本学術会議は、人間活動と地球環境に関する問題に強い関心を持ち、特別委員会や多数の研究連絡委員会において学術情報を集め、問題を総括し、研究体制の検討等を行ってきた。これらを基礎として見解を表明する。

日本はその自然環境の多様性や、近年の人間活動の急速な進展により環境問題に対して厳しい見方が必要である。この関連の研究は従来必ずしも十分ではなかった。国際協力の下に多岐にわたる学問分野がこれまでの枠を拡大し、多分野の学協会が融合化して活動し、新しい分野の研究活動の強力な推進を図るべきである。また、地球環境問題はグローバルな問題であるが、個々の人間の対応から出発する問題でもあるから教育や啓蒙活動が急務である。

わが国では多数の省庁が研究を行っているが、相互関係や全体を見渡した有機的・体系的な研究推進政策が必要である。日本学術会議はこれらのための助言、連絡、調整等にその組織と能力を生かして活動し努力する。

医療技術と社会に関する特別委員会報告 —脳死をめぐる問題に関するまとめ—

医療技術は不断に進歩するが、その進歩が著しければ著しい程、医療技術と人々のものの考え方や社会的な習慣との間に調和を欠く状況が生じている。脳死の取扱をめぐる問題はその一つである。今期の本特別委員会では「脳死は人の死か」についての直接的な審議は保留し、「もし脳死をもって人の死とすると、あるいは臓器移植を視点にいとると、何が問題になり、それを如何に考えるか」などについて論議した。本報告はその結果を整理したものである。

(原文のまま、以下項目のみ)

- 1 脳死患者の医療上の取扱
- 2 意思の個別的確認について
- 3 死亡時刻の考え方に関して
- 4 医療提供側の問題点
- 5 医療費の取扱について

日本の学術研究環境—研究者の意識調査から—(第3常置委員会)刊行される

第3常置委員会は、第13期の「学術研究動向」調査を踏まえ、21世紀に向けて我が国の学術研究の中心的存在として活躍を期待される30歳代から40歳代の若手研究者(約2000人)を対照に、学術研究の基礎となる「研究環境」についてのアンケート調査(調査事項は、大別して「学術研究の組織・体制、研究者の養成・確保と国際化、研究費の調達・運用と研究設備、情報の収集・保存」)を行い、その結果を基礎に報告書を作成した。なお、本書は日学資料として刊行している。

日本学術会議主催公開講演会「日本の学術研究環境は21世紀に対応できるか開催される

「日本の学術研究環境」の刊行を記念し、平成3年6月6日(木)13時30分～17時00分に日本学術会議講堂において開催された。近藤会長の開会のあいさつの後、澤登第2部会員の司会により、①「日本の学術研究環境—研究者の意識調査から—」(森第7部会員)②純粋基礎研究は大学しかやらない(有馬第4部会員)③私立大学の立場から(松本第2部会員)④「産業の立場から」(内田第5部会員)の講演の後、総合討論を経て、渡邊第7部会員(第3常置委員会委員長)の閉会のあいさつをもって盛況のうちに終了した。なお、本公開講演会の内容は、追って日学双書で刊行する予定である。

平成3年1月以降、委員会等別の 対外報告

部 1件 特別委員会 4件
常置委員会1件 研究連絡委員会23件

御意見・お問い合わせ等がありましたら、下記までお寄せください。

〒106 東京都港区六本木7-22-34

日本学術会議広報委員会 電話03(3403)6291

会務報告

諸会議開催経過

1. 事務局会議('90.12.1)

- 1) 会長推薦評議員として以下の3氏にお願いすることになった。

東順三(副会長): 神戸大学農学部教授

矢野友久: 鳥取大学乾燥地研究センター教授

宮内定基: 愛媛大学農学部教授

- 2) 学術会議登録学術研究団体変更届について(役員, 事務局の変更)

2. 事務局会議('91.2.9, 岡大農)

- 1) 学術会議会員候補者ならびに推薦人について
2) 会誌の発行計画並びに編集方針についての報告
3) 新幹事事務分担

3. 事務局会議('91.3.7, 岡大農)

新旧事務局引継

4. 編集委員会('91.5.10, 岡大農)

- 1) 会誌63号の論文閲読について
2) 会誌64号の編集方針について

5. 編集委員会('91.7.6, 岡大農)

- 1) 会誌63号の論文閲読結果について
2) 会誌64号の編集ならびに閲読結果について
3) 原稿執筆要領について

6. 事務局会議('91.7.15, 岡大農)

- 1) 会誌編集状況の報告
2) 評議員会開催準備について
3) 平成三年度シンポジウム開催計画について
4) 農業機械学会シンポジウム
「農業機械研究開発・設計手法の技術革新を目指して」—有限要素法の活用—の協賛について
5) 特許庁指定登録団体継続申請について
6) 入退会者について

7. 1990年度第1回評議員会('91.7.16, 岡大農) 議題

- 1) 第33回シンポジウムについて
2) 編集委員会報告
3) 入退会者の承認と報告
4) 日本学術会議第15期会員選出団体登録変更ならびに推薦人(予備人)の届け出について
5) その他

会員の動向

1. 会員数(1991.7現在)

会員種別	会員数
正・学生会員	556
北海道	67
東北	60
関東	184
中部	50
近畿	63
中四国	76
九州	52
海外	4
賛助会員	6
購読会員	61
合計	623

2. 新入会員(1990.11~1991.7)

氏名	種別	連絡先
弘中 貞之	正	106 港区六本木7-22-1 東京大学生産技術研究所
平山 良治	正	305 つくば市天久保4-1-1 国立科学博物館筑波実験植物園
千家 正照	正	501-11 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学農学部
谷川 寅彦	正	591 堺市百舌鳥梅町4-804 大阪府立大学農学部
木村 真人	正	464-01 名古屋市千種区不老町 名古屋大学農学部
高木 東	正	721 福山市西深津町6-12-1 中国農業試験場生産環境部
豊橋農業技術センター	購読	440 豊橋市飯村町高山11-48 愛知県農業総合試験場 豊橋農業技術センター 畑地土壤研究室
酒井 俊典	正	790 松山市樽味3-5-7 愛媛大学農学部
宋 永焜	購読	236 横浜市金沢区六浦町4834 関東学院大学工学部

3.住所変更(1990.7~1991.7)

氏名	旧	連絡先
手島 三二	大阪	591 堺市金岡町1820 白鷺スカイハイツ534号(自宅)
徳留 昭一	茨城	Elliptical Road Corner, Visayas Av., Diliman, Quezon City, Philippines Bureau of Soils and Water Management
染井順一郎	北海道	100 千代田区霞が関1-2-1 農林水産省構造改善局
塩谷 勝	宮城	982-02 仙台市太白区旗立2-2-1 宮城県立農業短期大学
長野間 宏	秋田	305 つくば市観音台3-1-1 農業研究センター
佐藤泰一郎	富山	939-03 射水郡小杉町黒河 富山県立大学短期大学部
元木 征治	北海道	041-12 亀田郡大野町本町680 道立道南農業試験場
森 哲郎	北海道	064 札幌市中央区南6条西16-2-8 (自宅)
木俣 勲	茨城	020-01 盛岡市下厨川字赤平4 東北農業試験場
在原 克之	千葉	299-02 君津郡袖ヶ浦町三ツ作 1357(自宅)
大崎亥佐雄	北海道	098-57 枝幸郡浜頓別町緑ヶ丘 道立天北農業試験場
佐藤 寛	茨城	943-01 上越市稲田1-2-1 北陸農業試験場
安養寺久男	北海道	305 つくば市観音台2-1-2 農業工学研究所
岩淵 晴郎	北海道	004 札幌市豊平区北野3条 5-19-10(自宅)
佐々木長市	宮城	982-02 仙台市太白区旗立2-2-1 宮城県立農業短期大学
箱石 正	広島	390-14 長野県東筑摩郡波田町 9759-2(自宅)
志賀 一一	兵庫	004 札幌市豊平区北野2条 3-5-9(自宅)
根本 清一	茨城	305 稲敷郡基崎町池の台2 畜産試験場
杉本 英夫	茨城	204 清瀬市下清戸4-640 大林組
太田 猛彦	東京	113 文京区弥生1-1-1 東京大学農学部

三原真知人	東京	183 府中市分梅町3-34-2 グリーンハイツ102号(自宅)
藤原 幸彦	北海道	272 市川市鬼高3-33-9 基礎地盤コンサルタンツ東京支社
石幡 信	岩手	025 花巻市葛第1地割68 県立花巻農業高等学校
中村 伴蔵	長野	396 伊那市大字伊那部1185 (自宅)
大槻 恭一	香川	680 鳥取市浜坂1390 鳥取大学乾燥地研究センター
本橋 明夫	北海道	062 札幌市中央区北4条西 6丁目北4条ビル 北海道開発コンサルタント(株)
喜田村俊明	栃木	020-01 盛岡市緑ヶ丘2-13-1 日本たばこ産業(株) 盛岡葉たばこ技術センター
増島 博	茨城	156 世田谷区桜丘1-1-1 東京農業大学農学部
大山 信夫	茨城	833 筑後市大字和泉496 九州農業試験場
箱山 晋	茨城	004 札幌市豊平区羊ヶ丘 北海道農業試験場
井田 明	香川	833 筑後市大字和泉496 九州農業試験場
中川 慎治	東京	305 つくば市長峰1-1 気象研究所気候研究部
中島田 誠	三重	428 静岡県榛原郡金谷町金谷2769 野菜・茶業試験場
雨宮 悠	東京	271 松戸市松戸648 千葉大学園芸学部
田淵 俊雄	茨城	113 文京区弥生1-1-1 東京大学農学部
山口 浩	東京	290 市原市五井6393-2(自宅)
白石 勝恵	福岡	833 筑後市大字山ノ井594-5 (自宅)
山路 英司	東京	222 横浜市港北区富士塚2-19-9 (自宅)
五十嵐孝典	茨城	300-11 茨城県阿見町荒川本郷 1343-162(自宅)
荒木 陽一	愛知	305 つくば市観音台3-1-1 農業研究センター

4.退会会員(1990.11~1991.7)

10名(正会員10名)

(1984・11・22改正)

土壌物理研究会会則

- 第1条 本会は土壌物理研究会 (Research Association of Soil Physics, Japan) と称する。
- 第2条 本会は土壌の物理性を中心とする試験研究の発展と農業技術への貢献を図ることを目的とする。
- 第3条 本会はその目的を達成するため次の事業を行う。
- (1) 研究発表会, 討論会及び見学会などの開催
 - (2) 土壌の物理性 (Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan 会誌という) 並びにその他の印刷物の発行
 - (3) 内外の研究, 技術の交流及び他の学会, 諸団体との協力
 - (4) その他本会の目的を達成するため必要な事業
- 第4条 本会の会員は, 正会員, 学生会員及び賛助会員, 購読会員の4種とする。
会員となるには評議員会の承認を受けなければならない。
- 第5条 会員は次の会費を所定の期日までに納めるものとする。
- | | | | |
|-----------|------|---|---------|
| 正会員 | 年 | 額 | 3,500円 |
| 学生会員 | 〃 | | 2,000円 |
| (大学院生を含む) | | | |
| 賛助会員 | 1口年額 | | 15,000円 |
| 購読会員 | 会誌年額 | | 4,500円 |

広告料 賛助会員 実費
賛助会員以外 実費の5割増

- 第6条 本会に次の役員をおく。任期は2年とする。ただし, 3期連続の重任は認めない。選出方法は別に定める。
- (1) 会長1名, 副会長1名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (2) 評議員
イ 15名 正会員から互選する。
ロ 3名以内 会長が委嘱する。
 - (3) 会計監査 2名
正会員の中から評議員会によって選出される。
 - (4) 幹事 若干名
会長委嘱
- 第7条 会長は毎年1回以上総会並びに評議員会を招集する。
- 第8条 本会に次の委員会をおく。
- (1) 選挙管理委員会
正会員の中から評議員会によって選出され, 本会の評議員選挙を管理する。
 - (2) 編集委員会
正会員の中から評議員会によって選出される委員によって構成され, 会誌その他の印刷物の編集に当る。
- 第9条 本会の経費は会費その他の収入をもってあてる。
- 第10条 本会の会務執行に必要な規定は別に定める。

「土壌の物理性」投稿規定 (1989・7・26改定)**1. 投稿要領**

- 1) 投稿は本会会員に限る。ただし共著者の場合また編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
- 2) 投稿原稿の採否は編集委員会が決定する。編集委員会は要すれば文章の加除修正を行う。ただし内容については, これを著者に依頼することがある。
- 3) 投稿は以下に示す種別にしたがい, その内容は土壌の物理性に主体をおくものとする。
「報文」他誌に未発表のものに限る。書き方は方法, 結果, 考察ならびに総括 (摘要) の体裁をとり, 引用文献を明らかにすること。
「論説・総説」土壌の物理性に主眼をおき, 広い視野に立って記述したもの。
「資料」既に発表した報文または発表予定の内容を各分野の参考資料となるよう書き改めたもの。
「解説」物理性に関する諸事項の理解を計るための平易な解説ならびに研究技術の普及交換を進めるための紹介を含む。
「その他」土粒子, 書評などを含む。
- 4) 投稿には下記形式の送り状を付け, 原文1部, コピー2部の計3部を送付する。報文のみ初刷りは著者校正とし, 印刷済みの原稿は返さない。別刷りは30部を著者に贈呈する。それ以上希望する場合は実費を申し受ける。

発表年月日		受付年月日	
種 別		原稿枚数	
表 題		図表数	表 枚 図 枚,
著 者 名		写真数	葉
所 属		別 刷	30部+ 部

付記：投稿は下記宛のこと
「土壌物理研究会編集幹事」

2. 原稿執筆要領

- 1) 原稿には400字詰横書きの原稿用紙を用いる。
- 2) 原稿の枚数は、刷り上がり6ページ以内(図表を含めて32枚程度)を基準とする。超過ページならびに写真、図表など、特に多額の経費を要するときは実費を申し受ける。
- 3) 文体 平かな漢字混りの横書き口語文として、できるだけわかりやすい表現にする。
- 4) 術語以外はなるべく当用漢字を用い、かなは現代かなづかいとする。
- 5) 句読点、括弧、ハイフンには一画を与える。数字、ローマ字は一画に二字までとする。
- 6) 数字 アラビア数字を用い、漢数字は普通の字句についてのみ用いる。
- 7) 外国人名は欧字とする。最初の文字のみ大文字とする。
- 8) 外国地名はカタカナを原則とするが、必要に応じて欧字を用いる。
- 9) 字体の指定は、ゴシック、*italic*、**bold** のように鉛筆で指定する。紛らわしい文字は誤植防止のための指示を鉛筆で記入する。(例：1ーエル、1ーイチ、Iーアイ、 x^2 、 Na_2CO_3 など)
- 10) 術語 原則として文部省編：学術用語集による。普通に用いられる外国語の術語、物質名などはカタカナで書く。
- 11) 略字、略号を使うときは、はじめにそれが出る個所で正式の名称とともに記す。例：液性限界(LL)
- 12) 数量の単位は原則としてSIを用いる。(但し、当分の間はCGSの併用を認める)
- 13) 表・図・写真などは必要最小限とし、同一事項を表と図に重複して示すことは避ける。
- 14) 表・写真は本文のあとに1枚ごとに原稿用紙あるいはこれとほぼ同大の別紙に書き、またははり付ける。1枚ごとに著者および表題を鉛筆で略記して事故の発生を避ける。本文中欄外に挿入位置を指定し空白はあけない。ただし指定の位置にはならないことがある。
- 15) 空欄の多い表は避け、注を使うなどして紙面の節約をはかる。
- 16) 表の番号は「表-1」のようにし、説明とともに表の上に記入する。
- 17) 図はそのまま製版にとれるようトレーシングペーパー等(白か透明)に黒インクで明確に書く。製版に適しない図は書き直しを要求することがある。図中の文字は鉛筆でうすく記入することにとどめる。図の番号は「図-1」のようにし、説明とともに図の下に鉛筆で記入する。
- 18) 図は刷り上がりの大きさを指定し、1.5~2倍ぐらい大きく書く。ただし必ずしも指定の大きさにならないことがある。図中の字の大きさおよび線の太さは刷り上がりを考慮して定める。
- 19) 地図には定尺をつけ、何万分の1など縮尺を指定しない。
- 20) 文献は本文のあとにまとめて通し番号順に書く。通し番号は引用の順序または著者名のABC順とする。本文の引用個所の右肩に番号を片括弧で小さく入れる。論文名は記載しなくてもよい。
- 21) 題名、著者名、所属報文の図、表および写真の表題には英文を併記するものとし、さらに報文については、300語以内の英文要約をつけるものとする。
- 22) 英文原稿も上記の規定に準ずる。
- 23) 原稿に使用する年号は全て西暦に統一する。但し、引用文献等でタイトルの中に元号が入っている場合は変更する必要はない。

土壌物理研究会編集幹事

〒700 岡山市津島中1-1-1

岡山大学農学部

三浦健志

電話 0862-52-1111

〒501-11 岐阜市柳戸1-1

岐阜大学農学部

千家正昭

電話 0582-30-1111

正 誤 表

報文：中海干拓地土の収縮挙動について
 著者：石川重雄・河野英一・足立忠司
 土壌の物理性 第62号 p.13~22 (1991)

訂 正 箇 所	誤	正
報文タイトル (英文)	Nakaumi Reclaimed Land	Reclamation
13ページ左段 5行中間	諸河川による三角洲	諸河川によって三角洲
9行中間	島根県側の	鳥取県側の
9行後半	弓浜	弓ヶ浜
右段 6行後半	平均11.0mである。	平均11.0m, 安来地区で平均8.0mである
10行前半	営農が開始した。	平営農が開始された。
Fig.1	reclaimed land	reclamation
14ページ右段 2行前半	(I) (エル)	(I) (アイ)
3行前半	(k)	(K)
5行前半	$I \geq k > Vt > ChI$ (エル)	$I \geq K > Vt > ChI$ (アイ)
後半	I, k (エル)	I, K (アイ)
26行中間	佐藤, ⁸⁾	佐藤 ⁸⁾ ,
36行	0.05kg/cm ² , 0.25kg/cm ² 0.35kg/cm ²	0.05kgf/cm ² , 0.25kgf/cm ² 0.35kgf/cm ²
15ページ左段 9行中間	両試料…流動しなため,	両供試体…流動しないため,
17行中間	() に,	() で,
25行前半	本試験は、垂直方向と	本試験は後述するように,
29行前半	安来地区のNo. 30圃場において,	供試土としては、安来地区のNo. 30 圃場において,
右段 28行後半	下攪乱供試体	攪乱供試体
33行前半	い。(⁹⁾)	い(⁹⁾)。
~37行後半	小さくなる。(⁹⁾)	小さくなる(⁹⁾)。
16ページ Fig.2	(…Yasugi distlict)	(…Yasugi district)
17ページ右段 7行後半	中海干拓地が土被り圧	中海干拓地土が土被り圧
11行中間	中海干拓地の土粒子	中海干拓地土の土粒子
18ページ Fig.4 中の 2段目の図	矢印の凡例欠落	垂直
19ページ左段 3行前半	…condition of the platy soil… のように、収縮挙動	…condition of platelike soil… のような収縮挙動
図-5	(…1989年3月)	(…1989年3月採土)
20ページ左段 31行中間	乾燥との湿潤との	乾燥と湿潤との
21ページ Fig.6	…Hachirogata reclaimed land	…Hachirogata reclamation
左段 2行後半	八郎潟干拓土のもの	八郎潟干拓地土のもの
22ページ 引用文献	5) 米田茂男*	5) 米田茂男:

ここに記してお詫び申し上げます。

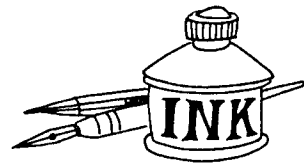
— 編集後記 —

本号は事務局が岡山に移って最初に発行する会誌です。奇数号はシンポジウム特集号です。昨秋行われましたシンポジウム「熱帯における持続的土地利用をめぐる土壌物理的諸問題」で話題提供していただいた方に、その内容をもとにオリジナリティのある報文として取りまとめていただいたものです。そのためシンポジウムのときの講演題目と報文のタイトルが少し変わっているものもあります。また、本号に掲載した報文6編のうち最初の5編がシンポジウムで講演された方のものです。最後の1編はその関連報文ということで本号に載せております。

事務局の引継等の遅れにより発行が遅れましたことをお詫び致します。慣れない編集作業によりいろいろ不行き届きもあると思います。お気づきの点が御座いましたらご指摘下さい。お願い致します。

会誌は皆様方からの投稿で成り立っております。発行期日の遅れを取り戻すためにも、皆様からのご投稿を心からお待ちしております。より良い会誌にするため皆様のご協力をお願い致します。

(三浦健志)



— 土壤物理研究会 —

事務局構成	会 長	長堀 金造 (岡山大)
	副 会 長	東 順三 (神戸大)
	会計幹事	島田 清 (岡山大), 天谷 孝夫 (岡山大)
	庶務幹事	三野 徹 (岡山大)
	編集幹事	三浦 健志 (岡山大), 千家 正照 (岐阜大)
編集委員会	委 員 長	足立 忠司 (岡山大)
	委 員	井上 光弘 (鳥取大), 木村 真人 (名古屋大), 高木 東 (中国農試)
		逸見 彰男 (愛媛大), 宮内 定基 (愛媛大)

発行 土壤物理研究会 〒700 岡山市津島中1-1-1 岡山大学農学部農地整備学研究室
 TEL 0862-52-1111 (EXT. 752) FAX 0862-54-0714
 郵便振替口座 東京5-17794
 銀行口座 中国銀行津島支店 口座番号 普1223273
印刷 西尾総合印刷(株) 〒701-11 岡山市横井上90
 TEL 0862-54-9001(代) FAX 0862-55-4656

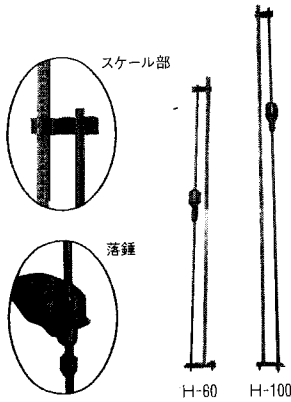


現場透水試験器
 科学技術庁長官により
 第50回「注目発明」に選定される
 日本道路公団と
 共同出願

土壌調査器具(長谷川式)

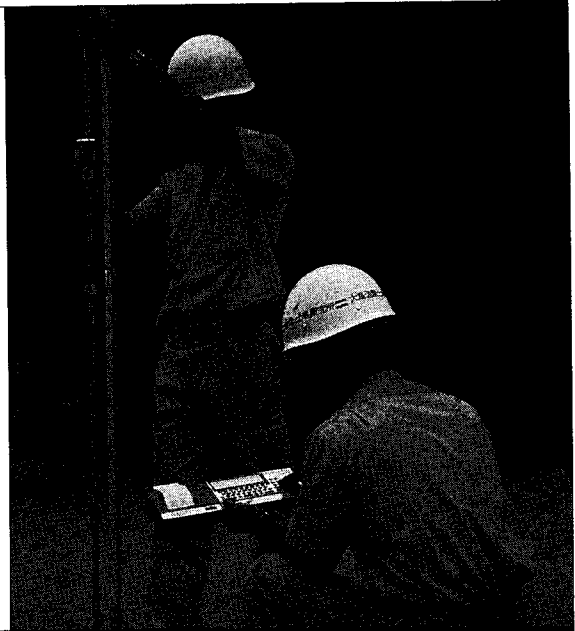
土壌を掘るのに便利な硬度測定器

土壌貫入計(硬度計)



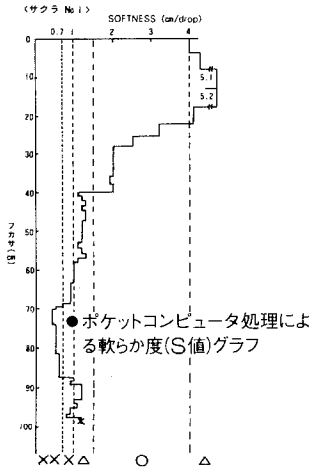
※山中式土壌硬度計や土研式貫入計と相関関係があり、数値の換算可能。

土壌貫入計及び
 データ処理機作
 業風計



ポケットコンピュータ利用

土壌貫入計データ処理機

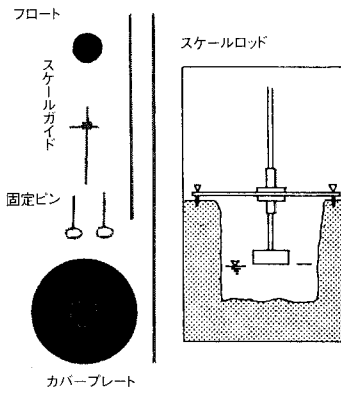


●ポケットコンピュータ処理による軟らか度(S値)グラフ

(関東ローム層の例)

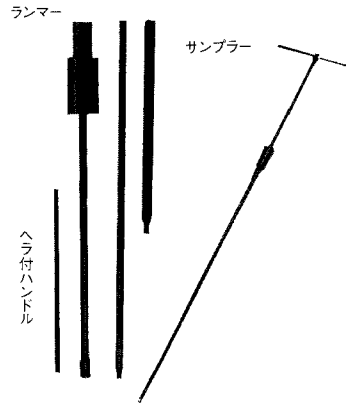
透水性試験が現場で容易に可能

簡易現場透水試験器



精度の高い土壌調査が少発生で可能

大型検土杖



※採取土壌は、pH・ECの分析に利用可能

開発・製造元



大島造園土木(株) 緑化・土壌研究所

OSHIMA LABORATORY OF GREEN ENVIRONMENT TECHNOLOGY

販売元 **ダイトウ・グリーン株式会社**

〒194 東京都町田市原町田2丁目4番1号
 TEL:0427-21-1703 FAX:0427-21-0944

緑の環境を総合的に科学する

Soil Physical Conditions and Plant Growth, Japan

No.63

August 1991

Contents

Foreword	K. NAGAHORI	1
Originals		
Shallow Groundwater Movement in Sandy Texture Field and its Effect on Cassava Root Growth in Northeast Thailand	I. TANIYAMA, K. MIURA	3
Soil Physical Conditions and Crop Production in Alfisols and Vertisols of the Indian Semi-Arid Tropics	J. ARIHARA, N. AE, K. OKADA	13
Soil Erosion and Conservation Measure in Northern Part of Okinawa Island	K. ONAGA, A. GOYA, T. MATSUMURA	19
Desertification Control in the Niger River Basin —The Possibility and the Role of JALDA—	C. MURAYAMA	35
Problems Related to Coastal Lowland Development in the Tropics	K. KYUMA	43
Soil Salinization after Deforestation and Control by Reforestation in Northeast Thailand	K. MIURA, T. SUBHASARAM	51
General Discussion of 32nd. Symposium		60
Reader's Column	T. AKAE	64
Book review	M. SENGE	67
Announcement		72

Research Association of Soil Physics, Japan
c/o Laboratory of Land Consolidation,
Agricultural Department, Okayama University
Tsusima Naka 1-1-1, Okayama, 700, Japan
President Kinzou NAGAHORI