

# 大規模森林回復技術委員会検討結果 報告書

JICA LIBRARY



1195800[6]

平成 2 年 3 月

国際協力事業団

林 開 発

89 - 42

J R



大規模森林回復技術委員会検討結果  
報 告 書

平成 2 年 3 月

国際協力事業団



1195800 [6]

# 目 次

要 約 .....	1
1. 航空機造林の開発途上地域への導入 .....	13
1-1 航空機造林の開発途上地域への導入の必要性 .....	13
1-2 航空機造林の現状 .....	14
1-3 開発途上地域への導入の可能性 .....	16
1) 造林対象地への選定 .....	16
2) 中国の航空機造林 .....	16
3) インドネシアの航空機造林 .....	22
2. 画像処理による造林対象地の条件調査 .....	23
1) 航空写真の撮影 .....	23
2) 航空写真の利用 .....	26
3) 衛星データの利用 .....	29
4) 現地事象サンプルプロット .....	54
3. 地上作業 .....	56
3-1 適地判定基準 .....	56
3-2 地上作業技術 .....	62
4. 航空機造林用種子 .....	69
4-1 樹種の選定基準 .....	69
4-2 種子の採取、精選、貯蔵、輸送 .....	80
4-3 発芽促進方法 .....	82
4-4 種子の散布量 .....	84

5、種子加工 .....	87
5-1 コーティング材料 .....	87
5-2 コーティング加工技術 .....	88
5-3 コーティング種子の貯蔵、輸送 .....	91
6. 種子の発芽、初期成長試験 .....	94
7. 航空機利用 .....	105
7-1 機種を選定基準 .....	105
7-2 散布装置 .....	106
7-3 コーティング種子の散布技術、航空諸元 .....	108
8. 費用効果 .....	111
8-1 費用の試算要因 .....	111
8-2 費用効果の試算 .....	112
9. モデル設計 .....	116
9-1 中国 .....	116
9-2 インドネシア .....	120
10. 体系化に当たっての問題点等 .....	123
10-1 計画に当たり調整する課題 .....	123
10-2 計画に当たり留意すべき事項 .....	124
10-3 開発課題 .....	124
11. 体系化に当たってのスケジュール等 .....	129
11-1 スケジュール .....	129
11-2 概算経費 .....	130
参 考 文 献 .....	131

# 大規模森林回復技術委員会検討結果報告書

## 要 約

### 1. 航空機造林の開発途上地域への導入

#### 1-1 航空機造林の開発途上地域への導入の必要性

地球上の森林、特に開発途上地域での森林の減少は、その地域の社会・経済への影響のみならず、全世界的環境に悪影響を及ぼすことが懸念されるとの認識にたつて強い関心をもって注目されている。

しかしながら、それらは現在もなお熱帯地域での急激な人口増加による焼畑移動耕作、過度な農用地、牧場への林地転換等広域にわたつての森林の草地化裸地化の進行が停止せず、林産物の供給機能の低下はもとより半乾燥地等においては、住民の生存すら脅かされる砂漠化地域等の増大が危惧されるに至っている。

一方森林回復のための造林は年間森林減少ペースの1割にも満たず、その保全と回復のための画期的な大規模造林が緊急かつ重要な課題となっている。

従来行われてきた苗木植栽造林は確実ではあるが、労働集約的であり、多くの経費を要し、また開発途上地域によっては造林実行体制、熟練労働者、林道、大規模苗畑等の必要準備条件が未整備であるため、大面積の要造林面積を早期に木本でカバーすることは困難である。

アメリカ、カナダ等で開発され、オーストラリア、中国等でも実績を重ねている航空機造林は、上記の習慣的造林法に比べ先行的な資本投下や準備条件の所要量も少なく、しかも早期緑化が可能である利点があり、特に広大な要造林地を持つ開発途上地域の大規模造林に新しい手段として利用する必要性の高いものである。

#### 1-2 航空機造林の現状

航空機造林は、1930年代にカナダにおいて開発され、1950～60年代に至りアメリカ、ニュージーランド、オーストラリア等でも荒廃地復旧、伐採跡地造林の手段として発展を続け、

日本、中国においても治山緑化、造林に活用されるに至っている。特に忌避剤使用等のコーティング技術、散布装置の開発改良、地拵え方法、散布量、散布時期の決定手法、また混播等の技術開発の進展によって上記各国での広域、早期造林手段として実績を重ねて

きている。事業実行面積では、中国が最も広く1950年代以来実播面積は1,400万haに及び1989年には全国878,667haの実績がある。四川省では全造林地の18.6%に、また、インドネシア、ネパールその他、開発途上国においても小面積ではあるが試験的に行われた事例がある。

主要な播種樹種は、アメリカ、カナダではタグラスファー、マツ等の針葉樹、オーストラリアではユーカリ、ニュージーランド、中国ではマツ類及び中国の乾燥地では沙棘等の緑化樹で、治山緑化での利用を主とする。日本では緑化樹と草木の混播である。

### 1-3 開発途上国への導入の可能性

航空機造林は先進国での技術開発により発展を続けてきた。また従来の事業実行地域も造林適地としての気候、土地条件のものが多い。しかしながら、現在急速な大規模森林回復を要する開発途上国においては、ともすればこれに反する気候・土地条件を有する地域もある。

しかしながら、この技術の適用に当たって、自然条件による立地区分、適正樹種の選定、火入れ等地拵え法、樹種・立地に適応する散布装置、コーティング材料、発芽促進方法、拠点造林等の開発、また種子散布適期の選定等の課題が確立されれば、その導入の効果は著しく高い可能性を持つものである。特に、これらの地域においては①強い乾燥期間を有する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での航空機造林技術体系③リモートセンシング等画像情報処理技術による広域造林対象地の効果的な事前土地条件調査法の確立等の開発が最も重要な技術導入の可能性を高め得る課題である。

#### 1) 造林対象地の選定

航空機造林による大規模森林回復技術の開発を要する対象地は、従来の苗木植栽法では早期の緑化成林を期待しえない広面積の草原化又は、裸地化地帯である。その具体的な例としては、熱帯多雨林、特に季節林地帯におけるアランアラン草原化地域及び砂漠周辺の半乾燥地域、またある程度の既存情報の存在地域が指適される。これらのうち、当該国の現状や我が国の体制から今後航空機造林を実証的に取り上げる環境が整っていると考えられる中国及びインドネシアの事例としては次のものがある。

#### 2) 中国の航空機造林

中国では、1958年以来航空機造林を実施している。実施地域は、黒龍江省から南部の広東省、雲南省までタリム盆地を除く中国全土に及んでいる。

樹種は、馬尾松(*Pinus massoniana*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)などのマツ類を



主体に、北部乾燥地帯では、踏郎(*Hedysarum mongolicum*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens*)などの灌木類草木類等も含め10数種、航空機は国産の運-5型及びソ連製の伊爾14型飛行機が使用されている。

水や温度条件のよい南部で草や灌木の繁茂したところでは種子の着地、幼苗や根の成長のために植被処理も行なわれている例がある。処理の方法は人力による刈払い、化学除草剤の使用、火入れで、火入れは、播種2~3ヶ月前に行う。

雨の少ない地方、雨季、乾季の明らかな地方の一部では播種前整地も行われている。その方法は、全面整地、部分整地、帯状整地、階段工等である。

種子はドロをまぶしたものが多く使用されているが、その目的は播種後の風による移動を防ぐため又はネズミの忌避効果である。

### 3) インドネシアの航空機造林

インドネシアでは、1972年に中部ジャワ、西部ジャワ、東部ジャワ、ティムール島等5ヶ所で実施した。このうち、中部ジャワ、東部ジャワの2ヶ所で成功したが、その後東部ジャワの実施カ所は山火事で焼失した。中部ジャワの実施カ所はチーク造林不成績地でアランアラン草原となった丘陵地約370haを対象にしている。使用した種子は、アカシア・アウリカリフォルミス(*Acacia auriculiformis*)、ギンネム(*Leucaena leucocephala*)、カリアンドラ・カロシルサス(*Calliandra calothyrsus*)セスペニア・グランディフロラ(*Sesbania grandiflora*)、ダルベルギアSp. (*Dalbergia spp.*)、メルクシマツ(*Pinus merkusii*)の6樹種で種子加工は行っていない。

現在成林しているのはアカシア・アウリカリフォルミスとギンネムで、ギンネムは害虫による被害を受けている。

## 2. 画像処理による造林対象地の条件調査

### 1) 航空写真の撮影

土地条件調査に航空写真は不可欠な材料であり、特に近年の土地利用変化の著しい開発途上国にあっては、調査に当たって新規撮影が必要となることが多い。通常の撮影諸元としては、広角カメラによる縮尺1/30,000~1/20,000のパンクロ垂直写真撮影である。撮影、図化に当たっての基準点は、人工衛星の観測によるGPS測量が有効な場合が多い。特に雨期、乾期を有する地域では撮影は乾期に実施し、写真判読に支障のない画質を得るよう作業管理を行う必要がある。

## 2) 航空写真の利用

航空写真は地形図、土地条件図の作成と写真判読による現地予察図、植生・土地利用図の作成及び現地確認資料として用いられる。

写真判読は対象面積の大小及び写真縮尺により大、中、小スケールの調査項目区分に応じて行なわれ、大、中の区分は人工衛星画像の植生、土地利用区分の判別基準データとしての目的をもち、小区分は詳細な現地作業の設計に必要な土地利用や林型区分、土地条件区分を可能とし、現地調査ではこれらを確認し造林対象地を選定する情報を提供する。

## 3) 衛星データの利用

現在利用しうる衛星データはランドサット（米）、モスー1（日）、スポット（仏）の3種であり、また超広域にはノア（米）、ひまわり（日）も活用の可能性があり、これらは広域同時、数値情報処理による迅速な画像化と土地条件の解析性、及び繰返し観測による季節的変動や変化抽出を特性とする。また可視光以外の赤外線領域の観測による地表熱、地表水分の判定に能力を有する。また、近い将来 ERS衛星（日）によるマイクロ波の観測による土性粗粒度、含有水分その他判定への利用の可能性を持つ。画像データの判別には、適用技術及び判別基準のいかんにより、レベル1～レベル4の段階の粗区分から細部区分までの項目区分があり、対象面積と利用目的により精粗が選択される。近年は地理情報(GSI)を画像情報に組み合わせ、土地条件を解析し、立地特性、利用特性を評価区分し、人為操作の意志決定資料を提供するコンピュータ解析システム技術が発展してきており、その造林適地判定又は事業設計等への実用開発は大きく期待することができる。

## 4) 現地サンプルプロット

現地サンプルプロットは画像処理による土地条件の判定、適地区分等の結果を確認又は補正し、その信頼度を高めるために設置する。地域の選定は対象地域の現況に対応した、区分標本の選定と現地点抽出によって行なうのが適切である。場合によれば、サンプリング手法の適用も考えられる。特に現地により検討すべき事項は、林床、着生植物、季節的湿、乾及び土性等である。また画像処理の適、不適の条件、処理の限界と効果を明らかにし、画像の再処理、校正処理の資料を作成する。

### 3. 地上作業

#### 3-1 適地判定基準

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、対象地の自然条件調査を正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散布を行い成林を期待するための立地区分を行う必要がある。その重点調査項目は、気温、降水量、及びその年間変動パターン、地形、土壌、植生、野生動物等の自然条件、人口、労働力、インフラストラクチャー、事業実行上の制約条件等の社会経済的条件である。

##### 1) 熱帯地域の気候区分

気候条件は森林回復の方法に差異をもたらす対象地選定の基本的な要因である。熱帯地域ではこれを年降水量 2,000mm以上の雨林から年降水量 400mm以下の半砂漠までの形態を6区分したものが適切な区分と考えられる。

##### 2) 立地区分の基準

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、立地区分を行うに当たってはまずその地域での情報を収集し、既存資料や航空写真により地域の造林樹種の決定を行ったのち地域内での造林難易度を区分する立地区分を行う。

このためには、熱帯地域においても地形、地質、土壌、堆積様式その他について、それぞれの地域に応じた細区分が必要である。これについて、インドネシアのアランアラン草原及び中国黄土高原を想定した2地域を例として、100m×100mおよび10m×10mを区分単位とするそれぞれの立地区分基準を作成した。

これによると 対象立地区分には、土地の履歴が重要な要因であるとともに、対象樹種の生理生態的背景が解明されればかなり詳細な適地判定が可能であり、かなりきめの細かい大規模造林が可能になると思われる。

立地区分により造林の困難な地域も出現すると思われ、また面積的にも広域の課題に対処するためにはある地域内に森林回復の可能性の高い地区を選び、地拵えや下刈りを導入したコア（核）造林、あるいはコリドール（廊下状）造林を行う方策を検討する必要がある。

#### 3-2 地上作業技術

航空機造林により短期間に大面積の成林を期待するには、大型機械力を利用した効率的

な地拵え、又は火入れなどを行うことが有効であり、その仕上り度が事業の成否を左右することが多い。アランアランの草原では播種前、又は播種後の火入れによって種子の発芽活着が促進されるともいわれており、具体的な作業法として大面積の火入れが可能な場合と、境界に防火帯を設けて小区画単位に実行する方法とがある。燃えにくい植生等の場合には、火炎放射器等の使用を考慮する必要がある。機械地拵えは傾斜度が15度程度までのところで採用することができる。広大な面積の作業では作業道又は防火帯の作設の必要性を考慮すると、レーキドーザより土工板を装着したブルドーザの採用が実用的であろう。表土の柔、硬の度合によりレーキドーザ又はリッパー付きのブルドーザの選択及び重量クラスの選択が必要である。作業法としては全面積地拵え、筋状、パッチ状があるが、いずれも傾斜地では原則として等高線方向に作業を行う。

熱帯の火入れの工期は、単純な火入れ作業ではha当たり2～3人程度の地上労務を予定すれば十分であろう。また熱帯でのレーキドーザによる地拵えの工期は日本の2倍程度になるものと推測される。リッパー付ブルドーザの場合、使用機種及び表層の状況により、それには1.5ha/日～4.7ha/日の差の例がある。特に熱帯での作業の場合、機械整備の機材や燃料の運搬、ドライバー、整備士の確保、機械基地の作設、ガードマンの配置等への留意を必要とし、経費の積算に当たってはこれらの施設及び作業に必要なすべての経費見積りを忘れてならない。

## 4. 航空機造林用種子

### 4-1 樹種の選定基準

#### 1) 種子の特性

##### a. 形態的特性より

裸子植物（針葉樹）では十分に胚の発達するものを選ぶ必要がある。

被子植物の単子葉類は播種から発芽まで時間を要する。双子葉類は子葉が発達し、しかも発芽するとそれが光合成機能をもつものがよい。（アカシア類・プロソピス類のマメ科、ハンノキ、ユーカリ、ギョリウなど数種のものがある。）

発芽後急速に成長するためには、大きな種子で上胚軸に本葉が形成されるものがよい。

##### b. 生理的特性、貯蔵性、発芽性

乾燥に耐え、10%以下での含水率低下が可能なものが貯蔵性が高く常温で貯蔵できる（マツ類、トウヒ類等の針葉樹、アカシア等のマメ科、ユーカリポプラ類等）。し

かし耐乾性のものには休眠打破処理を要するものがある。

含水率の高い種子は、採集時期と貯蔵法を考える必要がある。低温耐性のないものは高地・乾燥地には不適である。種子の入手が容易なものが望ましく、現在ではマメ科、ユーカリ、マツ類がこれに当たる。

## 2) 樹種の成長特性

### a. 要求される環境耐性

i) 低温耐性（高地乾燥地の昼夜温度差対応等）高温耐性（熱帯草原では35°以上の耐性を要す）

ii) 乾燥耐性（低温、高温でのそれぞれの耐乾性）

iii) 耐塩性 石炭岩ではギンネム、乾燥地ではギョリュウ、プロソピス等、海岸地帯ではモクマオウ、マングローブ等

iv) 耐酸性 アカシア・マンギウム、アガティス等

### b. 繁殖力の強い種

アカシア、ポプラ属等

### c. 成長の早い種

開発途上国で薪炭林の造成のために検索された樹種が早生種として参考になろう。

## 3) 種子及び樹種特性からの選定

上記条件に基づき 適性を持つと思われる樹種を各地域別にリストアップし、その参考資料を添えた。

## 4) 種子散布の技術改良からの選定

乾燥種子、高含水種子はコーティング技術の改良で利用が期待される。

また草木との混播技術は期待が持てるものである。

## 4-2 種子の採取、精選、貯蔵、輸送

航空機造林には大量の種子を要するので、入手容易な樹種を選ぶとともに、商業用樹種でこれまで流通機構にないものは採取方法を検討する必要がある。

種子の精選は加工、散布量、ひいては発芽率に大きな影響がある。大量の種子の精選法を特に微細種子について開発する必要がある。

種子の貯蔵は樹種により乾燥貯蔵の可能なものと保湿貯蔵の必要なものがあり、後者については輸送に当たっても湿気を保つ貯蔵袋等が必要である。熱帯性樹種では貯蔵と寿命との関係に差があるので樹種の選定に当たっては留意しなければならない。

#### 4-3 発芽促進方法

乾燥貯蔵された種子は休眠打破のための発芽促進処理をしないと発芽が不均一となる。浸水法、温熱湯処理、機械的に種皮に傷を与える方法等があるが、大量に均一に行う方法としては傷つけ処理が有効とみられ、機材の改良の検討が必要である。

#### 4-4 種子の散布量

望ましい苗木密度が得られるかどうかは種子の散布量と林床の状況、すなわち地拵えの方法と発芽率に深い関係がある。カナダにおけるJack pineでの既応の実験では、最も得苗率がよく、経済的であったのは普通地拵えの場合50,000粒/haであった。ただし、地拵えをしていない場合には、非常に少ない得苗率しか得られていない。また1982年には、苗木密度と地拵え及び散布量の数式モデルを開発し、これを公刊している。火入れの場合は150,000粒/haが散布されていた。インドネシアでの実験の際は、中部ジャワで24.8kg/ha、東部ジャワで53,000粒/haであった。後者はアカシアとカリアンドラの混播であったが、無地拵え地区でも成功率(28.5%~50%)が得られている。中国では、散布量の計算に次式が発表されている。

$$S = \frac{N \cdot W}{E \cdot R \cdot (1 - A) \cdot G \cdot 1000}$$

S：単位面積（ム一）当り播種量(g)。N：単位面積当り期待苗木数。

E：発芽率。 R：種子純度。 A：鳥獣による被害率。

W：千粒当たりの重量

陝西省油松の例では発芽種子より30%の苗が得られるとして200本の期待苗を得るためには $N = 200 \div 30\% = 667$ 、 $E = 90\%$ 、 $R = 90\%$ 、 $A = 25\%$ 、 $G = 10\%$ 、 $W = 38g$

$$\text{の場合 } S = \frac{667 \times 38}{0.9 \times 0.9 \times (1 - 0.25) \times 0.1 \times 1000} = 417g$$

南方馬尾松の場合は $S = 129.5g$ である。

この計算式は対象地域、適用種子、散布方法等による地域別の検討を行なう場合の有力な基準を提供している。

## 5. 種子加工

我が国の種子コーティング技術は、農業用種子については実用化の段階にあるが、林業用種子についてはスギ、マツ等の試験段階にある。しかしながら、野菜、花などの種子加工技術から判断すると、林業用種子の加工についても実用的な、また発芽成長に効果的な加工種子の開発が期待され、各種のコーティング基材、添加資材の検討を行った。なお、アメリカやオーストラリアにおける実行結果から航空機造林の問題点の一つに散布後の小動物等による食害や病害があげられている。この問題については、それらの国ですでに殺虫殺菌剤が使用された実例もあり、立枯れ病対策としての殺菌剤の使用や鳥獣や昆虫、小動物への忌避剤の開発使用の可能性も期待できる。加工材料としての肥料の効果やコート種子の保存方法については、造林用種子としての検討を要するものがある。

種子加工については、アメリカにおけるスラッシュマツ (*Pinus elliottii*) やオーストラリアにおけるユーカリ (*Eucalyptus delegatensis*) 種子の現地処理の事例もあり、現地での加工の可能性等の検討も必要かと考えられる。また形状、大きさの選択についても検討すべき分野がある。

コーティング種子の貯蔵については今後検討を要する課題と考えられるが、すでに農業用加工種子では特に問題がない段階にあることから、当面は造林用についてもそれらの方法にならない密閉貯蔵によることが適当と考えられる。

## 6. 種子の発芽、初期成長試験

アカシア類、ユーカリ類、マツ、ギンネム等の種子について、発芽、初期成長試験結果からおよそ次の点が明らかになった。

ユーカリ類については立枯対策としての殺菌剤や肥料をコート材に使用することは効果があると判断される。

一方、コート倍率、コートの破壊タイプについては検討する必要がある。

また、航空機造林用種子として、コート種子を使用するためには、実用的な種子の精選や発芽促進処理の方法の研究が課題と考えられる。

## 7. 航空機利用

使用する機種を大別すると固定翼機と回転翼機に分れる。その選択は、地形、散布対象地の広がり、大きさ、単位面積当たりの散布量、基地の状況等によって決められる。固定翼機は散

布面積が広く散布密度の小さい散布や起伏の少ない場所に適し、回転翼機は急傾斜地や起伏の多い地形、機動性を必要とする場合などに適する。林業用の種子散布では、オーストラリアは伐区の小面積化に伴ない、固定翼機から現在は回転翼機に、中国は固定翼機、我が国では、機動性や地形的制約から回転翼機が利用されている。散布装置は散布の方式や散布資材の形状、種類等を基に選定されるが、一般的には、適応機種を前提として開発される。現在我が国で使用されている散布装置は相当の適応性を持っていると判断されるので、本事業への導入に当たっては、これ等を基に改良開発を進めることが適当と考えられる。

## 8. 費用効果

航空機造林の特性である省力大面積造林の効果を確実にするには、的確な造林対象適地の選定と、大面積地拵え種子の量的入手法及び散布技術の確立が必要である。これらの多くは潜在的費用としてこれまでの費用積算にはあげられていないが、設計に当たっては今後検討すべき分野が多い。

直接造林費についてこれまでに試算されたものでは、おおむね苗木植栽造林の50～60%と計算されている。ただし、全面地がき等の地拵えを行った場合は、ほぼ同等の費用を要するとの試算がある。

また、費用効果よりみれば最小面積は 200ha以上と見る報告がある。

## 9. モデル設計

### 9-1 中国（黄土高原及びその周辺）を対象地としたモデル設計

航空機造林の対象地として黄土高原を想定し、年平均気温 8° 以上、降水量 800ミリ以上を前提条件としてモデル設計を行った。

我が国の航空実播工の経験から、当該地区の制約条件の中で最大の因子と考えられる地形区分とそれに必要な対策工法を整理すれば次のようになる。

15° 未満	から播き工法
15～40°	スラリー工法
40° 以上	基礎工＋スラリー工法

15° 以下の傾斜地の場合で種子のみを散布する場合、固定翼機による実行を検討する必要があると考えられる。なお、飛行諸元、散布装置その他幾つかの事項について検討し、適切な方途を策した。



## 9-2 インドネシアを対象地としたモデル設計

インドネシアの草原及び貧植生地を対象とした施工法について、年平均温度20°以上、降水量月100～200 mmを条件として考察した。傾斜は20°以下で計画し、20～40°では立地条件に応じて施工計画をする。成林を期するには、何らかの地表処理が必要と考えられる。

## 10. 体系化に当たっての問題点等

航空機造林を体系化し、開発途上地域への導入にあたって整理すべき問題点及び課題は次のとおりである。

### 10-1 計画に当たり整理すべき問題点

#### 1) 実施予定国の航空事情等の調査

- (1) 航空機利用に係る制度等
- (2) 航空機の所有、機種、利用の可能性等
- (3) 散布装置の検討
- (4) 要員の状況、技術レベル、訓練機関等
- (5) 航空写真、地形図等資料入手の可能性
- (6) 重機材、燃料等の運搬、保管、また機械補修等の手段
- (7) 交通路、基地設定等の条件
- (8) パテント等の有無

#### 2) 条件調査

- (1) 自然的条件調査（立地区分要因、経年変化情報、森林回復ポテンシャル等）
- (2) 社会的条件調査（住民社会実態、土地所有・占有権の有無、森林利用現況・規制等）
- (3) 環境影響調査

例えば、インドネシアの環境管理基本法に基づく環境アセスメント制度等予定国の制度と航空機造林のかかわりについての調査、必要な手続き等

### 10-2 計画に当たり留意すべき事項

- (1) 大規模な実験に当たり、地上での試験を先行すること。
- (2) 対象地及びその周辺の立地条件、森林生態を参考とすること。
- (3) 事業化に当たり、事業化実証調査を行うことが必要である。
- (4) 航空機造林の適地から開始し、順次対象地域を広げいくこと。

- (5) 予定国側の関係機関、組織との協力関係を確立すること。

### 10-3 開発課題

- (1) 直播試験
- (2) 未使用、有望樹種（タマリックス等）の研究
- (3) コーティング加工
  - ① コート化基材、コート層硬度等種子コートの最適化、形状、大きさの選択性
  - ② 忌避剤、殺菌剤等添加資材のスクリーニング及び最適添加量の決定
  - ③ コート種子の保存性試験
- (4) 種子の精選、発芽促進処理方法の研究
  - ① 種子の精選、発芽促進処理方法及び装置の開発
- (5) 散布装置の適応試験
  - ① 散布の均一性、飛行高度、飛行速度等の試験
  - ② 資機材費、調査費等
- (6) 画像処理
  - ① 対象地を想定した画像処理、土地条件区分図等の作成
  - ② システムソフトの整備

## 1. 航空機造林の開発途上地域への導入

### 1-1 航空機造林の開発途上地域への導入の必要性

最新のFAOの統計によれば、1980年の時点での地球上の森林面積は約43億haで、うち開発途上地域はその半ば以上の23億5千万haとなっている。先進地域の森林はほぼ保続が図られているとされているが、開発途上地域の森林の大部分を占める熱帯林、約19億3千万haは毎年1,130万haの減少を続けているとされている。そのうち510万haは焼畑、移動耕作跡となり、休閑林と称されている。しかしながらこの休閑林の多くは増加する住民人口の生活資材、食料生産等のため繰り返しての伐採、耕作利用により地力の劣化を来し、そのままでは林木生産の再生が期待しえないのみならず、さらに草地化荒廃地化をもたらすおそれがあり、休閑林として将来の森林回帰を期待するには基本的な森林回復の対策を立てる必要がある。

休閑林を除く620万haは、農地、かん木林、草地、砂漠等への変化として森林より他の土地利用への転換となっているが、適地での農地、牧場、都市開発等を除いては森林回復のための管理また造林等の適地を含むものである。

一方、熱帯地域の植林面積はその年間減少面積の1割に満たない。

この熱帯林の急速な減少は、熱帯での旺盛な植物生理活動による地球大気中のCO<sub>2</sub>固定機能を減少させ、結果的には樹体に固定されてきたCO<sub>2</sub>の大気への放出を意味し、地球環境問題として案じられてる地球温暖化現象と関連するところが高いともいわれ、緊急の防止策が大きな課題として論じられるに至っているものである。

また、伐採による森林劣化、消失地域の他に開発途上地域には既往の森林伐採や過度の放牧等により生産力の低下したかん木地、草地等があり、乾燥地半乾燥地ではそれらの砂漠化が懸念されている。例えば亜熱帯を含む熱帯地域のうちで乾燥地域のなかの開発可能地は水の条件を除けば6~10億haはあると見られている。また南部中央アジアから北部中国に至る広い地域には冷涼半乾燥地帯が広がり、季節的に制限された農業、牧畜のみの生産にしか利用されない地域となっている。これら開発途上地域で森林の造成、回復が期待される面積は広大であるが、既往の造林手法では到底、その要請に応えることは困難であり、航空機造林による新技術の導入による大規模かつ画期的な対策が要求されるものである。

## 1-2 航空機造林の現状

航空機造林は1930年代にカナダ、オンタリオ州でのプロジェクトにより開始されたといわれるが、これが大きく発展し米国、カナダ、ニュージーランド、オーストラリア等で事業的に実施されるに至ったのは1950～60年代からである。それは忌避剤や散布装置等の開発、航空機利用の普遍化によるところが大きい。アメリカにおいては1950年代より山火事、昆虫害、台風等による荒廃林地、伐採跡地、低質林、植栽機械の使えない浸水地、奥地等で効果的な成果を収め、1980年までに100万ha以上の航空機造林が行われ1960～80年代の年造林面積のうちの4～18%、州別には50%を超える州もあった。主な樹種は Red Pine (Pinus resinosa) である。

しかしながら、1970年以降は南部での大規模造林計画の終了、伐区面積の20ha以下の制限、企業の高級材造林指向、忌避剤の使用禁止等により実行面積は減少し、現在は治山造林への利用に限られている。

カナダの航空機造林面積は1960年にはオンタリオ州で560haであったが、1978年には同州で20,000ha、ケベック州で7,000ha主な樹脂はマツ類及びスプルースである。

カナダでのこの技術発展の理由は、広大な未開発林に適地が多いことと、各種の技術開発が積極的に進められたことによる。ニュージーランドでは1940年代に牧草の散布技術を発達させていたが、1960年代に奥地山岳林の治山造林に用いるようになった。オーストラリアでは1960年頃にユーカリ類の伐採跡への適用を開始し、1980年代では毎年8,000～12,000haの航空機造林を行い、造林マニュアルも確立されている。

日本では1963年より治山事業、荒廃地緑化に活用されてきた。災害復旧等緊急な裸地緑化に利用されているが、通常の造林作業には伐区面積の規模より見て、今後ともその発展は少ないとみられる。

中国では1958年より航空機造林は開始され、1983年までに1,200万haが散布され、うち470万haは成林しているといわれる。対象とする地域は全国23省区500余県及び半乾燥地砂漠、黄土丘陵、半湿潤地から湿潤地と対象は広く、樹種はかん木から高木（マツ類）まで各種である。

この他、開発途上国でも各種の試みがある。

これらについて表1-2-1に示す。

表 1 - 2 - 1 航空機造林の現状

国名	開始年および実施概況	主要目的	主要樹種	使用機種	種子加工	地植え	散布装置	備考
アメリカ	1950年代開始、1980年までに約 100万ha、(年造林面積の4~18%、州別では50%に達する州もある)	山火事跡等荒廃地復旧、低質林改良	Douglasfir, 各種 Pinus, 等	固定翼ヘリコプター (南部)	忌避剤 (Dandrin 等) 粘着剤等のコーティング 発芽促進前処理	乾燥地では機械地がき、火入れ		1988以後は治山面積、伐採面積減少のため、減少しているが (防虫、忌避) コーティング技術、混播技術、等が特記される。
カナダ	1930年代開始1962年より事業実行 例 1978年オンタリオ州 20,000ha " カベベック州 7,000ha	伐採跡地造林	各種 Pinus Blackspruce 等 針葉樹	ヘリコプター 固定翼	忌避剤、潤滑剤 コーティング (余り使用されない)	火入れ	各種散布装置 (固定翼、ヘリコプター用)	各種の土壌条件について実行苗木ダート考察。各種地植えに対する種子散布法、散布装置等の開発
ニュージーランド	林業応用は1960年代より	奥地台山造林	Lodgepole pine (マメ科早熟肥料混播)	固定翼ヘリコプター	混播および肥料コーティング			降水量の適当な地域で実施コーティング技術発達マメ科との混播技術開発
オーストラリア	1960年代より1980年代は毎年 8,000ha~12,000ha近年は約 1,000ha	伐採跡地更新	Eucalyptus (各種)	ヘリコプター (Belc-206B)	防虫剤、殺虫剤、着色剤、コーティング	火入れ地植え	ユーカリに適した散布装置の改良	種子センターで種子採取、貯蔵、指導、航空機造林マニュアル準備、事業体系の整備
インドネシア	1970年代にパララン及びビラウで実験 (38ha及び65ha) したものが成功	ツラツラ草原造林	Sesbania grandiflora Acacia auriculiformis Leucaena 他3種	固定翼 (PILATUS PC-6)	混播	火入れ地植え、トラクター耕耘、無処理の試験	カナダ製装置の改良	表層侵食のはげしい Grumusols 他乾燥土での実験
中国	1658年の開始 例 1958年~1980年間の四川省の散布面積は、全造林地の約18.6%	治山緑化	各種 Pinus Astragalus adsurgens 他	固定翼 (伊原14号、運5型等)			散布装置作成 (巾下式)	乾燥地~湿潤地の各地で実施、散布地に火入れ禁止 成績は必ずしも明かではない。広域、大面積、各種土地条件
日本	1963年開始 年平均 100~150ha 他に山火事跡等への実施あり	奥地台山緑化 荒廃地緑化	緑化樹と草本種子混播	多種ヘリコプター	肥料等の混合		各種装置改良	航空機緑化工の設計、施工指針あり、技術体系確立、種子加工等技術開発あり
ネパール	1988年 (日本、中日本航空実施) 小面積実験0.67ha、0.06ha	崩壊地緑化	草本種子とヤマハン、オオハヤシヤブシ等混播	ヘリコプター (SA315B 運用)	酒和剤、粘着剤、養生剤。		日本製	

其地下記地域での実施例あり。  
 ・太平洋諸島：第二次大戦跡荒廃地緑化のため Leucaena を散布成林、1928年ハワイ島山火事跡に35種を混播15~20種成林。  
 ・ナイジェリアとインド：1960年代にナイジェリアで Azadirachta indica 散布実験。1950年インド クジャラートで砂丘固定の実験散布の報告あり。  
 ・ソビエト：1952年開始 1954年度実行面積、36,100ha、1955年45,200haの報告あり。  
 費用効果について、カナダ、オーストラリアに検討例あり。

## 1-3 開発途上地域への導入の可能性

### 1) 造林対象地の選定

熱帯林地帯及び半乾燥地域においてはそのまま推移すれば草地化、荒廃化が懸念される地域は多い。

航空機造林技術実証の対象地としては、適用する技術の他地域への展開をはかるため、各種の気候型の代表となりうる地域が望ましく、特に技術的課題解明の対象として半乾燥地帯と季節林地帯が考えられる。

実証造林の実行にあたっては地域自然条件および社会条件の情報・資料をふまえて、実施設計、作業計画をあらかじめ検討する必要があるため、各種既往資料が存在する地域であること、またはそれらが必要に応じて収集の可能な地域が望ましい。

また、事業の実行や管理の万全を期するためには当該国においてもそれに対処しうる技術レベルが望ましい。

事前に直播や地拵え等の実験を行う場合には、その管理や結果の把握の面から現在我が国の技術協力等のプロジェクト実施地域またはその周辺地であることが望ましい。

これらを集約すれば

- a. 気候、地形、地質等の条件から散布種子の発芽、定着の可能性のある地域
- b. 森林破壊跡地の劣化が注目されている地域
- c. 地域情報が整備可能である地域
- d. 地元協力態勢の期待し得る地域
- e. 航空機、散布材料の調達、機械類、輸送、補修、整備の可能な地域
- f. 技術補助、労働者の雇用の可能性

このような地域を対象とする場合、この造林実証事業の効果は期待し得るものとなる。

### 2) 中国における航空機造林

中国における航空実播による造林は1958年より開始され、1983年迄の実施面積は1億8千万ムー(1,200万ha)、成苗面積は7千万ムー(470万ha)で残存率40%である。全国23省区、500余県で前後して面的航空実播による造林事業を開始した。(図1-3-1)

対象地域の土地類型は半乾燥地区の砂漠、黄土丘陵、半湿潤と湿潤地区の岩質山地で、航空機造林に使用する主な樹種と適正立地条件は表1-3-1のとおりである。

これらの樹種はすべて中国各地の郷土樹種で、林区と過去の航空実播地区から種子の採集は可能である。中国では現在毎年の航空実播の総面積は数十万haに達しているが、

種子の不足の問題はない。

使用機種は砂丘と平坦丘陵地帯においては一般に運-5型双翼小型飛行機を使用し、種子の積載量は800kg、1日当たりの実播面積は1~2万 $\mu$ - (1ha=15  $\mu$ -) である。

山地区では伊-14型飛行機を採用し、1日当たりの実播面積は4~5万 $\mu$ -、種子の積載量は1,600~2,000kgである。普通、県程度のところには小型飛行場があり、地区程度のところには比較的大型の飛行場がある。通常飛行場から実播地までの距離は数十kmで、遠いものは100kmにも達する。飛行作業費は1 $\mu$ -当たり0.8~1元、1ha当たり12~15元である。

主要な飛行実播費用は種子費で、河北の航空実播では油松は1 $\mu$ -あたり1斤(0.5kg)の種子を散布し、その価格は4~5元前後と報告されている。四川省では雲南松を実播しているか、1 $\mu$ -あたりの費用は4~6元である。

飛行機の誘導施設はかなり遅れている。現在、大部分の地区では紅白旗標識航路を使用しているが、或は煙幕の補助誘導航路を使用している。飛行機に取り付けた種子散布口は機械式で、手動により飛行場で調整する。飛行中に播種量の自動調整はできない。適当な播種量の開口度とするためには試験飛行による調整が必要である。

油松千粒の重量は35.7g前後、1斤は1.4万粒、1 $\mu$ -あたりの播種量は1~1.5斤で一般に1斤を利用する。雲南松の千粒重量は15g、1 $\mu$ -あたりの播種に0.5斤を使用する。馬尾松1千粒は11.5g、種子の使用量は、1 $\mu$ -あたり0.4~0.5斤を使用する。砂丘地の播種は植物群落の砂固定作用を発揮するため適当な密播が必要で、これに踏郎のようなものを使用している。沙蓄を0.5gの割合で混播する。黄土砂丘区では沙棘を1 $\mu$ -あたり0.8~1.2斤播く。

北方の油松の播種は雨季、一般には6月~7月上旬に散布し、播種後100mmの雨でやっと発芽する。南方の長江、珠江流域では春季の気温はやや低く降雨量も少ないので、1~2月に散布する。砂丘と黄土丘陵区でも雨季前に播種し、雨を待って発芽する。一般に5月下旬~6月中旬に散布する。

流動砂丘上では種子が風に吹飛ばされるのを避けるため、コーティングの方法によって、種子の重量を3~5倍に増加させる。花棒の種子加工は風食を防止することを目的に、また、高分子化合物吸水剤も使用しており、これは種子重量の増加と吸水の促進で発芽は容易とされている。油松、馬尾松、雲南松は普通、加工処理ずみの種を用いるが、毒剤と別処理の穀物を用いて毒餌を作り鳥害や害獣を防止する。

散布区の植物被覆度は0.3~0.4が適当である。植物被覆度が過大であると、その発

芽率に影響する。南方では、散布対象地の植被の密度が比較的大きいことがあるので、この場合には散布前に植被を焼いてから播種する。

航空機造林の問題点としては、次をあげている。

- ① 飛行機の誘導設備と播種器の設備が遅れており、航行の掌握は良くない。また播種量の機上での適時自動調節はできない。
- ② 種子の鳥獣害による損失が非常に大きい。鳥獣害を防止する有効な薬剤が不足している。以前はフッ素系の薬剤を使用した。人畜に劇毒のため、すでに使用が停止されている。

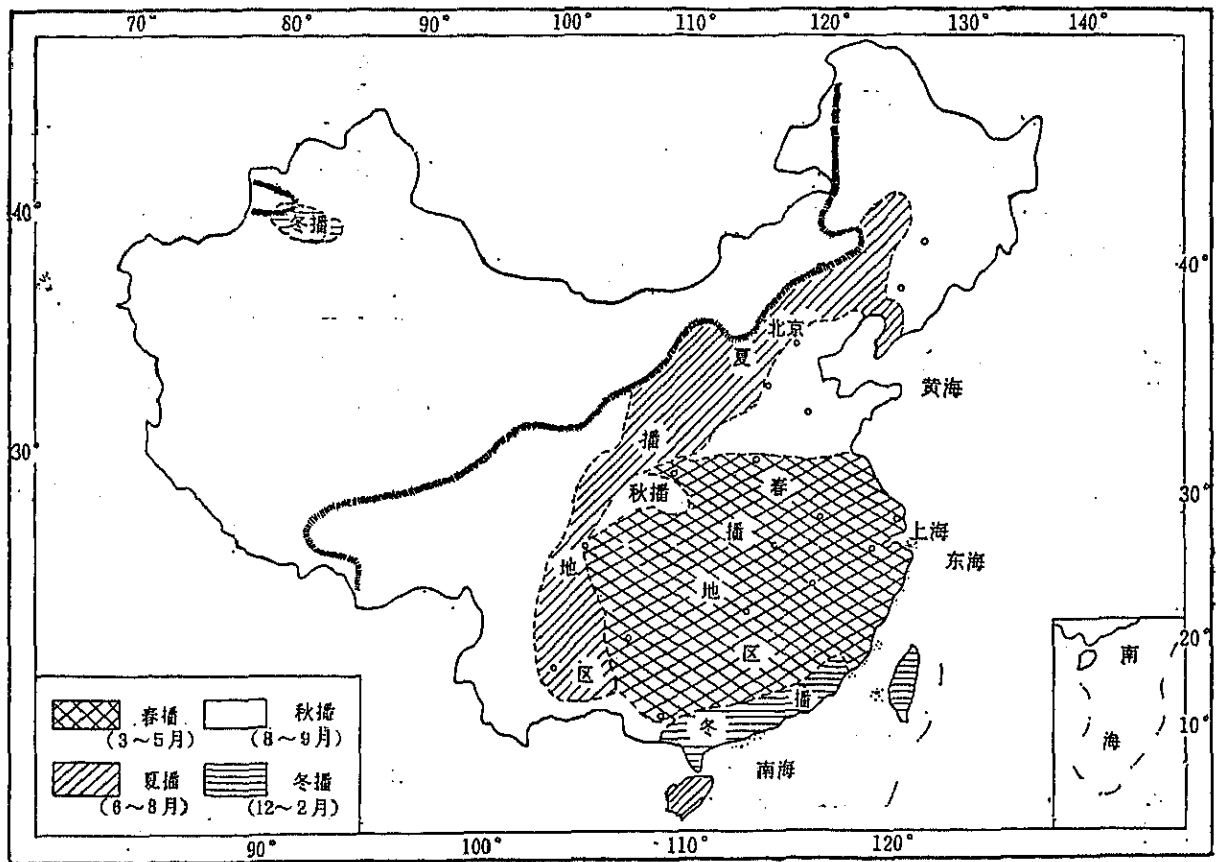


図1-3-1 飛行機播種造林播種時季概略図

出典：中国飛行機播種造林、貴州人民出版社



表 1-3-1 飛行機播種造林主要樹種 適正立地条件一覽表

樹種	項目	気候条件	土壌条件	適応範囲	特記	地区	適期(月)
Pinus massoniana 馬尾松		亜熱帯樹種、陽樹 温暖湿度気候が適 年平均13~22℃、 年降水量800ミリ 以上。	土壌に対する要求 は強くない。乾燥 層地に耐える。p 4.5~6.5	長江以南海拔700m 以下、湖北、四川 陝南、貴州海拔 1,200m以下。	松類では分布が広い。 用材生産が多い。 松脂生産。飛行機造林 成功面積が最大の樹種	広東、桂南 福建、湖北 浙江、湖北 四川内地 桂西 陝南東部 四川	1~2 2~3 3~4  4~5 9上
Pinus tabulaeformis 油松		温带、陽樹、 寒さに強い。25℃ 耐える。干冷気候 を好む。年降水量 300ミリ以上。	土壌に対する要求は 強くない。乾燥層地 岩石露出地、石灰岩 地帯酸性土壌でも生 育する。	陝西黃龍山 900~ 1,700m、陝南1,000 ~1,500m、 河北1,500m山地800 ~1,200m、1,500m以 上白樺などと混生、 1,800m以上でも成長 不良。	北方地区の最重要造林 樹種。幼時の成長は速 いが4年目から成長が 早い。材質は堅く松脂 が多い。くさねに強い。三 建築材、家具用材。大 大航空機造林樹種。	陝南、河北	4 6下~7下
Pinus yunnanensis 雲南松		亜熱帯樹種、陽樹 乾季雨季の明らかな な気候。夏に雨が 集中、酷暑でなく 冬は乾燥、寒さは 厳しくないこと。	土壌に対する要求は 強くない。乾燥で薄 層の土壌に耐える。 p <sup>H</sup> 5~6。	河西南、滇中、滇東 1,500~2,600m、 滇西、川西 2,200~ 2,800m、川東、鄂西 1,200m以下。	雲貴高原の重要樹種。そ の後の成長は早い。 天然行進は容易、荒廢 造林用樹種。	滇東南、 滇西北、 川西南	4 5中~6中
Pinus armandi 黄山松		温和涼爽湿度15℃以 下。耐寒性あり、年 降水量600~1,500 ミリ。年平均 均相対湿度70%。 陽樹、浅根性	各種土壌に適応。 排水良好、弱酸性土 壌で成長良好。 p <sup>H</sup> 4~7	雲南中部、北部、北 西部 1,800~2,800m 貴州中部、西部 1,200~2,000m、川 北、川西部 1,600~ 3,300m、川東、鄂西 1,000~2,000m、陝 西 1,500~2,300m。 北緯23~36° 東経88 ~113° に分布。	西南部地区の重要用材 林樹種。 分布範囲が広く行進、 成長材質もよい。成長が 10年生以後は、成長が 油松、雲南松をこえる	湖北恩施地区 四川東部 川西南滇西北	3~4 5下~6上
Pinus taiwanensis 黄山松 (台湾松)		涼しく湿度の気候 で相対湿度の大きい 山地。年平均7 ~15℃。-22℃ま での寒さに耐える 年降水量1,400 ミリ以上。陽樹。	深い湿润肥沃、排水 良好な壤土、砂壤土 に適応。p <sup>H</sup> 5.5~ 6.5。岩石露出地や 乾燥層地にも生育 するか灌木状。	台湾、浙江、安徽、 福建、江西、湖南、 湖北、河南南部700m 以上。1,000m以上の 層地に純林あり。	華東、華中、山地緑化 の用材。水源かん養樹 種、浙江省で航空機造 林に成功、更新簡便で 害虫が少くない。材質良 好。		

樹種	項目	気候条件	土壌条件	適応範囲	特記	地区	適期(月)
<i>Pinus khasya</i> 思茅松 (白松)		陽樹、海南島で飛行機播種造林を執行中。17~20年降水量1,000~1,500ミリ。	水肥料の要求は雲南松より高い。薄い層の土壌では成長不良。	川西南2,000m以下、雲南700~1,200m広東、亜熱帯600m以上の中低山、丘陵	雲南省南亜熱帯に主に分布。幼時の成長は早い。天然更新能力が強い。広東省で航空機造林に使用。		
<i>Rhus verniciflua</i> 漆樹		落葉喬木。庇陰には耐えない。温暖で湿度環境8~20、600ミリ以上、適応性が広く、ある程度の低温にも耐える。	肥沃、湿潤排水良好な砂質土が適。	川東、鄂西、陝南2,000m以下、川西南3,200m以下、広東、中亜熱帯800m以上、南亜熱帯600m以上	重要特用経済林樹種、華山松と混播に適。湖北省で航空機造林に使用。		
<i>Acacia confusa</i> 台湾相思		常緑喬木、陽樹、深根性、雨季乾季の明瞭な亜熱帯気候。寒さに弱い18~26、1,300~3,000ミリ。	土壌要求は強くない。乾燥瘠地に耐える。石灰岩地帯は不良。	広東、在南亜熱帯沿海丘陵、海南山地600m以下、中亜熱帯400mの丘陵台地。	馬尾松と混播。防風林、水土保全林の主要樹種。萌芽力は強い。根系は発達する。薪炭林。馬尾松と混播で成績がよい。		
<i>Hedysarum scoparium</i> 花棒		マメ科、落葉灌木陽樹、草原、草地帯の砂地。根の発達がよく40~52。	熱に耐える。	北西部砂漠、半砂漠及び乾燥草地の造林樹種。内モンゴルの分布。	飛行機播種造林砂固定用灌木樹種。成長が早く萌芽再生が強い土壌改良効果、抗風。薪炭在、飼料。	陝北 内モンゴル 流動砂丘	5~6 6
<i>Hedysarum mongolicum</i> 踏郎		落葉灌木、陽樹。乾燥した草原	風食に耐え砂を固定する。	内モンゴル、陝北省	砂地用飛行機播種造林灌木樹種。	同上	同上
<i>Astragalus adsurgens</i> 沙打旺		マメ科の多年生草本。分布範囲が広い。適応性強い。年降水量400ミリ。幼苗は地表40~60、でも成長。	適応性が広く。乾燥瘠地に耐える。寒地瘠土でも可。根系が発達し、水土保持能力が顕著。	半固定砂地、砂地に移行しつづ、ある草地に見込みがある。	1976~1979年黄土高原で飛行機播種造林実施。寧夏省250ミリの砂漠草原で航空機造林に成功。2年目から成長著し、他の植物を被圧す。	黄土丘陵	5~6

項目 樹種	気候条件	土壌条件	適応範囲	特記	地区	適期(月)
Caragana microphylla 桿条	マメ科、灌木、陽樹、乾燥に耐える -32.7°Cや 55°Cの地温にも 耐える。	砂漠地帯、乾燥し瘠 せた薄い土壌、黄土 石漠地でも生育。	西北華北東北地区、 内モンゴルに分布。 黄土高原の重要樹種	萌芽が強い。砂固定用造 水士保持、砂固定用造 林樹種。 根系の発達がよく、 直播が容易。成長が早く 2年目から成木で航空 機造林に使用。	黄土丘陵	5~6
Pippophae rhamnoidesh 沙棘	落葉、灌木、陽樹 耐え寒風砂	土壌要求は低い、 礫水耐乾燥瘠薄地 重粘土は不可。 pH 9.5 のアルカリ 性土壌でも生育。		三北地区の重要造林樹 種、水土保持砂漠固定 樹種。 種子が豊富、繁殖がよ い。 主根は浅く、側根が発 達。棘枝が繁茂。 成長は早い。枝葉固密 土壌の改良効果あり、 陝西省で航空機造林に 使用	同上	5~6

中国飛行機播種造林、飛行播種造林、飛行機播種造林手帳より作製

### 3) インドネシアの航空機造林

インドネシアにおける航空実播による造林は、1972年にジャワ島の西部マジヤレンカ、中部のバラプラン、東部のラウ、ケドリおよびティムール島のヌサテンガラの5箇所で実施された。このうち、バラプランとラウの2箇所は成功したが、ラウはその後の山火事により焼失し、現在はバラプランのみで成林している。バラプランは、傾斜4～12度の丘陵地、土壌は熱帯紅土および侵食の激しい黄褐色系土壌で理化学的性質はよくない。

年降水量は2,500ミリ前後で11月から4月にかけて雨期、5月から10月が乾期であって、現地はチークの不成績造林跡地で雑低木の混ざったアランアラン草原である。使用樹種は、アカシア・アウリカリフォルミス、ギンネム、カリアンドラ・カロシルサス、セスベニア・グランディフォラ、ダルベルギアSp、及びメルクシマツの6種でいずれも裸種子を散布した。使用した航空機は農薬散布に使用しているピラツスPC-6型飛行機で、散布装置は機体内ホッパー式のベンチュリー型散布装置である。実施箇所の面積は370haで、農業用トラクターによる耕耘、刈払い火入れ及び無地拵えの3試験区を配置している。散布作業は、雨期はじめの12月上旬に行われ、6樹種を混播した。播種量は375haに対し7,501kgで、落下量、発芽率等は次のとおりである。このうち、メルクシマツは無地拵え区にしか散布していないので調査から除外してある。

	散布量(Kg)	ha当たり種子 落下量(粒)	発芽率(%)	ha当たり立木本数 (7年後)
ギンネム	3,932	117,300	70	9,964
カリアンドラ・カロシルサス	652	15,400	37	1,742
アカシア・アウリカリフォルミス	210	8,500	—	248
セスベニア・グランディフォラ	1,892	101,200	42	272
ダルベルギアSp.	800	17,200	70	—
メルクシマツ	15	—	—	—

注) 1. 耕耘区と火入れ区は成績の差が小さく、7年後の立木本数は併合

2. 無地拵え区は不成功

3. 発芽率は散布10ヶ月後

17年後の調査結果では、アカシア・アウリカリフォルミスは、丘頂斜面に成林、樹高は8～15mでアランアランも衰退している。一方、ギンネムは平坦地や谷底傾斜面を占有したが、ギンネムキラジミの被害を受けた。その他の樹種は成林していない。ラウ試験地は、標高800m、平均傾斜35度の山腹傾斜面で、土壌は火山堆積土、年降水量は1800ミリである。植生はランタナ(Lantana camara)とアランアラン草原で、メルクシマ

ツの適地である。地拵えは鋤の掘起し、刈払い火入れ及び無地拵えの3試験区にアカシア・アウリカリフォルミスとカリアンドラ Sp. を散布。播種量はha当り53,000粒を混播した。1年後の稚樹発生率は次のように両樹種とも無地拵え区が最もよい。

	掘り起こし区、火入れ区、無地拵え区		
アカシア・アウリカリフォルミス	23.9%	46.7%	50.0%
カリアンドラ・カロシルサス	13.4%	18.4%	28.5%

航空機造林用種子の調達については、中央・地方の育種技術センター等種子の研究生産機関の連携があればある程度の確保は可能のようである。航空機の保有状況は、林業者に飛行機1機のほか10数機のヘリコプターが、また我が国の企業と合併の民間企業に206Bヘリコプターや212ヘリコプターが保有されている。

## 2. 画像処理による造林対象地の条件調査

### 1) 航空写真の撮影

土地条件調査に際して、航空写真は不可欠な材料である。現在世界の各国のほとんどの地域にあっては、何らかの航空写真は存在すると見てよい。しかしながら、入手の難易、撮影時期の新旧、あるいは縮尺、画質等の適否により、適切な既応写真の使用が可能でない場合は新規撮影を実施する必要がある。特に開発途上国にあっては、近年の土地利用変化は極めて著しく、調査に当たっては新規撮影が必要条件となることが多い。

#### (1) 撮影諸元

航空写真の撮影は、写真撮影専用航空機を用い、地形急峻地域でない場合は広角（焦点距離 150mm）カメラ、地形複雑な山岳地帯では普通角（焦点距離 210mm）、または長焦点（焦点距離 300mm）カメラによって、前後60%、コース間30%が重複する垂直写真で立体観測のできる写真がえられるよう撮影するのが原則である。

現在では航空写真は、調査対象地として決定された中、小面積単位（50万～1万ha以下）の地図作成、詳細調査の材料として用いられ、それ以上の広面積を対象とする画像データには衛星写真を用いるのが適切である。したがってその撮影諸元は表2-1-1のとおりである。

表2-1-1 撮影尺度と使用カメラの種類に基づく撮影諸元一覧表

計画諸元値 使用カメラ 撮影縮尺		基準面からの対地高度	撮 影 基 線 長	コ ー ス 間 隔	撮 影 面 積 (1)	撮 影 面 積 (2)
		(H)	(B <sub>0</sub> )	(B <sub>s</sub> )	(A <sub>1</sub> )	(A <sub>2</sub> )
1 / 10,000	広	1,500m	920m	1,610m	529ha	148ha
	新普	2,100	920	1,610	529	148
	従普	2,100	720	1,260	324	91
	長	3,000	920	1,610	529	148
1 / 16,000	広	2,400	1,472	2,576	1,354	379
	新普	3,360	1,472	2,576	1,354	379
	従普	3,360	1,152	2,016	829	232
	長	4,800	1,472	2,576	1,354	379
1 / 20,000	広	3,000	1,840	3,220	2,116	592
	新普	4,200	1,840	3,220	2,116	592
	従普	4,200	1,440	2,520	1,296	363
	長	6,000	1,840	3,220	2,116	592
1 / 30,000	広	4,500	2,760	4,830	4,761	1,333
	新普	6,300	2,760	4,830	4,761	1,333
	従普	6,300	2,160	3,780	2,916	816
	長	9,000	2,760	4,830	4,761	1,333

注(1) カメラの記号 広：広角カメラ (焦点距離15cm, 画枠23cm)  
 新普：新型普通角カメラ ( " 21 , " )  
 従普：従来型普通角カメラ ( " 21 , " 18cm)  
 長：長焦点カメラ ( " 30 , " 23cm)

(2) 撮 影 面 積 (1)：1枚の写真全面に写る面積  
 (2)：立体視可能な有効被覆面積 (OLが60%のとき)

我が国の国内では1/10,000～1/16,000の撮影が主であるが、開発途上地域での調査では1/20,000～1/30,000縮尺の撮影が適切であろう。

## (2) 基準点の設定

撮影に当たっては、基準点の設定、対空標識の設置を行い写真標定と図化の基準を作成する。既設の地上基準点（三角点、水準点等）の少ない途上国では、調査地内にこれらを増設するために、数個の人工衛星の位置を測定して地上の座標値を求めるGPS測量による基準点設定と、それらの点の標高値を既設基準点の標高と結合させる水準測量を行う必要がある。

## (3) 使用フィルム

使用フィルムは、通常パナクロ、モノクローム（白黒）が経済的であり、画像も鮮明で判読にも効果的である。土壌水分、植生等の特に詳細調査を目的とするとき、赤外カラーフィルムが用いられる場合もあるが、画像作成に約3倍の費用と工程を要する。

天然色カラー写真は、低高度撮影の大縮尺（1/10,000以上）でないと大気水分の多い地域では鮮明な画像が得られない。またカラー写真は情報量が多いだけに、その判定には撮影時の条件、植物の季節変化、生理現象等の知識等を必要とし、熟練した判読技術者を必要とするものである。

## (4) 撮影作業と管理その他

一般に開発途上国にあっては、航空写真の撮影は軍関係機関の管理下にあり、成果品の保管取扱いもそれに準ずるものである。したがって撮影に当たっては当概国の撮影機関と密接な打ち合せ 合意の上で撮影委託契約を結ぶことが必要である。

撮影に当たっては所要撮影諸元に関する仕様書を作成し協議決定する。

委託撮影による作業では、日本より撮影管理技術者を派遣し、工程及び品質の管理を行う。特に雨季、乾季を有する地域では、撮影は乾季に実施することとし、写真判読に支障が生じないように 雲量、陰影、ミスト等の品質を管理、不適正な場合は再撮影を指示する。

撮影されたネガフィルムの現像は、委託機関で直ちに行い、日本側管理者の検査の上、ポジフィルム 及びプリント作成を行う。

ポジフィルムは図化作業に用いるものである。途上国では 撮影フィルムの国外持出しに制約のある事が多い。

## 2) 航空写真の利用

航空写真は、地形図の作成と、写真判読、現地確認資料として活用される。

### (1) 地形図の作成

開発途上国にあっては、調査に必要な、かつ適切な地形図等の入手の困難なことが通例である。また既存の図葉のある場合でも、その精度、詳細性、図化仕様、現時性等の不足のため、新規撮影写真により地形図等 調査用基本図の作成を実施するのが望ましい。

地形図は、広域対象にあっては1/20,000～1/30,000、10m 等高線図が通常であり、実施設計地区（モデルエリア等）でのプランニング基本図には1/5,000、5 m等高線図が作成されることが多い。

図化は、機械図化作業で行い、それに先立ち、各写真の投影中心、及び各画像モデルの結合点の座標値を求める空中三角測定を行い図化機への設定を可能とする。これらの作業管理は日本側管理者により行い、図化結果は所定機関の検定を受けるものとする。

### (2) 写真判読利用

写真の判読利用は、広域を対象とする概況了察図の作成、衛星画像判別基準の作成に用いられる大スケール判読と、実施計画設計等のための狭域（モデルエリア等）詳細判読がある。

#### ① 大・中スケール判読

植生・土地利用概況の予察図や衛星画像判別基準の作成に用いられる写真判別項目は、下記の大区分 および中区分であり、後述する（(3)の②項）衛星データの利用判別レベル3， および4， の作業区分に該当する。



表 2 - 1 - 2 植生・土地利用判別項目

大区分	中区分	小 区 分			
		樹 高 階	疎 密 度	疎 密 度	階 分
a 森 林	1 天然林	高 (30m以上), 中 (21-30m), 低 (10-20m)	密 (80%以上) (60-80%) (60-40%) (40%以下)	疎 密 度	階 分
	2 二次林	, " , "		"	
	3 低木林	, "		"	
	4 更新地			"	
	5 伐採跡	皆 伐 跡 , 択 伐 跡			
b 農用地	6 混農林	定着混農, 移動耕作			
	7 耕作地 8 耕作跡	畑地, 穀物, 水田, 果樹 休耕, 放棄			
c 草 地	9 自然草地 (Bush)	草 木 原 , 荒 廢 地			
	10 放牧地 Pasture				
d 裸 地	11 砂礫地	河 床 , 砂 州 , 露 岩 地 自 然 山 火 , 燒 畑 火 入 れ 崩 壞 等			
	12 燒 跡				
	13 崩 壞 等				
e 湿 地		マングローブ, 淡水湿地  (河岸浸水地を含む)			
f 河川湖沼 g 集落施設 h 路 網 i その他					

なお土地条件区分は地形、地質に関連し、

表 2 - 1 - 3 土地条件区分

	中 区 分	小 区 分
a	平坦低地	(ハンラン原、谷底低地、扇状地、河床 etc. )
b	起伏丘陵	(段丘斜面、頂面、起伏山麓、解析斜面 etc. )
c	山 地	(急斜面、山地緩斜面、山頂、小起伏 etc. )

表 2 - 1 - 3 の区分を行う。樹高階の判別区分は、現地確認により上層木（優勢木）樹冠直径と樹高が高い相関のある場合は、樹冠直径の大（22m以上）、中（12～22 m）、小（12m 以下）の区分をもって、または老、壯、若 の区分で行うことがある。

② 小スケール判読

詳細判読地域における実施計画プランニング等のために行う判読は 写真立体視による判読で、上表の小区分に該当する項目の標準地の設定と確認のため、また植生・土地利用図、また林相図作成のために行われるものであり、これにより森林地帯は主要優占樹、又は利用樹種の混在の有無を加えて、樹高階は、大径木林、中径木林、小径木林、幼令林、新植地の 5 段階、また疎密度階に加えて立木本数階、樹冠層の構成（単層、複層、多層）を行う。

③ 判読結果のとりまとめ・予察想図の作成

これらの判別区分の最小単位面積は、写真画像上 5mm×5mm（例えば1/25,000縮尺写真では125m×125mに相当する）とする。

これらの各区分級はコード化し、それぞれの記号をもって判読区画ごとに記入しその結果を地形図上に移写し、現地予察図にとりまとめる。

植生、土地利用、災害等は これらを地表被覆条件図として一葉にオーバーレイして編集、また、土地条件は 地質構造線（断層、破碎帯など）等の判読結果を加えて自然環境条件図として編集する。

これらの予察図は、写真と共に現地調査の際に携行し、判読区分、またその境界等の確認照合、補正を行い、その完備を期する。

なお 大スケール、小スケールを通じての判読区分の項目、また そのコード記号等の決定は 該当国において慣用化し、又は国際的に基準化されているものになるべく整合する様に検討することが望ましい。

これらの写真判読結果に基づき 植生、資源、土壌、環境調査等の詳細設計が可能となる。

また 現地調査にあたっては、目的地への誘導、確認に 写真活用は不可欠な資料となる。

### 3) 衛星データの利用

#### (1) 衛星データの利用の原理

地表の物体は太陽光などを受けて地表面からの反射光、透過光、散乱光を出し、また地球内部よりは放射光を出す。

肉眼は、これらの光のうち  $0.3\mu\text{m}$  から  $0.7\mu\text{m}$  までの可視光を黄から赤までの色として捕え、物体の存在を知り、それを識別するが、その他の肉眼では捕えられない紫外線、赤外線、マイクロ波などを加えた光波を総称して電磁波と呼ぶ。

この地球表面から反射、放射する電磁波を、人工衛星や航空機に搭載したセンサで捕え、写真画像や磁気テープに記録したものがリモートセンシング画像データである。

観測記録された電磁波には、次のような性質がある。

ア 物体が反射する電磁波は、それぞれの物体の種類によって固有の波長ごとの強度特性をもっている。したがって、反射光を波長別に捕えてこれを比較測定すると、その物体を識別することができる。これを「スペクトル判別」という。

イ 物体は、その温度に応じた赤外線を反射している。したがって、赤外線の強度を測れば、その物体の温度を知ることができる。

ウ 物体から反射、又は放射するマイクロ波の強度や散乱の状態を測ることで、物体までの距離、表面粗粒度、透電率、又はマイクロ波が透過した大気、水などの組性を調べることができる。

これらの性質から画像データを処理し、地象、海象の各種の情報を判別、収集する技術は画像処理法の進歩により近年急速な発展を遂げ、応用分野を拡大しつつある。

#### (2) 衛星データの現状

航空機とカメラを用いた空中写真利用の技術は、リモートセンシングの概念が生れるはるか以前から発達してきた。この航空機に人工衛星を加え、カメラに各種の探知計器を加えることにより、地球観測の目は大気圏内から宇宙空間へと広がり、関知する電磁波領域は可視、近赤外の範囲からすべての電磁波領域へと拡張した。また地物識別の手段も、写真や合成画像の目視判読に加えて、数値的な機械判別が発展し、著しい物理性と処理能力が付与された。

1972年、米国NASAによるLANDSAT-1号の打ち上げ、それによる地球観測実験計画発足以来、これらの技術開発は極めて急速に進み、また効果の認識も著しく、現在では米国、ソ連に続いてフランス、日本が既に地球観測目的の衛星を軌道にのせ、そのデータを公開しているが、近い将来にはさらに多種、多様な人工衛星が地表のデータを提供しようとしている。

現在、この目的のために、利用が可能な衛星の主なものは、これまでの報告書に記述したごとくLANDSAT, SPOT, MOS-1の3種であり、その内容は次表の如くである。

表 2-1-4 地球観測衛星と搭載センサ

衛星名	軌道要素	搭載センサ	
		主搭載センサ名	センサの主要観測諸元
LANDSAT-4 (1982) -5 (1984)	太陽同期軌道 高度：約 705km 傾斜角：約98° 回帰日数：約 2 日 観測周期 16日)	TM Thematic Mapper	可視近赤外 4 バンド、中近赤外 2 バンド、熱赤外 1 バンド 分解能：30m (可視近、中近赤外)、120 m (熱赤外) 観測幅：185 m
		MSS Multispectral Scanner System	可視近赤外 4 バンド 分解能：80m 観測幅：185 km
SPOT-1 (1986) "-2 (1987) "-3 (1989)	太陽同期軌道 高度：約 832km 傾斜角：約99° 回帰日数：約 5 日 (観測周期： 26日)	HRV High Resolution Visible Range Instruments	可視近赤外 4 バンド (内 1 バンドはモノクロ) 分解能：20m (モノクロは10m) 観測幅：60km × 2 台 オフナディア視：+26° ~ -26°
MOS-1 (1987) "-16 (1989) (日)	太陽周期軌道 高度：約 909km 傾斜角：約99° 回帰日数：約17日	NESSR (可視近赤外放射計)	可視近赤外 4 バンド 分解能：50m 観測幅：100 km × 2
		VTIR (可視近赤外放射計)	可視 1 バンド、熱赤外 3 バンド 分解能：0.9 km (可視)、2.7 km (熱赤外) 観測幅：1500km
		MSR (マイクロ波放射計)	周波数：23.8 GHz、31.4 GHz 分解能：31km (23.8 GHz)、22km (31.4 GHz) 観測幅：317 km

また上記 各衛星のセンサの捕束波長帯は次図の如くである。

各波長率による観測項目は 前報告書にLANDSATのTMを例として説明している。

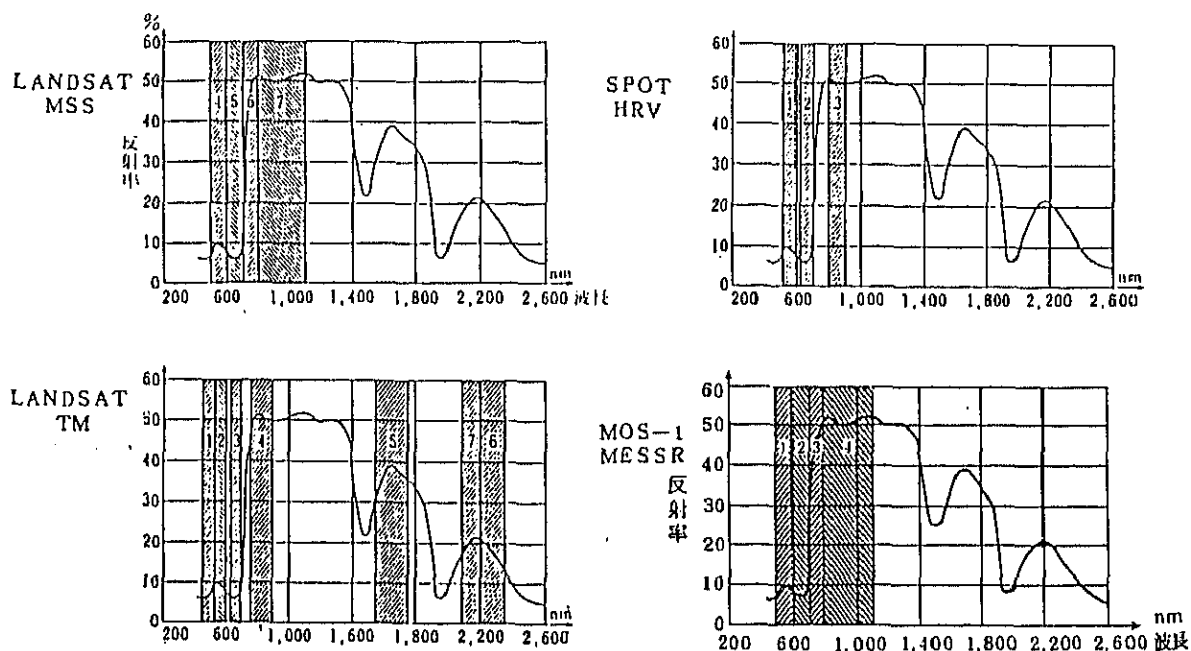


図2-1-1 各種衛星センサーの観測波長帯

上記衛星のうちLANDSATは最もなじみ深く、また最も平易にデータが利用され、また波長帯の数も最も多く、データの数値処理の主体をなすものである。特にTMセンサーには他の衛星にない中赤外の $1.55\mu\text{m}\sim 1.75\mu\text{m}$ （バンド5）と $2.08\mu\text{m}\sim 2.3\mu\text{m}$ （バンド7）があり、前者は雲と雪、また植物含水量の差を、後者は岩種、岩質の判別に効果を発揮するとみられている。

なお、1990年打上げ予定のLANDSAT-6号では、現在のTMに画素 $15\text{m}\times 15\text{m}$ の可視、近赤外のモノクロモードを加えたETMが搭載される。

スポット衛星のXSモードの画素は $20\text{m}\times 20\text{m}$ 、パナクロデータのPモードの画素は $10\text{m}$ であり、観測の詳細性に特徴がある。また、観測ミラーの角度の調整によって、異なる角度から同一地点のデータを5日間に亘って取ることができ、その画像によって立体観測の出来る大きな特徴をもつ。

スポット衛星のデータは、観測眼が細かく、波長帯の数の少ないことから、数値処理よりもむしろ画像の写真判読の利用に効果的であろう。ただし画像縮尺が大きいことは、同一面積当りの画像価格が、ランドサットデータに比べて数倍から十数倍となるものである。

なお、1990年2月にはスポット2号、またMOS-2号も打ち上げられた。これらの運営開始時には、それぞれの観測頻度が倍増することが予期されている。

なお、1992年には、我が国2番目の地球観測衛星として、ERS-1が打ち上げられる予定である。この衛星は、立体視を可能とする1バンドを含む可視、近赤外3バンドの他に、中赤外4バンドを加えた画素18m×18mのセンサを持ち、また全天候性を目指す分解能18mのマイクロ波領域の合成開口レーダ（SAR）を搭載する。

ERS:1 (1992) (日)	太陽同期軌道 高度：約 560～ 570 km  傾斜角：約98°	光学センサ	可視近赤外3バンド、中近赤外4バンド、 (うち1バンド立体視) 18m 分解能：(可視近赤外、中近赤外) 観測幅：75km 立体視(可視近赤外のうち1バンド)
		合成開口レーダ	Lバンド、H-H偏波、オフディア角35° 分解能：18m×18m(3ルック) 観測幅：75km

上記のとおり、近年に至り人工衛星画像データの詳細性は著しく高まり、また波長帯も多く、更に、これらの衛星を組合せることによる観測頻度が著しく向上しようとしている。

地球観測衛星群の他に、地球規模の広面積、時系列情報を収集するためには、気象衛星ひまわり（GMS）、および、NOAAのデータ利用も有効である。ことに、後者は画素1.5kmの小縮尺データではあるが、常時2機が午前、午後、夜間の観測を続けており、AVHRRセンサによる可視、赤外バンドのデータは、大規模な植物生育被覆、雲量、雪積、水蒸気分布等の情報収集に有効である。

### (3) 衛星データによる地表の判別

#### ① 衛星画像利用の特性

人工衛星画像データ利用の特性は

- ア. 広域同時、かつ繰り返し観測により、最新の情報、また時系列的な変化の情報が得られることにある。
- イ. データの数値的処理により客観的、かつ物理的なデータ判別、統計値の整備が機械的、高能率で可能なことにある。
- ウ. 画像処理システムと結びつき、自在な画像表現が迅速に可能なことにある。
- エ. 可視光以外は、これまで未利用分野が多かったが、多波長帯データにより、未

知の地表現象識別指標を開発する可能性が多く含まれている。特に赤外、マイクロ領域では植生、地質、土壌等の分野で新たな識別区分の技術発展が期待される。

これらの特徴を活用するとき、他の観測手法ではえられぬ効果が期待されるものである。

## ② 画像データの判別レベル

衛星画像データ判別はLANDSATデータ利用の経験が積み重ねられて来た。その判別には、データと適用技術の精粗により、レベル分けをすると次表のとおりである。

ここで レベル1、2は合成画像で目視判別で可、また波長構造の機械的分類（主成分分析等）により容易に判別可能な分野である。

レベル3、は空中写真では目視判別可能であるが、衛星画像では判例の基準に従って数値判別の可能な分野である。

レベル4、は大縮尺空中写真（縮尺1:20,000以上）で熟練者による目視判別が可能であるがLANDSATデータでは、あらかじめそれらによって十分な判別の基準（トレーニングデータ）を整備し、それによって数値処理による広域の識別が可能なレベルである。

表2-1-5 リモートセンシングデータで地表を判別するレベル

	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	(備考)
小縮尺写真	目視判読可		判例により目視判別		
大縮尺写真	"		熟練者による目視判読可		
衛星データ	合成画像"		判例により数値判別を要す		
植物で覆われるまたは植物が多い	森林		針葉樹林 広葉樹林 マツ林 その他	森林型区分 疎密度区分 高木, 低木区分 混合度など	人工林, 天然林 落葉, 常緑の別 主要樹種群 (竹, はいまつなどを 含む)
	草地		自然草地 人工草地 荒地 その他	高草, 芝 ヤブ 密生度区分 その他	野草地, 牧草地 ゴルフ場 かん木地など 湿性草地など
	農用地		穀類 疎菜, 根菜 果樹園 休耕地, その他	成熟度区分 穀物種区分 土壌型区分 湿度区分, その他	水稲 麦, 陸稲, 馬鈴薯 疎葉, 桑, 茶, 果樹などの区分
植物がないまたは少ない	裸地		造成地 自然裸地 砂漠 岩石地 火山噴出物など	採石, 埋立, 枯草 崩壊, 露岩, 溶 岩, 砂浜, 礫浜, 河岸, グランドな ど	地質型区分 土質型区分 成因別区分
	都市集落		居住地 工場 特殊施設 道路 集落, その他	高密度市街地 低層市街地 大規模住宅 交通, 流通施設 港湾施設など	住宅地, 事務, 商 用地, 運動場, 温 室群, 貯油タンク , 鉄道, 幹線道路 など
水域	河湖海湿地	川沼地	すんだ水, 濁った水, 貯水池, 水路, クロロフ ィル発生	混濁物種別 混濁度 クロロフィル量	
雪氷			積雪領域, 氷被 覆	雪, 氷質など	
雲影					

∴ 多時期のデータ重合が精度を高める

(中島巖: 宇宙から地球を探る 1956)



### ③ 植生被覆の判別

画像データの利用には、対象面積の大小、利用目的の精粗により、合成画像の目視判読から、数値処理による画素ごとの判別までそれぞれの段階がある。

#### a. 大スケール調査判別

100 万ha以上の大面積を取り扱う場合、最も効率的なものは合成画像の目視判読である。この場合使用し得る画像の縮尺は、衛星のセンサが持つ画素（最小観測面積）によって定まり、LANDSATのMSS, MOS - 1で20万分の1, LANDSATのTMで10万分の1, SPOTのPXで5万分の1が目安であり、いずれも航空写真よりは小縮尺である。

合成画像は、濃度階強調画像（シェード強調）主成分強調画像（クラスタ強調）などの手法によって、波長帯の差を強調、または消去して、目的項目別に目視判別を容易とする画像を作成することはできるが、この縮尺にあっては判別項目のレベルは前記2までは容易であるが、レベル3が限界であり、経験とまた対象地での観測季節に応じた判例を必要とする。

例えば、熱帯雨林の自然林では、経験ある判読技術者によれば、土地条件との総合判定により下記の林型区分が期待されよう。

- a. 塩水湿地林 Salt water swamp Forest.
- b. 海岸林 Coastal Forest.
- c. 淡水湿地林 Fresh water swamp Forest.
- d. 河岸浸水林 Inundulated Scrub Forest.
- e. 低木林 Dwarf bush Forest.
- f. 低地林 Lowland Forest.
- g. 丘陵林 Hilly Forest.
- h. 山岳林 Mounteniour Forest.
- i. 泥炭林 Peat Forest.
- j. 石炭岩林 Limestone Forest.
- k. 草原 Sabanna.

これらはそれぞれの森林型における安定型であり、その間には、天然または人為による破壊型、あるいは推移の過程にある混合型や二次林(Secondary Forest)が判別される。

また、最も容易で、かつ一般的な大スケール判別項目は下記である。

	Forest site type
	Mangrove F. マングローブ
	Swamp F. 湿地林
	Flat Forest 平地林
	Hilly Forest 丘陵林
	Mountain F. 山岳林
	Open Area
	Cultivated Land Area
	Plantation(rubber/coconut/coffee)
	Other Area

なお、植生被覆率は、土地利用、土地条件の判定に極めて必要な項目であり、画像データにより最も効果的な判定がなし得る分野である。すなわちその区分は

A	閉鎖林	70%以上
B	疎林	70~50%
C	散生林	50~40%
D	点生	40~20%
E	空地	20~0%

C、Dは Wood landと呼ばれ、Dでは低木と草地の混生するBush, Dwarf Landが通例である。

#### b. 中～小スケール調査判別

中～小スケール調査区分の場合に必要なより詳細なレベルDの区分は、判別基準を用いた数値処理に期待される。対象面積はより小規模で5~10万haが処理の対象となる。

森林は、大スケール区分のそれぞれの森林型について、樹冠層、樹高階、疎密度階のそれぞれが、3階層に区分される。例えば下表のとおりである。

表2-1-6 階層区分

樹冠層	樹冠径階	樹高階	疎密度
単層	大(22m以上)	高(30m以上)	密(81%)
複層	中(12~22m)	中(21~30m)	中(60%~80%)
多段層	小(12m以下)	低(10~20m) 更新他(10m以下)	疎(60%~40%) 点生(40%以下)

樹高階は、老、壮、若、のように区分されることもある。これらを取りまとめると、レベル4に対応する衛星情報による判別可能項目は次表のとおりである。

なお、レベル4より詳細な地表判定は、航空写真の立体判読に期待される。

このレベル4の判別区分作業には、航空写真及び現地確認によって判定された判別基準例(トレーニングサンプル)が用いられる。上表( )内の値は、航空写真判読によって与えられる参照値である。またそれらは、後に現地照合により確認しなければならない。

表2-1-7 衛星データによる地表被覆・土地利用基礎情報

植生被覆（一時的季節的を含む）					
	森 林		草地・原野	農 用 地	裸地・水・其他
（ ス ペ ク ト ル ・ テ ク ス チ ユ ア 、 季 節 十 判 別 基 準 ）	（熱帯林）	（温・暖帯林）			
	1) 天然林	3) 天然林			1) 裸 地
	1 高木林	1 針葉樹林	1 原生草地	1 成熟穀物地	1 耕 地
	2 中木林	2 常緑広葉樹林	2 荒 地	2 生育穀物地	2 造 成 地
	3 低木林	3 落葉広葉樹林	3 牧 場	3 収穫穀物地	3 侵蝕・崩壊
	4 更新林	4 混交林	4 原野(竹)	4 果 樹 園	4 砂 浜
	5 疎 林	5 マツ林	5 芝	5 畑 地	5 海 岸
	6 草木林	6 カラマツ林	6 焼 跡	6 水 田	6 岩 石 地
		4) 開発林		7 休 耕 地	7 熔 岩 地
		7 二次林			8 火 山 灰 地
		8 更新林			9 湿 性 地
		5) 人工林			2) 市街、集落、 工場等
		9 用材林			3) 道 路
		2) 開発林	10 若令林		4) 水
		7 二次林	12 幼令林		1 清水湖沼
	8 耕地林			2 濁水湖沼	
	9 農牧林			3 湿 地	
	10 植栽林			4 河 川	
				5 人工池、湖	
				6 水 路	
				5) 水・雪	
				6) 雲	
				7) 影	

#### ④ 土地条件判定に関するシステム開発

森林分野における画像データの利用は、従来、森林資源調査利用として発展して来た。したがって、前項に述べた画像データ利用の判別区分も、いわば地表被覆区分の分野におい確立されてきている。

しかしながら、植生環境回復を目的とする調査等においては、更に効果的な利用方法を開発せねばならない技術分野も多い。

生態的な土地・環境保全計画（Ecological Environmental Planning）を作成するためには何よりもその地域における自然と人間社会の交錯による基礎情報を整備し、その土地の存する環境特性と利用特性を明らかにしなければならない。現在、この目的のためコンピュータを活用した解析システムの開発が進んでいる。その手法を下記に記述する。

##### a 基礎情報収集と入力

地域調査の基礎情報は、地形、地質・土壌、水、ならびに気象の如く、その地に固有で、人為により容易に改変しない自然環境条件と、時により年と共に、また人為の利用開発等により変動する地表被覆環境条件と、人間社会環境条件により構成される。

森林回復のための立地判定基準の区分項目においても、その要因はこの3者で構成されている。このうち、画像データの利用は地表被覆、すなわち植生・森林型や土地利用項目にあっては直接的に有効であり、またこの利用によって効果的な情報収集が行われる。

自然環境条件のうち地形、標高、傾斜、方位等地球物理的現象は、通常航空写真により図化された地形図を用いて数値化され情報入力がされる。

しかしながら、その概況は衛星画像の目視判読により、地形日照の陰影効果についても読み取ることができる。ただしこの場合標高区分の判定は、自然植生地帯でその林型が標高差により明らかでない場合は推定でしか区別できない。

地質、表層土壌型は、地形パターン、地質構造線の判読により、熟練し経験ある技術者によれば、それとの相関の知識により推定しうるものである。土性、堆積様式の想定も同様である。

これらの要因はいづれも互に高い関連性をもっており、これらの自然環境条件と地表被覆条件の判別結果は土地条件図（Geomorphological map）に取りまとめ、適地判定基準の地帯区分資料を構成する。

衛星画像データを資料としたフィリピン、ルソン島北部を例とする土地条件図の凡例を表 2-1-8 に示す。

これら数値化された値は基礎情報としてコンピュータに入力される。

なお、造林適地判定のための基礎情報の必要データの概要と各種衛星データ利用の可能性を表 2-1-9 に示す。

表 2 - 1 - 8 Land System Classification in the Cagayan River Basin, Philippines

item	Topography		Soil texture	Soil consistency	Geology	Landslide	Hazard soil erosion	flooding	Vegetation & Land use		Main Location
	height	slope							present	dominant species	
L Coastal ridge, Sand bar, Sand dune	0-10	0-10	sand	soft	sand & clay	NON	active	NON	bare land, plantation	spinifex littoreus, Merrill, coconut	around Aparri
O Back marsh	0-100	0-5	clay	very hard	silt & clay	NON	NON	YES	grassland	cypress	near Aparri
W Natural levee	0-250	0-10	sand, gravel	hard	sand, gravel	NON	NON	NON	cropland	corn, tobacco	along the Cagayan river
L Flood plain	0-150	0-5	silt, clay	hard	mud, sand & gravel	NON	NON	YES	cropland, grassland	corn, tobacco, rice, talahib	along the main river
N Valley bottom lowland	over 400	0-8	sand, silt	soft ~ hard	sand, mud & gravel	NON	NON	YES	cropland	rice, corn	along the branch river
D Fan	0-100	0-15	sand, loam, gravel	soft ~ hard	sand, mud & gravel	NON	moderate	YES	cropland	corn, tobacco, bean, peanut	north of Santiago
S River bed	0-600	0-2	gravel, sand	—	gravel, sand & mud	NON	NON	YES	river	salix (partly)	main river
M Terrace	5-400	0-15	sand, gravel	soft ~ hard	mud, sand & gravel	NON	moderate-less	NON	cropland	banana, mango	along the main river
I Colluvial slope, Talus	150-1,700	40-50	sand, gravel	soft	mud, sand & breccia	YES	active	NON	cropland, grassland	banana, talahib	Banaue, Bayombong, Solano
D Dissected upland	10-250	8-20	silt, loam	hard	heavy weathered andesite sandstone, limestone	YES	moderate	NON	grassland, cropland	cogon, simon	middle-lower stream of Cagayan river
A Hill	10-220	10-25	silt, loam	hard	heavy weathered andesite sandstone, limestone	YES	active ~ moderate	NON	grassland	talahib, cogon	middle-lower stream of Cagayan river
N Piedmont (rolling)	100-300	8-20	silt, loam	hard	heavy weathered andesite sandstone, limestone	NON	moderate	NON	cropland (agro-forest)	coffee, banana, mango	Pahuapuhan, Lataue
D Piedmont	150-350	20-60	silt, rock	hard	medium - heavy weathered andesite, sandstone, limestone	YES	moderate-active	NON	grassland, cropland	banana, bean, sweet-potato	north of Tabuk, the left side of the Chico river
S Escarpment	100-400	over 100	rock	—	fresh limestone	NON	—	NON	barreland	—	Callao cave
I Plateau	100-1,000	0-40	loam, silt, rock	consoli - date	medium weathered andesite, sandstone, limestone	NON	active	NON	reforestation	gacina, molave	near Callao cave
H Low relief surface on mountain	400-2,400	8-20	loam, silt, rock	consoli - date	medium weathered andesite, sandstone, limestone	NON	moderate	NON	forest, kalingin	mahogany sp., bean, benguet, sweet-potato	mountain of above 400m
L Dissected slope on mountain	750-1,400	30-55	loam, silt, rock	hard	medium weathered andesite, sandstone, limestone	NON	moderate	NON	forest, kalingin	mahogany sp., tangile, bean, banana, sweet-potato	Lagase - Bayombong
A Gentle slope on mountain	over 400	30-45	silt, loam, rock	soft ~ hard	heavy weathered andesite, sandstone, limestone	YES	active	NON	kalingin, grassland planting	potato, banana, sweet-potato, benquet pine	west of Tabuk, Bontoc, south-east of Bayombong
N Steeply dissected slope	over 400	over 55	sand, gravel, rock	soft, hard	andesites, sandstone, limestone & granites	YES	active	NON	forest, reforestation, kalingin	mahogany sp., benquet pine, bean, banana, sweet-potato	mountains

表 2 - 1 - 9 航空造林適地判定のための必要データと衛星リモートセンシングの利用可能性

解析オーダー	衛星	センサ	分解能	地形				地質 母材	土壌				森林型			降水量	雨季/乾季の期間
				尾根・平地	標高	傾斜(10度)	方位		土壌型	土性	堅密度	乾湿	天然林・二次林	択伐	皆材		
1 ha	SPOT	HRV	10m	○	○	○	○	×	×	×	×	×	○	○	○	×	×
	SPOT	HRV	10m	○	○	○	○	×	△	×	×	△	○	○	○	×	×
	Landsat	TM	30m	○	△	×	○	△	△	×	×	○	○	○	○	×	×
5 ha	MOS	MESSR	50m	○	△	×	○	×	△	×	×	△	○	○	○	×	×
	Landsat	MSS	80m	○	△	×	○	×	△	×	×	×	○	△	○	×	×
千 ha	NOAA	AVHRR(LAC)	1km	△	△	×	×	×	×	×	×	×	○	×	○	○	○
1 万 ha	NOAA	AVHRR(GAC)	4km	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	○	△	○
20 万 ha	NOAA	GVI	15km	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	○	△	○
1 ha	将来型	SAR	30m	○	×	△	○	×	×	×	△	○	○	○	○	×	×
		HIRIS	30m	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×



## b 地域特性・立地評価のシステム解析

基礎情報の各要因は、それぞれ個別に自然作用に係る素因、誘因、あるいは人為作業に対する規制条件などの役割を有している。

森林回復に対する正負のポテンシャルは、各要素の潜在的物理性、化学性により分級され、それらの相互に関連が数量的に処理、出力されるが、そのオーバーレイに必要な基準の設定、重みづけは各種の基本的な想定はあるが、経験的、実例的な試行錯誤に負う分野が多い。

これによって、森林回復作業を目的とした地域別の特性区分がなされよう。

この地域特性に対して、経年変化データは自然と人為の影響の度合を示す要因を提供し適地判定への地帯区分資料を構成するに至る。

更に、各土地特性に応じた造林適用技術要因の組み込みにより、最適造林適地の判定と実施プランニングの資料が作成されよう。

画像データは直接的利用情報を提供すると同時に、情報の数値解析システムの開発を可能とするものである。その解析システムフローの例およびデータ解析フロー（主要ソフトウェアの例）を図2-1-2及び図2-1-3に示す。

各処理の段階は、それぞれ画像出力によるディスプレイを介して目視対話により検討を加える。

リモートセンシングデータ処理技術の開発に伴って発展を続けている画像処理、情報解析の技術は、今後の人間の行動の意志決定に有効な手段となるであろう。大規模森林回復技術の効果的発展のために、この手法の実用開発は大きく期待し得る。

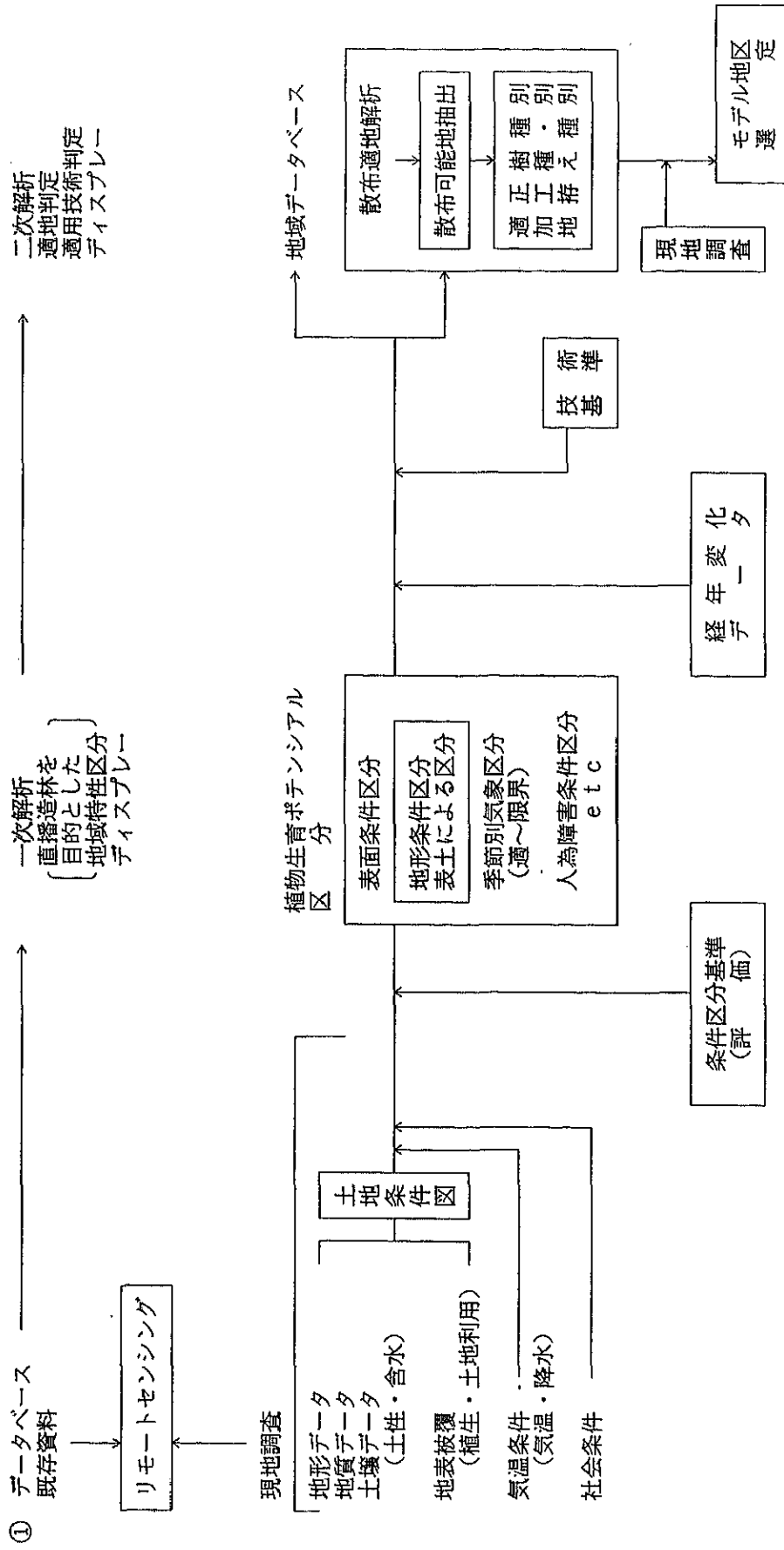


図2-1-2 湿潤地帯 航空機造林調査解析フロー

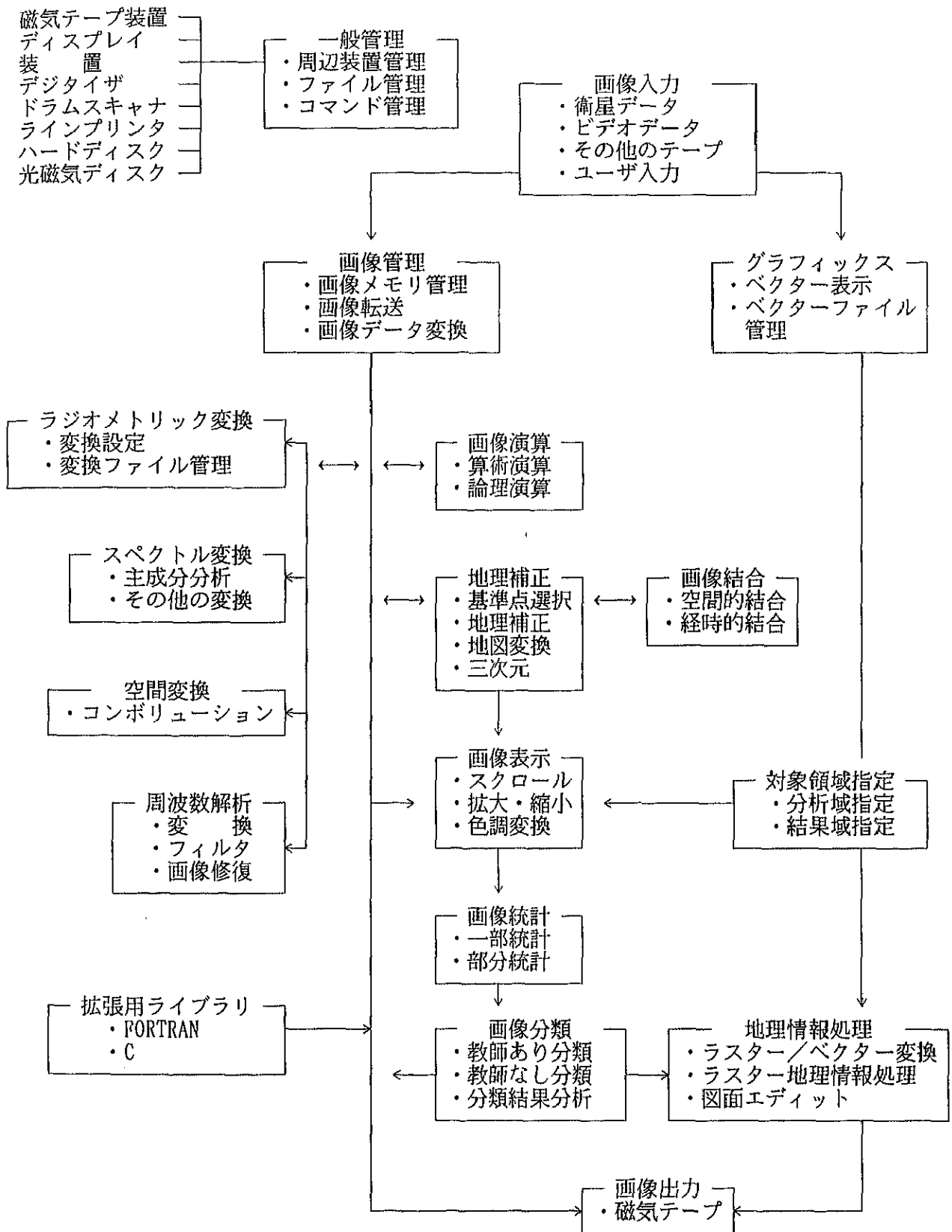


図 2 - 1 - 3 画像処理システムの主要なソフトウェア例

c 造林計画策定及び管理システム

造林計画の策定には衛星画像から得られる情報以外にも種々の自然条件、社会条件からの考察が必要となる。

森林に期待される機能と現状とのギャップ分析や、造林樹種の発芽、成育試験、造林によって得られる効果の評価などの分析が必要である。これらの具体的な流れを図2-1-4～6にしめす。

さらに、衛星リモートセンシング技術を利用して、航空機造林後の成育過程をモニタリングし、必要に応じて事後処理（再造林等）を行えるようにすることが望まれる。そのためには、簡易な管理モニタリングシステムを作成しておく必要がある。不成績な造林地の原因分析が総合的な視点から行えるようなデータベースとして、地形情報、土壌情報、気象情報と衛星データが利用できるものがよい。

情報密度はあまり詳細にする必要はないが、航空機造林後5年おきに20年間程監視を続けるような体制も造林と同時に構築される必要がある。GIS（地理情報システム）と衛星画像処理をベースとしたような簡易造林地管理システムになるであろう。

造林対象ゾーンの選択（1～10万haオーダー）

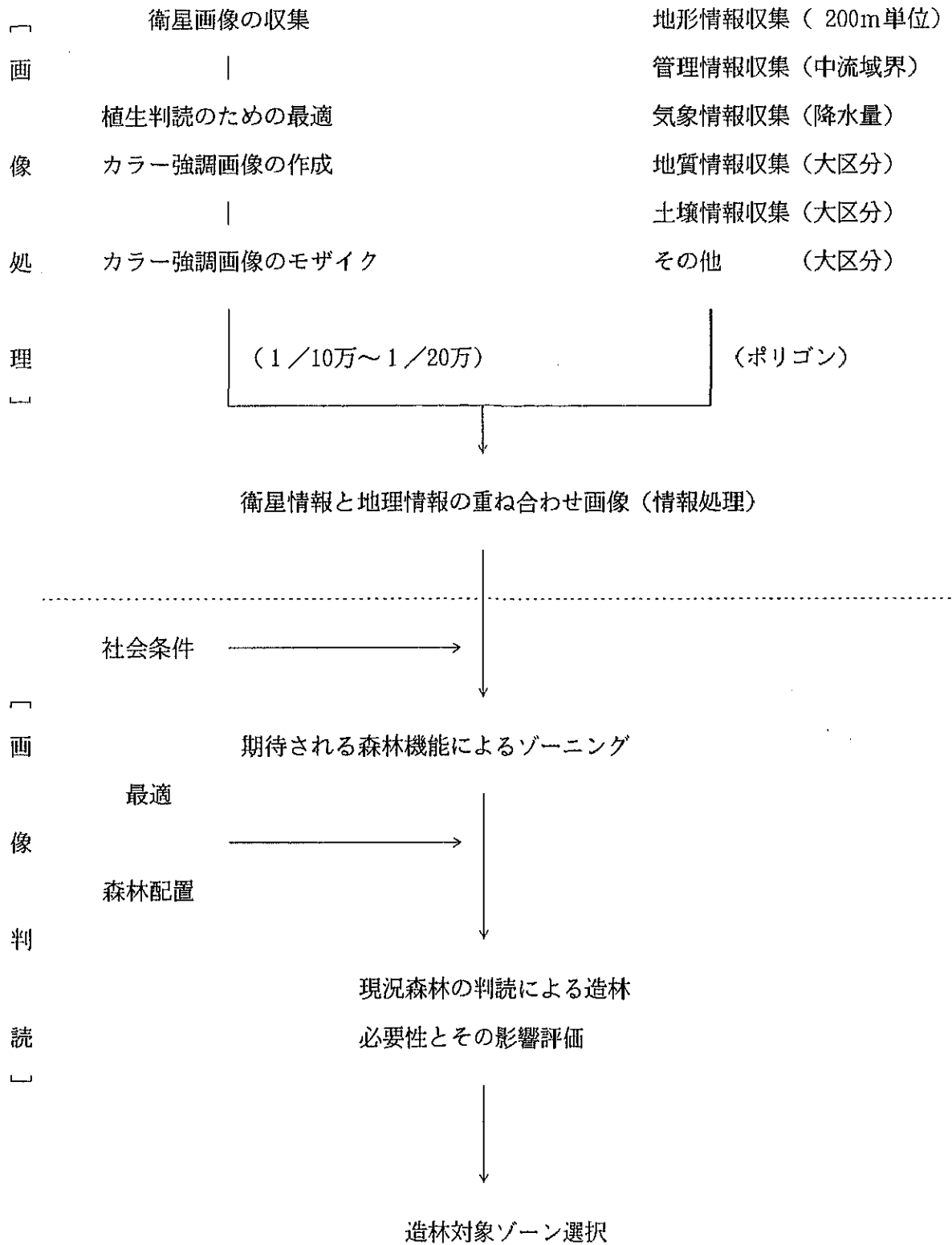
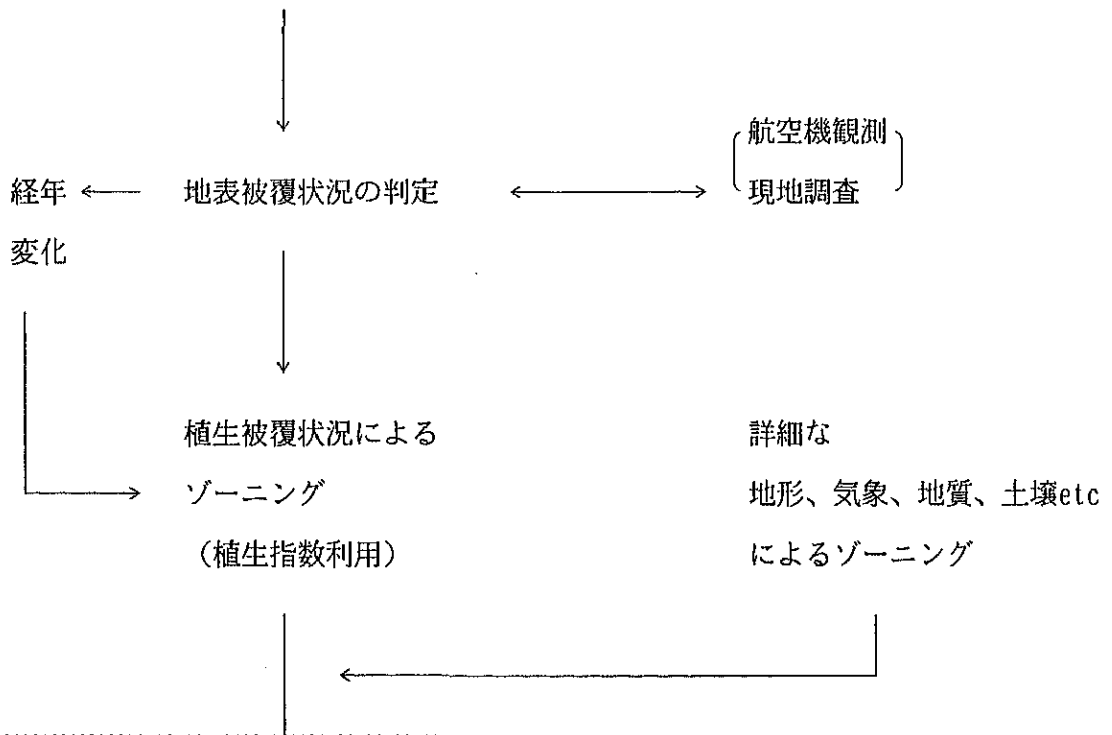


図2-1-4 衛星画像の利用目的1

散布適地と樹種及び加工法の選択

「画像処理」

TMまたはHRVによる  
植生判読最適画像の作成  
 {  
   チャンネル選択  
   キュービックコンポリューション  
 }  
 縮尺1/2万~1/5万



「画像判読」

造林樹種と  
必要な種の量と  
加工法、  
地持えの要否  
判定  
 {  
   散布適地  
   散布可能性  
 } ——— 社会条件

図 2 - 1 - 5 衛星画像の利用目的 2

GISのデータベースを利用して

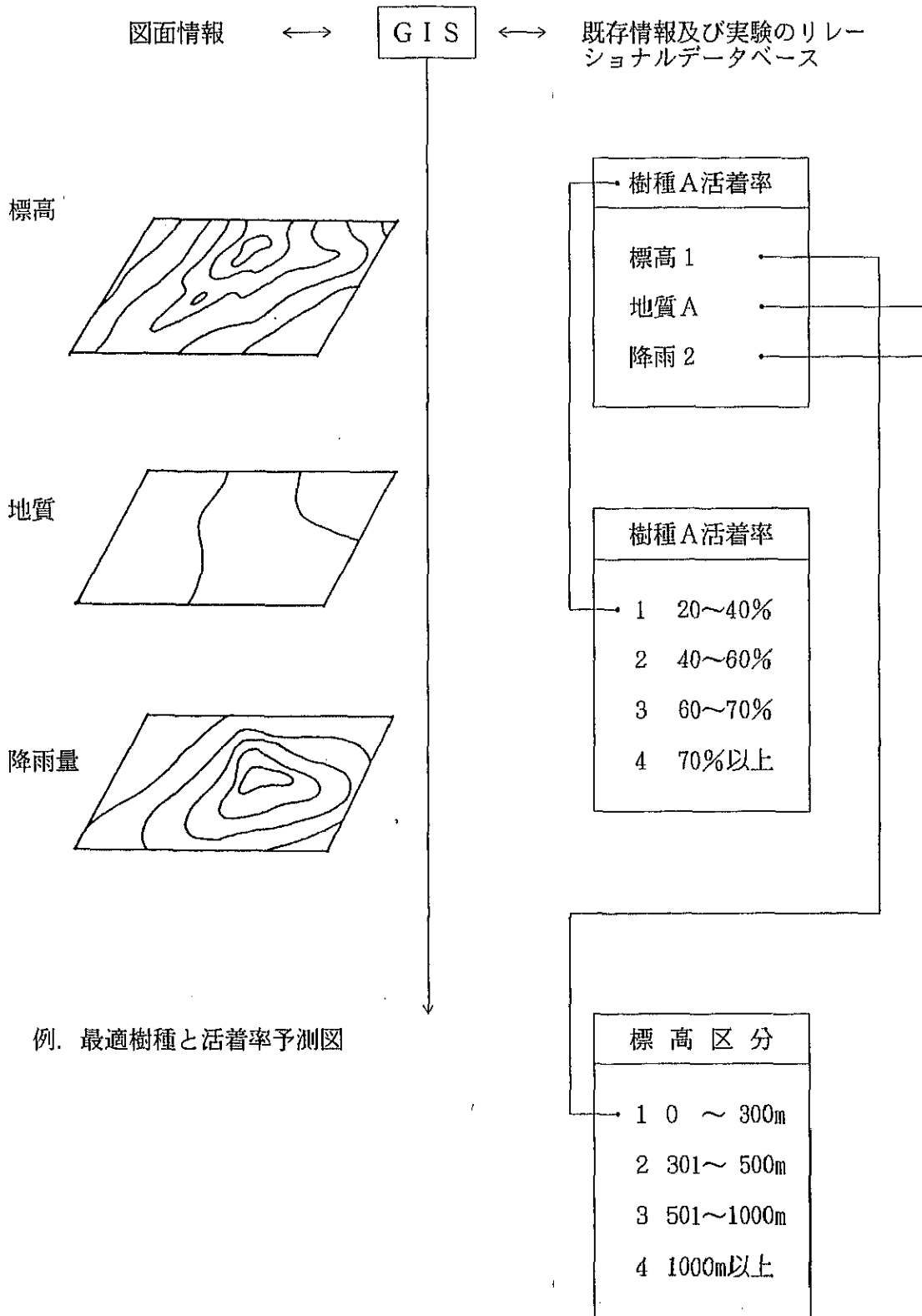


図2-1-6 散布適地判定のための計算機利用

#### ⑤ 高分解能センサによる地域観測

従来衛星データは一般に広域を対象とした調整に用いられてきた。しかし近年、センサの分解能の詳細化により狭域調査への利用も可能性が高くなり、将来ますます各機能の高度化が期待される。

現在常時観測を続けている衛星センサの中で、最も地上分解能が高いものはSPOT・HRVのパンクロード（分解能10m）である。これは可視光域の観測であるが、森林地帯の画像では樹木の大きさや空間分布に起因するテクスチャーをその情報として森林型判別に利用可能である。しかし、白黒画像は一般的な識別能で劣るため、地形解析に利用される以外では、他のマルチチャンネルデータと併用されることが多い。

マルチチャンネルセンサの中で最も地上分解能の高いものは同じSPOT・HRVのカラーモードデータである。これは可視2チャンネルと近赤外1チャンネルを持ち、地上分解能は約20mである。河川や道路などの人工構造物の識別能は極めて高い。また立体観測能を持つことと、注文によって観測位置を指定できるため5日程度の観測周期を得ることも可能である。しかし、単位面積当たりのデータ価格は最も高く、ランドサットTMと比較しても約5倍程する。

ランドサットTMの地上分解能は約30mでSPOT・HRVカラーモードに次ぐものである。このセンサの特徴はその観測チャンネル数とスペクトル分解能にある。特に中間赤外（チャンネル5）が植生型分類に極めて有効であることが報告されている。データレンジも大きく、キュービックコンボリューションなどの手法によって画素サイズを10m程度にしても十分に判読に利用できる。衛星リモートセンシング技術によって植生を対象とした解析を行うには、総合的な観点から、最も優れた性能を持っていると言える。1ha単位程の森林地帯監視に極めて有効である。適切な画像強調によって天然生林、二次林、草地、灌木他、裸地、耕地などの地帯判読は容易に行える。

#### ⑥ その他の情報の利用

航空機造林適地判定のために衛星リモートセンシングデータ以外に、既存情報の併用を図ることが大切であろう。

例えばキュービックコンボリューションを行い画素サイズを10m程にしたランドサットTMの縮尺1/5万程度の画像上に、流域界、主等高線、過去の土地利用界などをオーバーレイさせることで、期待される森林の機能や、その変化、また造林



による影響の予測などを読み取ることが可能になる。

⑦ 将来技術への考察

植生の面積的な広がり、前記の植生・土地利用分類の区分により観測され、構成種、構造、地表被覆率等は直接計測が可能であるが、植物の生理的現象または地球環境に及ぼす活性度情報などは直接観測することはできない。また、土壌の粗粒度、硬度、含水分なども現在使用されている衛星データからは測定することはできない。しかしながら、現在観測されている可視、近赤外の分野でも表2-1-10の如き観測項目への有効性が認められている。またマイクロ波の有効性も明らかである。マイクロ波センサは1992年打上げ予定の日本の地球観測衛星ERS-1にSAR（合成開口レーダ）が搭載される予定であるので、SARデータ利用を現在のLANDSAT・TM等の有する可視、近赤外データと組合せた場合に、岩質、土性等不変動項目を除いた項目で期待される項目とその観測に必要な条件を表2-1-11に示す。

表2-1-10 植生リモートセンシングにおける波長帯のこれまでに利用開発がおこなわれていなかった利用項目

波長	吸収	クロロフィルム・カロチノイド比の変化の把握	(ストレス)	0.630 ~ 0.690	バイオマス、葉量
0.440 ~ 0.500	吸	クロロフィルム・カロチノイド比の変化の把握	(ストレス)	0.630 ~ 0.690	バイオマス、葉量
0.650 ~ 0.700	吸	クロロフィル、タンニン、アントカイニン含有	(ストレス)	(0.660 ~ 0.680)	バイオマス
0.700 ~ 0.750	反	老化及び枯死の把握	_____ <	0.760	植物の窒素含有
0.800 ~ 0.840	吸	葉の構造や水合作用と関連性がある	_____ <		バイオマス、葉量
0.865	反	種の同定			
0.940 ~ 0.980	吸	種の同定及び水合作用の状態			
1.060 ~ 1.100	反	葉の構造及び形態	(種の同定)		
1.140 ~ 1.220	吸	種の同定及び水合作用の状態			
1.250 ~ 1.290	反	老齢林における種の同定に極めて有効。この波長帯と1.645附近のデータとの比は水分含有把握に有効			
1.630 ~ 1.660	反	葉の水分含有。葉の構造とも関係が強い。種の同定にも有効。1.250 ~ 1.290との比は水分指数として有効		2.000 ~ 2.400	化学組成
2.190 ~ 2.300	反	水分含有。種の同定に有効	_____ <	2.180	プロテイン吸収 (窒素含有量)
3.000 ~ 5.000 及び8.000 ~ 14.000	放	今後の研究が必要			

表 2-1-11 将来センサ（SAR）データとの組合せで期待される観測項目例

観測項目	内 容	測定条件	
1. 葉面積指数 植物量	潜熱とCO <sub>2</sub> 流束	可視・近赤外	分解能30m
	主要生態系の植物量	マイクロ波	13~15時 3~5日周期
2. 植物形態	光合成能、種判読	可視・近赤外	分解能30m
	ストレス判読	マイクロ波	13~15時 3~5日周期 3角度
3. 形態と葉面積	小面積の土地における 空間的変動の推定	可視・近赤外 マイクロ波	分解能10m 13~15時 3日周期
4. 土壌水分	植物ストレス エロージョン 潜熱、生涯性、 エネルギー収支	マイクロ波	分解能30m 毎日
5. 表面温度	エネルギー収支 旱ばつと砂漠化	熱赤外	毎日（南中時）

#### 4) 現地実証サンプルプロット

##### ① 現地実証サンプルプロットの目的

航空写真、衛星データ等の画像処理によって判定される結果は、地表より反射、放射される電磁波（光波）の解読による間接推定結果であり、あくまでも可能性を多分に含んだ事象である。したがって、この結果を検討し、その信頼度を得るためには画像処理による推定結果を現地に照合し確認と補正を行ない、また間接推定では得られなかった情報を補足する作業を行わねばならない。特に処理判定結果と、現地実態に相違のあった場合には、その要因を確かめ、事後の校正再処理の資料を集積することがきわめて重要である。

処理結果の現地照合は、対象面積は広大であるので通常「実証のサンプルプロット」を設定して行なう。

実証サンプルプロットの設定は、従来、森林資源調査の分野において検討が続けられていた。その手法の主要なものは、画像処理により判別区分された林型区分を積層相関により層化分級し、それぞれのクラス毎に実証サンプルプロット数を多くの場合は面積比、さらに利用度の重みを乗じて割当て、プロットの抽出は原則的には層化図に方眼網を設定し、その交点をランダムに抽出してこれを原地に設定し、実証プロットの原点とするものである。しかしながら、現実の調査においては作業工程、および経費的制約によりサインサンプリング、クラスターサンプリング等により、現地調査に効率的な、また未開発地帯の多い広域調査に適合した手法が採用される。森林資源調査の場合は、画像処理結果とそれには直接推定されない林型区分別積層値との推定値を統計的に求めることが主眼であるので、本課題における造林適地判定区分の結果を実証するものとは異なるものであるが、土地条件、および地表被覆条件による区分の適合度を現地で照合する原理としては同様である。

##### ② 実証サンプルプロットの選定

土地条件および地表条件により分級された各クラス毎に、調査工程と経費に応じて複数の代表的区画を抽出し、実証対象区画とする。実証対象区画内に現地条件に応じてラインサンプリング、またはクラスターサンプリングプロットを設定し、細部調査を行ない、画像処理結果を照合する。

実証対象区画間の移動経路に沿って航空写真集を参照とし区画境界の適否等を照合する。

③ 現地実証による補正、補足事項

土地条件のうち、特に画像処理では明確でないと推定される表層土性、含水分、また地表植生、林床植生、あるいは着生植生など季節的、また湿潤、乾燥条件、植物成長量、更新等、植生遷移に関連する事項を調査し情報の補足、補正、また記録地上写真コード等の整備をはかる。

④ 画像処理で検討すべき事項

画像処理は設定した判別基準データに従って処理するものであるので、最も重要なものは判読基準の設定である。判読基準の適否を実証サンプルプロットにおいて検討し、グラントウールス（現地確認データ）資料を集積する。現地実態にあっては必ずしも判別区分の典型例で存在せず、各区分形の小面積、モザイク状の混合構成であることが多いので、画像処理での区分型の変動の範囲、許容限度、あるいは再分類、または統合等の指標を検討する。

⑤ 画像情報活用の効果検討

画像処理結果の確認、またその補正によってより信頼度の高い、情報設備結果を作成し、実施計画策定、また将来予測解析作業への効果的実行を図る。

なお、画像処理の将来開発すべき事項を検討することは重要である。

### 3. 地上作業

#### 3-1 適地判定基準

##### 1) 熱帯地域の気候区分

熱帯地域の気候（年平均気温に関しては19℃以上）については幾つか区分した例があるが、年間降水量や乾期と雨期の長さや植生との組み合わせたものが、森林再生や造林を考慮した場合適当な区分と考えられる。既に報告された例をまとめると、

- ア 熱帯雨林 : 年降水量は2000mm以上、雨期は10カ月～12カ月
- イ 熱帯季節林 : 年降水量は1500mm～2000mm、雨期は9カ月～10カ月
- ウ 熱帯湿潤サバンナ : 年降水量は1000mm～1500mm、雨期は7カ月～9カ月
- エ 熱帯乾燥サバンナ : 年降水量は750mm～1000mm、雨期は3.5カ月～6カ月
- オ 刺性低木サバンナ : 年降水量は400mm～750mm、雨期は2カ月～3.5カ月
- カ 熱帯半砂漠 : 年降水量は400mm以下、雨期は1カ月

となる。Whitemoreによると、熱帯雨林は湿潤地域と僅かな乾季・雨季のある地域に、熱帯季節林は季節の強弱で2亜型に区分されている。この気候区分又は森林型区分によっても森林回復の方法は異なるので、対象地の選定の際には考慮する必要がある（図3-1-1）。

##### 2) 森林回復のための立地判定基準

森林を回復するための造林には、適地判定—立地区分が重要な手順の一つである。その前提には樹種の選定や造林対象地域と最小単位を決める必要がある。適樹種の選定は立地評価と樹木の生理生態的な情報により行われる。適地判定の基準項目としては(1)地形（標高・傾斜・方位）、(2)地質・母材、(3)土壌（土性・堅密度・乾湿）、(4)堆積様式、(5)植生型、林床植生型、植生被覆度あるいは植生遷移のパターン、(6)土地利用形態が考えられる。これらの項目の細区分は対象地域の面積やそこでの情報、例えば土壌図や地形図の有無、あるいは航空写真などに依存している。また、現地の地上調査が可能かどうかにもよる。例えば、土壌の分類はFAOやUSDAのTaxonomyが用いられているが、造林のためには土壌の細区分（日本の林野土壌分類の土壌型のレベル）が必要である。熱帯地域での立地評価と区分の研究や実行はまだそれ程行われていない。例えば傾斜を基準にした例や土壌を基準にした例など1又は数項目の立地判定基準を設定した例があるにすぎない。しかし、適地判定には立地要因の総合的評価が必要である。特に大面積

の造林を目的とする適地判定と立地区分のためには、大きく気候帯や対象樹種、造林対象地域を決定して、その地域の現在までの情報の収集が重要な作業である。地域の選定や対象樹種が決まっていない状態で立地区分の基準項目を決定するのは、ほとんど意味をなさないと思われる。本委員会ではインドネシアのアランアラン草原と中国の黄土高原が対象地域の候補として検討された。前者は熱帯多雨林に、後者は冷温帯の乾燥疎林に区分されよう。空中播種にはこれらの気候の特徴を把握した時期、雨季の直前に行う点が重要である。また、立地区分から造林の難しい地域が区分されると思われる。これに対処するためにはある地域内に森林の再生の可能性が高いスポットに地拵えや下刈りを導入したコア（核）造林又はコリドール（廊下状）造林を行い、その後の天然更新による森林の回復を計る方法の検討も必要である。

そこで以上の2地域において、立地区分のための最小単位面積を100m×100mと10m×10mの2つにおいて立地判定基準項目を設定してみた。最小単位面積がより大きくなれば幾つかの基準項目を省いたり、項目内の区分を併せたりして適用ができる。また、既存の立地情報－土壤図、地形図、航空写真などの有無により基準項目は省かれたりする。

以下の基準についてはまだまだ検討しなければならない項目も多い。また、対象地によっても基準は変化すると思われる。このことに関しては具体的に作業に入ってから更に検討を加えて行く。

[ケース1. インドネシア：アランアラン草原、最小単位面積－10m×10mの場合]

#### (1) 地形

ア. 地形：Ⅰ. 残積斜面、Ⅱ. 侵潤斜面、Ⅲ. 匍行斜面、Ⅳ. 自由斜面、Ⅴ. 運積斜面、Ⅵ. 崩積斜面、Ⅶ. 沖積斜面、Ⅷ. 洪涵地

イ. 標高：Ⅰ. 上部フタバガキ林（750m～1200m）、Ⅱ. 丘陵フタバガキ林（300m～750m）、Ⅲ. 低地フタバガキ林（50m～300m）、Ⅳ. 湿地林（0～50）

ウ. 傾斜：Ⅰ. 平坦－10°以下、Ⅱ. 緩傾斜－10°～20°、Ⅲ. 急傾斜－20°以上

エ. 方位：Ⅰ. 南、Ⅱ. 西、Ⅲ. 東、Ⅳ. 北

#### (2) 地質・母材

Ⅰ. 火成岩・変成岩、Ⅱ. 堆積岩、Ⅲ. 洪積統、Ⅳ. 沖積統、Ⅴ. 火山灰、Ⅵ. 石灰岩

(3) 土壤

ア. 土壤型 : I. 赤黄色土、II. ポドゾル、III. ラテライト、IV. グライ、V. 泥灰、  
VI. その他

イ. 土性 : I. 埴土・埴壤土、II. 壤土、III. 砂土・砂壤土、IV. 礫土

ウ. 堅密度 : I. 堅、II. 軟、III. 鬆

エ. 乾湿 : I. 乾、II. 湿、III. 過湿

(4) 堆積様式

I. 残積、II. 匍行、III. 崩積、IV. 沖積

(5) 植生

I. アランアランー高、II. アランアランー低、III. 他の草原（シダなど）、IV.  
灌木林、V. ラタン、VI. 無植生

(6) 植生被覆度

I. 密、II. 疎、III. 無植生

(7) 土地利用形態

I. 択伐、II. 皆伐、III. 火事跡地、IV. 移動耕作、V. 牧場

[ケース2. インドネシア : アランアラン草原ー最小単位面積 : 100m×100mの場合]

(1) 地形

ア. 地形 : I. 尾根型、II. 山腹斜面型、III. 谷型、IV. 平坦地

イ. 標高 : 山地ツツジ林ー1500m以上、II. 山地カシ・クスノキ林ー1200m~1500m、  
III. 上部フタバガキ林ー750m~1200m、IV. 丘陵フタバガキ林ー300m  
~750m、V. 低地フタバガキ林ー0~300m

ウ. 傾斜 : I. 平坦ー10°以下、II. 緩傾斜ー10°~20°、III. 急傾斜ー20°以上

エ. 方位 : I. 南、II. 西、III. 東、IV. 北

(2) 地質・母材

I. 火成岩・変成岩、II. 堆積岩、III. 洪積統、IV. 沖積統、V. 火山灰、VI. 石  
灰岩

(3) 土壤

ア. 土壤型 : I. 赤黄色土、ポドゾル、II. ラテライト、III. グライ、IV. その他

イ. 土性 : I. 埴土・埴壤土、II. 壤土、III. 砂土・砂壤土

ウ. 堅密度 : I. 堅、II. 軟、III. 鬆

エ. 乾湿 : I. 乾、II. 湿、III. 過湿



- (4) 堆積様式
  - I. 残積、II. 匍行、III. 崩積、IV. 沖積
- (5) 植生型
  - I. アランアラン、草原、II. 灌木林・低木林、III. 無植生
- (6) 植生被覆度
  - I. 密、II. 疎、III. 無植生
- (7) 土地利用形態
  - I. 択伐、II. 火事跡地、III. 移動耕作、IV. 牧場

[ケース3. 中国黄土高原：最小単位面積-10m×10mの場合]

- (1) 地形
  - ア. 地形：I. 残積斜面、II. 侵潤斜面、III. 匍行斜面、IV. 崩積斜面、V. 運積斜面、VI. 崩積斜面、VII. 沖積斜面、VIII. 洪涵地
  - イ. 標高：I. 山岳林-1500m以上、II. 山地林-1000m~1500m、III. 低地林-500m~1000m、IV. 丘陵林-0m~500m
  - ウ. 傾斜：I. 平坦-10°以下、II. 緩傾斜-10°~25°、III. 急傾斜-25°~30°、IV. 最急傾斜-30°以上
  - エ. 方位：I. 南、II. 西、III. 東、IV. 北
- (2) 地質・母材
  - I. 黄土、II. 洪積統、III. 沖積統
- (3) 土壌
  - ア. 土壌型：I. 湿性黄土、II. 適潤性黄土、III. 乾性黄土、IV. グライ、V. その他
  - イ. 黄土層厚：I. 厚い、II. 中間、III. 薄い
  - ウ. 堅密度：I. 堅、II. 軟、III. 鬆
  - エ. 乾湿：I. 乾、II. 湿、III. 過湿
- (4) 堆積様式
  - I. 残積、II. 匍行、III. 崩積、IV. 沖積
- (5) 森林型
  - I. 落葉広葉樹林、II. 森林草原、III. 乾草原、IV. 無植生
- (6) 土地利用形態
  - I. 耕作地、II. 天然植生、III. 竹林、IV. 果樹園、V. 侵食地

(7) 侵食型

I. 黄土丘陵溝谷区、II. 黄土高原溝谷区、III. 風砂区、IV. 土石山区、V. 乾燥草原区、VI. 高地草原区、VII. 林区、VIII. 沖積平原区、IX. 階台区

[ケース4. 中国黄土高原：最小単位面積－ 100m× 100mの場合]

(1) 地形

ア. 地形：I. 尾根型、II. 山腹斜面型、III. 谷型

イ. 標高：I. 2000m以上、II. 2000m～1500m、III. 1500m～1000m、IV. 1000 m  
以下

ウ. 傾斜：I. 緩傾斜－0°～25°、II. 急傾斜－25°～30°、III. 最急傾斜－30°  
以上

エ. 方位：I. 南、II. 西、III. 東、IV. 北

(2) 地質・母材

I. 黄土、II. 洪積統、III. 沖積統

(3) 土壌

ア. 土壌型：I. 湿性黄土、II. 乾性黄土、III. グライ、V. その他

イ. 黄土層厚：I. 厚い、II. 中間、III. 薄い

ウ. 堅密度：I. 堅、II. 軟、III. 鬆

エ. 乾湿：I. 乾、II. 湿、III. 過湿

(4) 堆積様式

I. 残積、II. 匍行、III. 崩積、IV. 沖積

(5) 森林型

I. 落葉広葉樹林、II. 森林草原、III. 乾草原、IV. 無植生

(6) 土地利用形態

I. 耕作地、II. 天然植生、III. 竹林、IV. 果樹園、V. 侵食地

(7) 侵食型

I. 黄土丘陵溝谷区、II. 黄土高原溝谷区、III. 風砂区、IV. 土石山区、V. 乾燥草原区、VI. 高地草原区、VII. 林区、VIII. 沖積平原区、IX. 階台区

以上の立地判定基準項目を検討してみると、対象地域に地形図や土壌図、植生図が存在しているかで項目も相違してくることがわかる。もしない場合にはモデル地域における立地調査が必要である。また、対象地域の立地の特徴、例えば、インドネシアでは現在の大規模森林回復はファロー（休閑地）を中心とするアランアランの草原

であり、どのくらいの時間が草原として経過し、火の入った回数などにより立地の条件も相違する。中国黄土高原の場合では侵食地がその主な対象地となっていて、侵食の仕方の違いにより森林の再生も相違すると考えられる。つまり、土地の履歴が重要な立地要因であるともいえる。更に回復しようとする対象樹種の生理生態的な背景が解明されていると、表3-1-1と図3-1-2に示すようになりかなり詳細な適地判定が可能であり、このような適地判定の図を基にかなりきめの細かい大規模造林が可能になると思われる。

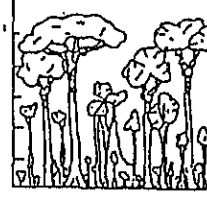

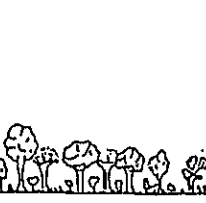
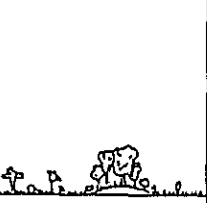
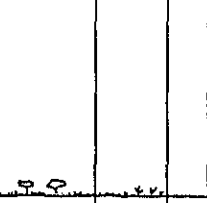


Number of humid (or dry) months	10-12 (0-2)	9-10 (2-3)	7-9 (3-5)	3 1/2-6 (6-8 1/2)	2-3 1/2 (8 1/2-10)	1 (11)	0 (12)
Mean annual precipitation (mm)	Mainly > 2000mm	Mainly > 1500mm	Mainly > 1000mm	750-1000mm	> 400mm	Under 400mm	
Schematic graph of annual rainfall	mm 500 400 300 200 100 0 J O Axim 2103mm	mm 300 200 100 0 J O Tafo 1658mm	mm 300 200 100 0 J O Tamale 1081mm	mm 200 100 0 J O Kano 846mm	400mm 200mm	200mm	
Examples:							
Typical economically useful plants	Rubber, tropical timbers	Oil palm, cacao, coffee	Yams	Cotton, millet, ground-nuts	Groundnuts		
Simplified transect sketch							
Plant-geography terms	Wet evergreen forest (rain forest)	Partly deciduous seasonally green wet forest (monsoon forest)	Wet savanna (with galleried and riparian forest)	Dry savanna	Thorn-bush savanna	Semi-desert	Desert

図3-1-1 熱帯地域の気候区分と植生型との関係 (Jordan, C. F., 1985, :Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems)

表 3-1-1 マレーシア北西部の用材樹種と土壌 (大角、1983: 熱帯農研集報)

	乾性黄色土 DRY YELLOW SOIL	中間性黄色土 MEDIUM YELLOW S.	湿性黄色土 WET YELLOW S.	花崗岩質中間性黄色土 GRANITIC MEDIUM YELLOW S.	花崗岩質湿性黄色土 GRANITIC WET YELLOW S.	沖積性黄色土 ALLUVIAL YELLOW S.	低地性黄色土 HIGH YELLOW S.	暗赤色土 DARK RED SOIL	ラテライト暗赤色土 LATERITIC DARK RED S.	ラテライト LATERITE	グライ GLEY	花崗岩質グライ GRANITIC GLEY	セラ SERA	骨質土 SKELETAL SOIL
<i>Shorea tatora</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	-
<i>S. hypochra</i>	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>S. sericeiflora</i>	-	○	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-
<i>S. assamica</i>	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	○	-	-
<i>S. guiso?</i>	-	-	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hopea odorata</i>	-	-	○	-	-	○	-	○	○	-	-	-	-	○
<i>H. ferrea</i>	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anisoptera curtisii</i>	-	-	○	-	○	-	-	-	○	○	-	○	-	-
<i>Dipterocarpus kerrii</i>	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>D. baudi</i>	-	-	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Parashorea lucida</i>	-	-	○	-	-	○	-	○	-	-	-	-	-	-
<i>Intsia palembanica</i>	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	○	-	-
<i>Litsea grandis</i>	-	-	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aromadendron elegans? *</i>	-	-	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Heritiera sp. **</i>	-	-	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Schima noronhai</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Podocarpus blumei</i>	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bambusa multiplex</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-

\* : Medang Cempa, \*\* : Menkutang

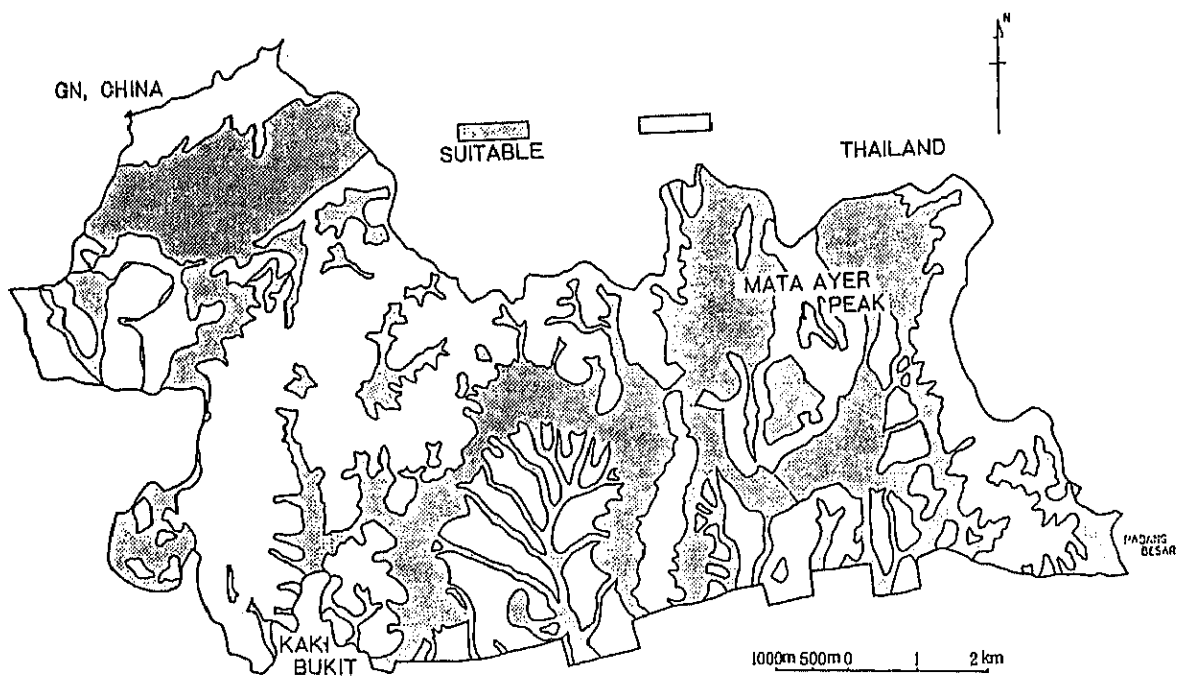


図 3-1-2 チークの適地区分図 (大角、1983: 熱帯農研集報)

## 3-2 地上作業技術

### 1) 航空機種子散布のための地上作業

地上作業とは航空機種子散布のための地上の準備作業であり、障害となる灌木群や草本類の除去、種子の定着を図るための地表の掻き起こし等をいう。一般の造林作業では地拵えと呼ばれる工程であり、地表の状態により異なるが、作業内容は、障害となる灌木類・未木枝条の除去、草類等の刈払い、火入れ焼却、地掻きあるいは耕うん等に区分される。

航空機を利用して種子を散布し、短期間に大面積の植林を確保しようとするいわゆる‘大規模森林回復事業’では、大型機械力を利用した効率的な灌木・草類等の刈払いや除去作業、あるいは火入れにより一気に障害物を焼却する方法を採用することが必要であり、このような地上作業の仕上がり度が事業の成否を左右することになる。地上の準備作業を十分に行えば実播作業の成功率は高くなる。

1989年のマレーシア・サバ州Sook平原の山火跡の荒廃地における*Acacia mangium*の地上実播試験では、直径15cmの範囲を除草し、10cmの深さで耕うんした植え穴（間隔3×3m）に播種し、かなりの成績を残しているが、このような労働集約的な地上作業は大面積の航空機実播にはもちろん適用できない。

一方1966～1970年の間、ニュージーランドのKawaka国有林で行った*Pinus contorta*の航空機実播事業では、傾斜0度から40度以上の変化に富んだ裸地あるいは灌木地において、地上無処理の空中播種を行っている。本来、航空機実播の場合、地上作業が省略できるような条件の現地を選定できれば最適である。

地上で作業を行うことは、そのまま地上で播種作業が実行できるわけであるから、航空機実播とは一部相入れない面も認められる。しかし、航空機を利用した大面積造林の成功率を上げるためには、採算を度外視しても地上地拵え作業を実行せざるをえない。

### 2) 地上作業法

航空機種子散布に応用できる地上作業を大別すると、火入れ作業と機械地拵え作業の2種となる。

#### (1) 火入れ作業

火入れは地表の植生あるいは未木枝条、枯損木等を効率的に除去する方法である。対象地の植生や地形、気象等の作業条件が整えば火入れ作業法が適用できる。

熱帯地域に広がるCogon（アランアラン）の草原等では、播種前あるいは播種後に

火入れを行うことによって種子の発芽・活着が促進されるともいわれており、そのような対象地には火入れが効果的と考えられる。

具体的な作用法として、比較的到大面積に及ぶ火入れが可能な場合と、延焼防止のため小区画単位で実行せざるを得ない現地とがある。後者の場合は、周囲の状況により地形等を勘察し区画を定め、その境界に5～8m程度の防火帯を設ける必要がある。

火入れは対象が傾斜地である場合山側から点火する。また、風がある場合は風下から点火するのが一般的である。東南アジアの焼畑の場合でも傾斜の上部あるいは風下側から点火していることが報告されている。

焼却効率を上げるために、地表植生を事前に刈払って乾燥させたり、刈払い物を集積する方法もあるが、人手がかかりすぎるので航空機実播のための地拵え法としては採用できない。

火の回り方によって事後手直しを必要とする場合もある。また、地表植生が未乾燥で燃えにくい場合等、油類を散布することもある。昭和32年八雲署の軽油、灯油、重油の実験結果では、刈払い後20日経過したネマガリダケに対して、重油が最も経済的かつ効果的であったと報告している。しかし油類の使用には輸送及び保管の問題が生ずるので、熱帯の現地では実用的でない。

燃えにくい植生等の燃焼効率を上げるためには火炎放射器等の使用を考慮する必要がある。

## (2) 機械地拵え作業

傾斜度が15度程度までの緩傾斜地では機械地拵えが採用できる。機械地拵えは、ロータリカッタによる刈払い、レーキによる地表物の除去あるいは地掻き、リッパーによる耕起等がある。ロータリカッタによって地表植生の刈払を行う場合は、刈払物の片付け等に更にレーキ等による掻き寄せあるいは筋置き等の処理が必要となるので、大規模森林造成事業にはコスト高となって馴染まない。

地表植物の除去には、前部にレーキを装着したレーキドーザを用いるのが一般的であるが、土工板（排土板）を付けたブルドーザでも作業が可能である。広大な面積にわたる大規模事業予定地では、同一機種を作業道や防火線の作設等にも転用せざるを得ないので、汎用性のある土工板を用いた方が実戦的である。ブルドーザを用いれば、地表物の除去、筋寄せ等の地拵え作業はもちろん各種の土工作業が可能となる。地表物を整理した跡地あるいは火入れ跡地の地掻きないし耕起にはブルドーザの後部にリッパーを装着することで目的が達成できる。（図3-2-1）

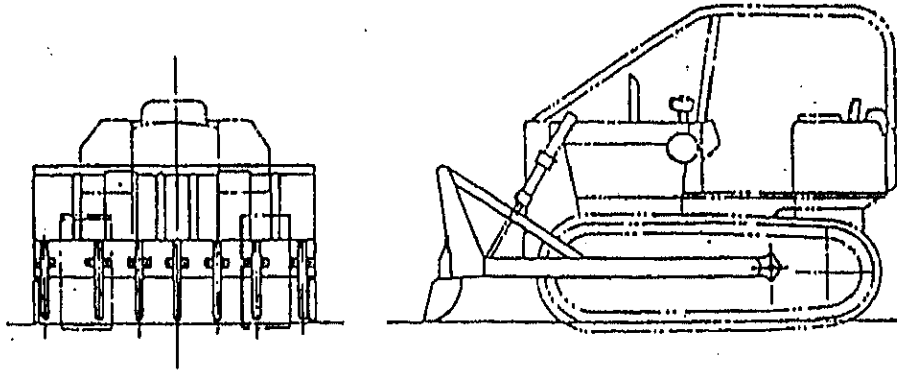


図3-2-1 レーキドーザ

熱帯林地域において採用の対象となる機種として、表土が比較的軟らかいところではD60クラスのレーキドーザの採用が考えられる。しかし、前述のとおりレーキでは土工作业ができない欠点があり、レーキを土工板に取りかえるか、土工専用のブルドーザを別に配置する必要がある。

土壌の硬い地域では、リッパーを装着したD60クラスのブルドーザ（16t）が効果的であり、地表物除去と表面の掻き起こし作業に十分耐えるものと思われる。半乾燥地等の硬い土壌に対してはD80クラスのリッパー付きブルドーザ（26t）が必要となる。（図3-2-2）

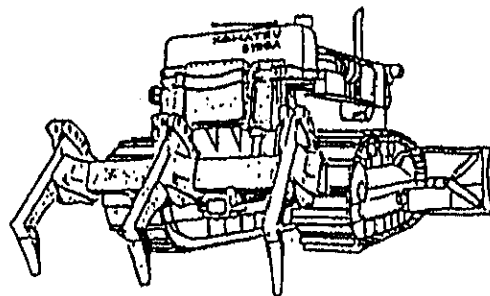


図3-2-2 リッパー付きブルドーザ

作業方法としては、対象地のほぼ全面積に対して行う全面地拵えと、筋状ないし帯状に行う地拵え、及び必要な部分だけ処置する部分地拵え（バッチ状地拵え）とがある。いずれの場合も傾斜地（＜15度）における機械の作業方向は、原則として等高線方向に限られる。

### 3) 作業工期

#### (1) 火入れ作業

熱帯地域における火入れ作業に関する報告が入手できなかったため、国内、特に国有林の実績を検討してみた。

昭和28年度に佐呂間署で行った皆伐跡地で火入れ地拵えでは、ミヤコザサ及びイタヤ、セン等幼樹の刈払いに、平坦地で26.5人/ha、15度の傾斜地で25.0人/ha、約8mの防火線作設に、平坦地で4.0人/ha、同傾斜地で3.0人/ha、火入れにそれぞれ1.5人/haと2.5人/ha、合計でそれぞれ32.0人/haと30.5人/haとなっている。

昭和59～61年度の余市署の山火再生林伐採跡地ササ生地の地拵えでは、4～5m幅の防火帯作設を含む刈払いが11.1～15.0人/ha、火入れ作業が2.9人～3.8人/haとなっている。事業地の傾斜は15度程度で機械地拵えができない場所であった。

北見署が昭和28年に山火跡地の若令二次林で行った例では、5m幅防火線作設・刈払い・火入れ作業を含めて、全刈区で24.0人/ha、1.5m幅の筋刈区で20.7人/ha、無処理区では手直しを含めて25.3人/haとなっている。現地は5～10度の緩傾斜ササ生地で一部タラノキ、シラカンバ等の幼樹が混生していた。

同年津別署の野兎鼠の被害により全滅したカラマツ造林跡地では、幅員18mの主防火線作設に77人/ha、幅員8mの補助防火線作設に75人/ha、火入れに10人/ha、消火後始末に7人/haの歩掛かりとなっている。以上は国内における実績であり、特に地表物の刈払いに人手がかかることを証明している。

熱帯の広域造林予定地における火入れ作業の工期としては、不明確な部分が多くを予測は困難であるが、単純な火入れ作業だけであればha当たり2～3人程度の地上労務予定すれば十分であろう。

#### (2) 機械地拵え作業

わが国のレーキドーザによる地拵え作業の工期実績は表3-2-1のとおりである。この表で普通地拵えとは未木枝条や刈払物の寄せ集め、筋置き、灌木や枯損木等の押し倒し等をいい、また、耕うん地拵えとはササ等のはぎ取りと深さ15cm程度までの地搔き作業をいう。表3-2-1に示すように、筋刈は全刈に比べ、面積比ほどに工期



はあがっていない点に注目する必要がある。

表 3 - 2 - 1 レーキによる地拵え作業工期

地 拵 え 法	作 業 内 容	功 程
普 通 拵 え	全面、未木枝条、植生処理	0.41~1.48ha/日
	全面、地搔き	0.74~0.83
	筋状 3m耕-3m残	0.72
	筋状 3m耕-5m残	0.65~0.87
	筋状 6m耕-6m残	1.23
耕うん地拵え	筋状 1.5m耕-2m残	0.35~0.43
	筋状 2m耕-2m残	0.59~1.0
	筋状 6m耕-3m残	0.73

熱帯地方における航空機散布のためのレーキ作業工期は、日本国内の普通の地ごしらえより低い作業精度が許可されるとすれば、表 3 - 2 - 1 の値の 2 倍程度になるものと推測される。

ブルドーザによる灌木等地表植生除去作業の工期は、ナイジェリア国カドゥナの実証事業地の場合、使用機種 D65 で 1.5ha/日、D80 で 2.39ha/日となっている。

リッパー装着ブルドーザによる硬い地面の搔き起こし作業の工期は、フィリピン国パンタバンガンの造林地の場合、使用機種 D60、耕うん深度約 30cm、2 回耕うんで約 3~5 ha/日、また、主として表層の堅密度が 23~24 の Afaka sandy loam、堅密度 25~28 の Dandadi loam、あるいはこれらの eroded phase 等非常に堅い土壌から成り立っているナイジェリアの場合、使用機種 D80、深度約 45~50cm で 2.2ha/日 (1988) ないし 4.7ha/日 (1989) であった。このナイジェリアの実績は、作業者の技能度が工期に影響することを証明している。

CT-35 トラクタに装着したバックホーによる耕うん作業の工期は、パンタバンガンの試みで 0.3ha/日であった。

ところで、前部の土工板による地表物除去作業と後部リッパーによる耕うん作業は、機械の過負荷防止、運転者の疲労回避あるいは作業精度の確保の観点から同時には行わず、前者が終了した後で、改めて次の作業に移るのが通例である。しかし、大規模森林回復事業の場合には、多少作業精度を犠牲にしても、両作業を同時に進行させるような作業法も採用せざるを得ないものと考えられる。

参考までに、ブルドーザの燃料消費量は D60 で 90 リットル/日、D80 で 110 リットル/日程度である。この場合機械の実働時間は 5 時間前後である。

#### 4) 機械作業を行う場合の留意事項

熱帯地域で機械作業を行う場合は、特に以下の事項に留意しなければならない。

- ア ブルドーザ等の重機類の輸送には、ある程度整備された道路と重機運搬用の大型トラックが必要である。機械整備用の機材類や多量の燃料（ドラム缶）等の運搬も必要である。
- イ 機械作業には機械類に熟練したドライバーと整備士を確保する必要がある。
- ウ 作業現地には、機械類及び燃料の格納（対盗難及び事故防止）のため機械基地を建設し、ガードマン等を配置する必要がある。
- エ 種子散布にヘリコプターを使用する場合は、現地ヘリポートと上記機械基地との位置関係を検討し、効率的にかつ経済的に作業が行えるよう配置する必要がある。
- オ 火入れ地拵え作業を行う場合は、延焼のおそれがあるので、機械類あるいは燃料の格納位置との関係に十分配慮する必要がある。
- カ 地上作業費の積算に当たっては、以上の施設及び作業に必要なすべての経費見積りを忘れてはならない。

## 4. 航空機造林用種子

### 4-1 樹種の選定基準

#### 1) 種子の特性

##### (1) 形態的特性からみた播種適性

種子とは有性生殖でできた増殖体であり、胚、養分貯蔵器官、防護器官としての種皮、散布補助組織などから構成されている。したがって、繁殖の手段として、極めて有効であり、植物の中でも、種子を形成する植物が最も分布域を拡大している。種子を形成する植物はいわゆる種子植物に属する。しかし、種子植物は非常に大きな分類であり、ソテツ類、イチョウ類、針葉樹類、被子植物類の双子葉類と単子葉類を含む。これらの植物は種子を形成するが、植物の種類によって、発生学的にも、形態学的にも、全く異なったものであり、種子の形成、発達、発芽の段階で、生理学的に異なった性質を示す。このため、場合によっては、採種、貯蔵、播種、育苗などの取扱方法についても、種による考慮が必要である。

ソテツ類、イチョウ類、針葉樹類は裸子植物類であり、種子の組織は母樹の細胞と子の細胞に由来する二世代の複合器官である。種皮と胚乳に似た雌性配偶体（胚の生長に養分を供給する組織）は母樹の組織であり、種皮は体細胞であるため、染織体数は $2n$ であるが、雌性配偶体は減数分裂をした $1n$ の組織である。受精によって形成する胚は子の器官であり $2n$ の染色体数を持っている。ソテツ類、イチョウ類では、受精の段階で、花粉から精子が発生するが、針葉樹類の花粉の花粉管から精核を放出し、卵子と受精する。雌花には、数個の卵子が発達するが、一般に、一個の卵子と一個の精核（または精子）が合体して、胚を形成し、他の受精しない卵子は消滅する。しかし、同時に受精した場合には、多胚の種子が形成されるため、針葉樹では、多胚の種子ができやすい。

このように、裸子植物では、種子が親の組織と子の組織から形成されているため、胚とその他の組織は独立したもので、胚の発達には関係なく種子が形成されるため、見かけだけでは種子の品質を見分けることが難しい。極地や高山地帯のような植物の生育期間の短い所では、胚が未熟のまま種子になることが多く、種子の品質が低下する。また、多胚の種子も、胚の発達が悪く、発芽しても成長が遅い。したがって、針葉樹の種子では、十分に胚の発達したものを選ぶことが重要になる。特に、航空機な

どによって、大規模に散布する際には、発芽率が高く、発芽の早い種子を必要とするため、種子の品質には十分に考慮することが大切である。

被子植物の双子葉類及び単子葉類においては、種子は受精した子の器官である。裸子植物では、養分の貯蔵器官が雌性配偶体であるが、被子植物では、養分の貯蔵器官は極核と精核が合体してできた胚乳が基本であり、これは子の組織である。しかし、胚乳と胚の関係は植物の種類によって、いろいろと変化がある。

単子葉植物では、胚乳が発達している。単子葉植物の種子では胚が極度に小さいものがあり、このような種子では、発芽するまでに胚自体が生長する必要があるため、播種してから発芽までの時間がかかる。例えば、ヤシ類では、胚が吸根をだし、胚乳から養分を吸収しながら生長する。

一方、双子葉植物では、種子の養分貯蔵器官の発達にいろいろな変化がみられるが、単子葉植物のように胚乳が存在し、発芽の過程において胚の発達に胚乳が必要な種子もある。シナノキ科のシナノキ、モチノキ科のモチノキ、イヌツゲ、バンレイシ科のバンレイシ、メギ科のメギ、ナンテン、ニシキギ科のツルウメモドキ、マサキ、マメ科のハナズオウ、エニシダ、モクセイ科のヤチダモ、シオジ、イボタ、ネミズモチ、ミズキ科のミズキ、ヤマボウシ、カキ科のカキ、コクタン、ツツジ科の種子、マンサク科のマンサク、トサミズキ、モクレン科のコブシ、ハンテンボク、スイカズラ科のスイカズラ、ハコネウツギ、センダン科のセンダン、マホガニー、アカネ科、クワ科、オトギリソウ科など暖地帯に分布する植物に多い。これらの植物の種子発芽は胚の成長を伴うため、発芽過程の遅いものが多い。熱帯の種子で、発芽に長期間必要とするものが多いが、このような熱帯の種子は未熟胚を持ち、休眠しているわけではない。マメ科の種子では、ハナズオウ、エニシダのほか、熱帯産の *Dialium* など胚乳と子葉に貯蔵養分を蓄えるものがある。

このようなマメ科の種子は熱帯産のものに多い。種子を空中散布する場合には、散布から発芽までの時間が短いことが重要なポイントになるかもしれない。また、播種したのちに、胚が発達する特性は生育条件の悪い播種造林には適していなし。したがって、大規模播種造林には、マメ科といえどもこうした特性の種子は避けるべきである。

胚乳を持つ上記のような種子に対して、子葉が発達し、胚乳から養分を完全に吸収し、子葉が養分の貯蔵器官としての役割を持つものがある。しかも、発芽すると、子葉が展開し、緑化して光合成機能を持つ。マメ科の種子では、アカシア類、プロソピス類、

ニセアカシア、ギンネム、Albizia、Intsia、Mimosaなどがこの特性を持つ。マメ科以外の種子で、このような性質を持つものとして、ハンノキ、ユウカリ、カンバ、ヤナギ、ギョリュウ、ポプラ、ニレ、モクマオウなどがあげられる。一般に、子葉に養分を貯蔵し、発芽後、子葉を展開し、光合成を行う種子は発芽が早い。これらの種子は発芽や生育条件の悪い大規模播種造林に適していると思われる。

子葉に養分を貯蔵する種子の中には、子葉が貯蔵器官としての役割のみを持ち、光合成を行わないものがある。このような種子では、子葉が展開せず、土中に埋蔵されたままの状態になり、上胚軸だけが伸長する。トチ、クロ、シイ類、コナラ類、ハシバミ、フタバガキ科の一部の種などが、こうした特性を持っている。子葉が展開する特性を epigeal、展開しないものを hypogeal という。Hypogealな特性を持つ種子の多くは穀斗類であり、乾燥すると枯死する。一般的に、穀斗類の種子では、含水率が20%以上ないと、生存できない。したがって、乾燥しやすい播種造林には適していないかもしれない。

種子の形態及び発生学的特徴からみて、繁殖体である胚に種子の貯蔵養分がすべて取り込まれた形態、即ち、子葉が養分貯蔵器官になっていることと、更に、その子葉が展開して光合成を行う性質を持つことが選定基準として一つの指標となることがわかる。更に、発芽後、急速に成長し、定着するためには、種子自体の持つ養分量が多いこと、発芽直後の光合成面積が大きいことの2つの条件が必要になる。このためには、大きな種子で、子葉が大きく、しかも、上胚軸に本葉が形成されていることが望ましい。

## (2) 種子の生理的特性と貯蔵性及び発芽性

### ① 含水率の低い種子

種子が成熟して、母樹から離脱する時期になると、種子の含水率が低下する。この含水率の低下は種子の休眠現象と関連が深く、種子の貯蔵性の増大に関与している。種子によっては、乾燥重量当たりにして10%以下まで含水率を低下させ、生理的に不活性状態になるまで、乾燥することが可能である。発芽過程において、吸水を始めると、生理活性が回復する。このような種子は貯蔵性が高く、しかも、常温で貯蔵できるため、種子として取り扱いが容易である。このような特性を持った種子として、マツ類、トウヒ類、モミ類、ヒノキ、スギなどの針葉樹種子、アカシア、ギンネム、プロソピス、アルビジア、Intsia、Pterocarpus などのマメ科の種子、ユウカリ、ポプラ類、ハンノキ類、カンバ類、ギョリュウ、ニレなどがある。一般

にこれらは低温、乾燥、密閉条件で、貯蔵性が增大する。したがって、大量に長期間貯蔵を行う場合には、低温、乾燥、密閉の条件を持つ貯蔵室に補完するべきである。スギ、ヒノキの場合には、 $-20^{\circ}\text{C}$ 、乾燥、密閉条件が貯蔵に最も適している。この種の種子は、吸水させなければ乾燥条件に耐性があり、空中散布に適した種子である。

しかしながら、乾燥しても死なない種子は、休眠状態に入っているため、発芽させるには休眠打破処理を必要とするものが多い。

また、早急に発芽する樹種と遅れて発芽するモチノキ、ニワトコ、マンサクなどを混播することも考えられる。

## ② 含水率の高い種子

穀斗類、カンキツ類、フタバガキ科の種子などは、種子の成熟過程において、含水率の低下が少なく、種子の成熟後も高い含水率を示す。これらの種子は成熟した後も生理活性が高く、貯蔵中に呼吸や蒸散による水分の放出を起こしている。放出した水分を再吸収して、発芽することがある。また、呼吸による熱の発生によって、貯蔵容器内の温度が上昇し、種子の劣化を招く。

含水率の高い種子には、低温に堪えるものと $15^{\circ}\text{C}$ 以下の温度では、死滅するものがある。表4-2-1に例を示したように、含水率の高いフタバガキ科の種子の多くは低温では生存しない。

したがって、含水率の高い種子はア、 $15^{\circ}\text{C}$ 以下 $0^{\circ}\text{C}$ 以上の低温に生存するもの、イ、 $15^{\circ}\text{C}$ 以上の温度で生存するもの、に分けて考えるべきである。

含水率の高い種子（種子の乾燥重量当りの水分20%以上）

ア、 $15^{\circ}\text{C}$ 以下 $0^{\circ}\text{C}$ 以上の温度に対する耐性のある種子

トチノキ、クリ、ペカン、ハシバミ、ブナ、クルミ、ミズナラ、コナラ、カシワ、ウバメガシ、コジイ、マテバシイ、シラカシ、アカガシ

イ、 $15^{\circ}\text{C}$ 以上の温度が必要なもの

フタバガキ科のうち、Shorea属のRubroshorea, Eushorea,

マメ科の Parkia の中の柔らかい種子をもつ Parkia speciosa

バナナ、

ドリアン

その他、熱帯産の柔らかい種子、

温帯産の一部の種子は含水率が高いにもかかわらず、休眠現象がみられ、コナラ属、クルミ、トチ、ブナなどでは、低温湿層処理によって、発芽が促進される。特に、未熟な種子の場合には、低温湿層処理によって胚の生長が促進されるため、発芽が早くなる。このような現象を後熟といい、低温貯蔵中に発芽率が向上することもある。

低温耐性のない種子は播種可能な地域が限定される。これらの種子は熱帯産のものであるため、熱帯以外の地域では、利用できない。熱帯地域でも、最低温度が15℃以下になる高地、乾燥地で夜間の温度が低下する地域、季節風の影響を受け、ある期間低温になる地域などでは、これらの低温に弱い種子は避けるべきである。

## 2) 樹種の成長特性と選定基準

### (1) 環境耐性

空中散布によって森林造成を計画する地域は既に無立木化しているものと推定される。このような場所では、環境要因の変動幅が大きいと考えられ、造林樹種に種々の環境耐性が要求される。

#### ① 温度変化に対する適性

低温：黄土高原など、温帯、亜寒帯の地域および高海拔地帯では、低温に対する耐性が必要になる。更に、日夜の温度差が大きいことが予想され、温度変化に対する適応性を十分に考慮しなければならない。低温と日夜の温度変化に適応できる種として、温帯産のマツ類、ニセアカシア、ポプラ、カンバ、ハンノキ、カラマツ、バラ科の植物、ヤナギなどがある。

高温：熱帯のアランアラン草原における植林には、35℃以上の高温耐性が必要である。ケシマツ、メルクシマツ、カリビアマツなど熱帯産のマツ類、ギンネム（ジャイアントイピルイピル）、アカシア類（マンギユウム、アウリカルフォルミス）、アルビジア、パーキアなどのマメ科の植物、モクマオウ、チークなど高温条件下で生長が低下しないものが造林樹種として適している。

#### ② 乾燥耐性

低温条件においては、マツ類、ネズ、カシワ、ウバメガシ、コナラ、ツツジ、シヤクナゲ、ニセアカシア、ギョリュウ（タマリックス）、一部のポプラやヤナギな

どの樹種が考えられる。日本には分布していないが、ギョリュウの特性を把握する必要がある。また、乾燥耐性のあるポプラ、ヤナギ、カシワの研究も進めるべきである。

高温条件においては、ケシアマツ、カリビアマツ、アカシア・マンギウム、アカシア・アウリカルフォルミス、プロソピス、モクマオウ、一部のユーカリなどが乾燥に耐性があると考えられる。熱帯の乾燥条件に適した樹種を選抜するために、アカシア類、プロソピス類、モクマオウ類の検索を行う必要がある。

### ③ 耐塩性

乾燥地、半砂漠、石灰岩地帯、海岸地域など耐塩性を必要とする造林地が存在する。石灰岩に適応する樹種として、ギンネムがあげられる。半砂漠、乾燥地の無機塩過剰に適応する種として、ギョリュウ、プロソピス、アカシア、ポプラやヤナギの一部の種が候補となる。また、海岸の塩類過多には、モクマオウ、カシワ、マングローブ類などがある。

### ④ 耐酸性

最近、パイライト由来の硫酸酸性土壤が問題になっているが、熱帯地域では、瘠悪地にパイライトを含む土壤が多く、酸性土壤に生育可能な樹種が必要である。アカシア・マンギウム、アガテス、シャクナゲなどが硫酸酸性の土壤に生育する。

## (2) 繁殖力の強い樹種の選定

航空機を用いて、種子を空中散布し、森林を造成する場合、不均一な疎林が形成される可能性が高い。このような状態の森林を更に閉鎖林に誘導する方法を考慮して置かなければならない。まず、第1に空中散布によって、成立した疎林の天然更新による自然的拡大を図るべきである。このためには、散布する樹種の繁殖様式が林地の拡大に適していることが必要である。定着した樹種が2～3年で成熟して種子を生産し、その種子による更新が起ること、又は、根系あるいは地下茎による萌芽更新を行うこと、更に、株から萌芽する性質があれば、疎林から閉鎖林に変わる可能性がある。

アカシア・マンギウム、アカシア・アウリカルフォルミス、ニセアカシア、モリシマアカシア、ギンネムなどは植栽後、数年で種子生産を行い、天然更新する。しかも、萌芽力も強く、切株から萌芽更新を行う。したがって、これらの樹種を用い、空中散布種子の定着した後、天然更新の可能性を検討するべきである。実際に、東南アジアのアカシアの植林地周辺では、アカシア種子の自然散布によって更新しているのが観察される。



ポプラ属のヤマナラシ、アスペンなどは、根系の萌芽により更新する。種子散布による成林が可能であれば、ポプラ類も注目に値する。

### (3) 成長の早い樹種の選定

種子の空中散布による大規模造林は、良質の材を生産する用材林を目的にしているものではない。荒廃地に林木を導入し、環境保全の向上を図ることが当面の目標になる。したがって、定着した稚樹が急速に成長し、早期に成林することが求められる。このため、成長の早い樹種を導入しなければならない。

開発途上国のための薪炭林造成の研究開発において、種々の早生樹が検討されているが、今回の調査においても、参考となると思われるので、表4-1-1に薪炭林用の候補樹種とその生育地、さらに、期待される成長量をあげておく。この表によると、カンバ、モクマオウ、ユーカリ、ポプラ、ターミナリア、タマリックス（ギョリュウ）、アカシア、プロソピス、アルビジア、セスバニア、ギンネム、ハンノキ、ヤナギなどが有望である。

表4-1-1 薪炭用植栽樹種

植 物 名	原 産 地	植 栽 国	生 産 力	発 熱 量	比 重	再 生 力
<i>Avicenniaceae</i>						
マンダローブ <i>Avicennia</i> spp*	熱帯, 亜熱帯	プエルトリコ, タイ, マレーシア パングラデッシュ	伐期30年	Kcal/kg 4000 ~4300	0.7~1.0	大
<i>Betulaceae</i>						
<i>Alnus acuminata</i>	中南米	コスタリカ, コロンビア, ボリビア ペルー, チリ, ニューゼーランド	20年伐期: 10-15m <sup>2</sup> /ha/年	—	0.5~0.6	—
<i>Alnus nepalensis</i>	ビルマ, 中国, ネパール	インド, ハワイ, ビルマ	直径生長 2 cm/年	—	0.32~0.37	—
<i>Alnus rubra</i>	米国	欧州, ニューゼーランド, 米国, カナダ	天然林20-30年伐期: 10-11m <sup>2</sup> /ha/年 萌芽林短伐期: 17-21m <sup>2</sup> /ha/年	4600	0.39	—
<i>Alnus glutinosa</i> ハンノキ	欧州	北欧	—	—	—	—
<i>Alnus</i> spp カンバ	欧州, 米国, 日本	スウェーデン	交配種 15トン/ha/年	—	—	—
<i>Betula</i> spp.	欧州, 日本, 米国	欧州, 米国, カナダ, 日本	目標: 15トン/ha/年	—	—	—
<i>Casuarinaceae</i>						
<i>Casuarina equisetifolia</i>	マレーシア, インドネシア インド, ボリネシア, オーストラリア	インド, パキスタン, アフリカ諸国 アメリカ, 沖縄, ペルー	樹高生長 2~3 m/年 7~10年伐期 7.5~20トン/ha/年	4950	0.8~1.2	—
<i>Casuarina cristata</i>	オーストラリア	—	—	—	—	—
<i>Casuarina littoralis</i> モクマオウ	オーストラリア	—	—	—	—	—
<i>Casuarina stricta</i>	オーストラリア	—	—	—	—	—
<i>Casuarina oligodon</i>	ニューギニア	—	—	—	—	—
<i>Casuarina junghuniana</i>	インドネシア	—	—	—	—	—
<i>Casuarina sumatrana</i>	インドネシア	—	—	—	—	—
<i>Casuarina nodiflora</i>	フィジー	—	—	—	—	—
<i>Casuarina rhumphiana</i>	フィリッピン	—	—	—	—	—
<i>Chenopodiaceae</i>						
<i>Haloxylon aphyllum</i>	中央アジアの乾燥地	ソ連, イラン, 中国, アフリカ	萌芽更新5年伐期: 1.4トン/ha/年	—	1.02	—
<i>Haloxylon persicum</i>	中央アジア, 中近東	ソ連	年平均生長量 1~6 m <sup>2</sup> /ha/年	—	—	—
<i>Comobretaceae</i>						
<i>Terminalia catappa</i>	マレー, アンダマン諸島	インド, フィリッピン, インドネシア ニューギニア, ペルー, メキシコ	10-15年伐期: 20-36トン/ha/年	—	0.59	大
<i>Terminalia</i> spp	—	—	—	—	—	—
<i>Euphorbiaceae</i>						
<i>Emblica officinalis</i>	東南アジア, インド, 中国	インド, マレーシア, パナマ, プエルトリコ	直径生長 2 cm/年	5200	0.7~0.8	大
<i>Leguminosae</i> ( <i>Caesalpinioideae</i> )						
<i>Cassia siamea</i>	東南アジア	西インド諸島, ガーナ, ナイジェリア ザンビア, タンザニア, ウガンダ	7年伐期: 15m <sup>2</sup> /ha/年	—	0.6~0.8	大

表4-1-1 薪炭用植栽樹種(つづき)

植物名	原産地	植栽国	生産力	発熱量	比重	再生力
<i>Colophospermum mopane</i>	アフリカ	インド、ジンバブエ、ザンビア、アングラ	乾燥地帯に生育し、10年で樹高5m	—	1.0以上	大
<i>Parkinsonia aculeata</i> (Papilionoideae)	北米、南米	インド、メキシコ、プエルトリコ	乾燥地帯に生育し、年樹高生長1m	—	0.6	大
<i>Derris indica</i>	インド	フィリピン、マレーシア、インド オーストラリア	4~5年で成木に達する	4600	—	大
<i>Gliricidia sepium</i>	メキシコ、中米	アフリカ、アジア	—	4900	—	大
<i>Sesbania bispinosa</i>	インド、パングラディッシュ ビルマ、パキスタン	アフリカ、東南アジア、中国、西インド 諸島、イタリー	1年伐期：15トン/ha/年	—	0.3	大
<i>Sesbania grandiflora</i>	インド、マレーシア、インド ネシア、フィリピン	インド、オーストラリア、アフリカ インドネシア	3年で樹高8m 5年伐期：25~25m <sup>3</sup> /ha/年	—	0.42	大
<i>Inga vera</i>	中南米	キューバ、プエルトリコ、ドミニカ メキシコ	直径生長 2.5 cm/年	—	0.57	大
<i>Leguminosae (Mimosoideae)</i>						
<i>Acacia auriculiformis</i>	ニューギニア、オーストラリア	インドネシア、タンザニア、マレーシ ア、ナイジェリア	2年で樹高6m 10~12年伐期：17~20m <sup>3</sup> /ha/年	4800~ 4900	0.6~ 0.75	大
モリシマアカシア <i>Acacia mearnsii</i>	オーストラリア	ニューギニア、アフリカ、インド インドネシア、スリランカ	7~10年伐期：10~30m <sup>3</sup> /ha/年	3500~ 4000	0.7~ 0.85	大
<i>Acacia mangium</i>	オーストラリア	マレーシア	7~10年伐期：20~46m <sup>3</sup> /ha/年	—	0.48	大
<i>Acacia melanoxylon</i>	オーストラリア	南アフリカ、インド	—	—	0.48~ 0.79	大
<i>Acacia dealbata</i>	オーストラリア	—	—	—	—	大
<i>Acacia decurrens</i>	オーストラリア	—	—	—	—	大
<i>Acacia nilotica</i>	インド、パキスタン、アフリカ	インド、パキスタン、スダン、ザンビ ア、西インド諸島	20年伐期	4800~ 4950	0.67~ 0.68	大
<i>Acacia saligna</i>	オーストリア	南アフリカ、ウルガイ、メキシコ 地中海沿岸諸国	5~8年伐期 1.5~10m <sup>3</sup> /ha/年	—	—	大
<i>Acacia senegal</i>	アフリカ	スダン、セネガル、ナイジェリア インド、パキスタン	5.0 m <sup>3</sup> /ha/年	4000 以上	—	大
<i>Acacia seyal</i>	アフリカ	アフリカ乾燥地帯	—	—	—	大
<i>Acacia tortilis</i>	アフリカ、地中海沿岸	インド、スダン	12年伐期：10m <sup>3</sup> /ha/年	4400	—	大
<i>Calliandra calothyrsus</i>	中米	インドネシア	毎年萌芽更新 1年目5~20m <sup>3</sup> /ha/年 2年後35~65m <sup>3</sup> /ha/年	4500~ 4750	0.51~ 0.78	大
<i>Albizia falcataria</i>	モロッカス	ビルマ、フィリピン、ニューギニア ハワイ、マレーシア、インドネシア	8~12年伐期：25~40m <sup>3</sup> /ha/年	—	0.30~ 0.35	大
<i>Albizia lebbek</i>	インド、パングラディッシュ	アフリカ、西インド諸島、南米、フィ リピン、インドネシア、マレーシア	10~15年伐期	5200	0.55~ 0.60	大
<i>Leucaena leucocephala</i>	メキシコ、サルバドル	フィリピン、インドネシア、ニュー ギニア、マレーシア、アフリカ諸国	5~6年伐期：30~40m <sup>3</sup> /ha/年	4200~ 4600	0.77 0.85	大
<i>Mimosa scabrella</i>	ブラジル	ポルトガル、ザール、セネガル エチオピア、スペイン、中南米諸国	2年で樹高8~9m 3年伐期 —	—	—	大
<i>Pithecellobium dulce</i>	北米~南米	フィリピン、インド、スダン、タン ザニア、キューバ、ジャマイカ	平均樹高生長 2 m/年	5200~ 5600	—	大
<i>Prosopis alba</i>	アルゼンチン、パラガイ ボリビア	アルゼンチン	10年伐期：7m <sup>3</sup> /ha/年(乾燥地)	—	—	大
<i>Prosopis chilensis</i>	ペルー、チリー、アルゼン チン	アフリカの半砂漠、アメリカ	1年：14トン/ha/年	—	0.80~ 0.92	大
<i>Prosopis cineraria</i>	インド、イラン、アフガニ スタン、アラビア	アブダビ、インド	乾燥地に生育、年平均生長量 2.9 m <sup>3</sup> /ha/年	5000	—	大
<i>Prosopis juliflora</i>	中南米	アフリカ、インド	10年伐期：5~6トン/ha/年	—	0.7以上	大
<i>Prosopis pallida</i>	ペルー、コロンビア、エク アドル	ハワイ、プエルトリコ、インド、オー ストラリア	乾燥地に生育し、耐塩性が強い	—	—	大
<i>Prosopis tamarugo</i>	チリーの砂漠	チリー	—	—	—	大
<i>Meliaceae</i>						
<i>Asadirachta indica</i>	インド、パキスタン、スリ ランカ、マレーシア、タイ ビルマ	インド、アフリカ	8年伐期：3.4~21m <sup>3</sup> /ha/年	—	0.56~ 0.85	大

表4-1-1 薪炭用植栽樹種(つづき)

植物名	原産地	植栽国	生産力	発熱量	比重	再生力
<b>Mystaceae</b>						
<i>Eucalyptus globulus</i>	オーストラリア(タスマニア)	ポルトガル, スペイン, イタリア, フランス, アルジェリア, ベルギー, コロンビア, 米国	5-15年伐期: 10-30 m <sup>3</sup> /ha/年	4800	0.8-1.0	大
<i>Eucalyptus grandis</i>	オーストラリア	南米諸国, アフリカ, オーストラリア, 米国, マレーシア	1年に樹高生長2 m 6-12年伐期: 17-45 m <sup>3</sup> /ha/年	-	0.4-0.55	大
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	オーストラリア	スペイン, モロッコ, キタスタシ, ウルガイ, アルゼンチン, ケニア, タンザニア, ナイジェリア	1年に樹高生長2 m 14-15年伐期: 25-30 m <sup>3</sup> /ha/年	4800	0.6	大
<i>Eucalyptus citriodora</i>	オーストラリア	ポルトガル, ブラジル, インド, ハワイ, タンザニア	8年伐期: 15 m <sup>3</sup> /ha/年	-	0.75-1.1	
<i>Eucalyptus gomphocephala</i>	オーストラリア	モロッコ, チュニジア, リビア, イタリア, キリシヤ, イスラエル, ウルガイ	7-10年伐期: 6-44 m <sup>3</sup> /ha/年	-	-	大
<i>Syzygium cumini</i>	インド, ビルマ, フィリピン, スリランカ	オーストラリア, 米国, 西インド諸島, インド	2年で樹高4 m	4800	0.77	大
<b>Proteaceae</b>						
<i>Grevillea robusta</i>	オーストラリア	インド, スリランカ, ケニア, ザンビア, 南アフリカ, ハワイ, ジュマイカ	14年伐期: 16 m <sup>3</sup> /ha/年	-	0.57	種子による更新可能
<b>Rhamnaceae</b>						
<i>Zizyphus mauritiana</i>	アジア	アジア各国, オーストラリア, アフリカ, 中南米	乾燥地に強く, 高生長	4900	0.93	大
<i>Zizyphus spina-christi</i>	アフリカ, 中近東	.	.	.	.	.
<b>Rhizophoraceae</b>						
マンゴローブ <i>Rhizophora</i> spp.	熱帯, 亜熱帯	プエルトリコ, タイ, マレーシア, バングラディッシュ	伐期30年	4000-4300	0.7-1.0	
<i>Bruquieria</i> spp.	熱帯, 亜熱帯	.	.	.	.	.
<b>Salicaceae (Trepidae)</b>						
<i>Populus tremula</i>	欧州, 西アジア, 北アフリカ	ボブラ類の天然林はカナダ, オランダ, フランス, ドイツ アメリカが主体: 約2000万ha 人工林の世界各地の総計約140万ha 欧州: フランス, スペイン, イタリア, ハンガリー, ユーゴスラビア, ルーマニア, 伐期15-25年: 20-40 m <sup>3</sup> /ha/年 ドイツ, ベルギー 北アフリカ: モロッコ, チュニジア, アルジェリア 中近東: トルコ, シリア, イラク, イラン, アフガニスタン, レバノン, イスラエル アジア: 韓国, 日本, インド オセアニア: オーストラリア, ニュージラント 北米: アメリカ, カナダ 南米: アルゼンチン, チリ, ウルガイ	オランダ, フランス, ドイツ			
<i>Populus adenopoda</i>	中国		25年伐期: 10-12 m <sup>3</sup> /ha/年			
チュウセンヤクヤマナラン <i>Populus davidiana</i>	中国		イタリア, ユーゴスラビア			
ヤマナラン <i>Populus sieboldii</i>	日本		伐期10-16年: 20-40 m <sup>3</sup> /ha/年			
トテムロイデスボブラ <i>Populus tremuloides</i>	米国		欧州: フランス, スペイン, イタリア, ハンガリー, ユーゴスラビア, ルーマニア, 伐期15-25年: 20-40 m <sup>3</sup> /ha/年			
<i>Populus grandidentata</i> (Albida)	米国		ドイツ, ベルギー			
ウラジロハコヤナギ <i>Populus alba</i>	欧州, 地中海沿岸		北アフリカ: モロッコ, チュニジア, アルジェリア			
(Aigeiros)クロヤマナラン <i>Populus nigra</i>	欧州, 北アフリカ, 西アジア		中近東: トルコ, シリア, イラク, イラン, アフガニスタン, レバノン, イスラエル			
ヒロハコヤナギ <i>Populus deltoides</i>	北米		アジア: 韓国, 日本, インド			
(Tacamahaca) <i>Populus laurofolia</i>	シベリア		オセアニア: オーストラリア, ニュージラント			
<i>Populus szechuanica</i>	中国		北米: アメリカ, カナダ			
<i>Populus korea</i>	韓国		南米: アルゼンチン, チリ, ウルガイ			
ドロノキ <i>Populus maximowiczii</i>	日本					
チリハドロ(シモニードロ) <i>Populus simonii</i>	中国, 韓国					
<i>Populus yunnanensis</i>	中国					
<i>Populus suaveolens</i>	トルコ, ソ連					
<i>Populus trichocarpa</i>	北米					

表4-1-1 薪炭用植栽樹種(つづき)

植 物 名	原 産 地	植 栽 国	生 産 力	発 熱 量	比 重	再 生 力	
<i>Populus balsamifera</i> ( <i>Leucoides</i> )	アラスカ, カナダ, アメリ カ	}					
<i>Populus heterophylla</i>	北米						
<i>Populus lasiocarpa</i>	中国						
<i>Salix alba</i>	欧州, 西アジア, 北アフリ カ	交 配 種	アルゼンチン, 英領 オランダ	<i>Salix smithiana</i> Q 666 スウェーデン 16-18 トン/ha/年	—	0.36	大
シダレヤナギ <i>Salix babylonica</i>	アジア		アルゼンチン	アイルランド			
<i>Salix fragilis</i>	欧州, アジア			<i>Salix</i> spp	12 トン/ha/年		
<i>Salix capreae</i>	欧州, 西アジア				オーストリー		
<i>Salix humboldiana</i>	南米		アルゼンチン	<i>Salix</i> spp	15-22 トン/ha/年		
ウンリュウヤナギ <i>Salix matsudana</i>	中国, 日本						
<i>Tamaricaceae</i>							
<i>Tamarix</i> spp.	サハラ, 中国	パキスタン, インド, アフガニスタン ケニア, エチオピア	耐塩性大	—	—	—	—
<i>Ulmaceae</i>							
<i>Trema</i> spp.	熱帯, 亜熱帯	フィリッピン		—	4500	—	大
<i>Verbenaceae</i>							
<i>Gmelina arborea</i>	インド, 中国, ビルマ 東南アジア	ブラジル, ガンビア, ナイジェリア マレーシア, フィリッピン	5-8 年伐期: 20-35 m <sup>3</sup> /ha/以上	4800	0.42~ 0.64	—	大

+ マングローブは数種の植物の総称

## 4-2 種子の採取、精選、貯蔵、輸送

### 1) 種子の採取

樹木種子を空中散布によって、大規模な森林造成を行うためには、大量の種子が必要となる。しかしながら、樹種によっては、種子の生産には豊凶があり、常時大量に種子を集めることが難しい。したがって、空中散布技術の開発にあたって、まず、種子の入手の容易な樹種から始めることが望ましい。入手が比較的容易なものとして、アカシア類、アルビジア、ギンネムなどのマメ科の樹種、ユーカリ類、マツ類などがあげられる。

ユーカリ類の多くのものは、4年ほどのサイクルで豊作年となるので、この時に良質の種子を量的に採取する必要がある。

なお、現在種子供給が行われて来たものは、商業用樹種が主であるので、郷土樹種、あるいは未利用有望樹種等の種子採取にはその方策を検討する必要がある。

オーストラリアでは、林業用種子の流通系統は整備されているので、アカシア類、ユーカリ類については早期に発注すれば種子の入手は可能であり、インドネシアや中国においても種子の入手は可能であるとされているが、いずれの場合にも大量に入手するためには早期発注が必要なことはいうまでもない。

### 2) 種子の精選

種子の精選は種子加工の効率、ひいては散布量や発芽率に大きな影響を及ぼす。採取し脱粒した種子より夾雑物を除き去るには一般に次の方法が用いられる。

#### (1) ふるいわけ

種子を夾雑物と比重差などで選別するまえに大きさによって、ふるい出すために種子より大きい目と小さい目の2種のふるいを用いる。

量的な処理には、回転式脱種器、動力選種機等がある。

#### (2) 風選

種子には風をあてごみ等を吹き飛ばし、比重の大きいたねを選び出す方法で量的には電動扇の回転で樹種に応じた風速を用いて選別する。風選は最初弱、その次にやや強で行い貯蔵用と早期播種用と分けることもある。風選は樹種により選別能力に差がある。すなわち、内容充実粒とシイナとの比重がほぼ等しい樹種ではその効果は少ないが、比重の差のあるものでは95%以上の充実種子率が得られるとされている。

#### (3) 液体選

水、アルコール、石けん液、グリセリン等を用いて虫害粒やレイナを除くもので、

水では吸水能力の差によって沈下時間が違うのを利用する法、食塩水を使う法などがある。石けん水は選別後直ちに洗い去る。水での精選は、発芽促進を兼ねる場合もある。アルコール等薬品を用いるものは、大量処理には用いられない。

ユーカリ類等の微細種子では市販種子には花系その他の夾雑物が多く、種子の純量率は10～20%前後の場合が少なくなく有効な精選法を検討する必要がある。

なお、成熟種子と死滅した種子を目視で色別に選別するのが有効な場合もあるが、これは量的には処理できない。

### 3) 種子の貯蔵、輸送

種子の貯蔵には、乾燥貯蔵と保湿貯蔵がある。前者は乾燥重量にして10%以下まで低下させてもよい乾性種子に、後者は乾燥重量が20%前後を生死の限界とする含水率の高い種子に用いられる。

#### (1) 乾燥貯蔵

① 常温貯蔵：密封しない貯蔵と密封貯蔵がある。後者には乾燥剤を使用するもの、その際、硫化加里などの活力抑制を併用するものがある。

② 低温貯蔵：最高10℃を超えない条件で貯蔵する。種子の含水量は5～7%にする必要がある。乾燥剤、活力抑制剤、活力回復剤を使用する場合は密封貯蔵をする。

#### (2) 保湿貯蔵

含水率の高い種子は乾燥すると、死滅するため、乾燥貯蔵をすることができない。成熟した種子の含水率は40%程度であり、死滅にいたる含水率の限界は種子の乾燥重量当り20%前後であるが、人工的に種子を乾燥させて、枯死限界の含水率20%まで低下させると、貯蔵中に種子の劣化が起き、発芽率が減少する。したがって、含水率の高い種子を採集する場合には、成熟して自然に落下する寸前が最適であり、この時期を的確に知ることが大切である。

含水率の高い種子を貯蔵するためには、種子から放出する水分を制御しながら種子の水分を維持し、常に含水率20%以上に保つことが必要である。ビニールの袋に入れ、水分の蒸散を抑制するなどの方法で、ある程度まで、貯蔵することは可能である。しかしながら、含水率の高い種子には、低温に耐えるものと15℃以下の温度では、死滅するものがある。

したがって、15℃～0℃の低温で貯蔵するものと、15℃以上で貯蔵するものに分ける必要がある。

なお、保湿貯蔵にはベルビタンK・2,4Dなどの発芽抑制剤を入れるとよい。

また、熱帯性樹種の貯蔵と寿命について表に示す。

種子の輸送は、その貯蔵の種類によって通気袋、密封袋、鋸屑入れ袋等の別がある。

表4-2-1 熱帯降雨林樹木種子の貯蔵と寿命

樹 種	貯 蔵 可 能 期 間		
	室 温	21℃	4℃
Leguminosac (マメ科)			
Parkia jaranica	4年以上	4年以上	4年以上
Dialium cosiaccae	3年以内	3年以内	3年以内
Intsia palembanica	数年以上	数年以上	数年以上
Pterocarpus spp.	数年間	数年間	数年間
Dipterocarpaceae (フタバガキ科)			
Red Meranti group			
Shorea ojalis	4カ月	4カ月以上	数時間
Shorea leprosula	2~3カ月	3カ月以上	2日間
Shorea parvifolia	数カ月	数カ月	2日間
Shorea curtisii	数カ月	数カ月	数時間
Shorea platyclados	数カ月	数カ月	2日間
White Meranti group			
Shorea talura	7カ月以上	7カ月以上	7カ月以上
Shorea assamica	数カ月	数カ月以上	2~3カ月
Shorea bracteolata	数カ月	数カ月以上	2カ月
Dammar Ititam group			
Shorea resina-nigra	数カ月	数カ月以上	3週間
Shorea multiflora	数カ月	数カ月以上	3週間
Hopea odorata	数カ月	数カ月以上	2カ月以上

#### 4-3 発芽促進方法

乾燥貯蔵された種子は、休眠状態に入っているため、発芽させるには休眠打破の発芽促進処理を必要とするものが多い(表4-3-1)。発芽促進には、光照射、浸水法、低温湿層処理、高温及び低温湿層処理、温度シフト(40~60℃の高温条件に30~60分置くこと)、種皮に機械的傷害を与えるなどの処理法があるが、種子の休眠の特性によって、処理法を変える必要がある。低温湿層処理や高温及び低温湿層処理を必要とする種子は、早急に発芽させる必要がある条件下では、空中散布には適していないと思われるが、長期間かけて、ゆっくりと樹木の成立を目標にする場合には、現地の気候条件を利用し、自然条件で発芽処理を行うことも可能である。

- ① 浸水法は通常冷水に1~5日間につけておく、発芽抑制剤が用いられてときには1日に2~3回水を取り替える。



- ② 低温湿層処理は低温（1～10℃）で湿った水ごけ、泥炭末、砂、おがくずなどに混ぜるか、層別にして適当な水と酸素を与える。これによって、種子の後熟が進み、また種皮の機械的抵抗が弱まる。
- ③ 高温及び低温湿層処理は低温におく前にある期間20～30℃の高温におくもので、発芽に長い期間を要するものに用いられる。
- ④ 温度シフトは40℃～60℃の高温条件に30～60分置く。
- ⑤ 熱湯処理は沸点に近い熱湯に数秒、80℃は数分、また50℃に1～5日つける。
- ⑥ 傷つけ処理は少量の場合はサンドペーパーで種子を傷つける。大量の場合は種子傷破器を用いる。

これらの他、化学薬品を用いる発芽促進法が試みられたことがある。発芽促進法は、樹種およびその貯蔵法によって適切なものを検討する必要がある。処理法と適用樹種の例を表に示す。

なお、航空機造林に当たっては、大量処理の可能な方法でなければならない。調査の結果では、例えば農業分野で使用されている毛除機のアミをヤスリに取り替えることによる大量処理の可能性もあるので、既存の機械：装置の改良についても検討する必要があると考えられる。

表4-3-1 発芽促進処理と適用樹種

処理方法	樹種
光照射*	ハンノキ、ヤナギ、カンバ、ポプラ、ニレ、プラタナス、カツラ、ガマズミ、ハンテンボク、キリ、ウツギ、シャクナゲ、ユーカリ、モクマオウ、（ブナ）、マツ、スギ、ヒノキ、ツガ、トウヒ、モミ、トガサワラ、カラマツ、クロベ
低温湿層処理	マツ、ヒノキ、スギ、ツガ、トガサワラ、モミ、トネリコ、ヤチダモ、シナノキ、ニレ、ズミ、タラノキ、バラ科、ツルウメモドキ、エノキ、ハシバミ、グミ、マユミ、ハンテンボク、フウ、コブシ、ズミ、ヤマモモ、プラタナス、（ブナ、クルミ、トチ、ペカン、クリ）、
高温及び低温湿層処理	ネズ、ヤチダモ、ミズキ、カエデ、タラノキ、シデ、サンザシ、マンサク、モチノキ、スイカズラ、アサダ、ニワトコ、ガマズミ、ハリギリ、
種皮処理 傷害、硫酸、熱湯	マメ科の硬粒種子、モチノキ、ミズキ、ハゼノキ、ニワトコ、シナノキ、ハリギリ

（ ）内の樹種は高含水率種子  
\* 赤色光及び自然光で発芽促進、遠赤色光で発芽抑制

#### 4-4 種子の散布量

種子の散布量は、種子の発芽、定着率によって決定されるものであるが、その率は気候、土性、地持えのいかん、また地表植生の状態、又は種子の状態により様々である。従来の航空機造林での発芽率はほぼ30%位を目安としているのが通例である。しかしながら、大規模造林の場合にはあるいは10%程度でも十分効果的であろう。

カナダでの Jack pine (*Pinus banksiana*)の実験(1973~1975)では、25,000粒/ha、50,000粒/ha、75,000粒/haの散布量のうち、地持え地区で、50,000粒/haが最も効率的で、約10,000/ha本の苗木が得られた。Black spruce (*Picea mariana*)についても、ほぼ同様であった。

インドネシアの中部ジャワでの実験(1979)では、アカシア等6種の混播に242,400粒/ha(24.8kg/ha)が散布され、50~60%の発芽を得ている。

オーストラリアでのユーカリ類の散布には、50,000粒/ha(精選種子1.5kg/ha)となっている。

中国での散布量の例を次表に示す。

表 4 - 4 - 1 樹種別播種量 (陝西省および経験値)

樹(草)種 \ 項 目	播種量 (g/亩) (k/ha)
馬 尾 松	125 ( 1.9) 200 ( 3.0) 250 ( 3.7)
油 松	250 ( 3.7) 300 ( 4.5) 400 ( 6.0) 500 ( 7.5)
雲南松 油松×漆樹	250 ( 3.7) 500+250 (11.2)
華 山 松	2000 (30.0) 2550 (37.5)
華山松×漆樹	1000+350 (20.2) 1500 (37.5)
狼 牙 刺 沙打旺×草木樨 柠 条 沙 棘	750 (11.2) 350 ( 5.3) 750 (11.2) 1000 (15.0)
油 松 × 側 柏 油 松 × 雲 杉	800 (12.0) 450+100 (14.2)
華山松×雲杉 柏 木 杜 梨	1500+100 (24.0) 300 ( 4.9) 350 ( 5.3)
白沙嵩×草木樨沙米×沙打旺 白沙嵩×草木樨沙米×沙打旺 白沙嵩×草木樨沙米×沙打旺 白沙嵩×沙米 白沙嵩×草木樨×沙打旺 花棒、踏郎種子大粒化	600 ( 9.0) 750 (11.2) 1000 (15.0) 300 ( 4.5) 400 ( 6.0) 500 ( 7.5)

注：15亩 = 1 ha

参照

油松 1 kg 当たり 21,000粒~30,000粒

雲南松 " 62,000粒~64,000粒

沙打旺 " 40万粒~60万粒

(1-3-2) 中国の節参照)

上記のように種子散布量は中国以外ではユーカリ、マツ類等ではほぼ50,000粒/haが基準となっており、アカシア等でははるかに多く20万粒を超える。中国での播種量は、油松、馬尾松等で50,000粒/ha～200,000粒/ha、広葉樹類でははるかに多い。ただし、このha当たり播種量の差は散布巾を20m～50mまで変化させたものに対応するようである。

産業造林では相当多数の定着苗数を期待することが望ましいが、大規模造林ではha当たり10,000本前後の定着が最低の目安であろう。