

# 大規模森林回復技術調査 基礎調査報告書

(オーストラリア・インドネシア)

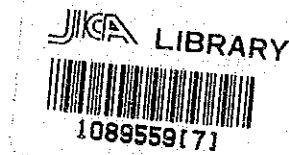
平成元年11月

国際協力事業団



# 大規模森林回復技術調査 基礎調査報告書

(オーストラリア・インドネシア)



22289

平成元年11月

国際協力事業団

国際協力事業団

22249

## 序 文

国際協力事業団は、航空機等を利用した大規模な森林回復技術についての基礎調査を昭和63年度にカナダ及びアメリカ合衆国において実施した。

本年度さらに、熱帯地域の湿潤地及び半乾燥地における航空機造林技術の現状把握と今後の技術開発課題を明確にするため、オーストラリア及びインドネシア共和国へ、平成元年9月17日より10月8日まで、基礎調査団を派遣した。

調査団は、両国政府関係者と協議を行うとともに、関連機関及び関連施設において調査及び資料収集等を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなった。

本報告書が、今後の海外林業協力事業に携わるものに広く活用されるとともにオーストラリア・インドネシアと我が国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものである。

終わりに、本件調査にご協力とご支援をいただいた関係者各位に対し、心より感謝の意を表すものである。

平成元年11月

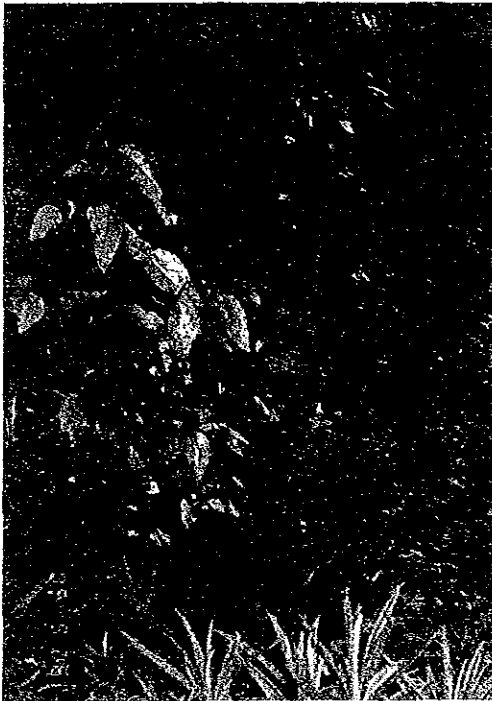
国際協力事業団  
林業水産開発協力部  
部長 近江克幸



<オーストラリア>



オーストラリアビクトリア州州有林。ユーカリ天然林の伐採跡地（ユーカリ・レグナンス）。整地，枝条焼却のあとヘリコプターで播種する。<オーストラリア>



播種後1年経過した高さ70cmのユーカリ・レグナンスの航空造林地 <オーストラリア>



播種後2年経過した高さ約1.5mのユーカリ・レグナンスの航空造林地 <オーストラリア>



播種後4年経過した高さ約4mのユーカリ・レグナンスの航空造林地。播種したレグナンスが天然生のアカシアを抑えて優勢になりつつある。<オーストラリア>







播種後約8年経過した高さ約8mのユーカリレプナンスの航空造林地。ユーカリがアカシアを抑えてユーカリ林になった。

<オーストラリア>

<インドネシア>



インドネシア中部 ジャワ パラプランの航空造林地。ギンネムは虫の害を受けて伐採した。

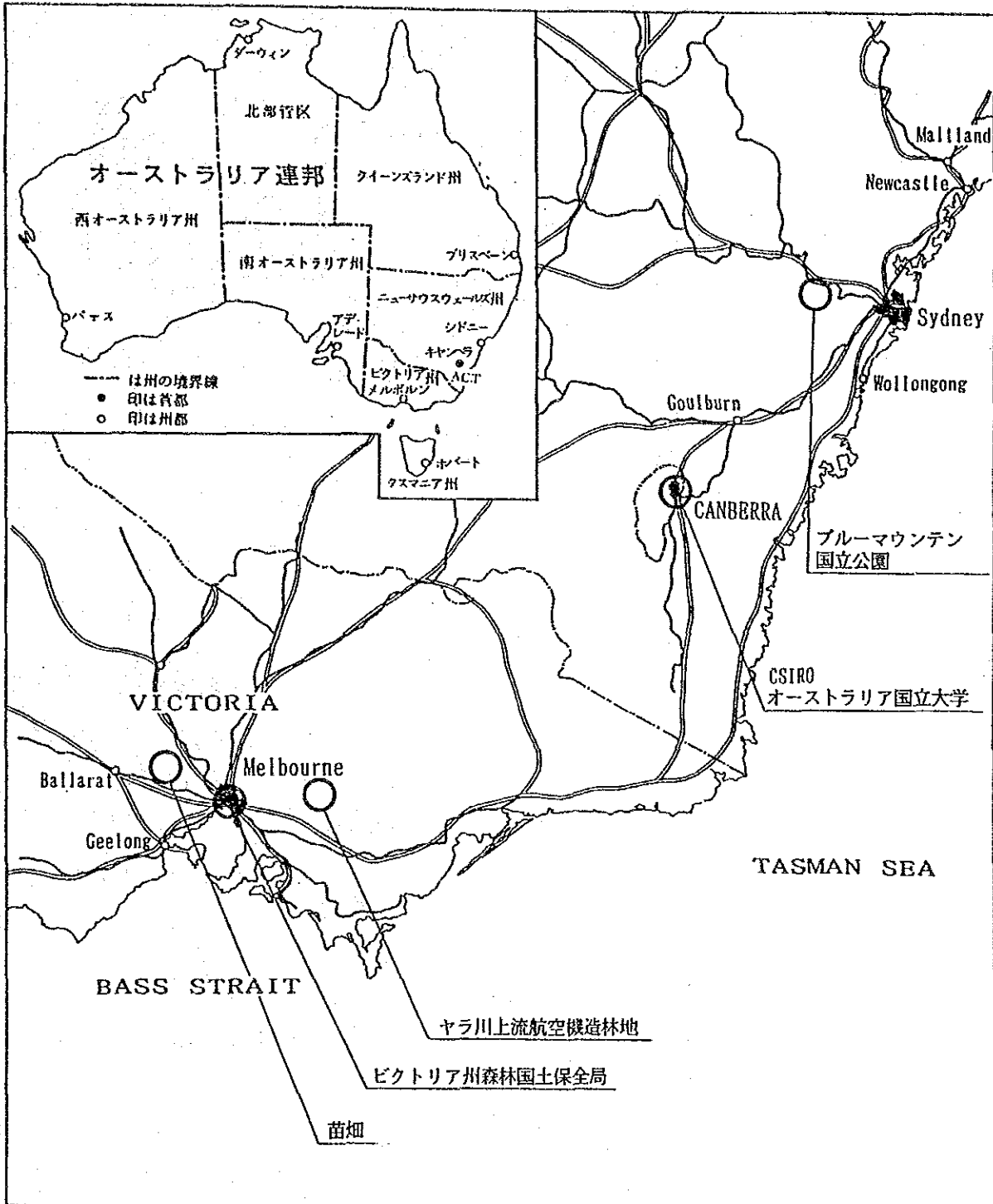
<インドネシア>



インドネシア中部ジャワパラプランの航空造林地。17年経過してアカシア・アウリカリフォルム林になっている。<インドネシア>



オーストラリア連邦現地調査位置図









# 大規模森林回復技術調査報告書

## 目 次

序 文	
写 真	
地 図	
1. 調査団の派遣	1
1-1 派遣の経緯と目的	1
1-2 調査団員の構成	3
1-3 調査日程	4
1-4 主要面談者	6
2. 要 約	8
2-1 オーストラリアにおける航空機造林の現状	8
2-2 インドネシアにおける航空機造林の現状	9
2-3 今後の技術開発	10
3. 現地調査結果	12
3-1 オーストラリアにおける航空機造林の現状	12
3-1-1 立地条件	12
3-1-2 種子加工及び地上作業	17
(1) 樹種選定	17
(2) 種子加工	17
(3) 地拵え	23
(4) 造林成績	23
(5) 種子の調達	24
3-1-3 航空機利用	26
(1) 航空機種	26
(2) 散布装置	28
(3) 飛行諸元	31
(4) 散布方法	31
3-1-4 画像利用	31
(1) オーストラリアで利用されている衛星画像の諸元	31
(2) リモートセンシングに関する研究・応用組織及び利用状況	32

3-2	インドネシアにおける航空機造林の現状	34
3-2-1	立地条件	35
3-2-2	種子加工及び地上作業	37
(1)	樹種選定	37
(2)	種子加工	37
(3)	地拵え	37
(4)	造林成績	37
(5)	種子の調達	40
3-2-3	航空機利用	41
(1)	航空機種	41
(2)	散布装置	41
(3)	飛行諸元	41
(4)	散布方法	41
3-2-4	画像利用	43
(1)	インドネシアで利用されている衛星画像の諸元	43
(2)	リモートセンシングに関する研究・応用組織及び利用状況	44
3-2-5	ラウ地域における航空機造林地の現状	48
(1)	立地条件	48
(2)	地拵え方法	49
(3)	種子散布時期	49
(4)	樹種及び散布種子	49
(5)	稚樹の発生率及び生長量	49
4.	今後の技術開発と検討課題	50
4-1	樹種選定及び種子加工	50
(1)	樹種選定	50
(2)	種子の確保	54
(3)	発芽促進方法	54
(4)	生長促進方法	55
(5)	コート種子の活用	58
(6)	その他種子散布材の検討	59
4-2	地上作業	59
(1)	地拵え	59
(2)	保育	61
4-3	航空機利用	62



(1) 種子散布	62
(2) 航空機造林技術体系の確立	62
4-4 画像利用	63
(1) 基本的な考え方	63
(2) リモートセンシングとその利用	63
(3) 航空機造林対象適地の判定	71
(4) リモートセンシング利用の有効性について	73
4-5 特定地域を想定した航空機造林技術	78
4-5-1 立地条件	79
4-5-2 想定される技術基準	81
4-5-3 航空機造林に必要な経費	90
(1) オーストラリアの実施例	90
(2) 航空機造林経費の計算	93
5. 今後への提言	99
(1) 航空機による種子散布の留意点	99
(2) 主林木の選定	99
(3) 種子加工と地上作業	99
(4) 種子の確保	100
(5) 現地試験	100
(6) 今後の技術調査の必要性	100
附属資料	101
1. 世界諸国の航空機造林事例	101
1-1 中国における航空機造林	101
1-2 ネパールにおける航空機造林	106
1-3 ソビエト連邦共和国における航空機造林	109
1-4 わが国における航空機造林	109
1-5 農業における航空機直播	118
2. 半乾燥地及び熱帯の直播き造林	120
3. 質問表	132
4. 資料リスト	137
4-1 オーストラリアで収集した資料リスト	137
4-2 インドネシアで収集した資料リスト	149
5. 航空機造林に関する収集文献の要約(オーストラリア)	150



# 1. 調査団の派遣

## 1-1 調査団派遣の経緯と目的

### 1-1-1 経緯

- (1) 近年の熱帯林の減少は、地球的規模の環境問題として広く認識され、それへの対応が強く求められている。熱帯地域における森林の減少は、年平均1130万ヘクタールと推定されているが、一方、人工造林は年平均100万ヘクタール程度に過ぎず、この異常な格差に加え、累積された広大な荒廃地の放置の状況から、大規模な森林回復を早期にかつ低コストで行なう必要がある。
- (2) 大規模な森林回復を行なうに当たって、従来作業体系では非効率的であること等から、既にカナダ、オーストラリア等で行なわれている加工種子および航空機等を利用した森林回復技術を参考とし、熱帯地域に適合する新たな技術体系を導入する必要がある。
- (3) なお、航空機を利用した森林回復技術を事業的あるいは試験的に行なっている国は、アメリカ、カナダ、オーストラリア、日本、インドネシア、中国ナイジェリア及びインドの8か国にわたっている。

### 1-1-2 目的

昭和63年度にカナダ及びアメリカにおいて行なった基礎調査を参照し、本年度は、熱帯地域の湿潤地および半乾燥地における航空機造林技術の現状把握と、今後の技術開発課題を下記調査項目により明らかにするために派遣することとする。

#### <調査内容>

#### (1) オーストラリア

##### ア. 航空機造林の実例

- a. 技術体系（環境問題、特許権等も含む）
- b. 費用効果

##### イ. 航空機造林に関する資料収集

##### ウ. 種子の購入

##### エ. 種子の採取、精選、貯蔵、輸送技術

##### オ. コーティング技術

##### カ. 航空機利用、散布装置等

##### キ. 航空写真及びリモートセンシング画像の森林施業への利用状況

##### ク. 適地判定技術

##### ケ. 今後の技術開発課題等の取りまとめ

(2) インドネシア

- ア. 航空機造林の実例
- イ. 航空機造林の予定地
- ウ. 種子の採取、精選、貯蔵、輸送技術
- エ. 航空機の利用状況
- オ. 航空写真およびリモートセンシング画像の利用状況
- カ. 適地判定技術
- キ. インドネシアの特定地域における技術基準等の取りまとめ

<調査対象国の選定理由>

(1) オーストラリア

オーストラリアの航空機造林技術は、同国原産の広葉樹であるユーカリ類を対象にしている。ユーカリ類は、乾燥地及びやせ地にもよく適応する樹種が多いため、現在開発途上地域における最も重要な造林樹種となっており、今後、同地域における航空機造林の、有力な対象樹種となることが予測される。

したがって、今後、熱帯地域に適合する航空機造林技術の体系化を進めるに当たり、オーストラリアにおけるユーカリ類の航空機造林技術を調査することは、有意義な知見を与えてくれるものと考えられる。

(2) インドネシア

開発途上地域における航空機造林の試験成功例は、きわめて少ないが、インドネシアではジャワ島における2つの実験例が報告されている。

また、南スマトラには広大な面積のアランアラン草原が広がっており、航空機造林の予定地として考えられている。

よって、インドネシアにおいては熱帯降雨林地域における航空機造林地と、同予定地を調査することにより、熱帯地域に適合する技術基準を作成するうえで、具体的かつ有効な情報が得られるものと考えられる。

<調査団訪問先>

(1) オーストラリア

- キャンベラ ・ C S I R O 森林研究部
- ・ C S I R O 森林研究部種子センター
- メルボルン ・ ビクトリア州自然保護森林国土省森林国土局
- ・ ビクトリア州森林研究所
- ・ ビクトリア州航空機造林地

(2) インドネシア

- ジャカルタ ・ 林業省造林総局

ボゴール ・林業省森林研究所  
・種子技術センター  
バラプラン (中部ジャワ) 航空機造林地  
ブナカット (南スマトラ) 航空機造林予定地

## 1-2 調査団員の構成

### 1) 団長、総括 (Leader)

秋谷 孝一 農林水産省 森林総合研究所森林環境部長

### 2) 業務調整 (Coordinator)

白石 英一 国際協力事業団林業水産開発協力部林業開発課課長代理

### 3) 業務調整 (Coordinator)

三苦 英太郎 国際協力事業団林業水産開発協力部林業開発課課長代理

### 4) 種子加工 (Seed Processing)

岩川 幹夫 (社) 日本林業技術協会 調査第三部主任研究員

### 5) 地上作業 (Land Preparation)

大山 浪雄 (社) 日本林業技術協会 国際事業部主任研究員

### 6) 航空機利用 (Operation of Aircraft and Seeder)

栗田 章 (社) 日本林業技術協会 技術開発部主任研究員

### 7) 画像処理 (Remote Sensing)

加藤 仁 (社) 日本林業技術協会 調査研究部課長代理

上記団員を次のとおり編成し、派遣した。

オーストラリア: 9/17~9/28 1) 2) 4) 6) 7)

インドネシア: 9/28~10/8 1) 3) 5) 6) 7)

1-3 調査日程

全日程 9月17日～10月8日

(オーストラリア 9月17日～9月28日)  
(インドネシア 9月28日～10月8日)

9月17日	日	東京----	移動 (NH 913 20:50 発)	
9月18日	月	---- シドニー	移動 (07:10 着) JICA事務所打合わせ、総領事館表敬	
9月19日	火		ユーカリ天然林視察 BLUE MOUNTAINS	
9月20日	水	シドニー----キャンベラ	大使館表敬、CSIRO表敬	
9月21日	木		CSIRO森林研究部、種子センター調査	
9月22日	金		種子購入、資料収集	
9月23日	土	キャンベラ----メルボルン	移動	
9月24日	日		団内打合せ、資料整理	
9月25日	月		V州国土森林局表敬、調査打合せ	
9月26日	火		航空機造林地現地調査	
9月27日	水		総領事館表敬 種子加工作業及び散布装置等調査	
9月28日	木	(インドネシア班) メルボルン----ジャカルタ  (オーストラリア班) メルボルン	(インドネシア)	(オーストラリア)
			移動 (QF 041)	資料収集整理
9月29日	金	(インドネシア班) ジャカルタ (オーストラリア班) メルボルン----東京	JICA打合せ	移動: 帰国 (QF 089)
9月30日	土	ジャカルタ	林業省表敬 種子技術センター調査	
10月1日	日	ジャカルタ→テマラング テマラング→バツラダン	(GA 414、10:20発) 移動 (中部ジャワ) テマラング-バツラダン間、車で4時間	
10月2日	月	バツラダン→バラプラン バラプラン→テマラング	航空機造林地調査	

10月3日	火	テマラング→ジャカルタ →パレンバン	(GA 417、12:10発 13:05着予定) 移動(南スマトラ)
10月4日	水	パレンバン----ブナカット	航空機造林予定地調査
10月5日	木		航空機造林予定地調査
10月6日	金	ブナカット----ジャカルタ	移動
10月7日	土	ジャカルタ----	大使館、JICA事務所報告、取りまとめ (GA 872、22:45発)
10月8日	日	----東京	帰国(08:00着)

1-4 主要面会者

(1) オーストラリア

Dr. Ta-Yan Leong	CSIRO 国際研究協力センター副主任
Dr. Alan G. Brown	“ 林産課副主任
Dr. Stephan Midgley	“ オーストラリア林木種子センター主任
Dr. Robin Cromer	“ 亜熱帯ユーカリ植林計画主任研究員
Dr. Douglas J. Boland	“ 林業プロジェクト上級研究員 (ACIAR)
Dr. Khongsak Pinyopusarerk	“ 林業プロジェクト研究員 (ACIAR)
Dr. John W. Turnbull	ACIAR 林業計画コーディネーター
Dr. Christopher E. Harwood	CSIRO 研究員
Dr. Ken Eldridge	“ 主任研究員 (遺伝)
Dr. Trevor H. Booth	“ 植物生産・加工研究所
Dr. G. B. Wood	オーストラリア国立大学林学科教授
Dr. Michael U. Slee	“ 育種学/熱帯造林学教授
Dr. Ken Shepherd	“ 講師
Mr. Neil Wilson	ヴィクトリア州森林・土地保全局自然林経営課
Mr. R. P. Smith	“
Mr. Peter Goodson	“ リモートセンシング
Mr. Ross Potter	“
伊藤 勝	シドニー総領事館首席領事
中村	“
伊藤和敏	日本大使館参事官
吉野	“ 書記官
川瀬正夫	メルボルン総領事館総領事
江渡 浩	“ 副領事
青山 豪	JICA オーストラリア事務所所長

(2) インドネシア

Ir. Waskito Suryodibroto	林業省造林総局秘書
Ir. Asep Suwarna Mse	“ 技術協力係長
Ir. Suparmo Darmo	“ 計画局国際協力課長
Ir. Widji Santosa	“ 計画局局二国間協係長
鈴木康之	JICA 専門家
Ir. Wardono Saleh	林業公社総裁
Mr. Mock. Mas'ud	“ バラプラン営林署長



Dr. Ir. Ombo Satjapradja, M. Sc

林業研究開発センター所長（ボゴール）

Mr. Soedarijanto

造林技術センター所長（南スマトラ）

Mr. Casmir Rachman

南スマトラ州林政局

五百木 篤

大使館一等書記官

北野 康夫

JICA インドネシア事務所所長

田口 徹

” 次長

稲葉 誠

” 担当

## 2. 要 約

### 2-1 オーストラリアにおける航空機造林の現状

キャンベラのCSIRO及びオーストラリア国立大学、メルボルンのビクトリア州保全森林国土局及びマセドン苗圃、ヤラ州有林を訪問して、航空機による種子散布に関する調査を行い、下記の結果を得た。

#### 1) 種子及びその加工

オーストラリアで造林の主林木となるユーカリの種子は、造林対象地と気温、降水量、土壌型、土壌深等の条件が類似している産地から採取したものが生長が良く、条件が異なる産地の種子は同一品種のユーカリであっても良い結果は得られない。

産地を指定して同一品種のユーカリの種子を大量に必要とする場合、特定産地種子の大量在庫がないため、事前に計画的な手配を行う必要がある。

オーストラリアの航空機による種子散布ではユーカリの種子だけが使用されている。また、散布の際の種子の加工は行われていない。

#### 2) 航空機利用

航空機による種子散布は、20~40ヘクタールのユーカリ (*Eucalyptus regnans*) を主林木とする天然林の皆伐跡地の地表をブルドーザーで整地し、末木枝条を焼却した後に行っている。

航空機は1987年以降、飛行機をヘリコプターに変更した。変更した理由は、環境保全的な見地から1伐区の面積が小さくなったためである。

ヘリコプターはベル 206Bを使用し、1日6時間の飛行で約600ヘクタールの散布を行う。

散布装置は、カナダ製の装置を改良して使用し、良好な作動結果を得ている。

飛行機による航空種子散布のマニュアルはあるが、ヘリコプターによる航空種子散布のマニュアルは作成中である。

#### 3) 画像処理

ランドサット (MSS、TM) 及びスポットデータの森林・林業への利用としては、植物の含水状態を判読し、林野火災の警報等に用いているが、その他の森林・林業への適用事例は少ない。

空中写真は、伐区の決定に利用されているが、航空機による種子散布は伐採跡地を対象に行うため、空中写真を利用する直接の必要性がない。

#### 4) 全般的事項

ビクトリア州のユーカリの航空機種子散布では散布後、手まきあるいは苗木の補植による

手直しを行う。種子散布後6年でユーカリが明らかに優勢になり、林相が確定する。

当地の研究者・技術者の航空種子散布に関する意見は、「オーストラリアで航空種子散布に適する場所は、伐採跡地か林野火災跡地」である。

ビクトリア州の他ではタスマニア州とニュー・サウス・ウェールズ州で航空機による種子散布を行っている。

ビクトリア州における航空機種子散布の過去における実績は約1万5,000ヘクタール、現在、年間約1,000ヘクタールの種子散布を行っている。

## 2-2 インドネシアにおける航空機造林の現状

ジャカルタの林業省、林業公社、ボゴールの林業試験場、バラプランの林業公社事務所、パレンバシの林政局、ブナカットの造林地を訪問して航空機による種子散布に関する調査を行い、下記の結果を得た。

### 1) 種子及び地上作業

中部ジャワ・バラプランの航空機種子散布対象地はチーク造林不成績地で、アランアラン草原となった丘陵地約370ヘクタールを1972年に種子散布が実行された。

種子散布に先立って、耕起区50メートル、不耕起火入れ区100メートルの帯状の地表処理を交互に行った。散布後17年経過した現在の現地状況では、地表処理の違いによる対象地の成績の差は認められなかった。

使用した種子は、アカシア・アウリカリフォルムス (*Acacia auriculiformis*)、リュウカエーナ・リュウコセファーラ (*Leucaena leucocephala*)、カリアンドラ・カロシルサス (*Calliandra calothyrsus*)、セスベニア・グランディフロラ (*Sesbania grandiflora*)、ダルベルギア *Sp.* (*Dalbergia spp.*)、メルクシマツ (*Pinus merkusii*)の6種類である。

航空機による種子散布を行った時期は、12月上旬で雨期(11~4月)の始めである。

### 2) 航空機及び散布装置について

航空機は農業省所有の飛行機を使用し、現地から約50キロメートル離れたシルボン飛行場を基地として使用した。

地表の帯状処理に対し、直角に飛行散布した。散布は種子別に繰り返し行った。

地表には、飛行標識及び種子の散布状況を調べるためのトラップを設置した。

### 3) 画像処理

国内の地形図、地質図、土壤図の整備が進められており、航空機による種子散布の対象地の条件を規定すればこれらの資料を利用することができる。

ジャカルタでJICAの農業開発リモートセンシングプロジェクトが1980年から行われ、ランドサット(MSS)データ解析の基礎的技術の伝達と土地利用図の作成、農業生産力の判定などの協力が行われている。

1972年のパラプランにおける航空機種子散布の際にはリモートセンシングは利用されていない。

#### 4) 全般的事項

種子散布後7年までの調査では、複数の樹種の発芽・生育が観測されているが、17年後の現在、林分を構成しているのはアカシアまたはギンネムで、後者は最近虫害に見舞われ伐採された。

航空機による種子散布の実績は、パラプランのほか、西部ジャワのマジャレンカ、東部ジャワのラウ（以上は林業公社による実行）、ティモール島のヌサテンガラ、東部ジャワのケドリ（以上は州政府による実行）の5箇所である。

今後の航空機による種子散布予定は、中部スラウェシ5万ヘクタール、チモール島30万ヘクタールを計画している。この計画の背景としては、インドネシアの第5次造林5ヵ年計画で、190万ヘクタールの造林が予定されている点が挙げられる。

### 2-3 今後の技術開発

熱帯、亜熱帯の多雨林における航空機種子散布の対象地のモデルとして、ブナカットのアララン草原を想定し、年間1万ヘクタール規模の航空機による種子散布の技術体系について検討した。

#### 1) 種子加工及び地上作業

種子については、雑草に負けない生長を示す主林木と、せき悪地に適したその他の樹種の混播が考えられる。主林木には、著しい生長を示すアカシア、その他では肥料木としてギンネムなどマメ科の樹木を使用するのが適当と考えられる。

種子加工は、地表処理を行わない場合や簡易な地表処理で航空機種子散布を行う場合に必要である。種子を土、有機質、化学肥料によって包む構造で固形粒子を作成し、これを散布する方法が考えられる。種子加工の要否は地表処理の有無あるいはその程度に関係する。

地表処理は、種子散布の主林木と既存の草・灌木等の植物とのハンディキャップをなくし、種子の着床、発芽条件を整えるために必要であるが、機械による耕起、火入れなど各種の処理方法があり、経費面との兼ね合いや種子加工の有無等の条件によって決まる。熱帯・亜熱帯の多雨地帯の航空機種子散布では、なんらかの地表処理が必要である。

#### 2) 航空機利用

飛行機の利用は種子加工を行わない場合に考えられる。但し、比較的簡易な種子加工を行い大面積の対象地に散布する場合は飛行機を利用することも考えられる。また、ユーカリのように微粒の種子は落下速度がおそく、風の影響で落下地点が一定しないため、種子加工を行わない場合でも飛行機による散布は好ましくない。

飛行機で複数の種類の種子を同一対象地に散布する場合には、種子を種類別に散布する方

法が適切である。

種子加工を行った種子の散布は、種子加工の経費を考慮すると必要最小限度の粒数を対象地に正確に散布し、種子の無駄を無くする必要があるためヘリコプターの採用が望ましい。対象地の面積が数十ヘクタール以下の小面積である場合や地形の起伏が激しい場合も同様の理由でヘリコプターの採用が適当である。

散布用の装置については、各種の種子の散布及び加工種子の散布いずれの場合も従来の林業用、農業用の種子散布装置を改良する方法で容易に製作し得る。

### 3) 画像処理

草や灌木の繁茂の状況や地形の判読、適用樹種を定めるための調査は、空中写真判読を主体とし、地形図、土壌図等既成の資料を組み合わせることで航空種子散布適地の判定及び適用樹種の決定が行い得る。

ランドサットデータの利用では、赤外波長を利用した土地利用区分や土壌水分の判読が可能であり、これらデータは適用樹種選定に役立つほか、種子散布の適期を把握する際に利用できる。

### 4) 全般的事項

航空機による種子散布によって、苗木の植栽による造林と同等の成果を得ようとすれば、適切な種子の選定、雨期の始まりの播種とともに地表処理を完全に行わなければならない。その場合、地表処理の費用がかさみ、経費面での航空種子散布のメリットは小さい。ここで、経費との兼ね合わせで、成果の期待レベルをやや低下させると、然るべき種子加工技術とラフな地表処理の組合せ、もしくは带状種子散布の発想が成り立つ。言い換えると航空機による種子散布の経費に一定の制約がある場合に、技術面の完璧さをある程度とり崩しながら一応の森林造成を行うことが可能である。

本調査では、インドネシアのスマトラ島ブナカットをモデルに想定した航空機による大規模森林造成の経費を、種子加工、地上作業、航空機の種類をそれぞれ変えて組み合わせ別に算出した。経費面で一定の条件が与えられた場合、実行可能な組み合わせをこれによって指摘することができる。

## 3. 現地調査結果

### 3-1 オーストラリアにおける航空機造林の現状

オーストラリアの天然林面積は2億ヘクタールといわれ、その90パーセント以上がユーカリ林(600種以上)である。森林が成立するには年間500ミリメートル以上の降水量が必要であり、その分布域はオーストラリアの海岸線沿いに不規則な形で存在している。しかし、経済林としての価値を持つ森林となると年間750ミリメートル以上の降水量がある地域に限定され、その面積は4千3百万ヘクタール(79パーセントが公有林、21パーセントが私有林)である。

人工林は1988年現在90万ヘクタール(75パーセントが公有林、25パーセントが私有林)であり、その70パーセント以上はラジアータマツ林である。

オーストラリアは7州よりなる連邦国であるが、そのうち航空機造林を実行している州は、気候も温暖で森林が多く残っているオーストラリア南東部のビクトリア州、タスマニア州及びニュー・サウス・ウェールズ州である。今回の現地調査では、このうちビクトリア州における航空機造林の現状を主として、首都キャンベラにあるCSIROなどでの調査を行ったものである。

#### 3-1-1 立地条件

ビクトリア州は総面積22万7,600平方キロメートル、人口約426万人(メルボルン市約260万人)、人口密度は18.7人/km<sup>2</sup>である。

森林面積は、1869年には1998万3,000ヘクタールあり、ビクトリア州の88パーセントを占めていたが、1987年には796万5,580ヘクタール(うち88パーセントが公有林、12パーセントが私有林)で、35パーセントにまで減少している。この原因としては、ヨーロッパからの移民によるメルボルン周辺から始まった過放牧、ゴールドラッシュによる土地開発、牧草地及び農地の拡大があげられる。

また、衛星データ解析によると1972年から1987年の15年間に23万874ヘクタールのユーカリなどの天然林がなくなり、6万9,380ヘクタールのラジアータマツなどの造林が行われた。

このようにビクトリア州のほとんどは州有林であり、その管理運営は森林国土保全局の森林経営課(Department of Conservation Forests & Lands, Native Forests & Management Section)が行っている。

ビクトリア州で航空機造林を実行した地域のうち、今回現地調査を行ったのは図-1に示すように、州都メルボルンから東へ約80キロメートル入ったメルボルン市内を流れるヤラ川の源流部(メルボルン市及び周辺の町の水源林)にあたる森林地帯(ヤラ州有林)である。当地域の森林は、上層は各種のユーカリ(*Eucalyptus regnans*, *E. obliqua*, *E. nitens*, *E. delega-*

tensis、E. vitens、E. radiata など）が、また下層には各種のアカシア（Acacia dealbata、A. frigescens、A. melanoxylon、A. obliquinerriaなど）が優占しているユーカリの天然林（山火事等跡地の天然更新）であり、最近における航空機造林地は、自然景観維持を考慮しながらのユーカリ天然林を伐採した跡の伐区(coupe)を対象としているため、1団地の面積は20～40ヘクタール程度で分散している。

現地調査をした数箇所の航空機造林地は、海拔高は約 500～700メートル、傾斜は緩～中、地質は Silurian 時代の頁岩及び砂岩よりなる堆積岩で、土壌はローム質の乾性褐色森林土壌で腐食層は比較的厚い。

当地域周辺の気象は観測されていないため、メルボルン（航空機造林地より西方約80キロメートル）とバッファロー山及びその近くのクロッパー谷（同造林地より東北約 140キロメートル）の観測値を下記に示す。

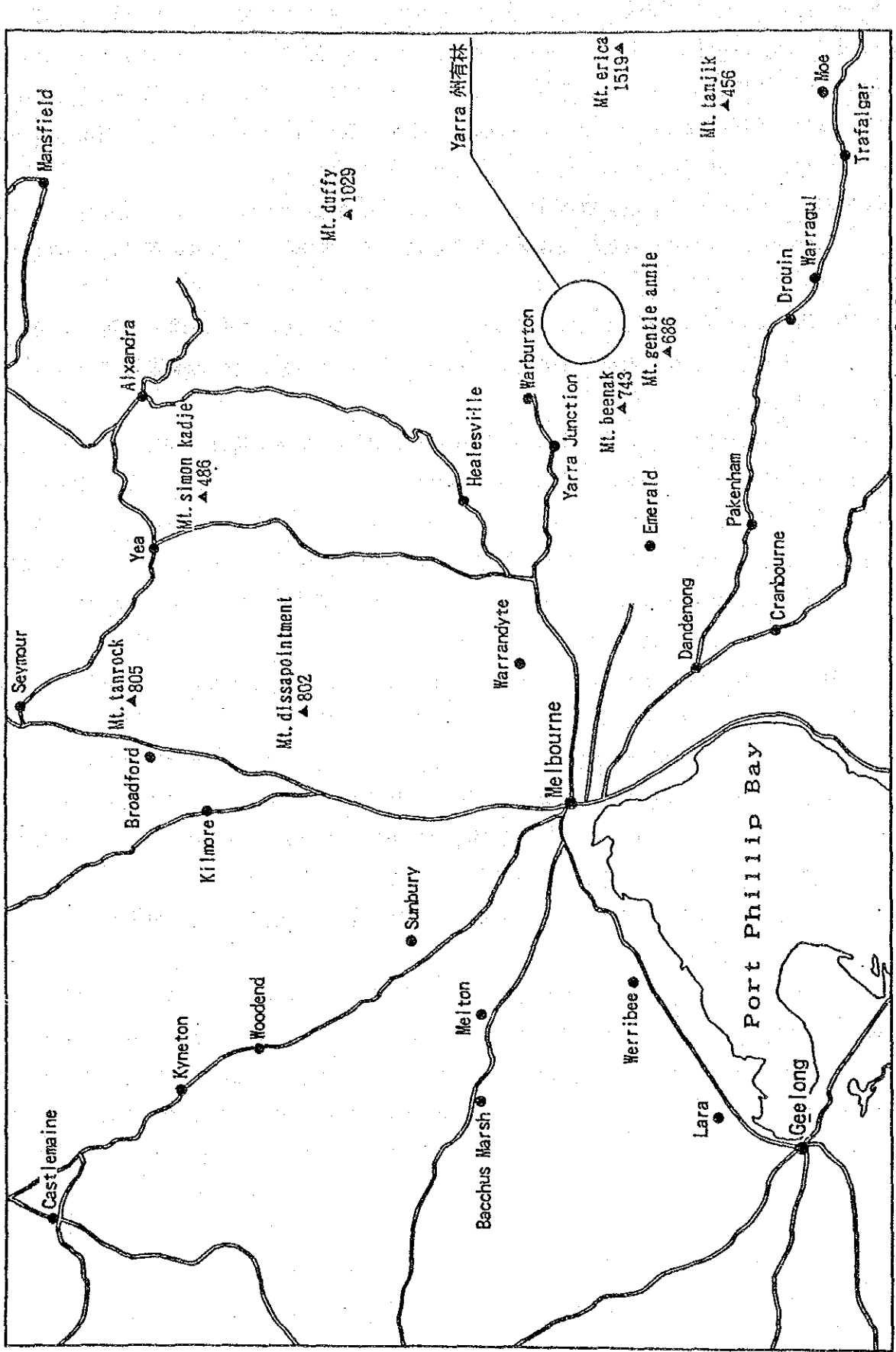
表-1は、平野部に位置するメルボルンの気象である。年間降水量は 720ミリメートル、年平均気温は15℃、年平均湿度は65パーセントである。

図-2及び表-2は、山岳地のバッファロー山及びその近くのクロッパー谷の気象である。場所及び年により降水量に差はあるが、概して年間 1,000ミリメートル以上で、夏に集中的に強い雨が降る。積雪量を加算するとバッファロー山では年間約 1,900ミリメートル、クロッパー谷のエラ沢では年間約 1,300ミリメートル前後である。また、バッファロー山における斜面方位別の年平均降水量を観測した例があり、それによると北傾面 860ミリメートル、東傾面 1,073ミリメートル、南傾面 1,185ミリメートルとかなり異なっている。

ビクトリア州にはほぼ中央部を東西に走る山地があり、南からの湿った風がこれらの山地にあたり、ビクトリア州の南半分はウェットゾーン、北半分はドライゾーンに大別される。そのため、ウェットゾーンの森林の林木は生長量は良好であるが材としては劣っており、他方ドライゾーンの森林では生長量は劣るものの材としては優れているという。

当地域の森林地帯はちょうどその両者の特徴を備えており、乾燥する北斜面では森林の生産量は低く、逆に南斜面は高い。

航空機造林地への交通手段は、現在ではメルボルンからハイウェイ、主要道路、良好に整備された林道等が利用でき、非常に良好である。しかし、これはビクトリア州の約1/2の森林を焼いた1939年の大火災を契機として発達してきている。第2次世界大戦以前の木材搬出は谷等の自然地形を生かしての人力及び馬等によるtramlinesであったが、その路線はこの大火災で消失した。そして1940～1950年代に入って公道や林道のネットワークが整備されたのである。



图一 I 航空機造林地位图



表-1 メルボルンの気象

単位：℃、%、mm

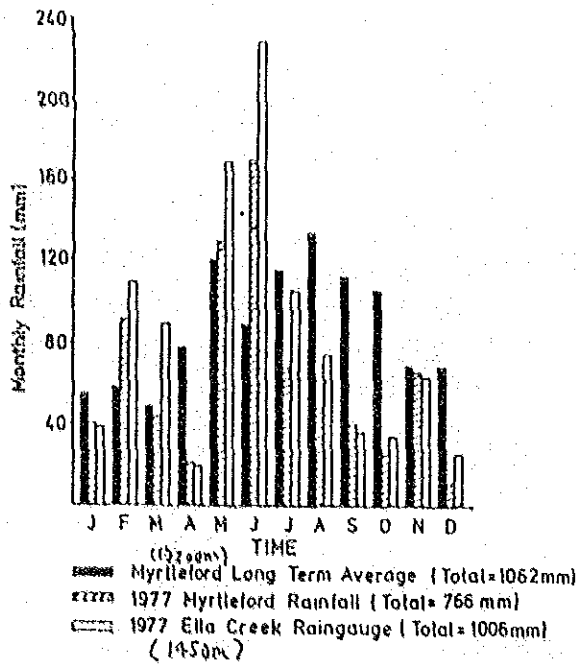
地名 区分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
メルボルン 気温	20.5	20.0	18.9	15.6	12.3	11.0	9.8	10.6	12.4	14.4	16.1	18.6	15.1
湿度	56	61	63	69	71	73	73	71	65	63	61	57	95
降水量	50.5	48.8	39.2	57.9	78.0	48.0	58.8	62.3	71.7	78.8	74.0	56.7	720.5

気温：1951-1963年平均

資料：理科年表 1988

湿度：1931-1960年平均

降水量：1951-1963年平均



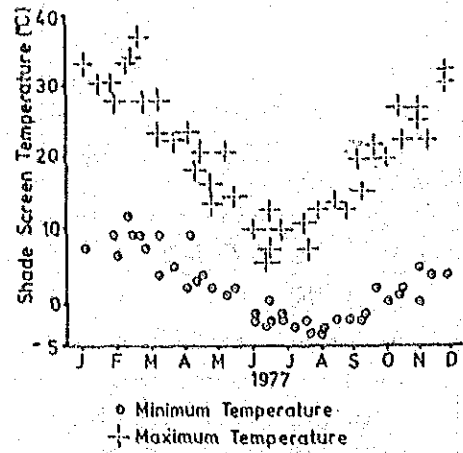
(その1) Long term monthly rainfall average and 1977 monthly rainfall average for the town of Myrtleford, and 1977 monthly rainfall recorded at Ella Creek Weir

図-2 クロッパー谷の気象 (その1~その3)  
Source: THE HYDROLOGY OF SMALL FORESTED CATCHMENTS IN NORTH EASTERN VICTORIA FORESTS COMMISON, VICTORIA, 1979

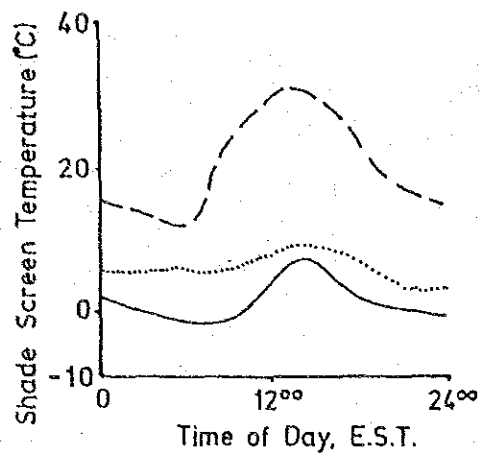
表-2 バッファロー山の気象

Monthly rainfall at the Mount Buffalo Chalet during 1972 and 1973, and the long-term average

	1972 (mm)	1973 (mm)	Average (mm)
January	84	145	82
February	87	413	95
March	35	124	106
April	123	316	136
May	82	196	192
June	59	296	219
July	261	202	223
August	182	320	226
September	54	280	190
October	45	335	193
November	70	84	134
December	5	123	110
Annual Total	1089	2854	1892



(その2) Maximum and minimum screen temperatures between weekly service visits at Ella Creek Weir for 1977.



--- Summer Day (9/2/77)

--- Winter, Cloudy (7/7/76)

--- Winter, Cloudless (16/7/76)

(その3) Selected examples of the daily air temperature variation at the Ella Creek Weir.

### 3-1-2 種子加工及び地上作業

#### (1) 樹種選定

オーストラリアにおける航空機造林はビクトリア州、タスマニア州およびニュー・サウス・ウェールズ州等で行われているが、使用樹種は *E. regnans* を主とする *Eucalyptus* 類である。

これは、上記の地方はオーストラリアにおける主要な森林地帯であるとともに、*Eucalyptus* 類が全域的に優占林分を形成する郷土樹種であること、形質のよい優良な樹種が活用できること、生長が早く成林しよいこと、などからである。主な樹種としては、

<i>Eucalyptus</i>	<i>regnans</i>
E.	<i>delegatensis</i>
E.	<i>camaldulensis</i>
E.	<i>grandis</i>
E.	<i>globulus</i>
E.	<i>nitens</i>
E.	<i>obliqua</i>

などである。

なお、*Acacia*類は、*Eucalyptus*類と混生し林分を構成する主要樹種の一つで、かつてはタンニン資源樹として利用されたが、その需要が減少したため、現在は重要視はされていない。また現地でも自然落下する種子や埋土種子が、火入れ地拵えや山火事等によってもよく発芽するため、航空機造林には使われていない。

#### (2) 種子加工

##### 1) 種子コーティング

オーストラリアにおける森林伐採は、近年小面積伐採に移行している。これに伴って航空機造林にはヘリコプターが使用されているが、ヘリコプターは飛行高度が低く、散布種子の地表への定着率が良好なため、現在は種子のコーティングは行われていない。

しかし、*Eucalyptus*類の種子は微粒（軽量）であることや、小動物による食害が多く、幼苗は菌害を受け易いこと等もあるため、飛行機を使用した従前の実播にあっては、現場作業による簡易な種子コーティングが行われた。

これは航空機造林の先進地域であるカナダやアメリカで行われた方法に準じたものである。すなわち、種子を加重するための資材（カオリン等）と防虫剤（エンドリン等：現在は使用されていない）を混ぜたスラリーと、粘着材（ラテックス等）を加えたほぼ等量のスラリーとを混和し、これと種子をコンクリートミキサー等で混合し、更にアルミニウムパウダーおよび着色剤を少量加えて攪拌する。これを外気中で数時間乾かし、小粒状のコーティング種子となったものを散布するものである。

この方法では3人で1日3トンの加工資材が得られる。

## 2) Eucalyptus類種子の結実習性と採取

Eucalyptus類は一般に花芽の形成から開花・結実までに年月がかかり、主要種の一つである *E. regnans* の例にみられるように多くのものはそれに4年程度を要する(図-3)。また、結実は年によって豊凶の差があり、2~4年ほどのサイクルで豊作年となる。

豊作年には発芽率の高い良質の種子が多量に成熟するため、種子の大量採取はこの時に行うと効果的である。

すなわち、ビクトリア州国土森林保全局の苗畑では次のような方法を行っている。①豊作地域の伐採跡地で、大量に生ずる末木枝條からカプセル(結実種子の入った蒴果: さくか)の着生した枝を丸ごと切り取って集め(カプセルだけを採取した場合は脱粒が不良になる)、②これを大形の回転シリンダーに入れ、35℃の暖風を約12時間送って強制乾燥すればカプセルが開き脱粒する。③シリンダー内で脱粒した種子はこれを取り出して篩い分け及び風選等によって精選する。

この方法では装置の大きさにもよるが、1回の工程で約10キログラムの種子が得られる。なお、Eucalyptus類の種子は、約45℃以上の温度になると活力が失われるため、送風温度のコントロールには十分な注意が必要である。

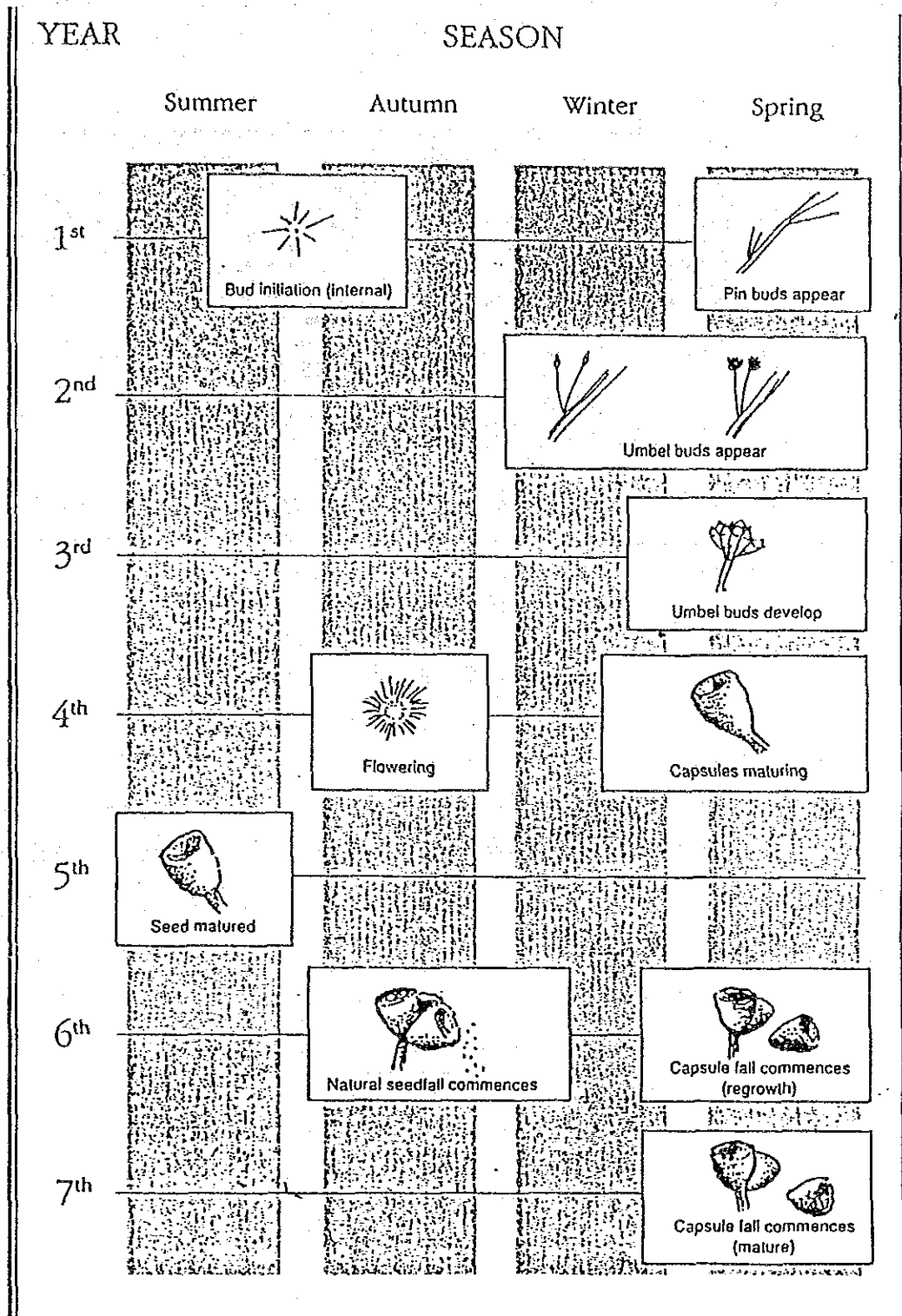


図-3 Eucalyptusの結実習性 (CSIRO 資料)

3) Eucalyptus類の種子数・活力

Eucalyptus類の種子は全般に微粒で、ケンヤタバコないし大きくてもゴマの種子程度である(図-4)。

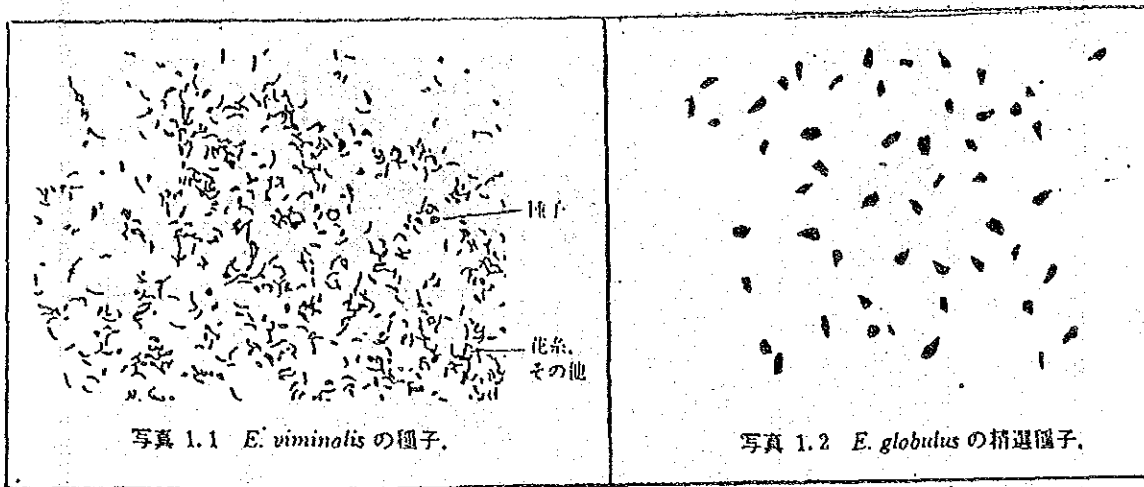


図-4 種子の大きさ「注」1

「注」1：石川健康：緑化樹としてのユーカリ、1980

主な種類の種子粒数は、FAO "Forest tree seed directory"表-3及び表-4のとおりで、種類によりまた入手した種子によりかなりの変動がある。比較的大きい E. globulus の夾雑物を含まない種子はkg当たり約7万粒であるが、微粒種子である E. camaldulensis や E. grandis はおよそkg当たり65万~67万粒である。

表-3 種子の粒数

Species	Approx. cost per kg (A\$)	Average No. seeds per kg
Eucalyptus		
camaldulensis	\$ 200	670,000
E. grandis	\$ 200	652,000
E. globulus ssp		
globulus	\$ 400	73,500
E. dunnii	\$ 600	237,000
E. nitens	\$ 800	264,000
Acacia mangium	\$ 400	70,000
A. auriculiformis	\$ 600	50,000

(A\$ 1.00=US\$ 0.75)

(CSIRO, 1989)

なお、表-5にみられるように、市販種子には花糸その他の夾雑物が多く含まれ、種子の純量率は10%~20%の場合も少ない。したがって、入手種子については使用する前に有効な種子数を調べておくことが必要である。

表-4 種 子 数 (1ポンド当たり)

樹 種	精 選 種 子	未精選種子	発芽力
ボトリオイデス	1,000,000~1,500,000	100,000	
カロフィラ	4,400		
ガマルドレンシス	1,000,000~2,000,000	170,000	よ い
シトリオドラ	70,000~ 100,000	10,000	非常によい
クラドカリックス		200,000	
フィシホリア		5,000~7,000	
グロプルス	220,000	50,000	
グランディス	1,100,000	140,000	
マクラータ		100,000	よ い
メイドニィ		150,000	非常によい
メリオドーラ		250,000	
マイクロコリス	700,000	95,000	
マイクロテカ	3,000,000	500,000	よ い
パニクラータ	1,000,000~1,500,000	200,000	
ブクタータ	500,000	55,000	
ラセモーサ	1,500,000	350,000	
レジニフェラ	200,000	50,000	
ロプスタ	2,000,000	50,000	
サリグナ	1,750,000	100,000	
サルモノフロイア		100,000	
シデロキシロン		150,000	
テレチコルニス	2,000,000		
ビミナリス		200,000	

(石川健康：緑化樹としてのユーカリ類、1980)

表-5 ユーカリ種子の粒数と発芽

グループ	ユーカリ種名	1gあたりの粒数		発芽			種子の大きさ	備考
		標準	最多	温度℃	日数	発芽率%		
1	<i>E. viminalis</i>	353±241	1200	25	7-14	85	微	細…ゴマ粒大 微……………中粒 粉……………極小
	<i>E. obliqua</i>	83±49	157	15	7-28	34	微	
	<i>E. ovata</i>	563±750	2923	25	3-10	78	微	
	<i>E. globulus</i>	98±53	236	25	5-14	85	細	
2	<i>E. rudis</i>	574±331	1400	25-35	5-14	90	微	
	<i>E. tereticornis</i>	600±432	2620	25-35	5-14	67	微	
	<i>E. camaldulensis</i>	670±465	3111	30	5-10	87	粉	
	<i>E. blakelyi</i>	687±524	2080	25-30	7-21	93	粉	
3	<i>E. punctata</i>	208±0	208	25	5-15	62	微	
	<i>E. propinqua</i>	443±240	910	25	5-21	62	粉	
	<i>E. pilularis</i>	59±37	195	25-25	5-21	31	細	
4	<i>E. paniculata</i>	419±316	1320	25	5-21	34	粉	
	<i>E. sideroxylon</i>	226±166	735	20	5-14	79	粉	
	<i>E. mellitodora</i>	352±231	1120	25	5-21	66	粉	
	<i>E. haemastoma</i>	117±0	210	25	5-14	33	微	
	<i>E. saligna</i>	538±313	1540	25	5-14	78	粉	
	<i>E. robusta</i>	454±270	1240	15-25	7-14	84	微	
	<i>E. gonicalyx</i>	113±0	252	25	5-14	71	細	

(西村弘行編：未来の生物資料ユーカリ、1987)

(CSIRO : Forest Tree, Vol. N.1 ~4, Australia)

Eucalyptus類は微粒種子にもかかわらず、その活力期間（保存命数）は以外に長く、2℃～5℃の種子貯蔵庫などによって保存する場合は10年以上も活力が保たれる（図-5）。

種子の発芽率は良好で、一般に60%～90%前後である（表-5）。活力期間の長い種子にかかわらず発芽は早く、湿度・温度条件がよければ数日で発芽を始め、10日前後で発芽が殆んど終了する。なお、採取後、普通の気温（室温）状態で保存した種子の場合は、播く前に湿度を与え、2℃～4℃の暗所に移した後に播種すれば発芽を早く、一斉に揃えることができる。一度湿度を与えて発芽を促したあとの種子は、外気のままでは急速に活力



が低下するので注意を要する。

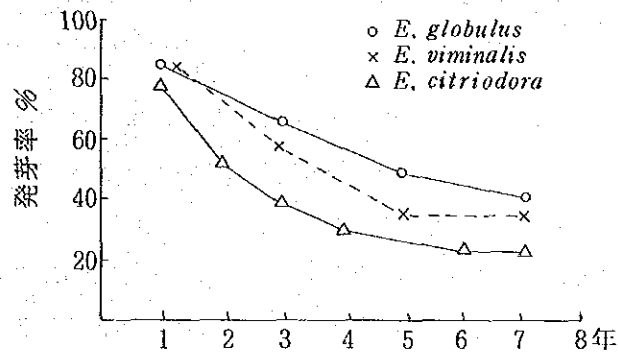


図-5 種子活力保存率  
(西村編：1987)

### (3) 地拵え

オーストラリアにおける伐採跡地の航空機造林では、種子散布に先立って地拵えが行われる。すなわち、伐採跡地に生ずる大量の残廃枝條は、十分乾いた後に火入れを行って整理する。火入れによって生ずる灰は発芽稚苗に極めて有効な肥料となる。燃え残り枝條等はブルドーザで帯状に整理するが、この際には地表の掻き均らしも自然に行われるので、散布種子の発芽に有利な表土（ミネラルソイル）も形成されることとなる。

なお、火入れは伐採跡地の枝條がよく乾燥し、かつ、周辺林地内には温度が保たれ、無風の時に行うこととしている。火入れ地の周りには消防車・作業車等を多数配置するなど、十分な安全態勢をとっている。

この地拵えの効果は次のようにまとめられる。

- 1) 伐採跡地の枝條や乾燥し易い地表有機物も効果的に処理される。
- 2) 種子の着床・発芽に有利な表土が形成される。
- 3) 火入れによって生ずる灰は、幼苗の生長促進に効果が大きい。
- 4) 幼苗期の菌害が軽減される。
- 5) 動物（アリ、げっ歯動物）の被害が軽減される。
- 6) 播種当年における地表植生との競合が抑制され、幼苗の成立が良好である。

などである。

### (4) 造林成績

#### 1) 播種期

オーストラリアにおける航空機造林の播種期は、発芽・稚苗が夏期の高温・乾燥による被害の影響を回避するため、2～3月頃、すなわち夏期の終りから秋の初め頃が適期とさ

れている。発芽した実生は火入れ地拵え当年中に高さ30センチメートル前後に生長することが望ましく、火入れ1年以後の播種では地表を覆う他の植生と競合し、それらに押えられ、不成績となるおそれがある。

## 2) 播種量

Eucalyptus類の種子の散布量はヘクタール当たり約5万粒が標準とされている。入手した種子の純量率（活力種子とシイナ種子・夾雑物の割合）によっても異なるが、平均的な精選種子の場合の重さでは約1.5kg/haである。

これによって、散布後1年目における幼苗の生立密度は15,000本/ha程度となるが、その後は成長につれて5,000～2,500本/ha程度に減少する。ちなみに、ポット苗による造林では1,000本～1,500本/ha程度の植栽密度である。

## 3) 生育状況

ビクトリア州の南東部海岸寄りの山地帯は降水量が多く、Eucalyptus類の生育が旺盛な地帯である。また山腹の土壌条件も良好であるため、航空機造林地におけるEucalyptus類の発生・生立状況も全般的に良好である。

調査地区における種子散布地では、播種後3年目には3～4メートルの幼樹に生長し、5～6年後には樹高が6～8メートルの林分が形成されている。

航空機造林地では、現地の埋土種子から生じたAcacia類も混生し、全般に立木密度の高い林分が形成されている。しかし、Eucalyptus類は林内が混み合えば下枝が枯死脱落し、通直な樹幹が形成されるので、航空機造林はこの点からも有利であるとされている。

## (5) 種子の調達

オーストラリアにおける近年の航空機造林は年間約1,000haであるが、1980年頃には毎年8,000～1万2,000haも行われた。その頃の種子採取量はビクトリア州およびタスマニア州における州直営による採取種子だけでも4,000～5,000kgに達していたが、近年の採種量はかなり減少しているものとみられる。

Eucalyptus類やAcacia類など早生樹種は、地域性や個体による生長の差が大きいため、産地と散布地の立地条件が適合しているかどうかは造林成績に大きく影響する。種子の入手にはこの点を十分留意して、事前から計画的な手配によってその調達を図る必要がある。

オーストラリア林木種子センター（CSIRO内）では、品質の優れた林木種子の供給を行うとともに、国内外を通じた熱帯～暖帯地域の造林樹種の選定についても指導を行っている。

林木種子の供給、購入先について、上記の林木種センターがまとめた政府機関および種子業者等のリストは次に示すとおりである。

---

## FEDERAL GOVERNMENT

---

### ■ Australian Tree Seed Centre

CSIRO, Division of Forestry & Forest Products  
PO Box 4008, Queen Victoria Terrace, Canberra ACT 2600  
Tel. (Aus 062)(Internat +6162) 818211  
Fax. (Aus 062)(Internat +6162) 818312  
Telex AA62751

Supply: Authenticated seed from eucalypts, acacias, casuarinas and other Australian native trees, principally for research and tree improvement programs. Collaborative collections of species of mutual interest undertaken.

---

## STATE GOVERNMENTS

---

### ■ Queensland Forestry Department

GPO Box 944, Brisbane QLD 4001  
Tel. (Aus 07)(Internat +617) 2340104  
Fax. (Aus 07)(Internat +617) 2214713  
Telex AA43988

Supply: Source identified provenance collections of tropical and subtropical tree species native to Queensland. Individual tree collections available upon request. Improved and orchard grade seed of *Pinus caribaea* var. *bondurensis*, *Pinus elliottii* var. *elliottii* and *Pinus taeda*.

### ■ Tasmanian Forestry Commission

GPO Box 207B, Hobart TAS 7001  
Contact: Dave Geddes  
Tel. (Aus 002)(Internat +6102) 308176  
Fax. (Aus 002)(Internat +6102) 238280

Supply: Seed of Tasmanian eucalypts, acacias and *Pinus radiata*.

### ■ Department of Conservation & Land Management

Plant Propagation Centre, Silviculture Branch, Manjimup WA 6258  
Tel. (Aus 097)(Internat +6197) 711988  
Fax. (Aus 097)(Internat +6197) 712855

Supply: Seed of tree species native to Western Australia.

### ■ Conservation Commission of the Northern Territory

Tropical Zone: PO Box 496, Palmerston NT 0831  
Tel. (Aus 089)(Internat +6189) 895511  
Fax. (Aus 089)(Internat +6189) 894510  
Telex. AA85336 PARKS  
Arid Zone: PO Box 1046, Alice Springs NT 0871  
Tel. (Aus 089)(Internat +6189) 508211  
Fax. (Aus 089)(Internat +6189) 525390  
Telex AA81191

Supply: Small quantities of seed from a wide range of species native to the Northern Territory.

### 3-1-3 航空機利用

#### (1) 航空機種

ヤラ州有林で航空機造林に使用した航空機は、Bell 206 B (Jetranger)型ヘリコプターで、その性能は、次のとおりである。(写真-1、図-6)

① エンジン	アリソン 205-C2DX1		
② 出力	317hp		
③ 回転数	主翼 全金属セミリジッド2枚 羽根×1		
	尾翼 金属製2枚羽根×1		
④ 全長	11.82 m		
⑤ 全幅	10.16 m		
⑥ 全高	2.91 m		
⑦ 胴体全長	8.74 m		
⑧ 面積	円板面積	主回転翼	81.10 <sup>m</sup>
	"	尾回転翼	1.95 <sup>m</sup>
		主回転翼	3.35 <sup>m</sup>
		尾回転翼	0.21 <sup>m</sup>
⑨ 性能	速度 最大	225km/H/ 海面上	
	巡航	219km/H/ 海面上	
	上昇率	384m/min/ 海面上	
	実用上昇限度	6,096m	
	航続距離	554km/ 海面上	
⑩ 定員	乗務員	1名	
	旅客	4名	
⑪ 重量	最大重量	1,452kg	
	自重	660kg	
	積載量	300~350kg	
⑫ 燃料消費量	25ガロン		

〔注〕農林水産航空事業技術指針(社)農林水産航空協会(1989)

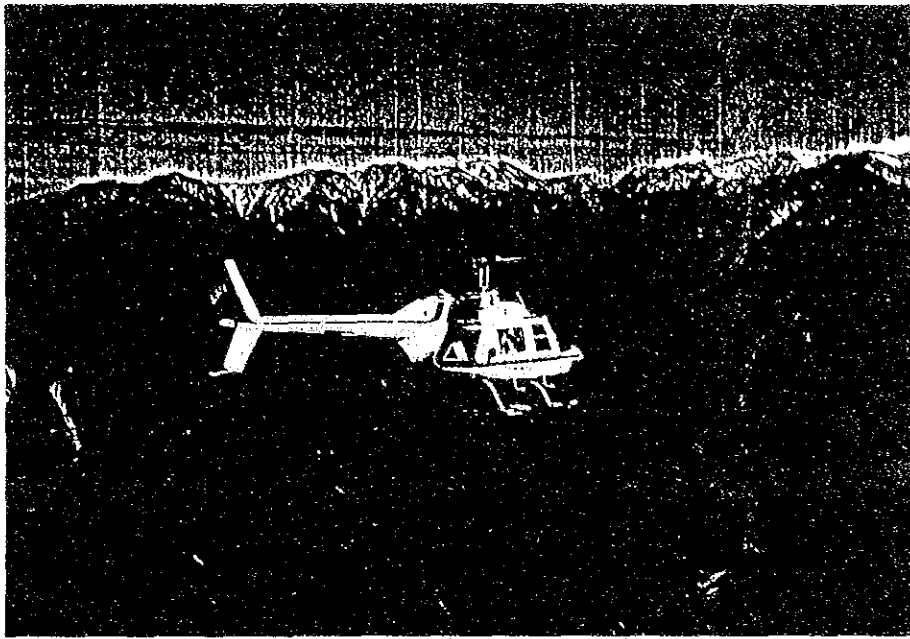


写真-1 Bell 206 B (Jetranger)  
 (朝日航洋 K. K. 提供)

■ベル 206Bジェットレンジャー

スッド巾 2.1 m ————— 全長 12.86 m

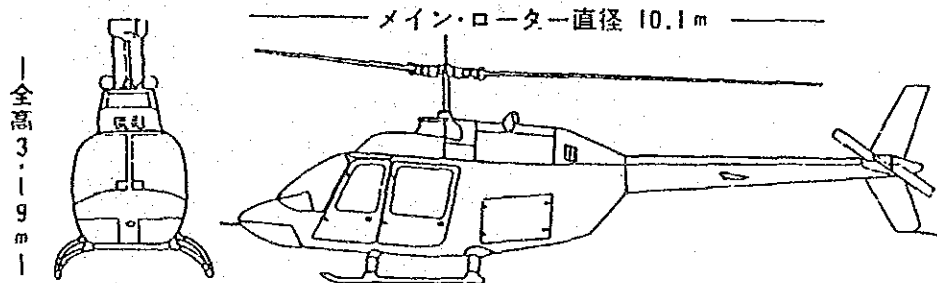


図 3-1-3-1 Bell 206 B (Jetranger) の模型図  
 「注」世界航空年鑑(1987)

(2) 散布装置

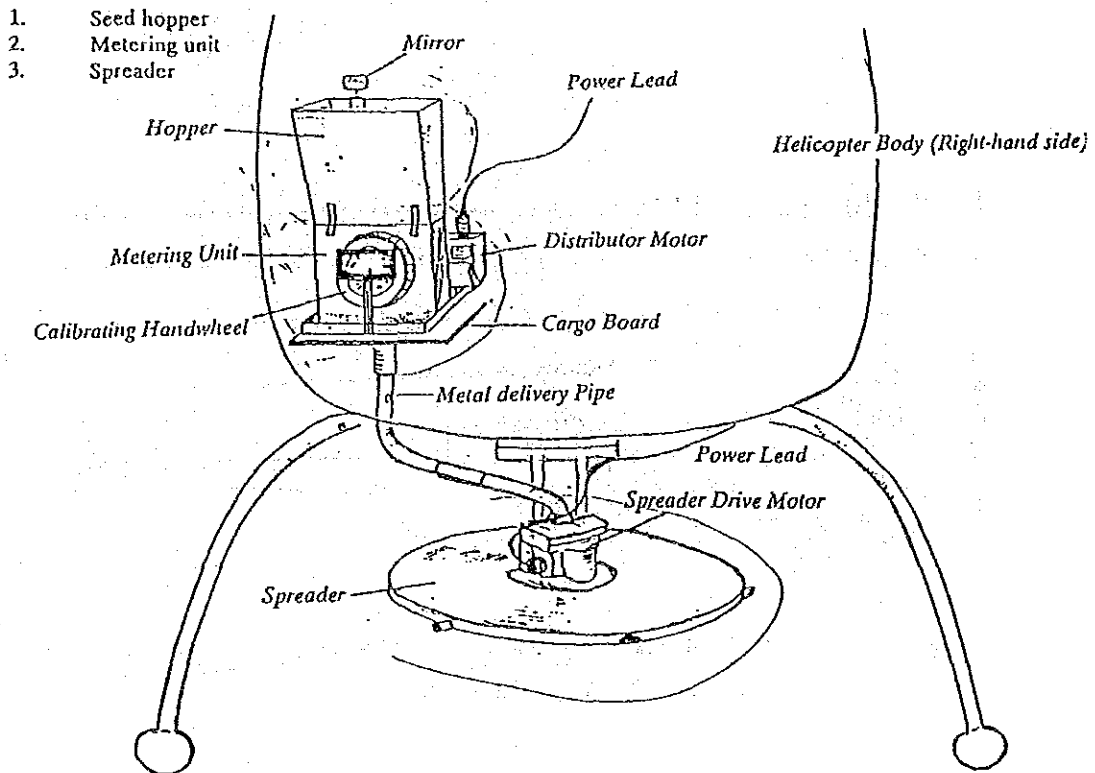
種子散布装置は、カナダ製のものを購入しユーカリの種子が的確に散布ができるよう国土森林保全局国土森林部において、改良・開発したものである。

この改良散布装置は、Bell 206 B (Jetranger)型ヘリコプターに着装するように設計されているが、小型機にも着装は可能である。

この装置は、ヘリコプターの後方に取付けられ、動かすための2つのモーターの電源は、ヘリコプターの28ボルト配線から取っている。基本的には、この装置は、アルミニウム製である。種子はヘリコプターの中からパイプを通してスプレーターで回転し均一に散布される。パイプは、メタルで出来ており、ヘリコプターの外装にパイプが通れる穴を開ける。取り付け、取りはずしは約20分間の作業で可能である。

散布装置は、図-7に見られるように3つの部分からなっている。(写真-2)

- seed hopper (種子入れ容器)
- metaring unit (種子吐出計量器)
- spreader (種子散布拡散器)



Schematic Diagram of Aerial Forest Seeder (XS of helicopter looking from tail to nose)

図-7 種子改良散布装置

ビクトリア州保全森林国土局 (1989)



写真-2 ヘリコプター機内に取り付けた改良散布装置  
図-7に同じ。

### 1) 改良散布装置

この装置は、ヘリコプター後方の左側に着装されているが、この位置は、人手で散布をコントロールするため必要である。パイロットはスイッチで始動、停止の操作をする。装置は軽量で飛行に支障がない程度のものである。

改良散布装置の着装方法は次のとおり、

- ① ヘリコプター左側後方に穴を開ける。
- ② 2箇所のモーターとパイロットの前の電源に結びつける。
- ③ 各部分の装置は、ヘリコプターと密着させる。
- ④ ヘリコプターの前と後のバランスを調整する。
- ⑤ パイロット、機内操作する者、地上の人達と相互の連絡を十分とる。

### 2) 改良散布装置の性態等

- |                   |  |
|-------------------|--|
| ① 航空機型式           | Bell 206 B Jetranger                                   |
| ② 散布能力            | 種子入れ容器には10キログラム入る。<br>ヘリコプターは1フライト当たり種子 130キログラムを積載する。 |
| ③ 吐出量             | metering unit からの吐出量は 0.9~2.0kg/haである。                 |
| ④ ヘリコプターの能力       | 60~100ha/H   |
| ⑤ 操作者 (Operator)  | パイロット  |
| ⑥ 案内者 (Nairgater) | 必要なときは搭乗するが、パイロットでわかる時は省略する。                           |
| ⑦ 種子の補給           | 補助者1名が搭乗し、種子入れ容器に種子を補給する。                              |
| ⑧ 改良散布装置の重量       | おおよそ65キログラム  |
| ⑨ 使用する電源          | 28ボルト (ヘリコプターの電源を利用)                                   |

### 3) 改良散布装置の利点

- ① 種子の散布が均一にできること。
- ② 種子が散布予定地に的確に散布できること。
- ③ 短時間での散布が可能であること。
- ④ 散布する種子は、コーティングをしなくともよく、準備の手間が省けること。

一般的にヘリコプターの使用は、飛行機散布に比べ、散布が効率的に行われ、小面積の対象区域への散布が可能であるという利点がある。

そのほか、直接作業としては、

- ① 飛行機に比べるとヘリポートの設置が容易で、散布の現場からヘリポートまで短時間で往復が可能である。
- ② 飛行機散布に比べると劣るが、人力散布に比べると大面積の散布が可能である。



③ ヘリコプター散布は、飛行機散布と比較して小回りがきく。また、地形の変化にもヘリコプター散布の場合は的確に対応ができる。

④ 飛行機散布では、散布幅の位置を示す標識が必要であるが、ヘリコプター散布ではその必要がない。

間接作業では、

① ヘリコプター散布は、正確に予定箇所に散布することができる。

② ヘリコプター散布では、種子のコーティングの必要性がない。

③ ヘリコプター散布の技術の向上により単位面積当たりの散布量を少なくできる可能性がある。

④ 伐採した林木から種子を採取してヘリコプター散布に用いることができるので、飛行機散布に比べて種子の準備に都合がよい。

### (3) 飛行諸元

飛行諸元は、次のとおりである。

① 飛行速度 100km/H

② 飛行散布幅 18m

③ 飛行高度 地上よりおよそ30m（成存立木の樹冠上5～10m）

④ 散布量 ユーカリの種子1.5kg/ha散布

### (4) 散布方法

風向きに対して直角方向に、横風を受けるように飛行する。風下側から散布を始め常に風上側に向って旋回して散布する。

## 3-1-4 画像利用

(1) オーストラリアで利用されている衛星画像の諸元（特に森林植生図等作成のために）

### 1) スモールスケールの広域画像作成

オーストラリアにおいては、1972年のランドサット衛星1号からのMSS情報をフォーリスカラープリントとして利用している。このデータのプリント1シーンは185km×185km（32,000km<sup>2</sup>）の画像面積をもっている。

オーストラリアにおける衛星情報は、オーストラリア中央部のアリススプリングスの受信局で受け、キャンベラで処理している。画像処理をしたデータは、森林国土保全局を通して注文するか、直接オーストラリアリモートセンシングセンター（Australian Centre for Remote Sensing:略称ACRES）で購入する。

ランドサットのMSSデータの諸元及び購入価格（1988年現在）は、次のとおりである。

撮影周期	-----	16日
ピクセルサイズ	-----	0.44ha
画像サイズ	-----	185km × 185km (32,000km <sup>2</sup> )
価格：カラープリント (1/250,000)	-----	A \$ 380
カラートランスペアレンシー (1/1,000,000)	---	A \$ 210 (ポジ)

## 2) ラージスケールの詳細画像作成

ラージスケールの図 (1/100,000 ~ 1/25,000) では、より高性能の衛星画像が作成される。オーストラリアでは、1986年から高性能解析センサーを搭載したフランスのスポットとランドサットのTMデータを受信できるようになった。ラージスケールでの森林植生図作成のためには、データをデジタルの形で購入する必要があり、コンピュータによる画像処理 (例えば、森林国土保全局のマイクロリアンシステムのようなもの) を行って数値の打ち出しや図を作成している。

スポットの諸元及び購入価格 (1988年現在) は、次のとおりである。

撮影周期	-----	25日 (連続5日可)
ピクセルサイズ	-----	0.11ha (白黒)
		0.44ha (フォールスカラー)
画像サイズ	-----	60km × 60km (3,600km <sup>2</sup> )
価格：カラーまたはB & Wデジタル	-----	A \$ 2,500
B & Wトランスペアレンシー (1/400,000)	----	A \$ 1,250
B & Wプリント (1/100,000)	-----	A \$ 750
カラートランスペアレンシー (1/400,000)	----	A \$ 1,250
カラープリント (1/100,000)	-----	A \$ 835

ランドサットのTMデータの諸元及び購入価格 (1988年現在) は、次のとおりである。

撮影周期	-----	16日
ピクセルサイズ	-----	0.09ha
画像サイズ	-----	185km × 185km (32,000km <sup>2</sup> )
価格：デジタルカラー	-----	A \$ 5,000
プリントまたはトランスペアレンシー	-----	A \$ 400

以上のように、ランドサットのTMデータはスポットのデータよりも単位面積当たりの価格が安く、植生被覆の判別に適切なより多くのスペクトル情報を含んでおり、利用価値が高い。

## (2) リモートセンシングに関する研究・応用組織及び利用状況

- 1) オーストラリア連邦科学技術研究機関 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization : 略称CSIRO)

CSIROは1926年に設立された国際的レベルの応用研究組織で、本部は首都キャンベラにある。国防・医学・原子力・各種基礎理論研究以外の全分野における応用研究を行っており、6研究院、34研究部、国内に100箇所以上の諸施設があり、約7,000名の研究者を擁している。

このうち、植物生産加工院 (Institute of Plant Production and Processing) に属する林業林産研究部 (Division of Forestry and Forest Products) には200~300名の研究者がおり、各種の研究のほか海外の林業研究や各州との共同研究等を行っている。リモートセンシングに関する研究は、多くの研究部で行われているが、特に情報通信技術院 (Institute of Information and Communications Technologies) の研究所で進んでいる。例えば、魚類の移動や気象状況のガイドとして海面温度の分布図作成を衛星データ解析によって画像処理をする技術等がある。

一方、林業林産研究部におけるリモートセンシングの研究は進んでおらず、リモートセンシングの研究者がいないのが現状であり、航空機造林への応用研究も行われていない。

しかし、気象研究室の研究者は、オーストラリアにおける植栽樹種である主要なユーカリなどについて、生長を規定する諸因子 (降水量、最高・最低・平均気温、蒸発量、標高、土壌等) の基準を作成し、一方で、ユーカリの天然林で生長の良い場所の条件を掌握し、その条件に適合する世界中の位置をコンピュータで計算させて画面上に出せる、いわば植栽樹種別の適地判定に利用できるプログラムを開発している。これは、CSIROの担当者からの意見としてあった「造林成績の良否を決定する基本的条件として、良質の種子を使用することのほかに、各樹種に適した気象条件の場所に植栽すること」の提言を実行する際に、貴重な指針を与える研究成果であるといえる。

また、オーストラリアの森林地帯では頻繁に発生し、死者まで出している山火事の研究は進んでいるとのことであった。

## 2) オーストラリア国立大学 (Australia National University)

オーストラリア国立大学はキャンベラにある。林学部 (Forest Department) にリモートセンシングの研究室があり、空中写真判読のトレーニングなどを行っているが、詳細は研究者不在だったため不明である。なお、航空機造林への応用研究は行っていない。

## 3) ビクトリア州保全森林国土局 (Department of Conservation, Forests & Lands)

保全森林国土局は、メルボルンにあって、ビクトリア州の森林を含む土地の管理計画等を行っている。

このうち、森林を管理する課は、森林経営課 (Native Forests & Management Section) であり、州有林の管理、経営、伐採、造林、販売等の事業を行っている。

メルボルン市内の別の場所には森林研究所があり、ここにリモートセンシング研究室 (研究員2名) がある。当リモートセンシング研究室は、オーストラリアの中でのリモー

トセンシング研究では一番進んでいるとのことであるが、技術者不足とのことであった。  
ビクトリア州有林の森林経営を行うために、高度約 3,000m から撮影した空中写真（縮尺約 1/16,000、通常カラー写真、毎年伐採箇所を撮影、このほか縮尺 1/5,000 の空中写真もある）を使用している。航空機造林への応用実績はあるが、その適地選定には衛星データは使用しておらず、これらの空中写真を利用して天然林のなかの伐区位置の確認等を行っている。なお、ビクトリア州では、縮尺 1/100,000 の地形図、土壌図、植生図が作成されており、特に伐採箇所は 1/20,000 の各図も作成されている。

衛星データは、ACRES から TM の CCT を購入して画像処理を行っており、バンド 7 まで使用している。

当研究室は、保全森林国土局という名が示すように、森林・林業に限った研究・応用を行っているわけではなく、マンガンなどの資源探査調査や湖の塩化・CO<sub>2</sub>・洪水箇所・山火事の起こりやすい箇所（下層植生）の分布調査及び環境調査が主体であるため、林業への活用は、まだ進んでいないのが現状のようである。

森林・林業関係での衛星リモートセンシング技術の活用による成果としては、1972年と 1987年の衛星データ解析により、ビクトリア州の森林面積が 23万 874ヘクタール減少したことなどを明らかにしたこと、毎春洪水で氾濫するビクトリア州とニュー・サウス・ウェールズ州の境界を流れるムロイ川の植生図を 1/50,000 で作成したことがあり、現在はビクトリア州全域の 1/250,000 の植生図をリモートセンシングデータで作成中で、森林タイプの判定法を研究中とのことであった。

なお、衛星リモートセンシング技術により、森林の活力、間伐の必要性、樹齢、密度、蓄積等の把握、植生のモニタリング、山火事発生の予報（植物の含水状態の判読による）等も可能であり、一部実施しているとのことであった。

### 3-2 インドネシアにおける航空機造林の現状

インドネシアでは、1970年代に、ジャワ島の西部ジャワのマジャレンカ、中部ジャワのバラプラン、東部ジャワのラウ、ケドリ、ティムール島のヌサテンガラ の 5箇所 で航空造林が実施された。そのうち造林が成功した箇所は、中部ジャワのバラプランと東部ジャワのラウの 2箇所 である。しかし、後者のラウは実行後 2年次の調査結果を得ないまま乾季に山火事が発生し、焼失してしまった。

したがって、今回の現地調査は前者の中部ジャワのバラプラン造林地にとどまり、後者のラウ造林地は実行後 1年次の調査結果資料を入手するに過ぎなかった。このため、インドネシアにおける航空機造林成功事例としては、前者のバラプラン成績を主体に報告し、後者のラウ成績は入手資料の要旨を報告することとする。

3-2-1 立地条件

- ① 所在地: West Banjarharjo Sub Forestry District Office  
Balapulang Forestry District Office  
(Banjarharjo Sub-District, Brebes District, Central Jawa)
- ② 面積: 373ha
- ③ 標高: 50m
- ④ 地形: 丘陵地の起伏地、傾斜4~12°
- ⑤ 地質・土壌: 泥灰岩~石灰岩、熱帯紅土、侵食の激しい黄褐色系土壌で、土壌の理化学的性質は悪く、水浸透能やN・P・K含有率が低い。鉄やアルミニウムが多分に含まれている。(図-8)
- ⑥ 降水量: 年平均2,500ミリメートル前後。最寄りダム気象観測所における1986年記録では、年間2,647ミリメートル、年間降雨日数134日、200ミリメートル以上の月が5ヵ月、200~100ミリメートルの月が4ヵ月、50ミリメートル以下の月が2ヵ月であった。(表-6)通常、雨期11~4月、乾期5~10月となっている。乾期の風(フェーン現象)は南斜面に吹き付ける。
- ⑦ 植生: 雑低木と、マメ科植物を混交したアランアラン (*Imperata cylindrica*)の草原で、チーク人工造林不成績跡地である。

表-6 バラプラン造林地付近の年間降雨記録

月	降雨日数	降雨量 (mm)
1	19	305
2	21	563
3	17	442
4	16	365
5	8	227
6	10	151
7	4	67
8	1	10
9	5	47
10	8	102
11	14	174
12	11	194
計	134	2647

〔注〕 Malahayu ダム気象観測所記録 (1986)

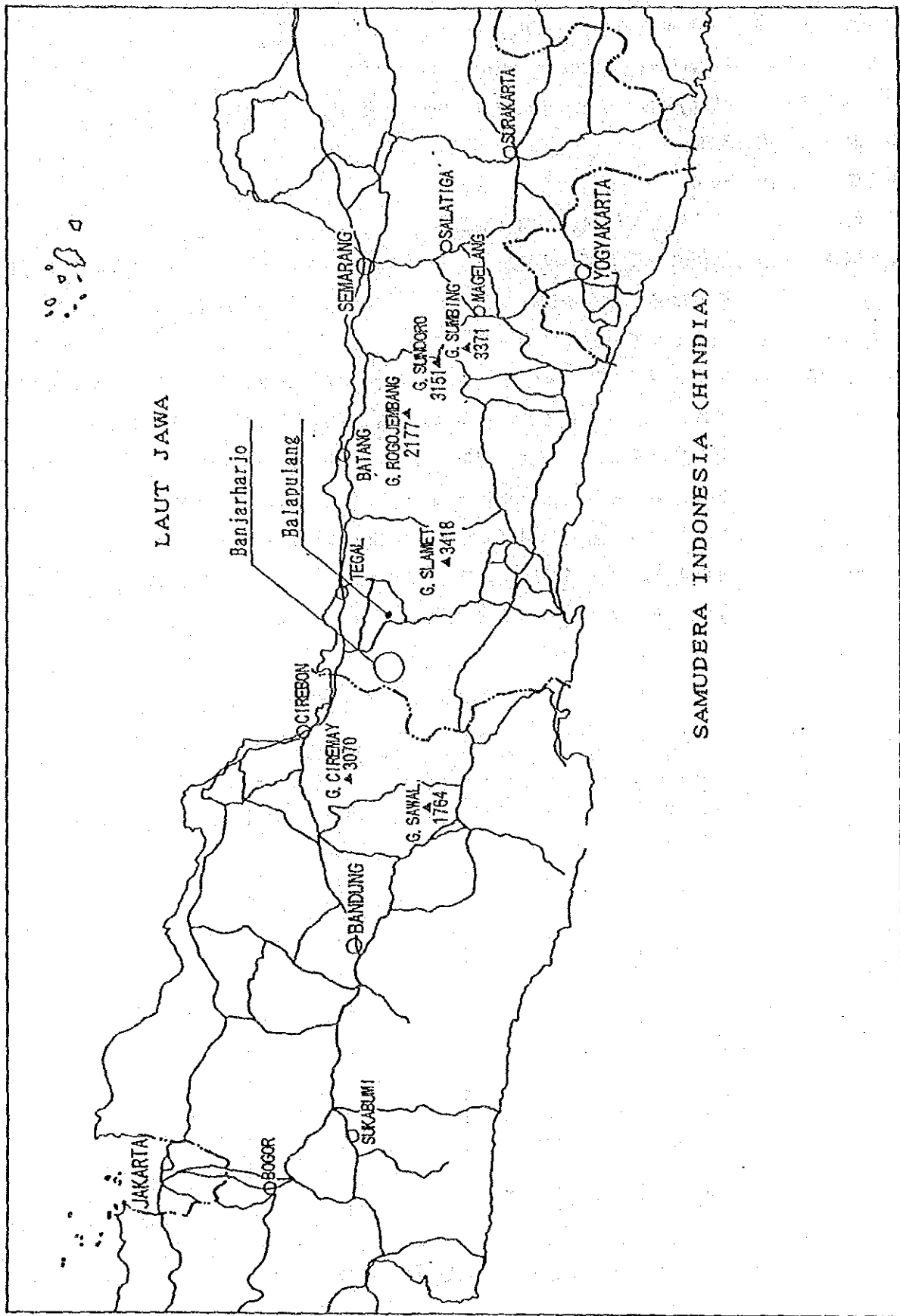


图-8 航空機造林地位图

### 3-2-2 種子加工及び地上作業

#### (1) 樹種選定

次の6樹種を選定し、これらを試験する目的で使用した。

- ① *Acacia auriculiformis*
- ② *Leucaena leucocephala*
- ③ *Calliandra calothyrsus*
- ④ *Sesbenia grandiflora*
- ⑤ *Dalbergia spp.*
- ⑥ *Pinus merkusii*

#### (2) 種子加工

航空機は固定翼で散布種子は加工していない。使用種子については、別途、4樹種を対象に播種後10日間の発芽試験を行っている。その結果は表-7の中に示したとおりで、*Leucaena leucocephala* と *Dalbergia grandiflora* は発芽率70%を得ているが、他の2樹種は42%と37%の発芽率しか得られていない。少なくとも80%以上の発芽率を得るには、何らかの発芽促進処理が必要と考えられる。

#### (3) 地拵え

トラクターによる耕耘、刈り払い火入れ、無地拵え区の3試験区を配置している。

トラクターによる耕耘は、農業用の Ford-4000型3輪トラクターを使用し、幅50メートルの带状に100メートル間隔に実行している。刈り払い火入れ区は、耕耘区間の100メートル幅を実行している。その配置図は図-9のとおりである。無地拵え区は、それら試験区の周辺に配置している。これら3試験区の面積は、耕耘区が約43ヘクタール、火入れ区が耕耘区の約2倍、無地拵え区は、残余の約244ヘクタールとなっている。

#### (4) 造林成績

##### 1) 種子散布時期

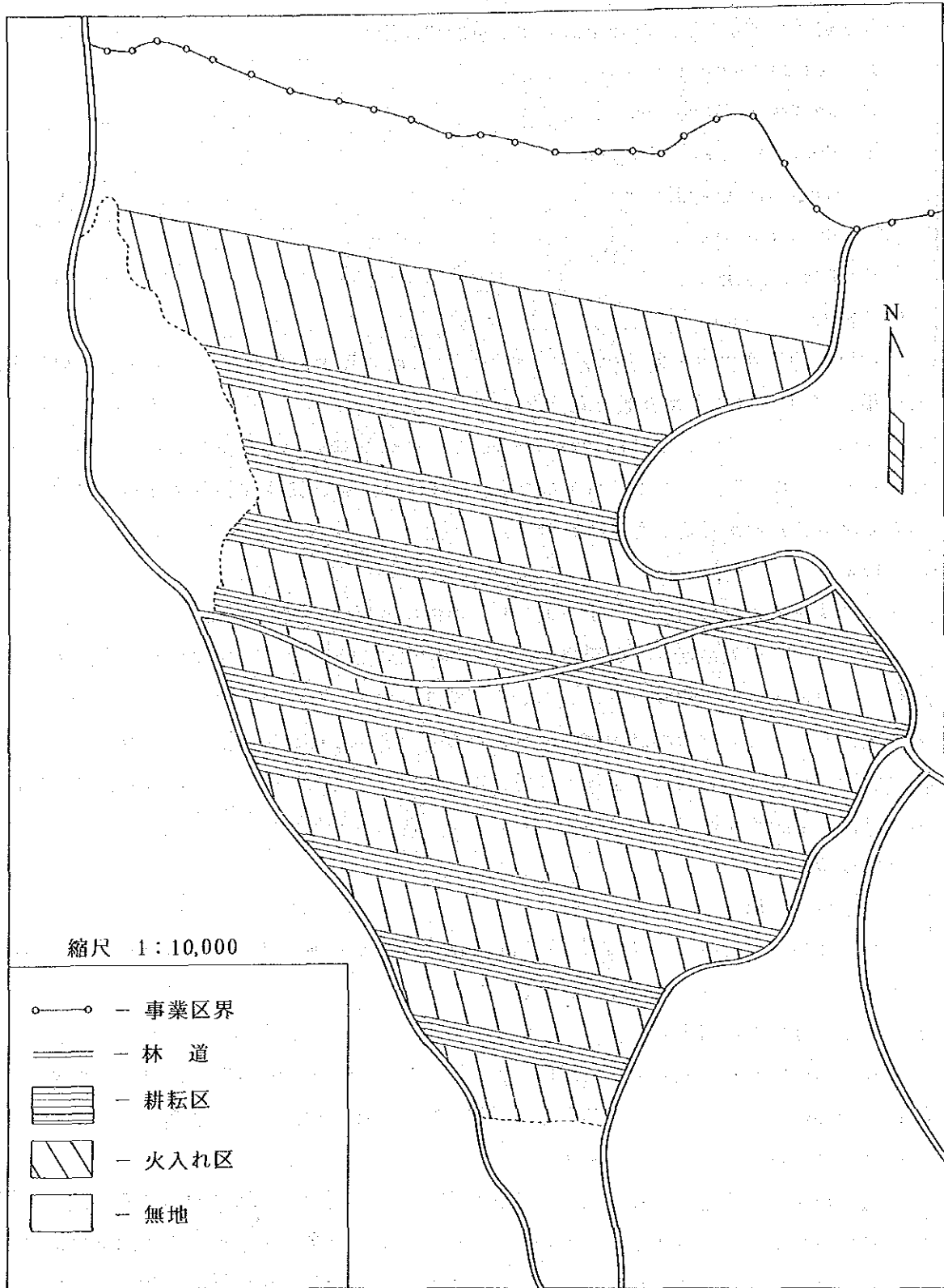
1972年12月4日～15日(雨季の初期)に航空機で6樹種の種子を散布した。当年12月の雨量は250ミリメートル位と推定されている。

##### 2) 稚樹の発生率及び生存率

種子の航空散布に先立ち、耕耘区と火入れ区に、10m×10mの調査プロットをランダムに合計55か所配置し、種子の落下量、稚樹の発生本数、樹高などを調査している。これらの結果は一覧表にして表-7に示す。

散布種子の落下量は樹種によって差異が大きい。6樹種合計では373ヘクタールに種子7,501キログラムを散布しているが、*Pinus merkusii*は全量の15キログラムを無地拵え区の一部46ヘクタールにしか散布していないため、種子の落下量や稚樹の調査からは除外されている。他の5樹種では、1ヘクタール当たり最高11万7,300粒から最低8,500粒落下

図-9 バラプラン航空造林配置図





している。このうち *Acacia auriculiformis* は、落下種子の量が少ないが、17年後の今回の現地調査では最も造林に成功している（巻頭写真参照）。

調査プロットにおける種子散布10ヶ月後の稚樹発生率は、落下種子数に対し、トラクターによる耕耘区89.4%、火入れ区73.8%であった。無地拵え区は、調査されていないが、最終的には造林に成功していない。

その後、耕耘区と火入れ区の成績の差異が小さくなり、1～7年後の調査結果では両区の成績を併合し、表-7にまとめられている。7年後の1ヘクタール当たりの立木本数では、4樹種が248～9,964本成立しているが、この時点で無地拵え区はすでに造林に失敗している。

表-7 インドネシア中部ジャワのBalaplangにおける航空機造林結果

樹種	種子散布 総量(Kg)	ha当たり種子 落下量(粒)	種子発芽率 (%)	成功率(稚樹発生存率)(%)				ha当たり立木本数 7年後
				1年後	2年後	3年後	7年後	
<i>Leucaena leucocephala</i>	3,932	117,300	70	15.7	14.0	13.5	8.3	9,964
<i>Calliandra calothyrsus</i>	652	15,400	37	16.6	18.5	18.5	10.4	1,742
<i>Acacia auriculiformis</i>	210	8,500	-	26.6	13.5	13.4	2.6	248
<i>Sesbenia grandiflora</i>	1,892	101,200	42	14.0	0.8	0.7	0.3	272
<i>Dalbergia spp.</i>	800	17,200	70	-	-	-	-	-
<i>Pinus merkusii</i>	15	-	-	-	-	-	-	-

注1) 出所 NATIONAL ACADEMY PRESS: Sowing Forests from the Air, 1981

GOVERNMENT STATE ENTERPRISE FOREST DISTRICT BALAPULANG INDONESIA: REPORT OF THE IMPLEMENTATION PROJECT OF AERIAL SEEDING, 1973

2) 稚樹の発生成績は耕耘区と火入れ区を併合している。

### 3) 17年後の林分状況

種子の航空散布後17年を経た今回の現地調査では、次の林分状況が確認できた。

- ① 散布種子6樹種のうち、林分が造成されていたのは *Acacia auriculiformis* と *Leucaena leucocephala* の2樹種であり、他の4樹種の成林は認められなかった。
- ② そのうち、*Acacia auriculiformis* は樹高8～15メートル、胸高直径10～20センチメートルに生長して林分を構成し、造林が成功していた。林床のアランアラン草も衰退していた。
- ③ *Leucaena leucocephala* は新梢の寄生害虫ギンネムキジラミ (*Heteropsylla incisa*) が発生蔓延して、今後の成林が期待できず、また、下草のアランアランも繁茂している。この害虫のため、その立木は地上50センチメートル高で台切りされ、萌芽更新による再生試験が実行されていたが、その萌芽にもギンネムキジラミが寄生している。この

害虫はジャワ島に限らず、インドネシア全土に発生し、激害が拡大しつつあることから、林業省としては、その被害が減少するまで、当面、その新規造林は中止する方針である。

④ 実行箇所の地形踏査では、6樹種の種子が混播されたにもかかわらず、*Acacia auriculiformis*は丘頂斜面や丘腹緩斜面によく成林している。*Leucaena leucocephala*は、それらの地形には見られず、主として谷底傾斜面や平坦地形を占有している。これ以外の谷底や谷筋では雑灌木を混生したアランアラン等の雑草が繁茂し、両樹種の立木は見られず（巻頭写真参照）植え穴を掘り、*Acacia auriculiformis*の人工造林が進行中である。

⑤ この両樹種の林分成立条件の違いは、地形による雨期と乾期における土壌水分の過湿・過乾の影響、地表雑草木の繁茂による被圧の影響などに対する両樹種の耐性に起因するものと推定された。地形や雑草木の繁茂に対する適地適木調査が必要であると考えられる。

#### (5) 種子の調達

6樹種の種子は中部ジャワの West Pekalongan 営林署によって採集されている。そのうち *Pinus merkusii*以外の種子は2回の粒径選別によって不稔種子や未熟種子が除去されている。航空機造林においては多量の優良種子の確保が必要条件であるが、それが可能な採種林は整備されていない。今後の対策が必要と考えられる。

当面、造林用種子の調査・研究や生産・貯蔵機関としては、中央の種苗技術センター（ポゴール）、全国各地の種苗技術センターがあり、これら機関の連携との協同作業によって、ある程度、種子の確保は可能である。

〔注〕 ジャイアントギンネムは昭和53年、ハワイで発見されたギンネム (*Leucaena leucocephala*) の栽培品種で高収穫が期待されるので、現在熱帯・亜熱帯地域で広く育成されている。ところが、これを食害するギンネムキジラミ (*Heteropsylla cubana*; 通称、*Leucaena psyllids*、あるいは *Jumping plant lice* と呼ばれる) は、もともとカリブ海諸島、メキシコ、中・南米の固有種であるが、航空機乗客の移動、あるいは高所気流によって昭和59年ハワイに導入された。その後、昭和61年にはオーストラリア、太平洋諸島、東南アジア（タイ、マレーシア、インドネシア、フィリピン）で発生が報告された。沖縄県には昭和61年3月多良間村に最初に発見され、同年5月に沖縄本島で発生が確認された。この雌虫は390個の卵を産み、わずか18日で成虫となり、ギンネムの新葉に針のような口部をさし込んで葉液を吸引して先枯れと落葉をひき起こす。この防除については世界的に抵抗性品種の育成、テントウムシ科の天敵の利用が真剣に研究されている。ちなみに薬剤防除は非経済的であり、天敵をなくしてしまうことから取り上げられていない。

### 3-2-3 航空機利用

#### (1) 航空機種

使用した航空機は、PILATUS PC-6型飛行機で一般農薬用散布に使用されているものである。(写真-3)

その性能は次のとおりである。

- |          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| ① 全幅     | 15.13 m                               |
| ② 全長     | 10.90 m                               |
| ③ 全高     | 3.20 m                                |
| ④ 翼面積    | 28.80 m <sup>2</sup>                  |
| ⑤ 自重     | 1,215kg                               |
| ⑥ 総重量    | 2,770kg/R 類                           |
| ⑦ 発動機    | P & W C P T 6 A - 27<br>550 S R P X 1 |
| ⑧ 燃料容量   | 480 ℓ                                 |
| ⑨ 巡航速度   | 259km/H/3,050 m                       |
| ⑩ 失速々度   | 82km/H/ フラップ下げ                        |
| ⑪ 海面上昇率  | 482 m/min                             |
| ⑫ 実用上昇限度 | 9,150 m                               |
| ⑬ 航続距離   | 1,036km/余裕燃料なし                        |
| ⑭ 離陸距離   | 110 m/ 地上滑走、235 m/15 mごえ              |
| ⑮ 着陸距離   | 220 m/15 mから73m/ 地上滑走、座席数8名           |

#### (2) 散布装置

農薬散布に使用している散布装置で、機体内ホッパー式のベンチュリー型散布装置を使用している。

#### (3) 飛行諸元

1972年に実施された種子散布の飛行諸元は、当時の担当者不在と記録の入手ができないことから詳細は不明である。

#### (4) 散布方法

地拵え方向（火入れ幅 100m、機械耕耘幅 5.0メートル）に対し直角方向に飛行した。

(図-10)

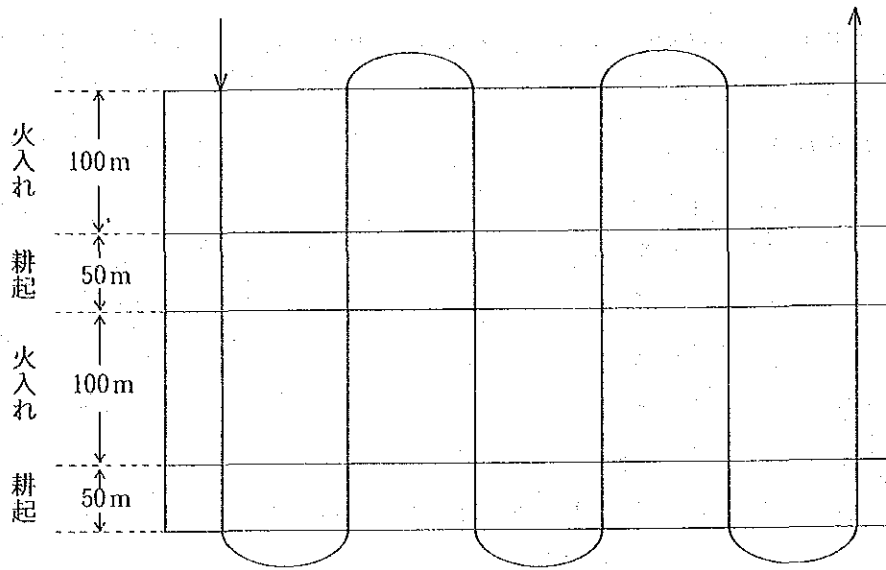


図-10 種子の散布方法

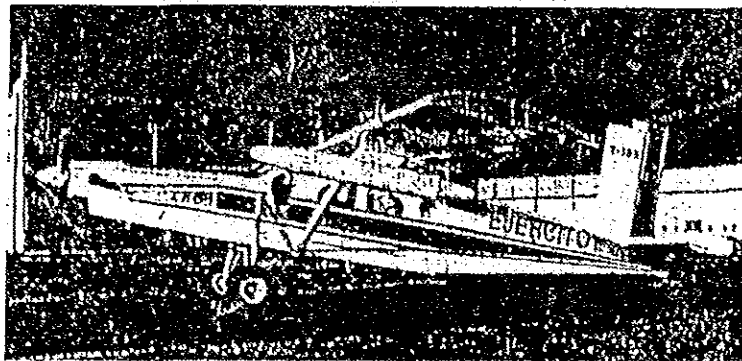


写真-3 ピラトゥス PC-6/A, B, C ターボポーター  
 PILATUS PC-6/A, B, C TURBO PORTER  
 (注) 世界航空年鑑 (1987)

### 3-2-4 画像利用

#### (1) インドネシアで利用されている衛星画像の諸元

##### 1) ランドサット (LANDSAT) の利用

###### a) 経緯

インドネシアにおけるリモートセンシングにとって、ランドサット衛星画像の利用は重要である。すなわち、ランドサット衛星画像は、既応の空中写真ではカバーできなかった地域（セントラル カリマンタン、スマトラの一部地域、アラフラ海の離島等）に最初の画像を提供した。

インドネシアでランドサット衛星画像（MSSのみでTMは受信できない）を直接受信できるようになったのは1984年、ジャワ島のジャカルタにあるジャカルターペカヨンランドサット受信局（JAKARTA-PEKAYON LANDSAT receiving station、LAPAN）の開設以降である。これにより、インドネシア全国がランドサット衛星画像でカバーされることになり、インドネシアのほとんどの土地や海岸沿いの地域はほぼ 184枚で、またインドネシアの全群島までも含めると 275枚以上のランドサット画像でカバーできる。

また、ラパン以外に現在、インドネシアのランドサットデータを受信できる局は、次の3局ある。

- ① スマトラ、カリマンタン及び西部ジャワをカバーできるデータは、タイのバンコック ステーション（1981年から）
- ② 東部ジャワ中央部、スラベンシ及びイリアンジャヤをカバーできるデータは、オーストラリアのアリススプリング ステーション（1979年から）
- ③ 北スマトラ及びアチェ州をカバーできるデータは、インドのハイデラバード ステーション（1980年から）

なお、1979年末までは、USGS-EROS Data center（アメリカ地質調査機関-地球観測衛星データセンター）のみがインドネシアのランドサットデータを提供していた。

###### b) ランドサットデータの有用性

インドネシアは、雨期・乾期が明瞭に区別できる熱帯降雨林地帯であるが、雲に覆われる日が多く、個々の画像が 100%活用できるランドサットデータは非常に少ない。

表-8は、1972年～1980年の間、インドネシア上空をカバーしているランドサット1号～3号の画像（MSS）の有用性・有効性を調べたものである。8年半の間に52,849画像を撮影しているうち、雲で覆われている割合が30%以下のものは 827画像、すなわち 1.6%しか得られないという結果である。

表-8 Image availability and relative efficiency of data acquisition over Indonesia (1972~1980)

Satellite	Period of operation	Days of operation (1)	Number of passes (2) (1)/18	Number of imaging positions over Indonesia (3)=(2)/184	Available images* (4)	Percentage of possible total (5) =(4)/(3)×100
Landsat1	7.1972 ~ 1.1978	1975	110	20240	446	2.18
Landsat2	1.1975 ~ 12.1980	2190	122	22387	167	0.75
Landsat3	3.1978 ~ 12.1980	1000	56	10222	218	2.13
				52849	827	1.6

\* Cloud cover < 30%

Number of imaging positions over and coastlines=184

Source: Remote Sensing in Indonesia, A review of the available technology and its applications for resources surveys, Jean-Paul Malingreau and Sutanto, ITC Journal 1986-3

c) 解析方法

インドネシアにおいては、通常、ランドサット画像はビジュアル（目視）解析を行っているが、1980年代の始めにデジタル解析が導入された。

2) その他のリモートセンシングシステム

ランドサット衛星以外のリモートセンシングとしては、次のものがある。

a) マイクロウェーブシステム

このシステムは、雲で覆われた地域でも1/400,000のスケールのレーダー画像によってカバーできる。（一部に米国が観測した資料がある）

b) スポット（SPOT）衛星システム

1986年から機能しはじめたスポット衛星（パンクロモード（白黒）で10メートルの解析能力をもつ）は農業地域が散在した土地では有効なものとなる。しかしながら、現時点ではインドネシアにおいては、スポット衛星データを受信できるプログラムをもっておらず、インドネシアの画像はない。

(2) リモートセンシングに関する研究・応用組織及び利用状況

1) 国家レベルでのリモートセンシング関係機関

a) LAPAN (The National Indonesian Space Agency, Institute for Aeronautics and Space; Ministry of Research and Technology)

LAPAN（航空宇宙局）はジャカルタにあり、航空工学の研究とともにランドサット

データの地上受信及び配信を行っている。リモートセンシング関係のスタッフは15人である。

b) Bakosurtanal (The Coordinating Agency for Surveys and Mapping; Ministry of Research and Technology)

Bakosurtanal (国土地理院) はジャカルターチビノン ボゴールにあり、リモートセンシングのデジタル解析を行っている。リモートセンシング関係のスタッフは20人である。

インドネシアにおいては全国レベルで統一されたスケールの基本図(地形図)がないため、これを作成すること、また、GIS(地理情報システム)の確立、衛星リモートセンシング画像を利用した資源調査等を目的としている。

なお、リモートセンシング解析センターは、Bakosurtanalが設立したものである。

インドネシア全域の縮尺1/250,000、1/625,000の地形図を作成している。また、ジャワ島及びスマトラ島の1/50,000(25メートルコンター)の地形図も作成している。

2) 大学及び研究機関

a) ムラワルマン大学

サマリダにあり、JICAの『熱帯降雨林研究計画』のなかの森林土地利用区分と計画について、リモートセンシングを用いた共同研究を行っている。なお、詳細は、後述する。

b) ガジャマダ大学地理学部リモートセンシング研究室(PUSPICS)

ジョクジャカルタにあり、リモートセンシングのデジタル解析等を行っている。スタッフは19人である。

c) ボゴール農科大学土壌科学部(IPB)

ボゴールにあり、土壌調査にリモートセンシングを応用し、デジタル解析等を行っている。スタッフは5人である。

d) インドネシア大学電気工学部

リモートセンシングのハードウェアの研究をしている。

e) LGPN (Institute for Geophysics and Mineral Exploration, LIPI)

バンドンにあり、地質調査のデジタル解析研究を行っている。スタッフは5人である。

f) パジャジャラン大学生態学部

バンドンにあり、環境アセスメント、流域開発、エロージョンなどの生態学の研究を行っており、リモートセンシングのスタッフは4人である。

g) BIOTROP (SEAMEO Centre for Biological Studies)

ボゴールにあり、植生研究のためにリモートセンシングを応用している。リモートセンシングのスタッフは5人である。

h) Direktorat Geology

バンドンにある地質調査所で、環境地質学、鉱物探査、火山学にリモートセンシングを応用している。

インドネシア全域の縮尺1/250,000、1/625,000の地質図を作成している。

i) Soil Research Centre (Centre for Agricultural Research)

土壌研究センターはボゴールにあり、写真判読のできる多くのスタッフをかかえているが、資源調査のためにリモートセンシングを活用できる者は4人である。

インドネシア全域の縮尺1/250,000、1/625,000の土壌図を作成している。

3) その他の政府機関

a) 公共事業省 (Ministry of Public Works)

公共事業省内にあるデジタルリモートセンシング解析センター(コンピュータセンター)はジャカルタにあり、スタッフは15人である。大型リモートセンシングデジタル解析システムを保有しており、アナログ、デジタルの解析システムをもつ。また、多数の空中写真やリモートセンシングの成果を用いて各種の地方計画を作成している。多くの私的なコンサルタント関係者との交流がある。

JICAによる『農業開発リモートセンシング計画』プロジェクトが1980年から進められており、大きな成果をあげている。表-9にその概要を列記する。

なお、今回調査をした中部ジャワのパラプラン周辺及びスマトラのブナカット周辺での最新のランドサットデータ(CCT)は、前者が1987年2月、後者が1986年6月のものを所有しており、さらに新しいCCTが入手できれば、いつでも画像処理ができる態勢をもっている。

b) 林業省 (Ministry of Forestry, Bina programme, Kehutanan)

林業省の造林総局森林計画局は、広域の森林調査やモニタリングを行っており、空中写真判読のトレーニングをつんだ多数のスタッフがいる。しかし、リモートセンシングのスタッフは限られている。

なお、林業省にはこのほか、森林資源調査総局-森林調査センターリモートセンシング調査部もある。

インドネシアにおいては空中写真は軍が管理しており、これを利用する際は軍から借用しなければならず、常時スムーズな利用がしにくい現状である。

空中写真の撮影は、必要に応じて各機関で行われており、縮尺は1/20,000や1/50,000などがある。

林業省は過去に航空機造林の実績があり、今回の調査でも貴重な資料を借用することができたが、現在、特に航空機造林の研究は行っていないということである。また、航空機造林の適地選定に際し、空中写真や衛星データを利用した実績はない。



表-9 『農業開発リモートセンシング計画』の概要

	Phase I	Phase II
プロジェクト期間	1980.4.1~1987.3.31 (7年間)	1988.6.6~1993.6.5 (5年間)
協力課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>○リモートセンシングシステムの開発と運営</li> <li>○ランドサット及び航空機からのデータ収集</li> <li>○アナログ及びデジタル解析手法の開発</li> <li>○主題図及び評価図の作成</li> <li>○ケーススタディエリアにおける実地調査</li> <li>○農業開発適地のためのマルチステージ調査法の確立</li> <li>○インドネシア側の調査計画担当者の能力の向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○農業開発計画に必要な主題図及び評価図の作成</li> <li>○農業開発に関する基準の策定</li> <li>○農業開発に関する情報の収集及び活用のためのデータベースシステムの確立</li> <li>○研修</li> </ul>
主題図及び評価図の成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>○主題図 (ランドサットから) S = 1/250,000 <ul style="list-style-type: none"> <li>・地表被覆図</li> <li>・土地利用図</li> <li>・植物量分級図</li> <li>・土壌水分図</li> <li>・土壌色抽出図</li> <li>・地質図</li> <li>・地形図</li> <li>・水系図</li> <li>・植生変化図</li> </ul> </li> <li>○主題図 (既存地図から) S = 1/250,000 <ul style="list-style-type: none"> <li>・降雨分布図</li> <li>・地質図</li> <li>・標高図</li> <li>・傾斜図</li> <li>・土壌図</li> <li>・有効土層図</li> </ul> </li> <li>○評価図 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ランキング法</li> <li>・パターン法</li> <li>・重回帰法</li> <li>・手作業法</li> <li>・主成分分析法</li> </ul> </li> </ul>	
協力内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>○長期専門家の派遣</li> <li>○短期専門家の派遣</li> <li>○研修員の受入れ</li> <li>○機材供与</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○長期専門家の派遣</li> <li>○短期専門家の派遣</li> <li>○研修員の受入れ</li> <li>○機材供与</li> </ul>
プロジェクトサイト及びインドネシア側の実施機関	公共事業省情報処理図化センター	公共事業省情報処理図化センター

c) 教育文化省

JICAによる『熱帯降雨林研究計画』プロジェクトが1985年4月からPUSREHUT (SAMARINDA) で開始されている。本プロジェクトには日本から5名の長期専門家が派遣され、現在、5分野、12テーマの研究活動がムラワルマン大学との協力のもとに進められている。

このうち、分野1「森林土地利用区分と計画」では、次の3課題によって実施されており、そのなかで熱帯降雨林研究でのリモートセンシング解析技術の研究が行われている。

- ① 山火による熱帯降雨林変化調査のための合成開口レーダ (SAR) 及び多波長走査計 (MSS) 観測の研究
- ② 植物被覆種のスペクトル特性区分による土地利用区分と森林調査
- ③ 森林土地利用計画基礎研究

d) Central Bureau of Statistics

中央統計局はジャカルタにあり、そのなかの農業資料課でランドサットを用いた解析を行っている。スタッフは2人である。

4) インドネシアにおけるリモートセンシングの発展に貢献した外国の組織・機関

The World Bank・FAO・The Ford Foundation

The Agricultural Development Council・CIDA/IDRC, Canadian Aid Programme

AID(USA)・ITC, NUFFIC(Holland)・ORSTOM(French)・JICA(Japan)

3-2-5 ラウ地域における航空機造林地の現状

(1) 立地条件

- ① 所在地 : Lawn Forest Management Unit,  
West Ponorogo Sub-Forestry District Office  
(Ngraru Sub-District, Ponorogo District, East Jawa Province)
- ② 面積 : 65ヘクタール
- ③ 標高 : 800メートル
- ④ 地形 : 山腹傾斜面 平均傾斜35°
- ⑤ 地質・土壌 : 火山堆積土、赤褐色土で表土が浅く、透水性が悪く、薄い腐植層がある。
- ⑥ 降水量 : 年平均 1,800ミリメートル、乾期4~5か月。雨期は11月~5月。
- ⑦ 植生 : Lantana camara, Eupatorium Pallescensなどの灌木とアランアランにその他草本類の混交した植生である。同地域には1968年にメルクシマツ (Pinus merkusii)が人工造林されており、マツの適地である。

(2) 地拵え方法

100メートル間隔に、整然と区画し、鋤で掘り起こし区、刈り払い火入れ区、無地拵え区  
の3試験区を配置している。

(3) 種子散布時期

1972年2月5日、2月29日、5月30日、6月30日、9月1日、10月15日、10月31日、11月  
30日に、それぞれ航空機散布をしている。そのうち、稚樹の発生と生長が確実に認められて  
いる散布時期は、5月、6月、10月、11月であり、2月5日と9月1日は失敗している。最  
も成功しているのは11月30日散布である。

(4) 樹種及び散布種子

散布種子は、*Acacia auricaliformis* と *Calliandra* spp. の2樹種である。航空機散布に  
先立ち、各試験区に1m×1mのプラスチックバッグを配置し、散布種子の落下量を調査し  
ている。その結果では、1ヘクタール当たり、*Acacia auricaliformis* 28,000粒、*Callian-*  
*dra* spp. 78,000粒、合計53,000粒が混播されている。

(5) 稚樹の発生率及び生長量

各地拵え区にミリエーカ(約4平方メートル)の調査プロットを20ユニットずつ配置し、  
種子落下粒数に対する稚樹発生率と樹高を調査している。種子散布1年後の調査結果は表-  
10に示すとおりで、無地拵え区の成績が最もよく、刈り払い火入れ区がそれに次ぎ、鋤掘り  
起こし区は最も成績が劣っていた。

バラプラン航空機造林地では無地拵え区は稚樹の発生率が悪く、造林に失敗していたのに  
対し、このラウ造林地では無地拵え区が最も成績がよかったのは、地形が平均35°の山腹傾  
斜面で地面にA層が露出し、種子の着床と発芽がよい条件であること、また、土壌が火山堆  
積土であること等も無関係でないと思われる。

このラウ航空機造林地は、2年後の調査結果を待たずに山火事によって消失した。

表-10 インドネシア東部ジャワのLawuにおける航空機造林結果(1年後成績)

樹種	項目	鋤掘り起こし	刈り払い火入れ	無地拵え
<i>Acacia auricaliformis</i>	稚樹発生率(%)	23.9	46.7	50.0
	平均最高樹高(cm)	89	95	102
<i>Calliandra calothyssus</i>	稚樹発生率(%)	13.4	18.4	28.5
	平均最高樹高(cm)	129	169	134

出所: NATIONAL ACADEMY PRESS: Sowing Forest from the Air, 1981

GOVERNMENT STATE ENTERPRISE FOREST DISTRICT LAWU INDONESIA: REPORT OF  
THE IMPLEMENTATION PROJECT OF AERIAL SEEDING, 1973

## 4. 今後の技術開発と検討課題

### 4-1 樹種選定及び種子加工

航空機造林の先進地域（カナダ、アメリカ、オーストラリア等）における従来の事業は、一般に降水条件や土壌条件が比較的良好なところで行われている。したがって、伐採跡地の残廢枝条及び地表堆積有機物の火入れ地拵えや、ある程度の地表整理によって生育基盤が整えられれば、散布種子の着床が著しく改善され、発芽及び初期生育が促進されて良好な道林成績が得られ易い。

また、航空機造林では、小粒・軽量種子は飛散ロスが生ずるので、均一散布や着床効果を高めるため、重みづけ（加重）のコーティングが最も基本的な加工処理であるが、さらに生長促進のための肥料コーティングも加えられ、造林成績の向上が図られている。

このほか、Pinus 類、Picea 類の種子は、小動物による食害や幼苗は菌害を受け易いため、忌避剤・殺菌剤等のコーティング（現在は使用されないものがある）も散布種子の発芽・生育に良好な成果を得ている。

本調査の大規模森林回復技術が対象となる開発途上地域では、立地条件（降水量、土壌）や地表植生（熱帯湿潤地草原）等の自然的環境は、従来の航空機造林地に比べれば著しく条件が厳しいこととなる。したがって、立地環境に適応した樹種の選択や、種子加工方法の開発や適切な散布方法の検討はきわめて重要な課題である。

#### (1) 樹種選定

##### 1) 使用樹種・候補樹種

航空機造林の先進地域であるカナダ、アメリカ等では、Pinus 類・Picea 類が使用されオーストラリア、ニュージーランド等では Eucalyptus 類が広く使用されてきたが、いずれも暖・温帯地域で、降水条件や土壌条件は、かなり良好な地域である。

“Sowing Forest from the Air”によれば、既往における使用樹種としては約35種あげられ（表-11）、開発途上地域における航空機造林の候補樹種として湿潤熱帯36種、半乾燥地域15種、熱帯高地11種、合計62樹種があげられている（表-12）。また、JICAによる半乾燥地造林計画基準報告書（本論）には気候帯別造林候補樹種（ポット植え、根株植え及び直播約10種を含む）があげられている（表-13）。JICAプロジェクトにおいては、インドネシア、フィリピン、タイ等における多くの樹種の造林成果があるので、これらを基礎に発展途上地域における立地条件別に航空機造林用の適性樹種の選定を行う必要がある。

なお、航空機造林における適性樹種としての検討すべき点は次のようである。

##### ① 種子の大量入手が容易なこと。

表-11 航空機造林成功樹種一覽表

樹 種	普通名	國
<i>Acacia auriculiformis</i>		インドネシア
<i>Betula allegheniensis</i>	yellow birch	カナダ
<i>Calliandra calothyrsus</i>	calliandra	インドネシア
<i>Cecropia obtusifolia</i>	trumpet tree	アメリカ, ハワイ
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	river red gum	オーストラリア
<i>E. delegatensis</i>	alpine ash	"
<i>E. globulus</i>	blue gum	"
<i>E. grandis</i>	flooded gum	"
<i>E. nitens</i>	shining gum	"
<i>E. obliqua</i>	messmate stringybark	"
<i>E. regnans</i>	mountain ash	"
<i>E. viminalis</i>	mann gum	"
<i>Leucaena leucocephala</i>	leucaena	太平洋諸島
<i>Liquidambar styraciflua</i>	sweet gum	ホンジュラス
<i>Liriodendron tulipifera</i>	tulip poplar	アメリカ
<i>Melochia indica</i>	melochia	アメリカ, ハワイ
<i>Picea glauca</i>	white spruce	アメリカ
<i>P. mariana</i>	black spruce	カナダ
<i>Pinus banksiana</i>	jack pine	"
<i>P. contorta</i>	lodgepole pine	アメリカ, ニューゼーランド
<i>P. elliotii</i>	slash pine	アメリカ
<i>P. nigra</i>	black pine	ニューゼーランド
<i>P. mugo</i>	Swiss mountain pine	"
<i>P. palustris</i>	longleaf pine	アメリカ
<i>P. ponderosa</i>	ponderosa pine	アメリカ, ニューゼーランド
<i>P. radiata</i>	Monterey pine	ニューゼーランド
<i>P. resinosa</i>	red pine	アメリカ
<i>P. rigida</i>	pitch pine	"
<i>P. taeda</i>	loblolly pine	"
<i>P. virginiana</i>	Virginia pine	"
<i>Populus spp.</i>	cottonwood	"
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Douglas fir	"
<i>Robinia pseudoacacia</i>	black locust	"
<i>Sesbania grandiflora</i>	turi	インドネシア
<i>Spathodea campanulata</i>	African tulip tree	アメリカ, ハワイ

出所: Sowing forests from the air

表-12 開発途上地域における航空機造林の候補樹種

( 温 帯 地 帯 )		Sterculiaceae	Melochia indica
Leguminosae	Acacia auriculiformis	アオギリ科	
マメ科	Albizia spp.		
	Albizia falcataria		( 半 乾 燥 地 帯 )
	Albizia lebbek	Leguminosae	マメ科
	Albizia spp.	Acacia albida	
	Calliandra calothyrsus	Acacia nilotica	
	Cassia siamea	Acacia saligna	
	Cassia spp.	Acacia senegal	
	Derris indica (Pongamia glabra)	Prosopis spp.	
	Gliricidia sepium	Colophospermum mopana	
	Leucaena leucocephala	Myrtaceae	Eucalyptus citriodora
	Sesbania grandiflora	フトミミ科	Eucalyptus tereticornis
Myrtaceae	Eucalyptus degulpta	Anacardiaceae	Anacardium occidentale
フトミミ科	Eucalyptus spp.	ウルシ科	
	Melaleuca spp.	Meliaceae	Azadirachta indica
	Syzygium cumini	モンダン科	
Biaceae	Anthocephalus chinensis	Chenopodiaceae	Haloxylon aphyllum
アカネ科	Avicennia spp.	アカザ科	Haloxylon persicum
Verbenaceae	( その他のマングローブ )	Rhamnaceae	Zizyphus mauritiana
クマツヅラ科	Gmelina arborea	クロウメミドキ科	Zizyphus spina-christi
Casuarinaceae	Casuarina spp.	Pinaceae	マツ科
ミクマオウ科			Pinus halepensis
Moraceae	Cecropia spp.		( 熱 帯 高 地 )
クワ科	Ficus spp.	Leguminosae	Acacia mearnsii
	Musanga spp.	マメ科	Inga spp.
Euphorbiaceae	Croton spp.		Mimosa scabrella
トウダイグサ科	Macaranga spp.	Myrtaceae	Robinia pseudoacacia
	Neoboutnoia spp.	フトミミ科	Eucalyptus globulus
Rutaceae	Flindersia brayleyana	Betulaceae	Alunus acuminata
ミカン科	Maesopsis emini	カバノキ科	Alunus nepalensis
Rhamnaceae	Melia azedarach	Proteaceae	Alunus rubra
クロウメミドキ科		ヤマミガン科	Grevillea robusta
Meliaceae	Muntingia carabura	Cupressaceae	Callitris spp.
センダイ科	Spathodea campanulata	ヒノキ科	
Elaeocarpaceae	Terminalia catappa	Pinaceae	マツ科
ホルトノキ科			Pinus oocarpa
Rignoniacae	Trema spp.		
ノウセンカズラ科	Pinus caribaea		
Combretaceae	Pinus kesiya		
シクンソ科			
Ulmaceae			
ニレ科			
Pinaceae			
マツ科			

( 参 考 文 献 : Tropical Legumes : Resources for the Future  
 Firewood Crops : Shrub and Tree Species for Energy Production )  
 出 所 : N.A.S., Sowing Forests from the Air.

表-13 半乾燥地帯における気候帯別造林候補樹種

気 候 帯	樹 種	造 成 方 法
① 乾燥帯 (年雨量 200 - 400 mm, 年間 8 - 11 か月乾燥) カ		
雨だけに依存	Acacia senegal Prosopis chilensis	DS DS (PP)
灌水, 毎年の洪水もしくは他の 下層土の混合物に依存	Acacia albida Acacia nilotica Azadirachta indica Conocarpus lancifolius Dalbergia sissoo Eucalyptus camaldulensis Eucalyptus microtheca Eucalyptus tereticornis	PP (DS) DS St 又は PP St St PP PP PP
② 半乾燥帯 (年雨量 400 - 1,200 mm, しかし 一般には 1,000 mm 以下, 乾季 6 - 8 か月) カ	Anacardium occidentale (Callitris spp.) (Cassia siamea) (Dalbergia sissoo) Eucalyptus camaldulensis (Eucalyptus citriodora) Eucalyptus microtheca Eucalyptus teretiornis	DS PP St St PP PP PP PP
③ 亜湿润帯 (年雨量 1,000 - 1,500 mm, 乾季 4 - 5 か月) カ	(Acrocarpus fraxinifolius) Araucaria cunninghamii Callitris calcarata Callitris glauca Callitris intratropica Callitris robusta Cassia siamea Eucalyptus camaldulensis Eucalyptus spp. 12ABL Eucalyptus cloeziana Eucalyptus grandis Eucalyptus pilularis Eucalyptus propinquus Pinus caribaea Pinus kesiya Pinus oocarpa	St 又は 大 PP PP DS 又は PP DS 又は PP DS 又は PP DS 又は PP St (DS) PP PP PP PP PP PP PP PP PP

「注」① ( ) 内の樹種は, 当該気候帯で用いられることもあるが, 一般には, 次のより湿润な湿润気候帯で用いられる。

② DS - 直挿し, St - 根株挿し, PP - ボット挿し。

出所: 国際協力事業団: 半乾燥地造林計画基礎報告書(本誌)。

- ② 機械散布に適すること。
- ③ 地表でも発芽・定着性がよいこと。
- ④ 初期生長が早く他の植物との競合に強いこと。また、耐陰性が強いこと。
- ⑤ 諸害に対する抵抗性（乾燥、病・虫・獣害）が強いこと。

などである。

## 2) 樹木の生長と地域性・個性

遠隔な産地からの種子・苗による森林造成においては、樹木の地域性に基づく生長の良否が大きく現われる恐れがある。このため、原産地の気候（気温・降水量等）・土壌条件等が類似している地域の樹種を選定することが基本的に重要である。分布範囲が広い樹種の場合はその現象が大きいとされるので、Eucalyptus類やAcacia類等は種子の入手に当たってこの点を十分留意することが必要である。

形質の劣る樹種によって林分が形成されれば、将来にわたって更新技術や経済性にも問題を残すことになるので、この面からの樹種・品種の選定も慎重に行う必要がある。

## (2) 種子の確保

大規模森林回復のための航空機造林においては、必要とする大量の種子を確保することが不可決の条件である。また、前述（前項）のように良質の種子を使用することも重要である。

このため、種子の入手は予め計画的に手配を行うことが必要である。早生樹種は造林地を活かして母樹林を育成し、これによって良質な種子を確保することも現実的な方法と考えられる。

なお、大量の種子が得られ易い樹種としては、結実性（種子の着生量・豊凶・稔性）のよいことが第1であるが、採取方法、精選方法が容易であること、種子の活力が長く保たれることなどもこれに関連する。

したがって、航空機造林用の樹種については、種子確保の面から次の点について十分検討することが必要である。

- ① 樹種別の結実習性（結実サイクル、結実量、稔性）
- ② 採取方法（種子着生位置、採取適期、採取方法および工程）
- ③ 精選方法（能率的精選方法、純量率）
- ④ 貯蔵方法（活力維持に最適の条件、貯蔵施設）

## (3) 発芽促進方法

航空機造林においては、適期に散布した種子が1日も早く発芽し、かつ一斉に出揃うことが望ましく、発芽勢力のよい樹種が優れている。

早生樹種のなかでも、マメ科樹種のように硬実種子となるものも少なくないので、使用樹種・候補種については発芽勢力（発芽の早さ・均一性）の調査と発芽促進方法についての検



討が重要である。

わが国の航空機緑化に用いられている植生種について、発芽促進処理を行った種子の発芽勢力を調べた例は図-11のとおりである。

なお、効果的な発芽促進方法を明らかにするためには、次の事項によって十分検討する必要がある。

- ① 物理的処理（温湯～熱湯処理、変温湿層処理、種皮の搔傷処理、光処理）
- ② 化学的処理（種皮の薬剤処理、他）
- ③ ホルモン処理

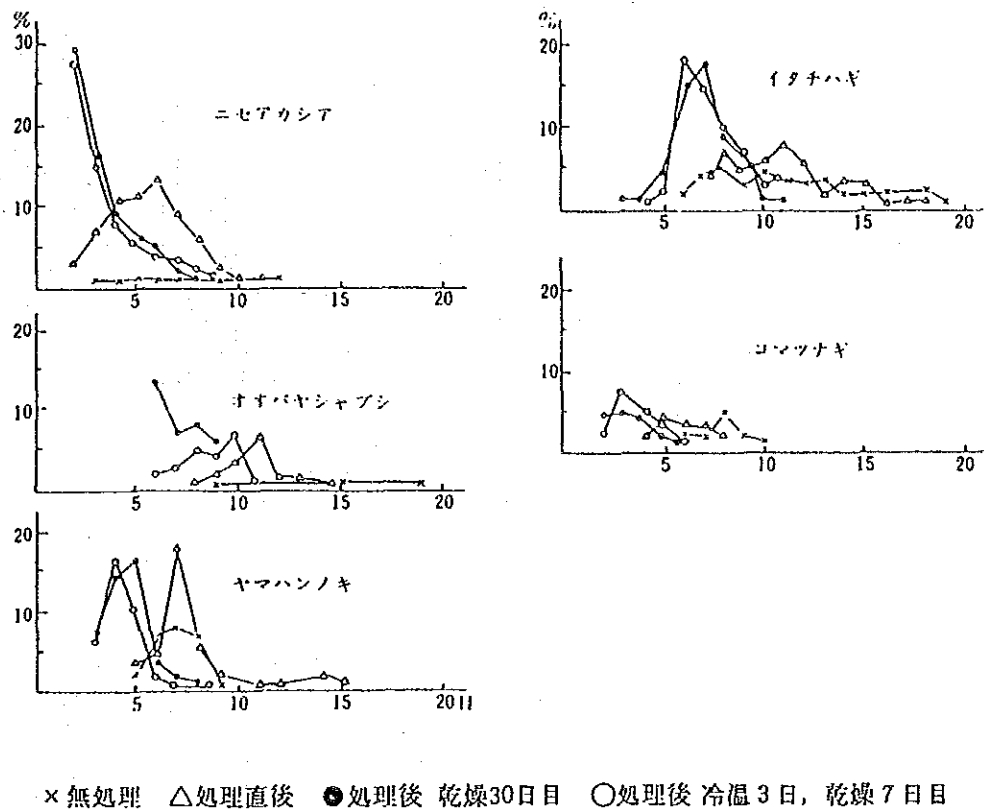


図-11 緑化用樹草の発芽促進処理効果

#### (4) 生長促進方法

瘠悪な立地環境においては、発芽・生立した幼苗が、遅滞なく伸長・生育し、表土の乾燥にも耐性を増し、地表植生との競合からも早期に脱出することが必要である。

このためには、樹種別に効果的な養料の供給方法や、生育基盤材、保水材（剤）の検討も重要である。マメ科樹種など窒素固定菌と共生する種類については、根粒菌の効果的な活用方法についての検討も望まれる。

瘠悪地において播種による導入を考慮し、根粒植物について行った施肥や根粒菌の活用結果を示すと図-12~13のようである。また、Eucalyptus類(rostrata)の施肥例をみると図-14~15のとおりである。

なお、実播における幼苗の生長促進について検討すべき事項は次のようである。

- ① 養料の供給（樹種別の最適肥料成分、施用量）
- ② 生育基盤材（無機材、有機材、固着材）
- ③ 保水材（剤）（持続性、他）
- ④ 窒素固定菌（樹種別接種方法、他）
- ⑤ 生長ホルモン

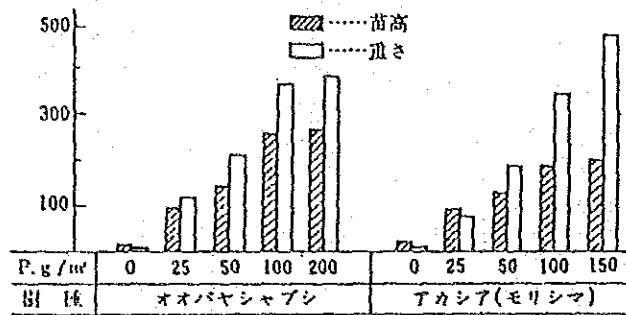


図-12 根粒樹木のリン酸施肥効果  
(N. 10g/m<sup>2</sup>, P. 25g/m<sup>2</sup>区に対する比)

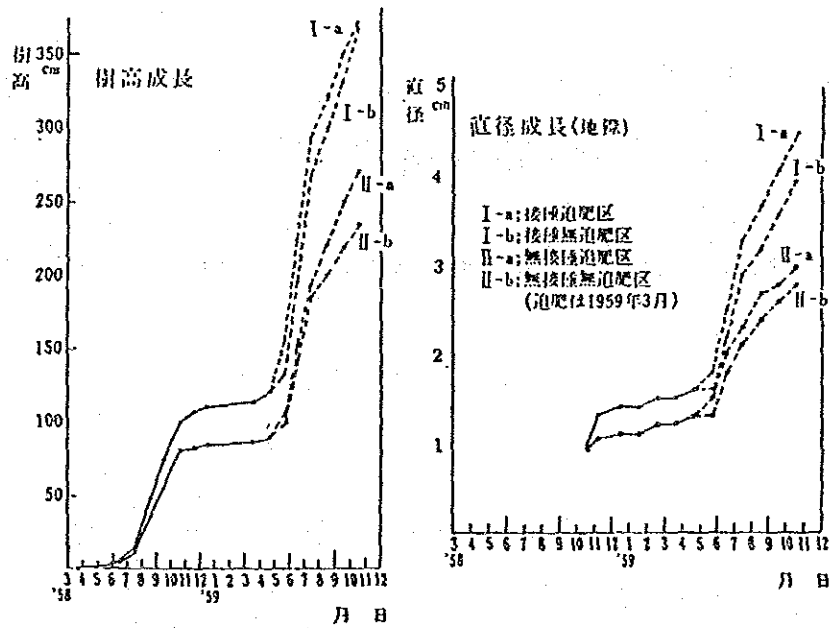


図-13 根粒菌接種試験  
(Acacia dealbata)

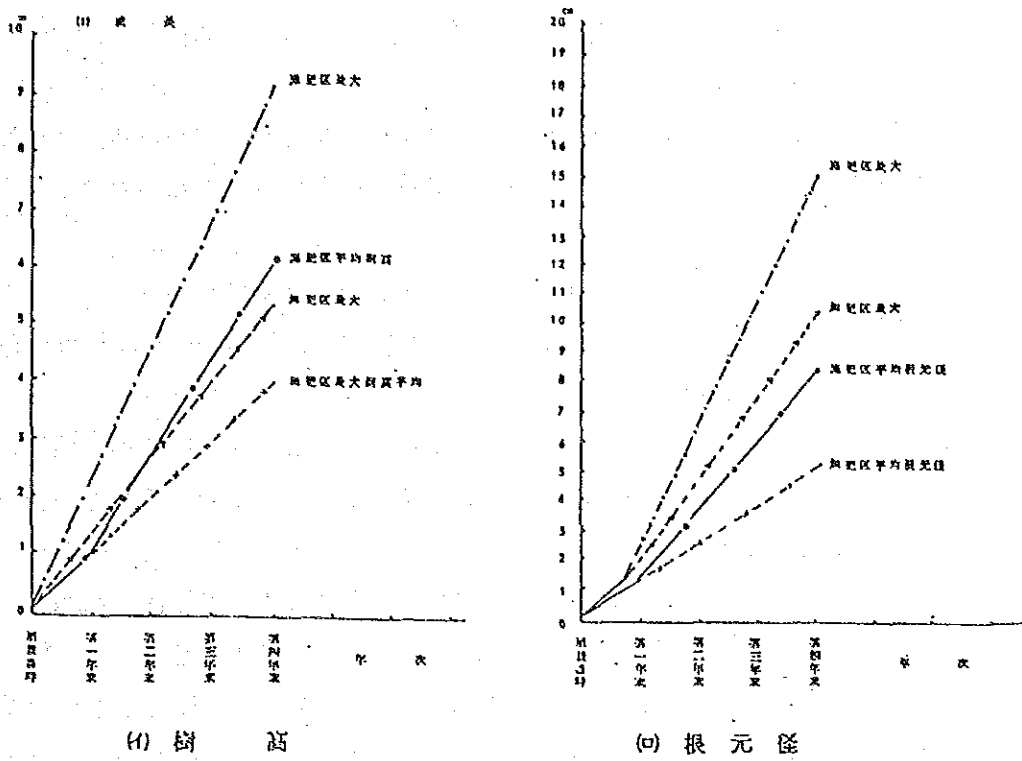


図-14 E. rostrataの総成長<sup>1)</sup>

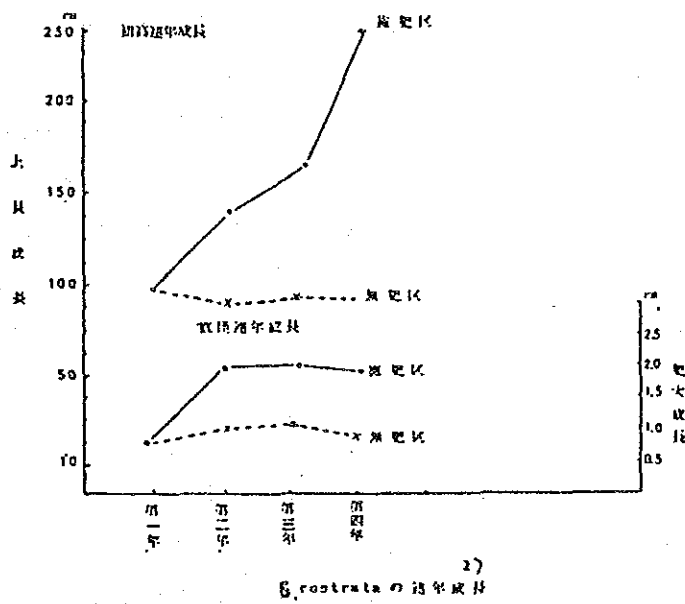


図-15 E. rostrataの過年成長<sup>2)</sup>

注 1), 2) 林野庁指導部研究普及課：ユーカリ造成試験報告書，S. 34

(5) コート種子の活用

先進地域における航空機造林において、前述(3-2-2)のように散布種子のコーティングは主に現場における簡易な手作業によって加工されてきた。しかし、大規模森林回復のための航空機造林においては、大量の種子を使用し、能率的な施行が求められるため、事前の加工処理が必要である。ことに、造林対象地の立地条件は厳しいものとなるため、瘠悪な土壌条件に対応した効果的な改善が必要となる。

コート種子は農業・園芸方面では早くから開発・利用されているが、コーティング材料は微粒～小粒種子の加重（重みづけ）のための無機物（粘土等）と固型のための糊材を主とし、肥料などの加工は現在は一部に限られている。

国内及び海外（主にアメリカ）のメーカーは、独自に技術開発を行うか、他社から導入しているが、資材と加工技術については各社ともノウハウに属するものとして詳細は明らかにされていないのが実情である。

コート種子の加工は、コーティング資材の開発とそれによる加工技術の開発にかかわるため、わが国では主に糊材（固型材）の開発が進んでいる化学工業会社が行っている。コート種子の加工は、現在主として野菜種子や園芸種子等について行われているが、生産量は需要と関連するため、技術開発が進んでいる大手化学工業会社が、種苗会社をはじめ各方面の需要に応じて委託加工しているのが現状である。委託加工における種子の基本規格と種子加工賃の例を示すと表-14～15のとおりである。

コート種子は一粒ずつ個々にコーティングされるのが普通で、種子の大きさ、形状等に応じて、均一な単粒の造粒化や重みづけが図られている。これによって播種の機械化や、播種量の節約、生長促進等の効果があげられている。

大規模森林回復が対象となる地域では、一般土壌の理化学性が劣悪なため、可能な限り生育基盤の改善に関する対策が必要と考えられ、航空機による種子散布を想定すれば、種子の発芽、着床、生育促進等を効率的に推進されるよう、コート資材の開発、コーティング技術の開発が重要である。種子加工に関しては加重処理のほか、養料供給や保湿効果の向上を中心にして、次の事項について改善を進める必要がある。

表-14 住化式コート種子の基本規格 注：1)

規 格	単 位	S S	S	L	L L	L L L
呼称寸法	mm	1.5～2.0	2.0～3.0	2.5～3.5	3.5～4.5	4.5～6.0
圧縮強度	g/粒	200～300	200～300	300～500	400～600	400～600
概略粒数	千粒/1	210	55	28	18	9

表-15 コート種子加工賃（千粒当たり） 注：2)

種 類	コート仕様(サイズ)	価 格 (円/千粒)	摘 要
レタス	S	260	レタス、サラダ菜
	L	280	
白菜 他	L	260	白菜、甘藷、中国菜、フロッカー
大根	2 L, 3 L	150	大根
人参	L	135	人参
葱類	2 L	160	玉葱、葱、ニラ
雑菜類	L	160	野沢菜、壬生菜、小松菜
蕪	L	220	蕪
果菜類	L, 2 L, 3 L	600	トマト、ナス、ピーマン
微小種子	2 S, 3 S	500	花、セルリー (2S)

(注：1～2、住化農業開発株式会社の資料による)

- ① 種子の重みづけ、着床。(種子の形態、大小別の造粒方法、無機材・糊材など)
- ② 発芽促進。(発芽前処理、ホルモン剤)
- ③ 生長促進。(肥料成分、肥料種、窒素固定菌、ホルモン剤、保水剤)
- ④ 食害・菌害回避。(忌避剤・殺菌剤等は使用を止めているものがある)。
- ⑤ 散布状況の目視確認。(着色材)。

(6) その他種子散布材の検討

瘠悪な土壌や水分条件の劣るところでは、生育基盤の形成を図ることが必要である。このため、肥料・有機質材料・糊材等を混合し、これに種子をまじえた散布材を塊状に落下することも考えられる。立地環境の劣悪なところでは、散布種子が地表面にそのまま置かれるよりも、わずかな被覆によって発芽・定着が向上するので、効果的な資材と散布する方法について検討する必要がある。

## 4-2 地上作業

### (1) 地拵え

航空機造林における地拵えの目的は、散布種子の着床、発芽、生育に良い環境条件を整備することにある。通常、この好適条件としては、地表植生の繁茂や有機物層の堆積などが少なく、鉾物質土壌(A層)が筋状に露出するのが理想的とされている。

このような面からみると航空機造林における地表上の最大の障害物は、末木枝条と土壌の

有機物層および密生草本である。これらの障害物を除去する地拵え法としては、火入れと地がきがあげられる。航空機造林の先進国であるカナダ・アメリカ・オーストラリアなどでは、両者の地拵え法が航空機造林の必要技術とし開発・実行され、インドネシア中部ジャワのパラプラン造林地でも、トラクターによる地表耕耘と火入れ地拵えが適用され、成功している。

したがって、地表植生や有機物層が少なく、しかも鉱物質土壌が筋状に露出している荒廃地や山火事跡地などの林床では、ほとんど無処理でも種子の着床と発芽が可能であるが、アラミアン草原等のように地表植生が密生している林床では、火入れ地拵えが航空機造林の有効な手段の一つと考えられる。この火入れ地拵えは、低コスト、競合雑草の抑制、土壌養分の改善などの効果が期待されることから草本の多い湿潤熱帯地域で広く行われている。

なお、火入れ後も有機物層が厚く残っている箇所や鉱物質土壌が露出しにくい沢筋や平坦地等では、更に機械による地がきが必要となる。天然林の伐採跡地等で、末木枝条や有機物層の多いカナダやオーストラリアの航空機造林では、火入れ後、更に大型機械による地がきを行うのが一般的であり、それが造林の成功度を高めている。

地表草本が密生しているにもかかわらず、火入れ地拵えが禁止されている地域では、大型機械による地表植生の引き抜き、あるいは地表の反転、耕耘などの地拵え法が主体と考えられる。

殺草剤による地拵え法については、広大な草原を全面的に枯殺することは流域保全に薬害を及ぼすなどの心配があり、その危険性がない薬剤使用法が開発されるまでの間は使用しにくい。ただ、航空機散布種子の発芽後、雑草との競合を減じるためには、除草剤の利用は有効な方法の一つと考えられる。

以上から湿潤熱帯及び半乾燥熱帯地域における航空機造林の地拵え法の技術開発課題は次の項目に示される。

#### 1) 草原の火入れ技術

特にアラミアン草原等のような地表植生の密生地を対象に、半乾燥熱帯・湿潤熱帯の地理区分および植生区分ごとの、火入れ時期、火入れ最適天候条件、防火帯の配置、点火方法等のマニュアル作り。

#### 2) 火入れ跡地の地がき技術

草原の耕耘・地ならし・地がきに効率的な造林用大型トラクターの選定と開発、地がき用アタッチメントの選定と改良、地がきの深さ・幅員・密度の基準の作成

#### 3) 無処理法の適地条件の解析

半乾燥熱帯・荒廃地・急傾斜地などの土地では地表植生の密度が低く、しかも鉱物質土壌が筋条に露出し、散布種子の着床と発芽が容易な立地条件の場合が多く、そのような箇所では、表土の耕耘や地がきは簡略できる可能性がある。そのような立地条件を解析し無

処理適地条件を明らかにして適地選定に活用することが必要であろう。

## (2) 保 育

航空機による散布種子が着床し、発芽、生育を始めた後の保育として必要な作業は、追播、追肥、除草、除間伐である。

追播は、種子散布後の苗木の生立本数調査の結果目標密度に達しない場合に、早い時期に行われるもので、その目標密度は、それぞれの国や地域の植栽造林の場合を考慮する。インドネシア・南スマトラ州ブナカット地区における産業造林計画では、苗木植栽本数は1ヘクタール当たり 1,100本が標準となっている。

追肥は、苗木の生育の悪い場合に行われる。マメ科の樹木では必ずしも必要としないが、ユーカリ類やマツ類では雑草との競合に抜き勝つために追肥が有効である。

除草は、カナダでは苗木が雑草木に被圧される場合に除草剤が使用されている。除草剤以外の手法では、苗木植栽造林（以下、植栽造林とする）に準じ、地上作業によって下刈りを実行する。

間伐は、航空機造林の場合、困難な保育作業の一つと考えられ、種子散布当初から樹種ごとに適正な立木密度と立木間隔をとることは不可能であって、散布種子が過多の場合は過密林分になり易い。カナダの *Pinus banksiana*、アメリカの *Pinus taeda* は自然淘汰により劣勢木が枯死すると言われているが、耐陰性のある *Picea spp.* や *Pseudotsuga menziesii* などは過密になると共倒れ現象を起こし易く、除・間伐が必要となる。ただ、発展途上国では除伐木が地元住民の燃料材として利用されることが多いので、これを利用すれば除伐コストの低下につながると考えられる。

以上から、湿潤熱帯及び半乾燥地帯における航空機造林の保育に関しては、次の技術開発が必要である。

### 1) 立木密度管理図の作製

既存のマツ類・ヒノキ・広葉樹などの天然更新、針広混交林・複層林などの造成技術に準じ、3樹種以上の混交林の密度管理図を作成する。特に、それらの樹種は早成用のマメ科の樹木と成育に長期間を要するマツ類等の混交林を対象に検討する。また、その管理図は、国及び地方の気候区分ごとに、しかも、燃料材、パルプ材、用材などの森林生産目的別に必要となる。

### 2) 雑草との競合を減じるための除草剤の使用法

流域の水質・土壌環境保全上、薬害汚染の心配のない除草剤（抑草主体）の開発と、特に草原への最低使用量と有効使用法の開発と改良。

#### 4-3 航空機利用

航空機利用により種子散布に関して、開発途上地域への適応のため、特に技術的な検討を要する課題としては次の点が考えられる。

##### (1) 種子散布

###### 1) 散布方法

###### a) 散布量の計算

適正な立木密度を得るための地拵え技術と改良散布装置とを考慮した種子散布量の計算方法を明らかにする必要がある。

###### b) 散布時期の選定

発芽最適気候、火入れ等の地拵え時期、補食動物の生息期間などを勘案した適正な散布時期決定の方法を確立する必要がある。

###### 2) 航空機種と散布装置等

###### a) 航空機種

散布する種子の樹種、面積、散布量、形状等を検討して、飛行機あるいはヘリコプター型式を選定する条件を明らかにする。

###### b) 散布装置

散布する樹種の種子（コーティングの有無を含む）に適合した効率的散布装置の選定及び散布装置の開発改良を図る。

###### 3) 散布飛行諸元

航空機種、散布装置により、適正な種子の散布密度及び分布を得るための効率的な飛行諸元の決定。

① 適正な散布飛行速度

② 適正な散布飛行高度

③ 必要な散布幅

④ 必要吐出量

⑤ 各種散布方法

⑥ その他必要事項の検討

##### (2) 航空機造林技術体系の確立

###### 1) 湿潤地域

草原地帯での航空機造林に適応する早成樹種の選定、地拵え方法の開発、加工種子の開発。

###### 2) 半乾燥地域

乾燥に強い樹種・品種の選定、地拵え方法の開発、草本類との混播方法、乾燥条件を克服する種子加工技術及び散布技術の開発。



これらの技術開発に加えて、開発途上国においては、種子の大量調達、貯蔵、航空機及びパイロットの確保、労務者雇用などを総合した実行体制の整備が航空機造林の実行に当たっての重要課題である。

#### 4-4 画像利用

##### (1) 基本的な考え方

大規模森林回復対象地は、各種の自然的条件のみでなく、様々な社会的条件にも規定されるが、ここでは前者の自然的条件を主体に考え、その選定に要する課題を整理する。

航空機造林の適地を判定する技術として、リモートセンシング技術の活用があげられる。今回現地調査をしたオーストラリア及びインドネシアでは、航空機造林対象地が森林の伐採跡地及び不成績造林跡地（面積は  $10^1 \sim 10^2$  ヘクタールのオーダー）であったこともあり、航空機造林対象地の判定にリモートセンシング技術を活用しているとはいいがたい現状であった。

しかし、熱帯アフリカ、熱帯アジア、熱帯アメリカなどの熱帯地域、また中国、モンゴルなどその他の地域では、 $10^3 \sim 10^5$  ヘクタール以上のオーダーでの森林回復の期待を持たれている地域がある。そのためには、衛星や高高度から撮影された写真や可視、赤外光波、またはマイクロ波等のアナログ、デジタルデータの解析による造林対象地の適地判定が重要になってくる。

##### (2) リモートセンシングとその利用

広大な地域から造林対象地の適地を判定する際、広域を対象とする小スケールからはじまり、順次地域的に大スケールで適地を選出していく方法が妥当である。一般的に、開発途上国では地形図、地質図、土地利用図等の地理情報が未整備であることが多いため、衛星リモートセンシングを活用することは非常に有効である。

現在、利用可能なセンサを搭載した衛星は表-16に、また画素サイズと画像視覚及びCCTの価格を表-17~18に示した。一例として、ランドサットのTMをみると、利用電磁波帯は7バンドあり、地上分解能は30メートル、画像化適正縮尺は1/50,000程度、CCT価格は100平方キロメートル当たり1,235円、また、電磁波帯別の利用特性は表19~20に示したとおりであり、単バンド及び各種のバンドを組み合わせることにより、多くの地域情報が得られる。

表-16 現在利用可能なセンサとパラメータ及び主な観測項目

センサ名	観測波長帯域	主な観測対象項目		分解能	摘要
MSS (多質スペクトル 走査計)	0.5 ~ 0.6 $\mu\text{m}$	水質、浅海域の水底地形		80m (観測幅： 185km)	LANDSAT 5号 太陽同期軌道 高度：約705km 傾斜角：約98° 観測周期：16日 観測幅：185km
	0.6 ~ 0.7 $\mu\text{m}$	人口構造物、植物プランクトン			
	0.7 ~ 0.8 $\mu\text{m}$	水域と陸域の区別、植物の状態			
	0.8 ~ 1.1 $\mu\text{m}$	リニアメント、地質構造			
TM (セマテック・ マップパー)	0.45 ~ 0.52 $\mu\text{m}$	沿岸水域の図化、土壌と植生の区別		30m (観測幅： 185km)	観測周期：16日 観測幅：185km
	0.52 ~ 0.60 $\mu\text{m}$	植生の状態			
	0.63 ~ 0.69 $\mu\text{m}$	クロロフィル			
	0.76 ~ 0.90 $\mu\text{m}$	バイオマス検出、水域の検出			
	1.55 ~ 1.75 $\mu\text{m}$	雲と雪の区別			
	2.08 ~ 2.35 $\mu\text{m}$	岩質分類			
	10.40 ~ 12.50 $\mu\text{m}$	温度パターン			
HRV (高解像力可視 放射計)	0.50 ~ 0.59 $\mu\text{m}$	斜め方向をみる ことができるポイン ティング・ミラー を有し、0.6° ず つのステップで ±45° ステップ回 転する。したがっ て、直下方向を中 心として左右に ±27° 指向できる ・局所的観測頻度 の向上 ・ステレオ観測に よる標高データ の抽出	水質(濁度) <カラー>	20m (観測幅： 60×60km)	SPOT 太陽同期軌道 高度：約832km 傾斜角：約99° 観測周期：26日 (回帰日数 最小5日)
	0.61 ~ 0.68 $\mu\text{m}$		穀物の識別 <カラー>		
	0.79 ~ 0.89 $\mu\text{m}$		植生分布 水陸識別<カラー>		
	0.91 ~ 0.93 $\mu\text{m}$		地形起伏 (分解能：10m) <白黒>		
VTIR (可視熱赤外 放射計)	0.50 ~ 0.70 $\mu\text{m}$	(機械走査方式)	雲、積雲、水分布	900m	MOS-1 太陽同期軌道 高度：約909km 傾斜角度：約99° 回帰日数：17日 周期：103分 100×100km)
	6.00 ~ 7.00 $\mu\text{m}$		上層水蒸気量	2700m	
	10.50 ~ 11.50 $\mu\text{m}$		海流現象	1500km	
	11.50 ~ 12.50 $\mu\text{m}$		海面温度		
MESSR (可視近赤外 放射計)	0.51 ~ 0.59 $\mu\text{m}$	(電子走査方式)	沿岸海域の水質	50m (観測幅： 100×100km)	回帰日数：17日 周期：103分 100×100km)
	0.61 ~ 0.69 $\mu\text{m}$		土地利用、植生区分		
	0.72 ~ 0.80 $\mu\text{m}$		水資源、赤湖、土湿度		
	0.80 ~ 1.10 $\mu\text{m}$		油染、水分布、融雪		
AVHRR (改良型高分解能 放射計)	0.58 ~ 0.68 $\mu\text{m}$	雲および地表面のマッピング		1.1km (直下点) (観測幅： 2920km)	TIROS/NOAA 太陽同期軌道 高度：約870km (TIROS-N) 約833km (NOAA-A) 傾斜角度：98.7° 周期：101.59分 回帰日数：0.5日
	0.725 ~ 1.10 $\mu\text{m}$	陸水分布			
	3.55 ~ 3.93 $\mu\text{m}$	海面温度、夜間での雲のマッピング			
	10.50 ~ 11.50 $\mu\text{m}$	海面温度、夜間での雲のマッピング			

資料：リモートセンシング活用手法開発調査報告書  
昭和63年3月、林野庁

表-17 画素サイズと画像視覚

(単位: mm)

画像の縮尺		1:50万	1:20万	1:10万	1:5万	1:2.5万	1:1万
センサ及び画素延長							
LANDSAT・MSS	80m	0.16	0.4	0.8	1.6	3.2	8.0
MOS-1・MESSR	50		0.25	0.5	1.0	2.0	5.0
LANDSAT・TM	30		0.15	0.3	0.6	1.2	3.0
SPOT・HRV (XSモード)	20			0.2	0.4	0.8	2.0
〃 (Pモード)	10				0.2	0.4	1.0

点描画像

写真画像と同様の視覚を与えるもの

微点画像

資料: 表-16と同様

表-18 衛星リモートセンシングCCTの価格

データ名	10×10km当たり価格	ピクセルの大きさ
LANDSAT・MSS データ	278円 (180×180kmで 90,000円)	80m
MOS-1・MESSR 〃	450円 (100×100kmで 45,000円)	50m
LANDSAT・TM 〃	1,235円 (180×180kmで 400,000円)	30m
SPOT・HRV 〃	6,417円 (60×60kmで 231,000円)	20m (但しマルチスペクトルモード)

資料: リモートセンシング活用手法開発調査報告書、平成元年3月、林野庁

(注) 価格は6,250BPI、システム補正のCCTで比較した

平成元年3月現在

表-19 Landsat・TMの利用電磁波帯と設定目標

チャンネル	電磁波帯	設 計 目 標
1	$\mu\text{m}$ 0.45~0.52	沿岸水系の作図、植生と土壌の区分 針葉樹と広葉樹の区分
2	0.52~0.60	緑色植物の可視光緑色の反射帯、植物生育状態 濁水分布や水深測定
3	0.63~0.60	クロロフィル吸収帯、鉄鉱石の検知
4	0.76~0.90	バイオマス調査、水と陸の識別
5	1.55~1.75	植物の含水量測定、土壌水分測定、雲と雪の区分
6	10.40~12.50	植物の熱ストレス測定、熱分布図作成
7	2.08~2.35	鉱物の識別、熱水の分布図作成、植物活力

資料：森林計画制度推進総合調査報告書〔資源調査システム〕  
昭和61年12月、林野庁

表-20 T M 波長帯利用特性

LANDSAT TM 波長帯	利用特性	基礎情報	地表、水面温度	雲、煤霧、大気水	積雪、融雪	表面水、湿地	混濁水、汚染水	土壌、土性・堆積	地質、岩質	焼跡、火山	崩壊、地り侵食	草地種、葉量	森林、植生種	植物病虫害、活性	開発裸地	構造物、道路	集落、市街	都市形態
BAND 1 0.45 ↑ ↓ 0.52	水、陰影の透過性 大気ヘイズ、土壤水分 プランクトン密度 (青感光)		●		◎	◎	○											
BAND 2 0.60 ↑ ↓ 0.63	雪、水の強反射 水の混濁 植物被覆と種別 構造物・土地地形 (緑感光)				○	●		◎	○			◎	○	◎		◎	●	○
BAND 3 0.69 ↑ ↓ 0.76	裸出土、土質、土性 作付、植物種区分 都市域、道路、土地利用 (赤感光) 植物活性、植物被害							●	○	○	●	○	◎	○	◎	●	○	○
BAND 4 0.90 ↑ ↓ 1.55	海岸線、陸水、土壤水、 植物種別、病虫害 構造物、開発裸地 高層雲、モヤの透過 植物葉反射 と水吸収			◎	○	●	○	◎	○	◎	◎	●	●	○	○	○	◎	◎
BAND 5 1.75 ↑ ↓ 2.08	植 物 種 地表、植物含水量 植物ストレス、干害 山 火 跡 植物葉の含 水吸収帯							○		●	○	○	◎	●	○	○		●
BAND 7 2.35 ↑ ↓ 10.40	岩 種 植物生理 地質構造、裸岩構造、 乾雪、融雪差 岩種の反 射差				●	○			●		○	○	○	◎	●			
BAND 6 12.50 ↑	地表、岩石、温度、地熱 土壌、植物含水量 表土出量 温排水、海流、流水 (熱温度)		●		◎	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○

● 主情報 ◎ 副情報 ○ 補助情報

資料：表-●と同様

ここで、衛星リモートセンシングの主な特徴をあげると、以下のとおりである。

#### 1) 長所

- ① 広い地域を同一センサーで同時に観測できる。
- ② 地球全体を同一の視野（同一の観測単位）で観測することができる。
- ③ 同一緯度であれば同一太陽条件（同一太陽高度、同一地方時刻）で観測できる。
- ④ 広範囲の電磁波情報が利用できる。
- ⑤ 周期的観測が可能で、観測対象の経時変化の掌握が可能である。
- ⑥ 観測データは電子計算機で処理可能なデータ（CCTデータ）で提供される。
- ⑦ 観測データは画素（メッシュ）データで構成されている。
- ⑧ そのため、データ処理は電子計算機で制御された画像解析システムで処理でき、国土数値データなどの既存データとの重ね合わせや地図情報システムとの組合せ及びポリゴン情報も利用できる。
- ⑨ 地球観測データ収集に関して将来的に継続性がある。

#### 2) 短所

- ① 空間分析能はセンサーにより異なるが、現状では多波長で20メートル（スポットのPモードで10メートル）程度までであり、それより細かい対象の観測には適さない。
- ② 可視近赤外域のセンサーでは、天候に左右され（特に雨、雲、霧等の影響を受ける）ため、最適時のデータ収集に不安がある。
- ③ 電磁波に表れない情報は得ることができない。

このように衛星リモートセンシングは、広域の土地利用、森林資源、環境調査簿の整備とその変化の総合的把握及び傾向予測解析に有効であるが、この他の手段としては表-21にあげたとおり、航空機リモートセンシングと地上観測調査がある。前者は、必要に応じて随時に、より狭い特定地域の詳細な情報収集（電磁波探査と空中写真撮影）を可能とする。また、後者は、点と線のように、狭い地点での情報ではあるが人間活動や世論を含めた人文的情報や十分な調査項目に関する詳細な情報収集が可能であり、この結果が最終的にはリモートセンシングにおけるグランドツルースとしての役割をもつ。

このように、各々の観測法は質的にも量的にも収集情報内容を異にするため、これらを相互に組合せ、各々の長所を生かすような宇宙から地上までを一貫したより経済効率的な調査システムを構築することを考えなくてはならない。

なお、将来はマイクロ波領域の衛星観測の活用が期待される。マイクロ波センサーは航空機に搭載され、米国(MOTOROLA社)、カナダ(CCRS)、オーストラリア(GEOSCAN社)などで地形、地質調査に用いられているが、1992年日本が打ち上げ予定の地球観測衛星JERS-1に搭載される予定である(合成開口レーダ、SAR)。その特徴は、雲を透過する全天候性であり、特に常時雲量の多い地域、熱帯多雨林地帯等でのデータ不足を大きく補うもの

と思われる。また、そのデータは表層土壌の水分、硬度、粗粒度等の調査に活用できる可能性がある。JERS-1には、その他8バンドの可視、近赤外の光学センサ(VNR)を持ち、近赤外域での立体観測を可能とする。データの分解能はSAR、VNRともに18メートルが予定されている。

これら技術の実用化促進をはかる必要がある。

表-21 陸地観測についての情報収集方法のいろいろな特性の比較

観測の特性 リモートセンシングシステム	広域性	広域同時性	周期性	緊急性	定性的 精確度	定性的 精確度	数量的 精確度	経費 低度性
地上観測調査による情報収集	△ 広域性をもつためには多くの地上観測施設が必要	△ 不可能	△ 連続観測周期観測が著しく困難	○ 緊急な事態の観測に間に合わない	◎ 高い詳細度	◎ 計測可能	○ 可能だが量的能力はない	△ 広域性のネットワークを設定するより費用が増大する
航空機観測による情報収集	○ 広域性をもつためには、かなりの数の航行撮影が必要	○ 航行時間の差は、無視できるとしても広域性は左記と同じ	△ 周期観測を行なうと経費が増大する	◎ 航空機の待機等に若干の検討を要するが適切	◎ 解像度にすぐれている	△ 一部の対象を除いて定量的測定はむずかしい	△ 可能だが経費が高い	△ 広域性の撮影には費用が増大する
人工衛星観測による情報収集	◎ 広域性は人工衛星の特徴	◎ 広域同時性は人工衛星の特徴	◎ 周期性 (Landsatでは18日は、人工衛星の特徴)	△ Landsatのみを考えると問題がある	○ 解像度に限界あり Landsatで30m	△ 一部の対象を除いて定量的には補助データを必要とする	◎ 最適	◎ 衛星打上げ、受信装置の費用を除けばデータ入手にはたいして費用はかからない

◎：非常にすぐれている

○：ややすぐれている。または普通

△：やや劣る

最適な情報システムは、リモートセンシングを活用し、人工衛星、航空機、地上調査観測を組み合わせ、広域～狭域一連の情報収集体系の下に組みこんだものである

資料：表-19と同様