

ゾーナ フランカでの熱帯林研究

ブラジル アマゾン森林研究プロジェクトの紹介

佐藤 明

はじめに

ゾーナ フランカ-2 (ZF-2) とは、国立アマゾン研究所 (INPA) の実験林に至る林道の名前である。アマゾナスの州都マナウスから北上しヴェネズエラの首都カラカスに至る 2,250km の国道 174 号線の支線の一つである。INPA の研究として知られる森林の断片化と生物多様性研究プロジェクトも ZF-3 や ZF-6 等の支線に散らばり設けられている。では ZF とは何か。それは Zona Franca (自由経済特区) の略で、マナウス地域の地域開発、国家保安の確立を目的に 67 年に大統領令で発せられたもので、ZF 一環の税制恩典措置により工場等企業の誘致が積極的になされた。ゴム、ジュートといった産業が衰退したにもかかわらず、30 万ほどだった人口が 160 万以上の大都市マナウスに変貌したのはまさにこの ZF 策のお陰といえる。

マナウスの南岸を流れるアマゾン本流、支流域には広大な森林が広がっている。アマゾンの熱帯林の管理方針は 92 年のリオデジャネイロの地球環境会議を境に森林保全へシフトしたかに見える。95 年には森林伐採の現状に危機感を抱き、大幅な森林保護策が講じられるに至った。しかし、2000 年の国会では森林開発のための森林法改正が議員立法として提案され、同改正案上下院合同委員会は賛成 10、反対 3 で同法を可決した。それによると法定アマゾン（政府が諸政策施行のため設定したアマゾン地域）では土地総面積の 80% を森林保護のために確保されていたものが 50% に削減された。また、州政府がゾーニングし、環境保全より農牧業の開発に適していると評価された地域では、アマゾン地域でも最高 80% の土地が開発可能になる。これが施行されれば、広大なア

Akira Sato : Activities of Tropical Forest Research Project at Zona Franca in the Northern Manaus, Brazil

JICA ブラジリアマゾン森林研究計画 (フェーズ II) チーフアドバイザー

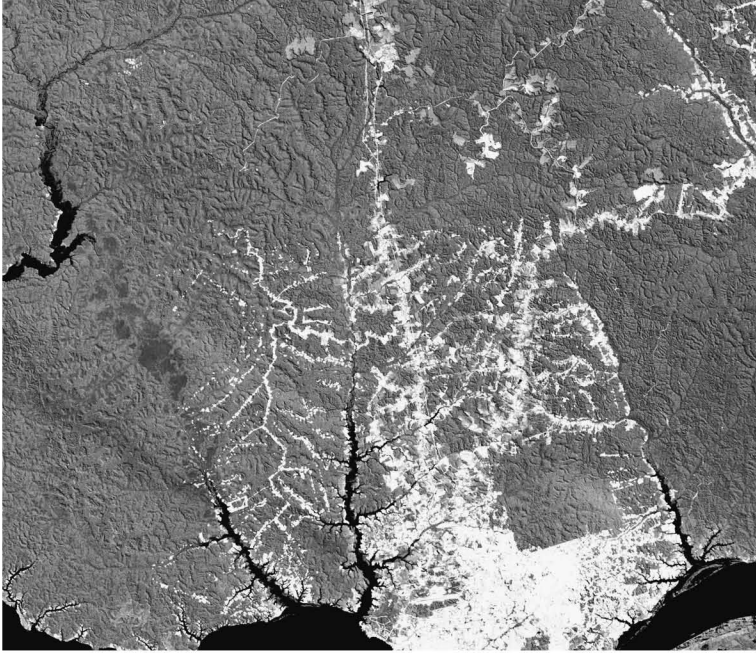


図 1 マナウス北西部タルマー川西岸域での森林開発の状況
白地が開発地

マゾン熱帯林も急激に伐採が進み、森林の消失、農牧地化は拡大していくものと危惧される。

アマゾン熱帯林の現況

図1を参照下さい。マナウスにアマゾンの人口が集中、市街地の拡大は急テンポで進んでいる。同時に注目されるのはマナウス北西部、タルマー川西岸域での森林開発の状況である。プロジェクトがTMランドサットデータを使って解析した結果(Nakakita *et al.*, 2000)、ここ1, 2年で加速度的に開発されていることがわかった。97年7月から99年7月までの2年間の消失面積は97年以前の同じ2年間のそれに比べ4倍も急増していることが明らかになっている。

法定アマゾンの森林破壊は、すでに率にして1割を超えて54万平方キロ以上の森林が失われている(佐藤, 2000)。アマゾナス州に限って言えば、まだ2%に満たない消失率が示されているが、森林開発が進んでいるパラ州やマツ

トグロッソ州だけで消失面積は 30 万平方キロを超え、15、6%に達している。

マナウス北西部の森林消失率を図 1 から解析すると、算出基礎の面積で異なるものの 99 年 7 月時点で 8% 近い値が得られている (Hashimoto *et al.*, unpublished)。法定アマゾン全体から見るとまだ低い値にとどまっている。しかし、アマゾナス州としてみると極めて高く、マナウス周辺では熱帯林への蚕食が着実に進行してきているといえる。

プロジェクトの概要

当プロジェクトは、ブラジル政府によるアマゾン地域の熱帯雨林について環境保全と持続可能な森林管理のモデルを確立することを目的とした技術協力要請に伴い、95 年 6 月より INPA で活動を開始した。その後、フェーズ I およびフォローアップ期間の技術協力を経て、98 年 9 月の終了時までにはほぼ研究基盤が整った。しかし、実際のアマゾン森林の荒廃地回復に関する研究の実施は今後の課題となっていることから、フェーズ I の成果に基づき、引き続き荒廃地回復を目指した技術協力が要請された。その結果、98 年 10 月より 5 年間の計画でフェーズ II の活動が開始され、今日に至っている。

プロジェクトの目的は、INPA においてアマゾン地域の森林保全と荒廃地回復に資する技術の改良のため、その達成に必要な欠くべからざる生物学のおよび生態学的な基礎知識を技術・研究協力を通じて明らかにすることである。このため、フェーズ II においては、①森林型の分布様式、②天然林の動態、③立地特性、④種子の生理生態特性、および ⑤立地適応性の 5 つの分野を設定し活動を進めている。先に示した図 1 は①の分野における成果品の 1 つである。

プロジェクトは、INPA 熱帯林業部の一角および本部構内にある GISLAB (リモートセンシング解析室) に拠点を置き、そのほか国道 174 号線沿いにある苗畑、ZF-2 実験林内に設定している各種試験地に加えてプレジデンチ・フィゲイレドのマデイラカンパニー (MC)、サンタ・クラウディア (SC)、および日系コロニアのエフィジェニオ・ジ・サーレス (ES) の植栽試験地等 (図 2) で調査、研究活動を展開している。

ZF-2 実験林内の試験地と調査概要

INPA 本部より車で 1 時間半前後の ZF-2 実験林には、人為の影響を極力避けるとの方針で管理された森林約 20,000 ha が広がっている。天然林の動態、立地特性のほかリモセン、種子関係の試験、調査研究もここで行われている。

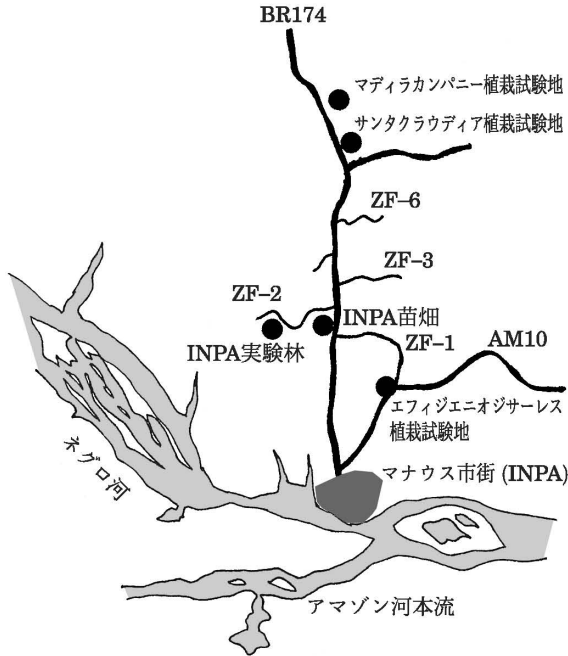


図 2 マナウス周辺のプロジェクト関連試験地位置図

1) 天然林動態試験地と周辺地形

マナウス周辺の地形は一見平坦(固い土の意で Terra-Firme と呼ばれる)に見えるが、高台の Plato (丘陵台地) と沢に沿った平坦な Baixio (低地) とよばれる地形の間で比高差 4, 50 m の凹凸があり、そしてそれらの移行帯の斜面とに大別される。この実験林内で南北、東西のそれぞれの方向に直線で 2,500 m、幅 20 m のベルト試験地を設定する(図 3) ことにより、地形の違いと林分構造の違いの解明を図った。

ランドサットデータをもとに試験地周辺の地形区分を行った結果、典型的な丘陵台地は 53%、同じく低地は 26%、そして残り 21% が斜面等の地形という数値が得られた。場所にもよるが ZF-2 付近では全体の半分以上が丘陵台地状の地形で占められることから、その丘陵台地上に、20 m 幅のベルト試験地では捉えきれない樹種分布や更新動態を把握するため、新たに 300 m × 300 m の長期モニタリング試験地を設けた。すでにコドラート内には 10 m × 10 m のサブプロットを設定し、現在、毎木調査や立木位置図の作成が進められている。

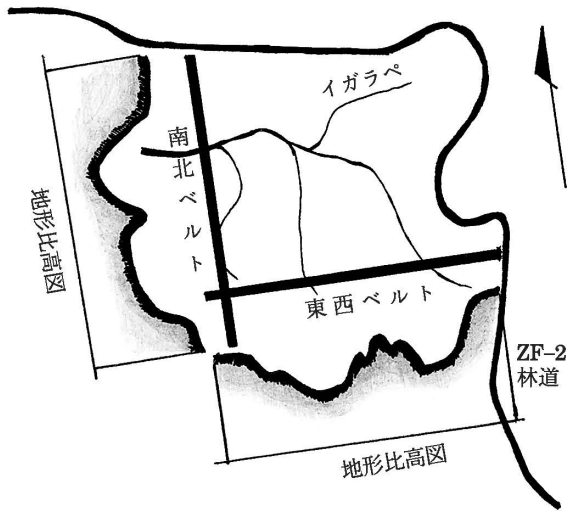


図 3 天然林動態ベルト試験地とその地形比高図

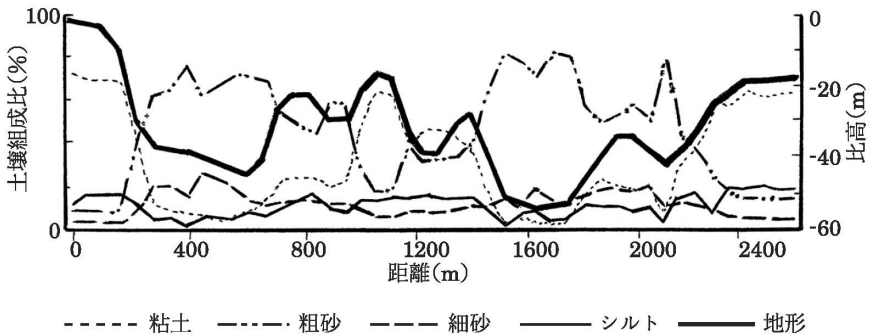


図 4 東西ベルト試験地の深さ 5 cm の土壤理化学性と地形の関係

2) 地形の変化と土壤の理化学性の関係

このベルト試験地に沿って一定距離ごとに土壤調査を行い、地形に対応した土壤の理化学性を調べた (Ferraz *et al.*, 1998)。一例として示した 5 cm 深における砂、シルト、粘土等の理化学性は図 4 のように地形の違いを鮮明に描き出している。一方、土壤化学性の変化についてはそれほど明瞭な結果は得られていない。土壤の化学性の調査結果を地形ごとにまとめたものを表 1 に示す。マナウス周辺の土壤は、地形にもよるが、多くは長年の風化が進んだ Oxisols に属

表 1 ベルト試験地における地形ごとの土壌の化学性

	depth cm	pH H ₂ O	N g/kg	C g/kg	P mg/dm ³	K mg/dm ³	Fe mg/dm ³
丘陵台地	5	4.15	1.86	18.74	1.23	22.64	399.14
	30	4.25	1.15	9.00	1.05	7.00	352.68
	50	4.34	0.83	6.86	1.05	4.91	263.50
	100	4.52	1.06	5.01	1.06	6.13	73.81
斜面	5	4.17	1.19	12.38	1.11	13.33	364.11
	30	4.31	0.83	7.29	1.00	5.78	394.78
	50	4.34	0.76	5.62	1.00	3.78	313.67
	100	4.35	0.37	2.30	1.00	2.00	130.33
低地	5	4.22	1.22	18.92	3.33	26.93	57.33
	30	4.31	0.70	10.55	2.20	13.73	71.33
	50	4.41	0.75	8.03	1.93	8.93	61.07
	100	4.42	0.51	7.49	2.60	6.60	15.00

(J. Ferraz *et al.*, 1998)

しており、貧栄養と言われているとおり、酸性で栄養分が乏しかった。

3) アマゾン熱帯林の構造と動態

2本のベルト試験地で得られた林分構造および更新動態の調査結果の概要を述べる。図5は代表的な樹種の分布状況を示したものである(Sakai, 1999)。計10haに相当する試験地内に成立する樹木で樹種名まで判別できたのが320種。地形に無関係に分布している樹種もあれば、丘陵台地のみ、低地のみしか出現しない樹種もある。それぞれの樹種の出現傾向については現在解析中である。

表2は、ベルト試験地内を地形によって3区分し、地形ごとに林分状況をまとめたものである(Niro *et al.*, 1998)。低地で本数、胸高断面積合計が低いのは、高木性のヤシを数値から外したことが関係していると思われる。樹高については現在解析中であるが、低地と丘陵台地で比べると丘陵台地の方がいくぶん高い傾向が見られる(Sakai, unpublished)。生産力の差異が反映されているかも知れない。

3区分した地形の上に優占する樹種について科単位でまとめた結果を図6に示す。いずれの地形にもサガリバナ科(*Lecythydaceae*)、アカテツ科(*Sapotaceae*)などの優占度が高く、丘陵台地と斜面では優占順位もほぼ一致し

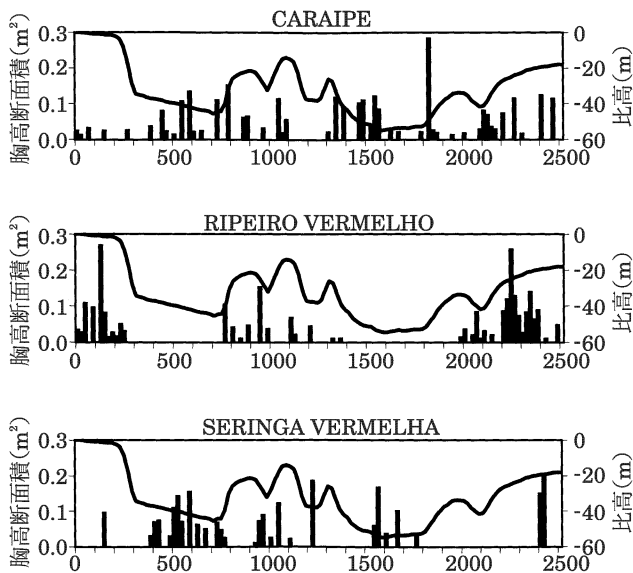


図 5 東西ベルト試験地の地形（比高）と主要樹種の分布の関係
 Caraipe : *Licania* sp., Ripeiro Vermelho : *Eschweileia tessmannii*,
 Seringa Vermelha : *Hevea guianensis*

表 2 ベルト試験区における地形ごとの林分状況

	立木密度	断面積合計
丘陵台地	1,530 No./ha	31.1 m ² /ha
斜面	1,488	28.6
低地	1,267	26.5

(N. Higuchi *et al.*, 1998)

ていた。一方、低地での優占度は他と異なる傾向にあった (Niro *et al.*, 1998)。

更新動態については、ベルト内にサブプロットを設け、稚樹および幼樹の調査を進めており現在解析中である。樹種によってはギャップに多くの稚樹がみられるもの、逆にギャップ内にはほとんど見られず林冠下のみで稚樹が数えられるものといった種特性の違いが得られている (Saito, unpublished)。一方、幼樹の出現頻度の傾向と成木のそれとの対応関係も様々なパターンのあることが解析されており、これらについても近いうちにまとめられ報告される。

こうした樹種特性の解明は、アマゾン熱帯林の更新機構を明らかにすると同時に、概括的ではあるが荒廃地回復に向けた樹種選定に役立つであろう。

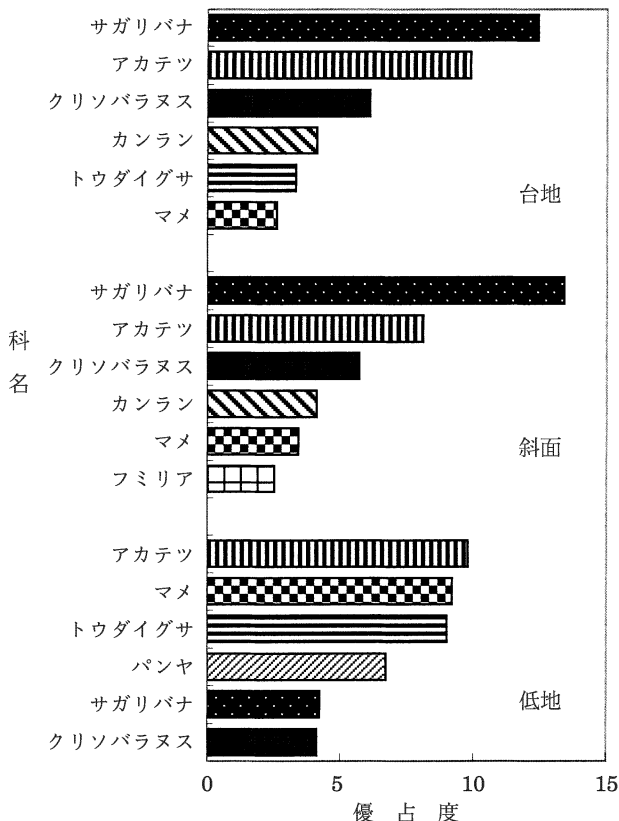


図 6 ベルト試験地における地形ごとの科単位での優占樹種 (優占度は立木本数や胸高断面積合計から求めた値)

マナウス周辺の気候と植物への影響

マナウスの月平均降水量の変化と、エルニーニョによって乾季の降水量が非常に少なかった97年における月ごとの降水量の変化を図7に示す (Handa and Silva, unpublished)。南緯3度に位置するマナウスは、気温の変動は大きくないが、平年でも8月前後に弱い乾季があり、年によっては厳しい乾季が出現することもある。マナウス周辺の森林の特徴の一つに着生植物の少ないことがあげられるが、それはこの乾季によるものと考えられる。実際、乾季の終わりにパイナップルの仲間の着生植物が天然林内で枯死していた。97年のような

長期に渡る少雨状態が、この一帯に生育する植物に大きな影響を与えたことは容易に想像できよう。

その証左の1つとしてINPA構内の数種の樹木を対象に幹周囲長の変化を調べた結果を図8に示す。直径40 cmを超える個体でも乾燥時には明瞭な幹収縮が認められた。今回の無降

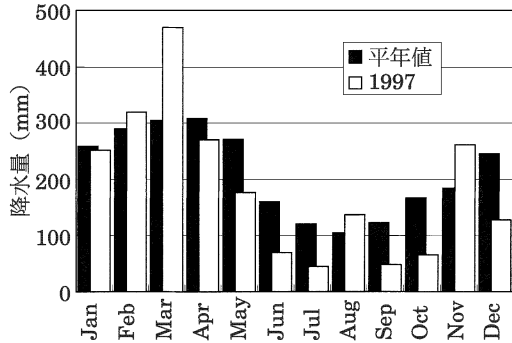


図7 マナウス (Ducke 観測点) の月平均降水量および97年の月別降水量

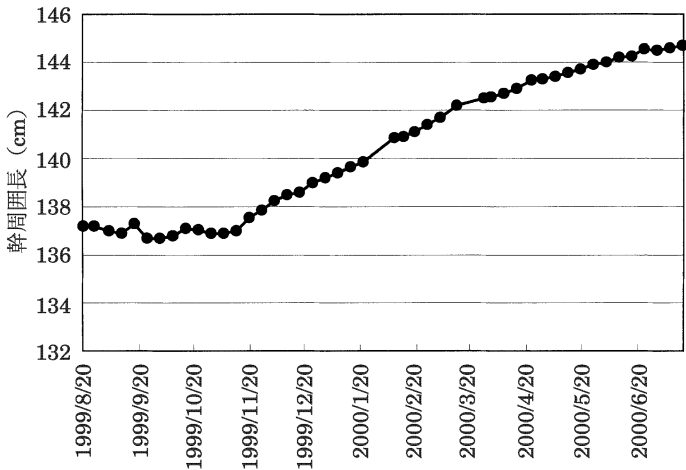


図8 *Lecythis zabucajo* の幹周囲長の経時変化

注: 1999年は8月中旬から11月半ばまで乾季の様相を示した。

雨期間は最長2週間であったが、上記のような水ストレスが生じることから、植物に対する影響はかなりのものといえる。

荒廃地回復に向けた植栽試験の概要

既述の通り荒廃地の回復が本プロジェクトの目的の1つとなっており、植栽木の立地適応性等についての科学的資料の収集、蓄積のため、植栽試験林の造成が行われた。マナウス周辺は、土壌的にも恵まれず、また気候的にも弱い乾

季があるなどして荒廃地での植林は決して容易とはいえない。いずれも設定後間もないことから、植栽木の生育状況と新たに設けた試験設計の概要を紹介する。

1) マデイラカンパニー (MC) 植栽試験地

MC 試験地は、伐採後放置されていた荒廃地に重機械を用いて耕耘地拵えし、98年4月にアマゾンの有用な自生種を中心に植栽した。早成樹のバルサ (*Ochroma pyramidale*) は特に成長が著しく、植栽13か月で平均樹高8.1m、平均胸高直径9.3cmを超えた。また、樹下植栽されたクマルー (*Dipteryx odorata*) は、適度な被陰の樹冠下で最も良い伸長成長を示すことも明らかになった。これらは2000年10月サンタカタリナ州で開催される荒廃地回復に関するシンポジウムで発表される予定である。

2) エフィジェニオ・ジ・サーレス (ES) 植栽試験地

ES 試験地は、柑橘類等果樹栽培後放置され、再生灌木林となった箇所を伐開、土壤等へのインパクトを少なくするため重機械を使用せず地拵え、植え穴掘り等も人手を使って行った。植栽樹種には住民の植栽意欲も高いモギノ (*Swietenia macrophylla*)、セドロ (*Cedrela odorata*) とパウホーザ (*Aniba rosaeodora*) を選定した。ここではマナウスの土壤条件を考慮して、土壤理化学性の改善の面から、マメ科の低木 *Gliricidia sepium* を肥料木として混植した区、木炭を混入し土壤の理化学性を高めた区等を配置した。これら荒廃地の跡地に設けた試験地のほかに、ここで植栽した3樹種についての光適応性を調べるため、上木の林冠密度を変えて樹下植栽した試験も併せて実施している。

3) サンタクラウディア (SC) 植栽試験地

SC 試験地はミネラルウォーター等清涼飲料水の製造会社 (SC 社) 社有地で国道174号線沿いに設けられている。当地は牧場跡地および果樹栽培に失敗した跡地に再生した樹高2~3mの灌木林を伐採し、重機械を入れて整地地拵えした後、12haの試験林を造成した。試験は、すでに実績のある早成樹のバルサにES試験地と同様、アマゾンの有用な自生種モギノ、セドロ、パウホーザのほか、クマルー、カジュイー (*Anacardium parvifolium*) の混植区に植栽時の耕耘の有無を組み合わせて試験をしている。

これら新たに設けた試験地では、しかしながら、ヤギによる食害やハキリアリによる葉の消失等が散見されており、土壤や気候等の問題を如何に乗り越えるかに加え、生物諸害をどう回避するかも大きな問題となりつつある。

おわりに

ZF は当初の 30 年間の期限が、88 年の憲法でその恩典は 2013 年まで延長となった。今のマナウスはこの ZF 策、租税特別措置の下で工場等企業を誘致し産業を振興し、市の衰退を防いでいるものといえる。

マナウス周辺はアマゾンの多量な淡水と熱帯林からの産物以外は、天然資源に乏しい。このため、世界的に名の知れたメーカーも必要資材の全ては国内外から搬入せざるを得ない状況にある。ZF に関連する産業にどのくらいの人が従事しているかは詳しい資料を持たないが、予定通り ZF が打ち切られるとなると工場群の閉鎖は火を見るより明らかで、大量な失業者が生み出されることは間違いない。その時には他にさしたる産業のないマナウスでは、森林もしくは河川の資源に頼る以外に手はなかるう。上述の森林法改正の問題もあり、アマゾンの熱帯林保全は現時点でもかなり厳しい状況になってきている。ZF の動向如何によっては、さらにそれ以上に大がかりな伐採が止めどもなく繰り返えされていくことは想像するに難くない。荒廃地回復云々以前の問題に直面することにならないよう祈りたい。

本文をまとめるに当たり中村松三、橋本泰明両専門家および森林総研の中北理、斉藤哲、酒井武各氏らに多大な協力を頂いた。ここに謝辞を表す。

[引用文献] Ferraz J., S. Ohta and P.S. Sales (1998) Soil distribution along two transects in primary forest northern Manaus. 109-144, MCT-INPA/JICA, Manus Br. (Portuguese with English summary). Nakakita, O., Hashimoto, Y., J. Costa and D. Wallace (2000) Changes of deforested area using landsat TM. INPA-GISLAB, Manus Br. Higuchi N. *et al.* (1998) Plant structural analysis of a pristine tropical moist forest in Cuieiras river basin region, ZF-2, Manaus-AM, Brazil. 51-82, MCT-INPA/JICA, Manus Br. (Portuguese with English summary). Sakai T. (1999) Comparison of stand structure in plateau and lowland in ZF-2 experimental forest, INPA, Amazon. 73-76, Rep. For. Res. Overseas in FFPRI. 佐藤 明 (2000) ブラジル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.