

日伯セラード農業開発協力事業  
( PRODECER )

# 環境モニタリング報告書

2000年12月

国際協力事業団

農調投
JR
00 - 66

## 序 文

1973年の世界的穀物不作を契機として、わが国では、穀物、特に大豆の供給先の多角化の必要性が高まりました。他方、ブラジルにおいても穀物増産の気運が高まり、農耕不適地とされてきたブラジル中央部に広がるセラ - ド地域の農業開発が強く望まれました。わが国は、このセラード地域の開発に官民あい携えて協力することとし、1974年の伯政府との共同声明に基づいて、1979年9月から日伯セラ - ド農業開発協力事業（プロデセール）を開始するに至りました。これまでにJICAは、3次にわたる試験的事業に対し総額150億円以上にのぼる融資を行ってきました。

第一期試験事業は、1979年から1983年までセラ - ド南部のミナスジェライス州で、第二期試験事業は、1985年から1991年まで中部地区のマットグロッソ州およびバイア州で実施され、現在、第三期試験事業が、セラ - ド北部地域の、トカンチンス州およびマラニオン州において、1995年から2001年3月までの予定で実施されています。この間、セラ - ド地域の中・南部に大規模に農業が展開され、また、OECDからの有償資金による、いわゆる本格事業も実施されました。

この結果、セラ - ド地帯に大規模な農業地帯が創設され、耕地面積では1千万ha、生産についてはブラジルの全生産量の中で、大豆46%、とうもろこし26%を占めるに至っています。また、この地域の大豆を中心にブラジル国内での搾油業が発展しました。さらに、その粕を使つての養鶏・養豚の興隆がみられました。またそのための飼料穀物生産が拡大するなど、大豆を中心とした安定的な一大農業地域の形成がみられ、この事業は、世界的に高い評価を受けるに至っています。なお、ブラジルからわが国への大豆輸出量は、過去20年間で10倍に増加しています。

一方、環境保全の観点から、このような農業開発がセラ - ドの環境に及ぼす影響に関する調査の必要性の認識が高まり、将来の環境保全に寄与することを目的として、試験事業地を対象とした「セラ - ド環境モニタリング調査」が開始されました。第一期および第二期事業地において1992年度から開始されたモニタリング調査は、第三期事業地においても引き続き実施されました。当初、昨年度末で終了する予定だった第三期事業は1年間延長されましたが、環境モニタリング調査は、これまでの調査でデータも蓄積されてきていることから、ブラジルに調査の継続を要請して、わが方からの協力としては終了しました。

これまで長きにわたり実施してまいりました環境モニタリング調査結果の全般を報告書としてとりまとめました。プロデセール事業が、フロンティア開発とともに環境面にも配慮した開発協力であったことをご理解いただくとともに、今後の協力事業の検討・実施に際して本報告書が何かの参考になれば幸いです。

最後に、本調査にご協力いただいた関係各位に心より感謝申し上げます。

2000年12月

国際協力事業団  
理事 後藤 洋

---

西暦2000年代の人類の最大の挑戦は、絶えず増加する人口に対してどのように食糧生産を行うかということであろう。この挑戦は、特に水資源や動植物の生物的多様性などの天然資源を保全しながら、農業活動を増大する必要性があるということによって、さらに大きな挑戦となる。

ブラジルは広大な国土を有し、そして特にセラード地域は農業のポテンシャルがあり、この大きな挑戦に対する解決を探るにあたり、最も重要な役割を果たすに違いない。

それゆえに、日本とブラジルの両政府は、環境面を優先して良心的に扱いながら、この地域の持続的な開発の代替策を模索しながら、20年以上にわたる経済的および技術的協力関係を保ってきたのである。

本書は、日伯セラード農業開発協力事業 - PRODECER - によって開発された農業入植事業地における、環境モニタリングの結果のいくつかを紹介するものである。この結果は、人類、動物、植物の生活を継続するための共同生活エリアとしてのランドスケープを構成している生態系の保持にとっても重要な、このセラード地域の分別ある土地利用の方向づけをするであろう。

蓮見 明

JICAブラジル事務所所長

---

---

この書は日伯セラード農業開発協力事業（PRODECER）によってセラード地域の農業入植事業地で行われた環境モニタリング調査の成果である。日伯農業開発株式会社（CAMPO）が、国際協力事業団（JICA）の技術的および経済的協力を得て行ったものである。

環境を評価する調査は、1992年に土地利用の実情調査として始められた。それにはミナス・ジェライス州のイライ・デ・ミナス、コロマンデルおよびムンド・ノーヴォ事業地、マト・グロッソ州のアナ・テラおよびピウヴァ事業地、バイア州オウロ・ヴェルデ事業地、トカンチンス州ペードロ・アフォンソ事業地およびマラニョン州ジェライス・デ・バルサス事業地が調査地区として選ばれた。水質、水量、土壌侵食、昆虫および植生の生物的多様性がその調査項目として盛り込まれた。

穀物生産を目的とした灌漑を含む高技術を用いた農業活動の、環境への影響についてのすべての問題がここに記されている。つまりセラードの特徴をもった自然の生物的多様性を効果的に保全するために、流水系や法定保留地の形態や位置に関連した、すべてのタイプの土地のマネージメントと利用が考慮されている。

セラード地域、それはこの地球上に残された最後の大規模農業開発前線である。次世代のために、またブラジルの経済的社会的発展のためにも、この非常に重要な生態系を荒廃から守らねばならない。このモニタリング調査は、セラードの利用を促進するような条件をつくりながら、調和のとれた合理的な方法を用いた農業開発の重要性を公に知らしめるべき先進的な調査なのである。

エミリアノ・ペレイラ・ポテーリョ

日伯農業開発株式会社（CAMPO）社長

---

## 目次

第1章	ブラジルの主な環境問題	1
第2章	セラード地域における農業開発に起因する主な環境問題	2
2.1	セラードの特徴	2
2.2	セラードの土壌への農業の影響	3
2.3	水資源	4
2.4	動植物の生物的多様性	4
第3章	日伯セラード農業開発協力事業（PRODECER）	5
3.1	日伯セラード農業開発協力事業（PRODECER）とは	5
3.2	日伯セラード農業開発協力事業第一期事業（PRODECER）	5
3.3	日伯セラード農業開発協力事業第二期事業（PRODECER）	6
3.4	日伯セラード農業開発協力事業第三期事業（PRODECER）	7
第4章	環境モニタリングとは	9
4.1	環境モニタリングの経緯	9
4.2	環境モニタリングの概要	9
第5章	環境モニタリングの方法と結果	12
5.1	土壌の使用と利用に関するモニタリング	12
5.1.1	モニタリング法	12
5.1.2	調査例：PRODECER第 および第 期試験的事業地における土地の使用と利用	12
5.1.3	調査例：ジェライス・デ・バルサス事業地（マラニョン州）の土地の使用と利用の変遷	14
5.1.4	参考文献	17
5.2	土壌侵食のモニタリング	18
5.2.1	現地圃場における侵食計測法	18
5.2.2	調査例：マト・グロッソ州における土壌侵食の測定	22
5.2.3	調査例：トカンチンス州における土壌侵食の測定	27
5.2.4	参考文献	33
5.3	水質のモニタリング	35
5.3.1	モニタリングの手順	35
5.3.2	分析項目と方法	35
5.3.3	河川流量の測定法	37
5.3.4	調査例：イライ・デ・ミナス事業地（MG） ヒベロン・パンタニョ川流域の水質のモニタリング	39
5.3.5	調査例：マラニョン州南部シャパーダ・ダス・マンガベirasでの 農業入植事業実施が水量と水質に及ぼす影響	46
5.3.6	参考文献	52

5.4	昆虫多様性のモニタリング	54
5.4.1	セラードの昆虫多様性の調査法	54
5.4.2	セラードの生物多様性の保存のために	55
5.4.2.1	多様度および類似度の分析	55
5.4.2.2	生物的防除の導入	55
5.4.2.3	生物多様性の意義	55
5.4.2.4	セラードの昆虫多様性の解明および研究標本の収集保存	55
5.4.3	調査例：セラードにおける夜行性リンシ目の多様性	56
5.4.4	調査例：セラードの異なった環境における夜行性リンシ目分布	61
5.4.5	参考文献	64
5.5	種多様性（植物）のモニタリング	65
5.5.1	はじめに	65
5.5.2	開発地域周辺植生の調査法	68
5.5.2.1	木本性植物	68
5.5.2.2	草本性植物	68
5.5.2.3	湿性草原	68
5.5.3	調査例	69
5.5.3.1	植生構造	69
5.5.3.2	群落内の光環境	71
5.5.4	参考文献	72
第6章	概要と結論	74
6.1	土地の使用と利用	74
6.2	土壌侵食	75
6.3	水質	77
6.4	昆虫	89
6.5	植生	90
6.5.1	典型的セラードの木本植物	90
6.5.2	典型的セラードの草本植物	91
6.5.3	湿地帯草本植物	91
6.5.4	結論	92

# 第1章 ブラジルの主な環境問題

アルヴァロ・ルイス・オリオリ

ブラジルではその国土に生存する総動植物種数の10%から20%に相当する数が確認されていると見積もられている。昆虫類だけでもブラジルには500万から1千万種存在するといわれているが、その多くはいまだ未知種であると推定されている。

ブラジルにおけるすべての生物種の記載が終わるまでには、幾多の種は絶滅しているであろう。マダラヒョウ、グアラオオカミ、ヤマネコ、ジャガチリッカ（ネコ科）およびススアラナ（ネコ科）などの野生動物はすでに絶滅を危惧されている。また26種のチョウ類は絶滅の危険性のある種にリストアップされている。ブラジルの鳥類のなかで、105種が絶滅の危機にある。

全世界のおよそ20%の生物種はブラジルに存在するとされているが、そのうちの90%にあたる種が未知種である。すべての種を把握せずには、それらの遺伝子資源を保護し、人類のために利用することは不可能である。ブラジルにおける森林消失は動植物の種の保全に直接関わってくる最も重要な環境問題である。それは河川および湾内の汚染や野生動物の殺傷などの2大環境問題の悪化に拍車をかけるものだからである。

その他の環境に対する大きな問題点としては、森林の消失とも大いに関わってくるが、大気汚染がそのひとつとしてあげられる。そして、環境におけるすべての主要な問題点は農牧業開発と直接的に関わってくる。

ブラジル人の間でよく話題に挙げられる環境問題は、地球の温暖化（温室効果）であり、生物的多様性の減少、つまり種の絶滅という問題はあまり知られていない。環境問題自体、ブラジル人にとって日々憂慮すべき社会問題の第7番目にあげられている。それは失業問題、健康、教育、治安、交通、住宅問題の次に位置する。

最近の調査によると、ブラジルにおける主要な環境問題は以下の順である。

- 1) 森林伐採および森林火災（野火）
- 2) 河川、海岸の汚染
- 3) 野生動物の殺傷
- 4) 大気汚染
- 5) 工場や工業廃棄物による汚染
- 6) 下水道と基本的下水処理設備の不足
- 7) ゴミ収集と市街清掃の不備

## 第2章 セラード地域における農業開発に起因する主な環境問題

アルヴァロ・ルイス・オリオリ

### 2.1 セラードの特徴

セラードと呼ばれる地域は面積にして約2億400万ヘクタールに及び、ブラジルのほぼ中央部に位置する。それはバイア、ゴイヤス、マト・グロッソ、南マト・グロッソ、ミナス・ジェライス、ピアウイ、マラニョン、トカンチンス、ロンドニア

の諸州およびブラジリア連邦区にまたがり、またロライマ、アマパ、サン・パウロの各州の一部にも分布している（図1）

セラードの植生の研究は1819年にその地域における大河川の確認調査とともに始まり、その優勢する植生はカンポ・セラードと名づけられた。

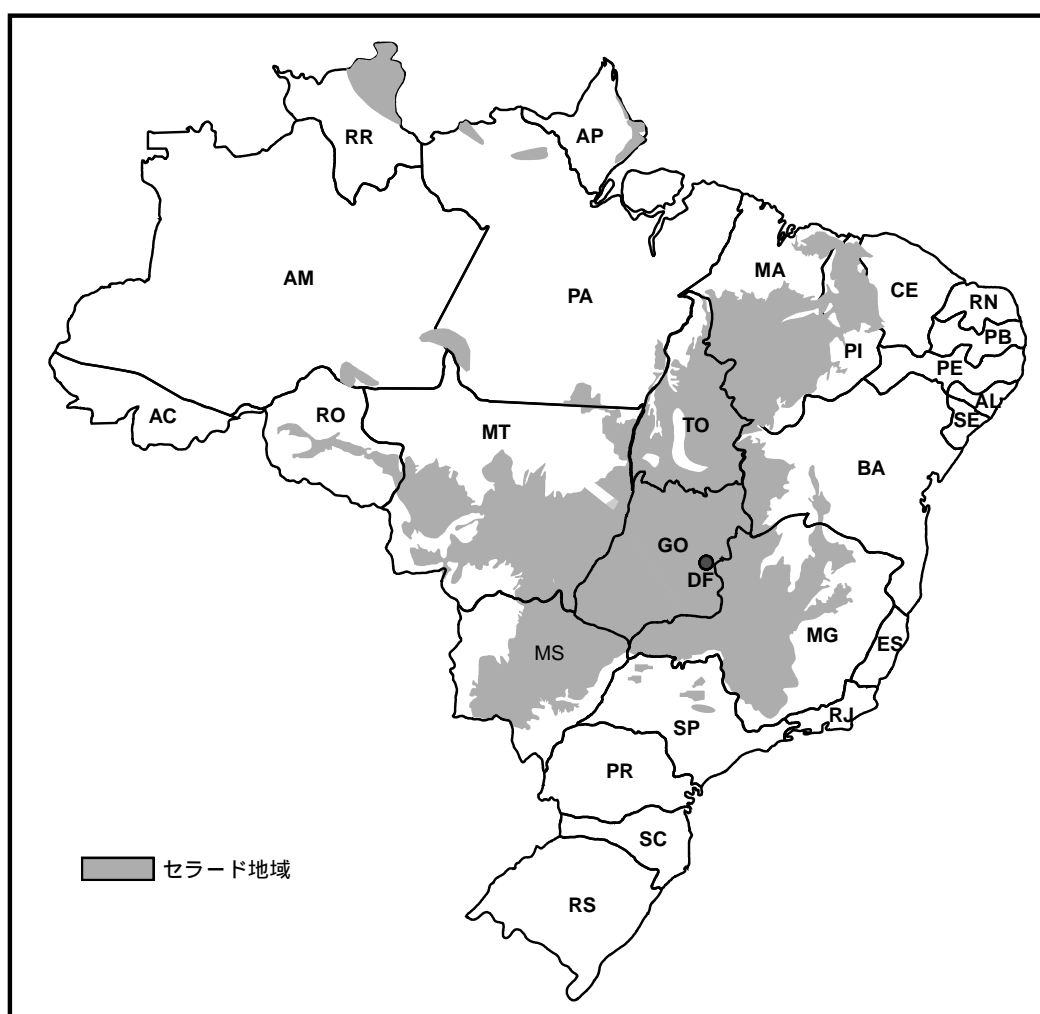


図1 セラード地域の位置



このバイオーム（生物群系）での植生相にはかなりの多様性がみられ、その植生の違いにより、セラードン、セラード、カンポ・セラード、カンポ・スージョ、カンポ・リンポというように分類された。これらの植生の差は土壌の肥沃度と酸度の差異によりかなり影響を受けている。セラードというのは主に木本科植物と禾本科草本類がさまざまな様相を示す耐乾性のある植生として定義される。特徴としては草本類が覆う地面を、低めで曲がった幹をもった木本科がまばらに、または少数がかたまって生えている状態である。その木本科類は乾燥に耐える構造、つまり葉芽はよく保護された構造をもち、幹の表皮は厚く皺のよったコルク状となり、普通かなり深い地下に貯蔵組織をもつ。

葉は発達していて、いつも開いて毛によって保護された気孔がある。セラードの起源と形成は、年間の一定期間の水（気象学的）不足（水ストレス）に直接関係している。このセラードの特徴は、間接的に土壌の物理化学性に悪影響をもたらす、土壌の物理化学的欠陥を潜在的にもたらし、また、セラードは落雷、乾燥した牧草地や開墾時の火入れなどによって野火にさらされていて、頻繁におこる野火は間接的にセラードの様相と植生に影響を与えている。

地域の気候は、主な特徴として年間の総降雨量が900から1800mmであり、およそ2つの季節に分布している。そのひとつは雨季で9月から4月にあたり年間降雨量のおよそ80%がこの時期に集中する。もうひとつは乾季で、5月から8月がその時期にあたる。年平均気温は22 から27 の範囲にある。

セラードの主要な土壌はラトソルで、次に石英砂土、灰色土である。ほとんどの場合、自然養分が低く強酸性である。

この地域における農業開発のすべてのプロセス、特に高度技術を用いた農業はエネルギーの消費が大きく、整地作業から収穫作業までの生産のすべての工程において環境に大変化をもたらす。また肥料、酸性矯正材、農薬などが環境に撒き散らされる。

1960年以来、この地域はブラジリア遷都にともなって集中的な開発が行われ、国家の主な農業開発前線となり、今日ブラジルの穀物総生産の30%以上を生産している。

## 2.2 セラードの土壌への農業の影響

農業開発は土壌の植物の被覆を除去することにより、土壌の表層を直接に侵し、土壌自然養分および有機物の溶脱、流亡を増やす。植生の除去をいかに行うかによって、土壌にいろいろのインパクトが生じるのである。植生の残さを焼く場合、生物活動の変化をもたらすのみでなく、燃えて灰となり、風の作用によって持ち去られ、結果的に養分含量の変化を招く。

土壌の最初の準備は、作物を栽培する土層が不必要または不適切な作業によって侵されないように行わなければならない。不必要または不適切な作業は、水の土壌への浸透や根系の発達などに影響し、土壌侵食を増加させる。

セラード地域の土壌は酸度矯正材と、主にリン酸を多く含む肥料を必要とする。これらの肥料・資材の使用と土壌への投入は、栽培植物の成長によって表土に強く作用し、大量投入は粘土の拡散を伴う物理的な面のほかに、化学的および生物学的バランスを大きく崩すことになる。不適切な施肥は水資源や土壌自体に害を与え、汚染することとなる。

土壌侵食は農業活動に起因する大きな問題といえよう。というのはそれ自体の害だけでなく、侵

食作用が大きければ大きいほど、汚染力が大きくなるのである。つまり侵食した土壌は、殺虫剤、殺菌剤、除草剤、矯正材、肥料を運び、水の汚染は運ばれてきた粒子によって起こり、その性質によって大なり小なりに河川と水源地下水に悪影響を及ぼすことになる。

土壌侵食は有機物と作物の生長に必須の養分を流出させる。その消失分を補うために施肥を新たに行うことはコストを引き上げ、環境汚染を巻き起こす。

灌漑技術を用いた集約栽培による土地利用は、集約した農業のマネジメントと農作業によって、土壌侵食と汚染をさらに悪化する。それだけでなく、水量にも悪影響を与える。灌漑設備の不適切な使用や事故、たとえば、重油の漏えい、殺虫剤や除草剤の逆流による汚染また不適切な施肥や漏えいなども原因としてあげられる。

この地域にごく頻繁に起こる別の形の侵食としては風食がある。これは乾季に土地を使用しないことや、地表の被覆植生がないと特に被害が大きく、風の強さが増すと被害はさらに大きくなる。

## 2.3 水資源

水資源の質と量を維持していくためには表面の天然の植生の保持が理想的であろう。しかし、社会が農産物を必要とする限り、これは不可能なことであり、開発しつつも環境破壊に繋がりを農業活動を避けなければならない。

表面水はその量、質とともに被害を受けやすい。

表層の植生の除去と農業活動に起因する土壌侵食の増加は、河床への土壌流亡を招き、河川敷への土壌堆積や河川の汚染を引き起こす。

土地管理は水の土壌への浸透にも影響する。水の浸透は表面水を供給する地下水にも影響する。この場合、真のスポンジとしての役目を果たし水不足の期間の水供給に必要な量を貯蔵する天然植生の景観の一部を保全することが必須である。

保全を考えた土地の正しい利用は、表面水の流失を防ぎ水の浸透を増やすことである。環境破壊を最少限にとどめるためには肥料や農薬の使用は標準施用量で行わなければならない。

そのようにして表面水の水量や、水資源の質を保つことができるのである。

## 2.4 動植物の生物的多様性

農業活動、特に高度の技術を用いた活動は、自然生態に備わった生物的多様性を均一なものに変えてしまう。外来植物が農地に侵入し、自然植生の優占していたスペースを荒らし、種の均衡を変えてしまうのはその一例である。

また、動物多様性も水路の維持に依存しているので、農業活動により変化する。特に低湿地においては、多くの動植物種が地下水位の高い土地を自然のハビタートとして共生しているからである。

表層の自然植生をとり除き作物畑に変換することは、その生物的多様性を一変させる。このような植物群落の変化はそのまま動物群集の変化となって表われる。

## 第3章 日伯セラード農業開発協力事業( PRODECER )

吉 井 和 弘

### 3.1 日伯セラード農業開発協力事業 ( PRODECER ) とは

日伯セラード農業開発協力事業( PRODECER ) は1974年9月に日本の田中首相とブラジルのガイゼル大統領との間で署名された日伯共同声明に始まる。この声明において、農業開発の分野で両国が関係を深めることが示された。

この協力事業の主な目的は両国の政府と民間セクターが協力して、食糧増産の促進、ブラジルの地域開発への貢献、世界への食糧の供給を増大し、セラード地域の開発を行うことであった。

1978年3月には、日本側では日伯農業開発協力株式会社( JADECO )と命名された投資会社が東京に設立、また同年10月にはブラジル側においてブラジル農工投資会社( BRASAGRO )と命名された投資会社がミナス・ジェライス州ペロ・ホリゾンテ市に設立された。1978年11月には事業の調整機関である日伯農業開発株式会社( CAMPO )がJADECO側49%、BRASAGRO側51%の出資で設立された。

日伯セラード農業開発協力事業はブラジル農務省の監督のもと、カンボ社の調整により、農業協同組合が実施していくという形をとった。

日伯セラード農業開発協力事業はその組織の統合的活動により、恩情主義や浪費を排除し、ここ数年、地域開発事業の成功例として認められてきた。

農業協同組合システムを通じて、適切な計画、

農業技術およびマネジメントと強い競争力を利用して、地域の、あるいは先進諸国の平均を上回る生産性を上げ、その成果が認められてきた。

1979年から1999年にかけて、21の入植事業が実施された。その内訳は10の試験的事業地と11の拡大事業地におよび、セラード地域の33万4,000ヘクタールに758世帯が入植するに至った(表1、図2)。日本側(国際協力事業団 - JICA)とブラジル側の資金により、PRODECERの第一期事業に4つ、第二期に4つ、また第三期に2つの計10の試験的事業地が設立された。そのうち第パラカツ・エントレーヒベイロ事業地はブラジル政府側のみの出資による。PRODECERの第一期事業における4つの試験的事業のほかに、2つの農工業会社と一大農場が設立された。PRODECERの第二期では4つの試験的事業地のほかに日本(海外経済協力基金 - OECF)とブラジル両方が出資により11の拡大事業地が開発された。

### 3.2 日伯セラード農業開発協力事業 第 期事業 ( PRODECER )

1979年より1982年にかけて、ミナス・ジェライス州にPRODECERの第一期事業の第1段階としてダイズ、トウモロコシおよびコメを生産する7万haの試験的事業地が開発された。この事業は両国政府の評価において大成功であると認められた。

PRODECER第一期事業はミナス・ジェライス州のイライ・デ・ミナス、コロマンデルおよびパ

表1 PRODECER 、 および の概要

Tabela1. Resumo do Prodecer I, II e III (maio/1999).

No.	事業地	協同組合	所在地	総面積 (ha)	入植者数	投資額 (US\$)	灌漑面積(ha)	
							ポテンシャル	工事済
<b>第 期試験の事業</b>								
1	ムンド・ノヴォ	ムンド・ノヴォ農業協同組合	パラカツ MG	23,000	48	26,500	2,198	1,635
2	イライ・デ・ミナス	イライ農業協同組合	イライ・デ・ミナス-MG	9,000	26	11,610	3,030	3,030
3	コロマンデル	コロマンデル農業生産者協会	コロマンデル MG	6,000	18	4,800	94	94
4	エントレ・ヒベイロ I	ヴァレド・パラカツ農牧協同組合	パラカツ MG	10,315	41	17,120	3,424	3,191
<b>小計</b>				48,315	133	60,030	8,746	7,950
<b>第 期試験の事業</b>								
5	ブラジル・セントラル	中央ブラジルセラード農業協同組合	フォルモザ・ドリオ・プレト-BA	15,028	38	24,000	1,800	
6	オウロ・ヴェルデ	バイア西部農業協同組合	フォルモザ・ドリオ・プレト-BA	16,404	48	26,000	3,226	846
7	アナ・テラ	コベルカナ農牧協同組合	タブラ-MT	18,600	40	22,000	846	
8	ピウヴァ	ルカス・ドリオ・ヴェルデ農牧協同組合	ルカス・ドリオ・ヴェルデ-MT	16,717	39	28,000	2,160	
<b>小計</b>				66,749	165	100,000	8,032	846
<b>第 期拡大事業</b>								
9	パラカツ・エントレ・ヒベイロ II	ルカス・ドリオ・ヴェルデ農牧協同組合	パラカツ MG	10,843	28	23,655	3,000	373
10	パラカツ・エントレ・ヒベイロ III	ルカス・ドリオ・ヴェルデ農牧協同組合	パラカツ MG	5,953	20	19,317	2,400	
11	パラカツ・エントレ・ヒベイロ IV	ルカス・ドリオ・ヴェルデ農牧協同組合	パラカツ MG	3,984	10	9,103	1,140	60
12	グアルダ・モル	西部ミナス農業協同組合	グアルダ・モル MG	11,916	37	24,350	4,180	2,000
13	ボンフィノポリス	北西ミナス農業協同組合	ボンフィノポリス/ウナイ MG	16,588	49	38,300	2,300	1,982
14	プリチス	ブラナルト・ゴイアノ農牧協同組合	プリチス GO	17,004	42	24,200	2,140	60
15	ピラチンガ	ピラチンガ地域農牧協同組合	フォルモザ-GO	20,643	53	41,800	2,698	1,998
16	バイネイラス	セラード農牧協同組合	カンポ・アレグレ/イバメリ GO	8,274	29	23,129	1,565	1,445
17	クリスタリナ	セラード農牧協同組合	クリスタリナ GO	6,115	16	9,428	590	550
18	プリチス・アルト	ブラナルト・セントラル農業生産者協同組合	アグア・フリアルト/バイリニケラン ディアサン・ジョアン・デアリアンサ MG	15,615	40	35,650	1,345	919
19	アルヴォラダ	アルヴォラダ・ド・スル農業協同組合	アグア・クララ-MS	22,001	56	26,096		
<b>小計</b>				138,936	380	275,028	21,358	9,387
<b>第 期試験の事業</b>								
20	ジェライス・デ・バルサス	東北バタヴォ農牧協同組合	バルサス-MA	40,000	40	60,424	2,050	1,520
21	ペドロ・アフォンソ	ペドロ・アフォンソ農牧協同組合	ペドロ・アフォンソ-TO	40,000	40	42,903	2,050	0
<b>小計</b>				80,000	80	103,327	4,100	1,520
<b>計</b>				334,000	758	538,385	42,236	19,703

ラカツの各地域で実施され、計7万haのセラードを生産地に転換した。その地域での事業地、イライ・デ・ミナス、コロマンデル、ムンド・ノヴォ、パラカツ・エントレ・ヒベイロの開発のほかに、本事業により3つの農業会社が設立されるに至った。それらは1万120haを有するセラード農工業開発公社、4,300haを有するクハル・ド・フォーゴ農工業開発公社および5,328haのコロマンデル大

農場である。この第 期事業の投資はUS\$ 6千万ドルにのぼった。

### 3.3 日伯セラード農業開発協力事業 第 期事業 ( PRODECER )

PRODECERの第 期事業の大成功をもとに1985年から第 期事業、PRODECER が開始された。それはマト・グロッソとバイア各州に計6万

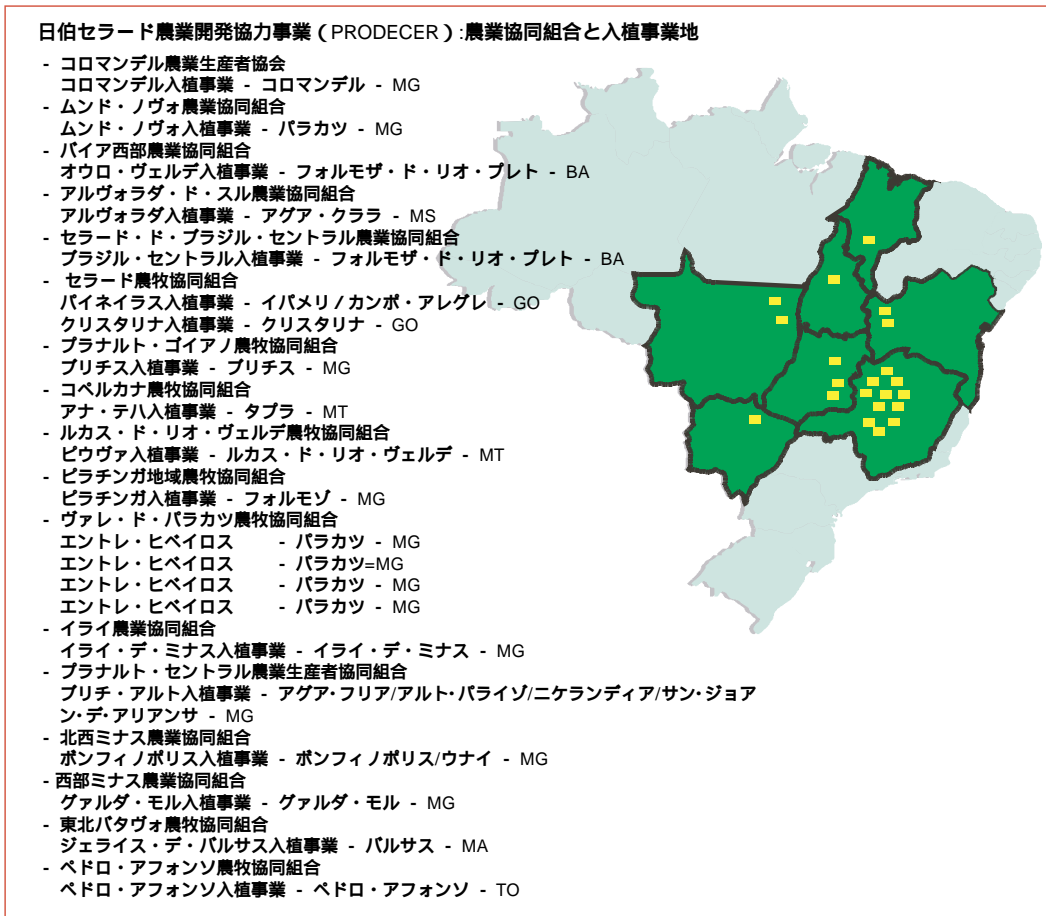


図2 PRODECERによる21開発事業地の位置

6,749haに及ぶ試験的事業地、またミナス・ジェライス、ゴイアスと南マト・グロッソ州に13万8,936haに及ぶ拡大事業地を開発するものであった。

第 期事業の評価においても農業生産量、生産性、また農地転換面積等の目標を上回ったことがわかった。

第 期事業の開発計画においては、試験的事業地としてバイア州のブラジル・セントラル事業地、オウロ・ベルデ事業地、またマト・グロッソ州のアナ・テラ事業地、ピウヴァ事業地が開発された。

第 期事業の拡大事業地ではミナス・ジェライス州のガルダ・モル事業地、第 、 、 パラカツ・エントレーヒベイロ事業地、ボンフィノポリス事業地、プリチス事業地、ピラチンガ事業地、またゴイアス州におけるクリスタリーナ事業

地、パイネイラス事業地、プリチ・アルト事業地、そして南マト・グロッソ州のカマブア事業地であった。

この第 期事業において20万5,685ha以上のセラードが農地転換され、US\$ 3 億 7 千 5 百万ドル以上の資金が投入された。

### 3.4 日伯セラード農業開発協力事業 第 期事業 (PRODECER )

第 期事業終了時、ブラジル・日本両政府により行われた開発事業の評価によりその事業の成功が確認された。それにより第 期事業の交渉が始まり、1995年より開始された。

それによりトカンチンス州のペードロ・アフォンソ、マラニョン州のジェライス・デ・バルサス

での入植事業が行われた。この第一期事業において、8万ha以上に及ぶセラードが生産地として開発され、その投資はUS\$1億4千万ドルに達するとみられている。この新事業においては前段階で得られた経験を生かす一例として、たとえば、すべてのロットにおいて灌漑設備の導入を義務づけている。

三期にわたる日伯セラード農業開発協力事業の総投資額は5億5千万ドル台にのぼり、PRODECERおよびその周辺を含むと約49万haのセラードが農業生産地として開発されたことになる。

この開発事業に参加した公的および私的機関の協力のスキームによって既存の資源を適切に利用して、農業技術の開発と効果的な普及を行えば、セラード地域において農業生産ができることがこれまで得られた結果より示された。

これらの実施事業での農業生産者の入植と定着により、プロジェクトの地域とその周辺へのインフラ整備がなされ、また収入の向上や雇用の促進により、その地域社会の再活性化と発展に貢献している。

近代農業の実施を環境保全と調和することは、日伯セラード農業開発協力事業の重要な配慮事項

の一つであって、それだからこそ農業者は自然に影響を及ぼすすべての害について注意を払わなければならない。

このプロジェクトの計画を実施するにあたり、カンポ社はミナス・ジェライス、バイア、南マト・グロッソ州にあるPRODECER第一期事業および第二期事業の事業地においては全面積の20%にあたる土地を法定の保留地として設置計画の段階で保全してきた。またマト・グロッソ州にある第一期事業および第二期事業の事業地においては全面積の50%にあたる土地を保留地として保存してきた。これらの法的保留地がそのまま保全されるように、保留地は一緒にまとめて、できる限り共同保留地として維持保存されるように配慮してきた。それに加えて、小さな流水域ごとに等高線畝造成、輪作、土壌保全などの保全対策を積極的に採用した。これらの対策は土地を何代にもわたり利用していくことを可能にするのである。

合理的計画、良心的配慮、また責任感をもって持続的農業開発を推進しようとする概念の中で、近代農業と天然資源の保全を調和させることが可能と考えられる。

## 第4章 環境モニタリングとは

吉井和弘

### 4.1 環境モニタリングの経緯

カンポ社は、日伯セラード農業開発協力事業 - PRODECER - の実行責任者として1978年11月に設立以来、環境保全に留意してきた。

PRODECERの第 および第 期事業実施後、カンポ社はJICAに環境資源をモニタリングするための協力を求め、1992年からJICAの技術的および経済的援助を得て、事業地における土地利用について調査を始めた。その翌年に、環境モニタリングを開始することを前提にしたものであった。

1993年3月にはJICAの調査団が事業地を訪れ、次の項目をモニタリングの対象とし、開発プロジェクトの実施が環境に与える影響への指標と定めた：1) 土壌侵食、2) 水質、3) 河川の水量、4) 植生、5) 昆虫。それと同時にそのモニタリングの方法も決定された。同年、カンポ社は、土壌侵食、水量水質、昆虫の環境モニタリングを開始した。なお、植生の調査は1995年に開始された。

1993年7月には日本の調査団がその圃場調査の実施に随行し、環境モニタリングの指導を行った。技術的支援はその後も継続され、毎年1回調査団が派遣された。日本の技術陣は日本土壌協会の古畑哲博士を団長とし、つくばの農林水産省農業環境技術研究所(NIAES)の松村雄、根本正之両博士であった。

前述の技術的および経済的援助のみならず、JICAは環境モニタリングに必要な機材、たとえば水量を測定するプライス式流速計、土壌侵食を測

る光波式測距儀(トータル・ステーション)を供与した。1995年3月から1999年の9月まで、吉井和弘は環境分野におけるJICA専門家としてカンポ社に派遣された。また日本での研修の機会もJICAより提供され、次のカンポ社の職員が研修を受けた：

1996年：

アントニオ・ジョアン・デ・オリヴェイラ、アンドレ・フィオラバンテ・ニコロジ・ドゥランテ

1997年：

アロイジオ・アルヴェス・カルドーゾ、アレクサンダー・ダ・シルバ・ピニエイロ

1998年：

エジマール・ヴィルジリオ・デ・パイヴァ

### 4.2 環境モニタリングの概要

環境モニタリングの主目的は入植事業の実施が環境に与える影響を調査することであった。

PRODECERの第 および第 期の試験的事業地の地域における環境モニタリングは1992年から1996年の5年間にわたって行われた。PRODECER第 期の試験的事業地においても、実施前および実施中の1994年から2000年の6年間におよぶモニタリングが行われている。それらの調査の投資総額は237万3627米ドルに及んだ(表2)。

PRODECERの第 および第 期事業中に行われた環境モニタリングは1992年、次の事業地の地図作成と土地利用状況調査から始められた：1) コロマンデル事業地 - MG、2) イライ・デ・ミナ

表2 PRODECERにおいて実施された環境モニタリングの調査概要

No.	項目	頻度	1992	1993	1994	1995
1	土壌浸食	月1回		第I期事業 ムンド・ノヴォ事業地 - MG - L.26 第II期事業 オウロ・ヴェルデ事業地 - BA - L.24 アナ・テラ事業地 - MT - L. 14 アナ・テラ事業地 - MT - L. 40 ピウヴァ事業地 - MT - L. 17	第I期事業 ムンド・ノヴォ事業地 - MG - L.26 第II期事業 オウロ・ヴェルデ事業地 - BA - L.24 アナ・テラ事業地 - MT - L. 14 アナ・テラ事業地 - MT - L. 40 ピウヴァ事業地 - MT - L. 17	第I期事業 ムンド・ノヴォ事業地 - MG - L.26 第II期事業 オウロ・ヴェルデ事業地 - BA - L.24 アナ・テラ事業地 - MT - L. 14 アナ・テラ事業地 - MT - L. 40 ピウヴァ事業地 - MT - L. 17 第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA - L. 32
2	水量水質測定	月1回		第I期事業 コロマンデル事業地 - MG イライ・デ・ミナス事業地 - MG ムンド・ノヴォ事業地 - MG 第II期事業 アナ・テラ事業地 - MT ピウヴァ事業地 - MT	第I期事業 コロマンデル事業地 - MG イライ・デ・ミナス事業地 - MG ムンド・ノヴォ事業地 - MG 第II期事業 アナ・テラ事業地 - MT ピウヴァ事業地 - MT 第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA ベドロ・アフォンソ事業地 - TO	第I期事業 コロマンデル事業地 - MG イライ・デ・ミナス事業地 - MG ムンド・ノヴォ事業地 - MG 第II期事業 アナ・テラ事業地 - MT ピウヴァ事業地 - MT 第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA ベドロ・アフォンソ事業地 - TO
3	水量水質測定	年1回		第I期事業 イライ・デ・ミナス事業地 - MG ムンド・ノヴォ事業地 - MG	第II期事業 ブラジル・セントラル事業地 - BA オウロ・ヴェルデ事業地 - BA	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA
4	植生調査	年1回				第II期事業 オウロ・ヴェルデ事業地 - BA 第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA
5	土地使用利用調査	1回	第I期事業 イライ・デ・ミナス事業地 - MG コロマンデル事業地 - MG ムンド・ノヴォ事業地 - MG 第II期事業 ピウヴァ事業地 - MT アナ・テラ事業地 - MT オウロ・ヴェルデ事業地 - BA ブラジル・セントラル事業地 - BA			第I期事業 イライ・デ・ミナス事業地 - MG

(continua)

No.	項目	頻度	1996	1997	1998	1999
1	土壌浸食	月1回	第II期事業 アナ・テラ事業地 - MT - L.26 アナ・テラ事業地 - MT - L.40 ピウヴァ事業地 - MT - L.17 第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA - L.32 ベドロ・アフォンソ事業地 - TO	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA Lote 32 ベドロ・アフォンソ事業地 - TO Lote 05 Lote 17	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA Lote 32 ベドロ・アフォンソ事業地 - TO Lote 05 Lote 17	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA Lote 32 ベドロ・アフォンソ事業地 - TO Lote 05 Lote 17
2	水量水質測定	月1回	第I期事業 コロマンデル事業地 - MG イライ・デ・ミナス事業地 - MG ムンド・ノヴォ事業地 - MG 第II期事業 アナ・テラ事業地 - MT ピウヴァ事業地 - MT 第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA ベドロ・アフォンソ事業地 - TO	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA ベドロ・アフォンソ事業地 - TO	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA ベドロ・アフォンソ事業地 - TO	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA ベドロ・アフォンソ事業地 - TO
3	昆虫調査	年1回	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA
4	植生調査	年1回	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA
5	土地使用利用調査	1回	第I期事業 コロマンデル事業地 - MG ムンド・ノヴォ事業地 - MG 第II期事業 アナ・テラ事業地 - MT ピウヴァ事業地 - MT	第III期事業 ジェライス・デ・バルサス事業地 - MA ベドロ・アフォンソ事業地 - TO	第III期事業 ベドロ・アフォンソ事業地 - TO	



ス事業地 - MG、3) ムンド・ノーヴォ事業地 - MG、4) ブラジル・セントラル事業地 - BA、5) オウロ・ヴェルデ事業地 - BA、6) アナ・テラ事業地 - MT、7) ピウヴァ事業地 - MT。

水量および水質の調査は次の事業地において1993年8月から、1996年12月まで行われた：1) コロマンデル事業地 - MG、2) イライ・デ・ミナス事業地 - MG、3) ムンド・ノーヴォ事業地 - MG、4) アナ・テラ事業地 - MT、5) ピウヴァ事業地 - MT。また土壌侵食の調査は1993年に始められ、1996年まで次の事業地で行われた：1) イライ・デ・ミナス事業地 - MG、2) ムンド・ノーヴォ事業地 - MG、3) オウロ・ヴェルデ事業地 - BA、4) アナ・テラ事業地 - MT、5) ピウヴァ事業地 - MT。

土地利用調査はPRODECERの第 期および第 期事業地において1995年にイライ・デ・ミナス事業地 - MG、1996年に次の事業地で行われた：1) コロマンデル事業地 - MG、2) ムンド・ノーヴォ事業地 - MG、3) アナ・テラ事業地 - MT、4) ピウヴァ事業地 - MT。

昆虫調査は1993年に第 期事業地のイライ・デ・ミナス事業地 - MGとムンド・ノーヴォ事業地 -

MGで、1994年には第 期事業地ブラジル・セントラル事業地 - BA、とオウロ・ヴェルデ事業地 - BAで行われた。また1995年に植生の調査がPRODECERの第 期事業のオウロ・ヴェルデ事業地 - BAにおいて行われた。

1994年10月より、水量と水質の調査がPRODECERの第 期の試験的事業地ジェライス・デ・バルサス事業地 - MAとペードロ・アフォンソ事業地 - TOで開始され、2000年の3月をもって終了する予定である。土壌侵食のモニタリングは1995年に始められ、1999年まで同事業地において行われた。

土地利用に関する調査は1997年にジェライス・デ・バルサス事業地 - MA、1998年にはペードロ・アフォンソ事業地 - TOにおいて実施された。昆虫と植生の調査はPRODECERの第 期のジェライス・デ・バルサス事業地 - MAで1995年に始められ、2000年の3月に終了予定である。

環境モニタリングは現代農業の実施と環境の保全を両立させるためには不可欠のものである。それは自然資源に対する農業の負の影響を明確にし、農業実施におけるその悪影響を改善させることも可能にするのである。

## 第5章 環境モニタリングの方法と結果

### 5.1 土壌の使用と利用に関するモニタリング

アルヴァロ・ルイス・オリオリ

吉井和弘

#### 5.1.1 モニタリング法

ある地域の栽培作物、作付け状況、また土地利用状況などについての信頼できる情報は、計画の策定、優先順位の決定、農業融資の支払いなどにとって基本的に重要である。

それらの情報はPRODECERの計画を進めるうえで、リモート・センシングや地理情報システム (Geographic Information System - GIS) のデータを利用することによって得られる。

モニタリングのすべての過程における第一歩は、関心地域の基礎的地図を地理情報システムを用いて整理することから始まる。この段階で調査対象地区の絞り込みや、排水網や水路構成の決定などが、地図サービス局 (DSG) や地理統計院財団 (FIBGE) により作成された等高線地図をデジタル化して行われる。

作物栽培地図の作成やプロジェクトを実施するのに必要な他の情報収集は、リモート・センシングによって得られたデータの解析によってなされる。そのために、人工衛星ランドサットのアナログ形式映像を利用し、該当地域に応じて縮尺10万分の1地図で、3、4および5バンド(軌道/ポイント)を通常用いる。各映像は185km×185kmの区域のデータを収集する。映像はできるだけ最新のもので、雲による映像の遮へいが少ないもの(面積にして10%以下)を選ばなければならない。また、紙面上の映像に対応する色とデータに対応した映像も入手できる。

紙面上の映像をもとに視的解析を行い、現在の土地利用や将来の土地利用のポテンシャルの境界の画定を行う。

その後、これらの地域はデジタル映像上に再現して拡大し、映像の視覚認識の質を向上する。

モジュールの映像解析後、いろいろのタイプの映像スペクトラムが、いろいろの土地利用や土壌のタイプにあてはまるかどうか、実際の圃場において調べる。映像の色や表面の組成が、解析のキーとなる。

それからさまざまなパターンを示す地域が分類され、現在の土地利用や将来の土地利用計画地図を作成し、これらの地図を使ってプロジェクトの計画や、プロジェクトの実施の戦略を策定する。

土地の使用と利用に関するモニタリングは、農業入植事業の計画実施当初より、環境の質の面を恒久的に管理するのに不可欠である。それは環境に対する影響の予測、環境汚染の予防や環境調査で勧告されたコントロールが適切であるかを評価する手段として用いられるだけでなく、採用されたコントロール・システムが必要な修正を迅速に行うためには非効率であることも証明できる。

#### 5.1.2 調査例：PRODECER第 および 第 期試験的事業地における土地の使用と利用

PRODECERの開始より、カンボ社は環境保全のための活動に配慮してきた。

それで、セラード開発においては常にその計画段階において、単年生作物、多年生作物、牧草および保留地の区域を画定した。この形で、義務づけられた保留地の区域とさまざまな生態系の代表的な区域の保全を制定し、現行の環境法を守るよう努めた。

保留地の形態は違いをつけて、それぞれのロットの個別保留地、ロットから離れた個別保留地(定義として個別名義の個別保留地)、共同保留地(共同名義)の形をとった。

1993年、PRODECER第 および第 期の開始から、それぞれ13年または7年目後に、土地利用の現状調査を次の事業地で行った：1)コロマンデル、2)イライ・デ・ミナス、3)ムンド・ノーヴォ、4)アナ・テラ、5)ピウヴァおよび、6)オウロ・ヴェルデ。

これらの事業地の実施計画と現況調査をもとにプロジェクトの発展状況の比較および評価を行うために、土地利用の現状の地図作成およびプロジェクト実施当時の地図を復元した。

これにより土地利用の現状調査を目的として、プロジェクト実施時に設置された個別または共同の保留地のタイプを、1993年の現状と照らし合わせて、個別と共同とどちらが保留地のメンテナンス法として適しているかの結論を導き出そうとした。

それには縮尺6万分の1の航空写真を用いて、また等高線地図や高度データ(地理サービス局 - DSGE - やブラジル地理統計院 - IBGE - の縮尺10万分の1の地図からの緯度経度)を使って、プロジェクト地図(縮尺2万分の1)を再作成した。

MS - DOS上で稼働するIBM互換型コンピューターの操作による地理情報システム - GIS - を使用した。これは卓上デジタルライザーによりデータを入力することができるもので、スキャニング・デ

ータの変換もできるしまたその逆も行える。また、グラフ・プロッタや人工衛星ランドサットのストリーマ・テープのバンド3、4、および5の映像を使って地図の作成や印刷ができる。さらに、色の構成やコントラストの直線増幅により、縮尺の拡大、映像の強調もできる。

その後、映像処理システムによりプロジェクトに該当するモジュールを選んだ。これらのモジュールは拡大し、縮尺2万分の1の地図にした。

これらのモジュールをスライド写真にして、地図上に投影して見ながら解析した。すぐに、これらの解析は圃場でデータを集めて確認した。

プロジェクト、ロットや共同保留地の地図を地理情報システムによりデジタル化した。

土地利用や天然植生の違った種類により占められている地域を区切り、それぞれによって占められている面積を計算し、地理情報システムのプロッタを経てその地図を最終的に作成、印刷した。また、他の地図に使われているのと同じ説明記号を使った。

プロジェクト設置時期に、合理的な土地利用、保留地の保全、投資や生産コストの融資のプロポーザルの策定のために、プロジェクトの土地利用計画地図が作られた。

計画実施時および土地利用調査時点で得られた情報は、すべて表としてデジタル化した。使用した記号はLa - 単年生作物、Lp - 多年生作物、Pc - 播種牧草、Pn - 天然牧草、D - 森林伐採地域、R - 保留地、Ri - 個別保留地、Rc - 共同保留地を示す(表3)

このようにして計画実施時と調査時点での土地利用の変遷をその差により比較した。保留地は調査した全事業地の平均で31%減少し、ムンド・ノーヴォ事業地では11%、またコロマンデル事業地では66%減少した(表3)。

表3 ミナス・ジェライス、パイア、およびマト・グロッソ各州における1993年の入植事業地の土地利用

No	事業地	ロット数	土地利用	La	Lp	Pc	Pn	保留地(R)				D	計
								Ri	Rc	Subtotal	(%)		
1	コロマンデル	18	入植時-1981 (ha)	3,177	184	161	-	2,375	0	2,375	(40)	-	5,897
			1993年現在 -1993 (ha)	2,129	1,130	1,820	-	818	0	818	(14)	-	5,897
			1993-1981 (ha)	-1,048	946	1,659	-	-1,557	0	-1,557		-	0
			(1993-1981)/1981x100 (%)	-33	514	1,030	-	-66	0	-66		-	0
2	イライ・デ・ミナス	26	入植時-1980 (ha)	6,342	450	-	-	2,121	0	2,121	(24)	-	8,913
			1993年現在 -1993 (ha)	7,650	146	13	-	1,104	0	1,104	(12)	-	8,913
			1993-1980 (ha)	1,308	-304	13	-	-1,017	0	-1,017		-	0
			(1993-1980)/1980x100 (%)	21	-68	-	-	-48	0	-48		-	0
3	ムンド・ノヴォ	50	入植時-1981 (ha)	12,285	901	1,623	405	4,331	2,359	6,690	(31)	-	21,904
			1993年現在 -1993 (ha)	9,984	1,292	4,719	-	3,608	2,301	5,909	(27)	-	21,904
			1993-1981 (ha)	-2,301	391	3,096	0	-723	-58	-781		-	0
			(1993-1981)/1981x100 (%)	-19	43	191	0	-17	-2	-12		-	0
4	オウロ・ヴェルデ	35	入植時-1986 (ha)	10,937	-	-	-	2,059	808	2,867	(21)	-	13,804
			1993年現在 -1993 (ha)	11,820	-	-	-	1,176	808	1,984	(14)	-	13,804
			1993-1986 (ha)	883	-	-	-	-883	0	-883		-	0
			(1993-1986)/1986x100 (%)	8	-	-	-	-43	0	-31		-	0
5	アナ・テラ	40	入植時-1986 (ha)	7,948	800	-	-	8,977	0	8,977	(51)	-	17,725
			1993年現在 -1993 (ha)	10,000	703	484	-	6,390	0	6,390	(36)	148	17,725
			1993-1986 (ha)	2,052	-97	484	-	-2,587	0	-2,587		-	0
			(1993-1986)/1986x100 (%)	26	-12	-	-	-29	0	-29		-	0
6	ピウヴァ	40	入植時-1986 (ha)	7,221	780	-	-	8,650	0	8,650	(52)	-	16,651
			1993年現在 -1993 (ha)	10,320	641	-	-	5,690	0	5,690	(34)	-	16,651
			1993-1986 (ha)	3,099	-139	-	-	-2,960	0	-2,960		-	0
			(1993-1986)/1986x100 (%)	43	-18	-	-	-34	0	-34		-	0
計			Uso Implantado (ha)	47,910	3,115	1,784	405	28,513	3,167	31,680		-	84,894
			Uso Atualizado (ha)	51,903	3,912	6,539	0	18,786	3,109	21,895		148	84,894
			Uso Atualiz. - Uso Implant. (ha)	3,993	797	4,755	-405	-9,727	-58	-9,785		148	0
			(Uso Atualiz.- Uso Implant.) /Uso Implant.x100 (%)	8	26	267	-100	-34	-2	-31		0	0

注) La=単年作物、Lp=永年作物、Pc=播種牧草、Pn=自然牧草、R=保留地、Ri=個別保留地、Rc=共同保留地、D=森林伐採区

保留地の減少は、個別保留地におけるほうが共同保留地におけるより優位に大であった。個別保留地全体では減少が34%にのぼり、それに対して共同保留地全体ではたった2%の減少にとどまった。ムンド・ノヴォ事業地では個別保留地の減少は17%であり、共同保留地では2%であった。しかしながら、オウロ・ヴェルデ事業地では個別保留地の減少は43%にのぼり、共同保留地では変更はなかった。

保留地の減少は、保留地の農業適地性や農業生産者の良識により、主に単年生作物にとって変わられた。カンボ社の技術者は保留地を保全するように入植者の意識を高めたが、残念なことにカンボ社は計画実施後技術調整役を農業協同組合に譲り、保留地の保全を監視する立場にはない。

本調査から得られた結論としては、ムンド・ノヴォ事業地 - MGおよびオウロ・ヴェルデ事業地 - BAでは、その共同保留地全体の2%が変換さ

れたのみであった。これらの事業にはそれぞれ2,359および808haの共同保留地があり、保留地全体のそれぞれ35および28%にあたる(表3)。この結果より、カンボ社は他の事業地にも共同保留地のモデルを採り入れ、PRODECER第 期では保留地のほとんどを共同保留地とした。

### 5.1.3 調査例：ジェライス・デ・バルサス事業地(マラニオン州)の土地の使用と利用の変遷

カンボ社は1995年にPRODECER第 期ジェライス・デ・バルサス事業を開始した。事業地はバルサス郡の南部に位置し、バルサス川の支流にあたるテン・メド川の水源に近いところにある。この事業で40名の入植者を4万haの土地に入植させた。この地域はそれ以前には農業活動が、まったく行われていなかったところである。

カンボ社は常に環境の保全に注意し、そのプロ

プロジェクトの開始当初から、ジェライス・デ・バルサ事業地区の総面積の半分にあたる、2万ヘクタールの法定保留地を設定した。

この調査の目的は、プロジェクト地域とジェライス・デ・バルサ事業地のほとんどの部分が入る、テン・メド川流域の土地の使用と利用の変

遷を分析することである。プロジェクトは、農業生産を目的としたものである。

土地の使用と利用の調査は、圃場調査と1994、1995、1996、1997年の人工衛星ランドサットの映像をもとにした、リモート・センシングにより行った。

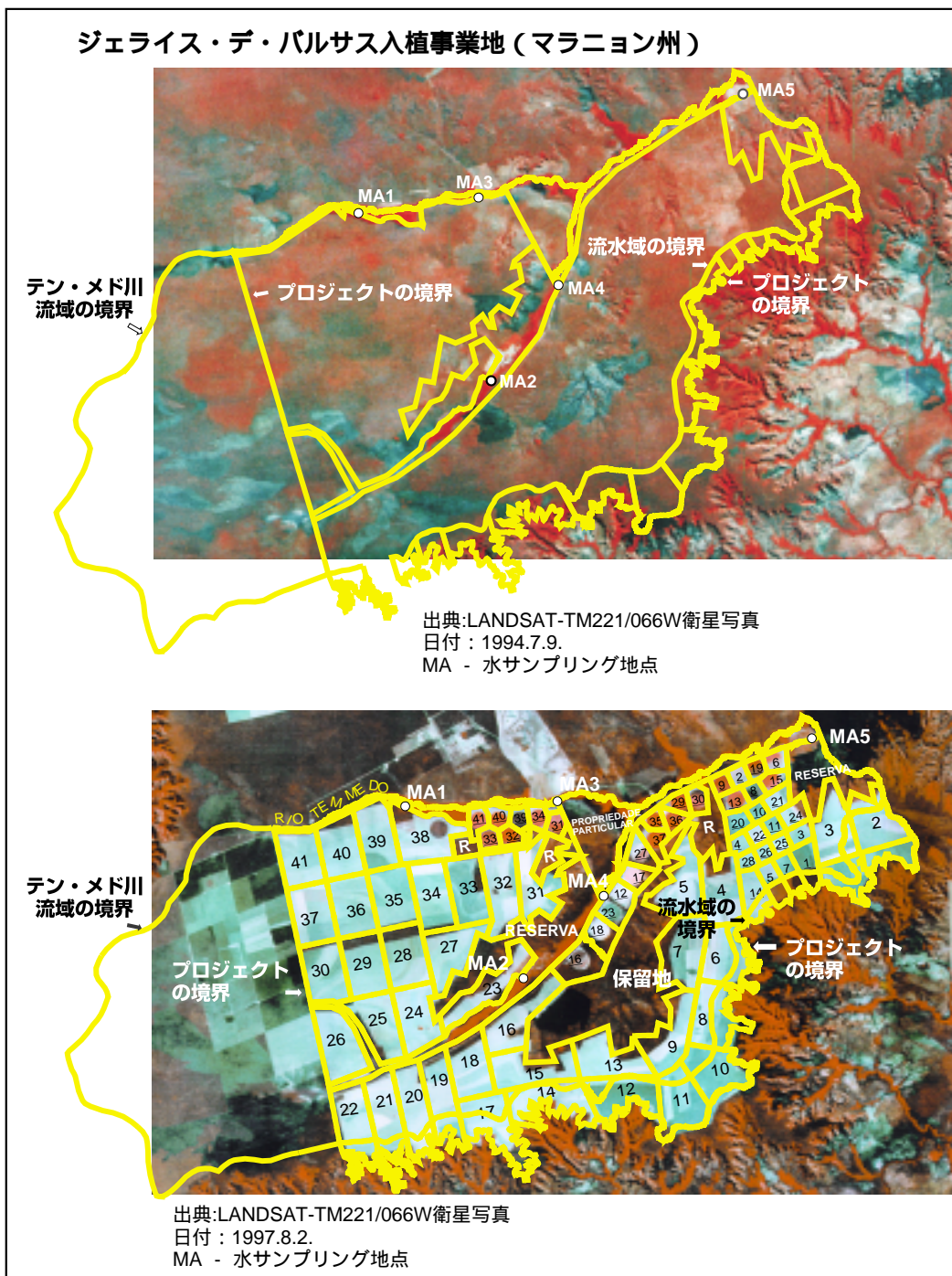


図3 ジェライス・デ・バルサ事業地 (マラニョン州) の事業実施前 (1994年7月) および実施後 (1997年8月) の衛星写真

プロジェクト実施前の1994年には、セラードと  
 溪畔林はそれぞれ全流域面積の95% 4%であった。  
 テン・メド川流域の全面積は、56,906haであ  
 った。1995年よりセラードの面積は次第に減り続け、  
 1995、1996、1997年にはそれぞれ全面積の76、62、  
 36%にあたるセラードが残り、開発されたセラ  
 ドは天水および灌漑単年作物に変換された(図3、  
 4、5)。一方、穀物生産高は主に大豆を中心に指  
 数的に増え続け、流域に設定されたジェライ  
 ス・デ・バルサス事業地の地域のみでも、その収  
 穫高は95/96農年度には2万t、96/97農年度には4

万3,000tにのぼった。特筆すべきはそのプロジェ  
 トの実施期間中を通して、全面積の4%にあたる  
 溪畔林が、変わることなく保たれたことである。

1997年テン・メド川流域の40%は、セラード  
 (36%)と溪畔林(4%)であった。ジェライス・  
 デ・バルサス事業地区域では、2万haの広さの天  
 然植生が保存されて、その面積はプロジェクト地  
 区全体の50%を占めており、これは法的アマゾ  
 ン区域の法令により義務づけられた、法的保留地の  
 数字に準じている。

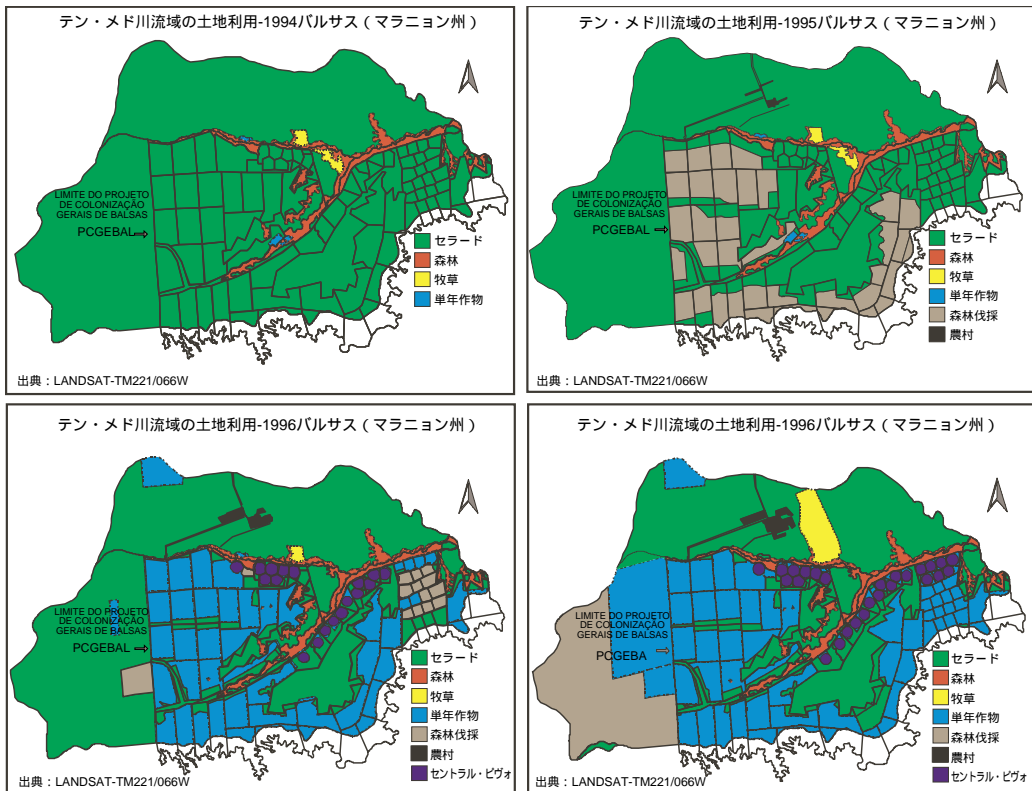


図4 マラニオン州南部のシャパーダ・ダス・マンガベイラのテン・メド川流域の土地利用地図

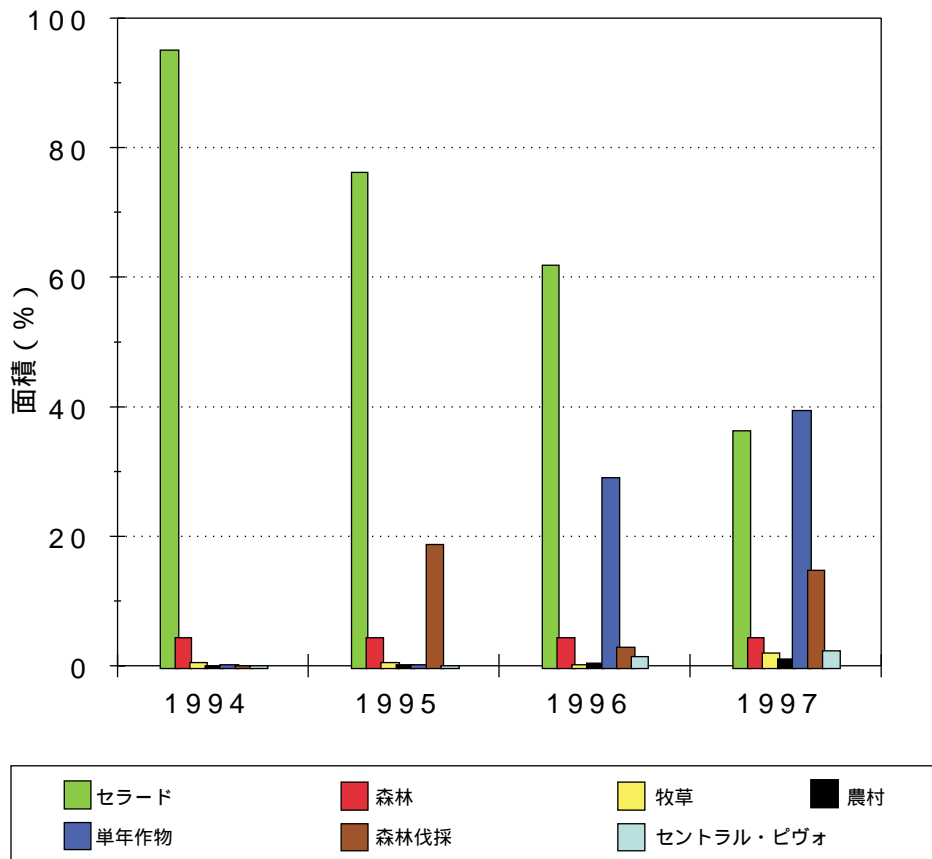


図5 マラニョン州南部のシャパーダ・ダス・マンガベイラのテン・メード川流域の土地利用の変遷

#### 5.1.4 参考文献

ASSAD, E.D.; SANO, E. E., ed. Sistema de informações geográficas. Aplicações na agricultura. 2. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa-SPI, 1998. 434p.

CONDE, R.C.C.; ORIOLI, A. L.; YOSHII, K. Evolução do uso e ocupação do solo na Chapada das Mangabeiras no sul do Maranhão. Trabalho apresentado no 4º Congresso de Ecologia do Brasil. Belém-PA, 4 a 9 de outubro de 1998.



## 5.2 土壌侵食のモニタリング

吉井和弘

古畑哲

### 5.2.1 現地圃場における侵食計測法

セラード地域の主要土壌は赤色あるいは赤黄色ラトソルで、一般に降水の浸透性が良く、土層が厚いために、通常条件では地表流去水がほとんど発生することがなく、土壌侵食の起こりづらい土壌とみなされている。しかし、大規模機械化の進行に伴い、土壌が硬盤層を形成し浸透性が悪くなる可能性があり、その結果として表面流水が増えて土壌侵食が問題になることも懸念される。一方、機械化による激しい農業活動は土壌中の腐植を減少し団粒構造を破壊するので、土壌の侵食性を増加する。

セラード農業開発のモデル事業地の圃場では、通常、等高畦による侵食抑制対策がとられているものの、侵食を抑制するための等高畦の間隔を基準以上に拡大させたために、侵食抑制効果の低下を招く可能性がある。

石英砂土はラトソルの次に広く分布する土壌であるが、その主な特徴は粘土質含量が低いことで、水分散性が大きく、吸収能力が低いので土壌侵食を受けやすい。傾斜2度前後のごく緩やかな圃場でも表土の流失が起こり、3度を越えると斜面上端から数m下でリルの形成が認められている。

農耕地からの土壌侵食の計測は、これまで面積数十m<sup>2</sup>以下の隔離された傾斜枿(プロット)や土壌トラップを用いる方法が主体であった。これらは小面積で実際の作物栽培とかけ離れた条件での測定であり、圃場の実態とは異なる測定値を求めていると考えられる。

土壌と水の流失を比較的正確に測定するトラップをつけたプロットで侵食による流失を測る研究で、ほかに、侵食によって起こされた表面の変化を測定することもできる。

土壌表面の変化を測定するいろいろな方法が示された。1つの簡単な方法は、長さ30cmのメッキした鉄釘を土壌に差し込むことである。釘の頭から土壌表面までを計れば、表面レベルの変化がわかる。もう1つの簡単な方法は、土壌表面に瓶のふたを差し込むことである。ある時間が経って起こった侵食は、瓶のふたで保護されてつくられた足がかりによって示される。

しかしながら、これらの方法ではセラードで一般的な機械化した農耕法を使うことができない。つまり、得られたデータは耕作された畑地の条件を反映していないといえる。

したがって、現地圃場で土壌侵食が本当に発生しているかどうかの確認は、広がりを持った圃場面の微地形の年次変化を、レベル測量により行うのが望ましいことは言うまでもない。しかし従来のトランシットを用いた方法では、作業後の計算を含めて、多くの時間と人手を必要とし、また、誤差の大きさも機器の習熟度に関係し、使用者によるバラツキが大きかった。

近年開発された光波式測量機械は、距離と角度が測れるだけでなく、本体内部に計算機能を持ち、3次元座標などに変換して出力が可能である。測定値の精度は距離については5mm + D × 2ppm (D:測定距離) 角度については4"であり、測定



に個人差なく、1測点の所要時間は約1分、1日500点の標高と位置座標(x, y, z)を最低2人で容易に短時間に測量することが可能である。これはトランシットの測量からすると1週間程度の作業量にあたり、光波式測量機械により極めて能率良く、精度の高い作業が行われることになる。

調査圃場は、作物収穫後、次期の作付けに対して未耕起の状態にあること、調査対象区画は斜面上部にあつて、区面外からの地表面流入水がなく、適度の勾配を有し、等高線方向の凹凸ができるだけ少ないところを選定する。また、気象データは土壌侵食のみならず農業環境モニタリングのすべての項目にも密接に関連する基礎的データであるので、調査事業地内で測定されている必要がある。

土壌侵食の計測は、調査対象区画の微地形を光波式測量機械を用いて3次元座標測量を行い、翌年同様の測量を行って、微地形の年次変化から推測することになる。その手順は通常、次のように

行う。

(1) 原点( $x_0, y_0, z_0$ )およびx軸の基準線を決める(図6)。原点はできれば耕作に影響されないところに設ける。たとえば、セメントの測量標識を埋めて農業機械から保護するために杭で囲む(図7)。図6に示すように、x軸の基準線は、測距儀を原点( $x_0, y_0, z_0$ )に置いて遠くの固定物、たとえば、塔、電柱、倉庫の角などをもとにして設定することができる。高さ座標の補正として、本機と先端に反射プリズムのついたポールの高さを本機のメモリーに入れる。

調査結果の精度を上げるために、調査区の近くに原点に埋めたのと同じセメントの測量標識2本を埋め(2本は基点から見て約90度の間隔が望ましい)。これによって翌年から調査区を復元する際に、これまでずっと行ってきた角度の基準だけでなく水平基準とした。

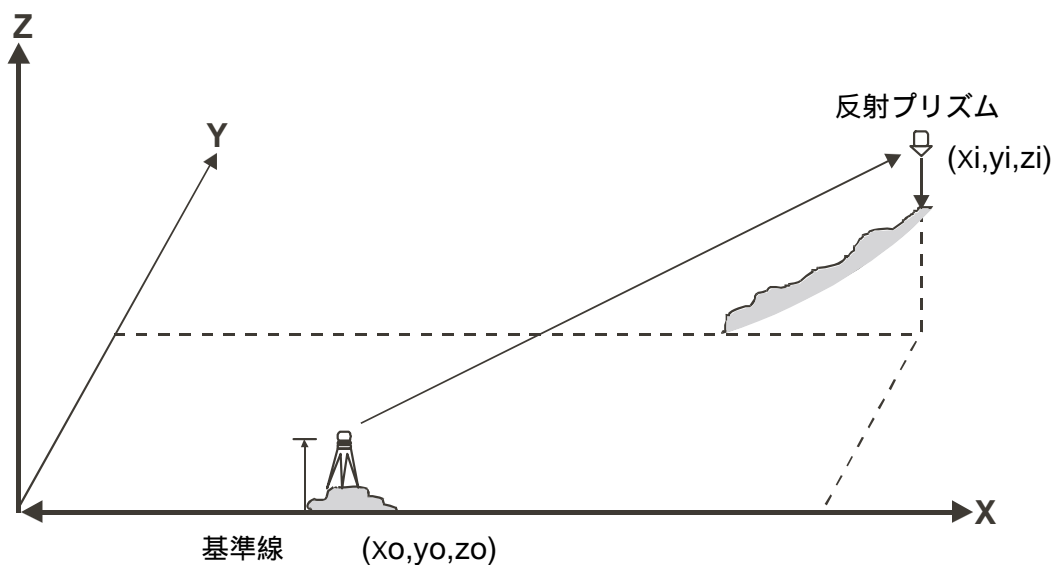


図6 測距儀による土壌侵食の測定(坂西et al, 1995)

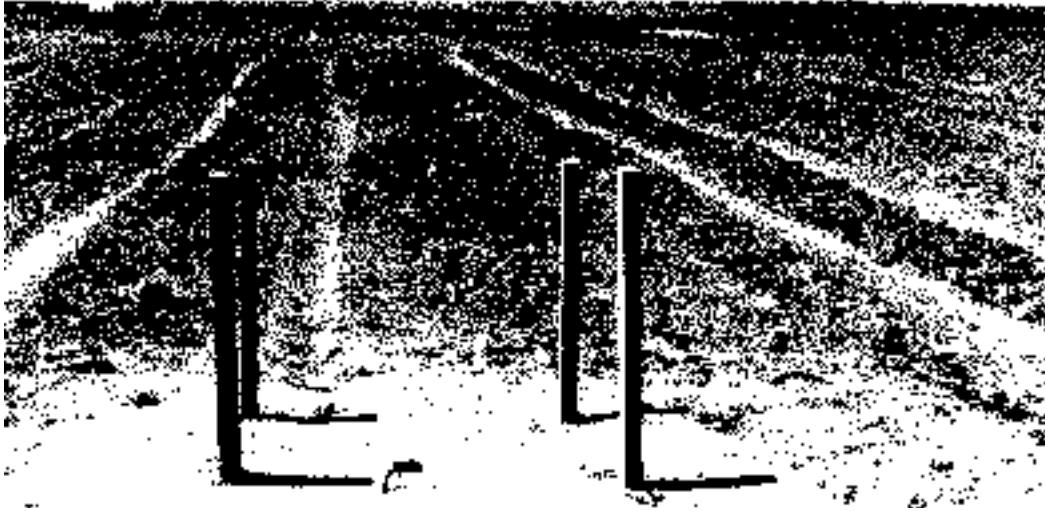


図7 ジェライス・デ・バルサス事業地 (MA) のロット32番に、土壌侵食測定のためのコンクリートの杭を埋めた。この杭は、4本の棒で保護されている (写真: 吉井、95/10)

(2) 数m間隔の格子座標、あるいはランダム分布したそれぞれの測量地点へ、反射プリズムつきのポールを移動させ、本機視準孔との焦点を合わせる(図8、9、10)。格子座標法の場合、

測量地点は等間隔の格子状分布とする。ランダム法の場合は、調査地点をランダムに、そして調査区の4隅も調査地点とする。



図8 カンボ社の André Duarte 技師 (中央、後ろ向き) が、測距儀を使って土壌侵食を測定しているところ。遠方に見えるのは、Antônio João de Oliveira 補助員で、プリズム・ポールを支えている。ジェライス・デ・バルサス事業地 (MA) のロット32番にて (写真: 吉井、96/7)



図9 Antônio João de Oliveira 補助員が、プリズム・ポールを支えているところ。プリズム・ポール  
の下端の木のブロックに注意（写真：吉井、96/7）



図10 プリズム・ポールの下端のアルミニウムの尖った先端を、木のブロックに置き換え、土壌表面  
のレベルを測りやすいようにした（写真：吉井、96/7）

- (3) 三次元座標データ(x, y, z)は、測距儀の画面に表示されたデータを記録するかメモリーに保存する。
- (4) コンピューターによるデータ処理は、「サーファー」という市販のプログラムソフトを使って、各調査年次の等高線地図を作成し5cm毎の高さの体積を計算する。
- (5) 各年次の等高線図を重ね合わせ、等高線の移動によって土壌侵食あるいは土壌堆積の発生箇所を判定する。等高線の初年から次年への後退は、土壌侵食を意味し、初年から次年への前進は土壌堆積を示す。
- (6) 初年から次年への各5cm毎の体積の違いを考慮して、土壌侵食量あるいは土壌堆積量を計算する。

### 5.2.2 調査例：マト・グロッソ州における土壌侵食の測定

アナ・テラ地区はマト・グロッソ州の州都クイアバの北方約450kmに位置し、標高が350mセラードからアマゾン熱帯雨林への移行地帯であり、なだらかな波状丘陵地上にある。気候は年平均気温24~26と高く、年降雨量1,600~2,000mmと多く、10月~4月が雨期となる。事業地内の土壌は主として赤黄色ラトソルであるが、ところによって砂の多い圃場もある(図11、表4)。日伯セラード農業開発協力第一期試験的事業地の1つで、1985年に開始され、1万3,000haの農耕地が開拓されて主として大豆が栽培されている。

表4 アナ・テラ事業地(MT)ロット40番の土壌の物理化学分析(1994)

土壌縦断面 = アナ・テラ事業地-MTロット40番 EMBRAPA / CPAC 94/6/1																	
土壌層位	深さ (cm)	粒形構成 tfsa (%)				水分含有率 (%)	比重 (g/cm <sup>3</sup> )		孔隙率 (%)	粗孔隙率 (%)	pH (1:2.5) H <sub>2</sub> O	塩基組成 (m E/100g)					有効態 P (ppm)
		粗砂 2-0.20mm	細砂 0.20-0.05mm	シルト 0.05-0.002mm	粘土 <0.002mm		仮比重	真比重				Ca	Mg	K	Al	H	
A1	0-7	18	33	8	41	22.19	1.08	2.52	57.14	27.03	5.7	3.60	1.1	0.1	0.0	2.05	5.2
A3	7-15	20	32	6	42	22.80	1.19	2.58	53.88	25.55	5.8	3.07	1.0	0.0	0.0	2.24	3.0
BA	15-35	16	30	6	48	22.72	1.04	2.52	58.73	31.60	5.2	0.98	0.7	0.0	0.0	2.93	0.5
B21	35-50	15	29	2	54	22.67	1.13	2.55	55.69	28.76	4.4	0.50	0.1	0.0	0.1	3.09	0.3
B22	50-80	13	27	3	57	22.92	1.13	2.49	54.62	27.54	4.5	0.29	0.1	0.0	0.0	2.49	0.2
B23	80-150	11	27	4	58	23.75	1.18	2.52	53.17	23.08	3.9	0.10	0.0	0.0	0.0	2.20	0.3

調査対象とした圃場は、毎年、大豆を雨期(10月~4月)に作付けしている。土壌は地表から試坑深度150cmまでの5土層の土性はSCLまたはSCであり、地表に近い層ほど砂の含量が多い。調査区面は圃場の頂点を挟んで斜面長600×幅100mの長方形に設けた。調査区面傾斜は高さ約7.0mの頂点を境に南東方向では4.32度、北西方向では1.32度である(図12、13、14)。微地形調査は1993年から始めて、その後毎年、10m間隔のメッシュで671地点の

座標を測量した。

1996年の等高線図を調査開始時の1993年の等高線図と比較した場合を図15に示した。96年の図中のある等高線が93年図の対応する等高線より後退しているところでは、土壌侵食が起こっており、逆の場合には土壌堆積しているとみなされる。この調査区面では土壌侵食は両方向ともに面状侵食が主として起こっていて、特に北西方向の-2.5mから-5.0mの等高線の範囲で多く認められる(図



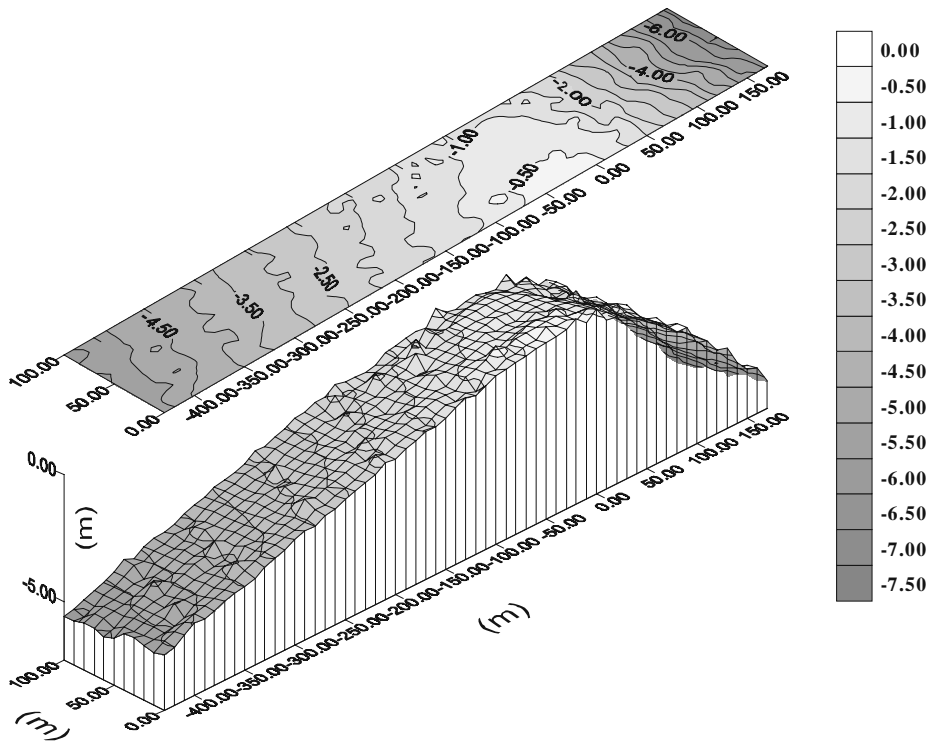
図11 アナ・テラ事業地 (MT) ロット40番の土壌断面 (写真: オリオリ、94/5)

16) 南東地方で傾斜のわりに侵食が少ないが、侵食防止用の等高畦が基準に沿って設置されているためとみられる(図17)。

現場の圃場で生じた土壌侵食量を93年図と96年図の地形変化量から算出すると、3年間に235.2m<sup>3</sup>、年平均で7.8mmの面状侵食であった。この値を年間当たりに換算すると、78.4m<sup>3</sup>/haであった(表5)。この圃場の土壌物理性は表4に示した。仮比重が大きく、砂質分が多いことから、土壌沈下の影響は無視できる。粗孔隙(pF1.8以下)が多いので排水性が良好であり、毛管孔隙(pF1.8-4.2)も多くて保

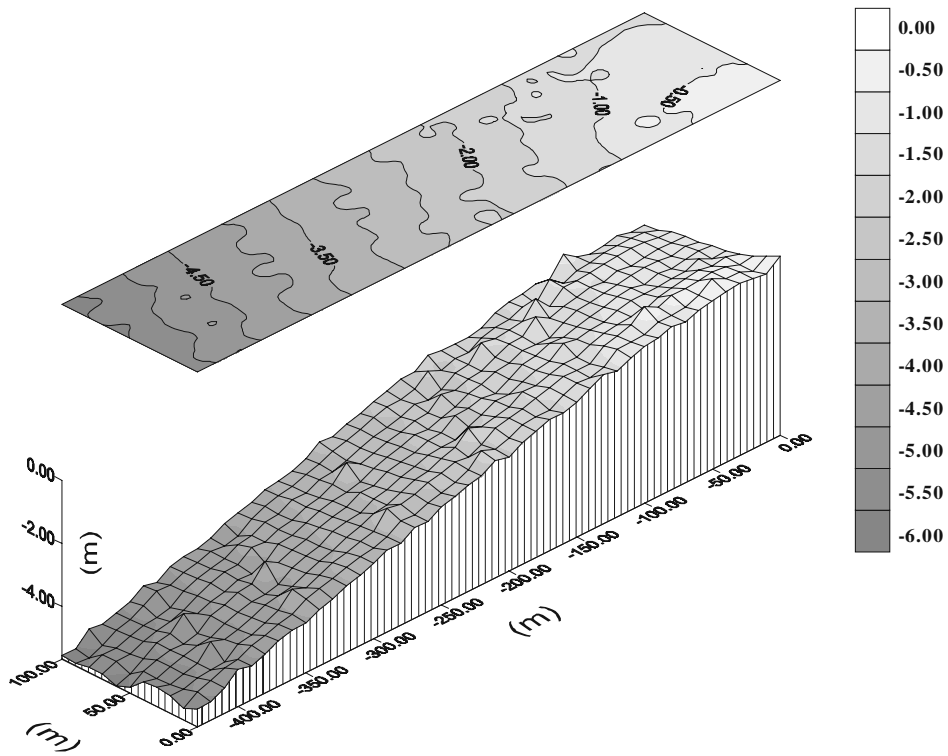
水性も良好である。この圃場の北西方向では土壌侵食防止対策として、約30m間隔の等高畦を設置する必要がある。

広い面積で数年間調査を継続していると、途中で耕作者が調査区画に等高畦を設置することもあり、それまでの調査データが無駄になる。本圃場では幸いになかったが、事前に耕作者とよく話し合い、理解と協力を得ることが重要である。場所によっては途中で等高畦の設置に影響されないために、調査区画面積を0.2~1ha程度として2~4mのメッシュで測量したほうが無難である。



単位：m

図12 アナ・テラ事業地 (MT) ロット40番の土壤侵食調査区の等高線図と立体図 (1993年)



単位：m

図13 アナ・テラ事業地 (MT) ロット40番の土壤侵食調査区北西方向の1.32%の傾斜の等高線図と立体図 (1993年)

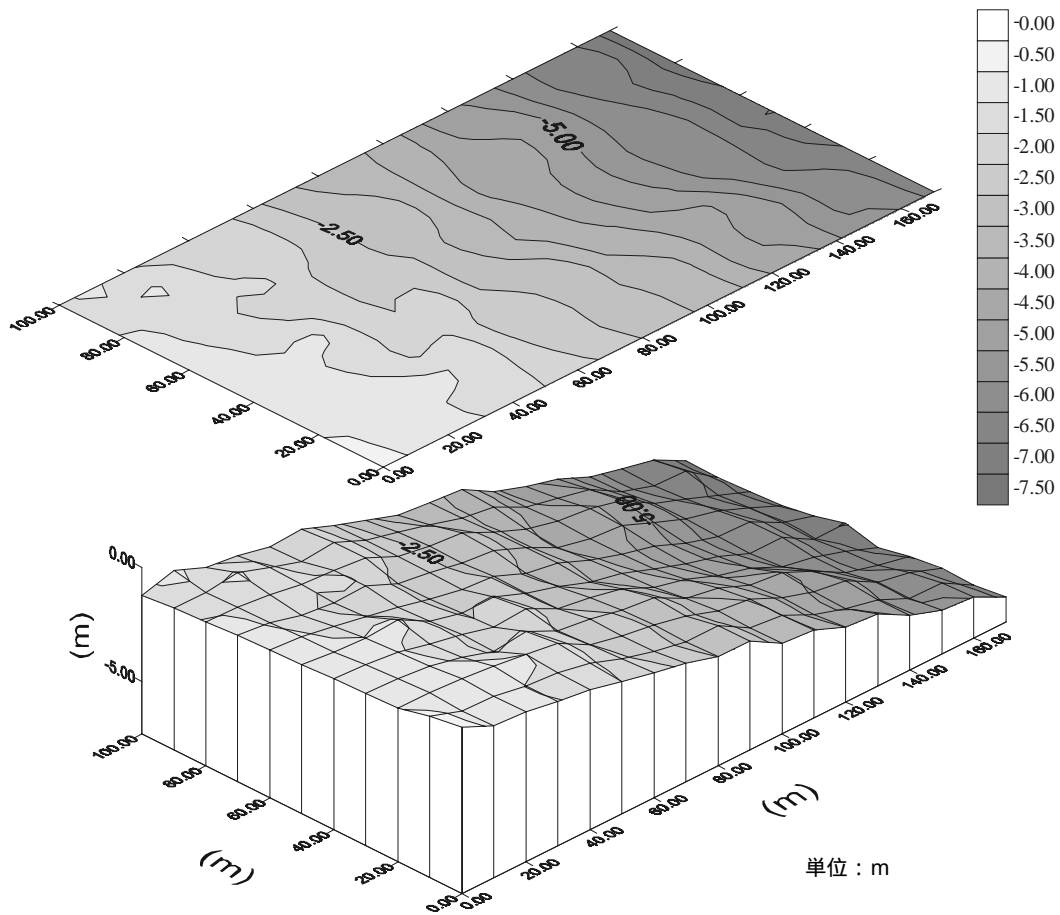


図14 アナ・テラ事業地 (MT) ロット40番の土壤侵食調査区南東方向の4.32%の傾斜の等高線図と立体図 (1993年)

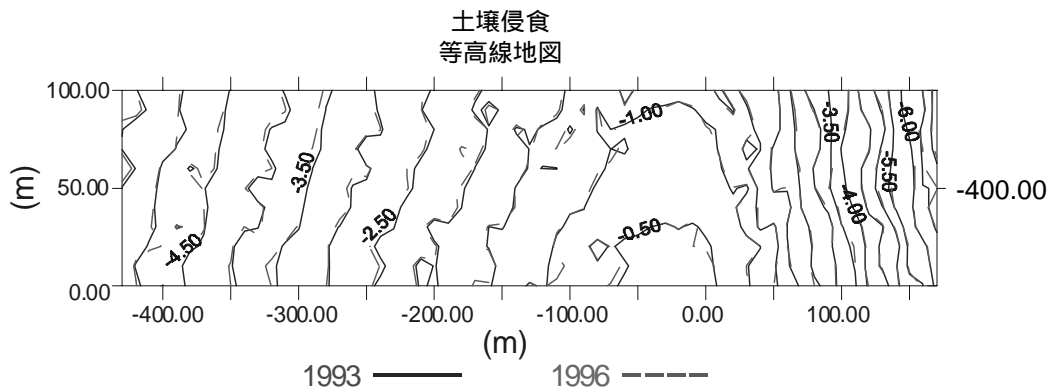


図15 アナ・テラ事業地 (MT) ロット40番の土壤侵食調査区の1993と1996年の等高線図

表5 アナ・テラ事業地 (MT) ロット40番の1993年から1996年にかけての土壤侵食量の計算

	総面積	北西方向の傾斜 1.32% (NO)	南東方向の傾斜 4.32% (SE)
総体積(m <sup>3</sup> /3年)	-1,411.00	-1,299.00	-112.40
面積(ha)	6.00	4.30	1.70
体積(m <sup>3</sup> /ha/3年)	-235.17	-302.09	-66.12
年平均体積(m <sup>3</sup> /ha/年)	-78.39	-100.70	-22.04
表面侵食(mm/年)	-7.8	-10.1	-2.2
重量(t/ha/年)	-84.66	-108.75	-23.80

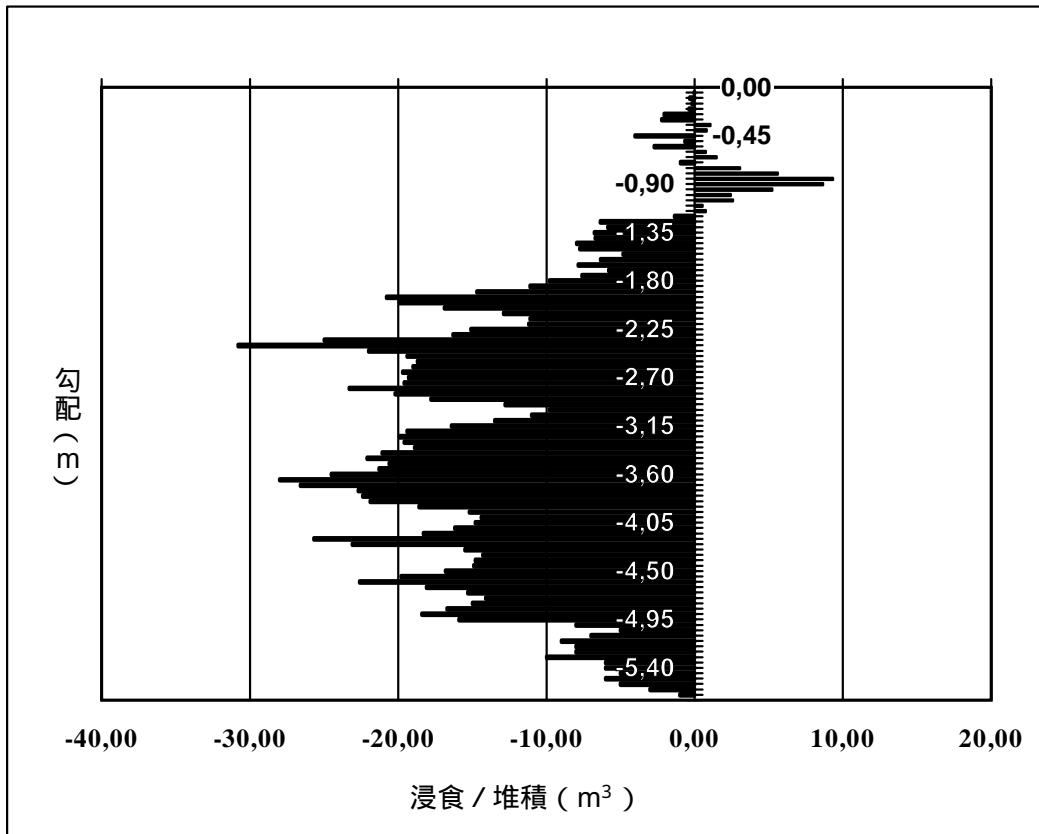


図16 アナ・テラ事業地 (MT) ロット40番の土壤侵食調査区の北西方向の1.32%の傾斜の土壤侵食 / 堆積の分布図

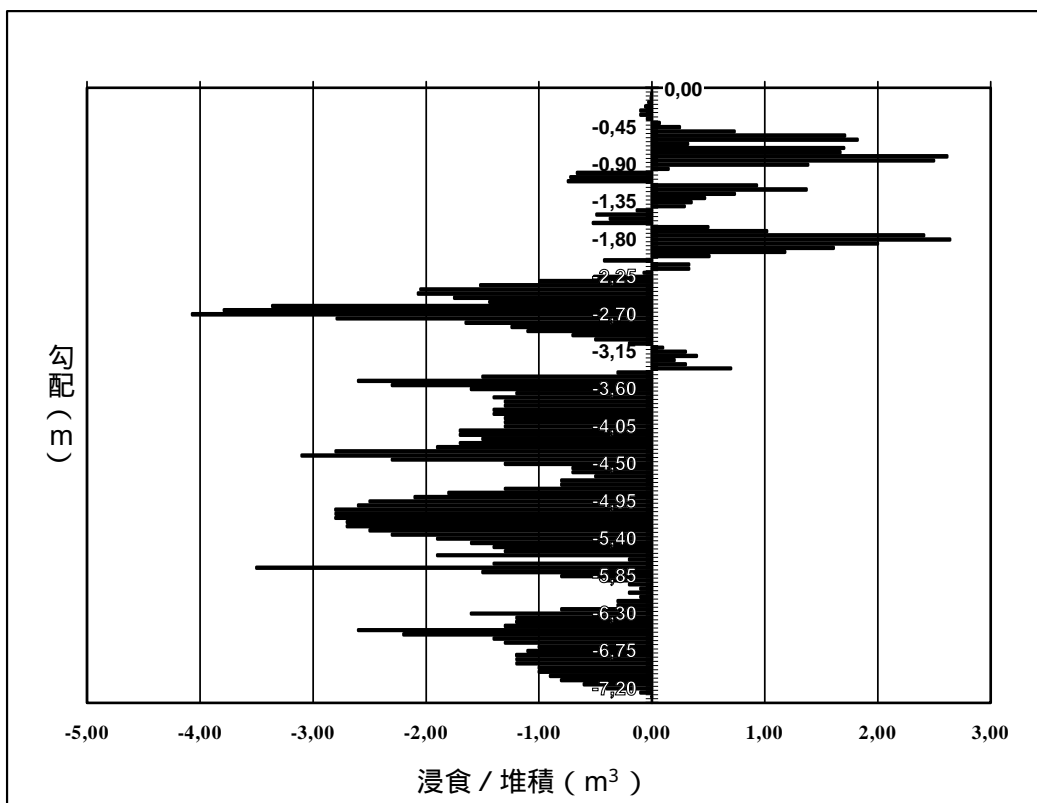


図17 アナ・テラ事業地 (MT) ロット40番の土壤侵食調査区の南東方向の4.32%の傾斜の土壤侵食 / 堆積の分布図



### 5.2.3 調査例：トカンチンス州における 土壌侵食の測定

ペドロ・アフォンソ事業地( TO )の地域はトカンチンス州の州都パルマスの北約130kmにありセラード地帯にある。年間平均気温は24~26 で平均年間降雨量は1,500mmで雨期は10月から4月である。事業地の土壌は主に黄赤色ラトソルである。事業はPRODECERの第一期で1996年に始まった。現

在約2万haの農地が耕作されており、主な作物は大豆である。

土壌侵食調査は1997と1998年に、収穫後土壌耕起までの間にペドロ・アフォンソ事業地( TO )のロット5番と17番の2,500m<sup>2</sup>(50×50m)の面積において格子座標法とランダム法を使って行った( 図18、19、20、21 )。ロット5番の土性はSCであり、ロット17番の土性はLSであった( 表6 )。



図18 ペドロ・アフォンソ事業地( TO )ロット5番の土壌断面( 写真：吉井、99/4 )

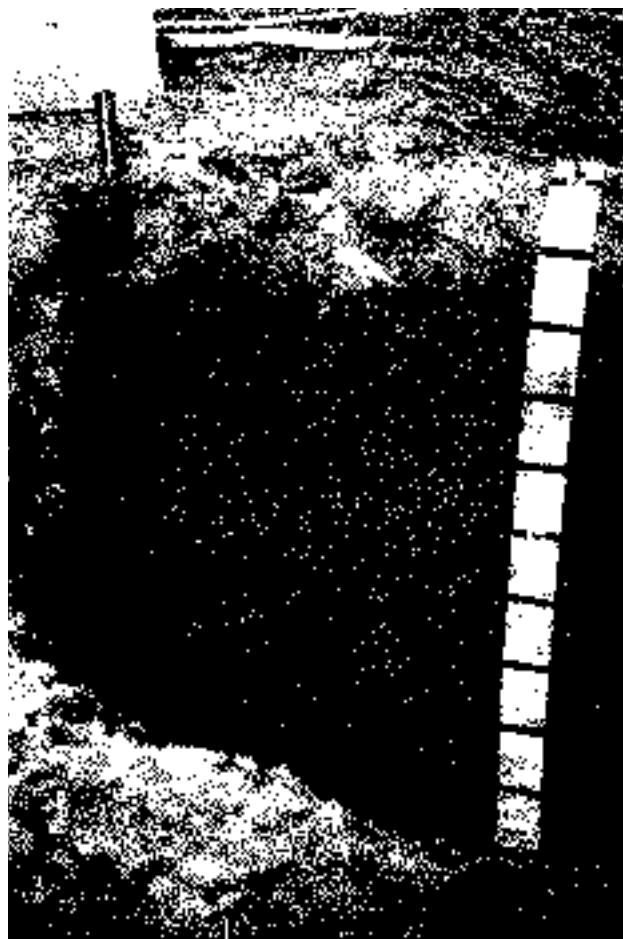


図19 ペドロ・アフォンソ事業地( TO )ロット17番の土壌断面( 写真：吉井、99/4 )

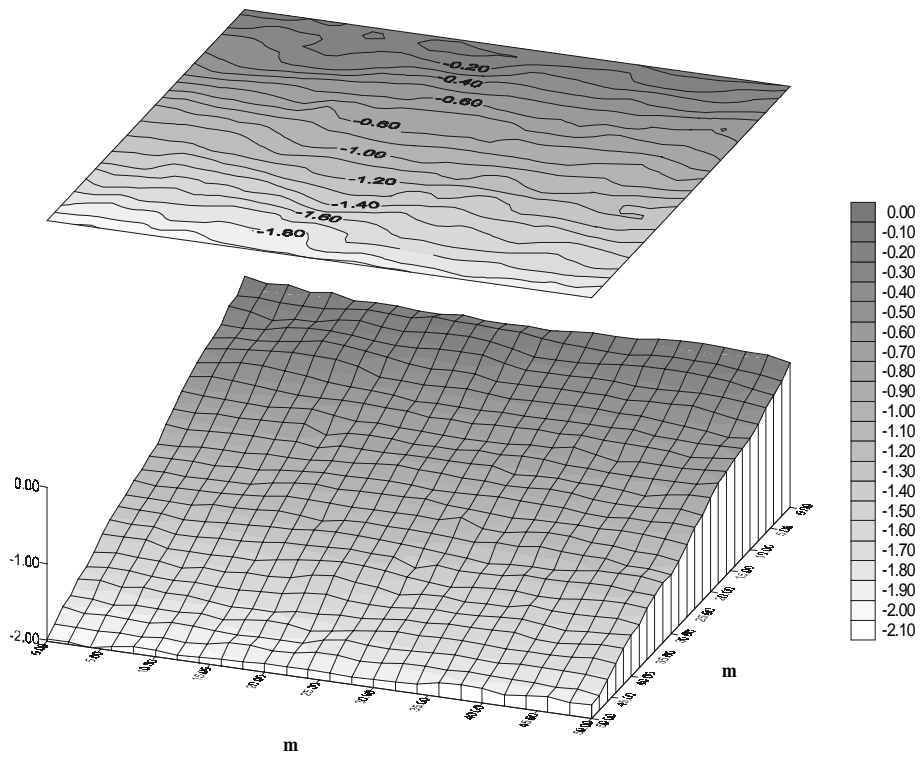


図20 ペドロ・アフォンソ事業地 (TO) ロット5番の土壤侵食調査区の等高線図と立体図

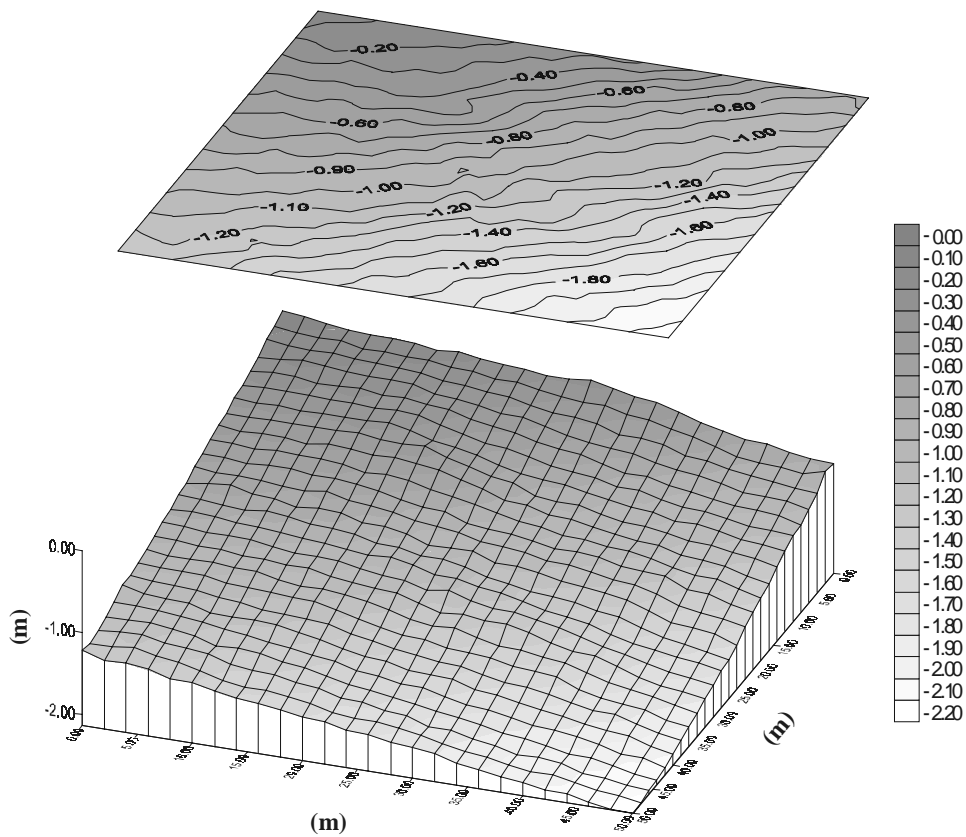


図21 ペドロ・アフォンソ事業地 (TO) ロット17番の土壤侵食調査区の等高線図と立体図

表6 ペドロ・アフォンソ事業地 (TO) のロット5番と17番の土壌の物理化学分析 (1999)

		土壌縦断面 = アナ・テラ事業地-MTロット40番					EMBRAPA / CPAC 94/6/1						
ロット	土壌層位	深さ (cm)	粒形構成				pH (1:2,5)	塩基組成 (mE/100g)					有効態 P (ppm)
			tfsa %					H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	K	Al	
			粗砂 2-0.20mm	細砂 0.20-0.05mm	シルト 0.05-0.002mm	粘土 <.002mm							
5番	A1/AP	0 - 15	16.9	32.4	12.7	38.0	5.20	0.73	0.35	0.10	0.27	4.53	10
	AB	15 - 25	16.9	31.9	14.4	36.8	4.90	0.16	0.1	0.05	0.32	3.68	1
	BA	25 - 40	10.9	33.0	14.4	41.7	4.80	0.08	0.1	0.03	0.13	2.87	1
	Bw 2.1	40 - 65	9.7	35.1	12.4	42.8	5.10	0.1	0.13	0.01	0.03	2.07	1
	Bw 2.2	65 - 90	9.2	35.6	11.9	43.3	4.90	0.02	0.04	0.02	0.03	1.77	1
	B3	90 - 120	10	34.6	12.6	42.8	5.30	0.03	0.02	0.01	0.02	1.28	1
17番	AP	0 - 20	27.5	58.40	1.60	12.50	6.50	0.92	0.28	0.08	0.04	0.66	7
	AB	20 - 35	25.2	56.00	2.60	16.20	5.10	0.09	0.06	0.01	0.31	1.19	1
	BA	35 - 50	20.7	58.30	3.30	17.70	5.00	0.05	0.04	0.01	0.33	0.97	1
	Bw 2.1	50 - 80	18.2	53.00	3.30	25.50	4.70	0.04	0.03	0.00	0.19	0.81	1

格子座標法では2mの一定間隔で格子状に広げた676地点で、ランダム法では5×5mの四角形でそれぞれ7地点をランダムに(小計700)さらに調査区の4隅で、計704地点を調査した。

データをコンピューターで処理する際には「サーファー」というソフトを使い、各々の年の等高線地図をつくり高さ5cm(z)ごとの体積を計算した。土壌侵食あるいは土壌堆積の体積は、5cmごとの、最初の年の体積から最後の年の体積を引いて計算した。

2年の違った等高線地図を重ねあわせて、等高線の移動により土壌侵食あるいは堆積の発生場所を決定した。ある年から次の年への等高線の後退は土壌侵食を示し、前進は土壌堆積を示す。

ペドロ・アフォンソ事業地(TO)のロット17番では、1997年の等高線に比較して、1998年のは前進

よりも後退が見られた。これは格子座標法でもランダム法でも同じで土壌侵食の発生を示す。しかし、ロット5番では1997年と1998年の等高線はどちらの測定方法でも頻りに交差し、侵食あるいは堆積が起こっているのを確認するのが難しい(図22、23、24、25)。

ペドロ・アフォンソ事業地(TO)のロット5番と17番では格子座標法とランダム法が似たような結果を示し、格子座標法では各々-1.23mmと-6.34mm、ランダム法では各々-1.49mmと-6.80mmであった。ロット17番では土壌侵食の起こりやすい砂質土壌なので土壌侵食がロット5番よりも多かった。ロット5番と17番のデータによると、格子座標法とランダム法は似たような結果を示し、1/4haの広さで1年間の土壌侵食の測定ができることを意味している(図26、表6、7)。

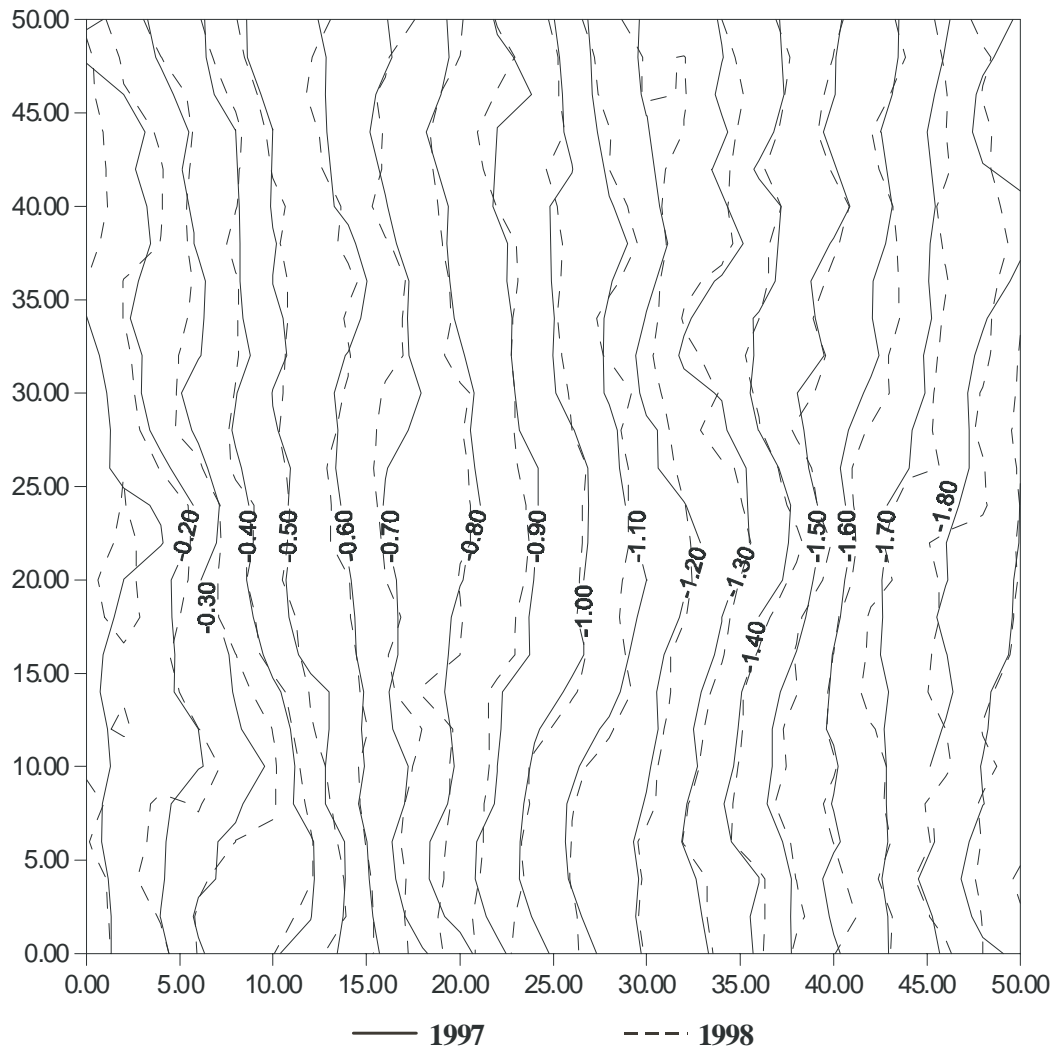


図22 ペドロ・アフォンソ事業地 (TO) ロット 5 番の土壌侵食調査区の等高線の1997年から1998年への移動 (座標法)

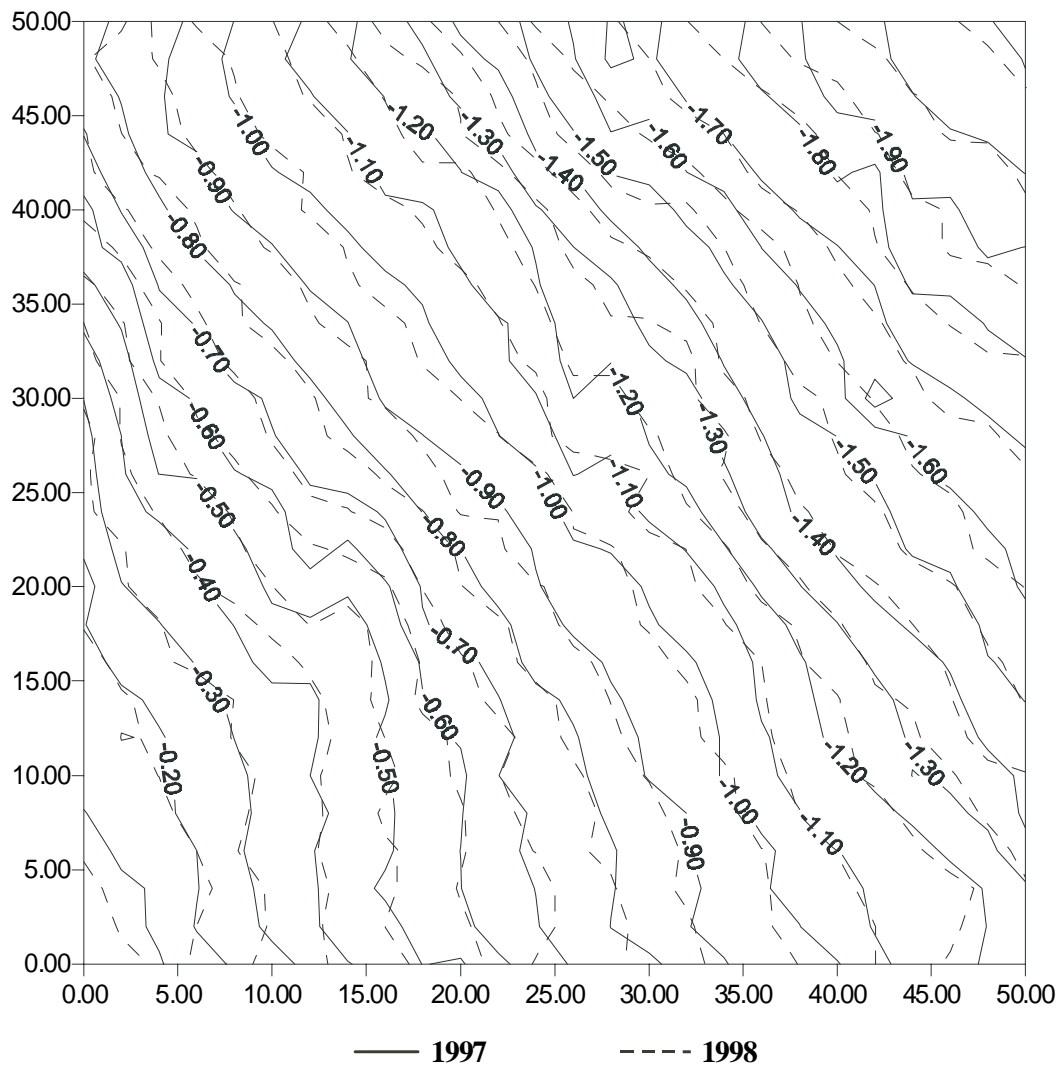


図23 ペドロ・アフォンソ事業地 (TO) ロット17番の土壤侵食調査区の等高線の1997年から1998年への移動 (座標法)

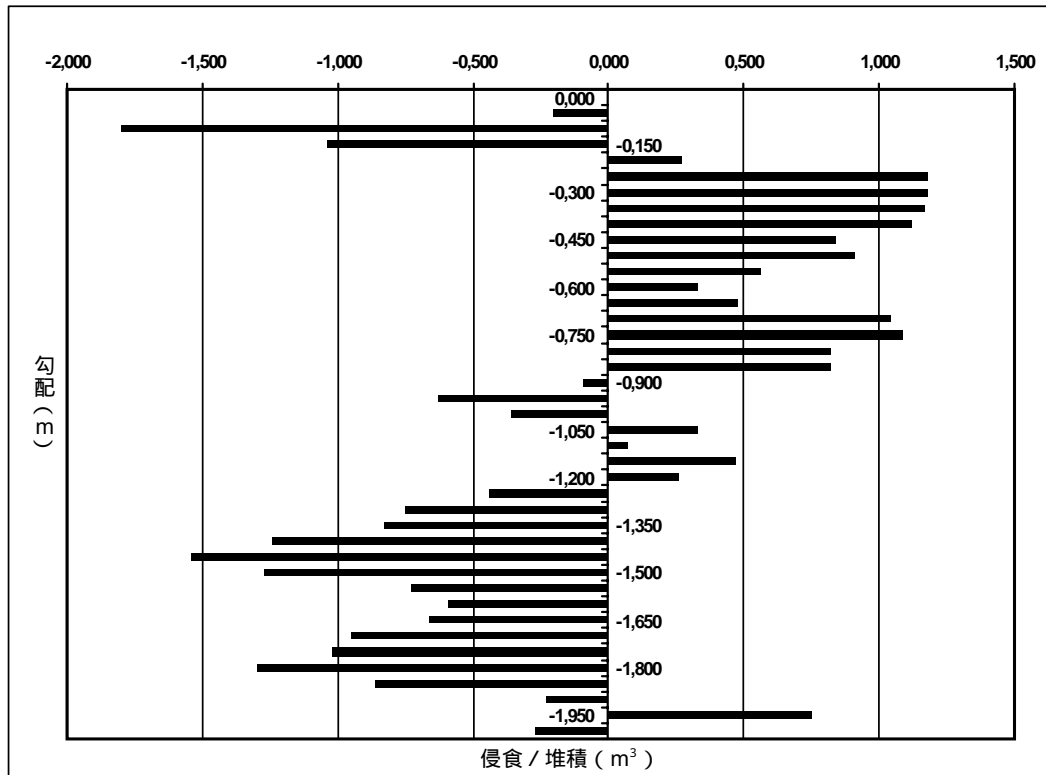


図24 ベドロ・アフォンソ事業地 (TO) ロット5番の土壤侵食調査区の土壤侵食 / 堆積の分布図

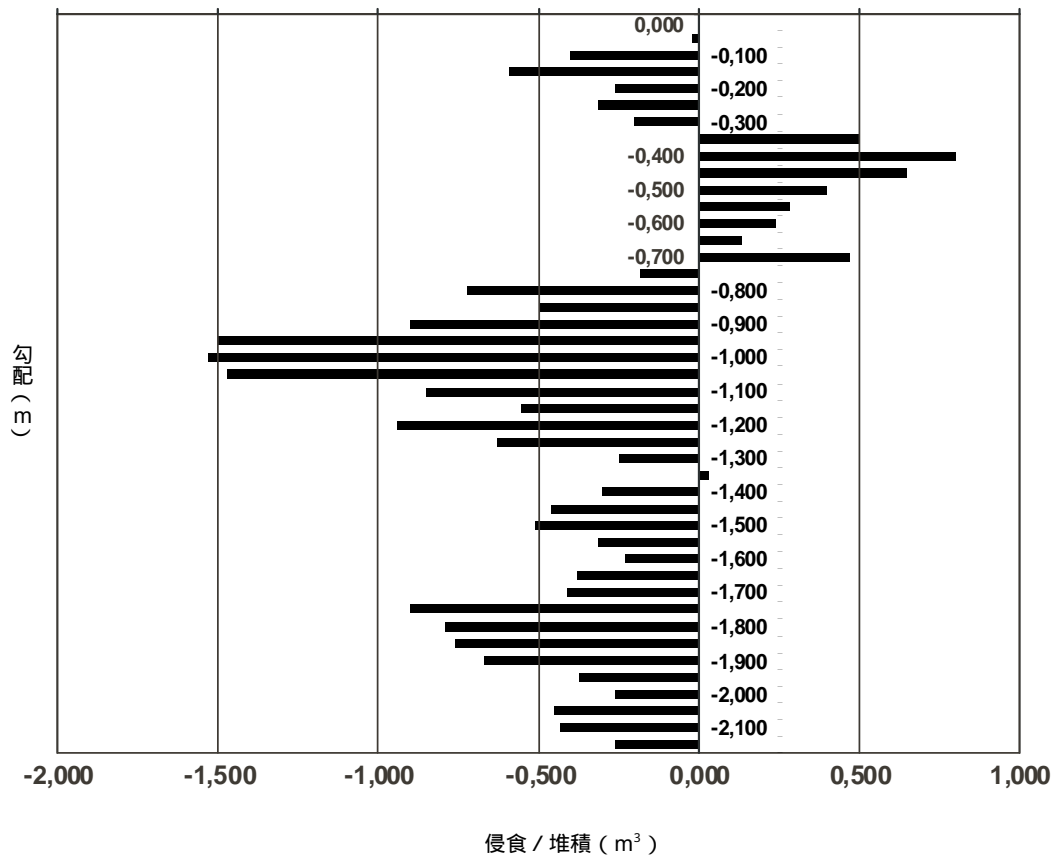


図25 ベドロ・アフォンソ事業地 (TO) ロット17番の土壤侵食調査区の土壤侵食 / 堆積の分布図

表7 ペドロ・アフォンソ事業地 (TO) の2ロットにおける2つの土壌侵食測定法の比較

方法	ロット	土壌体積(m <sup>3</sup> /ha)		体積の差(m <sup>3</sup> /ha)	土壌表面の厚さ		
		1998	1997		m	cm	mm
格子座標法	5番	10,081.16	10,093.44	-12.28	-0.00123	-0.123	-1.23
	17番	11,046.16	11,109.56	-63.40	-0.006340	-0.634	-6.34
ランダム法	5番	10,041.24	10,056.12	-14.88	-0.001488	-0.149	-1.49
	17番	11,006.48	11,074.44	-67.96	-0.006796	-0.680	-6.80



図26 カンボ社のアルヴァロ技師が土壌断面を調査しているところ。10-20cmの深さに硬盤層を発見、これが年6ミリの面状侵食を起こした。ペドロ・アフォンソ事業地 (TO) ロット17番にて (写真: 吉井、99/4)

#### 5.2.4 参考文献

坂西研二ほか、1995、光波式測量機械による造成地の土壌侵食の計測、土壌の物理性、71,53 - 56

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone Editora, 1990. 355p.

岩間秀矩、1996、セラードの土壌と持続的農業への課題、国際農林業協力、18( 4 )10 - 17

岩間秀矩、1993、中南米・畑作技術指導マニュアル、211 - 249、(社)全国農業改良普及協会

ORIOLO, A.L.; DURANTE, A.F.N.; OLIVEIRA, A.J.; NIINO, Y.; YOSHII, K. Avaliação da erosão de solos em área agrícola de cerrado no estado de Mato Grosso através de estação total (Geogímetro). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. Resumos... Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p. 447.

ORIOLO, A. L.; DURANTE, A. F .N.; YOSHII, K.; OLIVEIRA, A.J. Avaliação da erosão do solo em área de plantio direto no Cerrado através de estação total (Geogímetro). Trabalho apresentado no 2° Seminário Internacional do Sistema Plantio Direto. Passo Fundo, 6 a 9 de outubro de 1997.

ORIOLO, A.L.; OLIVEIRA, A.I.; DURANTE, A.F.N.; YOSHII, K.; FURUHATA, A. Medição da erosão de solo em áreas agrícolas de cerrado do Tocantins através de estação total ( Geogíetro ). Trabalho apresentado no 27° Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Brasília, 11 a 16 de julho de 1999.



## 5.3 水質のモニタリング

吉井和弘

古畑哲

### 5.3.1 モニタリングの手順

水質のモニタリングの対象には、事業地内を通して流れる河川を選定するのが一般的である。採水地点は最上流部と最下流部、それに中間部、また支流の合流点などを考慮して加えて、計5地点程度とする。各採水地点において毎月1回、決まった日時に行う。サンプルはポリエチレン製の容器に採取し、ポリエチレン製の瓶に保存する。水のpHと電気伝導度は水質の変化をいち早く知る指標となるので、これらの値は現地で測定する。また採水時には河川の流量も同時に測定する。河川流量は水質測定値と掛け合わせるにより、集水域における化学物質の流入総量と流出総量を推定することができ、さらに河川の水保留・移動状況を把握することによって、畑灌漑や家畜飼養上の用水量を計画するのに役立つ。採集されたサンプルは長距離輸送する機会が多いので、クール・ボックスに入れて運ばなければならない。

水質は年間を通してまた年次間でも変動することがあるので、調査は数年にわたって同地点において継続して行わなければならない。水質の変化が少ない場合にはその期間中測定を中止することができる。その後も、その集水域内の土地利用形態などに大きな変化があった場合、直ちに測定を再開できる機動性を維持する必要がある。耕作地とその周辺における陸水の水質は、肥料や農薬の施用量、人口、家畜の種類や頭数によって変わる。それで次のような情報を得ることが必要である。

#### (1) 土地利用形態など

- a) 集水域の面積、植生の面積(林地、天然草地と牧草地)、畑地の面積(大豆、トウモロコシ、陸稲、フェイジョン、野菜、このほか灌漑面積も併記する)、永年作物の面積(コーヒー)、荒廃地、湿地、湖沼、その他(河川、道路などの用地)
- b) 集水域の人口、家畜の飼育頭数(肉牛、乳牛、豚、鶏)
- c) 住宅地、工業用地、公共用地、畜産団地など(図面に記号で記載する)

#### (2) 肥料・農薬の使用状況

肥料(土壌改良資材を含む)のN、P、K、Caなどの要素のhaあたり施用量、農薬の種類・成分とhaあたり施用量

集水域の面積が大きいことが多いので、調査は聞き取り調査やリモート・センシングを用いることが望ましい。水質のモニタリングは水質測定結果とこれらの情報との関連性について解明することが基本であり、水質浄化機能の評価方法の考え方が参考になる。

### 5.3.2 分析項目と方法

窒素、リン、COD(化学的酸素要求量、有機物含量の指標)は周辺水域の富栄養化に関係する成分である。水域の藻類は、窒素やリンなどの栄養物質があれば、空気中の二酸化炭素を取り込んで光合成を行うことで増殖する。この増殖が大規模に行われると、その死骸と残さが川底に沈澱し、そ

の沈澱物の分解が溶存酸素を大量に消費し、水中の酸素が不足することとなる。この酸素不足は水中の動植物の生態系に重大な影響を及ぼすことになる。

水中の溶存酸素濃度が高いときには水中の有機物は二酸化炭素と水に分解される。さらにタンパク質のように窒素を含む有機物は、その他にNH<sub>4</sub><sup>+</sup>やNO<sub>2</sub><sup>-</sup>を経由してNO<sub>3</sub><sup>-</sup>に酸化され、この形で水中で安定して存在するようになる。窒素肥料や家畜ふん尿を農地に施肥した場合、作物に吸収されなかったものや土壌有機物として取り込まれなかった窒素成分が地表水や地下水の移動に伴って流水域にNO<sub>3</sub><sup>-</sup>として流出することになる。もしその量が過剰である場合、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度が高まり、富栄養化を深刻化させ、さらにNO<sub>3</sub><sup>-</sup>を含む水を飲用水として利用した場合、人や家畜のメタ・ヘモグロビン症を引き起し、健康を損なう危険性がある。

pHは水中溶存イオンの濃度を表し、農業生産性を規制するものである。電気伝導度(導電率)は溶存する各種イオン濃度の総和とほぼ一義的な関係があり、水質の変化を迅速に知ることができる。Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の各イオンにSiO<sub>2</sub>を加えた成分は、水の基本骨格を表すもの

である。Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>などの陽イオンは造岩鉱物の風化によって液相に溶解し、また、人為的にも付加されたりする。また農地の土壌が酸性であった場合、Ca<sup>2+</sup>は土壌酸度中和のための石灰質資材として多量に施用される。しかしながらCa<sup>2+</sup>だけの投入はMg<sup>2+</sup>の欠乏を引き起こすので、Mg<sup>2+</sup>入りの資材や肥料を併用するが多い。K<sup>+</sup>は肥料のほか、家畜のふん尿中に多く含まれる。Na<sup>+</sup>は海水と人間活動による汚染が主な源である。

Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は海水の影響、人間活動、岩石の風化、降雨などの他に肥料の随伴イオンとして付加される。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>は石灰岩の風化過程や、動物の死骸や植物体の腐敗分解過程や、水生植物の呼吸で生成された二酸化炭素が水に溶け込むことで生成される。これは二酸化炭素ガスとして大気中への放出や藻類の光合成により消費される。Al<sup>3+</sup>やSiO<sub>2</sub>は岩石や土壌由来であるが、その種類により異なる溶解度を示す。SS(懸濁物質)には水分散性の粘土や有機物、プランクトン、微生物やその他種々の物質が含まれ、汚染を知る目安となる。

以上の各項目の分析方法は表8に一覧で載せた。分析方法の詳細は専門書を参照していただきたい。

表8 水質分析の項目と方法

分析項目	分析方法
pH	ガラス電極法
EC	電気伝導計
NH <sub>4</sub> -N	インドフェノール比色法
NO <sub>3</sub> -N	硫酸ヒドラジニウム比色法、カドミウム - 銅 - カラム法
P	イオン・クロマトグラフィ
Ca	原子吸光法、EDTA滴定法
Mg	原子吸光法、EDTA滴定法
K	原子吸光法、炎光度法
Na	原子吸光法、炎光度法
Al	アルミニウム比色法、センダクローム比色法
SO <sub>4</sub>	イオン・クロマトグラフィ、比濁法
Cl	イオン・クロマトグラフィ、チオシアン酸水銀比色法
アルカリ度 (HCO <sub>3</sub> )	硫酸滴定法
SiO <sub>2</sub>	モリブデン黄比色法、モリブデン青比色法
COD	酸性過マンガン酸カリウム滴定法
SS	重量法

### 5.3.3 河川流量の測定法

河川流量は以下のような手順で行う。まず測定地点の河川の横断面を巻尺で測定する。横断面を等間隔で垂直線でいくつかの小断面に区切る。流速計を用いてその垂直線あたりの流速を測定する。水深が10 - 75cmと浅い場合は深度10分の6にあたる部位の平均値を測定する。深度が75cm以上ある場合は10分の2および10分の8にあたる2点にお

いて平均値を測定する。河川の流量測定には一般にはプライス式流速計を使用し、流れの緩やかな点では特別の微速用の流速計を用いる(図27)。長期にわたる観察には、水位と流量の曲線を作成しておけば、流量を水位の観測のみにより推定することもできる。水深と流速を測定後、流量を測定値と垂直横断面の間隔を用いて算出する。全流量は各区分の流量の合計により得られる。



図27 アロイジオ補助員が流量計に接続したプライス式流速計を使って、流量を測定しているところ。ピウヴァ事業地 (MT) 水サンプリングP 1 - 4地点にて (写真:オリヴェイラ、95/10)

流速の極めて遅い地点では流量測定は、三角堰や台形の堰(シポレッチ・タイプ)を用いて行われる(図28、29)。これらの地点では流量の測定は堰の上流部に設置された測定棒の上の水面高を測ることにより行われる。この測定棒はその設置時の堰の下端の水面のレベルに合わせて設置されるも

のである。

三角堰による流量計測範囲は0.22から390l/sであり、おのおの堰の高さの3cmから60cmにあたる。台形堰の測定範囲(シポレッチタイプ)は9.66から864l/sと幅があり、測定高でそれぞれ3cmから60cmである。



図28 コロマンデル事業地(MG)の水サンプリングCO-1地点に設置された三角堰(写真:オリヴェイラ、95/12)



図29 アナ・テラ事業地(MT)の水サンプリングAT-1地点に設置された台形の堰(シボレチ・タイプ)の上流部に設置された測定棒の水面高を測定しているところ(写真:オリヴェイラ、96/5)

### 5.3.4 調査例：イライ・デ・ミナス事業地(MG)リベイロン・パンタニニョ川流域の水質のモニタリング

イライ・デ・ミナス地区はブラジリアの南550kmに位置し、標高950から1,050mの平坦あるいは緩やかな起伏の地形上にある。年平均気温20℃、年降雨量1,200から1,800mmで、4月から6月には降雨が極めて少ない。地区内には大河川がなく、ほとんどが流量1.0m<sup>3</sup>/秒以下の小河川であり、しかも地区内に源を発している。土壌は赤黄色ラトソルが主体である。セラード農業開発第1期事業地であり、1980年に入植が開始され、9,000ヘクタールの農耕地が開拓されている。

調査対象河川はパンタニニョ川といわれる小河川で、その流域は図30、表9のように全面積3,803haのうち、一年生作物2,030ha(大部分が大豆)、灌漑作物204ha(ほとんどがトウモロコシ)、永年生作物47ha(コーヒ)が栽培されている。植林地や湿地も広い面積を占めている。溪畔林や湿地は河川敷に相当する地帯に分布する。

採水地点は1本の川の水源の湧水部、中流域および最下流域に計5カ所設けられた。これらの地点では川の中心部および両端の水深中程度でそれぞれ1リットル、計3リットルを採取した。採取後は水を混合攪拌して、2リットルの水を取りブラジル農牧研究公社(EMBRAPA)セラード研究所に物理的・化学的分析のために運んだ。サンプルの採取と同時にその地点において河川の流量の測定を行い、総流量をm<sup>3</sup>/sで求め、分析した成分の総量を計算した(図31)。

水質測定は毎月ほぼ順調に行うことができた。93年の8月から96年12月現在までの調査結果では、水質は対象河川のどの採水地点においても、この

全期間を通して極めてよく、単純な処理で飲料水として使える(図32-38)。水質に最も影響を及ぼす農作業の期間つまり土壌耕起(施肥)と播種期間(94年9月~95年1月)の測定データを表10に示した。

流域における化学物質の流入総量と流出総量については、通常、最上流部と最下流部の地点を対象に、全期間にわたっての河川流量の平均値を算出し、これらをさらに年当たりの水量に換算する。次に注目する成分を選び、その成分の同一地点における全期間にわたっての平均値を求める。これに年当たりの水量を掛けることによって、注目成分の集水域への流入量と集水域からの流出量を推測する。それらの差が流域からの年間流出量になる。

しかしこのモニタリングでは最上流部が水源地であるので、集水域からの年間流出量は最下流部の測定値のみでよい。NH<sub>4</sub>-NとNO<sub>3</sub>-Nとの含量の無機態窒素の例では、本集水域から流出した無機態窒素は1年間0.59から0.77トンであった(表11)。放出された窒素の量は、施用された肥料と比較すると極少量であった(表12)。

本集水域の主作目の大豆およびトウモロコシは、その窒素施肥量が大豆では0、トウモロコシでは基肥20kg/ha、追肥20から90kg/haである。作物による窒素吸収量を考慮すると、施肥によって河川水質への汚染影響はほとんど起こり得ない状況とみられる。しかも大豆-トウモロコシの輪作を実施し、前作の残渣中窒素の再利用が図られている。また、河川に隣接した溪畔林や湿地の存在が、水質の浄化に貢献できるものと考えられる。

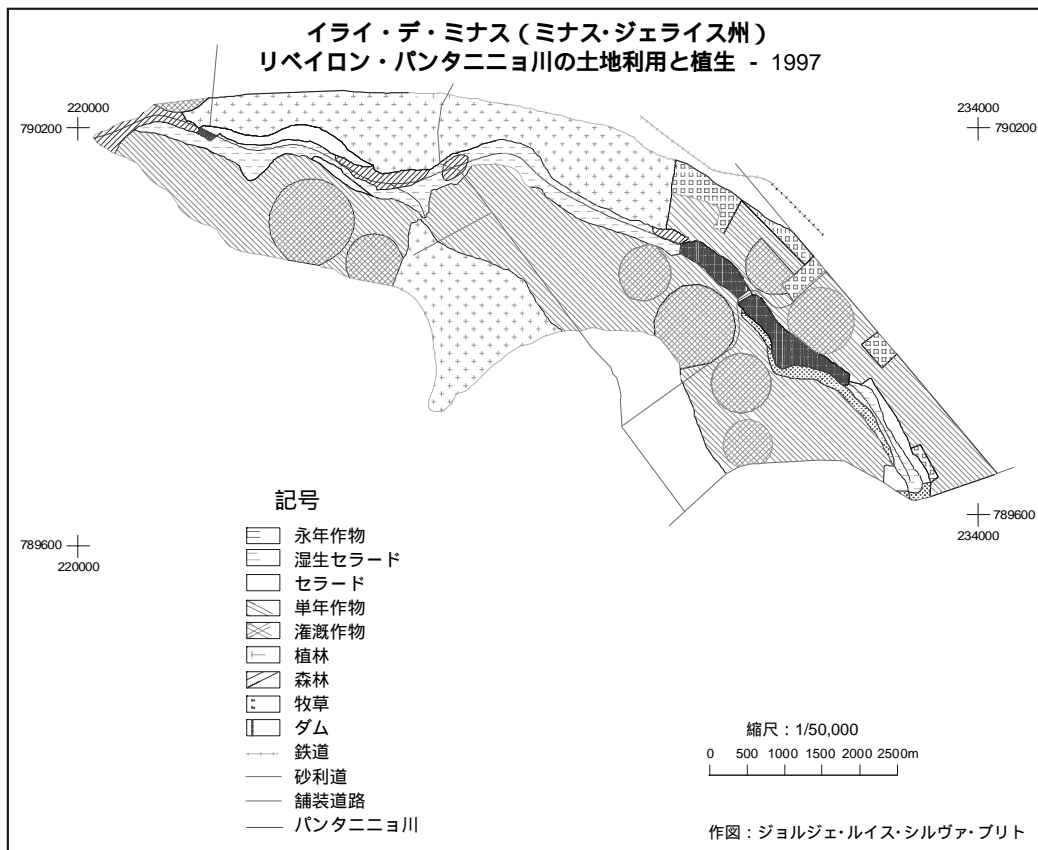


図30 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) のリベイロン・パンタニョ川流域の土地利用地図、1993

表9 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) のリベイロン・パンタニョ川流域の土地利用 (1993年)

N.o	Classificação	Área (ha)	(%)
1	単年作物	2,030	53.4
2	植林地	940	24.7
3	湿地帯	378	9.9
4	灌漑作物	204	5.4
5	セラード	79	2.1
6	ダム	63	1.7
7	原生林	53	1.4
8	永年作物	47	1.2
9	牧草	9	0.2
	計	3,803	100.0

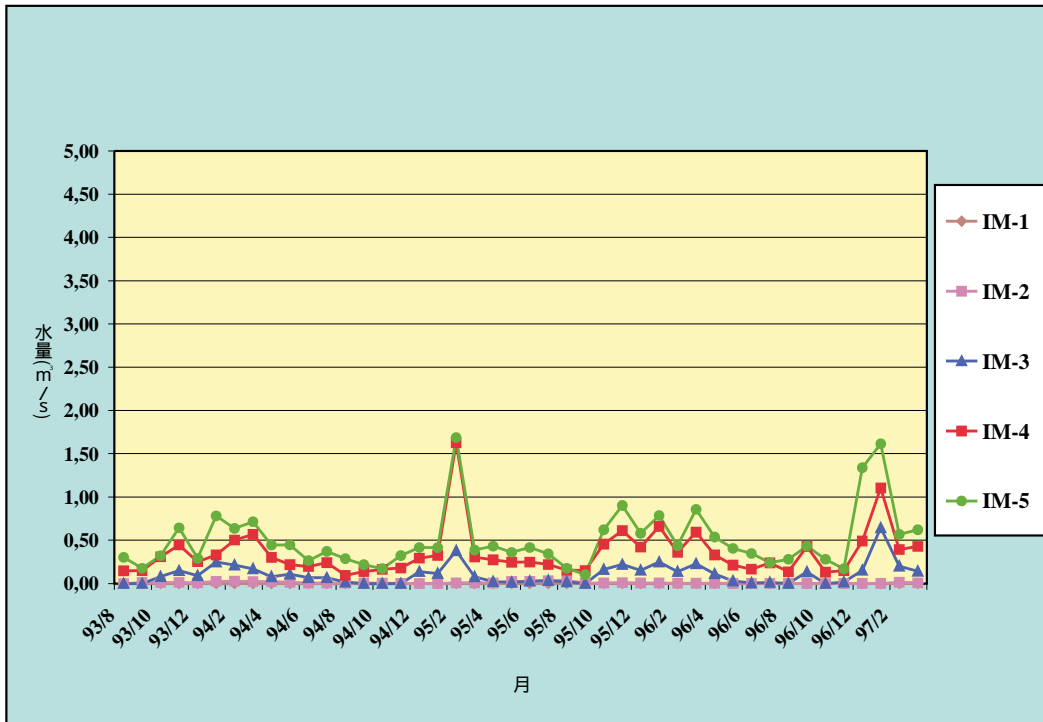


図31 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) のリベイロン・パンタニニョ川の1993年8月から1997年3月までの水量

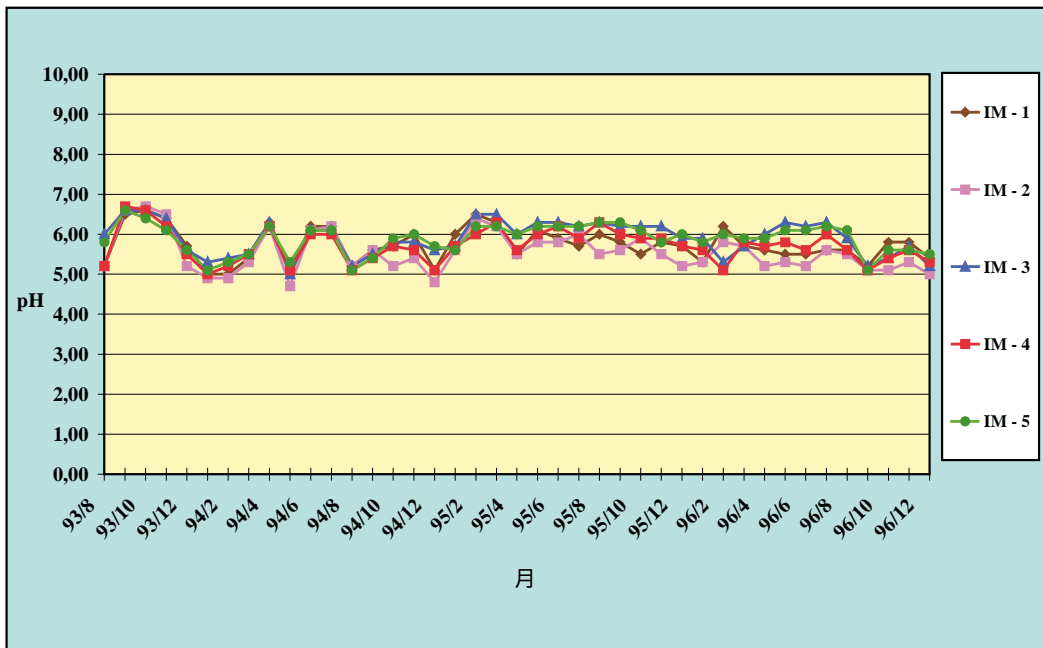


図32 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) のリベイロン・パンタニニョ川の1993年8月から1996年12月までのpH

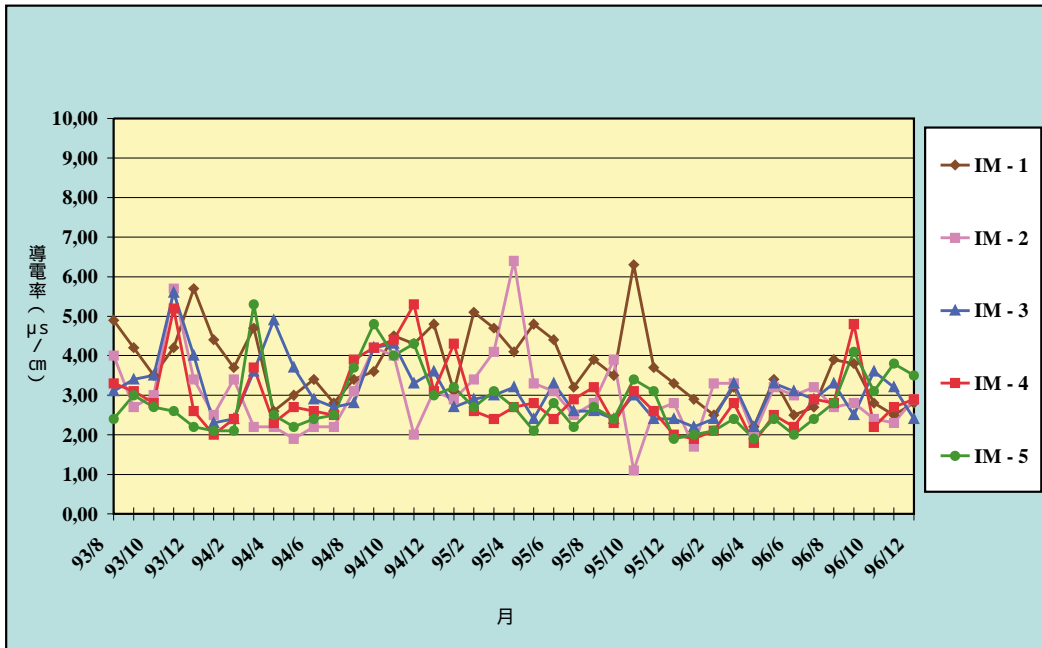


図33 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) のリベイロン・パンタニニョ川の1993年8月から1996年12月までの電気伝導度

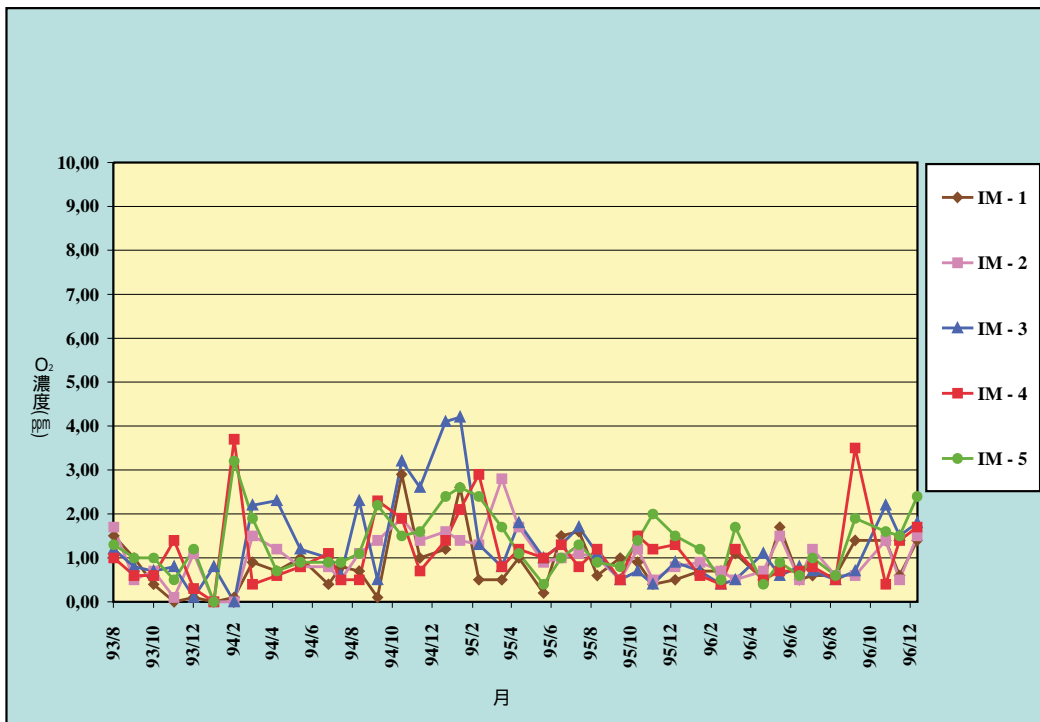


図34 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) のリベイロン・パンタニニョ川の1993年8月から1996年12月までの化学的酸素要求量



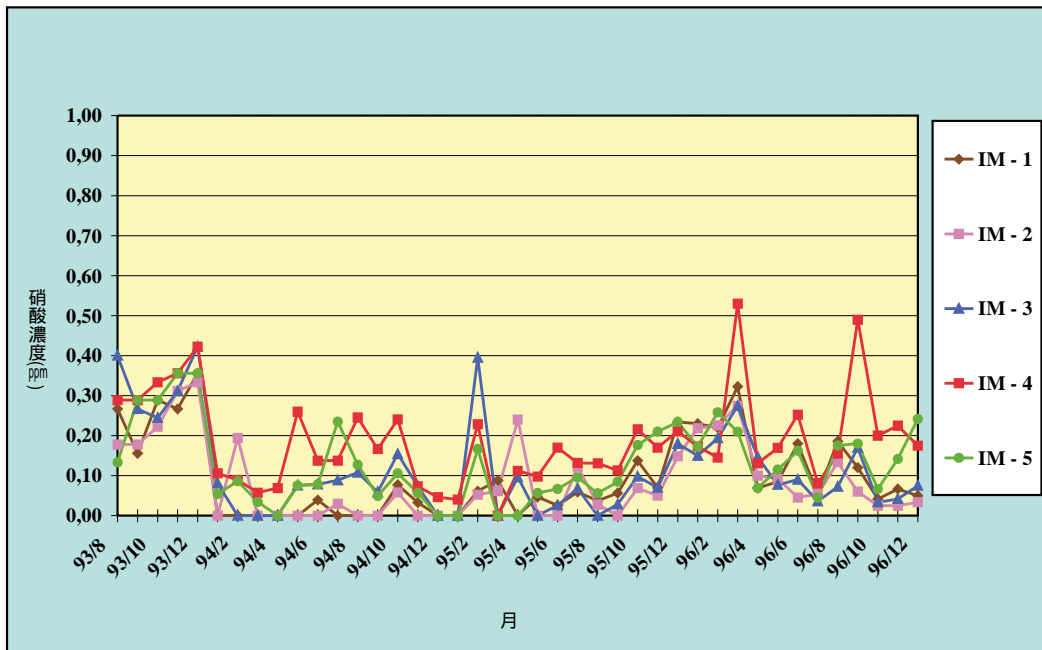


図35 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) のリベイロン・パンタニニョ川の1993年8月から1996年12月までの硝酸濃度

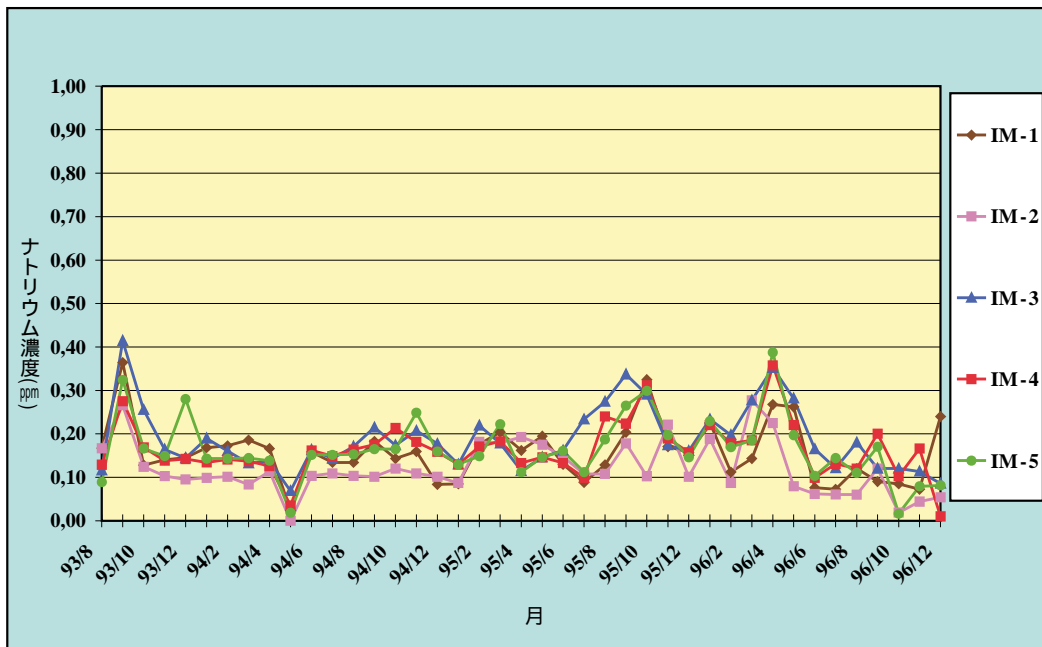


図36 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) のリベイロン・パンタニニョ川の1993年8月から1996年12月までのナトリウム濃度

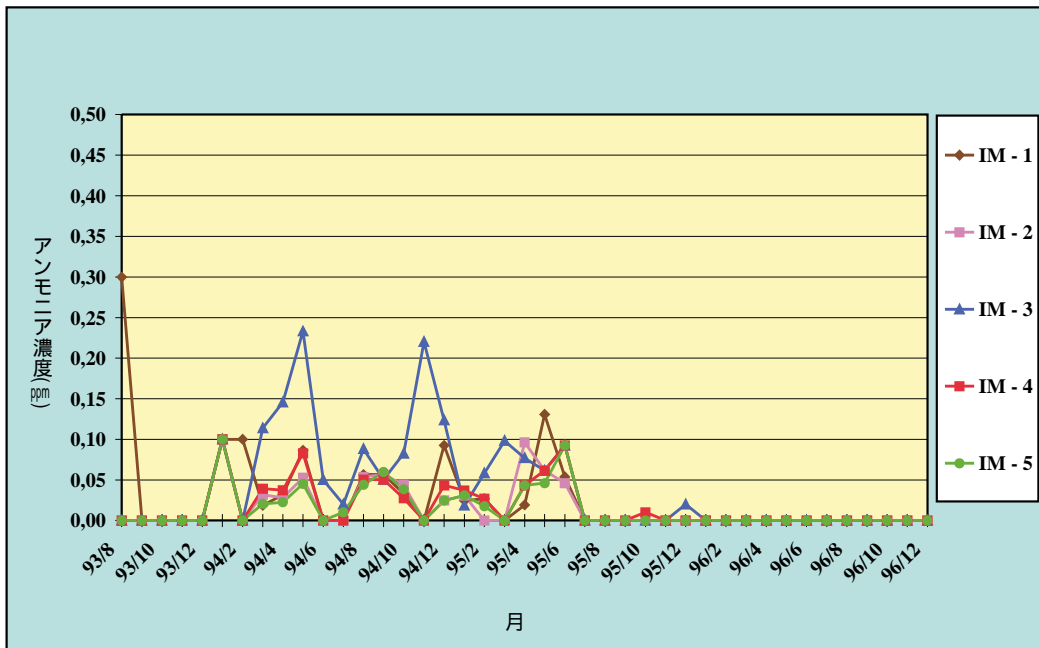


図37 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) のリベイロン・パンタニニョ川の1993年8月から1996年12月までのアンモニア濃度

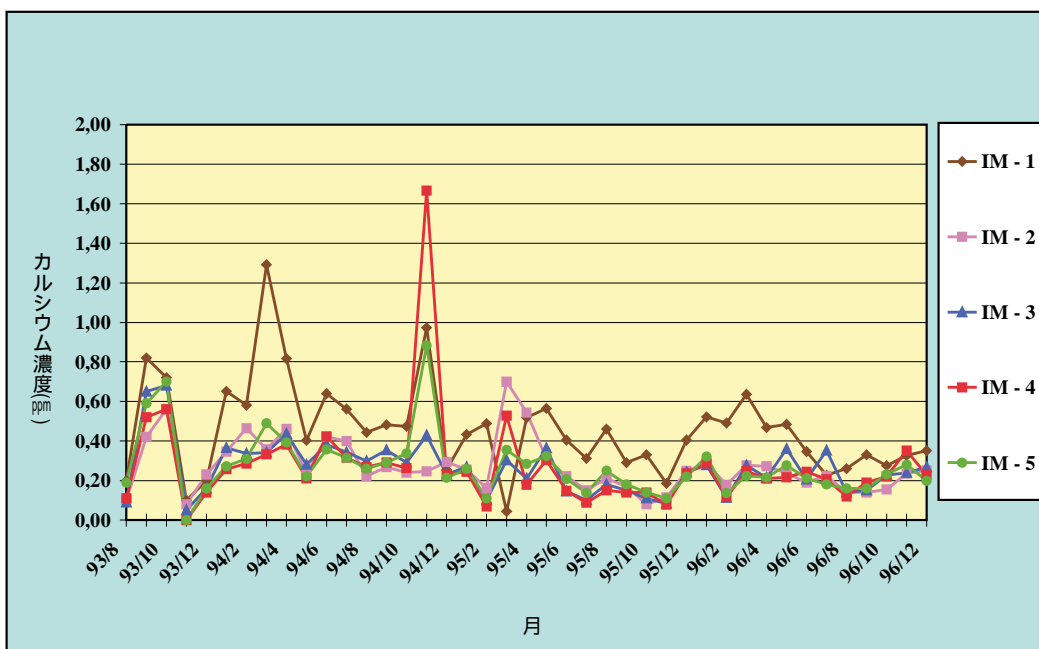


図38 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) のリベイロン・パンタニニョ川の1993年8月から1996年12月までのカルシウム濃度

表10 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) のリベイロン・パンタニニョ川の1994年9月から1995年1月までの水質

場所	採集日	pH	導伝率 oS/cm	Cl ppm	NO <sub>3</sub> ppm	SO <sub>4</sub> ppm	Na ppm	K ppm	NH <sub>4</sub> ppm	Ca ppm	Mg ppm	P ppm	Al ppm	SiO <sub>2</sub> ppm	COD ppm O <sub>2</sub>	ALCAL. mg/l CaCO <sub>3</sub>	SS mg/l
IM-1	8/09/94	5.6	3.6	<0.5	<0.03	<0.2	0.18	0.13	0.06	0.48	0.062	<0.004	<0.004	2.4	0.1	2.2	1.2
IM-2	8/09/94	5.6	4.2	<0.5	<0.03	<0.2	0.10	<0.01	0.06	0.27	0.022	<0.004	0.009	4.1	1.4	2.1	0.4
IM-3	8/09/94	5.5	4.2	<0.5	0.06	<0.2	0.21	0.10	0.05	0.35	0.047	<0.004	<0.004	3.9	0.5	3.0	4.4
IM-4	8/09/94	5.4	4.2	<0.5	0.17	<0.2	0.17	0.07	0.05	0.29	0.037	<0.004	0.007	5.3	2.3	2.1	1.2
IM-5	8/09/94	5.4	4.8	<0.5	0.05	<0.2	0.17	0.07	0.06	0.29	0.053	<0.004	<0.004	5.6	2.2	4.0	2.4
IM-1	15/10/94	5.7	4.5	<0.5	0.08	<0.2	0.14	0.15	0.03	0.47	0.077	<0.004	<0.004	2.5	2.9	2.9	5.6
IM-2	15/10/94	5.2	4.0	<0.5	0.06	<0.2	0.12	0.07	0.04	0.24	0.032	<0.004	<0.004	4.5	1.9	2.0	4.0
IM-3	15/10/94	5.8	4.3	<0.5	0.15	<0.2	0.17	0.09	0.08	0.29	0.053	<0.004	<0.004	4.6	3.2	2.2	15.2
IM-4	15/10/94	5.7	4.4	<0.5	0.24	<0.2	0.21	0.22	0.03	0.26	0.054	<0.004	<0.004	4.5	1.9	2.8	5.6
IM-5	15/10/94	5.9	4.0	<0.5	0.11	<0.2	0.17	0.12	0.04	0.34	0.067	<0.004	<0.004	3.5	1.5	2.7	3.2
IM-1	11/12/94	6.0	4.3	<0.5	0.03	<0.2	0.16	0.19	<0.01	0.97	0.083	<0.004	<0.004	4.9	1.0	2.4	3.2
IM-2	11/12/94	5.4	2.0	<0.5	<0.03	<0.2	0.11	0.05	<0.01	0.25	0.030	<0.004	0.004	5.2	1.4	2.3	0.8
IM-3	11/12/94	5.8	3.3	<0.5	0.07	<0.2	0.21	0.12	0.22	0.43	0.056	<0.004	<0.004	2.9	2.6	2.3	4.8
IM-4	11/12/94	5.6	5.3	<0.5	0.07	0.2	0.18	0.06	<0.01	1.67	0.042	<0.004	0.004	4.4	0.7	2.3	1.2
IM-5	11/12/94	6.0	4.3	<0.5	0.06	<0.2	0.25	0.14	<0.01	0.88	0.068	<0.004	0.005	3.3	1.6	2.6	0.8
IM-1	21/12/94	5.1	4.8	<0.5	<0.03	<0.2	0.08	0.08	0.09	0.25	0.058	<0.004	0.005	3.9	1.2	3.1	3.1
IM-2	21/12/94	4.8	3.1	<0.5	<0.03	<0.2	0.10	0.11	0.02	0.29	0.055	<0.004	0.005	5.6	1.6	3.7	2.8
IM-3	21/12/94	5.6	3.6	<0.5	<0.03	<0.2	0.18	0.20	0.12	0.23	0.045	0.004	0.005	4.5	4.1	3.1	6.3
IM-4	21/12/94	5.1	3.1	<0.5	0.05	<0.2	0.16	0.08	0.04	0.23	0.037	<0.004	0.005	4.8	1.4	3.1	3.0
IM-5	21/12/94	5.7	3.0	<0.5	<0.03	<0.2	0.16	0.10	0.02	0.21	0.054	<0.004	0.005	5.8	2.4	2.7	3.8
IM-1	12/01/95	6.0	3.1	<0.5	<0.03	<0.2	0.08	0.09	0.02	0.43	0.056	<0.004	0.005	3.5	2.6	3.3	2.4
IM-2	12/01/95	5.6	2.9	<0.5	<0.03	<0.2	0.09	0.08	0.03	0.26	0.041	0.004	0.006	5.3	1.4	3.1	1.8
IM-3	12/01/95	5.7	2.7	<0.5	<0.03	<0.2	0.13	0.12	0.02	0.27	0.040	<0.004	0.007	5.2	4.2	3.2	4.8
IM-4	12/01/95	5.7	4.3	<0.5	0.04	<0.2	0.13	0.10	0.04	0.24	0.050	0.004	0.005	5.7	2.1	2.9	4.1
IM-5	12/01/95	5.6	3.2	<0.5	<0.03	<0.2	0.13	0.11	0.03	0.26	0.070	0.004	0.005	4.4	2.6	2.7	3.1

表11 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) リベイロン・パンタニニョ川流域から1993年から1997年に放出された窒素の量の計算

農年度	水量		NO <sub>3</sub>			NH <sub>4</sub>			N年間総計 (6) ( t / 年 )	N年間総 放出量 (7) ( t / 年 )
	月平均 (m <sup>3</sup> / s)	年間総計(1) (1,000m <sup>3</sup> /年)	月平均 (ppm)	年間総計(2) ( t / 年 )	N年間総計(3) ( t / 年 )	月平均 (ppm)	年間総計(4) ( t / 年 )	N年間総計(5) ( t / 年 )		
93/94	0.484	10,027.930	0.167	1.675	0.378	0.027	0.271	0.211	0.589	0.589
94/95	0.453	14,285.808	0.075	1.071	0.242	0.024	0.343	0.267	0.509	0.509
95/96	0.568	17,912.450	0.135	2.418	0.546	0.015	0.269	0.209	0.755	0.755
96/97	0.760	23,967.360	0.143	3.427	0.774	0.000	0.000	0.000	0.774	0.774

注)

1 = 年間総計 = 月平均 (m<sup>3</sup> / s) x 60 x 60 x 24 x 365

2 = NO<sub>3</sub> 年間総計 = 月平均 (ppm) x 水量年間総計

3 = N年間総計 = NO<sub>3</sub> 年間総計 x 1/4 / 62

4 = NH<sub>4</sub> 年間総計 = 月平均 (ppm) x 水量年間総計

5 = N年間総計 = NH<sub>4</sub> 年間総計 x 1/4 / 18

6 = N年間総計 = (NO<sub>3</sub> 年間総計 x 1/4 / 62) + (NH<sub>4</sub> 年間総計 x 1/4 / 18)

表12 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) のリベイロン・パンタニョ川流域で93/94農年度から96/97農年度に施用された肥料の量

農年度	Quantidade de fertilizantes (t)											
	00,20,20	02,20,20	04,20,20	20,00,20	06,16,16	06,18,12	00,16,16	08,28,20	塩化カリ	過リン酸石灰	尿素	計
1993/1994	294.54	150.30	344.26	20.00	-	-	-	-	-	-	121.62	930.72
1994/1995	232.25	158.45	452.49	20.00	-	-	-	-	-	-	135.47	998.66
1995/1996	355.43	-	506.45	-	-	30.27	-	-	28.40	9.80	143.40	1,073.75
1996/1997	115.80	42.00	359.40	59.20	354.40	22.80	53.55	245.95	37.00	39.20	308.88	1,638.18
計	998.02	350.75	1662.60	99.20	354.40	53.07	53.55	245.95	65.40	49.00	709.37	4,641.31

### 5.3.5 調査例：マラニオン州南部シャバード・ダス・マンガベirasでの農業入植事業実施が水量と水質に及ぼす影響

マラニオン州でジェライス・デ・バルサス地区入植プロジェクトのための場所が選ばれた。その地域はバルサス郡の南部に位置し、マンガカル川とテン・メド川の水源に近いところにあり、4万haの面積を有する。またここは以前農業活動がまったく行われていなかった場所でもある。

事業によって展開される農業活動が水量および水質に与える影響をモニタリングする目的で、入植事業実施以前の1994年10月より、流域において月々の水量の測定と水のサンプリングを開始した。

この調査のために採水地点が川の水源の湧水部、中流域および最下流域の計5カ所に設けられた。流量の測定には3本翼のプライス式流速計(三映式：日本製)を使った。

分析用の水のサンプル収集の地点は、水量の測定と同じ地点であった。これらのサンプル採集地点で同時に流量計測も行った。これらの地点において川の中央と両端の水の深さ約半分の所で1リットルずつ(計3リットル)をとり、3リットルを混合して、2リットルをとり、氷入りの発泡スチ

レンの箱に入れて実験室に運んだ。

水質の検査はブラジル農牧研究公社(EMBRAPA)セラード研究所に物理化学分析を依頼し、次の項目の分析を行った；(1)pH、(2)導電率、(3)化学的酸素要求量(COD)、(4)アルカリ性、(5)懸濁物質、さらに水中の(6)塩素、(7)硝酸、(8)硫酸、(9)ナトリウム、(10)カリウム、(11)アンモニア、(12)カルシウム、(13)マグネシウム、(14)リン、(15)アルミニウム、(16)ケイ素、の濃度。分析方法のほとんどは、“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”(American Public Health Association, 16 ed., 1985, 1268p)およびブラジリア上下水道局(CAESB)の化学分析マニュアルによった。

衛星写真LANDSAT；97.7.24の解析によると、流域の広さは56,906.4haで、そのうちセラードは20,643ha、河畔林2,451ha、牧草1,131ha、村落576ha、単年作物22,429ha、森林伐採区8,376ha、灌漑区(セントラル・ピヴォ)1,300ha、であった。この中、ジェライス・デ・バルサス事業地(MA)の部分は、27,835haで、その内訳は単年作物17,166ha、セラード8,248ha、河畔林1,116ha、灌漑区(セントラル・ピヴォ)1,300ha、森林伐採区2ha、牧草地3haであった(図39、表13)。

事業地内では、5トンの石灰、1.2トンの溶リン、0.6トンの塩化カリと0.45トンのNPKが95/96農年度に施用された。96/97農年度には0.45トンのNPKが施用された。森林伐採を95年6月に開始して、事業地内で95/96農年度には10,363ha、96/97農年度には20,362ha(灌漑区を含む)が耕作された。この中の約17,165haが流域内にあった。

灌漑設備の設置は2期に分けて行われた。96年6～8月に16基；1基につき50haで合計800ha、97年2～4月にさらに10基のセントラル・ピヴォ、合計1,300haが設置された。

プロジェクトの最下流であるMA - 5は、川の総流域で展開される活動の効果を代表する。この関係で、展開した評価はこの地点におけるデータで行った。

94年10月のモニタリング調査の開始から農業活動の開始までの間の10カ月、この期間に集めたデータは、事業実施以前の基準を示すものである。

灌漑設備の設定前の95年5月から10月までの乾期の水量のデータと比較すると、16基の灌漑施設が稼働し始めた96年5～10月は18%の減少、さらに10基の灌漑設備が稼働し始めた97年5～10月、つまり計1,300haが灌漑されたとき、水量の減少は37%であった(図40、表14)。

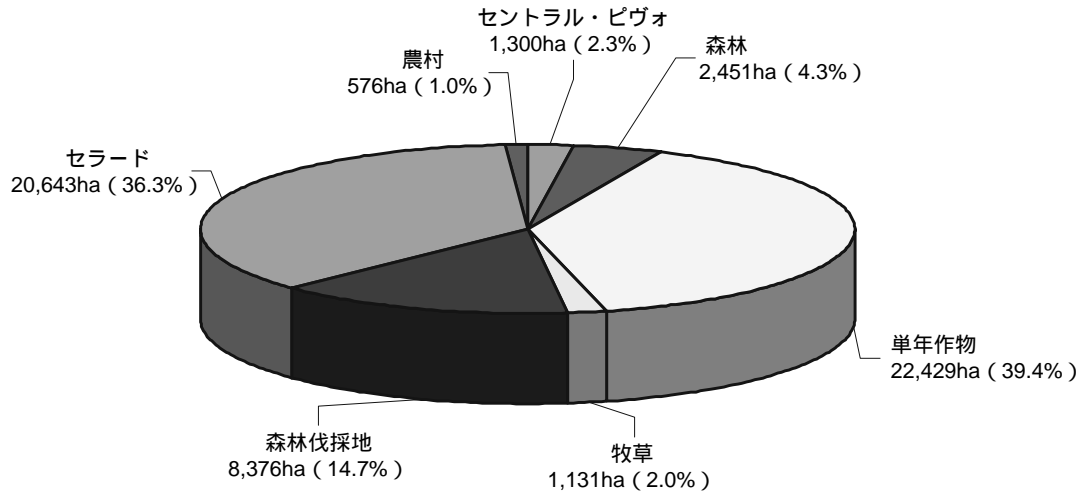
これらの値は測定水量を示し、この期間の降雨量は考慮されていない。有効降雨量を考慮すると、測定された水量は灌漑に必要な量および生態学的水量を上回った(表15)。水質のパラメーターに関しては、事業実施以前の分析と、実施後の分析を比較すると有意差はなかった(図41 - 45)。

この調査結果に基づいて、川沿いに200m以上の幅を保全し、さらに効率的な土壌保全システムに合わせて50%の事業地が保留地であるという実施モデルは、環境のバランスをこわすことなく高い生産性をもたらす、持続的な農業モデルを実現することと結論するものである。

表13 マラニョン州バルサス郡テン・メド川集水域の土地利用調査(衛星写真:08.02)

N.o	土地使用と利用	面積			
		プロジェクト内面積 (ha)	プロジェクト外面積 (ha)	計 (ha)	(%)
1	単年作物	17,166	5,263	22,429	39.4
2	セラード	8,248	12,395	20,643	36.3
3	森林伐採地	2	8,374	8,376	14.7
4	森林	1,116	1,335	2,451	4.3
5	セントラル・ピヴォ	1,300	0	1,300	2.3
6	牧草	3	1,128	1,131	2.0
7	農村	0	576	576	1.0
	計	27,835	29,071	56,906	100.0

(出典: LANDSAT-TMS 1997.8.2)



出典：LANDSAT-TMS  
1998.8.2.-Bands 2,3 & 4

図39 マラニョン州バルサス郡テン・メド川集水域の土地利用調査

表14 ジェライス・デ・バルサス事業地テン・メド川沿いIMA - 5地点における1994年10月から1997年12月までの水量の変化

MÊS \ ANO	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1994										(1) 3.2849		
										(1) 3.4554	3.5767	4.9193
1995	4.7008	4.5581	4.9723	5.7992	5.7779	4.0732	4.0732	3.9521	3.3294	3.2923	(2) 8.6515	4.9145
1996	4.4458	5.2449	5.7938	4.8663	4.1682	3.9987	3.5057	(3) 3.0740	(4) 2.8343	3.2217	4.3096	2.9032
1997	5.0713	4.1271	5.5357	(5) 4.7940	(6) 3.1392	(7) 2.7624	2.6440	2.7646	2.8155	3.7597	3.0051	3.5443
平均	4.7393	4.6434	5.4339	5.1531	4.3617	3.6114	3.4076	3.2635	2.9930	3.4028	5.3221	4.6433

注) 1=94/10の月初めと月末に測定した水量  
 2=強い雨の中で測定した水量  
 3=96/8測定の日にはピヴォ5基稼動中  
 4=96/9測定の日にはピヴォ7基稼動中  
 5=97/4ピヴォ20基設置  
 6=97/5ピヴォ24基設置  
 7=97/6ピヴォ26基設置

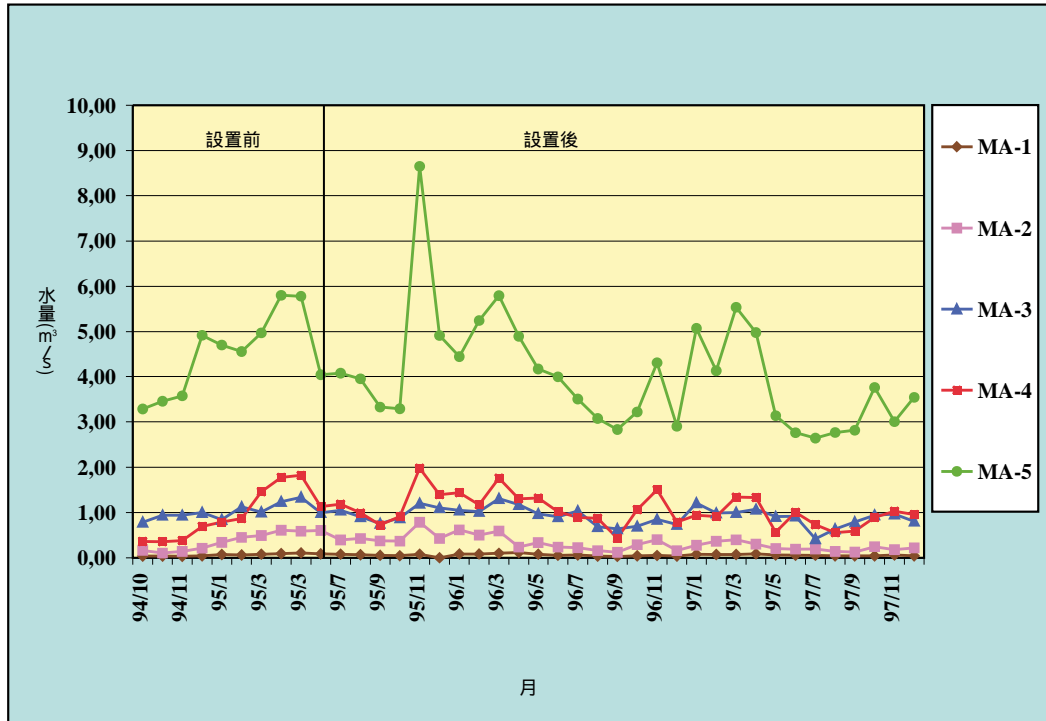


図40 ジェライス・デ・バルサス事業地テン・メド川沿いIMA - 2、MA - 4、MA - 5地点とマンダカル川沿いIMA - 1、MA - 3地点における1994年10月から1997年12月までの水量の変化

表15 有効降雨量を考慮した水の総必要量とジェライス・デ・バルサス事業地テン・メド川沿いIMA - 5地点において測定された水量のバランス

単位：m <sup>3</sup> /秒	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
灌漑	0.79	0.51	0.37	0.53	1.44	0.99	1.47	1.21	1.37	1.64	1.04	0.48
環境水量	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
必要水量	2.17	1.89	1.75	1.91	2.82	2.37	2.85	2.59	2.75	3.02	2.42	1.86
測定水量	4.7393	4.6434	5.4339	5.1531	4.3617	3.6114	3.4076	3.2635	2.993	3.4028	4.8857	4.0703
水量差	2.5693	2.7534	3.6839	3.2431	1.5417	1.2414	0.5576	0.6735	0.2430	0.3828	2.4657	2.2103

注) すべての月において、測定水量は灌漑に必要な量と環境水量を上回った。環境水量とは10年間に起こった7日間連続した最低水量の平均。

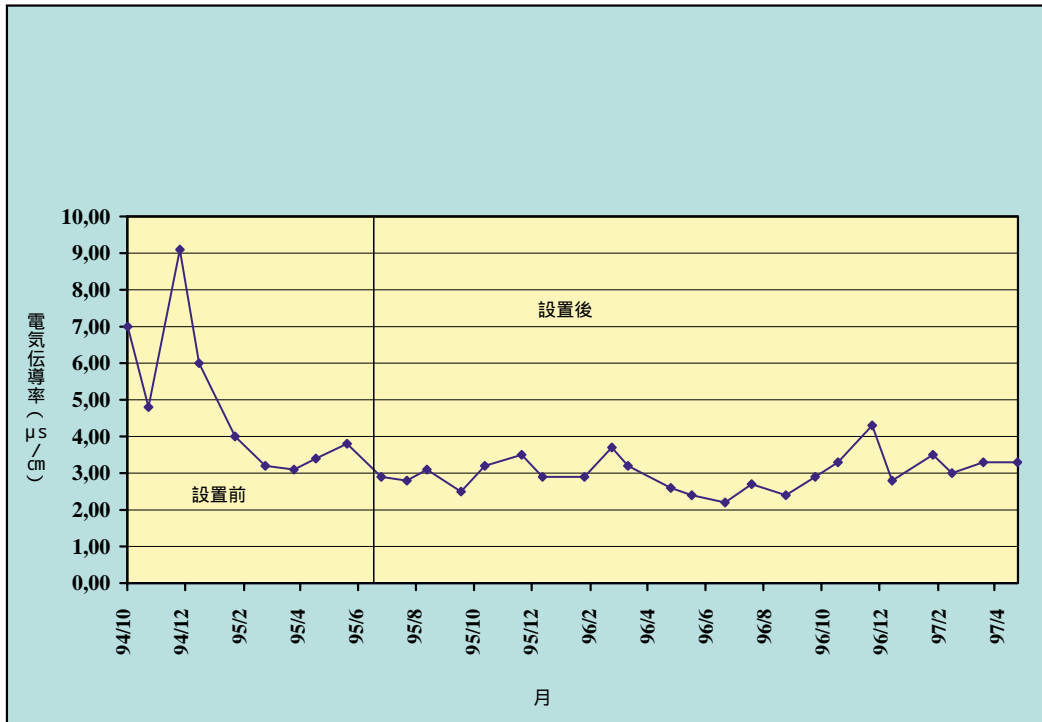


図41 ジェライス・デ・バルサス事業地テン・メド川のMA - 5 地点における1994年10月から1997年5月までの電気伝導度の変化

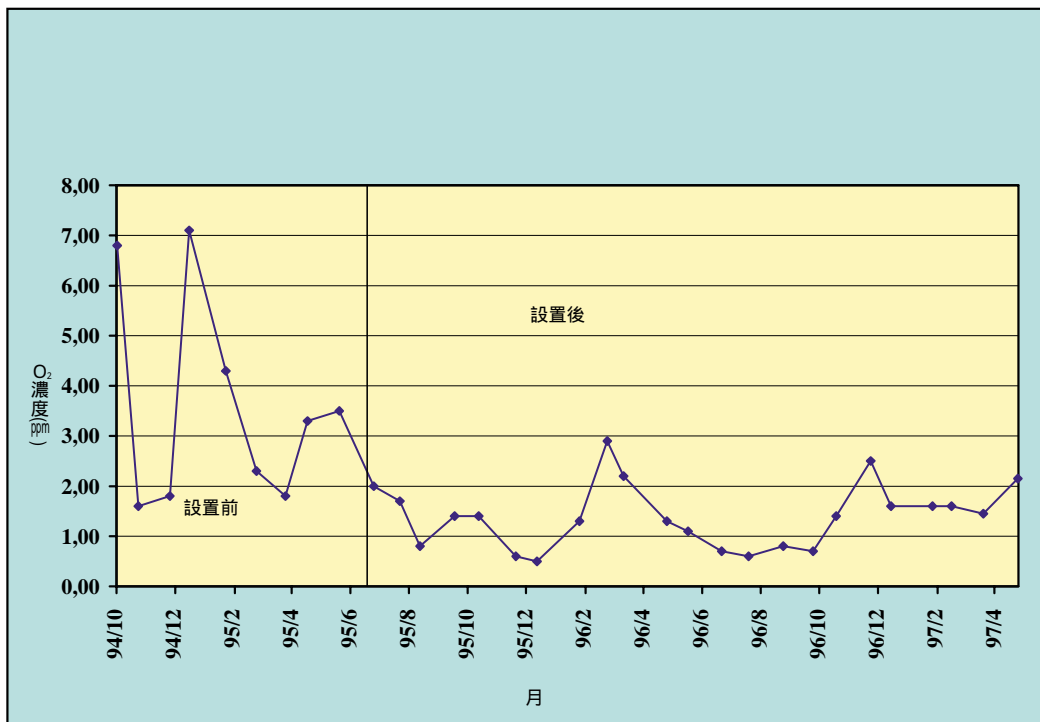


図42 ジェライス・デ・バルサス事業地テン・メド川のMA - 5 地点における1994年10月から1997年5月までの化学的酸素要求量の変化



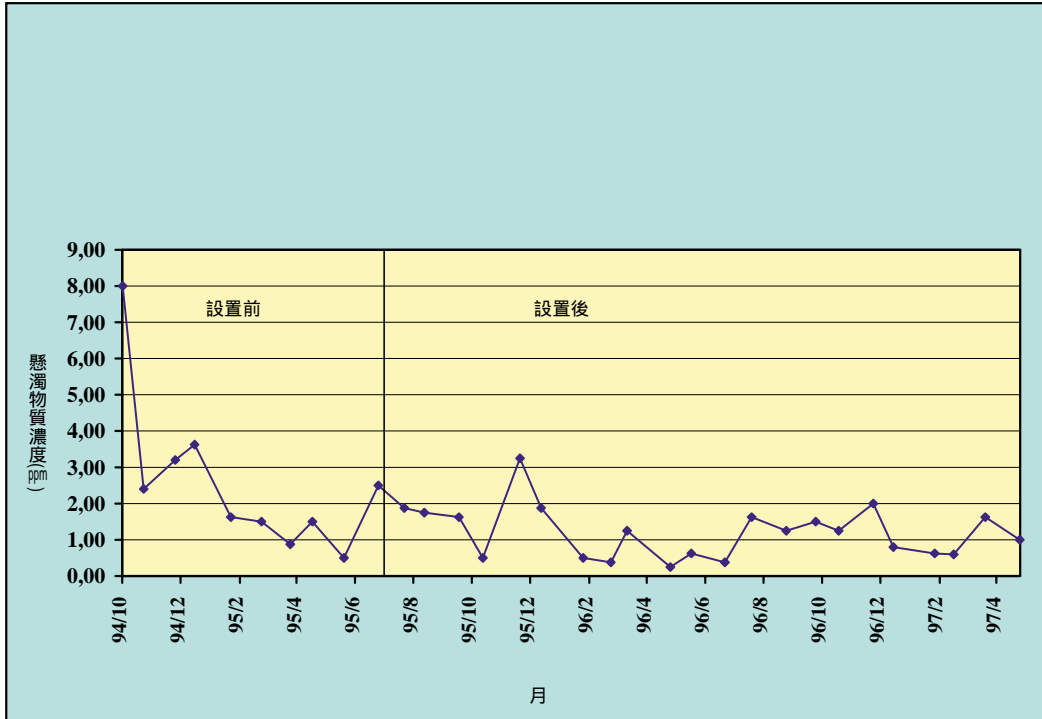


図43 ジェライス・デ・バルサス事業地テン・メド川のMA - 5 地点における1994年10月から1997年5月までの懸濁物質の変化

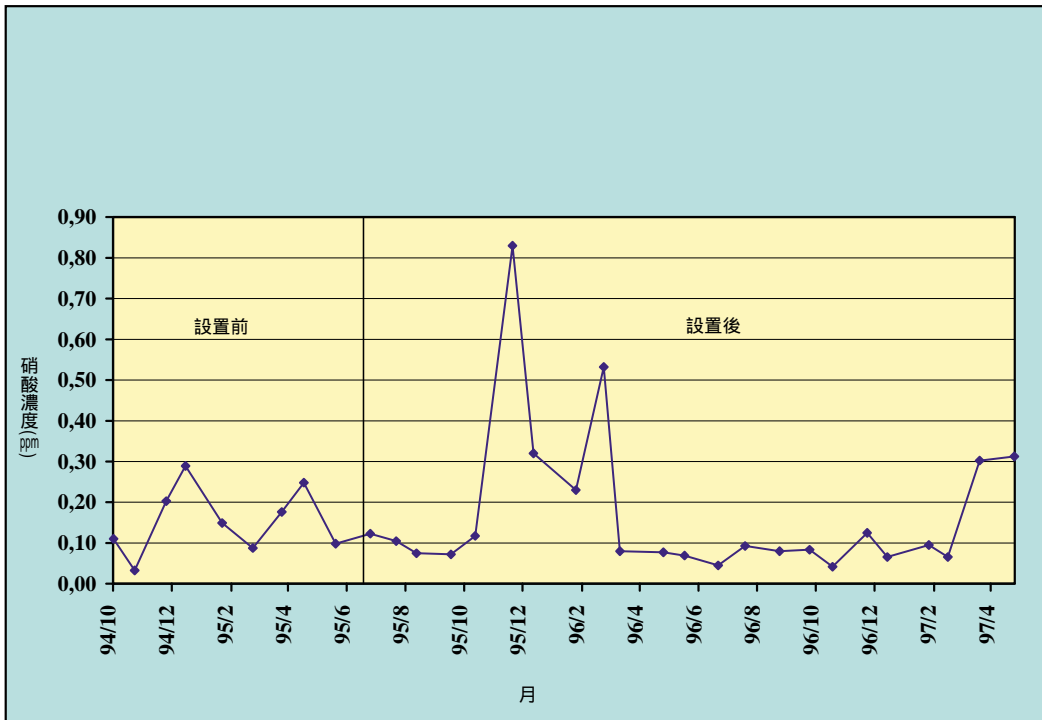


図44 ジェライス・デ・バルサス事業地テン・メド川のMA - 5 地点における1994年10月から1997年5月までの水中の硝酸濃度の変化

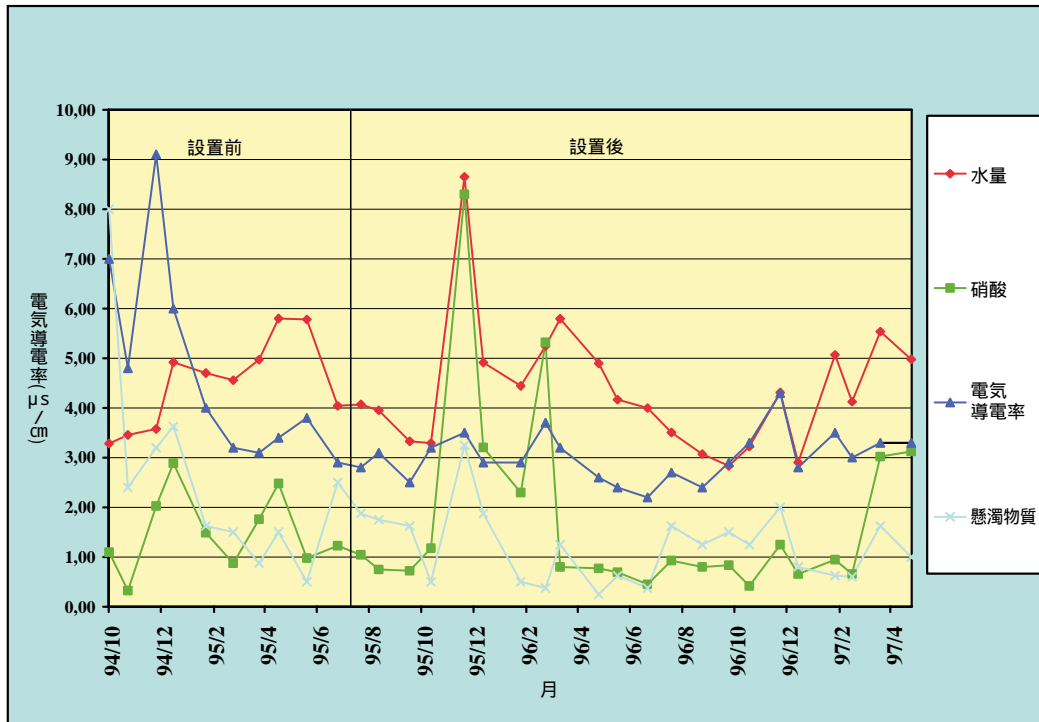


図45 ジェライス・デ・バルサス事業地テン・メド川のMA - 5 地点における1994年10月から1997年5月までの水量と硝酸濃度、電気伝導率および懸濁物質濃度との相関関係

### 5.3.6 参考文献

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16. ed. Washington: Publication Office American Public Health Association, 1985. 1.268p.

新井 正、1994、水環境調査の基礎、古今書院

日本分析化学会北海道支部編、1994、水の分析 - 第4版 - 、化学同人

OLIVEIRA, A.J.; ORIOLI, A. L.; YOSHII, K.; CARDOSO, A. A. Monitoramento da qualidade da água da bacia do ribeirão Pantaninho no Projeto de Colonização Iraí de Minas - MG. Trabalho apresentado no 26º Congresso Brasileiro de Ciências

do Solo, 20 a 26 de julho de 1997, Rio de Janeiro-RJ. ORIOLI, A. L.; OLIVEIRA, A. J.; YOSHII, K.; CARDOSO, A. A. Monitoramento da qualidade da água nas bacias do ribeirão Pantaninho e do córrego Mundo Novo em área de cerrados em Minas Gerais. Trabalho apresentado no 2º Seminário Internacional do Sistema Plantio Direto. 6 a 10 de outubro de 1997. Passo Fundo-RS.

ORIOLI, A. L.; OLIVEIRA, A. J.; YOSHII, K.; CARDOSO, A. A. Efeito da implantação de projeto de colonização agrícola sobre a vazão e qualidade da água na Chapada das Mangabeiras no sul do Maranhão. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12, 1998, Fortaleza, CE. Resumos expandidos... [S. l.]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.99.

---

西条八束・三田村緒佐武、1995、新編湖沼調査法、  
p.126 - 186、講談社

竹内 誠、1992、水質浄化機能の評価手法、多面的機能評価手法の手引き、p.1 - 30、技会事務局・農環研

## 5.4 昆虫多様性のモニタリング

松村雄

アマビリオ・アイレス・デ・カマルゴ(調査例)

### 5.4.1 セラードの昆虫多様性の調査法

バイオーム(生物群系)として見たセラードは大規模な生息環境を意味し、イネ科植物の草原のようなオープンな植生もあれば、さまざまなタイプのセラード、乾燥地森林、河畔林といった閉ざされた植生もある。このほかに、湿性草原や「ヴェレダ」と呼ばれる半湿地性ヤシ河畔林のようにいくつかの動物にとって非常に重要な環境も、バイオームの部分を形成する。

セラードとして知られるブラジルのサヴァンナは、アマゾン森林についてブラジルで二番目に大きい気候形態の領域で、国土の約22%を占める。

セラードは、一般に低めの木からなっており、普通8m以下の低木林が散在しており、開けた疎林から低木が密生した藪までさまざまなタイプがある。

野火は、セラードの植生に取り込まれた要素である。一般に植物は野火に非常によく適応しており、野火が通過した後、力強く芽を出してくる。

セラードの土壌は森林の土壌に比べると栄養塩類が乏しい(Kricher, 1989, 幸島訳, 1992)。多様で特異的な生態系によって世界の人々の興味を引きつけ、比較的調査が行われているアマゾン熱帯雨林の動植物の研究蓄積に比べると、セラードに対する人々の関心は低く、その動植物の知見はまことに乏しい。

セラード特有の昆虫種は多いと思われるが、その昆虫相の研究は始められたばかりの状態だという。現在、ブラジル農牧研究公社(EMBRAPA)セ

ラード研究所の昆虫標本室にはリンシ目(ガ類)を主とする約38,000点の昆虫標本が所蔵されているが、そのほとんどは夜行性ガ類である。これらは11,000種以上にのぼるが、これは広大なセラードに生息する昆虫のわずかに10%を代表するに過ぎない。

モニタリング調査においては、種および群集レベルで生物多様性の変化を把握することがインパクトを測る上で最も確実な方法である。

セラードの生物多様性の維持・復元のためには、多様性の特性と構成に関わる自然的プロセスを把握する必要がある。セラードの昆虫多様性は、セラード植物群落の多様性に依存しており、当然その影響を受けている。植食性昆虫にとっては、植物はその餌であり、住み場所、隠れ家であるので直接的に影響を受け、肉食性昆虫や寄生性昆虫は餌である動物の存在によって間接的な影響を受ける。生物多様性に影響を与える気象(特に乾季の長さや雨季の降雨量)、地形的変化や土壌組成などといった自然的要因の把握も必要であろう。

また、人為的要因とその時間的・空間的プロセスの把握が重要である。開発に伴う保留地への影響は、農地との境界周辺で最も大きい。保留地林内の安定した微気象・土壌条件と異なり、境界線と接する地帯の不安定な条件は生物多様性の制限要因として働く。激しい植生の変化に伴って、そこを生活のよりどころとしていた動物も直接、間接の影響を受ける。開発によるインパクトが境界線から保留地の中のどのくらいの範囲まで及ぶの

か、時間的・空間的に把握する必要がある。

指標昆虫としていかなる分類群を対象とするかは最も重要な問題である。南米のような昆虫相の未解明な地域で膨大な種数を誇る昆虫の全グループを調べるのは不可能に近く、対象を適当な分類群に絞り込むのが一般的である。

分類群の選定にあたっては、次のような条件があげられる。

種数、個体数とも比較的豊富に採集できること。

対象群に関して分類的な基礎的な前知識があり、同定の目安が立っていること。

比較的容易な方法で定量的に採集ができること。

対照群によって採集法やサンプル処理の仕方が異なり、その群特有の行動習性を考慮して、調査の時期、時刻、時間、調査地点の選定など最善の計画を立てなければならない。調査を定期的に行う場合は、当初の方法に則って継続することが望ましい。しかし、何かの事情により途中で変更するときは、後でデータの比較検討ができるよう考慮して変更を必要最小限にすべきである。採集法、標本制作・保存法については、馬場・平嶋(1992)を参照されたい。

開発事業地において環境モニタリング調査を定期的に継続することは、周辺保護地域へのインパクトを長期的に把握するために必要なことであり、このようなデータの集積は今後の環境モニタリングの指針となり得る。

## 5.4.2 セラードの生物多様性の保存のために

### 5.4.2.1 多様度および類似度の分析

生物群集の多様度や群集間の類似度を現す指数は、多くの研究者によってさまざまなものが提唱されており、目的によって使い分けられている(木元、1976)。しかし、これらの指数は生物多様性を

比較し評価するための定量的分析手法ではあるが、生物多様性の側面を推量するアプローチのひとつにすぎない。生物群集の本質的特性を把握するためには、群集を構成する重要種の特性を質的観点から把握しなければならない。

### 5.4.2.2 生物的防除の導入

現在、開発農地では害虫防除のために殺虫剤の空中散布が行われており、保留地周縁地帯の動物相への影響が懸念されるので、できるだけ無駄な飛散が起こらないような配慮が望まれる。今後、自然保全を考慮した長期的な持続型農業を発展させていくためには、標的害虫以外の虫に影響が少ない選択的薬剤を使って薬剤散布を必要最小限に抑える一方、天敵を利用した生物的防除の導入を図る必要がある。

### 5.4.2.3 生物多様性の意義

生態系レベルの生物多様性とは、「多様な生物種の共存を許容しうる豊かな環境」と表現すると理解が容易であろう。生態系が多様な種で構成されていけば、種間の相互関係が複雑に作用し合い、多くの天敵の存在が群集の抑制因子として働くので、特定の種が異常発生して害虫化するようなことが起こりにくく、生態系の中の平衡関係が保たれる。群集の生物多様性を評価するうえで、構成主要種が生態系の中で果たす役割と他種との関係を把握することは重要であり、セラード生態系の食物連鎖関係を解明するために必要なことである。

### 5.4.2.4 セラードの昆虫多様性の解明および研究標本の収集保存

セラードの昆虫多様性については未知な部分が多いので、分類群を限定せずあらゆる機会をとらえて昆虫標本の収集保存を進め、分類研究者の

研究材料として提供することがセラード生物多様性の解明につながる。それゆえ、調査で採集されたサンプルはできる限り証拠標本として保存しておくことが望ましい。1種と見られていたものが、研究の進展に伴って複数種になっていたり、種内変異の研究材料になりうるからである。生物標本の収集保存は一朝一夕にできるものではなく、永年にわたる努力の集積であり、そのための収蔵施設と標本作製・保存管理する人材が必要である。そのためには社会的な認識と理解が必要であろう。ブラジルを含む南米は、生物地理学的に日本の属する旧北区と非常に異質な生物的要素からなる新熱帯区に属しており、日本の生物的要素との共通性は乏しい。それゆえ、セラード昆虫多様性の解明のためには、現地ブラジルをはじめ中南米の研究者との研究連携・協力が不可欠であろう。

#### 5.4.3 調査例：セラードにおける夜行性リンシ目の多様性

マラニョン州南部のジェライス・デ・バルサス事業地で、ライトトラップによる夜行性ガ類の採集調査を行った(図46)。調査は1996、1997、1998年に行い、調査時期は降雨量が多く湿度が高く、大豆開花前にあたる2月が選ばれた。調査はロット16番の調査地で行い、各年2晩ずつ行った。夜行性のガ類の活動ピークは18:00~21:00で、この時間帯に個体数が最も多いこと(Silveira Neto, 1976)に基づき、20:00~21:00の1時間を調査時間とした。図47に示すように、4台のライトトラップを大豆畑から保留地内に向けて直線的に配置した。各トラップ間の距離はライトトラップが虫を誘引できる有効半径175mに基づいて設定されている。トラップは1.5m~2.0mの白布とエーテルカーボンモニアを入れた殺虫室からなっている。白布の上部に250ワットの電球を点灯し、ガソリン発電

器で電力を供給する。採集サイト1は大豆畑内で保留地から600m離れた地点で、サイト2は農耕地から保留地内へ50m入った地点、サイト3、サイト4は保留地内で農耕地からそれぞれ400m、750m奥の地点である。採集サイトの8地点は標高470mから525mまでに位置しており、標高差の影響はほとんどない。

月齢は夜行性昆虫の活動に影響しトラップの誘引効率にも影響があることから、Lara et al. (1974)の提言に従い、調査は下弦期の時期の雨風のない静穏な夜を選んで行った。

採集されたサンプルは現地で殺虫し、翌日科および種レベルの同定を行い、科および種ごとの個体数が計数され、データが整理された。後日の比較のために、各種とも1匹ずつ標本として保存された。

3年間に収集されたサンプルの合計は15,511個体で、773種、32科に分類された(図48)。

4つの採集サイトでサンプル数および種数において最も多い科は、ヤガ科、メイガ科、つづいてシャクガ科、ツトガ科であった。これはセラード地域における典型的な群構成である。

生態学的多様度はSimpson指数を使って計算した。

$$\text{Simpson指数} = 1 - \sum (n_i / N)^2$$

(但し  $(n_i / N)^2$  = 優位度、 $n$  = 各種の個体数、 $N$  = 個体総数)

種構成の類似度は次の係数を使って計算した。

$$\text{森下指数} = 2 \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} \left( \frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)$$

$$\text{Sørensen指数} = 2J / A + B$$

$$\text{Jaccard指数} = J / A + B - J$$

(ただし、 $A$  = 第1地域での種の数、 $B$  = 第2地域での種の数、 $J$  = 共通種の数)

一般に、熱帯地域では生物多様度は大きい。この事実は、Simpson指数を使ったこの研究でも確認されている(表16)。優占種にウエイトを置くSimpson多様性指数は0から1であり、多様性が

表16 1996、1997、1998年の採集サイトにおける多様性と優位性指数

採集サイト	1996		1997		1998	
	多様度	優位度	多様度	優位度	多様度	優位度
S I	0.7416	0.2584	0.8069	0.1930	0.7917	0.2082
S II	0.7139	0.2860	0.8126	0.1873	0.5927	0.4072
S III	0.9451	0.0548	0.8360	0.1639	0.6956	0.3044
S IV	0.9002	0.0997	0.8517	0.1482	0.6398	0.3601

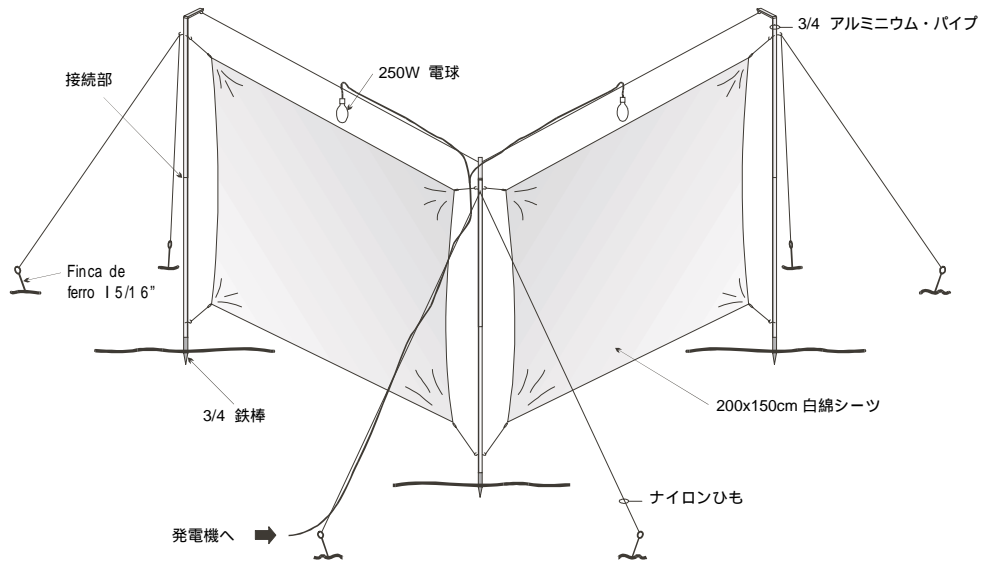


図46 収集に使ったライトトラップ

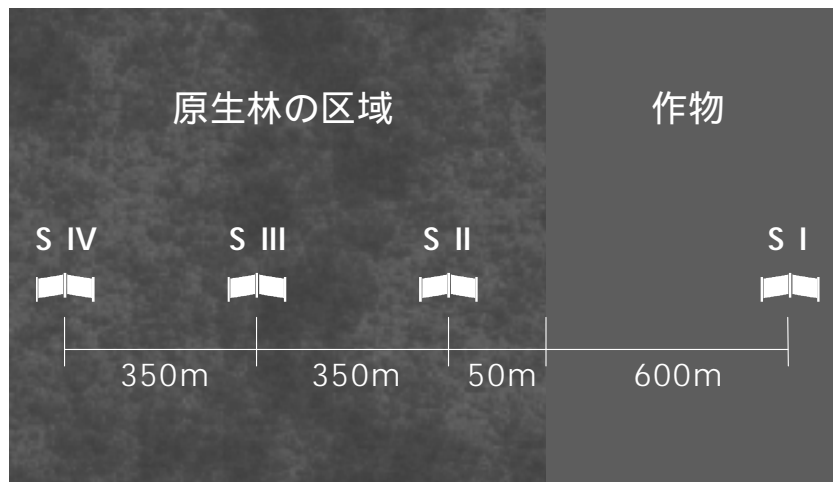


図47 ライトトラップの配置図



*Kentroleuca albilinea*



*Copiopteryx montei*



*Kentroleuca spitzi*



*Schausiella spitzi*



*Kentroleuca lineosa*



*Molippa basinoides*



*Arsenura pandora*



*Eacles lemairei*





*Automeris la uroia*



*Catacantha latifasciata*



*Titaea orsinome*



*Hylesia schuessleri*



*Pseudodirphia agis*



*Eacles fairchildi*



*Catacantha obliqua*

図48 セラード地域の典型的なガの例

高いときは1に近くなる。

3年間の研究を通じて得られた森下指数そしてSørensen指数を使った採集サイト間の類似係数が表17、18、19に示されている。

表17 1996年の4つの採集サイトにおける2つの類似係数による種構成の比較分析

	SÖRENSEN				
	採集サイト	I	II	III	IV
森下	I	-	0.4229	0.4116	0.4000
	II	0.9842	-	0.5077	0.5013
	III	0.7042	0.6909	-	0.5454
	IV	0.8581	0.8449	0.9000	-

表18 1997年の4つの採集サイトにおける2つの類似指数による種構成の比較分析

	SÖRENSEN				
	採集サイト	I	II	III	IV
森下	I	-	0.3874	0.3886	0.3543
	II	0.8293	-	0.4615	0.3931
	III	0.9364	0.9612	-	0.4037
	IV	0.8022	0.9830	0.9512	-

表19 1998年の4つの採集サイトにおける2つの類似指数による種構成の比較分析

	SÖRENSEN				
	採集サイト	I	II	III	IV
森下	I	-	0.3980	0.3299	0.3394
	II	0.6751	-	0.3678	0.3534
	III	0.7865	0.9258	-	0.3111
	IV	0.7582	0.9356	0.9925	-

3つの違った係数で、同じ採集サイトでの3年間を比較すると、類似性に大きなバラツキがある(表20、21)。

種別の個体数頻度は、優位性があるかどうかを示す多様性の成分である。熱帯生物群集の研究は、大半の種が少ない個体数で表されていることを示唆している(Preston, 1948 ; 1960)。この傾向はマラニョン州調査区でも観察された。1996、1997、そして1998年の3年間において、大半の種は2個体以下しか採集されない稀少種であった(表22、23、24)。

#### 5.4.4 調査例：セラードの異なった環境における夜行性リンシ目分布

バルサスのほかに、2つの入植事業地ムンド・ノヴォ(MG)およびイライ・デ・ミナス(MG)でも夜行性リンシ目の調査を行った。野外調査は93年11月と94年2月に行った。これらの事業地においては、セラード、カンポ・スージョ、河畔林の3つの植生相の多様性を比較した結果、植生相の多様性は有意に異なっていた( $P < 0.001$ )。典型的なセラードは、両事業地において種数をもっとも豊富であった(図49、50)。

表20 同じ採集サイトでの1996と1997年の類似性の比較分析

比較採集サイト	森下	Sørensen	Jaccard
I e I	0.4968	0.2085	0.1164
II e II	0.8439	0.2765	0.1604
III e III	0.6021	0.2589	0.1487
IV e IV	0.7989	0.1837	0.1011

表21 同じ採集サイトでの1997と1998年の類似性の比較分析

比較採集サイト	森下	Sørensen	Jaccard
I e I	0.8359	0.3158	0.1875
II e II	0.8109	0.2394	0.1359
III e III	0.7956	0.2373	0.1346
IV e IV	0.8320	0.2029	0.1129

表22 1996年の4つの採集サイトにおける個体数別による種の頻度

固体数	種 数			
	採集サイト	採集サイト	採集サイト	採集サイト
1-2	107	149	146	126
3-5	17	18	28	33
6-10	12	10	15	14
11-19	5	6	7	8
20-36	1	2	3	3
37-69	1	0	0	0
70-134	1	0	0	0
135-263	0	0	1	1
264-520	1	0	0	0
521-1033	0	1	0	0
計	145	186	200	185

表23 1997年の4つの採集サイトにおける個体数別による種の頻度

固体数	種 数			
	採集サイト	採集サイト	採集サイト	採集サイト
1-2	52	91	76	75
3-5	6	19	22	23
6-10	2	7	6	5
11-19	2	5	2	2
20-36	2	0	0	1
37-69	0	0	1	0
70-134	1	1	0	2
135-263	1	1	2	1
264-520	0	1	0	0
計	66	125	109	109

表24 1998年の4つの採集サイトにおける個体数別による種の頻度

個体数	種数			
	採集サイト I	採集サイト II	採集サイト III	採集サイト IV
1-2	50	104	96	80
3-5	9	16	19	9
6-10	2	4	6	4
11-19	1	4	1	0
20-36	0	1	0	1
37-69	0	0	1	0
70-134	2	1	0	1
135-263	0	2	2	2
264-520	3	1	1	0
521-1033	0	0	0	1
1034-2058	0	1	1	0
計	67	134	127	98

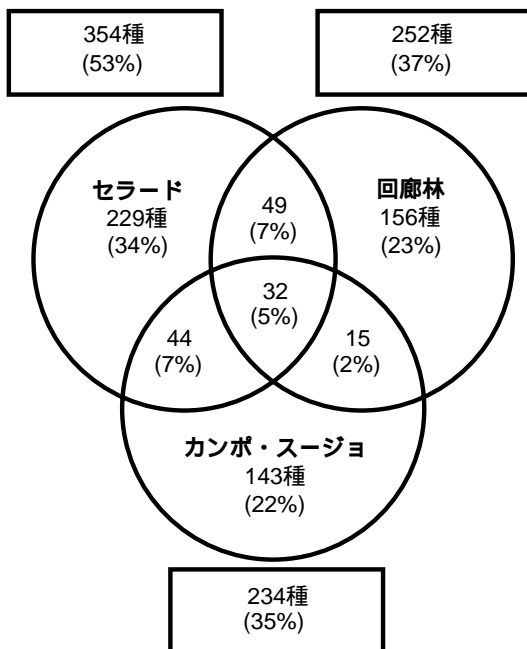


図49 ムンド・ノヴォ事業地 (MG) における植生相別、リンシ目の種の分布 (絶対数とパーセント)

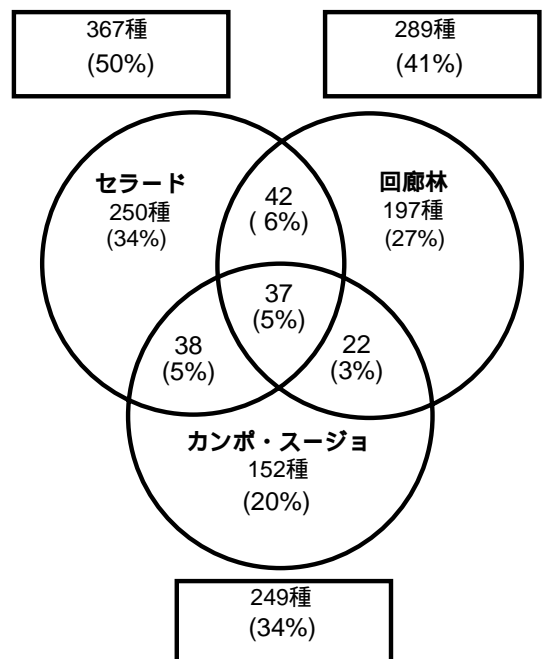


図50 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) における植生相別、リンシ目の種の分布 (絶対数とパーセント)

#### 5.4.5 参考文献

馬場金太郎・平嶋義宏(1991)昆虫採集学、九州大学出版社

CAMARGO, A. J. A. de. Levantamento da fauna entomológica nas áreas preservadas dos projetos de colonização Mundo Novo (Paracatu, MG) e Iraí (Iraí de Minas, MG). In: REUNIÃO ESPECIAL DA SBPC, 1994, Uberlândia, MG. O cerrado e o século XXI: O homem, a terra e a ciência. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia / SBPC, 1994. p.72.

CAMARGO, A. J. A. de. Diversidade da fauna de Lepidópteros em dois projetos de colonização do Prodecer (Programa de Desenvolvimento dos Cerrados) em Minas Gerais. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 2,1994, Londrina PR. Anais... Universidade Estadual de Londrina / Sociedade de Ecologia do Brasil, 1994. p.453.

CAMARGO, A. J. A. de; BECKER, V. O. Análise preliminar da composição e diversidade da entomofauna de Lepidópteros noturnos em cinco áreas de Cerrado. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3, 1996, Brasília. Anais... Brasília:

Universidade de Brasília / Departamento de Ecologia, 1996. p.119.

木元新作(1976)動物群集研究法I—多様性と種類組成—、共立出版

KRICHER, J. C. A Neotropical companion. An introduction to the animals, plants and ecosystems of the New World Tropics. New Jersey: Princeton University Press, 1989(訳書)辛島司郎訳(1992)熱帯雨林の生態学、どうぶつ社

LARA, F.M.; SILVEIRA NETO, S.; GALLO, D.; BANZATTO, D.A. Influência das fases lunares na coleta de algumas pragas com armadilhas. Científica, v.2, n.2, p.224-249,1974.

PRESTON, F. W. The commonness and rarity of species. Ecology, v. 29, p. 254-283, 1948.

PRESTON, F. W. Time and space and the variation of species. Ecology, v. 41, p. 611-627, 1960.

SILVEIRA NETO, S.; NAKANO, O.; BARBIN, D.; VILLA NOVA, N.A. Manual de ecologia dos insetos. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 419p.

## 5.5 種多様性(植物)のモニタリング

根本正之

### 5.5.1 はじめに

ブラジル中央部にはセラードとよばれるサヴァンナの相観を示す植生が分布している(図51)。セラードは草原に樹木が散在する植生であるが、その樹木の高さや密度の違いによって次の4つのタイプに大別できる。すなわち、樹木の占める割合の多いものから、森林状の相観を示すセラドン(図52)、典型的なカンポセラード(図53)、小灌木やヤブをまばらに混在するカンポ・スージョ(図54)、樹木のまったく生育しないカンポ・リンポ(図55)である。またセラード地帯を流れる河川に沿って溪畔林(回廊林)が発達しており、その両袖の緩斜面にはしばしば湿性草原が形成される

(図56、57)。

200万km<sup>2</sup>を超す面積をもつセラード地域には前述した植生がモザイク状に混在しているが、すでにその35%までを農業生産活動の場として利用している。セラード地域に分布するこれらの植生が示す群落構造あるいは種組成に関する植物生態学的調査はかなり行われており、その多くの報告書はセラード植生が農業生産活動によって悪影響を被っていると論述している。しかし、農地周辺のセラード植生に対する農業生産活動に伴うインパクトを継時的かつ定量的に解析したモニタリング調査はない。

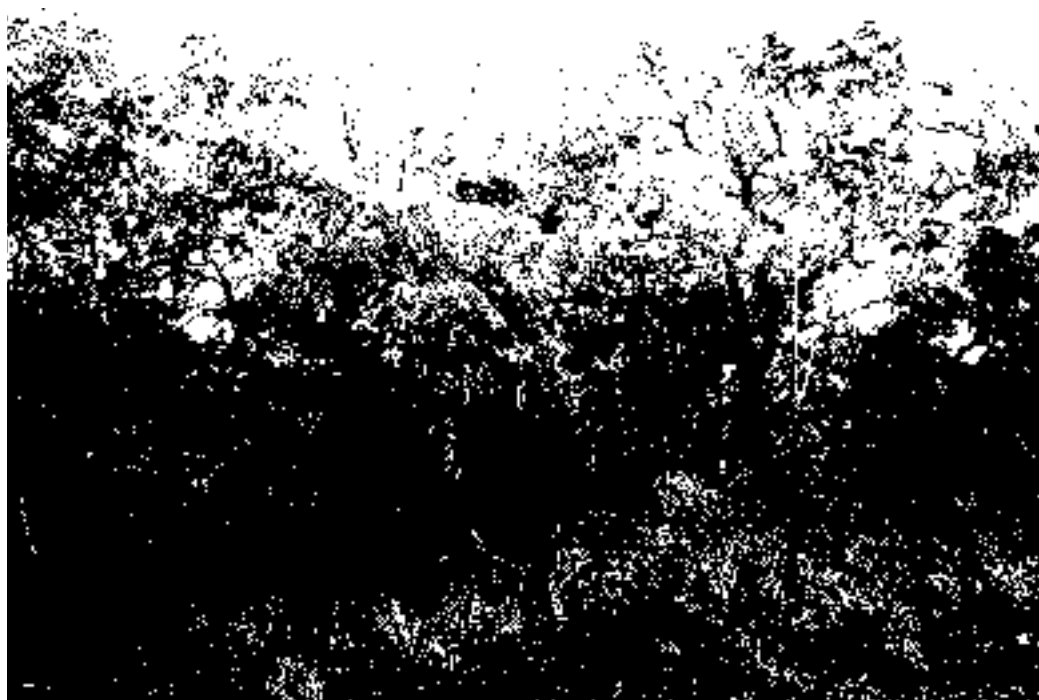


図51 ジェライス・デ・パルサス事業地(MA)ロット19番の典型的なセラード(写真:コンデ、97/12)

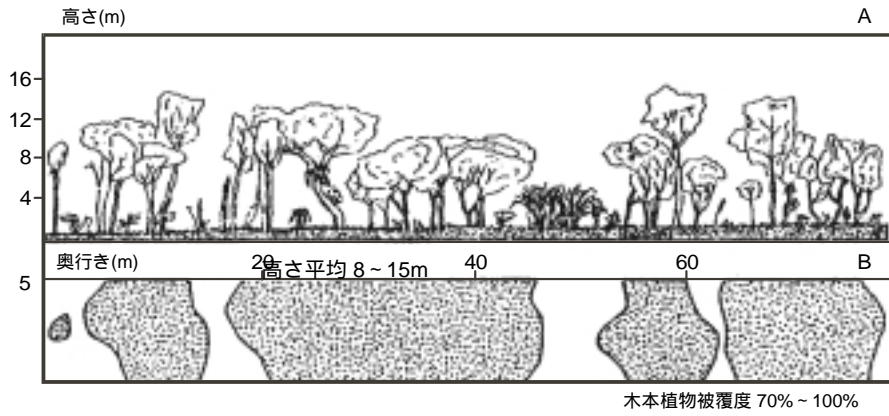


図52 セラドン : A = 側面図、B = 木本植物の被覆 (Ribeiro et al, 1983)

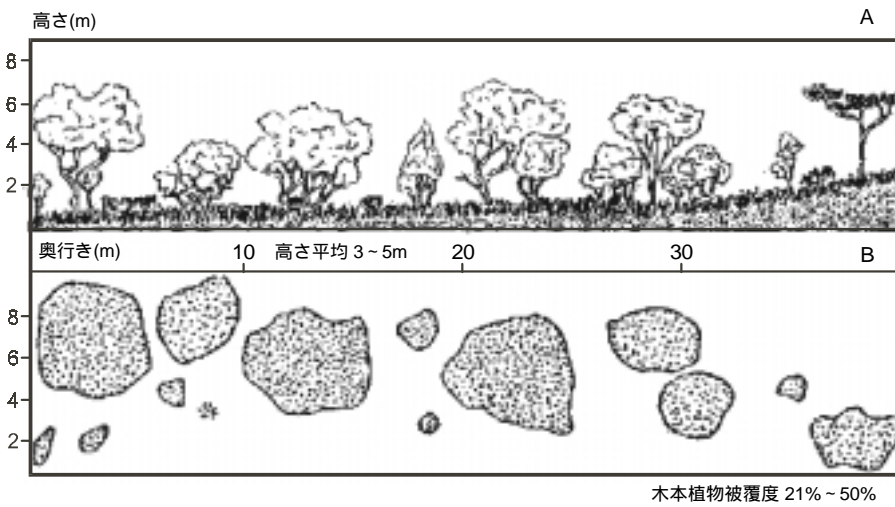


図53 カンポ・セラード : A = 側面図、B = 木本植物の被覆 (Ribeiro et al, 1983)

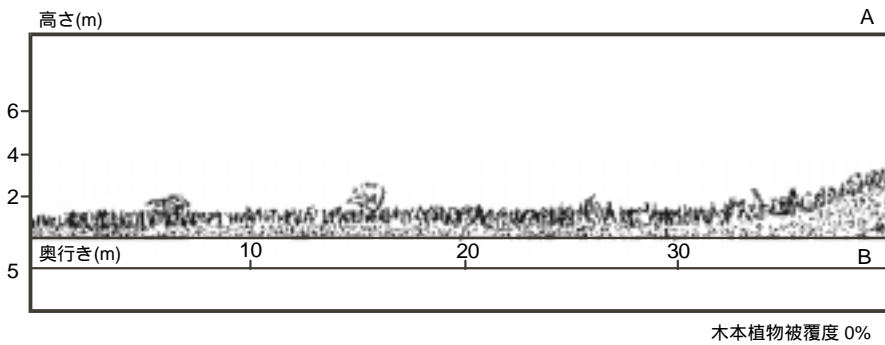


図54 カンポ・スージョ : A = 側面図、B = 木本植物の被覆 (Ribeiro et al, 1983)

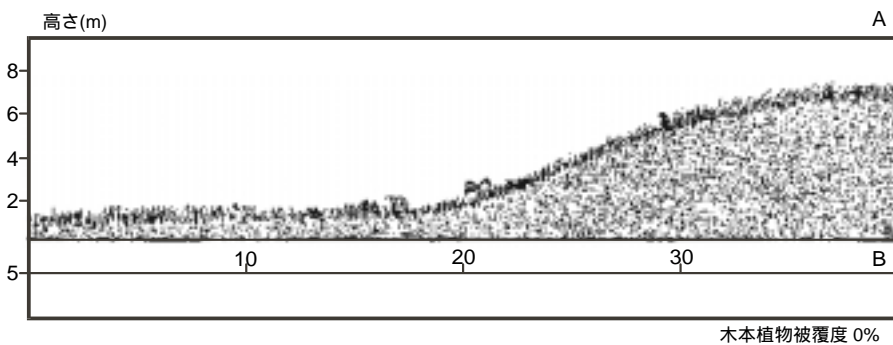


図55 カンポ・リンポ : A = 側面図、B = 木本植物の被覆 (Ribeiro et al, 1983)





図56 ジェライス・デ・パルサス事業地 (MA) の灌漑ロット9番の境界にある共同保留地の溪畔林。テン・メド川の川岸にありブリチという椰子の“ヴェレダ”がある水浸した溪畔林 (写真: コンデ、97/12)



図57 セラード (左側) と溪畔林 (右側) の間にある湿地帯にはイネ科植物とモウセンゴケがある。もし灌漑が地下水面を下げると、湿地帯が乾燥してモウセンゴケがなくなるだろう。ジェライス・デ・パルサス事業地 (MA) にて (写真: 吉井、95/11)

## 5.5.2 開発地域周辺植生の調査法

植生モニタリングの目的は、農業開発によって農地周辺の保留地における植生が被る影響を評価することにある。そのためには 開発する直前に保留地植生の組成と群落構造を詳細に記載することにとどまらず、 開発に伴う群落の継時的変化についても明らかにする必要がある。しかし保留地の植生動態やそれに伴って変動が予測される生物多様性を評価する手法は確立しておらず、現在世界各国で評価手法を検討している段階である。セラード植生はそれを構成する植生のタイプによって農業開発に伴う影響が異なる場合も予測されるので、いくつかのグループに分けてそのモニタリング手法を概述する。

まず調査対象地の植物群落の相観を支配している優占種の生活型や優占度の違い、あるいは特徴的な樹種の有無などによってその植生を層別化し、異質な植生の境界域は除くようにしておおよそその調査地域を決める。次に農地とセラード植生の境界線から直角方向にセラード側に向かって100m～150mのラインを引き、ベルトトランセクトを設置する。ベルトトランセクトは調査の信頼性を確保するために少なくとも各植生タイプごとに2地点設定することが望ましい。モニタリングは植生の継年的な変動に基づいて行われるものであるから調査場所が毎年同じになるよう、その周囲にクイを打つなどして固定する。セラード植生は野火の影響をしばしば受けるので、定点よりやや離れたその周辺部分に防火帯を設けることが肝要である。

固定地点内の植物は丈が1.5～2m以上の主として木本類と、それ以下の草本類および木本の幼植物に分けて調査する。両者は個体サイズが異なるだけでなく、開発による影響のされ方も異なると予測されるためである。

### 5.5.2.1 木本性植物

農地境界より20m、50m、150mの各地点に10m×10mの方形区を設け、各種別に被覆度(coverage)、最大自然草高および成木については胸高直径(DBH)を測定、個体の分散図を作成する。調査回数は年1回、雨期に入った10月～11月頃に行うのが望ましい。

### 5.5.2.2 草本性植物

草本植物は木本性植物調査のための方形区に沿って、農地境界より1m×1mの方形区を連続的に100m地点まで2本、またはたとえば0m、2m、4m、8mなど境界付近で密に方形区を設け、その中に出現した草本性植物について、各方形区ごとの植被率、各草種別の被覆度および最大自然草高の測定を行う。この際、上層を形成する木本性植物の有無についても必ず記載すること。セラード植生は均一に木本層が発達していない場合が多く、木本層の有無が下層の草本性植物の生育に大きく影響するからである。木本層が発達すると草本層にまで達する光量が減少、光環境が変化するので群落内の相対照度を併せ測定することが望ましい。調査の回数と時期は木本性植物と同じでよい。

### 5.5.2.3 湿性草原

開発農地周辺に河川がある場合は灌漑施設の建設を伴うことが多く、溪畔林や湿性草原を直接開発しなくても地下水位の低下、一時的上昇などによる影響によって湿性草原がかなりの影響を受けるものと考えられる。植生調査法は草本性植物の調査に準ずるが、湿性植生は土壌の踏みかために対しても敏感に反応するため、定置プロット周辺が踏み固められないよう配慮する必要がある。そのためには丸太などを利用した足場作り、あるいは2カ所に鉄塔を設置し、鉄塔間にロープを張っ

てモニタリングカメラを移動させるなどの工夫が必要である。湿性草原は面積的に狭くてもその群落環境が他と著しく異なるため、希少種をかなり含むことが予想され、それらの保護対策が重要課題となる。さらに地下水位低下による土壌の乾燥化に敏感な植物もあるから、それらのsensor speciesを環境指標として利用するとよい。指標植物による環境モニタリングは、土壌分析や水質調査がある時点での値を知るものであるのに対し、長期間にわたる環境変化の総和をモニタリングすることができるので、物理、化学的調査と併せて行えば有効な方法である。

以上、植物生態的調査の概要について述べたが、これを補うものとして樹木の年輪解析や水生植物のリストアップも重要である。周辺部分で特定の植物種の生育が著しく抑制あるいは枯死消失、または逆に増大しない限り、上述の植生調査法だけですぐに農業開発された場所の周辺植生に対するインパクトを知るのはなかなか難しい。しかし樹木の年輪解析法を導入すれば、開発の影響を受けない地点に生育する同一樹種と比較することで、開発のインパクトを年単位の生長変動として読みとることが可能となろう。

また水生植物は水質の汚染に敏感に反応する種が多いので、毎年水生植物種をリストアップすれば将来、指標植物として活用するための基礎データとなる。現在、われわれが行っているモニタリング調査でも苦い経験をしたが、セラード地域ではしばしば野焼きが行われるので、その影響を極力避けるためモニタリングポイントの周辺には必ず防火帯を作らなければならない。

### 5.5.3 調査例

オウロ・ヴェルデ(南緯11°27′、東経46°00′標高平均720m)の1988年に開墾した主として大豆を

作付けしている耕作地に面したセラード植生2カ所と、バルサス(南緯08°38′、東経46°43′標高平均470m)の1995年7月下旬に開墾、まだ一度も作付けしていない耕作地に隣接するセラード植生2カ所の計4カ所でコンラード法(ベルトトランセクト)によって調査を行った。いずれも境界線よりセラード側に向かって直角方向に20mの地点まで1m×1mのコドラードを連続して設置し、そこに出現した主な草種の被覆度(%)と自然草高(cm)、地表面と群落上部の光強度を測定した。

#### 5.5.3.1 植生構造

植生調査結果の一部を図58、59に示した。開墾後7年経過しているオウロ・ヴェルデのセラード植生の前縁には、典型的なセラードとは異なる2つのタイプの植生ゾーンが観察された。その1つはイネ科の*Brachiaria plantaginea*を優占種とする雑草群落で、耕作地わきの大型機械用の通路(未作付地)の輪だちを除く部分に分布している。収穫物輸送用のトラックなどの影響が少ない道の端には、同じくイネ科雑草の*Rhynchelytrun repens*やキク科、トウダイグサ科の雑草がみられた(図58)。耕作地の境界線から奥に向かって約10m地点までは耕作に伴う人為がしばしば加わるようで、セラード植生が残存していても、その草本層は典型セラードのそれとは明らかに異なった。すなわちセラード植生の前縁部はセラード構成種ではあるが、普通はさほど多くないイネ科の野草*Echinoalaena inflexa*が優占しヤブ状になっていた(図58)。これが第二ゾーンである。Site2では境界より7m地点まで林が伐採されていたため、そこまで雑草群落が分布していた。しかし両Siteを含むすべての観察地点でセラード植生内への上記雑草類の侵入は認められなかった。一方、人為的攪乱を受けているセラード植生の前縁では他の地点でもしばしば

*Echinolaena inflexa*が優占群落を形成した。

草本層の平均群落高は雑草群落では40cm以下であるが、セラード植生内のおおむね80cm前後であり(図58)、典型セラードにおいてはイネ科の*Trachypogon sp.*の優占度が相対的に高かった。

1995年7月下旬に開墾したバルサスのセラード植生にはオウロ・ヴェルデで見られるような特異的な植生ゾーンは観察されなかった(図59)。耕作地に接する通路における雑草の発生はみられず、そこには伐採したセラード植生の一部の再生がわずかに認められたにすぎなかった。*Echinolaena inflexa*のような一部のイネ科草本がセラード植生の前縁部で優占することもなく、前縁部より内部に向かって種組成の大きな変化は認められなかった(図59)。

セラードの草本層であるバルサスの平均群落高

はオウロ・ヴェルデと同じく80cm前後であり、*Trachypogon sp.*、*Axonopus marginatus*、カヤツリグサsp.などが優占した。現時点では*Echinolaena inflexa*のような機能を持つ植物がバルサスのセラード植生の前縁部に存在するか否か不明であるが、少なくとも*E. inflexa*は存在しない。しかし今後同様の機能を持つ種が増大してくるであろうと推察される。その後、ブラジリア植物園内のセラード植生について調査した結果からも、通路に隣接するセラード前縁部では*Echinolaena inflexa*が増大するようである。また、ムンド・ノヴォの事業地では*Echinolaena inflexa*とは異なるイネ科草(*Melinis minutiflora*: アフリカ産帰化雑草)が同様の攪乱環境下でゾーンを形成していた。*Echinolaena inflexa*はイネ科の多年生草で地下茎によっても繁殖し、成長点が地下茎の各節の部分

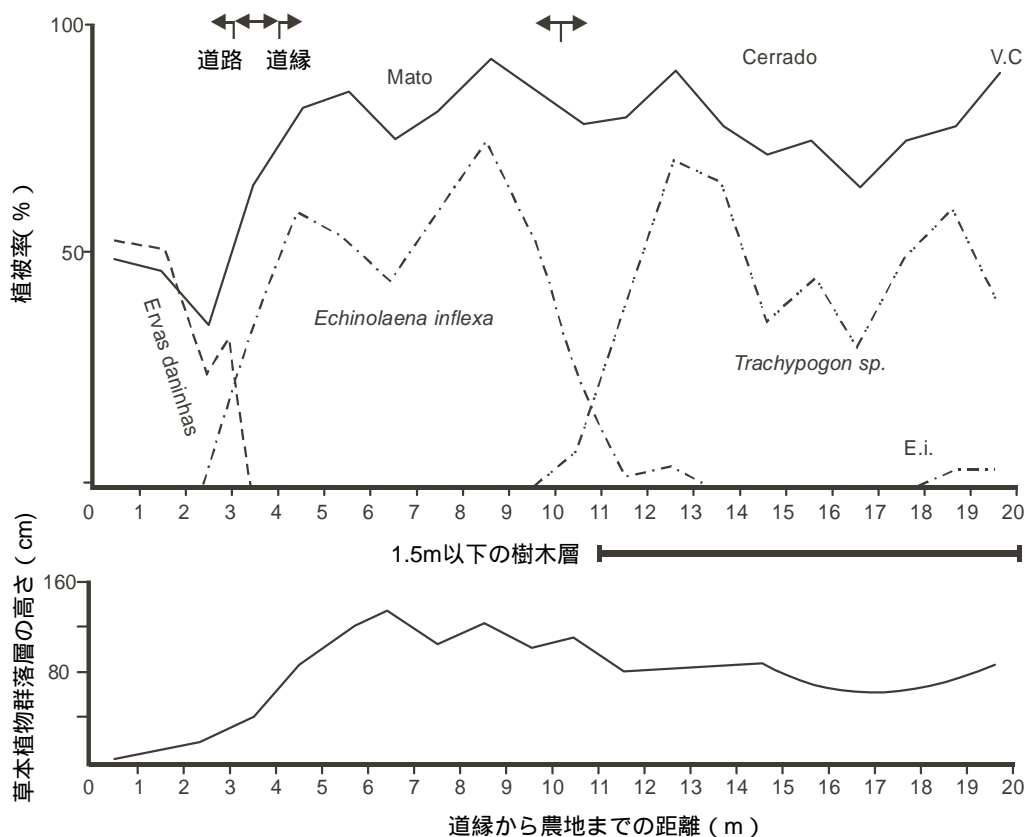


図58 オウロ・ヴェルデ事業地 (BA) 内のSite 1 で開墾地より保留地内に向かって直角方向に設けたベルトトランセクトに出現した草本植物の植被率、主な優占種の被覆度および群落高の推移

にあることから、刈り取り、踏みつけなどの人為的攪乱に対する抵抗性が他のイネ科草より大きく、攪乱条件下で増大するのかもしれない。今後、人為的攪乱に対する*Echinolaena inflexa*の適応形態を明らかにすれば、*Echinolaena inflexa*を一つの指標植物として人為的攪乱の程度を推定することが可能であろう。

### 5.5.3.2 群落内の光環境

木本層が発達して草本層にまで達する光量が減少すると、おしなべてイネ科草は減少したが、逆に樹冠がオープンな場所では草本層の発達が良好であった。ベルトトランセクトに沿って測定した

地表面の相対照度と草本層の被覆度との関係についてみたのが図59である。通路上は踏みつけなどの攪乱が極めて大きいため、雑草群落の発達は十分でなく、光環境はよかった。一方、セラード植生前縁部では*Echinolaena inflexa*が密生したため、典型セラードの地表面より明らかに光環境が悪かった(図60)。オウロ・ヴェルデと比較してバルサスのセラード植生は木本草、草本層とも発達が悪く、その結果、光環境はおおむね良好であった。バルサスの調査地点における草本層の発達があまりよくないのは、光以外の要因が制限因子になっているためと推測される。

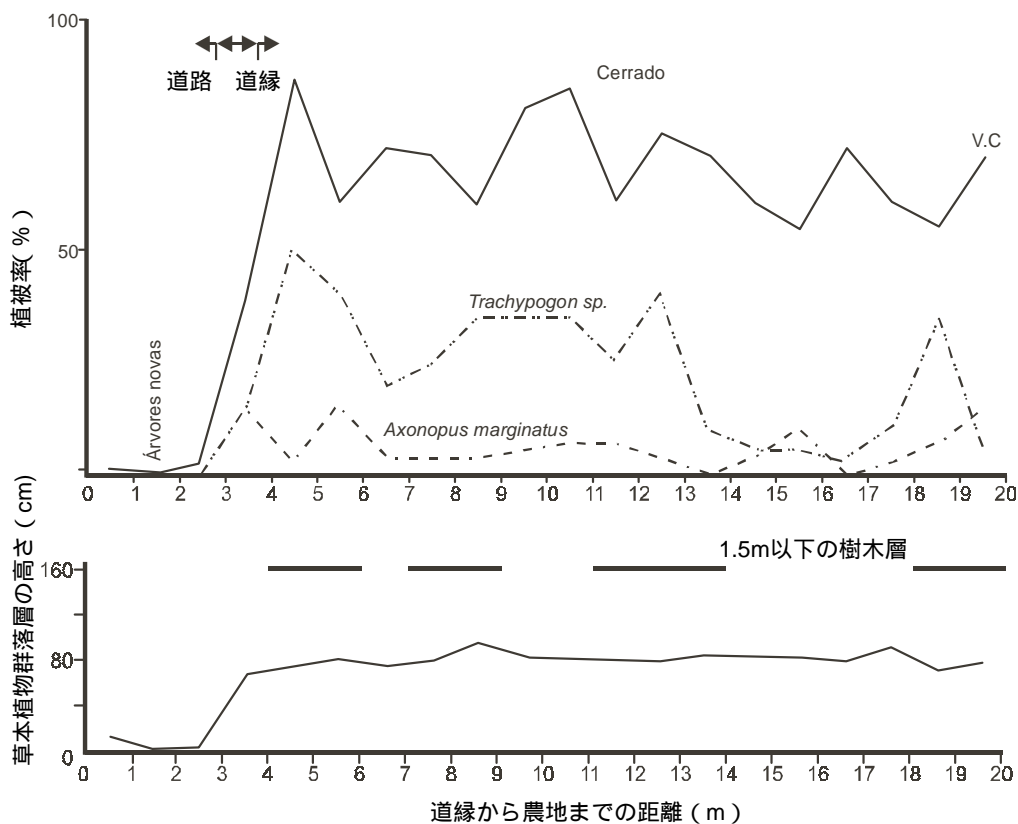


図59 ジェライス・デ・バルサス事業地(MA)内のSite 1で開墾地より保留地内に向かって直角方向に設けたベルトトランセクトに出現した草本植物の植被率、主な優占種の被覆度および群落高の推移

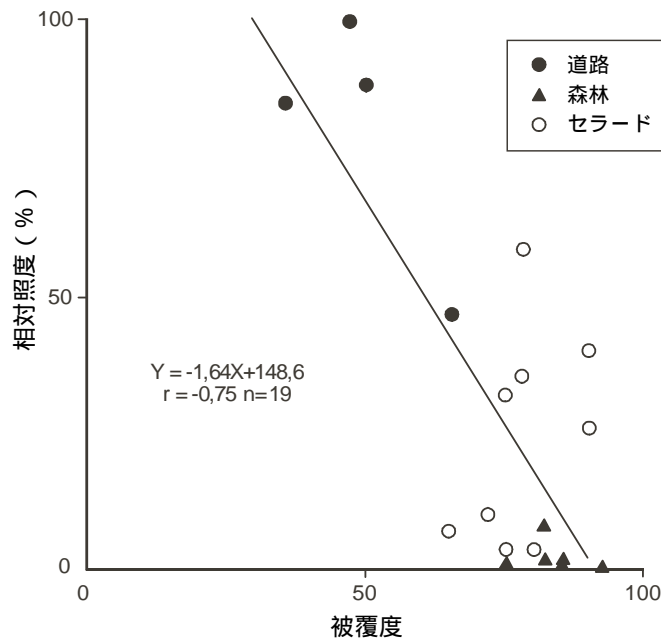


図60 ベルトトランセクトに沿って測定した地表面の相対照度と草本層の被覆度との関係

#### 5.5.4 参考文献

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. The Botanical Review. v. 38. p.201-341, 1972.

林一六、1990、植生地理学、自然地理学講座5、大明堂、東京 P.146~148.

沼田真編、1978、草地調査法ハンドブック、東京大学出版会、P.14~28.

MEIRELES, M.I.; OLIVEIRA, R.C. DE.; RIBEIRO, J.F.; VIVALDI, L.J; RODRIGUES, L.A.; SILVA, G.P. Fitosociologia del estrato herbáceo de ua sabana arbórea-arbustiva (MA-Brasil). In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO de BOTÂNICA. 7; CONGRESSO MEXICANO DE BOTÂNICA. 14., 1998, Mexico. Diversidad y conservación de los recursos vegetales en Latinoamerica. Libro de resúmenes. Mexico, Universidad Autonoma Metropolitana, Asociación Latinoamericana de Botánica, Rede Latinoamericana de Botánica y

Sociedad Botânica de Mexico, 1998. p.107.

MEIRELES, M.I.; OLIVEIRA, R.C. de; RIBEIRO, J.F.; VIVALDI L.J.; RODRIGUES, L.A.; SILVA G.P., Grupo de espécies asociadas en un gradiente de campo húmedo (Maranhão-Brasil). In: CONGRESSO LATINOAMERICANO de ECOLOGIA. 4; CONGRESSO PERUANO DE ECOLOGIA. 2; 1998, Arequipa, Peru.Libro de resúmenes. Arequipa, Peru.

OLIVEIRA, R.C. de, RIBEIRO J. F.; SILVA G. P. da. Levantamento florístico preliminar em fitofisionomias de cerrado em Gerais de Balsas, Maranhão. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO de BOTÂNICA. 7; CONGRESSO MEXICANO de BOTÂNICA. 14., 1998, Mexico. Diversidad y conservación de los recursos vegetales en Latinoamerica. Libro de resúmenes. Mexico: Universidad Autonoma Metropolitana, Asociación Latinoamericana de Botánica y Sociedad Botánica de Mexico, Rede Latinoamericana de Botánica y

---

Sociedad Botánica de México, 1998. p.236.

RIBEIRO, J.F.; SANO, S.M.; MACEDO, J.;

SILVA, J. A. da. Os principais tipos fitofisionômicos da região dos cerrados. Planaltina: Embrapa / CPAC, 1983. 28p. (Embrapa-CPAC. Boletim de Pesquisa n.º 21).

WALTER, B.M.T.; RIBEIRO, J.F. Fitossociologia de uma reserva ecológica de cerrado adjacente a plantios agrícolas. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1, 1996. Anais...Brasília: Embrapa / CPAC, 1996. p.242-248.

## 第6章 概要と結論

### 6.1 土地の使用と利用

吉井和弘

土地の使用と利用は、入植事業が始まった瞬間から、環境の質の恒久的な管理計画にとって、非常に重要である。

PRODECERの始まりから、カンポ社は環境保護活動に配慮してきた。従って事業は計画の段階から、単年作物、永年作物、牧草、保留地の領域をはっきりさせた。このようにして保留地という生態システムの代表的な区域の保全を義務として定めた現行の環境法令に従うように努めてきた。

保留地の形態は、おのおののロットに個別に設置するものと、共同地にするものであった。PRODECER第一期と第二期試験的事業地区域で、1993年、つまり事業実施後おのおの13年後と7年後における土地利用の実態を次の事業地において調査した：(1)コロマンデル事業地(MG)(2)イライ・デ・ミナス事業地(MG)(3)ムンド・ノヴォ事業地(MG)(4)アナ・テラ事業地(MT)(5)ピウヴァ事業地(MT)(6)オウロ・ヴェルデ事業地(BA)

事業地の発展を評価するために、1993年現在の土地利用を、事業の実施当初と比較した。事業設置当時には、カンポ社はミナス・ジェライス州とバイア州にある第一期と第二期事業地では全面積の20%、マト・グロッソ州にある第三期事業地は

50%を保留地として保存した。

これらの設置された保留地の形態(個別と共同)を1993年の現状と比較し、環境保全区域を保持するにはどちらがよいかを検討した。

個別保留地の減少は、34%にのぼった。それに対して、共同保留地ではわずかに2%の減少にとどまった。

保留地の主として単年作物への転換は、保留地が農地に適しているかどうか、そしてまた入植者の意識による。カンポ社の技術者が入植者に保留地の保護意識を持たせても、残念ながら、事業実施後に保留地の保護を監視するのはカンポ社の権限ではない。事業実施後カンポ社は事業地から退き、技術調整の役割は協同組合が行うのである。

この調査の建設的な結論として、共同保留地のたった2%が変更されたということに注目する価値がある。これ以来、カンポ社は共同保留地のモデルを取り入れ、PRODECER第一期では、ほとんどの保留地をこの型で設置したのである。

PRODECER第二期地域の土地の使用と利用の調査から、自然植生が事業地面積の50%である2万haを占めていることを確認した。これは、法的アマゾンに関する法令によって定められた、法的保留地の数字を遵守するものである。



## 6.2 土壌侵食

吉井和弘

土壌保全計画を立てるのには、土壌や気候の条件に応じた侵食量に関する情報が必要である。これに準じて、たとえば、等高線畦を造って保護する必要のある土壌もあれば、もっと簡単な耕種的手法だけでよい土壌もある。等高線畦を造ることが必要でないかもしれないし、あるいは、造っても経済的に採算に合わないかもしれない。しかし、その決断は研究によって得られたデータによるものでなければならない。つまり、どれほどの侵食が起こっており、等高線畦を造ることによってどれほど防止することができるのかを知ることは非常に重要である。ある場所で行った研究によって得られた多くの情報は、比較できる条件にあれば、他の場所にも適用できる。

土壌侵食調査は、次の試験的事業地で1993年に始め、1996年に終了した：第一期事業の(1)イライ・デ・ミナス事業地(MG)、(2)ムンド・ノヴォ事業地(MG)および第二期事業の(3)オウロ・ヴェルデ事業地(BA)、(4)アナ・テラ事業地(MT)、(5)ピウヴァ事業地(MT)。

1995年から、土壌侵食調査はPRODECER第一期試験的事業地区域のジェライス・デ・バルサス事業地(MA)およびペドロ・アフォンソ事業地(TO)でも行い、1999年に終了した。

方法として、1993年から1996年まで調査は6haの面積で行った。この期間に得られた結果に応じて、1997年から2,500m<sup>2</sup>(1/4ha)というもっと小さな面積を採択した。この新しい方法では、測定手法を確かめるために2つの方法(格子座標法と

ランダム法)を用いた。

この調査の主な特徴は、プリズムに反射した赤外線を検知する測距儀(トータル・ステーション)という機器を使用したことである。これによって、かなり広い面積で、自然の農耕条件のもとで土壌侵食を測定できたということである。

ペドロ・アフォンソ事業地(TO)のロット5番と17番で得られたデータによると、格子座標法でもランダム法でも似たような結果が得られた。おのおののロットで格子座標法では-1.23と-6.34mm、ランダム法では-1.49と-6.80mmの面状であった。1/4haでは1年で土壌侵食を測定することができたが、以前に実施した6haの調査区では、同じ調査地点数を使った場合、確実な調査にはもっと長い期間が必要である。またロット17番では、ロット5番に比べて、土壌侵食が多かった。これは、ロット17番が砂質土壌で、侵食が起こりやすいからである。

アナ・テラ事業地(MT)で行った土壌侵食調査は、土壌侵食防止のためには等高線畦の造り方が重要であることを示唆するものである。調査区は、長方形で長さ600m、傾斜に沿った幅100mで一番高い部分がある。高さ約7mの分水嶺が中ほどにあり、南東方向の傾斜4.32%、北西方向の傾斜が1.32%である。調査区の土壌は赤黄ラトソルで表面に近いほど砂質である。

調査に選ばれた調査区の両方向において年-7.8mmの面状侵食が起こった。特に北西方向1.32%の傾斜において、-10.1mmの侵食があった。南東方

向の4.32%の傾斜では、傾斜が大きいにもかかわらず、-2.2mmと侵食は少なかった。これは、侵食防止対策として正しく造られた等高線畦によるものと考えられる。調査区の北西方向の傾斜につい

ては、土壌侵食を防止するためには、30m間隔で等高線を設置する必要があるだろう。

調査結果は、土壌や気候条件によって土壌侵食量が変化することを示している。

## 6.3 水質

吉井和弘

水質と水量の測定は、JICAの技術および資金援助により、ミナス・ジェライス州のPRODECER第 期事業地（１）コロマンデル - CO、（２）イライ・デ・ミナス - IM、（３）ムンド・ノヴォ - MN、とマト・グロッソ州のPRODECER第 期事業地事業地（４）アナ・テラ - ATと（５）ピウヴァ - PI において、1993年 8月に開始し1996年12月に終了した。

1995年10月から、水質水量測定調査はPRODECER第 期事業地（６）ジェライス・デ・バルサスマと（７）ペドロ・アフォンソ - TOでも行われるようになり、これは2000年 3月に終了する。

月々の水量と水質の測定には、事業地の川に沿って、最上流、中間 3点、最下流、の計 5地点を設定した。水量測定と水のサンプル収集は同じ地点で行った。

水量の測定は、プライス式流速計、三角堰と台形堰を、水量が減少するに従って使用した。EMBRAPAセラード研究所の実験室において次の

16項目の分析を行った：（１）pH、（２）電気導伝率、（３）アルカリ性、（４）固体浮遊物、（５）化学的酸素要求量（COD）、さらに次の化溶性の（６ - １）硝酸、（６ - ２）硫酸、（６ - ３）アンモニア、（６ - ４）塩素、ついで（７）元素：カルシウム、マグネシウム、リン、アルミニウム、ケイ素、ナトリウム、およびカリウム。

水質水量のモニタリングは、PRODECER第 期事業と第 期事業が設置されてそれぞれ14年と7年が経過してから、PRODECER第 期事業については実施以前に開始した。すべて、試験的事業地においてである。調査の主な結論は次のとおりである：

- （１）得られた結果は、入植事業の実施が環境に影響を与えたということを示していない。
- （２）乾期（４月～ 9月）と雨期（10月～ 3月）の 6月ごとの測定水量と雨量との間に有意な相関関係があった（図61、62、63）。

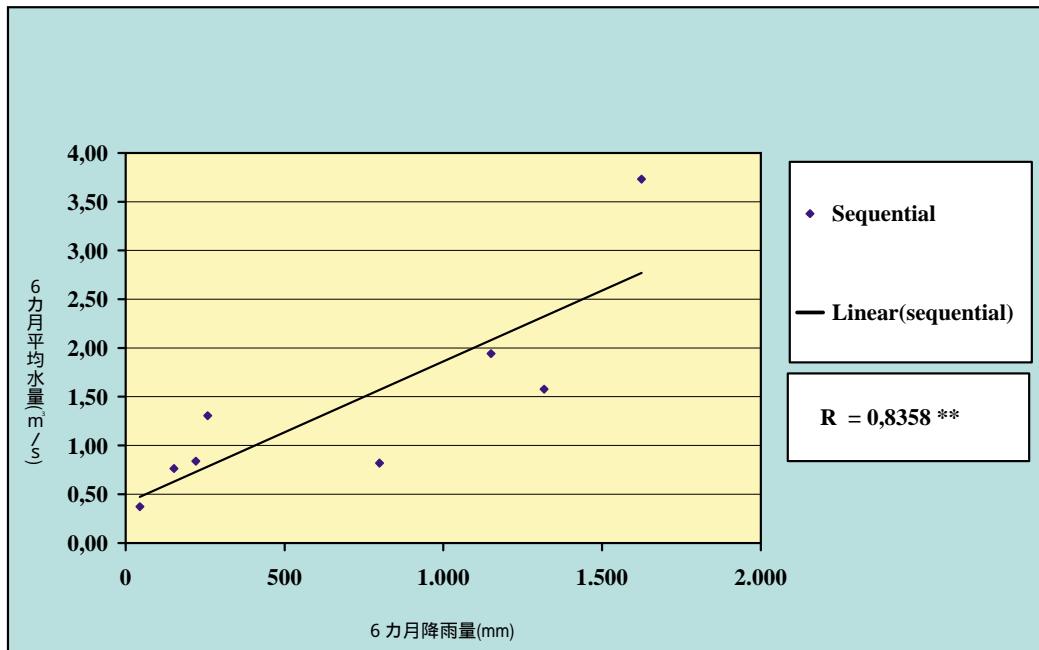


図61 コロマンデル事業地 (MG) における、1993年8月から1996年12月までの雨期と乾期のリベロン・ダス・ラジェス川の水量と降雨量との直線回帰関係

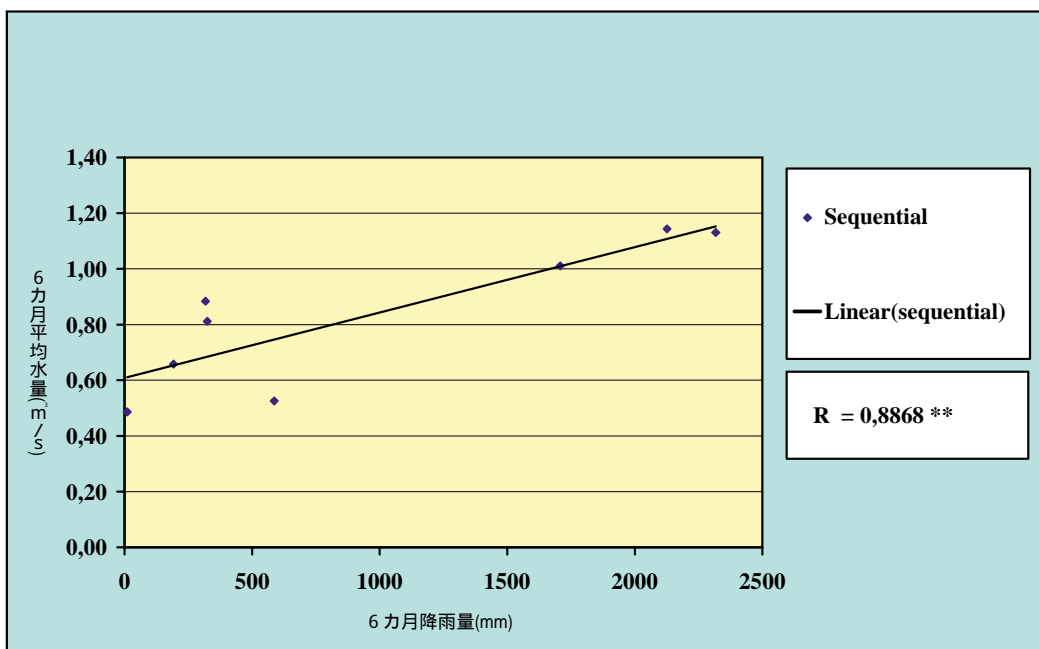


図62 アナ・テラ事業地 (MT) における、1993年8月から1996年12月までの雨期と乾期のリベロン・マラベ川の水量と降雨量との直線回帰関係

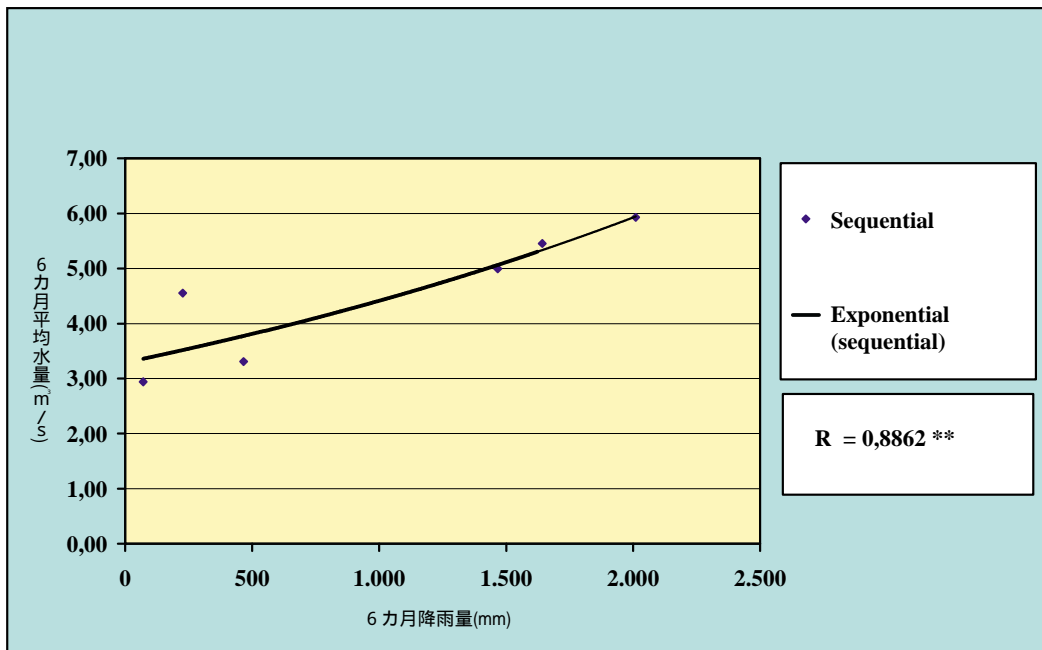


図63 ピウヴァ事業地（MT）における、1993年8月から1996年12月までの雨期と乾期のリベイロン・マラベ川の水量と降雨量との指数回帰関係

- (3) 灌漑設備が設置される前の乾期における水量データと比較すると、16基のピヴォが稼働した第1期には約18%、さらに10基が稼働して計1,300haが灌漑された第2期には、灌漑設備設置以前に比較すると、水量の減少は37%であった。これらの値は、測定流量のみであってこの期間の雨量は計算に入っていない。
- (4) 有効雨量を考慮すると、どの月でも測定流量は灌漑に必要な量を上回った。
- (5) 水質の最も重要な基準の一つは、化学的酸素要求量（COD）である。水のCODが1 mg/l以下であれば簡易処理により、CODが3 mg/l以下であれば通常処理により飲料水として使用できる。

年平均CODは、ほとんど0.50～2.20mg/l にあ

り最大値は2.50mg/l であった。これは調査した入植事業地の水が、あるサンプリング地点では簡易処理後、他の地点では通常処理後飲料水として使えることを示している（図64）。いくつかの事業地では調査のはじめの年に3.00mg/l以上のCODが記録された（図65）。

- (6) 硝酸とアンモニアの6カ月平均濃度は低くそれぞれ0.35と0.15mg/l以下であった。また調査期間中徐々に減少する傾向がみられた（図66、67、69、69）。プロジェクトの流水域から流出される窒素の量は少なく、年間1.0～10.0トン程度で、時間とともに徐々に減少し（図70）、またプロジェクトの流水域の面積と相関関係があった（図71）。

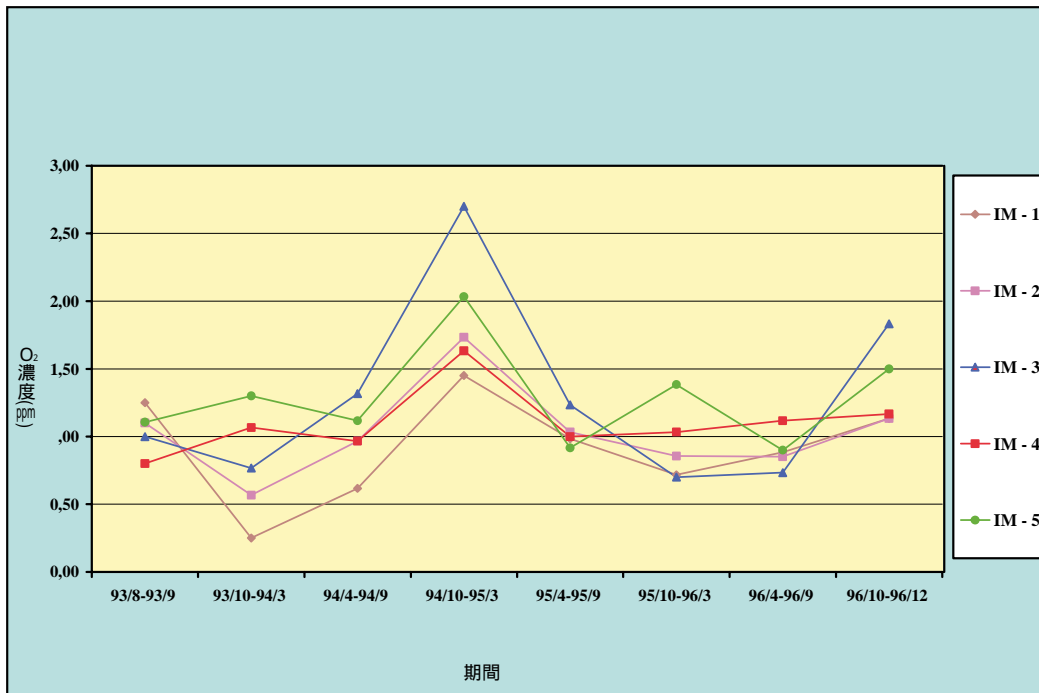


図64 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) リベイロン・パンタニョ川の5地点における1993年8月から1996年12月までの乾期と雨期の平均化学的酸素要求量の変化

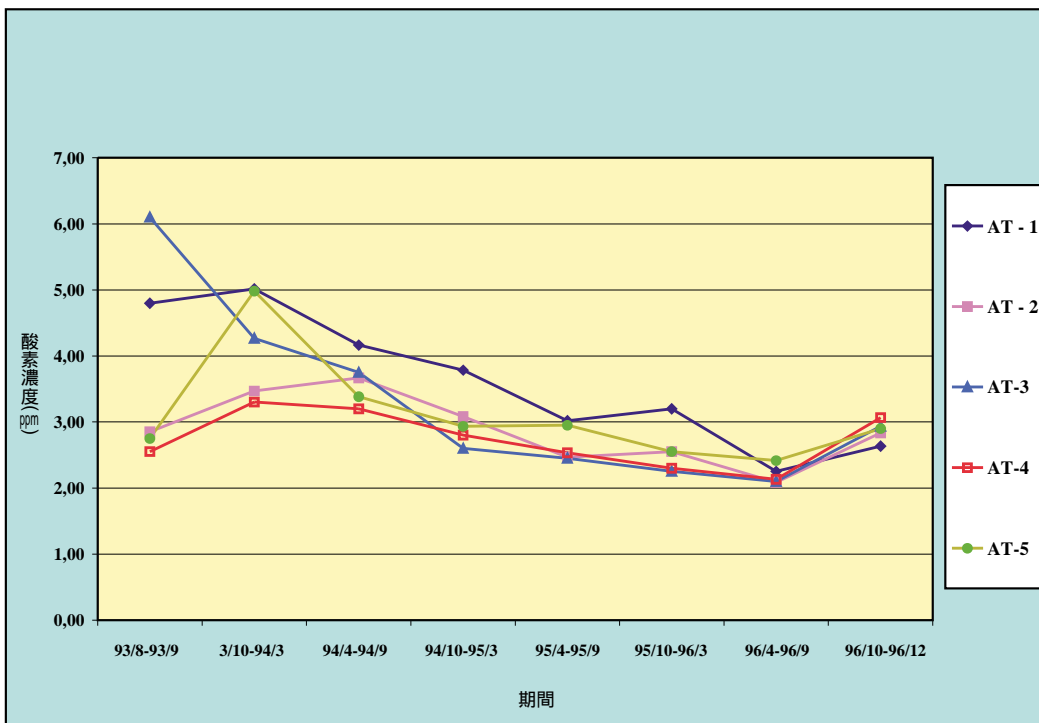


図65 アナ・テラ事業地 (MT) のリオ・トライロン川の5地点における1993年8月から1996年12月までの乾期と雨期の平均化学的酸素要求量の変化

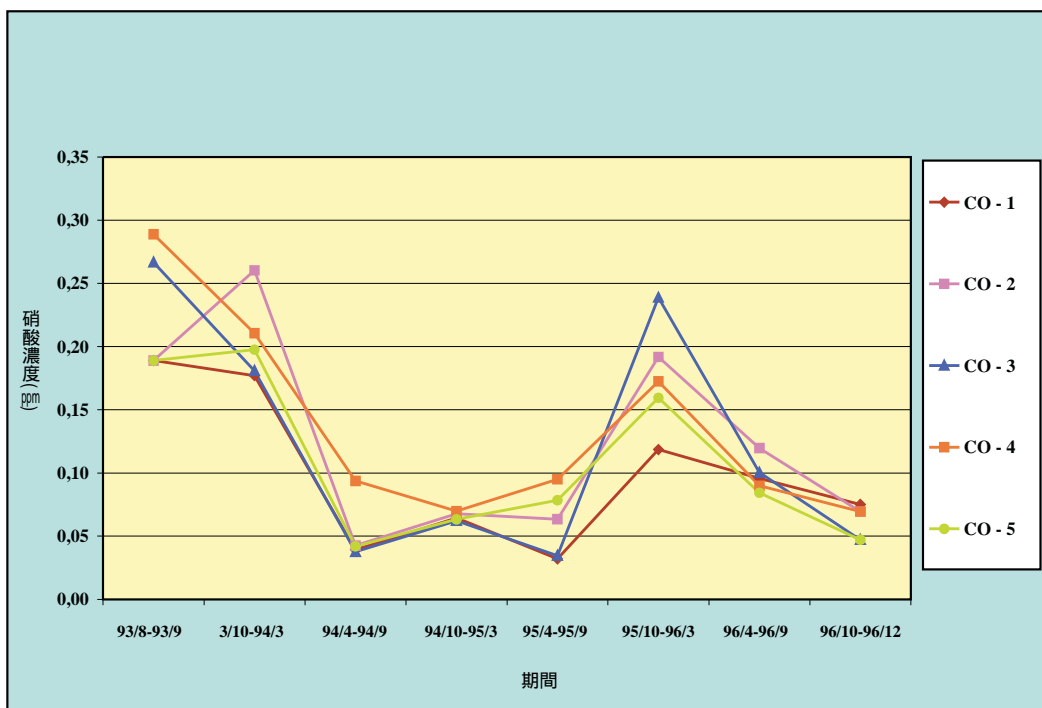


図66 コロマンデル事業地 (MG) リベイロン・ラジェス川の5地点における1993年8月から1996年12月までの乾期と雨期の平均硝酸濃度の変化

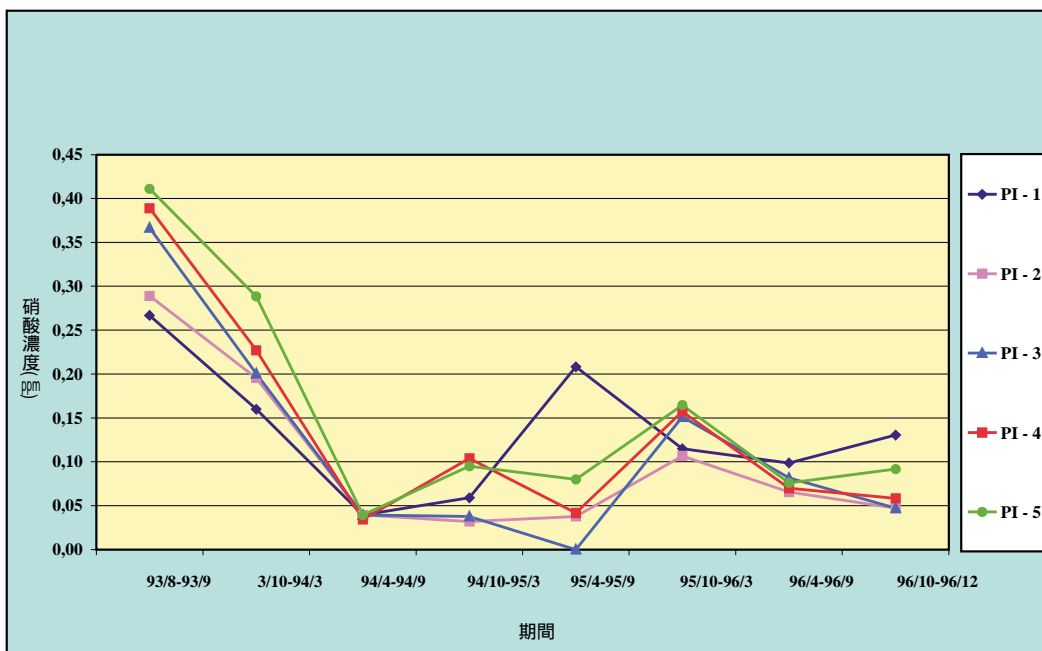


図67 ピウヴァ事業地 (MT) リベイロン・マラペ川の5地点における、1993年8月から1996年12月までの雨期と乾期の平均硝酸濃度の変化

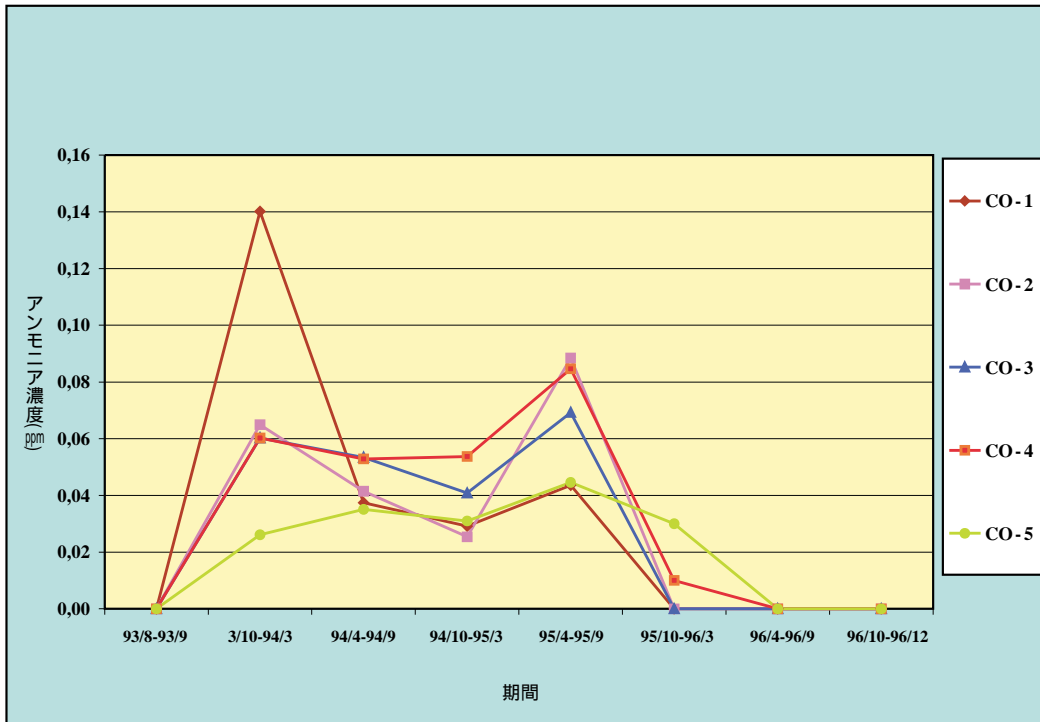


図68 コロマンデル事業地 (MG) リベイロン・ラジェス川の5地点における1993年8月から1996年12月までの乾期と雨期の平均アンモニア濃度の変化

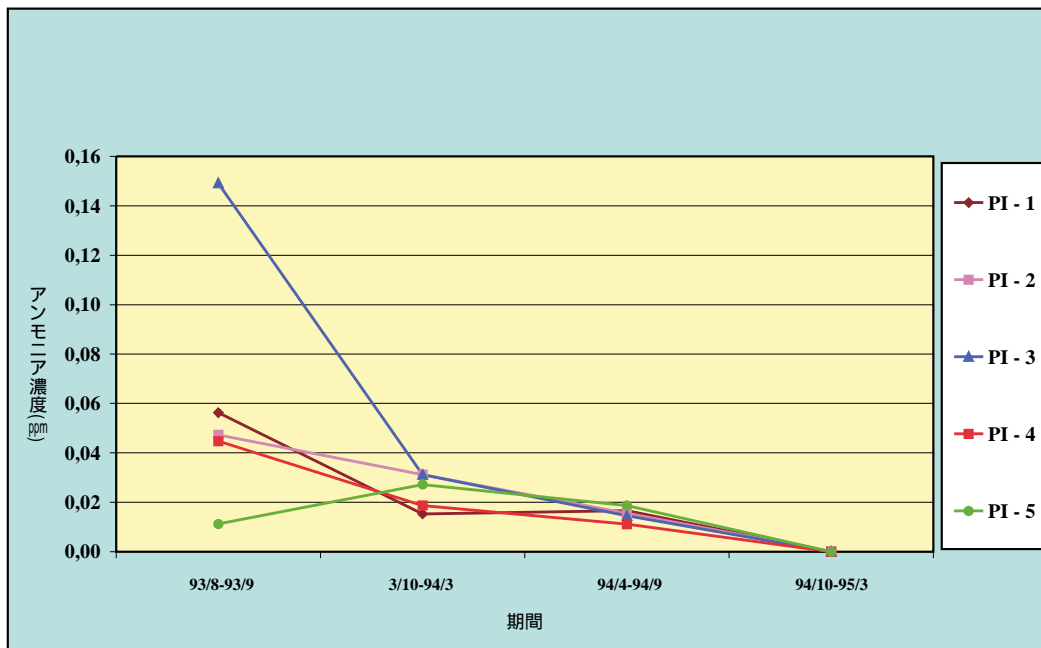


図69 ピウヴァ事業地 (MT) リベイロン・マラペ川の5地点における、1993年8月から1996年12月までの雨期と乾期の平均アンモニア濃度の変化



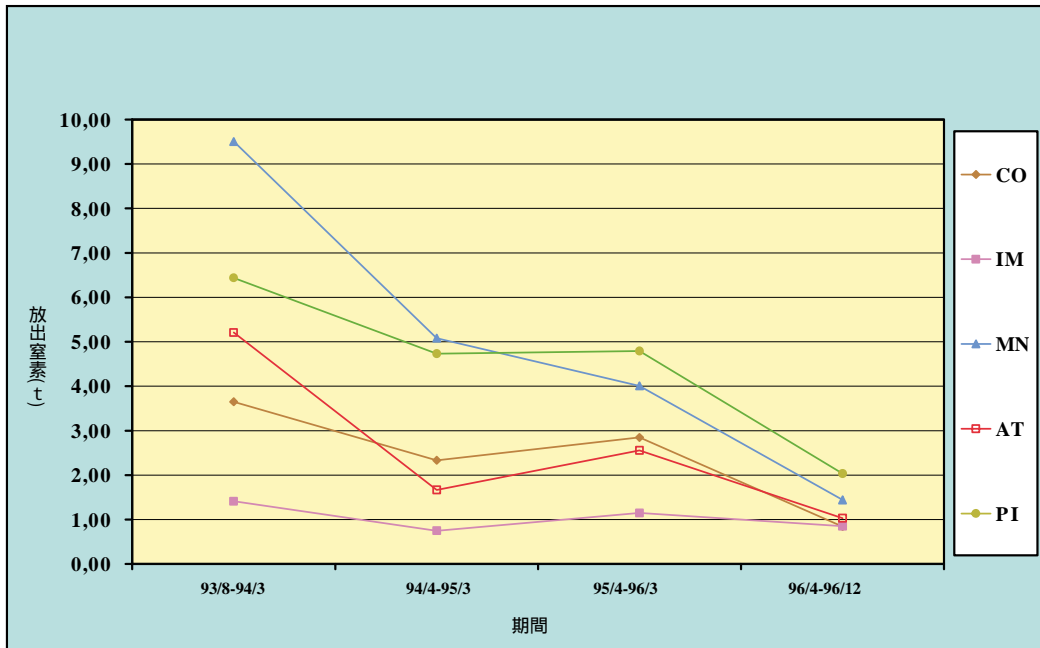


図70 コロマンデル事業地 (MG) イライ・デ・ミナス事業地 (MG) ムンド・ノヴォ事業地 (MG) アナ・テラ事業地 (MT) およびピウヴァ事業地 (MT) から放出された窒素量の比較

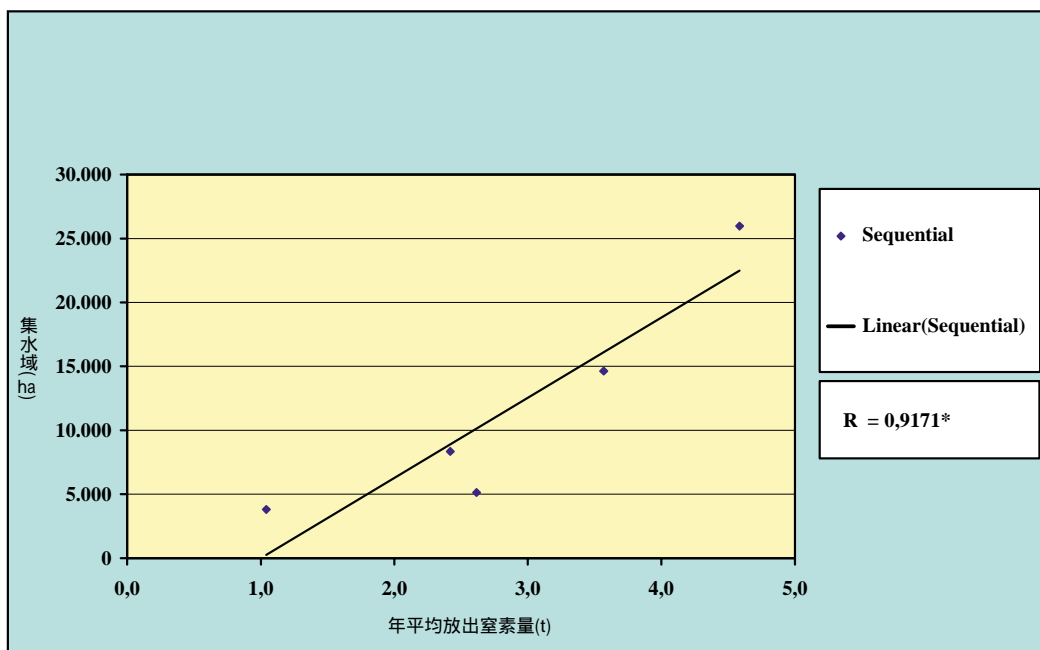


図71 事業地の集水地域面積と放出された窒素の量との直線回帰関係

- (7) 電気伝導率は低く、 $5.0 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下で、調査期間中減少する傾向を示した(図72、73)。電気伝導率に関連したNa, Ca, Mgといった他の元素は、6カ月平均でそれぞれ0.25、0.60、0.06ppmといった低い値を示し、また時間とともに明らかに減少する傾向を示した(図74、75、76)。
- (8)  $\text{SiO}_2$ や $\text{CaCO}_3$ といった項目は、他のパラメーターと比較して6カ月平均がそれぞれ14.0と4.0ppmと比較的高い値を示し、

PRODECER第一期のいくつかの事業地では、増加する傾向がみられた。しかし、水質を悪化するには至らなかった(図77~80)。

- (9) 効率的な土壌保全システムに調和させて、保留地、セラード地域や河畔を考慮した入植事業に適した実施モデルによって、環境の生態的均衡を変化することなく、高い生産性を上げながら実際に持続的な農業のモデルを利用することができる。

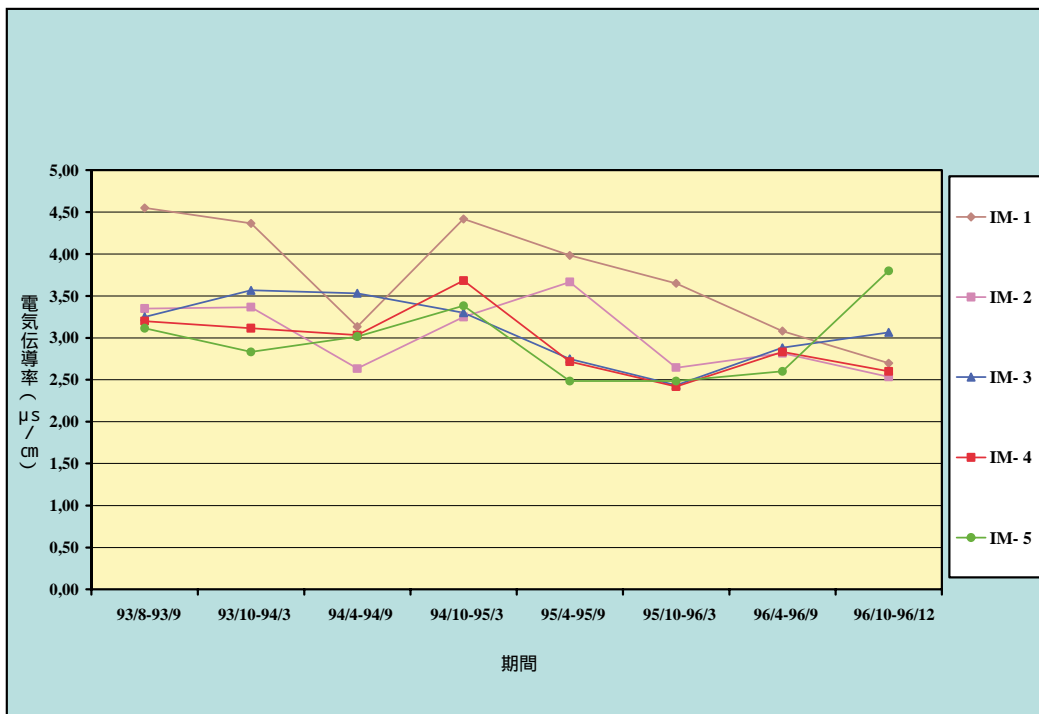


図72 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) リベイロン・パンタニョ川の5地点における1993年8月から1996年12月までの乾期と雨期の平均電気伝導率の変化

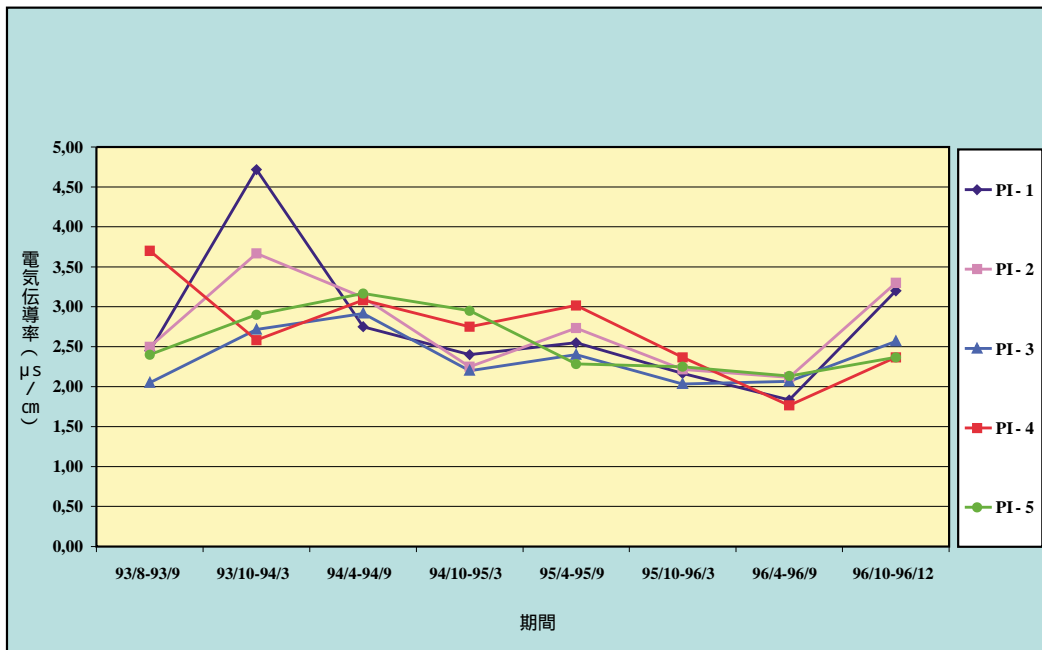


図73 ピウヴァ事業地 (MT) リベイロン・マラペ川の5地点における、1993年8月から1996年12月までの雨期と乾期の平均電気伝導率の変化

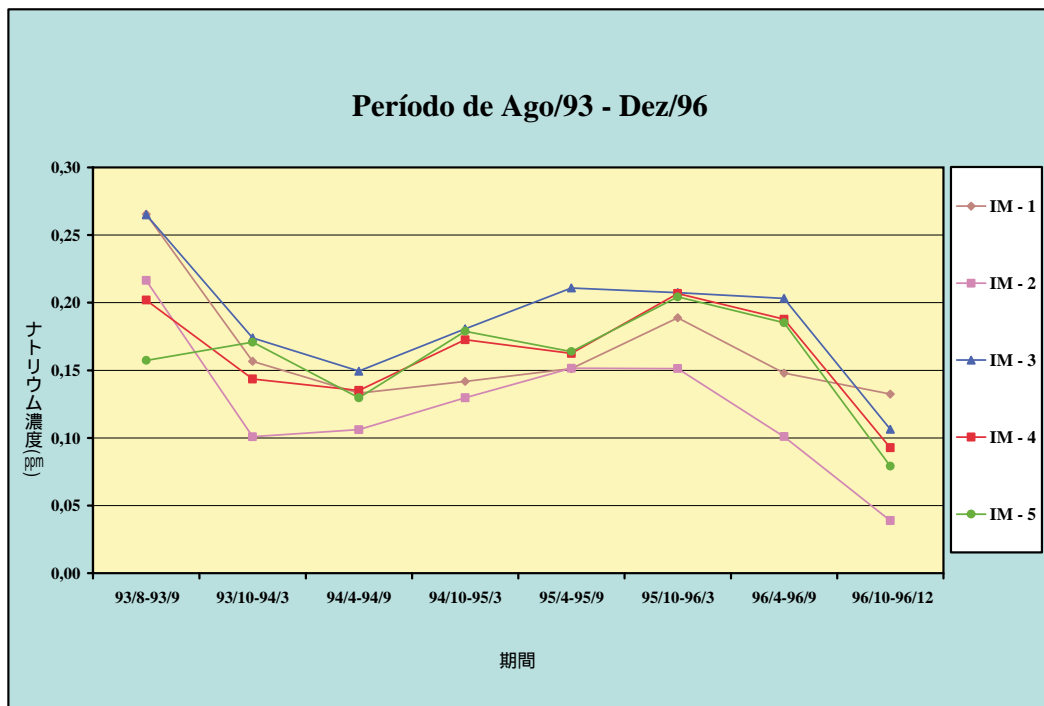


図74 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) リベイロン・パンタニニョ川の5地点における1993年8月から1996年12月までの乾期と雨期の平均ナトリウム濃度の変化

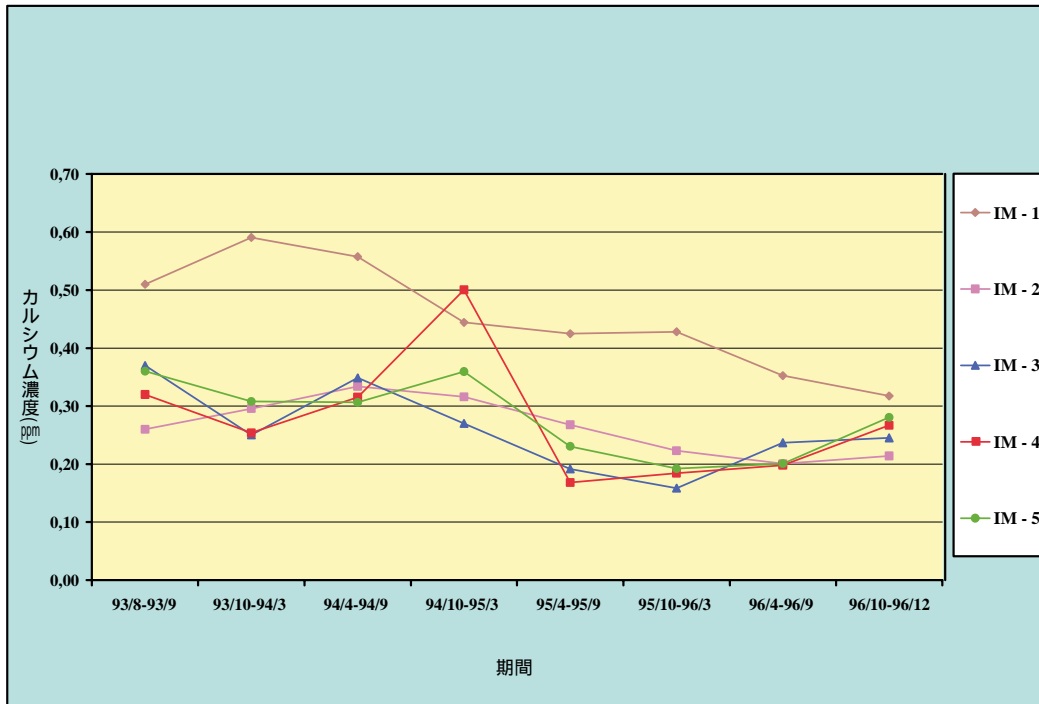


図75 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) リベイロン・パンタニニョ川の5地点における1993年8月から1996年12月までの乾期と雨期の平均カルシウム濃度の変化

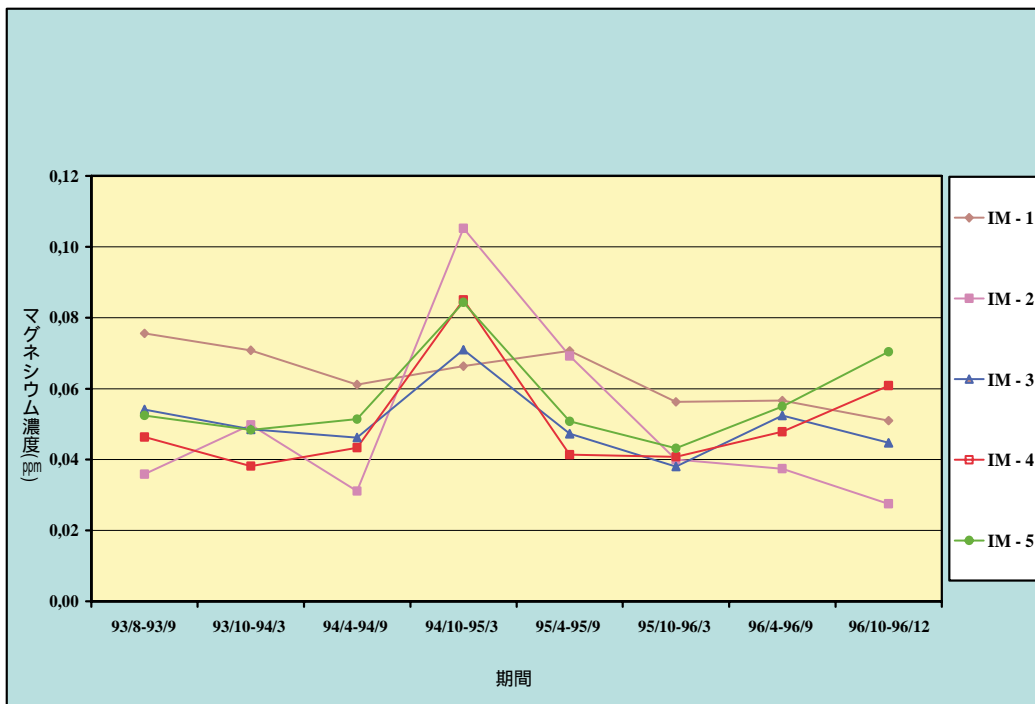


図76 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) リベイロン・パンタニニョ川の5地点における1993年8月から1996年12月までの乾期と雨期の平均マグネシウム濃度の変化

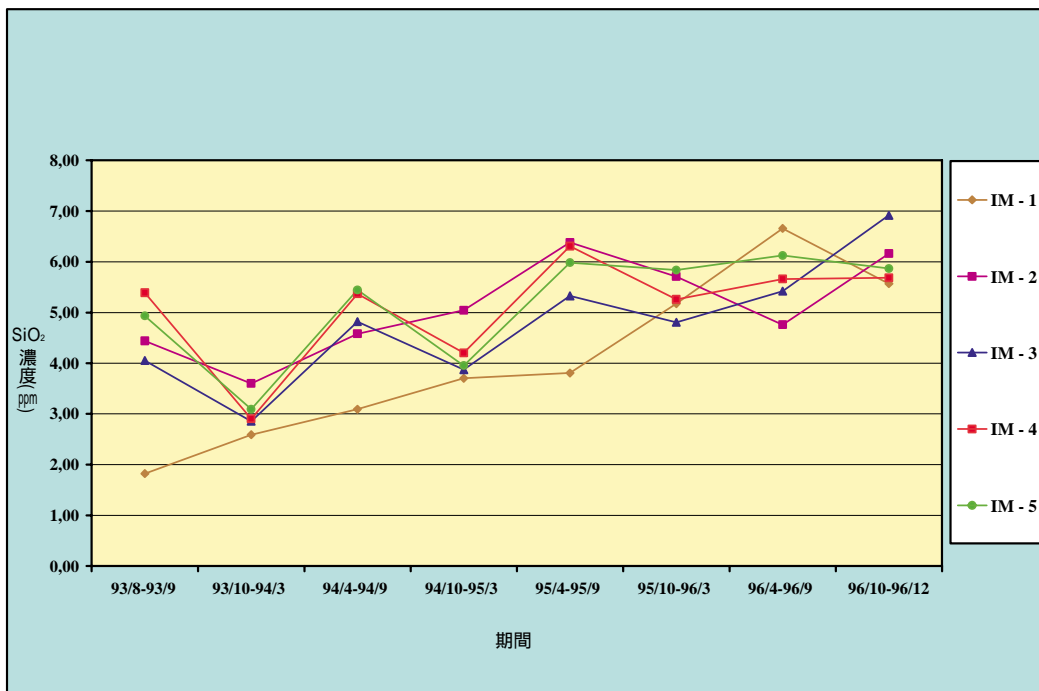


図77 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) リベイロン・パンタニニョ川の5地点における1993年8月から1996年12月までの乾期と雨期の平均SiO<sub>2</sub>濃度の変化

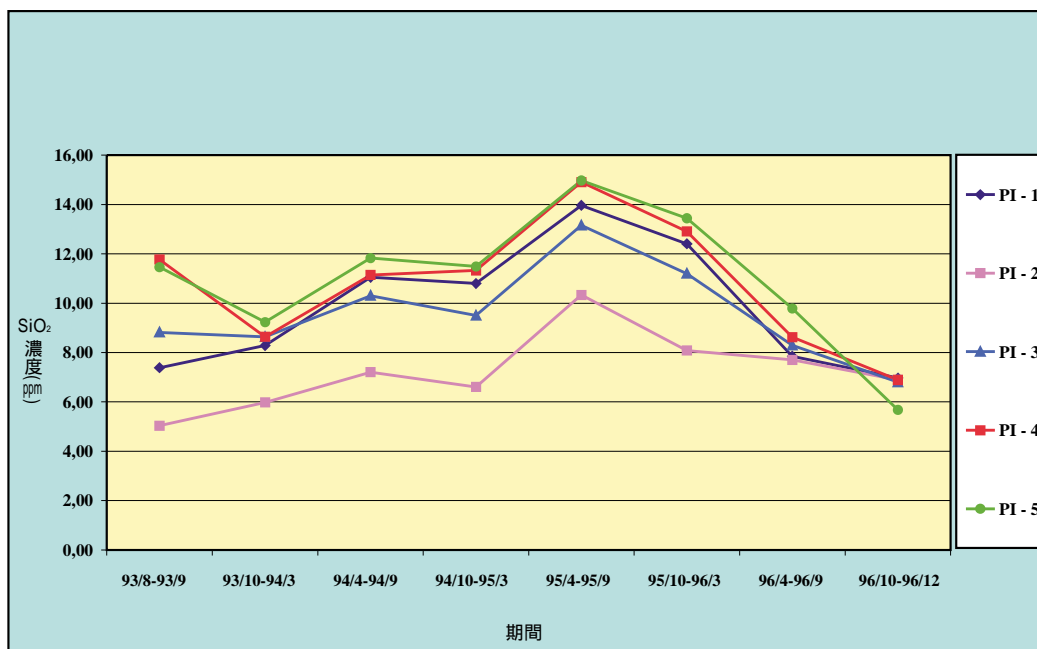


図78 ピウヴァ事業地 (MT) リベイロン・マラベ川の5地点における、1993年8月から1996年12月までの雨期と乾期の平均SiO<sub>2</sub>濃度の変化

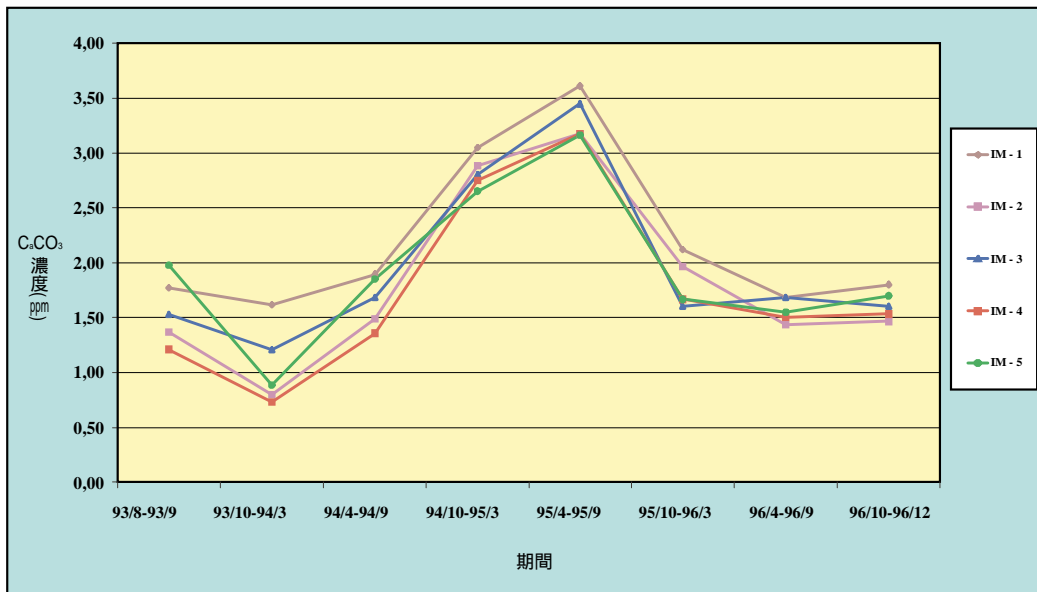


図79 イライ・デ・ミナス事業地 (MG) リベイロン・パンタニニョ川の5地点における1993年8月から1996年12月までの乾期と雨期の平均CaCO<sub>3</sub>濃度の変化

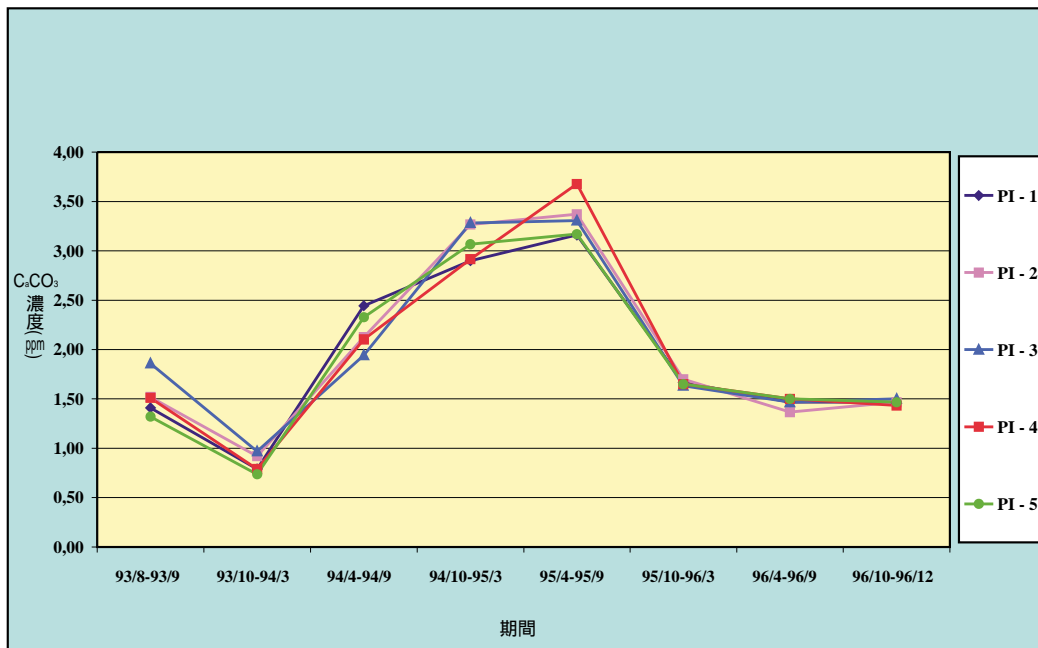


図80 ピウヴァ事業地 (MT) リベイロン・マラペ川の5地点における、1993年8月から1996年12月までの雨期と乾期の平均CaCO<sub>3</sub>濃度の変化

## 6.4 昆虫

### アマビリオ・デ・カマルゴ

セラード原生林が残っている地域は、作物、特に単一作物栽培地域との広大な境界である。法的保留地のセラード地域に隣接した農業のインパクトは事実上知られていないし、この保留地の目的であるセラードの生物多様性の保存が十分に果たされているかどうかを確認するために、調査をする必要がある。

異なった植物相における昆虫の分布も、特に保全すべき地域を決定するために知ることが基本である。夜行性ガ類の構成と多様性の時間的な比較分析を行う目的で、ライト・トラップを使って、マラニオン州南部にあるジェライス・デ・バルサス事業地(MA)において、1996、1997、1998に調査を行った。

32科773種に属する15,511匹のガ類を採集した。調査地で見られた生物多様性は大きかった。1998年には多様度がわずかに下がったが、これは個体数の年次変動が関係しているかもしれない。これを確認するためには、もっと長期的な調査が必要である。

森下指数を使って計算した構成種の類似度は、低かった。この方法によると、調査地点間の値の差は27~98%であった。Sørensenの方法によっても、類似性は低く20~54%であった。ほとんどの種は珍しいもので、収集したのはわずかに2匹という種もあった。

バルサスで行った調査のほかに、他の2つの入植事業地でも分析を行った。

ムンド・ノヴォ事業地(MG)とイライ・デ・ミナス事業地(MG)において、1993年8月と11月、1994年2月に現地調査を行った。

セラード、カンポ・スージョ、河畔林の3つの植生相において生物多様性を比較した。植生相において見つかった生物多様性の値は、統計的に有意差があった( $P < 0.001$ )。

セラード地域での昆虫調査は、種の大きな多様性と、また空間と時間における大きな異種性を証明した。この調査の継続と、生物学生態学と分布の研究の実施は特に保全すべき地域を決定するのに基本となる。

## 6.5 植生

マリア・ルシア・メレレス  
ジョゼ・フェリペ・リベイロ  
レジナ・デ・オリヴェイラ  
ブルノ・ワルタ -

セラードは、地球上で最も植物多様性の多いサヴァンナであり、7,000種の被子植物が存在する。地域の農業開発は、この素晴らしい遺伝資源バンクの存続を脅かさないように、合理的に行わなければならない。

ブラジルの環境法によると、農業事業は法的保留地として全面積の20～50%を自然植生のまま保存しなければならない。

植物社会学とエッジ効果を解明するための生態学的研究により、保留地として残されているセラードの一部が、どれほど植物多様性を保存しているのか、その維持保存を確実なものにするための一番よい手段は何か分かるであろう。

農業活動の植物多様性に与えるインパクトの研究は、ジェライス・デ・バルサス事業地（MA）の法的保留地であるセラードの一部において行っている。植生の3つの構成要素：典型的セラードの木本植物と草本植物、そして湿地帯の草本植物の調査を行っている。

この調査は1995年に開始して、毎年同じ地点で同じ植物社会学の方法を用いて、エッジでの農業の効果との関係において、植生のダイナミックを調査している。

### 6.5.1 典型的セラードの木本植物

農耕地に囲まれた典型的セラードの保留地の原生

植生における環境インパクトのモニタリングを二つの耕作地近くで1995年に開始した。

農耕地との境界から、10×20mの常設プロット64（1.28ヘクタール）を、160mのトランセクト4つ（おのおののトランセクトに16プロット）にして設定した。それ以降、直径3 cm以上の木本植物の個体調査を行っている。

4年間の調査で、植生構造の変化と植生の多様性の変化を見つけた。またこの植生は1996年と1998年に野火の被害を受けた。

出現した個体数は95年に2,258本/ha、97年には2,654本/ha、98年には2,619本/haに減少した。攪乱されず継続する力があれば、自然環境での一般的傾向は、個体数の増加である。この点は95年と97年の調査で確認された（この期間の増加は396本/ha）。しかしながら、97年から98年にかけて37本/haの減少が、深刻な攪乱を示し自然密度の減少をもたらした。増加率が減少しただけでなく絶対数も減少した。1年という期間を考慮して、増加平均は193本/ha、98年の乾期（7月～8月）の野火の発生は、もとの個体密度の増加率の深刻な減少をもたらしたらしい。科当たりの種の数もこの傾向を示した；95年には64種/30、97年には68/32、98年には64/30となっている。

97年のデータによると、農耕地に近いところと隣接したところで主な変化が起こり、98年には農



耕地から離れたプロットで植生構造の変化が起こった。98年の野火がこの結果に影響したと考えられる。

野火の悪影響（焼死）は、一般的に直径3～5 cmの木に大きく、特に次の種に大きかった：Byrsonima sp., Connarus suberosus Planch. Davilla elliptica St. Hil., Erythroxyllum deciduum St. Hil., E. suberosum St. Hil., Ouratea hexasperma (St. Hil.) Baill., Stryphnodendron rotundifolium Mart. ex Benth., S. adstringens (Mart.) Cov., Vochysia rufa Mart. このリストの中、Erythroxyllum suberosum と Stryphnodendron rotundifolium は最も影響をうけた。

一方、野火の到来があっても、Vatairea macrocarpa (Benth.) Ducke や Eschweilera nana (Berg.) Miers といった種は増加した。両方とも、最初の調査では時たま見つかる程度である。これらは、そのコミュニティにとって将来、重要な種となる兆しである。

成木は、環境の変化に対して感受性が低いが、若齢木の繊細な変化を隠すかもしれない。直径3～5 cmの木の詳細な植物社会学的分析は、もっとも影響を受けた木をもっとはっきり示すに違いない。

調査現場視察や以前の報告書をもて、短い期間の観察では基本的にまだ火事の影響を農業の効果から区別するのは難しい。調査はサイクルの長い永年植物を対象にしているので、長期的にこの情報のフォローを継続することが必要である。このフォローは、農業の効果が今のところ火事の影響により隠されているかもしれないので、農業の効果を明らかにするために非常に重要である。

## 6.5.2 典型的セラードの草本植物

ジェライス・デ・バルサス事業地（MA）ロット16番と23番に隣接した、典型的セラードの同じ

エッジを調査した。1 m以下の個体をすべて草本植物と見なした。それぞれの調査地点で、農耕地からの次の距離にある長さ50 mの7本の直線を調査した：1、3、5、10、20、50、100。おのおのの直線において、「ライン法」を使って種の頻度と被度を求めた。

毎年原生種の頻度と被覆度の増減と侵入種の存在に関する草本植物の構成変化をフォローしている。これらの調査において、すでに合計207種が見つかり、シャノンの多様性指数は2.8～3.7であった。頻度の低い種が多くて、多様性を大にしている。おのおのの直線において、わずかに3～5種が5%以上の頻度を示す。その種とは次のとおり：Trachypogon spicatus, Paspalum guttatum, Axonopus marginatus Scleria sp., Mesosetum loliiforme, Rhynchospora conata.

セラードの草本植物の多様性を脅かす主なものの一つは、侵入種により置き換えられることである。このプロセスは調査したエッジの直線ですで見つけられた。この侵入は草本植物の連続した密な被覆をもたらし、すべての植生の天然の苗の成長を難しくしてその植生の多様性を危険におかす。この置換につながるプロセスはほとんど知られていない。この研究はこのダイナミックを観察するパイオニアである。得られた結果の最終分析はこのプロセスを明らかにする助けとなり、この侵入を避けるために、保留地のセラードの管理に役立つであろう。

## 6.5.3 湿地帯草本植物

セラード地域の湿地帯は排水の良くない土壌で、草本植物でびっしり覆われ、灌木がまばらにあって木のない植生である。

湿地帯の4地点を調査した。おのおのの調査地点で、セラードのエッジに始まる河畔林に対して

直角の線を引いた。計17本の長さの異なった線を引き、1mごとに存在する種、重要性、自然草高、生きている植物と死んでいる植物の被覆度を記録した。

1年目には次の環境に関連した6グループが見つかった：(1)セラードのエッジ(排水されたサヴァナ)(2)セラドン(森林形成)のエッジ、(3)ムルンツン(小さな盛り上がった所で離れている)(4)あまり浸水していない湿地帯、(5)中央部でもっと浸水している、(6)広い分布の種。

地下水位の低下は、水資源の使いすぎまたは近くの森林伐採が有意に水の浸透を減らし、水系のそして流水系全体の水量を減少させたことを示す。

過去2年間の調査において、直線沿いに存在する異なったレベルの浸水に敏感な草本植物の調査

で、グループの中で見つけられるインディケイター種の減少または増加により、地下水位の低下が起こっているのかどうか知ることができよう。

#### 6.5.4 結論

セラードの生物多様性を維持することは、現在の世代の将来の世代に対する約束である。秩序のある農業開発とセラードの生態学的知見によりこの約束を責任もって守ることができよう。保全のメカニズムは農業開発への脅威であると考えべきではなく、農業開発の継続を保証するものであると考えべきである。この研究は、理性的で効率のよい方法で、農業開発地域におけるセラードの植物多様性を維持することができるように、重要な助けとなる。

---

## 著者

---

■ 古畑 哲

〒101-0051

東京都千代田区神田神保町1丁目58番地

日本土壌協会

参与・土壌部長

---

■ Álvaro Luiz Orioli

Gerente Técnico

CAMPO

SEPN 516 Bloco A, 4° andar

CEP: 70770-515 Brasília- DF

e-mail: campo@mymail.com.br

---

■ Amábilio Aires de Camargo

Pesquisador

EMBRAPA/Cerrados Br 020, Km 18

Rod. Brasília-Fortaleza, Cx. Postal 08223

CEP: 73301-970 Planaltina- DF

e-mail: amabilio@cpac.embrapa.br

---

■ Bruno M. T. Walter

Pesquisador

EMBRAPA/Recursos Genético e Biotecnologia

SAIN, Parque Rural W3 Norte

Caixa Postal 02372

CEP: 70770-900 Brasília- DF

---

■ José Felipe Ribeiro

Pesquisador

EMBRAPA/Cerrados Br 020, Km 18

Rod. Brasília-Fortaleza, Cx. Postal 08223

CEP: 73301-970 Planaltina- DF

e-mail: felipe@cpac.embrapa.br

---

■ 吉井 和弘

〒162-8433

東京都新宿区市谷本村町 10 - 5

国際協力事業団国際協力総合研修所

国際協力専門員

e-mail: yoshii@jica.go.jp

---

■ Maria Lúcia Meirelles

Pesquisadora

EMBRAPA/Cerrados Br 020, Km 18

Rod. Brasília-Fortaleza, Cx. Postal 08223

CEP: 73301-970 Planaltina- DF

e-mail: lucia@cpac.embrapa.br

---

■ 根本 正之

〒156-8502

東京都世田谷区桜丘町 1 - 1 - 1

東京農業大学地域環境科学部

教授

---

■ Regina C. de Oliveira

Bolsista

EMBRAPA/Recursos Genético e Biotecnologia

SAIN, Parque Rural W3 Norte

Caixa Postal 02372

CEP: 70770-900 Brasília- DF

---

■ 松村 雄

〒305-8604

茨城県つくば市観音台 3 - 1 - 1

農林水産省農業環境技術研究所

環境生物部昆虫管理科

昆虫分類研究室長

e-mail: tmatsu@niaes.affrc.go.jp