

大規模森林回復技術調査 報告書

平成元年 3 月

国際協力事業団

大規模森林回復技術調査 報告書

JICA LIBRARY



1075468(7)

19532

平成元年 3 月

国際協力事業団

国際協力事業団

19538

序

世界の開発途上地域には約24億haの熱帯林が分布しているが、近年の焼畑移動耕作、薪炭材採取、木材伐採等により年平均で約1,130万haの森林が減少していると推定されている。一方、熱帯地域における森林回復面積は年平均約110万ha程度に過ぎず、このため、木材供給力の低下、水源涵養機能の低下、土壌流亡、土砂崩壊の深刻化及び生活環境の悪化等が進み、重大な事態となることが危惧されている。

こうした事態に対処するためには、低コストかつ大規模な森林回復技術の確立が必要であるが、熱帯林地域における大規模な森林回復技術体系は、我が国を含めた先進国において必要とされなかったことから、本格的な技術開発が行なわれていない。

森林造成作業は、①地拵え、②植栽、③保育に大別できるが、②については航空機による種子または苗木の散布により、大巾に省力化が可能であり、大規模森林回復技術の開発に道を開くものと考えられる。

以上のとおり、航空機を利用した造林技術の確立が発展途上地域の森林回復の手段として有望視される所、昭和63年7月26日～8月8日の間航空機造林の実績があるカナダ及びアメリカ合衆国において情報収集を行なうため、猪野 曠 日本林業技士会会長を団長とする大規模森林技術調査団を派遣した。

本報告書は、これら現地での調査の結果及び関連する収集資料をとりまとめたものであり、広く関係者の参考になれば幸甚である。

本調査実施にご協力いただいた関係者の方々に対し、心より感謝いたしたい。

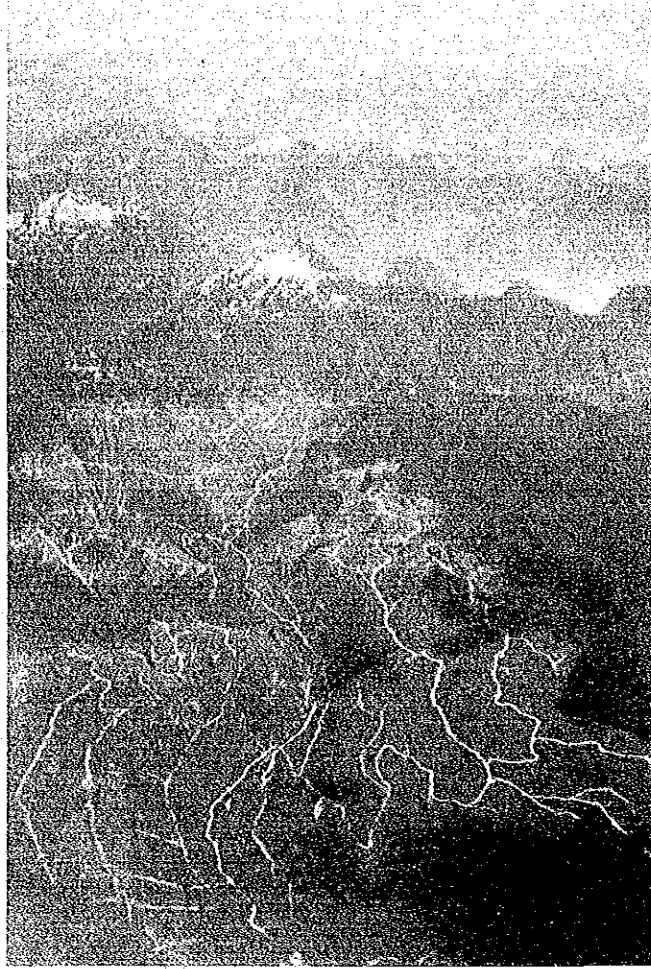
最後に、森林回復に強い情熱を抱かれ、本調査の団長を快くお引受頂いた故猪野 曠 団長のご冥福を慎んでお祈りいたしたい。

平成元年 3 月

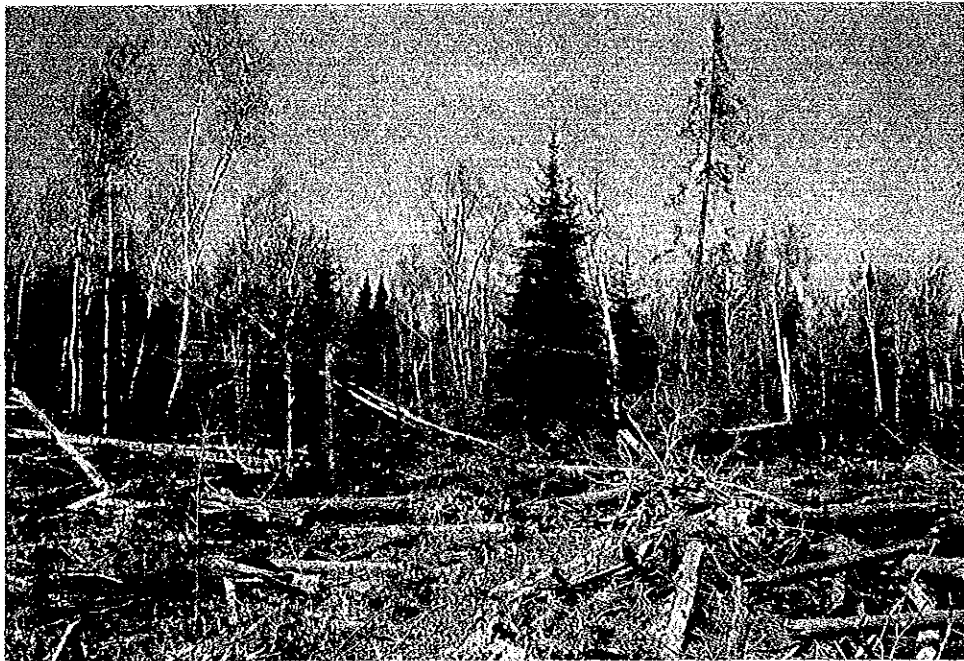
国際協力事業団

林業水産開発協力部長

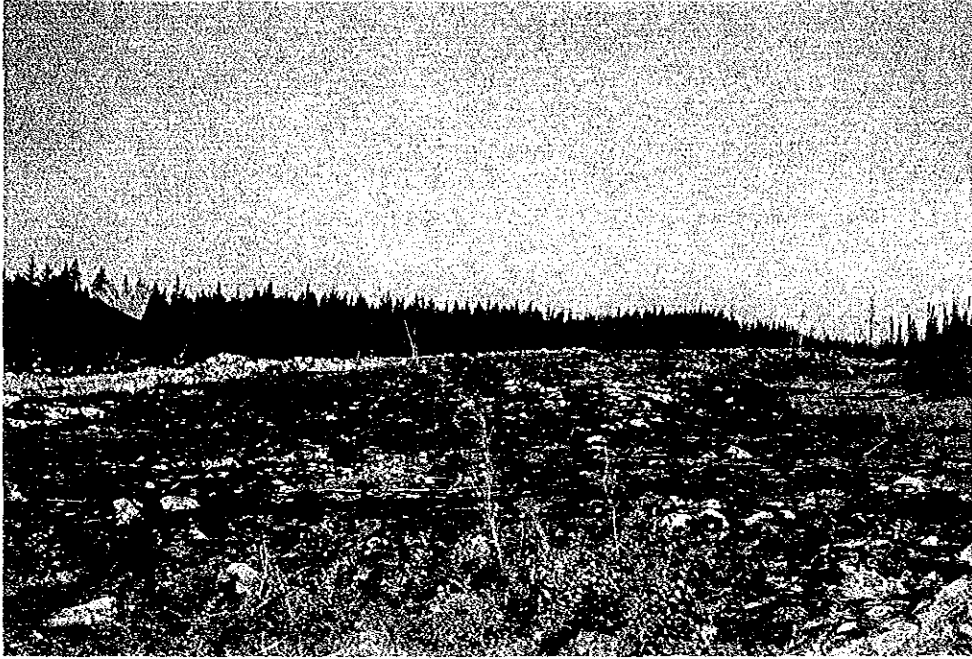
近 江 克 幸



カナダの伐採跡地（ブリティッシュ・コロンビア州）



未木枝条の多い伐採跡地



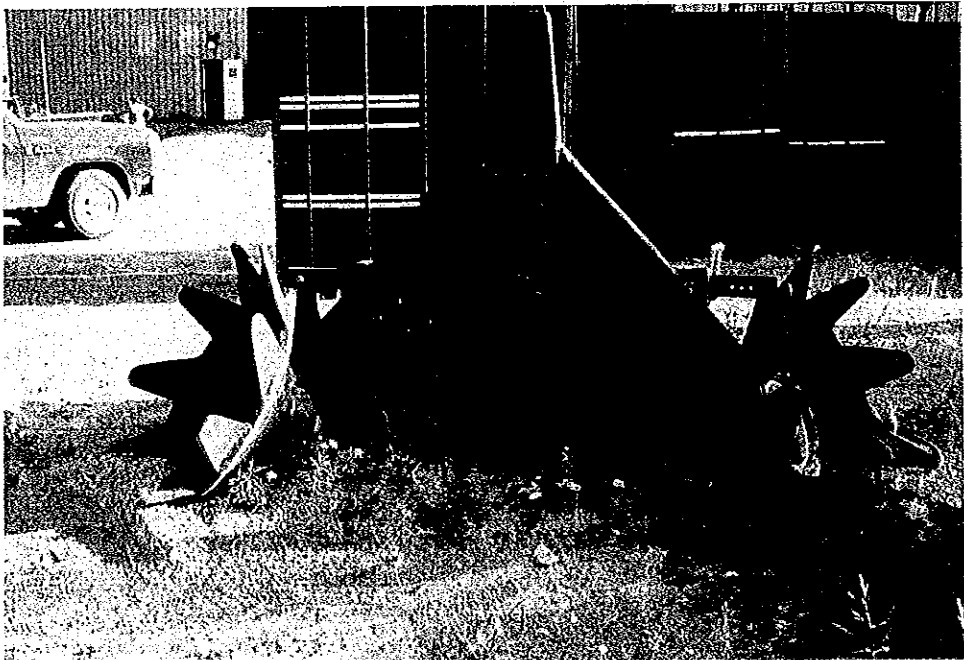
火入れ (Prescribed fire)



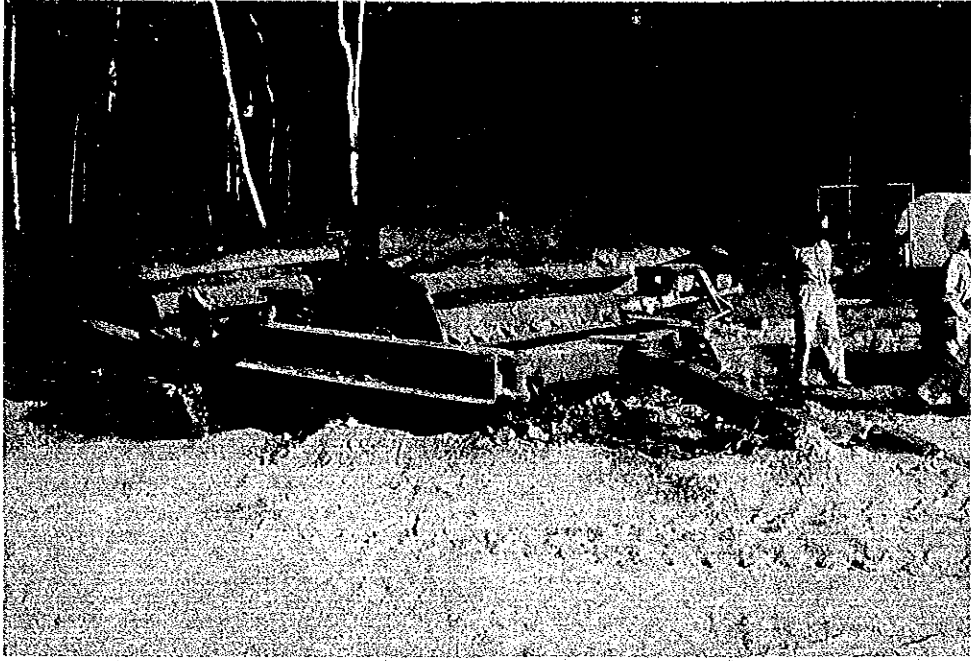
火入れあと地，ミネラルソイルが露出している



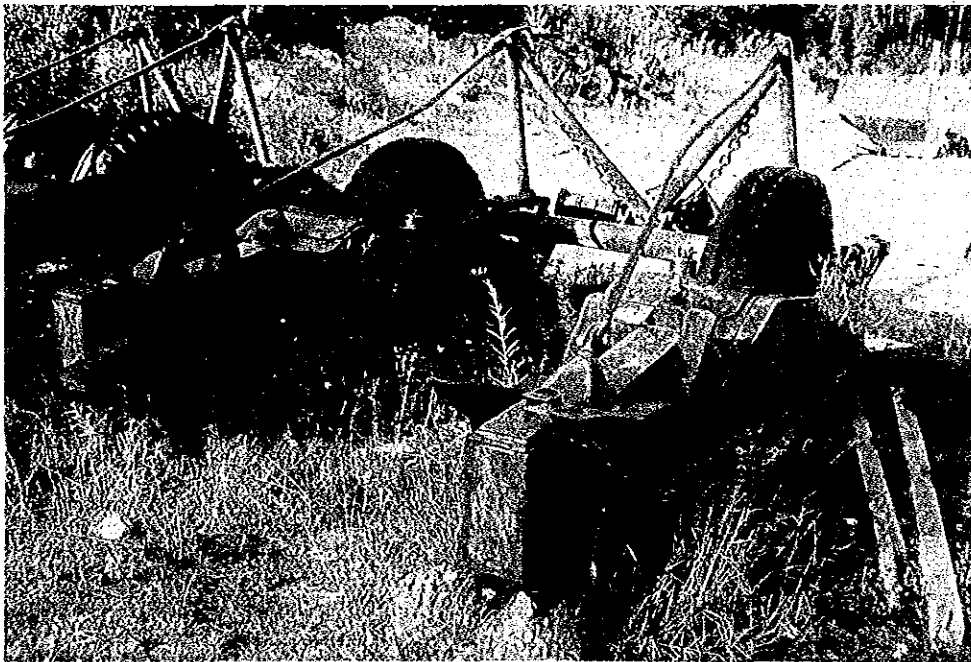
有機物層の厚い土壌



地ぶき用アタッチメントーTTS



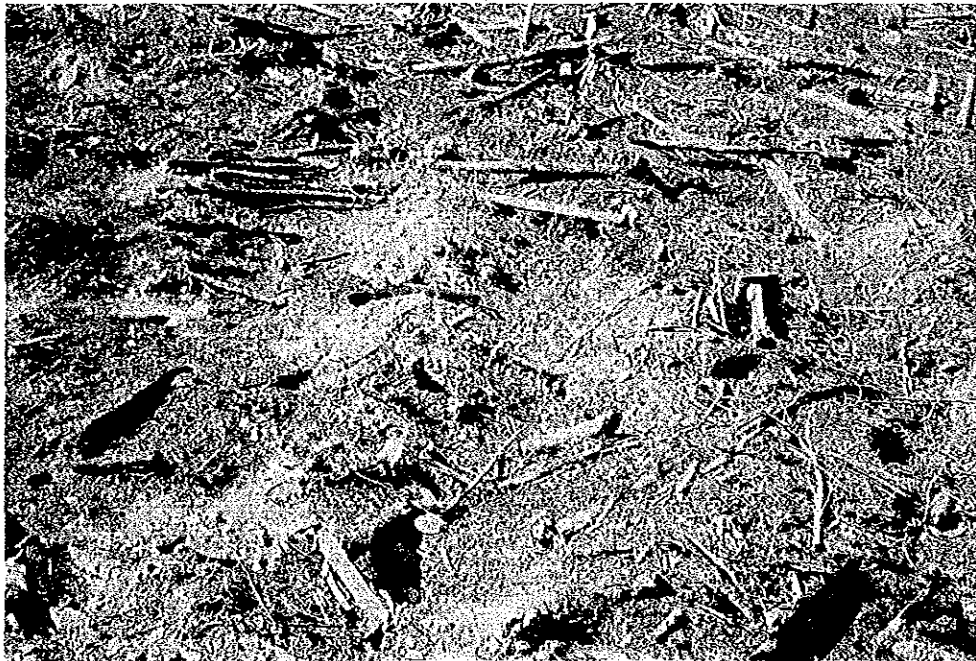
地ぶき用アタッチメントー Barrel



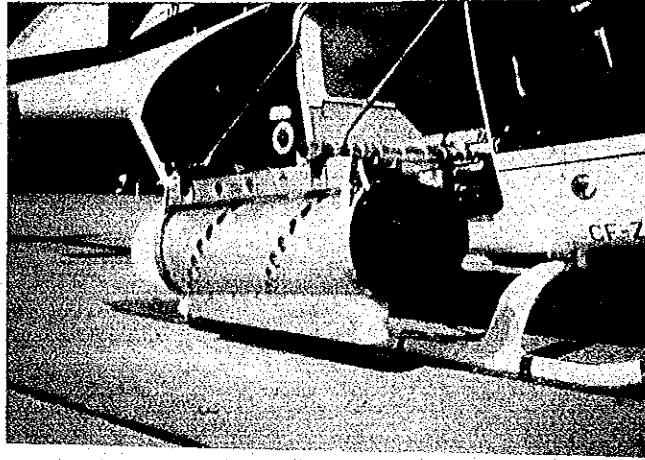
種子直播用アタッチメントー Brecke



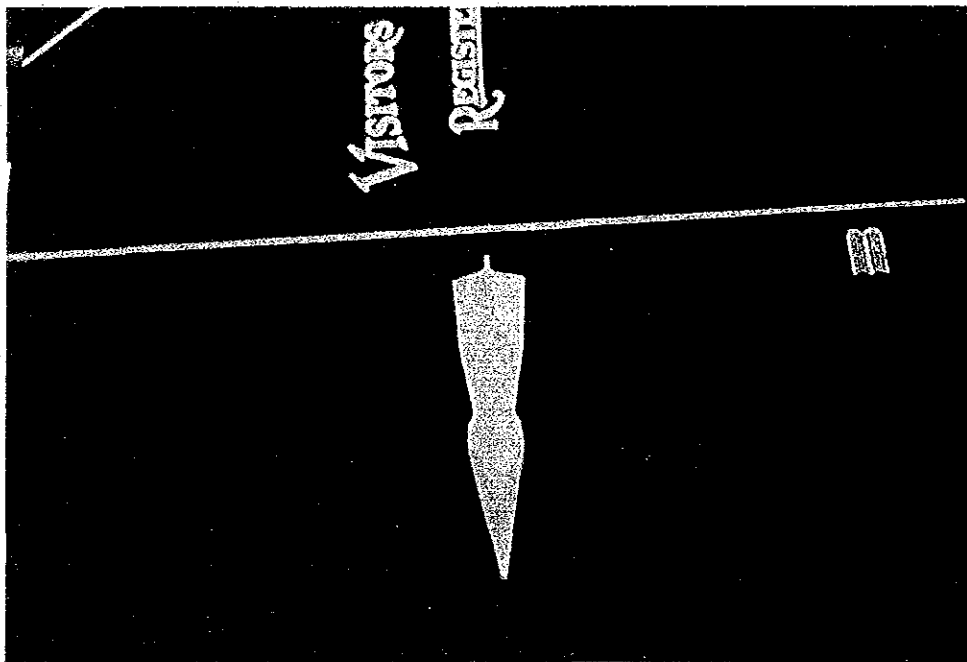
TTSによる地ごしらえ



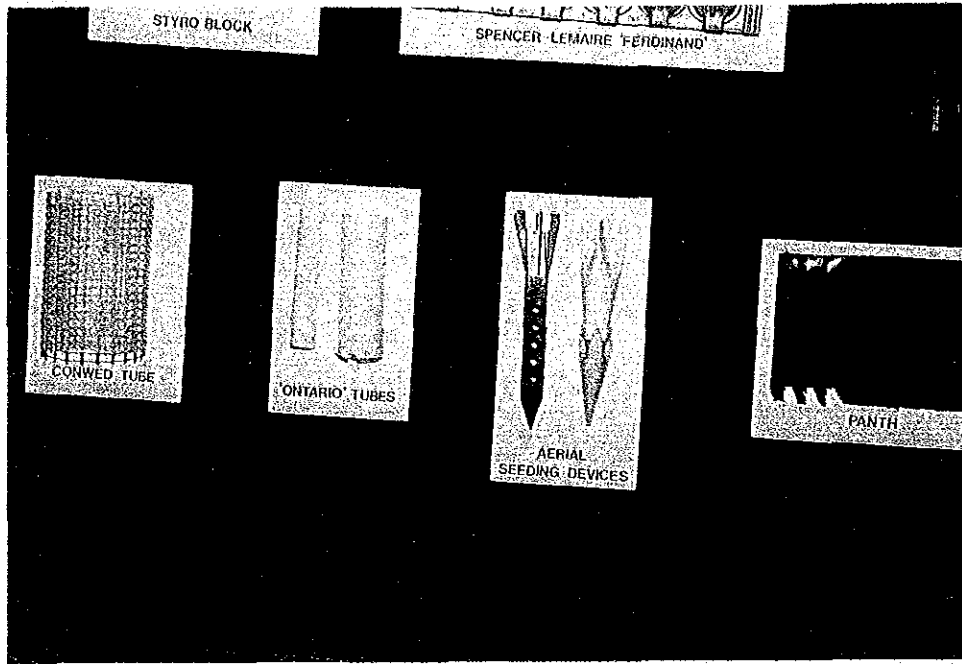
地ごしらえ跡地



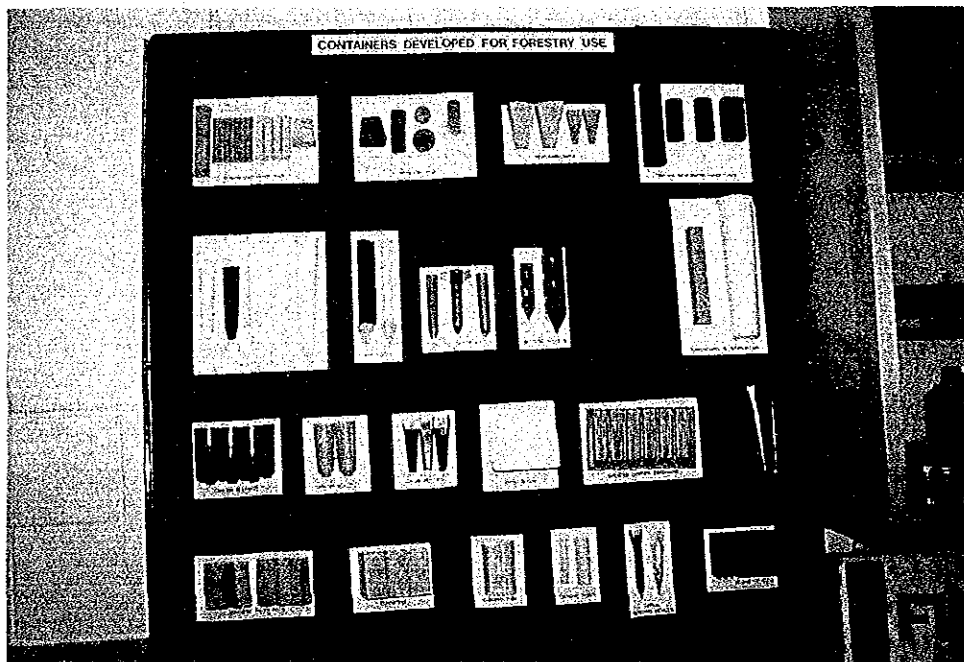
種子ダート散布器 (ディスベンサー)



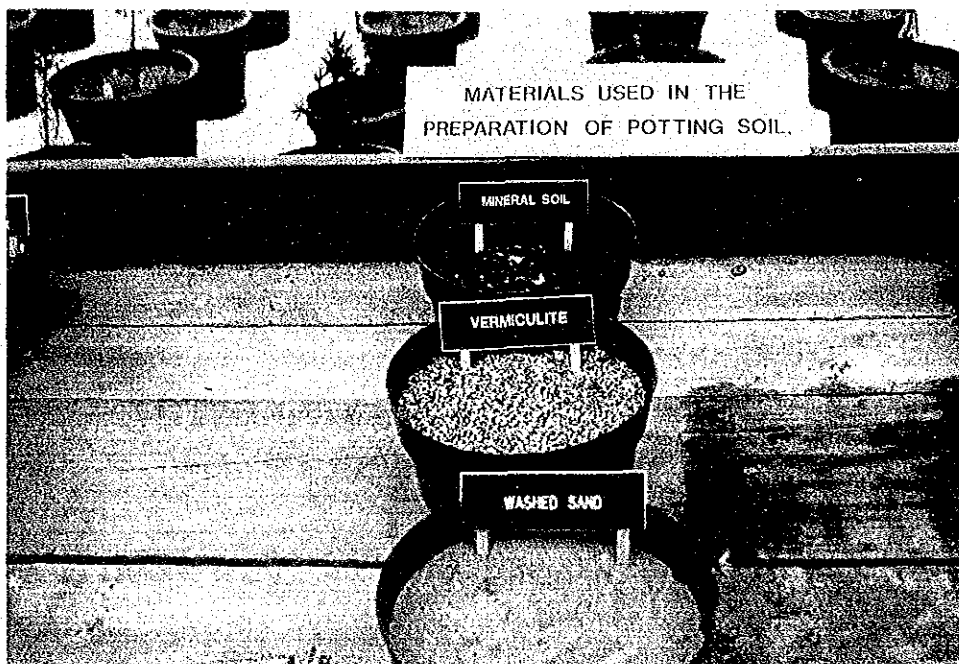
種子ダート



航空機造林用種子ダート(左より2つ目)



各種の種苗コンテナ
(Great Lakes Forest Research Centre)



苗木ポット用土壤材料

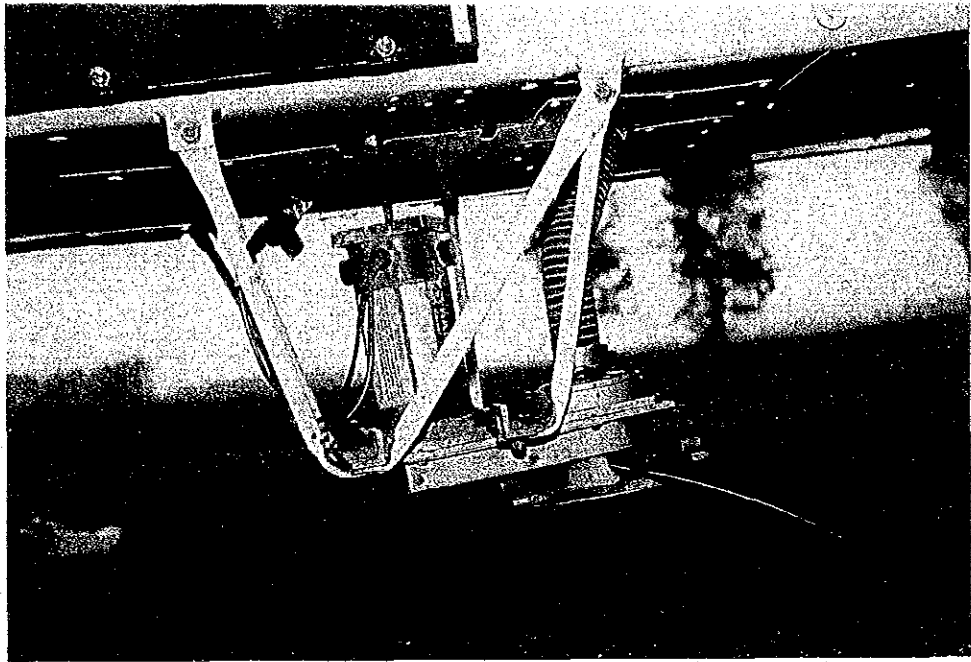


パイパーPA-18A型固定翼機

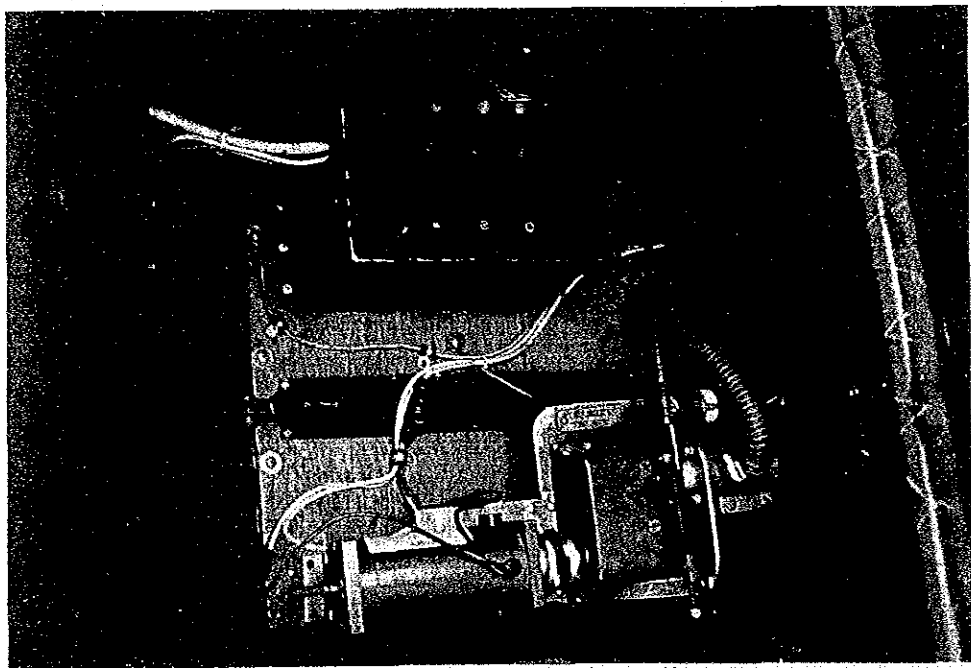
以下同じ



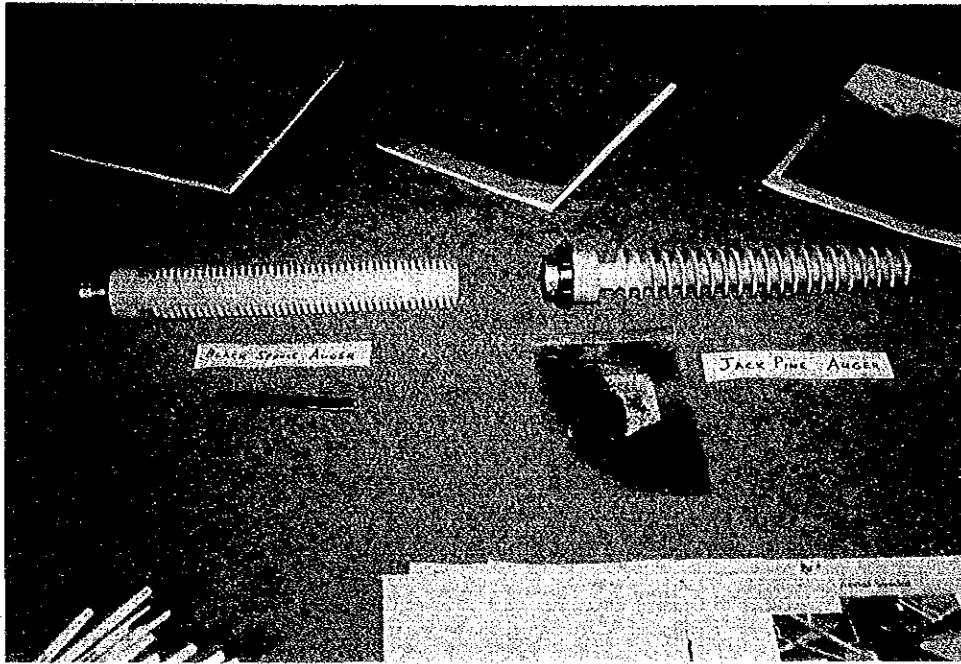
Brohm式散布装置のタンク（約70kgの容量）



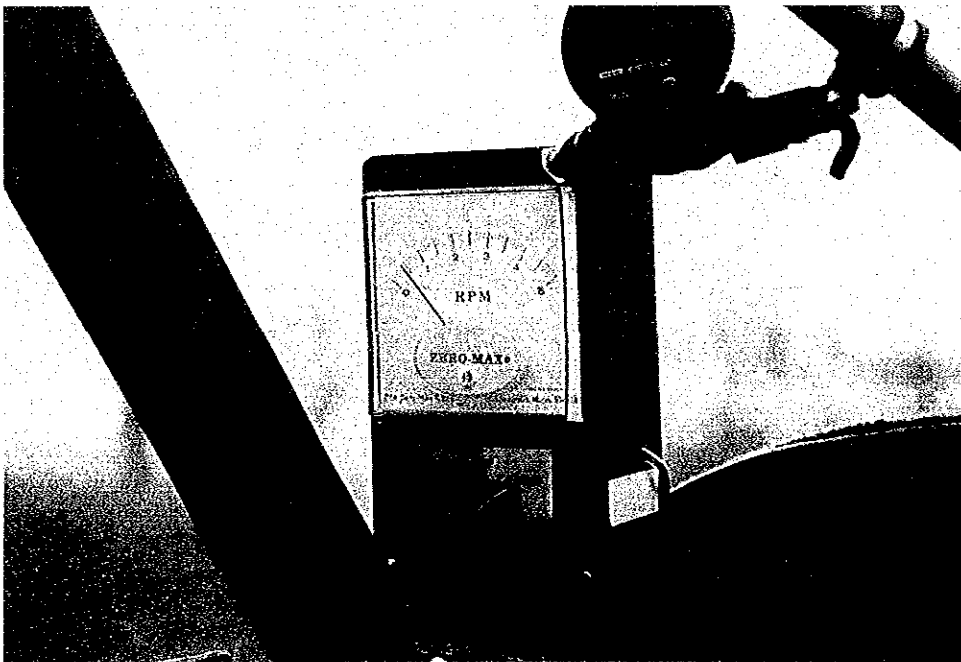
Brohm式散布器のスリンガー



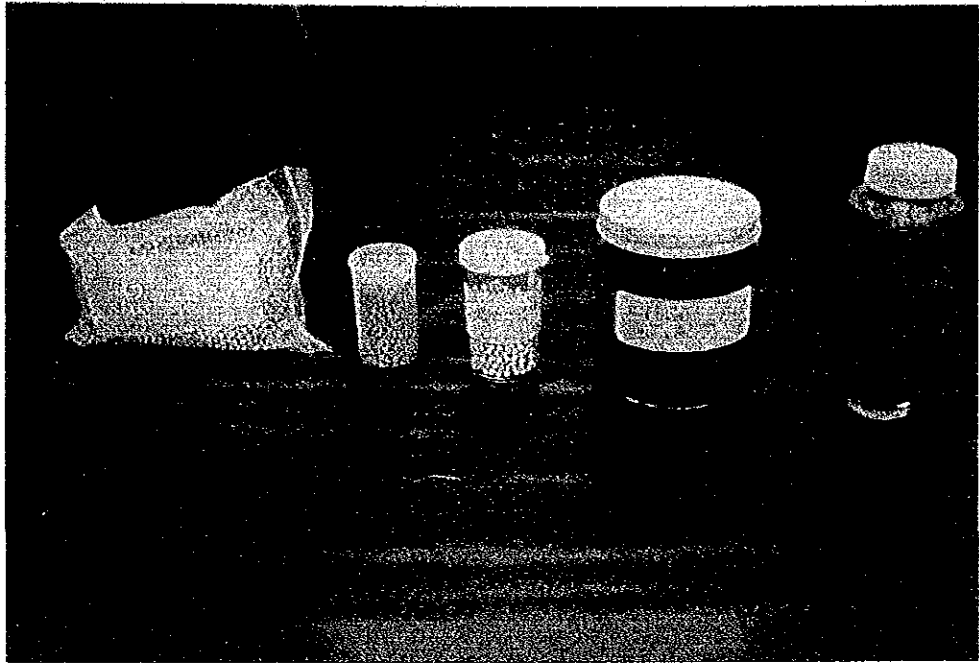
スリンガーへ種子を送るオーガーの
駆動装置



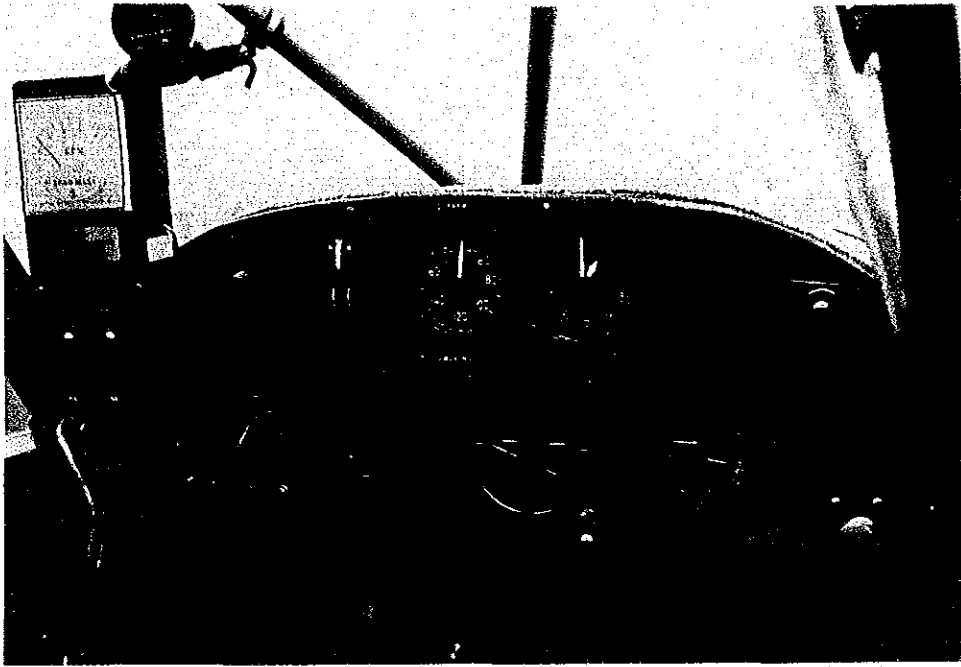
スリンガーへ種子を送り出すオーガーの回転速度により散布量を変化させる。
左は Black Spruce 用，右は Jack Pine 用



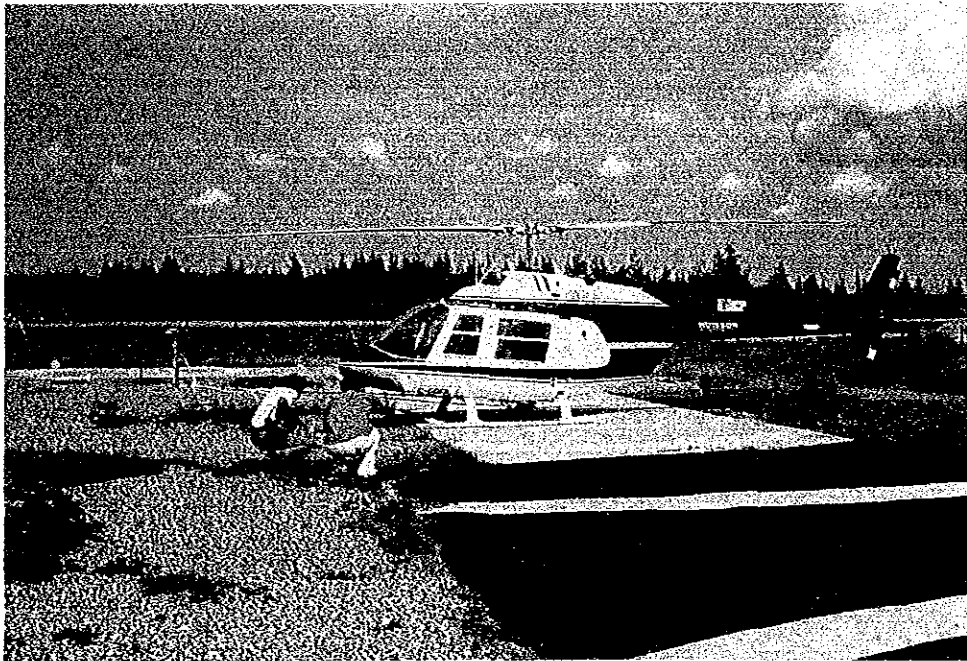
スリンガー及びオーガーの回転速度のコントロールパネル（操縦席）



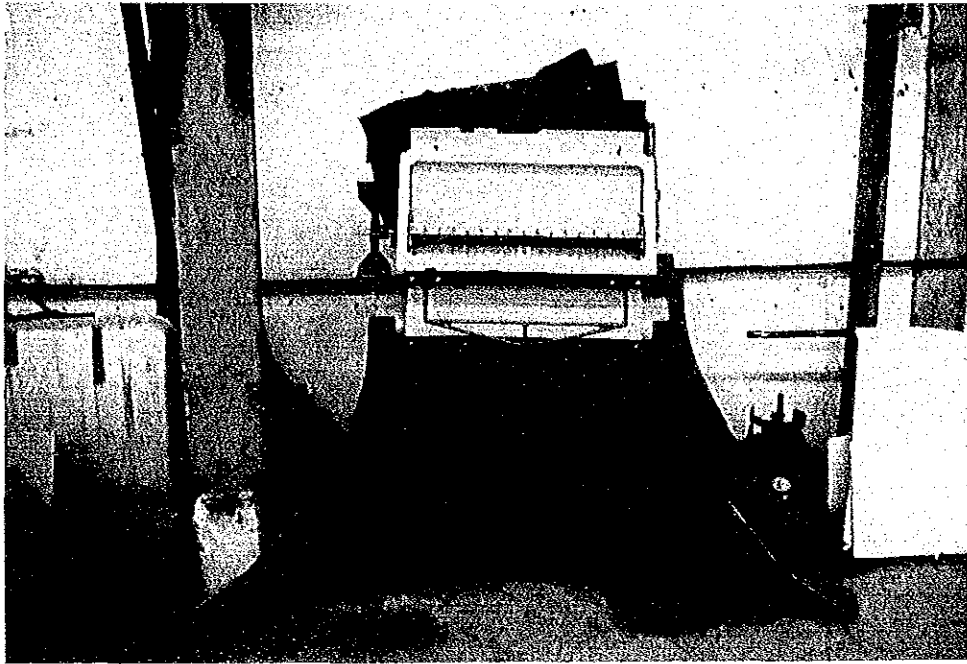
コーティング種子（左3がマツとトウヒ、
右2は農作物と芝草）
（Canadian Seed Coaters Ltd.）



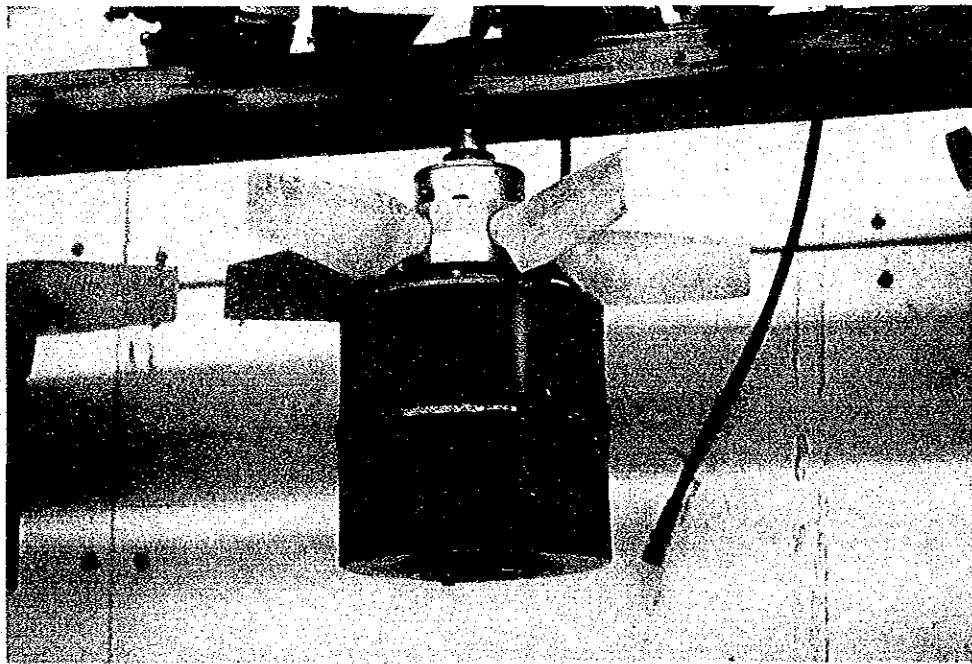
操縦席のコントロールパネル



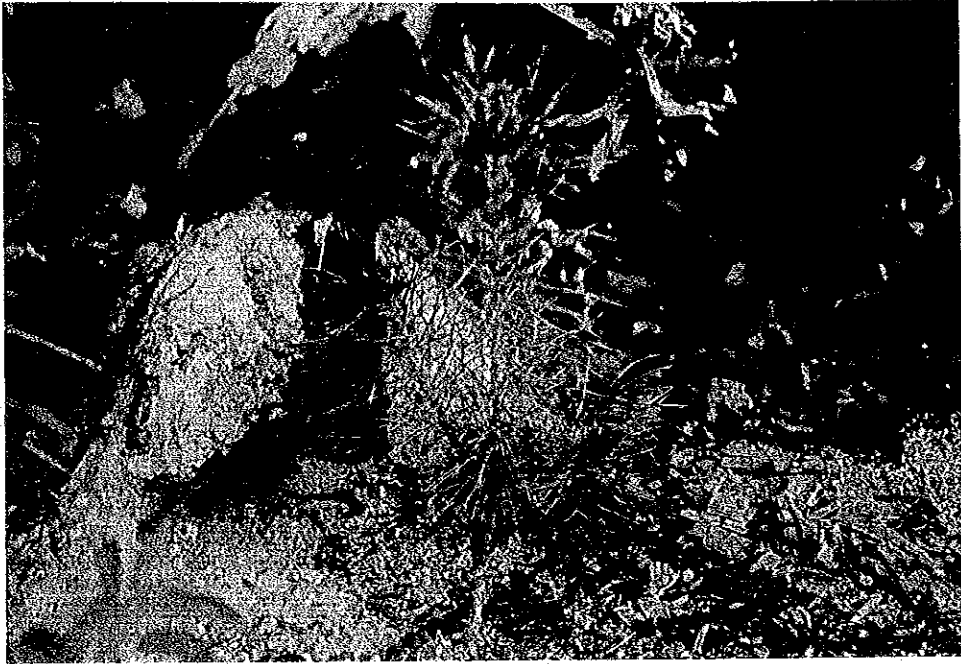
散布用ヘリコプター



ベンチュリー型散布器



薬劑（粉状）散布器



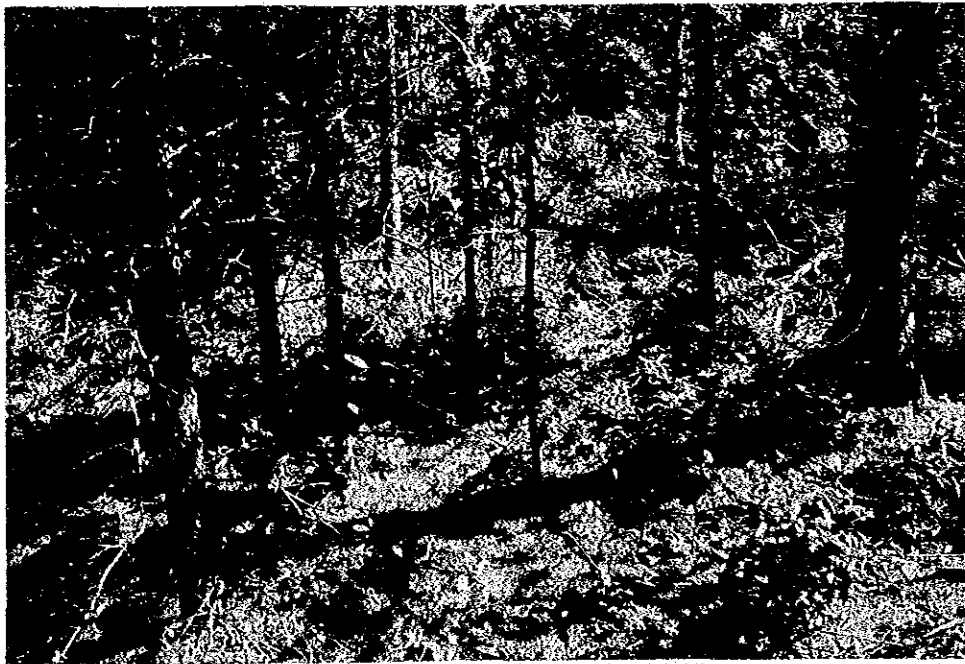
航空機による1年生 Jack Pine 造林地



航空機による5年生 Jack Pine 造林地



航空機による18年生 Jack Pine 造林地



自然淘汰による劣勢木が見られる過密林分
(Jack Pine)

目 次

要 約	1
1. 航空機造林の開発途上地域への導入	14
1-1 開発途上地域における森林減少の現状と回復の必要性	14
1-2 航空機造林の開発途上地域への導入の必要性	20
1-3 航空機造林の基本概念	21
1-4 先進国における航空機造林の沿革	22
1-5 開発途上地域への導入の可能性と問題点	27
2. 造林対象地の条件調査	30
2-1 重点調査項目	30
2-1-1 自然的条件	30
2-1-2 社会経済的条件	33
2-2 調査方法	33
2-2-1 リモートセンシングによる調査方法	33
2-2-2 リモートセンシングによる作業フローの一案	35
3. 立地区分	39
3-1 立地区分の基準	39
3-1-1 気 候 型	39
3-1-2 林 床 型	42
3-1-3 経済立地型	43
3-2 限界条件	44
4. 樹種選定	47
4-1 樹種選定の基準	47
4-2 適正樹種の検索	47
5. 地ごしらえ	52
5-1 地ごしらえ方法	52
5-2 今後の開発課題	55
6. 人工種子	56
6-1 苗木ダート	56
6-2 種子ダート	57
6-2-1 種子ダートの構造	57
6-2-2 種子ダート散布用の航空機と散布器	57
6-2-3 散布方法	61
6-3 人工種子の概念と開発課題	65

6-3-1	人工種子の概念	65
6-3-2	簡易人工種子の開発課題	66
6-3-3	組織培養技術による人工種子	68
6-3-4	人工種子の研究課題	69
6-4	カナダ, アメリカにおける種子コーティング	70
6-4-1	カナダ	70
6-4-2	アメリカ	72
7.	種子散布	74
7-1	航空機	74
7-2	散布装置	75
7-2-1	散布装置の概要	75
7-2-2	カナダの Brohm 式散布器(固定翼機用)	78
7-2-3	カナダの Brohm 式散布器(ヘリコプター用)	81
7-3	散布方法	84
7-3-1	散布量と地ごしらえ法	85
7-3-2	種子の適正分布と飛行法等	85
7-3-3	飛行方法についての一般的留意事項	87
7-3-4	散布時期	89
8	保 育	90
9.	航空機造林のコスト	91
10.	各国における航空機造林の現状	93
10-1	アメリカ	93
10-1-1	航空機造林の沿革	93
10-1-2	航空機造林技術	94
10-2	カナダ	96
10-2-1	航空機造林の沿革	96
10-2-2	航空機造林技術	97
10-3	ニュージーランド	98
10-4	オーストラリア	99
10-4-1	航空機造林の沿革	99
10-4-2	航空機造林技術	101
10-5	日 本	102
10-6	インドネシア	103
10-7	中 国	106
10-7-1	散布地域	107

10-7-2	散布樹種	108
10-7-3	散布時期	111
10-7-4	航空機造林の今後の見通し	112
10-8	その他熱帯地域における実行例	114
10-8-1	太平洋諸島(アメリカ)	114
10-8-2	ナイジェリアとインド	115
10-8-3	熱帯地域における手播き直播造林の例	115
11.	航空機造林の適地	116
11-1	航空機造林適地判定	116
11-2	航空機造林適地面積	118
12.	今後の技術開発の重点	125
12-1	重点開発課題	125
12-2	技術開発に当たっての留意点	125
Annex 1	調査の目的及び経緯 (調査の目的, 団員構成, 日程, 面会者, 現地調査地)	127
Annex 2	Brohm式散布器 / PA-18A 固定翼機による Jack pine の散布試験 (カナダ)	135
Annex 3	日本の粒剤散布装置	144
Annex 4	日本における水稲湛水土壤中直播栽培種法	149
Annex 5	陸上飛行場の立地条件(飛行機の離着陸)(日本の場合)	153
Annex 6	ヘリポートの立地条件(日本の場合)	156
Annex 7	参考文献一覧	158
Annex 8	航空機造林の研究者, 関連機関一覧	166

大規模森林回復技術調査報告書

要 約

1. 航空機造林の開発途上地域への導入

1-1 開発途上地域における森林減少の現状と回復の必要性

FAO/UNEP(1981年)の「熱帯森林資源評価報告書」によれば、世界の森林面積(閉鎖林と疎林)は、陸地総面積の32%にあたる4.3億haであり、このうち開発途上地域に分布する森林面積は2.4億haであり、開発途上地域のうち、中国、トルコ等の暖温帯地域を除いた熱帯地域の森林面積は1.9億ha(閉鎖林1.2億ha、疎林7億ha)である。(休閒林、低木林1.0億haを合せると約3.0億ha)

同報告書によると、近年熱帯地域の森林は急激な人口増加による焼畑移動耕作、農用地への転換、牧場開発等により年間1,130万haのペースで減少しているが、森林回復のための造林は年間110万haにすぎず、水源地帯において広域にわたって森林の草地化、裸地化が進行し、林産物の供給機能の低下はもとより世界的な環境破壊が危惧されるとともに砂漠化等の進行から住民の生存すら脅かされるに至っている。

このような事態に対処するため、FAOは1985年を「国際森林年」と宣言するとともに、熱帯林の開発と保全のための「熱帯林行動計画」を採択するに至っており、森林回復のための大規模造林は緊急かつ重要な課題となっている。

1-2 航空機造林の開発途上地域への導入の必要性

従来行われてきた苗木植栽造林は、労働集約的でコストが高くつくものの確実な造林法であるが、開発途上地域においては造林実行体制、熟練労働者、林道、大規模苗畑等のインフラストラクチャーが未整備であるため、大面積の要造林地のすべてをカバーすることは困難であり、代替的な造林法の開発導入が必要である。

アメリカ、カナダ等で開発された航空機造林は、上記の伝統的な造林法と比較して実行組織、インフラストラクチャー等の先行的な資本投下も少なく、しかも早期緑化が可能であるという利点があり、開発途上地域において、特に遠隔地等における大規模造林などの新しい武器として利用できる可能性がある。

アメリカの国家科学アカデミー国際開発科学技術理事会の特別部会は、同国の国際開発機関(USAID)の援助により、航空機造林の開発途上地域への導入の必要性と可能性について検討し、「Sowing Forests from the Air」として公刊している。

1-3 航空機造林の基本概念

従来 of 林業における航空機利用は、特に開発途上国においては森林資源調査、薬剤散布等の個別的、散発的なものに限られていた。特に、林業の主体を占める造林事業は、造林対象地の事前調査から種子採取、育苗、植付、保育にいたるまで多数の工程に分れる労働集約的な事業形態で実行されている。

これに対し、航空機造林は事前調査から保育までの工程を航空機による作業を中心として合理化しようとするものであり、その実現のためには造林学、組織培養、薬品化学、航空学、機械器具等の広範囲な専門分野の技術の総合化が要請される。

1-4 先進国における航空機造林の沿革

先進国における航空機造林は、牧草及び農産物種子の散布技術を基に1950~60年代からアメリカ、カナダ、ニュージーランド、オーストラリア及び日本において発展したが、前者3者はマツ類を主とする針葉樹、後2者はユーカリ類と広葉樹を対象として、忌避剤等のコーティング技術、散布装置の開発改良、地ごしらえ方法、散布量と散布時期の決定手法等の技術開発が行なわれ、広く伐採跡地の造林及び治山造林に利用されるに至っている。なお、開発途上地域では中国においてマツ類の大規模な航空機造林が行なわれているほかは、インドネシア等で試験的に行なわれているにすぎない。

1-5 開発途上地域への導入の可能性と問題点

種子加工、散布装置、飛行法等ハードな技術については、先進国で長年の開発によりかなりの蓄積があるので、開発途上地域への適応に当たっては自然条件による立地区分法、適正樹種の選定、火入れ地ごしらえ法、樹種、立地に適応する散布装置、コーティング材料等のソフトな面の技術開発が必要である。特に熱帯地域においては、①乾燥の強い地域における航空機造林技術体系、②地表草木の多い地域における航空機造林技術体系、③リモートセンシングによる造林対象地の事前調査法の確立が最も重要な技術開発の目標である。

2. 造林対象地の条件調査

航空機造林は、苗木植栽造林に比べて自然条件にセンシティブであるため、対象地の自然条件の調査を精確に行なうとともに、その情報を総合的に検討して適正な立地区分を行なう必要がある。その重点調査項目は、次のとおりである。

2-1 重点調査項目

(1) 自然的条件

- a. 気温：月別平均気温、暖かさの指数等

- b. 降水量：月別降水量，特に種子散布時期の降水量
- c. 霜
- d. 地形
- e. 土壌：土層，特に有機物層とミネラルソイル，土壌水分，土性，硬度，酸度
- f. 植生：特に草本類の種類，密度，生育状況
- g. 末木枝条：種類と量
- h. 野生動物：種類と生息密度

(2) 社会経済的条件

- a. 地理的条件：人口，労働力，インフラストラクチャー，特に林道
- b. 事業実行上の制約条件：航空機，散布材料，兵たん基地，滑走路，パイロット，住民の環境問題に対する要請等

2-2 調査方法の開発

人工衛星，航空機及び地上調査の組み合わせにより広域並びに造林対象地の省力的な基礎調査法を確立する。

- a. 人工衛星のデータ解析（可視，赤外線）により広域な土壌，植生等の土地条件図を作成し，造林対象地の絞り込みを行なう。（10万分の1～20万分の1）
- b. 航空写真のデータ（マイクロ波）により造林対象地の土壌硬度，粗粒度，深度，水分等の調査を行なう。（2万分の1～5万分の1）
- c. 現地調査（車両，ヘリコプター）により補正を行なう。

3. 立地区分

開発途上地域では，人工造林の歴史が浅いので造林樹種の種類の子の発芽特性，生育特性，捕食動物の生態等について未知の点も多いが，これらの点を解明し，造林技術体系の指針となる立地区分法を確立する必要がある。立地区分を行なうに当たっての重要な基準は，次のとおりである。

3-1 立地区分の基準

- a. 気候型：気候型の分類法は多くあるが，いずれも植物の生育に密接な関係がある気温と乾湿度が分類の指標とされている。航空機造林の立地区分の基準として気候型を分類する場合には，造林樹種の選定と地表植生，特に散布種子の重要な制約条件である草本類の種類，生態と気候との関連を重視すべきである。
- b. 林床型：土壌，特に有機物と野生動物の生息状況が最も重要な因子である。
- c. 経済立地型：林道，事業実行上の制約

3-2 限界条件

最大の限界条件は、乾燥と草本である。乾燥と草本の克服が航空機造林の適用範囲を拡大する鍵である。乾燥は、気温、降水量、降雨型により、草本も土壌、気候型等により変化があり、その克服の難易度に差があると考えられるので、その特性を把握し適切な技術体系を確立する必要がある。

4. 樹種選定

4-1 樹種選定の基準

造林方法のいかんを問わず、樹種選定は気候、土壌等の自然条件に適応して行なうのを原則とするが、特に航空機造林に適する樹種の特性は、次の通りである。

- a. 種子：大きさは中・小型のもの、捕食され難いもの、種子の大量採取、貯蔵の可能なもの、機械的な散布装置にマッチするもの、土壌表面で発芽出来るもの
- b. 発芽、生長の早い樹種、特に根の発達の良い樹種
- c. 諸被害に対する抵抗性の強いもの（特に耐乾性、耐せき悪土壌等）
- d. バイオニア樹種

4-2 適正樹種、品種の検索

開発途上地域では造林の歴史が浅いので、種子の大量採取を含めて適正樹種、品種の選定は緊急の課題であり、文献調査とともに各国における産地試験等のデータを積極的に収集する必要がある。

なお、前記の Sowing Forests from the Air は、開発途上地域における航空機造林の候補樹種としてマメ科、ユーカリ類等の樹種約 60 種をあげている。

5. 地ごしらえ

5-1 地ごしらえ法

地ごしらえの目的は、散布種子の着床、発芽、生育に良い環境条件を整えることにあり、ミネラルソイルが筋状に露出するのが良いとされる。地表上の最大の障害物は、末木枝条と土壌の有機物層及び密生草本である。これらの障害物は次に述べる地ごしらえ法により除去されるが、末木枝条、有機物層の多いカナダでは火入れと大型機械による地がき、草本の多い熱帯地域では火入れが地ごしらえの主体となると考えられる。

a. 火入れ地ごしらえ

火入れは、低コストであるばかりでなく、障害物の除去、草本の抑制、病虫害の減少、土壌養分の改善に寄与する。

- b. 小型及び大型機械による地がき
- c. 除草剤

5-2 今後の開発課題

a. 火入れ地ごしらえ技術の開発

先進国では、末木枝条及び草本の火入マニュアルは完成されており、その熱帯地域への適用をはかる。

b. 大型機械による地がき技術の改良

熱帯地域では硬度の高い土壌の地がき、乾燥地または湿地における畝上げ等が考えられる。

6. 人工種苗

6-1 苗木ダート

カナダのブリティッシュ・コロンビア州で開発され、かなりの成功を見たが、その後中断している。

6-2 種子ダート

カナダの林野庁と航空研究所との共同研究により種子と土壤媒体のポットをプラスチックでダート状にしたもの及びダートを発射する散布器が開発され、ヘリコプターによる散布試験が行なわれた。ダートの林床への散布密度及び分布試験はほぼ成功したが、ダートの土壌への貫入にムラがあり、着地後の枯死率がやや多かったので、ダートの構造等について引き続き検討が行なわれている。

6-3 人工種子の概念

林木の種子は、樹種により多様性があり、休眠、発芽、生育の特性に差がある。したがって、航空機により散布された種子が着床後確実に発芽し生育するためには、例えば肥料によるコーティング等による活着のための補助手段の開発が必要である。

(1) 簡易人工種子の開発研究

- a. 種子特性の把握：活性維持に必要な水分含有量，生存温度域，形態特性
- b. 発芽特性の把握：温度，水分，光条件
- c. 種子処理：各種水分保持剤の特性と利用形態，培地，養分，貯蔵養分の添加，温度調節剤及び光調節剤の利用形態，散布用容器の開発

(2) 組織培養種子による人工種子

- a. 苗木体または不定芽のカプセル化：大型苗木体の培養，カプセル内の培地の検討，苗木

条体又は不定芽の休眠化，カプセル資材の検討

b. はい様体の作出と人工種子化：はい様体の形成，休眠条件と乾燥耐性，カプセル資材の検討

6-4 カナダ、アメリカにおける林木種子コーティング

種子のコーティング技術は，ニュージーランドで1950年代に開発され，北米，ヨーロッパに普及した。

a. カナダ

カナダで実用化されているコーティング種子は，マメ科の作物，牧草，芝草，ナタネのほか，林木種子のマツ類とトウヒ類であり，その処理内容は殺菌剤，防虫剤，栄養分，rhizobia（窒素固定バクテリア），過磷酸肥料，加重，着色剤である。

b. アメリカ

アメリカでは，昆虫及びげっ歯類の忌避剤としてendrinが，鳥類の忌避剤としてthiramが種子のコーティングに用いられるようになってから，航空機造林が飛躍的に発達した。しかし，両者とも現在は使用禁止となっている。

7. 種子散布

7-1 航空機

航空機は，林業において航空写真，山火事防止等に利用されているほか，農業でも広く使われており，これらとの共同利用をはかることが必要である。

ヘリコプターは，積載能力と機動性に優れ，小面積に大量の散布材料を均一に散布する作業に適しているが，価格は固定翼機の約10倍である。一方，固定翼機は，大面積に少量の種子を低い密度で散布するのに適している。

7-2 散布装置

散布装置は，タンク及び吐出装置よりなり，吐出装置は種子を定量的に吐出口に送り出すオーガー等の装置と種子を吐出口より均一に拡散して投下する拡散装置より成っている。拡散装置には，ペンツユリータイプとスリンガータイプがある。

散布密度の少ない林木種子の場合には，固定翼機とスリンガータイプが多く利用される。

7-3 カナダの固定翼機用 Brohm 式散布装置

本装置は，種子の送り出しのためのオーガーと拡散用のチューブ式スリンガーを持ち，適正な密度と分布の散布が可能である。種子積載量70Kgで一回当たり140haの散布が可能であり，作業コストは3.1~3.4USD/haである。

7-4 散布方法

均一な苗木の密度と分布を得るなど適正な種子散布を行なうためには、次の事項が重要である。

a. 地ごしらえ方法に関連した種子散布量の決定

カナダでは、地ごしらえ法と種子散布量に関する各種の試験が行なわれているが、標準的な種子散布量は50,000粒/haである。

b. 均一分布を得るための飛行法等

固定翼機は一般に均一な散布が難しいが、カナダでは、適正な分布(spacing)を得るための種子の取扱法、散布装置及びその操作法、飛行方法等について各種の試験が実施され、かなりの成果が得られている。

c. 飛行方法に関する一般的留意事項

d. 散布時期

気温、降水等の気候条件、土壌水分、草本の生育状況、火入れ時期、捕食動物の生息状況等との関連において決定する。

7-5 種子散布に関する技術開発課題

a. 開発途上地域の樹種に適した散布装置の開発

b. 地ごしらえ方法に関連する種子散布量の決定手法

c. 散布時期の決定手法

8. 保育

a. 追播, 追肥, 除草

b. 間伐

航空機造林は、苗木植栽造林に比べて適正な立木密度及びspacingを得ることが難しく、間伐に多額の経費を要することとなるため優良材生産には一般的に不適であるが、開発途上地域の水源地帯等における造林の目的は主として侵食防止、燃料及びパルプ材の生産であるので、問題はないと考えられる。

9. 航空機造林のコスト

航空機造林は、苗木植栽造林の苗木生産と植付工程を著しく短縮するので、カナダの例では地ごしらえから植付までの経費は後者に比し約50%安くなる。しかしながら、苗木植栽造林は林道等のアクセスが無ければ実行不可能であり、林内林道、到達幹線道路の建設費の加算を考慮すると、航空機造林のコストは伝統的造林法である苗木植栽造林より著しく安くなる。コ

10. 各国における航空機造林の現状

10-1 アメリカ

アメリカでは、1950年代初期に数種の薬剤が鳥類及びげっ歯動物の忌避剤として使用されるに至ってから航空機造林が急速に発展し、1980年までに100万ha以上が実行された。地域別には、南部、太平洋岸の西北部、五大湖周辺であるが、特に南部では荒廃地の増加、東部における木材需要の増大から大造林が強く要請されたため、マツ類の航空機造林が飛躍的に進展した。この間、洪水等による荒廃地、鉱山跡地、綿等の畑作跡地、広葉樹の低質林、伐採跡地等における航空機造林に成功したが、1970年代の終に至って南部における大造林がほぼ終了したことで、自然保護運動の高まりから伐区面積の制限が行なわれたこと、森林所有者が合板・製材の高級材の生産を指向し始めたことなどが原因して航空機造林の面積は急激に減少している。技術的には、忌避剤等のコーティング技術、草本類との混播技術、湿地造林の技術等が特記される。

10-2 カナダ

カナダにおける航空機造林は、当初は奥地や地形上の理由から苗木による造林の困難な地域において行なわれていたが、近年苗木の生産コストが上昇したこと、北部では労働人口が少ないこと等のほか、前に述べたBrohm式散布装置が開発されてからオンタリオ州、ケベック州を中心に広く伐採跡地の造林に利用されるに至った。樹種は、Jack pineを主とするマツ類とトウヒ類であるが、林野局、州政府の主導により積極的な技術開発が行なわれている。

すなわち、Brohm式散布装置、苗木ダート、種子ダート等のハードな技術開発が意欲的に行なわれているほか、ソフトな面でも地ごしらえ法、地ごしらえに対応する種子散布量、適正な立木密度とspacingを得るための飛行法及び散布装置の操作法等の技術開発が行なわれ大きな成果を修めつつある。

10-3 ニュージーランド

ニュージーランドでは、古くから牧草、肥料等の航空機散布が広く行なわれ航空機農業は今や同国の一大産業となっているが、林業に応用されたのは1960年代に入ってからであり、奥地山岳林のマツの治山造林に初めて利用された。

治山造林の対象は、1,500mの高海拔地域であるため牧草種子との混播、過磷酸の施肥等が行なわれている。なお、同国では種子のコーティング技術が古くから発達している。

10-4 オーストラリア

オーストラリアでは、火入れと地がきのあと種子を手播きする直播造林が古くから行なわ

れてきたが、伐採地の奥地移行に伴い同国南部においてユーカリの航空機造林が著しく進展した。同国では、比較的種子の小さいユーカリに適応した散布装置の改良が行なわれたほか、種子の大量採取、精選、貯蔵法、火入れ法、散布時期の決定手法等のマニュアルも確立されており、ユーカリ類を造林樹種として導入している開発途上国にとって大いに参考になると思われる。なお、種子はカオリン、防虫剤、殺菌剤、着色剤等のコーティングを行なったものが使用されている。

10-5 日 本

日本では、航空機散布は主として山腹緑化工に用いられており、吊下げ式のバケットに各種の材料を混ぜて混合水として小面積に大量に散布する方法である。

航空機緑化計画作成に必要な自然条件等の基礎的調査法、立地区分法、導入植物の選定法、散布法、散布材料等に関する技術体系が確立されている。

10-6 インドネシア

1970年代に、小規模ながらジャワ島のアランアラン草原において *Leucaena leucocephala* 等の航空機造林試験が各種の地ごしらえ法、散布量、牧草との混播等について行なわれ、一応の成功を修めたことは注目される。

10-7 中 国

中国では、1956年以来航空機造林を実施しており、その実行面積は200万haに達している。実施地域は、中国全土に及んでおり北の黄土地帯から南部の広東省、雲南省に達し、乾燥、半乾燥、半湿潤、湿潤の各地帯を含んでいる。樹種は、マツ類を主体にアカシア、ポプラ、草本類であるが、砂地、草原の早期緑化並びに南部山岳地帯の造林が主な事業であり、地ごしらえはほとんど行なわずコーティングしない種子を散布しているが、成績は必ずしも明らかでない。

航空機造林の今後の見通しについては、コストが安いこと、省力的であること、早期緑化が可能なこと、利益の回収が早く経済効果が大きいことなどからその発展が期待されており、アメリカ、カナダ等の技術の導入も考えられる。

10-8 その他熱帯地域における実行例

第二次大戦後、太平洋諸島においてアメリカ海軍が *Leucaena* による戦跡地の緑化を行なったが、この技術は1926年にハワイの保安林における山火事跡地の治山造林に際して初めて開発されたものである。

又、乾燥の強い地帯における実験例として、ナイジェリアとインドの例があるが、前者では種子は発芽したものの直射日光によりほとんどが枯死し、灌木等に被陰された苗木が生存

したという報告がある。

10-9 熱帯地域における手播き造林の例

アフリカではAcacia類, Anacardium (カシューナッツ), フィリピンではカシューナッツ, ザンビアではユーカリ類, グアテマラではマツ類の手播き造林を行なわれている。

11. 航空機造林の適地

11-1 航空機造林の適地判定

先に述べたように航空機造林の適地判定は, 対象地域を気候型, 林床型等により区分するとともに, それぞれに適応する技術体系とその実行可能性を検討する過程で策定されるものである。開発途上地域では, 先進国に比し気候, 対象樹種等が広範囲にわたるだけでなく, 人工造林の歴史も浅いことから種子の特性, 土壌等実践的な知識, データの蓄積が少ない面があるので, 的確な適地判定手法の作成のためには今後の基礎的調査及び現地適応試験の結果を待つ必要がある。

しかしながら, 適地判定の基準ないし指標となる多くの因子のうち最も重要な制約要因と考えられるものは乾燥と草本植生の因子であり, 乾燥地帯と草本の密生しやすい湿潤地帯の中間的な地帯が適地と考えられる。なお, 適地を拡大するためには乾燥と草本を克服する技術の開発を積極的に推進する必要がある。

11-2 航空機造林の適地面積

上に述べたように, 現時点では知識及びデータが十分でないため適地面積の算定は困難であるが, 今後開発途上地域への航空機造林技術適応のための技術開発を進めるにあたっての一つの目安的なものを提供する意味で試算を行なった。

FAOの熱帯林資源評価プロジェクトの報告書にある森林の中の疎林, 休閑林の中の疎林及び低木林を対象とし, 乾燥と草本植生を指標として大まかな試算を行なうと航空機造林の適地面積は約4億haとなったが, これはあくまで今後の調査研究により肉付けと修正を行なうためのモデル的な域を出るものではない。

12. 今後の技術開発の課題

12-1 重点開発課題

航空機造林の開発途上地域への導入にあたっての開発課題は別表のとおりであるが, 機械的地ごしらえ方法, 種子加工, 散布装置, 航空機の飛行法と散布法などハードな技術はかなりの蓄積があると思われるのに対し, 開発途上地域では人工造林の歴史が浅いこともあって

気象，土壤，植生による立地区分法，適正樹種の選定，種子調達等のソフトな技術について開発改良を行なうべき課題が多いように思われる。このうち，特に緊急かつ重要と思われる個別的な開発課題は，①航空写真（マイクロ波）による基礎調査法，②適正樹種・品種の選定，③種子の大量採取，精選，貯蔵法，④草原の火入れ地ごしらえ法，⑤開発途上地域の種子の加工及び加工材料，⑥適応樹種に見合った散布装置の改良等であるが，開発途上地域において航空機造林の対象地域を拡大するためには，特に個別技術の総合化により次の技術開発目標に挑戦する必要がある。

- a. 草原地帯における航空機造林技術の開発
- b. 乾燥に強い地域における航空機造林技術の開発

12-2 技術開発にあたっての留意事項

前記のアメリカの報告書は，技術開発にあたって①大規模な実験にあたり地上の試験を先行すべきこと，②伝統的な造林法の試験も同時に行なうこと，③対象地周辺の天然林等の生態を参考とすること，④航空機造林の最適地より適応試験を始め漸次難かしい対象地に試験を拡大することなどを留意事項として上げているが，我が国が大規模に事業化を進めるにあたっては，さらに次の点に留意する必要がある。

- a. 航空機造林技術は，広域にわたる技術を集約化し，システム化するため関係学界，関係業界の知識を総合化する必要がある，学際的，業際的視野をもって技術開発を進める必要がある。
- b. この場合にあっても，目的は造林の実行にあるので森林施業との係りあいを重視することが絶対に必要である。
- c. 先進国のほぼ完成されたハードな技術は遅滞なく導入する姿勢が必要である。導入に当たっては，その技術水準，特に開発途上国における実行のための技術の適正かつ円滑な受け入れが必要条件であり，パテント導入の有無等も含めた技術協力態勢を確立しなければならない。
- d. 現地適応化に当たっては，既存の調査研究施設の活用を含めた態勢が必要となり，又要すれば目的に沿った施設の新設，拡充をしなければならず，公的機関はもちろん民間機関との協力関係を確立しておく必要がある，その中心的役割をJICAが果たさなければならない。
- e. 開発途上地域において航空機造林を現実に事業化するに当たり，以上のほか，開発途上地域をフィールドとする広範な事業化実証調査を行なうことが緊急課題である。
- f. 以上今後の展開方向を含んだ総合的課題を時限的に実証して行なうことが事業化のための必須条件となり，このために必要な予算措置，要員確保の目論見を早急に整備確立することが必要であり，技術開発に当たっては，これらのことを留意しておかねばならない。

このように、今後解決を要する課題も多いが、開発途上地域における大面積造林の実行に当たり航空機による大規模森林回復技術は極めて有効かつ適切な手法であることを指摘しておく。

- Annex 1 調査の目的及び経緯
- Annex 2 Brohm 式散布機/PA-18A固定翼機による Jack pine の散布試験(カナダ)
- Annex 3 日本の粒剤散布装置
- Annex 4 日本における水稲湛水土壤中直播栽培播種法
- Annex 5 陸上飛行場の立地条件(飛行機の離着陸)(日本の場合)
- Annex 6 ヘリポートの立地条件(日本の場合)
- Annex 7 参考文献一覧
- Annex 8 航空機造林の研究者、関連機関一覧

表 航空機造林技術の開発途上地域への導入に当たっての開発課題

項	目	開発課題
1. 対象地の基礎調査	1. 自然条件……気候(温度,雨量),地形土壌(土層,土性,含水率),林床(植生,木本被覆),野生動物 2. 経済的条件……遠隔性,開発度(インフラ),山火事,放牧状況,人口,労働力,兵站基地等事業実施条件	1. ランドサット等(可視カメラ)による地形,植生,土壌分布等の精密調査はほぼ開発されているが,航空写真(マイクログラフ等)による省力的な土壌水分,土壌理取,植生等の精密調査法の開発 2. 上記に関連した現地サンプリング・プロット調査法の開発
2. 立地区分	1. 気候型(温帯熱帯,半乾燥地帯,熱帯高地) 2. 林床型(土壌,植生等) 3. 捕食動物型(餌源と生息密度) 4. 経済立地(インフラ,遠隔地,兵站基地等)	1. 開発途上地域における立地区分の基準及び立地区分ごとの技術体系の確立(選地,不適地の判定を含む) 2. 特にアラリアン等の開発する軍地および乾燥地帯を克服する技術体系の確立
3. 適正樹種選定	1. 種子の形態,生理特性 2. 発芽,生長特性 3. 隣接帯の抵抗性(耐乾,耐湿,耐寒,耐せき悪土域等)	1. 広範囲な樹土高種,外来導入樹種(産地品種を含む)の生理特性,新型機造林適性の検討説明 2. 特に発芽,生長が良く草を克服し,乾燥に強い樹種の検索
4. 種子調達	1. 種子採取,精選,貯蔵 2. 種子テストと発芽前処理	1. 種子の大量採取,精選,貯蔵技術の開発 2. 発芽前処理技術の改良
5. 地ごしらえ	1. 火入れ地ごしらえ 2. 整地地ごしらえ 3. 除草剤	1. 大規模火入れ地ごしらえ技術の開発 2. 地ごしらえ用大型アタッチメントの開発 3. 乾燥地および湿潤地における地ごしらえ技術の開発
6. 種子加工	1. 種子グレート	1. 保水剤,コーティング,肥料等媒体の改良 2. グレートの構造の改良 3. 散布装置の改良
7. 種子散布	2. コーティング種子 (1) コーティング材料(発芽前処理材,湿度,光調節材,忌避剤,肥料,保水材,阻潤材) (2) 加工法 1. 散布方法 (1) 散布量の決定法 (2) 散布時期 2. 航空機と飛行法 (1) 航空機と飛行法 (2) 散布装置	1. コーティング材料(発芽前処理材,湿度・光調節材,忌避剤,保水材等)の開発改良 2. ミコリザ菌のコーティング種子の開発 3. 特に乾燥地帯の造林に適した保水材等のコーティング種子の開発 4. 特に鳥害,げっ歯類,鳥類の捕食を防止しかつ危険の少ない薬剤の開発改良 5. 加工法の改良 1. 適正な立木密度を得るための地ごしらえ技術と関連した散布量の決定手法の開発 2. 気候,火入れ等の地ごしらえ,捕食動物の生息などと関連した適正な散布時期の決定手法の開発 3. 適正な種子の散布密度および分布を得るための飛行方法と散布装置の改良 4. 開発途上国の種子に関する散布装置の改良

1. 航空機造林の開発途上地域への導入

1-1 開発途上地域における森林減少の現状と回復の必要性

近年、熱帯林の減少が世界的な規模の環境悪化をひき起こすとともに、開発途上地域では住民の窮乏化に拍車をかけるに至っていることは広く知られている。

世界の森林面積は、地球上の陸地総面積130億haの32%に当る43億haであるが、これに開発途上地域のみ分布する休閑林4億ha及び低木林6億haを加えた木本性植生相の総面積は53億haとなり、陸地総面積の41%に及ぶといわれる。

このうち、開発途上地域に分布する森林面積は24億haであり、さらに休閑林と低木林の合計10億haを加えた木本性植生相は34億haとなる。

開発途上地域のうち、中国、アルゼンチン、トルコ等の暖温帯地域にある森林を除いた熱帯地域の森林面積は表1-1に示すとおり19億haであり、これに休閑林と低木林の合計10億haを加えた木本性植生相の面積は約30億haである。

熱帯林の森林資源については、従来しばしば統計の不備が指摘され、世界の熱帯林は現在どれだけ存在し、森林破壊がどのようなスピードで進んでいるかについては、最近まで確かな数字はわかっていなかった。

ところが、1981年に国連食糧農業機構FAOが公刊した「熱帯森林資源評価報告書の熱帯アメリカ、熱帯アフリカ及び熱帯アジア編」と1982年にその総論編として公刊された「熱帯森林資源」(FAO林業叢書No.30)は、FAOが国連環境計画UNEPの協力を得て、世界の熱帯林資源について行った包括的な調査の報告書であり、その調査手法、情報量からみて十分信頼に足るものである。

本調査は、森林の分類と定義等を明確にし、熱帯諸国にたくさんある資料・情報を統一的な基準や指標に即して再整理するとともに近年発達したリモートセンシングのデータにより補足的な調整を行うなど、情報の精度を高める調査手法が用いられており、又その調査内容についても、熱帯地域における木本性植生相(森林、休閑林、低木林)の面積、森林の蓄積と生長、森林の利用(用材、薪炭材の伐採量等)、森林の減少と劣化、人工林面積と造林面積、森林の所有と経営形態など広い分野を網羅している。

この調査報告書によると、先に述べた熱帯地域の森林19億haのうち12億haは閉鎖林であるが、残りの7億haは疎林(うつ閉度が低く主として広葉樹混交樹林と草地とから成るもので、サバナ林等がこれに当る。)である。(表1-1参照) 熱帯アフリカでは疎林の比率が高く、熱帯アメリカもブラジル、ボリビア、パラグアイ、コロンビア等に疎林が多く見られる。

森林面積(閉鎖林+疎林)に休閑林(焼畑移動耕作のあとで、さまざまな回復過程にある林地)4億haと低木林(成木でも樹高7mにしか達しない灌木が主体の植生)4億haを加

表1-1 開発途上地域における木質系植生相の面積(1980年)

(単位: 1,000ha)

地域	森			林			休 閑 林			低 木 林	合 計
	閉鎖林	疎林	計	閉鎖林	疎林	計	閉鎖林	疎林	計		
熱帯アメリカ (23カ国)	678,655	216,997	895,652 (74%)	108,612	61,650	170,262 (14%)	145,881	(12%)	1,211,795		
熱帯アメリカ (37カ国)	216,634	486,445	703,079 (53%)	61,646	104,335	165,981 (13%)	442,740	(34%)	1,311,800		
熱帯アジア (16カ国)	305,510	30,948	336,458 (76%)	69,225	3,990	73,215 (16%)	35,503	(8%)	445,176		
計 (76カ国)	1,200,799	734,390	1,935,189 (65%)	239,483	169,975	409,458 (14%)	624,124	(21%)	2,968,771		
アルゼンチン	7,670	32,300	39,970						39,970		
チリ	6,250	2,430	8,680						8,680		
モーリタニア	0	15,000	15,000						15,000		
モロッコ	400	4,800	5,200						5,200		
中国	125,000	45,000	170,000						170,000		
イラン	1,900	10,500	12,400						12,400		
韓国	6,275	240	6,515						6,515		
モンゴル	10,000	5,000	15,000						15,000		
トルコ	8,856	11,343	20,199						20,199		
計(9カ国)	166,351	126,613	292,964						292,964		

出所: 世界の森林と緑の国際協力, 海外林業コンサルタンツ協会

(注) その他地域については, 森林面積5,000千ha以上の国を計上した。

えた熱帯地域における木本性植生相の総面積は約30億haであるが、低木林の面積は乾燥～半乾燥地帯の多い熱帯アフリカでは総面積の34%、熱帯アメリカでは同じく12%を占める。

又、開発途上地域のうち、熱帯地域以外の諸国の森林面積を表1-1の下段に示したが、中国を筆頭にアルゼンチン、トルコ、モーリタニア、イラン等においても疎林の比率が大きい。

熱帯地域の天然植生が閉鎖林、疎林、低木林、草原、砂漠のどのタイプをとるかは、主に気候の乾燥度（雨量と気温）と土壌の水分保持力によって決まるが、現実には人為の影響も大きな要因である。

気候要因は雨量とその年間分布、気温とその年間分布が重要であるが、おおまかにいって年平均雨量が1600mm以上の地域は閉鎖林が、900～1200mmの地域には疎林が、900mm以下の地域には低木林が多く見られる。そして1200～1600mmの地域の場合は、過去の火入れ、土壌、旱魃の頻度、その他の環境要因によって閉鎖林になるか疎林になるかが決まるといわれている。

この閉鎖林から疎林への移行地帯、さらに疎林及び低木林地帯は、熱帯の農山村地域の住民の生活と深く結びついており、焼畑移動耕作、火入れ、家畜の放牧、燃料採取その他の人為によるプレッシャーを受け易く、疎林あるいは閉鎖林への再生が困難となり、森林の荒廃を招くに至っている。

表1-2は、FAOが先に述べた熱帯森林資源評価プロジェクトにより熱帯地域における1981～1985年間の閉鎖林、疎林の年平均森林破壊面積を地域別、森林区分別に予測したものである。

年平均の森林の減少面積は、閉鎖林が750万ha、疎林が380万haで計1,130万haであり、熱帯の76カ国だけで日本の森林面積の45%に相当する広大な森林が年々消失していることを示している。

表1-2 熱帯地域における1981～1985年間の閉鎖林、疎林における年平均森林破壊

(単位: 1000ha)

地 域	閉 鎖 林					疎 林		合 計	
	生 産 林		非生産林	計		面 積	減少率	面 積	減少率
	未 収 穫	収 穫・計 画		面 積	減少率				
熱帯アメリカ(23カ国)	1,299	1,867	1,173	4,339	0.64%	1,272	0.59%	5,611	0.63%
熱帯アフリカ(37カ国)	226	1,032	73	1,331	0.61	2,345	0.48	3,676	0.52
熱帯アジア(16カ国)	395	1,278	153	1,826	0.60	190	0.61	2,016	0.60
計	1,920	4,177	1,399	7,496	0.62	3,807	0.52	11,303	0.58

出所: Tropical forest resources, FAO(1981)

表1-2の森林の減少率は、1981~85年間の年平均減少面積を1980年の森林面積で除した値である。地域別の減少率には、0.52~0.63%と余り差は見られない。

なお、森林の減少面積又は減少率が大きいといわれている国は表1-3のとおりである。

表1-3 森林の減少面積、減少率の大きな地域

地 域	環 境 立 地
(熱帯アフリカ)	
西アフリカ	季節林
東アフリカ	山岳林
マダカスカル	低地及び高地の降雨林
(熱帯アメリカ)	
中 米	低地及び高地の降雨林
コロンビア	低地降雨林、特にCaquetaとPutumayo地域
エクアドル	太平洋沿岸林、低地と高地
ブラジル	東部及び南部アマゾン、大西洋沿岸地域
(熱帯アジア)	
インドネシア	スマトラ、スラウエシの低地、主として降雨林
タ イ	低地及び高地の季節林
マレーシア	低地の主として降雨林
イ ン ド	主として季節林、主に高地
スリランカ	降雨林、主に高地
フィリピン	低地、主に降雨林
ベトナム	高地及び低地の季節林
メラネシア	主に降雨林

出所: Sowing forests from the air, NRC

各地域ごとの森林破壊の特色を摘記すると次のとおりである。(表1-3参照)

a 熱帯アメリカ

森林破壊の最大の原因は焼畑移動耕作で、全体の35%を占めるが、ブラジルなど大規模な牧場開発もそれに次ぐ有力な原因であり、森林破壊の規模はブラジルの年平均150万haを含めてこの地域がいちばん大きい。国別には、パラグアイ、コスタリカ、ハイチ、ジャマイカは減少率が大きく、ブラジル、コロンビア、メキシコ等は減少面積が大きい。

b 熱帯アフリカ

焼畑移動耕作が森林破壊の原因の70%で3地域中最も高い。特に、西アフリカ諸国の

森林破壊が深刻で、ナイジェリアとコートジボアールの2カ国だけでアフリカ大陸の年間閉鎖林減少面積のほぼ半分に達するとされている。マダガスカル等東アフリカの森林減少も目立っている。

○ 熱帯アジア

森林破壊に導く原因のうち焼畑移動耕作の割合は49%で、アメリカとアフリカの中間に位する。アフリカと同様に、商業用の森林伐採に伴って焼畑農民が奥地に侵入する傾向が見られる。又、インドネシアなどのように計画的に植民によって森林が農地化される割合もアジアがいちばん高い。

国別には、インドネシア(スマトラ、スラウェシを中心に5万ha)、タイ(33万ha)、マレーシア、インド、ベトナム、フィリピン、スリランカ、ネパール等の森林減少が大きい。

なお、熱帯地域では、森林資源の量的減少にとどまらず質的な劣化degradationが急速に進行しているといわれている。熱帯林の森林土壌は温帯林の標準からみると植物養分をわずかしか含んでいないが、商業的な伐採や開拓により一度伐開されると強烈な太陽と豪雨により栄養分が急速に分解・流亡して土壌侵食がひどくなり、地力維持が非常に困難になる。このような土壌の質的低下にとどまらず、森林蓄積、有用樹種の減少等による森林の劣化が進み、近年に至っては樹木のすぐれた遺伝形質の消失が懸念されるようになっている。

以上のような森林の減少と劣化の拡大に対して、森林回復のための造林は遅々として進まないのが現状である。

表1-4に示すとおり、1980年における熱帯地域の人工林面積は1,151万haであるが、1981~85年間に於ける年平均の造林面積は110万haであり、年平均の森林破壊面積1,130万haの1割にも満たない数字である。

熱帯地域の造林で比較的古い歴史をもつのはアジアの国であり、タウンヤと呼ばれるビルマのアグロフォレストリーによる造林は1856年に始まり、パキスタン、インドネシア、タイ、フィリピン等で相ついで植林事業が開始された。南アメリカでは19世紀末にユーカリの外来樹種が導入され、1910年頃よりブラジルで鉄道用の燃材、枕木の生産、ペルーで杭木生産等が行われており、アフリカでも同じ頃よりユーカリ、マツ等の外来樹種の導入により鉄道燃料用のユーカリ植林などが小規模ながら行われた。

しかしながら熱帯地域で造林事業が本格的に実施されるようになるのは、1950年以降であり、熱帯森林資源評価プロジェクトの調査対象国76ヶ国における1980年末の人工林面積のうち90%以上は、1951年以降に加速度的に造成されたものである。

総人工林面積1,150万haの地域別分布は熱帯アメリカ40%、アフリカ15%、アジア45%であり、造林目的別には61%が産業造林、31%が非産業造林である。

表1-4 熱帯地域における1980年末の人工林面積と
1981~1985年間の年平均造林予測面積

(単位: 1000ha)

地 域	広 葉 樹				針 葉 樹		合 計	
	普 通 樹 種		早 成 樹 種		人工林面積 1980	年平均造林 面積 1981-1985	人工林面積 1980	年平均造林 面積 1981-1985
	人工林面積 1980	年平均造林 面積 1981-1985	人工林面積 1980	年平均造林 面積 1981-1985				
熱帯アメリカ(23カ国)	548 (419)	50 (39)	2,451 (1,583)	312 (207)	1,621 (50)	173 (6)	4,620 (2,052)	535 (252)
熱帯アフリカ(37カ国)	588 (294)	47 (23)	645 (483)	50 (36)	547 (6)	29 (3)	1,780 (783)	126 (62)
熱帯アジア(16カ国)	1,976 (163)	90 (25)	2,303 (1,220)	237 (142)	832 (226)	111 (38)	5,111 (1,609)	438 (205)
計 (76カ国)	3,112 (876)	187 (87)	5,399 (3,286)	599 (385)	3,000 (282)	313 (47)	11,511 (4,444)	1,099 (519)

出所: Tropical forest resources, FAO

注) ()内は、産業造林以外のもの内数である。

1950~1970年代の造林は、主として産業用材の生産を目的として国際的な資金援助の受入れ、造林公社の設立、公的補助金の助成等政府主導により行われてきたが、近年造林活動への地元住民参加、燃材等自家用材の生産等のため、いわゆる社会林業が重視されるに至り非産業的な造林が増加しつつある。

以上、開発途上地域、特に熱帯地域における森林面積、森林の減少と劣化及び造林活動の現状について概観してきた。

開発途上地域においては、人口圧力、生活の糧を森林に依存している地域住民の貧困が原因として、熱帯地域を中心として森林破壊が急速に進行しているにもかかわらず、森林回復のための造林は破壊面積の1割にも満たない現状にある。

このため、主として水源地帯において広大な地域にわたって森林の草地化、裸地化が進行するとともに、閉鎖林の疎林への移行、さらに疎林の低木林への移行を招いており、林産物の供給のみならず国土の保全、水資源のかん養、自然環境の保全等森林の有する多面的機能が低下するとともに、地力の低下・砂漠化の進行から住民の生存すら脅かされる状況となっている。

このような事態に対処するため、FAOは1985年を「国際森林年」と宣言して熱帯林保全のためのキャンペーンを行うとともに、開発途上国及び援助国が共同して熱帯林問題に取り組むための具体的指針として「熱帯林行動計画」(TFAP)を作成、採択するなど熱帯林の開発と保全を緊急課題とするに至っている。

森林の減少と劣化を食い止めその回復を図るためには、大規模な造林事業を早急に行う必

要があるが、その推進に当って開発途上国には次のような問題がある。

a. 造林の実行体制の未整備

国及び民間（森林組合等）の組織、特に現場組織が整備されていない。

b. 熟練労働者の不足

現場監督者、機械のオペレーター等を含め熟練労働者が著るしく不足している。

c. 事業資金の不足、助成制度の未整備

大規模造林を行うための資金（特に先行投資）の不足とともに、助成制度など資金の円滑な交付等の制度も未整備である。

d. インフラストラクチャーの未整備

造林事業に必要な林道（到達道路を含む）、大規模苗畑、採種園が未整備であり、特に奥地水源地帯の造林は困難である。

e. その他

森林調査、林木育種、森林消火、試験研究など造林事業を支える組織、活動が不十分である。

1-2 航空機造林の開発途上地域への導入の必要性

苗畑において種子より苗木を生産し、その苗木（多くは土壌の入ったポット苗木）を林地に運搬して人力により植栽を行う従来の伝統的な造林方法は、大量の種子を必要としないこと、植栽後の生存率が高いこと、成長量が大きいこと、同型良質の材が生産できること、保育が容易なこと等の利点があり、コストは高いが確実な造林方法である。

しかしながら、上に述べたように現場の造林実行体制、熟練労働者、林道・大規模苗畑等のインフラストラクチャーなどの条件が未整備である場合には、大面積の森林回復をこの伝統的な造林方法のみで行なうことは困難であると考えられる。

アメリカ、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド等の先進国で開発された航空機による造林方式は、伝統的な苗木植栽マニュアルと比較して実行組織、インフラストラクチャーも小規模ですみ、先行的な資本投下も少く、しかも早期緑化が可能であるという利点があり、苗木植栽マニュアルの補助的手段として、特に遠隔地等における大面積造林などの新しい武器として利用できる可能性がある。

アメリカの国家科学アカデミー（NAS）は、その国際開発科学技術理事会技術革新諮問委員会の特別部会において、航空機造林の開発途上地域への導入について検討し、「Sowing Forests from the Air」としてとりまとめ、1981年に公刊した。

本報告書の作成は、アメリカの国際協力機関である国際開発庁（USAID）の強力な援助のもとに行われたが、特別部会の構成委員はアメリカ、カナダ、オーストラリア及びニュージーランドの学識経験者から成っている。

報告書の内容は、先進国における航空機造林に関する技術と事業の現状を述べるとともに、その開発途上地域への応用に関連して、航空機造林の適地、使用樹種、散布装置、虫獣害防除、コスト、制約条件、研究課題等について論じている。

1-3 航空機造林の基本概念

大規模森林回復を実現するには、従来の小規模、地上作業を中心とした造林手法では地球規模の森林増加は望むべくもない。とくに木材産業が基幹産業にもなっており人口増加の大きい熱帯林地域では森林の減少が著しく多少の造林では追いつかず毎年1100万haもの森林が減少している。そのためには、従来の伝統的な造林手法に加えて画期的な手法を開発する必要がある。幸いにして最近林業における各分野で航空機を利用するようになり、航空機造林は上記の目的を達成するための有力な手法と思われる。造林事業の一部に航空機を利用したのは20数年前からであるが、広範囲にわたる造林の各分野に航空機を利用するには、解決しなければならない多くの問題がある。ここでは林業における航空機利用の現状と解決すべき基本問題について基本概念的のべることとする。

林業における航空機利用については、古くから航空写真による資源調査、山火事発生時の航空機による消火が実用化されているが、それ以外にも表1-5に示すような事業に利用されている。

この表で●印は一般の事業としてとり上げられているものであり、○印は必要に応じて使用するか、事業としてよりも試験的段階にあるものである。

一般に航空機利用は、地上における作業に比べ日本のような小規模な事業では一日当りの作業量も少くなるため経済的に合わないと言われており、より高いスケールメリットが要求される。

とくに表に示されるような単一事業の場合はコスト的に合わず、病虫害発生等の緊急時か、道路のない遠隔地への必要資材の運搬、奥地林からの銘木等高級木材の搬出などに使用されているにすぎない。

しかしながら、開発途上地域における大規模な森林回復を目的とする造林事業においては、その客観情勢からして航空機造林による手法はスケールメリットが十分期待でき、又従来の造林手法では林道等のインフラ整備、労働力の確保の必要性を考えると航空機造林は低コストかつ効率的な造林手法となる。

ここで、熱帯林における従来からの造林技術体系と大規模森林回復を目的とする航空機造林の技術体系について模式的に図示すると図1のとおりである。

これによると、従来の造林手法では、林道、大規模苗畑、労働者キャンプ等のインフラ整備に多額の先行投資が必要な上に、育苗、地ごしらえ、植付、保育などに40数工程の作業が必要である。航空機造林は、これらの多くの工程を航空機利用によりいかに短縮し集中的

表 1-5 林業における航空機の利用（森林資源調査・山火事消火を除く）

事業区分	種子 散布	除草剤 散布	肥料 散布	防虫剤 散布	侵食 防止 剤 散布	集運材	物資 輸送	調査 監視
森林保全				●			○	○
治山・治水	●		●		●		●	○
造林	○	●	○	●			●	
生産						●	●	

● 主要な事業 ○ 適用範囲のあるもの

に作業するかがキーポイントになる。

航空機造林の技術は、図に示すように対象地の航空機による自然条件等の基礎的調査、種子及び苗木の健全確実な発芽、生長を促すための人工的な補正（人工種苗）、適正散布のための散布システム、保水剤、防虫剤等の薬剤など、従来の林業・林学の分野を越えた広範な分野、すなわち造林、機械、航空力学、薬剤等の専門分野の総合的なシステム化が必要である。

1-4 先進国における航空機造林の沿革

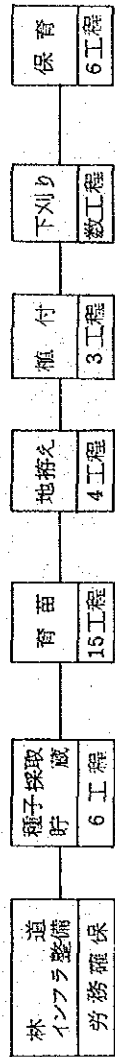
先進国における航空機造林の技術は、古くから開発の進んでいた牧草ならびに大豆、麦、米等の農産物の種子散布技術から発達した。

アメリカの航空機造林は、1953年に昆虫、げっ歯動物、鳥類等種子の捕食動物に対する忌避剤と種子へのコーティング技術が開発されてから、西部の林業地帯及び大規模造林を計画中であった南部において飛躍的に発展し、1980年までに100万ha以上の航空機による種子散布造林が行われた。現在はその後の伐区面積の制限等からメリットがなくなり下火となっているが、1960～1970年代にかけて、伐採跡地の造林のほか、鉱山開発跡地、山火事、台風、洪水等の災害跡地、低質林の改良（低質広葉樹よりマツ林へ）などの造林に広く利用された。

カナダでは、1930年代オンタリオ州において若干の試験が行われたといわれるが、航空機造林がオンタリオ州、ケベック州の北部過疎地帯を中心に広く利用されるようになったのは、1962年にブローム種子散布装置が開発されてからである。同国では、このほか固定翼

図 2 熱帯林における造林技術体系

。従来の造林技術体系



。大規模森林回復のための航空機造林

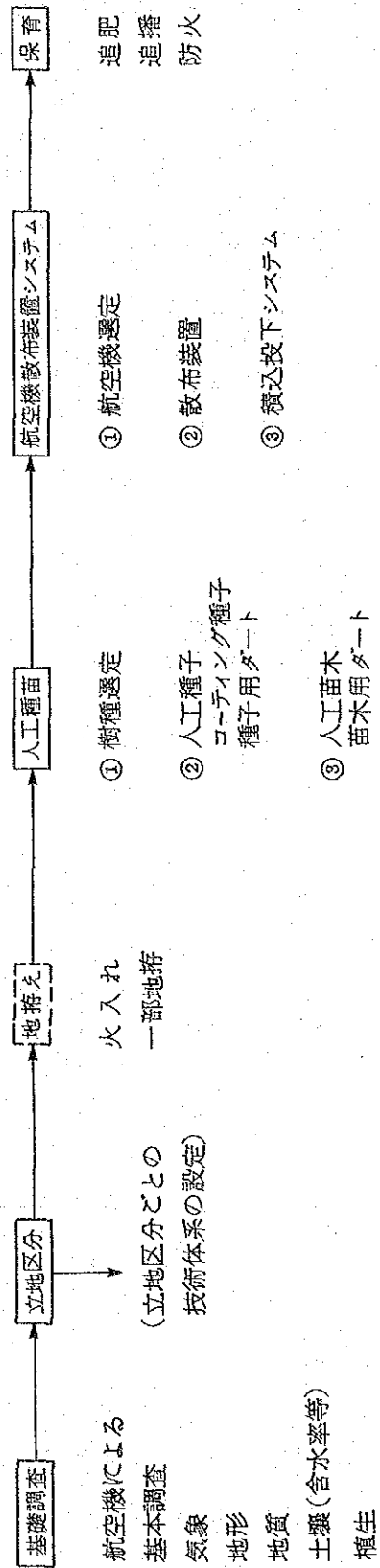
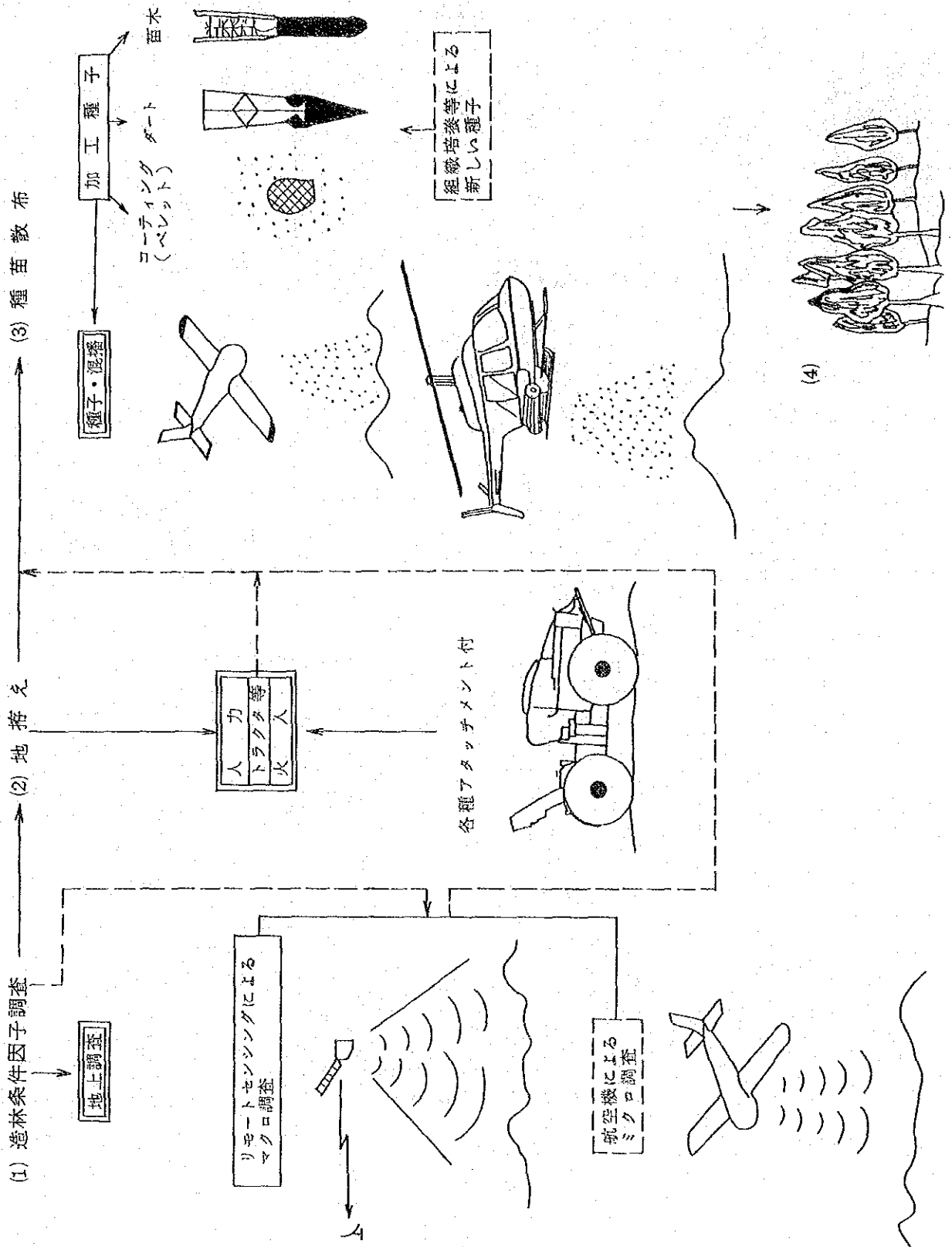


図3 航空機造林の模式図



機ないしヘリコプターから苗木ダート、種子ポットを内臓したダートを散布する方式について意欲的な試験が行われている。又、カナダでは、種子の林地への着床、発芽、生長を確実にするための各種の地ごしらえ技術や立地条件及び地ごしらえ方法に応じた種子散布量、飛行散布法等の技術開発が行われた。

ニュージーランドにおいては、牧草及び草地への肥料の航空機による散布が1940年代の中頃より発達し、航空機農業は年間200万トンを超す肥料を使用するほどの一大産業となっている。同国における林木種子の航空機散布は高地保安林におけるエロージョン防止のための治山造林に限られているが、きびしい自然条件に対応するため牧草、マメ科草木及び肥料との混播技術に特色がある。

以上、アメリカ、カナダ、ニュージーランドにおける航空機造林の対象樹種は、マツ類、トウヒ類等の針葉樹であるが、オーストラリアでは比較的種子の小さいユーカリの航空機造林が実用化されるに至っている。

すなわち、同国の航空機造林は、ニューサウスウェールズ、ビクトリア及びタスマニア州において、ユーカリ林の伐採地が奥地の山岳地帯に移行したのに対処するために発達したものであり、地ごしらえ（特に火入れ地ごしらえ技術）、散布時期、植栽後の保育（特に野草の抑制技術）等のマニュアルが確立されているほか、種子のコーティング及び散布装置の開発改良等も行われている。

オーストラリアのユーカリの航空機造林は、開発途上国において外来導入樹種として広く産業用（パルプ用材）及び非産業用（燃材）の木材生産を目的に造林されている樹種を対象としており、自然条件も開発途上地域に広面積に分布する比較的乾季が長く下草の多い森林地帯に類似していることから、開発途上地域へ航空機造林の応用に当って参考とすべき点が多いように考えられる。

最後に、わが国の航空機による林木種子の散布技術は、主として荒廃地の治山緑化を目的として1963年に開始され開発されたものであるが、基礎的調査方法、対象地の立地区分、導入植生（草本及び木本）と播種量、散布手段、散布材料（種子、肥料、混和材等）、山腹基礎工などの集約な技術が開発されている。そのマニュアルは、治山治水協会より「航空緑化工の計画、設計、施工指針とその解説」として公刊されている。

以上が先進国における航空機造林の沿革の概要（詳細については後述の各国における航空機造林の現状を参照）であるが、開発途上国においても中国において事業的規模で航空機造林が行われているほか、インドネシア、ナイジェリア等で試験的に行われている。

すなわち、中国では南部諸省の山間地帯、高海拔地帯および河北省等の荒廃山地を中心にマツ類の航空機造林が行われており、その実行面積は200万haを超えられている。これに反して、インドネシア、ナイジェリアの航空機造林は小面積の試験にとどまっているが、前者の試験はジャワ島の草地（アランアラン草本 *Imperata cylindrica*）においてマメ科の *Leucaena leucocephala*, *Acacia auriculiformis* 等野草との競合に強

表 1 - 6 航空機造林成功樹種一覽表

樹 種	普 通 名	国
<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>	melohia	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, ニュージーランド
<i>P. elliotii</i>	slash pine	アメリカ
<i>P. nigra</i>	black pine	ニュージーランド
<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, ニュージーランド
<i>P. radiata</i>	Monterey pine	ニュージーランド
<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

い樹種の播種により成功した事例である。

なお、熱帯地域における航空機造林の事例として、1926年にハワイ諸島において山火事跡地の造林が航空機により行われた歴史があるほか、グアム、サイパン等の太平洋諸島においてアメリカ海軍により第二次大戦の戦跡荒廃地の緑化を *Leucaena leucocephala* の散布により行い成功した例をあげることができる。

表1-6は、現在までは航空機造林で成功した事例の使用樹種及び実施国又は場所である。

1-5 開発途上地域への可能性と問題点

アメリカの国家科学アカデミー(NAS)の航空機造林に関する特別部会がUSAIDの協力を得て作成した前記の報告書 *Sowing Forests from the Air* は、開発途上地域における森林破壊は広大な非生産的林地の拡大を招いており、これ以上放置できない実態にあるので、森林回復のためには伝統的な苗木植栽方式による造林をできる限り拡大するとともに、新たに代替的な造林方法を検討すべき時期に来ていると述べている。

同報告書はさらに、航空機造林は立地条件及び樹種が適正で種子の供給が十分であれば、大面積造林のための重要な技術となり得ると述べ、開発途上国の立地条件及び目的に応じた技術が開発されれば、これら諸国の造林計画の促進に大きく寄与するだろうと述べている。

そして、航空機造林は、伝統的な苗木植栽造林方法に替るものではなく、目的、立地条件、樹種が適正であれば、伝統的な植栽法及び天然下種更新法の補足的なものとして有力な造林方法であるとしている。

又、航空機造林は、温帯地域の工業国で開発された技術ではあるものの、その他の地域に適した改良も可能であるとし、その成功は新しい地域の動物植物相等の条件や気候条件に適応する改良が可能であるかどうかにかかっているが、北アメリカ、オーストラリア等における大規模な事業の経験からして、開発途上国における広範囲な適応試験に対応できる十分な知識がすでに蓄積されていると報告している。

これを要するに、先進国で開発された一連の技術体系、すなわち、造林対象地の基礎調査法→立地区分→適正樹種選定→種子調達→種子加工→地ごしらえ→種子散布→保育の各個別技術を、開発途上地域の気候や動物・植物相等の自然条件にいかにもマッチさせるかということであるが、その適応に当たって特に重要と考えられる開発課題を整理すると表1-7のとおりである。

これを見ると重要な開発課題は、航空写真による省力的調査法、大型機械による地ごしらえ、コーティング材料と加工法、散布装置などの開発途上地域向けの改良というハードな部門と気候・動植物相等の立地区分手法、適正樹種の選定、火入れ地ごしらえマニュアルの改良など、どちらかというソフトな部門とに分けられる。前者のハードな技術については、先進諸国における長年の開発によりかなりの知識の蓄積があり、その開発途上地域向けの改

良は比較的容易であると考えられるのに対し、後者のソフトな部門については未知な面が多く今後緊急な解明を要する課題である。

伝統的造林法である苗木植栽法は、選択された種子より健全な苗木を生産し、栄養分のある土壌媒体とともにポットにより造林現場に運搬して人力により植栽する労働集約的技術であり、自然条件、特に乾燥、やせ地等への適合に幅があるのに対し、航空機による播種造林はその幅が狭く、立地条件にセンシティブな面がある。したがって、航空機造林は適地に用いられれば、経費が安く森林回復も迅速かつ効果的であるが、不適地の場合には失敗の比率も大きい。

又、開発途上地域の自然条件は、温帯のそれに比べて、例えば温度など湿潤地から乾燥地に及ぶなど幅の広い地域を含んでいる。

このため、開発途上地域への導入に当たっては、先づ立地区分を明確にするとともに、樹種（品種）の選定、地ごしらえ、種子加工、散布時期の適正化等の技術開発により自然条件への適合にでき得る限り幅を持たせることが必要と考えられる。

表1-7のうち、特にチャレンジを要すると思われる重要開発課題は、次のとおりである。

- a. リモートセンシングによる省力的な造林対象地の調査法の開発
- b. アランアラン等の繁茂する草地の航空機造林法の開発
- c. 乾燥地の造林に適したコーティング種子等による造林法の開発
- d. 種子の散布密度および spacing を適正にするための散布システムの開発
- e. 昆虫、げっ歯動物、鳥類の捕食を防止しかつ危険の少ない薬剤（忌避剤）の開発改良

なお、航空機造林の技術開発は、リモートセンシング、航空学、薬剤、機械、造林学等の非常に幅の広い専門分野の協力を必要とすること、自然条件等による影響が大きいこと等の問題がある。このため、技術開発を効率的に進めるためには、人工気象室におけるコーティング種子の発芽生長試験、風洞におけるダートないし種子の散布実験シミュレーションの技術等の実験室レベルの試験と併行して、現地における散布実験を行い、現場における問題点を実験室にフィードバックするような形の研究体制をとることが望ましい。

表 1-7 航空機造林技術の開発途上地域への導入に当たっての開発課題

項	目	題
1. 対象地の地質調査	1. 自然条件……気候(温度, 雨量), 地形土壌(土層, 土性, 含水率), 林床(種生, 草木被蓋), 野生動物	1. ランドサット等(可視カメラ)による地形, 植生, 土壌分布等の概況調査はすでに開発されているが, 航空写真(マイクロ波等)による省力的な土壌水分, 土壌湿度, 植生等の精密調査法の開発
2. 立地区分	2. 経済的條件……運輸性, 開発度(インフラ), 山火事, 放牧状況, 人口, 労働力, 兵站基地等事業実施条件	2. 上記と関連した現地のサンブル・プロット調査法の開発
3. 適正樹種選定	1. 気候型(亜湿帯, 半乾燥地帯, 熱帯高地) 2. 林床型(土壌, 植生等) 3. 植食動物型(種類と生息密度) 4. 経済立地(インフラ, 遠隔地, 兵站基地等)	1. 開発途上地域における立地区分の標準及び立地区分ごとの技術体系の確立(適地, 不適地の判定を含む) 2. 特にアラビアン等の繁殖する草地および乾燥地帯を克服する技術体系の確立
4. 種子調査	1. 種子の形態, 生理特性 2. 発芽, 生長特性 3. 諸敵害の抵抗性(耐乾, 耐湿, 耐寒, 耐せき悪土壌等)	1. 広範囲な郷土樹種, 外来導入樹種(産地品種を含む)の生理特性, 航空機造林適性の検討解明 2. 特に発芽, 生長が良く草を克服し, 乾燥に強い樹種の検索
5. 地ごしらえ	1. 種子採取, 精選, 貯蔵 2. 種子テストと発芽前処理 3. 火入れ地ごしらえ 4. 機械地ごしらえ 5. 除草剤	1. 種子の大量採取, 精選, 貯蔵技術の開発 2. 発芽前処理技術の改良 3. 大規模火入れ地ごしらえ技術の開発 4. 地ごしらえ用大型アタッチメントの開発 5. 乾燥地および湿潤地における地ごしらえ技術の開発
6. 種子加工	1. 種子ダート 2. コーティング種子 (1) コーティング材料(発芽前処理材, 温度, 光調整材, 忌避材, 保水材, 湿润材) (2) 加工法	1. 保水剤, コーティング, 肥料等媒体の改良 2. ダートの精選の改良 3. 散布装置の改良 4. コーティング材料(発芽前処理材, 温度・光調整材, 忌避材, 保水材等)の開発改良 5. ミコリザ菌のコーティング種子の開発
7. 種子散布	1. 散布方法 (1) 散布量の決定法 (2) 散布時期 2. 航空機と散布装置 (1) 航空機と飛行法 (2) 散布装置	1. 特に関連した現地のサンブル・プロット調査法の開発 2. 特に関連した現地のサンブル・プロット調査法の開発 3. 特に関連した現地のサンブル・プロット調査法の開発 4. 特に関連した現地のサンブル・プロット調査法の開発 5. 加工法の改良 6. 適正な立木密度を得るための地ごしらえ技術と関連した散布量の決定手法の開発 7. 気候, 火入れ等の地ごしらえ, 植食動物の生息などと関連した適正な散布時期の決定手法の開発 8. 適正な種子の散布密度および分布を得るための飛行方法と散布装置の改良 9. 開発途上国の種子に関する散布装置の改良

2. 造林対象地の条件調査

航空機造林の適切な計画を樹立するためには、対象地の気象、地形、土壌、植生、野生動物等の自然的条件ならびに地理、開発度、インフラストラクチャー、事業実行に関する制約条件等社会経済的條件の基礎的事項について調査を行う必要がある。

前にも述べたとおり、航空機造林の技術は、ポット苗木による伝統的な植栽造林と異なり、一般的に自然条件に対してセンシティブであるため、対象地の造林を効果的、経済的に実施するためには、対象地の条件調査を精確に行なうとともに、得られる情報を総合的に検討し、立地区分、樹種選定、種子調達、種子加工、地ごしらえ、種子散布、保育等の一連の造林計画を策定することが望まれる。

調査項目のうち、航空機造林にとって特に重要と考えられる項目は以下のとおりである。

なお、調査は大面積の対象地を省力的に実施する必要があり、宇宙衛星、航空写真等リモートセンシングによる調査技術の開発が重要な課題の一つである。

2-1 重点調査項目

2-1-1 自然的条件

(1) 気 象

気象条件は、植物の分布、生育に大きな関連があり、特に樹種選定、種子散布時期などに関する重要な調査項目の一つである。

a. 気 温

年平均気温、月平均気温、暖かさの指数などの調査が望ましい。月別平均気温、暖かさの指数は、次に述べる月別降水量とともに植物の生育、生態（植物群落等）に大きな影響を与えるものであり、樹種選定、散布時期の決定に関して特に重要である。また、散布時期の重要因子である地表温度については、サンプル、プロットにおける現地調査が望ましい。

気温に関する調査、観測は、直接計画対象地で行うことが望ましいが、事実上困難であるので、もよりの地域の観測値をもとに、緯度と標高よりの推定、航空写真による推計等により行う必要がある。

b. 降 水 量

年降水量、月別降水量、種子散布時期の降水状況などの調査が望ましい。

航空機造林は、散布される種子の迅速な発芽、着床、生長が肝要であり、熱帯地域においては降水量、特に散布時期における降水状況が極めて重要である。熱帯地域では、ポット苗木による植栽造林においてさえ、植付は雨季の始めに行うため降雨の状況が苗木の生存率に大きく影響する。

c. その他

開発途上地域のうち、熱帯地域以外の地域では、霜の散布種子に与える影響を考慮して降霜期間等の調査が必要と考えられる。

(2) 地形

地形は、造林対象地のみならず、航空機の着陸地（固定翼機の場合には滑走路、ヘリコプターの場合にはヘリポート）、兵站基地、誘導基地等を含めて地形を調査する必要がある。

航空機による播種造林は、遠隔地の荒廃地（山地崩壊、火山灰、台風等による各種の荒廃地、鉱山跡地）の森林回復の成功例が多く、ニュージーランド、日本では主として奥地山岳地帯における荒廃地復旧に利用されているが、開発途上地域においても近年水源流域の高山地帯の造林が重要視されるに至っている。

このような奥地山岳地帯の場合には、適正な航空機の誘導（通常誘導箇所は尾根）、飛行、散布（散布方向、高度、間隔等）を行うため、特に地形の調査が必要とされる。

なお、山岳地形における航空機造林のための飛行は、短距離の往復飛行で、速度の変化および旋回の頻度も著しく多く、散布作業は低速で狭い範囲で行い均一散布を要するなど、単純な飛行の数十倍に相当する操縦動作が必要であるといわれている。

(3) 土壌

土壌は、樹種選定、地ごしらえの方法、散布後の発芽、生育状況の推定などの資料となる。

a. 土層

土層の厚さ、ならびにA_o層（有機物層）、A層（表層）、B層（下層）の状況を調査する。

土層の厚さ（B層まで）は、植物の根の侵入が期待できる深さである。

腐食を含むA_o層（有機物層）は、乾燥し易く、余り厚いと幼根がA層のミネラルソイルに到達しない前に枯死する率が高いので、その場合は特に機械等による地がきが必要となる。

航空機造林では、ミネラルソイルが火入れにより露出するような土壌が好ましい。

b. 土性

一般に、砂土、砂質土、粘性土、礫質土、軟岩、硬岩に区分するが、砂質土は粘性土に比して乾燥し易く、水分調整が重要な課題である。礫質土は、礫が多く苗木による造林は労力がかかりすぎるが、航空機造林は礫が種子を乾燥から防ぐ利点もあり、比較的成績が良いといわれる。

c. 土壌硬度

土壌の硬さは、植物の生育、根系の伸長、支持力などに関係する。硬度指数が18～23 mmが植物の根系生長に最適といわれ、30 mm以上では根系の侵入に不可能とな

る。

熱帯土壌は、焼畑、放牧のための火入れ等により硬度が増し、極端に物理性が悪くなるものも多く見られるが、この場合は機械による地がき等により物理性を改善する必要がある。

d. 土壌酸度

熱帯の土壌は、焼畑等により酸性の強いものが比較的多い。集約な事業の場合には、土壌改良剤の使用を考えられるが、酸性土壌に強い *Acacia mangium* などの樹種を選定することが先づ必要である。

e. 土壌水分

前に述べたように土性、土層の影響が大きい、最も重要な調査事項である。

(4) 植 生

現在の植生については、低木、草木の植生、特に熱帯地域のサバナ林、草原に多いイネ科の繁茂の著しいアランアラン (*Imperata*) のような草木の生育状況を調査する必要がある。

この種類の疎林、草原は、比較的降雨の多い湿潤熱帯（多雨林のほか季節林、サバナ林も含む）で焼畑等の人為により森林が劣化し、その後毎年野火や燃材採取等により森林回復ができない状態にあるものが多い。

その面積は、インドネシア、フィリピン、タイ等を含め広く存在するが、草木を火入れにより焼いても回復が非常に早く、造林の大きな障害となっている。

生長旺盛な草木との競合にうち克つような早生樹種・品種の検索等による草原造林への挑戦は、航空機造林の技術開発の最大の課題の一つである。

次に、造林対象地の原植生については、周囲の森林から原植生の種類、出現状況、生育状況等、特に優占樹種の天然更新の状況を調査することが必要である。これらの調査は、適正な樹種選定のための資料となる。

(5) 末木枝条

特に伐採跡地においては、末木枝条の量が造林の大きな障害となる場合が多い。

末木枝条の種類（樹種）と量は、地ごしらえの方法の決定に関する資料となる。

(6) 野生動物

特に、散布する種子を捕食したり害を与えるげっ歯動物（ウサギ、ネズミ）、鳥類、アリ等の生息密度を調査する必要がある。

これらの捕食動物による被害はかなり大きく、アメリカではげっ歯動物および鳥類の忌避剤が開発されてから航空機造林が飛躍的に進展した歴史がある。

忌避剤は、他の動物にも害を与える可能性もあるので、それらの動物の種類についても調査する必要がある。

忌避剤については、アメリカではエンドリン (*Endrin*) などが使用されていたが、現