

在は使用禁止となっており、今後危険性の少い無害の忌避剤の開発も大きな課題である。

2-1-2 社会経済的条件

(1) 地理的条件

航空機造林の適地の第一は、地理的条件の良くない奥地、遠隔地、急峻な地形など、苗木植栽造林の困難な地域であるといわれる。その理由は、航空機を用いるため資材運搬等のための道路施設の必要がないこと、材料の運搬、散布などの作業が連続工程で行われ作業が省力的、経済的であるためである。

また、遠隔地等は、人口、労働力が希薄で労働集約的な苗木植栽は困難である。このように、航空機造林の経済性と効果は対象地の地理的条件と密接な関連がある。

このため、対象地の公道、林道、飛行基地等のインフラストラクチャー、人口、労働力等の条件調査を行う必要がある。

なお、今回現地調査を行ったカナダにおける航空機造林の対象地は、主としてオンタリオ州北部の開発度の低い人口希薄地帯であったが、幹線林道沿いの区画は苗木の植栽造林、その奥は航空機造林を行うなどの合理的施業法が行われていた。

(2) 事業実行に関する制約条件

航空機造林に当っては、その事業実行に関する制約条件、特に次の事項の調査が必要である。

- a. 航空機、散布材料の調達、開発途上国の場合空軍機の利用可能性。
- b. 材料等の輸送の難易。
- c. 兵站基地、滑走路、ヘリポートの設置カ所。
- d. パイロット、熟練労働者の雇用の可能性。
- e. 水利用、景観、生態系などの環境問題に関する社会的要請。

2-2 調査方法

2-2-1 リモートセンシングによる調査方法

従来造林を実行する場合には、造林に必要な地床、土壌、地形などの諸条件の調査は地上作業により行われてきた。広範囲にわたる大規模造林を行う場合、対象地の諸条件調査を地上作業で行うには膨大な人員、経費、時間を必要とするが、最近の先端技術であるリモートセンシング、航空機利用技術により短期間に効率よく諸情報を解析して適地適木を判定することが可能となってきている。

現在、衛星・航空機、また地上調査によるデータの収集は、それぞれ長所と短所があるが、その調査手法の特性の比較は次表の通りである。

表 2-1 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	定量的精確度	数量的精確度	経費低廉性
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には費用が増大する
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長	◎ 広域同時性は人工衛星の特長	◎ 同期性 (LANDSATでは18日) は、人工衛星の特長	△ LANDSAT-1, 2のみを考えると問題がある	○ 解像度に限界あり LANDSATで80m	△ 一部の対象を除いて定量的推定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。

航空機造林を行なう対象地の基礎的調査は、人工衛星イメージのデータ分析、航空写真のデータ分析及びサンプル・プロットにおける現地調査の組合せにより行なうことが理想的である。

すなわち、ランドサット・イメージ等の可視、赤外光によるイメージのデータ分析によるおまかな条件調査により造林候補地を狭域的にしぼりこみ、この地域を対象とした航空写真及び現地調査によりさらに精度の高い条件調査を行うものである。

近年、航空写真調査においては、マイクロ波等により表層下の土壌水分、植物活性等の解析データの収集も可能となりつつあり、今後リモートセンシング技術の航空機造林への

応用の可能性は大きい。

リモートセンシングを主体とする上記調査法の利点は次のとおりである。

- a. 人工衛星、航空写真の組合せにより広域から狭域に至る一貫した調査が実施できる。
- b. 迅速なデータの収集解析、各種主題図の作成が可能であるばかりでなく、自然条件の数値的な解析が可能である。
- c. 可視、赤外光による地表観測に加えてマイクロ波等により土壌水分等の地表下の調査が可能となる。

2-2-2 リモートセンシングによる作業フローの一案(図4参照)

- a. ランドサットのデータ解析により全域(50万ha~200万ha単位)の広域土地条件図(1/20万~1/10万, 500m×500m~250m×250mメッシュ)を作成し、これにもとづいて航空機造林の適地の判定を行なうとともに、造林樹種、散布方法別の分類を行なう。
- b. 上記によりしぼられた航空機造林の候補地に対し、スポット画像、航空機観測及び空中探査により詳細な土地、土壌条件予察図(地形、地表被覆、土性、表土粗粒度、硬度、深度、水分等, 1/5万~1/2万, 100m×100m, 25m×25mメッシュ)を作成する。
- c. 車輦踏査、標本地調査、ヘリコプターによる近接探査により、予察図凡例の実証ならびに補正を行ない調査図および情報簿を作成する。
- d. 事業ブロック区分、種苗量算定、飛行計画設計等を行なって散布実施計画を作成する。
- e. 散布後の管理路網、山火事等監視施設等の計画、モニタリング手法、追播散布等保育作業計画指針を作成する。

以上のフローに対して散布後の森林のアフターケアが必要であるがリモートセンシング、航空機利用のこれらの技術は既往の情報に対する改修、補正にも有効でその後の森林生態系維持に有効な手段ともなる。しかしこれらの作業フローではいろいろの課題があるがその主なものを列記する。

- a. ランドサットデータ解析による土地条件図作成技術は既に開発されているが、マクロ的解析で造林に必要な条件因子はミクロ的解析となる。従って種苗散布に必要な条件調査は赤外線域(近・中・遠を含む)データによる表層土壌水分および含水容力判別法を季節別データのオーバーレイ解析等により今後新に開発する必要がある。現在の公開情報衛星にはマイクロ波計器は搭載されていないが1990年代には搭載されるようになる。
- b. 航空機搭載マイクロ波センサーの開発(工性判別に最適な観測波長域と照射角をもったセンサーはすでに日本では人工衛星搭載センサーの実験器材として主に研究用に使われているが、カナダ、アメリカなどでは航空機に搭載されたこの種のセンサーが地形測量などで実用化されている。

c. マイクロ波データ処理の簡易化，高速化システムは大規模森林回復のためには緊急開発すべきであるが，それにはコンピュータシステムの導入が必要である。

リモートセンシングによる自然条件等の基礎的調査法を図示すると，図4及び図5のとおりである。

図4 リモートセンシングによる自然条件・種苗散布計画フロー図

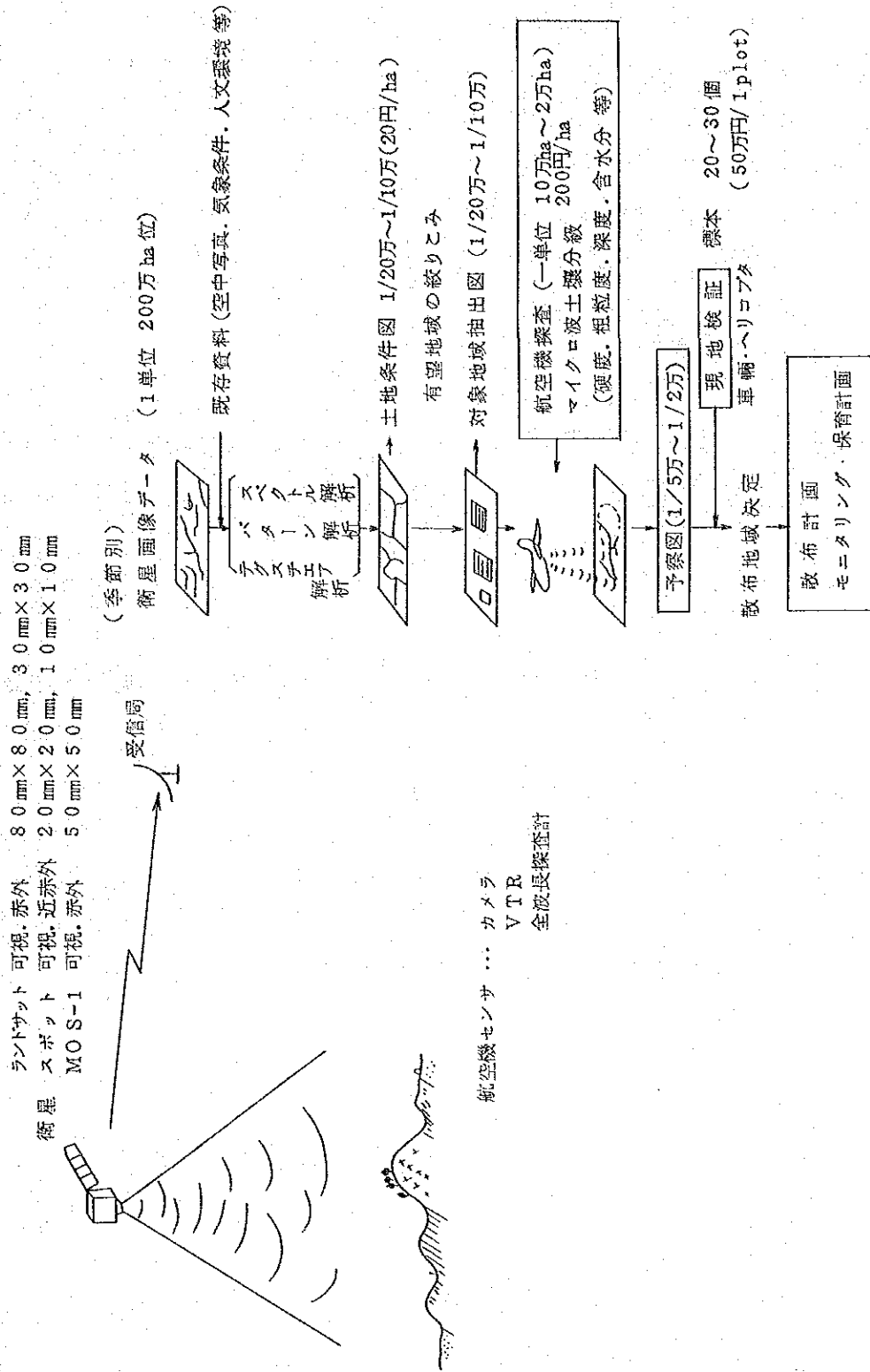
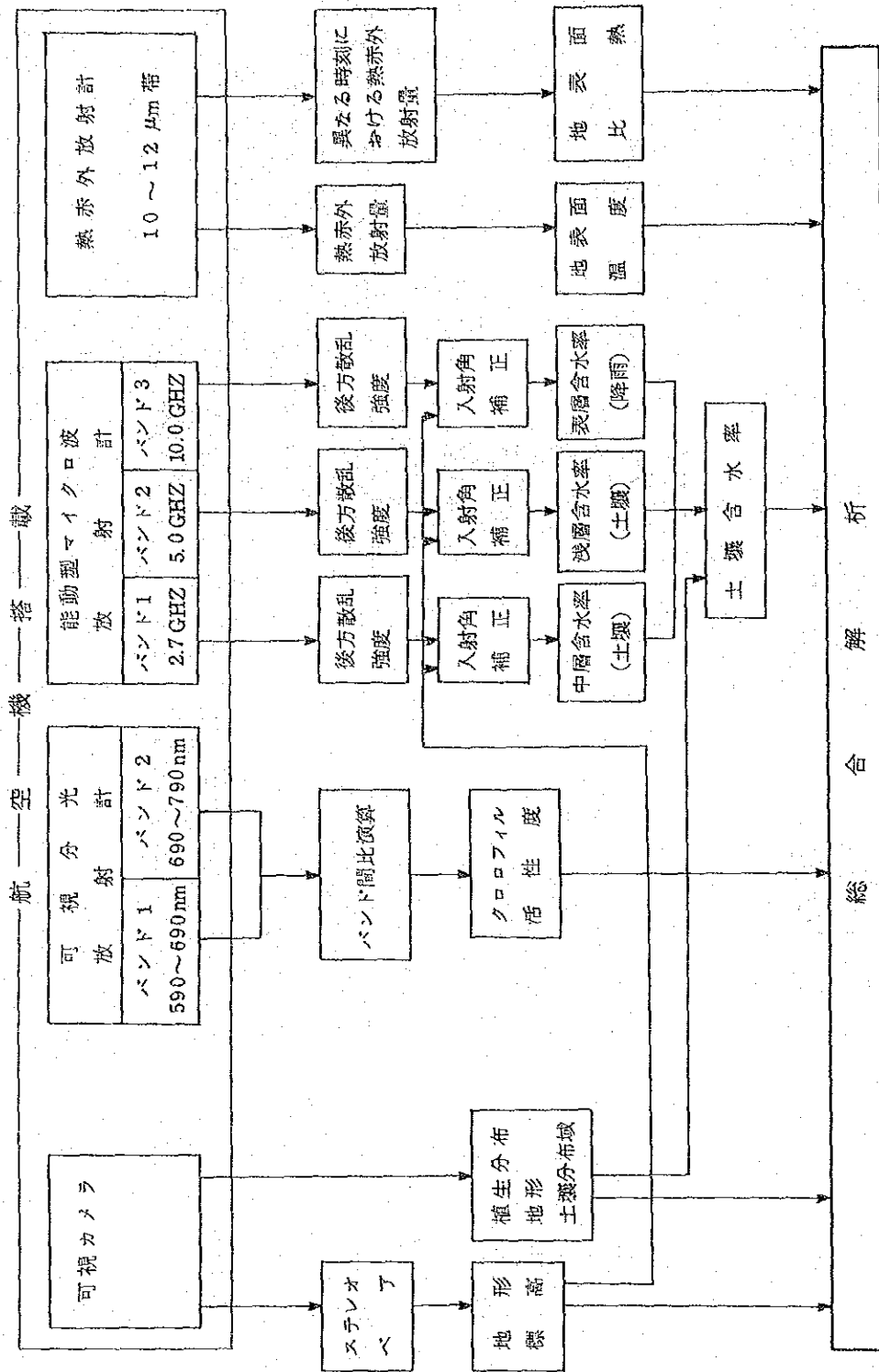


図5 各種自然条件の調査法



3. 立地区分

航空機造林法は、苗木植栽造林法に比べ立地環境の影響を受け易いが、適正に用いれば低コストで、効果も迅速かつ確実な造林法である。そして、最大の効果を上げるためには、造林対象地の立地区分を行い、それぞれの立地区分に応じた技術体系を確立する必要がある。

しかしながら、開発途上国においては、人工造林の歴史も浅く航空機造林の実績も限られているほか、熱帯林の生態、適正造林樹種、種子と苗木の発芽・生育特性、捕食動物の生棲状況などのソフトの分野で未知の点が多く、造林技術体系の目安となる立地区分を行うことは現時点では困難である。

したがって、ここでは立地区分を行うに当たって基準となる重要な自然及び経済条件を取り上げ、それら条件と航空機造林の主要技術である樹種選定、地ごしらえ、種子加工、種子散布技術との関連について記述することとした。

3-1 立地区分の基準

3-1-1 気候型

第1に、気候条件は、樹種選定のための重要な指標である。気候条件は、古くから自然植生との対応において気候型として分類されてきた。その分類法は、Schimper(1898年)、Köppen(1923年)、吉良(1945年)等のものがあるが、いずれも気候因子のうち植物の分布と生育に関連する気温と乾湿度の組合わせにより気候区分を行っている。

例えば、Schimperは、熱帯低地の気候型について、森林の相観と構造に基づいて、次のように分類している。

- a. 多雨林 (rain forest) : 湿性常緑林で、森林最上層の木の高さは少なくとも30mで、これより高いのが普通である。幹の太い木生ツル植物に富み、着生植物は草本・木本ともに豊富である。
- b. モンスーン林 (monsoon forest, 雨緑林-rain green forestとも呼ばれる) : 乾季、とくにその終わりの時期にかなりの樹木、またはすべての樹木が落葉する落葉林で、季節により景観が異なる。樹高は多雨林ほど高くない。木生ツル植物は豊富で草本着生植物も多いが、木本着生植物は少ない。
- c. サバナ林 (savanna forest) : 乾季に落葉するが、稀れに常緑の場合もある。乾生森林で、樹高は20m以下の場合が多い。林冠は連続せず樹木はいわゆるパークランド状に疎開する。地表植物は高茎草本、とくにイネ科型草本に富み、木本の下生え、ツル植物、着生植物は極めて少ない。
- d. トゲ林 (thorn forest) : 葉層や平均樹高はサバナ林に似ているが、より乾生的である。木生の下生えや幹の細いツル植物に富むが、高茎草本、とくにイネ科型草本は少ない。上木、下生えともトゲ植物が極めて豊富である。

e. 熱帯草原 (tropical grassland) : サバナ (savanna - 樹木がまばらに散在する草原) とステップ (steppe - 樹木の存在しない草原) に分ける。いずれも植物の生育期には、地表面は背の高いイネ科草本 (時にはスゲ科) でおとられる。

又、Koppen は、熱帯地域のみでなく、世界の総合的気候区分を気温と降水量・降水型に基づいて次のとおり行った。

Af : 熱帯多雨林気候

Aw : サバナ気候

Bs : 草原気候

Bw : 砂漠気候

} B 乾燥気候 (樹木なし)

Cf : 温帯多雨気候

Cw : 温帯夏雨気候

Cs : 温帯冬雨気候 (地中海気候)

Df : 亜寒帯多雨気候

Dw : 亜寒帯夏雨気候

} (開発途上地域には存在しない)

f : 年中多雨

w : 降水の多いのは夏, 冬に乾季がある (夏雨型)

s : 降水の多いのは冬, 夏に乾季がある (冬雨型)

以上のほか、いろいろな気候型の分類法があるが、いずれも気温と乾湿度を指標として気候区分が行われている。

いずれの分類をとるにせよ、樹種選定の指標としては、気温と乾湿度の組合せにより区分された気候型が適切と考えられる。

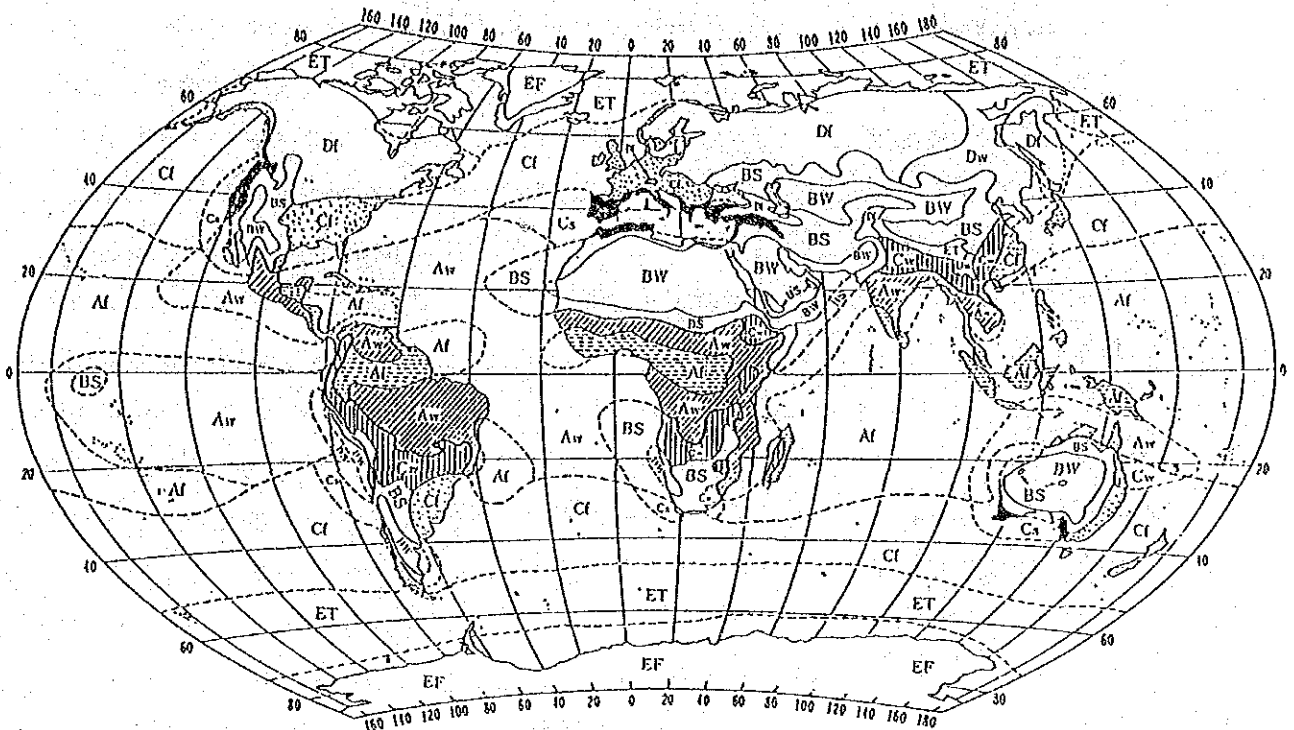
ちなみに、熱帯地域における造林樹種としてオーストラリア等から導入され有望視されているマメ科の *Acacia* spp., フトモモ科の *Eucalyptus* spp. 等は、その産地品種も含めて気候型に微妙な反応を示すことは、多くの導入試験で実証されているところである。

第2に、気候型は、地表の草本の変化を通じて地ごしらえ、種子加工、種子散布技術選択の指標となる。

開発途上地域には、熱帯地域を中心として地表に草本の多いサバナ林 (疎林) ないし草原など非生産的な林地が広く分布しており、その生産的森林への回復が重大な課題となっている。

このサバナ林ないし草原には、熱帯多雨林、モンスーン林が焼畑移動耕作等により破壊されて草原化し、その後人為的な火入れ、放牧等のくり返しにより成立した妨害極相といわれる草原である場合と、もともと乾燥の強い気候型の下で成立する自然植生としてのサバナ林ないし草原である場合の二つの種類がある。比較的雨の多い熱帯多雨林気候の下に人為妨害により成立する前者のサバナ林ないし草原の草本は、インドネシアのアランアラ *Imperata cylindrica* のように繁殖力の強い密生型のイネ科型草本が多いのに対し、後者

図6 Köppenの気候区分



Köppenの気候区分。A熱帯多雨気候、A₁熱帯多雨林気候、A₂サバナ気候、B乾燥気候、BSステップ気候、BWh砂漠気候、BSh半砂漠気候、C温帯気候、Cfa温帯多雨気候、Cfb温帯夏雨気候、Cfc温帯冬雨気候、D亜寒帯多雨気候、Dfb亜寒帯夏雨気候、E寒帯気候、ETツンドラ気候、EF氷雪気候。

出所：小川房人：熱帯の生態I—森林—

の乾燥地帯の草原は草本の種類と量が異なってくる。

前に述べたアメリカのN A S発行のSowing forests from the airも航空機造林の最大の制約条件の一つは、林床の草本であるとしており、その原因として造林樹種と草本との競合、草原の野火による被害を挙げている。

この制約を克服するための技術として、火入れにつづく地がきの実行、種子加工による散布樹種の生育促進、マメ科草本、牧草種子との混播による草本の抑制、Leucaena leucocephala, Acacia mangium等の早生樹種の選択等が考えられるが、これらの技術は気候型による草本の種類と量の変化を指標として決定する必要がある。

多雨林地帯等における草原は、生育も旺盛で密生しており、その克服はかなり困難と考えられるが、航空機造林の草原地域への適用の拡大は熱帯地域における大規模森林回復事業を成功に導く鍵をにぎっているため、各気候型における草原への適応試験を積極的に実施すべきである。

なお、熱帯多雨林地帯にあるインドネシアでは、後に述べるようにアランアラン草原の *Leucaena leucocephala*, *Acacia auriculiformis* 等による航空機造林に成功した例がある。

第3に、気候型は、乾湿度を通じて地ごしらえ、種子加工、種子散布技術選定の指標となる。

「Sowing forests from the air」によれば、航空機造林の最大の制約条件の他の一つは乾燥であるが、乾燥及びサバナ地帯（例えば、年降水量 500 mm 以下の）は燃材、飼料の採取、果樹、ゴムの栽培のほかエロージョンの防止等のため最も造林の必要性の高い地域であるとともに、乾燥の制約条件を除けば面積も広大で私有地も少く航空機の運航に適しているなど、原則的に航空機造林の必要性と可能性が大きい地域であるとしている。

又、適正樹種に関連して、これらの地域では郷土樹種の *Acacia* spp., *Prosopis* spp. 等（共にマメ科）がきびしい条件によく適応して生育しており、さらにスーダン及びサヘル地帯では古くから *Acacia* spp., *Azadirachta indica*（ニーム）、*Anacardium occidentale*（カシュー）の人力による直播きが行われていること、航空機造林については1960年代に北部ナイジェリアで行われたのが唯一の例であるが、散布時期を誤ったため発芽は容易にしたもののほとんどの苗木が乾燥が原因で枯死し、灌木の被陰のあったもののみが生存したことを報告している。

同書は、乾燥地での航空機造林は必ずしも容易ではないが、散布種子を薄い土壌層でカバーする方法等が開発されれば成功率は高くなるとしており、今後耐乾性の早生樹種・品種の検索、火入れのあとディスクにより畝上げを行なう地ごしらえ法、マメ科草本・牧草種子との混播、保水のコーティング種子の開発など乾燥を克服する技術の開発を進めることにより乾燥地域における航空機造林技術の適用範囲を拡大していく必要がある。

3-1-2 林床型

林床型は、地ごしらえ、種子加工及び種子散布技術選定の重要な指標である。

林床型を区分する重要因子は、有機物層（A₀層と地表の末木枝条を含む）、土性及び捕食動物である。

種子の最も発芽し易い条件は、ミネラルソイル（A層）に種子が落下することである。

未分解の有機物層および腐食層から成るA₀層は、乾燥し易く、発芽しても幼根がミネラルソイルに到達する前に枯死する率が高い。

熱帯土壌はA₀層が厚くないのが一般的であり、火入れを行えばミネラルソイルが露出する状態になり易いが、A₀層が厚い場合には火入れにより末木枝条、草本を焼いたのち地がきを行う必要がある。

次に、土性は砂質の多いほど乾燥する性質があり、粘性土が水分保持に適當である。

火入れ、地がき等の地ごしらえは、末木枝条の量、土壌のA₀層の厚さ、土性の状況を見て行いが、単にトラクターで踏みつける程度のものから乾燥地や、湿地等ではディスクにより畝上げを行う集約な方法もある。

今回の調査を行ったカナダでは、寒冷地で比較的A₀層の厚い土壌が多いため、各種の大型地がき用アタッチメントをスウェーデンから導入し、各種の地ごしらえ試験を実施していた。

なお、種子の発芽と苗木の生育を促進する生態的条件をつくり出すには、地ごしらえの方法と種子散布法（散布量を含む）の調整を行う必要がある。

以上に述べたように、航空機造林では種子が保水力のあるミネラルソイルに到達することが肝要である。

Sowing forests from the airは、航空機造林の最適例として、皆伐、焼畑移動耕作により露出した林地の造林のほか、山火事、台風、昆虫害、戦争、火山噴出、地すべり等で荒廃した林地の早期復旧をあげている。

例えば、山火事が奥地の水源流域の土壌を裸にしエロージョンが心配される場合、航空機造林により雑草が繁茂する前に迅速な緑化を行うことが可能である。このような場合マスタード、マメ科草本、牧草等の種子を混播することにより早期に地表をカバーして林木の苗木を保護するとともに、望ましくない雑草を抑制する方法もとられる。

又、林床が種子の定着・生育に良い条件である限り、林地の傾斜は問題でなく、急峻な水源流域、侵蝕をおこしている山腹、裸地化した丘陵、植生の少ない鉱床などは、航空機造林の適地である。アメリカでは、バージニア州で急峻な露天掘跡地において、インドネシアでは30°以上の急斜地の造林に成功している。

以上要するに、林床のミネラルソイルがある程度露出し下生えの植生も少ないような林地は、苗木の生存率も高く地ごしらえの経費もかゝらないので、航空機造林の最適地といえる。

3-1-3 経済立地型

経済立地は、費用効果の指標となる。その区分の重要な因子は、アクセス、労働力及び事業実行上の制約条件である。

航空機造林は、奥地で林道等のインフラストラクチャーが未整備のためアクセスが悪く、かつ労働力が不足のため苗木による植栽造林が困難な場合に費用効果が大きくなる。

特に、保安林の緑化のように、急峻地、奥地の水源流域、孤立した山丘地域等の緑化を行う場合に適している。

労働力については、航空機造林の場合、苗木植栽造林に比べ植栽時の労働力は少なくてすむが、種子の採取、精選及び保育に多くの労力を要するほか、現場での種子加工、パイロ

ット、整備士、無線技士等の技術者の雇用が必要である。

次に、事業実行上の制約条件については、開発途上国の場合には、第一に航空機の利用可能性（空軍の航空機利用を含む）のほか、散布装置、散布材料の調達、輸送の可能性等の検討も必要である。

又、現場においては、特に効率的な積込及び往復飛行を行うための滑走路、ヘリポート、無線通信施設等よりなる兵站基地の設置場所の検討が重要である。

3-2 限界条件

3-1においては、航空機造林計画（技術体系の選定）の目安となる立地区分を行うに当たっての指標となる自然的条件と経済的条件について述べたが、経済的条件を除くと各種条件のうち最も重要と思われる条件は土壌、乾燥、草本植生であり、特に乾燥、草本植生が開発途上国における航空機造林の最大の制約条件と考えられる。

乾燥はアフリカのサバナ、南アメリカのブラジル等における問題であるが、特に近年砂漠化が進行し住民の窮乏を招くに至っているアフリカのサバナ地帯は、面積も広大で最も造林のニーズの高い地域である。前にも述べたとおり、このサバナ地域は、私的土地所有も少く航空機の運航も容易であるので、土壌、保水剤、牧草との混播等の何らかの対策により乾燥を克服する技術を開発する必要がある。

又、乾燥地域は、同時に雑草も多く、乾季には山火事の問題もある。

次に、草本植生、特に繁殖力が強く密生型のイネ科草本は、主として湿潤熱帯における問題である。この草本は、林木種子・苗木と競合するのではなく、乾季には山火事の原因ともなる。したがって、火入れより焼き払ったのち、早生樹種又はマメ科草本等により雑草を抑圧し早期に林冠によりうっ閉するか、除草剤等を使用する方法が対策として考えられる。

太平洋諸島、インドネシアでは、*Leucaena leucocephala*, *Acacia auriculiformis*等の早生樹種の航空機直播により成功した例もある。

地表草本の多い林地（草原及びサバナ林）は、先にも述べたように湿潤熱帯において焼畑等の人為により成立した妨害極相とみられるものと、アフリカ等の乾燥による自然植生とがある。又、湿潤熱帯にも多雨林地帯、乾季が比較的長くなる季節林地帯、さらにサバナ林地帯があり、各気候型により草本の種類と量も様々であるが、多雨林地帯のそれはイネ科草本の密生型のものが多い。

いづれにせよ、雑草の問題は、湿潤熱帯から乾燥地域のサバナに至る広域の問題であり各気候型に応じた樹種選定、地ごしらえ法、種子加工、薬剤等の開発をはかる必要がある。

なお、乾燥と雑草の問題は、気候型により性質も異り、克服の難易度にも差があると思われるので、漸次航空機造林の適用範囲を拡大してゆくことがのぞましい。

以上の乾燥と雑草の問題のほか、航空機造林の制約条件として特に考慮すべき問題は次

のとおりである。

a. 土 壤

有機物層の多い土壌、砂地等乾燥し易い土壌は地ごしらえ経費が多くかかる等の問題がある。

b. 樹種選定

熱帯地域では航空機造林のテストは数種についての実績があるにすぎない。開発途上地域における人工造林は、その歴史が浅く事業的に行われるようになったのは1960年代になってからである。造林樹種については、成長の早い外来の早生樹種が多いが、現在各国において外来及び郷土樹種の産地試験等が広く行われるに至っている。それらは、FAO、オーストラリア（同国産のユーカリ、アカシア類等）、アメリカ（多目的樹種）等の援助により行なわれており、造林特性の検索も進みつつある。

しかしながら、これらの国で事業的ないし試験的に造林されている樹種が、すべて航空機造林に適しているとはいえない。

航空機造林に使用する樹種の適性条件については後述するが、人工造林地の面積が少くしかも若令林分が多い開発途上国では種子調達の難易等も大きな制約条件の一つと考えられる。すなわち、種子の結実が不規則な樹種、種子採取が困難かつコスト高となる樹種、長期の貯蔵が難しい樹種などは不適正樹種である。

c. 立木密度と苗間距離（スペーシング）

航空機による種子散布では、適切な立木密度とスペーシングを得ることはかなり困難である。したがって、航空機造林による造林地は、天然更新によるものと同じように過密材分となり易く早期の間伐が必要となる。

アメリカ南部のロブローリィ松（*Pinus taeda*）の場合は、自然淘汰により劣勢木が被圧され間伐の問題はないが、他の樹種については無間伐では良質な高級材の生産は不可能であり、又成長量も低下するといわれている。

アメリカでは、特に南部で広大な無立木地（鉱山跡地、綿等の畑作跡地、原野）の造林や広葉樹を主とする低質林の針葉樹林への林種転換のため、航空機造林が大規模に用いられたが、その後、森林所有者が製材合板用の良質高級材の生産を目的とするに至り航空機造林は大幅に減少している。

その理由はアメリカでは、機械による過密林分の間伐は割高であるためである。

このように、先進国のうちでも林業の発展段階により航空機造林の実行面積に差が見られるが、開発途上国、特に遠隔地等においては、薪炭材採取が造林目的の主体であり、家庭燃料のための燃材採取は間伐の代行ともなり有利である。

d. 放 牧

草原およびサバナ林地帯には放牧が多く、牧畜による食葉、火入れ等が造林の大きい制約条件となる。これは、苗木による植栽造林についても同様であり、現に放牧がよく

行われている地域の造林は避けるべきであるが、放牧跡地として放置されている地域にとっては有効な手段となる。

以上、開発途上地域における航空機造林の制約条件は、ハードな面よりソフトな技術開発を要する問題が多い。

4. 樹種選定

4-1 樹種選定の基準

造林マニュアルのいかに問はず、造林の成功の前提条件は、気温、降水、成長期間、湿度等の自然環境に適応した樹種の選定にある。理想的には、航空機散布に先立って造林対象地において発芽及び生育試験を行う必要がある。又、樹種選定に当っては、対象地への異なった産地系統の適応性についても検討すべきである。

現在までに航空機造林に使用された樹種のほとんどは、マツ類、マメ科樹種とユーカリ類である。他の樹種でもある地域において天然下種で成林し得る樹種はかなりの確立で航空機造林が可能であると考えられる。

次に、航空機造林に適する樹種の特徴をあげると次のとおりである。

a. 種子の大きさは小・中型の樹種が良い。

小さくて軽く、シイナの多い種子は風の影響も受け易く不適當であるが、小さい種子はコーティングにより補正できるし、土壌の孔隙から入り土に被覆され易く生存のチャンスが大きい等の利点がある。

b. 種子は動物の口に合わないものが良い。

c. 結実の頻度、量の大きな樹種が良い。

d. 種子の大量採取、長期貯蔵の可能な樹種が良い。

e. 種子が機械的な散布装置に合う樹種が良い。

f. 種子が土壌の表面で発芽できる樹種が良い。

g. 発芽、生長の早い樹種が良い。

h. 根の発達がよく、発芽後シビアな条件に耐えられる樹種が良い。

i. 諸被害に対する抵抗性の強い樹種が良い。

耐乾性、耐湿性、耐暑性、耐陰性、耐せき悪土壌性、耐病虫害性。

j. バイオニア樹種が良い。

バイオニア樹種は、裸地でも早く発芽し、直射日光でも良く生長するので、航空機造林に最適である。周囲の天然林におけるバイオニア樹種を検索することも肝要である。

Sowing forests from the airは、開発途上国における航空機造林の適性樹種を、湿潤熱帯、半乾燥地域、熱帯高地別に、別表(表4-1)のとおりリストアップしている。

これを見ると、各気候地帯ともに、外来樹種はマメ科(Acacia spp.等)、フトモモ科(Eucalyptus spp.)が多く、その他の樹種は郷土樹種が多い。

4-2 適正樹種の検索

3つの立地区分の章でも述べたように、開発途上国への航空機造林の適用にあたって、乾燥、草本、山火事等の制約的な自然条件の克服という問題に関連して適正樹種の選定が極め

表 4-1 開発途上地域における航空機造林の候補樹種

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

(参考文献 : Tropical Legumes : Resources for the Future

Firewood Erops : Shrub and Tree Species for Energy Production)

出所 : N.A.S, Sowing Forests from the Air.

て重要であることがわかる。

適性樹種の選定は、文献、試験報告書類による検索とともに、現地への適用試験の結果を見て行いのが普通であるが、開発途上地域では人工造林の歴史が浅く試験データ等が少いという問題がある。

すなわち、開発途上地域のうち熱帯地域における人工林面積は、FAOのTropical Forest Resourcesによれば1980年現在で1,151万haであるが、これらのうち1950年以前に植栽された面積は、熱帯アメリカで4万ha、熱帯アフリカ11万ha、熱帯アジア53万haの計68万haにすぎず、残り94%は1950年以降、とくに1970年代に入って造成されたものである。同報告書によれば、1976年～1980年の造林面積の実績は461万ha（年平均92万ha）であり、1981年～1985年には550万ha（年平均110万ha）の造林が予測されており、近年著しい増加傾向にある。

次に、従来の主要造林樹種を地域別に上げると以下のとおりである。

熱帯アメリカ Eucalyptus spp. Gmelina arborea, Pinus elliottii, P. taeda, P. patula, P. radiata, P. caribaea, P. oocarpa.

熱帯アフリカ Tectona grandis, Gmelina arborea, Pinus radiata, P. patula, P. elliottii, P. kesiya, P. merkusii, Cypressus lustanica, Eucalyptus spp., Acacia spp. (Acacia senegal, Cassia siamea)

熱帯アジア Tectona grandis, Eucalyptus spp. Pinus caribaea, P. kesiya, P. merkusii, P. elliottii, P. excelsa, P. patula, Araucaria spp., Acacia spp., Albizia lebbek, Leucaena leucocephala, Azadirachta indica, Casuarina equisetifolia, Dalbergia sisso, Melia azedarach, Sesbania grandiflora.

以上、1950～1970年には、産業用材の生産を目的とした造林が多く、Tectona grandis（チーク）、Gmelina arborea、Eucalyptus spp. マツ類等が造林樹種の主体であったが、1980年代に入って、早生樹種であるAcacia spp., Melia azedarach, Cassia siamea等の燃料用ないし多目的樹種の造林が増加している。

1970年代に入ってから造林事業の進展にともなって、熱帯の各地域において外国樹種及び郷土樹種の適用試験、産地試験等がFAO、先進国の援助により広く行われるとともに、種子の採取、発芽検定、貯蔵等に関する技術開発及び品種改良事業なども積極的に実施されるに至っている。これらの試験研究ないし事業は、主として限界地域ないし山村地域における造林対象樹種である早生樹種に関して行われており、そのデータが逐次蓄積されつつある。

航空機造林の適正樹種の特徴は、早生のパイオニア樹種であり、今後とくに乾燥、雑草、山火事等に強い樹種、品種系統の検索を立地区分に従って行う必要がある。

例えば、1985年に国際協力事業団の作成した「半乾燥地造林計画基準報告書」では、半乾燥地における造林候補樹種を別表のとおりあげているが、このうち直播き造林（造林方法欄のDS記号）を行う Callitris spp., Acacia senegal, Prosopis chilensis等は航空機造林の

適正樹種として検討すべきであると考えられる。

さらに、Eucalyptus spp., Acacia spp. Melaleuca spp. 等乾燥に強い樹種の原因地であるオーストラリアの国際農業研究センター（ACIR）は、開発途上国において同国産の樹種及び産地系統の植栽試験を技術協力により広く実施している。

又、わが国の海外林業コンサルタント協会は、昭和59年度より林野庁補助金により10カ年計画で海外林業適地適木調査事業を実施しているが、本調査は熱帯の多雨林地帯、季節林地帯、半乾燥地帯ごとに林木種のInventory、既存人工林調査、種子調査、特性測定調査等を行っており、航空機造林の適正樹種の検索に役立ち得ると考えられる。

表 4-2 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)		
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)	Anacardium occidentale (Callitris spp.) (Cassia siamea) (Dalbergia sissoo) Eucalyptus camaldulensis (Eucalyptus citriodora) Eucalyptus microtheca Eucalyptus tereticornis	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)	(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=直播き, St=根株植え, PP=ポット植え。

出所: 国際協力事業団: 半乾燥地造林計画基準報告書(本論)。

5. 地ごしらえ

5-1 地ごしらえ方法

地ごしらえの目的は、散布種子の着床、発芽、生育に良好な環境条件を整えることにある。良好な条件は、ミネラルソイルが全面でなく部分的（筋状）に露出するのが理想的とされる。

造林対象地の林床は、おおよそ次のように分類できる。

- ① 土壤の有機物層（Ao層）（落葉層、腐葉層、腐植層より成る。）がほとんどなく、ミネラルソイル（A層）が露出している林床 …… 荒廃地等
 - ②-① 末木枝条が多くあるが、有機物層の薄い林床 …… 伐採跡地
 - ②-② 末木枝条が多くあり、有機物層も厚い林床 …… 伐採跡地
 - ③-① 地表草木があるが、有機物層が薄い林床 …… サバナ焼畑跡地で、火入れ等のくり返しにより劣悪化した林地
 - ③-② 地表草木があり、有機物層も厚い林床 …… ③-①ほど劣化していない焼畑跡地等
- カナダの航空機造林の対象地は、大部分が伐採跡地で末木枝条が多く、又、亜寒帯に属するため土壤の有機物層も比較的厚い林床がほとんどであり、上記の②-②に属する。

このため、火入れを行ったのち、有機物層の焼却状況を見て機械による地がきを行うのが一般的である。

開発途上地域のうち熱帯林地域は、有機物の分解が早いので、焼畑の棄却地等には有機物層は薄いのが一般的である。又、優良木生産を目的とした天然林等の伐採跡地は、天然更新又は苗木による集約造林が考えられるので、枝条の多い林地は例外的といえる。

したがって、熱帯林では①と③-①が多いと考えられる。

以下、上記の林床との関連において、各種の地ごしらえ方法について述べることにする。

a. 無地ごしらえ

①の林床は、崩壊地、火山噴出地等の荒廃地であり、地ごしらえの必要もなく航空機造林の最適地であるが、土壤養分の窒素、燐、加里、石灰等が不足する場合が多い。

b. 火入れ地ごしらえ

②-①、②-②の末木枝条の多い林床及び③-①、③-②の草木の多い林床の地ごしらえに広く利用される。土壤の有機物層の薄い場合には、末木枝条又は草木への火入れにより土壤の有機物層も灰となりミネラルソイルが露出するが、有機物層が著るしく厚いカナダのような場合には、火入れ後機械による地がきが必要となることもある。熱帯地域では、③-②が少いので、火入れ→機械地がきの対象面積は多くないと考えられる。

火入れ地ごしらえは、後述の機械化地ごしらえと異なり、大面積を一度に実行できるため対象面積にもよるものの、機械地ごしらえに比べて経費も極めて安い。（カナダのオンタリオ州Geribaloci地区の州有林364haの例では、トラクタによる踏つけ地ごしらえが

320カナダ・ドル/haに対し、火入れ地ごしらは49カナダ・ドル/haであった。)

開発途上国では、③-①の草原が多く、火入れは航空機造林の最大の武器となる可能性が大である。

乾燥の強いカナダの内陸地帯にあるオンタリオ州、ケベック州等においては、山火事が非常に多く、オンタリオ州においても州政府の天然資源省が航空・山火事コントロールセンターを有しており、山火事危険情報、山火事予告情報の提供、消火、山火事防止等を組織的に行うとともに、あらかじめ計画管理された火入れ事業を実施している。

この計画的に行なわれる火入れの目的 (Prescribed burn, Controlled burn) は、造林事業の地ごしらえと末木枝条等可燃物の量が多い林地の山火事防止である。

カナダのオンタリオ州の山火事防止プログラムは、そのマニュアルが制度的にも技術的にも確立されており、連邦政府により開発された国家山火事危険予知制度 Canadian forest fire danger rating system による山火事のモニターに始まり、州全域の山火事ネットワークによる組織的な防止ないし消火活動を実施している。

国家山火事危険予知制度は、山火事天気指数システムと山火事予報システムから成り、前者は気温、関係湿度、風速、降水量のデータを基に末木枝条等の可燃物の水分変化等を提供するものであり、後者は天気指数と標準的な山火事タイプから山火事の具体的な予報を行うものである。

計画的な火入れは、総合的な管理計画により火入れの専門家により実行されるが、重要な天気条件のチェックは上に述べた予知制度を利用して行われる。

カナダでは、火入れ地ごしらの利点を次のように説明している。

ア. 大面積の地ごしらえを短時間で実行でき、低コストである。

イ. 末木枝条が除かれ種子の着床、苗木植栽が容易となる。

ウ. 土壌の厚い有機物層を除きミネラルソイルを露出する。有機物層は乾燥し易い。

エ. 一時的に低木、草木を除き、水分、養分、光熱の吸収につき競争を減少することができる。

オ. 捕食動物等の生棲パターンと密度を変化させることができる。

カ. 病害菌を減少することができる。

キ. 火入れ後の灰により土壌養分を改善することができる。

以上は、カナダの火入れの例であるが、開発途上国の場合は草本への火入れが主体となるろう。

c. 機械による踏付け

カナダでは、伐採跡地において集材機トラクタにより tramping を行うだけで十分効果が期待できる林床があるとのことであったが、有機物層ならびに末木枝条の比較的少ない林地と考えられる。

d. 大型トラクタ及びアタッチメントによる地がき

カナダでは、火入れ後も有機物層が残っている場合、ミネラルソイルを筋状に露出させるため、下記の大型アタッチメントを北欧等から導入して地がき試験を実施していた。

ア. Young Teeth

トラクタのハイド板にツメ状のアタッチメントを付けたもので、比較的簡単な地がきに使用する。(D-7, D-8ブルドーザー)

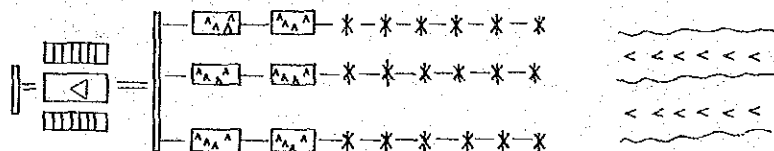
イ. Barrel

胴のふくれた樽状のものに、ツメを付したもので、トラクタで牽引する。

ウ. Bracke

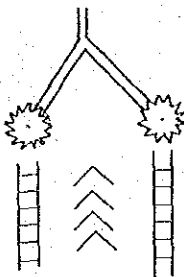
車輪のツメで植穴を掘ると同時に、直播きを行うアタッチメントで、植穴間隔は6フット。

エ. Barrel and Pads



ツメのついたドラムとツメのついた鎖を列状にして牽引するもの。筋状に溝ができるので、水分の保持にも役立つ。

オ. TTS Disc Trencher



両腕の先端に油圧で回転させる歯車があり、溝を掘るもので、施行跡は畝状となる。高度なアタッチメント。

1 ha当りの地がきのコストは、施工面積、機種にもよるが、Young Teethの場合30カナダ・ドル/ha～319カナダ・ドル/haの幅がある。

熱帯林地域は、有機物層が比較的少く、そのための機械による地がきは余り考えられないが、次のケースは機械化地ごしらえが必要と思われる。

ア. 土壌硬度が高く、物理的性質を改良するための地がき。

イ. 乾燥地帯におけるディスクによる畝上げ。

ウ. 湿地帯における排水のためのディスクによる畝上げ。

しかしながら、機械による地ごしらえは、できるだけ低コストを目標とした技術開発が望まれる。

c. 除草剤

航空機造林を成功に導くためには、火入れ、又は機械地ごしらえだけでは不十分な場合もあり、また発芽後の雑草との競合を減じるためには除草剤が極めて有効である。ただ、その使用については十分注意を払うとともに、危険の少ない除草剤の開発が望まれる。

5-2 今後の開発課題

開発途上地域における地ごしらえ技術については、火入れ技術の開発改良が最大の課題と考えられる。

第一の理由は、開発途上地域における航空機造林に関しては、草原の造林が大きな挑戦課題であるからである。

第二には、カナダ等の先進国の山火事及び火入れ技術は温帯～亜寒帯のもので末木枝条の多い林地を対象としているのに対し、開発途上国では気候条件が異なるのみでなく草本の多い林地を対象とするためである。

したがって、気温、乾湿度、降水、風速等の天気条件の分析、予知方法、草原の水分変化、防火帯設置、点火方法等マニュアルを開発する必要がある。

先進国では、オーストラリアが開発途上国と同じ造林樹種の *Eucalyptus* spp. の航空機造林を大規模に実施しており、種子散布前の地ごしらえも草本の多い林地の火入れを主体にして行っているという情報がある。

航空機造林の行われているのは、ニューサウスウェールズ、ビクトリア及びタスマニア州の奥地の乾燥の強いユーカリ林で、各州ともに火入れ地ごしらえ法を含む航空機造林マニュアルが確立されているといわれており、開発途上国における火入れ技術の開発の参考になるものと考えられる。

地ごしらえ技術の第二の課題は、大型機械による省力的かつ経済的な地がき方法の開発である。機械化による地がきは、対象地が限られると思われるが、造林成績の向上のためには重要な技術と考えられる。

とくに乾燥地帯等自然条件のきびしい林地での施工法の開発、機械の改良等がのぞまれる。

6. 人工種苗

航空機により材木の種苗を散布する方法は、おおまかに次の3つに分類される。

- a. 苗木ダート 苗木と土壤媒体をダート状にして散布するもの
 - b. 種子ダート 種子と土壤媒体をダート状にして散布するもの
 - c. 種子単独, 又は種子を忌避剤, 肥料等でコーティングしたもの(人工種子)を散布するもの
- aの苗木ダート, bの種子ダートはカナダで開発され実験の段階を出ていないが, cの種子散布又は加工種子の散布は先進国において広く実用化されている。

6-1 苗木ダート

1969年にカナダのブリティッシュ・コロンビア大学のDr. Jack Walters によってDouglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) の苗木ダートが開発され, 散布試験が行なわれた。

苗木ダートは, 苗木の根をつつんだ湿った土にプラスチック製のウイングを挿入し, 土を魚雷型に成形して凍らせ苗木爆弾とするものと, ヒレのついたカプセルに苗木及び土壤を入れるものがある。カプセルは, 苗木の成長とともに, 割れて脱落する。

苗木ダートは, 地面に接触, 土壤に貫入して根が活着する。

航空機は, 固定翼機のセスナ機とアベンジャー機を使用し, 約400フィートの高さから苗木を散布したが, ダートのスピードは150マイル/時間を超えた。

航空機は, 山腹を切り開いた場所に特別に設計した滑走路で離着陸できるようにし, 離陸は下り坂を, 着陸は上り坂を利用した。

活着の成績は, 無地ごしらえのラフな林床の場合は22%, トラクタにより地ごしらえを行った林床では75%であった。

コストは, 航空機による苗木造林の場合, 苗木1本当たり約1セントであるのに対し, 手で植栽する場合は1本当たり10セントを超えるので, 経済的に有利とされた。(コストは, 1970年代時点であり, 1セント及び10セントにダートと苗木の価格を含むかどうかは不明)ブリティッシュ・コロンビア州では, 年間1億本の苗木を生産しているが, 植栽コストが半分に減少することができれば約500万ドルの節約になるとDr. Jack Walters は述べている。

同氏は, 苗木ダートはまだ実験的段階にあるが, 将来楽しみのある結果が出たと語っている。

以上, 苗木ダートによる造林はコストが比較的安く, 遠隔地, 傾斜地, 高地等でも作業が可能なこと, 効率的に早期緑化ができることなど, 有利な点があるが, 反面石礫の多い地表面などではダートのロスが大きくなるなどの欠点もある。

なお, ブリティッシュ・コロンビア大学での実験はその後中断している。

6-2 種子ダート

カナダにおける種子ダートに関する技術開発は、1976年に林業研究所の要請により国家研究会議の国立航空研究所飛行研究室（当時の室長A. D. Wood氏）により開始され、1980年代に入って各種の実験が行われた。

6-2-1 種子ダートの構造

ダートの形状は、生物学、物理学的、空力学的、弾道学的な条件を考慮すると共に、製造コストが安いことが必要である。

ダートは紙とプラスチックから成り、紙容器は底部をきった円錐状のもので表面にフィンがついている。容器の先端部分には内部にバラストプラグがつめてあり、容器の下部とノーズキャップ、フィンなどが完全に固定されるように水溶性の接着剤でむすびつけられている。

6-2-2 種子ダート散布用航空機と散布器

(1) 航空機

種子ダートの散布には低速性能にまさるヘリコプターが使用され、1980年から試験が行なわれ、現在も研究中であるが、事業散布は実施されていない。

使用されたベル式206型（民間名称ジェット・レンジャー）は米陸軍仕様から民間型に設計変更したアメリカのベル社製造の機体である。206型ヘリコプターは単発エンジン（アリソン250-C18（317SHP）-C20（400SHP）ターボシャフト・エンジン装備）の多用途ヘリコプターで、パイロット1

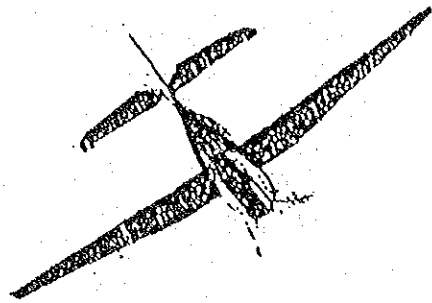


図7 苗木ダートの散布

1,000本の苗木がアベンジャー機から落下された。

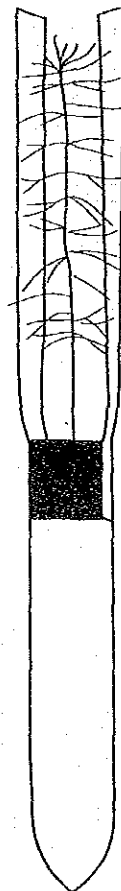
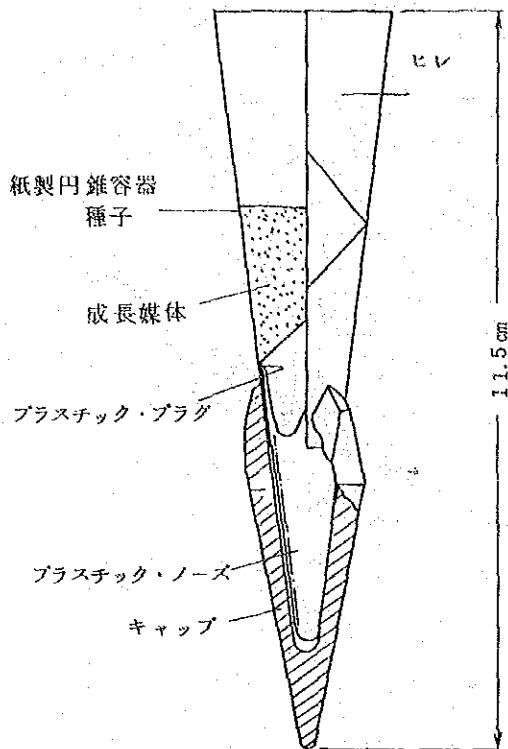


図8 苗木ダートの構造



成長媒体 : 12mlまで
 空の重さ : 11~5g
 標準全体重量 : 16~20g

図9 種子ダート

可能で、荷物室(エンジンの下)は約16 ft³で最大250 Lb 積載できる。燃料タンクは1個のブラダ(ゴム製)セル・タイプで客席の下と後ろに逆L字型(∟)に装着されている。タンク容量は7.6 Galで使用可能容量は7.45 Galである。燃料、客席、荷物室はメインローターの下にあって、これら搭載に対する重心変化を最小にしている。

メインローターは二翼のセミ・リジッド・シーソ型、アンダースリング取付型でローターブレードはグリップ、ピッチ・チェンジ・ベアリング、テンション・トーションストラップでハブ・ヨークに取付けられている。メインローター・ブレードは全金属性で互換性がある。

テイル・ローターは二翼で各ブレードは2個の球面ベアリングとボルトでハブ・ヨークに取付けられている。ブレードはアルミ合金製でハニカム材が充填されている。

人、乗員4人の座席数がある。

前席は2人、後席は3人で、パイロット席は前席右側である。左席に副操縦装置を任意装備することができる。胴体は前部、中央部、尾部の3つの部分に分けられ、前部はアルミニウム・ハニカム構造でパイロット席、客席に、中央部はアルミニウム・セミモノコック構造で荷物室に、尾部はアルミニウム・モノコック構造でテイルブームを形成している。206型の胴体構造部の特長はアルミニウム・ハニカム材を多く使用していることである。ハニカム材の特長は強度/重量比が大きく、軽量で強度、剛性が大きく防音効果が大いことである。ハニカム材が床、天井、座席サポート、後方隔壁、キャビン・カウリングの補強用にも使用されている。太陽光線の直射を防ぎ視界を良好にするためノーズセクション、キャビン天井のパネルに青色プラスチックの風防が用いられている。客席の広さは約40 ft³で最大950 Lbの積載が可

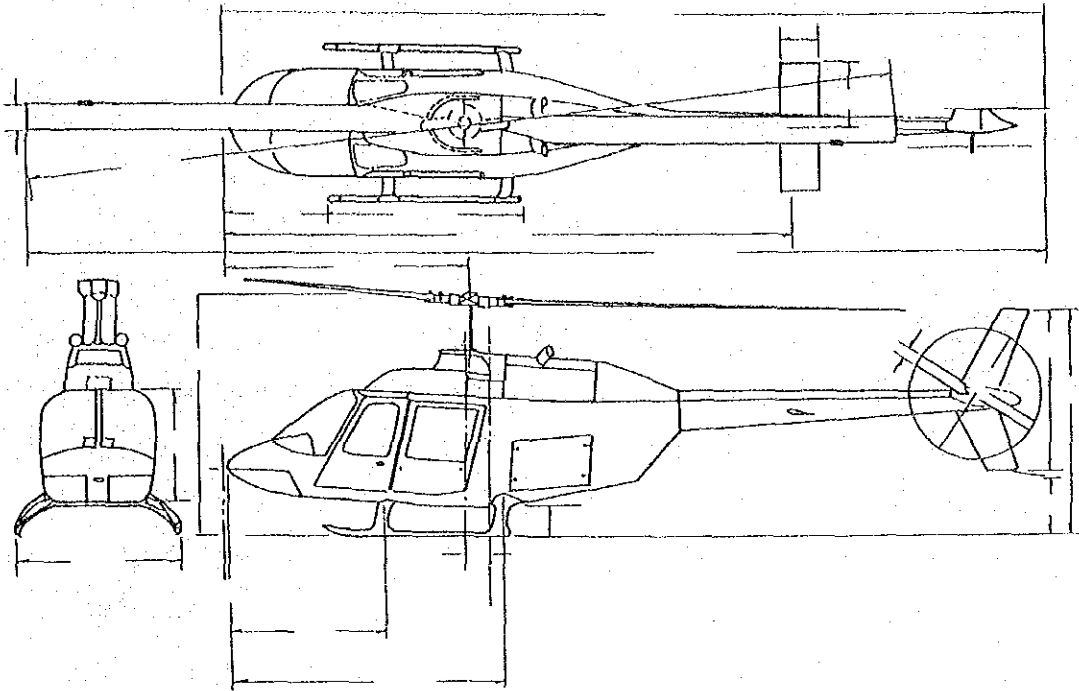


図10 ベル式206型ヘリコプター

機体 全長 39 ft 1.0 in
 全巾 6 ft 3.5 in
 全高 9 ft 6.5 in

メイン・ローター

ブレード数 2翼
 直径 33 ft 4 in
 翼弦 1 ft 1 in
 デスク面積 873 ft²
 ソリデティ 0.0414
 振れ -1.0°
 翼断面 BHC (ベルの仕様)
 回転比 (エンジンとの) 15,228 : 1
 (6000 RPM → 394 RPM)
 翼端速度 688 ft / 秒

テール・ローター

ブレード数 2翼
 直径 5 ft 2 in
 翼弦 5.27 in

デスク面積 20.97 ft²
 ソリデティ 0.1078
 翼断面 NACA0012
 回転比(エンジンとの) 2.35:1
 (6000 RPM → 2550 RPM)
 翼端速度 690 ft/秒

(2) 散布器(ディスペンサー)

ダートを製造から放出するまでの間の取り扱いを最小限にするためにディスペンサーを使用する。ディスペンサーは何回も使用することができる円柱製の弾倉で、一つ一つのリセプタクルの中にダートが入り、放射線上に正しく400個のダートを収納することができる。作動については、弾倉と内側シリンダーが固定した外側シリンダーの中で、共通の軸のまわりを同じ速度で回転するようになっている。固定した外側シリンダーには、縦方向に下側に開口がある。内側シリンダーには、らせん状に列になった穴とステッピング機構があり、内側シリンダーが回転し、内側シリンダーの穴と外側シリンダーの開口部が一致するとそこを通過してダートが落下する。弾倉と内側シリンダーが同速度で1回転し、図11において列1のダートが全て落下すると、内側シリンダーの穴は弾倉に対して位置を列1から列2にずらせる。すなわち、内側シリンダーは、1回転する毎に弾倉に対して位置を1列ずらせることにより、連続的にすべてのダートを弾倉から発射させることができるのである。

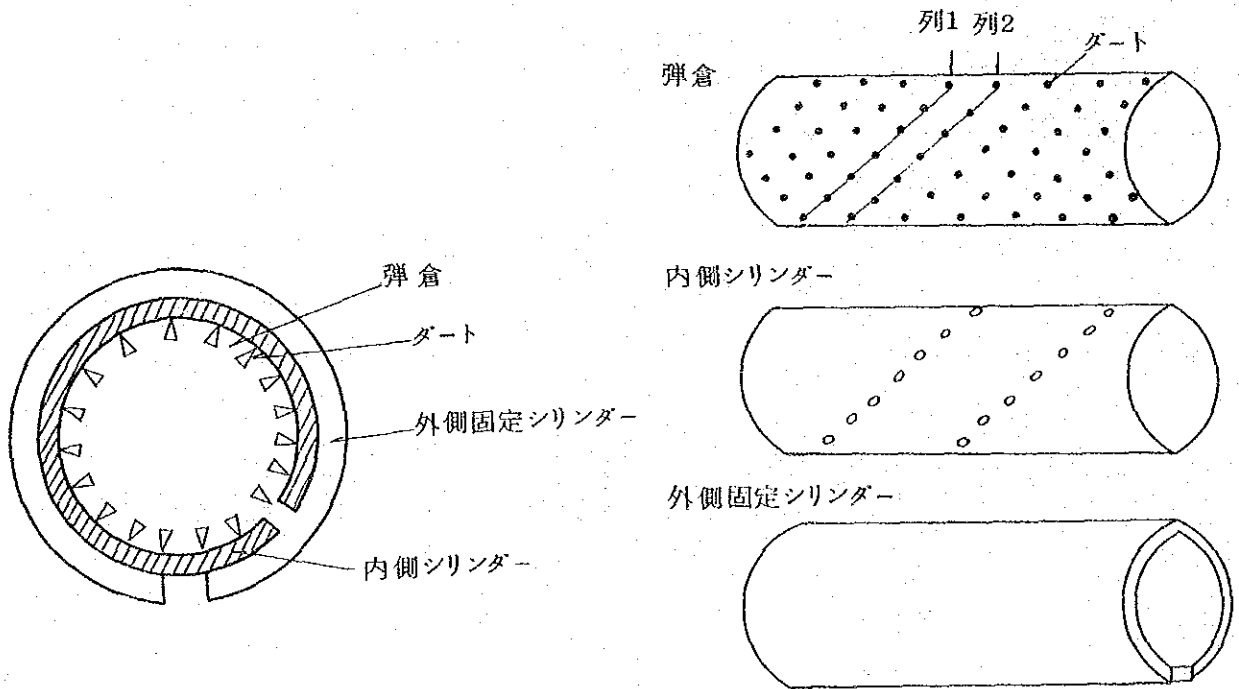


図11 ディスペンサーの想定図

このプロトタイプのスプレッダーは、通常一秒間に8個のダートを発射できる。
 テストに使用したヘリコプターは両サイドに各1個、合計2個のスプレッダーを装
 備している。Wood博士によると、このスプレッダーの重量は約30Lbであり400
 個のダートを収納してもトータル22~23kgと非常に軽くできていて、材料はプラス
 チックを使用しているとの事だった。

6-2-3 散布方法

現在ダートの構造等の改良が行なわれており、実際の事業散布は実行されていない。
 以下に、1980~83年に行なわれた実験の概要について述べる。

(1) 予備試験

1980年に行なわれた種子ダートの地上実験の結果は、航空機のスプレッダー装置
 とダートの開発をつづけていくのに十分な成績であった。

成長試験と同時に、ホバリングしているヘリコプターからダートを落とし、土中に入
 入させるために要求される衝突のエネルギーの実験を何回か行い、22gのダートを
 300ftの高さから落下させるとダートの全長が地中に入ることがわかった。

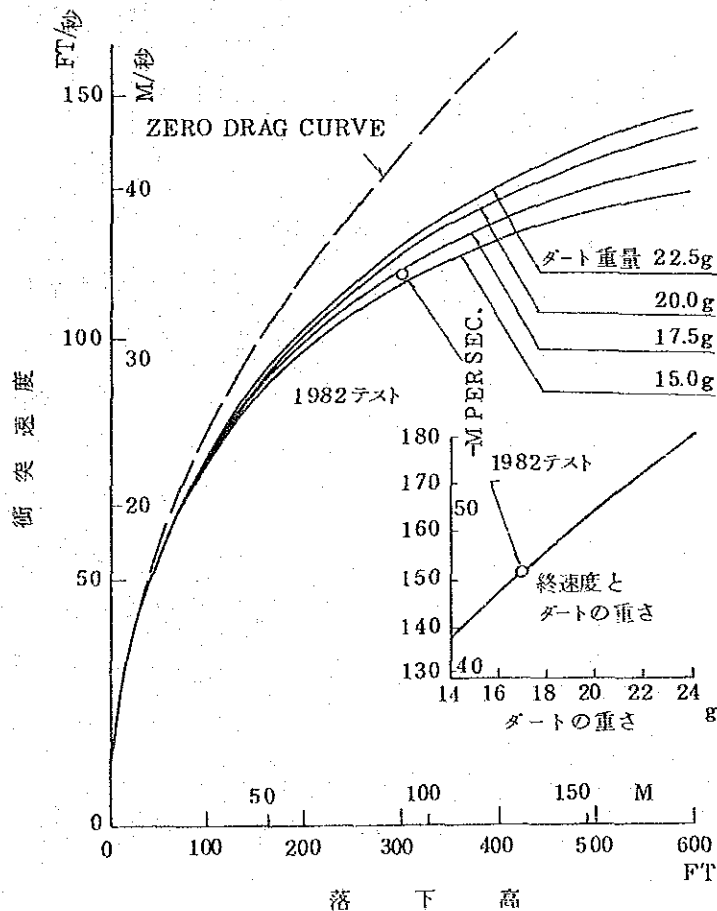


図12 衝突速度と落下高

ダートの重量と落下の高さを
 組み合わせた衝突速度、終速度の
 関係図は図12のとおりであり、
 300ftを基準にして落下高度
 を変化させて実験した結果、落
 下高度は地形、土壌条件に左右
 され、衝突のエネルギーはダ
 ート重量に左右されることがわ
 かった。

従ってダート重量の調整は造
 林対象地の調査をして、ダ
 ートの製造段階で行なわな
 ければならない。

(2) 散布システムの性能

スプレッダーと散布システム
 に関する試験は最初オタワで
 行なわれ、ダートは種子を散布
 する予定のものと同じ弾道学的、
 空力学的なもので永久にソール
 された模型を使用した。散布地

は草をかってダートを見つけやすいようにし、着色して視認できるようにした。ヘリコプターに70mmカメラを垂直に取り付けダートの衝突パターンを撮影した。最大限正確に散布するため位置の方向を規定する二台のトランスポンダステーションを設け(目標地の2~3マイル以内)目標地に直角になるようアプローチした。誘導システムとして搭載しているコンピューター(マイクロ波を用い水平及び垂直方向の誘導を航空機に与え航空機は機上の電子装置により機位を決定する)は、位置の情報を平行な進路が選べる

よう操縦できるシグナルに変換する。進路を横切る誤差と進路にそった位置情報はクロスポインター表示器によってパイロットに送られ又、クロスポインター表示器は進路を維持し、散布中断後にも連続して散布ができるよう位置を確認することができる。落下パターンからテストで計測されたクロストラックエラーは、いくつかの平行な50ft間隔のフライトでまれに10ftをこえる程度であった。

(3) ダートの性能

1982年、地中への貫入と苗木の成長のテストが始められ、いろいろな場所を選びホバリング状態(300ftの高度)からダートを落下させた。面積は20~30ft直径以下にし地上視測を主にした。

ダートにはコロニル大学で開発され実験室でよい結果を出している乾燥させた成長を促進する12mlの焼土を入れた。ダートの平均重量は17gであった。

(4) 地中への貫入

ダートをテストした場所の特性は図の通りである。貫入はフィンの長さが地表面に表われた数で示している。表示された貫入の分布は落下したダート数を基準とし見失ったダートのパーセ

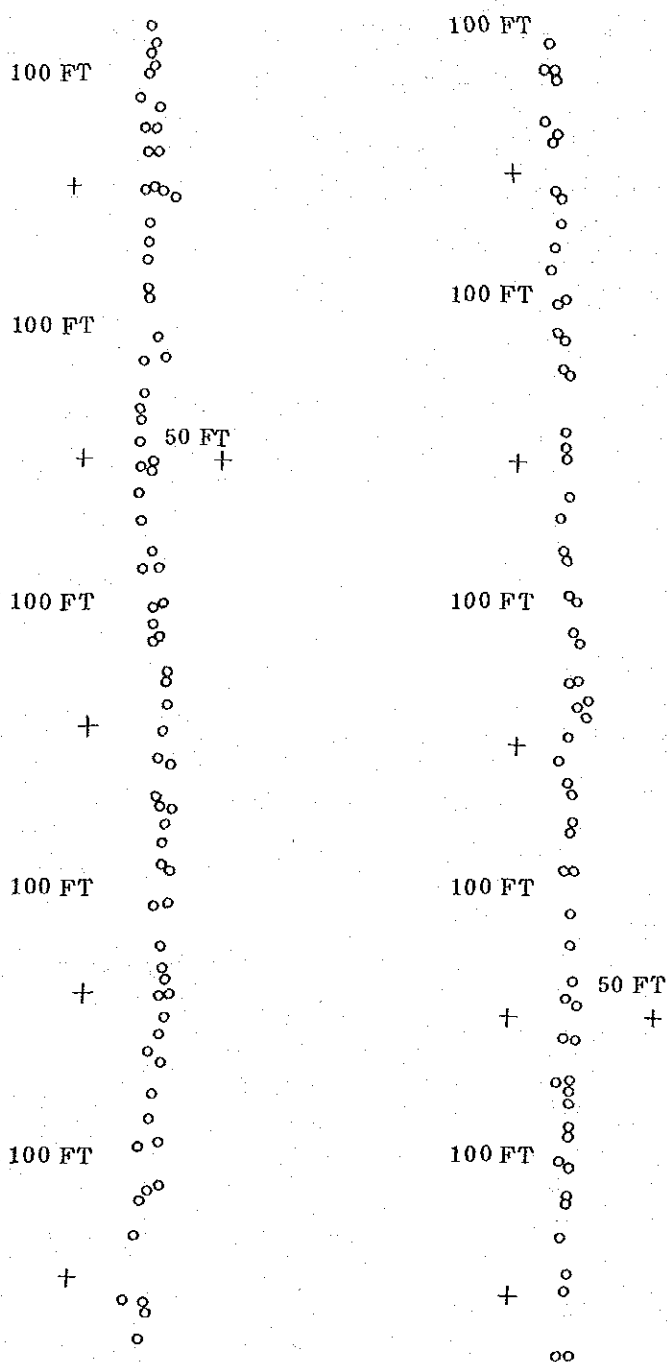
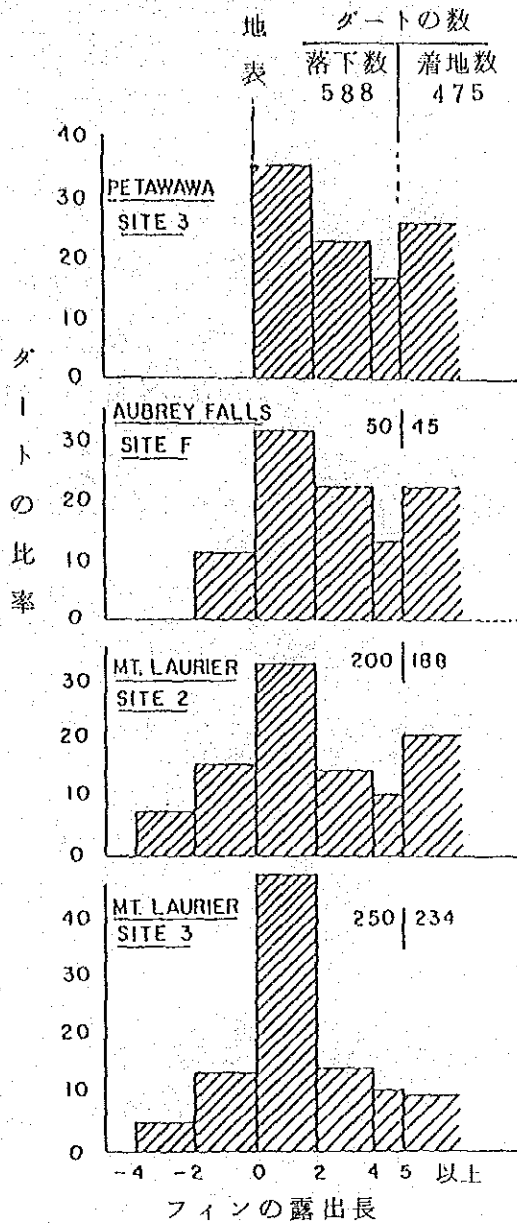


図13 2航路の落下パターン
(ディスペンサーは1個の場合)



Site 3

地表に未木枝条があるが、腐植土は少ない。
2-4 D 散布。

Site F

前年に火入れした所で有機物が砂の上にある。

MT LAURIER Site 2

砂土の上に厚い有機物層がある。灌木もある。

Site 3

伐採し、やぶを取除いたが砂土の上の有機物層が厚く腐植していない。

図14 4試験地における貫入状況(フィンの露出長)

ントは少く、深く埋りすぎたものと地表物の中にかくれたものも含まれる。

これら腐植土の深さの違いにより①ダートの30%以上が全長の2cm以内貫入している(適切に貫入している)。②同程度の%のダートが-2~0cm, 2~4cmの範囲に貫入している。③約25%までは障害物等があつて貫入しなかつた(フィンの露出が5cm以上)。④残りの15%のものが深く入るか、浅く入るかした。この結果、おおまかに見て60%は適切に貫入することがわかつた。

ダートに要求される機能は、地中への貫入が深すぎないことが必要である。又、浅すぎるとペーパーコーンは過度に空気と陽光にさらされ内蔵物に悪影響を及ぼす。コーンの内蔵物が地中に適当に貫入すると初期の目的を達する。内蔵物の位置は、フィンの後

縁の下約2cmの所である。地表にある腐植土、末木枝条等によりダートが効果的に貫入せず、かくれてしまう場合がある。この場合、フインの後縁が地面下1cmになっても障害物でシールが外れることがある。同様にフィン後縁が地上3cm以上になった時コーンと内蔵物の露出は大き過ぎない。

(5) 苗木の成長

散布地の数ヶ所を1982年とダート落下後13ヶ月後の1983年に再び活着状況調査を行った。全体の成功率は非常に少なかったが、ある試験地では力強く成長した苗木が見つかった。苗木が枯死するのは最初の年で大部分が決まり活着の結論を出すには数年間必要となる。活着に影響を及ぼす要因は①高温、干ばつ、②コーン中の湿度、土の湿度保持は他の植物の蔭になることによって助けられ、発芽、成長初期では重要な因子となる。③苗木は地表植物の中に貫入するとよく成長する。④4月、5月にダートを落下させると6月、7月より活着がよい。⑤ダートのフィンが4cm露出し垂直に対して45度の傾斜のある場合よく活着する。⑥実験はホワイトパイン、ブラックスプリューズの種子を用いた。⑦散布した年の春の終りに調査したが霜の害は見られなかった。晩秋に散布すれば苗木の成長に害を及ぼす高温、水分の不足を最小限にできる。

しかし、冬の終りまでコーンが完全なままだと虫による害、霜の害の心配がある。

苗木の枯死を減少するためには、高温にさらさず、水分保持をよくし発根の時間を短縮するダートの構成物、付加物が必要である。

(6) 結 論

種子ダートとディスペンサーを用いた航空機造林の実験で次のことが判明した。

- a. ダートの設計は、苗木の成長を妨げることもなく、工学的条件も満たしている。
- b. ヘリコプターを採用し、電子制御装置、再使用可能な弾倉を持つディスペンサーを装備した散布システムは、大面積にわたってダートをコントロール良く、連続的に投下することが可能であった。
- c. 適地において適切な散布を行えば、少なくとも半数のダートは土壤に貫入する。
- d. 本実験で使用したダートは、有機物層が5cm以下の林床で良い結果が得られる。
火入れは、適切な林床を得るに当って特に考慮すべきである。
- e. 各種の試験地にダートを散布し、1年以上観察した結果では、健全な苗木の生産という点では必ずしも成功しなかった。

健全な苗木を得るためには、ダートの内容物の熱と脱水に対する弱点を減ずる必要がある。この目的を達成し、かつ経済性をさらに高めるためには、立地、季節、気候、ダートの内容の構成物に影響される生物学的課題に関する研究開発を更に進める必要がある。

6-3 人工種子の概念と開発課題

6-3-1 人工種子の概念

航空機造林の重要なポイントは、散布された種子が林床に着地し、迅速確実に発芽・生育することにあるが、きびしい自然条件の下では乾燥、高温、草本との競合、病虫獣害等があり、これらを克服する必要がある。

そのためには、種子の諸被害に対する抵抗性を補強し、発芽・生育を促進するような人工的補正を加えるとか、種子そのものの抵抗性等を強化するとかの手法が必要となる。

人工種子には、種子に保水剤、忌避剤、栄養剤等の材料を物理的に加工するものと、バイオテクノロジーにより種子そのものの性質を強化するバイオロジイ種子がある。

前者の加工技術は現在かなり進歩しているが、後者についてはこれからの開発課題である。

(1) 林木種子

森林群落の発達を進化論的に見ると、種子の発達が森林形成に大きな影響を与えていることは明らかである。種子を形成しない維管束植物、例えば、シダ類、トクサ類、ヒカゲノカズラ類などは、胞子を形成し、これが発芽することによって、独立した半数世代を形成する。さらに、造卵器、造精器ができ、精子と卵子が合体することによって、倍数体の植物にもどる。半数体と倍数体の世代が分離し、それぞれが複雑な発達過程を持っているため、環境条件の変化に対応しにくい。また、繁殖過程が複雑であるため、その過程が中断されやすい。

一方、種子植物では親の倍数体の組織の中に半数世代が生長し、さらに接合子が胚となり、種子が形成されるまで親の世代に着生している。しかも、種子自体にも新しい環境に適応するための生理的特性が認められる。例えば、種皮形成による外敵からの保護、貯蔵養分の蓄積による発芽初期の生長維持、耐乾性や休眠性などの環境適応性をもっていることが多い。したがって、種子散布による森林造成手法は今後の森林造成に重要な技術となる。

(2) 種子の多様性

全ての樹種において、種子が同じ特性をもっているとは限らない。種子の大きさを見ても、ココヤシのように大きなものから、シラカンバの種子のように、1 mm程度の小さいものまである。ココヤシには大量の貯蔵養分があり、この養分を消化しながら胚が生長し、発芽する時には大きな幼植物となっている。一方、小さい種子では貯蔵養分量が少なく、発芽後の幼植物も小さく、しかも光合成をおこなう子葉、初生葉の葉面積が小さいため、活着するまでの初期生長が遅い。こうした小型の種子には、活着を容易にする処理が必要になる。

マメ科の硬粒種子、マツ、スギ、ヒノキなどの針葉樹種子は乾燥にも耐え、含水率が5%程度になっても、活力を維持し吸水とともに発芽できる特性を持っている。しかし、

ナラ類、クリ、ブナ、トチ、熱帯産のフタバガキ科の種子などは、含水率が20%以下になると失活するため、発芽させるまで含水率を20%以上に維持することが必要になる。

また、高含水率を必要とする種子の中には15℃以下の低温では死滅するものがあり、特に熱帯産のフタバガキ科植物の種子などはその代表的な例である。こうした種子では最低温度が15℃以下になる地域には植栽できない。また、熱帯地域でも海拔1,500m以上の場所では、低温傷害を起こすため、植栽に適していない。含水率が高く、低温傷害を起こす種子は常に生長をつづけ、場合によっては母樹上で発芽するものがある。マングローブの種子が樹上で生長するのはその典型的な例である。こうした種子では、種子の成熟とともに起こる生長停止現象、いわゆる休眠現象は起こらない。したがって、こうした種子では、散布と同時に生長できる条件が必要である。

一方、温帯産の種子は成熟すると休眠する。このため、劣悪な環境条件に耐えて、生存することが可能になるが、一方では、休眠状態を破らなければ発芽できない。したがって、休眠種子を利用する場合には休眠打破処理が必要になる。休眠打破には、光照射、低温湿層処理、高温処理、種皮に傷をつけるジベレリン処理などがあるが、それぞれ種子の特性によって処理条件が異なる。

こうした発芽に関する種子の特性、さらに活着のための条件などを把握し、発芽促進と活着のための補助手段を開発することが大切である。こうした発芽、活着促進のための技術開発も簡易的な人工種子化技術を考えることが可能である。すでに、林業においても、林道のノリ面や崩壊地の緑化に植生盤やコーティング種子の吹き付けなどがおこなわれている。また、実際の林地への種子散布については、カナダで実験がおこなわれ、1969年にWaltersが報告し、1984年には、マツの種子を入れた容器を飛行機から落下させ、一部で更新したことを確認している(Wood, 1984)。ニュージーランドにおいても、航空機によるコーティングしたマツの種子の散布造林がおこなわれている。

(Faulkner et al, 1972)

一方、植栽地の土壌改良の目的で、砂漠地に保水剤を混用し、その効果を明らかにしている(遠山, 1986 a, b)。この一連の研究は極めて示唆に富むものであり、保水剤を種子の散布用培地に利用できる可能性を示している。

この他、コーティング剤または種子培地に肥料、薬剤の添加なども検討しなければならない。

6-3-2 簡易人工種子の開発課題

以上のように、簡易人工種子の開発には下記の項目が必要である。

a. 種子特性の把握

① 種子の活性維持に必要な水分含有量

水分の限界条件の測定，含有量の外に種子組織の水ポテンシャルの測定。

② 種子の生存温度域

種子が生存できる最高，最低温度の測定

③ 貯蔵養分の質と量

発芽に利用される貯蔵養分の質と量，さらに養分補給で生長促進が可能かどうかの検討。

④ 種子の形態的特性

種子の大きさ，子葉の形態，子葉が展開する型 (Epigeal)か，地下に残る型 (Hypogeal)かどうかが，初生葉までの光合成の機能。

b. 発芽特性の把握

① 発芽可能温度および温度条件と発芽

発芽可能温度および，低温湿層処理効果，変温および温度シフトの発芽に対する効果。

② 発芽に必要な水分又は水ポテンシャル

発芽できる水分条件の検討，浸透圧と発芽の検討。

③ 発芽および活着と光条件

光発芽および子葉および初生葉に必要な光条件の検討。

c. 種子処理

① 水分保持剤の特性

水分保持剤の種類と特性，各保持剤の含水条件と Water potential ，水分保持剤と種子発芽の関係。

② 水分保持剤の利用形態

コーティング形式，成形コンテナの試作。

③ 培地，養分，貯蔵養分の添加

④ 温度調節剤の利用

保温，加温，冷却剤，熱遮断剤の利用。

⑤ 光調節剤の利用

熱線カットフィルター，赤色フィルム，紫外線除去フィルム等の効果。

⑥ 散布用容器の開発

ア. 羽根つき種子

水分保持剤つき羽根，羽根による光コントロールなど。

イ. カプセル化

光コントロールによる根系生長促進。

ウ. 落下容器

これらの項目を考慮しながら，実際には乾燥地の森林造成を目標に，マメ樹種の簡易人

工種子を検討すべきである。また、湿潤地用にはフタバガキ科種子の利用も考えられる。

以上の簡便法の研究を進めると同時に、本格的な人工種子による増繁の研究を進めるべきである。

(付)

フタバガキ科種子に特に必要な処理

- ① 水分保持剤と脱水防止処理
- ② 肥料
- ③ 根の活着のための Dart
- ④ 虫害、動物の食害防止処理（リベリントの利用）

マメ科種子に必要な処理

- ① 発芽処理（種皮に傷をつけるかクチクラ層を除去する）
- ② 食害防止処理
- ③ 根菌の添加
- ④ 培地および水分保持剤

6-3-3 組織培養技術による人工種子

組織培養技術の発達とともに、試験管内大量増殖が可能になり、いわゆるマイクロプロパゲーションによって、特定のクローンを大量に増やし、品種化することが可能になっている。樹木についても研究が進み、広葉樹、針葉樹を含め色々な樹種で組織培養による幼植物の作出が可能になっている（大山：1982，斉藤：1987，斉藤ら1988）。したがって、生長の速い個体，耐乾性個体，耐塩性個体，病虫害抵抗性個体などを増殖して，品種化することも夢ではない。個体からさらに細胞選抜をおこなうことによって，さらに耐性能力を高めることができる。しかし，クローン化された大量の幼植物を移植し，さらに順化するには，操作手順が多く複雑であるため，手順を省力化しなければならない。このため，増殖体を人工種子化することが考えられている（佐々木：1987，西村：1988）。

組織培養で作られた増殖体を人工種子化するには，二つの方法が考えられる。一つは個体発生を誘導し，形成した幼植物をカプセルに入れて，これを活着させる方法である。この場合には，胚様体を用いない。すでにわが国ではシラカンバの幼植物をアルギン酸に封入し，発芽させた実例がある（林試：1986私信）。同様に，クワの不定芽をアルギン酸又は寒天に封入したものが45日間4℃に貯蔵可能であり，置床することによって完全な個体が発生した（Bapat et al. 1987）。樹木では，葉に休眠した芽が存在するため，これを増殖体として利用することが可能である。シラカンバのように種子が小さい場合には，苗条体又は不定芽をカプセル化することによって，播種時から光合成面積を大にすることができる利点を持つ。

一般的に、カプセル化した苗条体の活力維持には、苗条体の休眠化又は生長低下が必要であると言われている (Kitto and Janick, 1985 a, b)。カプセル化植物の活力維持と発芽力の改善のために、休眠化の研究を進めていかなければならない。

一方、最近組織培養から体細胞の胚養体を誘導することが可能になっている (Williams and Maheswaran, 1986)。樹木についても、胚養体の誘導例は多く、わが国ではトチノキのカルスが胚養体化したのが最初である (Saito, 1980)。この他、カンキツ、コーヒー、ミズキ、リンゴなどの広葉樹の培養組織が胚養体化している (Williams and Maheswaran, 1986)。また、針葉樹ではカラマツで成功している (Magmani, and Bonga, 1985) が、さらにトウヒ、マツなどでも胚養体が作られている (Gray 1986)。これら胚養体は種子に存在する胚と似た形態をしたもので、生長すると幼植物に発達する。

しかし、種皮は形成しないために、害敵から保護するため人工被膜で包む必要がある。こうした人工被膜の研究の総説 (Redenbaugh et al 1987) によると、アルギン酸と寒天が幼植物の活力維持に適している。さらに、アルファルファの胚養体を大量に生産する方式の検討がおこなわれている (Stuart et al 1987)。

これらの胚養体がカプセル内で活力を維持するためには、胚養体を $10^{-6} \sim 10^{-5}$ M の ABA 処理や乾燥状態することが必要である (Kitto and Janick, 1985 a : b : 貝守 1988)。しかし、胚養体の形成過程の進行とそれぞれの種の生理的特徴が相互に影響しているため、休眠導入は複雑で、もっと研究を進める必要がある (Finkelstein and Crouch : 1987, Gray : 1987)。

アルファルファで胚養体の形成が成功しているので、マメ科樹木で乾燥耐性のある種について、研究を進めるべきである。胚養体の乾燥化もマメ科であれば、成功しやすいと考えられる。

6-3-4 人工種子の研究課題

以下、人工種子に関する研究課題を列挙する。

a. 苗条体又は不定芽のカプセル化

① 大型苗条体の培養

マメ科樹種

フタバガキ科樹種

* Quercus 属

特に、耐乾性クローンの選抜を必要とする。

② カプセル内の培地の検討

養分, ホルモン, 浸透圧

③ 苗条体又は不定芽の休眠化

ア. 浸透圧

- イ. 乾燥条件
- ウ. A B A 濃度
- ④ カプセル資材の検討
 - ア. 雑菌侵入防除
 - イ. 発芽性に無害
 - ウ. 水分保持力
 - エ. 光質, 光量の透過特性
- b. 胚養体の作出と人工種子化
 - ① 胚養体の形成
 - 培地の検討, 樹種の検討, 樹種としては, マメ科〔アカシア, アルファルファ〕, トチノキなどを考えるべきである。
 - ② 胚養体の休眠条件と乾燥耐性
 - 光, 無機養分, ホルモンなど。
 - ③ 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のコーティング

6-4-1 カナダ

カナダにおける種子コーティングの企業は, Canadian Seed Coaters Ltd 一社であるが, この会社は1976年, 同国の種子の生産販売の大手であるOseco Inc の子会社として, ニュージーランドのHodder & Tolley Ltd と共同出資により設立された。

種子コーティング技術は, 1950年代にニュージーランドにおいて始めて開始され, その後アメリカ及びヨーロッパに普及したものであり, カナダの上記企業もニュージーランドの技術を北米に導入するため共同企業を設立したものである。

現在, 同社はオンタリオ州とサスカチュワン州にそれぞれ工場を有しているほか, イギリス, フィンランド, 南アフリカにも進出している。

カナダで現在までに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 (Canola) であり, 林木種子ではマツ類 (Pinus spp.) とトウヒ類 (Picea spp.) である (ただし, 材木種子については, 種子と殺菌剤, 潤滑材の Aluminium Powder を現場でコーティングする程度であり, 工場生産のコーティング種子の利用は一般的ではない)。

その他, 小麦, 大麦を始め各種のタイプの種子について, 主として薬剤のコーティングを目的とする研究開発が広く行われる至っている。

対象となる作物種子により異なるが, 現在カナダで行なわれているコーティングの処理内容は次のとおりである。

a. 防腐処理 (殺菌剤, 防虫剤)

薬剤のコーティングは, 病虫害の確実な防除が可能であるばかりでなく, 現場で薬剤

を直接取り扱う必要がなくなるという大きなメリットがある。

カナダでは、牧草のアルファルファのThiram剤、ナタネのVitavax RS flowableのコーティングが行われている。

b. Phizobia（窒素固定バクテリア）の接種

Phizobiaは、マメ科植物に根瘤を形成し窒素固定を行うが、効果的な接種が行われた場合には1年間に1エーカー当たり100～200ポンドの窒素固定が可能とされている。

コーティングしない従来の接種方法ではPhizobiaは熱や日光にさらされて活力を失う場合があったが、種子へコーティングする場合はその加工プロセスで熱や日光からの影響を避けることができるばかりでなく、コーティングによりPhizobiaの生育に最適なPHの環境を与えることもできる。

c. 栄養分（過磷酸肥料）

植物が発芽する際には、澱粉から糖への転換に当って多量の過磷酸が使われるが、土壌からの供給には限度があるので、幼根の伸長により栄養を摂取し、早期の生育、冬をこすための硬化等を促進するためには、過磷酸肥料を種子の近くにコーティングすることが望ましい。

d. 加重

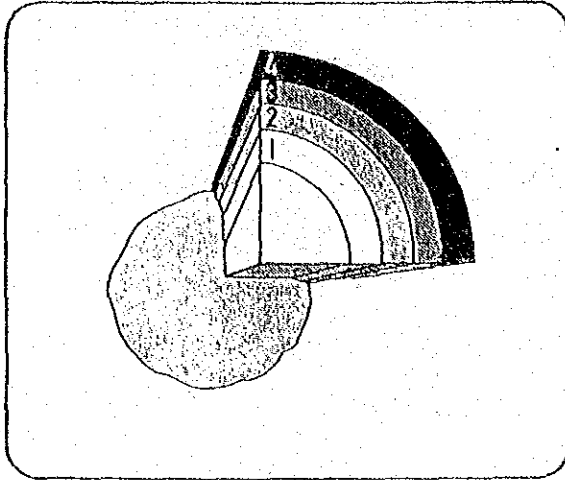
微小で軽い種子、例えば牧草の種子等については、コーティングによりサイズ、重さを大きくすることにより適正な散布が可能になる。林木の場合は、農業に比べて散布面積が大きく、散布密度は疎であることが要請されるので、均一的な散布を行うためには加重のためのコーティングが必要と考えられる。

e. 着色材

散布のコントロールに便利である。

なお、カナダではナタネ（Canola）についてはバイオテクノロジーをも含めた育種技術によりHybridsを育成する研究開発も進められている。

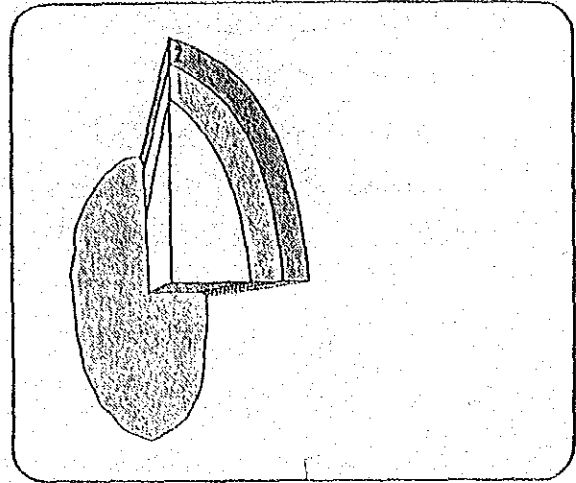
(マメ科牧草)



1. 種子処理 (必要に応じて)
2. 接種
3. 栄養分パッケージ
4. 外被

	コーティング比率	
種子	67%	
コーティング材料	33%	

(牧草)



1. 栄養分パッケージ
2. 外被

	コーティング比率	
種子	50%	
コーティング材料	33%	

出所：Canadian Seed Coaters Ltd. の資料より。

図 15 コーティング種子

6-4-2 アメリカ

アメリカのコーティング技術一般については、資料が入手できなかったが林木種子のコーティングの概略は次のとおりである。

アメリカの航空機造林は、捕食動物に対する忌避材のコーティング種子の開発により広く普及したといわれるが、林木種子に関する限りコーティング種子の利用はカナダより広く行われている。

対象となる野生動物は、鳥類、昆虫、野ねずみ、とがりねずみ、しまりす、りすであるが、航空機造林を行うに当ってはこれらの動物、特に被害の大きい野ねずみと鳥類の生棲密度を調査する必要がある。

これらの動物による捕食を避けるためには、忌避剤も大切であるが、散布した種子が着床後速かに発芽する必要があり、休眠を破るための低温水蒸気処理や酸、熱水、冷水又は機械的摩擦等の播種前処理も必要とされている。

アメリカでは、防虫剤の Endin が針葉樹種子の捕食動物である昆虫及びげっ歯類の忌避剤として種子にコーティングして広く使用された。Endrin は、他の用途では使用禁止となっているが、林業の場合 ha 当たり散布量が約 5 g と小さいこと、ラテックスで粘着してあること、広い面積に散布されるので被害は小さいことなどから多くの州で使用が許可されていた(ただし、1988年現在は連邦法で全国的に使用禁止となった。)

又、殺菌剤の Thiram は、鳥類の忌避剤として使用された。Thiram は、固く種子にコーティングされ、鳥が食べにくくしてある。

Thiram も若干の使用制限があり、不適当に用いるとある種の鳥に毒性がある。

忌避剤を種子にコーティングするに当り、粘着材として Latex が使用される。又、散布機による機械的な種子の損傷を避けるため、潤滑材として Aluminium Powder が使用される。

10章で詳しく述べるが、アメリカでは種子コーティングは散布現場で比較的簡易な作業により行なわれている。

すなわち、Endrin と Thiram の忌避剤をラテックスを結びとしてバケツでかき混ぜ、小型のコンクリートミキサーに入った種子の上に注いで攪はんし、さらに Aluminium Powder を一さじ加えて攪はんしたのち乾燥させるもので、3人で1日1トンの種子の処理が可能である。

7. 種子散布

7-1 航空機

航空機散布は、固定翼機とヘリコプターにより、通常高度15～25mから行なわれる。

多くの先進国では、航空機は既に病虫害防除、山火事防止、空中写真影等に広く使われており、散布装置のホッパーの吐出口さえ改良すれば種子散布にも利用できる。又、農業のプログラムと共同で使用できれば、さらに経済的である。

なお、開発途上国においても近年適当な機種等も利用できるようになりつつあるが、個人的所有の多い国もあり、そのような国では空軍機の利用が不可能な場合、調達が困難となる。又、開発途上国ではヘリコプターの使用は非常に高くつくのも問題点であり、パイロット、整備士等の雇用も含めて事前の調査を十分に行うべきである。

アメリカ南部では、20年以上ヘリコプターが多く使用された。カナダでは、オンタリオ州では固定翼機、ケベック州ではヘリコプターが多く使用されている。

固定翼機とヘリコプターの使用区分は、地形、散布面積の大小及び分散度、ha当り散布量、航空基地の状況等により決定されるが、一般的に両者の特性を掲げると次のとおりである。

a. ヘリコプター

- ① 固定翼機より機動性に富み、不規則な対象地のコーナー、急斜地、小面積地等への散布が確実にできる。
- ② 積載量が大であり、治山緑化のように大量の散布材料を均一に小面積に散布するような作業に適している。
- ③ 散布対象地と着陸地が近く、積載・散布の作業が迅速にできる。
- ④ パイロットが、散布結果をチェックし易く、地上員との連絡も容易である。
- ⑤ 固定翼機に比して高価である。

固定翼機は、小型の場合、500万円程度であるが、ヘリコプターは積載量にもよるが、4,000万円～3億円である。

b. 固定翼機

- ① 散布面積が大きく、散布密度の小さい散布に適しており、散布の均一性、確実性はヘリコプターに劣る。
積載量は小さい。
- ② 滑走路の選定に制限があり、散布、積載が迅速でない。
- ③ パイロットの散布結果のチェックはヘリコプターに劣る。
- ④ 価格が安い。

以上のようにヘリコプターは、わが国における治山緑化事業のように、地形がきびしく小

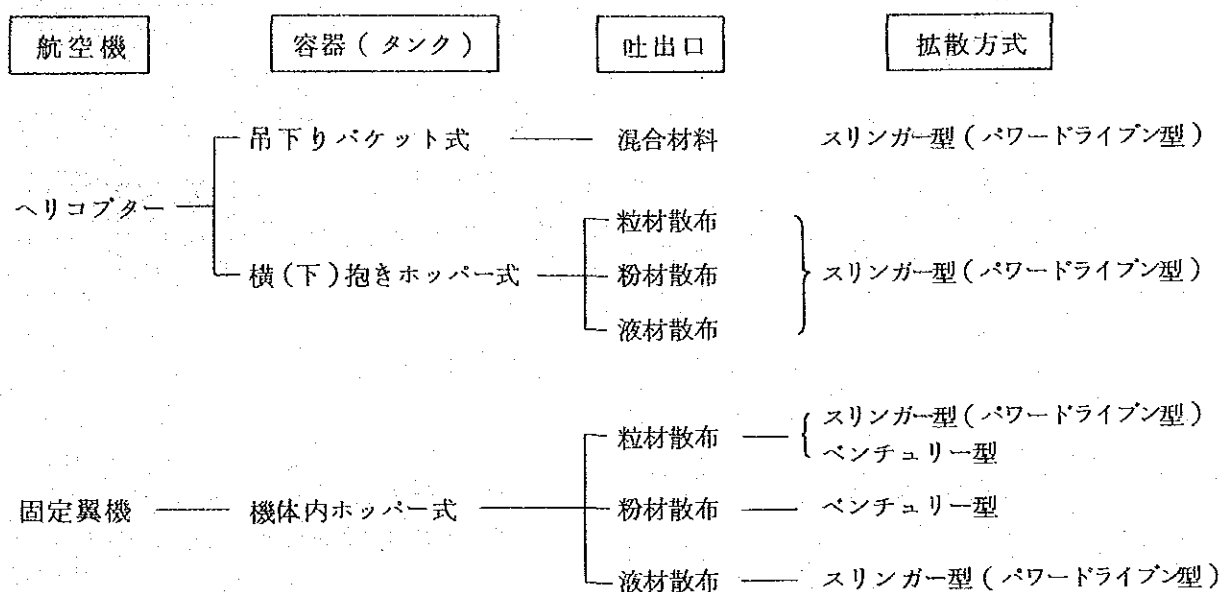
面積の対象地に大量の散布材料を正確に散布するような集約な作業に適しており、固定翼機は拡散性に優れており、広大な地域を対象として密度の低い散布を行う粗放な作業に適しているといえる。

7-2 散布装置

7-2-1 散布装置の概要

散布装置は、散布方式、散布材料の種類、形状、積載量、吐出量、攪拌等によって選定するが、使用航空機との適合性も考慮する必要がある。

散布装置は、おまかに次のように区分できる。



容器(タンク)には、吊下げ(スリンガー)バケット式とホッパー式(横又は下抱き、あるいは機体内とがある)とがあるが、吊下げバケット式は、多種類からなる散布材料を大量に散布するのに適しており、ホッパー式は一種類か形状の類似する材料を比較的低い密度で散布する拡散性に優れた散布装置に利用される。

すなわち、吊下げバケット式は、ヘリコプターに取りつけるのが、散布材料の全種が混合できるし、ホッパー式に比べて材料の投入混合が容易であり、材料の分離も起りにくく、吐出口のつまるおそれも少ないので大量に吐出することが可能であり、小面積の対象地の治山緑化に有効である。

これに反し、ホッパー式は拡散性に優れており、散布材料を単独で(数種類の材料の形状、性質がほぼ同一ならば同時に)広範囲に散布するのに使用されるが、散布密度の大小等によりヘリコプターか固定翼機かを使い分ける。

次にタンクの吐出口には、散布材料の形状、性質に合わせて、粒材散布装置(種子、肥

料等)、粉材散布装置(薬剤、特に水稻の病虫害駆除)、液材散布装置=噴霧装置(薬剤、治山用の浸食防止剤)などが取付けられている。

又、この吐出し装置には、散布材料を均一的に吐出するための装置と散布材料を速くへ拡散して投下する装置などが種々開発されている。

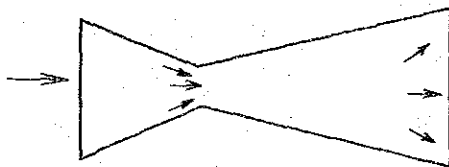
前者の散布の均一性を保つための装置はモーターにより動くオーガーにより散布材料を吐出し口に送り出す装置であり、操縦席の計器により散布量をコントロールできるようになっている。

後者の散布材料を拡散する装置としては、ベンチュリー型とスリンガー型(パワードライブン型)があり、ベンチュリー型は動力によらず気流圧の差を利用して拡散を行うものであり、スリンガー型はモーターにより吐出し口を回転させてその遠心力により材料を拡散投下するもので、吐出し口へは円盤状のものとチューブ式のもの等がある。

ベンチュリー型とスリンガー型について、さらに詳しく述べると次のとおりである。

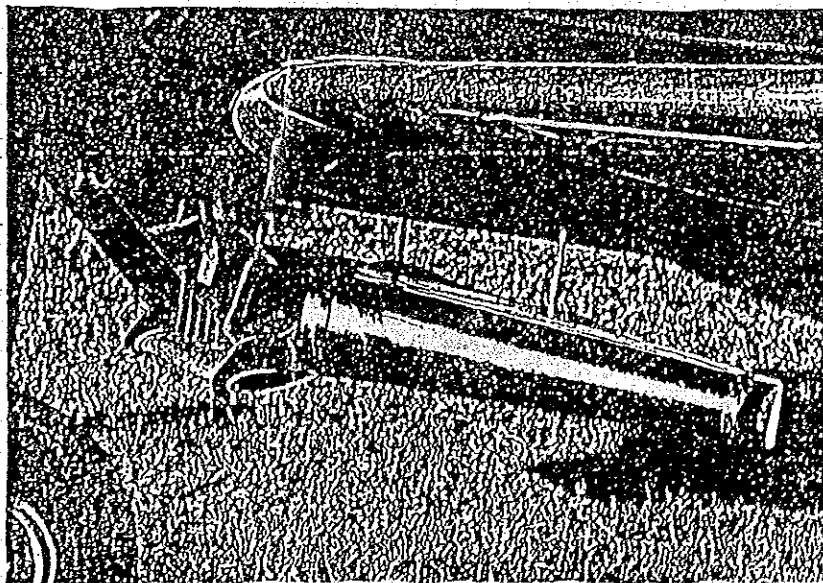
a. ベンチュリー型

この方式は固定翼機に用いられ、胴体下に取付けられる方式であり、インペラーを回転させる等の電動モーターは使われていない。肥料、除草剤、種子等の散布に使われ、散布材料は重力によってベンチュリー方式装置まで落ちれば、機体の前進速度でつくる空気の流れで散布できる方式である。ホッパーの底の傍りに散布を実施したり止めたりできるようシャッター機構がついている。



ベンチュリー管

気流の通過する途中を絞った円筒管で入口より次第に狭くなり最狭部に至り、その後次第に直径を拡大すると最狭部で空気の流速が最大となり静圧が最小となる。

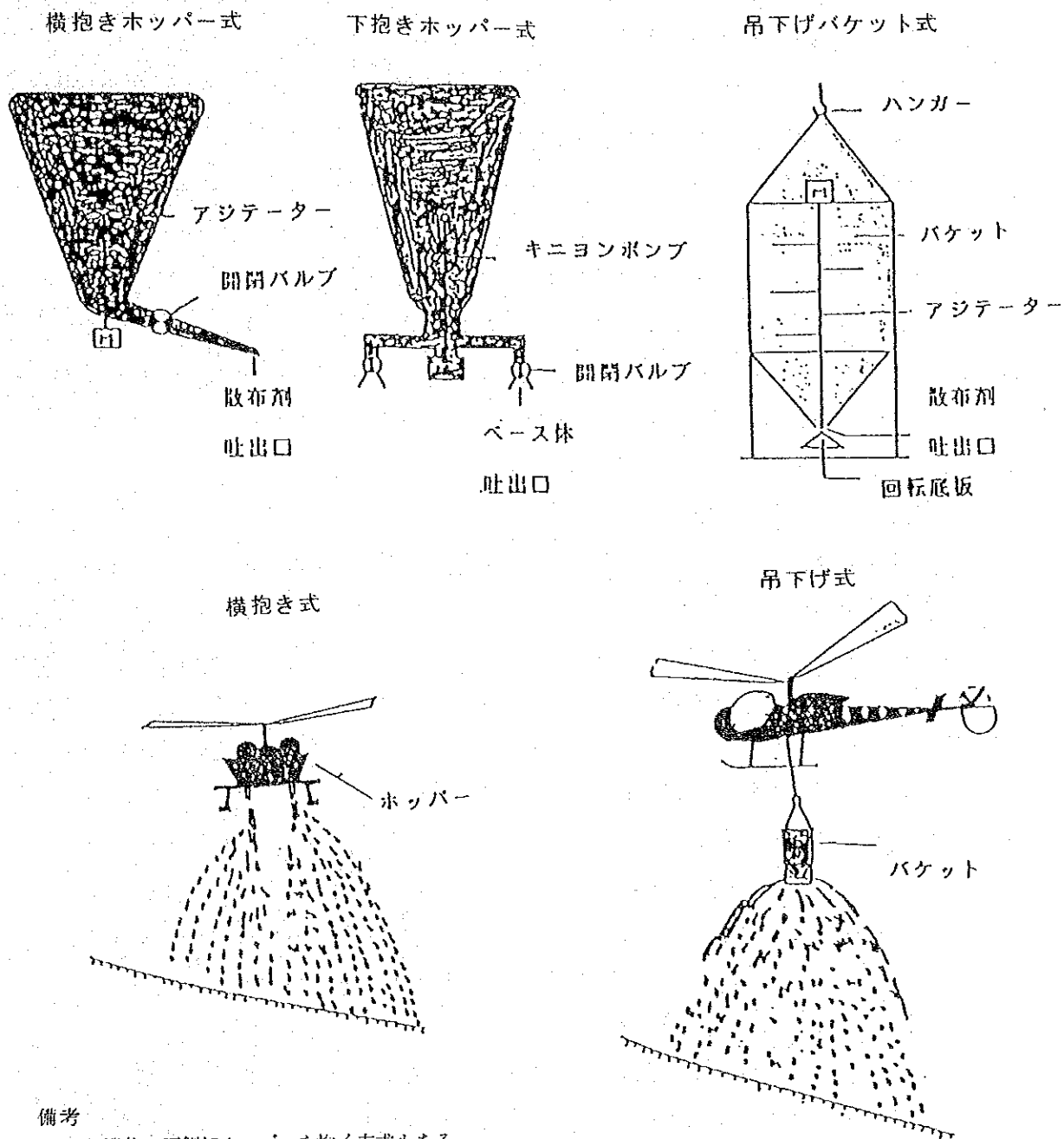


ベンチュリー型散布器

b. スリンガー型

この型は、バケット式タンクの下部に円盤状の回転吐出し口を取り付け、その回転により拡散落下させるもの、チューブ状の吐出し口を回転させ拡散するもの（カナダのBrohm式）などがある。

図16. 散布装置模型図



備考

1. 機体の下側にホッパーを抱く方式もある。
(ヘリコプター)
2. 機体内にホッパーを装着する方式もある。
(固定翼機)

以上、航空機の散布装置の概略について述べたが、大面積の森林回復を目的とする航空機造林の場合は、比較的小面積を対象とし散布密度の高い（単位面積当り散布量の多い）治山緑化や農牧用種子散布と異なり、広域の対象地に比較的散布密度の低い散布を行なうこととなるので、固定翼機一ホッパー・タンク式一スリッガー型吐出し口のものが最も効果的と考えられる。

固定翼機の最大の欠点は、散布の適正な均一性（散布密度と苗木間隔 Spacing）を得るのが困難なことにあるが、これを克服するため、カナダでは「Brohm式散布器」（スリッガー式）等の優れた散布システムが開発されているので、次節以降において照会することとしたい。

7-2-2 カナダのBrohm式散布器（固定翼機用）

a. 型式 MK3型

b. 開発

最初はヘリコプター用に設計され開発したが、その後、固定翼用に改修、改造された。

c. 装置の取付け

ホッパーとオーガーは、パイロットシート後方の機体内に取付けられ、スリッガーと電動モーターは、機体下方の取付ブラケットにフレームを使用してボルト付けされている。

d. 最初に使用した航空機

パイパーPA-18A（スーパーガス固定翼機）で、パイパー社の基礎を築いたモデルで、これまでに4万機以上も作られている。第2次大戦中は観測機、訓練機、連結機として活躍した。馬力も90、135、150と順次パワーアップされた。主翼を除き、主要構造は鋼管製、羽布張りである。主脚のショックを吸収するのにゴムバンドを用いている。低速性能にすぐれ、離着陸距離が低くSTOLの草分けともいわれている。失速性能はおだやかでスポーツ用としても愛用されている。

特長 1. 軽量（約400kg）

2. 高揚力単葉機

3. 低燃料消費量

（散布中は23ℓ/h、巡航は75%パワーで30ℓ/h
約5時間の継続飛行時間）

4. 短距離離発着（215～310mランウェイ）

5. 信頼性大

e. 1968年以来、散布を実施した地域（オンタリオ州）

Northwestern Region

North Central Region

Northern Region

Northeastern Region

f. 追加装備

- 215～315 mランウェイ
- 無線電話装置（航空機と地上員との間の通信に利用）

g. 装置の概要と作動

1960年にヘリコプター用に、設計されたBrohm式散布機は、以来、固定翼に使用するため改修、改造された。この装置は、容量55～70kgのホッパーを持ち、回転しているスリンガーに種子を押し出すラセン状に目を切ったオーガーが、ホッパーの底部にとりついている。ホッパー及びオーガーは機体内のパイロットシート後方に、スリンガーは機体の外側、胴体下部にとりつけられている。スリンガーは基本的に4本の水平なプラスチック製のチューブの中心に位置し、種子は飛行している航空機の下側から放出されるようになっている。オーガーは電動モーターからのパワーを機械的な作動に変換して回転し、スリンガーは、電動モーターにより、ベルト駆動され一定の回転速度が与えられる。オーガーの回転速度は、種子の吐出量をコントロールするため調整が可能である。スリンガーの回転速度は1000RPM以下の一定スピードが維持される。コントロールパネルは機体内にとりつけられ、パネルには、回転計とオーガーのスピードコントロール、スリンガーのON、OFFスイッチがある。

散布装置は、オーガーのスピードの変化により吐出し口へ送り出す量が調整されるが、その量の決定は、計画した飛行高度、飛行速度、散布巾、種子の重量当りの数に従って行なわれる。オーガーの回転速度は飛行時間当りに要求された吐出量を散布できるようにセットされる。通常の飛行のパラメーターは、飛行速度129km/h、飛行高度23m、散布巾18～20mである。1g当りの散布可能な種子数は、散布する以前に決定されるが、一般にはジャックバインでは275/gmである。ジャックバインの吐出量の実用的な範囲は1万～3万5千個/haである。種子は、もしも、ある目視できる地上の援助の方法（螢光を発する旗を持った地上監視員又は螢光を発する旗）があれば、よりうまく散布させることができる。

h. 広い場所での限界事項

航空機の性能は以下のコンディションの時は制限がある。

風 : 突風又は風 > 8 km/h

湿度 : 雨

天候 : 視程不良又は低い雲のシーリングの時

i. 要人員

オペレーター : 1人

整備 : 機体整備をする人と種子をつみこむ人 1～2名

その他：区画を調整，地上標識をおく人 2～4名

j. メンテナンス

すべてのメンテナンスと修理は運航側の責任であり，種まきのプロジェクトでダウンタイムのロスをおくため，予備の電動モーターを用意しなければならない。

k. 生産性

天候状況，空輸距離，散布地の大きさ，形によって仕事量は変化する。種子の運搬，航空機の飛行速度，パイロットの能力によっても，同様に変化する。おおよその散布可能な面積は40～60 ha/hである。

l. オペレーション・コスト

1983年，春，ジェネラル・エアースプレーにおいて

入札レート：散布地域の大きさによって3.73～4.07 \$/haである。

追加レート：パイロットの宿舎と食事の費用，航空機のガソリンとオイル代，管理費と輸送費

m. オーガー

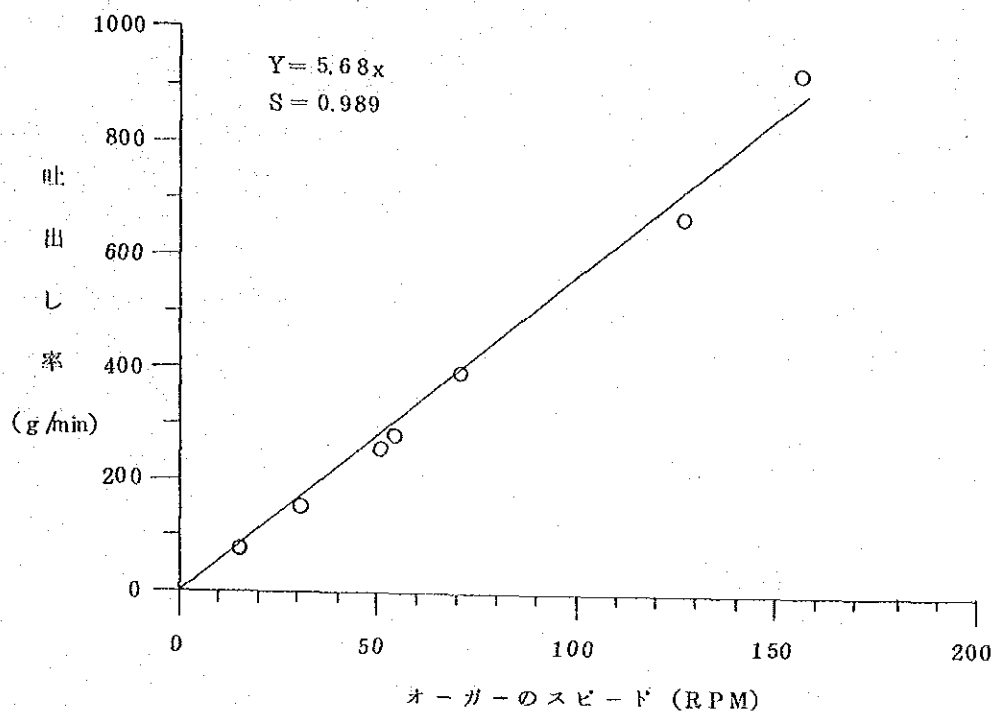
ブローム装置で最も重要な部分であるオーガーは種子を送り出す働きをしていて，回転数をかえることができ，吐出量を変えることができる。らせん状に目を切ったオーガーは種子の大きさにより，大きさとピッチを変更している。種子の大きさが変わればそれに適合するオーガーの製造が必要となるであろう。図17はオーガースピードと吐出量の関係を表わしたものの

表7-1 オーガーのスピードと吐出し率

オーガーの スピード (rpm)	平均吐出率 (g/畝)	吐出率の範囲 (g/畝)	変異係数
15	73.2	71.8 - 75.8	0.021
30	153.0	147.8 - 157.4	0.020
50	257.4	254.0 - 260.6	0.011
53	296.0	293.4 - 298.6	0.011
70	397.8	381.2 - 417.6	0.029
125	670.4	656.4 - 678.0	0.011
155	932.8	919.4 - 951.8	0.018

この吐出し率は20,000粒/ha～270,000粒/ha，15m間隔，飛行速度140km，
1gr当り種子粒数1106粒/gに対応するものである。

図17 オーガーのスピードと吐出し率の関係



7-2-3 Brohm式散布器 (ヘリコプター用)

(1) 散布器の概要

ヘリコプター用のBrohm式散布器は、前節の7-2-2で述べた固定翼機用のBrohm式散布器の前に開発されたものである。

1962年に、オンタリオ州の土地森林局の研究者によってBellミリーズヘリコプター搭載用として開発されたものである。

この散布器は、オンタリオ州の郷土樹種であるトウヒ類及びマツ類の散布を目的として設計されたが、幾度も改良が重ねられて、現在の固定翼機用散布器として完成した。

この旧式のヘリコプター用散布器は、62ポンドの重量で4つの主なパーツよりなり、種子を入れるホッパー、種子の吐出量を調整する計器、種子を散布するスリンガー、スリンガーを引込めるローワー機構をもっている。

種子を入れるホッパーは、スプレー散布に使用するベル社のタンクと同じ大きさである。計器はホッパーの底の部分に取付けられていて、そのユニットは機体の右側に取付けられている。フレキシブルチューブは、計量ユニットとスリンガーにつながれている。

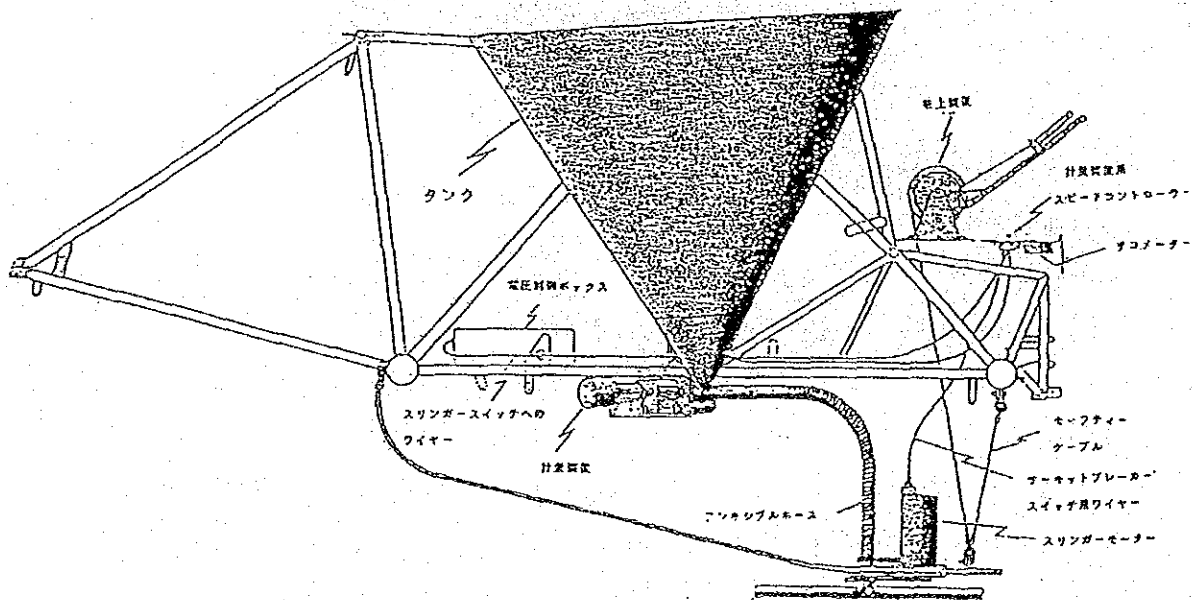
コントロールパネルは、通常ヘリコプターシートの上のカバーのあるところに取付けられている。このパネルは、計量装置のためのスピードコントロールと回転計を持っている。すべての計器とコントロールは、視認できる位置にあり、パイロットにより操作される。すべての電気装備は、航空機で使用するものからなり、サーキットブレーカー

によって保護されている。

ドラムとケーブルの引込み装置は種子を散布する時は、パイロットが航空機のすべての妨害物より下にスリッガーをおろすよう操作でき、着陸する時は引きこまされる。

種子の放出量と分散は、飛行速度、航空機の高度、種子の吐出率によって決まる。この散布器のオンタリオ州での実験では、60マイルの速度、150フィートの高度で、よい結果が出ることがわかった。これらのコンデションのもとで、エーカー当り20000粒のジャックパインの種子は、90フィートの巾で均等に散布され、ブラックスプルースの種子では、エーカー当り4万個の種子が、80フィートの巾で均等に散布された。調整は、他の要求に適合するよう簡単にできる。

図18. Brohm式散布装置(ヘリコプター用,ベル47シリーズ用)



(2) ベル47型ヘリコプター

ベル社が世界最初の商業用ヘリコプターとして、1946年春にOAA (FAAの前身)の型式証明を取得したベル47G-2型以来、日本では47D-1, G, G-2, G-2AおよびG3B-KH4を川崎重工がライセンス生産され、その総数は4000

表7-2 川崎ベル式47G3B-KH4型の仕様

製造会社		川崎航空機工業株式会社または川崎重工工業株式会社 (日)		耐空類別	普通N		
発動機		ライカミングTVO-435-AIA, BIA, DIAまたはDIB×1		出力	260hp		
回転翼		(主)金属製セミリジッド2枚羽根×1 (尾)金属製2枚羽根×1					
寸度	全幅	37 ft 15 in (11.32m)		面積	主回転翼	1,085.00 sqft (100.80 m ²)	
	全長	43 ft 7.5 in (13.30m)			尾回転翼	25.31 sqft (2.35 m ²)	
	全高	9 ft 3.663 in (2.84m)			主回転翼	34.27 sqft (3.18 m ²)	
	胴体全幅	9 ft 5.58 in (2.89m)			尾回転翼	2.40 sqft (0.22 m ²)	
	胴体全長	32 ft 7.25 in (9.94m)		主要装備品		VTR計器, VHF	
	ホイール トラック	7 ft 6.0 in (2.29m)		燃料	容量	55 USgal (208 t)	
	ホイール ベア				等級	最低グレード 100/130	
滑油	容量	10qt (9.5ℓ)		性能	航続時間		
	等級	SAE50~20			距離	315 mile (507 km)	
着陸装置		スキッド, 固定		重量	最大重量	1,794 lb (1,293kg)	
燃料消費量					自重	1,794 lb (814 kg)	
性能	最大速度	105 mph (169km/h)/海面上			積載量	1,056 lb (479 kg)	
	巡航速度	83~93 mph (134~150km)/5,000 ft			積載 可能量	乗組員	170 lb (77 kg)/1名
	上昇率	882 fpm (269m/min)/海面上				旅客	340 lb (154 kg)/2名
	実用上昇限度	20,000 ft (6,096 m)				貨物	
	ホバリング	地面効果内	16,150 ft (4,923 m)			燃料	342 lb (155 kg)/使用可能
地面効果外		11,390 ft (3,472 m)		滑油		19 lb (8.5 kg)/使用可能	

機をこえている。現在も農薬散布および訓練用に使われている。

川崎ベル式47G3B-KH4型ヘリコプターは4座席を有し、ターボチャージャー付、ライカミング・エンジン、TVO-435-基が装着されている。

エンジンはキャビンの後方、センター・フレーム中に垂直に取付けられ、2段遊星減速装置を持つ全減速比9:1のトランスミッションを通してメイン・ローターを駆動する。

トランスミッションはメイン・ローター以外にも適当な回転速度で、テール・ローター、クーリング・ファン、ジェネレータ及びローター・タコメータ・ジェネレータを駆動する。又、トランスミッションはエンジン始動時メイン・ローター等の荷動がエンジンにかからぬ様にして始動を容易にする遠心クラッチとエンジンが停止した時、オートローテーションを可能にするフリーホイーリング・ユニットを有している。

二枚、半固定型メイン・ローターはジバンバル・リングを介してマストの上端に装着され両端に垂錘を持つスタビライザーバーにリンクで連結されている。ローターの回転面の傾きの変化に比して、スタビライザーバーの回転面の傾きの変化が遅れることにより、操縦中及び突風時に於てローターの安定性を高める。

テール・ローターは二枚より成りテール・ブーム・エクステンションの右側で垂直面内で回転するように取付けられている。ペダルに連結されているケーブル及びリンク機構はブレードのピッチを変化させてメイン・ローターによるトルクを打消し、又、機首の方向を維持し、或は方向を変化させる。

胴体は鋼管構造のトラス型である。

着陸装置は引込み及び取外し可能のホイールを持つスキッド型である。

キャabinは透明なプラスチックでおおわれ、両側には取外し可能なドアが装着されている。

キャbin内の操縦系統はサイクリック・コントロール・スティック、コレクティブ、コントロール・スティック及びテール・ローター・コントロール・ペダルより成りたっている。

コレクティブ・コントロール・スティックの回転可能なグリップにより、飛行中メイン・ローターの回転数を規定範囲内にとどめるよう、メイン・ブレードのピッチと発動機出力を同調させるカムを介してスロットルを操作する。

キャブレタ・ヒート及びミックスチャ・コントロール・スイッチ及びその他必要なエンジン計器と飛行計器がキャbin内の2個のベデスタルに装備されている。

7-3 散布方法

航空機造林を成功させるためには、適地において、適正樹種を選び、適切な時期に、効果的な散布方式により散布を行うことが必要である。

このうち、散布方式については、種子が適正な密度及び分布で散布されることが最も重要である。

適正な密度は、単位当りの散布量と関連し、適正な散布量は特に林床の良否（地ごしらえ方法）に関連がある。

又、適正な分布は、主として散布器の性能及び作動と飛行方法に深い関連がある。

今回調査を行なったカナダにおいては、適正密度（散布量）と適正分布（苗木間隔、spacing）を得るための試験研究を Jack Pine, Black spruce 等に関して古くから実施しているので、その試験結果の概略を照会することとする。

なお、これらの試験は、先に述べたカナダで開発され世界的にも優れている Brohm 式散布器 / Piper PA-18A 固定翼機を使用して行われたものである。

7-3-1 散布量と地ごしらえ法

望ましい苗木密度は、種子散布量と林床の状況＝地ごしらえ方法に深い関連がある。

Great Lakes Forest Research Centre の L. F. Bilay 氏は、Jack Pine の苗木蓄積及び密度に与える散布量と林床状態の影響に関する試験を1973年より1975年にわたって実施し、"The effect of seeding rate and seedbed availability on Jack pine stocking and density in Northeastern Ontario" (1980年)として発表している。

本試験は、Brohm 式散布器/固定翼機を用いて行われ、Seeding availability については11の試験区、散布量については25,000粒/ha, 50,000粒/ha, 75,000粒/ha の3区分により散布を行い、着床数、苗木数を3年間記録した。

このうち、Seeding availability は、種子の着床・登芽・生育が可能である面積 (Receptive seedbed) の比率により11段階に区分が行われている。

試験結果は次のとおりである。

- a. 散布計画量は、名目的であり実際には着地量 (Receptive seedbed 以外への着地も含む) が問題であるが、最も得苗率がよく経済的なのは50,000粒/haである。10,000粒/haでは十分な苗木が得られず、30,000粒/haは苗木数は増えはするが増加率が急減し無駄が多くなる。
- b. 前生樹からの種子も含め、3年間かゝって成苗するものもかなりあるので注意を要する。
- c. 得苗率 (苗木の stocking) は、林床の状態と直接的に関連がある。
地ごしらえをしていない試験区では、非常に少ない得苗率しか得られない。
- d. 林床については、地ごしらえのコスト等との関連もあるが、20～25%程度の receptive seedbed が適当である。20%を割ると得苗率が急減し、25%を超しても増加率は少ない。

次に、同じく Great Lakes Forest Research Centre の Jacques Regniere は、1982年に苗木密度と地ごしらえ及び散布量の数式モデルを開発し、"A Probabilistic model relating stocking to degree of scarification and aerial seeding rate"として公刊している。

このほか、カナダでは、各種の地ごしらえ法 (火入れ、除草剤、各種の機械化地ごしらえ) と散布量に関する試験が広く実施されており、又、苗木の成立本数、分布の測定法、地ごしらえの評価法などの試験方法も著しく発達している。

7-3-2 種子の適正分布と飛行法等

適正な苗木間隔 (Spacing) を実現するためには、当然ながら種子散布がムラなく均一的に行われる必要があるが、分布の適正化は非常に難しく航空機造林における最大の挑戦

課題の一つといえる。

カナダは、航空機造林を主として伐採跡地の造林に利用し、産業用材の生産を目的としているため、治水緑化の場合と異なり、適正な種子分布のための散布方式の開発に努めてきた。

Brohm 式散布器は、動力がコントロールできるオーガーより種子を列状に送り出し、一定速度で回転するチューブ状の吐出し口により拡散投下するシステムを採用しており、一定の間隔に飛行方向に列状に散布できるようになっている。

カナダのオンタリオ州では、カナダ林野局 Great Lakes Forest Research Centre と州天然資源局と共同で、主として Jack Pine 及び Black Spruce について Brohm 式散布器 / piper PA-18A 固定翼機による試験を行っており、今では苗木の適正な Spacing の形成についてはかなりの成果を上げるに至っている。

種子分布は、前述のとおり散布器の性能と作動及び飛行方法と密接な関係があるが、カナダで行われた Jack Pine と Black spruce の試験結果の要約は次のとおりである。

(1) Jack Pine の種子分布に関する試験（詳細は Annex 参照）

本試験は、Great Lakes Forest Research Centre の F. F. Foreman and L. F. Riley により 1975 年に行われた。試験方法は、平坦地に 621 の種子受け (trap 52.1 cm × 52.1 cm) を置き、散布計画量は 25,000 粒/ha, 50,000 粒/ha, 75,000 粒/ha で投下されたが、結果は以下のとおりであった。

- a. Brohm 式散布器 / Piper PA-18A 固定翼機は、現在これ以上の散布器はなく、受容できる散布密度と分布を得ることが可能である。
- b. しかし、散布器の吐出し調整と飛行法に十分注意しないと、散布計画量と着地量との間に大きな差が生じるおそれがあるばかりでなく、播きむらを生じ易い。
- c. 散布器の吐出し調整は、1 g 当りの種子数（比重）、正確な吐出し調整、飛行コース間隔、航空機の飛行速度に注意して行うことが大切である。
- d. 散布直前に種子の粒数/g を再検すること。ホッパータンクをひだりに開けてはいけない。種子の相対湿度が変ることがあり、散布成績に大きく影響する。
- e. 散布器の調整インターバルを 15 秒から 30 秒に増加すること。
- f. 18 m のコース間隔で飛行すること。

種子の散布パターンは、飛行コースに敏感であるため、地上員のガイドが必要である。

g. 散布は、無風又は風速 5 km/h 以下で行うことが望ましい。

h. 散布量は、50,000 ~ 75,000 粒/ha 程度が良い。

(2) Black spruce の種子分布に関する試験

本試験は、上と同じく Great Lakes Forests Research Centre の R. L. Fleming, F. F. Foreman 及び J. Regniere により行われたが、オーガーのスピー

ドを15rpmから155rpmに段階的に変えることにより吐出し量を73.2g/分～93.2g/分に変えて散布密度及び分布の成績調査が行なわれた。

試験結果は次のとおりである。

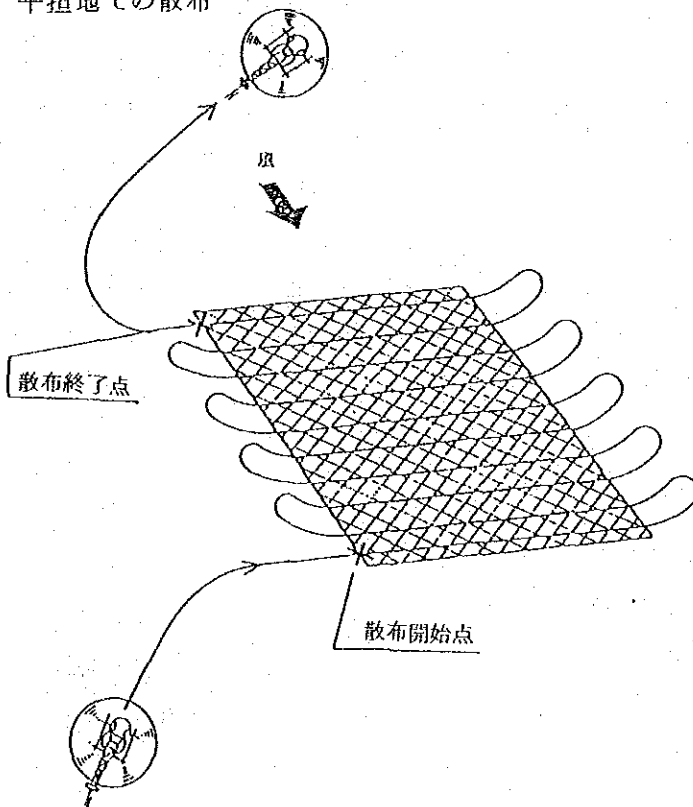
- a. 散布器の吐出し調整を正確に行い、計画散布量にできうる限り近づけること。
散布器は、調整前にあたためる必要がある。特に気温が10℃以下の時は注意を要する。
- b. 飛行コース間隔は15mが良く、地上からのガイドが必要である。
- c. 飛行コース方向の散布分布をよくするため、オーガーの回転速度は70～75rpm以下としてはならない。
- d. 地上1.5mの風速は、10km/h以下が良い。又、風速の変り易い日は避けた方がよい。
- e. 飛行高度は25～35m、地上速度は130～150km/hが良い。

以上、種子散布に際して、適正な密度及び分布を得るための地ごしらえ法、散布器、飛行法について述べたが、開発途上国では対象樹種、気候等も異っており、それらへの適応試験が必要である。

7-3-3 飛行方法についての一般的留意事項

飛行方法についての一般的留意事項について述べる。

(1) 平坦地での散布

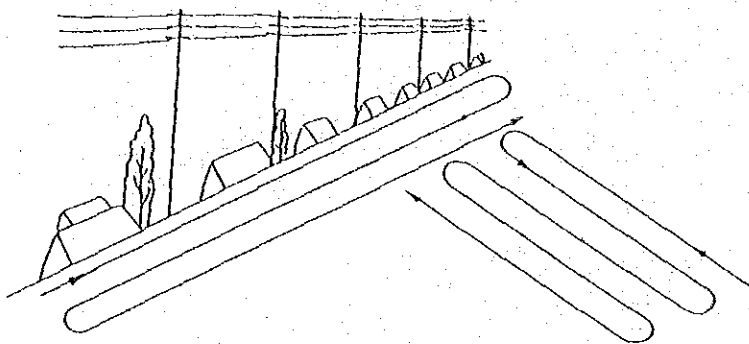


図に示すように、風向きに対して直角方向に、横風を受けるように飛行する。風下側から散布を始め、常に風上側に向かって旋回することを原則とする。薬剤を吐出しながらの旋回は、過剰散布・ドリット等の直接的な原因となる。

(2) 傾斜地での散布

傾斜地では、等高線にそっての飛行を原則とし、斜面沿いに下降しながらの散布は、ヘリコプターが発生する気流の関係で薬剤が沈下しにくいいため、下降散布が許されるのは15度以下の緩傾斜地に限り、25度以上の場合は斜面に沿った上昇散布又は斜め方向への上昇散布を反復する。

(3) 平行障害物周辺の散布



散布地域内を走る電線、交通量の多い道路など散布地に平行した障害物の周辺は、これと直角方向に飛行することを避け、障害物に平行に2～3回の散布を行ない、枕地をとるようにする。

(4) 狭隘地その他障害物附近の散布

谷津田のような狭い地形、入り組んだ複雑な地形、障害物のある場所など、散布飛行に制約のあるところは、調査飛行後の記憶が明瞭なうちに、積載量を制限して余裕のある状態で行なう。

(5) 散布飛行の気象条件

a. 風速制限

作業の種類	風速許容限度	備考
粉 剤 散 布	3 m / sec	地上 1.5 m 位置の平均風速
液 剤 散 布 粒 剤 散 布	5 m / sec	

b. 気象制限

- 凍結の予想される地域および高度
- 降雨のある場合
- 雷雨が予想される空域への飛行
- 特殊な地形および建造物によって乱気流が予想される地域への飛行
- 台風、前線等により飛行に悪影響を及ぼすおそれのある場合
- 氷、雪等が機体等に付着し飛行性能に影響を及ぼす状態の場合
- 霧が発生した場合

なお、ヘリポート及び陸上飛行場の立地条件はAnnexのとおりである。

7-3-4 散布時期

散布時期は、原則として気温等が種子の発芽、生育の適温等に達した時期とするのが適切である。

すなわち、種子の一齐発芽、早期生育が最も肝要であり、必要な温度、水分条件となる時期が適期といえるが、水分条件を左右する降雨の時期や量は確実に予測できないので、一般的には気温を適期のメルクマールとするのが温帯地域では常識である。

しかしながら、熱帯地域、特に乾季のある気候地帯は気温よりも降水、ないし乾湿度が重要な因子となる。

開発途上地域は、自然条件に幅があるので、立地条件別に散布時期を決定する必要があるが、特に重要と思われる関係因子は次のとおりである。

- a. 気温分布
- b. 降水分布
- c. 霜
- d. 土壌水分、特にミネラル・ソイル
- e. 植生、特に草本類の生育、生態
- f. 地ごしらえ、特に火入れ時期との関連
- g. 捕食動物の生棲密度

7-4 種子散布に関する技術開発の課題

種子散布に関して開発途上地域への適応のため、特に技術開発を要する課題は次のとおりである。

- a. 開発途上地域の種子に適する散布装置の開発改良
- b. 適正な苗木密度を得るための地ごしらえ法と関連した散布量の決定手法の開発
- c. 適正な散布密度及び分布を得るための散布器と飛行法の改良
- d. 散布時期の決定手法

8. 保 育

散布種子が着床、発芽、生育を始めた後の保育の主たるものは、追播、追肥、除草、間伐である。

a. 苗木密度と追播

種子散布後、苗木の成立本数を毎年調査し、目標密度に達しない場合には追播を行う。樹種によっては、発芽、生育の期間が長くバラつきがあるものもあるので注意を要する。

カナダでは、苗木密度の調査法として二つの方法を用いている。第1は、stocking 蓄積率で1 haを計測単位の quadrat (1 quadrat は 2×2 m, 従って、1 ha 当り 2,500 の quadrat となる。) に分け造林樹種が1本以上生育する quadrat の全体に占める比率 (%) で表わす。第2は、1 ha 当りの苗木の本数で density 密度という。例えば、stocking 67% の場合は、 2×2 m の quadrat 2,500 のうち 1,675 quadrat に苗木が1本以上あることを示しており、density は ha 当り 4,412 本あるとすると 1 quadrat 当り平均 2.6 本の苗木が成立したことになる。

すなわち、density は単に 1 ha 当りの成立本数であるのに対し、stocking は苗木の分布の状況を示しており、適正密度判定の基準となるものである。

苗木植栽造林の場合の植栽本数は、2,200本~5,000本とのことであったが、最近では 2,200 本植が多いとのことであった。

なお、カナダでは地ごしらえの方法と種子散布量との関係を重視し、各種の試験を行っているが、普通の地ごしらえの場合の散布量は 50,000 粒/ha であり、火入れの場合は 150,000 粒/ha が散布されていた。

b. 追肥、除草

苗木の生育の悪い場合の追肥、草木との競合がある場合には除草剤の使用が考えられる。カナダでは、灌木等に苗木が被圧される場合には、除草剤 (今でも 2,4 D の使用が許されている。) を使用している。

c. 間 伐

航空機造林の最大の欠点は、適正な立木密度及び立木間距離 spacing をとることが困難であり、過密林分になり易いことにある。

過密林分は、早期に間伐を行わないと成長量がダウンするので、比較的成長の良くないカナダのオンタリオ州でも7年目に間伐を実施している。

カナダの Jack Pine (*Pinus Banksiana*), アメリカの Lobloly Pine (*Pinus taeda*) は、自然淘汰により劣勢木が枯死するといわれるが、他の樹種には間伐が必要であり、アメリカではコスト高となるため、最近間伐問題が航空機による造林面積減少の一因となっている。

たゞ、前述のとおり開発途上国の場合には、地元住民の燃料採取に間伐材が利用されるので、問題はないと思われる。

9. 航空機造林のコスト

航空機造林のコストについては、コスト（インプット）と産出高（アウトプット）を比較する費用効果として評価することが本来のぞまれる。

しかしながら、造林にはその目的によって産業造林と非産業造林があり、非産業造林（水源林造林、山村住宅への燃料供給等の多目的造林）の場合はアウトプットの計算が複雑で費用効果として捉えにくい面がある。

航空機造林は、造林技術的には粗放な技術であって、製材、合板等の産業用材の生産には向かない面があり、非産業造林への適用の比重が大きいと考えられるので、ここではカナダにおける航空機造林を例にとり、その造林コストを苗木植栽造林との比較において検討することとした。

カナダのオンタリオ州における航空機による造林費は、立地条件により異なるがほぼ次のとおりである。

航空機造林の ha 当りコスト（カナダ）

		平均			
		カナダドル/ha	カナダドル/ha	usドル/ha	
地ごしらえ	除草剤	39 ~ 41	40	33	} 265
	火入れ	49 ~ 93	80	66	
	地がき	104 ~ 319	200	166	
植付	種子	45	45	38	} 42
	散布	2 ~ 8	5	4	
計			370	307	

(カナダドル/usドル=120%)

すなわち、航空機造林の場合、地ごしらえ費は林床の状況、特に末木枝条と土壌中の有機物層の厚さにより左右されるが、一応標準的な火入れ法である除草剤による低木、草本の処理、火入れ、機械による地がきを行うと平均して265 usドル/haとなり、それに種子購入費の42 usドル/haを加えた造林費は307 usドルとなる。

これに対し、苗木植栽造林の地ごしらえ、苗木代、植付費の合計は583 usドル/ha (700カナダドル/ha)が標準とされている。

造林の直接経費のみを比較すると、航空機造林は苗木植栽造林の5.3%となるが、苗木植栽造林は林道等のアクセスがなければ実行不可能であり、直接造林費に道路建設費を加える必要がある。

道路は、林内林道と到達道路（主幹線道路）に区分されるが、林内林道は造林事業の場合、ha 当り 20 m 程度が必要であり、建設単価を 25 us ドル/m とすると、ha 当りの建設費は 500 us ドル/ha となり、これに苗木植栽による造林費を加えると、1,083 us ドル/ha となる。

到達道路の ha 当り経費は、条件設定により差異があると考えられるが、仮に造林対象面積を 10,000 ha とし、到達道路延長 50 km、m 当り建設単位 200 us ドルとすると、ha 当り 1,000 us ドルとなり、これを上記に加えると 2,083 us ドルとなる。

すなわち、道路建設を苗木植栽造林の必要条件とすると、航空機造林は苗木植栽造林の 28%～15% の経費であり、極めて低コストと云える。

次に、ニュージーランドの高海拔地における航空機造林のコストは、20～30 us ドル/ha と極めて安い。これは、地ごしらえを行わないためであるが、ちなみに同国の苗木植栽造林のコストは約 250～300 us ドル/ha である。

又、Sowing forests from the air によると、アメリカでは航空機による散布費は 3.75～20 us ドル/ha であり、地ごしらえ費を除くと種子のコストが最大の経費となっている。（種子コーティングの経費は極めて安い。）

種子のコストは、マツ類の場合、ha 当り 50 us ドル（ha 当り 0.85 kg 散布）である。

アメリカの場合、航空機造林は対象面積が 200 ha 以上あれば経済的といわれている。

南部では、標準的にみて航空造林のコストは、排水の良い平地の場合、約 7 us ドル/ha、石礫等が多く苗木植栽が困難な荒廃の場合約 50 us ドル/ha、苗木植栽造林より安いとしている。

又、疎林や低質林などの林分改良造林の場合は、苗木植栽造林は高くつくが、航空機造林は作業もやり易く、コストも安くなると報告している。

以上が、先進国における造林コストのあらましであるが、次に、航空機造林と苗木植栽造林とのコストの内容等について述べたい。

苗木植栽造林の場合には、苗畑の造成、苗木輸送、林道作設、キャンプの建設等の資本投下を必要とするが、航空機造林の場合は、種子採取及び貯蔵、航空施設等に対する資本投下が必要となる。

開発途上国では、航空機は個人所有が多く、その調達に困難な場合が多いことにあらかじめ留意する必要がある。

これに反して、農業航空企業の多い国では、大きな資本投下は不要である。航空機サービスは短期契約で得られるし、種子の調達、調製も契約で可能などところもある。

開発途上国では、空軍が民間事業を行うことが多いので、その利用を考える必要がある。

なお、航空機造林では、必要種子量は苗木植栽造林の約 10 倍であり、種子調達にかなりの投資が必要である。種子の調達を確実にするためには、種子生産林を設定するとともに、林木の種子に結実週期があることを考慮し種子貯蔵施設を地域別に整備することが必要である。

10 各国における航空機造林の現状

10-1 アメリカ

10-1-1 航空機造林の沿革

アメリカでは、牧草及び農産物種子の航空機による散布技術が古くから開発されていたが、林木種子の散布に事業的に広く利用されるに至るかは1950年代に入って捕食動物の忌避剤が開発されてからである。

すなわち、1953年に数種の薬剤が鳥類が忌避材として有効であることがわかり、さらに1956年に市販の防虫剤が昆虫とげっ歯類から種子を保護することがわかって以来、南部のルイジアナ州を中心に大規模な航空機造林が飛躍的に進展した。

それ以来、1980年までに100分ha以上の人工林が航空機造林により造成された。

地域的には、北西におけるDouglas fir (*Pseudotsuga menziesii*)の造林、南部におけるlobloly pine (*pinus taeda*), slash pine (*P. elliottii*) Shohtleaf Pine (*P. echinata*), Virginia Pine (*P. virginiana*), longleaf pine (*P. palustris*), 中北部の五大湖周辺のJack pine (*P. Banksiana*) 等である。

又、Black locust (*Robinia Pseudoacacia* ニセアカシア)が南部の鉱山跡地に広く造林された。その他、多くの樹種、大部分は針葉種が航空機造林の対象樹種となったが規模的には大きなものは少ない。

地域的にも太西洋沿岸からメキシコ湾岸地域、太平洋岸の山丘地帯まで広範囲にわたって、航空機造林が実行された。

特に南部においては、1950年代に洪水、竜巻、山火事等による荒廢地、鉱山跡地のほか、広葉樹の低質林が広大に分布していたこと、第二次大戦後木材需要が急速に増大したにもかかわらずアメリカ東部の需要に対し同国の最大の木材産地である西部からの供給が追いつかず、輸送距離の短い南部からの供給が強く要請され、政府も南部における造林を促進したことなどから、マツ類を中心とする大造林が南部において進展した。

このような背景の下に、航空機造林は大規模造林の推進役としての役割を果たしたが、特に航空機造林が効果的な成果を収めた地域は次のようなところである。

- a. 山火事、昆虫、洪水、竜巻、台風等により荒廢した林地
- b. 伐採跡地又は、商業樹種の蓄積の少ない低質林
- c. 植栽用機械が使えない浸水地
- d. 奥地
- e. 露天掘鉱山跡地

露天掘の鉱山跡地は、岩屑、礫が多く苗木の植栽造林には不向きであり、航空機造林が目ざましい効果を上げ、素晴らしい生長を示した。ヘリコプターにより散布された種子は、

岩石により保護されて生長し、その後石礫の風化、植栽木からの有機物等により土壌も年とともに改良された。このような鉱山跡地は、土壌が新しく雑草、動物も少いので種子の散布造林は極めて有効である。

地表植生は、密生する雑草から価値のない灌木までであるが、種子散布は多くの場合、伐採事業又は山火事の直後に行われ成功した。

もっとも、伐採後40年も放置され灌木にカバーされた林地も航空機造林で成功した例もある。

航空機造林を行う事業体は、当初は木材産業であったが、その後小面積所有者も加わった。アメリカ全体における1960～1980年代の年造林面積のうち4～18%が航空機造林によるものであるが、州別には50%を超える州もある。

南部では、1950年代以来約120万haの直播造林(主として航空機造林)が行われた。例えば、手播き及びトラクタ索引の播種機による直播造林を含めると、1977年には41,000ha、1978年には32,000haが実行された。

中北部の五大湖周辺の州の航空機造林は、南部及び西北部に比べて遅く始まった。

カナダと同様Jack Pine (*Pinus Banksiana*)が中心で、Black spruce (*Picea mariana*)も小面積実行されている。その他の*Picea spp*と*Abies spp*は成長がおそく見込みはないが、Red Pine (*Pinus resinosa*)は直播造林の有望樹種である。

以上のように発展してきたアメリカの航空造林も、1970年代に入って実行面積が減少し始め、1988年現在ではほとんど行われておらず治山造林に限られるに至っている。

今回の調査で妨げたワシントンD.C.のアメリカ林野局Forest Serviceの航空機造林減少についての見解は次のとおりである。

- a. 南部における大規模造林計画がほぼ終了に近づいたこと。
- b. 自然保護等の要請から伐区面積が20haに規制されたこと。航空機造林は、200ha以上の面積規模がないと経済的でないとされる。
- c. 企業等は、近年高級材である製材、合板用材(Sawn timber)の生産を目的とする集約的林業を指向しており、航空機造林は立木密度、spacingの不適性、間伐の困難性等からコスト高、製品安となって採算に合わない。
- d. 企業等は、採種圃からの優良種子を利用しており、航空機造林には種子量が不足する。
- e. 捕食動物の忌避剤であるEndrin等が最近使用禁止となった。

以上要するに、アメリカでは林業が自然環境保全と高収益林業という集約な段階に至ったことを示しているといえよう。

10-1-2 航空機造林技術

以下、アメリカで開発され、適用された航空機造林の技術についてふれることにする。

a. 忌避剤等の開発にコーティング方法

前述のとおりアメリカでは、捕食動物の忌避剤の開発が、航空機造林の進展に大きく

寄与した。

防虫剤である Endrin はげっ歯類をはねつけ、昆虫を殺す性質があり、種子の周りに薄くコーティングして用いる。Endrin は、他の用途では使用が禁止されているが、航空機散布の場合には ha 当たり約 5 gr と量も少くラテックスで種子に固定され林地に広く散布されるためほとんど害はないという理由で多くの州で使用が許可されていた。

(ただし、1988年現在は連邦法で禁止となった。)

又、普通の殺菌剤である Thiram は鳥類の忌避として用いられるが、種子に固くコーティングを行い鳥の捕食ができないようにして使用している。この薬にはその使用に当って規制があり、適正に使わないと植物毒性がある。

種子のコーティングはラテックス(粘着材)により行い、散布装置等における滑りをよくするため潤滑材としてアルミニウム・パウダーを用いる。アルミニウム・パウダーはある鳥類の忌避剤でもある。

ルイジアナ州にある合衆国林野局のコーティング種子の作成法は、次のとおりである。このコーティングは、種子の散布前に造林現場が簡単に行う。

- ① 1kgの Endrin を1kgの Thiram に加えてかき混ぜる。
- ② ベンキ攪拌器で強くかき混ぜる。
- ③ 700 ml の粘着材のラテックスを他の1kgの Thiram に加える。
- ④ 二つのカンの溶液をカンからカンへ約10回注ぎながらブレンドする。
- ⑤ ブレンドした忌避剤を小型のコンクリートミキサーに入っている種子の上に注ぎ、2分間回わす。
- ⑥ アルミニウム・パウダーを一匙ミキサーに加えて、さらに数分回転する。
- ⑦ コーティングされた種子を数時間乾燥するためにミキサーより出して拡げる。

この簡単なコーティング法は、3人で1日3トンの工期である。

b. 地表植生

前に述べたとおり伐採跡地や山火事跡地では地表植生を抑えるため、伐採等の直後に成る可く早く種子散布を行うことがのぞましい。

密生した雑草が林床にある場合には、そのままでは散布種子が地上にとどかないし、たとえ地上にとどいても水分、養分のための競合がはげしいので、種子散布は難しい。

広葉樹の優占する材地は、地表植生は比較的抑圧が可能であり、散布樹種が陽樹であれば広葉樹そのものも除草剤で枯殺できるので、種子散布は容易である。

c. 湿地

湿地は、種子が水中に落ちるため種子散布は不可能である。湿地に散布する場合は、ディスクにより水位より畝上げを行い、乾いたところに散布する。

d. 土 護

砂質土護は、乾燥し易いので避けるべきである。ただし、地上散布の場合で1cmの深さに種子を埋めれば、砂質土壌又は多湿土壌でも可能である。

中北部と太平洋岸の西北部の土壤は、一部腐植しない有機物の厚い層がある。この層は乾燥が早く苗木の幼根が下の水分の多い土壤層にとどく前に枯死する。このため、このように土壤では、火入れか、機械的地がきによりミネラルソイルを露出する必要がある。

又、西オレゴンでは、火入れの跡地は夏季に土壤温度が60℃に達し、種子散布は不可能である。しかし、カラシ (*Brassica juncea*) の種子を造林樹種と一緒に少し播くと、生長の早くカラシがエロージョンと土壤温度を減じ、又カラシに被陰されて *Douglas fir* (*Pseudotsuga menziesii*) が発芽し生育する。

e. 散布時期

散布時期は、極めて重視されるが、通常11月中旬から12月中旬か、2月中旬から3月中旬に行われる。種子は、発芽促進のため必要に応じ前処理が行われる。

10-2 カナダ

10-2-1 航空機造林の沿革

カナダで航空機造林のプロジェクトがオンタリオ州で開始されたのは、1930年代といわれるが、実際に事業的な試験が行われるようになったのは、1962年にオンタリオ森林研究所(メープル市)がブローム式航空機種子散布装置を開発してからである。

この装置は、特に林木種子の散布用に設計されたもので固定翼機とヘリコプターの両方からの散布が可能であり、現在オンタリオ州で最も広く普及している装置である。

この装置の開発により航空機造林は、カナダの中央部のオンタリオ州及びケベック州で飛躍的な発展を見るに至った。

すなわち、当初航空機造林は、地形上の理由から苗木による造林の困難な地域や遠隔地で行われていたが、近年苗木の生産及び植栽経費が上昇したこと、Jack Pine の航空機散布に成功したことなどのため、航空機造林は急速に普及し、今やオンタリオ及びケベックの2州の北部では伐採跡地の造林にかなり広く利用されるに至っている。

オンタリオ州の航空機造林面積は、1962年には560 haであったが、1978年には20,000 haに達した。又、同時期にケベック州では7,000 haに増加した。

この2州に比べ他の州は遅れており、アルバータ州、サスカチュワン州、マニトバ州、ニューファンドランド州が試験段階の現状にある。

樹種は、オンタリオ、ケベック2州のJack Pine が最も成功しており、このほかでは、White Pine (*Pinus glauca*) 及び Lodgepole Pine (*P. contorta*) が成功し、White spruce (*Picea glauca*)、black spruce (*Picea mariana*) はやや劣る状況にある。

カナダにおける航空機造林の発展の原因は、同国の北部(北緯50°近い)に広大な未開

発な奥地林があり、立地的に航空機造林の適地が多いという条件があるばかりでなく、航空機造林に関する各種の技術開発が政府の主導により積極的に進められたためと考えられる。

その技術開発の主たるものは、次のとおりである。

a. ブローム式航空機種子散布装置 (Brohm Aerial Seeding Unit)

1962年に開発されて以来、改良を重ねて今日に至っているが、7章で詳述したとおりスリンガータイプの吐出装置が良く工夫され、航空機造林の最大の欠点といわれる不適正な散布密度及び spacing を防止できる種子散布が可能といわれており、後に述べる種子散布量の決定手法等と併せて、過密林分は生じないといわれている。

b. 地ごしらえ技術

カナダでは、亜寒帯のため土壌の有機物層が厚く、伐採跡地のため末木枝条が多いため、散布種子の着床条件を改善する地ごしらえ技術の改良が、北欧等からの機械導入も含めて積極的に図られてきた。

すでに述べたとおり、火入れ地ごしらえマニュアル (Prescribed burn) の確立と大型機械による地がき技術の確立が技術開発の大きい成果である。

c. 地ごしらえに対応した種子散布法

各種の地ごしらえに対応した種子散布量及び散布方法 (飛行法等) の試験が広く行われ、地ごしらえと種子散布法の技術体系が確立されつつある。

a の散布装置の改良とともに、適正な散布密度と spacing を得るための高度な技術開発である。

d. 苗木ダートの開発

6章で述べたとおり、1970年、ブリティッシュ・コロンビア州の州立大学において苗木用のダート及びその散布装置が開発され散布試験が行われたが、その後中断している。

e. 種子ダートの開発

6章で述べたとおり、1976年より林野局の援助を得て国立航空研究所が、種子のポットをダートにしヘリコプターより散布する技術を開発し、実用試験が行われた。

30～50%の成功率であったが、活着率向上を目的として現在ダートの構造の改良について検討中である。

10-2-2 航空機造林技術

カナダにおける航空機造林技術に関する重要な技術開発については、前節で述べたのでここではその他の技術についてふれることとする。

a. 航空機のタイプ

オンタリオ州では、固定翼機が一般的であるが、ケベック州ではヘリコプターが多い。その違いはパイロットの好みによるものであり、技術的なものではない。

b. 土 壤

有機物層の厚い土壌ばかりでなく、土壌が浅く岩石が多いオンタリオ州、ケベック州の土壌の航空機造林も行っている。又、ニューファンドランドの玉石の多い林地、植生が少く砂質の崩壊土壌等においても航空機造林は成功している。

又、氷河時代にトップソイルが削られた薄い土壌(Laurential Shield)の航空機造林も行っている。

c. 散布時期

冬又は早春に散布し、隔雪とともに発芽するようにしている。秋に散布する場合は、ある種子にとっては発芽前処理にもなり都合が良い。

なお、山火事又は火入れの直後に散布する場合もある。火入れは、地表の末木枝条はもちろん土壌の有機物層を除きミネラルソイルが十分露出するようになることが望ましい。

d. 忌 避 剤

捕食動物、鳥類、昆虫に対する忌避については、州により異なるが余り使用されていない。今回の調査でも、散布種子は潤滑材のアルミニウム・パウダーとのコーティング(時に殺菌剤をコーティングすることもある。)のみであるとのことであった。

なお、Endrin はオンタリオ州では使用禁止である。

又、種子が小さいほど動物に食われないというのがカナダでの定説である。

10-3 ニュージーランド

ニュージーランドでは、1940年代に牧草の航空機散布技術が発達し、今日では特に丘陵地帯において農牧畜用の種子及び肥料散布に広く利用されるに至った。航空機農業は、今や一大産業となっており、年間200万トンを超える肥料散布が行われているが、林業に応用されたのは、1960年代になってからであり、同国の林野局により奥地山丘林の治山造林に始めて用いられた。

その後、教種の固定翼機及びヘリコプターが利用され、各種の林木種子及び林業肥料用の散布装置も開発されて、航空機造林は大きく進展した。

ニュージーランドでは、航空機造林は低地では用いられず、専ら高地の保安林のエロージョン防止事業に利用されている。ニュージーランドの山岳地帯は、年令的に若く急峻で浸食を受け易いばかりでなく、放牧、火入れにより地表植生が失われた。

最適樹種は、北米原産の lodgepole pine (*Pinus contorta*)で、標高1,500mまでの造林に適している。

航空機造林の初期の試験段階では、lodgepole pineの単独散布が行われたが、試験地が極端なやせ地で自然条件もきびしく、種子の発芽、生育は見られたものの、冬期に25cmも

の霜柱に根が持ちあげられほとんどの苗木が枯死する現象が観察された。たゞ、石礫、葉枝、草本、低木等のある箇所では、苗木が生存したことも観察され、これより林木種子、牧草又はマメ科草本及び肥料の混播技術が開発された。

草本類は、霜柱を減らし、窒素固定により養分を供給し、地表温度を均等化し、浸食を防止するなどの多くの機能がある。

肥料は、過磷酸肥料であるが、その使用量には注意が必要で、少なすぎると草本が育たず造林樹種の苗木が霜のため枯死、多すぎると草本が密生して苗木を被圧する。過磷酸肥料の施用量は対象地により異なるが200～600kg/haである。ちみみに、マメ科植物の年間の窒素固定量はおよそ50～100kg/haである。

現在までの事業成績を総合すると、土壌条件については、ある程度表土があり薄い草本がある場合が最も良く、石礫の多い土壌は中位、コンパクトで浸食を受けた下層土は霜害のため最も成績が悪いとされている。

ニュージーランドの航空機造林は、世界の他の地域においても適用可能と思われるが、同国の技術は降水が年間を通じてある気候条件に適しており、長い乾季がある地域では、牧草又はマメ科草本と林木との間に土壌水分に対する競争を生じ、造林は成功しないといわれている。

なお、ニュージーランドで使用されているマメ科草本は、trefoil (*Lotus Pedunculatus*) White clovers (*Trifolium repens*) 及び Perennial lupin (*Lupinus Polyphylus*) であり、牧草は、Yorkshire fog (*Holcus lanatus*), browntop (*Agrostic tenuis*) 及び fescue (*Festuca rubra*) である。

10-4 オーストラリア

10-4-1 航空機造林の沿革

オーストラリアにおける航空機造林は、1960年頃に少数のユーカリ類 (*Eucalyptus regnans*, *E. delegatensis*, *E. nitens*, *E. globulus*, *E. viminalis*, *E. oblique*) と Monterey Pine (*Pinus radiata*) について試験的に始められた。

同国では、それ以前から伐採跡地の更新に当り、火入れと地ごしらえを行ったのち、手播き又は手持ち散布器 (Pepperpot) により直播きを行う造林法が用いられてきた。又、手播き造林法は、*E. cladocalyx*, *E. cornuta*, *E. gomphocephala* 等による農牧地における防風林防護林の造成にも用いられてきた。

したがって、直播き造林におけるユーカリ類の種子の特性は、播種前処理、播種時期、草本、その他とうり競争、昆虫、鳥類その他の動物からの保護、苗木保護のための防護柵設置の必要性等はよく知られており、報告書も出されている。

オーストラリアにおいて航空機造林が利用されるに至った理由は、特にニューサウスウ

エールズ, ビクトリア, タスマニアの南東部の3州において, 木材産業が奥地の山丘地帯に移動したためである。この地域には, 優良樹種, 特に *Eucalyptus regnans* と *E. delegatensis* の純林があるが, これらの樹種は日照のある皆伐跡地でなければ更新しない。

毎年大面積の伐採跡地の更新が必要であるが, 火入れ及び播種に適する天候条件となる時期は限られているため, 人力による種子散布は困難であり, 又適期をはずせば低木が生長するばかりでなく末木枝條の腐植により完全な火入れが不可能となり良好な林床が得られなくなる。

航空機造林は, 短期間の火入れ及び散布の適期に対応できるという柔軟性があるほか, 大面積の種子散布が可能である。

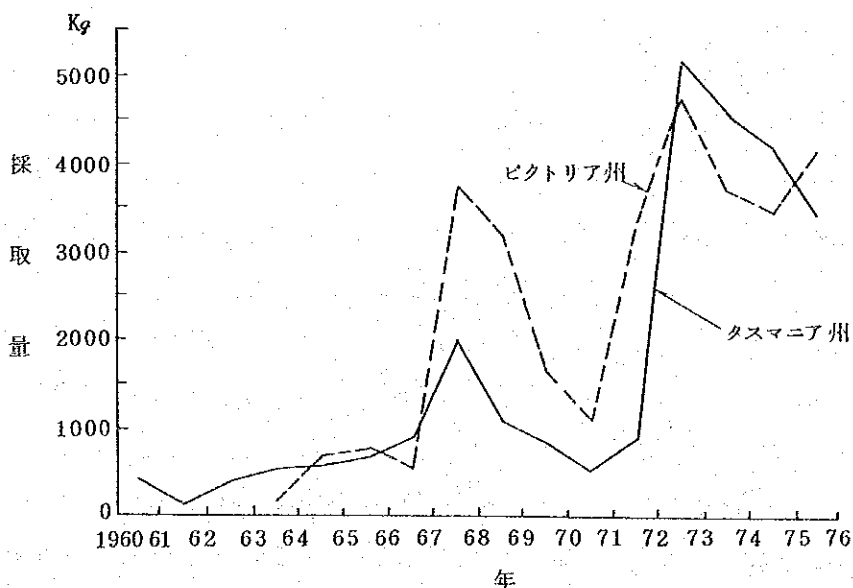
オーストラリアでは, 1980年時点で毎年8,000~12,000haの航空機造林を行っているが, その造林マニュアルも確立されており, 失敗も少ないといわれる。

なお, 低地のユーカリ林の更新は, 群状択伐又は, 傘伐作業の天然更新により行われている。

又, *Pinus* 及びその他の針葉樹については, 拡大造林及び二次造林を目的として航空機造林が試験的に行われたことがあるが, 散布種子がげっ歯動物に捕食されること, 採種園種子は高価であること, 間伐がコスト高となること, 造林対象地が比較的苗木植栽造林に適したところが多いことなどから, 針葉樹の航空機による造林は行われなくなった。

先に述べたとおり, ユーカリ類の航空機造林は, 伐採地の奥地化に伴って1960年頃開始されたが, パルプ材の日本等への輸出が拡大し, 大面積皆伐による伐採事業が盛んになったのは1965~70年頃からである。

図19 オーストラリアにおけるユーカリ種子採取量 (kg)



(注) ビクトリア州, タスマニア州 の採取量である。

出所: Eucalyptus seeds

伐採事業の発展に伴って航空機造林のための種子の需要が著しく拡大した。図19は、ビクトリア州及びタスマニア州における州直営の種子採取量の推移を示すが、年々採取量は増大し両州共に年間4,000～5,000kgに達している。（民間からの購入種子は含まれていない。）

10-4-2 航空機造林技術

オーストラリアにおける航空機造林の技術は、先進国の多くがマツ類、トウヒ類等の針葉樹を対象樹種としているのに対し、同国原産の広葉樹であるユーカリ類を対象としているところが特徴的である。

ユーカリ類は、今や開発途上国における最も重要な造林樹種となっており、乾燥地、やせ地等にもよく適応する樹種も多いことからこれら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。

オーストラリアでは、カナダ等で発達した針葉樹種の散布技術のうち、特に散布装置等のハードな技術を導入し、種子のサイズの小さいユーカリ類の散布向けに改良するなどの努力が払われたとのことであるが、ユーカリ類の航空機造林技術は今後開発途上国における航空機造林の技術開発に寄与することがあると考えられる。

オーストラリアのユーカリ類の航空機造林技術については、Annexに示されるとおりかなりの文献、報告書があるが、未入手であるため、今回の調査で入手できた情報により記述することにとどめたい。

a. 航空機造林マニュアルの概要

山岳地帯のユーカリ類の航空機造林は、非常に簡単な方法である。それは天然更新法とプロセスは類似しており、天然更新の場合、定期的な山火事（人為又は雷による）が林床を整へ高温により果実が開き種子が落下して発芽、生育するが、航空機造林のプロセスは次のとおりである。

- ① 日光が地表に到達するように樹冠を伐開する。
- ② 伐採跡地の末木枝条，地表植生を火入れにより燃却し，ミネラルソイルを露出させて好ましい林床を整備する。
- ③ 適正な種子量を散布する。
- ④ 種子は発芽テストを行いカオリン，防虫剤，殺菌剤，着色剤（着色剤はパイロットと地上の誘導員のための目印となる。）をコーティングしベレットにする。

（なお，タスマニア州ではベレットにしない。）

なお，ビクトリア州の林野局は，散布量，散布方法等を含む航空機造林の詳細な手引書を公刊しているといわれる。

そして，航空機造林のポイントは，適切に加工された種子を，適切な時期に，適切に整備された林床に散布することであるとしている。

- b. 航空機は、固定翼機が一般的である。
- c. ビクトリア州では、種子抽出機の改良が行われた大量の種子抽出が可能となった。
- d. 主要造林樹種（採取量の多い樹種）ビクトリア州
 ビクトリア州 …………… *Eucalyptus regnans*, *E. delegatensis*
E. obliqua
 タスマニア州 …………… *E. regnans*, *E. delegatensis*
E. obliqua, *E. globulus*
- e. 種子の価格については、*E. nitens* は種子の結実が少く、*E. camaldulensis* は定期的に結実し、しかも多産であるため低価格である。
E. nitens は価格が高く、種子も少いため苗木植機造林が一般的である。
- f. 航空機造林の発展により多くの樹種について種子の需要が増大し価格も上昇しておりより効率的な種子の利用が要請される。
Eucalyptus delegatensis の場合、地ごしらえを行った林地への散布量は1 ha 当たり900 gr であるのに対し、苗木植栽造林に必要な苗木を生産するための種子量は1 kg 当たり20 gr であり、約45倍の種子が必要である。
- g. 人工林からの種子採取
 ユーカリ類の人工林の伐期が短く、商業的な種子採取ができるほどの結実はない。
 又、一般の人工林は、立木密度が高く、大量の種子生産は困難であり、種子採取林の造成が必要である。

10-5 日 本

航空機による種子散布が行われたのは1963年であるが、当初は林道等が少なく資材等の搬入が極めて困難な山奥の治山事業、主として荒廃地の緑化用に使用されてきた。

1970年代に入って山林の労働力は急激に減少し、林業分野でも省力化の要請が一段と高まる一方、水質保全、環境保全等の問題とからんで水源地帯の荒廃地の早期緑化が強く求められるに至った。

このため、北海道有珠山や長野県御岳山の災害復旧に見られるように、大規模かつ緊急な緑化が航空機を利用して行われるようになったが、あくまで治山事業の範囲に限られており、一般の造林事業には使用されていない。

わが国における造林事業は、民有林はもちろん国有林においても伐区面積の規制等から面積規模が小さいので、今後ともこの分野での航空機造林の発展はないと考えられる。

治山事業における航空緑化事業は、荒廃地などを緑化する手段として、草木本種子その他の緑化材料を航空機によって運搬し、空中から散布する山腹緑化工であり、地理的、地形的な制約があり、又省力化、緊急性等を主眼として計画、実施される場合が多い。

山腹緑化工は、地形も急峻で浸食、崩壊等により土壌養分も極端に少ない荒廃地を対象とするため、植生導入が困難な場合が多く、林木の種子のみでなくやせ地に強い草本種子、肥料、浸食防止剤、土壌改良剤、粘着剤、忌避剤、中和剤等、種子の着床、発芽、生育を確実にする補強的な散布材料を混合水に入れて散布が行われる。

又、対象地は地形も複雑で小面積に分散している場合等が多い。このため、航空機については機動性が高く積載量も大きいヘリコプターが主として利用される。

又、散布装置については、開発当初は農業肥料等の散布に用いた装置がそのまま利用されていたが、山腹緑化では多種類の散布材料を混合水として散布すること、一時に大量の吐出が必要であるため、徐々に改良、開発が行われ、現在ではそれに適合した独特の型式のものが使用されている。

現在用いられている装置は大別すると次の2種がある。

- a. 機体の下部にバケットタンクを吊り下げたもの …………… 吊下げ式散布装置
- b. 機体の両脇にホッパータンクを抱えたもの …………… 横抱き式散布装置

aのバケットタンクを吊下げる装置は、bの横抱式のホッパータンクに比べて材料の投入混合が容易であり、大量の吐出しも可能で能率的であるため、日本における治山事業のように多種かつ大量の材料を散布する場合に多く使用される。

これに対し、bの方式は散布する材料が1種類、又は数種類であっても形状、性質等がほぼ同一で、その材料を広い範囲に散布する場合に用いられる。すなわち、肥料、農業、種子等を単独に広く散布する拡散性の優れた装置で、このホッパータンクには通常散布材料の性状に応じて、粒剤散布装置（種子肥料等）、粉剤散布装置（薬剤）、液剤散布装置＝噴霧装置（薬剤）等の特殊な装置をタンクの吐出口に取付けて使用することが多い。（カナダ、アメリカの種子散布は、この装置によっている。）

以上が日本における航空機散布装置の開発の状況であるが、この他、航空緑化計画作成に必要な基礎的調査法、立地区分方法、導入植物の選定、散布手段、散布材料、施工時期、緑化基礎工などについて、技術開発が行われ一連の技術体系として確立されている。

なお、航空緑化の技術体系については、日本治山治水協会より「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。

10-6 インドネシア

開発途上国では、直播造林の例は後述のとおり見られるが、航空機造林の試験例は極めて少く、その記録も残っていない。

インドネシアでは、1970年代にジャワ島のアランアラン草原（*Imperata cylindrica*）における実験例があり、その実験結果も報告されている。

a. 中部ジャワの Balapulang の実験 (1972年12月)

- 面積 370 ha
- 降水量 2,500 mm (60 mm以下の乾季が3カ月, 100 mm以上の雨季が8カ月)
- 土壌 浸食のはげしい grumusols (Vertisols), regosols, Red Mediterranean soils (alfisols) の複合, 基岩は泥灰岩, 石灰岩
- 植生 灌木, Mimosa spp. の混交した Imperata Cylindrica の草原
- 地ごしらえ トラクタによる耕耘, 刈払い, 火入れ及び無地ごしらえの4試験区
- 散布種子 次の種子の混播
 - Sesbania grandiflora (発芽率 42%)
 - Leucaena leucocephala (" 70%)
 - Calliandra calothyrsus (" 37%)
 - Acacia auriculiformis (" 不明)
 - Dalbergia spp. (" 70%)
- 散布量 平均 24.8 kg/ha を航空機散布

試験結果は, 表10-1のとおりである。

10カ月後の苗木密度 (stocking percentage とあるが, その定義は不明) は, トラクタによる耕耘区 89.4%, 火入れ区は 73.8% であった。

7年後の ha 当り立木本数は, 表10-1のとおりであるが, 林地は樹木により覆われ, 浸食は止まり, 地ごしらえを行った試験区では腐植層の形成が見られた。無地ごしらえ区は成功しなかった。

b. 東部ジャワの Lawu の実験 (1972年11月)

- 面積 65 ha
- 降水量 1800 mm (4~5カ月乾季)
- 標高 800 m 傾斜 35°
- 土壌 火山堆積 lithosols と赤褐色 Latosols の複合
浅く, 透水性が悪く, 薄い腐植層がある。
- 植生 Lantana camara, Eupatorium pallenscens
(E. inulifolium), 牧草と混交した
Imperata cylindrica の草原。
- 地ごしらえ 鋤で掘起し, 刈払い, 火入れ, 無地ごしらえの4試験区
- 散布種子 Acacia auriculiformis (発芽率 50%)
Calliandra spp. (" 50%)
混播
- 散布量 53,000粒/ha

表10-1 インドネシア中部ジャワ Balapulang の実験例 (1972年12月播種)

樹種	ha 当り 散布量	成 功 率 %			立木本数 7年後 (ha 当り)
		1年後	2年後	3年後	
<i>Sesbenia grandiflora</i>	101,200	14.0	0.8	0.7	272
<i>Leucaena leucocephala</i>	117,300	15.7	14.0	13.5	9,964
<i>Calliandra calothyrsus</i>	15,400	16.6	18.5	18.5	1,742
<i>Acacia auriculiformis</i>	8,500	26.0	13.5	13.4	248

出所 Hadipoernomo, 1979

表10-2 インドネシア東部ジャワ Lawu の実験例 (1972年11月播種)

樹種	成 功 率 平均最高名高 (m)	成 功 率 平均最高樹高 (m)	蹴 掘 越 し	火 入 れ	無地ごしらえ
<i>Acacia auriculiformis</i>	23.9 %	0.89	46.7 %	0.95	50.0 %
<i>Calliandra calothyrsus</i>	13.4 %	1.29	18.4 %	1.69	28.5 %

出所 Soemarna and Sudiono, 1974

1973年10月(1年後)の結果は、表10-2のとおりであり、無地ごしらえ区が最高の成績を示した。

報告書は、以上2つの試験地の結果から次のことがいえるとしている。

- ① ジャワにおける *Imperata cylindrica* の優占する地域の航空機造林は成功した。
- ② 第1の試験地では、ha 当り 24.8 kg の多量の種子を播いたが、10ヵ月後の平均苗木密度は 75~90 % であった。
- ③ 地ごしらえについては、トラクタによる耕耘は火入れよりよい結果を示した。鍬による掘起こしは結果が良くなかった。無地ごしらえは、変化が大きかった。
- ④ 樹種については、最も有望なのは、*Leucaena leucocephala* と *Calliandra Calothyrsus* である。

Sesbania grandiflora と *Acacia auriculiformis* は播種直後の生育はよいが、年とともに枯死量が多くなる傾向がある。

10-7 中 国

中国では1956年広東省で航空機による種子散布を実施して以来1983年まですでに200万ha 実行したが、その基本的考え方を要約すると、

- a. 航空機散布は土地を整地しないで種子を散布し苗木を自然のままに生長させる。
- b. 自然条件が散布、苗木生育に適した場所を選定して行ない、条件の悪い処はさける。
- c. 計画的実施
- d. 空港の位置、気候、人材養成、飛行条件を充分調査した上実行する。
- e. 散布種子については充分検討を加える。
- f. 作業中には入山を禁止する。

以上の基本にもとずき具体的にはまず第一に播種場所を選定し、次に飛行に適した地形を選び、最後に社会経済条件に適した場所で行うこととしている。

散布種子には木本類と草本類の種まで、対象となる種類が数十種に及びその中から数種を選んでその地域に適した種子を散布する。

播種時期については温度と水分量を充分考慮して実施する。

実施した範囲は中国全土に及んでおり、広東省を初め広西省、陝西省、江西省、湖南省、広南省、四川省、湖北省などの荒廃地、草地などで実施されているが地床、気候条件の差異もあって成果はさまざまである。これらの実施地域のうちには黄土地帯を含んでいるが、この地域の造林は治山緑化の性格が強い。

次に、中国では航空機による種子散布についての研究論文の発表が数多く行なわれているが、中国林業科学研究院の王非風、徐連魁氏の航空機種子散布の研究についての論文を紹介することとする。本論文は散布地域、散布樹種、散布時期の三要素を中心とした航空機散布

の実績、可能性について論述している。

10-7-1 散布地域

散布地域の自然条件とは、土壌、植生、地形、気候等の立地条件を指す。航空機散布は傾斜角度、傾斜地、土層の厚さなどの局所条件に従って散布種子を変えることが出来ないのので、その地域の中心地域の自然分布の樹種を選ぶのが最もよい。

現在まで中国の航空機散布は南から北の広範囲にわたっているが、それは乾燥地、半乾燥地、半湿潤地、湿潤地の4つの地帯に及んでおり、それぞれの自然条件により効果も大きな差が見られる。

- a. 乾燥地：年降水量が250 mm以下で年乾燥度は4より大きく荒廃地である。初期の航空機散布はこのような地区に少量散布区を設定して行なわれた。例えば甘粛省、内蒙古などで主にマツ類を散布したが成苗率は1~3%と低くその成果が悪いため中止した。
- b. 半乾燥地：年降雨量250~500 mm、年乾燥度が1.5~4.0で植生は草地である。甘粛省、陝西省の一部で散布した結果は成苗率が3%であった。またこれらの黄土地区に草本類との混播を実行した結果は成苗率が20%に達したがその後の保育が続かず中止した。

甘粛省の風砂地区、黄土地区で1958~1961年までにいろいろの草本性、木本性の種子を1万haにわたって散布した結果を総合すると、局所的な低地帯では発芽率がよく、400株/m²成苗した処もあるが、風の強い処では折角の幼苗が風に吹き飛ばされるか砂に埋もれて枯死した。

陝西省の風砂地区では、3地区に1974~1981年まで踏郎(*Astragalus adsuragens*)など14種類の植物種子を630haにわたり散布したが混播による成績は比較的良く、その生存率も高くなって来ており、散布後4~8年の成苗面積は24~54%となっている。これらの実験をふまえて内蒙古自治区で1978~1982年に240haに散布したが、その結果は、1978年に散布したものはその年の成苗率46%で1982年に30%が生存しており、流動砂地が固定化または半固定化するに至った。

陝西省の黄土地区では1975年に沙打旺(*Hedysarum mongolicum*)の散布試験を行ったが、降水量の多い場合(1970~1978年年平均降水量380.6 mm)成苗率は7~24.6%であった。畝(0.01ha)当たり3,000~13,000株の草地が出来た。

- c. 半湿潤地：年降水量500~1000 mm、年乾燥地1.0~1.49で植生は森林草原となっている。このような地区に近年、多く散布するようになっており、これらの地区は河北省、河南省にある。河北省では1974年から1979年にわたり24,000haに油松(*Pinus tabulaeformis*)を主として散布した。種子の散布量は每亩350~500g)で1980年の調査結果では1977年以前に散布したものの成苗率は、25~45%で油松の成苗は比較的良好であった。例えば、1976年7月には340haに散布し

たが、1980年4月の調査によると成苗面積は223 ha、で5.5%以上にも達している。そのうち亩当たり200株以上のものが144 ha、70~200株のものが78 haであった。油松の散布は標高600~1400 mの山地が適地であるが、最適地は、800~1200 mである。

d. 湿润地；年間降雨量が1000 mm以上で多い場合には1500~2000 mmで年乾燥率は1.0以下で植生は森林である。このような地区は散布対象地として大きな効果も期待できる。四川省、広西省、湖北省、陝西省、浙江省、湖南省、江西省、広南省などの広い地域にわたっている。散布樹種は台湾赤松あるいは雲南松などである。

以上の結果から散布効果がよく、成苗できる地域は年降水量500 mm以上の半湿润地、湿润地で半乾燥地、乾燥地は今後の問題となる。

10-7-2 散布樹種

航空機による種子散布が成功するかしないかは散布地域の選定のほか、どんな樹種を選定するかも重要な因子となる。

頭初航空機散布用種子は草本類、木本類合せて十数種類以上も使用されたが、その結果は木本類の種子については台湾赤松、雲南松が適当であり、ついで油松がよいと思われる。その他としては高木樹種として華山松、黄山松、思茅松、台湾アカシアで低木としては踏郎、沙蒿、沙打旺などが適性である。以上の代表的な植物について検討を加えることとする。

a. 台湾赤松 (*Pinus Massoniana* Lamb)；中国では台湾赤松は亜熱帯東部地方において散布効果の良好な代表樹種で、天然分布は北の秦嶺-伏牛山-淮河を境として温暖地帯の油松と接続している。秦嶺の南側斜面と大巴山の散布地域は大部分が海拔1000 m以下で1000 m以上となると成苗しない。また雲南と貴州の境界のところには雲南松が代って使用される。

台湾赤松の種子の粒子は小さく、4粒の重量が一般的に10.4 gで最高13.4 g、最低8.5 gである。種子の粒子が小さいので吸水が速く、発芽し易い。発芽するための吸水量は乾燥重量の31~34%であり、最適発芽温度は20~25℃で最低温度10℃、最高温度が30℃となっている。台湾赤松は温暖湿润な気候を好みその分布地域は年平均温度14~21℃、年降水量が800~1800 mmの処となっている。また酸性土壌を好みPHが4.5~6.5の土壌で生長が良い。揚子江の中、下流から南嶺山地帯の亜熱帯まで成育がよく散布種子として適当であろう。

広東省の1972年の調査によると、広東省の航空機散布は約10万 haに及びその成苗率は4.7%で、その中には台湾赤松の純林が9.8%も占めている。あたりの成苗が300株以上のものが4.7%、100~300株が38.8%、100株以下のものが14.2%であり、散布種子の量は亩当り125~250 gとなっている。

台湾赤松は散布後4ヶ月で苗高は一般に5.2 cmで最高10 cmまでにもなり主根長は5

cmとなる。3年生の場合には苗高30~50cmで最高120cmにもなり主根長が36cmに達する。その生長過程を見ると散布の年の幼苗の枯死率は30~40%で第二年目は10~15%、第三年目は約5%で3年間の幼苗の枯死率は約30%以上で生長も遅いが、第四年目から生長が安定し速くなる。第五年目には被圧木が60%にもなり間伐が必要となる。地域によっては12年生の森林は苗当り130株で平均樹高が9.6m、平均胸高直径が12.4cmにも達している。

b. 雲南松 (*Pinus yunnanensis*) : 雲南松は中国の西南地方に分布する樹種で貴州省の主要造林樹種であるが四川省で最初に航空散布された樹種である。

雲南松分布の東側(貴州省)は台湾赤松があり、四川省西部、雲南省西北部は高山松が分布しているが、雲南松の集中しているのは海拔高1500~2800mで土壌のpHは5.0~6.0の間である。

雲南松の種子は千粒重量が15~17gで1kg当たりで62,000~64,000粒の種子で粒子が小さく吸水力が強く、発芽し易い。四川省での調査によると、散布後に水分が充分あると48時間後に飽和状態となり9~10日目から発芽が始まり15日目に発芽率60%以上に達する。雲南松の種子は、耐乾燥、高温性であり、幼苗も1ヶ月で主根が6.4~7.8cm土中に侵入し、側根も生長を始める。2ヶ月後には主根が8.8~10.6cm貫入し1年生で苗高が2.2cm、主根長が20~30cm、さらに3年生となると苗高12.5cm、主根長62cmにもなり安定生長し、5年生で樹高が108cmとなる。雲南松の種子を散布した場合1年生の苗の枯死率39.5%、2年生で18%、3年生で8%でありそれ以上は安定生長する。

c. 油松 (*Pinus tabulaeformis*) : 油松は中国温暖帯、半湿润地帯に分布する樹種で華北山地の代表的な樹種である。その分布は華北山地、大青山、写拉山、西部の賀蘭山で、西南境界は川、兰、陝の秦巴山地の海拔1000~1600mの処であり、南部地方には油松に代って台湾赤松が分布している。遼東半島東南部と山東半島には赤松を除けば殆んど全区域に油松が分布している。華北山地には海拔1200~1800mの内に油松の天然林が分布しているので海拔1500m以上の場合には常に白樺、遼東櫟、蒙古櫟との混播とし、1500m以下では油松にドロノキ、栓皮櫟などと混ぜて散布されている。

油松は微酸性及び中性土壌を好みpH値が7.5以上の土地では成長しにくい。アルカリ性の平原地域では油松の散布はさけるべきで、有機物の含有が多く、酸性土壌で土壌が深く石灰岩の山地でも降水量が多い処には油松の生長もよい。

油松の種子は千粒当たり33.9~49.2gであり、重量1kgあたり、21,000~30,000粒である。散布実績によると油松の種子は通常80~100mmの降水量と7日以上のお日があれば7~14日後に発芽出苗する。油松の種子を地面温度40~60℃で15日間放置しても発芽率が91%もある。このように油松の種子は高温に耐える特性がある。

雨季に散布した油松の種子が8月中旬以前に幼苗が形成されれば、その大部分は越冬する。しかし8月中旬以降の発芽、幼苗は寒さに弱いので枯死し易い傾向にある。

河北省での航空機散布の実績によると、油松の種子は吸水が速く、平均温度は28.5℃で12時間で吸収膨脹し、平均温度16.7℃で48時間で吸収膨脹できる。油松の種子の吸水量は少なく、種子重量の27%である。このような散布条件の場合には、一般に5日目に種子が破られ、7日目に発芽し12~20日目に出土する。散布の当年には主根長が8~19cmと苗高の3~6倍となり、成苗率は一般に50%である。陽光の当たる傾斜地の成苗率は12~28%しかないが、反対面の陰性、半陰性の傾斜地では成苗率が40%以上、最高88%にも達する。従って陰性、半陰性の傾斜面では幼苗の分布が有苗面積の66~91%と高率となる。陝西省の結果から見ても陰性、半陰性の傾斜地に油松の幼苗が多く分布し、平均苗当たり80~630株であるが、半面陽性、半陽性の傾斜地では苗当たり4~200株と極端に少ない。北方山区の油松散布区を選択する場合は陰性の傾斜地を選ぶとよい。

- d. 踏郎 (*Astragalus adsurgens*) : 踏郎は陝北榆林と内蒙古伊金霍洛旗の年降水量400mm前後の流動砂地に散布効果が最適の樹種で砂を固定するのによい樹種である。この樹種は中国の乾草原、荒原地区に分布している。内蒙古、陝西省にわたり分布し、流砂と流砂附近の固定、半固定砂地に大面積に分布している。

踏郎の種子は4粒当たり12~14gで1kgあたり71,400~83,300粒である。外形が偏形、表面に図紋がある。砂丘での安定性が良く、自然覆砂がし易い。散布した踏郎種子は雨にあうか、砂層の水分から十分水分を吸収すると5~7日で幼苗が出る。幼苗の生長が速く、一年生の苗高が9~46cmであって、根径は0.2~0.53cmである。根の生長は特に速い。年間で55~78cmも生長し側根も27~35cmにもなる。苗木の長さ7~8cmでは風害で活着率が63~71%になるが、24cm時には活着出来る。苗木の3%が砂に埋もれても生長に影響はない。

散布後に3年目で高さ21~97cmにまで達し枝葉も多く、1~1.8m周囲の砂も固定される。踏郎種子の発芽の最低温度は11℃であって最適温度は27℃で最高温度は42℃である。

種子発芽に最も理想的な砂地の含水量は10%であるが27%の時でも発芽は可能であるが長い時間がかかる。一般に新鮮な種子の発芽率は44%であって最高は71%で、保存5年の種子発芽率は11%しかない。

- e. 沙打旺 (*Hedysarum mongolicum*) : 沙打旺は、中国陝北黄土地方と半固定砂地方で航空機散布に長い年月わたって使用されている草本類の種子で、かなりの効果をあげている。中国の東北、内蒙古、江蘇、四川、雲南省等に天然分布しており海拔700~3150mの傾斜地、谷側、湿性の砂地などに生成している。沙打旺種子の粒子は小さく、千粒は1.5~2.4gで、1kgあたり40~60万粒である。中国科学院西北水土保持研究所