

熱研資料 No. 74

ブラジル熱帯畑土壌の肥沃度特性と土壌管理法

岩間 秀 矩

中川 ジュリオ

昭和63年7月



農 林 水 産 省
熱 帯 農 業 研 究 セ ン タ ー

所 長
梶 原 敏 宏

編集委員長
三 宅 正 紀

編 集 委 員
松 本 省 平
高 橋 達 児
蘭 道 生
西 山 岩 男
長谷川 聖 人
野 崎 倫 夫

目 次

1. はじめに	1
2. ブラジル中南部における土壌分布の特徴	2
1) 地質・地形による地帯区分	2
2) 気候	4
3) 土壌分布	5
3. 化学性の特徴	9
1) 調査項目および測定法	9
2) 調査結果	11
(i) 遊離酸化物、粒径組成、シリカ・アルミナモル比、(ii) 酸度、(iii) 塩基交換容量および等電点、(iv) 石灰、苦土肥沃度、(v) カリ肥沃度、(vi) 腐植および窒素肥沃度、(vii) 磷酸肥沃度	
3) 化学性の特徴と管理対策	29
(i) 熱帯土壌の化学的特性	29
(ii) 化学的肥沃度と管理対策	31
4. 物理性の特徴	33
1) 調査項目および測定法	33
2) 調査結果	34
(i) 有効土層、作土深、(ii) 仮比重および線膨張率、(iii) マクロ孔隙および透水性、(iv) 土壌圧縮に伴う物理性悪化、(v) 圃場含水量および有効水分量、(vi) 団粒性および分散性、(vii) 勾配、斜面長と土壌侵食、	
3) 物理性の特徴と土壌管理対策	59
5. 主要土壌の特徴と管理対策	62
6. 要約	66
謝辞	
引用文献	

付表—1 土壌断面、物理性および化学性分析データ

付表—2 ブラジル地質年代

ブラジル熱帯畑土壌の肥沃度特性と土壌管理法

岩間秀矩*・中川ジュリオ**

1. はじめに

ブラジルの農業生産力は古くからの輸出作物であるコーヒーや、近年、急伸長した大豆にみられるように巨大であり、今後、更に伸展する可能性を持っている。また、穀物輸出力を持つ国は世界でも数少ないことから、ブラジル農業の安定的発展は、多量の穀物輸入国である我国にとって、重要な意味を持つものと考えられる。しかし、その国土の大半が熱帯および亜熱帯に属し、畑作の生態的条件は温帯地域におけるよりも厳しく、農業資材供給力の低さ、インフラストラクチャーの不備、更に国際穀物価格の不安定性もあって、ブラジルにおける畑作発展には未解決な問題が数多く残されている。

ブラジル農業における生態条件の中でも、土壌は歴史的にも最も重要な条件の一つとされてきた(三宅、1979)。すなわち、開拓の始った16世紀以来近年に至るまで、ブラジル農業は森林植生を支えてきた土壌の肥沃度と森林の灰分を次々と利用する、いわば土地の使い捨てによって展開してきたのである。しかし、肥沃な土壌地帯は大西洋沿岸部並びに南部諸州に分布が限られており、それらは今世紀半ばまでにはほぼ開拓され尽し、単なる外延的拡大による発展は望めない状況が生じてきた。それ故、現在はセラードのような低肥沃度の土壌の広がる未開発地帯へと土壌改良を前提とした大規模畑作が拡大しつつあり、他方、旧来からの農業地帯では、本来の土壌肥沃度の低下を防ぎつつ、生産性を向上させる集約技術を取り入れた機械化畑作の方向が求められている(矢部、1982)。従って、ブラジルでは地力依存農業時代にまして、肥沃度特性の解明が必要となっているといえよう。

本研究は、熱帯農業研究センターによる熱帯における畑作ファーミングシステム確立を目的とする研究の一環として、ブラジル中南部亜熱帯乾雨期地帯に分布する主要畑土壌の肥沃度的特性を明らかにし、熱帯畑土壌管理の基本的指針を得ようとしたものである。

注 * 研究第一部 (現農業環境技術研究所)

** ボツカツ農科大学、土壌学科

2. ブラジル中南部における土壌分布の特徴

1) 地質、地形による地帯区分

ブラジルを基本的地質要素によって大区分すればいわゆる大陸の盾状地とその周辺の堆積盆地に分けられる。盾状地はブラジル中央高原や大西洋高原をなし、先カンブリア紀の花崗岩、片麻岩および結晶片岩類からなり、石灰岩も一部に含まれるが、多くは酸性岩類を主成分としている。堆積盆地の代表的なものはアマゾン低地とパラナ盆地であり、古生代以降の堆積層が深さ数千m以上にまで形成されている。

本研究で調査の対象としたブラジル中南部域は図2に示したように、中央高原南半部とパラナ

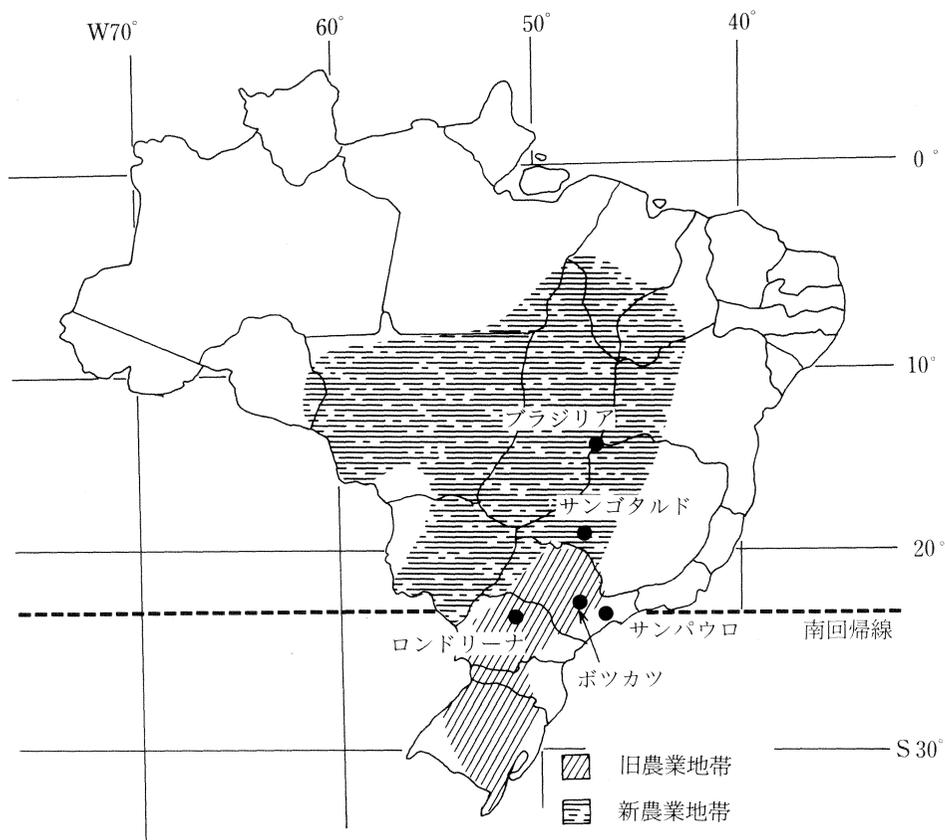
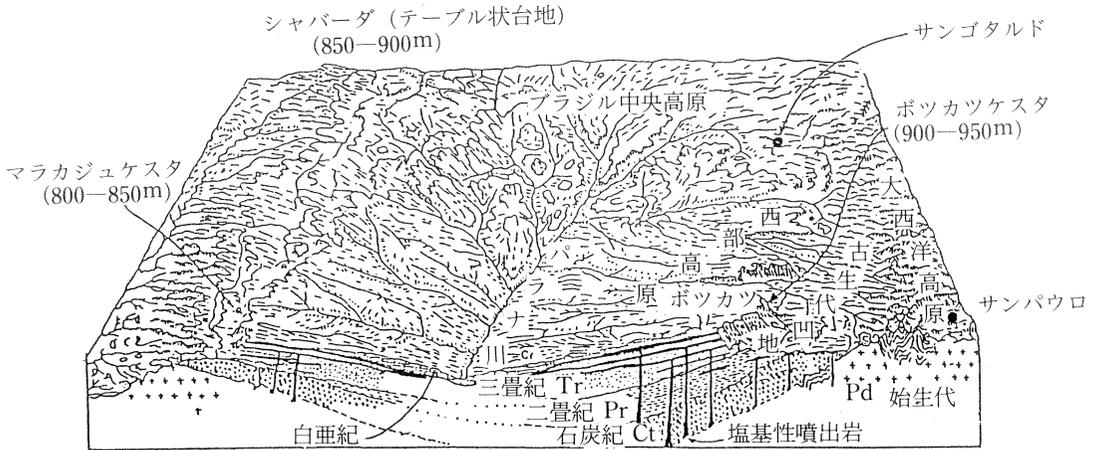


図1 ブラジル新旧農業地帯



(from Aziz Ab'Saber, 1955)

図2 パラナ川上流地域の地形・地質模式断面図

盆地北半部、および大西洋高原の一部を含んでいる。このうち中央高原域は、開析が進んで波状地形を示し、古い岩層が地表近くに露出している地帯と、第三紀の乾燥気候下で準平原化作用を受け、未固結堆積物（層厚20～80m）を載せた標高700～1,100mのテーブル状高位台地の分布する地帯に分けられる。中央高原のテーブル状高位台地は南米大陸におけるアマゾン水系、ラブラタ（パラナ川）水系およびサンフランシスコ水系の分水地域に相当する河頭侵食から残された残存地形面である（Brasil, D.N.P.M. 1975, EITEN, 1972, Queiroz Neto, 1982）。

パラナ盆地域はデボン紀から中生代初期までの地層が帯状に露出している古生代凹地と呼ばれる地帯と、中生代に広域割目状噴出した玄武岩の露出している地域、および、さらに玄武岩層を被って堆積した白亜紀の石灰を含む砂岩の広がる地帯の三つに中区分される。この地域の主要な地形は果てしなく広がる波状あるいは緩波状台地である。平坦面を持つ高位台地は既に開析されて消失し、小面積の平坦面を持つ標高500～750mの台地面が中小河川の分水域に残されているのみである。また、比較的平坦な面が沖積面およびそれより1ないし2段上の低位台地面に広く見られる所もある。

大西洋高原は比較的開析の進んだ丘陵と谷底平野（盆地）に区分され、丘陵は片麻岩など変成岩類が主体となっている。

これら各地域における地質と地形の特徴は表1、および表2に示したように、土壌母材と風化度に影響及ぼしている。また、付表2に地質年代表をまとめて示した。

表1 ブラジル中南部の地質・地形による地帯区分

大区分	中区分	地質の特徴	地形の特徴
パラナ盆地	古生代凹地	氷河成、海成、湖成堆積岩 風成砂岩	緩波状台地 標高300m—800m
	玄武岩地帯	広域噴出玄武岩	緩波状台地 標高500m—800m
中央高原	バウル砂岩地帯	湖成石灰粘土膠結砂岩	緩波状台地
	テーブル状台地	基盤は原生代変成岩類、台地面は第三紀 および更新世未固結堆積物	テーブル状台地 標高700—1,200m
大西洋高原	他、陥没地	原生代変成岩類	波状丘陵・台地
	丘陵性山地 谷底平野	花こう岩、片麻岩、変成岩 洪積世、沖積世堆積物	丘陵性山地 沖積地、河岸段丘

表2 母材と地形による土壌の分布パターン

母材	土壌分布パターン（高位面より下位へ）
(a) 塩基性岩（玄武岩など）	紫赤色ラトソル、構造的テラロッシヤ、岩屑土
(b) 砂岩、ボツカツ砂岩	砂質赤黄色ラトソル、熱帯ポドゾル（ララス型ポドゾル性土）、 砂質土（レゴソル）
バウラー砂岩	リンス・マリリア型ポドゾル化土、砂質暗赤色ラトソル
(c) その他、酸性岩	赤黄色ポドゾル性土、赤黄色ラトソル、中間型
頁岩他堆積岩	暗赤色ラトソル、赤色化土性B層土壌、赤黄色ポドゾル性土、 岩屑土（粘土質堆積岩）

2) 気 候

EDMON (1979) によればブラジル中央高原域は6ヶ月近い乾期のある熱帯亜湿潤気候 (Aw) であるが、標高800m以上の高原地帯は亜熱帯性亜湿潤気候 (Cwa) となっている。その南側、パラナ盆地のパラナ川を中心とする盆地中央部では標高が低く、熱帯亜湿潤気候 (Aw) となり、標高がやや高くなっている地帯では亜熱帯湿潤気候 (Cwa) となっている。大西洋高原地域は更に標高が高く湿潤な Cfb、Cfa、を始め Cwa など亜熱帯から暖温帯の気候となっている。

この地域の年間降水量は1,100mm~1,700mmであり、一般的な植生は（半落葉）熱帯広葉樹林である。土壌水分環境は比較的弱い乾期のある洗滌型であり、従って土壌生成作用は塩基溶脱作用、粘土移動集積作用、赤色化作用、カオリン化作用およびそれらに引き続くラトソル化作用（アリット化作用・脱珪酸）である。また Cfb あるいは Cwb という涼しい気候の下では腐植がやや土壌中に集積する傾向があるとされている (Comissão do solos 1960)。

なお、ここで気候条件からみたブラジル中南部・熱帯・亜熱帯乾雨期気候地帯は南限はパラナ州北部、おおよそ南緯24°の線であり、北限はセラード地域に及ぶ非常に広い地域である。本調査

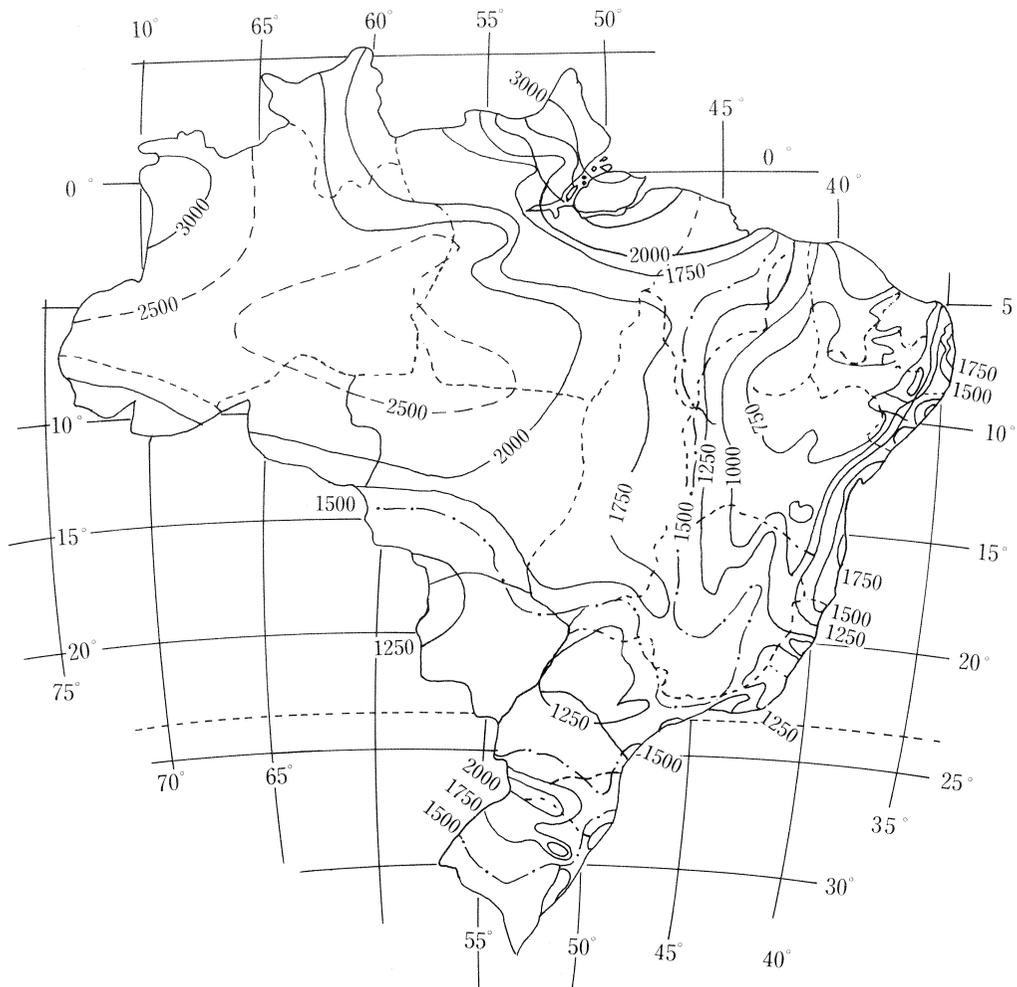


図3 年降水量分布

において実際に調査を行ったのはサンパウロ州内とその州境より約200km前後ミナス州およびパラナ州側に出た範囲である。

3) 土壌分布

土壌の分布はより広域なレベルでは気候の影響が第一に大きく現われると考えられるが、ここで対象としている範囲内では気候の差異に伴う土壌生成の差異はそれほど明確ではなく、第一に主たる母岩の種類、第二に地形面上の位置によって土壌の分布パターンが決められている。なお、ブラジルの土壌分類方式については既に千葉(1973a)、坪井(1974)および三宅(1979、1981)

によってくり返し紹介されており、改めて述べるまでもないが、畑作にとって重要な台地や丘陵地に分布する土壌は、土性B層を持つ土壌群とラトソル性B層を持つ土壌群である。土性B層とはブラジルにおける textural B の三宅・中村（1981）による訳語であるが、表層の下位にある粘土質でやや密な塊状あるいは角柱状構造の発達した土壌で、土塊の表面に粘土（腐植を含む）の沈着被膜（キュータン）が認められることを特徴としている。ラトソル性B層は典型的なものは高い粘土含量にもかかわらず重粘さがなく、微小団粒が発達しており、膨軟碎易である。またキュータンは無いか僅かである。主要な土壌名と FAO およびアメリカの Soil Taxonomy による分類名の対比を表3、4に示した。

表3 サンパウロ州における主要土壌の分布

土壌群名	USDA 名	分布面積	割合
土性B層を持つ土壌		km ²	%
赤黄色ポドゾル性土 (PVA)	(Oxic) Haplustults	6,418	2.5
ピラシカバ型	(Ustults or Ustalfs)	1,374	0.6
ララス型	(Troporthods)	8,513	3.5
石れき質赤黄色ポドゾル性土	(Ustalfs)	5,337	2.2
リンス・マリリア型ポドゾル化土	(Sandy Haplustalfs)	47,047	19.4
赤黄色地中海性土		109	0.04
構造的テラロッシュ (TE)	(Oxic Rhodustalfs)	2,642	1.1
ラトソル性B層を持つ土壌			
紫赤色ラトソル (LR)	(Rhodic Haplustalfs)	34,976	14.0
暗赤色ラトソル (LE)	(Haplustox)	10,724	4.4
砂質暗赤色ラトソル (LEa)		47,841	20.0
赤黄色ラトソル (LVA)	(Hapl- & Acrustox)	8,410	3.5
砂質赤黄色ラトソル (LV Aa)		12,059	5.0
黄色ラトソル (LA、赤黄色ラトソル)	(Haplic Acrorthox)	1,693	0.7
段丘相)			
水成土		7,074	2.8
未熟土壌			
岩屑土		3,107	1.3
レゴソル		2,063	0.9

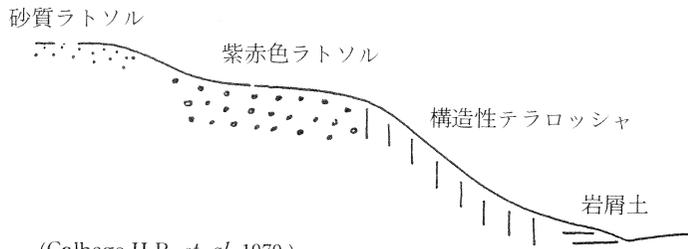
次にブラジル中南部においては各地域により、母材と地形が異なり、これら土壌の配列パターンにもそれぞれ特徴が認められている。図4に典型的な数例を示した。まず、パラナ盆地の古生代凹地では、氷河成細粒質堆積岩類を母材とする堆積物からは高位面に風化の進んだ暗赤色ラトソルが中位面に赤色風化しているがより粘着性に富み、ち密な土性B層を持つ土壌（土性B層赤色土と仮称する）が分布し、その下位面や斜面部にカンピソルや岩屑土が分布するパターンがみられる（図4-B参照）。

表4 セラード土壌の分布 (ブラジル、F A OおよびU S D A各分類システム)

土 壤 名	ブ ラ ジ ル	F A O	U S D A	分布面積 (10 ⁶ ha)	分布割合 %
ラトソル	Latosolos :	Ferralsols :	Oxisols :		
赤黄色ラトソル	Latossolo Vermelho-Amarelo	Acric Ferralsols	Acrustox	69.7	41
暗赤色ラトソル	Latossolo Vermelho-Escuro	Orthic Ferralsols	Haplustox	17.9	11
紫赤色ラトソル	Latossolo Roxo	Rhodic Ferralsols	Haplustox	6.9	4
	Sub-total			94.5	56
石英砂土	Areias Quartzosas	Arenosols	Psamments	34.3	20
水成ラテライト	Lateritas Hidromorficas	Plinthic Acrisols	Plinthaquults	17.0	10
低肥沃性赤黄色ポドゾル性土	Podzólico Vermelho-Amarelo Distr.	Orthic Acrisols	Ustults	2.1	1
高肥沃性赤黄色ポドゾル性土	Podzólico Vermelho-Amarelo Eutr.	Ferric Luvisols	Ustalfs	7.0	4
岩屑土	Litossolos	Lithosols	Lithic Dystropepts	15.1	9
	Sub-total			75.5	44
	Total			175.0	100

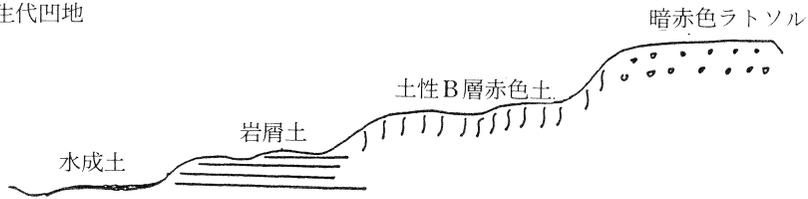
Sanchez et al, 1974. quoted by Lopes, A.S. (1983)

A) ボツカツ

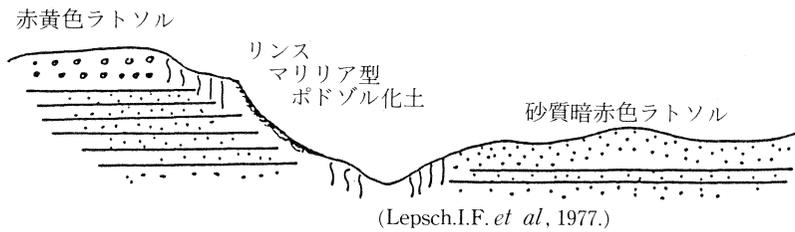


(Calhego.H.R. *et al.* 1979.)

B) 古生代凹地



C) 西部高原 (サンパウロ州)



(Lepsch.I.F. *et al.* 1977.)

D) ブラジル中央高原



(adapted from Belcher *et al.* 1956. quoted by Queiroz Net J.P. 1982)

図4 地形と土壤分布 模式図

同じくパラナ盆地のポツカツ付近の玄武岩地帯では図4-Aに示すように、最上層に砂質堆積物からなる砂質赤黄色あるいは暗赤色ラトソルがあり、その下の緩斜面に紫赤色ラトソル、さらに下部の勾配が大きい部位に構造的テラロッシュがみられる。北パラナおよびサンパウロ州中部などの玄武岩地帯では、砂質層が剝離されており紫赤色ラトソルと構造的テラロッシュの広汎な分布がみられる。また広い河谷平野では低位の段丘面にも紫赤色ラトソルと構造的テラロッシュの組み合わせがみられる。

図4-Cはバウル砂岩地帯における土壌分布パターンを示している。石灰膠結砂岩は固く、風化に抵抗してしばしば小山脈的残丘をなしている。その頭部は準平原化作用を受け平坦化しておりラトソルを載せている。その斜面部には比較的新鮮な母岩とその崩積物から生成した、石灰に富むリンス、マリリア型ポドゾル化土がみられ、下位面には再堆積物より生成した砂質暗赤色ラトソルが分布している (LEPSH, *et al.*, 1977)。

一方、中央高原域には著しく風化の進んだ赤黄色、および暗赤色ラトソルをのせた広い平坦面を持つテーブル状高位台地が多く分布していることが特徴である。また、ラトソルの土色が暗赤色、赤色、赤黄褐色と変化しているが、地形面上の位置により土壌水分環境が異なり、排水性の良い所ではより暗赤色に、湿潤な環境下では黄褐色へと土色に変化することが明らかにされている (早坂、1985、MACEDO ら1987)。河頭侵食が進み開析された波状地形部ではポドゾル性土、カンピソル、岩屑土など新鮮な土壌が分布している。

サンパウロ州、及びセラード地域における主要土壌の分布面積と割合を表3、4に示した。セラード土壌の大半は赤黄色および暗赤色ラトソルであり、石英砂土も20%を占めている。サンパウロ州ではバウル砂岩に由来するリンスマリリア型ポドゾル化土を含めて砂質土の分布が50%近くを占め、そのうち低肥沃度の砂質土ではセラード植生となっている。

3. 化学性の特徴

ここではブラジル中南部における主要畑土壌の化学的肥沃度を、熱帯土壌としての特性との関連において明らかにしようとした。熱帯土壌の特性として風化が進み、かつ、変異荷電を持つことが挙げられているが(久馬、1984)、本調査ではその指標として粘土画分のシリカ・アルミナ(モル)比および等電点を測定した。

1) 調査項目および測定法

(i) 土壌断面調査： サンパウロ州ポツカツ市を中心に、当地域内十数地点において、主要土壌の断面形態を調査し、試料を採取した。

(ii) 土壌化学分析

- a. 粒径組成：分散は超音波 (20 KHz、500W、5～20分処理) 処理し、N/20 NaOH中にて行った。粗砂 (ϕ : 0.2～2 mm) および細砂 (0.2～0.05mm) は篩別法により、粘土 (<0.002mm) はピペット法により測定した。
- b. 有機態炭素：Tyurin 法。
- c. 全窒素：セミマイクロ Kjeldahl 法。
- d. pH：水および NKCl、溶液使用、土・水比は 1：2.5、ガラス電極法。
- e. 交換性アルミニウム：土壌 10 g に NKCl 溶液 100ml 加え、15 分間振盪後、口液を N/10 NaOH にて滴定し、その値を ex. Al とみなした。
- f. 交換性塩基 (Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+})：pH 7.0 N NH_4OAc 溶液を用いるセミマイクロ Schollenberger 法により抽出し、各陽イオンは原子吸光法により測定した。
- g. 塩基交換容量 (CEC)；セミマイクロ Schollenberger 法 (pH 7.0、N NH_4OAc 使用)
- h. 全磷酸：微粉細土 (0.2mm >) について過塩素酸分解法。
- i. 可溶性磷酸：N/50 H_2SO_4 溶液による抽出 (土：溶液比は 4 g：50ml)。
- j. dithionite 抽出遊離鉄、マンガン、アルミニウム酸化物：DCB 法による抽出後、鉄およびマンガンは原子吸光法、アルミニウムはキシレノールオレンジ法により測定した。
- k. 粘土画分のシリカ・アルミナ (モル) 比：主要土壌の主要層位約 50 点について、粘土画分を採取し、水および 80% エタノールおよびアセトンにて洗滌後、風乾して分析に供した。全珪酸含量はニッケルツボ中にて苛性カリ熔融後、モリブデンブルー比色法にて測定し、鉄およびアルミニウム含量は弗化水素酸分解後原子吸光法により測定した。
- l. 等電点 (ZPC)：UEHARA & GILLMAN (1981) の簡便法によった。すなわち、風乾細土 2 ないし 4 g を 8～10 個用意し、0.1 NHCl および NaOH 溶液を段階的に添加した。当初 CaCl_2 濃度を 0.002M として平衡後の pH を測定し、その後、 CaCl_2 濃度が 0.05M となるように塩を加えて pH を測定し、塩濃度変化に伴う pH 変化が生じない点を ZPC とした。なお、pH 測定時における土・水比は 1：5 とした。

2) 調査結果

主要土壌の断面記載および分析データを付表 1 として示した。表 5、6 には化学性特性値の範囲および平均値を示したが、これらは本調査に加えて、サンパウロ州土壌調査報告 (Comissão do Solos、1960) および SOARES ら (1982) の報告から、分析方法による差異の大きくない項目については参照し作成した。特に、赤黄色ラトソルー森林相、リンスマリリア型ポドゾル化土、熱帯ポドゾルについては調査点数が少なくブラジル側データに依拠した。

表5 主要土壌の化学的特性 1

Soil 土壌	horizon	pH (H ₂ O)		base saturation		exchangeable Ca		exchangeable Mg		exchangeable K	
		range	\bar{x}	range	\bar{x}	range	\bar{x}	range	\bar{x}	range	\bar{x}
Red Yellow Latosols (cerrado phase) 赤黄色ラトソルセラード相	A	5.2-5.6	5.4	%		meq/100g		meq/100g		meq/100g	
	B	5.1-5.9	5.7	7- 23	14	0.30-0.50	0.42	0.16-0.20	0.18	0.12-0.54	0.26
Red Yellow Latosols (forest phase) 赤黄色ラトソル森林相	A	4.1-5.2	4.6	10- 36	20	0.20-0.50	0.33	0.12-0.22	0.16	0.08-0.21	0.15
	B	4.7-4.8	4.8	5- 34	15	0.34- 1.58	0.85	0.04-0.92	0.42	0.02-0.36	0.16
Dark Red Latosols 暗赤色ラトソル	A	4.7-4.8	4.8	5- 15	9	0.29- 0.42	0.36	0.02-0.27	0.11	0.01-0.05	0.03
	B	4.8-4.9	4.9	9- 15	12	0.61- 0.72	0.66	0.23-0.28	0.26	0.10-0.12	0.11
"Roxo" Latosols 紫赤色ラトソル	A	4.8-4.7	4.8	8- 10	9	0.35- 0.49	0.42	0.08-0.16	0.12	0.06-0.07	0.07
	B	5.0-6.1	5.5	32- 70	45	1.62- 4.15	2.62	0.38-0.87	0.61	0.09-0.27	0.15
Terra Roxa Estruturada 構造的テラロッシャ	A	4.9-6.3	5.3	15- 76	41	0.65- 2.74	1.43	0.20-1.35	0.58	0.05-0.20	0.09
	B	5.7-6.4	6.0	54-100	72	5.17-13.47	7.99	1.46-2.03	1.78	0.11-0.66	0.33
Red Yellow Podzolic Soils 赤黄色ポドゾル性土	A	5.3-6.1	5.8	56- 98	81	4.48- 9.06	7.39	1.03-1.93	1.53	0.05-0.53	0.22
	B	4.7-5.0	4.9	22- 25	24	1.46- 2.55	1.51	0.34-0.78	0.56	0.10-0.24	0.17
Red Soils with texture B 土性B層赤色土	A	4.7-5.1	4.9	33- 37	35	0.94- 1.30	1.12	0.17-0.25	0.21	0.05-0.11	0.08
	B	5.3-5.9	5.7	37- 88	69	2.03- 4.90	3.86	0.76-1.42	1.15	0.12-0.99	0.53
Podzolized Soils of Lins & Marilia リンスマリア型ポドゾル化土	A	5.1-6.0	5.8	18- 85	58	0.94- 5.95	3.80	0.34-2.06	1.37	0.08-0.14	0.11
	B	5.3-7.2	5.9	36-100	75	0.51- 6.93	2.64	0.23-1.86	0.69	0.05-0.21	0.11
Tropical Podzols 熱帯ポドゾル	A	5.3-7.4	6.0	38-100	83	0.55- 2.95	1.97	0.16-0.83	0.53	0.02-0.17	0.11
	B	4.5-5.9	5.2	25- 52	33	0.97- 1.82	1.29	0.13-0.55	0.35	0.03-1.47	0.41
Sandy Latosols 砂質ラトソル	A	4.7-5.1	5.0	21- 52	29	0.98- 4.10	1.87	0.28-0.55	0.42	0.03-0.34	0.12
	B	4.4-5.9	4.7	11- 75	24	0.17- 1.95	0.79	0.10-1.40	0.59	0.04-0.18	0.07
		4.4-5.0	4.6	11- 38	20	0.20- 0.96	0.50	0.12-0.52	0.27	0.02-0.04	0.03

表6 主要土壌の化学的特性 2

Soil 土壌	horizon	C.E.C.		total-N		total-P ₂ O ₅		available-P ₂ O ₅	
		range	\bar{x}	range	\bar{x}	range	\bar{x}	range	\bar{x}
Red Yellow Latosols (cerrado phase) 赤黄色ラトソルセラード相	A	5.8— 9.5	7.6	0.15—0.17	0.16	139—255	202	0.16—0.39	0.26
	B	2.7— 5.5	4.1	0.10—0.12	0.11	114—209	164	0.09—0.16	0.14
Red Yellow Latosols (forest phase) 赤黄色ラトソル森林相	A	6.6—13.9	9.3	0.11—0.30	0.19	30—120	80		
	B	4.8—11.1	6.6	0.06—0.17	0.10	30—130	80		
Dark Red Latosols 暗赤色ラトソル	A	6.6— 9.5	8.1	0.10—0.13	0.12	82— 89	86	0.20—0.21	0.21
	B	6.5— 8.2	7.4	0.07—0.10	0.09	60— 90	75	0.03—0.16	0.09
"Roxo" Latosols 紫赤色ラトソル	A	3.6—12.0	7.0	0.08—0.24	0.14	142—194	173	0.21—1.24	0.77
	B	1.9— 8.0	4.9	0.06—0.15	0.10	113—196	148	0.14—0.55	0.35
Terra Roxa Estruturada 構造的テラロッシャ	A	11.7—13.6	12.7	0.15—0.20	0.18	160—400	207	0.43—1.54	0.95
	B	11.1—11.6	11.4	0.09—0.17	0.13	162—400	190	0.36—2.04	1.13
Red Yellow Podzolic Soils 赤黄色ポドゾル性土	A	8.1— 9.3	8.7	0.08—0.21	0.14	78—110	96	1.42—5.54	3.48
	B	3.3— 5.0	4.2	0.06—0.10	0.09	56— 97	78	0.24—0.84	0.54
Red Soils with texture B 土性B層赤色土	A	7.5— 8.7	8.1	0.10—0.15	0.12	76— 97	87	0.12—0.28	0.21
	B	7.5— 9.5	8.7	0.07—0.10	0.09	79— 93	86	0.18—0.26	0.22
Podzolized Soils of Lins & Marilia リンスマリリア型ポドゾル化土	A	2.2— 8.6	4.5	0.04—0.12	0.06	26— 50	30	0.2 —1.2	0.9
	B	2.1— 4.8	3.2	0.02—0.04	0.03	20— 60	40	0.1 —1.1	0.9
Tropical Podzols 熱帯ポドゾル	A	1.6—11.6	4.9	0.03—0.07	0.05	15	15	0.27	0.27
	B	2.2—11.1	5.0	0.03—0.07	0.04	19	19	0.16—0.18	0.17
Sandy Latosols 砂質ラトソル	A	2.0— 4.8	3.4	0.04—0.09	0.06	30—120	50	0.50—1.50	0.9
	B	1.7— 3.6	3.0	0.03—0.07	0.04	30—130	46	0.50—1.20	0.9

(i) 遊離酸化物、粒径組成、シリカ、アルミナ比

これらは直接的な肥沃度要因ではないが、熱帯土壌としての特徴を現わし、基本的に肥沃度を規制していると考えられる。まず、遊離酸化鉄含量と粘土含量の関係を図5に見ると、主要土壌群別にそれぞれ一定の関係にあることが認められた。すなわち、玄武岩を主母材とする紫赤色ラトソルおよび構造性テラロッシヤでは、粘土当りの遊離酸化鉄含量は20~25%と最も高く、次いで細粒質堆積岩(物)に由来する暗赤色ラトソルおよび土性B層赤色土*で、粘土当りの遊離鉄含量は15~18%であった。また、赤黄色ラトソルおよび赤黄色ポドゾル性土では9~13%、アマゾ

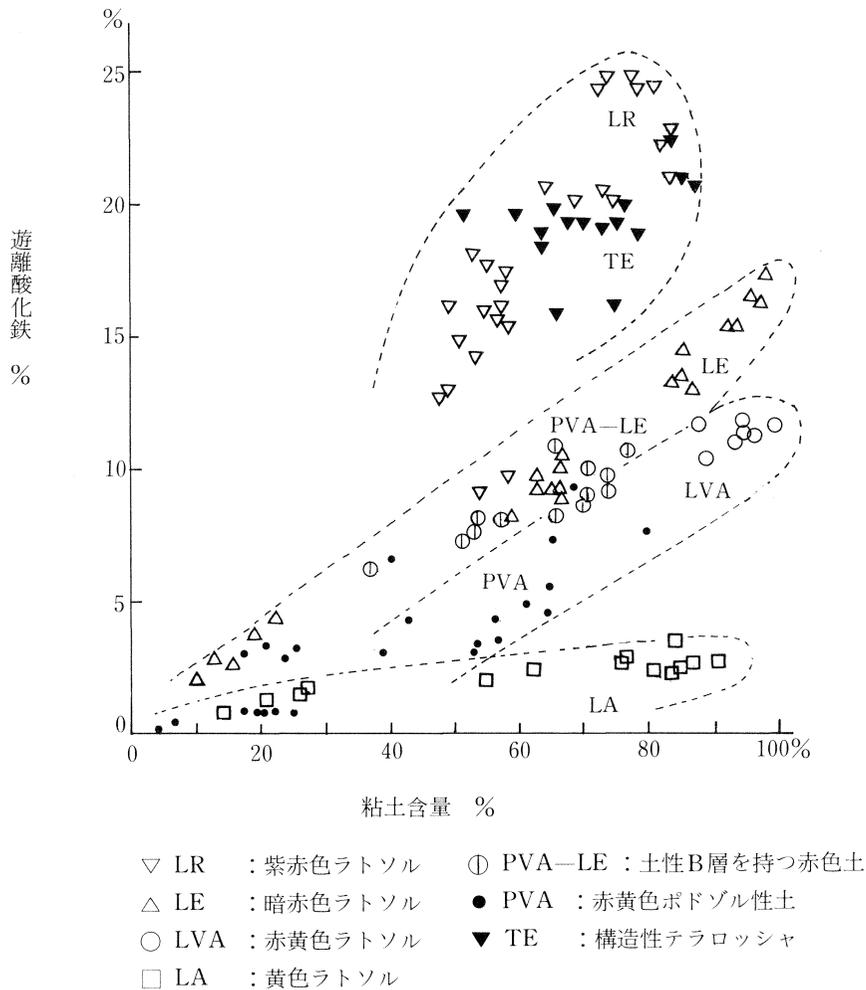


図5 主要土壌群の遊離鉄含量と粘土含量

* B層に角柱状、亜角塊状の構造を持ち、粘土・腐植の被膜の見られる赤色化した土壌。ブラジルの分類体系内に明確な場所が見られず土性B層赤色土と仮称した。

ン地域の黄色ラトソルでは3—5%であった。遊離鉄の少ない後二者の土壌は、酸性岩やカオリン質堆積物という母材の影響に加えて、水分環境と腐植の影響により、含有量の低下のみならず、酸化鉄の存在形態もゲータイト主体に変化したと推定される。ブラジルでのラトソルの分類は、土色と遊離鉄含有量(紫赤色ラトソル：18%以上、暗赤色ラトソル：8～18%、赤黄色ラトソル：9%以下)によってなされているが、これらは土壌の母材と水分環境を反映した分類と考えられる(BENNEMA & CAMARGO, 1964. RODRIGUES & KLAMT, 1978より引用)。

また、図5において、更に注目されることは粘土含有率の分布中の広さである。特にラトソルでは粘土含有率が80%以上のものが多く、95%に達するものがあるなど、著しく粘土画分が富化していることが認められる。粘土含量が70%以下の土壌には土性B層を持つ風化段階のやや若い土壌群と、砂岩由来の石英砂が多く混合したラトソルが含まれる。図6に一部の土壌について粒径組成を三角座標で示した。それによれば岩屑土および土性B層を持つ土壌ではシルトがかなり含まれているが、ラトソル性土壌ではシルトは10%以下と極めて少なく、風化の進行に伴うシルトから粘土の変化が推察された。すなわち強く風化された熱帯のラトソルは後述のように極く不

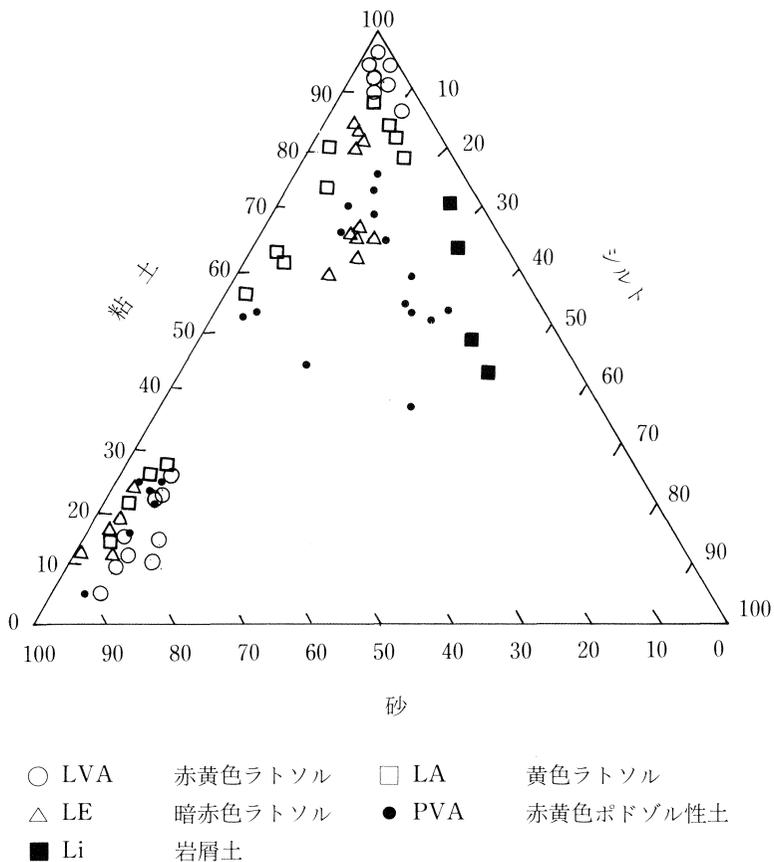


図6 主要土壌の粒径組成

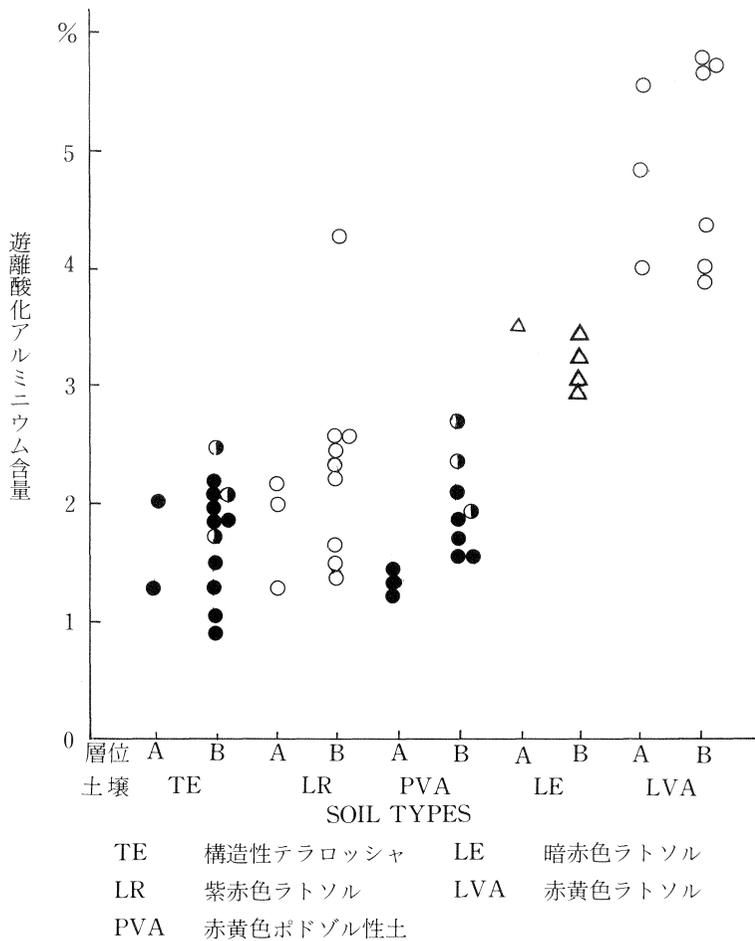
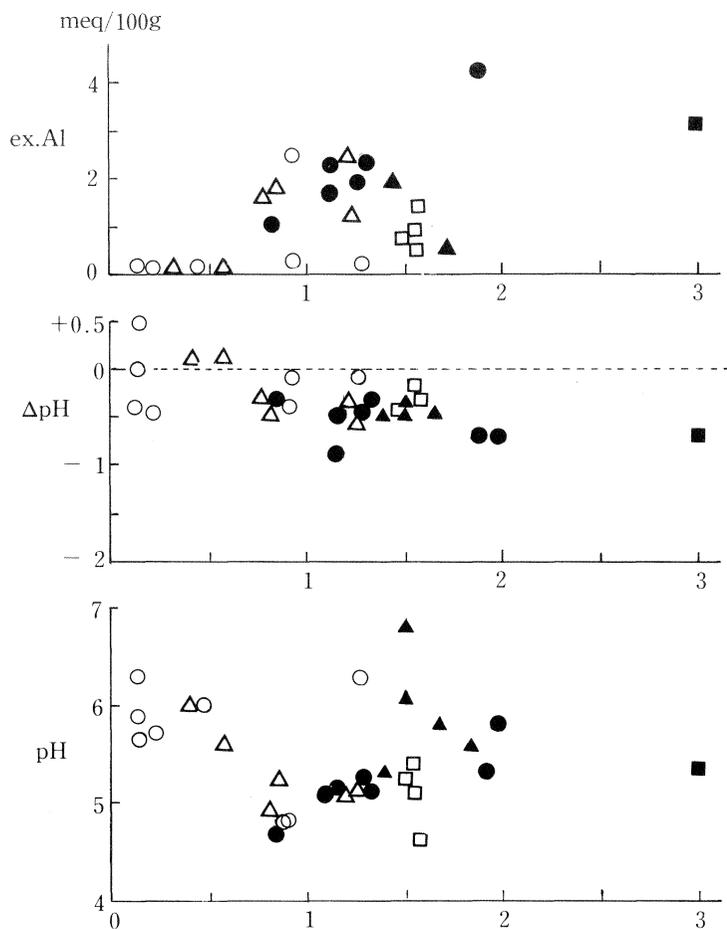


図7 遊離酸化アルミニウム含量

活性な粘土と石英砂によって構成されている。

遊離酸化アルミニウム含量については図7に示したように、遊離鉄とは若干異なり、赤黄色ラトソルにおいて最も多く、次いで暗赤色ラトソルに多く、赤黄色ポドゾル性土、紫赤色ラトソルおよび構造的テラロッシュ等には比較的少ない。また、図示していないが黄色ラトソルでは1%以下と最も少ないことが認められた。構造的テラロッシュと紫赤色ラトソルの比較、およびポドゾル性土と暗赤色および赤黄色ラトソルの比較から、風化の進んだラトソル程遊離アルミニウムが増大する傾向が認められた。

次に、粘土画分（非脱鉄試料）中のシリカ・アルミナ比を図8に見ると、ラトソル土壤は0.14から1.6の範囲に、土性B層を持つ土壤では0.8から2.0の範囲にそれぞれ分布していた。この結果はラトソルが土性B層を持つ土壤より風化しているという一般的見解を裏付けるものであるが、



粘土画分のシリカ・アルミナモル比 ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$)

- | | |
|----------------|-------------|
| ○ 赤黄色及び暗赤色ラトソル | ● 赤黄色ポドゾル性土 |
| △ 紫赤色ラトソル | ▲ 構造的テラロッシヤ |
| □ 黄色ラトソル | ■ 岩屑土 |
| | (各B、C層) |

図8 pH、 ΔpH および交換性アルミニウムとシリカ・アルミナモル比

更に、ラトソルにもセラードのラトソル（中央高原部のテーブル台地面に分布）のように、同比が0.2前後と極度に脱珪酸されたものから、同比1.5以上のものまでかなり巾のあること、および土性B層を持つ土壤についても同比は全体に低く、ラトソルと重複するもののがかなりあることを示している。後者の結果は、後述のように塩基交換容量が土性B層土壤でもかなり低いことを考え併せると、これらの土壤においても化学性は相当にラトソル化していると考えられる。従って、ブラジルの畑土壤の多くは排水性の比較的良好な溶脱条件下にあり、酸性化と脱珪酸を基本作用と

するラトソル化過程におかれているとみなすことが可能と思われる。

シリカアルミナ比の著しく低い土壤はセラードのラトソルのみならず、紫赤色ラトソルの一部にも0.4~0.5と低いものが認められた。こうした風化の著しい紫赤色ラトソルはテーブル状高位台地の分布する中央高原部より外れたサンパウロ州内の低位の新しい台地面に分布していた。また、サンパウロ州土壤調査報告の分析データを見ても、熱硫酸可溶成分の $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比の低い土壤は、殆んどが玄武岩母材の土壤であることが認められた。東南アジアにおいてもオキシゾルの多くは玄武岩を母材としており、酸性岩を母材とする例は少ないことが認められている(久馬、1984)。玄武岩が溶脱条件下で風化し易いことは当然であるが、一旦、風化シカオリン化した土壤までも風化が速いと推定されることの理由はあまり明らかではない。このことに関連して HERBILLON ら (1976) が鉄分に富む塩基性岩由来土壤の粘土鉱物結晶内には Fe がかなり含まれるとし、KITAGAWA ら (1980) も構造的テラロッシュではカオリンがハロイサイトとの中間型に移行し、結晶度が低いことを報告している。こうした結晶度の低さは粘土からの珪酸溶脱の早さに関連していることが想像される。また、こうした風化の早さが、紫赤色ラトソルに富栄養性からセラードの極貧栄養性のもまで含まれる (OLIVEIRMA ら、1984) 理由と考えられる。

(ii) 酸 度

熱帯土壤の多くは激しい溶脱条件下にあることから一般に酸性化しているとされているが、当地域の土壤については母材と風化度により、酸性の程度が影響されていることが認められた。すなわち、玄武岩を母材とする構造的テラロッシュ(特に自成型)、石灰膠結バウルー砂岩に由来するリンスマリリア型ポドゾル化土およびドロマイト層を含む古生代堆積岩由来の土性B層赤色土および岩屑土に pH 6 以上を示す土壤が多く、赤黄色ポドゾル性土および暗赤色ラトソルにおいて pH が最も低くなり、さらに風化の進んだ赤黄色ラトソルでは pH がやや高くなった。図8は風化度の指標として、粘土画分のシリカ・アルミナモル比を取って、pH、交換性 Al、 ΔpH との関係を見たものであるが、塩基性岩母材の土壤も含めてシリカアルミナ比が0.8~1.5において pH が最も低く、交換性 Al も多くなっていること、および同比が0.5以下と極度に風化の進んだ場合には pH がむしろ高まることが認められた。これは珪酸溶脱の進行は当然塩基の溶脱を伴うものであり、同比が1.5以下になると土壤の母材間の差異にかかわらず酸性化してくることを意味し、また、同比0.5以下では塩基に著しく欠けるが pH が高い、すなわち、塩基交換容量が小さく、交換性 Al も著しく低い土壤となることを意味するものと考えられる。これらの土壤の酸性矯正については、SANCHEZ (1976) は酸・アルカリ滴定に基づく中和量は多過ぎ、交換性 Al 量に基づいて石灰投入量を決める必要のあること、および、pH 5.5以上の矯正は多くの場合不要であるとしている。また、TANAKA ら (1984) はイオン強度の高いバッファ溶液を用いた中和量は、変異荷電土壤に対してはオーバーライミングになり易いことを明らかにしている。ブラジルでは pH 7における CEC に対する塩基飽和度40ないし60%への不足量、あるいは交換性 Al の中和量として石灰量が求められているが、低塩基でありながら低 Al でもあるような土壤に対しては、2

me /100ml相当の石灰量（およそ 1 ton/ha）が適当であるとされている（RAIJ, 1981）。

(iii) 塩基交換容量および等電点

a) 塩基交換容量

塩基交換容量（CEC）は以下詳述するように熱帯土壌の溶脱風化に伴って、量的にも質的にも低下しており、単なる塩基保持力のみならず、塩基肥沃度を示す指標であると考えられる。日本の土壌分級方式では中位段階が 6~20 me q/100 g soil となっている（農林省、1962、1979）。

砂質土を除いた各土壌の表土は殆んどが中位クラスの保肥力を示しているが、熱帯土壌では CECの質がさらに問題となろう。図 9-a、b は各土壌一つの断面内における各層位の CEC と全炭素含量の分析値をプロットしたもので、ラトソルではその関係がほぼ直線となっている。これはラトソルでは表層から下層まで粘土鉱物が質的量的にほぼ均質であることを意味しており、従って、その直線を外挿して求めた有機炭素含量が 0%における CEC 値も、ラトソル土壌無機画分の塩基保持特性を示すものとして意味を持つと考えられる（BENNEMA, 1966, CAMARGO et al, 1979より引用）。

その結果、特にラトソルでは CEC の機能は腐植に大巾に依存しており、無機画分の CEC 機

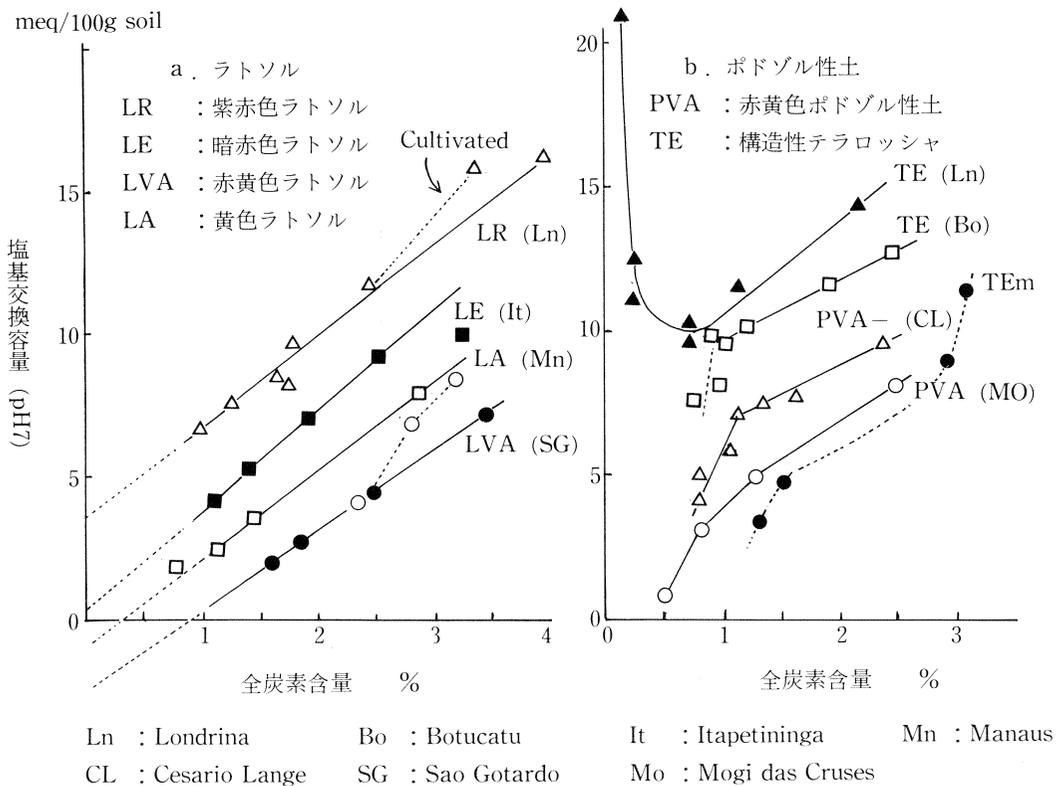


図9 塩基交換容量と土壌有機物含量

能は著しく低いことが推察された。更に図10に有効(effective)CEC($e\text{CEC} = \text{ex. Ca} + \text{ex. Mg} + \text{ex. K} + \text{ex. Al}$) と pH 7.0N NH_4OAc 法による $\text{CEC}_{(\text{pH}7)}$ の関係を見ると、図中破線で囲ったラトソル群では $e\text{CEC}$ と $\text{CEC}_{(\text{pH}7)}$ の差が土性B層を持つ土壤群より大きく、CECのpH依存性が大きいことが認められる。従ってラトソルの $\text{CEC}_{(\text{pH}7)}$ 値は分級に際し一段低く評価することが妥当と考えられる。なお、図10中ラトソル以外にも $\text{CEC}_{(\text{pH}7)}$ の値が $e\text{CEC}$ より著しく大きくなる土壤が認められたが、それは不定形粘土鉱物を含むとされる熱帯ポドゾル (Troporthod) の集積B層である。

また、図-9bは土性B層を持つ土壤群について同様の関係を示したものであるが、ラトソルとは異なり下層土のCECは増大あるいは低下する関係を示している。これは一つの断面内で粘土が量的、質的に変化していることを反映していると思われる。すなわち、下層土になってCECが増大する土壤は玄武岩の風化土にみられ、下層に2:1型粘土鉱物が存在していることによると思われる。他方、下層で粘土含量がむしろ増大傾向にあるのにCECが低下するのは、ラトソルに向う風化が進行しつつあることを示すものと考えられる。

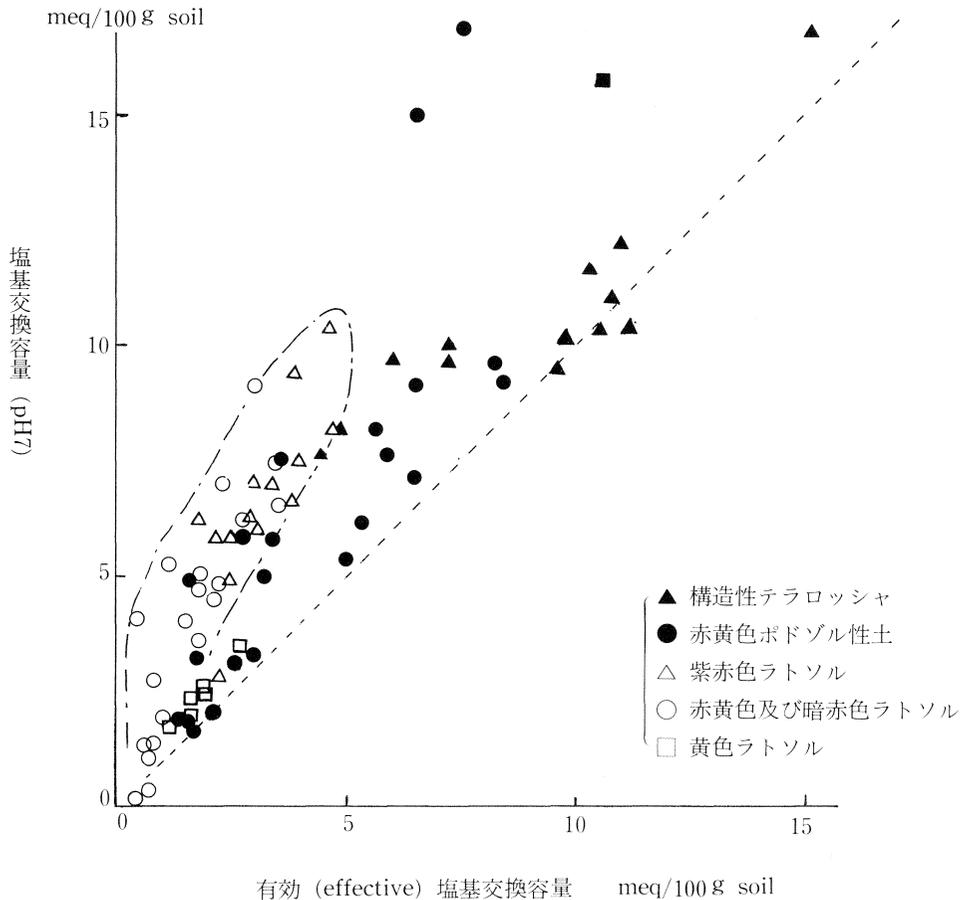


図10 pH 7における塩基交換容量と有効 (effective) 交換容量

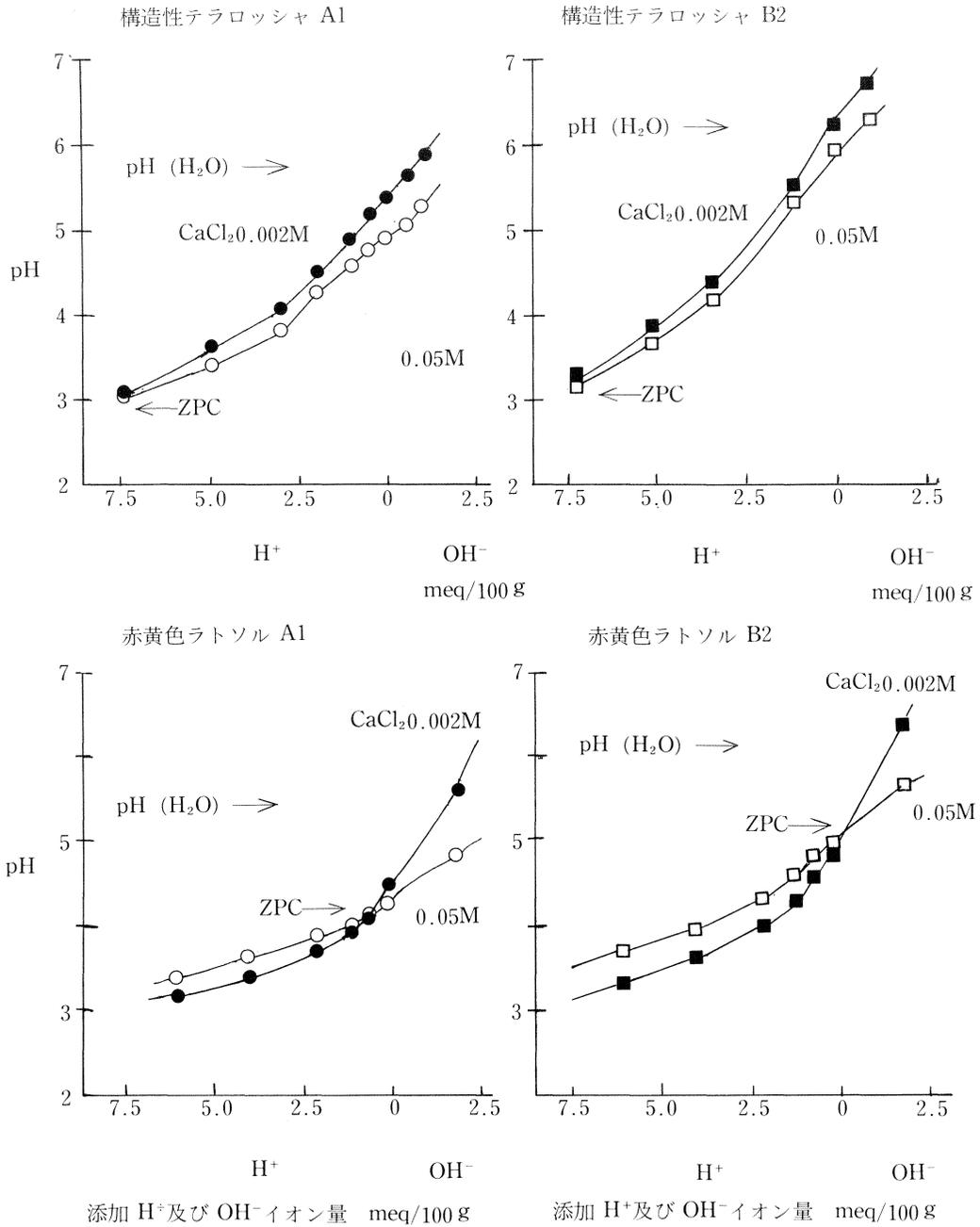


図12 アルフィソルおよびオキシソルの滴定曲線と等電点

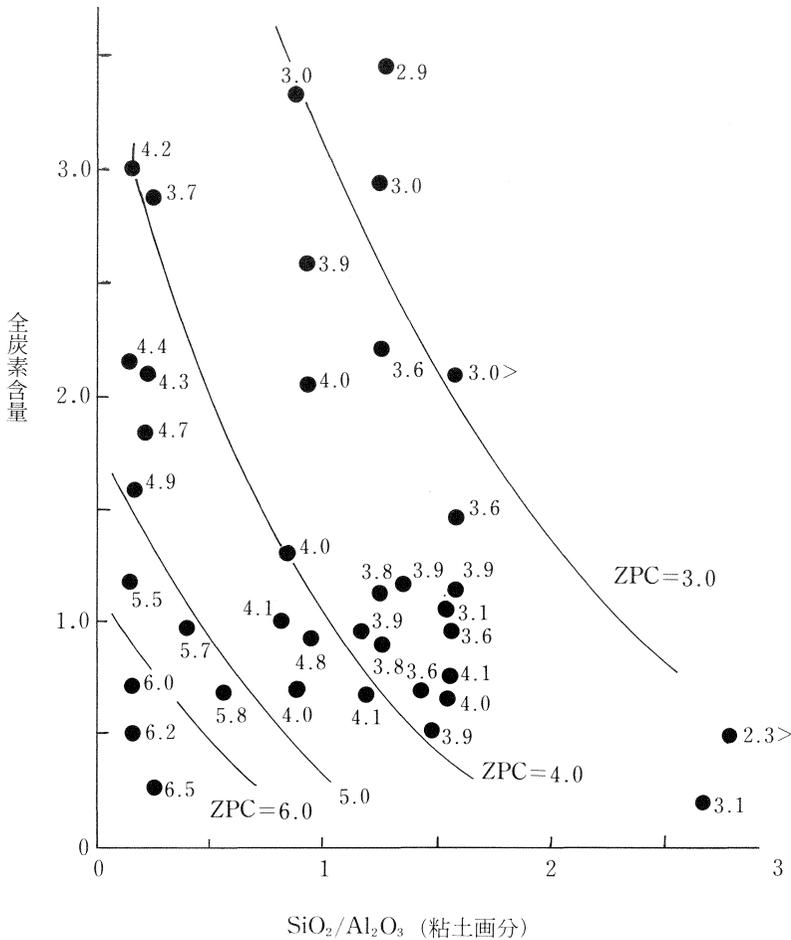


図13 等電点 (ZPC) とシリカ・アルミナモル比および全炭素含量

ロッシヤと最も風化の進んだ赤黄色ラトソルについて示したものである。赤黄色ラトソルでは等電点が pH 4 以上の値であるのに対し、構造性テラロッシヤでは pH 3.0 付近であること、および、ラトソルにおいて表土の等電点は下層土のそれより低い等の傾向が認められた。さらに、等電点が高くなる程、等電点が土壌 pH (H₂O) に近づく傾向も認められた。図13は等電点の分布をシリカ・アルミナ比と全炭素含量との関連において見たものであるが、有機物の増大は等電点を低下させ、脱珪酸の進行は等電点を上昇させることが認められた。また、図14は等電点と CEC_(pH7) および Δ pH とがほぼ一定の関係にあることを示している。これらの結果から等電点が風化度と有機物含量の二要因を統合した、熱帯土壌の酸的特性の指標となり得るものと考えられる。

すなわち、土性B層持つ土壌からラトソルへの風化過程で土壌の等電点は上昇し、このことは塩基保持力の質的基礎としての土壌の酸性的性質が弱くなっていることを示している。前項 a) において述べたように、この風化過程は塩基交換容量の低下の過程でもあり、風化の進行は塩基保

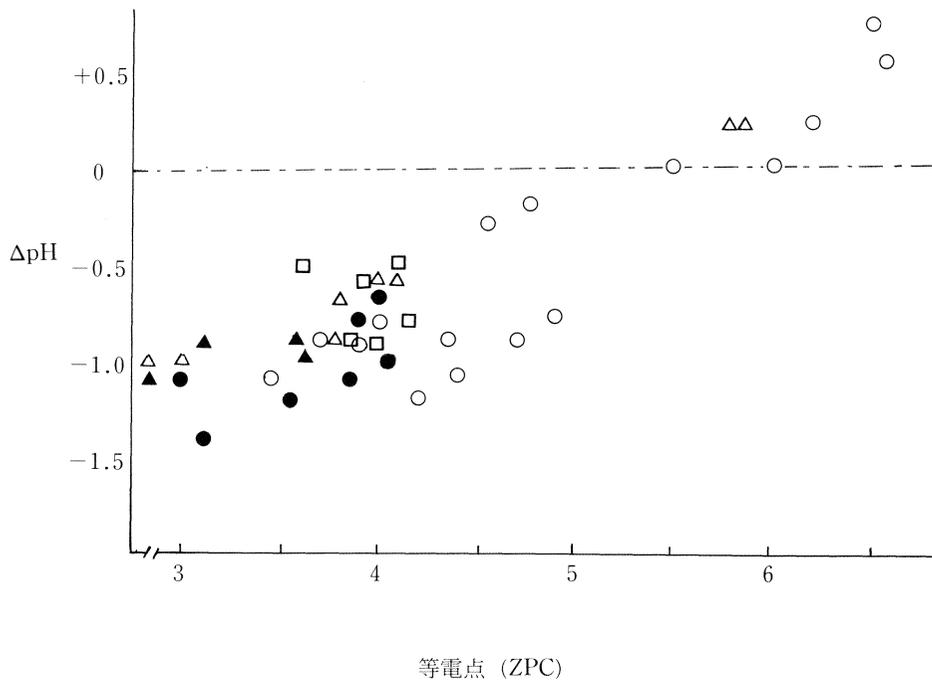
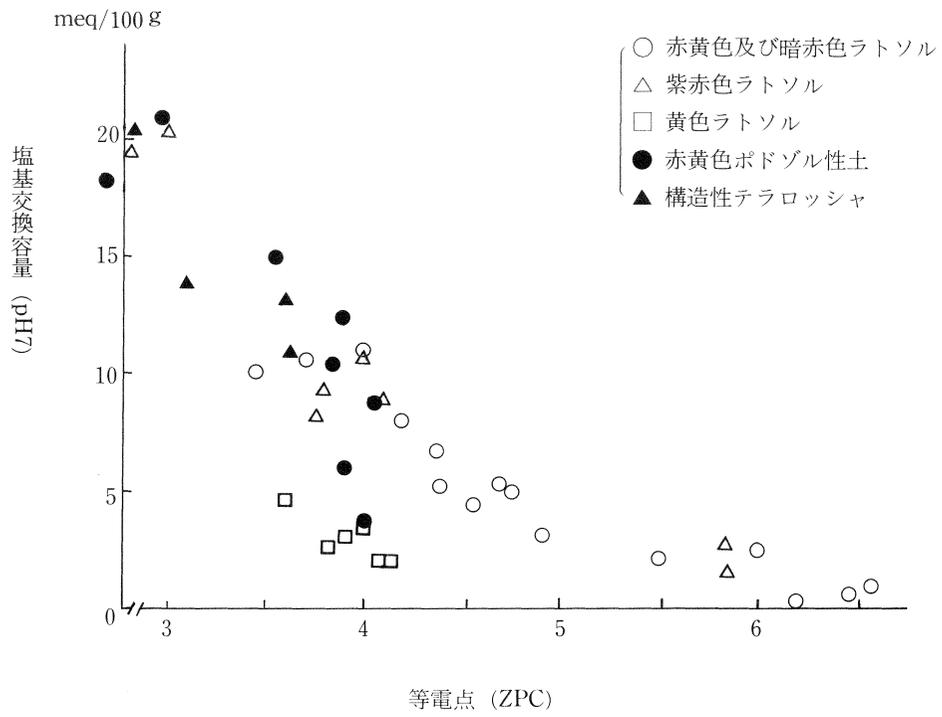


図14 等電点と塩基交換容量およびΔpH

持に関する土壌の性質を質的・量的に弱めているといえる。これに対して土壌腐植の増加はこれらを増強する方向に働くことは既に述べたとおりである。腐植は土壌Nの給源でもあり、また、他の働きもあってそのみに限定することは出来ないが、土壌の酸的性質、塩基保持についてこのような能力を持つことは極めて重要であり、特にこれらの低下しているラトソルにおいて土壌の腐植を維持・増大させる土壌管理は大きな意味を持つ可能性がある。

(iv) 石灰・苦土肥沃度

交換性カルシウム含量は塩基性岩母材の土性B層を持つ土壌群（構造的テラロッシュ、土性B層赤色土など）で多く、ラトソルで低い傾向がある。日本の分級基準（中位クラス：3.6～7.1 me/100g）を適用すれば、上位クラスには構造的テラロッシュの大部分が入り、中位クラスには土性B層赤色土、それにリンス、マリリア型ポドゾル性土および紫赤色ラトソルのそれぞれ一部が属する。他は低位クラスとなるが、赤黄色および暗赤色ラトソルと砂質ラトソルはポドゾル性土よりさらに一段とカルシウム含量が少なく、最も低位のクラスに属することになる。

交換性マグネシウム含量についてはほぼカルシウム含量と同様の傾向であるが、ラトソルの中で最も乏しい赤黄色ラトソル・セラード相は最も低位のクラスに、赤黄色ラトソル森林相、砂質ラトソル、熱帯ポドゾルおよび赤黄色ポドゾル性土が低クラス（クラス3）にそれぞれ属し、玄武岩や石灰質堆積岩を母材とする土壌は良ないし中クラスに属する。

塩基飽和度はカルシウムおよびマグネシウムの傾向とほぼ同様であるが、ラトソルの一部ではCECが減少するために、飽和度による評価が必ずしも適切でない場合が生じてくる。

(v) カリ肥沃度

交換性カリ含量はカリ肥沃度の強度因子の指標であり、持続的供給力も含めた肥沃度を充分評価することは出来ないが、筆者の分析結果並びにサンパウロ州土壌調査における分析値を取りまとめた結果（SOARESら、1982）から、次の傾向が認められた。すなわち、前出の塩基肥沃度の高い土壌のうち、構造的テラロッシュおよび土性B層赤色土には交換性カリ含量のやや高いものがあり、中ないし低クラスに属する。リンス・マリリア型ポドゾル化土、紫赤色ラトソルの多くは低クラスに属する。また、ラトソルや赤黄色ポドゾル性土のカリ肥沃度は塩基肥沃度と同様に低クラスに属し、砂質ラトソルのカリ肥沃度も極めて低い。なお、筆者の調査したセラードのラトソル表層には比較的カリに富むものがあったが、LOPES（1983）はセラード土壌500余点の平均カリ含量は0.08 meq/100gと低いことを明らかにしており、これらの土壌についてやや高い交換性カリ含量が測定された理由は、分析例も少なく充分明らかにすることは出来なかった。

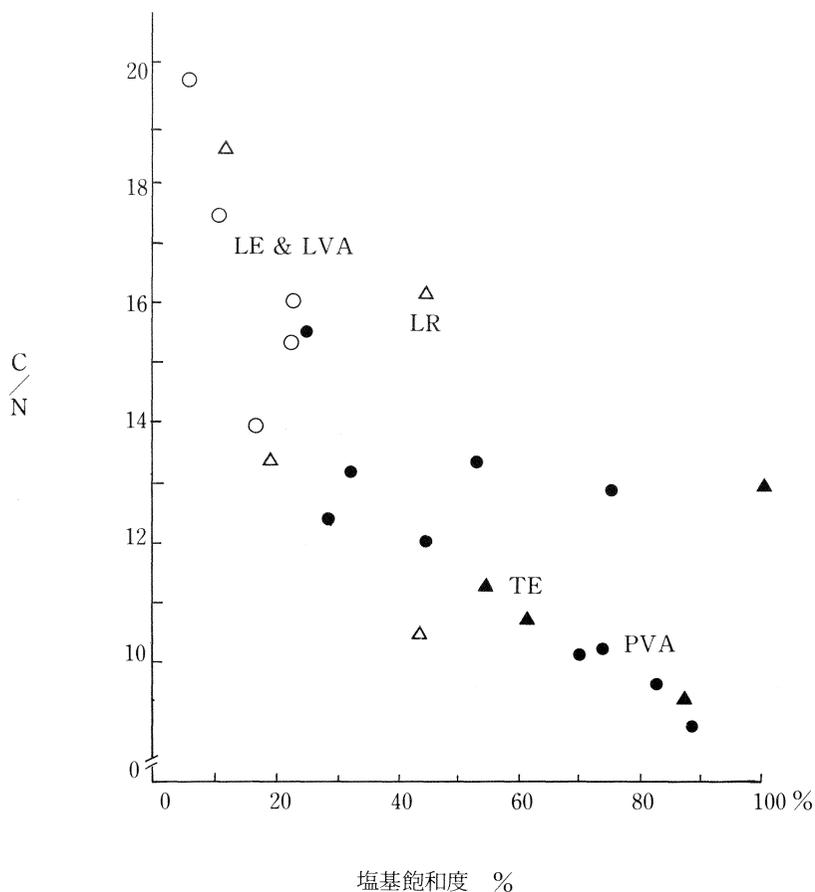
土壌の母材とカリ肥沃度の関連については、まず、粘土質堆積岩を母材とする土性B層赤色土では、恐らく、2：1型粘土を多く含んでいることによるカリ保持効果のあることが推察されるが、同一母材でもラトソル（暗赤色）になると低下している。また、玄武岩を母材とする構造的テラロッシュにカリ含量のやや高いものが見られる一方、花崗岩質酸性岩を母材とする赤黄色ポ

ドゾル性土では交換性カリ含量は低く、より若い土壤と考えられる石礫質赤黄色ポドゾル性土に高いカリ含量が認められている (SOARES, 1982)。この点に関連して、タイにおける主要畑土壌群について全カリ含量と置換性カリ含量を調査した小川 (1985) の結果は、石灰岩や玄武岩を母材とする Rendinas、Reddish Brown Latosols では全カリ含量が低いにもかかわらず、交換性カリ含量が著しく高いものがあり、他方、酸性岩母材の Red yellow Podzolic soils や Noncalcic Brown Soils などでは、全カリ含量が高いにもかかわらず、交換性カリ含量はそれほど多くないという傾向を示している。したがって、赤黄色ポドゾル性土をはじめとする交換性カリ含量の低い土壤でも持続的な供給力に富む可能性があり、それらを含めたカリ肥沃度と土壤母材、気候および風化度との関連を今後検討してゆく必要がある。また、塩基肥沃度が高く、かつ、母材的にカリ含量の低い土壤において、交換性カリ含量が高い理由については、それらの土壤では乾期のある気候下で溶脱は極端には強くなく、また、自然植生のバイオマス量に富むことからバイオマスと表層土中に保持循環されるカリ量が多いことによると推定される。交換性カリが表層の1～2層中に濃集し、下層では著しく少ないという断面内分布の傾向も上記の推定を裏付けるものと思われる。

また、このような交換性カリ含量は無施肥栽培下では比較的速やかに失われる可能性のあることに注意する必要がある。

(vi) 腐植および窒素肥沃度

全炭素含量は測定法に伴う変異が大きいため表-5ではブラジル側のデータは用いていない。代表的断面の分析結果からはブラジルのラトソルやポドゾル性土の表層は全炭素を1.3～3.5%含み、FAOの分類基準 (WAMBEKE, 1974) によれば Humic に相当するものがみられるなど、他地域における熱帯土壌、例えばタイ国の畑土壌の全炭素含量 (小川和夫, 1985) と比較して、腐植に富んでいることが分かる。これは当地域が高原性亜熱帯気候下におかれ涼しいことに関係していよう。また、古くから開かれてきた地帯の畑表土では全炭素含量が1%以下となる場合もみられた。ラトソルでは比較的深くまで (50～100cm) 腐植含量が高くなっている傾向があるが、これはラトソルの良好な物理性が根の分布を深くしていることに関連していると考えられる。さらにC/N比は図15に示すように、塩基飽和度で表わされる土壤の肥沃度に関係しており、低肥沃度のラトソルではC/N比が大きく、従って微生物活性が低く、窒素供給能も低いことが推定される。窒素肥沃度については可給態窒素量が未測定であるので、上述のC/N比の傾向と全窒素含量からおおよそそのクラス分けを試みると中位のクラスには構造的テラロッシュ、赤黄色ラトソル森林相、紫赤色ラトソルおよび赤黄色ポドゾル性土が属し、赤黄色ラトソル、セラード相、暗赤色ラトソルおよび土性B層赤色土は低位クラスに、さらに、砂質ポドゾル性土および砂質ラトソルは極低クラスにそれぞれ分級される。

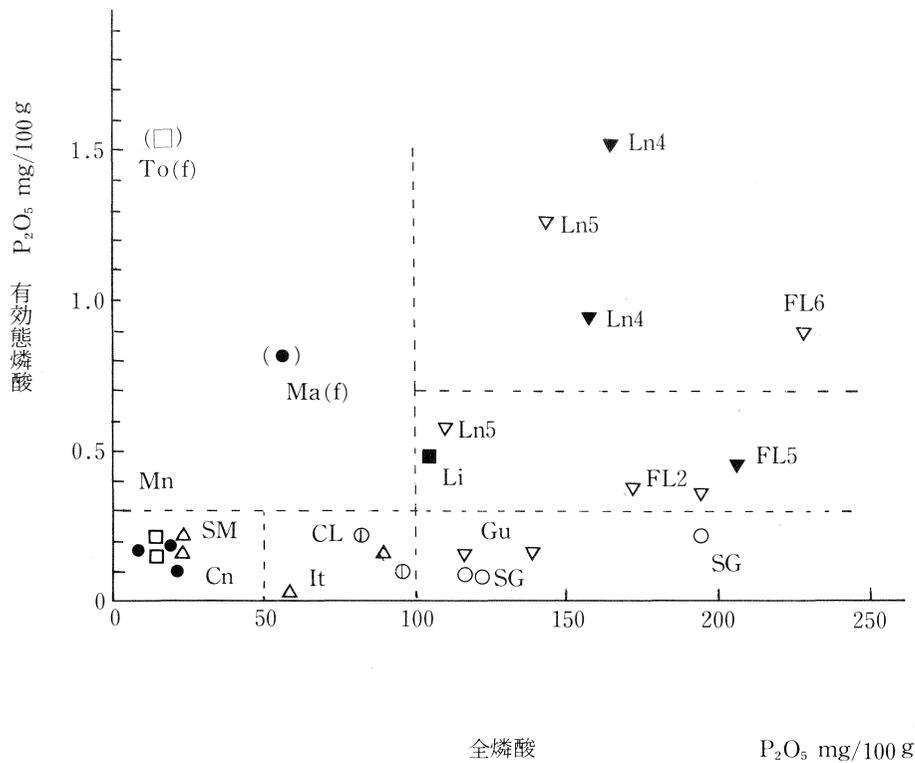


- | | | | |
|-------|---------|-------|-----------|
| ○ LVR | 赤黄色ラトソル | □ LA | 黄色ラトソル |
| ○ LE | 暗赤色ラトソル | ● PVA | 赤黄色ポドゾル性土 |
| △ LR | 紫赤色ラトソル | ▲ TE | 構造的テラロシヤ |

図15 C/N比と塩基飽和度

(vi) 磷酸肥沃度

有効態磷酸をカンピナス農研法 (IAC 法、0.05N H₂SO₄ 溶液抽出) により測定した。この方法は Truog 法より25倍濃い硫酸溶液を用いているが、ブラジル (RAIJ, 1981) の有効態磷酸含量の基準値は中クラスが P₂O₅ 3.4~1.6 mg/100 g 極低クラスが P₂O₅ 0.7mg/100 g 以下と、日本の Truog 磷酸含量が中クラスで P₂O₅ 10~2 mg/100 g としていることに比較して低濃度である。表6は未墾地もしくは施肥来歴の殆んど無い土壤本来の肥沃度を示そうとしたものであるが、赤黄色ポドゾル性土表土は施肥歴を有していたと考えられる。従って赤黄色ポドゾルについてはB層の値を判断の基準に用いることにすると、全ての土壤が低位クラス (P₂O₅ 2 mg/100 g 以下) と



CL : Cesario Lange Cn : Conchas FL : Fazenda Lageado Gu : Guaira
 It : Itapetinga Li : Lithosol Ln : Londrina Mn : Manaus
 Mo : Mogi d. Cruses SG : Sao Gotardo SM : Sao Manuel To : Tome Acu
 (f) : fertilized

図16 磷酸の有効度 (下層土)

なり、これをブラジルの基準 (P_2O_5 0.7mg/100g 以下、RAIJ、1981) により更に分ければ、赤黄色および暗赤色ラトソル、土性B層赤色土、砂質ラトソル、熱帯ポドゾルが最も低位クラスに属する。

図16は全磷酸含量と有効態磷酸含量の関係をみたものである。その結果、全磷酸および有効態磷酸が共に最も低いクラスには砂質土群の他に黄色ラトソルが属し、全磷酸が僅かに増加して低クラスであるが有効態磷酸がやはり極低であるグループに土性B層赤色土、暗赤色ラトソルなど粘土質堆積岩由来の土壤が属している。また、全磷酸含量が100mg/100g 以上と多くなるが、有効態磷酸が著しく低いグループには赤黄色ラトソルセラード相および風化の進んだ紫赤色ラトソルの一部が含まれる。全磷酸含量が多く有効態磷酸含量もやや多くなるグループには玄武由来土壤の大部分および、粘土質堆積岩の岩屑土が含まれる。また、希酸可溶有効態磷酸が全体として低レベルであったが、熱帯土壤では有機態磷酸および還元により可溶化する鉄型磷酸が多く、作物

への磷酸供給にも大きな役割を果していると考えられており (SANCHEZ, 1976、OHNO ら、1982)、有効態鉄型磷酸に適する Olsen—EDTA 法 (MIYAKE, 1986) 等による肥沃度評価を改めて行う必要がある。

図一17は磷酸吸収係数と粘土画分のシリカ、アルミナ比の関係を示したものであるが、全体に磷酸吸収係数は1,200以下と高くないが、風化が進むに従い増大する傾向が認められた。LOPES (1983) はブラジルのセラード土壌について、土の磷酸吸収量と粘土含量、全酸化アルミニウム含量および非晶質アルミニウム含量とそれぞれ正相関が大きいことを認めているが、これらは風化の進行によって増大する因子であるから、磷酸吸収は風化の進行に伴って増大することを意味している。また、TANAKA ら (1984) は南米の土壌について磷酸吸収係数は中 (1,500~700) ないし低 (700以下) であることを明らかにしている。

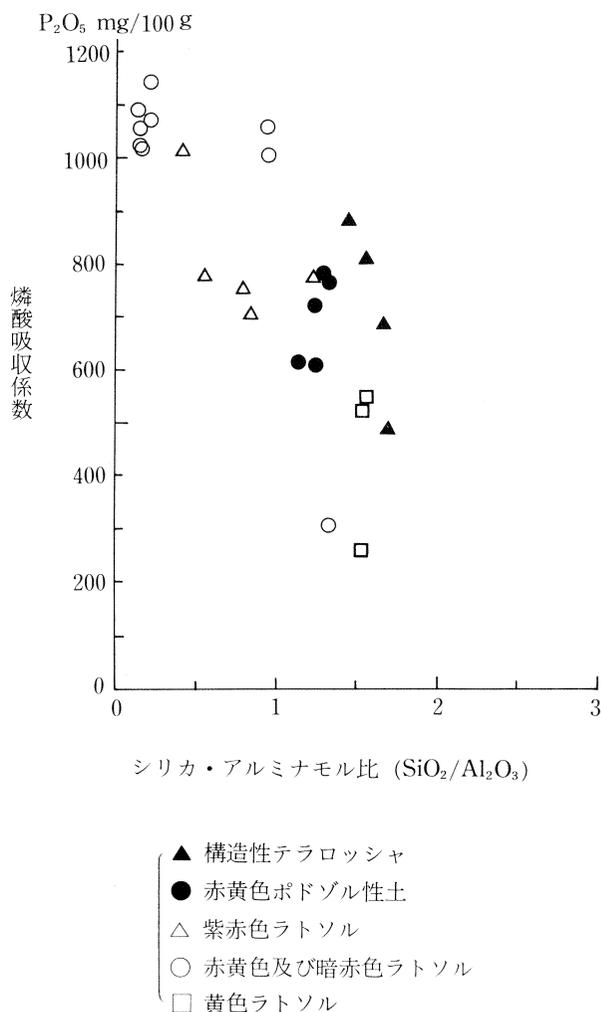


図17 磷酸吸収係数とシリカ・アルミナモル比

3) 化学性の特徴と管理対策

以上、ブラジル畑作地帯の主要土壌について化学性調査の結果を述べて来たが、ここでは熱帯土壌としての化学的特性とそれらを規制している要因について考慮し、更に、化学的肥沃度特性に基づく土壌管理対策について明らかにする。

(i) 熱帯土壌の化学的特性

ブラジル中南部における主要土壌の化学的性質の中で最も特徴的なことは、粘土含量が70%以上95%に達する土壌においても、また、ラトソルのみならず土性B層を持つ土壌においても、CEC（塩基交換容量）が著しく低いことである。また、粘土画分のシリカ・アルミナ比についても全体として2より小さく、また、ラトソル性土壌群と土性B層を持つ土壌群は前者がより小さい方へ、後者がより大きい方へとずれてはいるものの、かなりの範囲で重なり合っている。これらの結果から全体に珪酸溶脱が進んでいること、及び、ラトソルと土性B層土壌は珪酸溶脱の程度によって明確に分割出来ないことが明らかである。すなわち、当地域における主要な土壌生成作用はラトソル化作用であり、かつ、ラトソルと土性B層を持つ土壌群は連続的に推移しているといえよう。このことは野外における断面形態の観察からも類推し得た。すなわち、明確な粘土被膜を持ち塊状構造の発達した典型的土性B層から微小団粒が発達し、膨軟なカベ状構造を持つ典型的ラトソル性B層の間には、中間的段階が認められ、更に、同一断面内においても亜角塊状構造の発達した土性B層の下位は、ラトソル性B層と物理的に類似した土層へと連続的に推移していることが屢々観察された。また、サンパウロ州土壌調査報告にも、例えば、構造的テラロッシュにおけるB₃層としてラトソル性B層に類似した層が記載されている。この後者の層序的問題についてはラトソル化後に新たな堆積が生じた（例えば ESPINDORA, 1979）あるいは斜面表層を流れる水の作用による（MONIZ ら、1983）などの議論がなされている。しかしこれらはかなり普遍的に存在し、しかも、同一断面内で漸変してゆく層序に対しては、これらの解釈は不自然であり、これらの土壌においてシリカ・アルミナモル比が同一断面内ではほぼ等しい値を示していることもこの説明とは矛盾している。筆者は土性B層の下位にあるラトソル類似B₃層の存在は、これらの土壌がラトソル化しつつあることに関連するとの解釈に立つものであるが、その証明は今後の課題であろう。いづれにせよ、主要な土壌生成作用がラトソル化であるとするならば、当地域の土壌の化学的特性をラトソル化（風化）の程度を一方の座標において見ることは有益であり、統一的な理解が可能になると考えられる。同様の見解は既にブラジルにおいてラトソルを細（再）分類しようという試みに示されてきた。CAMARGO ら（1962）はKi比（比重1.46の硫酸処理によって可溶化した成分中のシリカ・アルミナ比）を1.0以下、1.0—1.6、1.6—2.0に区分し、それにアルミナ、酸化鉄比を組み合わせたラトソルの細分類を提案している。また、OLIVEIRA ら（1984）はサンパウロ州内に分布する玄武岩を母材とする紫赤色ラトソルを前述のKi比によって数段階

に分類し、Ki比の高いものは層状粘土鉱物に富み、塩基肥沃度も高いなど、生成論的に肥沃度が解釈出来ることを示した。

本調査ではラトソル化の指標として粘土画分のシリカ・アルミナ比と等電点 (ZPC) の測定を行った。これは限定された調査期間内における選択であって、風化度を示す他の指標との比較は行っていない。しかし、既に前項にて示したようにシリカ・アルミナ比は pH と交換性 AI、CEC、塩基肥沃度および等電点等の変化と良い対応関係を示し、これにより熱帯土壌の化学性について法則的な側面を一応明瞭に出来たと考えられる。また、等電点 (ZPC) は土壌の無機成分に生じたラトソル化過程に土壌腐植の要因が加わって変化する性質、例えば CEC の変化等に対し良い対応関係を示した。また、等電点は腐植や表面の性質に変化を与える改良資材の施用や土壌管理等の影響を反映する性質であることが推定される。

ブラジル土壌の肥沃度を規制する要因としては風化度に加えて土壌母材がある。ここでは塩基肥沃度について考察する。自然土壌の塩基肥沃度は開墾前の森林のバイオマス量を規制し、それが農業地帯の発展をほぼ決定してきた点で重要である。塩基に富む土壌母材として当地域に出現する主な母岩は、玄武岩、パウルー砂岩および二畳紀前後におけるドロマイト層を含む浅海性堆積岩等である。その他、前カンブリア紀の石灰質岩が盾状地内に散在している。こうした塩基性岩に由来する土壌の中でも、当然のことながら自成的に生成した土壌において最も肥沃であり、再堆積しその過程で他の母材（主に砂岩質）との混合量が増加するに伴い、肥沃度は低下している。

更に、塩基肥沃度はこれらの母材の条件に加えて前述した風化、溶脱の要因によって低下する。図8においてシリカ・アルミナ比0.8~1.5の範囲にて、母材にかかわらず pH が最低値をとることが示されたが、このことは同比1.5以下における CEC の減少は単なる量的減少のみならず、pH 依存性荷電が多くなるなど塩基保持力の質的低下を伴って酸性化することが考えられる。換言すれば、シリカアルミナモル比1.5は塩基肥沃度および荷電特性について一種の転換点である可能性がある。また、この点および土壌の酸的性質が著しく弱化し、交換性 AI が殆んど無くなるシリカ・アルミナ比0.7付近を熱帯土壌の酸的性質が質的に変化する区分点として用いることが可能であると考えている。

次に、風化と母材に次いで化学性に影響を及ぼしている要因として、土壌腐植が挙げられる。特にラトソル化が進んだ土壌においてカチオン保持能 (CEC) は、腐植の機能に依存しており、単純な外挿法により求めた腐植を含め無機画分の CEC は負となった。すなわち無機画分の塩基保持能は殆んど認められない。腐植の持つカチオン保持能が熱帯の条件下で、施肥成分の保持に実際の程度寄与するのかは必ずしも明確ではないが、有機物はNの供源でもあり、団粒性を高めることもあり有機物管理が重要な土壌管理項目であることは確かである。ブラジル中南部畑作地帯の殆んどは標高数百m以上の高原に位置しており、タイ等の土壌と比較すれば(小川,1985)腐植集積が多く、また、大規模畑作下においても作物残渣のすき込みを行えば、有機物が蓄積してくる傾向が認められている (KAWASAKI ら1985)。これらはブラジルにおける有機物管理が比較

的容易であり、残された問題は土壌侵食防止であることを示唆するものである。

その他、燐酸、カリ、イオウ、微量元素等については殆んど検討を行なわなかったが、燐酸吸収固定については風化の最も進んだラトソルについてもP吸収係数は1,200以下であり、燐酸吸収に関して粘土含量の割に著しく不活性な土壌が多く、施肥燐酸の利用性に特に問題は無いと考えられる。

(ii) 化学的肥沃度と管理対策

pH および塩基飽和度が低く、石灰施用が必要な土壌はラトソル土壌群、砂質土および赤黄色ポドゾル性土に多く、塩基肥沃度の高い土壌は塩基性の玄武岩あるいは石灰質堆積岩を母材とした土性B層を持つ土壌に多い。塩基含量が低いにもかかわらずpHがやや高い赤黄色ラトソル（セラード相）にも石灰施用は必要であるが、CECが低く、緩衝力の無い土壌であるためのオーバーライミングにならないように注意が必要である。また、石灰資材として泥炭岩が施用されることが多いが、Caの下層への移動性に優れ、硫黄の補給にもなることから石膏の施用も勧められている。（LOPES, 1983）。

土壌の腐植含量は当地域が高原であり主として亜熱帯性気候下にあるためやや高い。しかしラトソル等ではC/N比が大きく、微生物活性が低いことが推定されるなど、窒素肥沃度は全体として低い。特に砂質土では著しく低い。また、土壌腐植は窒素供給機能と共に、塩基交換能を担っており、特にラトソルではその役割が大きい。従って、表土の流失を等高線栽培、不耕起法等の導入により防止し、作物残渣のすき込み、あるいは緑肥作物の導入等による有機物施用が必要である。宮坂（1986）は大規模な畑作経営に緑肥導入を組み込むことが可能であり、かつ、それが必要であることを明らかにしている。

燐酸肥沃度も全ての土壌が低もしくは極低クラスに属し、比較的肥沃とされる構造的テラロッシュについても、有効態燐酸に富むものは少ない。従って、当地域において燐酸施用は必要であり、特にセラードのラトソルや砂質土では改良資材として燐酸を全層施用することが不可欠である。これら土壌改良の効果については経済面も含めて検討されている（MIRANDAら1979, LOPES, 1983）。

置換性カリはラトソルの表層においてもバイオマスの灰分や落葉による濃縮作用により若干含まれているが、下層土には著しく少なく、その持続性は短いと考えられる。玄武岩を母材とする構造的テラロッシュには一部比較的カリの高いものがみられるが、それらもバイオマスにより表層に濃縮されたものであり、作物栽培により低下し易いと考えられる。カリを含む一次・二次鉱物に富む本質的にカリ肥沃度の高い土壌は、本調査では対象としなかったが、花崗岩質の石礫に富む若い赤黄色ポドゾル性土および海成堆積岩母材のラトソル化していない土壌である。

表7 化学性の分級

基準項目 土壌	要因 項目	PH (H ₂ O)	total N	avail. P ₂ O ₅	C.E.C.	base satura- tion	exchan. Ca	exchan. Mg	exchan. K	評価
赤黄色ラトソル		2	3	4	3	3	4	3	3~2	III
		3	3~2		3	4	4	3~2	3~2	III
暗赤色ラトソル		3	3	4	3	4	4	3	3	III
紫赤色ラトソル		2	3~2	3~4	3~2	2~1, 3	3~2	2~3	3~2	II~III
構造的テラロッシュ		1~2	3~2	3	2	1~2	1~2	1	2~1, 3	I~II
赤黄色ポドゾル性土		3	3~2	3	3	3~2	3	3	3~2	II~III
土性B層赤色土		2	3	4	2	2~1	2	1~2	2~1, 3	II
リンスマリリア型 ポドゾル化土		2~1	4	3	4	1~2	3~2	2	3~2	II~III
熱帯ポドゾル		2~3	4	4	4	3~2	3	3	3	IV
砂質ラトソル		3	4	3	4	3	4	3	3	III~IV
中位(2)クラスの 基準値		5~6	N%0.1~0.2 C/N<13	P ₂ O ₅ mg 1.6~3.6	me/100g 6~20	50~30%	me/100g 3.6~7.1	me/100g 1.24~0.5	me/100g 0.5~0.17	

セラード相
森林相

I : 容易 II : やや難 III : 難 IV : 極めて難
1 : 容易 2 : やや難 3 : 難 4 : 極めて難

4. 物理性の特徴

ブラジルにおいては最近まで土壌物理性に関する調査研究は少なく、測定法も余り統一されていない状況にあるが、これはブラジル畑土壌の多くが土層が深く、排水性が比較的良いことから畑生産力向上への努力が、まず、化学性不良要因の克服に向けられてきたことによるのであろう。しかし、農業が近代化し大規模機械化してゆく中で、土壌の物理的条件は一層重要となってくると考えられる。例えばセラード地域の畑作は広大かつ平坦な地形を利用して超大規模な機械化を目指し、そのスケールメリットをもって不良な化学性改良に必要な経費や、輸送経費など不利な面を克服しようとするものであるが、ラトソルの物理性はその成否に関わる重要なポイントになっている。

また、旧来から農業地帯においても、ち密化した土層を改良し、土壌侵食を防止してゆくことがこれまでに重要な問題となっており、さらに、一つの土壌保全農法として当地帯に導入が試みられている不耕起栽培についても、やはり土壌の物理性が成否の鍵となっている (IAPAR, 1981. TORRADO ら、1984)。

ここでは水分供給性、圧縮および耐侵食性に関連した物理性についての調査結果を示す。

1) 調査項目および測定法

- a. 真比重：ピクノメータ法。
- b. 仮比重、三相分布：100ml金属製採土円筒使用、乾熱法
- c. 土塊の仮比重および線膨潤率 (COLE)：乾及び湿土塊についてトルエン浸漬法
- d. 現場浸透能：内径25cmの鉄製シリンダーを深さ20cm打ち込み、外周にバッファポンドを設け、水深3cmにて1.5時間浸透量を測定した。1地点4連の測定を行った。
- e. 透水性：100ml採土円筒により採取したコアサンプルについて、-150cm H₂O 減圧下で飽和後、変水位法により測定した。
- f. 粗孔隙量および有効水分：透水係数測定後のコアサンプルについて、脱水過程における保水量を次の水分吸引圧段階で測定した。-10および-30cm H₂O は砂柱法により、-60および-100cm H₂O は素焼板を用いた水位差法により、さらに、-1/3、-1、-3、-15 bars は加圧板法によった。
- g. 水分散粘土：電動攪拌機 (ミキサー) による分散処理を蒸留水中にて行い水に分散する粘土含量を測定した。
- h. 分散率：風乾土に水を加え130 rpm の往復振盪処理を1時間行い、分散するシルト画分 (0.02mm > ϕ) をピペット法にて測定し、完全分散によるシルト画分含量に対する割合を求めた。
- i. 耐水、耐振盪性団粒率：粒径2~10mmの風乾粗団粒を試料として、水浸漬 (スレーキング

処理) 10分後、往復振盪 (130 rpm) 処理を15分間行い、残存団粒 (2 mmおよび0.25mm大) を篩別し、乾重を測定した。一次粒子 (砂) 重は団粒量から差し引いた。

j. その他に畑地の経年変化あるいは不耕起法など耕耘法の違いによる土壤物理性の変化、および、土壤侵食の実態調査等を行ったが、それらの調査法については、調査結果の項にて述べることにする。

2) 調査結果

以下、有効土層、仮比重および線伸長率、粗孔隙および透水係数、浸透能、圧縮性、有効水分、団粒性、分散性、および耐侵食性の順に述べる。表8に土壤群別の物理的性質をまとめ、図18に代表土壤の物理性の断面分布を示した。

(i) 有効土層、作土深

有効土層は作物の根がかなり自由に貫入し得ると認められる土層であり、基岩、盤層あるいは極端な礫層の深さまでを有効土層と考えるとされている(農水省、1979)。これによれば、ブラジルの畑土壤は、一部の岩屑土を除いた殆んど全度が1 m以上の深い有効土層を有している。構造性テラロシヤと土性B層を持つ土壤の一部にはB層の硬度が24~26mm(貫入抵抗12~17kg/cm²に相当)に達するものがみられるが、根の伸長を完全に妨げるものではない。

また、作土深については、多くの土壤は被侵食部を除いて、15cm以上の暗色のA層を有している。

また、岩屑土と礫質ポドゾル性土を除いて礫含量が問題となる土壤は殆んど無い。

(ii) 仮比重および線膨長率 (COLE)

土壤の仮比重は砂、礫および有機物含量が異なれば大きく変わるため、仮比重を用いて土壤物理性の良否を判定しようとする基準は設けられていない。しかし、前述したようにラトソル性の土層を観察した際にまず気付く物理的特徴は微小団粒が発達し、膨軟かつ碎易であることであるが、それを数値で表現する簡便で適確な方法は仮比重の測定である。人為による圧縮を受けていない粘土質ラトソル層では仮比重0.8~1.1 g/cc、固相率が30~40 vol %および湿潤時土壤硬度が17~20mmの範囲にあつて、鉍質土壤としては極めて膨軟な特長を持っている。例外的なラトソルはアマゾン地域に分布の広い黄色ラトソルであつて、遊離鉄が少なく、微小団粒の発達が弱く、マナウス土壤で仮比重1.2前後、トメアス土壤では1.3~1.4と重くなっている。他方、構造性テラロシヤや赤黄色ポドゾル性土の土性B層では仮比重が1.15 g/cc以上、固相率40%以上、土壤硬度20~25mmの範囲にあつて、ややち密からち密である。砂質土は仮比重1.5以上、固相率60%前後を示している。

また、ラトソルの仮比重に関連する特徴として、乾湿変化による仮比重の変化が他の土壤より

表 8 主要土壌の物理的特性

Soil	hori- zon	com- pact- ness	thick- ness of AP	bulk- density	solid volume	soil hardness (index)	macro porosity (pF1.8>)	hydraulic conductivi- ty	available water		disper- sion ratio ($\phi < 0.02\text{mm}$)	stable macro aggregate $\phi > 0.25\text{mm}$
									readily (pF1.8-3.0)	total (pF1.8-4.2)		
			cm	g/cc	vol%	mm	vol%	cm/sec	mm	mm	%	%
Red Yellow Latosols 赤黄色ラトソル (セラード相)	A	L* C*	18-27	0.72-0.83 0.96-1.09	27-31 36-40	7-18 19-24	38-21 23-	2×10^{-2} $(10-3) \times 10^{-3}$	44-67	63-85	28-49	57-64
	B	L C		0.95 1.02-1.15	35 38-42	19 21-26	26 21-13	8×10^{-3} $(4-2) \times 10^{-3}$			25-30	62-71
Dark Red Latosols 暗赤色ラトソル	A	L C	10-18	0.96 1.29	37 50	19 23	22 14	7×10^{-3} 6×10^{-3}	52-54	71-72	23	62
	B	L C		0.88 1.13	34 44	19 21	25 20	2×10^{-2} 7×10^{-3}			12-14	51
Roxo Latosols 紫赤色ラトソル	A	L C	10-22	0.65-1.04 1.20-1.31	23-35 40-39	10-17 24-25	44-32 14-10	$(60-5) \times 10^{-3}$ $(10-2) \times 10^{-4}$	36-57	56-82	28-37	48
	B	L C		0.95 1.18-1.41	32 39-48	19 21-25	32 21-17	3×10^{-2} $(5-3) \times 10^{-4}$			8-20	40-45
Terra Roxa Estururada 構造性テラロッシュ	A	L C	17-20	1.06-1.17 1.23-1.36	35-39 41-45	14-19 22-23	27-18 20-7	$(20-2) \times 10^{-3}$ $(9-1) \times 10^{-4}$	26-37	48-74	33	44
	B			1.27-1.34	43-45	24-26	12-8	$(20-1) \times 10^{-4}$			37	59
Red Yellow Podzolic Soils 赤黄色ポドゾル性土	A		13-25	1.12	43	22	16	1×10^{-2}	38-66	66	33	39
	B			1.19	45	24	18	$(30-4) \times 10^{-4}$			12-24	36
Red Soils with texture B 土性B層赤色土	A		10-20	1.16-1.36	46-51		18-11	$(10-2) \times 10^{-3}$	42	77	24-32	60
	B			1.14-1.36	45-51	22-25	20-13	$(20-6) \times 10^{-4}$			21-32	68
Tropical Podzols 熱帯ポドゾル	A		21	1.53	60	21	15	5×10^{-4}			43	3
	B			1.53	60	23	5	3×10^{-5}			33	2
Podzolized Soils of Lins & M. リンズ・マリリア型赤黄色ポドゾル化土	A B		13-30	1.39 1.51	53 57	16 19	25 18	6×10^{-3} 3×10^{-3}	54	71		
Sandy Latosols 砂質暗赤色ラトソル 砂質赤黄色ラトソル	A	L C	12-20	1.14-1.40 1.54-1.65	43-53 58-62	11-13 16	30-25 12-11	$(9-4) \times 10^{-3}$ $(8-6) \times 10^{-4}$	66	98	29-30	6-14
	B			1.60-1.77	59-66	20-21	17-8	$(90-7) \times 10^{-5}$			19-26	11-19

注 *L:粗 *C:密

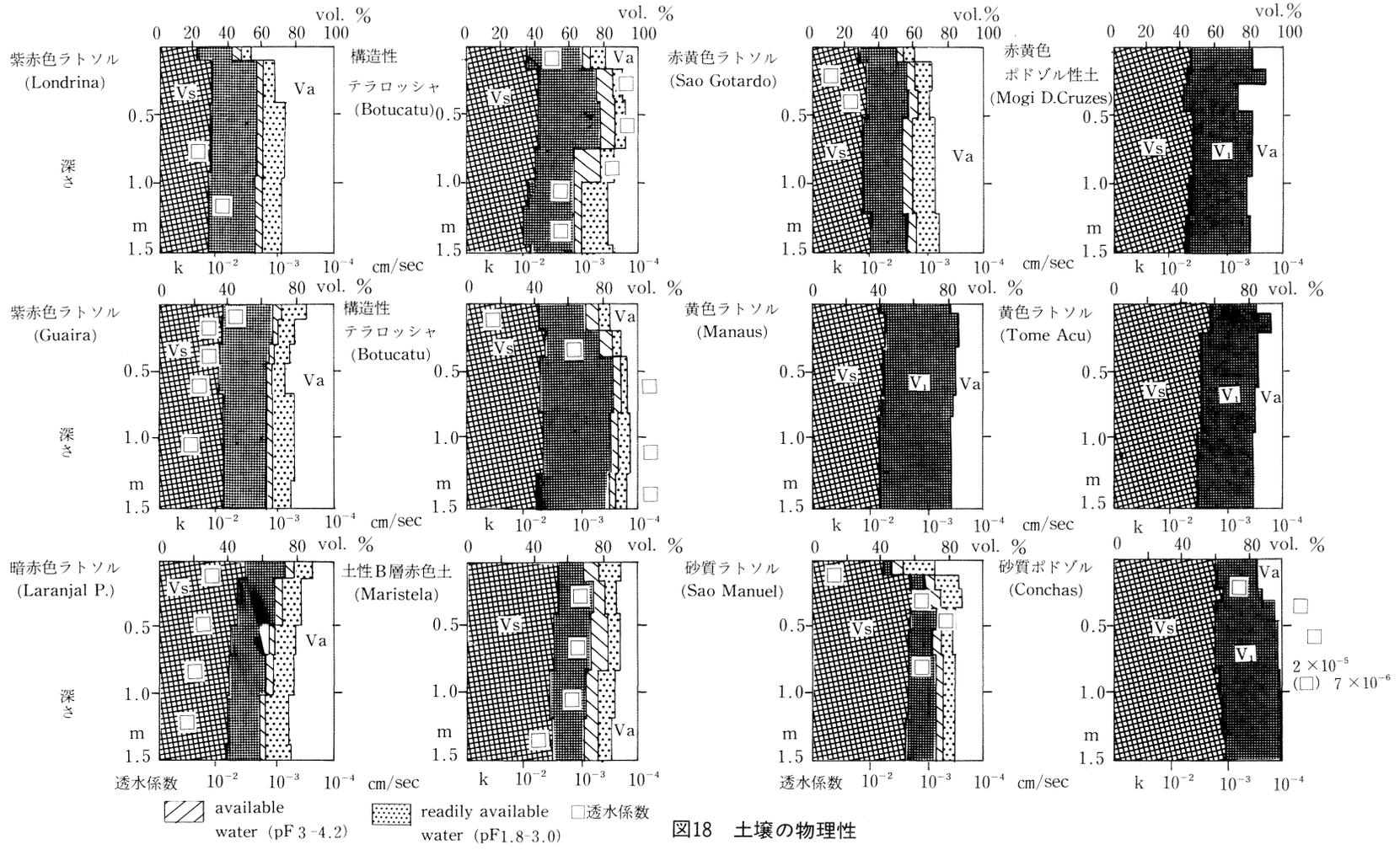


図18 土壌の物理性

小さいことがある。仮比重の変化は土塊の湿潤時と風乾時における体積変化を実測して求められ、一次元方向の線膨張率(COLE)として表わされる。表9に示した測定例を見ると、ラトソル土壤のCOLEは1.03より小さく、土性B層を持つ土壤では1.04以上とやや大きいことが認められる。更に、ラトソルの中でもセラード(サンゴタルド)のラトソルは、COLEが1.01以下と極めて小さく、紫赤色ラトソル(ロンドリーナ)などアルミナ比がやや大きいラトソルではCOLEもやや大きいことが認められる。土壤の膨潤・収縮率は土壤粘土の活性度、すなわち、粘土表面荷電密度と強く関連しており、従って、前述してきた風化度とも強く関連していることが理解される。また、ラトソルなどにおいて膨潤収縮性の小さいことが塊状あるいは柱状といったマクロな構造の発達の弱いことに関連していると考えられる。

表9 土壤の仮比重と線膨張率(COLE)

Soil	Horizon	Si/Al	Bulk Density g/cc			COLE
			core sampler	clods (wet)	clods (dry)	
紫赤色ラトソル (ロンドリーナ5)	A1		1.272	1.224	1.336	1.030
	B1	1.26	0.951	1.197	1.269	1.020
	B21		0.927	1.074	1.155	1.025
	B22	1.23		1.046	1.116	1.022
紫赤色ラトソル (ラジアード7)	B22	0.86	1.238	1.520	1.581	1.013
	B23	0.81	1.127	1.281	1.345	1.016
暗赤色ラトソル (イタペチニング)	B21	0.92	0.899	1.098	1.108	1.001
	B23		0.908	1.048	1.130	1.025
赤色ラトソル (サンゴタルド1)	B21	0.22	1.036	1.320	1.325	1.001
	B22		1.064	1.380	1.407	1.006
赤黄色ラトソル (サンゴタルド10)	B21	0.16	0.950	1.250	1.260	1.003
	B22	0.15	0.898	1.141	1.148	1.002
黄色ラトソル (マナウス)	A3		1.197	1.197	1.330	1.036
	B22	1.55		1.153	1.239	1.024
構造的テラロッシュ (ロンドリーナ4)	B21			1.306	1.544	1.058
	B23			1.204	1.460	1.066
構造的テラロッシュ (ラジアード5)	B22	1.55	1.277	1.260	1.558	1.073
	B23		1.237	1.103	1.257	1.045
	B32	1.45	1.129	1.164	1.275	1.031
赤黄色ポドゾル性土 —ラトソル性— (モジ・ダス・クルーゼス)	A3	1.25	1.190	1.192	1.345	1.041
	B11	1.16	1.011	1.145	1.314	1.047
	B22	0.86	1.230	1.271	1.410	1.035

$$\text{C.O.L.E.} = \sqrt[3]{\text{B. D(dry)} / \text{B. D. (wet)}}$$

(iii) マクロ孔隙および透水性

土壌の粗孔隙量は膨軟性、通気、透水および通根性の指標であり、日本の普通畑では深さ40cmまでの粗孔隙量が10 vol. %以上であることが望ましいとされている（鬼鞍豊、1985）。また、透水性については $10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/secであることが望ましいとされているが（農水省、1962）、これは主に畑地の排水性を念頭においたもので、熱帯の強い降雨条件下で、表面流去水の発生を抑えるには、降雨強度（50～100mm/hr）に対応した土壌の透水性を備えることが基本的条件である。その立場からは土層の透水性が 10^{-3} cm/sec 台と極めて良好である必要がある。すなわち耐食性を考慮した場合に土壌の透水性の基準は排水性の場合より1オーダー高いことになる。

圧縮を受けてない条件下ではラトソル土壌群は図18 a、b に示されるように粗孔隙量は20～40 vol %、透水係数は 10^{-2} cm/sec 前後であって、通気、排水、透水性は極めて良い。他方、土性B層を持つ土壌群では粗孔隙量、透水性共にラトソルより低く、特に構造的テラロッシュと熱帯ポドゾルのB層は粗孔隙が10 vol. %以下と低い。また砂質ラトソルでは砂画分の主体が細砂と粒径が細かく、粗孔隙量、透水性共にラトソルより低い。

表10に現場浸透能の測定結果を示したが、自然状態に近い林地（コーヒー園として利用後20年

表10 畑地における最終浸透能 各3連平均 mm/hr

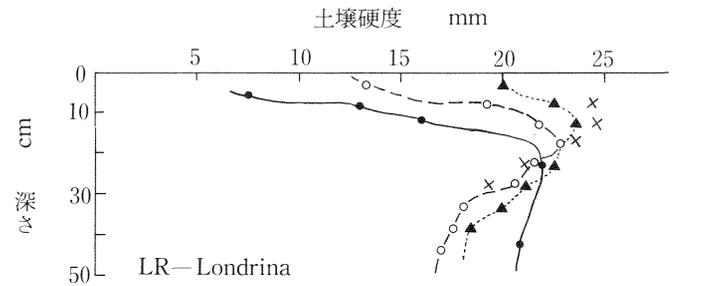
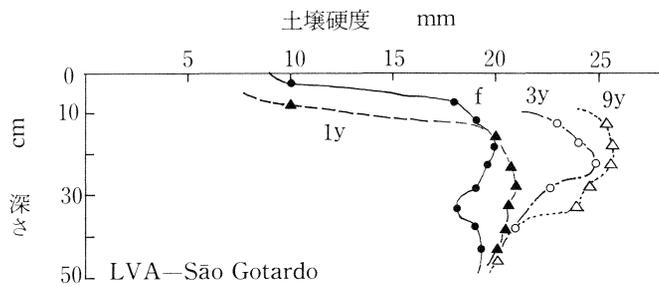
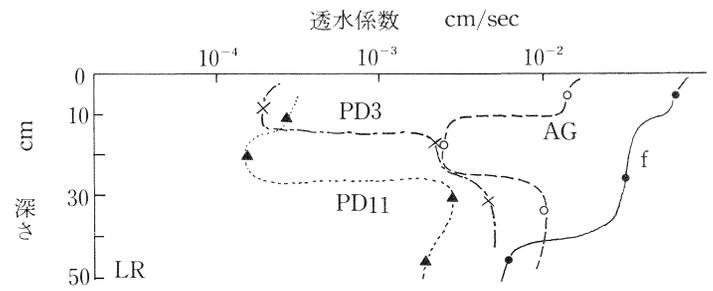
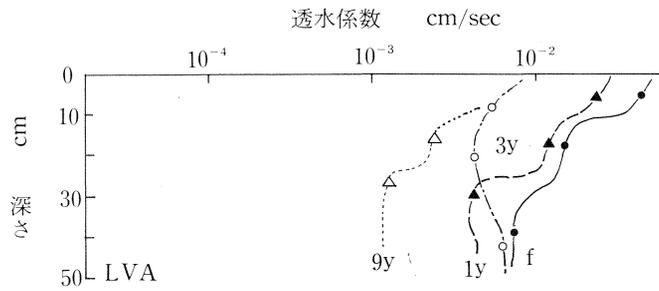
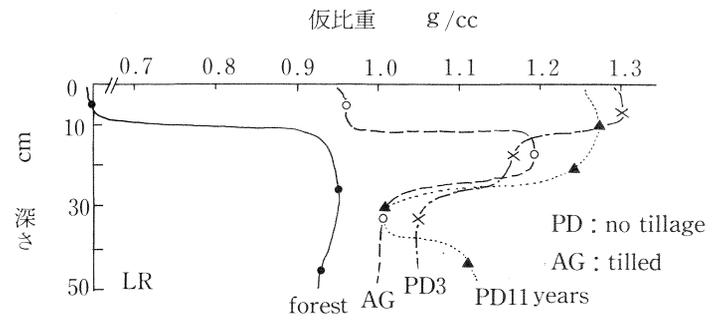
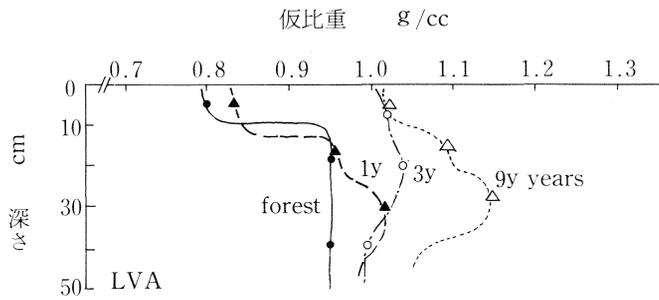
土壌	普通耕畑		不耕起栽培畑		(2次) 林地
	畦上	畦間	畦上	畦間	
赤黄色ラトソル	nd	200	nd	160	nd
紫赤色ラトソル	240	112	230	104	1110
構造的テラロッシュ	210	60	91	45	865
砂質暗赤色ラトソル	110	57	nd	nd	340

間以上二次林あるいは植林地となっていた)では、砂質暗赤色ラトソルでは340mm/hrであったが、他は1,000mm/hr 前後と著しく浸透能が高いことが認められた。ここで構造的テラロッシュの林地ではコアサンプル（100ml容）の示す透水性より2オーダー程高い現場浸透能が観測されたが、これはサンプル採取時における圧縮による透水性の過少評価に加えて、林地ではかなりの密度で亀裂や木の根跡あるいは蟻の巣が存在することによるものと考えられる。

以上の結果から排水性が問題となるのは砂質熱帯ポドゾルのみであるが、耐食性を考慮した透水性については、構造的テラロッシュ等土性B層を持つ土壌の畑地で問題になると思われる。また、畑地における土壌圧縮による物理性変化については次項にて、更に検討する。

(iv) 土壌圧縮に伴う物理性の悪化

機械化農業においては必然的に土壌圧縮が生じ、作物根の伸長や浸透性を阻害する。また、不耕起栽培への土壌の適否に関連して圧縮土壌の物理性は重要である。ここでは開墾後の耕作年数の異なる畑あるいは不耕起栽培実施畑等において、圧縮土の物理性について調査した結果を検討



a. 赤黄色ラトソル—サンゴタルド

b. 紫赤色ラトソル—ロンドリーナ

図19 ラトソルの耕作に伴う物理性変化

する。調査土壌は紫赤色ラトソル(2地点)、赤黄色ラトソル、構造的テラロッシュおよび砂質暗赤色ラトソル各1地点である。

図19 a、bは紫赤色ラトソルおよび赤黄色ラトソル畑地における調査結果を示したものである。紫赤色ラトソルでは不耕起栽培を3年および11年間続けた畑表土について調査したが、圧縮層では仮比重および硬度が増大し、透水性が 1×10^{-4} cm/sec 付近まで低下していた。他方、赤黄色ラトソル(セラード相)では開墾後の経過年数に伴う耕盤層形成の過程をみたもので、耕作年数の増大に伴って、作土直下に圧縮層が形成されてゆくが、透水性は 10^{-3} cm/sec 台を維持しており、紫赤色ラトソルより圧縮による透水性低下が少ないものと推定された。図20は他の土壌について調査した結果も含めて、透水性と仮比重の関係を示したものである。それによれば、特にB層については仮比重の増大、すなわち圧縮に伴って透水性が低下し易い土壌は、構造的テラロッシュ>砂質暗赤色ラトソル>紫赤色ラトソル>赤黄色ラトソルの順であることが認められた。また、赤黄色ポドゾル性土については圧縮された畑地の調査は特に行っていないがラトソルより可塑性と粘着性に富んでおり、圧縮に伴う透水性低下など物理性は悪化し易いと思われる。

赤黄色ラトソルをはじめラトソルでは、圧縮されても、比較的高い透水性が維持されているが、この理由は当然のことながら、ラトソルに発達している団粒によるマクロな孔隙量の維持にあると考えられる。しかし、pF 1.5以下の粗孔隙量についてみると、ラトソルにおいても圧縮によって10 vol. %以下へと減少しており、構造的テラロッシュ等と比較し、少ない粗孔隙量で高い透水性を示すという矛盾が認められた。そこで粗孔隙の境界を pF 1.5から pF 1.8に広げ、圧縮に伴うマクロな孔隙の変化をみた(図21)。それによれば砂質土を含めてラトソル性の土壌では、圧縮に伴い pF 1.5以下の粗孔隙は減少するものの、pF 1.5~1.8の間の孔隙は4 vol. %以上に維持されており、他方、構造的テラロッシュや赤黄色ポドゾル性土では、pF 1.5~1.8間の孔隙量が少なく、圧縮の進行に伴ってさらに減少する傾向が認められた。すなわち、ラトソルに発達している小団粒は、圧縮に対し、pFH 1.5以上の孔隙を維持し、それにより透水性を 10^{-3} cm/sec 前後に維持すると推察される。また、径0.2mm前後の細かい砂粒子も、マクロ孔隙についてはラトソルの団粒とほぼ同様の役割を果していると云える。

pF 1.5から pF 1.8付近の孔隙量が飽和透水性に果す役割は、pF 1.8に相当する孔隙の径が0.05mmであることから当然予想される。岩田(1982)は半径0.05mmの真直ぐな孔が 1 cm^2 当り42本あれば、 10^{-3} cm/sec の透水性となることを試算している。

表10に圧縮された畦間部および不耕起栽培圃場の現場浸透能をみると、ラトソルでは100mm/hr以上の値を示すのに対し、構造的テラロッシュおよび砂質ラトソルでは60mm/hr 以下とやや低かった。砂質ラトソルの現場浸透能が構造的テラロッシュとほぼ等しいのは、後者に亀裂等粗間隙があってコアサンプルによる透水性より現場浸透能が高く表われる反面、砂質土では粗大なる構造と間隙が少なく、均質に圧縮されていることによるものと推察される。

次に圧縮に伴う土壌硬度の増大について検討する。図22は耕盤層の土壌硬度(山中式硬度計により測定)を土壌水分との関連で示したものである。土壌水分は硬度測定時の含水比をコアサン

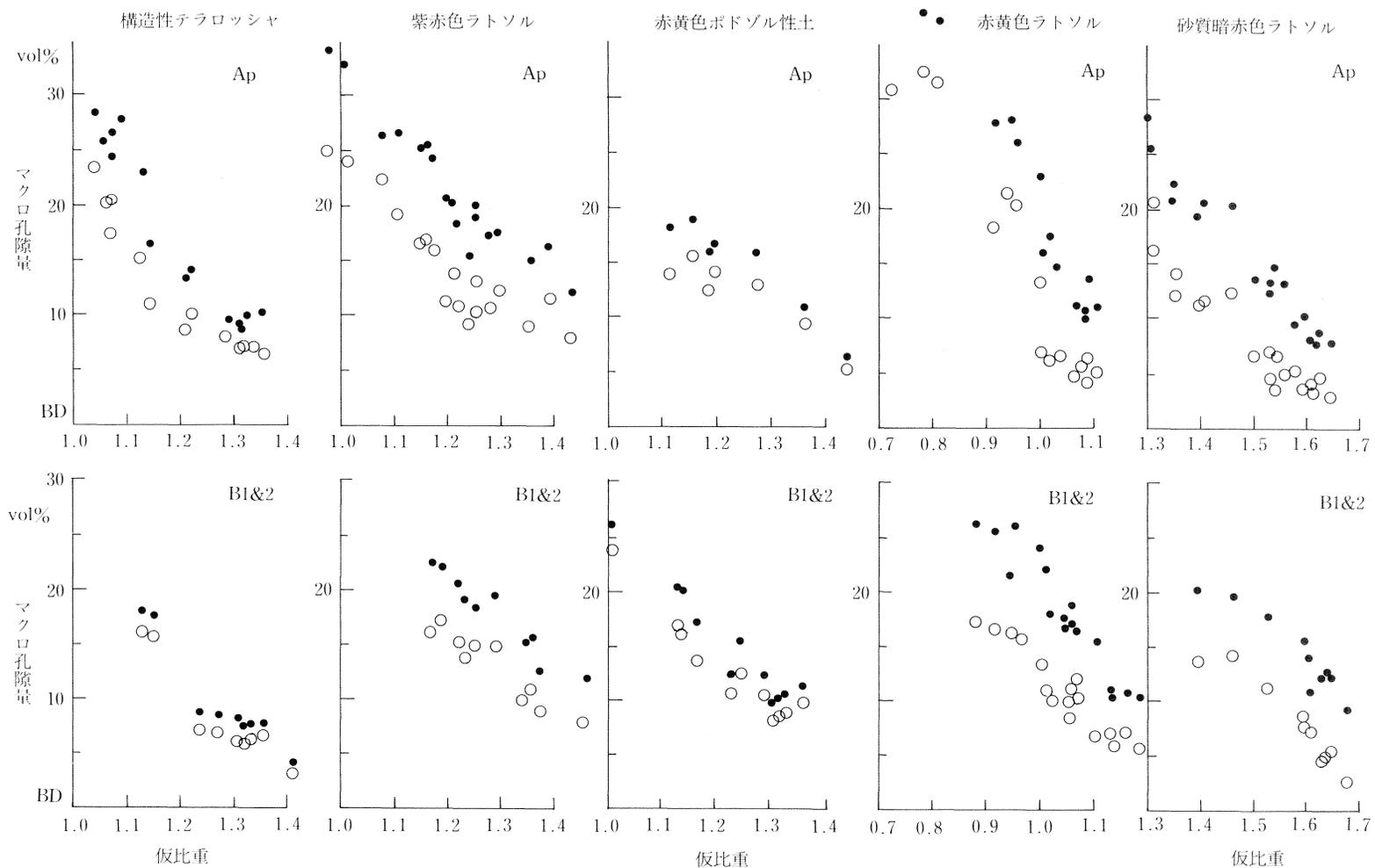


図21 ち密化にともなうマクロ孔隙量 (pF 1.5および1.8以下) の変化 ○ pF1.5>孔隙 ● pF1.8>孔隙

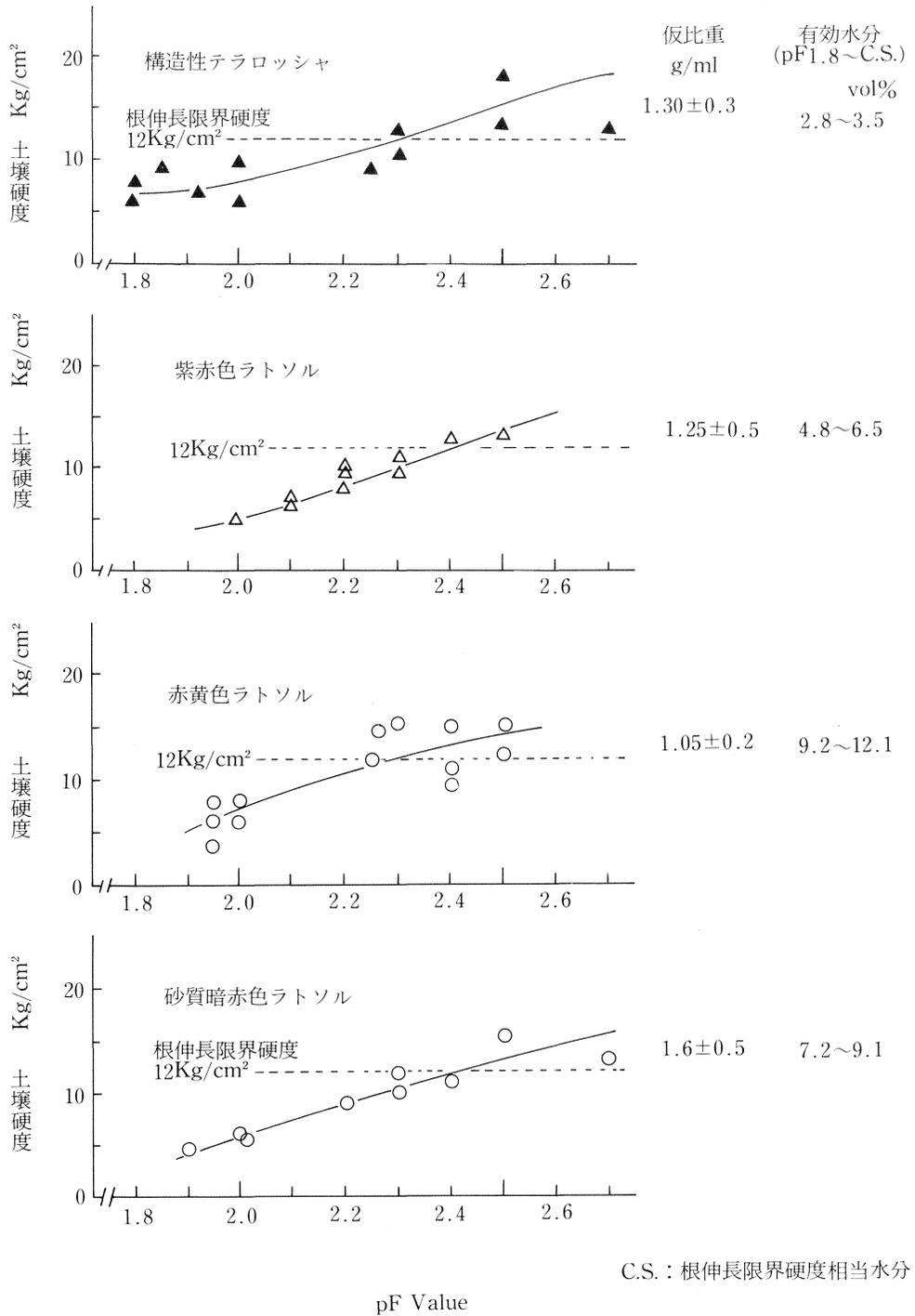


図22 耕盤層の土壤硬度の水分による変化

ブルについて測定した pF ~水分曲線より pF 値に読み換えて示した。その結果、いづれの土壤についても耕盤の硬度は pF 2.3から2.4付近において、根の伸長限界硬度、すなわち、指標硬度 24mm (12kg/cm²) に達した。しかし、同図中右側に示した圃場容水量 (pF 1.8) と伸長限界硬度相当 pF 値との間の水分量、換言すれば非制限有効水分量は土壤によって大きな差があり、構造的テラロッシュでは少なく、圃場容水量から少し乾燥すると著しく硬くなるのに対し、赤黄色ラトソルでは乾燥に伴い硬度の比較的低い水分状態がより長い時間持続することが認められた。

以上の結果は圧縮土の物理性は、ラトソル性の土壤が土性B層を持つ土壤より、透水性並びに硬さについて優れていることを一応示している。しかし、久保田ら (1985) は本調査における赤黄色ラトソルとほぼ同じ土壤について、畑地における圧縮層により、大豆根の伸長が阻害されていることを認めた。その理由として、硬度に加えて粒径の細い団粒によって構成されているために、圧縮層の最大孔隙径が小さく、大豆根に対し、フィルター作用が発揮されること、および、通気性が低下していることを指摘している。従って、今後、ラトソルのマクロ孔隙について透水機能に加えて、通気、通根機能との関係を、孔隙の量のみならず形態とからめて検討する必要がある。さらに、(ii)項にて述べたように、ラトソルは膨潤・収縮性が小さく、従って、亀裂が生じ難い。不耕起栽培において圧縮土層中の亀裂は透水、通根性を増大させることが認められており(渡辺ら、1987)、膨潤・収縮性は圧縮土の物理機能の回復または維持と関連すると考えられる。CANNELL (1985) も不耕起栽培に対する土壤の適否を判断する項目に、膨潤収縮性を挙げている。こうした土壤の膨潤収縮性を考慮すれば、構造的テラロッシュなど土性B層を持つ土壤は、コアサンプルによる透水性と硬度特性から予想されるよりは、圧縮土層の物理機能が若干高い可能性があり、他方物理性のやや優れるラトソル性土壤においては、マクロ団粒の破壊が進んだ表土、あるいは下層土では圧縮が作物根の伸長に対し一層阻害的になる可能性があると考えられる。特に、マクロ構造の発達が弱く、細粒の砂粒子を主とする砂質土では、膨潤・収縮活性も著しく低く、ラトソルより圧縮が阻害的となる可能性がある。

(v) 圃場容水量および有効水分量

熱帯畑土壤の圃場容水量として、従来 - 1/3 bar (pF 2.5) が用いられてきた (WAMBEKE, 1974. SANCHEZ, 1976、ランツァーニ、1977)。しかし、BOULDIN (1979) は有効水分量の過少評価となることを指摘し、- 1/10 bar (pF 2.0) を有効水分の上限とした。また、久保田ら (1983) も pF 2.0を用いたが、圃場容水量は必ずしも確定されていなかった。そこで、ボツカツ大学農場内の砂質暗赤色ラトソルおよび紫赤色ラトソルの畑地において、降雨後の土壤水分吸引圧変化をテンシオメーターにより観測し、同時に、採土法による水分調査を行った。その結果を図23に示したが、降雨後2日目における深さ10cmにおける水分吸引圧は砂質ラトソルで約-60cm H₂O、紫赤色ラトソルでは-70cm H₂O であった。採土法による降雨後1日目の含水比は、コアサンプルについて得られた pF ~水分曲線からほぼ pF 1.75に相当していた。これらの結果はラトソル性土壤の圃場容水量として pF 1.8 (-60cm H₂O) が適当であることを示すと考えられる。

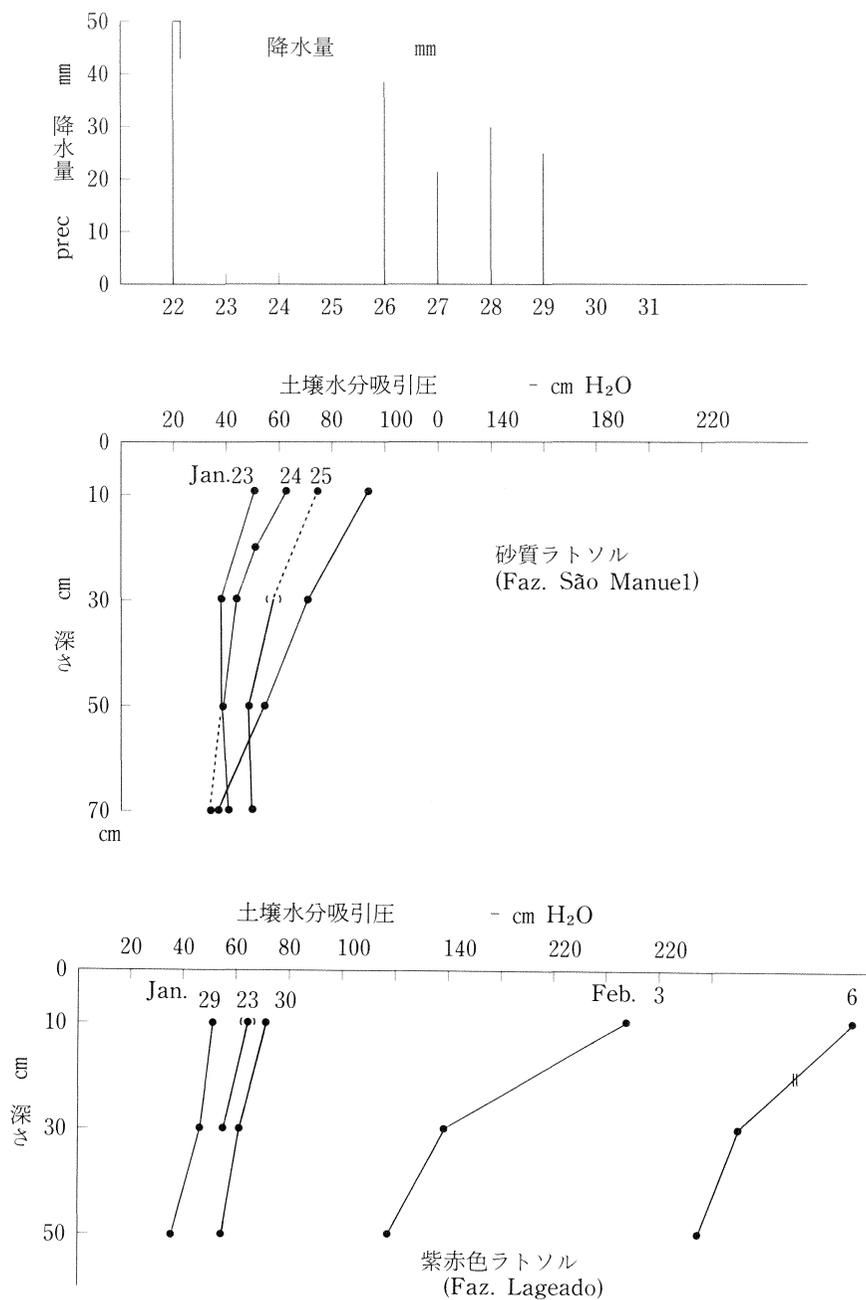


図23 降雨後における土壌水分吸引圧の変化

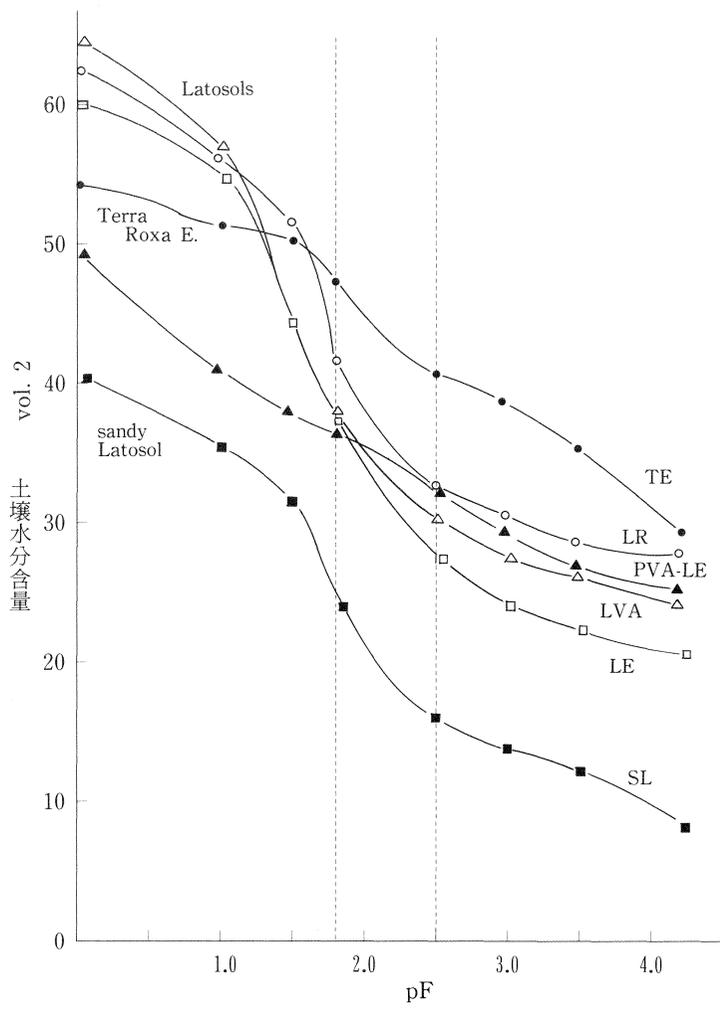


図24 主要土壤（B層）の pF 水分曲線

表11 有効水分量

土壌	0—50cm		0—100cm	
	RAW	mm	TAW	mm
土性B層土壌				
構造的テラロシヤ 1	37.3	73.5	99.0	159.3
構造的テラロシヤ 2	25.8	47.5	49.7	89.1
土性B赤色土	41.9	77.1	87.4	159.0
赤黄色ボドゾル性土	36.5	66.4	78.5	131.4
ラトソル性B層土壌				
紫赤色ラトソル(ボツカツ)	53.9	71.9	127.8	162.6
紫赤色ラトソル(ロンドリーナ)	36.2	55.8	98.1	132.2
紫赤色ラトソル(グアイーラ)	56.7	82.1	112.5	154.6
暗赤色ラトソル	51.5	72.6	117.8	156.4
暗赤色ラトソル	66.7	85.0	127.8	157.4
赤黄色ラトソル	44.0	63.4	116.0	153.4
砂質ラトソル				
砂質暗赤色ラトソル	65.9	97.9	117.0	171.2
日本の土壌				
褐色森林土	45	92	83	184
灰色台地土	29	84	41	137
灰色低地土	46	98	80	183
褐色低地土	47	91	91	175

RAW：易有効水分 pF 1.8—3.0

TAW：全有効水分 pF 1.8—4.2

次に有効水分量について検討する。ラトソルや砂質ラトソルの有効水分量は BOULDINの主張するように従来は過少評価されてきたが、有効水分の上限を pF 2.5から pF 1.8にすることにより、図24に見られるように10 vol. %前後（深さ 1 mについて100mm前後）有効水分量が增大する。すなわち、図24は各土壌のB層の pF 水分曲線を示したものであるが、ラトソル性の土壌では pF 2.5以下の孔隙に富み、pF 2.5以上の孔隙が少ないことが認められた。他方、土性B層を持つ土壌群は低 pF 域の有効水分の割合が少なく、高 pF 域の有効水が多かった。日本の農耕地土壌に対する有効水保水力の区分は pF 3以下の易有効水分量が土層40ないし50cm中に40～80mm含まれる場合を中クラスとしているが、ラトソルや砂質土のように易有効水に富むが、高 pF 域の有効水に著しく欠けるという保水特性を示す土壌に対しては過大評価となり、全有効水分量による評価が必要となる。全有効水分量75mm/50cmを一応の基準とすれば、ラトソルはやや低もしくは中クラスの下位に属することになる。また土性B層を持つ土壌は易有効水量が少なく低クラスに属する。しかし、ラトソルの易有効水分孔隙に富み高吸引圧の水分含量が少ないという特性は、降水および灌漑水の有効利用率を高めるものと考えられる。すなわち、乾燥時には比較的少量の灌水

で、土壤水分は易有効水分域に復帰し、容量の大きさは灌水間隔を拡げることを可能にし、水の利用率を高め得る。

(vi) 団粒性および分散性

ラトソルをはじめとする熱帯の赤色土壤にはアグリゲートが発達しているとされている (WAMBEKE, 1974)。また、ブラジルではラトソルの特徴として水分散性粘土が著しく少ないことがあげられている (Comissão do solos, 1960)。ここでは主要土壤のAおよびB層を含む30点の試料について、耐水・耐振盪性団粒率、および分散率を測定し、耐食性について評価を試みた。また各土壤の構成成分と団粒性ならびに分散性との関連も検討した。

供試した30点の土壤試料の理化学性を表12に示す。

分散率と耐食性の関係については Middleton の分散率 ($0.05\text{cm} > \phi$) 15%が基準になるとされ

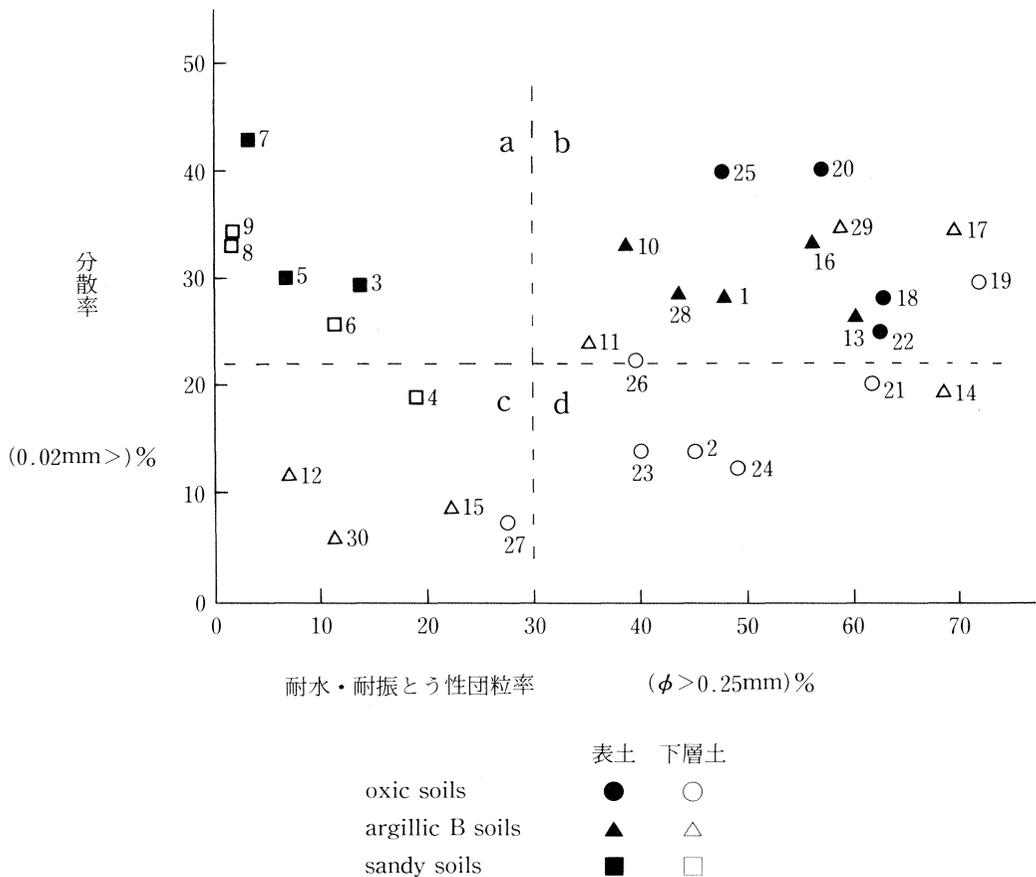


図25 分散率および耐水・耐振とう団粒率

表12 供試土壌の理化学性

No	location	* soil name	horizon	depth	sand	clay	T-C	pH (H ₂ O)	-ΔpH	dithionite-sol.	
										Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
				cm	%	%	%			%	%
1.	F. Tamura 4	RL	Ap	0-11	37.1	40.9	3.06	7.02	0.84	10.00	0.29
2.	〃	RL	B2	28-50	37.8	53.5	1.46	6.89	0.72	10.69	0.66
3.	F. Tamura 12	sRYL	Ap	0-22	71.8	21.8	1.33	5.99	1.10	3.26	0.36
4.	〃	sRYL	B2	36-63	68.1	24.0	0.76	4.86	0.69	3.76	0.69
5.	S. Manuel	sDRL	Ap	0-15	89.7	10.2	0.70	5.78	1.09	1.87	0.97
6.	〃	sDRL	B2	21-37	81.7	15.5	0.37	5.93	1.09	4.61	1.01
7.	Conchas	sRYP	Ap	0-21	88.6	6.0	0.48	5.77	1.34	0.43	0.36
8.	〃	sRYP	B2	30-45	81.3	17.6	0.49	5.60	1.46	0.88	0.43
9.	〃	sRYP	B2	45-85	77.0	22.0	0.35	5.23	1.30	0.96	0.35
10.	Mogi d. C.	RYP	A1	0-25	55.4	39.3	2.03	4.58	0.61	2.43	1.52
11.	〃	RYP	B1	25-55	43.0	53.0	1.34	4.82	0.67	3.26	0.43
12.	〃	RYP	B3	120-	35.1	64.2	0.35	4.68	0.44	3.89	0.31
13.	Cesario L. 1	RYP	Ap	0-20	29.6	65.1	2.15	5.30	1.09	9.30	0.84
14.	〃	RYP	B2	20-63	24.2	73.0	1.61	4.97	0.92	11.15	0.33
15.	〃	RYP	B3	150-220	23.1	70.3	0.63	5.34	1.07	10.39	0.47
16.	Cesario L. 2	RYP	Ap	0-17	17.1	65.2	1.69	5.18	1.23	6.72	1.72
17.	〃	RYP	B2	17-44	13.3	76.2	1.25	5.13	1.27	9.67	2.36
18.	Paracatu	RYL	Ap	0-15	16.6	81.5	2.14	5.86	0.74	8.61	2.12
19.	〃	RYL	B2	30-50	8.8	94.1	1.34	4.87	0.28	8.84	0.66
20.	S. Gotardo	DRL	Ap	0-15	4.5	90.7	3.43	6.13	0.67	17.16	0.65
21.	〃	DRL	B2	30-50	3.3	94.4	2.27	5.31	0.54	16.81	1.56
22.	Itapetinga	DRL	B1	10-40	11.7	83.4	1.96	4.74	0.66	14.61	0.65
23.	〃	DRL	B2	40-75	11.1	84.0	1.71	4.96	0.73	14.20	2.17
24.	〃	DRL	B3	75-120	11.1	85.4	1.17	4.78	0.06	14.20	3.17
25.	F. Lageado 2	RL	Ap	0-10	35.3	50.6	3.21	5.44	1.06	14.80	2.24
26.	〃	RL	B2	10-33	35.5	48.2	1.91	4.97	0.83	16.61	0.35
27.	〃	RL	B2	60-98	31.6	57.8	1.50	4.76	0.59	18.14	2.52
28.	F. Lageado 5	TRE	Ap	0-17	12.2	63.3	2.12	5.82	1.04	20.33	1.89
29.	〃	TRE	B2	17-74	10.9	65.4	1.67	6.04	0.99	20.53	1.14
30.	〃	TRE	B3	117-145	8.5	72.0	0.70	5.74	0.96	20.74	2.57

*RL : "Roxo" Latosols, DRL : Dark Red Latosols RYL : Red Yellow Latosols
RYP : Red Yellow Podzolic soils TRE : Terra Roxa Estruturada (Rhodustalf) S : Sandy

ており、また、団粒率50%および25%が耐食性中クラスの限界値とされている（農林省、1979）。しかし、これらは本研究における処理より、かなり穏やかな分散及び篩別処理であり、また、粒径も若干異なっている。これらを考慮して、ここでは一応分散率（0.02mm以下）20%、および団粒率（径0.25mm以上）30%を基準として、図25に示すように各土壌を団粒及び分散特性によって4つのグループに分割した。

a. グループ 団粒性弱、分散性大：

このグループには砂質土が属する。砂質土の中ではポドゾルが最も団粒性が弱く分散性も大き

い。受食性が最も大きいグループである。

b. グループ 団粒性大、分散性大：

このグループにはラトソル及びポドゾル性土の表土、及びポドゾル性土の土性B層が主に属している。また、ラトソルの次表層 (No.19、21、26) もこれに属している。このグループのマクロ団粒性の高い理由として、腐植による団粒形成促進作用があり、又、土性B層では粘着性のある粘土の集積と乾湿のくり返し、根の作用がこれを促進したと考えられる。また、表土およびラトソル性B層の一部が高い分散性を示す理由として、腐植の持つ保護コロイド作用によって粘土の分散性が増大することがあると考えられる。

c. グループ、団粒性弱、分散性小：

このグループには構造性テラロッシュヤや土性B赤色土の土性B層より下位にある、膨軟碎易なラトソル的様相を呈するB₃相と紫赤色ラトソルの1 m以深の層が属している。水に風乾土塊を浸漬すると直ちに崩壊するが分散はしないという、マクロな団粒の発達は弱いが微小団粒は良く発達した土層である。マクロ団粒の発達が弱いのは腐植含量が少なく、乾燥り歴ならびに根の作用等も少ないためと思われる。この土層の耐食性は透水性が良いことからやや良であるが、通常は下層であり、侵食が問題となることは少ない。しかし、深いガリーが発生した場合には、膨軟かつ軽い小団粒の流水に対する抵抗性は小さいと考えられる。

d. グループ 団粒性大、分散性小：

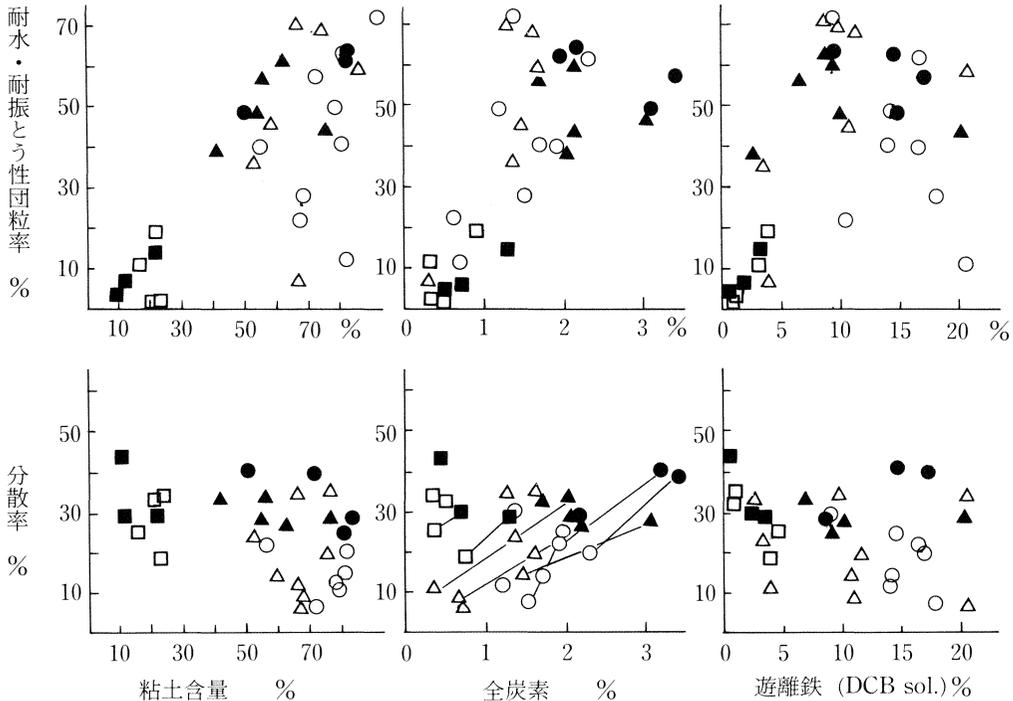


図26 団粒率および分散率と土壤の理化学性

この最も安定した耐食性の大きいグループにはラトソルB層が属している。

次にマクロ団粒の安定性及び水分散性に影響を及ぼしている理化学的要因について検討する。図26よりマクロ団粒率は全炭素含量と相関が高く、次いで粘土含量が関係していることが認められ、遊離鉄および遊離アルミ含量(図示していない)ともやや弱い相関が認められた。一方、水分散率については全体として明確な傾向は認められないが、全炭素含量とはそれぞれの断面内にて、図中実線にて示したように正相関を示す傾向があり、また、下層土について粘土含量および遊離含量の増加に伴い、分散率が低下する弱い傾向が認められた。この結果から径が0.25mmより大きいマクロな団粒形成とその安定性に、土壤腐植が最も関連しているといえるが、粒径が0.25mmより小さいラトソルに特徴的な団粒の発達には、腐植以外の要因が関連していると予想された。

図27は団粒強度と土壤の風化度の関係を検討したものである。団粒の機械的強度の指標として、電気ミキサーによる10分間分散処理による分散粘土含量と、超音波処理による完全分散粘土含量と

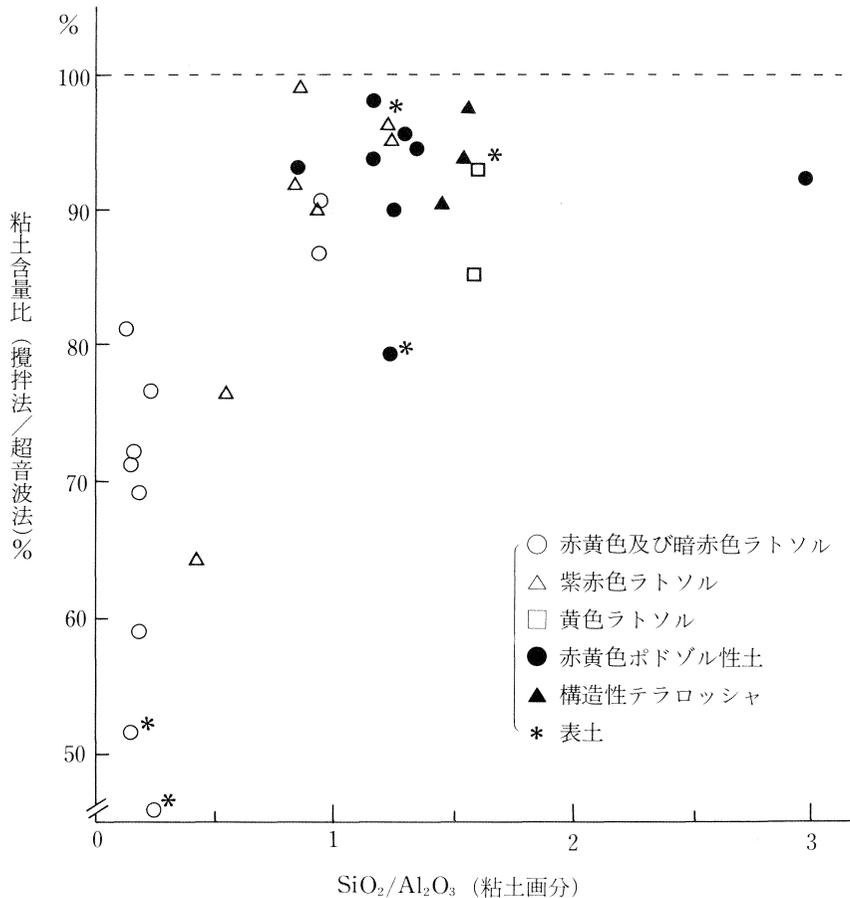


図27 超音波分散法とミキサー法で得られた粘土含量の差異によるアグリゲート強度の比較

の比を用いた。両分散処理共に過酸化水素による腐植の分解処理は無く、また、分散剤として荷性ソーダを用いた。従って、団粒から分離された粘土はフロックを形成することなく分散するので、両者の比は団粒の機械的強度を意味するものと考えられる。その結果、ミキサー法による分散粘土率はシリカアルミナモル比が0.7以下になると減少する傾向が認められ、また、腐植を含む表土では一層分散が低いものがいくつか認められた。このように強固な団粒が発達した土壌では完全分散するためには20 KHz、500Wの超音波処理を20～30分間行う必要があった。また、玄武岩に由来し、酸化鉄含量の高い構造的テラロッシュおよび一部の紫赤色ラトソルでは、5分間以内の超音波処理で十分な分散が得られた。これらの結果から、シリカアルミナ比の低下、すなわち、脱珪酸の進行はラトソルにおける特に0.25mm以下の小団粒の形成と強度に本質的に関わっていること、および、ヘマタイトを中心とした遊離酸化鉄は団粒の強度には直接的な関係が少ないこと等が推察された。

次に分散性について腐植含量並びに等電点（ZPC）との関連を更に検討した。図28は水分散性粘土比（対完全分散粘土量）と有機炭素含量（粘土画分当り）との関係を見たものである。炭素含量を粘土画分に換算したのは土壌による粒径組成の違いを消去するためである。その結果を見ると、どの種の土壌についても、炭素含量2～3%に分散粘土量のピークが認められた。こ

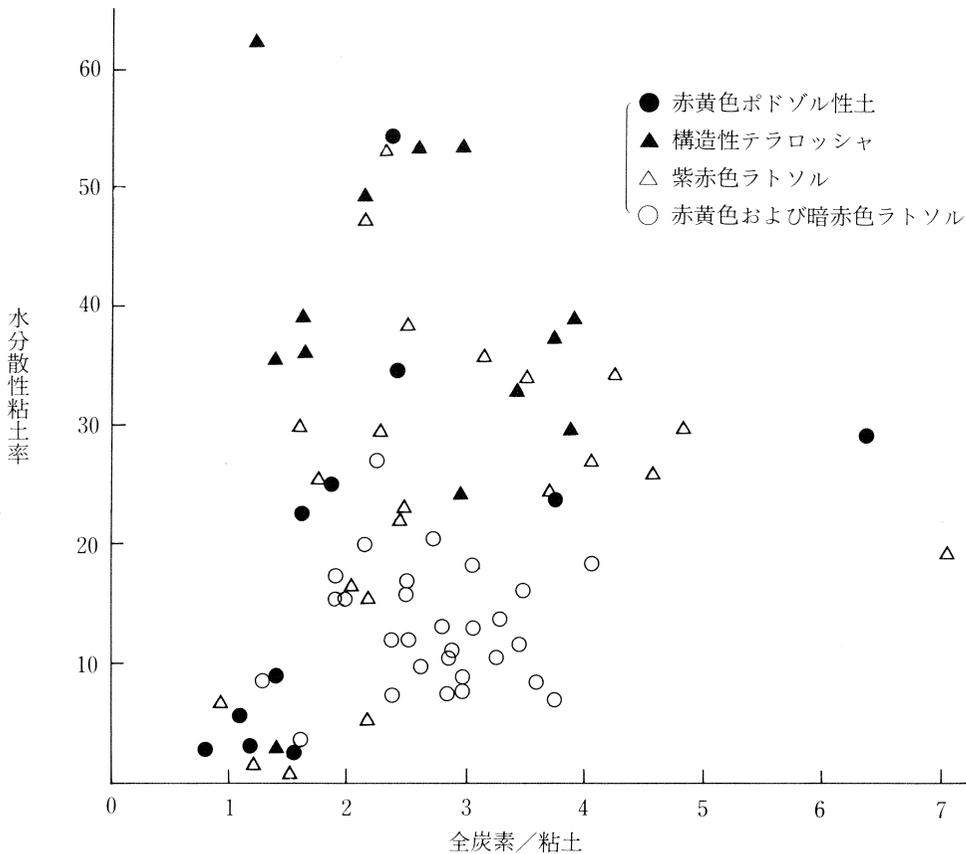


図28 水分散粘土比と土壌有機物含量（粘土画分当たり）

これは熱帯の風化の進んだ不活性の粘土に対しては腐植の荷電は相対的に比重が高く、腐植含量の増加に伴い分散性が高まるものと考えられる。一方、土壤腐植の含量が有機炭素含量3%以上になると、団粒形成能が高まり分散性が抑制されるために、上記、分散性のピークが生じたと考えられる。

また、さらに図28から分散性に土壤間差のあることも明らかに認められた。例えば、赤黄色および暗赤色ラトソルの分散性は明らかに他の土壤タイプより低い。従って、分散性についても腐植含量に加えて土壤の風化度が進めば粘土の分散性が低下する傾向がある。風化度、すなわち脱珪酸の進行は前述の団粒形成効果と、それに加えて CEC の低下や ZPC の上昇に示される表面、荷電の減少（すなわち不活性化）により粘土の分散を抑制すると考えられる。図28中腐植含量の少ない下層土に殆んど分散性を示さないものが見られるのは、明らかに粘土の不活性化によるものであろう。図29は水分散性粘土率と等電点の関係を示したものである。等電点の測定点数は少ないが、等電点の増大に伴い分散性が低下する傾向が認められた。等電点が高く、分散性もやや高い土壤は赤黄色ラトソルの2 m以深の、水の影響を受けたと思われる土層であり、水成的な oxic 層の性質については更に検討する必要がある。等電点については既に、化学性の項、図12および図13にて述べてきたように、等電点が高い程、土壤 pH (H₂O) に近く、凝集し易いこと、および、等電点は腐植の増加によって低下し、脱珪酸に伴って増大する傾向がある。従って、風化

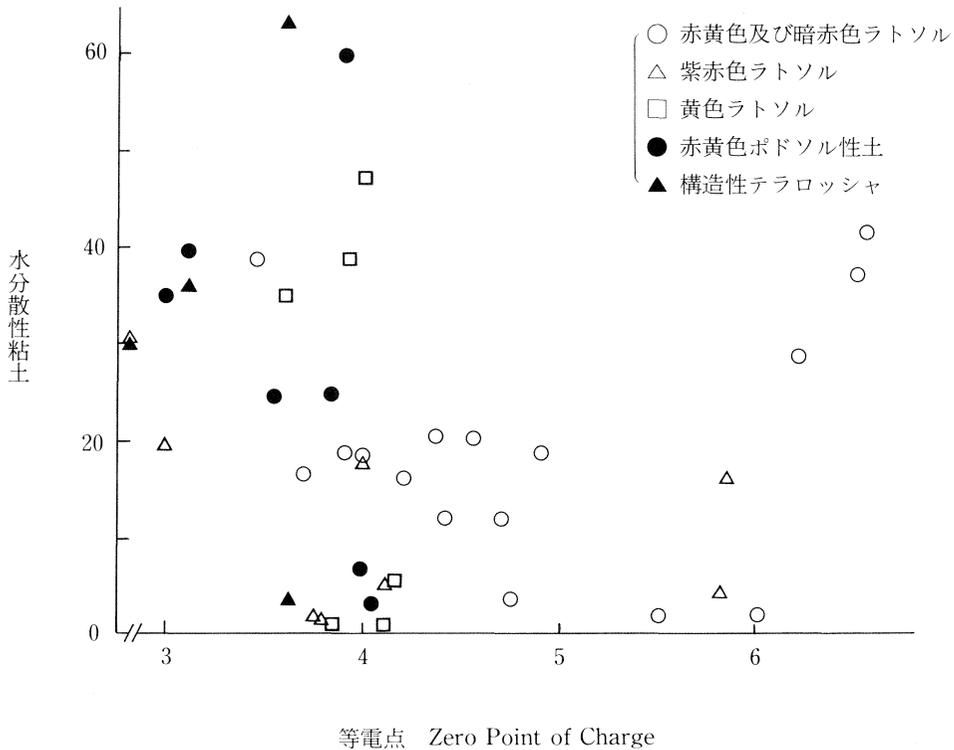


図29 分散性と等電点

が進んだ熱帯土壌では分散性は腐植含量と風化度の二要因により規制される表面荷電特性に関連して変化していると推察される。

更に、土壌粒子の表面荷電特性としての等電点は、当然のことながら石灰、磷酸資材、肥料の施用や耕作によって変動するものと考えられる。久保田ら（1983）は極めて風化したセラードのラトソル（オキシソル）について、連続耕作により水分散性の増大とマクロ団粒の低下を報告し、また、MONDARDOら（1979）は連続耕作によって紫赤色ラトソルの侵食係数（K）が低下することを認めている。これらにおいては、耕作によるマクロ団粒の破壊とそれによる分散性の増大と同時に、磷酸施用による等電点（ZPC）の低下あるいは石灰施用による pH（H₂O）の上昇と CEC の増大等の影響により、粘土の分散性が高まっていることが推察される。

(ii) 勾配、斜面長と土壌侵食

1982年末より1983年初めにかけて、ブラジルにおける夏作時期に例年になく多量の降雨があり、畑地は勿論のこと、道路、住宅地などにも激しい水食の被害がみられた。この時期の降水は播種時期にあたり、82年11、12月にそれぞれ約300mm、83年1月には400mmもの月間降雨量が記録された（ポツカツ、サンパウロ州）。そして、畑地における土壌侵食発生状況に、土壌間の差異が明瞭に観察されたので、ポツカツ近郊の農家圃場において、土壌侵食発生状況の実態調査を行った。調査した土壌は紫赤色ラトソル及び砂質赤黄色ラトソルである。調査地点の土壌の理化学性につ

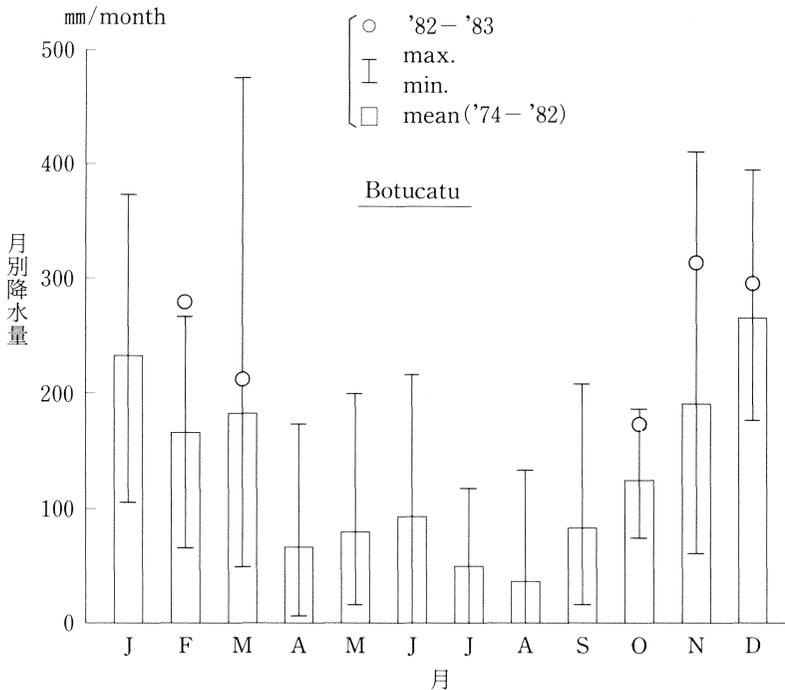
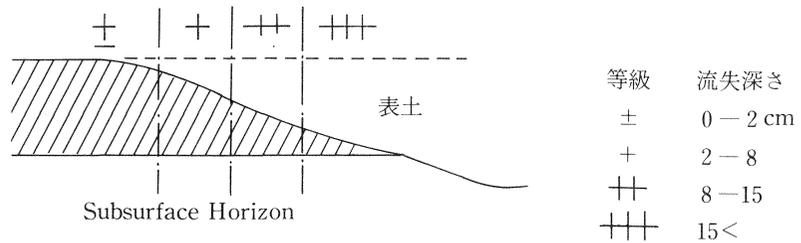
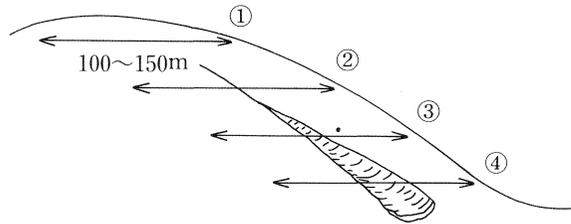


図30 降水量分布 ポツカツ

(1) 流失失程度の段階



(2) 圃場における歩測調査



(3) 流失土量の計算

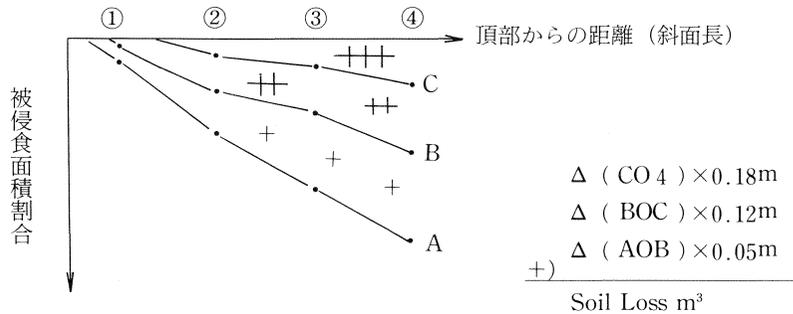


図31 土壤侵食の現地調査法

いては表-12のNo.1～4に示した。土壤侵食の調査方法は侵食の発生程度を、作土の削剝深さにより4段階に分け、各段階の発現割合を歩測により一斜面につき数ヶ所水平方向に100～150m歩いて測定した(図31参照)。

各土壤における侵食発生状況を一例づつ図32及び図33に示す。それによれば砂質土では勾配5%以下の斜面からリル侵食が発生するなど侵食が激しく、例示した畑地では一作期間に生じた侵食量は斜面全体を平均して深さ2.5cmに達すると推定された。他方、粘土質ラトソルでは勾配10%以上になってリルの発生が認められたが、その発達に対し等高畦、等高線耕作が効果的に機能していることも認められた。

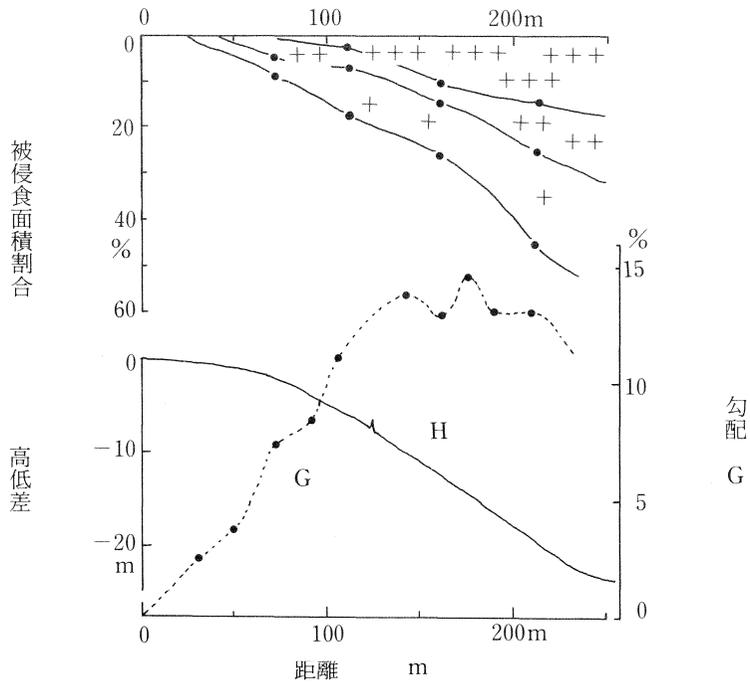


図32 砂質ラトソル大豆畑における土壌侵食発生状況
(1983—Feb. Faz. Tamura—12)

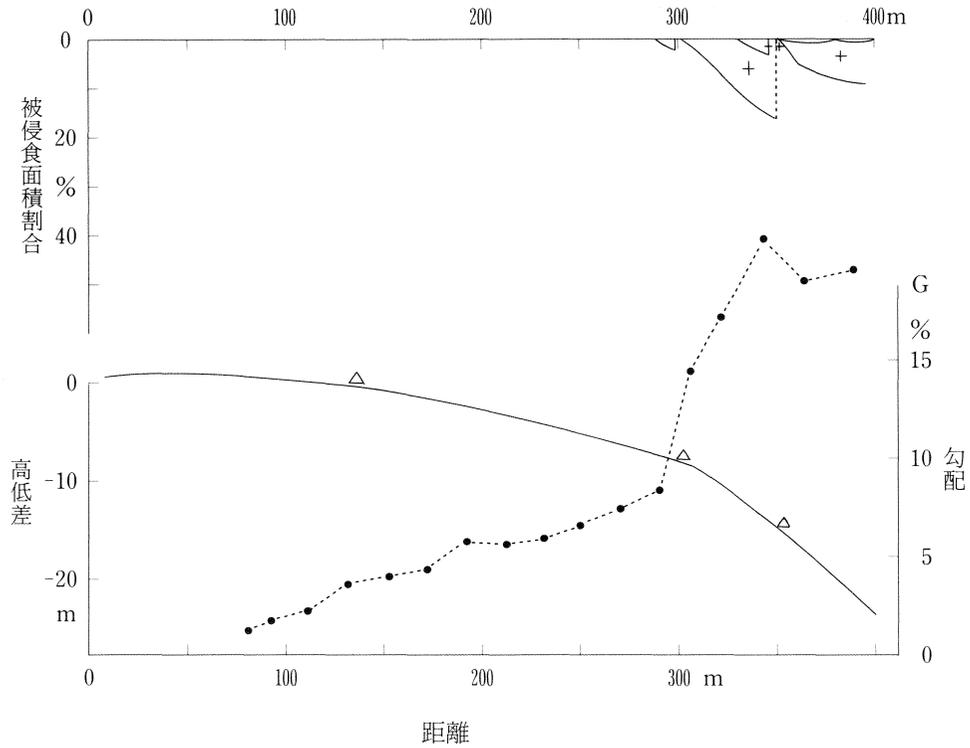


図33 紫赤色ラトソル大豆畑における土壌侵食
(1983—Feb, Faz. Tamura—4)

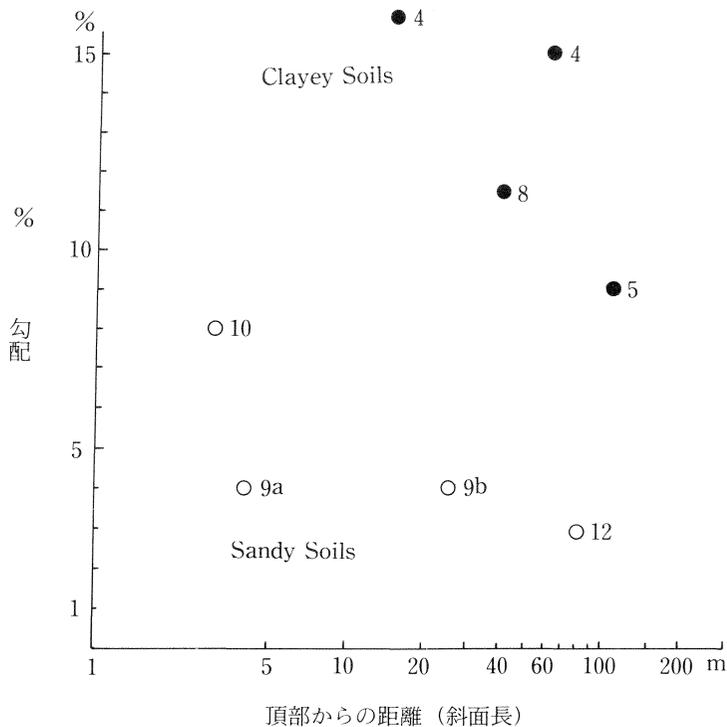


図34 斜面長、勾配とリル侵食の発生

図34はリルの発生と勾配、あるいは斜面長（この場合は上の等高畦からの距離）との関係を示した。その結果、砂質土ではリル侵食が勾配5%以内においても斜面長5m以内において生じているのに対し粘質土では勾配10%以上になって初めて発生していることが認められた。すなわち砂質土はより侵食を受けやすい。

従って、日本の畑地に対する傾斜度の分級基準値 3° （5%）、 8° （14%）および 15° （27%）は粘質土にはそのまま適合するが、砂質土については5%以下をクラス中位に、5%以上をクラス低とし、10%以上は畑作に不適であるとするのが適当であろう。

図35は同じ農場内の紫赤色ラトソルのコーン畑において、傾斜方向に沿う20地点について、作土深、全炭素含量及び、とうもろこし収量（畦6m長を坪刈り）を調査したものである。これは長期間畑作利用してきた斜面において、土壌侵食の累積程度とそれが作物生産に及ぼす影響を見ようとしたものである。

この調査の前提として開墾当初は斜面全体にわたって表土深がほぼ均一であったと想定している。これに関連して土壌が異なるが、開墾後2年目の新しい畑地（砂質土）において表土深が斜面方向にほぼ均一であることを確認しており、上記の想定は可能であると思われる。

図35に示した事例は畑作を17～18年継続してきた圃場であるが、斜面中腹部において表土深の

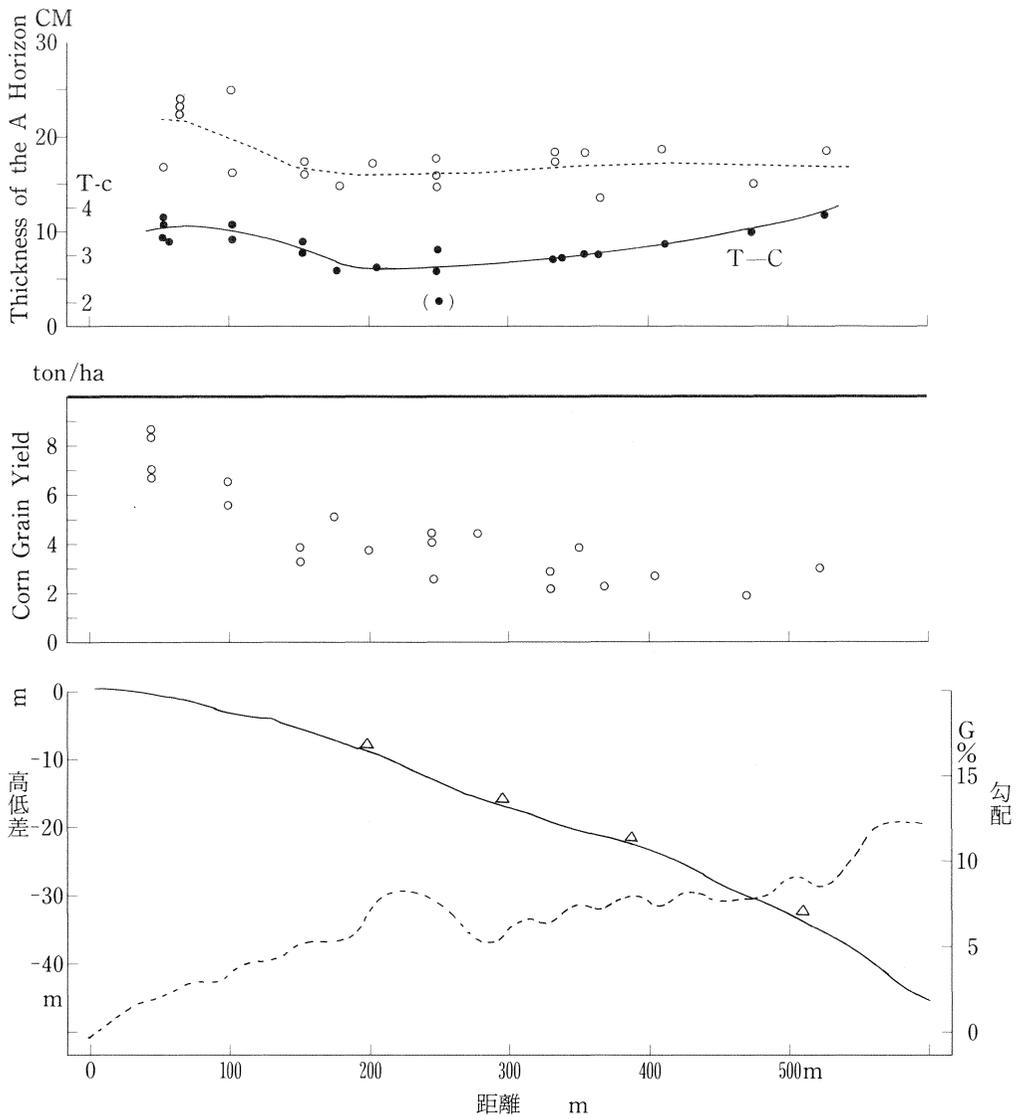


図35 傾斜した畑地（紫赤色ラトソル）における作土深・腐植含量の変化
(Faz. Tamura—5)

減少と下層土の混入による全炭素含有率の低下が明らかに認められた。また、トウモロコシ収量が斜面中、下部において著減しているが、これは、長雨による除草等管理の遅れによる影響もあったと思われる、全てが表土流亡による影響とすることは出来ない。

しかし、いずれにせよ、比較的土壤侵食の発生が少い紫赤色ラトソルの畑地においても5%以上の勾配があれば、やはり土壤侵食の影響を無視することは出来ないことが上記調査から結論される。さらに農地における土壤侵食発生状況の観察から、農場内の農道を走る水が農道そのものを破壊し、また、畑地に流れ込んでガリーを発生させていることが認められ、農道の配置と農道に沿う草生排水路を設置するなどの対策が必要と考えられた。

3) 物理性の特徴と土壤管理対策

次に土壤の物理性に関わる管理対策を述べる。まず、有効土層については、ごく一部の岩屑土を除いて1m以上の深さを持ち、排水性も良好でありこれらについて、特に対策は必要でない。

有効水分の保水性は、構造性テラロッシュなど土性B層を持つ土壤の一部に低いものがみられる他は、殆んどの土壤が中位クラスに属する。有効水分の保水性を直接的に増大させることは、客土あるいは多孔質資材の多量施用が必要であって現実的ではない。むしろ下層土の不良な化学性及び物理性を改良して根域の拡大をはかること、あるいは作物残渣マルチによって水の浸透貯留をはかることなど、現に土の持っている機能を十分に発揮させる対策がより实际的であろう。降雨分布が不安定なことからこれらの対策は土壤を問わず必要である。

易耕性、すなわち耕耘の難易度については日本の畑土壤分級では土性(粘土含量)、粘着性、風乾土の硬さおよび湿潤度(いずれも触感判定)によって総合判定されている。粘土含量についてはラトソルでは90%近い粘土含量であっても、団粒が発達して粘着性が小さく、高粘土含量がそのまま易耕性不良には結びつかない。当地帯の土壤で耕耘碎土に難を感じる土壤は、構造性テラロッシュと土性B層を持つ粘土質土壤の一部である。これらの土壤への対策としては、表土の保全をはかり、粘質な下層土の混入を出来るだけ避けること、および、有機物の施用が挙げられる。

土壤圧縮による物理性悪化は大型機械化農業では不可避の問題である。農耕地においてトラクタ等によってくり返し圧縮を受けた土層では、湿潤時土壤硬度(山中式)がどの土壤でも24mm前後(12kg/cm²)となる。赤黄色ラトソルおよび暗赤色ラトソルではそうした圧縮層でも透水性が10⁻³cm/sec台を維持し、マクロ孔隙量も多いことが認められた。その他の土壤では圧縮されると透水性は10⁻⁴cm/sec台以下に低下する。圧縮層の透水性と粗孔隙量から推定した圧縮性のクラス分けは表12に示したように、土性B層を持つ土壤は不良もしくは中位に、ラトソル性土壤は良もしくは中に分けられる。また、砂質土も細砂を主体に構成されており、圧縮により粗大孔隙が無くなり、乾燥亀裂発生も少ないことが問題である。圧縮土層への対策としては、サブソイラー、数年サイクルの深耕、あるいは緑肥作物の利用による根跡孔隙形成がある。

表13 物理性の分級

基準項目 要因 項目 土壌	表土の 厚さ	有効 土層	排水性	保水性		易耕性				圧縮性	耐食性				
				易 有効水	全 有効水	密度	粘着性	硬度	等級		浸透性	団粒性	分散性	地形 勾配	等級
赤黄色ラトソル	II	I	I	II	II-III	1	1	2	I	II-I	1	1	2-3	1	I
暗赤色ラトソル	II	I	I	II	II-III	1	1	2	I	II	1-2	1	2	1-2	I-II
紫赤色ラトソル	II	I	I	II	II-III	1	2	2	I	II-III	2	2	2-3	2	II
構造的 テラロッシュ	II	I	II	III	III-II	2-3	3	3	III	III	3	2	3	3	III
赤黄色 ポドゾル性土	II	I	I	III-II	III-II	2	2-3	3	II	III	2-3	2	3	3	III
土性B層赤色土	II	I	I	II-III	II-III	2	2-3	3	II	III	2-3	1	2-3	2	II
リンスマリリア型 ポドゾル化土	II	I	I	II	II-III	1	1	1	I	II-III	2	3	3	3-2	III
熱帯ポドゾル	II	I	II-III	III	III	1	1	1	I	II	3-4	4	3	2	III
砂質ラトソル	II	I	I	II	II	1	1	1	I	II-III	2	4	3	2-3	III
中位 (II) クラス の基準値	cm 15-25	cm 50-100	cm/sec 10 ⁻³⁻⁴	mm/40 cm >40	mm/40 cm >60	g/cc. 12-14	触感 判定	山中式 硬度mm 21-25		粗孔隙 % >10	cm/sec >10 ⁻³	$\phi >$ 0.25mm 30-55%	$\phi <$ 0.02% 10-30	G% 5-14	

I : 容易 II : やや難 III : 難 IV : 極めて難
1 : 容易 2 : やや難 3 : 難 4 : 極めて難

畑地における土壤侵食対策は当地域における（主に旧地域）畑土壤管理における最重要項目の一つである。各土壤の耐食性は浸透性（透水性）、団粒性、分散性および地形（勾配）から総合判断される。

まず、ラトソルは土壤の物理性が良好な上に、平坦もしくは微傾斜面に分布が多いことから、耐食性は大きいと判断されるが、傾斜部では、等高線栽培、等高畦や草生排水路の設置、あるいは永年作物栽培などの土壤保全対策がとられる必要がある。

構造的テラロッシュおよび赤黄色ポトゾル性土など土性B層を持つ土壤は元来透水性がラトソルより低い上に、さらに圧縮により低下し易く、また、地形的にも勾配のある地帯に多く分布している。従って、土壤保全対策はラトソルより重視される必要がある。永年作物や集約的な利用が望ましい。

砂質土壤群は、土粒子の結合性が弱く、分散率も大きく、耐食性が小さい。また、砂質土では斜面勾配の侵食性に対する評価は、粘質土より数段きびしくされる必要がある。即ち、勾配5%以上は不適（不良）であり、勾配10%以上は極めて不適となる。極めて不適なクラスでは、単年性作物の耕耘を伴う栽培は避ける必要がある。

また、水食を軽減し、耕耘エネルギーと時間を節減すると共に、土壤水分を有効利用することを目的として、不耕起栽培をブラジル畑作地帯に導入することが試みられてきた（IAPAR, 1981）。これまで不耕起栽培に関する解析的研究は少ないが、土壤の物理性は機械作業性、種子発芽および根の生育に重要な係わり合いを持っている。まず、機械作業、特に施肥播種作業に係わる最大の土壤物理性の問題は、表土がち密化し、重い直播用機でも土中に良く播種出来ない場合が生じることである。この点についてはラトソルや砂質土は砕け易く問題は少ないが、構造的テラロッシュでは乾燥に伴う硬化が著しく、圧縮土では pF 2.5付近で硬度 $15\text{kg}/\text{cm}^2$ を超え、 pF 4では $30\sim 40\text{kg}/\text{cm}^2$ となり、不耕起栽培畑では播種不良地の発生が観察されている（箱山、未発表）。また、種子の発芽には水分供給性と通気性が重要であり、根の伸長にはさらに硬さと構造が重要となる。水分供給性については易有効水分の多いラトソルや細砂質の砂質土が若干有利であるが、作物残渣マルチの条件下では土壤間差は緩和される。通気性と土壤硬度については不耕起栽培下では土壤圧縮は避けられず、前述のように土壤構造が問題となってくる。すなわち、ラトソルや砂質土のように小粒の団粒や砂粒からなり、碎易で均質化しやすい土壤では、圧縮されると pF 1.5以下の粗大孔隙が少なく、根はフィルター作用により伸長が制約を受け、また、通気性も阻害される可能性がある。他方、重粘土では圧縮された場合でも亀裂が発生し、粗土塊間の間隙が残されており、硬度の増大があっても根が下層へ伸長し得るとされている（渡辺ら、1987）。ブラジルではラトソルにおいて不耕起栽培試験が行われ、成功事例も多く報告されているが（TORRADOら、1984）、ラトソルにも物理性面で問題があり、構造的テラロッシュおよび砂質ラトソルでは一層物理性が問題となると考えられる。従って、これらの土壤において不耕起栽培を行うには、化学性の改良を充分に行って作物残渣マルチの材料を充分に確保し、場合によっては緑肥作物によりマルチ材と根による孔隙形成を計ること、また、深耕あるいは心土破碎の併用による圧縮土層の改

良対策等を考えてゆく必要がある。

5. 主要土壌の特徴と管理対策

ブラジル中南部において農業上重要度の高い畑土壌は赤黄色ラトソル、暗赤色ラトソル、紫赤色ラトソル、赤黄色ポドゾル性土、構造的テラロッシュおよび各種の砂質土である。これらブラジル土壌の特性については、既に千葉（1973）、三宅（1979）、三宅、中村（1981）、北川（1983）によってくり返し紹介されてきているので、ここでは主に土壌管理に関連した事項について、本研究において得られた調査結果に基づき若干の関連文献を参照しつつ述べることにする。参考にした文献の主なものはサンパウロ州土壌調査報告（Comissão do Solo, 1960）. CAMARGO, *et al.* (1984) . CARVALHO *et al.* (1983) . EITEN (1972) . QUEIROZ NETO (1982) . RODRIGUES *et al.* (1978) . SOMBRECK (1966) などである。

また、アマゾン地域の代表的土壌である黄色ラトソルについても比較のためにここに含めて述べることにする。

(i) 赤黄色ラトソル（セラード相）

当地域において重要な赤黄色ラトソルは中央高原のテーブル状高位台地面に分布するセラードの土壌である。第3紀の未固結堆積物を母材として、風化・溶脱が極度に進んだ低肥沃度の土壌であり、Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975) による典型的 Acric なOxisol である。塩基に欠乏しているが、pH は必ずしも低くなく、交換性 Al は僅かである。これは塩基交換容量が風化の進行に伴って著しく減少した為である。風化の進んだラトソルでは無機画分に塩基を保持する機能が殆んど無く、腐植画分の機能に依存する割合が大きい。従って、土壌中の有機物含量を量的、質的に維持・改善してゆくことは、欠乏している多量、微量養分の補給と共に土壌管理の基本事項といえる。塩基に欠乏しているが pH の低くない土壌は換言すれば緩衝力が極めて小さく、酸的性質の弱い土壌であり、オーバーライミングになり易い。こうした土壌に対してはブラジルでは 2 me/100ml (およそ炭カルで 1 ton/ha) の施用が良いとされている (RAIJ, 1981)。

この土壌は物理性にも非常に特徴がある。その第一は、極めて粘土含量が高い (80%以上) 場合でも膨軟かつ碎易で、透水性が良いことである。これらは微小団粒の発達によるものであるが、その発達は珩酸溶脱を伴う風化過程に関連していることが認められる。有効水分も 1 m 深で 150mm 前後含まれ、少ないとはいえない。従って、この土壌はテーブル状台地面が平坦であることと併せて、排水性、易耕性および耐食性に優れた物理性を持ち、大型機械化畑作に好適な条件に恵まれている。しかし、大型機械によって圧縮された場合には透水性は比較的高く維持されるが、通気性あるいは通根性が阻害され易く、深耕、心土破碎、深根性緑肥作物の導入等を必要に応じて行うことが大切である。また、過度の耕耘などによって腐植が減耗し、マクロ団粒が減少した場

合には、粘土の水分散性が増大し、耐食性が低下する可能性があり、簡易耕の導入や作物残渣の利用による有機物の補充が必要である

この土壤の多くは粗放な放牧地や植林地として利用されているが、近年拓かれたセラードの開拓地においてはテーブル台地の平坦部では大豆、小麦、トウモロコシ等の機械化栽培が行われ、傾斜部では等高線栽培が行われると共に、コーヒー等の永年作物が作付されるなど、土地利用に工夫がなされている。

(ii) 暗赤色ラトソル

このラトソルは土色が濃赤色 (2.5 YR ~10 R) を呈し、遊離酸化鉄が12~18%と多く含まれている。母材はパラナ盆地では細粒質堆積岩に由来する段丘堆積物であり、中央高原域では赤黄色ラトソルと同一の母材から排水性のより良好な部分に分布している。いずれも塩基の溶脱が進んでいるが、風化度 (脱珪酸) は中央高原に分布する暗赤色ラトソルの方が強く進んでいる。そのため、パラナ盆地地域の暗赤色ラトソルでは pH が4台と強酸性を示すのに対し、後者では pH がやや高くなっている。Soil Taxonomy では Haplic および Acric な Oxisol にそれぞれ相当している。

肥沃度は赤黄色ラトソル同様に低く、物理性は微小団粒が良く発達しており、膨軟碎易で透水性が良い。この土壤の利点は物理性が良好で地形が平坦から緩波状の台地に分布していることで、機械化畑作に適している。土壤管理対策は赤黄色ラトソルとほぼ同様である。サンパウロ州内ではサトウキビ、果樹、野菜の栽培が広く行われている。

(iii) 紫赤色ラトソル

この土壤は以前は真正テラロッシュと呼ばれ、コーヒー栽培に最適であるとされてきた。母材は主に玄武岩に由来する堆積物で、パラナ盆地内に、緩波状から微波状台地上に広く分布し、重要な農業地帯を作っている。

土壤断面の特徴は、暗赤色 (10 R -2.5 YR) で層間差の少ない土色と微小団粒の発達した膨軟碎易な物理性である。酸化鉄含有量は15~25% (粘土当り20%以上) と著しく多く、マグネタイトの砂粒を含んでいる。化学的な肥沃度は多くは中ないし低であるが、高肥沃度のものからセラードをなす極低肥沃度のものまで存在している。OLIVEIRA ら (1984) は紫赤色ラトソルの風化段階 (粘土鉱物の構成比、あるいはシリカ・アルミナ比を指標とする) と肥沃度が関連することを明らかにしている。塩基性岩は風化が進み易く、また、塩基性岩から生成した土壤の粘土も風化し易いものと推定される。従って、玄武岩の広く露出する地帯 (テラロッシュ地帯) では、ほぼ同一の母材から地形、堆積条件および水分環境によって、肥沃度と風化度が巾広く異なる土壤群が観察出来ることになる。

Soil Taxonomy では、Rhodic な Haplustox が主で、一部 Eutric あるいは Acric に分類されることになる。

農業利用する上での利点と欠点は暗赤色ラトソルとほぼ同様であるが、一般により肥沃である。また、緩傾斜面への分布も多いので侵食対策が必要である。コーヒー、サトウキビ、大豆、小麦等が多く栽培されている。

(iv) 黄色ラトソル

このタイプのラトソルはサンパウロ州では赤黄色ラトソル段丘相として、パライーバ川およびチエテ川の河岸段丘上に僅かに(0.7%)分布がみられるにすぎないが、アマゾン地域では台地(テラフィルメ)の代表的な土壌で20%の分布割合を占めている。この土壌の母材は低位の段丘面を被う更新世の未固結堆積物で、比較的若いラトソルである。シリカ・アルミナ比は1.5前後とラトソルとしては高い。他のラトソルと異なる主な点はまず微小団粒の発達が少なく、亜角塊状から角塊状構造を示し、仮比重もやや大きいことであり、また、B層の土色は褐色から黄褐色(7.5 YR ~10 YR⁽⁵⁻⁸⁾/₍₅₋₇₎)と淡色で遊離鉄含量も5%以下と少ないことである。

化学性は強酸性で溶脱が進み、CEC もかなり低い。また、燐酸にも著しく不足している。

トメアスーにて採取した黄色ラトソルは粘質で著しくち密であり、停滞水の影響による斑紋の形成等が浅い位置から認められた。これらの土壌においてはゴム、油やし、カカオ、コショウ、ガラナ、パパイヤ、時計草など各種熱帯作物が導入されている。

(v) 構造的テラロッシャ

玄武岩を母材とする肥沃度の高い土壌で、紫赤色ラトソルより下位の侵食面や河谷のように新鮮な母材が露出し易い所に分布がみられる。広範囲にわたる分布はパラナパネマ川など大きな河の広い谷底平野にみられる。この土壌の特徴は表層およびB₂層に小なしい中亜角塊状構造が発達し、とくにB₂層がち密で重粘であること、全層暗赤色を呈すること、および高い肥沃性である。しかし再堆積性で砂を多く混合している場合、あるいは紫赤色ラトソルへ移行しつつある構造的テラロッシャには肥沃度が低いものがみられる。石灰および苦土に富むものが多いが、カリあるいは可給態燐酸は比較的少ない。交換容量は7~15 meq/100g と他の熱帯土壌との比較では若干大きい。

Soil Taxonomy では Oxid Rhodustalf に相当し、FAO-unesco の分類では Eutric Nitosol に相当する。

この土壌の利点は第一にその肥沃性であるが、斜面に分布が多いことに加えて、B₂層はち密化し易く、表面流去水の発生に伴う表土流失が生じ易い。従って、土壌侵食対策に留意する必要がある。分布面積は少ないが農業上の重要度は大きい。

(vi) 赤黄色ポドゾル性土

この土壌は花崗岩、変成岩など酸性岩類を主な母材として、大西洋高原域の丘陵性斜面に分布が多い。断面形態の特徴は粘土の移動集積に伴って、土色や粘土含量あるいはち密度に層別の変

化がはっきりしていることである。とくにB₂層(土性B層)はややち密な角塊、角柱構造をなし、構造面に粘土被膜を持っている。肥沃性はラトソルよりは若干高いとされているが、塩基飽和度や交換容量が低く、強酸性で置換性アルミニウムも多い。ブラジルの土壤分類では高位カテゴリーでラトソルと分けられているが、その化学性は、特に下層土における塩基交換容量の顕著な減少や粘土の分散性低下など、ラトソル化しつつあると考えられる場合が多い。従って Soil Toxonomy では Oxic Haplustults に分類されるものが多いと思われる。

物理性はラトソルより透水性がやや低く、 $10^{-3}\sim 10^{-4}$ cm/sec 台を示し、さらに、圧縮によりち密化し易いので、傾斜面に分布が多いことと併せて、土壤侵食が大きな問題となる土壤である。

サンパウロの近郊では野菜、果樹など集約的な土地利用がなされている。

(vi) リンス・マリリア型ポドゾル化土

石灰および粘土で膠結されたバウルー砂岩(白亜紀)を母岩とする、一般には石灰に富み、粘土集積B層(土層B層)を持つ砂質の土壤である。分布は当然、バウルー砂岩に覆われた地域で、サンパウロ州では西部に多い。

この土壤は図4-cに示したように、石灰質砂岩の残丘斜面部に典型的に分布し、下位面の砂質暗赤色ラトソルに連続している(LEPSCH et al 1977)。斜面部では砂岩母材からなり直接的に土壤化し石灰分に富むポドゾル性土となっているのに対し、下位面は水に流された再堆積物を母材としているために、塩基類は溶脱されている。この両者の間には様々な塩基飽和度を持つポドゾル性土、ラトソルおよび中間型が存在している。代表断面に示したアレアウバ土壤は塩基溶脱が進み、ラトソルへの移行型と考えられる。

この種の土壤の利用上の問題点は砂質で勾配のある斜面に分布していることから、やはり土壤侵食である。かつて、サンパウロ州西部は大森林で被われていたが、開畑後、綿、コーヒー栽培に利用され、土壤侵食と地力収奪により、30~50年を経た現在、多くは放牧地として粗放的に利用されている。MIYAKE (1985) はバウルー砂岩に由来する土壤では、畑利用による地力の消耗が早いことを明らかにしている。

(vii) 砂質土

ここでは砂質土として、砂質赤黄色ラトソル、砂質暗赤色ラトソル、熱帯ポドゾルおよびレゴソル(砂土)を包括して述べることにする。ブラジルの土壤分類では、B層の粘土含量が15%以下の砂質土をレゴソルとし、砂壤土(SL)、砂質埴壤土(SCL)および砂質埴土(SC)の一部に属する粘土含量15~30%の土壤を各種ラトソルあるいはポドゾル性土の砂質相としている。バウルー砂岩に由来する砂質な高肥沃度ポドゾル性土はリンス・マリリア型として前項で述べた。

これら砂質土の母材は主にパラナ盆地内に堆積した中生代のボツカツ風成砂岩、カイウアー砂岩およびバウルー砂岩である。この他にもデボン紀の白色粗粒な砂岩、石炭紀の氷河成砂岩あるいはより古い原生代の砂岩層があるが、いずれも小面積である。

レゴソルの分布はサンパウロ州では0.9%と少ないが、ボツカツ砂岩を主母材としており、肥沃性が著しく低い上に、耐食性が極めて小さいので、分布地にはしばしば巨大なガリー侵食の発生がみられる。従って、畑地としての利用は難しく、放牧地あるいはユーカリなどの植林地となっている。

熱帯ポドゾルはブラジルでは赤黄色ポドゾル性土ララス型と呼ばれ、ボツカツ砂岩の下部層(ピランボイア層)に由来している。その生成には排水性が制限されるような条件が関連しているとされる(Comissão do Solo, 1960)。この土壌は砂質のA₁、およびA₂層を持ち、下層に腐植、粘土、三二酸化物の集積したち密で、透水性も低いB層を有している。従って、表土流失を生じやすく、また、肥沃度も低い。下層は特に強酸性で置換性アルミニウムが多い。原植生はカンポセラードである。サンパウロ州では3.5%の分布比を示し、放牧地および植林地として利用されている。

砂質赤黄色ラトソルは主にボツカツ砂岩およびデボン紀のフルナス砂岩を母材としている。砂質暗赤色ラトソルより一段と肥沃度が低く、多くはセラードで放牧地となっていることが多い。

砂質暗赤色ラトソルはサンパウロ州で分布が広く(20%)主に西部高原にみられる。母材は主にバウルー砂岩(粘土膠結性)とされている。(Comissão do solos, 1960)。その他にボツカツ砂岩等に玄武岩由来堆積物が混入して生成したと推定されるものもみられる。この土壌は溶脱や風化の程度に応じて比較的塩基に富み原植生は大森林であったものから、低肥沃でセラードとなっているものまで様々である。

しかし、これらの砂質土は多少肥沃であっても、耕作下では地力が低下し易い。土壌侵食防止と有機物補給並びに石灰や肥料の施用が必要である。

6. 要 約

本報では、ブラジル中南部の熱帯、亜熱帯乾雨期気候下にある畑作地帯の主要土壌についてその断面形態、化学的及び物理的諸特性について調査し、基本的な畑土壌管理対策について検討した。得られた結果の要約は次のとおりである。

(i) 当該地域は降水量1,000~1,700mm/年、3~6ヶ月間の乾期を有する熱帯あるいは亜熱帯・雨期気候帯に属し、ラトソル、土性B層を持つ土壌および砂質土が広く分布している。これらにおける基本的な土壌生成作用は塩基と珪酸の溶脱、すなわちラトソル化である。

(ii) 土壌の化学的肥沃度は母岩の種類、母材の堆積過程および溶脱と風化の程度によって変動していた。

(iii) 粘土画分のシリカアルミナモル比はpH、CEC、団粒の強度等基本的な化学・物理性と密接に関連しており、熱帯土壤の風化度の指標として適当である。

(iv) 土壌 pH はシリカ・アルミナモル比0.8~1.5において最も低く、交換性 Al も多いが、同比が0.7以下に低下すると CECが低下するなど土壌の酸的性質が弱くなるため pH はやや上昇する。

(v) 塩基交換容量はシリカ・アルミナ比の低下に伴って減少し、同比0.7以下では土壤中無機画分の塩基交換容量は極めて小さくなり塩基保持能は腐植の機能に依存している。

(vi) 土壌の等電点は風化度と腐植含量によって変動する。すなわち、風化の進行に伴って等電点 pH は高まる一方、腐植は等電点を低下させる。

(vii) 当地域に分布する主要土壤の多くは、有効土層深、排水性、易耕性に問題が少ないが、構造的テラロッシュあるいは赤黄色ポドゾル性土は、粘着性があり、ち密化し易く、易耕性および耐食性に問題が生じ易い。

砂質土はマクロ構造に欠け、収縮・膨潤活性も殆んど無く、圧縮によって浸透能や通根性が悪化する可能性が高い。

(viii) ラトソルは物理性が比較的良く、分布する地形も平坦もしくは緩傾斜地が多いので耐食性は大きい。しかし、ラトソルにおいても不適切な土壤管理によって、マクロ団粒が破壊され、減少した場合には、粘土の分散性が増大し、耐食性が低下する可能性がある。土性B層を持つ土壤の多くはち密化し易く、かつ傾斜面に分布が多いことから、侵食防止対策は特に重要である。また、砂質土では耐食性が最も小さく、勾配10%以上の斜面では耕耘を伴う畑作は避ける必要がある。

(ix) 不耕起栽培への適性については、圧縮土の透水性、硬度特性並びに膨潤・収縮活性より一応、ラトソル>土性B層土壤>砂質土の順であろうと考えられるが、通気、通根性も併せて、今後の調査が必要である。

謝 辞

本研究の遂行に際し熱帯農業研究センター本村悟前企画連絡室長(現日本土壤協会)、昆野昭晨、高橋達児前および現研究第一部長、岩田文男研究第二部長(現北海道農業試験場)および三宅正紀調査情報部長に助言、指導をいただいた。

現地ポツカツ大学においては、木本敏明、中川ジョン、Antenor Pasqual, Edimir Soares 各教授に多大な協力をいただいた。

また、ポツカツ日伯文化協会の田村豊秋、関屋竜夫両氏をはじめとする多くの方々に一方ならぬ援助をいただいた。

その他、熱研センター職員諸氏、及びポツカツ農大職員諸氏にも多くの援助、協力をいただいた。

さらに、農環研山崎慎一室長には分析法について御教示、御援助いただいた。

以上の方々に心から感謝申し上げます。

引用文献

- 1) BOULDIN, D.R. (1979) The influence of subsoil acidity on crop yield potencial. Cornell International Agriculture Bulletin 34, 3—17
- 2) Brasil, D.N.P.M. (1975) Carta geologia do brasil ao milionesimo. Folha Goiânia (SE-22)
- 3) Brasil, D.N.P.M. (1978) Carta geologia do brasil ao milionesimo. Folha Paranapanema (SF-22)
- 4) CANNELL, R.Q. (1985) Reduced tillage in north-west Europe, a review. Soil & Tillage Research, 5, 129—177.
- 5) CAMARGO, M.N. & T.E. RODRIGUES (ed.) (1979). Guia de Excursão, XVII Congresso Brasileiro de Ciências do Solo—Manaus, EM BRAPA.
- 6) CARVALHO, W.A., et al. (1983). Levantamento de solos da Fazenda Lageado. Faculdade de Ciências Agronômicas—UNESP, Botucatu.
- 7) 千葉守男 (1973) アマゾンの土壌と農業(1), 土肥誌, 44, 228—236.
- 8) Comissão do Solos (1960). Levantamento de reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, Bol. No. 12.
- 9) EDMON, N (1979). Climatologia do Brasil IBGE. Rio de Janeiro.
- 11) EITEN, G., (1972) The cerrado vegetation of Brazil. The Botanical Review, 38, 201—341.
- 12) ESPINDORA, C.R. (1979) Pedogenese em areas basalticas dereverso de cuestras no medio cruso do Rio Tiete. Fac. Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu—UNESP, Tese de Livre Docencia.
- 13) FAO—UNESCO (1971) Soil map of the world, 1 : 5,000,000, vol. IV South America.
- 14) 早坂 猛 (1985) セラード農業における土壌と水の管理, セラード農業の発展を考える, ブラジル農業研究協力事業第3次チーム, 15—31.
- 15) HERBILLON, A.J., et al. (1976) Iron in Kaolinite with special reference to Kaolinite from tropical soils. Clay Minerals, 11, 201—219
- 16) IAPAR (1981). Plantio direto no Estado do Paraná. Circular No. 23.
- 17) 岩佐 安 (1976) アマゾンにおける土壌と粘土鉱物に関する技術総合報告書, 国際協力事業団.
- 18) 岩田進午 (1982) 水田土壌の基礎知識, 水田土壌学, 山根一郎編, 農文協, 東京, p 40—57.
- 19) KAWASAKI, H., IWATA, F., and MESQUITA FILHO, M.V., (1985) Concentratation of soybean roots in uppermost layers of cerrado soils of Brazil. Japan Agric. Res. Quart., 18, 260—

- 20) 北川靖夫 (1983) アマゾン地域の自然—気候及び土壌を中心として—, 熱研資料, No. 62.
- 21) KITAGAWA, U., & MÖLLER, M.R.F., (1980) Kaolin minerals in the Amazon soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 26, 255—269.
- 22) 久保田徹, 他 (1983) セラードオキシゾルの圧密層によるダイズ根の伸長阻害, 土肥誌, 54, 389—395.
- 23) 久馬一剛 (1984) 熱帯の土壌, 国際農材業協力協会 (AICAF), 東京
- 24) LEPSCH, I.F., S.W. BUOL and R.B.DANIELS (1977) Soil-landscape relationships in the Occidental Plateau of São Paulo State, Brasil : I. Geomorphic surfaces and soil mapping units. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 41, 104—109.
- 25) LOPES, A.S. & F.R. COX (1977) A survey of the fertility status of surface soils under cerrado vegetation in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41, 742—747.
- 26) LOPES, A.S. (1983) Solos sob “cerrado”. Instituto Internacional da Potassa, Piracicaba. Brazil.
- 27) MACEDO, J. & R. B. BRYANT (1987) Morphology, Mineralogy, and genesis of a Hydrosequence of Oxisols in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, 690—698.
- 28) MIRANDA, L.N., J. MIELNICZUK & E. LOBATO (1982) Calagem e adubação corretiva. in *Simposio sobre o cerrado. EMBRAPA-CPAC. Brasilia.*
- 29) 三宅正紀 (1979) ブラジルの土壌, 熱研集報, No. 34, 24—31.
- 30) MIYAKE, M., 1986. Consideration on the evaluation of the fertility of Oxisols in Brazil. *Chemical Geology*, 60, 351—359.
- 31) 三宅正紀、中村昌介 (1981) ブラジル・サンパウロおよびパラナ州の土壌と農業調査報告, 熱研資料, No. 52.
- 32) 宮坂四郎 (1986) ブラジルの緑肥について, 熱帯農業, 30, 41—49.
- 33) MONIZ, A.C. & S.W. BUOL (1982) Formation of an Oxisol-Ultisol transition in Sao Paulo, Brazil : I. Double-water flow model of soil development. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46, 1,228—1,233.
- 34) 農水省農蚕園芸局 (1979) 日本の耕地土壌の実態と対策, 土壌保全事業全国協議会
- 35) 農林省農林水産技術会議 (1962) 畑土壌調査, 区分および分級の方法.
- 36) 小川和夫 (1985) 熱帯畑土壌の肥沃度に関する研究—タイ—, 畑土壌の理化学的性質, 熱研集報, 50, 15—26.
- 37) OLIVEIRA, J.B. & J.R.F. MENK (1984) Latossolos roxos estado de Sao Paulo. *B. Tecn. Inst. Agron. Campinas*, No. 82 Campinas.
- 38) 鬼鞍豊 (1985) 土壌・水質・農業資材の保全, 日本土壌肥料学会, 博友社
- 39) OHONO, Y. & L. A. OKUYAMA., 1982. Phosphorus nutrition affecting upland rice yield in

- some Brazilian Latosols. Trop. Agric. Res. Ser., T.A.R.C. (Trop. Agric. Res. Cent.), 15, 321 — 332.
- 40) QUEIROZ NETO, J.P. (1982). Solos da região dos cerrados e suas interpretações. R. bras. ci. Solo 6, 1 — 12.
- 41) RAIJ, B. van (1981) Avaliação da Fertilidade do solo. Instituto da Potassa e Fosfato : Instituto Internacional da potassa. Piracacaba.
- 42) ランツァーニ, G. (1977) ブラジル・セラードの土壤, セラードに関するシンポジウムⅢ抄訳, 熱研資料, 38, 31 — 56.
- 43) RODRIGUES, T.E. & K. KLAMT (1978) Mineralogy and genesis of a sequence of a soils at the federal district. R. bras. ci. Solo, 2, 132 — 139.
- 44) SANCHEZ, P.A. (1976). Properties and management of soils in the tropics. Wiley, New York.
- 45) SOARES, E. & L.T. Büll (1982) Fertilidade dos solos do estado de São Paulo, Faculdade de ciências agrônômicas, UNESP (mimeographed)
- 46) Soil survey staff (1975). Soil Taxonomy. U.S. Dept. Agric. U.S. Govt. Printing office, Washington.
- 47) SOMBROEK, W.G. (1966). Amazon Soils, Center for Agricultural Publications and Documentation. Wageningen.
- 48) TANAKA, A., et al. (1984) The Oxisol-Ultisol area of the Amazon river system. Faculty of Agriculture, Hokkaido University. Sapporo.
- 49) TORRADO, P.V. & R.R. ALOISI (1984). Plantio direto no Brasil Fundação Cargill, Campinas.
- 50) 坪井一郎 (1974) ブラジルの土壤, 南米農業要覧, 176 — 201, 全国農業改良普及協会.
- 51) UEHARA, G. & G. GILLMAN (1981) The mineralogy, chemistry, and physics of tropical soils with variable charge clays. pp. 141 — 152. Westview Press. Colorado
- 52) WAMBEKE, van, (1974). Management properties of Ferralsols. Soil Bulletin 23, FAO, Rome.
- 53) 矢部正行 (1982) ブラジルの農業, 22 — 59. 国際農林業協力協会.
- 54) 渡辺治郎, 西宗 昭, 小川和夫, 石田 博, (1987) 重粘性土壤における簡易耕の導入, 北農試験研究報, 148, 139 — 156.

付表一 1 土壌断面、物理性および化学性分析データ

No.13 サンゴタルドー10
 分類 赤黄色ラトソル (LVA)
 ブラジル Latossolo Vermelho Amarelo
 F A O Acric Humic Ferralsols
 U S D A Acrustox
 調査地 ミナス州 サンゴタルド市コチア農協実験農場
 母材 第三紀末固結堆積物 (変成岩類由来、カシヨエイリニヤ層)
 地形 平坦な高位台地面 (平坦中央部)
 排水性 やや良 地下2 mに停滞水による影響あり。
 侵食性 極めて僅か
 土地利用 調査地点はカンポセラード未墾地、隣接地は大豆、小麦畑。

断面記載

A 1	0	—	9 cm	褐色 (7.5Y R4/5)、埴土、腐植含む、強度小粒ないし極小粒状構造、極めて碎易、層界平坦判然、
A 3	9	—	27cm	明褐色 (7.5Y R5/6) 重埴土、腐植あり、強度極小粒状構造、ややち密、層界平坦漸移、
B 21	27	—	50cm	明褐色 (7.5Y R5/7)、強度極小粒状構造、中粒状土塊を含む、膨軟、層界平坦漸移、
B 22	50	—	130cm	明褐色 (7.5Y R5/8)、強度極小粒状構造、膨軟、層界平坦漸移、
B C	130	—	165cm	明褐色 (7.5Y R5.5/8) 中度中垂角塊状及び強度極小粒状構造、
C	165cm—			明褐色 (7.5Y R5.5/8) 明黄褐雲状斑含む、重埴土、中度中垂角塊状及び小粒ないし極小粒状構造。

物 理 性

Hori- zon	Depth cm	Bulk densi- ty g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water perme- ability cm/s.	Macro poro- sity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hard- ness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
A ₁	0— 9	0.80	29.9	4×10^{-3}	32.3	33.0	28.6	26.1	21.4		18
B ₁	9— 27	0.95	35.3	2×10^{-2}	20.9	38.1	30.6	28.0	24.5		19.5
B ₂₁	27— 50	0.95	35.3	8×10^{-3}	19.5	37.3	31.2	28.8	24.9	1,003	19
B ₂₂	50—130	0.90	33.0	6×10^{-3}	17.5	41.5	29.8	27.1	23.5	1,002	17
BC	130—165	1.11	40.8								
C	165—270	1.23	45.3							1,013	
C _{1g}	270—400	1.45	53.3							1,004	
C _{2g}	400—	1.52	55.9							1,001	

No.13 São Gotardo—10 (Red Yellow Latosol, LVA, Cerrado)

Hori- zon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real densi- ty g/cc	Total C %	Total N %	C/N
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %					
A ₁	0— 9	2.2	1.7	3.7	92.4	14.9	2,670	2.95	0.183	16.1
A ₃	9— 27	1.6	1.6	1.6	95.2	11.5		2.14	0.138	15.4
B ₂₁	27— 50	1.4	1.4	3.2	94.0	17.6	2,688	1.59	0.101	15.7
B ₂₂	50—130	1.2	1.2	4.2	93.4	1.7	2,718	1.19	0.066	15.8
B ₆	130—165	0.1	0.9	12.7	86.3	25.0		0.71		
C ₁	165—270	0.1	1.1	11.7	88.1	36.7		0.52		
C _{2mo}	270—400	0.1	0.8	3.6	95.5	35.2				
C _{3g}	400—	0.1	0.2		26.9	1.6				

Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
			← meq/100g →								
0— 9	5.4	4.2	0.73	0.57	0.21	0.85	1.63	2.36	7.06	23.1	0.56
9— 27	5.6	4.5	0.33	0.35	0.16	0.51	1.02	1.35	4.52	22.6	0.22
27— 50	5.7	4.9	0.15	0.30	0.12	0.21	0.63	0.78	2.68	23.5	0.16
50—130	5.9	5.9	0.12	0.62	0.15	0.09	0.86	0.98	1.86	46.2	0.07
130—165	6.1	6.3	0.08	0.42	0.17	0.01	0.60	0.68	0.29	100<	
165—270	6.3	6.8	0.12	0.21	0.04	0.03	0.28	0.40	0.17	100<	0.09
270—400	6.0	6.7	0.08	0.21	0.33	0.06	0.60	0.68	0.54	100<	
400—	6.3	6.2	0.12	0.31	0.12	0.08	0.51	0.63	0.79	64.6	

Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorp- tion of P ₂ O ₅ mg/100g
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)		
0— 9	10.70	3.96	26	4.3	44.4	14.6	0.164	192.8	1185
9— 27	11.02	3.94	26					209.0	1130
27— 50	11.30	3.82	19	4.1	43.8	14.1	0.159		
50—130	11.79	2.86	16	3.9	44.5	14.5	0.149	122.0	1085
130—165	11.44	3.62	4						
165—270	10.37	1.58	8	3.8	44.7	14.4	0.144	118.6	1020
220—400	10.69	1.59	8	12.6	43.5	13.0	0.492		
400—	11.33	1.64	16	27.4	35.1	9.8	1.325	93.3	315

No12 São Gotardo— 1 (Red Yellow Latosol, LVA, cultivated field)

Hori- zon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real densi- ty g/cc	Total C %	Total N %	C/N	
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %						
AP ₁	0—12	2.5	2.0	4.8	90.7	14.9	2,743	2.87	0.155	18.5	
AP ₂	12—21	1.7	1.9	4.0	92.4	7.7		2.85	0.147	19.4	
B ₂₁	21—33	1.7	2.0	0	96.8	19.6	2,731	2.10	0.099	20.2	
B ₂₂	33—52	1.4	1.9	2.3	94.4	11.2		1.85	0.084	22.0	
B ₂₃	52—80	1.7	1.6	0.4	96.3	19.6	2,777	1.54	0.072	21.4	
Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
←----- meq/100g -----→											
0—12	6.1	5.2	0.11	4.42	0.97	0.61	6.00	6.11	9.56	62.8	1.44
12—21	6.3	5.3	0.15	4.61	1.02	0.37	6.00	6.15	9.42	63.7	0.60
21—33	5.7	4.8	0.26	1.74	0.47	0.31	2.52	2.78	6.24	40.4	0.20
33—52	5.6	4.7	0.26	1.09	0.22	0.21	1.52	1.78	4.72	32.2	0.20
52—80	5.2	4.9	0.18	0.97	0.17	0.21	1.35	1.53	4.01	33.7	0.32
Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorp- tion of P ₂ O ₅ mg/100g		
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)				
0—12	15.40	4.73	26	5.2	41.8	17.7	0.213	222.0	1145		
12—21	15.49	5.51	26					193.1			
21—33	17.38	5.70	26	5.3	41.6	17.5	0.216		1230		
33—53	16.56	5.72	26								
52—80	16.08	5.62	19								

No12 São Gortardo— 1 (Red Yellow Latosol, cultivated field)

Hori- zon	Depth cm	Bulk densi- ty g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water perme- ability cm/s.	Macro poro- sity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hard- ness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
AP ₁	0—12	0.72	26.3	1 × 10 ⁻²	30.3	34.6		21.5	17.7		8
AP ₂	12—21	1.00	36.4	5 × 10 ⁻³	8.6	47.6	32.5	29.7	24.4		22.5
B ₂₁	21—33	1.04	37.9	5 × 10 ⁻³	9.4	45.7	34.2	31.7	28.9	1,001	24.0
B ₂₂	33—52	1.06	38.7	3 × 10 ⁻³	11.9	44.0	36.3	33.2	30.1	1,006	22.8
B ₂₃	52—	0.94	34.0	8 × 10 ⁻³	16.8	41.8	32.0	29.5	27.3	1,003	20.4

No.14

イタペチニンガ

分類

暗赤色ラトソル (LE)

ブラジル名 Latossolo Vermelho Escuro

FAO Humic (Acric) Ferralsols

USDA Haplustox

調査地点

サンパウロ州 イタペチニンガ市

母材

頁岩及び氷河性堆積岩 由来堆積物

地形

緩波状台地

排水性

良

侵蝕性

僅

土地利用

調査地点はユーカリ植林地、周辺では草地、サトウキビ、果樹等の栽培が広く行なわれている。

断面記載

A 1	0	—	10cm	暗赤褐色 (2.5Y R3/4)、重埴土、腐植含む、中度小粒状及び小亜角塊状構造、碎易、層界平坦判然、
B 1	10	—	40cm	暗赤褐色 (10R3.5/3)、重埴土、中度中ないし小亜角塊状及び弱角柱状構造、碎易、やや堅密、層界平坦漸移、
B 2	40	—	75cm	暗赤色 (10R3/4) 重埴土、腐植含む、弱度、小亜角塊状、及び強極小粒状構造、極めて碎易、層界平坦漸移、
B31	75	—	120cm	暗赤色 (10R3/6)、膨軟、強度極小粒状構造、層界漸移
B32	120	—	180cm	暗赤色 (10R3.5/6)、膨軟、強極小粒状構造。

物 理 性

Horizon	Depth cm	Bulk density g/cc	Solid vol. ratio vol. %	Water permeability cm/s.	Macro porosity vol. %	Water content vol. %				COLE	Soil hardness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
A ₁ (P)	00— 10	0.96	36.7	7×10^{-3}	13.6	41.1	29.7	26.5	21.6		
B ₂₁	10— 40	0.88	34.0	2×10^{-2}	16.6	41.5	31.0	28.5	24.3	1,001	23
B ₂₂	40~ 75	0.86	33.0	2×10^{-2}	22.7	36.6	28.9	27.1	23.8		19
B ₂₃	75—120	0.91	35.0	5×10^{-3}	21.8	39.5	31.2	29.3	25.9	1,025	19
B ₂₄	120—180	0.86	33.4	9×10^{-3}	19.0	42.7	35.9	33.3	28.4	1,025	18

No.14 Itapetininga (Dark Red Latosol, LE)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N	
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %						
A ₁	0— 10	3.0	9.9	6.2	80.9	14.9	2,611	2.58	0.147	17.6	
B ₁	10— 40	2.6	9.1	4.9	83.4	15.2	2,591	2.02	0.102	19.9	
B ₂	40— 75	2.3	8.9	4.8	84.0	22.6		1.45	0.074	19.6	
B _{3₁}	75—120	2.1	9.0	3.5	85.4	3.0	2,579	1.08	0.054	20.1	
B _{3₂}	120—180	2.2	9.4	5.0	83.4	7.2		0.93	0.046	19.5	
Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
←----- meq/100g -----→											
0— 10	4.8	3.9	2.86	0.61	0.30	0.14	1.05	3.91	9.88	10.6	0.21
10— 40	4.8	4.0	2.48	0.35	0.16	0.06	0.57	3.05	9.01	6.3	0.03
40— 75	4.9	4.1	1.63	0.50	0.14	0.03	0.67	2.30	6.96	9.6	0.02
75—120	4.8	4.3	0.82	0.15	0.10	0.02	0.27	1.09	5.19	5.2	0.02
120—180	4.8	4.6	0.25	0.15	0.10	0.02	0.27	0.52	4.03	6.7	0.01
Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g		
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)				
0— 10	12.44	3.45	26		35.7	16.1		81.9			
10— 40	13.33	2.96	26	19.8	36.4	15.5	0.92	60.2	1055		
40— 75	14.48	2.87	26		36.4	15.9					
75—120	13.07	3.14	32						1120		
120—180	13.64	3.37	26	19.2	35.1	15.8	0.93				

No15 Maristela—2 (Dark Red Latosol, LE)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2—0.05 %	silt 0.05—0.002 %	clay 0.002> %					
A _p	0—15	3.9	21.0	16.4	58.7	11.7		1.42	0.102	13.9
B ₁	15—35	3.1	17.5	13.3	66.1	25.5		1.20	0.087	13.8
B ₂₁	35—65	3.0	17.4	14.1	65.5	16.1		1.25	0.076	16.5
B ₂₂	65—98	1.6	17.0	17.5	64.5	27.7		1.15	0.080	14.5
B ₃₁	98—140	2.8	18.9	12.3	66.0	16.2		0.86	0.054	16.0
B ₃₂	140—220	2.7	19.6	16.3	62.1	0		0.56	0.040	13.8
B ₃₃	220—270	2.9	20.2	14.1	62.8	1.3		0.39	0.030	13.3
B ₃₄	270—	3.2	19.0	11.5	66.3	0.4		0.39	0.030	13.3

Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ + H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
0—15	4.9	3.7	2.48	0.72	0.28	0.12	1.12	3.60	6.56	17.1	0.26
15—35	4.8	3.7	2.56	0.52	0.08	0.09	0.69	3.25	6.59	10.5	0.16
35—65	4.9	3.7	3.04	0.46	0.08	0.05	0.59	3.63	6.46	9.1	
65—98	4.9	3.8	2.92	0.46	0.08	0.06	0.60	3.52	7.40	8.1	
98—140			2.64	0.26	0.06	0.08	0.40	3.04	5.99	6.7	
140—220			2.08	0.10	0.04	0.09	0.23	2.31	4.79	4.8	
220—270			1.08	0.15	0.10	0.21	0.46	1.54	3.10	14.8	
270—			0.80	0.05	0.04	0.20	0.29	1.09	3.02	9.6	

Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay					Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) / (Al ₂ O ₃)			
0—15	8.18	1.26	8						88.7	490
15—35	8.88	1.22							90.3	605
35—65	9.10	1.30	—							
65—98	9.54	1.57	—							
98—140	9.96	1.50	—							
140—220	9.74	1.59	—							
220—270	9.23	0.27	—							
270—	10.35	0.50	—							

№15 Maristela— 2 (Dark Red Latosol, LE)

Hori- zon	Depth cm	Bulk densi- ty g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water perme- ability cm/s.	Macro poro- sity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hard- ness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
AP	0— 15	1.29	49.5	6×10^{-3}	9.3	36.7	31.0	27.4	22.4	1.018	23
B ₂₁	15— 50	1.13	43.5	7×10^{-3}	15.7	36.6	29.0	25.9	22.0		21
B ₂₂	50— 70	1.06	40.8	8×10^{-3}	15.3	37.4	27.6	24.5	21.0		20
	70— 98	1.04	40.0	9×10^{-3}	17.6	37.1	26.9	23.6	20.1		20
B ₂₃	98—140	0.99	37.9	1×10^{-2}	21.0	34.7	24.7	21.9	19.0	19	
B ₂₄	140—220	0.98	37.5	9×10^{-3}	19.4	36.3	24.8	21.7	18.8	18.5	

No23 ラジアード 2

分類 紫赤色ラトソル

ブラジル名 Latossolo Roxo alico

F A O Rhodic Ferralsols

U S D A Rhodic Haplustox

調査地 サンパウロ州 ボツカツ市 ラジアード農場

母材 主に玄武岩

地形 緩波状から波状台地

排水性 良好

侵蝕性 弱度の表層侵蝕あり

土地利用 調査地点は草地、周辺ではコーヒー、サトウキビ、一般畑作に広く利用されている。

断面記載

A P	0	—	10cm	暗赤色 (10Y R3/3.5) 重埴土、中度小粒及び小亜角塊状構造、碎易、層界平坦明瞭、
B21	10	—	33cm	暗赤色 (10Y R3/5) 重埴土、中度小粒及び小亜角塊状構造、碎易、層界漸移、
B22	33	—	50cm	暗赤色 (10R3/4) 重埴土、強度極小粒状及び弱度小亜角塊状構造、極碎易、根含む、層界平坦判然、
B23	50	—	60cm	暗赤色 (10R3/3.5) 腐植を含む、強度極小粒状構造、極碎易、根含む、層界平坦判然、
B24	60	—	98cm	暗赤色 (10R3/4) 強度極小粒状構造、極碎易、根含む、層界漸移、
B25	98	—	180cm	暗赤色 (10R3/4) 強度極小粒状構造、極碎易、根あり、層界漸移、
B31	180	—	220cm	明赤褐色、強度極小粒状構造。

物 理 性

Hori- zon	Depth cm	Bulk densi- ty g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water perme- ability cm/s.	Macro poro- sity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hard- ness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
A ₁ (P)	0—10	1.04	35.3	5×10^{-3}	29.7	33.0				1,020	17
B ₂₁	10—33	1.33	44.2	3×10^{-3}	12.7	37.8					24
B ₂₂	33—50	1.03	34.4	5×10^{-3}	18.8	39.5					18
B ₂₄	60—98	1.06	35.3	2×10^{-3}	18.2	39.7					16
B ₂₅	98—135	1.18	39.3	3×10^{-4}	11.0	43.6					16.5
B ₂₆	135—180	1.08	36.0	9×10^{-4}	11.3	43.9					17.5
B ₂₇	180—230	1.15	38.2	8×10^{-4}	11.7	42.9				1,029	16

No23 Faz. Lageado—2 ("Roxo" Latosol, LR, grass land)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2—0.05 %	silt 0.05—0.002 %	clay 0.002> %					
A ₁ (P)	0—10	12.5	22.8	14.1	50.6	9.8	2,909	3.31	0.203	16.3
B ₂₁	10—33	11.8	23.7	16.3	48.2	16.6	2,923	1.82	0.136	13.4
B ₂₂	33—50	10.1	20.4	14.7	54.9	9.5		1.31	0.098	13.3
B ₂₃	50—60	9.8	20.7	16.3	53.2	18.1		1.49	0.079	18.8
B ₂₄	60—98	10.0	21.6	10.6	57.8	2.9	2,920	1.00	0.066	15.3
B ₂₅	98—135	9.2	22.5	11.0	57.3	13.1		1.04	0.055	18.8
B ₂₆	135—180	9.4	22.3	10.8	57.5	19.8		1.04	0.060	17.6
B ₂₇	180—	10.4	22.0	10.2	57.4	8.8		0.77	0.045	17.1

Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
	←----- meq/100g -----→										
0—10	5.4	4.4	0.64	3.33	0.98	0.18	4.49	5.13	10.12	44.4	0.89
10—33	5.2	4.2	1.75	0.83	0.28	0.09	1.20	2.95	6.27	19.1	0.36
33—50	4.9	4.3	1.91	0.46	0.12	0.04	0.62	2.53	5.81	10.7	0.41
50—60	4.9	4.3	2.19	0.66	0.12	0.05	0.83	3.02	7.04	11.8	0.36
60—98	4.9	4.3	1.61	0.66	0.12	0.03	0.81	2.42	4.90	16.5	0.39
98—135	5.2	4.3	1.66	0.35	0.10	0.03	0.48	2.14	5.79	8.3	0.22
135—180	5.1	4.2	1.62	0.15	0.02	0.02	0.19	1.81	6.24	3.0	0.24

Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) / (Al ₂ O ₃)		
0—10	14.93	1.97	52		31.2	23.8		177.6	725
10—33	16.13	2.13	32	15.6	30.9	23.3	0.86	173.4	745
33—50	17.95	2.49	45						
50—60	18.27	2.43	45						
60—98	17.58	4.21	39	14.9	31.1	23.8	0.81		795
98—135	16.95	2.30	32						
135—180	17.11	2.26	39		31.1	24.0			
180—	16.03	2.49	39		31.7	23.8			

No20 Guaíra—1 (Roxo Latosol, cultivated)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N	
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002 %						
AP ₁	0—5	6.9	16.9	12.1	64.1	14.4		1.78	0.110	16.2	
AP ₂	5—23	5.4	14.4	12.4	67.8	0.1		1.36	0.077	17.7	
B ₂₁	23—35	6.5	12.7	8.6	72.2	0.8		1.14	0.057	20.0	
B ₂₂	35—70	6.7	12.6	6.6	74.1	11.7		0.97	0.052	19.4	
Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
← meq/100g →											
0—5	6.6	5.5	0.08	3.71	1.21	0.17	5.09	5.17	6.14	82.9	0.70
5—23	6.0	5.4		1.48	0.67	0.08	2.23	2.23	2.80	79.6	0.14
23—35	6.0	5.4		1.05	0.49	0.07	1.61	1.61	1.89	85.2	0.13
35—70	6.0	6.2		0.53	0.25	0.03	0.81	0.81	1.32	61.4	
Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g		
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)				
0—5	21.11	0.39	33	8.5	34.7	26.6	0.42	189.0			
5—23	20.38	3.92	25					116.9	1075		
23—35	20.74	2.07	25								
35—70	20.36	2.69	25	8.4	34.7	26.0	0.41				

No20 Guaíra—1 ("Roxo" Latosol, cultivated field)

Horizon	Depth cm	Bulk density g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water permeability cm/s.	Macro porosity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hardness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
AP ₂	5—22	1.23	41.1	1 × 10 ⁻³	6.6	43.2	33.3	31.1	25.2		25
B ₂₁	22—35	1.28	42.9	4 × 10 ⁻⁴	7.2	45.2	36.5	34.2	27.9		25
B ₂₂	35—70	1.12	37.3	3 × 10 ⁻³	11.3	41.2	32.5	30.7	27.9		20
B ₂₃	70	1.03	34.3	5 × 10 ⁻³	12.6	40.8	30.8	29.2	25.5		17.5

No21 Soil Guafra— 2 ("Roxo" Latosol, cultivated)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2—0.05 %	silt 0.05—0.002 %	clay 0.002> %					
AP	0—12	4.4	9.1	13.7	72.8	22.4		1.44	0.094	15.3
B ₁	12—30	3.8	9.2	15.0	72.0	22.0		1.10	0.064	16.1
B ₂₁	30—50	3.4	9.0	11.0	76.6	4.9		0.86	0.063	13.5
B ₂₂	50—67	3.8	8.9	9.9	77.4	0.1		0.80	0.056	14.3
B ₂₃	67—	3.8	8.0	8.5	79.7	3.7		0.70	0.044	19.5

Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ + H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base sat. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
	← meq/100g →										
0—12	7.6	6.5	0	5.26	2.07	0.69	8.02	8.02	5.98	134.1	0.21
12—30	7.2	6.4	0	2.79	1.36	0.09	4.24	4.24	3.43	123.6	0.16
30—50	6.7	6.3	0	1.44	1.34	0.06	2.84	2.84	2.47	115.0	
50—67	6.6	5.8	0	0.62	0.95	0.06	1.63	1.63	2.18	74.8	
67—	5.6	5.8	0	0.62	0.38	0.03	1.03	1.03	1.85	55.7	

Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) / (Al ₂ O ₃)		
0—12	25.25	0.39	65	10.1	32.3	26.2	0.531	165.0	
12—30	24.78	0.59	37					140.1	805
30—50	25.23	1.24	57						
50—67	24.84	0.42	57					123.5	
67—	24.84	0.65	57	10.6	32.5	26.8	0.553		

No21 Guafra— 2 ("Roxo" Latosol, LR)

Horizon	Depth cm	Bulk density g/cc	Solid vol. ratio vol. %	Water permeability cm/s.	Macro porosity vol. %	Water content vol. %				COLE	Soil hardness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
AP	0— 12	1.20	40.3	3 × 10 ⁻³	6.0	45.4	33.3	30.2	25.6		
B ₁	12— 30	1.18	39.3	5 × 10 ⁻³	11.1	40.1	31.3	29.6	26.4		
B ₂₁	30— 45	1.09	36.4	4 × 10 ⁻³	15.8	38.3	29.7	28.1	24.7		21
B ₂₂	45— 67	1.06	35.5	7 × 10 ⁻³	15.2	38.0	28.9	27.5	24.8		18
B ₂₃	67—120	1.08	36.0	1 × 10 ⁻²	20.7	40.8	30.3	29.2	25.5		18

No22 Londrina— 5 ("Roxo" Latosol, LR, uncultivated forests)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real densi-ty g/cc	Total C %	Total N %	C/N
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2—0.05 %	silt 0.05—0.002 %	clay 0.002> %					
A ₁	0— 10	1.4	3.2	12.6	82.8	25.1	2,876	3.45	0.331	10.4
B ₁	10— 42	0.8	3.0	15.3	80.9	37.9	3,007	1.42	0.151	9.4
B ₂₁	42— 90	0.7	2.9	14.3	82.1	1.3	3,037	0.91	0.072	12.6
B ₂₂	90—160	0.9	3.0	14.0	82.1	1.0		1.12	0.065	17.3

Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
meq/100g											
0— 10	5.0	4.0	0.91	5.55	1.07	0.34	6.96	7.87	15.89	43.8	1.24
10— 42	5.1	4.0	1.18	2.74	0.66	0.20	3.60	4.78	8.05	44.7	0.55
42— 90	4.9	4.0	1.63	1.59	0.49	0.08	2.16	3.79	6.62	32.6	0.99
90—160	4.7	4.0	2.43	1.23	0.30	0.06	1.59	4.02	7.47	21.3	0.47

Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)		
0— 10	21.30	1.25	174		28.0	22.3		141.8	825
10— 42	22.61	1.33	116	21.3	28.7	23.0	1.26	112.6	820
42— 90	22.75	1.39	113		29.4	22.9			
90—160	23.24	1.54	103	21.4	29.4	20.1	1.23		

No22 Londrina— 5 (Roxo Latosol, uncultivated forest)

Horizon	Depth cm	Bulk density g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water permeability cm/s.	Macro porosity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hardness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
A ₁	0~ 10	0.65	22.6	6 × 10 ⁻²	41.1	32.3	29.9	27.1	20.3		10
B ₁	10— 42	0.95	31.6	3 × 10 ⁻²	26.7	36.8	33.2	30.3	27.0	1,020	19
B ₂₁	42— 90	0.93	30.5	6 × 10 ⁻³	21.9	43.0	32.7	30.3	27.5	1,025	21
B ₂₂	90—160	0.91	29.9	4 × 10 ⁻³	20.1	41.0	32.2	29.9	26.5	1,022	15.5

No24 Faz. Lageado—7 ("Roxo" Latosol, cultivated field, Oficina)

Hori- zon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real densi- ty g/cc	Total C %	Total N %	C/N	
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %						
AP ₁	0— 15	11.1	30.5	10.6	47.8	15.4		1.44	0.115	12.3	
AP ₂	15— 20	9.9	29.4	12.1	48.6	11.7		1.45	0.118	12.1	
B ₂₁	20— 28	9.2	28.0	9.5	53.3	19.5		1.24	0.104	11.8	
B ₂₂	28— 50	7.4	23.7	10.5	58.4	17.0		1.21	0.092	13.1	
B ₃₁	50— 97	7.4	24.3	11.4	57.3	18.1		1.43	0.087	15.5	
B ₃₂	97—127	7.6	25.1	12.8	54.5	8.7		1.45	0.088	16.5	
Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
←----- meq/100g -----→											
0— 15	5.4	4.2	1.96	1.62	0.38	0.14	2.14	4.10	6.63	32.3	0.81
15— 20	5.3	4.1	1.46	1.43	0.34	0.10	1.87	3.33	6.65	28.1	0.54
20— 28	5.3	4.2	1.60	1.27	0.30	0.06	1.63	3.23	5.94	27.4	0.35
28— 50	5.4	4.2	1.52	1.40	0.41	0.04	1.85	3.37	6.96	26.6	0.59
50— 97	5.3	4.1	2.44	1.13	0.30	0.03	1.46	3.90	9.39	15.5	0.98
97—127	5.1	4.1	3.14	1.31	0.14	0.02	1.47	4.61	10.39	14.1	0.90
Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay					Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorp- tion of P ₂ O ₅ mg/100g	
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)				
0— 15	12.80	1.14	65						193.6		
15— 20	13.12	1.33	58								
20— 28	14.29	1.53	65						195.8		
28— 50	15.52	1.64	58								
50— 97	15.85	2.09	52								
97—127	16.15	1.79	45								

No24 Faz. Lageado— 7 (“Roxo” Latosol, cultivated field, Oficina)

Horizon	Depth cm	Bulk density g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water permeability cm/s.	Macro porosity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hardness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
AP ₁	1— 15	1.22	41.8	2×10^{-3}	11.3	40.0	28.9	24.3	10.9		10
AP ₂	15— 20	1.36	46.6	4×10^{-3}	10.8	36.0	30.9	27.6	22.3	1,006	(25)
B ₂₁	20— 28	1.41	48.2	3×10^{-3}	10.8	35.0	31.3	28.7	25.4	1,013	(28)
B ₂₂	28— 50	1.24	42.4	3×10^{-3}	13.5	38.2	31.2	29.0	25.9	1,016	
B ₃₁	50— 76	1.13	38.6	3×10^{-3}	13.6	41.0	29.3	26.1	22.8	1,014	19
B ₃₂	76— 97	1.07	36.5	3×10^{-3}	14.8	41.5	30.0	26.7	23.4		17
B ₃₃	97—127	1.06	36.4	2×10^{-3}	11.9	45.5	29.3	25.9	22.8	1,006	18
B ₃₄	127—170	0.94	32.1	1×10^{-3}			29.6	27.3	21.5	1,019	

No.25 Faz. Tamura— 4 (“Roxo” Latosol, LR, cultivated field)

Hori- zon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real densi- ty g/cc	Total C %	Total N %	C/N	
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %						
AP ₁	0—12	14.8	22.3	22.0	40.9	6.2	2,638	3.15	0.178	17.7	
AP ₂	12—20	14.1	23.6	22.7	39.6	11.5		2.99	0.163	18.4	
B ₂₁	20—38	13.8	24.0	8.7	53.5	10.4	2,718	1.52	0.081	18.8	
B ₂₂	38—60	12.7	21.1	7.8	58.4	14.7		1.33	0.074	18.1	
Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H) ⁺	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
←————— meq/100g —————→											
0—12	6.9	6.1	0.07	3.48	1.42	0.46	5.36	5.43	11.29	47.5	5.29
12—20	7.6	6.8	0.10	4.70	2.22	0.46	7.38	7.48	9.14	80.7	2.42
20—38	6.9	6.1	0.10	2.55	1.07	0.41	4.03	4.13	4.70	85.7	0.21
38—60	5.6	5.0	0.17	0.69	0.80	0.15	1.64	1.81	3.31	33.3	0.10
Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorp- tion of P ₂ O ₅ mg/100g		
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)				
0—12	8.36	3.20	26					168.3			
12—20	8.01	2.87	26					137.3			
20—38	9.45	3.12	19					56.6			
38—60	9.75	3.20	19								

No.17 マナウス
 分類 黄色ラトソル (LA)
 ブラジル名 Latossolo Amarelo alico
 F A O Xanthic Ferralsols
 U S D A Haplorthox 又は Haplic Acrorthox
 Sombroek Kaolinitic Yellow Latosols
 調査地 アマゾナス州 マナウス UEPAE de Manaus 内林地
 母材 更新世未固結堆積物 (カオリン質粘土、石英砂主体)
 地形 微緩波状台地 標高 100—120m
 排水性 良
 侵蝕性 微表層侵蝕
 土地利用 二次林 (熱帯広葉樹林)
 気候 Amw

断面記載

A 1 0 — 5 cm 鈍い褐色 (7.5Y R5/3)、重植土、中度小ないし中亜角塊状構造、碎易、可塑性及び粘着性大、層界平坦明瞭。
 A 3 5 — 25cm 鈍い黄とう色 (8.5Y R6/5)、重植土、中度小ないし中亜角塊状構造根に富む、粘着性大、ややち密、層界平坦判然
 B 1 25 — 62cm 明黄褐色 (10Y R7/6)、重植土、中度小ないし中亜角塊状及び弱度極小粒状構造、碎易、根あり、層界漸移。
 B22 62 — 80cm 明黄褐色 (8.5Y R7/6)、重植土、中度小ないし中亜角塊状及び弱度極小粒状構造、碎易、根僅かにあり、層界漸移。
 B23 80 — cm 浅黄褐色 (7.5Y R8/7)、重植土、中度中亜角塊状及び弱度極小粒状構造、碎易。

物 理 性

Hori- zon	Depth cm	Bulk densi- ty g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water perme- ability cm/s.	Macro poro- sity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hard- ness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
A ₁	0— 5	1.09	41.0							1,041	
A ₃	5— 25	1.20	45.2							1,036	
B ₂₁	25— 62	1.18	44.5							1,031	
B ₂₂	62— 80	1.15	43.5							1,023	
B ₂₃	80—120	1.09	41.1							1,023	

No17 Manaus, (Kaolinitic Yellow Latosol)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N	
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2-0.05 %	silt 0.05-0.002 %	clay 0.002> %						
A ₁	0-5	4.8	2.7	8.9	83.6	7.3		2.89			
A ₃	5-25	5.0	2.8	12.5	79.7	27.8		1.46			
B ₂₁	25-62	4.5	2.7	10.8	82.6	31.8		1.13			
B ₂₂	62-80	3.6	2.1	8.7	85.6	0.3		0.74			
B ₂₃	80-	3.7	2.3	4.7	89.3	0.5		0.50			
Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base sat. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
←----- meq/100g -----→											
0-5	4.3	3.6	2.60	0.21	0.13	0.08	0.42	3.02	7.86	5.3	0.16
5-25	4.4	3.9	1.73	0.73	0.17	0.06	0.96	2.69	3.49	27.5	
25-62	4.6	4.0	1.36	0.21	0.08	0.03	0.31	1.67	2.37	13.1	
62-80	4.7	4.2	0.80	0.21	0.08	0.02	0.31	1.11	1.75	17.7	
80-	5.1	4.3	0.80	0.42	0.08	0.03	0.53	1.33	1.66	31.9	
Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g		
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) / (Al ₂ O ₃)				
0-5	2.28	0.78	0					19.9	576		
5-25	2.28	0.81	0					14.9			
25-62	2.35	0.52	0	32.5	35.1	3.6	1.57				
62-80	2.41	1.06	0								
80-	2.48	0.65	0	32.2	35.2	3.9	1.55				

No.18 トメ・アスー
 分類 黄色ラトソル (LA)
 ブラジル名 Latossolo Amarelo Podzolic texture muito pesado
 F A O Xanthic Ferralsols
 U S D A Haplorthox
 調査地 パラ州 トメ・アスー・トメアス農協農場, ゴム幼木園
 母材 更新世 段丘堆積物 (カオリン質粘土主体)
 地形 極めて平坦な低位台地
 排水性 不良
 侵蝕性 僅少
 土地利用 ゴム、コショウ、パパイヤ等

断面記載

AP	0	—	5 cm	にぶい黄褐色 (10Y R4/3)、明黄褐色 (10Y R6/5) 土塊が混入、重 殖土、腐植含む、極めてち密、層界平坦明瞭、
B3	5	—	22cm	にぶい黄とう色 (10Y R6/3)、重殖土、マッシュ、極弱度大角柱状構 造、極めてち密、根あり、層界平坦漸移、
B21	22	—	56cm	明黄褐色 (10Y R6/5)、重殖土、弱度中角柱及び中ないし小亜角塊状 構造、ち密、薄い粘土被膜あり、層界平坦漸移、
B22	56	—	92cm	明黄褐色 (10Y R6/6) 斑状黄斑 (2.5Y 6/4) あり、重殖土、ややち 密、根僅かにあり、層界平坦判然、
B23g	92	—		明黄褐色 (10Y R6/5)、明赤褐色斑状斑および垂直方向にひも状黄斑 含む、弱中亜角塊状構造。

物 理 性

Hori- zon	Depth cm	Bulk densi- ty g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water perme- ability cm/s.	Macro poro- sity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hard- ness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
AP	0— 5	1.55	59.6	4×10^{-5}	1.5	35.8	29.7	28.0	24.4	1,022	
A ₃	5— 22	1.46	55.0	1×10^{-4}	6.3	35.1	31.8	30.5	28.3	1,027	
B ₂₁	22— 56	1.33	50.0	2×10^{-4}	7.0	39.8	36.0	33.9	31.3	1,020	
B ₂₂	56— 92	1.30	49.2	3×10^{-5}	7.8	39.8	35.4	33.3	31.1	1,014	
B _{3g}	92—170	1.28	48.2	3×10^{-5}	7.8	41.7	37.0	34.6	31.1	1,023	

No.18 Tome Açú (Compacted Kaolinitic Yellow Latosol)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N	
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2-0.05 %	silt 0.05-0.002 %	clay 0.002> %						
AP ₁	0-5	15.0	27.2	3.6	54.2	15.6		1.38			
AP ₂	5-22	11.8	23.1	3.7	61.4	38.4		0.85			
B ₂₁	22-56	5.6	15.2	3.9	75.3	35.5		0.67			
B _{22mo}	56-92	6.2	13.0	5.1	75.7	0.5		0.52			
B _{23g}	92-160	6.4	11.5	0	82.3			0.52			
Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base sat. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
←----- meq/100g -----→											
0-5	5.6	4.6	0.32	1.30	0.49	0.15	1.94	2.26	3.45	56.2	2.31
5-22	5.6	4.5	0.16	1.35	0.36	0.05	1.76	1.92	2.45	71.8	1.56
22-56	5.6	4.7	0.16	1.35	0.39	0.03	1.77	1.93	2.58	68.6	
56-92	5.4	4.5	0.32	0.95	0.27	0.03	1.25	1.57	2.12	59.0	
92-160	5.2	4.3	0.68	0.65	0.26	0.04	0.95	1.63	2.00	47.5	
Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g		
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)				
0-5	1.96	0.26	4					42.2			
5-22	2.32	0.29	4					17.9	260		
22-56	2.69	0.52	4								
56-92	2.77	0.57	4	30.9	34.5	4.8	1.52				
92-160	3.27	0	4	29.7	34.0	5.2	1.48				

No19 Belém (Yellow Latosol, Sandy)

Hori- zon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real densi- ty g/cc	Total C %	Total N %	C/N	
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %						
A ₁	0— 15	39.5	42.6	3.7	14.2	2.4		1.44			
A ₃	15— 45	35.5	41.3	2.8	20.4	10.6		1.17			
B ₂₁	45— 80	30.9	40.0	2.9	26.2	13.8		0.42			
B ₂₂	80—130	28.3	42.7	2.1	26.9	13.5		0.28			
B ₂₃	130—200	26.0	41.2	5.6	27.2			0.23			
Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
←----- meq/100g -----→											
0— 15	3.9	3.3	1.76	0.30	0.12	0.04	0.46	2.22	4.44	10.4	0.21
15— 45	4.8	4.2	1.12	0.20	0.08	0.03	0.31	1.43	2.42	12.8	0.16
45— 80	4.9	4.1	0.84	0.40	0.16	0.03	0.59	1.43	1.21	48.8	
80—130	4.9	4.1	0.80	0.30	0.08	0.04	0.42	1.22	1.01	41.6	
130—	5.0	4.1	0.80	0.40	0.08	0.04	0.52	1.32	0.97	53.6	
Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay					Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorp- tion of P ₂ O ₅ mg/100g	
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)				
0— 15	0.80	0.08	0						14.6		
15— 45	1.23	0.24	0								
45— 80	1.44	0.26	0								
80—130	1.51	0.22	0								
130—	1.51	0.33	0								

No.9 ラジアード5

分類 構造性テラロッシュ (TE)

 ブラジル名 Terra Roxa Estruturada Latossolica textura muita argilosa

 F A O Eutric Nitosols

 U S D A Oxic Rhodustalf

調査地 サンパウロ州 ボツカツ市 ラジアード農場

母材 玄武岩

地形 波状台地、勾配約10%、標高約750m

排水性 良

侵蝕性 中度、シート及びリル侵蝕

土地利用 穀作、サトウキビ

断面記載

A 1 0 — 17cm 暗赤色(10R3/3.5)、重埴土、腐埴含む、強度小粒状および中度中亜角塊状構造、碎易、粘着可塑性大、層界平坦判然。

B 22 17 — 74cm 暗赤色(10R3/4)、重埴土、中度小ないし中亜角塊状構造、粘土被膜あり、ち密、粘着、可塑性著しく大、層界平坦漸移。

B 23 74 — 97cm 暗赤色(10R3/4)、重埴土、中度小ないし中亜角塊状構造、粘土被膜あり、ややち密、層界漸移。

B 31 97 — 117cm 暗赤色(10R3/4)、重埴土、弱度小亜角塊状および強度極小粒状構造、碎易、層界漸移、

B 32 117 — 145cm 暗赤色(10R3/4)、重埴土、極めて弱度小亜角塊状および強度極小粒状構造、碎易、層界漸移、

B 33 145 — 220cm 暗赤色(10R3/4)、重埴土、強度極小粒状構造、碎易、

物 理 性

Hori- zon	Depth cm	Bulk densi- ty g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water perme- ability cm/s.	Macro poro- sity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hard- ness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
A ₁	0—17	1.17	39.1	2×10^{-3}	14.9	43.1	34.9	32.3	27.0	1,055	19
B ₂₁	17—40	1.27	42.6	2×10^{-4}	10.3	49.6	47.9	45.7	30.0	1,047	25
B ₂₂	40—74	1.28	42.8	1×10^{-4}	7.4	49.0	46.6	38.0	29.7	1,073	23.5
B ₂₃	74—97	1.24	41.1	9×10^{-5}	10.3	46.6				1,057	23
B ₃₁	97—117	1.09	36.5	2×10^{-4}	14.3	44.5				1,045	20
B ₂₃	117—145	1.04	34.9	1×10^{-3}	14.3	45.1					17
B ₃₃	145—220	1.13	37.8	3×10^{-4}	10.0	48.1				1,031	19

No.9 Faz. Lageado—5 (Terra Roxa Estruturada heavy clay texture)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %					
A ₁ (P)	0— 17	2.1	10.1	24.5	63.3	18.3	2,993	2.09	0.186	11.2
B ₂₁	17— 40	2.1	8.8	23.7	65.4	35.0	2,986	1.60	0.172	9.3
B ₂₂	40— 74	1.5	6.9	17.3	74.3	26.7		1.08	0.103	10.5
B ₂₃	74— 97	1.4	6.6	14.9	77.1	48.7	2,987	0.93	0.079	11.8
B ₂₄	97—117	1.4	6.9	17.8	73.9	26.3		0.94	0.068	13.7
B ₃₁	117—145	1.4	7.1	19.5	72.0	2.3		0.85	0.062	13.7
B ₃₂	145—220	1.3	7.3	15.1	76.3	2.3		0.68	0.049	13.9

Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
	← meq/100g →										
0— 17	5.9	4.8	0.39	5.34	1.46	0.11	6.91	7.30	12.71	54.4	0.43
17— 40	6.1	5.1	0.18	9.06	1.03	0.05	10.14	10.32	11.58	87.6	0.19
40— 74	6.5	5.6	0.10	8.80	1.03	0.04	9.87	9.97	10.13	97.4	0.36
74— 97	6.8	5.9	0.07	7.95	1.64	0.04	9.63	9.70	9.82	98.1	0.68
97—117	6.9	6.0	0.11	5.09	2.05	0.04	7.18	7.29	9.56	75.1	0.65
117—145	5.6	5.0	0.30	2.60	2.04	0.03	4.67	4.97	8.14	57.4	0.43
145—220	5.3	4.3	1.83	1.27	1.33	0.05	2.65	4.48	7.57	35.0	0.41

Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)		
0— 17	19.15	2.01	187		26.6	22.4		207.4	850
17— 40	19.99	1.82	245	23.4	25.8	22.0	1.54	189.5	870
40— 74	19.51	2.17	97						
74— 97	19.13	1.81	78	25.2	27.5	20.2	1.55		
97—117	19.98	1.68	78		27.8	20.9			
117—145	19.43	2.06	78						920
145—220	20.18	2.46	84	23.1	27.0	21.2	1.45		

No10 Faz. Lageado—6 (Terra Boxa Estruturada, autochthonous)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %					
A ₁	0—20	3.2	24.0	21.9	50.9	22.9		2.17	0.204	10.7
B ₁	20—42	2.5	19.5	19.2	58.8	28.2		1.37	0.140	9.8
B ₂₁	42—83	1.2	10.7	10.4	77.7	2.3		0.88	0.073	12.1
B ₂₂	83—127	1.2	11.9	12.9	74.0	0		0.78	0.066	11.8
B ₂₃	127—170	1.2	11.8	21.7	65.3	0		0.69	0.045	15.2
C	170—220	1.2	12.8	28.8	57.2	0		0.45	0.040	11.1
D	220—	6.7	23.6	32.2	37.5	0		0.45	0.037	12.3

Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
	← meq/100g →										
0—20	5.7	4.6	0.29	5.17	1.84	0.21	7.22	7.51	11.75	61.4	0.87
20—42	5.8	4.8	0.27	4.48	1.62	0.08	6.18	6.45	11.13	55.5	0.25
42—83	5.7	4.6	0.25	4.90	2.07	0.05	7.02	7.27	10.02	70.1	1.00
83—127	5.4	4.1	1.31	2.70	2.01	0.06	4.77	6.08	9.77	48.8	1.09
127—170	5.5	4.1	1.74	2.33	2.01	0.04	4.38	6.12	9.43	46.4	1.35
170—220	5.6	4.2	1.05	3.06	3.03	0.04	6.13	7.18			1.38
220—	5.2	3.9	3.59	1.93	1.21	0.38	3.52	7.11			3.81

Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)		
0—20	20.00	1.45	168	26.3	26.6	19.0	1.68	228.8	705
20—42	19.77	1.42	142	27.8	27.3	19.2	1.73	233.1	505
42—83	15.67	2.14	52						
83—127	16.22	2.05	52						
127—170	15.97	1.58	45						
170—220	15.39	1.62	39	30.4	28.0	15.8	1.84		
220—	14.30	1.51	39					310.5	

No.10 Faz. Lageado— 6 (Terra Roxa E traturada,autochthonous)

Horizon	Depth cm	Bulk density g/cc	Solid vol. ratio vol. %	Water permeability cm/s.	Macro porosity vol. %	Water content vol. %				COLE	Soil hardness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
A ₁	0— 20	1.29	44.2	1×10^{-2}	14.8	39.7	35.9	34.0	26.8		22
B ₁	20— 42	1.38	46.5	8×10^{-4}	9.2	43.7	40.3	38.7	32.0		26
B ₂₁	42— 83	1.30	43.9	1×10^{-5}	5.1	50.2	47.5	46.0	41.5		27
B ₂₂	83—127	1.32	44.5	1×10^{-5}	4.8	49.9	46.1	44.0	42.3		29
B ₂₃	127—170	1.29	43.5	2×10^{-5}	4.6	50.3	47.7	45.6	42.0		26
C ₁	170—220	1.21	40.9	3×10^{-4}	7.0	50.3	42.8	40.5	36.5		25
D											

No11 Londrina— 4, (Terra Roxa Estruturada, autochthonous, grassland)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %					
A ₁	0— 14	1.8	3.2	31.8	63.2	35.6		2.20	0.171	12.9
B ₂₁	14— 50	0.7	1.4	11.6	86.3	2.0		1.14	0.088	13.0
B ₂₂	50— 95	1.0	1.4	23.6	84.0	1.3		0.86	0.053	16.2
B ₃	95—135	0.4	0.9	22.5	76.2	1.1		0.70	0.034	20.6
C	135—300	0	1.0	30.6	68.4	1.3		0.26	0.021	12.4
D ₁	300—500	0	0.4	42.1	57.5	0.8		0.25	0.017	14.7
D ₂	500—	2.5	11.6	32.3	53.6	2.2		0.18	0.008	22.5

Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases +Al	NH ₄ OAC (pH7)		
	← meq/100g →										
0— 14	6.4	5.3	0.15	13.47	2.03	0.66	16.10	16.31	14.40	112.2	0.91
14— 50	5.8	4.9	0.15	8.63	1.93	0.53	11.09	11.24	11.35	97.7	1.54
50— 95	6.0	5.1	0.11	7.29	1.64	0.13	9.06	9.17	9.59	94.5	2.04
95—135	5.9	4.9	0.26	8.10	2.10	0.10	10.30	10.56	10.34	99.6	1.93
135—300	5.8	4.5	0.63	8.26	2.84	0.14	11.24	11.87	11.10	101.3	1.78
300—500	5.6	3.9	3.91	3.67	3.25	0.26	7.18	11.09	12.36	58.1	2.18
500—	5.6	3.8	6.80	4.84	5.25	0.82	10.91	17.71	20.87	52.3	0.78

Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay					Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)			
0— 14	18.74	1.29	207		24.2	23.4			159.5	
14— 50	20.98	1.94	90		25.3	23.1			162.3	
50— 95	21.31	2.03	65		26.3	23.9				
95—135	20.34	1.50	65		24.8	23.0				
135—300	19.06	1.30	58		23.6	23.7				
300—500	18.15	0.92	65		21.9	26.2				
500—	14.73	1.02	200		24.5	19.1				

No.2 モジ・ダス・クルーゼス

分類 ブラジル名 Pozolico Vermelho Amarelo intergrado para Latossolo Vermelho Amarelo
 FAO Ferralitic Acrisols
 USDA Oxic Haplustult

調査地 サンパウロ州 モジ・ダス・クルーゼス市近郊 木本農場

母材 花こう岩崩積土

地形 波状丘陵 標高約1000m

排水性 良好

侵蝕 中度シート及びリル侵蝕

土地利用 野菜、果樹栽培、ユーカリ植林地

断面記載

A₁(P) 0 — 13cm 暗赤色 (7.5Y R3/4)、重埴土、腐植含む、中度小ないし中粒状及び
 亜角塊状構造、層界平坦判然、

A₃ 13 — 25cm 褐色 (7.5Y R4/4)、重埴土、腐植あり、ち密、弱度中ないし小亜角
 塊状構造、層界平坦漸移、

B₁₁ 25 — 45cm 明褐色 (7.5Y R5/6)、重埴土、中度中亜角塊状構造、薄い粘土被膜
 あり、極めて碎易、層界漸移、

B₁₂ 45 — 95cm 明褐色 (7.5Y R5/6)、重埴土、中ないし、弱度中亜角塊状構造、薄
 い粘土被膜あり、ややち密、層界漸移、

B₂ 95 — 165cm 明赤褐色(5Y R5/8)、重埴土、中ないし弱度中亜角塊状構造、ち密、
 薄い粘土被膜あり、層界漸移、

B₃ 165cm— 明赤褐色(3.5Y R5/8)重埴土、弱度中亜角塊状構造、碎易、ややち密。

物 理 性

Hori- zon	Depth cm	Bulk densi- ty g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water perme- ability cm/s.	Macro poro- sity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hard- ness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
A ₁ (P)	0—13	1.12	42.5	1×10^{-2}	13.6	39.7	32.9	30.5	24.5	1,026	
A ₃	13—25	1.19	45.2	3×10^{-3}	13.3	38.7	34.2	32.3	27.8	1,041	
B ₁₁	25—45	1.01	37.8	2×10^{-2}	24.9	35.7	30.7	28.8	22.2	1,047	(22)
B ₁₂	45—95	1.02	38.0	1×10^{-2}	21.8	36.6	30.4	28.2	23.6	1,034	20
B ₂₁	95—120	1.14	42.7	3×10^{-3}	18.3	36.9	31.5	29.8	27.4	1,035	23.5
B ₂₂	120—165	1.23	46.0	4×10^{-4}	12.2	40.0	35.4	33.8	30.8	1,044	24.5
B ₃	165—	1.21	45.0	1×10^{-3}	11.8	40.9	36.6	35.1	32.8		19.5

No 2 Mogi das Cruzes (Red Yellow Podzolic Soil intergrading to Red Yellow Latosol)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2-0.05 %	silt 0.05-0.002 %	clay 0.002> %					
A ₁ (P)	0-13	25.6	20.8	1.2	52.4	18.3	2.621	2.94		
A ₂	13-25	27.9	15.7	0.5	55.9	26.8		1.99		
B ₁₁	25-45	25.5	17.6		58.2	34.6		0.93		
B ₁₂	45-95	24.8	15.7		60.1	4.2	2.675	0.70		
B ₂	95-165	22.4	16.1		64.0	1.9		0.60		
B ₃	165-	21.1	14.8		60.9	1.4		0.49		

Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base sat. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
0-13	5.1	4.0	1.40	2.60	0.78	0.13	3.51	4.91	10.77	32.6	1.42
13-25	4.8	3.9	2.08	0.52	0.17	0.07	0.76	2.84	6.66	11.4	
25-45	4.7	3.9	1.72	0.94	0.25	0.05	1.24	2.96	3.33	37.2	
45-95	4.7	4.0	1.04	0.62	0.21	0.04	0.87	1.91	2.08	41.8	
95-165	5.0	4.1	0.84	0.31	0.12	0.03	0.46	1.30	1.87	24.6	
165-	4.9	4.1	0.92	0.21	0.12	0.03	0.36	1.28	1.91	18.8	

Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) / (Al ₂ O ₃)		
0-13	2.97	0.81	0	27.3	37.0	6.3	1.25	109.5	630
13-25	3.44	1.19	0						
25-45	3.95	1.53	0	26.1	38.1	6.7	1.16	56.3	
45-95	4.82	1.26	0						
95-165	5.28	1.45	0						625
165-	4.82	1.43	0	26.5	33.3	6.2	0.86		

No.3 Piracicaba (Red Yellow Podzolic Soil—Variation Piracicaba)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N	
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2—0.05 %	silt 0.05—0.002 %	clay 0.002> %						
A ₁ (P)	0—21	7.3	40.0	26.9	25.8	10.9		1.32	0.129	10.2	
A ₃	21—40	5.6	30.9	18.2	45.3	21.8		1.55	0.119	12.9	
B ₂₁	40—80	2.5	15.5	10.1	71.9	21.8		0.92	0.072	12.8	
B ₂₂	80—140	2.5	20.2	6.6	70.7	1.6		0.67	0.054	12.6	
B ₂₃	140—220	2.5	17.8	12.4	67.3	0.2		0.46	0.042	11.0	
D ₁	220—	2.6	17.1	10.7	69.6	0		0.26	0.022	12.2	
Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
	← meq/100g →										
0—21	5.8	4.7	0.24	4.99	2.77	0.20	7.96	8.20	10.80	73.7	
21—40	5.4	4.9	0.16	5.05	2.03	0.16	7.24	7.40	9.63	75.0	
40—80	5.4	4.2	1.01	2.65	1.90	0.08	4.63	5.64	8.17	56.7	
80—140	5.4	4.5	0.52	2.50	1.77	0.07	4.34	4.86	6.63	65.5	
140—220	5.4	5.0	0.44	2.60	2.01	0.26	4.87	5.31	6.11	79.7	
220—	5.4	4.2	0.40	2.00	1.83	0.24	4.07	4.47	5.44	74.8	
Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g		
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)				

No. 4 セザリオ・ランジ

分類 土性B層赤色土(仮称、暗赤色ラトソルへ移行型の赤色風化したポドゾル性土、P-LE)

調査地点 サンパウロ州 セザリオ・ランジ市

母材 頁岩由来段丘堆積物

地形 緩波状台地

排水性 良

侵食性 中度シートおよびリル侵食あり

土地利用 砂糖きび、牧草、馬鈴薯、果樹およびコーヒー

断面記載

A 1(P) 0 — 10cm 暗赤褐色 (2.5Y R3/4)、埴土、腐植含む、中度小ないし中亜角塊状構造、ややち密、層界平坦明瞭

A 3 10 — 20cm 暗赤色 (10R3/5)、埴土、腐植あり、中度小ないし中亜角塊状構造、ち密、層界平坦判然

B 22 20 — 63cm 暗赤色(10R3/6)、重埴土、中度小亜角塊状とやや鮮明な大角柱状構造連続する薄粘土腐植皮膜あり、層界平坦判然

B 23 63 — 80cm 暗赤色 (10R3/6)、重埴土、中度小亜角塊状および極小団粒、碎易、層界漸移

B 31 80 — 150cm 暗赤色(10R3.5/6)、重埴土、強度極小粒状構造および弱度小亜角塊状構造、膨軟、極めて碎易、層界漸移

B 32 150 — 220cm 赤色 (10R4/8)、重埴土、強度極小粒状構造、膨軟、極めて碎易。

物 理 性

Horizon	Depth cm	Bulk density g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water permeability cm/s.	Macro porosity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hardness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
A ₁	0— 10	1.18	46.1	1×10^{-2}	16.5	35.4					
A ₃	10— 20										
B ₂	20— 63	1.19	45.4	2×10^{-3}	14.2	36.9				22	
B ₂₃	63— 80	1.01	38.4	5×10^{-3}	19.0	32.7				20	
B ₃₁	80—150	1.00	38.7	3×10^{-3}	18.0	33.3				19	
B ₃₂	150—220	0.98	37.8	2×10^{-3}	14.4	35.8				16	
B ₃₃	220—										

No. 4 Cesário Lange 1 (Red Yellow Podzolic Soil intergrading to Dark Red Latosol)

Hori- zon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real densi- ty g/cc	Total C %	Total N %	C/N
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %					
AP ₁	0— 10	3.8	25.8	5.3	65.1	15.6		2.19	0.182	12.0
AP ₂	10— 20	3.3	19.1	8.6	69.0	24.4		1.55	0.125	12.4
B ₂₁	20— 63	2.8	17.6	6.6	73.0	18.1		1.17	0.100	11.7
B ₂₃	63— 80	2.7	18.7	8.6	70.0	16.2		1.05	0.074	14.2
B ₃₁	80—150	3.0	19.3	8.9	68.8	2.1		0.67	0.050	13.1
B ₃₂	150—220	2.9	20.2	6.6	70.3	2.3		0.51	0.039	13.4
B ₃₃	220—	2.8	18.8	5.3	73.1	4.1		0.39	0.027	14.5

Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺	Mg ⁺	K ⁺	Sum	bases +Al	NH ₄ OAC (pH7)		
	←----- meq/100g ----->										
0— 10	5.5	4.3	0.95	2.56	0.99	0.77	4.32	5.27	9.62	44.9	0.28
10— 20	5.2	4.1	1.42	1.51	0.52	0.20	2.23	3.65	7.76	28.7	0.18
20— 63	5.1	4.0	2.27	0.94	0.34	0.08	1.36	3.63	7.52	18.1	0.10
63— 80	5.1	4.1	2.17	0.95	0.28	0.06	1.29	3.46	6.98	18.5	0.07
80—150	5.2	4.2	1.88	0.59	0.28	0.07	0.94	2.82	5.79	16.2	0.10
150—220	5.4	4.3	1.10	0.26	0.14	0.08	0.48	1.58	4.92	9.8	0.10
220—	5.5	4.6	0.37	0.79	0.22	0.06	1.07	1.44	4.13	25.9	0.30

Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorp- tion of P ₂ O ₅ mg/100g
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)		
0— 10	8.10	1.31	90	24.6	33.1	12.3	1.26	101.4	735
10— 20	8.57	1.36	71						
20— 63	9.74	1.68	45	25.8	33.0	11.9	1.33	96.6	785
63— 80	10.04	1.87	45	23.1	33.1	12.2	1.18		
80—150	9.42	2.63	32	25.8	33.3	12.9	1.31		800
150—200	8.82	2.31	32						
220—	9.05	2.05	32						

No 5 Cesário Lange— 2 (Red Yellow Podzolic Soil intergrading to Dark Red Latosol)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %					
A ₁ (P)	0— 20	3.4	13.7	17.7	65.2	27.6		0.88	0.099	8.9
B ₂	20— 90	2.7	10.6	10.5	76.2	17.6		0.74	0.073	10.1
B ₂₃	90—115	2.0	10.4	12.2	75.4	2.0		0.45	0.043	10.2
B ₃₁	115—160	2.3	11.1	24.2	62.4	0.1		0.33	0.030	11.0
B ₃₂	160—200	2.4	14.0	13.7	70.0	0.7		0.29	0.032	9.1
C ₁	200—300	1.9	8.5	23.4	66.2	0		0.25	0.032	7.9
C ₂	300—	1.6	2.7	20.9	74.8	0		0.23	0.031	7.4

Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
← meq/100g →											
0— 20	5.9	4.8	0.24	4.90	1.27	0.99	7.16	7.40	8.17	87.6	0.12
20— 90	6.2	5.0	0.16	4.50	1.70	0.14	6.34	6.50	9.05	90.1	0.26
90—115	6.6	5.5	0.16	2.82	1.73	0.20	4.75	4.91	6.52	72.9	
115—160	5.9	4.7	0.32	1.67	1.19	0.17	3.03	3.35	5.80	52.2	
160—200	4.8	4.2	1.01	1.14	2.78	0.07	3.99	5.00	5.44	73.3	
200—300	5.5	3.9	6.50	0.31	0.62	0.11	1.04	7.54	7.90	13.2	
300—	5.5	3.8	11.50	0.32	0.62	0.10	1.04	12.54	10.70	9.7	

Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)		
0— 20	10.69	0.62	189						
20— 90	10.53	1.20	68						
160—200	9.95	0.92	17						

No. 6 Maristela— 1 (Red Yellow Podzolic Soil intergrading to Dark Red Latosol)

Horizon	Depth cm	Bulk density g/cc	Solid vol. ratio vol. %	Water permeability cm/s.	Macroporosity vol. %	Water content vol. %				COLE	Soil hardness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
A ₁	0— 20	1.36	51.2	2×10^{-3}	9.3	37.7	31.0		16.7		
B ₂₁	20— 45	1.36	51.2	6×10^{-4}	10.9	36.3	32.2	29.3	23.9		
B ₂₂	45— 85	1.30	48.9	6×10^{-4}	8.5	40.8	35.9	32.6	23.9		
B ₃₁	85—130	1.24	46.5	7×10^{-4}	11.3	39.2	30.8	28.0	22.7		
B ₃₂	130—170	1.23	47.1	3×10^{-3}	12.0	37.1	31.2	27.5	21.4		
D	170—										

No.6 Maristela—1 (Red Yellow Podzolic soil intergrading to Dark Red Latosol)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %					
A ₁	0—20	8.1	18.1	36.8	37.0	9.5		1.01	0.105	9.6
B ₂₁	20—45	5.3	14.0	27.9	52.8	24.0		0.83	0.086	9.6
B ₂₂	45—85	4.0	13.1	25.8	57.1	12.7		0.62	0.063	9.8
B ₃₁	85—130	3.4	15.3	27.8	53.5	3.9		0.48	0.059	8.1
B _c	130—170	4.2	13.9	30.8	51.1	3.5		0.39	0.077	5.0
D	170—	5.1	8.9	32.3	52.7	1.3		0.25	0.044	5.7

Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
	← meq/100g →										
0~20	5.9	4.5	0.16	4.64	1.42	0.12	6.18	6.34	7.47	82.7	0.23
20—45	6.0	4.7	0.16	5.95	2.06	0.12	8.13	8.29	9.52	85.4	0.21
45—85	6.2	5.0	0.16	6.18	1.98	0.08	8.24	8.40	9.17	89.9	
85—130	6.1	4.9	0.16	5.40	1.27	0.08	6.75	6.91	4.99	135.3	
130—170	5.7	4.5	0.16	4.36	1.31	0.09	5.76	5.92	7.65	75.3	
170—	5.7	4.9	0.28	2.69	3.40	0.12	6.21	6.49	7.12	87.2	

Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay					Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)			
0—20	6.19	0.09	143						78.2	485
20—45	7.59	1.37	76						82.2	660
45—85	8.07	0.99	25							
85—130	8.00	1.57	17							
130—170	7.12	1.14	8							
170—	7.71	1.20	124							

No.7 アレアウバ

分類 ブラジル名 Solos Podzolizados de Lins e Marilia
 U S D A Arenic Hapludult (or Hapludalf)

調査地 サンパウロ州 アレアウバ市

母材 パウルー砂岩由来段丘堆積物

地形 緩波状台地

排水性 良好

侵食 中ないし強度シートおよびリル侵食、ガリー侵食あり。

土地利用 牧草地、コーヒーおよび植林地

断面記載

A 1(P) 0 — 13cm 暗赤褐色 (2.5Y R3/5)、弱度中粒状構造、膨軟砕易、層界平坦明瞭

A 3 13 — 30cm 暗赤褐色 (2.5Y R3/5)、ややち密、層界漸移

B21 30 — 65cm 暗赤褐色 (2.5Y R3/6)、中度中亜角塊状構造、僅かにち密、径1mm
 前後の孔隙に富む、層界平坦判然、

B22 65 — 100cm 暗赤褐色 (2.5Y R3/6)、弱度亜角塊状構造および極小粒状構造、膨
 軟、層界漸移、

B31 100 — 140cm 赤褐色 (2/5Y R3.5/6)、微弱度亜角塊状構造および極小粒状構造、
 膨軟、層界漸移、

B32 140 — 赤褐色 (2.5Y R3.5/6)、極小粒状構造。

物 理 性

Hori- zon	Depth cm	Bulk densi- ty g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water perme- ability cm/s.	Macro poro- sity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hard- ness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
A _p	0—13	1.39	52.5	6×10^{-3}	18.7	23.0	14.1	11.6	7.5		16
A ₃	13—30	1.51	57.1	3×10^{-3}	13.1	25.4	14.5	12.1	8.0		19
B ₂₁	30—65	1.43	53.8	4×10^{-3}	15.4	24.9	15.3	13.1	7.8		16
B ₂₂	65—100	1.35	51.1	7×10^{-3}	14.7	26.6	14.3	12.3	9.7		
B ₃₁	100—140	1.36	51.4	3×10^{-3}	11.2	30.5	15.6	13.6	11.5		
B ₃₂	140—	1.36	51.4	2×10^{-3}	11.9	30.0	15.8	13.7	11.3		18

No 7 Arealva (Red Yellow Podzolic Soil, PVA—Lins, Marilia)

Hori- zon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real densi- ty g/cc	Total C %	Total N %	C/N
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %					
A _p	0— 13	13.3	62.6	7.0	17.1	7.7		0.61	0.045	13.4
A ₂	13— 30	10.5	60.5	6.8	22.2	4.8		0.48	0.032	15.0
B ₂₁	30— 65	12.3	58.7	8.0	21.0	9.3		0.47	0.032	14.4
B ₂₃	65—100	11.8	55.9	7.4	24.9	4.8		0.30	0.027	10.9
B ₃₁	100—140	11.6	54.5	9.4	24.5	0		0.28	0.021	13.4
B ₃₂	140—	11.0	57.6	7.9	23.5	0		0.18	0.032	5.6

Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
0— 13	5.4	4.4	0.72	0.51	0.32	0.12	0.95	1.67	2.21	43.0	0.19
13— 30	5.2	4.3	1.08	0.40	0.16	0.06	0.62	1.70	2.27	27.3	0.10
30— 65	5.5	4.3	1.04	0.71	0.28	0.05	1.04	2.08	2.10	49.5	
65—100	5.1	4.4	0.76	0.51	0.16	0.06	0.73	1.49	1.82	40.1	
100—140	4.9	4.4	0.56	0.30	0.16	0.03	0.77	1.33	1.46	52.7	
140—	4.9	4.5	0.52	0.20	0.20	0.04	0.44	0.96	1.29	34.1	

Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorp- tion of P ₂ O ₅ mg/100g
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)		
0— 13	3.02	0.25	4					26.0	
13— 30	3.02	0.47	8					22.8	
30— 65	3.25	0	8						
65—100	3.18	0.06	16						
100—140	3.39	0	8						
140—	2.73	0	4						

No.8 コンシヤス

分類 熱帯ポドゾル (TP)

 ブラジル名 Podzolic Vermelho Amerelo -Variação Laras

 F A O Orthic Podzols

 U S D A Troporthod

調査地点 サンパウロ州 コンシヤス市

母材 ボツカツ砂岩

地形 緩波状台地、標高約500m

排水性 やや不良

侵蝕性 極めて大、ガリ侵蝕あり

土地利用 草地、ユーカリ植林地

断面記載

A 1(P) 0 — 21cm 黒褐色(10Y R3/2)、壤質砂土、腐植含む、斑状褐斑あり、弱度小粒状構造、層界小波状判然。

A 2 21 — 30cm にぶい黄褐色 (10Y R4/3)、褐斑あり、砂土、無構造 (単粒状)、層界波状明瞭。

B21 30 — 45cm 暗褐色 (10Y R3/3)、褐斑 (10Y R4/5)、含む、砂質埴壤土、弱度小亜角塊状構造、粘土腐植被膜あり、根含む、ち密、層界波状判然。

B22 45 — 85cm 褐色(10Y R4/4)、砂質埴壤土、斑状の腐植しみ込みあり、弱度小さい中塊状構造、粘土被膜あり、ち密、層界漸移。

B23 85 — 105cm 黄褐色 (5Y R5/7)、斑状の腐植しみ込みあり、砂質埴壤土、弱度角柱状、垂直面に粘土被膜あり、層界判然

B31 105 — 黄色 (2.5Y R8/4)、斑状雲状斑に富む、マッシュ。

物 理 性

Horizon	Depth cm	Bulk density g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water permeability cm/s.	Macro porosity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hardness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
A ₁	0— 21	1.53	60.0	2×10^{-3}	10.0	25.0					11
A ₂	21— 30	1.62	63.5	5×10^{-4}	7.9	24.2					13
B ₂₁	30— 45	1.53	60.1	3×10^{-5}	5.0	28.5					22
B ₂₂	45— 85	1.53	60.0	2×10^{-5}	2.2	30.8					20
B ₂₃	85—105	1.54	60.4	4×10^{-5}	1.0	33.2					19
BC	105—128	1.57	61.5	7×10^{-6}	0.6	33.0					21
C ₁	128—	1.62	63.7	8×10^{-6}	0.4	31.5					—

No. 8 Conchas (Red Yellow Podzolic Soil—Variation Laras, grassland)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2—0.05 %	silt 0.05—0.002 %	clay 0.002> %					
A _p	0—21	9.9	78.7	5.4	6.0	3.6		0.43	0.049	8.6
A ₂	21—30	8.2	82.6	5.2	4.0	3.2		0.23	0.025	9.2
B ₂₁	30—45	8.0	67.7	6.7	17.6	9.8		0.51	0.047	9.7
B ₂₂	45—85	6.8	66.6	4.6	22.0	7.4		0.41	0.050	8.1
B ₂₃	85—105	6.1	63.1	6.2	24.6	13.4		0.33	0.033	9.7
B ₃₁	105—128	6.7	65.3	7.6	20.4	8.0		0.21	0.029	7.1
B ₃₂	128—180	5.4	67.8	7.9	18.9	10.3		0.12	0.024	4.8

Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
	← meq/100g →										
0—21	5.8	4.4	0.29	1.82	0.13	0.05	2.00	2.29	4.99	40.0	0.27
21—30	6.1	4.7	0.19	1.38	0.11	0.05	1.54	1.73	3.18	48.4	0.16
30—45	5.6	4.0	1.35	4.10	0.97	0.17	5.24	6.59	14.99	35.0	0.18
45—85	5.3	3.8	4.22	2.47	0.91	0.16	3.54	7.76	16.95	20.9	0.11
85—105	5.2	3.7	7.84	1.56	1.03	0.17	2.76	10.60	21.70	12.7	0.10
105—128	5.2	3.7	8.86	1.10	0.93	0.14	2.17	11.03	22.41	9.7	0.11
128—180	5.1	3.7	9.30	1.25	0.90	0.14	2.29	11.59			0.11

Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)		
0—21	0.29	0.21	19	41.5	23.7	6.7	2.97	14.6	
21—30	0.24	0.20	26					19.4	
30—45	0.70	0.52	19						
45—85	0.78	0.73	19	37.4	21.8	5.0	2.91		
85—105	0.89	0.97	19						
105—128	0.75	0.61	19						
128—180	0.69	0.34	13						

№16 サン・マスエル
 分類 砂質暗赤色ラトソル (LE-a)
 ブラジル名 Latossolo Velmelho Escuro - Intergrado Podzolico Velmelho
 Amarelo - Fase Arenosa
 U S D A Haplustox (Sandy)
 調査地点 サンパウロ州 サン・マスエル市 ボツカツ農大第二農場
 母材 中生代砂岩及び玄武岩由来段丘堆積物
 地形 緩波状台地
 排水性 良好
 土地利用 草地
 断面記載

A P 1 0 — 12cm 暗赤褐色 (2.5Y R3/4)、壤質砂土 (主に細砂)、耕うん層、弱度小な
 いし中亜角塊状構造、碎易、根に富む、層界平坦明瞭、
 A P 2 12 — 20cm 暗赤褐色 (2.5Y R3/4)、壤質砂土、被圧縮層、弱度小亜角塊状構造、
 根含む、層異平坦漸移、
 B 1 20 — 37cm 赤褐色 (2.5Y R4/6)、壤質砂土、ややち密、極弱度小亜角塊状構造、
 根含む、層界平坦漸移、
 B21 37 — 63cm 赤褐色 (2.5Y R4/6)、砂質壤土、極弱度小亜角塊状構造、極弱粘土
 被膜あり、根含む、層界平坦漸移、
 B22 63 — 115cm 赤褐色 (2.5Y R4/6) 砂質壤土、マッシュ。

物 理 性

Hori- zon	Depth cm	Bulk densi- ty g/cc	Solid vol. ratio vol.%	Water perme- ability cm/s.	Macro poro- sity vol.%	Water content vol.%				COLE	Soil hard- ness index
						F.C. (-0.6m)	-1/3 bar	-1 bar	-15 bar		
AP	0—12	1.14	43.0	9×10^{-3}	20.2	27.3	13.9	10.9	4.9		7
A ₃	12—20	1.54	58.0	8×10^{-4}	5.6	30.3	18.8	14.5	6.9		19
B ₁	20—35	1.63	60.7	5×10^{-4}	6.4	28.4	18.9	16.0	9.5		18.5
B ₂₁	35—50	1.60	59.3	9×10^{-4}	9.0	24.2	16.4	14.2	8.3		18
B ₂₂	50—75	1.57	58.1	8×10^{-4}	10.0	24.9	18.3	15.7	10.9		16
B ₂₃	75—115	1.55	57.6	5×10^{-4}	10.5	25.4	17.8	14.5	10.3		15

No16 Faz. São Manuel (Sandy Dark Red Latosol Inter grading to Red Yellow Podzolic Soil)

Hori- zon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real densi- ty g/cc	Total C %	Total N %	C/N	
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %						
A _p	0— 15	26.5	63.2	0.1	10.2	3.8	2.645	0.776	0.051	15.3	
A ₃	15— 21	22.0	60.8	4.3	12.9	5.2		0.718	0.062	11.6	
B ₁	21— 37	21.0	60.7	2.8	15.5	5.0	2.679	0.542	0.061	8.8	
B ₂₁	37— 63	20.5	58.3	2.3	18.9	9.4	2.695	0.402	0.028	14.3	
B ₂₂	63—120	18.2	57.1	1.7	23.0	8.9		0.375	0.033	11.4	
Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
←----- meq/100g ----->											
0— 15	5.8	4.7	0.24	1.40	0.65	0.05	2.10	2.34	4.10	51.2	0.64
15— 21	6.0	4.5	0.29	1.51	0.26	0.03	1.80	2.09	4.50	40.0	0.73
21— 37	6.0	4.9	0.26	1.35	0.12	0.02	1.49	1.75	3.58	41.6	0.17
37— 63	6.0	4.9	0.26	1.35	0.08	0.02	1.45	1.71	3.41	42.5	0.08
63—120	6.0	4.9	0.24	1.56	0.16	0.02	1.74	1.98	3.99	43.6	0.17
Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay					Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorp- tion of P ₂ O ₅ mg/100g	
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)				
0— 15	2.00	0.39	19						22.7		
15— 21	2.86	0.48	32						23.5		
21— 37	2.57	0.61	32								
37— 63	3.72	0.57	26								
63—120	4.29	0.67	19								

No27 Faz. Tamura— 1 (Quartz sand soil, forest)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N	
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %						
A ₁₁	0— 10	12.1	69.4	8.7	9.8	4.0	2.607	0.66	0.080	8.3	
A ₁₂	10— 30	12.7	67.3	5.8	14.2	2.8		0.41	0.058	7.1	
B ₁	30— 60	15.1	62.9	12.0	10.0	6.8	2.630	0.28	0.032	8.8	
B ₂	60— 95	16.8	63.3	7.7	12.2	5.0		0.18	0.018	9.9	
B	95—150	15.5	58.9	10.0	15.6	1.8		0.08	0.015	5.0	
Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base sat. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
← meq/100g →											
0— 10	5.2	4.0	0.71	0.28	0.33	0.04	0.65	1.36	0.88	73.9	0.44
10— 30	5.1	4.2	0.58	0.10	0.09	0.03	0.22	0.80	0.68	32.4	0.18
30— 60	5.3	4.3	0.52	0.20	0.09	0.02	0.31	0.83	0.56	55.4	0.12
60— 95	5.4	4.4	0.30	0.10	0.02	0.01	0.13	0.43	0.48	27.1	0.34
95—150	5.3	4.5	0.19	0.15	0.06	0.03	0.24	0.43	0.56	42.9	0.12
Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay					Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g	
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(Si ₂ O) (Al ₂ O ₃)				
0— 10	0.90	0.49	19						10.6		
10— 30	1.05	0.49	19						9.0		
30— 60	1.15	0.42	19								
60— 95	1.14	0.38	19								
95—150	1.73	0.68	13								

No.28 Fazenda Tamura 1 2 (Humic Latosol—sandy, cultivated field)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N	
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %						
AP ₁	0—10	20.9	50.9	6.4	21.8	4.8		1.55	0.087	17.8	
AP ₂	10—22	21.7	49.5	7.0	21.8	3.4		1.34	0.080	16.8	
B ₁	22—36	19.5	51.8	6.7	22.0	6.3	2.666	0.69	0.043	16.0	
B ₂₁	36—63	20.6	47.5	7.9	24.0	3.8		0.67	0.048	14.0	
B ₂₂	63—	15.7	51.5					0.53	0.041	12.9	
Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ + H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base sat. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
←----- meq/100g ----->											
0—10	5.9	4.8	0.19	1.93	1.07	0.05	3.05	3.24	4.65	64.5	4.92
10—22	5.9	4.8	0.17	1.93	0.93	0.10	2.96	3.13	4.57	64.8	1.32
22—36	4.4	4.3	0.76	0.63	0.37	0.06	1.06	1.82	2.58	41.1	0.21
36—63	5.0	4.4	0.71	0.43	0.19	0.02	0.64	1.35	2.14	29.9	0.03
63—	6.1	4.5	0.43	0.14	0.23	0.01	0.38	0.81	1.81	21.0	
Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay					Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g	
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) / (Al ₂ O ₃)				
0—10	3.79	1.15	13						42.7		
10—22	3.50	1.19	19						29.6		
22—36	3.48	1.42	19						22.9		
36—63	3.77	1.72	26								
63—	3.77	1.87	19								

No26 Pereiras (Lithosol—shale, grassland)

Horizon	Depth cm	Particle size class mm				Water disp. clay %	Real density g/cc	Total C %	Total N %	C/N	
		c. sand >0.2 %	f. sand 0.2— 0.05 %	silt 0.05— 0.002 %	clay 0.002> %						
A ₁	0—10	4.0	9.4	43.4	43.2	13.9		2.51	0.187	13.4	
A ₃	10—23	4.5	8.1	39.3	48.1	28.3		1.80	0.142	12.7	
C ₁	23—45	2.7	4.9	27.6	64.8	27.3		1.34	0.105	12.8	
D ₁	45—62	1.2	2.6	17.8	78.4	38.2		1.19	0.096	12.4	
D ₂	62—80	0	1.5	29.0	69.5	27.1		0.71	0.069	10.3	
R	80—										
Depth cm	pH		KCl ext. (Al ³⁺ +H ⁺)	Extractable bases				Cat. exch. cap.		Base satu. %	avail. P ₂ O ₅ mg/100g
	H ₂ O	KCL		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Sum	bases + Al	NH ₄ OAC (pH7)		
	← meq/100g →										
0—10	5.4	4.0	1.04	4.34	3.09	0.97	8.40	9.44	15.83	53.1	0.47
10—23	5.3	3.8	3.12	3.20	2.14	0.71	6.05	9.17	15.25	39.7	
23—45	5.4	3.8	7.08	1.52	1.67	0.29	3.48	10.56	15.86	21.9	
45—62	5.5	3.7	10.28	0.66	2.47	0.68	3.81	14.09	19.18	19.9	
62—80	5.6	3.6	10.24	0.87	3.40	0.70	4.97	15.21	19.55	25.4	
80—											
Depth cm	dithionite ext.			chemical composition of clay				Total P ₂ O ₅ mg/100g	absorption of P ₂ O ₅ mg/100g		
	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %	MnO ₂ mg	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	(SiO ₂) (Al ₂ O ₃)				
0—10	4.29	0.08	8	40.0	22.7	10.3	2.99	103.3			
10—23	6.72	0.49	0								
23—45	7.21	0.51	0								
45—62	7.32	0.56	0								
62—80	6.45	0.33	0								
80—											

付表2 ブラジル地質年代

百万年	時代		サンパウロ州地質図(1963)		パナマパネマ地質図(1978)		ゴイアニア地質図(1975)		主な岩相特徴
	代	紀	層群	累層	層群	累層	層群	累層	
1.8	新生代	第四紀							未固結堆積物一部ラテライト化
		第三紀		サンパウロ タウバテー		塩其性岩併入		未固結堆積物一部 ラテライト化 カショエイリーニャ	高位段丘、台地面の未固結堆積物（一部ラテライト化）カショエイリーニャ累層は第三紀前半形成とされる標高800—1000mのテーブル状台地面を被う、未固結堆積物（層厚20—80m）。
65	中生代	白亜紀	パウルー			パウルー	パウルー (イポラン)	パウルー	パウルー砂岩は層理が明瞭でなく、石灰及び粘土結核を含む。湖成で半乾燥気候で堆積したものと考えられている。カイウアー層は斜交層理を持つ中粒質石英砂岩（風成および水成）パラナ河沿いにみられる。
			カイウア			カイウア			
141	中生代	ジュラ紀			サンベント	セーハ ジェラル		セーハ ジェラル	広域噴出玄武岩（パラナトラップ）風成砂岩の互層、最層厚は1500m、放射年代測定によれば1.2—1.3億年前に噴出のピークがあったことを示している。 ポツカツ砂岩：中ないし小粒石英質風成砂岩
						ボツ カツ		ボツカツ	
195	中生代	三疊紀	サンベント	セーハジェラル ボツカツ ピランボイア					ピランボイア砂岩：ポツカツ層の最下部、主に湖成の砂岩、最大層厚は300m以上
230	古生代	二疊紀	エスラーダ ノーバ	コロンバタイ イラチー	パッサドイス	ヒオドハスト エララーダ ノーバ イラチー	パッサドイス	テレジーナ イラチー	パッサドイス層群：頁岩、砂岩、石灰岩（ドロマイト）等層理の明瞭な堆積岩、イラチー層は焦性歴青頁岩を含む、珪岩化した頁岩、その上部に灰色の泥岩、砂岩層、さらに赤色かかったシルト岩がのっている。
						グアター	ツバロン グアター	パレルモ	
280	古生代	石炭紀	ツバロン	イタラレー	ツバロン	イタラレー		アキタウ アーナ	ツバロン層群、氷河成のイタラレー累層と後氷期性で石炭層を挟むグアター累層に分かる。イタラレー層は砂シルト質の水れき土氷縞粘土、頁岩、グアター副層群は石炭層、黒色頁岩
345	中生代	デボン紀	パラナ	フルナス		ボンタ グロッサ フルナス	パラナ 又は カンポス ジェライス	ボンタ グロッサ フルナス	海成 フルナス層：白い粗粒な砂岩を主とする。層厚200m以内
395	中生代	シルル紀							
435	中生代	オルド ビス紀							
550	中生代	カンブ リア紀						ピラーニャス	
570	中生代	プレカン ブリア A			アスンギ		バン ブイー クイア パー	パラオ ペーパ イビ アー	アスンギ層群：パラナ、サンパウロ山地の千枚岩を主とする変成岩、変成石灰岩等、併入酸性岩類
1100	中生代	プレカン ブリア B	サンロック				アラシャ	アラシャ	雲母片岩、石墨片岩、千枚岩、変成石灰岩、石英岩、ミグマタイト
1700	中生代	プレカン ブリア C							雲母片岩、ドロマイト、石英岩、片麻岩、併入酸性及び塩基性岩
2200	中生代	プレカン ブリア D							花こう岩、片麻岩

熱 研 資 料

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