

森林研究研修センター研究報告 第27号

1999年6月

目 次

秋採取したタラノキ保存穂木からの植物体再生 …… 中村人史・三浦直美 …… 1

多様な樹種による海岸防災林造成方法の研究（I） …… 伊 藤 聡 …… 5
—— 海岸防災林の造成に関する植栽樹種の初期生長特性 ——

産業用無人ヘリコプターによる松くい虫被害予防のための空中散布の効果
…………… 齊藤正一・伊藤 聡 …… 11

秋採取したタラノキ保存穂木からの植物体再生

中村 人史・三浦 直美

Plant regeneration from stocking watershoots of cropped *Aralia elata* in autumn

Hitoshi NAKAMURA・Naomi MIURA

(1999年2月18日受理)

要旨：購入保存穂木によるタラノキふかし栽培を行っている地域では、それら穂木の中から優良穂木が選抜されても、分根による増殖が不可能で優良なタラノキを養成することができなかったため、組織培養による購入保存穂木からの植物体の再生を試みた。購入保存穂木は採取時期や採取後の時間経過により組織培養による再分化が困難であったが、①初期培地にサイトカイニンの一種である Thidiazuron を加えることで効率的な植物体再生が可能になった。②不定芽を試験管内で成長させる際に順化を困難にさせる vitrification の発生が見られ、発生個体の順化はできないが、培地凝固剤として寒天を用いることでその抑制に効果があった。

I ま え が き

山形県は全国有数のタラノキふかし栽培県である。このうち庄内地方では、北海道等の原野で秋早く採取した野生の穂木を一括に購入し、冬季間保存しながらの一本挿しのふかし栽培を行っている場合が多い。穂木は、収穫量に相当なばらつきが見られ生産効率は高くないが、安価な穂木を用いて大量にふかし栽培を行うことで補っている。しかし、こうした購入穂木も野生資源の減少などから価格が上昇し、入手が年々困難になり、農家一戸当りのふかし栽培本数も減少してきている現状にある。このため一本挿し栽培に適した生産性の高い、タラノキの大量増殖が望まれている。

タラノキの増殖は一般に分根で行われるため、購入穂木から優良系統が得られても、親木が特定できないために、分根ができないので増殖する方法がなかった。そこで購入穂木から植物体を得るために組織培養による植物体再生方法を検討した。適期に採取した健全なタラノキからの組織培養による植物体の再生法は、カルス誘導することによって植物体を得ることができる(原口:1993、天野ら:1992)など多くの報告がある。

しかし、購入穂木は採取後長時間が経過してい

るため活力が低下しており、カルス誘導の効率が極めて悪く、カルスからの再分化も困難であった。そこで購入穂木から再分化能力をもつカルス誘導し、植物体を再生する方法を検討した結果、新しい植物ホルモンを用いることで植物体が効率良く再生できたので報告する。

II 試 験 方 法

1. カルスの誘導に適する培地ホルモン濃度

購入穂木からの効率的なカルス誘導に適する培地ホルモンの種類および濃度を検討した。

供試外植体は、山形県八幡町のタラノメふかし栽培農家が購入した穂木の中から、多くの収穫が期待できる穂木を栽培者が選抜し、その穂木をもとに水差しで得られた新梢の葉柄部分を外植体に用いた。

ホルモン濃度の検討については、「新駒」を用いた葉柄部分からのカルス誘導に、2,4-ジクロロフェノキシ酢酸(2,4-D)を1.0mg/、6ベンジルアミノプリン(BAP)0.1~1.0mg/を加えたMS培地が適するとされている(雨宮ら:1992)。本試験では、木本類の組織培養において低濃度のオーキシシンとサイトカイニンとを組合わせて用い

ることで高い活性を示すサイトカイニン状物質の Thidiazuron (TDZ) を用いることとし、濃度は TDZ を 0, 0.1, 1.0mg/、BAP を 0.05, 0.1mg/、2.4-D を 0.5, 1.0mg/、をそれぞれ組合わせて加えた培地を用い、カルスの発生状況を観察した。なお、基本培地は MS とし、寒天 7g/、サッカロース 30g/ を加えて用い、1 処理区 30 本で合計 360 本供試した。

殺菌方法は、Tween20 を数滴加えた 1,000 倍ベンレート液に 1 時間、70% エタノールに 30 秒、1% 次亜塩素酸ナトリウムに 10 分間の浸漬滅菌を行った後、滅菌水で 3 回洗浄し、クリーンベンチ内で風乾してから、5 mm に切り刻みカルス誘導のための培地に水平に置床した。なお、培養室の環境条件は 20℃、5,000 Lux、16 時間日長とした。

また、カルスの成長に伴い、培地の養分の消費や老廃物の蓄積、外植体の活力の低下などで枯死するので、培養 1 ヶ月経過後、外植体切断面に形成されたカルス部分のみを切り離しカルス誘導に用いたのと同じホルモン濃度をした培地に継代培養した。

2. カルス誘導培地が不定芽発生に及ぼす影響

カルス誘導培地に用いた植物ホルモンが不定芽発生に与える影響を調査するために、カルス誘導培地で形成したカルスすべてをホルモンを含まない MS 寒天培地に植え代え、不定芽の発生を観察した。なお、カルスは 1 ヶ月で同じ培地に植え替えて不定芽を誘導した。

3. 不定芽成長時における培地凝固剤の vitrification の発生に対する抑制効果

試験管内で不定芽の成長を促す際に vitrification (以下 VIT とする) の発生が見られる。VIT は試験管内で植物体の茎や葉が形態異常を伴って透明化し、成長や順化を困難にする現象であり、組織培養を利用した種苗の大量増殖においては大きな問題である。そこで、培地凝固剤を変えることで VIT の抑制ができるかを検討した。

培地の凝固剤として、従来法の 0.7% 寒天と、経費の節減が期待できる 0.2% ゲランガムとを用いて、VIT の発生状況を観察した。供試した不定芽は、カルス表面に発生したものを 1 個体ずつに分割し、ホルモンを含まない MS 培地に培養して用いた。観察は不定芽を 1 ヶ月で同じ培地に継代し

60 日まで行った。

III 結果および考察

1. 外植体からのカルス誘導に適する培地

外植体培養後のカルスの形成状況を表-1 に示した。

培養後 30 日を経過すると、BAP、2.4-D の濃度に関係なく TDZ を加えた培地上の外植体の切断面からカルスの形成が確認された。培養後 60 日では TDZ を含まない培地の外植体の切断面にもカルスの形成が確認されたが TDZ を含む培地に比べ、カルスの形成量は少なかった。これらのことから、BAP、2.4-D の他に TDZ を加えることでカルス形成を促進することができたので、TDZ はカルスの誘導に有効であると考えられる。

購入穂木は活力が低下しているためカルス誘導が困難であったが、TDZ を用いることでカルスの誘導を容易にした。TDZ は購入穂木からの効率的なカルス誘導には必要不可欠な植物ホルモンと言える。その際の濃度としては、最もカルスの形成が早く、

表-1 植物ホルモン濃度別のカルス形成状況

植物ホルモン (mg/l)			カルスの形成量	
TDZ	BAP	2.4-D	30日後	60日後
0	0.05	0.5	-	+
0	0.05	1.0	-	+
0	0.1	0.5	-	+
0	0.1	1.0	-	+
0.1	0.05	0.5	+	++
0.1	0.05	1.0	+	++
0.1	0.1	0.5	+	+++
0.1	0.1	1.0	+++	+++
1.0	0.05	0.5	++	++
1.0	0.05	1.0	++	++
1.0	0.1	0.5	++	++
1.0	0.1	1.0	+	++

注) カルスの発存量

+++極めて多い ++多い +少ない -無し

生育も極めて旺盛であったことから、TDZ0.1mg／、BAP0.1mg／、2.4-D1.0mg／を組合わせて加えた培地が適当であると考えられる。

2. カルス誘導培地が不定芽発生に及ぼす影響

不定芽誘導培地（MSホルモンフリー培地）における、カルス誘導培地別の不定芽の発生状況を表一2に示した。

カルス誘導時にTDZを含まない培地で形成されたカルスからは、60日を経過しても不定芽の発生が全く見られなかったが、TDZを含む培地で形成されたカルスからは、時間的に差はあるものの全てから不定芽の発生が見られた。また、TDZを含まない培地で形成されたカルスは色が白く、水分を多量に含んで軟化し、成長はするものの再分化は難しいとされるウェット状カルスが多く見られるのに対し、TDZを含む培地上で形成されたカルスは、再分化能力が高いとされる黄緑色でドライ状のものが多く観察された。これらのことから、カルス誘導の時点でTDZを加えることがカルス誘導のみならず、不定芽の発生にも有効であると考えられる。

表一2 カルス誘導培地が不定芽の発生に及ぼす影響

カルス誘導培地 (mg/l)			不定芽の発生量	
TDZ	BAP	2.4-D	30日後	60日後
0	0.05	0.5	-	-
0	0.05	1.0	-	-
0	0.1	0.5	-	-
0	0.1	1.0	-	-
0.1	0.05	0.5	-	+
0.1	0.05	1.0	+	+
0.1	0.1	0.5	+	++
0.1	0.1	1.0	++	+++
1.0	0.05	0.5	+	+
1.0	0.05	1.0	-	+
1.0	0.1	0.5	-	+
1.0	0.1	1.0	-	+

注) カルスからの不定芽発生量

+++極めて多い ++多い +少ない -無し

以上のように、カルス誘導による購入穂木からの植物体の大量増殖には、外植体からのカルス誘導時にTDZを加えることが必要不可欠であることが明らかになった。その際のホルモン濃度は、カルス形成並びに不定芽が数十本得られる発生状況から見て、TDZ0.1mg／、BAP0.1mg／、2.4-D1.0mg／を組合わせて加えた培地が適当であると考えられる。

3. 不定芽成長時における培地凝固剤のvitrificationの発生に対する抑制効果

タラノキの順化はイチゴパックを用いて容易に行える（雨宮ら:1992）とされており、筆者らも同様に行った結果、正常個体では容易であったが、VIT個体では不可能であった。不定芽生長培地においてはVIT個体と正常個体に生長量の差はないが、順化が困難なことから不定芽生長時のVIT発生を抑制する必要がある。

表一3に培地凝固剤の違いによるVITの発生比を示した。

VITの発生は培養日数が経過するにつれて増加する傾向にある。ゲランガムを培地凝固剤として用いた場合、コスト的には寒天の4分の1に抑えられるが、培養後60日経過ではVIT発生割合に寒天と明らかな差が認められた。また、順化に適した個体を得るためには、30日の培養では発根や成長が不十分であるため、60日程度の培養が必要である。ゲランガムは60日後のVIT発生割合が高く、VITの抑制効果は寒天に比べ著しく劣る。したがって、効率的な苗木生産を行うための稚苗生長時の培地凝固剤としては寒天が適当であると考えられる。

表一3 培地凝固剤別vitrification発生比

		vitrification発生数/培養数(本)		
凝固剤	濃度	30日後	60日後	
寒天	0.7%	4/50	9/50	
ゲランガム	0.2%	11/50	28/50	

注) 日数はカルスをMSホルモンフリー培地に継代培養後の日数を示す。

IV あとがき

タラノキふかし栽培に用いられる購入穂木は、採取後長時間が経過しているため活力が低下しており、組織培養の外植体として用い、再分化させることが困難であった。しかし、カルス誘導培地にTDZを加えることで分化能力が高められ、購入穂木からの植物体再生は容易であることが明らかになった。また、VITが発生した苗は順化が不可能であり、培地凝固剤としての寒天に、ある程度の抑制効果があることを明らかにした。この方法により、困難であった購入穂木からの植物体再生が容易になり、効率的な苗木生産が可能になった。

しかし、購入穂木は生育環境が把握できず親木も特定できないため、遺伝的特性は不明である。したがって、再生個体は再びふかし栽培を行うことにより、ふかし栽培における優良性の検定が必

要となる。

また、この手法による再生個体はカルスを経由することから変異をともなうが、どの程度ふかし栽培に影響を及ぼすかについては不明であり、大量増殖の手法としての有用性の検討も必要である。

V 引用文献

天野孝之、河合昌孝 (1992) バイオテクノロジーを利用した植物の増殖、奈良県林業試験場：34～35.

雨宮圭一、藤木俊也、日向 進 (1992) タラノキの組織培養による大量増殖、山梨県総合農業試験場研究報告 5：11～22.

原口雅人 (1993) タラノキの葉・葉柄からの不定胚形成と再生した植物の特性、日林論104：601～602.

多様な樹種による海岸防災林造成方法の研究 (I)

—— 海岸防災林の造成に関する植栽樹種の初期生長特性 ——

伊 藤 聡

Studies on The Establishment of The Coastal Forest by Various Trees (I)

An initial growth characteristics of the trees planted for establishing
the coastal forest

Satoshi ITO

(1999年2月18日受理)

要旨：海岸防災林の造成に適する広葉樹を探索・植栽して、その初期生長の特性について検討した。その結果、①植栽した広葉樹はクロマツと同程度の活着率と生存率が期待できる。②常緑広葉樹はクロマツと落葉広葉樹に比べ主幹の被害を受けやすい。③クロマツは苗高生長が認められるが、広葉樹にクロマツと同程度の生長を期待することは難しい。④植栽時の苗木の大きさは2生長期経過後の生存率には影響しない。⑤常緑広葉樹の主幹枯損は、苗高が50 cm程度以下の苗木の植栽により最小限に抑えることができる。よってこうした苗木を用いることが将来の苗高生長を高める可能性があることが明らかになった。

I ま え が き

山形県庄内地方では、飛砂、潮、強風の害から海岸地域の生活環境を守るため、古くからクロマツによる海岸防災林の造成が行われてきた。しかし、近年クロマツ海岸防災林はマツザイセンチュウ病により壊滅的な被害を受け、防災機能が著しく低下している。今後マツザイセンチュウ病による著しい機能の低下を回避するためには、単一樹種ではなく、安定性を確保するために多様な樹種の植栽による海岸防災林の造成が必要である。

そこで、従来から海岸防災林の造成に利用されているクロマツと、山形県の海岸地域においてクロマツと共に海岸防災林を構成できるとされる各種の広葉樹類を植栽し、植栽樹種の初期生長特性について検討したので報告する。

II 研究 方 法

1995年5月上旬に山形県庄内地方の海岸地域に4箇所の試験区を設定し、各試験区に現在流通し

ているクロマツ及び広葉樹7種を植栽し、初期生長特性を調査した。調査は、植栽樹種の活着率、2生長期経過後の生存率、苗高生長量、根元直径生長量及び苗木の生存形態について行なった。また、調査結果と植栽時の苗木の大きさの関係について分析を行い、初期生長特性について検討した。

1. 試験区の概況

試験区は、山形県庄内地方海岸地域の北部に位置する遊佐町の汀線から内陸側へ約50～200 mの範囲に3箇所、酒田市北部の汀線から約200 mの位置に1箇所の計4箇所とした。

試験地の気象条件は、年平均気温12.1℃、年平均降水量1,857 mm、日最大風速10 m以上の日数が年間90.7日、15 m以上の日数が年間8.2日である(酒田測候所:1971～1990年)。内陸地域の山形地方では日最大風速10 m以上の日数が年間0.3日、15 m以上の日がないことから(山形地方气象台:1971～1990年)、試験地は風の強い地域に位置している。

2. 植栽樹種の選定と植栽方法

植栽樹種は、従来から植栽されているクロマツと広葉樹とし、マツザイセンチュウ病被害跡地及び周辺の植生調査の結果からカシワ、タブノキ、ネムノキの3樹種、既往の文献(平尾ら:1984、伊藤ら:1979)からシロダモ、モチノキ、トベラ、ハルニレの4樹種の計7樹種を選定した。試験区は、伐倒駆除により未立木地となったマツザイセンチュウ病被害跡地とし、クロマツと広葉樹をランダムに植栽した。

各試験区の植栽本数はクロマツ10本、広葉樹各5本の計45本、植栽密度はha当たり10,000本とし、1995年5月上旬に植栽した。植栽した苗木は現在流通している苗木を使用したので、クロマツは約30cm、広葉樹は約50~120cmであった。また、各試験区の周囲には防風柵を設置した。防風柵は、丸太杭を1m間隔に打ち込み、風衝側に半割材を横に固定し、高さ1m、遮風率60%とした。

3. 植栽樹種の初期生長特性に関する調査

初期生長特性に関する調査は、1995年6月下旬に活着率を確認し、健全に活着した個体について1996年11月中旬に生存率、苗木生長量、根元直径生長量及び生存形態について調査した。

生存率については、1995年6月下旬に活着を確認した本数から1996年11月中旬の調査まで誤伐等の被害を受けたことが明らかな本数を除いた本数を対象とした。苗木については、主幹先端が枯損し、主幹の生存している高さ(以下「生存高」)が確定できない場合は、最も高い位置にある側枝の先端を苗木とし1cm括約で測定した。根元直径は、地際から約5cmの位置を0.1mm括約で測定した。生存形態は、①主幹の先端が生存している個体、②主幹の先端が枯損している個体、③主幹が地際まで枯損し萌芽のみで生存している個体の3形態に分類し各個体の評価を行った。

4. 植栽樹種の初期生長特性に関する分析方法

1) 植栽樹種の生存特性

植栽樹種の初期生存特性を明らかにするために、活着率、生存率について平均値の差を検定した。

また、生存形態については前述の3区分の出現率に着目してその特性を評価した。

2) 植栽樹種の生長特性

植栽樹種の初期生長特性を明らかにするために、苗木生長量、根元直径生長量について平均値の差を検定した。これらの算出にあたり主幹が枯損し萌芽のみとなった形態③の個体を対象とするのは不適當であるため主幹が生存している形態①と形態②のみを用いた。

3) 2生長期経過後の生存に及ぼす植栽時の苗木の大きさ

植栽時の苗木の大きさが生存に影響するかを検討するために、2生長期経過後の生存個体と枯損個体別の植栽時の苗木高、根元直径の平均値の差を検定した。なお、ネムノキは海岸防災林の高木性の構成樹種よりも肥料木としての性格が強いことや、他の候補樹種と樹形が大きく異なることから分析の対象から除外した。

4) 主幹枯損長と植栽時の苗木の大きさ

日本海側の海岸防災林の最も重要な防災効果は冬期間の季節風に対する防風効果である。そのため、早期の苗木生長が期待できる樹種が必要である。それを減退させる主幹枯損長と植栽時の苗木の苗木高、根元直径の関係を明らかにするために回帰分析を行った。なお、ネムノキについては前述同様の扱いとした。

III 結果と考察

1. 植栽樹種の生存特性

1) 活着率及び生存率

植栽樹種の活着率を表-1、2生長期経過後の植栽樹種の生存率を表-2に示した。

クロマツと広葉樹の間の活着率に有意差が認められず、各樹種とも85%以上の比較的高い活着率を示した。また、クロマツと広葉樹の間の生存率にも有意差が認められず、各樹種とも70%以上の比較的高い生存率を示した。

このことから、広葉樹はクロマツと同程度の活着率と生存率が期待できるので、成林するまでの生長形態や生長量が海岸防災林の植栽樹種としての可否を決めるものと考えられる。

2) 生存形態

植栽樹種の生存形態別出現率を表-3に示した。

主幹の先端が生存している個体(形態①)が出現したのはクロマツ、カシワ、ハルニレのみであ

表一 1 活着本数と活着率

樹種	植栽本数 (本)	活着本数 (本)	活着率 (%)
クロマツ	40	40	100.0(91.2~100.0)
トベラ	20	17	85.0(62.1~96.8)
タブノキ	20	20	100.0(83.2~100.0)
シロダモ	20	20	100.0(83.2~100.0)
モチノキ	20	19	95.0(75.1~99.9)
カシワ	20	19	95.0(75.1~99.9)
ハルニレ	20	17	85.0(62.1~96.8)
ネムノキ	20	18	90.0(68.3~98.8)

注) ()内の数値は、活着率の95%信頼区間

表一 2 2 生長期経過後の生存本数と生存率

樹種	標本数 (本)	生存本数 (本)	生存率 (%)
クロマツ	27	21	77.8(57.7~91.4)
トベラ	15	11	73.3(44.9~92.2)
タブノキ	19	18	94.7(74.0~99.9)
シロダモ	20	16	80.0(56.3~94.3)
モチノキ	18	13	72.2(46.5~90.3)
カシワ	17	15	88.2(63.6~98.5)
ハルニレ	17	13	76.5(50.1~93.2)
ネムノキ	18	17	94.4(72.7~99.9)

注) ()内の数値は、生存率の95%信頼区間

り、常緑広葉樹は出現しなかった。主幹の先端が枯損している個体(形態②)の出現率が高いのはネムノキで100%、次いでタブノキが88.9%、シロダモ、ハルニレは70%程度であった。主幹が地際まで枯損し萌芽のみで生存している個体(形態③)の出現率が高いのは常緑広葉樹で、モチノキが46.2%、トベラ、シロダモが30%以上であった。一方、落葉広葉樹のカシワ、ハルニレは10%前後と低い出現率であった。

このことから、常緑広葉樹はクロマツや落葉広葉樹に比べ主幹の被害を受けやすく、主幹が地際まで枯れて萌芽のみの形態になりやすいと考えられる。しかし、このような形態になった個体においても、今後の萌芽による生長が考えられるためこの時点で海岸防災林の植栽樹種としての適否を

表一 3 生存形態別出現率

樹種	生存本数 (本)	形態① (%)	形態② (%)	形態③ (%)
クロマツ	21	57.1	42.9	—
トベラ	11	—	63.6	36.4
タブノキ	18	—	88.9	11.1
シロダモ	16	—	68.8	31.2
モチノキ	13	—	53.8	46.2
カシワ	15	26.7	60.0	13.3
ハルニレ	13	23.1	69.2	7.7
ネムノキ	17	—	100.0	—

注) 形態①：主幹の先端が生存している個体
形態②：主幹の先端が枯損している個体
形態③：主幹が地際まで枯損し萌芽のみで生存している個体

判断することは適当でないと考えられる。

2. 植栽樹種の生長特性

1) 苗高生長量

植栽樹種の植栽時の平均苗高と2生長期経過後の平均苗高生長量を表一4に示した。

苗高生長量においては、クロマツと広葉樹の間に有意差が認められた。これは、クロマツは平均17.2cmの伸長生長が見られたのに対し、広葉樹は主幹の先端の枯損により、生存高が低下した個体が多く見られたためである。これらの広葉樹の中でも常緑広葉樹は生存高の低下が著しい傾向にあった。

このことから、現時点で苗高生長が認められるのはクロマツのみで、広葉樹にクロマツと同程度の生長を期待することは難しいと思われる。

2) 根元直径生長量

植栽樹種の植栽時の平均根元直径と2生長期経過後の平均根元直径生長量を表一5に示した。

根元直径生長量においては、クロマツと比較してタブノキ、シロダモ、カシワ、ハルニレが有意に小さかった。また、クロマツと同程度の直径生長量を示したのは、トベラ、モチノキ、ネムノキであった。これら3種については、クロマツと同程度の直径生長を期待できると思われるが、広葉樹は先端が枯れるなどの生長の制約があるため、根元生長の特性の解明には今後の観測を要する。

表一 4 植栽時の平均苗高と 2 生長期経過後の平均苗高生長量

樹 種	標 本 数 (本)	植栽時の平均苗高 (cm)	平均苗高生長量 (cm)
ク ロ マ ツ	21	29.9(27.5~ 32.2)	17.2(10.3~ 24.1)
ト ベ ラ	7	59.0(55.3~ 62.7)	-13.1(-31.1~ 4.8)
タ ブ ノ キ	16	80.3(75.7~ 84.8)	-38.1(-49.1~-27.0)
シ ロ ダ モ	11	86.1(81.3~ 90.9)	-48.7(-57.4~-40.1)
モ チ ノ キ	7	98.7(82.4~115.0)	-58.7(-77.9~-39.5)
カ シ ワ	13	68.4(64.1~ 72.7)	-11.2(-18.7~- 3.8)
ハ ル ニ レ	12	71.4(66.9~ 75.9)	-26.9(-41.5~-12.3)
ネ ム ノ キ	17	111.5(105.1~118.0)	-14.1(-23.2~- 5.0)

注1) 標本数は、形態①と形態②の本数

注2) ()内の数値は95%信頼区間

表一 5 植栽時の平均根元直径と 2 生長期経過後の平均根元直径生長量

樹 種	標 本 数 (本)	植栽時の平均根元直径 (mm)	平均根元直径生長量 (mm)
ク ロ マ ツ	21	7.8(7.2~ 8.4)	5.2(3.8~ 6.6)
ト ベ ラ	7	9.7(8.8~10.6)	5.0(3.2~ 6.8)
タ ブ ノ キ	16	12.1(11.2~12.9)	1.2(0.4~ 2.0)
シ ロ ダ モ	11	10.4(9.6~11.1)	1.1(0.3~ 2.0)
モ チ ノ キ	7	10.4(9.7~11.2)	3.3(2.5~ 4.1)
カ シ ワ	13	10.2(9.4~11.0)	2.3(0.9~ 3.6)
ハ ル ニ レ	12	6.8(6.2~ 7.5)	0.5(-0.3~ 1.3)
ネ ム ノ キ	17	11.1(10.2~12.0)	9.9(6.2~13.5)

注1) 標本数は、形態①と形態②の本数

注2) ()内の数値は95%信頼区間

3. 2 生長期経過後の生存に及ぼす植栽時の苗木の大きさ

2 生長期経過後の植栽樹種の生存個体と枯損個体別の植栽時の平均苗高・平均根元直径を表一 6 に示した。

2 生長期経過後の植栽樹種の生存と枯損が植栽時の苗木形質とどのように関わるのか知るために、生存個体と枯損個体別の植栽時における平均苗高と平均根元直径を比較した。しかし、植栽時の苗木の大きさは樹種によって違いがあるので、樹種間の比較はできないことから、樹種内の比較を行った。

植栽時の平均苗高については、生存個体と枯損

個体の間に有意差が認められた植栽樹種はなかった。また、常緑広葉樹と落葉広葉樹別についても有意差が認められなかった。

植栽時の平均根元直径についても、生存個体と枯損個体の間に有意差が認められた植栽樹種はなく、また常緑広葉樹と落葉広葉樹別についても有意差が認められなかった。

このことから、初期の生存と枯損は、植栽時の苗木の形質と関連しているとは考えられない。したがって、植栽時の苗木の大きさにより 2 生長期経過後の生存率の向上を図ることは難しいと思われる。

表一6 2 生長期経過後の生存個体と枯損個体の植栽時の平均苗高・平均根元直径

樹種	生存・枯損の区分	標本数(本)	植栽時の平均苗高(cm)	植栽時の平均根元直径(mm)
クロマツ	生存	21	29.9(27.5~ 32.2)	7.8(7.2~ 8.4)
	枯損	6	30.7(28.3~ 33.0)	7.5(6.9~ 8.1)
トベラ	生存	11	59.3(56.5~ 62.0)	9.6(8.6~10.6)
	枯損	4	69.0(51.7~ 86.3)	12.0(8.6~15.4)
タブノキ	生存	18	79.3(75.0~ 83.5)	11.9(11.2~12.7)
	枯損	1	78.0 —	12.0 —
シロダモ	生存	16	86.8(83.2~ 90.3)	10.4(9.9~11.0)
	枯損	4	85.0(79.3~ 90.7)	10.3(8.7~11.8)
モチノキ	生存	13	100.5(92.3~108.6)	10.3(9.9~10.8)
	枯損	5	84.4(53.1~115.7)	9.2(6.8~11.6)
常緑	生存	58	82.3(78.0~ 86.5)	10.7(10.3~11.1)
広葉樹計	枯損	14	79.7(70.1~ 89.4)	10.5(9.4~11.6)
カシワ	生存	15	69.2(65.3~ 73.1)	10.5(9.7~11.2)
	枯損	2	69.5(15.4~123.6)	11.0(-13.1~35.1)
ハルニレ	生存	13	71.3(67.2~ 75.4)	6.8(6.3~ 7.4)
	枯損	4	70.0(65.5~ 74.5)	6.0(4.7~ 7.3)
落葉	生存	28	70.2(67.5~ 72.8)	8.8(7.9~ 9.6)
広葉樹計	枯損	6	69.8(66.1~ 73.6)	7.7(4.6~10.8)

注) ()内の数値は95%信頼区間

4. 主幹枯損長と植栽時の苗木の大きさ

植栽樹種の植栽時の平均苗高と2生長期経過後の平均生存高を表一7に示した。

植栽時の苗高は現在流通している苗木を使用しているため樹種間に有意差が認められるものが多かった。しかし、2生長期経過後の平均生存高においては、主幹の枯損によりカシワとシロダモ間を除いて樹種間に有意差が認められなくなる。

植栽樹種の主幹の枯損を防ぐことは、海岸防災林を造成する上で不可欠な条件である。そこで、主幹の枯損が植栽時の苗木のいかなる形質と関係があるかを明らかにするため、常緑広葉樹・落葉広葉樹別の主幹枯損長と植栽時の平均苗高、平均根元直径の単相関係数を求め、これを表一8に示した。

主幹枯損長と0.1%水準で有意な相関が認められた苗木の形質は、常緑広葉樹の植栽時の平均苗高、全広葉樹の植栽時の平均苗高であった。なか

でも常緑広葉樹の植栽時の平均苗高は、単相関係数0.767と主幹枯損長と高い相関を示し、植栽時の苗高が高いと主幹枯損長も長くなる傾向が認められた。そこで、常緑広葉樹の植栽時の苗高から主幹枯損長を求める回帰式を下記に示す。

$$Y = -53.6804 + 1.15409 X$$

Y = 主幹枯損長 (cm)
X = 植栽時の苗高 (cm)
寄与率 58.8%

なお、この回帰式を求めるにあたって使用した苗高は現在流通している苗木を使用したため53cm~118cmであった。

これらの結果から、常緑広葉樹の植栽において、高さ1mの防風柵を設置した苗高1m程度の常緑広葉樹の植栽では主幹の枯損が発生し、回帰

表一七 植栽時の平均苗高と2生長期経過後の平均生存高

樹種	標本数 (本)	植栽時の平均苗高 (cm)	平均生存高 (cm)
クロマツ	21	29.9(27.5~32.2)	47.0(39.7~54.4)
トベラ	7	59.0(55.3~62.7)	45.9(30.9~60.8)
タブノキ	16	80.3(75.7~84.8)	42.2(32.6~51.8)
シロダモ	11	86.1(81.3~90.9)	37.4(30.0~44.8)
モチノキ	7	98.7(82.4~115.0)	40.0(27.8~52.2)
カシワ	13	68.4(64.1~72.7)	57.2(51.4~62.9)
ハルニレ	12	71.4(66.9~75.9)	44.5(27.6~61.4)

注1) 標本数は、形態①と形態②の本数

注2) ()内の数値は95%信頼区間

表一八 主幹枯損長と植栽時の平均苗高・平均根元直径の単相関係数

区分	植栽時の平均苗高	植栽時の平均根元直径
常緑広葉樹	0.767***	-0.068
落葉広葉樹	0.075	-0.321
全広葉樹	0.684***	0.112

注) ***印は、0.1%水準で有意

式から推定すると60cm程度の生存高しか期待できない。しかし、苗高50cm程度以下の苗木を植栽することで主幹の枯損による被害を最小限に抑えることが可能であると考えられる。よってこうした苗木を用いることにより、むしろ初期生長が良くなり、将来の苗高生長を高める可能性があると考えられる。

また、落葉広葉樹では主幹枯損長と苗木の大きさには関係が認められない。落葉広葉樹の場合、海岸という厳しい環境における初期生長と苗木の大きさとの関連は見いだせなかった。落葉広葉樹の場合、2生長期の経過では特性が見いだせず、今後の生長をみた樹種特性の検討が必要である。

IV あとがき

本報告は多様な樹種による海岸防災林の造成に適する広葉樹を探索し、その初期生長の特性を検討したものである。しかし、調査期間が短かく探索し植栽した樹種数が少なかったため、十分に樹

種及び初期生長の特性を解明したとはいえない。このため、今後植栽に適すると考えられる広葉樹の種類を増やし、さらに観測することで樹種及び初期生長の特性を解明し、多様な樹種による海岸防災林早期造成技術の確立を図りたいと考えている。

本報告では、常緑広葉樹の苗高が50cm程度以下の苗木を植栽することで主幹の枯損による被害を最小限に抑えることができ、将来の苗高生長を高める可能性があることを明らかにした。したがって、今後の海岸防災林用の植栽樹種としては、苗高が低い苗木を用いることが重要であると思われる。

また、今後マツザイセンチュウ病による海岸マツ林消失に対応するためには、広葉樹の単独植栽による海岸防災林の造成のみならず、針広混交林型の海岸防災林の造成が必要である。そのため、クロマツ林内への広葉樹導入による針広混交林型海岸防災林の造成についても今後検討していきたい。

V 参考文献

- 平尾勝男、西垣真太郎(1984) 海岸林の実態調査からクロマツに替る樹種選定について、鳥取県林試研報27:23~31.
- 伊藤重右エ門、新村義昭、成田俊司(1979) 北海道における天然生海岸林の現況調査と林帯造成法の考察、日林論90回:455~458.
- 村井宏ら編(1992) 日本の海岸林、(株)ソフトサイエンス社513pp.
- 山形地方気象台編(1992) 山形の気象百年、(財)日本気象協会山形県支部235pp.

資料

産業用無人ヘリコプターによる松くい虫 被害予防のための空中散布の効果

齊藤 正一・伊藤 聡

An effect of aerial application of prevention of pine wilt disease damage
by the unmanned helicopter for the industry

Shōichi SAITŌ · Satoshi ITO

(1999年2月18日受理)

要旨：松材線虫病の被害予防のため産業用無人ヘリコプターによるスミパイン乳剤 (MEP) の空中散布試験を現地で実施したところ、①薬剤散布4週間後まで殺虫効果が確認された。②散布された薬剤は0.5~1.0mmの微細な粒径であった。③薬剤散布区では枯損被害が確認されなかった。④薬剤散布区に生息する生物への著しい影響は現在のところ確認されていない。⑤産業用無人ヘリコプターによるスミパイン乳剤の空中散布は薬剤の散布量を少なくできる有効な方法であることが明らかになった。

I ま え が き

山形県における松材線虫病の被害は、1978年に山形市で発生し、1985年には12,027㎡の被害量に達した。その後減少し、1990年から再び増加に転じて1994年以降は18,000㎡を上回る被害になっている。被害はアカマツを主とする内陸地方では山形市を中心に南北に拡大したが、現在は局所的な被害はあるものの沈静化してきている。一方、クロマツを主とする庄内地方の海岸マツ林の被害は1979年に鶴岡市と酒田市で発生し、その後海岸部の南北に被害が拡大し、現在は沿岸北部県境の遊佐町の海岸林が激害を受け一部が消失している。内陸地方の激害地ではアカマツに代ってコナラ等の高木性広葉樹が生育して森林として復元してきている。しかし、庄内地方の海岸マツ林では天然性の代替植生が乏しく海岸林の保全並びに更新は防災上大きな課題となっている。

本県の被害防除方法は、カーバム系くん蒸剤による伐倒駆除を主体に、スミパイン乳剤の180倍液の地上散布や樹幹注入による予防措置を実施しているが、更新が難しい庄内地方での予防散布を

徹底するために新たな技術開発が期待されている。

そこで、地形が比較的平坦であるという庄内地方の海岸マツ林の利点に着目し、産業用ヘリコプターにより効果的な予防散布が可能か散布試験を実施して散布効果ならびに散布地における生物への影響を調査したので報告する。

なお、本試験は社団法人農林水産航空協会からの平成9年度受託試験「産業用無人ヘリコプターによるスミパイン乳剤の松くい虫防除試験」により実施し、その一部を発表した。

II 試験方法

1. 試験地

1) 試験地の設定

試験地の地況・林況については表-1に示した。

試験地は、産業用無人ヘリコプター (以下「ラジヘリ」) による薬剤散布区 (以下「散布区」) と無散布区とした。散布区は山形県飽海郡遊佐町大字菅里字菅野地内、無散布区は同町大字藤崎字下藤崎地内のマツ林とした。

散布区はマツ林に幅40 m、長さ250 m、面積1 haとし、散布区の4方向に幅10mの緩衝帯を併せて設置した。無散布区は、散布区の南南西2.5 km 地点にあたるクロマツ林に幅25 m、長さ400 m、面積1 haとした。

表一 1 試験地の地況・林況

項 目	散 布 区	無 散 布 区
標 高	50 m	50 m
方 位	W20N	W15N
傾 斜	8 度	2 度
土 壌	砂質壤土	砂質壤土
主要樹種	クロマツ・アカマツ	クロマツ
林 齢	45 年	40 年
胸高直径	21.9cm	20.9cm
樹 高	10.8m	13.7m
立木密度	594本/ha	840本/ha

2) 試験地及び試験地周辺部の被害状況

散布区及びその周辺では、公園整備が進められており、ここ数年間スミパイン乳剤180倍液の地上散布を年2回10数haの単位で実施している。枯損したクロマツについては、マツノマダラカミキリ（以下「カミキリ」）羽化脱出直前と冬季にNCSくん蒸剤で殺虫しており、散布区は微害のまま推移している。散布区内1 haでの近年の被害経過は、1995年1本、1996年6本の計7本である。散布区の近隣の地域では、傾斜が急な地形的制約を受ける場所や国道・JRなどの交通機関が近いクロマツ林で地上散布による予防が実施できないうえ、伐倒駆除も進まなかったことから、全林枯損して荒廃している林分も2 km以内に存在する。

無散布区及びその周辺では、地上散布等の予防は実施しておらず、被害木の伐倒駆除を実施している。無散布区1 haでの近年の被害経過は、1995年5本、1996年3本の計8本であり、散布区同様に微害のまま推移している。

2. ラジヘリによる薬剤の散布

1) 薬剤使用量と散布時期

使用した薬剤は、有効成分MEP80%のスミパイン乳剤で、18倍に希釈して1 ha当り30 l（原液

使用量は1.67 l）散布区において2回散布した。散布時期は当地でのカミキリの羽化脱出初期にあたる6月24日と羽化脱出最盛期の7月7日とした。

2) ラジヘリの飛行緒元等

使用したラジヘリは「薬剤散布装置L12A」を装備する「ヤマハR-50」で、散布区の樹冠上3 mの高度を速度10 km/hで運行し、薬剤を散布幅5 m、吐出量2.6 l/minで散布した。

3. 調査項目

1) 気象観測

散布直前から5分毎に天候、風向、風速、気温について気象観測を実施した。測定は、樹冠とほぼ同じ高さで遮るものがない散布区の西側に隣接した小山で行なった。

2) 薬剤の落下分散調査

落下分散調査のために第1回の薬剤散布時に20 cm四方のベニヤ板に添付した青色落下調査紙（ミラーコート紙）を使用した。調査紙は、散布区の長軸方向に20 m間隔で10地点の林床に設置し、各地点で、散布区の東側、中央、西側の3箇所に調査紙を設置した。薬剤落下量及び粒径の判定は、「農林水産航空事業・技術指針」の落下分散調査指標を基準とした。

3) カミキリの羽化脱出状況調査

カミキリの羽化脱出状況は、近接する酒田市黒森地内の露天に置いた網室において1 mに玉切りした枯死木を入れ脱出日を調査した。

4) 薬剤の効果期間の調査

薬剤の効果期間を判定するために散布区と無散布区の当年生枝に対するカミキリの後食による死亡状況を調査した。

供試枝は、高枝バサミで樹冠中～上部のものを30 cm程度数本を採取し、長さ14 cmに調整して供試虫の飼育ビン1個当たり2本を入れた。

供試虫は、酒田市の激害地から伐採した枯死木を1 mに玉切りした丸太60本を山形県森林研究研修センター内の露天の網室に入れ、羽化脱出した成虫を使用した。

調査には、直径12 cm、高さ16 cmのガラス製の飼育ビンを用い、その中に両試験区のマツの枝と供試虫を入れて、後食による死亡状況を観察した。供試虫は1回の調査で散布区10頭、無散布区10頭を用い、やむおえない場合を除いて雌雄1：1に調整した。

調査回数は、第1回散布直後、7日後、第2回散布直後、7日後、14日後、21日後、28日後、35日後、42日後の計9回（延べ9週間）行ない、成虫の死亡状況の確認は経過日数ごとにそれぞれ7日目まで毎日行なった。死亡の判断は、明らかに麻痺しているもの、死亡しているものを死亡とし、7日目の死亡率を算定した。

5) 枯損防止効果調査

散布区と無散布区のクロマツ立木について、散布前と11月の枯損量を調査した。年越し枯れについては、翌年5月に調査した。

6) 薬剤の生物環境への影響調査

(1) 植生への影響調査

散布区と無散布区のクロマツ林内に20×25mのプロットを設置し、被度・萎凋・枯損等の変化に関する調査を行なった。調査時期は、散布前、第1回散布7日後、第2回散布7日後、1ヶ月後、3ヶ月後とした。

(2) 鳥類への影響調査

散布区と無散布区の林内のバードラインセンサスと鳥類の生死等の異常が無いかの確認調査を行なった。バードラインセンサスは250mを往復しラインから40m以内で、観察、さえずり、地鳴きにより確認した種について記録した。調査時期は、散布前4回、第1回散布直前、第1回散布直後、第2回散布直前、第2回散布直後、第2回散布後1週後、2週後、3週後、約1ヶ月後、約2ヶ月後、3ヶ月後の計14回とした。

(3) 地上部の節足動物への影響調査

散布区の林内に1m×1mの寒冷紗で作ったトラップを10個設置して、落下昆虫の個体数を調査した。調査時期は、第1回散布直前、第1回散布直後、第1回散布1週後、第2回散布直前、第2回散布直後、1週後、2週後、3週後、4週後、約

1ヶ月後、約2ヶ月後、約3ヶ月後の計12回とした。

(4) 土壌動物への影響調査

散布区と無散布区の林内の中央部分から、土壌を採取して大型（2mm以上）、中型（0.2～2mm）、小型（0.2mm以下）の土壌動物の個体数を調査した。また、大型土壌動物については湿重で現存量を求めた。

抽出は大型がハンドソーティング、中型はツルグレン装置、小型はビールマン法で行なった。調査時期は、散布前、第1回散布直後、第2回散布直後、第2回散布約1ヶ月後、約2ヶ月後、約3ヶ月後の計6回とした。サンプル数は大型が散布区と無散布区各1個、中型と小型は各10個とした。

III 試験結果と考察

1. 気象状況

表-2に散布時の気象観測結果を示した。

第1回散布時は晴れで微風。第2回散布時は曇りで微風の条件であった。

2. 薬剤の落下分散状況

散布薬剤の落下分散状況を表-3に示した。散布区内の場所による散布状況の違いは若干あるものの粒径B～C（0.5～1.0mm）の落下数が多く微粒の薬剤がムラなく均等に散布されていた。

薬剤散布高が樹冠上3mと近く、薬剤散布時にヘリコプターのプロペラの風圧で薬剤が樹冠上部に吹き付けられていた。また、静岡県での試験結果と同様に微粒の薬剤を散布区内に十分に散布できることから、本法ではカミキリが後食する樹冠部上部へ効果的に薬剤が付着するものと考えられる。

表-2 散布時の気象

区分	年月日	時間	天候	風向	風速 (m/sec)	温度 (℃)	湿度 (%)
第1回 散布	1997年 6月24日	5:00～ 6:00	晴れ	南東	0.7 (0.0～2.6)	19.8 (19.0～20.0)	85.1 (83.0～91.0)
第2回 散布	1997年 7月7日	16:50～ 17:52	曇り	西北西	0.6 (0.0～2.6)	22.4 (22.1～24.8)	93.1 (83.4～97.2)

注) ()内の数字は(最低値～最高値)

3. カミキリの羽化脱出状況

図-1にカミキリの羽化脱出状況を示した。

カミキリの脱出期間は、6月30日から7月17日までの約3週間で、総数は26個体であった。カミキリの羽化脱出は第1回散布1週間後から始まり、第2回散布時には総数の約50%に達していた。試験地での初発日は例年6月中旬であるので1997年は若干遅かったが、薬剤はカミキリの羽化脱出に合わせて効果的な時期に散布された。

4. 薬剤の効果期間

散布区と無散布区から採取した枝を後食させたカミキリの死亡率の比較について表-4に示した。

散布区の枝を後食させたカミキリは第1回散布

後から第2回散布28日後まで死亡率は100%であった。第2回散布35日後は90%、42日後は80%と死亡率が低下したので、薬剤の効果も低下したものと考えられる。

これに対して、無散布区の枝を後食させたカミキリは第1回散布時から第2回散布28日後までは0%の死亡率であった。第2回散布35日後、42日後は死亡率10%であったが、散布区の死亡率とは大きく異なる結果となった。

このことから、樹冠上部に付着した薬剤の効果期間は最低でも第2回散布以降28日後まであり、カミキリの羽化脱出終了時期である7月17日に脱出した個体が後食した場合、殺虫するには十分な薬剤の効果期間があることが明らかになった。

表-3 薬剤の落下分散状況 (第1回散布のみ)

(表の数値は基準による落下面積の指数)

測定 No.	地点 粒径	東側林床				処理区の中心				西側道路沿い			
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1		3	4	2	1	1	3	2	1	1	2	3	2
2		1	4	2	1	1	2	2	2	2	3	4	2
3		3	5	1	1	1	2	3	2	2	3	3	2
4		2	4	3	2	3	4	4	1	1	3	5	2
5		3	5	3	2	3	4	4	2	1	3	4	2
6		1	3	2	2	3	5	4	2	5	5	3	2
7		1	3	2	2	2	5	4	2	4	4	3	2
8		1	4	3	2	3	5	4	2	3	4	3	1
9		3	5	3	1	2	4	3	2	2	4	3	2
10		2	4	3	2	1	3	4	3	2	4	2	1

注) ・粒径は、
A:0.2mm, B:0.5mm
C:1.0mm, D:1.5mm
・指数は、農林水産航空事業
技術指針の基準のとおり
(占有面積小なら指数も小)

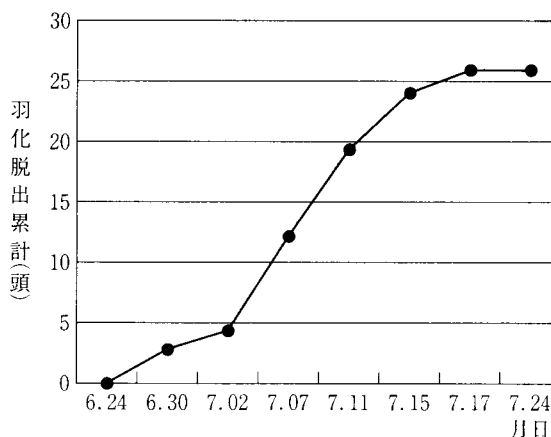


図-1 マツノマダラカミキリの羽化脱出状況 (調査地: 酒田市黒森)

表-4 マツノマダラカミキリの死亡率の比較

区分	散布後の 経過日数	供試 頭数	死 亡 虫 経 過							死 亡 虫 計	死亡率	備 考		
			1日後	2日後	3日後	4日後	5日後	6日後	7日後					
散 布 区		10頭	10							10頭	100%	1回目 散 布		
		%	100											
		7日	10頭	10							10頭	100%		
		%	100											
			10頭	10							10頭	100%	2回目 散 布	
		%	100											
		7日	10頭	10							10頭	100%		
		%	100											
		14日	10頭	7	2	1					10頭	100%		
		%	70	90	100									
		21日	10頭	3	4	1	2					10頭	100%	
		%	30	70	80	100								
		28日	10頭	1	1	3	2	2	1			10頭	100%	
		%	10	20	50	70	90	100						
	35日	10頭			3	2	2	2			9頭	90%		
	%			30	50	70	90	90						
	42日	10頭			1			4	3			8頭	80%	
	%			10	10	50	80	80						
無 散 布 区		10頭								0頭	0%	1回目 散 布		
		%												
		7日	10頭								0頭	0%		
		%												
			10頭								0頭	0%	2回目 散 布	
		%												
		7日	10頭								0頭	0%		
		%												
		14日	10頭								0頭	0%		
		%												
		21日	10頭								0頭	0%		
		%												
		28日	10頭								0頭	0%		
		%												
	35日	10頭						1			1頭	10%		
	%						10	10						
	42日	10頭							1	1頭	10%			
	%							10						

注) 飼育箇所：山形県寒河江市の山形県森林研究研修センターの実験室内

5. 枯損防止効果

試験地におけるマツの枯損防止効果について表-5に示した。

散布区の前年の枯損率は1.2%、薬剤散布した1997年11月6日と翌年の1998年5月22日現在の枯損率は0%で枯損は確認されなかった。

一方、無散布区の前年の枯損率は0.3%、1997年11月6日時点の枯損率は0.4%、1998年5月22日現在の枯損率は変わらず0.4%で若干の枯損が確認された。このことから、通常の予防散布同様に薬剤散布による枯損防止効果があるものと考えられる。

6. 薬剤による生物環境への影響

1) 植生への影響

試験地内の植生の変化を表-6、試験地内の植生を表-7に示した。

散布区はクロマツの実生稚樹が林床に生育し、豊富な草本類を伴う植生であり、無散布区は高木層のクロマツ以外下層の植生は貧弱である。薬剤散布による影響については、散布区において植生の衰退や異常は確認されなかったため、通常の予防散布同様に(岩瀬ら:1976)植生への影響はないものとする。

2) 鳥類への影響

試験地での鳥類の異常等の観察結果を表-8、

試験地の主要な鳥類の1時間当たりの出現羽数の推移を表-9に示した。

散布区と無散布区の鳥類相に大きな違いはなく、1時間当たりの出現羽数は時期により変動はあるものの、特に散布による減少はなかった。また、死亡個体や変異個体は観察されなかったため、通常の予防散布同様に(藤瀬ら:1978, 1979, 1980, 1981、藤下:1978, 1979, 1980、高野ら:1981)鳥類への影響はないものとする。

3) 地上部の節足動物への影響

散布区における地上部の節足動物の落下状況を表-10に示した。

期間を通じてカミキリの落下は確認されなかった。また、散布直後に落下する動物が多くなるが、その後の落下数は多少の変動はあるものの減少する傾向であった。これは、これまでの報告同様の結果であり(片岡ら:1979, 1980, 1981、小野ら:1976、田畑ら:1980、山崎ら:1980)昆虫を主とした地上部の節足動物への影響は非常に少ないものとする。

4) 土壌動物への影響

大型土壌動物の個体数と現存量の推移を表-11、中型土壌動物の個体数の推移を表-12・13、小型土壌動物(0.2mm以下)の個体数の推移を表-14に示した。

表-5 試験地における枯損防止効果

区 分	1997年5月までの枯損			1997年11月から1998年5月の枯損		
	総本数(本)	枯損本数(本)	枯損率(%)	総本数(本)	枯損本数(本)	枯損率(%)
散布区	483	6	1.2	477	0	0
無散布区	843	3	0.3	840	3	0.4

表-6 試験地内の植生の変化(萎凋や異常な枯れ等)

区 分	散 布 前	第1回散布7日後	第2回散布7日後	1カ月後	3カ月後
月 日	6.17	6.31	7.15	8.8	10.8
散布区	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
無散布区	〃	〃	〃	〃	〃

表一七 試験地内の植生

(調査年月日:1997年6月17日)

散 布 区				無 散 布 区	
種 名	被 度 (+~5)	種 名	被 度 (+~5)	種 名	被 度 (+~5)
高 木 層		草 本 層		高 木 層	
ク ロ マ ツ	4	ハ ル ガ ヤ	4	ク ロ マ ツ	4
亜高木層				低 木 層	
ク ロ マ ツ	+	アキノキリンソウ	1	カスミザクラ	+
ア カ マ ツ	+	ツ タ ウ ル シ	+	ドクウツギ	+
カスミザクラ	+	カスミザクラ	+	ネ ム ノ キ	+
低 木 層					
ク ロ マ ツ	2	ミツバアケビ	+	ヤ マ グ ワ	+
ア カ マ ツ	2	イチヤクソウ	+	コ ナ ラ	+
コ ナ ラ	1	ツルウメモドキ	+	サ ン シ ョ ウ	+
ドクウツギ	1	ナワシロイチゴ	+	オオヤマザクラ	+
カスミザクラ	1	キンミズヒキ	+	草 本 層	
ス ス キ	+	ガ マ ズ ミ	+	ハ ル ガ ヤ	4
ヤマウルシ	+	ウメガサソウ	+	ヤ マ ヨ モ ギ	1
ニセアカシア	+	コ マ ュ ミ	+	ヘクソスガラ	1
ガ マ ズ ミ	+	ヤ マ ヨ モ ギ	+	カスミザクラ	1
ヤ マ グ ワ	+	サジガンクビソウ	+	メ ド ハ ギ	+
ヌ ル デ	+	チヂミザサ	+	ガ マ ズ ミ	+
ネ ム ノ キ	+	スズメガヤ	+	ノ ブ ド ウ	+
		ヒメジョーン	+	アキノキリンソウ	+
		ヤ マ グ ワ	+	ヨ モ ギ	+
		ハマカキラン	+		
		ヌ ル デ	+		

注) 被度は、+:1%未満, 1:1~5%, 2:6~25%, 3:26~50%, 4:51~75%, 5:76%以上の面積の被覆率

表一八 試験地での鳥類の異常等の観察結果(死亡個体・変異個体の確認)

区 分	散 布 区		前		第1回散布直前	第1回散布直後	第2回散布直前
月 日	5/22	5/27	6/7	6/18	6/23	6/25	7/2
散 布 区	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
無 散 布 区	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
区 分	第2回散布直後	同1週後	同2週後	同3週後	同1ヶ月後	同2ヶ月後	同3ヶ月後
月 日	7/9	7/14	7/25	7/28	8/12	9/13	10/19
散 布 区	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
無 散 布 区	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃

表一 9 試験地の主要な鳥類の1時間当たりの出現羽数の推移

区分	月日 時間	散 布 区			無 散 布 区		
		総出現 羽数 (羽/時間・ha)	1 位 (種名) (羽/時間・ha)	2 位 (種名) (羽/時間・ha)	総出現 羽数 (羽/時間・ha)	1 位 (種名) (羽/時間・ha)	2 位 (種名) (羽/時間・ha)
散	5/22		ハシボソガラス	ホオジロ		ホオジロ	カワラヒワ
	0.50	48.0	12.0	10.0	32.0	16.0	10.0
布	5/27		ホオジロ	シジュウカラ		ホオジロ	カワラヒワ
	0.50	34.0	14.0	12.0	36.0	16.0	10.0
前	6/7		カワラヒワ	ハシボソガラス		ホオジロ	カワラヒワ
	0.50	36.0	12.0	8.0	26.0	20.0	4.0
第 1 回 散布直前	6/18		カワラヒワ	ハシボソガラス		カワラヒワ	ホオジロ
	0.50	38.0	20.0	8.0	30.0	12.0	12.0
〃 散布直後	6/23		カワラヒワ	ハシボソガラス		カワラヒワ	ホオジロ・シジュウカラ
	0.50	50.0	18.0	12.0	32.0	10.0	8.0
第 2 回 散布直前	6/25		ハシボソガラス	カワラヒワ		ホオジロ	カワラヒワ
	0.25	72.0	36.0	24.0	54.0	16.0	16.0
〃 散布直後	7/2		スズメ	カワラヒワ・シジュウカラ		ホオジロ	カワラヒワ
	0.25	56.0	20.0	8.0	46.0	22.0	18.0
1 週 後	7/9		カワラヒワ	シジュウカラ		カワラヒワ	ホオジロ
	0.25	76.0	32.0	20.0	40.0	12.0	10.0
2 週 後	7/14		カワラヒワ	ムクドリ		ホオジロ	カワラヒワ
	0.25	60.0	24.0	16.0	60.0	28.0	14.0
3 週 後	7/25		カワラヒワ	ホオジロ		ホオジロ	カワラヒワ
	0.25	68.0	24.0	16.0	36.0	34.0	2.0
1 ヶ月後	7/28		カワラヒワ	ハシボソガラス		ホオジロ	ヒヨドリ
	0.25	64.0	40.0	8.0	40.0	28.0	6.0
2 ヶ月後	8/12		カワラヒワ	ヒヨドリ		ホオジロ	カワラヒワ
	0.25	32.0	8.0	8.0	40.0	22.0	10.0
3 ヶ月後	9/13		シジュウカラ	ホオジロ		シジュウカラ	カワラヒワ
	0.25	40.0	16.0	8.0	20.0	8.0	6.0
	10/19		シジュウカラ	カワラヒワ		ホオジロ	メジロ
	0.25	40.0	24.0	8.0	62.0	12.0	10.0

注) 1. 時間当たりの出現羽数は目撃、さえずり、地鳴きすべてを含む
 2. 表には各測定日で出現羽数の多い2種類のみを記載

散布区と無散布区における散布前後の大型、中型、小型の土壤動物相はほぼ類似していた。ミミズなどの大型土壤動物は散布区で第1回散布直後個体数が減少し、第2回散布直後約1ヶ月後、約2ヶ月後とほぼ横ばいに推移し、約3ヶ月後になると散布区と無散布区とも差がなくなった。

ダニやトビムシ類の中型土壤動物は散布区も無散布区も同様な個体数の増減の傾向であった。また、土壤線虫類の小型土壤動物は散布区では第1回散布直後個体数が減少し、第2回散布直後以降徐々に増加する傾向であるものの、散布区と無散布区の個体数間に有意差はなかった。

表-10 散布区におけるトラップへの節足動物の落下物

区分 目名/月日	第1回		第2回		第2回		第2回		第2回		第2回	
	散布直前	散布直後	布1週後	散布直前	散布直後	1週後	2週後	3週後	4週後	1カ月後	2カ月後	3カ月後
	6.22	6.25	7.2	7.7	7.9	7.15	7.25	7.28	8.4	8.14	9.11	10.19
甲 殻 網												
ワラジムシ目	1			1								
ク モ 網												
クモ目	3	34	14		7		4			5	2	1
昆 虫 網												
カメムシ目	1	5	1	1	1	2	20	5				1
脈翅目	1	1	1		2							
トビケラ目	3	1	2		3						1	
鱗翅目	6*	1*	5*		2*		4				1	
ハエ目	2	2	1		7		2					
甲虫目	5	10	13	3	3	3	4	2	2	3	1	3
ハチ目			1	1		1	5					
トンボ目										2		
合 計	22	54	38	6	25	6	39	7	2	10	5	5

注) 1. 数字は1 m²のトラップ10基に落下した合計個体数
 2. *は幼虫
 3. 甲虫目ではマツノマダラカミキリの落下は無かった。

表-11 大型土壌動物（2 mm以上）の個体数と現存量の推移

区 分		第 1 回	第 1 回	第 2 回	第 2 回散布	第 2 回散布	第 2 回散布
		散 布 前	散 布 直 後	散 布 直 後	約 1 月 後	約 2 月 後	約 3 月 後
		6.10	6.24	7.7	8.7	9.11	10.6
散 布 区	個 体 数	104	48	56	56	48	108
	現 存 量	4.36	16.04	23.44	8.48	41.04	77.72
無 散 布 区	個 体 数	120	56	84	72	68	148
	現 存 量	7.36	29.96	36.96	26.08	45.20	84.92

注) 単位：個体数は（個体/m²）、現存量は（湿重 = g/m²）

表-12 散布区における中型土壌動物（0.2mm～2mm未満）の個体数（個体/m²）の推移

区 分	第 1 回	第 1 回	第 2 回	第 2 回散布	第 2 回散布	第 2 回散布
	散 布 前	散 布 直 後	散 布 直 後	約 1 カ月後	約 2 カ月後	約 3 カ月後
	6.10	6.24	7.7	8.7	9.11	10.6
ヤスデ網	50					600
コムカデ網	100	200			300	300
クモ網						
ダニ目	5350	6100	6300	5750	6800	10700
ケダニ亜目	2200	1100	450	1650	2000	3000
トゲダニ亜目	400	300	200	450	300	650
ササラダニ亜目	2750	4700	5650	3650	4500	7050
昆虫網	5150	3900	4550	4900	3100	7050
トビムシ目	4950	3800	4500	4850	2750	6600
ハエ目	150	50	50	50		200
ハチ目	50	50			350	250
甲虫目						
合 計	10650	10200	10850	10650	10200	18650
95%信頼幅上限値	11932	14027	14151	13983	11142	19593
〃 下限値	9368	6373	7549	7317	9258	17707

表-13 無散布区における中型土壌動物（0.2mm～2mm未満）の個体数（個体/m²）の推移

区 分	第 1 回	第 1 回	第 2 回	第 2 回散布	第 2 回散布	第 2 回散布
	散 布 前	散 布 直 後	散 布 直 後	約 1 カ月後	約 2 カ月後	約 3 カ月後
	6.10	6.24	7.7	8.7	9.11	10.6
ヤスデ網						150
コムカデ網				150		250
クモ網						
ダニ目	5200	3550	5300	4100	7950	11950
ケダニ亜目	1400	1200	900	1350	3350	3950
トゲダニ亜目	1050	350	850	350	400	750
ササラダニ亜目	2750	2000	3550	2400	4200	7250
昆虫網	5350	4200	4950	4250	3200	6550
トビムシ目	4400	4800	4700	3900	3000	5500
ハエ目	700	250	150		50	200
ハチ目	250	100	100	350	150	800
甲虫目		50				50
合 計	10550	8750	10250	8500	11150	18900
95%信頼幅上限値	12704	10716	10822	10174	12486	20795
〃 下限値	8396	6784	9678	6827	9814	17005

表一四 小型土壤動物（0.2mm以下）の個体数（個体/m²）の推移

区 分	第 1 回 散 布 前		第 1 回 散 布 直 後		第 2 回 散 布 直 後		第 2 回散布 約 1 カ月後		第 2 回散布 約 2 カ月後		第 2 回散布 約 3 カ月後	
			6.10	6.24	7.7	8.7	9.11	10.6				
散 布 区	平 均		8850	5700	6900	7100	14650	18400				
	95%信頼幅上限値		11868	7850	10340	10911	16970	22821				
	々 下限値		5825	3450	3460	3289	12330	13979				
無散布区	平 均		5500	10000	8850	5650	17700	24550				
	95%信頼幅上限値		6469	12284	10461	7364	25196	26977				
	々 下限値		4532	7716	7239	3936	10205	22123				

注) 個体数はAo層のF層以下5cm、表面積20cm²の土壤100cc5本を採取し、ビールマン法により24時間浸漬、抽出した液体からピペットで2回すくい取って検鏡してm²当りに換算した。

このように薬剤散布直後に一時的に表皮が一般的に薄い土壤動物が減少するものの時間の経過とともに無散布区同様に動物相と個体数が復元した。これは、これまでの薬剤散布同様の結果であり（藤下：1978, 1979, 1980）、薬剤による土壤動物相への影響は持続的ではないと考える。

5) 散布薬剤の生物環境への残留性について

スミパイン乳剤 (MEP) は太陽光線や微生物による分解により自然環境下での消失が速く、安全性が高いため有人ヘリコプターによる散布可能な薬剤として登録されている（住友科学：1975）。

また、スミパイン乳剤 (MEP) の残留性に関する報告は（スミパイン普及協会：1987）、植物体での MEP の半減期は 1～2 週間以内であり、デスメチル体などに分解し無害化する。土壤中での MEP の半減期は 4～28 日で、3-メチル-4-ニトロフェノール、炭酸ガス等へのすみやかな分解がおこり無害化する。山林や海岸林で散布されたスミパイン乳剤 (MEP) の河川等への流出については、毎年散布から 3～5 日後には MEP が検出されていないことが全国 5 カ所の河川で 2～4 年継続調査により確認されている。このようにスミパイン乳剤 (MEP) は散布後殺虫効果を発揮して、自然環境下では無害な物質に変化することが確認されている。

本報はわずか 3 カ月の生物環境調査であり、長期間における生物環境への薬剤の残留による影響

や生物濃縮については明らかに起きなかった。また、十数年におよびくりかえされた山林や海岸林でのスミパイン乳剤 (MEP) の生物相や自然環境への残留性に関する調査例はないため、今後必要になると考える。

しかし現段階では、スミパイン乳剤 (MEP) は自然環境下において分解が速く残留性がないことが確認されており、これに替る殺虫剤がないため、無人ヘリコプターによる予防散布に関しては有効であると考えられる。

7. ラジヘリによる予防散布の有利性

本県において現在実施されている予防散布の 1 ha 当たりの薬剤散布量は希釈倍率 180 倍の時には原液で 6 l、希釈薬剤で 1200 l であるのに対して、ラジヘリによる空中散布の場合は 18 倍希釈の時には原液で 1.67 l と約 1/4、希釈薬剤ではわずか 30 l と約 1/40 であり、薬剤使用量が少なくすむ散布方法であることがわかる。

また、加藤（1997）は有人ヘリとラジヘリによる薬剤散布時の粒径を比較して、ラジヘリは有人ヘリよりも粒径が小さいことを報告しており、ドリフトも地上散布と比較すると明らかに少ないことが本試験で観察された。ラジヘリによる空中散布は落下する薬剤の粒径が比較的細かく、プロペラの風圧で薬剤が樹冠上部に散布されることが明らかになったことと併せると少ない薬剤を効果的

に散布する環境への影響も少ない方法として極めて有効であると考える。

V おわりに

更新が難しい海岸マツ林の保全には松くい虫被害の予防が重要課題となるが、その際にラジヘリによる予防散布は環境への影響が少ない有効な方法であることが明らかになった。しかし、ラジヘリの運行には現在のところ次の5点の制約がある。①オペレーターによる有視界飛行であること。②運行のコントロールできる距離が約100mであり急傾斜地での散布には不向きなこと。③オペレーターが樹冠上部の視界を確保するため高所作業車が必要であり、車の運行に必要な幅員と空間が必要なこと。④タンクは10ℓしか薬剤が積込めず散布と積込み作業の回数が多いこと。⑤地上散布のコストと比べると現在は数倍の運行コストがかかること。これらについては、積み込み用タンクの大型化や自動誘導のための標識設置とGPSによる自動運行などがすでに技術開発されており、使用する頻度が増せばコストも下がるものと考えられる。

今後、松くい虫防除に関してはこのように環境に対して配慮するとともに、森林の機能に応じて薬剤防除を徹底するエリアや前生の広葉樹を活用して森林に復元させるエリアを設定するなど、森林の生態系に配慮した防除システムの再構築が必要である。

VI 引用文献

藤瀬 悌ら (1978) マツクイムシ防除薬剤の空中散布による森林の野鳥相に及ぼす影響調査、香川林指研報14:24~35。
藤瀬 悌ら (1979) マツクイムシ防除薬剤の空中散布による森林の野鳥相に及ぼす影響調査、香川林指研報15:10~15。
藤瀬 悌ら (1980) マツクイムシ防除薬剤の空中散布による森林の野鳥相に及ぼす影響調査、香川林指研報16:9~14。
藤瀬 悌ら (1981) マツクイムシ防除薬剤の空中散布による森林の野鳥相に及ぼす影響調査、香川林指研報17:7~12。
藤下章男 (1978) マツクイムシ防除薬剤による環

境影響調査、静岡林試業報昭和53年度:22~26
藤下章男 (1979) マツクイムシ防除薬剤の残効とその影響に関する試験、静岡林試業報昭和54年度:25~32。
藤下章男 (1980) マツクイムシ防除薬剤の残効とその影響に関する試験、静岡林試業報昭和55年度:19~37。
岩瀬 恵ら (1976) 松くい虫防除薬剤の主要林木などに対する影響調査、香川林指研報9:94~97。
片岡 稔 (1979) マツクイムシ防除薬剤の空中散布による森林の昆虫相に及ぼす影響調査、香川林指研報15:16~27。
片岡 稔 (1980) マツクイムシ防除薬剤の空中散布による森林の昆虫相に及ぼす影響調査、香川林指研報16:15~26。
片岡 稔 (1981) マツクイムシ防除薬剤の空中散布による森林の昆虫相に及ぼす影響調査、香川林指研報17:13~24。
加藤 徹 (1997) 産業用無人ヘリコプターによるスミパイン乳剤の松くい虫防除試験、平成8年度農林水産航空事業受託試験成績書(林業編):38~46
住友化学 (1975) スミチオンの毒性に関する資料概要
スミパイン普及協会 (1987) スミパイン乳剤に関する技術レポート、第2版:124p.p.
高野 肇ら (1981) MEP剤空中散布による鳥類への影響、林業と薬剤75:15~18
田畑勝洋ら (1980) MEP散布地におけるへい死昆虫類のスミチオン残留(予報)第91回日林講:359~360。
小野 洋ら (1976) マツクイムシ防除薬剤の空中散布による森林の昆虫相に及ぼす影響調査、香川林指研報9:45~66。
小野 洋ら (1978) マツクイムシ防除薬剤の空中散布による森林の昆虫相に及ぼす影響調査、香川林指研報14:36~49。
山崎三郎ら (1980) MEP空中散布地における落下昆虫類のひろいとり調査、第91回日林講:357~358
横井 宏ら (1976) マツクイムシ防除薬剤の空中散布による森林の野鳥相に及ぼす影響調査、香川林指研報9:46~76。