

国際協力事業団		
受入 月日	'88.4.04	703
登録 No.	17458	80.7 ADT

## 緒 言

ブラジル農業研究協力計画（プロジェクト方式技術協力）は、熱帯半乾燥サバンナの一つであるブラジル国のセラード地帯における農業開発計画のための指針となる農業生産技術を開発することを目的として、昭和52年9月30日「ブラジルにおける農業研究協力に関する日本政府とブラジル連邦共和国政府との取極が締結され、5ヶ年間の国際協力事業団による技術協力事業が開始された。

その後、ブラジル側の要請に基づき3年間の延長が合意され、同プロジェクトは昭和60年9月29日終了した。

その間事業団は第1次長期専門家7名、第2次7名、第3次7名、計21名の長期専門家及び短期専門家計25名を派遣し、協力を行った。

本報告書は、第3次チームとして派遣された長期専門家の方々の研究報告をとりまとめたものである。また、既に印刷された第1次長期専門家報告書（1981年1月農開技JR81-24）、短期専門家報告書その2（1981年12月農開技JR82-1）、その3（1983年12月農開技JR83-90）及びその4（1984年6月農開技JR84-34）と併せて、広く活用いただければ幸いである。

最後に本プロジェクトの尾形保リーダーをはじめ専門家各位のご協力に感謝するとともに、ブラジル政府関係各位、並びに我国関係各位のご指導、ご協力に対し厚くお礼申し上げます。

昭和62年10月

国際協力事業団  
農業開発協力部長  
宮本 和美



# 目 次

はじめに

1. 研究協力事業のあり方への一私見 -- 「ブラジル農業研究協力事業」の経験より --  
尾形 保(団 長)…………… 1
2. セラードの地形に対応する土壤水分の動態 早坂 猛(土壤-作物-水分系)………… 13
3. 雨季における土壤養・水分の保全(予備試験) 早坂 猛(土壤-作物-水分系)………… 52
4. セラードにおけるマメ科緑肥窒素の肥効に関する研究  
尾形 保(団 長)…………… 79
5. セラードの小麦の灌水及び無灌水栽培における品種の作期と多肥の影響に  
関する研究 牧田 道夫(作物栽培)…………… 139
6. 小麦における穂基部小穂の不稔現象の原因解明 牧田 道夫(作物栽培)…………… 178
7. 野外における光合成と蒸散測定装置について 和田 道宏(作物栽培)…………… 199
8. セラードにおける小麦の光合成, 蒸散, 葉分水ポテンシアル及び  
ガス拡散抵抗の日変化 和田 道宏(作物栽培)…………… 217
9. セラードの水分不足下における小麦品種の光合成, 蒸散, 水分利用効率  
及び収量性 和田 道宏(作物栽培)…………… 229
10. セラード地帯における稲いもち病の発生生態と防除に関する試験  
小林 尚志(植物病理)…………… 245
11. セラードにおけるダイズ加害カメムシ類の総合防除に関する研究  
小林 尚志(昆 虫)…………… 307
12. セラードのダイズ・コムギ2毛栽培における播種方式と施肥に関する試験  
尾形 保(団 長), 池 盛重(作物栽培)…………… 377



## Contents

1. On the behaviors of soil moisture and ground water level concerned with the topography in Cerrados. .... 13
2. On conservation of soil element and moisture during rainy season (Preliminary experiment) ..... 52  
Takeshi Hayasaka & Ellas Freitas Junior
3. Studies upon the effect of nitrogen in leguminous green manure on the growth of some main crops in Cerrados. .... 79  
Tamotsu Ogata & João Pereira
4. Studies on cropping seasons in some leading cultivars of wheat in the Cerrados.  
    I. Cultivation in the rainy season ..... 139  
    II. Cultivation in the dry season ..... 178  
Michio Makita & Edson J. Iorczeski
5. On the simultaneous measuring system of photosynthesis and transpiration in the field. .... 199
6. Diurnal variation of photosynthesis, transpiration, water potential and CO<sub>2</sub> diffusion resistance of wheat in the Cerrados. .... 217
7. Varietal differences of photosynthesis, transpiration, water use efficiency and yield ability of wheat under water deficit conditions of the Cerrados. .... 229  
Michihiro Wada, Luiz J.C.B. Carvalho, Gustavo C. Rodrigues & Ryuichi Ishii
8. Epidemiology and control of rice blast disease (*Pyricularia oryzae* Cav.) in Cerrados Region. .... 245  
Takashi Kobayashi
9. Studies on the integrated control of soybean stink bugs in the Cerrados. .... 307  
Takashi Kobayashi & Gilson W. Cosenza
10. The experiment on the seeding ways and the fertilization for the double cropping system, wheat - soybean, in Cerrados. .... 377  
Tamotsu Ogata, Morishige Ike, Yoshito Shibuya & Mario Yocio Shimano



## はじめに

伯国セラード地帯（熱帯サバンナの一種）の農業開発への貢献を主目的とした「ブラジル農業研究協力事業」は、1977年9月30日に5ケ年の予定で発足したが、途中延期され1985年9月29日に8年間にわたる事業に一応の幕を下ろした。しかし本事業の意義と重要性は、日伯両国ともに高く評価し、同種の研究協力事業が近々発足する情勢にある。

この8年間に派遣専門家のチームは3つを数えた。ここに報告する第3次チームは、1983年4月から9月にかけて第2次チームと交替し、帰国まで2年有余をセラード農牧研究センター（CPAC）を本拠にして勤務した。現地での勤務内容は、各自のテーマに関する研究活動のほか、CPACや協力機関に供与している各種機材の活用のために、指導、調整、修理等の業務も結構必要であった。さらにセラード開発前線の農業調査や農家への助言、協力など、活動は多方面にわたっていた。本報告書はこれらの活動のうち、各自の研究テーマに関するものに限ったが、第2次チームの業績で、栽培年次の関係で同チームの報告書に載せられなかった分も記載した。また、事業の終了と新規プロジェクトの発足を前にして、特に伯国での「研究協力事業のあり方」についての団長の私見も記した。これは国際協力事業は、当該国の文化、風土等に影響されること甚大で、現地経験の活用が重要と考えるからである。

第3次チームの任期終了時には、JICA本部の承諾の下に現地研究業務費により「セラード農業の発展を考える—日伯農業研究協力の成果より—」（ポ語版：Consideracoes Sobre O Desenvolvimento Agricola Do Cerrado）を和ポ両語で印刷し、現地の関係機関及び広く農民並びに国内の関係者に配布し、本事業の性格、内容、経過などと共に、セラード農業の特徴と開発上の留意事項等をPRした。これは現地での経験で、本事業が必ずしも正しく理解されていない場合のあることを感じ、また悔を後世に残さない農業開発の重要性を痛感していたからである。

本研究報告書は、帰国後可及的速かに出版する心算りで準備していたが、帰国後の団員の転勤や病気入院等が重なり、さらに最後にはとりまとめ中に原稿の一部を紛失するなどの事故を生じ、心ならずも大変延引する事態となった。責任者として関係各位に深く陳謝する。本報告書がセラード農業の今後の発展のための一礎石としていささかの役割りを果たすことが念願される。

最後に第3次チームの活動に対し、適切な御助言と多大な御支援を頂いたCPACをはじめとする伯国の関係機関、日本の外務省、農林水産省、国際協力事業団並びに現地の日本大使館、JICA事務所、農業組合や日系コロニア等の関係各位に対し、深甚なる謝意を表する。

ブラジル農業研究協力事業

第2次及び第3次団長 尾形 保



## 研究協力事業のあり方への一私見—

### 「ブラジル農業研究協力事業」の経験より—

尾形 保

#### まえがき

「ブラジル農業研究協力事業」は、昭和52年(1977)9月30日に発足、途中1回延長され、昭和60年(1985)9月29日をもって終了した。しかし、セラードの農業開発と密着している本事業は、開発の新規地区への進展に呼応して、更らに新規の研究協力を継続させたいという日伯両者の合意が見られ、近い将来新規事業(新プロ)が発足する情勢にある。

筆者は派遣専門家の第2及び第3次グループの団長として、昭和55年8月より事業終了時の60年9月末まで、5年2ヶ月余本事業に勤務した。この間、任期中の業務事項や各種問題点と要望事項等については、任期中はほぼ毎月提出した業務報告書と、毎年のリーダー会議報告書に述べてきた。よって本報告では、上述の情勢を背景に今までの経験を踏まえ、新プロへの継承発展のためのアドバイスに焦点をしばって、「研究協力事業のあり方」として私見を述べてみたい。

特に第2及び第3次チームにおいては、日本側の物心両面の絶大な支援はもちろん、伯側のローカルコスト負担などの協力実績も高く、一方、長期及び短期の専門家にも恵まれ、チーム内も和やかな雰囲気の中で業務遂行ができた。その結果、総合点としては十分合格点に達したものと、自己評価している。伯側に事業の継続発展の要望が強いのも、彼らの本事業の成果に対する高い評価の現われと見られる。

しかし部分的にはいろいろの問題もあり、新プロでは是非改善されるべきと思われる事項も少なくない。そしてこれらの問題発生の根源が、主として事業スタート時の「研究戦略」ともいえるべき、基本姿勢と内容のあいまいさにあると思われたので、この点に重点をおいて述べたい。

#### 1. 事業の特殊性

本研究協力事業を成功させるためには、まずその特殊性を認識し、それにふさわしい対応をとるべきものとする。筆者が、現在JICAで実施中の農林水産関係の各種技術協力事業との比較で、その特殊性をあげれば次の4点が指摘される。

- 1) セラードの農業開発事業との結びつき：本事業は、その目的にも明記されているように、セラードの農業開発への技術的貢献を期待している。一方、日本政府は資金の面でもこの開発に協力しており、技術と資金が「車の両輪」という形で、セラードの農業開発を支えている。つまり、数万ヘクタールの規模で着々と拡大されつつあるセラード農業の発展に直結すべき期待が寄せられており、現場要求の強い環境の中での研究と理解すべきであろう。
- 2) 日系農家との結びつき：上記の農業開発は伯国の重要国策の一つとして行われているものであり、日系人のみが主役を演じている訳ではない。しかし現実の開発前線で、先導的役割りを果たしている入植者には日系人が多く、また、それらを支援している有力な組織には、コチア

や南伯産組など日系の農業共同組合組織がある。いずれも伯国社会における発言力、実行力は著しく大きく、セラード開発もこれらの支援組織抜きには考えられない。

言葉や文化の壁の少ないこれら日系人やその組織との関係を密に保って仕事することは、本研究協力を効率よく、かつ円滑に進め、高い成果をあげるために重要である。リーダー会議等でよく耳にする「日本人専門家が引上げたあとの技術の定着、継承発展の問題」は、セラード農業に関する限り、優秀な受皿として、意志疎通の容易な、有能な経営者と組織の存在により、全く問題はない。すなわち、働き甲斐のある種に見る恵まれた環境というべきであろう。

- 3) 熱帯半乾燥畑作研究の適地：今後の世界的人工増に対する食糧供給の視点により、地球上の新規開発の可能性は熱帯半乾燥地帯が最も高いと重視されている。熱帯サバンナの一種であるセラードは、まさにこれに該当し、しかもその総面積は1億8千万ha（日本の5倍弱）と極めて広大であり、またこの10年来のセラード農業の実績が証明しているように、資金と技術の投入によりかなり高い農業生産をあげうるPotentialを有するのである。

一方、伯国の社会経済的条件は、途上国の中ではかなり高い水準にあり、いわゆる研究以前の問題はかなり解消しており、比較的効率よく研究活動のできる条件にあると判断される。

熱帯半乾燥地の畑作振興は、特に食糧難の厳しいアフリカ等での重要問題であるが、現状ではアフリカ現地での研究活動は必ずしも容易とは思えない。しかし既に数百万haの規模で現実に農牧生産があがり、研究成果も着々と蓄積されつつあるセラードは、將に21世紀を目指した農業研究の一大メッカといっても過言ではない。本研究協力は、このような地球規模の研究の基盤作りとその推進に貢献するものである。

- 4) 相手国の高いローカルコスト負担：技術協力の共通の悩みの一つに、相手国のローカルコスト負担が、当初の約束通りに遵守されぬ問題があり、技術協力の円滑な運営と成果の発揮を大きく阻害している。しかし本事業の場合には、異例と思われる程、本問題に対しては「優等生」である。

すなわち、事業発足当初から終了時まで、完全とはいわれないにしても、積極的に、可能な限りのコスト負担をし、事業の円滑な遂行に協力した。伯国の厳しい財政、経済情勢を考慮すれば、その協力度は高く評価すべきであろう。また伯国の本事業に掛ける期待の大きさも十分推察され、尊重すべきことと思われる。もっとも本事業実施中は上述のようで問題は少なかったが、その後の情報では、伯国の財政難は一層深刻となり、CPACの予算も事業が殆どストップする程の窮乏状態にあるという。新プロでの樂觀は許されない。

## 2. 事業の運営

第1次チームより事業を引き継いだ当初の頃、第2次チームを悩ませた最大のものは、本事業に対する要望、注文、期待ともいえるべき内容が、そのソースによって非常にまちまちであったことである。それも単なる個人的発言であれば無視もできるが、権威ある会議やミッションより流れて来ては、現場へのインパクトは著しく大きかった。

これら事業に対する期待は、整理大別すれば次の2つとなる。a) セラード開発前線への実用的対応。b) 熱帯半乾燥農業の研究。勿論、両者は不可分のものであり、論理的にはaはbの一部に含まれ、その限りにおいては問題にはならない。しかし現場の事情としては、限られた任期内でのこれらへの対応の仕方、すなわち、取上げるべき研究項目や研究方法、重点のおき方、或は伯側の要望との調整等、問題は大きいのである。

a に関しては、当時開発の始まったParacatu 地区への協力要望として、現地試験の実施や技術マニュアルの作成などが聞かれた。b に関しては、本事業開始の項、セラードでの畑作研究を熱帯農研の一大プロジェクトとして取上げようとした経緯もあり、その願望が尾を引き、例えば本事業の中で、「大豆-小麦の作付体系の確立」など、総合的畑作技術に取り組むべきとの意見も聞かされていた。しかし、a、b いずれも第1次チームのときから本当に、このような期待を任期内にこなすような意図は必ずしも明確とは思えなかった。一方、第2次チームでは、出国時に、伯側の要望の強い「リモート・センシング」を取上げてくれとの要請があり、適任者もいたのでこれを用いる研究を実施していたにもかかわらず、あるミッションでは、この取上げを疑問視する見解が出された。また、第2次チームの研究内容を規定したミッションの指導内容が、あとのミッションでは疑問視されることなどもあり、日本側指導の一貫性の欠除を感じるものが少なくなかった。

第2次チームでは、本事業の特殊性を認識して、上記a、bの両者をできるだけ満足させることの重要性は理解していたが、当時残された2年余の任期中の仕事としては、重点をしぼる必要性を痛感した。その結果、第1次チームの仕事を継承発展させることと、並びに第2次チーム発足直前に来伯したミッションの指導を重視することで若干の新テーマも選らび、研究活動を開始した。当然、内容はbが中心となり、aに関しては可能な限り間接的な協力に止まらざるを得なかった。しかしParacatu, São Gotardoをはじめ、Brasilia近郊の開拓地など、広く現場にも行き、開拓農民との技術交流にも務め、指導助言を行った。

一方、伯側との接触が深くなるに従い、彼らの本事業に対する期待や要望も漸次具体的に明らかとなってきた。これは、彼らが研修で日本に行き、日本の農業や研究事情を十分理解してきたこととも関連するようで、事業開始前の打合せの時より変化したとしても仕方ないと思われる。

ともかく、以上のように第2次チーム発足時には、「研究戦略」ともいべき基本方針に確固たるものが感じられず、これが実際のチーム運営上にいろいろの迷いを投げ掛けたので、新プロではこのような事がないように事業開始前に確固たる基本方針を樹てられるように念願して、以下の事項を述べる。

#### 1) 国際協力事業の基本

分り切ったことのようにはあるが、JICAで実施する「研究協力」は、国際協力事業の一環であるという認識は極めて重要である。そうでないと、相手国での研究活動を、単に日本側の興味や考え方の下に、日本のための現地を利用した情報集め、といった誤解を相手側に与えかねない。研究問題やその推進方法など、いわゆる技術論の前に、本事業を実施する最も基本的な、

「相手国の自助努力への協力」と「国際親善の確立」という目的を忘れてはならない。

熱研ベースでの研究でも、このことは重要と思われるが、JICAベースの研究活動では、これらのウェイトは極めて高く、如何に個々の研究は立派な成果をあげても、この基本姿勢に欠けることがあれば、事業としては失敗といっても過言ではないように思われる。以下の意見もこのような基盤に立ったものである。

## 2) 研究戦略の樹立

### (1) 相手国ニーズの尊重

伯国の、外国からの技術協力に対する基本姿勢は、「伯国での欠落ないし弱体部門への協力」を強調し、伯国自体でできることに外国の協力は受けたくないとしている。独立国として当然の姿勢である。

本事業において伯側から提案される種々の技術問題の根源も、このような基本姿勢にあることを理解し、尊重すべきである。勿論、問題によっては、日本側で異論が強く、また対応困難なものもあろう。その場合には十分意を尽して伯側の理解を求めるべきである。筆者が一番危惧することは、本事業を利用して、日本側が「熱帯畑作技術のノウハウを盗みに来た」と彼らに思われるような、日本側の一方的考えや興味で押し切ることである。

伯国は中進国で、その工業力も中南米随一であり、研究者の学歴も高い。セラードの農業問題に関しても、彼らなりの相当の研究蓄積と問題意識を持っている。これらを背景にした彼らの研究協力への要望は、それなりの明確な理由があるものと考え、謙慮に前向きの姿勢で検討すべきであろう。

### (2) 日本の特技の発揮

上記(1)の伯側の姿勢から、日本側への協力要望の研究問題は、彼らが出来ない、或は非常に遅れていて、日本側になら成果と手法が豊富に蓄積されていると期待される内容になりがちである。例えセラードの畑作技術で、基礎的にも、実用的にも非常に重要な問題と思われても、彼らが自ら対応できると判断しておれば、その問題に対する日本への協力要請は消極的となろう。事実、日本側から見て重要と思われる大きな問題に関しては、多少なりとも伯側自ら着手しているか、近々着手の予定をしている場合が多い。

このように伯側自らが対応している問題に関しては、伯側からの要請がない限り、日本側は直接タッチしない方が賢明である。例え日本側の善意で、重要問題の早急かつ完璧な解決のためにと、日本側の考えのみで、研究活動を行っても、相手側には「仕事に割り込まれ、成果を横取りされた」という風にとられる危険性がある。このような場合、間接的アドバイザーでどどまり、相手に「花を持たせる」度量を持ちたいものである。

このような背景に立てば、最も協力しやすい技術的内容は、日本人研究者に馴染みのある問題や手法に重点は置かれよう。事実、筆者在任中の伯側の協力要望の強い事項は、低湿地における農業技術、リモートセンシングなどハイテク及び育種などへのバイオテクの応用な

どであり、熱帯半乾燥地畑作技術そのものは、伯側自体で対応するという傾向が強かった。

日本側としても、日本に成果や手法の蓄積の多い部門や問題であれば、その対応は、全く経験の浅い熱帯畑作問題に直接当たるより遙かに容易で、限られた任期中の成果は後述のように技術移転を含めて、あがりやすいものと思われる。下記(3)に述べるように、広大なセラード農業は、単なる畑作のみで成立するとは思えない。大所高所かつ長期的な展望の下に、まず伯側の要望も強く、日本側も特技とする部門や手法での協力を第一に考慮すべきである。

この結果、協力事業の研究内容の重点は、セラード共通の基礎的研究となり、開発現地に対する直接的かつ実用的対応が疎んじられる危惧を生じよう。しかしこれに対しては後述の方法で十分対応できるものと思われるし、また新プロでは、上述の基礎的研究とこの現地対応の二者を、研究の二大柱とすることを、発足時の合意としておくべきである。あとは、これらに対する勢力や時間の配分の問題で、任期中に成果のあがりやすいように工夫すればよい。

### (3) セラード農業の安定と発展のために

本事業の目的はセラードの農業開発への貢献を銘記している。研究戦略の樹立には、当然そのために必要な現場の問題を拾い上げねばならない。既に多くの調査、研究でいろいろの問題が指摘されているので、それらの再録は省略し、ここでは伯側での協力要望は高いが、従来日本側では余り重視されなかったと思われる事項のみを取上げる。

まず基本的に重要なことは、セラードの農業開発は端緒についたばかりで、未知数は非常に多いということである。その対応は既成概念に捕われるとなく、謙虚に実態の把握に務め、それに基き長期的展望の下に合理的技術の確立を計ることが重要であり、決して目先の利害や、一時的成功に眩わされてはならない。

すなわち、セラードは日本の5倍近い広大な土地であり、その一部に近代的農業が営まれるようになって僅々10数年に過ぎない。開びやく以来「不毛の地」として放置されていた所である。しかも大部分は、熱帯の厳しい自然環境下にあり、温帯地方で開発された大規模機械化農業技術は、自然的条件からは必ずしもそのまま適合し、永続性があるとは思われない問題も多いように思われる。

幸い今迄の組織的開発は、比較的順調に成功裡に推移しているが、息の長い農業の本質から考えると、これだけで将来を楽観することはできない。さらに新規開発地のような、条件の異なる地帯への拡大問題もある。また、経営の安定、農業環境の保全等のためには、単作的な畑作経営ではなく、畜産、果樹(コーヒーを含む)、林業を含む多角的な土地利用と経営も重要となろう。畑作もこれらを背景に、地力維持を狙った輪作体系の確立も必要であろう。以上の基本的考え方の下に、若干の調査、研究事項を示せば次のようである。

#### i) 基礎的調査及び分析資料の収集

地形、地質、土壌、生物、水系（地表及び地下水）、気象などの自然環境、並びに社会・経済的環境に関する資料。これらの調査及び整理手段としてのリモートセンシングとコンピューター活用は有用かつ重要であり、伯側の協力要望は大きい。

岩石、土壌、植物、水、肥料、家畜排せつ物など、農業生産に係わる物質中の主要化学成分の含量とその行動の追求。セラードの一大特徴が、極めて肥沃性の低い土壌の存在にあるため、これを基盤とする農業生産活動では、主要化学成分の動向がその生産性を支配する一大要因となるからである。このための効率的で精度の高い分析機器の導入と活用のための協力が要望される。

植物、動物、微生物等に関する基礎的調査も、将来の病虫害の異常発生防止や低コストの防疫及び肥培理技術の確立には不可欠であろう。セラードが開発先進地より遠隔に位置し、社会経済的に不利な点が多いだけに、低コストの生産技術の重要性は一層大きいから、自然生態系を上手に合理的に利用する視点の意義は大きい。

#### ii) 低湿地の農業技術開発

セラードには、地下水位が日本の乾田相当から本当の湿田相当までの低湿地が全体的には10%位分布するという。このような低湿地は乾季においても地下水位はかなり高いので、上手に利用すれば、殆ど灌漑なしに、周年の作付ができ、また干ばつに対しても心配は少ない。経営内のこのような低湿地を上手に利用することは、干ばつに不安定で土地利用効率の低い台地上の畑作経営を補完する役割が期待できる。決して熱帯畑作と無縁なものではない。

水田の高度利用、灌排水及び水質汚染防止等に関する技術は、最近日本での進歩が著しく、研究成果の蓄積と研究者の層も大きいから、狭義の畑作にこだわらなければ、日本側の十分対応できる問題であり、伯側の期待も大きい。

#### iii) 新開発現場対応

新規開発地として予定されている、バイア州及びマツトグロツソ州の入植地での実用技術の確立は、緊急かつ重要である。当面、気象観測、土壌その他生態環境の調査、施肥、導入作物・品種の適応性、栽培様式、病虫害防除等に関する現地試験を可能な限り早期に開始すべきである。

これらの調査・試験には、日本人専門家単独で対応するのではなく、CPAC及び現地の伯人研究者と共同で行うことが望まれる。寧ろ主専従者は伯人にして、日本人はアドバイザー的立場で一緒に仕事をした方がよい。但しこの種の仕事はスタート時が大事であるから、新規事業開始年から1～2年は、日本人専門家もこの仕事に重点を置き、CPACでの基礎的研究は従とする位の心構えが望まれる。仕事は軌道に乗れば、あとは伯人に任せても成果はあがるであろう。

#### iv) 既開発地の営農の安定化

既開発地における技術及び経営問題の把握とその対応策の樹立は、将来のセラード農業の安定的発展に不可欠である。農業という時間の長期的尺度の下に、環境、生産力、経営の変化を

見る必要のある産業では、既開発地の技術的、経営的フォローアップは、今後の技術開発と営農の安定化に不可欠である。本問題も伯人研究者と共同で行う。(iii)と共に、新規事業における必須の重要業務として、当初に日伯間で合意し、日本側チームも全専門家で対応する態勢づくりが望まれる。

(iii)、(iv)の対応過程において、各専門分野ごとに、熱帯畑作の問題点とその対応策も種々明らかになり、情報の蓄積に資するものと思われる。これらより新しい基礎研究も産れようが、そのような研究の実施は、事業期間中はその進捗状況を勘案し、また伯側の諒解を得て行う。事業開始時の計画を途中で大きく変更することは好ましくないからである。この種の研究の発展、深化のためには、JICAベースの研究協力を、熱帯農研ベースの研究に有機的に結合させることが望まれる。

### 3) 機材供与

携行及び供与機材の種類や数量は、当然、研究の戦略と計画に基づいて決められるべきであり、単なる「思い付き」的発想での決定は厳に戒めねばならない。不用不急や現地にそぐわない機材の存在は、結局専門家自身の負担となり、これを苦しみ、却って事業成果を阻害することを強調しておきたい。

既述の研究戦略に従えば、まず第1年目は新規開発地の現地調査及び栽培試験等に必要な機材に重点が置かれるべきであろう。すなわち、各専門分野の基本的調査用器材のほか、気象観測器材と試験圃場用の小型トラクターをはじめ、付属の農耕、収穫及び防除用器材が必要となる。

各専門分野よりの要望及び伯側要望の大型ないし高額機器は、現地事情と研究対象の把握に十分通暁する2年目以降に発注することを原則としたい。特にハイテクに該当する高額で、伯側での使用経験の殆どない機器は、後述の研修計画と短期専門家による指導計画との関連で決定することが望まれる。

機器付属の必要消耗品類を、本体購入時に多量購入する必要性はあるものの、消耗品と、本体自体の耐久性を勘案して、無駄を出さぬ配慮が望まれる。機器の保守点検等は出来る限り現地メーカーで対応し、伯側の自助努力をすすめる方向の促進が望ましい。

なお、通信や視聴覚機材など試験場の管理・運営や技術普及等には重要な機材でも、研究活動に直結しないものは、なるべく取上げない方が専門家は楽である。一般に派遣専門家はこれらの機材の取扱いに馴れておらず、その活用への協力に苦勞する上、予算的にも他の不可欠の研究機材の購入を圧迫するからである。

専門家の着任後当面の研究活動を容易にするため、携行機材の予算の増枠が望まれる。これは供与機材の予算枠を減じて、このような措置を取った方が、機材全体としての活用度を高め、事業の円滑化に役立つ場合が多いと思われるからである。機材に関しては、具体的な目的意識と、利用現場の的確な認識とその対応がなければ、高い活用度は期待されない。

#### 4) 研修事業

伯人の日本における研修効果の事業全体に占める効果は大きい。また全般的な日本への認識と国際親善に及ぼす影響も甚大である。受入れの日本側としては、多数の研修生の中の一員であろうが、派遣研修生としては、一般的に生涯のただ一回の機会であり、その期待や印象は極めて大きく、新鮮かつ厳しいものがある。国際協力に「両刃の剣」としての性格があるといわれるが、研修にこそ、この性格が最も現れやすいことを受入れ側は留意する必要がある。

幸い筆者在勤中の研修生では、日本での処遇で特に大きな問題になるような事はなかったが、その可能生を感じることは若干あった。きめ細かい配慮が必要である。

新規プロで特に要望したいことは、ハイテク関係等、高度の新しい研究手法の訓練に重点を置いて貰いたいことである。伯側の要望も「彼らのできない、遅れた部門への協力」にある筈であり、その部門の充実、自助努力のための人材要請は第一順位で考えるべきであろう。この手法の訓練には、研究員のみでなく、テクニコの派遣も対象にした方がよい。テクニコといえども大学卒で有能な人材もあり、また現場では彼らが実務を担当しているからである。

特にこの研究手法の訓練を主目的にした研修においては、短期専門家の現地における指導と結びつけ、日本での受入れも当該専門家の研究室で行うように、初めから計画的に一貫性を持った研修計画の樹立が望まれる。機材の供与、短期専門家の派遣及び研修生受入れを、このように計画的に結合して行えば、その成果は極めて高いものが期待できよう。

#### 5) 協力機関への対応

本事業実施中の開発現地は主にミナスゼライス州にあった関係上、協力機関として、同州のEPAMIG・本部、同・Uberaba 農試・同・Patosdede Minas 農試及びPADAP の4機関が選ばれていた。しかし現地事情が分るに従い、これらはかなり政治的配慮も加わった決定と思われ、セラード農業の技術研究という立場からは、必ずしも適当とは思われぬ機関もあり、協定通り協力すれば徒らに専門家の勢力と予算の浪費を招来する可能性もあった。

協定上、協力機関と銘記してあれば、当然現地の日本側に対する協力期待も、また専門家の心理的負担も大きくなる。当初に、相手側機関の実情、本事業に加える必要性、協力内容、メリットなど十分に調査し、相互に協力可能な内容を可能な限り詰めておく必要があるが、ミッションによる短日時の調査では無理な点も少なくないので、長期専門家の積極的協力が望まれる。

新規プロでは、新規開発予定地のバイア州と、マツトグロツソ州の試験研究機関が候補にあがっているが、何れも遠隔不便な土地にある。協力計画は必要最小限にとどめ、実施に当たっては既述のように伯人の活動を主にし、専門家はこれに協力する形が好ましく、当初より、可能な限り伯側の自助努力を引き出す方策が望まれる。なお、PADAP と Uberaba農試への協力は、新プロ協力への銘記の如何にかかわらず、既開発地のフォローアップという視点から、継続すべきものとする。この対応も伯人を主体とし、機材供与などの予算的措置は、新規開発地の

機関より優先度を低くする。

ともかく、常時駐在を離れた遠隔地での研究活動は、日本における場合でもかなり「労多く効少ない」仕事になりがちであるが、伯国の条件では、その労苦は何倍も大きいことを十分自覚し、事前の計画と準備が望まれる。

#### 6) 研究業務の実施方式と技術移転

技術移転の内容と程度は、技術協力事業の成果を決する重要事項の一つである。ただ農業研究協力の場合、対象範囲が広く、実際的成果の達成には長年月を要するので、特定技法の伝授或いは土木建設事業におけるように任期中の即物的な技術移転は現われ難い。

研究協力の場合の技術移転は、一口に言って、「人材の養成」のウェイトが一番大きいと思われる。勿論、機器の使用法のように狭義の技術移転もあるが、それは研究の遂行と成果の一部に過ぎない。協力内容の大半は、研究問題の取り上げ方、その解明方策と手順、試験結果の整理と考察及び結論からまとめ方に至る研究業務全般が含まれる。カウンターパートは、専門家と共に仕事をしながら、研究手法や専門的知識と共に、物の考え方、対応の仕方など研究者としての実力を会得することが望まれる。将に研究者の養成である。

同時に研究成果の内容そのものも重要である。特に本事業のように、大規模な農業開発が並行して実施され、また熱帯畑作の試金石と見られている場合、その研究成果は、実用的にも学問的にも極めて重要であり、技術伝達そのものである。

さて、以上のような研究協力における技術伝達の目標に対して、本事業で経験した研究実施の方式は、問題も多く、新プロでは改善の望まれる点もある。よって以下これらについて述べよう。

伯側は、本事業発足時より、研究実施の方式として、日本人専門家のみが特定問題解決のためにチームを作って当るような方式は取らず、個々の専門家が伯側研究組織の一員として、与えられたテーマを担当し、個別に研究することを要望してきた。従って、伯側研究者は、カウンターパートといっても、同一テーマを日本人専門家と一緒に担当し、その専門家の指導の下に研究を行うという方式は一般に期待できない。日伯の研究者は大きな研究課題や目標の下では統合されても、中～小課題程度のレベルでは、全く同列に並び夫々のテーマをこなす方式である。これは、研究問題に対し、伯国の研究者数が余りに少数なため、同テーマに対し複数の研究者を対応させる余裕がない事が主な理由であった。

この方式のため、カウンターパートと専門家との関係は、仕事の内容、相互の研究能力、当該専門分野における伯人研究員の数など、色々の条件によってかなり異なった。

すなわち、a. 単なる世話役、b. 相談相手、c. 共同研究者、と研究内容とのかかわり合い及び技術伝達の視点から大別された。a は、必要に応じて研究実施上の世話をしてくれる程度で、専門家の研究内容への関心も比較的薄く、最も疎遠な関係である。b は a よりは関係が深く、研究内容に対する関心も高く、相互にデータの検討は行う。中～小課題程度の同じテーマを一

緒に研究する仲ではないが、大～中課題の下では同一グループに属する。c は文字通り同一テーマの共同研究者であり、常に行動を共にし、研究成果の内容に対しても共同責任を取る立場である。a は伯側研究者が小人数で、他人の仕事など面倒見切れぬ場合や、日本人専門家の研究能力や研究内容に問題がある場合に生じた。c は、特に伯側の要望の強い問題を取り上げ、伯側だけでは対応できない場合に生じ、研究協力の成果が名実共にあがり、人間的結びつきも最も好ましい状態にあった。b はこれらの中で、日本人の仕事に関心は強いが、自分の担当テーマも数多いので、一緒に仕事するには支障があるといった人である。広義の共同研究者にはなろう。

分析や測定 of 機器、農業機械など、直接研究活動に役立つ機材の活用については、その実務は殆どテクニコが担当し、研究員は名目的責任者の場合が多い。このため、機材の活用に関する技術伝達は多くの場合、テクニコが対象になる。但し、上記 c の場合には研究員も機材活用を専門家に積極的に学んでいた。このように、機器活用の技術伝達はテクニコが対象になる場合が多いが、その成果はあがりやすく、CPACの研究遂行上への貢献度は極めて大であった。しかし専門家もこのために尽すエネルギーは相当大きく、献身的サービス精神を必要とした。これは自分の研究だけでなく、広く他分野の機器の世話まですることが多く、また、協力機関としてのEPAMIG、PADAPなど、CPAC外の機器まで面倒を見る必要があるためである。

以上のことから、本事業の方式の下ではカウンターパートがa は勿論、b の立場にあるときも、目標とする技術伝達には不十分となりやすく、特に専門家の担当した研究テーマの継承発展上に大きな支障が感じられた。従って新プロにおいては、可能な限りc の関係での研究実施が望まれる。このための最大の要因は、伯側の要望の強い研究分野とテーマを主体とし、カウンターパートは実質的共同研究者とすることである。当然伯側では未着手ないしは歴史の浅い分野であるから、人材養成への要望度は高く、伯人研究者が専門家と一体となって研究する必然性がある。このような合意は、十分な討議の上、事業開始時から決定される必要がある。このためにも、当初の研究協力への姿勢と戦略の樹立は極めて重要である。

専門家が集団である研究問題に当るという方式は、能率的な面での効果は大きいと期待されるが、国際親善の視点からは、伯人より浮き上がる可能性が高く、好ましくない。能率は落ちても伯人との共同作業を旨とすべきである。新規開発予定地における試験では特にこの共同方式を重視したい。

また本事業の場合には、その特殊性の項に述べたように、日系入植者との関係も深く、調査、試験研究成果の彼らに対する伝達も重要である。第2～3次チームでは、可能な限り開発前線を訪問し、彼らとの交流に務め、また「ブラジル農業技術研究会 (ABETA)」に積極的に参加、講演や論文の発表も行ってきた。

また、非セラード地帯の農業視察と農民との交流にも務め、これらとの対照でセラード農業の特長の把握を図った。新プロでもこの種の努力は重要と思われる。

## まとめ

筆者が担当した期間中の本事業の最大の問題点はスタート時の「研究戦略」が必ずしも十分に確立されておらず、またミッション等の助言、指導にも一貫性の欠如を感じる点があったことである。新プロにおいてはこの轍を踏まぬように、発足時の「研究戦略」の重要性に重点をおき、「研究協力のあり方」として私見を述べた。

すなわち、本研究協力事業の基本方針を決定する上の重要事項として、a. 伯側ニーズの重視、b. 開発現地への対応、c. 熱帯半乾燥畑作技術の研究の3つをあげた。事業の究極目標である「相手国の自助努力への協力」と「国際親善」を達成するには、まずaを最大限尊重して、日本の特技をもって対応する姿勢を重視したい。これによりカウンターパートへの技術伝達も、専門家との結びつきも、最も理想像に近づく可能性が高い。

bへの対応は、伯人を主体にして日伯共同で当るが、事業開始当初の1～2年は日本人専門家の主要業務として、チームの総力をあげて軌道に乗るように努力する。現地試験が主体となるbの活動は、試験開始時が極めて重要であるからである。bへの対応は当然cの一部ともなり、その情報の蓄積は、将来cの本格的研究に大いに貢献することになる。

このように、当初から特にcのためとしての問題を取り上げなくとも、a、bの研究活動によって必然的にcの研究は達成されよう。事業実施において避けるべき最大のポイントは、伯側の積極的な要望もないのに、日本側の考えや興味だけでcを唯一の仕事としたような活動をなすことである。例えば研究成果はあがっても、JICAベースとしての協力事業としての評価は低いものと考えられる。

機材の選択及び研修の内容等については、a、b、cの具体的内容とそれらの実施計画、重点のおき方等によって必然的に固まってくる。それらの概要を述べた。

## あとがき

セラードは将に「21世紀の世界の食糧庫」の可能性を持ち、その農業研究は、熱帯半乾燥地の畑作技術確立のためのパイオニアともなり、国際的貢献度の大きさも期待できる。本研究協力事業は、本当にやりがいのある有意義な仕事である。研究意欲が高まることは当然であり、十分理解できる。

しかし筆者は、本事業の中での日本側の研究問題の取上げに関し、「伯側の積極的要請」を強調し、日本人専門家独自の研究的発想に抑制的調子を述べたきらいがある。これは、何も本事業の中での日本人発想の研究を軽視したのではなく、寧ろその重要性と必要性を痛感し、立派な成果の実現を期待するからに外ならない。

ただ大きな問題は、異国の、一口でいう「文化」の違う場所で研究活動をするという現実の厳粛な認識である。国際協力事業を成功させる要諦として、「相互理解」と「信頼関係の樹立」が強調されるが将に真理である。事業の初期の頃、すべての事に戸惑いや疑問が双方に生じることは止む

を得ない。しかし、そこはやはり「人間同志」、双方が誠意をもって事に当れば、戸惑いや疑問は次第に氷解し、相互理解は進み、信頼関係は強固になろう。しかしこのためには、かなりの時間を要することも事実である。

本事業における研究活動においても、まずこのことを十分理解し、相手国の要望を最大限尊重した仕事で実績を上げてゆけば、彼らの日本人に対する理解も信頼も高まり、日本人発想の仕事への協力姿勢が強まることは疑問の余地はない。セラードは広大であり、研究問題は山積している。国際協力は焦っては事を仕損ずる。じっくり構えて、一步一步の積み重ねと、一貫性が大事である。末永い協力の発展を期待したい。

## セラードの地形に対応する土壌水分の動態

On the behaviors of soil moisture and ground water level concerned with the topography in Cerrados.

## 雨季における土壌養・水分の保全（予備試験）

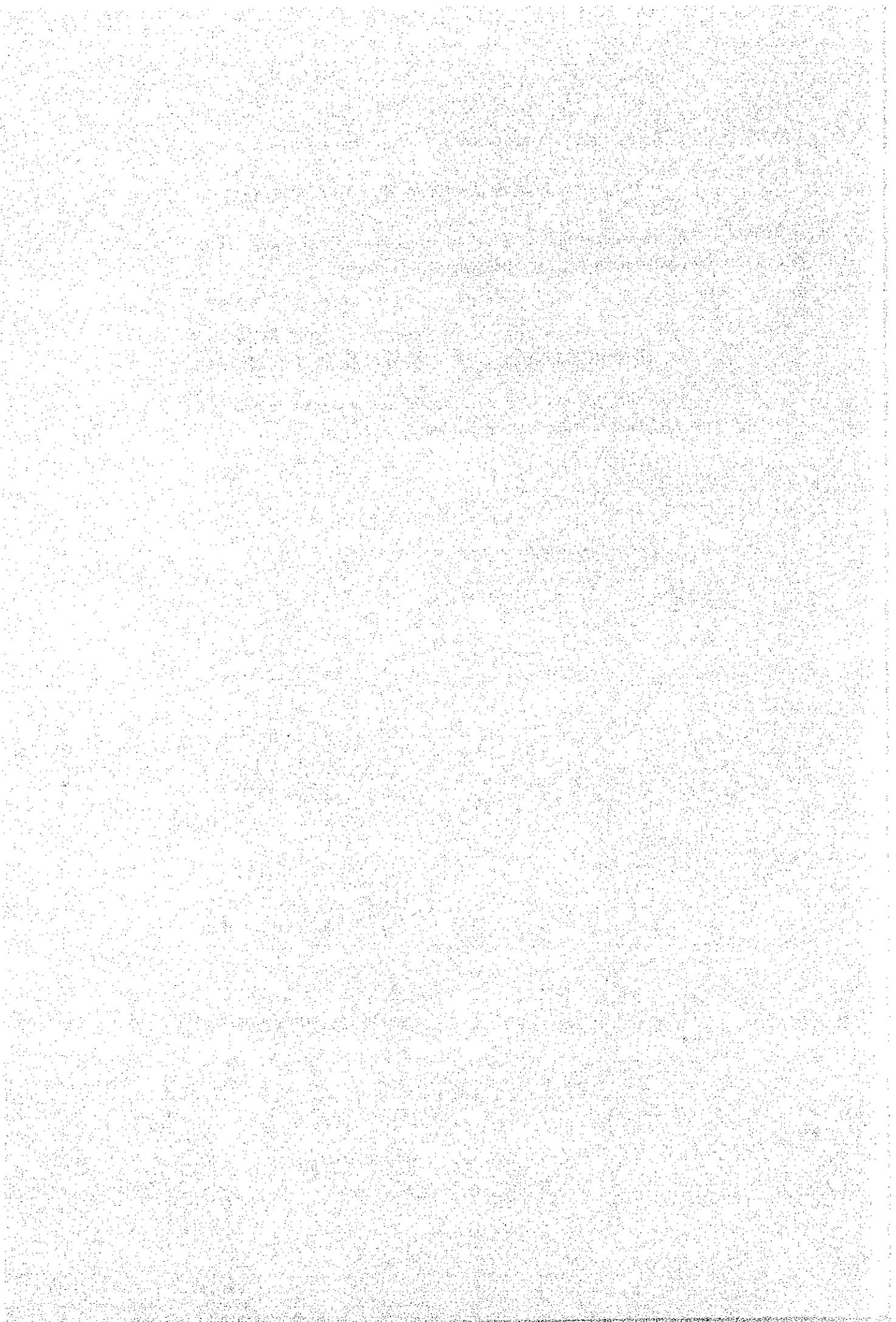
On conservation of soil element and moisture during rainy season (Preliminary experiment)

派遣専門家（土壌）：早坂 猛

Takeshi Hayasaka

カウンターパート：

EILIAS FREITAS JUNIOR (CPAC)



## セラードの地形に対応する土壌水分の動態

On the behaviors of soil moisture and ground water  
level concerned with the topography in Cerrardos

派遣専門家（土壌）：早坂 猛

Takeshi Hayasaka

カウンターパート：

ELIAS FREITAS JUNIOR (CPAC)

### 緒言

セラードはブラジル高原の内陸部にあり、準平原が浸食された、広い台地と浅い谷が交替する波状地形となっている。その気候の特性は、1年を2分する雨季と乾季が交替することで、約1500mmの雨量に恵まれながら、それが夏を中心とする半年間に偏って降るため、乾季には畑作を休止しなければならない。しかし、土地の傾斜がゆるいため降雨の流出は遅く、低地の川や沼には、乾季にも涸れることのない豊かな水が貯えられている。

耕地の水の蒸発散量を1日平均6mmとして試算すると、セラード全面を灌漑耕地として周年栽培を行なった場合、年間約2200mmの水分が必要となるので、雨量1500mmでは明らかに不足する。このため、灌漑耕地として利用できる面積は一部に限られ、大半は林地、果樹園、草地、乾季休閑の畑地として利用しなければならないと考えられる。

この研究の目的は、セラードの土地利用の組合せを定める基礎的な情報を得るため、台地から低地に至る一連の水系（カテナ）について、その地形に対応する土壌の特性と、土壌中の水分の動態とを関連づけて明らかにすることにある。また、畑地の開発利用は機械力を要するので、その走行に不安のある低湿地については、地耐力の調査を行なうこととした。

### 研究方法

#### 1. 地形区分と土壌調査

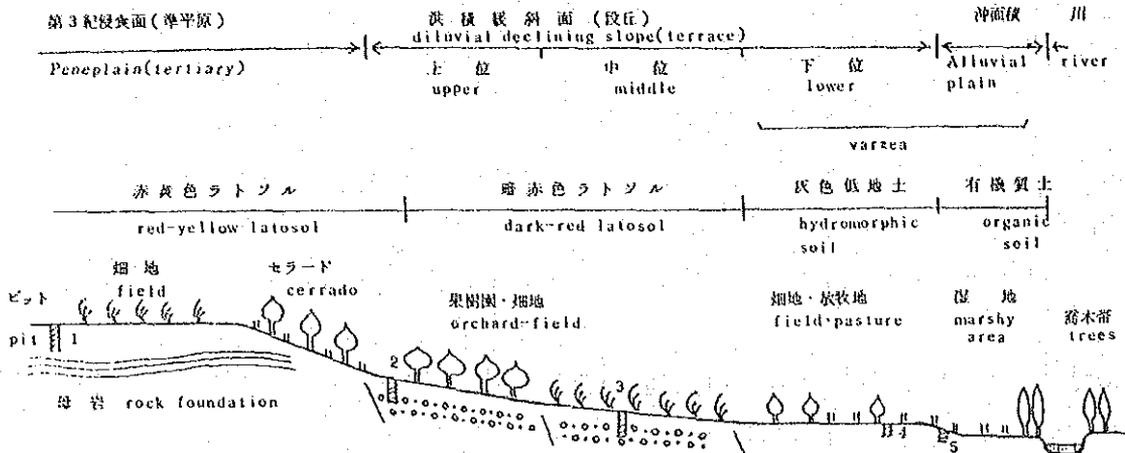
##### (1) 地形区分

セラード農牧研究センターの敷地の中には、台地から低地の川へかけての一連の水系が含まれている。この一つの典型について、地形や土壌の堆積年代や外観的な特長から、第1図に示すような台地、洪積層上位・中位・下位と、川沿いの沖積面の5つに区分した。それぞれに対応する土壌は、台地から低地に向って赤黄色ラトソル・赤味の強い赤黄色ラトソル、暗赤色ラトソル、灰色低地土、有機質土壌である。

##### (2) 土壌断面調査

5つの地形区分について1点ずつ、1.2m平方の土壌水分観測用のピットを設けた。深さを5mとしたが、灰色低地土では地下水面に達する1.5mの深さとした。また有機質土について

は、大部分が冠水しているため、やや高くなった灰色低地土への移行部にピットを設け、地下水面に達する深さ1 mまで掘り下げた。これらのピットは、台地から低地へ向う順にNo.1からNo.5の番号を与えて略称することにする。各ピットの土壌断面について、土壌の色、土性などについての一般的な特徴を観察記録した。



第1図 セラードの地形概念図(セラード農牧研究センター)

Fig 1 Conceptual topography of cerrado (CPAC)

### (3) 土壌の理化学分析

各ピットの断面について、深さ25cmごとに物理・化学分析用の試料を採取し、ブラジルで採用されている分析法にしたがって物理・化学分析を行なった。化学分析は風乾土の一定容積を基準にしているが、後でその仮比重と水分率を測定して、乾土100g当りの数値に換算した。物理分析の結果についても、日本で用いられている形に換算して表示し、不足の項目を追加分析した。

### 2. 土壌水分の動態調査

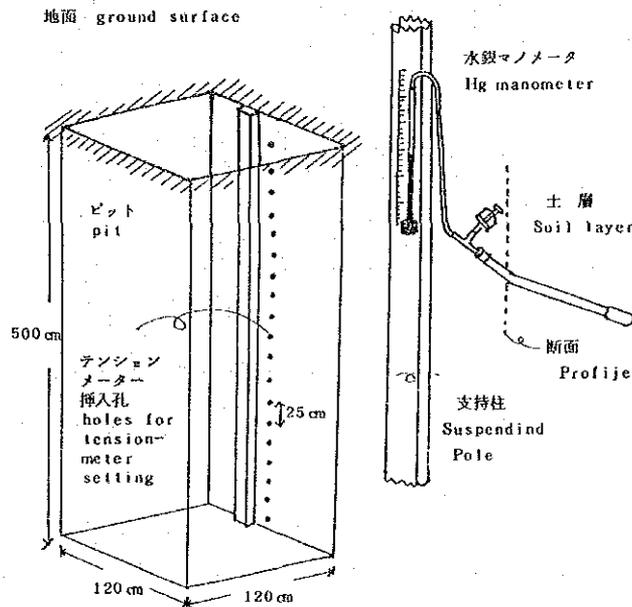
各ピットの土壌断面全体を、土層の水分が自然状態におかれるよう、薄いコンクリートの壁でおおった。一つの壁面を選び、第2図に示すように、深さ25cmごとに壁面に小穴をあけ、これを通して、長さ30cmのテンションメーター<sup>1)</sup>を設置し、年間を通しての土壌水分の変動を観測した。また、ピットの中を上昇下降する地下水位についても観測した。

### 3. 低湿地の走行性

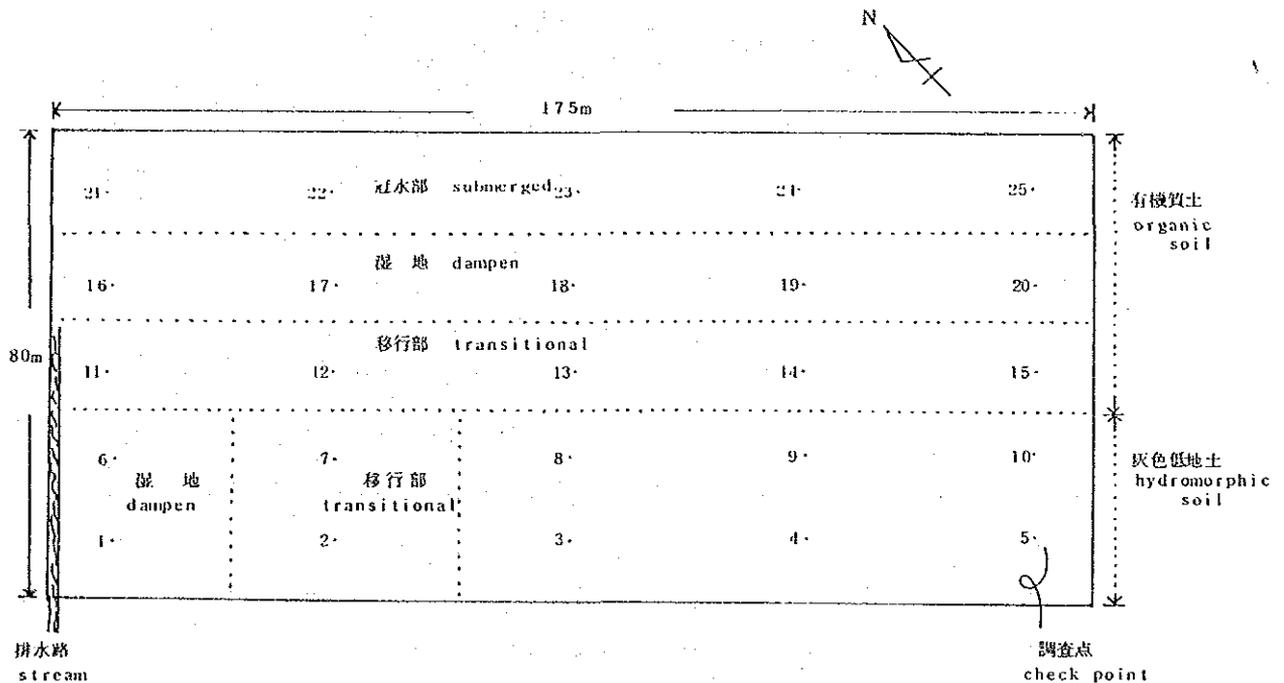
低湿地に分布する灰色低地土と有機質土は、農業機械の運行が可能であることが、開発利用の前提条件となる。このことを検討するために、これら2つの土壌区分にまたがる1.4haの地区を対象として、第3図のように5行5列の25地点を定めて、深さ40cmまでの貫入抵抗値をコーンペネトロメーターSR II型によって現場測定するとともに、土壌の未攪乱試料による一般物理分析、未風乾土試料による液性・塑性限界土壌水分率を測定した<sup>1)</sup>。

調査対象地域の中には、テラス上の灰色低地土と冠水した有機質土という2つの典型を両端とし、中間段階として、冠水しない期間のある湿地有機質土、段差の中間部にあたる移行部有機質

土を間にはさんでいる。また灰色低地土のテラス上であっても、遊水池や水路には有機質土が形成されているので、基盤が安定していると思われる灰色低地土の中での部分的軟弱化についても、その中心部と移行部という形で地耐力変化の傾向を明らかにしようとし、図に示す6小区にわけて成績の比較検討を行なった。



第2図 ピットへのテンションメーターの設置  
Fig 2 Setting of tension-meter at a pit



第3図 機械の走行性の調査計画  
Fig 3 Scheme of examination of trafficability

## 結果と考察

### 1. 地形区分と土壌調査

地形と土壌の特性による土地の区分については、すでに研究方法の項で第1図としてその概念を示した。この中で洪積面として示した部分は、ブラジルでは崩積層 (coluvial) と呼ばれているが、土壌断面調査の結果に疑問の点があるので、堆積年代としての洪積層 (diluvial) を用いた。

#### (1) 土壌断面調査の概要

- a. 5つのピットの土壌断面の特徴について、その概要を第1-1表から1-5表として示した。ピットNo.1の土色は赤黄色を基調としているが約260cmから下層は赤味が増していた。40cmまでは腐植の影響があり、A層と考えられたが、それ以下の深い土層をB・C層として定めることに習熟していないので、表土からローマ数字を順次つけて層位を細分した(全ピットを同様に扱った)。土性は触感で判定したが、埴壤土と埴土が順次厚い互層となっているようであった。層位によって土性に变化がある土壌は、厳密な意味でのラトソルとは言えないようである。土塊はやゝ軽い感じで、構造は下層土までよく発達しており、植物根は漸減しながらも、深さ5mの層にも細根の分布がみられた。深さ105cm以下の第V層には赤味がかかった土塊が点在しており、プリンサイトと考えられた。附近の展示用の土壌断面では乾燥が進んでおり、明らかにプリンサイトの存在が認められた。
- b. ピットNo.2の土壌断面土色は、No.1に比べてやゝ赤味の強い赤黄色を基調としていたが、417cmの第X層から下は暗赤色ラトソルと同様の色に変化していた。この層から下は円れきが多くみられ、それらの表面には酸化鉄が沈着していた。また容易に割れるれきが多く、中は石英砂で満たされていた。こうした脆さにもかかわらず、円れきとしての形が保たれていたことから、はんらん原として堆積した後に、さらに溶脱風化されたものと考えられる。また、この上の土層中には、れきが見られないか、あってもごく少なく、斜面の崩壊により堆積した土層とは考えにくい。触感による土性区分では、台地上のピットNo.1に比べて砂が多くなっており、土性は埴土から壤土までと変化の巾が広いようであった。No.1の場合と異って3m以下の土層には根の分布がみられず、土層はより乾いているようであった。
- c. ピットNo.3は暗赤色ラトソルの地域にあり、全断面を通じて土色の变化が少なかった。触感による土性はピットNo.2に比べて粘土が多く、埴壤土～埴土で变化が少なくなっていた。れき含量はNo.2と同様に推移し、深さ417cm以下の第IX層には崩れやすい小れきのみられ、第X層では表面に酸化鉄が殻のように沈着した大きな円れきが大半を占めるれき土となっており、内部が石英砂に変っているものが多かった。

周辺は丈の低いイネ科の草が芝生のように密生しており、深さ135cmまで根が密に分布しており、次の第IV層以下でも他のピットに比べて根量が著しく多かった。しかし、3m

第 1 - 1 表 ピット No. 1 の土壌断面の特徴

Tab 1-1 Characteristics of soil profile at pit No. 1

層位 layer I) 層界 boundary	深さ depth	土色 color	土性 texture	腐植 humus	礫 gravel	斑紋・結核 mottling, concretion	構造 structure	硬度 <sup>3)</sup> hard- ness	根系 root
I	cm	5 Y R 4/4 にぶい赤褐 dull reddish brown	埴壤土 clay loam	++ <sup>2)</sup>	細小 <sup>+</sup> small	なし naught	微粒 fine granular	mm 26	細小 <sup>+</sup> fine 大土 <sup>+</sup> thick
II	18	5 Y R 4/6 赤褐 reddish brown	埴土 clay	+	" <sup>4)</sup>	"	角塊 blocky	28	"
III	40	" (2.5 Y R 4/8)	"	土	"	"	柱状~角塊 prismatic ~blocky	22	"
IV	70	2.5 Y R 4/8 赤褐 reddish brown	埴壤土 clay loam	"	"	"	角塊 blocky	21	細小 <sup>+</sup> fine 大土 <sup>+</sup> thick
V	105	"	"	"	細小 <sup>+</sup> small	プリンサイト printhite +	柱状 prismatic	23	細~大 fine~土 thick
VI	167	5 Y R 4/8 赤褐 reddish brown	"	"	なし naught	なし naught	粗粒 coarse granular	22	細小 <sup>+</sup> fine
VII	209	2.5 Y R 4/8	"	"	"	"	"	19	"
VIII	240	"	埴土 clay	"	"	"	soft block	20	"
IX	262	"	"	"	"	"	"	24	"
X	327	10 R 4/8 赤 red	"	"	"	"	"	23	"
XI	387	"	"	"	"	"	"	21	"

- 1) 層界: —— 明瞭 —— 判然 :::: 漸変  
boundary sharp clear diffuse
- 2) 数量: ++ ++ ずこぶる富む ++ 富む + 含む 土あり なし  
quantity very rich rich common poor naught
- 3) 硬度: < 15 mm 軟かい 16 ~ 20 普通 21 ~ 25 硬い 26 mm < ごく硬い  
hardness soft medium hard very hard
- 4) " : 上と同じ as same as above  
(以下同様に用いる。 hereinafter use to as same)

第 1 - 2 表 ピット No. 2 の土壌断面の特徴

Tab 1-2 Characteristics of soil profile at pit No. 2

層位 layer 層界 boundary	深さ depth	土色 color	土性 texture	腐植 humus	礫 gravel	斑紋・結核 mottling, concretion	構造 structure	硬度 hard- ness	根系 root
I	cm	5 YR 3/4 暗赤褐 dark reddish brown	埴土 clay	+	細小土 small	腐朽礫 decayed 土 gravel	柱状~角塊 prismatic ~blocky	nan 32	細 ++ fine
II	27	5 YR 4/8 明赤褐 bright red- sh brown	埴壤土 clay loam	土	"	"	微粒~粗粒 fine~coar- se gran- ular	23	"
III	57	"	埴土 clay	"	"	"	粗粒~角塊 coarse granular ~blocky	22	細 +
IV	87	2.5 YR 5/8 明赤褐 bright red- dish brown	壤土 loam	"	なし naught	なし naugh	微粒~粗粒 fine~coar- se granular	22	"
V	167	"	"	"	"	"	堅果~塊状 nutty~ soft block	24	"
VI	214	10 R 4/8 赤 red	埴壤土 day loam	"	"	"	粗粒 coarse granular	24	"
VII	275	"	埴土 clay	"	"	"	粗粒~塊状 coarse granular~ soft block	24	"
VIII	312	"	"	"	"	"	塊状 soft block	25	なし naught
IX	363	"	埴~埴壤土 clay~ clay loam	"	"	"	"	24	"
X	417	7.5 R 3/8 暗赤 dark red	"	"	小中 small + ~medium	礫表面に酸 化鉄殻 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> crust around stone	"	25	"
XI	454	7.5 R 4/8 暗赤 dark red	壤~埴壤土 loam~ clay loam	"	小~大 small ~large	"	粗粒 coarse granular	22	"
	500				+++				

第 1 - 3 表 ピット No. 3 の土壌断面の特徴

Tab 1-3 Characteristics of soil profile at pit No. 3

層位 layer boundary	深さ depth	土色 color	土性 texture	腐植 humus	礫 gravel	斑紋・結核 mottling, concretion	構造 structure	硬度 hard- ness	根系 root
I	cm	10 R 3/8 暗赤 dark red	埴土 clay	+	細小 +	炭化根 charcoal- ized root	柱状~角塊 prismatic ~blocky	mm 32	細 +++ fine
II	42	"	"	土	"	"	"	26	"
III	78	7.5 R 3/6-8 暗赤 dark red	"	"	"	"	粗粒~塊状 coarse granular ~ soft block	18	"
IV	135	10 R 3/8	埴壤土 clay loam	"	細小 土 fine	"	"	18	細 ++ fine
V	189	"	"	"	なし naught	なし naught	"	24	細 + fine
VI	250	"	"	"	"	"	"	"	"
VII	297	7.5 R 3/8	"	"	"	"	塊状 soft block	21	なし naught
VIII	346	"	"	"	"	"	"	23	"
IX	417	"	"	"	風化礫 細小 decayed fine	"	"	20	"
X	494	10 R 3/8	礫土 gravelly (砂壤土) sandy loam	"	大 +++ large	礫表面に 酸化鉄殻 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> crust around stone	粗粒状 coarse granular	22	"
	510								

第 1 - 4 表 ピット No. 4 の土壤断面の特徴

Tab 1-4 Characteristics of soil profile at pit No. 4

層位 layer 層界 boundary	深さ depth	土色 color	土性 texture	腐植 humus	礫 gravel	斑紋・結核 mottling, concretion	構造 structure	硬度 hard- ness	根系 root
I	cm	5 Y 4/1 灰 grey	埴土 clay	++	なし naught	なし naught	柱状~角塊 prismatic ~blocky	31	細 fine
II	15	2.5 Y 5/2 暗灰黄 dark greyish yellow	"	+	"	"	"	29	"
III	30	10 YR 6/3 にぶい黄橙 dull yellow orange	"	"	"	"	塊状 soft block	22	細 ++ fine
IV	80	2.5 Y 7/2 灰黄 greyish yellow	"	土	"	点状斑鉄 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> spot 土	壁状 massive	20	細 土 fine
V	125	"	"	"	"	"	"	18	"
(155)	160	"	"	"	"	"	"	18	"

注：155cmの深さに地下水面      note: Water table at the depth of 155cm

第 1 - 5 表 ピット No. 5 の土壤断面の特徴

Tab 1-5 Characteristics of soil profile at pit No. 5

層位 layer 層界 boundary	深さ depth	土色 color	土性 texture	腐植 humus	礫 gravel	斑紋・結核 mottling concretion	構造 structure	硬度 hard- ness	根系 root
I	cm	2.5 Y 3/1 黒褐 brownish black	埴土 clay	++	なし naught		塊状 soft block	19	細 土 fine
II	20	5 Y 2/1 黒 black	"	"	"		"	20	"
III	49	"	"	"	"		"	15	"
(90)	97	"	"	+++	"		板状~堅果 platy~ nutty	15	なし naught
IV		"	"						

以下の土層では、急にみられなくなった。なお、深さ 189cmまでの土層中に小さな炭化片が点在していたが、野焼の際に土層内にまで火が及んだための炭化根と思われ、乾期には深さ 2 m 近くまで、根に火がつくほど乾燥が及ぶものと推定された。

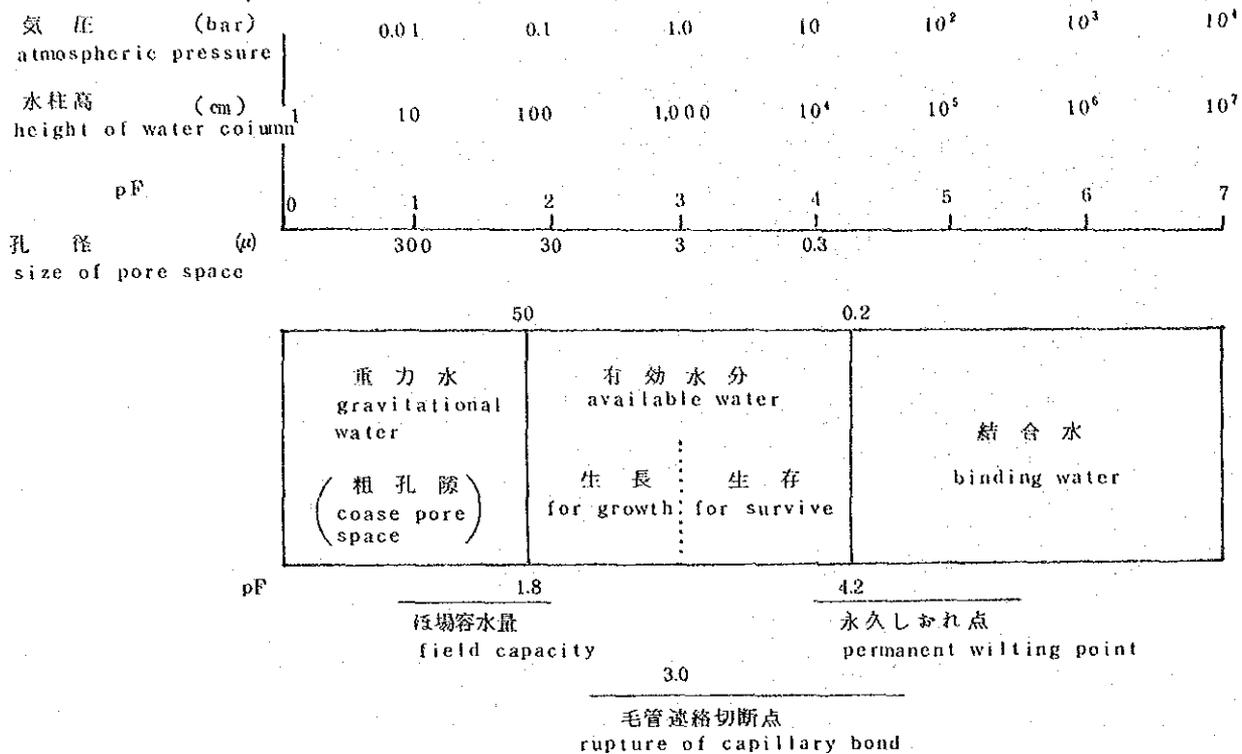
d. ピット No. 4 では深さ 155cm 附近に湧水面があり、土壤断面全体が淡い灰色を基調とし、下層に向って色の明るさを増していた。触感による土性は一樣で、全層埴土であった。樹木のまばらな草原であり、根は表層よりも第 III 層に多く、構造が壁状となって悪化する第 IV 層以下には地下水面の変動域であることを示す酸化鉄の班紋がみられ、根の分布が急に少なくなった。

e. ピット No. 5 の地表面は、沖積面の冠水位よりも約 80cm 高いが、土壤断面の約 90cm の深さに湧水面が見られた。全層にわたって暗い色の有機質土であるが、深さ 97cm 以下の第 IV 層では特に黒かった。土性も全層一樣の埴土であったが、ピット No. 4 の下層土より孔隙に富んでいて班紋は見当らなかったが、根の分布は全層にわたって少なかった。97cm 附近の第 IV 層上部には板状構造が見られた。

## (2) 土壤の物理分析成績

各ピット土壤断面の物理性を、深さ 25cm ごとに採取した未攪乱土試料について分析した。分析結果の表示について、ブラジルの表示法の中に三相分布などが含まれないので、データから換算して表示した<sup>2)</sup>。またここで用いる土壤水分区分の概念について第 4 図に示したが、これらは土壤物理用語事典にもとづき、概念に巾のある圃場含水量と毛管連絡切断点については筆者の判断で値を定めた<sup>1)</sup>。図の上部に示した保水エネルギーは、土壤孔隙や表面に保持されている水分を抜き取るのに必要なエネルギーを、気圧 (bar) や水柱の高さ (cm) で示したもので、通常は水柱の高さを対数で表した pF 値が用いられる。その下の当量直径 ( $\mu$ ) は、毛管ポテンシャルの式から導かれた、当量直径 =  $0.3 / \text{水柱の高さ (単位 cm)}$  によって理論的に算出されたものである。図の下段に土壤水分の区分と、その境界となる水分恒数を記載した。圃場含水量は粗孔隙 (非毛管孔隙) の水が重力で抜け落ちた状態の水分恒数で、pF 値にして 1.5~2.0 の範囲にあるといわれる。ブラジルでは 0.06 気圧 (= pF 1.8) の水分点測定されるので、これを圃場含水量とした。これから永久しおれ点の pF 4.2 までの領域が植物によって利用可能とされている。しかし、実際にはしおれ点に至る前に植物の生長は止ってしまう。これは毛管孔隙の中の水が消費され、孔隙の大きな部分から順に気泡が入って毛管水の連続した動きを遮断するため、この毛管連絡切断含水量<sup>1)</sup>は pF 2.7~3.0 の範囲にあるといわれる。ここでは pF 3 に定め、pF 1.8~3 を有効水分の領域として表示した。なお pF 3~4.2 の水分を仮に生存有効水分としてあるが、検討の対象とはしなかった。

各ピットの物理分析成績を第 2-1 表~第 2-5 表に示したが、成績の考察に先立って各項目についての考え方を述べておきたい。土壤断面の深さ 25cm ごとの分析成績であるので、土壤断面調査との関係を示すための土層区分を深さと併記した。分析項目の仮比重は構造性



第4図 土壤水分の物理的概念

Fig 4 Physical Conception of soil moisture

を反映しており、団粒構造の発達とともに孔隙量が増して値が低下する。表土の平均的な値は 1.0~1.1 程度で、1.1を越えると次第に構造性が失われ、通気・透水性が悪化する。三相分布は、土壤中に占める固体・液体・気体の各相が占有する体積の割合であるが、特定の水分条件を選定しないと、他の例との比較ができないので、ここでは圃場容水量にあたる pF1.8 の水分条件を選んだ。こうすると気相率が当量直径50μ以上の粗孔隙（非毛管孔隙）を示すことになる。仮比重1.06の場合、固相率が約40%となり、判定の目安となる。また粗孔隙（気相）は15~20%の値が望ましいので、液相率は残りの40~45%が標準的な値となる。この液相が全孔隙の中に占める割合が飽水度で、上記の値から約70%が判定の目安となる。土壤が湿った条件に傾く程この値が大きくなり、構造性が失われて壁状になる。逆に乾燥がちな場合や砂質の土壤ではこの値が小さくなり、構造は脆くて崩れ易いものになる。生長有効水分は15%以上であることが望ましい。透水係数はブラジルではcm/hrの単位が用いられているが、ここでは、日本で採用されている単位のcm/sec で表示した。指数の10<sup>-3</sup>が透水性良好、10<sup>-4</sup>はやゝ不良、10<sup>-5</sup>は不良であり、10<sup>-2</sup>は過良というように判定することにした。

第 2-1 表 ピット No. 1 断面土壤の物理分析成績

Tab 2-1 Physical properties of soil profile at pit No. 1

層位 深さ layer depth cm	仮比重 bulk density	pF . 1.8 三相分布 3 phases distribution %			p F 1.8 飽水度 degree of mois- ture sat- uration %	生長有効 水分 (pF1.8-3) available water %	透水係数 coefficient of water permiab- ility cm/sec	粒 径 組 成* component of part- icle size %			
		固 相 solid	液 相 liquid	気 相 air				粘土 clay	微砂 silt	砂 sand	土性** tex- ture
I 10	0.91	35.1	45.9	19.0	70.7	19.6	$2.0 \times 10^{-2}$	34	31	35	LiC
II 25	0.93	35.3	35.3	29.4	54.6	10.4	$2.2 \times 10^{-2}$	29	39	32	"
III 50	0.90	33.6	45.0	21.4	67.8	20.7	$1.1 \times 10^{-2}$	24	28	48	CL
IV {	75	0.84	31.5	44.4	24.1	64.8	$1.9 \times 10^{-2}$	17	12	71	SCL
	100	0.89	33.5	46.8	19.8	70.4	$1.1 \times 10^{-2}$	19	9	72	"***
V {	125	0.83	31.2	45.6	23.2	66.3	$1.4 \times 10^{-2}$	18	9	73	"
	150	0.84	31.2	44.1	24.7	64.1	$1.5 \times 10^{-2}$	16	10	74	"
VI {	175	0.81	30.3	48.1	21.6	69.0	$1.5 \times 10^{-2}$	17	9	74	"
	200	0.79	29.5	51.7	18.8	73.3	$8.9 \times 10^{-3}$	16	8	76	"
VII 225	0.78	29.0	48.8	22.2	68.7	26.4	$8.9 \times 10^{-3}$	17	8	75	"
VIII 250	0.80	29.7	44.4	25.9	63.2	21.4	$1.7 \times 10^{-2}$	19	14	67	"
IX {	275	0.84	30.2	47.0	22.8	67.3	$4.8 \times 10^{-3}$	20	15	65	"
	300	0.78	29.2	47.1	23.7	66.5	$5.2 \times 10^{-3}$	16	16	68	"
	325	0.99	36.8	48.0	15.2	75.9	$2.6 \times 10^{-4}$	19	19	62	"
X {	350	1.02	37.9	48.9	13.2	78.7	$1.4 \times 10^{-4}$	21	12	67	"
	375	1.05	38.8	47.9	13.3	78.3	$3.9 \times 10^{-5}$	15	16	69	SL
XI {	400	1.08	40.5	48.4	11.1	81.3	$5.6 \times 10^{-5}$	21	10	69	SCL
	425	1.08	39.8	46.9	13.3	77.9	$2.2 \times 10^{-4}$	19	9	72	"
	450	1.12	41.9	49.3	8.8	84.9	$2.9 \times 10^{-5}$	22	11	67	"
XI {	475	1.15	42.3	48.0	9.7	83.2	$3.9 \times 10^{-5}$	21	18	61	"
	500	1.24	45.3	47.6	7.1	87.0	$1.3 \times 10^{-4}$	17	15	68	"

\* 粒径組成: 国際法による分析, 粘土  $2 \mu$  以下, 微砂  $2 \sim 20 \mu$ , 砂  $20 \mu \sim 2 \text{mm}$

component of particle size: by international system

clay  $2 \mu >$ , silt  $2 \sim 20 \mu$ , sand (finer coarse)  $20 \mu \sim 2 \text{mm}$

\*\* LiC (light clay) 軽埴土, CL (clay loam) 埴壤土,

SCL (sandy clay loam) 砂質埴壤土

\*\*\* 上記同じ same as above

第 2-2 表 ピット No. 2 断面土壌の物理分析成績

Tab 2-2. Physical properties of soil profile at pit No. 2

層位 深さ layer depth cm	仮比重 bulk density	pF1.8 三相分布 3 phases distribution %			pF 1.8 飽水度 degree of moisture saturation %	生長有効 水分 (pF1.8-3) available water %	透水係数 coefficient of water permeability cm/sec	粒 径 組 成 component of particle size %			
		固相 solid	液相 liquid	気相 air				粘土 clay	微砂 silt	砂 sand	土性* texture
I 25	1.20	45.1	39.5	15.4	71.9	18.3	$2.9 \times 10^{-3}$	34	11	55	SC
II 50	1.12	41.8	41.5	16.7	71.3	22.5	$6.3 \times 10^{-3}$	38	9	53	LiC
III 75	1.11	41.2	43.1	15.7	73.3	24.2	$5.0 \times 10^{-3}$	29	15	56	SC
N {	100	1.11	41.1	42.6	16.3	72.3	$3.6 \times 10^{-3}$	19	16	65	SCL
	125	1.10	40.4	42.5	17.1	71.3	$3.8 \times 10^{-3}$	18	14	68	"
V {	150	1.05	38.7	41.2	20.1	67.2	$6.4 \times 10^{-3}$	20	13	67	"
	175	1.07	39.3	41.9	18.8	69.0	$5.3 \times 10^{-3}$	14	22	64	L
VI {	200	1.14	42.0	39.5	18.5	68.1	$2.3 \times 10^{-3}$	14	21	65	"
	225	1.12	41.2	40.8	18.0	69.4	$3.2 \times 10^{-3}$	9	22	69	SL
VII {	250	1.03	38.0	43.8	18.2	70.6	$7.3 \times 10^{-3}$	14	25	61	L
	275	1.12	40.8	42.3	16.9	71.5	$3.0 \times 10^{-3}$	13	18	69	SL
VIII {	300	1.19	43.4	42.4	14.2	74.9	$9.8 \times 10^{-4}$	12	19	69	"
IX {	325	1.12	41.0	43.0	16.0	72.9	$1.2 \times 10^{-3}$	15	17	68	"
	350	1.24	45.4	42.4	12.2	77.7	$2.7 \times 10^{-4}$	14	16	70	"
X {	375	1.27	46.5	43.0	10.5	80.4	$3.5 \times 10^{-4}$	14	15	71	"
	400	1.23	45.2	41.7	13.1	76.1	$4.7 \times 10^{-4}$	16	24	60	CL
XI {	425	1.28	46.9	42.7	10.4	80.4	$3.3 \times 10^{-4}$	11	22	67	SL
	450	1.13	41.5	40.1	18.4	68.5	$3.1 \times 10^{-3}$	10	14	76	"
XII {	475	1.25	45.4	38.7	15.9	70.9	$2.0 \times 10^{-3}$	20	17	63	SCL
	500	1.41	47.5	33.2	19.3	63.2	$6.5 \times 10^{-3}$	8	7	85	LS

\* SC(sandy clay) 砂質埴土, LiC(light clay) 軽埴土, L(loam) 埴土,

SCL(sandy clay loam) 砂質埴壤土, SL(sandy loam) 砂埴土,

CL(clay loam) 埴壤土, LS(loamy sand) 埴質砂土

第2-3表 ピットNo.3断面土壤の物理分析成績

Tab 2-3 Physical properties of soil profile at pit No. 3

層位 深さ layer depth cm	仮比重 bulk density	pF 18 三相分布 3 phases dist ribution %			pF 1.8 飽水度 degree of moist- ure satu- ration %	生長有効 水分 (pF1.8-3) available water %	透水係数 coefficient of water per- miabili- ty cm/sec	粒 径 組 成 component of pa- rticle size				
		固 相 solid	液 相 liquid	気 相 air				粘土 clay	微砂 silt	砂 sand	土性* texture	
I {	10	1.23	46.9	45.4	7.7	85.5	12.8	$2.1 \times 10^{-4}$	46	9	45	HC
	25	1.16	43.3	43.8	12.9	77.2	13.9	$1.2 \times 10^{-3}$	46	8	46	"
II {	50	1.05	38.4	42.7	18.9	69.3	20.4	$7.3 \times 10^{-3}$	43	10	47	LiC
	75	1.00	38.7	45.4	15.9	75.7	24.7	$1.0 \times 10^{-2}$	32	12	56	SC
III {	100	1.02	37.2	44.8	18.0	71.3	23.6	$5.6 \times 10^{-3}$	29	13	58	"
	125	0.99	36.3	42.9	20.8	67.3	21.8	$6.1 \times 10^{-3}$	28	20	52	LiC
IV {	150	1.08	39.2	47.4	13.4	78.0	22.4	$4.0 \times 10^{-3}$	23	20	57	SCL
	175	0.95	34.6	44.9	20.6	68.7	21.0	$1.2 \times 10^{-2}$	16	19	65	"
V {	200	1.04	38.1	49.6	12.3	80.1	25.0	$5.6 \times 10^{-3}$	14	21	65	SL
	225	0.99	36.0	44.8	19.2	70.0	19.1	$7.5 \times 10^{-3}$	19	13	68	SCL
VI {	250	1.03	37.2	45.0	17.8	71.7	16.4	$3.9 \times 10^{-3}$	20	14	66	"
	275	1.02	37.2	45.3	17.5	72.1	21.0	$4.0 \times 10^{-4}$	22	14	64	"
VII {	300	1.03	38.8	45.1	16.1	73.4	19.6	$1.8 \times 10^{-4}$	22	14	64	"
	325	1.06	40.0	44.2	15.8	73.7	17.8	$1.8 \times 10^{-4}$	22	14	64	"
VIII {	350	1.01	38.5	43.5	18.0	70.7	18.7	$1.1 \times 10^{-3}$	19	22	59	CL
	375	1.10	39.6	43.6	16.8	72.2	14.6	$5.3 \times 10^{-4}$	18	20	62	SCL
IX {	400	1.10	41.0	42.5	16.5	72.0	13.6	$2.2 \times 10^{-4}$	18	16	66	"
	425	1.11	40.3	42.1	17.6	70.5	14.5	$2.6 \times 10^{-4}$	27	15	58	SC
IX {	450	1.15	41.8	43.7	14.5	75.1	14.6	$1.2 \times 10^{-4}$	22	17	61	SCL
	475	1.23	44.7	43.9	11.4	79.4	12.9	$2.8 \times 10^{-5}$	18	16	66	"
X	500	1.35	48.9	34.3	16.8	67.1	7.1	$1.6 \times 10^{-3}$	6	5	89	LS

\* HC (heavy clay) 重埴土, LiC (light clay) 軽埴土, SC (sandy clay) 砂質埴土,  
SCL (sandy clay loam) 砂質埴壤土, SL (sandy loam) 砂埴土  
CL (clay loam) 埴壤土, LS (loamy sand) 壤質砂土

第 2-4 表 ビット No. 4 断面土壤の物理分析成績

Tab 2-4 Physical properties of soil profile at pit No. 4

層位 深さ layer depth cm	仮比重 bulk density	pF 1.8 三相分布 3 phases distri- bution %			pF 1.8 飽水度 degree of moist- ure satu- ration %	生長有効 水分 (pF1.8-3) available water %	透水係数 coefficient of water permiabi- lity cm/sec	粒 径 組 成 component of par- ticle size %			
		固 相 solid	液 相 liquid	気 相 air				粘土 clay	微砂 silt	砂 sand	土性 texture
I 10	1.08	42.9	44.1	13.0	77.2	18.6	$1.6 \times 10^{-3}$	58	6	36	HC
II 25	1.04	41.0	42.0	17.0	71.1	15.8	$2.8 \times 10^{-3}$	62	4	34	"
III {	50	0.94	36.7	39.0	24.3	60.7	$2.7 \times 10^{-4}$	62	9	29	"
	75	1.01	39.3	39.5	21.2	65.1	$2.0 \times 10^{-3}$	63	8	29	"
IV {	100	1.09	42.0	45.8	12.2	79.0	$5.8 \times 10^{-5}$	58	14	28	"
	125	1.17	45.5	47.7	6.8	87.5	$2.8 \times 10^{-5}$	47	21	32	"
V 150	1.24	46.6	48.4	5.0	90.6	7.4	$1.8 \times 10^{-4}$	42	22	36	LiC

\* HC (heavy clay) 重填土, LiC (light clay) 軽填土

第 2-5 表 ビット No. 5 断面土壤の物理分析成績

Tab 2-5 Physical properties of soil profile at pit No. 5

層位 深さ layer depth cm	仮比重 bulk density	pF 1.8 三相分布 3 phases distri- bution %			pF 1.8 飽水度 degree of moist- ure satu- ration %	生長有効 水分 (pF1.8-3) available water %	透水係数 coefficient of water permiabi- lity cm/sec	粒 径 組 成 component of par- ticle size %			
		固 相 solid	液 相 liquid	気 相 air				粘土 clay	微砂 silt	砂 sand	土性 texture
I 10	0.92	37.6	46.9	15.5	75.2	17.2	$4.7 \times 10^{-3}$	57	10	33	HC
II 25	1.00	41.2	53.0	5.8	90.1	19.1	$5.4 \times 10^{-4}$	60	8	32	"
III {	50	0.96	39.5	48.3	12.2	79.8	$1.2 \times 10^{-4}$	62	8	30	"
	75	0.90	36.1	50.7	13.2	79.3	$7.3 \times 10^{-4}$	51	13	36	"
IV 100	1.00	40.2	52.8	7.0	88.3	8.3	$1.7 \times 10^{-4}$	35	15	50	LiC

\* HC (heavy clay) 重填土, LiC (light clay) 軽填土

- a. ピットNo. 1 : 深さ 3 m までの仮比重が著しく小さく、物理性が良くて耕作し易く、また生長有効水分の容量が大きい土といえる。また 3 m 以下では仮比重が増し、粗孔隙が減少して透水性も悪くなる傾向を示すが、これは土壌が下層ほど湿った条件にあることの反映と考えられ、飽水度も 85% 以上に達する。粒径組成は国際法によっているが、深さ 50 cm までの表層の粘土と微砂の含量が、それ以下の層に比べて著しく多くなっている。このように土性の著しい変化が見られる土壌は、厳密にはラトソルと言えないようである。
- b. ピットNo. 2 : 仮比重がほとんどの層で 1.1 以上になっており、特に 3.5 m 以下では 1.2 以上で固相率が 45% 以上になっている。しかし、粗孔隙については 15% 以下の例は少なく、透水性も大差なく良好であり、生長有効水分の保持容量も多く、総合的な物理性は良好と言える。No. 1 と比べて下層土の飽水度の増加傾向が少なく、乾燥条件が底部にまで及んでいるものと推定される。粒径組成については、第 III 層と第 IV 層の間に粘土の明らかな減少があり、また第 V・VI 層では微砂の割合が高まるなどの変化がみられる。
- c. ピットNo. 3 : 仮比重が 1.0~1.1 の範囲のものが多くなっていて、総合的に物理性が良いことはピットNo. 2 と同様である。粒径組成については、全体として No. 2 より砂が少なくなり粘土が多くなっている。また粘土や微砂の含量が層位によって変る点は、No. 2 と同様である。
- d. ピットNo. 4 : 仮比重については No. 3 と類似しているが、地下水位が高いために 1 m 以下の土層は飽水度が高く、粗孔隙、生長有効水分、透水係数の低下といった、物理性の悪化が現れている。粒径組成では粘土含量が著しく増えており、ピットNo. 2, No. 3, No. 4 を通じて、洪積面上位から下位にかけて粘土含量が高まるという傾向が明らかにみられる。
- e. ピットNo. 5 : 有機質土であることを反映して、地下水の影響が強いかかわらず物理性は悪くない。粒径組成は No. 4 と同様に粘土含量が高いが、1 m のところで砂が多くなっている。土壌断面に板状構造がみられたのは、土性が急変する第 III 層と第 IV 層の境界附近であった。

各ピットを通じて指摘できる点は、(a)台地から低地へ向って粘土含量が増大する傾向にある。(b)底部からの地下水の影響で物理性に変化がみられたのは、台地上のピットNo. 1 と低湿地の No. 4・No. 5 であった。(c)これら土壌の物理性は、後に述べる機械の走行性を除いて、作物栽培に不適當な要素はみられなかった。

### (3) 土壌の化学分析成績

土壌の化学的性質が 5 m の深さにまで調査された例は少ないと考えられるので、全ピットについての分析成績を第 3-1~第 3-5 表として示すことにした。しかし、下層土の全窒素含量は小さく、誤差の割合が大きくなるので、分析しなかった。

セラードの土壌は強酸性で養分に乏しいことはすでに常識となっているので、個別には記述せず、成績全体を概観した上での特性を指摘するにとどめる。

第 3-1 表 ビット No 1 断面土壤の化学分析成績

Tab 3-1 Chemical properties of soil profile at pit No. 1

層位 深さ layer depth cm	pH		浸 出 N-KCl extractable			全炭素 total carbon C %	全窒素 total nitrogen N %	有 効 態 available		
	H <sub>2</sub> O	KCl	Al me	Ca mg%	Mg mg%			P mg%	K mg%	
I 10	4.9	4.2	0.51	2.49	1.12	3.61	0.19	0.05	3.5	
II 25	4.9	4.4	0.25	0.57	0.52	2.64	0.19	0.03	1.6	
III 50	5.5	5.0	0	0.26	0.09	1.42	0.14	0.03	0.1	
IV {	75	5.7	5.3	0	0.22	0.07	1.27	0.11	0.03	0.1
	100	5.9	5.6	0	0.19	0.07	1.27	-	0.03	0.2
V {	125	6.0	5.8	0	0.33	0.06	1.26	-	0.03	0.2
	150	6.2	6.1	0	0.27	0.07	1.13	-	0.02	0.2
VI {	175	6.3	6.3	0	0.19	0.05	1.01	-	0.04	0.3
	200	6.5	6.5	0	0.10	0.04	0.95	-	0.04	0.4
VII 225	6.7	6.5	0	0.16	0.05	0.96	-	0.04	0.3	
VIII 250	6.6	6.5	0	0.13	0.04	0.89	-	0.03	0	
IX {	275	6.5	6.5	0	0.11	0.04	0.84	-	0.05	0.8
	300	6.6	6.6	0	0.08	0.02	0.85	-	0.04	0.1
	325	6.6	6.6	0	0.23	0.07	0.54	-	0.04	0.4
X {	350	6.3	6.2	0	0.17	0.06	0.48	-	0.04	0.4
	375	6.7	6.6	0	0.23	0.07	0.55	-	0.04	0.4
XI {	400	6.6	6.6	0	0.12	0.05	0.48	-	0.04	0.4
	425	6.6	6.5	0	0.10	0.06	0.31	-	0.04	0.5
	450	6.6	6.4	0	0.11	0.04	0.29	-	0.04	0.4
	475	6.4	6.2	0	0.08	0.05	0.41	-	0.03	0.3
	500	6.7	6.0	0	0.32	0.07	0.17	-	0.03	0.3

第3-2表 ピットNo.2断面土壤の化学分析成績

Tab 3-2 Chemical properties of soil profile at pit No. 2

層位 layer	深さ depth cm	pH		浸出 extractable			全炭素 total carbon	全窒素 total nitrogen	有効態 available	
		H <sub>2</sub> O	KCl	Al me	Ca mg%	Mg mg%	C %	N %	P mg%	K mg%
I	25	6.5	4.3	0.35	18.8	7.0	1.96	0.15	0.16	1.6
II	50	4.9	4.0	0.89	0.68	0.41	1.41	0.20	0.05	0.7
III	75	5.1	4.2	0.45	0.45	0.23	1.08	0.11	0.04	0.1
IV	100	5.4	4.5	0.06	0.71	0.23	0.48	0.11	0.04	0.0
	125	5.5	4.7	0.07	0.28	0.11	0.56	-	0.03	0.0
	150	5.4	4.6	0.09	0.38	0.21	0.56	-	0.03	0.1
V	175	5.7	5.0	0	0.40	0.19	0.47	-	0.03	0.1
	200	5.6	5.0	0	0.36	0.24	0.42	-	0.03	0.2
VI	225	5.7	5.3	0	0.14	0.18	0.23	-	0.03	0.2
	250	5.4	5.1	0	0.27	0.19	0.43	-	0.03	0.1
	275	5.7	5.4	0	0.29	0.16	0.19	-	0.03	0.2
VII	300	5.7	5.3	0	0.40	0.11	0.19	-	0.02	1.2
VIII	325	5.5	5.2	0	0.38	0.11	0.20	-	0.02	0.2
	350	5.7	5.1	0	0.26	0.08	0.20	-	0.01	0.2
IX	375	5.7	5.0	0	0.27	0.07	0.29	-	0.01	0.2
	400	5.7	5.0	0	0.40	0.09	0.20	-	0.01	0.2
X	425	5.6	4.9	0	0.17	0.11	0.25	-	0.02	0.3
	450	5.7	4.9	0	0.24	0.11	0.25	-	0.02	0.3
XI	475	5.5	4.5	0.14	0.27	0.10	0.29	-	0.02	0.3

第3-3表 ピットNo.3断面土壌の化学分析成績

Tab 3-3 Chemical properties of soil profile at pit No. 3

層位深さ layer depth cm	pH		浸出 extractable			全炭素 total carbon C %	全窒素 total nitrogen N %	有効態 available		
	H <sub>2</sub> O	KCl	Al me	Ca mg%	Mg mg%			P mg%	K mg%	
I {	10	5.3	4.3	0.44	14.96	8.58	1.89	0.17	0.08	1.8
	25	5.1	4.1	0.78	3.28	2.64	1.73	0.15	0.04	0.7
II {	50	5.3	4.5	0.34	0.30	0.20	0.97	0.12	0.02	0.3
	75	5.6	4.5	0.18	4.50	0.71	1.13	0.11	0.02	0.5
III {	100	5.4	4.5	0.20	0.30	0.12	0.87	0.11	0.02	0.1
	125	5.4	4.2	0.08	0.31	0.08	0.78	-	0.02	0.1
IV {	150	5.3	4.8	0	0.52	0.06	0.61	-	0.02	0.0
	175	5.6	5.1	0	2.36	0.52	0.51	-	0.02	0.0
V {	200	5.6	5.5	0	1.93	1.31	0.51	-	0.01	0.0
	225	5.5	5.3	0	4.38	2.13	0.40	-	0.02	0.0
	250	5.8	5.6	0	3.93	1.29	0.36	-	0.02	0.0
VI 275	6.1	5.9	0	1.43	0.65	0.34	-	0.02	0.1	
VII {	300	6.0	5.8	0	0.28	1.44	0.20	-	0.02	0.0
	325	6.0	5.6	0	0.30	0.65	0.36	-	0.02	0.0
VIII {	350	6.0	5.3	0	0.20	0.08	0.30	-	0.02	0.3
	375	5.9	5.2	0	0.18	0.07	0.25	-	0.02	0.0
	400	6.0	5.1	0	0.23	0.09	0.26	-	0.02	0.0
IX {	425	5.7	4.9	0	0.28	0.04	0.36	-	0.02	0.0
	450	5.9	4.8	0	0.83	0.37	0.31	-	0.02	0.0
	475	6.0	4.7	0.02	0.36	0.16	0.25	-	0.02	0.0
X 500	5.5	4.7	0.03	0.45	0.05	0.13	-	0.03	0.5	

第 3-4 表 ピット No.4 断面土壤の化学分析成績

Tab 3-4 Chemical properties of soil profile at pit No. 4

層位 深さ layer depth cm	pH		N-KCl 浸 出 extractable			全炭素 total carbon C %	全窒素 total nitrogen N %	有 効 態 available		
	H <sub>2</sub> O	KCl	Al me	Ca mg%	Mgmg%			P mg%	K mg %	
I 10	4.9	3.8	3.96	3.23	0.84	3.05	0.22	0.09	4.0	
II 25	4.8	3.8	3.73	1.30	0.59	1.66	0.20	0.07	1.5	
III {	50	4.9	3.8	3.62	0.49	0.23	1.03	0.16	0.05	1.5
	75	5.3	3.8	3.86	0.67	0.38	0.31	0.13	0.03	0.2
IV {	100	5.4	3.8	4.15	0.73	0.32	0.20	0.11	0.02	0.1
	125	5.5	3.8	4.26	0.45	0.14	0.10	0.10	0.02	0.1
V 150	5.6	3.7	4.72	0.48	0.12	0.14	0.09	0.02	0.0	

第 3-5 表 ピット No.5 断面土壤の化学分析成績

Tab 3-5 Chemical properties of soil profile at pit No. 5

層位 深さ layer depth cm	pH		N-KCl 浸 出 extractable			全炭素 total carbon C %	全窒素 total nitrogen N %	有 効 態 available		
	H <sub>2</sub> O	KCl	Al me	Ca mg%	Mgmg%			P mg%	Kmg %	
I 10	4.1	3.5	6.43	1.10	0.41	4.20	0.27	0.15	1.4	
II 25	4.1	3.5	7.04	1.70	0.50	4.45	0.27	0.14	2.0	
III {	50	4.4	3.5	8.45	1.19	0.19	4.13	0.21	0.08	0.6
	75	4.4	3.6	8.76	0.48	0.15	4.40	0.21	0.09	1.0
IV 100	4.4	3.7	9.88	0.97	0.18	10.40	0.36	0.09	0.0	

- a. Ca・Mg・Kの塩基含量とP含量は極端に少ないので、畑地とするためには土壤改良と施肥が必要である。
- b. 塩基含量が低い割にピットNo.1の土壤はpHが低下していない。また有機質土を除外して、ピットNo.1の土壤は他に比べて有機物含量が高く、また、仮比重が全体として小さいという特性を持つことが指摘できる。
- c. 地下水の高いピットNo.4とNo.5ではAl含量が特に高く、pHも強酸性を示しているが、中でも有機質土のピットNo.5で著しい。これら土壤を耕地として利用するにあたっては、特に念入りな土壤改良が必要と考えられる。
- d. ピットNo.1～No.3では、Ca含量が下層に向かって低下する傾向にあるが、数ヶ所逆で増加している。後に述べるように、このことと、土壤水分の動きが急に変る層位との間に対応があるように思われる。

## 2. 地下水位と土壤水分張力の観測

### (1) 降雨分布

地下水と土壤水分張力の観測を行なった期間の降雨について、セラード農牧研究センターの観測記録から月別降雨量としてまとめたものを第4表として示した。1983～84年の雨季と、次の1984～85年の雨季の総雨量には大差なく、約1500mmであった。しかし降雨の分布には多少の違いがあり、降雨量が蒸発量よりも明らかに多くなるのは'83年では11月からであるのに対し、'84年では1か月遅れの12月となっている。それぞれ2月には雨量が低下し、小乾季の様相を示しているが、著しいものではない。本格的な雨季は3月までで終り、5月以降は乾季となっている。こうした雨季の始まりと終りが早かったり遅かったりすること、そして2月を中心とする小乾季が長く続くかどうかということが、降雨のみに頼る作物栽培の不安定要因となっている。

第4表 雨季別の降雨量

Tab 4 Precipitation of each rainy season (mm)

年		1983				1984			
月		Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
雨量 precipitation	月別 monthly	24	175	284	319	170	155	262	101
	累計 total	24	199	483	802	972	1,127	1,389	1,490

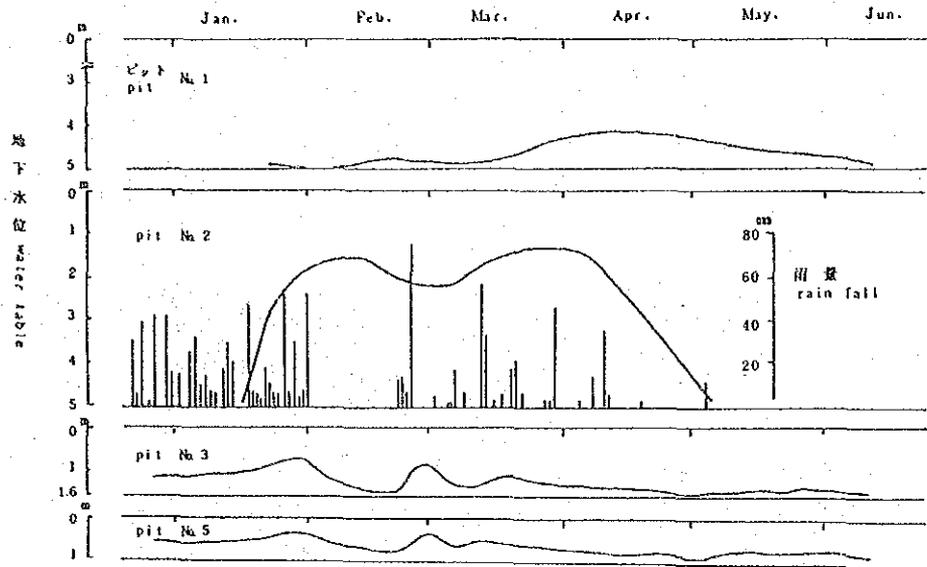
  

年		1984					1985				
月		Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May
雨量 precipitation	月別 monthly	49	111	101	125	286	387	166	239	58	10
	累計 total	49	160	261	386	672	1,059	1,225	1,464	1,522	1,532

セラード農牧研究センターの資料による。  
from the data of CPAC

## (2) 地下水位の変動

5つのピットについて地下水の出現と、その水位の変動について観測したが、2回の雨期を通じて同じ様な経過がみられたので、ここでは1984～85年の雨季についての結果を第5図として示した。ピットNo.3には2年間を通じて地下水は観測されなかったので図示しなかった。また、降雨分布と地下水位の変動の関係をj知るため、ピットNo.2のグラフの中に日別降雨量を棒グラフとして併記した。



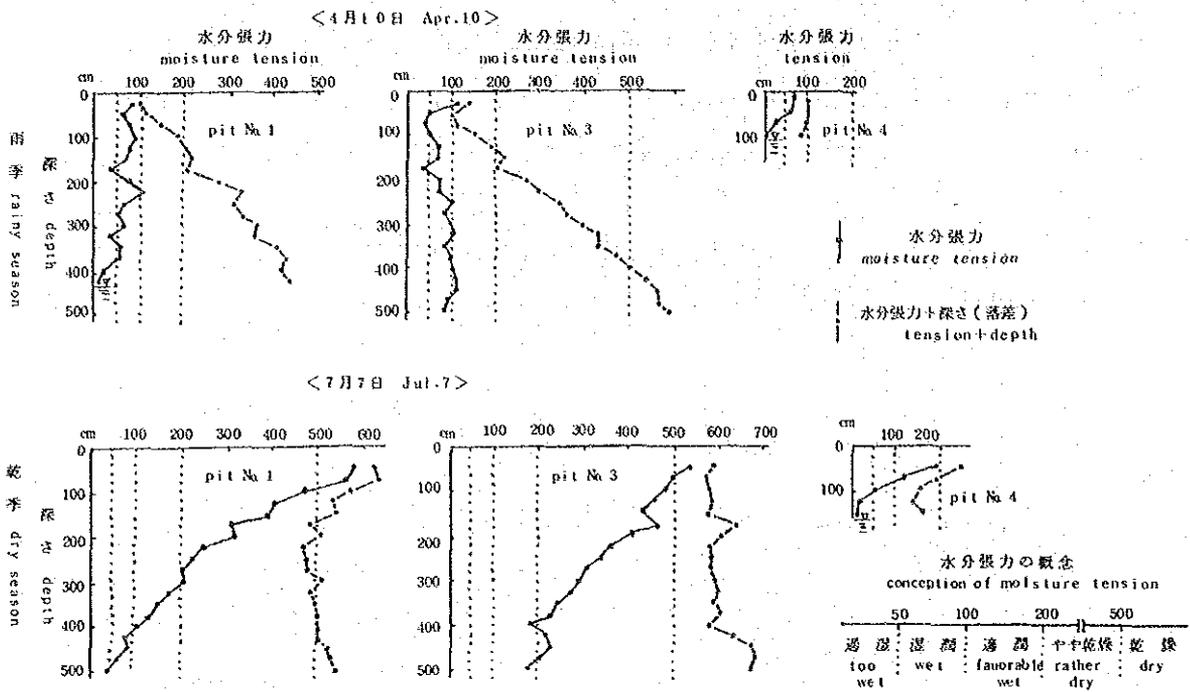
第5図 各ピットへの地下水面の出現と推移(1985)

Fig 5 Appearance and transition of water at each pit (1985)

- ピットNo.1：1月後半に地下水面が現われたが、2月始めからの小乾季によって水位は低迷し、2月末からの降雨により、約3週間遅れた3月後半から水位が上昇し、4月中に地表下約4mの最高位に達した後、約2か月後の6月中旬に消失するまで、1日あたり2cm弱の速さで徐々に水位が低下している。こうした動きから、この台地上の地下水は量が多くて安定しており、河川の水源となっているものと考えられる。
- ピットNo.2：地下水位の変動は降雨の密度に敏感に反応し、地下水面の出現と消失が早く、また水位の変動巾が大きくて、最高位は地表下約1mに達した。このような挙動からみてこの地下水は底部のれき層を通路とする伏流水のような不安定なものであり、灌漑用水の給源とはなり得ないと推定される。
- ピットNo.3：地下水が出現しないので、その底部のれき層は、No.2のものと互に連絡のない形で堆積したものであろう。しかし、表面に酸化鉄の沈着があることから、地下水が上下した時期があったと推定される。
- ピットNo.4・No.5：乾季の一時期以外は常に地下水がみられた。台地の地下水と同様に変動の少ない豊富な地下水が基盤上に貯えられているものと考えられるが、降雨後の流入による一時的な変動がその上に重複して現れている。この地下水も灌漑水の水源となり得るものと考えられる。

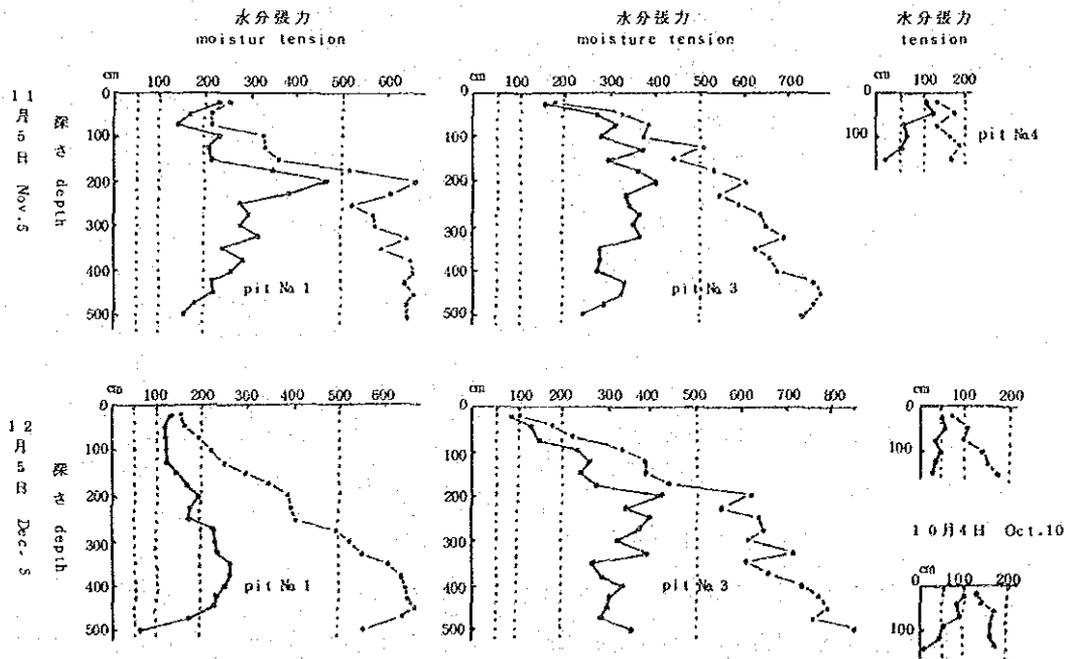
(3) 土壤水分張力の変動

各ピットの土壤断面において、土壤水分張力の周年変動を観測したが、その代表的なものを第6・7図として示し、その特徴を考察することにした。図の実線のほうが水分張力の観



第6図 雨季と乾季の代表的な土層の水分状態(1984年)

Fig 6 Typical state of soil moisture for rainy and dry season (1984)



第7図 雨期の進行と土層の水分状態の変化(1984年)

Fig 7 Transition of soil moisture over the progress of rainy season (1984)

測値で、土壌の間隙が毛管水を保持する力を、それと釣合う水柱の高さ（cm）で表わしたものである。手ざわりの概念との対比で言うならば、水柱50cm以下は過湿、50～100 cmが湿润、100～200cmが適湿、それ以上はやゝ乾燥というように表示できるであろう。そしてテンションメーターで測定できる範囲は約500cmまでであるが、また、それ以上の領域では毛管伝導による水の動きが悪くなり、作物による利用度が低下する。ただし、この区分は実線の水分張力にのみ適用され、深さを加えた破線の方には適用できない。

図の破線は、水の運動方向を推定するために、水分張力に深さを加えた値である。土壌中の水分の運動は、水分張力に関しては低い方から高い方へ向って、また位置に関しては高い方から低い方に動く。例えば深さ20cmと50cmの2点の水分張力が同じ場合、水分は高さの差によって深い方へ動く。そして深さ20cmの点が乾いて水分張力が高まると、下方への動きは次第に悪くなり、深さ50cmの点よりも張力が水柱で30cm高まった段階では、位置の差と深さの差が釣合って（水分張力+深さの合成値が釣合って）水の動きは止り、さらに乾燥が進むと水分張力の大きな差が主要因となって、20cmの点に向って土壌水分が上昇するようになると推定される。図について言うと、破線が右下に向って伸びている場合、土壌水分は上から下に向う傾向であり、逆に下層の方の合成値が小さく、破線が左下に向うようになると、水分は下から上に向って動く傾向にあると言える。土層が全く均一であれば、この力に従って水分移動が起り、全層が釣合って、この破線は垂直に近づくはずである。しかし現実の土壌は不均一な粒子の集まりであるために、そのような釣合いは部分的にしか起こらない。また、明らかに粘土質の土層が中間層として挟まれると、下方浸透が阻害されてその直上部の水分が多くなるが、粘土層の下では水の供給が悪いため乾きがちになる。こうして上下の釣合が崩れても、粘土層の透水性が悪いために釣合の回復が進みにくい。逆に砂の層が中間に入った場合も、水浸しの条件で水を通しやすい粗孔隙は多くても、畑状態のような、毛管伝導によって水が動く領域の孔隙が少ないから、粘土層と同様に水分の動きを阻害し上下層の水分張力の不均衡を起す。このようなことから、現実の土壌断面では、物理性の異なる層界で特異的に土壌水分張力の低い土層が現われる。しかし、水分張力の差が著しくない限り、土層の不均一性にさまたげられ、毛管伝導による水分の上昇は起りにくいと考えられる。

a. 雨季と乾季の土壌水分変動：第6図の上段は雨季の終りで最も土壌が湿っている時期の1984年4月10日の例であり、代表的な例としてピットNo.1・No.3・No.4を示した。実線表示の水分張力の方は、100cm以下の領域に大半が入っていて、十分湿った状態にあるが、ピットNo.1とNo.3とでは、特異的に水分張力の低い点が数か所みられる。またピットNo.1とNo.4は地下水面があり、その上方50cmの範囲は過湿の状態になっていた。

水分張力に深さを加えた破線のグラフは、ピットNo.1とNo.3では全体として下降浸透の方向にあるが、No.3の方が偏りが大きく、下層土に向っての水の引きが強いことを示している。そうした傾向の中で逆に上昇の傾向を示す点がそれぞれ何か所か見られるが、何層

かにわたって連続した傾向ではないから、実際には下方浸透の阻害による水分の停滞が起る程度と考えられる。その傾向の著しい点は、土性が粘質や砂質に変わる層の直上部にあることが、前出の物理分析成績や断面調査成績によって検証できる。一方、ピットNo.4の破線グラフには折れ曲がりがなく、また垂直に近いので、均一度の高い土層の中に水分が平衡した状態にあるものと推定される。

第6図の下段は乾季の中頃のもので、同じ年の7月7日の例である。ピットNo.1とNo.3に実線で示された土壌水分張力は著しい乾きを示し、深さ75cmから上部はテンションメーターでは測定が無理なほどに乾燥した領域に入っている。ピットNo.1とNo.3の明らかな相異点は下層土の乾きの差であるが、No.1では3m以下が適湿の領域に入っており、4m以下は十分湿っている。また1日当り2cm弱の速さで地下水面が下降していたこと、あるいは底部の水分張力の状況から、当時の地下水面が550cm附近に維持されていることが推定できる。これに対してNo.3では下層まで乾燥が進んでおり、深さ4mと5mの特異点で適湿の領域に入っているに過ぎない。植物が水分を利用するには、No.1の場合には深さ3m以下に根を伸ばせばよいが、No.3では5m以下に達しなければならないと推定される。No.1の断面では深さ3m以下にも細根が分布していたが、No.3では3m以下に根の分布がみられなかったのは、こうした土層の水分条件の差が大きな要因と考えられる。

水分の動きの方向を示す破線グラフは、表層土と下層土水分の差が大きいピットNo.1では、深さ2mから上の層では水分が上昇する傾向にあるが、それより深い層では垂直に近くなって水の動きは、やゝ下向きと思われる。No.3では、特異点を除いては垂直に近い。この右側に突出した部分はいずれも土性が砂質に傾いている。このように乾季には水分の下方浸透は起こらない状態になっている。

地下水面が存在しているピットNo.4では表層土と下層土の水分張力の差が著しく、そのため水分の動きも、1m以下の過湿層から上昇移動する量が少ないので、較差が緩和できないためではないかと推察される。生長有効水分は、毛管孔隙に保持されながら、速やかに毛管伝導により輸送される水分の領域であるから、畑状態での水分移動の速さは、生長有効水分の大きさに対応していると考えられるが、ピットNo.4の灰色低地土は全体としてこの値が小さく、とくに深さ75cmでは10%以下と小さい。水分移動が遅くても、作物の根が1m以下まで伸びれば、下層土の水分を直接利用できる点に注目し、農地としての利用を考える必要がある。

5つのピットを通じてみられたような地下水位の差は、必要な根系の深さの差という形で、地表の植生に影響を与えられられるが、その点までは調査ができなかった。

b. 降雨による土壌水分の回復：雨季の初期に土層中の水分が回復してゆく経過を第7図で比較したが、表現の仕方は第6図と同様である。上段の図は1984年11月5日の土壌水分の状況であるが、この時までには8月49mm、9月111mm、10月101mmの降雨が観測されている。

1日の蒸発量を6mmとすれば、1か月に180mm以上の降雨がなければ土壤水分の回復は進まないと推定されるから、各月の雨量は土壤水分の回復には明らかに不足している。実線で示した土壤水分張力について見ると、ピットNo.1では深さ1.5mまで適湿条件が回復している。一方、底部の乾燥は7月よりも進んでおり、大半がやや乾燥の領域に移っているが、まだ湿り気を残している。これら2つの傾向にはさまれて、深さ2mの層にやや強い乾燥が残っている他、層間に水分張力の不均衡が目立っている。水分の動きも、乾燥の強い深さ2mの層に向って、表層からの強い下方浸透の傾向が出ている。しかし、そこから下層に向っては、著しい不均衡を含みながらも全体として直立に近く、動きが均衡しているものと考えられる。No.3の方は適湿にまで土壤水分が回復しているのは表層のみであり、作物栽培に適した条件にはなっていない。また破線のグラフも、全体として下層へ向って強く水が引かれる傾向を示している。

これらに対してピットNo.4では、実線の水分張力の方は不均衡を残しながらも十分な湿りの状態に戻っており、作物栽培に適した状態に回復している。そして右下の隅に示したように、1か月前の10月4日には、すでに同様な状態に回復していることが示されている。このように、地下水が高い地域では、毛管上昇による水分供給があるために下層が乾燥しないから、100mm程度の少ない雨量でも、安定した栽培条件まで速やかに土壤水分が回復すると考えられる。

第7図の下段は、上段から1か月後の状態を示したものであるが、この間の雨量は125mmで、土壤水分の回復には足りない。それでもピットNo.1では、深さ3m以下にやや乾燥した層が残るだけで、層間の不均衡も回復し、不満足ながらも栽培条件が回復したといえよう。しかし下層に向っての強い水分の引きが破線のグラフに読みとれる。No.3では実線のグラフが1か月前のNo.1の状態に似ており、層間の不均衡が残されたままで、作物栽培のための安定した条件が回復するには、なお100mm以上の雨量を要するものと推定される。

このように地下水位が低くなるほど土層は乾きやすく、しかも土壤水分条件を回復するには、より多くの降雨を必要とするものと考えられる。逆に言えば、9月の末頃までに台地上の赤黄色土で約200mm、台地の裾からのラトソル地域で約350mmの水分を灌漑水として補給すれば、9月末までの降雨とあわせて、10月初めから作物栽培に適した土壤水分条件を回復させることができ、栽培期間を延ばることができるであろう。また4月以降にこのような水の補給をすることで栽培期間を延長することができれば、2月の小乾季を境にする二毛作を成立させる可能性もある。しかし、灌漑水を作期の安定と延長に役立てるという方法の検証は今後に残されている。

別の視点から、土層が乾きやすい暗赤色ラトソルでは、より乾燥を好む作物を選定すべきであるし、ピットNo.1のように3m以下に根を伸ばせば、土壤水分が利用できる条件であれば、根の深い果樹栽培に適していると考えられる。またピットNo.4の灰色低地土では、

乾季にも深さ1 m以下は十分湿っているので、根の深い畑作物を選べば、周年栽培も可能になると考えられる。このような土壤水分条件の遷移に対応する作物の立地配置についても、今後さらに研究されねばならない。

### 3. 低湿地における機械の走行性

低湿地は、川沿いの沖積面にあり、雨季には冠水する有機質土地帯と、それより約1.5 m高いテラスとして接する灰色低地土の2つの部分に分かれている。灰色低地土のテラス上にも古くからの水路があり、それに沿って狭い範囲に有機質土が分布している。

きびしい乾季を持つセラードでは、地下水が高いことは、そこからの水分供給が期待できるので、農耕地としての潜在力が高いことになる。しかし、このことは同時に土地基盤の軟弱化の傾向を伴うので、開発利用に必要な機械耕作が支障なくできるかどうか、一つの制限因子となるであろう。実際にトラクターを湿地帯に乗り入れて、走行性を検証することは危険であるから、貫入抵抗値や液性限界水分値と現地土壤水分との比較による土壤の流動性の検討などから推定する他はない。

#### (1) 土壤の一般物理性の比較

第3図に示したように、対象区域を土壤の湿潤条件の差によって6区分し、それぞれに含まれる調査点での測定値を深さ別に平均した値について、走行性や湿潤度に対応する値の変化を考察した。各小区の土壤の湿潤度は、乾→湿の方向に灰色低地土→有機質土移行部→有機質土(湿地)→有機質土(冠水)の順列とすることができる。またテラス上の水路沿いの湿地とその移行部は、沖積面よりは乾いた方に寄っている。

第5表に土壤の一般物理分析成績を示したが、上記の乾→湿の傾向に対応して、値が大→小の方向に変化する項目は仮比重・真比重・固相率・気相率・透水係数である。仮比重が大きくなることは土壤中の固相率が増すことであり、地耐力の向上に対応する。また、有機物含量の増加は真比重と逆比例する関係にあり、真比重の低下は基盤の軟弱化に対応する。また、気相率が増大することは土壤が疏水的に傾くことを意味し、透水性の向上につながる。

これらとは逆に、乾→湿の順位に対し、数値が小→大の方向に移る項目は、液相率・飽水度・有効水分である。液相率の増大は飽水度の増加をもたらすが、別の表現を使えば親水的に傾くことを意味する。このように、一般的な畑地条件では、それぞれの意味や相関が読みとりにくい物理分析成績も、こうした極端な条件の変化を与えると、各項目間の規則的变化が明らかになり、考察が容易になる。

#### (2) 土壤の流動性と貫入抵抗

機械の走行性を考える場合、第一に問題になるのが、土層が流動条件にあるか否かということであろう。この流動性の限界と考えられるのが液性限界の水分値であり、現場の土壤水分値が液性限界値を越えるようになると、土壤の基盤は著しく不安定になる。また現地土壤水分が減少して塑性限界値に近づくほど基盤は安定し、圧密も起りにくくなるが、さらに水分

第5表 低湿地土壤の物理分析成績

Tab 5 Physical properties of lowland soil

区分 plots	深さ depth cm	仮比重 bulk density	真比重 specific gravity	pF 1.8 三相分布 % 3 phases distribution			pF 1.8 飽水度 degree of mois- ture sa- turation %	有効水分 available water (pF1.8-3) %	透水係数 water permiabil- ity cm/sec		
				固相 solid	液相 liquid	気相 air					
灰色低地土 hydromorphic soil	5	0.999	2.539	39.3	38.3	22.4	63.2	9.6	$1.3 \times 10^{-2}$		
	15	1.005	2.545	39.5	35.8	24.7	59.3	8.3	$5.6 \times 10^{-3}$		
	25	1.034	2.550	40.6	35.8	23.6	60.4	8.5	$3.1 \times 10^{-3}$		
	35	1.031	2.563	40.3	37.4	22.3	62.6	9.1	$1.2 \times 10^{-2}$		
有機質土 organic soil	移行部 transi- tional	5	0.950	2.410	39.2	48.2	10.6	79.3	1.21	$2.0 \times 10^{-3}$	
		15	0.880	2.414	36.3	46.1	17.6	72.3	13.3	$2.5 \times 10^{-3}$	
		25	0.877	2.441	35.8	45.5	18.7	70.9	11.9	$3.4 \times 10^{-3}$	
		35	0.861	2.451	35.1	43.9	21.0	67.6	9.3	$7.0 \times 10^{-3}$	
	湿地 dampen	5	0.739	2.210	33.3	57.2	9.5	85.8	20.7	$3.4 \times 10^{-3}$	
		15	0.664	2.178	30.5	54.6	14.9	78.6	19.5	$1.2 \times 10^{-3}$	
		25	0.599	2.130	28.1	53.7	18.2	74.7	18.0	$4.3 \times 10^{-3}$	
		35	0.651	2.077	31.2	54.1	14.6	78.6	15.4	$1.8 \times 10^{-3}$	
	冠水部 sub- merged	5	0.629	2.071	30.5	61.8	7.7	88.9	21.1	$4.4 \times 10^{-4}$	
		15	0.583	2.038	28.6	62.1	9.3	86.7	21.6	$1.4 \times 10^{-3}$	
		25	0.566	2.075	27.4	60.3	12.3	83.0	18.1	$1.3 \times 10^{-3}$	
		35	0.574	2.051	28.1	57.6	14.3	80.1	13.4	$1.1 \times 10^{-3}$	
	排水路沿 湿地 dampen at ong stream	移行部 transi- tional	5	1.054	2.483	42.5	42.9	14.6	74.6	10.3	$2.8 \times 10^{-3}$
			15	0.996	2.550	39.1	38.5	22.4	63.2	7.7	$5.9 \times 10^{-3}$
			25	1.116	2.512	44.5	41.3	14.2	74.4	8.4	$9.9 \times 10^{-4}$
			35	1.054	2.516	41.9	39.9	18.2	66.7	8.8	$3.1 \times 10^{-3}$
湿地 dampen		5	0.874	2.335	37.4	54.6	8.0	87.2	18.8	$6.8 \times 10^{-4}$	
		15	0.824	2.395	34.5	50.2	15.3	76.6	15.5	$8.7 \times 10^{-4}$	
		25	0.754	2.402	31.6	53.0	15.4	77.2	16.9	$1.1 \times 10^{-3}$	
		35	0.735	2.383	30.9	56.5	12.6	81.8	16.7	$6.9 \times 10^{-4}$	

第6表 低湿地土壤のコンシステンシー

Tab 6 Consistency of lowland soil

区分 plots	深さ depth cm	含水比 soil moisture %			指数 index	
		現地土壌 original soil (W)	液性限界 liquid limit ( L.L )	塑性限界 plastic limit ( P.L )	塑性 plasticity (PI=LL-PL)	液性 liquidity (LI= $\frac{W-PL}{PI}$ )
灰色低地土 hydromor- phic soil	5	30.8	43.7	22.6	21.1	0.36
	15	29.4	42.9	22.0	20.9	0.34
	25	29.3	53.2	21.6	31.6	0.24
	35	29.7	51.1	21.9	29.2	0.27
有機質土 transi- tional	移行部 5	52.2	58.1	32.7	25.4	0.77
	15	57.8	52.0	31.4	20.6	1.28
	25	57.1	49.1	28.6	20.5	1.39
	35	61.1	53.3	30.8	22.5	1.35
湿地 dampen	5	80.8	81.5	47.3	34.2	0.98
	15	98.0	71.0	40.7	30.3	1.89
	25	112.0	78.5	48.8	29.7	2.13
	35	100.9	88.7	46.8	41.9	1.29
冠水 sub- merged	5	109.3	112.2	38.1	74.1	0.96
	15	120.3	116.5	42.1	74.4	1.05
	25	127.2	103.1	42.4	60.7	1.40
	35	123.6	105.3	45.3	60.0	1.31
排水路沿 湿地 dampen- ing stream	移行部 5	34.7	47.7	25.7	22.0	0.41
	15	33.5	44.7	24.2	20.5	0.45
	25	32.3	44.3	25.2	19.1	0.37
	35	33.4	42.4	24.8	17.6	0.49
	湿地 5	64.3	69.5	38.2	31.3	0.83
	15	71.3	57.2	37.7	19.5	1.72
	dampen 25	85.0	71.0	42.9	28.1	1.50
	35	89.5	55.3	40.0	15.3	3.24

が低下すると耕起する際の抵抗が大きくなる。このような考え方をまとめたのが第6表であり、現地土壌含水比(W)、液性限界(LL)、塑性限界(PL)という基礎的な含水比(乾土重量基準の水分率)から、液性限界と塑性限界の差にあたる塑性指数(PI)、そして現地土壌含水比と塑性指数との差を塑性指数で割った液性指数(LI)を算出して表示した<sup>1)</sup>。計算基礎の数値は乾→湿の方向に大きくなっている。塑性指数も湿潤化に伴って増大する傾向にあるが、灰色低地土で小さく、有機質土の冠水部では著しく大きな値を示し、土壌の性質が大きく変っていることを示している。

液性指数は現地土壌含水比が塑性限界値と一致した時に結果が0となるので、値が小さいほど安定していることを示す。また現地水分が液性限界に一致すると、分子は分母の塑性指数に等しくなるから、液性指数は1となり、基盤は著しく不安定になる。沖積面だけでなく、有機質土はすべてこの値が1前後にあり、表層よりも下層が不安定である。これに対して灰色低地土では値が小さく、下層ほど安定している。そして水路への移行部は走行可能とみられるが、土壌水分が多いために踏圧による固化が起やすいと考えられる。

第7表には貫入抵抗値を示した。この値は小さな円錐体を土層中に圧入する時の抵抗値であるから、根が密に分布する表層土では、より広い面積の網で受け止められ形となるから、車輪のように広い面積で重圧がかかる状態に比べて、過大な値が与えられると考えられる。農業用のトラクターの走行可能な限界は4.4kg/cm<sup>2</sup>とされているが、湿地帯には草や灌木が茂っており、特に表土層に細根が多いことを考慮して、10kg/cm<sup>2</sup>を安全の限界と仮定した。第7表の数値は、測定値の変動を考慮して、平均値と標準偏差値の合成値として示したが、沖積面の湿地帯は最小値が7kg/cm<sup>2</sup>程度と推定され、走行不可能と考えられる。また段差による移行部は走行可能と考えられるが、テラスの保全のため、開発すべきではない。

11月の末にテラス上の灰色低地土から水路沿いの有機質土への移行部にかけて、土壌改良をしながらトラクターによる耕起を行なったが、走行上の問題はなかった。しかし、粘土質の土壌で比較的湿潤であることから、踏圧による土層の固化が起りやすいと考えられるので、表層土が乾燥している時期に耕起すること、乗り入れる回数を出来るだけ少なくするなどの注意を要する。

第7表 低湿地土壌の貫入抵抗値(平均値±標準偏差)

Tab 7 Resistance values by cone-penetrometer of lowland soil (mean ± standard deviation) kg/cm<sup>2</sup>

深さ cm	灰色低地土 hydromorphic soil	有機質土 organic soil			排水路沿い湿地 dampen along stream	
		移行部 transitional	湿地 dampen	冠水部 submerged	移行部 transitional	湿地 dampen
5	21.9±3.3	13.5±3.1	10.7±3.5	12.2±5.2	18.9±3.0	16.7±7.6
10	22.0±2.8	15.5±2.1	12.3±3.8	14.1±2.6	19.7±2.3	17.2±3.5
15	23.9±3.4	16.1±2.5	13.4±2.6	14.9±2.1	21.5±3.1	15.9±4.5
20	23.4±2.8	16.1±2.5	13.9±2.0	17.5±3.1	20.9±8.7	14.9±1.6
30	20.9±4.0	15.0±1.9	15.9±3.2	15.2±2.4	19.5±3.1	12.2±1.2
40	19.1±4.2	15.2±2.8	14.8±3.8	14.3±3.5	16.7±6.2	12.2±1.6

パラカツのサンタマリヤ農場では、湿地帯の有機質土を農地化するために、約1mの深さの溝を掘って地域の排水をした結果、排水前にトラクターの乗入れが出来なかったものが、約半年後に乗入れ可能になったとのことであった。この例からしても、有機質土地帯は、排水しない限り機械作業は困難であると考えられる。

## 総合考察

1. 沖積面の有機質土を耕地化するには、排水して地下水位を下げないと、機械耕作することができない。しかし、この地区の排水は隣接する灰色低地土の地下水位も低下させ、この地区の水利用上の有利性を損なうことになる。沖積面は川岸の片側に偏って発達することが多いので、灰色低地土との面積割合が場所によって変ると考えられる。その割合が小さい場合は、排水せずに灰色低地土の開発利用を主体として、湿地帯は乾季の牧草地として利用するような方法を考えるべきである。また、沖積面の面積割合が大きい場合は排水して利用するが、蓄積された腐植の急な酸化分解が進み、有機態窒素が無機化して放出されるために、養分の不均衡による障害が起りやすい。また強酸性であるため、大量の石灰による中和や、リン酸の富化が必要であるが、こうした土壌改良が一層有機物の分解を加速したり、微量養分の相対的な欠乏を起すなど、管理上の問題が多い。灰色低地土の適正な土壌改良基準の確立とあわせて、低湿地土壌の開発利用には、なお多くの研究問題が残されている。
2. 地形に対応して地下水の高さが異なるが、地下水の低い地区では下層土の水の引きが強くて表層土が乾きやすいために、雨季の間にも小乾季（ベラニコ）の害を受けやすく、また雨季の終りとともに急速に土壌水分の不足を起す。一方、雨季の初期には好適土壌水分条件への回復が遅く、例えば灰色低地土では雨量150mm以内で回復するのに、暗赤色ラトソルでは、約600mmが必要である上に、十分湿った状態でも下層土への水の引が強い傾向は残っている。このことは、灌漑栽培を行なう場合にも、暗赤色ラトソルでは水分の損失が大きいことを示唆する。灌漑について、土色との関係が成り立つと考えられ、有機質土では排水を要し、灰色低地土では必要としないか、乾季の一部だけに必要となる。暗赤色ラトソルでは、好適水分に回復させるためにも、また水分条件を維持するにも、最も多くの水量を要すると考えられる。このように、土色が赤くなるにつれて低下する水の利用効率と施設に要する費用を併せて灌漑の問題が検討されねばならない。

水田は水の消費量が大きく、1日当り10mm以上、または収穫までに1,000～1,400mmの水量を要する<sup>2)</sup>。雨季の間、川に流れる水を利用することには問題はないが、乾季の水稲作は水の効率的利用という立場からの検討が必要である。

3. 台地周辺のやゝ急な斜面については、調査の対象としなかったが、土壌浸食を防ぐということから、現状のようにセラードの植生をそのまま残し、放牧地として利用することは、表面流去水を制限し、土層中への貯留をうながすということから合理性が高い。セラードの地

形や、土壤水分の動態に応じて、森林、果樹園、牧野、畑地などを合理的に配置することが望まれるが、そのためには各分野の専門家の協力研究が必要である。

## 要 約

セラード農業の制限因子である水の有効利用の基礎として、台地から低湿地へかけての典型的な水系について、地下水の分布・土壤水分の周年変動について調査・観測した。その結果は次のようであった。

- (1) 台地から低湿地に至る一連の水系について、地形と土壤の特徴から次の5区分とすることができた。台地（第三紀侵食面）、洪積面上位・中位・下位、沖積面の区分の順に、赤黄色ラトソル、赤味の強い赤黄色ラトソル、暗赤色ラトソル、灰色低地土、有機質土が分布していた。
- (2) 土壤断面の特徴として、台地の土壤は3 m以下の下層が湿潤で、深さ5 mまで細根の分布がみられた。洪積面上位と中位では下層土まで水分が少なく、3 m以下には根の分布がみられなかった。また深さ4.5 m附近かられき土層となっており、酸化鉄が固着した円れきの中には、石英砂の固まりにまで風化が進んだ、割れやすいものが多かった。洪積面下位は灰色低地土（Hydromorphic soil）となっており深さ80 cmから下はち密な壁状となり、1.6 m附近に地下水面があった。沖積面の有機質土は全層腐植に富む暗色土層で冠水している部分が多い。
- (3) 土壤の物理分析の結果では、各区分の土壤とも物理性は良好であるが、灰色低地土では生長有効水分の容量が少なく、毛管水の動きがやゝ不良と考えられる。また、沖積面の有機質土は排水しないと、農耕地としては使えない。また洪積面の土壤は、上位から下位にかけて粘土含量が増加している。
- (4) 土壤の化学分析の結果によれば、各区分の土壤とも強酸性で塩基類やリン酸などの養分に乏しいが、とくに地下水の高い灰色低地土と有機質土では可溶性のアルミニウムが多く、酸性も一層強くなっている。この地帯の開発利用については、土壤改良資材の量を増さねばならない。
- (5) 地下水に関しては、沖積面は冠水するか、それに近い状態であり、また灰色低地土では深さ約1.5 mの附近に安定した状態にあり、灌漑水として利用できると考えられる。台地上でも下層の岩盤の上に地下水が貯留されると考えられ、雨期の末期には地表下約4 mの最高位に達した後、1日当り2 cm弱の割合で低下し、6月後半に5 mの深さのピットの底から消失した。その挙動から水量が多く、河川の水源として徐々に流出するものと考えられた。洪積面上位のピットにも雨季に地下水が出現し、最高位は地表下1 mにも達したが、変動が早くて不安定であり、一過性の伏流水と考えられ、灌漑水源としては役立たないと考えられた。また中位の暗赤色ラトソル地帯では、年間を通じて深さ5 m以上に地下水面が出現することはなく、地下水面からは最も遠い位置にあると考えられた。
- (6) このような地下水面の位置と関連して、乾季に入ってから、地下水面から遠い洪積面の土

あれば、直接地下水からの毛管水を利用できるので、灌漑をしなくても周年栽培できる可能性が高い。

- (7) 雨季に入った後でも、地下水の高い灰色低地土では水分の回復が早く、150mmの降雨で栽培可能な水分条件に回復したが、台地上の赤黄色ラトソルでは400mm、地下水面のみられなかった暗赤色ラトソルでは600mm程度の降雨が必要と推定された。天水に依存する場合、栽培好適水分条件の回復時期が暗赤色ラトソルでは灰色低地土に比べて2～3か月遅れると考えられる。この差を解消するためには、乾燥に耐える作物を選ぶか、灌漑によって450mm程度の水分を補給するかということになる。
- (8) 台地から低湿地に至る5つの地形区分の土壌を、土壌水分条件という観点から乾燥→湿潤の順に配列すると、暗赤色ラトソル→赤黄色ラトソル→灰色低地土→有機質土というように、酸化鉄の赤味が失われ、腐植が多くなる順に並べることができる。逆に言うと、土色に赤味が増すほど土層の乾燥条件が強まると判定できると考えられる。
- (9) 機械力に頼らざるを得ないセラード農業では、低湿地の開発利用にあたって、その走行が可能かどうかの問題となる。貫入抵抗値などによって判定したところでは、沖積面の湿地帯に分布する有機質土では、排水しない限り走行不可能、一段高いテラス面の灰色低地土では走行可能であった。灰色低地土では実際に陸稲を栽培することにより検証することができた。

#### 文 献

- 1) 土壌物理研究会：土壌物理用語事典 3. 土壌水 50～70；7. 土壌の力学性 88～108；10. 機械作業 128～141；養賢堂（1976）
- 2) 土壌物理性測定法委員会：土壌物理性測定法 第1章 土壌3相 1～52；養賢堂（1972）
- 3) 高井康雄ほか：植物栄養土壌肥料大事典 第Ⅲ編 土壌肥沃度と施肥 A. 水稲 水管理 585；養賢堂（1976）
- 4) 田中 明編：酸性土壌とその農業利用 第3章 熱帯・亜熱帯における塩基溶脱土壌の分布とその特性（佐久間敏雄）51～100；博友社（1984）

On the behaviors of moisture and ground water level concerned with the topography in Cerrados

Takeshi Hayasaka

SUMMARY

The effective use of natural water is one of the problem of cerrado agriculture. As a basic information, behaviors of soil moisture and ground water level were interested in concerning of its topography. For the geographical character of cerrado is a dissected plateau or undulating, a catena of water system is supposed to expand from plateau to lowland along a river or marsh. A typical experimental site of it was selected in CPAC (Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados) and investigated on its soil physical characters. Results are summarized as follows.

(1) Geographical feature of a catena of water system in CPAC is shown as Fig.-1. It was considered to be sorted into 5 sections from its topography and individual soil type. BY turns from high, those are plateau (tertiary peneplain), diluvial declining slope which divided further into upper, middle, lower of 3 sections, and the lowest alluvial plain. There distributed from high, red-yellow latosol (yellowish), that of reddish, dark-red latosol, hydromorphic soil and organic soil respectively.

For observing transition of ground water and soil moisture, a pit was provided on each section of area as shown in Fig.-1 & 2. Further, a profile of each pit was equipped with tension-meters in set depth of every 25 cm as shown in Fig.-2 also. The depth of pit is set up 5m as a rule, however, those of hydromorphic and organic soil areas are 1.6m and 1m respectively as prevented by ground water table. Pits are numerized from plateau to low-land in sequence of No.1~ No.5. Before equipping, soil profile of each pit was examined and evaluated by physical and chemical manners.

(2) The results of soil examination are tabulated on each pit as a series of Tab.-1. When the examination was done, surface soil lost moisture severely as providing of pits should be finished before rainy season. At pit No.1, sub-soil layer deeper than 3m still remained a little moisture and fine root was found till the bottom but rare. While, at pit No.2 & No.3, sub-soil layer lost moisture comparatively till the bottom and no root

were found deeper than 3m. And to characterizing both pits, a gravelly layer was found near bottom. Almost of gravels were covered with hard crust of iron oxides, containing much quartz sand in it as the result of so long weathering as to be broken easily. Round shape of gravels suggests they were brought and deposited by flood before being weathered.

Pit No.4 provided on lower diluvial terrace have ground water table at about 1.6m depth from surface. Hydromorphic soil is called grey low-land soil in Japan since whole soil layer assumes grey color being influenced by higher water table. Soil layer changes more massive at about 80cm to the down-ward. Almost part of alluvial area is submerged and contains much organic matter showing black color. If pit No.5 was provided in this area it might be submerged entirely, so it is really located on bank at the end of diluvial terrace, about 80cm above the water table.

(3) Results of soil physical analysis are tabulated on each pit as a series of Tab.-2. It is suggested that each area has no serious physical problems, because measured values are nearly favorable ones. In declined diluvial area, it is obvious the lower place contains the more clay.

On hydromorphic soil, available water holding and transporting capacities are rather poor, though, there can be supplied enough water from higher water table. Organic soil in submerged area of alluvial plain is difficult to cultivate without drainage to recover from water-sick.

(4) Results of soil chemical analysis are tabulated on each pit as a series of Tab.-3. As become it a common sence, soil of each area shows remarkable acidity and shortage of available phosphate caused by much of active Al, revealing itself after leaching of basic minerals such as K, Ca and Mg. Especially, hydromorphic and organic soil in lowland showed strongest acidity having much more active Al. Thus a thorough and deep soil amendment with much more chemical stuffs will be required for developing the areas.

(5) As shown in Fig.-5, situation of water table in lowland is so high and stable all the year round that crops will be able to grow still in dry season. And if moisture shortage is occur, irrigation may be done more easily than higher areas.

On plateau, ground water is stored also but rather deeper, upon the rock foundation. Progressing of rainy season, ground water appeared from the bottom of pit No.1 in January, and was raised up continuously till about 4m depth from the ground surface in April. Then it went down slowly at the rate close to 2cm a day, and disappeared in June. Assuming the rate is a constant, the water table may stay at around 7m of depth in September. It is supposed to be the reason that sub-soil layer still remained moisture when soil examination had be done. Considering slow movement of ground

water, the supply may be an enormous one and seep out gradually as a source of river.

Ground water is appeared also at pit No.2 in January, and the level went up rapidly and reached at the depth of 1m from ground surface. After maintaining the level for two months it disappeared rapidly too, by the beginning of May. Considering the behavior, water supply is supposed to be unstable and temporary one, so it is unsuitable for a source of irrigation.

To the contrary of them, ground water never appeared all the year round at pit No.3 in dark-red latosol area.

(6) To evaluate the transition of soil moisture tension, typical examples for rainy and dry season of 1984 are shown as Fig.-6. Upper row shows examples for rainy season on April 10, and under row for dry season on July 7 respectively. Left, center and right column show examples of pit No.1, No.3 and No.4 respectively. Each vertical axis shows the depth of soil layer, and horizontal axis shows the soil moisture tension measured as the height of water column. Supposing a general conception, soil moisture tension may be classified 0~50cm, 50~100, 100~200, 200~500 and 500cm< of 5 steps, and each of them express the conceptions of too wet, wet, favorable moist, rather dry and dry respectively. Real line shows soil moisture tension itself, and broken line shows the synthesized value of moisture motive force, consists of moisture tension and gravity (equal to the depth). If a broken line is in an up-right position, moisture will be still as motive force is balanced to the up-down direction. If a lower layer has bigger value than upper layer, moisture will infiltrate to the down-ward. But in reverse case, moisture will be attracted up by stronger stress of moisture against gravity. On example of pit No.3 in rainy season, real line stands near up-right in some zigzag manner, showing to be balanced in wet state. While broken line goes down to the right in 45° showing soil moisture will move down. At pit No.1, real line stands up-right too, and it has water table at about 4.3m of depth. To correspond moisture tension, broken line changes steeper at about 3m depth to the down-ward, suggesting motive force is eased down by supporting of water table. And that at pit No.4, sub-soil is too wet by much more affection of higher water table, and broken line stands up-right showing the moisture movement comes to a standstill.

In dry season, moisture of surface soil is lost severely at pit No.3, and gradually humified to the down-ward, but almost all check points show the state of rather dry. Corresponding the tendency, broken line stands up-right showing the moisture is standing still. The moisture of surface soil at pit No.1 is lost severely too, however, sub-layer deeper than 3m still

hold available moisture, similar to the state when the initial examination had done. Broken line shows that moisture is moved upward from about 2m depth of layer. At pit No.4, water table is seen at 1.6m of depth, and it is obvious surface soil is being supplied moisture from ground water.

The results suggest the higher water table is the more effective to ease infiltration by its capillary potential.

(7) Transition of soil moisture tension corresponding the progress of rainy season is shown as Fig.-7, expressed in same manner as Fig.-6. On November 5 1984, soil moisture is not recovered sufficiently except pit No. 4. On December 5, soil moisture of pit No.1 is recovered just but at No.3 not yet. On the other hand, on October 4, soil moisture is recovered already at pit No.4. The results suggest that the higher water table is effective also for the earlier recovering of soil moisture. Therefore, drought resistant crop should be cultured on dark-red latosol having deeper water table.

(8) Putting the results together, it is considered soil color may change with its moisture condition. At pit No.3 of dark-red latosol, ground water never appeared, and at pit No.1 & 2 of red-yellow latosol, water tables were found in rainy season temporarily. In hydromorphic soil area, water table is seen always and soil layer almost lose reddish color. Further, submerged organic soil is added black color. After all, humidity of soil may be presumed from their color.

(9) To develop lowland (varzea), whether tractors can run around there or not, so-called trafficability, is an important problem. As lowland consist of hydromorphic soil and organic soil areas, both of them were examined by physical method for clarifying their trafficability. Organic soil area is also found on hydromorphic soil terrace as a dampen area along a narrow stream, and this area was examined too.

Experimental scheme is shown as Fig.-3 consisting of 6 plots. They are hydromorphic soil, transitional, dampen and submerged organic soil, transitional and dampen area along a stream on hydromorphic soil area. There, resistance values are measured as a field test by a cone-penetrometer for 25 of check points. And Atterberg's limits are estimated on soil samples, besides usual physical analysis.

The results are shown as Tab.-5, 6 & 7. Physical properties of submerged and dampen soil areas show the characters of wet organic soil, namely smaller bulk density (solid phase), higher moisture saturating state with smaller air phase etc, but not so bad for cultivation. Reflecting those characters, indexes of plasticity and liquidity are higher and resistance values of cone-penetrometer are lower as shown in Tab.-6 & 7 respectively. As the resistance value of  $10\text{kg/cm}^2$  is considered the limit of trafficability, values of surface soil of those 3 areas are not sufficient for suspending traffic of machines. On the other hand, hydromorphic soil area shows enough values of resistance, and that its trafficability was proved by actual rice cultivation.