

受入ID-1519990825D00070



平成元年度

国有林野事業特別会計 技術開発試験成績報告書

(完了分)

平成2年11月



02000-000043107-0

森林総合研究所

平成元年度国有林野事業特別会計
技術開発試験成績報告書

目 次

1. 近畿・中国地方のスギ、ヒノキ長伐期林分の実態解析と収穫予測 -----	1
2. 間伐材を利用する防風工の開発 -----	51
3. 次代検定林における情報制度の向上 -----	79
4. 播種绿化工における樹林形成技術手法の開発 -----	117
5. 天然林抾伐に伴う生立木枯損防止のためのフェロモンによる誘殺試験 -----	139

近畿・中国地方のスギ、ヒノキ
長伐期林分の実態解析と収穫予測

近畿・中国地域のスギ、ヒノキ 長伐期林分の実態解析と収穫予測

I 試験担当者

関西支所育林部経営研究室

家原 敏郎

II 要旨

大阪営林局が行った高齢級人工林現況調査の資料を収集し、その一部の標準地については、現地調査を実施した。収集した資料をパーソナルコンピュータのデータベースにし、上層樹高、平均胸高直径、胸高断面積、材積などの林分構造因子を算出した。また樹幹解析資料をもとに、単木の樹高成長に最も良くあてはまる成長曲線を求めた。次に、資料を林分密度管理図の樹種・地方別に、近畿・山陽地方スギと近畿・中国地方ヒノキに分類した。それぞれの資料に、密度管理図を作成するのに使用したデータ及び、収穫試験地の測定資料を加えて、上層樹高の成長曲線の中心線を求め、林分を1~3等地に区分した。地位ごとに立木本数の変化を求め、上層樹高と立木本数を変数として、林分密度管理図の関係式を用いて、材積や平均直径の推移を算出した。以上の手法で、林齡85年までの高齢級林分収穫予想表を作成した。

III 試験目的

近年の立木価格の低迷と、林業労働賃金の上昇は、主伐収入の低迷と再造林費の高騰を招いた。そのため、従来の短伐期で皆伐する労働多投的な方式では、主伐収入から、地権、植付、下刈等の再造林費を引くと、林家の手取りが大変少なくなってきており、林業経営を極めて苦しいものとしている。そのため民有林では、主伐の時期を、引きのばす長伐期化によって、育林労働を節約し、一方林木を大径材にし価値を高めようとする傾向がみられるようになった（熊崎、1989）¹⁾。以上の理由に加え、森林がもつ公益的機能に対する国民の期待の増大から、1986年に改訂された「森林資源に関する基本計画」においても、伐採齡の多様化、長期化が盛り込まれている（森林計画研究会、1987）²⁾。

国有林でも、保健休養機能など公益的機能の重視の面から、伐期を長伐期に指定される林分が増えている。しかし実際には、現在高齢な林分が少ないため、今後長伐期施業を進めるにあたっての基礎資料となる高齢級林分の林分構造や収穫量に関する情報が不足している。幸い大阪営林局では、最近高齢級人工林の現況調査を実施し、高齢級林分に関する

資料収集を行った。

本研究ではそれを受け、大阪営林局管内の高齢級林分について、林分構造を算出して、高齢級林分の資料として蓄積し、また成長特性を解析して、高齢級林分の収穫予想表を作成することを目的とした。

IV 試験の方法と結果

1. 高齢級人工林の現況調査

1) 調査の目的

大阪営林局では昭和61年度から平成元年度にかけて高齢級人工林の現況調査を実施した。調査を行う目的として、調査要領では「国有林における高齢級人工林は年々伐採がすすみ、その面積は減少の一途をたどっている。反面、伐期は長期化の傾向が予想されることから将来の施業計画、収穫予想等に備えて高齢級人工林の林分内容に関する資料収集が急がれている。このため、特別経営時代に更新された林分について、つぎの要領によって現況調査を実施し、資料の収集・分析を行う。」としている。

2) 標準地の選定と面積

調査の対象となる標準地は次の条件をすべて具備していることが望ましい。

- ①林分についての履歴（沿革）が明らかであること。
- ②新植は大正10年（1921年）以前であること。
- ③起伏が少ない斜面で上層木の樹高に大きな違いがないこと。
- ④単一樹種とする。ただし、若干他樹種の混交はやむを得ない。
- ⑤本数配置は比較的齊一で林冠に大きな穴がないこと。

このような条件を備えた調査予定地の中から、管内の1つの営林署につき原則としてスギ、ヒノキ別に次の3つの標準地を選定させ調査させた。

- 生育の良い標準地
- 生育の普通な標準地
- 生育の不良な標準地

プロットの面積は、「林分の内容にもよるが、おおむね0.1ha程度とし、この中には最低100本以上の立木が生立している必要があり、生立本数に応じて面積を増減させる。」としている。標準地の区域はなるべく単純形とし、区域線は樹間の中央を通した。林縁樹帯は除外するなど標準地の偏奇の排除に留意した。面積は実測し、m²単位まで求めた。

3) 調査項目

調査の項目は以下のとおりであり、それぞれの項目について調査方法が指示された。

○地況 : 標高、平均傾斜角度、斜面方位、斜面上の位置、基岩、土壤型、有効深度、土性、局所地形、堆積型、堅密度、降水量（年間）、最深積雪深度

○樹冠疎密度 : 目測による

○植生 : 中層・下層・林床毎に、被度、頻度等から代表的な植物を、主な植物として記載する。

○林内相対照度 : 地上1.2mの積算照度により求める。ただし、スギ、ヒノキの天然生稚樹の発生している標準地は地上0.3mについても同様に求める。

○標準地内の調査

胸高直径 : 傾斜山側の胸高部（1.2m）の位置を直径巻尺で測定する。単位は0.1cmとする（mm単位まで読みとる）。

樹高・枝下高 : 樹高は実測を行う。枝下高は実測樹高と比較目測によることができる。単位は0.5mとする（10cm単位まで読みとり2捨3入する）。

樹冠位置 : 測定木の、樹冠層を形成する立木に対する相対的な樹冠の位置を、上・中・下で記載する。

丸太の品等 : 伐採・採材を想定して、元玉・二番玉・三番玉の丸太について、その品等を、収穫調査規程に定める品等調査基準により、それぞれ記載する。品等は、日本農林規格に定められた方法によって区分する。

樹型級 : 間伐実施要領に定められた方法によって良・並・悪に区分する。

備考 : 病虫獣害、雪害等気象害を受けた木にはその原因を記載する。

* 上記に定めない事項については、収穫調査規程の定めるところによる。

○樹幹解析 : 標準地について最低1本の樹幹解析を行い、成長経過を把握する。上層木のなかにあって、径級、樹高、形質ともに平均的な林木を樹幹解析木として選定し、円板を採取する。なお、この際断面高0.0mの円板採取が非常に困難な場合は省略しても差し支えない。

採取された円板は通常の方法により樹幹解析を行う。

○林分の履歴 : 標準地が属する林地の履歴について、林班沿革簿等からなるべく詳細に記述する。数量等の記入では面積に注意して、実測面積当たりなのかha当たりなどのかなど明らかにしておく。

2. 近畿・山陽地方国有林スギ高齢級林分の収穫予想

1) 高齢級人工林現況調査の結果

高齢級林分現況調査では、スギについて27林分の資料を収集した。一部の林分については現地調査を実施した。それぞれの林分の位置図を図1、位置及び地況を表1、表2に示す。調査林分は北陸地方、高野山、鳥取県西部・岡山県北西部の山地、西中国山地などに分布している。土壤型はB_D型ないしB_{D+d}型が多いが、中にはB_A型、B_B型、B_C型もみられ、

かなり無理をして、スギの立地として土壤条件の悪い場所に植栽された林分があることがわかる。

調査要領では林分の履歴を調べることが指示されていたが、調査の結果履歴が判明したのは12林分に過ぎなかった（表3）。植付本数はかなり多めで約4300～4500本/haの林分が多かった。高野山国有林の1林分では9000本/ha、神戸宮林署管内箕面国有林の調査林分では約6000本/haといった密植が行われていた。通常の林分では下刈は5～8回、補植は1～2回行われている。また、つる切り、除伐も数回以上行われており、どの林分も十分な保育が行われているといえる。ほとんどの林分で枝打が行われている。実施時期からみて枝打が行われたのは昭和初期であるが、当時からかなり集約的な施業がなされていたと考えられる。

林分構造を算出すると表4のようになった。調査された林分の林齢は69～94年であり、上層樹高は11.1～29.1m、立木本数は292～2739本/ha、材積は117.8～1165.6m³/haの範囲であり、地位及び施業の違いを反映して大きく異なっていた。スギのほかにヒノキやアカマツ、モミ、広葉樹類が混交する林分がいくつか見られ、混交の程度が著しい林分（S061, S062, S153, S192）を除外して収穫予想表を作成した。

それぞれの林分について、下層木から林床までの各層に出現した主な植物を込みにして、2.4)で述べる地位別に整理すると表5のようになった。林分ごとに調査の丁寧さ、種名の正確さ、出現種数などが大きく異なっているので、あまり確定的なことはいえないが、クロモジ、アオキ、ヒサカキなどが高い頻度で出現した。また、出現する植物の林分の地位による特徴は明瞭につかめなかった。

2) 地域区分

大阪宮林局は、近畿地方と中国地方の全域及び福井、石川、三重県という大変広い地域にまたがる国有林を管轄し、気候的にも多種多様な地域を含んでいる。収穫予想表は、林木の成長がほぼ同様な地域ごとに作成されるべきものであるから、ここでもかなりきめ細かく作成すべきである（南雲・箕輪、1989）³⁾。しかし、あまり地域を細分すると資料数が少なくなって表の作成が困難になり、精度にも問題が生じてくる。林分密度管理図では表6のように、大阪宮林局管内のスギを太平洋側と日本海側の2つに区分している（林野庁、1979⁴⁾；林野庁、1981）⁵⁾。冬季の降雪の有無や品種系統の違い（遠山、1976）⁶⁾による成長の相違を考慮すると、この区分法は簡潔で合理的である。そこで、ここでも地域区分とその適用範囲は、密度管理図に従い表6のように区分した。

高齢級林の調査資料のうち近畿・山陽地方に16林分、山陰地方に7林分が区分された。山陰地方は林分数が少なく、また高齢級林分について調査した別の資料も入手できなかつたので、収穫予想表を作成しなかった。

3) 単木の樹高成長曲線の検討

高齢級林分の成長量を予測するには、樹高成長の法則性を把握することが重要である。そこで、単木の樹高成長に最も良くあてはまる成長曲線を求めてみた。

採取された樹幹解剖木のうち、表4の備考欄に*印で示した金沢、福井、龜山、田辺、津山、福山、広島及び鳥取宮林署管内で調査された、樹齢65～93年、平均樹高19.65mのスギ13本について5年ごとの樹高を推定した。単木と試料全体の樹高成長を、ともに成長関数として理論的であり3個のパラメータを持つミッチャーリッヒ式、ゴンベルツ式及びロジスティック式に非線形最小自乗法（DEMING, 1950）⁷⁾によってあてはめ、いずれの式で良好に近似されるかを検討した。近似の良さの基準としては、推定された成長関数から求めた理論値と実測値の差の自乗和が小さいこととした。

個々の試料木について成長曲線をあてはめたところ、半数強がミッチャーリッヒ式で最も良く近似された（表7）。ロジスティック式ないしゴンベルツ式で最も良く近似された試料木には、樹高成長が中途で悪くなつたのち、再度良くなる傾向があった。最も良く近似された関数と試料木の樹齢や直径の関係はあまり明瞭ではなかった。それぞれの関数のパラメータMは、樹高が到達しうる最大値を表し、従って実測樹高より大きな値を示さなければならない。表7には各関数にあてはまつた試料木のMと樹高の平均値を示すが、ゴンベルツ式にあてはまつた試料木では樹高とほぼ同じ値のものが多く、ロジスティック式ではやや大きい値のもの多かった。一方、ミッチャーリッヒ式では一部を除いてMが樹高より大きかった。

また、試料木の樹齢と樹高のデータを全部一緒にして近似を行つた結果でも、ミッチャーリッヒ式の残差自乗和がやや小さく、ゴンベルツ式やロジスティック式ではMが過小に推定された。

以上より、高齢なスギの樹高成長は、樹高成長が中途から良くなる林分を例外とすれば、おおむねミッチャーリッヒ式で良好に表わされると考えられた（家原、1990）⁸⁾。

4) 収穫予想表の作成

収穫予測を行うには、まず上層樹高や立木本数など、主要な林分構造因子の経年変化を関係式で表す必要がある。しかし高齢級人工林現況調査は若齡林分を含まないので、この資料だけで収穫表を作成するのは難しかつた。そこで、前に述べた高齢級林の調査資料16林分に加えて、70年生以下の林分が多い林分密度管理図を作成するのに用いた資料及び、収穫試験地の調査資料の合計313林分を加えて、林分因子間の関係式を求ることにした。

各林分の上層樹高（H(m)）と林齢（t(年)）の関係は、図2のようになつた。これに最小自乗法⁷⁾によって、ミッチャーリッヒ式にあてはめて樹高成長の中心線を求める式（1）のようになつた。

$$H = 26.743 \cdot (1 - 1.1108 \cdot \exp^{-0.033131 \cdot t})$$

(1)

各林分の上層樹高と、同一の林齡での中心線の樹高の差を計算し、齡級ごとに差の標準偏差を求めた。標準偏差と林齡の関係を調べると、おおむねミッチャーリッヒ式で近似でき、最小自乗法でパラメータを求める式(2)のように表された。

$$H\sigma = 6.594 \cdot (1 - 0.8749 \cdot \exp^{0.011863 \cdot t}) \quad (2)$$

林分の地位は資料をほぼ3等分することとし、樹高成長の中心線を地位2等の中心線、中心線から上に1σ離れた曲線を地位1等の中心線、下に1σ離れた曲線を地位3等の中心線とした(図2)。地位1等と2等及び2等と3等の曲線の中線を境界として、各林分の地位を区分した。

高齢級林の調査林分は以下のように地位区分された(表5)。

1等地(3林分) …… S101, 171, 201

2等地(4林分) …… S031, 102, 151, 191

3等地(8林分) …… S092, 103, 111, 112, 141, 143, 152, 202

1, 2等地の林分数がやや少ないので、追加資料の方に樹高が高い林分が含まれていたためだと考えられた。参考までに山陰地方の林分及び資料から除外した林分を、この地位区分にあてはめてみると、全て3等地に分類された。この資料に限りにおいては、現存するスギの高齢級林は表日本側の方が生育が良好であるといえた。

次に、地位ごとの林齡と総立木本数(N (本/ha))の関係をミッチャーリッヒ式で表すと、スギでは式(3)～(5)のようになった。立木本数の変化は、一般の収穫表と同様に、間伐が5年間隔に行われると仮定し、ある林齡で関係式から求められる立木本数を総立木本数(主副林木計)、5年後に関係式から求められる本数を主林木本数、総立木本数と主林木本数の差を副林木本数とした。なお、ここで間伐は下層間伐によるものとし、間伐による上層樹高の変化はないと仮定した。また間伐間隔が5年と短いため、自然枯死による本数の減少はないと仮定した。

$$1\text{等地} : N = 561.47 \cdot (1 + 13.538 \cdot \exp^{-0.079648 \cdot t}) \quad (3)$$

$$2\text{等地} : N = 721.18 \cdot (1 + 8.566 \cdot \exp^{-0.065454 \cdot t}) \quad (4)$$

$$3\text{等地} : N = 829.93 \cdot (1 + 6.790 \cdot \exp^{-0.047275 \cdot t}) \quad (5)$$

以上のようにして求めた上層樹高と総本数、主林木本数の変化から、近畿・山陽地方スギ高齢級林分の収穫予想表を、林分密度管理図に示された関係式(式6～10)を用いて作成した(表8)。ここで V は材積(m^3/ha)、 HF は林分形状高、 G は胸高断面積(m^2/ha)、 Dg は断面積平均胸高直径(cm)、 D は平均胸高直径(cm)である。なお表8で、成長率はプレスラー式によって求めた。

$$V = (0.058298 \cdot H^{-1.349766} + 4563.5 \cdot H^{-2.819457} / N)^{-1} \quad (6)$$

$$HF = 1.6782 + 0.37392 \cdot H \quad (7)$$

$$G = V / HF \quad (8)$$

$$Dg = 200 \sqrt{G / \pi \cdot N} \quad (9)$$

$$D = -3.100 + 0.97998 \cdot Dg \quad (10)$$

5) 従来の収穫表との比較

大阪営林局管内のスギ林の収穫表としては、紀州地方(林野庁、1953)⁹⁾と、林齡60年まであるが山陰地方(大阪営林局、1969)¹⁰⁾のものが公表されている。今回作成した収穫予想表の樹高成長は両収穫表に比べ若干劣っているが、主林木本数がかなり多いため、主林木材積は多めに推移している。これは、収穫表が理想的に間伐が行われた林分を想定して作成されているのに対して、現実の林分では間伐の程度が弱い林分があるためであると考えられた。

3. 近畿・中国地方国有林ヒノキ高齢級林分の収穫予想

1) 高齢級人工林現況調査の結果

ヒノキでは43林分の資料を収集し、うちいくつかの林分については現地調査を行った。各林分の位置図を図1、位置及び地況を表9、表10に示す。調査林分は高野山、紀州山地など近畿地方各地、鳥取県東部から岡山県北東部の山地、広島県東部の海岸から内陸部、西中国山地、島根県中部などスギよりも広く分布している。立地条件として、土壌型はヒノキの植栽適地である $B_{D(d)}$ 型が多く、瘦せた土壤であり、アカマツの適地に相当する B_A 型、 B_B 型は比較的少なかった。このことからこの調査結果でみるかぎり、ヒノキ造林にあたっては適地適木が比較的よく守られていたと考えられた。

林分の履歴調査の結果を表11に示す。履歴が判明したのは、半数強の25林分であった。植付本数は約4200～4700本/haの林分が多く、神戸営林署の箕面国有林と山口営林署の滑山国有林の調査林分では約7000本/haといった密植が行われていた。通常の林分では下刈は5～9回、補植は1～3回行われている。つる切りも行われており、除伐はかなり多数回行われている。以上より、かなりきめ細やかな保育が行われてきたといえる。枝打はスギ同様数回行われた林分が多いが、全く行われていない林分もかなりみられた。

林分構造を算出すると表12のようになつた。林齡は69～91年であり、上層樹高は11.6～24.4m、立木本数は353～2885本/ha、材積は146.7～820.9m³/haの範囲であり、林分による差が大きかった。特に、樹高が小さく立木が2000本/ha以上残存している林分がかなりあった。アカマツやスギ、モミ、ツガ、コウヤマキ、広葉樹類等が混交する林分がいくつ見られた。特に、川本営林署のH222及びH223林分はアカマツがかなり多数混在しており、ヒノキの樹高よりも高かった。これは、ヒノキの生育が悪い造林地にアカマツが侵入し、二段林型となつたと考えられるので、この二つの林分を資料から除外した。また尾鷲営林署のH071、H072、H073林分は、獣害がみられたので除外した。以上の5林分を除外した残りの38林分の資料で、収穫予想表を作成した。

出現した主な植物を、3. 3)で述べる地位別に整理すると表13のようになつた。林分

ごとに調査の丁寧さ、種名の正確さなどが異なっておりあまり確定的なことはいえないが、クロモジ、ヒサカキ、サカキ、リョウブ、ツバキ、アセビ、シキミなどが高い頻度で出現した。ミツバツツジ、ヤマツツジ、シャクナゲなどのツツジ類がかなり出現したが、これらは2、3等地で多く出現し、1等地ではほとんど出現しなかった。

2) 単木の樹高成長曲線の検討

スギと同様に、単木の樹高成長に最も良くあてはまる成長曲線を求めてみた。表12の備考欄に*印で示した20本の樹幹解析木について、樹幹解析によって5年ごとの樹高を推定し、個々の立木及び資料全体の樹高成長を、ミッチャーリッヒ式、ゴンペルツ式及びロジスティック式に最小自乗法⁷⁾によってあてはめた。スギと同様な方法で、近似の良さを判定したところ、試料木の過半数がミッチャーリッヒ式で最も良く近似された（表14）。

最も良くあてはまった関数と、試料木の樹齢や直径の関係はあまり明瞭ではなかったが、ゴンペルツ式で良く近似された試料木は樹高が小さかった。表14には各関数にあてはまったく試料木のMと樹高の平均値を併せて示してある。それぞれの関数のパラメータMは、樹高が到達しうる最大値を表し、実測樹高より大きな値を示さねばならない。しかし、ゴンペルツ式では推定値が樹高より小さくなった立木が多く、ロジスティック式では樹高とほぼ同じ値のものが多かった。ミッチャーリッヒ式では、数例を除いてMが樹高より大きかった。

試料木を全部込みにして近似を行った結果でも、ゴンペルツ式やロジスティック式はMが過小に推定された。残差自乗和はロジスティック式がミッチャーリッヒ式よりわずかに小さかったが、パラメータMを考慮すると、試料全体の樹高成長を表すのにはミッチャーリッヒ式が好適だと考えられた。

以上より、高齢なヒノキの樹高成長は、3つの式の中ではミッチャーリッヒ式で最も良好に表わされると考えられた（家原、1989）¹¹⁾。

3) 収穫予想表の作成

大阪宮林局管内のヒノキの林分密度管理図（林野庁、1980）¹²⁾は、一つにまとめられているので、ここでもそれに従い、地域区分は行わなかった。前述の高齢級林38林分の資料に、密度管理図の資料及び収穫試験地の資料から合計369林分の測定資料を追加して、上層樹高と立木本数の経年変化を求めた。

上層樹高（H（m））と林齢（t（年））の関係は図3のようになり、樹高成長の中心線を、ミッチャーリッヒ式にあてはめて求めると、式（11）のようになった。また上層樹高の標準偏差と林齢の関係も、スギと同様にミッチャーリッヒ式で近似でき、式（12）のように表された。

$$H = 19.954 \cdot (1 - 1.0411 \cdot \exp^{-0.029747 \cdot t}) \quad (11)$$

$$\sigma = -2.038 \cdot (1 - 1.5708 \cdot \exp^{-0.006655 \cdot t}) \quad (12)$$

次に、スギの場合と同様にして林分の地位を決定した（図3）。

高齢級林の調査林分は以下のように地位区分された（表5）。

1等地（11林分）……H031, 101, 111, 171, 191, 201, 202, 203, 221, 242, 251

2等地（11林分）……H032, 061, 112, 113, 141, 172, 181, 182, 194, 252, 253

3等地（16林分）……H021, 022, 023, 024, 062, 063, 082, 092, 102, 103, 142, 143, 173,

183, 192, 193

H071, H072, H073は獣害のため、H222, H223は二段林であるため資料から除外したが、これらを、この地位区分にあてはめてみると全て3等地に相当した。

林齢と総立木本数の関係をミッチャーリッヒ式によって求めると、式（13）～（15）のようになった。ヒノキの場合、地位が特に低い林分では、60～70年生でも2500本/ha以上の立木が残存している林分があり、これらを3等地と込みにして式を求めるのは、高齢級となっても立木本数がなかなか減少しないモデルとなり問題があったので、除外して計算した。

$$1\text{等地} : N = 924.16 \cdot (1 + 13.723 \cdot \exp^{-0.088985 \cdot t}) \quad (13)$$

$$2\text{等地} : N = 1112.57 \cdot (1 + 12.348 \cdot \exp^{-0.087392 \cdot t}) \quad (14)$$

$$3\text{等地} : N = 1599.60 \cdot (1 + 3.049 \cdot \exp^{-0.052341 \cdot t}) \quad (15)$$

以上のようにして求めた上層樹高と立木本数の変化から、スギの場合と同様に林分密度管理図に示された関係式（式16～20）を使い、近畿・中国地方ヒノキ高齢級林分の収穫予想表を作成した（表15）。

$$V = (0.042236 \cdot H^{-1.190866} + 12211.7 \cdot H^{-3.220638} / N)^{-1} \quad (16)$$

$$HF = 0.07416 + 0.467015 \cdot H + 0.085595 \sqrt{N \cdot H} / 100 \quad (17)$$

$$G = V / HF \quad (18)$$

$$Dg = 200 \sqrt{G / \pi \cdot N} \quad (19)$$

$$D = -0.1718 + 1.00405 \cdot Dg + 0.03150 \sqrt{N \cdot H} / 100 \quad (20)$$

4) 従来の収穫表との比較

大阪宮林局管内のヒノキ林では、紀州地方（林野庁、1953a）¹³⁾と、中国地方（林野庁、1953b）¹⁴⁾の収穫表が既に公表されている。ここで作成した収穫予想表の樹高成長は、紀州地方に比べ約5～3m、中国地方収穫表に比べ約2m劣っている。これは資料の中に、成長が悪い林分を多く含んでいるためであると考えられた。そのため主林木本数がかなり多く、材積成長は収穫表よりやや大きく、直径成長はかなり小さくなっている。

▽ まとめ

本研究では、大阪宮林局管内の国有林についてスギ及びヒノキの林齡85年までの収穫予想表を作成したが、国有林でも自然公園内の林分のように、公益的機能の発揮が重視される林分では、伐期が100年を超す超長伐期とも形容できる施業が指向されるようになってきている。今後このような林分に対しても収穫予測を行う必要が生じてくるので、さらに資料を集積して林齡150年ぐらいまでは、林分構造と成長量の推移を予測する必要がある。大阪宮林局管内の国有林には、現在100年生を超えるような人工林は無いが、吉野や智頭など、古くからの民有林林業地には極めて古い林分も残されているので、収穫予測を行う際に大いに参考になると思われる。ただし、そのような超長伐期の林分に対して、ここで用いた手法や従来の収穫表の作成手法が、そのまま使えるかどうかは不明なので、十分な検討が必要である。

また、高齢級人工林現況調査の資料の中には、スギとヒノキが混植された林分や、アカマツとヒノキの二段林、広葉樹が混成した林分など単純林とみなせない林分がいくつか見られた。スギとヒノキの混植は古くから行われた造林法であり、現在高齢級となっている林分の中には、混交林がかなりあると考えられる。また、花崗岩地帯などせき悪地のヒノキ林ではアカマツが、多雪地帯のスギ・ヒノキ林では広葉樹が侵入し、長期間に混交林、二段林になる場合も多い。こういった林分の収穫予測は、異なった手法で行う必要があるので、今後の課題となろう。

引用文献

- (1) 熊崎実：“林業経営読本”，日本林業調査会，東京，237pp. (1989)
- (2) 森林計画研究会：“新たな森林・林業の長期ビジョン”，地球社，東京，415pp. (1987)
- (3) 南雲秀次郎・箕輪光博：“現代林学講義10－測樹学－”，地球社，東京，243pp. (1990)
- (4) 林野庁：“近畿・山陽地方国有林スギ林分密度管理図”，6pp. (1979)
- (5) ——：“山陰地方国有林スギ林分密度管理図”，6pp. (1981)
- (6) 遠山富太郎：“杉のきた道”，中央公論，東京，215pp. (1976)
- (7) DEMING, W. E. (森口繁一訳)：“推計学によるデータのまとめ方”，岩波，東京，196pp. (1950)
- (8) 家原敏郎：高齢なスギの樹高成長曲線の検討，森林総研関西支所年報，31，印刷中，(1990)
- (9) 林野庁：“紀州地方スギ林林分収穫表調整説明書”，57pp. (1953)
- (10) 大阪宮林局：“山陰地方スギ林林分収穫表調整説明書”，93pp. (1969)
- (11) 家原敏郎：高齢なヒノキの樹高成長曲線の検討，森林総研関西支所年報，30，p. 40 (1989)
- (12) 林野庁：“近畿・中国地方国有林ヒノキ林分密度管理図”，6pp. (1980)
- (13) ——：“紀州地方ヒノキ林林分収穫表調整説明書”，55pp. (1953 a)
- (14) ——：“中国地方ヒノキ林林分収穫表調整説明書”，52pp. (1953 b)

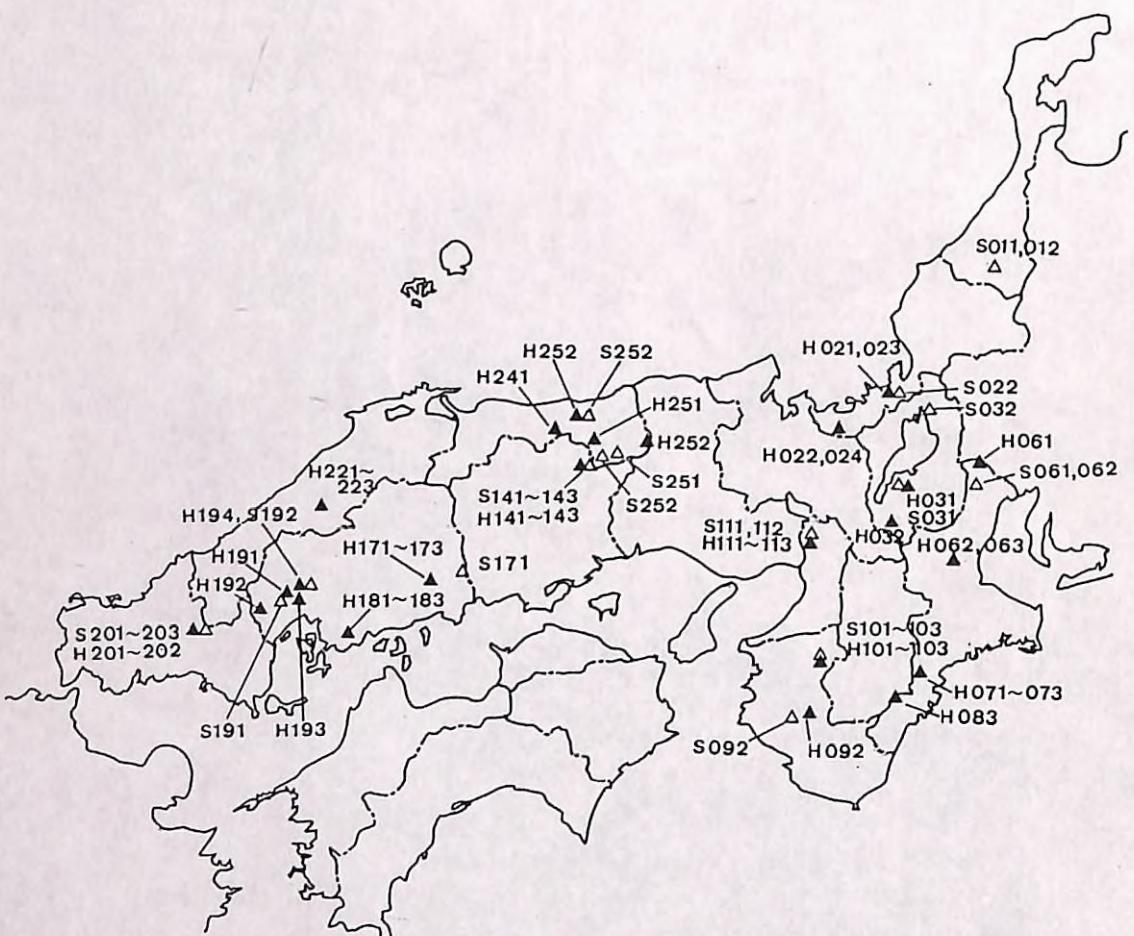


図1 高齢級人工林現況調査における調査林分の位置

△:スギ ▲:ヒノキ

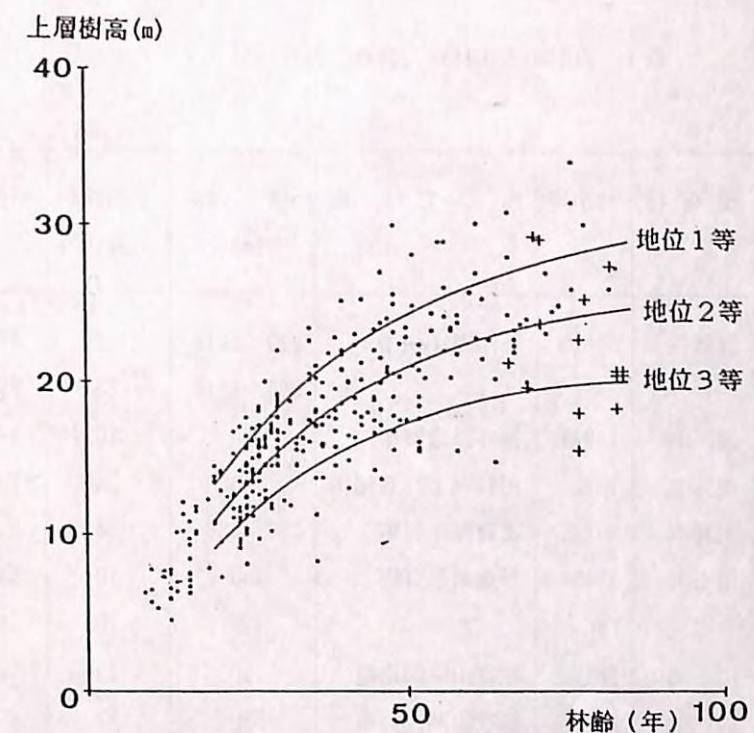


図2 スギ林分の樹高成長と地位区分

+:高齢級人工林現況調査の資料

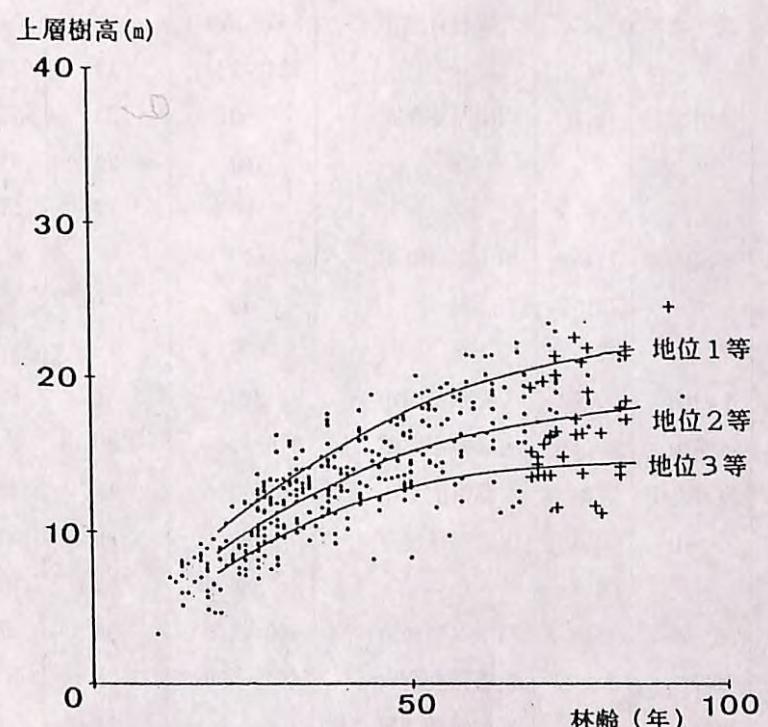


図3 ヒノキ林分の樹高成長と地位区分

+:高齢級人工林現況調査の資料

表1 高齢級人工林現況調査の調査林分(スギ)

林分番号	営林署	国有林	林小班	所在地	標高(m)	平均傾斜角度(°)	斜面方位	斜面上の位置
S011	金沢	獅師谷	57い3	石川県小松市	970~1010	23	NW	中
S012	〃	〃	〃	〃	980~1010	25	NW	上~中
S022	福井	黒河山	149ろ	福井県敦賀市	400	10	NW	下
S031	大津	奥島山	78れ	滋賀県近江八幡市	240	25	E	中
S032	〃	大箕山	567る	滋賀県余呉町	290~330	35	S	下
S061	亀山	福王山	21に1	三重県菰野町	400	10	SW	下
S062	〃	〃	〃	〃	425	10	SW	下
S092	田辺	川又	58い	和歌山県印南町	410	40	NW	下
S101	高野	高野山	33ろ	和歌山県高野町	820	32	N	下
S102	〃	〃	〃	〃	840	40	SE	下
S103	〃	〃	30い1	〃	790	44	SSE	下
S111	神戸	箕面	70に	大阪府箕面市	360~370	8	SE	平地
S112	〃	〃	〃	〃	360~380	12	SE	平地
S141	津山	津川山	70は	岡山県加茂町	750	20	SE	中
S142	〃	〃	〃	〃	760	22	NE	中
S143	〃	〃	〃	〃	780	27	SE	中
S151	新見	小吹山	77い	岡山県神郷町	540	—	N	下
S152	〃	〃	75に2	〃	540	—	N	中
S153	〃	〃	75い1	〃	600	—	W	中
S171	福山	後口山	90ろ2	広島県福山市	320	41	W	下
S191	広島	不明山	204い	広島県湯来町	370~400	30	W	中
S192	〃	笛力丸山	51た	広島県広島市	250~310	45	SE	中
S201	山口	滑山	10い2	山口県徳地町	450	30	NE	下
S202	〃	〃	9い	〃	550	15	NE	上
S251	鳥取	櫛波	68い	鳥取県智頭町	550~580	35	SE	中
S252	〃	鷲峰山	115ろ	鳥取県鹿野町	480~500	33	N	山腹
S253	〃	那岐山	73い	鳥取県智頭町	—	25	—	中

表2 高齢級人工林現況調査測定プロットの地況(スギ)

林分番号	基岩	土壤型	有効深度(cm)	土性	局所地形	堆積型	緊密度	最高積雪(cm)	年降水量(mm)
S011	安山岩	B _{D(d)}	中	壤土	山腹平衡	匍匐土	適	480	3300
S012	安山岩	B _{D(d)}	中	壤土	山腹平衡	匍匐土	適	480	3300
S022	花崗岩	B _D	50	砂質壤土	—	—	—	150	2800
S031	石英斑岩	B _A	100	壤土	凹形斜面	崩積土	軟	40	1900
S032	古生粘板岩	B _D , B _E	中	壤土	複合斜面	崩積土	堅	150	1620
S061	花崗岩	B _D	中	埴質壤土	凹形斜面	崩積土	中	50	1900
S062	花崗岩	B _D	中	埴質壤土	凹形緩斜面	崩積土	中	50	1900
S092	中生砂岩	B _D	中	砂質壤土	平衡斜面	匍匐土	軟	10	2500
S101	古生粘板岩	B _B ~B _D	47	埴質壤土	—	—	—	30	2300
S102	古生粘板岩	B _B ~B _D	40	埴質壤土	—	—	—	30	2300
S103	古生粘板岩	B _A ~B _D	37	—	—	—	—	30	2300
S111	古生砂岩	B _{D(d)} , B _A	100	石礫土	凹形緩斜面	匍匐土	堅	10	1150
S112	古生砂岩	B _{D(d)} , B _A	100	石礫土	凹形緩斜面	匍匐土	堅	10	1150
S141	古生粘板岩	B _C	50	埴質壤土	谷沿い	匍匐土	やや軟	80	2000
S142	古生粘板岩	B _C	50	埴質壤土	谷沿い	匍匐土	やや軟	80	2000
S143	古生粘板岩	B _C	50	埴質壤土	谷沿い	匍匐土	やや軟	80	2000
S151	流紋岩	—	—	—	—	—	—	—	1700
S152	流紋岩	—	—	—	—	—	—	—	1700
S153	流紋岩	—	—	—	—	—	—	—	1700
S171	古生粘板岩	B _D	80	壤土	平衡斜面	運積土	中	20	1400
S191	古生粘板岩	B _D , B _{D(d)}	150	埴質壤土	平衡斜面	崩積土	軟	50	1800
S192	花崗岩類	B _{D(d)} , B _D	70	—	平衡斜面	匍匐土	堅	50	1600
S201	石英斑岩	B _D , B _{D(d)}	55	埴質壤土	—	匍匐土	軟	120	1900
S202	石英斑岩	B _D	40	壤土	—	匍匐土	堅	120	1900
S251	古生粘板岩	B _D	中	壤土	山腹平衡	匍匐土	軟	60	2200
S252	安山岩類	B _{D(d)}	60	砂質埴壤土	凹形斜面	崩積土	軟	150	2000
S253	安山岩	B _{D(d)}	30	壤土	山頂緩斜面	残積土	軟	—	2100

表3 林分の履歴(スギ)

林分番号	新植		下刈		補植	
	時期	本数	実施時林齢		回数	実施時林齢(植付本数)
S062	3月	4538	1 2 3 4 5 6		8	2(453) 4(15)
S101, S102	3月	4364	有(時期不明)		—	—
S103	12月	8723	有(時期不明)		—	—
S111, S112	3月	6060	1 2 3 4 5 6		6	2
S171	3月	4484	1 2 3 4 5 6 7 8		8	—
S201	3月	4357	2 3 4 5 7 8 9		6	2(218)
S202	3月	3686	2 3 4 5 6 7 8 9		8	2(664)
S251	12月	—	1 2 3 4 5		5	1 2
S252	11月	—	1 2 3 4 5		5	—
S253	12月	4321	1 2 3 4 5 6	8~15	15	1(865) 3(1296) 10(862)
林分番号	つる切り		除伐		枝打	間伐
	実施時林齢		実施時林齢		実施時林齢	林齢
S062	—		18 21 22 42		22 26 29	13
S101, S102	—		39 40		—	—
S103	—		31 45 49 50		35	—
S111, S112	10		—		26 30	—
S171	9 11 12		14		15 18 21	15 21
S201	14 17 20 21 23 24		15 33		—	71~72
S202	13~15 17~19 25		13 19 32 34		24 30	54 55
S251	17 29		10 13 16 18 21		22 29 32	56
S252	14 17 20 31		14 17 25 31 39 41		21	—
S253	20 21		23 32		16 17 26 31	—

注) 本数はha当たり

表4 高齢級林調査測定プロットの林分構造と照度(スギ)

林分番号	林齢(年)	樹種	上層樹高(m)	平均樹高(m)	胸高直徑		立木本数(本/ha)	幹材積(m³/ha)	胸高断面積(m²/ha)	相対照度(%)	備考
					上層	平均					
S011	69	スギ	15.0	12.7	27.4	24.5	594	192.88	29.75	10	†
S012	69	スギ	13.7	11.4	26.3	22.5	467	117.77	20.14	6	†
S022	74	スギ	15.1	13.7	29.7	26.2	693	285.55	41.73	1	†
S031	87	スギ	22.6	22.4	39.7	39.1	445	554.79	56.30	1.4	
S032	94	スギ	21.8	20.6	49.9	45.6	292	454.01	51.92	2.1	†
S061	77	計	19.3	18.7	32.0	30.7	758	547.99	61.95	1	※
		スギ	19.9	19.4	33.8	32.5	395	317.96	36.10		
		ヒノキ	18.6	18.3	28.1	27.2	294	170.32	18.36		
		モミ	18.8	16.3	39.3	35.2	69	59.71	7.50		
S062	77	計	18.0	16.1	24.4	21.8	1630	602.31	72.14	1	※
		スギ	17.9	16.1	23.4	21.1	1500	480.49	58.67		
		ヒノキ	17.8	13.6	24.0	18.6	98	27.55	3.21		
		アカマツ	17.5	17.5	40.6	40.6	8	7.71	1.06		
		モミ	23.7	23.7	68.3	68.3	24	86.56	9.21		
S092	69	スギ	19.5	17.8	23.1	20.8	130	455.69	49.44	4	
S101	70	計	29.1	27.6	23.1	34.6	806	1009.67	81.21	3	
		スギ	29.2	27.7	37.2	34.8	799	1006.81	80.94		
		ヒノキ	21.0	21.0	21.0	21.0	8	2.86	0.26		

表4 高齢級林調査測定プロットの林分構造と照度(スギ) (続き)

林分 番号	林齡 (年)	樹種	上層 樹高 (m)	平均 樹高 (m)	胸高直徑		立木本数 (本/ha)	幹材積 (m³/ha)	胸高 断面積 (m²/ha)	相対 照度 (%)	備 考
					上層 (cm)	平均 (cm)					
S102	71	計	23.6	21.1	28.9	24.8	2018	1165.62	109.76	9.3	
		スギ	23.6	21.5	28.9	25.3	1945	1160.07	108.97	-	
		ヒノキ	-	10.8	-	11.3	73	5.54	0.80	-	
S103	77	スギ	15.5	12.8	19.4	15.5	2739	457.37	61.34	3.9	
S111	84	スギ	20.6	20.0	32.8	31.3	685	514.89	56.98	-	
S112	84	スギ	20.3	19.0	31.8	29.1	621	409.69	45.07	-	
S141	83	スギ	20.3	20.0	33.7	32.9	958	788.46	88.06	5	
S142	83	スギ	20.6	19.6	30.8	28.4	1136	705.49	78.26	5	
S143	83	スギ	18.2	17.2	28.4	26.0	1479	698.34	85.82	6	
S151	77	計	22.6	18.3	34.2	26.1	1125	698.43	72.18	-	
		スギ	22.6	18.4	34.2	26.2	1107	694.66	71.66		
		広葉樹	-	13.5	-	18.5	19	3.76	0.52		
S152	77	計	17.9	16.5	25.9	23.7	870	367.77	43.22	-	
		スギ	18.0	16.7	26.1	23.9	849	364.43	42.69		
		広葉樹	11.5	11.3	17.0	17.5	22	3.34	0.53		

表4 高齢級林調査測定プロットの林分構造と照度(スギ) (続き)

林分 番号	林齡 (年)	樹種	上層 樹高 (m)	平均 樹高 (m)	胸高直徑		立木本数 (本/ha)	幹材積 (m³/ha)	胸高 断面積 (m²/ha)	相対 照度 (%)	備 考
					上層 (cm)	平均 (cm)					
S153	77	計	11.1	9.7	18.5	15.3	1477	194.90	32.64	-	※
		スギ	12.0	9.8	19.3	14.9	1011	119.65	20.92		
		広葉樹	9.8	9.4	17.3	16.1	467	75.24	11.72		
S171	82	計	27.2	25.7	41.6	38.8	629	894.14	78.67	2.9	
		スギ	27.4	26.9	42.0	40.9	521	822.80	71.64		
		ヒノキ	22.7	20.2	31.1	28.6	108	71.34	7.03		
S191	78	計	25.1	25.1	34.9	34.8	862	1029.09	89.50	-	
		スギ	25.4	25.4	35.7	35.5	808	998.26	86.77		
		ヒノキ	20.6	20.6	24.5	24.5	54	30.83	2.73		
S192	76	計	16.0	15.8	23.7	23.2	669	242.04	31.17	-	※
		スギ	16.7	16.4	23.8	23.4	315	121.98	15.39		
		ヒノキ	15.4	15.2	23.6	23.0	345	120.06	15.79		
S201	71	スギ	28.9	28.2	37.0	36.0	378	518.23	40.73	20	
S202	66	スギ	21.1	20.4	32.5	31.1	636	469.92	50.57	21	
S251	77	スギ	18.1	17.1	30.0	28.0	784	421.72	51.83	4	†
S252	75	スギ	16.8	15.3	30.5	27.8	1121	564.09	75.51	7.2	†
S253	72	スギ	15.3	14.1	31.3	28.2	1002	461.14	67.70	-	†

注)※: 収穫予想表の計算から除外した資料

†: 山陰地方に区分される資料

*: 樹幹解析木の樹高成長を検討した資料

表5 地位別の主要な植物（スギ）

表5 地位別の主要な植物（スギ）

(続き)

表6 林分密度管理図における地域区分

林分密度管理図	適用地域
近畿・山陽地方 国有林スギ	三重, 和歌山, 奈良, 大阪, 岡山, 広島, 山口の各府県 山東町・米原市・彦根市・滋賀郡以南の滋賀県 美山町・和知町・綾部市・福知山市以北を除く京都府南部
	朝来郡生野町・宍粟郡以南の兵庫県
山陰地方 国有林スギ	滋賀県の伊吹町・長浜市・高島郡以北 京都府の美山町・和知町・綾部市・福知山市以北 兵庫県の山東町・朝来町・養父郡以北, 鳥取県, 島根県
近畿・中国地方 国有林ヒノキ	福井県の敦賀市以西, 滋賀, 京都, 三重, 和歌山, 奈良, 大阪 兵庫, 岡山, 鳥取, 島根, 広島, 山口の各府県

表7 最適な関数と全資料へ近似した際のパラメータ

試料	成長関数	ミッチャーリッヒ式	ゴンペルツ式	ロジスティック式
	関 数 式	$y=M(1-L \cdot e^{-kt})$	$y=M \cdot e^{-\alpha(L-kt)}$	$y=M/(1+e^{L-kt})$
单木	適合した立木	本数	7	3
		平均樹高	20.4	19.7
		パラメータ M	32.17	20.33
全試料	パラメータ	M	35.616	20.670
		L	1.0621	1.4592
		K	0.011773	0.051758
	残差自乗和		2754.2	2816.6
				2788.6

表8 近畿・山陽地方国有林スギ高齢級林分収穫予想表（1等地）

林 齡	主 林 木					副 林 木					
	平 均		ha 当 り			ha 当 り					
	胸 高 直 径	樹 高 数	本 数	幹 材 積	幹 材 成 長 量	幹 材 平均 年 材 成 長 量	幹 連 年 材 成 長 量	幹 材 總 年 材 成 長 量	幹 材 總 年 材 成 長 量	幹 材 積 累 計	
年	cm	m	本	m ³	m ³	m ³	本	%	m ³	%	m ³
20	17.5	13.5	1599	277.1	—	13.9	508	24.1	39.5	12.5	39.5
25	20.9	16.1	1258	355.1	15.6	14.2	341	21.3	43.6	10.9	83.0
30	23.9	18.3	1029	421.0	13.2	14.0	229	18.2	43.5	9.4	126.6
35	26.6	20.2	876	477.6	11.3	13.6	153	14.9	39.9	7.7	166.5
40	28.8	21.9	772	527.5	10.0	13.2	104	11.9	34.8	6.2	201.3
45	30.7	23.3	703	573.6	9.2	12.7	69	8.9	28.1	4.7	229.4
50	32.2	24.5	657	616.7	8.6	12.3	46	6.5	21.7	3.4	251.1
55	33.5	25.5	625	656.6	8.0	11.9	32	4.9	17.0	2.5	268.1
60	34.6	26.4	604	694.4	7.5	11.6	21	3.4	12.2	1.7	280.2
65	35.4	27.2	590	729.5	7.0	11.2	14	2.3	8.7	1.2	288.9
70	36.1	27.9	581	762.3	6.5	10.9	9	1.5	5.9	0.8	294.8
75	36.7	28.5	574	791.5	5.8	10.6	7	1.2	4.8	0.6	299.6
80	37.1	29.0	570	818.6	5.4	10.2	4	0.7	2.8	0.3	302.4
85	37.5	29.5	570	845.1	5.3	9.9	—	—	—	—	302.4

表8

(1等地)

副林木 ha当り 主積比 林に 木対 幹す 材る率	主 副 林 木 合 計								林 副計対 林のす 木總る 幹収比 材穫率 積量 累に 齡		
	平均 胸 高 直 径	本 面 數	ha 当 り								
			幹 材 本 高 積	幹 材 胸 積	幹 材 連 積	幹 材 年 成 長 積	幹 材 平均 成 長 量	總 收 穫 量			
%	cm	本	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	%		
14.2	16.2	2107	47.1	316.6	—	15.8	15.8	316.6	—	12.5	20
23.4	19.6	1599	51.9	398.7	24.3	17.5	15.9	438.2	7.2	19.0	25
30.1	22.7	1258	54.5	464.5	21.9	18.3	15.5	547.5	5.3	23.1	30
34.9	25.5	1029	56.0	517.6	19.3	18.4	14.8	644.1	4.1	25.8	35
38.2	27.9	876	57.1	562.4	16.9	18.2	14.1	728.8	3.3	27.6	40
40.0	30.0	772	58.0	601.6	14.8	17.8	13.4	802.9	2.6	28.6	45
40.7	31.7	703	58.9	638.4	13.0	17.4	12.8	867.8	2.1	28.9	50
40.8	33.1	657	60.0	673.6	11.4	16.8	12.2	924.7	1.8	29.0	55
40.4	34.3	625	61.1	706.5	10.0	16.2	11.8	974.6	1.5	28.8	60
39.6	35.2	604	62.3	738.2	8.8	15.7	11.4	1018.5	1.2	28.4	65
38.7	35.9	590	63.4	768.2	7.7	15.1	11.0	1057.1	1.0	27.9	70
37.9	36.6	581	64.6	796.3	6.8	14.5	10.6	1091.1	0.9	27.5	75
36.9	37.1	574	65.6	821.5	6.0	14.0	10.3	1121.1	0.7	27.0	80
35.8	37.5	930	66.6	845.1	5.3	13.5	9.9	1147.5	0.6	26.4	85

表8 近畿・山陽地方国有林スギ高齢級林分収穫予想表（2等地）

林 齡	主 林 木					副 林 木					
	平均		ha 当り			ha 当り					
	胸 高 直 径	樹 高	本 数	幹 材 積	幹 材 成 長 率	幹 材 均 年 材 成 長 長	幹 材 均 年 材 成 長 長	幹 材 均 年 材 成 長 長	幹 材 均 年 材 成 長 長	幹 材 均 年 材 成 長 長	
年	cm	m	本	m ³	m ³	m ³	本	%	m ³	%	m ³
20	14.9	11.4	1924	215.4	—	10.8	466	19.5	24.9	10.4	24.9
25	17.7	13.8	1588	289.0	14.7	11.6	336	17.5	28.3	8.9	53.2
30	20.3	15.7	1346	352.2	12.6	11.7	242	15.2	29.2	7.7	82.4
35	22.4	17.4	1172	405.9	10.7	11.6	174	12.9	28.1	6.5	110.5
40	24.3	18.8	1046	451.6	9.1	11.3	126	10.8	25.6	5.4	136.2
45	25.9	20.1	955	491.0	7.9	10.9	91	8.7	22.3	4.3	158.5
50	27.2	21.1	890	525.7	6.9	10.5	65	6.8	18.5	3.4	177.0
55	28.3	21.9	843	556.4	6.1	10.1	47	5.3	15.0	2.6	192.0
60	29.2	22.7	809	583.7	5.5	9.7	34	4.0	11.9	2.0	203.9
65	29.9	23.3	784	607.9	4.8	9.4	25	3.1	9.4	1.5	213.3
70	30.5	23.8	767	629.9	4.4	9.0	17	2.2	6.8	1.1	220.1
75	31.0	24.3	754	649.1	3.8	8.7	13	1.7	5.4	0.8	225.6
80	31.4	24.6	745	666.2	3.4	8.3	9	1.2	3.9	0.6	229.4
85	31.6	25.0	745	684.2	3.6	8.0	—	—	—	—	229.4

表8

(2等地)

副林木 ha当たり	主 副 林 木 合 計									林 副計対 林のす 木総る 幹収比 材穫率 積量 累に 齡	
	ha 当り										
	主積比 林に 木対 幹す 材る率	胸 高 直 徑	本 面 數	幹 材 積 高積	幹 材 積 積量	幹 材 積 平均成長量	材 成 長 A·	材 成 長 B··	總 收 穫 量	成 長 率	
11.6	14.1	2390	40.4	240.3	—	12.0	12.0	240.3	—	10.4	20
18.4	16.9	1924	46.5	317.3	20.4	13.7	12.7	342.2	7.6	15.6	25
23.4	19.4	1588	50.4	381.4	18.5	14.5	12.7	434.6	5.5	19.0	30
27.2	21.6	1346	53.0	433.9	16.4	14.8	12.4	516.4	4.2	21.4	35
30.2	23.6	1172	54.7	477.2	14.3	14.7	11.9	587.7	3.2	23.2	40
32.3	25.3	1046	55.9	513.3	12.3	14.4	11.4	649.5	2.6	24.4	45
33.7	26.7	955	56.9	544.2	10.6	14.1	10.9	702.6	2.1	25.2	50
34.5	27.9	890	57.8	571.4	9.1	13.6	10.9	748.4	1.7	25.7	55
34.9	28.9	843	58.6	595.6	7.8	13.1	9.9	787.6	1.4	25.9	60
35.1	29.7	809	59.4	617.3	6.7	12.6	9.5	821.2	1.1	26.0	65
34.9	30.3	784	60.1	636.7	5.8	12.1	9.1	850.0	0.9	25.9	70
34.8	30.8	767	60.9	654.5	4.9	11.7	8.7	874.6	0.8	25.8	75
34.4	31.3	754	61.5	670.1	4.2	11.2	8.4	895.7	0.6	25.6	80
33.5	31.6	745	62.1	684.2	3.6	10.7	8.0	913.6	0.5	25.1	85

表8 近畿・山陽地方国有林スギ高齢級林分収穫予想表（3等地）

表8

(3等地)

林 齡	主 林 木					副 林 木					
	平均		ha 当 り			ha 当 り					
	胸 高 直 径	樹 高	本 数	幹 材	幹 材成 長	幹 平均 年 材成 長	幹 連 年 材成 長	本 数	総す 林る 木比 に率 対	幹 材	総す 林る 木比 に率 対
年	cm	m	本	m ³	m ³	m ³	本	%	m ³	%	m ³
20	12.0	9.4	2558	164.7	—	8.2	461	15.3	14.6	8.1	14.6
25	14.4	11.5	2194	231.9	13.4	9.3	364	14.2	17.7	7.1	32.2
30	16.5	13.2	1907	289.7	11.6	9.7	287	13.1	19.4	6.3	51.7
35	18.2	14.6	1680	337.6	9.6	9.6	227	11.9	20.2	5.6	71.9
40	19.8	15.8	1501	376.1	7.7	9.4	179	10.7	20.0	5.0	91.9
45	21.1	16.8	1360	406.8	6.1	9.0	141	9.4	19.0	4.5	110.9
50	22.3	17.7	1248	430.7	4.8	8.6	112	8.2	17.7	3.9	128.6
55	23.2	18.4	1160	449.5	3.8	8.2	88	7.1	15.9	3.4	144.5
60	24.1	18.9	1091	464.2	2.9	7.7	69	5.9	13.9	2.9	158.4
65	24.8	19.4	1036	475.6	2.3	7.3	55	5.0	12.1	2.5	170.5
70	25.4	19.7	993	484.5	1.8	6.9	43	4.2	10.2	2.1	180.7
75	25.8	20.0	958	491.2	1.3	6.5	35	3.5	8.8	1.8	189.5
80	26.2	20.3	931	496.5	1.1	6.2	27	2.8	7.1	1.4	196.6
85	26.4	20.5	931	506.3	2.0	6.0	—	—	—	—	196.6

副林木 幹す 材る率	主 副 林 木 合 計									林 齡		
	ha当り	平均 胸 高 直 径	ha 当 り									
			主積比 林に 木対 幹す 材る率	本 数	胸断 面 材 數	幹 材 積 積量	幹連 年 材成 長	幹 材 積 積量	材 積 積量			
8.9	11.5	3019	34.6	179.3	—	9.0	9.0	179.3	—	8.1	20	
13.9	13.8	2558	41.8	249.5	17.0	10.6	10.0	264.1	8.2	12.2	25	
17.8	15.8	2194	46.8	309.2	15.5	11.4	10.3	341.4	5.7	15.1	30	
21.3	17.6	1907	50.0	357.8	13.6	11.7	10.2	409.5	4.2	17.6	35	
24.4	19.2	1680	52.1	396.1	11.7	11.7	9.9	468.0	3.2	19.6	40	
27.3	20.5	1501	53.4	425.8	9.9	11.5	9.5	517.7	2.5	21.4	45	
29.9	21.7	1360	54.1	448.4	8.3	11.2	9.0	559.3	1.9	23.0	50	
32.1	22.8	1248	54.5	465.4	6.9	10.8	8.5	594.0	1.5	24.3	55	
34.1	23.7	1160	54.6	478.1	5.7	10.4	8.0	622.6	1.2	25.4	60	
35.8	24.4	1091	54.7	487.7	4.7	9.9	7.5	646.1	1.0	26.4	65	
37.3	25.1	1036	54.6	494.7	3.8	9.5	7.1	665.2	0.8	27.2	70	
38.6	25.6	993	54.5	500.0	3.1	9.1	6.7	680.6	0.6	27.8	75	
39.6	26.0	958	54.4	503.6	2.5	8.7	6.3	693.0	0.5	28.4	80	
38.8	26.4	931	54.2	506.3	2.0	8.3	6.0	702.9	0.4	28.0	85	

注) *: 総収穫量 ÷ 林齢 **: 主副林木合計幹材積 ÷ 林齢

表9 高齢級人工林現況調査の調査林分(ヒノキ)

林分番号	営林署	国有林	林小班	所在地	標高(m)	平均傾斜角度(°)	斜面方位	斜面上の位置
H021	福井	黒河山	149ろ	福井県敦賀市	360	18	NNW	下
H022	〃	一ツ谷	106ち	福井県名田庄村	350~370	35	NE	中
H023	〃	黒河山	130と	福井県敦賀市	500	29	SSE	下
H024	〃	一ツ谷	106よ	福井県名田庄村	330~350	33	NE	中
H031	大津	奥島山	78い2	滋賀県近江八幡市	250	26	W	中
H032	〃	別所	16ち	滋賀県大津市	180	25	SW	中
H061	亀山	悟入谷	45は	三重県北勢町	750~780	20	SE	下
H062	〃	赤坂	12い	三重県芸濃町	685	20	N	上
H063	〃	赤坂	12よ	〃	755	18	NW	山頂
H071	尾鷲	大杉谷	20ろ	三重県宮川町	860~900	35	W	下
H072	〃	〃	〃	〃	880~910	35	W	中
H073	〃	〃	〃	〃	890~920	34	NW	中
H082	新宮	西谷	30る	三重県熊野市	730~810	34	SE	下
H092	田辺	川又	58い	和歌山県印南町	420	33	N	下
H101	高野	高野山	33ろ	和歌山県高野町	820	35	N	中~下
H102	〃	〃	〃	〃	855	33	SSW	上
H103	〃	〃	〃	〃	850	35	S	上
H111	神戸	箕面	70へ	大阪府箕面市	530~545	33	E	中
H112	〃	〃	〃	〃	590~595	18	SE	尾根
H113	〃	〃	〃	〃	520~540	18	E	尾根
H141	津山	津川山	70は	岡山県加茂町	770	26	NE	中
H142	〃	〃	〃	〃	810	32	S	中

表9 高齢級人工林現況調査の調査林分(ヒノキ)

(続き)

林分番号	営林署	国有林	林小班	所在地	標高(m)	平均傾斜角度(°)	斜面方位	斜面上の位置
H143	津山	津川山	70は	岡山県加茂町	830	33	SE	中
H171	福山	川井谷	42い1	広島県新市町	330	40	NE	下
H172	〃	〃	〃	〃	350	44	NE	中
H173	〃	〃	〃	〃	350	29	E	尾根
H181	(西条)	野路山	34ち	広島県安浦町	520	20	N	中
H182	〃	〃	〃	〃	480	28	N	中
H183	〃	〃	〃	〃	480	30	N	中
H191	広島	恵下谷	200へ	広島県湯来町	520~540	25	S	中
H192	〃	黒打山	101に	広島県佐伯町	530~570	20	W	中
H193	〃	奥井野山	53い	広島県広島市	380~400	25	E	中
H194	〃	笛ヶ丸山	51ぬ	〃	200~240	30	E	谷
H201	山口	滑山	32に2	山口県徳地町	650	15	NW	上
H202	〃	〃	〃	〃	630	22	NW	中
H203	〃	〃	〃	〃	620	22	N	中
H221	川本	艾山	51い	島根県大和村	340	34	SE	中
H222	〃	〃	〃	〃	370	37	SE	中
H223	〃	〃	〃	〃	400	36	SE	上
H242	倉吉	小畠谷	4に	鳥取県三朝町	600	23	E/W	下
H251	鳥取	宇波山	77ほ1	鳥取県智頭町	700	5	E	中
H252	〃	小舟山	31わ	鳥取県若桜町	1110~1180	15	W	中
H253	〃	鍋割	127い	鳥取県背谷町	660	25	NW	中

表10 高齢級人工林現況調査測定プロットの地況(ヒノキ)

林分番号	基 岩	土 壤 型	有効深度(cm)	土 性	局所地形	堆積型	緊密度	最高積雪(cm)	年降水量(mm)
H021	花 岩	B _D , B _{D(d)}	45	砂質壤土	—	—	—	150	2800
H022	古生粘板岩	B _D , B _{D(d)}	100	—	小屋根	—	中	100	2000
H023	花 岩	B _{D(d)}	40	砂質壤土	山腹急斜面	—	—	200	2800
H024	古生粘板岩	B _D , B _E	100	—	—	—	中	100	2000
H031	石英斑岩	B _A	70	粘質土	平衡斜面	崩積土	軟	40	1900
H032	古生頁岩	B _{D(d)}	深	埴質壤土	凹形斜面	匍匐土	やや堅	0	1730
H061	古生砂岩	B _B ~B _D	中	埴質壤土	凹形斜面	崩積土	中	—	1900
H062	花 岩	B _{D(d)}	中	埴質壤土	凸形緩斜面	残積土	軟	30	1850
H063	花 岩	B _{D(d)}	中	埴質壤土	凸形緩斜面	残積土	軟	40	1850
H071	古生砂岩	B _{D(d)}	浅	壤 土	凹形斜面	崩積土	堅	20	3515
H072	古生砂岩	B _D	浅	壤 土	凹形斜面	崩積土	堅	20	3515
H073	古生砂岩	B _{D(d)}	浅	壤 土	凹形斜面	崩積土	堅	20	3515
H082	砂 岩	B _C	50	砂質壤土	山腹小尾根	匍匐土	中	30	2700
H092	中生砂岩	B _D	中	砂質壤土	平衡斜面	匍匐土	軟	10	2500
H101	古生粘板岩	—	—	埴質壤土	平衡斜面	—	—	30	2300
H102	古生粘板岩	B _B ~B _D	40	埴質壤土	—	—	—	30	2300
H103	古生粘板岩	B _B ~B _D	30	埴質壤土	—	—	—	30	2300
H111	古生砂岩	B _{D(d)} , B _B	100	砂質壤土	平衡急斜面	匍匐土	堅	10	1150
H112	古生砂岩	B _{D(d)} , B _B	50	砂質壤土	平衡緩斜面	残積土	堅	10	1150
H113	古生砂岩	B _{D(d)} , B _B	50	砂質壤土	平衡緩斜面	残積土	堅	10	1150
H141	古生粘板岩	B _A	40	埴質壤土	尾根沿い	匍匐土	やや軟	85	2000
H142	古生粘板岩	B _A	30	埴質壤土	尾根沿い	残積土	やや堅	90	2000
H143	古生粘板岩	B _A	30	埴質壤土	尾根沿い	残積土	やや堅	90	2000

表10 高齢級人工林現況調査測定プロットの地況(ヒノキ)

(続き)

林分番号	基 岩	土 壤 型	有効深度(cm)	土 性	局所地形	堆積型	緊密度	最高積雪(cm)	年降水量(mm)
H171	花 岩	B _{D(d)}	90	壤 土	平衡斜面	—	中	20	1400
H172	花崗岩類	B _{D(d)}	80	微砂質埴壤土	平衡斜面	運積土	中	20	1400
H173	花 岩	B _{D(d)}	95	微砂質埴壤土	平衡斜面	運積土	中	20	1400
H181	流 紋 岩	—	—	—	平衡斜面	—	—	20	1300
H182	流 紋 岩	—	—	—	下降斜面	—	—	20	1300
H183	流 紋 岩	—	—	—	下降斜面	—	—	20	1300
H191	古生粘板岩	B _D	150	壤 土	平衡斜面	匍匐土	堅	50	1800
H192	花崗岩類	B _{D(d)}	150	壤 土	複合斜面	崩積土	軟	100	1800
H193	花崗岩類	B _A , B _{D(d)}	100	壤 土	凹形斜面	残積土	堅	30	1000
H194	花崗岩類	B _{D(d)}	60	—	凹形斜面	崩積土	軟	50	1000
H201	石英斑岩	B _D , B _{D(d)}	40	壤 土	—	残積土	軟	120	1900
H202	石英斑岩	B _D	50	埴質壤土	—	匍匐土	軟	120	1900
H203	石英斑岩	B _D	60	埴質壤土	—	匍匐土	軟	120	1900
H221	石英斑岩	B _D	110	埴 土	平衡斜面	匍匐土	軟	65	1604
H222	石英斑岩	B _D	85	埴 土	平衡斜面	匍匐土	軟	65	1604
H223	石英斑岩	B _{D(d)}	70	埴質壤土	平衡斜面	匍匐土	堅	65	1604
H242	花 岩	B _{D(d)} , B _D	中	埴質壤土	凹地(谷)	残積土	軟	170	1950
H251	花 岩	B _{D(d)}	60	—	山腹平坦地	残積土	軟	150	2100
H252	安 山 岩	B _B	30	砂質壤土	—	—	中	140	2100
H253	安山岩類	B _{1(d)} , B _D	40	重埴土及び B _{1(d)} , B _{1E}	山腹緩斜面	残積土	軟	250	2000

表11 林分の履歴(ヒノキ)

林分番号	新植		下刈		補植	
	時期	本数	実施時林齢	回数	実施時林齢(植付本数)	
H061	3月	4538	1 2 3 4 5 6 7	7	2(454) 3(444)	
H062, H063	3月	4683	1 2 3 4 5 6 7 9 10	9	2(937) 3(312) 8(194)	
H071, H072, H073	-	3840	1 2 3 4 5 6 7 8	8	2(895) 3(895) 5(1511)	
H082	-	4300	1 2 3 5 6 7	6	-	
H101, H102, H103	3月	4350	有(時期不明)	-	-	
H111, H112, H113	-	7040	1 2 3 4 5 6	6	-	
H171, H172, H173	3月	3740	1 2 3 5 6	5	2(125) 5(376)	
H181, H182, H183	3月	4170	1 2 3 4 5 6	6	2(417)	
H201, H202, H203	3月	6613	2 3 4 5 6 8~14	12	2(1406) 7(247) 8(1339)	
H221, H222, H223	12月	-	1 2 3 4 6	5	-	
林分番号	つる切り		除伐	枝打	間伐	
	実施時林齢		実施時林齢	実施時林齢	実施時林齢	
H061	-		17 36 42 43	23 27	-	
H062, H063	12		23 27	24 29	16	
H071, H072, H073	-		19 23 35	-	-	
H082	12		10 16 25 36 38	-	24	
H101, H102, H103	-		39 40	35	-	
H111, H112, H113	10		-	14 18 24	14 20 76 80	
H171, H172, H173	7 11 16 22		16 22 31 36 37	-	55 57	
H181, H182, H183	8		16 22 29 31 34 37 39	-	40	
H201, H202, H203	12 22 34		15 17 24	19 24 30 40	18 19 27 30	
H221, H222, H223	12 13 14		10 12 32 36 39	17 18	20	

注) 本数はha当たり

表12 高齢級林調査測定プロットの林分構造と照度(ヒノキ)

林分番号	林齢 (年)	樹種	上層 樹高 (m)	平均 樹高 (m)	胸高直径		立木本数 (本/ha)	幹材積 (m³/ha)	胸高 断面積 (m²/ha)	相対 照度 (%)	備考
					上層 (cm)	平均 (cm)					
H021	74	ヒノキ	14.8	14.5	26.1	25.4	991	372.35	52.29	1	*
H022	71	計 スギ ヒノキ アカマツ 広葉樹	13.6 12.3 13.5 18.8 13.8	12.6 10.2 12.4 18.8 13.8	16.6 13.3 15.1 40.8 16.0	15.3 11.8 15.1 40.8 16.0	2194 94 1818 21 261	318.64 6.20 242.27 21.36 48.81	44.76 1.12 34.97 2.73 5.95	1	*
H023	73	ヒノキ	11.5	10.9	17.6	16.7	1633	217.54	37.83	1	*
H024	69	計 スギ ヒノキ モミ	13.5 15.9 13.4 19.0	12.5 12.5 12.5 19.0	19.0 18.7 18.8 42.5	17.4 15.0 17.4 42.5	1637 106 1520 11	298.90 18.08 268.91 11.91	43.27 2.31 39.46 1.51	1	*
H031	87	ヒノキ	20.2	20.0	33.3	32.7	627	567.17	55.66	2.7	
H032	76	ヒノキ	17.6	17.1	24.4	22.9	941	362.60	41.11	3.3	
H061	78	ヒノキ	18.9	18.9	25.6	25.6	974	492.60	51.76	4	*
H062	80	ヒノキ	16.3	16.3	22.9	22.9	1202	426.89	51.66	3	*
H063	80	ヒノキ	11.1	10.6	17.9	17.0	1509	200.97	36.77	2	*
H071	70	ヒノキ	15.1	14.4	28.4	26.9	852	379.09	52.48	9.7	※

表12 高齢級林調査測定プロットの林分構造と照度(ヒノキ) (続き)

林分 番号	林齢 (年)	樹種	上層 樹高 (m)	平均 樹高 (m)	胸高直径		立木本数 (本/ha)	幹材積 (m³/ha)	胸高 断面積 (m²/ha)	相対 照度 (%)	備 考
					上層 (cm)	平均 (cm)					
H072	70	ヒノキ	14.9	13.2	25.0	22.0	1536	445.80	63.74	6.5	*
H073	70	ヒノキ	14.5	12.9	25.4	22.6	1316	384.93	57.34	9.3	*
H082	71	ヒノキ	15.6	13.8	25.2	21.8	893	275.80	36.99	5	*
H092	69	ヒノキ	15.1	14.9	23.8	23.4	1160	402.65	40.26	2	
H101	69	ヒノキ	19.2	18.2	21.7	20.0	1843	583.89	58.62	-	
H102	70	計	14.3	13.9	19.8	18.7	2771	584.12	36.89	2.0	
		ヒノキ	14.3	13.8	19.8	18.7	2755	577.50	36.47		
		コウヤマキ	17.5	17.5	26.4	26.4	16	6.62	0.87		
H103	70	計	13.6	11.7	18.0	15.4	3448	482.08	71.93	0.9	
		ヒノキ	13.5	12.0	17.9	15.7	3158	460.03	67.73		
		アカマツ	21.5	21.5	39.5	39.5	16	17.73	1.97		
		ツガ	-	6.3	-	9.3	145	4.31	1.09		
H111	84	ヒノキ	21.2	21.2	33.8	33.8	529	496.03	48.38	-	
H112	84	ヒノキ	18.3	17.6	31.2	29.6	665	429.46	48.46	-	
H113	84	ヒノキ	17.1	16.2	27.5	25.0	880	391.03	46.81	-	
H141	83	ヒノキ	17.9	17.6	28.0	27.4	1125	602.45	68.94	6	*

表12 高齢級林調査測定プロットの林分構造と照度(ヒノキ) (続き)

林分 番号	林齢 (年)	樹種	上層 樹高 (m)	平均 樹高 (m)	胸高直径		立木本数 (本/ha)	幹材積 (m³/ha)	胸高 断面積 (m²/ha)	相対 照度 (%)	備 考
					上層 (cm)	平均 (cm)					
H142	83	ヒノキ	14.1	14.0	21.4	21.3	2012	522.20	44.39	7	*
H143	83	ヒノキ	13.6	13.4	21.9	21.1	1805	443.81	65.46	7	*
H171	77	ヒノキ	20.8	20.6	28.8	28.1	1012	670.42	65.03	1.0	*
H172	77	ヒノキ	16.3	16.2	20.2	20.0	1880	520.49	62.19	1.0	*
H173	77	ヒノキ	13.7	13.2	16.4	16.4	2365	336.91	47.54	2.4	*
H181	72	ヒノキ	16.2	15.5	22.8	21.2	1643	514.39	62.87	-	
H182	72	ヒノキ	16.0	15.5	19.0	17.8	2013	460.48	54.95	-	
H183	72	ヒノキ	13.6	13.3	15.0	14.3	2815	346.30	48.43	-	
H191	91	計	24.4	24.0	35.0	34.2	400	458.32	38.21	-	
		スギ	24.2	24.2	34.6	34.6	21	22.36	2.09		
		ヒノキ	24.4	24.0	35.1	34.2	379	435.96	36.11		
H192	70	ヒノキ	14.8	14.8	20.0	19.9	1292	382.21	44.93	-	
H193	79	計	11.6	11.5	12.9	12.9	1716	146.72	23.53	-	
		ヒノキ	11.6	11.5	12.9	12.8	1708	145.74	23.36		
		アカマツ	11.3	11.3	16.6	16.6	8	0.98	0.18		

表12 高齢級林調査測定プロットの林分構造と照度（ヒノキ）（続き）

林分番号	林齢(年)	樹種	樹高(m)	上層樹高(m)	平均樹高(cm)	胸高直徑		立木本数	幹材積(m³/ha)	胸高断面積(m²/ha)	相対照度(%)	備考
						上層	平均					
H194	76	ヒノキ	17.2	16.6	30.6	29.1		353	208.12	25.33	-	
H201	71	ヒノキ	19.6	19.6	21.2	21.2		1684	637.60	61.60	7.8	
H202	78	ヒノキ	21.7	21.7	26.4	26.4		993	637.71	56.86	9.5	
H203	84	ヒノキ	21.8	21.7	27.8	27.7		1178	820.92	73.85	5.2	
H221	73	ヒノキ	20.0	19.7	24.9	24.4		1430	735.51	71.34	3.7	*
H222	73	計	15.0	14.5	20.1	18.8	1947	479.54	62.31	1.6	※,*	
		ヒノキ	14.8	14.3	18.9	17.7	1847	376.20	49.19			
		アカマツ	17.8	17.8	39.5	39.5	100	103.34	13.11			
H223	73	計	13.4	11.7	19.5	15.9	2329	363.41	55.02	2.0	※,*	
		ヒノキ	13.1	11.0	17.6	14.6	2159	252.23	39.38			
		アカマツ	16.2	15.9	33.9	33.3	171	111.18	15.64			
H242	73	ヒノキ	21.2	20.7	32.9	31.8	806	685.68	66.96	3	*	
H251	76	ヒノキ	22.4	22.4	33.0	33.0	682	646.84	59.01	10	*	
H252	76	ヒノキ	16.2	16.2	32.1	32.1	405	259.39	33.77	6		
H253	73	ヒノキ	16.4	16.4	28.4	28.4	797	429.03	52.65	8.6	*	

表13 地位別の主要な植物（ヒノキ）

地 位	1等	2等	3等	
林分番号	0 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 0 1 7 9 0 0 0 2 4 5 1 1 1 1 1 1 2 3 1 2 1	0 0 1 1 1 1 1 1 2 2 3 6 1 1 4 7 8 8 9 5 5 2 1 2 3 1 2 1 2 4 2 3	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 2 2 2 6 6 7 7 7 8 9 0 0 1 2 3 4 2 3 1 2 3 2 2 3	0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 4 4 7 8 9 9 2 2 3 2 3 2 3 3 3 2 3 2 3
ヨモギ	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
ヤブムラサキ	· + · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
ムラサキシキブ	· · + · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
クサザメ	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
チヤバキ	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
ハイバキ	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
ヌズミモチ	+ · · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
ヒトドリ	· · + · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
マルバオオダモ	+ · · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
ヤブコウジ	· · · · ·	· · + + +	· · · · ·	· · · · ·
スノキ	· + · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
トウガラシツヅクシ	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
アセビ	· + + + +	· + + + +	· + + + +	· + + + +
ネジキ	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
ミツバツツジ	· + · · ·	· + + +	· + · · ·	· + + +
ヤマツツジ	· · · · ·	· + · · ·	· · · · ·	· + · · ·
シャクナゲ	· · · · ·	· · · · ·	· + + +	· + + +
シリガネツツジ	· · · · ·	· · · · ·	· + + +	· + + +
リョウブ	· · + + +	· + + + +	· + + + +	· + + + +
キツタ	· · · · ·	· + · · ·	· · · · ·	· · · · ·
タカノイヌ	· · · · +	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
コシアブラ	· · · + +	· + · · ·	· · · · ·	· + · · ·
アズキ	+ · · · ·	· + + +	· + · · ·	· + · · ·
マコミ	· · · +	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
アオハグ	· + · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
イヌハグ	· + · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
リヨコ	· + · · ·	· + + +	· + · · ·	· + + +
ケラヨウ	· · · + +	· + + +	· · · + +	· · · + +
イロハモジ	· + · · ·	· + · · ·	· · · · ·	· · · · ·
カリハタカエデ	· + · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
刈萱	· · · · ·	· + · · ·	· · · · ·	· · · · ·
ハゼノキ	· · · + +	· + · · ·	· · · + +	· + · + +
ヤマカルシ	· · · · ·	· + · · ·	· · · · ·	· + · · ·
ヤマハゼ	· · + · ·	· + · · ·	· · · · ·	· + · · ·
サンショウ	· · + · ·	· · · · ·	· · · · ·	· + · · ·
ミヤマシキ	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
ツルシキ	· + · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
ユズリハ	+ · · + +	· · · · ·	· + · · ·	· + · · ·
ナツフジ	· · · · ·	· + · · ·	· · · · ·	· · · · ·
ヤマツクラ	· · · · ·	· + · · ·	· · · · ·	· · · · ·
ナガトマ	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· + · · ·
キイチゴ	· · · · ·	· + · · ·	· · · · ·	· + · · ·
クマガイ	· · · · ·	· + · · ·	· · · · ·	· · · · ·
材カツハゴ	· · · · ·	· · · · ·	· + · · ·	· · · · ·
ヤマジサイ	+ + · · ·	· + · · ·	· + + +	· + + +
コジサイ	· + · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
ガクウツギ	· + · · ·	· · · · ·	· · · · ·	· · · · ·
ウキギ	· + · · ·	· + · · ·	· + · · ·	· + · · ·
マルバマンヅク	· · · · ·	· · · · ·	· + + +	· + + +
マンヅク	· · · · ·	· · · · ·	· + + +	· + + +

表13 地位別の主要な植物（ヒノキ）

(続き)

表14 最適な関数と全資料へ近似した際のパラメータ

試 料	成 長 関 数 式	ミッチャーリッヒ式	ゴンペルツ式	ロジスティック式
単 木	適合し た立木	本 数	11	4
		平均樹高	18.0	15.6
全 試 料	パラメータ	M	29.724	16.911
		L	1.0609	1.4935
		K	0.012245	0.054474
	残 差 自 乗 和		3264.1	3372.6
				3261.2

表15 近畿・中国地方国有林ヒノキ高齢級林分収穫予想表（1等地）

表15

(1等地)

林 齢	主 林 木					副 林 木						
	平 均		ha 当 り			ha 当 り						
	胸 高 直 径	樹 高	本 数	幹 材 積	幹 材 成 長 率	幹 材 平均 年 材 成 長 率	幹 連 年 材 成 長 率	本 数	総す 林る 木比 に率 対	幹 材 積	総す 林る 木比 に率 対	
年	cm	m	本	m ³	m ³	m ³	m ³	本	%	m ³	%	m ³
20	13.3	10.1	2295	173.3	—	8.7	768	25.1	26.8	13.4	26.8	
25	15.7	11.8	1803	217.0	8.8	8.7	492	21.4	27.0	11.1	53.8	
30	17.8	13.3	1487	256.3	7.9	8.5	316	17.5	24.8	8.8	78.7	
35	19.6	14.6	1285	293.0	7.3	8.4	202	13.6	21.0	6.7	99.7	
40	21.1	15.8	1155	328.1	7.0	8.2	130	10.1	16.8	4.9	116.5	
45	22.4	16.8	1072	362.2	6.8	8.0	83	7.2	12.6	3.4	129.1	
50	23.4	17.7	1019	395.4	6.6	7.9	53	4.9	9.1	2.2	138.2	
55	24.2	18.5	985	427.3	6.4	7.8	34	3.3	6.4	1.5	144.5	
60	24.9	19.2	963	457.7	6.1	7.6	22	2.2	4.4	1.0	148.9	
65	25.5	19.8	949	486.6	5.8	7.5	14	1.5	2.9	0.6	151.9	
70	25.9	20.4	940	513.9	5.5	7.3	9	0.9	2.0	0.4	153.9	
75	26.3	21.0	934	539.5	5.1	7.2	6	0.6	1.4	0.2	155.2	
80	26.7	21.4	930	563.6	4.8	7.0	4	0.4	0.9	0.2	156.1	
85	26.9	21.9	930	587.0	4.7	6.9	—	—	—	—	156.1	

副林木 ha当り	主 副 林 木 合 計									林 副計対 林のす 木総る 幹収比 材穫率 積量 累に 齡	
	平均 胸 高 直 径	ha 当 り									
		主積比 林に 木対 幹す 材る率	本 数	胸断 面 材 積	幹 材 積	幹連 年 材成 長 率	幹材 平均成長量	A·	B··		
15.5	12.3	3063	37.9	200.1	—	10.0	10.0	200.1	—	13.4 20	
24.8	14.6	2295	40.1	244.0	14.2	10.8	9.8	270.9	6.8	19.9 25	
30.7	16.8	1803	41.5	281.2	12.8	11.2	9.4	335.0	5.1	23.5 30	
34.0	18.8	1487	42.5	314.0	11.5	11.2	9.0	392.7	4.0	25.4 35	
35.5	20.5	1285	43.5	344.9	10.4	11.1	8.6	444.6	3.3	26.2 40	
35.6	21.9	1155	44.6	374.8	9.3	10.9	8.3	491.3	2.7	26.3 45	
34.9	23.1	1072	45.8	404.4	8.4	10.7	8.1	533.5	2.2	25.9 50	
33.8	24.0	1019	47.1	433.7	7.7	10.4	7.9	571.8	1.8	25.3 55	
32.5	24.7	985	48.4	462.1	7.0	10.1	7.7	606.7	1.6	24.6 60	
31.2	25.3	963	49.6	489.6	6.4	9.8	7.5	638.5	1.3	23.8 65	
29.9	25.8	949	50.8	515.9	5.8	9.5	7.4	667.7	1.2	23.0 70	
28.8	26.3	940	51.9	540.9	5.4	9.3	7.2	694.7	1.0	22.3 75	
27.7	26.6	934	53.0	564.5	5.0	9.0	7.1	719.7	0.9	21.7 80	
26.6	26.9	930	54.0	587.0	4.7	8.7	6.9	743.1	0.8	21.0 85	

表15 近畿・中国地方国有林ヒノキ高齢級林分収穫予想表（2等地）

表15

(2等地)

林 齡	主 林 木					副 林 木					
	平 均		ha 当 り			ha 当 り					
	胸 高 直 径	樹 高	本 数	幹 材 積 量	幹 平均 材成 長 率	幹 連 年 材成 長 率	本 数	総す 林る 木比 に率 対	幹 材 積 量	幹 連 年 材成 長 率	
年	cm	m	本	m ³	m ³	m ³	本	%	m ³	%	m ³
20	11.4	8.5	2658	125.3	—	6.3	847	24.2	20.7	14.2	20.7
25	13.6	10.1	2110	164.2	7.8	6.6	548	20.6	21.3	11.5	42.0
30	15.5	11.4	1758	199.0	7.0	6.6	352	16.7	19.7	9.0	61.6
35	17.1	12.6	1529	230.7	6.3	6.6	229	13.0	16.9	6.8	78.5
40	18.4	13.6	1382	260.3	5.9	6.5	147	9.6	13.4	4.9	92.0
45	19.5	14.5	1286	288.1	5.5	6.4	96	6.9	10.3	3.4	102.3
50	20.4	15.3	1225	314.2	5.2	6.3	61	4.7	7.4	2.3	109.6
55	21.1	15.9	1185	338.3	4.8	6.2	40	3.3	5.3	1.5	114.9
60	21.7	16.5	1159	360.4	4.4	6.0	26	2.2	3.7	1.0	118.6
65	22.1	16.9	1146	381.1	4.1	5.9	13	1.1	1.9	0.5	120.5
70	22.5	17.4	1132	398.7	3.5	5.7	14	1.2	2.1	0.5	122.6
75	22.8	17.7	1125	414.8	3.2	5.5	7	0.6	1.1	0.3	123.7
80	23.0	18.0	1121	429.1	2.9	5.4	4	0.4	0.6	0.1	124.4
85	23.2	18.3	1121	442.1	2.6	5.2	—	—	—	—	124.4

副林木 ha当り	主 副 林 木 合 計										林 副計対 木のす 木総る 幹収比 材積率 積量 累に 齡	
	ha 当 り								成長 率			
	平均 胸 高 直 徑	主積比 林に 木対 幹す 材る率	胸 高 直 徑	本 数	胸断 面 材 數	幹 材 積 量	幹 連 年 材成 長 A·	材 積 量	幹 材 積 量	幹 連 年 材成 長 B··		
%	cm	本	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	年	
16.5	10.6	3505	32.6	146.0	—	7.3	7.3	146.0	—	14.2	20	
25.6	12.8	2658	35.5	185.5	12.0	8.2	7.4	206.2	7.7	20.4	25	
31.0	14.7	2110	37.3	218.7	10.9	8.7	7.3	260.6	5.7	23.6	30	
34.0	16.4	1758	38.6	247.6	9.7	8.8	7.1	309.3	4.4	25.4	35	
35.3	17.9	1529	39.7	273.8	8.6	8.8	6.8	352.3	3.4	26.1	40	
35.5	19.1	1382	40.8	298.4	7.6	8.7	6.6	390.3	2.7	26.2	45	
34.9	20.1	1286	41.9	321.5	6.7	8.5	6.4	423.8	2.2	25.9	50	
34.0	20.9	1225	43.1	343.6	5.9	8.2	6.2	453.2	1.8	25.4	55	
32.9	21.5	1185	44.1	364.1	5.2	8.0	6.1	479.0	1.5	24.8	60	
31.6	22.0	1159	45.1	383.0	4.5	7.7	5.9	501.6	1.2	24.0	65	
30.8	22.4	1146	46.1	400.8	3.9	7.4	5.7	521.3	1.0	23.5	70	
29.8	22.7	1132	46.9	415.9	3.4	7.2	5.5	538.5	0.8	23.0	75	
29.0	23.0	1125	47.7	429.7	3.0	6.9	5.4	553.5	0.7	22.5	80	
28.1	23.2	1121	48.3	442.1	2.6	6.7	5.2	566.4	0.6	22.0	85	

表15 近畿・中国地方国有林ヒノキ高齢級林分収穫予想表（3等地）

表15

（3等地）

林 齢	主 林 木						副 林 木					
	平均		ha 当 り				ha 当 り					
	胸 高 直 径	樹 高 数	本 材 積	幹 材 成 長 率	幹 平 均 材 成 長 率	幹 連 年 材 成 長 率	本 材 積	総 林 木 比 率	幹 材 成 長 率	総 林 木 比 率	幹 材 積 累 計	
年	cm	m	本	m³	m³	m³	本	%	m³	%	m³	
20	9.5	6.9	2918	79.0	—	3.9	394	11.9	6.8	7.9	6.8	
25	11.3	8.3	2614	118.6	7.9	4.7	304	10.4	7.9	6.2	14.7	
30	12.7	9.6	2381	155.8	7.4	5.2	233	8.9	8.1	4.9	22.8	
35	13.9	10.6	2201	189.2	6.7	5.4	180	7.6	7.8	3.9	30.5	
40	14.9	11.5	2062	218.3	5.8	5.5	139	6.3	7.1	3.1	37.6	
45	15.6	12.2	1956	243.4	5.0	5.4	106	5.1	6.1	2.5	43.7	
50	16.3	12.8	1874	264.7	4.3	5.3	82	4.2	5.3	1.9	49.0	
55	16.8	13.3	1811	282.5	3.6	5.1	63	3.4	4.4	1.5	53.4	
60	17.3	13.7	1762	297.1	2.9	5.0	49	2.7	3.6	1.2	57.0	
65	17.6	14.1	1725	308.8	2.3	4.8	37	2.1	2.9	0.9	59.9	
70	17.8	14.3	1696	317.9	1.8	4.5	29	1.7	2.3	0.7	62.2	
75	18.0	14.5	1674	324.6	1.3	4.3	22	1.3	1.8	0.6	64.0	
80	18.2	14.6	1657	329.2	0.9	4.1	17	1.0	1.4	0.4	65.5	
85	18.2	14.7	1657	333.0	0.8	3.9	—	—	—	—	65.5	

副林木 ha当り 主 林 に 木 對 幹 材 る 率	主 副 林 木 合 計								林 副計対 林のす 木總る 幹収比 材穫率 積量 累に 齡		
	平均 胸 高 直 徑	本 面 材 數	胸断 面 材 積	幹 材 積	幹連 年 材成 長	幹材 積量 A [*]	幹材 積量 B ^{**}	総 収穫 量			
%	cm	m ²	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³			
8.6	9.3	3312	23.7	85.8	—	4.3	4.3	85.8	—	7.9	20
12.4	11.0	2918	29.1	126.5	9.5	5.3	5.1	133.3	9.3	11.0	25
14.6	12.4	2614	33.0	163.9	9.1	6.0	5.5	178.6	6.4	12.7	30
16.1	13.6	2381	36.0	196.9	8.2	6.3	5.6	219.7	4.7	13.9	35
17.2	14.6	2201	38.2	225.4	7.2	6.4	5.6	255.9	3.5	14.7	40
18.0	15.4	2062	39.9	249.5	6.3	6.4	5.5	287.1	2.7	15.2	45
18.5	16.1	1956	41.2	269.9	5.3	6.3	5.4	313.7	2.1	15.6	50
18.9	16.7	1874	42.2	286.9	4.4	6.1	5.2	335.8	1.6	15.9	55
19.2	17.1	1811	43.0	300.7	3.6	5.9	5.0	354.0	1.2	16.1	60
19.4	17.5	1762	43.6	311.7	2.9	5.7	4.8	368.7	1.0	16.2	65
19.6	17.8	1725	44.1	320.2	2.3	5.4	4.6	380.1	0.7	16.4	70
19.7	18.0	1696	44.4	326.5	1.7	5.2	4.4	388.7	0.5	16.5	75
19.9	18.1	1674	44.6	330.7	1.2	4.9	4.1	394.7	0.4	16.6	80
19.7	18.2	1657	44.7	333.0	0.8	4.7	3.9	398.5	0.2	16.4	85

注) * : 総収穫量 ÷ 林齢 ** : 主副林木合計幹材積 ÷ 林齢

間伐材を利用する防風工の開発

間伐材を利用する防風工の開発

I 試験担当者

森林環境部防災林研究室
企画調整部海外林業調査科
東北支所経営部防災研究室

河合英二 山野井克己
工藤哲也
松岡廣雄

II 要旨

厳しい海岸環境にある海岸防災林の林帯前線では塩風害を著しく受けるため、林木の成長が阻害されている。その改善法として、用途の拡大を求められている間伐材を用いて、効果的な防風柵の開発を行った。

まず部材の組合せを変えた数種類の防風柵モデルを用いて、風洞実験をおこなった。その結果、部材を合掌にした開脚65度の型が柵背後の逆風領域が少なく、50%減風域は柵高倍数26Hにまで及んだ。この実験結果を基に、1987年10月に秋田営林局酒田営林署浜中海岸に間伐材を利用した防風柵を設置した。柵は高さ2.7m、延長100mであった。

1987~88年冬季における観測では、西寄りの季節風に対する柵の効果を対照区と比較すると、柵の直後から柵高倍数7H~10Hの範囲において、減風率が30%高く空中塩分量が28%少ないなど、最も顕著に被害がみられる海岸林前線のクロマツへの阻害要因を軽減していた。

春季、柵により保護されていたクロマツの針葉は、対照区の葉と比べると褐変が少なく、健全度を表わす葉の緑葉率は柵直後で37%と低かったが、その後方では60%以上であった。一方、対照区では柵位置から10mまでは10%以下、それよりうしろでは30~40%と非常に低かった。そのため、クロマツの成長が終わった8月時点で、頂枝の伸長量には平均で30%の差がついた。結論としてクロマツの生育促進に間伐材防風柵が果たす役割は大きく、また所要経費の点から類似した防風柵と比較しても経済的であることが明らかとなった。

III 試験目的

わが国の海岸線の総延長は3万1千数百kmあり、そこに10万haの海岸林がある。海岸林造成事業はほぼ完了しているが、海風の強い海岸では生育不良の林帯がしばしば見られる。特に林帯前線では塩風害が著しいため植栽木の上長成長が阻害され、そのため林帯後縁までの樹高成長に大きな影響を与えている。

林帯前線における植栽木の成長不良の原因として、防風垣（砂垣）の防風効果が不十

分で、耐久性に欠けることがあげられる。この改善策として、現在、有効利用が求められている間伐材を部材として用いる効果的な防風柵を開発することが望ましい。

そこで、多様な防風柵を考えて模型を作成し、風洞実験を行い、得られた結果から現地に柵を設置して、柵による効果を判定し実用化することを目的とした。

IV 試験の経過と得られた成果

第1次実験

1. 実験方法

1) 実験施設

風洞実験には、森林総合研究所の風洞施設を用いた(図-1)。風洞はエッフェル型吸込み式で、2.7~40.0m/sの範囲の風を測定胴に送りこむ。測定胴は幅1.2m、高さ1.6m、長さ10.0mで、内部に三次元トラバース装置があり制御室からの遠隔装置によって任意の点の風速を測定できる。測定胴の風上側から0.2m、高さ0.8mの位置には、基準風速測定用のターピン風速計が設置されている。

2) 模型

柵の模型は高さ20.0cm、幅120.0cmとし、直径5mmの木製丸棒を縦に組んで密閉度50, 60, 70, 100%の4組、横に組んだものを同様に4組、及び、合掌型に組んだもの1組の合計9組を作製した。

3) 風速測定

模型柵は測定胴の風上側から1.68mの位置に風の流れに直角になるよう固定した。各点の風速の測定は水平方向で-120(-6H:Hは柵高), -80(-4H), -40(-2H), -20(-1H), -10(-0.5H), 0, 10(0.5H), 20(1H), 40(2H), 80(4H), 120(6H), 160(8H), 200(10H), 280(14H), 360(18H), 440(22H), 520(26H)cmの17点、垂直方向については各水平方向測定位置で1, 2, 4, 8, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70cmの13点とした。風速はトラバース装置に装着した熱線風速計により測定胴の中心線に沿って測定した。基準風速は水平方向で-148(-7.4H)cm点で測定した。

4) 相似則

井上、根本によって次式が導かれている。

$$Z_{om}/Z_{on} = L_m/L_n$$

$$U_m/U_n = (L_m/L_n)^{1/3}$$

Z_{om} , Z_{on} は風洞内および野外での粗度長、 L_m , L_n は風洞内で用いた模型および野外に

おける防風柵の代表的長さ、 U_m , U_n は風洞風速及び野外での風速である。この実験では模型高 $L_m = 20\text{cm}$, $Z_{om} = 0.003\text{cm}$ であり、野外の防風柵の高さ $L_n = 4\text{m}$, $Z_{on} = 0.05\text{cm}$ とすると、風洞風速 $U_m = 10.0\text{m/s}$, 3.7m/s は野外ではそれぞれ $U_n = 27.0\text{m/s}$, 10.0m/s の風速に相当する。

2. 実験の結果

基準風速に対する各測点の風速比を百分率で求め、それを基に測定範囲内の等風速線図を描いた。

1) 風速比の垂直分布

柵の風上40cm(-2H)から風下440cm(22H)までの、基準風速10m/sに対する風速比を求めた。丸棒を横組みにし密閉度を50, 60, 70, 100%とした模型柵をY50, Y60, Y70, Y100型、縦組にした密閉度50~100%のものをT50~T100型、合掌型をG型と呼称する。図-2にY50~Y100型の風速比の垂直分布を示した。-2H位置ではY50型の風速比は床面に近づき僅かな割合で減少するが、他の型では密閉度が大きくなると共に比の減少もおおきくなる。-1Hでは各型とも減少傾向はさらにはっきりしてくる。また、プロファイルの変曲点も密閉度の増加に伴って上にあがっていく。柵の風下直後1Hにおいては、Y50~Y70型では柵高20cmまで、Y100型は25cmまで弱風域となっている。そこから上の風速比は急激に増加し、1Hにおける風速の最大値は高さ25~35cmの範囲にあり、密閉度が増加するほど上方に表れる傾向がある。風速比が基準点の風速を上回る層(風速比100以上の層)の厚みは柵があるために形成された加速域であり、厚みの程度は密閉度が増加するにつれて大きくなる。10H~18Hと風下に行くに従ってどの型も風上の原風の風速垂直分布形に近づく。22Hにおいては、密閉度の高い型ほど、底面付近で風速の回復が早く、プロファイルの立ち上がりが急である。これは、密閉度の高い型ほど防風範囲が狭いことを表している。図-3にはT50~T100型のプロファイルを示した。Y型の場合と殆ど同じである。ただ、1H近辺の弱風域では隙間からの吹き込みの影響が幾分残る。

2) 風速比の水平分布

Y型、T型、G型の高さ8cmにおける基準風速に対する風速比を図-4に表わした。測定高8cmは模型柵高の半分程であるが、野外での地上高1.6mに相当する。模型の無い空カートの状態ではほぼ一様な流れで-1Hから4Hまでの風速比は100%をこえ、10H以後では100%を下まわる。図-4よりY型とT型を比較すると、柵直後の測点をのぞいて殆どの場合、密閉度ごとの分布形と測定値はよく似ていた。風速比の最小値は密閉度が大きくなるほど小さくなり、その位置は柵に近付いていく。密閉度が100%のY100, T100型では柵の前から風速は急激に減少し、柵の直後より200cm(10H)付近まで逆風となっている。それより後方で急速に回復し、風下360cm(18H)付近では他の型の風速比以上となり、520cm(26H)で

空カートの値に近くなる。このことから密閉度が高すぎると防風効果は低くなることが分かる。これに対しG型は密閉度が100%（正面投影）であるが、風下360cm（18H）までは減風の程度がY70, T70型に劣るもの、それより風下の風速比は他の型より小さい値を示している。G型は柵の下方ほど前開脚列と後開脚列の丸棒間隔が開いていくため、前列でつくられた乱渦は後列で更に小さな乱渦となる。このように乱れが小さくなることが原風速への回復を遅くするものと考えられる。

3) 模型柵の密閉度と減風

風は風洞の床面に近くなるほど弱くなるが、高さ2cmにおける最小風速比をそれぞれの柵ごとにプロットすると、図-5(a)（基準風速10.0m/s: U_r ），図-6(a)（基準風速3.7m/s: $U_{r'}$ ）のようになる。 U_r (%), $U_{r'}$ (%)は密閉度D (%)の増加とともに減少し、次のような関係式で表わされた。

$$U_r = -1.78D + 126 \quad r = -0.969$$

$$U_{r'} = -1.58D + 110 \quad (50 \leq D \leq 100) \quad r = -0.964 \quad (r : \text{相関係数})$$

上記二式の定数項が100を上回ったのは、模型のない状態での風速比 U_r , $U_{r'}$ が床高2cmで74%, 64%であるが、密閉度が50%以下の柵の測定を欠いているためである。Y100, T100型の U_r , $U_{r'}$ は模型固定位置(0m)で0%とした。両型とも200cm(10H)付近まで逆風であった。

図-5(b), 図-6(b)にそれぞれの柵ごとの最小風速域の発生位置を示した。この場合にも柵の密閉度の増加について、最小風速域は柵の位置に近づく。基準風速10.0m/s, 3.7m/sにおける柵の位置から最小風速発生位置 X (m), X' (m)と密閉度Dとの関係は次のように表わされる。

$$X = -0.066D + 6.6 \quad r = -0.963$$

$$X' = -0.074D + 7.2 \quad (50 \leq D \leq 100) \quad r = -0.884$$

上記二式においてDの係数と定数項は両式とも大差なく、風速の大小により最小風速発生位置はあまり変わらないと言える。

図-7に最大風速比 U_r (%)と密閉度D (%)の関係を示した。最大風速域の風速比は密閉度が増すにつれて大となり、その関係は10.0m/sの基準風速の場合、次のように表わされる。

$$U_r = 0.646D + 84 \quad (50 \leq D \leq 100) \quad r = 0.990$$

風速10.0m/sで空カートの場合の最強風域は0H付近で102%の値をもつが、上式の場合はD=0で U_r は100%を下まわる。丸棒を材料にしたときの最大風域の風速比は密閉度が50%以下になると単純に直線的な変化をしないと考えられる。G型の最大風速比はY70, T70型とほぼ同じ値をとった。最大風速発生位置はY50~70型, T50~70型, G型とも柵の直後、高さ25cmにみられた。Y100, T100型では風下80cm(4H), 高さ50~60cmの位置に発生した。

以上の結果から、丸棒を横組み、縦組みにしたY型, T型の比較と合掌の型組みのG型の防風効果の位置づけを検討する。Y型とT型の風速比の垂直、水平分布をみると、同じ密閉度の柵ではほとんど同一とみてよい。また、最小の風速比の比較では10.0m/sの風に対してY, T型はどの密閉度においても極めて近い値をとっている。3.7m/sの風に対しては両者の値はやや異なるが、その差は10%以内である。最小風速域の発生位置をみると、10.0m/sの風では、Y, T型ともそれぞれの密閉度ごとの発生位置の値に大差はない。最大風速比でもY, T型はどの密閉度でも近似した値をとっている。これらの比較により、素材とする丸棒を横組みにしても縦組みにしても防風効果は同程度と考えられる。ただ、低風速の場合には縦組みの柵のほうが防風範囲が広いようである。合掌型の最小風速比とその発生位置をみると、同じ密閉度をもつY100, T100型の最小風速比0%に近い値をとる一方、その発生位置はY100, T100型の0mに対して1.2~1.8mと柵から離れ、横組み、縦組み100%の柵より最小風速の効果範囲は広い。さらに、高さ8cmにおける風速比の比較では、柵の風下3.6m以後では横組み70%, 縦組み70%の柵より減風作用が優れていることが読み取れる。

第2次実験

1次実験の結果、柵の組合せには合掌型がよいことが分かった。しかし、現地における柵の設置時における作業効率や耐風性上、合掌組合せの前脚と後脚にある程度角度をもたせる必要が生じる等検討すべき点があったので、さらに実験をおこなった。

1. 実験方法

1) 実験施設

1次実験と同様に森林総合研究所の風洞施設を用いた。

2) 柵の模型

防風柵の高さを3m、模型はその1/20の高さ15cm、幅120cmとして同じ材料で組み立てた。風上、風下とも傾斜している1次実験の合掌型模型から、現場での設置条件を考慮して、風上傾斜、風下鉛直の合掌型にした。風上の柵の傾斜度を開脚度と称し、50, 60, 70度の3種を作成した。柵正面の密閉度は見かけ上100%ある。

3) 相似則

1次実験と同じように考えた。風洞の基準風速7.4m/sを用いた。これは野外風速20m/sに相当し、かなりの風速になるが、柵の設置を予定している酒田市浜中海岸の現地では冬季にしばしば記録される風速である。

2. 実験の結果

柵の開脚度を変えて実験した資料から、基準風速に対する相対風速比を求めイソプレッ

トを描き図-8に示した。開脚50, 60, 70度のそれぞれの風速比100%の等風速線をみると測定範囲の最後端でも柵の高さより高い位置にある。風速比80%の等風速線は同様に最後端でも柵の高さとほぼ同じになるが、開脚度が減り、前柵と後柵が開くほど26H辺りで等風速線が下降傾向となる。風速比60%の等風速線も同一傾向を示していた。風速比50%の等風速線では開脚度が増していくと、50%以下の領域がせばまって、開脚70度では26H以内となる。これは柵の開きが小さいので柵下方の風が通りにくく、柵の上方を超える気流が相対的に増加し、風速比50%の等風域については回復が早まるためと考えられる。風速比40%以下の等風速線は各開脚度の柵にみられ、開脚50度の柵では風速比30%の範囲が7Hから14Hの範囲に出現し、開脚60度の柵では3Hから18H近くまで出現した。また、開脚70度の柵では風速比40%域は柵近くまで近付き、その領域内に風速比30%, 20%域ができるなど、50, 60度の柵に比較して20%前後の風速域の範囲が広がる。

柵の前脚の角度を急にして前脚と後脚の間隔を狭めると前脚の間を通過した風が後脚にすぐあたってできる渦流が柵後方へぬけ難い。すなわち前脚と後脚が近づくと密閉度が大きく柵が板のような働きをし、柵背後には柵の上をこす気流によって逆風域ができるため柵近くに減風率の大きい領域が出現するものと考えられる。

柵に保護される現地の海岸林のクロマツ樹冠頂部は柵高までの範囲内にある。厳しい季節風によってクロマツ梢頭部が成長阻害を受けているところで、最も保護が望まれているところである。この領域の風を減衰させクロマツの成長促進をはかるのがこの実験の主な目的である。そこで、実験で得た資料からこの領域の風を詳しく検討するため、柵と同一高(15cm)と柵高2/3(10cm)の高さ別風速比の水平分布を図-9に示した。柵の高さ15cmの場合、3型とも柵直後で急激に減少して最低値を示し、それから徐々に基準点の原風速へ回復してゆき、26Hで約70%まで戻った。減少傾向は柵の開脚度が50, 60, 70度ともほぼ同様であるが、開脚度の大きい70度の減風率が最も高い。柵2/3高10cmの場合、風速の最小値は柵直後ではなく、開脚50度は4H～6Hにあり、開脚60度では6Hに、開脚70度では10Hにあった。原風速へ回復は3型とも26Hで約60%になった。

このように開脚度が増して前脚の傾きが急になると、柵高2/3～柵高の層(10～15cm)では柵による減風率が大きくなつた。しかし、26Hでの原風速への回復状態は開脚70度の柵は僅かではあるが他の柵よりも早く、風速の減少域が幾分狭いことを示している。また、柵の前脚と後脚の間隔が縮まると、柵全体の耐風性も低下する。これらの点を考慮して柵の開脚度を70度より幾分狭めて65度の模型柵を作製して同じように実験をおこなつた。その結果、開脚65度では60度と70度の中程の減風率を示したので、開脚65度のモデルを採用した。

現地への適用試験

1. 間伐材を利用した柵の施工地

海風の強い地方の海岸林造成地では成績不良地が多く、とくに林帯前線では塩風害が著しく、林木の成長が阻害されている。そのため、後続林帯までその影響をうけている。このような海岸林をもつ秋田営林局酒田営林署管内の海岸林に柵を設置することにした。管内の海岸林は、山形県鮎川郡遊佐町から鶴岡市湯之浜にいたる延長32,000m、幅200～800mのクロマツ林である。間伐材を利用した防風柵は、酒田営林署により1987年10月に酒田市浜中の133林班へ施工された。この防風柵を設置したところは10～30年生のクロマツ林で、調査地の林分状態は、間伐柵区が平均胸高直径7.6cm、平均樹高4.5m、本数密度4,160本/ha、林帯前面に高さ1mの化織網(密閉度30%)をもつ対照区では平均胸高直径8.7cm、平均樹高4.1m、本数密度3,100本/haであった。林分の形状比(樹高/胸高直径)は44, 58で直径に比して上長成長の悪いことがわかる。また、枝下高率(枝下高/樹高)は46%で林齡からみて樹高は低いが樹冠層に厚みがある。施工位置は林帯の海側前縁部で、冬季の主風に対しほぼ直角な配置となっている。

2. 浜中海岸の気象環境

冬季の日本海沿岸は長期間、強烈な波浪にさらされ、西寄りの季節風で多量の塩分が内陸へはこびこまれる。図-10に酒田の波の高さを¹⁾、図-11に同じく酒田の冬季と夏季の5ヶ月、10m/s以上の総暴風日数風配図を示した。これらの図からも西寄りの風の強いことが分かる。調査期の1987年12月から1988年3月の間の酒田、鶴岡の測候所のデータを表-1(風については海からの主風向であるNW, WNW, Wのみをとった)、比較のため5ヶ月平均値(1983～1987年)は表-2に示した。末ら²⁾は浜中付近の風の観測をした結果、NW季節風に限っては浜中の風が鶴岡の観測値と相関が高いことを指摘している。しかし、1987～1988年冬季にNWを示した最多風向は少なく、連日のようにWNWの強い風が吹き付けた。風速値は、鶴岡が海岸の浜中に近いといつても、幾分内陸に入り、山に近い地形の影響で風速値は酒田より小さい。1988～1989年冬季は例年みられる強い寒波の襲来もなく、シベリア高気圧や大陸の低気圧もあまり発達せず、いつも吹き荒れる季節風の吹き出しも弱かったり、降水量も少なく、全般的に穏やかな冬であった。

3. 間伐材を利用した柵の構造と使用材料

風洞実験の結果にもとづき設計した前脚傾斜65度、後脚鉛直の防風柵を図-12に示す。使用部材は末口径10cmのスギ間伐材で、柵高は2.7m、延長100mにわたって施工した。柵の密度は材の不揃いもあって、正面からの見かけの密閉度はおよそ90%となった。使用材料は表-3のとおりである。なお、表-4は防風用に使用されている他種との経費の比較である。これを見ると分かるように間伐材防風柵がネット防風柵、有孔板防風柵の設置経費より安価で経済効率がよい。

4. 間伐材を利用した柵の効果の測定

間伐柵がクロマツ海岸林の成長に及ぼす影響を判定するため、間伐柵区と対照区において海風に運ばれる塩分と風の減少効果とクロマツの成長促進効果を比較検討した。

1) 測定方法

1)-1 空中塩分の測定

柵の方向90度に設けた測線上で柵後5, 15, 30, 50mに測点をとり、それぞれの点に支柱を建て、樹冠上2m、樹冠直上位置に空中塩分捕捉用のトラップを取り付け、各地点で観測した。各点の測定値を比較するため、柵前5mの高さ2mの値を基準値とした。トラップは常に風に同一面積が当たるように円筒型とし、直径13.0cm、高さ20.0cmである。1987年12月17日から1988年3月31日まで、週間隔でトラップの布を取り替え、研究室で捕捉塩分量を測定した。これにより冬季の柵による空中塩分の水平分布の変化を明らかにした。また、1988年12月に柵後の各測点に12mの観測塔を建て、1989年1月と1990年1月に空中塩分の垂直分布を調べた。

1)-2 風速の測定

風速の測点は、基準風速は柵前15m地点で柵後は塩分の場合と同一点で、長さ7.5mのポールの0.6, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5mに風速計を取り付け順次、移動測定をおこなった。風速の測定には牧野光電式風向風速計とデータレコーダーを用いた。前項に記した12mの観測塔設置後は0.5, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0, 10.0, 12.0mの高さに取り付け1987年12月、1988年2月、1989年1月、1990年1月に測定を実施した。

1)-3 クロマツ林の健全度の測定

一冬季を経たクロマツ林の健全度を見るため、1988年、1989年春に柵背後から50m地点まで10mごとに樹冠上部の枝を採取して着生していた針葉のうち緑色を保っていた本数を数え、全葉数に対する割合を求め緑葉率として表した。なお、塩風害により褐変脱落したのは葉の本数は葉痕から判読した。

1)-4 クロマツの成長量調査

クロマツの成長が終了する8月にクロマツ梢頭部の伸長量を1988年、1989年にそれぞれ柵背後で幅5m、長さ60mの調査コドラーを設け、区域内全木の同一梢頭で計測した。

結果と考察

1. 空中塩分の減少効果

ここでは、1987年12月～1988年3月の測定資料から樹冠上2mと樹冠直上の水平分布について、1990年1月の資料からは垂直分布について検討する。他の期間の調査は風速が弱い

等測定条件が悪く十分な資料が得られなかった。捕捉塩分量と気象因子の関係をみると調査期間に捕捉した塩分量を累積し、総量に対する比で各時期の増加傾向を図-13に、その間の気象状況を図-14に示した。この間、12, 1月は平均風速5m/s以上の日数が多くたが、降水量も多く、捕捉した塩分が流失したため、捕捉塩分量が少なかったものと考えられる。2月は比較的風が強く、強風日数多く、降水量が少なかったので捕捉塩分量は12, 1月に比べて多くなったものと考えられる。さらに、3月になると強風の日は比較的少ないが、降水量が少なく、付着した塩分の流失が比較的少なかったため塩分量が多くなったものと推察される。このように風速、降水量等の気象条件によって捕捉塩分量は大きな影響をうける。

また、この期間、2週間ごとに得られた各測点の塩分量より、柵による塩分の減少傾向についても検討した。冬季間全体の傾向は柵前の基準値に対する比率で図-15に示した。前述のように、捕捉塩分量は観測期間の気象条件により影響される。樹冠上2mでは対照区は指數関数的に減少するが、間伐柵区では柵の影響により柵後15mで最小値を示し、それより後方から増加し、50m点では対照区の値とほぼ同じになった。樹冠直上では対照区の減少傾向は樹冠上2mと同様指數関数的であったが、間伐柵区は柵直後で、柵の下部を抜けた風が強かったためか、対照区に近い値であった。間伐柵区の最小値が15m点に表れ、50m点で対照区の値に近くなった。さらに詳しくみると、樹冠上2mでは対照区5m点で84%，その後漸次減少し50m点で63%であり、一方間伐柵区では柵後15m点で最小値38%，50m点で67%の値を示した。対照区と間伐柵区の平均値の差は28%と対照区が多かった。また、樹冠直上では対照区は5m点で51%，50m点で24%，間伐柵区は15m点で10%，50m点で55%となり、対照区が平均24%多かった。樹冠直上から樹冠上2mの層で間伐柵区では柵後50m点まで塩分の減少率が大きいことが判る。

図-16に示した空中塩分の垂直分布では間伐柵区と対照区の違いがはっきりしていた。後述の風の垂直分布とよく似ており、樹冠の上に出た部分は対数法則にのる分布になるが、柵によって減少した風の領域内では緩やかに塩分量が増していく。

間伐柵区と対照区の各点の塩素濃度比（捕捉塩分／風速比）を求めるとき図-17のようになる。間伐柵区では、対照区と比較して柵から50m領域内の塩分が少なく、柵の効果がよく判る。

1987年12月と1988年2月の観測結果から風速と捕捉塩分量の相関を検討したところ、風速が増大するに従い捕捉塩分も比例して大きくなるが、この関係は対数回帰より直線回帰の方が適合した。その関係を図-18に示した。

塩分量は風、降水量等気象因子に影響を受けるが、間伐柵区は対照区に比べ明らかに塩分の減少率が大きく、間伐柵がクロマツ林への付着量を少なくする効果が認められた。

2. 柵の防風機能

1987年12月の強い季節風が吹いた時の風の垂直分布の測定結果を図-19に示した。現地の地形は柵の後方5mほどから低くなるので、柵基部をレベルとして地形の高低にあわせて基準風速に対する各点の風速比を値としてイソプレットを描き、同様に表わした対照区及び間伐65度模型の風洞実験の結果を合わせて図-20に示した。

図-19の両区の風速比の垂直分布をみると、柵の後方は地形とクロマツ林の影響があるため、それぞれの値をそのまま比較は出来ないものの、柵基部レベルでみると柵後50mまでは間伐柵区で減風率が大きいのが判る。その差は柵直後で大きく、後方に向かうにしたがって漸次その差が少なくなっている。間伐柵区では柵後にクロマツ林が有るが、風洞実験の結果（例えば図-2, 3）と非常によく似ていた。

図-20のイソプレットからみると、対照区の風速比はクロマツ林の樹高曲線上では50～70%であるが、間伐柵区では20～40%の範囲内にある。さらに、クロマツ林の成長に最も影響を及ぼす領域の風を比較するために両区の樹冠直上と樹冠上2mの風速比の水平分布を描いた（図-21）。樹冠直上の場合、間伐柵区では柵後から急激に減少し、5m点で45.1%，15m点で最低値12.8%，30m点で24.3%，そして50m点で34.8%であった。対照区はそれぞれ88.6, 63.9, 47.7, 52.1%であった。クロマツ梢頭部は相当の減風域に入っていることになる。対照区の値が自然減衰値としても、間伐柵区との差は大きく、柵の後方の減風率は高い。また、樹冠上2mでは樹冠直上と比較して風速の減少率はかなり小さく、間伐柵区の柵後5m点で111.3%，15m点71.6%，30m点60.9%，50m点61.6%，対照区はそれぞれ108.8%，106.5%，91.5%，64.5%となり、その減少傾向もゆるやかであった。柵後50m点で両区の値は同じようになるが、柵から50m点の間で柵の影響が減衰傾向にはっきり現われている。

これらのことから、柵から50m付近までは十分な減風域であるが、樹冠上2mの場合、50m点ではほぼ同じ風速比になり、50m点より後方では柵の影響が小さくなると言える。また、樹冠直上では50m地点の両区の風速比の差は20%程となり、この高さでは柵による減風域がさらに後方へ広がっているものと考えられる。

3. クロマツの健全度

海からの厳しい季節風が吹く冬を経たあと、成長期をむかえる時期のクロマツの健全度を現わすものとして、柵直後から50m地点まで10mごとに樹冠から枝葉を採取して緑葉率を求めた。1988年、1989年の緑葉率の調査結果を図-22に示した。1988年は、対照区で10m点までは30%以下で、50m点までいっても50%以下であった。間伐柵区では柵直後で30%以上あり、50m点では100%に近かった。50mまでの平均緑葉率は対照区27%，間伐柵区62%であった。この年はクロマツ梢頭部の褐変枯損が非常に多かった。しかし、間伐柵区は対照区の2倍もの緑を保っていた。柵の保護域だけが際だって青々としている状態は目視によっても判定できた。翌1989年は全体に差がみられず、平均で対照区86%，間伐柵区93

%であった。この数値にみられるようにクロマツ梢頭部の褐変被害は少なかった。これは、この冬のシベリア気団の張り出しが弱く、海からの季節風も少なく、温かな天候で推移したためであった。このような状況でも柵による効果ははっきりとでている。

また、1988年に褐変・枯葉を含めた着葉数と付着塩分量の関係を調べた（図-23）。褐変・枯葉を多く着けている対照区のクロマツは着葉が少ない割に塩分が多く、間伐柵区では着葉が多いが塩分量の少ないことが分かった。

緑葉率はトラップの結果と同じように柵の有無による効果がみられ、塩分量に左右されているものと推定された。

4. クロマツの成長量

柵を設置した1987年の秋に対照区と間伐柵区の毎木調査を行い、同時に、クロマツ梢頭部にマーキングし、1988年、1989年の2度クロマツの成長終了期にその年の伸長量を計測した（図-24）。対照区と間伐柵区に差がみられるのは柵後45m位までで、柵後20mで最大となった。柵の効果は厳しい冬の強風を経た場合の方が伸長量に顕著に現われるようである。1987～88年の冬の強い海風を経験した後の1988年の調査結果をみると、特に対照区では40mまでの伸長量が前線部が悪く、その後では順次伸びていくのに対し、間伐柵区は柵直後の前線部から伸びが大きく成長が良い。

1988～89年の冬は比較的温かく、クロマツ林の成長期に入ると天候が不順となつた。このためクロマツの成長は例年に比べあまり順調ではなかった。対照区の伸長量をみると前線から後方までほぼ同じで、クロマツの成長に及ぼす風の影響が少ない年であったことが推察される。それでも間伐柵区の伸長量は対照区をかなり上回っており、柵が成長に良い効果もたらしたことが判る。

両年とも保護域では間伐柵区が対照区に比較し伸長量が約30%上回っている。クロマツの成長量は毎年の気象条件に影響されるが、どんな気象条件のもとでも柵による塩風環境の緩和、改善により、クロマツの成長に良い効果が期待できる。

▼まとめ

柵のモデル実験を基礎に作製した、間伐材を材料とする防風柵は実験の結果とよく似た効果をあらわし、風速、空中塩分を減少させクロマツの成長阻害要因を少なくした。この効果により、柵の保護域のクロマツの成長を促進したことは明かである。また、需要の少ない間伐材の利用に活路を開いた。さらに、柵による効果範囲の拡大が望まれる上、現場に設置された柵の実効的な耐久力の持続性の問題が残されているので、今後も調査を継続していく必要がある。

（松岡 廣雄）

引用文献

1) 成田七郎, 浦田忠孝: 秋田局業務研集63年度, 142~149, 1989

2) 末 勝海, 金内英司: 山形農林会報(3・4), 102~111, 1953

参考文献

1) 建設省建築研究所: 間伐材利用による防風柵の性能に関する技術指導報告書, 1~5,

1988

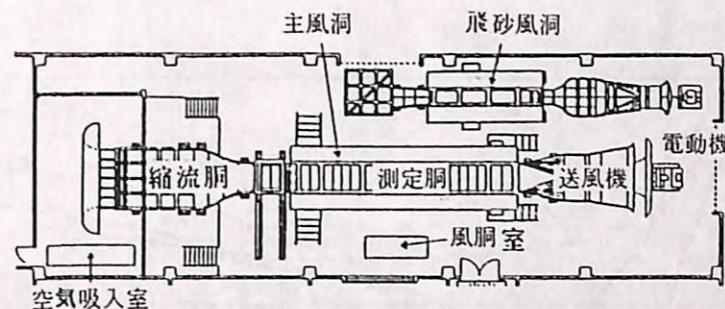


図-1 風洞平面図

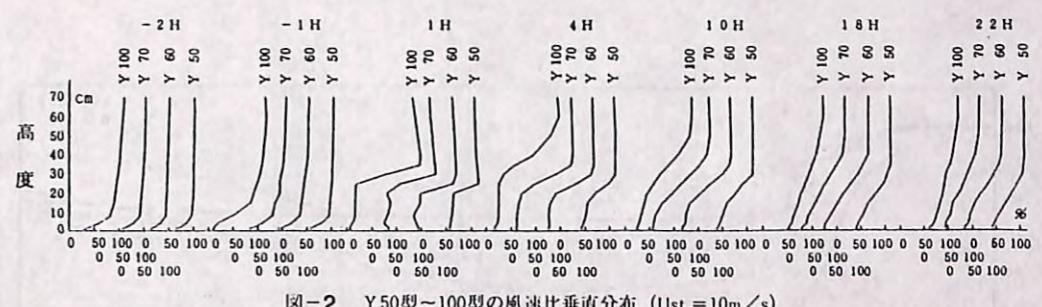


図-2 Y50型～100型の風速比垂直分布 ($U_{st} = 10 \text{ m/s}$)

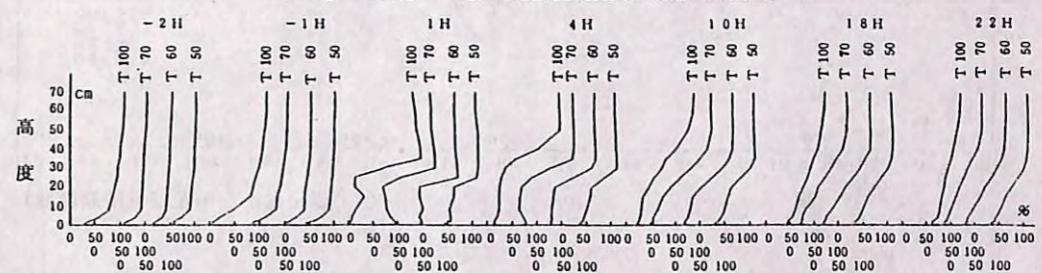


図-3 T50型～T100型の風速比垂直分布 ($U_{st} = 10 \text{ m/s}$)

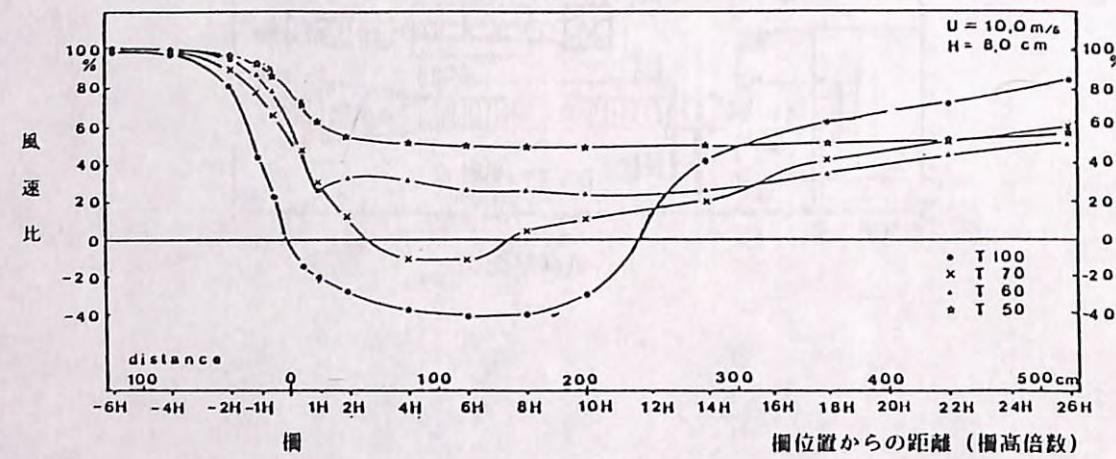


図-4 T, Y 50~100 型 G 型の風速比の水平分布

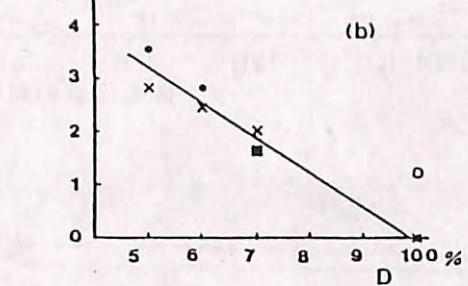
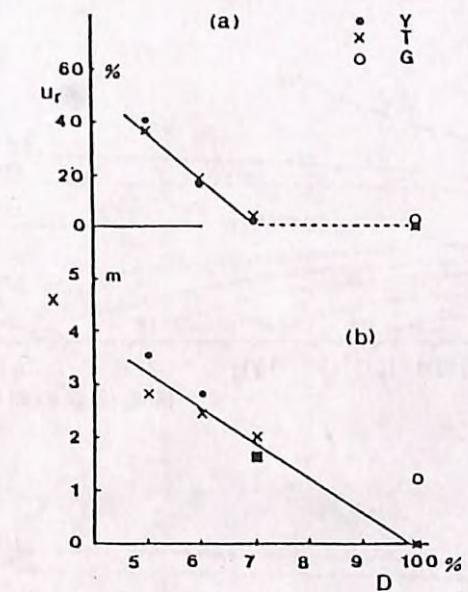
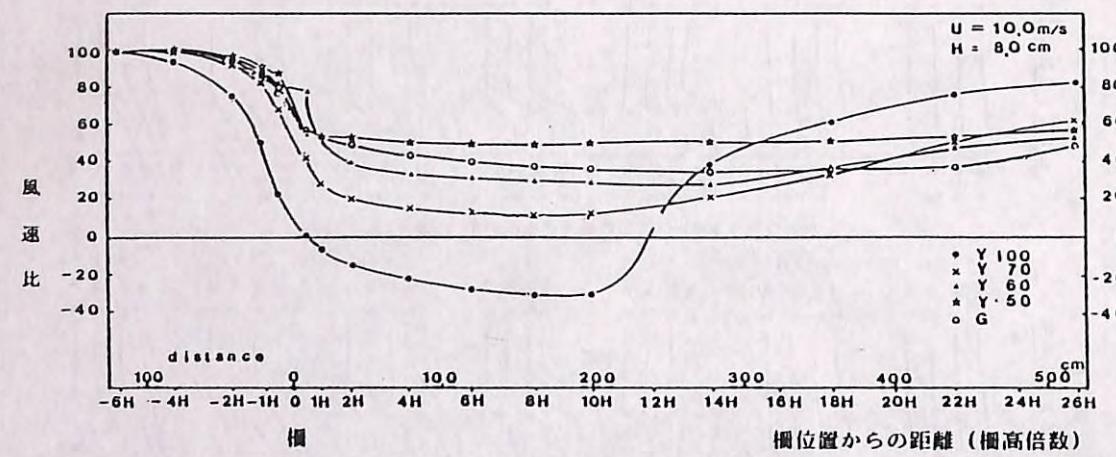


図-5 密閉度(D)と高さ 2 cmにおける
風速比(U_r)、その発生位置
(x)の関係

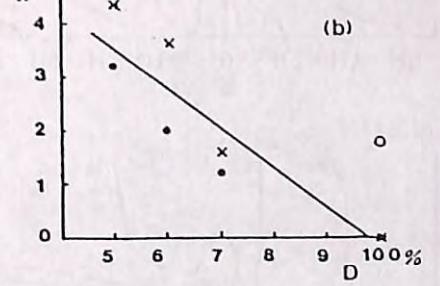
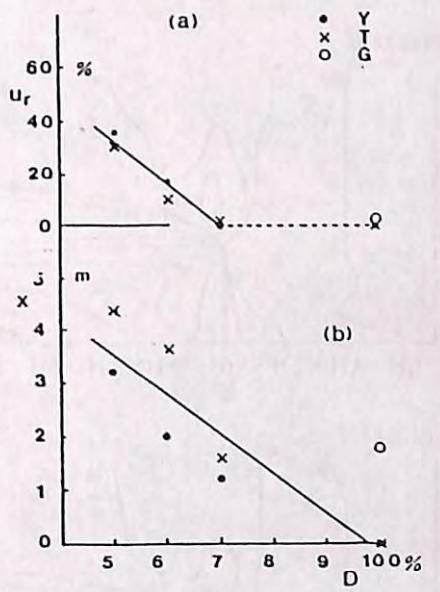


図-6 密閉度(D)と高さ 2 cmにおける
風速比(U'_r)、その発生位置
(x')の関係

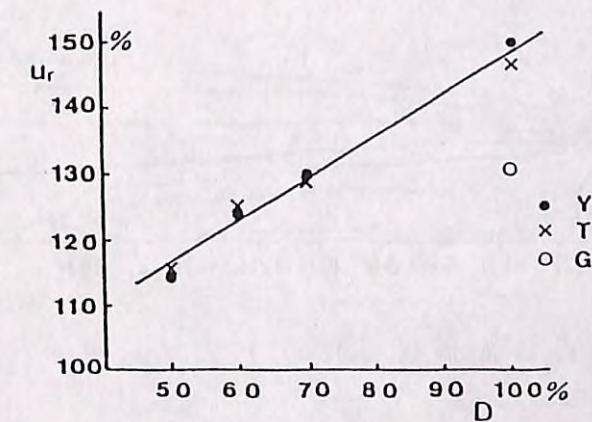


図-7 密閉度(D)と最強風速比(U_r)との関係

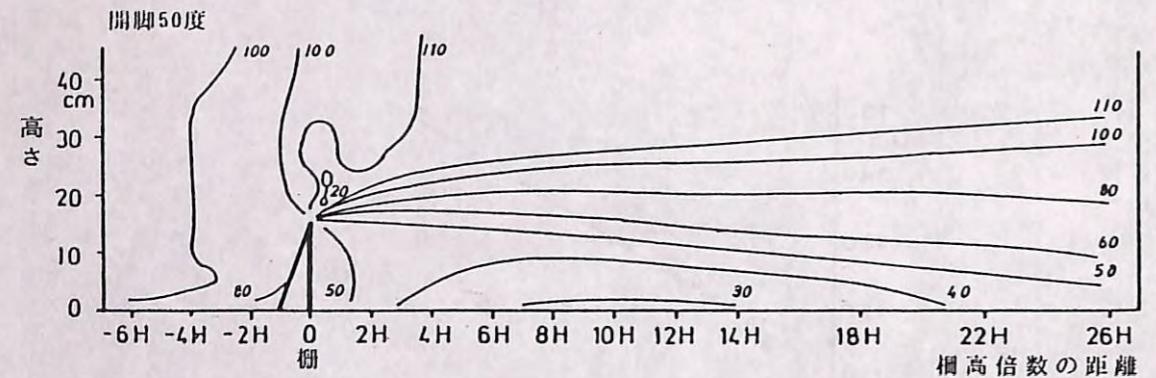
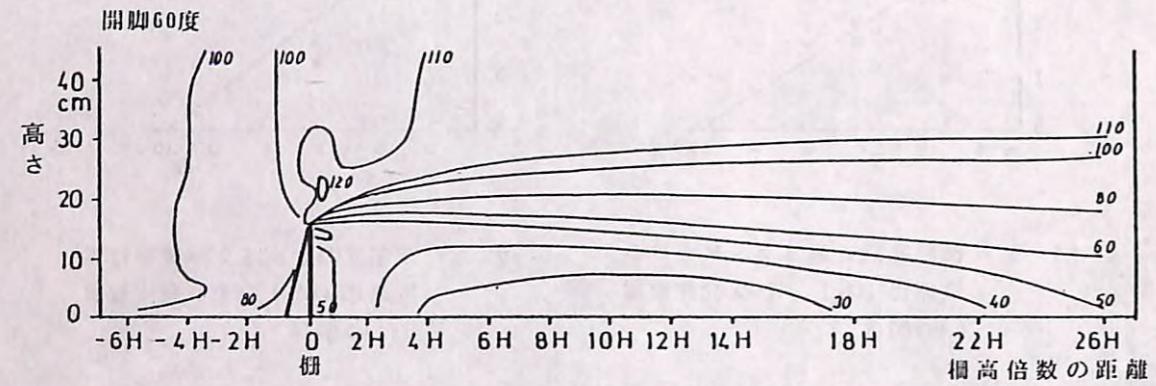
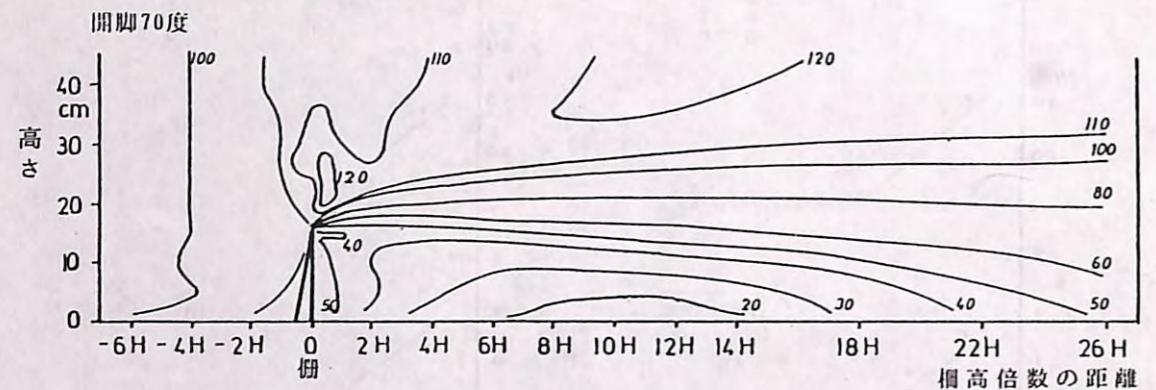


図-8 開脚度別風速比のイソプレット

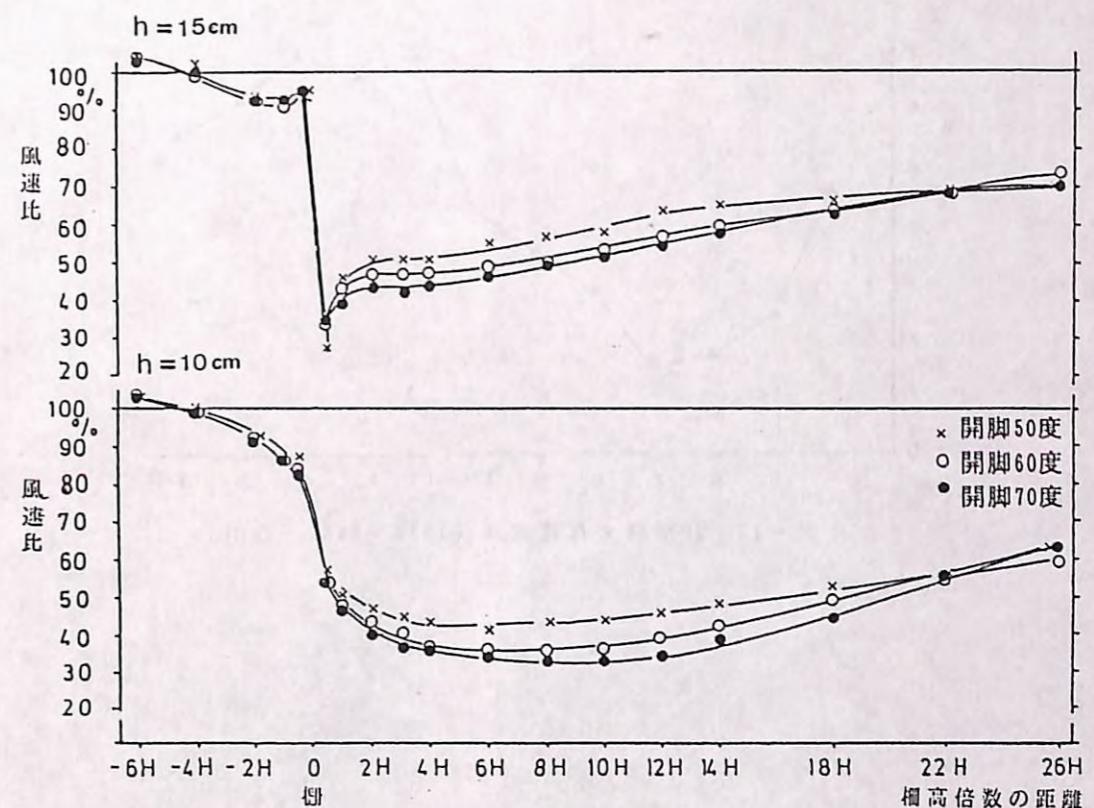


図-9 高さ別風速比の水平分布

表-1. 調査期間、調査地に近い酒田、鶴岡の気象

年月	鶴岡	酒田	平均風速 m/s		最多風向	降水量 mm	最大風速 m/s
			<5m/s	<10m/s			
1987.12	2.2	5.2	2.8	12.8	0日	2日	WNW SE 174 162 11 17.5
1988. 1	2.7	5.9	4	19	0	4	WNW WNW 285 192 10 15.5
2	3.3	6.3	3	21	0	2	WNW WNW 117 98 10 16.7
3	2.4	4.8	1	12	0	0	WNW W 94 96 10 15.5

表-2. 1983年～1987年、5ヶ年の平均値

月	平均風速		最多風向	降水量 mm	最大風速 m/s
	鶴岡	酒田			
12	2.7	5.3	WNW	138.8	170.8 11 17.6
1	3.8	6.0	WNW	120.0	117.7 17 17.9
2	3.3	5.7	WNW	107.4	117.2 14 15.8
3	2.4	4.7	WNW	185.0	112.4 12 18.8
年平均	2.2	4.3		147.4	144.8

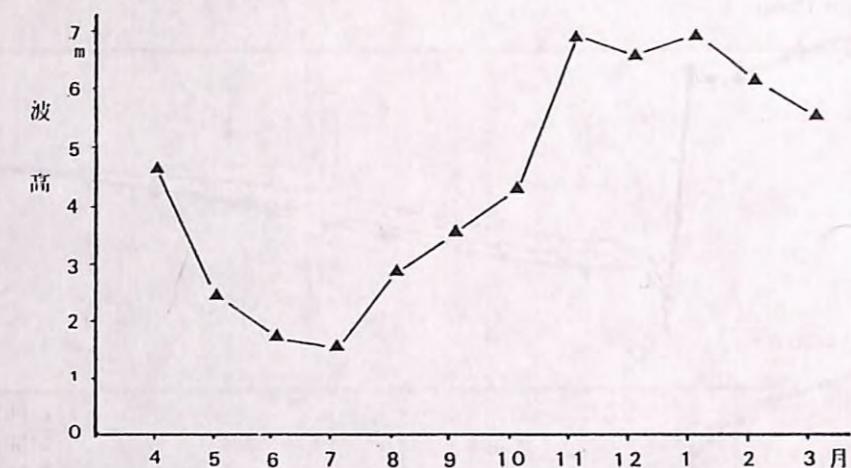


図-10 月別最大有義波高 (1982-1886、酒田)

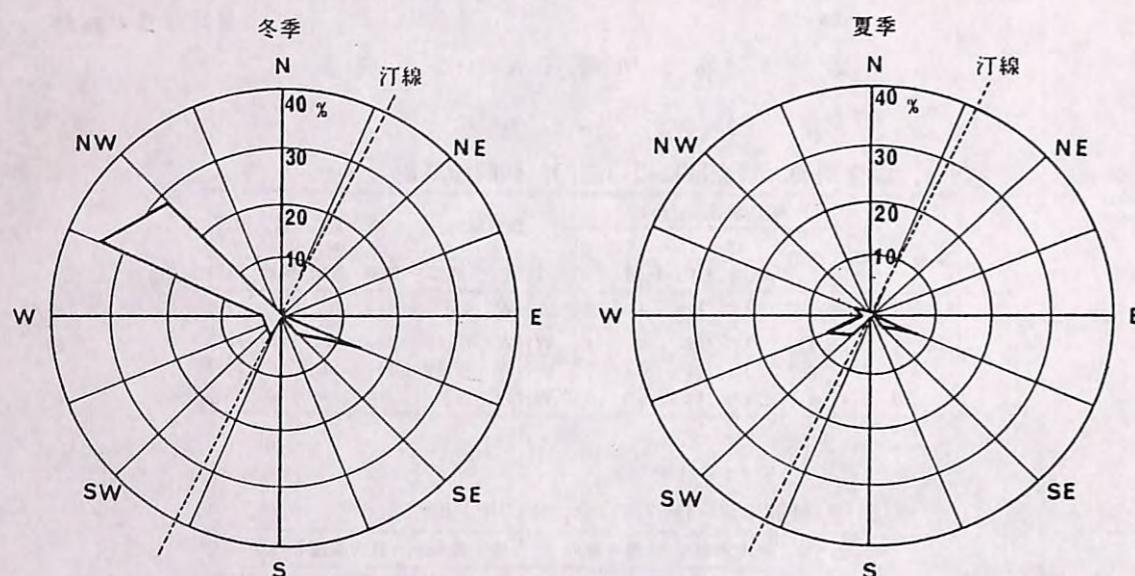


図-11 暴風日数風配図 (最大風速10m/s以上、1982~1986、酒田)

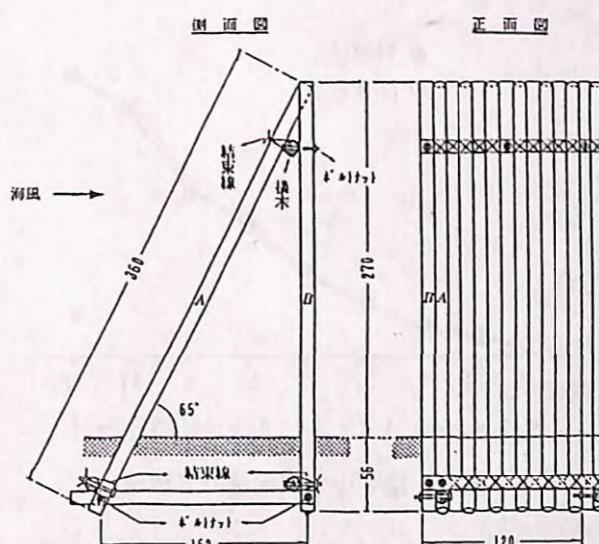


図-12 間伐材防風柵の構造 (単位 cm)

表-3 材料 内訳 (10m当り)

種別	規 格	数量
前部材	未口徑10cm. L = 3.6m スギ丸太	50 本
後部材	" L = 3.3 "	"
根かせ木	" L = 1.8 "	9 本
横木	" L = 5.2 "	6 本
止金具	ボルトナット ($\phi 12\text{mm}$ L=30cm)	36 本
結束線	亜鉛引鉄線 (10#)	12.3kg
クレオソート		32.6ℓ
緑化むしろ		23.7m ²

表-4 各種柵の経費比較 (10m当り)

区分	間伐材防風柵 (H=2.7m)		ネット防風柵 (H=2.5m)		有孔防風柵 (H=2.5m)	
	スギ丸太	千円	主材(鋼製)	千円	主材(鋼製)	千円
材料費	ボルトナット		防風ネット		有孔折板	
	結束線	115	胴線	105	ボルトナット	218
	クレオソート		結束線			
	緑化むしろ		止金具			
基礎			コンクリート	129	コンクリート	129
			(120x60x100)		(120x60x100)	
労賃	組立外	44	組立外	44	組立外	44
諸経費		122		232		315
計		281		533		724
耐用年数	10年		主柱 20年			20年
			ネット 3年			
耐用年数から割だした単価		2,810 円/m		4,960 円/m		3,620 円/m

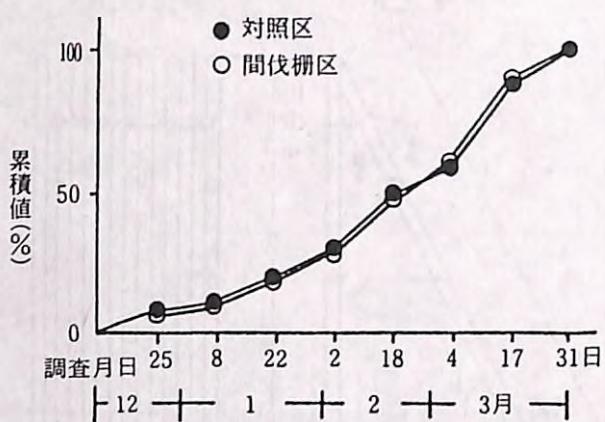


図-13 空中塩分捕捉量の累積値

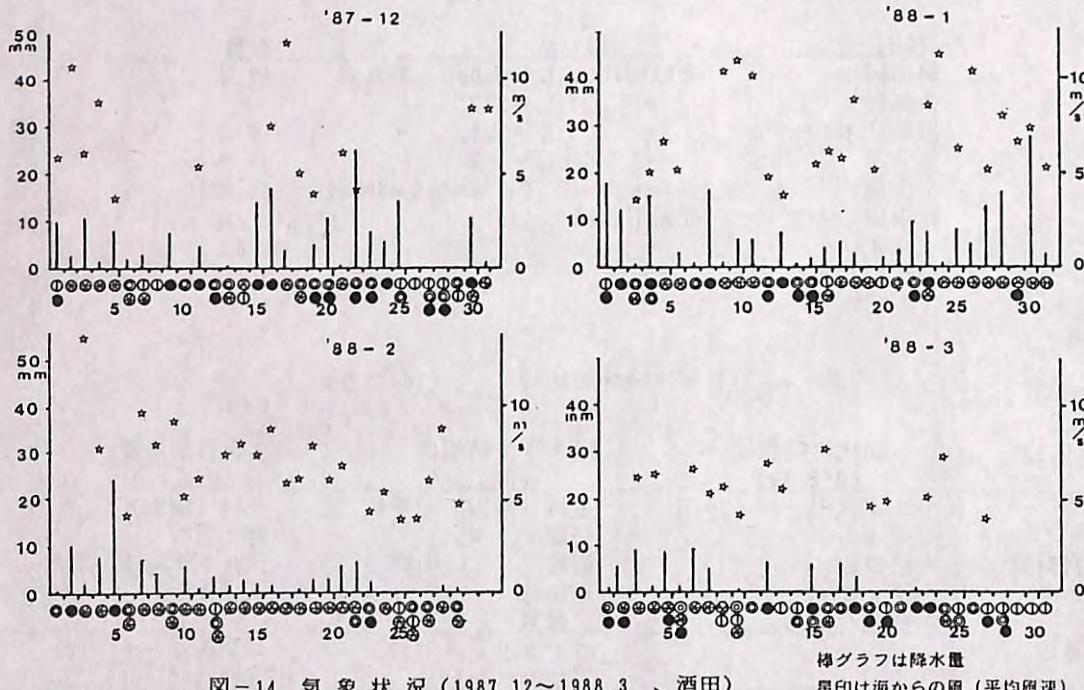


図-14 気象状況(1987.12~1988.3、酒田)

棒グラフは降水量
星印は海からの風(平均風速)

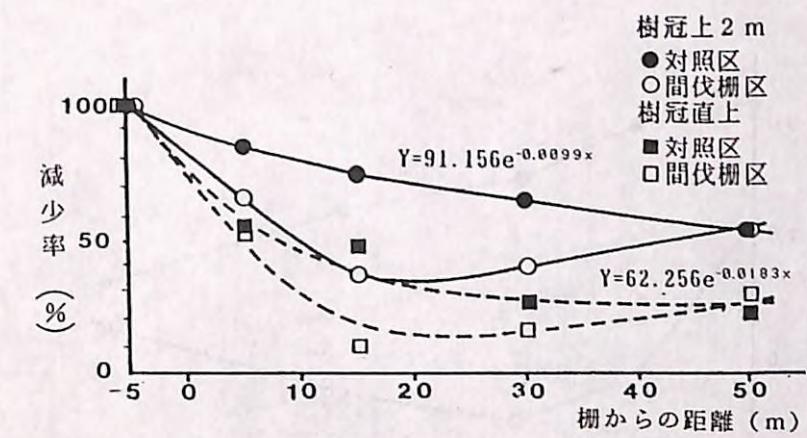


図-15 柵の有無による空中塩分減少率の比較

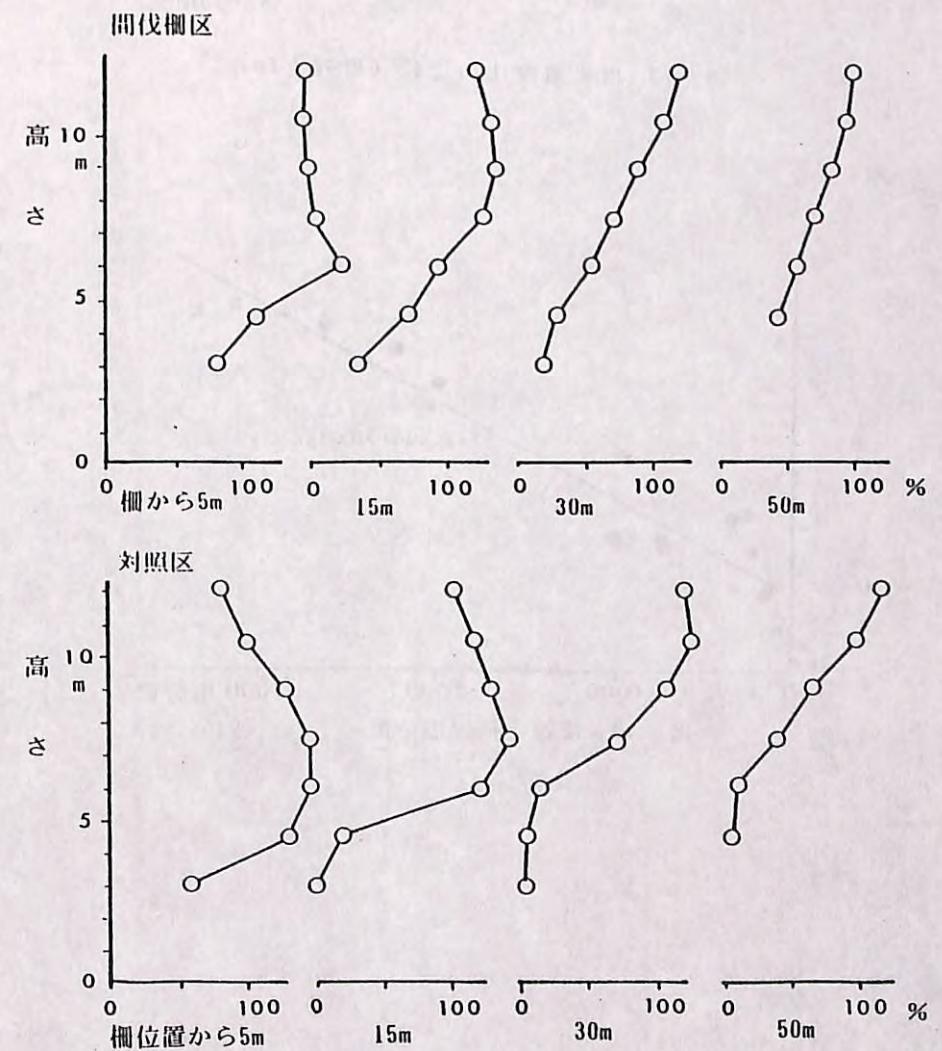


図-16 空中塩分の垂直分布

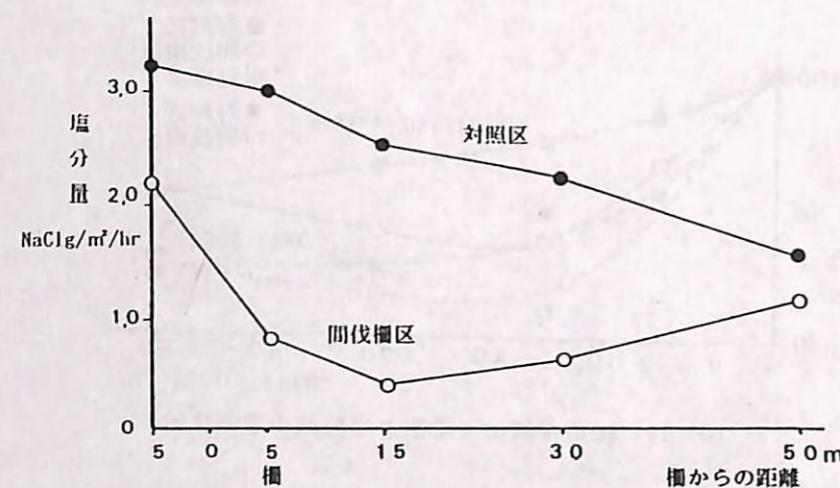


図-17 塩素濃度比の比較（樹冠上2m）

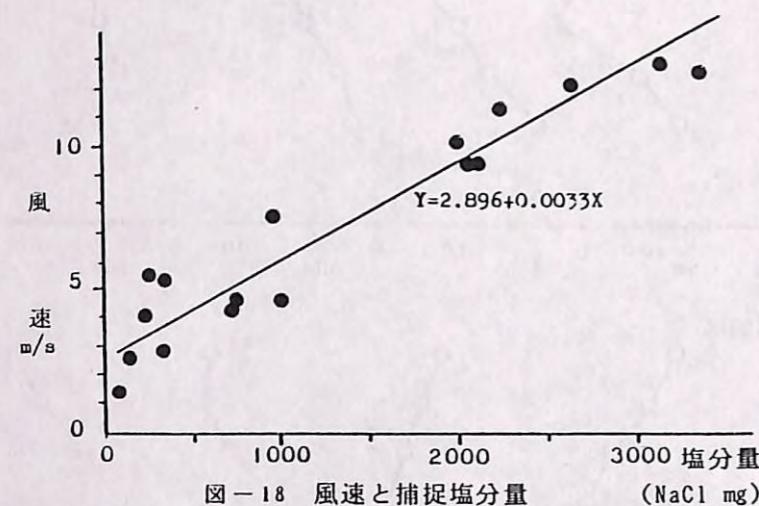


図-18 風速と捕捉塩分量 (NaCl mg)

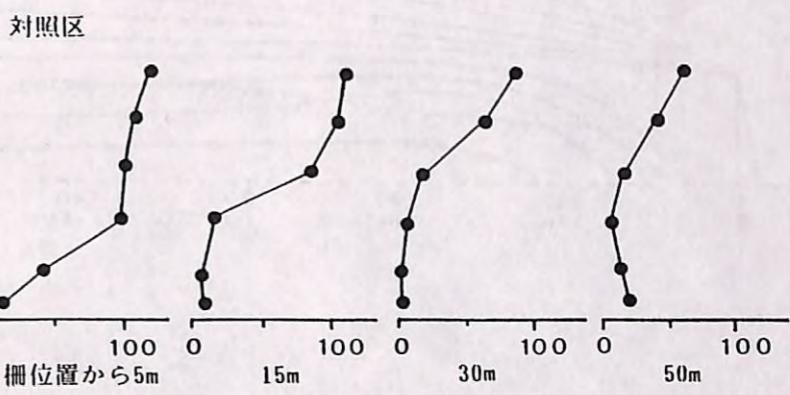
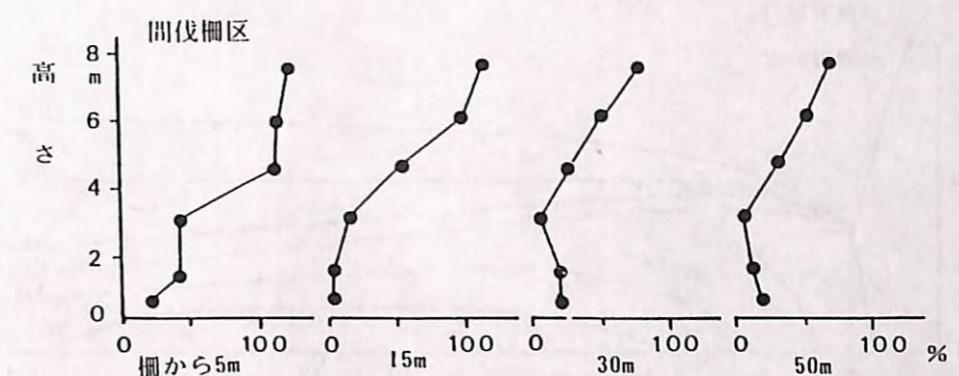


図-19 間伐柵区、対照区の風速比の垂直分布

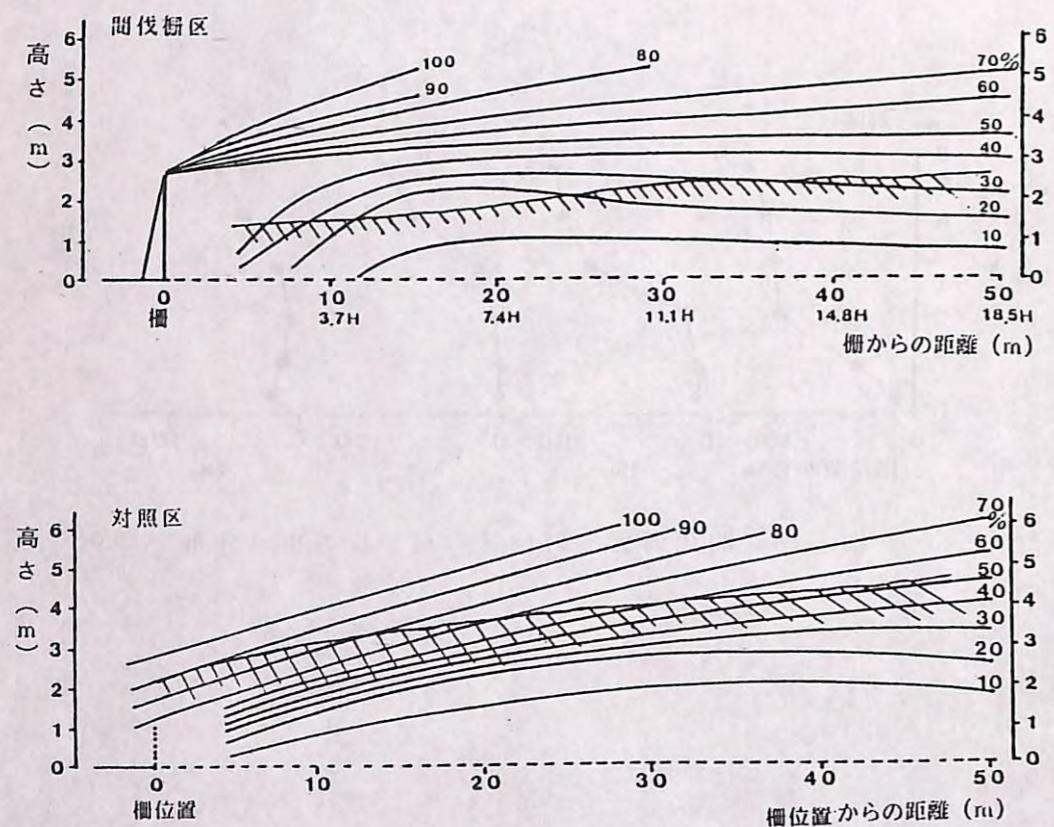
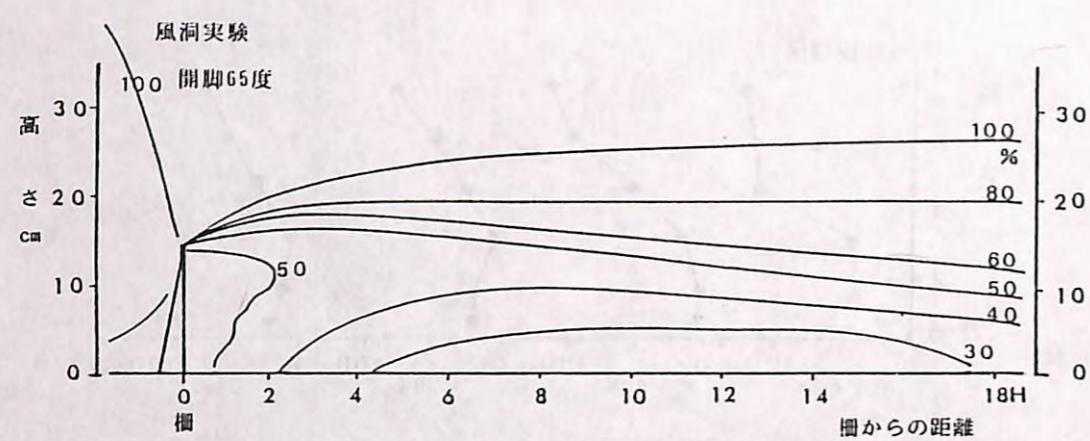


図-20 実験と現地の風速比のイソブレットの比較 海岸林樹冠

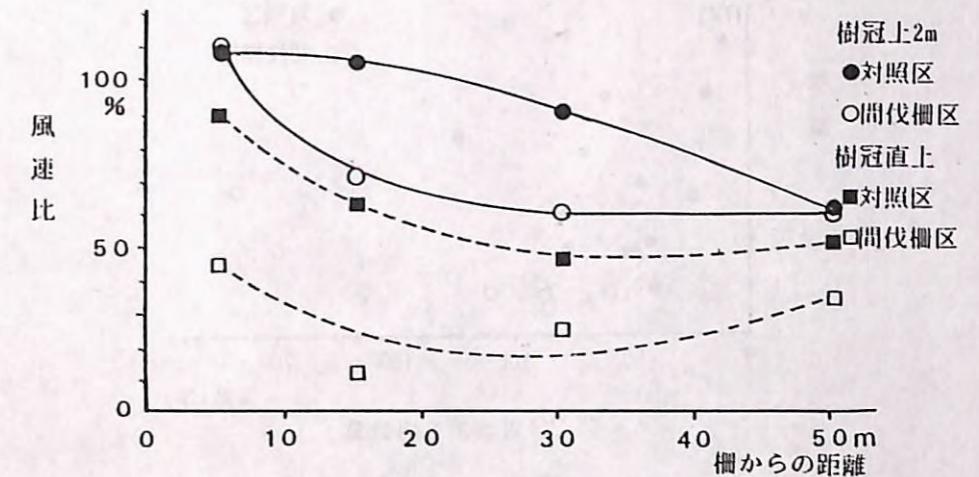


図-21 間伐柵区、対照区の風速比の水平分布

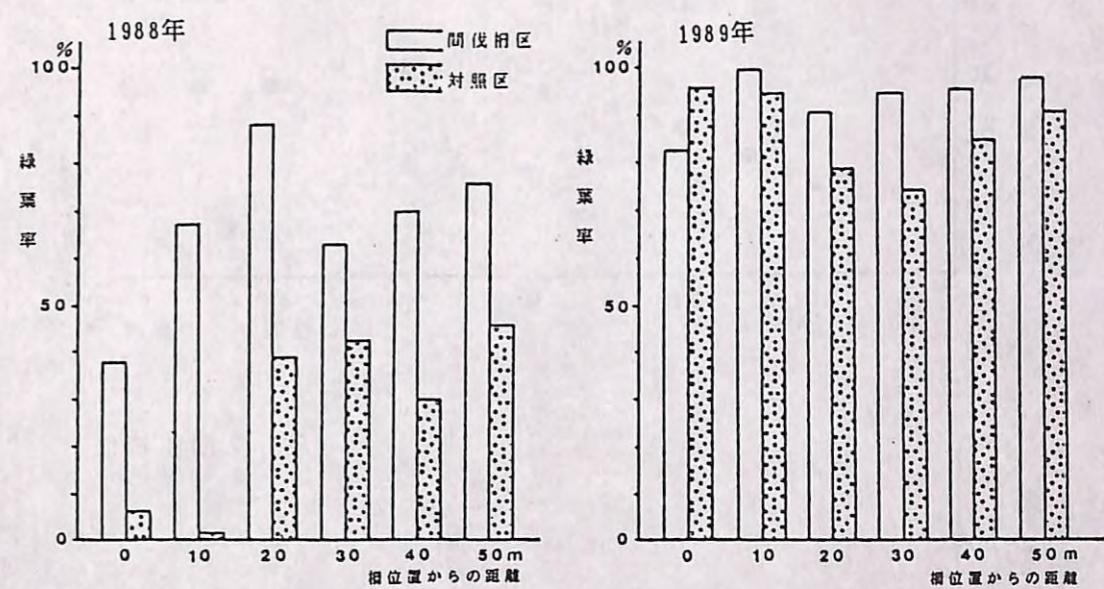


図-22 緑葉率の比較

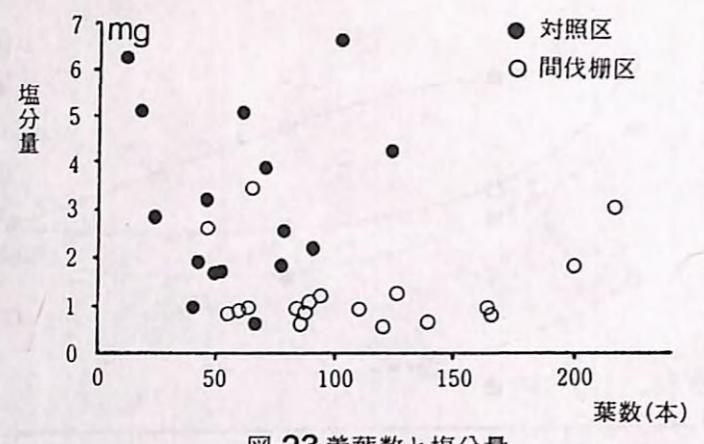


図-23 着葉数と塩分量

次代検定林における情報制度の向上

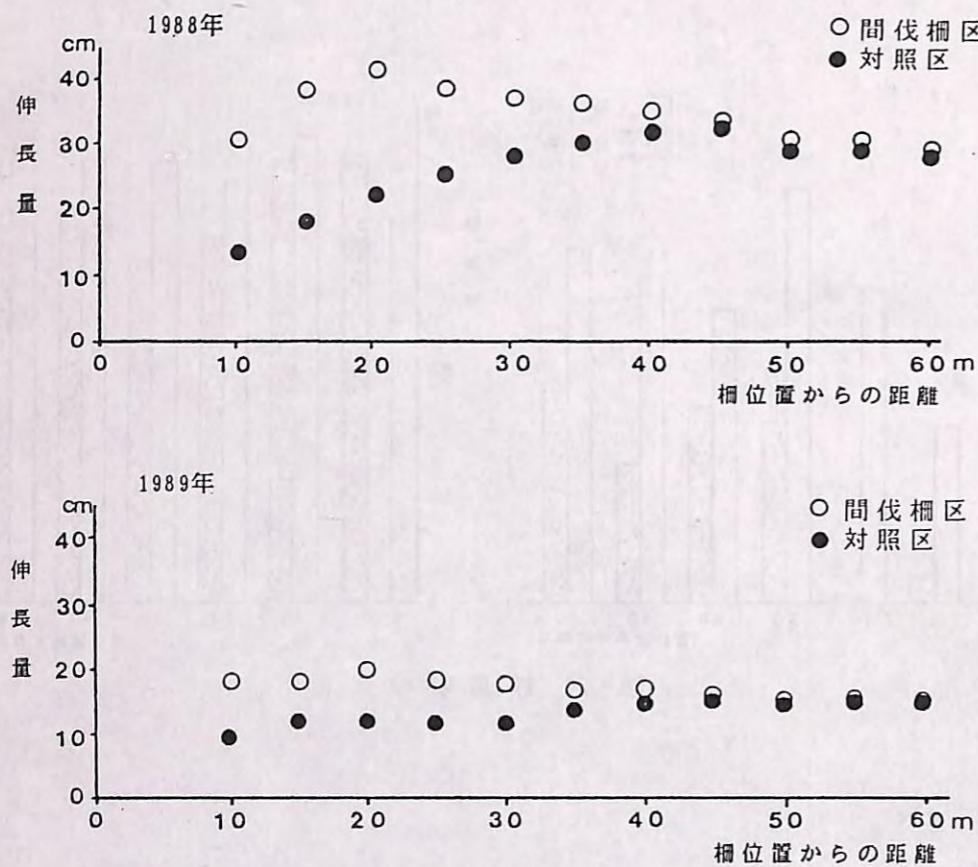


図-24 間伐材防風柵（開脚65度合掌型）とクロマツの伸長量

次代検定林における情報精度の向上

I 試験担当者

生物機能開発部遺伝科集団遺伝研究室

明石孝輝・金指あや子

II 要旨

次代検定林のデータ解析からの情報を、より有効に育種事業に活用するために、その取り扱いに関し技術開発を行った。立地条件により歪められたデータの処理の方法、及び各系統が植栽されるであろう地域を総合した各系統の評価の方法と、その電算機プログラムを開発した。さらに、検定林の植栽材料の成長にともない、調査経費の面から省力が要求されるので必要なデータ数等について考察し、また、省力的な樹高測定についての手法を開発した。今後の設定法に関し、いろいろな条件下に設定された検定林のデータ処理について解説例を示し、情報を提供した。

III 試験目的

多くの次代検定林のなかには部分的もしくは全体として適地の誤り等が原因で、データ収集に問題のある場合がある。また、立地変動の大きい試験地で、適切な系統配置が行われていないときには、各系統の諸形質の平均値に歪みを与える。このようなデータを用いて各系統の評価を行っても、これら種苗が植栽されるであろう実際の造林地の成績と、かけ離れた結果となり役に立たない。このような場合は、それらのデータの取捨選択や修正等を行わなければならない。また、系統評価は1検定林のみの成績で評価すべきではなく、その系統が植栽されるであろう地域の複数検定林を総合した成績で評価すべきである。したがって、複数検定林を総合した成績で各系統を評価する方法と、その電算機プログラムの開発が必要である。また、省力的な面から必要なデータ数に関する情報や、能率的な樹高測定についての手法が必要である。以上のような問題点について、林木育種場や近県の協力を得て技術開発を行った。

IV 試験の方法と結果

1. スギのサシキクローンと立地との交互作用

複数系統の成長比較の良否において、各系統の成長が立地条件が異なることにより違った反応を示す場合は、立地ごとに各系統を植え分ける必要がある。立地条件の良否は植栽

地の違いにもとづく場合と、1植栽地内において生じる場合がある。1植栽地内での各系統の立地に対する反応量が小さいときは、1検定林内で立地の違いにこだわることなくデータ収集を行ってもよく、また、あらゆる立地条件下に満遍なく植栽する必要もない。各系統の立地に対する反応量の相対的な大きさは、統計的に系統と立地の交互作用の大きさで示される。しかし、この値は一般の次代検定林で設定されている乱塊法のデータからは算出できない。このため神奈川県に設定されている単木混交植栽のスギクローン検定林のデータを用いて検討した。

1) 材料と方法

データは神奈川県足柄上郡松田町寄に1976年5月に設定された関・神4号検定林から得た11年の成長期間を経た樹高である。土壌は森林褐色土（B_o型）である。表1に各クローン名と植栽本数とデータ数を示した。

2) 結果及び考察

表1のクローン別平均値にみられるとおり、最高の成長を示したのは中5号の671.1cmで、最低は丹沢5号の298.6cmであり、その差は大きく前者は後者の2倍に達し、クローン間差は統計的に有意であった（表2）。検定林内に大きな立地差が認められたので、現地の踏査結果と、図面上に記載されたデータの大きさにもとづき、検定林内の立地区分を行った。その結果、3ブロックに立地区分された。各ブロックごとのデータ数が2個以上得られた34クローンを対象として立地によるクローンの成長反応の違いについて分析した。ブロック別平均値はブロック1が525.9cm、ブロック2が543.5cm、ブロック3が419.7cmであり、ブロック3が他の2ブロックよりも100cm以上も小さかった。立地とクローンの交互作用は、立地ごとのクローン別データ数が同一であれば、個々のデータを用いて副次級のある2元分類の分散分析で求められる。しかし、一定でないので、第一段階としてブロックごとクローン別平均値（プロット平均値）をデータとして2元分類の分散分析を行った。結果は表3のとおりであり、当然であるが主効果の立地とクローンは有意であった。この分散分析の誤差が、立地とクローンの交互作用に相当する。なお、この誤差の平均平方の期待成分には、いわゆる交互作用分散と、プロット内個体分散のプロット内データ数分の1を含む。したがって、この誤差を交互作用として検定するためには、別途、プロット内個体分散と、プロット内のデータ数代表値を求めなければならない。前者は3ブロックと34クローンで区分された要因、いわゆるプロットを要因とした分散分析の誤差として求めることができる。後者はブロックごとクローン内のデータ数の調和平均値である。求めたプロット内個体分散と、データ数の調和平均値は表3の下に示した。交互作用の有意性は、前述の理由からプロット内個体分散をデータ数代表値で割った値を用いて検定される。検定結果のF値は表3に示すとおり1.386であり有意ではなかった。このように統計的に交互作用は有意ではなかったが、存在すると仮定した場合の大きさを、交互作用分散の寄与率で検討した。表3の平均平方の期待成分に従い求めた結果、クローン間分散37.

2%，プロット内個体分散59.5%，交互作用分散3.3%であり、交互作用分散の寄与は極めて小さいことが明かであった。さらに、ブロックごとのクローン平均値で、ブロック相互の相関図を見ることにより、各クローンの立地に対する成長反応の違いを確かめた（図1）。ブロック1とブロック2の相関係数0.852、ブロック1とブロック3の相関係数0.690、ブロック2とブロック3の相関係数0.839であり、ブロック1とブロック3の相関係数0.690がやや小さい値であった。この理由は、図1のブロック1とブロック3の相関図に見られる通り、ブロック1で最小の平均値を示したクローンがブロック3では、それほど小さい値でなったことに原因がある。しかし、このクローンのブロック1におけるデータは、2個のデータの平均値として得られたものであり信頼性が低い。そこで、このデータを除いて相関係数を求めると0.806となり、他の2者と大差ない値となる。以上のことから立地とクローンの交互作用は極めて小さいと判断された。

（明石孝輝・金指あや子）

2. 系統あたりの必要標本数

母樹家系ごとやクローンごとに最少限何個のデータがあれば、目的とする精度で平均値を得ることができるか、調査労力の面から等、問題とされる。スギクローンの単木混交植栽の場合の2例と、スギ母樹家系の乱塊法植栽の1例について検討した結果について述べる。

1) スギサシキクローンの単木混交植栽の場合

(1) 材料及び方法

単木混交植栽の場合の第1の例は前項で述べた材料である。第2の例は神奈川県津久井郡藤野町牧野姫松1298に1983年に設定された関・神・9号検定林の6年の成長期間を経た樹高である。この検定林には精英樹のサシキクローンの他、自然受粉家系が植栽されている。表4に各系統名と、クローンと家系のそれぞれについての個体数を記載した。

(2) 結果及び考察

標本数は各系統の平均値をどの程度の精度で推定するかということと、平均値を得る際の各データのばらつきの大きさで定まる。クローン平均値に関し第1の例についてまず検討する。クローンごとの平均値をx、必要とする信頼度に相当するt表の値をtとし、データのばらつきをあらわす誤差分散を σ_e^2 とすれば、平均値xの信頼区間は次式であらわされる。

$$x = t \sqrt{\sigma_e^2 / n}$$

この平均値の95%信頼区間を、どの大きさの範囲におさめるかの値をeとして相当するnの値を求めれば必要な標本数となる。

$$n > t^2 \sigma_e^2 / e^2$$

この式においてtには近似的に2を用いるので、標本数を決定するための一般式は次の

となりとなる。

$$n > 4 \sigma^2 / e^2$$

誤差分散は表2の誤差の平均平方が該当するので、平均値の95%信頼区間を、どの大きさの範囲におさめるかの値eを定めれば標本数nは決定される。このeの値は、育種を実行する人が必要に応じ任意に定めればよい。例えば、検定林全体を通じて樹高が約500cmであったから、その10%の範囲の50cmをeの値とすれば、

$$n > 4 \times 13913.6 / 50^2$$

$$n > 23$$

となり、23データ以上でよいことになる。

立地の比較的均一な検定林における誤差分散は、表3の下に示した立地ごとクローン内の個体分散が、その1例として該当する。この値で同様にして標本数を求めるとき、

$$n > 4 \times 10733.316 / 50^2$$

$$n > 17.17$$

となり、立地条件の比較的均一なところでは18データでよいことになる。

以上は、各クローンの平均値の信頼区間を基準において考えた。しかし、クローン平均値間の差を有意水準5%で検出しようすれば、差の分散は、元の分散の2倍となることから、必要な標本数も2倍となる。したがって、立地変化の大きいところでは46データ以上、立地の比較的均一な検定林では36データ以上となる。

第2の例（表4）は6成長期間のデータでクローン平均値は217.6cmであった。この分散分析の結果は表5のとおりであり、誤差の平均平方は3567.202である。前例と同様に、平均値の95%信頼区間を、その約10%の範囲22cmでよいとして標本数を試算すると、

$$n > 4 \times 3567.202 / 22^2$$

$$n > 29.5$$

であり、必要標本数は30データとなり、前例よりもやや大きい値となる。これは前例で平均値の95%信頼区間を平均値の10%である50cmとしたのに対し、今回の例では平均値が小さく、その10%の22cmとしたためである。後者の例では成長量の増大にともない今回の22cmは、もっと大きい値になるから必要標本数は減少する。なお、標本数を増加させるほど誤差分散も成長量の増大にともない大きくなるが、成長量と比例するほど大きくはならない。また、この第2の例でも立地区分を考慮すると必要標本数は減少する。

2) スギの実生家系の単木混交植栽の場合

(1) 材料及び方法

材料は前項の第2の例に示した（表4）。標本数の試算の方法についても、これまでの場合と同様である。

(2) 結果及び考察

全家系を通ずる平均値は、307.7cmであり、分散分析表は表6のとおりであり、誤差分

散は5087.355である。前例と同様に、平均値の95%信頼区間を、その約10%の範囲31cmでよいとして標本数を試算すると

$$n > 4 \times 5087.355 / 31^2$$

$$n > 21.17$$

であり、必要標本数は22データとなる。この値は、前述した同じ検定林に植栽されたクローンの場合の必要標本数の30データよりも小さく矛盾する。この理由は、平均値の95%信頼区間の許容範囲をサシキクローンの場合の22cmより大きい、平均値307.7cmの10%，31cmとしたためである。すなわち、実生家系の場合もクローンの場合と同様に許容範囲を22cmとすれば、必要標本数は43データとなり、サシキクローンの場合よりも大きい数となる。以上の例では、平均値の95%の信頼区間の許容範囲を、得られるであろう平均値の10%として試算した。しかし、この値に根拠があるわけではなく、その大きさは育種実行上で、必要に応じ定めるべき値である。

3) スギの実生家系を乱塊法植栽した場合

(1) 材料及び方法

1986年に千葉県夷隅郡大多喜町に設定された関・千・3号検定林の5年生時のデータを用いた。反復は斜面の上下に区分されており、乱塊法として反復間変動を大きく誤差を小さくすることを配慮した理想的配置である。植栽材料は精英樹の24家系とクモトオシ、キジン、トミスギ、ジスギの在来種である。表7に各系統名と反復ごとのデータ数を示すが、系統によってはデータ数が2個と極めて少ないものある。

(2) 結果及び考察

反復ごと系統別平均値（プロット平均値）をデータとして分散分析した結果、表8に示すように、系統間差は樹高、胸高直径とともに有意でなかった。この理由として、斜面と直角方向の立地変化が、反復内のプロット間変動を大きくしたことが考えられる。そこで、各反復について立地変化に関してのデータ修正を行った。方法は、植栽配置の一方の端に基点をとり、その点から各プロットまでの距離を説明変数として、各プロット平均値を従属変数とした重回帰式¹⁾で各プロットについての立地効果を推定した。この推定値と実際のプロット平均値との差を、そのプロットの効果として修正値を得た。しかし、有意な重回帰式が得られ、それを用いて修正したにもかかわらず修正後のデータについての系統間差は認められなかった。

系統間差の認められなかつたもう一つ理由として、プロットごとのデータ数の不足が考えられる。そのことを明らかにするためにプロット平均値をデータとして、反復間の相関図を作成しデータ数の影響を調べた。樹高の例を図2に示すが、三角印のついたものは、3反復を通じ10個以下のデータのあった系統であり、四角印のついたものは、同様の考え方で11以上20個未満のデータのあった系統、丸印は20個以上の系統である。同図を通して明瞭なようにデータ数の少ない系統ほど反復によるばらつきが大きい。ただし、丸印

とおりとなる。

$$n > 4 \sigma^2 / e^2$$

誤差分散は表2の誤差の平均平方が該当するので、平均値の95%信頼区間を、どの大きさの範囲におさめるかの値eを定めれば標本数nは決定される。このeの値は、育種を実行する人が必要に応じ任意に定めればよい。例えば、検定林全体を通じて樹高が約500cmであったから、その10%の範囲の50cmをeの値とすれば、

$$n > 4 \times 13913.6 / 50^2$$

$$n > 23$$

となり、23データ以上でよいことになる。

立地の比較的均一な検定林における誤差分散は、表3の下に示した立地ごとクローン内の個体分散が、その1例として該当する。この値で同様にして標本数を求めるとき、

$$n > 4 \times 10733.316 / 50^2$$

$$n > 17.17$$

となり、立地条件の比較的均一なところでは18データでよいことになる。

以上は、各クローンの平均値の信頼区間を基準において考えた。しかし、クローン平均値間の差を有意水準5%で検出しようすれば、差の分散は、元の分散の2倍となることから、必要な標本数も2倍となる。したがって、立地変化の大きいところでは46データ以上、立地の比較的均一な検定林では36データ以上となる。

第2の例（表4）は6成長期間のデータでクローン平均値は217.6cmであった。この分散分析の結果は表5のとおりであり、誤差の平均平方は3567.202である。前例と同様に、平均値の95%信頼区間を、その約10%の範囲22cmでよいとして標本数を試算すると、

$$n > 4 \times 3567.202 / 22^2$$

$$n > 29.5$$

であり、必要標本数は30データとなり、前例よりもやや大きい値となる。これは前例で平均値の95%信頼区間を平均値の10%である50cmとしたのに対し、今回の例では平均値が小さく、その10%の22cmとしたためである。後者の例では成長量の増大にともない今回の22cmは、もっと大きい値になるから必要標本数は減少する。なお、標本数を増加させるほど働く誤差分散も成長量の増大にともない大きくなるが、成長量と比例するほど大きくはならない。また、この第2の例でも立地区分を考慮すると必要標本数は減少する。

2) スギの実生家系の単木混交植栽の場合

(1) 材料及び方法

材料は前項の第2の例に示した（表4）。標本数の試算の方法についても、これまでの場合と同様である。

(2) 結果及び考察

全家系を通ずる平均値は、307.7cmであり、分散分析表は表6のとおりであり、誤差分

散は5087.355である。前例と同様に、平均値の95%信頼区間を、その約10%の範囲31cmでよいとして標本数を試算すると

$$n > 4 \times 5087.355 / 31^2$$

$$n > 21.17$$

であり、必要標本数は22データとなる。この値は、前述した同じ検定林に植栽されたクローンの場合の必要標本数の30データよりも小さく矛盾する。この理由は、平均値の95%信頼区間の許容範囲をサシキクローンの場合の22cmより大きい、平均値307.7cmの10%，31cmとしたためである。すなわち、実生家系の場合もクローンの場合と同様に許容範囲を22cmとすれば、必要標本数は43データとなり、サシキクローンの場合よりも大きい数となる。以上の例では、平均値の95%の信頼区間の許容範囲を、得られるであろう平均値の10%として試算した。しかし、この値に根拠があるわけではなく、その大きさは育種実行上で、必要に応じ定めるべき値である。

3) スギの実生家系を乱塊法植栽した場合

(1) 材料及び方法

1986年に千葉県夷隅郡大多喜町に設定された関・千・3号検定林の5年生時のデータを用いた。反復は斜面の上下に区分されており、乱塊法として反復間変動を大きく誤差を小さくすることを配慮した理想的配置である。植栽材料は精英樹の24家系とクモトオシ、キジン、トミスギ、ジスギの在来種である。表7に各系統名と反復ごとのデータ数を示すが、系統によってはデータ数が2個と極めて少ないものある。

(2) 結果及び考察

反復ごと系統別平均値（プロット平均値）をデータとして分散分析した結果、表8に示すように、系統間差は樹高、胸高直径とともに有意でなかった。この理由として、斜面と直角方向の立地変化が、反復内のプロット間変動を大きくしたことが考えられる。そこで、各反復について立地変化に関するデータ修正を行った。方法は、植栽配置の一方の端に基点をとり、その点から各プロットまでの距離を説明変数として、各プロット平均値を従属変数とした重回帰式¹⁾で各プロットについての立地効果を推定した。この推定値と実際のプロット平均値との差を、そのプロットの効果として修正値を得た。しかし、有意な重回帰式が得られ、それを用いて修正したにもかかわらず修正後のデータについての系統間差は認められなかった。

系統間差の認められなかつたもう一つ理由として、プロットごとのデータ数の不足が考えられる。そのことを明らかにするためにプロット平均値をデータとして、反復間の相關図を作成しデータ数の影響を調べた。樹高の例を図2に示すが、三角印のついたものは、3反復を通じ10個以下のデータのあった系統であり、四角印のついたものは、同様の考え方で11以上20個未満のデータのあった系統、丸印は20個以上の系統である。同図を通して明瞭なようにデータ数の少ない系統ほど反復によるばらつきが大きい。ただし、丸印

中の西畠 1 号のみは、データ数の多いグループに入るが反復間のばらつきが大きく立地変化に特異の反応を示す系統である可能性もある。データ数の少ない系統を順次除去しながら分散分析を行った結果、系統変動の寄与は逐次大きくなり（表 9）、データ数不足が原因で系統間差を見いだせなかつた大きい理由であることが明らかにされた。また、そのため重回帰式による立地修正の効果が認められなかつたことも理解される。すなわち、重回帰式による立地修正は検定林内の立地変化の影響を取り除くものであり、データ数の不足、いいかえれば、標本抽出誤差に対しては無関係であるためである。

乱塊法における系統平均値の標準誤差は反復数 r 、プロット内個体数 n 、プロット間分散 σ_p^2 、プロット内個体分散 σ_e^2 とすれば次式であらわされる。

$$s_x = \sqrt{\sigma_p^2 / r + \sigma_e^2 / (r n)}$$

この式から系統平均値の 95% 信頼区間を、どの大きさの範囲におさめるかの値を e として相応する反復数 r とプロット内個体数 n を求める式が得られる。なお、試験地設定時においては、プロット間分散 σ_p^2 、プロット内個体分散 σ_e^2 は未知であるから、別の試験で得られたデータから推定して用いなければならない。

$$e > t^2 \sigma_p^2 / r + t^2 \sigma_e^2 / (r n)$$

すなわち、この式により許容範囲の e より小さくなる r と n を求めればよい。同式にみられるとおり、プロット内個体分散 σ_e^2 は反復数 r とプロット内個体数 n の積で割られるのに対し、プロット間分散 σ_p^2 は反復数 r で割られるのみながら、平均値のばらつきに与える影響は、一般的にはプロット間分散のほうが大きい。しかし、本例のように、あまりにもデータ数の少ないプロットの存在する場合は、プロット内個体数の影響が生じる。

なお、このようにプロット内の個体数の不足による影響の生じる現象は、クローンを植栽した乱塊法では生じにくい。すなわち、クローンの場合のプロット内の個体変動は、実生家系と異なりプロット内のミクロな環境変動のみであり、遺伝変動が加わらないためである。以上のように、実生家系の場合の 1 プロット内のデータ数は 20 個以上が望ましい。

（明石孝輝・金指あや子）

3. 同一母樹群の実生家系の成長とサシキクローンの成長の関係

1) 単木混交植栽による検定林の場合

(1) 材料及び方法

各精英樹を実生苗木とサシキ苗木で植栽した場合、両者とも成長の順位は大きく変わらないだろうと予想されている。このことについて、前述した同一精英樹群についての自然受粉家系とクローンを単木混交植栽した表 4 の関・神・9 号検定林のデータで検討した。同表に示した植栽系統に家系とクローンを併記してあるものの中からデータが、それぞれ 3 個以上得られたものを用いた。

（2）結果及び考察

同一母樹から実生家系とサシキクローンが得られた 20 組についてクローン平均値を X 軸に、実生家系平均値を Y 軸にとり散布図を示した（図 3）。相関係数は -0.044 で無相関とみなされる。しかし、特に実生とクローンで飛び離れた値を示す足柄下 9 号を除いて相関係数を求める 0.173 となる。このような相関係数は、植栽材料が無作為集団の場合は、その 2 倍の値が狭義の遺伝率に相当する。この試験での 2 倍値 0.346 は、これまで報告された狭義の遺伝率の大きさと比較し小さいとはいえない。しかし、足柄下 9 号のような精英樹は他にも存在するであろうから、精英樹系統のクローンもしくは実生家系としての評価は、やはり独立して行うべきである。

実生家系とサシキクローンの成長の違いは、相加的遺伝効果が小さい場合の他、次のようなことが考えられる。実生家系の成長を歪める原因に劣性主働遺伝子の関与がある。また、サシキクローンの成長を歪める原因にサシキ発根性の良否がある。さらに、この発根性の良否とも関係するが、サシキクローンが実生家系よりもサシキから出発し育苗されたので樹齢が高いという問題点がある。

（明石孝輝・金指あや子）

4. データの精度向上

一般の次代検定林は乱塊法で設定されているが、この方法の原則は、前述したようにマクロな立地変動を、反復間変動として取り除き誤差変動を小さくすることにより、系統間差の検出精度を高めることをねらいとしている。しかし、林内試験地における立地変化は複雑であり、設定時に反復間に生じるであろうと予想した立地変化が生じず、予想外の立地差が調査時に明らかになることがある。この場合、立地変化が漸次生じている際のデータ修正には、重回帰式による方法がある。その適用によりデータの精度向上が顕著であった 1 例について述べる。また、立地変化が不連続な場合に用いる方法として、乱塊法として予定した反復内をさらに区分して反復数を増加させた形で分析した結果、精度向上が認められた 1 例を示す。

1) スギサシキクローンの乱塊法植栽の場合

(1) 材料及び方法

材料は熊本局熊本営林署桜ヶ水国有林 5 い林小班に設定された熊本署第 4 スギ次代検定林のスギサシキクローンの樹高についての 10 年生時のデータである。この検定林は乱塊法として、反復を斜面の上下にとり、マクロな立地変動が取り除けるように配置した。しかし、反復以外にもマクロな立地変動が生じることが予測されたので、その変動を取り除くことができるよう、乱塊法の植栽区を挟んで単木混交植栽の立地修正区が配置された。すなわち、図 4 に示すように乱塊法として大きさ 5 行 × 5 列 = 25 本の各プロットを斜面上下に積み重ね、それらを挟む形で立地の影響を捉え、データを修正できるように 5 列ずつ

の単木混交の列が配置されている。漸次変化している立地の影響を推定する重回帰式は次のように求めた。

単木混交の列も図面上で両隣の乱塊法のプロットの大きさにあわせ、5行×5列に区分し平均値を求める。この平均値群（以下、単木混交のプロットと呼ぶ）と乱塊法の各プロット平均値は、図面上で列方向と行方向に隙間なく並べられた形となる。この全プロットに行方向と列方向に左下から順次番号を与える。各プロット平均値に影響を与えている行方向や列方向等に漸次変化している立地変化は、この番号と、その2者によってつくられる斜め方向の番号を説明変数として、各プロット平均値を従属変数とした重回帰式で推定する。推定値と実測値の差が、マクロな立地効果を取り除いた、当該プロットのミクロな環境効果を含むクローンの効果である。乱塊法として植栽されたクローン名とクローン別プロットごとのデータ数は表10のとおりである。なお、単木混交として植栽された材料は、乱塊法として植栽された材料と同じクローンを混交したものであるが、データ数等についての説明は省略する。

（2）結果及び考察

立地変化を捉るために得られた重回帰式は次のとおりである。

説明変数としてプロット配置における行番号 X_1 及び列番号 X_2 の他、プロット配置の左下から右上への斜め方向にランクされた番号 X_3 、右下から左上への斜め方向にランクされた番号 X_4 、さらに、それら4方向へ曲線的な変化を推定するものとして2次項から4次項を取り入れ、回帰分析を行い残差平方和が最小となる重回帰式を求めた。この重回帰式は表11に示すように統計的に有意であり、得られた重回帰式は次のとおりである。

$$Y = -29.13329X_1 + 8.51388X_1^2 - 1.08322X_1^3 + 0.04611X_1^4 + 0.83354X_2^2 \\ - 0.05937X_2^3 - 15.77263X_4 + 3.42355X_4^2 - 0.24804X_4^3 + 0.00560X_4^4 + 74.26448$$

なお、この式の算出に際し、説明変数のデータとして入力するものは、各プロット位置に関する行番号 X_1 及び列番号 X_2 だけであり、その他の変数は、プログラムの中で算出されるので入力に際し大きな手間とはならない。式の各項を通覧すれば明らかなように結果的には変数 X_3 に関するものは取り入れられなかった。

修正前後のデータについて求めた分散分析の結果は表12のとおりである。すなわち、修正前に認められなかったクローン間差が、修正後に顕著に認められた。反復ごとのクローン平均値が、修正の前後においてどのように変化したかを知るために、反復ごとのクローン平均値をデータとして反復間の相関関係を求めた結果は図5のとおりである。

図5中に示したように修正前においては反復相互間の相関係数3個のうち、2個までがマイナス相関であった（反復1と反復2の相関係数=-0.049と反復1と反復2の相関係数=-0.308）のに対し、修正後においてはいずれの反復相互間も0.5以上のプラスの相関係数となっている。このように修正の効果は非常に有効であった。

この項では「スギサシキクローンの乱塊法植栽の場合」として述べたが、立地変動を取

り除くための単木混交植栽区を設置していたので一般の乱塊法だけでの場合の結果とは異なる。乱塊法だけへの適用例については、参考文献²⁾を参照願いたい。

2) 亂塊法の反復の再区分による精度向上

（1）材料及び方法

大阪局倉吉営林署大峰国有林58号林小班に設定された関西林木育種場山陰支場管内の西山大第7号検定林を対象とした。この検定林にはスギサシキ40クローンが3反復の乱塊法で植栽されている。その15年生時の樹高と胸高直径のデータを用いた（表13）。図6、7にプロット配置を示した。太線は反復界であり、細線でプロット界を示した。両図内のプロットの中のヒストグラムは樹高及び胸高直径のプロット平均値である。以下に述べる分析は、この各プロット平均値をデータとして行った。両図の中の各反復を破線で区分したのは、現地調査と図面上で判断した立地区分である。後に、この区分により各反復を2分して6反復とみなし分析することとした。

（2）結果及び考察

設定時の3反復の乱塊法として2元分類の分散分析を行った結果は表14のとおりである。樹高、胸高直径ともにクローン間差は有意でない。前述したように、図6、7の太線で示した反復内を立地差の観察から各反復を2分し、反復1を新しく反復1、2、反復2を新しく反復3、4、反復3を新しく反復5、6とした。したがって、新しい6反復においては、各クローンとも、3反復の中に存在するだけで、残りの3反復については必ず欠測となる。したがって、本例の場合、欠測数は実在数と同数の240である。このようなデータには一般的な2元分類の分散分析は適用できない。そのため次に述べる方法で欠測値の補正を行い分析した。

データ X_{ij} を i 反復の j クローンのデータとすれば、その数学的モデルは次式であらわされる。

$$X_{ij} = m + b_i + s_j + e_{ij}$$

この式における m は、全データを通じる平均値であり、 b_i は i 検定林の偏差効果、 s_j は j クローンの偏差効果、 e_{ij} は i 反復の j クローンのデータにともなう誤差である。実在の各データにこのモデルをあてはめ、最小2乗法により変数 b_i と変数 s_j を推定し、各欠測値に該当する b_i と s_j に m を加え補正值を得る。補正後のデータについて参考文献³⁾の方法により分散分析した結果は表15のとおりであり、両形質ともにクローン間差は有意である。また、クローン間分散の全分散に対する寄与率は修正前で樹高9.9%、胸高直径17.5%であり、修正後で樹高43.6%、胸高直径47.6%と向上し、修正効果が明らかである。さらに、誤差の減少率で精度効率をみると樹高308.1%と胸高直径268.6%と向上量が大きい。

データ補正により、6反復したことにより、各クローン平均値も、設定時の3反復で求めた値と異なってくる。はたして、修正によって各クローンの平均値の信頼性が高まっ

たがどうか次の方法により確かめた。

西山大第7号検定林に植栽された40クローンのうち、23クローンは西山大第8号検定林（大阪局川本當林署大峰国有林58ぬ₂林小班）にも植栽されている。この検定林のデータは、クローン間差に有意性が認められており、信頼性が高い（表16）。そこで、ここで得られた修正前後の23クローンの各平均値と、西山大第8号検定林の23クローン各平均値との相関を求めてみた。結果は図8（樹高）と図9（胸高直径）に示すとおりであり、修正後の各クーロンの平均値が、修正前の各クローンの平均値よりも対角線上に集まり、修正により西山大第8号検定林のクローン平均値との相関が向上した。この2検定林間において、いずれか一方の成長量から、一方の成長量を説明する大きさは全変動に対する共変動の寄与率で示されるが、この値は相関係数の2乗である。したがって、樹高で修正前10%、修正後29%、胸高直径で修正前16%、修正後35%と両形質ともに向上し修正効果が顕著に認められた。

（明石孝輝・金指あや子）

5. 三重格子法による次代検定林

前項では乱塊法による次代検定林の反復をさらに区分して、反復数を立地条件に併せて多くすることにより、データの精度向上をはかった。三重格子法は乱塊法の反復の中をあらかじめ立地条件に併せ小区分して設定する方法である。計画的な区分であるため、その計算も最小2乗法によるのではなく、一定の手順により解析される。本文では、開発した三重格子法によるデータ解析の電算機プログラムと、三重格子法により得られた次代検定林データの解析例について述べる。

1) 三重格子法の概要と解析プログラム

9系統を配置する場合の三重格子法の例を図10により説明する。反復は、その名のとおり、必ず3反復である。その中の小区分をブロックとよぶ。反復内ブロック数の2乗が系統数である。図10の反復1（X群）と反復2（Y群）及び反復3（Z群）の相互で次のような関係がある。反復1のブロック1に配置された系統群a, b, cは、反復2及び反復3の各ブロックの中に1系統ずつ必ず配置される。このような関係は、いずれの反復のどのブロックの系統群についても成立する。ただし、図10の系統配置はあくまでも基本配置であり、実際の配置においては、反復内のブロックと、ブロック内の各系統の配置はランダム化しなければならない。ランダム化しない場合は、図10にみられるようにa系統が必ず左上隅に配置されるようになり系統評価が損なわれる。なお、三重格子法は16系統（4×4）、25系統（5×5）、36系統（6×6）等、逐次、系統数を増加できるような基本配置が開発されている。解析用の電算機プログラムはフォートランで作成したが、いずれの配置に対しても適用できる。

（1）データ入力の仕方

a, データの名前

次代検定林の名称や調査年月等、データ識別のための任意名を1行80カラム中に入力する。

b, ブロックごとの系統数の入力

上記例ならば3、その他4, 5, 6等を10カラムに右詰めで入力する。

c, 系統名の入力

各系統名を系統数だけ5カラム中に順次入力する。

d, 系統配置の入力

反復1から反復3までの系統配置に従い、ブロックごとの系統名を入力するが、ブロックごとに改行する。

e, データの入力

各データをdの系統配置に従い同様の順序で入力する。ブロックごとに改行し、入力することも同様である。

（2）印刷される結果

a, 系統名一覧表

b, 系統配置一覧表

c, データ一覧表

d, 乱塊法としての分散分析表

e, 各系統の平均値と三重格子法により修正された系統平均値

f, 三重格子法の分散分析表

g, 三重格子法を行ったことの効率

2) 三重格子法の検定林データについての分析結果

（1）材料

関西林木育種場管内に設定されている三重格子法の6箇所の次代検定林と2箇所の遺伝試験林のデータの分析を行い、精度向上を検討した。各検定林の名称は表17に示した。

（2）結果及び考察

表17に示した効率は、三重格子法による場合の有効誤差分散と乱塊法による場合の誤差分散との比率である。この値の大きいほど三重格子法を用いたことによる有効性の高いことを示す。この中で、最高はヒノキ遺伝子試験林の155.7%で、最小は西大阪7号の101.6%である。この両検定林の効率の差は、反復内のプロット配置の違いによると考えられるので、プロット配置を検証してみた。結果は図11のとおりであり、遺伝子試験林ではブロックごとのプロット平均値が似た大きさであるのに対し、西大阪7号検定林はそうではなくばらばらの大きさの傾向を示している。このように、三重格子法による場合は、反復内の立地変化を、ブロックで区分することにより、ブロック変動として取り除くことが大切である。なお、表17に示した効率と検定結果のF値の大きさの傾向とは一致しない。すなわち、効率の最高であったヒノキ遺伝試験林はF値が1以下であり、これに対し、最低の西

大阪7号検定林のF値は極めて大きい。この理由は、三重格子法においては、検定誤差を減少させるだけでなく、系統平均値を修正するので、その結果として系統間変動が減少する場合があるからである。しかし、一般的には、効率とF値は同時に上昇するものであり、本試験の中でも、西大阪2号、8号、9号、10号がその傾向を示す。

なお、この試験で用いた西大阪3号と西大阪8号のデータについて樹齢は異なるが、重回帰式による立地修正で精度向上を試みた。この結果よりも今回の三重格子法によるほうが多少なりとも精度が向上した。したがって、この方法により設定された検定林データに関しては、三重格子法による分析を適用し、系統検定と同方法により修正された系統平均値を求めるべきと判断される。

(金指あや子・明石孝輝)

6. 複数検定林を総合した系統評価とその電算機プログラム

1) 順位づけの考え方

複数検定林を総合した系統の成長の良否に基づく順位づけには二つの方法がある。その一つは、各検定林ごとに系統の順位づけを行い、その順位を複数検定林として平均し系統の順位とする方法である。もう一つは、検定林ごとに系統別平均値を求め、その値を複数検定林として平均して系統の順位をつける方法である。

両方法とも複数検定林が2検定林であれば問題は生じない。しかし、3検定林以上の複数検定林であると、実際には複数検定林のすべてに各系統が共通して植栽されていないので、順位づけに際し次のような問題が生じる。

前者の方法では、共通系統を多く保有する検定林の下位の順位の数値が、共通系統が少ない検定林の下位の順位の数値より大きくなることにより歪みを生じる。

後者の方法は、大きい平均成長を示す検定林に植栽された系統が、小さい平均成長を示す検定林に植栽された系統よりも有利な順位となる矛盾がある。

以上の欠陥を是正するものとして、次の方法により順位づけを行うこととした。

まず、複数検定林の中で、ある系統が任意の数以上の検定林に植栽されれば系統評価の対象とすることとし、その任意の数を定める。このことにより対象とする系統数が決定されるので検定林と系統との2元表が作成できる。しかし、当然いくつかの欠測値が生じるので、以下に説明する最小2乗法により補正する。

i検定林のj系統のデータを X_{ij} とした場合の数学的モデルを次の線形式であらわす。

$$X_{ij} = m + p_i + s_j + e_{ij}$$

この式におけるmは、データ全体を通じる平均値であり、 p_i はi検定林の偏差効果、 s_j はj系統の偏差効果、 e_{ij} はi検定林のj系統のデータにともなう誤差である。この式を全データにあてはめ、 e_{ij} が最小になるようなmと、検定林ごとに得られる p_i 及び、系統ごとに得られる s_j を求める。各欠測値に該当する p_i と s_j にmを加え補正值を得る。

このようにして完全にデータが揃った状態で、順位づけを行う。なお、順位づけを行う検定林の相互間の系統平均値が、どのように似た成長傾向を示しているかを知るために相関行列を作成する。

2) 電算機プログラム

電算機プログラムは、上述のように、ある任意の数以上の検定林に植栽されている共通系統について、各検定林ごとに順位を求め、それをもとに複数検定林として順位を求める方法と、最小2乗法で補正し、補正後のデータに基づいて順位を求める方法の2種類を用意した。なお、本プログラムは、MS-DOS N88BASICにより作成した（別表3）。

（1）データファイルの用意

プログラム実行の前に、多くの検定林に植栽され、得られたデータを、あらかじめデータファイルとして作成しておく。その内容は次の2種類である。

A. 系統名

検定林に植栽された全ての系統に一連番号をつけ、番号順にその系統名を入力する。

例： "武儀 4"
"南那珂 5"
"新治 2"
"上都賀 115"
"大井 6"
⋮

以下略

B. 測定値

検定林ごとの系統別平均値を系統の一連番号とともに入力する。この場合の入力順序はAで定めた系統の番号順でなくてもよい。検定林と検定林の区切りにはゼロのデータを入力する。この入力順位が検定林の一連番号となる。

例： 1. 15.3 検定林N0. 1 のデータ
2. 12.6
3. 16.0
4. 10.3
⋮
10. 11.8
0. 0 検定林N0. 2 のデータ
1. 14.5
9. 15.0
5. 14.0
7. 14.3

0. 0
 2. 10.3 検定林N0. 3 のデータ
 3. 12.2
 :
 以下略

(2) データの入力

プログラム実行時にキーボードより次のように入力する (■の部分)。

A, 検定林数

前項(1) A のデータファイルで用意した検定林数。

例： 検定林数=? 5

B, 系統数

前項(1) B のデータファイルで用意した系統数

例： 全系統数=? 10

C, 順位づけの対象とする複数検定林の数と検定林の番号

順位づけを行う複数検定林の数を入力し、続いて該当する検定林の番号を入力する。

例： 順位づけ対象検定林数=? 4

検定林N0.=? 1

検定林N0.=? 2

検定林N0.=? 4

検定林N0.=? 5

D, データの出現回数

順位づけを行う複数検定林の中で何回以上出現した系統を順位づけの対象とするかを任意に定めた数。

例： 共通系統の最低組数=? 3

(3) 印刷される結果

a, 検定林ごとに系統に順位をつけたデータの一覧表

全ての検定林について系統順位をつけて表示するか、任意の検定林について系統順位をつけて表示するか2種類があるので選択する。別表1は全検定林の一覧表の出力例、別表2は、検定林N0. 1とN0. 4を検定林ごとに出力した例である。

b, 検定林相互間の相関行列

複数検定林の中の各検定林の系統別データによる検定林相互間で求めた相関行列を出力する。なお、相関係数は、2つの検定林間で共通する系統のデータについて求め、その時の共通系統の数を()内に併記して出力する(別表1)。

C, 複数検定林における系統の順位

前述のとおり、2種類の順位づけがあるので選択する。

その一つは、各検定林の系統順位をもとに単純に複数検定林として求めた順位である(別表1)。ここでは、対象とする複数検定林の中で、任意に定めた数以上に出現する共通系統について改めて検定林ごとに順位づけを行い、さらにそれらの複数検定林を通じた平均値より総合して、系統順位を求める。したがって、プログラムのはじめで出力される検定林ごとの系統順位を直接平均して求めた順位とは異なる。

もう一つは最小2乗法による補正值より求めた順位である。この方法による場合は、補正前後のデータ一覧表と、複数検定林を総合した系統順位、及びそれらの系統平均値が出力される(別表2)。

なお、別表1、2の出力例はいずれも、テストデータの検定林N0. 1, 2, 4, 5を対象とし、系統が共通して出現する検定林の数を3以上とした場合の結果である。このように同じデータで同じ条件であっても、順位による場合と補正值を加えて得た平均値による場合で、系統の総合順位は若干異なる。

(金指あや子・明石孝輝)

7. 樹高の能率的な測定法

検定林の設定後の年数経過とともに樹高測定に多大の労力を必要としている。樹高測定には一般に測桿やブルーメライスで行われている。測桿による方法は、実測に近いことから測定精度が高く能率もよいと考えられるが、実際には、測桿と梢端を平行的に眺める位置を捜すのに手間がかかり、見る方向により相当に大きい誤差を生じる。また、ブルーメライスによる方法は、根元と梢端を測定する位置が制約されるので、その位置を捜すのに手間がかかり、測定木の位置までの距離測定も正確ではない。このようなことから、根元と梢端さえ見えさえすれば、どこからでも測定できる方法を先に報告した⁴⁾。しかし、この方法では、測定木と測定位置との水平斜距離は必要ではないが、その斜距離を測る必要があった。今回の方法はこの距離測定を省略できるように改良した。

1) 方法及び結果

測定木と測定位置との水平斜距離を省略する手だてとして、測定木のところに、基準となるポールを立てる。測定木と高さが既知であるポールを同じ位置から測定することにより測定木の高さを換算して求める。

図12にもとづいて説明すると、測定位置からの根元をみた俯角(θ)、基準ポールをみた仰角(α)、測定木の梢端をみた仰角(β)及び、測定の必要はないが、測定位置から測定木までの距離 ℓ 、基準ポールの高さ p 、樹高の水平線からの高さ差 h_2 として、以下に説明するように最終的に(5)式により3個の角度 α , β , θ により樹高が算出できる。

$$\tan \alpha = (p - h_1) / \ell$$

$$\tan \theta = h_1 / \ell$$

(1) 式と(2)式とから

$$(p - h_1) / \tan \alpha = h_1 / \tan \theta$$

$$\tan \theta + p - \tan \theta \cdot h_1 = \tan \alpha \cdot h_1$$

$$\tan \alpha \cdot h_1 + \tan \theta \cdot h_2 = \tan \theta \cdot p$$

$$h_2 / \tan \beta = h_1 / \tan \theta$$

$$h_2 = (\tan \beta / \tan \theta) h_1$$

(3) 式を代入

したがって樹高 $(h_1 + h_2)$ は 3 式と 4 式から

2) 考察

この測定法は3個の角度 α , β , θ によって決定されるのだから、この角度の測定精度を、どの程度で行えればよいかが問題となる。樹高や基準ポールの高さ及び測定位置までの距離によって異なるが、いくつかの事例をあてはめて試算すると、各角度は0.5度の単位までの測定精度が望ましい。また、測定位置は測定木より斜面上部から行うほうが見やすい。検定林で全数調査を行う場合は、斜面上部へ2列の間を登りながら、下方の両側2個体を測定する。終了したならば次の2列の間を下りながら、下方の両側2個体を測定する。なお、そうでなく下方から上方に向かって測定した場合、根元を見た角度が俯角(θ)ではなく仰角となることが生じるが樹高算出の結果は変わらない。

(金指あや子・明石孝輝)

V まとめ

検定林内の立地とクローンの交互作用の小さかったことと、クローンごとの必要標本数が、比較的少数でよかったことから、単木混交植栽の1検定林でクローン検定を行う場合は、立地変化の少ない箇所を選んでクローンごとに20数個の少數データについて調査すればよいことが示唆される。しかし、実生家系の場合は、クローンが1遺伝子型値を推定するのに対し、多くの遺伝子型の平均値を推定するものであり本質的に異なるので、同様の考えをあてはめることはできない。本試験の結果から、系統平均値の差を検出することを

前提にすれば40数個のデータが必要とされる。また、実生家系を乱塊法で植栽した場合の1プロットごとの標本数は10個以下では、極めて精度の低いことが明らかにされた。

本試験でみられたように実生家系の場合、その平均値に遺伝変動をともなうので家系間差を有意に検出できないことが多くあらわれる。そのような場合には、複数検定林のデータを総合して系統評価に役立てるようしなければならない。

同一母樹群に由来する実生家系とクローンの苗木を植栽したデータにより求めた、両群間の相関は大きくなかった。原因として実生家系への遺伝的寄与（相加的遺伝効果）が小さいことと、サシキクローンと母樹の成長量が異なった発現をすることの2者が考えられるが、現時点では明らかでない。いずれにしても実生家系の検定と、クローン検定は独立して考える必要がある。この同一母樹群の実生家系とサシキクローンの成長の関係については、さらに追試する必要がある。すなわち、もしもサシキクローンの成長に樹齢加算の影響があるとすれば、精英樹の選抜効果にもその部分の修正が必要となる。また、母樹と実生家系の相関の大きさと、母樹とサシキクローンの相関の大きさを相対的に比較し、その結果にもとづき、第2次精英樹の取り扱い等についても検討しなければならない。なお、確かな情報を得るための試験方法としては、ある母樹群から実生家系とサシキクローンを養成し、2者と母樹群との成長を比較し検討すればよい。

乱塊法で設定された検定林で、反復間に生じるであろうと予想した立地変化が、期待どおりに生じないことの例は多い。また、本文で述べたように反復の中が2分されたような変化があったり、また、特定箇所に障害を生じ、データとして適当でないと判断されることがある。反復の中を2分することについては本文で述べたが、後者のデータを取捨選択する事例については、本文では述べなかった。しかし、方法としては、不適当と判断されたデータを除外し、同じように欠測値として最小2乗法で補正して分析すればよい。このようなデータの取捨選択は、調査時に造林地との対応を考えた技術判断にもとづくことが重要である。なお、この試験の中で、修正前後のデータを、他の精度の高い検定林のデータと比較し相当の大きさの相関係数を得た。植栽地の異なる2箇所での相関係数の大きさは、その値が大きい程、クローンと植栽地の交互作用の小さいことを示すものであるが、本試験で得られた値（樹高 $r = 0.534$ 、胸高直径 $r = 0.591$ ）は相当に大きく、地域内の設定すべき検定林数がそれほど多くなくてもよいことを示唆するものであり注目に値する。

乱塊法の間に立地修正区を配置した次代検定林のデータは、本報告に述べた方法を適用し系統評価を行うべきである。もちろん、立地による影響を取り除かなくても充分な精度を持つ場合も考えられるが、その立証は、検定林ごとの平均値をデータとして、検定林相互間の相関係数の大きさから判定できる。

三重格子法による次代検定林は今後の設定に取り入れるべきである。これまで、この方法が利用されなかった原因に、欠測値が生じた場合の補正が困難視されたこともある。しかし、現在では電算機の普及にともないこの問題は解決しているので、今後の検定林の設

定計画では積極的に取入れて差し支えない。

(明石孝輝・金指あや子)

引用文献

- 1) 明石孝輝：重回帰式利用による試験地内のマクロな立地効果の除去、林試研報、280, 47~55, 1976
- 2) 松崎智徳・明石孝輝：次代検定林の反復区分の変更と立地修正によるデータの精度向上、39回日林関東支論、87~88, 1987
- 3) George W. Snedecor & William G. Cochran (畠村又好他共訳) : スネデカー、コクラン統計的方法、546pp. 岩波、東京
- 4) 北村系子・明石孝輝：樹高を能率よく測定する方法、林業技術、NO. 557, 38~40, 1988

表1. 関・神・4号検定林のクローンごとの植栽本数と現存量及び平均樹高

番号	クローン名	植栽本数	本数	平均値 cm	番号	クローン名	植栽本数	本数	平均値 cm
1	足柄上2号	48	44	538.8	20	箱根1号	46	41	475.9
2	足柄上4号	38	33	550.0	21	箱根3号	48	40	563.5
3	足柄下4号*	29	9	346.7	22	箱根4号	27	16	569.4
4	足柄下5号	28	15	450.0	23	津久井1号	47	37	505.1
5	足柄下6号	47	32	605.0	24	津久井2号	48	40	592.8
6	足柄下7号	26	20	519.5	25	津久井3号	47	37	624.9
7	足柄下8号	27	16	383.8	26	三保2号	48	45	553.6
8	足柄下9号	27	11	424.5	27	三保3号*	43	10.	432.0
9	中1号	47	31	416.1	28	三浦1号	28	19	402.1
10	中2号	28	24	449.6	29	三浦2号	39	21	437.1
11	中3号	49	35	497.1	30	丹沢5号	28	14	298.6
12	中4号	29	22	505.9	31	丹沢8号	49	45	535.8
13	中5号	26	18	671.1	32	愛甲1号	27	11	420.0
14	片浦1号*	29	12	344.2	33	愛甲2号	45	36	626.1
15	片浦3号	46	39	552.8	34	与瀬1号	47	39	491.5
16	片浦5号	47	40	549.5	35	与瀬2号	48	32	400.3
17	片浦6号	48	33	571.2	36	与瀬3号	47	43	615.1
18	久野1号	45	36	565.3	37	与瀬4号	47	38	465.8
19	久野2号	46	38	617.6					

注) * : 交互作用の検定に用いなかった

表2. 関・神・4号検定林の単木データによる分散分析表

要 因	自由度	平方和	平均平方	F
クローン	36	6501078.0	180585.5	12.979**
誤 差	1035	14400594.0	13913.6	
全 体	1071	20901672.0		

注) ** : 有意水準1%で差あり

表3. 関・神・4号検定林の立地ごとのクローン別平均値をデータとした分散分析表

要 因	自由度	平方和	平均平方	F	平均平方の期待成分
立 地	2	305193.296	152596.625	70.611 **	$\sigma_e^2/n_0 + \sigma_{de}^2 + 34k_b^2$
クローン	33	734594.261	22260.430	10.301 **	$\sigma_e^2/n_0 + \sigma_{de}^2 + 3\sigma_e^2$
誤 差	66	142631.555	2161.084	1.386	$\sigma_e^2/n_0 + \sigma_{de}^2$
全 体	101	1182419.113			

注) ** : 有意水準1%で差あり

n_0 : 立地ごとクローン別本数代表値 = 6.888

σ_e^2 : 立地ごとクローン内個体分散 = 10733.316

σ_{de}^2 : 立地とクローンの交互作用分散

k_b^2 : 立地効果

σ_e^2 : クローン間分散

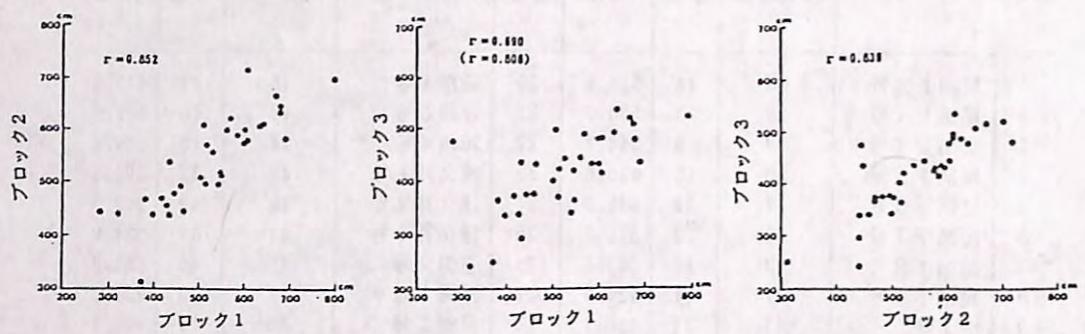


図1. 立地ごとクローン別平均値による立地間の相関

表4. 関・神・9号検定林の系統別の本数と平均値

番号	系統名	サシキ		実生		番号	系統名	サシキ		実生	
		本数	平均値	本数	平均値			本数	平均値	本数	平均値
1	津久井1号	140	202.8	20	342.5	29	中13号	5	135.2	18	281.5
2	津久井2号	77	240.4	0	—	30	足柄下3号	17	166.5	0	—
3	津久井3号	40	229.6	27	340.4	31	足柄下4号	4	125.5	0	—
4	与瀬1号	75	226.5	0	—	32	足柄下5号	58	199.1	0	—
5	与瀬2号	21	201.1	0	—	33	足柄下6号	64	259.4	1	344.0
6	与瀬3号	156	226.6	0	270.0	34	足柄下7号	91	227.5	19	307.4
7	丹沢1号	6	140.3	1	—	35	足柄下8号	0	—	17	313.1
8	丹沢2号	25	219.3	0	—	36	足柄下9号	9	285.9	6	235.3
9	丹沢3号	29	166.4	1	267.0	37	足柄上2号	52	171.8	15	281.6
10	丹沢4号	3	311.7	32	300.1	38	足柄上3号	21	158.3	0	—
11	丹沢5号	5	163.2	0	—	39	足柄上4号	28	199.5	0	—
12	丹沢6号	7	214.9	20	330.0	40	三保2号	15	169.8	10	340.7
13	丹沢8号	7	191.4	0	—	41	三保3号	13	181.9	0	—
14	丹沢10号	1	227.0	16	305.0	42	三保4号	1	272.0	4	327.8
15	丹沢11号	0	—	4	334.8	43	久野1号	55	248.5	20	347.5
16	愛甲2号	108	224.5	36	329.6	44	久野2号	72	241.4	0	—
17	愛甲3号	26	211.6	2	394.0	45	箱根1号	47	176.9	0	—
18	中1号	53	190.4	0	—	46	箱根2号	4	299.0	10	327.1
19	中2号	2	168.5	17	320.9	47	箱根3号	24	206.5	31	265.8
20	中3号	27	232.8	33	304.4	48	箱根4号	71	204.7	10	284.4
21	中4号	5	285.4	12	286.7	49	片浦1号	0	—	13	319.3
22	中5号	29	221.4	1	232.0	50	片浦3号	33	201.5	0	—
23	中6号	24	207.1	0	—	51	片浦4号	5	206.0	0	—
24	中8号	50	234.6	32	285.1	52	片浦5号	62	209.8	0	—
25	中9号	114	269.5	0	—	53	片浦6号	31	191.7	15	305.3
26	中10号	8	180.3	1	222.0	54	三浦1号	8	161.4	28	294.2
27	中11号	6	197.2	33	308.0	55	三浦2号	2	165.0	0	—
28	中12号	0	—	13	281.1	56	丹沢天然	4	195.3	0	—

表5. 関・神・9号検定林のクローンについての分散分析

要因	自由度	平方和	平均平方	F	平均平方の期待成分
クローン	49	1493408.875	30477.730	8.544**	$\sigma_e^2 + k_0 \sigma_c^2$
誤差	1788	6378158.125	3567.202		σ_e^2
全 体	1837	7871567.000			

注) ** : 有意水準 1 % で差あり

σ_e^2 : 誤差分散 (クローン内個体分散)

k_0 : クローンごとデータ数代表値 = 36.02

σ_c^2 : クローン間分散 = 74.710

表6. 関・神・9号検定林の家系についての分散分析

要因	自由度	平方和	平均平方	F	平均平方の期待成分
家系	27	303249.062	11231.445	2.208**	$\sigma_e^2 + k_0 \sigma_s^2$
誤差	485	2467367.937	5087.355		σ_e^2
全 体	512	2770617.999			

注) ** : 有意水準 1 % で差あり

σ_e^2 : 誤差分散 (家系内個体分散)

k_0 : 家系ごとデータ数代表値 = 18.13

σ_s^2 : 家系間分散 = 338.891

表7. 関・千・3号検定林の家系名とプロットごとのデータ数

番号	家系名	データ数			番号	家系名	データ数		
		反復1	反復2	反復3			反復1	反復2	反復3
1	東1号	30	26	33	15	駿沢9号	18	24	26
2	千倉1号	51	34	37	16	上都賀7号	61	60	50
3	勝浦1号	7	3	5	17	北会津1号	19	23	24
4	鬼沼2号	25	29	31	18	北設楽1号	24	20	15
5	鬼沼5号	42	43	44	19	久慈8号	30	30	27
6	鬼沼6号	7	5	7	20	西多摩1号	24	17	14
7	鬼沼7号	17	16	18	21	西多摩5号	8	9	5
8	鬼沼8号	24	24	21	22	岡崎1号	51	42	46
9	北三原3号	16	18	16	23	下水内2号	18	18	16
10	西畠1号	35	36	23	24	天竜17号	11	2	10
11	周南3号	22	33	27	25	キジン	18	18	12
12	安部4号	10	11	9	26	クモトオシ	9	9	10
13	東加茂2号	26	31	22	27	トミスキ	34	29	37
14	飯山10号	6	5	9	28	ジスキ	86	80	72

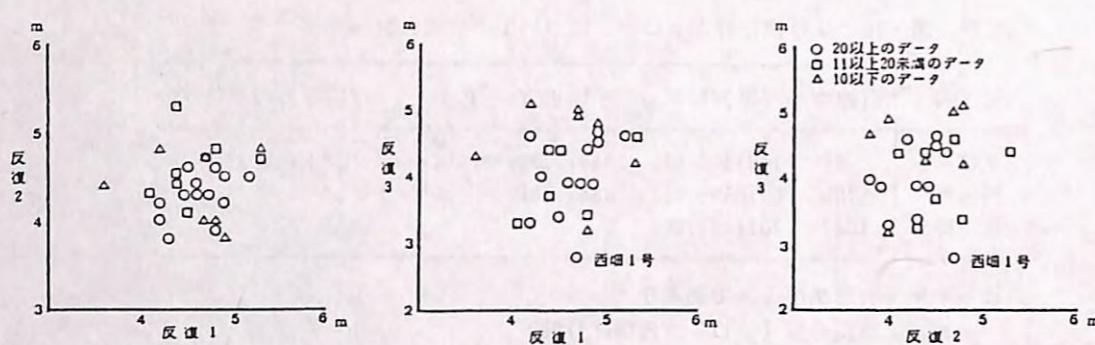


図2. 反復ごとクローナ別平均値による反復間の相関

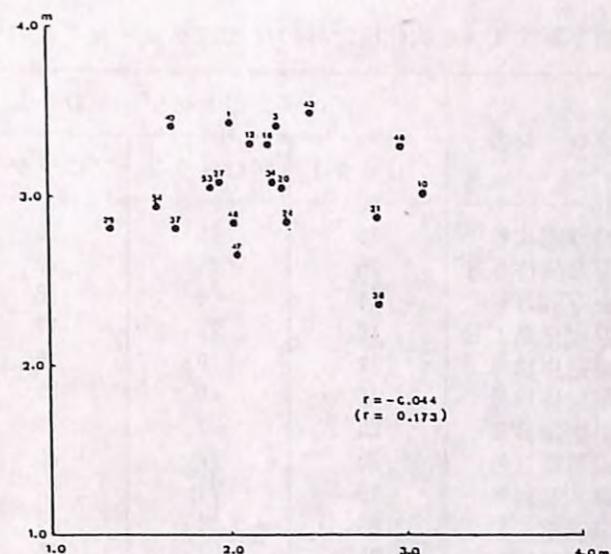


図3. クローナ別平均値と実生家系平均値との相関

表8. 関・千・3号検定林の樹高と胸高直径についての分散分析

要因	自由度	樹高		胸高直径		平均平方の期待成分		
		平方和	平均平方	F	平方和	平均平方	F	
反復	2	3.113	1.556	8.570	45.233	22.616	27.356	$\sigma_e^2/H_e + \sigma_p^2 + 28K_R^2$
家系	27	6.827	0.253	1.392	16.502	0.611	0.739	$\sigma_e^2/H_e + \sigma_p^2 + 3\sigma_s^2$
誤差	54	9.807	0.182		44.644	0.827		$\sigma_e^2/H_e + \sigma_p^2$
全体	83	19.747			106.378			

注) σ_e^2 : プロット内個体分散 (樹高0.561、胸高直径2.163)

H_e : プロットごとデータ数代表値 (14.27)

σ_p^2 : プロット間分散 (樹高 $0.182 - 0.561 / 14.27 = 0.143$ 、胸高直径 $0.827 - 2.163 / 14.27 = 0.675$)

σ_s^2 : 家系間分散

K_R^2 : 反復効果

表9. 関・千・3号検定林の樹高と胸高直径についての各変動の寄与率 (%)

形質	樹高			胸高直径			
	データ区分	反復	家系	誤差	反復	家系	誤差
全データ	13.9(12.0)	9.7(14.3)	76.4(73.7)	41.0(40.1)	0.0(0.0)	59.0(59.9)	
10以下のデータを除外	25.5(23.2)	15.0(22.9)	59.5(53.9)	57.6(56.8)	4.6(6.9)	37.8(36.3)	
20以上のデータのみ	28.3(28.2)	14.0(29.4)	57.7(42.4)	60.8(62.0)	8.6(14.0)	30.6(24.0)	

注) : () 内は西畠1号 (No10) のデータを除外した場合

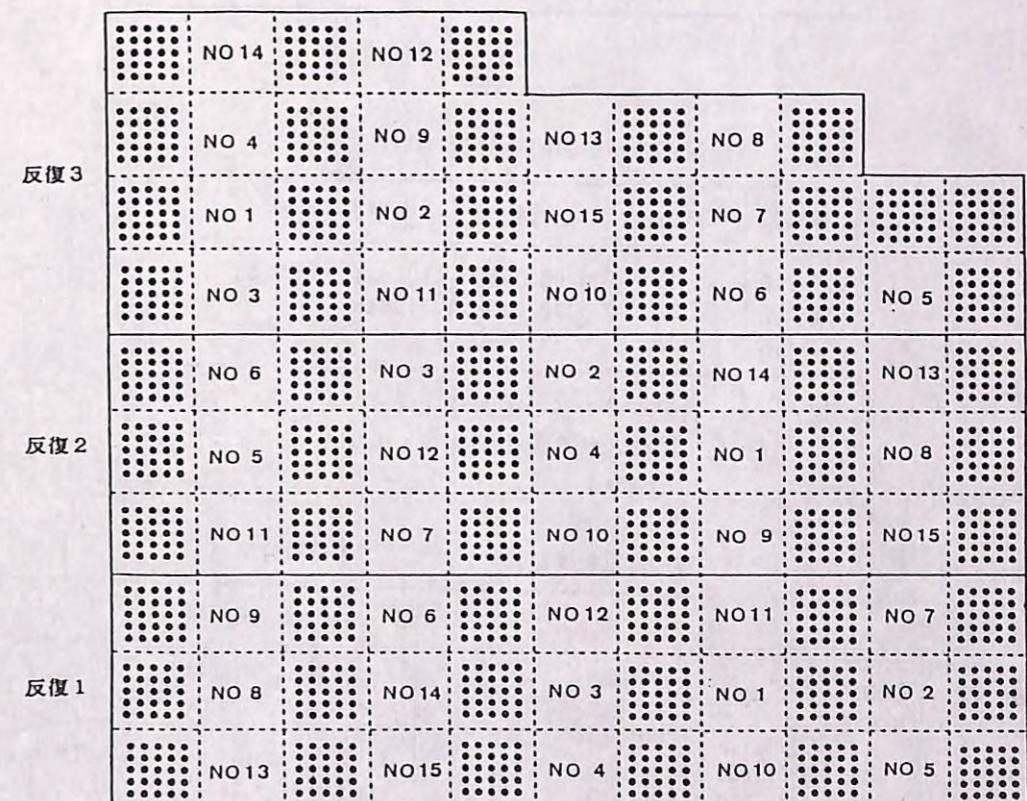


図4. 乱塊法と立地修正区の単木混交区の配置
(実線は反復界、点線はプロット界を示す)

表10. 熊本署第4スギ次代検定林の反復別クローンごとのデータ数

番号	クローン名	ブロックごとのデータ数		
		ブロック1	ブロック2	ブロック3
1	県浮羽4号	25	25	25
2	県西白杵5号	20	21	22
3	県浮羽8号	24	9	18
4	県鹿児島1号	19	22	17
5	県姶良14号	22	6	9
6	県白杵12号	12	25	25
7	県唐津8号	25	23	25
8	県日南3号	20	22	25
9	県八女10号	25	21	13
10	県三重1号	25	24	24
11	県東白杵5号	25	23	25
12	高岡署1号	22	13	21
13	福岡署2号	21	22	25
14	県阿蘇1号	25	25	23
15	県肝属1号	20	21	25

表11. 立地修正のための回帰分析

要因	自由度	平方和	平均平方	F
回 帰	10	6108.3052	610.831	17.530**
残 差	91	3170.9358	34.845	
全 体	101	9279.2410		

注) ** : 有意水準 1 % で差あり

自由度で調整された重相関係数 = 0.811

表12. 熊本署第4スギ次代検定林の修正前後のデータについての分散分析

要因	自由度	修 正 前			修 正 後		
		平方和	平均平方	F	平方和	平均平方	F
反 復	2	270.125	135.063	1.269	31.875	15.938	0.792
ク ロ ン	14	1305.625	93.259	0.876	1452.250	103.732	5.157**
誤 差	28	2979.250	106.402		563.188	20.114	
全 体	44	4555.000			2047.313		

注) ** : 有意水準 1 % で差あり

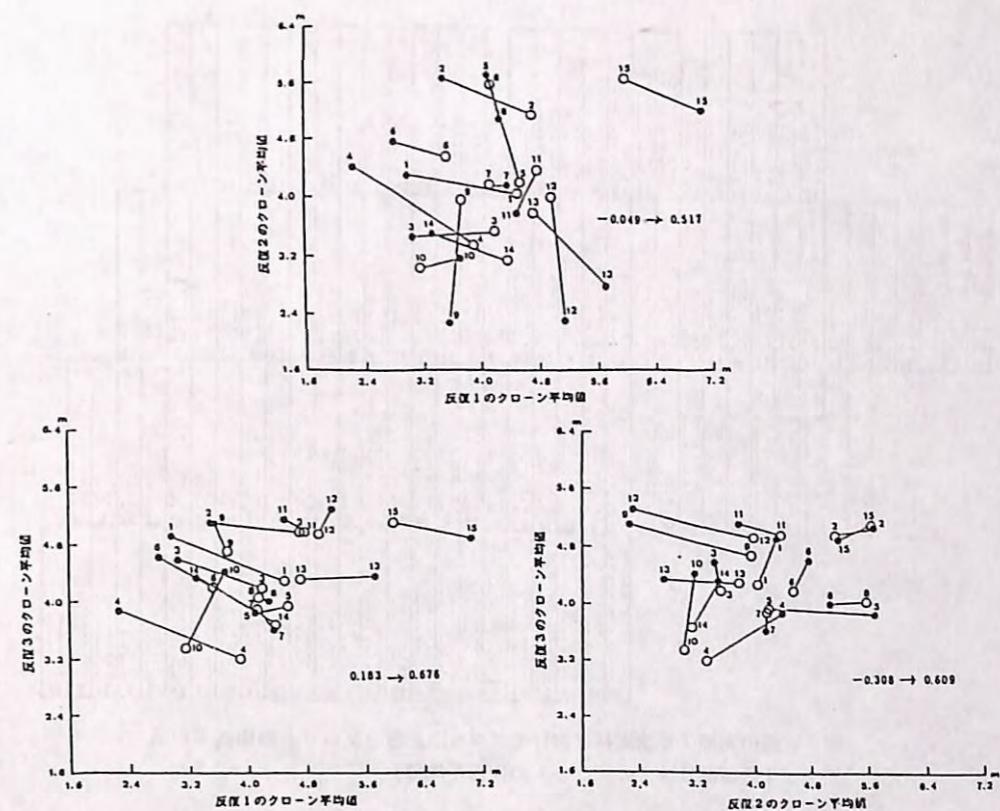


図5. 乱塊法のプロット平均値による反復相互間の相関図
(黒丸が修正前、白丸が修正後)

表13. 西山大第7号検定林の樹高と胸高直径のクローン別平均値

番号	系統名	樹 高	胸高直径	番号	系統名	樹 高	胸高直径
1	城端1号	325.8cm	53.9mm	21	出石2号	380.7cm	53.3mm
2	河北1号	465.4	60.9	22	美方3号	431.2	66.6
3	江沼1号	285.2	38.6	23	八頭2号	335.0	45.4
4	鳳至1号	428.5	64.4	24	東伯4号	468.0	75.3
5	金沢1号	411.4	66.2	25	日野7号	399.3	59.6
6	小松7号	416.8	56.1	26	日野8号	424.8	63.1
7	小松13号	299.7	46.5	27	日野9号	455.1	70.5
8	足羽4号	244.3	29.9	28	日野11号	387.3	63.0
9	高島5号	323.2	52.1	29	日野13号	391.5	61.4
10	京北2号	286.3	38.0	30	日野14号	320.0	50.5
11	京北13号	392.2	58.2	31	日野15号	356.0	46.0
12	園部2号	309.8	55.9	32	日野16号	350.5	48.7
13	園部3号	349.7	60.7	33	日野17号	444.8	60.3
14	園部5号	424.1	61.3	34	那賀2号	346.4	51.6
15	園部10号	519.1	90.6	35	邑智5号	386.9	58.5
16	綾部3号	383.6	54.6	36	大田2号	507.8	85.9
17	福知山1号	474.7	74.9	37	大田3号	416.8	54.0
18	福知山2号	286.6	42.4	38	福井署1号	417.5	60.9
19	朝来5号	378.0	63.6	39	敦賀署1号	380.7	52.7
20	朝来7号	491.9	71.5	40	沖ノ山A	393.8	60.6

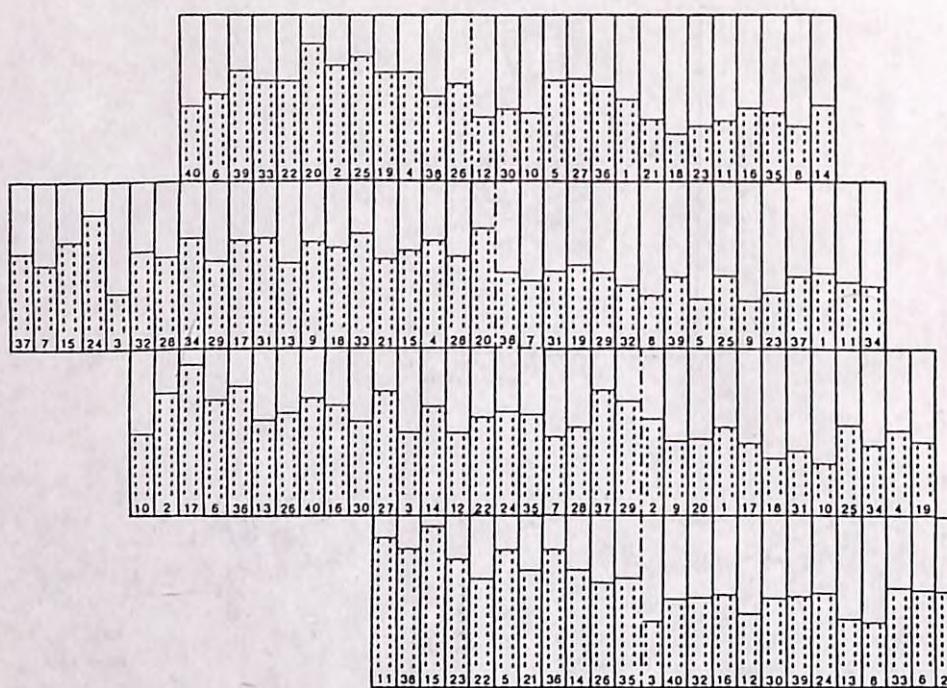


図6. 西山大第7号検定林におけるプロット配置とプロット別樹高平均値
(点線部分はそのプロットの樹高平均値)

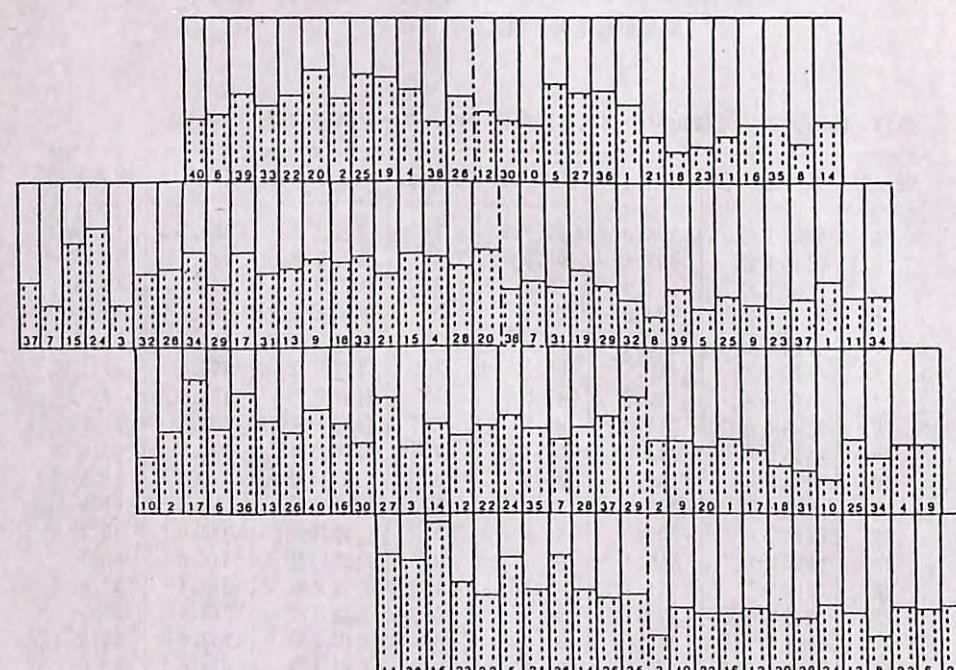


図7. 西山大第7号検定林におけるプロット配置とプロット別胸高直径平均値
(点線部分はそのプロットの胸高直径平均値)

表14. 西山大第7号検定林の樹高と胸高直径の未修正データについての分散分析

要因	自由度	樹 高			胸 高 直 径		
		平方和	平均平方	F	平方和	平均平方	F
反復	5	0.6449	0.323	0.335	1.5375	0.769	0.289
クローン	39	49.9451	1.281	1.329	169.6538	4.350	1.636
誤差	78	75.1775	0.964		207.4178	2.659	
全 体	119	125.7675			378.6092		

表15. 西山大第7号検定林の樹高と胸高直径の修正データについての分散分析

要因	自由度	樹 高			胸 高 直 径		
		平方和	平均平方	F	平方和	平均平方	F
反復	5	164.1867	32.837(5.093)	16.279**	42.5971	8.519(1.908)	19.272**
クローン	39	68.7475	1.763(0.863)	2.757**	24.9295	0.639(0.313)	3.164**
誤差	75	23.4626	0.313		7.4253	0.099	
全 体	119	256.3969			74.9519		

注) () 内の平均平方は別途に計算された

** : 有意水準 1 % で差あり

表16. 西山大第8号検定林の樹高と胸高直径についての分散分析

要因	自由度	樹 高			胸 高 直 径		
		平方和	平均平方	F	平方和	平均平方	F
反復	2	103.968	51.984	37.739**	294.488	147.244	51.083**
クローン	39	142.315	3.649	2.649**	329.753	8.455	2.933**
誤差	78	107.441	1.377		224.832	2.882	
全 体	119	353.724			849.073		

注) ** : 有意水準 1 % で差あり

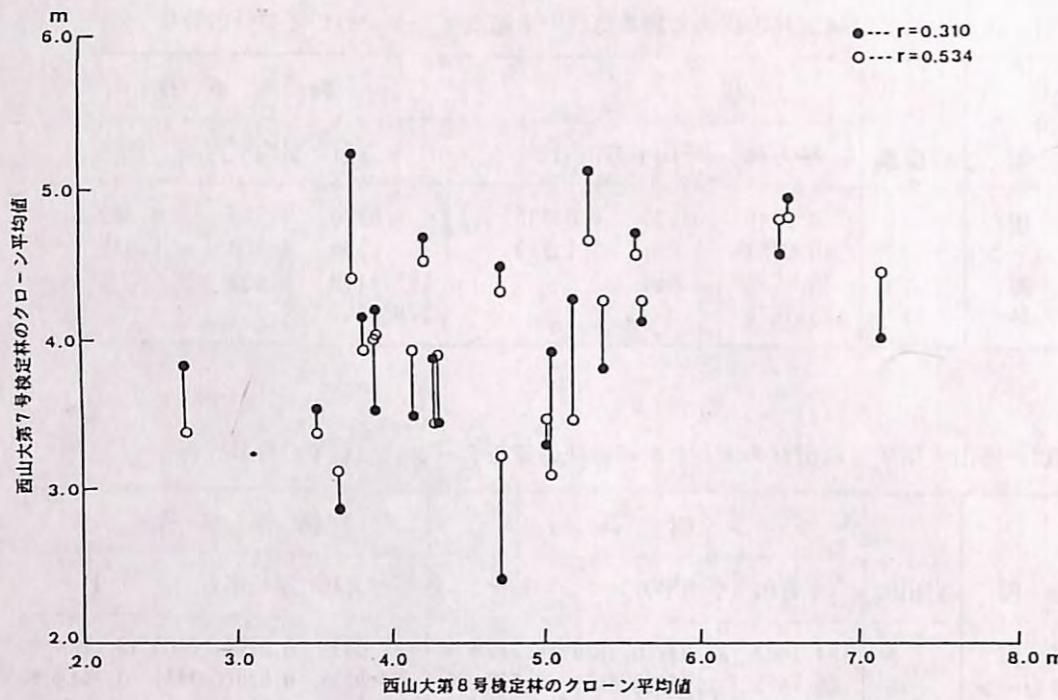


図8. 西山大第7号検定林の修正前後の樹高のクローン別平均値と西山大第8号検定林の樹高のクローン別平均値との相関（黒丸が修正前、白丸が修正後）

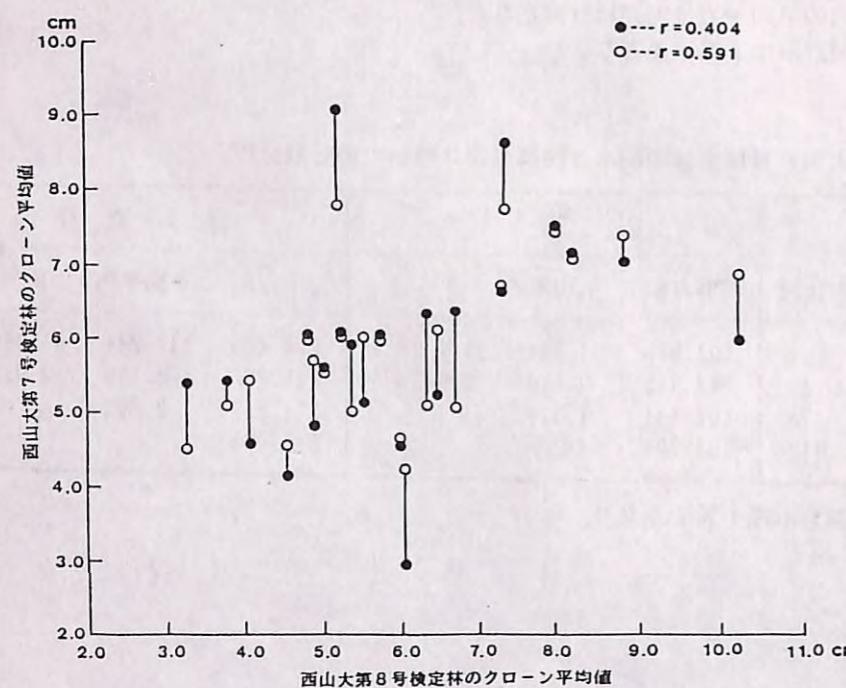


図9. 西山大第7号検定林の修正前後の直径のクローン別平均値と西山大第8号検定林の直径のクローン別平均値との相関（黒丸が修正前、白丸が修正後）

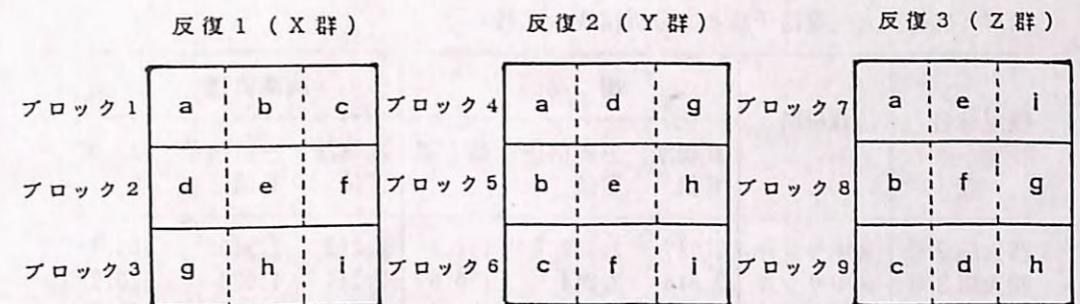


図10. 三重格子法の基本配置

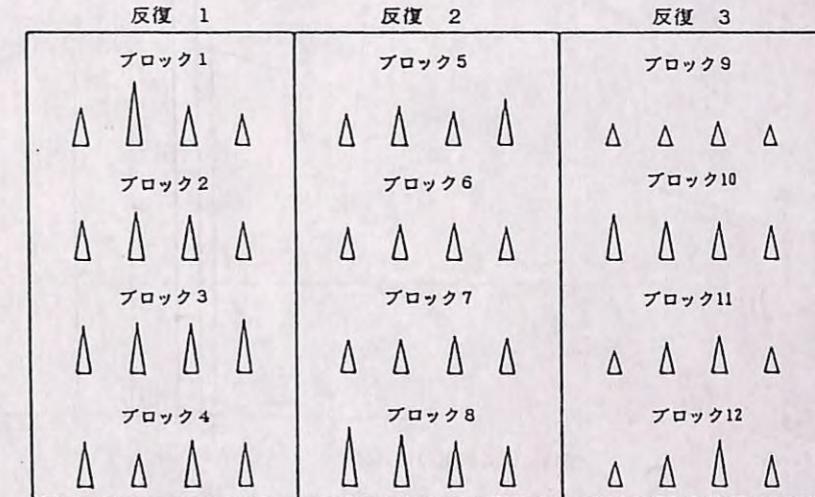
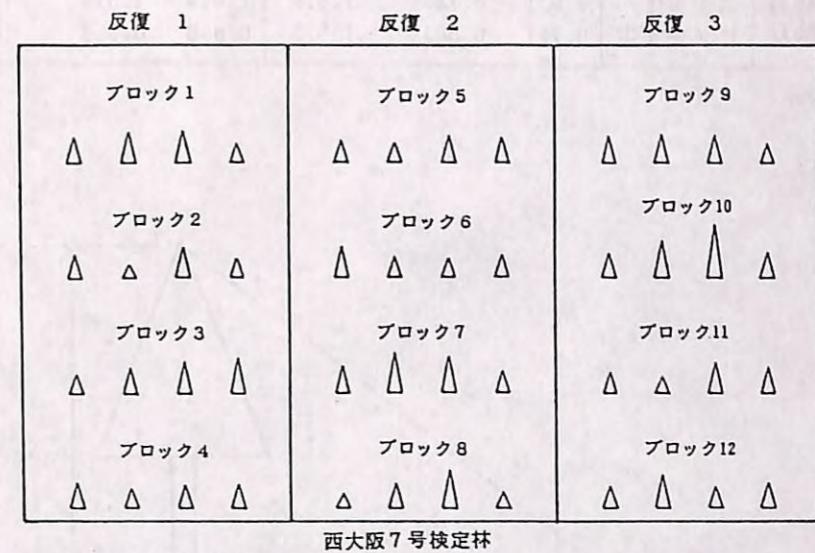


図11. 効率の良否の生じた2検定林のプロット別樹高平均値

表17. 乱塊法と三重格子法との分析精度の比較

検定林名	植栽材料	樹 高			胸高直径		
		乱塊法 F値	三重格子 F値	効 率	乱塊法 F値	三重格子 F値	効 率
西大阪2号	スギサシキ	2.347	2.307	102.1	2.213	2.319	109.2
西大阪3号	スギサシキ	2.616	3.244	120.6	3.214	4.028	120.2
西大阪7号	スギサシキ	5.114	5.084	101.6	2.131	2.172	103.8
西大阪8号	スギサシキ	2.779	3.611	136.7	1.998	2.109	109.5
西大阪9号	スギサシキ	0.939	1.426	126.6	1.147	1.602	120.6
西大阪10号	スギサシキ	2.058	2.405	128.3	1.605	1.682	121.6
遺伝試験林	スギ実生	0.921	0.727	126.9	1.049	1.010	103.1
遺伝試験林	ヒノキ実生	0.741	0.884	155.7	0.698	0.990	164.5

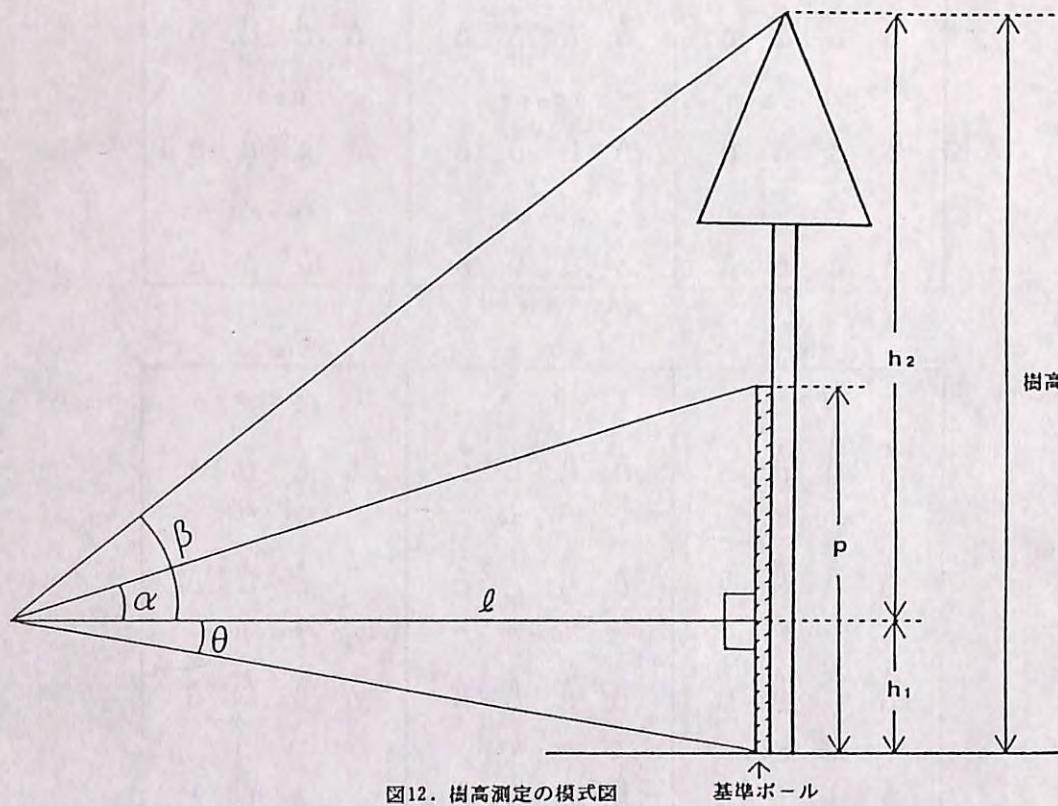


図12. 樹高測定の模式図

別表3. 複数検定林を総合した系統評価の電算機プログラム

```

10 : B:JUN15          : 植数検定林データの相間、順位、最小二乗法によるデータの補正
20 :                   : 88, Sep
30 :
40 CLS 3
50 INPUT "系統数 =" ; N2
60 INPUT "検定林数 =" ; N1
70 INPUT "Y1="; Y1
80 INPUT "OK(Y/N)"; Y$ : IF Y$="N" THEN 40
90 DIM CNAMS(N2),X(N1,N2),CN(N1,N2),XN(N1),JN(N1),MX(N1),SX(N1),CCN(N2)
100 OPEN "B:KEITO.DAT" FOR INPUT AS #1 : '系統のデータファイルオープン
110 OPEN "B:SOKUTEI.DAT" FOR INPUT AS #2 : '測定値のデータファイルオープン
120 OPEN "B:OUT.DAT" FOR OUTPUT AS #3 : '出力データオープン
130 FOR I=1 TO N2 : INPUT #1,CNAMS(I) : NEXT I
140 FOR I=1 TO N1 : 12=I : MX(I1)=0 : SX(I1)=0
150 FOR I=1 TO N1 : 12=I : MX(I1)=0 : SX(I1)=0
160 FOR I=1 TO N1 : 12=I : MX(I1)=0 : SX(I1)=0
170 FOR I=1 TO N1 : 12=I : MX(I1)=0 : SX(I1)=0
180
190 INPUT #2,Y1,Y2 : IF Y1<=0 THEN 230
200 CN(11,12)=Y1 : X(11,12)=Y2 : KCN(112)=12
210 MX(11)=MX(11)+Y2 : SX(11)=SX(11)+Y2*Y2
220 I2=I2+1 : GOTO 190
230 XN(11)=I2-1 : N=XN(11)
240 SX(11)=SQR((SX(11)-MX(11)*MX(11))/XN(11))
250 MX(11)=MX(11)/XN(11)
260
270 NEXT I1 : CLOSE
280 CLS 3 : PRINT "*** 植定林ごとのデータの出力 ***"
290 PRINT "1. テータの印刷 (全検定林) "
300 PRINT "2. テータの印刷 (各検定林) "
310 PRINT "3. 次に進む"
320 INPUT "NO="; Y : IF Y>3 OR Y<0 THEN 290
330 ON Y GOTO 360,430,590
340
350 LPRINT " *** 植定林ごと系統別データとその順位 ***" : LPRINT
360 LPRINT " *** 植定林ごと系統別データとその順位 ***" : LPRINT
370 L=0
380 KL=L*5 : LPRINT "系統 NO. ";
390 KL=KL+1 : IF KL>N1 THEN LPRINT : GOSUB *LPI : LPRINT : GOTO 590
400 IF KL2*5+5 THEN LPRINT : GOSUB *LPI : L=L+1 : KL:## : GOTO 380
410 LPRINT USING "#";
420 LPRINT : INPUT "印刷する検定林 NO.;" ; I1 : LPRINT
430 LPRINT USING "<検定林 #> " ; I1 : LPRINT
440 LPRINT "系 姓 名" : LPRINT
450 LPRINT "系 姓 NO. ";
460 FOR I2=1 TO N2
470 FOR I3=1 TO XN(I1) : IF CN(I1,I3)=I2 THEN 500
480 NEXT I3
490 GOTO 530
500 LPRINT USING "[##] " ; I1;

```

```

510 LPRINT USING " (###) ###.### " ;JN(11,13).X(11,13);
520 LPRINT " ---- ;CNAMS(12)
530 NEXT 12
540 PRINT : INPUT " 他にデータを印刷する検定林がありますか (Y/N)" ;Y$
550 IF Y$="N" THEN 590 ELSE 430
560
570
580 PRINT : PRINT " *** 相関係数の計算 *** " : PRINT
590 PRINT : PRINT " 1. 相関行列の印刷"
600 PRINT : PRINT " 2. 次に進む"
610 INPUT " NO=";Y : IF Y>2 OR Y<0 THEN 590
620 IF Y=2 THEN 920
630
640 LPRINT : LPRINT " *** 検定林相互間の相関係数 *** "
650 LPRINT : L=0 : SP=0
660 LPRINT : L1=L*7+1 : L2=L*7+8 : IF L2>N1 THEN L2=N1
670 P=SP : P1=P*7+1 : P2=P*7+8 : IF P2>N1 THEN P2=N1
680 LPRINT " "
690 FOR J=P1+1 TO P2 : LPRINT USING " 検定林 ## ";J; : NEXT J
700 IF P2>L2 THEN P1=P1+
710 FOR I=L1 TO L2-1 : LPRINT USING " 検定林 ## ";I;
720 FOR I=L1 TO L2-1 : LPRINT USING " 検定林 ## ";I;
730 IF P2>L2 THEN 760
740 P1=P1+1 : IF 11-L*7=1 THEN 760
750 FOR J=1 TO 11-L*7-1 : LPRINT " ";
760 FOR K1=P1 TO P2
770 TX=0 : TXX=0 : TY=0 : TYY=0 : TXY=0 : N=0
780 FOR I2=1 TO N2
790 FOR I3=1 TO XN(11) : IF CN(11,13)=12 THEN 810
800 NEXT I3 : GOT 860
810 FOR K3=1 TO XN(K1) : IF CN(K1,K3)=12 THEN 830
820 NEXT K3 : GOT 860
830 UX=X(11,13) : UY=Y(11,13)
840 TX=TX+UX : TY=TY+UY : TXY=TX+UX*UY
850 TXX=TXX+UX*UX : TYY=TYY+UY*UY : N=N+1
860 NEXT I2 : GOSUB *GETR
870 NEXT K1 : LPRINT : LPRINT : LPRINT
880 NEXT 11
890 IF N1>P2 THEN P=P+1 : GOTO 680
900 IF N1>L2 THEN SP=SP+1 : L=L+1 : IF SP>N1 THEN 670
910
920 PRINT : INPUT " 順位対象検定林数 =";G1
930 IF G1>N1 THEN 930
940 FOR J=1 TO G1 : PRINT J; : INPUT " 検定林 NO. #";GN(J) : NEXT J
950 FOR J=1 TO G1 : TO G1 : PRINT J; : INPUT " 検定林 NO. #";GN(J) : NEXT J
960 PRINT : INPUT " 共通系統の最低組数 =";NP : IF NP<0 OR NP>G1 THEN 960
970
980
990 KN=0
1000 FOR I2=1 TO N2 : JJ=0
1090
1100
1110 CLS 3 : PRINT " *** 組数検定林での成績評価 *** "
1120 PRINT " 1. 順位による"
1130 PRINT " 2. 平均値による"
1140 PRINT " 3. 総了"
1150 INPUT " NO=";Y : IF Y>3 OR Y<0 THEN 1110
1160 IF Y=3 THEN END
1170 ON Y GOTO 2130,1180
1180
1190 DIM XH(KN,G1)
1200 FOR K=1 TO KN
1210 FOR G=1 TO G1 : XH(K,G)=1 : NEXT G
1220 NEXT K
1230
1240 FOR G=1 TO G1 : I1=GN(G)
1250 FOR K=1 TO KN
1260 FOR I3=1 TO XN(11)
1270 IF CN(11,13)=CN(K) THEN XH(K,G)=X(11,13) : GOTO 1290
1280 NEXT I3
1290 NEXT K : NEXT G
1300
1310 LPRINT : LPRINT " ***** データ行列 ***** "
1320 LPRINT " "
1330 FOR G=1 TO G1 : LPRINT USING " ## ";GN(G); : NEXT G : LPRINT
1340 FOR K=1 TO KN : LPRINT USING " ([##]) ";CCN(K);
1350 FOR G=1 TO G1 : LPRINT USING " ##.## ";XH(K,G); : NEXT G
1360 LPRINT USING " ----- ([##]) ";CCN(K); : LPRINT CCN(K) : NEXT K : LPRINT
1370
1380 DIM HC(KN,G1),HB(60,60),HP(60,60),HX1(KN,G1),HNA(KN),HNB(G1),HXA(KN),HXXA(KN),IHEN(60)
1390
1400 FOR K=1 TO KN : FOR G=1 TO G1
1410 IF XH(K,G)>0 THEN HC(K,G)=1 ELSE HC(K,G)=0
1420 NEXT G
1430 FOR K=1 TO KN : HNA(K)=0 : HXA(K)=0
1440 FOR G=1 TO G1 : HNA(K)=HNA(K)+HC(K,G)
1450 FOR G=1 TO G1 : HXA(K)=HXA(K)+XH(K,G)
1460 IF XH(K,G)>0 THEN HXA(K)=HXA(K)+XH(K,G)
1470 NEXT G
1480 HXXA(K)=HXA(K)/HNA(K) : NEXT K
1490 FOR K=1 TO KN : FOR G=1 TO G1
1500 HP(K,G)=HC(K,G)/HNA(K)

```

```

1010 FOR J=1 TO G1 : I1=GN(J)
1020 FOR I3=1 TO XN(11) : IF CN(11,13)=12 THEN 1040
1030 NEXT I3 : GOT 1050
1040 JJ=JJ+
1050 NEXT J
1060 IF JJ>NP THEN 1080
1070 KN=KN+1 : CCN(KN)=12
1080 NEXT 12
1090
1100
1110 CLS 3 : PRINT " *** 組数検定林での成績評価 *** "
1120 PRINT " 1. 順位による"
1130 PRINT " 2. 平均値による"
1140 PRINT " 3. 総了"
1150 INPUT " NO=";Y : IF Y>3 OR Y<0 THEN 1110
1160 IF Y=3 THEN END
1170 ON Y GOTO 2130,1180
1180
1190 DIM XH(KN,G1)
1200 FOR K=1 TO KN
1210 FOR G=1 TO G1 : XH(K,G)=1 : NEXT G
1220 NEXT K
1230
1240 FOR G=1 TO G1 : I1=GN(G)
1250 FOR K=1 TO KN
1260 FOR I3=1 TO XN(11)
1270 IF CN(11,13)=CN(K) THEN XH(K,G)=X(11,13) : GOTO 1290
1280 NEXT I3
1290 NEXT K : NEXT G
1300
1310 LPRINT : LPRINT " ***** データ行列 ***** "
1320 LPRINT " "
1330 FOR G=1 TO G1 : LPRINT USING " ## ";GN(G); : NEXT G : LPRINT
1340 FOR K=1 TO KN : LPRINT USING " ([##]) ";CCN(K);
1350 FOR G=1 TO G1 : LPRINT USING " ##.## ";XH(K,G); : NEXT G
1360 LPRINT USING " ----- ([##]) ";CCN(K); : LPRINT CCN(K) : NEXT K : LPRINT
1370
1380 DIM HC(KN,G1),HB(60,60),HP(60,60),HX1(KN,G1),HNA(KN),HNB(G1),HXA(KN),HXXA(KN),IHEN(60)
1390
1400 FOR K=1 TO KN : FOR G=1 TO G1
1410 IF XH(K,G)>0 THEN HC(K,G)=1 ELSE HC(K,G)=0
1420 NEXT G
1430 FOR K=1 TO KN : HNA(K)=0 : HXA(K)=0
1440 FOR G=1 TO G1 : HNA(K)=HNA(K)+HC(K,G)
1450 FOR G=1 TO G1 : HXA(K)=HXA(K)+XH(K,G)
1460 IF XH(K,G)>0 THEN HXA(K)=HXA(K)+XH(K,G)
1470 NEXT G
1480 HXXA(K)=HXA(K)/HNA(K) : NEXT K
1490 FOR K=1 TO KN : FOR G=1 TO G1
1500 HP(K,G)=HC(K,G)/HNA(K)

```

```

1510 NEXT G : NEXT K : HNB(G)=0 : HXB(G)=0
1520 FOR K=1 TO GI : HNB(G)=HNB(G)+HCK(K,G)
1530 FOR L=1 TO KN : HNB(G)=HNB(G)+XH(K,G)
1540 IF XH(K,G)>0 THEN HXB(G)=HXB(G)+XH(K,G)
1550 NEXT K : NEXT G
1560
1570 M2=G1-1 : FOR G=1 TO M2
1580 FOR K=1 TO M2 : FOR G=1 TO G1
1590 HB(K,G)=0 : HB(K,G)=HB(K,G)+HCL1,K)*HPL1,G)
1600 FOR L=1 TO KN : HB(K,G)=HB(K,G)+HB(L1,K)*(-1)
1610 NEXT L1 : HB(K,G)=HB(K,G)*(-1)
1620 NEXT G : NEXT K
1630 FOR L2=1 TO M2 : FOR K=1 TO KN
1640 HB(L2)=HNB(L2)-HCK(K,L2)*HP(K,L2)
1650 HXB(L2)=HXB(L2)-HP(K,L2)*HXA(K)
1660 NEXT K
1670 HB(L2-L2)=HNB(L2) : HB(L2,G)=HXB(L2)
1680 NEXT L2
1690
1700 GOSUB *HAKDAS
1710 HB(G1,G1)=0
1720 FOR K=1 TO KN : FOR G=1 TO G1
1730 HXXA(K)=HXXA(K)-HP(K,G)*HB(G,G1)
1740 NEXT G : NEXT K
1750 FOR K=1 TO KN : LPRINT USING "###";CCN(K);
1760 FOR G=1 TO GI : LPRINT USING "###";XHK,G); : NEXT G
1770 LPRINT USING "###";CCN(K); : LPRINT CCN(CCN(K)) : NEXT K
1780 IF XH(K,G)<0 THEN XH(K,G)=HX1(K,G)
1790 NEXT G : NEXT K
1800 LPRINT : LPRINT "*****" ; 正直の印刷 *****
1810 LPRINT " : FOR G=1 TO GI : LPRINT USING "##";GN(G); : NEXT G : LPRINT
1820 FOR K=1 TO M2
1830 FOR G=1 TO GI : LPRINT USING "###";CCN(K);
1840 LPRINT USING "###";XHK,G); : NEXT G
1850 FOR K=1 TO KN : KX(K)=0 : KCN(K)=CCN(K)
1860 FOR G=1 TO GI : KX(K)=KX(K)+XH(K,G)
1870 FOR G=1 TO GI : KX(K)=KX(K)/G1 : NEXT K
1880 GOTO *PRSL
1890
1900 *HAKDAS :
1910 FOR I=1 TO M2 : IHEN(I)=0 : NEXT I
1920 FOR I=1 TO M2 : IPIV=0 : S1IMAX=0
1930 FOR J=1 TO M2
1940 FOR J=1 TO M2
1950 IF IHEN(J)<>0 THEN 1980
1960 IF S1IMAX>ABS(HB(J,J)) THEN 1980
1970 S1IMAX=ABS(HB(J,J)) : IPIV=J
1980 NEXT J
1990 IHEN(IPIV)=IPIV : PIV=HB(IPIV,IPIV)
2000 FOR J=1 TO GI
2100 NEXT K
2110 RETURN
2120
2130
2140 FOR G=1 TO GI : 11=GN(G) : JJ=0
2150 FOR K=1 TO KN
2160 FOR I3=1 TO XN(11) : IF CCN(K)=CN(11,13) THEN 2180
2170 NEXT I3 : GOTO 2190
2180 JJ=JJ+1 : KX(JJ)=X(11,13) : KCN(JJ)=CCN(K)
2190 NEXT K
2200 FOR I1=1 TO JJ : X(11,K)=KX(K) : CN(11,K)=KCN(K)
2210 FOR K=1 TO JJ : X(11,K)=KX(K) : CN(11,K)=KCN(K)
2220 NEXT K
2230 NEXT G
2240 FOR G=1 TO GI : 11=GN(G)
2250 FOR I3=1 TO XN(11) : KX(I3)=X(11,13) : KCN(13)=13 : JN(11,13)=0
2260 FOR I3=1 TO XN(11) : GOSUB *SORT : GOSUB *JUNI
2270 NEXT I3 : N=XN(11)
2280 NEXT G
2290
2300 FOR K=1 TO KN : KX(K)=0 : JJ=0
2310 FOR G=1 TO GI : 11=GN(G)
2320 FOR I3=1 TO XN(11) : IF CN(11,13)<>CCN(K) THEN 2350
2330 JZ=I2-JN(11,13)
2340 KX(K)=KX(K)+JZ : JJ=JJ+1 : GOTO 2360
2350 NEXT I3
2360 NEXT G
2370
2380 KX(K)=KX(K)/JJ : KCN(K)=KCN(K)
2390 NEXT K
2400
2410 *PRSL : GOSUB *SORT : I1=1 : XN(11)=KN
2420 N=KN : GOSUB *JUNI : NEXT I : GOSUB *JUNI
2430 FOR I=1 TO KN : JN(1,1)=0 : NEXT I : GOSUB *JUNI
2440 LPRINT : LPRINT " *** 標定体" : FOR I=1 TO GI : LPRINT USING "###";GN(I); : NEXT I
2450 LPRINT " グループの順位";
2460 ON Y GOTO 2470,2530
2470 LPRINT " (順位による) ***" : LPRINT
2480 LPRINT " 順位 平均順位" : KX(I)=N2-KX(I)
2490 FOR I=1 TO KN : KX(I)=N2-KX(I) : JN(1,KCN(I)) : KCN(KCN(I)) : LPRINT CCN(KCN(I))
2500 LPRINT USING "###" : LPRINT CCN(KCN(I)) : LPRINT CCN(KCN(I))

```

```

2010 HB(IPIV,J)=HBI(IPIV,J)/PIV
2020 NEXT J
2030 FOR K=1 TO M2
2040 IF K1PIV THEN 2090
2050 SAGYO=HB(K,IPIV)
2060 FOR J=1 TO GI : IPIV=J
2070 HB(K,J)=HB(K,J)-SAGYO*HB(IPIV,IPIV)
2080 NEXT J
2090 NEXT K
2100 NEXT 1
2110 RETURN
2120
2130
2140 FOR G=1 TO GI : 11=GN(G) : JJ=0
2150 FOR K=1 TO KN
2160 FOR I3=1 TO XN(11) : IF CCN(K)=CN(11,13) THEN 2180
2170 NEXT I3 : GOTO 2190
2180 JJ=JJ+1 : KX(JJ)=X(11,13) : KCN(JJ)=CCN(K)
2190 NEXT K
2200 FOR I1=1 TO JJ : X(11,K)=KX(K) : CN(11,K)=KCN(K)
2210 FOR K=1 TO JJ : X(11,K)=KX(K) : CN(11,K)=KCN(K)
2220 NEXT K
2230 NEXT G
2240 FOR G=1 TO GI : 11=GN(G)
2250 FOR I3=1 TO XN(11) : KX(I3)=X(11,13) : KCN(13)=13 : JN(11,13)=0
2260 FOR I3=1 TO XN(11) : GOSUB *SORT : GOSUB *JUNI
2270 NEXT I3 : N=XN(11)
2280 NEXT G
2290
2300 FOR K=1 TO KN : KX(K)=0 : JJ=0
2310 FOR G=1 TO GI : 11=GN(G)
2320 FOR I3=1 TO XN(11) : IF CN(11,13)<>CCN(K) THEN 2350
2330 JZ=I2-JN(11,13)
2340 KX(K)=KX(K)+JZ : JJ=JJ+1 : GOTO 2360
2350 NEXT I3
2360 NEXT G
2370
2380 KX(K)=KX(K)/JJ : KCN(K)=KCN(K)
2390 NEXT K
2400
2410 *PRSL : GOSUB *SORT : I1=1 : XN(11)=KN
2420 N=KN : GOSUB *JUNI : NEXT I : GOSUB *JUNI
2430 FOR I=1 TO KN : JN(1,1)=0 : NEXT I : GOSUB *JUNI
2440 LPRINT : LPRINT " *** 標定体" : FOR I=1 TO GI : LPRINT USING "###";GN(I); : NEXT I
2450 LPRINT " グループの順位";
2460 ON Y GOTO 2470,2530
2470 LPRINT " (順位による) ***" : LPRINT
2480 LPRINT " 順位 平均順位" : KX(I)=N2-KX(I)
2490 FOR I=1 TO KN : KX(I)=N2-KX(I) : JN(1,KCN(I)) : KCN(KCN(I)) : LPRINT CCN(KCN(I))
2500 LPRINT USING "###" : LPRINT CCN(KCN(I)) : LPRINT CCN(KCN(I))

```

```

2510 NEXT I : CLOSE : END
2520 LPRINT " (平均値による) ***" : LPRINT 系統NO 系統名
2530 LPRINT " 順位 平均値" : ---- [###] " ;JN(1, KCN(1)), KX(1), KCN(1) : LPRINT CNAMS(KCN(1))
2540 FOR I=1 TO KN : ----- [###.##]
2550 LPRINT USING " (###) ###.##"
2560 LPRINT USING " (###) ###.##"
2570 NEXT I : CLOSE : END
2580
2590 *SORT
2600 D=1
2610 D=D*D : IF D>N THEN 2670 ELSE 2610
2620 FOR I=1 TO N-D : J=1
2630 K=J-D : IF KX(K)<=KX(J) THEN 2660
2640 SWAP KX(K), KX(J) : SWAP KCN(K), KCN(J)
2650 J=J-D : IF J>0 THEN 2630
2660 NEXT I
2670 D=INT((D-1)/2) : IF D>0 THEN 2620
2680 RETURN
2690
2700 *JUNI
2710 FOR I=2 TO XN(11)-1 : JN(11, KCN(12))=12
2720 IF KX(12)*KX(12+1) THEN 2750
2730 JN(11, KCN(12+1))=JN(11, KCN(12)) : 12=12+1
2740 IF 12>XN(11) THEN 2770 ELSE 2720
2750 NEXT 12
2760 IF JN(11, KCN(12))=0 THEN JN(11, KCN(12))=XN(11)
2770 RETURN
2780
2790 *GETR
2800 IF N>1 THEN 2820
2810 LPRINT " " ; : RETURN
2820 R=N*TXY-TX*TY
2830 R=R/SQR((N*TXY-TX*TY)*(N*TY-Y*TY))
2840 LPRINT USING "#.###(###) ";R, N;
2850 RETURN
2860
2870 *LP1 : LPRINT
2880 FOR I=2 TO N2 : LPRINT USING " [###] " ;I2;
2890 FOR J=1 TO L-5+1 TO KL-1
2900 FOR I=3=1 TO XN(11) : IF CN(11, 13)=12 THEN 2930
2910 NEXT 13
2920 LPRINT " " ; : GOTO 2950
2930 Z=X(11, 13)
2940 LPRINT USING " (###) ###.##" " ;JN(11, 13), Z;
2950 NEXT 11 : LPRINT " ----- " ;CNAMS(12)
2960 NEXT 12
2970 RETURN
2980

```

播種綠化工における 樹林形成技術手法の開発

播種緑化工における樹林形成技術手法の開発

I 試験担当者

森林環境部水土保全科治山研究室
北海道支所経営部防災研究室
森林環境部水土保全科治山研究室

堀江保夫
中井裕一郎
原敏男

II 要旨

山腹緑化工では、まず草本植物を成立させて侵食を抑制し、ついで苗木を植栽する方法が行われてきた。しかし最近では、播種による緑化施工が一般化しつつあり、この方法では、草本植物が優勢になって木本植物の成立が困難である。このことに起因する土地保全上の問題も少なくない。

そこで、侵食防止等に必要な草本植物の成立を確保しつつ、施工初期段階から木本植物の成立を図るため、既施工地の植生調査及び適正な播種量、播種割合、施肥量、緑化資材の配合等について検討を加え、播種緑化工における樹林形成手法を開発した。

(1) 播種緑化工において木本植物を成立させるには、施工初期に草本植物を優先させたのでは、木本植物が自然に侵入して群落を構成する可能性は少ない。従来の播種方法では、草本植物を優先させるため、永続性のある木本植物が自然侵入して群落を形成するまでに施工後5~6年が必要である。また、木本植物が自然に侵入して、群落を構成する可能性は少ない。足尾治山事業所管内の調査例や長野西部地震災害跡地の調査例からみても生育する種類が限定されるばかりでなく、施工地周辺から侵入できる範囲は限られる。

従って、永続性のある樹林を形成させるためには、施工当初から積極的に木本植物の導入を図る必要がある。

(2) 播種緑化工において早期に木本植物の成立を図るためにには、まず、単位面積当たりの全播種量とそこに含まれる木本植物の割合が問題である。本調査では、単位面積当たりの播種量を3,000粒/m²から8,000粒/m²の範囲で検討した。

全播種量が5,000粒/m²以上になると、草本植物の被覆による木本植物の枯死現象が著しく、木本植物の成立が困難であった。また、全播種量が3,000粒/m²以下になると施工初期の被覆が不足するため、導入植物による侵食防止効果が十分でない。

従って、侵食防止等に必要な草本植物の被覆量と木本植物の成立を確保できる適正な全播種量は、3,000粒から5,000粒/m²の範囲にあると推定される。

(3) 播種割合については、木本植物と草本植物の比率を全播種量の30%から70%の範囲で検討した。その結果は、全播種量に対して草本植物の比率が小さくなるにしたがい木本

植物の成立数は増加したが、単位面積当りの播種量が多くなると、草本植物の比率が小さくても木本植物の成立は困難であった。これは播種量が多くなると草本植物の個体数が増加することになり、そのために競合や被圧による影響が大きくなるためである。

(4) 全播種量が $5,000\text{粒}/\text{m}^2$ 以上の場合、施肥（緩効性肥料等）及び緑化資材の配合等によって、草本植物の生育抑制、木本植物の成長促進などを図る必要がある。また、全播種量を $3,000\text{粒}/\text{m}^2$ 以下に減らす場合は、施工初期の侵食を防止するために土壤侵食防止剤（アクリルポリマー系土壤固結剤等）や簡易な緑化基礎工（ネット類等）などを併用する必要がある。

全播種量が $3,000\text{粒}/\text{m}^2$ から $5,000\text{粒}/\text{m}^2$ の範囲にある場合、木本植物の成立に有効な草本植物の播種割合は、30%から50%の範囲である。全播種量及び播種割合をこれ以外の範囲にすると、種間及び種内競合によって木本植物の生育が阻害されて成立数が減少する。

(5) 土壌活性剤（アルギン酸ソーダ、 $50\text{g}/\text{m}^2$ ）の施用は、木本植物の発芽及び初期成長を助長する効果が大きい。また、緩効性肥料（H.C.-180、 $150\text{g}/\text{m}^2$ ）等の施用は、草本植物の初期成長を抑制する効果があり、木本植物の生育に効果的である。

播種緑化工の施工初期段階から早期の樹林化を図るには、播種量、播種割合、施肥方法等を改善した工法を実施することにより木本群落の早期成立は可能である。

III 試式馬鹿 目的

最近における緑化工は、崩壊地やはげ山などの荒廃した山腹の侵食防止、崩壊抑止などの施工ばかりでなく、種々の場所に適用されている。また、その内容は相当多岐にわたっており、実行して行く様式はきわめて変化に富んでいる。つまり、各地で多発する崩壊や開発にともなって変化する環境に対し、緑あるいは森林の持つ多面的な機能や効用を早急に回復させる技術として、各分野から緑化施工による森林群落の回復技術に一段と期待が寄せられている。

ところで、緑化工の手法は植栽工を主とする人力施工から、省力的かつ能率的な植物の導入方法が求められるにつれて、機械力や二次製品を用いた播種による緑化施工に変わってきた。そのため、緑化工に用いられる多くの植物は、発芽勢が安定し、発芽後の生育が早い外来草本植物などを用いた急速な緑化工法、例えば、種子吹付工や航空機による種子散布工などが施工されている。

しかしこれらの施工方法は、施工初期の段階における土壤の侵食を防止することに重点がおかれていたため、施工後の植生は単純で過密な草本植物にかたより、植生遷移の進行が抑制されたり、早期に衰退する。これらに伴った再裸地化の現象や、植物被覆の永続性の欠如が問題になっている。特に、土地保全の効果に優れた木本植物が成立しにくく、保全性の高い樹林形成が望めないと、草本植物を主体とする緑化の施工には改善すべき問

題が少なくない。

播種緑化工における木本植物導入手法の開発を必要とする理由は、次のような点からである。

(1) 草本植物を主とする群落は木本植物の群落に比べて、斜面の崩壊を防ぐ力に乏しい。防災面からも、単純な草本植物の群落を造成することは好ましくない。緑化の最終目標を木本植物の群落を造成することに転換することが望ましい。

(2) 施工後の生態系の回復力の点からみると、単純な草本植物の群落構成は木本植物を主体とする群落に比べて自然の回復が遅れる傾向にある。

(3) 荒廃裸地における土壤形成や土壤改善の傾向をみると、草本群落は比較的短期間に表土層を形成することが多いが、その範囲は浅く継続性に欠ける。さらに、地上部の植物が微気象の改善など周辺環境の改善に及ぼす効果も小さい。

(4) 単純な草本植物の導入は、地上部・地下部とも小範囲の一時的な環境改善に留まることから、環境改善効果の大きい先駆樹種などを主な構成種とする多様性に富んだ木本群落を造成することが望ましい。

(5) 播種工によって導入される木本植物は、植栽工によって導入したものに比べて根系の発達が自然であり、土地保全効果が大きい。播種によって成立した木本植物の形態は、その地形や地質条件に調和して生育するため、防災的に強い植物群落が形成される。

このようなことから、木本植物と草本植物を同時に播種して、施工初期の段階より早期に木本群落を形成させる新しい緑化施工の方法を検討する必要がある。

本調査では、草本植物による施工初期の侵食防止機能を十分確保しつつ、木本植物による早期の樹林化を促進する緑化の施工技術手法を開発するため、①播種工を主体とした既施工地における木本植物の成立状態調査、②木本植物成立の適正な播種量及び緑化資材についての検討、③現地適応試験における木本植物の成立過程などの検討を行なった。

IV 試式馬鹿 の方法と結果

1. 施工跡地の樹林形成調査

播種緑化工による施工地の樹林形成過程を把握するため、前橋営林局大間々営林署足尾治山事業所管内及び長野営林局王滝営林署管内における航空緑化施工跡地の植生状態を調査した。

1) 足尾治山事業所管内の木本植物成立

調査地は、前橋営林局大間々営林署足尾治山事業所管内、久蔵沢支流である長平沢右岸の標高 $1,100\text{m}$ ～ $1,350\text{m}$ で、亀裂の多い頁岩などが露出した傾斜およそ40度前後の東向きの斜面である。調査地の下方は砂れきが堆積した崖錐斜面、上方の尾根筋は火山灰ロームが堆積した緩斜面である。

基岩が露出し、植栽工が困難な荒廃地の早期緑化を促進するために足尾国有林治山では、昭和40年から航空機による実播工の事業が開始されている。航空散布に用いられた緑化資材の内容は、表-1に示したように、表土の侵食防止と施肥を主に配合されており、生育基盤を改善する資材は用いられていない。

過去の調査資料によると、施工後1~2年目はウィーピングラブグラス（W.L.G.），ススキ、イタドリ、ヨモギなどの草本植物がよく繁茂したが、木本植物の発生はほとんど見られなかかった。現在、優占種であるアカマツやリョウブなどは、施工後5~8年以降に侵入したものが多い。これらの樹種が優勢な群落を形成するようになったのは、施工後10~15年以降である。

これら群落内に、幅5m、斜面長5mの調査プロットを設定し、内部に1m²のコドラートを区画して植生調査の単位とした。また、プロット内における木本植物の地上部については、その位置、根元直径、樹高、占有面積などを計測した。枯死した個体についてもできるかぎり同様な測定を行った。特に、アカマツについては、節間及び冬芽痕の調査によって樹齢を推定した。草本類については、コドラート毎に種別の被度及び生育高を測定した。プロット内種構成の被度及び頻度は表-2に示した。

群落内部を高さ2mで上層木と草本類及び低木からなる下層植生に分けると、上層の大部分はアカマツとリョウブによって構成されているが、林冠は閉鎖の状態ではない。高さ2m未満の下層植生では、草本類のススキ、ヒメノガリヤス、イタドリ、ヘビノネコザなどが見られる。また、木本類では上層と同様にアカマツ、リョウブ（高さ10~60cm）の個体が多くいたが、ヤシャブシ、ミズナラなどの侵入稚樹も見られる。主な構成種であるアカマツとリョウブの樹高分布を図-1に示した。また、節間及び冬芽痕などからアカマツの樹齢を推定したが、その分布は図-2に示したように、大部分が10年から20年の範囲である。

風化土層の薄い斜面などでは緑化工によって導入された草本植物、特に外来草本植物の初期成長は旺盛であるが、施工後数年を経過すると衰退し始める。本調査でも施工後数年間は外来草本植物の繁茂がみられたが、施工後3年から5年で衰退し、10年以上を経過すると外来草本植物はほとんど見られなくなっている。

アカマツの樹齢分布は、15年生から18年生の個体が多くいた。これは施工後5年から8年前後に自然侵入した個体であると考えられることから、導入草本植物の衰退に対応して増加したものと考えられる。

リョウブは、この地区において自然侵入する木本植物として、最も一般的な種類である。樹幹解析によるリョウブの樹齢は15年から18年であり、アカマツと同様に施工後数年で侵入が開始されたと考えられる。下層における本数密度はアカマツに比べてリョウブの発生が多く、現在でも自然侵入が進行している状態である。

本調査地は、航空緑化施工地の中では導入草本群落からアカマツなどの木本群落に遷移

が比較的スムーズに進行していた施工跡地である。その要因は、アカマツやリョウブの種子が周辺から飛散供給され易かったこと、また、露岩地であるため土砂の移動が少なく表土が安定していたこと、さらに、亀裂の多い岩盤の構造が風化土層や侵入植物を保持する機能として働いたことなどが考えられる。

2) 長野西部地震災害跡地の木本植物成立

昭和59年9月長野県王滝村を震源とする直下型地震により、御岳山の南東斜面で伝上川源頭部に大規模な山崩れが発生した。これに端を発する土石流は、渓岸を含め580ha余に甚大な被害をもたらした。これら荒廃地に対して、土砂流出に伴う二次災害の発生抑止や森林生育基盤の早期回復を図るため、標高1,400m~1,600mにおける伝上川台地の80haに航空機を利用した播種绿化工事を施工した。绿化施工は緊急を要したため草本植物を播種し、木本植物は自然の侵入を期待した。

調査地は、施工後3年経過しており、導入植生の生育繁茂はピークを過ぎ、場所によっては衰退化の傾向がみられる。施工の绿化資材配合については表-3のようである。

調査は周辺の林分の種子による木本植物の侵入状況を調査するため、斜面方位及び傾斜などの条件が異なる場所に、林縁を起点とする5本の調査線（ベルトトランセクト）を設けて実施した。各調査点とも林縁から10mまでは2mおき、10mから50mでは5m間隔に、50m以上では10m間隔に2m×2mの方形区を設けて、調査枠内の発生本数、種類、生育高及び導入植物の被覆率などについて測定した。周辺林分からの侵入木本植物の樹種別生育数を表-4に示した。自然侵入による木本植物の成立は、草本植物の被覆率が低下したところや表土が安定状態にあるところに発生が多く見られた。また、林縁からの距離と木本植物成立との関係を図-3に示したが、調査ベルト（C）を除けば、木本植物が侵入し成立している本数は林縁から遠ざかるに従いその本数の減少は著しい。自然に周辺の植生より木本植物が侵入して成立できる林分からの距離は、およそ20m前後であると推定される。これは、全施工面積の10%強に過ぎない。自然に侵入した主な樹種は、ダケカンバ、ヤシャブシ、ヤマハンノキ、ヤナギ類などである。

2. 木本植物の播種割合及び生育促進の調査

荒廃地を短期間に、多様な植物群落で被覆するには、木本植物と草本植物とを同時に導入することが望ましい。ところが、これまで木本植物と草本植物を播種すると、初期成長の遅い木本植物は成長の早い草本植物に被圧されて、木本植物の成立が不成功に終わる場合が多い。

本調査では、木本植物の成立が妨げられる要因として、草本植物の播種量と密度が木本植物の成立に及ぼす影響を森林総研試験苗畑及び王滝営林署管内崩壊地に調査区（2×2m）3プロットを設けて検討した。すなわち、単位面積当りの全播種量を3,000粒/m²、5,000粒/m²、8,000粒/m²の3種類とし、これらに対してヤシャブシやヤマハンノキな

ど木本植物の播種割合を、30%，50%，70%の3種類の比率を組み合わせて混播し、木本植物の成立経過を観察した。その結果は表-5のようである。また、木本植物の初期生育を促進させるための施肥効果の検討も同時に実施した。混播した草本植物はケンタッキー31フェスク、オーチャードグラス、ケンタッキーブリューグラスの3種類である。

播種量と播種割合別の木本植物の発生及び生育の結果は、単位面積当たりの全播種量が多くなるにつれて、生育の早い草本植物の影響を受け易く、木本植物の成立は困難になる傾向が見られる。例えば、播種量が8,000粒/m²の場合、初期の発生個体は、木本植物を含めて総数では多くなるが、発生後1ヶ月以降では草本植物の生育に伴う被圧や競合の影響を受けるために枯死する比率が大きく、最終的な木本植物の成立数は減少する。播種量が3,000粒/m²以下の場合は、草本植物の被圧や競合の影響は少なくなるが、初期の成立数や被覆量に乏しいために侵食防止効果が期待できない。木本植物を効率よく成立させるには、播種量全体を多くするよりも、単位面積当たりの播種量を減らし、木本植物の播種割合を多くする方が効果的である。

単位面積当たりの播種量を減らす場合には、土壤侵食の発生を防止する草本植物の被覆量をある程度確保する必要がある。草本植物の確保が木本植物の成立を困難にするような場合は、単位面積当たりの播種量を少なくすることになるが、その場合、侵食を防止する緑化基礎工などを十分に施す必要がある。

次に、木本植物の成立を図るための施肥要因として、従来から緑化工に使用されている化成肥料(I.B肥料)、窒素成分が少なく肥効の長い緩効性肥料(H.C-180肥料)、生育基盤を改善する土壤活性剤(アルギン酸ソーダ)の3種類を用いた施用効果を検討した。その結果は、表-6に示したようである。

播種3ヶ月後の生育状態は、従来の化成肥料を用いた場合より緩効性肥料や土壤活性剤を用いた場合は、木本植物の成立個体数が3倍から4倍となる。また、生育重量では2倍から8倍の増加である。これは、草本植物の成長に効果的な窒素成分を減らし、木本植物に効果的な磷酸及びカリ成分に調整した肥料であるため、草本植物の初期成長が抑制された結果である。

3. 改善工法の現地適応試験

1) 試験の概要

現地適応試験は、長野営林局王滝営林署濁川国有林内、標高1,350m付近における南西面を利用して実施した。この地域における基岩は、全般的に古生代の堆積岩と火山岩の流紋岩や石英はん岩などからなっており、その上に御岳火山碎屑物の火山れきが互相に堆積した崩れ易い地形である。

現地適応試験は試験苗畑及び既往施工地の調査結果などを参考に、従来の施工方法を改善して実施した。すなわち、草本植物の播種量を減らす対策として、表層土壤の侵食を防

止する効果の高いアクリルポリマー剤を用いた簡易緑化基礎工を設置した。また、木本植物の生育を促進するため、生育基盤の改善策として有機質資材等を多量に施用した。

侵食防止のために設定した簡易緑化基礎工は、荒廃斜面に土壤固結剤(NSK-101改)を斜面長5m毎に2m幅で散布した。その後、航空機を利用してヤマハンノキやヤシャブシなどの木本植物に草本植物を混合した種子の実播工を実施した。

播種量は草本植物の初期被圧による木本植物の成立障害を回避するため、草本植物の播種量を減らし、木本植物の播種量を従来の播種量より增量した。また、生育基盤の改善と土壤の活性化を図るために、有機質基材と土壤活性剤(アルギン酸ソーダ)を施用した。さらに、草本植物の初期生育を抑制するために緩効性肥料(H.C-180)を施用した。適用試験に用いた播種量及び緑化資材の数量は、表-7に示したようであるが、種子数量は発芽率を加算した数量である。

2) 調査の結果

設定時における散布むらや生育基盤の不均一性が気象条件(乾燥)と重なり、全般的に多少の発生むらを生じたが、導入植物の生育は比較的良好であった。設定後における木本植物の発生及び成立の経過調査を表-8及び表-9に示した。

施工当年の調査では350~500本/m²の範囲で木本植物が成立していたが、2年目の調査では、厳しい環境条件下で越冬したために生育数はいずれの調査地でも低い値であった。木本植物の枯死や消失の原因は、草本植物との競合などよりも、むしろ凍上・凍結などによる根系の浮き上がりや寒風による幼幹の乾燥が原因で生育率を低下させたと考えられるものが多かった。発生した木本植物の稚樹を、これら障害から保護して生育させるための保育技術が必要である。

緑化基材と木本植物の成立関係では、植生基材を多量に施用した2-(1), 2-(2)の調査区で、木本植物の発生及び成立数が他の調査区よりも高い値である。この傾向は木本植物の生育量においても同様であった。緑化基材を多量に用いることは、木本植物の成立を促進する生育基盤の改善に効果的であり、早期樹林形成の可能性を高める方法である。

V まとめ

木本植物の導入は、これまで植栽によって行われてきたが、施工地が急斜地であること、また、労働力の不足などから植栽による植物の導入が困難となっているため、機械力を利用した効率的な播種導入が望まれている。ところが播種による木本植物の導入方法は、現段階においては技術的に未熟であり確実性に乏しい。これまで播種による木本植物の導入を試みた事例は多いが、成功した事例は数少ない。そこで古くから崩壊地復旧で用いられているヤシャブシ、ヤマハンノキなど木本植物の播種による導入法を確立するため、適正な播種量及び播種密度と生育基盤造成について検討した。

ヤマハンノキやヤシャブシの発芽及び成立に好ましい要件は、まず、生育基盤の改善と発芽及び成立障害の回避である。すなわち、土壤自体の改善あるいは緑化基材による生育基盤の改善によって保水性を高め、土壤表面の乾燥を抑制することが必要である。さらに、草本植物の生育に伴って受ける木本植物の被圧や競合を回避することである。その方策として、播種量の適正化、草本植物の生育抑制、木本植物の生育促進などが考えられる。

(1) 播種量と木本植物の混播について

混播における木本植物の成立の成否は、草本植物の生育が木本植物の生育に与える影響への相互関係によって決まるものである。木本植物の成立に関する要因としては、播種量、播種割合、生育基盤の性質などが考えられる。木本植物の成立を左右する最も大きな要因は、草本植物の播種量である。これまで木本植物と草本植物との混播が成功しなかったのは、草本植物の播種量が著しく多かったことが主な原因である。草本植物は発芽までの期間が短く、発芽した後の成長が早いので、発芽や初期成長の遅い木本植物を同時に播種すると、木本植物は草本植物に被圧されて成立が困難である。

木本植物が草本植物によって被圧を受ける度合は、一般に木本植物の種類と草本植物の種類によって異なる。草丈の低い草本植物や初期成長の遅い草本植物を用いた場合は、木本植物の混播においては有利である。木本植物の初期成長が早い種類、耐陰性に優れた種類などを混播した場合は成立が可能である。

本調査では、単位面積当たりの播種量を3,000粒/m²から8,000粒/m²の範囲で、ヤシャブシ、ヤマハンノキの成立について検討した。その結果、これらの樹種では全播種量が5,000粒/m²以上になると、草本植物による被圧や競合による枯死現象が著しく木本植物の成立が困難となる。また、播種量が3,000粒/m²以下になると、施工初期の被覆量が乏しく、侵食防止の効果が期待できない。

成立密度は、個体の伸長成長に対して促進的に作用するが、成立密度が極端に高い場合には、全体に成長は抑制され枯死率が高くなる。このことから成長に対する播種密度は、ある程度少ない範囲においてはプラスに作用するが、ある値を超えて播種密度を高くするとマイナスの作用として現れる。従って、木本植物を成立させる上からは、播種量を必要以上に多くすることは好ましくない。播種量は3,000粒/m²から5,000粒/m²の範囲、草本植物の混播割合は、全播種量の30%から50%の範囲と推定される。

(2) 施肥方法と木本植物の成立について

木本植物の成立に関する施肥要因として、肥料の種類について検討した。すなわち、從来から用いられている化成肥料(I.B肥料)、窒素成分が少なく肥効の長い緩効性肥料(H.C-180)、生育基盤改善の働きをする土壤活性剤(アルギン酸ソーダ)の3種類を用いて木本植物の成立促進効果を検討した。播種3ヶ月後の生育状態は、從来の化成肥料を用いた場合より、緩効性肥料及び土壤活性剤を用いた場合の成立個体数は3倍から4倍、生育重量では2倍から8倍の値を示した。

従来の化成肥料の施肥では、初期の草丈は急激に伸長するが以後の伸長は緩慢である。これに対して土壤活性剤やコーティングした緩効性肥料を施肥した場合は、化成肥料を施肥したような初期の草丈の伸長はみられない。これは主に肥効の発現時期の差と肥料養分の差によるものである。化成肥料を用いた場合は、木本植物が発芽成長を開始する頃には草本植物はすでに10~20cmの草丈に達していることが多い。これに対して木本植物は発芽が遅く、また、初期の成長もきわめて小さい。このため、成長の遅いヤマハンノキやヤシャブシは、発芽しても草本植物に被圧されて途中で消滅してしまう。このように、肥料の種類によって草本植物の成長が大きく左右されることが、木本植物の成立に深く関係する。

施工に当たっては、木本植物の樹高をいかに早く伸長させるか、また、草本植物の成長をいかに抑制するかが木本植物を成立させる大きな鍵である。その一つの方法として、緩効性の肥料形態のものを用いる方法や土壤活性剤などの使用は、木本植物の成立を促進させる有効な手段として好ましい。

(3) 生育基盤の改善と木本植物の成立について

生育基盤の改善のため有機質の緑化資材を多量に用いたことや土壤活性剤や緩効性肥料を用いたことは、木本植物の成立に有効に作用したと判断される。特に根粒菌を増加させる働きのある土壤活性剤は、生育基盤の改善を促しヤシャブシやヤマハンノキの成立を促進する。

播種量を減らして木本植物の成立を促したが、草本植物の播種量を減らすことによる表面侵食の発生が起こり易い問題があった。すなわち、侵食防止剤の弱いものや、草本植物の播種量を著しく減らした場合に発生する。しかし、防止効果の高い侵食防止剤や被覆材を併用することによって、草本植物の播種量を減らすことが可能である。本試験で用いたアクリルポリマー系の防止剤(土壤固結剤 NSK-101改)は、侵食防止能が高く有効な資材である。

木本植物の早期成立における草本植物の役割を次のように考えるべきで、施工にあたっては草本植物を全く無くす考えではない。すなわち、①木本植物のみでは表面侵食が生じるので、草本植物によって侵食を防止する被覆量を確保しつつ、木本植物の成立を促進する。②草本植物によって土壤の通気性や浸透性などの改善を図り、木本植物の生育を促進する。

参考文献

- (1) 岩川幹夫：林叢形成促進のための実播绿化工とその保育管理、わかりやすい林業研究解説シリーズ、NO.56、日本林業技術協会、1976
- (2) 山寺喜成：急勾配斜面における绿化工技術の改善に関する実験的研究、1989
- (3) 原文夫・斎藤昇：西部地震災害绿化施工跡地の経過と対策、绿化工技術、13(2), 1988

- (4) 堀江保夫・陶山正憲：航空緑化工におけるアクリルポリマーの土壤固結効果と植被形成、緑化工技術、13(3), 1988
- (5) 堀江保夫ほか：航空緑化工における早期林叢形成工法の開発、農林航空技術合理化試験成績書、1988
- (6) 堀江保夫：播種緑化工における木本植物成立促進方法、技術情報シリーズ、1989

表-1 足尾地区のヘリ緑化散布資材

種類	数量(kg/ha)
(基肥)	
固体肥料	1,500
(種子)	
アカマツ	49
ヤシャブシ	6
ヤマハンノキ	5
ススキ	80
イタドリ	40
ヨモギ	30
W. L. G	74
チモシー	40
W. C	20
(被覆剤)	
アスファルト乳剤	2,500
清水	2,500

表-2 プロット内植物の構成

植物名	被度	頻度(%)
(≥ 2 m)		
アカマツ	2	
リョウブ	1	
ヤシャブシ	+	
ミズナラ	r	
< 2 m)		
リョウブ	1	80
アカマツ	1	40
ヤシャブシ	+	20
ミズナラ	r	
ススキ	1	44
イタドリ	1	40
ヒメノガリヤス	+	48
ヘビノネコザ	+	32

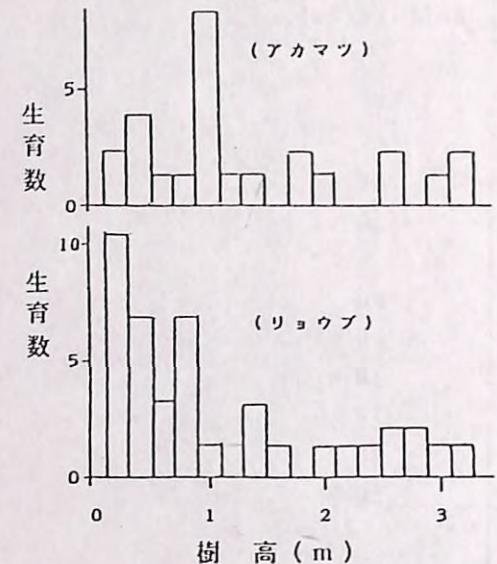


図-1 アカマツとリョウブの樹高分布

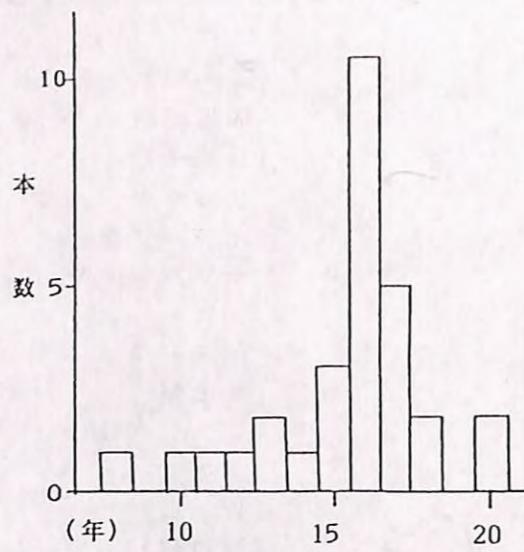


図-2 アカマツの樹齢分布

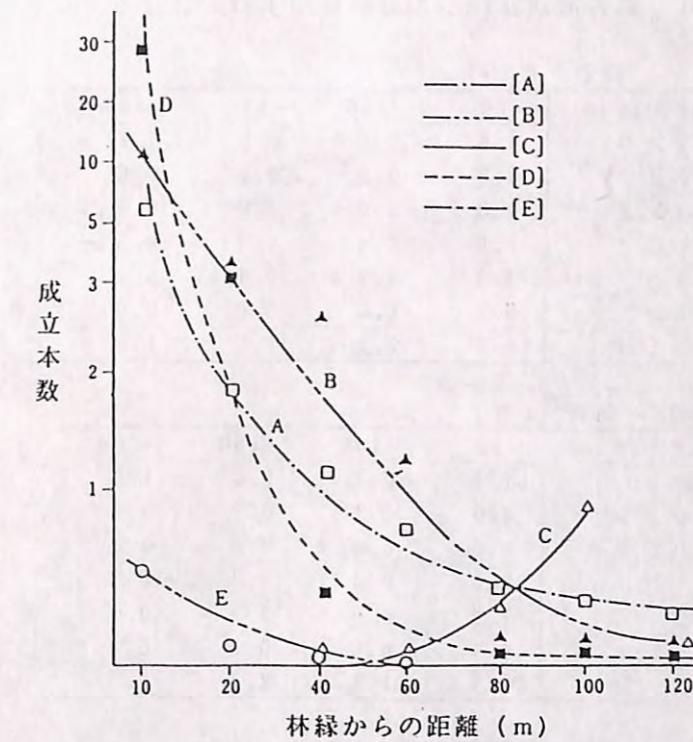


図-3 林縁からの侵入木本植物の成立分布

表-3 施工配合材料仕様 (kg/ha)

材料区分	乾式	湿式
(種子)		
O. G	23.8	23.8
K. 31. F	28.5	28.5
C. R. F	11.0	11.0
P. L. G	28.5	28.5
メドハギ	23.8	23.8
ススキ	5.5	5.5
(肥料)		
コーティング	800.0	800.0
高度化成	700.0	700.0
有機質基材	10,000.0	-
混和剤	-	2,300.0
緩衝剤	56.0	-
侵食防止剤	3,200.0	1,000.0
清水	-	9,078.0

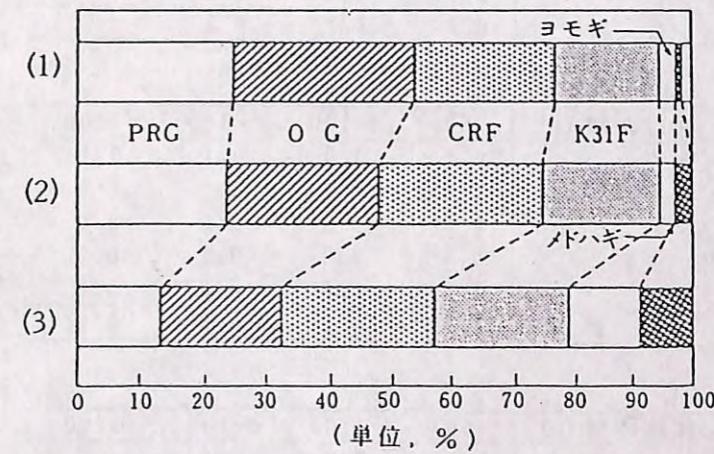


図-4 導入植物の経年別侵占度の変化

表-4 調査地別林縁からの樹種別生育本数(本/m²)

(1) 調査 (A)				
林縁距離(m)	~50	~100	~150	~200
ダケカンバ	4.8	0.2	0.0	0.1
ヤシャブシ	0.9	0.9	0.5	0.6
ヤマハンノキ	0.0	0.0	0.0	0.2
ヤナギ類	0.6	0.4	0.4	0.5
サワラ	3.8	0.7	0.1	0.2
カラマツ	0.1	0.0	0.0	0.0
合計	10.2	2.2	1.0	1.6

(2) 調査 (B)				
林縁距離(m)	~50	~100	~150	~200
ダケカンバ	18.1	0.7	1.5	1.0
ヤシャブシ	0.5	0.1	0.2	0.0
ヤマハンノキ	0.0	0.0	0.0	0.1
ヤナギ類	0.3	0.4	0.7	0.1
サワラ	1.9	0.0	0.0	0.1
モミ	0.1	0.0	0.0	0.0
合計	20.9	1.2	2.4	1.3

(3) 調査 (C)				
林縁距離(m)	~50	~100	~150	~200
ダケカンバ	0.0	1.1	0.0	-
ヤシャブシ	0.1	0.3	0.1	-
ヤマハンノキ	0.0	0.1	0.0	-
ヤナギ類	0.1	0.9	0.0	-
サワラ	0.0	0.3	0.0	-
合計	0.2	2.7	0.2	-

(4) 調査 (D)				
林縁距離(m)	~50	~100	~150	~200
ダケカンバ	29.1	0.0	0.1	0.1
ヤシャブシ	1.1	0.2	0.3	0.3
ヤマハンノキ	0.0	0.0	0.0	0.0
ヤナギ類	0.7	0.0	0.1	0.2
サワラ	1.6	0.0	0.0	0.0
合計	32.5	0.2	0.5	0.6

(5) 調査 (E)				
林縁距離(m)	~50	~100	~150	~200
ダケカンバ	0.3	0.0	-	-
ヤシャブシ	0.2	0.0	-	-
ヤナギ類	0.3	0.0	-	-
合計	0.8	0.0	-	-

表-5 木本植物の播種割合と成立の変化(本/m²)

全播種量	3,000粒/m ²			5,000粒/m ²			8,000粒/m ²		
	木本比率	30%	50%	70%	30%	50%	70%	30%	50%
(A) 本数	125	225	314	180	210	263	131	264	452
発生率(%)	13.88	15.00	14.95	12.00	8.40	6.60	5.46	6.60	8.07
(B) 本数	52	78	108	62	69	84	23	52	106
生育率(%)	41.60	34.67	34.39	34.44	32.86	31.94	17.56	19.70	23.45
(C) 本数	15	12	29	13	14	16	2	3	5
生育率(%)	12.00	5.33	9.24	7.22	6.67	6.08	1.53	1.14	1.11
(D) 本数	2	5	12	0	2	5	0	0	1
生育率(%)	1.60	2.22	3.82	0.00	0.95	1.90	0.00	0.00	0.22

表-6 施肥要因による木本類の成立(m²)

全播種量	3,000粒/m ²		5,000粒/m ²	
	項目	成立数(本)	重量(g)	成立数(本)
土壤活性剤	112	450	108	298
緩効性肥料	121	198	91	148
高度化成肥料	36	54	24	58

表-7 現地適応試験の緑化資材配合(kg/ha)

試験区分	1-(1)	1-(2)	2-(1)	2-(2)	3-(1)	3-(2)
ヤシャブシ	21.3	-	21.3	-	25.0	25.0
ヤマハンノキ	15.4	15.4	15.4	15.4	27.0	27.0
ヒノキ	-	32.9	-	32.9	-	-
K. 31. F	30.0	30.0	30.0	30.0	38.0	38.0
O. G	7.1	7.1	7.1	7.1	-	-
K. B. G	1.2	1.2	1.2	1.2	3.0	3.0
W. L. G	-	-	-	-	3.0	3.0
ススキ	2.5	2.5	2.5	2.5	-	-
緩効性肥料	800	800	800	800	700	700
高度化成肥料	700	700	700	700	800	800
有機質基材	1,250	1,250	7,500	7,500	2,200	6,500
土壤活性剤	-	-	350	350	300	300
土壤固結剤	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
清水	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000

表-8 現地適応試験における植物の残存率 (%)

試験区分	1-(1)	1-(2)	2-(1)	2-(2)	3-(1)	3-(2)
ヤシャブシ	15.4	-	20.6	-	0.0	7.7
ヤマハンノキ	60.2	49.2	83.2	61.4	0.0	10.0
ヒノキ	-	0.0	-	0.0	-	-
K. 31. F	56.5	62.8	32.9	33.1	45.6	37.5
O. G	56.5	19.2	27.4	25.6	-	-
K. B. G	12.3	10.8	22.5	20.0	0.0	0.0
W. L. G	-	-	-	-	86.4	71.3
ススキ	20.8	8.3	48.1	38.1	-	-
木本類残存率	45.6	49.2	54.2	61.4	0.0	10.4

表-9 現地適応試験における導入植物の成長量変化 (cm)

試験区分	試験1-(1)		試験1-(2)		試験2-(1)		試験2-(2)	
調査年月	63.7	元.7	63.7	元.7	63.7	元.7	63.7	元.7
ヤシャブシ	4.9	35.5	-	-	5.5	43.5	-	-
ヤマハンノキ	5.5	53.5	6.5	48.5	10.2	58.5	8.0	52.5
ヒノキ	-	-	0.0	0.0	-	-	0.0	0.0
K. 31. F	29.5	30.5	33.3	31.0	52.3	33.5	50.5	31.5
O. G.	34.5	28.5	56.7	32.5	63.0	30.5	83.5	34.0
K. B. G	37.0	30.0	36.6	29.5	47.5	31.5	84.5	33.5
ススキ	1.5	14.5	2.0	16.5	2.0	22.5	4.0	28.5



写真1 現地適応試験地の施工当年の全景（施工3ヶ月目の調査）

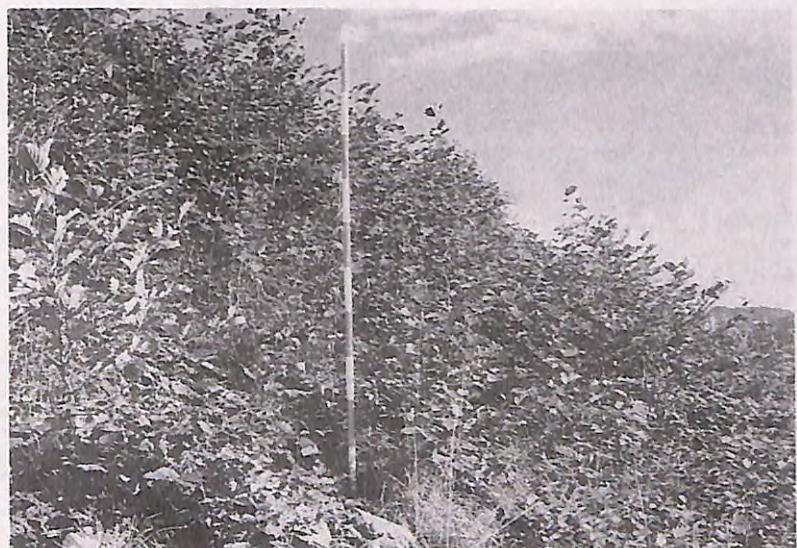


写真2 ヤマハンノキ、ヤシャブシの早期樹林化の形成（施工3年目調査）



写真3 現地適応試験における木本植物の発生状況
土壤固結剤の効果で表土の侵食は発生
していない（施工後3ヶ月目の調査）



写真4 草本植物の播種量を減らした場合の木本
植物の成立と被覆状態



写真5 草本植物の衰退現象と表土の侵食状態（施
工2年目の調査）



写真6 土壌活性剤を用いた調査区の木本植物の成
立状態（施工2年目の調査）



写真7 生育基盤の改善に有機質基材を多量に施用した調査区の木本植物の成立状態（施工3年目の調査）



写真8 緩効性肥料を用いた調査区の木本植物の成立状態（施工3年目の調査）

天然林抲伐に伴う生立木枯損防止
のためのフェロモンによる誘殺試験

天然林抲伐に伴う生立木枯損防止 のためのフェロモンによる誘殺試験

I 試験担当者

北海道支所昆虫研究室

小泉 力

同上

秋田米治

同上

前藤 薫

同上

尾崎研一

九州支所昆虫研究室

吉田成章

II 要旨

抲伐に伴うヤツバキクイムシによる枯損の防止にフェロモン剤の効果があるかどうかを調査した。3か所の試験区でフェロモントラップの密度を変えて、捕獲経過を追った。試験方法として対照区との比較ができなかったので、気温とヤツバキクイムシの生息数、立木、倒木に対する寄生の動態から捕獲経過を説明するシミュレーションモデルをつくった。このモデルでフェロモン剤によって生息密度を減らさない場合の計算を行い、トラップ設定数により密度がどのように変化するかを調べた。この結果、2haに8個のトラップを設置した場合、予測の枯損本数は設置しない場合の最高1/10程度になるという結果を得た。

III 試験目的

1982年から1984年に行った「風倒地における生立木虫害防止のためのフェロモンによる誘殺試験」³⁾の結果、タイリクヤツバキクイムシの誘引のためにつくられたフェロモン剤(*Ipslure*)は日本のヤツバキクイムシに対しても十分誘引することがわかった。しかし、風倒跡地のように周辺に誘引剤の競合相手となる倒木がたくさんある場所にフェロモン剤を設置した場合、倒木に寄生させないほどの誘引力はフェロモン剤ではなく、倒木での繁殖を阻止できなかった。また、穿入繁殖可能な倒木がなくなり、生立木への加害が始まった時点でも生立木を加害させないほど密度を落とすこともできなかった。このため、フェロモン剤を有効的に使用できるのは、穿孔対象になる倒木等少なく虫密度も比較的低い抲伐地における枯損の防止の目的では使用できるのではないかと考えられ、今回の試験は抲伐前にフェロモン剤でヤツバキクイムシの密度を減らして、抲伐を行った場合の枯損防止効果について検討した。

風倒木での試験でもそうであったが、この種の試験では同様の条件をもった対照区を複数することはきわめて難しい。このため、効果の判定に無処理区との統計的な比較処理をすることはできない。そのため前回の試験では対照区は設けず、風倒木以外での倒木を除去するといった試験設計で、ヤツバキクイムシの誘引捕獲率を調べその効果を判定した。しかし、もともと枯損木がなく、ある時間に生息しているヤツバキクイムシのほとんどが移入によるとみられるような天然林では風倒木で行ったような全体の密度推定、捕獲率の算出ができないため、今回は過去のデータも援用して個体群動態のシミュレーションモデルをつくり、このモデルによる予測を、林分の捕獲個体数の推移に当てはめ、フェロモン剤による捕獲の効果がどのように全体密度に反映していくかをみるとこととした。

IV 試験の方法と結果

1. 試験地の概況

試験地は定山渓営林署（現札幌営林署定山渓営林事務所）の部内で3年後に択伐が予測されている3か所に試験地を設け、それぞれをA, B, C試験地とした。

A試験地は空沼実験林1128林班い1小班に1.13haの面積を試験区に設定した。B, C試験地は奥定山渓国有林210林班は小班に0.6ha, 2.04haの面積を試験区に設定した。各試験地の位置を図1, 2に示した。試験地のトラップ配置と立木配置の概略を図3, 4, 5に示した。択伐時の林況を表1に示した。各試験地の1989年の立木、1987年の択伐木、1987と1988年の枯損木を表2に示した。

2. 試験の経過

試験地は1985年4月に設定した。試験は毎年5月雪解けで林道に入れるようになってから、中にフェロモン剤を入れたノルウェー型トラップをA試験地に8個、B試験地に1個、C試験地に5個を設置した。回収は1985年から1988年までは1週間に1回、1989年は10日に1回の割合で行った。気温の観測はA試験地とC試験地のほぼ中央の林内の直射日光の当たらない場所で行った。

フェロモントラップの設置状況を写真1に示した。

毎日の捕獲数は図15～29の中に示した。

択伐はA試験地では1987年6月、B, C試験地では1987年7, 8月に行われた。

捕獲虫の回収、計数のほかに、生態的調査として、マーク再放虫試験を1986年には支所構内で、1987年にはA試験地、C試験地で行った。成虫の生存期間は飼育試験で調べた。いくつかの時期の捕獲成虫の性比の調査を行った。また、1990年6月に誘引成虫の性比に関する生態調査を行った。

択伐後の実際の生立木の枯れはA試験地で1987年に1本、1988年に4本であった（写真

2）。

3. ヤツバキクイムシ成虫動態のシミュレーションモデル

1) シミュレーションモデルの考え方

越冬あけから越冬に入るまでを単位として、日（時間）を追ってヤツバキクイムシ成虫に関係した生態的なできごとを数学的に記述していく方法をとった。これらの生態にいちばん密接に関係する要因は温度であるので1年間の温度の推移を独立変数と考え試験地における実測データを使用した。

2) 気温

空沼A試験地と奥定山渓C試験地で気温データを収集したが、試験の初年度（1985年）は温度計が間に合わなかったので、8月21日以降のデータしか得られなかった。また実際の温度測定は試験地に入ることのできる雪解けの5月下旬から積雪の始まる9月下旬までであった。5月の上旬には最高気温が16°Cを超える日が現われるので、モデルの起算日は5月1日とした。

1985年の8月21日以前と各年の5月1日から測定初日までの間の欠測データは次のようにして補足した。すなわち気象月報のA試験区には札幌、C試験区には喜茂別のデータと各試験地のデータの完全な部分との回帰関係から推定補足した。

成虫の行動、特に飛翔に關係する温度にはしきい値があり、室内実験では20°C以下では飛翔しないことがわかっている²⁾。このため、成虫の生息場所と温度測定場所とが一致する場合にはこの20°Cを飛翔するか否かの判断に使用できるが、そうでない場合は測定気温と実際の飛翔にずれが起きる。今回測定した林内では16°C付近の気温でも誘引された。このため、脱出、飛翔のための最低気温を16°Cとし、日毎の16°C以上になった時間をデータから読み、欠測値部分は、最高気温と平均気温からSINカーブを描くと仮定して次の計算式から求めた。

$$A = (16 - \text{平均気温}) / (\text{最高気温} - \text{平均気温}) : 16°C以上の時間 = \text{ARCCOS}(A) \times (12/\pi) \times 2$$

実測値とこの計算式との回帰では両者は一致せず、計算式の方が過大に出ることから、欠測値を補足したところでは計算式に0.92をかけ修正した値をとった。16°C以上の時間が8時間を越える場合は1日の行動時間帯がおおよそ朝の8時から夕方の4時までなので8時間とした。

3) 捕獲データの処理

トラップにより捕獲した個体は上述した通りおおよそ1週間に1回、一部10日に1回の

割りで回収したので、このデータを捕獲日の16°C以上の時間で割り振った。このため高温が続く夏期には毎日16°C以上の時間が8時間となり、捕獲数も同数となるかたちになっている（図15～29）。

4) サブモデル

シミュレーションモデルを構成するサブモデルの検討を行った。サブモデルのそれぞれのデータは今回の試験と先の技術開発試験「風倒地における生立木虫害防止のためのフェロモンによる誘殺試験」で得たデータのほか、過去の文献に出てくるデータを解析してサブモデルのそれを構成した。ただし、サブモデルはそれ自身完成されたものではなく、データがないものや、予想されることと実験結果が違うことなどもある。これらについてはかなり大胆に仮説をたててサブモデルを構成した。サブモデルとして次のものを組み込んだ。

(1) 羽化・脱出曲線

(2) 脱出した成虫の生存曲線

(3) フェロモンその他の誘引範囲、誘引の強さ

(4) 最大寄生数、フェロモンの有効期間

(5) 移出入

(6) 生立木への穿入の扱い

(7) 誘引個体の性比とフェロモンに対する反応

(8) トランプで捕獲されなかった個体の動態

(9) 再寄生

(10) 卵から羽化・脱出までの期間

(11) 生立木への寄生数と枯れ

(1) 羽化・脱出曲線

調査例は1例だけで、1983年の阿寒における調査のデータ³⁾を使用した。成虫の脱出は気温に左右されているものとし、気温が16°C以上になった時間を羽化時刻とした。97.8%の脱出をみた5月29日の16°C以上の積算時間が約63時間になったので、全数の脱出に必要な延べ時間は少し多めにとって70時間とした（表3）。この脱出過程は越冬あけの個体群のもので越冬によって齊一化しているとみられるが、再寄生や第一世代ではよりばらつくものとみて、データによって個別に大きめの値をとった。

(2) 脱出した成虫の生存曲線

成虫の生存率の調査を行った。最初、特に餌を与えないで飼育した。片方に網を張った飼育ビンにティッシュ紙を入れ軽く水を含ませたその中に成虫23頭を入れた。6月7日朝

に脱出した。この方法では約10日しか生存しないことがわかった。

成虫が10日しか生存しないのは短命すぎると考え、後食を想定しエゾマツの切り枝を入れた網かごの中で飼育を行った。8月8日に前日フェロモントラップで捕獲した個体を使って室内で飼育を始めた。供試頭数は生枝で100頭と10頭であった。飼育した成虫は一部金網上を這っているものもあったが多くは枝の剥皮部に潜った。ただ剥皮部がうすいので孔道は皮の下に完全に隠れず一部破れて表面からもみえた。孔道はら旋状につくられた。ヤツバキクイムシ生存期間は水のみの場合と同様の結果になった。初期死亡が多いのは、フェロモントラップで捕獲したので弱っていたものがいたためと思われる。

1986年も同様の試験を行った。その結果、ティッシュ紙に蜂蜜をあたえて飼育しても寿命は変わらなかった。エゾマツの生枝を与えたものではおおよそ寿命が倍になったが、野外でエゾマツの枝への食害等が観察されないこと、枝に潜ったものはやはり寄生と同様とみられることから野外における生存とはみなさないとした。飼育による生存曲線を図6に示す。

最終的にモデルには4日まで死亡無し、14日後に全部が死亡するという仮定をした。

(3) フェロモンその他の誘引範囲、誘引の強さ

フェロモンはそれがフェロモン剤であろうと倒木あるいは立木に穿入した虫によるものであろうと同じであり、誘引範囲が異なることはないと考えた。過去の誘引剤の試験から誘引トランプから半径10m以内の生立木はヤツバキクイムシの攻撃を受ける可能性があるとされていることから、実際には誘引範囲は最大半径10mの円上で周辺部に行くほど効果が薄いと考えられるが、モデルでは有効範囲内に入れば100%捕獲されるという仮定をした。フェロモンの拡散は立体的なものとするのが妥当であるが、平面的に置き直すことし、対象地域内で1本のフェロモンの出ている木（トランプ）があるとすると誘引範囲にはいる確率は面積比とした。1ha中に1本の誘引体がある時の有効範囲を半径10m程度と仮定し、半径10m内にはいったヤツバキクイムシが確実にトランプされるとすると、確率は

$$(10^2 \times 3.14) / (100 \times 100) = 3.1\%$$

となる。

この仮定を実際の事例で検証してみた。1982年の阿寒における格子状試験地³⁾と1982年5～7月の十字型試験地は試験地外の対象木が除かれていること、対象地域内のヤツバキクイムシの個体数が推定されていること、試験地内は寄生対象木と誘引剤で埋められていることから、誘引された個体はすべて倒木に寄生するか、誘引トランプに捕獲されたことになり、しかも同じ個体が何度も推定される対象になることがない状況下である。このた

め風倒翌年（1982年）のデータからの推定は仮定した状況をよく反映していることになる。1982年度の5～7月はすべて外部からはいってきたものであったが、1982年8月以降は対象地域内で羽化した個体群を対象としているが、その数値に大きな違いはない。外部から入ってきた場合も地域内にもともといた場合でもこの値は変わらないとみられた（表4）。この結果から、モデルではフェロモン剤の誘引距離は6mとした。

立木、倒木の誘引力は次のように仮定した。生立木で寄生されていない場合はフェロモン剤の0.01倍、倒木で寄生されていない場合は0.3倍、寄生されると集合フェロモンが放出されることから寄生1頭につき0.02倍の誘引力が加算されるものと仮定した。

(4)最大寄生数、フェロモンの有効期間

寄生が一定密度になると抗集合フェロモンが放出され新たな寄生がなくなることから一定密度以上になると誘引力は0になるとした。寄生限界密度は阿寒における立木と倒木の調査から求めた³⁾。

図7、8に示した通り立木、倒木にかかわらず1本の木では400/m²までは寄生が増大するがそれ以上にならない。しかし、400/m²以上の寄生も見られるが、この理由は密度が高い場合に、まだ抗集合フェロモンが出ないうちの短時間に集中的に寄生するためであるとみられる。モデルではフェロモンの持続時間を寄生から3日とした⁵⁾が、この期間内に密度が400/m²を超えた場合は誘引力は0にならないとした。穿入限界密度はバイオニアである雄のみに適用し、雌は雄の2倍が穿入した場合を限度とした。従って、雄で誘引されて食痕に入れない個体は死亡するものとした。ただし、今回のシミュレーションではこの密度を大幅に超えることはなかった。

集合フェロモンは雄が寄生・穿入した後発散され始めるが、いつの時点で終わるのかは不明である。穿入から産卵開始までの期間がおよそ3日であることから⁴⁾、有効期間は3日とした。倒木では寄生は100%成功するが、生立木の場合エゾマツが健全なうちは穿入しても樹脂にまかれて死する。穿入から樹脂にまかれて死するまでの時間を調査した例はないが、阿寒での観察から1日と考えた。

(5)移出入

今回の試験地は閉鎖系ではないことから、移出入を考えなければならない。また、試験地内だけで系が成り立つとすれば繁殖場所がなければならぬが、現実に試験地に繁殖できる場所は伐採時とその後の立木の枯れ以外にはなかった。そこで、今回のモデルでは、特定の地域への移出入を考えるのではなく、通過していく成虫が立木、倒木に寄生し、またトラップに捕獲されるという概念で構成した。再寄生の経過、第一世代の発生経過を知ることから、実際の試験地内に倒木がない場合も、ダミーとして倒木を1本用意し、それに寄生したとした。

(6)生立木への穿入の扱い

実際の林分では倒木の周辺で枯れが集中的に起こるといったことがみられることから空間的な配置が考慮されたモデルを組めればより現実的であるが、今回は空間的な組み立てはしなかった。その理由は立木配置の違いによる寄生のされ方の違いのデータがないことと現在のパーソナルコンピューターでは空間配置を要素に入れると計算時間が膨大になるためであり、また、移出入の項で述べたように今回のモデルでは特定の場所での予測というより、ある地域の平均的な林分が試験地であると考えたことによる。実際には天然林では樹幹の上部から徐々に寄生され枯れてくるという現象が観察されるが、モデルでは立木はすべて同じ条件で寄生されるとし、特に直径・林齢で寄生され易さの差異をつけないとした。すなわち、立木寄生は枯死確立計算とし、すべての木を同じ計算にし、誘引係数も木の大きさ別などの扱いはしなかった。

(7)誘引個体の性比とフェロモンに対する反応

前回の風倒地でも今回もフェロモン剤で誘引された個体は雌の方が圧倒的に多かった（表5、6）。この原因をいくつかの方法で生態的に追求した。単純に、雄がバイオニアとして穿入場所を捜すことから、雄の死亡率が高いといった考え方は、時期別に雄の割合を調べた結果から、否定される。すなわち、野外の個体群で雌雄の構成が変化していく、誘引は雌雄で同じであるとする、時間が経つにしたがって雄の割合が50%からじょじょに下がるといったデータにならなければならない。しかし、現実はそのようになっていない。

a. 閉鎖空間での誘引率と誘引経過の調査：野外でフェロモン剤の入ったトラップを入れた40×80×350cm（図9）の真鍮の網かごを地上1.5mの位置に宙に浮して設置した。この中にフェロモントラップで採集したヤツバキクイムシを入れ、定期的にトラップに誘引された虫を数えた。最初の2回は100頭中24頭、60頭中4頭が再度捕獲された。その後くり返し数回同様の試験を行ったところまったく誘引されなかった。100頭中24頭が捕獲された場合についての捕獲経過を図10に、網かご内の虫の位置を時間的に追ったものを図11に示した。

24頭の個体は網かごに入れた直後からおよそ2時間の間に誘引されただけであった。その後残りの76頭はまったく誘引されず、網かごのなかでも移動していなかった。誘引されなかった虫の実験の中で、室内でいったんフェロモントラップで採集した21頭の個体だけを入れるという実験を行ったが、網かごではまったく誘引されなかった。

この結果からフェロモン剤でいったん誘引された個体は再び誘引されないことが明らかになり、いったんフェロモンにあたると虫の状態が変化すると考えられる。24頭と4頭は最初のフェロモン剤にあたる時間が短かったため再び誘引されたものとみられるこのことから、フェロモンに反応する時間も限られており、一定時間以上フェロモンに曝されるとそれ以上反応しないと考えるとこの現象が説明される。

このとき使用した個体の雌雄は調査しなかったが、フェロモンで捕獲されたものであるので、雌が大部分と見られる。雌雄でフェロモンに対する反応時間が異なるれば捕獲率の違いが説明されることになる。これを直接証明する実験はかなり難しいので、傍証となる3つの実験を行った。

b. 飛来後すぐに捕獲されない個体の雌雄：ノルウェー型（写真1）のトラップでの観察では、フェロモンに誘引された個体は飛来した後すぐにトラップに入るのではなく、トラップの外壁にとまるか、もしくは外壁に当たった後下に落ちてまた飛翔し、トラップにとりつく行動をする。もし雌雄の反応時間が異なり、トラップへの侵入に時間がかかり反応時間内に入れないと、トラップに捕獲された個体の雌雄の性比が1:1にならないとすれば、トラップ本体に飛来して、一度で入れなかった個体の性比を調査すれば雌雄の比は1:1に近いはずである。このことを調べるためにトラップの下に水を入れたバケツを置いた。結果は表7の通りで、性比はトラップで捕獲された個体よりバケツの中の方が雄の数が多くなっているが、1:1にはならなかった。この結果から、雄は誘引範囲内にはいるとすぐにランディングしフェロモン濃度勾配にしたがって濃い方にくるといった行動をする個体は少ないのでないかと判断された。

c. トラップから離れた位置での捕獲虫の性比：上記のことを確かめるため、トラップから0m, 1m, 3m, 6m離れた位置にマツノマダラカミキリ捕獲用の約40cm×60cmの板上に粘着液が塗られたトラップを置いて、誘引中心にたどりつく前にランディングする個体を捕獲し、性比を調査した。しかし、表8に示した通り、捕獲個体数が少なく、確実な結論は得られなかった。ただ、まっすぐトラップ中心に行かずに近傍でランディングしている個体があることは確かめられた。

d. トラップの取付地上高を変えた場合の性比：もしトラップの捕獲効率が悪く、いったん入り損ねた個体が地上に落ち、数回のとりつきで初めて捕獲されるとするとトラップの高さによって捕獲効率、性比が変わるものと判断される。そのため従来からの設置高さは0.5mであるが、トラップの下部の捕獲個体をためる部分の上部の位置を地上0m, 0.5m, 1.5m, 3.0mになるように高さを変えて設置した。捕獲数は設置場所によって異なるので、従来の設置による捕獲数との比較をしてみると、表9, 10に示すように、高さを変えても0.5mの位置での捕獲率と大きく変わらないが、性比は、0mで高くなり、0.5m以上ではほとんど同じであった。これから少なくとも雄は飛翔によって誘引中心部に近づいていないことがわかる。誘引範囲内に入った個体は最初のとりつきで10%程度捕獲され、雌ではその後数回のとりつきで捕獲数が増えるが、雄では再度とりつきを試みる割合は3~5%程度であるとすると、この結果が説明される。

以上のことから、捕獲される雌雄の誘引率の違いは雌雄の誘引に反応する持続時間の違いと考えた。個体は誘引範囲内にはいると濃度の濃い方に移動するという反応をするが、一定時間を過ぎると、それ以降は誘引物質には反応せず、次の行為例えば雄であれば樹幹

に穿入孔をつくる行動に移る。一連の寄生行動の雌雄による違いによって反応の違いがでるとみられる。

原種タイリクヤツバキクイムシの場合も雄の捕獲比率が低いが、その程度はヤツバキクイムシほどではなく、今回使用したものと同型の1979年型トラップで捕獲した場合19~23%という報告がある¹⁾。ヤツバキクイムシの場合、風倒地の調査を含めても雄の割合が18%を超える例はなかった。数字的にはタイリクヤツバキクイムシとヤツバキクイムシの間で違いが認められるが、生態的な反応の違いだとすればトラップの設置環境にも左右されることから、現在のところタイリクヤツバキクイムシとヤツバキクイムシの間にフェロモンに対する反応に決定的に違いがあると断定することはできない。

生態的には次のように説明される。このフェロモンは集合フェロモンで、雄が寄主に穿入した後に発散する。すなわち、自然状態ではこのフェロモンを探知できた他の雄は寄主に定位したのであるから、特に長い時間寄主であるエゾマツ類を捜す必要はない。これに対して雌は雄と同時に誘引されても雄が交尾孔を掘り終わるまでは入れないし、すでに交尾孔が完成していても、先着雌が2頭入りていれば追い出されることがある。別の誘引物質を出している穿入孔を探索しなければならない。このことから実際の穿入までにかなり時間を要し、雄よりも長い時間誘引物質に反応する必要がある。

以上の結果から、このモデルでは誘引されてから100%捕獲されるのに必要な時間は2時間、雄が誘引に反応する時間は20分、雌が誘引に反応する時間は2時間とした。

(8) トラップで捕獲されなかった個体の動態

倒木や立木で誘引反応持続時間内に穿入場所を見つけられない場合、トラップに捕獲されなかった個体が、その後どうなるかという点は重要である。誘引反応がなくなれば、誘引範囲外に出るのは難しくない。誘引物質に曝されなくなった後、フェロモンに反応するかどうかを調べる実験はできなかった。しかし、上述の網かご内誘引試験に用いた個体に、フェロモンに反応しない個体がいたことから、誘引反応持続時間を超えた個体はフェロモンに曝されない場所においても二度と戻らないと考えるのが妥当のようである（反応した個体は誘引持続時間を超える前にフェロモンから隔離された）。

また、トラップで雌が圧倒的に多く捕獲されれば、この影響（雄の比率が上がる）が時間の経過とともに現われるはずだが、雄の比率が高くなるといったことを検出することはできなかった。この原因として捕獲率が低い場合が考えられるが、風倒地の試験では50%以上の捕獲率が推定された場合も雄の捕獲率は上がっておらず、誘引された雄は二度とフェロモンに反応しないとするのが妥当である。

モデルではフェロモン剤の誘引範囲に入ったが、捕獲されなかった個体は死亡するものとした。

(9)再寄生

越冬あけ成虫は寄生木に穿入した後、母孔の両壁に卵を産み、母孔はだんだん長くなるが、一定長さ以上の母孔の形成はせず、母孔の長さが6cm程度になるとその母孔を出て新しい寄生場所を見つけて再度寄生する。この再寄生の現象は母孔の長さが一定以上になつた、内樹皮の状態が産卵に適さなくなった、あるいは既定産卵数に達したといったことが考えられるがはっきりしないので、過去のデータから現象的に判断することとした。産卵速度と温度との関係を調べたデータはない。産卵には物理的に穴をあけるという作業が必要なことから、産卵速度の温度に依存している部分はあまり大きくないと考え、一定以上の温度では母孔を作る速度が同じであるという仮定をたて、一定温度以上の時間の積算の考え方をとることとした。産卵をしなくなる温度はまったく不明で根拠はないが、モデルの計算の結果と比較的合致しやすい数値を選んで7°Cとした。

使用したデータは山口⁵⁾で最高気温が図の形で示されていたのでこれから数値に読み直した。最高気温と平均気温の関係は喜茂別の1986年の5~6月から求め、この回帰関係から平均気温を推定した。

この結果、寄生の始まった5月21日から母孔が完成し脱出の条件に達した6月10日までの積算時間は約380時間となった(表11)。この報告では再寄生開始前の数日が温度が低く脱出飛翔が遅れたと判断されていることから実際の脱出時期は採用しなかった。

(10)穿入から羽化・脱出までの期間

幼虫期間の積算温度は調べられたことはないので、山口・小泉⁴⁾のデータから推定した(表12)。卵、幼虫の発育0点は一般的な昆虫の例から10°Cとした。ここではそれぞれのステージの発育について記述しないが穿入から羽化までの積算温度を431日度とし、成虫の後食期間をこの時期の10日、約130日度と考え、卵から脱出までの積算温度を560日度とした。

(11)生立木への寄生数と枯れ

モデルのキーポイントとなる寄生と枯れの関係は今までのデータでははっきりしていないので、阿寒での1983、1984年の調査結果を解析した³⁾。風倒の2年後と3年後に風倒地で増殖したヤツバキクイムシが周辺の生立木を加害する時に、風倒地に接した残存林分で約280本の生立木のおおよそ地上高2m位置の樹幹表面に20cm×50cm調査区を設け、定期的に寄生数を調査した。調査本数は途中で新たな倒木や折損木が発生したため徐々に当初より少なくなった。

このデータから穿入密度と枯損木との割合の関係は図12のようになった。寄生されても枯れなかったもののデータが少ないとから、なめらかではないが、寄生密度が低くても枯損が発生しており、穿入密度が400/m²になると全部枯損するという関係になった。なお、

調査部位に寄生がないものでも枯れたものがあった。これは、寄生密度0として図の中にいた。これには調査部位外での寄生によって枯れたものとヤツバキクイムシの寄生以外の原因で枯れたものとが含まれる。

枯れが部分的に寄生の集中したところに影響されるとすれば、0.1m²の範囲1か所と調査部位が限られた今回のデータでは、過大評価されている(密度に対する枯れなかった割合が多く見積られているため)ことになる。また、枯損時期が不明なことから、枯損後の寄生もデータに入っている可能性があり、これからも多少過大評価されている可能性がある。しかし、データとしてはこれ以外にないので、この結果を使用する。

天然林では過熟木から枯れるといわれていることから、樹齢あるいは直径と枯損との関係があるかもしれないが、今回のデータでは明確な傾向は出なかった(図13)ので、樹齢と直径による区別はしなかった。

モデルでは寄生がなければ枯れは0、m²あたり1頭の寄生の増加で枯死の確率が0.0025上り、400/m²の寄生を受けければ全立木が枯死するとした。

5) シミュレーションモデルの組み立て

以上のサブモデルを組み合わせてコンピュータープログラムをコーディングした。使用言語はBASICで日本語を変数に使用できるものを使った。

プログラムのフローチャートは図14に示した。脱出過程、野外成虫の死亡・生存の計算、立木に対する寄生、倒木に対する寄生、フェロモン剤による捕獲といった主要サブルーン群は世代毎に越冬あけ成虫、再寄生成虫、第一世代成虫のそれぞれで使用されるが、プログラム自体はミスコードを避けるため、3つに分けた。すなわち、越冬あけの成虫、再寄生成虫、第一世代の成虫と別々にプログラムを用意し順次計算した。

各群の初期生息数は閉鎖系を仮定している場合には、途中の死亡を計算して世代毎に生息数を引き継げばよいが、今回のように移出入を前提にした試験地で、その地域の平均的なサンプルに過ぎないという状況ではそのようなことができない。そこで、初期生息数を最初に仮定し、計算の結果から、より捕獲過程を説明できる初期生息数になるように、数回繰り返し計算を行った。世代間の重なりがある場合世代間の重なりの部分での最適値を見つけることが難しかった。そこで重なりの少ない部分で計算値と実際値が最小になるようにした。また、どうしても現在のモデルではあてはまらないばらつきもみられ、計算値と実際の捕獲数との間に10%程度の誤差がみられた。しかし、これは現状の計算方法ではかなりの時間を費やすねばならないし、その程度の誤差で全体の結論が大幅にかわることはないので、誤差を5%以内にするといった作業はしなかった。

最初に越冬あけの成虫の初期生息数を設定し日毎に脱出できる温度の判断、脱出倒数の計算、すでに脱出した成虫の生存数の計算、立木寄生数、倒木寄生数、フェロモントラップによる捕獲数を計算し、立木に寄生した数とトラップに捕獲された数を野外の生存成虫

数から除くという計算過程をとった。このとき倒木寄生のダミーデータをつくった。ただし、1987年は実際に伐木がでたのでこれに対する寄生過程を利用した。このダミーの倒木寄生過程から、再寄生成虫の脱出過程と第一世代成虫羽化・脱出過程を計算した。再寄生成虫では初期生息数を仮定して、越冬あけ倒木寄生のダミーデータから寄生日毎の再寄生成虫数の計算を行い、再寄生の脱出源と仮定した。計算は寄生の最初から行い、再寄生成虫の脱出の必要な時間（7°C以上の1日の時間）の積算を行った。越冬あけ成虫の場合と同様の計算を行い、越冬あけ成虫と同様に倒木に対する寄生のダミーデータをつくった。第一世代成虫の計算では越冬あけ成虫の倒木寄生と再寄生の倒木寄生のダミーデータを使って、仮定した初期生息数を寄生日毎に割り振って第一世代の脱出源とした。再寄生と同様に寄生初日から日齢計算・穿入から成虫になるまでに必要な積算温度（平均気温が10°C以上の積算温度）を計算し脱出が始まった後は、越冬あけ成虫と同様の計算を行った。

6) 結果

毎日の16°C以上の最高気温と捕獲成虫を各日に割り振ったものと計算結果を年毎、試験地毎に図15から29に示した。試験地、年度毎にサブモデルで検討した規定値を調節することによって近似を得た。この手続きを終わった後、計算上フェロモンで捕獲しない場合について検討した。すなわち既定値と越冬あけの初期値と同じにして、同様の計算を行い立木寄生の増加とそれに伴う立木の枯損確率をみた。それぞれの試験地は立木配置の調査の都合から面積が異なっているため、集計に当たっては、初期生息数、立木本数を便宜的にいちばん広いC試験地の広さ（2.03ha）に換算した。図30から32に世代毎の初期生息数動向とフェロモンで捕獲した場合としなかった場合の予測の立木枯損本数を示した。何度も述べたように隔離された閉鎖系の中の試験でないことから、第一世代成虫よりも次の年の越冬あけ成虫の密度の方が高い事例が多くみられた。越冬時のモデル化をするためには移入の問題を解決しなければならず、現状ではこれに対するデータがまったくないことから、フェロモンで捕獲しない場合の仮定は1年のみで次の年までは引き継がないこととし、毎年の越冬あけ成虫はフェロモンで捕獲した場合と同じとして計算している。以上の結果、A試験地ではフェロモンを設置した場合としない場合の差が大きく、フェロモンを設置した場合には予測枯損本数が1/10程度になっている。これに対しB、C試験地ではフェロモントラップの数が5個と1個と異なっているにもかかわらず、フェロモントラップの効果が認められていない。

7) 考察

予測枯損本数ではA試験地とB、C試験地との間にかなりの差がみられた。この原因は両試験地の環境によるものとみられる。試験地の位置図でわかるように、A試験地は保残区の中にあることからエゾマツ林全体が孤立した形になっており、試験区画への移出入が

比較的少ないのでに対して、B、C試験地は一帯がエゾマツ天然林の中に設置されていることから、移出入が激しく、多少の捕獲も移入個体によって打ち消されているものとみられる。

以上のことから場所によっては、このフェロモン剤を伐木以前に使用し、ヤツバキクイムシを捕殺することによって、枯損本数を減らすことができる事がわかった。林分全体が狭ければ局地的にフェロモンを設置してもその効果が望めるが、林分全体が広い場合には局地的に使用しても周辺部分の枯損の改善も期待できないということになる。

基準として林分の大きさがどの程度であれば枯損の改善が望めるのかという点に関して今回の試験だけでは結論を出せないが、1つのアプローチとして成虫の行動範囲から考えてみた。

すなわち成虫の飛翔距離はその測定方法が難しく、フェロモンによる捕獲では飛翔途中で誘引捕獲されるため過小評価されるが、一つの目安として、阿寒での調査と今回のマークリリースの結果を掲げる。

1日の飛散距離は雌雄で異なると考えた。阿寒のデータ1982、1983年は風倒木の影響があることから、採用せず、1984年6月と1985年6月の格子状試験地の放虫実験³⁾から推定した。この実験はマークリリース法で放虫した虫が風倒木の林縁に置いたトラップに再捕獲される率をみたもので、放虫点からトラップまでの距離と再捕獲率との関係を図33に示す。放虫後回収までの経過時間は約3時間である。これから単純に距離の平均値をとると約140mとなった。確率は近距離でわずかに高くなつた。上述した通りフェロモンで採集したものの中には、反応しないものがあることから再捕獲率は過小評価されている可能性が大きく正確ではない。

1987年の支所構内の実験では、中心に放虫点を設け東西南北500mの地点にフェロモントラップを置いて、試験地のフェロモンで捕獲した個体をマークして放した。放虫は1987年6月24～7月31日に5回行った。表13に結果を示す。500mの距離ではおおよそ8時間以内に捕獲される個体が多いが、1日後（32時間前後）まで捕獲されることが認められた。

1987年C試験地で行った実験では、最短距離のトラップが200mと50mになる位置で放虫した。結果は表14に示す。50mの位置では3時間後に再捕獲されているが、200mになると24時間（夜間を考えないと8時間程度）以上を経過して再捕獲されている。

以上のマークリリースの結果から正確ではないが1日8時間の飛翔時間があるとすれば300～500m移動すると考えてよいのでないだろうか。そうすれば、円形の80ha程度の面積が1日のヤツバキクイムシ成虫の行動範囲となり、今後フェロモンを設置する対象面積の1つの目安となるであろう。単純に80haの孤立した林分でA試験地と同様の効果を得るには、約320個のフェロモントラップを設置する必要がある。

V まとめ

モデルについてはかなりよく近似できた年、試験地があったが一部ではどうしても当てはまらない場所も出てきた。その原因はデータのばらつきによるとみられるものもあるが、モデルを改良しより複雑化することによって、解決できる部分もあると考えられる。サブモデルで検討した規定値のうちのいくつかに50%以上の変更しなければならない例がでてきた。その一つが越冬あけ成虫の穿入から再寄生のための脱出までの積算時間である。再寄生の起こる原因が不明のため今のところ年毎に対応する以外にないが今後より完成度の高いモデルにするには生態的な捕捉的調査が必要である。

雌雄の捕獲率の違いは解析を始めるまでどうしても不可解な点であった。しかし、今回のモデルの作成の過程で確かに説明のつくところまでこぎつけた。もし、雄がフェロモンに一定時間曝されればその後フェロモンに反応しないとすれば、注意事項（生立木の近くにフェロモン剤を置かない）を守りさえすれば、必ずしも誘引個体を捕殺する必要はなく、フェロモン剤だけを配置するだけで、トラップ設置と同様の効果を得られることも考えられる。この点については早急に解決する必要がある。

引用文献

- (1) Bakke, A. et al.: Mass trapping of the spruce bark beetle Ips typographus. Pheromone and trap technology. Meddelelser fra Norsk institutt for skogforsk 38(3), 1~35 (1983)
 - (2) 福山研二・吉田成章: ヤツバキクイムシの飛しょうと温度と関係, 日林学会北海道講集, 31, 146~148 (1983. 3)
 - (3) 小林富士雄ほか: 風倒地における生立木虫害防止のためのフェロモンによる誘殺試験, 昭和59年度国有林野事業特別会計技術開発試験成績書, 179~209 (1986)
 - (4) 山口博昭・小泉 力: ヤツバキクイ (Ips typographus L. f. japonicus NIIZIMA) の繁殖, 行動, 分散に関する研究 I - 寄生密度と繁殖との関係 -, 林試北海道年報, 39~47 (1959. 3)
 - (5) 山口博昭: ヤツバキクイ (Ips typographus L. f. japonicus NIIZIMA) の繁殖, 行動, 分散に関する研究 II - 再寄生について -, 林試北海道年報, 147~153 (1959. 7)

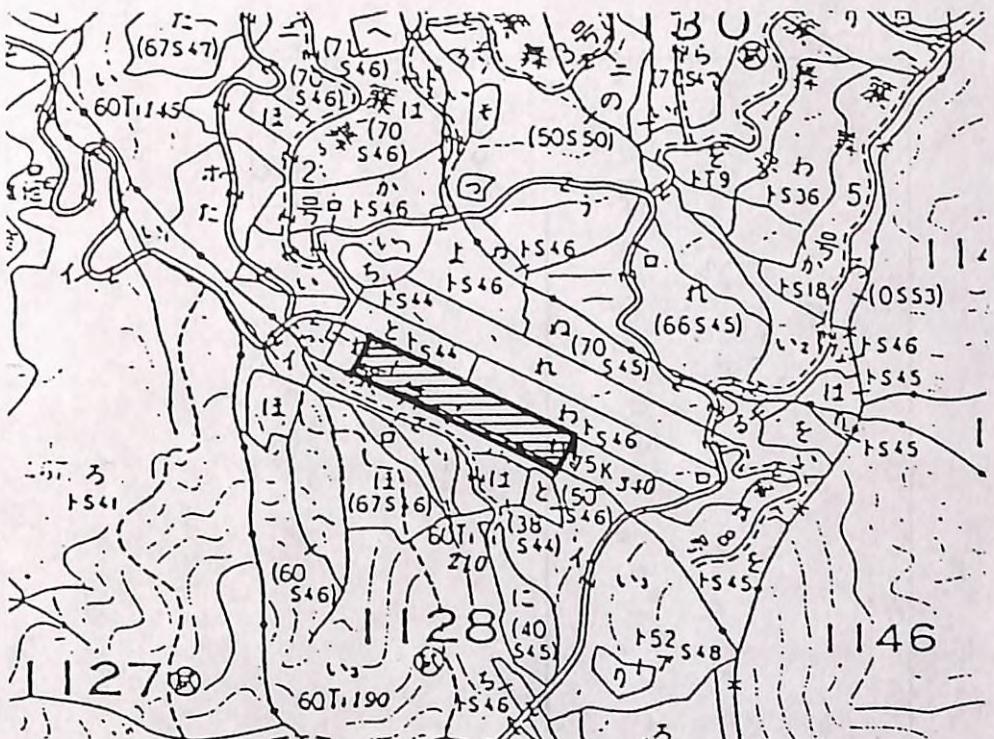


図 1 A試験地の位置

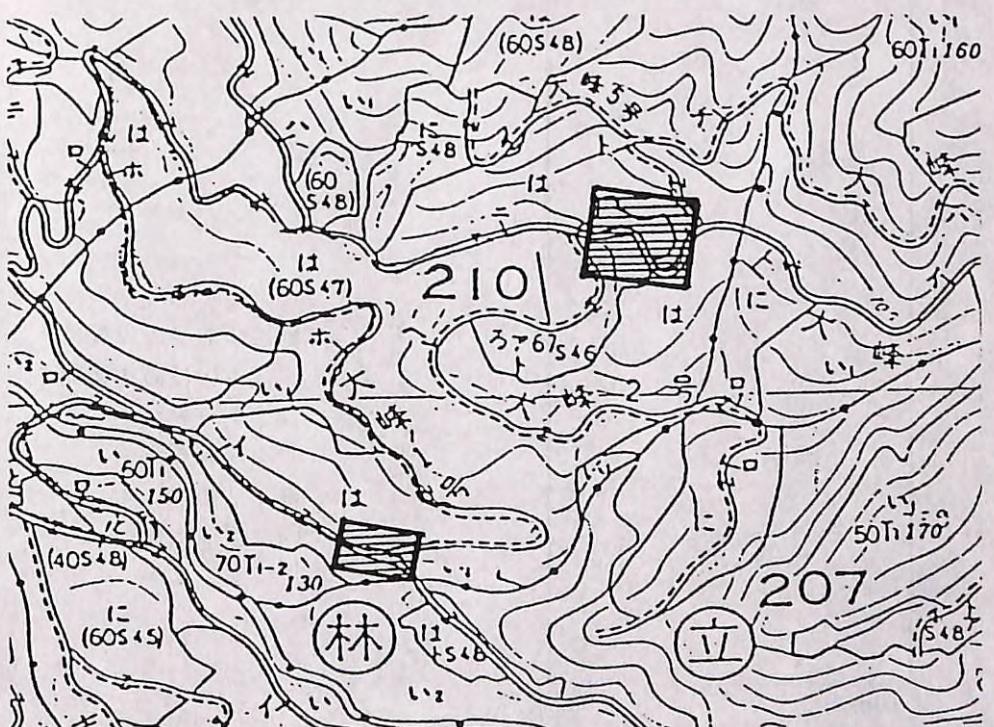


図 2 B、C 試験地の位置

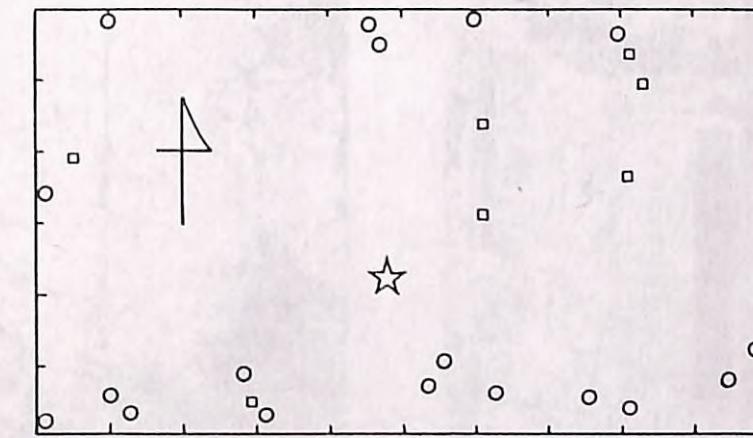
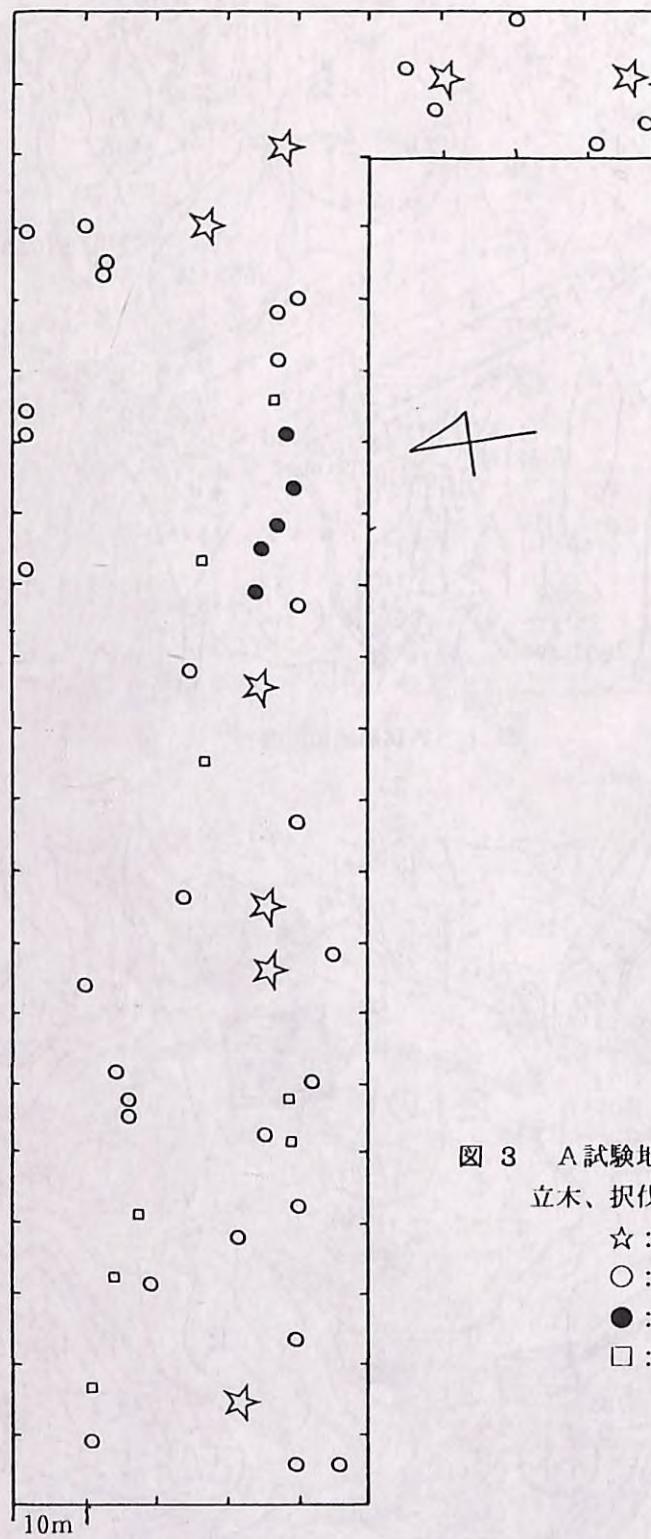


図 4 B 試験地のトラップ配置、立木、抾伐木の位置の概略
記号は図 3 と同じ

表 1 試験地の概況(抾伐時)

林班. 小班	2 1 0 は	1 1 2 8 い 1
伐採前の蓄積 m^3	2 2 0	2 1 0
haあたり伐採 本数(イ' マリ)	7. 4	3. 1
(その他)	1 1. 7	1 5. 5
haあたり伐採量 (m^3)	3 4	1 0
(その他, m^3)	3 1	1 2
伐採後の蓄積 m^3	1 5 5	1 8 8

表 2 各試験地の立木、抾伐木、枯死木 (1989年)

試験地	立木			抾伐木			枯死木		
	本数	D B H	範囲cm	本数	D B H	範囲cm	本数	D B H	範囲cm
A	34	31	~ 82	8	51	~ 67	5	61	~ 80
B	18	10	~ 100	7	42	~ 59	0	-	-
C	92	6	~ 70	12	48	~ 76	0	-	-

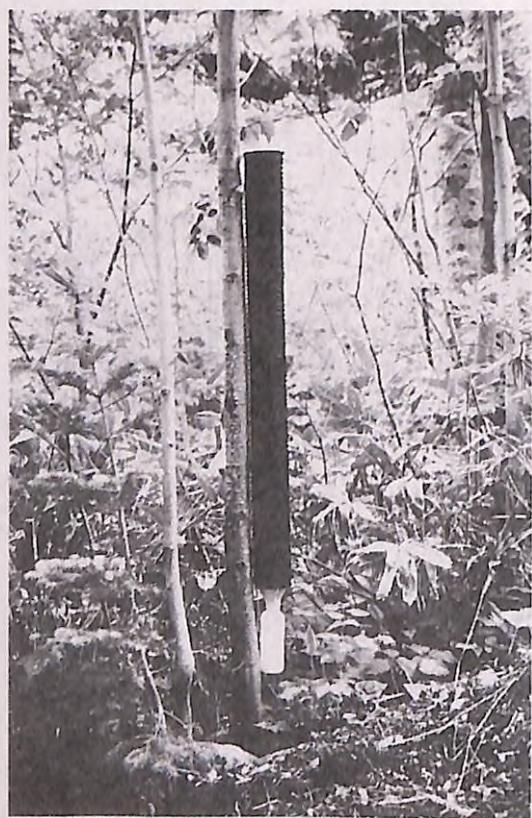


写真 1 フェロモントラップの設置状況



写真 2 A試験地での伐採後の枯れ状況

表 3 羽化に必要な積算時間の算出

月 日	4.27	5.3	4	11	12	20	21	24	29	30
脱出率 (%)	0							72.1	97.8	
16°C以上の時間		8.0	8.0	7.2	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	
16°C以上の時間の累積		8.0	16.0	23.2	31.2	39.2	47.2	55.2	63.2	
推定羽化率	0	23	33	44	56	67	78	90		

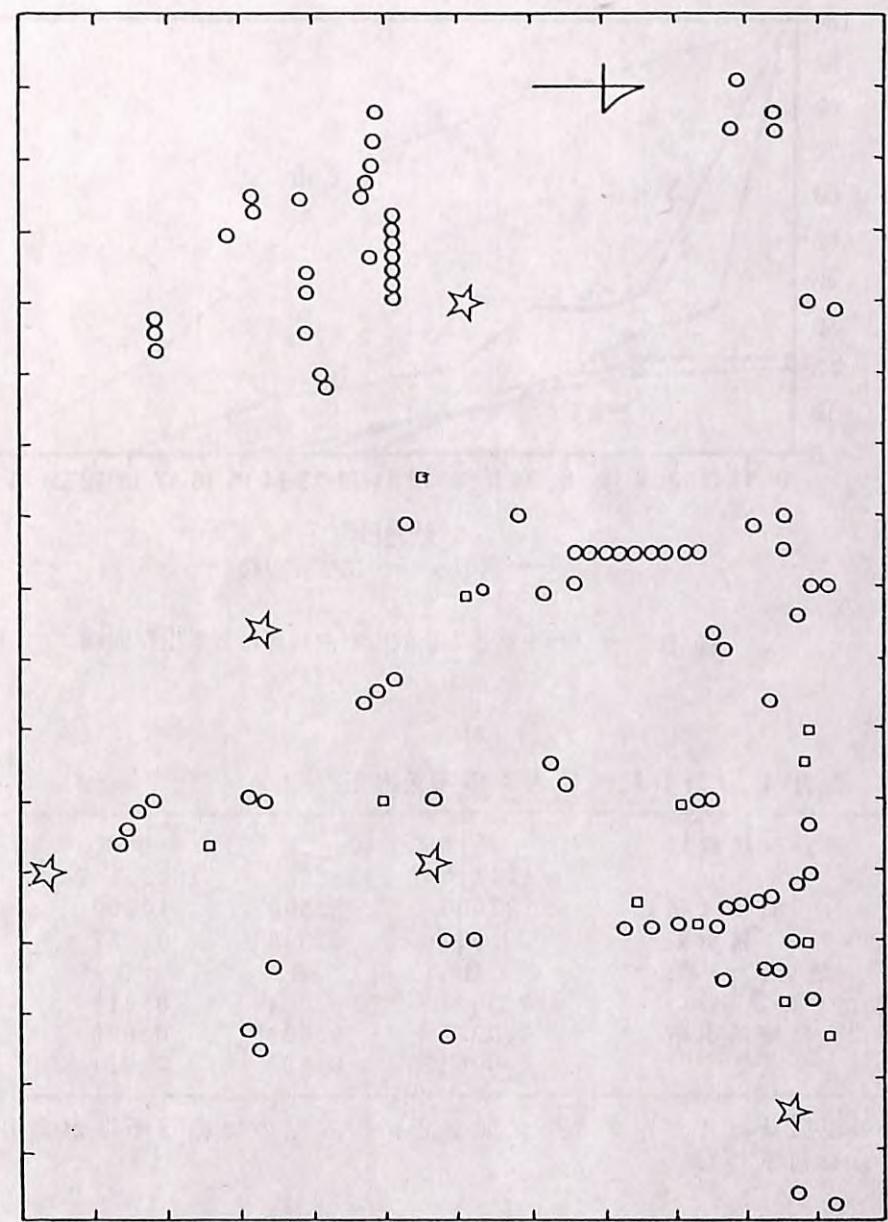


図 5 C 試験地のトラップ配置、立木、伐採木の位置の概略

記号は図 3 と同じ

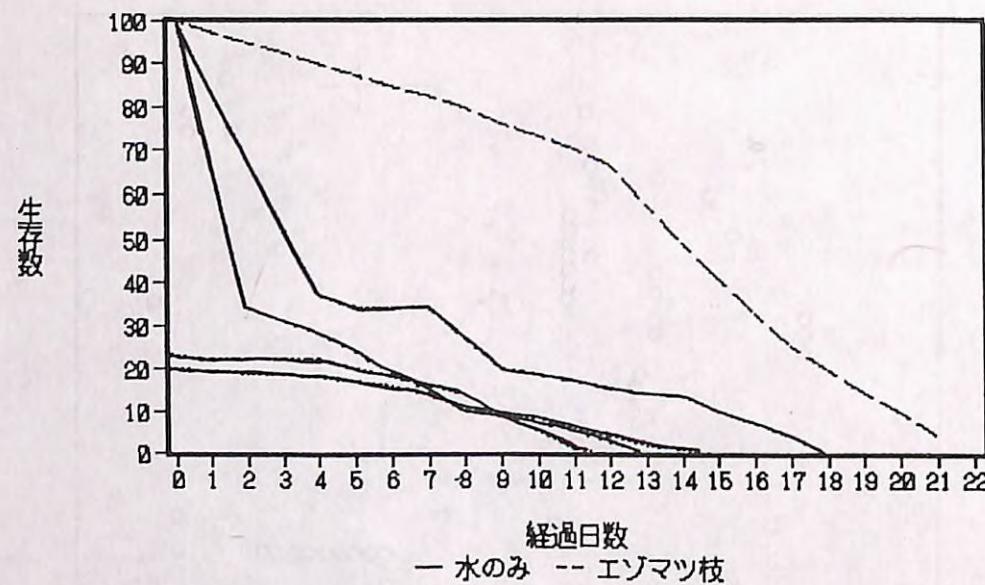


図 6 ヤツバキクイムシ成虫室内飼育による生存曲線

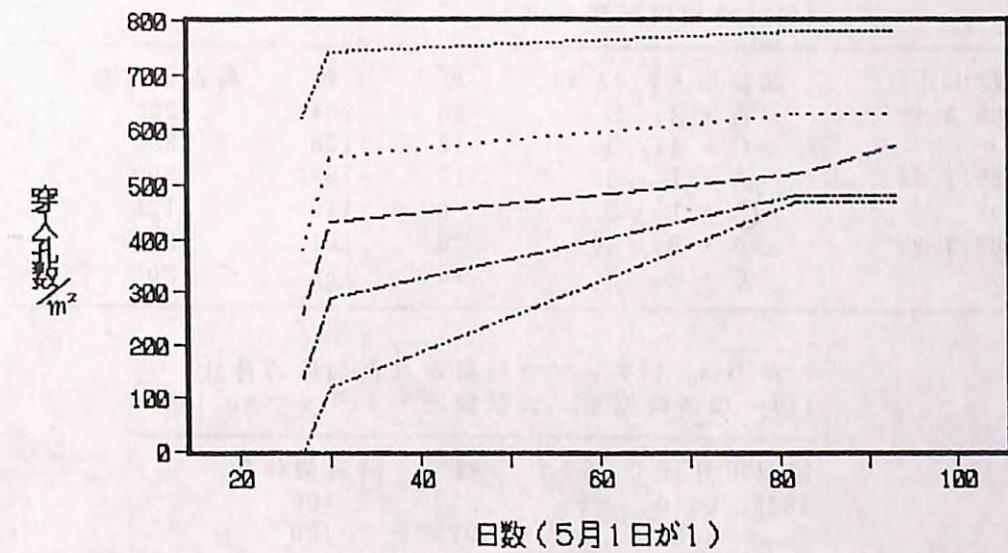


図 7 阿寒における立木への寄生経過

表 4 誘引範囲に入る確率の検定

項目＼試験地	格子状	十字型
年	1982.5-7	1982.8-
面積 (m ²)	22500	22500
誘引率	0.037	0.036
誘引トラップ数	8	8
1トラップあたりの誘引率	0.0046	0.0045
半径 5 m 理論誘引率	0.0035	0.0035
半径 6 m	0.005	0.005
		0.011

*: 実際の設置数は4だがトラップ間が2m程度なので相互干渉があり、その分を補正した。

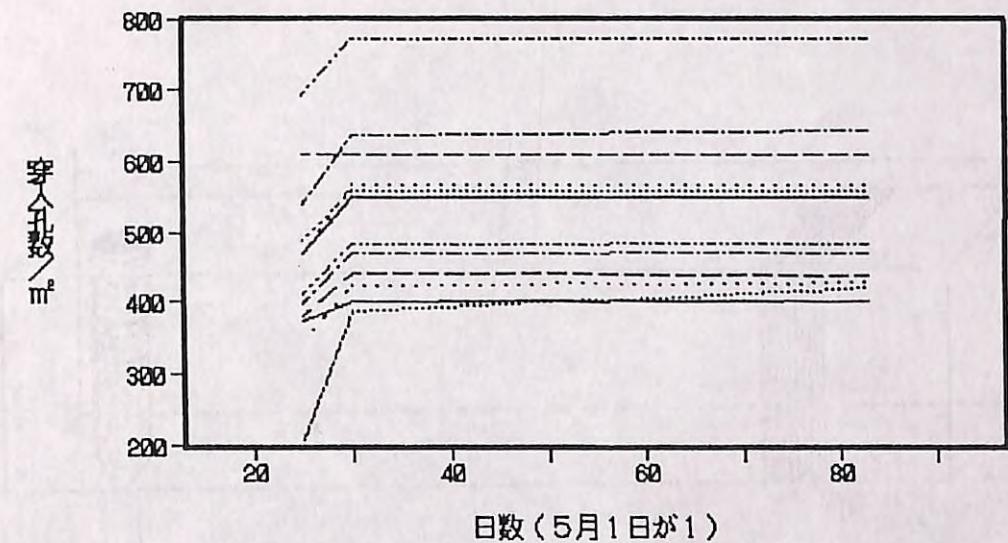


図 8 阿寒における倒木への寄生経過

表 5 ト ラッ プ で 捕 獲 さ れ た 個 体 の 性 比
(同 一 時 期 場 所 年 度 別)

回 収 年 月 日	試 験 地 ・ ト ラッ プ No.	雄	雌	調 査 個 体 数
1985.8.1	A・2, 5	36	164	200
〃	C・4, 5	12	188	200
1986.7.29	A・1, 4	13	187	200
〃	C・1～5	6	119	125
1987.7.29	A・2, 4	9	191	200
〃	C・2, 5	14	186	200

表 6 ト ラッ プ で 捕 獲 さ れ た 個 体 の 性 比
(同 一 場 所 時 期 別: A 試 験 地 ・ ト ラッ プ No. 1)

回 収 年 月 日	雄	雌	調 査 個 体 数
1988. 6.10	3	97	100
6.20	3	97	100
6.30	7	93	100
7.11	11	89	100
7.19	4	96	100
7.28	6	94	100
8. 9	4	96	100
8.20	6	94	100
9. 9	1	34	35

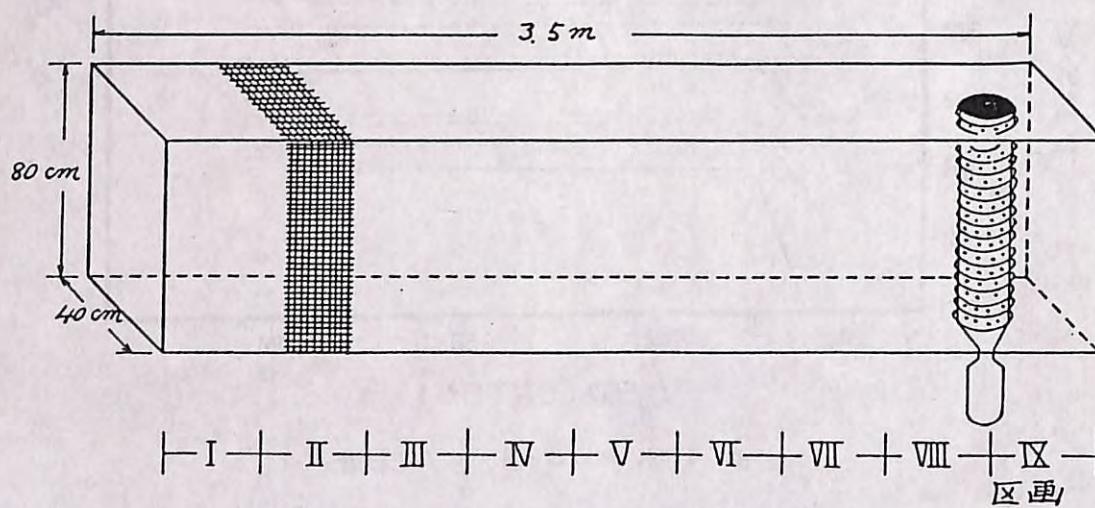


図 9 閉鎖空間での誘引試験用網かご

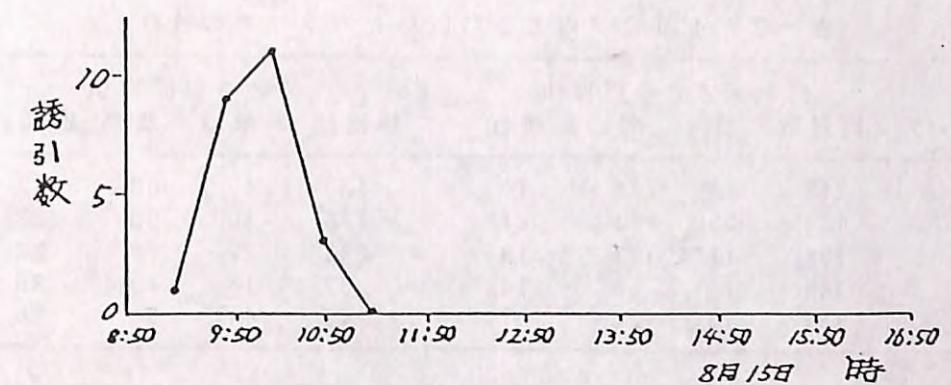


図 10 網かご内での誘引経過

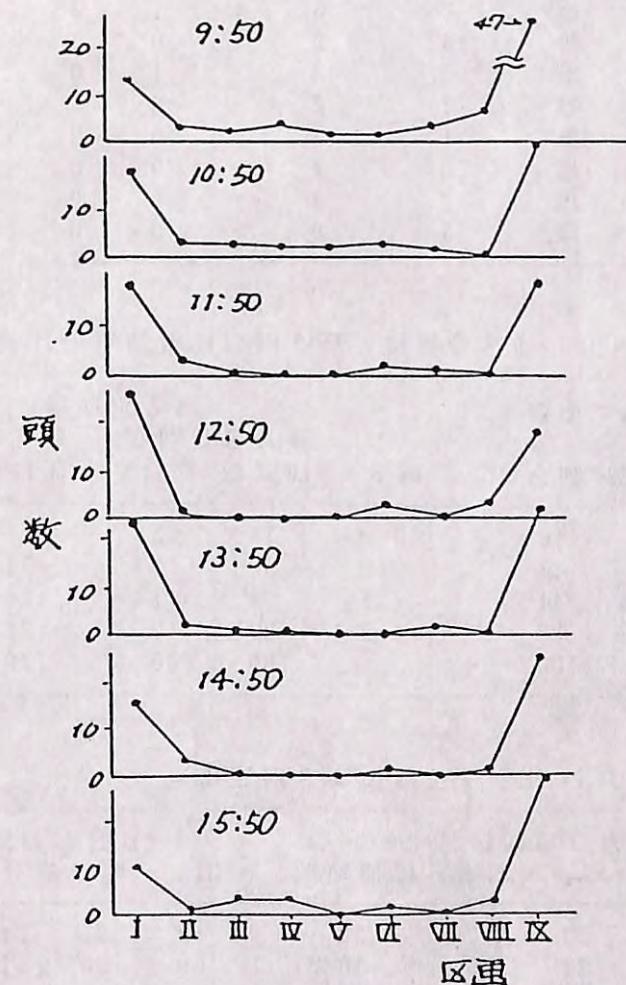


図 11 網かご内で誘引されなかった個体の分布

表-7 ト ラッ プ 内 と 下 に 置 い た パ ケツ で の 性 比

ト ラッ プ	ト ラッ プ で の 捕 獲 虫				パ ケツ で の 捕 獲 虫			
	捕 獲 数	雄	雌	雄割合	捕 獲 数	雄	雌	雄割合
1	218	16	84	.16	120	40	80	.33
2	144	30	114	.21	128	30	98	.23
3	134	17	117	.13	223	22	78	.22
4	346	14	86	.14	67	18	49	.26
5	134	13	121	.07	49	14	35	.28

表-8 ト ラッ プ か ら の 距 離 別 捕 獲 虫

No.	ト ラッ プ 内	0 m	1 m	3 m	6 m
1	雄	2	3	1	1
	雌	13	2	1	0
2	雄	0	2	-	1
	雌	17	2	-	0
4	雄	1	3	-	0
	雌	20	4	-	0
5	雄	2	3	-	0
	雌	17	0	-	0

表-9 通 常 の 捕 獲 と 高 さ 別 の 捕 獲 効 率 の 比 較

ト ラッ プ	0.5 m で 捕 獲			高 さ 別 捕 獲			計	
	捕 獲 数	割 合 %	高 さ m	6月8日回収		計		
				捕 獲 数	割 合 %			
5	134	16	0	38	23	117	15	
2	144	17	0.5	30	19	93	12	
4	346	41	1.5	65	41	444	57	
1	218	26	3.0	27	17	122	16	
合計	842	100		160	100	776	100	

表-10 ト ラッ プ 位 置 の 高 さ 別 性 比

ト ラッ プ No. / 取付高さ m	6月8日回収			6月12日回収			計	
	雄	雌	雄割合	雄	雌	雄割合		
5 / 0	5	33	.13	38	18	.99	.15	117
2 / 0.5	3	27	.10	30	9	.84	.10	93
4 / 1.5	4	61	.06	65	9	.91	.09	444
1 / 3.0	2	25	.07	27	11	.102	.10	122

表-11 穿 入 か ら 再 寄 生 ま での 積 算 時 間 の 算 出
(最高気温は1958年山口の図から)

1958年5月	最高気温	推定平7°C以上 均気温 の 時間	
		1	2
21	23.8	14.7	19.9
22	24.2	15.0	20.1
23	20.3	12.4	17.8
24	16.5	9.9	15.5
25	14.3	8.5	14.0
26	17.8	10.8	16.4
27	22.5	13.9	19.1
28	23.8	14.7	19.9
29	28.2	17.7	24.0
30	18.5	11.3	16.8
31	17.8	10.8	16.4
1	15	8.9	14.5
2	21.8	13.4	18.7
3	15.8	9.5	15.1
4	18	10.9	16.5
5	19	11.6	17.1
6	22.2	13.7	18.9
7	26.4	16.5	21.6
8	26.8	16.7	22.0
9	21	12.9	18.2
10	19	11.6	17.1
合計			379.4

表-12 穿 入 か ら 羽 化 ・ 脱 出 ま での 積 算 温 度 の 推 定 (山口・小泉1959から)

月 日	5.21-31	6.1-10	11-20	21-31	7.1-10	11-20	21-31	計
平均気温	15.4	14.1	17.2	15.1	20.4	20.1	21.8	
積算温度	21.6	41.0	72.0	56.1	104.0	101.0	35.4	431.1

穿入は5月27日、ほとんどが成虫になった日は7月23日、発育0点は10°C

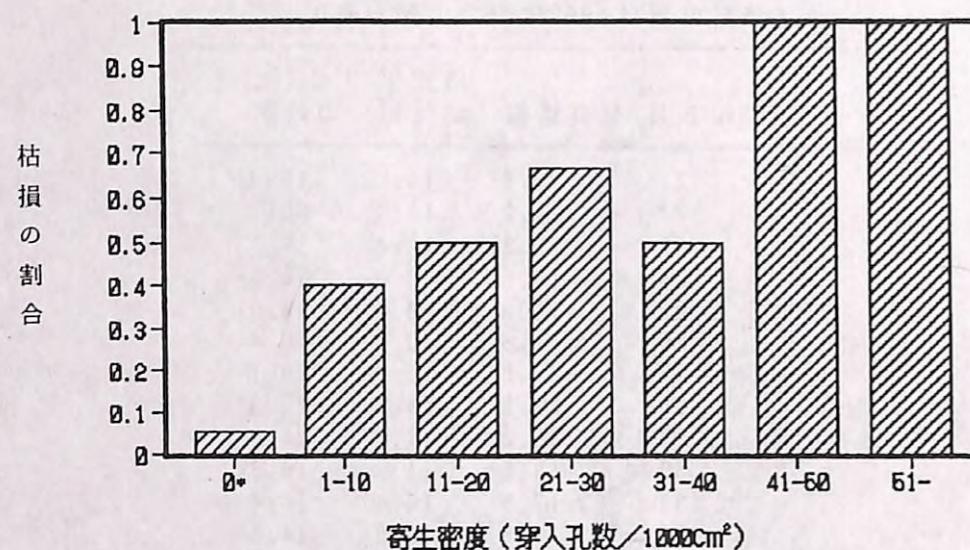


図 12 寄生密度と枯損の割合

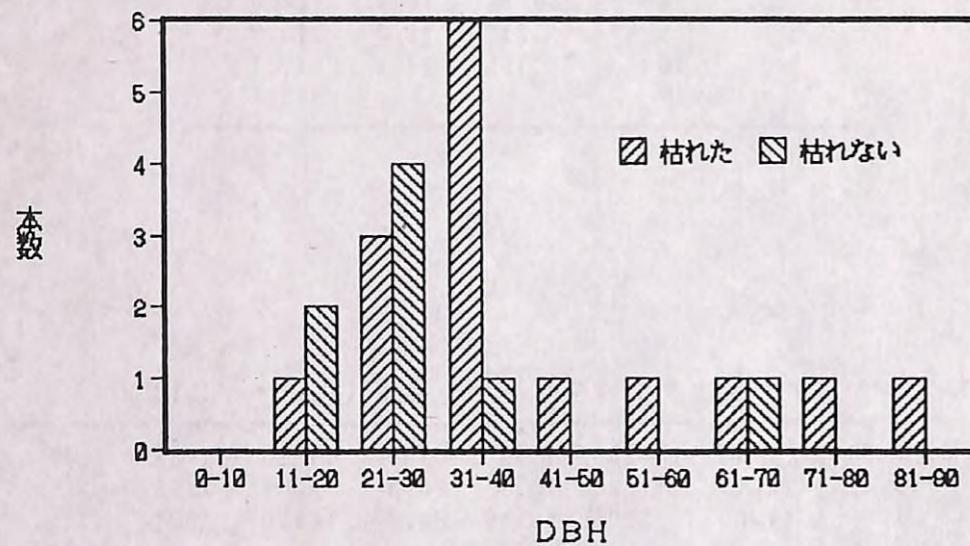


図 13 寄生を受け枯れた木と枯れなかった木のDBHの分布

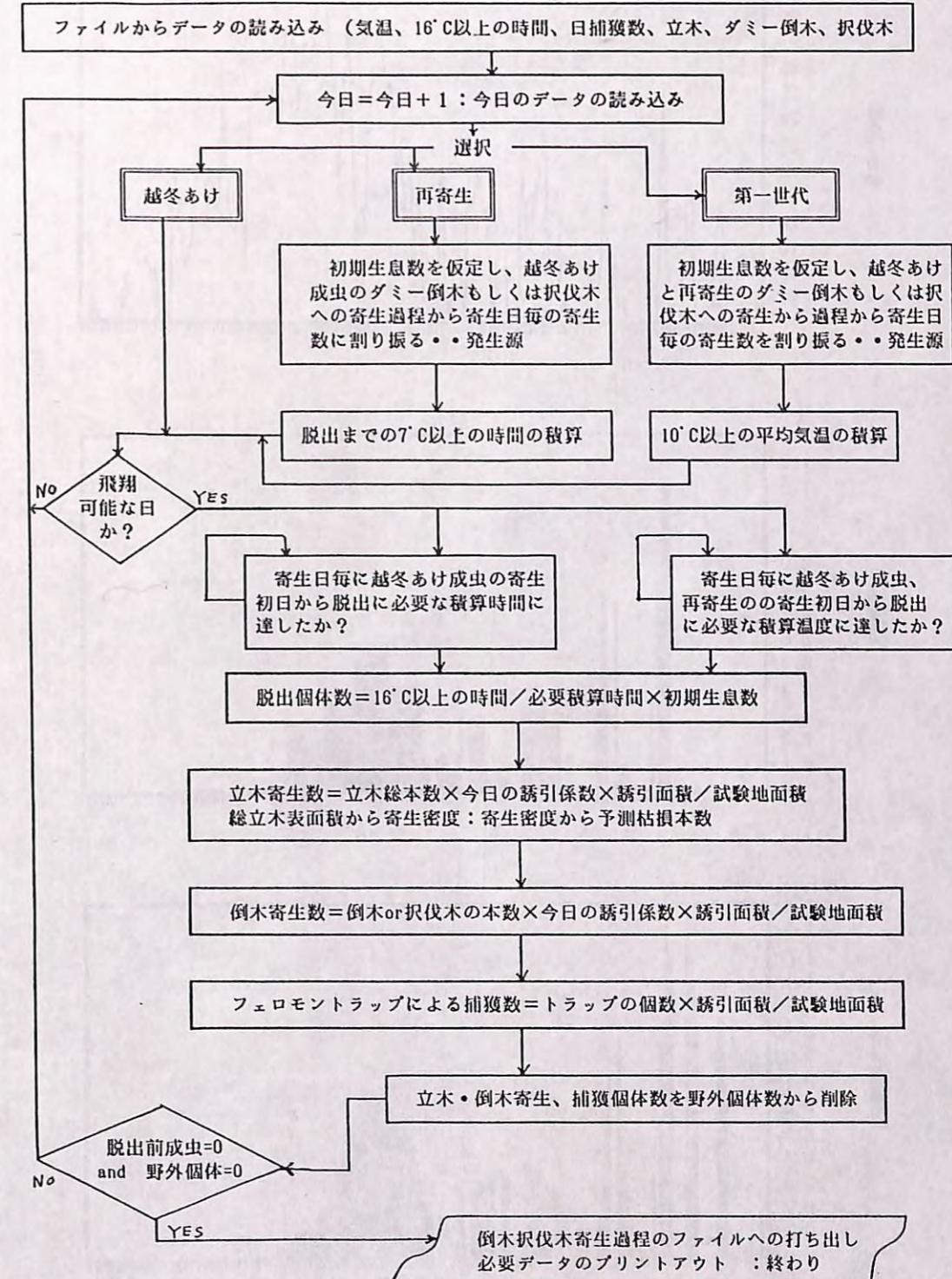


図 14 シミュレーションプログラムのフローの概要

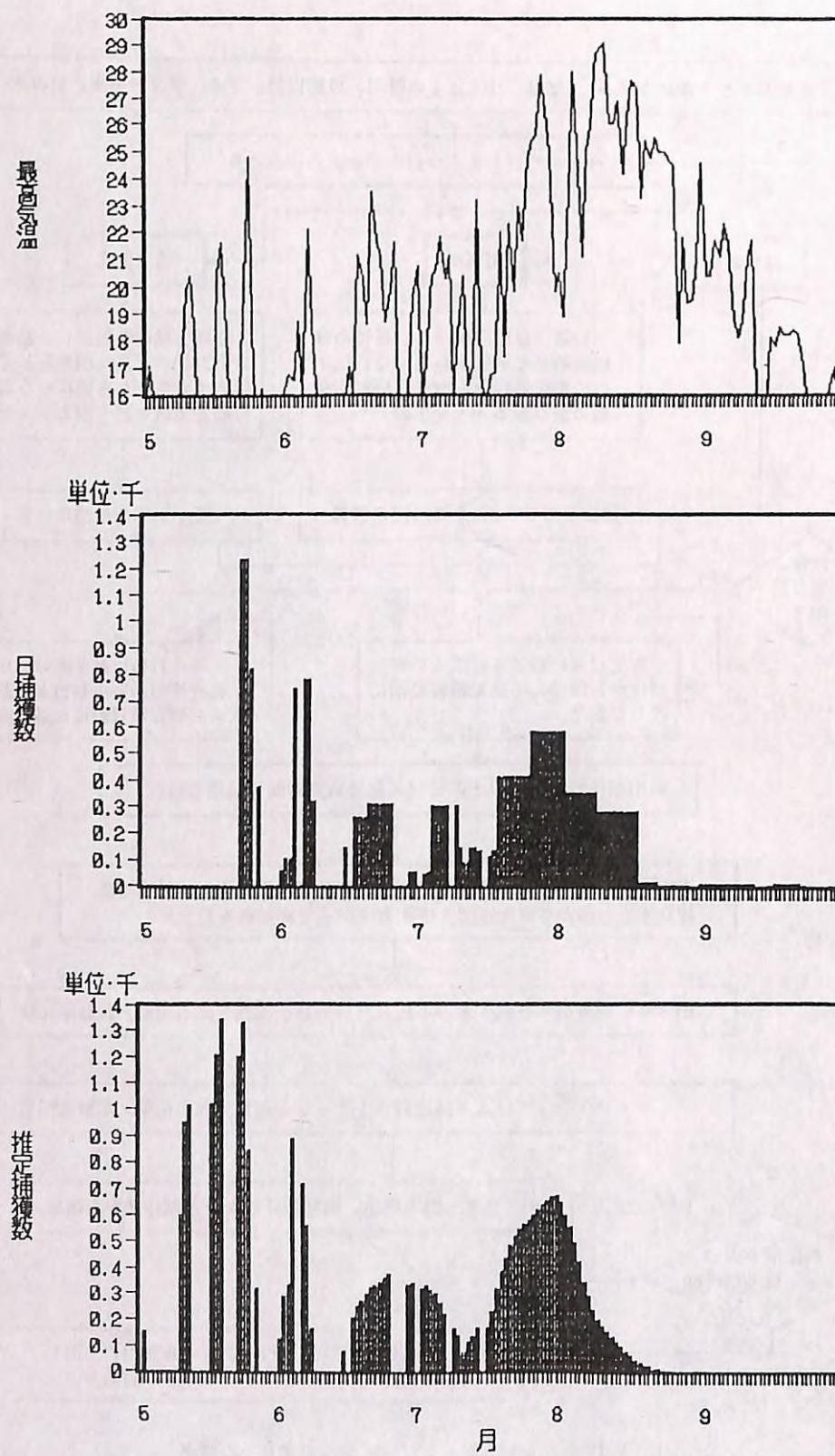


図 15 A 試験地1985年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

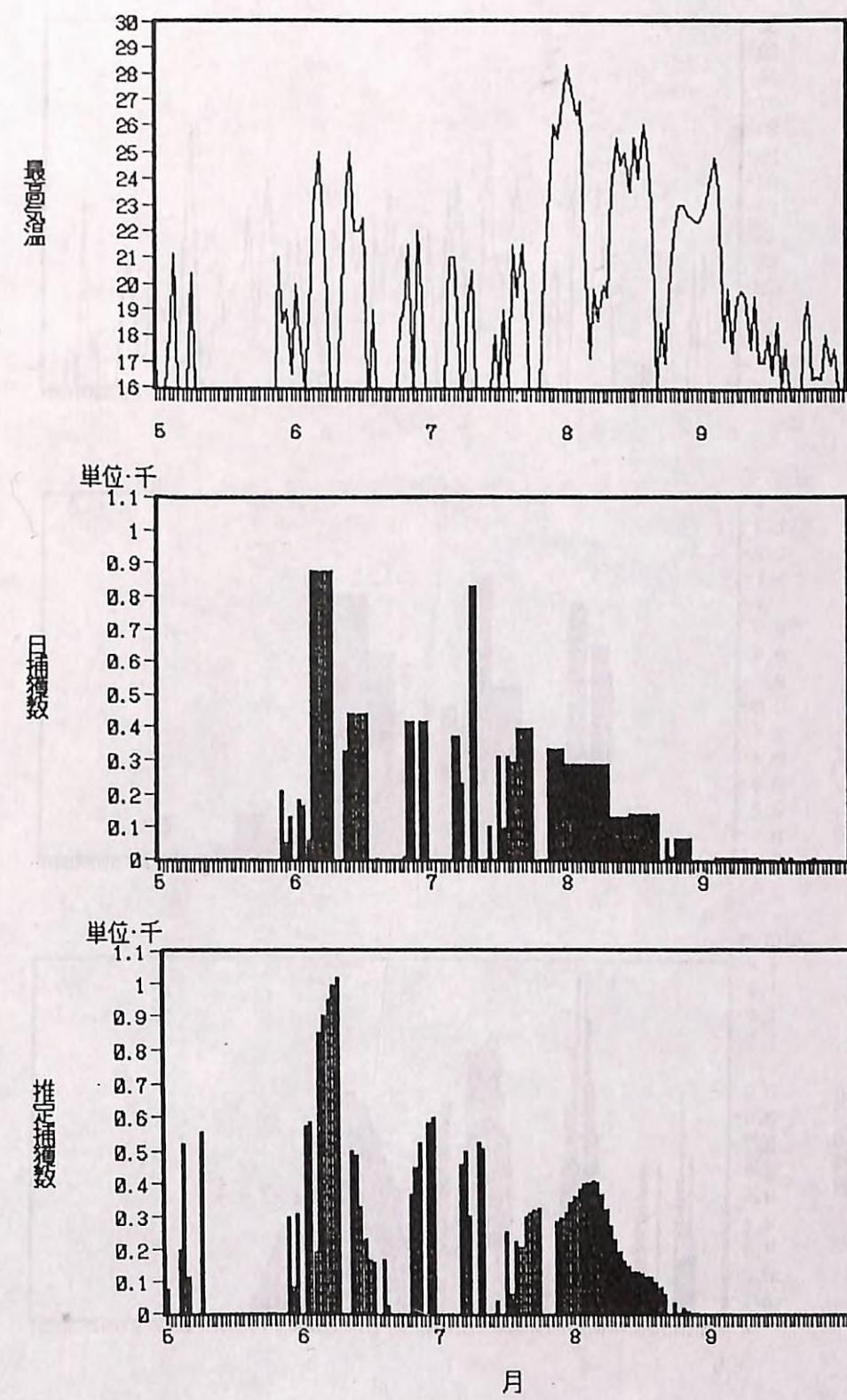


図 16 A 試験地1986年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

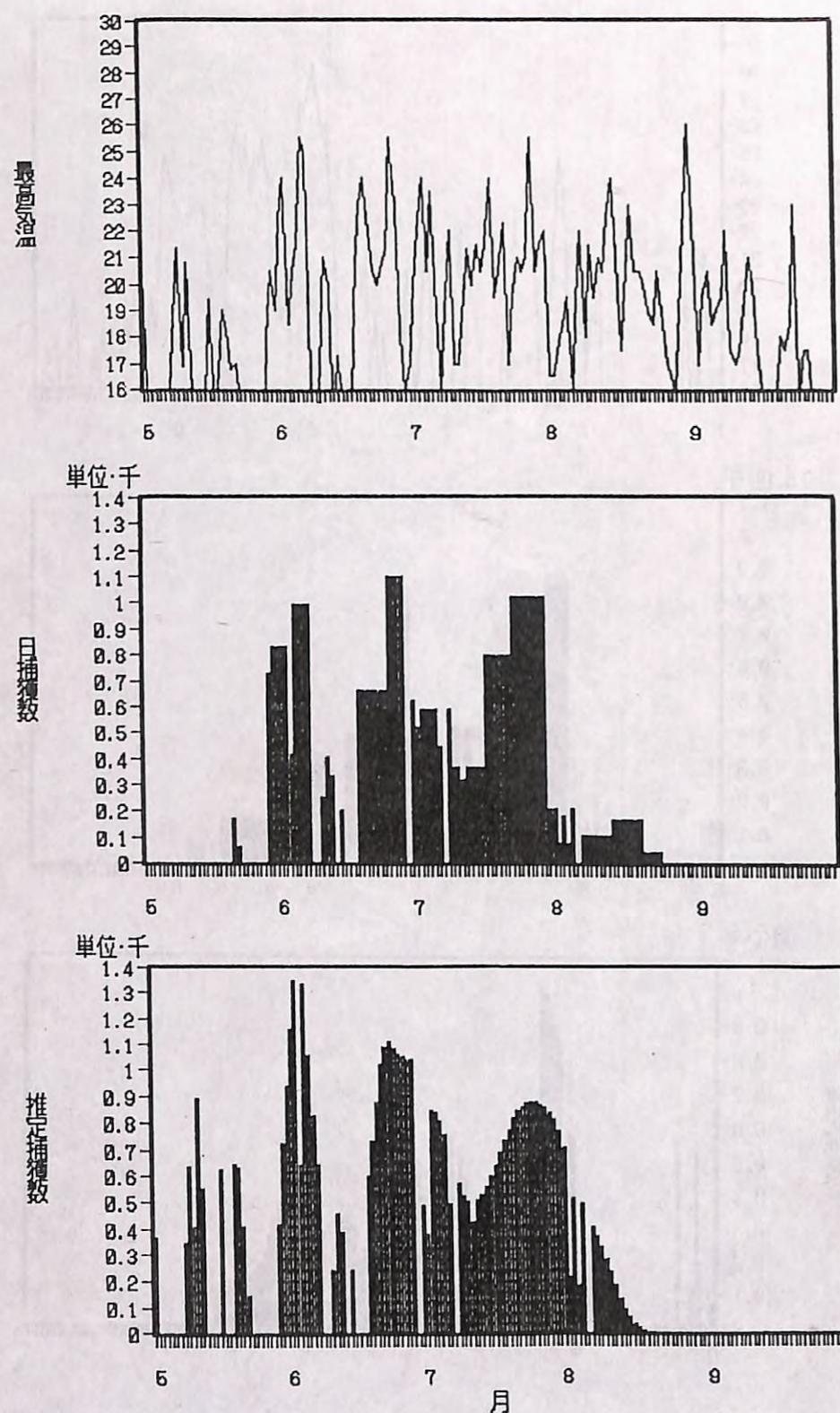


図 17 A試験地1987年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

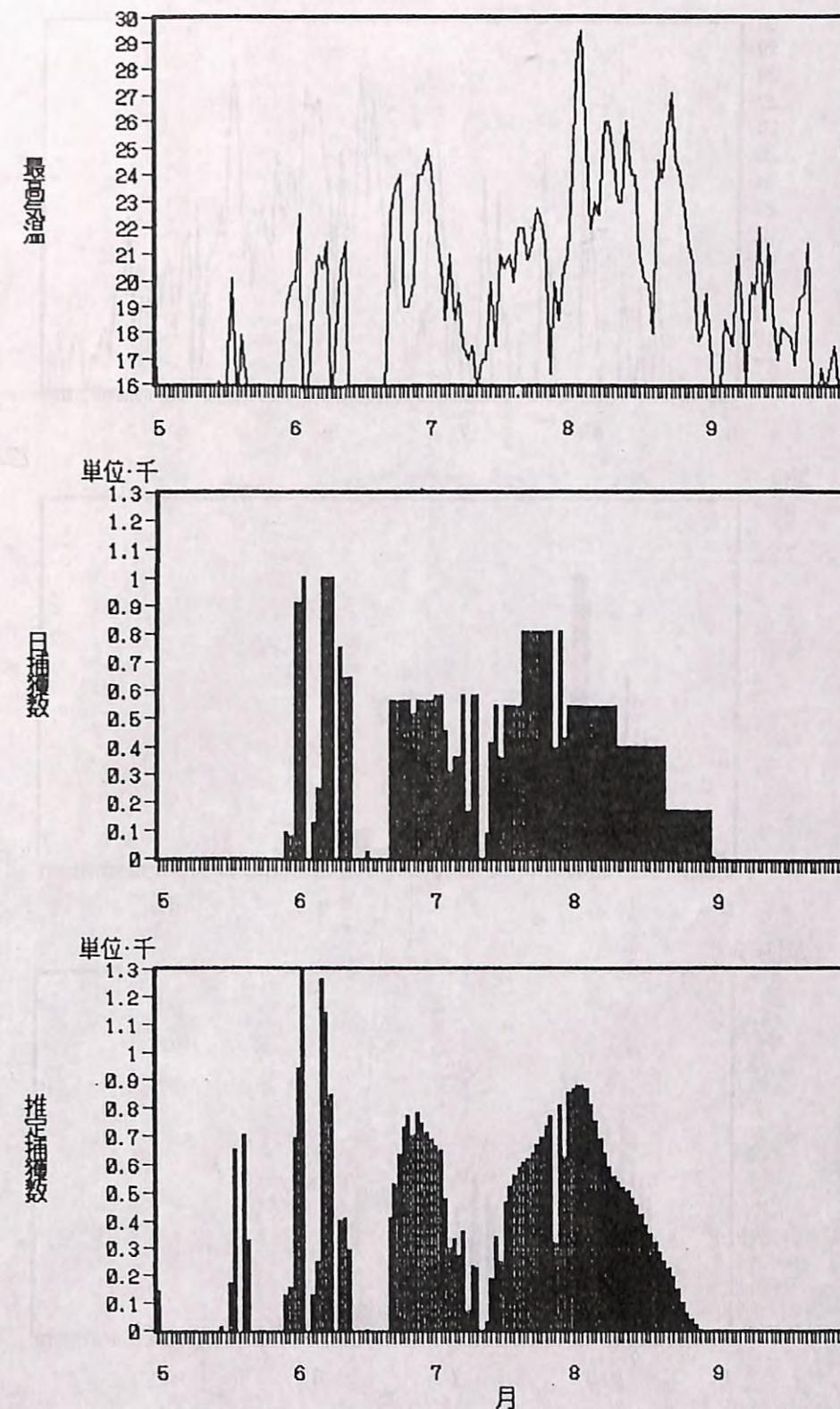


図 18 A試験地1988年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

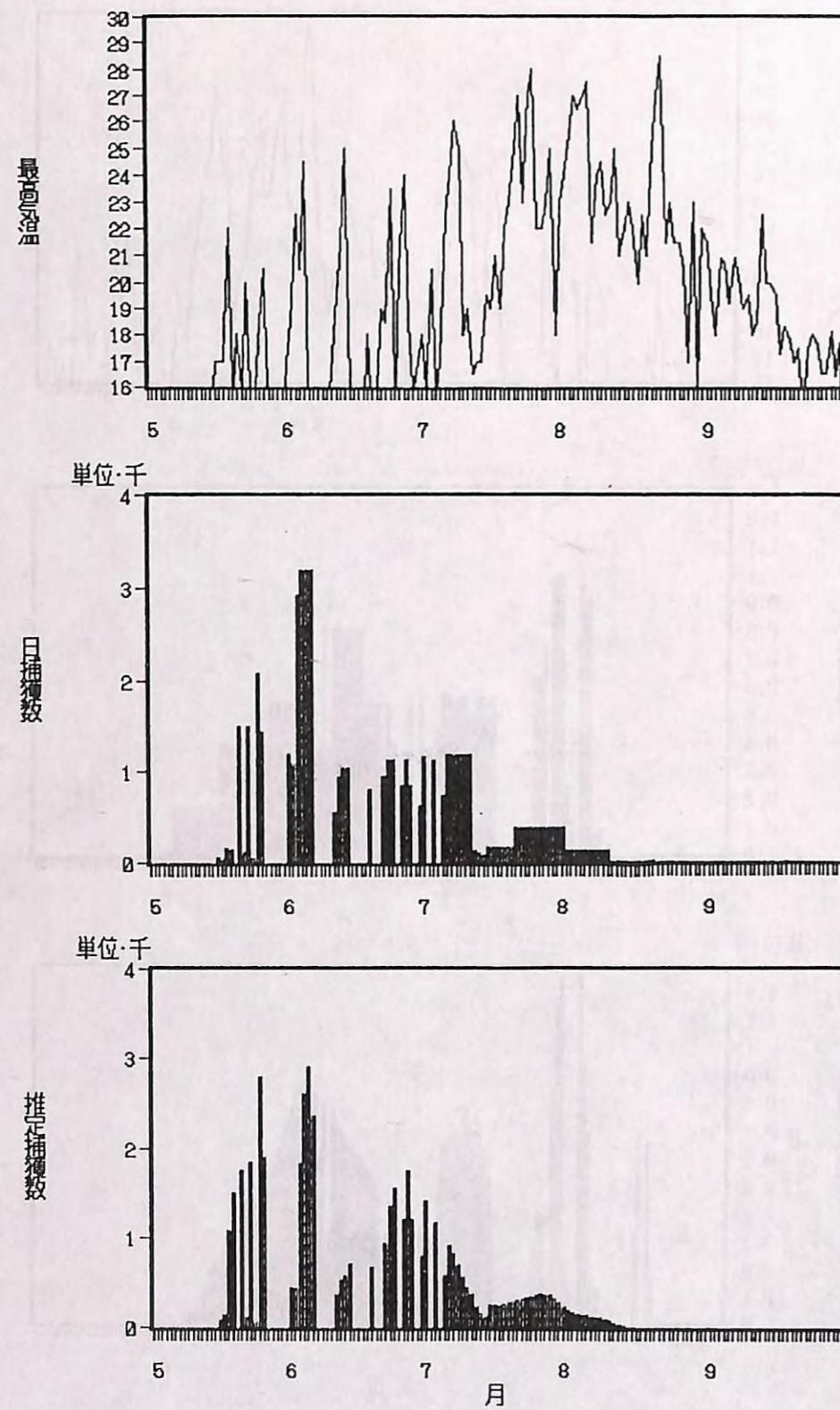


図 19 A 試験地1989年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

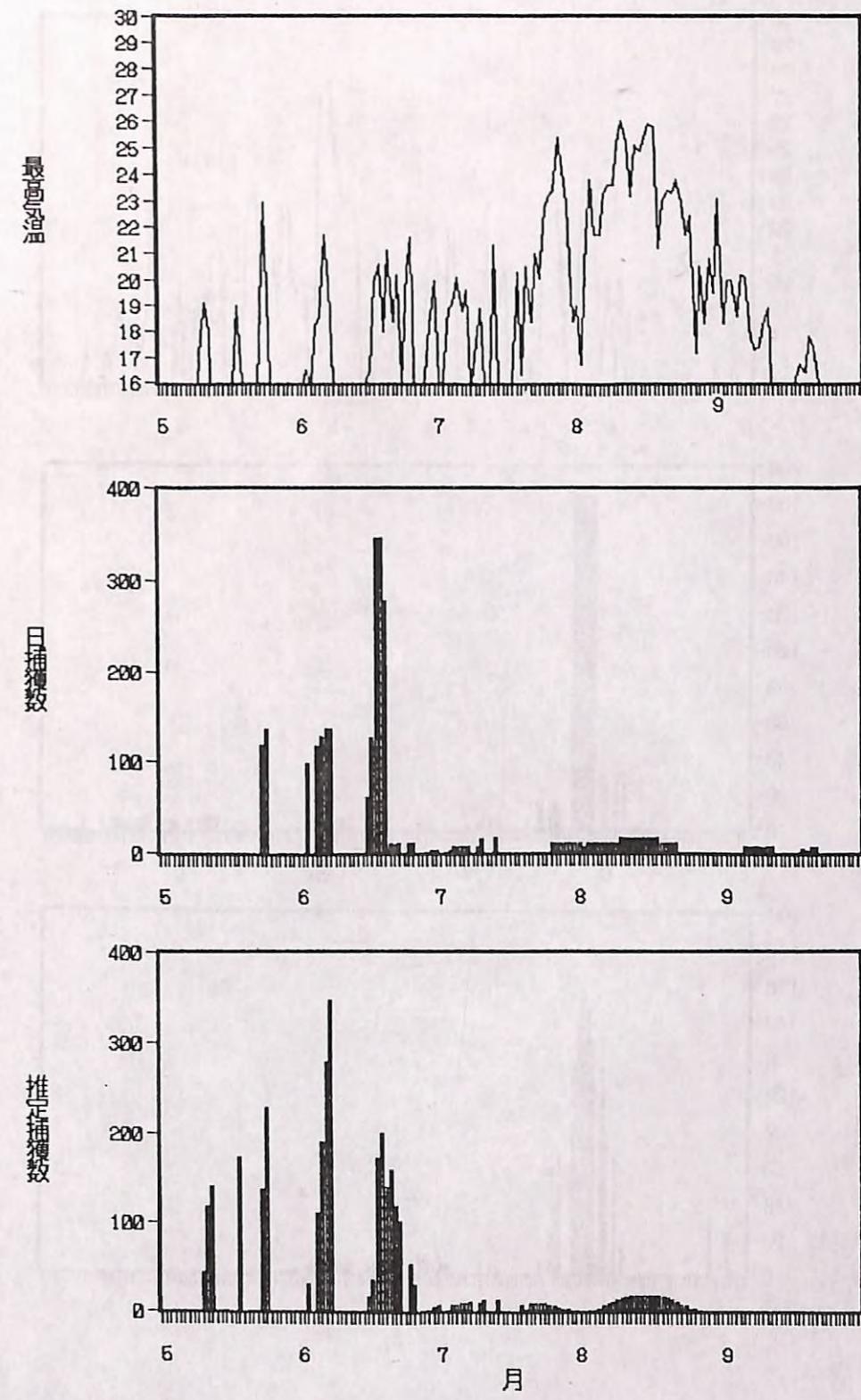


図 20 B 試験地1985年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

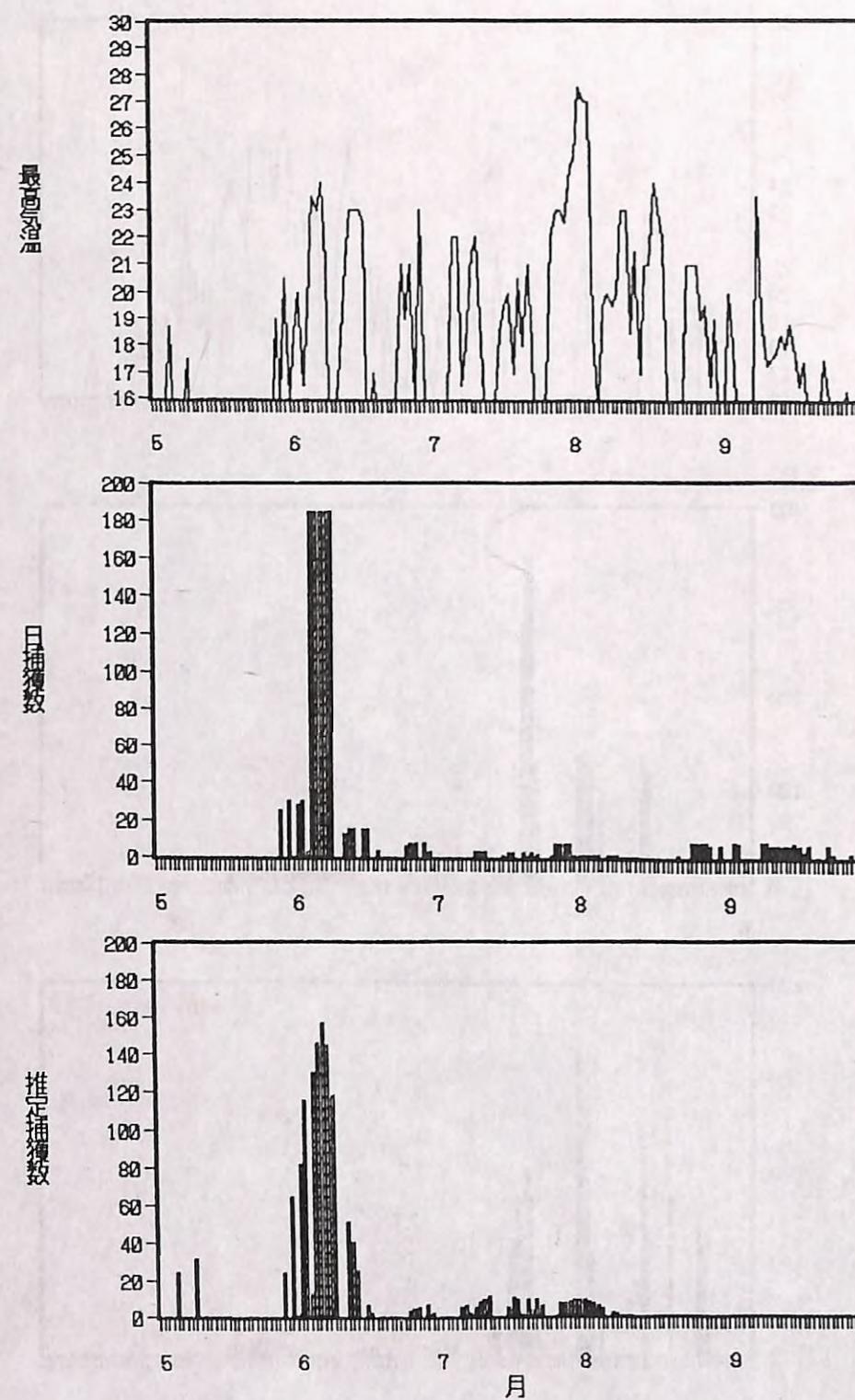


図 21 B 試験地1986年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

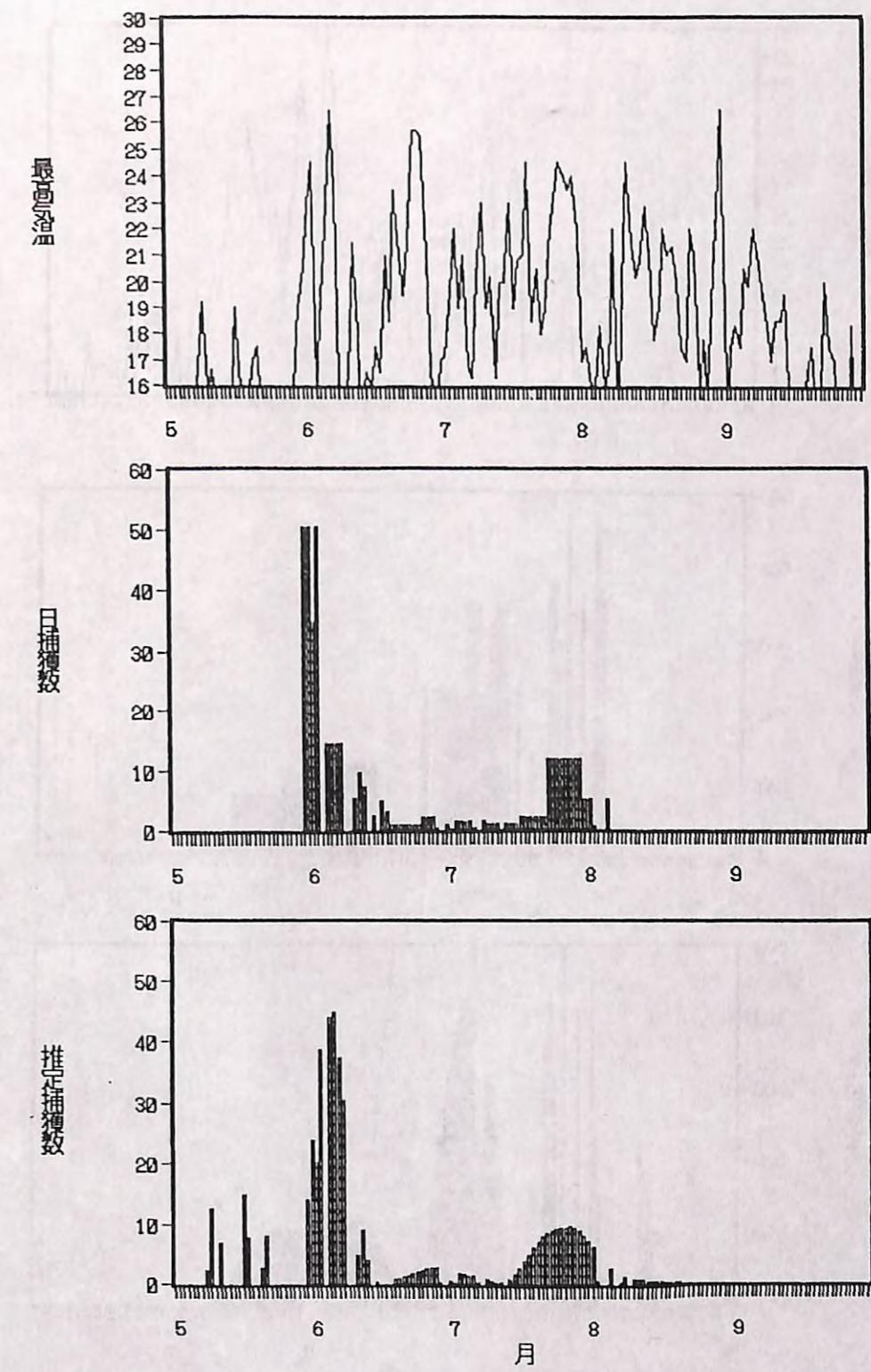


図 22 B 試験地1987年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

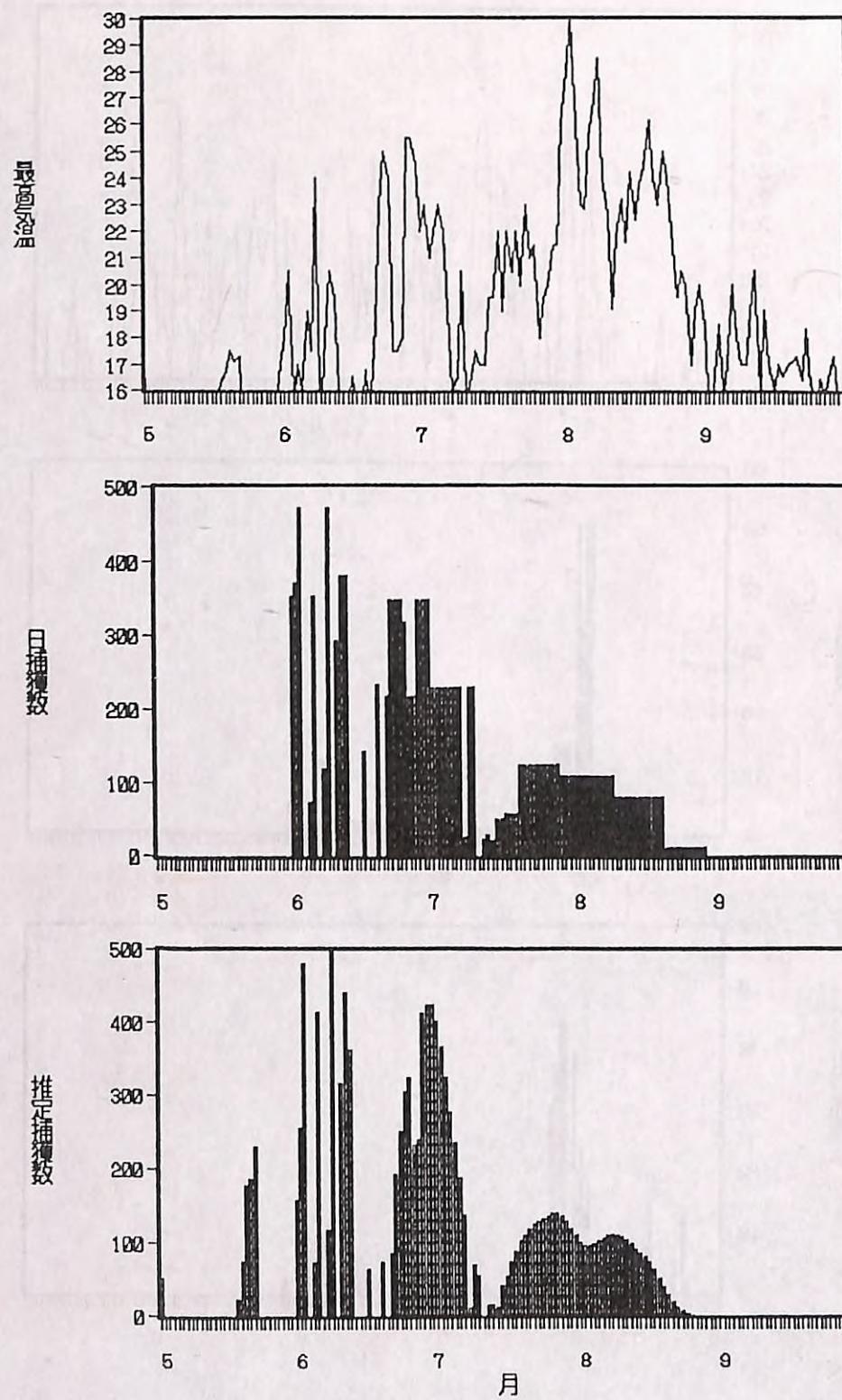


図 23 B 試験地1988年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

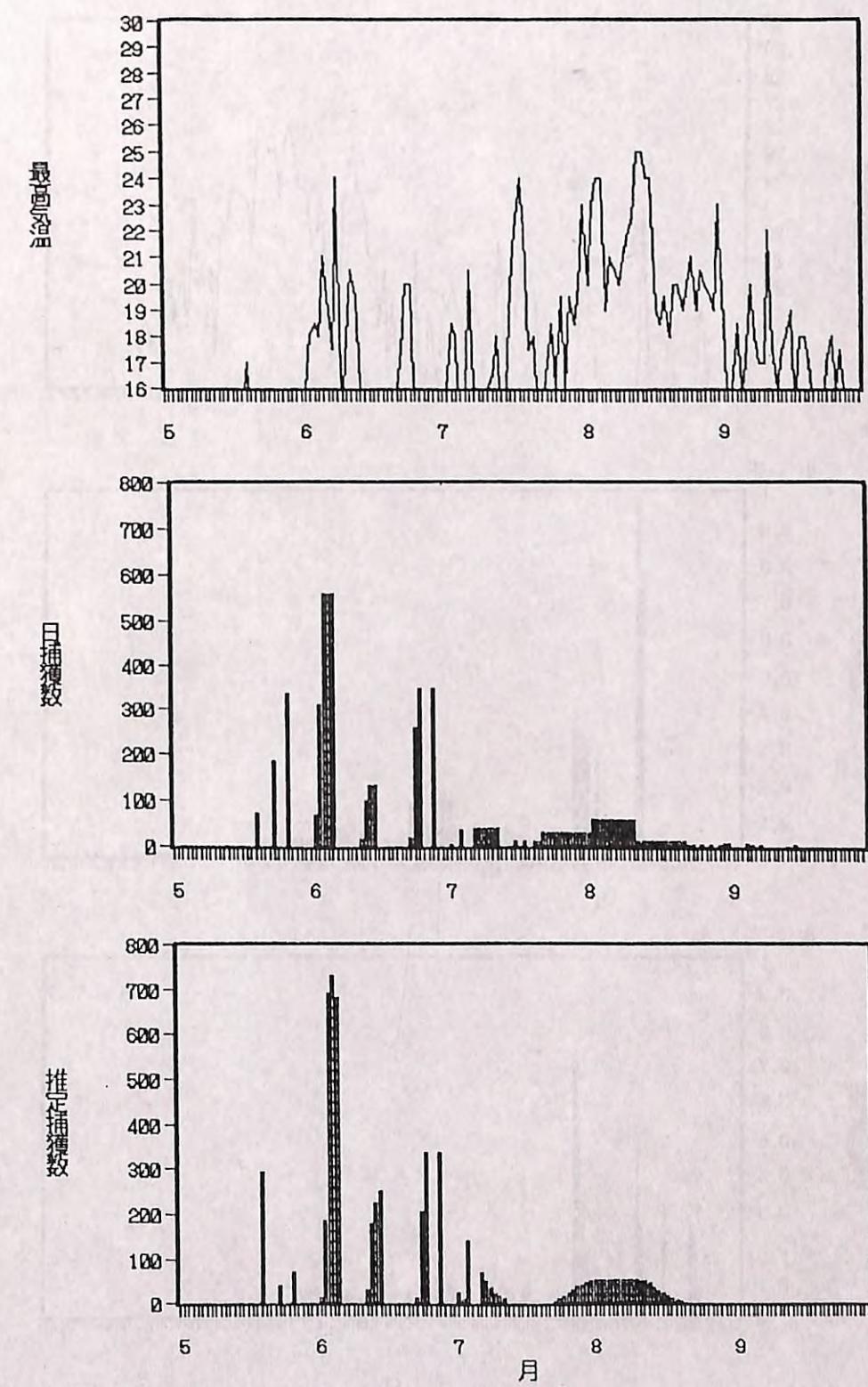


図 24 B 試験地1989年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

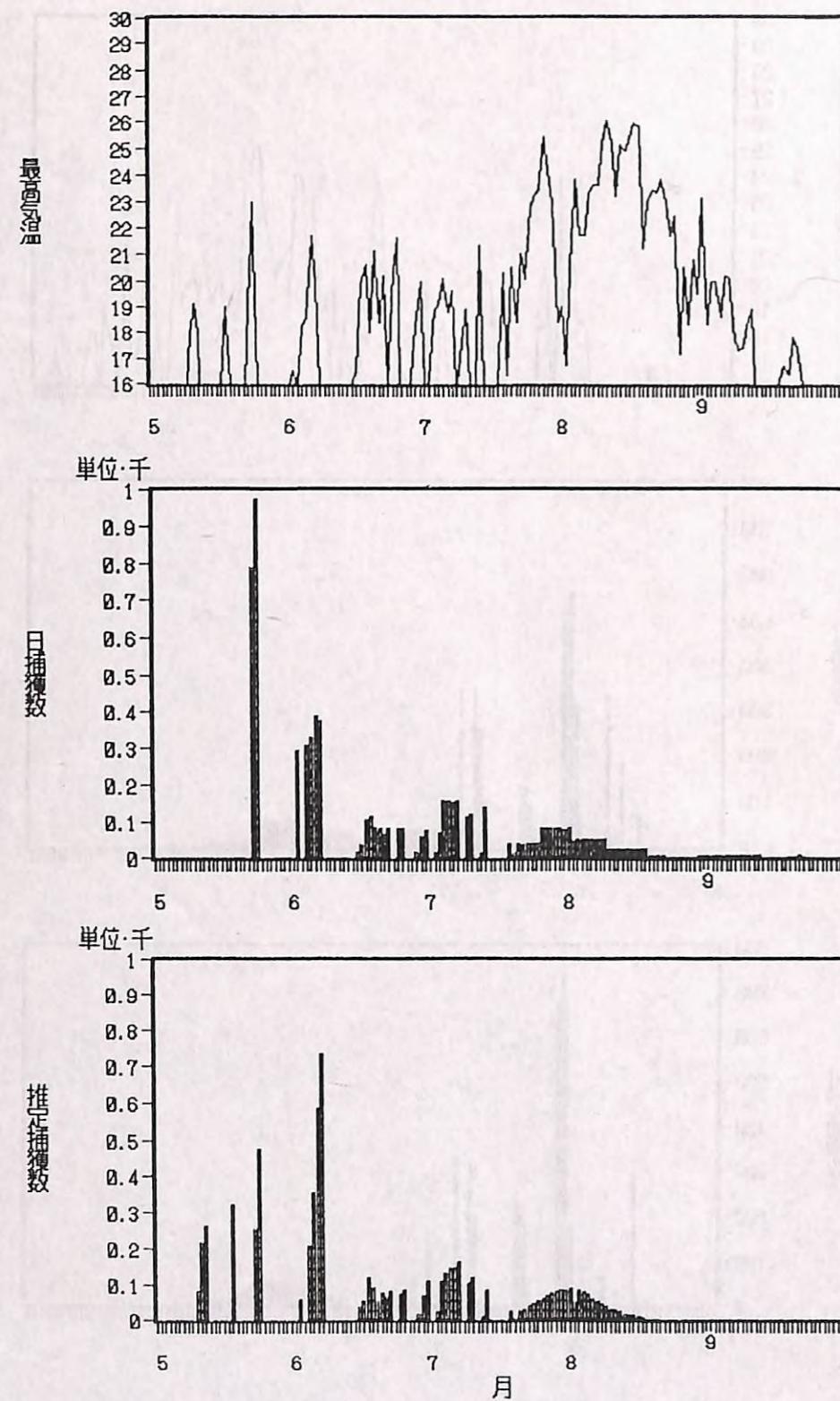


図 25 C 試験地1985年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

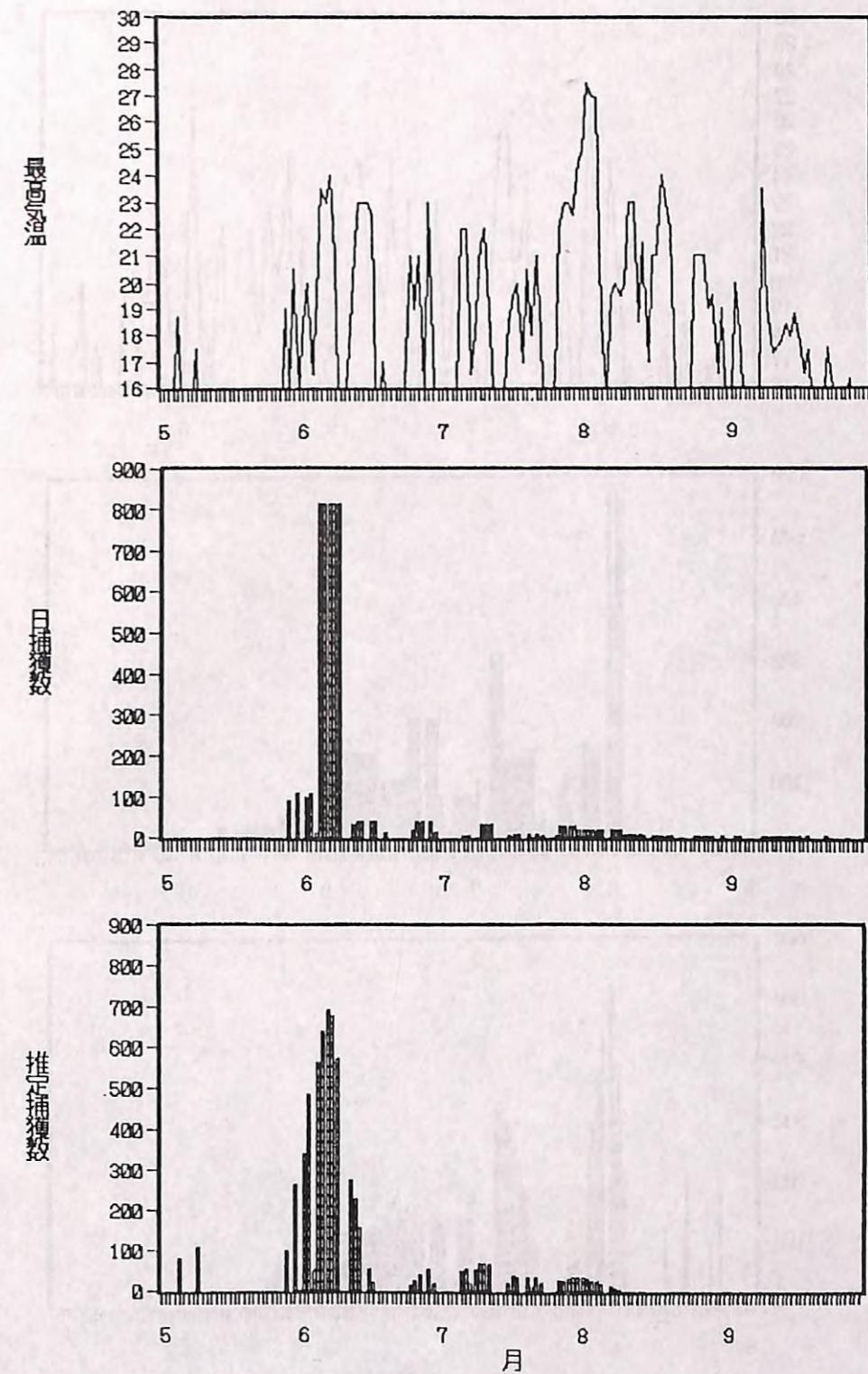


図 26 C 試験地1986年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

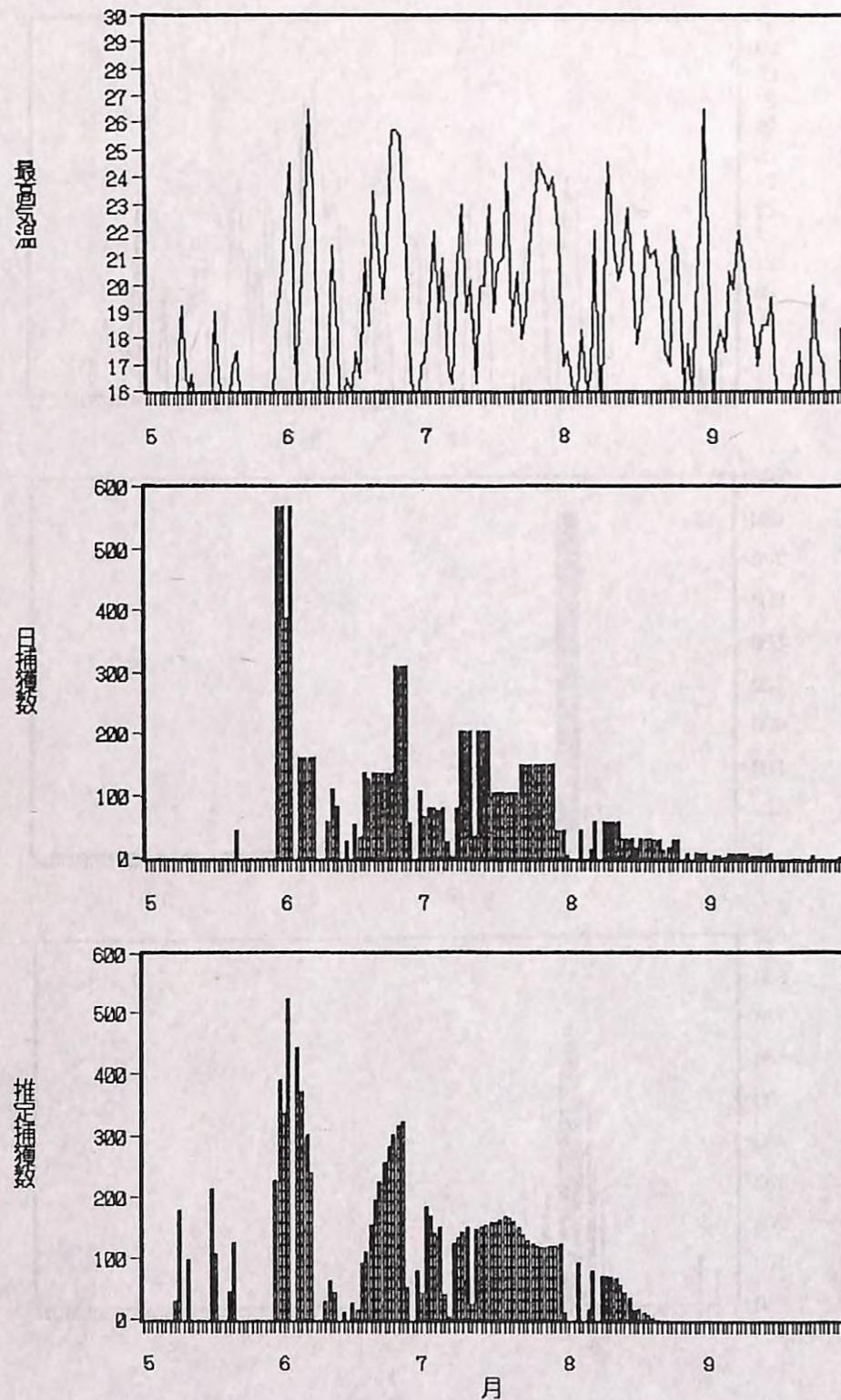


図 27 C 試験地1987年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

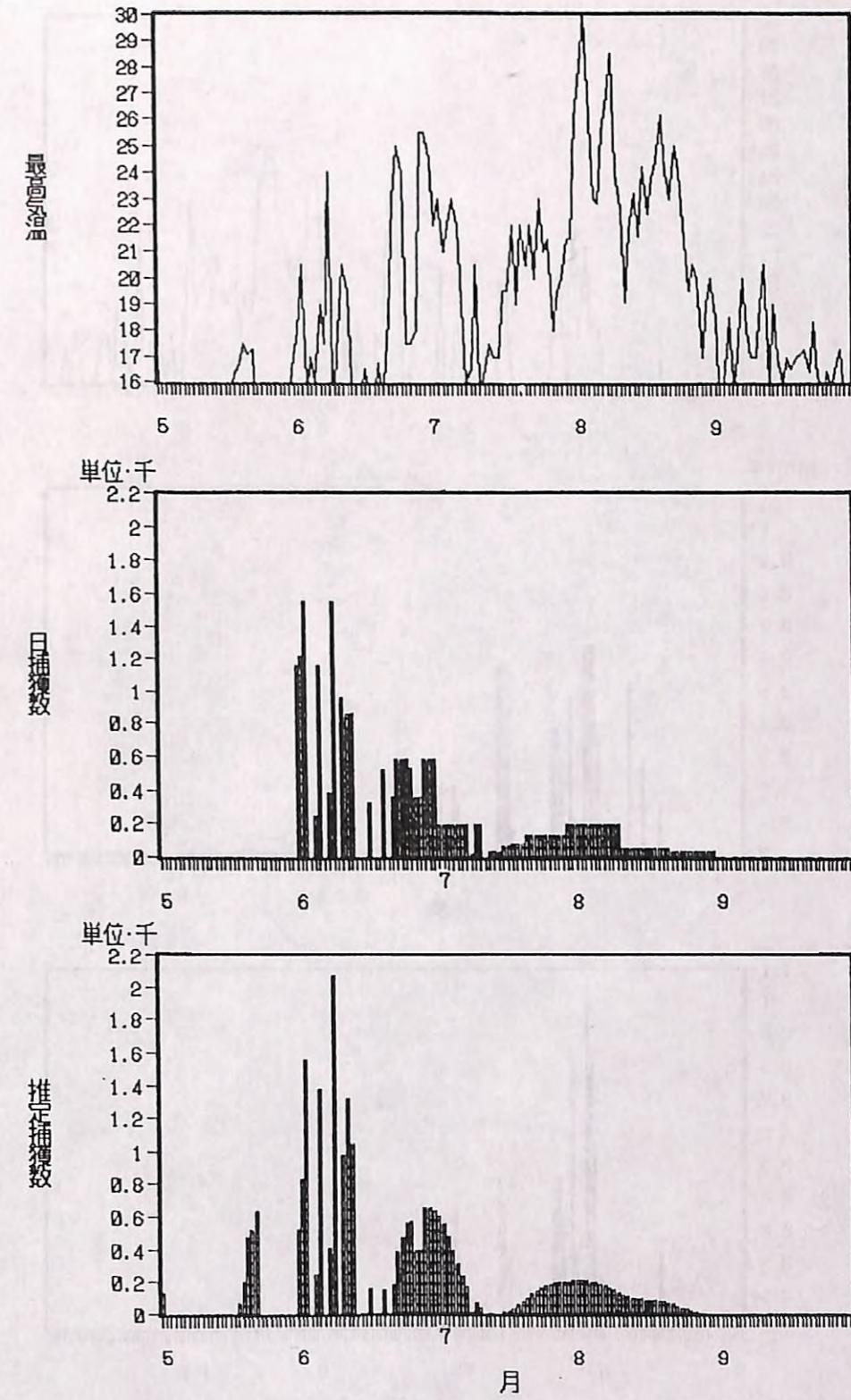


図 28 C 試験地1988年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

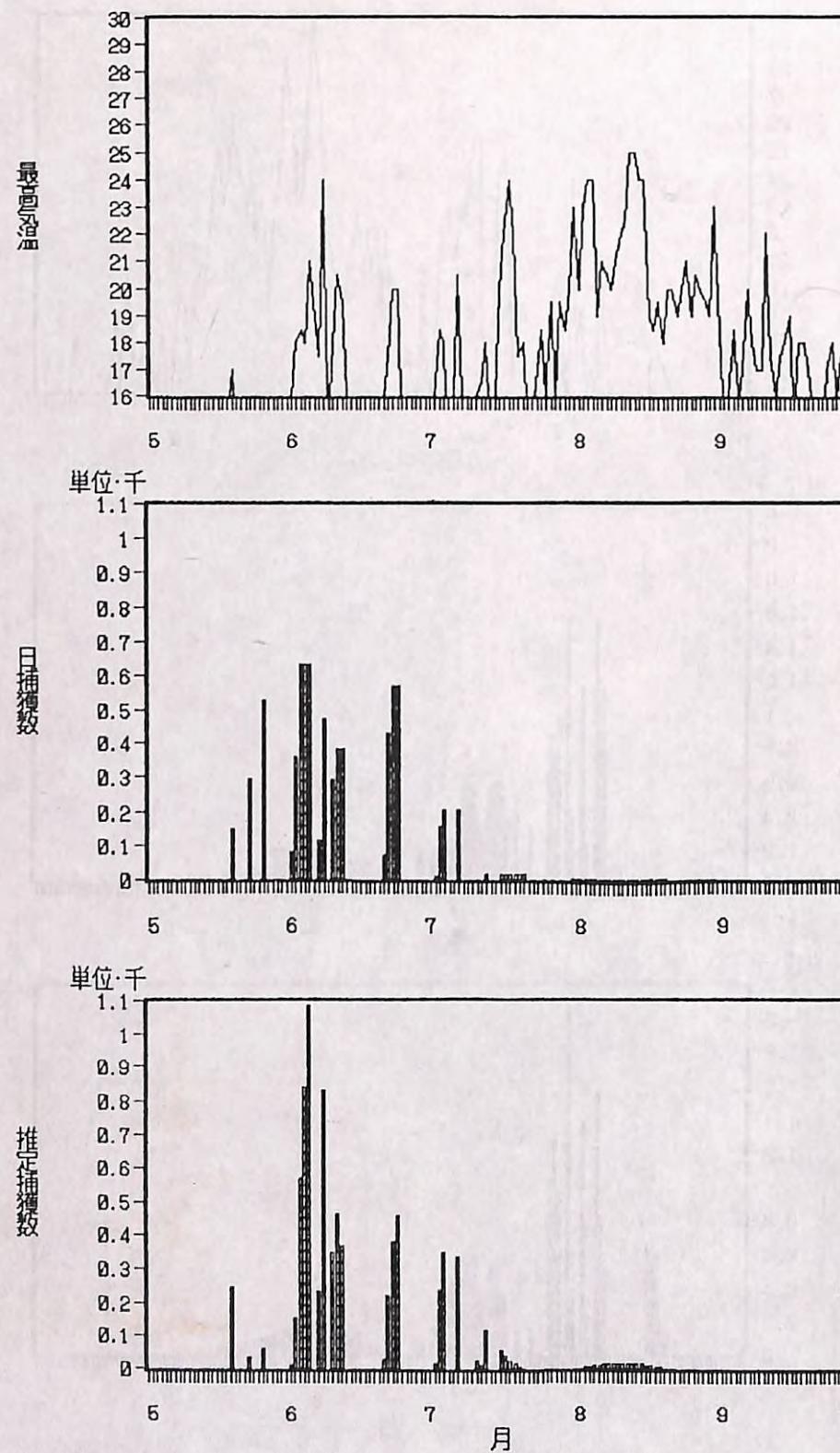


図 29 C 試験地1989年の16°C以上の最高気温、日捕獲数、推定捕獲数

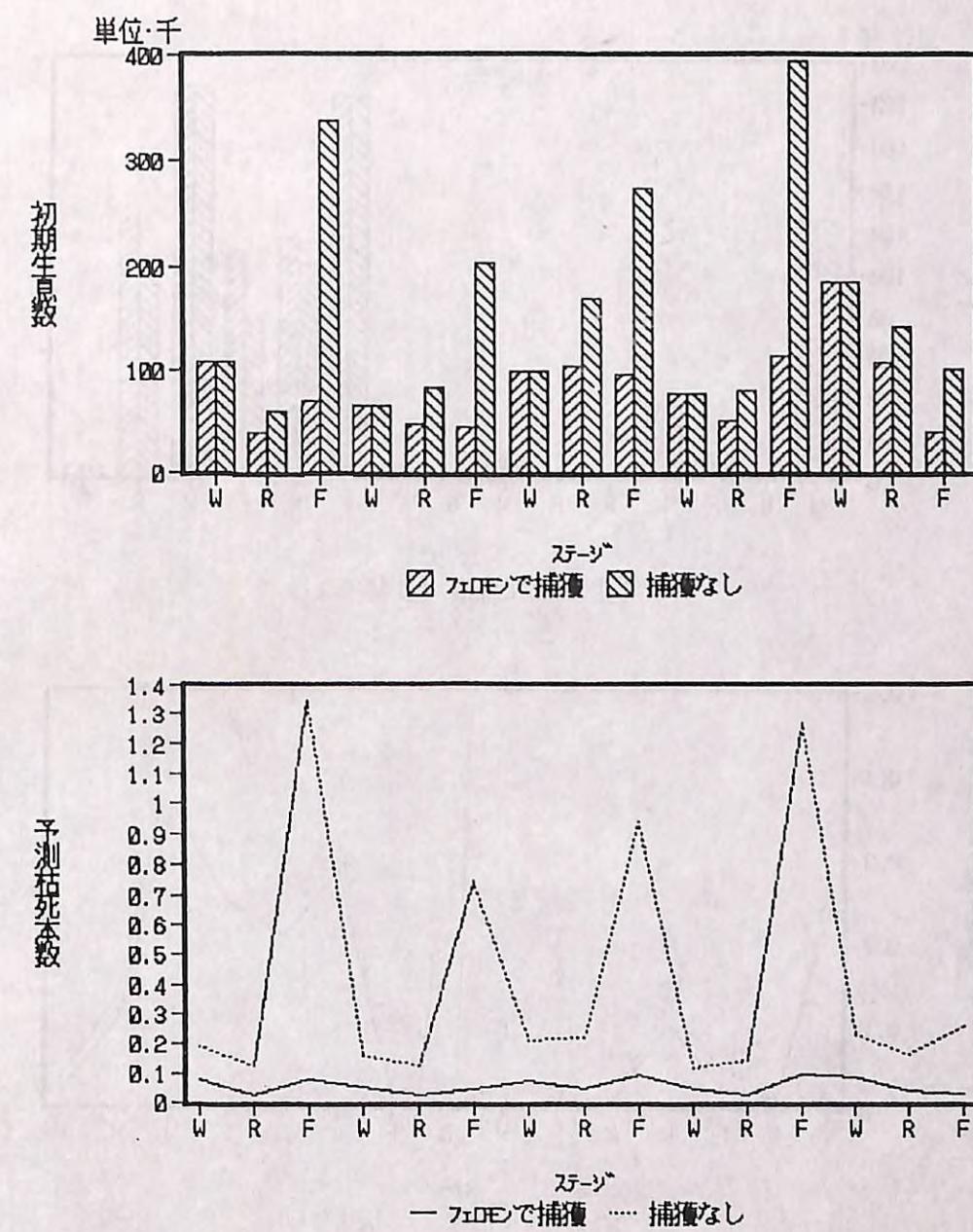


図 30 A 試験地でフェロモンで捕獲した場合と捕獲しなかった場合の初期生息密度の推移と予測枯損率の推移
(W: 越冬明け、R: 再寄生、F: 第一世代)

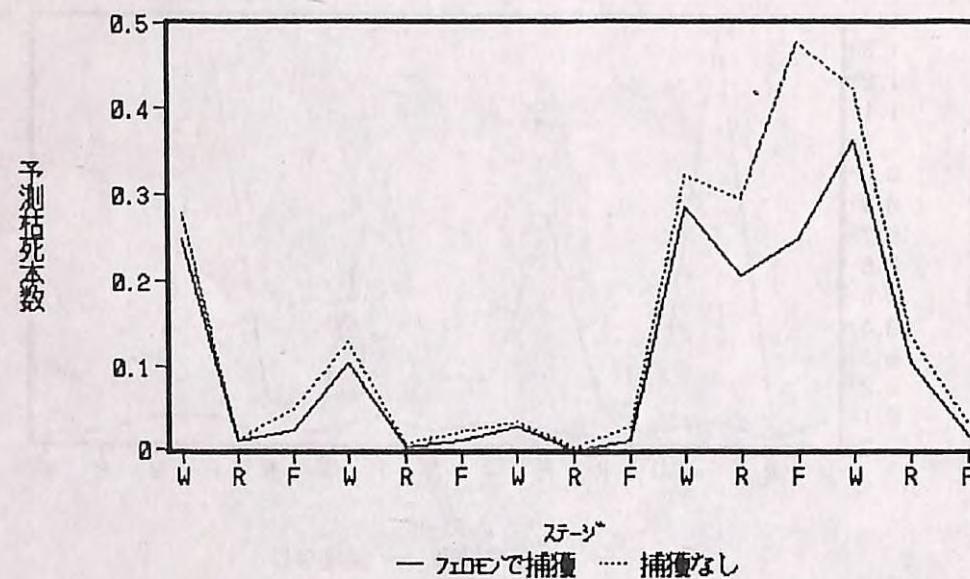
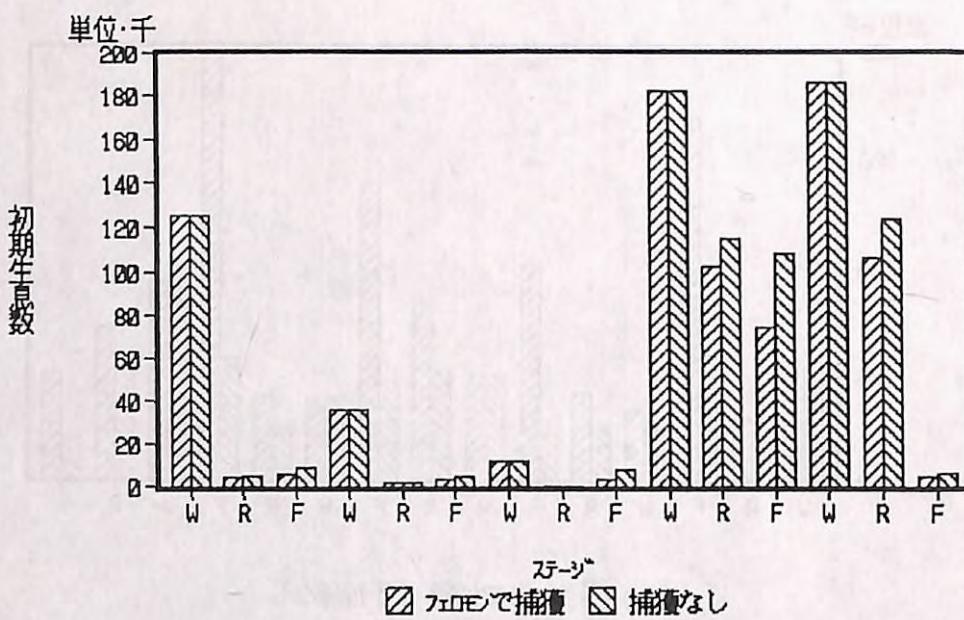


図 31 B 試験地でフェロモンで捕獲した場合と捕獲しなかった場合の初期生息密度の推移と予測枯損率の推移
(W: 越冬明け、R: 再寄生、F: 第一世代)

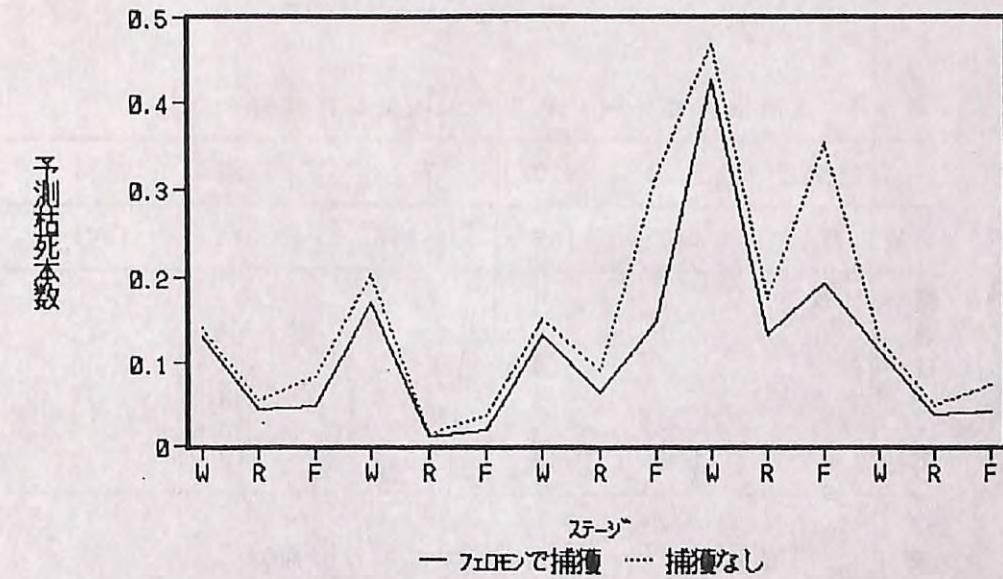
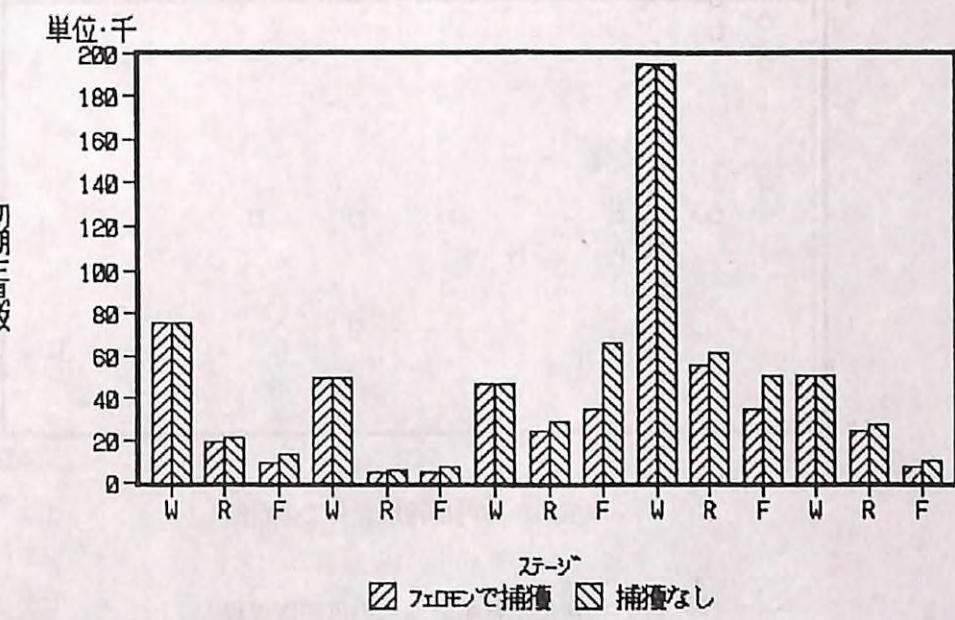


図 32 C 試験地でフェロモンで捕獲した場合と捕獲しなかった場合の初期生息密度の推移と予測枯損率の推移
(W: 越冬明け、R: 再寄生、F: 第一世代)

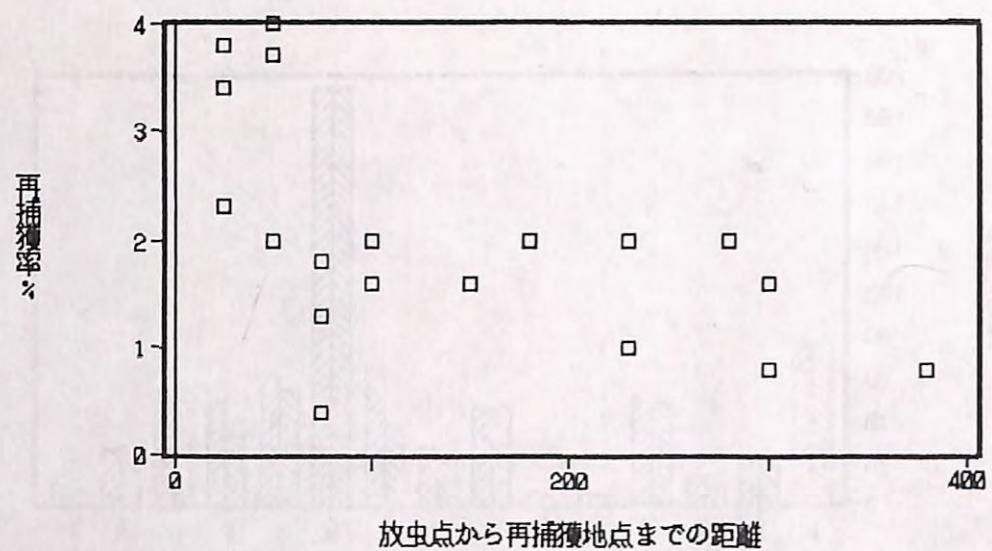


図 3-3 阿寒格子状試験地での再捕獲距離

表 1-3 支所構内でマークリリースによる再捕獲

放虫日	6.24	7.02	7.16	7.22	7.31
放虫数	440	182	288	375	1861
経過日	0.3	7	0	0	-
1	0	0	2	0	13
2	0	0	0	0	0
3	-	-	0	0	1
4	-	-	-	0	0
再捕獲率%	1.6	0	0.7	0	0.8

表 1-4 C 試験地でマークリリースによる再捕獲

放虫日	6.10		6.12		
	放虫数	200m	250m	50m	100m
再捕獲距離	1084		418		
0.4	0	0	3	1	
1	1	1	0	0	
2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	
再捕獲率	0.1	0.1	0.7	0.2	