

中央アマゾンの荒廃地における 植林に伴う土壌変化

—ブラジルアマゾン森林研究計画における研究から—

平 井 敬 三

はじめに

JICA「ブラジルアマゾン森林研究計画」は約8年の実施期間を経て、2003年9月30日をもって終了した。本プロジェクトはブラジルアマゾンのほぼ中央に位置するマナウスにある国立アマゾン研究所（INPA）を相手機関として行われた。筆者は2001年7月よりプロジェクト終了までの2年2ヶ月の間、立地特性分野の専門家として当プロジェクトに参加する機会を得た。本稿では専門分野である土壌特性を中心にプロジェクトで得た成果を含めて紹介したい。なお、本プロジェクトの発足経緯や概要、また当初に得られた成果等は佐藤（2000a, b）、中村（2001）、丸山（2001）に詳しく紹介されている。

なお、筆者がプロジェクト参加中に得た成果の一部についてはプロジェクト協力期間中に開催されたセミナーで発表するとともに、プロジェクト成果をとりまとめた図書（Higuchi *et al.* 2003）におさめられた。他の分野の成果を含め、詳しくはこちらを参照されたい。

マナウス周辺的环境と土壌

マナウスはベネズエラやコロンビアなど北から流れるネグロ川とペルー、エクアドルやボリビア等アンデス山脈を源流とするソリモンエス川の合流点に位置する。以降、大河アマゾン川となって大西洋河口のベレンに流れ降る。川の特性はネグロ川とソリモンエス川で大きく異なる。前者はギアナ高地に代表される地史的に古く風化の進んだ地域からくるため、河川の水質は養分に乏しく強酸性である。また地表の有機物層の分解に伴って発生する水溶性有機物が粘

Kenzo Hirai : Changes in Soil Properties of Degraded Land Following Afforestation in Central Amazon

(独)森林総合研究所 立地環境研究領域, 前 JICA アマゾン森林研究計画 専門家

土に吸着されずに河川に流入するため河川の色は透き通った黒色を示す。一方後者のソリモンエス川は比較的新鮮な地質の風化物に富むアンデスを源とし、粘土やシルト分が懸濁して、河川はいわゆる泥水の様相を呈して流れ降る。こちらの流域は前者に比べて相対的に生産力は高い。マナウス下流で両者は合流するが、河川の水温や水質特性が異なるため、黒と白の両河川が混ざらずに数キロにわたって流れ下る景観はソリモンエスの奇観として、マナウスの貴重な観光資源となっている。

マナウスの年平均気温は 26.9℃、年降水量は約 2,300 mm で（図 1）、3～4 ヶ月の弱い乾季をともなう熱帯雨林気候（Af）にあたる。

マナウスの土壌気候（Soil Survey Staff, 1999）は、年平均土壌温度が 22℃以上で下層土における土壌温度の年較差が 6℃ 以内の isohyperthermic 温度レジームで、土壌が 1500 kPa（永久しおれ点）以上の乾燥する日数が年間で 90 日未満の udic 土壌水分レジームにある。マナウスを中心にしたアマゾン川以北の地域は台地が大部分を占めている。この台地地形下には Oxisols（Soil Survey Staff, 1999）に分類される土壌が広く分布している。Oxisols は湿潤高温条件下で激しい風化作用と洗脱作用を受けて生成され、南米やアフリカに分布地が多い。その化学的特徴は酸性が強く、養分保持力が小さく、貧栄養なことである。特にリンの供給能力が低い。一方で、一般に土層が深く、透水性が良好で浸食が起こりにくく、物理性には問題は少ない。したがって適正な施肥管理がなされれば（耕作が容易で）高い生産性が期待できる。現在ブラジルにおける大豆の一大生産地となっているセラード地帯もほぼ Oxisols の分布と重なる。

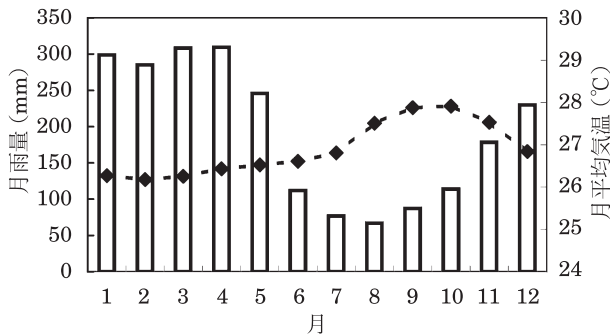


図 1 マナウスの月別降水量と平均気温（1973-2002 年平均）
□ 雨量 -◆- 気温

立地特性分野における研究内容

筆者が従事した立地特性分野では、①天然林における土壤特性と植生との関係、②天然林、荒廃地および植栽地の土壤理化学性、③主要樹種の養分特性、④植栽地の立地特性と樹木の成長、等を中心に研究が行われた。

ここでは、プロジェクト前半に行われた天然林の土壤特性と植生の関係について概説し、プロジェクト後半に筆者が担当した荒廃地や植栽地における土壤特性の解明と樹木成長に関する検討結果について紹介する。

(1) 天然林における土壤・植生の分布と特性

本研究はINPA 所有のZF-2 実験林において行われた。天然林の地形と土壤特性および植生の構造等については佐藤（2000 b）の中にも紹介されているが、ここに再度簡単に説明する。

天然林内に設けたベルトランセクトにおいて、地形の異なる地点で土壤調査が行われ理化学性の比較、検討が行われた。また代表的な地点では土壤貫入計を用いた土層深度の調査が行われた。

天然林内の地形は、沢が複雑に入り組み、台地や斜面など異なる地形の組み合わせから構成されるが、これらの地形上に成育する森林は Terra-firme 林として一括して区分されている。しかし、天然林の種構成は地形で異なり、台地や斜面に比べて、低地ではヤシ類の構成割合が大きくなる。また、天然林下に分布する土壤の特徴も地形によって変化するが、特に物理性が顕著に異なる。具体的には台地から斜面そして低地へと粘土量が減少し、逆に砂含量は増加する（図2）。これら地形による土壤特性の違いは土壤型にも反映する。それぞれの地形に分布する土壤は、以下

ようになる。台地上には Oxisols が、斜面では Ultisols が、低地では砂が大部分を占める未熟な Entisols が分布する。粘土が養分の保持に重要な役割を果たしており、粘土量が多いほど炭素や窒素などの含有率は高い（Ferraz *et al.* 1998）。したがって粘土量の高い台地では、これらの地形の中では相対的に

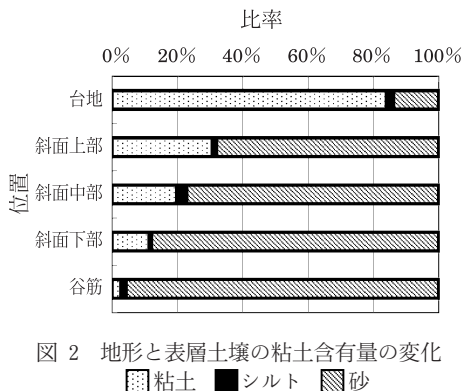


図2 地形と表層土壤の粘土含有量の変化
 粘土
 シルト
 砂

生産力は高いと言える。これを反映して台地に成育する樹木の本数密度や断面積合計はほかの地形より大きい(佐藤 2000 b)。日本では水分傾度に沿って、斜面の低い場所ほど生産力に富む土壌が分布するのが一般的であるのに対して、ここでは全く反対の状況が認められることが明らかになった。

(2) 植栽地における土壌特性と樹木成長

この研究はマナウスの北、約 120 km にあるプレジデントフィゲレードで行われた。植栽前にはバナナなど熱帯果樹栽培が 8 年間行われていた。農地利用時には重機などが使用されたため、圧密化による土壌の劣化が認められた。ここでは土壌耕耘による物理性改善の効果と早生樹種混植の効果について検討した。試験開始にあたり、植栽前に約 30 cm 深までプラウ耕による土壌耕耘が行われた。植栽はマホガニー (*Swietenia macrophylla*)、ジャトバ (*Hymenaea courbaril*)、クマル (*Dipteryx odorata*) など 5 種のアマゾン地域の郷土樹種に早生樹のバルサ (*Ochroma lagopus*) が混植された。対照として非耕耘および郷土樹種のための試験区および近接する天然林の試験区が設定された。試験区としては以下の 5 つが設定された。① 郷土樹種単植 (非耕耘), ② 郷土樹種+バルサ混植 (非耕耘), ③ 郷土樹種単植 (耕耘), ④ 郷土樹種+バルサ混植 (耕耘), ⑤ 天然林。

各試験区で土壌断面調査が行われるとともに、理化学性の検討が行われた。また耕耘の影響を評価するため、土壌貫入計や山中式硬度計による土壌硬度の測定が行われた。さらに植栽樹種の成長と養分特性評価のため葉の成分分析も行われた。

土壌物理性におよぼす混植の影響

各試験区とも表層土壌の粘土含有率が約 90% と非常に高かった。粘土が極端に多いことが原因で起こる物理的な問題も指摘されており、さらに伐採や農業耕作時の重機使用によって土壌の圧密化も起こりやすい。ここではまず非耕耘の試験区 (① と ②) を対象にして、早生樹の混植による土壌物理性への影響を検討した。

結果的には早生樹の混植は土壌物理性を良くすると言える。早生樹と一緒に植えた場合は、郷土樹種のみを植えた場合に比べて、容積重 (一定容積に占める土壌の重量) も小さく、硬さも柔らかい事がはっきりわかる (図 3, 4)。特に容積重では 1 m 以上の深いところでも混植区の土壌の方が値は小さくなった。土壌断面調査から、混植区ではバルサの根系が 90~100 cm 深まで深く伸張し

ているのに対して、郷土樹種単植区では 20 cm 深程度までしか伸張していなかった。つまり、混植区では深くまで根系量が多くなり、孔隙が増加した結果、容積重が小さくなったと考えられた。したがって早生樹種を混植することは以前の耕作時に圧密を受けた表層土壌だけではなく、さらに土壌深くまで物理性を改善する効果があるといえる。一方、郷土樹種のための植栽では植栽後数年経過しても、圧密の影響がまだ残っていると言える。以上から、一度圧密を受けた劣化した土壌を改善するには、深根性の成長が早い樹種の混植は土壌物理性の改善に大きな効果があることが明らかになった。

土壌耕耘と樹木成長

次に、混植区を対象として土壌耕耘による土壌物理性の改善効果を検討した。図 5 に容積重を、図 6 に土壌硬

度を示した。耕耘区では深さ約 80cm まで容積重と硬度ともに、非耕耘区に比べて値が小さくなった。両方の差は、特に表層から約 40cm までの深さで大きい。これは前述したように耕耘の深さが約 30cm までであるという結果に一致している。また耕耘土壌では 30～40 cm の深さまで構造が柔らかく、有機物が浸透していることが土壌断面の観察から明らかであった。つまり、深さ 30～

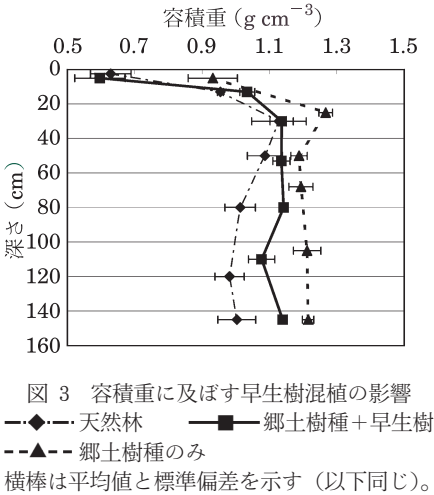


図 3 容積重に及ぼす早生樹混植の影響
 —◆— 天然林 —■— 郷土樹種 + 早生樹
 - -▲- 郷土樹種のみ
 横棒は平均値と標準偏差を示す (以下同じ)。

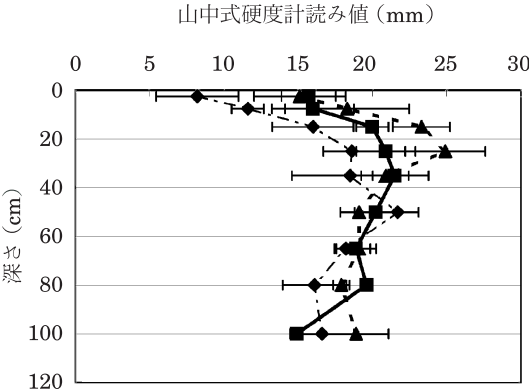


図 4 土壌硬度に及ぼす早生樹混植の影響
 —◆— 天然林 —■— 郷土樹種 + 早生樹
 - -▲- 郷土樹種のみ

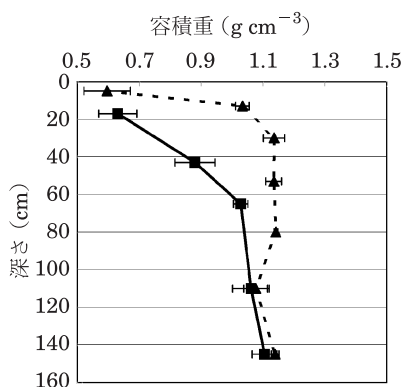


図 5 容積重に及ぼす耕耘作業の影響
 —■— 耕耘 -▲- 非耕耘

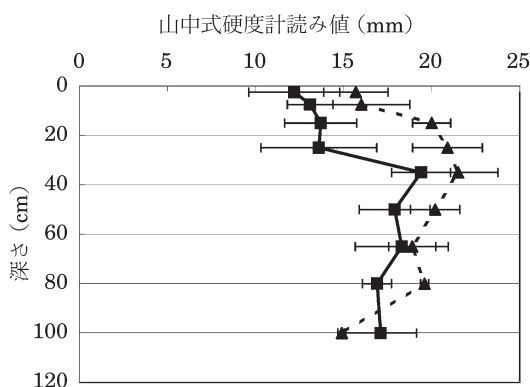


図 6 土壌硬度に及ぼす耕耘作業の影響
 —■— 耕耘 -▲- 非耕耘

40 cm 以下の土壌の物理性は深根性の早生樹種を混植することで良くなるが、耕耘を併用すると土壌表層の物理性は著しく改善される。農地利用によって圧密を受けた層が耕耘によって解消されることで、樹木の根系がより容易に伸張できることになると言える。

最後に植栽樹木への成長への影響についてみると、植栽約 3 年後の 2001 年 5 月には耕耘区で 11.9 m、非耕耘区で 9.6 m と明らかに耕耘区での樹高成長は大きかった (Barbosa

et al. 2003)。耕耘の影響は主に土壌物理性の改善にみられた。一方、カウンターパートが中心に行った土壌化学性や葉分析による栄養状態の検討では、これらに対する早生樹の植栽や耕耘の影響は認められなかった。したがって樹木成長の促進は主に物理性の改善によるものと判断される。

混植区では、成長が良好で上木となった早生樹のバルサを間伐して、下木となった郷土樹種の成長を促すように管理を行う予定にしていた。しかし不審火によって消失してしまったため、合わせて行う計画にしていた養分蓄積やより詳細な土壌調査が不可能になった。残念であるとともに、熱帯地域における林地の維持管理の重要性と困難さを改めて認識させられた。

土壤物理性の管理

上述したように土壤耕耘は土壤物理性を改善し、植栽早生樹の成長を大きくすることが明らかになった。この試験地の場合、全面耕耘が行われた。それに対して、植穴（たて、横、深さとも 40 cm）だけが掘られて植栽された試験地では、植栽木の明らかな活着不良や成長低下も認められた。これは植穴内の排水が悪く滞水しやすい環境が形成されたため、根系の成長が悪化したことが原因と考えられた。粘土含量の高い地域では、植穴だけの物理性改善だけでは不十分であると言える。このような現象や今回得た土壤物理性に関する耕耘の影響の結果から考えると、この地域に広がる貧栄養で粘土含量の高い土壤においては耕耘が植栽樹木の成長を促す効果大きく、耕耘の実行が望ましい。ただし、耕耘作業を傾斜地で行うと土壤浸食の恐れがあるため、平坦地に限って行われるべきである。また耕耘作業にはかなりのコストがかかるため、実際には植栽樹木の経済的価値や環境保全効果とも勘案して作業が選択されるものと思われる。

おわりに

マナウスは自由経済特区（ゾーナ フランカ）の税制恩典措置のため、欧米を始め日本の主な企業が進出している。ここアマゾンの地方都市であるマナウスにおいても日系移民の方々が多数生活されている。未開また生産力の低いアマゾンの地における開拓初期の苦労は計り知れない。農業がうまく行かず、アマゾンを離れサンパウロなどの大都市に行かれた方も多いと聞いた。またマナウスにおいても農業をあきらめ一般的な勤務者として生活されている人も多くいる。これら日系人の方が多いことや日本からの企業駐在員の方も多いため、しょうゆやみそなどの調味料を始め、豆腐、納豆、麺類などの日本食は比較的簡単に手に入れることができる。中には日本のものより美味しいものもある。私の場合、家内とともに赴任時に 3 歳と 1 歳前の二人の息子連れての滞在となったが、現地語であるポルトガル語を十分に勉強もせず、それほど不自由せず生活できたことは、日系社会があり、日系企業駐在員の家族の方々がおられたからだと感謝している。食べ物の事も含め、欧米や東南アジア諸国の地方都市に比べてずっと生活しやすいと感じる。またマナウスには中学までの日本人学校も開講されている。うちは子供が小さかったため直接は関わらなかったが、学校主催の運動会や文化祭などの行事に幼稚園も参加する機会があり、いろ



写真 1 日本人学校の運動会で演技する幼稚園児たち

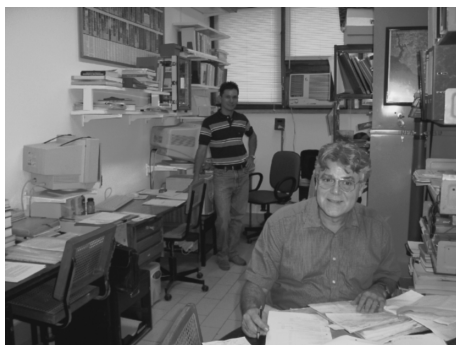


写真 2 カウンターパートの Dr. João Ferraz とスタッフの Sr. Klever (居室にて)

いと交流させていただいた。

一方で、ブラジルと日本との文化の違いも思い知らされた。基本的に個人中心主義のブラジル人と組織的に動く日本人との対応の違いは非常に大きい。特に今回のようないくつかの分野を含む研究プロジェクトの場合、十分な協力体制を築くためには、計画立案段階でプロジェクト全体の方向性を明確にすることが重要であると感じた。今後はプロジェクト実施を通じて得た成果や問題点をふまえ、これまでに築かれた関係を土台にして新たな段階へ発展させることを胸に筆を置きたい。

終わりにあたり、プロジェクト遂行にあたり協力いただいた INPA のカウンターパートの皆さんを始めプロジェクトの現地スタッフ、また長期および短期専門家の方々に感謝いたします。

〔文献〕 Barbosa, A.P. *et al.* (2003) Silvicultura tropical e a recuperação de áreas degradadas pela agricultura itonerante na Amazônia Central. *In* : Higuchi, N. *et al.* (Eds.) Project Jacaranda Fase II. Pesquisas Florestais na Amazônia Central, INPA, Manaus. 223-239. Ferraz, J., S., Ohta and P.C. Sales (1998) Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao norte de Manaus (AM). *In* : Higuchi, N. (Ed) Pesquisas Florestais para a Conservação da Floresta e Reabilitação de Áreas Degradadas da Amazônia. INPA, Manaus. 109-145. 丸山 温 (2001) ジャカラダプロジェクトーブラジル・アマゾン森林研究計画フェーズⅡー, 北方林業 53 (4) : 18-21. 中村松三 (2001) アマゾン点描ー緑の国際研究協力に従事してー, 森林科学 32 : 67-69. Higuchi, N. *et al.* (2003) Project Jacaranda Fase II —Pesquisas Florestais na Amazônia Central—, INPA, Manaus. 252 pp. 佐藤 明 (2000 a) ブラジリアマゾン森林研究計画Ⅱ, 荒廃地回復に向け, G7 プログラムに仲間入り, 緑の地球 10 (2) : 9-10. 佐藤 明 (2000 b)

ゾーナ フランカでの熱帯林研究 ブラジリアマゾン森林研究プロジェクトの紹介, 熱帯林業 49: 53-61. Soil Survey Staff (1999) Soil Taxonomy : Second Edition. USDA-NRCS Agric. Handb.,436, U.S. Govt. Print. Office, Washington, DC.

図書紹介

◎アグロフォレストリーのための樹種と技術(Agroforestry Species and Technologies, James M. Roshetko 編, Winrock International, USA, 2001. 10 月刊, 232 pp. [TFRI (Taiwan Forestry Res. Inst.) Extension Series No. 138])

本書が制作された詳しい経緯は不明だが, 冒頭の記載によると, 1981 年に設立され, 1994 年にウィンロックに合併された窒素固定樹木協会 (NFTA) と, その後 1996 年に森林, 農場, 部落のための樹木ネットワーク (略称 Fact Net) と改称されたこの組織がこれまでに編集・配付したハイライツおよびファクトシートを整理したもので, 台湾の農業省・森林研究所の助成金によって刊行された。第 1 部: 約 70 種のハイライツ, ファクトシートの収録, 第 2 部: アグロフォレストリー情報サービス (AIS) の技術・樹種のファクトシート, 付録: ハイライツ, ファクトシートの年代順リスト, 樹種, 著者のリストである。因みに, NFTA はギンネムの研究・普及のため, ハワイ大學で活動をはじめ, 1983 年には NFT 研究報告を, 1985 年には最初のハイライトが制作, 頒布された。約 15 年にわたる活動の後, この組織は Winrock International (Email: forestry@winrock.org) に引き継がれ, 1999 年末には, 残念ながら予算不足のために活動を継続することができなくなった。標題の印刷物はその間の成果の集大成と考えることもでき, アグロフォレストリーを進める上で, きわめて便利な参考書である。

(浅川澄彦)