

ブラジル・サンパウロ  
林業研究協力計画  
総合報告書

昭和61年4月

国際協力事業団



ブラジル・サンパウロ  
林業研究協力計画  
総合報告書

JICA LIBRARY



1025751C73

昭和61年4月

国際協力事業団

国際協力事業団

受入 月日	'86.11.07	703
登録 No.	15645	88 FDD

## はじめに

ブラジル・サンパウロ林業研究協力計画は、サンパウロ州森林院における水源林の適切な管理経営技術の確立を目的に昭和54年4月から昭和59年3月までの5年間の予定で協力事業が行なわれ、その後2年間延長され、昭和61年3月31日をもって所期の目的を達成し完了したところである。

当初5年間の研究成果は、「ブラジル・サンパウロ林業研究協力計画専門家報告書」(林開発・JR・84-10)としてまとめられているところであるが、本報告書は、延長2年間の協力期間を含めた本プロジェクトの協力の総合報告書であり、今後の同種の研究協力プロジェクトの運営の資料として活用されるものと確信する。

最後に本報告書を取りまとめられた専門家の方々、及び御協力いただいたブラジル国ならびに日本側関係者の各位に対し、厚く御礼申し上げます。

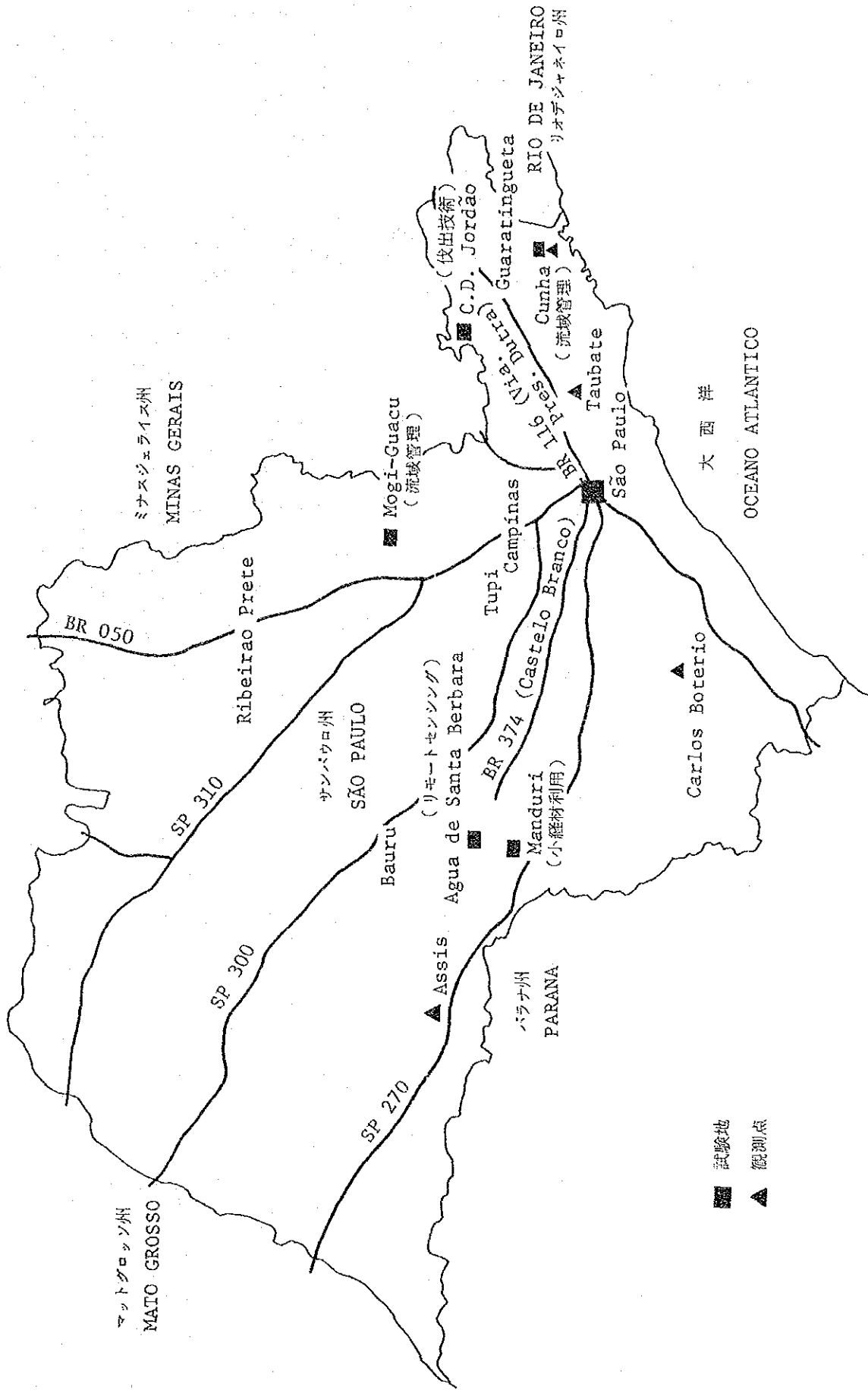
昭和61年4月

国際協力事業団

林業水産開発協力部長

鈴木 進





図一 一 一 試験地配置図





# ブラジル・サンパウロ 林業研究協力計画総合報告書

## 目 次

I 総 括 .....	1
I-1 各分野の成果の概要と問題点 .....	7
I-2 ま と め .....	11
II 流域管理技術研究 .....	15
II-1 流域管理技術研究の概要 .....	17
II-1-1 背景および目的 .....	17
II-1-2 流域管理部門の研究課題と実施内容 .....	18
II-1-3 流域管理部門の研究の流れ .....	19
II-2 森林水文試験法の研究 .....	20
II-2-1 気象観測研究 .....	20
II-2-2 森林蒸発散研究 .....	46
II-2-3 量水観測研究 .....	62
II-3 荒廃洪水流出危険地判定法の研究 .....	87
II-3-1 洪水危険地判定法 .....	87
II-3-2 侵食危険地判定法の研究 .....	99
II-3-3 崩壊危険地判定法の研究 .....	115
II-4 簡易治山工作物の適用法の研究 .....	133
II-4-1 簡易治山工作物の適用法の研究 .....	133
II-4-2 治山用樹草の選定 .....	149
II-5 流域管理における研究成果の活用 .....	154
III 伐出技術研究 .....	161
III-1 機械化技術研究協力の概要 .....	166
III-1-1 背景と目的 .....	166
III-1-2 研究協力の内容と実施経過 .....	169
III-2 技術移転の概要 .....	176
III-2-1 伐木造材(間伐)技術 .....	176
III-2-2 簡易架空線集材技術 .....	177
III-2-3 トラクタ集材技術 .....	190

III-2-4	その他の集材技術	193
III-2-5	安全管理と生産管理技術	198
III-3	研究協力の概要	212
III-3-1	林業機械性能試験法	212
III-3-2	作業能率調査と作業仕組改善に関する研究	220
III-3-3	作業強度測定法	253
III-3-4	作業安全研究	275
III-3-5	作業コスト分析	288
IV	リモートセンシング技術研究	299
IV-1	リモートセンシング技術研究の概要	301
IV-2	森林調査法	307
IV-2-1	林分蓄積および林分生長量の推定法	307
IV-2-2	立木幹材積表の調製法	322
IV-3	空中写真による森林解析法	346
IV-3-1	空中写真による森林判読法	346
IV-3-2	空中写真材積表の作成	360
IV-4	荒廃危険地判定法	387
IV-4-1	荒廃地および荒廃要因の空中写真判読法	387
IV-4-2	数量化Ⅱ類による荒廃の要因解析法	423
IV-5	コンピュータによるデータ解析法	446
IV-5-1	コンピュータシステムとその利用事例	446
IV-5-2	ドラムスキャナーによる図形解析	453
V	小径木利用加工技術研究	457
V-1	小径木の製材技術改良法	457
V-1-1	目立技術改良法	458
V-1-2	製材技術改良法	470
V-2	小径木の化学的利用法	487
V-2-1	森林院化学部門の現況	487
V-2-2	受入研修の成果	493
V-2-3	専門家派遣	504

1 総 括



# I 総 括

## I-1 ま え が き

1979年4月に水源林の適正な管理のための研究手法の確立を達成目標として開始されたこの研究協力は、わが国の林業分野における最初の研究協力であり、また、その協力の主体が、<sup>※</sup>いわゆる地方自治体であるサンパウロ州森林院であったことも、林業においては最初のものであった。



すでにこの7年間に出版された多くの報告書に、その都度記載されているサンパウロ林業研究協力計画の開始までの経緯はつぎのとおりである。まず1971年のアルゼンチンにおけるIUFRO会議での両国の参加者の話しあいがきっかけとなり、コロンボ計画による集団研修への研究員の受入れ、さらには、治山、林業機械などに関する専門家の個別派遣、その間の綿密な事前調査など、プロジェクト方式による協力計画の準備が、着実に進められていた。

1977年に至り、研究協力の受入体制、協力の効果など、プロジェクト協力の骨子となるいくつかの条件が確認され、日本側代表とサンパウロ州知事との間で、R/Dとなった。

※ Instituto Florestal de São Paulo Brasil



ブラジル側から協力の対象として提起された多くの課題のなかから、重要かつ緊急に解決を要するものとして、水源林の適正な管理技術の確立を主題とする。いわゆる森林の公益機能の解明を期待した課題についての研究協力が約束された。それはサンパウロ州の過去の急速な森林の乱開発に対する反省と、早急な森林復元の必要性からであった。

協力はつぎの4つの分野からなっていた。

1) 流域管理技術研究

森林水文、荒廃・洪水危険地判定、簡易治山工作物の適用などの研究手法の伝達

2) 伐出技術研究

主として林地保全、林床保護をはかりつつ林内から機械類（簡易架空線、モノレール、トラクタ等）による伐倒木の搬出法の基礎技術の伝達と、適用・改良研究手法

3) リモートセンシング技術研究

水源地帯での森林復元、既存森林の合理的施業のための森林調査法、流域条件判読法などの研究手法の伝達

4) 小径木利用技術研究

水源林その他各種保全林造成のはずみとなる間伐小径木の利用開発のための技術協力と研究手法の伝達

であった。

1979年4月に開始され、第1年目の機材の供与、受入研修の実施などは、ほぼ計画どおりであったが、専門家派遣は年度後半になり、第2年目から実質的な協力事業の開始となった。当初はチームリーダーと流域管理の2名の専門家によるプロジェクト編成であった。

第3年目になって伐出技術、リモートセンシング技術研究の各専門家派遣があり、ここでプロジェクト編成が完了し、プロジェクト方式による本格的な研究協力体制が整ったのである。しかしこの間における機材の供与、カウンターパートの受入研修は、当初の計画あるいはそれ以上の速さで進行していたことは、全体計画推進のために強力な基盤となったことであった。

しかし諸般の事情から協力事業に若干の積み残しを出したため、エバレーション報告書に「幾多の困難な条件を克服して、ここまで到達したこのプロジェクトをここで終了させることは、その協力効果をより発揮させる上から得策でない」と結論づけられる結果となり、さらに2年の延長により、ほぼ所期の成果を得て終結することとなった。

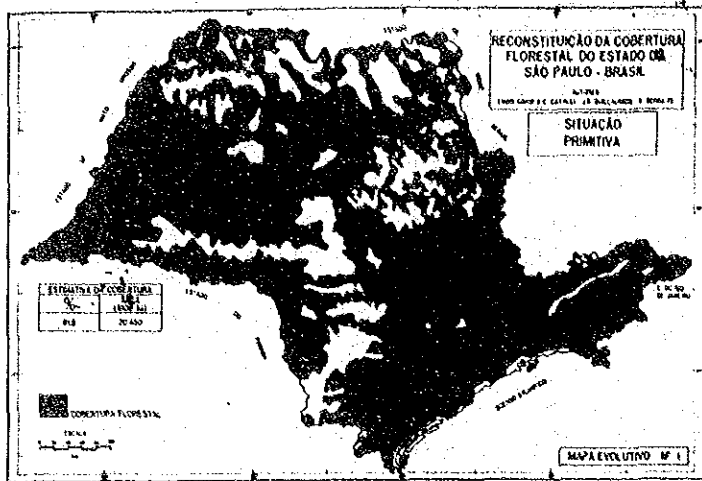


写真 I - 2  
1800年頃の森林分布

写真 I - 3  
1970年代の森林分布

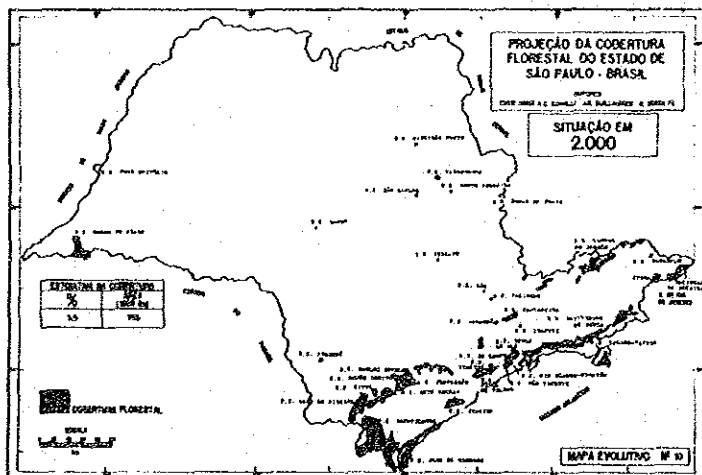
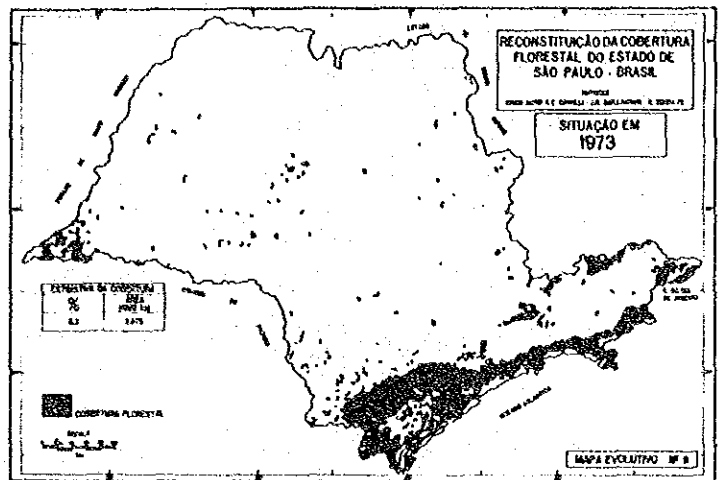


写真 I - 4  
2000年頃の森林分布予想



## 1-1 各分野の成果の概要と問題点

技術協力や研究協力の基本は人造りであることは周知の事実である。それが単純に物を造ったり、機械を操作する技術であれば、その成果は客観性を持って評価することができる。しかし研究協力における人造りでは、成果の判定が極めて困難である。とくに今回の協力計画のように、研究の性格が、長期間のデータの蓄積によって、法則性を根拠に議論を展開しなければならない分野でもあるからである。したがって限られた短期間の協力では、人造りより研究基盤の整備に多くの時間を必要とし、これらの作業を通して、研究意欲の向上と意識の定着をはかることが重要な業務であった。

しかしこのような状態であっても、協力期間中には、それぞれの分野において多くの論文が発表されている。研究協力の評価基準を論文の数におくか、質におくかは見方によって意見を異にするとしても、この研究協力においては、前述した研究の性格からみて、研究そのものの成果を評価することは、時機早尚といわなければならない。

### 流域管理技術研究

この分野には森林水文試験法、荒廃洪水流出危険地判定法、簡易治山工作物の適用法などの研究が協力の対象になっている。

森林水文試験には気象観測法、森林蒸発散、量水観測の研究が含まれ、そのうち気象観測法については、観測用測器はすべて機材の供与によって、州内の気候的にも、地形的にも、それぞれ特徴があると思われる5ヶ所に観測点の設置を完了した。1年1ヶ所の年次計画により実施されたため、最初に設置されたCunhaの試験地の気象データの蓄積はすでに5ヶ年分を数えることができ、遂次完成している観測点のデータの比較により、各観測点周辺の気候的特性が明らかにされる態勢が整備された。

また森林蒸発散研究は、林相別の蒸発散の特性を知るため、エリオツテマツ林の観測を実施した。すでに3年間の関係する各種要因の観測を終了し多くのデータを蓄積することができた。つぎの研究対象としてユーカリ林を選定し、施設の移動建設を行っている。

量水観測研究では、基盤整備として、量水堰堤3基、平面ライシメーター3基、地表流出プロット3基、林内雨量観測点の設置などの建設から研究協力がはじまった。州政府によるローカルコスト、日本からのモデルインフラ整備事業により計画施設の80%は完成し、それぞれ貴重な観測データを蓄積中である。残された施設は量水堰堤2基の建設であるが、早期完成へのブラジル側の努力が期待される。この協力は研究施設の建設と研究手法の伝達という2つの異なった性格の仕事を同時に進行させるという、かなり無理な条件があったにもかかわらず、後記される研究成果のあったことは特記されなければならない。

荒廃洪水流出危険地判定法の研究は、洪水危険地判定法、侵食危険地判定法、崩壊危険地判定法の3研究分野が含まれている。この研究は、当初5年間の協力では、実態調査にとどまったため、延長2年間に精力的に、主として、研究手法の伝達を中心に協力が実施された。これ

らの研究は現存する関係資料を、目的のため如何に有効に利用するかであり、後記する手法により、伝達はほぼ完成したものと考える。また空中写真をベースとし、判読結果とあわせて現地調査を実施し、判読精度を高める手法について研究協力がなされ所期の成果を得た。

簡易治山工作物の適用法の研究は、これ自身の研究と、治山用として利用可能な、在来樹草の選択であった。前者は1983年に標本的工法の施工展示が行なわれ、1985年から事業規模での簡易工法が実施された。その結果研究手法がカウンターパートに伝達されたのは当然としても、工作物の施工技術が、森林院の現業職員に移転されたことは、量水観測研究の諸施設の建設技術移転と合せて大きな収穫であった。また現地に最も適応性の高い治山用樹草が、在来種から選択されたことも、将来この種工作物の施工にあたっての指針ともなった。

これら流域管理技術研究を通じ、強く感じられることは、ブラジル側の研究員の絶対数の不足である。これだけの広範囲の研究をするために、僅か3名の研究員では、どうしても人数がすくなくすぎるのである。結果的にはひとりひとりの研究員の守備範囲は広く浅くならなければならない。また州有林の管理運営と研究業務を併置している森林院では、研究員自身も行政職と研究職を併任する例が多く、そのことが研究員の大きな負担になっているように見うけられる。近い将来行政と研究が属人的に分離されることが望まれる。

#### 伐出技術研究

伐出用の林業機械を使つての、林木の集運材は、森林院にとっては初めての経験であった。それだけに機械化伐出の研究はもちろんのこと、各種搬出機械の運転、操作に関する知識は、ともに、白紙に近い状態であったといえる。したがってこの分野の研究協力は、まず供与した機械類の運転技術の指導から出発し、操作に習熟した段階で、はじめて研究手法の技術移転へ移行する過程を経ている。研究協力としてはあまり例をみない初歩的研究からの出発となった。

したがってこの分野では、機械化伐出技術を指導するいわゆる技術協力と、それらを基盤とした研究協力とが併存した。

伐出のための技術協力では、架空線集材として、モノケーブル式、ランニングスカイライン式、スラックライン式、エンドレスタイラー式、ハイリード式などの集材、トラクタ集材、モノレール集材、林内作業車集材、シュート集材などの技術協力がなされ、現業職員による技術の習得はほぼ満足できる状態にまで向上した。

また研究協力では、林業機械性能試験法、作業能率調査と作業仕組、作業強度測定法、作業安全研究、作業コスト分析法などについての研究手法の伝達が、供与された測機類の操作と併せて実施された。

この分野での研究協力の成果は、後述される報告によることとするが、僅か1名の研究員をカウンターパートとする協力では、研究手法の伝達を受ける側にも、おのずから限界があった。

また専用の実験室が設置されておられないことも、この分野の研究の立遅れを立証しており、研究の実施もやむを得ず屋外での測定を中心にしなければならなかった。研究の発展を望むな

らば、早急に研究を専業とする職員の増と実験室の新設が必要である。

また供与した機械類は、研究用測機類は別として、一般的搬出機械類はブラジルにおいても生産が技術的に可能であると思われるので、将来事業規模での技術の定着と発展が期待される。そのためには前述した研究項目の充実をはかり、適正な技術が開発されることを望むものである。

#### リモートセンシング技術研究

この分野には、森林調査法、空中写真による森林解析法、荒廃危険地判定法、コンピュータによるデータ解析法が研究協力の対象であった。

森林調査法は当初空中写真を利用した調査法の協力を予定したが、基本的資料となる空中写真が得られなかったことから、急拠予定を変更し、地上調査法により実施することとした。元来ブラジルには独自に調製された材積表も存在したが、いわゆる大縮尺の材積表とでもいうべきものであり、小地域毎の異なった環境で、そのまま適用するには問題があり、地域毎の適合度の検定の必要が感じられた。このようなことからこの研究協力は開始されたが、前述のような理由により、地上での実測によることとし、将来空中写真が入手されたときの基礎手法の協力を実施した。具体的な研究課題は、林分の蓄積と生長量の推定法、立木幹材積表の調製法であった。膨大な資料によるこの種研究では、長期専門家の任期中に処理することができず、帰国後もカウンターパートと連絡をとりつつ、その取まとめを行い、最近ようやくその完成をみる事ができた。任期を終了して帰国した専門家が、なお引続き協力業務を行い、その完結をみるという形は、研究協力の特徴とみることができる。

つぎに空中写真による森林解析法は、一般論としての森林解析のための空中写真の利用法についての協力である。その対象事項は、空中写真による森林判読法と空中写真による材積表の作成手法であった。前者は森林院の希望により、研究協力の基礎としての写真の判読法について、特定のカウンターパートへの研究協力でなく、リモートセンシング業務担当の5名の職員に対する研修指導に重点がおかれた。その内容は講義と実習であったが、これは研究協力の立場でみると、極めて変則的なものであるが、将来の研究発展の基盤をつくるものと考えると重要な意義を認めなければならない。後述される報告書は、その際の研修内容を示したものである。また後者の空中写真材積表の作成は、具体的に地域を指定してその処の材積表を作成したのではなく、森林の空中写真を利用して、その処の材積表を作製する手法についての伝達であった。後述される報告書は、前者と合せて、いずれもマニュアル的性格を持っている。

また荒廃危険地判定法では、荒廃地および荒廃要因の空中写真判読法と数値化Ⅱ類による荒廃の要因解析法が研究協力の対象であった。荒廃地あるいはその危険地とみられるものの中には、侵食地とその危険地、崩壊地とその危険地があり、いずれもこれを知るための地表要因を定め、その要因を空中写真から判読する手法で、リモートセンシング技術の拡大応用の成果である。協力の結果として、要因の抽出、写真からの判読と解析の手法については技術の伝達は

完了した。しかし判読技術そのものは、多くの資料による長年の習練を必要とするので、さらに研鑽を重ね、新しい技術開発のための研究の発展を期待する。数量化Ⅱ類による荒廃の要因解析は、荒廃の要因解析のために作成した数量化Ⅱ類のプログラムの利用方法を研究協力の対象とした。それは数量化Ⅱ類の要因項目を標高値の読み取りデーターから算出するプログラムを、森林院に供与されたコンピュータFACOM230-28用に作成する手法で、カウンターパートに対し充分理解できる域に達することができた。

コンピュータによるデータ解析法では、コンピュータシステムとその利用事例とドラムスキャナーによる図形解析が研究協力の対象であった。前者では、さまざまな試験、研究の過程で収集したデータを対象に、統計解析あるいは数値解析、シミュレーションなどを迅速かつ正確に処理する手法を、コンピュータの操作と併せて技術移転を行い、自からの能力による利用拡大のための研究手法開発の協力を実施し、極めて効率的に成果をあげることができたが、このような施設では保守管理、更新に多くの経費を必要とし、かつ担当研究員の養成も困難であると思われる。この組織の持続的発展のためには、必要な予算と人材の確保に、より一層の配慮が必要である。後者のドラムスキャナーは図形解析のためのコンピュータであり、その操作と基本的な性能を知ることにより各種図形の解析を迅速に処理できる。

#### 小径木利用加工技術研究

研究協力の対象として選ばれた課題は、小径木の製材技術改良法と小径木の化学的利用法であった。もともとこの分野はかなりの実績があり、協力の範囲も限定されたものとして実施された。

製材技術の改良では従来のダブル丸鋸を中心とした製材工程を、ツイン帯鋸を中心として、目立てから製品生産までの一連の製材プラントを建設した。

また専門家の協力は技術移転に重点が置かれた。その結果目立てでは2名の職員が、完全に技術をマスターするまでに成長し、また製材では電子制御のあるツイン帯鋸を含めて、一連の製材工程に関する技術移転を完了することができた。本来研究協力を目的とするプロジェクトではあるが、この分野に限っては、研究開発は自助努力によることとし、今回の協力は製材技術の移転に留めた。技術協力の成果は製材歩止り、単位時間当りの製品生産、製品の質などに著しい上昇をみることもできた。

化学的利用法については、森林院側がかなりの高水準にあるため、最新式の分析機器を中心とする機材の供与と、受入研修、短期専門家による供与機材の操作技術の伝達などにより所期の成果をおさめることができた。この分野では学問的知識は高い水準にあるので、今後はIPTなど関係の他の機関と十分に連絡をとりつつ、協同研究などを組むことによって、飛躍的な研究の発展を期待することができるものと思う。

## 1-2 まとめ

### (1) 技術協力と研究協力の並立

この協力計画は、技術移転と研究協力の並立によって成り立っていたと云わなければならない。農林業のような自然科学の分野では、経験的な技術が、ある程度確立されており、その技術の理論的説明からまず研究はスタートする。その研究はさらにその技術の改良へと進み、新しい技術の開発へと発展していくものとする。

研究に対しある程度の基盤を持ち、さらに日本側が研究協力を行うことによって、飛躍的発展が期待できるとして、開始されたこの協力計画では、流域管理・リモートセンシングさらに小径木利用における抽出成分の分野ではほぼ期待どおりのスタートとなった。しかし機械を利用した伐出、高性能の機械を使用する製材の分野では、操作・運転を含めた技術そのものの移転から開始されなければならなかった。そのため研究協力は、移転された技術の、ある程度の成熟をまって開始されるか、または技術移転と習熟の程度をにらみながら、平行的に進めなければならない、専門家にとっては苦しい協力の手法が強いられた結果となった。

機械化伐出の分野では、研究環境の未整備と伐出技術研究そのものの理解が充分でなかったことなど、多くの困難があったが、双方の研究者、技術者の努力によって、ほぼ所期の成果をあげることができたと思う。

しかし製材の分野では、事情は理解しながらも、時間的制約のため専門家の派遣を得ての研究協力の域にまで達することができなかった。すでに基盤の整備と技術移転は完了しているので、現地適応的改良研究の進展は、ブラジル側研究者による自助努力を期待するのみである。

本プロジェクトのように時間的制約のある計画においては、技術協力と研究協力の並立は、その運用、手法において充分論議されるべきと思われる。

### (2) 試験地分散の反省

水源林の適正な管理のための研究手法の確立を達成目標として開始されたこのプロジェクトは、到達は同じであっても、その内包する専門は、研究の性格、手法などかなりのへだたりを持つ分野の集合体であった。したがって、各分野の当面の目標、研究手法などによって、それぞれがもっとも仕事のやり易い条件のところを試験地として選定した。そのため4分野5試験地という結果をまねくことになった。しかも各試験地はサンパウロから放射状に200~300Kmの距離にあり、かつ試験地相互間の距離も100~300 Kmにおよんでいた。

このため1分野1専門家(伐出技術研究のみ2名)を原則としたプロジェクト構成では、学問上の相互補完は、はじめから期待しなかったものの、専門家同志としての精神的なつながりや相互依存の機会を疎遠なものとした。とくに異郷という環境下で、金湯月来を試験地勤務の常態とした専門家にとって、物理的な距離のへだたりが、精神的なへだたりへと発展するとすれば、プロジェクト運営上もっとも警戒しなければならない現象でもあった。

### (3) 研究の定着

研究そのものを業務とする機関であれば、このことはさほど問題にならない。しかし現業と研究を並置し研究の歴史が浅い森林院では、運営そのものが流動的で、ある日突然といった現象が、人事面でも予算面でも起り得る可能性を秘めているようにみうけられる。このような環境のなかでの協力事業は、研究そのものが組織へ定着することがもっとも望ましいが、組織づくりを協力の対象としないプロジェクトでは、配置されたカウンターパートをとおしでの組織への貢献である。そして定着の直接の対象は、あくまでカウンターパートであり、研究者としての育成と、研究手法の伝達が主要な任務となるが、同時に、よき研究協力者でもなければならぬ。

このような状況で、カウンターパートに、研究に対する意欲、興味が湧き、自からの発想による意見を持ち、研究そのものをライフワークと考えるようになれば、研究はすくなくとも、個人の範囲において、定着したものと思わざるを得なかった。

参 考 文 献

ブラジル・サンパウロ林業研究協力計画

- 1) 一 事前・実施調査報告書 JICA 54・3
- 2) 一 モデルインフラ実施設計調査報告書 JICA 55・10
- 3) 一 巡回指導調査報告書 JICA 57・
- 4) 一 エバリュエーション調査報告書 JICA 58・11
- 5) 一 計画打合せ調査報告書 JICA 59・9
- 6) 一 専門家報告書 JICA 59・12
- 7) 一 中野 実 林業の研究協力 — サンパウロ森林院について 林業技術  
476, 1981・11
- 8) 一 海外林業プロジェクト現地だより, ブラジル 林野時報 1982・4
- 9) 一 林業の発展段階の違いと技術指導のあり方 — サンパウロ林業研究協力を振返って —  
林業技術 476, 1984・10

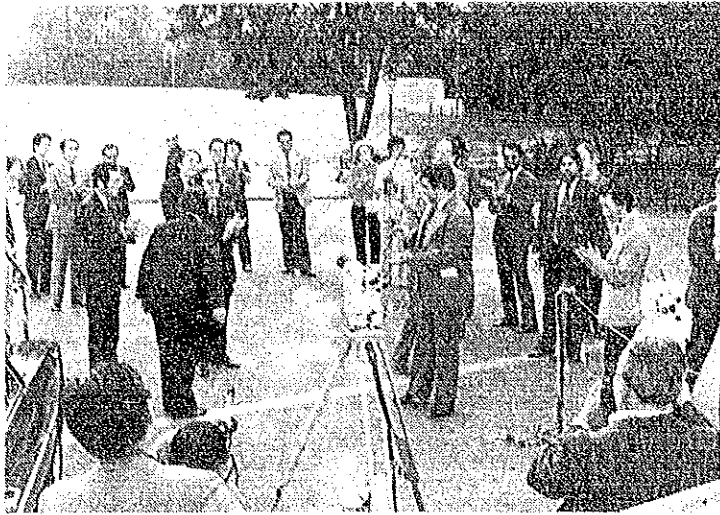


写真 I - 5  
機材贈呈式

写真 I - 6  
巡廻指導チーム

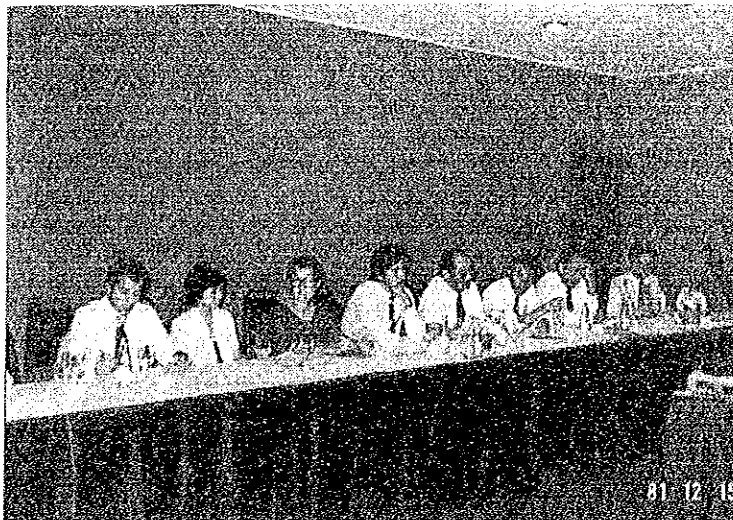


写真 I - 7  
合同委員会に於るブラジルメンバー



## II 流域管理技術研究



## II 流域管理技術研究

### II-1 流域管理技術研究の概要

#### II-1-1 背景および目的

サンパウロ州では1850年代には、州面積の80%以上が天然生の高木林によって占められていたが、1985年現在、天然生の高木林はわずかに8%、人工林や低木林の面積をあわせても森林面積は約20%に過ぎず、州内の森林は著しく減少している。

一方、ブラジルの2大都市、サンパウロ市とリオデジャネイロ市を結ぶ高速道路沿線はパラíba川の流域に属するが、この地域は、工業その他の産業開発が盛んで、現在、ブラジル国内総生産の約40%を占める。この地域の土地利用の形態は、コーヒー栽培、砂糖きび栽培の後、放牧草地として利用されている土地が多いが、傾斜面の農耕地や草地は、土壌の酸性化、乾燥、有機物の不足、過放牧などの理由によって裸地や侵食地を生じ易く、その結果、斜面の滲透能の低下や表面侵食による土砂流出が各地で起り、それが流域における洪水や河川汚濁をもたらしている。パラíba川流域では各種の産業と急増する人口に対応するために質の良い上水の需要が高く、その確保は州の重要課題である。

こうした背景のもとに1966年以降、ブラジル国内では、植林に対する税制恩典政策が進められたが1974年の調査では、サンパウロ州内の人工造林地の面積は2.6%に過ぎない。今後予想される傾斜面の利用頻度の増加に対応して、洪水、土砂流出の被害の防止、水質や水量の確保を目的とした森林の配備を行うためには、そこに森林が必要であることを説得力を持ちつつ立証し得るだけの研究成果が必要である。

サンパウロ州の森林の現状は、水土保持上好ましい形態とは言えない状況にあり、今後水土保持を目的とした森林の造成、配備を強力に推進する必要がある。また、既存の森林は、水土保持上重要な水源地に多く、その保存や管理についても十分な配慮が必要である。現在、天然生の原生林として保存されている東海岸沿いのセラドマール山脈の州有林についても、1966年のカラガタトゥーバ付近の崩壊発生やコバトーン付近の煙害地の荒廃など、単に森林の維持管理だけでなく、荒廃危険地の判定や、場合によっては治山工事等の対策を必要とする事例が見受けられ、既成の森林の取扱いについても、洪水・水資源・土砂流出・斜面崩壊などの諸現象を適切にコントロールする管理技術が要求される状況にある。

以上の背景から、本プロジェクトの流域管理部門の研究では、まず第1の目的として、森林の水・土保全機能を定性的・定量的に評価し、流域内に配置する森林の樹種、施業方法について何が最善であるかを確かめる研究があげられる。実施計画で森林水文試験法としてあげられた課題が該当し、量水観測、気象観測、蒸発散観測等の研究がこれに含まれる。第2の目的として、流域内で、水土保持上特に森林を配置する必要度の高い地点をえらび出し、荒廃地を林地化する際に必要となる重点地区を判定する研究がある。実施計画で、荒廃・洪

水流出危険地判定調査法としてあげられている課題で、『侵食危険地判定法』『崩壊危険地判定法』『洪水危険地判定法』の研究がこの中に含まれる。第3の目的として、荒廃地を林地化する治山工事の工種工法のうち、ブラジルで調達できる資材や植物を用いた簡易な治山工法の研究があり、実施計画では『簡易治山工作物の適用法』の研究としてあげられている。

以上、流域管理研究が目的としている各課題は、それぞれがサンパウロの山地における流域管理のためには不可欠の研究課題であるが、過去に於いてブラジル国内では体系的な研究は行われておらず、サンパウロ州の各流域で当面問題になっている傾斜地の荒廃とそれによってもたらされる土砂流出や洪水の被害を森林によって防ぐ方法を確立するためには、このプロジェクトでとりあげた各課題の研究を強力に進める必要がある。

## II-1-2 流域管理部門の研究課題と実施内容

流域管理部門の研究課題と実施内容の概略はつぎの通りである。

前項でも記述したが、流域管理部門の研究課題は森林水文試験法、荒廃・洪水流出危険地判定調査法、簡易治山工作物の適用法の3課題に大別される。以下、順を追ってこれらの課題とそれに含まれる実施内容を項目別に記載する。

### (1) 森林水文試験法

降雨によって流域に供給された水のその後の移動の経路や、最後に溪流の流水となって流出するまでの量の変化を森林状態別に比較して、流域の水・土保全機能に及ぼす森林の効果を分析しようとするもので、実施内容には、まず、流域における森林の効果を流域から流出する水の量として捕え、総合的指標として、他の各種観測と比較するデータを作る「量水観測」があげられる。次に、洪水や土砂流出の原因となる降雨の特性の把握を中心とする「気象観測」があり、さらに、一定条件の下で、樹種別の水収支を明らかにするための「蒸発散観測」があげられる。

### (2) 荒廃・洪水流出危険地調査法

地形・地質・植生など、斜面や流域のもつ諸条件と荒廃や洪水などの関係を統計的に解析して、荒廃や洪水の危険地を判定する方法を研究する課題で、流域内の森林が伐採された場合の荒廃・洪水の予測や、反対に荒廃地内に森林が造成された場合の効果を求める場合などに利用される。

荒廃危険地判定は荒廃現象を具体的に分けて侵食と崩壊それぞれの危険地判定調査法を研究した。

表面侵食による被害が問題になる内陸部の農地や放牧草地を対象とする「侵食危険地判定調査法」の研究は、今後の林地開発の危険性の予知や侵食が進行している場所での森林帯造成の効果の確認への利用が考えられ、また、東部海岸山脈の急斜地を対象とする「崩壊危険地判定調査法」の研究は、集中豪雨によって発生する崩壊の危険地を判定し、危険個所に防災工事、又は避難対策を施行して人命の被害を防ぐ目的で行われる。大雨の際の

洪水の危険性が大きい流域を指摘するための「洪水危険地区判定調査法」では、危険地内の森林の保存の必要性、あるいは放牧草地内の森林造成の必要度の判定に利用される。

### (3) 簡易治山工作物の現地適応法の研究

荒廃した放牧草地や急傾斜の崩壊跡地に森林を造成するため、木材等の入手しやすい材料を用いる簡易な治山工法を研究するもので、ブラジルの樹草で緑化に適用できる種類を選定する「樹草の選定の研究」と、立地条件に適した工法を選定するための「工種の選定」の研究とがある。これらは、侵食地への森林造成や崩壊跡地の復旧に利用することが出来る。

## II-1-3 流域管理部門の研究の流れ

プロジェクト研究開始に先立って1976年1月、林業試験場中野防災部長（当時）が、サンパウロ州森林院の要請により、流域管理全般の指導のために派遣され、サンパウロ州における流域の荒廃状況とそれによって起る土砂流出や洪水流出の被害と将来の水需要に対する対策として適正な森林配置の必要性とそのための技術の研究を行うべきことを指摘している。

続いて1977年5月、森林院の再要請によって、他の伐採搬出部門とともに流域管理部門では遠藤専門家が派遣され、パラIBA川流域で調査を行い、流域管理部門に関する研究協力をを行うとともに、その後のブラジルの流域管理の研究の進め方に関する具体的な意見を提示した。

その後、1978年4月に本研究協力の事前調査団が派遣され、同じ年の11月には実施協議調査団による研究協力実施の打合わせが行われ、1978年12月にはR/Dが締結されて1979年この協力事業が始まった。

流域管理部門では、1980年2月から工藤、遠藤、真島専門家が派遣され、クーニャ試験地で、量水試験流域の選定と量水ダムの予備設計が行われ、更に1980年7月には実施設計調査団による試験施設（量水試験施設、ラインメーター、地表流出プロット）の本設計が行われた。1981年3月から日本のモデルインフラ事業の施工管理のために館沼専門家が派遣され、クーニャ試験地D流域量水観測施設、平面ラインメーター1基、地表流出プロット1箇所が施工された。1982年3月には藤枝専門家が派遣され、完成されたD流域のデータ収集方法、流量曲線式の決定やデータの解析等の研究の指導がカウンターパートに対して行われた。1982年9月および10月には中野、服部専門家が藤枝専門家に協力し、モジガスに於ける蒸発散観測施設が日本側の機材供与によって作られ、カウンターパートに蒸発散観測データ収集、解析の研究指導が行われた。この間に、クーニャ、タウバテ、カルロスボテリオ、アンスにそれぞれ気象観測露場が設置され、観測が行われている。1983年には、クーニャのA、B流域の量水施設の設計変更のために館沼専門家が派遣された。

プロジェクトの延長期間に入ってから、種々の事情によって実施がおくっていた荒廃、

洪水危険地判定法の研究と簡易治山工作物の適用法に重点がおかれ、1983年から派遣されていた畠村専門家が1984年4月以降荒廃危険地判定法を担当し、1984年10月と1985年8月に派遣された秋谷専門家が畠村専門家に協力して、侵食・崩壊の危険地判定法をカウンターパートに指導した。1985年9月、真島専門家が洪水危険地判定法の研究のために派遣され、カウンターパートとともに研究を行った。簡易治山工作物の適用法では1984年10月に設計のために館沼専門家が派遣されて、前記の秋谷専門家とともに設計を行っている。1985年6月には、簡易治山工作物の施工のために佐保専門家が派遣され、施工の指導を行っている。

協力期間の7年間に流域管理部門の5名のカウンターパートが日本での研修を行った。

危険地判定や簡易治山工作物の研究は、延長の2年間でその大部分の研究展開を行わざるを得なかったため、研究手法の伝達に止り、流域管理に有効な研究成果を得るためには、今後のカウンターパートの研究の発展を期待する部分が多いが、以上のように、当初計画された研究課題は、すべてプロジェクトの中でとりあげて行われた。

## II-2 森林水文試験法の研究

### II-2-1 気象観測研究

#### (1) 研究の目的

サンパウロ州内の地形・海拔高などのちがいによる地域的气象特性を把握するとともに海岸山地多雨地帯で実施している「森林水文試験法」「荒廃・洪水危険地判定調査法」「簡易治山工作物の適用法」などの研究の諸現象を解明するための基礎資料を提供する。

#### (2) 経果と成果

気象観測所を開設し正確なデータを得るまでには、1.気象観測露場の開設場所選定、2.露場の造成、3.百葉箱・測器用基礎の設置、4.測器の設置とキャリブレーション、5.フェンスの作設等の作業を要する。

1980年3月に工藤・真島専門家は森林院流域管理部門カウンターパートと協議し、すでに森林水文試験地として決定されていたクーニャ保護林内に、速やかに総合気象観測露場を開設することとした。露場の開設に先立ち、サンパウロ市の西方200Kmにあるカンポス・ド・ジョルダン(州立公園、後に機械化伐出部門の試験地が設けられる)で、DAEE(州水道電力局)所管の総合気象観測露場を視察した。直径20mの円形露場には以下のような測器が見られた。

風向風速……………3杯矢羽根式風向風速計、ダインス風速計(日巻自記)

温湿度……………バイメタル式温度計(日巻自記)、毛髪式湿度計(日巻自記)、フース型最高最低温度計、ガラス棒状温湿度計

降雨量……………サイホン式雨量計(日巻自記)、普通雨量計

日照量……ガンベル日照計

気圧……フォルタン水銀気圧計，アネロイド気圧計

蒸発量……小型蒸発計（日巻自記），大型蒸発計

これらの測器はそのほとんどがドイツ製であり，旧式ながらよく整備されていた。日々のルーチン観測は現地職員が行っていた。

#### ① 総合気象観測露場の開設

ターニャ試験地では，造成する露場の形状と測量の配置は D A E E 方式に倣うこととし，カウンターパートらとともに，現地労務者を使って以下のように作業を進めた。

1980年4月：露場の造成位置を決定し，測器および位置杭設置

5月：サンパウロ（森林院）より測器搬入。ショベル，ダンプトラックにより露場造成地の盛土および整地

6月：盛土と整地作業を完了し，露場内に敷石歩道を設置

7月：各種測器用基礎コンクリートを打設し，風向風速計，温湿度計，雨量計を設置

8月：日照計，大型蒸発計の設置により各種測器の設置を完了。測器のキャリブレーション後，予備観測開始

9月～10月：フェンス作設

ターニャ試験地における総合気象観測所は，フェンス作設の終了をもって完成した。露場内の測器配置を図II-1に示す。当地に設置された気象測器とほぼ同一の種類が以後数カ所の森林院管轄地に設けられることになる。気象観測所稼働後の観測体制，保守管理体制と深く係わるので，以下に各測器の仕様を掲げる。

自記風向風速計（鉄塔4.5 m付）

方式：風向……直結式

風速……交流発電式

測定範囲：風向……16方位

風速……2～60 m/s

測定精度：風向……±5度以内

風速……10 m/s 以下で±0.5 m/s 以内

記録方式：サイフォンペン式

紙送り動力源：水晶時計

連続記録期間：1カ月

時計用電源：単1乾電池1.5 V×5

長期自記温湿度計

検出方式：温度……バイメタル式

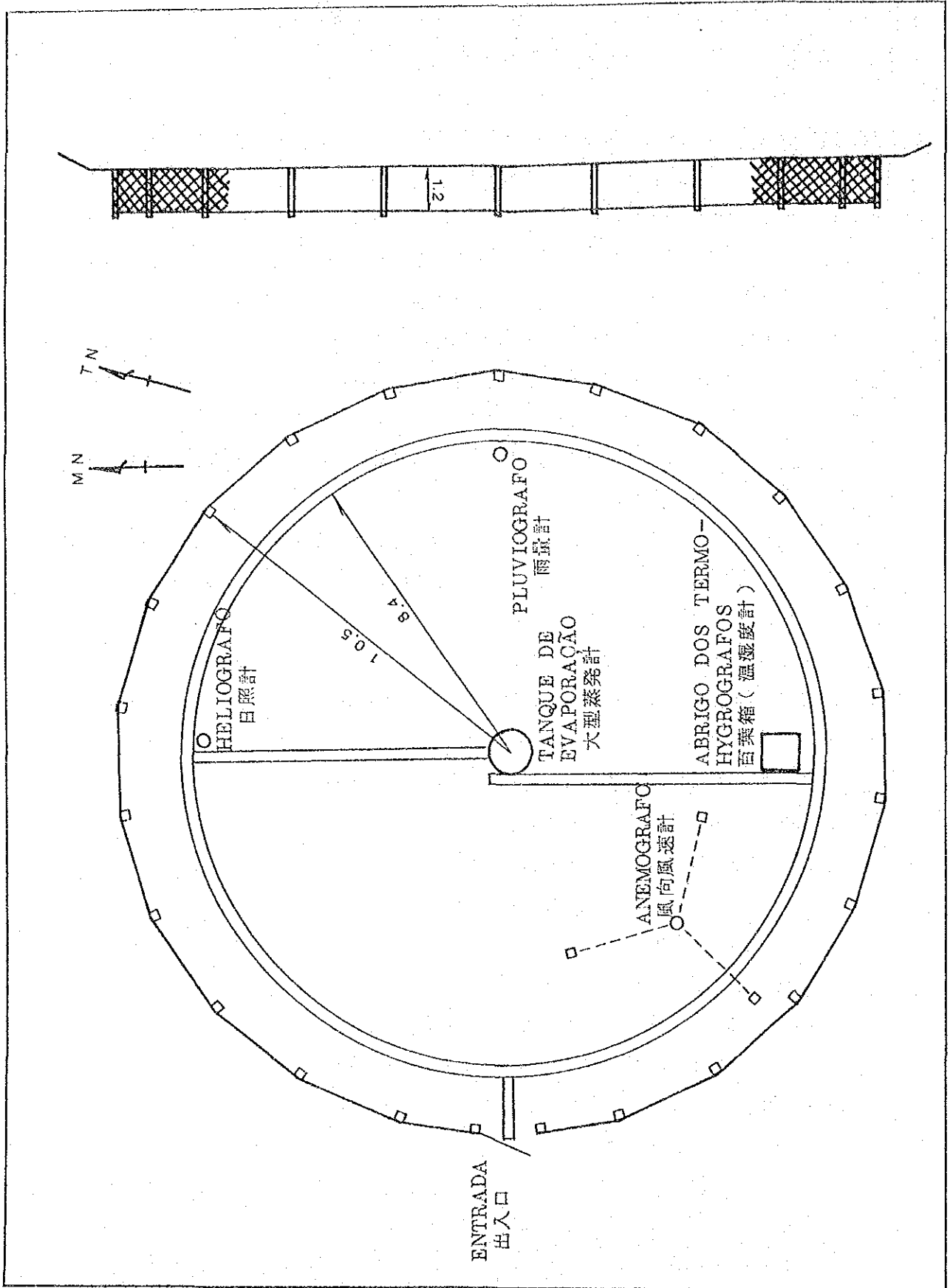


図 II - 1 クーニヤ試験地総合気象観測所における測器の配置



湿度……毛髪式

測定範囲：温度…… $-20 \sim +40^{\circ}\text{C}$

湿度…… $0 \sim 100\%$

精度：温度…… $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内

湿度…… $\pm 5\%$ 以内

記録方式：サイフォンペン式

紙送り動力源：水晶時計

電源：単1乾電池  $1.5\text{V} \times 5$

#### 長期隔測自記雨量計

検出部：転倒マス型，1パルス  $0.5\text{mm}$

記録方式：パルス積算式

紙送り動力源：水晶時計

電源：単1乾電池  $1.5\text{V} \times 8$ ， $\times 5$

#### 日照計（ジョルダン日照計）

方式：感光紙焼付式

#### 大型蒸発計（口径 $120\text{cm}$ ）

測定方式：タンク式，直読式

第2の総合気象観測露場の開設はタウバテ苗畑（Viveiro de Taubate）と決定された。タウバテ苗畑はサンパウロ市の東方  $130\text{Km}$  のタウバテ市街地から，さらに  $16\text{Km}$  南下した丘陵地にある。この地はパライバ河支流ウナ川流域内にあるため，「荒廃・洪水危険地判定調査」「簡易治山工作物の適用」項目をウナ川流域で実施する場合の活動基地となり，ここでの気象観測データはそれぞれの調査研究に活用されることになっていた。

当地における露場開設の作業は  $1980$  年  $9$  月に始まり，同年  $12$  月には測器の設置を終え，観測を開始した。測器の種類はクーニャ試験地観測所と同一であるが，露場の形状を八角形にとった。測器の配置を図  $\text{II}-2$  に示す。このように  $1980$  年度には  $2$  か所の総合気象観測所を開設した。カウンターパートは長期専門家とともに，測量・露場造成から始まる一連の作業に従事し，気象観測所のつくり方を体得した。と同時に測器の設置法，作動原理，保守管理法も学んだ。表  $\text{II}-1$ ， $\text{II}-2$  は気象データ整理のため，カウンターパートとともに検討し，作成した書式である。

クーニャ試験地，タウバテ苗畑における気象観測所の管理は，開設直後より森林院の手に移された。タウバテ観測所では， $1980$  年  $10$  月にカウンターパートの製作になるコンバーターが取り付けられ，以後各種測器は  $\text{AC}$  電源で作動することとなった。なお，両地の観測所には日照計と蒸発計が設置されていたが，前述のように自記方式では

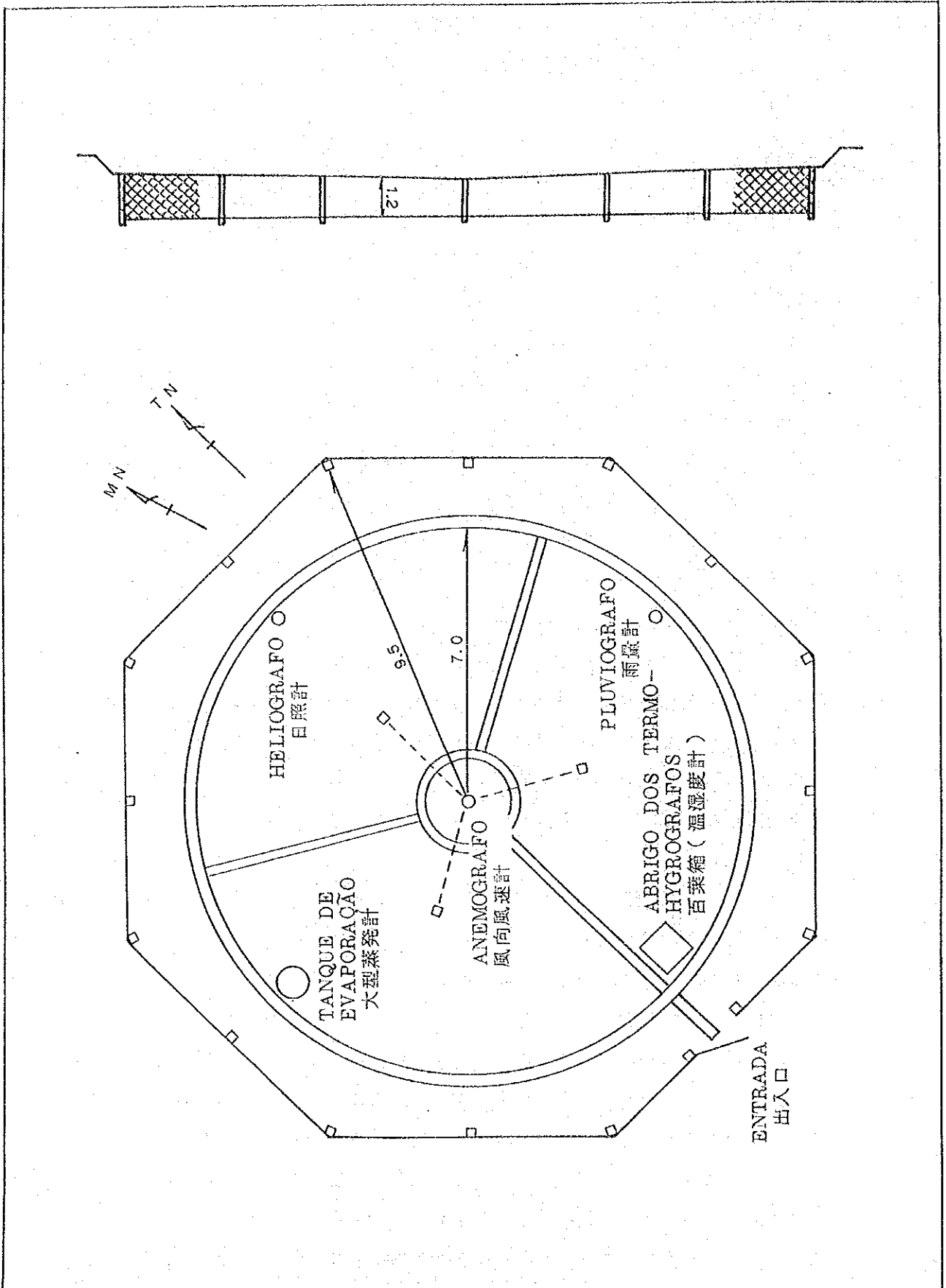


図 II - 2 タウバテ苗畑総合気象観測所における測器の配置

なく、現地観測員の配備がない状態では、日照量・蒸発量の日観測は困難とおもわれた。

クーニャ試験地・タウパテ苗畑における気象観測所の開設には約6か月かかり、これは日本における場合よりも数倍の時間を費やしている。その理由としては、露場開設に用いる測器基礎コンクリート用骨材（砂・砂利）、セメント、型枠用木材、金網を入手するまで長時間を要した。このためクーニャ試験地での基礎コンクリート用型枠には、日本からの測器梱包材を解体し利用したこともあった。次に、業務を遂行する場合に伯側の指揮命令系統が一定でなく、現場での露場開設責任者が不確定であったため、作業の着手が遅延した。第3の理由としては、伯側カウンターパートは本務として森林院で行う事業の管理業務を持っていたので、プロジェクト業務だけに対応することができなかったことも挙げられる。

当初の気象観測所配置計画ではクーニャ、タウパテの他にトゥッピー、アバレ、アシスに露場開設の予定であったが、そのうちトゥッピー、アバレに代りカルロス・ボテリョ、セチバーハスに開設することとなった。

カルロス・ボテリョはサンパウロ市より約200km離れた、州の南部に位置する州立公園である。総面積39,000haの大部分はパラナピアカーバ山脈（Serra do Paranapiacaba）の源流部を占め、熱帯雨林で覆われているため、ヒペイラヤパラナイバナ低地農業地帯の重要な水源地であり、その起伏に富んだ（標高60～900m）森林景観により、保健休養・自然教育の場としても活用されている。当地における総合気象観測所の開設作業は1981年に、工藤・藤枝専門家並びにカウンターパートにより行われた露場用地の選定・測量に始まった。

第4の気象観測所開設地アシスは、サンパウロ市よりはるか西方460kmにある分場（Estação Experimental de Assis）で、なだらかな丘陵地にある4,800haの林地（エリオティマツ林1,000ha、ユーカリ林1,500ha、他はセラードとカンポ）を管理している。この分場は造林・育種・樹脂生産関係で、事業面でも調査研究面においても、州内で最も活発に活動している。当地における気象観測所の開設準備は、カルロス・ボテリョと同時期1981年10月に工藤・藤枝専門家、カウンターパートにより行われたが、竣工は1983年11月となった。カルロス・ボテリョとアシス観測所の測定項目は風向・風速、気温、湿度、雨量の5要素である。両地における気象観測所の開設は専らカウンターパートによりなされた。このことは、露場の造成・測器の設置・操作・校正等の伯側に対する技術移転は十分に伝達されたことを意味する。

## ② 気象観測所開設後の変更事項

クーニャ試験地の露場では1983年9月に、日射計・示差放射計・自記蒸発計の設置とともに、各種測器の電源はAC化された。カルロス・ボテリョとアシスにおいても開設後間もなく、風速計を除いて測器はAC電源化された。

### ③ 現地観測体制

DAEE 所管のカンボス・ド・ジョルダン気象観測所も同様であるが、ブラジルでは測器の記録紙交換・インク補充・直読測器の示度読みとり等のルーチンワークは、研究者（大卒者）ではなく現場職員によって行われるのが一般的である。4カ所の気象観測所に設置した各種測器は、クーニャ観測所開設の項で挙げたように、用紙連続記録期間は1カ月であり、用紙巻取り用時計の電源には、AC化されるまで乾電池を使用していた。したがって定期的に用紙・電池の交換を行う必要があった。これに対し各地での観測体制は以下のものであった。

クーニャ試験地では、観測所の開設以来4年余にわたって現地観測員は配置されず、カウンターパートが諸業務の一環として観測に当たっていた。1985年に至り職員1名が研究補助に配置されるに伴い、気象観測所のルーチンワークにも従事している。

タウパテ苗畑では、一般事務職員によって用紙交換・インク補充のみが行われてきた。

カルロス・ボテリョでは研究員がルーチン作業に当たっている。

観測体制のしっかりしているのはアンスで、露場の開設直後より研究補助職員がルーチンワークを担当している。

### ④ データ整理

各地の観測所で使用された記録紙はサンパウロの森林院に収集される。例外的にクーニャ試験地の雨量計記録紙だけは、現地でカウンターパートと森林水文補助研究員により、処理されている。森林院ではカウンターパートの監督下で、パートタイマー（大学生）が記録紙からデータの処理に当たっている。データ読みとりにはデジタイザーとパーソナルコンピューターを利用している。機器による読みとり値の精度を調べるため、風・気温・湿度を記録紙上で測定し、肉眼で読んだ値と比べてみた結果は以下のものであった。

		風 速 (m/s)				
デジタイザー		2.3	3.4	4.7	7.7	10.5
肉 眼		2.1	3.4	4.6	7.6	10.5

		気 温 (°C)				
デジタイザー		14.0	17.3	20.2	24.4	28.2
肉 眼		13.8	17.0	20.1	24.1	28.0

		湿 度 (%)				
デジタイザー		35	50	65	72	91
肉 眼		35	50	65	72	92

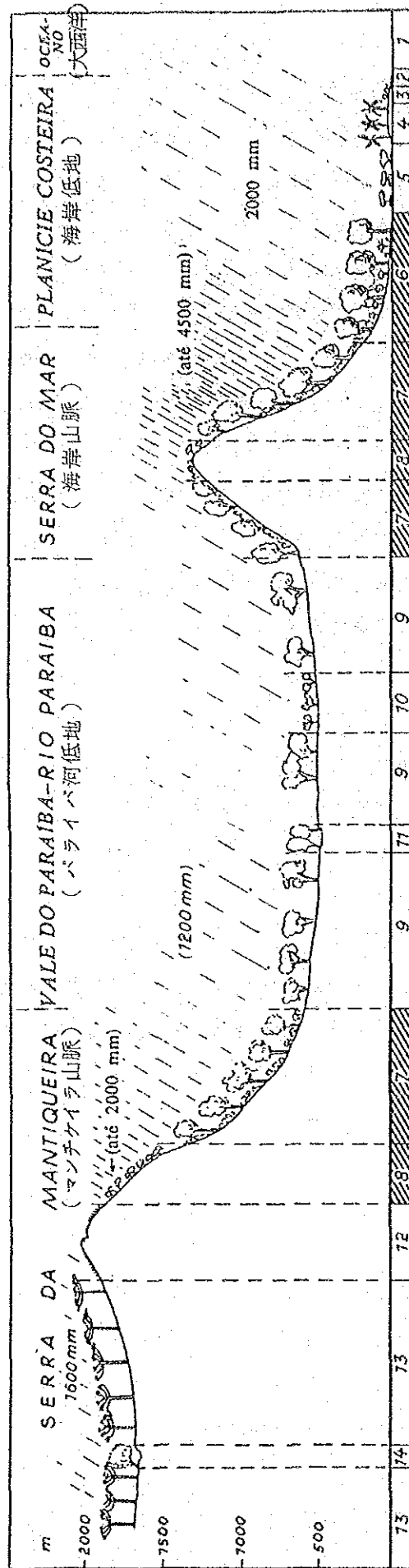
風速の機器による読みとり値は、肉眼による値と僅かに異なるが、ペン書き方式であることを考慮すれば誤差の範囲内であった。気温についてはデジタイザーによる値は常に肉眼によるより大きく、その差は0.1～0.3℃である。これは気温を求める場合にもゼロ点を同一記録紙上の湿度0目盛に合わせるものが原因とおもわれる。湿度については両者の読みとり値はほとんど同一であった。また風向、雨量の読みとり値は肉眼による場合と全く同じで、問題は見られなかった。

#### ⑤ 観測の結果

ブラジルの南東部に位置するサンパウロ州は亜熱帯に属しており、その気候は一般的に次のようである。平均気温は大西洋に沿った低地で20℃、内陸丘陵・波丘地で17℃、内陸低平地で20℃となっている。月平均気温は6～7月に低く、1～2月に高いが年較差は10℃前後である。年降雨量は内陸部低平地では少なく1,000～1,200mm、丘陵・波丘地では1,200～1,500mmで、広い範囲にわたって比較的単純な降雨分布を示す。大西洋岸に沿った地帯は一般的に降雨が多く、とりわけパライバ河流域を含む州西部は模式図(図II-3)にみるように、その地形に応じて特徴的な降雨分布を示す。すなわち、海岸低地では2,000mm、海岸山脈(Serra do Mar)の海側山腹では2,000～4,500mmであるが、内陸側山地では1,500～2,000mm、パライバ河低地では1,200mmと少なくなるが、マンチケイラ山脈(Serra da Mantiqueira)では1,600～2,000mmに達する。降雨は一般的に1～2月に多く、6～7月に減じて雨期と乾期が明瞭である。

クーニャ、タウパテ、カルロス・ボテリョ・アンス気象観測所における観測結果を月別に表II-3～14に示す。

表中で気温、相対湿度の平均・最大・最小値はそれぞれ日平均・日最大・日最小値を月毎に平均したものである。また、風速値は日最大風速の平均値である。(N.P)とはデータが未整理であることを示す。



( K. Hueck AS FLORESTAS DA AMERICA DO SUL 1972 )

図 II - 3 地形変化による降雨分布の模式図

表Ⅱ-1 気象観測日原簿(その1)

付1

INSTITUTO FLORESTAL - Dados Meteorológicos														
LOCAL:		LATITUDE			S. LONGITUDE			W. ALTIITUDE			m.		DATA	
		TEMPERATURA DO AR			EM °C								/19	
DIA	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h	24h	MEDIA	MAX. ABS.	MIN. ABS.	VELOCIDADE MAX. (m/s)	DIREÇÃO PREDOMINAN.	
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
MEDIA														

表 I - 2 気象観測日原簿 (その 2)

INSTITUTO FLORESTAL - Dados Meteorológicos													
LOCAL:		LATITUDE			S. LONGITUDE			W. ALTIUDE			m. DATA		
		UMIDADE RELATIVA DO AR EM %											
DIA	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h	24h	MEDIA	MAX. ABS.	MIN. ABS.	TOTAL	MAXIMA EM 60 MINUTOS
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
MEDIA													



表 II - 3

気象観測所名：クーニナ 1980年

	気温 (°C)		相対湿度 (%)		日最大風速の平均 (m/s)	最多風向 (8方位)	降雨量 (mm)
	平均	最高 最低	平均	最高 最低			
1月							
2月							
3月							
4月							
5月							
6月							
7月							
8月							
9月	13.4	18.7 8.2	89	99	1.8	E, SE	83.0
10月	16.1	21.8 10.8	88	99	2.7	SW	256.5
11月	17.2	21.6 13.3	88	99	2.5	E	176.5
12月	20.0	26.0 15.4	84	98	2.9	NE	194.0

表 II - 4

1981年

気象観測所名：クーニ+

	気温 (°C)			相対湿度 (%)			日最大風速の平均 (m/s)	最多風向 (8方位)	降雨量 (mm)
	平均	最高	最低	平均	最高	最低			
1月	18.3	22.7	13.9	84	96	62	1.8	E	264.5
2月	20.0	26.6	13.4	81	98	53	1.9	E	202.5
3月	19.4	24.4	14.8	85	98	62	1.7	NE	295.5
4月	16.2	21.7	11.3	84	98	63	1.9	E	384.5
5月	15.0	22.3	8.2	80	97	54	1.4	E	72.0
6月	12.7	20.8	5.8	76	96	49	2.3	N	52.0
7月	11.5	18.6	5.0	77	97	51	1.8	E	32.0
8月	13.3	21.2	6.3	77	97	50	1.5	E	16.0
9月	15.6	24.3	8.4	74	96	43	2.2	E	38.5
10月	16.1	20.8	11.9	85	95	67	1.9	S	138.0
11月	19.2	24.1	14.9	83	95	64	1.7	SE	252.0
12月	19.2	23.8	14.9	82	96	64	1.8	SE	456.5

	気温 (°C)			相対湿度 (%)			日最大風速の平均 (m/s)	最多風向 (8方位)	降雨量 (mm)
	平均	最高	最低	平均	最高	最低			
1月	17.6	22.1	13.6	81	92	62	1.2	S	346.5
2月	20.1	26.6	14.7	60	77	33	1.3	SE	192.0
3月	18.7	22.8	15.8	86	93	71	1.0	S	314.0
4月	15.8	20.0	11.2	82	93	64	1.3	S	164.5
5月	13.1	19.7	7.1	81	95	55	1.7	S	32.5
6月	15.5	22.1	9.9	78	94	54	1.9	E	140.0
7月	13.5	21.3	7.3	78	94	51	1.5	SE	72.0
8月	15.2	22.5	8.7	79	95	52	1.8	E	133.0
9月	14.9	21.3	9.4	77	91	52	2.1	S	133.0
10月	18.2	23.7	13.7	74	86	53	2.4	S	194.5
11月	20.6	25.4	16.7	77	89	58	2.2	SE	214.5
12月	19.3	23.5	16.2	81	90	63	1.7	S	373.0

表 II - 6

1983年

気象観測所名：クーニヤ

	気温 (°C)			相対湿度 (%)			日最大風速の平均 (m/s)	最多風向 (8方位)	降雨量 (mm)
	平均	最高	最低	平均	最高	最低			
1月	20.6	25.1	17.0	80	90	61	2.6	NE	200.0
2月	20.5	26.2	16.0	78	90	56	1.9	NW	165.5
3月	21.7	27.5	17.3	76	89	53	2.2	N	352.5
4月	16.0	20.8	11.2	83	96	63	2.1	NE	230.0
5月	14.0	21.0	7.6	80	96	54	1.9	NW	152.0
6月	14.2	20.5	9.5	76	89	53	—	—	193.0
7月	13.6	21.3	7.3	73	92	46	1.5	NE	51.0
8月	12.3	20.2	5.9	76	94	47	1.9	NE	29.5
9月	13.5	17.9	10.0	84	93	66	2.2	NE	256.5
10月	15.3	19.4	11.5	83	92	65	1.6	NE	131.5
11月	17.1	23.2	11.5	78	93	51	2.8	NW, NE	132.0
12月	18.4	23.0	15.0	82	93	62	2.5	NW	420.5

表 II - 7

1984年

気象観測所名：クニニ+

	気温 (°C)			相対湿度 (%)			日最大風速の平均 (m/s)	最多風向 (8方位)	降水量 (mm)
	平均	最高	最低	平均	最高	最低			
1月	20.2	26.9	14.8	75	92	48	1.4	N	1725
2月	19.9	26.8	19.9	78	93	51	1.2	NE	615
3月	18.4	24.0	13.6	82	93	58	1.0	NE	248.0
4月	15.9	21.5	11.0	81	92	60	0.9	NE	156.5
5月	15.5	23.2	10.2	79	92	52	1.0	NE	72.5
6月	12.8	21.6	6.9	78	92	47	1.0	NW	7.0
7月	13.2	21.1	6.7	78	93	49	0.9	SW	47.5
8月	13.5	19.5	8.9	79	91	59	1.1	SW	113.0
9月	13.7	20.9	7.3	79	92	50	1.3	W	95.0
10月	16.5	22.4	11.8	80	92	58	1.2	W	(未)
11月	17.4	21.9	13.7	82	92	62	1.3	W	182.5
12月	17.7	22.7	13.6	82	92	63	1.2	NW	245.5

表 II - 8

1985年

気象観測所名：クニニ+

	気 温 (°C)			相 对 湿 度 (%)			日最大風速の平均 (m/s)	最多風向 (8方位)	降 雨 量 (mm)
	平均	最高	最低	平均	最高	最低			
1月	18.1	21.5	15.5	86	92	71	(N.P)	(N.P)	907.0
2月	19.7	25.5	16.0	82	91	59	"	"	529.5
3月	19.7	24.5	16.1	83	92	62	"	"	483.5
4月	17.7	23.3	13.6	81	92	58	"	"	289.0
5月									
6月									
7月									
8月									
9月									
10月									
11月									
12月									

表 II - 9

気象観測所名：タウバテ 1981年

	気温 (°C)		相対湿度 (%)			日最大風速の平均 (m/s)	最多風向 (8方位)	降雨量 (mm)
	平均	最高	最低	平均	最高			
1月								
2月								
3月								
4月								
5月								
6月								
7月								
8月								
9月								
10月	19.3	25.3	14.9	80	99	55	(N.P)	(N.P)
11月	22.9	29.6	17.8	80	100	53	"	"
12月	22.0	27.5	17.5	81	100	59	"	"

表 II - 10

1982年

気象観測所名：タウバテ

	気温 (°C)		相対湿度 (%)		日最大風速の平均 (m/s)	最多風向 (8方位)	降雨量 (mm)
	平均	最高 最低	平均	最高 最低			
1月	21.6	27.4 17.2	80	100 57	(N.P)	(N.P)	(N.P)
2月	23.0	31.6 18.7	77	99 46	"	"	"
3月	22.4	27.7 18.9	81	97 59	"	"	"
4月	18.9	25.3 14.0	78	98 51	"	"	"
5月	15.5	24.0 9.2	79	99 46	"	"	"
6月	16.8	24.1 11.7	84	100 57	"	"	"
7月	15.8	24.7 9.7	78	99 47	"	"	"
8月	18.1	26.4 12.1	77	97 47	"	"	"
9月	18.9	26.8 12.9	74	95 42	"	"	"
10月	21.1	28.0 16.1	78	96 51	"	"	"
11月	23.8	30.6 19.2	78	97 51	"	"	"
12月	22.3	27.8 18.8	82	97 59	"	"	"



表 II - 11

1982年

気象観測所名：カルロス・ポテリョ

	気温 (°C)			相対湿度 (%)			日最大風速の平均 (m/s)	最多風向 (8方位)	降雨量 (mm)
	平均	最高	最低	平均	最高	最低			
1月									
2月									
3月									
4月									
5月									
6月									
7月	16.9	21.8	12.7	75	94	49	(N.P)	(N.P)	—
8月	17.2	22.6	12.8	76	93	54	"	"	23.5
9月	16.9	21.6	13.3	79	94	56	"	"	41.0
10月	18.2	23.1	14.1	91	94	61	"	"	179.0
11月	20.3	25.0	16.9	83	94	64	"	"	246.0
12月	20.1	23.8	17.2	82	94	65	"	"	164.0

表 II - 12

気象観測所名：カルロス・ポテリョ

1983年

	気温 (°C)			相対湿度 (%)			日最大風速の平均 (m/s)	最多風向 (8方位)	降雨量 (mm)
	平均	最高	最低	平均	最高	最低			
1月	(N.P)	(N.P)	(N.P)	(N.P)	(N.P)	(N.P)	1.4	S	356.5
2月	"	"	"	"	"	"	1.7	S	136.5
3月	"	"	"	"	"	"	1.9	S	87.5
4月	"	"	"	"	"	"	1.6	S	84.0
5月	"	"	"	"	"	"	1.5	S	207.5
6月	"	"	"	"	"	"	1.4	S	275.0
7月	16.8	21.5	13.0	79	92	59	1.7	S	29.0
8月	16.6	21.9	13.0	75	90	54	1.5	S	16.0
9月	14.1	16.8	11.9	90	95	78	1.7	S	228.0
10月	(N.P)	(N.P)	(N.P)	(N.P)	(N.P)	(N.P)	1.7	S	109.0
11月	"	"	"	"	"	"	1.5	S	108.0
12月	"	"	"	"	"	"	1.4	S	27.0

表 II - 13

気象観測所名：アシス 1984年

	気温 (°C)			相対湿度 (%)			日最大風速の平均 (m/s)	最多風向 (8方位)	降雨量 (mm)
	平均	最高	最低	平均	最高	最低			
1月	25.6	33.0	20.0	70	93	42	1.0	E	96.5
2月	25.7	33.7	20.3	70	92	39	1.0	NW	76.5
3月	24.0	31.0	19.3	72	91	46	2.0	N	149.5
4月	—	—	—	—	—	—	1.1	N	94.0
5月	21.1	29.0	15.9	76	94	44	0.9	E	—
6月	19.5	28.7	13.1	70	92	36	1.2	E	—
7月	19.5	28.7	13.9	66	89	33	1.6	W	—
8月	18.6	26.5	12.8	70	90	40	1.7	N	62.5
9月	18.7	27.6	12.7	67	89	33	1.4	N	77.5
10月	23.7	33.1	17.1	63	87	31	1.8	SE	31.0
11月	24.4	32.3	18.8	69	91	38	1.7	SE	67.5
12月	23.2	30.0	18.5	75	91	48	1.4	NE	279.5

表 II - 14

1985年

気象観測所名：アンス

	気温 (°C)			相対湿度 (%)			日最大風速の平均 (m/s)	最多風向 (8方位)	降雨量 (mm)
	平均	最高	最低	平均	最高	最低			
1月	23.8	30.3	19.2	73	90	48	(N.P)	(N.P)	920
2月	24.5	31.8	20.3	75	91	45	"	"	1110
3月	23.9	30.9	19.8	77	92	49	"	"	1685
4月	22.7	29.6	18.2	74	92	48	"	"	1225
5月	18.5	27.5	13.0	73	92	40	"	"	685
6月	15.9	24.9	10.3	71	91	36	"	"	(N.P)
7月									
8月									
9月									
10月									
11月									
12月									

ここでは観測が早期に始められ、森林水文観測の根拠地となっているクーニャ試験地の気候をみてみよう。

図II-4に月平均、最高、最低気温を示す。1年を通してみるとクーニャで最も暑い月は2月、最も寒い月は7月で、年平均気温は16.6℃である。年較差は7℃で東京(20℃以上)に比し少ない。年最高気温の極は、必ずしも2月でなく9月~1月に現われることもある。年最低気温の極は7~8月に現われ、観測開始以来の最低気温は-0.9℃であった。この時クーニャ試験地一帯の原野は降霜のため白一色になり、亜熱帯地方には珍しい光景を見せる。

相対湿度の月平均値(図II-5)は雨季には80~85%であるが、乾季には80%を下まわるようになる。図中雨季にある2月の値が低下しているのは、1982年2月は5mm以上の降雨日が例外的に少なく僅か6日しかなかったためである。

1980~1983年の4水年の平均降雨量は2,107mm、雨季の降雨量が年降雨量に占める割合は62~71%であった。図II-6はクーニャ試験地における月降雨量を、1980年10月~1985年4月について示したものである。月降雨量の年々の変動は、雨季の始め(10~11月)と終り(3~4月)および7月を除いて一般的に大きい。1月と2月の最大値/最小値は5.3と8.6となり両月の降雨変動の大きさを現わしている。特に1985年1月23日から24日にかけての降雨は435mmに及び、当地で大洪水をひき起した。24時間降雨量270mmは40年に1度の豪雨と推定される。一雨の降り方は、雨季と乾季で異なる。雨季の降雨は雷を伴うこともあるしゅう雨であることが多く、乾季には終日一樣に降り続くような霖雨が一般的である。

風は一年を通して弱く、無風の頻度は約50%である

### (3) 今後の見通しと問題点

タウバテ苗畑を除く各地では観測が継続されているが、以下のような事項が問題として指摘される。

#### ① 観測体制について

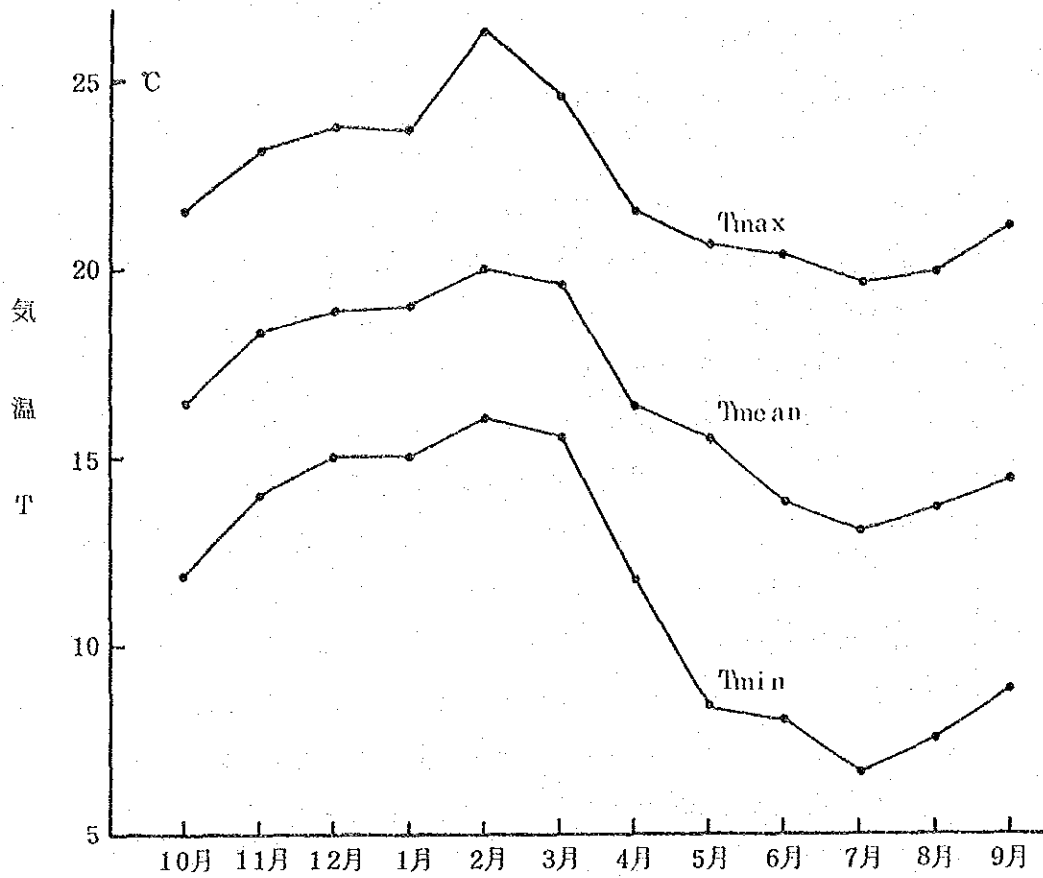
現地観測員はタウバテ、カルロス・ボテリョにおいても配置されることが望ましい。

各地での測器の保守管理については、準器の個数制約と取扱い等から全面的に現地観測員に委ねることは困難とおもわれる。カウンターパートの職務下に配置された補助研究員をもって定期的に各地観測所を巡回させ、測器の点検と較正を行うとともに、現地観測員の指導に当らせる体制が必要であり、また、この体制は可能とおもわれた。

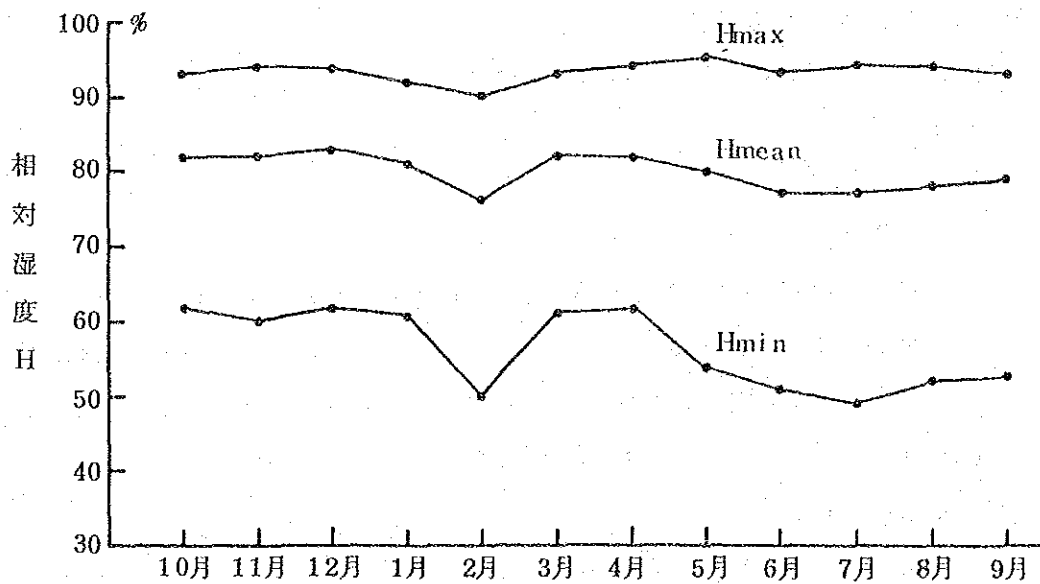
#### ② 電源について

停電による電源断の問題は、アシス観測所で既にセットされているように、停電バックアップ装置を他観測所にも設置することで解決される。

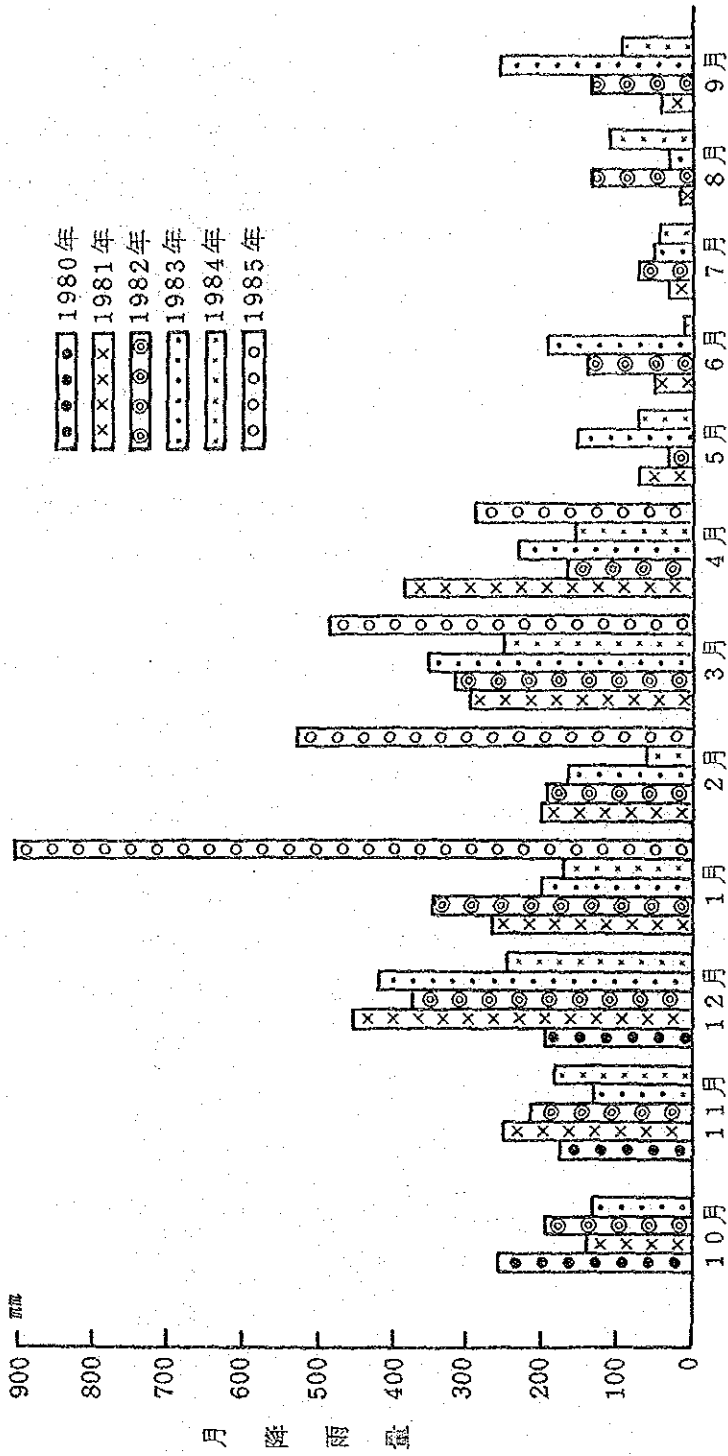
#### ④ データ整理について



図II-4 クーニャ試験地における気温



図II-5 クーニャ試験地における相対湿度



図II-6 クーニニ試験地における月降水量の変動

データ整理については、担当者が近年になるまで配置されていなかったことから滞っていたが、デジタイザーとパソコン活用により処理はスムーズに進行すると期待できる。

## II-2-2 森林蒸発散研究

### (1) 背景と目的

サンパウロ州では、森林の減少に伴う洪水害や河川水の汚濁が深刻な問題になりつつある一方で、都市への人口集中と大規模工場の進出により、生活および工業用水の安定確保への要請が益々強くなっている。そのため州政府では、早くからダム建設などにより洪水防止と水資源確保に努めてきたが、増加基調の水需要、ダムへの土砂堆積などに対応するには、水源山地における森林の適正な管理が重要であることが認識され、その管理技術の確立が求められるに至った。

水資源確保や洪水防止の観点から、森林を適正に管理し、有効な水利用計画を策定するには、森林の水流出への影響やその水文環境を解明しなければならない。それは、対象地域における水の循環と収支を通して知ることができる。そのなかで、蒸発散は水循環における重要な一つのプロセスとして、また水収支の一項目として不可欠の要因である。そして、対象地域の植生、土地利用の在り方が、蒸発散に直接的に影響を及ぼすことから理解されるように、蒸発散は人間の生産活動と密接に結び付いた現象とみなすことができる。そのため、その地域をどのように管理するかにより蒸発散量に変化するの、地域の水の流れと収支は変わるようになる。したがって、水源山地の森林管理により、水の流れと収支がどの程度変化するかを定量的に評価するには、森林からの蒸発散に関する知識と推定法を学ぶことが是非必要になる。これを通して始めて、水資源確保、洪水防止に望ましい林分、樹種の選定や蒸発散量を軽減する施業法の決定が進められると考えられる。

森林からの蒸発散量推定法は、水収支法と気象学的方法に大別される。ここでは後者の方法に着目し、熱収支法を取り上げ、研究協力することにした。熱収支法は気象データを用いて、広域からの実蒸発散量を精度良く推定する方法として評価されており、サンパウロ州のような広大な平地林には好適な方法であると考えられる。

したがって、本研究の目的は、森林からの蒸発散に関する基礎知識と、熱収支法による蒸発散量の推定法と解析法について研究協力することにある。

### (2) 経過と成果

#### ① 経過

##### (a) 専門家派遣とカウンターパート

前述した目的に沿って、蒸発散研究は流域管理技術研究のなかの森林水文試験法を構成する1課題として、代表林地における蒸発散測定装置の設定およびデータ整理と解析という内容で取り上げられた。そして、この課題は専門家派遣、カウンターパートの受入研修および蒸発散測定装置などの機材供与により研究を進めることが決めら



れた。

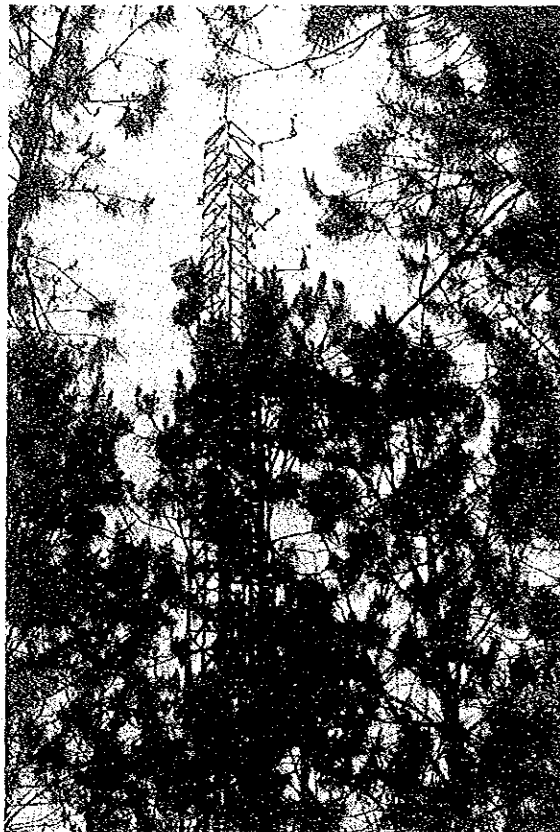
このため、服部専門家が2回派遣された。

一方、カウンターパートは、サンパウロ州森林院の州立公園・保安林部に所属し、農業気象を専門とする研究者であった。同カウンターパートは日本での研修を受けている。研修内容は森林気象学を中心とするが、各地の森林蒸発散研究の現場を見学し、研究の現状と問題点を把握するとともに、その解析法についても講義を受け、蒸発散研究の進め方を学んだ。なお、同氏は現在、サンパウロ州立公園課の主任を兼任している。

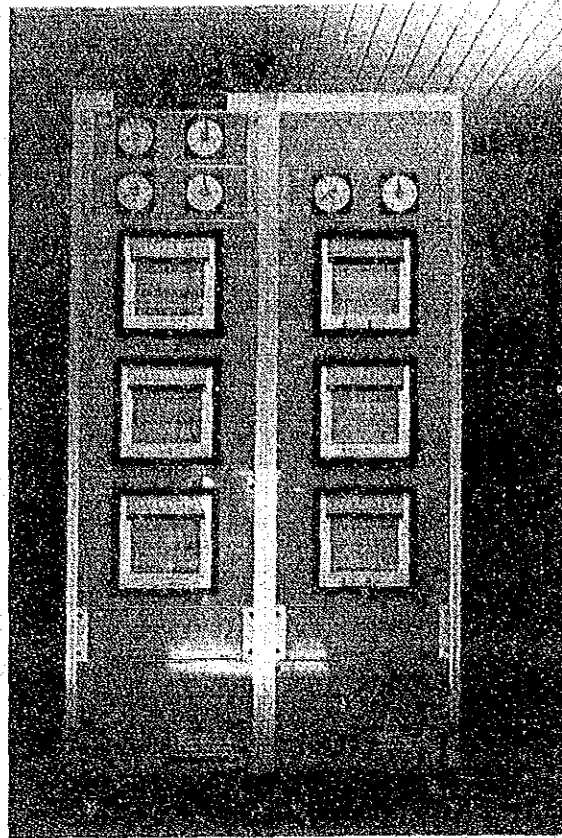
また、蒸発散測定を行ったモジガス試験地には、電気担当の専任技士が配置され、測定装置の組立てと保守・管理に協力した。さらに現在、気象データの整理と蒸発散計算のプログラム作成、データ入力と処理はカウンターパートの助手が行っている。

#### (b) 研究施設の建設

蒸発散研究に必要な施設は、気象観測塔と観測小屋である。気象観測塔は既製の火の見櫓を利用し、高さ30mの鋼製タワーで、内側に観測員が乗るための手動式昇降機と各種気象測器を取り付けるためのアームやポールを具備している。気象観測塔の建設費と労力は森林院の負担である。



写真II-1 モジガス州有林における気象観測塔



写真II-2 蒸発散量観測装置（記録・変換部）

観測小屋は各種変換器、記録計、安定化電源装置などを収納するもので、小径材を利用した $3\text{ m} \times 4\text{ m}$ の床面積をもつプレハブ小屋である。また、蒸発散測定装置を稼働させるための電源工事として、総延長約 $800\text{ m}$ のAC電線の引込み工事と小屋内の配線工事が行われた。

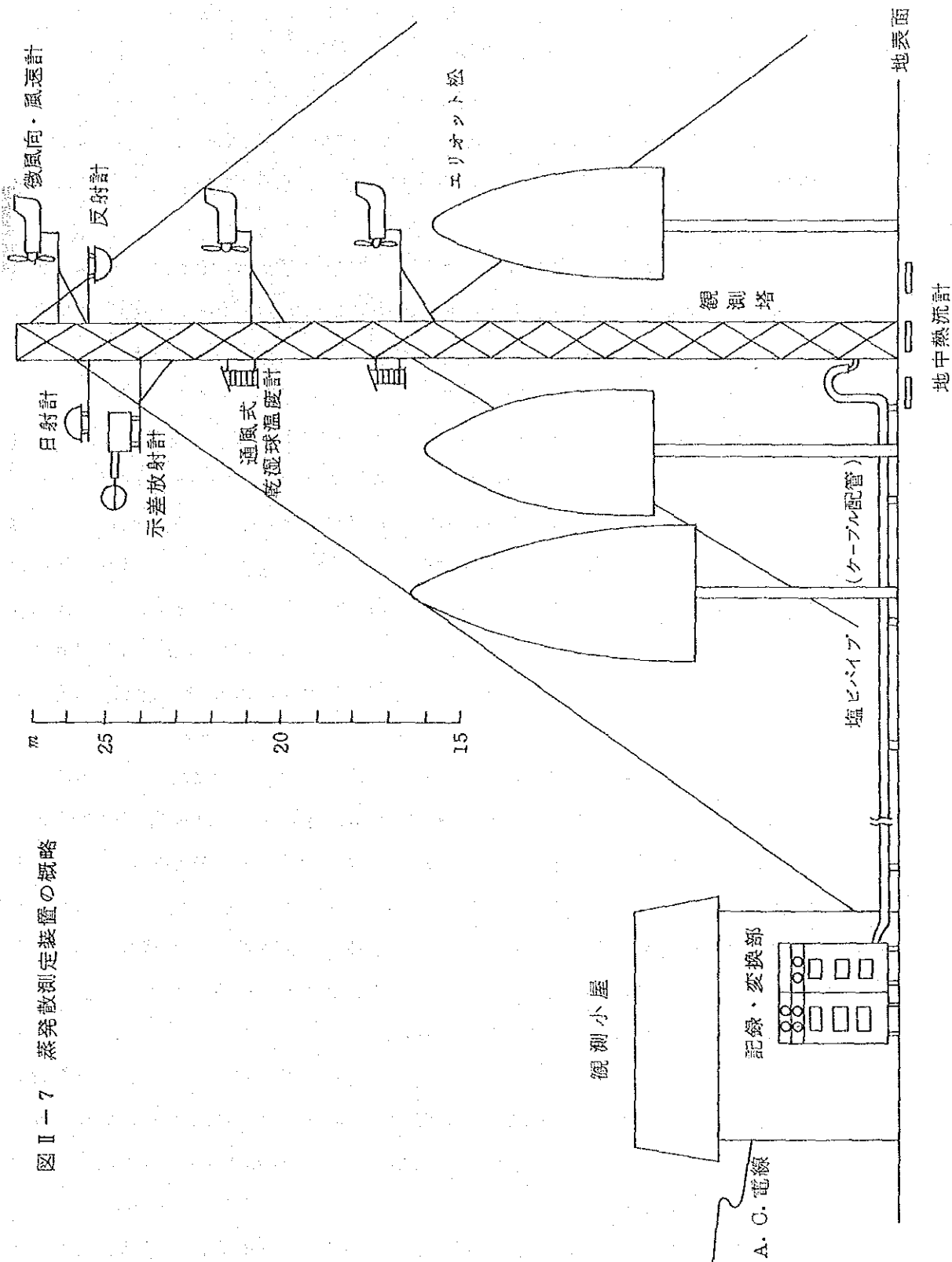
## ② 研究方法

気象データを用いて蒸発散量を推定する方法は、現在までに数多く提案されている。そこで、これらの推定法について原理、既往の成果などを紹介し、森林への適用における可否を説明した。とくに、ここで採用した熱収支法については、測器、気象データの取扱い、推定精度、適用上の問題点などを、関係論文、資料を用いて詳細に説明し、熱収支法の基礎知識を移転した。そこでまず、熱収支法について述べる。

### (a) 熱収支法

熱収支法は、植物群落に吸収された純放射量が潜熱（蒸発散）、顕熱、地中熱流などに配分されることから、その収支を知ることが基礎としている。推定法は一般に(1)式で与えられるが、ここではそれを変形した(2)式により指導した。それは、(1)式では計算に水蒸気圧のデータを必要とするが、(2)式では湿球温度で代用できるので、長期観測に都合が良いと考えられるからである。

図 II - 7 蒸発散測定装置の概略



$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (1)$$

$$LE = (R_n - G) \left( 1 - \frac{r}{k + r} \frac{\Delta T_D}{\Delta T_W} \right) \quad (2)$$

ここで、E：蒸発散量，R<sub>n</sub>：純放射量，G：地中熱流量， $\Delta T_D$ ， $\Delta T_W$ ：2高度間の乾球および湿球温度差， $\ell$ ：水の蒸発潜熱， $\beta$ ：ボーエン比，r：乾湿計定数，k：飽和水蒸気圧曲線の勾配。

(2)式からわかるように、蒸発散量の推定には純放射量，地中熱流量，2高度における乾球温度と湿球温度が必要である。したがって、これらのデータを森林で測定することにより、森林からの蒸発散量が計算できる。

#### (b) 蒸発散測定装置の組立てと保守・管理

蒸発散測定装置は微風向風速計，日射計，示差放射計，地中熱流計，乾球・湿球温度計などの検出部と，変換部および記録部から構成され，その概略の配置は図II-7に示した通りである。気象測器の設置高度は日射計，反射計，示差放射計が塔の頂部付近に，乾球・湿球温度計は林冠上部付近とその上方4mの高度に，微風向風速計は乾球・湿球温度計と同一高度と塔の頂部に決めた。また，地中熱流計は塔の周囲3ヶ所で，地表面下約2cmに埋設した。熱収支法では，乾球・湿球温度計の設置高度がポイントになるため，これについては既往の報告や経験から解説し，他林分へも応用できるよう指導した。

各種測器からの信号ケーブルはケーブルの損傷を防ぐため，塩ビパイプの中を通し観測小屋へ導いた。小屋内では，記録計(6台)，変換器(18台)，変圧器および安定化電源装置の架体への組込み，信号線の接続などの組立て作業を行った。これらの作業は取扱説明書に準じて，カウンターパート，森林院の技士らと協力して進めたが，総じて順調に運んだ。本装置の組立て完了後，電源を投入し，装置全体の稼働状況の点検を行い，問題がないことを確認し，2日間のテスト運転に入った。そして，その間の記録値を調べ，正常であることを認めたので，本観測に移った。

蒸発散測定装置の保守・管理については，以下のように指示した。観測体制は，前記したように，技士が当地に駐在し，常時監視するというもので，その体制は十分であったと評価される。そのため，無人化の場合より，欠測，トラブルの発生は大幅に軽減できたと考えられる。

気象測器，変換器，記録計の点検と保守については，点検箇所，方法，回数などを中心に説明するとともに，発生し易いトラブルの種類とその対策について，我国での事例を引用しながら解説した。これらについては，取扱説明書を参考にしながら，英

文マニュアルを作成し、本装置の保守・管理の手引きとした。

(c) データの読み取りと計算

各気象因子の記録紙は、一定期間ごとに持ち帰り、読み取りと計算作業を行った。データはすべて1時間ごとに読み取り、表に整理し、日合計と日平均値を算出した。この作業はかなり煩雑であるが、各気象因子の日変化、月変化の様子やその大きさを知る上で、また、記録値の異常を経験的に判断することに役立ったと考えられる。

蒸発散量は整理した気象データを(2)式に代入し、1時間ごとに計算するとともに積算し、日量を算出した。当初、この作業も計算手順、計算式を理解させるため手計算で行ったが、現在はパソコンによるデータのファイル化と計算処理が行われている。データの集録から計算処理までの全過程を自動化するため、メインコントローラが現在稼働中である。

③ 研究成果

ここでは、1982年11月から1984年10月までの2年間に得られたデータに基づいて、研究成果をとりまとめた。ただし、気象データは現在も引続き整理が進められているし、蒸発散量の計算も全期間について終了していないので、上記期間の中から代表日、代表月を選出し、それについて解析した結果を以下に述べる。

(a) 試験対象林分

試験を行った林分は、モジガス州有林にあるエリオット松林で、これはサンパウロ州における人工林の代表樹種の一つである。当林分はサンパウロ市の北約200 Kmにあり、南緯22°17'、西経47°09'、標高600 mに位置する。林分は1962年に植栽され、当年で23年生、平均樹高17.3 m、平均胸高直径18.7 cm、平均材積167 st/ha、植栽密度883本/haである。土壌は赤黄色ラトソルである。

対象林分は、図II-8に示したように、モジガス試験地の事業図の123区画で、区画面積約20 haである。気象観測塔は区画の中心より北東寄り、周辺道路より100 mほど内側に位置している。周囲林分は、北および西側にユーカリ林が接するが、その他は同年生のエリオット松林が囲んでいる。したがって、西側を除くと、一様な林冠のエリオット松林が広がっているとみなされ、蒸発散観測に必要な吹走距離を満足していると考えられる。

また、当林分の近くには、DAEE (DEPARTAMENTO DE AGUAS E ENERGIA ELETRICA)の気象露場があり、当地の気象条件を知ることができる。

なお、DAEEの気象データは定期的に刊行されている。

(b) モジガスの気象条件

前述したDAEEの気象データを参考にして、モジガスの気象条件を概略説明する。1976年に発行された「サンパウロ州の有効蒸発散量地図」によると、モジガス



の年平均気温は20.6℃、年平均相対湿度は78.3%、年平均風速は1.5 m/sec、年平均降雨量は1,175 mm、年平均蒸発散量は900 mmと報告されている。また、上記地図に示されているサンパウロ州の気候区分図によると、モジガスの気象条件は湿润帯に属し、内陸平地の代表的な気象と考えることができる。

気象条件の季節変化については、表II-15に示した1981年の気象状況から、つぎのような特徴が見い出せる。これによると、相対湿度は冬期に60~70%と低く、夏期に80%弱と高くなる。平均気温の最低は7月に、最高は2月に出現する。また、降雨量は冬期に非常に少なく、10 mm以下になる月が連続し、乾期を形成する。しかし、雨期に入る10月以降になると、月降雨量が300 mmにも達することがあり、湿润な夏期となる。一方、日照時間には明確な季節変化が認められず、おおむね150~250時間/月の範囲で推移する。ただし、夏期の1、12月には雨天のため、日照時間が減少する傾向がある。月蒸発量は5~7月に100 mm以下と小さいが、夏期には150 mm程度まで増大する。なお、ここに示した蒸発量は、蒸発計(Class A Pan)蒸発量である。また、1981年の気象は一例として示したもので、必ずしも平年とは一致しない。

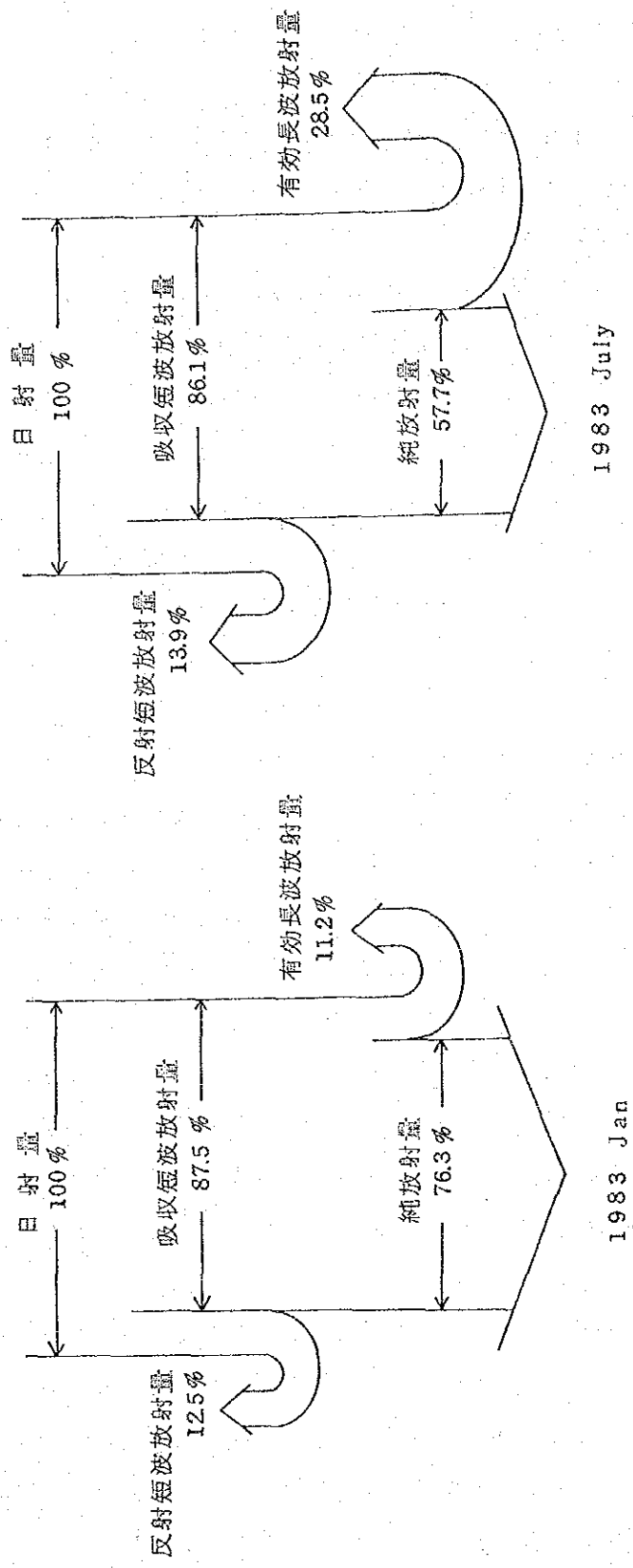
#### (c) エリオット松林の放射収支

蒸発散は水が水蒸気に変換される現象であり、それには熱エネルギーの供給が必要である。そのため、森林に到達する放射エネルギーを知り、そのうちのどれだけが蒸発散に利用可能かを明らかにしなければならない。すなわち、森林における放射収支の実態を解明することが必要になる。ここではじめに、気象観測塔で測定された各種放射量データから、エリオット松林の放射収支の特性を代表月の1月と7月について調べる。

図II-9に放射収支の実態を日射量に対する割合で示した。なお、計算は月量で行った。1月の場合、エリオット松林に到達した日射量の12.5%が反射され、87.5%が吸収される。そのうち、11.2%は有効長波放射として天空に戻るため、林分に正味取り込まれる純放射量すなわち蒸発散に利用可能な放射量は、日射量の76.3%になることがわかった。

一方、7月には反射量が1.4%増加し13.9%になるので、その分吸収量は減少する。また、有効長波放射は1月の2.5倍程度に増大するので、純放射量は日射量の57.7%と1月より20%ほど小さくなることが知られた。

以上のように、エリオット松林の放射収支は季節変化を示し、蒸発散の熱源としての純放射量は、1月の方が約20%大きくなることが明らかになった。そして、この差異は両月の反射率にほとんど差がないことから、主として有効長波放射の季節変化に起因することが考察された。



図Ⅱ-9 エリオット松林の放射収支



表II-15 モジガスの気象条件(1981)

月	大気圧 (Milib)	相对湿度 (平均,%)	気温 (平均,°C)	最高気温 (平均,°C)	最低気温 (平均,°C)	蒸発量 (mm)	降雨量 (mm)	日照時間 (hr)
1	944.7	79	23.2	29.1	19.1	117.8	290.7	154.5
2	945.5	73	24.2	31.3	18.1	152.3	69.7	211.4
3	942.7	75	23.1	30.1	18.0	148.6	121.9	214.9
4	946.4	73	20.1	28.1	14.0	118.7	66.3	237.2
5	948.6	72	18.5	27.2	11.8	93.7	8.2	239.0
6	949.2	76	15.5	23.3	8.9	62.4	88.3	166.8
7	951.6	70	14.3	23.4	7.1	86.1	5.8	213.6
8	948.3	66	18.1	27.3	9.9	120.7	4.2	203.0
9	947.2	62	21.7	30.8	13.0	165.7	13.5	180.6
10	944.8	74	20.7	27.2	15.3	134.7	295.9	178.7
11	942.0	76	23.0	29.3	17.7	141.7	171.1	191.0
12	943.8	77	22.8	28.5	18.3	150.7	193.8	146.0
平均or合計	946.2	72	20.4	28.0	14.3	1493.2	1329.4	2336.7

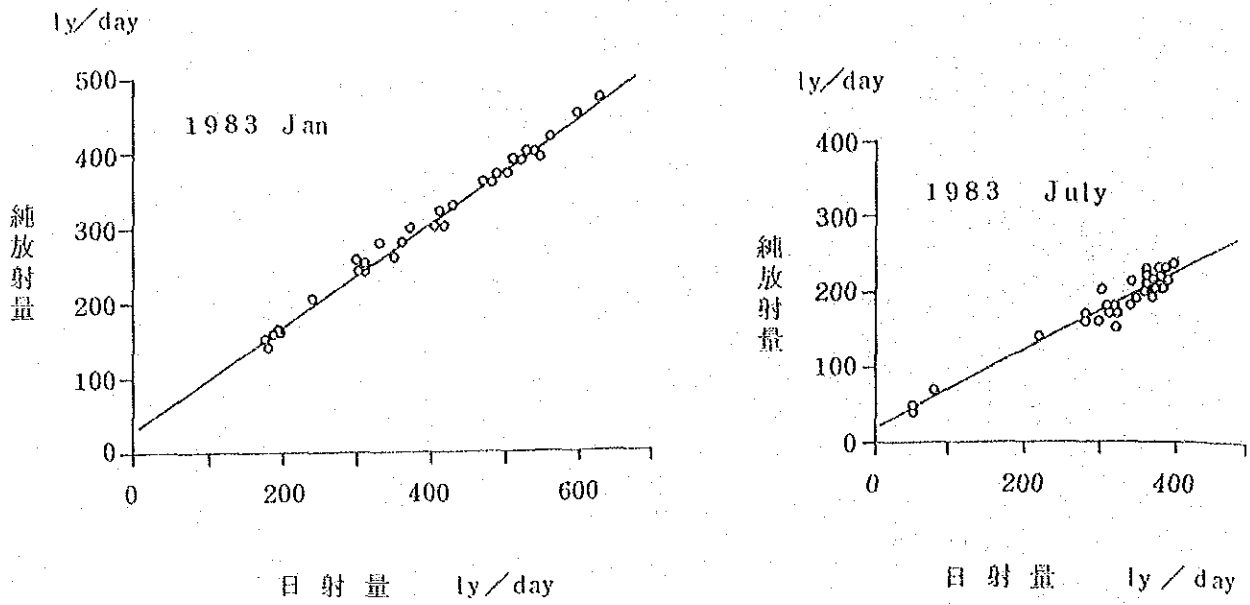


図 II - 10 純放射量と日射量の回帰関係

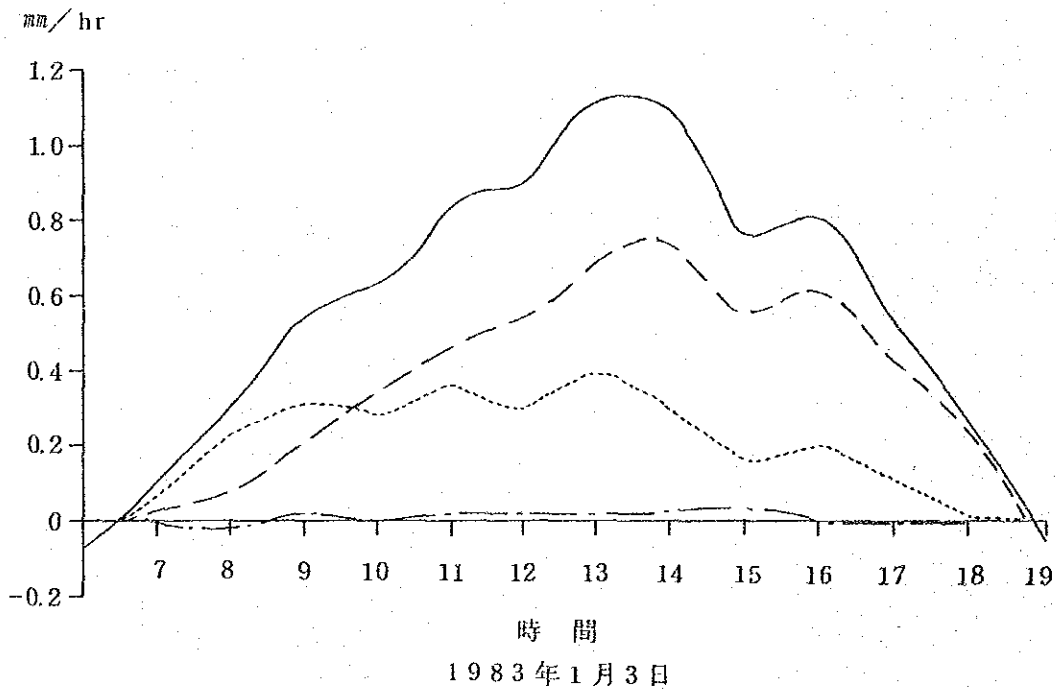


図 II - 11 蒸発散量の日変化

- - - - 蒸 発 散      ——— 純 放 射  
 ····· 顕 熱 伝 達      - - - 地 中 熱 流

なお、図II-9に示された反射率、純放射率は、世界各地の針葉樹林で報告されている数値に近似しており、その妥当性が明らかになった。

(d) 純放射量と日射量の関係

蒸発散研究において純放射量は不可欠の要因であるが、一般気象観測では測定されておらず、そのデータを入手することは難しい。それに対し、日射量データは入手が可能であるため、予め両者の関係が明らかな場合には、日射量から純放射量を知ることができる。したがって、その関係解析は純放射量データの不足や欠測を補うのに役立つ。もちろん、森林における放射収支の特性や構造を解明する上で重要であることは明白である。

図II-10に1月と7月の純放射量と日射量の関係を日量で示した。回帰式と相関係数はつぎの通りである。

$$1月 \quad R_n = 0.69Q + 31.0 \quad Cor. = 0.990$$

$$7月 \quad R_n = 0.51Q + 21.4 \quad Cor. = 0.959$$

ここで、 $R_n$ 、 $Q$ および $Cor.$ は、それぞれ純放射量、日射量、相関係数である。両月とも高い相関を呈するが、1月の相関はとくに高いといえる。回帰係数は1月の方が7月より大きくなるが、このことは図II-9の放射収支における純放射率の結果と符合する。以上のことから、年間を通して、日射量から純放射量を推定することが可能であると判断される。ただし、前述したように、回帰係数は季節変化を示すと考えられるので、月ごとまたは季節ごとに回帰式を決める必要があるだろう。得られた回帰式は、州内陸部の同一の樹種、気象条件下では適用可能であるが、異なる条件下については今後さらに検討を進めなければならない。

(e) 蒸発散量の日変化

蒸発散量の日変化の代表例として、図II-11に1983年1月3日の晴天日の様子を示した。まず純放射量は日出より少し遅れて負値から正值に転じ、日中13時頃にピーク値を示し、午後には減少し、日入前に再び負値に転ずる。そして、夜間は常に負値で推移する。この変化パターンは、季節によりピーク値などは異なるが、晴天日にはほとんど等しくなる。蒸発散量は蒸散活動が活発になる日中にピークをもつ凸型の変化を呈し、純放射量の時間変化にほとんど近似している。確かに、日出、日入時刻付近では、純放射の変化に蒸発散は追従しておらず、植物生理的な要因やその他の気象因子の影響も推察される。しかし、全体としては、両者の時間変化は相似的であり、蒸発散は純放射に強く依存していると考えられる。ただし、乾期には土壤水分の不足による蒸発散の抑制が発生すると考えられ、そこでは両者の時間的、量的な相似関係は崩れると予想される。そのため、乾季の蒸発散と純放射の関係については、土壤水分を踏えて、今後詳細に究明する必要がある。

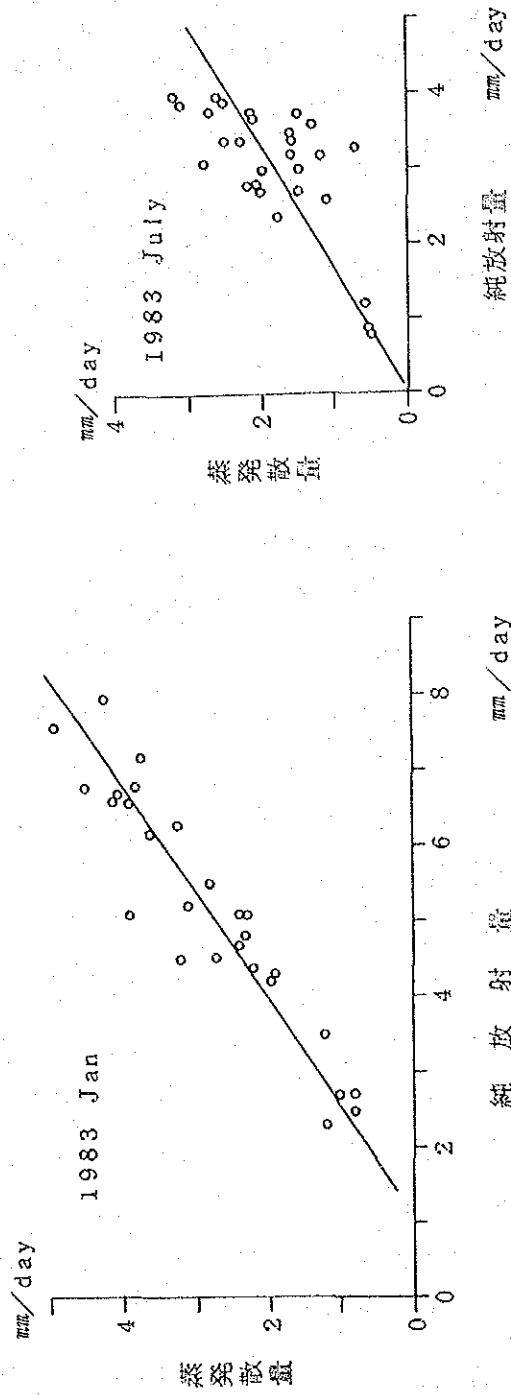


図 II-12 蒸発散量と純放射量の回帰関係

顕熱伝達量も概して日中に大きい凸型の変化を示し、純放射量や蒸発散量に似た変化をする。しかし、純放射との時間的対応は蒸発散量ほど明確なものでない上、量的にも蒸発散量より小さい場合が多いといえる。だがその時間変化の特徴として、午前中の早い時期には蒸発散量を上回る顕熱伝達量の出現がしばしば認められた。

地中熱流量は一日を通して変化に乏しく、一定の日変化が存在しない。大きさはほとんど0 mmとみなされ、横軸上に位置している。これには季節変化もほとんど認められなかった。それは閉鎖林分では、地中熱流量がほとんど無視できるほどに僅少で、熱収支式において省略可能であることを示唆しているといえよう。

#### (f) 蒸発散量と純放射量の関係

純放射量は蒸発散量を支配する主要因の一つであることが知られたので、ここでは両者の相関関係を検討する。熱収支法で計算された日蒸発散量と日純放射量の関係を図1-12に示した。夏期の1月は蒸発散量が5 mmに達する日もあり、蒸発散活動が盛んことがわかる。そして純放射量との相関も大体良好で、両者の回帰式はつぎのようになる。

$$E = 0.70 R_n - 0.801 \quad \text{Cor.} = 0.934$$

ここで、Eは蒸発散量を表わす。

この結果から、1月においては純放射量が蒸発散量を定める主因になりうると推察され、純放射量のみから蒸発散量が推定できると考えられる。

一方、7月は同図からわかるように、1月に比較するとバラツキが大きい。両者の回帰式は次式で与えられる。

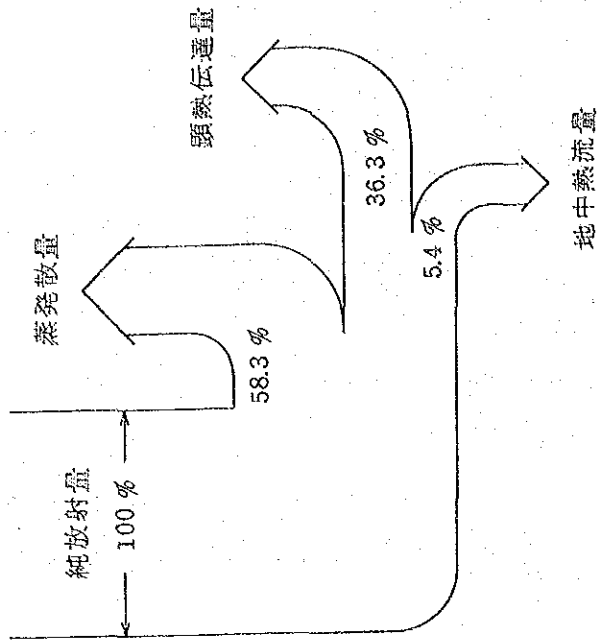
$$E = 0.61 R_n - 0.032 \quad \text{Cor.} = 0.706$$

これから、相関は低い、蒸発散量は純放射量の60%程度であることがわかる。7月は乾期に当るので、連日晴天日が続き、純放射量は大部分3~4 mm/日の狭い範囲に集中するが、それに比べ、日蒸発散量は1~3 mm/日と大きな変動を示す。7月に蒸発散量が小さいのは、樹木の蒸散活動が低下するためと考えられるが、両者の間のバラツキは、冬期には蒸発散現象が純放射のみでなく、例えば空中湿度、風速、土壤水分などの他の要因の影響が相対的に強くなるためと推察される。そのため、バラツキの原因については、冬期における他の月についても同様の解析を行い、その結果と種々の要因との関係分析からさぐる必要がある。したがって、現時点では7月の場合には、純放射量のみから蒸発散量を精度良く推定することは難しいと判断される。

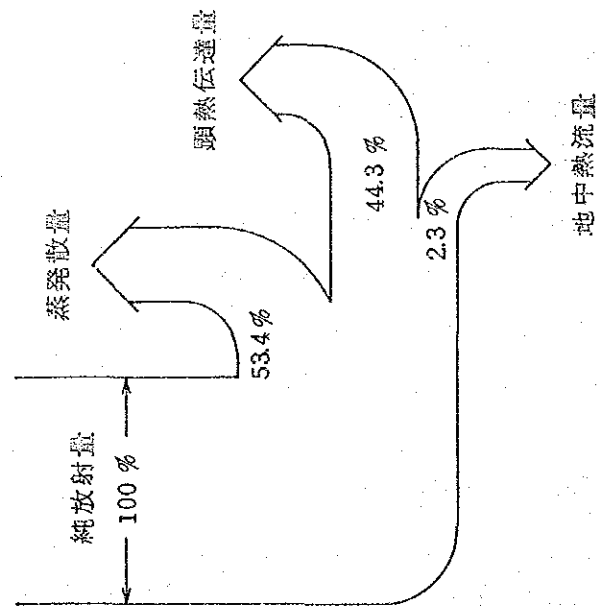
このような解析は、森林蒸発散量を簡便に推定する方法を見出す上で有効であるので、今後も継続することが大切である。

#### (g) エリオット松林の熱収支

エリオット松林に吸収された純放射量が、どのように配分、利用されたかを調べ、



1983 July



1983 Jan.

図II-13 エリオット松林の熱収支

純放射量に占める蒸発散量の割合を明らかにする。

図II-13に1月と7月の熱収支の実態を示した。ここで、顕熱伝達量は、純放射量から蒸発散量と地中熱流量を差引いて計算した。また、光合成、呼吸に利用されるエネルギーは、他の収支項に比べ、十分小さいとして省略した。

1月の場合、蒸発散量が53.4%、顕熱伝達量と地中熱流量がそれぞれ44.3%、2.3%という配分状況である。林分に取り込まれた純放射量の半分強が蒸発散に利用され、残りの大部分は顕熱に変化したこととなる。そして、閉鎖林分では地中熱流量が他の収支項に比べ、非常に小さいことがわかる。なお、1月の日平均蒸発散量は2.8mmであった。

7月の熱収支状況は蒸発散量、顕熱伝達量、地中熱流量がそれぞれ58.3%、36.3%、5.4%で、蒸発散量と地中熱流量がそれぞれ約5%、約3%増加し、その分顕熱伝達量が減少する結果であった。そして、7月の日平均蒸発散量は2.0mmであった。このように、7月にもかかわらず蒸発散量が大きいのには、表II-15の気象表に示したように、冬期でも気候が温暖であり、樹木の蒸散活動が停止しないためと考えられる。しかし、冬期は乾期に当るので、土壤水分不足による蒸発散の抑制が発生し易いと考えられる。そのため、蒸発散量の純放射量に対する割合が、常に夏期の割合に匹敵するか否かについては、冬期の気象環境、土壤水分を含めて、さらに詳細に解析しなければならない。

したがってここでは、蒸発散量の純放射量に対する割合は夏期、冬期ともおおむね等しく、50~60%程度であると結論する。

### (3) 森林蒸発散研究の問題点と今後の方向

本研究は昌頭で述べたように、森林水文試験法の一つとして、森林蒸発散に関する知識と熱収支法による推定法を移転することを主目的とする。まず、各種気象測器、蒸発散測定装置の取扱いと保守、管理については、2年間以上にわたり、ほとんど欠測のない、精度の良いデータを集積したという実績から、十分に理解されたと判断される。熱収支法による蒸発散推定法は、エリオット松林における放射収支構造、熱収支構造などの解析が進められ、その一部はすでに農業気象学会で発表されていることから考え、着実に成果が挙っているといえる。もちろん、今後も解析は進められるが、第1段階としては十分な成果であると評価される。

したがって、昌頭に述べた研究目的は、ほぼ、達成しえた結論される。ただ、この研究はさらに長期にわたり継続するとともに、さらに深化させなければならない。その場合の問題点を今後の方向も含めて触れることにする。

最初に気象測器と装置であるが、これらは時間とともに劣化し、精度の低下、故障の発生は避けられない。これらのうち、ブラジルでは修理あるいは入手困難な測器、部品があるた