

*Tropical Ecology* Letters

日本熱帯生態学会 Japan Society of Tropical Ecology Nov. 25 1998

インドネシアにおける湖沼環境の課題と  
ダム湖の調査プロジェクト

財団法人九州環境管理協会 内田唯史

Problems of water bodies in Indonesia and an investigation project of a specific reservoir. Tadashi UCHIDA (Kyushu Environmental Evaluation Association)

An abundant natural environment still exists in Indonesia, however, environmental disruption has advanced around an inland water body. In this report, environmental problems at this inland water body are examined, and research tasks related to these problems are pointed out such as water pollution, decrease of bio-diversity and devastation of wetland areas.

In addition to this, a part of the result of an investigation related to a specific reservoir and its catchment area are also examined in the report. This investigation was carried out as a corporation project between the Japan International Corporation Agency and the Research and Development Center for Limnology, Indonesia, from 1995 to 1997. Moreover, basic measures for environmental improvement in developing countries were discussed.

はじめに

インドネシアは、アジアにおける熱帯の地であって、面積にして日本の5.2倍という東西に広大な国土を有し、人口約2億人を擁するASEAN諸国第一の群島国家である。このインドネシア国内には、数多くの内水面が存在し、その潜在的価値は我々人類にとって計りしれないものがある。これら内水面には、研究対象としても非常に興味深い水域が存在するが、近年の急速な経済発展に伴う無秩序な開発の反動によって、環境保全上、様々な問題が顕在化してきている。特に、都市の近郊や森林資源を流域に持つ湖沼等では、多くの環境問題を抱え、対応に苦慮している。

ここでは、著者がJICA個人専門家として、インドネシア陸水学研究開発センター (Research and Development Center for Limnology - LIPI) に赴任した2年間 (1995~1997) に当該研究開発センターとの共同研究として実施したサグリン貯水池というダム湖の研究事例の一端、並びにインドネシアにおける内水面域の諸問題とその研究の現状について紹介してみたい。

インドネシアの湖沼

インドネシアの内水面域は、約1,400万ヘクタールと見積もられており、主要河川220、水域面積が10km<sup>2</sup>以上の大規模な湖沼48、10km<sup>2</sup>以下の湖沼72、並びに主要貯水池39が全国に分布し

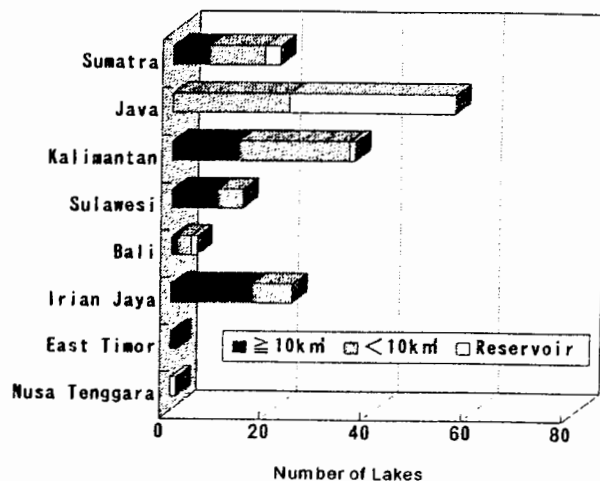


図1 インドネシアの湖沼及び貯水池

ている。また、スマトラ、カリマンタン、イリアンジャヤには、約2,200万ヘクタールに及ぶ広大な湿地が広がっている。インドネシアの湖沼の多くは、スマトラ、カリマンタン、スラウエシ及びイリアンジャヤにそれぞれ分布しており、ジャワ島は湖沼が少なく、大半が貯水池で占められているのが特徴である(図1)。

これら湖沼は、Volcanic Lake, Tectonic Lake の他、東カリマンタンのセマヤン湖にみられるように、雨季と乾季の水位変化が大きく、水域面積が季節によって極端に変化する湖沼もみられる。インドネシアは、このように豊かな内水面を有しているが、これら湖沼の地形、水質、生態系等を系統的に整理・解析するまでには至っていない。特に、規模の小さな湖沼では、その実態がまだ明らかにされていないものも少なくない。

## 湖沼環境の課題

### 1. 環境問題

#### (1) 水質汚濁

ジャカルタ、バンドン、スマラン、スラバヤなどの都市域では、生活雑排水の影響により河川・湖沼及び地下水の汚染が進行している。住民の多くは、生活用水として、未処理の自然水を使用しており、健康被害が懸念される。また、都市域では約30%のゴミが未処理の状態にあるため、これらゴミが雨による洗い出しによって

水域へと流れ込み、水域環境の悪化を助長している。

工場排水も小規模工場からの廃水は、ほとんどが未処理のまま水域へと排出され、規模の大きな工場でも管理上の問題も加わって、十分な処理がなされていないのが現状である。また、重金属等も公共用水域に排出され、ジャカルタ近郊の河川では水銀、銅、並びにカドミウムの魚類への生態濃縮が報告されている(Palupi, 1995)。これら工場等に対しては、法的な排水規制措置が施行されているものの、零細な企業体が多く、規制の効果は上がっていない。

#### (2) 沢沼化

森林伐採及び耕作法の変化に伴う土壌流出が沢沼化を進行させている。スラウエシのテンペ湖では、年間10~20cmの堆積速度で沢沼化が進んでおり、100年後この湖は消え去るだろうと言われている(Nontji, 1994)。また、トンダノ湖においても1934年に水域面積5,600ヘクタール、水深40mであったものが、1987年には4,380ヘクタール、水深18mに低下した。さらに深刻なのはリンボト湖で、1934年7,000ヘクタール、水深29mが、1987年には1,500ヘクタール、水深1.5mまで減少している。

#### (3) 農薬

インドネシア政府は、1989年に農薬に対する補助金を廃止し、併せて総合的害虫防除プログラムの実施を通じて環境に配慮した農薬利用の推進を図っているが、依然、農業の近代化及び食料の増産を目的に、多量の農薬が使用されている。特に、問題なのは、今なお、有機磷系及び有機塩素系の殺虫剤が広く使用されていることである。マラリア予防の目的で使用されるDDTもスマトラでの使用が問題となっている。ジャカルタでは、農地ばかりでなく水質、底質並びにベントス、魚類等の生物からDDTの検出が報告されている(U.S. Department of Commerce, 1987)。

#### (4) 富栄養化と水生植物

都市化に伴う流入量の増大は、水域環境を損ねる主要な要因の一つとなっている。一部の水域では、ホテイアオイ、サンショウモ、ボタンウキクサ等の水生植物が異常繁殖して貧酸素化

や漁業被害等を引き起こし、非常に深刻な問題となっている (Nontji, 1994)。カリマンタンでは約8百万ヘクタールの開放水域うち60%が、スマトラのクリンチ湖では水域の約30%がホテイアオイ、サンショウモで覆われている。また、アオコの異常増殖がジャワ、スマトラ及びイリアンジャヤの一部の湖沼で漁業被害を拡大している。

#### (5) 淡水生物の減少

現在、淡水生物のうち、魚類等、国際的な観点から絶滅が危惧されている種 (Suwelo, 1986) については政府の監視下にあるものの、他の貴重種、希少種の保全は十分でない。また、これら生物に対する調査研究も一部実施されているが、基本的な情報の収集整理は不十分である。

東カリマンタンのセマヤン湖、マリントン湖では、森林伐採にともない季節的な水位変動が増大し、餌となる魚類が減少したことにより淡水イルカが減少してきている。また、実体のほどは確認されていないが、イリアンジャヤでは淡水ザメの減少が問題視されている (Nontji, 1994)。

#### (6) 漁業被害

河川、湖沼等の水質汚濁は、水域の貧酸素化を促し、養殖漁業に対して大きな影響を与えている。バンドン郊外のサグリン貯水池では、毎年、貧酸素化により大量の養殖魚が被害を受けている。また、ジャカルタ近郊のエビ養殖場では、導水された汚濁河川水の影響により甚大な被害を被った (Nontji, 1994)。また、先に示した沢沼化は、魚類の繁殖域を消滅させるため、漁業生産を著しく減少させることになる。この他、テラピア等の外来種の増殖による湖沼等の生態系の攪乱、及び、近年、減少はしてきているが薬物、爆薬使用による不適切な漁業等も漁業生産の低下を招いている。

#### (7) 湿地環境荒廃

インドネシアには、スマトラ、カリマンタン、イリアンジャヤに広大な湿地が分布しているが、湿地は開発が容易なこともあり、その面積が急激に減少してきている。1986年に公表された報告によると (U.S. Department of Commerce, 1987)、本来の湿原である地域は32,241,000haで

あるのに対し現存域は22,158,500haと、30%も減少している。また、農業立地に適切な湿地は5,600,000haと見積もられており、このうち、すでに600,000haは埋立ての対象とされている (The World Bank, 1994)。

## 2. 研究の現状と課題

内水面域では多くの研究課題が山積しているが、インドネシアではこれまでこれら水域に関する基礎的な科学情報の整理が十分ではなく、研究は国内の大学や国立の研究機関に委ねられてきた。しかし、重要性の増す内水面域のより充実した研究体制を整えるため、政府は1986年にインドネシア科学院 (LIPI: INDONESIAN INSTITUTE OF SCIENCES) にインドネシア陸水学研究開発センターを設立し、内水面域の生物資源及び水域環境全般の本格的研究を開始した。しかし、その歴史は浅く、今後の研究に待つところが大きい。また、研究費やインドネシアの社会システム上の問題とも相まって、計画的、系統的な研究体制がとり難い現状にある。

内水面域の長期的な課題としては、次の点に集約されよう。

- ・環境保全関連法令の整備、運用強化
- ・内水面域の環境情報の整備
- ・環境管理計画の策定
- ・社会インフラの整備
- ・環境教育の実施
- ・陸水域の調査・研究

### ダム湖の調査プロジェクト

以上のような状況にあって、インドネシア陸水研究開発センターとJICAの研究プロジェクトとして、1995年から1997年にかけてダム湖における水域管理のための調査、研究を実施した。

#### 1. 研究対象水域

研究対象水域は、ジャワ島の西、バンドン市の南西に位置するサグリン貯水池及びその流域である (図2)。5,960km<sup>2</sup>に及ぶ本流域には、全長315kmのチタルム川が流下している。本流域は、インドネシアでも有数の繊維産業の集積地帯として知られ、大小約1,000に及ぶ工場が立



サグリン貯水池と養魚場

地している。これら工場の多くは零細であることから、廃水はほとんどが未処理で放流され、また大規模工場も処理施設の維持管理の未熟さから、処理が不十分なまま水域へと排出されている。このため、チタルム川の水質は劣悪を極めると共に、本河川の流入するサグリン貯水池においても水質の汚濁が著しく、富栄養化、発電用タービンの腐食、貧酸素化、及びこれに伴う養殖魚の大量斃死が問題となっている (Bukit, 1995)。

## 2. 流入汚濁負荷量

本流域における汚濁流入負荷量を原単位法により求めた。このうち、CODの推算結果を図3に示す。流域からの流入負荷量は約80%が工場に由来し、また、この工場のうち90%以上は繊維関連工場で占められている。サグリン貯水池上流部のこれら工場が立地する河川域には、未処理廃水が直接流入しており、水質汚濁の主要因となっている。

この他、都市域では下水道整備の遅れから、生活雑排水も少なからぬ影響を与えている。

## 3. 水質

### (1) チタルム川

サグリン貯水池に流入するチタルム川の水質調査を1996年7月から1997年1月にかけて、乾季、雨季それぞれ2回実施した。

本河川の水質汚濁のメカニズムは、溶存酸素の上流域から下流域への濃度変化をみれば明らかである (図4)。

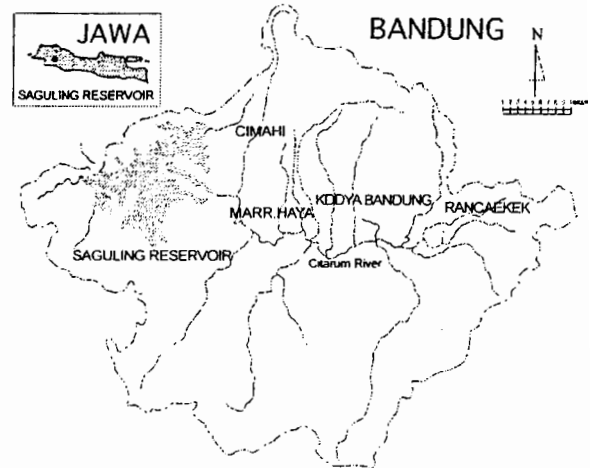


図2 サグリン貯水池の流域

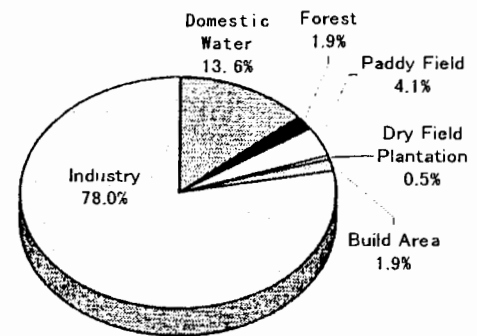


図3 COD流入負荷量の内訳

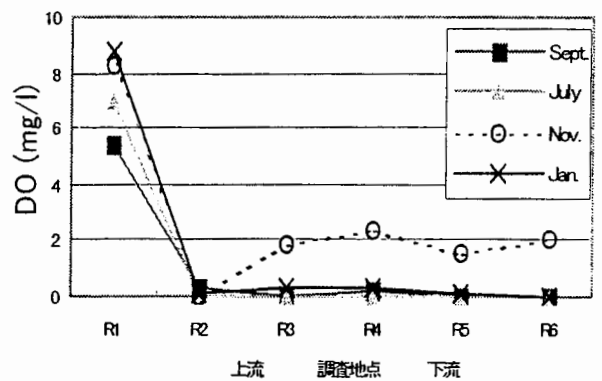


図4 溶存酸素濃度の変化

かである (図4)。上流域のDOは、ほぼ飽和状態にあるものの、工場が立地するR2地点上流から、溶存酸素が急速に消費され、絶対嫌気の状態となっている。また、水色は、墨汁のように真っ黒く、硫化水素臭が周辺にたち込め、底泥はメタン発酵を起こしている。河岸には、ゴミ

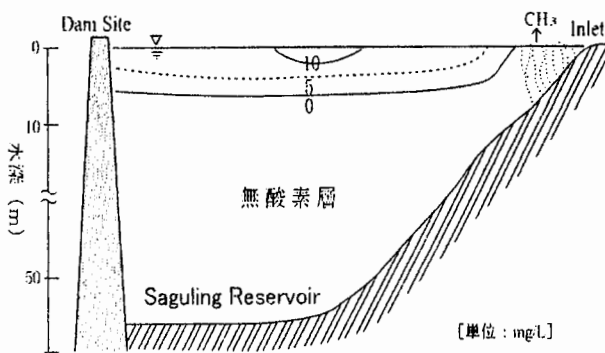


図5 DOの鉛直分布(乾季:1996年9月)

が体積し、住民の生活環境は劣悪なものとなっている。特に、乾季は、流量が少なく水質は最悪の状態を示した。

#### (2) サグリン貯水池

荒廃河川のチタルム川が流入するサグリン貯水池においても、水域環境は著しく阻害されている。特に、図5に示すとおり乾季の流入域では全層無酸素状態となっており、底質はメタン発酵を起こし、表層はメタンの気泡が立ち込めている。また、湖心からダムサイトにかけては表層における植物プランクトンのBloomingにより、溶存酸素は過飽和となっているが、酸素が存在するのは有光層の水深4~6mまでであり、中層から底層にかけては溶存酸素が消費され無酸素状態となっている。

熱帯域の湖沼では、降雨、風の影響を直接受ける表層は、乾季と雨季で多少の水温変化が見られるが、年間を通じて水温の鉛直分布にほとんど差はみられない。このため、一旦、貧酸素水塊が形成されると鉛直循環が起こり難く、この水塊の滞留は長期にわたる。また、表層においては、雨季に水温より温度の低い雨が大量に降ると、密度差により表層水塊と下層の貧酸素水塊との転倒が生じ、表層水は硫化水素により乳白色となり、溶存酸素が急激に減少する。この現象は、青潮と同じメカニズムで雨季にたびたびみられ、サグリン貯水池で広範に実施されている魚の養殖業に対し、毎年甚大な被害を及ぼしている。1993年には約850トンに及ぶ養殖魚が本現象により斃死し、その被害額は17億ル

ピアに達した。

この他、本流域からは重金属等の有害物質も流入しており、流域全体の水質改善を図ることは緊急の課題となっている。

#### おわりに

現在、サグリン貯水池における水域の汚濁メカニズムについては、2次元多層モデルを適用し、再現性の検討を実施している。今後は、本モデルをもとにケーススタディを行い、適切なる水域の改善策を提言していきたいと考えている。しかし、このサグリン流域の荒廃した水域環境は、科学的なアプローチからは、問題の構造を明らかにするにとどまり、抜本的な解決策は見いだせないであろう。環境改善のためには、日本でかつてPPM行政といわれたように、強い行政指導により改善策を実施していくことが優先されなければならない。しかし、開発途上国にあって、一般の庶民は、環境問題に関心が薄く、まずは生計を立てなくてはならない状況下で、コストのかかる規制や改善対策は現実的でなく、政策的には大きなジレンマにあるといえよう。我が国の途上国援助も生産活動、自然保護活動等に目が向きがちであるが、環境改善についても人の健康の保護や環境保全の観点から、もっと注目されてよいのではないだろうか。

#### 参考文献

- Palupi, K. 1995. River Water Quality Study In The Vicinity of Jakarta. Wat.Sci.Tech., 31(9): 17-25.
- Nontji, A. 1994. The Status of Limnology in Indonesia. 10-24.
- U.S. Department of Commerce 1987. Natural Resources and Environmental Management in Indonesia. 19-40.
- Suwelo, I.S. 1986. Endangered Species at the Fresh Water Area in Indonesia. Limnologi dan Pembangunan, 92-95.
- The World Bank 1994. A world Bank Country Study, Indonesia, Environment and Development. 35-58.
- Bukit, N.T. 1995. Water Quality Conservation For The Citarum River in West Java. Wat.Sci.Tech., 31(9): 1-10.

# ブラジル・アマゾン森林研究プロジェクト (JICA) とその研究サイト

森林総合研究所 石塚森吉・酒井 武

Brazilian Amazon Forest Research Project (JICA) and its Research Sites. Moriyoshi ISHIZUKA and Takashi SAKAI (Forestry and Forest Products Research Institute)

## はじめに

国際協力事業団 (JICA) ではブラジル・マナウス市にある国立アマゾン研究所の林業研究部門と研究協力プロジェクトを3年前より実施している。筆者らはこのプロジェクトの天然林管理部門の短期専門家として、アマゾンの熱帯多雨林の調査をおこなう機会があった。筆者らにとってアマゾンは初めての経験で大変僥越ではあるが、本プロジェクトの課題の一端を担当した者として、ここにプロジェクトの概要とその研究サイトを紹介させていただきたい。

## 国立アマゾン研究所 (INPA)

国立アマゾン研究所 (INPA: National Institute of Amazonian Research) は1954年に設置されたもので、13研究部と3管理部から成っている。研究対象はアマゾン地域の動植物から農林水産業、食品、社会科学、健康、環境等広い分野に亘っており、古くから欧米諸国との間で研究者の交流及び共同研究が盛んに行われてきた。大学院教育機関としての役割も持ち、研究者総数は約200名 (うち博士号取得者数は100名程) で、ブラジル国内でも高レベルの研究機関といわれる。1996年度の予算は2940万米ドル (内研究費380万ドル) である。

## プロジェクトの背景と経過

1980年代当初より地球環境問題が世界的にクローズアップされ、特にアマゾンの熱帯雨林の保全の重要性についての認識が高まった結果、その関連研究に対して各国のODAや「ブラジリアマゾン熱帯雨林保全パイロットプログラム」(1991年G7・世銀等の合意) による研究協力や

経済的援助が活発に行われるようになった。このような背景のもとに、わが国においても国立アマゾン研究所を対象に、平成7年6月より当初の実施期間3年として、JICAのプロジェクト方式技術協力「ブラジル・アマゾン森林研究計画」が開始された。そして、立ち上げの3年間ともいべき第Iフェーズが終了し、本年10月より第IIフェーズ (5年間) が本格的にスタートした。

本プロジェクトの目的は、同研究所のアマゾン熱帯雨林の管理技術に関する基礎的研究を充実・強化するもので、具体的には熱帯林業部を対象にリモートセンシング、天然林管理および荒廃地回復の3分野にわたる研究協力、機材供与を行うものである。

第Iフェーズでは、プロジェクトリーダー、調整員、長期専門家2名 (動物、種子苗畑) と毎年3~4名の短期専門家 (リモートセンシング、土壌、造林・森林生態分野) が派遣された。第IIフェーズでは、リモセンと造林・生態分野の長期専門家が派遣され、研究目的を「アマゾン地域の持続的森林管理のための樹種特性の研究」と明確にしている。

## 研究サイト

マナウスの毎月の平均気温は27°C前後で、日中の最高気温は35°C程度になる。年間降水量は約2000mm、6月から10月が乾季でこの間の降水量は約400mm程度である。

### ①Duke保護林

市内から近く、英国がフローラの調査を長年おこなっている有名な保護林で、米国の置いていったタワーもある。本プロジェクトでは動物

の調査や種子の採取などが行われている。

### ②熱帯造林試験地 (EEST)

マナウスの北、車で1.5時間ほどにある林業部の造林試験地で苗畑と数種の小規模な人工林がある。本プロジェクトで苗畑の灌水装置の導入や土壌改良などを行い、多くの樹種の発芽試験、造林樹種として有望な樹種の苗木生産試験を行っている。事務所と宿泊施設がある。

### ③ZF-2試験地 (ZF-2道路沿い)

ZF-2試験地はEESTよりもさらに北、マナウス市街から70km程に位置し、ネグロ川の支流流域に含まれる。ここにはパイロットプログラムの援助でできた宿泊施設がある。なお、この数km手前にエディンバラ大学がINPAと共同でCO<sub>2</sub>フラックスを測定しているタワーがある。この付近の地形は、傾斜の緩やかな台地状の平坦地(テラフィルム)に、網目状に水路を含む低湿地が入り込むという地形をしている。

筆者らはここに南北方向と東西方向に20m×2500mのベルトトランセクトを設定し、地形測量を行うとともに胸高直径10cm以上の林木を対象に毎木調査を行った。調査ベルトは台地～低湿地を含むが、両ベルトともに台地と低湿地の高低差は約30～50mであった。

樹種については、今回はとりあえず現地名で識別した。本数密度は594(NS), 571(EW)本/haで、胸高断面積合計は29.13(NS), 27.99(EW) m<sup>2</sup>/haである。現地名で識別された樹種の数に225(NS), 277(EW)であったが、現地名がないものを含めるとその数は300を越え、種多様性が極めて高いことが予想された。樹種の識別には、今後植物部や大学の専門家の協力が必要で、かなりの労力と年数がかかるであろう。胸高断面積合計は、両ベルトともMATAMATA AMARELO (NS: 5.0%, EW: 6.7%) が最も多く、本数密度も最も高かった。続いてABIURANA (同4.8%, 5.0%), SERINGARANA (3.7%, 2.9%) の順に優占した。

台地上と低湿地では、本数密度、胸高断面積合計にあまり差はみられなかったが、種組成には明らかな違いがみられた。MATAMATA AMARELOは台地上で出現し、低地にはほとんど存在しなかった。SERINGARANAは台地上にはほとんどみられず、低地に出現した。ABIURANAは台地、低地の両方にみられたが、台地～低地への移行する斜面で優占する傾向があった。また、低湿地にはヤシ類が多く生じているので林相は明らかに異なって見える。しか



写真1 ZF-2試験地周辺の森林の相観

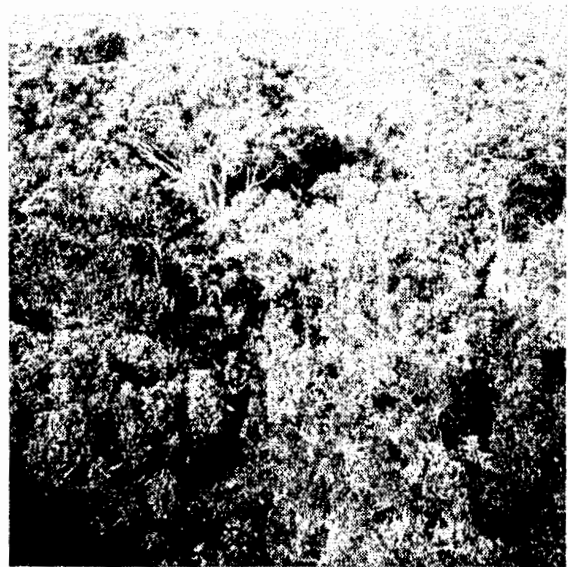


写真2 Mil Madeira Itacotiara 社の天然林施業地

し、林冠の全天空写真を撮影し散光透過率や葉面積指数を推定した結果、台地と低湿地にこれらの明らかな違いはみられなかった。

#### ④Mil Madereira Itacotiara社の天然林施業

マナウスから下流（東）へ数百km、道路の終点近くにItacotiaraという町がある。ここはINPAの試験地ではないが、アマゾンで天然林施業を行っているスイス資本の林業会社がある。INPAの研究員の紹介で同社を訪問し、伐採と搬出の現場を視察した。当社は80,900ha（生産林は64.5%、他は保護林）の森林を所有している。

現在、アマゾンの林業開発（伐採）の許可基準はかなり厳しくなり、きちんとした施業計画がないと許可が下りないといわれているが、この会社の施業はその基準をみたしたものだと言う。その施業の特徴は、①25年回帰・約13%の

材積伐採率（年2000haの伐採）、②立木位置図（>50cm）を基にした伐採木の決定、③低インパクト搬出法（100m間隔の搬出路、丸太長15m以下）、④チーム制（伐採3名、集材6名、搬出2名）と研修・作業記録の徹底、⑤伐採後の生長量の測定（林班毎の固定試験地による）、⑥育林補助作業（植栽、刈り払い、除・間伐）の実施である。事前調査のコストがかかるなど現時点での採算性は低いですが、材質特性の類型化によるニーズに応じた生産・販売の拡大、未利用樹種・腐朽材などの利用開発を行い採算性を高めたいとしている。

今後、本プロジェクトが持続的森林管理のための実践的な研究を行っていくためには、このように実際に施業（伐採）が行われている現場での調査研究が必要となるであろう。

## 第9回日本熱帯生態学会年次大会 第1回案内

日時： 1999年 6月18日(金)	編集委員会、 評議委員会
6月19日(土)	研究発表、総会、 懇親会
6月20日(日)	研究発表、 シンポジウム

場所： 千葉大学けやき会館  
千葉市稲毛区弥生町1-33