

受入ID- 1519990825D00076



平成 4 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 5 年 10 月



02000-00043104-7

森林総合研究所

平成4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. 林業労働災害要因の評価と予測 | 1 |
| 2. 天然更新施業地における更新未了地の森林造成技術の体系化 | 57 |
| 3. 小面積造林地における駆除後の野鼠の侵入と防除法 | 115 |
| 4. 国有林林道の新設にかかる優先順位の判定基準について | 167 |
| 5. 治山施工地における木本群落の造成及び維持管理技術の開発 | 217 |
| 6. 前線帯の成長促進のための海岸防風工法等の開発 | 231 |
| 7. 精英樹の非選抜形質についての育種効果の推定 | 249 |

林業労働災害要因の評価と予測

林業労働災害要因の評価と予測

I 試験担当者

生産技術部作業技術科労働科学研究室 豊川勝生
今富裕樹
山田容三
作業技術科長 奥田吉春

II 要旨

(1) 国有林における1988年～1990年度の災害事例について、被災者の属性、災害発生場所、起因物、加害物、不安全行動、管理的要因、事故の型、障害部位などを明らかにし、要因間の関係をクロス分析した。その結果、事業区分別の災害発生比率は、製品生産事業と造林事業の災害を併せると、災害全体の約3/4を占めていた。作業区分別にみると、伐出作業の伐倒、造材、造林作業のつる切り、下刈作業で災害が多く発生し、身を護る手段が少ない作業で災害が多く発生している傾向がみられた。事故の型では、造林作業と伐出作業の伐倒で、切れこすれという、使用機械・器具の刃に接触した事故と伐倒木の枝の落下、地ごしらえ作業の枝条整理の際の枝条の飛散などの飛来・落下事故が多くみられた。また、転倒災害も多くみられ、今後、作業者の高齢化が進む中で、これら行動災害の防止策の検討が望まれた。

(2) 民有林における87件の林内作業車並びに697件の集材機集材作業の災害分析を行い、ヒューマンエラー発生のメカニズムをCTA手法（災害発生時の作業要素を時間経過で分析して、災害発生の原因を探る手法）による解析や作業別の要素間影響確率で解析し、災害防止対策上の留意点を検討した。林内作業車作業の災害事例分析では、災害発生場所として集材地、作業路が多く、起因物と不安全状態との関連として作業車と立木の間に作業者が挟まれたものが多い。不安全行動では、作業環境確認不十分が多く、事故の型は、挟まれ・巻き込まれが多い。CTA手法による労働災害の分析では、各作業とも、人的要素に始まる要素間の関連が災害発生に大きく関与していることが分かった。集材機作業の災害事例分析では、荷掛け（荷掛け退避を含め）の災害発生頻度が高く、発生場所は、集材地が多い。起因物は、集材木が多く、集材装置を構成する要素が起因物となる頻度が高かった。起因物の不安全状態は、接触、不安定、滑りやすいが多く、人の不安全行動は、環境確認不十分、作業位置が不適当が多い。事故の型は、挟まれ・巻き込まれ、墜落・転落、転倒が多かった。CTA手法による分析結果より集材機集材作業の安全作業を検討し、これを基に最近増加が著しいタワーヤードと自走式搬器作業の安全作業について検討した。この

結果、①荷掛・荷卸作業で重錐や荷掛滑車がないため安全作業が容易 ②作業場に内角作業が生じにくい。よって、安全上退避の必要もなく、作業位置の自由度が高い ③作業索の林内配置が少ないため、作業索の障害物への引っかかりや損傷が少なく、作業索を手で引っ張ったり、掴んだりする操作も少ない ④架設作業で支柱作設もタワーに登る必要がなく、高所作業が減少する、また、集材機の据え付けも簡単であり、作業索の引き回し等の危険作業も少ない、などタワーヤードと自走式搬器作業の安全上の利点が指摘できた。

III 試験目的

林業労働では種々の安全対策が実施されてきているが、災害要因が複雑多岐にわたるため充分な効果を挙げているとはい難い。より一層の安全作業を期するためには、災害とその原因に対して充分な解明を行い、効果的な災害防止対策を樹立する必要がある。このため、各種の森林作業について、労働災害の発生に影響を与える災害要因を解明し、災害の基本的特性から要因の体系的な評価を行う。また、各種要因を使った多変量解析を行い、災害発生への影響度の高い要因を究明し、労働災害防止対策に資するため本研究を実施した。

IV 試験の方法と結果

1. 国有林における労働災害の要因の分析

1) 国有林の労働災害の現況

近年、わが国の林業における林業労働力は林業生産活動の停滞などの理由により減少傾向で推移している傾向にあり、さらに高齢化も深刻な問題となってきている。国有林における作業人員（基幹、常用、定期作業員）をみると、1978年には30,088人であったものが1988年には16,830人までに減少している^{1)～3)}。さらに新規の作業職員が少なくなっていることから50～59歳代の年齢層の占める割合が最も高く、その占有率も毎年上昇し1988年には64%に達し（図1）、1988年における作業員の平均年齢は50.8歳となっている³⁾。近年、国有林における災害発生件数は減少傾向がみられ（図2）、特に、休業8日以上の重傷の災害が減少してきているが、上述したように、発生件数の母数となる作業人員が毎年減少していることから、発生件数の数値のみから一概に労働災害が減少しているとは判断し難い。

これを安全水準の評価法として使われる度数率（100万労働時間あたりの発生件数）や強度率（1000労働時間あたりの労働損失）でみると（表1）と、度数率はやや減少傾向にあり、災害発生件数は減少していることが認められるが、強度率は1.0前後を推移している。これを他産業と比較すると度数率、強度率ともに明らかに高い状況であることが示されていることから、国有林の災害発生状況は発生件数は減少しているものの、他産業に比べて発生頻度や災害の強さは依然として強い状態であるものといえよう。なお、実労働時間

は延人員に8時間を使った値とし、労働損失日数は死亡及び1～3級の永久全労働不能の場合、一件につき7500日、一時的な労働不能の場合は休業日数×300/365、永久一部労働不能の場合は休業日数に関係なく表2に示される損失日数が国有林において使用されている。

表1. 労働災害の度数率、強度率の推移

| 年 | 国有林 | | 全産業 | |
|------|-------|------|------|------|
| | 度数率 | 強度率 | 度数率 | 強度率 |
| 1981 | 15.65 | 1.04 | 3.23 | 0.37 |
| 1982 | 14.66 | 1.32 | 2.98 | 0.32 |
| 1983 | 14.90 | 1.06 | 3.03 | 0.30 |
| 1984 | 14.04 | 1.22 | 2.77 | 0.34 |
| 1985 | 11.62 | 0.80 | 2.52 | 0.29 |
| 1986 | 10.95 | 0.53 | 2.37 | 0.22 |
| 1987 | 10.94 | 0.66 | 2.22 | 0.20 |
| 1988 | 10.09 | 1.01 | 2.09 | 0.20 |
| 1989 | 8.97 | 0.77 | 2.05 | 0.20 |

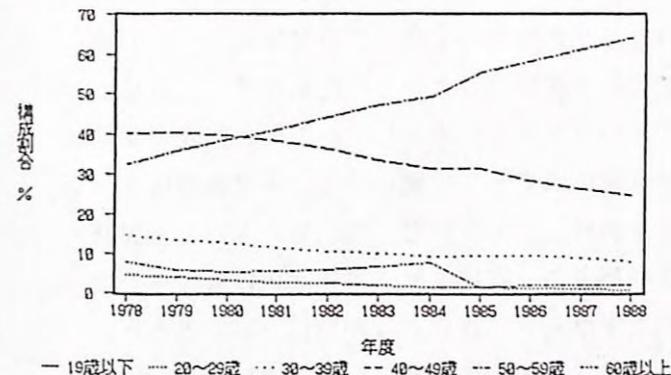


図1. 作業者の年齢階別構成割合

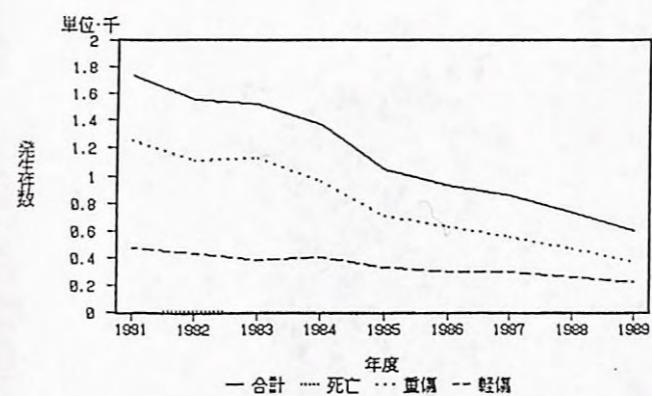


図2. 労働災害発生件数の推移

国有林は文献(4)～(8)、全産業は文献(9)をもとに作成。
国有林は年度、全産業は年次における数値である。

$$\text{度数率} = \frac{\text{災害件数}}{\text{実労働時間数}} \times 10^6$$

$$\text{強度率} = \frac{\text{労働損失日数}}{\text{実労働時間数}} \times 10^3$$

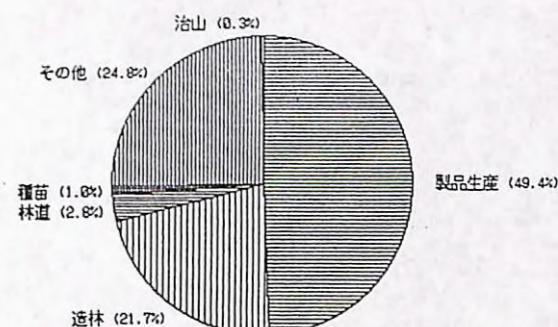


図3. 事業区分別の災害発生比率

表2. 労働損失日数（永久一部労働不能の場合）

| 身体障害等級 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|----|
| 損失日数 | 5,500 | 4,000 | 3,000 | 2,200 | 1,500 | 1,000 | 600 | 400 | 200 | 100 | 50 |

2) 国有林における労働災害の発生パターンとその関連要因

ここでは1988年度～1990年度に国有林で発生した災害資料をもとに分析を進めた。従って、ここで述べる災害発生件数や発生比率は3年間の合計値をもとに算出されている。

(1) 事業別及び作業区分別の災害発生状況

事業区分別の災害比率をみると、製品生産事業49.4%，造林事業21.7%となっており、製品生産事業において約半数近くの災害が発生している。これら以外の事業による災害発生比率は少なく、国有林における労働災害のほとんどは製品生産及び造林事業において発生していることが分かる(図3)。そこで、製品生産事業(主として伐出作業)、造林事業(主として造林作業)について作業区分ごとの災害発生比率を示したものが図4である。伐出作業において災害発生比率が高いものから順に示すと、伐倒48.7%，集材機集材(架設撤去を含む)17.1%，トラクタ集材9.5%，造材9.2%，巻立て7.6%， トラック運材2.2%となっており、伐出作業においては伐倒作業の災害発生比率がズバ抜けて高い。また、集材機集材も他の作業に比べて災害発生比率が高い。次に造林作業についてみると、つる切・除伐53.8%，下刈り22.5%，地ごしらえ13.5%，枝打ち6.0%，植付け4.2%となっており、造林作業においてはつる切・除伐作業の発生比率が最も高いことが分かった。

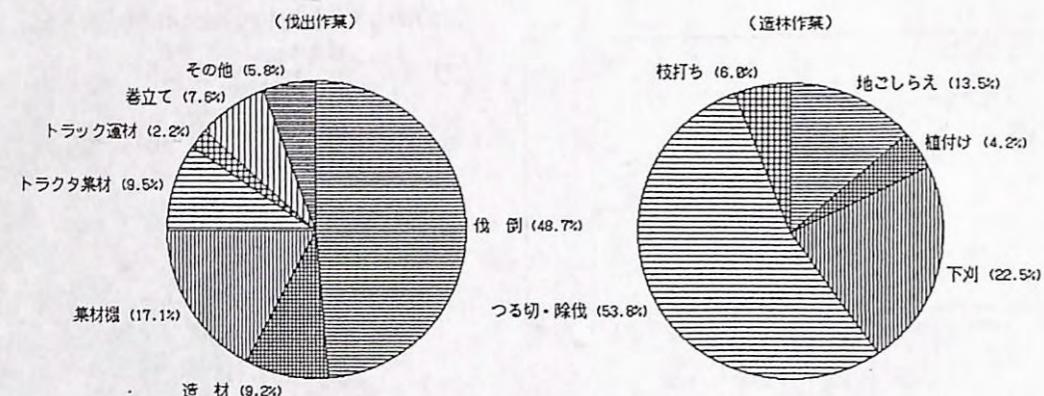


図4. 作業区分別の災害発生比率

(2) 労働災害発生の概要

上述したように伐出作業では伐倒や集材機集材、造林作業ではつる切・除伐作業や下刈作業に多くの災害が発生していることが分かった。よって、ここでは伐出及び造林作業において災害発生頻度が高い上位3つの各作業を対象として災害発生の概要について分析することにする。

①年齢階別災害発生件数(図5) 作業区分ごとの年齢階別災害発生件数は各作業区分ともに50歳代での発生件数が最も高い。また、伐倒や集材機集材では30歳代、40歳代で

の発生件数もかなりみられる。しかしそれ以外の作業では50歳代に災害が集中していることが認められる。このように50歳代に災害が集中していることは国有林では作業員の約3分の2が50歳代であることが大きな要因としてあげられる。しかし加齢にともなう身体諸機能の低下も災害発生に大きく関与しているものと推測される。なお、伐倒や集材機集材では50歳代以外の年齢層においてもかなり発生していることから、これらの作業は体力的な問題にかかわらず危険度が高い作業であるものと思われる。

②発生時刻と災害発生件数(図6) 伐出作業及び造林作業において発生頻度が高い上位3つずつの作業の合計値について午前と午後の発生状況をみると、午前に発生した災害は54%，午後では46%となっており、発生率については午前、午後ともに同じ程度であった。全体的にみれば、午前中は10～11時、午後は2～3時に多発している。しかし、下刈については9～10時が発生時刻のピークとなっている。また、トラクタ集材にあっては午前中は発生時刻のピークはみあたらないが、午後になると2～3時にピークがみられる。

③発生曜日と災害発生件数(図7) 発生件数が最も多い伐倒作業では週はじめに災害が多発し、日ごとに災害の発生件数は減少している。集材機集材、トラクタ集材及び地ごしらえについては発生曜日と発生件数の関連はみられない。下刈、つる切・除伐などの造林作業については週はじめの災害が多く、徐々に低下し、さらに週末にはまた災害が増える傾向が示されている。

④発生月と災害発生件数(図8) 伐倒作業は9月、10月、1月の発生件数が多い。これは伐出作業が秋から冬にかけて多く行われることによるものと考えられる。しかし11月、12月の災害件数は比較的に少ない。この理由は分からず。下刈作業は6月、7月に多くの災害が発生している。集材機及びトラクタ集材は秋から冬にかけて、地ごしらえやつる切・除伐は8～11月にかけて多く発生している。

⑤発生場所と災害発生件数(図9) 伐倒、集材機集材、下刈、つる切・除伐などの作業は人工林内での災害発生件数が最も多い。また、地ごしらえでは無立木地の災害発生件数が多い。なお、集材機集材では屋内での発生もみられる。

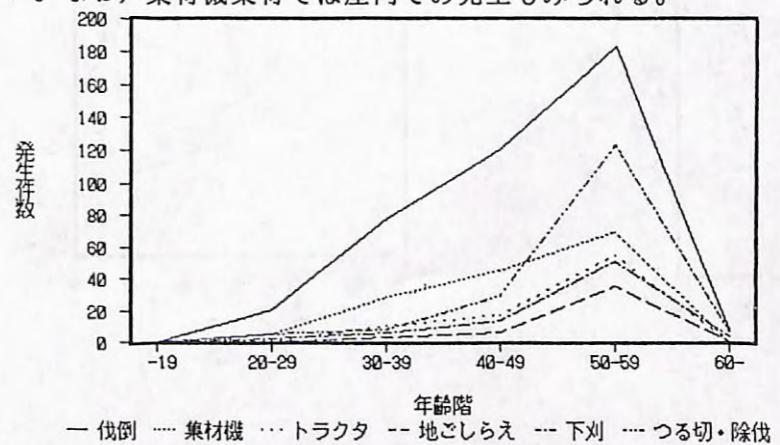


図5. 作業区分ごとの年齢階と災害発生件数

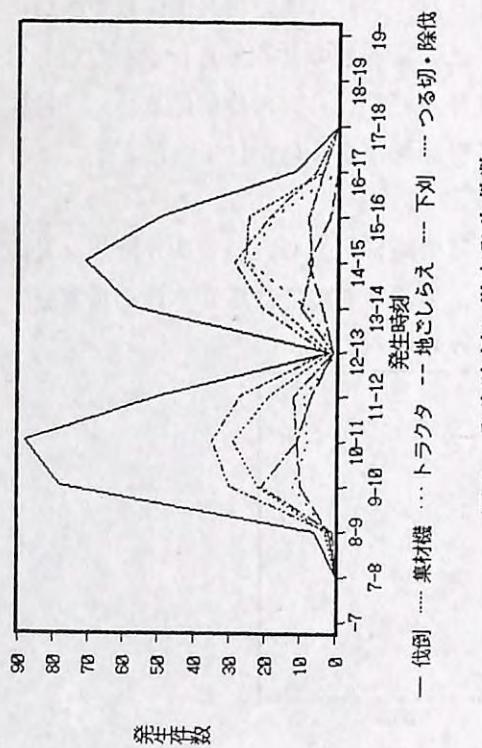


図6. 発生時刻と災害発生件数

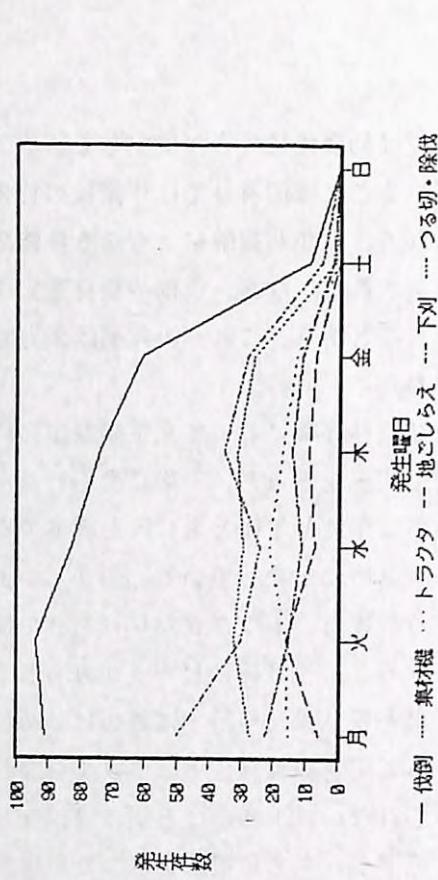


図7. 発生曜日と災害発生件数

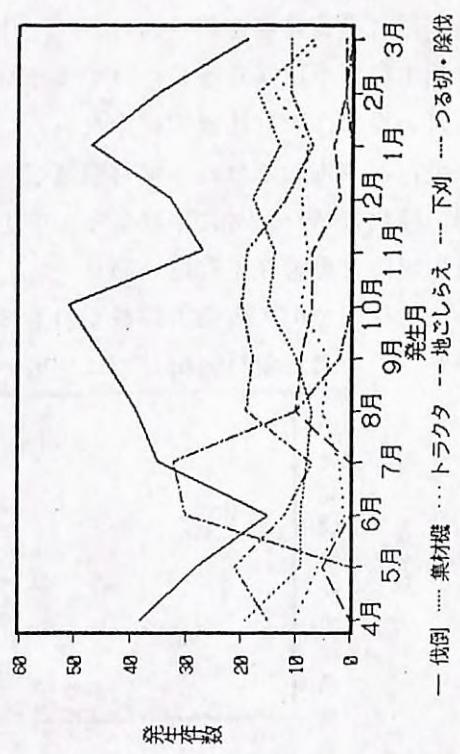


図8. 発生月と災害発生件数

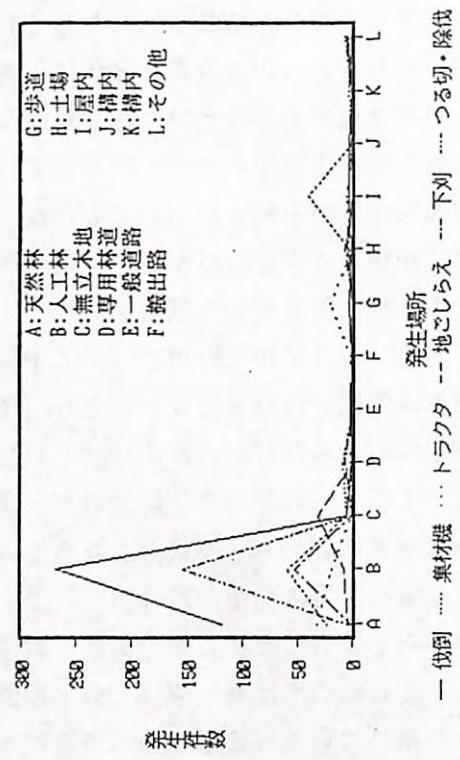


図9. 発生場所と災害発生件数

(3) 単位作業との関係 (表3)

表3は災害発生件数について作業区分と単位作業とのクロス分析表を示したものであり、各作業の中でどのような単位作業を行っている時に災害が発生しているかを読み取ることができる。

表3. 作業区分と単位作業とのクロス分析

| 単位作業 | 伐倒 | 集材機 | トラクタ | 地持え | 下刈 | つる切削伐 |
|---------|-----|-----|------|-----|----|-------|
| 受口切り | 13 | 1 | 2 | | | |
| 追口切り | 48 | | 1 | | | 1 |
| 矢打ち | 14 | | | | | |
| 枝払い | 187 | 14 | 1 | 1 | | 3 |
| 玉切り | 9 | | 2 | | | |
| かかり木処理 | 21 | 1 | | 1 | | 5 |
| 据え付け | | 1 | 1 | | | |
| 支柱組立解体 | | 5 | | | | |
| ワイヤ引回し | | 15 | 1 | | | |
| ナロウア引回し | | 2 | | | | |
| 小屋掛け | | | | | | |
| 盤台作設解体 | | 3 | | | | |
| 試運転 | | | | | | |
| 木登り | 1 | | | | | |
| ワイヤかけ | | 4 | 1 | | | |
| 荷掛け | | 38 | 37 | | | |
| 荷卸し | | 20 | 5 | | | |
| 信号・誘導 | 1 | 2 | | | | |
| スタンプ換え | | 3 | | | | |
| 木寄せ | | 2 | | 1 | | |
| はえ積み | | 3 | 1 | | | |
| 測尺 | | | | | | |
| 苗木運搬 | | | | | | |
| 植穴掘り | | | | | | |
| つる切り | 7 | 22 | | 3 | 45 | 63 |
| 刈払い | | | 1 | 14 | 45 | |
| 巻き落し | | | 1 | 2 | | |
| 薬剤散布 | | | | | 4 | 5 |
| 点検整備 | 1 | | 2 | | 2 | |
| 修繕 | 1 | | 1 | | | |
| 索の修繕 | 4 | | | | | |
| 除雪 | | | | | | |
| 移動 | 17 | 4 | 3 | 1 | 9 | 17 |
| 退避 | 35 | 8 | 5 | 8 | 2 | |
| 運転 | | | | | 5 | |
| 同乗 | | | | | 8 | |
| その他 | 47 | 16 | 9 | 22 | 8 | 40 |
| 合計 | 422 | 148 | 82 | 45 | 75 | 179 |

伐倒作業では枝払いによる発生件数が最も多く、追口切りや退避での発生件数も比較的多い。国有林における伐出作業では全幹集材が行われる場合が多く、伐倒作業時間に占める枝払い作業時間の比率は高い。従って枝払いによる災害の発生確率も必然的に高くなるものと考えられる。伐倒の直接的行為である受口切りと追口切りでは追口切りの方が当然のことながら発生件数が多い。なお、追口切りと枝払いを比較してみると、追口切りの災害発生件数は枝払いの約4分の1である。しかし作業時間については、文献¹⁰⁾をもとに分析してみると、手持式チェーンソーの場合、枝払い時間は追口切りの7.2～9.8倍、リ

モコンチェーンソーの場合、4.8～12.1倍の時間が必要とされている。従って災害発生件数だけをみると追口切りは枝払いの場合に比べると少ないが、作業時間を考慮すれば伐倒作業における追口切りの災害発生確率は枝払いに匹敵するものといえよう。なお、退避中の発生件数が多いことは退避位置が悪かったことが大きな原因であるものと推察され、この種の災害は不安全行動を意識的に防ぐ訓練により未然に防止することができるものと考えられる。

集材機集材では荷掛け、荷卸し作業中に多くの災害が発生している。またワイヤ引き回しでの発生件数も多い。トラクタ集材ではその大半が荷掛け作業中に発生している。

地ごしらえ、下刈り、つる切・除伐などの造林作業については共通して、刈払い作業中における発生件数が多い。なお、下刈やつる切・除伐作業ではこれらの仕事が条件に富んだ林内歩行を中心とした作業であるために、移動による災害も比較的多くみられる。

(4) 事故の型との関係(図10, 図11)

伐倒作業では切れ・こすれ40.5%, 飛来・落下20.6%, 転倒11.4%となっており、切れ・こすれ型の事故が最も多く発生している。また、伐倒作業の70%以上がこれら3種類の事故の型である。

集材機集材では種々の事故の型が発生していることが特徴的であり、事故の型の比率について上位順に示せば、転倒20.3%, 激突され16.9%, 墜落・転落14.9%, 挟まれ巻込まれ12.2%である。上述したように、集材機集材では荷掛け作業の場合に多くの災害が発生しており、さらに転倒による事故が多いことは、集材機作業では地形が急峻で厳しい作業現場で行われることが多いことによるものと推察される。なお、このように種々の事故の型が発生する集材機集材は危険度が高い作業であるものと考えられ、災害防止にあたっての対策も難しいことが予想される。

トラクタ集材では激突され22.0%, 飛来・落下22.0%, 挟まれ巻込まれ15.6%となっており、これらの事故の型が全体の約60%を占めている。トラクタによる集材木の木寄せ作業中に材に激突されたり、ワインチロープが抜けて材が転落したり、集材木のけん引が原因となり、石や倒木などが落下して被災しているものと推察される。なお、集材機集材に比べて転倒による災害比率が少ない。これはトラクタ集材が比較的地形条件がよい作業地で行われていることがその理由のひとつとして考えられる。

図11は造林作業における事故の型別の発生比率である。地ごしらえ、下刈、つる切・除伐などの作業について共通して言えることは、切れ・こすれによる災害が最も多く、約40%がこの種の事故の型であるということである。地ごしらえについては切れ・こすれ、飛来・落下、転倒による災害発生比率の合計は約82%である。下刈作業では切れ・こすれ、転倒による発生比率の合計は約66%である。このように地ごしらえや下刈作業における事故の型はその種類が少ない。従って災害発生の防止対策はこれらの事故の型について特に考慮すればよいであろう。なお、下刈作業では林内を歩行しながら作業を行う形態上、転倒

による事故の発生比率が他の造林作業に比べて高い。つる切・除伐については地ごしらえや下刈作業に比べて発生する事故の型の種類が多い。

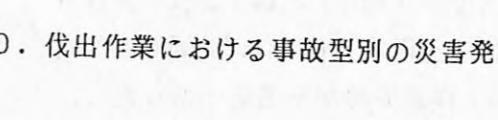
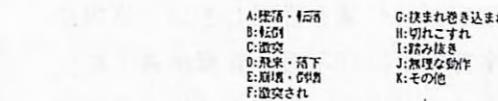
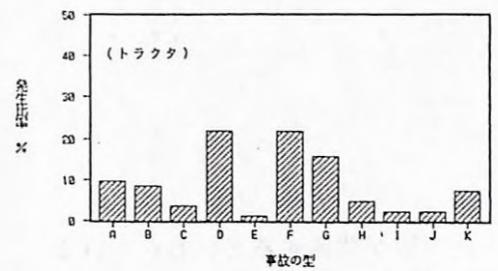
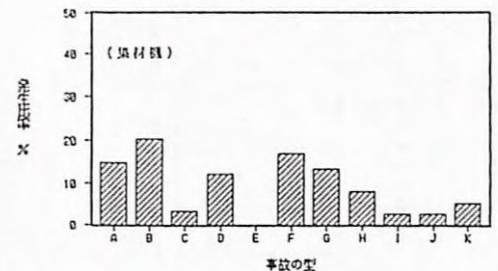
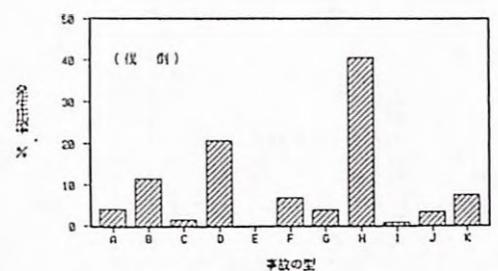


図10. 伐出作業における事故型別の災害発生比率

図11. 造林作業における事故型別の災害発生比率

(5) 起因物との関係(表4)

表4は作業区分ごとに災害にかかわった起因物の比率である。起因物とは、災害発生のメカニズムにおいて、不安全な状態にあったものをいう。伐倒作業では伐倒木20.1%, チェーンソー19.2%であり、これらの起因物による発生比率が高い。集材機集材ではワイヤロープが起因物となる比率が高く、19.6%である。トラクタ集材ではトラクタが起因物となる比率が最も高く、28.0%である。またワイヤロープによる比率も高い。これはトラクタ後部に装備されているワインチのワイヤロープやスリングロープによるものと考えられる。

造林作業ではナタやカマなどの手工具、末木枝条が起因物となっていることが示されている。地ごしらえでは末木枝条22.2%，ナタ11.1%であり、これ以外に目立った起因物は示されていない。下刈作業ではカマによるものが25.3%と最も高い。一般的の災害では刈払機による災害が多いが、今回調査の国有林の災害では刈払機が起因物となつたものは少なかった。これは、民有林では刈払機使用の場合は1日刈払機による作業を行うが、国有林ではカマと刈払機の併用作業が行われているため、起因物が刈払機となる割合が少なくなったと考えられる。つる切・除伐ではカマ26.8%，ササ・かん木25.1%，ナタ12.3%であり、これらの3つの起因物が全体に占める比率は62.4%であった。

表4. 作業区分ごとの起因物と災害発生比率

| 作業区分 | 起因物 | 発生比率(%) |
|---------|-----------|---------|
| 伐 倒 | 伐倒木 | 20.1 |
| | チェーンソー | 19.2 |
| | 末木枝条 | 9.5 |
| | オノ | 8.3 |
| | その他(器具機材) | 6.4 |
| 集材機集材 | ワイヤロープ | 19.6 |
| | 伐倒木 | 13.5 |
| | 素材 | 10.1 |
| | 末木枝条 | 8.1 |
| トラクタ集材 | トラクタ | 28.0 |
| | ワイヤロープ | 11.0 |
| | 素材 | 7.3 |
| | 末木枝条 | 6.1 |
| 地ごしらえ | 末木枝条 | 22.2 |
| | ナタ | 11.1 |
| 下 刈 | カマ | 25.3 |
| | その他 | 14.7 |
| | ササ・かん木 | 12.0 |
| | 末木枝条 | 9.3 |
| つる切り・除伐 | カマ | 26.8 |
| | ササ・かん木 | 25.1 |
| | ナタ | 12.3 |

(6) 人的要因との関係

労働災害にかかる要因のうち、大なり、小なりは人的要因が関係するといわれていることから、ここでは作業者自身の立場からの不安全行動要因と作業を管理していく立場からの管理指導上の要因についての分析を進めた。不安全行動要因28項目、管理指導上の欠陥要因項目について複数回答方式により回答を求めた(表5)。図12は作業区分別に不安全行動要因をみたものである。不安全行動要因は各作業ともにほぼ共通した傾向がみられ、「作業環境等の確認が不十分であった」、「作業姿勢が不適切であった」、「作業位置(その他)が悪かった」、「作業に必要な準備(点検等)が不十分であった」、「無理な作業をするなど不安全な状態を自ら作った」などの要因の該当率が全体的に高かった。特に各作業を通して「作業環境等の確認が不十分であった」の要因の該当率が最も高く、60~70%であった。

管理指導上の欠陥要因の結果は図13である。管理指導上の欠陥要因については「潜在的危険の防止対策(ヒヤリ・ハット、危険予知訓練等)が不十分であった」、「安全教育が不十分であった」、「作業指示内容が明確または適切でなかった」等が各作業共通した要因であり、これ以外の要因の該当率は低い。従って、これらの要因についての管理指導の強化は災害防止の対策につながるであろう。

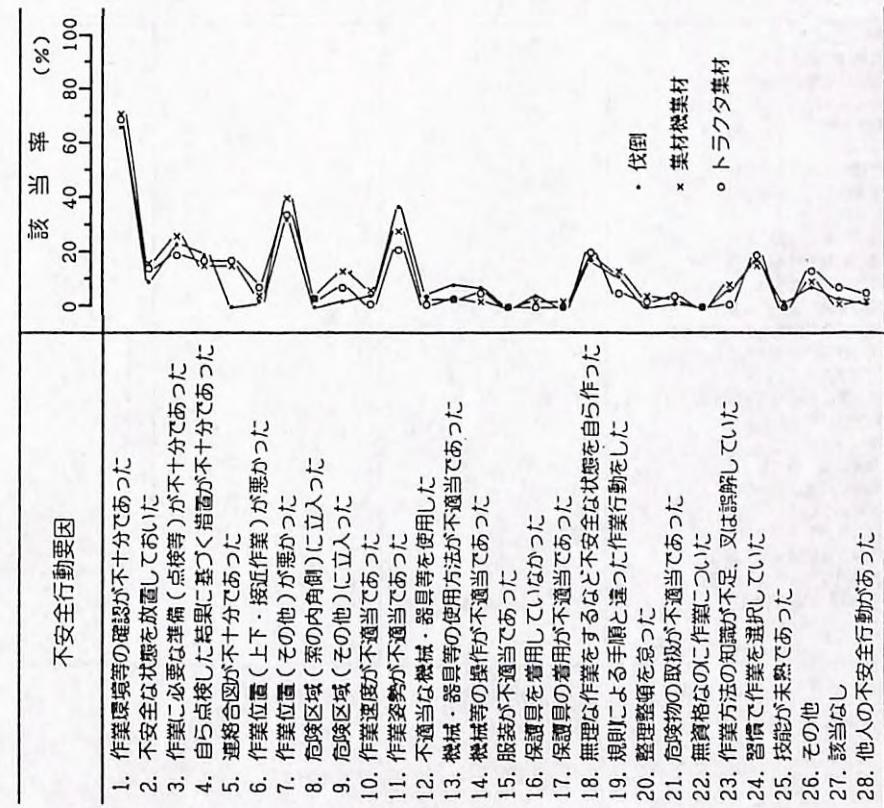
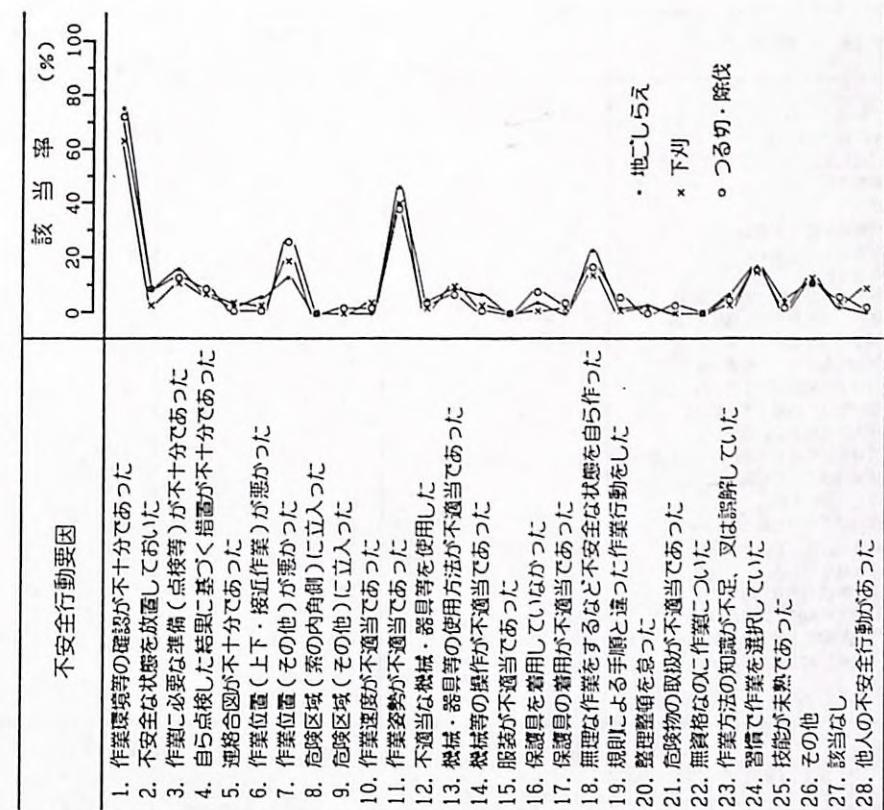


図12. 作業区分別の不安全行動要因

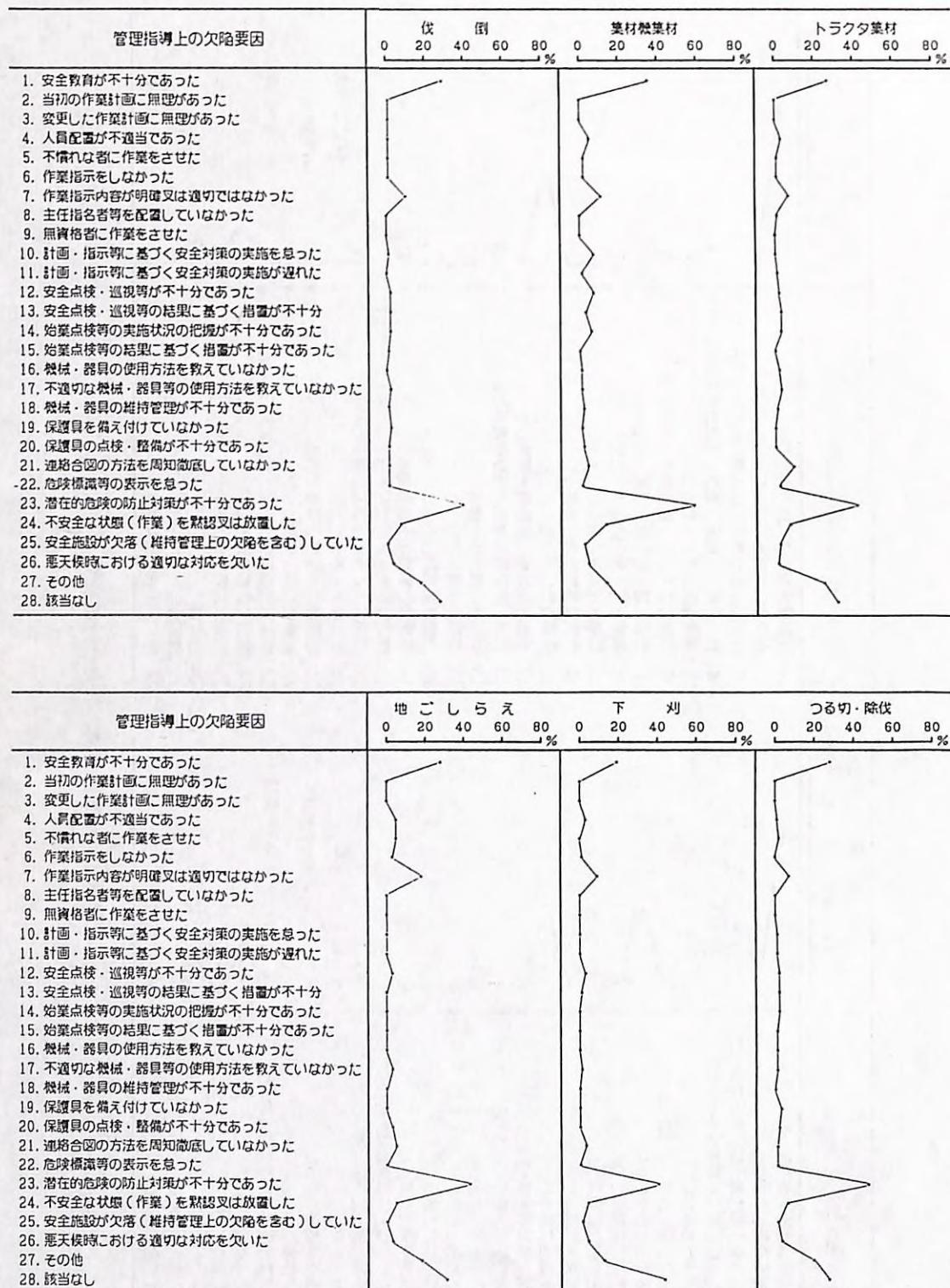


図 13. 作業区分別の管理指導上の欠陥要因

表 5. 不安全行動要因と管理指導上の欠陥要因

| 不安全行動要因 | コード番号 | 管理指導上の欠陥要因 |
|------------------------|-------|--------------------------|
| 作業環境等の確認が不十分であった | 1 | 安全教育が不十分であった |
| 不安全な状態を放置しておいた | 2 | 当初の作業計画に無理があった |
| 作業に必要な準備（点検等）が不十分であった | 3 | 変更した作業計画に無理があった |
| 自ら点検した結果に基づく措置が不十分であった | 4 | 人員配置が不適切であった |
| 連絡合図が不十分であった | 5 | 不慣れな者に作業をさせた |
| 作業位置（上下・接近作業）が悪かった | 6 | 作業指示をしなかった |
| 作業位置（その他）が悪かった | 7 | 作業支持内容が明確又は適切ではなかった |
| 危険区域（索の内角側）に立入った | 8 | 主任指名者等を配置していなかった |
| 危険区域（その他）に立入った | 9 | 無資格者に作業をさせた |
| 作業速度が不適切であった | 10 | 計画・指示等に基づく安全対策の実施を怠った |
| 作業姿勢が不適切であった | 11 | 計画・指示等に基づく安全対策の実施が遅れた |
| 不適切な機械・器具等を使用した | 12 | 安全点検・巡回等が不十分であった |
| 機械・器具等の使用方法が不適切であった | 13 | 安全点検・巡回等の結果に基づく措置が不十分 |
| 機械等の操作が不適切であった | 14 | 始業点検等の実施状況の把握が不十分であった |
| 服装が不適切であった | 15 | 始業点検等の結果に基づく措置が不十分であった |
| 保護具を着用していなかった | 16 | 機械・器具の使用方法を教えていなかった |
| 保護具の着用が不適切であった | 17 | 不適切な機械・器具等の使用方法を教えていなかった |
| 無理な作業をするなど不安全な状態を自ら作った | 18 | 機械・器具等の維持管理が不十分であった |
| 規則による手順と違った作業行動をした | 19 | 保護具を備え付けていなかった |
| 整理整頓を怠った | 20 | 保護具の点検・整備が不十分であった |
| 危険物の取扱が不適切であった | 21 | 連絡合図の方法を周知徹底していなかった |
| 無資格なのに作業についた | 22 | 危険標識等の表示を怠った |
| 作業方法の知識が不足、又は誤解していた | 23 | 潜在的危険の防止対策が不十分であった |
| 習慣で作業を選択していた | 24 | 不安全な状態（作業）を黙認又は放置した |
| 技能が未熟であった | 25 | 安全施設が欠落（維持管理上の欠陥を含む）していた |
| その他 | 26 | 悪天候時における適切な対応を欠いた |
| 該当なし | 27 | その他 |
| 他人の不安全行動があった | 28 | 該当なし |

（7）各作業区分における災害発生のパターン（表 6）

一般に労働災害の発生メカニズムは人と物との関係において生ずる現象として把握されるが、上述した各作業区分における人と物との関係をまとめると表 6 のとおりである。表中には各作業区分において発生比率が高いものから順に記述されている。この表により各作業区分における災害発生のパターンを読み取ることができよう。

伐倒作業では枝払い作業中にチェーンソーにより、切れ・こすれの事故が発生するパターンが多くみられ、その時の作業者の行動は作業環境等の確認が不十分であったり、作業姿勢が不適切であったりする傾向であることが分かる。

集材機集材では種々の事故の型が発生しているために一般的なパターンは読み取りにくい。しかし荷掛け作業においてワイヤロープや伐倒木により転倒したり、激突されたりするパターンがみられ、作業者は作業環境等の確認が不十分であったり、悪い作業位置で作業をする傾向があることが分かる。

トラクタ集材では荷掛け作業中にトラクタにより激突されたり、ワイヤロープにより挟まれたり巻込まれたりする事故パターンが発生し、作業者の行動は集材機集材の場合と同様に、作業環境等の確認が不十分であったり、悪い作業位置で作業をする傾向がある。

地ごしらえ作業は刈払い中にナタや末木枝条により切れこすれの事故が発生するパターンであり、作業者の行動は作業環境等の確認が不十分であったり、作業姿勢が不適切であ

つたりする傾向であることが分かる。

下刈作業では刈払い中にカマにより切れ・こすれの事故が発生するパターンがみられ、つる切・除伐作業ではカマやササ・かん木などにより切れ・こすれの事故が発生するパターンがみられる。なおこれらの作業における作業者の行動は地ごしらえ作業と同様に、作業環境等の確認が不十分であったり、作業姿勢が不適切であったりする傾向が示されている。

表6. 作業区分における災害発生要因と発生比率

| 作業区分 | 単位作業 | 事故の型 | 起因物 | 不安全行動要因 |
|-----------|------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 伐倒 | 枝払い 追口切り 退避 刈払い かかり木処理 | 切れこすれ 飛来・落下 転倒 その他 激突され | 伐倒木 チェーンソー 末木枝条 オノ その他(器具機材) | 作業環境等の確認が不十分 作業姿勢が不適切 作業位置(その他)が悪かった |
| 集材機集材 | 荷掛け 荷卸し ワイヤ引回し 枝払い | 転倒 激突され 墜落・転落 挟まれ巻込まれ 飛来・落下 | ワイヤロープ 伐倒木 素材 末木枝条 | 作業環境等の確認が不十分 作業位置(その他)が悪かった 作業姿勢が不適切 |
| トラクタ集材 | 荷掛け 運転 退避 | 激突され 飛来・落下 挟まれ巻込まれ 墜落・転落 転倒 | トラクタ ワイヤロープ 素材 末木枝条 | 作業環境等の確認が不十分 作業位置(その他)が悪かった 作業姿勢が不適切 |
| 地ごしらえ | 刈払い つる切り | 切れこすれ 飛来・落下 転倒 | 末木枝条 ナタ | 作業環境等の確認が不十分 作業姿勢が不適切 無理な作業をするなど不安全な状態を自ら作った |
| 下刈 | 刈払い 移動 | 切れこすれ 転倒 | カマ その他 ササ・かん木 末木枝条 | 作業環境等の確認が不十分 作業姿勢が不適切 作業位置(その他)が悪かった |
| つる切 除伐 | 刈払い つる切り 移動 | 切れこすれ 転倒 飛来・落下 その他 激突され | カマ ささ・かん木 ナタ | 作業環境等の確認が不十分 作業姿勢が不適切 作業位置(その他)が悪かった |

3) 国有林における林業労働者の加齢と労働災害との関係

近年、林業労働力の高齢化は深刻な問題となってきている。林業労働においては労働賃金が低いこと、作業強度が強いこと、危険な作業が多いことなどから若手労働者の確保が難しく、今後も高齢者は林業労働力の重要な部分を担っていくことが予想される。加齢にともない身体諸機能は当然のことながら低下していくが、このような身体諸機能の低下は種々の作業条件下で行われる林業労働に対しては労働災害との結び付きが強いものと考えられる。しかし、加齢にともない身体諸機能等は低下する反面、林業労働に関する知識や経験は豊富になり、労働安全に対する意識も高まつてくるものと考えらる。よって、ここでは加齢にともなう労働災害の変化やその関連要因との関係についての分析を進めた。

(1) 加齢にともなう労働災害の変化

最も発生頻度が多い年代は50歳代で1033件発生している。これは全体災害の約54%の比率を占めることになる。次に発生件数が多い年代は40歳代であり、418件発生している。60歳代を除くと加齢にともない災害の発生件数が上昇している(図14)。

しかし、上述したように国有林における作業員数は加齢にともない増加していることから、各年齢階における作業人員数を考慮した指標により判断することが必要である。そこで、労働者1000人あたりの死傷者数すなわち死傷千人率を求めてみた(図15)。30歳代～50歳代にかけては年齢が高くなるにつれて死傷千人率も除々に低下するが、60歳代になって再び上昇していることが認められる。若年層では経験が浅く技能が未熟であるために災害発生率が高くなっているものと考えられる。40歳代～50歳代の中年層では経験を積み、技能が向上するために災害発生率が低下しているものと考えられる。なお、60歳代以上の高齢者層で再び災害発生率が高くなるのは、加齢による身体諸機能を含めた作業能力の低下が大きく、経験や技能でカバーしきれなくなるためと思われる。

(2) 加齢と労働災害との関係

①年齢階と作業区分(表7) 表7は伐出作業、造林作業を対象として各作業区分と年齢階とのクロス分析表である。災害発生件数が比較的多い30歳代～50歳代の年齢階をみると、30歳代では伐倒、造材、集材機集材での発生件数が多い。40歳代では伐倒、造材、集材機集材、及び、つる切・除伐作業での発生件数が多い。50歳代では伐倒、集材機集材、トラクタ集材及び下刈り、つる切・除伐作業での発生件数が多い。このように比較的若い年齢層では伐出作業における発生頻度が高いことが認められる。しかし年齢層が高くなるにつれて伐出作業とともに造林作業での発生頻度も高くなる傾向にある。筆者らは民有林の林業労働者を対象としたアンケート調査を通して、高齢林業労働者の多くが造林作業に従事していることを報告しているが¹¹⁾、国有林においても造林作業に従事する高齢者層の比率が高いものと推察され、その結果、高齢者層における造林作業での災害発生頻度が若年層に比べて高くなっているものと考えられる。なお、その背景には伐出作業は造林作業に比べると作業が複雑であったり、肉体的にも体力が必要な要素が多く含まれているために、作業管理指導者も意識的に高年齢者を造林作業に従事させているものと思われる。

②年齢階と単位作業 年齢階と単位作業とのクロス分析表において各年齢階ごとに災害発生頻度が高い上位4つの単位作業を示せば次のとおりである(表8)。20歳代は枝払い、刈払い、移動、運転、30歳代は枝払い、刈払い、移動、荷掛け、40歳代は枝払い、刈払い、荷掛け、退避、50歳代は刈払い、枝払い、移動、荷掛けとなっている。このように、20歳代～40歳代において最も災害頻度が高い単位作業は枝払いであり、50歳代において最も災害頻度が高い単位作業は刈払いである。

ここで、50歳以下と50歳以上のグループに分けて災害発生件数に占める各単位作業の発生比率を検討すれば次のとおりである(図16)。図からそれぞれのグループともに発生

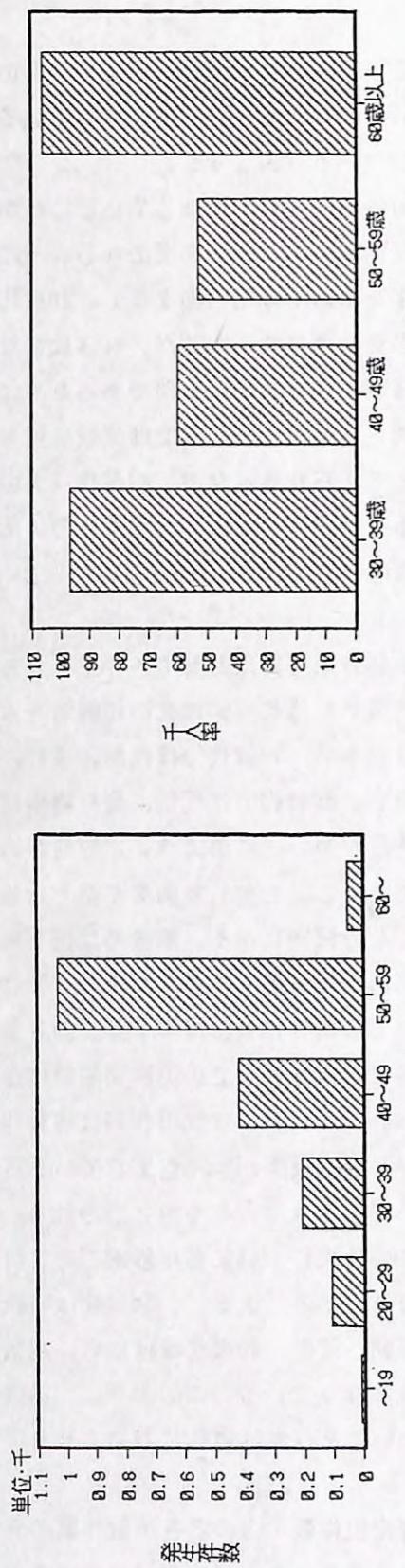


図14. 年齢階別の災害発生件数

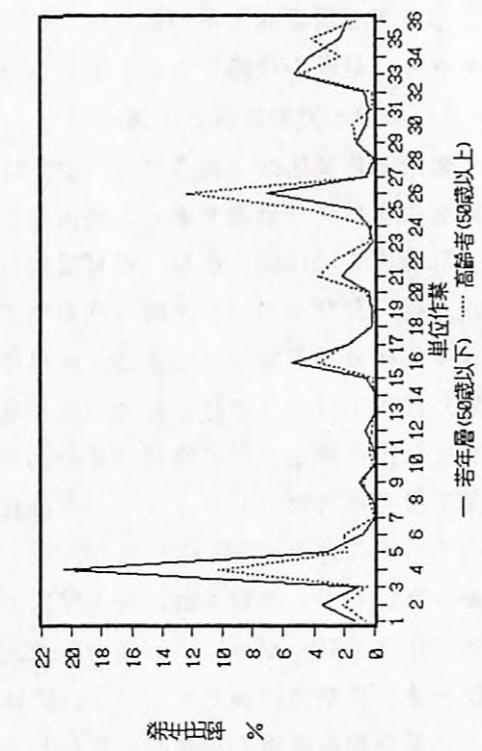


図15. 年齢階別の死傷千人率

| 作業区分 | ~19歳 | 20~29歳 | 30~39歳 | 40~49歳 | 50~59歳 | 60歳~ | 不明 | 合計 |
|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|
| | 伐倒 | 造材 | 集材機 | トラクタ集材 | 巻立て | トラック運材 | その他 | 合計 |
| 伐出作業 | 0 | 21 | 78 | 121 | 184 | 8 | 10 | 422 |
| | 0 | 4 | 14 | 25 | 36 | 0 | 1 | 80 |
| | 0 | 5 | 28 | 44 | 69 | 0 | 2 | 148 |
| | 0 | 1 | 10 | 17 | 54 | 0 | 0 | 82 |
| | 0 | 0 | 5 | 14 | 45 | 2 | 0 | 66 |
| | 0 | 0 | 3 | 3 | 12 | 0 | 1 | 19 |
| | 3 | 7 | 4 | 6 | 27 | 1 | 2 | 50 |
| 造林作業 | 0 | 0 | 3 | 6 | 35 | 1 | 0 | 45 |
| | 0 | 2 | 0 | 3 | 8 | 1 | 0 | 14 |
| | 0 | 2 | 6 | 13 | 50 | 4 | 0 | 75 |
| | 0 | 5 | 8 | 29 | 123 | 7 | 7 | 179 |
| | 1 | 0 | 1 | 3 | 13 | 0 | 2 | 20 |
| | | | | | | | | |

表8. 年齢階と単位作業とのクロス分析

| 単位作業 | コード番号 | ~19歳 | 20~29歳 | 30~39歳 | 40~49歳 | 50~59歳 | 60歳~ | 不明 | 合計 |
|-----------|---------|------|--------|--------|--------|--------|------|----|------|
| 受口切り | 1 | 0 | 0 | 2 | 8 | 7 | 0 | 0 | 17 |
| 追口切り | 2 | 0 | 1 | 11 | 14 | 22 | 1 | 3 | 52 |
| 矢打ち | 3 | 0 | 0 | 2 | 6 | 6 | 0 | 0 | 14 |
| 枝払い | 4 | 1 | 21 | 51 | 78 | 109 | 2 | 3 | 265 |
| 玉切り | 5 | 0 | 1 | 7 | 15 | 19 | 1 | 0 | 43 |
| かかり木処理 | 6 | 0 | 0 | 1 | 5 | 21 | 1 | 1 | 29 |
| 据え付け | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| 支柱組立解体 | 8 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 | 0 | 5 |
| ワイヤ引回し | 9 | 0 | 0 | 4 | 4 | 9 | 0 | 0 | 17 |
| ナイシロープ引回し | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 小屋掛け | 11 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 | 0 | 5 |
| 盤台作設解体 | 12 | 0 | 1 | 1 | 3 | 3 | 0 | 0 | 8 |
| 試運転 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 木登り | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| ワイヤかけ | 15 | 0 | 0 | 3 | 1 | 2 | 0 | 0 | 6 |
| 荷掛け | 16 | 0 | 2 | 13 | 25 | 40 | 0 | 1 | 81 |
| 荷卸し | 17 | 0 | 2 | 3 | 8 | 20 | 0 | 0 | 33 |
| 信号・誘導 | 18 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 5 |
| スタンプ換え | 19 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 |
| 木寄せ | 20 | 0 | 0 | 2 | 1 | 7 | 0 | 0 | 10 |
| はえ積み | 21 | 0 | 0 | 5 | 11 | 39 | 1 | 0 | 56 |
| 測尺 | 22 | 2 | 2 | 3 | 2 | 26 | 3 | 1 | 39 |
| 苗木運搬 | 23 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 6 |
| 植穴掘り | 24 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 6 |
| つる切り | 25 | 0 | 2 | 3 | 5 | 45 | 3 | 4 | 62 |
| 刈払い | 26 | 0 | 10 | 15 | 27 | 125 | 8 | 3 | 188 |
| 巻落し | 27 | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 | 10 |
| 薬剤散布 | 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 点検整備 | 29 | 0 | 1 | 3 | 5 | 13 | 0 | 0 | 22 |
| 修繕 | 30 | 0 | 0 | 1 | 3 | 16 | 0 | 0 | 20 |
| 索の修繕 | 31 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 5 |
| 除雪 | 32 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 0 | 1 | 8 |
| 移動 | 33 | 0 | 10 | 14 | 15 | 51 | 2 | 0 | 92 |
| 退避 | 34 | 0 | 3 | 9 | 20 | 25 | 0 | 1 | 58 |
| 運転 | 35 | 0 | 8 | 2 | 7 | 44 | 1 | 3 | 65 |
| 同乗 | 36 | 1 | 3 | 3 | 6 | 14 | 0 | 0 | 27 |
| その他 | 37 | 3 | 33 | 35 | 125 | 314 | 24 | 20 | 554 |
| 不明 | MISSING | 1 | 5 | 5 | 9 | 21 | 0 | 36 | 77 |
| | 合計 | 8 | 106 | 205 | 418 | 1033 | 48 | 78 | 1896 |

比率が高い単位作業は共通していることが分かる。また、発生比率の高い単位作業の中で、枝払いや荷掛けなどの作業では50歳以下のグループの方が50歳以上のグループに比べて発生比率が高いものの、刈払いやはえ積みなどの作業では50歳以上のグループの方が50歳以下のグループに比べて発生比率が高いことが示されている。

③年齢階と事故の型 各年齢階ごとに事故の型の災害発生比率をみると転倒・墜落、飛来・落下、切れ・こすれ等の事故の型の発生比率が高く、年齢階と何らかの関係がみられる(図17)。そこで、これらの事故の型について年齢階ごとの発生比率を求めてみた(図18)。図から分かるように、転倒による事故の発生比率は年齢が高くなるにしたがって上昇し、特に50歳代から60歳代にかけての上昇率が高いことが認められる。切れ・こすれによる発生比率は転倒の場合とは逆に、若い年齢層での発生比率が高く、年齢が高くなるにしたがって低下していく。また、飛来・落下については30歳代～50歳代までの発生比率は13.2～14.6%の範囲にあり、これらの年代間での差は少ない。しかし20歳代や60歳代に比べると発生比率は高くなっている。

年齢が高くなるにつれて転倒による事故の発生比率が高くなることは、加齢にともなう足腰の強さや機敏性などの身体的諸機能の低下が何らかのかたちで影響を及ぼしているものと推察される。また、年齢が高くなるにつれて切れ・こすれによる発生比率が低下していくことは、切れ・こすれの発生事故はチェーンソーや刈払機、カマなどの手持ち工具によって発生するであろうことが表6の結果から推察され、加齢にともないこれら手工具の取扱や作業のやり方などの技術の向上や災害防止にあたっての知識の蓄積などによるものと考えられる。

④年齢階と人的要因との関係 ここでは人的要因として不安全行動要因と管理・指導上の欠陥要因との関係についてみていくことにする。年齢階と不安全行動要因の該当率において年齢階と何らかの傾向をもつ要因について示したもののが図19である。「作業姿勢が不適切であった」とする不安全行動要因は若い年齢層で比較的高く、加齢にともないわずかながら低下する傾向をみせている。これは中高年層の方が林業労働に対して熟練していることや経験が豊かであることにより、自然と作業姿勢も良くなっているものと思われる。また、これとは逆に「習慣で作業をしていた」とする不安全行動要因の該当率は中高年層の方がわずかに高いことが示されており、年をとるに従い林業労働に対する技能や経験が豊かになる一方、いつもの習慣で作業をしてしまう油断があることを示しているものと思われる。

管理・指導上の欠陥要因については「潜在的危険の防止対策が不十分であった」や「作業指示内容が明確又は適切でなかった」とする要因の該当率が若い年齢層の方でわずかに高い傾向がみられた。しかしながら管理・指導上の欠陥要因については若い年齢層、中高年層ともにあまり明確な違いはみられなかった。

(労働科学研究所 今富裕樹)

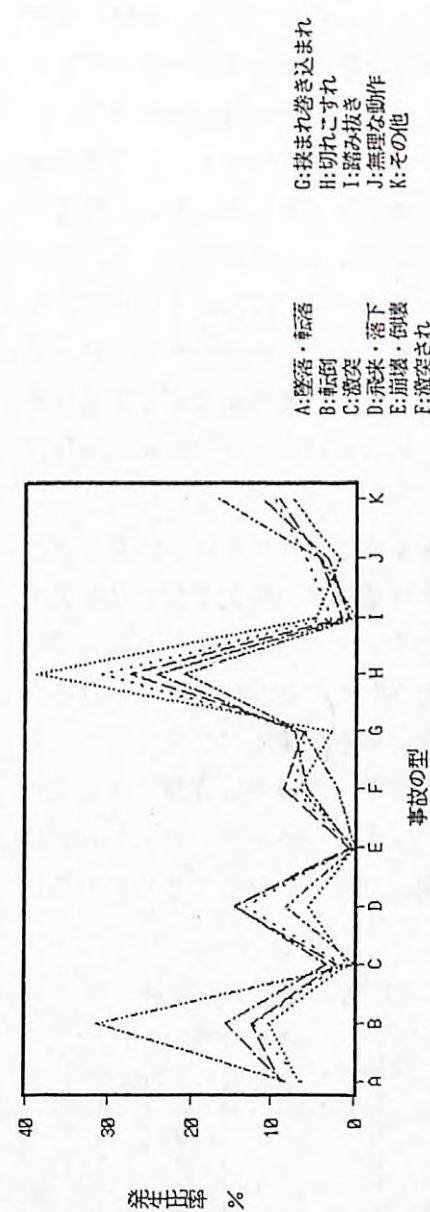


図17. 年齢階ごとの事故型別災害発生比率

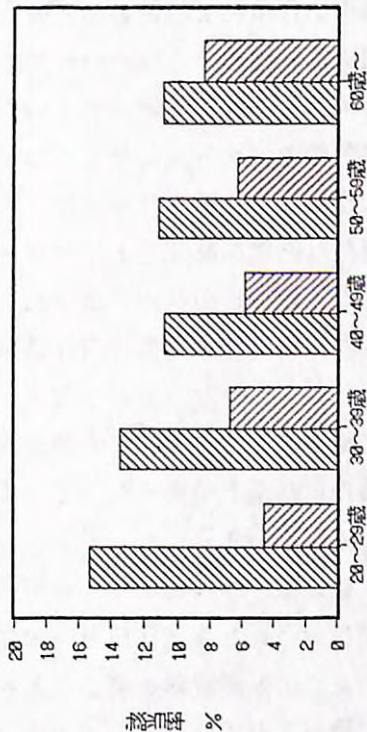


図18. 事故型別の年齢階と災害発生比率との関係

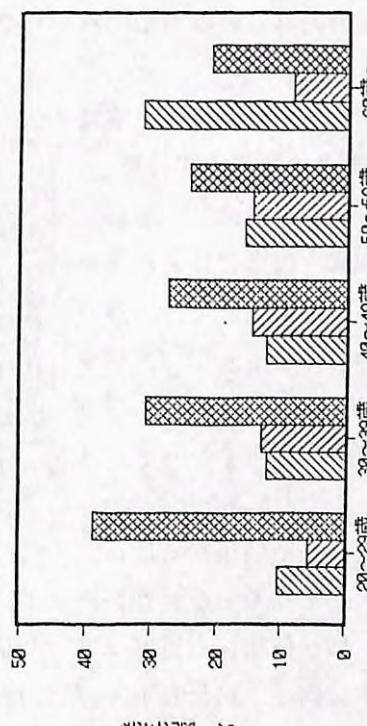


図19. 年齢階と不安全行動要因との関係

□ 作業姿勢が不適切 □ 習慣で作業をした

年齢階

2. 林内作業車の作業による災害の要因分析

現在我が国人工林は1千万haの約6割が間伐を必要とするといわれており、基盤となる適正な伐出技術体系の確立が望まれている。しかし、間伐等の非皆伐作業は皆伐作業に比べ作業条件が劣勢でコスト高になることが多いことから、解決すべき技術的課題が多い。このような状況の中で、林内作業車は、主として私有林において事業規模・資本力等の制約から、低規格な路網の密度を上げながら、小規模できめ細やかな集材方法として急速な伸びを示しており、最近の林内作業車による集材は10年間で約6倍にも達している。1992年3月31日現在の統計でみても林内作業車（小型運材車）20PS未満、20PS以上併せて前年度比4%増の26,715台となっており確実に普及が進んでいることをうかがわせる。さらに、林業就業者の減少・高齢化等労働力が質的・量的に変化しており、機械化などによる林業生産活動の活性化が至上命題となっているが、このような状況に対応した労働安全の確保が重要になってきている。

そこで、本研究は、林内作業車（小型運材車）に関する労働災害の原因を調査・分析し、森林作業に適合した作業仕組みを確立するための安全作業基準の作成並びに林業労働災害の防止のための基礎資料を得ることを目的として実施されたものである。林内作業車は全国各地で使用されているが、本報告では特に九州地区における林内作業車使用時の労働災害87事例について調査・分析した。林内作業車の作業内容は、木寄せ、積込み、運行、荷卸し、材整理、始動・後始末、道作設・架線等の作業にまたがっていたが、使用機種が不明のものが多く、機種別の分析ができなかったが、おおむね、積載量1トン未満のゴム製履帶型の林内作業車が分析の対象になっていたものと思われる。

1) 林内作業車の労働災害の実態

(1) 被災者の属性等の分析

①年齢 災害発生は50~59歳、40~49歳、60歳~の順に件数が多い。作業内容とのクロス集計では、運行-50~59歳の17件をトップに木寄せ、積込み-50~59歳、運行、木寄せ-40~49歳の件数が多くなっている（表9）。

②経験年数 経験年数では、20~29年、10~19年の発生件数が多いが、1~4年でもかなりの件数が発生している。作業内容とのクロス表では、運行-20~29歳をトップに積込み、運行-10~19歳、木寄せ-20~29歳等で災害件数が多くなっている。

③月別発生傾向 11月をトップに3月、9月が続き、さらに8月、5月、12月の順になっている。作業内容とのクロスでは、運行-11月、積込み-8月、運行-3月が多い。

表9. 作業内容と作業者の年齢

| 年齢 作業内容 | ~19 | 20~29 | 30~39 | 40~49 | 50~59 | 60~ | 計 |
|------------|-----|-------|-------|-------|-------|-----|----|
| 木寄せ | 1 | 1 | 4 | 6 | 9 | 3 | 20 |
| 積込み | 1 | 1 | 2 | 5 | 8 | 5 | 23 |
| 運行 | | | | 7 | 17 | 4 | 31 |
| 荷卸し | | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 7 |
| 材整理 | | | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 始動・後始末 | | | 1 | 1 | 1 | | 3 |
| 道作設・架線 | | | | 1 | | | 1 |
| 計 | 2 | 2 | 8 | 22 | 39 | 13 | 86 |

④時間変動 午後

4時台、午前11時台、午後2時台で発生頻度が高くなっている。作業内容との関係では、運行-16時台が多いが顕著な傾向は認められない（表10）。

表10. 作業内容と発生時間

| 月 作業内容 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 不明 | 計 |
|-----------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 木寄せ | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 5 | 4 | 1 | 1 | 20 |
| 積込み | 1 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2 | 7 | 1 | 1 | 23 |
| 運行 | 3 | 3 | 4 | 5 | 3 | 1 | 2 | | | | | 31 |
| 荷卸し | | | 3 | 1 | | | | | | | | 7 |
| 材整理 | | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| 始動・後始末 | | | | | | | | | | | | 2 |
| 道作設・架線 | | | | | | | | | | | | 2 |
| 計 | 3 | 6 | 7 | 16 | 3 | 2 | 14 | 11 | 18 | 2 | 4 | 86 |

(2) 災害内容、発生場所、起因物

①災害発生場所 災害発生場所は、集材地、作業路が多く、これだけで82%を占めている。作業内容と発生場所のクロスをみるとその関係がよく分かる。

表11. 作業内容と発生場所

| 年齢 作業内容 | 集材地 | 林道 | 作業路 | 土場 | 荷台 | 材上 | 計 |
|------------|-----|----|-----|----|----|----|----|
| 木寄せ | 18 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 20 |
| 積込み | 17 | | 3 | 2 | 1 | 1 | 23 |
| 運行 | 10 | 1 | 18 | 1 | 1 | 1 | 31 |
| 荷卸し | 1 | 1 | | 5 | | | 7 |
| 材整理 | | | | | | 1 | 1 |
| 始動・後始末 | 1 | 1 | 1 | | | | 3 |
| 道作設・架線 | 2 | | | | | | 2 |
| 計 | 49 | 3 | 23 | 8 | 2 | 2 | 87 |

②起因物 起因物の分析では、立木、林地、作業路、集材木、伐根、ワイヤーロープに起因する災害が多いことを示していた。作業内容と起因物の関係では、運行-立木、運行-作業路が際立って多いが、積込み-起因物なしも見逃せない（表12）。

③不安全状態 作業場所不安定、作業空間不良、物の置き方不良、作業場乱雑、不安全状態なしに多い。作業内容との関係では、運行-作業空間不良が際立って多く、積込み-物の置き方不良、なし、木寄せ-作業場乱雑、運行-作業場所不安定が続いている（表13）。

④起因物と不安全状態 起因物と不安全状態との関係をみると、立木-作業空間不良が圧倒的に多い。ここでは、作業空間不良という言葉で表現しているが、これらの大部分は林内作業車と立木の間に作業者が挟まれたというものであり、作業者（人間）と林内作業車と立木の位置関係について充分配慮すべきことを示唆している。そのほか、作業路、林地-不安定、伐根-作業場乱雑、積荷材、集材木-置き方不良等に多く、これらの点について充分注意しなければならない（表14）。

表12. 作業内容と起因物

| 起因物 作業内容 | 林地 | 作業路 | 立木 | 造材木 | 集材木 | 積荷材 | 荷降材 | 伐根 | 作業車 | ワイヤー | 土場 | その他 | なし | 計 |
|----------------------------------------------------------|-------------|-----|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|----|-------------|------------------|------------------------------------|
| 木 積 運 行 荷 卸 し 理 始動・後始末 道作設・架線 | 3 3 4 | 9 | 10 | 1 2 | 4 4 | 4 1 | 1 1 | 4 3 | 2 1 | 3 | 1 | 2 1 3 | 1 2 1 1 | 20 23 31 7 1 3 2 |
| 計 | 10 | 9 | 11 | 3 | 8 | 5 | 2 | 7 | 3 | 6 | 1 | 8 | 14 | 87 |

表13. 作業内容と不安全状態

| 不安全状態 作業内容 | 不安定 | 設備 | 機械 | 防護装置 安全装置 | 材料 | 通路 | 置き方 | 作業空間 | 作業場 | 足元 | 地形 | なし | 計 |
|---------------|-----|----|----|--------------|----|----|-----|------|-----|----|----|----|----|
| 木積運行 | 3 | | | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | | 1 | 3 | 20 |
| 寄せ運行 | 3 | | | 1 | 1 | 2 | 7 | 2 | 3 | 3 | 2 | 6 | 23 |
| 運行 | 6 | | 2 | 1 | | | 1 | 12 | 1 | | 2 | 2 | 31 |
| 荷卸し | 1 | | 1 | 1 | | | 2 | | | | | 1 | 7 |
| 材整 | 1 | | | | | | | | | | | 1 | 1 |
| 始動・後始末 | 1 | | 2 | | | | | | | | | 1 | 3 |
| 道作設・架線 | | | | | | | 1 | | | | | 1 | 2 |
| 計 | 14 | 1 | 4 | 6 | 1 | 3 | 12 | 14 | 12 | 3 | 3 | 14 | 87 |

表14. 起因物と不安全状態

| 不安全状態 起因物 | 不安定 | 設備 | 機械 | 防護 装置 安全 装置 | 材料 | 通路 | 置き方 | 作業 空間 | 作業場 | 足 元 | 地 形 | な し | 計 |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------|----|----------------------|----|----|---------|----------|--------|--------|--------|---------|------------------------------------------------------------------|
| | 林地 作業路 立木 造材木 集材木 植荷材 荷卸材 伐根 作業車 ワイヤ 土場 その他 なし | 4 6 | | | 1 | 2 | 1 11 | 1 4 | 1 6 | 2 1 | 2 1 | 1 14 | 10 9 11 3 8 5 2 7 3 6 1 8 14 |
| 計 | 14 | 1 | 4 | 6 | 1 | 3 | 12 | 14 | 12 | 3 | 3 | 14 | 87 |

（3）不安全行動

①作業内容と不安全行動 不安全行動とは、災害発生の人間側の要因を言い、極めて重要なものであるが、災害要因分析としては主観が入りやすいので、この傾向を緩和するため、ここでは、災害の要因となった不安全行動を複数個選んで（マルチアンサ）いるので、全体の数が災害事例数を越えている。全体的な傾向としては、①作業環境確認不充分が圧倒的に多く、②作業位置が不適当、③操作ミスが続いている。作業内容との関係では、運行-①、②、③、積込み-①、木寄せ-①、②、荷卸し-①の件数が多く、作業内容の違いによる不安全行動の特徴を表している（表15）。

表 15. 作業内容と不安全行動

| 不安全行動 作業内容 | 準備 | 確認 | 連絡 合図 | 手順 | 作業 速度 | 作業 位置 | 姿勢 | 規則 | 機器 誤用 | 操作 ミス | 危険 立入 | 整理 整頓 | 短絡 行動 | 他人の 行為 | 計 |
|---------------|----|---------|----------|--------|----------|----------|--------|----|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----|
| 木寄せみ | 3 | 9 10 | 3 3 | 2 1 | 2 | 8 3 | 1 4 | | 1 1 | 5 4 | 3 1 | 1 | 2 1 | 33 37 | |
| 積運行 | 2 | 21 | | 1 | 4 | 8 | 1 | 1 | | 8 | | | 1 | 1 | 48 |
| 卸し荷 | 1 | 6 | | 1 | | 4 | 1 | | | | | | 1 | 1 | 13 |
| 材整 | | | | | | 1 | | | | | | | | | 2 |
| 始動・後始未 | 1 | 1 | 1 | 2 | | 1 | | | | 1 | | | | | 7 |
| 道作設・架線 | | 2 | | | | | | | | 1 | | | | | 3 |
| 計 | 7 | 49 | 7 | 7 | 6 | 25 | 7 | 1 | 2 | 19 | 4 | 1 | 2 | 6 | 143 |

4) 不安全状態と不安全行動

表16は不安全状態と不安全行動のクロス表である。一般に災害発生のメカニズムは、人と物との関係において生ずる現象として把握されるが、ここでは、人的要因としての不安全行動と物的要因としての不安全状態（起因物の状態）のかかわりで検討してみる。不安全行動がマルチアンサのため、数字は災害件数より多くなっているが、頻度の高いのは

表16. 不安全状態と不安全行動

| 不安全行動 不安全状態 | 準備 | 確認 | 連絡 合図 | 手順 | 作業 速度 | 作業 位置 | 姿勢 | 規則 | 機器 誤用 | 操作 ミス | 危険 立入 | 整理 整頓 | 短絡 行動 | 他人の 行為 | 計 |
|---------------------------------|----|----|----------|----|----------|----------|----|----|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----|
| 不 安 定 | 1 | 8 | 1 | 1 | 3 | 4 | 2 | | | 2 | | | 1 | | 23 |
| 不 設 備 機 防 護 安 全 料 料 通 作 作 足 地 な | 1 | 2 | 2 | 2 | | 1 | | | 1 | 1 | 3 | 1 | | 1 | 29 |
| 機 装 装 置 | 2 | 2 | | | | 2 | | | | | | | | | 10 |
| 機 装 装 置 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | 0 |
| 機 装 装 置 | 2 | 8 | 1 | 1 | | 6 | | | | | | | | | 2 |
| 機 装 装 置 | 1 | 9 | 1 | | | 5 | | | | | | | | | 6 |
| 機 装 装 置 | 3 | 9 | | | | | | | | | | | | | 18 |
| 機 装 装 置 | 4 | 2 | 1 | 1 | | 2 | 1 | 5 | 1 | 4 | 1 | | 1 | 3 | 21 |
| 機 装 装 置 | | | | | | | | | | | | | | | 17 |
| 機 装 装 置 | | | | | | | | | | | | | | | 5 |
| 機 装 装 置 | | | | | | | | | | | | | | | 5 |
| 機 装 装 置 | | | | | | | | | | | | | | | 23 |
| 計 | 7 | 49 | 7 | 6 | 6 | 24 | 7 | 1 | 2 | 21 | 3 | 0 | 2 | 6 | 141 |

①作業環境確認不十分－作業空間不良、作業場乱雑、姿勢不良－不安全状態なし等の組み合わせとなっている。

不安全状態や不安全行動の判定は主観に左右されやすいが、災害防止対策上極めて重要な項目である。作業内容と不安全状態、不安全行動の関係において頻度の高いものを図示すると図20のようになる。

また、全体的にこれらの関係をみると、物の側の不安全な状態による災害は全体の83.9%，人の側に不安全な行動が存在する災害が全体の100.0%であった。つまり全体の83.9%は物の側に不安全な状態があつて、さらに人の側にも不安全な行動があつた場合であり、不安全な行動のみによるものは16.1%であった（図21）。

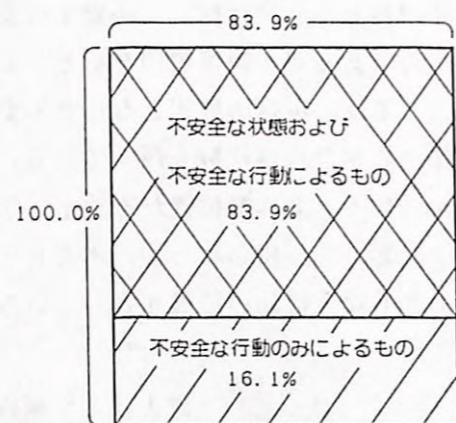


図21. 労働災害と不安全な状態・行動の関係

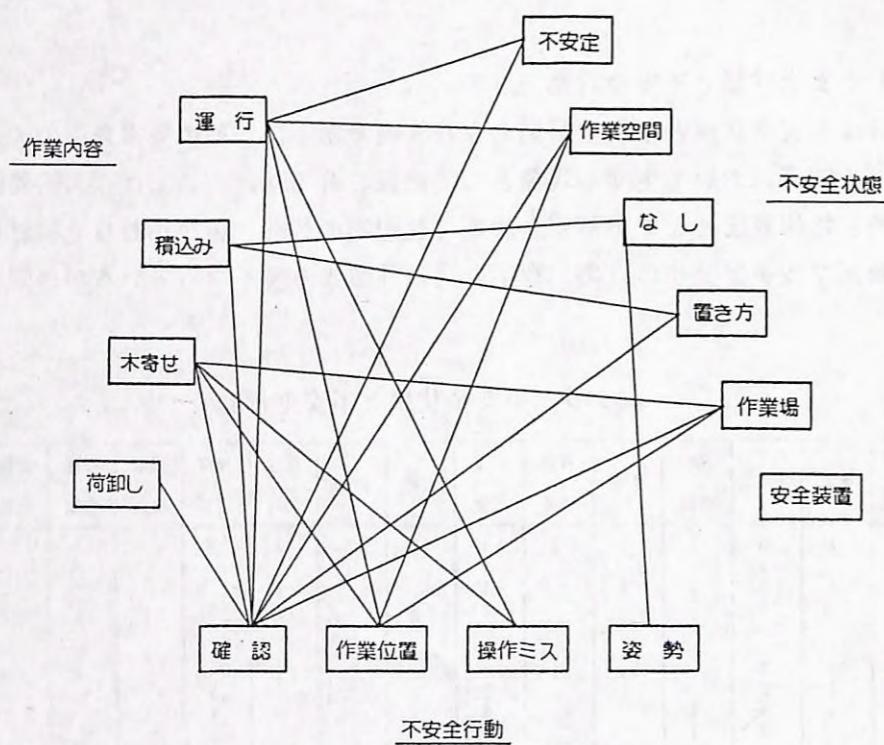


図20. 作業内容、不安全状態、不安全行動の関係

（5）事故の型

①作業内容と事故の型 分析の結果は、挟まれ・巻き込まれが圧倒的に多く、激突され、激突が続いている。この3種類の事故の型で全体の77%を占めている。作業内容との関係では、運行－挟まれ・巻き込まれ、激突され、激突、木寄せ－挟まれ・巻き込まれ、激突され、積込み－挟まれ・巻き込まれの頻度が高く、これだけで60%に達している（表17）。

②起因物と事故の型 起因物と事故の型の関係をみたのが表18である。挟まれ・巻き込まれ型の災害が多いことから、挟まれ・巻き込まれ－立木、林地、集材木、なしに多いが、そのほかはかなり分散的である。

作業内容と起因物と事故の型の関係において、労働災害の発生頻度の高いものを選ぶと図22のようになる。

（6）障害部位、障害名、休業日数

①障害部位 障害部位は単独の場合もあるが、大部分は複数の部位であることが多い。ここでは死傷病報告に記載されている第一番目の障害部位を集計してある。躯幹、手、足、下肢の順になっており、この合計で全体の90%を占める。作業内容との関係では、運行－躯幹、積込み－手、躯幹、木寄せ－手等の頻度が高くなっている（表19）。

②障害名 ①と同じく第一番目記載の障害名で検討すると、骨折、挫創、打撲の順になっており、全体の82%を占める。作業内容との関係では運行－骨折、打撲、挫創、木寄せ－挫創、骨折、積込み－骨折、捻挫、打撲等の頻度が高くなっている。

③障害部位と障害名 障害部位と障害名のクロス集計では、躯幹－打撲、手－骨折をトップに手－挫創、躯幹－骨折、足－挫創、骨折が続いている。

④休業日数 21～30日の頻度が高い。休業30日以下が全体の69%を占めていた（表20）。

表17. 作業内容と事故の型

| 事故の型 作業内容 | 墜落 ・転倒 | 転 倒 | 激 突 | 飛 来 ・ 落 下 | 激突され | 挟まれ・ 巻き込まれ | 切れ・ こすれ | 踏み抜き | 無理な 動作 | 計 |
|--------------|-----------|-----|-----|--------------|------|---------------|------------|------|-----------|----|
| 木寄せ 積込み | 1 | 1 | 1 | 2 | 6 | 11 | 1 | 3 | 20 | 23 |
| 運行 | 2 | 1 | 5 | 1 | 6 | 16 | 2 | 1 | 7 | 31 |
| 荷卸し | | | | 3 | 1 | 1 | | | 1 | 1 |
| 荷材整理 | | | | 1 | | | | | | 3 |
| 始動・後始末 | | | | | 1 | | | | | 2 |
| 道作設・架線 | | | | | 1 | | | | | |
| 計 | 3 | 3 | 10 | 9 | 17 | 37 | 3 | 1 | 4 | 87 |

表18. 起因物と事故の型

| 事故の型 | 墜落・転落 | 転倒 | 激突 | 飛来・落下 | 激突され | 挟まれ・巻き込まれ | 切れこすれ | 踏み抜き | 無理な動作 | 計 |
|------|-------|----|----|-------|------|-----------|-------|------|-------|----|
| 起因物 | | | | | | | | | | |
| 林地 | | 1 | 2 | | 2 | 6 | | | 10 | |
| 作業路 | | 3 | 1 | 1 | 3 | 9 | 1 | | 9 | |
| 立木 | | 1 | | 1 | 2 | 5 | 1 | | 11 | |
| 造材木 | | | 1 | 2 | 2 | | | | 3 | |
| 集材木 | | | 2 | 1 | 1 | 5 | | | 8 | |
| 積荷材 | | | 2 | 1 | 1 | | | | 5 | |
| 荷卸材 | | | 1 | 3 | 3 | | | | 2 | |
| 伐根 | | | | 3 | 3 | | | | 7 | |
| 作業車 | 1 | 1 | | 1 | 2 | 1 | 1 | | 3 | |
| ワイヤ | | | | | 1 | | | | 6 | |
| 土場 | | | 2 | 3 | 2 | 5 | 1 | | 1 | |
| その他 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 4 | | 8 | |
| なし | | | | | | | | | 14 | |
| 計 | 3 | 3 | 10 | 6 | 18 | 39 | 3 | 1 | 4 | 87 |

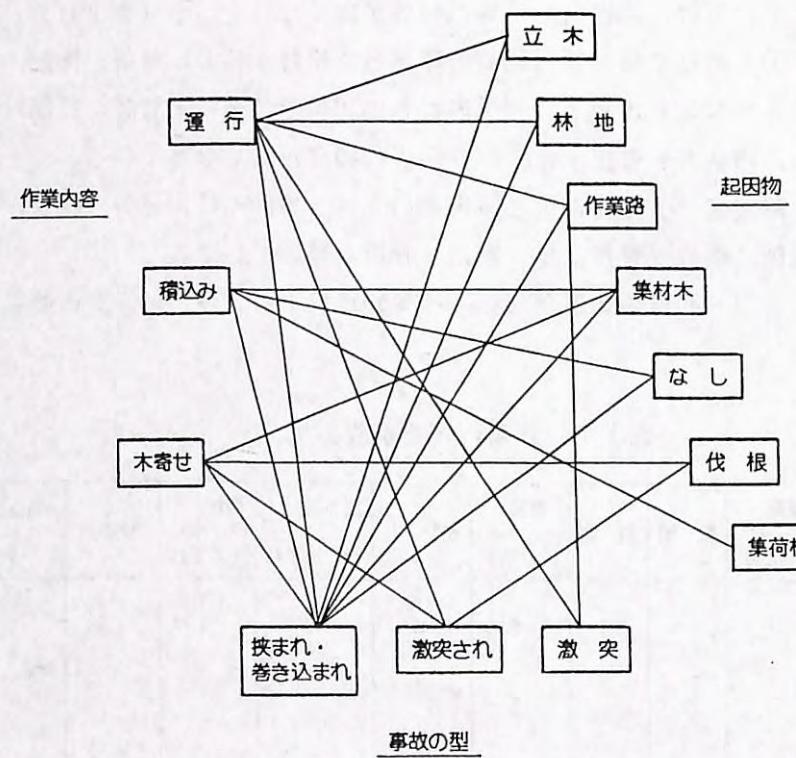


図22. 作業内容、起因物、事故の型の関係

表19. 作業内容と障害部位

| 障害部位 作業内容 | 頭 | 顔 | 頸 | 躯幹 | 上肢 | 手 | 下肢 | 足 | 計 |
|--------------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 木寄せ | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 7 | 2 | 5 | 20 |
| 積込み | | | 1 | 7 | 2 | 8 | 2 | 3 | 23 |
| 運行 | 1 | | | 12 | 1 | 5 | 7 | 5 | 31 |
| 荷卸し | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 7 |
| 材整理 | | | | | | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 始動・後始末 | | | | | | | | | 3 |
| 道作設・架線 | | | | | | | | | 2 |
| 計 | 2 | 1 | 2 | 24 | 4 | 24 | 14 | 16 | 87 |

表20. 作業内容と休業日数

| 休業日数 作業内容 | -10 | 11-20 | 21-30 | 31-50 | 51-80 | 81- | 死亡 | 不明 | 計 |
|--------------|-----|-------|-------|-------|-------|-----|----|----|----|
| 木寄せ | 1 | 1 | 13 | 1 | 3 | | | 1 | 20 |
| 積込み | 3 | 7 | 7 | 1 | 4 | 1 | | | 23 |
| 運行 | 2 | 5 | 13 | 1 | 7 | 2 | 1 | | 31 |
| 荷卸し | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 7 |
| 材整理 | | | 1 | | 1 | 1 | | | 1 |
| 始動・後始末 | | | | | 1 | 1 | | | 3 |
| 道作設・架線 | | | 2 | | | | | | 2 |
| 計 | 7 | 16 | 37 | 4 | 16 | 5 | 1 | 1 | 87 |

2) C T A 手法による労働災害の分析

(1) C T Aについて

労働災害に関連する要因は幾つもあり、しかもこれらの要因の相互関連の上に成り立っている。従って真の安全対策樹立のためには、これらの諸要因の相互の影響あるいは関連等についての分析が必要になる。災害発生の時間経過は諸要因の関連を理解する場合に重要な要素である。そこで、C T A (Causal Tree Analysis) を用い、災害が発生するに至るまでの過程・状況の推移を分析することにする。

C T Aは「原因樹法」、「原因樹分析法」などと呼ばれ、フランスで開発された災害分析法である。C T Aでは、作業活動の単位として「アクティビティ」という概念を用いて、災害発生の時間経過の要素を明らかにするために、災害発生のプロセスを示すC T ダイヤグラムを作成する。アクティビティはつきの5要素で表わした。

- ①人的要素 (I)
- ②作業内容に関する要素 (T)
- ③物・機械・設備等に関する要素 (M)
- ④物理的作業環境要素 (E P)
- ⑤管理的作業環境要素 (E s)

C T Aの基本的考え方は、労働災害発生経過をこれらの5要素で結び (C T ダイヤグラムの作成)、5要素が災害発生にどのように影響したかを明確にしようとするものである。

(2) CTダイヤグラムの作成

災害発生の経過を明らかにするために、ここでは類似のものを除き54災害事例についてのCTダイヤグラムを作成した。各事例ごとに災害発生に関連した事象の全てについてのアクティビティ要素を整理し、災害の発生状況を時間経過に従って示した例が図23である。ここに示すCTダイヤグラムは、「労働者死傷病報告に」基づいて作成したものである。従って、災害情報の内容やその精粗等の点で再検討を要する点が少なくない。しかし、このようなCTダイヤグラムを描くことによって、森林作業現場の特殊な条件や事象が災害発生にどのように影響しているかを知ることができる。具体的には、CTダイヤグラムから上に述べた5つの要素(アクティビティ)ごとの出現率や要素間の影響の程度等を分析することによって効果的な検討が出来る。さらに、アクティビティの具体的な内容について若干検討してみる。

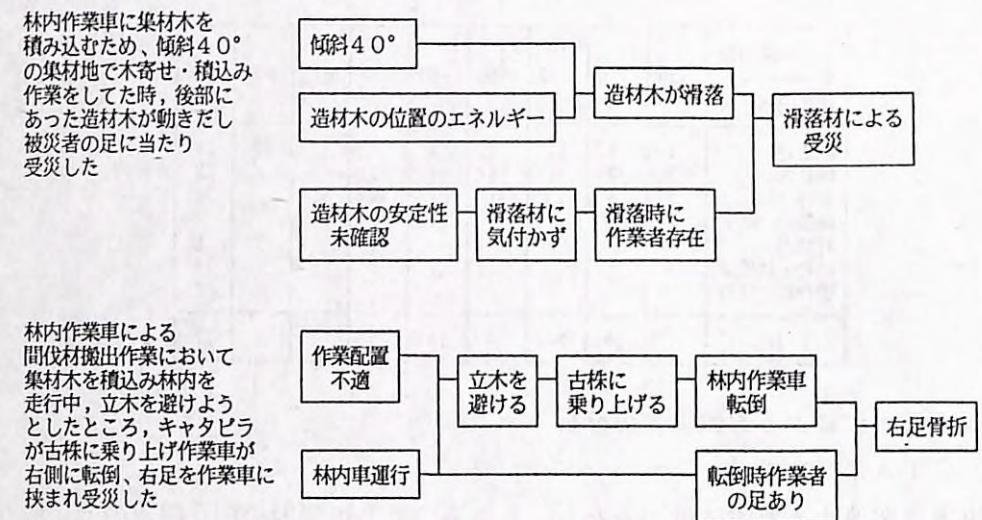


図23. CTダイヤグラムの例

(3) アクティビティ要素の出現率

上に述べた5種類(ここでは4種類)のアクティビティ要素ごとに、災害発生に関与した出現頻度を示したのが表21である。作業内容の違いによって大きな差は認められないが、それでも作業の内容によってある程度の特徴がみられる。人的要素はどの作業も40%前後で差がない。木寄せ作業では物理的作業環境要素、積込み、荷卸し、その他では作業内容に関する要素、運行では物・機械等に関する要素が高くなっている、それぞれの作業の特徴をよく表わしている。

(4) アクティビティ要素間の影響確率

アクティビティ要素間の相互関係をさらに詳しく知るために、それぞれの要素がどの要

素に対して影響しているかを調べてみた。つまりどの要素の後にどの要素がくるか、先行事象と後続事象との関係を求めた要素間影響マトリックを作成した(表22)。これらの各要素間の連続状況をみると災害発生の状況の性質により一層理解することができる。これを、作業区分別にみることにする。

①木寄せでは人的要素→人的要素の値が大きいが、続いて物理的環境→人的要素、物理的環境→物理的環境、作業→人的要素、作業→物理的環境等の災害要素間の繋がりが災害発生の原因となっている。

②積込みでは、人→人、作業→人・作業、物理的環境→人の値が大きい。

③運行では、人→人、作業→人の値が大きいが、さらに、物・機械→人、作業→物・機械、人→物・機械というように、この作業では物・機械の要素が災害発生の原因になることが多くなるのが特徴的である。

④荷卸しでは、作業→物理的環境の値が大きい事が特徴的である。

このように林内作業車に関する作業はどの作業をみても、人的要素に始まる要素間の関連が災害発生に大きく関与していることが分かる。また、作業に関する要素間の確率が大きいことも各作業に共通であり、これら2要素に関連する組み合わせが災害発生に極めて重要な意味をもつことが分かる。さらに、木寄せ、積込み、荷卸しでは、物理的作業環境が人的要素に影響を与え、それが災害発生にかかる要素になったり、作業が物理的環境に影響を与えたりしているのも見逃すことができない。運行では、当然のことではあるが物・機械に関連する要素が重要であることも分かる。

表21. 要素別出現率

| | 人的要素 | 作業 | 物・機械 | 物理的環境 |
|-----|------|------|------|-------|
| 木寄せ | 0.40 | 0.28 | 0.04 | 0.28 |
| 積込み | 0.44 | 0.36 | 0.04 | 0.16 |
| 運行 | 0.41 | 0.27 | 0.17 | 0.15 |
| 荷卸し | 0.44 | 0.36 | - | 0.20 |
| その他 | 0.37 | 0.45 | 0.08 | 0.08 |
| 計 | 0.41 | 0.31 | 0.09 | 0.19 |

表22. 作業内容別要素間影響確率

| | | 後続事象の要素 | | | |
|---------|-----|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | | 人的要素 | 作業 | 物・機械 | 物理的環境 |
| 先行事象の要素 | 木寄せ | 0.32 0.10 0.04 0.15 | 0.01 0.08 - 0.01 | - 0.03 - - | 0.04 0.10 - 0.12 |
| | 積込み | 0.33 0.17 0.02 0.12 | 0.03 0.14 - - | 0.05 - - - | 0.03 0.07 0.01 0.03 |
| | 運行 | 0.28 0.16 0.12 0.05 | 0.01 0.05 0.01 0.02 | 0.09 0.10 0.02 0.04 | 0.02 0.02 - 0.01 |
| | 荷卸し | 0.40 0.15 - 0.11 | - 0.04 - 0.04 | - - - - | 0.04 0.18 0.04 - |
| | その他 | 0.28 0.19 0.06 0.06 | 0.06 0.19 - - | 0.06 0.08 - - | - - - - |
| | 計 | 0.31 0.15 0.06 0.09 | 0.02 0.08 0.00 0.01 | 0.05 0.06 0.01 0.02 | 0.03 0.06 0.01 0.04 |

(5) アクティビティ要素の具体的な内容

上で災害発生に関与するアクティビティ要素の重要性をみたので、次に、すでに示したCTダイヤグラム（図23参照）の内容を具体的に検討し、アクティビティ要素の内容がどのようなものであるかを調べてみた。全体的にみて出現頻度の高いものをあげる。

①木寄せ ○人的要素：確認不十分、作業者存在 ○作業：ワインチ操作 ○物と機械：ワイヤ ○物理的環境：集材木、造材木、根株

②積込み ○人的要素：足が滑る、つまずく、足元確認不十分、作業者転倒、作業者（足）存在、合図不十分、無理な姿勢 ○作業：人力積込み、共同作業、積荷材不安定 ○物理的環境：積荷材、傾斜地、滑りやすい林地

③運行 ○人的要素：路網の安定性確認不十分、立木確認不十分、退避できず、作業者（足）あり、足をとられる、操作ミス ○作業：作業路の配置・整備、後進運転 ○物と機械：作業車根株乗り上げ、立木に接近、滑る、転倒 ○物理的環境：滑り易い作業路（雨、凍結）、立木

3) 林内作業車災害防止対策上の留意点

今までの分析結果から、林内作業車にかかる災害防止対策をたてる際のポイントになるものを検討した。

林内作業車の労働災害の実態分析において、労働災害の基本的特性をさぐり、特に作業内容別の災害発生場所、起因物、不安全状態、不安全行動、事故の型等の関係について分析した。また、CTA手法による災害分析を行い、災害発生の時間的経過を明らかにするなかで、災害発生の単位としてアクティビティ要素の概念を用い、災害を①人的要素、②作業内容に関する要素、③物・機械・設備等に関する要素、④物理的作業環境要素の側面から、その繋がりや発生の頻度を明らかにした。そこで、それらを総合したかたちで災害防止対策の留意点を以下のように総括した。

(1) 木寄せ関係

①ワインチ等を用いて材を引き寄せるときは、伐根などの障害物によって材が激突したり、転落があるので注意する。②引寄材が障害物に引かかったときは、そのまま引寄せない。③重なり合っている材を引き寄せるときは、上の材から引き寄せるようになる。④材の引き寄せ中は、材が落下したり転落したりがあるので、安全な場所への退避を励行する。⑤材を引き寄せるとき危険区域からの合図はしない。⑥木寄せ作業を共同で行う場合には、相互の連絡合図を十分に行う。⑦退避場所はワイヤーロープの外角で危険のない場所を選ぶ。⑧荷掛けに際し、伐根や集材木等足場の条件に十分注意する。また、転動するおそれのある材の上に不用意に乗らない。⑨斜面で作業を行う場合は、上下作業にならないように注意する。また、荷掛け等は、斜面の上方から

近づく。

(2) 積込み関係

①人力積込みを行う場合には、積込みの時の手の離し方に注意する。②積込み作業において、林地で滑ったり障害物に足をとられたりすることが多いので、足元の確認を十分に行う。③積込み作業を共同で行う場合には、相互の連絡合図を十分に行う。④トビ等手工具を使っての共同作業では、他人の作業位置、作業行動に十分注意する。⑤積荷材が不安定であると、材が落下があるので、積荷の固定は完全に行う。⑥人力積込み作業は無理な姿勢で行わない。⑦体力以上のものを、人力積込みしない。

(3) 運行関係

①林内作業車の作業路の配置は、作業車が通過できる余裕のあるものにする。特に、カーブ等で立木が支障にならないように配慮する。②作業路の作設は、土質・含水率など現場の条件に応じて決めるが、無理な勾配は避ける。③林内の簡易な作業路であっても、根株は完全に切り下げ、林内作業車の走行に支障のないようにする。④林内作業車では、伐根等の障害物は避け、無理な走行はしない。⑤作業路を走行するときは、路面の安定性について十分注意をする。⑥やむを得ずバック走行を行う場合は、足元、作業位置、作業空間等を十分確認する。⑦雨や凍結等による滑りやすい坂道では、急カーブの運転に注意し、運転速度は適正速度を守る。⑧間伐林等の林内走行では、立木に接近することが多いので、立木の位置・配置に十分注意する。⑨林内作業車の立木への接近、伐根への乗り上げ、転倒等、緊急時の場合の退避方法、操作方法についても十分研究し、訓練しておく。

(4) 荷卸し関係

荷卸し作業は、積荷材の状態を十分確認して行う。

(5) 管理関係

労働災害の実態分析で管理的要素については触れていないので、ここでは簡単に示す。

①林内作業車による諸作業は、時々刻々作業内容や作業場所、作業条件が変化するので、要注意作業と場所では意識レベルを上げるための危険予知訓練が必要である。②作業方法、作業手順が明確に定められていない。これらについての作業マニュアルの作成が望まれる。③作業方法、作業手順等林内作業車の作業マニュアルに基づいた教育訓練が必要である。

（労働科学研究所 豊川勝生）

3. 集材機集材作業の災害要因の分析

最近の集材機集材作業は、短スパン化、簡易架線の増加、自走式搬器やモービルタワー・ヤーダの導入などで索張り方式に大きな変革がみられる。我が国は、北海道を除いて急傾斜地が多いことから、タワーヤーダを主とする架線型のシステムを高性能林業機械システムの一部として検討するところが多くなってきていている。1992年3月31日現在の統計では、タワーヤーダは33台にすぎないが、今後急速に増加することが予想されている。

タワーヤーダは、①移動性を高め架設・撤去等の副作業が少ない ②ドラム近傍のロープの配置が簡潔、正確となる ③道沿いに材を集積することで土場が少なくて済む ④集材機運転と荷卸しとを兼ねることができる等さまざまの利点ある。

しかし、一方では、路上のタワーに材が引き寄せられるため、荷卸し土場に十分余裕がないと、狭い土場で作業をすることになり、非能率となるばかりでなく、作業安全上も好ましくない。また、タワーヤーダ集材は軽架線が多いことから、地形条件に応じた索張り法が選択できないと、生産性の向上は期待できないし、荷掛けのためのフックの引込みは労働強度が大きくなる等、作業安全上のマイナス要因もみられる。

このように、タワーヤーダ集材には、安全側のプラスの面とマイナスの面が考えられるが、重要なことは、タワーヤーダによる集材作業の持つこれらの特徴が、従来型の架線集材に比較して、安全性が大であると考えられることである。

本章は、タワーヤーダによる集材作業に関する労働災害の原因を調査・分析するのが目的である。しかしながら、前述のようにタワーヤーダは、導入の歴史が浅く絶対数が少なく、従って労働災害事例も皆無であるといつてよい。そこで、従来の各種集材機集材作業にかかる労働災害事例の原因分析を行い、集材機集材作業に適合した作業仕組の確立や災害防止対策を検討し、従来型集材作業とタワーヤーダ集材の災害を比較することにより、タワーヤーダ作業の安全性を考察することにした。

調査対象は、昭和62年～平成2年の集材機集材作業の労働災害 679事例である。調査事例は、荷掛け、架設、荷掛け退避、荷卸し、撤去、木寄せ、点検修理、材整理、移動、始動、荷掛け直し、積込みなど24の作業であった。

1) 集材機集材作業の労働災害の実態

(1) 被災者の属性等の分析

①年齢 災害発生件数は50～59歳で多く全体の約50%を占め、次いで60～69歳、40～49歳が続いている。作業内容とのクロス集計では、架設、荷掛け、荷掛け退避、荷卸し、撤去、点検修理～50～59歳、荷卸し、荷掛け退避～60～69歳、架設～40～49歳の件数が多くなっている（表23）。

②経験年数 経験年数では、20～29年、30～39年、10～19年で災害発生件数が多いが、～4年でもかなりの件数発生している。作業内容とのクロス表では架設、荷卸し、荷掛け退避

～21～29年、荷掛け、荷掛け退避～10～19年、架設、荷掛け退避、荷卸し～30～39年で災害件数が多くなっていた。

③月別発生傾向 森林作業の中でも、労働災害の発生状況に季節的な変化がみられるものがある。集材機集材作業の全体的傾向としては、月別に顕著な傾向はみられない。3月、4月、6月、2月、12月などが比較的多いが、少ない月との差もそれほど大きくなない。従って、作業内容とのクロスも分散傾向にある。荷掛け、荷掛け退避～2、9、11、3、4、6月、架設～6、3、7、12、10、11月、荷卸し～2、4月などで災害発生が多くなっていた。

④時間変動 午前10～11時台、午後2～4時台で発生頻度が高く、これらで全体の約72%を占める。作業内容との関係では、荷掛け（荷掛け退避を含む）、荷卸しは午前、午後ともかなりの発生がみられるが、架設では午前9～11時の発生頻度が比較的高いのが特徴的である（表24）。

（2）作業内容、発生場所、起因物

①作業内容 作業内容についてはすでにそれぞれの表に示されている。発生頻度の高い作業内容は、架設、荷掛け、荷掛け退避、荷卸し、撤去、木寄せなどである。なかでも荷掛けは荷掛け退避を含めると30%を超え、災害発生率の極めて高い作業である。ただし、架線集材作業の中で、木寄せ、造材に関する災害事例が多くみられたが、タワーヤーダ集材との関係が希薄であるため、意図的に除外して分析を進めている。

②災害発生場所 集材機集材作業は架線系の集材作業を行うところに特徴がある。区分の仕方にもよるが、災害事例の精度等もあって災害発生場所を大区分すると、集材地と区分した場所での発生が圧倒的であり、全体の60%近くを占めている。さらに土場（盤台）が24%，つづいて樹上、集材機付近での災害が多くなっているが、その比率は小さい。作業内容と発生場所のクロスをみるとその関係がよく判る。集材地での災害の多くは、荷掛け、荷掛け退避、架設、木寄せ、撤去作業にその発生件数が際立っており、なかでも荷掛け、荷掛け退避は集材地での災害頻度で最も大きい位置を占める作業であって、集材地災害の約46%を占める。また、荷卸作業（材整理を含む）では当然のことながら土場（盤台）での災害が多い。さらに架設作業が樹上で多いのも見逃せない（表25）。

③起因物 起因物は、集材木が圧倒的に多く全体の30%以上を占めている。そのほかは、林地、ワイヤロープ、土場、足場、支柱、引戻索、スリング、末木枝条、滑車などに起因する災害が多い。なかでもワイヤロープ、引戻索、滑車などは集材装置を構成する要素であって、装置が起因物となる頻度が高いのも集材機集材作業の特徴である。このような従来型の集材装置とタワーヤーダ型の集材装置の違いが災害発生に影響すると考えられるが、このことについては、後述する。作業内容と起因物の関係では、荷掛け、荷掛け退避、荷卸し、木寄せ、材整理～集材木が際立っており、いずれも集材木が起因物となるケースが

多い。集材木は、作業内容によっていくらか形態を異にする場合もあるが、集材した木を取り扱う場合で、木寄せし、荷を引出し・吊り上げ、荷を卸す各工程が該当する。重量物である集材木を扱うことは、安全作業の上で極めて留意すべき事柄であると考えられた。そのほか、ワイヤロープ、林地、足場・架設の事例も多い。これら作業のタワーヤーダとの違いは後で考察する（表26）。

④不安全状態 起因物の不安全状態は、接触30%，不安定30%，滑りやすい21%，の3要因で約80%近くを占める。不安全状態なし10%も見逃せない。作業内容との関係では荷掛・荷掛退避-接触、不安定、荷卸し-不安定、架設、撤去-不安定、滑りやすい、などの発生頻度が大きくなっている（表27）。

⑤起因物と不安全状態 起因物と不安全状態との関係をみると集材木-不安定、集材木-接触、林地-滑りやすいが圧倒的に多い。起因物の項でも述べたが、これらの大部分は集材木に激突され、集材木が飛来・落下、あるいは挟まれたというものである。集材現場では集材目的物である集材木が、作業環境として起因物になることに充分注意すべきである（表28）。

（3）不安全行動

不安全行動の分析は、災害防止対策上極めて重要な分析となるが、人間側の要因はその判定も曖昧になりがちであることから、ここでは、災害発生の要因となった不安全行動と考えられるものを複数個選んでいる（マルチアンサ）。全体的な傾向としては、①環境確認不十分、②作業位置が不適当が圧倒的に多く、③操作方法（ミス）が続いている。作業内容との関係では、架設-①、②、③、荷掛け

表23. 作業内容と年齢

| 年齢 作業内容 | ~19 | 20~29 | 30~39 | 40~49 | 50~59 | 60~69 | 70~ | 不明 | 計 |
|------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-----|----|-----|
| 荷掛け | 3 | 11 | 17 | 56 | 18 | | | 1 | 105 |
| 荷掛け直し | | 3 | 9 | 2 | | | | | 15 |
| 荷掛け退避 | 2 | 6 | 18 | 50 | 22 | | 4 | 1 | 99 |
| 荷卸 | 5 | 13 | 34 | 23 | | | | | 79 |
| 荷卸退避 | 1 | 1 | 3 | 1 | | | | | 6 |
| 木寄せ | 2 | 1 | 7 | 19 | 10 | 2 | | | 41 |
| 木寄せせみ | 4 | 1 | 3 | 1 | | | | | 9 |
| 積込設 | 5 | 10 | 22 | 67 | 17 | | | | 121 |
| 撤去替え | 2 | 2 | 12 | 26 | 9 | 2 | | | 52 |
| 足場作り | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | 7 |
| 盤台作設 | | 1 | 1 | 3 | 4 | | | | 1 |
| 索綫 | 1 | 1 | 1 | 2 | | | 1 | | 9 |
| 修理 | 1 | 3 | 3 | 20 | 5 | 1 | | | 7 |
| 材整理 | 1 | 2 | 4 | 9 | 15 | 6 | | | 33 |
| 移動立 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | | | 39 |
| て | | | 3 | 2 | 4 | | | | 12 |
| 移動立 | | | 1 | 2 | 1 | 2 | | | 5 |
| て | | | | 3 | 3 | | | | 9 |
| 造測始 | | | | 1 | 2 | | | | 2 |
| 合 | | | | | 4 | | | | 8 |
| 運転 | | | | | 1 | | | | 1 |
| 集材機据付 | | | | | | | | | 1 |
| 巡視 | | | | | | | | | 1 |
| 計 | 4 | 19 | 52 | 119 | 334 | 136 | 10 | 3 | 677 |

表24. 作業内容と発生時間

| 時間 作業内容 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 不明 | 計 |
|------------|---|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 荷掛け | 1 | 5 | 11 | 14 | 11 | 3 | 10 | 15 | 17 | 17 | 1 | 105 |
| 荷掛け直し | 3 | 1 | 3 | 3 | | | | | | | | 15 |
| 荷掛け退避 | 7 | 17 | 11 | 13 | 1 | 11 | 11 | 16 | 10 | 2 | | 99 |
| 荷卸 | 3 | 3 | 13 | 14 | 1 | 7 | 18 | 17 | 3 | | | 79 |
| 荷卸退避 | | | | | | | | | | | | 6 |
| 木寄せ | | | 1 | | | | | 1 | | | | 41 |
| 木寄せせみ | 4 | 10 | 6 | 1 | 3 | 5 | 8 | 4 | | | | 9 |
| 積込設 | 1 | 3 | 1 | 1 | | | | | | | | 115 |
| 架設 | 3 | 18 | 28 | 27 | 1 | 9 | 13 | 14 | 2 | 5 | 1 | 52 |
| 撤去替え | 2 | 10 | 7 | 9 | 1 | 4 | 10 | 2 | 1 | 1 | | 7 |
| 足場作り | | | | | | | | 1 | | | | 1 |
| 盤台作設 | | | 1 | 3 | | | | 1 | 3 | | | 9 |
| 索綫 | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 4 | 5 | 5 | 1 | 33 |
| 修理 | 2 | 3 | 1 | 4 | 2 | | 7 | 5 | 8 | 3 | | 39 |
| 材整理 | 2 | 1 | 7 | 4 | 2 | | 3 | 3 | 1 | 2 | | 12 |
| 移動立 | | | 2 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 5 |
| て | | | 3 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 9 |
| 造測始 | | | 10 | | | | | 1 | | | | 2 |
| 合 | | | 3 | 3 | | | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 10 |
| 運転 | | | 4 | | | | | | | | | 12 |
| 集材機据付 | | | 1 | | | | | | | | | 6 |
| 巡視 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 計 | 2 | 30 | 80 | 123 | 97 | 16 | 65 | 94 | 98 | 69 | 8 | 682 |

表25. 作業内容と発生場所

| 場所 作業内容 | 集材地 | 土場 | 林道 | 集材機 | 集材機そば | 樹上 | 荷台 | 集材木上 | はい上 | 梯子上 | その他 | 計 |
|------------|-----|-----|----|-----|-------|----|----|------|-----|-----|-----|-----|
| 荷掛け | 87 | 14 | 1 | | | | | 3 | | | | 105 |
| 荷掛け直し | 14 | 1 | | | | | | 1 | | | | 15 |
| 荷掛け退避 | 96 | 2 | | | | | | | | | | 99 |
| 荷卸 | 1 | 70 | 1 | | | | 1 | | | | | 79 |
| 荷卸退避 | | 6 | | | | | | | | | | 6 |
| 木寄せ | 38 | 2 | | | | | | | | | | 41 |
| 木寄せせみ | 81 | 4 | 1 | | | | | | | | | 9 |
| 積込設 | 37 | 3 | 1 | | | | | | | | | 121 |
| 架設 | 7 | 2 | | | | | | | | | | 51 |
| 撤去替え | | | | | | | | | | | | 7 |
| 足場作り | | | | | | | 1 | | | | | 1 |
| 盤台作設 | | 8 | 1 | | | | | | | | | 9 |
| 索綫 | 4 | 1 | 2 | | | | | | | | | 7 |
| 修理 | 15 | 1 | | | | | | | | | | 33 |
| 材整理 | 11 | 34 | | | | | | | | | | 39 |
| 移動立 | 1 | 4 | 1 | | | | | | | | | 12 |
| て | | 8 | 2 | | | | | | | | | 5 |
| 造測始 | | | | | | | 1 | | | | | 9 |
| 合 | | | | | | | 6 | 1 | | | | 2 |
| 運転 | | | | | | | 7 | 2 | 1 | 1 | | 8 |
| 集材機据付 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 巡視 | | | | | | | | | | | | 12 |
| 計 | 398 | 162 | 11 | 10 | 26 | 38 | 7 | 8 | 11 | 6 | 1 | 678 |

表26. 作業内容と起因物

表27. 作業内容と不安全状態

| 不安全状態 作業内容 | 滑りやすい | 不安定 | 接触 | 揺れ | 作業速度 | 作業空間 | 退避場所 | 作業場 | 機械 | 足場 | 負荷速度 | 不良品 | ねじれ | 強度不備 | 安全装置 | なし | 計 |
|---------------|-------|-----|-----|----|------|------|------|-----|----|----|------|-----|-----|------|------|----|-----|
| 荷掛 | 24 | 35 | 31 | | | 1 | 1 | 3 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | 8 | 105 |
| 荷掛け直し | 1 | 2 | 10 | | | 1 | 1 | | | | 6 | | | 1 | | 16 | 16 |
| 荷掛け退避 | 12 | 14 | 60 | | | 1 | | 5 | 1 | | | | | | | 98 | 98 |
| 荷卸 | 8 | 40 | 19 | 3 | | 1 | | | | | | | | | | 79 | 79 |
| 荷卸退避 | 8 | 6 | | | | | | | | | | | | | | 6 | 6 |
| 木積 | 9 | 20 | 3 | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 9 | 9 |
| 積み | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | 3 | 41 |
| 架設 | 33 | 37 | 24 | | | 1 | | | | | | | | | | 17 | 121 |
| 撤去 | 16 | 18 | 7 | 1 | | 1 | | | | | | | | | | 6 | 52 |
| 足場 | 2 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | 7 | 7 |
| 盤台作業 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 |
| 索綱 | 7 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | 9 | 9 |
| 点検 | 2 | 1 | 3 | 13 | | | | | | | | | | | | 7 | 7 |
| 修理 | 7 | 3 | 9 | | | | | | | | | | | | | 33 | 33 |
| 材移 | 10 | 11 | 4 | | | | | | | | | | | | | 8 | 39 |
| 巻造 | 5 | 2 | 1 | 7 | | | | | | | | | | | | 12 | 12 |
| 測定 | 1 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | 5 | 5 |
| 立材 | 1 | 1 | 1 | 7 | | | | | | | | | | | | 9 | 9 |
| 始動 | 2 | | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | 2 | 2 |
| 合図 | | 1 | 7 | | | | | | | | | | | | | 8 | 8 |
| 運搬 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 1 |
| 材機据付 | | | | | | | | | | | | | | | | 12 | 12 |
| 巡回 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | 6 | 6 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0 |
| 計 | 144 | 201 | 205 | 4 | 1 | 4 | 1 | 11 | 2 | 3 | 17 | 1 | 1 | 13 | 1 | 69 | 678 |

表28. 起因物と不安全状態

表29. 作業内容と不安全行動

| 不安全行動 作業内容 | 確認 合図 | 作業速度 | 位置 | 姿勢 | 誤動作 | 操作方法 | 使用方法 | 危険立入 | 保護具 | 他人行動 | 準備不足 | 整理整頓 | 規則 | 手順 | なし | 計 | |
|---------------|----------|------|----|-----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|----|----|----|-----|------|
| 荷掛 | 77 | 6 | 2 | 63 | 4 | 2 | 16 | | 1 | 1 | | | | | | 172 | |
| 荷掛け直し | 10 | 1 | 4 | | | | 8 | | | | | | | | | 24 | |
| 荷掛け退避 | 32 | 22 | 1 | 80 | 2 | | 2 | | | 1 | | | | | | 144 | |
| 荷卸 | 48 | 12 | 60 | 6 | | | 10 | | | | | | | | | 138 | |
| 荷卸退避 | 1 | 3 | 5 | | | | | | | 1 | | | | | | 10 | |
| 木積せみ | 19 | 2 | 18 | 7 | 1 | 1 | 12 | | | | | | | | | 58 | |
| 架設 | 5 | 4 | 5 | | | | | | | | | | | | | 16 | |
| 撤去 | 64 | 6 | 36 | 20 | 1 | 39 | 5 | 1 | 10 | 1 | 2 | | 1 | 1 | | 188 | |
| 株替え | 24 | 2 | 11 | 7 | 1 | 19 | 3 | | 5 | 1 | | | | | | 73 | |
| 足場作り | 2 | | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | 8 | |
| 盤台作設 | 1 | | 1 | 5 | 4 | | 1 | | | | | | | | | 2 | |
| 索点検 | 4 | 1 | 1 | 1 | | | 5 | | | | | | | | | 15 | |
| 修理 | 1 | | 8 | 5 | | | 17 | | | | | | | | | 11 | |
| 材移動 | 22 | 1 | 18 | 10 | 2 | | 10 | | | | | | | | | 55 | |
| 卷立 | 21 | 2 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | | | 62 | |
| 造測 | 9 | | 3 | | | | 3 | | | | | | | | | 14 | |
| 始動 | 2 | | 7 | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | | | 6 | |
| 合図 | 6 | | 1 | | | | 8 | | | | | | | | | 17 | |
| 運搬 | 4 | | 1 | | | | | | | | | | | | | 3 | |
| 集材 | 6 | 4 | 2 | | | | | | | | | | | | | 12 | |
| 機械 | | | 4 | | | | | | | | | | | | | 1 | |
| 据付 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 17 | |
| 巡回 | | | | | | | | | | | | | | | | 10 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | |
| 計 | 367 | 63 | 5 | 337 | 70 | 6 | 162 | 9 | 6 | 18 | 7 | 2 | 1 | 2 | 1 | 6 | 1057 |

(4) 不安全状態と不安全行動

表30は不安全状態と不安全行動のクロス表を示したものである。災害発生のメカニズムは一般的に「人」と「物」との関係において生ずる現象として把握される。ここでは、人的要因として不安全行動、物的要因として不安全状態をとりあげ、両者の関係を考察してみる。頻度の高いのは、①作業位置不適当－作業場所不安定、接触しやすい、②確認不十分－滑りやすい、接触しやすい、作業場所不安定等の組合せである。

不安全な状態や不安全な行動は、本来災害防止の上で欠かすことのできない要因である。しかし、その客観的な判定は極めて難しく慎重な考察が必要である。作業内容と不安全状態、不安全行動の関係において災害発生頻度の高いものを選ぶと図24のようになる。「荷掛け（荷掛け退避を含む）」、「架設」、「荷卸」などでの災害発生は「確認不十分」や「作業位置不適当」などの不安全行動と「接触しやすい」、「作業場所不安定」、「滑りやすい」などの不安全状態の相互作用に起因するものが多いことが分かる。

集材機集材作業全体について、不安全状態と不安全行動の関係をみると、物の側の不安全な状態による災害は全体の90.2%，人の側の不安全な行動による災害が全体の99.4%となる。物の側に不安全な状態があって、さらに人の側にも不安全な行動があった場合は89.7%，不安全な状態及び不安全な行動のないもの0%であった（図25）。

表30. 不安全状態と不安全行動

| 不安全行動 | 確認 | 合図 | 作業速度 | 位置 | 姿勢 | 誤動作 | 操作方法 | 使用方法 | 危険立入 | 保護具 | 他人行動 | 準備不足 | 整理整頓 | 規則 | 手順 | なし | 空白 | 計 |
|--------------|-----|----|------|-----|----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|----|----|----|------|-----|
| 滑りやすい 不安定 | 104 | 1 | 4 | 43 | 34 | 1 | 22 | 1 | 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | | 223 |
| 不接觸 | 109 | 20 | 1 | 135 | 11 | 1 | 45 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | | | 330 |
| 接觸 | 106 | 22 | 1 | 116 | 3 | 1 | 52 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | | 310 |
| 揺れ | 3 | 1 | | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | 8 | |
| 作業速度 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | |
| 作業空間 | | | | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | |
| 退避場所 | 2 | 3 | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | 8 | |
| 作業場 | 1 | 1 | | 7 | 1 | | | | | | | | | | | | 2 | |
| 機械場 | 7 | 3 | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | 20 | |
| 足場 | 1 | 1 | | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | 4 | |
| 負荷速度 | 1 | 1 | | 6 | 2 | | | | | | | | | | | | 6 | |
| 不良品 | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | 21 | |
| ねじれ | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | |
| 強度不備 | 4 | 1 | | 6 | 1 | | | | | | | | | | | | 2 | |
| 安全装置 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 16 | |
| なし | 22 | 7 | 1 | 11 | 16 | 5 | 34 | 3 | | | 3 | | | | 1 | | 2 | |
| 計 | 362 | 63 | 6 | 337 | 70 | 6 | 162 | 9 | 6 | 18 | 7 | 2 | 1 | 2 | 1 | 6 | 1058 | |

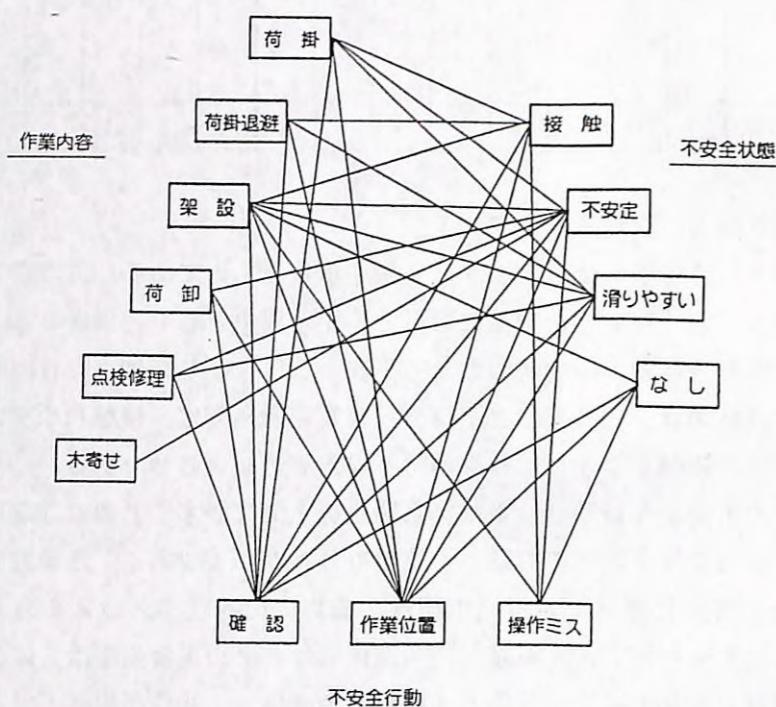


図24. 作業内容、不安全状態、不安全行動の関係

(5) 事故の型

①作業内容と事故の型 分析

の結果は、激突されが多く約30%，

挟まれ・巻き込まれ、墜落・転

落、転倒が続いている、この4種

類の事故の型で全体の76%を占め

ている。荷掛け・荷掛け退避、荷卸、

架設激突され、架設、撤去・墜落

・転落、架設、荷卸・挟まれ・

巻き込まれ、荷卸、架設・転倒、

荷掛け退避・飛来・落下の頻度が高

くなっている（表31）。

②起因物と事故の型 起因物に集材木が多いことから、集材木・激突されが圧倒的に多い。続いて集材木・挟まれ・巻き込まれ、転倒、飛来・落下、墜落・転落などの頻度が高い。そのほか林地・転倒、墜落・転落、ワイヤー・激突され、足場・墜落・転落の組合せも多い。また、起因物なしでも挟まれ・巻き込まれや激突されの災害が多くなっていた（表32）。作業内容と起因物と事故の型の関係において、災害発生頻度の高いものを選ぶと図26のようになる。

表31. 作業内容と事故の型

| 事故の型 | 墜落・転落 | 転倒 | 激突 | 飛来・落下 | 崩壊・倒壊 | 激突され | 挟まれ | 切れこすれ | 踏み抜き | 高温 | 有害物 | 無理な動作 | 破裂 | 計 |
|-------|-------|-----|----|-------|-------|------|-----|-------|------|----|-----|-------|----|-----|
| 作業内容 | | | | | | | | | | | | | | |
| 荷掛け | 10 | 14 | 8 | 7 | 1 | 36 | 21 | 4 | 3 | | | 2 | | 105 |
| 荷掛け直し | 2 | 1 | 4 | | | 7 | | | | | | 1 | | 15 |
| 荷掛け退避 | 8 | 14 | 5 | 19 | 1 | 50 | 1 | 1 | | | | 1 | | 99 |
| 荷卸 | 7 | 16 | 3 | 8 | 1 | 26 | 17 | | | | | 1 | | 79 |
| 荷卸退避 | 1 | 2 | 2 | | | 3 | | | | | | 6 | | 6 |
| 木積込 | 1 | 10 | 1 | 2 | 1 | 15 | 7 | | | | | 4 | | 41 |
| 架設 | 41 | 15 | | 4 | 2 | 22 | 19 | 8 | 1 | | | 1 | | 115 |
| 撤去 | 15 | 7 | 1 | 2 | 1 | 16 | 5 | 3 | | | | 4 | | 51 |
| 株替え | 1 | 2 | 1 | 2 | | 1 | | | | | | 4 | | 7 |
| 足場作り | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| 盤台作設 | 4 | | | | | | | | | | | 9 | | 9 |
| 索縋ぎ | | | | 1 | | | | | | | | 7 | | 7 |
| 点検修理 | 6 | 1 | 3 | 4 | | 5 | 12 | 2 | | | | 1 | | 33 |
| 材整理 | 7 | 10 | 4 | | 1 | 6 | 8 | 2 | | | | 3 | | 39 |
| 移動 | 3 | 7 | | | | 1 | 1 | | | | | 2 | | 12 |
| 巻立 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | | 2 | | | 5 | | 9 |
| 造材 | | | | | | 1 | | | | | | 2 | | 2 |
| 測定 | | | | | | 1 | | | | | | 8 | | 8 |
| 始動 | | | | 2 | | 2 | 4 | | | | | 1 | | 1 |
| 合団 | | | | 1 | | 1 | 3 | 5 | | | | 1 | | 1 |
| 運転 | 1 | | | | | 1 | 4 | | | | | 1 | | 12 |
| 集材機 | | | | | | 1 | 4 | | | | | 6 | | 6 |
| 据付 | | | | | | 1 | | | | | | 1 | | 1 |
| 巡回 | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| 計 | 108 | 101 | 33 | 48 | 8 | 205 | 116 | 26 | 4 | 2 | 1 | 19 | 1 | 672 |

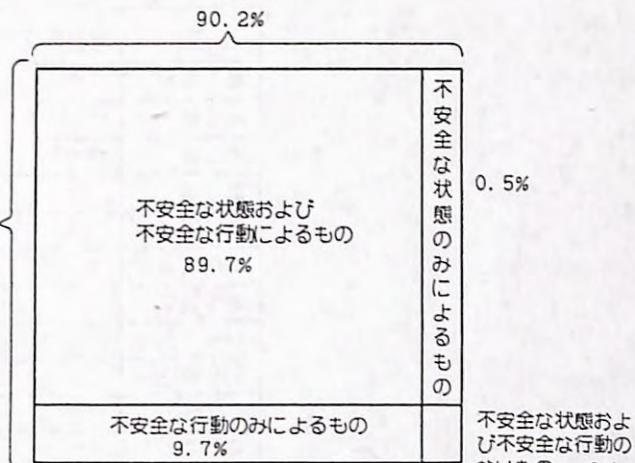


表 3.2. 起因物と事故の型

| 起因物 | 事故の型 | な | | | | | | | | | | | | 計 |
|---------|-------|----|-----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|---|-----|
| | | 根 | 株 | 林 | 道 | 岩 | 石 | 安全 | バ | ンド | 地下 | 足 | 袋 | |
| 壁落・転倒 | 壁落 | 2 | 18 | 17 | 3 | 1 | 2 | 6 | 9 | 2 | 1 | 1 | 1 | 109 |
| 壁落・転倒 | 転倒 | 25 | 32 | 3 | 2 | 1 | 1 | 8 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 101 |
| 壁落・転倒 | 壁落 | 1 | 19 | 4 | 2 | 3 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 40 |
| 壁落・転倒 | 壁落 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 48 |
| 飛来・倒壊 | 飛来 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 |
| 飛来・倒壊 | 倒壊 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 205 |
| 崩壊 | 崩壊 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 116 |
| 崩壊 | 崩壊 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 26 |
| 倒れ・こすれ | 倒れ | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| 倒れ・こすれ | こすれ | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 接觸 | 接觸 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 接觸 | こすれ | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 切られ・こすれ | 切られ | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 切られ・こすれ | こすれ | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 踏み込み | 踏み込み | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 踏み込み | 踏み込み | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 高熱 | 高熱 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 高熱 | 無理な動作 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 計 | 計 | 3 | 217 | 68 | 26 | 22 | 19 | 17 | 7 | 56 | 7 | 15 | 5 | 69 |

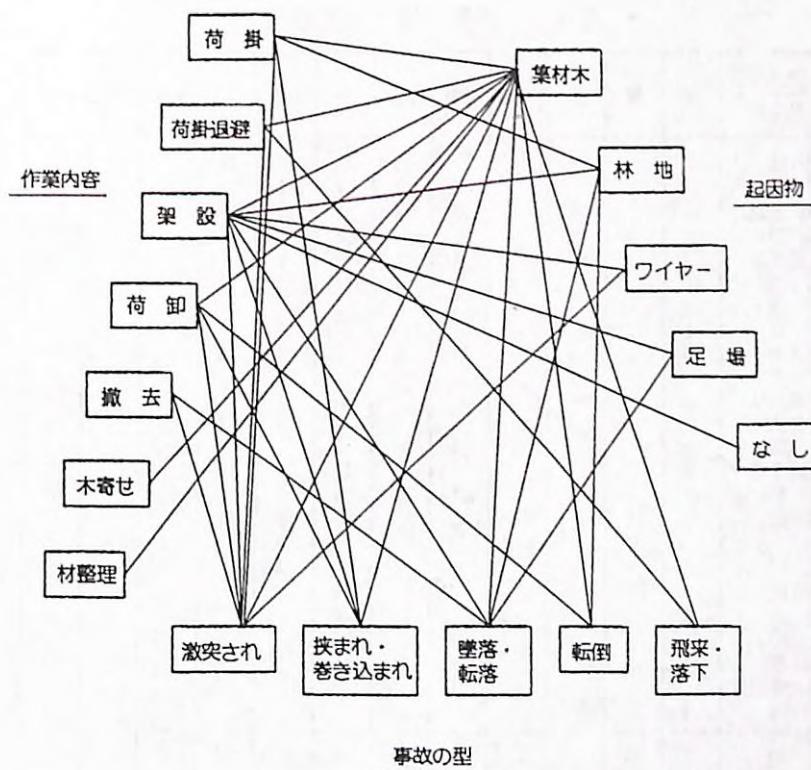


図 2.6. 作業内容、起因物、事故の型の関係

(6) 障害部位、障害名、休業日数

①障害部位 障害部位は単独の場合もあるが、複数の部位が障害を受けることが多い。ここでは死傷病報告に記載されている第1番目の障害部位をとりあげた。障害部位は、躯幹、手、足、下肢の順になっており、この合計で全体の約76%を占める。作業内容と障害部位のクロスでは、荷掛、荷卸-躯幹、架設-躯幹、手、荷掛退避-躯幹、頭などの頻度が高くなっている（表3.3）。

②障害名 障害名についても①と同様の要領で集計した。この結果、骨折が圧倒的に多く、打撲、挫創が続いており、全体の79%を占める。作業内容との関係では荷掛、荷掛退避、架設、荷卸、撤去のいずれもで骨折が多くなっている。そのほか、荷掛、荷掛け、荷卸、架設-打撲などの災害が多い。

③休業日数 休業日数は、21~30日の頻度が高く、11~20日が続いている。1ヶ月以上の災害が約30%を占め、また4.3%が死亡災害となっていた（表3.4）。

表33. 作業内容と障害部位

| 障害部位 作業内容 | 頭 | 顔 | 眼 | 頸 | 躯幹 | 上肢 | 手 | 下肢 | 足 | 全身 | 不明 | 計 |
|--------------|----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|----|-----|
| 荷掛け | 8 | 4 | 1 | 4 | 33 | 3 | 18 | 16 | 18 | | | 105 |
| 荷掛け直し | | | | | 4 | 2 | 7 | 1 | | | | 14 |
| 荷掛け退避 | 25 | | 6 | 4 | 33 | 4 | 4 | 10 | 13 | | | 99 |
| 荷卸 | 7 | 3 | | | 27 | | 5 | 17 | 19 | | | 78 |
| 荷卸退避 | 1 | 1 | | | 1 | | 1 | 2 | | | | 6 |
| 木寄せ | 1 | | | | 13 | 1 | 4 | 10 | 11 | | | 41 |
| 木積込 | 2 | | | | 2 | | 2 | 1 | 2 | | | 9 |
| 架設 | 8 | 3 | 4 | 2 | 47 | 6 | 27 | 8 | 16 | | | 121 |
| 撤去 | 5 | 3 | 4 | 1 | 17 | 6 | 7 | 4 | 5 | | | 52 |
| 株替え | 1 | | | | 1 | | 3 | 1 | | | | 7 |
| 足場作り | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | 1 |
| 盤台作設 | | | 1 | | 5 | | 1 | 1 | | | | 9 |
| 索継ぎ | | 3 | 3 | 2 | | | 3 | | | | | 7 |
| 点検修理 | 3 | 1 | | | 5 | 1 | 12 | 6 | 3 | | | 33 |
| 材整理 | 3 | 1 | 1 | | 11 | 1 | 6 | 7 | 11 | | | 39 |
| 移動 | 1 | | | | 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | | | 12 |
| 巻立 | 5 | 1 | | | | | 1 | 3 | | | | 5 |
| 材造 | 1 | | | | | | 6 | | | | | 9 |
| 測定 | | | | | | | | | | | | 2 |
| 始動 | | | | | | | | | | | | 8 |
| 合図 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 回転 | | | | | | | | | | | | 12 |
| 集材機据付 | | | | | | | | | | | | 6 |
| 巡回 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 計 | 71 | 18 | 22 | 13 | 210 | 26 | 113 | 94 | 107 | 2 | 1 | 677 |

表34. 作業内容と休業日数

| 休業日数 作業内容 | ~10 | 11~20 | 21~30 | 31~50 | 51~80 | 81~120 | 121~ | 死亡 | 不明 | 計 |
|--------------|-----|-------|-------|-------|-------|--------|------|----|----|-----|
| 荷掛け | 11 | 25 | 33 | 3 | 20 | 7 | 3 | 3 | | 105 |
| 荷掛け直し | 4 | 3 | 5 | | 1 | 1 | 1 | | | 15 |
| 荷掛け退避 | 12 | 13 | 30 | 11 | 12 | 1 | 2 | 11 | 2 | 93 |
| 荷卸 | 10 | 14 | 27 | 8 | 11 | | | 3 | | 73 |
| 荷卸退避 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | | 1 | | 6 |
| 木寄せ | 4 | 5 | 17 | 8 | 5 | 2 | 1 | | | 41 |
| 木積込 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | | | | 9 |
| 架設 | 14 | 21 | 48 | 5 | 19 | 6 | | 1 | | 121 |
| 撤去 | 7 | 9 | 21 | 5 | 5 | 3 | | 7 | 1 | 52 |
| 株替え | 1 | 2 | 3 | | 1 | | | | | 7 |
| 足場作り | | | | | | | | | | 1 |
| 盤台作設 | 2 | 2 | 5 | 1 | | 1 | | | | 9 |
| 索継ぎ | 2 | 2 | 3 | | 3 | 2 | 6 | 1 | | 7 |
| 点検修理 | 2 | 3 | 16 | 3 | 2 | 7 | | 1 | | 33 |
| 材整理 | 4 | 11 | 14 | 1 | 7 | 1 | | | | 38 |
| 移動 | 2 | 2 | 7 | | 1 | | | | | 12 |
| 巻立 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | | 5 |
| 材造 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | | | | | 2 |
| 測定 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | | | | 8 |
| 始動 | 1 | 1 | 6 | | 3 | 2 | | | | 1 |
| 合図 | | | 4 | | 1 | 1 | | | | 12 |
| 回転 | | | | | | | | | | 6 |
| 集材機据付 | | | | | | | | | | 1 |
| 巡回 | | | | | | | | | | 1 |
| 計 | 80 | 118 | 252 | 52 | 92 | 33 | 6 | 29 | 5 | 667 |

2) 集材機集材作業における労働災害の要因

集材機集材作業の安全対策を考える上で基本となる災害原因について考察する。これらには4M (Man,Machine,Media,Management) の側面やCTA (Causal Tree Analysis) におけるアクティビティ要素（人的要素、作業要素、物・機械的要素、作業環境要素）などの考え方があるが、ここではこれらを勘案し、災害事例の中から出現頻度の高い要素を抽出することにした。それを取りまとめたものが表35である。本表では災害発生件数の多い作業内容として荷掛け、荷掛け退避荷卸し、架設、撤去をとりあげ、人的要素、作業要素（機械的、人的）、機械・器具要素、作業環境要素の4側面から考察している。これらは、集材機集材作業の労働災害発生要素であって、安全作業推進上極めて重要なキーワードとなるものと考えられる。

表35. 集材機集材作業の災害発生要素

| 作業要素 作業内容 | 人 的 要 素 | 作業要素 | | 機械・器具要素 | 作業環境要素 |
|--------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| | | 機械的 | 人 的 | | |
| 荷掛け | 作業環境確認不十分 作業位置不適当 操作ミス | LB引き込み 荷上げ索巻き上げ 搬器返送 スリング返送 | 荷掛け・スリング掛け 荷掛け直し 歩行（移動）、合図 作業索・フックを引く 材整理 | 作業索（引戻索、 荷上索） LB | 集材木 林地 末木枝条 |
| 荷掛け退避 | 作業位置不適当 作業環境確認不十分 連絡・合図不適当 | LB引き込み 横取り 荷吊り上げ 荷上げ索巻き上げ | 合図 退避 歩行（移動） | 作業索（引戻索、 荷上索） スリング | 集材木 林地 |
| 荷卸し | 作業位置不適当 確認不十分 | 荷下げ 搬器上げ | 荷卸し・スリングはずし 集材木誘導 はい作業 歩行、退避 | 作業索 スリング | 集材木 土場（盤台） はい |
| 架設 | 作業環境確認不十分 作業位置不適当 操作ミス 無理な姿勢 保護具 | 索張り上げ | 樹上作業、索引き回し リード・ロープ引き回し フック取付け 索固定、運搬歩行 索巻取り、片付け 索継ぎ、索切断 支柱作設、搬器取付け 集材機据え付け 移動・歩行 | 作業索 主索 カロローピ 搬器 滑車 | 支柱 集材木 林地 足場 |
| 撤去 | 作業環境確認不十分 操作ミス 作業位置不適当 | | 樹上作業 フックはずし 運搬歩行 リード・ロープ撤収 支柱撤収 搬器おろし ワイヤ切断 | 作業索 主索 | 支柱 林地 |

3) 集材機集材作業の安全作業上の留意点

集材機集材作業の労働災害の実態分析を通じて、その基本的特性をさぐり、特に作業内容と災害発生場所、起因物、不安全状態、不安全行動、事故の型、障害部位・名等との関係を明らかにした。次に集材機集材作業における災害発生の要素を人的要素、作業要素（機械的、人的）、機械・器具要素、作業環境要素に分けて発生頻度の高いものを抽出した。ここでは、これらを基に、集材機集材作業の安全作業にあたっての留意点を述べる。これらの留意点は、従来型の集材機集材作業に関するものであるが、タワーヤーダ集材作業を実施する場合にもチェックが必要である。ただし、これらの留意点はタワーヤーダ集材が該当しない場合がある。タワーヤーダ集材の安全性の特徴はさらに次の項で検討する。

（1）荷掛け作業・荷掛け退避作業

①集材木は重なりあつたり、作業索が絡んだりして不安定状態にあることが多い。荷掛け箇所では集材木の安定を充分確認する。②重なり合っている集材木を荷掛けするときは上方から行う。また傾斜地では斜面の上方で荷掛けする等、スリング掛けや荷掛け直し等では適当な作業位置に注意する。③ロージングブロックを引込むまえに、他の作業者等の退避を確認し、ロージングブロックが完全に停止、安定してから荷掛けを行う。④荷上索や引戻索等の作業索に張力がかかっているときは、内角作業をしない。⑤荷掛けや荷掛け退避で、移動歩行する場合は集材木ばかりでなく林地、末木枝条、根株等足場に注意する。また、転動するおそれのある集材木の上に不用意に乗らない。⑥集材木が障害物に引っかかったり、引戻索や荷上索が引っかかったりして作業索を動かす必要等がある場合、作業索を十分ゆるめ、作業索に張力がかかっていないことを確認して行う。また作業索を引っ張ったり、つかんだりするときも索が急に動いたりするので注意する。⑦ロージングブロックの引込み、荷上索による横取りや巻上げ時は、重錘、荷掛け滑車、スリング、集材木の飛来等、種々の危険が伴うので、安全な場所への退避を励行する。⑧運転者と荷掛け者、荷卸者との連絡合図は、定められた者が、定められた箇所から、定められた方法で確実に行う。⑨荷掛け重量は最大使用荷重を超えないように、スリング1本あたりの吊荷本数は3本以下にする。⑩荷掛け直しは索に張力がかかっていることが多い。索の張力を確認して作業をする。

（2）荷卸作業

①土場（盤台）に集材木が搬入する場合は、材が転落したり、回転したりする危険があるので安全な場所に退避する。また、集材木の安定を確認して退避場所を離れる。②スリングはずし等の荷卸作業は、集材木が完全に接地し、スリングが十分ゆるみ、重錘等が完全に安定したことを確認して行う。③土場（盤台）での共同作業では、集材木の状態を十分確認し、さらによく連携を保って作業する。④土場（盤台）上での移動は、滑り

やすいので足場に十分注意する。⑤運転者と荷卸者との連絡合図は、定められた者が、定められた箇所で、定められた方法で確実に行う。

（3）木寄せ作業

①ツル、トビは十分点検し、正常なものを使用する。②作業位置に十分注意し、集材木をよく確認し、材が滑落する方向での作業や上下作業をしない。③トビによる木寄せ作業や移動歩行では、林地、末木枝条、根株等足場の安全に注意する。④共同作業で集材木を動かすときは、お互いの連携を図り、かけ声等で実施する。⑤重なりあっている材を動かすときは、上方の材から整理する。また、斜面の作業では斜面の上方から材に接近する。⑥人力木寄せ作業では無理な姿勢をとらない。

（4）架設

①支柱の作設やブロックの取付等の樹上作業は、保護具を使用し足場を確実にして行う。②ナイロンロープ等のリードローピの引き回し作業では、集材木、林地、末木枝条、根株等の状態を十分確認し、足場に注意して作業を行う。③リードロープ、作業索、主索の結合に当たっては、引き抜けないような方法で行う。④リードロープの引き回し作業では、ロープが滑車や末木枝条に引っかかった時等、張力のはね返りに注意する。⑤ブロックの取付け、ワイヤロープの固定や切断等に当たっては、ワイヤロープの張力を常に確認する。⑥ワイヤロープの引き締め、巻き取り時は、集材木、末木枝条、根株等の接触に注意し、安全な場所へ退避する。⑦重量物の運搬作業では、無理な姿勢はさけ足元に注意する。また、2人で運搬する場合は十分連携を保つ。⑧ワイヤロープ継ぎ作業では、索の滑り、ワイヤ針の操作に注意する。

（5）撤去

①撤去作業は原則的には架設の順序を逆に実行すればよい。従って留意事項も架設作業に準ずるが、撤去作業は安易に手を省きがちになり、大事故を起こすことがあるので慎重に行う。②ワイヤロープの取り外しは、定められた手順に従うが、特に張力の状態に注意する。③人工支柱はガイドライン等で保持されているので、その取り壊しは安易に行わない。④ブロック類の取り外しは作業索を巻き取ってから行う。また無造作に扱わない。⑤集材線を使ったブロック類の運搬等も安易な方法を取らない。

（6）その他の作業

①急激な発進、制動運転はしない。②運転中は計器類や作業索の動きに注意し、異常を発見した時は直ちに停止する。③荷上索に巻きすぎ防止の標示を付け、標示以上には巻き込まない。④集材機の始動、点検等でVベルトの動きに注意する。

4) タワーヤーダによる集材作業の安全性

(1) タワーヤーダ集材の索張り方式

タワーヤーダ集材に限らず、一般の架線集材作業は、①架設、②集材（木寄せ、LB引込み、荷掛け、荷引出し、荷運行、荷卸し、空運行）、③撤去、④その他の作業の繰返しで行われる。そしてこれら一連の作業の能率性、安全性は、それぞれの架線索張り方式の構造の違いによって左右される。そこでタワーヤーダの安全作業を考えるにあたり、まず、タワーヤーダを含めた各種の架線索張り方式の構造の違いを調べ、その違いを意識しながら安全作業上の問題点を考えてみた。表36に索張り方式の集材装置の基本的構造である主索の有無、荷の上げ下げ、搬器（荷）の走行、空搬器の走行、搬器位置、横取方法、張力調整、集材機ドラム数等が索張り方式でどのように異なるかを示した。これによると、我が国で一般によく使われているタワーヤーダに使う索張り方式であるランニングスカイライン、スラックライン、ハイリード等索張り方式は、いずれもワイヤーロープの配置が簡潔な軽架線に属するものである。そこで本報告では、最も一般的なランニングスカイラインをとりあげ、安全性を検討するが、まず、ランニングスカイラインの特徴を以下に列挙する。

①ランニングスカイライン式は、主索がなく、折り返した引戻索（エンドレス索）の上に搬器を乗せ、搬器の走行は引寄索と引戻索（あるいはエンドレス索）による。従って、タイラー、エンドレスタイラー、フォーリングブロック、ホイスチングキャレジ式などの大型架線のように、引戻索、エンドレス索等が林内に配置されない（ハイリード式、スラックライン式は配置される）。このことから、ガイドブロック類の使用も極めて少なくて済む。②使用器材が少なくて済む索張り方式であるため、架設・撤去等が簡単であり、特に作業索の引回しやブロック類の取付等の作業が大型架線に比べて少ない。③タワーヤーダを使用すれば、向柱等も不要であり、集材機周辺のワイヤーロープの配置が簡潔であり、集材機の据付け作業も簡単であり、支柱作設作業も通常の作業ではタワーに登る必要はない。④大型架線に比べて、小人数作業であるため共同作業の欠陥が少ない。⑤エンジンの始動、搬器停止、搬器走行、荷の上げ下げ、加速、減速等がすべて有線リモコンにより操作できる。また操作も簡単であり、操作位置もある程度自由に選定できる。

⑥集材距離は150m内外の短距離集材であるので、大型架線にみられる、電話、インターホン等での連絡合図はほとんど不要である。⑦タワーヤーダ集材は、架設・撤去が簡単であることから、張替えを多くして、横取りを広範囲には行わない。従って、HBLによる横取りのための引込みをそれほど必要としない。⑧荷卸土場では、巻立用の機械との組合せ作業をしないと効率が悪い。荷卸し・造材作業と巻立て作業の連携が必要である。

⑨ドラムに乱巻きが生じやすいが、オペレータが確認しながら操作することは困難である。⑩タワーヤーダにインターロック機構を備えているため、実搬器走行中でのワイヤーロープの揺れや張力の変動が少ない。

表36. 集材機集材索張り方式とその構造要因

| 区分 | 主索 | 荷の上げ下げ | 搬器（荷）走行 | 空搬器走行 | 搬器位置 | 横取方法 | 張力調整 | 集材機ドラム数 |
|--------------|----|--------|---------|-------|------|----------|------|---------|
| | | | | | | | | |
| タイラー式 | ○ | ○ | ○ | ○ | HBL | 一脇一エンドレス | ○ | ○ |
| エンドレスタイラー式 | ○ | ○ | ○ | ○ | HBL | 一脇 | ○ | ○ |
| フォーリングブロック式 | ○ | ○ | ○ | ○ | HBL | 一脇一エンドレス | ○ | ○ |
| ハイリード式 | ○ | ○ | ○ | ○ | HBL | 一脇一エンドレス | ○ | ○ |
| スナビング式 | ○ | ○ | ○ | ○ | HBL | 一脇一脇 | ○ | ○ |
| スラックライン式 | ○ | ○ | ○ | ○ | HBL | 一脇一脇 | ○ | ○ |
| ランニングスカイライン式 | ○ | (○)(○) | ○ | ○ | HBL | 一脇一脇 | ○ | ○ |
| モノケーブル式 | ○ | ○ | ○ | ○ | HBL | 一脇一脇 | ○ | ○ |

(2) タワーヤーダ集材作業の安全性の特徴

大型架線等にみられる在来型集材機使用の集材作業では、依然として労働災害の発生頻度が高い。作業内容別にみると、荷掛け、架設、荷掛け退避、荷卸し、撤去、木寄せ等での災害が多い。特に荷掛け、荷掛け退避という先山での作業や架設・撤去のような施設作設作業での災害が多いのが架線集材の特徴である。

そこで、ランニングスカイライン索張り方式のほか、他の索張り方式も考慮にいれ、従来型の集材機集材作業の安全性との比較検討を行い、タワーヤーダによる集材作業の安全性の特徴を挙げると次のようになる。

①ランニングスカイライン方式の引寄索による荷掛けは、重錘や荷掛け滑車がないため安全作業が容易である。荷卸作業についても同様である。②タワーヤーダ集材では、ランニングスカイライン等の軽架線が採用されるが、荷上索、引戻索等の作業索に張力負荷で林内に配置する状態が少ない。つまり、作業場に内角作業が生じにくいくことから、安全上退避の必要もなく、作業位置の自由度が高い。ただし、ハイリード、スラックライン等では索の張り方によって内角作業が生ずるので注意を要する。③また、作業索の林内配置が少ないと、作業索の障害物への引っかかりや損傷が少なく、従って作業索を手で引っ張ったり、掴んだりする操作も少ない。④タワーヤーダ集材は軽架線で短距離集材であり、運転者が荷卸者を兼ねるため、運転者と荷掛け、荷卸者との連絡合図は不要なことが多い。無線操縦により運転者と荷掛け者との兼務が可能となれば、さらに作業の自由度は増大し、安全作業上プラス要因となる。⑤架設作業での支柱作設も通常の作業ではタワーに登る必要がなく、従って危険な高所作業が減少する。また、集材機の据え付けも簡単であり、作業索の引き回し等の危険作業も少ない。⑥従来型集材作業では、ワイヤロープの切断、接続、巻き取り、片付けなどワイヤロープにかかる災害事例が多い。タワーヤーダではワイヤロープがコンパクトの装備されており、ワイヤロープの取扱い量が極めて少ない。⑦タワーヤーダに装備されている、インターロック機構やワイヤロープの過負荷防止装置は運転操作を容易にし、作業の安全性を確保する。

(3) タワーヤーダ集材の安全作業上の問題点

以上のことから、タワーヤーダ集材での安全作業上の問題点と考えられるものは次のようなものである。

①集材作業地の作業条件は複雑であり、タワーヤーダには広い適用範囲が求められる。支間距離、支間傾斜角、横取距離、吊荷重量等に対して適応できる種々の索張り方式を提供できるものが望ましい。そして、これらの選択切り替えが簡易にできることが条件である。②地形条件等の作業条件に適した索張り方式を選択する。軽架線の架設撤去は、いずれもそれほど困難ではないが、荷掛けや横取りの容易性、搬器走行速度、荷重点垂下量等に対する適応性が異なることから、索張り方式の特質をよく理解し、最適な索張り方式

を選ぶことが安全作業の基本である。例えば、中央垂下量によって地形に対する適応性を考察すると、荷重点垂下量が小さくて横取り条件が厳しくない場合はランニングスカイラインが適応する。また同上の条件が厳しい場合には、主索を持つスナッピング式、スラックライン式の適応性が高くなる。③索張り方式の違いによって、実作業時の索張力の状態が異なることが予想される。索緊張、引寄せ、引戻し等での索張力の変化の実態を調べ、張力計算に見積るべき衝撃係数等を把握しておく必要がある。④索張り方式に適した搬器を装備する。索張り方式と搬器の適正な組み合わせによって、作業の能率性、安全性は増大する。⑤タワーヤーダのドラムに乱巻きが生じやすいが、オペレータが確認しながら操作することは困難であるといわれる。高い牽引能力と自動化への適応性の面から、シングルトラクションウインチ、マルチグループトラクションウインチ等のウインチ機構の研究が望まれる。⑥タワーヤーダ集材では、元柱であるタワー近辺の線下に材が集中するのが欠点である。安全作業上、別の機械による材処理や積み作業の連携、架設移動の簡略化、十分な土場の確保等に留意する必要がある。⑦タワーヤーダの運転操作は有線リモートコントロール式で行われているが、無線操縦式になれば、作業位置の自由度が増し、運転情報も直接現場からの作業情報によることができる。⑧タワーヤーダの設置や索張り方式の選択を適正に行い、能率性、安全性を向上させるためには、なんといっても路網との組み合わせが適正でなければならない。路網のあり方も、従来型の集材機集材とは大きく異なる。タワーヤーダを使用した各種索張り方式の最適使用域を明確にし、それに適した路網の密度と配置の研究が望まれる。

(労働科学研究所 豊川勝生)

▽ まとめ

(1) 国有林野事業において労働災害発生が高い事業は、製品生産(伐出作業)49.9%、造林(造林作業)21.7%であることが示され、国有林での労働災害のほとんどは製品生産及び造林事業において発生していた。さらに製品生産事業においては伐倒作業による災害発生比率がずば抜けて高く、伐倒作業については安全教育の徹底等を通して労働災害防止対策を早急に講じる必要があるものと考えられた。さらに人間が直接的に行って伐倒作業行為をフェラーバンチャやハーベスターなどのより高度な機械に置き換えるなどの手段も有効であるものと考えられた。なお、伐出作業及び造林作業ごとに災害発生頻度が高い作業を上位順に示せば、伐出では伐倒、集材機集材、トラクタ集材、造林ではつる切・除伐、下刈、地ごしらえ作業であった。これらの作業を対象として関係諸要因とのクロス分析を行った結果、災害発生パターンや関連要因との関係が分かった。

林業労働者の加齢にともなう労働災害の変化は30歳代～50歳代にかけては年齢が高くなるにつれて死傷千人率は徐々に低下するが、60歳代になって再び上昇する傾向にあることが認められた。作業区分や単位作業と年齢階との関係をみると、若い年齢層では伐出作業

における災害発生頻度が高いが、年齢層が高くなるにつれて伐出作業とともに造林作業での発生頻度も高くなる傾向が認められた。これは年齢が高くなるにつれて技術的にも肉体的にも比較的容易な造林作業への従事が多くなることによるものと推察された。また、事故の型と年齢階との関係を分析した結果、高年齢層での転倒による災害発生比率が若年齢層に比べて高いことが認められ、加齢とともに足腰の強さや機敏性などの身体的諸機能の低下が何らかのかたちで影響を及ぼしているものと推察された。従って、高齢労働者に対する身体諸機能の低下を防ぐ手段を講じるとともに、林業労働に対する経験や知識を考慮した適正作業配置を行うことが労働災害を未然に防止する上で重要であるものと考えられた。

(2) 民有林における林内作業車並びに集材機集材作業の災害分析を行い、ヒューマンエラー発生のメカニズムを C T A 手法による解析や作業別の要素間影響確率で解析、災害防止対策上の留意点を検討した。小形集材車作業の87災害事例の分析では、作業内容別の災害発生場所、起因物、不安全状態、不安全行動、事故の型等の関係について分析した。災害発生場所は、集材地、作業路が多く全体の83%を占めていた。起因物と不安全状態との関連では、作業車と立木の間に作業者が挟まれたものが多い。不安全行動では、作業環境確認不十分が多い。事故の型は、挟まれ・巻き込まれが多く、起因物との関連も多岐に渡っていた。 C T A 手法による労働災害の分析では、「アクティビティ」の概念を用いて災害発生の時間経過の要素を示し、災害要素の相互関連を分析したが、この結果、各作業とも、人的要素に始まる要素間の関連が災害発生に大きく関与していることが分かった。集材機作業の災害事例の分析では、集材機作業の 697 労働災害事例を対象にした。災害発生頻度の高い作業は、荷掛け荷掛け退避を含めると30%を超えていた。災害発生場所は、集材地が多く、60%を占めていた。起因物は、集材木が多く、30%以上を占めていた。そのほか、集材装置を構成する要素が起因物となる頻度が高いのが特徴的であった。起因物の不安全状態は、接触、不安定、滑りやすいが多く、起因物と不安全状態の関係では、集材木-不安定、集材木-接触、林地-滑りやすいが多い。人の不安全行動は、環境確認不十分、作業位置が不適当が多い。人の不安全行動と物の不安全状態の関係検討では、頻度の高いのは、作業位置不適当-作業場所不安定、接触しやすい、確認不十分-滑りやすい、接触しやすい、作業場所不安定等の組合せであった。事故の型は、激突され、挟まれ・巻き込まれ、墜落・転落、転倒が多い。次いで C T A 手法による分析結果より、集材機集材作業の安全作業を検討、次いで最近増加が著しいタワーヤーダの安全作業の検討した。この結果、①荷掛け・荷卸作業は、重錘や荷掛け滑車がないため安全作業が容易である ②作業場に内角作業が生じにくい。よって、安全上退避の必要もなく、作業位置の自由度が高い ③作業索の林内配置が少ないことは、作業索の障害物への引っかかりや損傷が少なく、従って作業索を手で引っ張ったり、掴んだりする操作も少ない ④架設作業での支柱作設も通常の作業ではタワーに登る必要がなく、高所作業が減少する。また、集材機の据え付

けも簡単であり、作業索の引き回し等の危険作業も少ない。などタワーヤーダの安全上の利点が指摘できた。

引用文献

- (1) 林野弘済会：日本林業年鑑1980：pp.438, 東京(1981)
- (2) 林野弘済会：日本林業年鑑1985：pp.475, 東京(1986)
- (3) 林野弘済会：日本林業年鑑1990：pp.474, 東京(1991)
- (4) 林野庁厚生課：昭和61年度国有林野事業労働災害統計書：1~57(1987)
- (5) 林野庁厚生課：昭和62年度国有林野事業労働災害統計書：1~57(1988)
- (6) 林野庁厚生課：昭和63年度国有林野事業労働災害統計書：1~57(1989)
- (7) 林野庁厚生課：平成元年度国有林野事業労働災害統計書：1~57(1990)
- (8) 林野庁厚生課：平成2年度国有林野事業労働災害統計書：1~57(1991)
- (9) 林業・木材製造業労働災害防止協会：林業労働災害防止年報－平成2年版－：1~70 (1990)
- (10) 岩川 治：リモコン式チェーンソーの機構と能率に関する研究：昭和58・59年度科学研究費補助金（試験研究）研究成果報告書, 1~26(1985)
- (11) 今富裕樹・豊川勝生・山田容三：林業労働者の身体諸機能と職務意識：102回日林論 667~669(1991)

天然更新施業地における更新未了地の
森 林 造 成 技 術 の 体 系 化

天然更新施業地における更新完了地の森林造成技術の体系化

I 試験担当者

| | |
|-------------------|------|
| 生産技術部育林技術科長 | 藤森隆郎 |
| 生産技術部育林技術科更新機構研究室 | 桜井尚武 |
| | 田中信行 |
| | 飯田滋生 |
| 宇都宮大学 | 谷本丈夫 |

II 要旨

本研究は、1. アンケート調査と現地調査によりブナを中心とした既存天然更新施業地における更新完了の目安、更新完了地の分布、樹種構造、再度更新補助等を加えて更新完了となる可能性、更新完了地の原因等を明らかにし、2. ブナ二次林において更新樹の分散、枝解析による生育経過の追跡調査等を行い、成林時の林分条件とその予測法を検討し、3. 更新完了地における森林造成技術の開発のために林床の刈払い、植栽による森林造成の可能性について検討したものである。

その結果、(1)ブナ稚樹の単位面積当たり現存本数が少ない事例が多い、(2)ブナ以外の稚幼樹が優占し、かつこれらの稚幼樹に有用樹の少ない事例が多い、(3)現存するブナ稚樹が他の植生に被圧されている事例が多い、(4)ブナ稚樹の分布は、著しく遍在している事例が多い、(5)母樹の本数が少ない事例が多い、などのことが明らかにされた。

これらを克服する対策として、従来の地床処理や刈り出しの施業方法を述べたほかに、(1)山引き苗の植栽、(2)植栽用苗木育成のための簡易苗畑による育苗を提案した。

III 試験目的

近年、森林の有する公益的機能の高度発揮や広葉樹資源への志向の高まり等の要請に応える面から、天然林が重要な位置を占めてきている。天然林における施業の推進については、拡大造林を見直す等、森林整備方針の転換の考え方方に即し、「国有林事業の改善に関する計画」(62.7.31変更) 及び「経営基本計画」(63.2策定) の中で、その推進を図ることが示された。このような中で、北海道におけるトドマツ・エゾマツ・落葉広葉樹、東北・関東・中部山岳地帯におけるブナ・ヒバ・ヒノキの天然林施業が行われてきている。これらの施業体系を裏付けるものとして、各種実験林における調査・研究、ブナ帯における樹種更改試験地等があるが¹⁾、多くの研究は特定の場所、あるいは狭い区域を限定して行われており、細部の事象においては情報不足となっている。とりわけ更新完了地のような特殊な条件下での情報が不足しており、そのような場所における森林造成の技術体系化

の妨げになっている。

本研究は、1. アンケート調査と現地調査によりブナを中心とした既存天然更新施業地における更新完了の目安、更新未了地の分布、樹種構造、再度更新補助等を加えて更新完了となる可能性、更新未了の原因等を明らかにし、2. ブナ二次林において更新樹の分散、枝解析による生育経過の追跡調査等を行い、成林時の林分条件とその予測法を検討した。また、3. 更新未了地における森林造成技術の開発のために林床の刈払い、植栽による森林造成の可能性について検討した。本報の取りまとめに当たり、アンケート調査並びに現地調査でご協力頂いた青森、秋田及び前橋の各営林局署の担当各位、日本林業技術協会の関係者各位に厚く御礼申し上げる。

IV 試験の方法と結果

1. 既存天然更新地の更新実態解析

1) 調査対象地

ブナ林施業地の多い前橋、秋田、青森局を対象として更新状況と要因分析を行うため、各営林局別に層化した無作為抽出調査を行った。調査対象地の選定は、更新に大きな影響を与えると考えられる結実年、伐採方法、伐採率、母樹保残の状況、更新補助作業の状況ごとに分析が可能なサンプル数を確保するように努めた。確定したサンプル数を各営林局ごとの層に割り振り、各層の中で、調査箇所の記番を無作為に抽出した。それぞれの調査箇所は青森局19、秋田局15、前橋8箇所である。

2) 調査方法

(1) 調査表とその記載

調査方法を統一するために、付表1のようなブナ天然更新施業地の更新実態調査表を作成した。付表1の調査票(9)の1、(10)については、現地調査結果から概算する等により記入することにした。林床植生(ササ、灌木等)の疎密の基準は、密は被度75%以上、中は密、疎以外及び疎を被度25%以下とした。

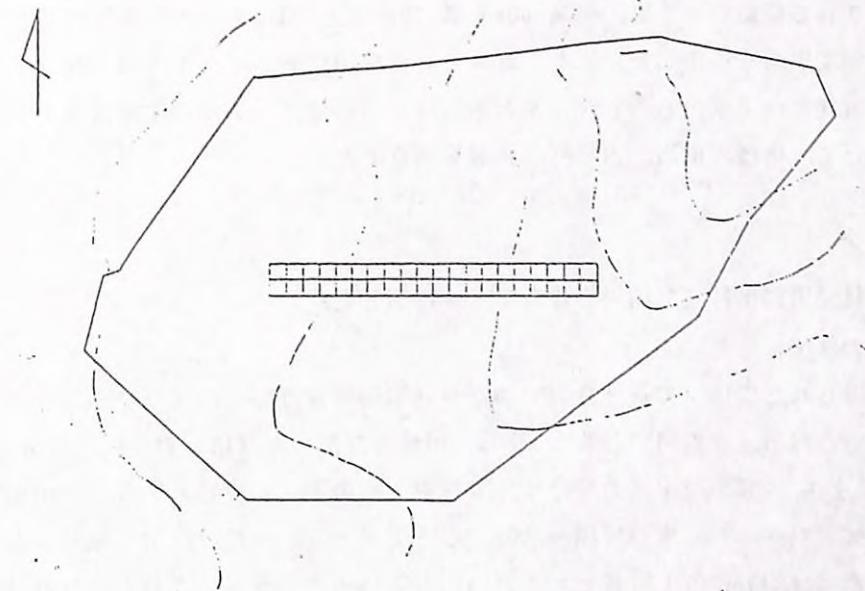
(2) 現地調査

調査依頼のための調査要領を図1に示した。

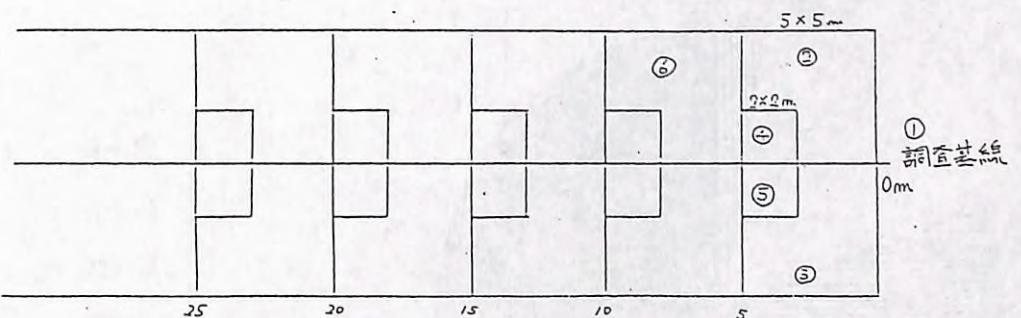
調査プロットはベルトトランセクト法とした。設定方法は、対象地の中央に東西に100mの調査基線をとる。100mの調査基線がとれない場合には区域内に数本均等に基線を設定し、総計が100mとなるようにした。この基線にそって5m×5m枠及び2m×2m枠の調査区を連続して基線の左右に設定した。なお、2m×2m枠は基線と調査区画線の交点を左辺とし、上下にとった。

図-1 調査区の設定と調査手順

(1) 調査区の設定



(2) 調査手順



① 調査基線を設定する。(中央付近に東西に設定)

② 0m～5m間の上5×5m枠を調査する。

③ 0m～5m間の下5×5m枠を調査する。

④ 0m～5m間の上2×2m枠(調査基線では3～5m)を調査する。

⑤ 0m～5m間の下2×2m枠(調査基線では3～5m)を調査する。

⑥ 以下、5m～10m、10m～15m…について①～⑤の調査を行う。

調査項目は5m×5m枠内においては、平均植生高以上の有用広葉樹を対象として、胸高直径4cm未満のものについてはその樹種別本数と平均樹高を、胸高直径4cm以上のものについては樹種、胸高直径、樹高を毎木調査した。2m×2m枠内については、当該枠が含まれる5m×5m枠内において、平均植生高以上の有用稚樹（胸高直径4cm未満のもの）が10本以上含まれる枠については、樹高30cm未満、30cm以上1.3m未満の樹高区分ごとに、樹種別本数、平均樹高を測定した。また、5m×5m枠内において、平均植生高以上の有用稚樹（胸高直径4cm未満のもの）が10本未満の枠については、平均植生高未満の有用樹種すべてについて、樹種、樹高、当年度伸長量を調査した。

2. 結果

調査票を営林局別に集計した結果を付表2～4に示した。

1) 伐採前の林況

調査票から得られた伐採前の各林分のha当たり材積の頻度は図2のようであった。

伐採前のha当たり材積は青森局黒石署の308m³が最多で最少の材積は青森局川尻署の66m³であった。また、200m³未満の林分は、青森局で6箇所、秋田局8箇所、前橋局3箇所、そして全体の45.9%がha当たり材積が200m³以下であった。一般に、よく発達したブナ林のha当たりの材積は300m³以上普通であるといわれていることから、これらの林分は過去において少なくとも択伐程度の施業が行われた可能性が高い。伐採前の林床型は、ブナ型林床とした林分は少なかった。

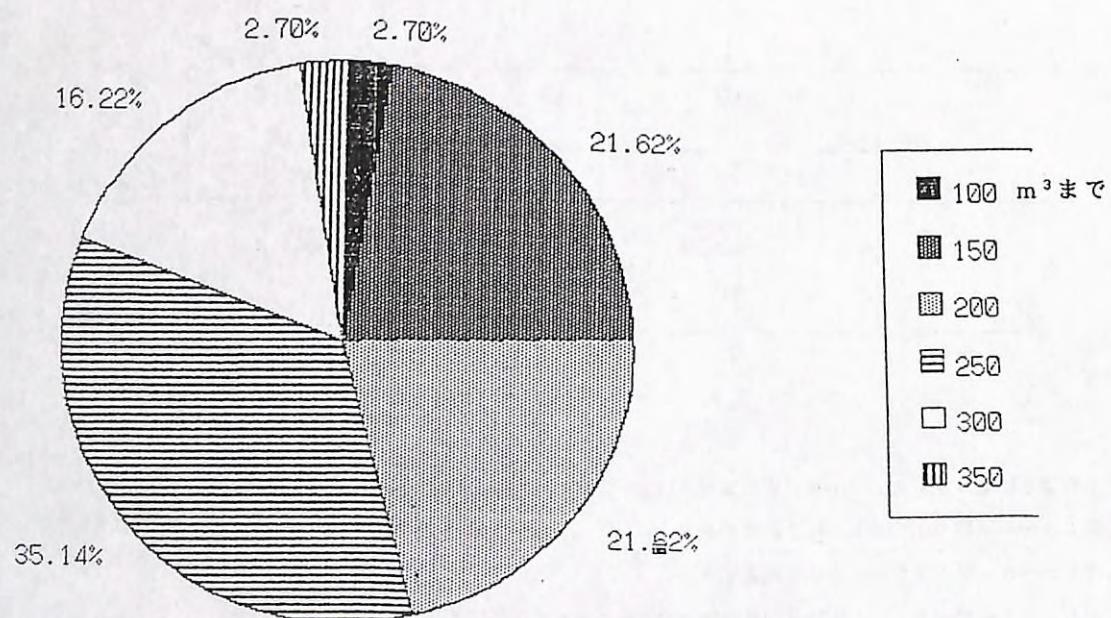


図2 伐採前の各林分のha当たり材積の頻度

2) 更新種とその決定

更新種は青森局では17箇所のうち天下II類が14箇所、秋田局では15箇所全部が天下II類、前橋署では約半数が天下II類であった。更新種の決定は、局の指定どおりとした回答が最も多かったが、青森局では3箇所、秋田局3箇所、前橋局3箇所において担当区、署の判断で更新種を決定している。

青森局で天下I類を指定しているのは、母樹保残法で1、皆伐法で2箇所であった。放牧跡地で更新のよい三本木営林署管内では、ブナ型の林床でも天下I類が指定されていた。これは、更新の確実性を期したものと思われる。

秋田局では前述のとおり、すべてが天下II類であったが、ブナ型林床は4箇所で、ササ型の場所は2箇所となっている。これら以外では落低型林床であり、伐採前の林床の繁茂状態から、母樹を残せば更新可能と判定されたものと思われた。

3) 天下I類の更新補助手段

青森局では林床処理を上木伐採前に行っている例が3箇所あるが、秋田局と前橋局ではいずれも伐採後であった。処理回数は青森局で3回以上ものの例がみられるが、その他はいずれも1回となっていた。刈払いなどの時期は、青森局乙供署の例のように、54年に伐採、56年に地ごしらえ、除草剤処理を58、60年に行っている等、更新補助作業が伐採年から1～2年以上も時間が経過してから行われている場合があった。これは天下II類の施業地がその後の林床植生の繁茂によって天下I類に変更された結果と思われる。

4) 母樹の現況

皆伐天下II類を期待したと思われる青森局の川尻、岩泉署以外は、胸高直径の大きなブナが残されているが、中小径木を母樹にしたものと思われる例が多かった。樹冠は良好なものであるとする例が多いが、枯れを報告しているものが1例あった。

母樹の保残本数を適正としたものが、青森局では17箇所のうち6箇所あった。秋田局では15箇所のうち適正とされたものはわずかに2箇所、前橋局でも半数以上は不適とされている。これら保残母樹数が不適正となった原因について、該当署の回答は、伐出時に支障木となつたため不足したというが青森局で4例、秋田局で2例、前橋で2例で、青森局では無回答が多かった。秋田局では施業後に風倒あるいは枯死したものが多い。しかし、残された母樹の樹冠は良好としたものが多く、母樹の不足が施業後の風倒木あるいは枯死だとすると、残された母樹も不良になっているものが多いと考えた方が自然であるが、この資料からは詳しい検討はできなかった。

5) 稚樹の現況

(1)平均植生高以上の稚樹：平均植生高以上の稚樹は、ha当たり40本から7900本までの範囲

内であったが、いずれもブナ以外の広葉樹の占める割合が大きかった。乙供署、川井署及び一関署30り3林小班では、ブナの残存量が比較的多く、頻度も高いので更新は完了しているものと思われた。三本木営林署の施業地はすでに過去の放牧と薪炭生産のための伐採により更新完了となっており、現存の稚樹の年齢はかなり高いものと思われた。

各営林局における小方形枠別の発生稚樹本数は、付表-5~10のようになっていた。5m×5m枠の発生稚樹の頻度が50%以下であった署は、青森局で17署のうち6署、秋田局では0署、前橋局では1署であった。発生稚樹が5本以上みられる方形枠が50%以上となるものは乙供、一関、川尻、増川、川井、岩泉署の調査地であった。これらをブナとその他の稚樹に区分して表示すると付表10-1~3のようになつた。稚樹の発生頻度と本数からブナ林として成林の期待がもてるのは、乙供、一関、川尻、水沢、川井の各署の調査地であると思われる。

更新のタイプは、

- (イ) ブナもその他の稚樹も少ない、
 - (ロ) ブナは少ないがその他の稚樹はある、
 - (ハ) ブナ稚樹の発生がよく、その他の稚樹は少ないかもしくはかなりある、
- の3タイプがみられた。これらを局別にみると

(イ) は青森局7署、秋田局1署、前橋局2署である、

(ロ) のタイプは青森局4署、秋田局7署、前橋局では4署であった、

(ハ) は青森局で6署、秋田局4署、前橋局は3署であった。

(2) 平均植生高以下の稚樹：青森署では昭和54、55年に施業が行われ、すでに10年以上の年月を経ているが、平均植生高以上の稚樹は少なく、それ以下の稚樹が極めて多い。これらの稚樹の樹齢が測定されていないので、正確にはいえないが、これらの稚樹は施業当時の発生のものは少なく、除草剤散布後に発生した若い稚樹がほとんどである可能性が高い。このことは北駒込山 207い4林小班で40cm未満の稚樹が多いことからも類推される（付表2）。すなわち、昭和58年に除草剤が散布され、翌59年に結実したという好条件に恵まれた結果、昭和54、55年当時のものではない、若い稚樹が多くなったのではないだろうか。これに対し、昭和62年散布の207い17林小班では、やや大きめのサイズの稚樹が多く、稚樹の発生位置も集中しており、稚樹の多い枠の頻度も低かった。

同様に、ブナの豊作年に伐採されたために更新が良かった例として、前橋局の村松署をあげることができる。この例では、伐採が昭和59年10月で、この年は全国的にブナの結実は豊作だったため、ちょうど下種伐を行ったと同じような結果となつた。このように豊作年の秋に伐採されたために更新がうまくいった例は多い。

ブナ稚樹とその他の稚樹の割合：それぞれの調査区の全稚樹数に占めるブナ稚樹の混交割合の頻度を図3に示した。図からブナ稚樹とその他の稚樹の割合はまちまちでブナの割合が20%以下のものも多いことがわかる。青森局の川尻、三戸署を除くと伐採前の林分に

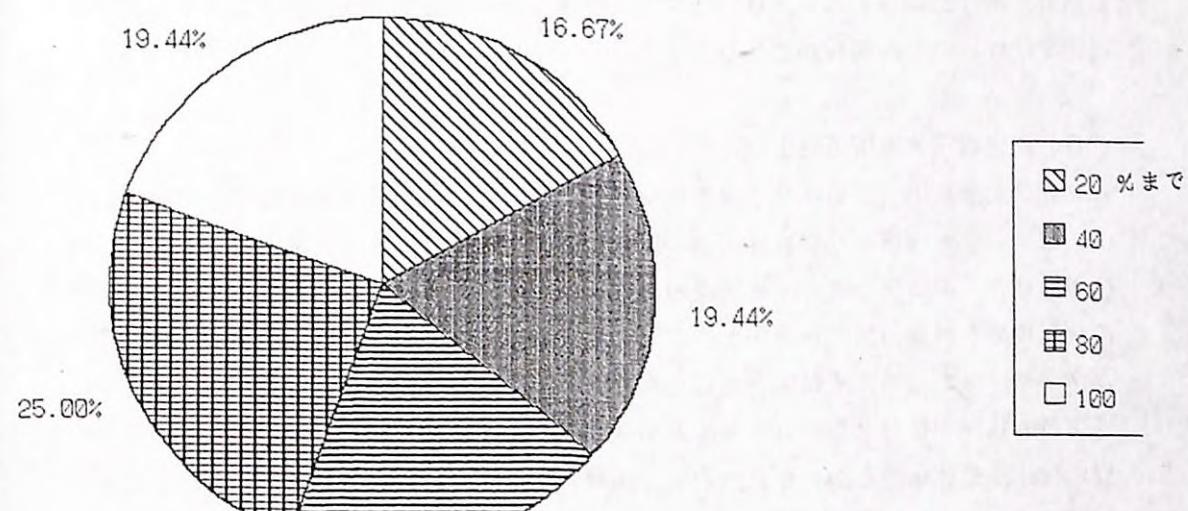


図3 それぞれの調査区の稚樹に占めるブナ稚樹の割合

におけるブナの割合は材積で60%を優に超え、80~90%に近い林分ばかりであったことを考えると、かなりブナの比率が低下している。ブナ稚樹の割合と発生稚樹の総本数との関係は図4のようであった。林分間でバラツキが大きく、その傾向は明確ではないが、発生本数が多いほど、ブナの占める割合が高くなっている。植生遷移の立場からみると、このようにブナ以外の稚樹の発生が多くなることは、ブナ林の環境を強度に破壊し、遷移を初期

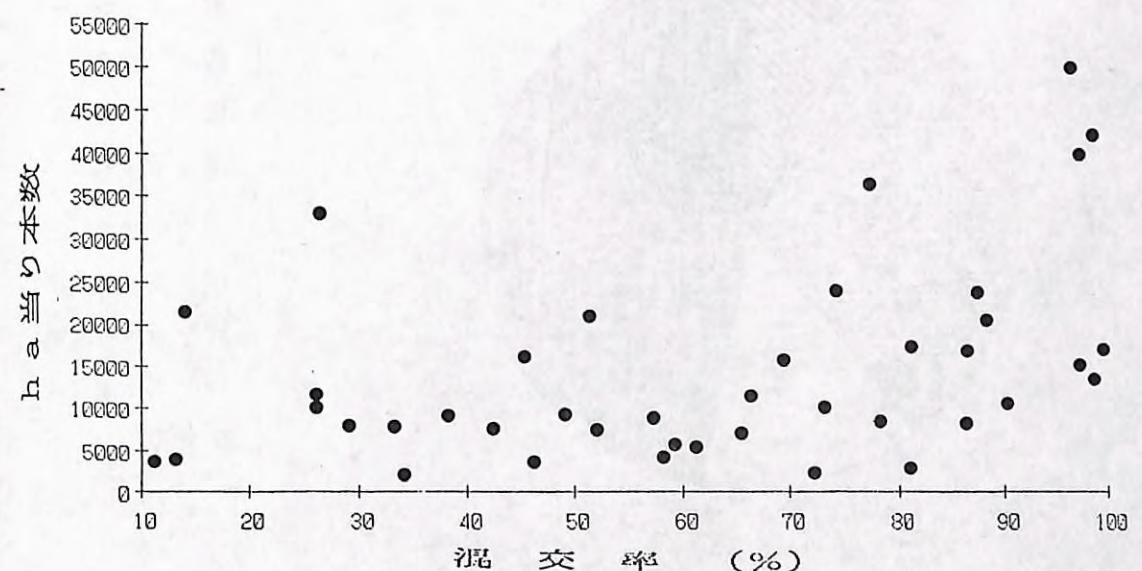


図4 ブナ稚樹の割合と発生稚樹の総本数との関係

の段階に戻ってしまったことになる。しかし一方では、ブナ稚樹の発生が極めてよい林分もあり、条件によってはブナ林からブナを収穫した跡地をブナ林に誘導造成する施業は不可能ではないことが明らかである。

6) 結実状況と稚樹の発生

青森署北駒込山 207い4林小班の稚樹発生に及ぼした地表処理効果はすでに述べたが、他の署における稚樹がない林分の消失原因を付表2~4でみると、無回答は青森局9署、秋田局10署、前橋局6署で、消失原因の確定は困難であったようである。天下II類の成否の判定後のササ類の繁茂が原因とする回答は全局で5署あった。また、母樹不足を指摘した7署や、それに加えて結実と地ごしらえの時期が合わなかつたとする回答が多かった。

更新の状態が良好と思われる署の施業条件を分析してみると、青森局の乙供署では昭和56年伐採、豊作年前年の58年に下刈り、地拵えを行い、59年に豊作を迎えた。一関署30り3林小班では、昭和57年伐採、58年に刈払いを行い、豊作が一年後の59年に訪れた。これに対し31に5林小班では56年伐採、57年に刈払いを行った後2年たって豊作年を迎えた。

前橋局ではブナの発生があまり良くないが、村松署では平均植生高以下の稚樹が35,125本/haになり、ブナの混交率は94%であった。この林分では豊作年の昭和59年10月に伐採が、1年後に刈払いが行われ、59年10月の伐採が下種伐となつた。また搬出方法は明らかでないが、トラクタ集材であった可能性が高く、適度な地表の攪乱が、ササ類の繁茂を抑制したと思われる。

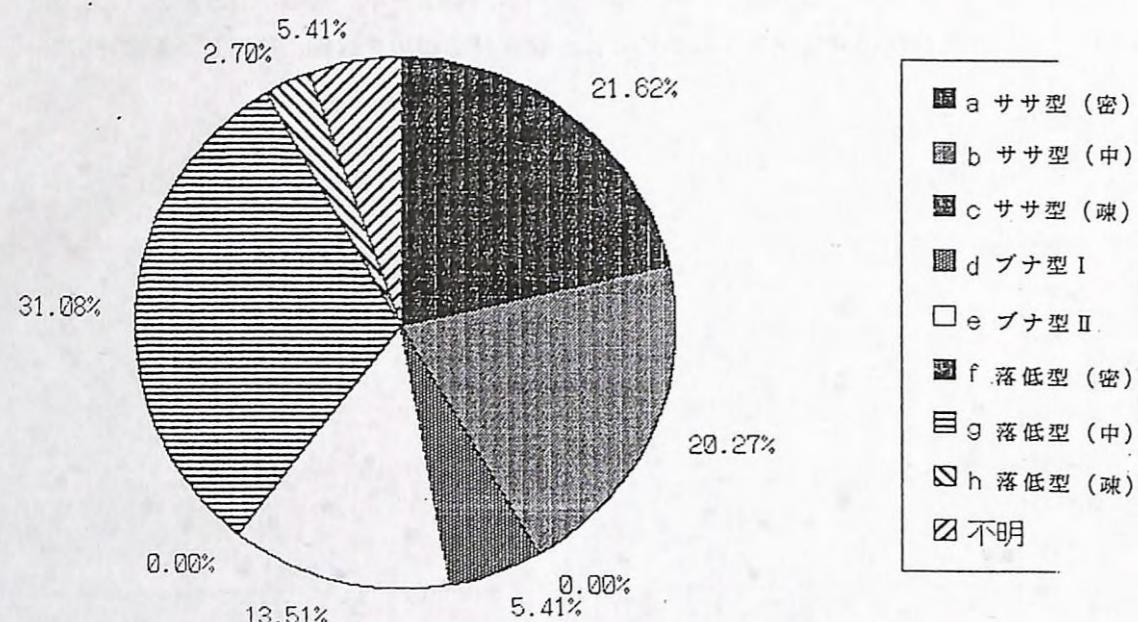


図5 林床植生型の出現頻度

7) 林床植生の状態と稚樹の発生

林床植生型の出現頻度は図5のようになり、ササ型が約42%で最も多く、ついで落葉低木型34%となつてゐた。ブナ型に判定される林床型は、青森局三本木署以外ではみあたらなかつた。局別にみると、青森管内では、17署のうち落低型はわずか2署。秋田局では、14署のうち9署が落低型、前橋局では落低型2署に対しササ型は5署でササ型が圧倒的に多かつた。

8) 更新完了判定

更新不能と判定されたものは前橋局の1署だけであった。ブナ以外の樹種を加えて更新完了としたものは24署でもっと多く、ブナのみで更新が完了したものは12署であった。付表5~10をもとに、それぞれ稚樹の出現する枠数を検討すると図6のようになり、5m×5m枠では頻度50%以下のものが16.7%であった。一方、図3からブナの混交割合が40%以下の枠は36.1%と比較的高く、ブナの更新が十分に行われているかどうかは、さらに検討する必要があつる。

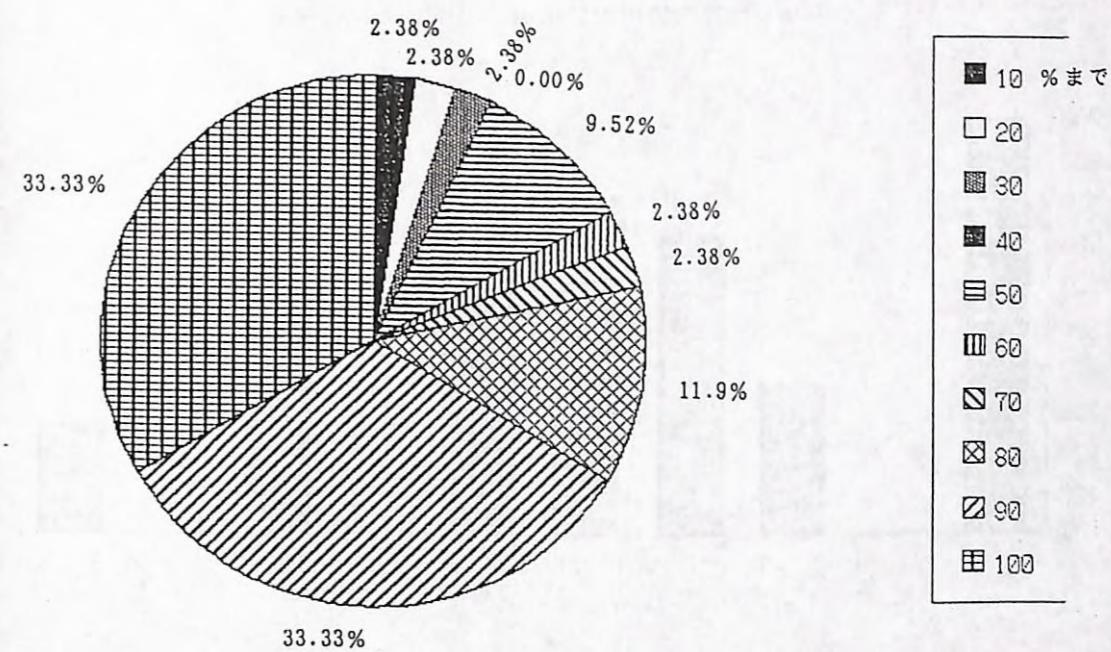


図6 5m×5m枠20箇所に稚樹の出現した枠の頻度

次に2m×2m枠での稚樹の出現頻度(図7)をみると50%以下の枠は13.2%と少なく、出現頻度は高いものが多くなつてゐた。しかし、これらの稚樹の多くは平均草丈よりも低いもので、ササ類に被圧されており、今後これらが更新樹として健全に生育するかどうかの追跡調査が必要であろう。

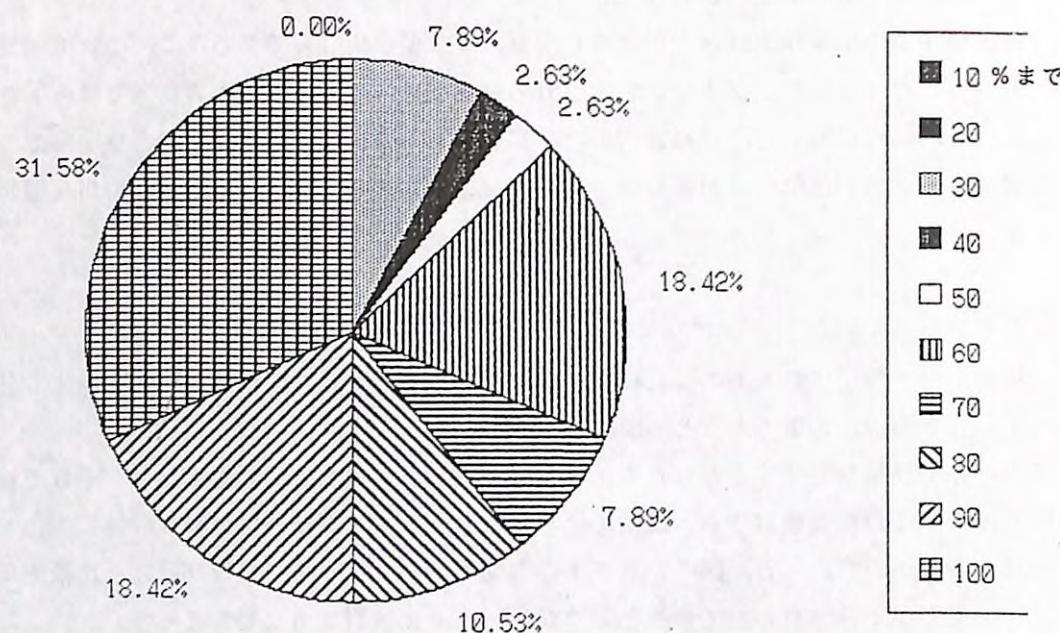


図 7 2m×2m 枠20箇所内に稚樹の出現した枠の頻度



図 8-1 六日町施業指標林における1.3m以上の稚樹（ベルト1）

3. 考察

1) ① 豊作年の秋に伐採が行われると更新が良好である（図8-1, 2の六日町署, 村松署など）。そのような条件に恵まれない所では母樹の不足を指摘した署が多かった。そして、搬出支障木で伐採したり、あるいは枯死したりしたことを母樹が少ない理由としてあげた署が多かった。胸高直径30cm前後の大きさの母樹は、介在木的な成長（優勢なブナ

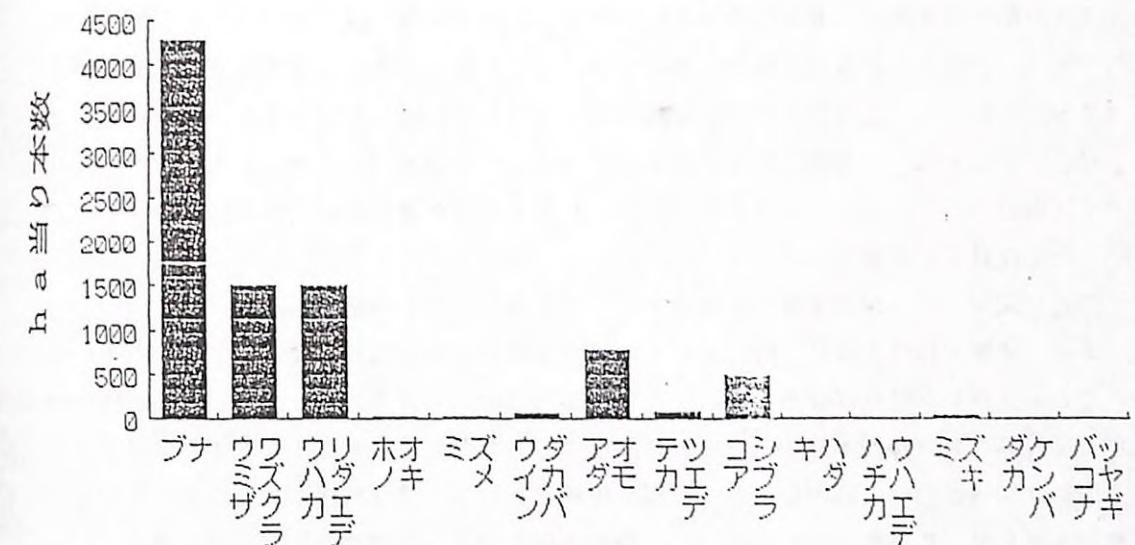


図 8-2 六日町施業指標林における1.3m以上の稚樹（ベルト2）

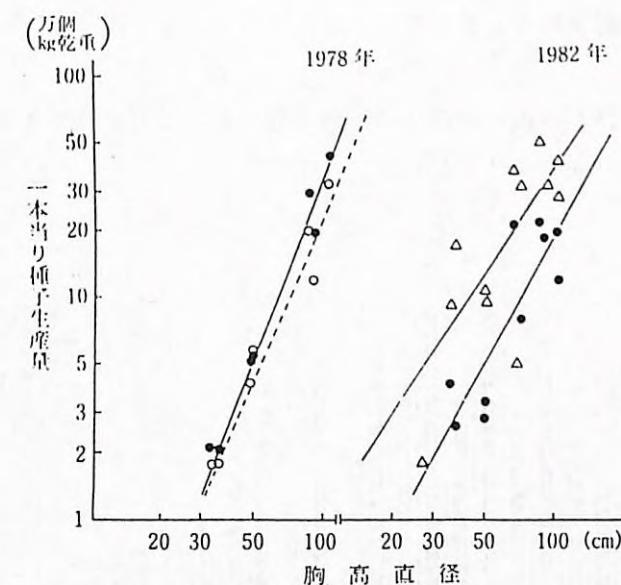


図 9 胸高直径と種子生産量の関係²⁾

大径木の間に挟まれて、貧弱な樹冠を広げた成長しかできない様子をいう)をしてきたものが多く、このような貧弱な樹冠しか持てない立木を孤立木状に存置すると枯死する場合が多い。また、そのような介在木的な成長をしてきた母樹は、樹冠が小さいため結実量が少ない。すなわち、結実量は樹冠の充実して発達した大径木では十分に得られるが、介在木では樹冠が小さいために、図9から明らかなように結実量が指数関数的に減少している²⁾ことに注意する必要がある。

これに関連して、保残母樹の本数決定において留意すべき点を挙げる。

まず、母樹の保残本数は、樹冠より5mまでを種子の有効飛散距離として算定している³⁾ことに注意しなければならない。そして、保残母樹が30数本というのは、胸高直径50cmとして計算された保残本数であることに注意する必要がある。ところが調査結果によると実際には30cm~70cmの範囲における母樹を単純平均して、基準母樹本数算出のための胸高直径を求めている場合が多い(図10)。胸高直径の小さい母樹が多く残された場合には、散布量が小さくなり、散布範囲が著しくせばまる。介在木的な母樹の保残は種子の質、量の面、そして母樹そのものが枯死しやすい欠点をもっているため、これらをいくら集めても、母樹としての役には立たないのである。従って、孤立木状で十分耐えることのできる樹冠の良く発達した母樹を残す必要がある。

2) 不作の年の前後に刈り払い等の更新補助手段を加えても、豊作年を迎えるころには、ササ等が繁茂してしまい効果が薄くなる。

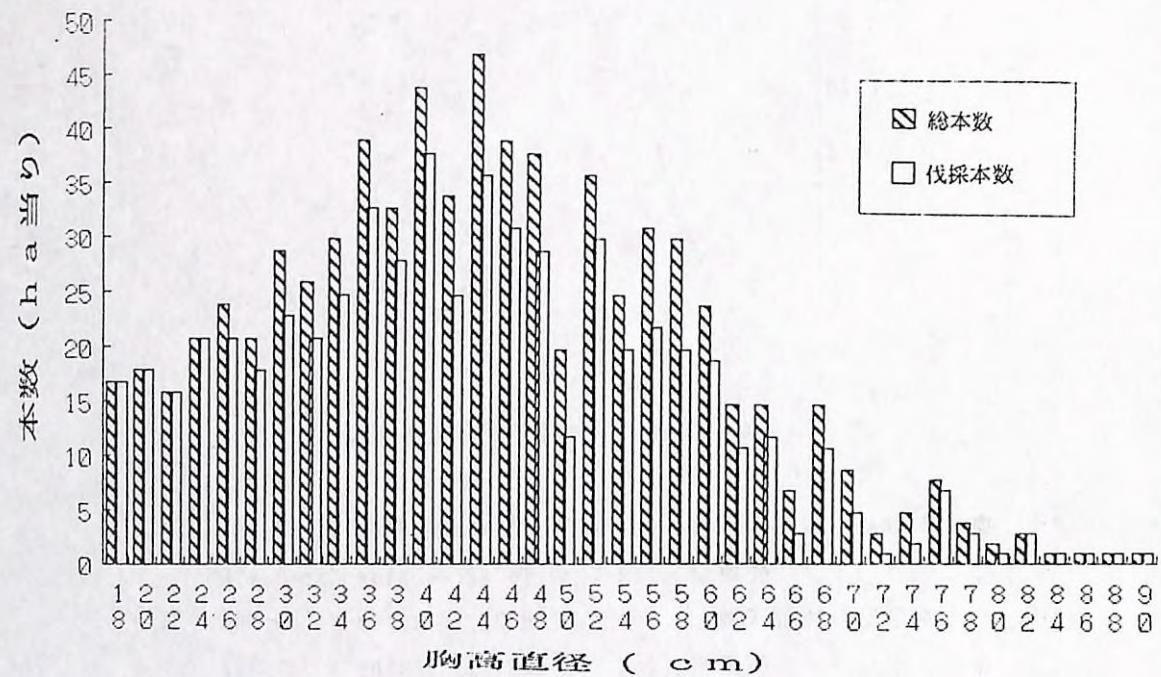


図10 母樹選択の一例

3) ブナの更新がうまくいかない場合には、相対的にその他の樹種の稚樹が多くなるが、絶対数は少ない(図11, 12)。有用広葉樹とは、高木になる樹種から選ばれるのが普通であるが、サクラ類、カエデ類と一括して指定しているためテツカエデ、ウワミズザクラなどの亜高木性のものまでが有用樹となってしまっている。しかし、用材樹種という観点からはこれらを採用すべきではないだろう。また、カンバ類はバイオニア的性質をもつ樹種であり、遷移の初期段階で特に幼齢段階には一斉林を形成しやすいが、その後は単木的に混生する場合が多い。このため大径木生産林分の構成樹種として妥当かどうかの検討が必要である。

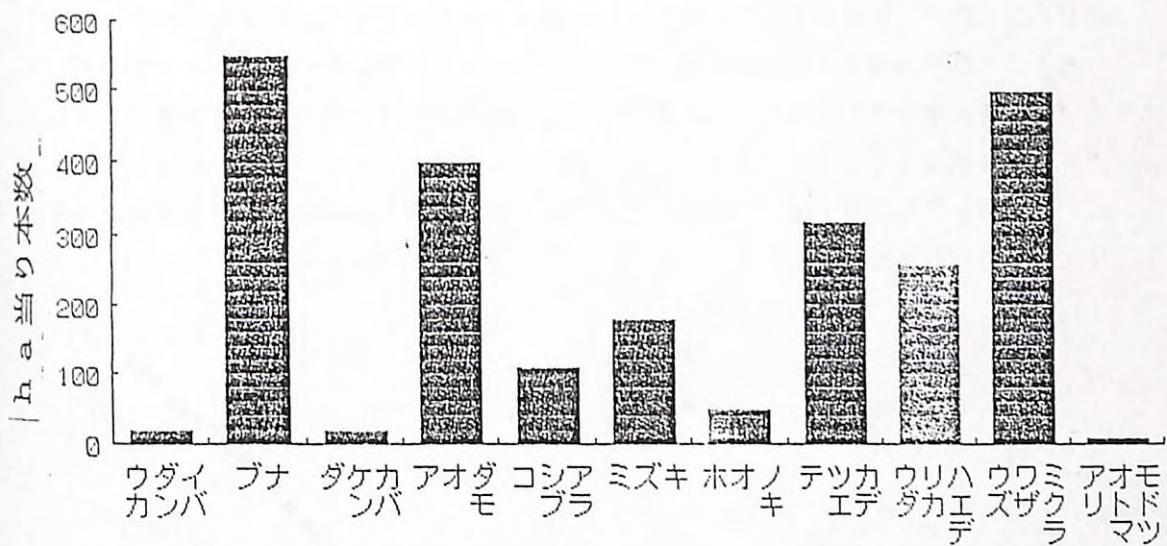


図11 六日町署小松原国有林の1.3m以上の稚樹の内訳

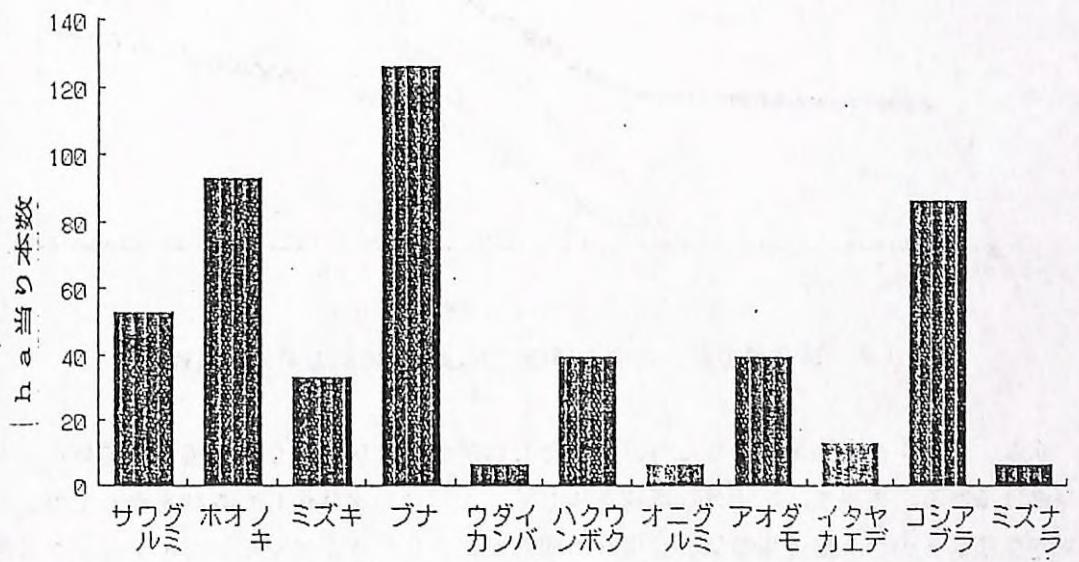


図12 生保内署33ヘ林小班の1.3m以上の稚樹の内訳

4) 剖出し等の効果は、地形に大きく影響されていた。すなわち、やや凸地形の乾燥気味の土壤条件、林床植生としてはリョウブ、アクシバ、スノキ等が出現する場所では稚樹発生がよく、ササ型やシラネワラビ等のシダ類が繁茂する場所では、乾燥地と同じ程度の剖出しでは稚樹発生は不良である。

5) ブナ稚樹の少ない更新地が成林した時の林分構成の例を付表11~14に示した。

前橋局沼田署管内の玉原国有林において現存木の地上50cmの位置から採取した成長錐によるコアによる年輪解析から直径成長経過を調べた結果を図13に示す。成長経過から、約45年ほど以前に伐採がおこなわれたことが推定できる。そして、伐採が行われなかつたベルト2とブナの残存率の高いベルト1以外では、ブナの稚幼樹が少なくテツカエデ、キハダ等の稚幼樹が多くなっている。残されたブナは大径木ではあるが、幹が空洞になり、大きな枝は枯死していた。ベルト1、2を設定した林分は十分にブナ林の形態を保つていてことから、この地方ではブナ林の状態を維持しながら再生を図るのが最も適切な施業方法であったと考えられる。

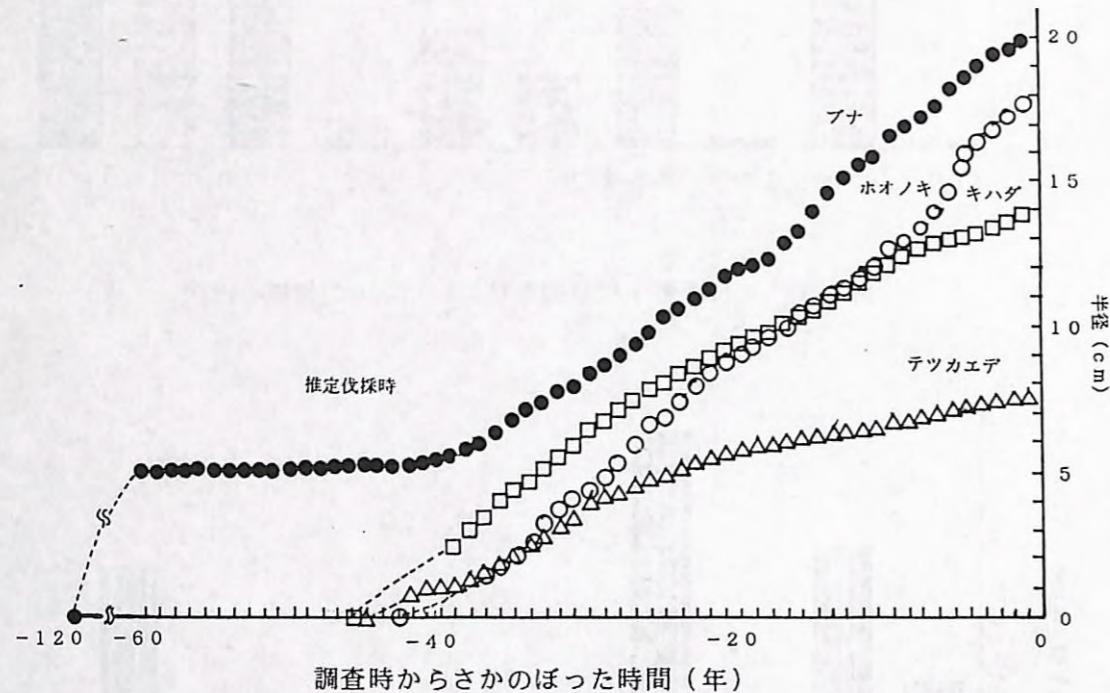


図13 成長錐で調べた地上50cmにおける樹種別の肥大成長経過

また、少なくとも施業を施した林分は、それ以前の林分状態よりも改善されていることが必要である。従って、不十分な母樹を残して、大幅に二次林化した森林を作つてカンバ類を生産するのか、最近生態学の立場から明らかにされてきたギャップダイナミックス理論にもとづく林冠疎開技術を適用して極相樹種による森林の再生と生産を行うのかの検討

が必要である。ギャップダイナミックス理論の林業的応用は、端的にいえば漸伐あるいは傘伐方式の応用である。小面積の更新面を発生させ、下刈りを併用したうえで確実に、極相樹種を更新させるのがこの方法である。このための経費の係り増し分をどう負担するかの検討も必要である。

4. 摘要

ブナ施業を行つてゐる青森、秋田及び前橋の各営林局署における施業方式と更新成果の関係とを把握するため、伐採前作業、伐採後の保育作業の実施状況の情報に現地調査の結果を加えて検討した。その結果明らかになったことは、次のとおりである。

1) 更新未了地の事例と原因

- (1) ブナ稚樹の単位面積当たり現存本数が少ない事例が多い。
- (2) ブナ以外の稚幼樹が優占し、かつこれらの稚幼樹に有用樹の少ない事例が多い。
- (3) 現存するブナ稚樹が他の植生に被圧されている事例が多い。
- (4) ブナ稚樹の分布は、著しく遍在している事例が多い。
- (5) 母樹の本数が少ない事例が多い。

5. 調査項目別のまとめ

1) 更新完了事例について

ブナ稚樹が平均植生高以上に伸長し、かつha当たり3,000本と5,000本以上の二つの基準で現存している事例は

| | 3,000本で | 5,000本で | |
|-----|---------|---------|----|
| 青森局 | 2例 | 青森局 | 1例 |
| 秋田局 | 1例 | 秋田局 | 0例 |
| 前橋局 | 1例 | 前橋局 | 0例 |

2) 更新過程にあると考えられる事例について

更新に必要なブナ稚樹本数(1万本/ha以上)は現存するが、目的樹種以外の植生下にあり、稚樹の生存・伸長がなお不安定な段階にあるものは、

| | |
|-----|----|
| 青森局 | 7例 |
| 秋田局 | 4例 |
| 前橋局 | 1例 |

と、事例中29%を占めていた。

3) 調査区の実態と更新方法

| (1) 林床型 | | 天下I類 | 天下II類 |
|---------|-----|-------|-------|
| ササ型(密) | 16% | 4(事例) | 4(事例) |
| ササ型(中) | 23% | 7 | 2 |
| ササ型(疎) | 1% | 1 | 0 |
| ブナ型 I | 5% | 2 | 0 |
| ブナ型 II | 13% | 0 | 5 |
| 落低型(中) | 33% | 6 | 7 |
| 落低型(疎) | 4% | | 1 |
| 不明 | 5% | | 2 |

ブナ型林床におけるha当たりの稚樹数は

| | |
|--------------------|---|
| 更新完了稚樹1万以上(要刈出し) | 1 |
| ほぼ完了稚樹1万以下5千(要刈出し) | 2 |
| 未了(稚樹5千以下) | 2 |

(2) 伐採前の材積と母樹の状態

| 林分材積 | 母樹不足 | 適正 | 不用 |
|-------------------|-------|-------|-------|
| 100m ³ | 2(事例) | 2(事例) | - |
| 150m ³ | 8 | 5 | 3(事例) |
| 200m ³ | 10 | 7 | 3 |
| 250m ³ | 13 | 9 | 2(事例) |
| 300m ³ | 6 | 2 | 4 |
| 350m ³ | 1 | 1 | - |

母樹不足の原因

| | |
|------------|--------|
| 集材搬出による支障木 | 10(事例) |
| 風倒等による枯死 | 13 |
| 不明 | 2 |

(3) 5m×5mの方形区20区におけるブナ稚樹の出現率の事例数

| (%) | 青森局 | 秋田局 | 前橋局 |
|---------|-------|-------|-------|
| 0 | 2(事例) | 1(事例) | 1(事例) |
| 1 ~ 10 | 2 | 0 | 3 |
| 11 ~ 20 | 4 | 0 | 0 |
| 21 ~ 30 | 1 | 1 | 0 |

| | | | |
|----------|---|---|---|
| 31 ~ 40 | 1 | 2 | 0 |
| 41 ~ 50 | 1 | 3 | 0 |
| 51 ~ 60 | 3 | 2 | 0 |
| 61 ~ 70 | 0 | 2 | 1 |
| 71 ~ 80 | 2 | 1 | 0 |
| 81 ~ 90 | 1 | 1 | 1 |
| 91 ~ 100 | 2 | 2 | 1 |

(4) 2m×2mの方形区20区におけるブナ稚樹出現率事例数

| (%) | 青森局 | 秋田局 | 前橋局 |
|----------|-------|-------|-------|
| 0 | 1(事例) | 0(事例) | 0(事例) |
| 1 ~ 10 | 0 | 0 | 0 |
| 11 ~ 20 | 3 | 0 | 0 |
| 21 ~ 30 | 0 | 3 | 1 |
| 31 ~ 40 | 0 | 1 | 0 |
| 41 ~ 50 | 4 | 3 | 0 |
| 51 ~ 60 | 5 | 1 | 2 |
| 61 ~ 70 | 0 | 1 | 2 |
| 71 ~ 80 | 2 | 4 | 0 |
| 81 ~ 90 | 0 | 0 | 0 |
| 91 ~ 100 | 4 | 2 | 2 |

(5) ブナ稚樹の占める割合(植生高上下共ha当たり換算)

| (%) | 青森局 | 秋田局 | 前橋局 |
|----------|-------|-------|-------|
| 0 | 0(事例) | 0(事例) | 0(事例) |
| 1 ~ 10 | 0 | 0 | 0 |
| 11 ~ 20 | 2 | 1 | 0 |
| 21 ~ 30 | 1 | 3 | 0 |
| 31 ~ 40 | 0 | 1 | 1 |
| 41 ~ 50 | 2 | 2 | 0 |
| 51 ~ 60 | 3 | 1 | 1 |
| 61 ~ 70 | 1 | 0 | 3 |
| 71 ~ 80 | 2 | 3 | 0 |
| 81 ~ 90 | 5 | 2 | 0 |
| 91 ~ 100 | 3 | 2 | 1 |

(6) ブナ稚樹の少ない原因

| 原因 | 青森局 | 秋田局 | 前橋局 |
|-------------|-----|-----|-----|
| a ササの繁茂 | 4 | 2 | 1 |
| b 地拵えと結実不一致 | 3 | | |
| c 集材等による欠損 | | | |
| d 母樹の不足 | 9 | 12 | 4 |

(7) 更新の可能性

| 区分 | 青森局 | 秋田局 | 前橋局 |
|----------------|-----|-----|-----|
| a 更新可能 | 9 | 5 | 1 |
| b ブナ以外の樹種を併せ可能 | 10 | 10 | 5 |
| c 不可能 | | | 1 |

(8) 更新優良地と施業時期との関係

| | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|
| a 結実年の秋伐採（下種伐） | 1 | 1 (2) | 1 (2) |
| b 伐採後の更新補助作業の効果 | 4 (1) | 0 | 0 |
| c 伐採前の放牧、薪炭林施業 | 4 | 1 | 0 |

▽ ブナ二次林の成長解析

1. はじめに

ブナの天然更新に関する研究は、その成果を得るために長時間をする。そのため、すでに成林しているブナ二次林の成立経過の検討を行うことは、より短い時間で効果的な天然更新技術の情報を得るために有効な方法である。本項では、このような見地から、昭和20年代に行われたブナ林の樹種更改試験地に成立したブナ二次林の構造と、それをもたらした要因について整理し、あわせて間伐試験地設定のために伐倒された供試木をもとに樹形、枝の付き方、節解析等を行い、ブナ林の更新初期に必要な成立本数等について検討した。

2. 調査地と方法

調査地は、六日町営林署管内の新潟県南魚沼郡湯沢町大字三俣字苗場山国有林26は林小班及び27は林小班にある昭和27年に設定された樹種更改試験地である。戦前から行われていた一般的なブナ林施業としての択伐施業の成績が思わしくないため、昭和20年代にはスギ、カラマツ、アオモリトドマツ等、更新が確実で成長の早い針葉樹を造林する気運が高まっていた（図14）。この試験地の設定目的はこのような背景の下に、ブナの択伐施業地

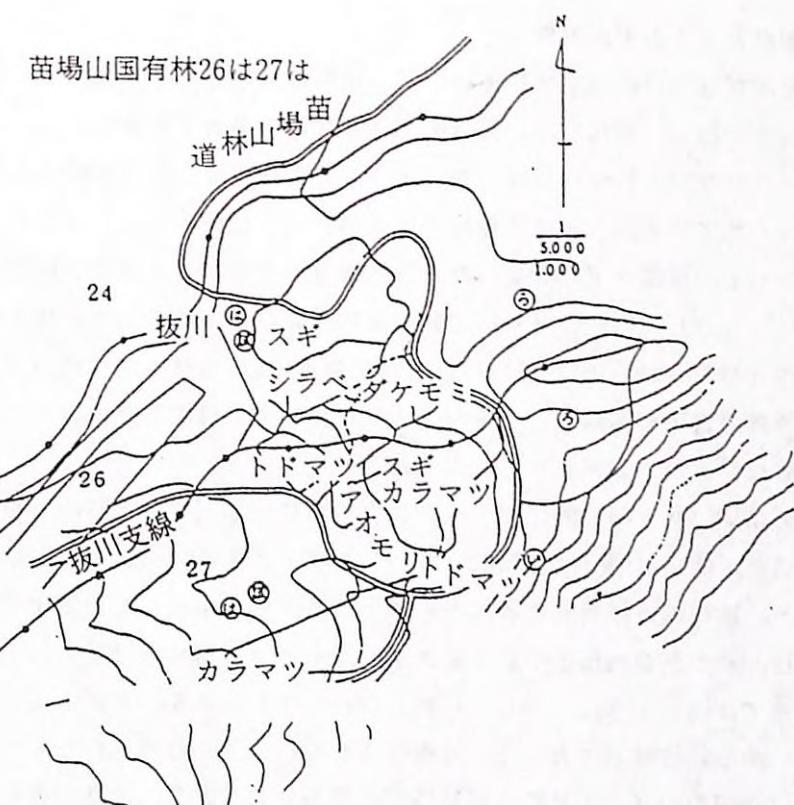


図14 苗場山樹種更改試験地の調査地の位置と植栽樹種

を皆伐し、その跡地の造林に適した樹種を見い出すことに置かれたのである。そして、この試験地の初期の報告は更新樹種の成績を中心に行われていた⁴⁾。しかし、この試験地における人工更新試験の成績は4mを越す豪雪のため不良で、一部がブナの良好な更新地となっている。このようなブナの更新成績について、すでに前田ほか（1971）は、針葉樹造林に伴って行われた下刈り等の保育が、侵入した、あるいは前生のブナによる更新に有益であったことを明らかにした。

ここでは、これらの断片的な既存文献を収集し、ブナの更新をもたらした原因を詳細に検討した。そのため、まず現存のブナ林の樹高、胸高直径を毎木調査した。ついで、ブナの成長経過を解析するために、間伐木から大小8本の供試木を選び伐倒した。それを幹の根際から20cmごとに切断し、それぞれ節跡を確認し、その数を記録した。生枝のついている樹冠内部では、枝の付いている位置と角度、長さを測定した。枝解析は、節、枝跡を確認し、枝の発生した時が確認できるように、垂直に幹の中心まで削って枝の巻き込み、樹芯と枝の角度、枝の分岐位置と枝の巻き込みに伴って樹皮に生ずる模様、いわゆる中国人のヒゲ⁵⁾の位置との関係を調査した。

3. 結果と考察

1) 施業履歴とブナの更新実態

この樹種更改試験の目的はすでに述べたが、試験地の履歴⁴⁾は、昭和21～23年に60～70%の択伐を雪上で行い、昭和27年に図14のような樹種をそれぞれ造林した。その後、残存していたブナを昭和31～32年に伐採した。下刈り等の保育は、造林当時から昭和34年まで毎年8年間行われている。ブナの稚樹は、天然林状態では発生してもほとんど枯死してしまい後継樹としての役割が果たせないが、ある程度の抜き伐りを行うと稚樹の生き残り率が高くなる⁶⁾。しかし、同時にササ等の競争植物も繁茂してくるので、抜き伐りだけでは更新を成功させることができない^{6), 7)}。この試験地では、造林木の保育のために下刈りが行われ、ササ類の繁茂を抑制した。下刈りのたびにブナの稚樹も刈払われていたが、下刈り終了とともにブナが萌芽再生したものである。

年輪解析の結果、ブナの樹齢は28年～34年生であり、下刈り終了時の時からの年数とほぼ一致していた。前田ほか⁶⁾は結果的に成功したブナの更新について、刈払い効果のみを述べているが、現在の樹種更改試験地をみると、前田らが指摘しているようなみごとなブナの更新地は、やや凸型地形に位置するアオモリトドマツ造林地付近だけであった。それ以外の造林地では同じように下刈りが行われたにもかかわらず、更新はよくなかった。

このようにやや乾燥地形において、母樹保残を行い、下刈り等を行うとブナの更新がよくなることは苗場山のブナ天然更新試験地でも観察されており、東北地方に多いブナ二次林が、火山裾野のようなやや乾燥気味の緩斜面でみられることと一致していた。

造林された針葉樹のうちでは、スギはもっとも造林成績がよく、枯死するものは少なかつた⁴⁾。そのためブナ稚樹はスギに被

圧され枯死してしまった可能性もある。なお、スギの生き残り率は高いが、形質は極めて悪く経済林としては期待できない。その他の樹種は造林木さえも枯死してしまい積雪期にみると、ブナの更新地以外は雪に埋もれるような低木林となっている。

2) 胸高直径別の樹高分布

広葉樹林の育成では、形質をよくするために、更新初期の密度は高いほどよいとされているが、そのためせっかくの稚樹が共倒れになることが心配される。この試験地では1969年に約3万8千本/ha存在した稚樹が、1988年の秋には2万4千本/haに減少し、樹高の幅は著しく広がっ

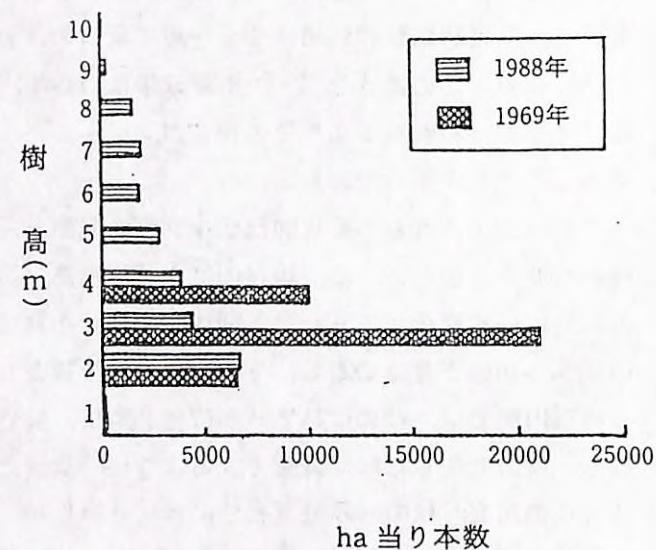


図15 1969年と1989年の樹高分布

ていた（図15）。このことから稚樹の段階で同じような高さであっても、いずれ優劣がついてくる⁵⁾ことが確認できた。

このような優劣関係をさらにくわしく検討するために間伐前後の胸高直径別の樹高分布を図16に示した。図から明らかなように、総本数の80%以上は樹高5m以下のものであった。

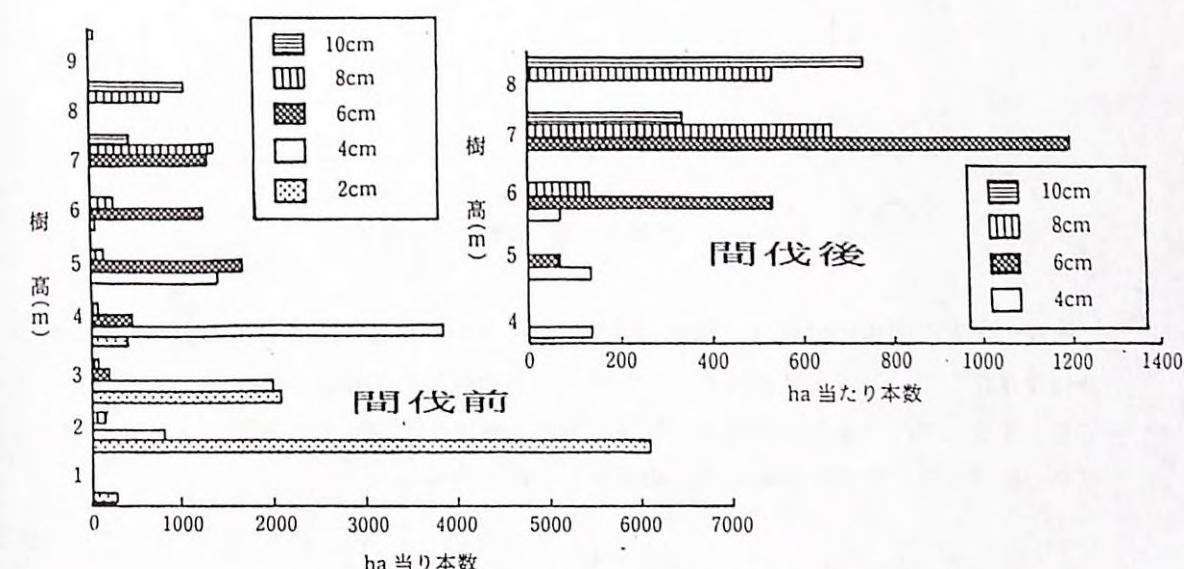


図16 間伐前後の胸高直径の大きさ別樹高分布

とりわけ胸高直径2cmで樹高2mの稚樹が約6000本/haも含まれていたのが目立つ。これは針葉樹の造林にあたり、下刈りが頻繁に行われたために、下刈り終了後に再生してきた個体が多かったためと思われる。

現存林分は、すでに明確な優劣差がついており、間伐区の保残木はいずれも胸高直径6cm以上、樹高6m以上のものでha当たり約4千5百本であった。今後の課題として、更新の初期からこのような少ない本数であっても形質のよいブナ林となるかどうかの検討が必要である。

3) 樹形と枝の付き方

供試木の樹形と枝の付き方を図17に示した。供試木の樹高の最高は約8mであった。枝下高は樹高の小さな個体では約3m、大きな個体では4～5mとなっていた。しかし、林縁で成長した個体（イ）では枝が片枝であった。この他にも林縁の個体は片枝と枝下高が低いものが多く、下部の枝は太くなっていた。高さごとの節跡の様子は、2m以下ではほとんどが巻き込まれ、痕跡が認められるだけであった。樹高生枝に近い3～5m付近では、まだ完全に巻き込まれた枝は少なく、1.5～2cm以上の比較的太いものが多くなっていた。

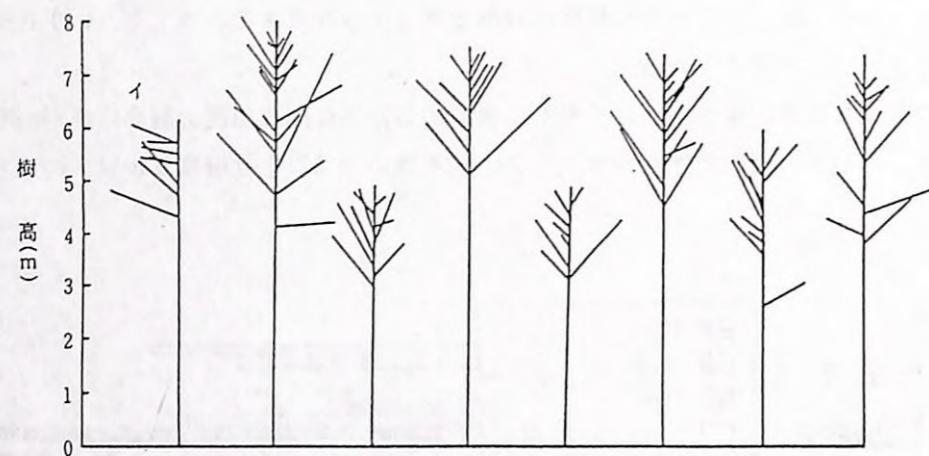


図17 供試木の枝の付き方の模式図

樹高の大きな個体の生枝は、樹冠上部の1m位がやや小さく、その下部に力枝層が約2m程度存在していた。下枝の枯れ上りは、この力枝層の閉鎖による下部の光不足によって発生するので、今後力枝の成長の経過を密度を追えて調査することで、より具体的な枝下高の発達と節の巻き込みについての推定が可能となろう。

4) 中国人のヒゲと節、枝との関係

中国人のヒゲは、広葉樹類でも比較的樹皮の平滑なブナ、ケヤキ、カンバ類等に認められ、枝が幹に対して鈍角に出ると横に広がったカイゼルヒゲのようになり、鋭角に出ると狭い、いかにも中国人のヒゲのようになる。鋭角に出た枝は巻き込みに時間がかかり、極端な場合には入り皮となって材質を低下させる。従って、広葉樹の育種の盛んなデンマーク等では、中国人のヒゲを観察することで好ましい個体の選抜を行っているという⁵⁾。

このような中国人のヒゲと枝の分岐角、枯死枝の長さ及び太さとの関係を調べた(図18)ところ、ヒゲの始まりは枝の発生地点の位置と一致していた。ブナの場合、分岐角とヒゲの長さにはあまり関係がなく、太さや枯死までの長さに関係があった。すなわち、巻き込みに時間がかかると、その間はヒゲが形成される。従って、枝が成長している間はヒゲは長くなり、枝が枯死して完全に巻き込みが完了した時点で、それが止まることになる。この結果、中国人のヒゲは、巻き込まれた節の状態をよく表現していることが明らかとなつた。今後、ヒゲの長さと節の状態、外形から観察されるヒゲの長さ等と材質との関係が研究されることで、ヒゲの状態から材質の判定が可能になると思われる。

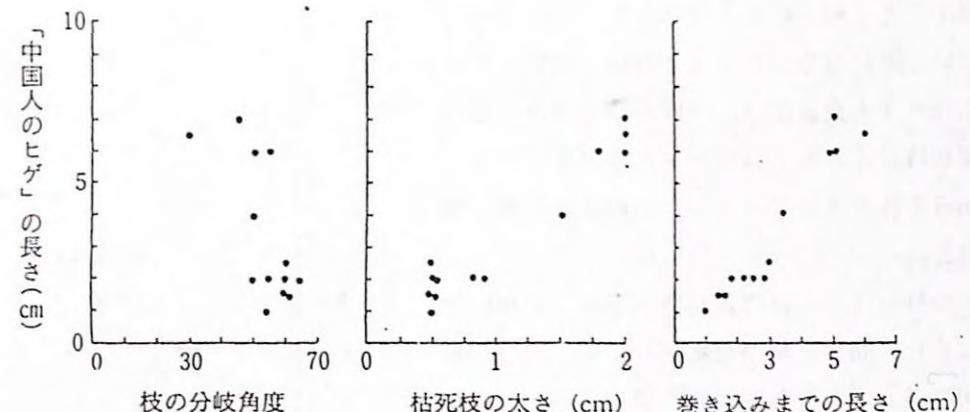


図18 「中国人のヒゲ」の長さと枝の分岐角度、太さ、巻き込みまでの長さの関係

5) 枝の巻き込み年数と残枝径、残枝長

枝の巻き込み年数と残枝径、残枝長とそれらの積との関係を図19に示した。

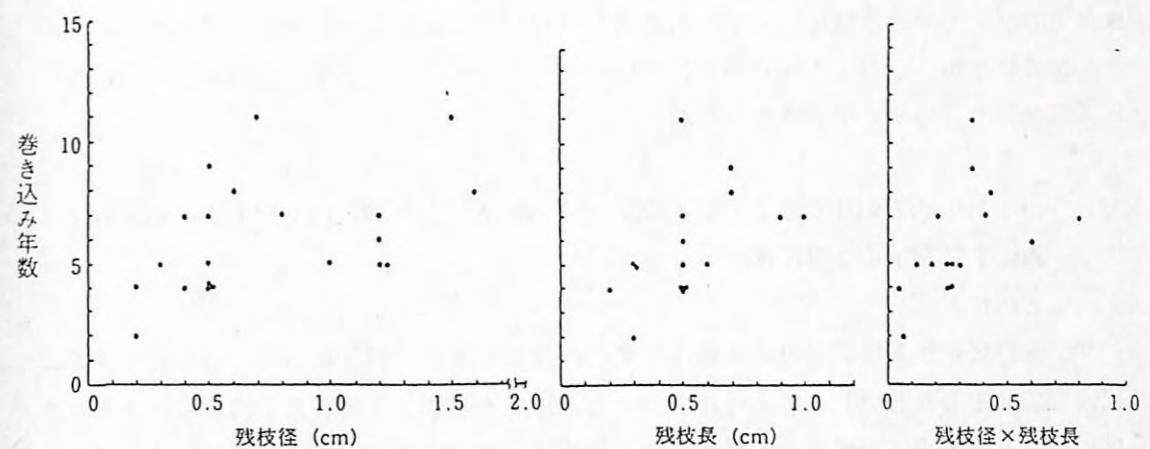


図19 巣き込み年数と残枝径、残枝長、残枝径×残枝長の関係

針葉樹と同じように、それぞれの数値が大きくなると巣き込み年数が多くなっていた。残枝径が1cm以下でも、巣き込みに10年以上かかっているものもあったが、これらは残枝長が長くなっている場合が多かった。なお、2cm以上の枝は、まだ完全に巣き込まれていないために、図には示されていない。

枝の巣き込み後、材の利用部分をできるだけ大きくするためには、枝の小さいうちに巣き込みを完了しておく必要がある。枝の巣き込み径の大きさは、2~3cm程度までは、幹腐れ等の被害が小さいと推定されたが、この程度の枝を付ける幹の太さは図20に示されているように、直徑で6~8cm程度であった。採材部位を、定尺である2.1mの3ないし4倍とすると6.5~8.4mに安全率をみた7~9m程度の枝下高の範囲が、幹の太さ6~8cm

程度のうちに枝が枯れ上げられていなければならぬことになる。このような枝の枯れ上がりをもたらす本数密度は、今回の調査林分のように更新時に4万本/ha以上あれば可能性が高く、樹高8m程度までは4千本/ha程度は必要と思われる。

この林分は、六日町営林署により、昭和63年秋に新たに間伐試験が設定されたが、図18で明らかのように、まだ期待する枝下高よりは2~4m程度低い状態にある。デンマークでは、地位上のブナ林の間伐開始時期を樹齢で20年、平均樹高で7.5mとしている⁵⁾。この試験地では、上層木の樹高がほぼデンマークの時期に類似した間伐が行われたことになる。

我が国のブナの間伐試験は、すでに樹高成長が頭打ち壮齢になった林分を対象としていることが多いため、このような若齢期に間伐が行われた林分が、今後、どのように閉鎖し、枝下高を長くしてゆくか興味がもたれる。

VI 山地苗畑における育苗とブナ山引き苗植裁技術の開発

1. はじめに

ブナ天然更新施業地における更新未了地は、母樹の不足、刈り払いなどの保育不足等に起因して発生したと思われるものが多かった。母樹不足による更新未了地では、下刈りを併用して風散布種子の侵入を期待するか、植裁によらなければ更新を完了することができない。植樹造林による場合には、あらかじめ育苗した苗木か山引き苗を利用できる。しかしながら、ブナ林では、苗畑と植裁地の距離が離れており、植物季節の違いから植裁後の活着が困難である。片岡⁸⁾はこれらの問題を解決するために低温貯蔵法を開発したが、設備など経費的な問題が多い。そこでここでは、残存する母樹を利用して山床における簡易育苗法の開発と、山引き苗の利用法を検討した。

2. 調査地と方法

調査は名古屋営林局富山営林署管内ブナ坂国有林及び前橋営林局六日町営林署管内苗場山国有林において行った。すなわち、富山営林署管内では林道周辺に天然更新した約16年生のブナを1m²に一本当て植え付けた。供試苗は、大きなものは3mを越えていたが大部分は1m~2mの範囲の大きさであった(図21)。植え付けは梅雨時の7月と10月下旬

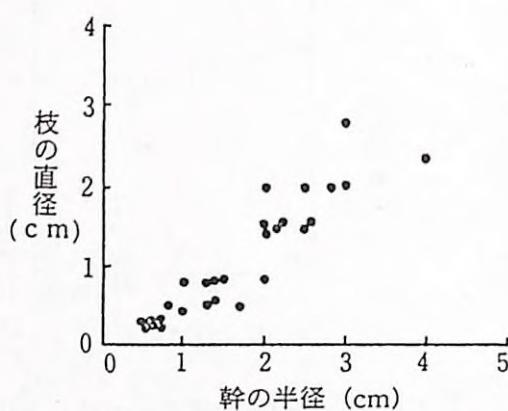


図20 幹の半径とそれにもつとも近い枝の直径との関係

旬の秋植えの二つによってそれぞれの活着の違いについて検討した。

健全な山引き苗を育成するために、簡易苗畑としてそれぞれの調査地において行われた

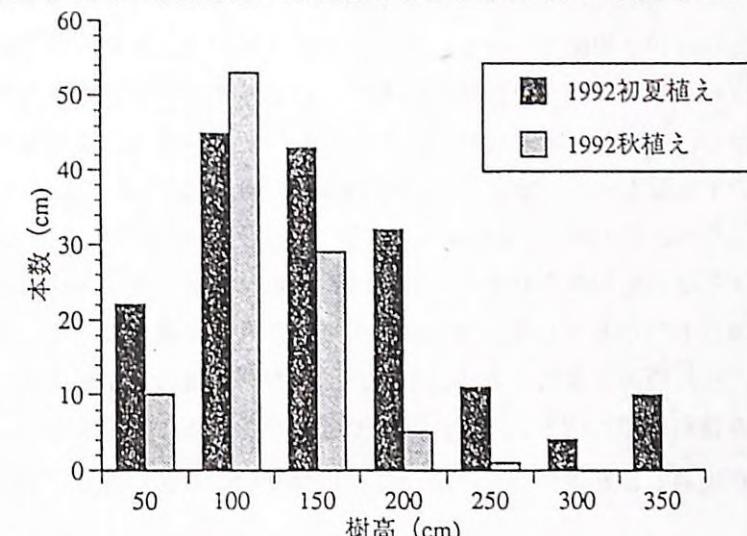


図21 供試苗木の樹高の頻度分布

ブナ天然更新施業地、あるいは林冠疎開により孤立したブナ母樹の周囲を刈り払い、発生した稚樹の定着と成長促進の可能性を検討した。また、山引き苗の利用は、健全で移植に耐えるものでなければならないが、そのような稚樹を一般的なブナ林で得るのは困難である。そこで豊作時に多量に発生する稚樹の育苗を試みた。すなわち林冠下に生き残っている2年生のブナ稚樹を苗畑に移植し活着及び育苗の可能性を検討した。

3. 結果と考察

1) 山引き苗の植裁

山引き苗植裁の問題点は、苗木の確保、植裁時の大きさ、植裁時期の三つにしばられる。苗木の確保については、山床を利用した苗木養成を行うことで解決の糸口が得られた。植裁時の苗木の大きさは、植裁する場所の状態すなわち林道に近い、大型のササ類が繁茂する場合には大苗が必要であるが、その後の管理などについては不明な点が多い。ここでは時間的な制約から植裁時期と苗木の大きさ別の枯死率を検討した。

供試した苗木の樹高分布は、初夏植えの方がやや大きな個体が多かった(図21)。

また、林道縁に密生していたため徒長気味で、

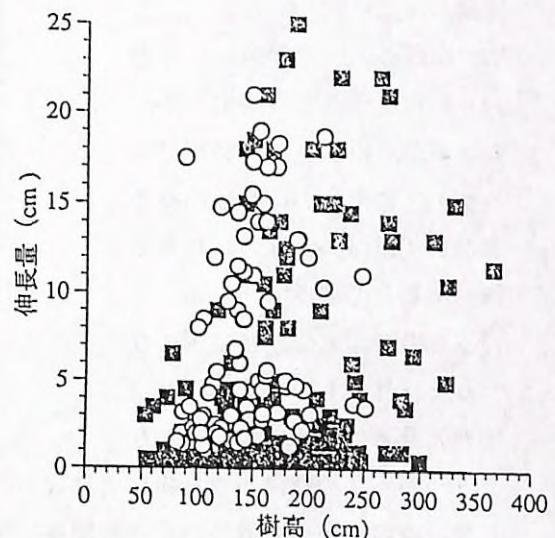


図22 供試苗木の樹高と伸長量の関係

■；初夏植え、○；秋植え。一部優勢木以外は5cm以下の伸長量で競争から脱落。

成長が衰え始めているものが多かった(図22)。根は比較的浅くスコップと鍬による堀取りは容易であった。堀取った苗木は乾燥に注意し、苗木袋に入れて運搬し直ちに植栽した。運搬に要した時間は10分程度であった。当日の天候は曇ときどき雨模様で植栽に適していた。植栽本数は初夏植え158本、秋植え98本で、初夏植えの枯損本数は1992年の秋の時点で19本12%を示し、1993年6月の段階では24本であった。秋植えでは1993年6月現在枯死した個体は確認できなかった。大きさ別の枯損は100cm以下で6本、100~150cmでは4本、150~200cmでは5本、200cm以上でも4本で、特定の大きさに集中することはなかった。

山引き苗によるブナの植樹造林では、古くは函館営林支局七飯苗畑のガルトネルブナ林、新潟県松之山地方の例などがある。しかしながら、これらの報告はすでに成林したブナ林の例であって、植栽時の具体的な方法は明らかではない。最近の山引き苗の堀取り、植栽の報告には青森営林局での例があつて、堀取りは容易で乾燥に注意すれば、本報のように比較的活着率が高いとされている⁹⁾。従つて、健全な山引き苗が存在すれば利用価値は高いといえよう。

2) 簡易苗畑による育苗

1991年発生の稚樹の消長を百分率で図23に示す。

閉鎖された林内においては、結実の都度発生する稚樹は、その年のうちか発生後数年以内にはほとんど枯死してしまう。上木が閉鎖している状態で林床の刈り払いを行うとやや生存率が高まるが、山引き苗に利用できるサイズにまでの成長は期待できない(図24)。林内、林外で調べた生育の途中で刈り払いを行った場合のものと雑草木のなかった林外のもの、樹高と当年伸長量との関係は図25の通り

であった。この結果から母樹林の林縁や母樹の周辺を刈り払い、簡易な保育を実施することで、稚樹の確保と成長の促進が期待できることが明らかにされた。こうした簡易苗畑での育苗による山引き苗に類似した苗木の確保によって、ブナの植栽時の植物季節の違い、豊凶による苗木確保の困難さなどが解消でき、更新未了地の植樹造林のための実用価値は非常に高い。

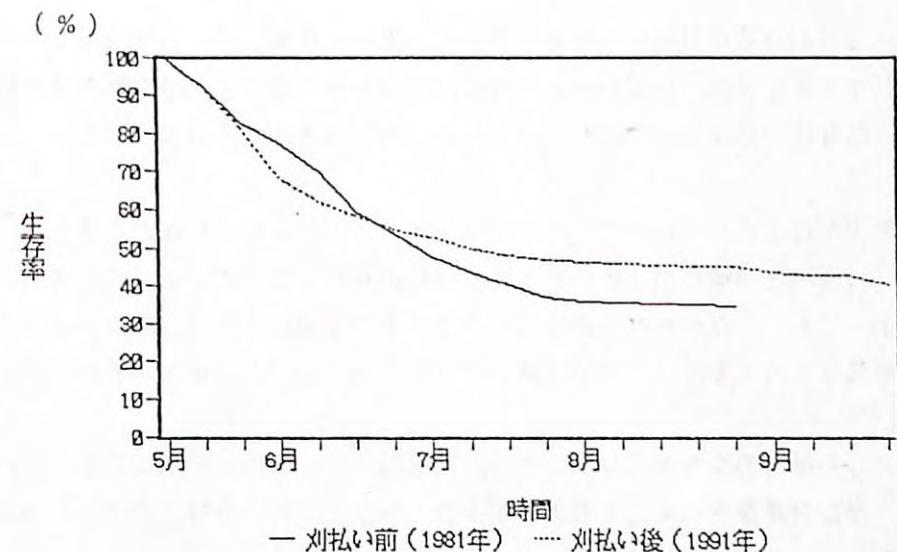


図24 苗場山試験地の刈り払い前後の稚樹の生存率の違い

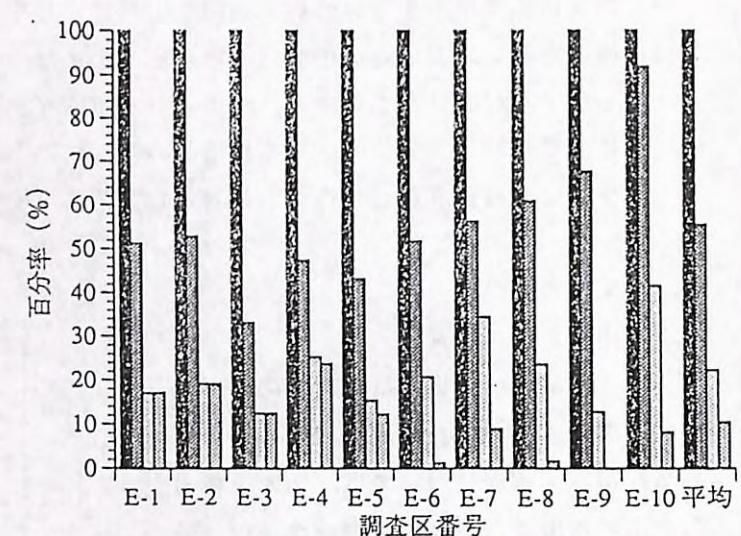


図23 1991年発生の稚樹の消長

棒グラフは左から1991年初夏、1991年秋、1992年初夏、1992年秋を示す。

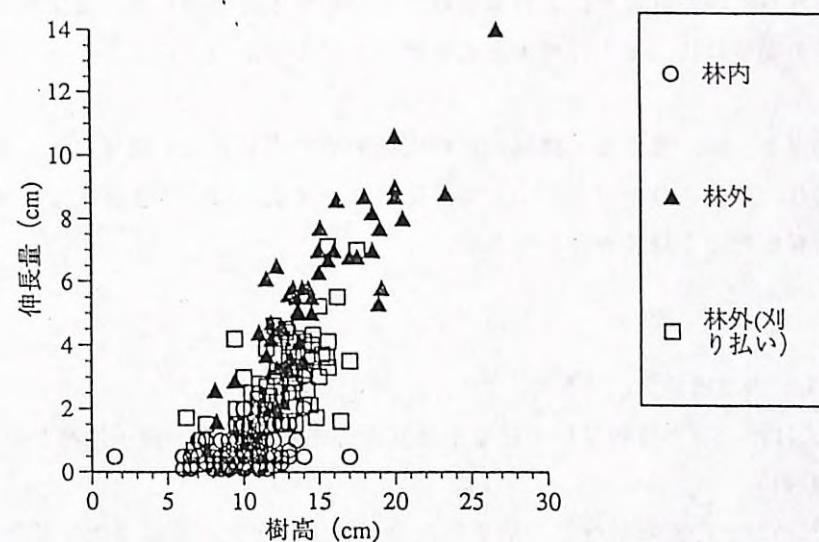


図25 処理別の2年生稚樹の樹高と伸長量の関係

VII 天然更新未了地の当面の対応

1. “ブナ林の再現”を原則とし、ブナが優占する森林を期待している更新未了地のいくつかには、ブナ以外の他の植生の占める割合が高くなつて例がある。しかしながらササなどの植生下にブナ稚樹が温存されている林分では、下刈あるいは刈出しでそれらの稚樹を活性化することにより、ブナによる更新が期待できる。この場合の基本的な作業手順は、

ブナ稚樹の周辺における相対照度を高めるために、稚樹を被覆している他の植生の刈り払いを行うことが主体となる。ただしブナ以外の、とりわけ萌芽力の旺盛な低木性樹種の多い箇所では、萌芽枝の繁茂状況に応じて、刈り払いを反復実施する必要がある。

2. 健全な母樹が規定通りに残っている更新未了地では、ササ類の繁茂が更新を阻害しているので^{6), 7)}、1. と同様に刈り払いによって稚樹の定着を促進できる。この場合には残存稚樹を刈払っても、刈り払われた個体は萌芽できるので問題はない。母樹の周辺の刈り払いによる簡易な地拵えで、山引き苗を植え付けて育成することを併用するのが望ましい。

3. 更新当初から母樹の本数が少なかったり、樹冠幅が狭く全面に種子の散布が期待できない場合や、母樹自体が老朽化して着果量が少なくなり、更新が良好に進まない場所については、必要に応じ稚樹の密生箇所等から山引き苗を採取し植栽することが必要である。山引き苗や、簡易苗畑で育苗した健全苗木は、根の乾燥を防止できさえすれば活着率が高く、更新補助手段としてきわめて有効である。この場合、ササ生地など林床植生の豊富な場所では筋刈り、坪刈りなどにより植栽地点を整備する必要がある。植生高を越える大苗を植え付ける場合には、植え付け場所の整地のみで十分活着できる。

4. 植栽に当たって、更新面と機械の行動面路網を考慮した大型機械による植栽地の整地は有効であり、改良されたバックホーで攪乱された地表には、さまざまな樹種の天然更新が可能で更新樹種の多様性も高められる。

引用文献

- (1) 谷本丈夫: 広葉樹施業の生態学, 245pp, 創文, 東京(1990)
- (2) 橋詰隼人ほか: ブナ採種林における生殖器官の生産と散布—種子生産と散布, 烏大農研報36(1984)
- (3) 前田禎三: ブナの更新特性と天然更新技術に関する研究, 宇都宮大学農学部学術報告特さん, 46, 79pp(1988)
- (4) 小倉七郎: 前橋営林局造林技術研究集録, 178~184(1955)
- (5) 近藤 助: 潤葉樹用材林作業, 朝倉書店(1951)
- (6) 前田禎三・宮川 清: 新しい天然更新技術, 210~211(1971)
- (7) 谷本丈夫ほか: 94回日林論(1983)
- (8) 片岡寛純: ブナの植樹造林について, 森林科学No.2, 39~48(1991)
- (9) 熊谷進一: ブナ稚樹の植え込み箇所の生育度, 第44回業務研究発表収録青森営林局(1990)

付表-1 ブナ天然更新施業地の更新実態調査票

| <p>(1) 昭和 ①年 ②月 ③日調査</p> <p>(2) 調査地 ① 営林署 ② 国有林 ③ 林小班</p> <p>(3) 調査林分面積 ① ha ② 伐採年月日 昭和 ③年 ④月 ⑤日</p> <p>(4) 施業前の林況</p> <p>1 林床植生 a ササ型(密) b ササ型(中) c ササ型(疎) d ブナ型I e ブナ型II f 落低型(密) g 落低型(中) h 落低型(疎)</p> <p>2 立木の樹高範囲 ① m ~ ② m 平均 ③ m</p> <p>3 立木の胸高直径範囲 ① cm ~ ② cm 平均 ③ cm</p> <p>4 林分材積 ① m³/ha</p> <p>(5) 施業方法と判定基準</p> <p>1 更新種 a 天下I類 b 天下II類</p> <p>2 更新種の決定 a 局の決定 b aを署, 担当区で修正 c 署, 担当区の決定</p> <p>(6) 伐採の事業実行形態</p> <p>a 直営生産 b 諸負生産 c 立木処分</p> <p>(7) 天I処理の方法 実行年度を記入</p> | | | | | | | | | | 項目 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|-------|------|----|----|----|----|----|----------------------------|-------|----|-------|----|----|------|----|------|-------|----|----|---|----|------------|----|----|----|----|-------|----|----|----|---|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|------------------------|
| <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">伐採前処理</th> <th colspan="2">伐採後処理</th> </tr> <tr> <th>1回</th> <th>2回以上</th> <th>1回</th> <th>2回以上</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>刈払い処理</td> <td>①</td> <td>②</td> <td>③</td> <td>④</td> </tr> <tr> <td>トラクター等機械処理</td> <td>⑤</td> <td>⑥</td> <td>⑦</td> <td>⑧</td> </tr> <tr> <td>除草剤処理</td> <td>⑨</td> <td>⑩</td> <td>⑪</td> <td>⑫</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | | | | | 伐採前処理 | | 伐採後処理 | | 1回 | 2回以上 | 1回 | 2回以上 | 刈払い処理 | ① | ② | ③ | ④ | トラクター等機械処理 | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | 除草剤処理 | ⑨ | ⑩ | ⑪ | ⑫ | X ₁ 標高 (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 伐採前処理 | | 伐採後処理 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1回 | 2回以上 | 1回 | 2回以上 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 刈払い処理 | ① | ② | ③ | ④ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| トラクター等機械処理 | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 除草剤処理 | ⑨ | ⑩ | ⑪ | ⑫ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>(8) 保残母樹の現況</p> <p>1 母樹の現況 胸高直径 ① cm ~ ② cm 本数 ③ 本/ha 樹冠は良好 (Y or N) ④ 中小径木混成 (Y or N) ⑤</p> <p>2 母樹の本数の適否 a 適正に残されている b 母樹が少ない</p> <p>3 母樹が少ない場合の原因 a 計画時には適正であったが伐出等の支障木により不足 b 施業後風倒木あるいは枯死により不足</p> | | | | | | | | | | X ₂ 方位 位 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>(9) 稚樹の現況</p> <p>1 稚樹の現況 本数/ha 平均植生高以上 ① 平均植生高以下 ② ブナ割合 ③ ブナ以外の主要な樹種 ④</p> <p>2 稚樹がない場合の消失原因 a 天下II類の施業後のササの繁茂 b 地ごしらえと結果が合わなかった c 集材等による消失 d 母樹の不足 e その他 (具体的に記入する) ①</p> | | | | | | | | | | X ₃ 局所地形 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>(10) 林床植生の現状</p> <p>a ササ型(密) b ササ型(中) c ササ型(疎) d ブナ型I e ブナ型II f 落低型(密) g 落低型(中) h 落低型(疎)</p> | | | | | | | | | | X ₄ 土壌型 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>(11) 更新の可能性の判定</p> <p>a 可能 b ブナ以外の樹種共で成林可 c 不可能</p> | | | | | | | | | | X ₅ 堆積型 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>(12) ブナの結実状態 豊作: ○ 並作: △ 凶作: ×</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>昭和</th> <th>20</th> <th>21</th> <th>22</th> <th>23</th> <th>24</th> <th>25</th> <th>26</th> <th>27</th> <th>28</th> <th>29</th> <th>30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>31</td> <td>32</td> <td>33</td> <td>34</td> <td>35</td> <td>36</td> <td>37</td> <td>38</td> <td>39</td> <td>40</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>41</td> <td>42</td> <td>43</td> <td>44</td> <td>45</td> <td>46</td> <td>47</td> <td>48</td> <td>49</td> <td>50</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>51</td> <td>52</td> <td>53</td> <td>54</td> <td>55</td> <td>56</td> <td>57</td> <td>58</td> <td>59</td> <td>60</td> <td>61 62</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | | | | | 昭和 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | | | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | | | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 62 | X ₆ 局所地形 |
| 昭和 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 62 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | X ₇ 表層地質 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | X ₈ 最深積雪(cm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

付表-2 青森県管内調査地の集計

| 管林署 | 森林 | 黒石 | 川内 | 乙女 | 石 | 湯ノ川小屋 | 館 | 角館 | 能代 | 二ツ井 | 三本木 | 三本木 | 三ツ木 | 三ツ木 | 一関 | 川尻 | 雄川 | 雄川 | 雄川 |
|------------------------|---------|----------|--------|----------|-------|--------|--------|---------|---------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 調査地 | 国有林 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 | 北総山 |
| 林小班 | 267.0.0 | 2021.0.7 | 60.0.3 | 42.0.5.9 | 33.3 | 46.3.2 | 46.3.6 | 102.5.9 | 113.1.4 | 24.5.0 | 65.0 | 45.1.5 | 21.1.5 | 30.1.3 | 31.1.5 | 21.1.5 | 21.1.5 | 21.1.5 | 21.1.5 |
| 調査小班積(m ³) | 264 | 358 | 264 | 554 | 423 | 488 | 534 | 426 | 325 | — | 416 | 496 | 492 | 488 | 429 | 429 | 429 | 429 | 429 |
| (4)-1 | b | b | a | a | b | g' | d' | d | — | a | a | b | d' | e | g' | g' | g' | g' | g' |
| 2 | (2m) | 18 | 27 | 18 | 15 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| 3 | (2m) | 42 | 30 | 30 | 38 | 30 | 48 | 20 | 40 | 38 | 30 | 40 | 40 | 40 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 4 | 274 | 273 | 268 | 294 | 225 | 1444 | 199 | 222 | 208 | 150 | 210 | 110 | 66 | 206 | 103 | 230 | 230 | 230 | 230 |
| (5)-1 | a | a | a | b | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a |
| 2 | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a |
| 3 | C | C | C | C | A | A | A | A | A | A | A | A | A | C | C | C | C | C | C |
| (6) | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 |
| (7) | 40 | 220 | 1140 | 210 | 1120 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 |
| " | 347 | 632 | 220 | 11250 | 3225 | 1825 | 2225 | 14250 | 46250 | 20325 | 36520 | 3625 | 21250 | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 |
| (8)-1 | 胸高直径 | 254 | 365 | 362 | 362 | 362 | 362 | 362 | 362 | 362 | 362 | 362 | 362 | 362 | 362 | 362 | 362 | 362 | 362 |
| 木数 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 | 418 |
| 樹冠 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| 樹冠枝 | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| 2 | a | a | b | b | a | b | a | b | a | b | a | b | a | a | a | b | b | b | |
| 3 | - | - | b | a | - | a | - | a | - | a | - | a | - | - | - | a | b | b | |
| (9)-1 | 平均樹高 | 40 | 720 | 1140 | 210 | 1120 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 | 210 |
| " | 72 | 632 | 220 | 11250 | 3225 | 1825 | 2225 | 14250 | 46250 | 20325 | 36520 | 3625 | 21250 | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 | 5000 |
| 7-1 | 割合 | 98 | 70 | 58 | 28 | 5 | 23 | 15 | 16 | 28 | 13 | 28 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 7-2 | 木立 | 777 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 |
| 主幹 | 777 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 |
| 主幹 | 777 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 | 17955 |
| 樹種 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 | 19375 |
| -2 | - | b, d | b, d | a | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | b | a, d | - |
| (10) | b | b | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | a | b | b | b | |
| (11) | a | a | b | b | b | a | a | a | a | b | a | b | a | b | b | b | b | b | |
| 伐採年月 | 54年8月 | 55年5月 | 59年6月 | 57年8月 | 60年4月 | 54年10月 | 56年9月 | 55年1月 | 55年7月 | 60年 | 57年6月 | 56年6月 | 59年11月 | 59年4月 | 54年4月 | 54年7月 | 54年6月 | 55年12月 | 55年1月 |

コクヨ シミー-16 135×16

付表-3 秋田県管内調査地の集計

| 管林署 | 早口 | 米内沢 | 二ツ井 | 角館 | 湯沢 | 大間 | 鶴岡 | 新庄 | 真室川 | 山形 | 小国 | |
|------------------------|--------------------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 調査地 | 国有林 | 早口沢 | 鶴子沢 | 早瀬内沢 | 真瀬沢 | 長沢 | 高松沢 | 足延 | 岱外5 | 早田川 | 葉山川34 | |
| 林小班 | 34653 | 31514 | 164469 | 9 | 703 | 103 | 3 | 7 | 1 | 3542 | 297 | |
| 調査小班積(m ³) | 228 | 308 | 385 | 2083 | 430 | 858 | 6.25 | 482 | 3143 | 236 | 474 | |
| (4)-1 | b | b | g' | c | a | g' | g' | g' | e | e | e | |
| 2 | (cm) | 20 | 18 | 38 | 44 | 22 | 29 | 16 | 174 | 26 | 14 | |
| 3 | (cm) | 42 | 42 | 42 | 42 | 34 | 34 | 36 | 36 | 36 | 36 | |
| 4 | m ² /ha | 172 | 226 | 248 | 200 | 190 | 216 | 231 | 136 | 244 | 116 | |
| (5)-1 | b | b | b | b | b | b | b | b | b | b | b | |
| 2 | a | a | a | a | a | c | a | a | a | c | a | |
| 3 | a | a | c | c | a | c | a | c | c | a | c | |
| (7) | 刈獲1(69) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| (8)-1 | 胸高直径 | 30~100 | 30~70 | 30~46 | 28~68 | 22~100 | 16~70 | 34~96 | 40~60 | 30~80 | 18~30 | |
| 木数 | 14 | 30 | 2 | 12 | 24 | 20 | 23 | 30 | 27 | 12 | 15 | |
| 樹冠 | Y | N | N | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y | |
| 樹冠枝 | N | N | N | N | Y | Y | Y | N | N | N | N | |
| 2 | b | b | b | b | b | b | b | b | b | a | b | |
| 3 | b | b | a, b | b | a | b | b | a | b | - | b | |
| (9)-1 | 平均樹高 | 1460 | 2560 | 4120 | 2840 | 2040 | 4380 | 1340 | 3440 | 1560 | 1000 | 1460 |
| 1 | 10割合 | 6000 | 6875 | 1180 | 5160 | 7125 | 4375 | 2680 | 3660 | 6140 | 1060 | 980 |
| 2 | カエデ | 52 | 23 | 69 | 0.73 | 26 | 10 | 17 | - | 68 | 30 | 45 |
| 3 | アシタカ | 19375 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 |
| 4 | アシタカ | 19375 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 |
| 5 | カエデ | 19375 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 |
| 6 | カエデ | 19375 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 |
| 7 | カエデ | 19375 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 |
| 8 | カエデ | 19375 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 |
| 9 | カエデ | 19375 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 | 17117 |
| 10 | a | b | g' | c | g' | a | f | - | d | - | a, d | - |
| 11 | b | - | b | b | b | b | a | a | a | a | b | a |
| 伐採年月 | 54年4月 | 55年6月 | 55年10月 | 57年5月 | 58年1月 | 58年8月 | 54年7月 | 55年7月 | — | 57年3月 | 60年5月 | — |

| 管林署 | 山 口 | 白 河 | 坂 下 | 今 市 | 深 田 | 水 上 | 村 木 |
|----------------|-------|--------|--------|-------|---------|--------|--------|
| 調査地 | 国有林 | 八木沢山 | 二俣 | 一ノ沢 | 船原沼 | 武尊山 | 大利根 |
| 林小判王 | 11.5 | 153.35 | 102.63 | 35.54 | 53.1.13 | 60.2.7 | 28.1.6 |
| 鋸歯形面積(ha) | 36.8 | 95.8 | 156.3 | 44.34 | 44.2.3 | 58.8 | 52.5 |
| (4) -1 | g' | b | a | a | b | b | g' |
| 2 | (2n) | 17 | 20 | 3 | 18 | 15 | 19 |
| 3 | (2n) | 20 | 22 | 3 | 19 | 3 | 25 |
| 4 | (2n) | 4 | 22 | 4 | 22 | 4 | 20 |
| (5) -1 | 25.5 | 260 | 171 | 220 | 163 | 190 | 257 |
| 2 | c | a | c | c | a | a | c |
| 4) | c | c | b | a | b | a | c |
| (7) | — | 判度(55) | — | — | 55.1.69 | — | 55.20 |
| (8) -1/ 胸高直径 | 18~60 | 30~70 | 28~56 | 38~50 | 30~62 | 30~50 | 34~66 |
| 木 級 | 20 | 40 | 38 | 10 | 17 | 20 | 23 |
| 樹種 | Y | Y | Y | N | N | Y | Y |
| 中間樹種 | Y | N | Y | Y | Y | Y | Y |
| 2 | b | a | a | b | b | a | a |
| 3 | b | — | — | a | b | a | — |
| (9) -1/ 平均胸高直径 | 20.0 | 23.0 | 36.0 | 72.0 | 152.0 | 146.0 | 47.40 |
| 木 級 | 30.0 | 69.00 | 85.00 | 112.5 | 52.50 | 10.00 | 35.125 |
| ブの割合 | — | 22 | 55 | 34 | 70 | 65 | 94 |
| 17種カエデ | ミズナラ | ミツバツバ | ミツバツバ | ミツバツバ | ミツバツバ | ミツバツバ | ミツバツバ |
| ミズメ | センキ | ミズナラ | ミツバツバ | ミツバツバ | ミツバツバ | ミツバツバ | ミツバツバ |
| ミズキ | スルキ | ミズナラ | センキ | ミツバツバ | ミツバツバ | ミツバツバ | ミツバツバ |
| カツラ | カツラ | カツラ | カツラ | カツラ | カツラ | カツラ | カツラ |
| 2 | — | — | a | — | — | — | — |
| (10) | g' | b | a | a | b | g' | — |
| (11) | b | b | b | c | b | b | a |
| 伐採年月 | 55年9月 | 54年10月 | 53年9月 | 52年7月 | 51年5月 | 50年10月 | 49年10月 |

コクヨ シヨー16 (35×16)

付表-5 青森局管内調査地、調査林別のブナ及びその他の種樹の出現本数表 (5×5m 枝)

| 青森 | 秋田 | 山形 | 福島 | 宮城 | 黒石 | 青森 | 山形 | 福島 | 宮城 |
|-----------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| (5×5m 枝数) | 207.~4 | 207.~4 | 207.~17 | 207.~17 | 60.~3 | 60.~3 | 42.~5 | 42.~5 | 33.~3 |
| 7°0.~1°1° | 1°1° | 1°1° | 1°1° | 1°1° | 1°1° | 1°1° | 1°1° | 1°1° | 1°1° |
| 1 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 4 (67) | 2 (33) | 6 | 0 | 2 (100) | 2 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 1 (33) | 2 (67) | 0 | 4 (80) | 1 | 5 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 1 (77) | 2 (22) | 6 (67) | 6 (100) | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 (100) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 1 (100) | 1 | 0 | 3 (100) | 3 | 0 | 7 (100) | 7 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 (100) | 3 | 3 (75) | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 (100) | 2 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 (100) | 1 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 1 (100) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 (100) | 1 | 0 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 (100) | 2 | 3 (60) |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 (100) | 2 | 3 (55) |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 (60) | 2 (40) | 5 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 (100) | 1 | 1 (100) |
| 計 | 0 | 2 | 2 | 6 | 44 | 50 | 18 | 39 | 57 |
| % | 0 | 100 | 1/2 | 288 | 32 | 68 | 11 | 45 | 56 |
| | | | | | | | 20 | 80 | 31 |

付表-3-1 背景

付表-5-2 青森局管内調査地、調査枠別のブナ及びその他の種樹の出
現本数 (5×5m 枠)

付表-5-3 青森局管内調査地、調査枠別のブナ及びその他の稚樹の出現本数 (5×5m枠)

| | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 129 | 130 | 131 | 132 | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | 138 | 139 | 140 | 141 | 142 | 143 | 144 | 145 | 146 | 147 | 148 | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | 158 | 159 | 160 | 161 | 162 | 163 | 164 | 165 | 166 | 167 | 168 | 169 | 170 | 171 | 172 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 | 178 | 179 | 180 | 181 | 182 | 183 | 184 | 185 | 186 | 187 | 188 | 189 | 190 | 191 | 192 | 193 | 194 | 195 | 196 | 197 | 198 | 199 | 200 | 201 | 202 | 203 | 204 | 205 | 206 | 207 | 208 | 209 | 210 | 211 | 212 | 213 | 214 | 215 | 216 | 217 | 218 | 219 | 220 | 221 | 222 | 223 | 224 | 225 | 226 | 227 | 228 | 229 | 230 | 231 | 232 | 233 | 234 | 235 | 236 | 237 | 238 | 239 | 240 | 241 | 242 | 243 | 244 | 245 | 246 | 247 | 248 | 249 | 250 | 251 | 252 | 253 | 254 | 255 | 256 | 257 | 258 | 259 | 260 | 261 | 262 | 263 | 264 | 265 | 266 | 267 | 268 | 269 | 270 | 271 | 272 | 273 | 274 | 275 | 276 | 277 | 278 | 279 | 280 | 281 | 282 | 283 | 284 | 285 | 286 | 287 | 288 | 289 | 290 | 291 | 292 | 293 | 294 | 295 | 296 | 297 | 298 | 299 | 300 | 301 | 302 | 303 | 304 | 305 | 306 | 307 | 308 | 309 | 310 | 311 | 312 | 313 | 314 | 315 | 316 | 317 | 318 | 319 | 320 | 321 | 322 | 323 | 324 | 325 | 326 | 327 | 328 | 329 | 330 | 331 | 332 | 333 | 334 | 335 | 336 | 337 | 338 | 339 | 340 | 341 | 342 | 343 | 344 | 345 | 346 | 347 | 348 | 349 | 350 | 351 | 352 | 353 | 354 | 355 | 356 | 357 | 358 | 359 | 360 | 361 | 362 | 363 | 364 | 365 | 366 | 367 | 368 | 369 | 370 | 371 | 372 | 373 | 374 | 375 | 376 | 377 | 378 | 379 | 380 | 381 | 382 | 383 | 384 | 385 | 386 | 387 | 388 | 389 | 390 | 391 | 392 | 393 | 394 | 395 | 396 | 397 | 398 | 399 | 400 | 401 | 402 | 403 | 404 | 405 | 406 | 407 | 408 | 409 | 410 | 411 | 412 | 413 | 414 | 415 | 416 | 417 | 418 | 419 | 420 | 421 | 422 | 423 | 424 | 425 | 426 | 427 | 428 | 429 | 430 | 431 | 432 | 433 | 434 | 435 | 436 | 437 | 438 | 439 | 440 | 441 | 442 | 443 | 444 | 445 | 446 | 447 | 448 | 449 | 450 | 451 | 452 | 453 | 454 | 455 | 456 | 457 | 458 | 459 | 460 | 461 | 462 | 463 | 464 | 465 | 466 | 467 | 468 | 469 | 470 | 471 | 472 | 473 | 474 | 475 | 476 | 477 | 478 | 479 | 480 | 481 | 482 | 483 | 484 | 485 | 486 | 487 | 488 | 489 | 490 | 491 | 492 | 493 | 494 | 495 | 496 | 497 | 498 | 499 | 500 | 501 | 502 | 503 | 504 | 505 | 506 | 507 | 508 | 509 | 510 | 511 | 512 | 513 | 514 | 515 | 516 | 517 | 518 | 519 | 520 | 521 | 522 | 523 | 524 | 525 | 526 | 527 | 528 | 529 | 530 | 531 | 532 | 533 | 534 | 535 | 536 | 537 | 538 | 539 | 540 | 541 | 542 | 543 | 544 | 545 | 546 | 547 | 548 | 549 | 550 | 551 | 552 | 553 | 554 | 555 | 556 | 557 | 558 | 559 | 560 | 561 | 562 | 563 | 564 | 565 | 566 | 567 | 568 | 569 | 570 | 571 | 572 | 573 | 574 | 575 | 576 | 577 | 578 | 579 | 580 | 581 | 582 | 583 | 584 | 585 | 586 | 587 | 588 | 589 | 590 | 591 | 592 | 593 | 594 | 595 | 596 | 597 | 598 | 599 | 600 | 601 | 602 | 603 | 604 | 605 | 606 | 607 | 608 | 609 | 610 | 611 | 612 | 613 | 614 | 615 | 616 | 617 | 618 | 619 | 620 | 621 | 622 | 623 | 624 | 625 | 626 | 627 | 628 | 629 | 630 | 631 | 632 | 633 | 634 | 635 | 636 | 637 | 638 | 639 | 640 | 641 | 642 | 643 | 644 | 645 | 646 | 647 | 648 | 649 | 650 | 651 | 652 | 653 | 654 | 655 | 656 | 657 | 658 | 659 | 660 | 661 | 662 | 663 | 664 | 665 | 666 | 667 | 668 | 669 | 670 | 671 | 672 | 673 | 674 | 675 | 676 | 677 | 678 | 679 | 680 | 681 | 682 | 683 | 684 | 685 | 686 | 687 | 688 | 689 | 690 | 691 | 692 | 693 | 694 | 695 | 696 | 697 | 698 | 699 | 700 | 701 | 702 | 703 | 704 | 705 | 706 | 707 | 708 | 709 | 710 | 711 | 712 | 713 | 714 | 715 | 716 | 717 | 718 | 719 | 720 | 721 | 722 | 723 | 724 | 725 | 726 | 727 | 728 | 729 | 730 | 731 | 732 | 733 | 734 | 735 | 736 | 737 | 738 | 739 | 740 | 741 | 742 | 743 | 744 | 745 | 746 | 747 | 748 | 749 | 750 | 751 | 752 | 753 | 754 | 755 | 756 | 757 | 758 | 759 | 760 | 761 | 762 | 763 | 764 | 765 | 766 | 767 | 768 | 769 | 770 | 771 | 772 | 773 | 774 | 775 | 776 | 777 | 778 | 779 | 770 | 771 | 772 | 773 | 774 | 775 | 776 | 777 | 778 | 779 | 780 | 781 | 782 | 783 | 784 | 785 | 786 | 787 | 788 | 789 | 790 | 791 | 792 | 793 | 794 | 795 | 796 | 797 | 798 | 799 | 800 | 801 | 802 | 803 | 804 | 805 | 806 | 807 | 808 | 809 | 8010 | 8011 | 8012 | 8013 | 8014 | 8015 | 8016 | 8017 | 8018 | 8019 | 8020 | 8021 | 8022 | 8023 | 8024 | 8025 | 8026 | 8027 | 8028 | 8029 | 8030 | 8031 | 8032 | 8033 | 8034 | 8035 | 8036 | 8037 | 8038 | 8039 | 8040 | 8041 | 8042 | 8043 | 8044 | 8045 | 8046 | 8047 | 8048 | 8049 | 8050 | 8051 | 8052 | 8053 | 8054 | 8055 | 8056 | 8057 | 8058 | 8059 | 8060 | 8061 | 8062 | 8063 | 8064 | 8065 | 8066 | 8067 | 8068 | 8069 | 8070 | 8071 | 8072 | 8073 | 8074 | 8075 | 8076 | 8077 | 8078 | 8079 | 8080 | 8081 | 8082 | 8083 | 8084 | 8085 | 8086 | 8087 | 8088 | 8089 | 8090 | 8091 | 8092 | 8093 | 8094 | 8095 | 8096 | 8097 | 8098 | 8099 | 80100 | 80101 | 80102 | 80103 | 80104 | 80105 | 80106 | 80107 | 80108 | 80109 | 80110 | 80111 | 80112 | 80113 | 80114 | 80115 | 80116 | 80117 | 80118 | 80119 | 80120 | 80121 | 80122 | 80123 | 80124 | 80125 | 80126 | 80127 | 80128 | 80129 | 80130 | 80131 | 80132 | 80133 | 80134 | 80135 | 80136 | 80137 | 80138 | 80139 | 80140 | 80141 | 80142 | 80143 | 80144 | 80145 | 80146 | 80147 | 80148 | 80149 | 80150 | 80151 | 80152 | 80153 | 80154 | 80155 | 80156 | 80157 | 80158 | 80159 | 80160 | 80161 | 80162 | 80163 | 80164 | 80165 | 80166 | 80167 | 80168 | 80169 | 80170 | 80171 | 80172 | 80173 | 80174 | 80175 | 80176 | 80177 | 80178 | 80179 | 80180 | 80181 | 80182 | 80183 | 80184 | 80185 | 80186 | 80187 | 80188 | 80189 | 80190 | 80191 | 80192 | 80193 | 80194 | 80195 | 80196 | 80197 | 80198 | 80199 | 80200 | 80201 | 80202 | 80203 | 80204 | 80205 | 80206 | 80207 | 80208 | 80209 | 80210 | 80211 | 80212 | 80213 | 80214 | 80215 | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

現本数(5×5m²)

| 現本数 (5 x 5 m ²) | | | | | | | | | | 調査件数のノブ及び他の他の種類の山 | | | |
|-----------------------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| 高瀧山外(2) | | | | | 高瀧山内(2) | | | | | 山形 | | 飯豊山外 | |
| 真室川 | 高瀧山外(2) | 高瀧山内(2) | 高瀧山内(2) | 高瀧山外(2) | 高瀧山内(2) | 高瀧山内(2) | 高瀧山外(2) | 高瀧山内(2) | 高瀧山内(2) | 高瀧山外(2) | 高瀧山内(2) | 高瀧山外(2) | 高瀧山内(2) |
| (5 x 5 m ²) | 91 | ~ | 61 | 55 | 5 | 5 | 53 | 13 | 34 | 5 | 5 | 53 | 44 |
| 7°25' S | 110 | 7°+ 2°(100) | 4°+ 2°(100) | 5°+ 2°(100) | 7°+ 2°(100) | 7°+ 2°(100) | 7°+ 2°(100) | 7°+ 2°(100) | 7°+ 2°(100) | 7°+ 2°(100) | 7°+ 2°(100) | 7°+ 2°(100) | 7°+ 2°(100) |
| 1 | 2 | (100) | 0 | 2 | 0 | 3 | (100) | 3 | 2 | (100) | 0 | 2 | (100) |
| 2 | 4 | (100) | 0 | 4 | 0 | 1 | (100) | 1 | 1 | (100) | 1 | 1 | (100) |
| 3 | 0 | (100) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 1 | (100) | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 2 | (100) | 2 | 2 | (100) | 0 | 2 | 1 | (100) | 0 | (67) | 1 |
| 6 | 0 | 6 | (100) | 6 | 4 | (100) | 0 | 4 | 2 | (33) | 4 | 6 | 0 |
| 7 | 0 | 2 | (100) | 2 | 2 | (100) | 0 | 2 | 0 | 6 | (100) | 6 | 2 |
| 8 | 2 | 7 | (78) | 9 | 1 | (100) | 0 | 1 | 0 | (100) | 0 | (100) | 0 |
| 9 | 1 | (77) | 5 | (83) | 6 | 5 | (100) | 0 | 5 | 1 | (100) | 0 | 10 |
| 10 | 1 | 1 | (50) | 2 | 0 | (100) | 0 | 0 | 3 | (100) | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 2 | (100) | 2 | 8 | (100) | 0 | 8 | 0 | 1 | (100) | 3 | 4 |
| 12 | 0 | 1 | (100) | 1 | 6 | (100) | 0 | 6 | 1 | (100) | 0 | (100) | 0 |
| 13 | 0 | 3 | (100) | 3 | 8 | (53) | 7 | (47) | 0 | 6 | (100) | 6 | 3 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | (60) | 2 | (40) | 5 | 0 | 2 | (100) | 2 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | (67) | 1 | (33) | 3 | 0 | 2 | (100) | 1 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | (67) | 1 | (33) | 3 | 0 | 2 | (100) | 0 |
| 17 | 2 | (100) | 0 | 2 | 3 | (50) | 3 | (50) | 6 | 1 | (25) | 3 | (75) |
| 18 | 2 | (67) | 1 | (33) | 0 | 0 | 0 | 4 | (80) | 1 | (60) | 4 | 1 |
| 19 | 3 | (100) | 0 | 3 | 0 | 1 | (100) | 1 | 2 | (67) | 1 | (33) | 2 |
| 20 | 1 | (50) | 1 | (50) | 2 | 0 | 8 | (100) | 8 | 1 | (100) | 0 | 3 |
| 計† | 19 | 31 | 50 | 46 | 27 | 73 | 19 | 30 | 49 | 112 | 8 | 120 | 7 |
| % | 38 | 62 | 63 | 27 | 39 | 61 | 29 | 61 | 49 | 93 | 7 | 95 | 9.5 |

No. 24

- 98 -

付表-8 青森局管内調査地、調査枠別のブナ及びモミの種樹の出現本数

- 99

現本数(2×2m枠)

111

1. $\frac{1}{2} \cdot 0 = 0$ 2. $\frac{1}{2} \cdot 1 = \frac{1}{2}$ 3. $\frac{1}{2} \cdot 2 = 1$ 4. $\frac{1}{2} \cdot 3 = \frac{3}{2}$

卷之三

卷之三

אדרת צביה כהן

付表-9 秋田局管内調査地、調査枠別のブナ及びその他の種樹の出現本数 (2×2 m 枠)

100

現本数 (2×2m枠) —————

現本數 (2×2m 幢) —

| | | 湯 汗 | | 寒 涼 | | 寒 热 | | 酒 田 | | 平 田 | | 鴨 閑 | | 新 庄 | | |
|------------|------|---------|--------|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|----|
| | | 高 | 低 | 高 | 低 | 高 | 低 | 高 | 低 | 高 | 低 | 高 | 低 | 高 | 低 | |
| (2x2m 長方形) | 7'9" | N.O. | 7' 7 | 7' 7 | 7' 7 | 7' 7 | 7' 7 | 7' 7 | 7' 7 | 7' 7 | 7' 7 | 7' 7 | 7' 7 | 7' 7 | 7' 7 | |
| 1 | 0 | % | 0 | 1 | 10% | 7 (85) | 8 | 10 (80) | 0 | 10 (80) | 0 | 5 (80) | 0 | 5 (80) | 0 | |
| 2 | 0 | (80) | 0 | 3 | (80) | 0 | 3 | 10 (80) | 0 | 10 (80) | 0 | 3 | 2 (80) | 2 (80) | 0 | |
| 3 | 4 | (20) | 5 | 1 | (100) | 0 | 1 | 10 (80) | 0 | 10 (80) | 0 | 4 (80) | 0 | 4 (80) | 0 | |
| 4 | 1 | (100) | 1 | 0 | (100) | 1 | 0 | (100) | 1 | (100) | 0 | 3 (100) | 0 | 3 (100) | 0 | |
| 5 | 1 | (17) | 5 | (83) | 1 | 5 (12.5) | 3 (17.5) | 2 (40) | 3 (60) | 5 (100) | 0 | 5 (100) | 0 | 5 (100) | 0 | |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 1 | (12.5) | 7 (17.5) | 8 | 6 (100) | 0 | 6 (100) | 0 | 4 (100) | 0 | 4 (100) | 0 | |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 2 | (100) | 0 | 2 | 0 | 9 (100) | 9 | 4 (100) | 0 | 4 (100) | 0 | | |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 1 | (14) | 6 (86) | 7 | 0 | 5 (100) | 5 | 5 (100) | 0 | 5 (100) | 0 | | |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 4 | (22) | 14 (78) | 18 | 0 | 0 | 3 (100) | 0 | 3 (100) | 0 | 3 (100) | 0 | |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 (100) | 0 | 10 (100) | 0 | 3 (100) | 0 | 3 (100) | 0 | |
| 11 | 0 | 8 (73) | 3 (27) | 0 | 2 (100) | 0 | 2 (100) | 2 | 17 (100) | 0 | 17 (100) | 0 | 3 (100) | 0 | 3 (100) | 0 |
| 12 | 4 | (100) | 0 | 4 | 0 | 5 (100) | 5 | 34 (100) | 0 | 34 (100) | 0 | 7 (100) | 0 | 7 (100) | 0 | |
| 13 | 2 | (100) | 0 | 2 | 0 | 16 (100) | 16 | 9 (100) | 0 | 9 (100) | 0 | 3 (100) | 0 | 3 (100) | 0 | |
| 14 | 0 | 1 (100) | 1 | 0 | 26 (100) | 26 | 1 (50) | 1 (50) | 1 (50) | 1 (50) | 1 (50) | 0 | 3 (100) | 0 | 3 (100) | 0 |
| 15 | 0 | 1 (100) | 1 | 0 | 3 (100) | 3 | 5 (83) | 1 (77) | 6 (83) | 1 (77) | 6 (83) | 0 | 3 (100) | 0 | 3 (100) | 0 |
| 16 | 0 | 3 (100) | 3 | 0 | 0 | 0 | 4 (57) | 3 (43) | 7 (43) | 3 (43) | 7 (43) | 0 | 3 (100) | 0 | 3 (100) | 0 |
| 17 | 0 | 1 (100) | 1 | 0 | 3 (100) | 3 | 1 (50) | 1 (50) | 2 (50) | 1 (50) | 2 (50) | 0 | 5 (100) | 0 | 5 (100) | 0 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 (100) | 6 | 2 (20) | 3 (80) | 10 (100) | 0 | 5 (100) | 0 | 5 (100) | 0 | 5 (100) | 0 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 (100) | 9 | 2 (67) | 1 (33) | 3 (33) | 0 | 4 (100) | 0 | 4 (100) | 0 | 4 (100) | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 1 | (12.5) | 7 (8.5) | 8 | 19 (70) | 8 (30) | 27 (30) | 0 | 6 (100) | 0 | 6 (100) | 0 | |
| % | 57 | 20 | 1.5 | 35 | 21 | 1.3 | 1.3 | 134 | 41 | 142 | 41 | 183 | 81 | 50 | 3 | 53 |
| % | 57 | 43 | 1.5 | 35 | 21 | 1.6 | 1.6 | 142 | 22 | 28 | 22 | 100 | 0 | 81 | 3 | 6 |

114

付表-9-2 秋田局管内調査地、調査特別のアナ及びその他の種樹の出

ט'ז

No. _____

No. 37

| | | 早口沢 | 米内沢 | 二ツ井能代角館 | 湯沢 | 高松沢 | 長瀬沢 | 長瀬沢 | 足越 | 酒田 | 鶴岡 | 新庄 | 大室川河口町 | 山形 | 小国 |
|----------|--|------|------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|
| (5x5m区域) | | 23.0 | 34.0 | 31.0 | 44.6 | 44.6 | 44.6 | 44.6 | 44.6 | 44.6 | 44.6 | 44.6 | 44.6 | 44.6 | 44.6 |
| 0 | | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 ~ 2 | | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 | 2 | 4 | 6 | 0 | 6 | 9 | 5 | 8 | 53 |
| 3 ~ 4 | | 6 | 9 | 4 | 0 | 5 | 2 | 2 | 6 | 2 | 6 | 4 | 4 | 5 | 56 |
| 5 ~ 6 | | 2 | 5 | 4 | 1 | 3 | 6 | 2 | 1 | 6 | 1 | 2 | 4 | 4 | 60 |
| 7 ~ 8 | | 2 | 1 | 2 | 4 | 5 | 4 | 1 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 | 4 | 54 |
| 9 ~ 10 | | 1 | 0 | 5 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | 29 |
| 10以上 | | 1 | 0 | 2 | 12 | 4 | 6 | 10 | 0 | 5 | 1 | 0 | 1 | 0 | 4 |
| | | | | | | | | | | | | | | | 46 |

(2x2m区域)

-108-

35

-280

付表 10-3 前橋官林局

| | | 山口沢 | 引河 | 坂下 | 今市 | 沼田 | 水上 | 竹松 | 赤紫山 | 下利根 | 武尊山 | 鬼怒沢 | 三保山 | 引河 | 山口沢 |
|----------|--|------|------|-----|------|------|------|----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| (5x5m区域) | | 11.5 | 15.3 | 3.5 | 10.2 | 17.3 | 35.3 | 4 | 5.3 | 15.1 | 6.0 | 4.1 | 7.8 | 0.6 | |
| 0 | | 0 | 0 | 10 | 8 | 3 | 2 | 0 | 0 | 23 | | | | | |
| 1 ~ 2 | | 3 | 2 | 9 | 6 | 5 | 5 | 0 | 30 | | | | | | |
| 3 ~ 4 | | 5 | 4 | 1 | 3 | 6 | 9 | 0 | 28 | | | | | | |
| 5 ~ 6 | | 6 | 11 | 0 | 1 | 2 | 4 | 0 | 24 | | | | | | |
| 7 ~ 8 | | 4 | 2 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 12 | | | | | | |
| 9 ~ 10 | | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 6 | 9 | | | | | | |
| 10以上 | | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 12 | 14 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

-280

| | | 5x5m |
|----------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| (2x2m区域) | | 0 | 3 | 3 | 3 | 14 | 4 | 0 | 0 | 27 | | | | | |
| 1 ~ 2 | | 17 | 8 | 5 | 6 | 9 | 4 | 0 | 49 | | | | | | |
| 3 ~ 4 | | 2 | 6 | 7 | 0 | 5 | 10 | 0 | 29 | | | | | | |
| 5 ~ 6 | | 0 | 2 | 2 | 0 | 1 | 5 | 0 | 10 | | | | | | |
| 7 ~ 8 | | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 4 | | | | | | |
| 9 ~ 10 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 5 | | | | | | |
| 10以上 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 16 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

-109-

| | | | |
|----|----|-----|-----|
| 27 | 53 | 105 | 185 |
| 41 | 56 | 73 | 128 |
| 24 | 71 | 94 | 143 |
| 10 | 42 | 20 | 72 |
| 5 | 24 | 24 | 57 |
| 5 | 16 | 8 | 4 |
| 16 | 14 | 66 | 96 |

36

付表 1 1玉原地区林分調査 ベルト1, 銅金沢(沢伐実行地) 10m × 150m
(13林班い小班)

| 胸高直徑(cm) | アナ | トナノキ | イタヤカエデ | ツツカエデ | オオモミジ | コシアブラ | 合計 |
|----------------|-----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|--------------|----------------|
| 4 | 6 | 6 | 6 | 2 | 2 | | 8 |
| 6 | 8 | | 2 | | | 2 | 2 |
| 8 | | | 1 | | | 1 | 2 |
| 10 | 1 | | | | | 4 | 4 |
| 12 | 1 | | | | | 3 | 3 |
| 14 | 1 | | | | | 2 | 2 |
| 16 | 4 | | | | | 1 | 1 |
| 18 | 4 | | | | | 6 | 6 |
| 20 | 1 | | 1 | | | 1 | 2 |
| 22 | 2 | | | | | 1 | 1 |
| 24 | 2 | | | | | 1 | 1 |
| 26 | 1 | | | | | 1 | 1 |
| 28 | 3 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 30 | 1 | | | | | 1 | 1 |
| 32 | 1 | 1 | | | | 1 | 2 |
| 34 | 1 | | | | | 2 | 2 |
| 36 | 2 | | | | | 3 | 3 |
| 38 | 2 | | | | | 1 | 1 |
| 40 | 3 | 2 | 1 | | | 2 | 2 |
| 42 | 3 | 2 | 1 | | | 1 | 1 |
| 44 | 2 | 1 | 1 | | | 1 | 1 |
| 46 | 1 | | | | | 1 | 1 |
| 48 | 1 | | | | | 1 | 1 |
| 50 | 2 | 1 | | | | 1 | 1 |
| 52 | 1 | | | | | 1 | 1 |
| 54 | 1 | | | | | 1 | 1 |
| 56 | 1 | | | | | 1 | 1 |
| 58 | 1 | | 1 | | | 2 | 2 |
| 60 | | | | | | 1 | 1 |
| 72 | 1 | | | | | 1 | 1 |
| 74 | 1 | | | | | 1 | 1 |
| 84 | 1 | | | | | 1 | 1 |
| 112 | 2 | | | | | 2 | 2 |
| 計 | 33 | 6 | 3 | 11 | 4 | 1 | 58 |
| ha当たり 本数(%) | 220.1 (56.9) | 40.0 (10.3) | 20.0 (5.2) | 73.4 (19.0) | 26.7 (6.9) | 6.7 (1.7) | 386.9 (100) |

付表 1 2 玉原地区林分調査 ベルト2, 山頂部(自然林) 10m × 100m
(12林班)

| 胸高直徑(cm) | アナ | ダケカンバ | コハクチワカエデ | ハリギリ | 合計 |
|----------------|-----------------|-------|---------------|------|----------------|
| 4 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 8 | 1 | 1 | | | 1 |
| 10 | 1 | 2 | | | 1 |
| 12 | 1 | 3 | | | 2 |
| 14 | | | | | 3 |
| 16 | | 3 | | | 1 |
| 18 | | 3 | | | 1 |
| 20 | | 3 | | | 1 |
| 22 | | 4 | | | 4 |
| 24 | | 4 | | | 1 |
| 26 | 1 | | | | 1 |
| 28 | 2 | (1) | | 1 | 2 (2) |
| 30 | 2 | (1) | | | |
| 32 | | | | | |
| 34 | | 4 | | | 4 |
| 36 | | 2 | | | 2 |
| 38 | | 2 | | | 2 |
| 40 | | 1 | | | 1 |
| 42 | | 4 | | | 4 |
| 44 | | 1 | | | 1 (1) |
| 46 | | 3 | | | 3 |
| 48 | | 1 | | | 1 (1) |
| 50 | | (1) | | | |
| 52 | | | | | |
| 54 | | | | | |
| 56 | 1 | | | | 1 |
| 58 | | | | | 1 |
| 60 | | 1 | | | 1 |
| 62 | | | | | |
| 64 | | | | | |
| 66 | | 1 | | | 1 |
| 68 | | | | | |
| 計 | 37 (2) | (1) | 3 | (2) | 40 (4) |
| ha当たり 本数(%) | 370.0 (92.5) | | 30.0 (7.5) | | 400.0 (100) |

() 内は枯死木

付表13 玉原地区林分調査 ベルト3, (抜伐実行地) 10m×150m (13林班)

| 樹種 胸高直径(cm) | アナ ノキ | トチ アモ | コシ アラ | アオ カエデ | イタヤ カエデ | ハウチワハ ツリバナ | オオ カエデ | キハダ カエデ | テツ カエデ | キハダ カエデ | ハリ キリ | 合計 |
|-----------------------------|-----------------|---------------|--------------|----------------|---------------|---------------|--------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|----|
| 4 | | | | | 1 | | | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | | 7 | 2 | 1 | | 1 | 8 | 6 | 1 | 1 | 15 |
| 8 | 1 | | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 10 | | | | | | | | | | | 4 | 4 |
| 12 | 2 | | 1 | 1 | | | | | | 1 | 1 | 5 |
| 14 | 1 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 16 | 1 | | | | | | | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 18 | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | | | | | | | | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 22 | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 24 | | | | | | | | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 26 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 28 | 2 | | | | | | | | | | | 3 |
| 30 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 32 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 34 | | | | | | | | | | | | 2 |
| 36 | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| 38 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 40 | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| 42 | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| 44 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 46 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 48 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 50 | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| 52 | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| 54 | 3 | | | | | | | | | | | 3 |
| 56 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 58 | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| 60 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 64 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 66 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 68 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 74 | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| 計 | 15 | 5 | 1 | 10 | 7 | 2 | 1 | 13 | 19 | 4 | 77 | |
| h ^a 当たり 本数(%) | 100.1 (19.5) | 33.4 (6.5) | 6.7 (1.3) | 66.8 (13.0) | 46.7 (9.3) | 13.3 (2.6) | 6.7 (1.3) | 86.7 (16.3) | 126.7 (24.7) | 26.7 (5.1) | 513.8 (100) | |

付表14 玉原地区林分調査 ベルト4, (抜伐実行地) 10m×100m (12林班)

| 樹種 胸高直径(cm) | アナ スザ克拉 | ウワミ カエデ | イタヤ カエデ | トチ ノキ | キハダ モミジ | オオ ノキ | アオ ダモ | ハウチ カエデ | テツ カエデ | カエデ | 合計 |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
| 4 | | | | | | | | 9 | 1 | 1 | 18 |
| 6 | 1 | | | | 5 | | 10 | 2 | 2 | 2 | 27 |
| 8 | 1 | | | 1 | 6 | | 1 | 2 | 1 | 1 | 17 |
| 10 | | | | | 1 | | 3 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| 12 | | | | 1 | 5 | | 2 | 6 | 4 | 6 | 11 |
| 14 | | | | 1 | 3 | | 3 | 1 | 1 | 1 | 7 |
| 16 | | | | 1 | 6 | | 6 | 1 | 1 | 1 | 7 |
| 18 | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| 20 | | | | | | | | | | | 1 |
| 22 | | | | | | | | | | | 1 |
| 24 | | | | | | | | | | | 1 |
| 26 | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| 28 | | | | | | | | | | | 1 |
| 30 | | | | | | | | | | | 1 |
| 32 | | | | 1 | | | | | | | 1 |
| 34 | | | | | | | | | | | 1 |
| 36 | | | | | | | | | | | 1 |
| 38 | | | | | | | | | | | 1 |
| 40 | | | | | | | | | | | 1 |
| 42 | | | | | | | | | | | 1 |
| 44 | | | | | | | | | | | 1 |
| 46 | | | | | | | | | | | 1 |
| 48 | | | | | | | | | | | 1 |
| 50 | | | | | | | | | | | 1 |
| 52 | | | | | | | | | | | 1 |
| 54 | | | | | | | | | | | 1 |
| 56 | | | | | | | | | | | 1 |
| 58 | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| 60 | | | | | | | | | | | 1 |
| 64 | 66 | 1 | | | | | | | | | 1 |
| 66 | | | | | | | | | | | 1 |
| 76 | 2 | | | | | | | | | | 2 |
| 計 | 7 | 4 | 1 | 2 | 30 | 26 | 1 | 2 | 20 | 7 | 100 |
| h ^a 当たり 本数(%) | 70.0 (7.0) | 40.0 (4.0) | 10.0 (1.0) | 20.0 (2.0) | 300.0 (30.0) | 250.0 (26.0) | 10.0 (1.0) | 20.0 (2.0) | 200.0 (20.0) | 70.0 (7.0) | 1000.0 (100) |

小面積造林地における駆除後の
野鼠の侵入と防除法

小面積造林地における駆除後の野鼠の侵入と防除法

I 試験担当者

北海道支所保護部鳥獣研究室

中津 篤

II 要旨

北海道の造林地では、林況変化に伴い小面積の造林地化が進みつつある。林木を食害する主要有害野鼠エゾヤチネズミ *Clethrionomys rufocanus bedfordiae*に対する防除対策についても、従来の方法を再検討し、林地状況にあつた有効な防除方法に改善していく必要がある。現在の防除法はヘリコプター散布による殺鼠剤散布法が主流であり、造林地の周辺薬剤散布幅は30mとなっているが、この散布幅では小面積造林地の場合すぐに周辺から本種が侵入し元の状態に復元する可能性がある。そのため、現在の防除法を検証し改善する目的から、まず本種が小面積の造林地で駆除後本当にすぐに回復するのか、さらに侵入する個体が造林地の周辺のどの位置から侵入してくるのかその（本種の）侵入距離と造林地からの周辺距離を調べて、周辺薬剤散布幅の具体的数値を算出した。

さらに、もう一つの主眼点は、上記の林況変化とともに造林地における野鼠類の種類構成が複雑多様化していることである。このような造林地に対して、現在もなお殺鼠剤が毎年大量に空散されている。そのため、散布された殺鼠剤を目的種であるエゾヤチネズミ以外の野鼠類が摂取する可能性が高まっていると予想される。現在の殺鼠剤は、過去の造林地でほとんど単一棲息種であったエゾヤチネズミのみを対象に開発され改善してきた。しかし、最近の林況変化で野鼠類が複雑に混棲しつつある現在、殺鼠剤の有効性と目的種以外の野鼠類への影響を再検討する段階にきている。そこで、実際に他の野鼠類が殺鼠剤を摂食し死亡することができるかどうかを室内と野外の両試験で調べた。また、今後造林地で個体数が増加する傾向にあるエゾアカネズミ *Apodemus speciosus ainu*について、日周採餌活動様式を調べ、エゾヤチネズミより早い時間に採餌活動を開始することができるかなどについて室内試験した。これらの結果から、林況変化した最近の林地に見合った殺鼠剤の改善・開発の必要性を検討した。

1) 小面積造林地におけるエゾヤチネズミの侵入・回復過程

小面積造林地における除去後のエゾヤチネズミの侵入と回復過程を明らかにするために、農水省北海道農業試験場構内の天然林（面積6.0ha）において、有害野鼠エゾヤチネズミの

分布, 密度, 繁殖活動, 移動・分散行動などについて, 標識再捕獲調査法により事前調査を行った。その後直ちに, 中央部(面積0.6ha)の本種を除去し, 除去後の1~4週間後の周辺からの回復状況を調べた。なお, 補足試験として回復過程の一部調査を北見営林署管内で実施した。

侵入した82個体(雌38, 雄44個体)のエゾヤチネズミの最短・最長侵入距離はそれぞれ80.4m, 101.1mであった。侵入個体数に性差は認められなかつたが, 距離では雄の方が長かつた。また, 亜成体(体重21~25g)個体が多く侵入した。本種の除去後の回復率は極めて高く, 除去後1~2週間で除去時の密度に回復した。さらに, 周辺部の密度が高い場合には除去後3~4週間経つてもなお侵入が続き, 高い回復率を維持した。また, 小面積化した造林地における殺鼠剤の周辺薬剤散布幅の具体的な数値を算出するために, 今回の侵入個体を用いて, 侵入前の周辺部の位置から中央部の造林地までの最短直線距離を調べた。その結果, 雌雄平均61.7±6.1m(82個体, 95%信頼限界)という数値が得られた。

2) エゾヤチネズミ用殺鼠剤に対するエゾヤチネズミとアカネズミ類2種の摂食競合

アカネズミ類2種(ヒメネズミ *Apodemus argenteus*, エゾアカネズミ)とエゾヤチネズミに対する殺鼠剤の摂食試験を室内と野外で実施した。室内では, 殺鼠剤の摂食性, 死亡状況, 死亡粒数などを調べ, 野外では生け捕り用の捕獲罠と捕殺用の捕獲罠の両方を用いて, 野鼠類の捕獲状況を, 前罠では2回(2年間), 後罠では5回(4年間)秋季に調査した。さらに, 最近の造林地で個体数の増加傾向にあるエゾアカネズミについて, 殺鼠剤の散布時期に相当する人工気象条件下において採餌活動状況の違いを, エゾヤチネズミと比較した。

他に餌がある場合でも, エゾヤチネズミでは殺鼠剤の摂食率が極めて高く(約94.1%), 1粒の摂食で死亡した。そのため, エゾヤチネズミに対する本殺鼠剤の有効性は確認された。しかし, ヒメネズミとエゾアカネズミでは摂食率は全体の7~8割で, 両種とも約2粒の摂食で死亡した。また, 野外試験で生け捕り用の捕獲罠と捕殺用の捕獲罠を用いた両試験の結果, ヒメネズミ, エゾアカネズミの両種とも殺鼠剤を餌として罠掛けを行うことにより, エゾヤチネズミと同様に高い捕獲率で捕獲された。

つぎに, 小面積の造林地で今後増加傾向にあるエゾアカネズミの日周採餌活動を, エゾヤチネズミのそれと比較した。両種とも日没後の早い時間に採餌活動を開始するが, エゾアカネズミの方がエゾヤチネズミに比べてより早い時間に採餌活動を行つた。また, 両種とも餌を運搬・貯蔵する性質を持つ個体が多かつた。

3) 新たな殺鼠剤散布法と殺鼠剤開発の提案

(1) 本調査におけるエゾヤチネズミの侵入・回復過程の結果からみると, 小面積の造林地では造林地とその周辺にできるだけ広く棲息する本種を駆除して, 再侵入を防ぐなどの周辺防除の徹底化をはかる必要がある。今後, 1箇所当たり1.0ha以下の小面積の造林地がますます増えていくことが予想される。そのため, 現在実施されている造林地の周辺薬剤

散布幅30mでは, 本種の造林地への再侵入を防止するには不十分と考えられる。そこで, 本種は造林地の周辺61.7mから侵入するという結果が得られたこと, さらに本種の最長侵入距離は101.1mという結果が得られたことから, 現在の防除法を今後とも実施していく場合少なくとも現在の散布幅の2~3倍程度の造林地周辺散布幅に改善することが必要であろう。

(2) アカネズミ類2種とエゾヤチネズミに対する殺鼠剤の室内, 野外摂食試験及びエゾアカネズミとエゾヤチネズミの日周採餌活動様式の違いに関する室内試験結果から, 実際の造林地に対してヘリコプターによって本剤が散布された場合その落下状況は1坪(3.3m²)当たり1粒程度であることから, アカネズミ類2種が致死量の2粒に遭遇して摂食し死亡することは, 嗜好性の違いからもほとんどないと考えられる。しかし, 両種が野外で死亡しないとしても, その摂食率からみて, 1粒を摂食する可能性は十分にある。

昼の間に, 空散された殺鼠剤がまずエゾアカネズミによって先取りされたり, またエゾヤチネズミとエゾアカネズミの両種とも殺鼠剤を摂食しないうちに運搬・貯蔵する可能性があり, その結果有害種エゾヤチネズミが殺鼠剤へ遭遇する機会が減り, 殺鼠効果が低下する可能性がある。そのため, 今後殺鼠剤の有効性を高めるためには, 目的種には有効で, 他種の野鼠類には忌避性のある2効性を持つ殺鼠剤に改善・開発していくことが必要であろう。これは, 自然保護の観点から見ても妥当と思われる。

III 試験目的

北海道の国有林では, 昭和40年代後半に示された「国有林における新たな森林施業」以降, 施業方法が大幅に変更され, 皆伐一斉造林から小面積造林へと移行している。このため, 小面積の造林地が増加し, 造林木を食害するエゾヤチネズミの駆除効果にも影響を与えている^{1~14)}。例えば, 本種を造林地から駆除した場合, 周辺からの侵入及び個体数の回復速度は大面積よりも小面積の造林地になるほど速まる傾向があり, 造林木に被害を与える。従つて, 造林地形の変化に見合つた本種の駆除法を検討するため, 造林地周辺からの侵入・回復過程を明らかにする必要がある。しかし, これまでの駆除後の侵入・回復調査に関する研究では, 駆除した造林地のみの標識再捕獲調査に止まっていたため, 侵入個体であるか否か, また周辺のどの位置から侵入した個体かが不明であった。

本試験では, 面積6.0haの天然林を対象にエゾヤチネズミの標識再捕獲調査を行い, 中央部の小面積地内(0.6ha)のネズミの除去区にどの位置からネズミが侵入してくるか, 個体数の回復状況などを調べた。さらに, 有効な造林地の周辺薬剤散布幅の目安を得るために, 侵入前の位置から造林地までの最短直線距離を調べた。なお, 本試験は羊ヶ丘実験林を中心に行つたが, 除去後の回復率及び回復速度についてはさらに北見営林署管内においても追加試験を行つた。

つぎに、造林地の小面積化に伴う林況変化によって、造林地に棲息する野鼠類の種類構成に変化がみられ、野鼠種の多様化が進みつつある^{15, 16)}。従って、造林木に対して有害野鼠であるエゾヤチネズミを駆除するために散布された燐化亜鉛殺鼠剤(Zn_3P_2 , 1%濃度)が、エゾヤチネズミ以外の野鼠類などによって摂食されたり、または持ち運ばれる可能性がある^{17, 18)}。そのため、エゾヤチネズミの駆除効果をより一層高めていく必要があろう。そこで、北海道の主要野鼠類であるヒメネズミとエゾアカネズミによる殺鼠剤の摂食の可能性の有無及び死亡状況などを、室内と野外で試験した。また、エゾアカネズミとエゾヤチネズミの両種においては餌の先取り、運搬、貯蔵などを考慮した日周採餌活動様式の違いの有無を秋季の人工気象条件下で調べた。

なお、本試験は、緊急に対応する必要性のある地域の重要課題として北海道地域ブロック会議で設けられた「野鼠防除専門部会」（昭和62年12月設置、分担・共同研究、1988～1993年の6年間）の課題のなかの一部で、著者がこれを纏めた。本試験の課題化と実施に向けて多大の御協力を頂いた次の方々及び関係機関に謝意を表する。森林総合研究所北海道支所長：佐々木 紀氏、前支所長：坂上幸雄氏、同支所保護部長：田中 潔氏、前保護部長：林 康夫氏、同支所保護部鳥獣研究室：川路則友氏、斎藤 隆氏、北海道営林局指導普及課、同森林整備課（前造林課）、北見営林支局指導計画課指導普及室（前計画課技術開発室）、同森林整備課（前造林課）の関係者。

IV 試験の方法と結果

1. 小面積造林地におけるエゾヤチネズミの侵入・回復過程

1) 羊ヶ丘実験林における侵入・回復過程

(1) 試験方法

調査地は農水省北海道農業試験場構内の天然林6.0ha (200×300m) で、林床はクマイザサが優占し、一部シダ、フキ類などが混生している。図1に示すように、除去前の①と②の5日間、調査地内にて10m間隔で20×30計600個の生け捕り用捕獲罠（北海道式シャーマン型罠）を配置し、エゾヤチネズミの密度と分布状況などをあらかじめ調査した。その後、調査地中央部の0.6ha (60×100m) 内に生け捕り用の捕獲罠を7～10m間隔で計105個を配置し、2日間本種を除去した。1週間経過後、同じ0.6haの除去地内で除去後①と②の各5日間（間隔1週間）、本種の記号個体の捕獲調査を再び行い、除去前に記号した個体の侵入と回復の経過を把握した。調査は1988～1992年の5年間、いずれもエンバクを餌として実際の殺鼠剤の散布時期に相当する秋季に実施した。中央部の0.6ha内への周辺からの侵入距離は侵入前後の捕獲地点間を直線で結び、その最短と最長の距離をそれぞれ最短侵入距離、最長侵入距離とした。すなわち、記号した侵入個体のうち侵入前の捕獲地点で最も除去区（調査地の中央部0.6ha）に近いものと、侵入後の捕獲地点で最も侵入前の捕獲地点に近いものを結んだものを最短侵入距離とし、その逆を最長侵入距離とした。ただし、除去前の①, ②の調査のうち中央部(0.6ha)内で1度でも捕獲された個体については侵入個体とみなさず除外した。さらに、これらの最長侵入距離の結果から、実際の造林

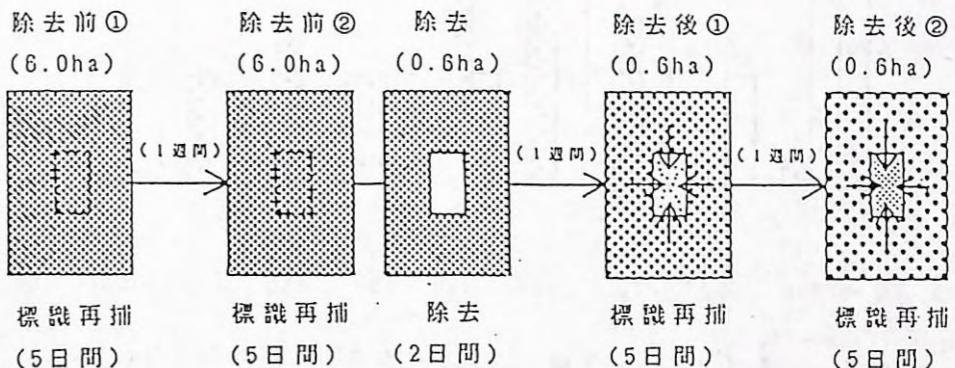


図1 除去後のエゾヤチネズミの侵入（距離）と回復状況を調べるための調査方法（1988～1992年）

地の周辺薬剤散布幅の新たな目安を得るために、侵入した個体の侵入前の位置から造林地までの最短直線距離を算出した。

なお、調査中に捕獲された個体に対してはすべて指切りによる記号付けを行うと同時に、体重と繁殖状況を調べた。幼亜成体別では体重20g以下を幼体、21~25gを亜成体、26g以上を成体とみなした。除去個体と調査中に死亡した個体はすべて解剖し、上顎第2・3臼歯の側面または上顎第2臼歯の歯根部の観察による齧査定と、生殖器の測定、剖検による繁殖活動の状態などを記録した。

(2) 試験結果

1988~1992年の5年間の調査で、中央部(0.6ha)のエゾヤチネズミを除去した後周辺から新たに中央部に侵入した記号個体は雌38、雄44計82個体であった。侵入個体の性差に有意な偏りは認められなかつた(1:1の比率検定、 $\chi^2=0.439$)。侵入した82個体の最短及び最長の侵入距離は表1に示したが、最短・最長とも雌に比べて雄が長く、とくに最長侵入距離では雄が有意に長かつた($t=2.155$, $p<0.05$)。また、82個体から得られた最長侵入距離を距離別でみると(図2)，距離の短い方で雌が多く、長い方で雄が多かつた。図3

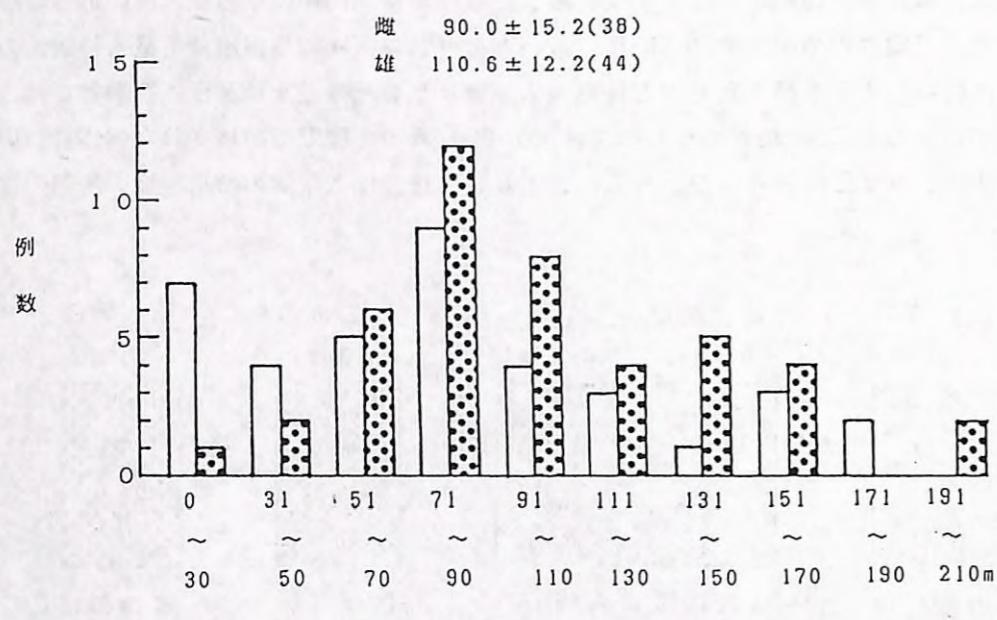


図2 エゾヤチネズミの周辺からの最長侵入距離別例数(1988~1992年)

白抜きは雌、点図部分は雄を示す。図上の数字は平均値±95%信頼限界、()は例数を示す。

表1 エゾヤチネズミにおける除去後の最短と最長の侵入距離(m)

| 性 | 個体数 | 最短侵入距離 | 最長侵入距離 |
|---|-----|-----------|------------|
| 雌 | 38 | 72.0±42.9 | 90.0±45.5 |
| 雄 | 44 | 87.7±40.0 | 110.6±39.6 |
| 計 | 82 | 80.4±42.1 | 101.1±43.7 |

平均値±標準偏差。

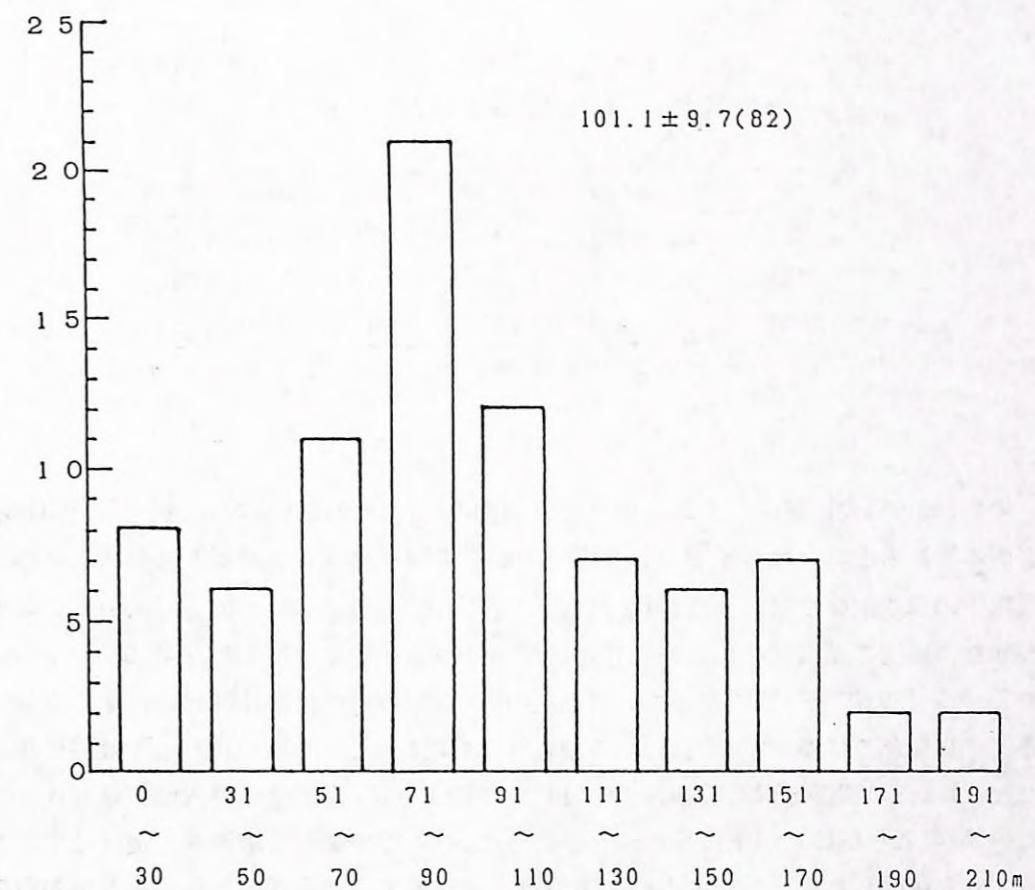


図3 エゾヤチネズミの周辺からの最長侵入距離別例数(1988~1992年)

図上の数字は平均値±95%信頼限界、()は例数を示す。

は雌雄を合わせた距離別の例数分布であるが, 71~90mで最も多かった(21例)。侵入前の周辺部における捕獲位置を示すと図4のようになるが, 雌雄とも均等に分布していた。つまり, 周辺部全体から一様に中央部に侵入したと考えられた。図5は各年ごとに除去前後の記号個体の侵入軌跡を最長侵入距離で示したが, 年によって侵入個体数は異なり, 少ない年は侵入位置に偏りがみられたが, 多い年には周辺部全体から一様に侵入した。なお, 1989年は侵入個体がまったくみられなかつた。

つぎに, 侵入前の自然状態における周辺部での最長の行動直線距離は表2に示すように雌28.8m, 雄60.5m, 平均44.7mであったが, これを最長侵入距離の場合(雌雄平均101.1m)と比較すると, 侵入前(除去前)と比べて平均約2.3倍の距離を動いて侵入したことが分かつた^{19~23)}。なお, これらの除去後の最長侵入距離は除去した後約1カ月の期間(図1の除去後①から②まで)に得られた結果である。

表2 エゾヤチネズミにおける除去前後の最長移動距離(m, 調査間隔1週間, 1988~1992年)

| 性 | 除去前の行動距離 | 除去後の侵入距離 |
|----|-----------------|------------------|
| 雌 | 28.8 ± 11.1(14) | 90.0 ± 45.5(38) |
| 雄 | 60.5 ± 48.1(14) | 110.6 ± 39.6(44) |
| 平均 | 44.7 ± 38.4(28) | 101.1 ± 43.7(82) |

平均値 ± 標準偏差。()は個体数を示す。

中央部0.6ha内に侵入した82個体(侵入個体群)の幼亜成体構成を, 除去した個体群(除去個体群)のそれと比較すると, 5年間の総計では(図6), 雌雄とも侵入個体群の方が亜成体の構成割合が高かつた(雌 $\chi^2=7.067, p<0.01$, 雄 $\chi^2=30.908, p<0.01$)。雌雄を合わせた年度別では(図7), 1988年と1992年で亜成体が多く侵入した(1988年 $\chi^2=6.642, p<0.01$, 1992年 $\chi^2=27.828, p<0.01$)。さらに, この1988年と1992年の両年を雌雄別にみると, 1988年では雌が多く(Yatesの補正 $\chi^2=4.971, p<0.05$), 1992年では逆に雄が多かつた(Yatesの補正 $\chi^2=33.299, p<0.01$)。このように, 全般的に侵入個体は亜成体(体重21~25gの若年個体)が主流を占めた。従って, もしこのような小面積の造林地でエゾヤチネズミを駆除した後に, 数多の亜成体が侵入・越冬するならば, 冬季の積雪下の造林木被害の増加が懸念される。

1988~1992年の5年間におけるエゾヤチネズミの除去後の回復率(侵入個体数/除去個体数)と回復状況を表3と図8に示した。1992年のように密度が高い場合には(除去前②: 37.0個体/ha), 短期間(除去後①: 1~2週間)のうちに除去した数以上に侵入増加

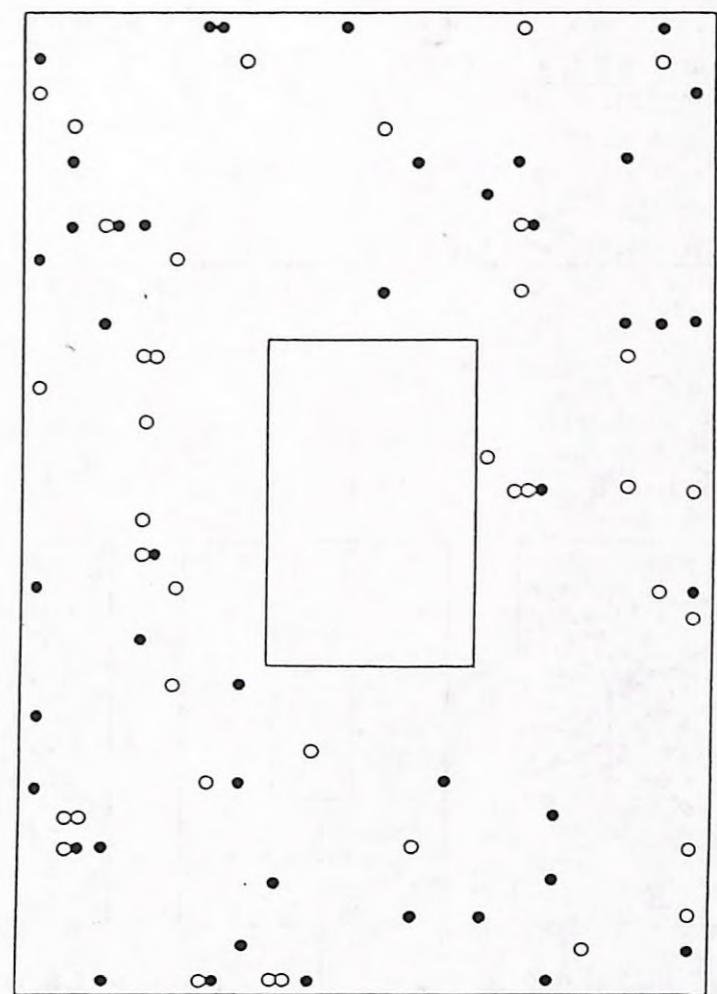


図4 エゾヤチネズミにおける侵入前の捕獲位置
(最長侵入距離の場合, 1988~1992年)
外枠, 6.0ha; 内枠, 0.6ha. 白丸, 雌; 黒丸, 雄。

し, さらに(除去後②の)3~4週間後においてもなお侵入個体が多く観察された。このように, 密度が高い場合には除去後長期間にわたって侵入個体が多い傾向がみられた。しかし, その前年の1991年では密度が少なく(除去前②: 6.5個体/ha), 除去後1~2週間では除去時の数以上に増加したもの, 3~4週間後には除去時の数近くにまでもどつた。

以上のように, 本種の特徴として回復率が高くしかも回復速度の速いことから, 前述の亜成体の侵入を防ぐためにも出来るだけ造林地の周辺遠くまで本種を駆除して, 造林地への再侵入を防ぐなどの防除対策を講じる必要があろう。

表3 エゾヤチネズミにおける除去後の回復率（除去面積、0.6ha）

| 調査年 | 除去個体数① | 侵入個体数 | | 除去後の回復率（%） | |
|------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | ② | ③ | 1~2週間（②/①） | 3~4週間（③/①） |
| 1988 | 23(14, 9) | 21(10, 11) | - | 91.3 | - |
| 1989 | 6(1, 5) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1990 | 3(2, 1) | 3(0, 3) | 1(0, 1) | 100.0 | 33.3 |
| 1991 | 7(3, 4) | 12(4, 8) | 7(4, 3) | 171.4 | 100.0 |
| 1992 | 22(11, 11) | 32(16, 16) | 31(16, 15) | 145.5 | 140.9 |

() は（雌、雄）の個体数を示す。

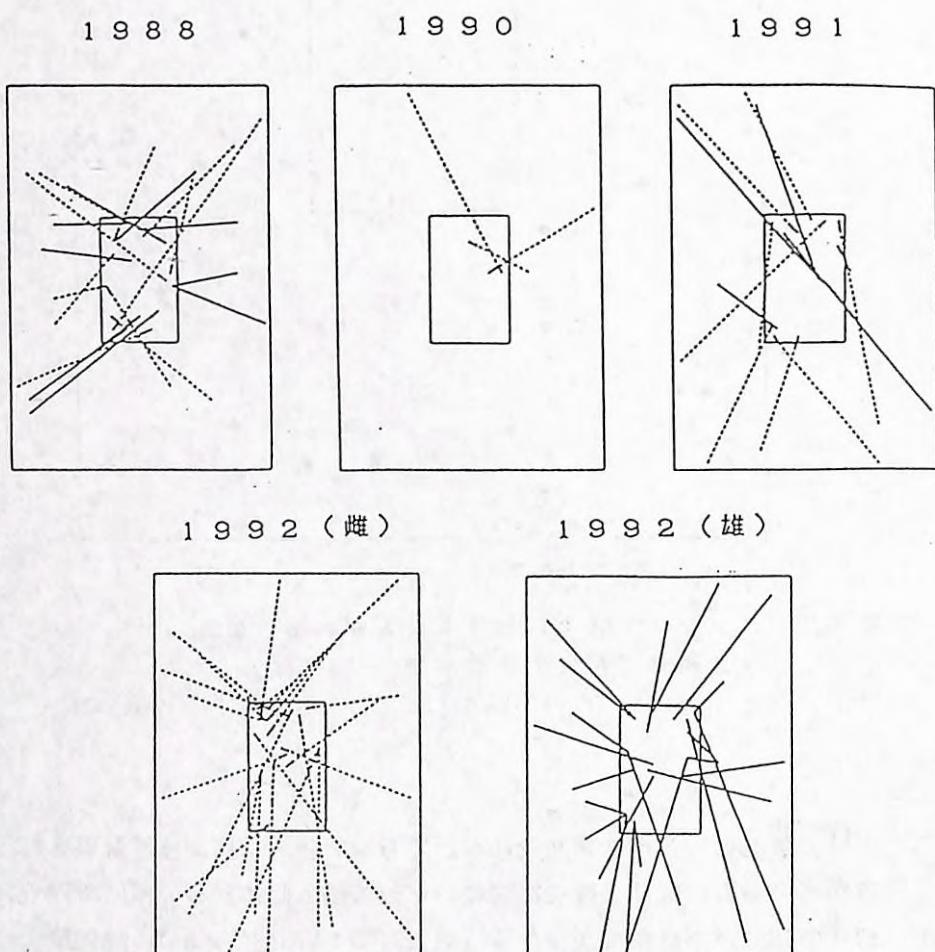


図5 エゾヤチネズミの周辺からの最長侵入距離（1988～1992年）
点線、雌； 実線、雄。 外枠は6.0ha、内枠は0.6haを示す。

上述のように、除去によるエゾヤチネズミの最短と最長の侵入距離を今回初めて知り得たが、さらにこの最長侵入距離の結果から、実際に現地での防除対策を考える上で造林地周辺薬剤散布幅の目安を得るために、造林地の周辺からの直線距離を調べた。その結果、図9に示すように、雌雄を合わせた平均距離は 61.7 ± 6.1 m（82個体、平均値±95%信頼限界）となった。従つて、本試験の場合、造林地（0.6ha）と造林地の周辺約60mの散布幅で秋季防除を実施すれば、少なくとも約1カ月以内であれば造林地への再侵入をかなりの程度にまで防ぐことができると考えられる。しかし、エゾヤチネズミの最長侵入距離が約100m（平均101.1m、表1）であったので、少なくとも周辺散布幅を100mとするならばなお一層侵入防止に役立つと考えられる。実際の事業段階では今後さらに造林地の小面積化、点在化に伴う野鼠個体群の変動、生態などの調査を重ね、必要最小限の周辺防除散布幅について早急に解明していく必要があろう。

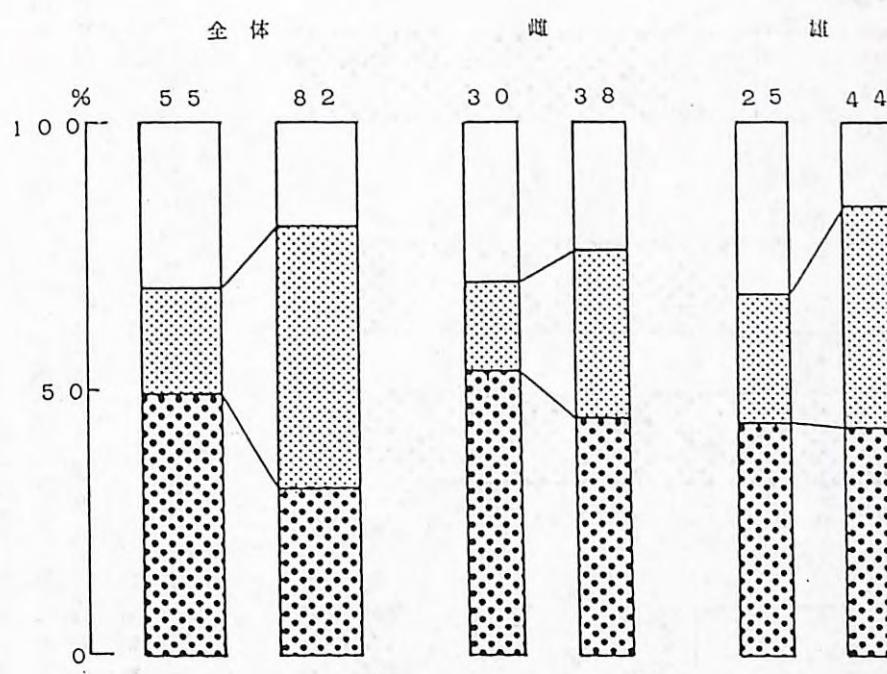


図6 除去と侵入個体群におけるエゾヤチネズミの幼亜成体構成の変化（1988～1992年）
左側、除去個体群； 右側、侵入個体群。
上段、幼体； 中段、亜成体； 下段、成体。
図上の数字は個体数を示す。

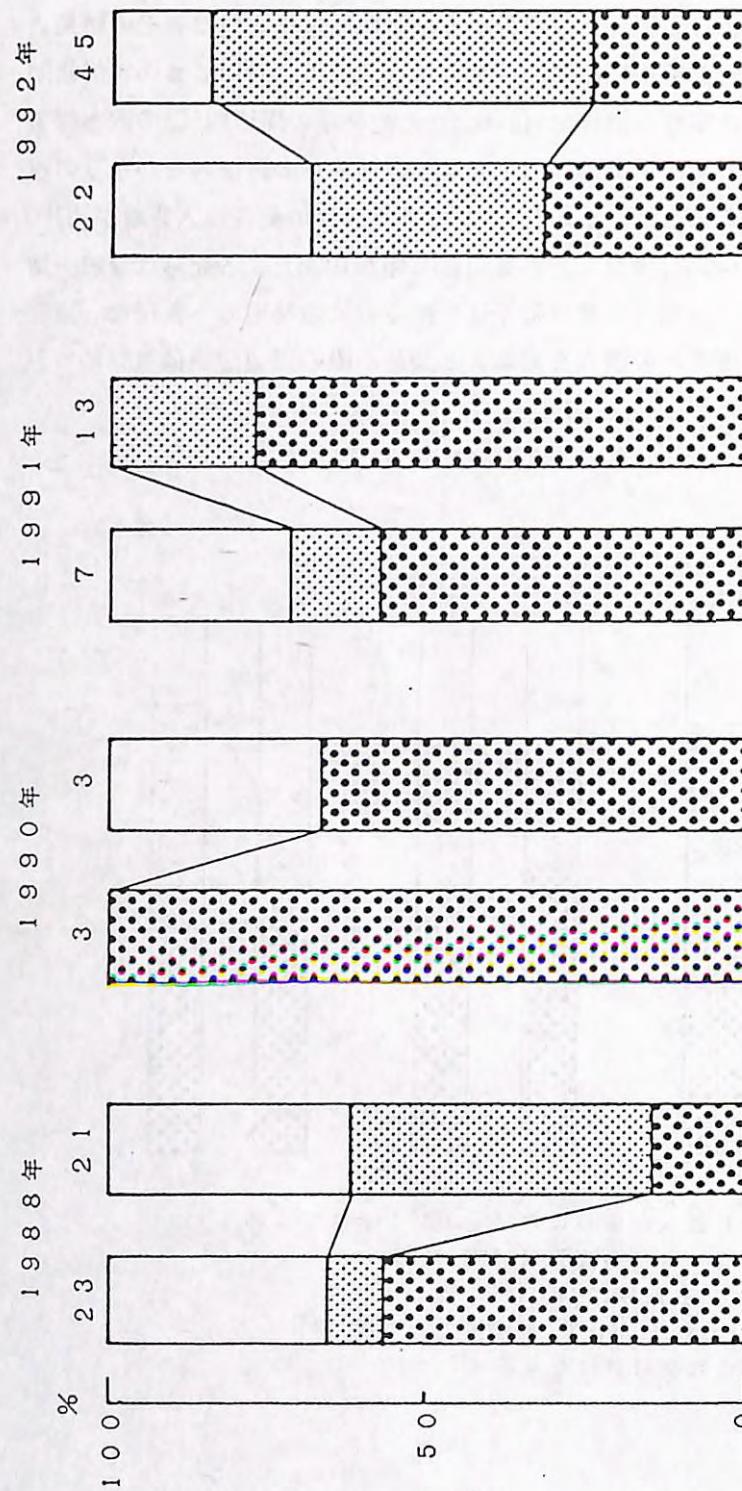


図 7 除去と侵入個体群の各年におけるエゾヤチネズミの幼亜成体構成の変化

左側、除去個体群；右側、侵入個体群。上段の白抜き、幼体；中段の濃い点図部分、亜成体；下段の濃い点図部分、成体。図上の数字は個体数を示す。

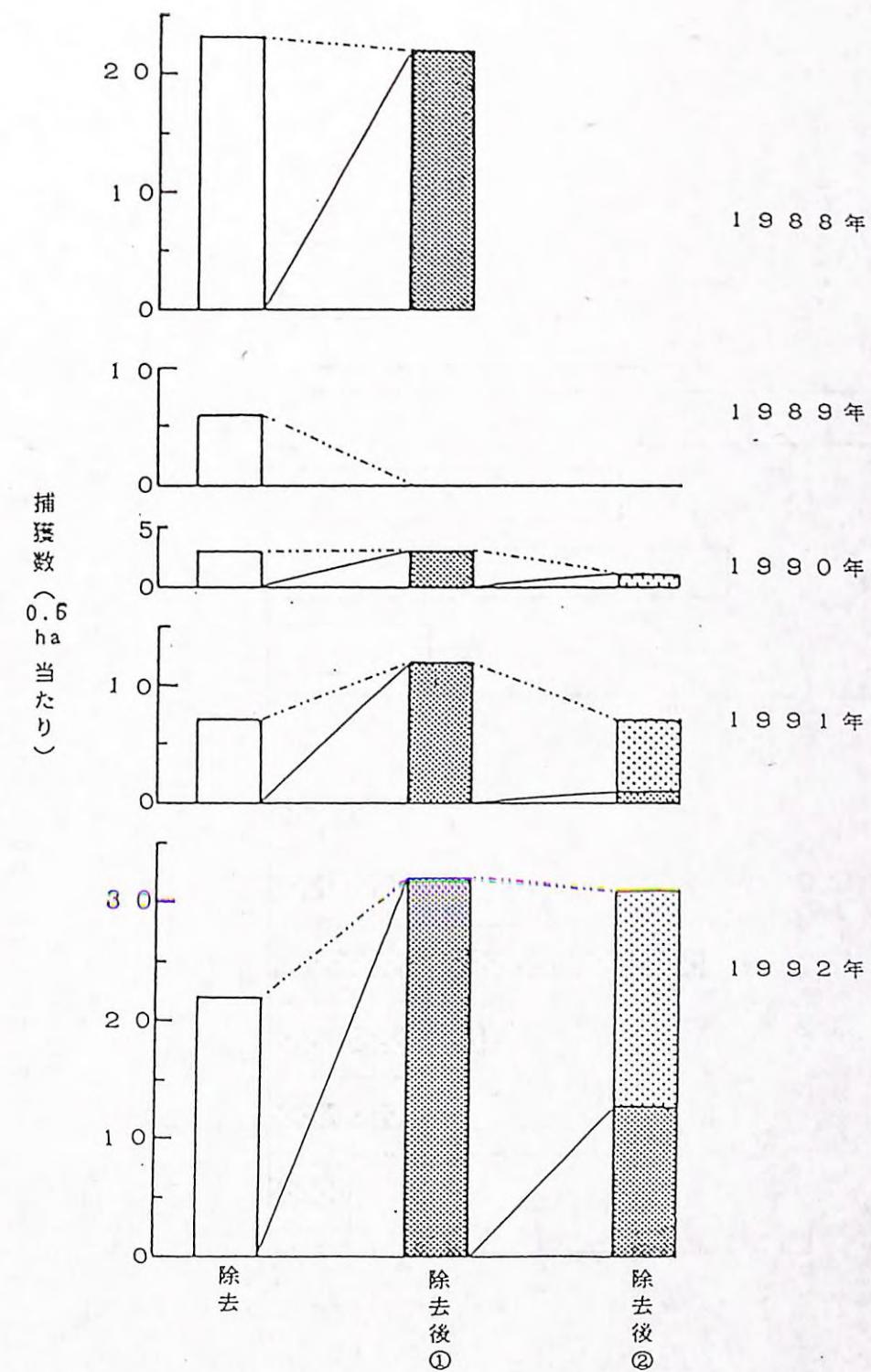


図 8 エゾヤチネズミにおける除去後の回復状況
除去後①、②の濃い点図部分は侵入個体、
淡い点図部分は残留個体を示す。

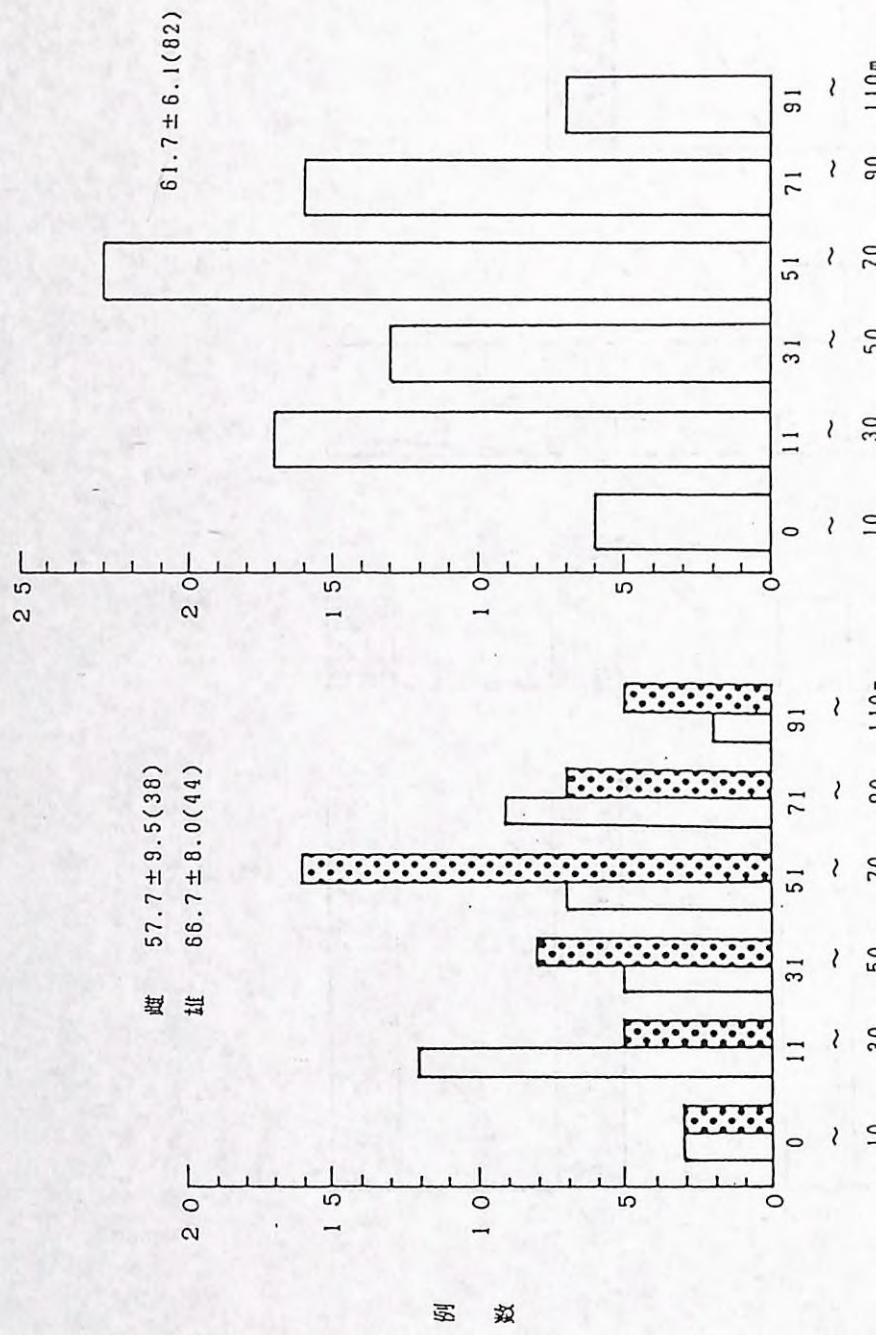


図9 エゾヤチネズミにおける造林地からの（最短直線）距離別例数
(1988～1992年)
左図の白抜きは雌、点図部分は雄を示す。
図上の数字は平均値±95%信頼限界、
()は例数を示す。

2) 北見営林署管内における回復過程

(1) 試験方法

北見営林署仁頃森林事務所管内34号林小班（面積3.21ha）のトドマツ造林地（1988年春植栽、原植本数2,200本/ha）に、面積1.0haの試験地を設けた。造林地の全体は15～25°の北向きの斜面で（標高310～390m），植生はクマイザサを中心とし（150本/m²），野イチゴ、ウコギ、ヨモギなどが混生した造林地である。その造林地の中央部1.0haに、パンチュー罠200個を5m間隔の格子状（20×20）に配置し、1989～1992年の4年間実際の殺鼠剤の散布時期に相当する秋季に、4日間の捕殺調査を2回繰り返した（図10）。1回目と2回目の間隔は1～2または3～4週間とし、2回目の除去後の回復状況を1回目と比較した。餌としては、生ピーナツを用いた。エゾヤチネズミの捕獲個体はすべて体重を測定し幼・亜・成体別に分け（1-1参照），同時に繁殖状況も観察した。

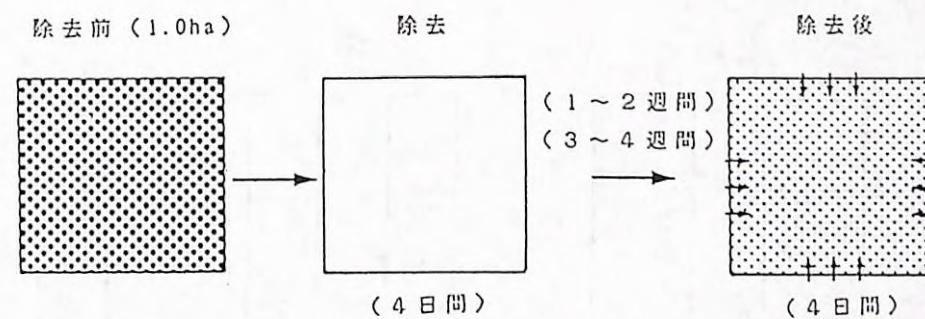


図10 北見営林支局管内における除去後のエゾヤチネズミの侵入と回復に関する調査方法（1989～1992年）

(2) 試験結果

1989～1992年の4年間における1回目の4日間の捕殺個体（除去個体群）と2回目の同捕殺個体（侵入個体群）の幼亜成体構成の変化を図11に示した。雌雄を合わせた4年間の総個体数は除去個体群で113個体、侵入個体群で90個体であった。また、亜成体が多く侵入した（ $\chi^2=4.183$, $p<0.05$ ）。雌雄別では、雄の亜成体の侵入が多かつた（ $\chi^2=10.190$, $p<0.01$ ）。各年度の雌雄を含めた除去個体群と侵入個体群の幼亜成体構成を比較すると（図12），侵入個体群には亜成体が多かつた。

除去個体群と侵入個体群の捕獲位置の分布状況と回復率を図13と表4に示した。両群とも分布的にはあまり変化はみられず、除去前の分布位置に侵入個体が分布する傾向にあった（図13）。回復率は除去後1～2週間で70～90%，3～4週間で100.0%（1991年のみ）と高かつた。しかし、羊ヶ丘実験林における結果と比べると回復率は100%を上回ることは

表4 エゾヤチネズミにおける除去後の回復率（除去面積、1.0ha）

| 調査年 | 除去個体数① | 侵入個体数② | 除去後の回復率（②/①, %） | |
|------|------------|------------|-----------------|-------|
| | | | 1~2週間 | 3~4週間 |
| 1989 | 11(5, 6) | 9(4, 5) | 81.8 | - |
| 1990 | 62(26, 36) | 44(11, 33) | 71.0 | - |
| 1991 | 17(6, 11) | 17(5, 12) | - | 100.0 |
| 1992 | 23(11, 12) | 20(11, 9) | 87.0 | - |

() は (雌, 雄) の個体数を示す。

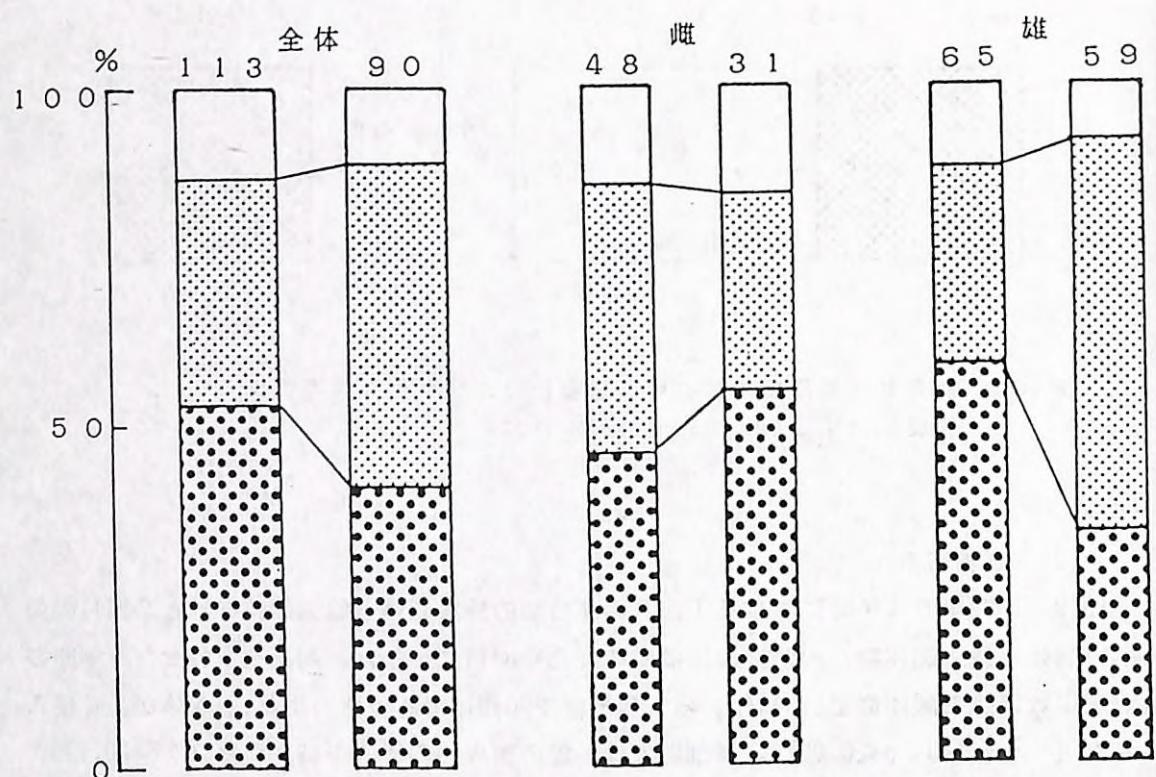


図11 除去と侵入個体群におけるエゾヤチネズミの幼亞成体構成の変化（1989～1992年）
左侧、除去個体群； 右側、侵入個体群。
上段、幼体； 中段、亞成体； 下段、成体。
図上の数字は個体数を示す。

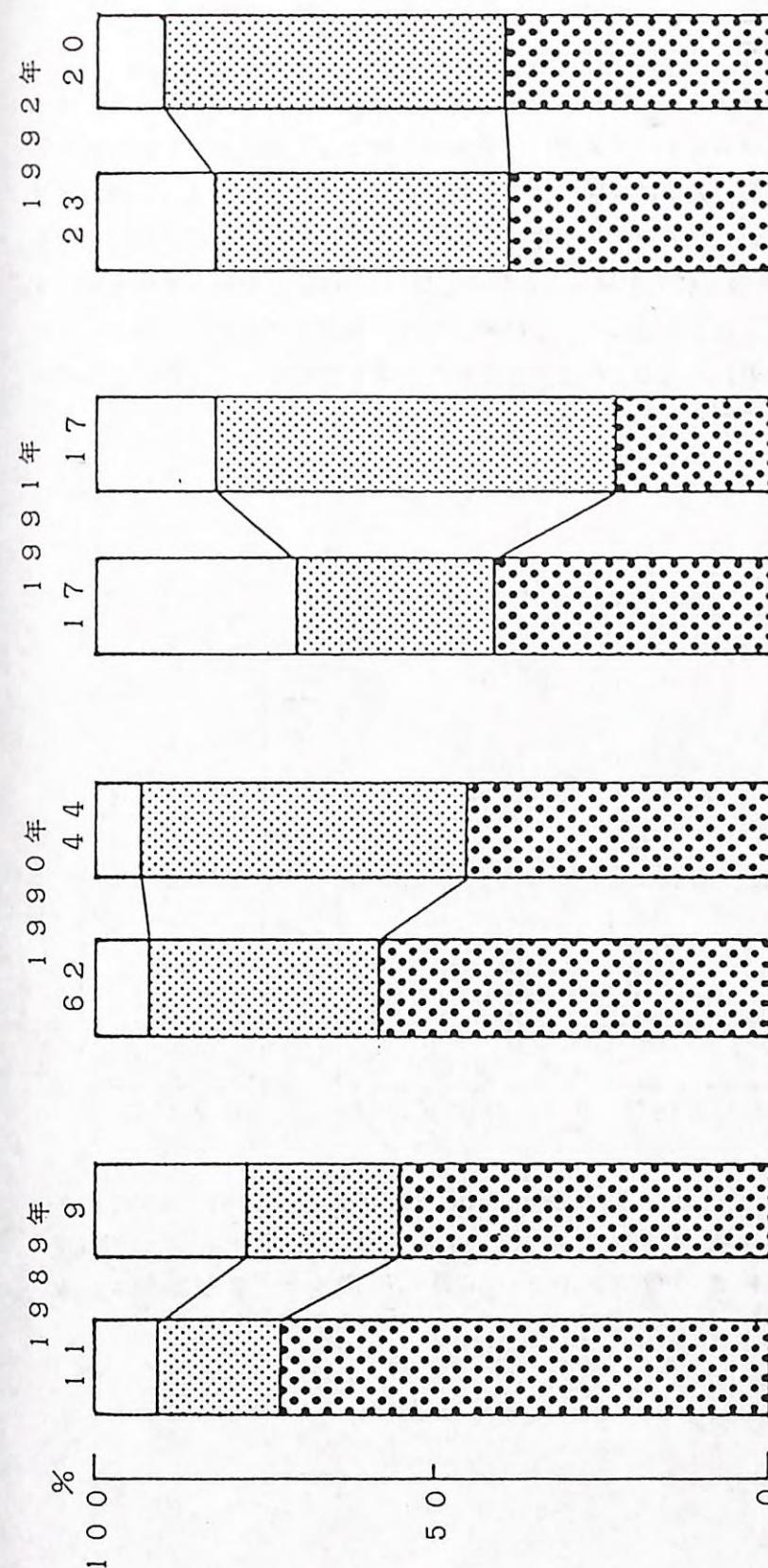


図12 除去と侵入個体群の各年ににおけるエゾヤチネズミの幼亞成体構成の変化（1989～1992年）
幼側、除去個体群； 右側、侵入個体群。 上段、幼体；
中段、亞成体； 下段、成体。 図上の数字は個体数を示す。

なかつた。これは、除去面積の大きさの違い (1.0haと0.6ha)、除去期間の違い (4日間と2日間)、周辺の生息環境及び密度などの違いが関係していると思われる。

以上のように、羊ヶ丘実験林と北見営林署管内の両試験の結果からエゾヤチネズミは人為的に除去しても短期間 (除去後1~2週間) に除去時の数に戻り回復することが判明した。さらに、周辺の密度が高い場合には除去後の期間が長く経つてもなお侵入し続けることも判明した。また、侵入個体は若齢個体で占められた。そのために、現在の防除法すなわち造林地の周辺30mの薬剤散布幅で造林地を駆除する場合、このような侵入個体が越冬する可能性が非常に高くなると思われるので、造林木の被害が懸念される。従って、小面積の造林地においては、現在の散布幅の2~3倍程度の防除幅で実施すれば、周辺から造林地への本種の再侵入を防止できると思われる。

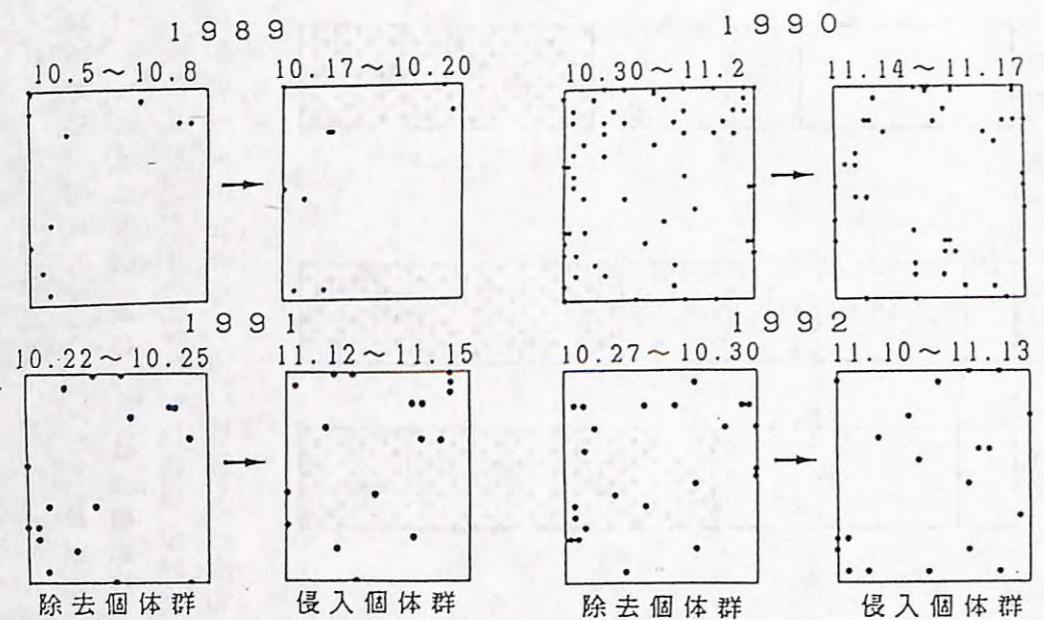


図13 除去後のエゾヤチネズミの侵入状況 (捕獲位置, 1989~1992年)
各年の左側は除去個体群、右側は侵入個体群を示す。外枠は捕獲用罠の最外側の位置 (罠20×20個、間隔5m、面積1.0ha) を線で示した。

2. アカネズミ類2種とエゾヤチネズミに対する殺鼠剤 (1%燐化亜鉛) の室内及び野外摂食試験

1) ヒメネズミとエゾヤチネズミに対する室内摂食試験

(1) 試験方法

森林総合研究所北海道支所の実験林内で、1990年の殺鼠剤の散布時期に相当する10~12月上旬に捕獲したヒメネズミ120個体 (雌68、雄52個体) を本試験の材料とした。そのうち、63個体 (雌35、雄28個体) は毒餌投与区 (試験区) として用い、ケージで1個体ずつ飼育し、1個体につき10粒のエゾヤチネズミ駆除用殺鼠剤を与えて3日間の摂食と死亡状況を観察した。残りの57個体 (雌33、雄24個体) は毒餌無投与区 (コントロール区) として用い、同様の飼育方法で同時に比較試験を行った。また、エゾヤチネズミに対する殺鼠剤の効果を確認するために、ヒメネズミと同じ場所と時期に捕獲したエゾヤチネズミ57個体 (雌24、雄33個体) を用いて、34個体 (雌15、雄19個体) の毒餌投与区と23個体 (雌9、雄14個体) の毒餌無投与区 (コントロール区) をそれぞれ設け、比較試験を行った。さらに、毒餌内の毒成分である燐化亜鉛以外の成分 (基剤、無毒餌) に対する選択性をみるために、上記の毒餌無投与区で使用したヒメネズミのうち34個体 (雌19、雄15個体) とエゾヤチネズミ5個体 (雌1、雄4個体) を用いて、1個体につき10粒の基剤のみの無毒餌を与え、3日間の摂食試験を行った。なお、後者のヒメネズミとエゾヤチネズミに対する無毒餌の摂食試験を除いて、自然乾燥トウモロコシ (品種名:一代交配のゴールドスイート) を与え、飲水は自由摂取とした。飼育は屋根付きで野外の気温にほぼ近い飼育室の条件下で行った。

(2) 試験結果

ヒメネズミとエゾヤチネズミによる燐化亜鉛殺鼠剤 (1%濃度) の摂食試験の結果を表5に示した。ヒメネズミでは、全供試個体の73.0%がエゾヤチネズミ駆除用の殺鼠剤を摂食した。また、1個体当たりの死亡時の残粒数は約8.3粒となっているので、1.7粒 (約2粒) を摂食して死亡した。死亡率は全体の47.6%であった。また、これらについて性差は認められなかつた。

エゾヤチネズミによる殺鼠剤の効果確認試験では、全供試個体の94.1%が殺鼠剤を摂食し、1粒 (平均1.2粒) の摂食で死亡した。死亡率は摂食率と同じ94.1%であった。一方、無投与区では、死亡個体はまったく認められなかつた。従つて、加害種エゾヤチネズミに対する殺鼠剤の有効性は確認された。

以上のことから、ヒメネズミはかなり高い摂食率を示したために、現在使用中の殺鼠剤が造林地において散布された場合、本殺鼠剤がヒメネズミによって摂食される可能性は十分にあると予想される。

ヒメネズミとエゾヤチネズミによる基剤のみの無毒餌の摂食試験の結果を表6に示した。エゾヤチネズミでは、全供試個体のうちすべてが無毒餌を摂食し、3日間で1個体当たり

10粒以上の無毒餌を摂食し,平均9.8粒補給する必要があった。また,無毒餌を元の配置場所から巣材のところにまで運搬していく非常に興味ある習性が観察された。一方,ヒメネズミは3日間で平均3.4粒摂食しただけであった。これらのことから,本殺鼠剤の基剤のみの無毒餌は,ヒメネズミよりもエゾヤチネズミに対してかなり嗜好性の高いものであることが分かった。

以上を総めると,1%燐化亜鉛殺鼠剤はエゾヤチネズミに対しては嗜好性が高く殺鼠効果も優れているが,ヒメネズミに対しては嗜好性,殺鼠効果ともにやや劣った。野外では,ヘリコプター散布による殺鼠剤の落下状況は1坪(3.3m²)当たり1粒程度であるが,ヒメネズミが現実に致死量の約2粒に遭遇して摂食する可能性は少ないと思われる。従って,上述の嗜好性の違いから考えてもヒメネズミが林地において実際に死亡することは極めて少ないのである。

表5 ヒメネズミとエゾヤチネズミによる殺鼠剤の摂食試験(3日間)

| 野鼠 | 投与性 | 個体数 | 体重(g) | 摂食個体数 | 摂食率(%) | 死亡個体数 | 死亡率(%) | 死亡時残粒数 |
|---------|-----|----------|----------|-------|--------|-------|---------|---------|
| ヒメネズミ | 投与区 | 雌35 | 12.9±1.4 | 27 | 77.1 | 18 | 51.4 | 8.6±1.0 |
| | 雄20 | 12.7±1.3 | 19 | 67.9 | 12 | 42.9 | 7.9±1.0 | |
| | 計63 | 12.0±1.3 | 46 | 73.0 | 30 | 47.6 | 8.3±1.1 | |
| 無投与区 | 雌33 | 12.7±1.0 | - | - | 0 | 0 | - | - |
| | 雄24 | 12.7±1.2 | - | - | 1 | 4.2 | - | - |
| | 計57 | 12.7±1.1 | - | - | 1 | 1.8 | - | - |
| エゾヤチネズミ | 投与区 | 雌15 | 26.0±7.5 | 15 | 100.0 | 15 | 100.0 | 9.0±0.5 |
| | 雄19 | 22.6±5.7 | 17 | 89.5 | 17 | 89.5 | 8.7±1.0 | |
| | 計34 | 24.1±6.8 | 32 | 94.1 | 32 | 94.1 | 8.8±0.8 | |
| 無投与区 | 雌9 | 30.3±6.4 | - | - | 0 | 0 | - | - |
| | 雄14 | 24.7±8.0 | - | - | 0 | 0 | - | - |
| | 計23 | 26.9±7.9 | - | - | 0 | 0 | - | - |

体重と死亡時残粒数の数字は平均値±標準偏差を示す。

表6 ヒメネズミとエゾヤチネズミによる無毒餌の摂食試験(3日間)

| 野鼠 | 個体数 | 体重(g) | 摂食個体数 | 摂食率(%) | 摂食粒数(1個体当たり) |
|---------|-----|----------|-------|--------|--------------|
| ヒメネズミ | 34 | 12.9±1.2 | 27 | 79.4 | 3.4±3.1 |
| エゾヤチネズミ | 5 | 29.2±8.4 | 5* | 100.0 | 19.8±9.2 |

*全個体が無毒餌を持ち運ぶ。体重と摂食粒数の数字は平均値±標準偏差を示す。

2) エゾアカネズミに対する室内摂食試験

(1) 試験方法

試験(1) 森林総合研究所北海道支所の実験林内で,実際の殺鼠剤の散布時期に相当する1990年10~12月上旬の積雪前に捕獲したエゾアカネズミの成体8個体(雌2,雄6個体)を試験材料とした。1個体ずつを単飼ケージで飼育し,1個体につき10粒の殺鼠剤を与え,その後3日間の摂食と死亡の状況を観察した。この間の餌としては,自然乾燥トウモロコシ(品種名は一代雜種のゴールドスイート)を十分に与え,水は自由摂取とした。ただし,この3日間の間に死亡しないで生き残った個体については,3日目終了後直ちに餌を取り除き自由飲水だけの状態にして,さらに3日間(計6日間)試験を延長した。飼育試験は野外の温湿度条件にほぼ近い屋根付きの飼育室で行った。

試験(2) 農水省北海道農業試験場構内の天然林で,1991年の殺鼠剤の散布時期に相当する10~11月中旬の積雪前に捕獲したエゾアカネズミの成体22個体(雌12,雄10個体)を試験材料とした。試験の開始約1週間前までは室温下で集団飼育し,その後試験開始までの約1週間と試験期間中は温度20°C,湿度70%,光条件が明時間6時09分(日の出)~16時27分(日の入り)(11月1日通日平均)の飼育室で単飼ケージに入れて飼育した。集団飼育中の餌はエンパクを主体にし,その後の単飼ケージでは試験(1)と同じ品種の自然乾燥トウモロコシを与えた。試験方法は試験(1)とほとんど変わらないが,3日間の餌を取り除いた後もなお生存個体が残っている場合には,死亡するまで試験を続けた。試験期間は1992年3月10~22日である。

(2) 試験結果

試験(1) 野外に近い温湿度条件下における摂食と死亡状況を表7と8に示した。例数は少ないが,餌を与えた場合の3日間の単飼別飼育試験結果により,エゾアカネズミは全個体(8個体)のうち62.5%(5個体)が殺鼠剤を摂食し,12.5%(1個体)が死亡した(表7)。死亡個体は殺鼠剤を3粒摂食していた。また,生存していた7個体の残粒数は平均8.9粒であったことから,1.1粒摂食してもなお生存した。つぎに,7個体(生存率87.5%)の生存個体について餌を取り除いた場合の3日間の結果では(表8),全個体が殺鼠剤を摂食しがちで死亡した。死亡に至る摂食量は平均5.1粒であった。

試験(2) 温湿度一定の条件下における摂食と死亡状況を表9と10に示した。餌のある3日間の結果では,全個体(22個体)のうち77.3%(17個体)が殺鼠剤を摂食し,31.8%(7個体)が死亡した(表9)。7個体の死亡個体の殺鼠剤の平均摂食量は平均1.7粒であった。生存個体(15個体)は平均1.3粒摂食してもなお生存していた。さらに,餌を取り除いた3日間の結果では(表10),生存個体(15個体)のうち93.3%(14個体)が殺鼠剤を摂食し,86.7%(13個体)が死亡した。死亡個体(13個体)の残粒数は平均5.5粒であり,4.5粒摂食して死亡した。

以上の室内試験結果から,もし水と餌が十分にある場合,エゾアカネズミの平均7割以

上（試験(2)で77.3%）が殺鼠剤を摂食するが、死亡するのは全体の4割以下であることが分かった。死亡時の摂食粒数は約2粒であり、ヒメネズミと同様に1粒程度の摂食では死亡しないと考えられた。しかし、餌がまったくない条件では9割以上の個体が、多くの粒数（約5粒）を摂食して死亡した。このように、殺鼠剤に対する摂食率はヒメネズミの場合と比べるとエゾアカネズミの方でやや高い傾向にあった。しかし、死亡時の粒数はヒメネズミとほとんど同じであったが、死亡率はエゾアカネズミの方が低い傾向にあった。

なお、エゾアカネズミに対する殺鼠剤の摂食試験中の特記すべき観察例として、以下の特徴がみられた。今後の殺鼠剤の改善・開発のための参考となろう。

試験(2)の生存個体2個体のうち（表10）、1個体は餌のある3日間の試験期間中に1粒だけ食べたが、その後餌を取り除いても毒餌をまったく食べずそのまま（餌を取り除いて）4日目に餓死した（試験開始から7日目）。残りの1個体は餌のある3日間に4粒食べたが、その後餌を取り除くと摂食量は漸増し、（餌を取り除いて）7日目の死亡（試験開始から10日目）に至るまでの間に約46.6粒（7.77g）食べた。前者の個体は毒餌を忌避し、後者は毒餌を摂食してもなお死亡しない強い抵抗性をもっていたと考えられる。このように、エゾアカネズミにはエゾヤチネズミやヒメネズミと比べて毒餌に対する頗著な個体差が観察された。

表7 エゾアカネズミによる殺鼠剤の室内摂食試験（野外の温湿度条件下、毒餌+エサ、3日間）

| 性 | 個体数 | 体重(g) | 摂 食 | 摂食率 個体数 (%) | 死 亡 | 死亡率 個体数 (%) | 残粒数 | 個体数 | 生存率 (%) | 生存時 残粒数 |
|---|-----|-------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|-----|------------|------------|
| 雌 | 2 | 39.8 ± 1.3 | 2 | 100.0 | 0 | 0 | — | 2 | 100.0 | 8.8 ± 0.8 |
| 雄 | 6 | 38.5 ± 10.1 | 3 | 50.0 | 1 | 16.7 | 7.0 | 5 | 83.3 | 8.9 ± 2.0 |
| 計 | 8 | 38.8 ± 8.8 | 5 | 62.5 | 1 | 12.5 | 7.0 | 7 | 87.5 | 8.9 ± 1.7 |

ネズミ1個体につき10粒の殺鼠剤投与。体重と生存時残粒数の数字は平均値±標準偏差。

表8 エゾアカネズミによる殺鼠剤の室内摂食試験
(野外の温湿度条件下、毒餌、3日間)

| 性 | 個体数 | 摂 食 | 摂食率 個体数 (%) | 死 亡 | 死亡率 個体数 (%) | 死亡時 残粒数 |
|---|-----|-----|----------------|-----|----------------|------------|
| 雌 | 2 | 2 | 100.0 | 2 | 100.0 | 6.0 ± 1.0 |
| 雄 | 5 | 5 | 100.0 | 5 | 100.0 | 4.5 ± 2.6 |
| 計 | 7 | 7 | 100.0 | 7 | 100.0 | 4.9 ± 2.4 |

ネズミ1個体につき10粒の殺鼠剤投与。死亡時残粒数の数字は平均値±標準偏差。

表9 エゾアカネズミによる殺鼠剤の室内摂食試験

(温度20°C・湿度70%の条件下、毒餌+エサ、3日間)

| 性 | 個体数 | 体重(g) | 摂食個体数 | 摂食率(%) | 死亡個体数 | 死亡率(%) | 残粒数 | 個体数 | 生存率(%) | 生存個体数 | 生存時残粒数 |
|---|-----|----------|-------|--------|-------|--------|---------|-----|--------|---------|--------|
| 雌 | 12 | 40.7±8.3 | 8 | 66.7 | 4 | 33.3 | 8.3±0.4 | 8 | 66.7 | 9.3±0.8 | |
| 雄 | 10 | 48.0±6.2 | 9 | 90.0 | 3 | 30.0 | 8.3±0.5 | 7 | 70.0 | 8.0±1.2 | |
| 計 | 22 | 44.0±8.3 | 17 | 77.3 | 7 | 31.8 | 8.3±0.4 | 15 | 68.2 | 8.7±1.2 | |

ネズミ1個体につき10粒の殺鼠剤投与。体重と死亡時・生存時残粒数の数字は平均値±標準偏差。

表10 エゾアカネズミによる殺鼠剤の室内摂食試験
(温度20°C・湿度70%の条件下、毒餌、3日間)

| 性 | 個体数 | 摂食個体数 | 摂食率(%) | 死亡個体数 | 死亡率(%) | 残粒数 | 個体数 | 生存率(%) | 生存個体数 | 生存時残粒数 |
|---|-----|-------|--------|-------|--------|---------|-----|---------|-------|--------|
| 雌 | 8 | 8 | 100.0 | 8 | 100.0 | 5.7±2.8 | 0 | - | - | - |
| 雄 | 7 | 6 | 85.7 | 5 | 71.4 | 5.1±1.6 | 2 | 0.1±0.1 | - | - |
| 計 | 15 | 14 | 93.3 | 13 | 86.7 | 5.5±2.5 | 2 | 0.1±0.1 | - | - |

死亡時・生存時残粒数の数字は平均値±標準偏差を示す。

3) 生け捕り用捕獲罠による野外摂食試験

(1) 試験方法

森林総合研究所北海道支所の広葉樹天然林内に面積1.0haの試験地を設けた。生け捕り用の捕獲罠100個を10×10mの等間隔に配置し、最初の5日間はコントロールとして無毒餌10粒ずつを各罠内に入れ、捕獲された野鼠類の記号放逐調査を行った。つづく後半の5日間は、餌として毒餌10粒ずつを各罠内に入れた。調査は1991年と1992年の2回実施し、期間は1回目が8月19~31日、2回目が8月17~29日である。なお、2回目の調査(1992年)では餌としての無毒餌または毒餌が期間中少なくとも20粒以上は常時あるように隨時補給した。また、野鼠類の幼・成亜成体の区別は、エゾヤチネズミでは他の項(1-1)-(1)と同様に行った。エゾアカネズミでは体重20g以下を幼体、21g以上を成亜成体、ヒメネズミでは体重10g以下を幼体、11g以上を成亜成体とみなした。推定生息密度は最小二乗法、Zippin法、リンクーン示数法の3法によった。

(2) 試験結果

無毒餌と毒餌を餌とした2年間の捕獲結果と推定生息密度をまとめて表11と12に示した。1991年ではヒメネズミが最も多く捕獲された。無毒餌と毒餌を比べると、毒餌で捕獲数が半減したが、これは表12で示すように密度が激減したためと思われる。エゾアカネズミとエゾヤチネズミは少なかった。1992年では野鼠類の捕獲数は全般に多く、エゾアカネズミが最も多かった。無毒餌と毒餌を比べると、エゾヤチネズミでは毒餌の方が倍増したが、エゾアカネズミとヒメネズミは無毒餌、毒餌とも同数であった。表13には、無毒餌で記号した個体の毒餌調査における再捕獲状況と未記号個体の捕獲状況を示した。1991年のヒメネズミは12個体の記号個体のうち1個体再捕獲されただけで、再捕獲率が極端に低かつた。

表11 生け捕り用罠による捕獲個体数(調査地1ha、5日間の総数)

| 野鼠類 | 性 | 1991年 | | 1992年 | |
|---------|---|-----------|--------|-----------|--------|
| | | VII.20~24 | | VII.27~31 | |
| | | 無毒餌(記号放逐) | 毒餌(死亡) | 無毒餌(記号放逐) | 毒餌(死亡) |
| ヒメネズミ | 雌 | 8(3) | 5 | 6 | 9 |
| | 雄 | 11(4) | 5 | 6 | 4 |
| | 計 | 19(7) | 10 | 12 | 13 |
| エゾアカネズミ | 雌 | 1(1) | 1 | 8(2) | 6* |
| | 雄 | 2 | 2 | 11(5) | 15 |
| | 計 | 3(1) | 3 | 19(7) | 21 |
| エゾヤチネズミ | 雌 | 1 | 0 | 3 | 5 |
| | 雄 | 2(1) | 1 | 5(1) | 12 |
| | 計 | 3(1) | 1 | 8(1) | 17 |

無毒餌の()内は調査中の死亡個体数。*, 6個体のうち、1個体は生きた状態で捕獲、妊娠中。

逆に、1992年では再捕獲率が全般に高く、とくにエゾアカネズミで最も高かった。一方、毒餌調査における未記号個体の捕獲状況では、エゾヤチネズミが無毒餌の捕獲数（記号個体）の約2倍（13個体／7個体）であった。エゾヤチネズミで未記号個体が多かつた原因として、今回の場合、幼体（体重20g以下）がまったく捕獲されず（表13）、密度がとくに高いとは限らない（表12）、行動範囲が本種でとくに広いとは考えられない（表14）、毒餌を添加することにより誘引性がさらに増加するとは考えにくいなどの理由から、周辺からの侵入個体が非常に多かつたためと考えられる（表15）。また、雄個体が非常に多かつたこと（12個体のうち8個体）からも本種の侵入が裏付けられる。

以上の野外試験結果から、3種類の野鼠とともに、餌を無毒餌から毒餌に切り換えても、記号個体、未記号個体ともに捕獲数は両餌間に差がなかった。そのため、室内の摂食試験結果と同様、野外においても野鼠類は毒餌（殺鼠剤）を摂食する可能性のあることが十分に考えられた。ただし、今回の野外試験では生け捕り用の捕獲罠を用いたが、この罠の特長として、捕獲精度を高めるために野鼠類が罠に掛かり易いように中が暗く奥行きのあるものに工夫されている（ここではトンネル効果と称す）。そのために、中に入れる餌による誘引効果の他に、トンネル効果によって捕獲される可能性も考えられる。そこで、上記の結果が必ずしも毒餌のみの捕獲結果とは判定しにくい問題が残る。そのため、トンネル効果の問題点を取り除くために、捕殺用の罠（パンチュー罠）を用いて以下に試験した。

表12 推定生息密度（1ha当たり）

| 野鼠類 | 1991年 | | | | | | 1992年 | | | | | |
|---------|-------|------|------|----|------|---|-------|------|------|------|------|---|
| | 無毒餌 | | | 毒餌 | | | 無毒餌 | | | 毒餌 | | |
| | ① | ② | ③ | ① | ② | ③ | ① | ② | ③ | ① | ② | ③ |
| ヒメネズミ | — | 54.3 | 42.5 | — | 10.8 | — | — | 18.7 | 13.0 | 13.1 | | |
| エゾアカネズミ | — | — | — | — | — | — | 18.3 | 19.6 | 19.0 | 20.1 | 22.3 | |
| エゾヤチネズミ | — | — | 3.0 | — | — | — | — | 10.0 | 18.7 | 18.5 | | |

①、最小二乗法、②、Zippin法、③、リンカーン示数法。—は推定不能。

表13 記号・未記号個体の捕獲数の内訳

| 野鼠類 | 1991年 | | | 1992年 | | |
|---------|-------|---------|--------|-------|----------|----------|
| | 無毒餌 | | 毒餌 | 無毒餌 | | 毒餌 |
| | 記号個体 | 未記号個体 | 記号個体 | 未記号個体 | 記号個体 | 未記号個体 |
| ヒメネズミ | 12 | 1(8.3) | 9[1,8] | 12 | 7(58.3) | 6[1,5] |
| エゾアカネズミ | 2 | 1(50.0) | 2[0,2] | 12 | 11(91.7) | 10[0,10] |
| エゾヤチネズミ | 2 | 0(0) | 1[0,1] | 7 | 4(57.1) | 13[0,13] |

() は再捕獲率（捕餌調査時の記号個体数／無毒餌調査時の記号個体数（死亡個体を除く）×100%）、[] は〔幼体数、成・亞成体数〕を示す。野鼠類の幼体、成・亞成体の区別は体重に基づいて決めた（本文参照）。

表14 無毒餌調査時における野鼠類の平均最長行動距離（m、1991～1992年）

| 野鼠類 | 2回以上捕獲の場合 | | 3回以上捕獲の場合 | |
|---------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| | ヒメネズミ | エゾアカネズミ | エゾヤチネズミ | ヒメネズミ |
| ヒメネズミ | 29.0±14.9(11) | 31.0±25.2(16) | 23.5±24.9(6) | 33.8±19.7(3) |
| エゾアカネズミ | | | | 38.5±24.7(12) |
| エゾヤチネズミ | | | | 36.2±30.7(3) |

平均値±標準偏差。（ ）内の数字は例数。

表15 周辺部（周辺から30m以内）における未記号個体（成・亞成体）の捕獲割合

| 野鼠類 | 1991年（毒餌） | | | 1992年（毒餌） | | |
|---------|-----------|------|-------------|-----------|------|-------------|
| | 未記号個体 | 記号個体 | 未記号個体の割合（%） | 未記号個体 | 記号個体 | 未記号個体の割合（%） |
| ヒメネズミ | 8(5) | 1 | 88.9 | 5(1) | 6 | 45.5 |
| エゾアカネズミ | 1 | 0 | 100.0 | 10(8) | 11 | 47.6 |
| エゾヤチネズミ | 1(1) | 0 | 100.0 | 12(8) | 3 | 80.0 |

() 内は雄の個体数を示す。

4) 捕殺用捕獲罠による野外摂食試験

(1) 試験方法

札幌営林署・みす舞森林事務所管内1,046り小班（面積5.49ha）の育成天然林（トドマツを1985年5月植栽）に、面積0.5haの毒餌区（試験区）と同面積の生ピーナツ区（対照区）の二つの試験地を設けた。両区とも1箇所に捕殺用のパンチュー罠2個ずつを10mの等間隔で5×10の格子状に計100個（／区）を配置し、3日間または4日間の野鼠類の捕獲を行った。両区の間隔は約30mであった。ただし、捕獲用罠の餌となる毒餌と生ピーナツの大きさ・形状は、前者が直径約6.0mmの球状、後者が長径約23.0mm・短径約8.0mmの楕円球形状であり、前者は後者の約4分の1の大きさで、形状ともかなり相違していた。調査年と調査期間は表16のとおりで、いずれも野外で殺鼠剤の散布時期にほぼ近い秋季に行った。

表16 パンチュー罠による殺鼠剤の野鼠別被食試験（調査時期）
(場所: 札幌営林署・みす舞森林事務所管内1,046り小班、
トドマツ造林地, 1985年5月植栽)

| 調査回数 | 調査年 | 月日 |
|------|------|-----------|
| 1 | 1989 | 10月24～27日 |
| 2 | 1990 | 10月23～26日 |
| 3 | 1991 | 10月22～24日 |
| 4 | 〃 | 10月25～27日 |
| 5 | 1992 | 10月27～30日 |

(2) 試験結果

図14には全期間にわたる毒餌区とピーナツ区の各区の総捕獲数に占める野鼠別の捕獲割合を、それぞれ示した。毒餌区の捕獲総数は42個体となり、ピーナツ区の110個体の約3分の1であった。この原因としては、毒餌の大きさが小さいため、噛み捕りにくくパンチュー罠の捕獲感度が劣ること、毒餌であるために生ピーナツに比べて選択性が劣ることが考えられる。

野鼠の種類別でみると、ピーナツ区ではエゾヤチネズミ（46個体）、ヒメネズミ（37個体）、エゾアカネズミ（22個体）の順に多く捕獲された。しかし、毒餌区ではエゾアカネズミが最も多く（17個体）、次いでエゾヤチネズミとヒメネズミが同数（11個体）であった。

このように、生け捕り用の捕獲罠によるトンネル効果の影響を取り除くために4年間仕掛けた捕殺用のパンチュー罠による試験においても、毒餌区ではエゾアカネズミの捕獲数

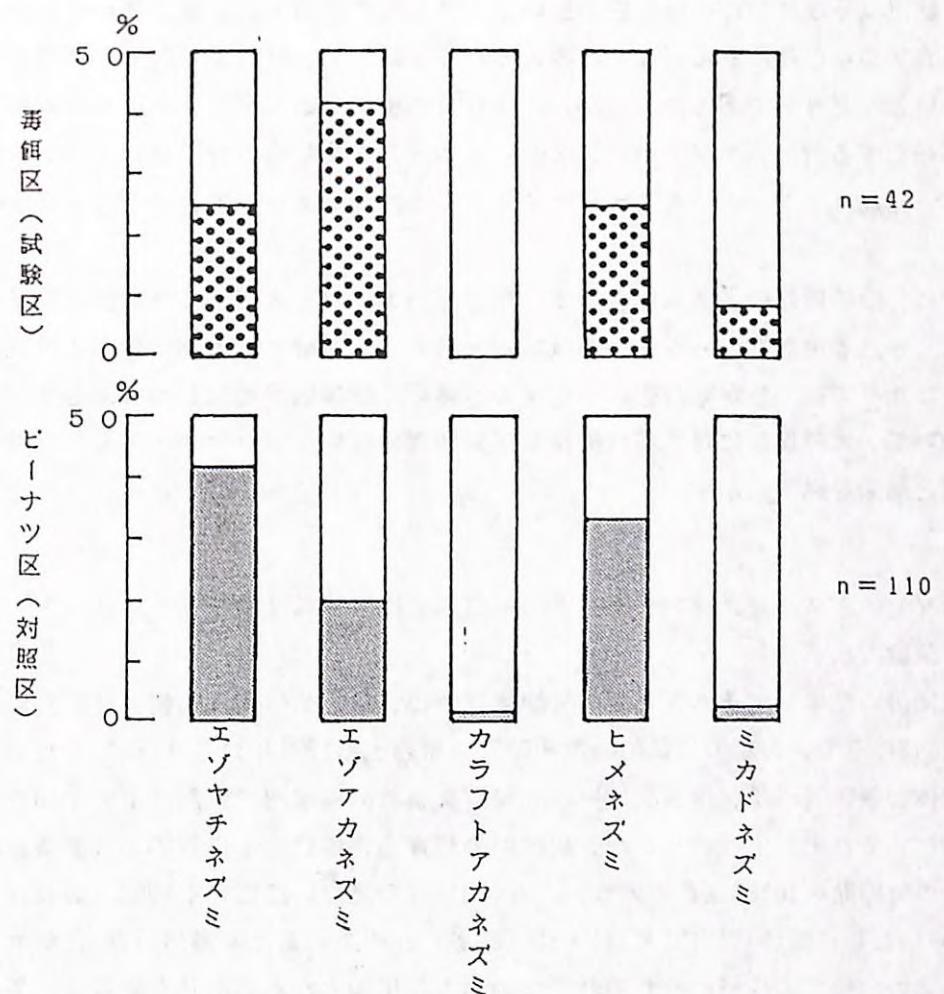


図14 野鼠の種類別捕獲割合（1989～1992年の5回調査）

がエゾヤチネズミよりも高く、ヒメネズミもまたエゾヤチネズミと同様の捕獲率であった。以上のことから、アカネズミ類2種とも野外で殺鼠剤を摂食する可能性の高いことが示唆された。

以上のように、エゾアカネズミとヒメネズミの両種とも室内試験と同様、生け捕り用及び捕殺用の罠で実施した野外試験の結果、毒餌（殺鼠剤）を摂食することが分かった。ただし、室内試験の結果から死亡粒数はエゾヤチネズミの1粒に比べて、両種は約2粒摂食しなければ死亡しないことも分かった。

これらのことから、実際に野外の造林地で殺鼠剤が散布された場合、アカネズミ類2種によって本剤が摂食される可能性は十分にあるものの、現在のヘリコプターによる殺鼠剤

の散布状況ならびに前述の嗜好性の違いから考えて、アカネズミ類2種が2粒以上の殺鼠剤を摂食することはほとんどないと考えられる。従って、野外でこれらの両種が死亡することもほとんどないであろう。しかし、駆除目的種であるエゾヤチネズミが本剤を1粒摂食して死亡する前に、エゾアカネズミやヒメネズミを含む他の野鼠類によって本剤が先取りされ、結局ターゲットであるエゾヤチネズミの駆除効果を低下させることは十分に予想される。

さらに、次の段階の主要試験として、殺鼠剤がエゾヤチネズミ以外の他の野鼠類によって先取りされる可能性のもう一つの試験例として、本試験では本剤に対する摂食率がヒメネズミに比べて高くしかも最近の小面積の造林地で個体数が増加しつつあるエゾアカネズミについて、本殺鼠剤に対する日周採餌活動様式の違いをエゾヤチネズミと比較した。その方法と結果を以下に示す。

3. エゾヤチネズミとエゾアカネズミの採餌活動様式比較試験

1) 試験方法

試験に用いたエゾヤチネズミ成体30個体（雌13、雄17個体）は札幌営林署当別森林事務所管内346林班で、実際の殺鼠剤の散布時期に相当する1991年11月8日に、またエゾアカネズミ成体15個体（雌7、雄8個体）は北海道農業試験場構内の天然林で同年10月1日～11月14日に、それぞれ生け捕りした。観察時の飼育条件は11月1日平年の気象条件に合わせて1日の暗時間を16:27（日の入り）～6:09（日の出）、温度差を20°C（最高18°C、最低-2.0°C）とし（図15）、131×141×80（高さ）cmの運動場に無毒餌120粒と飲水、中に綿を入れ2つの接する横壁にそれぞれ1つの出入り用の穴がある巣箱を配置し、午前10時から翌日午前9時までの約1日間の運搬時刻・回数・粒数などを観察した。観察は赤外線暗視野カメラにより記録し、観察した。試験は1個体ずつを行い、2日目を本試験とした。なお、観察までの野鼠は最低1カ月以上前記の飼育条件（11月1日通日平均の光・温度条件）に集団飼育で慣らした後、1個体ずつ試験に供した。また、無毒餌は不足すると思われる場合には追加補給した。

さらに、追加補足試験として、両種とも集団飼育し、しかも同一個体を連続して観察した場合にはどのような採餌活動様式になるかを調べた。エゾヤチネズミとエゾアカネズミをそれぞれ別々のポリ容器（上部直径：53cm、底部直径：49cm、高さ：65cm）に6個体ずつ（雌雄各3個体で、体重が大・中・小の3個体）を入れた集団飼育の場合の採餌活動状況を観察した。観察時間は1日のうち午後5時前後の1時間と最低温度（-2.0°C）時の午前4時前後の1時間の計2回、無毒餌を運搬した個体のみを15分刻みで記録し、5日間連続して観察した。エゾヤチネズミは前記の当別森林事務所管内で1992年11月12日に、エゾアカネズミは前記の北農試構内で1992年10月6～9日に、それぞれ捕獲した。その後直ちに前記の飼育条件下で飼育し、それらの個体のなかから同年3月15日に試験に用いる両種

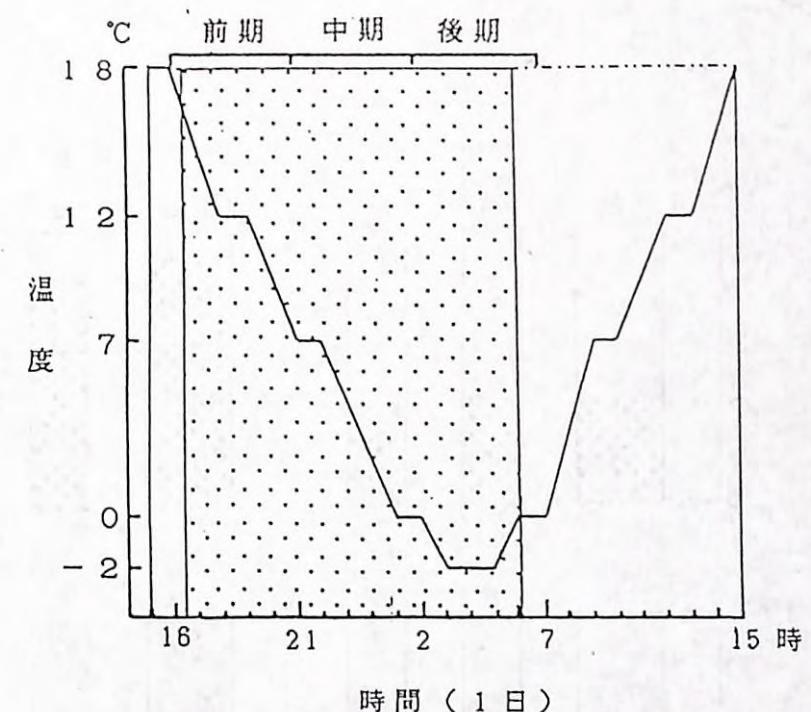


図 15 1日の温度変化と光の明暗時間の設定
16:00 ≤ 前期 < 21:00(5時間)； 21:00
≤ 中期 < 2:00(5時間)； 2:00 ≤ 後期 <
7:00(5時間)。点図部分が暗時間を示す。

各6個体を選び、別々のポリ容器（大きさは前記）で飼育試験を行った。試験は同年5月24～29日に行った。観察のための明かりには、薄い黒布で覆ったスタンド用裸電球（60W）を用い、試験開始2週間前から点灯して野鼠類を慣れさせるようにした。なお、個体識別には、野鼠の頭部と胴部の前後を1本ずつ横線状にハサミで毛を刈り取り（胴部だけで左右含めると4個体を識別可能），残りの1個体は毛をまったく刈り取らないでそのままとして、6個体を区別した。

2) 試験結果

エゾヤチネズミとエゾアカネズミの無毒餌に対する日没時の採餌活動を中心みると、16時台ではエゾヤチネズミで全体の36.7%の個体が、エゾアカネズミでは73.3%もの個体が餌の運搬を開始し、明らかにエゾアカネズミの活動個体の割合が高かつた（Yatesの補正、 $\chi^2=4.013$ 、 $p<0.05$ ）。ところが、17時台では両種ともほとんどが餌を運搬するようにな

つた（エゾヤチネズミ90.0%，エゾアカネズミ100.0%）（図16）。両種とも雌雄差は認められなかつた。

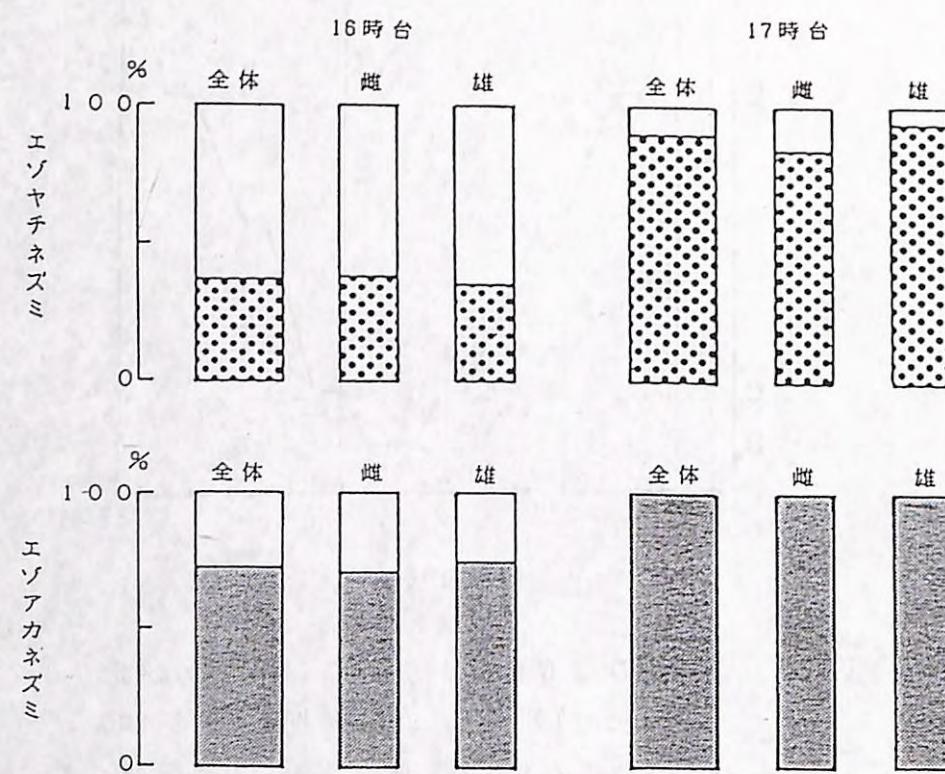


図 16 16時台と17時台におけるエゾヤチネズミとエゾアカネズミの無毒餌運搬個体数の割合

つぎに、両種の最初の餌の運搬時刻と16~17時台の平均運搬時刻（表17），さらに16時台の運搬回数と運搬量（粒数）をみると（表18），エゾアカネズミの方がエゾヤチネズミに比べて時間的に早く（約20分）餌の運搬を開始し，しかも運搬回数・量（粒数）ともに多かつた（順に，最初の時刻： $t=2.336, p<0.05$ ，平均時刻： $t=10.086, p<0.01$ ，運搬回数： $t=2.519, p<0.05$ ，運搬量： $t=2.273, p<0.05$ ）。これらのこととは，図17と18においてエゾアカネズミの運搬回数と運搬量の絶対量（図17）及び1日間の採餌活動の平均割合（図18）が雌雄とも夜間のうちの前期と中期に集中して多かつた結果と良く一致する。他方，エゾヤチネズミは，夜間のうち前期の方で雄が雌に比べて運搬回数・量ともに多かつたが（図18の1日間の平均割合： $t=2.3286, p<0.05$ ），後期では逆に雌の方が雄に比べて多くなる傾向を示した。従つて，エゾヤチネズミでは雌雄平均すれば夜間を通じて平均した運搬回

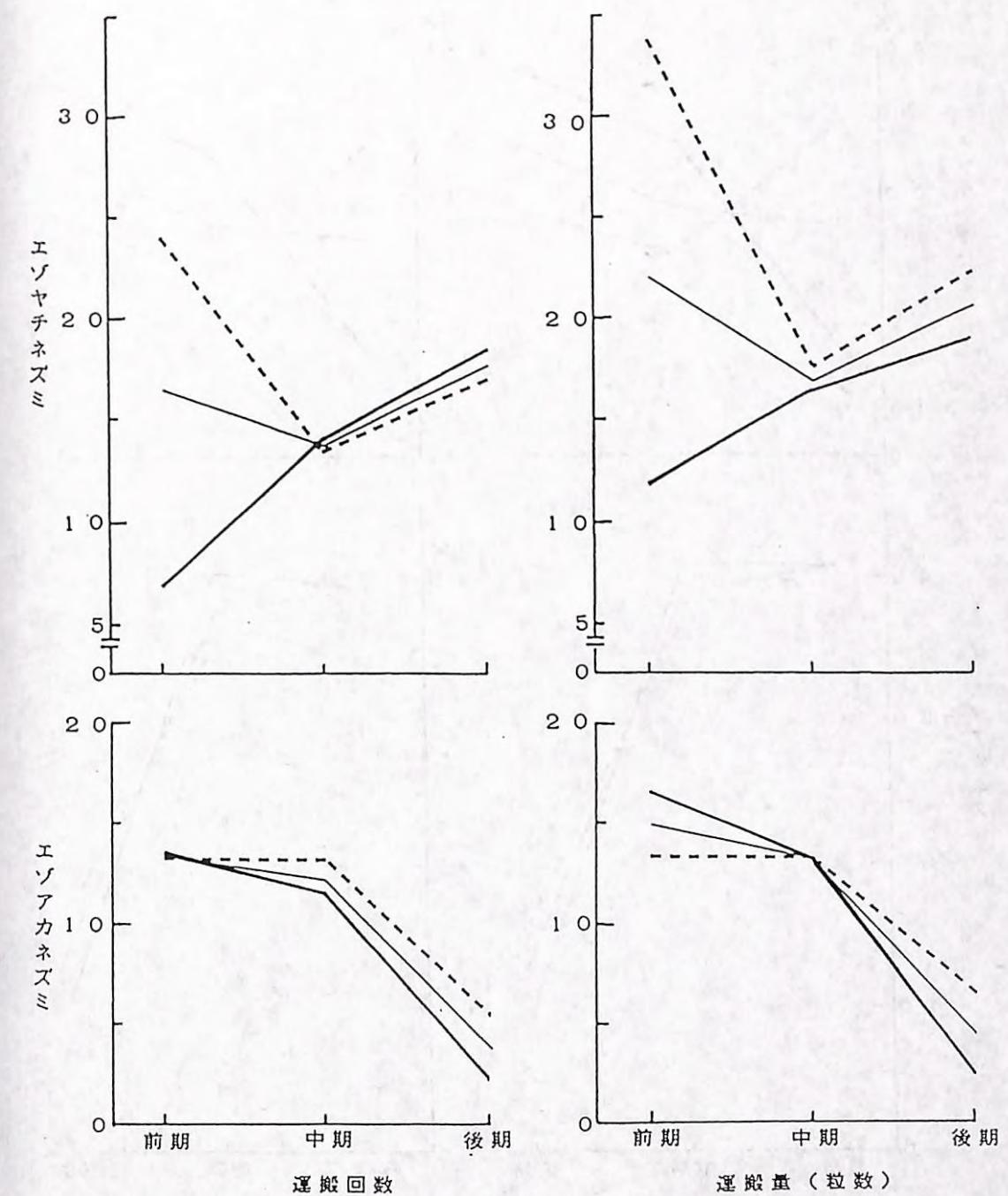


図 17 エゾヤチネズミとエゾアカネズミにおける無毒餌の時間帯別運搬回数と運搬量（1個体当たり平均）
16:00 ≤ 前期 < 21:00(5時間)； 21:00 ≤ 中期 < 2:00(5時間)；
2:00 ≤ 後期 < 7:00(5時間)。点線は雄、太い実線は雌、
細い実線は平均を示す。

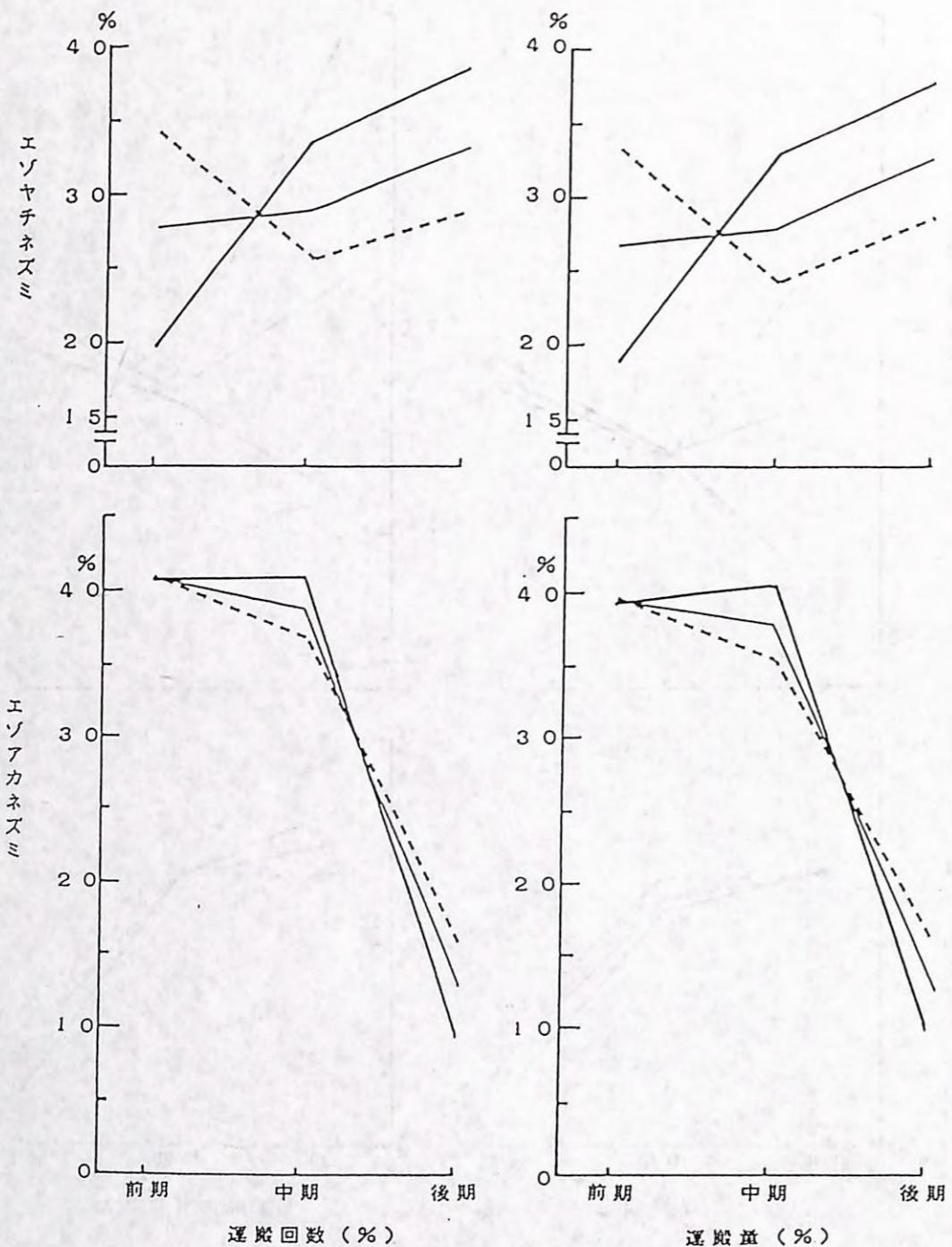


図 18 エゾヤチネズミとエゾアカネズミにおける無毒餌の時間帯別運搬回数と運搬量（1個体当たり平均、1日間の割合）
16:00 ～ 前期 < 21:00(5時間)； 21:00 ～ 中期 < 2:00(5時間)；
2:00 ～ 後期 < 7:00(5時間)。点線は雄、太い実線は雌、
細い実線は平均を示す。

表 17 エゾヤチネズミとエゾアカネズミにおける無毒餌の最初の運搬時刻と16～17時台の平均運搬時刻

| 野鼠 性 | 最初の運搬時刻 | 平均運搬時刻 |
|-----------|----------------|----------------|
| 雌 | 17時03分17秒 (13) | 17時05分49秒 (13) |
| エゾヤチネズミ 雄 | 17時10分52秒 (17) | 17時18分24秒 (17) |
| 平均 | 17時06分59秒 (30) | 17時12分57秒 (30) |
| 雌 | 16時57分16秒 (7) | 16時58分41秒 (7) |
| エゾアカネズミ 雄 | 16時37分45秒 (8) | 16時47分52秒 (8) |
| 平均 | 16時46分56秒 (15) | 16時52分49秒 (15) |

() は個体数を示す。

表 18 16時台におけるエゾヤチネズミとエゾアカネズミの運搬回数と運搬量（粒数）

| 野鼠 性 | 運搬回数 | 運搬量（粒数） |
|-----------|-----------------|-----------------|
| 雌 | 0.46 ± 0.63(13) | 0.46 ± 0.63(13) |
| エゾヤチネズミ 雄 | 0.35 ± 0.48(17) | 0.41 ± 0.60(17) |
| 平均 | 0.40 ± 0.55(30) | 0.43 ± 0.62(30) |
| 雌 | 4.00 ± 6.63(7) | 5.43 ± 9.69(7) |
| エゾアカネズミ 雄 | 1.50 ± 1.00(8) | 1.63 ± 1.11(8) |
| 平均 | 2.67 ± 4.76(15) | 3.40 ± 6.94(15) |

() は個体数を示す。

数、運搬量の採餌活動となった。夜間のうちの後期は1日のうちで一番寒い（-2.0°C）時間を含んでいるが、エゾアカネズミの方はこの時間帯採餌活動が極端に低下した。この結果から、本種が低温に弱いことが予想される。エゾヤチネズミにはそのような傾向は認められなかつた。

以上の試験結果は、1個体の観察で1日間だけの採餌活動記録を中心に数多くの個体で観察した。しかし、同一の個体についてしかも集団飼育で約1週間（5日間）にわたって連続して観察した場合にはどのような結果になるかを、15時と4時前後（-2.0°C）の1時間計2時間だけにしぼって観察した（表19）。少なくとも1日のうちの2回だけの観察結果であるが、この結果は前述の1個体につき1日間だけ観察した結果とほとんど一致した。すなわち、エゾアカネズミの方がエゾヤチネズミに比べて夜間の早めに餌の採餌活動を行

表19 17時と4時前後の1時間における摂食活動の日数分布（5日間）

| 野鼠 性 体重(g) | 16:30 | | 16:45 | | 17:00 | | 17:15 | | 3:30 | | 3:45 | | 4:00 | | 4:15 | |
|------------|-------|--------|-------|-----|-------|-------|-------|-----|------|----|------|----|------|----|------|----|
| | ~45 | ~17:00 | ~15 | ~30 | ~45 | ~4:00 | ~15 | ~30 | ~0 | ~1 | ~0 | ~1 | ~0 | ~1 | ~0 | ~0 |
| 43.6 | 1 | 2 | 5 | 5 | 0 | 2 | 1 | 0 | | | | | | | | |
| エゾ 雌 25.4 | 0 | 2 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | |
| ヤチ 19.7 | 0 | 0 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | |
| ネズ 44.9 | 1 | 3 | 5 | 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | | | | | | | | |
| ミ 雄 29.3 | 0 | 2 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | |
| 21.1 | 0 | 1 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| 58.3 | 5 | 5 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| エゾ 雌 39.8 | 4 | 4 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| アカ 24.2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| ネズ 52.5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| ミ 雄 42.5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | |
| 27.6 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | |

つた。さらに、エゾアカネズミの方でとくに低温時（-2.0°C）に活動が鈍る傾向もみられた。本試験では、体重別に極端に3つに分けて実験したが、体重の一番小さい個体では、採餌活動がやや劣る傾向を示した。この傾向はエゾヤチネズミではあまり違いは認められなかつたが、エゾアカネズミでは優劣の差がかなりはつきりと認められ、社会的順位制が存在することを示唆した。

以上のように、1個体・1日間の観察で数多くの個体からみた結果及び集団飼育で同一個体について5日間連続してみた観察の両結果から、少なくとも秋季の光、気温条件下では、エゾアカネズミの方がエゾヤチネズミに比べて時間的に早く餌を運びしかも量的に多く餌を運ぶ採餌活動であることが分かつた。このことは、野外においても、餌がエゾヤチネズミよりもエゾアカネズミによって先に摂食される可能性が高いと思われる。

さらに、殺鼠剤は野外では持ち運ばれることなくその場で目的種であるエゾヤチネズミによって摂食されるのが当然最も駆除効果が高いわけであるが、その現象がとくにエゾヤチネズミで観察されるかどうかを調べた。同時に、エゾアカネズミについても観察した。しかし、両種とも明らかに餌を巣に持ち運ぶ習性がみられた（表20）。とくに、その傾向はエゾヤチネズミに強かつた（100.0%）。エゾアカネズミにおいても、エゾヤチネズミと比べるとその場で食べる粒数が若干多いものの、同様の結果を示した（約95.2%）。両種とも、自然界における強い警戒心の表れが室内においても観察されたと思われる。

以上のように、エゾヤチネズミとエゾアカネズミともに無毒餌をその場で食べないで持

表20 運搬されないでその場で摂食された無毒餌の粒数と運搬された粒数

| 野鼠 性 | 非運搬摂食粒数 | 運搬粒数 |
|-----------|---------|-----------|
| 雌 | 0(13) | 607(13) |
| エゾヤチネズミ 雄 | 0(17) | 1,351(17) |
| 計 | 0(30) | 1,958(30) |
| 雌 | 12(7) | 237(7) |
| エゾアカネズミ 雄 | 14(8) | 276(8) |
| 計 | 26(15) | 513(15) |

（ ）は個体数を示す。

ち運んで摂食することが分かつた。従つて、この習性は殺鼠剤の効率性から考えると以下に示す持ち運んで貯める習性とともに、目的種であるエゾヤチネズミの毒餌に対する遭遇率を低下させることにつながり、殺鼠効果を弱めることになる。

つぎに、約1日間で巣内に持ち運んだ粒数を、1日の摂食量（表21）で換算した貯蔵日

表21 3種類の野鼠における無毒餌の摂食量（1個体当たり平均粒数）

| 野鼠 性 | 個体数 | 体重 | 摂食量（粒数） |
|-----------|-----|---------------|--------------|
| 雌 | 13 | 25.64 ± 4.74 | 18.75 ± 5.09 |
| エゾヤチネズミ 雄 | 17 | 36.84 ± 6.53 | 19.07 ± 5.58 |
| 平均 | 30 | 31.98 ± 8.04 | 18.93 ± 5.38 |
| 雌 | 7 | 39.51 ± 11.75 | 23.64 ± 2.62 |
| エゾアカネズミ 雄 | 8 | 44.75 ± 4.70 | 30.75 ± 7.33 |
| 平均 | 15 | 42.31 ± 9.11 | 27.34 ± 6.66 |
| 雌 | 19 | 12.93 ± 1.23 | 2.17 ± 2.34 |
| ヒメネズミ ※ 雄 | 15 | 12.92 ± 1.29 | 3.37 ± 3.66 |
| 平均 | 34 | 12.93 ± 1.14 | 2.70 ± 3.05 |

※は給餌で3日間の摂食粒数、その他のネズミは無給餌で1日間の摂食粒数を示す。平均値 ± 標準偏差。

表22 エゾヤチネズミにおける1日間の運搬貯蔵量(日数換算)別個体数

| 運搬貯蔵量(日数換算)※ | 雌 | 雄 | 計 |
|--------------|-----|-----|-----|
| 0 | 0 | 2 | 2 |
| 0.1-0.5 | 2 | 3 | 5 |
| 0.6-1.0 | 7 | 4 | 11 |
| 1.1-1.5 | 0 | 1 | 1 |
| 1.6-2.0 | 1 | 1 | 2 |
| 2.1-2.5 | 1 | 1 | 2 |
| 2.6-3.0 | 0 | 0 | 0 |
| 3.1-3.5 | 0 | 0 | 0 |
| 3.6-4.0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.1-4.5 | 1 | 0 | 1 |
| 4.6-5.0 | 0 | 1 | 1 |
| 5.1-5.5 | 0 | 0 | 0 |
| 5.6-6.0 | 0 | 1 | 1 |
| 6.1-6.5 | 0 | 0 | 0 |
| 6.6-7.0 | 0 | 1 | 1 |
| 7.1-7.5 | 0 | 0 | 0 |
| 7.6-8.0 | 1 | 0 | 1 |
| ... | ... | ... | ... |
| 11.1-11.5 | 0 | 1 | 1 |
| ... | ... | ... | ... |
| 60.5-61.0 | 0 | 1 | 1 |
| 計 | 13 | 17 | 30 |

1個体当たり平均貯蔵量(日数) 1.69 ± 2.02 5.80 ± 14.09 4.02 ± 10.88

※ = 貯蔵量(粒) / 1日摂食量(粒)。貯蔵量(日数)は平均値±標準偏差を示す。

数でみると表22と23のようになる。エゾヤチネズミでは平均4.0日分(粒数約75.7粒), エゾアカネズミでは0.3日分(同約8.2粒)を貯蔵した。このように、エゾヤチネズミの方が明らかに多く貯蔵することが分かった。この傾向は、エゾヤチネズミの雄個体でとくに強く、11.4日分(粒数約173粒:該当する個体の1日の摂食量で換算)とか最高60.9日分(同約225粒:同換算)貯蔵するいわゆる「運び専門屋」2個体が顕著に目立った。しかし、両種とも、一般的に餌を運搬するグループ(運び屋)とあまり餌を運ばないで自分の食べる相当分だけを運んで食べるグループ(その日暮らし屋)の二つの大きなグループに分け

表23 エゾアカネズミにおける1日間の運搬貯蔵量(日数換算)別個体数

| 運搬貯蔵量(日数換算)※ | 雌 | 雄 | 計 |
|--------------|---|---|----|
| 0 | 3 | 4 | 7 |
| 0.1-0.5 | 3 | 3 | 6 |
| 0.6-1.0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.1-1.5 | 0 | 1 | 1 |
| 1.6-2.0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.1-2.5 | 1 | 0 | 1 |
| 計 | 7 | 8 | 15 |

1個体当たり平均貯蔵量(日数) 0.43 ± 0.70 0.17 ± 0.37 0.29 ± 0.56

※ = 貯蔵量(粒) / 1日摂食量(粒)。貯蔵量(日数)は平均値±標準偏差を示す。

られそうである(表22と23の点線で分けられる)。

つぎに、エゾヤチネズミとエゾアカネズミの両種について無毒餌1粒を食べるのに要する時間をみると(表24), 予想に反して体重の大きいエゾアカネズミの方が体重の小さいエゾヤチネズミに比べて明らかに時間が長かった($t=2.707, p<0.01$)。また、両種とも1粒全部を1度で1回に食べたが、ヒメネズミの場合には1粒を何回かに分けて食べる「部分摂食活動」, さらに幾つかを次々に少しづつ食べてまわる「つまみ食い的摂食活動」が

表24 エゾヤチネズミとエゾアカネズミにおける無毒餌1粒摂食するための所要時間

| 野鼠 | 性 | 体重(g) | 所要時間 |
|---------|----|-------------------|-----------------|
| エゾヤチネズミ | 雌 | 25.64 ± 4.74 | 2分03秒34 (4,14) |
| | 雄 | 36.84 ± 6.53 | 1分14秒42 (4,12) |
| | 平均 | 31.98 ± 8.04 | 1分41秒00 (8,26) |
| エゾアカネズミ | 雌 | 39.51 ± 11.75 | 2分39秒28 (6,25) |
| | 雄 | 44.75 ± 4.70 | 1分45秒30 (4,27) |
| | 平均 | 42.31 ± 9.11 | 2分11秒27 (10,52) |

() は(個体数, 摂食回数)を示す。

頻繁に観察された^{24, 25)}。さらに、例数は少ないが、ヒメネズミはエゾヤチネズミやエゾアカネズミに比べると餌をあまり持ち運ばず、その場で食べる傾向が強いように思われた(表25)。

以上のように、エゾアカネズミはエゾヤチネズミに比べて摂食量が多いことと同時に、夜の早い時間に採餌活動を始めることが今回初めて明らかになった。これらのことから、野外においても、昼のうちにヘリコプターで散布された殺鼠剤がエゾヤチネズミより早めにエゾアカネズミによって運搬・摂食される可能性が十分にある。従って、目的有害種であるエゾヤチネズミの毒餌に対する遭遇率を結果的に低下させることにつながり、本種の駆除効果を低下させることが懸念される。

表 25 無毒餌に対するヒメネズミの摂食活動

| 性 個体数 | 体重(g) | その場で | | 巣または巣の外へ運搬した粒数 | 巣中の貯蔵量 (粒数) |
|----------|-------|-------------|---------------|----------------|----------------|
| | | 餌容器から摂食した粒数 | すぐ横に移して摂食した粒数 | | |
| 雌 | 1 | 8.5 | 0 | 9 | 4 |
| 雄 | 1 | 12.0 | 5 | 0 | 0 |

ヒメネズミ 1 個体につき無毒餌20粒を与えた。全摂食粒とも、1粒を(1回で摂食しないで)何回かに分けて摂食する部分摂食活動が観察された(エゾヤチネズミとエゾアカネズミの場合は1回で1粒を摂食)。

4. 小面積造林地における駆除後の野鼠の侵入と防除法

以上の1.~3.の結果を全体的に纏め、本試験の結論として以下の3項目に整理した。

1) 小面積造林地におけるエゾヤチネズミの侵入・回復過程

羊ヶ丘実験林におけるエゾヤチネズミの侵入・回復過程の調査結果から、調査地中央部の本種を除去した後の周辺部からの侵入と回復過程を纏めると次のようになる。(1) 侵入82個体の最短・最長侵入距離は雌雄平均で前者が80.4、後者が101.1mであった。(2) 本種を人為的に除去することにより、自然状態の行動距離と比べて約2.3倍の距離で侵入した。(3) 侵入個体のうち亜成体の若齢個体が多かった。若齢個体は越冬し易いため、造林木被害の増加が懸念される。(4) 回復率では、除去後1~2週間で元の密度かもしくはそれ以上に増加し、周辺部の密度が高い場合には除去後3~4週間においてもなお高い回復率を維持した。このように回復率が高いことは、北見営林署管内における回復過程の調査結果からも裏付けられた。なお、小面積化した造林地における殺鼠剤の周辺散布幅の具体的な値を得るために、侵入した82個体について侵入前の周辺部の位置から造林地までの最短直

線距離を調べた。その結果、雌雄平均すると 61.7 ± 6.1 m(平均値±95%信頼限界)という数値が得られた(図9)。

2) エゾヤチネズミ用殺鼠剤に対するエゾヤチネズミとアカネズミ類2種の摂食競合
アカネズミ類2種とエゾヤチネズミに対する殺鼠剤の室内及び野外試験の両結果から、ヒメネズミとエゾアカネズミによる1%燐化亜鉛殺鼠剤の摂食率はエゾヤチネズミのそれと比べるとやや劣るが、両種とも依然室内では全体の約7割以上と摂食率が高かった。また野外においても、エゾヤチネズミと同程度に高い捕獲率であった。

エゾヤチネズミとエゾアカネズミの採餌活動様式比較試験の結果から、エゾアカネズミの無毒餌の摂食量はエゾヤチネズミのそれと比べて多かった。また、秋季の野外におけるエゾアカネズミの採餌活動はエゾヤチネズミに比べて日没時の早い時間に開始する室内試験の結果が得られた。

3) 新たな殺鼠剤散布法と殺鼠剤開発の提案

(1) 小面積造林地におけるエゾヤチネズミの侵入・回復過程で得られた結果から、今後とも増え続けると思われる小面積の造林地を本種による林木被害から防ぐためには、例えば現在の殺鼠剤を用いかつ現在の防除方法で今後とも実施していく場合には、(周辺の生息環境にもよるが)造林地の周辺遠くまで防除を実施し、本種の造林地への再侵入を防ぐ工夫が必要であろう。

現在の造林地の周辺薬剤散布幅は30mで実施されているが、本試験の結果から、侵入したエゾヤチネズミの造林地からの最短直線距離は雌雄平均 61.7 ± 6.1 mであった。従って、現状の周辺散布幅では、いくら防除してもすぐ周辺からの再侵入が始まり、防除効果はあまり期待できない。そのため、現在より約2倍散布幅を拡大すれば、除去後約1カ月の間は周辺からの再侵入をかなりの程度にまで防ぐことが可能と思われる。ただし、本種の最長侵入距離が雌雄平均101.1mであるため、これを考慮すると周辺散布幅を約100mとするならば、なお一層再侵入を防ぎ林木被害を軽減させることが可能であろう。しかし、本試験は同一試験地における5年間の結果だけから考察したものであり、さらに種々の造林地と周辺の環境条件下において今後とも実証していくことが必要である。

(2) アカネズミ類2種とエゾヤチネズミに対する殺鼠剤の室内及び野外試験の両結果から、多種の野鼠類が混棲しつつある現在の造林地に、現在使われている殺鼠剤(燐化亜鉛1%濃度)が散布された場合、本殺鼠剤はヒメネズミやエゾアカネズミによって摂食される可能性は十分にある。ただし、現在のヘリコプターによる殺鼠剤の散布状況と嗜好性の違いなどから考えると両種が2粒を摂食して死亡することはほとんどないと考えられる。また、エゾヤチネズミとエゾアカネズミの採餌活動様式の比較試験結果から、本殺鼠剤が昼の間に造林地に空散された場合、有害野鼠のターゲットであるエゾヤチネズミが殺鼠剤を食べるより前に、エゾアカネズミによって最初に食べられる可能性がある。さらに、両種とも餌を食べる前に運搬・貯蔵する習性を持つ個体が多いため、なお一層エゾヤチネ

ズミの本殺鼠剤に対する遭遇率が低下し、駆除効果が低下する可能性がある。そのため、これまでエゾヤチネズミのみを考えて本種の喫食し易いように改良されてきた現在の殺鼠剤を、今後とも他種の野鼠類に対しては忌避する性質をも兼ね備えた2効性のある殺鼠剤に改善または開発していくことが必要であろう。

V まとめ

北海道の造林地では、天然林施業への移行により造林地の小面積化が急速に進みつつある。林木を食害する北海道の主要有害野生生物であるエゾヤチネズミに対する防除方法も従来の拡大造林時代から適用されてきている造林地とその周辺30m以内の空散による殺鼠剤散布方法では、造林地への再侵入を抑制できず林木被害を回避するのは困難と思われる。そこで、まず造林地の周辺何mまで防除すれば造林地内に本種が侵入して来られなくなるか、その周辺散布幅の具体的数値を得るために調査を行った。そのために、まず本種の除去後、本種が周辺のどの位置から造林地内に侵入してくるかその距離を調べることが必要である。また、長い冬期間の積雪下における被害との関連から侵入個体の齢構成を調べる必要がある。さらに、造林地の本種を除去した後、どれ位の期間で元にもどるか、またその回復速度は周辺の密度によってどのように異なるかなどを調べることによって、積雪前の防除方法の指針が得られる。本件に関する調査は、羊ヶ丘実験林（札幌市）と北見営林署管内の2カ所で実施し、前者では標識再捕獲調査法により本種の侵入距離を含む侵入・回復過程を調べ、後者では回復過程を重点に調べた。調査期間は前者で5年間（1988～1992年）、後者で4年間（1989～1992年）である。

つぎに、上述の林況変化とともに、造林地における野鼠種構成もエゾヤチネズミ1種（場所によってはミカドネズミ *Clethrionomys rutilus mikado* を含む2種）からアカネズミ類を含む多種の混棲種に変化してきている。このような造林地に、現在もなおエゾヤチネズミ専用に過去に開発された殺鼠剤（燐化亜鉛1%濃度）が毎年10数万から20数万kg空散されている。従って、有害種であるエゾヤチネズミを駆除するために散布された殺鼠剤が当然目的種以外の野鼠類に遭遇する確率は高くなっていると思われる。そのため、本試験では、エゾヤチネズミ以外を代表するアカネズミ類2種（エゾアカネズミ、ヒメネズミ）を試験対象として選び、本殺鼠剤が摂食される可能性がないかどうか、また摂食して死亡するのではないかどうか、死亡した場合には何粒摂食して死ぬかなどを室内及び野外試験によって調べた。さらに、最近の造林地で増加傾向にあるエゾアカネズミについて、本殺鼠剤の散布時期に相当する室内飼育条件下で日周採餌活動とくに餌を運搬する活動時間帯などについて、エゾヤチネズミと比較を行った。本殺鼠剤が目的種以外の野鼠類によって事前に持ち去られ、その結果目的種の駆除効果を低下させることができないかどうかを知

るために、これらの総合的な試験結果から、本殺鼠剤が改善・開発される必要がないかどうかについて検討した。

1. 小面積造林地におけるエゾヤチネズミの侵入・回復過程

1) 羊ヶ丘実験林における侵入・回復過程

6.0haの調査地を設定し、中央部（0.6ha）のエゾヤチネズミを除去することにより、周辺のどの位置からネズミが何m動いて侵入したかその侵入距離を求めた。また、除去後の回復過程を一定期間後調べ、周辺の密度変化にともなう回復速度及び回復率の変化などを調べた。さらに、侵入距離と周辺部の侵入位置から造林地までの直線距離を求めて、小面積造林地における周辺薬剤散布幅の今後の目安となる数値を得た。

中央部（0.6ha）のエゾヤチネズミを除去した後、約1ヶ月の間に周辺部から侵入した標識個体は1988～1992年の5年間で総計82個体（雌38、雄44個体）であった。個体数の性差に有意な偏りは認められなかった。平均の最短及び最長侵入距離では、最短で雌72.0m、雄87.7m、雌雄平均80.4m、最長で雌90.0m、雄110.6m、雌雄平均101.1mであった。最短・最長とも雄の方が雌に比べて長く、とくに最長では有意に長かった。また、除去後侵入した最長侵入距離は、自然状態における最長の行動距離（雌雄平均44.7m）と比べると約2.3倍の距離で侵入した。

侵入した82個体の幼亜成体別内訳をみると、5年間平均では雌雄とも亜成体（体重21～25g）が最も多いかった。しかし、年によっては雌または雄のどちらかだけで亜成体が多くなる場合もあった。

回復状況では、侵入個体は周辺部全体の一様に分布する箇所から中央部に侵入した。除去後の回復率では、1～2週間後では周辺部の密度にあまり関係なく全般に高く、100%近くかもしくはそれを上回った。その後の除去後3～4週間では周辺部の密度が高い場合にはなお高い回復率を維持した。このように、回復率が高くしかも回復速度が速いことは本種の特徴と思われ、除去することがかえって刺激効果となり侵入を促進・回復させていると思われた。

以上のことから、中央部のエゾヤチネズミを除去した場合の周辺部からの本種の侵入と回復状況を整理して纏めると、次のようになる。つまり、1) 最短・最長侵入距離は雌雄平均で前者が80.4m、後者が101.1mであった。2) 除去した結果、自然状態の距離の約2.3倍の距離を動いて中央部に侵入した（最長侵入距離の場合）。3) 侵入個体は亜成体（若年個体）が主流を占めた。従って、現在の防除法を続けるとするなら、これらの若い個体が多く越冬することになるので、造林木被害が懸念される。4) 回復率、回復速度ともに高く（速く）除去後1～2週間で元の数かまたはそれ以上に増加し、周辺部の密度が高い場合にはさらに除去後3～4週間においてもなお高い回復率を維持した。これらの結果から、今後とも増え続けると思われる小面積の造林地をエゾヤチネズミによる林木被害から防ぐためには、

例えば現在の殺鼠剤で防除する方法を今後とも続ける限り、(周辺の生息環境にもよるが)造林地の周辺遠くまでの防除をかなり徹底して行わなければ、本種の造林地への再侵入を防ぎ、被害を防止することは困難であろう。

現在の造林地の周辺薬剤散布幅は30mとなっているが、本試験の結果から、本種の侵入個体の造林地からの最短直線距離は雌雄平均61.7±6.1m (82個体、95%信頼限界、図9) という数値が得られた。従って、現在の周辺散布幅と比べると少なくとも約2倍拡大すれば、除去後約1カ月の間は周辺からの再侵入をかなりの程度にまで防ぐことが可能と思われる。ただし、本種の最長侵入距離は雌雄平均101.1mであったことから考えると、さらに周辺散布幅を100mとするならば、なお一層侵入を防ぐことができる。しかし、本試験は同一試験地における5年間の結果だけから得られたものであり、さらに種々の造林地と周辺の環境条件下において今後とも実証していくことが必要であろう。

2) 北見営林署管内における回復過程

面積1.0haの試験地を設定し、最初の4日間すべてのエゾヤチネズミを除去し、一定期間後の侵入個体の齢構成と回復過程(回復率、回復速度)を4年間(1989~1992年)調べた。

1.0ha内のエゾヤチネズミを除去した個体群(除去個体群)と除去後の一定期間後侵入した個体群(侵入個体群)とを幼亜成体構成の変化で比較すると、4年間全体では亜成体(若年個体)が有意に多かった。雌雄別では、雄の場合のみ亜成体の侵入が有意に多かった。年度別では、各年とも雌雄含めて亜成体が多く侵入した。

つぎに、回復率をみると、全体では平均約80% (79.6%) であったが、各年では除去後1~2週間で70~90%の範囲にあり、除去後3~4週間では100.0%となつた。このように、全般的に回復率は高かつたが、1)の羊ヶ丘実験林における試験結果と比べると100%を上回ることはなかつた。これは、両者の除去面積、除去期間、周辺環境条件、密度などの違いが関係していると思われる。

以上のことから、羊ヶ丘実験林における試験結果と同様、除去後の侵入個体はこれから長く生存し越冬して造林木に被害を与える恐れのある亜成体(若齢個体)が多くを占めた。さらに、回復率もかなり高い結果が得られたので、1)のところでも述べたように小面積の造林地をエゾヤチネズミによる林木被害から防ぐためには、周辺防除を徹底して行う必要があろう。

2. アカネズミ類2種とエゾヤチネズミに対する殺鼠剤(1%燐化亜鉛)の室内及び野外摂食試験

1) ヒメネズミとエゾヤチネズミに対する室内摂食試験

殺鼠剤がヒメネズミによって摂食されるかどうか、また死亡するなら何粒摂食して死亡するかなどについて、他に餌を置いた状態で調べた。また、エゾヤチネズミに対する殺鼠剤の効果確認試験も同時に実験を行つた。さらに、毒を含まない無毒餌(基剤)に対する

両種の選択試験も行つた。

試験に用いた秋季捕獲のヒメネズミのうち、全体の約7割は少なくとも3日間の屋外気温の単飼別飼育試験結果により、他に餌がある場合でも(エゾヤチネズミ駆除用)燐化亜鉛殺鼠剤(Zn_3P_2 、1%濃度)を摂食した。死亡率は全体の約5割であった。しかし、死亡時の摂食粒数は約2粒であり、エゾヤチネズミの約1粒で死亡する有効な殺鼠効果と比較すると、多い粒数で死亡した。性差は認められなかつた。両種に対する無毒餌の嗜好性に関する比較試験では、エゾヤチネズミの方がヒメネズミに比べて明らかに嗜好性が高かつた。

2) エゾアカネズミに対する室内摂食試験

殺鼠剤がエゾアカネズミによって摂食されるかどうか、また死亡する場合何粒摂食して死亡するかなどについて、他に餌を置いた場合と置かない場合とで比較した。

秋季捕獲のエゾアカネズミによる殺鼠剤(1%濃度)の室内摂食試験の結果、他に餌がある場合でも全個体の7割以上が本殺鼠剤を摂食した。しかし、死亡個体は全体の4割以下で、死亡時の摂食粒数は約2粒であった。また、生存個体の摂食粒数は約1粒であったことから、その程度の摂食では死亡しないと考えられた。しかし、餌を取り除いた場合には、約5粒を摂食し、9割以上が死亡した。

3) 生け捕り用捕獲罠による野外摂食試験

殺鼠剤が野外で野鼠類によって摂食されるかどうかを調べた。本調査では面積1.0haの試験地を設定し、生け捕り用の捕獲罠を使って、無毒餌と毒餌を用いて記号放逐の捕獲調査を行つた。場所は羊ヶ丘実験林である。

1991年と1992年の両年にわたる試験の結果、無毒餌及び毒餌のいずれにおいても、3種類の野鼠類(ヒメネズミ、エゾアカネズミ、エゾヤチネズミ)はほぼ同じ捕獲率で捕獲された。そのため、室内の摂食試験結果と同様、野外においても野鼠類は毒餌(殺鼠剤)を摂食すると思われた。

4) 捕殺用捕獲罠による野外摂食試験

毒餌区(試験区)と生ピーナツ区(対照区)の調査区(各面積0.5ha)を2箇所設け、生け捕り用の捕獲罠の特長による捕獲効果(トンネル効果)の問題を解消する目的で捕殺用のパンチュー罠を使って、1989~1992年秋季の4年間計5回の調査を行つた。場所は札幌営林署管内の定山渓である。

全体的にみると、毒餌区の捕獲率が低く、ピーナツ区と比べると約45%の減少であった。これは、毒餌の粒が小さくて野鼠類が噛み捕りにくく捕獲感度が劣ること、また毒餌そのものの忌避性などが原因として考えられる。しかし、捕獲率が低いながらも野鼠の種類別の捕獲構成割合をみると、生ピーナツ区ではエゾヤチネズミが最も多かつたにもかかわらず、毒餌区の方ではエゾアカネズミ、次いでヒメネズミ、エゾヤチネズミが多い割合で捕獲された。従つて、エゾヤチネズミと同程度の捕獲率もしくはそれ以上の捕獲率でエゾア

カネズミ、ヒメネズミとともに多く捕獲され、毒餌を摂食することが分かった。生け捕り用の捕獲罠の特長によるトンネル効果の問題も解消された。

以上の室内および野外試験の両結果から、ヒメネズミとエゾアカネズミの摂食率はエゾヤチネズミのそれと比べるとやや劣る傾向があるものの、依然両種とも高い摂食率（室内では全体の7割以上）で本殺鼠剤を摂食した。従って、もし造林地に両種の野鼠類が多く棲息しそこに現在使用中の殺鼠剤が散布された場合には、本殺鼠剤は両種によって摂食される可能性は十分にあると考えられる。ただし、現在のヘリコプターによる殺鼠剤の散布状況及び嗜好性の違いなどから考えると、両種が2粒を摂食して死亡することはほとんどないと考えられる。

3. エゾヤチネズミとエゾアカネズミの採餌活動様式比較試験

秋季捕獲のエゾヤチネズミと小面積の造林地で今後増加傾向にあるエゾアカネズミを用いて、秋季（11月1日通日平年）の光・温度条件の飼育下で、燐化亜鉛を含まない無毒餌の採餌活動状況（餌の運搬開始時刻、運搬回数、運搬量・粒数、貯蔵量・粒数、摂食量・粒数など）を把握した。その結果を纏めると次のようになる。

- 両種とも、餌の運搬開始は日没後行い、エゾヤチネズミよりもエゾアカネズミの方が約20分早い時刻に餌を運搬しはじめ、運搬回数・粒数ともに多かつた。
- 餌の採餌活動は、エゾアカネズミでは雌雄とも夜間の前・中期（午後4:00～午前2:00）に集中し、低温になる後期（午前2:00～午前7:00）には極端に低下した。一方、エゾヤチネズミでは前期（午後4:00～午後9:00）に雄が、後期に雌が採餌活動を活発にした。
- 両種とも、餌をその場で食べないで巣内に持ち運んで摂食する習性をもつが、これはエゾアカネズミよりもエゾヤチネズミの方で顕著にみられ、とくに雄で目立つた。
- 両種とも、すべての個体が餌を多量に貯蔵するとは限らず、餌を貯蔵するグループ（運び屋）と、ほとんど貯めないで必要分だけを持ち運んで食べるグループ（その日暮らし屋）の二つの大きなグループに分けられた。
- 1日の無毒餌の摂食量では、体重差を反映しエゾアカネズミの方がエゾヤチネズミに比べて多かつた（前者雌雄平均27.3粒、後者同平均18.9粒）。また、ヒメネズミの摂食量は両種に比べると極端に少なかつた。
- 無毒餌1粒を食べるのに要する時間では、体重差とは逆にエゾヤチネズミの方がエゾアカネズミに比べて短かつた。また、両種とも無毒餌を休まず1度に1回で1粒全部を食べてしまう習性があった。

以上のように、エゾアカネズミはエゾヤチネズミに比べて無毒餌の摂食量が多く、しかも秋季の野外では日没時の早い時間に採餌活動を開始するという結果が示唆された。これらのことから、有害野鼠のターゲットであるエゾヤチネズミが殺鼠剤を食べるより前に先にエゾアカネズミによって食べられる可能性がある。しかも、両種とも餌を持ち運んで食

べることと同時に貯蔵する習性をも兼ね備えている個体が多いために、なお一層エゾヤチネズミの本殺鼠剤に対する遭遇率が低下し、駆除効果を低下させる可能性がある。そのため、これまでエゾヤチネズミのみを考えて本種の喫食し易いように改良されてきた現在の殺鼠剤を、今後は将来とも他種の野鼠類に対しては忌避するような性質をも兼ね備えた2効性のある殺鼠剤に改善・開発していくことが必要であろう。

4. 小面積造林地における駆除後の野鼠の侵入と防除法

1) 小面積造林地におけるエゾヤチネズミの侵入・回復過程

調査地中央部のエゾヤチネズミを除去した後の周辺部からの本種の侵入と回復状況を以下に整理した。(1) 侵入82個体の最短・最長侵入距離は雌雄平均で前者が80.4、後者が101.1mであった。(2) 除去することにより、自然状態の約2.3倍の距離で侵入した。(3) 侵入個体は亞成体の若齢個体が主流を占めた。これらの若い個体は、越冬可能個体が多いと思われ、造林木に被害を与える可能性がある。(4) 回復率では、除去後1～2週間で元の密度かもしれませんにそれ以上に増加し、周辺部の密度が高い場合には除去後3～4週間においてもなお高い回復率を維持した。また、小面積化した造林地における殺鼠剤の周辺散布幅の具体的数値を得るために、侵入した82個体について侵入前の周辺部の位置から造林地までの最短直線距離を調べた。その結果、雌雄平均 61.7 ± 6.1 m（平均値±95%信頼限界）という数値を得た。

2) エゾヤチネズミ用殺鼠剤に対するエゾヤチネズミとアカネズミ類2種の摂食競合
アカネズミ類2種とエゾヤチネズミに対する殺鼠剤の室内及び野外の両試験の結果から、ヒメネズミとエゾアカネズミによる本殺鼠剤の摂食率はエゾヤチネズミのそれと比べると劣る傾向があるものの、室内で全体の約7割以上と依然両種とも高い摂食率であった。また野外においても、エゾヤチネズミと同程度に高い捕獲率であった。

エゾアカネズミはエゾヤチネズミに比べて無毒餌の摂食量が多く、しかも秋季の野外では日没時の早い時間に採餌活動を開始すると予想される室内試験の結果が得られた。

3) 新たな殺鼠剤散布法と殺鼠剤開発の提案

(1) 小面積造林地におけるエゾヤチネズミの侵入・回復過程で得られた結果から、今後とも増え続けると思われる小面積の造林地を本種による林木被害から防ぐためには、例えば現在の殺鼠剤を用いしかも現在の防除方法で実施する場合には、（周辺の生息環境にもよるが）造林地の周辺遠くまで防除を実施し、本種の造林地への再侵入を防ぐ工夫が必要であろう。

現在の造林地の周辺薬剤散布幅は30mで実施されているが、本試験の結果から、侵入したエゾヤチネズミの造林地からの最短直線距離は雌雄平均 61.7 ± 6.1 m という数値が得られた。従って、現在の周辺散布幅で防除してもすぐ周辺からの再侵入が始まり、防除の効果はあまり期待できない。そこで、本試験の結果、散布幅を現在のそれより約2倍拡大すれば、

除去後約1カ月の間は周辺からの再侵入をかなりの程度にまで防ぐことが可能と思われる。ただし、本種の最長侵入距離は雌雄平均101.1mであったことから考えると、さらに周辺散布幅を100mとするならば、なお一層再侵入を防ぐことが可能であろう。ただし、本試験は同一試験地における5年間の結果のみから考察したものであり、さらに種々の造林地と周辺の環境条件下において今後とも実証していくことが必要である。

(2) アカネズミ類2種とエゾヤチネズミに対する殺鼠剤の室内及び野外試験の両結果から、多種の野鼠類が混棲しつつある現在の造林地に、現在使われている殺鼠剤（燐化亜鉛1%濃度）が散布された場合、本殺鼠剤はヒメネズミやエゾアカネズミによって摂食される可能性は十分にある。ただし、現在のヘリコプターによる殺鼠剤の散布状況と嗜好性の違いなどから考えると両種が2粒を摂食して死亡することはほとんどないと考えられる。

また、エゾヤチネズミとエゾアカネズミの採餌活動様式の比較試験結果から、本殺鼠剤が造林地に散布された場合、有害野鼠のターゲットであるエゾヤチネズミが先に殺鼠剤を食べるよりも前に、エゾアカネズミによって最初に食べられる可能性がある。さらに、両種とも餌を食べる前に運搬・貯蔵する習性をもつ個体が多いことから、なお一層エゾヤチネズミの本殺鼠剤に対する遭遇率を低下させ、駆除効果を低下させる可能性がある。そのため、これまでエゾヤチネズミのみを考えて本種の喫食し易いように改良されてきた現在の殺鼠剤を、今後とも他種の野鼠類に対しては忌避する性質をも兼ね備えた2効性のある殺鼠剤に改善・開発していくことが必要であろう。

引用文献

- (1) 中津 篤：エゾヤチネズミの個体群密度と森林被害の関係、林試北支年報(昭和57年度), 85~89 (1982.10)
- (2) 中津 篤：統計資料からみたエゾヤチネズミ数と森林被害、北方林業, 35, 262~266 (1983.9)
- (3) 中津 篤：1983年の野鼠による森林被害の特徴、日林北支講, 32, 70~73 (1983.10)
- (4) 中津 篤：1984年の野鼠による森林被害の特徴、日林北支講, 33, 148~150 (1984.10)
- (5) 中津 篤：北海道における野ネズミの森林被害の特徴、森林防疫, 402, 157~160 (1985.9)
- (6) 中津 篤：北海道におけるエゾヤチネズミの森林被害に関するアンケート調査結果、96回日林論, 527~528 (1985.10)
- (7) 中津 篤：北海道の国有林における樹種・齢級別ネズミ害の年次変化、林試北支年報(昭和61年度), 67~72 (1987.10)
- (8) 中津 篤・新見久恭・奥田裕志：エゾヤチネズミに対するブロック型改良薬剤の殺鼠効果試験、日林北支論, 141~143 (1990.2)
- (9) 中津 篤・新見久恭・奥田裕志：ブロック型の改良薬剤によるエゾヤチネズミの殺鼠効果に関する室内試験、林業と薬剤, 113, 16~22 (1990.9)
- (10) 中津 篤：林況変化に伴う野鼠被害と今後の防鼠対策、林業技術, 579, 15~19 (1990.6)
- (11) Nakatsu, A: Studies on the high population density of *Clethrionomys rufocanous bedfordiae* and its damage to forest in Hidaka Forest Office district, Hokkaido, Japan. In :Global trends in wildlife management. B.Bobek, K.Perzanowski, and W.Regelin(eds), 613~616 (1991)
- (12) 中津 篤：小面積造林地と周辺ササ地の境界部における野鼠個体群動態について、日林北支論, 40, 15~17 (1992.2)
- (13) 中津 篤：林況変化に伴うノネズミ害の現状と問題点ーとくに北海道の国有林を中心にしてー、森林防疫, 479, 9~12 (1992.2)
- (14) 中津 篤：ササ地と非ササ地の境界部における野鼠個体群動態、森林総研北支年報(平成2年度), 66~69 (1992.3)
- (15) 中津 篤：旭川営林支局管内における捕獲野ねずみ類の構成変化、日林北支論, 36, 134~136 (1988.2)
- (16) 中津 篤：発生予察調査にみられる野鼠類の種類構成変化、林試北支年報(昭和62

年度), 67~71 (1989.3)

- (17) 中津 篤・川路則友: ヒメネズミとエゾヤチネズミによる燐化亜鉛 1% 殺鼠剤の室内摂食試験, 日林北支論, 40, 18~19 (1992.2)
- (18) 中津 篤・川路則友・小澤八門・嶋守敏春: 殺鼠剤 (燐化亜鉛 1% 濃度) に対する野鼠類の室内および野外摂食試験, 日林北支論, 41, 95~98 (1993.2)
- (19) 中津 篤・斎藤 隆・袴田千代治・小澤八門: 小面積造林地における駆除後の野鼠の侵入と防除に関する研究 (予報) -開放区における除去後のエゾヤチネズミの周辺からの侵入-, 100回日林論, 605~606 (1989.10)
- (20) 中津 篤・斎藤 隆・袴田千代治・小澤八門: 開放区における除去後の野鼠類の周辺からの侵入, 101回日林論, 555~556 (1990.10)
- (21) 中津 篤・斎藤 隆・袴田千代治・小澤八門・今川守男: 開放区におけるアカネズミ類 (Apodemus属) の周辺からの侵入と回復, 102回日林論, 299~301 (1991.10)
- (22) 中津 篤・斎藤 隆・袴田千代治・小澤八門・今川守男: 開放区における除去後のエゾヤチネズミとヒメネズミの周辺からの侵入と回復, 103回日林論, 543~544 (1992.10)
- (23) 中津 篤・斎藤 隆・川路則友・小澤八門・嶋守敏春・今川守男: エゾヤチネズミを除去した後の周辺からの侵入と回復, 104回日林論 (投稿中), 1993
- (24) 中津 篤: 正常および虫害堅果に対する野ねずみの選択性, 日林北支論, 37, 109~112 (1989.2)
- (25) 中津 篤・川路則友・福山研二・前藤 薫: 正常および虫害のミズナラ堅果に対するヒメネズミの選択性, 日林北支論, 41, 91~94 (1993.2)

国有林林道の新設にかかる優先順位の判定基準について

国有林林道の新設にかかる優先順位 の判定基準について

I 試験担当者

生産技術部作業技術科林道研究室

大川畠修

澤口勇雄

市原恒一

梅田修史

II 要旨

林道は、林業生産活動に利用されるほか、レクリエーション利用、地元住民の利用等多くの利用機能を有している。本研究は、林道の有する多様な利用機能に関して、統一的な評価算定法を導き、これを用いて林道の新設順位の判定基準の設定を行うものである。

林道の開設効果の区分として奥地開発型（未開発地区等、林道の新規開設により、木材等の物品、人員の輸送が可能になる効果）と経路等短縮型（既設の道路は存在するが、新規の林道の開設により、通行時間の短縮が図られる効果）とに分けた。また、林道の開設効果を、木材等の物品輸送面と作業員等の人員輸送面とに区分し、各区分ごとに、利用機能に応じた林道の開設効果の算定式を導いた。林道の開設効果の計算例の算定に当たっては、国有林における標準的な林道開設及び利用区域のモデルを設定した。

林道の開設効果を林道の開設維持費（開設費と維持費の合計）で除した値を林道の開設効果率とした。また、各種機能の効果の合計値を総合開設効果とし、この値を林道の開設維持費で除したものを総合開設効果率とした。林道の新設順位の決定には、総合開設効果率の値が判定基準となることとした。

多様な森林施業や林分状況における木材の収穫面を統一的に取り扱う方法として、前価収穫量（将来生産される木材の収穫量を計算の基準時点に換算したもの）の計算法を示した。前価計算の手法は、収穫量のほか、林道を通行するすべての輸送量に適用した。

木材収穫の計算例として、人工林の一斉皆伐、分散伐採、間伐林分、法正林、複層林、無立木地造林、天然林の抾伐、ぼう芽、皆伐保残木施業についての前価収穫量の算定を行った。

レクリエーション利用については、自然公園等の利用状況を明らかにするとともに、公園の面積と利用者数との関係式を導いた。

地元住民の利用における物品輸送については、木材、農産物、特用林産物、生活物資の

輸送量の算定法を示した。また、人員輸送面においては、上記の生産物生産における所要人工数の算定法を示した。さらに、集落が国有林内にある場合など、林道が地元住民の生活に密接に結びついている場合の算定法として、集落等の住民数に基づいた利用者数の算定法を示した。

III 試験の方法

林道は、その建設に多額の費用を要するため、投資効果等の観点から、林道の開設順位に関して合理的な判定法が必要となる。このため、林道の開設順序に関して、これまでにも幾つかの研究がなされてきた。南雲^{1)~3)}は、齢級配置が多様な森林区域において、純収益を最大にすることを目的として、開設順序及び開設時期の決定法を求めた。木平⁴⁾は、路網計画と関連づけた保続計算法を示した。小林⁵⁾は、費用便益費を尺度として、開設順序の決定に関する研究を行った。また、国有林においては、林道開設の優先度に関する昭和54年に定めた林野庁長官通達⁶⁾がある。すなわち、林業効果指数、投資効果指数、経営寄与指数等の指数を定め、これらを基本的な指針として優先順位を検討する方法である。

一方、近年の我が国における森林施業法は多様化しており、国有林においても、かつての大面積の一斉皆伐を中心とした施業から小面積分散伐採、複層林施業、育成天然林施業等が積極的に進められるようになってきている。このため、林道の開設順位の決定に当たっても、このような変化に対応していく必要性が生じてきている。また、林道の開設効果は、木材生産や造林等の林業生産活動のみならず、レクリエーション利用、地元住民の利用等多岐にわたり、これらの機能を的確に数量化する必要がある。

以上のような点を踏まえ、本研究は、林道の有する各種機能を統一的に評価しうる林道の開設効果の算定法を導き、これを用いて林道の開設順位の判定基準の設定等を行うものである。

IV 試験の方法と結果

1. 林道の開設モデル

1) 林道の開設効果の区分

林道路線は、既設道路との連結状態から、突込型と連結型とに区分することができる。また、開設効果の面からは以下のように区分することができる。

①奥地開発型：林道の未整備区域等において、新規の林道の開設により、車両による木材等の物品、作業員等人員の輸送が可能となる効果。

②経路等短縮型：連結型の林道の開設により、既設の道路を利用する場合に比べ通行距離の短縮、走行速度の向上により通行に要する時間の短縮が可能となることがある。このよ

うな場合の林道開設による輸送時間の短縮効果。

突込型の林道の開設効果は①であり、連結型の林道の開設効果は、一般的には、①と②の両方である。

2) 突込型林道の開設モデル

本稿では、突込型林道の開設モデル例として、図1のモデルを設定し、後述の計算例はこのモデルに基づいて行うこととする。このモデルは以下を勘案して設定したものである。

①我が国における林道の整備目標は、「森林資源に関する基本計画」に掲げられており、

この目標設定に関する解説書⁷⁾では、国有林における施業林地（禁伐及び除地を除いた林地）の目標とする林内道路の密度は19.8m/haとなっている。

②林道等道路の迂回率は、標準的な林地傾斜（30°とした）では0.5程度となる⁸⁾。

③国有林における自動車道の1路線当たりの平均延長は3,614m（平成2年度末、文献9より算定）で、約3,600mとなる。

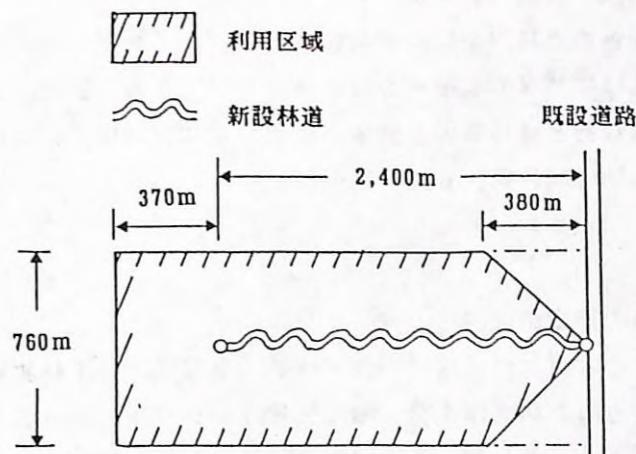


図-1. 林道の開設、利用区域のモデル

3) 延長利用率

開設された林道を利用して、例えば集運材を行う場合、林道の終点で集材を行うときは、開設された林道は運材面で満度に利用されるが、林道の途中の地点で集材を行うときは、運材面では林道の一部しか利用しないことになる。そこで、林道の延長を X_R (m)、そのうち利用される距離の平均を利用延長 X (m)とし、 X_R に対する X の比（= X/X_R ）を延長利用率 R_A とする。すなわち、

$$X = R_A \cdot X_R \quad \dots \dots \dots (1)$$

となる。林道の起点から x_k (m)の地点から輸送量 n_k (単位は m³, t, 人等で、計算対象により定まる)が林道の起点を通過することにすると、 R_A は

$$R_A = \frac{\sum n_k \cdot x_k}{X_R \cdot \sum n_k} \quad \dots \dots \dots (2)$$

により算定される。ここで、図1のモデルにおける延長利用率を求めるとき、 R_A の値は60.5%となる。これより、図1のモデルの延長利用率の適用値には概数値として60%を用いることとする。また、筆者が国有林林道において突込型の林道における延長利用率を計測した結果では60.1%であった。連結型では、通行距離が短縮される場合など、開設された林道を満度に利用することもあり、この場合には延長利用率は100%となる。

4) 林道の開設モデルにおける計算数値

図1のモデルを用いた後述の計算にかかる主な数値を以下に示す。

①林道の延長: $X_R = 3,600\text{m}$ (3)

②林道の利用延長: $X = 2,160\text{m}$ (4)

③利用区域の面積: $S_R = 196.1\text{ha}$ (5)

④利用区域の林道密度: $d_R = 18.36\text{m/ha}$ (6)

ただし、既設道路を含めた林内全体の道路密度は19.8m/haとなる。以上の数値より、図1は国有林におけるほぼ標準的なモデルといつてよい。また、m当たりの林道の開設維持費（林道の開設費と維持費の合計値、後述）を30,000円/m（後述）とすると、

⑤ha当たりの林道の開設維持費: $R_{HA} = 550,800\text{円/ha}$ (7)

となる。

2. 林道の開設効果の算定法

林道の開設効果は、木材、地元住民の生産物品（農産物、特用林産物等）、生活物資等の輸送に関するものと林業作業員、地元住民、レクリエーション利用者等の輸送に関するものとに区分することができる、以下の方法で効果の算定を行うこととする。

①奥地開発型：物品の輸送は、林道が開設されている場合には車両輸送（トラック運搬）によることとし、林道が開設されていない場合には、架線を用いた輸送によることとする。また、人員の輸送については、林道が開設されている場合には、車両輸送によることとし、道路が存在しない場合には、歩行により目的地に到達することとする。林道の開設効果は、上記の輸送手段の輸送コストの差に基づいて算定することとする。

②経路等短縮型：新規路線の開設に伴い通行時間が短縮される場合、短縮される時間に基づいて開設効果の算定を行うこととする。

1) 単位当たりの開設効果

林道を輸送利用する物品、人員の単位として、木材は[m³]、その他物品は[t]、人員は[人]を用いることにし、以下、単位当たりの開設効果を求めるところとする。

(1) 奥地開発型

ア. 物品輸送

ア) 架線運搬費

まず、架線により木材を運搬する場合の経費を求める。架線運搬作業者の1人1日当たりの賃金をW_D（円/人・日）、架線による運搬距離をL_K（m）として、m³当たりの架線運材費をq_H（円/m³）とすると、q_Hは積算の結果（付属資料1）、次のようになる。

$$q_H = (1.25365 \times 10^{-4} W_D + 0.72635) L_K + 0.03155 W_D + 187 \quad \dots \dots \dots (8)$$

林道は、通常迂回があるのに対し、架線は直線的に架設される場合が多い。そこで、架線の迂回率は0とみなし、林道の迂回率を γ とし、林道の利用延長をX（m）とすると、

$$X = (1 + \gamma) L_K \quad \dots \dots \dots (9)$$

となる。 γ の値を0.5とし、(8)、(9)式よりq_HをXの関数として表すと、次式を得る。

$$q_H = (0.83577 \times 10^{-4} W_D + 0.48423) X + 0.03155 W_D + 187 \quad \dots \dots \dots (10)$$

架線運搬作業者の賃金には、国有林においては基幹作業職員の日給相当額を、民有林においては農林業等就業者の金額を用いることとする（表1）。この場合、国有林における架線運材費は、(10)式にW_D=20,850円/人・日を代入して、

$$q_H = 2.2268 X + 845 \quad \dots \dots \dots (11)$$

となる。また、民有林における架線運材費は、(10)式にW_D=9,436円/人・日を代入して、以下のようになる。

$$q_H = 1.2729 X + 485 \quad \dots \dots \dots (12)$$

以上、木材1m³当たりの架線運材費を求めたが、次に、一般的な物品の運搬にも適用可能とするため、t当たりの架線運搬費を求めるところとする。木材の比重を0.8¹⁰⁾とすると、t当たりの架線運搬費q_T（円/t）は、(10)式を0.8で除して

$$q_T = q_H / 0.8$$

$$= (1.04471 \times 10^{-4} W_D + 0.60529) X + 0.03944 W_D + 234 \quad \dots \dots \dots (13)$$

表1. 日給及び時給

| 職種区分 | 日給 (円/人・日) | 時給 (円/人・時) |
|-------------|---------------|---------------|
| ①国有林、基幹作業職員 | 20,850 | 2,606 |
| ②国有林、管理一般職員 | 22,712 | 2,839 |
| ③民間労働者 | 22,900 | 2,863 |
| ④農林業等就業者 | 9,436 | 1,180 |

注: ①、②は文献9に基づき、年間就労日数を238日として算定した。③は文献11に基づき、年間賞与を5.45月として算定した。④は文献12における小規模林家の1日当たりの所得の算定値を適用した。

表2. 木材、物品輸送における林道の開設効果I（奥地開発型）

| 区分 | 項目 | 単位 | 算定式 |
|----------------|---------|------------------|---------------------------------|
| ①架線運搬 | 国有林、木材 | 円／m ³ | $q_n = 2.2268X + 845$ (1) |
| | 民有林、木材 | 円／m ³ | $q_n = 1.2729X + 485$ (2) |
| | 地元利用、物品 | 円／トン | $q_t = 1.5911X + 606$ (3) |
| ②トラック運搬 | 国有林、木材 | 円／m ³ | $t_n = 0.0286X$ (4) |
| | 民有林、木材 | 円／m ³ | $t_n = 0.0286X$ (5) |
| | 地元利用、物品 | 円／トン | $t_t = 0.0918X$ (6) |
| ③開設効果 (①-②) | 国有林、木材 | 円／m ³ | $e_n = 2.1982X + 845$ (7) |
| | 民有林、木材 | 円／m ³ | $e_n = 1.2443X + 485$ (8) |
| | 地元利用、物品 | 円／トン | $e_t = 1.4993X + 606$ (9) |

となる。地元住民の利用による物品の輸送を行う場合、(13)式の W_d に農林業等就業者の賃金 ($W_d = 9,436$ 円／人・日) を代入して、

$$q_t = 1.5911X + 606 \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

となる。以上の架線運搬費の算定式を取りまとめると、表2の①のとおりになる。

イ) トラック運搬費

木材の運搬には、国有林、民有林とも 8 t トラックを用い、地元利用に関する物品の輸送には 2 t トラックを用いることにする。トラック運搬費は、運輸省の認可している路線トラック事業の距離制運賃率表¹³⁾（関東陸運局管内の値を使用）に基づくこととする。

林道上を X (m) 輸送する場合の m^3 当たりの木材運搬費 t_n (円／m³) 及び地元利用における物品運搬費 t_t (円／t) は、運賃率表より算定式を求めるとき、表2の(4)～(6)式のようになる。

ウ) 物品輸送面における林道の開設効果

物品輸送面における林道の開設効果を架線運搬費とトラック運搬費との差によって表すことにする。林道上を X (m) 輸送する場合の、木材運搬における m^3 当たりの林道開設効果 e_n (円／m³) 及び地元利用に関する物品輸送における t 当たりの林道の開設効果 e_t (円／t) は、表2の(7)～(9)式のようになる。

イ. 人員輸送

ア) 歩行費

歩行に要する時間的損失を経費とみなし、これを歩行費と呼ぶことにする。歩行により 1 時間当たりに往復しうる距離を往復歩行速度 V_n (m／時) と呼ぶことにし、1 人 1 時

間当たりの賃金を W_n (円／時) とすると、1 人 1 m 当たりの歩行費 a_n (円／人・m) は、次式により求まる。

$$a_n = \frac{W_n}{V_n} \quad \dots \dots \dots \quad (15)$$

林道の利用者の職種として、基幹作業職員（国有林における木材収穫、造林）、国有林の管理一般職員（国有林の森林管理）、民間労働者（レクリエーション利用）、農林業等就業者（地元住民の利用）に区分することにし、給与の金額には、表1の数値を用いることにする。また、往復歩行速度には、1,714 m／時を用いることにする。この値は、歩道はほぼ林道予定線上に存在するとの前提にたち、林道の平均的な勾配を 6 % とし、このときの往復歩行速度の算定値である（付属資料2）。以上の数値及び(15)式を用いて 1 人 1 m 当たりの歩行費を求めると、表3に示すようになる。

表3. 林道の1人1m当たりの開設効果

（単位：円／人・m）

| 区分 | 適用職種 | ①歩行費 | ②車両利用費 | ③開設効果 ①-② |
|------------|--------|--------|--------|--------------|
| 木材収穫、造林 | 基幹作業職員 | 1.5204 | 0.2224 | 1.2980 |
| 森林管理 | 管理一般職員 | 1.6564 | 0.2607 | 1.3957 |
| レクリエーション利用 | 民間労働者 | 1.6704 | 0.2651 | 1.4053 |
| 地元利用 | 農林業就業者 | 0.6884 | 0.1661 | 0.5223 |

イ) 車両利用費

林道の各利用機能における適用職種、利用車種、1 台当たりの乗車人員を以下のように設定する（表3～5）。

- 国有林の木材収穫、造林は基幹作業職員が行うこととし、マイクロバスを利用することにする。セット人員は 6 人とし、この値を乗車人員とする。
 - 国有林の森林管理は、国有林の管理一般職員が行うこととし、軽自動車を用いることにする。平均乗車人員は 1.8 人とする（表26より算定）。
 - レクリエーション利用には民間労働者を適用することとし、乗用車を用いることにする。平均乗車人員は 3.3 人とする。これは、我が国のレクリエーション旅行においては、家族旅行が最も多く、平均の家族人数 3.3 人¹⁴⁾ を用いたものである。
 - 林道の地元利用には、農林業等就業者を適用することとし、利用車種は乗用車と軽自動車込み（乗用車を 68 %、軽自動車を 32 %）¹⁵⁾ とする。また、平均乗車人員は 1.4 人とする。この値は、我が国における自家用車の平均乗車人員の数¹⁶⁾ を用いたものである。
- 以上に基づいて、車両を利用する場合の 1 人 1 m 当たりの費用を以下に算定する。まず、

車両1台を1m往復走行する場合の燃料費及び機械損料の合計を損燃料費とし、各車両ごとの損燃料費を算定すると、その結果は表4のようになる。次に、損燃料費を乗車人員で除したものを1人1m往復当たりの機械経費 C_{km} (円/人・m) とすると、この算定値は、表5に示すとおりになる。

また、車両利用による場合においても、歩行と同様に、人員輸送には時間的損失を伴う。そこで、1人1m往復当たりの乗車時の時間的損失を乗車時間費 C_{zh} (円/人・m) とし、車両の走行速度を V_s (km/時) すると、

$$C_{zh} = \frac{W_h}{500 V_s} \quad \dots \dots \dots (16)$$

となる。この式の W_h に表1の時給を、 V_s に25km/時（林道規程に定める2級及び3級林道の設計速度の中間値）を代入して乗車時間費を算定すると、その結果は表5に示すとおりになる。機械経費と乗車時間費の和を車両利用費とすると、1人1m当たりの車両利用費 C_{sh} (円/人・m) は、

$$C_{sh} = C_{km} + C_{zh} \quad \dots \dots \dots (17)$$

となり、その算定値は表5に示すとおりとなる。

表4. 車両のm当たりの損燃料費

| 車種区分 | ①車両価格 (円) | ②機械損料率 (1/m) | ③機械損料 (円/m) | ④燃料費 (円/m) | ⑤損燃料費 (円/m) |
|-----------|--------------|-------------------------|----------------|---------------|----------------|
| | | | | | |
| (1)マイクロバス | 1,491,000 | 1.3472×10^{-8} | 0.0201 | 0.0217 | 0.0418 |
| (2)軽自動車 | 738,000 | 2.6465×10^{-8} | 0.0195 | 0.0107 | 0.0302 |
| (3)乗用車 | 1,782,000 | 2.5502×10^{-8} | 0.0454 | 0.0142 | 0.0596 |
| (4)乗用車、軽込 | 1,448,000 | 2.5622×10^{-8} | 0.0371 | 0.0131 | 0.0502 |

注1：車両価格は、標準的な車両の定価の平均値の90%とした（文献16により算定）。

2：機械損料率は、(1)は文献17、(2)、(3)は積算により算出した（付属資料3、4）。

3：距離当たりの燃料費は、実績（文献15）により算定した。

表5. 車両利用費 I (1人1m当たり費用)

| 区分 | 損燃料費 (円/m) | 乗車人員 (人) | 機械経費 (円/人・m) | 乗車時間費 (円/人・m) | 車両利用費 (円/人・m) |
|------------|---------------|-------------|-----------------|------------------|------------------|
| 木材収穫、造林 | 0.0418 | 6.0 | 0.0139 | 0.2085 | 0.2224 |
| 森林管理 | 0.0302 | 1.8 | 0.0336 | 0.2271 | 0.2607 |
| レクリエーション利用 | 0.0596 | 3.3 | 0.0361 | 0.2290 | 0.2651 |
| 地元利用 | 0.0502 | 1.4 | 0.0717 | 0.0944 | 0.1661 |

ウ) 人員輸送面における林道の開設効果

人員輸送面における林道の開設効果は、歩行費と車両利用費との差によって表すことにする。人員輸送面における1人1m当たりの林道の開設効果を e_{zh} (円/人・m) とすると、 e_{zh} は(15)、(17)式より

$$e_{zh} = a_h - C_{sh} \quad \dots \dots \dots (18)$$

となり、その算定値は表3に示すとおりとなる。また、林道の利用延長 X (m) における1人当たりの林道の開設効果 e_z (円/人) は、次式のようになる。

$$e_z = e_{zh} \cdot X \quad \dots \dots \dots (19)$$

(2) 経路等短縮型

既設の道路がある場合においても、新たな林道の開設により、居住地から勤務地等への人員輸送面や生産現地から市場等への物品輸送面において、通行距離の短縮あるいは走行速度の向上により、通行時間の短縮がなされる場合もある。以下、このような場合の林道の開設効果の算定を行うことにする。

既設の道路を利用する場合の既設道路（以下、道路1という。）の利用延長を X_1 (m)、新設される林道（以下、道路2という。）の利用延長を X_2 (m) とする。また、道路1を利用するときの車両の走行速度を V_1 (km/時)、道路2を利用するときの車両の走行速度を V_2 (km/時) とする。この場合、道路1を1m往復するのに要する時間を t_1 (時間)、道路2の場合を t_2 (時間) とすると、

$$t_1 = \frac{X_1}{500 V_1} \quad \dots \dots \dots (20)$$

$$t_2 = \frac{X_2}{500 V_2} \quad \dots \dots \dots (21)$$

となる。また、道路1を通行する場合と道路2を通行する場合との通行時間の差を通行短縮時間 t_e (時間) とすると、

$$t_e = t_1 - t_2 = \frac{1}{500} \left(\frac{X_1}{V_1} - \frac{X_2}{V_2} \right) \quad \dots \dots \dots (22)$$

となる。ここで特に、 V_1 と V_2 が等しい場合、すなわち

$$V_1 = V_2 = V_s \quad \dots \dots \dots (23)$$

ただし、 V_s ：車両の走行速度 (km/時)

の場合、(22)式は次のようになる。

$$t_e = \frac{X_1 - X_2}{500 V_s} \quad \dots \dots \dots (24)$$

ア. 物品輸送機能

木材の運搬には、前述のように、国有林、民有林とも8tトラックを用い、地元利用に関する物品の輸送には2tトラックを用いることとする。また、トラックの運搬費は、運輸省の認可している路線トラック事業の時間制運賃率表¹³⁾（関東陸運局管内の値を使用）に基づくこととする。林道上を t_E (時間) 輸送する場合の m^3 当たりの木材運搬費 g_H (円/ m^3) 及び地元利用における物品運搬費 g_T (円/t) は、運賃率表より算定式を求める、表6のようになる。この g_H 及び g_T が、経路等短縮型における物品輸送面の林道の開設効果となる。

表6. 木材、物品輸送における林道の開設効果II（経路等短縮型）

| 項目 | 単位 | 算定式 |
|-------------|----------|-----------------------------|
| 木材（国有林、民有林） | 円/ m^3 | $g_H = 467 t_E$ (1) |
| 地元利用、物品 | 円/トン | $g_T = 1,526 t_E$ (2) |

イ. 人員輸送機能

まず、車両の1時間当たりの損燃料費を算定すると、表7のようになる。次に、1人1時間当たりの車両利用費を算定すると、表8のようになる。この表で、機械経費の算定は、表5と同様にして求め、乗車時間費は表1の時給を適用したものである。表8の車両利用費が人員輸送面における1人1時間当たりの林道の時間短縮効果で、これを e_{ZH} (円/人・時) とすると、通行短縮時間が t_E (時間) のときの、人員輸送面における1人当たりの林道の開設効果 g_Z (円/人) は、

$$g_Z = e_{ZH} \cdot t_E \quad \dots \dots \dots (25)$$

となる。

表7. 車両の時間当たりの損燃料費

| 車種区分 | ①車両価格 (円) | ②機械損料率 (1/時) | ③機械損料 (円/時) | ④燃料費 (円/時) | ⑤損燃料費 (円/時) | ①×② | ③+④ |
|-----------|--------------|------------------------|----------------|---------------|----------------|-----|-----|
| | | | | | | | |
| (1)マイクロバス | 1,491,000 | 3.368×10^{-4} | 502 | 543 | 1,045 | | |
| (2)軽自動車 | 738,000 | 6.617×10^{-4} | 488 | 267 | 755 | | |
| (3)乗用車 | 1,782,000 | 6.376×10^{-4} | 1,136 | 354 | 1,490 | | |
| (4)乗用車、軽込 | 1,448,000 | 6.416×10^{-4} | 929 | 326 | 1,255 | | |

表8. 車両利用費II（1人1時間当たり費用）

| 区分 | 損燃料費 (円/ m) | 乗車人員 (人) | 機械経費 (円/人・時) | 乗車時間費 (円/人・時) | 車両利用費 (円/人・時) |
|-------------|-------------------|-------------|-----------------|------------------|------------------|
| ①木材収穫、造林 | 1,045 | 6.0 | 174 | 2,606 | 2,780 |
| ②森林管理 | 755 | 1.8 | 419 | 2,839 | 3,258 |
| ③レクリエーション利用 | 1,490 | 3.3 | 452 | 2,863 | 3,315 |
| ④地元利用 | 1,255 | 1.4 | 896 | 1,180 | 2,076 |

注：損燃料費の算定に当たっては、①はマイクロバスを、②は軽自動車を、③は乗用車を、④は乗用車、軽込を適用した。

2) 林道の開設効果

前項で求めた単位 [m^3 , t , 人] 当たりの林道の開設効果に輸送量を乗じたものが林道の開設効果となる。ここで、林道の利用機能 i に関する林道の開設効果を E_i (円) とし、木材の輸送量を M (m^3)、地元利用における物品の輸送量を B (t)、輸送人員を N (人) とする。前項で求めた算定式を用い、 E_i を各輸送量及び林道の利用延長 X (m) あるいは通行短縮時間 t_E (時間) の関数として表すと、その算定式は表9のとおりとなる。

表9. 林道の開設効果の算定式

| 区分 | 算定式 |
|--------------|----------------------------------------|
| 1. 奥地開発型 | |
| (1) 物品輸送 | |
| 国有林、木材 | $E_1 = (2.1982X + 845) M$ (1) |
| 民有林、木材 | $E_2 = (1.2443X + 485) M$ (2) |
| 地元利用、物品 | $E_3 = (1.4993X + 606) B$ (3) |
| (2) 人員輸送 | |
| 木材収穫、造林（国有林） | $E_4 = 1.2980N \cdot X$ (4) |
| 森林管理（国有林） | $E_5 = 1.3957N \cdot X$ (5) |
| レクリエーション利用 | $E_6 = 1.4053N \cdot X$ (6) |
| 地元利用 | $E_7 = 0.5223N \cdot X$ (7) |
| 2. 経路等短縮型 | |
| (1) 物品輸送 | |
| 木材（国有林、民有林） | $E_8 = 467M \cdot t_E$ (8) |
| 地元利用、物品 | $E_9 = 1,526B \cdot t_E$ (9) |
| (2) 人員輸送 | |
| 木材収穫、造林（国有林） | $E_{10} = 2,780N \cdot t_E$ (10) |
| 森林管理（国有林） | $E_{11} = 3,258N \cdot t_E$ (11) |
| レクリエーション利用 | $E_{12} = 3,315N \cdot t_E$ (12) |
| 地元利用 | $E_{13} = 2,076N \cdot t_E$ (13) |

注：民有林の木材収穫、造林に関する人員輸送は、「地元利用」の区分に含まれる。

3) 前価輸送量

(1) 前価係数

本稿では、一度建設された林道は永続的に利用されるものとし、将来にわたる輸送量は、前価計算により計算基準時点に換算されることにする。ここで、計算上の前提を以下のように設けることとする。

①計算の基準とする年を0年目とする。

②林道は計算の基準とする年の当初に完成する。

③計算の基準とする年から林道の利用、維持補修を行う。

計算の基準時点から j 年後の経済価値を計算基準時点へ換算する係数を前価係数 K_j とすると、林業利率を p [%]として

$$K_j = \frac{1}{(1.0p)^j} \quad \dots \dots \dots (26)$$

となる。本稿では、 p の値として5%を用いることとする。

木材の収穫予定量の算定においては、分期ごとに計算を行う場合が多い。そこで、木材の収穫量、収穫に要する人工数等の算定に当たっては、分期、計算の基準とする年、その年からの経過年数等を以下のように定めることにする。

①1分期は5年とする。

②計算の基準とする年は1分期の中央年とする。主伐等初回の収穫はこの年に行うこととする。新植は皆伐等の次年に行うこととし、このときの新生林分の林齢を1年生とする。

③以上より、分期 m の中央年の計算基準時点からの経過年数は $5(m-1)$ 年となる。

④主間伐等の施業は各分期の中央年に行う。

前価計算を行う場合、あらかじめ前価係数を算定しておけば、利便性は高い。1分期の中央年を前価計算の基準とする場合、 m 分期中央年の前価係数 K_m は、

$$K_m = \frac{1}{(1.0p)^{5(m-1)}} \quad \dots \dots \dots (27)$$

となる。 p の値を5%とし、各分期の K_m の値を求める表10のようになる。

また、輪伐期を u 〔年〕とする施業を永続的に繰り返す場合の前価係数を $K_u(u)$ とすると

$$K_u = \frac{(1.0p)^u}{(1.0p)^u - 1} \quad \dots \dots \dots (28)$$

となる。後述の計算例で使用する K_u の算定を行うと、その結果は表11のとおりである。ここで、 $u = a$ 〔年〕のときの K_u の値を $K_u(a)$ として表すことにする(表17以降に使用)。例えば、 $u = 50$ 〔年〕の場合

$$K_u(50) = 1.096 \quad \dots \dots \dots (29)$$

となる。

表10. 前価係数 K_j

| 分 期 | K_j の 値 | 分 期 | K_j の 値 | 分 期 | K_j の 値 |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| 1 | 1.000 | 11 | 0.087 | 21 | 0.008 |
| 2 | 0.784 | 12 | 0.068 | 22 | 0.006 |
| 3 | 0.614 | 13 | 0.054 | 23 | 0.005 |
| 4 | 0.481 | 14 | 0.042 | 24 | 0.004 |
| 5 | 0.377 | 15 | 0.033 | 25 | 0.003 |
| 6 | 0.295 | 16 | 0.026 | 26 | 0.002 |
| 7 | 0.231 | 17 | 0.020 | 27 | 0.002 |
| 8 | 0.181 | 18 | 0.016 | 28 | 0.001 |
| 9 | 0.142 | 19 | 0.012 | 29 | 0.001 |
| 10 | 0.111 | 20 | 0.010 | 30 | 0.001 |

表11. 前価係数 K_u

| 輪伐期 (年) | K_u の 値 |
|------------|-----------|
| 1 | 21.000 |
| 20 | 1.605 |
| 30 | 1.301 |
| 50 | 1.096 |
| 70 | 1.034 |
| 125 | 1.002 |

さらに、毎年の輸送量が一定とみなしうる場合の前価係数 K_u は(28)式の u に1〔年〕を代入して、

$$K_u = \frac{1.0p}{0.0p} \quad \dots \dots \dots (30)$$

となる。 $p = 5\%$ のときには、 K_u の値は21となる。

(2) 前価輸送量、前価収穫量、前価人工数

木材、人員等の輸送費は、輸送単価に輸送量を乗じて算定されるものとすると、将来の輸送費の計算基準時点への換算は、輸送量に前価係数を乗じた量と輸送単価との積として捉えることができる。ここで、計算の基準とする時点から j 年後の輸送量を Z_j 〔単位は m^3 、 t 、人、 m^3/ha 、 t/ha 、人/ha〕とし、輸送は永続的に行われることとすると、 $j = 0 \sim \infty$ の間における前価輸送量 Z 〔単位は同上〕は

$$Z = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{Z_j}{(1.0p)^j} \quad \dots \dots \dots (31)$$

により算定できる。ここで、前価輸送量のうち、木材収穫量に関する場合を前価収穫量、収穫、造林等の人工数に関する場合を前価人工数、レクリエーション利用など、利用者数に関する場合を前価利用者数と呼ぶことにする。

また、特に毎年の輸送量が一定とみなしうる場合、年間の輸送量を Z_a (m^3 、 t 、人、 m^3/ha 、 t/ha 、人/ha)とすると、(31)式は次のようになる。

$$Z = \frac{1.0p \cdot Z_a}{0.0p} \quad \dots \dots \dots (32)$$

3. 林道の開設維持費

国有林における林道開設費の状況は表12に示すとおりである。表より、昭61～平2年度平均の林道開設単価は28,207円／mとなる。これより、本稿ではm当たりの林道開設費 r_k (円／m) の値として28,200円／mを用いることにする。また、林道維持費の状況は表13に示すとおりで、昭61～平2年度平均の年間の林道維持費は87.7円／mとなる。これより、m当たり年間の林道維持費 r_1 (円／m) の値として88円／mを用いることにする。

表12. 林道開設費

| 年度 | 開設延長 (km) | 金額 (百万円) | 単価 (円／m) |
|-----|--------------|-------------|-------------|
| 昭61 | 681 | 20,137 | 29,570 |
| 62 | 717 | 19,245 | 26,841 |
| 63 | 663 | 18,106 | 27,309 |
| 平元 | 622 | 17,734 | 28,511 |
| 2 | 610 | 17,664 | 28,957 |
| 平均 | 659 | 18,577 | 28,207 |

資料：文献18及び林野庁調べによる。

表13. 林道維持費

| 年度 | 現況延長 (km) | 修繕費 (百万円) | 災害復旧費 (百万円) | 費用計 (百万円) | 単価 (円／m) |
|-----|--------------|--------------|----------------|--------------|-------------|
| 昭61 | 39,173 | 1,159 | 2,063 | 3,222 | 82.3 |
| 62 | 39,766 | 1,204 | 1,557 | 2,761 | 69.4 |
| 63 | 40,215 | 1,178 | 1,819 | 2,997 | 74.5 |
| 平元 | 40,793 | 1,171 | 3,343 | 4,514 | 110.7 |
| 2 | 41,314 | 1,263 | 2,895 | 4,158 | 100.6 |
| 平均 | 40,252 | 1,195 | 2,335 | 3,530 | 87.7 |

資料：文献18及び林野庁調べによる。

林道の維持は永続的に続けるものとすると、m当たりの前価林道維持費 r_{1z} (円／m) は、次式で計算される。

$$r_{1z} = \frac{1.0p \cdot r_1}{0.0p} \quad \dots \dots \dots (33)$$

この式に $p = 5\%$ 、 $r_1 = 88$ 円／mを代入すると、 r_{1z} の値は1,848円／mとなる。これより本稿では、 r_{1z} の値には、概数として1,800円／mを用いることにする。ここで、林道開設費と前価林道維持費の合計を開設維持費と呼ぶことにすると、m当たりの開設維持費 r_{k1} (円／m) は

$$r_{k1} = r_k + r_{1z} \quad \dots \dots \dots (34)$$

で表せ、この式に上記の値を代入すると r_{k1} の値は30,000円／mとなる。この値を本稿では、標準的なm当たりの林道の開設維持費とする。

また、延長 X_R (m) の林道全体の開設維持費 R_{k1} (円) は、次式で表せる。

$$R_{k1} = r_{k1} \cdot X_R \quad \dots \dots \dots (35)$$

4. 林道の新設にかかる優先順位の判定基準

1) 合成開設効果、総合開設効果

林道は、一つの路線に幾つかの利用機能が存在しているのが一般的であり、これらの機能のうち、幾つかを加算して評価することも必要となる。例えば、皆伐新植施業においては、収穫した木材の輸送機能に木材の収穫及び造林に必要な人員の輸送機能を加えたものが一つの評価基準となる。このように、幾つかの開設効果を加算したものを作成開設効果 E_g (円) とする。すなわち、 E_g は

$$E_g = \sum E_i \quad \dots \dots \dots (36)$$

により算定される。ここで、 E_g のうち計算対象とするすべての利用機能の開設効果を加算したものを作成開設効果 E_a (円) と呼ぶことにする。

2) 開設効率

林道の開設効果を相対的に表し、開設の優先度や開設の適否を判断する指標の一つとして、林道を開設した場合に得られる便益と林道の開設維持費との比率の値を用いることができる。そこで、林道の利用機能 i に関する林道の開設効果 E_i (円) と林道の開設維持費 R_{ki} (円) の比率を林道の開設効率 f_i とし

$$f_i = \frac{E_i}{R_{ki}} \quad \dots \dots \dots (37)$$

により算定することにする。また、合成開設効果 E_g 、総合開設効果 E_a を R_{ki} で除して、合成開設効率 f_g 、総合開設効率 f_a とすると、

$$f_g = \frac{E_g}{R_{ki}} \quad \dots \dots \dots (38)$$

$$f_a = \frac{E_a}{R_{ki}} \quad \dots \dots \dots (39)$$

となる。開設効率の算定は、ha単位で計算を行う方が利便性の高いこともある。そこで、ha当たりの林道の開設効果を E_{ha} (円／ha)、ha当たりの林道の開設維持費を R_{ha} (円／ha) とすると、林道の開設効率 f は次式により算定できる。

$$f = \frac{E_{ha}}{R_{ha}} \quad \dots \dots \dots (40)$$

3) 林道開設の優先順位の判定基準

林道の総合開設効率 F_a の値は、林道の投資効率を表すものであり、投資の効率性を重視する観点からは、 F_a の値の大きい林道が新設の優先度の高い林道となる。そこで本稿では、林道の総合開設効率 F_a を林道の新設にかかる優先順位の判定基準とすることにする。

また、林道の開設効果が林道の開設維持費より大きい場合には、林道の開設は適切であると判断することができる。そこで本稿では、 F_A 、 F_G または f_i の値が1より大きいか否かにより、林道の開設適否の判定基準とする。この場合、逆に、林道の投資限度額は、 F_A 、 F_G または f_i の値が1となる金額、すなわち、林道の開設効果の金額により与えられることになる。

5. 開設許容値

林道の有する利用機能のうち、一つあるいは幾つかを組み合わせた機能において林道の開設効率を1以上とする輸送量等を開設許容値 Z_K (m^3 、 t 、人、ha等)とする。開設許容値は、林道の開設適否を簡明に判断する上で有用性がある。

ここでは、奥地開発型において、林道の終点に目的地(集材土場、造林地、レクリエーションエリアの入口、農耕地、集落等)がある場合、すなわち林道の延長利用率を1とする場合における開設許容値を求めるところにする。

まず、一つの機能における開設許容値を求める。開設した林道の物品あるいは人員の輸送量を Z (m^3 、 t 、人)とすると、奥地開発型における林道の利用機能 i の開設効率 E_i (円)は、表9の(1)~(7)式より、 X の関数として

$$E_i = (a_i \cdot X + b_i) Z \quad \dots \dots \dots (41)$$

ただし、 a_i : E_i の変動費の係数($\text{円}/m^3 \cdot m$ 、 $\text{円}/t \cdot m$ 、 $\text{円}/人 \cdot m$)

b_i : E_i の固定費($\text{円}/m^3$ 、 $\text{円}/t$ 、 $\text{円}/人$)

で表せる($b_i = 0$ の場合を含む)。林道の開設効率を1以上とする場合、(35)、(37)、(41)式から

$$\frac{(a_i \cdot X + b_i) Z}{r_{K1} \cdot X_R} \geq 1 \quad \dots \dots \dots (42)$$

となる。延長利用率を1、すなわち林道の延長 X_R と利用延長 X を等しいものとし、(42)式を整理すると

$$(a_i \cdot Z - r_{K1}) X + b_i \cdot Z \geq 0 \quad \dots \dots \dots (43)$$

となる。表9の(1)~(7)式において $b_i \geq 0$ であるから、 $X \geq 0$ なるすべての X に対して

(43)式の不等式が成り立つための条件は、

$$a_i \cdot Z - r_{K1} \geq 0 \quad \dots \dots \dots (44)$$

すなわち

$$Z \geq \frac{r_{K1}}{a_i} \quad \dots \dots \dots (45)$$

となる。この式の等号を成り立てるZの値が開設許容値で、

$$Z_K = \frac{r_{K1}}{a_i} \quad \dots \dots \dots (46)$$

となる。また、林道の地元利用やレクリエーション利用など、毎年の利用量がほぼ一定とみなしうる場合、開設許容値を与える年間の輸送数値を年間許容値 Z_N (m^3 、 t 、人)とすると、 Z_N は Z_K を K_E (30式)で除して、次式のようになる。

$$Z_N = \frac{0.0 p \cdot Z_K}{1.0 p} \quad \dots \dots \dots (47)$$

ここで、開設許容値の計算例を示す。(46)式において、林道の開設維持費 r_{K1} の値を30,000円/ m とする。 a_i の数値には、物品輸送については表9の(1)~(3)式の係数の値を、人員輸送については同表の(4)~(7)式の係数の値を代入して開設許容値を求める表14のようになる。さらに、(47)式を用いて年間許容値を求める同表に示すようになる。この表から、例えば、林道の終点から $13,648 m^3$ 以上の運材量がある場合には、林道の延長にかかわりなく、林道の開設は適切であると判断できる。

表14. 開設許容値(1)

| 区分 | 項目 | 開設許容値 | 年間許容値 |
|------|-------------|--------------|------------|
| 物品輸送 | 国有林、木材 | $13,648 m^3$ | $650 m^3$ |
| | 民有林、木材 | $24,110 //$ | $1,148 //$ |
| | 地元利用、物品 | $20,009 t$ | $953 t$ |
| 人員輸送 | 国有林、木材収穫、造林 | $23,112$ 人 | $1,101$ 人 |
| | 〃 森林管理 | $21,495 //$ | $1,024 //$ |
| | レクリエーション利用 | $21,348 //$ | $1,017 //$ |
| 地元利用 | | $57,438 //$ | $2,735 //$ |

次に、幾つかの利用機能を組み合わせた場合の開設許容値について述べる。森林作業等においては、幾つかの利用機能を組み合わせた場合の林道の開設効率や開設許容値の算定が必要となることもある。例えば、前述のように皆伐新植作業においては、収穫された木材の輸送、収穫及び造林に要する作業員の輸送を組み合わせた林道の開設効率の算定が必要となる。そこでここでは、haを計算の基準単位とし、この場合の幾つかの利用機能を組み合わせた開設許容値の算定法を求める。

いま、利用機能 i に関するha当たりの輸送量を Z_i (m^3/ha 、 t/ha 、 $人/ha$)とし、これらを幾つか組み合わせた場合、ha当たり m 当たりの開設効率の変動費の係数を A_{HA} ($\text{円}/ha \cdot m$)とすると

$$A_{HA} = \sum a_i \cdot Z_i \quad \dots \dots \dots (48)$$

で算定される。この場合の開設許容値 Z_K (ha)は、(46)式の算定法と同様に求めると、

$$Z_K = \frac{r_{K1}}{A_{HA}} \quad \dots \dots \dots (49)$$

となる。この計算例については後述する。

6. 木材収穫面での利用

1) 国有林における木材収穫の状況

国有林における昭61～平2年平均の木材収穫の状況は表15に示すとおりである（文献8の昭61～平2年版による）。収穫面積では択伐が最も多く56%，次いで間伐28%，皆伐14%，漸伐2%となっている。材積的には皆伐が最も多く48%，次いで択伐の34%，間伐の16%，漸伐の3%となっている。ha当たりの収穫材積は、皆伐が243m³/ha、漸伐114m³/ha、択伐44m³/ha、間伐43m³/haとなっている。

表15. 国有林における木材収穫の状況

| 区分 | 単位 | 皆伐 | 択伐 | 漸伐 | 間伐 | 計 |
|---------|--------------------|--------|--------|-------|--------|---------|
| 伐採面積 | (%) | (14.4) | (56.2) | (1.9) | (27.5) | (100.0) |
| | ha | 20,863 | 81,109 | 2,693 | 39,721 | 144,387 |
| 伐採材積 | (%) | (47.6) | (33.5) | (2.9) | (16.0) | (100.0) |
| | 千m ³ | 5,042 | 3,549 | 304 | 1,690 | 10,586 |
| ha当たり材積 | m ³ /ha | 242.6 | 43.8 | 114.3 | 42.6 | 73.2 |

2) 多様な森林施業法に適応しうる木材収穫量の算定法

近年、多様化してきている森林施業に共通して適応しうる木材収穫量の算定法を以下に求める。輸送の観点からは、木材の収穫は、収穫される時期（計算の基準とする時点から何年後に収穫を行うか）及びその量の面から捉えることができる。ここで、計算の基準時点からj年後にV_j (m³) の木材が収穫されるものとし、林業生産活動が永続的に行われるものとすると、前価収穫量V_z (m³) は(31)式より

$$V_z = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{V_j}{(1.0p)^j} \quad \dots \quad (50)$$

により算定される。この計算法を用いることにより、多様な森林施業、林分状況に対応した木材収穫量の算定を統一的に行うことが可能である。

表16. 前価収穫量

| 林種、施業方法等 | 前価収穫量 (m ³ /ha) |
|------------|-------------------------------|
| ①人工林、一斉皆伐 | 279 |
| ②〃、分散伐採 | 253 |
| ③〃、間伐 | 155 |
| ④〃、法正林 | 128 |
| ⑤無立木地、新植造林 | 36 |
| ⑥人工林、複層林 | 263 |
| ⑦天然林、皆伐保残木 | 173 |
| ⑧〃、皆伐ぼう芽 | 91 |
| ⑨〃、択伐 | 71 |

3) 前価収穫量の計算例

ha当たりの前価収穫量をV_{HA} (m³/ha) とし、各種の森林施業、林分状況におけるV_{HA}の計算例を以下に示す。計算は、表16に掲げる林種、施業法等について、下記に述べる方法により行った。その結果は同表に示すとおりである。なお、下記の(1)～(4)の計算に当たっては、付属資料5に示す収穫予想表を用いた。

(1) 一斉皆伐林、新植造林

50年生の一斉林について皆伐を行う。新生林分については、30年生、40年生時点で間伐を行い、50年生時点で主伐を行う。この施業を永続的に繰り返すこととして、前価収穫量を求める(K_u(50)(=1.096)×32.615=35.746)となる（表17）。

また、表17における新生林分の前価収穫量36m³/haは、表16の⑤の無立木地における新植造林の前価収穫量に相当する値である。

表17. 一斉皆伐林の前価収穫量

| 区分 | 分期 | 林齢 (年) | 伐採区分 | 収穫材積 (m ³ /ha) | 同前価値 (m ³ /ha) |
|------|----|-----------|------|------------------------------------|------------------------------|
| 現存林分 | 1 | 50 | 主伐 | 243 | 243.000 |
| 新生林分 | 7 | 30 | 間伐 | 30 | 6.930 |
| | 9 | 40 | 〃 | 32 | 4.544 |
| | 11 | 50 | 主伐 | 243 | 21.141 |
| 計 | | | | 305 | 32.615 |
| | | | | K _u (50)(=1.096)×32.615 | 35.746 |
| | | | 計 | | 278.746 |

(2) 分散伐採

50年生の一斉林のうち、1分期に50%を伐採区として皆伐、新植を行い、残り50%については保残区として間伐を行い、3分期に保残区の皆伐、新植を行う。伐採区の前価収穫量は前項の一斉皆伐林と同量（278.746m³/ha）とする。保残区の前価収穫量は表18に示すとおりである（226.636m³/ha）。これより、分散伐採の前価収穫量は253m³/ha (=278.746m³/ha×0.50+226.636m³/ha×0.50) となる。

表18. 分散伐採、保残区の前価収穫量

| 区分 | 分期 | 林齢 (年) | 伐採区分 | 収穫材積 (m ³ /ha) | 同前価値 (m ³ /ha) |
|------|----|-----------|------|------------------------------------|------------------------------|
| 現存林分 | 1 | 50 | 間伐 | 32 | 32.000 |
| | 3 | 60 | 主伐 | 281 | 172.534 |
| | 計 | | | | 204.534 |
| 新生林分 | 9 | 30 | 間伐 | 30 | 4.260 |
| | 11 | 40 | 〃 | 32 | 2.784 |
| | 13 | 50 | 主伐 | 243 | 13.122 |
| 計 | | | | | 20.166 |
| | | | | K _u (50)(=1.096)×20.166 | 22.102 |
| | | | 計 | | 226.636 |

(3) 間伐林

間伐林道の場合のように、当面は間伐が収穫の対象となる林分について計算を行う。計算の基準時点における林齢を30年生とし、30年生及び40年生時点で間伐を行い、50年生時点で皆伐を行うこととする。新生林分については、一斉皆伐林と同様の施業を行うこととして、前価収穫量の算定を行うと $155\text{m}^3/\text{ha}$ となる（表19）。

表19. 間伐林の前価収穫量

| 区分 | 分期 | 林齢 (年) | 伐採区分 | 収穫材積 (m ³ /ha) | 同前価値 (m ³ /ha) |
|------|----|-----------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 現存林分 | 1 | 30 | 間伐 | 30 | 30.000 |
| | 3 | 40 | 〃 | 32 | 19.648 |
| | 5 | 50 | 主伐 | 243 | 91.611 |
| | 計 | | | | 141.259 |
| 新生林分 | 11 | 30 | 間伐 | 30 | 2.610 |
| | 13 | 40 | 〃 | 32 | 1.728 |
| | 15 | 50 | 主伐 | 243 | 8.019 |
| | 計 | | | | 12.357 |
| | | | $K_u(50)(=1.096) \times 12.357 =$ | | 13.543 |
| | | | | | 154.802 |
| | | | 計 | | |

(4) 法正林

開設される林道の利用区域における林分が1～50年生の法正林で構成されている場合についての前価収穫量を求める。1～50年生の林分が1haづつ計50haの法正林が存在する場合、毎年の収穫量は表17より主伐243m³、間伐1回目30m³、2回目32m³、計305m³となる。ha当たりの年間収穫量は $6.1\text{m}^3/\text{ha}$ （ $=305\text{m}^3 \div 50\text{ha}$ ）となり、前価収穫量は $128\text{m}^3/\text{ha}$ （ $=K_u(1)(=21) \times 6.1\text{m}^3/\text{ha}$ ）となる。

(5) 複層林

長伐期2段林の場合について計算を行う。上木が70年生時点で植栽伐を行い、80、90年生時点で受光伐、100年生時点（下木が30年生時点）で終伐を行うこととする。収穫量の算定には付属資料5の複層林の収穫予想表を用いる。複層林の施業内容及び収穫量は表20のとおりで、前価収穫量は $263\text{m}^3/\text{ha}$ となる。

表20. 複層林の前価収穫量

| 区分 | 分期 | 林齢 (年) | 伐採区分 | 収穫材積 (m ³ /ha) | 同前価値 (m ³ /ha) |
|------|----|-----------|------|-----------------------------------|------------------------------|
| 現存林分 | 1 | 70 | 植栽伐 | 188 | 188.000 |
| | 3 | 80 | 受光伐 | 27 | 16.578 |
| | 5 | 90 | 〃 | 27 | 10.179 |
| | 7 | 100 | 終伐 | 117 | 27.027 |
| | 計 | | | | 241.784 |
| 新生林分 | 7 | 30 | 間伐 | 19 | 4.389 |
| | 9 | 40 | 〃 | 29 | 4.118 |
| | 11 | 50 | 〃 | 32 | 2.784 |
| | 13 | 60 | 〃 | 31 | 1.674 |
| | 15 | 70 | 植栽伐 | 186 | 6.138 |
| | 17 | 80 | 受光伐 | 25 | 0.500 |
| | 19 | 90 | 〃 | 25 | 0.300 |
| | 21 | 100 | 終伐 | 110 | 0.880 |
| | 計 | | | | 20.783 |
| | | | | $K_u(70)(=1.034) \times 20.783 =$ | 21.490 |
| | | | 計 | | 263.274 |

(6) 皆伐保残木施業林

漸伐とも呼ばれる施業で、ブナ林を例として計算を行う。120年生時点で下種伐を行い、母樹は135年生時点で伐採を行う。更新は、下種伐の6年後に行われ、このときの新生林分の林齢を1年生とする。新生林分は60年生、90年生時点で間伐を行い、その後は上記と同様の施業を行う。収穫を行う時期及び収穫量は表21に示すとおりで、前価収穫量は $173\text{m}^3/\text{ha}$ となる。

表21. 皆伐保残木林の前価収穫量

| 区分 | 分期 | 林齢 (年) | 伐採区分 | 収穫材積 (m ³ /ha) | 同前価値 (m ³ /ha) |
|------|----|-----------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 現存林分 | 1 | 120 | 下種伐 | 152 | 152.000 |
| | 4 | 135 | 母樹伐採 | 39 | 18.759 |
| | 計 | | | | 170.759 |
| 新生林分 | 14 | 60 | 間伐 | 25 | 1.050 |
| | 20 | 90 | 〃 | 41 | 0.410 |
| | 26 | 120 | 下種伐 | 152 | 0.304 |
| | 29 | 135 | 母樹伐採 | 39 | 0.039 |
| | 計 | | | | 1.803 |
| | | | $K_u(125)(=1.002) \times 1.803 =$ | | 1.807 |
| | | | 計 | | 172.566 |

(7) 皆伐ぼう芽

しいたけ等原木林を計算例とする。30年生時点での皆伐を行い、このときの収穫量を70m³/haとする。この場合の前価収穫量は91m³/ha (=K_u(30)(=1.301)×70m³/ha)となる。

(8) 拾伐

林分蓄積176m³/ha、伐採率25%、回帰年20年として計算を行う。1回当たりの収穫量は44m³/ha (=176m³/ha×0.25)となる。これより前価収穫量は71m³/ha (=K_u(20)(=1.605)×44m³/ha)となる。

4) 林道の開設効果率の計算例

以上算定したha当たりの前価収穫量V_{HA}(m³/ha)の値を図1のモデルに適用し、この場合の開設効果率の算定を行うこととする。

ha当たりの林道の開設効果E_{HA}(円/ha)は、表9の(1)式のXに2,160m(4式)を、MにV_{HA}を代入して

$$E_{HA} = 5,593 V_{HA} \quad \dots \dots \dots (51)$$

となる。ha当たりの林道の開設維持費R_{HA}は、550,800円/ha(7式)であるから、(40)式より林道の開設効果率fは

$$f = \frac{5,593 V_{HA}}{550,800} \quad \dots \dots \dots (52)$$

となる。この式のV_{HA}に表16の前価収穫量の値を代入すると、fの値は表22のとおりとなる。この表の①~④及び⑥、⑦は、fの値は1以上で、収穫された木材の運搬機能面のみで林道の開設が適切であると判定できる。

次に、収穫作業に必要な作業員の人員輸送面の開設効果率の算定を行う。ha当たりの収穫等の前価人工数をn_{HA}(人/ha)とすると、ha当たりの林道の開設効果E_{HA}(円/ha)は、表9の(4)式のXに2,160mを、Nにn_{HA}を代入して

$$E_{HA} = 2,804 n_{HA} \quad \dots \dots \dots (53)$$

となる。この場合の林道の開設効率fは、(52)式と同様に

$$f = \frac{2,804 n_{HA}}{550,800} \quad \dots \dots \dots (54)$$

となる。ここで、計算例として、一斉皆伐作業における林道の開設効率を求めるために

する。収穫作業における所要人工数は表23のとおりとする。この場合、前価人工数は87人/haで、この値を(54)式のn_{HA}に代入すると

$$f = 0.44 \quad \dots \dots \dots (55)$$

となる。木材収穫全体における林道の開設効率は、この値に木材輸送面における林道の開設効率2.83(表22の①)を加えたもので、合成開設効率F₆は

$$F_6 = 3.27 \quad \dots \dots \dots (56)$$

となる。

表23. 一斉皆伐林収穫の前価所要人工数

| 区分 | 分期 | 林齢 | 伐採区分 | 収穫材積 (m ³ /ha) | 利用材積 (m ³ /ha) | 功 程 (m ³ /人) | 人工数 (人/ha) | 同前価値 (人/ha) |
|-------------------------------------|----|----|------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------|----------------|
| 現存林分 | 1 | 50 | 主伐 | 243 | 174.3 | 2.40 | 72.6 | 72.600 |
| 新生林分 | 7 | 30 | 間伐 | 30 | 18.5 | 0.92 | 20.1 | 4.643 |
| | 9 | 40 | 〃 | 32 | 21.5 | 1.33 | 16.2 | 2.300 |
| | 11 | 50 | 主伐 | 243 | 174.3 | 2.40 | 72.6 | 6.316 |
| 計 | | | | | | | 108.9 | 13.259 |
| K _u (50)(=1.096)×13.259= | | | | | | | 14.532 | |
| 計 | | | | | | | | 87.132 |

7. 造林面での利用

1) 造林面における林道の開設効果

林道が造林面で果たす利用機能は、主として造林作業員の輸送機能である。この機能に関する林道の開設効果の算定は、表9の(4)式を用いて行うことができる。

ここで、計算例として、新植作業における林道の開設効果の算定を行うこととする。造林作業の内容、所要人工数は表24の数値を用いることとする。地拵作業を行う年を計算の基準時とすると、ha当たりの前価人工数n_{HA}は78人/haとなる。図1に示したモデルにおける計算を行うと、ha当たりの林道の開設効果は(53)式、林道の開設効率fは(54)式で算定される。(54)式のn_{HA}に78人/haを代入すると

$$f = 0.40 \quad \dots \dots \dots (57)$$

となる。fの値は1よりかなり小さく、造林作業のみを対象とする場合には、標準的な林道(開設維持費30,000円/m)の開設は困難である。

次に、皆伐新植作業における林道の開設効率の計算例を示す。図1のモデルにおける皆伐作業の木材輸送及び人員輸送に関する林道の開設効率は、3.27(56式)で、これに新植作業に関する林道の開設効率0.40(57式)を加えると、皆伐新植作業における林道の開設効率は

表24. 造林の前価所要人工数

| 経過年数 | 区分 | 功 程 (人/ha) | 前価係数 | 人工数の前価値 (人/ha) |
|------|-----|---------------|-------|------------------------------------------|
| 0 | 地 拙 | 18 | 1.000 | 18.000 |
| 1 | 植 栽 | 15 | 0.952 | 14.280 |
| 2 | 下 刈 | 6 | 0.907 | 5.442 |
| 3 | " | " | 0.864 | 5.184 |
| 4 | " | " | 0.823 | 4.938 |
| 5 | " | " | 0.784 | 4.704 |
| 6 | " | " | 0.746 | 4.476 |
| 7 | つる切 | 3 | 0.711 | 2.133 |
| 9 | 除 伐 | 10 | 0.645 | 6.450 |
| 12 | " | 10 | 0.557 | 5.570 |
| 計 | | 86 | | 71.177 |
| | | | | $K_u(50)(=1.096) \times 71.177 = 78.010$ |

$$f = 3.67$$

$$\dots \dots \dots (58)$$

となる。

2) 皆伐新植作業における林道の開設許容値

ここで、皆伐新植作業における林道の開設許容値を面積単位で表すこととし、その計算例を示すこととする。

まず、皆伐作業における開設許容値を求める。皆伐作業におけるha当たりの前価収穫量を $279\text{m}^3/\text{ha}$ （表17）、前価人工数を87人/ha（表23）とする。この数値と表9に示した木材輸送及び人員輸送の開設効果の変動費の係数により、(48)式を用いて A_{HA} を求めるところ $726\text{円}/\text{ha}\cdot\text{m}$ となる（表25）。林道のm当たりの開設維持費 r_{k1} を $30,000\text{円}/\text{m}$ とすると、開設許容値は(49)式より 41.3ha となる（表25）。次に、新植造林作業における開設許容値を求める。新植造林作業における前価人工数を78人/ha（表24）とする。この数値を用いて前述と同様に算定を行うと、 E_{HA} は $101\text{円}/\text{ha}\cdot\text{m}$ 、開設許容値は 297ha となる（表25）。以上より、皆伐新植作業全体における E_{HA} は $827\text{円}/\text{ha}\cdot\text{m}$ となり、開設許容値は 36.3ha となる（表25）。すなわち、林道の開設維持費を $30,000\text{円}/\text{m}$ とすると、林道の終点付近に皆伐新植施業地の面積が 36.3ha 以上ある場合には、林道の延長にかかわりなく、林道の開設は適切であると判定できる。

表25. 開設許容値（2）

| 区分 | 項目 | 輸送量 | 変動費の係数 | 開設効果 (円/ha·m) | 開設許容値 (ha) |
|------|--------|---------------------------|------------------------------------------|------------------|---------------|
| 皆伐新植 | 収穫材輸送 | $279\text{m}^3/\text{ha}$ | $2.1982\text{円}/\text{m}^3\cdot\text{m}$ | 613 | 48.9 |
| | 収穫人員輸送 | 87人/ha | $1.2980\text{円}/\text{人}\cdot\text{m}$ | 113 | - |
| | 小計 | - | | 726 | 41.3 |
| | 新植造林 | 78人/ha | $1.2980\text{円}/\text{人}\cdot\text{m}$ | 101 | 297.0 |
| | 計 | - | | 827 | 36.3 |
| 農業生産 | 収穫物輸送 | $369\text{t}/\text{ha}$ | $1.4993\text{円}/\text{t}\cdot\text{m}$ | 553 | 54.2 |
| | 生産者輸送 | 2,392人/ha | $0.5223\text{円}/\text{人}\cdot\text{m}$ | 1,249 | - |
| | 計 | - | - | 1,802 | 16.6 |

3) 造林用道路の投資限度額

(57)式の f の値は、林道の開設維持費を $30,000\text{円}$ として算定したもので、この場合、道路の開設は不可と判定される。そこで、道路の利用機能の計算対象を造林作業面に限定する場合、道路の開設効果率が1以上となるような開設維持費を求めるところにする。図1のモデルの場合、ha当たりの林道の開設効果 E_{HA} （円/ha）は、(53)式の n_{HA} に78人/ha（表24）を代入すると

$$E_{HA} = 218,712 \dots \dots \dots (59)$$

となる。この額がha当たりの林道の投資限度額で、モデルにおける林道の密度は $18.36\text{m}/\text{ha}$ （6式）であるから、m当たりの投資限度額は $11,912\text{円}/\text{m}$ （ $= 218,712/18.36$ ）となる。

8. 森林管理面での利用

主伐、間伐、造林等を行う場合、現場での実際の作業のほか、事前の計画、調査、作業実行時の指導、現場打合せ等が必要となる。また、森林の状況等を常に的確に把握しておくためには、適度の林内巡視が必要となる。ここで森林管理に関する計算例として、輪伐期を50年とし、この間におけるha当たりの管理に必要な人工数の算定結果を示すと、表26のようになる。この計算の場合、所要人工数は40人/haで、ha当たりの年間の所要人工数は0.8人となる。管理に必要な人工数は、主間伐等の作業時に多くを必要とする場合が多いが、簡略的に所要人工数を毎年ほぼ一定とみなすことにすると、前価人工数は(32)式より16.8人/haとなる。

表26. 管理所要人工数

| 項目区分 | 人工数 | 積算基礎 |
|------|-----------|------------------------------|
| 林内巡回 | 10.0人/ha | 2人, 1回/年, 1日10ha, 50回 |
| 主伐 | 計画 | 0.5 2人, 1日4ha, 1回 |
| | 周囲測量 | 1.0 4人, 1日4ha, 1回 |
| | 材積調査 | 2.0 2人, 1日1ha, 1回 |
| | 現場指導, 打合せ | 2.5 1人, 1箇所(4ha)当たり10回 |
| | 跡地検査 | 0.5 2人, 1日4ha, 1回 |
| | 計画 | 1.0 2人, 1日4ha, 2回 |
| 間伐 | 材積調査, 選木 | 4.0 2人, 1日1ha, 2回 |
| | 現場指導, 打合せ | 2.0 1人, 1箇所(4ha)当たり4回×2回 |
| | 跡地検査 | 1.0 2人, 1日4ha, 2回 |
| 造林 | 計画 | 5.0 2人, 1回/年, 1日4ha, 10回 |
| | 現場指導, 打合せ | 2.5 1人, 1箇所(4ha)当たり1回/年, 10回 |
| | 跡地検査 | 5.0 2人/年, 1日4ha, 10回 |
| 施業計画 | | 1.0 2人, 1日20ha, 10回 |
| その他 | | 2.0 保護, 治山等 |
| 計 | 40.0 | |

9. レクリエーション面での利用

1) 自然公園等の利用状況

我が国における自然公園には、国立公園、国定公園、都道府県立自然公園、レクリエーションの森等がある。これらの公園の設定状況、利用状況は表27のとおりである。自然公園における箇所ごとの利用者数、利用密度には大きな差異がある。例えば、国立公園の中で最も利用者数の多いのは、富士箱根伊豆で、10,132千人(平成元年)¹⁹⁾であるのに対し、最も利用者数が少ないのは小笠原で、23千人(人)にすぎない状況にある。利用者数に関する因子としては、大都市や周辺都市からの距離、交通至便性、公園独自の魅力度、知名度、利用施設の状況、PRやイベントの状況など多くのものが考えられる。

以上のように、個々の箇所の利用状況の差異は大きいが、自然公園の種類ごとの平均の利用密度(利用者数を公園等の面積で除したもの)は、139~323人/haとなっている(表27)。

表27. 自然公園の利用状況

| 種類 | 箇所数(箇所) | 面積(ha) | 利用者数(千人) | 1箇所当たり面積(ha) | 1箇所当たり利用者数(人) | 利用密度(人/ha) |
|-------------|---------|-----------|----------|--------------|---------------|------------|
| ①国立公園 | 28 | 2,042,008 | 386,859 | 72,929 | 13,816,392 | 189 |
| ②国定公園 | 54 | 1,291,044 | 291,696 | 23,908 | 5,401,778 | 226 |
| ③都道府県立自然公園 | 300 | 1,985,342 | 276,267 | 6,618 | 920,890 | 139 |
| ④レクリエーションの森 | 1,230 | 552,933 | 178,400 | 450 | 145,041 | 323 |

資料: ①~③は文献19による。④は文献20による。

2) 国有林等におけるレクリエーション利用

国有林におけるレクリエーションの森の設定状況、利用状況は表28に示すとおりで、1箇所当たりの年間利用者数は平均で145千人となっている。利用密度は、平均で323人/haとなっている。レクリエーションの森の1箇所当たりの面積を S_L (ha)、1箇所当たりの年間利用者数を N_L (人)とし、表28の数値から両者の間の回帰式を求めるところとなる。

$$N_L = 245S_L + 39,630 \quad \dots \dots \dots \quad (60)$$

$(r=0.727)$

また、利用者数を利用密度を用いて表すこととし、レクリエーションの森等の利用密度を D_L (人/ha)とすると

$$N_L = D_L \cdot S_L \quad \dots \dots \dots \quad (61)$$

となる。利用密度の実績値は表28に示すとおりである。

表28. レクリエーションの森の利用状況

| 種類 | 箇所数(箇所) | 面積(ha) | 利用者数(千人) | 1箇所当たり面積(ha) | 1箇所当たり利用者数(人) | 利用密度(人/ha) |
|----------|---------|---------|----------|--------------|---------------|------------|
| 自然休養林 | 92 | 113,240 | 36,227 | 1,231 | 393,772 | 320 |
| 自然観察教育林 | 201 | 35,240 | 23,293 | 175 | 115,886 | 661 |
| 野外スポーツ林 | 211 | 35,326 | 48,760 | 167 | 231,090 | 1,380 |
| 風景林 | 626 | 344,065 | 65,177 | 550 | 104,117 | 189 |
| 森林スポーツ林 | 13 | 2,100 | 954 | 162 | 73,385 | 454 |
| 野外スポーツ地域 | 64 | 14,112 | 3,807 | 221 | 59,484 | 270 |
| 風致探勝林 | 23 | 8,850 | 182 | 385 | 7,913 | 21 |
| 計 | 1,230 | 552,933 | 178,400 | 450 | 145,041 | 323 |

資料: 文献20

さらに、レクリエーションの森をその性格に応じて以下のように区分すると、この場合の利用者数と区域面積の関係式は次のようになる。

①自然休養林、自然観察教育林

$$N_L = 401 S_L \quad \dots \dots \dots \quad (62)$$

②野外スポーツ林、森林スポーツ林、野外スポーツ地域

$$N_L = 1,038 S_L \quad \dots \dots \dots \quad (63)$$

③風景林、風致探勝林

$$N_L = 185 S_L \quad \dots \dots \dots \quad (64)$$

④以上全体

$$N_L = 323 S_L \quad \dots \dots \dots \quad (65)$$

以上のほか、レクリエーション施設等の設定、利用状況を示すと表29のとおりで、レクリエーションの森施設の1箇所当たりの利用者数は10,675人、国営・国設スキー場の1箇所当たりの利用者数は258,883人となっている。また、林業構造改善事業の森林総合利用促進事業における森林レクリエーション施設の利用者数は、1箇所当たり30,928人となっている。さらに、国民休暇村、家族旅行村、長距離自然歩道の利用状況等は表29、30に示すとおりである。

表29. レクリエーション施設等の森の利用状況

| 種類 | 箇所数 (箇所) | 面積 (ha) | 利用者数 (千人) | 1箇所当たり面積 (ha) | 1箇所当たり利用者数 (人) | 利用密度 (人/ha) |
|---------------|-------------|------------|--------------|------------------|-------------------|----------------|
| ①レクリエーションの森施設 | 1,423 | 726 | 15,191 | 0.51 | 10,675 | 20,924 |
| ②国営・国設スキー場 | 197 | 27,853 | 51,000 | 141 | 258,883 | 1,831 |
| ③森林総合利用促進事業 | 388 | — | 12,000 | — | 30,928 | — |
| ④国民休暇村 | 30 | 1,706 | 4,355 | 57 | 145,167 | 2,553 |
| ⑤家族旅行村 | 29 | — | 3,632 | — | 125,241 | — |

資料: ①は文献7による。②は文献20による。③は文献21による。④⑤は文献22による。

表30. 長距離自然歩道の利用状況

| 名称 | 総延長 (km) | 利用者数 (千人) | km当たり利用者数 (人/km) |
|--------|-------------|--------------|---------------------|
| 東海自然歩道 | 1,343 | 6,060 | 4,512 |
| 九州 // | 2,043 | 7,880 | 3,857 |
| 中国 // | 1,906 | 2,030 | 1,065 |
| 四国 // | 1,673 | 2,980 | 1,781 |
| 首都圏 // | 1,665 | 4,640 | 2,787 |
| 計 | 8,630 | 23,590 | 2,733 |

資料: 文献22

個別の箇所ごとに森林レクリエーションの利用者数の推定を正確に行うことは、かなり難しいものと思われるが、概略的な方法として、前述の計算式により算定を行い、さらに周辺の森林レクリエーションの利用実態を踏まえ、総合的に判断して推定を行う必要がある。

3) レクリエーション利用における林道の開設効果

森林のレクリエーション利用の主たる対象区域を一定のエリアとして捉える場合、そのエリアの入口部分まで林道が存在する場合には、それを利用して到達することができる。林道が存在しない場合には、既設道路から歩行によってレクリエーションエリアの入口まで到達することにする。そこで、レクリエーション利用者の歩行費と車両利用費との差をもって林道の開設効果とすることができる。

レクリエーション利用に関する林道の開設効果は、表9の(6)式により算定できる。また、林道のレクリエーション利用の開設許容値は、表14より21,348人で、年間許容値は1,017人となる。すなわち、年間のレクリエーション利用者が1,017人以上見込める箇所においては、林道の延長にかかわりなく、林道の開設は適当であると判定できる。

国有林におけるレクリエーションの森の利用状況は、1箇所当たり平均で年間145,041人となっている(表28)。レクリエーションの森に到達するには、複数の経路があつたり、公道利用による場合もあり、林道1路線当たりの利用者数は明確ではないが、前述の年間許容値1,017人を大幅に超えていることから、平均的には、現在レクリエーション区域に配置されている林道は、レクリエーション利用に十分に機能を果していると言えよう。

10. 地元住民の利用

1) 物品輸送

国有林地帯内あるいは国有林地近くに民有林地、農耕地、特用林産物生産地、集落等の存在する場合には、生産物や住民の生活物資等の運搬に国有林林道が利用されることがある。これらの物品の輸送量は、現地の実態に即して適切に見込む必要があるが、ha当たりの生産量等の標準的な数値をあらかじめ求めておくことも有用である。以下、これらの数値の算定例等について述べることにする。

(1) 木材

木材の前価収穫量は、正確には林分の状況(樹種、林齢、蓄積、成長予想等)や箇所ごとの収穫計画に基づいて算定されるものであるが、収穫予定期が不明確であるなど、資料の入手の困難な場合や計算の単純化を図る場合には、簡易な算定法が必要となる。その例として、ha当たりの前価収穫量 M_H (m^3/ha)の算定法を示す。

ha当たりの木材の年平均収穫量を m_H (m^3/ha)とし、 m_H の値にはha当たりの主間伐

材積の合計を伐期齢で除した値を見込むこととする。この場合、 M_n は(31)式より

$$M_n = \frac{1.0 p \cdot m_n}{0.0 p} \quad \dots \dots \dots \quad (66)$$

となる。ここで、年平均収穫量等の算定例を表31に示す。この表の人工林の値は、我が国の森林資源の現況²³⁾に基づき、10齢級を基準として、この齢級における林分材積及びそれまでの間伐材積（主伐材積の26%とした。表17により算定）の合計値を10齢級中央年の林齢48年で除して求めたものである。天然林は資料の関係で9~10齢級込みを基準とし、中央年の林齢を45.5年として算定した。この表より、例えば、人工林の年平均収穫量は7.51m³/ha、人工林天然林込みの場合は5.05m³/haとなる。

表31. 年平均収穫量、年平均収穫人工数

| 人天別 | 針広別 | 樹種 | 林地面積 (千ha) | 平均収穫量 (m ³ /ha) | 年平均人工数 (人/ha) | |
|-----|-----|------|---------------|-------------------------------|------------------|--|
| 人工林 | 針葉樹 | スギ | 4,390 | 9.40 | 3.21 | |
| | | ヒノキ | 2,134 | 6.92 | 2.36 | |
| | | マツ類 | 1,203 | 4.81 | 1.64 | |
| | | カラマツ | 1,112 | 5.39 | 1.84 | |
| | | その他N | 854 | 5.84 | 1.99 | |
| | | 計 | 9,694 | 7.51 | 2.56 | |
| | | 広葉樹 | 153 | 4.26 | 1.45 | |
| | | 計 | 9,847 | 7.46 | 2.55 | |
| 天然林 | | | 12,893 | 3.21 | 1.10 | |
| 計 | | | 22,740 | 5.05 | 1.72 | |

(2) 農産物

ha当たりの農産物の前価収穫量を B_n (t/ha)、ha当たりの年間収穫量を b_n (t/ha)とすると、 B_n は(31)式より

$$B_n = \frac{1.0 p \cdot b_n}{0.0 p} \quad \dots \dots \dots \quad (67)$$

となる。

農産物のha当たりの収穫量及び労働人工数を示すと表32のとおりになる^{24・25)}。農業生産における農地の利用については、稲作のように年1回の収穫を主体とする場合や野菜生産のように、年間に何回かの収穫を行う場合など多様である。ha当たりの年間の収穫量の算定に当たっては、正確には計算対象地の生産実態に基づいて定める必要があるが、我が国全体における農作物の耕地利用率の値は1.03となっており²⁵⁾、1に近いことなどから、

概略の計算を行う場合には、耕地利用率は無視し得る。すなわち、表32の収穫量の値を b_n に適用することができる。

(3) 特用林産物

国有林地帯内の民有地や国有林野の貸付地において特用林産物の生産がなされていることも少なくない。我が国における主要な特用林産物の単位[m³, t, ha]当たりの年間生産量及び生産に必要な資材の年間使用量の算定例を示すと、表33のとおりである^{26)~28)}。

表32. 農産物生産の収穫量、労働人工数

| 区分 | 作付面積 (千ha) | 収穫量 (t/ha) | 労働人工数 (人/ha) |
|---------|---------------|---------------|-----------------|
| ①稻 | 2,097 | 4.93 | 57.6 |
| ②麦類 | 399 | 3.41 | 11.9 |
| ③いも類 | 177 | 27.97 | 36.9 |
| ④豆類 | 265 | 1.73 | 30.5 |
| ⑤雑穀 | 28 | 0.82 | — |
| ⑥野菜 | 632 | 27.69 | 322.0 |
| ⑦果樹 | 353 | 15.08 | 297.3 |
| ⑧桑・工芸作物 | 299 | 30.00 | 106.9 |
| ⑨飼肥料作物 | 1,089 | 41.31 | — |
| ⑩その他作物 | 87 | — | — |
| 平均(計) | (5,426) | 17.59 | 113.9 |

資料: 文献24, 25

注: 収量の平均は①~⑨の面積加重平均である。

労働人工数の平均は①~⑧の面積加重平均である。

表33. 特用林産物の単位当たり生産量等

| 品名 | 計算単位(当たり) | 年間所要人工数 | 年間生産量 | 生産資材年間使用量 |
|-------|--------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| 乾しいたけ | 年間原木伏込量 1 m ³ | 4.45人/m ³ | 19.3kg/m ³ | 910kg/m ³ (原木) |
| 生しいたけ | " | 5.79 " | 97.5 " | 910 " (" |
| えのきたけ | 年間生産量 1 t | 17.0人/t | 1,000kg/t | 2,730kg/t (オガコ等) |
| ひらたけ | " | 32.3 " | 1,000 " | 7,140 " (" |
| ぶなしめじ | " | 16.2 " | 1,000 " | 6,680 " (" |
| まつたけ | 環境整備林 1 ha | 18.0人/ha | 44.6kg/ha | — |
| ほんしめじ | " | 10.9 " | 44.6 " | — |
| くり | 樹園 1 ha | 45.8 " | 3,000 " | 500kg/ha (肥料) |
| くるみ | " | 144.5 " | 3,000 " | 1,500 " (" |
| うるし | " | 30.9 " | 15.0 " | 230 " (" |
| はぜ | " | 118.6 " | 7,500 " | 150 " (" |
| 水わさび | わさび田 1 ha | 1,000 " | 4,890 " | — |
| 畑わさび | " | 1,125 " | 7,500 " | — |
| 桐 | 樹園 1 ha | 13.5 " | 3,240 " | 780kg/ha (肥料) |
| 竹材 | 竹林 1 ha | 45.0 " | 9,000 " | 1,000 " (" |
| たけのこ | " | 125.0 " | 10,000 " | 2,100 " (" |
| オウレン | 栽培地 1 ha | 33.3 " | 40 " | 50 " (" |
| キハダ | 樹園 1 ha | 11.9 " | 560 " | 70 " (" |
| わらび | 栽培地 1 ha | 398.0 " | 5,000 " | 590 " (" |
| ぜんまい | " | 143.0 " | 286 " | 630 " (" |
| 黒炭 | 年間生産量 1 t | 16.1人/t | 1,000kg/t | 4,360kg/t (原木) |
| 白炭 | " | 18.9 " | 1,000 " | 4,380 " (" |

(4) 生活物資

我が国における貨物自動車による物品輸送の品目は多岐にわたるが、このうち国民の日常生活にかかわりが大きいと思われる品目の年間輸送量を掲げると、表34のとおりになる（平2）¹⁵⁾。各品目の合計値827,073千t及び我が国の人囗数123,612千人（平2）²⁰⁾より、国民1人当たりの年間輸送量を求めると6.69tとなる。各品目の輸送は、多様な流通経路を通じて最終需要者に達するのが実状であるが、ここでは単純に、生産者→市場・卸売業→小売業→消費者と3段階にわたって流通するものとし、6.69tを3で除した数値を消費者1人当たりの輸送量とすると、2.23tとなる。農山村住民の1人当たりの年間の生活物資の輸送量にこの値を適用することができる。

2) 人員輸送

地元住民の林道の利用にかかわる人員輸送量の算定法として次の2つがあげられる。

①総括算定法：国有林内に集落がある場合や経路等短縮型の場合などで、交通量が住民の数にほぼ比例するとみなしうる場合、住民数に一定の係数を乗じて人員輸送量を概略的に求める方法。

②個別算定法：開設される林道の利用区域内に民有林地、農地等がある場合など、民有林業、農業等の生産活動や集落住民の就労状況等の内容に応じた通行人員数の積算により人員輸送量を求める方法。

この2つの算定法について、以下に述べる。

(1) 総括算定法

平成2年度の我が国の自家用車による人員輸送量は45,788,010千人となっている¹⁵⁾。この値及び我が国の人囗数123,612千人から、国民1人当たりの乗車回数は370回となる。この回数を2で除して、単純に往復回数とすると、1人当たり年間の自家用車による往復回数は185回となる。農山村住民の自家用車の利用状況が我が国全体の利用状況と大差がないものとすると、上記の数値を農山村の住民にも適用することができる。地元住民が通勤等に開設される林道のみを利用する場合、集落等の住民数をN_z（人）とすると、当該林道の年間の人員輸送量N_N（人）は

$$N_N = 185N_z \quad \dots \dots \dots (68)$$

となる。

表34. 品目別輸送量

| 品 目 | 輸送量(千t) |
|--------|---------|
| 穀 物 | 43,749 |
| 野菜・果物 | 84,512 |
| その他農産品 | 24,084 |
| 畜 産 品 | 33,766 |
| 水 産 品 | 48,353 |
| 食料工業品 | 320,475 |
| 日 用 品 | 183,198 |
| 繊維工業品 | 27,814 |
| 石 油 | 61,122 |
| 計 | 827,073 |

また、開設される林道とは別に既設道路が存在するなど、利用しうる道路が複数ある場合、当該林道への人員輸送面での利用する比率を人員輸送利用率R_zとすると、

$$N_N = 185R_z \cdot N_z \quad \dots \dots \dots (69)$$

となる。

(2) 個別算定法

ア. 林業生産

ア) 木材収穫

我が国における1人1日当たりの素材生産量は、2.06m³/人となっている（昭和60年林業動態調査に基づき算定）³⁰⁾。木材収穫の平均利用率を70.3%（表23より算定）とすると、立木に換算した収穫功程は2.93m³/人（=2.06/0.703）となる。表31の平均収穫量をこの収穫功程で除した値を収穫作業の年平均人工数（人/ha）とすると、その値は同表に示すとおりである。この表から、例えば、人工林の年平均人工数は2.56人/haとなる。

イ) 造林

造林の作業労働は、通常、造林初期に集中するが、造林計画が明確でない場合や計算の単純化を図る場合など、年間の造林に要する人工数の期待値として、年平均造林人工数を用いることができる。

民有林における樹種別等の林地面積は表35のとおりで³¹⁾、人工林針葉樹の造林に要するha当たりの人工数の算定値は、同表のとおりである。この表の造林人工数は、文献32に基づき算定した推定値（資料に示された人工数に請負に要した費用から推定した人工数を加えたもの）である。また、年平均人工数は、植栽後50年に要する造林人工数を50（年）で除した値である。この表から、例えば、人工林の造林に要するha当たりの年平均人工数は3.31人/haとなる。

イ. 農業生産

農業生産におけるha当たりの労働人工数は表32のとおりである。農産物生産全体のha当たりの労働人工数は、耕地利用率を1とすると、年間113.9人/haとなる。

ここで計算例として、農産物生産における開設許容値を求めるに至る。適用数値には、農産物生産の平均値を用いることにし（表32）、ha当たりの年間収穫量は17.59t/ha、労働人工数は113.9人/haとする。この数値を用いて前述と同様に算定を行うと、農産物生産における開設許容値は16.6haとなる（表25）。

表35. 造林人工数等(民有林)

| 人天別 | 針広別 | 樹種 | 林地面積 (千ha) | 造林人工数 (人/ha) | 年平均人工数 (人/ha) | |
|-----|-----|--------|---------------|-----------------|------------------|--|
| 人工林 | 針葉樹 | スギ | 3,653 | 196.3 | 3.93 | |
| | | ヒノキ | 1,850 | 202.7 | 4.05 | |
| | | マツ類 | 927 | 74.3 | 1.49 | |
| | | カラマツ | 713 | 86.0 | 1.72 | |
| | | エゾ, トド | 330 | 45.2 | 0.90 | |
| | | その他N | 67 | — | — | |
| 計 | | 7,540 | 165.6 | 3.31 | | |
| 天然林 | 広葉樹 | 94 | — | — | | |
| | | 計 | 7,634 | 165.6 | 3.31 | |
| 計 | | 8,989 | — | — | | |
| 計 | | 16,623 | 76.1 | 1.52 | | |

注: —は不明。人工林の計欄の人工数の算定においては、—の箇所は除いた。
人天計欄の人工数の算定においては、—の箇所は0とした。

ウ. 特用林産物生産

特用林産物生産における単位(m³, t, ha)当たりの年間所要人工数の算定結果は表32のとおりである。

エ. その他

上記のほか、その他の生産物生産、地元企業への就労、生活関連等に林道を利用する場合は、現地の実態に即して算定する必要がある。我が国における自家用車の目的別輸送状況³³⁾は、表36に示すとおりで、生活関連が最も多く53.2%，次いで通勤・通学28.8%，業務18.0%となっている。また、林道の年間の往復利用回数を前述の185回とすると、項目ごとの年間利用回数は同表に示すとおりである。農山村住民の車両の利用状況として我が国全体の利用状況を用いることになると、表36の数値を林道の利用人数の積算に利用することができる。

表36. 自家用車目的別輸送状況

| 項目 | 比率 (%) | 年間利用回数 (往復) |
|--------|-----------|----------------|
| ①通勤・通学 | 28.8 | 53.3 |
| ②業務 | 18.0 | 33.3 |
| ③生活関連等 | 53.2 | 98.4 |
| 買物 | 15.5 | 28.7 |
| 送迎 | 12.1 | 22.4 |
| レジャー | 10.0 | 18.5 |
| その他 | 15.6 | 28.8 |
| 計 | 100.0 | 185.0 |

1.1. 林道の開設効果等の計算例

以上述べてきた計算法、数値等を用いて、以下に奥地開発型及び経路等短縮型における林道の開設効果、開設効果率の計算例を示すこととする。

1) 計算例1(奥地開発型)

計算対象地として、図2のモデルを用いることとする。図において利用区域内の森林は法正状態とし、Cは民有林地、Dは農業生産地である。林道の開設効果等の算定に必要な因子を図より測定した結果等は以下のとおりである(表37)。

林道の路線延長(AB間の延長)は、2,543mである。林道のm当たりの開設維持費を30,000円/mとすると、路線全体の開設維持費は76,290千円となる。国有林の林地面積は154.30ha、利用延長は1,399mである。利用延長の測定に当たっては、図に100m×100mのメッシュをかけ、利用区域内の各格子点から最も近い林道部分と起点Aとの間の延長を求め、その平均を利用延長とした(2式においてn_kを一定値として求めた延長利用率は55%となる)。民有林の林地面積は11.84ha、利用延長は1,905mである。また、農業生産地の面積は3.10ha、利用延長は1,220mである。

図2のモデルにおける林道の開設効果等の計算結果は、表37のとおりで、以下、その計算法等について説明を行う。

(1) 林業生産(国有林)

まず、木材輸送に関する計算は以下のように行った。③のha当たりの年間の木材収穫量は、表17を用いて法正林の年間収穫量を算定した(305m³/ha÷50[年])=6.10m³/ha)。④のha当たりの前価量は、③に(30)式の前価係数K_E(=21)を乗じたもの(6.10m³/ha×21=128m³/ha)あるいは表16の④によるものである。⑤は、④に①の林地面積を乗じ

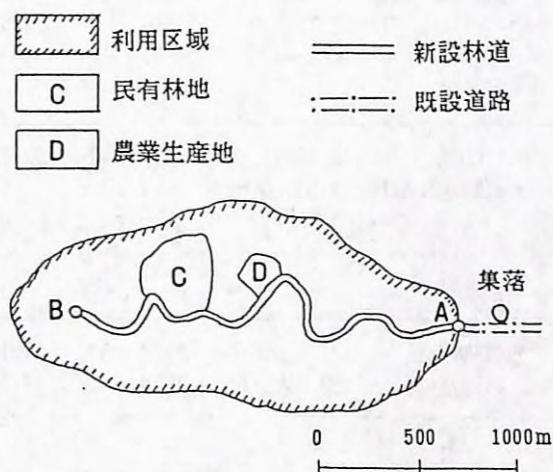


図2. 奥地開発型の林道

たものである ($128 \text{ m}^3/\text{ha} \times 154.30 \text{ ha} = 19,750 \text{ m}^3$)。⑥の開設効果は表9の(1)式の利用延長Xに②の 1,399mを、輸送量Mに⑤の 19,750m³を代入して求めたものである。⑦は、⑥を林道の開設維持費 76,290千円で除した値である。

次に、収穫における人員輸送の計算では、表23の所要人工数、表9の(4)式の開設効果の算定式を用い、上記と同様に計算を行った。また、造林に関する人員輸送の計算では、表24、表9の(4)式を用いた。

(2) 林業生産(民有林)

民有林における樹種はスギとし、年平均収穫量、収穫に要する人工数には表31を用いた。また、造林の人工数に関しては表35の値を用いた。開設効果の計算には、木材輸送については表9の(2)式を、人員輸送には同表の(7)式を用いた。

(3) 農業生産

生産物の収穫量及び労働人工数には、表32の各農産物の平均の値を用いた。開設効果の計算には、生産物輸送には表9の(3)式を、人員輸送には同表の(7)式を用いた。

(4) 計算結果

林道の開設効果率は、国有林における林業生産で 1.316、民有林における林業生産で 0.110、農業生産で 0.099となり、合計で 1.525となる。総合開設効果率は 1 以上で、林道の開設は許容されることになる。

表37. 林道の開設効果等の計算例(奥地開発型)

| 区分 | ①面積 [ha] | ②利用延長 [m] | 項目 | ③ ha当たり の年間量 | ④ ha当たり の前価量 | ⑤ 区域全体 の前価量 | ⑥開設効果 〔千円〕 | ⑦ 開設効果 率 | | |
|---------------|-------------|--------------|----------|------------------------|-----------------------|----------------------|---------------|----------------|--|--|
| 林業生産 (国有林) | 154.30 | 1,399 | 木材輸送 | 6.10m ³ /ha | 128m ³ /ha | 19,750m ³ | 77,426 | 1.015 | | |
| | | | 人員輸送: 収穫 | 2.18人/ha | 46人/ha | 7,098人 | 12,889 | 0.169 | | |
| | | | 〃: 造林 | 1.72 〃 | 36 〃 | 5,555〃 | 10,087 | 0.132 | | |
| 計 | | | | | | 100,402 | 1.316 | | | |
| 林業生産 (民有林) | 11.84 | 1,905 | 木材輸送 | 9.40m ³ /ha | 197m ³ /ha | 2,332m ³ | 6,659 | 0.087 | | |
| | | | 人員輸送: 収穫 | 3.21人/ha | 67人/ha | 793人 | 789 | 0.010 | | |
| | | | 〃: 造林 | 3.93 〃 | 83 〃 | 983〃 | 978 | 0.013 | | |
| 計 | | | | | | 8,426 | 0.110 | | | |
| 農業生産 | 3.10 | 1,220 | 生産物輸送 | 17.59t/ha | 369t/ha | 1,144t | 2,786 | 0.037 | | |
| | | | 人員輸送 | 113.9人/ha | 2,392人/ha | 7,415人 | 4,725 | 0.062 | | |
| 計 | | | | | | 7,511 | 0.099 | | | |
| 合計 | | | | | | 116,339 | 1.525 | | | |

2) 計算例2(経路等短縮型)

計算対象地として、図3のモデルを用いることにする。図のA-B間の既設道路(道路1)の延長は 3,663m、新設林道(道路2)の延長は 1,280mで、通行延長は 2,383m短縮される。集落から都市・市場等への通行には、すべての車両が新設林道を利用するにすることにする。車両の走行速度は、道路1、2とも 25km/時とする。集落の住民数は 30人とする。また、林道2にかかる利用区域(国有林)の森林面積は 56.12haで、林況は法正林とする。林道2のm当たりの開設維持費を 30,000 円/mとする、路線全体の開設維持費は 38,400千円となる。図3のモデルにおける林道の開設効果等の計算結果は、表38のとおりで、以下、その計算法等について説明を行う。

(1) 地元利用

通行距離の短縮による通行短縮時間は、(24)式より 0.1906時間となる。これらを用いて、まず、地元住民の人員輸送に関する林道の開設効果等の計算を以下のように行った。

③の住民1人当たりの年間の林道の利用回数は前述の 185往復とする。④の集落全体の年間利用者数は③に①の集落の住民数30人を乗じたものである。⑤の集落全体の前価量は、④に(30)式の前価係数 K_E (= 21) を乗じたものである。⑥開設効果は、表9の(13)式のNに⑤の 116,550人を、 t_E に②の 0.1906時間を代入して求めたものである。⑦開設効果率は、⑥を新設林道の開設維持費 38,400千円で除した値である。

次に、生活物資の輸送に関する林道の開設効果の計算を以下のように行った。③の住民1人当たりの年間の生活物資の輸送量は前述の 2.23tとする。④は、③に①を乗じたものである。⑤は、④に(30)式の K_E を乗じたものである。⑥開設効果は、表9の(9)式のBに⑤を、 t_E に②を代入して求めたものである。

以上より、地元住民の生活利用面における林道の開設効果は 46,526千円、開設効果率は 1.212となり、この利用機能面のみで林道の開設は許容されることになる。

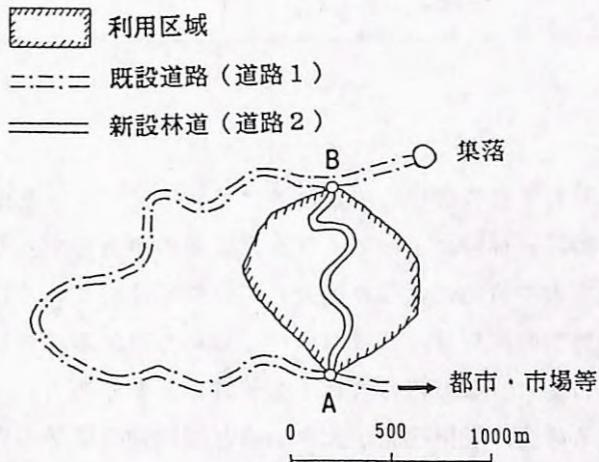


図3. 経路等短縮型の林道

(2) 林業生産

国有林の利用区域における林業生産に関する林道の利用延長は、計測の結果、669mであった。表37と同様の方法で計算を行った結果、林道の開設効果は20,629千円、開設効果率は0.537となる。

(3) 計算結果

地元利用面と国有林の林業生産面における林道の開設効果の合計値は67,155千円、総合開設効果率は1.749となる。この値は、計算例1の開設効果率1.525(表37)より大きい。これより、計算例2の林道の方が計算例1の林道より林道の開設順位の優先度は高くなる。

表38. 林道の開設効果等の計算例(距離等短縮型)

| 地元利用 | ① 住民数 | ② 短縮時間 [時間] | 項 目 | ③ 単位当たり 年間輸送量 | ④ 集落全体の 年間輸送量 | ⑤ 集落全体 の前価量 | ⑥ 開設効果 [千円] | ⑦ 開設効果 率 |
|---------------|---------------|----------------|------------------------|-----------------------|---------------------|----------------|----------------|-------------|
| 30人 | 0.1906 | 住民の人員輸送 | 185往復/人 | 5,550人 | 116,550人 | 46,117 | 1.201 | |
| | | 生活物資の輸送 | 2.23t/人 | 67t | 1,407t | 409 | 0.011 | |
| | | 計 | | | | 46,526 | 1.212 | |
| 林業生産 (国有林) | ① 面 積 [ha] | ② 利用延長 [m] | 項 目 | ③ ha当たり の年間量 | ④ ha当たり の前価量 | ⑤ 区域全体 の前価量 | ⑥ 開設効果 [千円] | ⑦ 開設効果 率 |
| 56.12 | 669 | 木材輸送 | 6.10m ³ /ha | 128m ³ /ha | 7,183m ³ | 16,633 | 0.433 | |
| | | 人員輸送: 収穫 | 2.18人/ha | 46人/ha | 2,582人 | 2,242 | 0.058 | |
| | | 〃 : 造林 | 1.72 〃 | 36 〃 | 2,020〃 | 1,754 | 0.046 | |
| | | 計 | | | | 20,629 | 0.537 | |
| 合 計 | | | | | | 67,155 | 1.749 | |

Ⅴまとめ

以上、林道の新設に関して優先順位の決定法等について述べてきたが、その主要な因子である木材収穫量は、樹種や林齢によって大きく異なるのが実情であり、実際の順位の決定に当たっては、施業内容や目的ごと等に区分して順位を定めていくことも有用であると考えられる。例えば、建築等用材林、間伐対象林、しいたけ原木林等に区分し、それぞれに優先順位を決定していくような方法についても検討の必要がある。

また、本計算法による場合、利用区域が大きいほど開設効果率等の算定値は大きくなる。このため、利用区域が現実的な集材範囲を超えて過大となり過ぎないようにするなど、利用区域の設定法についても検討を行っていく必要がある。

《付属資料》

1. 架線運搬費

1) 集材機運材の功程

架線運材の距離をL_k(m)、1日当たりの運材量をV_u(m³/日)とし、V_uには以下の功程(筆者の調査、調整による功程)を用いることとする。

$$V_u = \frac{1}{4.0955 \times 10^{-5} L_k + 0.0102336} \quad \dots \dots \dots (70)$$

2) 1日当たり経費

架線運搬のセット人員数を3人、1人1日当たりの賃金をW_D(円/人・日)とし、1日当たりの経費として、以下を見込む。

| | | |
|---------|-------------------------------------------|-------------------|
| 労賃 | 3人・日 × W _D [円/人・日] = | 3W _D 円 |
| 集材機損料 | 3,173,000円/台 × 2.911 × 10 ⁻³ = | 9,237円 |
| 軽油 | 12.0kg × 77円/kg = | 924円 |
| モビールオイル | 0.50kg × 237円/kg = | 119円 |
| ギヤオイル | 0.05kg × 232円/kg = | 12円 |
| グリス | 0.05kg × 361円/kg = | 18円 |

$$\text{計} \quad 3W_D + 10,310\text{円} \quad \dots \dots \dots (71)$$

注: 集材機の価格は文献34による(20~55ps未満)。損料率は文献17による。

3) m³当たりの直接作業費

(70), (71)式より、架線運材の直接作業費q_T(円/m³)は以下のようになる。

$$q_T = (3W_D + 10,310) (4.0955 \times 10^{-5} L_k + 0.0102336) \\ = (1.22865 \times 10^{-4} W_D + 0.42225) L_k + 0.0307 W_D + 106 \quad \dots \dots \dots (72)$$

4) 集材機付属器具損料

集材機付属器具のm³当たりの損料をq_F(円/m³)とし、以下のように見込む。

$$q_F = 0.3041 L_k + 81 \quad \dots \dots \dots (73)$$

5) 運材施設の設置撤去費

運材施設の設置撤去(架線の架設撤去及び集材機の据付撤去)に要するm³当たりの費用をq_U(円/m³)とする。運材施設の設置撤去に要する人工数n_U(人)を

$$n_U = 0.04 L_k + 13.6 \quad \dots \dots \dots (74)$$

とする。運材施設の耐用運材数量として、主索(直径22mm以上)の耐用数量16,000m³を用いることとする(文献17による)と、q_Uは次式のようになる。

$$q_U = W_D (0.04 L_k + 13.6) / 16,000 \\ = 0.025 \times 10^{-4} W_D \cdot L_k + 8.5 \times 10^{-4} W_D \quad \dots \dots \dots (75)$$

6) m^3 当たりの運材費

m^3 当たりの運材費 q_m (円/ m^3) は、(72), (73), (75)式の合計とし、次式のようになる。

$$q_m = (1.25365 \times 10^{-4} W_D + 0.72635) L_k + 0.03155 W_D + 187 \quad \dots \dots \quad (76)$$

2. 歩行速度

歩行の速度は、歩道の傾斜によって異なってくる。歩行速度の算定法及び算定結果に関する資料³⁶⁾を用い、傾斜に応じた歩行速度を示すと表39のとおりとなる。この表の値は初期値として平坦地（傾斜勾配 = 0 %）における歩行速度を 4,000m/時として求めたものである。

谷沿いに突込型の林道を開設する場合など、林道の予定線と現存する歩道との位置がほぼ一致することも少なくない。国有林林道の縦断勾配について筆者が調査した結果では、勾配の平均は 5.9%，すなわち約 6 % となった。以上から、林道開設予定線上に歩道が存在する場合を想定して、歩道の勾配の値として 6 % を 1 つの基準的な値として用いることとした。

また、表39 の往復歩行速度 V_H [m/時] は、行きの速度を V_A [m/時]、帰りの速度を V_B [m/時] として、次式により求めたものである。

$$V_H = \frac{1}{\frac{1}{V_A} + \frac{1}{V_B}} \quad \dots \dots \quad (77)$$

表39. 歩行速度

| 傾斜 (%) | 歩行速度 (m/時) | | |
|-----------|------------|-------|-------|
| | 上り | 下り | 往復 |
| 0 | 4,000 | 4,000 | 2,000 |
| 1 | 3,795 | 4,011 | 1,950 |
| 2 | 3,596 | 4,023 | 1,899 |
| 3 | 3,417 | 4,038 | 1,851 |
| 4 | 3,248 | 4,056 | 1,804 |
| 5 | 3,088 | 4,077 | 1,757 |
| 6 | 2,944 | 4,102 | 1,714 |
| 7 | 2,804 | 4,128 | 1,670 |
| 8 | 2,683 | 4,159 | 1,631 |
| 9 | 2,567 | 4,191 | 1,592 |
| 10 | 2,462 | 4,227 | 1,556 |
| 11 | 2,364 | 4,263 | 1,521 |
| 12 | 2,274 | 4,301 | 1,487 |
| 13 | 2,195 | 4,340 | 1,458 |
| 14 | 2,120 | 4,381 | 1,429 |
| 15 | 2,056 | 4,423 | 1,404 |
| 16 | 1,995 | 4,466 | 1,379 |
| 17 | 1,941 | 4,511 | 1,357 |
| 18 | 1,888 | 4,557 | 1,335 |
| 19 | 1,839 | 4,602 | 1,314 |
| 20 | 1,794 | 4,646 | 1,294 |

3. マイクロバスの乗車利用費

1) 損料

マイクロバスの 1 時間当たりの損料率 3.368×10^{-4} / 時とし（文献17に基づき算定、9人乗以下の乗合自動車）、車両の走行速度を 25km/時とする。

km当たりの損料率: 3.368×10^{-4} / 時 ÷ 25km/時 = 1.347×10^{-5} / km

マイクロバスの車両価格は、1,491,000円とする。

①マイクロバスの 1 km当たりの損料:

$$1,491,000 \text{円} \times 1.347 \times 10^{-5} / \text{km} = 20.084 \text{円} / \text{km}$$

2) 燃料等経費

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------|--------------|
| ガソリン費 | $126 \text{円} / \text{km} \times 0.17 \text{km} / \text{km} =$ | 21.420円 / km |
| オイル費 | $366 \text{円} / \text{km} \times 4 \text{km} / 5,000 \text{km} =$ | 0.293円 / km |
| ②計 | | 21.713円 / km |

3) 費用計 (①+②)

$$20.084 \text{円} / \text{km} + 21.713 \text{円} / \text{km} = 41.797 \text{円} / \text{km}$$

4) マイクロバスの乗車利用費

マイクロバスの乗車人員数を 6 人とする（荷掛け手 1 人、荷卸手 1 人、造材手 1 人、集材機運転手 1 人、伐倒手 2 人。また、造林班においても 6 人程度を見込むことにする）。この場合、1 人 1 m 当たりの往復費用は以下のようになる。

$$41.797 \text{円} / \text{km} \div 1000 \text{m} / \text{時} \div 6 \text{人} \times 2 \text{ (往復)} = 0.0139 \text{円} / \text{人} \cdot \text{m}$$

4. 自家用乗用車の車両費

1) 自家用乗用車の総走行キロ

我が国における自家用乗用車の利用実態の調査の結果¹⁵⁾によると、平均的な利用状況は

①実働 1 日当たりの走行キロ……40.53km

②実働率（走行した日数の比率）……70.91%

となっている。1 年を 365 日とすると、1 年の走行日数は 259 日となり、

③年間走行キロ: $259 \text{日} \times 40.53 \text{km} / \text{日} = 10,497 \text{km} / \text{年}$

となる。乗用車の耐用年数は、大蔵省令³⁶⁾の定めるところでは、6 年となっており、これより

④総走行キロ: $10,497 \text{km} / \text{年} \times 6 \text{年} = 62,982 \text{km}$

となる。

2) 車両価格

車両価格には、自家用乗用車（軽自動車を含まない）の平均的な車両の購入費として

⑤車両価格……1,782,000円

を用いることとする（文献16に基づき算定）。

3) 車両の維持整備費、減価償却費

(1) 税金

| | | |
|---------|------------------------------------------------|----------|
| 消費税 | $1,782,000\text{円} \times 4.5\% =$ | 80,190円 |
| 自動車取得税 | $1,782,000\text{円} \times 5\% =$ | 89,100円 |
| 重量税：購入時 | | 56,700円 |
| ：車検時 | $37,800\text{円} / \text{回} \times 2\text{回} =$ | 75,600円 |
| 自動車税 | $39,500\text{円} / \text{年} \times 6\text{年} =$ | 237,000円 |

(2) 保険料

| | |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 自賠責保険料：購入時（37カ月分） | 54,550円 |
| ：車検時（24カ月分） $38,200\text{円} / \text{回} \times 2\text{回} =$ | 76,400円 |
| 任意保険料 | $39,500\text{円} / \text{年} \times 6\text{年} =$ |

(3) 車両購入時諸費用

| | |
|-------------|---------|
| 登録手続き代行費用 | 12,300円 |
| 車庫証明手続き代行費用 | 11,600円 |
| 納車費用 | 6,700円 |
| 以上消費税 | 918円 |
| 登録手続き法定費用 | 2,886円 |
| 車庫証明手続き法定費用 | 2,500円 |

(4) 整備費等

| | |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 車検（税金、保険料を除く） $74,000\text{円} / \text{回} \times 2\text{回} =$ | 148,000円 |
| 定期点検 | $15,000\text{円} / \text{回} \times 9\text{回} =$ 135,000円 |
| 交換部品：タイヤ | $6,000\text{円} / \text{本} \times 4\text{本} =$ 24,000円 |
| ：バッテリー | $4,000\text{円} / \text{回} \times 2\text{回} =$ 8,000円 |

(5) 減価償却費：⑤×0.9÷④

| | |
|----------------------------------|------------|
| $1,782,000\text{円} \times 0.9 =$ | 1,603,800円 |
| ⑥合計 | 2,862,244円 |

4) m当たりの機械損料率：⑥÷(④×⑤)

$$2,862,244\text{円} / (62,982,000\text{m} \times 1,782,000\text{円}) = 2.5502 \times 10^{-8}$$

5) m当たりの燃料等経費

km当たりの燃料消費量は、文献15による。

| | |
|----------------------------------------------------------------------|------------|
| ガソリン費： $126\text{円} / \text{km} \times 0.11\text{km} / \text{km} =$ | 13.9円 / km |
| オイル費： $366\text{円} / \text{km} \times 4\text{km} / 5,000\text{km} =$ | 0.3円 / km |
| 計 | 14.2円 / km |

以上より、m当たりの燃料等経費は0.0142円 / mとなる。

5. 収穫予想表

1) 単層林

表40. 単層林の収穫予想表

| 齡級 | 主林木 | | | | 副林木 | | | |
|----|----------------|---------|---------|----------------------|----------------|---------|---------|----------------------|
| | 胸高 直径 cm | 樹高 m | 本数 本 | 材積 m ³ | 胸高 直径 cm | 樹高 m | 本数 本 | 材積 m ³ |
| 1 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | 4.6 | 3.6 | — | 21 | — | — | — | — |
| 4 | 8.0 | 5.6 | 2,850 | 46 | — | — | — | 3 |
| 5 | 10.6 | 7.2 | 2,360 | 74 | 6.8 | 5.0 | 490 | 6 |
| 6 | 13.0 | 8.5 | 1,980 | 107 | 10.2 | 7.0 | 380 | 11 |
| 7 | 14.7 | 9.6 | 1,700 | 141 | 12.4 | 8.1 | 280 | 13 |
| 8 | 16.3 | 10.6 | 1,475 | 174 | 14.0 | 9.2 | 225 | 16 |
| 9 | 17.8 | 11.6 | 1,310 | 202 | 15.3 | 10.0 | 165 | 16 |
| 10 | 19.2 | 12.5 | 1,180 | 227 | 16.5 | 10.8 | 130 | 16 |
| 11 | 20.3 | 13.1 | 1,080 | 248 | 18.0 | 11.7 | 100 | 16 |
| 12 | 21.2 | 13.5 | 1,000 | 266 | 19.0 | 12.4 | 80 | 15 |
| 13 | 22.0 | 13.9 | 940 | 281 | 19.9 | 12.9 | 60 | 13 |
| 14 | 22.7 | 14.2 | 891 | 295 | 20.7 | 13.2 | 49 | 12 |
| 15 | 23.3 | 14.5 | 850 | 308 | 21.3 | 13.5 | 41 | 11 |
| 16 | 23.8 | 14.8 | 817 | 321 | 21.8 | 13.8 | 33 | 10 |
| 17 | 24.3 | 15.1 | 788 | 333 | 22.3 | 14.0 | 29 | 9 |
| 18 | 24.8 | 15.4 | 763 | 345 | 22.6 | 14.2 | 25 | 8 |
| 19 | 25.2 | 15.6 | 741 | 356 | 22.9 | 14.4 | 22 | 8 |
| 20 | 25.6 | 15.8 | 720 | 366 | 23.2 | 14.6 | 21 | 8 |

2) 複層林

(1) 1代目

表41. 複層林の収穫予想表(1代目)

| 齢 級 | 主 林 木 | | | | 副 林 木 | | | | | | | |
|--------|-----------------|----------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-----------------|----------|-----|-----------------------|------|-----------------------------|
| | 林 況 | | 収 穫 | | 林 況 | | 収 穫 | | | | | |
| | 胸高 直 径 cm | 樹 高 m | 本 数 | 材 積 m ³ | 本 数 | 材 積 m ³ | 胸高 直 径 cm | 樹 高 m | 本 数 | 材 積 m ³ | 本 数 | 立木 材 積 m ³ |
| 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | 4.6 | 3.6 | — | 21 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | 8.0 | 5.6 | 2,850 | 46 | — | — | — | 3 | (3) | — | — | — |
| 5 | 10.6 | 7.2 | 2,360 | 74 | 6.8 | 5.0 | 490 | 6 | 490 | 6 | 5.6 | 4.4 |
| 6 | 13.0 | 8.5 | 1,980 | 107 | 10.2 | 7.0 | 380 | 11 | 380 | 11 | 8.4 | 5.9 |
| 7 | 14.7 | 9.6 | 1,700 | 141 | 12.4 | 8.1 | 280 | 13 | 280 | 13 | 10.1 | 6.9 |
| 8 | 16.3 | 10.6 | 1,475 | 174 | 14.0 | 9.2 | 225 | 16 | 225 | 16 | 12.4 | 8.1 |
| 9 | 17.8 | 11.6 | 1,310 | 202 | 15.3 | 10.0 | 165 | 16 | 165 | 16 | 14.0 | 9.2 |
| 10 | 19.2 | 12.5 | 1,180 | 227 | 16.5 | 10.8 | 130 | 16 | 130 | 16 | 15.3 | 9.9 |
| 11 | 20.3 | 13.1 | 1,080 | 248 | 17.9 | 11.7 | 100 | 16 | 100 | 16 | 16.5 | 10.8 |
| 12 | 21.2 | 13.5 | 1,000 | 266 | 19.0 | 12.4 | 80 | 15 | 80 | 15 | 17.9 | 11.7 |
| 13 | 22.0 | 13.9 | 940 | 281 | 19.9 | 12.9 | 60 | 13 | 60 | 13 | 19.0 | 12.4 |
| 14 | 22.7 | 14.2 | 891 | 295 | 531 | 176 | 20.8 | 13.3 | 49 | 12 | 22.0 | 13.9 |
| 15 | 23.3 | 14.5 | 360 | 130 | 70 | 27 | — | — | — | — | 22.7 | 14.2 |
| 16 | 23.8 | 14.8 | 360 | 141 | — | — | — | — | — | — | 23.3 | 14.5 |
| 17 | 24.3 | 15.1 | 290 | 123 | — | — | — | — | — | — | 23.8 | 14.8 |
| 18 | 24.8 | 15.4 | 290 | 131 | 60 | 27 | — | — | — | — | 24.3 | 15.1 |
| 19 | 25.2 | 15.6 | 230 | 110 | — | — | — | — | — | — | 24.8 | 15.4 |
| 20 | 25.6 | 15.8 | 230 | 117 | 230 | 117 | — | — | — | — | 25.2 | 15.6 |

(2) 2代目以降

表42. 複層林の収穫予想表(2代目以降)

| 齢 級 | 主 林 木 | | | | 副 林 木 | | | | | | | |
|--------|-----------------|----------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-----------------|----------|-----|-----------------------|-----|-----------------------|
| | 林 況 | | 収 穫 | | 林 況 | | 収 穫 | | | | | |
| | 胸高 直 径 cm | 樹 高 m | 本 数 | 材 積 m ³ | 本 数 | 材 積 m ³ | 胸高 直 径 cm | 樹 高 m | 本 数 | 材 積 m ³ | 本 数 | 材 積 m ³ |
| 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | 4.0 | 3.1 | — | 15 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | 6.9 | 4.8 | — | 35 | — | — | — | — | — | — | 1 | (1) |
| 5 | 9.2 | 6.2 | 2,750 | 56 | 5.6 | 4.4 | — | 3 | 3 | — | — | — |
| 6 | 11.3 | 7.4 | 2,310 | 81 | 8.4 | 5.9 | 440 | 7 | 440 | 7 | — | — |
| 7 | 13.0 | 8.5 | 1,980 | 107 | 10.1 | 6.9 | 330 | 9 | 330 | 9 | — | — |
| 8 | 14.7 | 9.6 | 1,700 | 141 | 12.4 | 8.1 | 280 | 13 | 280 | 13 | — | — |
| 9 | 16.3 | 10.6 | 1,475 | 174 | 14.0 | 9.2 | 225 | 16 | 225 | 16 | — | — |
| 10 | 17.8 | 11.6 | 1,310 | 202 | 15.3 | 9.9 | 165 | 16 | 165 | 16 | — | — |
| 11 | 19.2 | 12.5 | 1,180 | 228 | 16.5 | 10.8 | 130 | 16 | 130 | 16 | — | — |
| 12 | 20.3 | 13.1 | 1,080 | 248 | 17.9 | 11.7 | 100 | 16 | 100 | 16 | — | — |
| 13 | 21.2 | 13.5 | 1,000 | 266 | 19.0 | 12.4 | 80 | 15 | 80 | 15 | — | — |
| 14 | 22.0 | 13.9 | 940 | 281 | 580 | 173 | 19.9 | 12.9 | 60 | 13 | 60 | 13 |
| 15 | 22.7 | 14.2 | 891 | 295 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 16 | 23.3 | 14.5 | 360 | 130 | 70 | 25 | — | — | — | — | — | — |
| 17 | 23.8 | 14.8 | 360 | 141 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 18 | 24.3 | 15.1 | 290 | 123 | 60 | 25 | — | — | — | — | — | — |
| 19 | 24.8 | 15.4 | 290 | 131 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 20 | 25.2 | 15.6 | 230 | 110 | 230 | 110 | — | — | — | — | — | — |

注: 複層林の下木は、初期成長時(1~30年生)に、上木に陽光が奪われる分だけ(上木の成長量分だけ)成長が遅れることとして、本表を作成した。

引用文献

- (1) 南雲秀次郎ほか: 天然林開発計画に対するLPの一適用法(Ⅰ), 日林誌, 49(12), 1967
- (2) 南雲秀次郎ほか: 天然林開発計画に対するLPの一適用法(Ⅱ), 日林誌, 50(2), 1968
- (3) 南雲秀次郎: 線形モデルによる収穫予定法の研究(Ⅰ) - 0-1計画法の適用-, 日林誌, 56(4), 1974
- (4) 木平勇吉: 保続収穫のための路網計画, 森林利用研究会資料, 101, 2~7 (1981)
- (5) 小林洋司: 山岳林における林道網計画法に関する研究, 宇大学術報告特集, 38, 1~101 (1983)
- (6) 林野庁長官通達: 国有林林道に係る林業効果指数等の算出について(昭和54年10月2日付54林野業第225号), 林業土木必携, 58~61 (1988)
- (7) 森林計画研究会: 新たな森林・林業の長期ビジョン, 地球社, 415pp. (1987)
- (8) 大川畠修: 架線集材における路網計画に関する研究, 林試研報, 351, 1~79 (1988)
- (9) 林野庁: 国有林野事業統計書(平成3年), 43, 161pp. (1992)
- (10) 林業試験場監修: 木材の物理的性質, 木材工業ハンドブック(改訂3版), 102~103 (1982)
- (11) 総務庁統計局: 産業別常用労働者1人平均月間現金給与総額, 日本統計年鑑, 41, 92~93, (1991)
- (12) 農林水産省統計情報部: 小規模林家の林業経営, 林家経済調査報告(平成元年度), 188~197 (1991)
- (13) 経済調査会: 貨物自動車運賃, 積算資料, 801, 745~756 (1992)
- (14) 総理府: 観光レクリエーションの実態, 大蔵省印刷局, 397pp. (1987)
- (15) 運輸省運輸政策局情報管理部: 自動車輸送統計年報(平成2年度分), 28(13), 71pp. (発行年不記載)
- (16) 自動車工業振興会: 自動車ガイドブック(1992~'93), 39, 自動車工業振興会, 502pp. (1992)
- (17) 森好弘: 素材生産請負契約の実務, 日本林業調査会, 239pp. (1977)
- (18) 林野弘済会: 日本林業年鑑(1990), 林野弘済会, 478pp. (1990)
- (19) 環境庁自然保護局: 自然公園利用状況調(昭和64・平成元年), 50pp. (発行年不記載)
- (20) 林野庁業務第二課国有林野総合利用推進室: 国有林の森林空間総合利用事業, 林野時報, 38(6), 2~26 (1991)
- (21) 谷口勝正ほか: 新林業構造改善事業の実施状況について, 林講情報, 66, 22~40 (1989)
- (22) 総理府: 観光白書(平成3年版), 大蔵省印刷局, 431pp. (1991)
- (23) 林野庁監修: 日本の森林資源, 日本林業技術協会, 161pp. (1982)
- (24) 農林水産省統計情報部: 農林水産省統計表, 66, 農林統計協会, 647pp. (1991)
- (25) 農林水産省統計情報部: 作物統計(平成元年産), 32, 農林統計協会, 535pp. (1991)
- (26) 日本特用林産振興会: 特用林産物栽培技術モデル, 日本特用林産振興会, 233pp. (1992)
- (27) 全国特殊林産振興会: 特用林産ハンドブック, 地球社, 347pp. (1991)
- (28) 日本特用林産振興会企画委員会: 身近な森を生かす山菜・薬草栽培, 農村文化社, 157pp. (1991)
- (29) 総務庁統計局: 人口の推移, 日本統計年鑑, 41, 23~25 (1991)
- (30) 熊崎 實編著: 林業を担う主体の動向, 全国農林統計協会連合会, 167pp. (1987)
- (31) 農林水産省統計情報部: 林業生産統計年報(平成元年), 農林統計協会, 109pp. (1991)
- (32) 農林水産省統計情報部: 林家経済調査育林費調査報告(昭和61年度), 農林統計協会, 193pp. (1988)
- (33) 運輸省運輸政策局情報管理部: 平成元年度自動車輸送の概要, 自動車輸送統計年報(平成元年度分), 27(13), 6~14 (発行年不記載)
- (34) 林業機械化協会: 林業機械便覧, 林業機械化協会, 285pp. (1991)
- (35) 山下特夫編著: 減価償却資産の耐用年数表, 税務研究会出版局, 182pp. (1984)
- (36) 林業科学技術振興所: 山地の歩行, 北方系大型ササ資源の収集・搬送に関する事前評価, 126~134 (1983)

治山施工地における木本群落の
造成及び維持管理技術の開発

治山施工地における木本群落の造成及び維持管理技術の開発

I 試験担当者

森林環境部水土保全科治山研究室 堀江保夫
" 大倉陽一
" (兼) 原 敏男

II 要旨

草本類を主体とした施工法の多くは、施工初期における土壤侵食の防止に重点がおかれており、施工後に形成される植生群落の構成は、とくに過密で単純な草本を中心として形成されやすい。その結果、導入植物の早期衰退とともに再裸地化の現象や植生遷移の進行阻害、根系による土壤緊縛力の低下などを引き起こし、土地保全効果を十分に發揮し得ないような施工事例が増加している。そこで、永続性に富んだ木本植物を同時に播種する事によって、土地保全効果の高い植物群落の造成を図ることが望まれている。

1. 既往緑化施工地における木本類の導入と群落形成状況を調査した。その結果、播種による木本の導入種は16種類で、主な導入方法は吹付播種工法によるものであった。木本群落の成立は、初期生長が早く、乏しい生育基盤の環境に耐えて生育できる先駆樹種や肥料木などの低木類が主要構成種であるが、最近の施工地では、ヤマハンノキやヤシャブシなどの高木類の導入もみられる。調査地全体の木本類を成立本数から判別すると、木本群落が形成されている施工地は全体のおよそ40%前後認められたが、その樹種の組成は貧弱である。

2. 草本類の衰退に伴い被覆量の乏しくなった施工地に、ヤマハンノキ、ヤシャブシなどの木本類を追播し、木本群落の成立を促した結果、自然侵入種と共に導入した木本類の個体が増加したことが認められた。

3. 施工初期における木本植物の土壤緊縛効果を評価するため、緑化施工地において根系の引張強度を地質別に調査し、木本群落造成による土壤緊縛効果を検討した。それによると木本類は草本類より根系の引張強度は大きく、生育量が増加するに伴って急激に大き

な値を示し、表層土壤の保全に有効な作用を与えていたことが確認された。特に、ヤマハギ、イタチハギなどの稚樹は、生育量が少なくとも30kg前後の引張強度の値を示し、2～3年経過した草本類の株と同様な強度を持つことが確認された。

4. ヤマハンノキ、ヤシャブシなどの高木類の造成と維持を図るために播種要件について検討した。ヤマハンノキの場合、初期個体密度が200本/m²以下の場合には、密度が高いほど1年後の成立本数は多くなるが、200本/m²を越えると成立本数に対する消失数が大きくなる。初期密度が50本/m²以下の場合は、樹高に対してプラスに作用するが、密度が高くなるとマイナスに作用する。実際の施工では、草本類や他の種類との競合が伴うので、初期個体密度はさらに影響を受ける。

5. 木本の成立密度を確保するために播種量を必要以上に多くすることは好ましいことではない。木本群落造成のための全播種量は、草本類を含めて3,000粒/m²から5,000粒/m²の範囲である。この場合の個体発芽期待数は、1,500本/m²から2,000本/m²で、草本類の混合割合は30%を超えないことが肝要である。

III 試験目的

緑化工における植物群落の造成技術は、当初、樹木の苗木や草本の株などを植付ける植栽を中心とした人力施工に始まり、その後省力的・能率的な施工方法が求められるようになり、そのため機械力や二次製品を用いた緑化資材や工法の開発が進み、現在の播種工が一般化されるようになった。これら播種工による植物群落の造成にあたって、植物種子の発芽が良好かつ安定し、その後の生育や繁茂が旺盛であることが重要な要因である。このような要因を備えた植物の種類には草本植物が多く、急速な全面緑化及び侵食防止を目的として外来草本植物が用いられてきた。これら草本植物による緑化工は、荒廃した山地や開発跡地の裸地に対して、広大な面積の緑を回復させた実績は高く評価されているところである。しかし、このような草本植物を主体として造成された植物群落は、とかく単純で過密な群落構成になり易く、基盤となる風化土壤を保持する力が弱いことや植生遷移の進行が抑制されることなどによって、永続性の高い植物を欠き、植生の早期衰退による再裸地化を招き易く、土地保全上に好ましくない点が指摘される。

このため、永続性に富んだ木本植物と初期生育の速い草本植物の双方を施工と同時に導入し、土地保全効果の高い植物群落を造成しようとする施工技術の開発研究が推進されてきた。しかし、木本植物の種子は草本植物に比べて一様な発芽性が劣ることや初期の生育が遅く生育にバラツキがあるなどから、木本類の成立に困難なことが多い。そのうえ、長

期にわたって生育基盤である土壤の侵食を防止するための緑化資材の開発が追隨できず、木本植物を導入する施工技術の普及は遅々として進んでいなかった。このような理由により、ヤマハギやイタチハギなどの低木類を主とした導入に留まっている。このように、高木類を含めた木本植物の造成や保育には、なお多くの技術的課題が残されている。これらの問題点を抽出し、土地保全効果の高い木本群落の造成及び維持管理を図る技術の開発を進めるため、東京、前橋、長野の各営林局管内における緑化施工地を対象に各種の調査を行った。

IV 試験の方法と結果

1. 既往の播種緑化工における木本群落の構成調査

播種工における木本群落の施工及び成立状況を把握するため、長野、前橋、東京の各営林局管内における山腹及び林道法面の緑化施工地の中から、まず航空緑化、種子吹付及び二次製品などによって木本類を播種した施工地を抽出した。さらに導入植物種やその播種量と群落形成の状況などに着目し、施工当年から施工後10年未満の合計73箇所の施工地について調査を行った。その結果に基づいて木本群落造成に関する諸問題について検討を行った。

調査方法は、一つの緑化施工地に5m×5mのコドラーートを設け、植物群落の構成状態を調査した。

全調査地に用いられていた木本植物の種類は16種類で、草本類を主体とした吹付工法の中で用いられたものが多い。その主な導入木本植物の成立状況を表-1に示す。その成立状況をみると、初期生育の早い種類や脊悪な立地環境に耐えて生育の可能な先駆植物であるイタチハギ、ヤマハギ、エニシダなどの低木類が主要構成種である。最近では、それに加えて生育基盤の改善や侵食防止をも図った手法が取り入れられ、ヤマハンノキ、ヤシャブシなどの高木類を導入する事例も多くみられるようになっている。

調査した施工地の木本群落が成立または将来形成されると判断した基準を、自然侵入数を含む木本類の成立本数が、施工当年から翌年まで平均10本/m²以上、施工3年未満で平均5本/m²以上、施工5年前後で平均2本/m²以上、施工10年前後で平均0.5本/m²以上とした方法で考察すると、調査地72箇所のうち32箇所の施工地がこれらに該当した。この成立本数には、自然侵入による木本類の成立数が含まれているが、この自然侵入種を除けば、木本群落の主構成種はイタチハギ、ヤマハギなどに限られ、組成の点からみると種類が少なく、やや不安定な群落構成となっている。

表-1 播種工に用いられた治山用植物と成立状況（含林道法面）

| 使用植物 | 全出現個所 | | 長野営林局管内 | | 前橋営林局管内 | | 東京営林局管内 | |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| | 施工(%) | 成立(%) | 施工(%) | 成立(%) | 施工(%) | 成立(%) | 施工(%) | 成立(%) |
| ヤマハンノキ | 48(66.7) | 8(16.7) | 17(73.9) | 3(17.6) | 23(82.1) | 4(17.4) | 8(38.8) | 1(12.5) |
| ヤシャブシ | 46(63.9) | 9(19.6) | 16(69.5) | 3(18.8) | 20(74.4) | 4(20.0) | 10(47.6) | 2(20.0) |
| アカマツ | 25(34.7) | 5(20.0) | 8(34.7) | 1(12.5) | 11(41.9) | 3(27.3) | 6(28.6) | 1(16.7) |
| ニセアカシア | 14(19.4) | 4(28.6) | 7(30.4) | 2(28.6) | 4(15.8) | 1(25.0) | 3(14.3) | 1(33.3) |
| エニシダ | 42(58.3) | 17(40.5) | 14(60.9) | 6(42.9) | 18(64.8) | 7(38.9) | 11(55.0) | 4(36.4) |
| イタチハギ | 63(87.5) | 44(69.8) | 21(94.0) | 16(76.2) | 26(92.9) | 19(73.1) | 16(76.2) | 9(56.3) |
| ヤマハギ | 54(75.0) | 32(59.3) | 17(82.6) | 10(52.6) | 21(75.0) | 15(71.4) | 14(66.7) | 7(50.0) |
| カラマツ | 5(6.9) | 0(0.0) | 3(13.0) | 0(0.0) | 2(7.1) | 0(0.0) | 0(0.0) | 0(0.0) |
| ヒノキ | 2(2.8) | 0(0.0) | 2(8.7) | 0(0.0) | 0(0.0) | 0(0.0) | 0(0.0) | 0(0.0) |
| リョウブ | 4(5.6) | 1(25.0) | 0(0.0) | 0(0.0) | 4(14.3) | 1(25.0) | 0(0.0) | 0(0.0) |
| 調査個所 | 72 | | 23 | | 28 | | 21 | |

2. 長野西部地震災害緑化施工跡地の木本類追播による群落造成調査

長野県王滝村を震源とした直下型地震により、御岳山南東斜面の伝上川源頭部に大規模な山崩れが発生し、下流域に甚大な被害をもたらした。そこで土砂流出による二次災害の発生を防止するため、これら荒廃地に草本植物を主とした緑化施工を行い、そこに木本植物の自然侵入を期待したが、その侵入状況をみると十分な状態とはいえない。そこで木本群落の造成を促進するため、ヤマハンノキ、ヤシャブシなどの木本植物を追播し、木本類の成立状態を継続的に調査してきた。追播2年目における植生調査の結果を表-2及び表-3に示したが、いずれの調査地でも木本類の成立が増加していることが分かる。

表-2 ヤマハンノキ、ヤシャブシ追播による木本植物の成立（やや良好地）

| 主な侵入種名 | B-1 | B-2 | B-3 | B-4 | B-5 | B-6 | B-7 | B-8 | B-9 | B-10 | 本/m ² |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------------------|
| ヤシャブシ | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.01 |
| ヤマハンノキ | 8 | 6 | 7 | 11 | 6 | 4 | 3 | 7 | 8 | 11 | 0.21 |
| ダケカンバ | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.02 |
| ウダイカンバ | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.01 |
| バッコヤバギ | 4 | 5 | 3 | 4 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0.09 |
| ナガバヤナギ | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0.02 |
| イヌコリヤナギ | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0.02 |
| メドハギ | 1 | 2 | 3 | 1 | 0 | 4 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0.06 |
| 本/m ² | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.6 | 0.51 |

表-3 ヤマハンノキ、ヤシャブシ追播による木本植物の成立（良好地）

| 主な侵入種名 | A-1 | A-2 | A-3 | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 | A-8 | A-9 | A-10 | 本/m ² |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------------------|
| ヤシャブシ | 12 | 5 | 12 | 2 | 14 | 1 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0.21 |
| ヤマハンノキ | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.11 |
| カラマツ | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0.02 |
| ダケカバ | 6 | 0 | 4 | 7 | 4 | 5 | 21 | 9 | 17 | 5 | 0.31 |
| ウダイカンバ | 4 | 11 | 5 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.10 |
| ヤハズハンノキ | 0 | 2 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0.03 |
| ヒノキ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0.02 |
| バッコヤバギ | 15 | 6 | 7 | 4 | 2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0.15 |
| ナガバヤナギ | 4 | 5 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0.06 |
| イヌコリヤナギ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0.01 |
| メドハギ | 4 | 1 | 6 | 5 | 0 | 7 | 6 | 4 | 0 | 0 | 0.13 |
| 本/m ² | 1.8 | 1.2 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 0.6 | 1.3 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 1.05 |

3. 施工初期における木本植物の根系強度に関する調査

(1) 木本類稚樹の根系強度：播種緑化施工地において斜面安定に関する施工初期の木本稚樹の根系強度について、生育基盤別に調査した。根系の引き抜き方法は、2本の支柱とテコを応用した鉄棒にテンションゲージを装着して引き抜き、テンションゲージの数値を読み取るものである。その結果を表-4に示す。試料の固定位置は、稚樹主幹の地際部分とした。また引き抜き方向は、斜面の傾斜角に関係なく垂直方向とした。古生層地では、ヤシャブシ、フジウツギについて調査した。ヤシャブシの全生体重が10gの時、根系の引張力は22.7kg、100gの時は33.5kgであった。また、フジウツギでは21.2kg、25.5kgであった。フジウツギの根系の形態は疎根で発生本数が少ないと、そのうえ根元に近く比較的太い部位で切断されることが多かったことなどから、根系の引張強度が小さくなつたものと考えられる。第三・四紀層地のヤシャブシ、コマツナギ、ヤマハギの全生体重量に対する引張強度についてみると、全生体重が20gと50gの時、ヤシャブシは13.5kgと19.2kg、コマツナギでは27.6kgと39.3kg、ヤマハギでは40.6kgと61.6kgであった。なお、全生体重3gのヤマハギは引張強度が28.7kgを示し、イタチハギの6.9kgに比べて引張強度が著しく大きな値を示した。火山堆積地における全生体重量が3gと10gの場合についてみると、ヤシャブシでは4.1kgと10.0kg、ヤマハンノキでは2.4kgと3.9kg、ヤマハギでは19.8kgと25.6kg、イタチハギでは20.6kgと24.4kgであった。これらの結果、全生体重量と根系の引張強度との関係は、樹種によって多少の相違はあるが、一般に全生体重量の増加に伴って根系強度は増加することが認められた。また、ヤマハギやイタチハギは、全生体重量が小さい稚樹であっても引張強度が著しく大きいことが認められた。

(2) 草本植物の根系強度：草本類の調査も木本類の根系引張強度調査と同様、1個体(1株)単位の試料をテンションゲージに連結して実施した。試料の固定位置は、植物の生活型や株の大きさ等によって多少異にした。すなわち、叢生型草本では株の茎葉を束ねた地際部分を、またほふく型草本では叢状の主株茎葉を束ねて地際部分を固定し、他個体への影響が少ないものを選んで調査した。第三・四紀層地の全生体重量に対する根系引張強度は、全生体重量が20g及び50gの時K・31・Fの根系引張強度は9.7kg、43.3kg、W・L・Gでは26.2kg、43.3kg、O・Gでは20.0kg、22.4kgであった。いずれも全生体重量の増加に伴って根系の引張強度は急激に大きくなっている。この傾向は、火山堆積地でも同様であった。

表-4 播種緑化施工初期における木本植物の根系引張強度(kg/本)

| 調査地・植物 | 生育年 | 全生体重量(g) | | | | | | | |
|----------|-----|----------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 0.5 | 1.0 | 3.0 | 5.0 | 10.0 | 20.0 | 50.0 | 100.0 |
| (古生層) | | | | | | | | | |
| ヤシャブシ | 2~3 | | | 22.7 | 23.9 | 27.5 | 33.5 | | |
| フジウツギ | 1~4 | | | 21.2 | 21.7 | 23.1 | 25.5 | | |
| (第三・四紀層) | | | | | | | | | |
| ヤシャブシ | 4 | | | 11.6 | 13.5 | 19.2 | 28.7 | | |
| ヤマハギ | 1~4 | 28.7 | 30.1 | 33.6 | 40.6 | 61.6 | | | |
| イタチハギ | 1~4 | 6.9 | 11.0 | 21.0 | | | | | |
| コマツナギ | 4 | | | 27.6 | 39.3 | | | | |
| K・31・F | 3 | | | 9.7 | 43.3 | | | | |
| W・L・G | 3 | 17.6 | 20.5 | 26.2 | 43.3 | | | | |
| O・G | 3 | 18.3 | 18.8 | 20.0 | 22.4 | | | | |
| メドハギ | 3 | 13.7 | 16.2 | 22.2 | 34.3 | | | | |
| (火山堆積物) | | | | | | | | | |
| ヤシャブシ | 2 | 1.9 | 4.1 | 6.0 | 10.0 | | | | |
| ヤマハノキ | 2 | 4.5 | 2.4 | 2.8 | 3.9 | 6.1 | 12.7 | | |
| ニセアカシア | 2 | | | 6.1 | 7.7 | 11.6 | 19.5 | | |
| ヤマハギ | 2 | | | 19.8 | 21.5 | 25.6 | 33.9 | 42.2 | |
| イタチハギ | 2 | | | 20.6 | 21.6 | 24.4 | 29.5 | 44.6 | |
| エニシダ | 2 | 3.3 | 4.2 | 5.2 | 7.6 | 14.6 | 29.0 | | |
| アカマツ | 2 | 1.3 | 1.8 | 2.4 | 3.7 | 6.4 | | | |
| コマツナギ | 2 | | | 10.1 | 11.7 | 15.0 | 24.9 | | |
| K・31・F | 1 | 1.1 | 2.0 | | | | | | |
| W・L・G | 1 | 1.2 | 1.9 | 16.1 | 18.7 | 24.0 | 39.9 | | |
| O・G | 1 | 3.3 | 4.4 | 5.3 | 7.8 | 10.3 | 12.8 | | |
| メドハギ | 1 | 3.0 | 3.5 | 5.6 | 7.7 | 12.8 | | | |

4. 木本植物の播種方法に関する調査

播種緑化による木本植物の導入は、現在のところ技術的には未熟で確実性に乏しいとい

える。これまで、表-1に示すように山腹緑化工、航空緑化工、法面緑化工などで木本種子の播種を試みたことは多いが、ヤマハギ、イタチハギなどの低木類で成功した事例があるのみで、高木類が成功した事例は数少ない。そこで、これまで荒廃地復旧に用いられてきたヤマハノキやヤシャブシを中心に、木本種子を播種して群落を造成する技術を確立するための好ましい要件について検討を行った。

(1) 生育基盤の違いによる発芽と成立の要件：関東ロームをベースに、各種緑化基材(鹿沼土、パーライト、パーク、肥料など)を混合した生育基盤の発芽床に、ヤマハノキ、ヤシャブシの種子を播種してその発芽と成立を調査した。その結果、生育基盤の発芽床の違いによって発芽と成立に差が見られた。生育基盤にパーライトやパークを混合した区では、対照区とあまり差が認められなかったが、鹿沼土を混合した区の発芽と成立では他の区に比べて著しく多く、その差が認められた。しかし、生育基盤に肥料を混合した区では、最も発芽と成立が少なかったのは、肥料の混合による障害があったためと思われる。実際の施工においては種子と肥料を混合して同時に施工する事が多いので、施肥量の多少が木本類の発芽や不良の原因として作用することを考慮して施工しなければならない。

また、緑化資材別の覆土厚と発芽特性の関係を表-5に示す。外来草本のケンタッキー31フェスクやクリーピングレッドフェスク、在来草本のメドハギ、木本のヤマハギなどは比較的厚く覆土しても発芽率はそれほど低下しないが、外来草本のケンタッキーブリュウグラスや在来草本のヨモギ及び木本のイタチハギ、ヤシャブシ、ヤマハノキなどは、覆土厚が5mmを超すとほとんど発芽は期待できない。そのため、厚層吹付工法を採用する際には注意が必要である。

表-5 緑化資材の覆土厚と発芽特性

| 植物名・覆土厚 | 0~5mm | 6~10mm | 11~20mm | 21~50mm |
|---------------|-------|--------|---------|---------|
| ケンタッキー31フェスク | 32(%) | 50(%) | 16(%) | 2(%) |
| クリーピングレッドフェスク | 66 | 28 | 6 | 0 |
| ケンタッキーブリュウグラス | 86 | 14 | 0 | 0 |
| メドハギ | 44 | 42 | 12 | 0 |
| ヨモギ | 100 | 0 | 0 | 0 |
| イタチハギ | 95 | 5 | 0 | 0 |
| ヤマハギ | 58 | 42 | 0 | 0 |
| ヤシャブシ | 100 | 0 | 0 | 0 |
| ヤマハノキ | 98 | 2 | 0 | 0 |

(2) 生育基盤の保水性と発芽・成立：生育基盤の保水性を高めるならば、発芽と成立は促進される。また、生育基盤の土粒子が粗い土壤では、種子が土壤粒子間に入りこみやすく、発芽が良好になることが多い。このような現象は自然群落を構成する河川の氾濫源や土粒子の粒径の大きい砂質地などで、ヤマハンノキやヤシャブシなどの木本群落が形成されていることからもよく理解できる。実際の施工においては立地条件がそれぞれ異なるため、生育基盤の保水条件を一様に確保することは技術的にみて困難であるが、今後さらに、生育基盤の保水性を高め、土壤面からの蒸発を抑制する施工方法を検討する必要があると考える。

(3) 施肥による発芽障害の回避：マメ科植物は窒素分が多いと罹病し易くなることが知られている。これを回避するためには、施肥量や有機物の質についても検討する必要がある。例えば、超緩効性肥料やコーティング肥料を用い、施工初期の肥料分の溶出を最小限に抑えて発芽と生育の障害を回避する方法や、肥料と種子を分離して施工することなどが必要であると考える。

(4) 播種密度と発芽及び生育密度：ヤマハンノキ種子の播種1年後の成立個体密度の変化と生育の関係を調査し、播種量を決定するための目安の検討を行った。調査では、ヤマハンノキの播種密度を、成立本数が20本/ m^2 から600本/ m^2 の範囲に収まるように考慮して設定した。その結果、初期生育密度と1年後の生育密度を比較すると、初期生育密度が200本/ m^2 以上の場合と200本/ m^2 以下の場合とでは成立本数に異なった傾向が認められた。すなわち、初期密度が200本/ m^2 以下の場合は、初期密度が高いほど1年後の成立本数も多かった。初期生育密度が200本/ m^2 以上の場合では、1年後の成立本数は初期生育密度と無関係に200本/ m^2 前後に収まる傾向がみられた。これは、高い密度の成立本数を期待して播種量を多くしても、成立本数はある一定の値以下になるものと考えられる。従って、播種量をある一定以上多くする必要はないと考えられる。播種量の決定に際しては、越年までに消失する本数が最も少くなるように決めることができるのである。年間の消失本数が最少で、越年後の成立本数をできるだけ多くする成立期待本数は、この結果からみると200本/ m^2 程度が望ましいと考えられる。

(5) 初期密度と生長：一般に個体密度は、個体の生長に対して促進的に作用するといわれている。しかし、個体密度が極端に高い場合には、個体全体に対する生長の抑制が反映されるため、伸長生長もまた抑制されることがある。このことから生長に対する密度効果は、個体密度がある程度低い範囲においてはプラスに作用するが、ある値を超えて個体密度が高くなるとマイナスの作用として現れると考えることができる。密度効果がプラスからマイナスに変わる値は、初期密度がおよそ50本/ m^2 程度であった。樹高のバラツキ幅は、個体密度が低いほどその幅が大きく、それに対して密度が高くなるほど小さくなる傾向がある。個体密度が低い場合には、個体相互間の影響が小さく、種々の環境要因の変化を受けやすい。このため、微小な環境の変化でも生育には大きな差となって現れる。従っ

て、飛び抜けて樹高が高いものが現れる反面、被圧されて生育不良になるものもあり、バラツキに幅が大きくなる。これに対して密度が高くなれば、個体相互間の緩衝作用が強まり、微小な環境の変化が起こり難くなつて、特定の環境の影響が強く現れ、バラツキの幅が少なくなるものと考えられる。このバラツキの幅は、個体相互の緩衝作用の程度を表しているとも考えられる。

(6) 斜面勾配と木本群落：表-6に示すように、斜面勾配の緩急によって目標とする木本造成群落が異なる。つまり、緩勾配の場合は、自然侵入の木本植物が多く遷移の進行も速いので、高木群落の造成が比較的容易である。しかし、斜面勾配が急になるにつれて生育基盤が不安定になるために生育が不良になり、また自然侵入種も減少するため、中高木を主体とした群落を構成させる。斜面勾配が60度以上になるとさらに生育基盤が不安定になるので、緑化基礎工の併用が必要になり、草本類を主体とした群落に低木類を混成させる。

なお、表-7に緑化用植物の発芽特性及び生育特性を草本植物と木本植物とに区分し、まとめて示した。

表-6 斜面勾配と木本群落造成の目安

| 勾配 | 造成群落 | 留意事項・その他 |
|--------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 30度以下 | 高木群落 | <ul style="list-style-type: none">生育基盤の造成が容易である。草本類の生育が旺盛になるので播種量を減らす。自然の侵入種が良好で、遷移の進行が速い。 |
| 30~45度 | 中高木群落 | <ul style="list-style-type: none">中高木の優先する群落を目標にする。草本類の生育が良好なので播種量に留意する。低木類が混生した群落を構成させる。 |
| 45~60度 | 中低木群落 | <ul style="list-style-type: none">生育基盤が不安定、緑化基礎工に留意する。低木類や草本類が混生する群落を構成させる。生育がやや不良になる。自然侵入種が減少する。 |
| 60度以上 | 草本群落 (低木混生) | <ul style="list-style-type: none">生育基盤が不安定になる。緑化基礎工を重視する。草本類を主体とした群落に低木類を混生させる。岩の節理などへの根系伸長を期待する。 |

表-7 草本植物と木本植物の発芽・生育の特性比較

| 区分 | 草本類 | 木本類 |
|------|----------------------|------------------|
| 発芽特性 | 発芽率 常によい (70~90%) | あまり良くない (10~60%) |
| | 発芽勢 一斉に発芽 (1~2週間) | 発芽が緩慢 (数ヶ月) |
| | 土壌 厚くなくてよい (表層播種) | 厚さを必要とする (土中播種) |
| | 短期間侵食されないこと | 長期間侵食されないこと |
| | 気象 温暖、多湿 (短期) | 温暖、多湿 (長期) |
| 生育特性 | 地質 土壤硬度: 粘性土<23mm | 土壤硬度: 粘性土<25mm |
| | 勾配 45度より緩勾配 | 60度より緩勾配 |
| | 肥料 要求度が大きい | 要求度が小さい |
| | 形態 低い | 高い |
| | 根系 根系が浅い | 根系が深い |
| 生育 | 生育 群生しやすい | 漸次疎になる |
| | (密生すると一斉に枯死する) | (初期被圧を受けやすい) |

草本類の生育や繁茂を抑制し、木本類の生育を促進させる作用のある土壌活性剤 (アルギン酸ソーダ: 50 g/m²) や緩効性肥料 (H.C-180, H.C-360: 150 g/m²) を施用することにより、木本類の成立が可能になる。

2. 木本植物による斜面の安定化と密度管理に関する問題

風化が早く、比較的簡単に植物群落が形成されるような地山は、根系の侵入が可能な風化土層と基岩の間に潜在的な崩れ面を常時内在していると言えることができる。従って、植物群落が形成され難い風化の遅い岩盤斜面は安全側にあると考えることができる。反対に植物の生育が良好な斜面ほど表層の崩壊に対する配慮が必要であり、緑化基礎工を併用して木本群落の造成を図る必要性の高い斜面ということができる。また、均一に木本類を成立させることは、均一な厚さの表土層を発達させることにつながる恐れがあるので、潜在的な崩れ面の位置に異なった根系の凹凸が存在することは、土塊の滑りに対する摩擦抵抗を高めることになる。それゆえ斜面の崩壊に対する安定度を高めるためにも、木本類の密度管理が必要であるといえる。

3. 混播における木本植物の発芽期待本数と生育密度に関する問題

木本類2,000粒/m²~3,000粒/m²及び草本類500粒/m²~1,500粒/m²の播種量における木本類の発芽期待本数は、200本/m²前後が適当であると考えられる。木本類の発芽及び生育の特性からみて、施工初期における木本類の成立数が心配されるが、侵食防止に配慮した生育基盤の造成が十分ならば、木本類の成立数は施工後2か月程度で10~20本/m²、翌年で5~10本/m²が生育していれば、将来十分に木本群落は成立する。これ以上の木本が成立すると施工後4~6年で過密になり、逆に地被植物が被圧されて枯死し、裸地化する恐れが生ずる。施工後5~10年の適正な木本類の成立密度は、0.5本/m²~0.8本/m²程度の範囲で管理されるのがよいと考えられる。

参考文献

- (1) 山寺喜成: 急勾配斜面における緑化工技術の改善に関する実験的研究、(1989)
- (2) 堀江保夫ほか: 播種緑化工における樹林形成技術手法の開発、国有林野事業技術開発試験成績報告書、(1991)
- (3) 堀江保夫: 播種工による早期樹林化の手法、林業科学技術振興所、(1992)

IV まとめ

1. 木本群落造成における発芽及び生育の特性に関する問題

(1) 従来の種子散布工や二次製品による播種方法では、発芽や初期の生育特性などから木本類の成立は一般に困難で、成立するのは特定の種類に限られている。特に、アカマツやヒノキなどの高木性の樹木は、自然侵入による成立が大部分を占め、播種工によって成立した施工例は少ない。その不成立の主な原因としては、草本類による被圧、表土の侵食・移動、生育の遅さなどに起因したものが多い。このため、生育基盤の安定、最適播種割合、生育を促進させる施肥方法などの改善策が必要である。

(2) 一般に、木本類の発芽や初期の生育は緩慢であり、草本類の旺盛な繁茂によって被圧され、枯死することが多い。また、播種時期によっては発芽率に一定性が欠ける。特に、高温時期を経過した種子は、発芽率の低下が著しい。そのため、播種の時期が制限される。その中でも発芽率が比較的安定している木本類は、肥料木や先駆植物に多いので、この種の植物を適用することが望ましい。

(3) 播種工において木本群落を造成するためには、施工初期に草本類の生育を優先させたのでは失敗することが多い。従来の種子配合は、草本植物による侵食防止効果を優先した群落構成を目的としているため、草本植物が優勢になり易く、木本類の成立が困難になる。木本類の成立が期待できる単位面積当たりの播種量は、草本類種子の割合を減らした3,000粒/m²~5,000粒/m²の範囲内にある。播種量を5,000粒/m²以上にする場合は、

前線帶の成長促進のための
海岸防風工法等の開発

前線帶の成長促進のための海岸防風工法等の開発

I 試験担当者

森林環境部防災科防災林研究室 河合英二・溝口康子・山野井克己
東北支所防災研究室 松岡廣雄
森林環境部 工藤哲也

II 要旨

海岸防災林の最前線では強風・塩風により成長阻害を受け、その影響は後方林帶の樹高生長に及んでいる。そこで最前線の林木の成長を促すために、秋田営林局酒田営林署管内浜中海岸に風洞実験を経て間伐材を部材とした合掌型の従来柵（K-I型）を1987年に設置した。この結果クロマツ海岸林の成長に良好な効果がみられた。しかし、K-I型は柵の密閉度が正面からみて100%に近く改良の余地がみられた。そこで柵の構成、密閉度等を変化させた改良型を設計した。改良柵は効果範囲が拡大することを風洞実験で確かめ、既設のK-I型と平行に林帶最前線に改良柵（K-II型）を設置し、現地の防風・空中塩分減少効果とクロマツ林の成長調査を行った。

風洞実験の結果、減風範囲から判断して、開脚65度改良柵（K-II型）の方が開脚70度従来柵（K-I型）より効果的であると考えられた。現地比較調査の結果従来柵と改良柵を比較したところ、防風効果、空中塩分捕捉作用とも、改良柵が優れていると判断できるが、クロマツの成長にはまだ顕著な差は認められなかった。

一方、最前線に設置されている化繊防風網（高さ：1.0m）は耐久性に問題があるので、これに替わる間伐材を部材とした3つの型の防風柵を設計し、風洞実験によりその防風効果を測定した。その結果、それぞれ防風効果に差はあるが、減風範囲、耐久性から判断して化繊防風網より長期間に渡って効果を期待できるものと考えられた。

III 試験目的

海岸防災林の林帶前線は強風のために植栽木の上長生長が阻害され、その結果、林帶後方まで樹高生長に影響を及ぼしているケースが多い。この対策のために様々な防風垣・防風工が施工されているが、性能、コストや耐久性などに問題がある。この問題を改善し、間伐材の利用拡大するため、間伐材を部材とする防風柵を試作し、その性能を調査してき

た。

本研究は試作した間伐材防風柵（K-I型）の密閉度を変化させた改良型防風柵を新たに開発し、風洞実験、現地観測により実用化することと、最前線に施工された化織防風網が強風による摩擦のため短期間で破壊されることから、これに替わる間伐材を部材とした防風柵を新たに開発することを目的とした。

IV 試験の方法と結果

1. 改良型防風柵の効果

1) 風洞実験

(1) 実験方法

実験施設は森林総合研究所の風洞装置を用いた。測定洞の幅は1.2m、高さ1.6m、長さ10.0mである。模型は現地の防風柵の高さを約3mと考え、その1/20の15cmとし、直径0.5cmの丸棒を使用し組み立てた。従来柵が風上、風下とも傾斜している合掌型（図1）としたのに対し、改良柵は風上傾斜、風下鉛直とし、風上には縦、風下には横に丸棒を設置する縦横型（図2）とした。

風上側柱と地面との角度（開脚度）は従来柵の実験と同様に50, 60, 70度の3種類に、65度を追加して行った。

風速測定は測定洞の中心に沿い、水平方向は柵高倍数（H）単位に柵の風上側-6, -1, -2, -1, -0.5, 0（柵位置）、柵の風上側0.5, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26H、鉛直方向は高さ2, 3.5, 5, 7, 10, 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5, 30, 35, 40cmとして、熱線風速形で測定した。

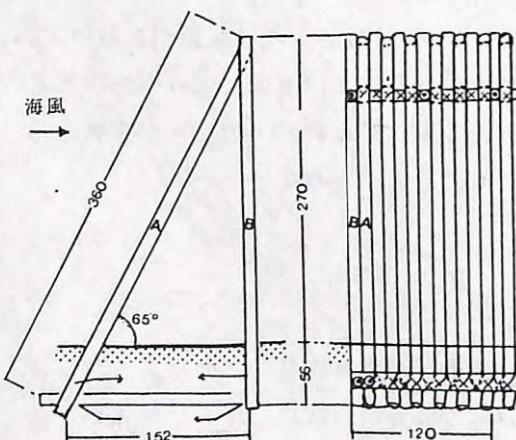


図1. 合掌型従来柵 (K-I型) の構造 (単位 cm)

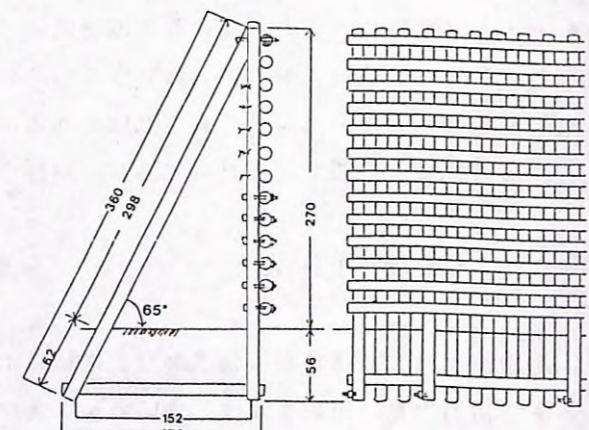


図2. 縦横型改良柵 (K-II型) の構造 (単位 cm)

測定風速は下記の根本による相似則の理論式¹⁾により野外風速の約20.0m/sに相当する7.4m/sとした。

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

U_m：風洞風速 U_n：野外風速 L_m：模型の代表長 L_n：実物の代表長

(2) 実験結果

これまでの合掌型柵の密閉度は前面部50%、後面部50%の組合せで、正面からの密閉度は100%であった。風洞実験に基づいて海岸に設置したこの従来柵は、柵に近いところの減風率が大きい割に、減風率40%以下の領域はほぼ風下22H内であった^{2)～4)}。

今回の縦横型改良柵の密閉度は前面部50%、後面部50%であるが、組み合わせが従来柵と異なり、4種とも正面方向からの密閉度は75%である。

従来柵（旧柵）と改良柵による風速比分布を図3, 4に示した。風速比は規準点の風速を100として、各測点ごとに風速の比を求めた。柵の開脚度50度の場合、改良柵では従来柵に認められる30%域ではなく、40%域が22Hから26Hまで広がった。柵高の上方では、従来柵では110%域が認められる位置で、改良柵では100%程度までとなり、減風域が広がる傾向が認められる。開脚度60度では改良柵は従来柵の30%域が18Hから20Hへ、40%域が23Hから24Hへと広がる傾向が認められる。開脚度70度でも同様に従来柵の30%域が18Hから22Hまで、40%域が22Hから26Hまで広がっている。柵高の上方でも100%域が縮小し、90%域が広がっている。従来柵では密閉度が正面方向からみて、100%に近いため板のように柵の背後に渦領域をつくっているのに対し、改良柵では密閉度を低下したことにより、この欠点が少なくなったものと考えられる。

柵の設置を予定している現地の最前線のクロマツ林の樹高は約2.0mから柵高の3.0mの範囲内にあり、クロマツ梢頭部は強い塩風による成長阻害を頻繁に受けている。この2.0～3.0mの領域の風速分布を従来柵と改良柵でさらに詳しく比較するため模型の高さ10cm（現地：2.0m）、15cm（同：3.0m）における風速比を図5, 6に示した。

柵高15cmの位置の場合、従来柵は4種とも柵後急に減少し、0.5Hの位置で最低風速を記録したのち6Hから徐々に増加していく。改良柵は柵後4Hで最低風速を記録したのち徐々に増加していく。両柵とも柵後4Hからの風速増加傾向は似ているが、改良柵の方が全体に減少している。

柵高10cmの位置の場合、従来柵の最低風速は開脚50度で4H、60度で6H、70度で10Hであった。改良柵の最低風速は開脚50度で10Hに、60度、70度では8～12Hに存在した。

従来柵と改良柵の26H付近での風速の数値をみると、改良柵の方が後方へ減風範囲を広げている傾向が認められた。柵の開脚度と減風範囲の関係を4種のなかでみると、前脚と地面のなす角度が50度から70度と大きくなるほど減風率・範囲は広くなることが分かった。

従来柵の場合もこの傾向は同じであったが、現地における柵の設置時の作業効率や耐風

性上、前脚と後脚にある程度の角度を保たせる必要性から、現地に設置した従来柵の開脚度は65度とした。改良柵においても浜中の環境条件から柵の耐風性、作業効率等を考えて、開脚65度が現地に適当と考えられたので、65度の改良柵の風洞実験を追加した。その結果、高さ15、10cmの風速比を図7に示した。改良柵70度と比較すると、高さ15cmの場合、10Hまでは1~7%多いが、その後方ではほとんど同じ値である。高さ10cmの場合、70度の方がわずかに風速比が大きい所もあるが全体的に同じような分布傾向であった。

以上の風洞実験の結果、開脚70度の改良柵が最も減風効果が高いことが分かった。しかし、柵の耐風性、作業効率から考えると70度は狭すぎるので、70度に近い減風効果を示した開脚65度を現地に設置することにした。開脚65度改良柵模型（K-II型）は70度従来柵や65度従来柵模型より減風効果が大きいことが確かめられた⁵⁾。

（河合英二）

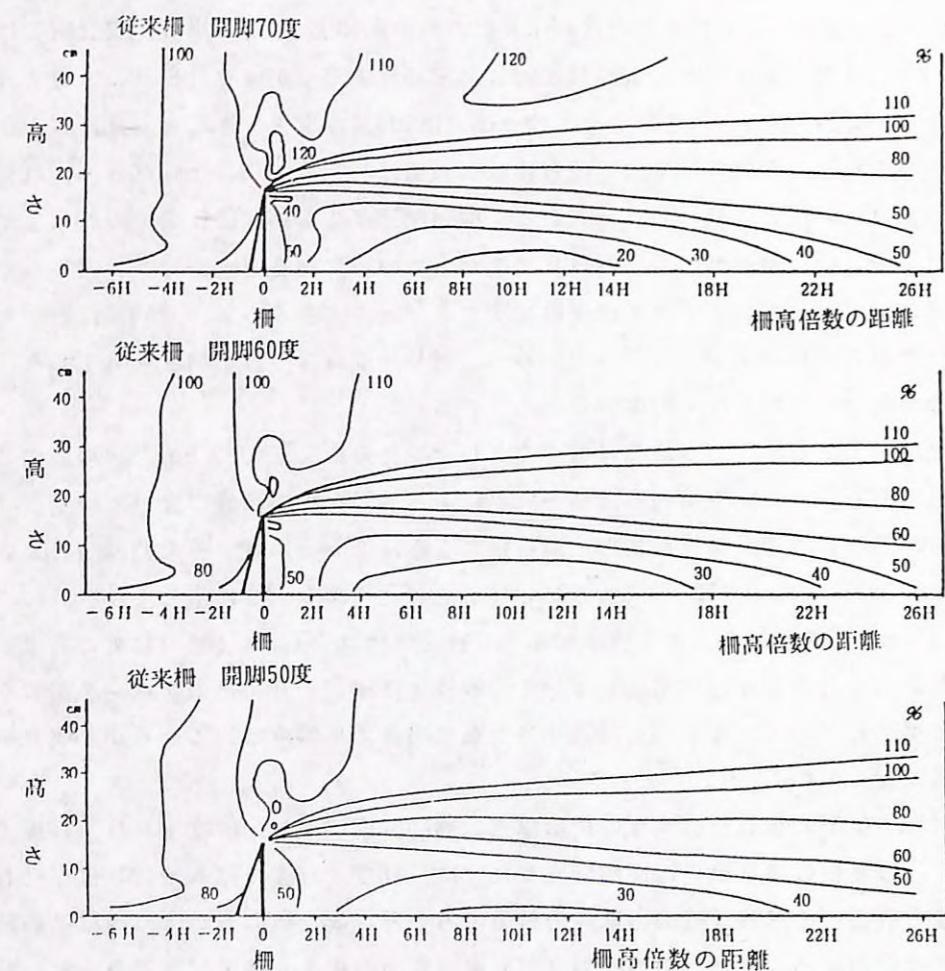


図3. 従来柵の風速比の分布

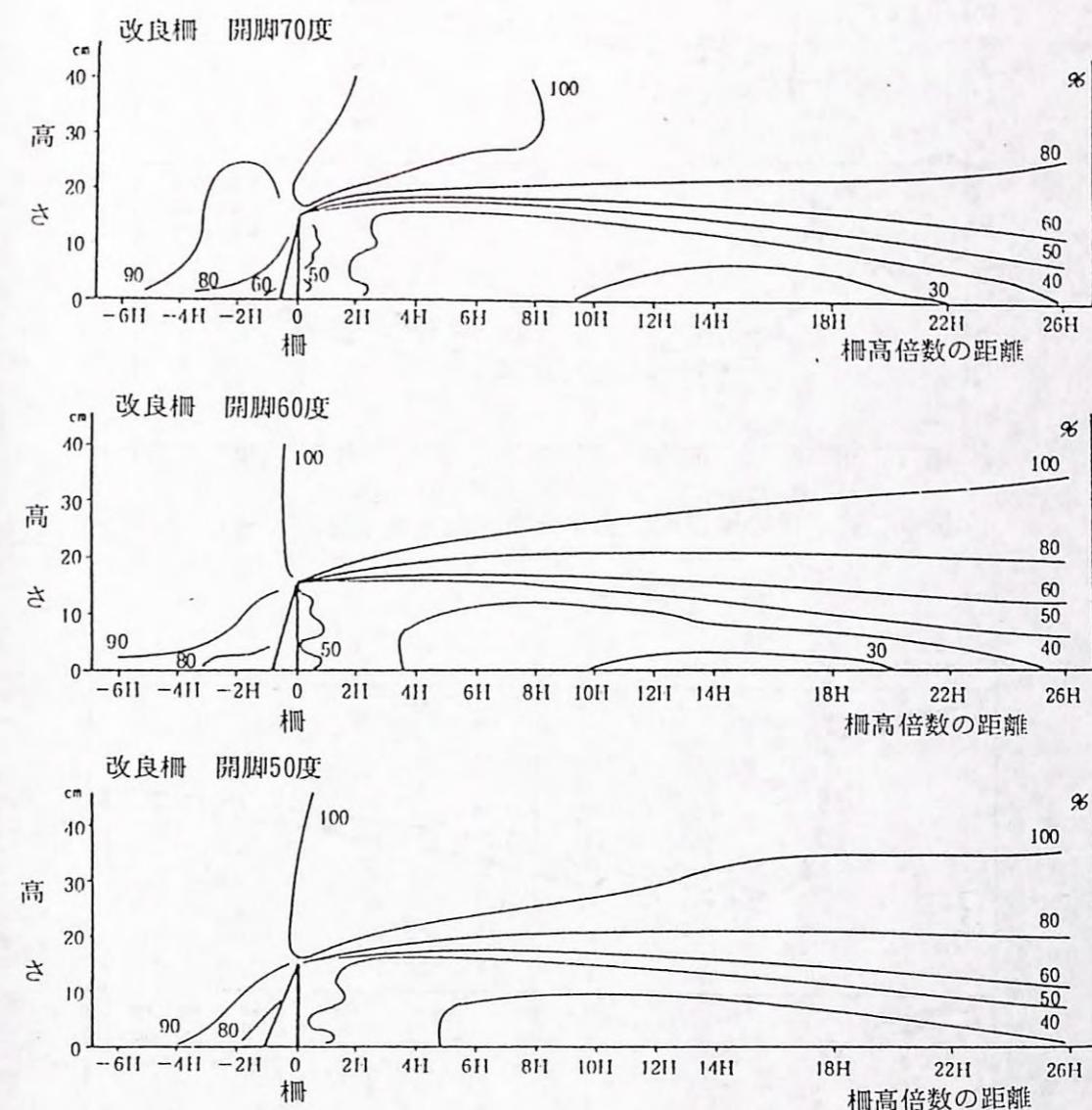


図4. 改良柵の風速比の分布

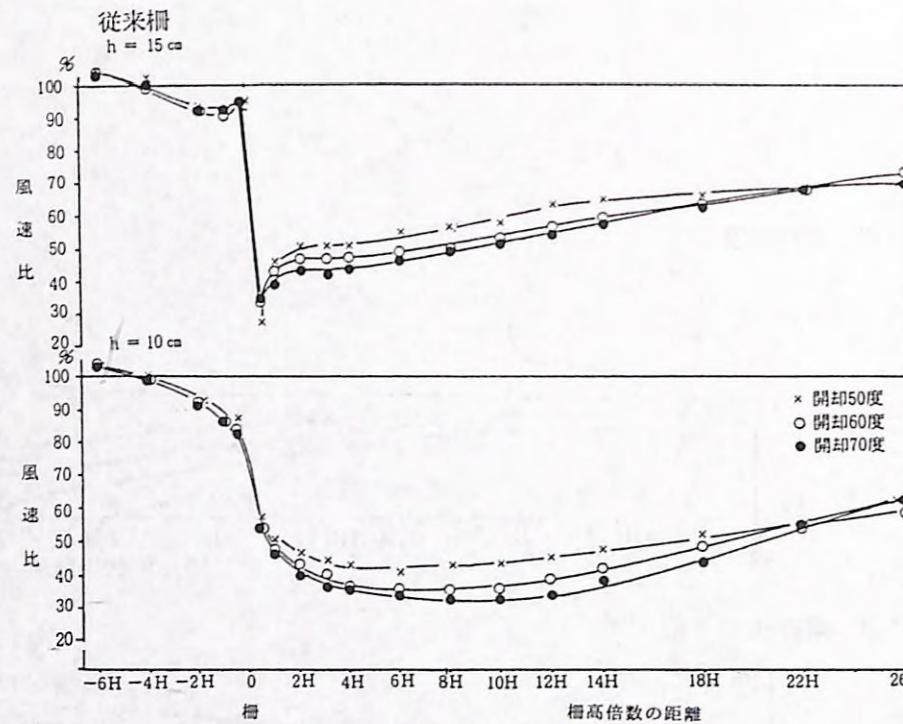


図 5. 従来柵の風速比の水平分布 (測定高: 15, 10cm)

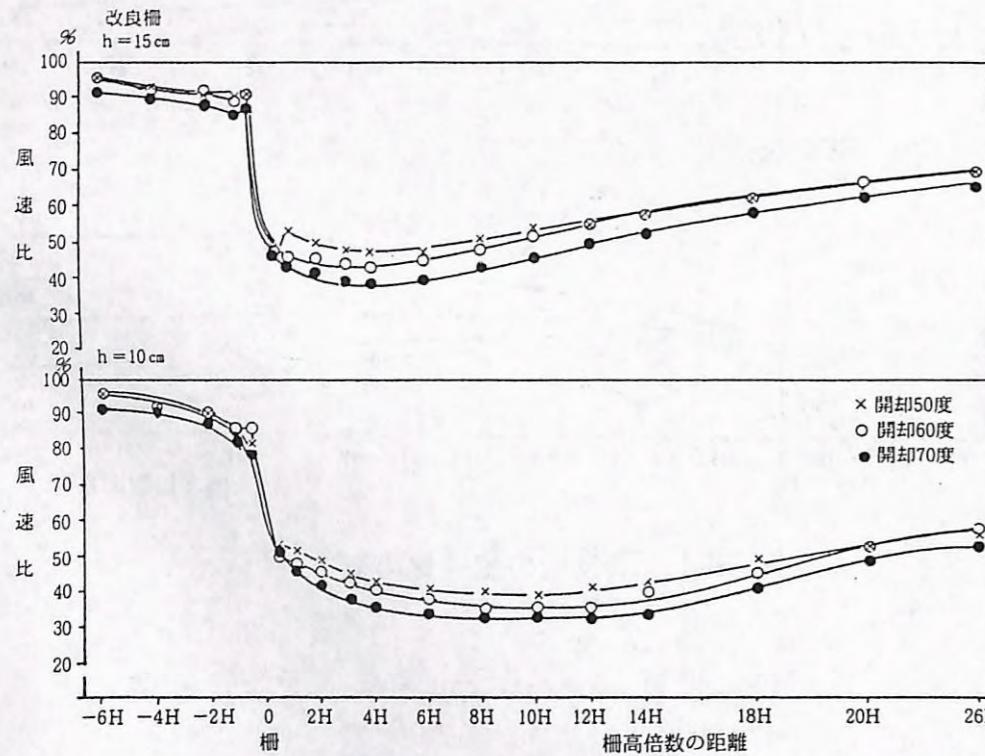


図 6. 改良柵の風速比の水平分布 (測定高: 15, 10cm)

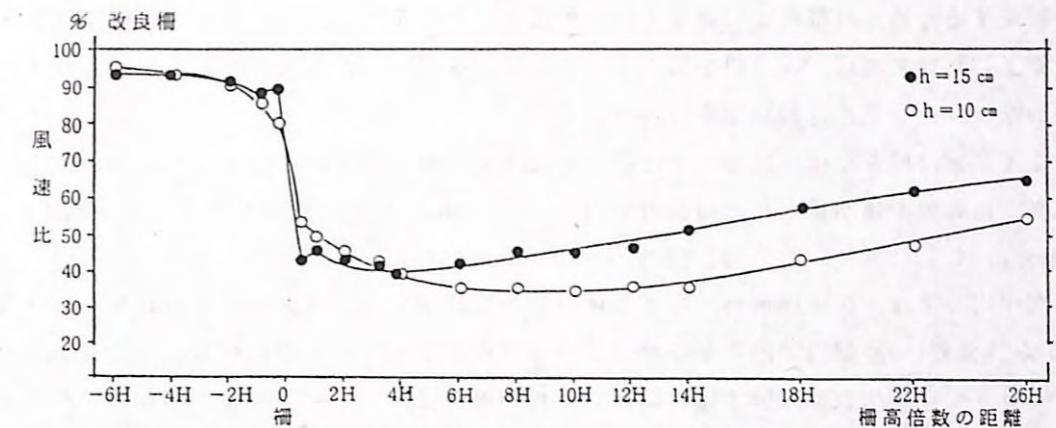


図 7. 開脚65度の改良柵 (K-II型) 風速比の水平分布
(測定高: 15, 10cm)

2) 現地試験

(1) 柵の施工地の環境

改良柵はすでに従来柵が設置されている秋田営林局酒田営林署管内浜中 133林班の海岸林の前線に設置した。管内の海岸林は山形県飽海郡湯佐町から鶴岡市湯之浜にいたる延長32km, 幅 200~800mのクロマツ林である。クロマツ林は10~30年生, 平均樹高約4.5mで林帶の海側最前線には化繊防風網 (高さ1.0m, 密閉度30%) が施工されているが, 前線のクロマツ梢頭部は冬の季節風による成長阻害がみられる。冬季の日本海沿岸は西よりの季節風が卓越し, 強風とともに多量の塩分が内陸側に運ばれる。1989年と1991年の1, 2月の気温及び風速データを比較すると, 1991年の方が気温も低く季節風も強い年であった。このように年度によって季節風にかなり変動があることが分かる (表1^{6), 7)}。

表 1 調査地に近い酒田の気象

| 年月 | 平均風速 m/s | 平均風速 >10m/s | 最大風速 >10m/s | 平均気温 | |
|----------|-------------|----------------|----------------|------|------|
| | | | | 1日 | 10日 |
| 1988.12. | 5.8 | 1日 | 16日 | 4.2 | 1.8 |
| 1989. 1. | 5.0 | 1 | 10 | 3.0 | 0.2 |
| 2. | 4.3 | 0 | 7 | 3.1 | 0.6 |
| 1990.12. | 5.7 | 2 | 16 | 7.0 | 4.3 |
| 1991. 1. | 5.7 | 0 | 19 | 2.5 | -0.4 |
| 2. | 5.9 | 0 | 21 | 1.6 | -1.1 |

(2) 改良柵の現地効果調査

風洞実験の結果にもとづき設計した改良柵の構造は図2に示すとおりである。使用部材は末口径10cm, 長さ 360cmのスギの間伐材で, 施工前に防腐処理を行った。できあがり柵高は2.7m, 延長100mにわたって施工した。改良柵がクロマツ林に及ぼす影響

を判定するため、林帯前面に高さ1mの化繊ネット（密閉度30%）をもつ対照区、従来柵を施工した従来柵区、改良柵を施工した改良柵区を設定し、各区において風速、空中塩分、クロマツ林伸長量の比較測定を行った。

風速測定は柵または化繊ネットと直交測線上で、柵より汀線に向かって20mの地点の地上高3mの値を規準値とし、柵後方5, 15, 30, 50mの地点に鉄塔を建て、地上高0.5, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5, 9.0, 10.0, 12.0mの風速を測定した。

空中塩分量は、防風柵前5m高さ2mの値を規準値とし、風速測線上の鉄塔に地上高3.0から12まで1.5m間隔で設置した塩分トラップに装着したガーゼに付着した量を測定した。

クロマツ林の生長に及ぼす影響はそれぞれの調査区においてクロマツ梢頭部の伸長量を経年測定し、比較した。

（3）結果と考察

風速測定及び、空中塩分の観測時には、風向きはWNW-Wで柵にはほぼ直角であった。ただし、改良柵区と対照区の測定時には、平均風速は約10m/sであったのが、その後行った従来柵区の測定の際は約8m/sと低下したが、規準値に対する各地点の相対値の比較なので差し支えないものと判断した。各区の地形と樹高は図8のようになっている。

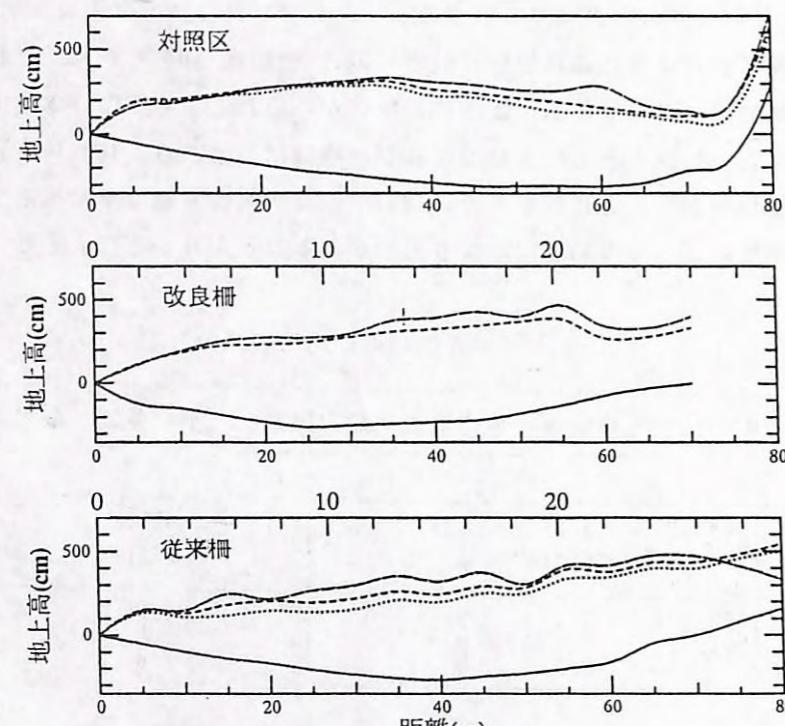


図8. 柵位置を0cmとしたときの地形と樹高
(—:地形) 平均樹高:………1987年
-----1989年
—1992年

現地での風速は風洞実験と異なり、柵後の地形やクロマツ林の樹高等に影響される。風速を図8の平均樹高の樹冠直上と樹冠上2m付近の地点で比較したものが図9, 10である。

対照区と改良柵区を比較すると（図9）、柵後方20m付近まで減風効果が顕著にみられ、樹冠直上で30m、樹冠上2m付近で40mまで対照区の減風率を上まわっている。また、従来柵区と改良柵区で比較すると（図10）、風洞実験では密閉度の低い改良柵の方が減風域が広がるという結果が出ていたが、実際の測定では樹冠直上は減風域は風洞実験ほど広がってはいない。しかし、樹冠上2mでは相対風速は従来柵型のものより2割ほど低く、その効果は柵後方40mまでみられる。

空中塩分量はガーゼに捕捉された塩分を一定量の純水に一定時間浸水し、水の電導度を計測することによってNaClの濃度を求め、その値を比較した。

防風柵前5m、高さ2mの値を規準値100とすると、改良柵区の樹冠直上では、柵後方30m付近まではほぼ0に近く、樹冠上2mでも50前後で推移しており、柵後方30m付近までは、その減少率は対照区よりも大きい（図11）。

次に従来柵と改良柵の2種類の柵施工区で対照区の値を100として比較してみた（図12）。

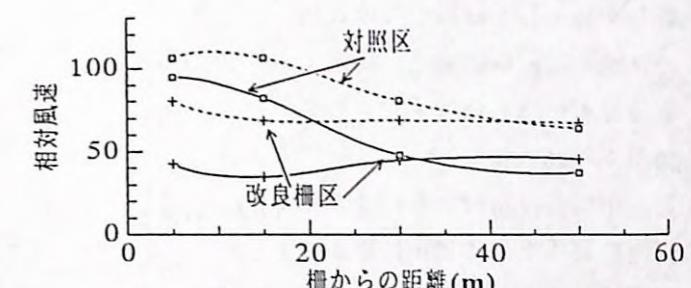


図9. 対照区と改良柵区の風速分布
柵より汀線側で測定した風速を100としたときの値
(実線:樹冠直上, 破線:樹冠上2m)

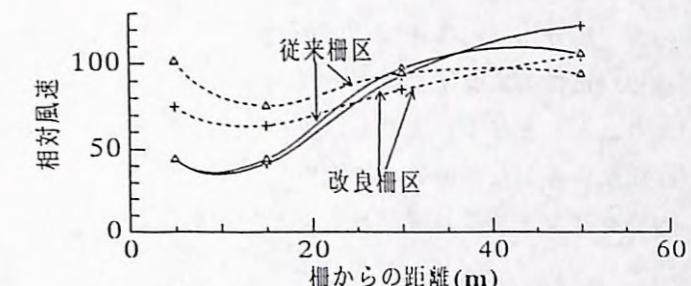


図10. 従来柵区と改良柵区の風速分布
対照区で測定した風速を100としたときの値
(実線:樹冠直上, 破線:樹冠上2m)

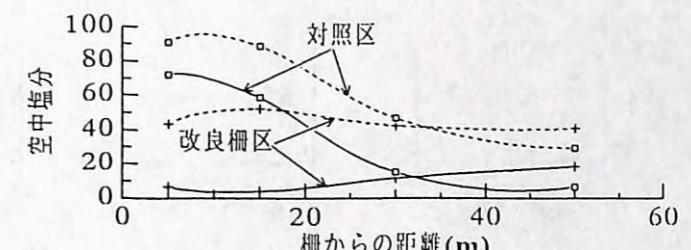


図11. 対照区と改良柵区の塩分分布
柵より汀線側で捕捉した塩分量を100としたときの値
(実線:樹冠直上, 破線:樹冠上2m)

従来柵では、空中塩分の減少効果が20m付近までなのに対して、新しく施工した縦横型の改良柵の区域では、樹冠直上、樹冠上2mともに35m付近までその効果がみられる。

空中塩分の相対値も、改良柵区の樹冠直上では15m付近までほぼ0に近い(図11)。樹冠上2mでも柵直後で40で、その後方も従来柵区より約3割少ない。また、空中塩分の垂直分布(図13)をみると、改良柵区の空中塩分比は、高さ3.0mから12.0mの測定範囲で他の2区よりほとんど減少しており、改良柵が柵後かなりの範囲で空中塩分を減少させる効果があることが分かる。

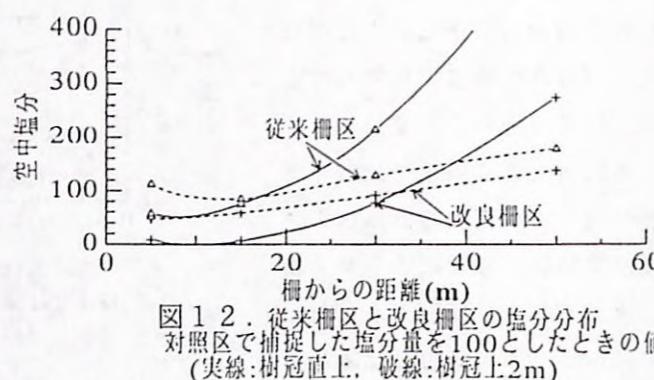


図12. 従来柵区と改良柵区の塩分分布
対照区で捕捉した塩分量を100としたときの値
(実線:樹冠直上, 破線:樹冠上2m)

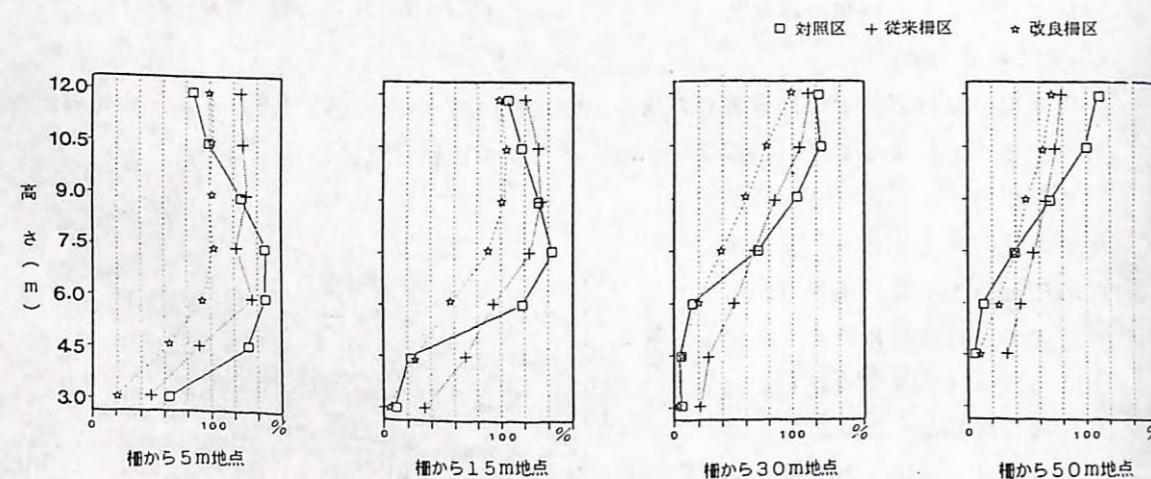


図13. 対照区、従来柵区と改良柵区の空中塩分垂直分布

図14に1989年及び1991年の柵の高さを0mとしたときの樹高曲線を、図15に1991年のクロマツ林の梢頭部の伸長量を示した。1989年から1991年の2年間での平均樹高の変化を見ると、柵後方10m付近までは1989年よりも1991年の方が樹高が低く、対照区は顕著である。生長期にかなり伸長しても、毎年、冬の強い季節風によって樹冠上部が枯損してしまうものと考えられ、対照区はその影響を特に受けおり、間伐柵区は柵の防風作用により被害が軽減されているものと考えられる。

1989年と1991年の1、2月の気温及び、風速のデータを比較すると(表1)、1991年の方が気温も低く季節風も強い。このため、かなり樹冠上部が枯損し、林縁部の樹高が逆転したものと考えられる。1991年の夏に調査したクロマツ梢頭部の伸長量は柵後方10m付近までは柵のない対照区の方がむしろ伸長量は大きい。1990～1991年の冬季にかなり枯損した後、別の枝の梢頭部が伸長したものと考えられる。その後方15～45mまでは従来柵が、さらに60m以上後方になると改良柵区の伸長量が大きいことが分かる。対照区はネット後30mまでほとんど樹高は伸びていない。1年間の伸長量も平均で15cm前後である。ネット後30m付近までは、風速・空中塩分量とともに間伐材防風柵区の値を上回っている。規準値の約50% (樹冠直上) の値になる30m以降、伸長量は20cm以上となり、2年間で平均樹高も高くなっている。

従来柵(K-I)区、改良柵(K-II)区ともに柵後10m以降は対照区よりも風速、空中塩分の結果と対応して良い成績をおさめている。改良柵区は30m付近までは1年間に20cm前後、それ以降は30cm前後伸びている。従来柵区は、45m付近までは改良柵のそれよりも良好な伸びを示し、30cm前後であるが、それ以降は20cm前後で、改良柵の方がよく伸びしており、この傾向は、2年間の樹高変化にも現れている。

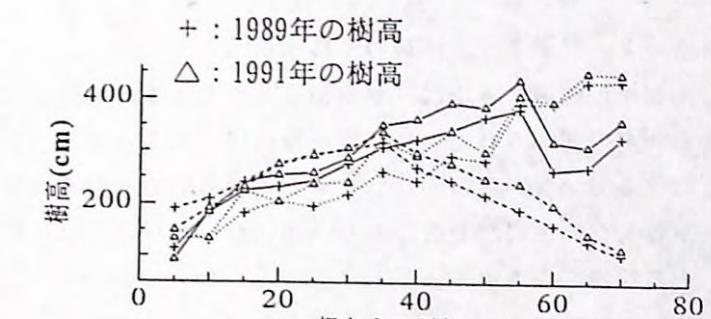


図14. 柵の位置を0mとしたときのマツの平均樹高
(実線:改良柵区, 点線:従来柵区, 破線:対照区)

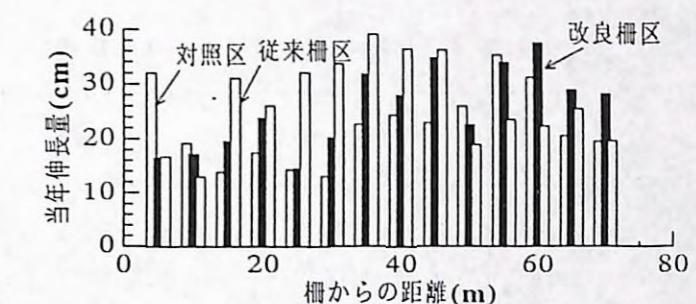


図15. 1991年のクロマツの平均伸長量

今回施工した改良柵と従来柵との差は、風洞実験ほど現地では現れていないが、従来型と同様に化繊ネット（対照区）に比べると、かなり防風効果はあることが分かった⁸⁾。

（溝口康子）

2. 化繊ネットに替わる防風柵工

従来の化繊ネットは日本海側東北部の冬季の強風により1年で摩耗して修理が必要な場合が多く認められた。毎年の修理に掛ける人件費等の管理費を容易に確保できる社会情勢に至っていないことから、クロマツ林の前線の健全な管理にはより耐久性に優れ、施工上も容易な防風柵が必要であり、間伐材を部材とした比較的施工が容易な防風柵を設計し、その性能を調査する。

1) 実験方法

森林総合研究所の風洞装置を用いた。模型は3つの型を考案した。Maru-1, Maru-2型は、直径約10cmの半割材、Kaku-1型は10cm×5cm方形の角材を使用することを想定した（表2）。

表2 化繊ネットに替わる防風柵模型の諸元

| 種類 | 高さ | 主な部材 | 遮風率 |
|--------|----------------|------------|-----|
| Maru-2 | 9.7cm & 10.7cm | 丸棒、長さ1.1cm | 50% |
| Maru-2 | 9.7cm & 10.7cm | 丸棒、長さ1.8cm | 54% |
| Kaku-1 | 9.7cm & 10.7cm | 角材、長さ2.0cm | 49% |
| ネット | 10.2cm | 化繊 | 50% |

各模型の構造は図16, 17, 18に示す。各柵の遮風率はほとんどが50%前後であった。これらの防風柵に比較するため化繊ネットによる防風柵模型も作成した。

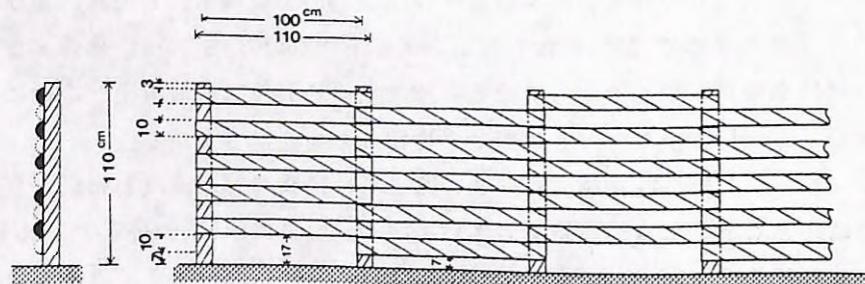


図16. Maru-1型防風柵の構造

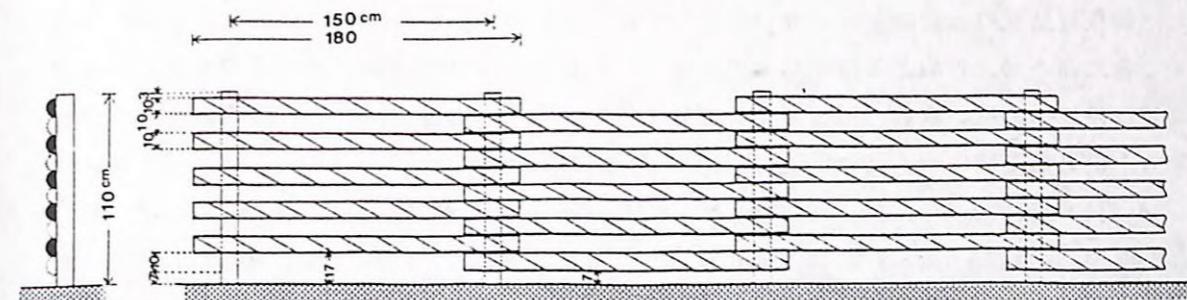


図17. Maru-II型防風柵の構造

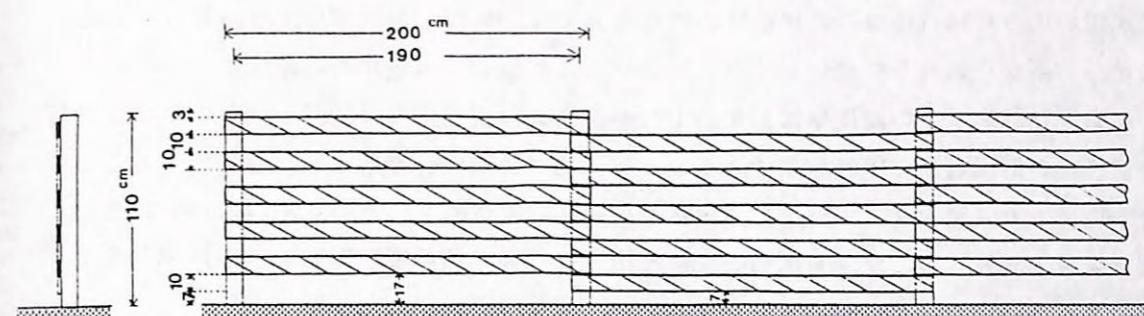


図18. Kaku-I型防風柵の構造

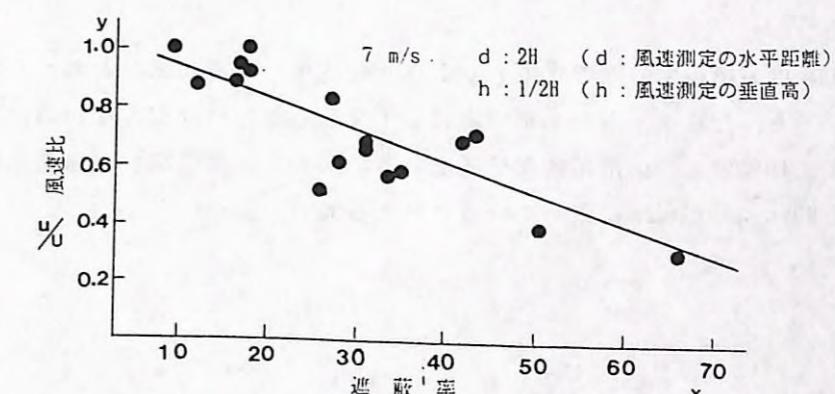


図19. 遮蔽率と風速比との関係 (田中, 1969)

間伐材防風柵は図のように高い所で10.7m, 低い所で9.7m, 平均 10.2m となり, 柱間ごとに高さに段差のある柵になるのに対し, 化繊ネットは10.2mの一定高である。風速測定は段違いの低い高さ 9.7m の柵の部分で行い, 水平方向は柵高 (H) の倍数に測点を取り, 柵の風上側に-4, -2, 0 (柵位置), 風上側に0.5, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30H とし, 垂直方向は高さ (cm) 0.4, 0.8, 1.2, 2.2, 3.2, 4.2, 5.2, 6.2, 7.2, 8.2, 9.2, 10.2, 11.0, 12.5, 15.0, 17.5, 20.0 として, 風洞内トラバースに装置された熱線風速計で測定した。測定風速は, 前述の根本の理論式¹⁾により, 野外の風速15m/sに相当する6.9m/sとした。

2) 結果と考察

間伐材防風柵は化繊ネットと異なり, 横棒の間が互い違いに空いている構造である。このため, 化繊ネットの場合は, ネットの直後で風速がかなり低下するのに対し, 間伐材の防風柵のような構造の場合は柵直後の横棒の間では90%以上の風速比になる場合もある。しかし, 柵から離れるに従いネットの風速分布に近似した風速比を記録する。

なお, 化繊ネットの遮風率は51%のものを使用したが, 田中 (1969)²⁾ らの化学繊維製の防風網の防風効果の実験結果によると, 風速比は防風網の遮蔽率によって異なることが分かっており (図19), 浜中の海岸林最前線に設置されている高さ約 1.0m の化繊防風網は遮蔽率30%なので, 今回風洞実験に使用された網 (遮蔽率51%) より, 防風効果は少ないものと考えられる。

3つのモデルと化繊ネットの風速比の分布は図20, 21, 22に示した。3つのモデルの内では角材を使用したKaku-1型が柵後の減風範囲が最も大きい。Maru-1, 2型では風速比30%以下の比較ではMaru-1型に柵後20H付近まで認められるが, 50%以上の風速比になると, Maru-2型の方が減風範囲が広く表れる。

減風範囲だけを考えるとKaku-1型が有利であるが, 材料の経費は丸棒を使用する方が安価になるであろう。

3つのモデルは減風範囲の点で化繊ネットに十分代用しうる防風工と考えられる。また, 耐風性においても, 化繊ネットが1年で摩耗して交換しなければならないのに対し, 防腐処理によって, 10年以上の耐用年数が見込まれる。経費, 作業効率, 減風範囲等を総合的に考慮するとMaru-2型が現地に適していると考えられる。

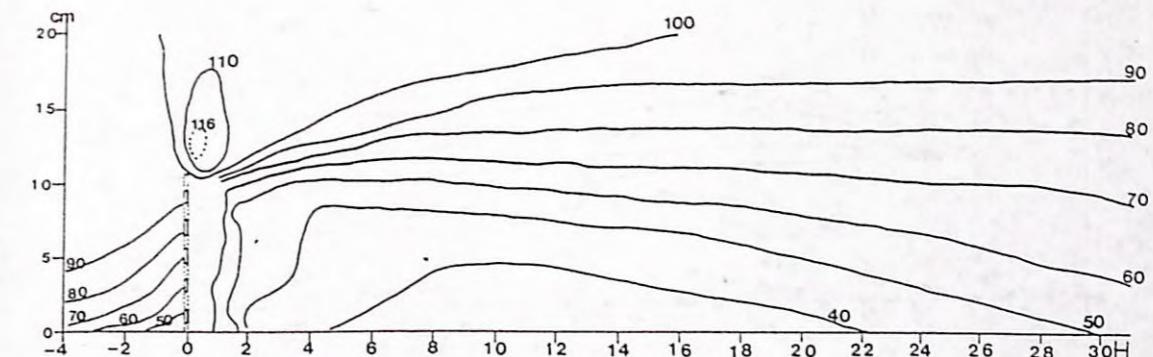


図20. Maru-I型防風柵の風速比の分布

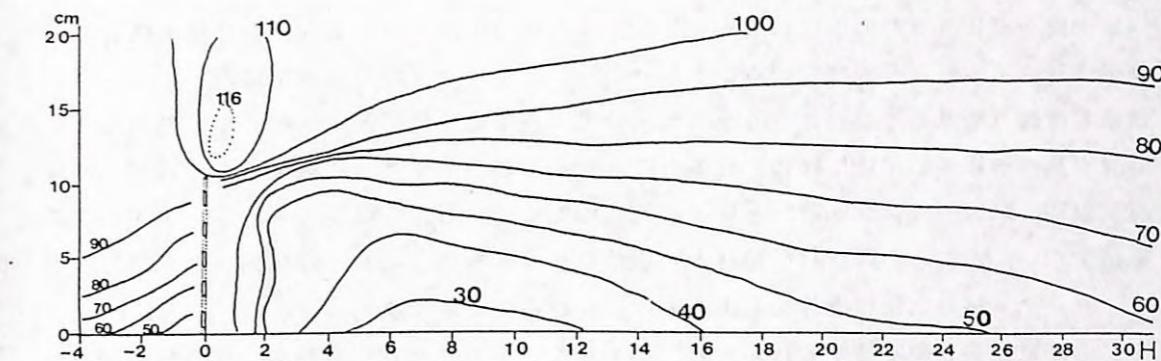


図21. Maru-II型防風柵の風速比の分布

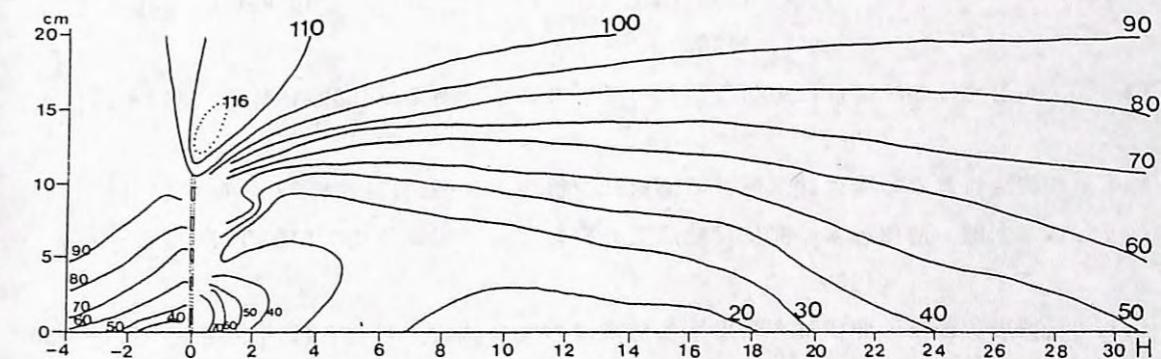


図22. Kaku-I型防風柵の風速比の分布

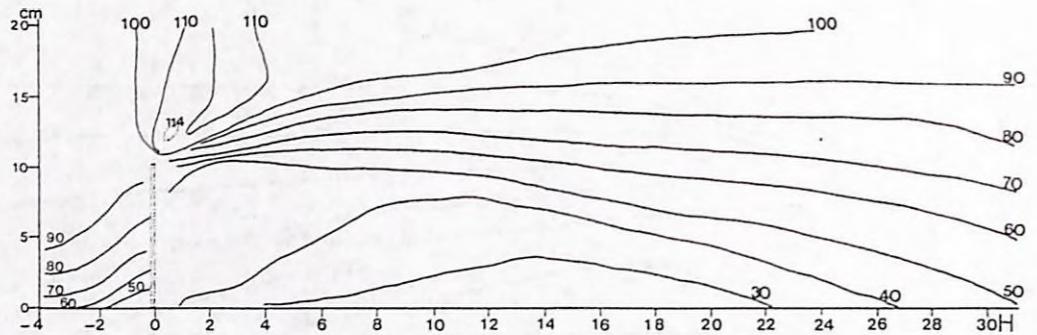


図23. 化繊防風網の風速比の分布

▽ まとめ

密閉度を変化させたの改良柵 (K-II型) は、風洞実験、現地調査ともに防風機能が従来柵 (K-I型) より優れていることが分かった。クロマツ林の成長量に関しては、今後継続して調査を進める必要はあるが、減風効果、空中塩分捕捉効果はなどから判断してクロマツ林の前線帶の環境は緩和されるものと考えられる。また、化繊ネットの代替え間伐材防風柵 (Maru-1, 2, Kaku-1) も施工が比較的簡単で、耐久性は勝っており、実用性に問題は少ない。これらの間伐材を部材とする防風柵は、柵高、経費、作業効率等が異なるので、クロマツ林の立地環境等を考慮して使い分けることが望まれる。

なお、現地調査を実施するにあたり、ご配慮をいただいた秋田営林局、同管内酒田営林署並に同署浜中海岸治山事業所に感謝します。

(河合英二)

引用文献

- (1) NEMOTO, S. : Similarity between Natural Wind in the Atmosphere and Model Wind in a wind Tunnel, Part 1. Pap. Met. Geophys. 12, 30-52 (1961)
- (2) 工藤哲也ほか：間伐材を利用した防風柵の施工と効果, 100回日林論, 693~694, (1989)
- (3) 松岡廣雄ほか：間伐材防風柵の塩風減少機能, 100回日林論, 689~690 (1989)
- (4) 成田七郎, 浦田忠孝：間伐材防風工の開発, 秋田局業研集 昭63年度, 142~149, (1989)
- (5) 松岡廣雄ほか：間伐材を利用する防風柵の改良試験, 41回日林関東支論, 177~180,

精英樹の非選抜形質についての育種効果の推定

精英樹の非選抜形質についての 育種効果の推定

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

II 要旨

スギの幹と枝の諸形質についての広義の遺伝率を推定し、その選抜効果を推定した。また、これら諸形質相互の遺伝相関、環境相関、表現型相関を求め、選抜時に留意すべき点を考究した。材の密度に関する諸形質についても遺伝率と遺伝相関を求め同様な情報を得た。スギの着花性については、一般種苗で育成された地スギの着花量が、精英樹系統の着花量より多いことを認め、この原因として地スギの育苗に用いた種子が開花量の多い個体から採取されたためと判断され、その開花に関する選抜効果のあることを確認した。また、スギ開花量と雪害による根元曲がりのについては、精英樹クローン検定林と実生家系の次代検定林からデータを得、クローンと実生で共通に植栽された系統の平均値を求め、前者を親、後者を子供とみなした親子相関から、選抜効果を確認した。

III 試験目的

精英樹選抜による育種は主に、生産量に重点がおかれ実行された。しかし、その後、材質や諸被害に対する抵抗性が重視されるようになり、その育種効果についての情報が必要となった。また、スギの雄花着性については、花粉アレルギーの問題が生じ、その対策として花粉生産量の少ないスギの育種が重要視されるようになり、その情報が必要となった。本研究では、その一端として、スギの枝の諸形質や材質、また雪害に基づく根曲がり抵抗性及び雄花着性について選抜育種による効果を推定することとした。

1. スギの幹と枝の諸形質についての選抜効果

スギの精英樹選抜において、成長量が重視されたが、枝の諸形質が無視されて実行されたわけではない。すなわち、枝張りの狭いほうが単位面積当たりの成立本数が多くなることから、成長がよく枝が小さく短い個体が選抜された。しかし、当時は枝の諸形質が、どのような大きさで遺伝的支配を受けているのか明らかにされておらず、また、幹の成長と枝の諸形質との関係や、枝の諸形質相互の関係が、遺伝的あるいは、環境的にどのように支配されているか明らかでなかった。本試験ではスギサシキ22クローンを用いて、植栽密度を変えて設定した試験地の13年生のデータを用い、枝の諸形質の広義の遺伝率、関連した

幹の成長形質の広義の遺伝率を求め、その選抜効果を推定し、さらにそれら形質相互の遺伝相関、環境相関、表現型相関を求め選抜時に留意すべき事項についての情報を得た。

1) 材料及び方法

植栽材料は、1970年春、関東林木育種場のスギ採穂園から採穂し、サシキ増殖した22クローン（表1）である。

表1 供試クローンのプロットごとの植栽本数と林縁への植栽本数

| クローン番号 | クローン名 | 植栽本数 | 林縁への植栽本数 | | 高密度区でデータを得たクローン（○印） |
|--------|--------|------|----------|-----|---------------------|
| | | | 反復1 | 反復2 | |
| 1 | 長野5号 | 36 | 2 | 2 | |
| 2 | 坂下2号 | 36 | 2 | 2 | ○ |
| 3 | 喜多方1号 | 36 | 2 | 2 | ○ |
| 4 | 郷台1号 | 36 | 2 | 2 | ○ |
| 5 | 若松2号 | 36 | 2 | 2 | |
| 6 | 那珂6号 | 36 | 2 | 2 | ○ |
| 7 | 大井6号 | 36 | 2 | 2 | ○ |
| 8 | 勢多3号 | 36 | 2 | 2 | ○ |
| 9 | 大月4号 | 36 | 2 | 2 | |
| 10 | 新治3号 | 36 | 2 | 2 | ○ |
| 11 | 多賀5号 | 36 | 2 | 2 | |
| 12 | 久慈8号 | 36 | 2 | 2 | ○ |
| 13 | 武儀8号 | 36 | 2 | 2 | ○ |
| 14 | 南那珂5号 | 36 | 1 | 2 | ○ |
| 15 | 新治2号 | 36 | 2 | 2 | ○ |
| 16 | 上都賀1号 | 36 | 2 | 2 | ○ |
| 17 | 東白川10号 | 36 | 2 | 2 | ○ |
| 18 | 武儀4号 | 36 | 2 | 1 | ○ |
| 19 | 南会津5号 | 36 | 2 | 2 | |
| 20 | 石川署5号 | 36 | 2 | 1 | ○ |
| 21 | 大月1号 | 36 | 2 | 2 | |
| 22 | 今市2号 | 36 | 1 | 2 | ○ |

各苗木は1971年春、農林水産省林業試験場赤沼試験地苗畠で養苗し、1972年春同試験地内に次に述べるような配置で定植した。植栽密度を3段階（1.8m, 1.4m, 1.0mの正方形）にとり、2反復を設けたので6プロットとなった。以下、この密度別を低密度区、中密度区、高密度区と呼ぶ。各プロットの大きさは12行×11列であり、その中に22クローンの各6個体を単木混交で植栽した。各プロット内の個体配置は、同一クローンが隣接しないようにし、また、林縁に配置される個体が、特定クローンにかたよらないように留意した。また、このクローン別の個体配置は同一反復内の異密度区間は共通として、反復によって異なる配置とした。

定植後、13年を経過した1984年秋に、各プロットについて、林縁を除く個体の中から、クローンごと2個体ずつを伐採し、所用のデータを収集した。しかし、高密度区では、す

でに植栽後7年目より林分閉鎖により枯損個体が生じ始めており、試料の得られないクローンがあった。従って、低、中密度区については22クローンのデータについて、高密度区については16クローンのデータについて分析した。

測定形質は、樹高、1.2m位置直径（A）、3.2m位置直径（B）、枝張り、枝の長さ、枝の太さ、枝の角度、枝の数であるが、これら諸形質のデータは、直接分析に用いた場合と、2形質間の組合せで、違った特性を表現するように変換して用いた。以下に、測定方法と、データ変換について説明する。

樹高：伐倒後巻尺で測定。

幹の直径：1.2m位置直径（胸高直径）と3.2m位置直径を直径巻尺で測定。

完満度：胸高直径より、3.2m位置直径を差し引き、その値を2で除し、1m当りの直径減量値を求める。この減量値を全データについて求め、これを従属変数として、胸高直径を説明変数とした回帰式を求める。この回帰式から推定される個々のデータの推定値と、実測値（直径減量値）との差を胸高直径の大きさで修正された完満度とした。

枝下高：巻尺による測定。

枝張り：伐倒した状態で最大樹冠幅を巻尺で測定。

枝の長さ：上位3大枝の長さを巻尺で測定した3個のデータの平均値。

枝の太さ：上位3大枝について、各枝の付け根より、10cmの位置の直径をノギスで測定した3個のデータの平均値。

枝の角度：上位3大枝について、各枝の付け根から、幹と枝の両者の先端方向の30cm位置の点同士を結んだ弦の長さ（図1）を物差しで測定した3個のデータの平均値。

枝の数：最下部の枝から上部、1m範囲の枝の数。

各クローンの諸形質が植栽密度により、どのように変化したかについて分析した結果はすでに報告した¹⁾。従って、その他の事項について報告する。

各形質についての遺伝率、遺伝相関ともに密度別に求めた。遺伝率は、反復とクローンを要因とした2元分類の分散分析から求めた。遺伝相関は、この分散分析と、2形質をデータとした同じ要因の2元分類の共分散分析とにより求めた。その計算過程は次のとおりである。

形質xの2元分類の分散分析の平均平方の期待成分と、形質xと形質yについての2元分類の共分散分析の平均積和の期待成分は表2のとおりである。これらの分析から得られたクローン内個体分散（ σ_{ex^2} , σ_{ey^2} ），クローン間分散（ σ_{cx^2} , σ_{cy^2} ），クローン内個体共分散（cov（WxWy）），クローン間共分散（cov（CxCy））を用いて次のように形質xの遺伝率 h^2 ，形質xと形質yの遺伝相関（ $r_{gx,y}$ ），環境相関（ $r_{ex,y}$ ），表現型相関（ $r_{px,y}$ ）を求めた。

$$h^2 = \sigma_{cx^2} / (\sigma_{cx^2} + \sigma_{ex^2})$$

$$r_{gx,y} = \text{cov} (CxCy) / \sqrt{(\sigma_{cx^2} \cdot \sigma_{cy^2})}$$

$$r_{exy} = \text{cov}(WxW_y) / \sqrt{(\sigma_{ex}^2 \cdot \sigma_{ey}^2)}$$

$$r_{pxy} = \{ \text{cov}(CxCy) \cdot \text{cov}(WxW_y) \} / \sqrt{\sigma_{ex}^2 + \sigma_{ey}^2} \sqrt{\sigma_{cy}^2 + \sigma_{ey}^2}$$

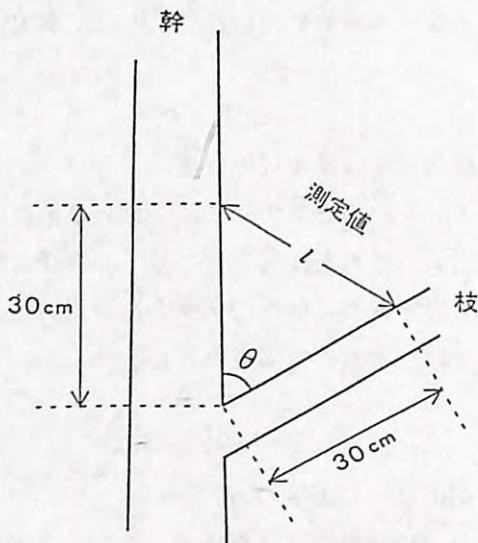


図1 枝の立ち上がり角度の表わし方

2) 結果

植栽密度ごとの形質別分散分析は表3～5に示すとおりであり、枝の数についてのクローン間差は、3密度区ともに有意性が認められず、その他、枝下高のクローン間差は高密区で有意性が認められなかった。このデータに関する限り、枝の数については、遺伝的寄与が低いものと判断されたので、遺伝相関等の分析には用いなかった。

植栽密度別に求めた各形質の遺伝率と形質相互の遺伝相関を表6～8に、環境相関を表9～11に、表現型相関を表12～14に示した。なお、遺伝相関の中で1よりわずかに大きい値が得られたが、1以上の値は理論上ありえないものとみなして解釈する。

各相関行列から2形質間の相関係数を全体的によみとることは煩雑なため、相関係数の大きさを図に示した。ただし、高密度区は一般的な林分より閉鎖の度合が高く、実際の林分への適用は低いと考えられるので、低、中密度区のみについて遺伝相関を図2と図3に、環境相関を図4と図5に、表現型相関を図6と図7にそれぞれ示した。

各形質の密度別の遺伝率は表6～8の最終列に示した。この各形質の遺伝率を通観すると、完満度の他は全ての形質で中密度区の遺伝率が大きく、この密度では最低でも完満度

の45.1%である。ついで、完満度と枝の角度を別として、低密度区の遺伝率が高密度区よりも大きい。

表3 低密度における幹と枝の諸形質についての分散分析

| 形質 | 要因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | 分散比 |
|------|------|-----|-----------|----------|----------|
| 樹高 | 反復 | 1 | 4524.6 | 4524.56 | 1.517 |
| | クローン | 21 | 1525043.1 | 72621.06 | 24.345** |
| | 誤差 | 65 | 193897.2 | 2983.03 | |
| | 全体 | 87 | 1723464.9 | | |
| 幹直径A | 反復 | 1 | 1.047 | 1.407 | 0.458 |
| | クローン | 21 | 585.790 | 27.895 | 12.197** |
| | 誤差 | 65 | 148.654 | 2.287 | |
| | 全体 | 87 | 735.491 | | |
| 幹直径B | 反復 | 1 | 0.045 | 0.045 | 0.030 |
| | クローン | 21 | 454.794 | 21.657 | 14.080** |
| | 誤差 | 65 | 99.978 | 1.538 | |
| | 全体 | 87 | 554.818 | | |
| 枝下高 | 反復 | 1 | 41368.9 | 41368.91 | 5.557* |
| | クローン | 21 | 527197.0 | 25104.61 | 3.372** |
| | 誤差 | 65 | 483913.6 | 7444.82 | |
| | 全体 | 87 | 1052479.5 | | |
| 完満度 | 反復 | 1 | 0.164 | 0.164 | 2.756 |
| | クローン | 21 | 4.566 | 0.217 | 3.652** |
| | 誤差 | 65 | 3.870 | 0.060 | |
| | 全体 | 87 | 8.600 | | |
| 枝張り | 反復 | 1 | 834.6 | 834.56 | 1.236 |
| | クローン | 21 | 56647.3 | 2697.49 | 3.996** |
| | 誤差 | 65 | 43875.2 | 675.00 | |
| | 全体 | 87 | 101357.1 | | |
| 枝の長さ | 反復 | 1 | 165.41 | 165.41 | 0.518 |
| | クローン | 21 | 37026.16 | 1763.15 | 5.520** |
| | 誤差 | 65 | 20762.74 | 319.43 | |
| | 全体 | 87 | 57954.31 | | |
| 枝の太さ | 反復 | 1 | 8.846 | 8.846 | 1.484 |
| | クローン | 21 | 738.815 | 35.182 | 5.903** |
| | 誤差 | 65 | 387.428 | 5.960 | |
| | 全体 | 87 | 1135.089 | | |
| 枝の角度 | 反復 | 1 | 31.548 | 31.548 | 3.929 |
| | クローン | 21 | 353.221 | 16.820 | 2.095* |
| | 誤差 | 65 | 521.978 | 8.030 | |
| | 全体 | 87 | 906.746 | | |
| 枝の数 | 反復 | 1 | 25.102 | 25.102 | 1.684 |
| | クローン | 21 | 329.193 | 15.676 | 1.051 |
| | 誤差 | 65 | 969.148 | 14.910 | |
| | 全体 | 87 | 1323.443 | | |

注) **: '危険率1%で有意、*: '危険率5%で有意

表4 中密度における幹と枝の諸形質についての分散分析

| 形質 | 要因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | 分散比 |
|------|------|-----|-----------|-----------|----------|
| 樹高 | 反復 | 1 | 450.0 | 450.01 | 0.178 |
| | クローン | 21 | 3317560.2 | 157879.00 | 62.363** |
| | 誤差 | 65 | 164658.7 | 2533.21 | |
| | 全体 | 87 | 3482669.0 | | |
| 幹直径A | 反復 | 1 | 2.946 | 2.946 | 1.966 |
| | クローン | 21 | 779.104 | 37.100 | 24.761** |
| | 誤差 | 65 | 97.390 | 1.498 | |
| | 全体 | 87 | 879.439 | | |
| 幹直径B | 反復 | 1 | 1.691 | 1.691 | 1.420 |
| | クローン | 21 | 703.572 | 33.503 | 28.123** |
| | 誤差 | 65 | 77.436 | 1.191 | |
| | 全体 | 87 | 782.700 | | |
| 枝下高 | 反復 | 1 | 4453.1 | 4453.13 | 0.855 |
| | クローン | 21 | 690460.0 | 32879.04 | 6.310** |
| | 誤差 | 65 | 338682.9 | 5210.50 | |
| | 全体 | 87 | 1033596.0 | | |
| 完満度 | 反復 | 1 | 0.043 | 0.043 | 1.437 |
| | クローン | 21 | 2.709 | 0.129 | 4.289** |
| | 誤差 | 65 | 1.955 | 0.030 | |
| | 全体 | 87 | 4.707 | | |
| 枝張り | 反復 | 1 | 5956.5 | 5956.54 | 13.522** |
| | クローン | 21 | 98853.5 | 4707.31 | 10.686** |
| | 誤差 | 65 | 28534.0 | 440.52 | |
| | 全体 | 87 | 133444.0 | | |
| 枝の長さ | 反復 | 1 | 2.80 | 2.80 | 0.017 |
| | クローン | 21 | 51710.85 | 2462.42 | 14.649** |
| | 誤差 | 65 | 10926.10 | 168.09 | |
| | 全体 | 87 | 62639.75 | | |
| 枝の太さ | 反復 | 1 | 15.759 | 15.759 | 4.525* |
| | クローン | 21 | 866.716 | 41.272 | 11.852** |
| | 誤差 | 65 | 226.354 | 3.482 | |
| | 全体 | 87 | 1108.829 | | |
| 枝の角度 | 反復 | 1 | 161.814 | 161.814 | 24.710** |
| | クローン | 21 | 800.775 | 38.132 | 5.823** |
| | 誤差 | 65 | 425.662 | 6.549 | |
| | 全体 | 87 | 1388.252 | | |
| 枝の数 | 反復 | 1 | 38.227 | 38.227 | 1.515 |
| | クローン | 21 | 507.591 | 24.171 | 0.958 |
| | 誤差 | 65 | 1639.773 | 25.227 | |
| | 全体 | 87 | 2185.591 | | |

注) **: '危険率1%で有意、*: '危険率5%で有意

表5 高密度における幹と枝の諸形質についての分散分析

| 形質 | 要因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | 分散比 |
|------|------|-----|----------|---------|---------|
| 樹高 | 反復 | 1 | 435.8 | 435.77 | 0.645 |
| | クローン | 15 | 39258.0 | 2617.20 | 3.874** |
| | 誤差 | 47 | 31751.0 | 675.55 | |
| | 全体 | 63 | 71444.7 | | |
| 枝張り | 反復 | 1 | 52.56 | 52.56 | 0.184 |
| | クローン | 15 | 16123.03 | 1074.87 | 3.761** |
| | 誤差 | 47 | 13433.08 | 285.81 | |
| | 全体 | 63 | 29608.67 | | |
| 枝の長さ | 反復 | 1 | 0.032 | 0.032 | 0.006 |
| | クローン | 15 | 359.547 | 23.970 | 4.856** |
| | 誤差 | 47 | 231.988 | 4.936 | |
| | 全体 | 63 | 591.567 | | |
| 枝の太さ | 反復 | 1 | 0.251 | 0.251 | 0.031 |
| | クローン | 15 | 306.982 | 20.465 | 2.563** |
| | 誤差 | 47 | 375.248 | 7.984 | |
| | 全体 | 63 | 682.481 | | |
| 枝の角度 | 反復 | 1 | 14.063 | 14.063 | 0.895 |
| | クローン | 15 | 408.500 | 27.233 | 1.733 |
| | 誤差 | 47 | 738.437 | 15.711 | |
| | 全体 | 63 | 1161.000 | | |

注) **: '危険率1%で有意、*: '危険率5%で有意

表6 低密度における幹と枝の諸形質間の遺伝相関

| 形質 | 樹高 | 幹直径A | 幹直径B | 枝下高 | 完満度 | 枝張り | 枝の長さ | 枝の太さ | 枝の角度 | 遺伝率(%) |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 樹高 | 1 | 0.904 | 0.913 | 0.905 | 0.602 | 0.758 | 0.854 | 0.865 | 0.668 | 85.37 |
| 幹直径A | 0.904 | 1 | 0.993 | 0.753 | 0.761 | 0.895 | 0.913 | 0.915 | 0.675 | 73.68 |
| 幹直径B | 0.913 | 0.993 | 1 | 0.721 | 0.681 | 0.899 | 0.934 | 0.943 | 0.725 | 76.58 |
| 枝下高 | 0.905 | 0.753 | 0.721 | 1 | 0.726 | 0.701 | 0.648 | 0.632 | 0.937 | 37.23 |
| 完満度 | 0.602 | 0.761 | 0.681 | 0.726 | 1 | 0.628 | 0.546 | 0.507 | 0.207 | 39.87 |
| 枝張り | 0.758 | 0.895 | 0.899 | 0.701 | 0.628 | 1 | 0.908 | 0.933 | 0.784 | 42.83 |
| 枝の長さ | 0.854 | 0.913 | 0.934 | 0.648 | 0.546 | 0.908 | 1 | 0.982 | 0.756 | 53.05 |
| 枝の太さ | 0.865 | 0.915 | 0.943 | 0.632 | 0.507 | 0.933 | 0.982 | 1 | 0.742 | 55.07 |
| 枝の角度 | 0.668 | 0.675 | 0.725 | 0.937 | 0.207 | 0.784 | 0.756 | 0.742 | 1 | 21.48 |
| 幹直径A:1.2m位置の幹直径,幹直径B:3.2m位置の幹直径 | | | | | | | | | | |

表7 中密度における幹と枝の諸形質間の遺伝相関

| 形質 | 樹高 | 幹直径A | 幹直径B | 枝下高 | 完満度 | 枝張り | 枝の長さ | 枝の太さ | 枝の角度 | 遺伝率(%) |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 樹高 | 1 | 0.944 | 0.958 | 0.863 | 0.3 | 0.913 | 0.871 | 0.872 | 0.863 | 93.88 |
| 幹直径A | 0.944 | 1 | 0.995 | 0.716 | 0.491 | 0.922 | 0.936 | 0.914 | 0.838 | 85.59 |
| 幹直径B | 0.958 | 0.995 | 1 | 0.751 | 0.405 | 0.939 | 0.938 | 0.923 | 0.866 | 87.15 |
| 枝下高 | 0.863 | 0.716 | 0.751 | 1 | 0.007 | 0.808 | 0.644 | 0.686 | 0.866 | 57.04 |
| 完満度 | 0.3 | 0.491 | 0.405 | 0.007 | 1 | 0.254 | 0.404 | 0.328 | 0.12 | 45.12 |
| 枝張り | 0.913 | 0.922 | 0.939 | 0.808 | 0.254 | 1 | 0.936 | 0.922 | 0.876 | 70.77 |
| 枝の長さ | 0.871 | 0.936 | 0.938 | 0.644 | 0.404 | 0.936 | 1 | 0.979 | 0.814 | 77.34 |
| 枝の太さ | 0.872 | 0.914 | 0.923 | 0.686 | 0.328 | 0.922 | 0.979 | 1 | 0.81 | 73.07 |
| 枝の角度 | 0.863 | 0.838 | 0.866 | 0.866 | 0.12 | 0.876 | 0.814 | 0.81 | 1 | 54.66 |
| 幹直径A:1.2m位置の幹直径,幹直径B:3.2m位置の幹直径 | | | | | | | | | | |

表8 高密度における幹と枝の諸形質間の遺伝相関

| 形質 | 樹高 | 幹直径A | 幹直径B | 枝下高 | 完満度 | 枝張り | 枝の長さ | 枝の太さ | 枝の角度 | 遺伝率(%) |
|---------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 樹高 | 1 | 0.822 | 0.884 | 1.126 | 0.089 | 0.745 | 0.869 | 0.881 | 0.539 | 43.22 |
| 幹直径A | 0.822 | 1 | 0.976 | 0.732 | 0.502 | 0.827 | 0.892 | 0.816 | 0.612 | 49.73 |
| 幹直径B | 0.884 | 0.976 | 1 | 0.878 | 0.302 | 0.899 | 0.927 | 0.874 | 0.691 | 48.63 |
| 枝下高 | 1.126 | 0.732 | 0.878 | 1 | -0.283 | 1.07 | 0.904 | 1.029 | 0.892 | 11.71 |
| 完満度 | 0.089 | 0.502 | 0.302 | -0.283 | 1 | 0.047 | 0.223 | 0.1 | -0.066 | 55.23 |
| 枝張り | 0.745 | 0.827 | 0.899 | 1.07 | 0.047 | 1 | 0.941 | 0.932 | 0.893 | 41.81 |
| 枝の長さ | 0.869 | 0.892 | 0.927 | 0.904 | 0.223 | 0.941 | 1 | 1.015 | 0.782 | 40.84 |
| 枝の太さ | 0.881 | 0.816 | 0.874 | 1.029 | 0.1 | 0.932 | 1.015 | 1 | 0.73 | 49.08 |
| 枝の角度 | 0.539 | 0.612 | 0.691 | 0.892 | -0.066 | 0.893 | 0.782 | 0.73 | 1 | 28.1 |
| 幹直径A:1.2m位置の幹直径,幹直径B:3.2m位置の幹直径 | | | | | | | | | | |

表9 低密度における幹と枝の諸形質間の環境相関

| 形質 | 樹高 | 幹直径A | 幹直径B | 枝下高 | 完満度 | 枝張り | 枝の長さ | 枝の太さ | 枝の角度 |
|---------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 樹高 | 1 | 0.682 | 0.707 | 0.005 | 0.317 | 0.375 | 0.384 | 0.358 | 0.306 |
| 幹直径A | 0.682 | 1 | 0.956 | -0.398 | 0.669 | 0.554 | 0.615 | 0.585 | 0.437 |
| 幹直径B | 0.707 | 0.956 | 1 | -0.337 | 0.422 | 0.537 | 0.615 | 0.592 | 0.409 |
| 枝下高 | 0.005 | -0.398 | -0.337 | 1 | -0.377 | -0.457 | -0.519 | -0.415 | -0.391 |
| 完満度 | 0.317 | 0.669 | 0.422 | -0.377 | 1 | 0.354 | 0.341 | 0.309 | 0.314 |
| 枝張り | 0.375 | 0.554 | 0.537 | -0.457 | 0.354 | 1 | 0.607 | 0.489 | 0.688 |
| 枝の長さ | 0.384 | 0.615 | 0.615 | -0.519 | 0.341 | 0.607 | 1 | 0.847 | 0.332 |
| 枝の太さ | 0.358 | 0.585 | 0.592 | -0.415 | 0.309 | 0.489 | 0.847 | 1 | 0.239 |
| 枝の角度 | 0.306 | 0.437 | 0.409 | -0.391 | 0.314 | 0.688 | 0.332 | 0.239 | 1 |
| 幹直径A:1.2m位置の幹直径,幹直径B:3.2m位置の幹直径 | | | | | | | | | |

表10 中密度における幹と枝の諸形質間の環境相関

| 形質 | 樹高 | 幹直径A | 幹直径B | 枝下高 | 完満度 | 枝張り | 枝の長さ | 枝の太さ | 枝の角度 |
|---------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 樹高 | 1 | 0.714 | 0.747 | 0.155 | 0.171 | 0.526 | 0.531 | 0.437 | 0.202 |
| 幹直径A | 0.714 | 1 | 0.962 | -0.213 | 0.503 | 0.616 | 0.683 | 0.687 | 0.344 |
| 幹直径B | 0.747 | 0.962 | 1 | -0.181 | 0.247 | 0.672 | 0.737 | 0.683 | 0.392 |
| 枝下高 | 0.155 | -0.213 | -0.181 | 1 | -0.184 | -0.275 | -0.262 | -0.324 | -0.331 |
| 完満度 | 0.171 | 0.503 | 0.247 | -0.184 | 1 | 0.061 | 0.091 | 0.274 | -0.021 |
| 枝張り | 0.526 | 0.616 | 0.672 | -0.275 | 0.061 | 1 | 0.504 | 0.493 | 0.529 |
| 枝の長さ | 0.531 | 0.683 | 0.737 | -0.262 | 0.091 | 0.504 | 1 | 0.877 | 0.292 |
| 枝の太さ | 0.437 | 0.687 | 0.683 | -0.324 | 0.274 | 0.493 | 0.877 | 1 | 0.223 |
| 枝の角度 | 0.202 | 0.344 | 0.392 | -0.331 | -0.021 | 0.529 | 0.292 | 0.223 | 1 |
| 幹直径A:1.2m位置の幹直径,幹直径B:3.2m位置の幹直径 | | | | | | | | | |

幹直径A:1.2m位置の幹直径,幹直径B:3.2m位置の幹直径

表11 高密度における幹と枝の諸形質間の環境相関

| 形質 | 樹高 | 幹直径A | 幹直径B | 枝下高 | 完満度 | 枝張り | 枝の長さ | 枝の太さ | 枝の角度 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 樹高 | 1 | 0.868 | 0.899 | -0.076 | 0.125 | 0.642 | 0.785 | 0.512 | 0.512 |
| 幹直径A | 0.868 | 1 | 0.98 | -0.266 | 0.444 | 0.69 | 0.718 | 0.819 | 0.584 |
| 幹直径B | 0.899 | 0.98 | 1 | -0.221 | 0.259 | 0.74 | 0.759 | 0.843 | 0.626 |
| 枝下高 | -0.076 | -0.266 | -0.221 | 1 | -0.299 | -0.144 | -0.204 | -0.234 | -0.155 |
| 完満度 | 0.125 | 0.444 | 0.259 | -0.299 | 1 | 0.016 | 0.07 | 0.182 | 0.012 |
| 枝張り | 0.642 | 0.69 | 0.74 | -0.144 | 0.016 | 1 | 0.714 | 0.688 | 0.654 |
| 枝の長さ | 0.785 | 0.718 | 0.759 | -0.204 | 0.07 | 0.714 | 1 | 0.873 | 0.5 |

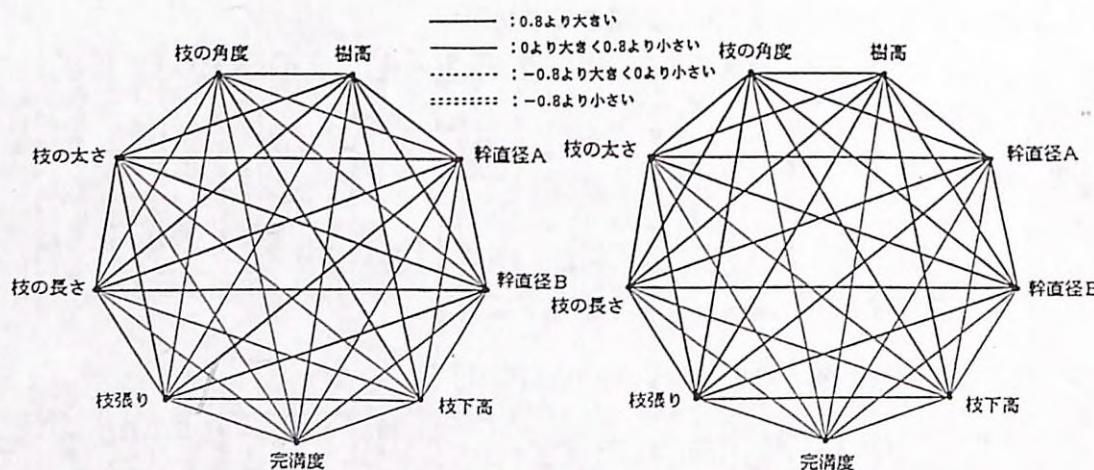


図2 低密度における幹と枝の諸形質間の遺伝相関 図3 中密度における幹と枝の諸形質間の遺伝相関

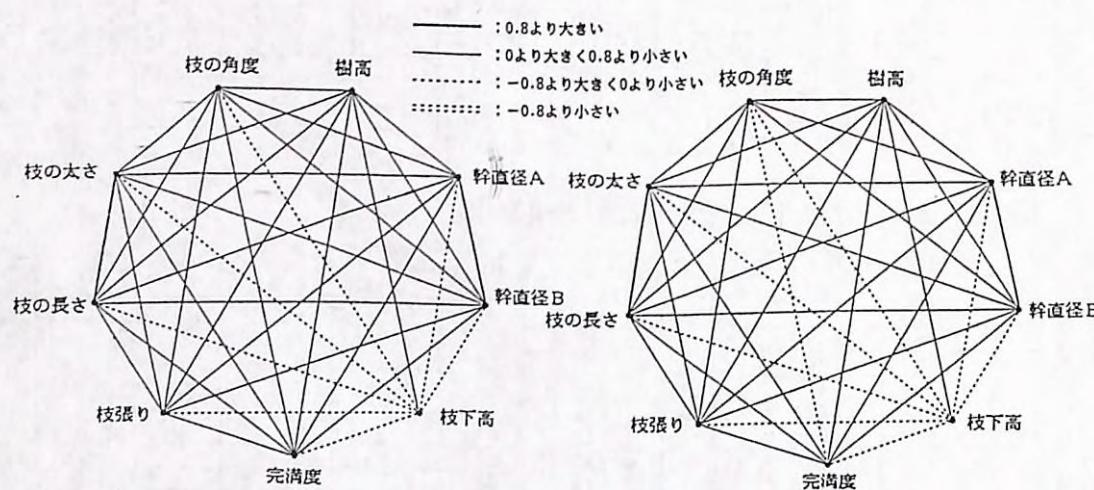


図4 低密度における幹と枝の諸形質間の環境相関 図5 中密度における幹と枝の諸形質間の環境相関

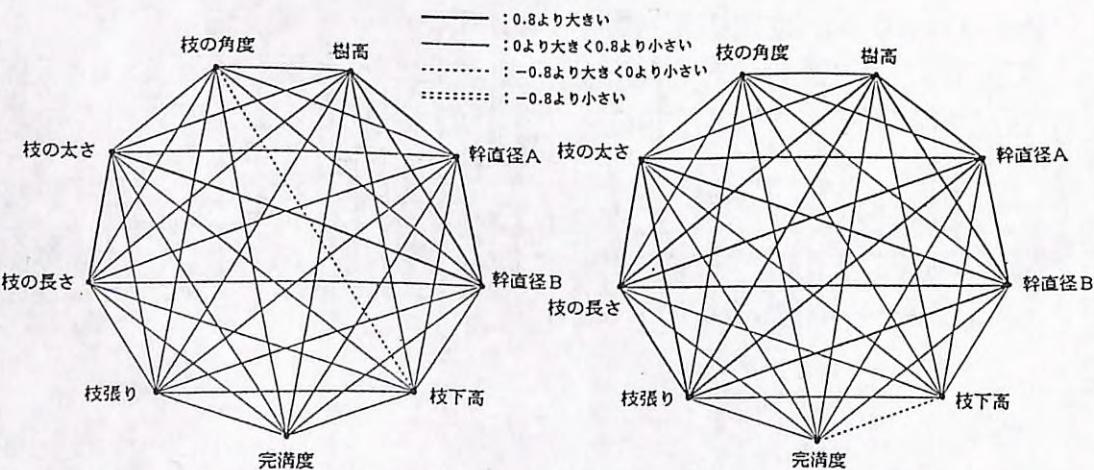


図6 低密度における幹と枝の諸形質間の表現型相関 図7 中密度における幹と枝の諸形質間の表現型相関

遺伝相関は、低密度区の完満度と枝の角度の値が、0.207と小さい他は0.5より大きい。中密度区では完満度とその他の形質の値が、全て0.5より小さい他は0.6より大きく、高密度区もこれと同様の傾向である。

環境相関は、枝下高と他の形質との相関が、低密度区の樹高を除いてマイナス値の傾向である。また、枝下高と完満度を除いた、その他の形質の相互間では、植栽密度の増加につれ大きくなる傾向であった。

なお、完満度と他の形質との遺伝相関と環境相関は植栽密度の増加にともない減少する傾向がみられた。

遺伝相関の値と、環境相関の値を比較すると、低、中密度区ではほとんどの形質で前者が大きく、高密度区では、この傾向は顕著でなかった。

表現型相関の値は、当然であるが、遺伝相関と環境相関の値がともに大きい場合は大きくなり、互いに小さい場合は小さくなる。また、遺伝相関と環境相関の値に差がある場合は、大半はその中間値となる。

3) 考察

幹と枝の諸形質における広義の遺伝率は大きく、選抜個体をクローン増殖することによる選抜効果の大きいことを示唆される。また、各形質の遺伝率は全て、中密度区における値が大きかった。この中密度区は林分閉鎖の直前であり、一般の造林地に近い林況であった。このことから、遺伝的特性は、疎開した林分でもなく、極端に閉鎖した林分でもなく通常の施業の中でもっとも大きく発現されるものと認識される。

この中密度区にしづり、遺伝相関をみると、低い値を示したものは、完満度と、他の形質との相関であった。同植栽区の環境相関は、完満度と、他の形質との相関及び、枝下高と、他の相関も低い値であった。

従って、完満度に関しての選抜は、成長形質とは無関係に実施でき、ついで枝下高についても、他の形質との関係を無視して選抜できると考えられる。ただし、枝下高は遺伝相関が高いので、クローン平均値でクローン選抜を行えば、他の形質も大きいクローンを選抜することになる。

なお、遺伝相関、環境相関、表現型相関ともにプラスで大きい値を示した幹と枝の太さに関する形質間では、幹が大きく、枝の小さい個体の選抜が困難であることを意味する。従って、この目的を達成するためには多くの個体を対象として選抜を実行する必要があることが示唆される。

2. 年輪構造に関する諸形質の遺伝率と遺伝相関

年輪構造の特徴を示す形質である最大密度と最小密度及び利用上の品質と関係が深い年輪幅、平均密度、早材密度、晚材密度、晚材率の各遺伝率と相互の遺伝相関、環境相関、

表現型相関を求め選抜効果についての情報を得た。

1) 材料及び方法

材料は幹と枝の諸形質を調査した個体とほとんど同一であるが、一部に材質の特性調査に不適当な個体があったので、その分だけをとりかえて分析した。

本試験は材質研究室との共同で行い、材質の分析を材質研究室で、集団遺伝研究室でデータ解析を行った。

調査形質は年輪幅、平均密度、最大密度、最小密度、早材幅、晩材幅、早材密度、晩材密度、晩材率である。また、これら形質と成長量との関係を明らかにするため樹高と胸高と直径についても調査した。なお、材質各形質の分析は1981年と1983年に形成された年輪について測定し求めた値の平均値について行った。

2) 結果

各形質においてクローリー特性がどのように変化するか、いわゆるクローリーと密度との交互作用を検定するための分散分析の結果は表15と表16のとおりである。

表15 材の年輪構造の諸形質に関する各要因の有意性 (22クローリー)

| 要 因 | 平均密度 | 最大密度 | 最小密度 | 早材密度 | 晩材密度 | 平均年輪幅 | 早材幅 | 晩材幅 | 晩材率 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 反復 | 0.00 | 0.75 | 0.00 | 0.00 | 1.37 | 3.13 | 1.97 | 10.82 | 0.00 |
| 密度(D) | 3.42 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.17 | 15.96* | 15.24 | 8.38 | 2.34 |
| 1次誤差 | 4.02** | 0.04 | 4.16** | 5.71** | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.73* | 1.97* |
| クローリー(C) | 49.61** | 49.83** | 40.98** | 45.04** | 29.34** | 48.41** | 48.72** | 36.27** | 44.97** |
| D×C | 2.55 | 1.74 | 2.08 | 4.00 | 7.31 | 5.88** | 5.87** | 1.04 | 1.22 |
| 2次誤差 | 0.00 | 0.62 | 1.89 | 1.09 | 2.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.24 |
| 3次誤差 | 40.41 | 47.02 | 50.84 | 44.15 | 58.95 | 26.61 | 28.21 | 42.75 | 47.27 |

注) **: 危険率1%で有意、*: 危険率5%で有意

表16 材の年輪構造の諸形質に関する各要因の有意性 (16クローリー)

| 要 因 | 平均密度 | 最大密度 | 最小密度 | 早材密度 | 晩材密度 | 平均年輪幅 | 早材幅 | 晩材幅 | 晩材率 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 反復 | 0.00 | 1.23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2.59 | 2.07 | 9.17 | 0.00 |
| 密度(D) | 26.70 | 0.00 | 11.34 | 15.42 | 0.00 | 44.15** | 42.43** | 15.64 | 25.91* |
| 1次誤差 | 1.68* | 0.70 | 1.47* | 2.58** | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 2.29** | 0.73 |
| クローリー(C) | 30.57** | 20.06** | 28.59** | 33.37** | 16.17** | 22.95** | 22.51** | 20.05** | 24.04** |
| D×C | 7.58** | 3.02 | 5.70** | 6.54** | 7.93 | 4.47** | 4.31** | 3.68* | 8.09* |
| 2次誤差 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3次誤差 | 33.48 | 74.99 | 52.90 | 42.09 | 72.66 | 25.74 | 28.68 | 49.18 | 41.24 |

注) **: 危険率1%で有意、*: 危険率5%で有意

クローリー間差は両表を通じて有意であり、その寄与率は大きい。密度の寄与率は、低、中密度区(表15)では、最大の寄与率でも年輪幅の15.96%と比較的に小さかった。しかし、

高密度区を含んだ場合(表16)は、年輪幅に関する形質と平均密度で大きい値となった。クローリーと密度の交互作用は、有意である形質も多かったが、その変動の寄与率はクローリーの寄与率に比較し極めて小さかった。

各形質についての分散分析の結果は表17~19に示すとおりであり、最大密度について高密度区で有意性が認められなかっただけであり、他は全て有意性が認められた。

表17 低密度における年輪構造の諸形質に関する分散分析

| 形 質 | 要 因 | 自由度 | 平 方 | 和 | 平均平方 | 分散比 |
|-------|-------|-----|----------|----------|----------|-----|
| 平均密度 | 反復 | 1 | 97555.7 | 97555.63 | 43.132** | |
| | クローリー | 21 | 273869.7 | 13041.41 | 5.766** | |
| | 誤差 | 65 | 147018.1 | 2261.82 | | |
| | 全 体 | 87 | 518443.5 | | | |
| 最大密度 | 反復 | 1 | 1325.3 | 1325.25 | 0.444 | |
| | クローリー | 21 | 319823.1 | 15229.67 | 5.105** | |
| | 誤差 | 65 | 193903.1 | 2983.12 | | |
| | 全 体 | 87 | 515051.4 | | | |
| 最小密度 | 反復 | 1 | 38451.8 | 38451.82 | 33.714** | |
| | クローリー | 21 | 100458.7 | 4783.75 | 4.194** | |
| | 誤差 | 65 | 74133.5 | 1140.52 | | |
| | 全 体 | 87 | 213044.0 | | | |
| 早材密度 | 反復 | 1 | 36080.6 | 36080.61 | 46.275** | |
| | クローリー | 21 | 106965.3 | 5093.58 | 6.533** | |
| | 誤差 | 65 | 50680.2 | 779.70 | | |
| | 全 体 | 87 | 193726.1 | | | |
| 晩材密度 | 反復 | 1 | 909.5 | 909.46 | 0.222 | |
| | クローリー | 21 | 195827.3 | 9325.11 | 2.275** | |
| | 誤差 | 65 | 266482.1 | 4099.72 | | |
| | 全 体 | 87 | 463218.9 | | | |
| 平均年輪幅 | 反復 | 1 | 51.592 | 51.592 | 64.316** | |
| | クローリー | 21 | 138.211 | 6.581 | 8.205** | |
| | 誤差 | 65 | 52.140 | 0.802 | | |
| | 全 体 | 87 | 241.943 | | | |
| 早材幅 | 反復 | 1 | 44.766 | 44.766 | 61.586** | |
| | クローリー | 21 | 116.288 | 5.538 | 7.618** | |
| | 誤差 | 65 | 47.248 | 0.727 | | |
| | 全 体 | 87 | 208.302 | | | |
| 晩材幅 | 反復 | 1 | 0.263 | 0.263 | 19.941** | |
| | クローリー | 21 | 1.949 | 0.093 | 7.026** | |
| | 誤差 | 65 | 0.859 | 0.013 | | |
| | 全 体 | 87 | 3.072 | | | |
| 晩材率 | 反復 | 1 | 868.147 | 868.147 | 21.578** | |
| | クローリー | 21 | 3633.150 | 173.007 | 4.300** | |
| | 誤差 | 65 | 2615.196 | 40.234 | | |
| | 全 体 | 87 | 7116.492 | | | |

注) **: 1%危険率で有意、*: 5%危険率で有意

表18 中密度における年輪構造の諸形質についての分散分析

| 形 質 | 要 因 | 自由度 | 平 方 | 和 | 平均平方 | 分散比 |
|-------|-------|-----|----------|----------|----------|-----|
| 平均密度 | 反復 | 1 | 2110.1 | 2110.14 | 1.238 | |
| | クローリー | 21 | 206172.8 | 9817.75 | 5.762** | |
| | 誤差 | 65 | 110760.4 | 1704.01 | | |
| | 全 体 | 87 | 319043.3 | | | |
| 最大密度 | 反復 | 1 | 2150.3 | 2150.28 | 0.703 | |
| | クローリー | 21 | 336282.6 | 16013.46 | 5.236** | |
| | 誤差 | 65 | 198801.0 | 3058.48 | | |
| | 全 体 | 87 | 537233.9 | | | |
| 最小密度 | 反復 | 1 | 0.2 | 0.18 | 0.000 | |
| | クローリー | 21 | 136611.6 | 6505.31 | 5.372** | |
| | 誤差 | 65 | 78719.7 | 1211.07 | | |
| | 全 体 | 87 | 215331.4 | | | |
| 早材密度 | 反復 | 1 | 432.4 | 432.369 | 0.374 | |
| | クローリー | 21 | 104713.3 | 4986.344 | 4.309** | |
| | 誤差 | 65 | 75210.1 | 1157.078 | | |
| | 全 体 | 87 | 180355.8 | | | |
| 晩材密度 | 反復 | 1 | 3653.3 | 3653.28 | 2.200 | |
| | クローリー | 21 | 116965.3 | 5569.77 | 3.354** | |
| | 誤差 | 65 | 107933.8 | 1660.52 | | |
| | 全 体 | 87 | 228552.4 | | | |
| 平均年輪幅 | 反復 | 1 | 46.633 | 46.633 | 26.066** | |
| | クローリー | 21 | 183.861 | 8.755 | 4.894** | |
| | 誤差 | 65 | 116.286 | 1.789 | | |
| | 全 体 | 87 | 346.780 | | | |
| 早材幅 | 反復 | 1 | 33.493 | 33.493 | 22.041** | |
| | クローリー | 21 | 154.006 | 7.334 | 4.826** | |
| | 誤差 | 65 | 98.773 | 1.520 | | |
| | 全 体 | 87 | 286.273 | | | |
| 晩材幅 | 反復 | 1 | 0.990 | 0.990 | 21.057** | |
| | クローリー | 21 | 3.605 | 0.172 | 3.351** | |
| | 誤差 | 65 | 3.057 | 0.047 | | |
| | 全 体 | 87 | 7.652 | | | |
| 晩材率 | 反復 | 1 | 27.029 | 27.029 | 0.782 | |
| | クローリー | 21 | 3563.564 | 169.694 | 4.911** | |
| | 誤差 | 65 | 2246.223 | 34.557 | | |
| | 全 体 | 87 | 5836.816 | | | |

注) **: 1%危険率で有意、*: 5%危険率で有意

植栽密度別に求めた各形質の遺伝率と形質相互の遺伝相関を表20~22に、環境相関を表23~25に、表現型相関を表26~28に示した。なお、遺伝相関の中で1よりわずかに大きい値が得られたが、1以上の値は理論上、ありえないもので、標本抽出誤差によるものであるから1と解釈すべきである。各相関行列から2形質間

他密度より小さいが、これは成長にかかる形質の場合、高密度では弱小クローンが欠測となりクローン間差が小さくなつたためである。そこで、低、中密度区に注目すると、殆どの形質で40%以上であり、小さい値は晩材密度で37.05%である。

この低、中密度を通じて遺伝相関が0.9以上と、大きいのは年輪幅と早材幅、平均密度と晩材率、最大密度と晩材密度、最小密度と早材密度である。

低、中密度区の環境相関(表23~25)で、0.9以上と、大きいのは年輪幅と早材幅である。

遺伝相関と環境相関がともに大きく、従って表現型相関の大きいのは、図8から図13を通覧すれば明らかのように早材密度と最小密度の関係、また、平均年輪幅と早材幅の関係、平均密度と早材密度及び晩材率との関係である。

3) 考察

年輪構造に関する諸形質の広義の遺伝率は、選抜育種により、良質材を得ることが示唆される大きな値であった。形質相互間の遺伝相関、環境相関の大きさに関し、次のように説明することができる。

遺伝相関も環境相関も大きい2形質では、表現型相関も大きいので、いずれか一方の形質で大きい個体を選抜すれば、一方の形質も大きくなる。従って、一方の形質で代用できることが考えられる。年輪幅と早材幅、早材密度と最小密度、平均密度と早材密度、平均密度と晩材率がこれに相当する。

遺伝相関が大きく、環境相関の小さい2形質間の場合に、一方の形質のクローン平均値に基づき大きいクローンを選抜すれば、他方の形質も大きいクローンを選抜できることになる。このような関係にある形質は図8から図11を通覧すれば明らかのように晩材幅と晩材密度である。

表19 高密度における年輪構造の諸形質についての分散分析

| 形質 | 要因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | 分散比 |
|-------|------|-----|----------|----------|---------|
| 平均密度 | 反復 | 1 | 907.5 | 907.52 | 0.323 |
| | クローン | 15 | 316941.3 | 21129.41 | 7.524** |
| | 誤差 | 47 | 131993.7 | 2808.38 | |
| | 全休 | 63 | 449842.5 | | |
| 最大密度 | 反復 | 1 | 446.3 | 446.27 | 0.074 |
| | クローン | 15 | 142879.5 | 9525.30 | 1.584 |
| | 誤差 | 47 | 282570.2 | 6012.13 | |
| | 全休 | 63 | 425896.0 | | |
| 最小密度 | 反復 | 1 | 260.0 | 260.02 | 0.123 |
| | クローン | 15 | 150421.9 | 10028.33 | 4.753** |
| | 誤差 | 47 | 99173.0 | 2110.06 | |
| | 全休 | 63 | 249857.9 | | |
| 早材密度 | 反復 | 1 | 74.1 | 74.07 | 0.057 |
| | クローン | 15 | 118099.6 | 7873.31 | 6.103** |
| | 誤差 | 47 | 60632.4 | 1290.05 | |
| | 全休 | 63 | 178806.1 | | |
| 晩材密度 | 反復 | 1 | 2531.3 | 2531.35 | 1.160 |
| | クローン | 15 | 84850.5 | 5656.70 | 2.593** |
| | 誤差 | 47 | 102543.0 | 2181.77 | |
| | 全休 | 63 | 189924.8 | | |
| 平均年輪幅 | 反復 | 1 | 1.671 | 1.671 | 1.978 |
| | クローン | 15 | 66.993 | 4.466 | 5.289** |
| | 誤差 | 47 | 39.690 | 0.814 | |
| | 全休 | 63 | 108.354 | | |
| 早材幅 | 反復 | 1 | 2.288 | 2.288 | 2.589 |
| | クローン | 15 | 53.841 | 3.589 | 4.062** |
| | 誤差 | 47 | 41.532 | 0.884 | |
| | 全休 | 63 | 97.661 | | |
| 晩材幅 | 反復 | 1 | 0.071 | 0.071 | 2.917 |
| | クローン | 15 | 1.016 | 0.068 | 2.787** |
| | 誤差 | 47 | 1.142 | 0.024 | |
| | 全休 | 63 | 2.229 | | |
| 晩材率 | 反復 | 1 | 65.367 | 65.367 | 0.935 |
| | クローン | 15 | 5584.185 | 372.279 | 5.323** |
| | 誤差 | 47 | 3287.308 | 69.943 | |
| | 全休 | 63 | 8936.859 | | |

注) **: 1%危険率で有意、*: 5%危険率で有意

表20 低密度における年輪構造の諸形質間の遺伝相関

| 形質 | 平均密度 | 最大密度 | 最小密度 | 早材密度 | 晩材密度 | 平均年輪幅 | 早材幅 | 晩材幅 | 晩材率 | 樹高 | 胸高直径 | 遺伝率(%) |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均密度 | 0 | 0.096 | 0.924 | 0.967 | -0.009 | -0.74 | -0.788 | -0.208 | 0.944 | -0.644 | -0.758 | 54.37 |
| 最大密度 | 0.096 | 0 | 0.133 | 0.041 | 0.955 | 0.496 | 0.447 | 0.759 | -0.117 | 0.684 | 0.459 | 50.65 |
| 最小密度 | 0.924 | 0.133 | 0 | 0.991 | -0.011 | -0.695 | -0.733 | -0.236 | 0.77 | -0.664 | -0.751 | 44.4 |
| 早材密度 | 0.967 | 0.041 | 0.991 | 0 | -0.094 | -0.763 | -0.802 | -0.276 | 0.851 | -0.683 | -0.768 | 58.04 |
| 晩材密度 | -0.009 | 0.955 | -0.011 | -0.094 | 0 | 0.597 | 0.54 | 0.88 | -0.188 | 0.752 | 0.577 | 24.16 |
| 平均年輪幅 | -0.74 | 0.496 | -0.695 | -0.763 | 0.597 | 0 | 0.997 | 0.814 | -0.801 | 0.93 | 0.965 | 64.3 |
| 早材幅 | -0.788 | 0.447 | -0.733 | -0.802 | 0.54 | 0.997 | 0 | 0.766 | -0.841 | 0.918 | 0.962 | 62.33 |
| 晩材幅 | -0.208 | 0.759 | -0.236 | -0.276 | 0.88 | 0.814 | 0.766 | 0 | -0.334 | 0.812 | 0.765 | 60.11 |
| 晩材率 | 0.944 | -0.117 | 0.77 | 0.861 | -0.188 | -0.801 | -0.841 | -0.334 | 0 | -0.746 | -0.826 | 45.21 |
| 樹高 | -0.644 | 0.684 | -0.664 | -0.683 | 0.752 | 0.93 | 0.918 | 0.812 | -0.746 | 0 | 0.925 | 86.37 |
| 胸高直径 | -0.758 | 0.459 | -0.751 | -0.766 | 0.577 | 0.965 | 0.962 | 0.765 | -0.826 | 0.925 | 0 | 79.97 |

表21 中密度における年輪構造の諸形質間の遺伝相関

| 形質 | 平均密度 | 最大密度 | 最小密度 | 早材密度 | 晩材密度 | 平均年輪幅 | 早材幅 | 晩材幅 | 晩材率 | 樹高 | 胸高直径 | 遺伝率(%) |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均密度 | 0 | -0.278 | 0.82 | 0.847 | -0.622 | -0.789 | -0.841 | -0.154 | 0.929 | -0.682 | -0.842 | 54.35 |
| 最大密度 | -0.278 | 0 | -0.371 | -0.389 | 0.959 | 0.765 | 0.702 | 0.94 | -0.328 | 0.88 | 0.705 | 51.43 |
| 最小密度 | 0.82 | -0.371 | 0 | 1.001 | -0.602 | -0.628 | -0.636 | -0.376 | 0.577 | -0.61 | -0.692 | 52.22 |
| 早材密度 | 0.847 | -0.389 | 1.001 | 0 | -0.654 | -0.697 | -0.713 | -0.366 | 0.611 | -0.675 | -0.762 | 45.28 |
| 晩材密度 | -0.622 | 0.959 | -0.602 | -0.654 | 0 | 0.933 | 0.899 | 0.844 | -0.644 | 0.996 | 0.893 | 37.05 |
| 平均年輪幅 | -0.789 | 0.765 | -0.628 | -0.697 | 0.933 | 0 | 0.995 | 0.681 | -0.777 | 0.991 | 1.038 | 49.33 |
| 早材幅 | -0.841 | 0.702 | -0.636 | -0.713 | 0.899 | 0.995 | 0 | 0.602 | -0.835 | 0.965 | 1.038 | 48.89 |
| 晩材幅 | -0.154 | 0.94 | -0.376 | -0.366 | 0.844 | 0.681 | 0.602 | 0 | -0.091 | 0.83 | 0.674 | 39.86 |
| 晩材率 | 0.929 | -0.328 | 0.577 | 0.611 | -0.644 | -0.777 | -0.835 | -0.274 | 0 | -0.735 | -0.854 | 49.43 |
| 樹高 | -0.682 | 0.86 | -0.61 | -0.675 | 0.996 | 0.991 | 0.965 | 0.83 | -0.735 | 0 | 0.936 | 86.39 |
| 胸高直径 | -0.842 | 0.705 | -0.692 | -0.762 | 0.893 | 1.038 | 1.038 | 0.674 | -0.854 | 0.936 | 0 | 75.17 |

表22 高密度における年輪構造の諸形質間の遺伝相関

| 形質 | 平均密度 | 最大密度 | 最小密度 | 早材密度 | 晩材密度 | 平均年輪幅 | 早材幅 | 晩材幅 | 晩材率 | 樹高 | 胸高直径 | 遺伝率(%) |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均密度 | 0 | -0.035 | 0.871 | 0.933 | -0.275 | -0.838 | -0.82 | -0.28 | 0.98 | -0.577 | -0.656 | 61.99 |
| 最大密度 | -0.035 | 0 | 0.136 | -0.004 | 0.92 | 0.761 | 0.734 | 1.169 | -0.093 | 1.009 | 0.63 | 12.75 |
| 最小密度 | 0.871 | 0.136 | 0 | 0.993 | -0.295 | -0.724 | -0.764 | -0.441 | 0.766 | -0.538 | -0.664 | 48.4 |
| 早材密度 | 0.933 | -0.004 | 0.993 | 0 | -0.359 | -0.8 | -0.816 | -0.457 | 0.86 | -0.583 | -0.708 | 56.06 |
| 晩材密度 | -0.275 | 0.92 | -0.295 | -0.359 | 0 | 0.806 | 0.834 | 1.063 | -0.341 | 0.892 | 0.781 | 28.48 |
| 平均年輪幅 | -0.838 | 0.761 | -0.724 | -0.8 | 0.806 | 0 | 1.007 | 0.642 | -0.875 | 0.883 | 0.808 | 51.74 |
| 早材幅 | -0.82 | 0.734 | -0.764 | -0.816 | 0.834 | 1.007 | 0 | 0.636 | -0.851 | 0.949 | 0.847 | 43.36 |
| 晩材幅 | -0.28 | 1.169 | -0.441 | -0.457 | 1.063 | 0.642 | 0.63 | | | | | |

表25 高密度における年輪構造の諸形質間の環境相関

| 形質 | 平均密度 | 最大密度 | 最小密度 | 早材密度 | 晩材密度 | 平均年輪 | 早材幅 | 晩材幅 | 晩材率 | 樹高 | 胸高直径 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均密度 | 0 | 0.022 | 0.786 | 0.783 | -0.068 | -0.617 | -0.604 | -0.25 | 0.894 | -0.625 | -0.635 |
| 最大密度 | 0.022 | 0 | -0.148 | -0.15 | 0.918 | 0.257 | 0.265 | 0.278 | -0.234 | 0.327 | 0.271 |
| 最小密度 | 0.786 | -0.148 | 0 | 0.947 | -0.234 | -0.409 | -0.412 | -0.225 | 0.628 | -0.543 | -0.431 |
| 早材密度 | 0.783 | -0.15 | 0.947 | 0 | -0.267 | -0.454 | -0.453 | -0.283 | 0.584 | -0.544 | -0.476 |
| 晩材密度 | -0.058 | 0.918 | -0.234 | -0.267 | 0 | 0.321 | 0.331 | 0.267 | -0.259 | 0.41 | 0.37 |
| 平均年輪幅 | -0.617 | 0.257 | -0.409 | -0.454 | 0.321 | 0 | 0.908 | 0.767 | -0.622 | 0.703 | 0.885 |
| 早材幅 | -0.604 | 0.265 | -0.412 | -0.453 | 0.331 | 0.908 | 0 | 0.681 | -0.608 | 0.633 | 0.819 |
| 晩材幅 | -0.25 | 0.278 | -0.225 | -0.283 | 0.267 | 0.767 | 0.681 | 0 | -0.226 | 0.52 | 0.624 |
| 晩材率 | 0.894 | -0.234 | 0.628 | 0.584 | -0.259 | -0.622 | -0.608 | -0.226 | 0 | -0.629 | -0.639 |
| 樹高 | -0.625 | 0.327 | -0.543 | -0.544 | 0.41 | 0.703 | 0.633 | 0.52 | -0.629 | 0 | 0.868 |
| 胸高直径 | -0.635 | 0.271 | -0.431 | -0.476 | 0.37 | 0.885 | 0.819 | 0.624 | -0.639 | 0.868 | 0 |

表26 低密度における年輪構造の諸形質間の表現型相関

| 形質 | 平均密度 | 最大密度 | 最小密度 | 早材密度 | 晩材密度 | 平均年輪 | 早材幅 | 晩材幅 | 晩材率 | 樹高 | 胸高直径 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均密度 | 0 | 0.137 | 0.861 | 0.91 | 0.006 | -0.68 | -0.73 | -0.043 | 0.923 | -0.497 | -0.594 |
| 最大密度 | 0.137 | 0 | 0.045 | 0.006 | 0.771 | 0.321 | 0.265 | 0.612 | -0.002 | 0.488 | 0.3 |
| 最小密度 | 0.861 | 0.045 | 0 | 0.947 | -0.091 | -0.576 | -0.606 | -0.114 | 0.678 | -0.471 | -0.534 |
| 早材密度 | 0.91 | 0.006 | 0.947 | 0 | -0.143 | -0.654 | -0.682 | -0.185 | 0.728 | -0.542 | -0.606 |
| 晩材密度 | 0.006 | 0.771 | -0.091 | -0.143 | 0 | 0.288 | 0.251 | 0.455 | -0.085 | 0.388 | 0.244 |
| 平均年輪幅 | -0.68 | 0.321 | -0.576 | -0.654 | 0.288 | 0 | 0.995 | 0.648 | -0.675 | 0.731 | 0.814 |
| 早材幅 | -0.73 | 0.265 | -0.606 | -0.682 | 0.251 | 0.995 | 0 | 0.569 | -0.721 | 0.712 | 0.805 |
| 晩材幅 | -0.043 | 0.612 | -0.114 | -0.185 | 0.455 | 0.648 | 0 | -0.067 | 0.598 | 0.575 | 0.575 |
| 晩材率 | 0.923 | -0.002 | 0.678 | 0.728 | -0.085 | -0.675 | -0.721 | -0.067 | 0 | -0.519 | -0.571 |
| 樹高 | -0.497 | 0.488 | -0.471 | -0.542 | 0.388 | 0.731 | 0.712 | 0.598 | -0.519 | 0 | 0.89 |
| 胸高直径 | -0.594 | 0.3 | -0.534 | -0.606 | 0.244 | 0.814 | 0.805 | 0.575 | -0.571 | 0.89 | 0 |

表27 中密度における年輪構造の諸形質間の表現型相関

| 形質 | 平均密度 | 最大密度 | 最小密度 | 早材密度 | 晩材密度 | 平均年輪 | 早材幅 | 晩材幅 | 晩材率 | 樹高 | 胸高直径 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均密度 | 0 | -0.053 | 0.788 | 0.821 | -0.246 | -0.699 | -0.748 | -0.079 | 0.869 | -0.469 | -0.632 |
| 最大密度 | -0.053 | 0 | -0.161 | -0.153 | 0.826 | 0.342 | 0.305 | 0.42 | -0.143 | 0.599 | 0.435 |
| 最小密度 | 0.788 | -0.161 | 0 | 0.903 | -0.25 | -0.562 | -0.563 | -0.318 | 0.492 | -0.44 | -0.56 |
| 早材密度 | 0.821 | -0.153 | 0.903 | 0 | -0.274 | -0.563 | -0.573 | -0.267 | 0.556 | -0.417 | -0.539 |
| 晩材密度 | -0.246 | 0.826 | -0.25 | -0.274 | 0 | 0.376 | 0.385 | 0.169 | -0.378 | 0.594 | 0.475 |
| 平均年輪幅 | -0.699 | 0.342 | -0.562 | -0.563 | 0.376 | 0 | 0.991 | 0.597 | -0.666 | 0.703 | 0.839 |
| 早材幅 | -0.748 | 0.305 | -0.563 | -0.573 | 0.385 | 0.991 | 0 | 0.489 | -0.731 | 0.676 | 0.829 |
| 晩材幅 | -0.079 | 0.42 | -0.318 | -0.267 | 0.169 | 0.597 | 0.489 | 0 | 0.032 | 0.562 | 0.532 |
| 晩材率 | 0.869 | -0.143 | 0.492 | 0.556 | -0.378 | -0.666 | -0.731 | 0.032 | 0 | -0.473 | -0.596 |
| 樹高 | -0.469 | 0.599 | -0.44 | -0.417 | 0.594 | 0.703 | 0.676 | 0.562 | -0.473 | 0 | 0.88 |
| 胸高直径 | -0.632 | 0.435 | -0.56 | -0.539 | 0.475 | 0.839 | 0.829 | 0.532 | -0.596 | 0.88 | 0 |

表28 高密度における年輪構造の諸形質間の表現型相関

| 形質 | 平均密度 | 最大密度 | 最小密度 | 早材密度 | 晩材密度 | 平均年輪 | 早材幅 | 晩材幅 | 晩材率 | 樹高 | 胸高直径 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均密度 | 0 | 0.003 | 0.825 | 0.87 | -0.151 | -0.739 | -0.706 | -0.25 | 0.938 | -0.594 | -0.642 |
| 最大密度 | 0.003 | 0 | -0.066 | -0.094 | 0.9 | 0.362 | 0.359 | 0.448 | -0.175 | 0.471 | 0.338 |
| 最小密度 | 0.825 | -0.066 | 0 | 0.968 | -0.251 | -0.566 | -0.573 | -0.305 | 0.697 | -0.541 | -0.545 |
| 早材密度 | 0.87 | -0.094 | 0.968 | 0 | -0.293 | -0.64 | -0.628 | -0.346 | 0.732 | -0.563 | -0.597 |
| 晩材密度 | -0.151 | 0.9 | -0.251 | -0.293 | 0 | 0.498 | 0.504 | 0.503 | -0.283 | 0.581 | 0.516 |
| 平均年輪幅 | -0.739 | 0.362 | -0.566 | -0.64 | 0.498 | 0 | 0.952 | 0.7 | -0.753 | 0.794 | 0.846 |
| 早材幅 | -0.706 | 0.359 | -0.573 | -0.628 | 0.504 | 0.952 | 0 | 0.659 | -0.721 | 0.778 | 0.83 |
| 晩材幅 | -0.25 | 0.448 | -0.305 | -0.346 | 0.503 | 0.7 | 0.659 | 0 | -0.24 | 0.595 | 0.614 |
| 晩材率 | 0.938 | -0.175 | 0.697 | 0.732 | -0.283 | -0.753 | -0.721 | -0.24 | 0 | -0.627 | -0.657 |
| 樹高 | -0.594 | 0.471 | -0.541 | -0.563 | 0.581 | 0.794 | 0.778 | 0.595 | -0.627 | 0 | 0.845 |
| 胸高直径 | -0.642 | 0.338 | -0.545 | -0.597 | 0.516 | 0.846 | 0.83 | 0.614 | -0.657 | 0.845 | 0 |

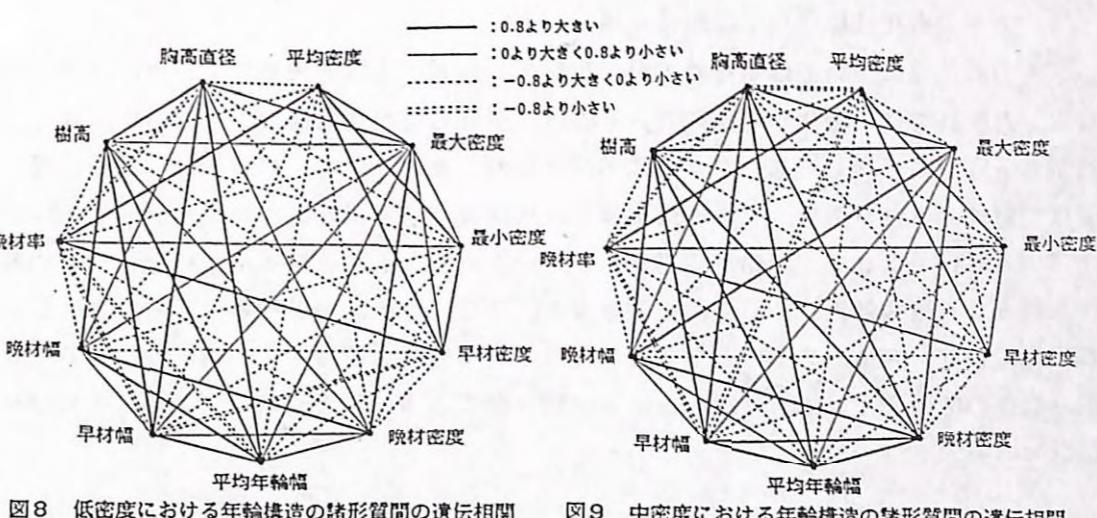


図8 低密度における年輪構造の諸形質間の遺伝相関

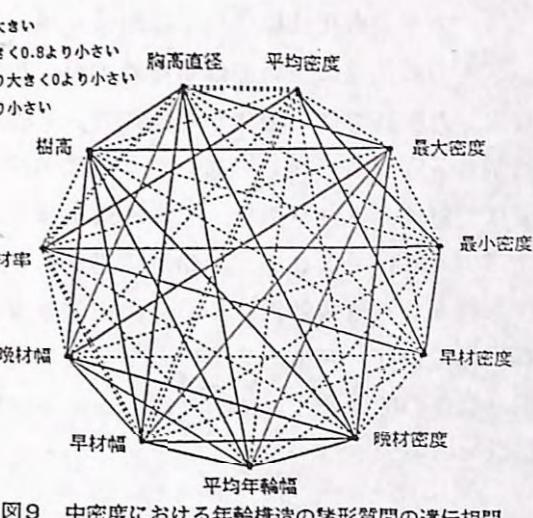


図9 中密度における年輪構造の諸形質間の遺伝相関

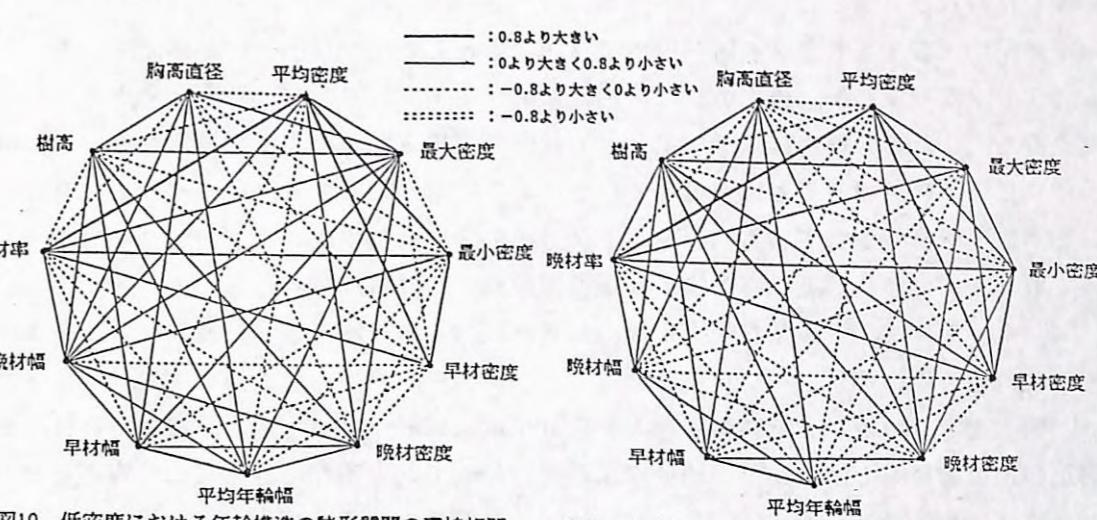


図10 低密度における年輪構造の諸形質間の環境相関

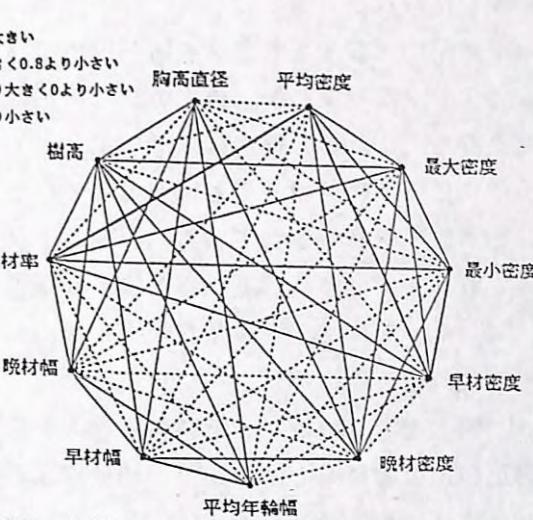


図11 中密度における年輪構造の諸形質間の環境相関

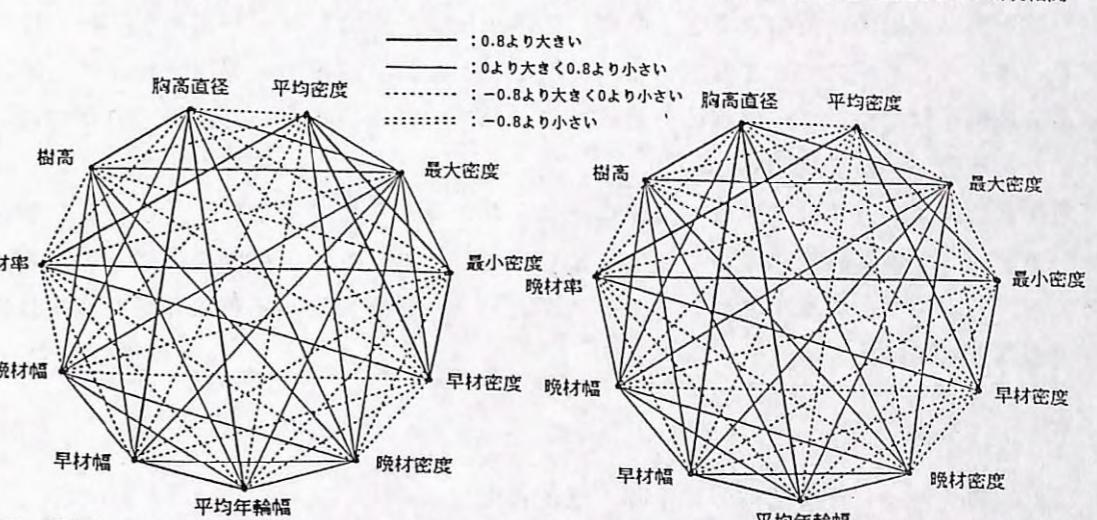


図12 低密度における年輪構造の諸形質間の表現型相関

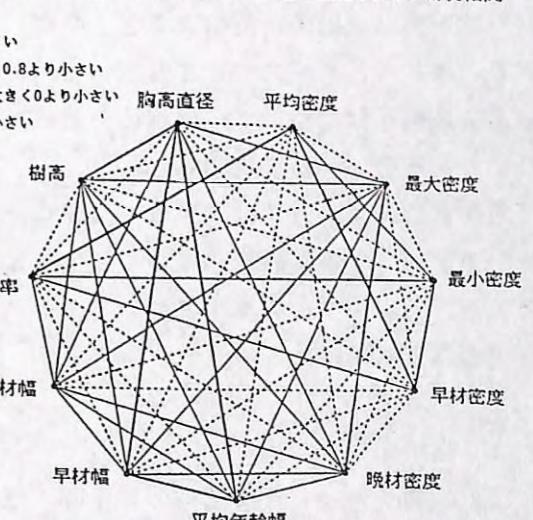


図13 中密度における年輪構造の諸形質間の表現型相関

3. スギの着花性についての選抜効果

スギの着花性については雄花着生量が花粉アレルギーで問題視されている。球果の沢山着生した樹高の低い個体から採取したものは、子守しながらも採取できるので、諺で、古くから子守ダネと称し、悪いタネの代名詞とされてきた。一方、精英樹は、成長の優良な個体が対象とされたので、タネの着生量とは無関係である。前者の材料が必ずしも植栽されているわけではないが、精英樹系統の検定林を対象として、精英樹系統と地スギの着花性を調査し、選抜効果についての情報を得た。また、今後、精英樹系統から、さらに雄花着生量の少ない育種のめやすとなる遺伝率についても検討した。この他、雌雄花着生量と樹高成長の関係についても検討した。本試験に関する現地調査や取りまとめは千葉県林業試験場の協力を得て行った。

1) 材料及び方法

千葉県内に設定されたスギ精英樹検定林を対象として、クローン検定林は関・千・1号からデータを収集した。実生の次代検定林は関・千・2号と、関・千・6号を調査しデータを得た。これらの検定林には、主として県内で選抜された精英樹が植栽されているが、一部に近県の精英樹系統も植栽されている。また、対照として在来種が植栽されたり、地元の地スギが植栽されている。なお、千葉県産のスギ精英樹は、実生の地スギの中から選抜されたものであり、それらの家系は採種園産種子から育成されたものである。

関・千・1号は、千葉県富津市鬼沼山県有林に1970年に設定され、植栽材料は千葉県選出のスギ精英樹の15サシキクローンの他、サンブスギ、クモトオシ及び実生の地スギである。関・千・2号は、千葉県夷隅郡大多喜町平沢に1983年に設定され、植栽材料は千葉県選出の精英樹家系と近県選出の精英樹家系を合わせて26家系が、在来種の3家系と地スギと一緒に植栽されている。関・千・6号は、千葉県鴨川市東条に1986年に設定され、植栽材料は千葉県選出の精英樹家系と近県選出の精英樹家系を合わせて37家系が、在来種の2家系と地スギと一緒に植栽されている。各検定林とともに3反復の乱塊法で設計されている。以上の3検定林について、雌雄花の着生量について、諸調査を行った。得られた情報も多岐にわたるので、順次説明する。

着花量の調査の方法は、無着生個体0、わずかに着花している個体1、中程度に着花している個体2、多く着花している個体3として行った。また、反復別系統ごとの無着生個体に対する着生個体の比率についてもデータとした。以下に述べる雌雄花量、球果量についての調査も同様である。

2) 結果

(1) 関・千・1号検定林の2年間の雄花着生

関・千・1号の雄花着生量を林令21年生時である1991年と、1年後の1992年に調査し

た。反復ごと系統別に得られた雄花着生率を、系統別に平均した結果は表29のとおりである。地スギと精英樹クローンの着生量を比較すると、地スギの着生量は精英樹クローンよりも多く、その差は明らかである。この1991年と1992年の精英樹クローンだけの比率の変換値について、それぞれ行った分散分析の結果は表30と表31のとおりであり、いずれもクローン間差は有意であった。

表29 雄花着生率の年次ごとクローン平均値

| 番号 | 系統名 | 1991年 | 1992年 |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 鬼沼5号 | 10.73 | 10.47 |
| 2 | 鬼沼6号 | 17.13 | 1.13 |
| 3 | 鬼沼7号 | 23.83 | 0.00 |
| 4 | 鬼沼8号 | 19.40 | 35.13 |
| 5 | 鬼沼10号 | 0.00 | 0.00 |
| 6 | 周南1号 | 3.90 | 0.00 |
| 7 | 周南2号 | 12.90 | 0.47 |
| 8 | 周南3号 | 2.17 | 4.10 |
| 9 | 北三原1号 | 4.00 | 1.33 |
| 10 | 北三原3号 | 4.53 | 1.50 |
| 11 | 西畠1号 | 32.03 | 7.00 |
| 12 | 東1号 | 3.27 | 4.03 |
| 13 | 千倉1号 | 2.23 | 6.67 |
| 14 | 勝浦1号 | 0.00 | 0.00 |
| 15 | 郷台1号 | 0.00 | 0.63 |
| 16 | クモトオシ | 67.53 | 76.00 |
| 17 | サンブスギ | 0.00 | 0.00 |
| 18 | 地スギ | 54.53 | 64.03 |

表30 1991年の雄花着生率についての分散分析

| 要 因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | F |
|------|-----|----------|---------|----------|
| 反復 | 2 | 1586.694 | 793.347 | 14.413** |
| クローン | 14 | 4987.125 | 356.223 | 6.413** |
| 誤差 | 28 | 1555.427 | 55.551 | |
| 全 体 | 44 | 8129.246 | | |

注) データはブリスの変換値、**: 危険率1%で有意

表31 1992年の雄花着生率についての分散分析

| 要 因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | F |
|------|------|----------|--------|--------|
| 反復 | 2 | 288.892 | 144.45 | 1.585 |
| クローン | 14 | 2965.199 | 211.80 | 2.324* |
| 誤差 | 28 | 2551.258 | 91.12 | |
| 個 体 | 2468 | 5805.349 | | |

注) データはブリスの変換値、*: 危険率5%で有意

各精英樹クローンの着生量が調査年により、どのような大きさで変化するかは、クローンと年次の交互作用の大きさで推定されるので、両年次のデータについて分散分析を行った。その結果は表32のとおりであり、平均平方の期待成分から推定した各要因の変動の寄与率は同表の下に記載したが、クローン間変動の寄与率30.1%に対し、交互作用変動の寄与率は10.5と小さい値であった。

スギ精英樹クローンの中から、さらに着花量の少ないクローンを選抜する場合の選抜効果推定のため、その母数の一つである広義の遺伝率を、精英樹15クローンについて求めた。この遺伝率は、着生個体1、無着生個体0としたデータの場合と、0, 1, 2, 3の指指数データの両者について求めた。前者についての分散分析の結果は表33と表34のとおりである。この結果と、別に求めたプロット内個体分散に基づき推定した広義の遺伝率は1991年9.3%, 1992年8.6%であった。後者の指指数データについての分散分析の結果は表35と表36のとおりである。この結果と、別に求めたプロット内個体分散に基づき推定した広義の遺伝率は1991年7.6%, 1992年10.6%であった。

表32 両年次の雄花着生率についての分散分析（データはプリスの変換値）

| 要 因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | F | 平均平方の期待成分 |
|---------|-----|-----------|---------|---------|-----------------------------------------------------------|
| 年 次 | 1 | 612.088 | 612.088 | 1.035 | $\sigma_{e1}^2 + 15\sigma_{e2}^2 + 45\sigma_{\epsilon}^2$ |
| 年次内反復 | 4 | 1875.637 | 468.909 | 6.394** | $\sigma_{e1}^2 + 15\sigma_{e2}^2$ |
| クローン | 14 | 5405.254 | 386.089 | 5.264** | $\sigma_{e1}^2 + 6\sigma_c^2$ |
| 年次×クローン | 14 | 2547.122 | 181.937 | 2.481* | $\sigma_{e1}^2 + 3\sigma_{ec}^2$ |
| 誤 差 | 56 | 4106.633 | 73.333 | | σ_{e1}^2 |
| 全 体 | 89 | 14546.742 | | | |

注) **: 危険率 1% で有意

*: 危険率 5% で有意

 σ_{e1}^2 : 誤差変動 (44.8%) σ_{e2}^2 : 年次内の反復間変動 (10.9%) σ_c^2 : クローン間変動 (30.1%) σ_{ec}^2 : クローンと年次の交互作用変動 (10.5%) σ_{ϵ}^2 : 年次間変動 (3.7%)

表33 1991年の雄花着生率についての分散分析 (1、0データ)

| 要 因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | 平均平方の期待成分 |
|------|-----|----------|---------|---------------------------------------------|
| 反 復 | 2 | 0.138909 | 0.69454 | |
| クローン | 14 | 0.414695 | 0.29621 | $\sigma_e^2/n_0 + \sigma_p^2 + 3\sigma_c^2$ |
| 誤 差 | 28 | 0.219665 | 0.07845 | $\sigma_e^2/n_0 + \sigma_p^2$ |
| 全 体 | 44 | 0.773268 | | σ_e^2/n_0 |

注) n_0 : プロットごとデータ数代表値=34.5 σ_e^2 : プロット内個体分散 (0.06445) σ_p^2 : プロット間分散 σ_c^2 : クローン間分散 h^2 : 9.3%

表34 1992年の雄花着生率についての分散分析 (1、0データ)

| 要 因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | 平均平方の期待成分 |
|------|------|----------|----------|---------------------------------------------|
| 反 復 | 2 | 0.025809 | 0.012904 | |
| クローン | 14 | 0.337878 | 0.024134 | $\sigma_e^2/n_0 + \sigma_p^2 + 3\sigma_c^2$ |
| 誤 差 | 28 | 0.314175 | 0.011221 | $\sigma_e^2/n_0 + \sigma_p^2$ |
| 個 体 | 2468 | 4.610527 | 0.001868 | σ_e^2/n_0 |

注) 平均平方の期待成分の記号内容は表-33に同じ

 $\sigma_e^2=0.034331$ h^2 : 8.6%

表35 1991年の雄花着生量の指標データ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 |
|------|------|---------|--------|---------|--------------------------------------------|
| 反 復 | 2 | 0.167 | 0.083 | 7.763** | |
| クローン | 14 | 0.481 | 0.034 | 3.193** | $\sigma_w^2/k_0 + \sigma_e^2 + \sigma_c^2$ |
| 誤 差 | 28 | 0.301 | 0.011 | | $\sigma_w^2/k_0 + \sigma_e^2$ |
| 全 体 | 44 | 0.949 | | | |
| 個 体 | 2468 | 207.330 | 0.0840 | | σ_w^2 |

注) **: 危険率 1% で有意、プロットごと本数代表値 $k_0=34.5$ 、 σ_w^2 : プロット内個体分散、 σ_e^2 : 誤差分散 (プロット間分散)、 σ_c^2 : クローン間分散
 $h^2=7.6\%$

表36 1992年の雄花着生量の指標データについての分散分析

| 要 因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | F |
|------|------|---------|--------|---------|
| 反 復 | 2 | 0.049 | 0.025 | 1.553 |
| クローン | 14 | 0.722 | 0.052 | 3.236** |
| 誤 差 | 28 | 0.446 | 0.016 | |
| 全 体 | 44 | 0.949 | | |
| 個 体 | 2468 | 216.551 | 0.0877 | |

注) 表35と同じ、 $h^2=10.6\%$

(2) 親子相関に相当する遺伝率

各クローンの平均値は各親の測定値とみなすことができるので、それらと、実生家系平均値との相関は、親子相間に相当する。そこで、クローン検定林の関・千・1号検定林と実生検定林の関・千・2号検定林及び6号検定林に共通に植栽された精英樹系統のデータから、各平均値を求めこの値を求めた。各検定林で調査した個体数は表37に示すおりである。関・千・1号検定林のデータと、その分散分析の結果は前述した。

関・千・2号検定林及び6号検定林のデータは示さないが、分散分析の結果は、表38～41に示すおりであり、いずれも家系間差が有意に認められた。クローンと実生の相互の検定林に共通して植栽された系統のデータについて求めた親子の相関を図14～17に示した。相関係数と回帰係数を図中に記入したが、1号検定林と2号検定林では、指数値で、0.336と0.270、着生率で0.437と0.334であった。1号検定林と6号検定林では、指数値で、0.473と0.225、着生率で0.532と0.316であった。なお、遺伝率を相関係数の2倍で求めると、家系のデータが平均値であることから、分散値が小さくなっているので回帰係数の2倍で遺伝率を求めた。この値から、遺伝率は最低45%で最高67%と推定された。

表37 3検定林のデータ数

| 検定林名 | 閑・千・1号 | | | 閑・千・2号 | | | 閑・千・6号 | | | | | |
|--------|--------|----|----|--------|----|----|--------|-----|----|----|----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 計 | 1 | 2 | 3 | 計 | 1 | 2 | 3 | 計 |
| 反復 | 1 | 2 | 3 | 計 | 1 | 2 | 3 | 計 | 1 | 2 | 3 | 計 |
| 千倉1号 | 19 | 15 | 21 | 55 | 51 | 34 | 37 | 122 | 35 | 36 | 40 | 111 |
| 鶴台1号 | 63 | 56 | 54 | 173 | — | — | — | — | 32 | 39 | 39 | 110 |
| 東1号 | 84 | 82 | 76 | 242 | 30 | 26 | 33 | 89 | 36 | 40 | 37 | 113 |
| 小糸1号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 32 | 35 | 33 | 100 |
| 西畠1号 | 50 | 43 | 37 | 130 | 35 | 36 | 23 | 94 | 31 | 39 | 28 | 98 |
| 周南1号 | 97 | 94 | 98 | 289 | — | — | — | — | 15 | 39 | 19 | 73 |
| 周南2号 | 71 | 77 | 80 | 228 | — | — | — | — | 17 | 17 | 25 | 59 |
| 周南3号 | 89 | 94 | 91 | 274 | 23 | 33 | 27 | 83 | 13 | 40 | 18 | 71 |
| 鬼泪2号 | — | — | — | — | 25 | 29 | 31 | 85 | 40 | 38 | 24 | 102 |
| 鬼泪5号 | 85 | 86 | 88 | 259 | 42 | 43 | 44 | 129 | 33 | 37 | 40 | 116 |
| 鬼泪6号 | 88 | 83 | 92 | 263 | 7 | 5 | 7 | 19 | — | — | — | — |
| 鬼泪7号 | 9 | 10 | 11 | 30 | 17 | 16 | 18 | 51 | 33 | 31 | 37 | 101 |
| 鬼泪8号 | 61 | 58 | 64 | 183 | 24 | 24 | 21 | 69 | 39 | 37 | 35 | 111 |
| 鬼泪10号 | 17 | 26 | 22 | 65 | — | — | — | — | 28 | 27 | 17 | 72 |
| 北三原1号 | 25 | 25 | 31 | 81 | — | — | — | — | 40 | 39 | 17 | 96 |
| 北三原3号 | 18 | 22 | 21 | 61 | 16 | 18 | 16 | 50 | 38 | 25 | 24 | 87 |
| 勝浦1号 | 57 | 59 | 64 | 180 | 7 | 3 | 5 | 15 | — | — | — | — |
| 西白河3号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 33 | 33 | 40 | 106 |
| 松筑1号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 34 | 38 | 36 | 108 |
| 吉岡2号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 27 | 39 | 40 | 106 |
| 富岡3号 | — | — | — | — | 0 | 6 | 9 | 15 | 19 | 40 | 20 | 79 |
| 群馬5号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 21 | 38 | 36 | 95 |
| 南多摩5号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 34 | 40 | 36 | 110 |
| 北那須4号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 37 | 40 | 37 | 114 |
| 久慈8号 | — | — | — | — | 30 | 30 | 27 | 87 | 30 | 39 | 31 | 100 |
| 久慈10号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 27 | 29 | 31 | 87 |
| 上都賀7号 | — | — | — | — | 61 | 60 | 50 | 171 | 32 | 37 | 38 | 107 |
| 足柄下1号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 15 | 39 | 16 | 70 |
| 高萩13号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 20 | 38 | 31 | 89 |
| 唯水2号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 29 | 31 | 18 | 78 |
| 勢多2号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 32 | 35 | 24 | 91 |
| 沢9号 | — | — | — | — | 18 | 24 | 26 | 68 | 36 | 40 | 26 | 102 |
| 西多摩1号 | — | — | — | — | 24 | 17 | 14 | 55 | — | — | — | — |
| 西多摩5号 | — | — | — | — | 8 | 9 | 5 | 22 | — | — | — | — |
| 西多摩17号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 39 | 39 | 22 | 100 |
| 丹沢5号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 36 | 38 | 21 | 95 |
| 東加茂2号 | — | — | — | — | 26 | 31 | 22 | 79 | 39 | 39 | 35 | 113 |
| 北投案1号 | — | — | — | — | 24 | 20 | 15 | 59 | — | — | — | — |
| 北投案7号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 39 | 40 | 37 | 116 |
| 河沼1号 | — | — | — | — | — | — | — | — | 35 | 40 | 33 | 108 |
| 東白川9号 | — | — | — | — | 10 | 11 | 9 | 30 | 40 | 39 | 35 | 114 |
| 安部4号 | — | — | — | — | 6 | 5 | 9 | 20 | — | — | — | — |
| 飯山10号 | — | — | — | — | 19 | 23 | 24 | 66 | — | — | — | — |
| 北会津1号 | — | — | — | — | 51 | 42 | 47 | 140 | — | — | — | — |
| 岡崎1号 | — | — | — | — | 18 | 18 | 16 | 52 | — | — | — | — |
| 下水内2号 | — | — | — | — | 11 | 2 | 10 | 23 | — | — | — | — |
| 天童17号 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

表38 閑・千・2号検定林の雄花指数についての分散分析

| 要 因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | F |
|-----|-----|--------------|--------------|---------|
| 反復 | 2 | 0.037(0.036) | 0.019(0.018) | 2.614 |
| 家系 | 24 | 0.791(0.789) | 0.033(0.033) | 4.798** |
| 誤差 | 47 | 0.322 | 0.007 | |
| 全 体 | 73 | 1.150 | | |

注) **: 危険率1%で有意、()は欠測データ補正による

表39 閑・千・2号検定林の雄花着生率についての分散分析

| 要 因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | F |
|-----|-----|--------------------|------------------|---------|
| 反復 | 2 | 92.759(89.319) | 46.380(44.660) | 0.648 |
| 家系 | 24 | 5355.223(5330.434) | 223.134(222.101) | 3.222** |
| 誤差 | 47 | 3239.960 | 68.935 | |
| 全 体 | 73 | 8687.944 | | |

注) **: 危険率1%で有意

表40 閑・千・6号検定林の雄花指数についての分散分析

| 要 因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | F |
|-----|-----|-------|-------|----------|
| 反復 | 2 | 0.125 | 0.062 | 13.557** |
| 家系 | 36 | 0.259 | 0.007 | 1.561* |
| 誤差 | 72 | 0.331 | 0.005 | |
| 全 体 | 110 | 0.715 | | |

注) **: 危険率1%で有意

*: 危険率5%で有意

表41 閑・千・6号検定林の雄花着生率についての分散分析

| 要 因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | F |
|-----|-----|---------|---------|----------|
| 反復 | 2 | 1805.79 | 902.894 | 19.819** |
| 家系 | 36 | 3390.87 | 94.191 | 2.066** |
| 誤差 | 72 | 3280.06 | 45.556 | |
| 全 体 | 110 | 8476.72 | | |

注) **: 危険率1%で有意

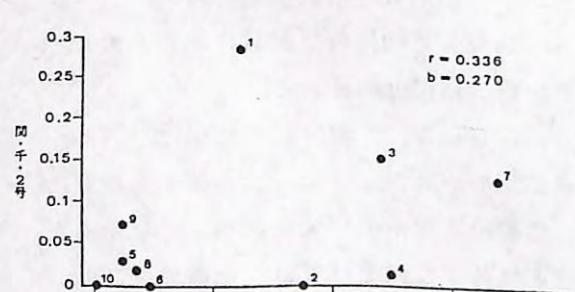


図14 閑・千・1号検定林と同2号検定林の散布図（指数値）

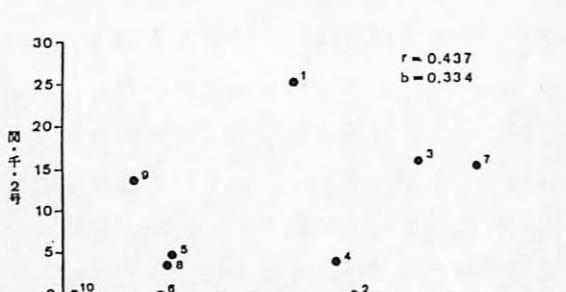


図15 閑・千・1号検定林と同2号検定林の散布図（着生率）

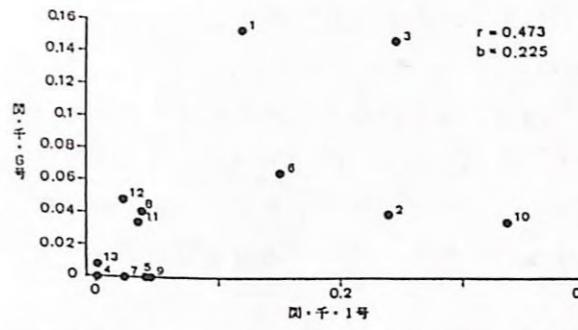


図16 閑・千・1号検定林と同6号検定林の散布図（指数値）

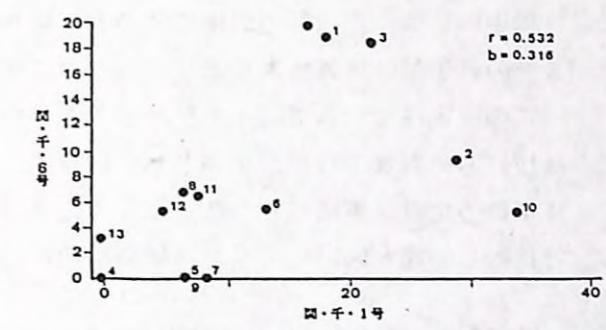


図17 閑・千・1号検定林と同6号検定林の散布図（着生率）

(3) 精英樹家系と地スギの着生量の違い

5組の例について両群の個体ごとの着生量を図19に示したが、統計検定するまでもなく地スギの着生量は精英樹家系よりも明らかに多かった。

この検定林について同年の秋から冬季にかけて雌雄花量を調査したが、雌雄花の着生量は枝打ちの影響のためか全体として少なく、無着花個体が多く、図19で説明したような個体単位の比較は不適当と判断した。そこで、図18に示したと同様に家系別平均値を地スギと比較し図20と図21に示した。結果は前述の球果量と同様に、地スギの着生量が多かった。

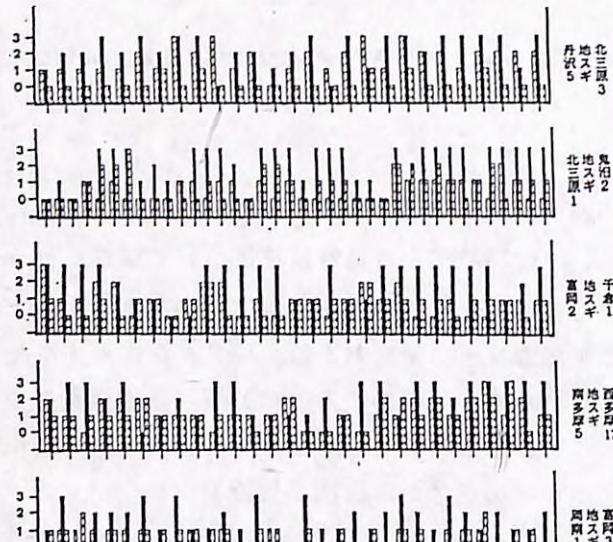


図19 精英樹家系と地スギの球果着生量の家系平均値での比較
(白: 精英樹家系、黒: 地スギ)

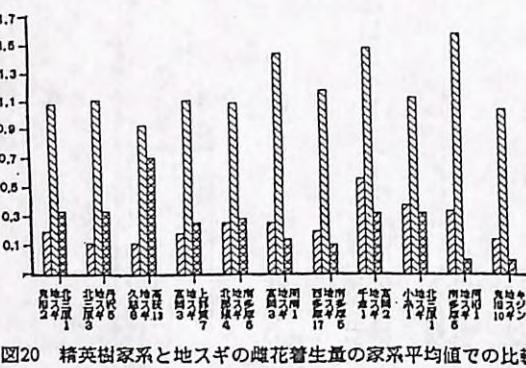


図20 精英樹家系と地スギの雌花着生量の家系平均値での比較
(中央地スギ、両側精英樹家系)

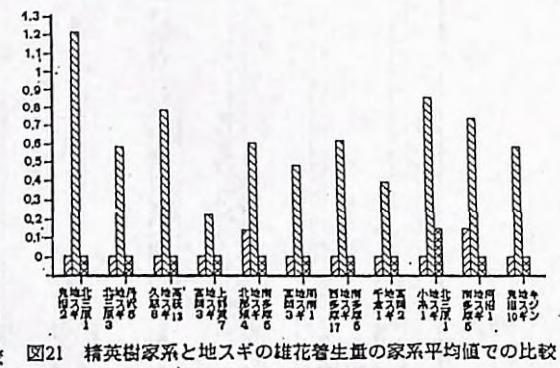


図21 精英樹家系と地スギの雄花着生量の家系平均値での比較
(中央地スギ、両側精英樹家系)

(4) 家系の雌花量と採種親の種子生産量

精英樹各家系の雌花の着生量を、3反復について指数値で調査し、各家系平均値を求めた。この各家系平均値と、その採種親である採種園のクローンごとの種子生産量との相関関係を求めた。なお、採種園の種子生産量は1982年から1986年までの平均値である。結果は図22に示すとおりであり、自由度が小さく有意ではなかったが相関係数は0.509とプラス相関の傾向がみとめられた。

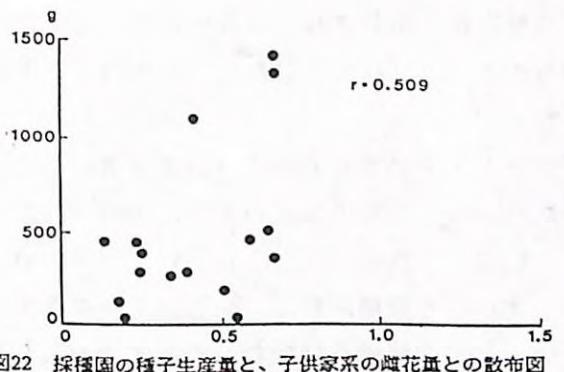


図22 採種園の種子生産量と、子供家系の雌花量との散布図

表42 雄花と雌花の量で区分された樹高の平均値 (m)

| 指数 | 雄花 | | | 雌花 | | |
|-----|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 0 | 1 |
| 個体数 | 204 | 57 | 44 | 26 | 99 | 101 |
| 平均値 | 4.24 | 4.21 | 4.18 | 3.52 | 3.87 | 3.98 |

平均値 4.24 4.21 4.18 3.52 3.87 3.98 4.54 4.55

表43 雄花と雌花の量で区分された樹高の分散分析

| 要 因 | 雄花 | | | 雌花 | | | | |
|-----|-----|---------|-------|--------|---------|--------|---------|---|
| | 要 因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | F | 平方和 | 平均平方 | F |
| 群 間 | 3 | 11.886 | 3.922 | 3.286* | 30.066 | 10.022 | 8.714** | |
| 試 選 | 327 | 394.283 | 1.206 | | 376.103 | 1.150 | | |
| 全 体 | 330 | 406.169 | | | 406.169 | | | |

注) **: 危険率1%で有意、*: 危険率5%で有意

(5) 着生量と樹高成長の関係

地スギについては、比較的雌雄花の着生量があったので、着生量と樹高成長の関係を調査した。調査対象となった地スギについて前述の指指数0, 1, 2, 3に基づき各個体を群別し、その樹高平均値を求め、その群間差を検討した。各平均値は表42のとおりであり、分散分析の結果は表43に示すとおりであり、雌雄花ともに群間差が有意差が認められた。雌花と樹高成長の関係は多く着生しているものが樹高が大きく、雄花については指指数3に区分された開花量の多い個体群の樹高の成長量が小さく、統計的に他の群より有意な差が認められた。

3) 考察

関・千・1号検定林の2年間の雄花着生量は、クローンごとの着生量に大きな変化を生じなかった。この検定林の精英樹だけで求めた広義の遺伝率は、比率で求めた値が1991年9.3%, 1992年8.8%で、指指数データの場合、1991年7.6%, 1992年10.6%であり、いずれも小さい値であった。この理由は次のように考えられる。

クローン検定林に対照して植栽されている実生の地スギの雌雄花の着生量は極めて多かった。精英樹も、これら地スギの中から選抜したので、同様に着花量が多いはずである。しかし、精英樹は栄養成長に重点をおいて選抜されたのに対し、地スギが球果量の多い個体、すなわち、生殖成長の旺盛な個体から選抜されたことによって、その差が生じたものと考えられる。すなわち、精英樹クローン群は、開花量が少なく、クローン間差が小さかつたため遺伝率は低い値となつたと判断される。なお、精英樹クローン群と地スギの開花量の差は、地スギが開花量の多い個体を選抜し、採種したことになるので、開花量の選抜効果を意味する。この差の大きさから、一般の未選抜のスギ集団における広義の遺伝率は

相當に大きいものと推定される。なお、これら検定林に植栽されている地スギの種子源は、皆伐林から収集されたもので、特定の母樹からのものではない。しかし、比較的に球果量の多い複数個体から採種されたものと判断される。

クローン検定林のデータを親として、家系データを子供として求めた狭義の遺伝率は、前述の広義の遺伝率よりも大きく45～67%であった。この理由は次のように説明される。

親に相当するクローンは、雄花量が少なく変動幅が小さいが、その各クローン平均値と、その家系平均値とで、描かれる回帰式の傾き、すなわち回帰係数は、全部のデータを用いた場合の回帰式の一部で傾きは同じである。従って、回帰係数は変わらぬはずであるから、狭義の遺伝率は歪みなく算出されたと考えられる。このことから先に求めた10%内外の広義の遺伝率は、無意識に選抜された開花量の少ない個体に起因した結果であり、広義の遺伝率は、この狭義の遺伝率より、はるかに大きいものと考えられる。従って、選抜個体のクローン増殖や実生繁殖のいずれでも、選抜育種による開花量の少ないスギの育種が期待できる。精英樹の実生家系を植栽した関・千・6号についての雌雄花量や球果量も、図18～21に示したように、同時に植栽された実生の地スギの着生量より極めて少なかった。この差は実生繁殖でも開花量に関する選抜効果の大きいこと、すなわち、狭義の遺伝率の大きいことを意味する。このことは、採種園のクローンごとの種子生産量と、その次代家系の雌花量との間でプラス相関の傾向の認められたことからも裏付けされる。

なお、精英樹家系群は、開花量の少ない個体の集団と考えられるので、そこから再選抜する場合、遺伝変異のため、選抜効果が小さいことが疑問視される。しかし、選抜個体の次代集団では、変異そのものはほとんど減少しないのが一般的であり、この問題は無用である。

地スギにおいて雄花量の著しい個体の樹高成長の小さかったことは、尾根筋に近い痩せ地で開花量の多かったことに起因すると考えられる。雌花の多い個体の成長の良かったことは、極端な早生型の個体に着生が多く認められたものと考えられるので、この傾向は早期に失われるものと推測される。

以上のことから、木材生産と花粉アレルギー対策の面から精英樹選抜事業の有用性が強調される。

4. 雪害によるスギの根元曲がりについての選抜効果

雪害によるスギの根元曲がりについては、抵抗性個体が選抜され、サシキクローンの育成等により育種事業が進行しており、この選抜効果はクローン特性の発現の状況から大きいものと期待されている。しかし、より高い育種効果は、抵抗性個体間の交配による次代の個体群から再選抜することによって得られよう。この選抜効果は、その遺伝性がいわゆるポリジーン支配によるものとすれば、全分散に対する相加的な遺伝分散の寄与率、すなわち、狭義の遺伝率の大きさによって規制される。この遺伝率は、親子相関の大きさや、

家系を要因とした分散分析における家系間分散の全変動に対する寄与の大きさによって推定される。前者の親子相関による推定値は、実現された遺伝率に相当するものであり、後者の分散分析によるよりも価値が高い。本報告における遺伝率は、両方法によって求めた遺伝率に関する情報である。

1) 材料及び方法

雪害に関する遺伝試験地が、まだ十分でないので、本試験では一般の次代検定林で測定された傾斜幅²⁾をデータとした。親子相関に関する情報は精英樹のクローン検定林と、自然受粉で得た種子の実生家系による次代検定林に共通に植栽されている精英樹系統について測定されたデータを用いた。すなわち、親に相当するデータとしてクローン平均値を、子どものデータとして次代の実生家系平均値を用い、相関係数と回帰係数を求めた。

用いたデータの検定林は表44に示すクローン検定林の3組のデータと、実生検定林の3組のデータであり、データの組数を同表中に記載した。各検定林は乱塊法で設定されており、東秋局7号の6反復を除いて他は3反復で植栽されている。

表44 サシキクローン平均値と実生家系平均値の相関係数および回帰係数

| | 東秋局8号(5年) 相関係数 | 東秋局8号(10年) 回帰係数 | 東秋局28号(5年) 相関係数 | 東秋局28号(10年) 回帰係数 | 東秋局6号(5年) 相関係数 | 東秋局6号(10年) 回帰係数 |
|------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| 東秋局7号(5年) | 0.198 | 0.125(8) | 0.207 | 0.098(8) | 0.330 | 0.088(8) |
| 東秋局7号(10年) | 0.507 | 0.292(8) | 0.424 | 0.183(8) | 0.410 | 0.135(8) |
| 東秋局6号(5年) | — | — | — | — | 0.161 | 0.102(10) |

注) () 内はデータ数

2) 結果

表44に検定林間で求めた親子相関に関する相関係数と回帰係数を示した。また、相互の各データの値を散布図として図23～図25に示した。図25にみられるように東秋局6号と東秋局28号のデータの値は小さく、従って、雪害の程度が弱く抵抗性を顕著に表現していないことが考えられた。

これらの相関関係について、相関係数と回帰係数を表44に示したが、いずれもプラスの値であり、相加的遺伝分散の存在が明らかであった。親子相関からの遺伝率は、ここで用いた家系が自然受粉種子からのもので、半きょうだいであるから相関係数の2倍値となる。しかし、ここで求めた相関係数は、前にも述べたように家系の平均値を用いたので、個々のデータを用いた値よりも大きくなっている。回帰係数の2倍値ならばこの問題は生じない。従って、表44中の回帰係数の2倍値から遺伝率は約20%～60%と推定した。

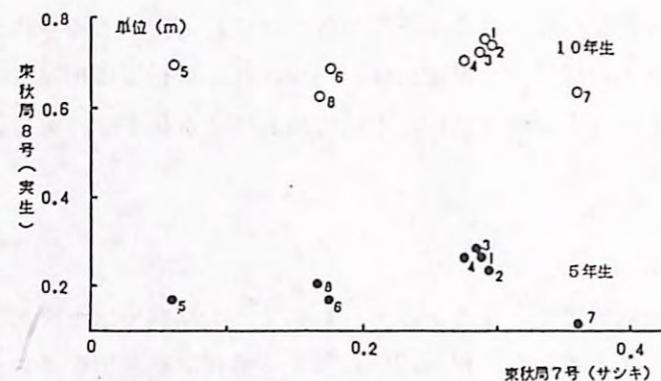


図23 東秋局7号(5年)と東秋局8号(5・10年)の傾幹幅の散布図
注) 図中の番号1:東南23、2:東南25、3:西村山1、4:雄勝1
5:大館1、6:田川3、7:新庄1、8:山形3

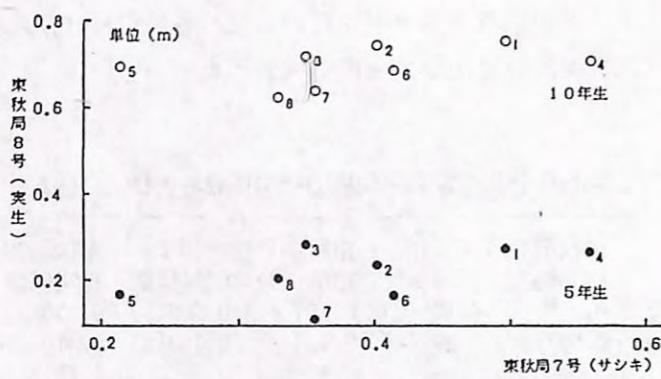


図24 東秋局7号(7年)と東秋局8号(5・10年)の傾幹幅の散布図
凡例は図23と同じ

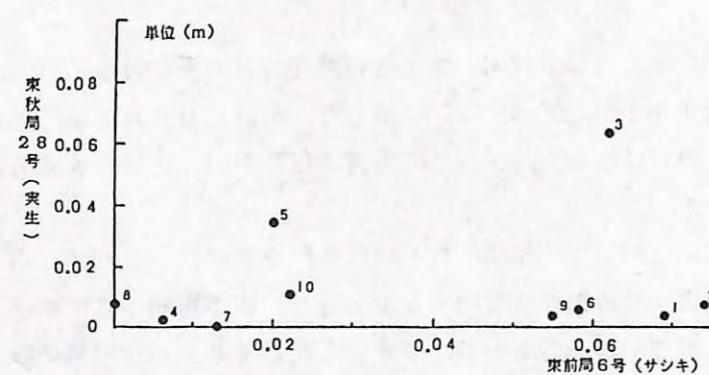


図25 東秋局6号(5年)と東秋局28号(5年)の傾幹幅の散布図
注) 図中の番号1:岩船2、2:東蒲原6、3:東蒲原2、4:長岡2
5:長岡1、6:六日町4、7:六日町1、8:酒田3、9:東蒲原5
10:村松4

実生検定林のうち、根元曲がりが大きく、精度が高いと考えられる東秋局8号の5年生と10年生のデータについて分散分析を行った結果は表45と表46のとおりであり、両データともに反復間のみが著しく有意であり、家系間差は5年生のみが有意であった。この分散分析の平均平方の期待成分に基づき家系間分散、プロット間分散を求め、得られた遺伝率は5年生16.3%，10年生4.5%であった。

表45 東秋局8号検定林の5年生のデータ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 |
|------|------|---------|-------|---------|----------------------------------------------------|
| 反 復 | 2 | 1.269 | 0.635 | 2.130 | $\sigma_e^2 + 52.35\sigma_p^2 + 1570.51\sigma_t^2$ |
| 家 系 | 29 | 14.586 | 0.503 | 1.687* | $\sigma_e^2 + 52.57\sigma_p^2 + 157.70\sigma_t^2$ |
| プロット | 58 | 17.270 | 0.298 | 7.095** | $\sigma_e^2 + 83.94\sigma_p^2$ |
| 個 体 | 4668 | 194.476 | 0.042 | | σ_e^2 |
| 全 体 | 4757 | 227.601 | | | |

$$h^2 : 0.0019 / (0.0019 + 0.0031 + 0.0417) * 4 = 0.1627$$

注) **: 危険率1%で有意、*: 危険率5%で有意

表46 東秋局8号検定林の10年生のデータ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 |
|------|------|---------|--------|----------|----------------------------------------------------|
| 反 復 | 2 | 31.911 | 15.955 | 64.334** | $\sigma_e^2 + 42.83\sigma_p^2 + 1284.79\sigma_t^2$ |
| 家 系 | 29 | 8.535 | 0.294 | 1.185 | $\sigma_e^2 + 43.02\sigma_p^2 + 129.05\sigma_t^2$ |
| プロット | 58 | 14.402 | 0.248 | 3.220** | $\sigma_e^2 + 68.52\sigma_p^2$ |
| 個 体 | 89 | 298.893 | 0.077 | | σ_e^2 |
| 全 体 | 3988 | 353.741 | | | |

$$h^2 : 0.0009 / (0.0017 + 0.0025 + 0.0767) * 4 = 0.0449$$

注) **: 危険率1%で有意

3) 考察

親子の関係とみなすことのできるクローン検定林と家系検定林の関係から、遺伝率は20%～60%と推定されたが、これは、クローンと家系のデータが別の植栽地から得られた結果である。従って、同じ植栽地からのデータであれば、もっと大きな値となるはずであり、この遺伝率は低めの推定値ということができる。

相関係数が比較的に小さい値であった3個の散布図(図23, 24, 25)をみると、図23に関しては、新庄1(番号7番)の影響が大きく、また、図25に関しては東秋局6号検定林と、28号検定林のデータの値が小さく、雪害の程度が弱く、抵抗性を顕著に表現していなかったことに起因すると考えられる。

東秋局8号検定林の両年次の分散分析において家系間差が5年生のみにしか認められず、遺伝率も極めて低かった原因は次のように考えられる。両分散分析で反復間差が大きかつ

たことは、両検定林内における雪害が場所により大きな差を生じることを示す。このことは、反復内の各プロット間にも大きな差を生じたことを意味し、このため各反復内においても各家系のデータに著しく歪みを与えたものと判断される。すなわち、乱塊法ではこのような試験地内の変動は、反復間の変動を大きくなるように配置し、反復内変動を小さくして検定精度を向上させることができると前提となる。しかし、雪害試験においては、雪害がどの場所にどのように生じるか予測できないので、そのような実験計画は不可能に近い。従つて結果として反復間変動が大きかったことは、反復内変動も大きいことを意味し、反復ごとの家系平均値に歪みを与えた家系間変動の検出精度を低下させたものと判断される。このことの証拠の一つとして次のような検討を行った。

5年生データで1反復と3反復で得られたデータで、観察上、各反復内に2分できるような被害変化があった。そこで、そのように2分し、5反復としてプロット平均値をデータとした分散分析を行ってみた。その結果、表47のように家系間差の有意性は向上し、前述の理由がうらづけされた。

表47 東秋局8号検定林の5年生の修正データについての分散分析

| 要 因 | 自由度 | 平方和 | 平均平方 | F |
|-----|-----|--------------|--------------|----------|
| 反 復 | 4 | 0.631(0.195) | 0.158(0.049) | 18.074** |
| 家 系 | 29 | 0.274(0.160) | 0.009(0.006) | 2.037* |
| 誤 差 | 56 | 0.153 | 0.003 | |
| 全 体 | 89 | 1.058 | | |

注) **: 危険率1%で有意、*: 危険率5%で有意

以上のことから、本試験における遺伝率は分散分析で求めたものよりも、親のデータ及び子のデータともに複数の反復の平均値を元にして求められた親子相関のほうが精度が高いものと考えられる。この結果から抵抗性個体同士等の交配による次代集団の中から、より強い抵抗性個体の選抜が有効であることが明らかにされた。また、雪害による根元曲がりの試験地については、単木混交植栽による試験配置が望ましいと考えられる。

IV まとめ

- スギの幹や枝の遺伝的特性についてのクローンの選抜効果は大きく、とくに適切な密度管理の中で発現される。
- 幹が大きく枝の小さい個体は希にしか存在しないので、多くの個体を対象して選抜を実行する必要がある。
- 植栽密度によって各クローンの幹と枝の特性の順位が変わることは少ない。

- 極端な植栽密度でなければ幹と枝のクローン特性への密度の影響は小さい。
- 年輪構造に関する諸形質の広義の遺伝率は高いので、クローン選抜による改良効果が期待できる。
- 年輪構造に関する諸形質についても植栽密度の影響は小さく、クローン特性への植栽密度による影響は小さい。
- 年輪構造に関する諸形質の相互間では、表現型相関が極めて大きいものがあるので、調査すべき形質を整理する必要がある。
- スギの開花特性についての遺伝寄与は大きいので、開花量の少ない個体を選抜し、サシキ増殖、あるいは実生繁殖しても相当の選抜効果が期待できる。
- スギの開花特性については狭義の遺伝率も大きいので精英樹家系植栽地からの選抜、すなわち次代の選抜効果が期待できる。
- スギの一般種苗による造林地は雄花着生量が多いことが、この試験結果から示唆される。
- 雪害による根元曲がり抵抗性については、選抜個体をクローン増殖することでの効果はもちろんあるが、実生繁殖によっても、その効果は十分に期待できる。また、実生繁殖による次代からの選抜の効果が期待できる。
- 雪害による根元曲がりの試験地は単木混交植栽が望ましい。

引用文献

- 明石孝輝: スギの幹と枝の諸形質に対する植栽密度とクローンの影響、日林誌、69(4), 136~145 (1987)
- 向田 稔・寺田貴美雄・太田 昇: スギ精英樹家系群と雪害抵抗性候補木家系群の根元曲がりの違い、日林東北支論、No40, 84~85 (1988)