

ブラジル国アマゾン地域の土壌粘土 鉱物研究に関する技術協力報告書

TECHNICAL COOPERATION REPORT
ON THE SOIL CLAY MINERALOGY
IN THE BRAZILIAN AMAZON REGION

1979年10月
OCTOBER, 1979

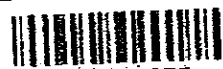
国際協力事業団

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

派	二
J	R
79	18



JICA LIBRARY



1025097(5)

國際協力事業団	
登録 期日 '84. 4. 10	703
登録No. 03508	66.1
	EXS

目 次

CONTEÚDO

CONTENT

	Page
ブラジル国アマゾン地域の土壌粘土鉱物研究に関する技術協力報告書	1
RELATÓRIO DA COOPERAÇÃO TÉCNICA SOBRE MINERALOGIA DE ARGILA EM SOLOS DA AMAZÔNIA BRASILEIRA	13
TECHNICAL COOPERATION REPORT ON CLAY MINERALOGY IN THE BRAZILIAN AMAZON REGION	24
表および図 Quadros e Figuras Tables and Figures	35

はじめに

本報告書は以下の4研究課題の要約である。

1. ブラジル領アマゾン地域の代表的な土壌中の粘土鉱物
2. アマゾン地域の「構造性テラローシャ」土壌の比較粘土鉱物学
3. アマゾン地域の熱帯降雨林/サバンナ推移帯における「構造物テラ・ローシャ」土壌中の粘土鉱物
4. ブラジル領アマゾン地域西南部に分布するカンピソルの粘土鉱物

以上の成果はすでに「Pesquisa Agropecuária Brasileira(ブラジル農畜産研究)」(1および2)および「Soil Science and Plant Nutrition(日本土壌肥科学会英文誌)」(2および3)において印刷中である。本研究は著者がラテンアメリカ技術協力計画に基づいて国際協力事業団より土壌分析専門家として昭和51年11月より同53年11月までEMBRAPA-CPATU(ブラジル農畜産研究公社、湿潤熱帯農畜産研究センター、パラ州ベレン市)に派遣されていた期間に、カウンターパートの化学工学士マリア・レジナ・フレリ・メレル(CPATU研究員)と共同でおこなわれたもので、特に最後の研究はメレルが主体的に推進した。

本研究を遂行する上で以下の諸方にひとかどならぬ援助や激励をいただいたことに対して深く感謝する次第である。

農林水産省農業技術研究所 江川友治前所長、松坂泰明化学部長、赤塚恵土壌第一科長、渡辺裕土壌化学第2研究室長、山本克己技官、南條正己技官、千葉守男技官；京都大学農学部川口桂三郎名誉教授、久馬一剛教授、中奥ウタ技官、土壌協会宇野要次氏、在ベレン総領事館増沢幸三郎前総領事、石川賢治総領事はじめ館職員一同；国際協力事業団ベレン支部小松豊前支部長、仁科雅夫支部長はじめ職員一同；トメアスのアマゾニア総合農業試験場吉田貞吉所長はじめ職員一同；派遣時期を同じくしていた寺田慎一、一戸隆、工藤和一、橋本欽一の各専門家；国際協力事業団派遣事業部の各担当官；さらにEMBRAPA-UEPAE-リオ・ブランコ(アクレ州)の吉井千力所長。

なお、土壌試料の採集および新面記載はEMBRAPAの土壌調査保全事業およびRADAM計画の各担当官によっておこなわれた。

中南米技術協力専門家
農林水産省農業技術研究所
農林水産技官 北川靖夫

1. ブラジル領アマゾン地域の代表的な土壌中の粘土鉱物

1-1 序 論

湿潤熱帯に位置しているアマゾン地域においては、土壌中の一次ケイ酸塩鉱物は急速に風化され、アルカリおよびアルカリ土類金属は土層から流亡し、土壌有機物はすみやかに分解してほとんど集積せず、ほげしい土壌生成条件の下にアルミニウムや鉄が土壌中で相対的に富化されている。当地域において、台地上にはラテライト性土壌が低地には沖積土壌やグライ土壌が分布しており、それらは、SOMBROEK¹⁾ FALESI²⁾, VIEIRA³⁾らによって記載されている。特に、ラテライト性土壌はブラジル領アマゾン地域の70%をおおっているといわれている²⁾。

アマゾン地域の土壌中の粘土鉱物組成はその種の土壌の生成、分類、肥沃度、管理等の研究上重要で興味ある。さらにそれは土壌有機物が低含量であるために、土壌肥沃度に直接影響するものと考えられる。アマゾン土壌の粘土鉱物組成に関する過去の研究は、ラテライト性土壌が主にカオリナイト、加水三二酸化物およびごく少量のモンモリロナイト、パーミキュライト、雲母鉱物等の2:1型土鉱物などからなっているのに対して、低地土壌のそれは少々複雑であることを示している(SOMBROEK¹⁾ 千葉²⁾ 岩佐³⁾)。後者は河水等による複雑な近年の堆積物から成っており、常時または季節的に冠水する条件下では土壌風化作用は前者ほど速くは進行しない(松井⁶⁾)ことに原因があると思われる。

本研究において、ブラジル領アマゾン地域の19地点の土壌の粘土鉱物組成について検討した。それらの土壌は：オキシックB層をもつ土壌＝3点の黄色ラトゾル、3点の赤黄色ラトゾル、1点の赤紫色ラトゾル；土性B層をもつ土壌＝3点の赤黄色ポトゾル性土壌、2点の構造性テラ・ローシャ土壌；低地土壌、2点の構造性テラ・ローシャ土壌；低地土壌＝3点の低腐植グライ土壌2点地下水型ラテライト2点の、沖積土壌である。それらの土壌粘土試料についてX線回折法、示差熱分析、電子顕微鏡観察、化学分析をおこなった。

1-2 試料および実験方法

オキシックB層をもった土壌、土性B層をもった土壌および低地土壌の試料は表-1～3にそれぞれ示すとうりである。

粘土試料は粒径2 μ 以下の風乾土から、10%過酸化水素水処理による土壌有機物分解後ストークの法則に基づいて沈降法により分級調製し、それについて前記の各方法によって検定した。X線回折像は理学電機社製ガイガーフレックスを使用し、Co-K α 線(30KV, 15mA)によって得られた。示差熱分析は三田村理研社製熱分析装置を使用し、昇温速度10 $^{\circ}$ C/minで常温から1,000 $^{\circ}$ Cまで通常の空気中でおこなった。電子顕微鏡写真は、シーメンス社製EIMISKOP101型

電子顕微鏡によって撮影された。

1-3 結果、討論および結論

1-3-1 オキシックB層をもつ土壤

黄色ラトゾル、赤黄色ラトゾル、赤紫色ラトゾルの粘土試料のX線回折像(図-2)および示差熱分析曲線は、カオリナイトの卓越した存在を示し、ゲータイト(針鉄鉱)も各試料とも認められた。ヘマタイト(赤鉄鉱)は赤黄色ラトゾルの一断面を除いて同定され、ギブサイトもかなりの頻度で検出された。以上の結果は表-7に要約されるとおりである。

SOMBROEK¹⁾、千葉⁴⁾、岩佐⁵⁾らによる過去の報告もまた、アマゾン地域のラトゾル性土壤中でのカオリン鉱物の卓越した存在を結論づけている。少量の雲母鉱物も認められたが、それらは非常に安定で熱帯の強烈な土壤生成条件下でも風化されずにいるものと考えられる。KITAGAWAら⁷⁾は土壤中の雲母鉱物が鉱床産の白雲母やイライトに比較して化学処理に安定であることを指摘している。少量のモンモリロナイト又はパーミキュライトが一部の赤黄色ラトゾルの下層土において見出された。

1-3-2 土性B層をもつ土壤

赤黄色ポドゾル性土壤においても、X線回折(図-3)、化学分析(表-5)示差熱分析の結果から判断してカオリナイトが主要粘土鉱物であり、ゲータイトやヘマタイト等の酸化鉄鉱物、さらに一部の土壤では少量のダイオクタヘドラル、パーミキュライトが存在していた(表-8)。風化された台地土壤中のパーミキュライトはKITAGAWAら⁸⁾によって可能性が示されているようにダイオクタヘドラルな雲母に由来していると考えられる。アマゾン地域の赤黄色ポドゾル性土壤のカテゴリーに入り、RICHら⁹⁾によって報告されている米国バージニア州の同名の土壤とは異っているものと推定される。亞寒帯に分布する灰褐色ポドゾル性土壤の主要粘土鉱物はA層でモンモリロナイト様鉱物、B層ではダイオクタヘドラル・パーミキュライトであった(北川¹⁰⁾、BRYDONら¹¹⁾)。従ってアマゾン地域のポドゾル性土壤はまた鉱物学的にも灰褐色ポドゾル性土壤とも異っていた。

いわゆる「構造性テラ・ローシャ」土壤においてはカオリン鉱物が主要であり、その他に相当量の酸化鉄鉱物が存在している。(図-3、表-8)。特に、この種の土壤が塩基性岩に由来しているために、ヘマタイト含量が高かった。マツグロツ州の「構造性テラ・ローシャ」土壤はカオリナイト、ヘマタイトおよびギブサイトから成っており、ゲータイトの存在は確認されず、少量のダイオクタヘドラル・パーミキュライトが同定された。パラ州オビドス郡からの「構造性テラ・ローシャ」土壤中では、他の台地土壤と違ってメタハロサ

イトが卓越していた。ラテライト性土壌中のメタハロイサイトの存在はKITAGAWAら¹²⁾によって古い火山灰に由来するインドネシアの土壌において報告されている。

1-3-3 低地土壌

X線回折法(図-4, 5)、示差熱分析、化学分析(表-6)、電子顕微鏡観察の結果は、SOMBROEK¹⁾や岩佐⁵⁾の指摘のようにアマゾン地域の低地土壌の粘土鉱物組成が少々複雑であることを示している。多数の土壌においてカオリナイトが卓越しているが、2点の低腐植グライ土壌および地下型ラテライト土壌においてはモンモリロナイト/ダイオクタヘドラル・パーミキュライト混合層鉱物および雲母鉱物がそれぞれ主要成分であった(表-9)。混合層鉱物の主構成要素は、グリセロールおよび加熱処理による底面反射の変化の様子から判断してモンモリロナイトであると考えられる。OJEMS¹³⁾はスカンジナビアのポドゾル性土壌中におけるダイオクタヘドラル・パーミキュライト/モンモリロナイト混合層鉱物の存在を報告しているが、これはパーミキュライト的であった。雲母および他の2:1型粘土鉱物は、たとえカオリナイトが主要である低地土壌においてもしばしば見出された。

1-3-4 総合討論

アマゾン地域の台地土壌中ではカオリン鉱物が主要であり、粘土鉱物学的見地からも、一般に低肥沃土壌であった。「構造性テラ・ローシャ」土壌は肥沃な土壌と言われるけれども、主要粘土鉱物はカオリン鉱物であった。この問題を解決することは非常に重要なことであるので次章において考察される。当地域のある種の低地土壌は多量のモンモリロナイト様鉱物を含み、粘土鉱物学的には肥沃であると見なされた。なぜならば、モンモリロナイトは高い陽イオン交換容量、大きな比表面積を有しているために、土壌に高い緩衝能力および養分保持能力を与える。

アマゾン地域の土壌粘土部分には、石英が多かれ少なかれ存在していた。KITAGAWA¹²⁾によればインドネシアのある種の熱帯火山灰性土壌中には石英は認められず、 α -クリストバライトが高頻度で存在していた。

2. アマゾン地域の「構造性テラ・ローシャ」土壌の比較粘土鉱物学

2-1 序論

アマゾン地域で肥沃な土壌の1つはいわゆる「構造性テラ・ローシャ」土壌であり、それは塩基性岩に由来しブラジル南部ではコーヒーのプランテーション土壌として有名である。この土壌は当地域での分布面積が小さいにもかかわらず高い生産性のゆえに農業上非常に重要である。VIEIRA³⁾はこの土壌「帯赤褐色ラテライト性土壌」と呼んでいる。彼によれば、ハワイにおいては「低腐植ラトドル」、オーストラリアでは「赤色ローム」、チリーでは「暗赤色ラテライト」、さらに米国南部では「帯赤褐色ラテライト性土壌」と呼ばれている。しかしながら、ブラジルにおいては「構造性テラ・ローシャ」の名称が一般的である。FALESI²⁾によれば、ブラジル領アマゾン地域の「構造性テラ・ローシャ」土壌の化学的・物理的諸性質は以下のとおりである：陽イオン交換容量、2.17～39.8me/100g；塩基飽和度、30～99%；粘土含量、30～69%；pH、5.0～7.3；Fe₂O₃含量、15～30%；可給態リン酸、0.5～2.3mg/100g。

本研究において「構造性テラ・ローシャ」土壌の粘土鉱物組成、主に酸化鉄鉱物に関して、X線回折法、示差熱分析、化学分析の結果に基づいて隣接する赤黄色ポトゾル性土壌と比較することによって検討した。

ブラジル領アマゾン地域の「構造性テラ・ローシャ」土壌の主要粘土鉱物はカオリン鉱物であり、その他に酸化鉄鉱物も存在している（千葉⁴⁾、岩佐⁵⁾）。ブラジル南部、ハワイ、米国南部の土壌もまたカオリン鉱物をはじめギブサイト、酸化鉄、非晶質鉱物を含有している（MONIZら¹³⁾、TAMURAら¹⁴⁾、MUNら¹⁵⁾）。

2-2 試料および実験方法

2点の豊栄養「構造性テラ・ローシャ」土壌、1点の貧栄養「構造性テラ・ローシャ」土壌および1点の赤黄色ポトゾル性土壌がパラ州アルタミラ郡から採取され、それらは表-10に示される。TRE-4、TRE-5、RVA-3は近接しており、RVA-3からわずかに50m位しか離れていない、TRE-5は両者の中間に位置している。なおTRE-3はこれより約78m離れている。

アルタミラ市における平均気温、年雨量はそれぞれ26.0℃、1,680mmであり、雨季は12～5月で、ケッペンの気候分類ではAw又はAmである（BASTOS¹⁶⁾）。

粘土試料の調整および各実験方法は前章のとおりである。

MEIRAら¹¹⁾によるハイドロサルファイドークエン酸-炭酸水素系脱鉄処理後にカオリナイト含量は次式に基づいて計算された。

$$\frac{I_{h_0}(001)}{I_h(001)} \times 100 (\%)$$

ここで $I_{h_0}(001)$ および $I_h(001)$ は、処理前後の粉末法による 7.2\AA 付近のカオリナイトの底面反射の強度を示す。ヘマタイト係数、これはその含量と比例する、は次式から求められた：

$$\frac{I_{h_1}(110)}{I_{h_1}(110) + I_{g_1}(110)} \times C_{Fe}$$

ここで C_{Fe} は粘土試料中の Fe_2O_3 含量、 $I_{h_1}(110)$ および $I_{g_1}(110)$ は 2.52\AA におけるヘマタイト (110) 反射および 4.18\AA ゲータイト (110) 反射の強度をそれぞれ示している。

2-3 結果、討論および結論

2-3-1 カオリナイトおよびヘマタイト含量

これらの土壤の粘土部分は主にカオリナイト、ヘマタイト、ゲータイトからなっており、極く少量の 2:1 型粘土鉱物が存在していた。豊栄養および貧栄養「構造性テラ・ローシャ」土壤間の粘土部分中のカオリナイト含量には差異が認められなかったが、赤黄色ポドゾル性土壤より含量は低かった (表-11)。

「構造性テラ・ローシャ」土壤の粘土部分中の Fe_2O_3 含量は赤黄色ポドゾル性土壤より高かったが、やはり豊栄養と貧栄養の間の差異は認められなかった (表-11)。ヘマタイト係数は豊栄養「構造性テラ・ローシャ」土壤において相対的に高く、赤黄色ポドゾル性土壤においては極端に低いか又はゼロであった。(表-11)。マツグロソソおよびオビドスからの豊栄養土壤ではその値がそれぞれ 29 および 9 であった。シルトおよび細砂部分のカオリナイト、ヘマタイト、ゲータイト含量は赤黄色ポドゾル性土壤より「構造性テラ・ローシャ」特に豊栄養土壤において高かった。このことは、「構造性テラ・ローシャ」土壤に粘土鉱物や酸化鉄からなる安定なマイクロアグゲートが多量に存在していて、特に豊栄養土壤に多いことを示している。

2-3-2 土壤ヘマタイトの性質

「構造性テラ・ローシャ」土壤中のヘマタイトは加水第 1 鉄又は第 2 鉄沈澱ゲルを加熱脱水することによって調整された酸化鉄に類似し、ミナスジェライス州オーロプレットおよびパラ州セラ・ドス・カラジャースからの 2 つのタイプの鉱床産ヘマタイトの中間的性質を示すことが、ヘマタイトの各 X 線回折ピークの相対強度を比較することによって明らかになった (表-12)。この事実は、「構造性テラ・ローシャ」土壤中のヘマタイトは沈澱酸化鉄ゲルの脱水によって生成されたということを示唆している。

2-3-3 総合討論および結論

「構造性テラ・ローシャ」土壤中ではヘマタイトが、粘土粒子の安定なマイクロ・アグリゲートの固結物質として行動している。

一方、少量のヘマタイトしか存在しない赤黄色ポドゾル性土壤中には少量の安定なマイクロ・アグリゲートしか存在しないことから判断すると、ヘマタイトは固結物質にならないものと推定される。LUTZ¹⁷⁾は土壤溶液中の遊離鉄が土壤粘土の凝固剤として作用し、研究した土壤pHで沈殿した加水鉄ゲルは脱水することによって凝固剤になることを示唆した。

CHAUVELら¹⁸⁾はカオリン質物質の配向に対する鉄の役割を実験的に研究し、この役割は単純ではないが鉄が粘土鉱物の配向現象に重要な役割を演ずることを指摘した。KITAGAWA¹⁹⁾は湿潤地域に存在する火山灰土壤中の安定なアグリゲートについて研究し、安定なアグリゲートはアロフェンや他の粘土鉱物粒子の固結物質として加水三二硫化物、主に酸化鉄、の脱水によって形成されると結論づけた。

アマゾン地域の「構造性テラ・ローシャ」土壤が比較的肥沃であるのは、この安定なマイクロ・アグリゲートの多量の存在が以下の結果をもたらすためであると考えられた：

1)多孔性、通気性、保水性のような良好な物理性が 2)植物根の活発な呼吸をうながし、3)作物の繁茂を促進する。一方、「構造性テラ・ローシャ」土壤の化学的性質は化学的には肥沃である低地土壤と比較してあまり良好ではない。すなわち、他のラテライト性土壤のごとく比較的低い陽イオン交換容量、低有機物含量、低い有効態リン酸含量さらに相当高いリン酸固定能等を有している。しかしながら、アルカリ土類金属の含量、塩基飽和度、pH値等は豊栄養「構造性テラ・ローシャ」土壤において比較的高い。この土壤の立場は火山灰土壤のそれと比較的類似しているようである。なぜなら、後者もまた多量の安定なアグリゲートを有しており（KITAGAWA¹⁹⁾）、非常に高いリン酸固定能を示すが湿潤熱帯では肥沃な土壤とされている。したがって、湿潤熱帯台地上では含鉄塩基性環境下での風化作用は物理性の良好な土壤を生成するものと推定される。

3. アマゾン地域の熱帯降雨林/サバンナ推移帯における「構造性テラ・ローシャ」土壌の粘土鉱物

3-1 序論

前章の研究において「構造性テラ・ローシャ」土壌の諸性質および粘土鉱物組成について述べたが、本研究においては、アマゾン地域における熱帯降雨林と熱帯サバンナ(セラード)の推移帯に分布する当種土壌の粘土鉱物組成について検討した。

3-2 試料および実験方法

熱帯降雨林および熱帯降雨林/サバンナ推移帯に存在するそれぞれ各1点の豊栄養「構造性テラ・ローシャ」土壌、および熱帯サバンナ/半乾燥かん木林(カーチンガ)推移帯の1点の帯赤色ブルニーゼンが本研究に供試された。それらは表-13に示すとおりである。当該地域のケッペンによる気候区分は、前者においてAwであり、後者では年雨量990mmから判断するとAw/BS推移帯である。

実験方法は前章において述べたとおりである。

3-3 結果、考察および結論

各土壌の粘土部分のX線回折像(図-6)および示差熱分析曲線は表-14に示されるように、サン・フェリックス・ド・シンダールの「構造性テラ・ローシャ」(TRE-6)はカオリナイト、ヘマタイト、ゲータイト、ダイオクタヘドラル・パーミキュライト、タルク、石英から成っており、コンセイソン・ド・アラグァアイアのそれ(TRE-7)はカオリナイト、ヘマタイト、ゲータイト、雲母鉱物、モンモリロナイト、ダイオクタヘドラル・パーミキュライト、タルク、石英から成っていた。一方、ナザレ・ド・ピアウイの帯赤色ブルニーゼム(BA-1)の粘土鉱物組成はメタハロイサイト、ヘマタイト、ゲータイト、石英であった。なお、各土壌ともカオリン鉱物が主要鉱物であった。

TRE-6とTRE-7はモンモリロナイト、パーミキュライト雲母鉱物、タルク等の2:1型粘土鉱物を含有していたが、それらはBA-1では同定されなかった。雲母鉱物やタルクは母材から引継がれているものと考えられる。BA-1において主要鉱物であったメタハロイサイトは、第1章で述べたごとくオピドスの「構造性テラ・ローシャ」土壌中にも存在していた。ギブサイトは見出されなかった。ヘマタイト含量はマット・グロッソ土壌のようにTRE-6において極端に高く、TRE-7およびBA-1でもやや高かった。本研究および前章で述べられた熱帯降雨林の土壌を含めて、アマゾン地域に分布する「構造性テラ・ローシャ」土壌の粘土鉱物組成を比較した結果、熱帯降雨林と熱帯サバンナの間には差異は認められなかった。熱帯サバ

ンナと半乾燥かん木林地の推移帯に分布するBA-1においてさえも粘土鉱物組成はパラ州オピドス（熱帯降雨林）の「構造性テラ・ローシャ」土壤に類似していた。この事実は、アマゾン地域においては「構造性テラ・ローシャ」土壤の生成は気候より母材により強く影響されることを示唆している。この結論は「構造性テラ・ローシャ」土壤が熱帯地域のラテライト生成条件下で発達していることを考えれば当然であろう。

4. ブラジル領アマゾン地域西南部に分布するカンピソルの粘土鉱物

4-1 序論

湿潤熱帯の台地土壌においては、通常カオリナイトが卓越し、一般に肥沃度が低い。一方、ブラジル領アマゾン地域西南部のアカレ州には、RADAM計画の報告書²⁰⁾によると比較的肥沃なカンピソルが分布している。それは高い陽イオン交換容量、高含量の交換性 Ca^{2+} や Mg^{2+} をもっている。当該土壌の粘土鉱物組成は、アマゾン州の他のカンピソルと比較しながら調べられた。土壌試料は表-15に列記されるとおりである。

4-2 結果と結論

アカレ州トラウアカ郡からのカンピソル中の主要鉱物はモンモリロナイト/ダイオクタヘドラル・パーミキュライト混合層鉱物であったが、アマゾナス州ボッカ・ド・アカレ郡の場合は他のラテライト性土壌と同様にカオリナイトであった(表-16)。トラウアカ土壌において2:1型粘土鉱物が卓越していることは、この土壌の高い肥沃度、高い陽イオン交換容量、交換性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} の高含量等を良く説明し、それは又、アンデス山脈からの火山性物質の影響を受けているものと考えられる。

5. おわりに

アマゾン地域に分布する土壌の粘土鉱物組成を調べた結果、粘土鉱物以外の土壌条件および社会経済的な諸条件を考慮しなければ、肥沃な土壌（モンモリロナイト等の良好な粘土鉱物が主成分）はアマゾン河低地に分布しており、台地上では極く小面積のバーチリル、さらに特筆すべきはアクレ州のカンピソルおよび豊栄養赤黄色ポドゾル性土壌であった。その他の土壌はカオリナイトを主成分とする肥沃度の低い土壌であったが、例外としていわゆる「構造性テラ・ローシャ」土壌はカオリナイト系粘土鉱物を主成分とするが、安定なアグリゲートの固結剤として多量のヘマタイトが共存しているため物理性の良好な土壌となっている。

また、「インディオの黒色土」は多量に集積した有機物によって肥沃度の高い土となっているが、基本的にはカオリナイトを主成分とするラテライト性土壌である。粘土鉱物学的には、全アマゾン地域に2千万ha分布するという低地肥沃土壌は水利御に成功すれば大いに将来性があるものと考えられる。

引 用 文 献

- 1) SOMBROEK, W. G. *Amazon Soils, Center Agr. Pub. Doc. Wageningen 1966, 76-95.*
- 2) FALESI, I. C. *Bol. Téc. IPEAN, Belém No 54, 17-67, 1972.*
- 3) VIEIRA, L. S. *Manual da Ciência do Solo, Ed. Agron. cer. Ltda. S. Paulo 1975, 381-440.*
- 4) 千葉守男、土肥誌44, 283-288, 1973.
- 5) 岩佐安、アマゾンにおける土壌及び粘土鉱物の研究に関する技術協力報告書、JICA 東京1976, 1-177.
- 6) 松井健、粘土ハンドブック、技報堂1967, 152-158.
- 7) KITAGAWA, Y. and WATANABE, Y. *Soil Sci Plant Nutr.* 16, 167-172, 1970.
- 8) *Idems, Clay Sci* 4, 31-36, 1970.
- 9) RICH, C. I. and OBENSHAIN, S. S. *Soil Sci Soc. Amer. Proc.* 19, 334-339, 1955.
- 10) 北川靖夫、ヘドロジスト10, 11-17, 1966.
- 11) BRYDON, J. E., KODAMA, H. and ROSS, G. J. *Trans. 9th Int. cong. soil Sci III*, 41-51, 1968.
- 12) KITAGAWA, Y., KYUMA, K. and KAWAGUCHI, K. *Soil Sci Plant Nutr* 19, 147-159, 1973.
- 13) GJEMS, O. *Clay Miner. Bull* 5, 183-193, 1963.
- 14) TAMURA, T., JACKSON, M. L. and SHERMAN, G. D., *Soil Sci Soc. Amer. Proc.* 17, 343-346, 1953.
- 15) NYUN, M. A. and MACCALEB, S. B. *Soil Sci* 80, 27-41, 1955.
- 16) BASTOS, T. X. *Bol. Téc. IPEAN, Belém No 54, 68-122, 1972.*
- 17) LUTZ, J. F. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 1, 43-45, 1938.
- 18) CHAUVEL, A., PEDRA, G. e TESSER, D. *Sci. du Sol (ORSTOM, Pedologie) No 2*, 101-113, 1976.
- 19) KITAGAWA, Y. *Pedologist* 20, 52-56, 1976.
- 20) BRASIL. *Projeto Radam Brasil, M. M. E, D. N. P. M., Rio de Janeiro, 12, 179-312, 1976.*

**RELATÓRIO DA COOPERAÇÃO TÉCNICA SÔBRE MINERALOGIA DE
ARGILA EM SOLOS DA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Yasuo KATAGAWA
Instituto Nacional de Ciências Agrárias
Tóquio Japão

OUTUBRO DE 1979

RELATÓRIO DA COOPERAÇÃO TÉCNICA SÔBRE MINERALOGIA DE ARGILA EM SOLOS DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Yasuo Kitagawa

O resumo de quatro estudos compões este relatório:

- 1 – Mineralogia de argilas de alguns solos típicos na Amasônia Brasileira.
- 2 – Mineralogia comparativa de argilas na Terra Roxa Estruturada da Amazônia.
- 3 – Mineralogia de argilas em Terras Roxas Estruturadas na transição floresta/cerrado da Amazônia.
- 4 – Mineralogia de argilas em Cambissolos do sudoeste da Amazônia Brasileira.

O primeiro e último trabalho foram enviados para publicação a PAB, e os demais a "Soil Science and Plant Nutrition".

Estas pesquisas foram desenvolvidas com Químico Industrial Maria Regina Freire Möller, EMBRAPA-CPATU durante a permanência do autor no CPATU, enviado pela "Japan International Cooperation Agency (JICA)" baseado no Plano de Cooperação Técnica Latino Americano. Especialmente o último trabalho, foi desenvolvido por M. R. F. Möller.

Gostaria de agradecer ao Eng. Agr. Hérmínio Maia Rocha, Ex-Chefe do CPATU; Eng. Agr. Cristo Nazaré Barbosa do Nascimento, Chefe do CPATU; Eng. Agr. Virgílio Ferreira Libonati, Chefe Adj. Téc do CPATU; Eng. Agr. José Furlan Júnior, Chefe Adj. Adm. do CPATU; Eng. Agr. Walmir Salles Couto, CPATU, pelo apoio recebido; Eng. Agr. Ítalo Cláudio Falesi, Eng. Agr. Benedito Nelson Rodrigues da Silva, Eng. Agr. Emmanuel de Souza Cruz, Eng. Agr. Raimund Freire de Olivera, Eng. Agr. Gladys Ferreira de Souza Morrill, Eng. Agr. Areolino de Oliveira Matos, Químico Industrial Milton Paulino da Costa, Eng. Agr. Antônio Ronaldo Camacho Baena, Eng. Agr. Emanuel Adilson Serrão, pesquisadores do CPATU; Eng. Agr. Lúcio Salgado Vieira, Professor da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, pela ajuda recebida; Dr. Ronaldo Araujo, Professor da Faculdade Medicina da Universidade Federal do Pará; Eng. Agr. Antônio Carlos Paula Neves da Costa, Chefe da UEPAE de Altamira (EMBRAPA).

A coleta e descrição das amostras de solos foram feitas por pesquisadores da EMBRAPA e Projeto RADAM.

1 – MINERALOGIA DE ARGILAS DE ALGUNS SOLOS TÍPICOS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA.

1.1 – INTRODUÇÃO

A região Amazônia localizada nos trópicos úmidos, onde os silicatos primários dos solos são rapidamente intemperizados, os alcalinos e alcalino terrosos são perdidos dos horizontes, e o material orgânico rapidamente decomposto sendo pouco dele retido no solo, há o enriquecimento relativo de alumínio e ferro, sob condições drásticas da gênese do solo.

Os solos lateríticos distribuídos nas terras altas desta região, e solos aluviais e gleys em terras baixas, foram descritos por SOMBROEK (1), FALESI (2) e VIEIRA (3). Cerca de 70% da Amazônia Brasileira é coberta por solos lateríticos (2).

O conhecimento da composição mineralógica da fração argila na região é de grande importância para o estudo da gênese, classificação, manejo dos solos, e influência direta na fertilidade pelo baixo conteúdo de material orgânico que os solos apresentam. Estudos anteriores sobre mineralogia de argila em solos da Amazônia mostraram que os solos lateríticos na maioria das vezes são compostos de caulinita, sesquióxidos e pequenas quantidades de minerais de argila tipo 2:1 tais como montmorilonita, vermiculita e minerais de mica, por outro lado, os solos de baixada são bastante complexos (SOMBROEK, 1; CHIBA, 4; IWASA, 5). Os últimos são compostos por complicados materiais de origem depositados recentemente pelas águas dos rios, e o intemperismo do solo sob condições permanente ou periódicas de alagação, não é tão rápido como na anterior (MATSUI, 6).

Neste estudo, a composição mineralógica das argilas de 19 solos da Amazônia Brasileira é discutida; solos com B latossólico, três Latossolos Amarelos (LA), três Latossolos Vermelhos Amarelos (LVA) e um Latossolo Roxo (LR); solos com B textural, três Podzólicos Vermelhos Amarelos (PVA) e duas Terras Roxas Estruturadas (TRE); e solos de baixada, três Gleis Poucos Humicos (GPH), duas Lateritas Hidromórficas (LH) e dois solos aluviais.

Os resultados de difração de raio-X, análise térmica diferencial, microscopia eletrônica e análise química são apresentados e discutidos.

1.2 – AMOSTRAS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

As amostras de solos com B latossólico, B textural e as de terras baixas estão relacionadas no quadro 1, 2 e 3, respectivamente.

As argilas foram preparadas da Terra Fina Seca ao Ar menos que 2 mm de diâmetro, pelo método de sedimentação de acordo com a lei de Stokes, após a decomposição do material orgânico com H_2O_2 a 10%, e examinadas com auxílio da difração de raio-X e análise térmica. Os gráficos de difração de raio-X foram obtidos com radiação Co-K α (30kV, 15mA) utilizando-se difratômetro Geigerflex Rigaku Denki Ltda. As curvas da análise térmica diferencial foram obtidas utilizando-se um termoanalisador Mitamura com aquecimento de 10 °C/min. na temperatura ambiente à 1.000 °C, em atmosfera comum. As fotografias eletrônicas foram tiradas utilizando-se um microscópio eletrônico da Siemens ELMISKOT 101.

1.3 – RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

1.3.1 – Solos com B Latossólico

Os gráficos de difração de raio-X (Fig. 2) e as curvas da análise térmica diferencial da fração argila em LA, LVA e LR, mostraram predominância de caulinitas; goetita e hematita foram encontradas exceto em um perfil de LVA, e gibsita esteve frequentemente presente como mostra o quadro 7.

Os trabalhos anteriores de SOMBROEK (1), CHIBA (4) e IWASA (5) também mostraram a predominância de minerais cauliniticos e traços de minerais micas foi evidenciado. Acredita-se ser material muito estável, e não intemperizável sob condições drásticas de gênese dos solos tropicais. KITAGAWA, et alli. (7) mostraram que os minerais de mica nos solos são mais estáveis sob um tratamento químico que os de depósitos minerais tais como muscovita e illita. Pequenas quantidades de montmorilonita ou vermiculita foram encontradas somente no subsolo de LVA.

1.3.2 – Solos com B textural

Caulinitas foram predominantes, e óxidos de ferro tais como hematita e goetita estiveram presentes em todas as amostras dos PVA, além de pequenas quantidades de minerais micas e vermiculita dioctaédrica foram evidenciadas em alguns destes solos (Quadro 8); conforme os resultados obtidos pelos métodos de difração de raio-X (Fig. 3) análise térmica diferencial e análise química (Fig. 5). A vermiculita, como intemperismo de solos de terra firme, pode ser originária das micas dioctaédricas, conforme mostrou KITAGAWA, et alli. (8). Os PVA da Amazônia estão mineralogicamente na categoria dos solos lateríticos, e são diferentes dos de Virginia, U. S. A. citados por RICH, et alli. (9). A dominância mineralógica das argilas dos solos “gley brown podzolic” distribuídos em zona subfria e de minerais da família da montmorilonita nos horizontes A₂, e vermiculita dioctaédrica nos B (KITAGAWA, 10, BRYDON, et alli., 11). Os solos podzólicos da

Amazônia são portanto, diferentes dos "gley brown podzolic soils".

Na fração argila das TRE, há dominância de caulinita e considerável quantidade de óxidos minerais conforme mostra o quadro 8 e Fig. 3. O conteúdo de hematita foi particularmente alto, por terem estes solos, sido originados de rochas básicas. A TRE do Mato Grosso contém caulinita, hematita e gibsitita, mas ausência de goetita. Pequenos teores de vermiculita dioctaédrica também foi encontrado neste solo. No outro perfil de TRE de Óbidos, Pará, a metahalosita foi dominante apesar da predominância de caulinita nos outros solos altos da Amazônia. A presença de metahalosita foi dominante apesar da predominância de caulinita nos outros solos altos da Amazonia. A presença de metahalosita em solos lateríticos da Indonésia, derivados de antigas disposições de cinzas vulcânicas, foi mostrado por KITAGAWA, et alli. (12).

1.3.3— Solos de baixadas

Os resultados da difração de raio-X (Fig. 4), análise térmica diferencial, microscopia eletrônica e análise química (quadro 6) mostraram que a composição mineralógica da fração argila de solos de baixada da Amazônia é um pouco mais complexa como citaram SOMBROEK (1) e IWASA (5). Apesar da predominância caulinita em muitos solos, montmorilonita/vermiculita dioctaédrica interestratificada e minerais de mica foram dominantes em dois GPII e uma LII. O componente dominante dos minerais interestratificados pode ser montmorilonita, conforme mostra as mudanças dos espaçamentos basais pelos tratamentos com glicerol e aquecimento. GJEMS (13) mostrou a ocorrência de vermiculita dioctaédrica/montmorilonita interestratificada em podzóis da Escandinávia, entretanto era um mineral vermiculita. Mica e outros minerais argilosos do tipo 2:1 são frequentemente formados em solos de baixada, mesmo quando caulinitas são dominantes.

1.3.4— Discussão geral

Minerais cauliniticos são dominantes em solos de terra alta da Amazônia, e a fertilidade destes solos é baixa sob ponto de vista argilo-mineral, em geral. A TRE, que é um tipo de terra firme, tem alta fertilidade, mas a argila dominante é caulinita. É importante solucionar este problema que será discutido nos demais trabalhos. Alguns solos de terra baixa desta região contiveram uma grande quantidade de minerais argilosos tipo montmorilonita, que olhados sob o ponto de vista argilo mineralógico são férteis, porque a montmorilonita têm altos valores de CTC e grande superfície específica, assim é que sua existência leva a uma alta ação tampão e alta capacidade de segurar nutrientes nos solos.

O quartzo existe em maior ou menor proporção na fração argila dos solos da Amazônia. Segundo KITAGAWA, et alli. (12), o quartzo não é sempre encontrado em alguns solos tropicais vulcânicos da Indonésia, em lugar dele, ocorre mais frequente α -cristobalita.

2 – MINERALOGIA COMPARATIVA DE ARGILAS NA TERRA ROXA ESTRUTURADA

2.1 – INTRODUÇÃO

Um tipo de solo fértil da Amazônia, chamado de Terra Roxa Estruturada, que foi derivado de rochas básicas, é muito conhecido pelas plantações de café no sul do Brasil. Este solo é agriculturalmente muito importante pela alta produtividade embora sua área seja relativamente pequena na Amazônia. Este solo é chamado "Laterítico Bruno Avermelhado" por VIEIRA (3), "Low Humic Latosol" no Hawaii, "Red Loam" na Austrália, "Laterita Pardo Rojisa" no Chili e "Reddish Brown Lateritic soil" no sul dos Estados Unidos da América do Norte (VIEIRA 3). O termo "Terra Roxa Estruturada" é entretanto, mais comum no Brasil. Segundo FALESI (2), as propriedades físicas e químicas da TRE da Amazônia são as seguintes: CTC, 2, 17 a 39, 8me/100g; porcentagem de cátions trocáveis, 30 a 90%; conteúdo de argila, 30 a 69%; pH 5, 0 a 7, 3, conteúdo de Fe_2O_3 , 15 a 30%; P_2O_5 assimilável, 0, 5 a 3mg/100g.

No presente estudo, a composição mineralógica da argila, principalmente os minerais de óxido de ferro da TRE, é discutida em comparação com um PVA de área próxima, com resultados de difração de raio-X, análise térmica diferencial análise química.

O mineral argiloso dominante da TRE da Amazônia é caulinita, além de minerais de óxido de ferro (CHIBA, 4; IWASA, 5). Os solos do sul do Brasil, Hawaii e sul dos Estados Unidos também contêm minerais cauliniticos, gibsitita, óxidos de ferro e minerais amorfos (MONIZ, et alli., 13; TAMURA, et alli., 14; NYUN, et alli., 15).

2.2 – AMOSTRAS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Dois perfis de TRE e um PVA foram coletados em Altamira, no Estado do Pará, e listados no quadro 10. TRE-IV e a PVA-III estão próximos, TRE-IV dista apenas 50m do PVA-III, e TRE-V está situada entre êles. TRE-III está localizada mais distante.

A temperatura média e precipitação anual em Altamira são respectivamente 26°C e 1.680 mm, as chuvas são mais intensas de dezembro a maio, e a classificação climática segundo Köppen

é Aw ou Am (BASTOS, 16).

A preparação das amostras de argila e os métodos experimentais foram os mesmos utilizados no estudo anterior.

Após o pré-tratamento pelo sistema ditionito-citrato-bicarbonato segundo MEHRA, et alli. (17), o conteúdo de caulinita foi determinado pela seguinte fórmula:

$$\frac{I_{k_0}(001)}{I_k(001)} \times 100 (\%)$$

onde, $I_{k_0}(001)$ e $I_k(001)$ são intensidades dos picos caulinita a 7,2 Å em espécies de pó sem tratamento e com tratamento respectivamente. O coeficiente de hematita, o qual é proporcional a seu conteúdo, foi calculado conforme a fórmula.

$$\frac{I_{ht}(110)}{I_{ht}(110) + I_{gt}(110)} \times C_{fe}$$

onde, C_{fe} é conteúdo de Fe_2O_3 da amostra de argila, e $I_{ht}(110)$ e $I_{gt}(110)$ são as intensidades dos picos de hematita (110) a 2,52 Å e goetita (110) a 4,18 Å, respectivamente.

2.3 – RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

2.3.1 – Conteúdo de caulinita e hematita

A fração argila destes solos é principalmente composta de caulinita, hematita e goetita, e muito pouca quantidade de minerais argilosos do tipo 2:1. Não houve diferença no conteúdo de caulinita da fração argila entre as TRE eutróficas e distróficas, embora tenha sido menor que no PVA (quadro 11).

O conteúdo de Fe_2O_3 na argila da TRE foi menor que no PVA, mas também não houve diferença entre as eutróficas e distróficas (quadro 11). O coeficiente de hematita foi relativamente alto na TRE eutrófica, e extramamente baixo ou zero no PVA (quadro 11). Foram encontrados os valores de 29 e 9 nos solos de Mato Grosso e Óbidos que também são eutróficos. O conteúdo de caulinita, hematita e goetita nas frações silte e areia fina foram maiores que nas TRE, especialmente nas eutróficas, que no PVA. Este fato sugere que as TRE possuem grandes quantidades de agregados de argilas e micro agregados de minerais argilosos e óxidos de ferro, e são mais

abundantes nos solos eutróficos.

2.3.2— *Propriedades da hematita do solo*

A hematita na TRE é similar a de desidratação de óxidos de ferro preparados por aquecimento de gels hidratados de óxido de ferro II e III, e sua sequência mineralógica deve estar situada entre dois tipos de hematita dos depósitos de Ouro Preto, Minas Gerais, e Serra dos Carajás, Pará, segundo a intensidade relativa de vários de difração de raio-X associadas a hematita (quadro 12). Este fato sugere que a hematita da TRE foi formada por desidratação de precipitados de gels de óxido de ferro. Os ions férricos e ferricos devem ter sido originados de rochas paretais, e sua concentração é especialmente alta em rochas básicas.

2.3.3— *Discussão geral e conclusão*

A hematita comporta-se como um material de cimentação dos micro-agregados estáveis das partículas argilosas na TRE. A goetita não deve ser material de cimentação, conforme mostra a baixa incidência de micro agregados estáveis no PVA que possui pouca quantidade de hematita. LUTZ (17) sugere que o ferro livre as argilas do solo e o gel de ferro hidratado que precipita no pH dos solos estudados por êle, pode torna-se um bom agente cimentante após desidratação. CHAUVEL, et alli. (18) estudou experimentalmente o papel do ferro na organização do material caulínico, e mostrou que êle tem grande importância no fenômeno de organização do material argiloso, apesar deste papel não ser simples.

KITAGAWA (19) estudou os agregados estáveis dos solos de cinzas vulcânicas que ocorrem nas regiões úmidas, e concluiu que os agregados estáveis devem ser formados pela desidratação de sesquióxidos hidratados, principalmente óxidos de ferro, como material de cimentação dos alofanos e outras partículas de minerais argilosos.

A relativa alta fertilidade da TRE na Amazônia deve ser causada pela abundância de micro-agregados estáveis que resulta em: 1) As boas propriedades físicas destes solos tais como porosidade, permeabilidade e capacidade de retenção de água; 2) A vigorosa respiração raízes de plantas; 3) O crescimento vicejante das plantas. Por outro lado, as propriedades químicas da TRE não são tão boas como as de terras baixas que são quimicamente férteis, isto é, os relativamente baixos valores de CTC, baixo conteúdo de material orgânico, baixo teor de fósforo assimilável e considerável fixação de fósforo que os demais solos lateríticos. O conteúdo de alcalino-terrosos, porcentagem de cátions trocáveis e valor de pH são, entretanto, relativamente altos nas TRE eutróficas. A situação destes solos é similar aos solos de cinzas vulcânicas, já que os últimos também tem

grande capacidade quantidade de agregados estáveis KITAGAWA (19) e muito grande capacidade de fixação de fósforo que apesar disso são chamados os solos férteis da zona tropical úmida. A condição ferro básica, conseqüentemente, deve levar à formação de solos fisicamente bons das terras altas dos trópicos úmidos.

3 – MINERALOGIA DE ARGILAS EM TERRAS ROXAS ESTRUTURADAS NA TRANSIÇÃO FLORESTA/CERRADO NA AMAZÔNIA

3.1 – INTRODUÇÃO

No estudo anterior, capítulo 2, as propriedades e a mineralogia das argilas das TRE foram discutidas. A composição mineralógica destes solos distribuídos na zona de transição entre a floresta tropical e o cerrado na Amazônia, é abordado neste capítulo.

3.2 – AMOSTRAS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Duas amostras de TRE eutróficas ocorrentes na floresta tropical e zona de transição floresta tropical/cerrado, além de um Brunizem Avermelhado da zona de transição entre cerrado e a região semi-árida foram usadas neste estudo, e listadas no quadro 13.

O tipo climático segundo Köppen e Aw em São Felix do Xingu e Conceição do Araguaia. Por outro lado, o de Nazaré do Piauí deve ser transição entre Aw/BS conforme mostra a precipitação anual de 990mm.

Os métodos experimentais deste estudo foram os mesmos do capítulo anterior.

3.3 – RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os gráficos de difração de raio-X (Fig. 6) e as curvas da análise térmica diferencial da fração argila destes solos mostraram os resultados resumidos no quadro 14, isto é, composição mineralógica da TRE-IV de São Felix do Xingu, foi caulinita, hematita e goetita, vermiculita dioctaédica, talco e quartzo; a da TRE-VII de Conceição do Araguaia foi caulinita, minerais micas, montmorilonita, vermiculita dioctaédica, talco e quartzo; e o Brunizem Avermelhado (BA-I) de Nazaré do Piauí foi metahalosita, hematita, goetita e quartzo. Minerais cauliniticos foram dominantes em todas as amostras.

TRE-VI e -VII contém minerais argilosos do tipo 2:1 como montmorilonita, vermiculita dioctaédrica, minerais micas e talco, mas êles não foram encontrados no BA-I. Mica e talco são originários do material de origem. Metahalosita foi dominante no BA-I e Também encontrada na terra roxa estruturada de Óbidos mencionada no capítulo I. Gibsita não foi encontrada em nenhuma amostra. O conteúdo de hematita foi extremamente alto na TRE-VI semelhante ao solo de Mato Grosso (capítulo I), e relativamente alto na TRE-VII e BA-I. Não houve diferença significativa na composição mineralógica da fração argila entre a TRE da zona de transição floresta/cerrado e zona de floresta na Amazônia conforme a comparação mutua entre estes três solos e as outras TRE da zona de floresta discutidas nos capítulos anteriores. Apesar do solos BA-I ocorrer na zona de transição cerrado/semi-árido, sob o ponto de vista argilo-mineralógico foi similar a TRE de Óbidos, Pará. Este fato segere que a formação da TRE é influenciada sobretudo pelo material de origem que o clima da Amazônia. Esta conclusão e evidente já que o TRE desenvolveu-se sob condições de gêneses lateríticas nas zonas tropicais.

4 – MINERALOGIA DAS ARGILAS EM CAMBISSOLOS DISTRIBUÍDOS SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

4.1 – INTRODUÇÃO

Os solos de terra firme ocorrentes na zona tropical úmida, são comumente cauliniticos, e sua fertilidade geralmente baixa. Por outro lado, no sudoeste da Amazônia brasileira, solos de terras altas relativamente férteis, no Estado do Acre, chamados Cambissolos eutróficos segundo o relatório do Projeto RADAM BRASIL (20), tem alta CTC, cálcio e magnésio trocáveis. A mineralogia das argilas destes solos foram examinadas comparando-se com outros Estados do Amazonas. As amostras estão listadas no quadro 15.

4.2 – RESULTADOS E CONCLUSÕES

O mineral dominante nos cambissolos de Tarauacá, Acre foi montmorilonita/Al-vermiculita interestratificada, e o de Boca do Acre, Amazonas foi caulinita como os outros solos lateríticos (quadro 16). A dominância de minerais 2:1 na argila de Tarauacá explica a alta fertilidade, CTC e cálcio e magnésio trocáveis, e acredita-se tenha sofrido influencia das materiais vulcânicas originárias dos Andes.

5 – EPILOGO

Na Amasônia, solos argilo-mineralogicamente férteis nos quais a fração argila é predominantemente montmorilonítica, são aqueles de terras baixas inundadas periodicamente pela bacia do Rio Amazonas, Vertissois em terras altas, e os Cambissolos e Podzois Vermelhos Amarelos Eutróficos no Estado do Acre. A área distribuída dos Vertissois é muito pequena nesta região. Os outros solos de terra firme são cauliniticos, e considerase como distróficos. Por outro lado, a chamada Terra Roxa Estruturada é fértil apesar de dominância de minerais cauliniticos, causada pela coexistência de consideráveis quantidades de hematita como material cimentante dos micro-agregados estáveis, resultando numa boa condição física destes solos. Além disso, a chamada Terra Preta do Índio, e também fértil por cause de seu alto conteúdo de materiais orgânicos embora seja caulinitica.

Sob o ponto de vista argilo-mineralógico, os solos baixos férteis, com uma área de distribuição aproximada de 19.000.000ha na Amazônia Brasileira, tem grande possibilidades ao desenvolvimento agrícola se água dos rios for controlada.

**TECHNICAL COOPERATION REPORT ON THE SOIL CLAY MINERALOGY
IN THE BRAZILIAN AMAZON REGION**

Yasuo KITAGAWA
National Institute of Agricultural Sciences
Tokyo Japan

October, 1979

TECHNICAL COOPERATION REPORT ON THE SOIL CLAY MINERALOGY IN THE BRAZILIAN AMAZON REGION

Yasuo KATAGAWA

The summary of four studies constitute this report:

- 1) Clay mineralogy of some typical soils in the Brazilian Amazon region.
- 2) Comparative clay mineralogy of the "terra roxa estruturada" soil in the Amazon region.
- 3) Clay mineralogy of the "terra roxa estruturada" soils in forest/savannah transition of the Amazon region.
- 4) Clay mineralogy of cambisols distributed in the Southwest Brazilian Amazon region.

Which had already been sent for publication to "Pesquisa Agropecuaria Brasileira" and "Soil Science and Plant Nutrition". These studies were carried out with Quimico Industrial Maria Regina Freire Möller, EMBRAPA-CPATU, Belem, Para, when I was dispatched to CPATU from November, 1976 to November, 1978 through Japan International Cooperation Agency (JICA) based on the Latin America Technical Cooperation Plan. Especially, the last was mainly studied by M. R. F. Möller.

1 CLAY MINERALOGY OF SOME TYPICAL SOILS IN THE BRAZILIAN AMAZON REGION

1.1 INTRODUCTION

The Amazon region is located in the humid tropical zone, where the primary silicates in soil are quickly weathered, alkali and alkali earths are taken away from soil horizons, soil organic materials are rapidly decomposed and little accumulated in soil, and soils are relatively enriched with aluminum and iron, under the drastic condition of soil genesis. Lateritic soils are distributed in the uplands of this region, and alluvial and gley soils in the lowlands. These soils were described by SOMBROEK (1), FALESI (2) and VIEIRA (3). About 70% of the Brazilian Amazon region is covered with the lateritic soils (2).

The clay mineral composition of the soils in the Amazon region is very interesting and important to study for the genesis, classification, fertility and management of the soils, and directly influences to soil fertility because of the low content of soil organic material. The previous studies on clay mineralogy of the Amazon soils pointed out that the lateritic soils mainly composed

of kaolinite, hydrous sesquioxides and a small amount of 2:1-type clay minerals such as montmorillonite, vermiculite and mica minerals, while, the lowland soils are not simple (SOMBROEK, 1; CHIBA, 4; IWASA, 5). The latter are composed of complicated parent materials which have been deposited recently by river water, and the soil weathering under the always or seasonally flooded condition is not so rapid as the former (MATSUI, 6).

In this study, the clay mineral composition of nineteen soils of the Brazilian Amazon region is discussed; the soils with oxic B horizon, three yellow latosols, three red yellow latosols and a "latossolo roxo" soil; the soils with textural B horizon, three red yellow podzolic soils and two "terra roxa estruturada" soils; and the lowland soils, three low humic gley soils, two ground water laterite soils and two alluvial soils.

1.2 SAMPLES AND EXPERIMENTAL METHODS

The samples of the soils with oxic B horizon, with textural B horizon and from lowlands are listed in Table 1, 2 and 3, respectively.

The clay samples were prepared from air-dried soil less than 2 mm in diameter by sedimentation method according to the Stokes' law after decomposition of soil organic materials with 10% H₂O₂, and was examined by means of X-ray diffraction, differential thermal analysis, electron microscopy and chemical analysis. The X-ray diffraction pattern were obtained with Co-K α radiation (30 kV, 15 mA) using a Rigaku Denki Ltd, Geigerflex diffractometer. The differential thermal analysis curves were obtained by using a Mitamura, thermal analyzer, at a heating rate of 10°C/min from room temperature to 1000°C in ordinary atmosphere. The electron micrograph was taken by using a Siemens, ELMISKOP 101 electron microscope.

1.3 RESULTS DISCUSSION AND CONCLUSION

1.3.1 Soils with oxic B horizon

The X-ray diffraction patterns (Fig. 2) and the differential thermal analysis curves of the clay fraction in the yellow latosols, the red yellow latosols and the "latossolo roxo" soil showed that kaolinite was predominant, goethite was detected, hematite was found except in one profile of red yellow latosol, and gibbsite was frequently present as shown in Table 7.

The previous reports by SOMBROEK (1), CHIBA (4) and IWASA (5) also concluded the predominance of kaolin minerals in the lateritic soils of the Amazon region. A small amount or trace of mica minerals was found. It should be very stable, and not be weathered under the drastic condition of the soil genesis in the tropics. KITAGAWA, et. al. (7) pointed out that mica minerals in soils are more stable under a chemical treatment than the deposit minerals such as muscovite and illite. A small amount of montmorillonite or vermiculite was found only in the subsoil of red yellow latosol.

1.3.2 *Soils with textural B horizon*

Kaolinite was predominant, and iron oxide minerals such as hematite and goethite were present in all the samples of red yellow podzolic soils, more over, a small amount of mica minerals and dioctahedral vermiculite was found in some of these soils (Table 8), judging from the result of X-ray diffraction method (Fig. 3), differential thermal analysis and chemical analysis (Table 5). The vermiculite in the weathered upland soils should be originated in dioctahedral micas, of which probability was presented by KITAGAWA, et. al. (8). The red yellow podzolic soils in the Amazon region should fall clay mineralogically under the category of the lateritic soils, and be different from the namesake in Virginia, U. S. A. reported by RICH, et. al. (9). A dominant clay mineral of "gley brown podzolic" soils distributed in the subfrigid zone is montmorillonite-like minerals in the A₂ horizon, and dioctahedral vermiculite in B horizons (KITAGAWA, 10; BRYDON, et. al., 11). The podzolic soils in the Amazon region were also mineralogically different from gley brown podzolic soils, consequently.

In the clay fraction of the soils called "Terra Roxa Estruturada", kaolin minerals were dominant, and considerable amounts of iron oxide minerals were found as shown in Table 8 and Fig. 3. Hematite content was especially high, because they were originated from basic rocks. A "Terra Roxa Estruturada" soil from the State of Mato Grosso contained kaolinite, hematite and gibbsite, but goethite was absent. A small amount of dioctahedral vermiculite was also detected in this soil. In the other "terra roxa estruturada" soil from Óbidos, Pará, metahalloysite was dominant in spite of the predominance of kaolinite in the other upland soils occurring in the Amazon region. The presence of metahalloysite in the lateritic soils was reported in an Indonesian soil derived from old "volcanic ash" by KITAGAWA, et. al. (12).

1.3.3 *Lowland soils*

The results of X-ray diffraction method (Fig. 4, 5), differential thermal analysis, electron microscopy and chemical analyses (Table 6) showed that the clay mineral composition of the lowland soils in the Amazon region was a little complicated as SOMBROEK (1) and IWASA (5) pointed out. Although kaolinite was predominant in many soils, montmorillonite/dioctahedral-vermiculite interstratified and mica minerals were dominant in two low humic gley soils and a ground-water laterite soil, respectively (Table 9). The dominant component of the interstratified minerals should be montmorillonite, judging from the mode of the changes of basal spacing by the treatments with glycerol and heating. GJEMS (13) reported the occurrence of a dioctahedral-vermiculite/montmorillonite interstratified mineral in a Scandinavian podzolic soil, but it was vermiculite mineral. Mica and other 2:1-type clay minerals were frequently found in the lowland soils, even if kaolinite was dominant.

1.3.4 *General discussion*

Kaolin minerals were dominant in the upland soils of the Amazon region, and the fertility of the soils was low from the viewpoint of clay mineralogy, in general. The soil called "terra roxa estruturada" which is a kind of the upland soil have high fertility, but a dominant clay mineral was kaolin minerals. It is important to solve this problem, and will be discussed in following studies. Some of the lowland soils of this region contained a large amount of montmorillonite-like clay minerals, were regarded as clay-mineralogically fertile, because montmorillonite have high CEC value and large specific surface area, so that its existence leads to high buffer action and high nutrients holding capacity of the soils.

Quartz existed more or less in the clay fraction of the Amazon soils. According to KITAGAWA, et. al. (12), quartz is not always found in some tropical volcanogenous soils of Indonesia. Instead α -cristobalite occur more frequently.

2 COMPARATIVE CLAY MINERALOGY OF THE "TERRA ROXA ESTRUTURADA" SOIL IN THE AMAZON REGION

2.1 INTRODUCTION

A kind of fertile soil in the Amazon region is so-called "Terra Roxa Estruturada" soil which have been derived from basic rocks, and is famous for the coffee planting soil in the South Brazil. This soil is very important in agriculture for the high productivity notwithstanding the relatively small distribution area in this region. This soil is called "Laterítico Bruno Avermelhado" by VIEIRA (3), "low humic latosol" in Hawaii, "red loam" in Australia, "laterita pardo rojiza" in Chili, and "reddish brown lateritic soil" in the South of U. S. A. (VIEIRA, 3). The term of "Terra Toxa Estruturada" is, however, more common in Brazil. According to FALESI (2), the chemical and physical properties of the "Terra Roxa Estruturada" soil in the Brazilian Amazon region are as follows: cation exchange capacity, 2.17 to 39.8 me/100g; base-saturation percentage, 30 to 99%; clay content, 30 to 69%; pH, 5.0 to 7.3; Fe_2O_3 content, 15 to 30%; and available P_2O_5 , 0.5 to 2.3 mg/100g.

In this study, the clay mineralogical composition, mainly about iron oxide minerals, of the "Terra Roxa Estruturada" soil was discussed through the comparison with that of a neighboring red yellow podzolic soil based on the results of X-ray diffraction method, differential thermal analysis and chemical analyses.

A dominant clay mineral of the "Terra Roxa Estruturada" soils in the Brazilian Amazon region is kaolin minerals, and iron oxide minerals are also present (CHIBA, 4; IWASA, 5). The soils in the South Brazil, in Hawaii and in the South of U. S. A. also contained kaolin minerals, gibbsite, iron oxides and amorphous minerals (MONIZ, et. al., 13; TAMURA, et. al., 14; NYUN, et. al., 15).

2.2 SAMPLES AND EXPERIMENTAL METHODS

Two profiles of the eutrophic "Terra Roxa Estruturada" soils, one of the dystrophic "Terra Roxa Estruturada" soil and one of the red yellow podzolic soil were collected from Altamira county, the State of Para, and listed in Table 10. TRE-4, -5 and PVA-3 are neighboring, TRE-4 is only about 50 meter distant from PVA-3, and TRE-5 is situated between them. TRE-3 is located in the distance.

The mean temperature and annual precipitation in Altamira is 26.0°C and 1,680 mm, respectively, the rains are December to May, and the classification of climate after Köppen is Aw or Am (BASTOS, 16).

The preparation of clay sample and experimental methods were in accordance with the previous study.

After the pretreatment with a dithionite-citrate-bicarbonate system after MEHRA, et. al. (17), the content of kaolinite was determined from a following formula:

$$\frac{I_{k_0}(001)}{I_k(001)} \times 100 (\%)$$

where, $I_{k_0}(001)$ and $I_k(001)$ is the intensity of kaolinite peak at 7.2 Å of untreated and treated powder specimen, respectively. The hematite coefficient which is in proportion to its content was calculated from a following formula:

$$\frac{I_{ht}(110)}{I_{ht}(110) + I_{gt}(110)} \times V_{Fe}$$

where, C_{Fe} is the Fe_2O_3 content of the clay sample, and $I_{ht}(110)$ and $I_{gt}(110)$ is the peak intensity of hematite (110) at 2.52 Å and goethite (110) at 4.18 Å, respectively.

2.3 RESULTS DISCUSSIONS AND CONCLUSION

2.3.1 Content of kaolinite and hematite

The clay fraction of these soils mainly composed of kaolinite, hematite and goethite, and extremely small amounts of 2:1-type clay minerals. There was a no difference between the kaolinite content in the clay fraction of eutrophic and dystrophic "Terra Roxa Estruturada" soils, although it was lower than the red yellow podzolic soil (Table 11).

The Fe_2O_3 content in the clay fraction of the "Terra Roxa Estruturada" soils was higher than the red yellow podzolic soil, but there was also a no difference eutrophic and dystrophic (Table 11). The hematite coefficient was relatively high in the eutrophic "Terra Roxa Estruturada" soils, and extremely low or zero in the red yellow podzolic soil (Table 11). The value was 29 and 9 in the soil from Mato Grosso and Obidos which are also eutrophic, respectively. The contents of kaolinite, hematite and goethite in the silt and fine sand fraction were higher in the "Terra Roxa Estruturada" soils, especially in eutrophic, than in the red yellow podzolic soil.

This suggests that the "Terra Roxa Estruturada" soils contain a large amount of the stable micro-aggregate of clay minerals and iron oxides, and it is abundant in the eutrophic soils.

2.3.2 *Property of soil hematite*

Hematite in the "Terra Roxa Estruturada" soil was similar to the dehydration iron oxides which had been prepared by heating the hydrous gel of ferrous or ferric oxide, and there mineralogical sequence should be situated between two types of hematite from the deposits in Ouro Preto, Minas Gerais, and Serra dos Carajas, Para, judging from the relative intensity of several X-ray diffraction peaks associated with hematites (Table 12). This fact suggests that hematite in the "Terra Roxa Estruturada" soils was formed by the dehydration of precipitated iron oxide gels. The ferrous and ferric ions should be originated in the parent rocks, and their concentration is especially high in basic rocks.

2.3.3 *General discussion and conclusion*

Hematite behaves itself as a cementing material of the stable micro-aggregate of the clay particles in the "Terra Roxa Estruturada" soils. Goethite should not be the cementing material, judging from a few appearance of the stable microaggregate in the red yellow podzolic soil contained a small amount of hematite. LUTZ (17) suggested that the free iron in soil solution acts as a flocculating agent for the soil clays and a hydrated iron gel which precipitated at the pH of the soils studied by him would become a good cementing agent upon dehydration. CHAUVEL, et. al. (18) studied experimentally the role of iron for the organization of kaolinic materials, and pointed out that iron plays an important role in clay materials organization phenomena although this role is not simple. KITAGAWA (19) studied the stable aggregate in the volcanic ash soils occurring in humid region, and concluded that the stable aggregates should be formed by the dehydration of hydrous sesquioxides, mainly iron iron oxide, as a cementing material of the allophane and other clay mineral particles.

The relatively high fertility of the "Terra Roxa Estruturada" soils in the Amazon region should be caused by the abundant occurrence of this stable micro-aggregate which results in;

1) the good physical properties of this soil such as the porosity, the permeability and the water holding capacity; 2) the vigorous respiration of plant roots; and 3) the thriven growth of crops. On the other hand, the chemical properties of the "Terra Roxa Estruturada" soils are not so good as the lowland soils which are chemically fertile, i. e., the relatively low CEC value, the low content of organic materials, the low available phosphorus and considerably high phosphorus fixation, as if the other lateritic soils. The content of alkaline earths, the exchangeable cation percentage and the pH value are, however, relatively high in the eutrophic "Terra Roxa Estruturada" soils. The situation of this soil is similar to that of volcanic ash soils, because the latter also have a large amount of the stable aggregate (KITAGAWA, 19) and the very high

phosphorus fixation capacity although it is called fertile soil in the humid tropical zone. The ferrobasic condition, consequently, should lead to the formation of the physically good soils in the humid tropical uplands.

3 CLAY MINERALOGY OF THE "TERRA ROXA ESTRUTURADA" SOILS IN FOREST/ SAVANNAH TRANSITION OF THE AMAZON REGION

3.1 INTRODUCTION

In previous study, chapter 2, the properties and the clay mineralogy of the "Terra Roxa estruturada" soils were already described. The clay mineral composition of this soil distributed in the transition zone between the tropical rain forest and savannah (cerrado) in the Amazon region is discussed in this chapter.

3.2 SAMPLES AND EXPERIMENTAL METHODS

Two samples of eutrophic "Terra Roxa Estruturada" soils occurring in tropical rain forest and tropical forest/savannah transition zone, and a reddish brunizem in the savannah/semi-arid transition zone were used in this study, and listed in Table 13.

The type of climate after Koppen is Aw in São Félix do Xingu and Conceição do Araguaia. On the other hand, that of Nazaré do Piauí should be Aw/BS transition, judging from the annual precipitation of 990 mm.

The experimental methods in this study were the same as the previous chapters.

3.3 RESULTS, DISCUSSION AND CONCLUSION

The X-ray diffraction patterns (Fig. 6) and differential thermal curves of the clay fraction of these soils showed the results summarized in Table 14, that is, the clay mineral composition of "Terra Roxa Estruturada" soil (TRE-6) from São Félix do Xingu was kaolinite, hematite, goethite, dioctahedral vermiculite, talc and quartz; that of the "Terra Roxa Estruturada" soil (TRE-7) from Conceição do Araguaia was kaolinite, hematite, goethite, mica minerals, montmorillonite, dioctahedral vermiculite, talc and quartz; and that of reddish brunizem (BA-1) from Nazaré do Piauí was metahalloysite, hematite, goethite and quartz. Kaolin minerals were dominant in all the samples.

TRE-6 and -7 contained 2:1-type clay minerals such as montmorillonite, dioctahedral vermiculite, mica minerals are originated in parent rocks. Metahalloysite was dominant in BA-1, and also found in the "Terra Roxa Estruturada" soil from Óbidos as mentioned in chapter 1. Gibbsite was not found in all the soil samples. Hematite content was extremely high in TRE-6 likewise to the soil from Mato Grosso (chapter 1), and slightly high in TRE-7 and BA-1. There was no difference between the clay mineral composition of the TRE soil in the forest/savannah transition and forest zone in the Amazon region, judging from the mutual comparison among these three soils

and other "Terra Roxa Estruturada" soils in the forest zone discussed in the previous chapters. Even in BA-1 occurring in the savannah/semiarid transition zone, the clay mineral composition was similar to the "Terra Roxa Estruturada" soil from Óbidos, Pará. This fact suggests that the formation of the "Terra Roxa Estruturada" soil is influenced rather strongly by parent materials than climate in the Amazon region. This conclusion should be natural because the "Terra Roxa Estruturada" soils have developed under a condition of laterite genesis in the tropical zone.

4 CLAY MINERALOGY OF CAMBISOLS DISTRIBUTED IN THE SOUTHWEST BRAZILIAN AMAZON REGION

4.1 INTRODUCTION

In the upland soils occurring in the humid tropical zone, kaolinite is commonly predominant, and their fertility is generally low. On the other hand, relatively fertile upland soil is distributed in the South-west Brazilian Amazon region, the State of Acre, which is called eutrophic cambisol according to the report of Radambrasil project (20), and have high cation exchange capacity and high contents of exchangeable Ca^{++} and Mg^{++} . The clay mineral composition of these soils was examined by comparing that of the other cambisol in the State of Amazonas. The soil samples are listed in Table 15.

4.2 RESULTS AND CONCLUSION

The dominant mineral in the cambisols from Tarauacá, Acre was montmorillonite/dioctahedral-vermiculite interstratified minerals, while that of Boca do Acre, Amazonas was kaolinite alike to the other lateritic soils (Table 16). The dominance of 2:1-type clay minerals in Tarauacá soils explains the high fertility, high cation exchange capacity, high exchangeable Ca^{++} and Mg^{++} content and so on, and should be influenced by the volcanic materials originated from Andes.

5 EPILOGUE

In the Amazon region, clay-mineralogically fertile soils of which clay fraction is dominantly montmorillonite are the lowland soils in the Amazon flood plain, vertisol in the upland, and moreover, cambisol and eutrophic red-yellow podzolic soil in the State of Acre. The distribution area of vertisol is very small in this region. The other soils in the uplands are "kaolinitic", and regarded as "dystrophic". On the other hand, so-called "Terra Roxa Estruturada" soil is fertile in spite of the dominance of kaolin minerals, which is caused by coexisting a considerable amount of the stable micro-aggregate, and resulting in a good physical condition of this soil. Moreover, so-

called "Terra Preta do Índio" soil is also fertile because of the high content of organic materials, although it is kaolinitic.

From the view point of clay mineralogy, the fertile lowland soils of which distribution area is about 19,000,000 ha in the Brazilian Amazon region have a great possibility of agricultural development if the river water is controlled.

BIBLIOGRAFIA

REFERENCES

- 1) SOMBROEK, W. G. *Amazon Soils, Center Agr. Pub. Doc., Wageningen 1966, 76-95.*
- 2) FALESI, I. C. *Bol. Tec. IPEAN, Belém No 54, 17-67, 1972.*
- 3) VIEIRA, L. S. *Manual da Ciência do Solo, Ed. Agron. Cer. Ltda., S. Paulo 1975, 381-440.*
- 4) CHIBA, M. *Nihon Dojohiryogake Zasshi (J. Sci. Soil Manure, Japan) 44, 283-288, 1973.*
- 5) IWASA, Y. *Report on the Japan-Brazil Technical Cooperation for the Investigation of Soils and Clay Minerals in the Amazon Region, JICA Tokyo 1976, 1-177.*
- 6) MATSUI, T. *Nendo Handobukku (Clay Handbook), Gihodo Tokyo 1967, 152-158.*
- 7) KITAGAWA, Y. and WATANABE, Y. *Soil Sci. Plant Nutr.* 16, 167-172, 1970.
- 8) KITAGAWA, Y. and WATANABE, Y. *Clay Sci.* 4, 31-36, 1970.
- 9) RICH, C. I. and OBENSHAIN, S. S. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 19, 334-339, 1955.
- 10) KITAGAWA, Y. *Pedologist* 10, 11-17, 1966.
- 11) BRYDON, J. E., KODAMA, H. and ROSS, G. J. *Trans. 9th Int. Cong. Soil Sci.* III, 41-51, 1968.
- 12) KITAGAWA, Y., KYUMA, K. and KAWAGUCHI, K. *Soil Sci. Plant Nutr.* 19, 147-159, 1973.
- 13) GJEMS, O. *Clay Miner. Bull.* 5, 183-193, 1963.
- 14) TAMURA, T., JACKSON, M. L. and SHERMAN, G. D., *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 17, 343-346, 1953.
- 15) NYUN, M. A. and MACCALEB, S. B. *Soil Sci.* 80, 27-41, 1955.
- 16) BASTOS, T. X. *Bol. Tec. IPEAN, Belem No 54, 68-122, 1972.*
- 17) LUTZ, J. F. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 1, 43-45, 1938.
- 18) CHAUVEL, A., PERO, G. and TESSER, D. *Sci. du Sol (ORSTOM, Pedologie) No.2, 101-113, 1976.*
- 19) KITAGAWA, Y. *Pedologist* 20, 52-56, 1976.
- 20) BRASIL, *Projeto Radambrasil, M. M. E., D. N. P. M., Rio de Janeiro* 12, 179-312, 1976.

表-1 オキシックB層をもつ土壌試料：黄色ラトゾル(LA)
赤黄色ラトゾル(LVA)、赤紫色ラトゾル(LR)

土 壌	土 壌 番 号	位 置	母 林	植 生
LA-1	15951 ~ 15956	アクレ州BR-236号線リオ・ブランコから45kmの地点		熱帯降雨林
LA-2	21592 ~ 21599	アマゾナス州ボッカ・ド・アクレ郡	第三紀堆積物	熱帯降雨林
LA-3	20429 ~ 20433	パラ州、アカラモジュ街道 20.3km地点	粘土質堆積物	熱帯降雨林
LVA-1	11130 ~ 11134	アクレ州ブラジレイア郡、モンテビデオゴム園		熱帯降雨林
LVA-2	20193 ~ 20496	アマゾナス州ウアベス郡	花崗岩/花崗閃緑石	草 原
LVA-3	20019 ~ 20053	パラ州、オビドスーオリシミナ 街道1km地点	バレイラス層	熱帯降雨林
LR-1	18511 ~ 18515	パラ州、リオフレスコ	グランパラ層郡	熱帯降雨林

表-2 土柱B層をもつ土壌試料：赤黄色ポドゾル性土壌(PVA)
構造性テラ・ローシャ土壌(TRE)

土 壌	土 壌 番 号	位 置	母 林	植 生
PVA-1	21020 ~ 21025	アクレ州BR236/317号線リオ・ブランコより15km地点	第三紀堆積物	二 次 林
PVA-2	20677 ~ 20681	アマゾナス州ウアベス郡		熱帯降雨林
PVA-3	23722 ~ 23726	パラ州、アマゾン橋断道路アルタミラより23km地点	上部デボン層、クルア層	熱帯降雨林
TRE-1	17773 ~ 17777	マツ・グロツ州マツ・グロツ・カセレス郡リオ・ネグロ	玄武岩	熱帯降雨林
TRE-2	20051 ~ 20058	パラ州、オビドスーアレンケール街道28km地点	塩基性岩	熱帯降雨林

表-3 アマゾン低地の土壌試料；低腐植グライ土壌（GPH）、
地下水型ラテライト土壌（LH）、沖積土壌（SA）

土 壌	土 壌 番 号	位 置	母 林	植 生
GPH-1	21140 ~ 21144	アクレ州セナ・マドゥレイラ郡	第四紀堆積物	バルゼア林
GPH-2	20612 ~ 20615	アマゾナス州サン・ガブリエル・カショエイラ郡リオ・イサナウンより 328 km		熱帯降雨林
GPH-3	11810 ~ 11814	パラ州ベレーンEMBRAPA-CPATU第414号ゴム園	第四紀堆積物	ゴ ム 園
LH -1	20269 ~ 20275	パラ州PA-150号線マラバより 115.9 km地点		熱帯降雨林
LH -2	7599 ~ 7605	パラ州マラジョー島ボンク・デ・パドラ郡サン・マルサル牧場		草 原
SA -1	21451 ~ 21454	Rondônia直割領ポルト・ベリョ郡ジャクンダ	第四紀堆積物	熱帯疎林
SA -2	18529 ~ 18532	パラ州タバアウン島	第四紀堆積物	森 林

表-4 オキシックB層をもつ土壌の粘土部分の化学組成

土 壌 土 層 土 壤 番 号	LA-1 B ₂₁ 15954	LA-2 B ₂₁ 21596	LA-3 A ₃ 20430	LVA-1 B ₂ 11133	LVA-2 B ₂ 20496	LVA-3 B ₁ 20051	LR-1 B ₁ 18513
Si O ₂	33.53	38.76	43.75	42.87	26.40	40.90	34.75
Ti O ₂	1.48	1.57	2.38	0.96	2.59	0.76	1.12
Al ₂ O ₃	34.95	32.63	32.41	29.42	44.04	36.99	30.96
Fe ₂ O ₃	12.57	10.49	5.45	12.29	5.54	5.41	15.74
Mn O	0.01	0.01	0.01	0.05	tr.	0.01	0.05
Mg O	0.02	0.15	0.02	0.26	tr.	0.01	0.04
Ca O	0.65	1.21	0.55	0.65	0.90	0.79	0.96
Na ₂ O	0.25	0.25	0.29	0.35	0.11	0.14	0.13
K ₂ O	0.24	0.73	0.10	1.85	0.08	0.07	0.23
H ₂ O + 計	15.67 99.37	14.11 99.91	14.09 99.05	10.81 99.51	12.30 100.96	14.60 99.68	15.97 99.95
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1.63	2.02	2.29	2.47	1.02	1.88	1.90
SiO ₂ /R ₂ O ₃	1.32	1.67	2.07	1.95	0.94	1.72	1.44

110 °C 乾燥重基準

表-5 土性B料をもつ土壤の粘土部分の化学組成

土 壤 土 層 土 壤 番 号	PVA-1 B ₂₁ 21023	PVA-2 B ₁₁ 20679	PVA-3 A ₃ 23723	TRE-1 B ₁ 17775	TRE-2 B ₂₁ 20056
Si O ₂	43.02	24.19	37.06	18.94	37.87
Ti O ₂	1.14	2.13	0.98	1.25	0.88
Al ₂ O ₃	29.48	38.75	35.58	32.53	27.72
Fe ₂ O ₃	11.52	15.83	11.48	29.86	19.25
Mn O	0.02	0.01	0.01	0.04	0.05
Mg O	0.20	0.03	tr.	0.04	0.16
Ca O	1.10	0.89	0.72	0.84	0.81
Na ₂ O	0.35	0.16	0.11	0.20	0.11
K ₂ O	1.55	0.28	0.08	0.41	0.41
H ₂ O †	11.26	17.01	14.24	15.50	12.53
計	99.64	99.28	100.26	99.61	99.79
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2.48	1.06	1.77	0.99	2.32
SiO ₂ /R ₂ O ₃	1.98	0.84	1.47	0.62	1.61

110 °C 乾燥重基準

表-6 アマゾン低地の土壌の粘土部分の化学組成

土 壤	GPH-1	GPH-2	GPH-3	LH-1	LH-2	SA-1	SA-2
土 層	Cg	A ₃ g	B ₁ g	B ₁ pel	B _{2t}	C ₁	II
土 壤 番 号	21142	20613	11812	20271	7602	21452	18530
Si O ₂	51.71	49.35	49.43	48.54	45.41	41.86	46.74
Ti O ₂	0.82	1.66	1.06	1.34	1.27	1.02	1.03
Al ₂ O ₃	24.69	31.11	27.14	26.71	35.85	37.19	32.72
Fe ₂ O ₃	9.65	3.74	9.46	10.01	3.37	4.08	4.74
Mn O	0.04	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01
Mg O	0.87	0.18	0.51	0.70	0.17	0.04	0.26
Ca O	1.39	0.74	0.53	0.80	0.44	0.65	0.68
Na ₂ O	0.30	0.35	0.41	0.22	0.25	0.17	0.16
K ₂ O	1.21	0.81	1.14	2.85	0.90	0.35	0.91
H ₂ O +	8.92	11.07	9.72	8.18	11.54	13.92	12.53
計	99.60	99.02	99.28	99.38	99.21	99.29	99.78
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3.55	2.69	3.09	3.08	2.15	1.91	2.42
SiO ₂ /R ₂ O ₃	2.85	2.50	2.53	2.49	2.03	1.79	2.22

110 °C 乾燥重基準

表-7 オキシックB層をもつ土壌の粘土部分中の鉱物組成

土 壌	主 要 鉱 物	副 次 的 又 は 痕 跡 鉱 物
LA -1	カオリナイト	ギブサイト、ゲータイト、ヘマタイト、石英
LA -2	カオリナイト	ゲータイト、石英、ギブサイト、ヘマタイト
LA -3	カオリナイト	ゲータイト、石英
LVA-1	カオリナイト	雲母鉱物、石英、ゲータイト、ヘマタイト、モンモリロナイト 又はパーミキュライト
LVA-2	カオリナイト	ギブサイト、ゲータイト、石英、長石
LVA-3	カオリナイト	ゲータイト、ヘマタイト、石英
LR -1	カオリナイト	ギブサイト、ゲータイト、ヘマタイト、石英、雲母鉱物

表-8 土性B層をもつ土壌の粘土部分中の鉱物組成

土 壌	主 要 鉱 物	副 次 的 又 は 痕 跡 鉱 物
PVA-1	カオリナイト	雲母鉱物、石英、ゲータイト、ヘマタイト、長石
PVA-2	カオリナイト	パーミキュライト、ギブサイト、ゲータイト、ヘマタイト、石 英、長石
PVA-3	カオリナイト	ゲータイト、ギブサイト、石英、ヘマタイト
TRE-1	カオリナイト、ヘマタイト	ギブサイト、パーミキュライト、石英、長石
TRE-2	メタハロクサイト	ヘマタイト、ゲータイト、石英

表-9 アマゾン低地土壌の粘土部分中の鉱物組成

土 壌	主 要 鉱 物	副 次 的 又 は 痕 跡 鉱 物
QPH-1	モンモリロナイト/パーミ キュライト混合層鉱物	カオリナイト、雲母鉱物、石英、長石
QPH-2	カオリナイト	モンモリロナイト又はパーミキュライト、雲母鉱物、石英、レ ピードクロサイト
QPH-3	モンモリロナイト/パーミ キュライト混合層鉱物、 カオリナイト	雲母鉱物、石英
LH-1	カオリナイト、 雲 母 鉱 物	石英、ヘマタイト
LH-2	カオリナイト	モンモリロナイト又はパーミキュライト、雲母鉱物、石英、ゲ ータイト、ヘマタイト
SA-1	カオリナイト	雲母鉱物、ギブサイト、ゲータイト、石英
SA-2	カオリナイト	雲母鉱物、モンモリロナイト、石英、ギブサイト

表-10 パラー州アルタミラ郡の「構造性テラ・ローシャ」

土壌と赤黄色ボトゾル性土壌の試料

土 壌	土 壌 番 号	位 置	母 材	植 生
TRE-3	23712 ~ 23716	EMBRAPA試験圃場(101 ^{km} 地点)	苦鉄塩基性岩	熱帯降雨林
TRE-4	23732 ~ 23736	EMBRAPA試験圃場(23 ^{km} 地点)	苦鉄塩基性岩	熱帯降雨林
TRE-5	24241 ~ 24244		両者混合物	
PVA-3	23722 ~ 23726		クルア-層の粘土岩	

表-11 バラー州アルタミラ部のTRE及びPVAの粘土部分における
カオリナイト及びFe₂O₃含量とヘマタイト(110)とゲー
タイト(110)のX線回折強度比

	カオリナイト含量、%	Fe ₂ O ₃ 含量、%(W)	H/(H+Q)*、(%)	A × B
TRE-3, A ₁	58	26.3	0.23	6.0
B ₁	59	25.9	0.22	5.7
B ₂₂	62	25.6	0.22	5.6
TRE-4, A ₁	72	14.4	0.39	5.6
B ₁	79	15.4	0.37	5.7
B ₂₂	78	15.7	0.32	5.0
TRE-5, A ₁	72	20.8	0.13	2.7
B ₁	67	20.5	0.14	2.9
B ₂	65	19.7	0.14	2.8
PVA-3, A ₁	87	9.9	0	0
B ₁	79	10.2	0.02	0.2
B ₂₂	77	9.8	0.04	0.4

*

$$\frac{\text{ヘマタイトのI(110)}}{\text{ヘマタイトのI(110) + ゲータイトのI(110)}}$$

表-12 各種のヘマタイトの相対X線回折強度比

dA(hkl)	TRE	PPT-1	PPT-2	DEP-1	DEP-2
3.70 (012)	36	39	40	77	19
2.71 (104)	100	100	100	100	100
2.52 (110)	85	62	60	97	23
2.21 (113)	44	34	32	49	15
1.85 (0.24)	34	37	33	70	16

TRE=マツ・グロツの「構造柱テラ・ローシャ」からの分離物；PPT-1=第1鉄ゲル
からの酸化物；PPT-2=第2鉄ゲルからの酸化物；DEP-1=ミナス・ジェライス州オウロ
プレット鉄山産；バラー州セラ・ドス・カラジャース鉄山産。

表-13 アマゾン地域の森林/サバンナ推移帯の「構造性テラ・ローシャ」
土壌及び帯赤色プルニゼムの試料

土 壌	土 壌 番 号	位 置	母 材	植 生
TRE-6	500 ~ 503 *	パラ州サン・フェリックス ・ド・シンゲー郡	先カンブリア期の安山岩 等	森 林
TRE-7	11550 ~ 11552	パラ州コンセイソン・ド・ アラグライ郡	先カンブリア期の超塩基 性岩	疏 林
BA-1	11397 ~ 11398	ピアウイ州ナザレー・ド・ピ アウイ郡	塩基性岩	サバンナ

IDESPの番号

表-14 TRE及びBAの粘土部分中の鉱物組成

土 壌	主 要 鉱 物	副 次 的 又 は 痕 跡 鉱 物
TRE-6	カオリナイト、ヘマタイト	ゲータイト、パーミキュライト、タルク、石英
TRE-7	カ オ リ ナ イ ト	ヘマタイト、ゲータイト、雲母鉱物、モンモリロナイト、 パーミキュライト、タルク、石英
BA-1	メタハロイサイト	ヘマタイト、ゲータイト、石英

表-15 カンピソルの試料

土壌断面	郡名	位置、傾斜(%)	母材	植生
01	アクレ州タラウアカ郡	最上位段丘上	ソレモインス層、粘土及びシルト質	熱帯降雨林
14	同上	傾斜地、 $\frac{2}{3}$ の部分(45%)	同上、細砂質	同上
03	同上	傾斜中央部(25~30)	同上、粘土及びシルト質	同上
13	同上	傾斜地、 $\frac{1}{3}$ の部分	同上、粘土質	同上
16	同上	傾斜地、 $\frac{2}{3}$ の部分	同上、粘土及びシルト質	同上
12	同上	頂上部(10%)	同上、粘土及びシルト質	同上
31	アマゾナス州 ボッカ・ド・アクレ郡	傾斜(0~2%)	同上	
78	同上、ラブレア郡	傾斜(0~2%)	同上	

* 01, 14, 03, 13, は豊栄養型、16は貧栄養型、12, 31, 78はアリック型

表-16 カンピソルの粘土部分中の鉱物含量

	土層位 cm	M/V %	Mi %	Kao %	Amor %	Qz %
01	B ₂ , 40-60	87	2	6	2	3
14	B ₂ , 35-50	83	2	5	7	2
03	B ₂ , 35-60	55	7	30	5	3
13	B ₂₁ , 20-40	86	tr.	6	5	3
16	B ₂ , 20-40	66	8	13	8	5
12	B ₂ , 40-60	71	9	8	6	6
31	B ₂₁ , 50-80	35	tr.	44	17	4
78	B ₂₁ , 50-90	9	10	56	23	2

M/V, モンモリロナイト/パーミキュライト混合層鉱物又はモンモリロナイト; Mi, 雲母鉱物;

Kao, カオリナイト; Amor, 非晶質無機成分; Qz, 石英

Quadro 1 Amostras de solos com B latossólico; Latossolo Amarelo (LA), Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) e Latossolo Roxo (LR).

Table 1 Samples of soils with oxic B horizon; yellow latosol (LA), red yellow latosol (LVA) and "Latosolo Roxo" soil (LR).

Solos Soils	Protocolo Protocal	Localização Location	Material originário Original material	Vegetação Vegetation
LA-1	15951 a 15956 15951 to 15956	Km 45 da BR-236 do Rio Branco-AC. 45 km of BR-236 from Rio Branco, Acre.		Floresta tropical úmida. Humic tropical forest.
LA-2	21592 a 21599 21592 to 21599	Boca do Acre-AM. Boca do Acre, Amazonas.	Sedimentos do terciário. Tertiary sediments.	Floresta densa. Dense forest.
LA-3	20429 a 20433 20429 20433	Km 20,3 da Rodovia Acará- Moju-PA. 20.3 km in the highway, Acará- Moju, Pará.	Sedimentos argilosos. Clayey argilosos.	Floresta tropical úmida. Humic tropical umida.
LVA-1	11130 a 11134 11130 to 11134	Seringal Montevideo, Brasileia- AC. Montevideo rubber field, Brasileia, Acre.		Mata virgem. Virgin forest.
LVA-2	20493 a 20496 20493 to 20496	Uapés-AM. Uapés, Amazonas.	Granito. Granite.	Graminea. Grass land.
LVA-3	20049 a 20053 20049 to 20053	Km 1 da Rodovia Óbidos Oriximiná-PA. 1 km in the highway, Óbidos- Oriximiná, Pará.	Formação Barreiras. Barreiras formation.	Floresta densa. Dense forest.
	18511 a 18515 18511 to 18515	Rio Fresco-PA. Rio Fresco, Pará.	Grupo Grão Pará. Grão Pará group.	Floresta densa. Dense forest.

Quadro 2 Amostras de solos com B tetural; Podzólico Vermelho Amarelo (PVA) e Terra Roxa Estruturada (TRE).

Table 2 Samples of soils with textural B horizon; red yellow podzolic soil (PVA) and "terra roxa estruturada" soil (TRE).

Solos Soils	Protocolo Protocal	Localização Location	Material originário Original material	Vegetação Vegetation
PVA-1	21020 a 21025	Km 15 da BR-236/317 do Rio Branco-AC.	Sedimento do terciário.	Capoeirão.
	21020 to 21025	15 km of BR-236/317 from Rio Branco, Acre.	Tertiary sediment.	Secondary forest.
PVA-2	20677 a 20681	Uapés-AM.		Floresta densa.
	20677 to 20681	Uapés, Amazonas.		Dense forest.
PVA-3	23722 a 23726	Km 23 da Rodovia Transamazônica de Altamira-PA.	Devoniano sup. Formação Curuá.	Floresta tropical.
	23722 to 23726	23 km in the Transamazon highway from Altamira, Pará.	Sup. Devonian Curuá formation.	Tropical forest.
TRE-1	17773 a 17777	Rio Negro, Mato Grosso Cáceres-MT.	Basalto.	Floresta.
	17773 to 17777	Rio Negro, Mato Grosso Cáceres, Mato Grosso.	Basalt.	Forest.
TRE-2	20054 a 20058	Km 28 da Rodovia Óbidos-Alenquer-PA	Rochas básicas.	Floresta.
	20054 to 20058	28 km in the highway, Óbidos-Alenquer, Pará.	Basic rocks.	Forest.

Quadro 3 Amostras de solos de várzea; Glej Pouco Humico (GPH), Laterita Hidromórfica (LH) e Solo Aluvial (SA).

Table 3 Soil samples of lowlands; low humic gley soil (GPH), ground water laterite soil (LH) and aluvial soil (SA).

Solos	Protocolo	Localizacao	Material originário	Vegetação
Soils	Protocal	Location	Original material	Vegetation
GPH-1	21140 a 21144	Sena Madureira-AC.	Sedimentos do Quaternário. Quaternary sediments.	Floresta de várzea.
	21140 to 21144	Sena Madureira, Acre.		Forest in flood plain.
GPH-2	20612 a 20615	Km 33 da Boca do Rio Içanã, S. Gabriel da Cachoeira-AM.		Floresta densa.
	20612 to 20615	33 km from the conflux of Içanã river, S. Gabriel da Cacheira, Amazonas.		Dense forest.
GPH-3	11810 a 11814	Seringal 414, CPATU, Belem-PA.	Sedimentos do Quaternário. Quaternary sediments.	Seringal de Cultura.
	11810 to 11814	Rubber field 414, CPATU, Belém, Pará.		Rubber forest.
LH-1	20269 a 20275	Km 116 da PA-150 de Marabá-PA.		Floresta tropical.
	20269 to 20275	116 km of PA-150 from Marabá, Pará.		Tropical forest.
LH-2	7599 a 7605	Ponta de Pedras, Marajó-PA.		Gramíneas.
	7599 to 7605	Ponta de Pedras, Marajó Is., Pará.		Grass land.
SA-1	21451 a 21454	Jacundá, Porto Velho-RO.	Quaternário. Quaternary.	Floresta aberta.
	21451 to 21454	Jacundá, Porto Velho, Rondônia.		Open forest.
SA-2	18529 a 18532	Clareira na Beira do Xingu-PA.	Quaternário. Quaternary.	Floresta com cipoal.
	18529 to 18532	Clareira na Beira do Xingu, Para.		Forest with vine.

Quadro 4 Composição química da fração argila nos solos com B latossólico.

Table 4 Chemical composition of clay fraction in the soils with oxie B horizon.

Solo Soil	LA-1	LA-2	LA-3	LVA-1	LVA-2	LVA-3	LR-1
Hor.	B ₁₁	B ₂₁	A ₃	B ₂	B ₂	B ₁	B ₁
Prot.	15954	21596	20430	11133	20496	20051	18513
SiO ₂	33,53	38,75	43,75	42,87	26,40	40,90	34,75
TiO ₂	1,48	1,57	2,38	0,96	2,59	0,76	1,12
Al ₂ O ₃	34,95	32,63	32,41	29,42	44,04	36,99	30,96
Fe ₂ O ₃	12,57	10,49	5,45	12,29	5,54	5,41	15,74
MnO	0,01	0,01	0,01	0,05	tr.	0,01	0,05
MgO	0,02	0,15	0,02	0,26	tr.	0,01	0,04
CaO	0,65	1,21	0,55	0,65	0,90	0,79	0,96
Na ₂ O	0,25	0,25	0,29	0,35	0,11	0,14	0,13
K ₂ O	0,24	0,73	0,10	1,85	0,08	0,07	0,23
H ₂ O [†]	15,67	14,11	14,09	10,81	21,30	14,60	15,97
Total	99,37	99,91	99,05	99,51	100,96	99,68	99,95
.....							
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	1,63	2,02	2,29	2,47	1,02	1,88	1,90
$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$	1,32	1,67	2,08	1,95	0,94	1,72	1,44

Baseado no peso seco a 110°C.

Based on the weight dried at 110°C.

Quadro 5 Composição química da fração argila nos solos com B textural.

Table 5 Chemical composition of clay fraction in the soils with textural B horizon.

Solo Soil	PVA-1	PVA-2	PVA-3	TRE-1	TRE-2
Hor.	B ₁₁	B ₁₁	A ₃	B ₁	B ₁₁
Prot.	21023	20679	23723	17775	20056
SiO ₂	43,02	24,19	37,06	18,94	37,87
TiO ₂	1,14	2,13	0,98	1,25	0,88
Al ₂ O ₃	29,48	38,75	35,58	32,53	27,72
Fe ₂ O ₃	11,52	15,83	11,48	29,86	19,25
MnO	0,02	0,01	0,01	0,04	0,05
MgO	0,20	0,03	tr.	0,04	0,16
CaO	1,10	0,89	0,72	0,84	0,81
Na ₂ O	0,35	0,16	0,11	0,20	0,11
K ₂ O	1,55	0,28	0,08	0,41	0,41
H ₂ O [†]	11,26	17,01	14,24	15,50	12,53
Total	99,64	99,28	100,26	99,61	99,79
.....					
$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	2,48	1,06	1,77	0,99	2,32
$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	1,98	0,84	1,47	0,62	1,61

Baseado no peso seco a 110 °C.

Based on the weight dried at 110 °C.

Quadro 6 Composição química da fração argila nos solos de várzea.
 Table 6 Chemical composition of clay fraction in the lowland soils.

Solo Soil	GPH-1	GPH-2	GPH-3	LH-1	Lh-2	SA-1	SA-2
Hor. Prot.	Cg	A ₃ g	B ₁ g	B ₁ p ₃	B ₂₁	C ₁	H
	21142	20613	11812	20271	7602	21452	18530
SiO ₂	51,71	49,35	49,43	48,54	45,41	41,86	46,74
TiO ₂	0,82	1,66	1,06	1,34	1,27	1,02	1,03
Al ₂ O ₃	24,69	31,11	27,14	26,71	35,85	39,19	32,72
Fe ₂ O ₃	9,65	3,74	9,46	10,01	3,37	4,08	4,74
MnO	0,04	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01
MgO	0,87	0,18	0,51	0,70	0,17	0,04	0,26
CaO	1,39	0,74	0,53	0,80	0,44	0,65	0,68
Na ₂ O	0,30	0,35	0,41	0,22	0,25	0,17	0,16
K ₂ O	1,21	0,81	1,14	2,85	0,90	0,35	0,91
H ₂ O ⁺	8,92	11,07	9,72	8,18	11,54	13,92	12,53
Total	99,60	99,02	99,28	99,38	99,21	99,29	99,78
.....							
$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	3,55	2,69	3,09	3,08	2,15	1,91	2,42
$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$	2,85	2,50	2,53	2,49	2,03	1,79	2,22

Baseado no pêso sêco a 110 °C.

Based on the weight dried at 110 °C.

Quadro 7 Composição de minerais na fração argila em solos com B latossólico.
Table 7 Mineral composition in the clay fraction of the soils with oxic B horizon.

Solo		Minerais
Soil		Minerals
	Dominante Dominant	Acessório ou traço Accessory or trace
LA-1	caolinita kaolinite	gibsite, goetita, hematita, quartzo gibbsite, goethite, hematite, quartz
LA-2	caolinita kaolinite	goetita, quartzo, gibsite, hematita goethite, quartz, gibbsite, hematite
LA-3	caolinita kaolinite	goetita, quartzo goethite, quartz
LVA-1	caolinita kaolinite	minerais micas, quartzo, goetita, hematita, montmorilonita ou vermiculita dioctaédrica mica minerals, quartz, goethite, hematite montmorillonite or dioctahedral vermiculite
LVA-2	caolinita kaolinite	gibsite, goetita, quartzo, feldspato gibbsite, goethite, quartz, feldspar
LVA-3	caolinita kaolinite	goetita, hematita, quartzo goethite, hematite, quartz
LR-1	caolinita kaolinite	gibsite, goetita, hematita, quartzo, minerais micas gibbsite, goethite, hematite, quartz, mica minerals

Quadro 8 Composição de minerais na fração argila em solos com B textural.
 Table 8 Mineral composition in the clay fraction of the soils with textural B horizon.

Solo	Minerais Minerals	
Soil	Dominante Dominant	Acessório ou traço Accessory or trace
PVA-1	caolinita kaolinite	minerais micas, quartzo, goetita, hematita, feldspato mica minerals, quartz, goethite, hematite, feldspar
PVA-2	caolinita kaolinite	vermiculita dioctaédrica, gibsitita, goetita, hematita, quartzo, feldspato dioctahedral vermiculite, gibbsite, goethite, hematite, quartz, feldspar
PVA-3	caolinita kaolinite	goetita, gibsitita, quartzo, hematita goethite, gibbsite, quartz, hematite
TRE-1	caolinita, hematita kaolinite, hematite	gibsitita, vermiculita dioctaédrica, quartzo, feldspato gibbsite, dioctahedral vermiculite, quartz, feldspar
TRE-2	metahaloisita metahalloysite	hematita, goetita, quartzo hematite, goethite, quartz

Quadro 9 Composição de minerais na fração argila em solos de várzea.
 Table 9 Mineral composition in the clay fraction of the lowland soils.

Solo Soil	Minerais Minerals	
	Dominante Dominant	Acessório ou traço Accessory or trace
GPH-1	mont/ver* mont/ver*	caolinita, minerais micas, quartzo, feldspato kaolinite, mica minerals, quartz, feldspar
GPH-2	caolinita kaolinite	montmorilonita ou vermiculita dioctaédrica, minerais micas, quartzo, lepidocrocita montmorillonite or dioctahedral vermiculite, mica minerals, quartz, lepidocrocite
GPH-3	mont/ver*, caolinita mont/ver*, kaolinite	minerais micas, quartzo mica minerals, quartz
LH-1	caolinita, minerais micas kaolinite, mica minerals	quartzo, hematita quartz, hematite
LH-2	caolinita kaolinite	montmorilonita ou vermiculita dioctaédrica, minerais micas, quartzo, goelita, hematita montmorillonite or dioctahedral vermiculite, mica minerals, quartz, goethite, hematite
SA-1	caolinita kaolinite	minerais micas, gibsite, goelita, quartzo mica minerals, gibbsite, goethite, quartz
SA-2	caolinita kaolinita	minerais micas, montmorilonita, quartzo, gibsite mica minerals, montmorillonite, quartz, gibbsite

* minerais interstratificados de montmorilonita/vermiculita-dioctaédrica.
 montmorillonite/dioctahedral-vermiculite interstratified minerals.

Quadro 10 Amostras de Terra Roxa Estruturada e Podzólico Vermelho Amarelo em Altamira-PA.

Table 10 Samples of the "terra roxa estruturada" and red yellow podzolic soils in Altamira, Pará.

Solos	Protocolo	Localização	Material originário	Vegetação
Soils	Protocol	Location	Original material	Vegetation
TRE-3	23712 a 23716 23712 to 23716	Km 101 de Altamira, Campo Experimental da EMBRAPA. 101 km from Altamira, Experimental field of EMBRAPA.	Rochas básicas ferromagnesianas. Ferromagnesian basic rocks.	Floresta tropical. Tropical forest.
TRE-4	23732 a 23736 23732 to 23736	Km 23 de Altamira, Campo Experimental da EMBRAPA.	Rochas básicas ferromagnesianas. Ferromagnesian basic rocks.	
TRE-5	24241 a 24244 24241 to 24244	23 km from Altamira, Experimental field of EMBRAPA.	Transição. Transition.	Floresta tropical. Tropical forest.
PVA-3	23722 a 23726 23722 to 23726		Folhelho da formação Curuá. Clayey rock of Curuá formation.	

Quadro 11 Quantidade de caolinita e Fe_2O_3 , e relação entre I(110) do pico de difração raio-X da hematita e da goetita, na fração argila de TRE e PVA em Altamira-PA.

Table 11 Content of kaolinite and Fe_2O_3 , and the ratio between I(110) of diffraction peak of hematite and of goethite, in the clay fraction of TRE and PVA in Altamira, Pará.

		caolinita kaolinite	Fe_2O_3	I/(H+G)*	AxB
		%	% (A)	(B)	
TRE-3	A ₁	58	26,3	0,23	6,0
	B ₁	58	25,9	0,23	5,7
	B ₂₂	62	25,6	0,22	5,6
TRE-4	A ₁	72	14,4	0,39	5,6
	B ₁	79	15,4	0,37	5,7
	B ₂₂	78	15,7	0,32	5,0
TRE-5	A ₁	72	20,8	0,13	2,7
	B ₁	67	20,5	0,14	2,9
	B ₂₂	65	19,7	0,14	2,8
PVA-3	A ₁	87	9,9	0	0
	B ₁	79	10,2	0,02	0,2
	B ₂₂	77	9,8	0,04	0,4

*

$$\frac{I(110) \text{ da hematita}}{I(110) \text{ da hematita} + I(110) \text{ da goetita}}$$

$$\frac{I(110) \text{ of hematite}}{I(110) \text{ of hematite} + I(110) \text{ of goethite}}$$

Quadro 12 Intensidade relativa do pico de difração raio-X das hematitas.
 Table 12 Relative intensity of X-ray diffraction peak of hematites.

d A	(hk1)	TRE	PPT-1	PPT-2	DEP-1	DEP-2
3,70	(012)	36	39	40	77	19
2,71	(104)	100	100	100	100	100
2,52	(110)	85	62	60	97	23
2,21	(113)	44	34	32	49	15
1,85	(024)	34	37	33	70	16

- TRE separada da TRE de Mato Grosso.
 separated from TRE soil of Mato Grosso.
- PPT-1 preparada pelo aquecimento do precipitado do ion ferroso.
 prepared by heating precipitated ferrous gel.
- PPT-2 preparada pelo aquecimento do precipitado do ion ferrico.
 prepared by heating precipitated ferric gel.
- DEP-1 deposito mineral de Ouro Preto-MG.
 deposit mineral from Ouro Preto, Minas Gerais.
- DEP-2 deposito mineral da Serra dos Carajás, Marabá-PA.
 deposit mineral from Serra dos Carajás, Marabá, Pará.

Quadro 13 Amostras de Terras Roxas Estruturadas e Brunizem Avermelhado em floresta e cerrado da Amazônia.

Table 13 Samples of the "terra roxa estruturada" soils and reddish brunizem in forest and savannah in the Amazon region.

Solos	Protocolo	Localização	Material originário	Vegetação
Soils	Protocal	Location	Original material	Vegetation
TRE-6	500 a 503	Km 53 de São Félix do Xingu-PA.	Andesita e riolitas do Precambriano.	Floresta.
	500 to 503	53 km from São Félix do Xingu, Pará.	Andesite and riolites of Precambrian.	Forest.
TRE-7	11550 a 11552	Km 9,4 de Conceição do Araguaia-PA.	Rochas ultrabásicas do Precambriano.	Floresta aberta.
	11550 to 11552	9.4 km from Conceição do Araguaia, Para.	Ultrabasic rocks of Precambrian.	Open forest.
BA-1	11397 a 11398	Km 17 de Nazaré do Piauí-PI.	Rochas básicas.	Cerrado.
	11397 to 11398	17 km from Nazaré do Piauí, Piauí.	Basic rocks	Savannah.

Quadro 14 Composição de minerais na fração argila de TRE e BA em floresta e cerrado da Amazonia.

Table 14 Mineral composition of clay fraction in TRE soils and BA from forest and savannah in the Amazon region.

	Minerais Minerals	
	Dominante Dominant	Acessório ou traço Accessory or trace
TRE-6	caolinita, hematita kaolinite, hematite	goetita, vermiculita dioctaédrica, talco, quartzo goethite, dioctahedral vermiculite, talc, quartz
TRE-7	caolinita kaolinite	hematita, goetita, minerais micas, montmorilonita, vermiculita dioctaédrica, talco, quartzo hematite, goethite, mica minerals, montmorillonite, dioctahedral vermiculite, talc, quartz
BA-1	metahalóisita metahalloysite	hematita, goetita, quartzo hematite, goethite, quartz

Quadro 15 Amostras de cambissolos sobre a Formação Solimões no sudoeste da Amazônia brasileira.

Table 15 Samples of cambisols on the Solimoes formation in the southwest brazilian Amazon region.

No de perfil Profile No	Localização Location	Situação e Declividade Situation and Declivity	Vegetação Vegetation
01, Eu.		Parte superior do platô. Superior part of plateau.	Floresta aberta. Open forest.
14, Eu.		Terço superior, 45%. Superior terrace, 45%.	Floresta densa. Dense forest.
03, Eu.	Tarauacá-AC.	meia encosta, 25 a 30 %. Middle of slope, 25 to 30 %.	Floresta densa. Dense forest.
13, Eu.	Tarauacá, Acre.	Terço inferior da encosta. Inferior terrace of slope.	Floresta densa. Dense forest.
16, Dis.		Terço superior da encosta. Superior terrace of slope.	Floresta densa. Dense forest.
12, Ali.		Parte superior do topo, 10 %. Superior part of top, 10 %.	Floresta densa. Dense forest.
31, Ali.	Boca do Acre-AM. Boca do Acre, Amazonas.	0 a 2 %. 0 to 2 %.	Floresta densa. Dense forest.
78, Ali.	Lábrea-AM. Lábrea, Amazonas.	0 a 2 % 0 to 2 %	Floresta tropical. Tropical forest.

* Eu. eutrófico.
eutrophic.

Dis. distrófico.
dystrophic.

Ali. álico.
alic.

Quadro 16 Determinação quantitativa da fração argila em Cambissolos.
 Table 16 Quantitative determination of the clay fraction in cambissols.

	Horizonte, cm Horizon, cm		M/V %	Mica %	Cao %	Amor %	Qz %
01	B ₂	40-60	87	2	6	2	3
14	B ₂	35-50	83	2	5	7	2
03	B ₂	35-60	55	7	30	5	3
13	B ₂₁	20-40	86	tr.	6	5	3
16	B ₂	20-40	66	8	13	8	5
12	B ₂	40-60	71	9	8	6	6
31	B ₂₁	50-80	35	tr.	44	17	4
78	B ₂₁	50-90	9	10	56	23	2

M/V: Minerais interestratificados de montmorilonita/vermiculita-dioctaédrica, ou montmorilonita.
 Montmorillonite/dioctahedral-vermiculite interstratified minerals, or montmorillonite.

Mica: Minerais micas.
 Mica minerals.

Cao: Minerais da família da caolinita.
 Kaolin minerals.

Amor: Materiais amorfos inorgânicos.
 Amorphous inorganic materials.

Qz: Quartzo.
 Quartz.

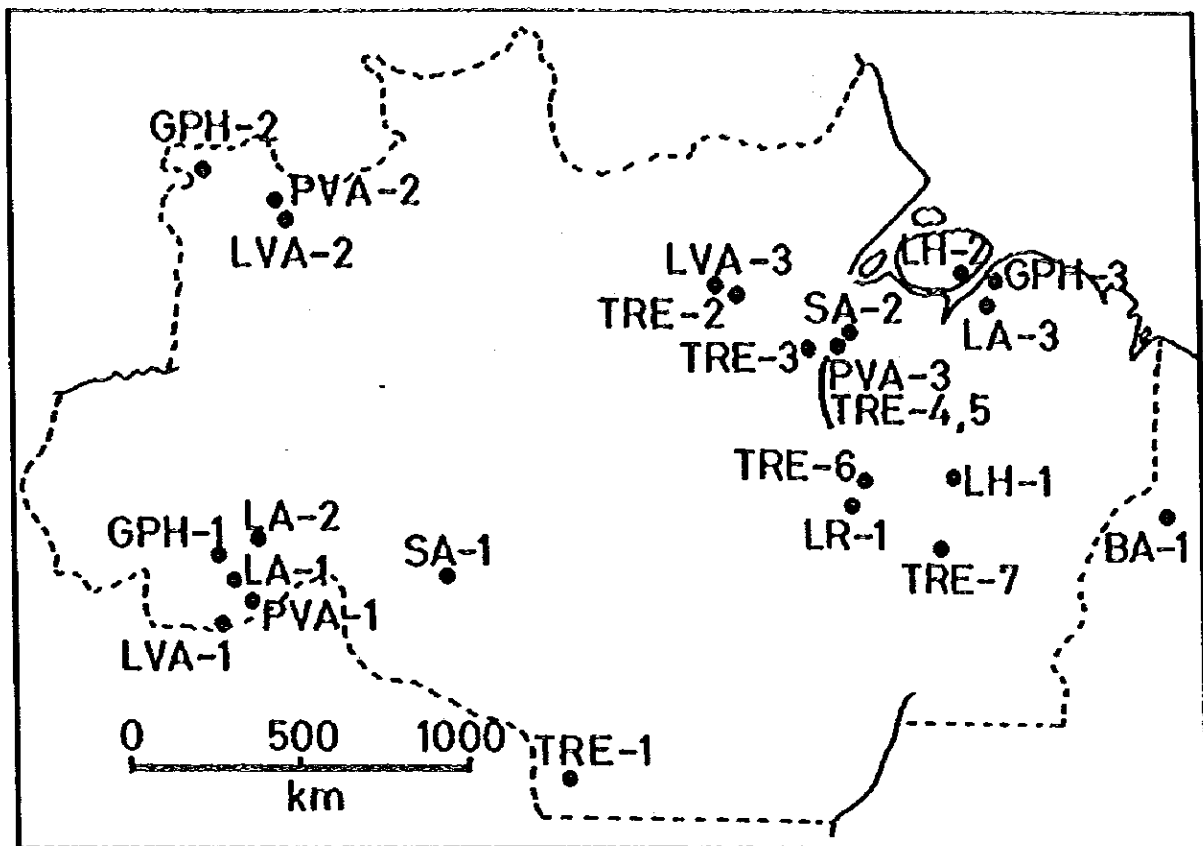


図-1 土壌試料の位置

Fig. 1 Localização das amostras de solos.

Fig. 1 Location of soil samples.

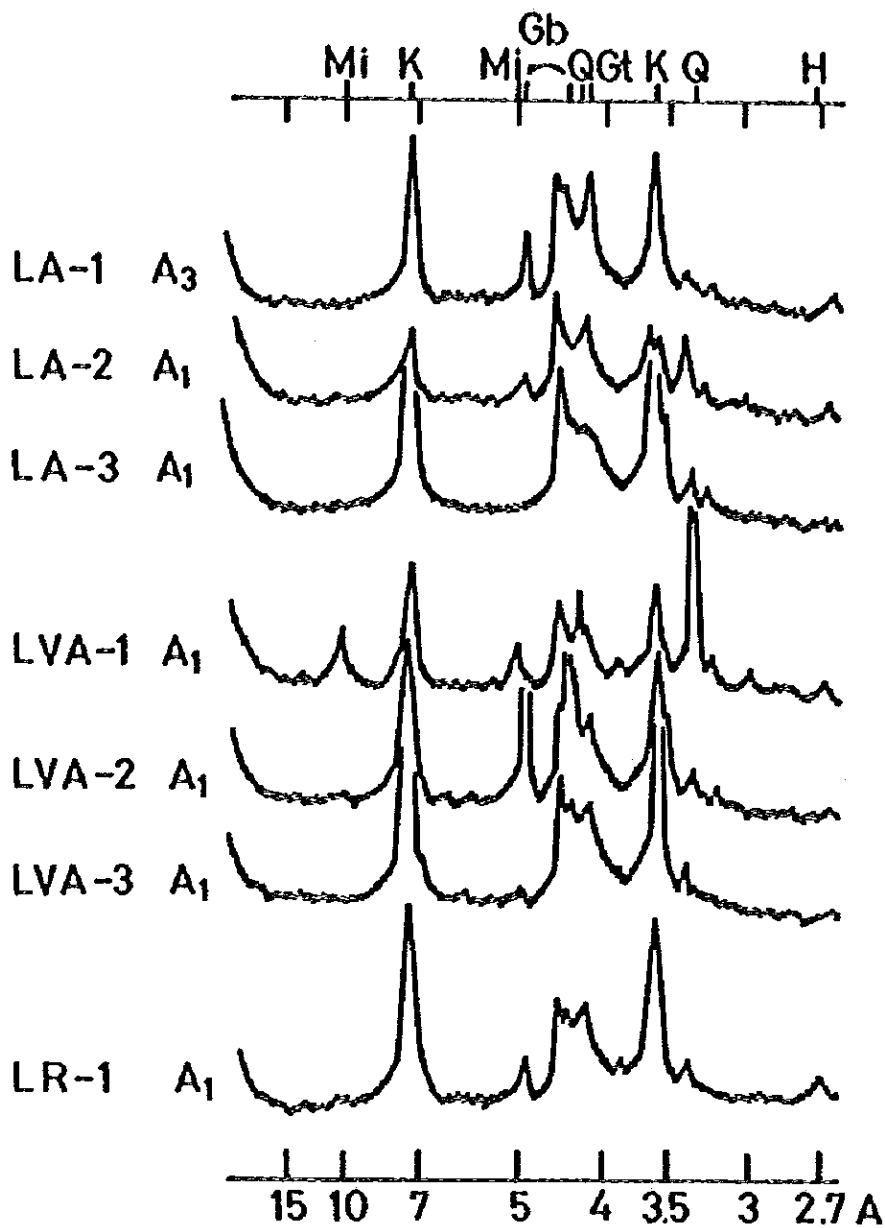


図--2 オキシックB層をもつ土壌の粘土部分のX線回折像：K，カオリナイト；Mi，雲母鉱物；Gb，ギブサイト；Gt，ゲータイド；H，ヘマタイト；Q，石英。

Fig. 2 Gráfico de difração raio-X da fração argila em solos com B latossólico: K, caolinita; Mi, minerais micas; Gb, gibbsite; Gt, goethite; H, hematita; Q, quartzo.

Fig. 2 X-ray diffraction pattern of clay fraction of soils with oxitic B horizon: K, kaolinite; Mi, mica minerals; Gb, gibbsite; Gt, goethite; H, hematite; Q, quartz.

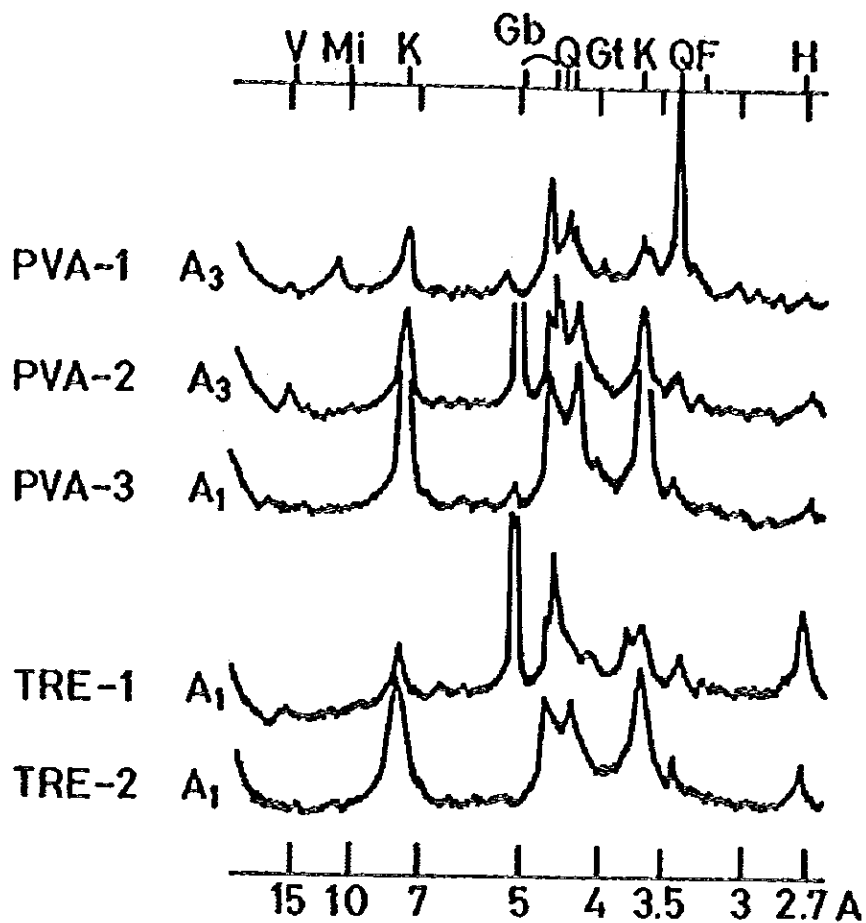


図-3 上柱B層をもつ土壌の粘土部分のX線回折像：K, カオリナイト； Mi, 雲母鉱物； V, バーミキュライト； Gb, ギブサイト； Gt, ゲータイト； H, ヘマタイト； Q, 石英； F, 長石。

Fig. 3 Gráfico de difração raio-X da fração argila em solos com B textural: K, caolinita; Mi, minerais micas; V, vermiculita dioctaédrica; Gb, gibbsite; Gt, goetita; H, hematita; Q, quartzo; F, feldspato.

Fig. 3 X-ray diffraction pattern of clay fraction of soils with textural B horizon: K, kaolinite; Mi, mica minerals; V, dioctahedral vermiculite; Gb, gibbsite; Gt, goethite; H, hematite; Q, quartz; F, feldspar.

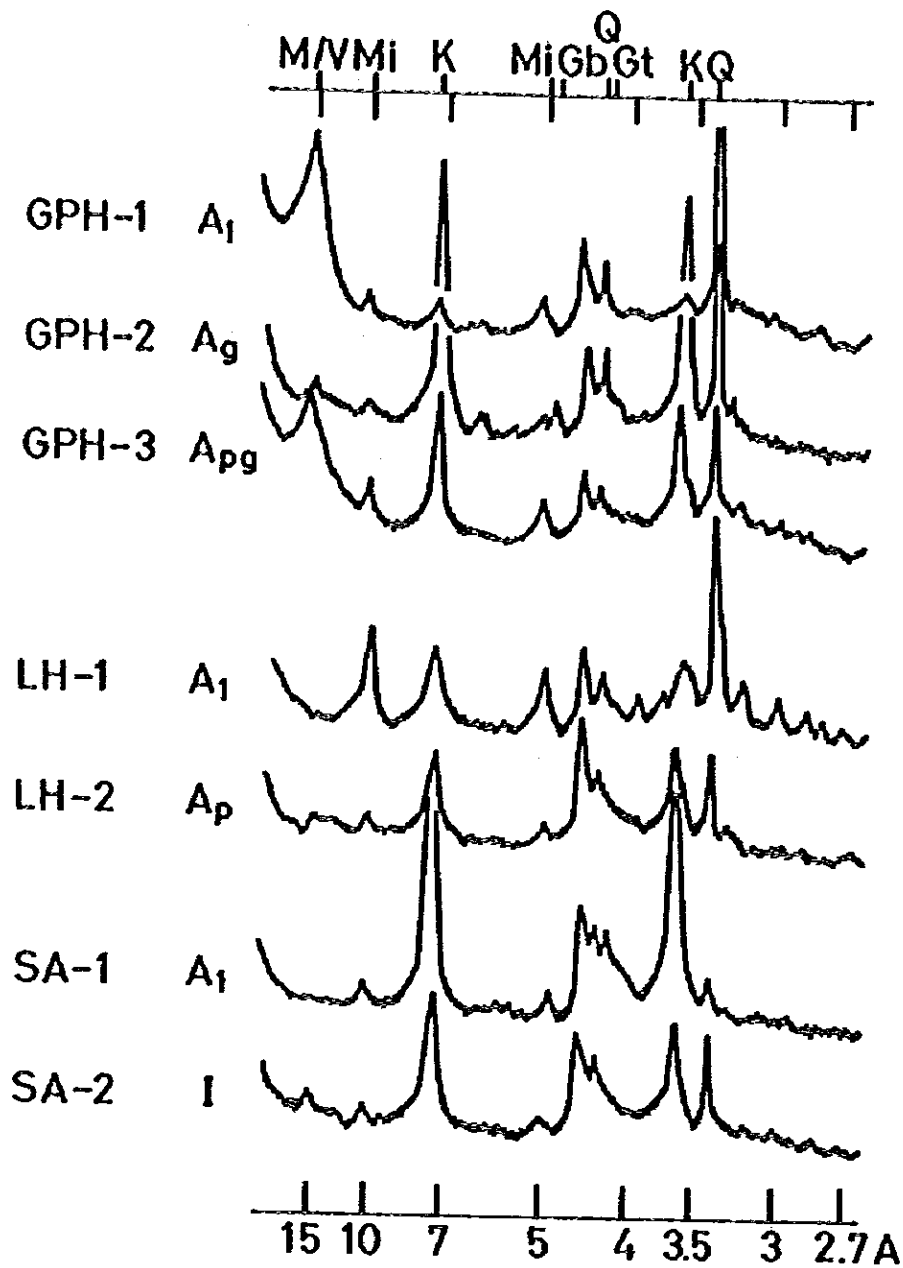


図-4 低地土壌の粘土部分のX線回折像：K, カオリナイト；Mi, 雲母鉱物；M/V, モンモリロナイト/バーミキュライト混合層鉱物；Gb, ギブサイト；Q, 石英

Fig. 4 Gráfico de difração raio-X da fração argila em solos de várzea: K, caolinita; Mi, minerais micas; M/V, minerais interstratificados de montmorilonita/vermiculita-dioctaédrica; Gb, gibsite; Q, quartzo.

Fig. 4 X-ray diffraction pattern of clay fraction of lowland soils: K, kaolinite; Mi, mica minerals; M/V, montmorillonite/dioctahedral-vermiculite interstratified minerals; Gb, gibbsite; Q, quartz.

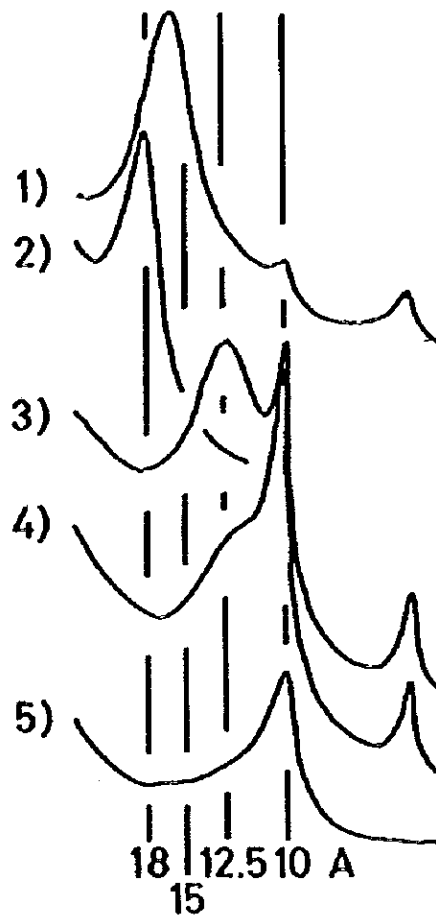


図-5 GPH-1のCg層(21142)における(001)回折ピークの変化： 1) Mg^{2+} 飽和，室温 2) Mg^{2+} 及びグリセロール飽和 3) K^+ 飽和，室温 4) K^+ 飽和，300°C加熱 5) K^+ 飽和，600°C加熱。

Fig. 5 Mudança do pico (001) de difração raio-X do horizonte Cg (21142) na GPH-1: 1) saturada com Mg^{2+} , 2) saturada com Mg^{2+} e glicerina, 3) saturada com K^+ , 4) aquecida a 300°C, 5) aquecida a 600°C.

Fig. 5 Changes of basal spacing of specimen from Cg horizon (21142) in GPH-1: 1) saturated with Mg^{2+} , 2) saturated with Mg^{2+} and glycerol, 3) saturated with K^+ , 4) heated at 300°C, 5) heated at 600°C.

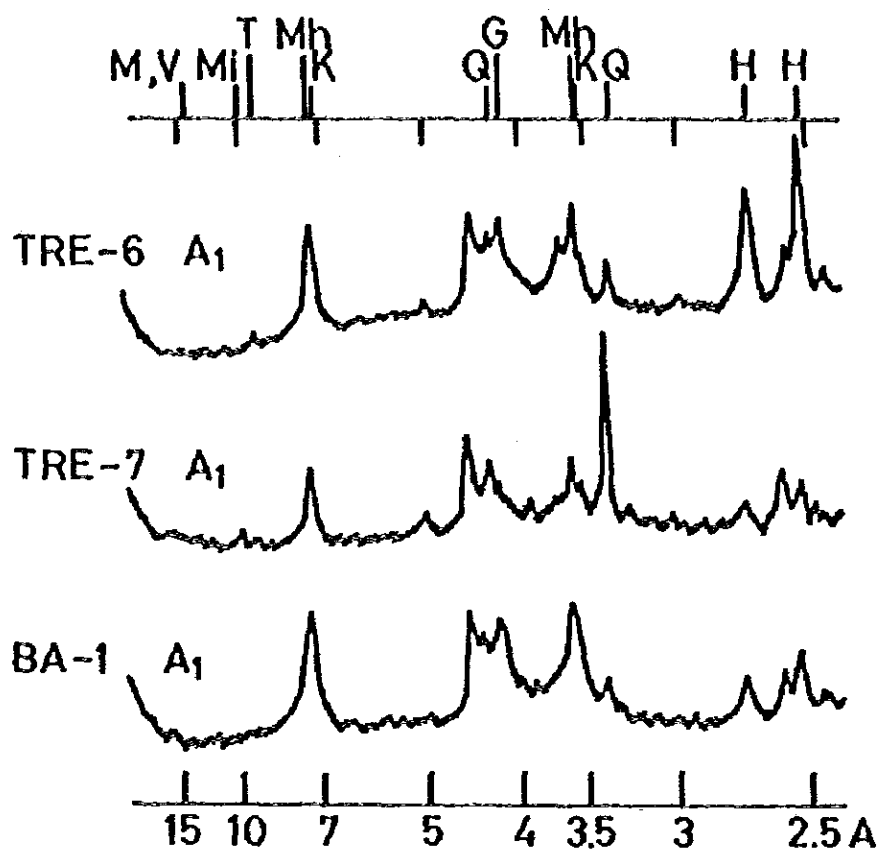


図-6 TRE及びBAの粘上部分のX線回折像：K,カオリナイト；Mh,メタハロイサイト；Mi,雲母鉱物；M,V,モンモリロナイト又はバーミキュライト；T,タルク；G,ゲータイト；H,ヘマタイト；Q,石英。

Fig. 6 Gráfico de difração raio-X da fração argila em TRE e BA: K, caolinita; Mh, metahalloysita; Mi, minerais micas; M, V, montmorillonite e/ou dioctahedral-vermiculite; T, talco; G, goethite; H, hematita; Q, quartz.

Fig. 6 X-ray diffraction pattern of clay fraction in TRE and BA: K, kaolinite; Mh, metahalloysite; Mi, mica minerals; M, V, montmorillonite and/or dioctahedral-vermiculite; T, talc; G, goethite; H, hematite; Q, quartz.

