

トドマツオオアブラの総合防除

山口博昭⁽¹⁾・高井正利⁽²⁾Hiroaki YAMAGUCHI and Masatoshi TAKAI: An Integrated
Control System for the Todo-fir Aphid, *Cinara todocola*
INOUE in Young Todo-fir Plantations

要 旨: トドマツ幼齢造林地の害虫トドマツオオアブラに関し、その総合防除法の確立を目標に、まずアブラムシ寄生の林木の生育に及ぼす影響（寄生経過と枯損量、生長量および被害木の分布との関係等）を解明、被害許容限界として3つのレベルを設定した。次いでこれを土台に、被害よりみた危険地帯の地域区分を行うとともに、各種防除手段について調査検討、これらの成果をもとに、条件に応じて適用されるべき防除法の体系化を試みた。すなわち、本種の被害は北海道のほぼ全域にみられるが、しかし4月から8月までの5°C以上の月平均気温の積算度が40°C以下の地域では、そのまま放置しておいても、被害許容限界をこすおそれがない。したがって、これらの地域はいわば本種の被害よりみた安全地帯といえる。これに対し45°C以上の地域（被害よりみた危険地帯）では、植栽時点で带状ないし小区画造林など周辺に天然林を残すか、もしくは他樹種の造林地をつくるなどしまたトドマツ造林地を連続してつくる場合は既存の造林地が少なくとも10年以上たってから植栽するといった森林の造成法（林業的防除法）からの防除対策が望ましい。また、条件によっては、アブラムシの侵入初期に寄生蜂モミオオアブラバチを導入放飼することにより被害を回避しうが（生物的防除法）、その効果の制限される地、あるいは不成功に終わった地では薬剤防除を実施する。実際にはすでにある造林地はもちろん、今後の植栽地を含めて、その地域全体に対しその経営目的に応じてこれら各種防除手段を選択、組み合わせながら、広域的、計画的に防除対策を立てる必要がある。

目 次

緒 言	62
I 生活史と個体数変動の特徴	64
1. 生活史、生活様式の概要	64
2. 寄生経過と個体数の変動	65
II 被害許容限界	66
1. 被害解析	66
1-1. 試験地と調査方法	66
1-2. 寄生経過と枯損の発生量	66
1-3. 生長量との関係	67
1-4. 被害木の分布	69
2. 被害許容限界	70
III 被害よりみた危険地帯の地域区分	72
1. 目的と方法	72
2. 危険地帯の地域区分	73
3. 安全地帯における寄生の推移、個体数の変動	73
IV 林業的防除	74

1. 目的と方法.....74
 2. 森林の造成法と個体数の変動, 被害との関係.....75
 3. 育林的操作による防除法.....80
 V 生物的防除.....81
 1. 目的と方法.....81
 2. 寄生蜂の導入と個体数の変動, 被害との関係.....83
 3. 寄生蜂を利用した生物的防除法.....88
 VI 防除法の体系化.....89
 結 言.....90
 摘 要.....90
 文 献.....92
 Summary93

I 緒 言

トドマツオオアブラ (*Cinara todocola* INOUE) はトドマツの稚幼樹, 特に植栽後 10 年ぐらいまでの幼齡造林木を加害する。その被害は, かつては天然林内の稚樹やごく一部の造林地に散見されるだけで, ほとんど問題にされなかった。しかるに, 1954 年の大風害跡の造林, さらにそれにひき続いて 1958 年より始まる拡大造林政策にもとづくトドマツ造林地の増大にもなると, 本種は急激に増加, 北海道のほぼ全域にまんえんし, トドマツ幼齡造林地の最大の害虫として, 各地で大きな被害をひきおこすに至った。このため, 1962 年より薬剤散布が広く実施されるようになり, その後今日まで毎年 10,000~15,000 ha 前

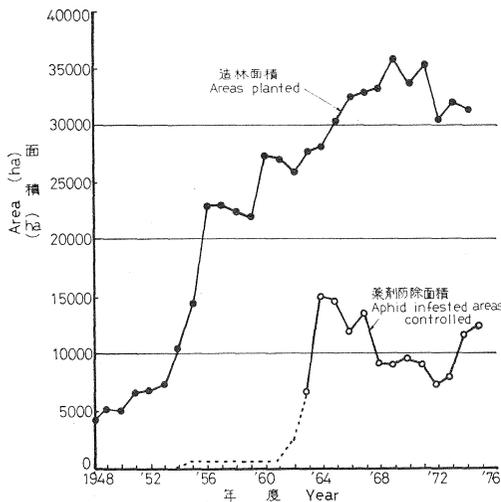


Fig. 1 トドマツの造林面積とトドマツオオアブラの薬剤防除面積の年次推移
 (注) 造林面積は北海道林業統計 (北海道庁) より。薬剤防除面積 (一部その他のオオアブラムシ類を含む) は山口・小泉(1975)²⁰⁾ 参照。

Annually reforested areas with Todomatsu and aphid infested areas controlled by insecticides.

後の面積にわたって防除が続けられてきているが, 年に 30,000~35,000 ha の新植造林が行われていることもあって, 被害はいっそうに減少していかない現状にある (Fig. 1; 山口, 1967⁹⁾; 1976¹⁰⁾; 山口・小泉, 1975²⁰⁾。

本種だけに限らず, 一般に森林害虫の防除にあたっては, 林業の特殊性, すなわちそのきびしい立地条件や長い生産期間, およびそれともなう経済性の問題などから, 薬剤防除はあくまで応急的な補助的手段と考えられ, それよりむしろ害虫の発生しにくい抵抗性のある森林の造成など育林的操作による林業的防除法, あるいは天敵を利用した生物的防除法等が, 本来の防除法として究明されるべき課題となる (山口, 1973)¹⁴⁾。特に本種のごとく, 森林の伐採, 造林といった環境の人為的改変にもなると発生が恒常化し, 被害を拡大してきた害虫においては, こうした立場に立つて, 被害発生の根本的な防止策を考えていく必要

があろう。

ところで、害虫の総合防除については、一応その定義づけがなされているとはいえ、これに対する考え方、目標等にかかなりの幅があり、また種によってとるべき方法にもいろいろちがいがあ（深谷・桐谷、1973²¹ほか）。しかしながら、いずれにしても自然における害虫密度の制御要因を人為的な手段も加えてたくみに調整し、害虫の個体数を被害許容限界以下の密度に保持、誘導していこうとするのが、総合防除の基本理念といってよい（山口、1973²²）。したがって、そこで行われる人為的な操作も、害虫密度の自然制御機構、個体群動態の解明を通して得られた生態学的な法則にのっとったものでなければならないが、森林害虫においては、その操作に用いられる手段としては、上記のごとき林業あるいは森林の特性からみても、森林の取り扱いを通じて害虫密度の抑制をはかる林業的防除が中心となるべきものと考えられる。

本種の総合防除に関しては、基本的にはこのような考え方にもとづいて調査検討が進められてきたが、その具体的な目標、とりあげた課題をあげれば、次のとおりである。

（１） まず野外におけるトドマツオオアブラの個体数の変動と変動要因を解明するとともに、アブラムシ寄生の林木の生育に及ぼす影響を調査し、その被害許容限界を明らかにする。

（２） これを土台に、北海道内の立地区分による各地域のアブラムシの発生状況、被害実態に関する調査を実施し、被害よりみた危険地帯の地域区分を行う。いいかえると、アブラムシの発生をみても全く放置しておいてよい地域、何らかの防除対策の必要な地域の地域区分を行う。

（３） 次に上記の危険地帯と区分された地域においては、森林の造成法とアブラムシ個体数の変動、被害との関係を明らかにし、育林的操作による林業的防除法を検討する。

（４） このような林業的防除法と関連して、天敵類の活動を助長、促進させる方法、あるいは人為的な導入放飼により被害を軽減しうるかどうかが検討する。

（５） 最後に薬剤防除法を加え、条件に応じて適用されるべき防除方法の体系化を図る。

本研究は、農林省農林水産技術会議によって組織された特別研究、害虫の総合的防除法に関する研究の一環として、1971～1975年の5年間に集中的に実施された。しかしその土台ともなるべき個体群動態、被害解析などに関する調査研究は、1962年ないしはそれ以前から開始されており、そのうちのいくつかの試験調査は、今回の研究まで継続されてきている。これらの結果についてはこれまですでに発表されたものも少なくないが（山口、1964⁸；1968¹⁰；1970¹¹；1973¹⁴；1976¹⁶；山口・高井、1967²¹；山口・平佐・高井、1964¹⁷；1965¹⁸；1966¹⁹）、ここでは、本種の総合防除がいかなる研究をもとにどのように組み立てられたかという観点から、既往の成果の一部を含めてこれを総括し、報告してある。

この研究を行うにあたり何かとご指導をあおいだ林業試験場小田久五保護部長、ならびに特別研究に際して多大の便宜とご助言をたまわった農業技術研究所河野達郎昆虫科長および農林水産技術会議の関係各位に対し心から感謝の意を表する。

このほか多くの方々のご援助を得ているが、中でも特別研究に参加された各大学、研究機関の研究グループの方々からは、機会あるごとに種々ご討議、ご助言をいただき、また林業試験場関西支場昆虫研究室、古田公人（元北海道支場）、同北海道支場昆虫研究室、小泉 力、秋田米治、福山研二の同僚諸氏には、野外調査をはじめ資料の検討、とりまとめに少なからぬご協力をあおいだ。ここに厚くお礼申しあげる。なお試験地の設定、調査に際しては、札幌営林局、苫小牧営林署、定山溪営林署の関係各位より特段のご便宜、ご配慮をいただいている。あわせて深く感謝の意を表する。

I 生活史と個体数変動の特徴

まずはじめに、本種の寄生経過や個体数の変動を含め、その生活史、生態上の特徴についてかんたんにふれておきたい（以下詳細は山口，1976¹⁰⁾を参照されたい）。

1. 生活史，生活様式の概要

本種は卵で越冬，札幌付近では4月末から5月上旬にかけてふ化する。第1世代虫（幹母）は，すべて雌で翅がなく，単性生殖により条件がよければ100前後の子虫を胎生する。第2世代虫は6月下旬頃成虫となるが，同じく胎生の雌のみで，有翅型と無翅型とに分れる。この有翅胎生型のもは第3世代にも一部出現するが，数が少なく，それ以降はほとんど発生しない。したがって有翅虫の移動分散は6月下旬から7月上旬頃に集中し，この時期に最も寄生が拡大される。これら胎生雌虫の産子数は幹母の半分以下で，無翅型で45頭前後，有翅型ではこれより10頭内外少ない。なお発育，繁殖からみた適温は20°C付近で，25°C以上では産子数の減少，熱興奮による異常行動をひきおこし，15°C以下では発育の大幅な遅延，産子数の減少をまねく。

このような雌のみの胎生で8月末まで5～6世代経過するが，9月からは両性生殖を営む有性世代となり，卵生の雌（無翅）と雄（有翅）を生じ，交尾後，早いものは10月中旬より産卵を開始し，11月20日頃まで産卵が行われる。ただし5°C以下では産卵できず，産卵数は10個内外である。

本種は1年を通じての世代，繁殖経過中，いろいろな型（多型）が出現する。このうち有翅胎生雌虫は，前述のごとく第2世代目に集中的に発生する。その出現は長日条件を前提としているが，こみあい（crowding）ないし密度とは直接的には無関係である。その後の世代では日長の短縮による翅型分化の抑制作用をうけ，ただ食物（栄養）条件が悪化したときのみ有翅虫を出現させる。しかし実際の野外では，こうした例がほとんどみられていない。これは第2世代虫における有翅虫の発生分散によって，あらかじめ寄主上の密度の自己規制が行われていることが大きく関係しているとみられている。有翅虫には，このような寄生密度のいちじるしい増大を緩和するための密度抑制のほか，その林地における個体群の密度調節，さらに木の生長にともなう食物の制約によってひきおこされる個体群の絶滅回避という重要な役割が課せられている。

一方，秋に出現する有性虫（産卵雌虫，雄虫）は，明らかに越冬のためのもので，光周反応すなわち日長の短縮によって生ずる。この場合，二次的に温度によって反応を変化させながらその出現時期を規定しているだけでなく，短日になるほど，つまり遅く生れたものほど卵の形成，成熟を早めるというかたちで，産卵時期の調節も行っている。しかしながら季節変化が急激で，夏から秋へと急激に気温が低下する場合の対応が弱く，これが産卵活動にも大きな影響を与え，また地域によっては産卵不能という事態をまねいて，分布を制限する原因ともなっている。

トドマツオオアブラはトドマツの幹枝部に寄生するが，その寄生は天然生の稚幼樹が植栽後10年ぐらいまでの幼齡木に限られ，しかもその間においても木の生長にともなう，次第に寄生部位が樹頂部や枝に限定されてくる。したがって，本種は時間的にも空間的にも食物が大きく制約されており，それだけに有翅虫に課せられた役割は大きいといえるが，それとともに本種の野外個体群においては，このような食物条件が密度変動を支配する最も重要な要因となる。

なお，本種の寄生木には必ずといってよいほどアリが共生しており，両者は密接な関係にある。共生し

ているアリのうち、トビロケアリ (*Lasius niger* LINNÉ) がふつう最も優占的である。このアリはアブラムシの寄生部に土莖 (巢状の土の覆い) という特殊なシェルターを形成する。木が小さいときは、寄生をうけた幹全体がこの土莖でおおわれることがあり、この点他のほとんどないしは全く土莖を作らないアリにくらべ、アブラムシの生活にはるかに大きな影響を与えている。

2. 寄生経過と個体数の変動

造林地における本種の個体数の変動は、季節的には、春の幹母成虫期から秋の有性虫の成虫期までの間と、それ以降卵期を経て翌春の幹母成虫期に至る間と、それぞれ山型の曲線を描く (Fig. 2)。前者の春から秋までの間は、実際には単性生殖の胎生により数世代くりかえされているにもかかわらず、大きくみてあたかも1世代内にみられるであろうと同様の個体数の消長をたどることが特徴的な現象といえる。なお春から秋までにくらべ、秋から翌春にかけての個体数変動の山は一般にきわめて小さいので、おおまかにみれば1山型の変動とみてもよいであろう。

他方長期年変動をみると、アブラムシの侵入後、このような季節的消長をくりかえしながらも年々密度を増大していくが、トドマツ植栽後6~7年前後の時期をピークに減少に転じ、10年目頃には再び低密度になるといふ、これまた大きな山型の曲線を描いている (Fig. 2)。そして植栽後14~15年目頃には密度はほとんど0になり、その林地の個体群は消滅する。

寄生率、すなわち寄生をうけている林木の割合も同様の経過をたどり、ほぼ個体数に平行に変動する。この場合、密度が最も高まり、寄生も最も広がる植栽後6~7年前後の時点においても、寄生率は最

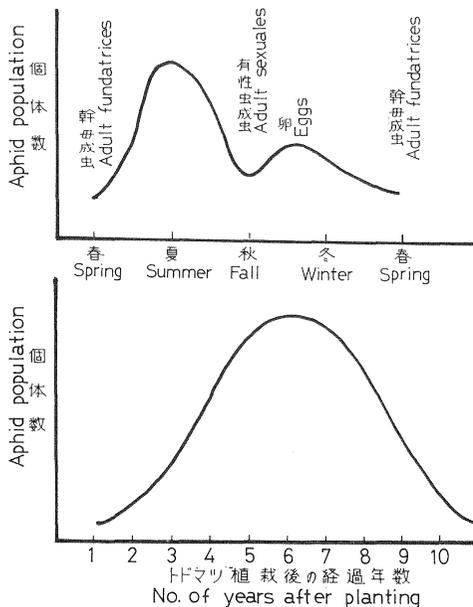


Fig. 2 トドマツオオアブラの個体数変動 (模式図)

上 季節変動 Upper part : Seasonal change.
 下 年変動 Lower part : Annual change.
 Typical patterns of the seasonal and annual changes of aphid population in young Todo-fir plantations.

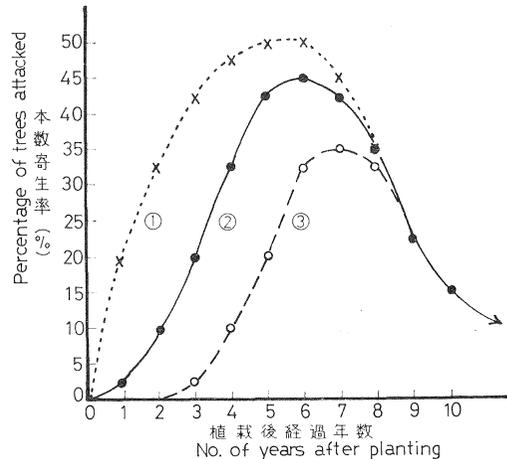


Fig. 3 トドマツオオアブラの寄生率の年次推移にみられる3つのタイプ (山口, 1968¹⁰⁾)

①, ②, ③については本文参照。

Three generalized types of the aphid infestation seen after the establishment of Todo-fir plantations. Types 1~3 indicate annual changes in percentages of trees attacked in plantations directly in contact with heavily and moderately or lightly infested areas, and in isolated plantations respectively.

高で 70% 前後どまりであり、全林木が寄生をうけることがない。これはアブラムシが移動分散しても、そこに定着、繁殖できない林木があるためとみられている。

被害のいちじるしい地帯におけるトドマツ植栽後のアブラムシの侵入、定着、寄生率の年次推移には、ふつう Fig. 3 のような 3 つのタイプがみられる (山口, 1968¹⁰⁾)。すなわち、植栽地の配置など森林の造成法のいかんによって、たとえば密度が高く激害とみられる地に隣接して植栽されたところでは①、隣接地の密度がそれほど高くないときは②、周辺が他樹種の森林でとりかこまれているようなところでは③のような経過をたどる。後に述べるように、このような寄生経過の相違は、枯損の発生量など被害の現われ方に大きく関係してくる。

II 被害許容限界

1. 被害解析

トドマツオオアブラの寄生は、トドマツ植栽後 10 年間あるいはそれ以上の長期間にわたってみられ、また林木の生育に応じて寄生によってうける影響も異なってくる。したがって、これまでいくつか報告されているような短期間の実態調査では (井上, 1944⁴⁾; 井上・山口, 1955⁵⁾; 高井, 1959⁷⁾; 山口・平佐・高井, 1964¹⁷⁾)、過去の寄生経過が不明ということもあって、断片的な不完全な資料しか得られておらず、これを補うためにはどうしても長期間にわたる継続調査が必要となる。このような目的で、トドマツ植栽後 10 年余にわたり継続的に実施された調査結果を中心に、本種の寄生経過と被害との関係について検討を行った。

1-1. 試験地と調査方法

試験地は、年度を異にして 2 か所設定された。ともに苫小牧営林署 99 林班内にあり、両者相接してつくられた平坦なトドマツ造林地である。

試験地苫小牧 99(い)は、わずかにエゾマツをまじえた広葉樹天然林を約 70 m 幅に交互に帯状皆伐し、1955 年秋にトドマツを植栽した造林地である。周辺にはトドマツの造林地もなく、一応トドマツオオアブラの被害からは隔離されたような地であった。この 1 つおきに残された広葉樹天然林は 7 年後に伐採され、1962 年秋に同じくトドマツが植栽された。このうち上記に隣接する帯状植栽区に設けられたのが、試験地苫小牧 99(ろ)である。

試験地 99(い) (面積約 1.1 ha) においては、10 m × 10 m の正方形の調査区を一定間隔で全面に均等に配置、このようにして設定された 29 の調査区内の 830 本の全林木について、毎年秋 (9 月下旬~10 月上旬) に、99(ろ) (面積約 1.5 ha) においては、1 列 10 本の 6 植栽列、計 60 本の調査区を 4 区 (1966 年より 2 区追加) 設け、原則として 6, 8, 10 月の年 3 回、アブラムシの寄生状態 (寄生度)、寄生木の位置、枯損木の発生状態、樹高生長等を、前者は 1970 年まで、後者は 1972 年まで継続的に調査した。

これらの調査結果の一部は、山口・平佐・高井 (1964)¹⁷⁾、山口・高井 (1967)²¹⁾、山口 (1968¹⁰⁾、1973¹⁴⁾) 等にすでに発表してある。また個体数の変動、その変動要因に関しては別に報告した (山口, 1976¹⁵⁾)。

1-2. 寄生経過と枯損の発生量

まず両試験地におけるアブラムシの寄生率の推移と枯損の発生量との関係をみてみると、Table 1 および Fig. 4 のとおりである。試験地 99(い)では、アブラムシの侵入定着は植栽後 3 年目にみられ、その後の寄生の広がり方も全体的にゆるやかで、全枯損量もわずかに約 6% と小さかったのに対し、99(ろ)

Table 1. トドマツ植栽後のトドマツオオアブラの寄生の推移と枯損の発生率
Annual changes in percentages of trees attacked and dead trees
caused by aphid attack after the establishment of Todo-fir plan-
tation (Tomakomai 99(a), 99(b), in fall, See Fig. 4)

I 苫小牧 99 (い) Tomakomai 99(a)

調査年次 Year	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
植栽後経過年数 No. of years after planting	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
寄生率 (%) % trees attacked	1.6	8.6	22.7	26.0	26.8	31.8	27.9	11.6	10.8	4.7	5.0	3.0	1.6
枯損率 (%) % trees killed	0	0	1.9	0.8	1.9	0.4	1.0	0.1	0.1	0	0	0	0
枯損木/前年寄生木 (%) Trees killed/Trees attacked in preceding year (%)	—	0	22.5	3.7	7.6	1.4	3.2	0.5	1.1	0	0	0	0

II 苫小牧 99 (ろ) Tomakomai 99(b)

調査年次 Year	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
植栽後経過年数 No. of years after planting	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
寄生率 (%) % trees attacked	2.9	8.9	15.5	30.3	41.8	59.0	41.2	30.2	42.2	10.3
枯損率 (%) % trees killed	0	2.5	7.2	8.7	6.9	5.7	4.4	3.4	1.8	1.2
枯損木/前年寄生木 (%) Trees killed/Trees attacked in preceding year (%)	—	85.7	81.0	55.9	22.4	13.6	7.4	8.2	5.9	2.9

(注) 毎年秋 (9~10月) の調査結果。

では植栽後、隣接地から直ちにアブラムシが侵入、寄生の広がり方も急激で、総枯損率は10年間で42%にも達している (Fig. 4)。またその枯損経過をみると、植栽後3年ほどの木が小さい間は、前年寄生をうけた林木 (夏の一時期でなく、秋まで継続寄生をうけたもの。その割合はほぼ秋の寄生率で表示できる) の大半が翌年枯死しており、その後年度がたつにつれ、すなわち植栽木が大きくなるにつれて、寄生木中枯死するものの割合が減少、また次第に2年ないし3年と長期間連続して寄生をうけ、寄生の度合の高いもののみが枯死する傾向がみられている (Table 1, Fig. 5)。この場合、2次的にトドマツがんしゅ病 (*Trichoscyphella calycina* (SCHUM. ex FR.) NANNFELDT) の被害を誘発して枯死するものもみられている。

結局、木が小さいほどアブラムシの寄生によって枯死しやすく、したがって枯損の発生量は、トドマツ植栽後のアブラムシの侵入定着、寄生の広がり方と密接な関係があるといつてよいであろう。

1-3. 生長量との関係

植栽後5年目頃からは、寄生木中枯死するものの割合は急激に減少していくが、これら枯死をまぬがれた寄生木も、寄生をうけた年数に応じて上長 (樹高) 生長の低下がみられる。Fig. 6 は年間の寄生経過が明らかにされている試験地 99 (ろ) について、10年間全く寄生をうけなかったもの、もしくは一時的に

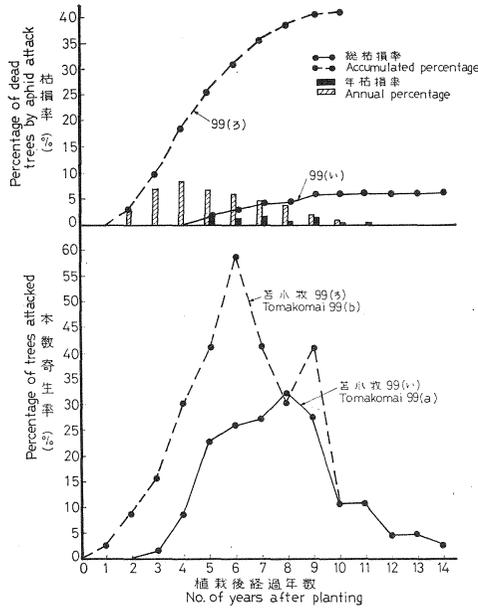


Fig. 4 トドマツオオアブラの寄生率の推移と枯損の発生量 (山口, 1973¹⁴⁾
 99 (い) 交互帯状皆伐跡につくられた造林地
 99 (ろ) 7 年後に残存帯状区を伐採してつくられた造林地

Annual changes in percentages of trees attacked and dead trees caused by aphid attack after the establishment of Todo-fir plantations.

99(a) : An isolated plantation surrounded by hardwood forests.

99(b) : A plantation directly in contact with aphid infested areas.

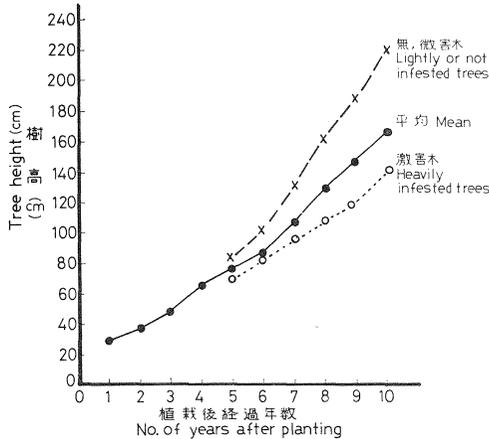


Fig. 6 トドマツオオアブラの寄生と上長 (樹高) 生長との関係 (苦小牧 99 (ろ))
 Comparison in height growth between damaged and undamaged trees (Tomakomai 99(b)).

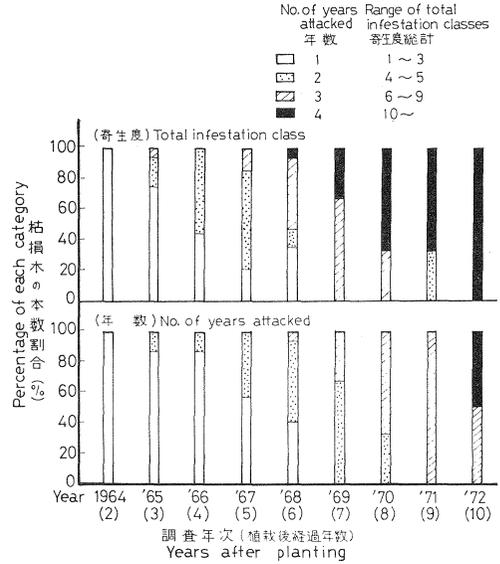


Fig. 5 トドマツオオアブラの寄生経過 (寄生を受けた年数と寄生度総計) と枯損との関係——枯損木の内訳 (苦小牧 99 (ろ))

寄生度 (1, 2, 3, 4 の段階) は春, 夏, 秋の 3 回調査。その区分, 個体数との関係は山口 (1976)¹⁵⁾ 参照。

Tree mortalities caused by the aphid attack in each year after planting in relation to the number of years attacked or the total aphid infestation classes (Tomakomai 99(b)). Aphid infestations on a tree were classified into 5 classes (0, 1, 2, 3, 4) and investigated in spring, summer and fall each year (See YAMAGUCHI, 1976).

寄生をうけたが、年間(春, 夏, 秋の3回)の寄生度総計3以下であったもの, すなわち無, 微害木と, 少なくとも植栽後5年目以降連続して3年, 年間寄生度4以上の寄生をうけた激害木との樹高生長を比較したものである。この図で明らかなように, 後者の激害木では, 10年目の時点で生長量に3年の遅れ, いいかえるとアブラムシの寄生の影響を全く, ないしはほとんどうけない林木の7年分の生長しかしていない。これら激害木と区分されたものは生存木の38% (中害木21%, 無, 微害木41%)を占め, これは最初に植栽された林木の23%にあたる。

前述のごとく, 本試験地では植栽後10年間で植栽木の42%が枯死しており, これに枯死をまねがれたが生長量の大幅な低下をきたした激害木23%を加えると, 実に植栽木の2/3にあたる65%の林木が, アブラムシの寄生によって生育が阻害されたことになる。

なお, このような幼齢造林地の場合, 植栽初期の生長量の低下が, 将来の収穫期にまで生長減として影響が残るかどうかは疑問である。しかし上長生長の停滞は, 1つは下刈り期間の延長(この例では2年前後の延長が必要), あるいは下刈り打ち切りによる被圧の危険性を大きくし, 他方林冠閉鎖の遅れにより地力, 生長量の減退をまねく。こうした意味で, 幼齢木では上長生長への影響を重視すべきであり, またその損失はかなり大きいとみてよいであろう(山口, 1973¹⁴⁾。

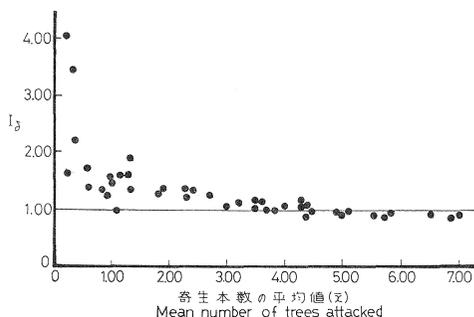
1-4. 被害木の分布

生長過程にある林分では, 林木の競争—密度効果という点から, 害虫による被害木, 特に枯損木の分布も林分生長に大きく関係してくる。たとえば, 枯死木の発生が立木密度を平均管理曲線以下に落さず, 林木間の競争を緩和するような形で起これば, その後の林分生長には全く影響がない。これに反し, たとえ量的に同じであっても, これが集団状に発生して林冠の閉鎖を破るようであれば, その影響は大きくなる(山口, 1973¹⁴⁾。

トドマツオオアブラの被害木の分布に関しては, 前述の2試験地のほか, 広い地域にわたって実施されたその他の断片的な調査結果も加え, 計43の資料をもとに検討を行った。まず10本単位に抽出した場合の寄生木数の平均値(\bar{x})と I_0 指数との関係を見ると, \bar{x} が大きくなるほど I_0 の値が小さくなる傾向が認められる(Fig. 7)。これは寄生率が小さい時には集中分布をし, しかも集中度が高いが, 寄生率が高くなると集中度が低下し, やがて一様分布になることを示している。

このような寄生の広がりにもなう寄生木の分布の変化を, 抽出単位(方形区)の大きさを変えた場合の I_0 の変化によってさらに細かく検討してみると(MORISITA, 1959⁶⁾), 寄生率に応じて明らかに4つの型に類別できる。すなわち, Fig. 8にそれらの代表例が図示してあるように, 寄生率が10%以下では小集団をもつ集中分布で, 集団内は機会分布をしているが(Fig. 8のNo. 1), 10~30%では同じ小集団の

Fig. 7 10本単位に抽出した場合のトドマツオオアブラの寄生木数の平均値と I_0 指数との関係
Relationship between mean number of trees attacked per sampling-unit (10 trees) and I_0 value.



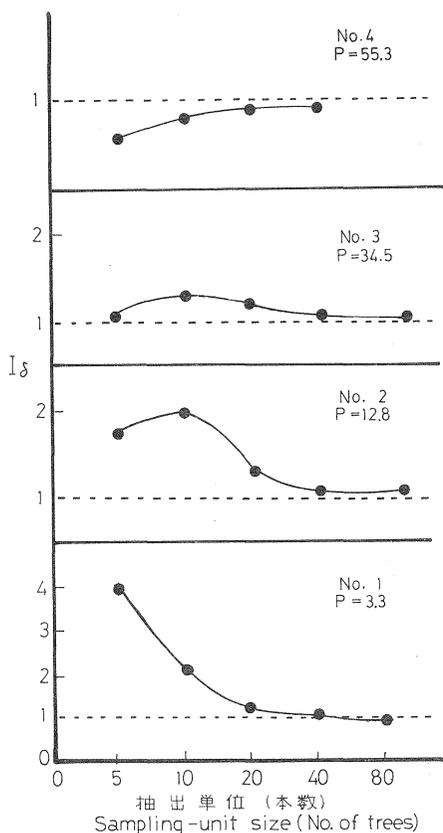


Fig. 8 トドマツオオアブラの寄生のひろがりにもなう寄生木の分布の変化(方形区面積—I_δ曲線), (山口, 1973¹⁴⁾)

- No. 1 (本数寄生率 P=3.3%)
小集団をもつ集中分布, 集団内は機会分布
- No. 2 (本数寄生率 P=12.8%)
小集団をもつ集中分布, 集団内は一様分布
- No. 3 (本数寄生率 P=34.5%)
大集団をもつ集中分布, 集団内は一様分布
- No. 4 (本数寄生率 P=55.3%)
一様分布

Changes in distribution patterns of trees attacked with increasing percentages of trees attacked.—I_δ-quadrat (sampling-unit) size relations for the different percentages of trees attacked.

- No. 1 (% trees attacked: P=3.3%).
Contagious distribution with small clumps.
Intra-clump distribution is at random.
- No. 2 (% trees attacked: P=12.8%).
Contagious distribution with small clumps.
Intra-clump distribution is uniform.
- No. 3 (% trees attacked: P=34.5%).
Contagious distribution with large clumps.
Intra-clump distribution is uniform.
- No. 4 (% trees attacked: P=55.3%).
Uniform distribution.

集中分布でも集団内は一様分布を示し (No. 2), 寄生率が 30% をこえると, これが 大集団の集中分布 (集団内は一様分布, No. 3) となり, さらに 50% 前後以上では一様分布となっている (No. 4)。いいかえると, アブラムシの寄生はいくつかの偏在する侵入地点を中心に拡散的に広がっているといえ, このような寄生の進展に応じ, 枯損木や上長生長の低下した被害木が小集団ないしは大集団にあちこちに生じ, その部分に穴があくか樹冠の閉鎖が遅れて, 林分の成立, 生長量に大きな影響を与えるようになる。

2. 被害許容限界

以上, トドマツオオアブラの寄生の推移と林分生長量 (単木生長量, 枯損量) および被害木の分布との関係から, 本種の被害許容限界として, Fig. 9 のごとく 3 つのレベルを設定することができる (山口, 1973¹⁴⁾)。この場合, 本種においては木の大きさによって受ける影響が異なる上, 被害の現われ方が生息密度よりむしろ寄生をうけている林木の割合と密接な関係があることなどから, 木の大きさ, すなわち植栽後の経過年数に応じた寄生率という形で, 被害許容限界が表示してある。

設定した 3 つのレベルのうち第 1 のレベルは, それ以下であれば林分生長にはほとんど影響がないとみられる線である。したがって被害による損失を 0 に抑えようとすれば, このレベルで防除が必要となる。

これに対し第 2 のレベルでは, 枯損の発生, 生長減など林分生長量の減少は生ずるが, しかしその損失はまだ比較的小さい。しかも将来, 生長の回復によってその損失はかなり補償されることも期待できる。

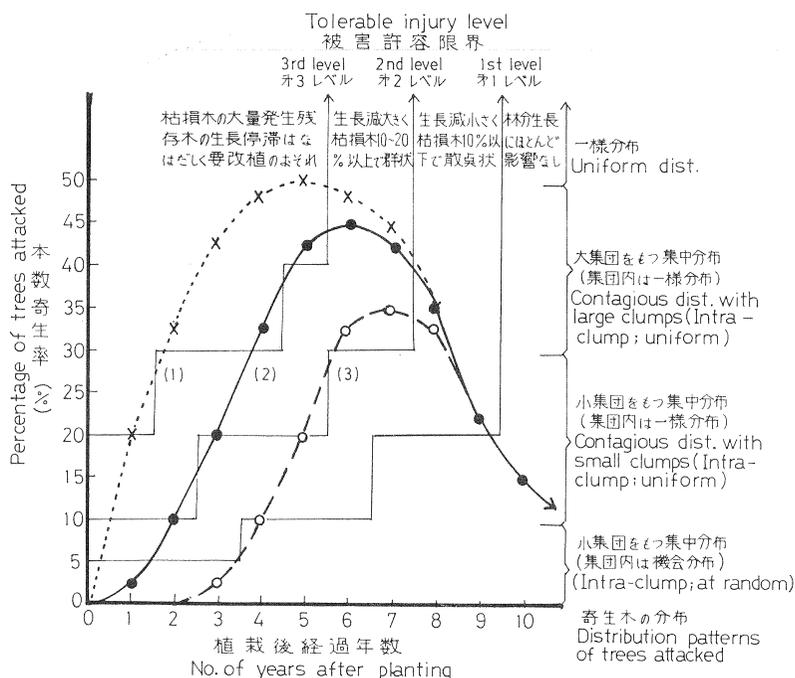


Fig. 9 トドマツオオアブラの被害許容境界の3つのレベル (山口, 1973⁴⁴)
 (1), (2), (3)の山型の曲線は寄生率の推移にみられる3つのタイプを示す。Fig. 3参照。

Three tolerable injury level for the Todo-fir aphid.

The curves with (1), (2), (3) indicate three generalized types of the aphid infestation (See Fig. 3).

第2のレベルをこすと、枯損木が集団状に多量に発生、また残存木の生長減もいちじるしくなる。このため被害による損失も大きく、生産量という点からは問題になるが、しかし第3のレベルに達するまでは少なくとも林分の成立は期待でき、要改植という事態にまで発展するおそれがない。その意味では、第3のレベルも、なお許容できる被害水準といえよう。

これらのうちのどのレベルをとるかは、その森林の価値、経営目的、生育条件など、それぞれの条件に応じて判断されるべきであるが、一般的にいえば木材生産を目的とした経済林においては、第2のレベルをとるのが最も妥当のように思える。すなわち、植栽後1～2年は寄生率10%、3～5年では20%、6～7年では30%の線で、これをこせば要防除といえる。寄生の広がり方にみられる3つの型を例にとれば、Fig. 9の(1)では1年目にすでにこの水準をこえ、(2)では2ないし3年目、(3)では5ないし6年目となる。

なお、本種では前年秋もしくはその年の春先の調査により、その寄生率をもとに容易に被害予察を行うことができる。

III 被害よりみた危険地帯の地域区分

1. 目的と方法

本種の寄生は北海道のほぼ全域のトドマツ幼齢造林地にみられるが、地域によっては、そのまま放置しておいても被害許容限界に達しないところがある。これらの地は、いわばアブラムシの被害よりみた安全地帯ともいえ、実際上何らの防除対策も必要としない。これに対し、トドマツの造林を行えば必ずといってよほど大きな被害をうける地域もみられる。したがって、本種の被害を回避、軽減していくためには、まず第一にこのようなアブラムシの地域的発生型を明らかにし、これをもとに被害よりみた危険地帯の地域区分、造林適地の判定を行って、造林のやり方を再検討していく必要がある。

こうした観点から道内の立地条件、主として気象条件にもとづく地域区分にしたいが、各地域におけるアブラムシの発生状況、被害実態について、広範なサーベイが実施された。調査地は、道央の札幌地方（野幌、苫小牧、恵庭、厚真。調査造林地数 26 か所。以下同じ）、道東の根室地方（9 か所）、オホーツク沿岸の雄武、興部地方（9 か所）、道北の稚内、天塩、浜屯別地方（8 か所）、道南黒松内以南の今金、八雲、桧山、函館地方（10 か所）、および道央でも海拔高の高い層雲峡地区（標高 700~1,200 m, 12 か所）と喜茂別地区（標高 600~800 m, 8 か所）の各地域にわたっており、これらの地においてアブラムシの寄生が最も広がるとみられる植栽後 5~7 年の造林地を対象にして、1964 年から 1968 年の 5 年間に、順次調査が行われた。これら調査結果の大半はすでに報告してあるので（山口, 1976¹⁵⁾、ここでは結論のみ要約して述べておく。

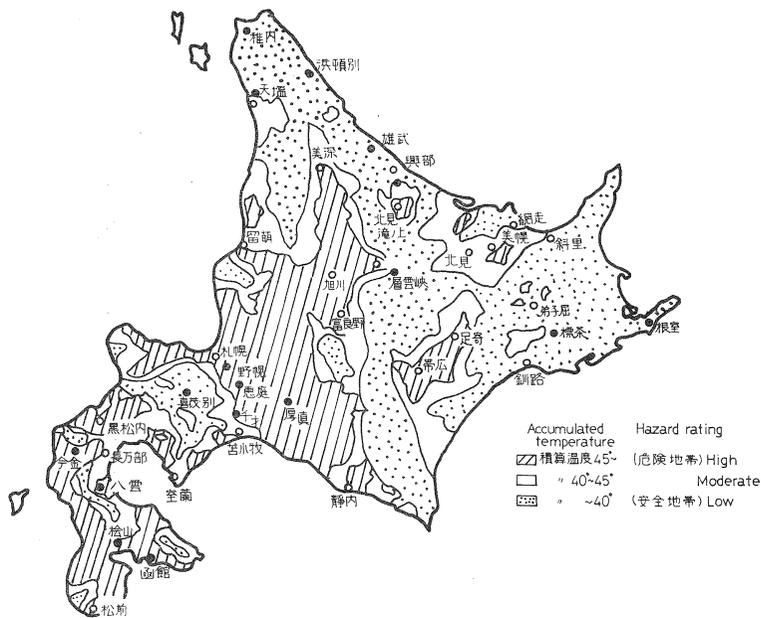


Fig. 10 4~8月の5°C以上の月平均気温の積算度の分布とトドマツオオアブラの被害よりみた危険地帯の地域区分 (●調査地) (山口, 1976¹⁵⁾
 Distribution map of temperature zones obtained from accumulating the monthly mean temperatures above 5°C from April to August and classification of the hazard districts being susceptible to the aphid infestation.

2. 危険地帯の地域区分

サーベイの結果から、本種の地域的発生型として、発育、繁殖、分散が好条件に行われ、大部分の造林地が植栽後5年前後には寄生率が20% (被害許容限界の第2レベル) をこえ、密度が高まる地帯、これに反し、低温のため春から夏への個体群増殖がいちじるしく抑制され、あるいは有性虫の産卵がほとんど不可能であるなど、きわめて低密度の状態に保持されている地帯、およびその中間ないし移行地帯、の3つに区分できる。

これらは、4月から8月までの5°C以上 (発育零点は約3°C) の月平均気温の積算度 (一種の温量指数) によって、おおそ地帯区分を行うことができる。すなわち、この積算温度が45°C以上の地帯が第1の地帯、40°C以下が第2の地帯であり、また後者は寄生をうけても被害許容限界 (第2レベル) をこすおそれがないことから、被害よりみた安全地帯、これに対し前者は危険地帯となる (Fig. 10)。

なお危険地帯に属する地域においても、孤立状の造林地など林分条件のいかんによっては、アブラムシの侵入定着が遅れ、寄生が広がらないまま低密度の状態を経過している地帯もみられている。このことは、危険地帯でも造林方法の改善によって被害を回避しうることを示しており、次に述べる林業的防除法解明への有力な手がかりともなった。

3. 安全地帯における寄生の推移、個体数の変動

安全地帯においては、春から有性虫の出現する9月はじめまでの気温が低い関係で、卵のふ化日が遅れる上、その後の胎生雌虫の発育も遅延し、経過世代数が危険地帯にくらべ2世代ないしはそれ以上少ない。さらに寄生の拡大に最も関係のある第2世代目の有翅胎生雌虫の出現期が、7月中～下旬と1か月近くずれてくる。したがって、胎生虫による増殖がいちじるしく抑制されるだけでなく、移住地においてもあまり個体数の増大をみないうちに有性虫による産卵期に入り、きびしい冬を迎えることになる。安全地帯で密度が増大せず、寄生も広がらないのは、このような理由によるといえよう。

この点に関しては、高海拔地 (喜茂別、標高約700 m) における調査結果によってすでに明らかにされているが (山口, 1976¹⁶⁾、さらにこれを補足確認するため、上記の積算温度が40°C以下の標茶地方 (約37°C) において、3年間にわたり、寄生率、密度の変動について調査が行われた。調査地はトドマツ植栽後5～7年目と、ふつう寄生が最も広がる時期にあたりながら、この3年間、寄生率はいずれも10%以下で、密度もきわめて低い状態のまま経過した (Table 2)。これは被害許容限界の第1レベルにも達しな

Table 2. 標茶におけるトドマツオオアブラの寄生率、密度の推移
Changes in aphid population and percentage of trees
attacked at Shibechea

調査年月 Year and month	1971		1972		1973
	VII	IX	VII	IX	VIII
植栽後経過年数 No. of years after planting	5		6		7
寄生率 (%) % trees attacked	3.0	7.0	6.0	6.0	7.5
密度 ¹⁾ No. of aphids per 10 trees	9.3	29.6	18.6	18.6	31.1

1) トドマツ10本当り個体数。

い状態であり、したがってこれらの地域では全く放置したままでも、実質的な被害をうけずにむことが確認された。

IV 林業的防除

1. 目的と方法

アブラムシの被害よりみた地域区分において危険地帯と区分された地域では、植栽時点で被害の発生を回避、軽減しうる造林方法など森林の造成法の改善策を講じない限り、被害許容限界をはるかにこすような大きな被害をうけるおそれがある。このような林業的操作による防除法としては、前述の被害解析の行われた苫小牧の調査結果（前掲 Fig. 4 および Fig. 11 参照）、あるいは被害よりみた地域区分に際しての全道的なサーベイの結果等からも明らかなように、周囲に広葉樹の天然林を残すか、もしくは他樹種の造林地をつくるなどして、アブラムシの侵入定着をできるだけ抑制する方法が、1つの有効な手段といえる。

しかしながら、施業の対象となる森林の条件や造林適地、林木生産等の面から、このような方法をどこにでも適用していくわけにはいかない。したがって、いろいろな森林の取り扱い方と関連して、アブラムシの被害を抑制しうる森林の造成法をさらに究明しておく必要がある。こうした観点から、北海道の典型的な森林の1つといえるエゾマツ、トドマツ天然林を対象に、種々異なった施業の行われている定山溪営林署、空沼施業実験林において5か所の地区を選び、アブラムシの寄生の推移、個体数の変動、天敵類の消長、その役割等について調査を実施した。

選定した調査地は次のとおりである。

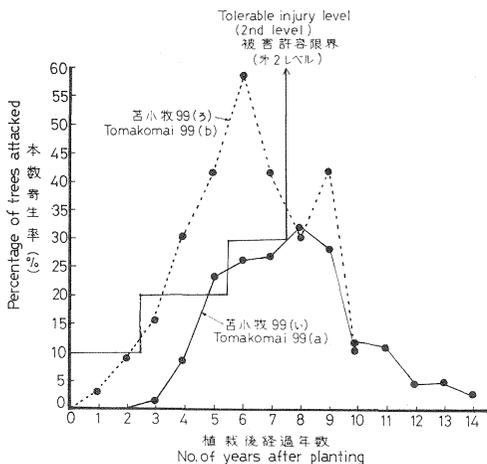


Fig. 11 植栽条件の異なる造林地におけるトドマツオオアブラの本数寄生率の推移と被害許容限界との関係（苫小牧 99 (い), (ろ)）。Fig. 4 参照
Annual changes in percentages of trees attacked in two plantations with different site conditions in relation to the tolerable injury level (See Fig. 4).

1) 天然林保残区：天然林をそのまま残存。

2) 天然林漸伐区：胸高直径 32 cm 以上の径級の林木はすべて伐採。小径木は残存し、天然生稚幼樹が多い。

3) 樹下植栽区：群状択伐で疎開した跡にトドマツを植栽（1970 年秋植栽）。

4) 帯状皆伐人工林区：沢から尾根にむかい幅 50 m、長さ 600 m（面積 3 ha）にわたり帯状に皆伐、トドマツを植栽（1969 年秋植栽）。

5) 大面積皆伐人工林区：実験林に隣接する地区で、大面積（28.67 ha）に皆伐、トドマツを植栽（1966 年秋植栽）。

調査木は、上記 1), 2) では天然生稚樹、その他では造林木、いずれも 200 本、アブラムシの個体数は、4 段階に区分した寄生度を用いたダブルサンプリング法により（山口, 1976⁴⁵⁾ 参照）、また天敵類の個体数は全調査木の直接観察と、周辺

木 10~20 本のたたき落し法を併用, 1971~1974 年の 4 年間, 6 月から 10 月まで毎月調査した。

このほか天敵の役割をみるため, 人為的に接種した実験個体群を用い, 寒冷紗のケージの有無による死亡経過の相違の解析もあわせて実施している。

2. 森林の造成法と個体数の変動, 被害との関係

各調査区の 4 年間にわたるアブラムシの密度, 寄生率の推移を示すと, Fig. 12 ならびに Fig. 13 のとおりである。これらの結果から明らかなように, 大面積皆伐人工林区を除くと, 他の調査区では寄生率も小さく, きわめて低い密度のまま経過している。このうち樹下植栽区は植栽後 4 年目, 帯状皆伐人工林区は 5 年目と, 寄生も広がり密度も高まる時期に達しておりながら, なお被害許容限界をはるかに下回るレベルを持続しており, このことからみて, これらの施業方法によっても被害の発生を抑制しうるといってよいであろう (Fig. 14)。

なお大面積皆伐人工林区では, 植栽後 5 年目にあたる 1971 年に, すでに被害許容限界を大きくこえていたが (それ以前の調査はないが, おそらく植栽後 3 年目頃には許容限界をこえていたとみられる), 1972, 1973 年と 2 年続いた夏期の異常高温の影響で, その後密度, 寄生率が減少するという, これまで得られた一般的傾向とややちがった現象がみられている。本種の発育, 繁殖の適温は 20°C 付近で, 25°C をこすと産子数がいちじるしく減少する上, 行動が異常となり, 寄主上を動き回ったり, 寄主から離れて移動してしまう。植栽後の年数が若く木が小さい間は, 地際の根元部分, あるいは共生しているアリの作った土夾内に移動して高温の影響を緩和しうるのであるが, 本調査区のごとく植栽後 6, 7 年たつて木が大きくなると, 寄生部位が樹幹の上部や枝に限定されてくる関係で, こうした高温を回避する行動がとれない (山口, 1976¹⁸⁾)。1972, 1973 年ともに 8 月に密度が大きく低下したのはこのためとみられ (Fig. 12 参照), またこれが兩年における寄生の拡大, 密度上昇を抑制する原因になったものと思われる。

次に, それではなぜ大面積皆伐人工林を除く他の調査区では, 寄生も広がらず低い密度に保持されているのであろうか。この点に関しては, 天敵類の構成, 密度変動の調査とともに, 実験個体群による死亡要因の解析などによって, 特に天敵類の役割を中心に調査検討が行われた。

まず天然林保残区, 帯状皆伐人工林区, 大面積皆伐人工林区の 3 調査区について, 4 年間にわたる天敵類の個体数の変動をみると, Fig. 15 のとおりである (他の 2 調査区は寄生蜂のみの調査しかされていない)。天敵類のうち最も個体数の多いクモ類は, 全部で 16 科 42 属 82 種と多数の種が得られており, 飼育実験の結果では, 捕食量には差がみられるものの, その大部分がアブラムシを捕食する。林木 10 本当たりの個体数では大面積皆伐人工林で最も多いが, これは木の大きさが関係しているからであり, 単位生息空間, すなわち樹冠量の単位体積当たりの密度をとると, ほぼ全期間を通して天然林で最も高く, 最も低い大面積皆伐人工林の 2 倍前後, ないしはそれ以上となる (秋田, 1973¹⁴⁾)。

捕食虫類は, クモ類にくらべると密度ははるかに小さく, 一部を除くと林木 10 本当たり 10 頭以下, すなわち 1 本に 1 頭いるかないかといった状態である。しかし, 後に述べるように, ヘリヒラタアブ (*Didea alneti* FAUÉN) などアブラムシのみを捕食し, 捕食量も多い有力な捕食虫は, アブラムシの寄生密度の高い林木に集中的に分布している傾向がみられ, また捕食虫/寄主の密度比 (アブラムシ 100 頭当たりの個体数) は, アブラムシの密度が低く抑えられている天然林や帯状皆伐人工林では全般にひじょうに高い (Fig. 16)。捕食虫としてはこれまで 7 科 21 種が記録され (山口, 1976¹⁸⁾), その大半がこれらの調査地でも採集されている。その中で重要とみられる種は, ナミテントウ (*Harmonia axyridis*

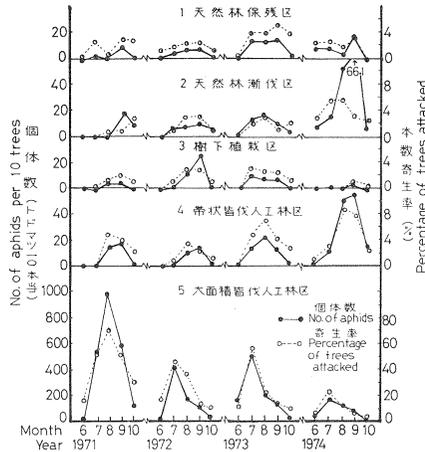


Fig. 12 施業方法の異なる各調査区におけるトマツオオアブラの個体数、本数寄生率の推移(定山溪)

Changes in aphid populations and in percentages of trees attacked in five different stands at Jozankei.

1. Natural stand preserved without cutting.
2. Naturally regenerated stand after shelterwood cutting.
3. Artificially reforested stand under the partial shelters of reserved trees.
4. Artificially reforested stand after clear cutting in a narrow strip.
5. Artificially reforested stand after clear cutting over large areas.

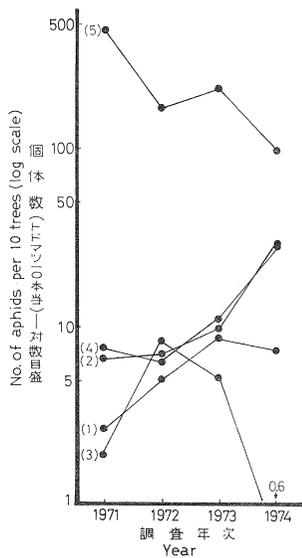


Fig. 13 トマツオオアブラの平均密度の年変動(定山溪)

- (1) 天然林保残区
- (2) 天然林漸伐区
- (3) 樹下植栽区
- (4) 带状皆伐人工林区
- (5) 大面積皆伐人工林区

Annual changes of the seasonal average of aphid population densities in five different stands at Jozankei.

(1)~(5) : See Fig. 12.

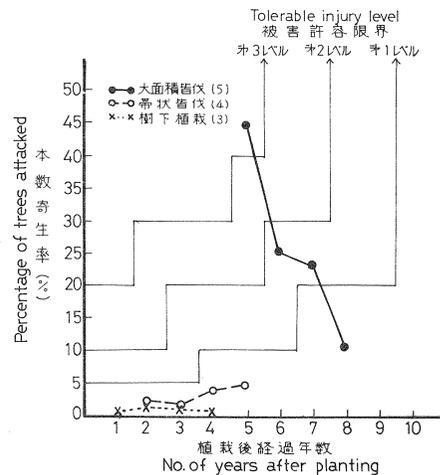


Fig. 14 造林地の植栽後の経過年数よりみたトマツオオアブラの平均寄生率の推移と被害許容限界との関係(定山溪)

Seasonal average of percentages of trees attacked by the aphids plotted against years after planting in relation to the tolerable injury level in the three plantations at Jozankei.

(3), (4), (5) : See Fig. 12.

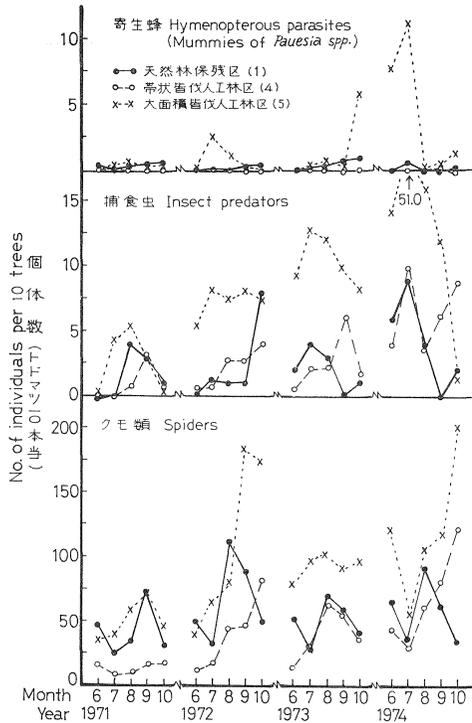


Fig. 15 定山溪の3調査区における天敵類の個体数の変動 (寄生蜂はマミイ数)
Changes in numbers of parasites and predators in the three stands at Jozankei.
(1), (4), (5) : See Fig. 12.

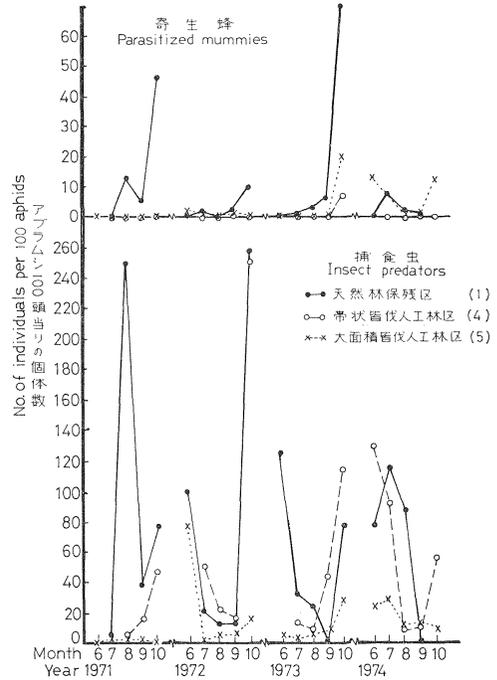


Fig. 16 定山溪の3調査区における捕食虫/寄主, 寄生蜂/寄主の密度比 (トドマツオオアブラ 100頭当りの捕食虫数, 寄生蜂のマミイ数)
Relative abundance of parasites and insect predators to the aphids in the three stands at Jozankei.
(1), (4), (5) : See Fig. 12.

PALLAS), ナナホシテントウ (*Coccinella septempunctata bruckii* MULSANT), ヘリヒラタアブなどヒラタアブ類, クサカゲロウ類, ハサミムシ類等であった。なお, 大面積皆伐人工林で1974年7月に捕食虫の密度がひじょうに高くなっているが, これはナミテントウの異常増加にもとづくものである。

寄生蜂は, キバラオオアブラバチ (*Pauesia inouyei* WATANABE), モミオオアブラバチ (*P. momicola* WATANABE et TAKADA) の2種だけであるが, 両者ともにアブラムシが侵入してからかなり年数がたち, 寄主の密度が高まらなると個体数が増加しないという傾向がある (山口, 1976¹⁵⁾)。したがって, アブラムシの密度が高い大面積皆伐人工林以外では, これら寄生蜂の密度はきわめて低い。しかし, それにもかかわらず天然林では寄主に対する密度比がかなり高く, 特にアブラムシの個体数が減少する秋に, この値が大きく増大していることが特徴的である (Fig. 16)。

以上, 天然林や帯状皆伐人工林では寄主に対する天敵類の相対密度が高い上, 有力な捕食虫が寄主の密度の高い林木に集中的に分布している傾向がみられるなど, アブラムシの密度を低く抑える上で, 天敵類がかなり重要な役割を果しているように思える。しかもこれらの林地においては, 大面積皆伐人工林と異なり, アブラムシの寄生の対象となるトドマツ稚幼樹が斑状, ないしは小面積に分布している関係で, 他

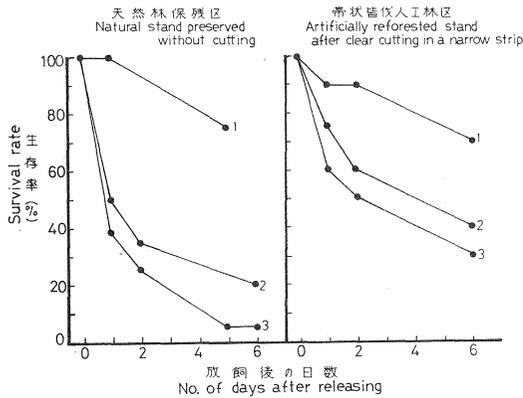


Fig. 17 トドマツオオアブラ放飼後、増殖（産子）開始前後までの死亡経過（古田，1976より書き直す）

1. 樹上の天敵を除去してケージで囲う
2. 樹上の天敵（主としてクモ類）をそのままにしてケージで囲う
3. ケージなし
（各実験区とも新成虫を1頭ずつ20本，7月16日に放飼）

Survivorship curves for the artificially released aphids in the two stands at Jozankei.

1. Natural enemies were excluded by beating trees before releasing and thereafter by enclosing the trees in cages.
2. Natural enemies (mainly spiders) on trees were included within cages.
3. Natural condition without cages.
(In each experiment 20 trees were used and 1 teneral apterous adult was released on a tree respectively on July 16)

の傾向は顕著となっている。この場合の生存率の差，すなわち死亡率は，主にクモ類の捕食によるとみられている。

もう1つの実験は，夏から秋の有性虫の成虫出現期（産卵開始期）までの死亡経過と天敵との関係を解析したものである。この期間は，春から夏へと増大したアブラムシの個体数がふたたび減少する時期であり，その減少のいかんは有性虫の密度，産卵数と関連して，次年度の密度にも大きく影響してくる。

結果は Fig. 18 に示されているように，8月7日に接種後，全期間ケージで囲って天敵を除去しておくと，天然林，帯状皆伐人工林ともに個体数は10月はじめ頃まで増大を続ける（実験区A，D）。しかるに，途中9月14日にケージをとり除くと，その後急激に個体数は減少し始め（実験区D，E），またケージなしの場合では，接種後，増殖することなく寄生の消滅してしまう木が多く，個体数の増加がほとんどみられない（実験区C，F）。

ところで実験区B，Eでは，ケージの除去後個体数は減少するが，それはアブラムシのいなくなった林木が増加したことが原因となっている。これらの区の供試木からアブラムシの寄生の消滅した理由の一つに，ヘリヒラタブ幼虫による捕食がある。すなわち，天然林保残区では9月14日から11月5日まで，B，C区あわせて17本の林木でアブラムシの寄生が0となったが，そのうち8本が，同じく帯状皆伐人

からの侵入も含めてアブラムシの移動，分散が抑制され，寄生の拡大が制限されているとみられ，それだけに天敵類の作用を強くうけやすいものと考えられる。

これらの点をより明らかにするため，アブラムシの接種による実験個体群を用いて，次のような2つの実験が試みられた。くわしくは古田（1976）⁹⁾によってすでに発表されているので，ここでは要約して述べておく。

その1つは，アブラムシの移動，分散に際しての死亡要因を明らかにするため，寄主に分散，移動してきた個体の死亡経過と天敵の作用について調査検討を行った実験である。Fig. 17 にその実験方法，実験結果が示されている。これから明らかかなように，たたき落し法により樹上の天敵類を除去してアブラムシを接種し，これを寒冷紗のケージで囲って，その後天敵の侵入を許さなかった場合（実験1），天然林，帯状皆伐人工林ともに増殖開始までの生存率は両者約70%と高い。これに対し，樹上の天敵，主としてクモ類をそのままにしてケージで囲う（実験2），あるいは全くそのままケージなしで（実験3）接種した場合，生存率はいちじるしく低下，特に天然林においてそ

工林区の E, F 区では, 14 本のうち 8 本が, ヘリヒラタアブ幼虫のいる木であった。しかも Fig. 19 にみられるように, ある時点の調査日でヘリヒラタアブのみられた林木は, その前の調査日に多数のアブラムシの増殖していた林木であることが多い。このことから, ヘリヒラタアブ幼虫はアブラムシの個体数の多いトドマツ樹上のアブラムシを, 集中的に捕食していたといえよう。

結局これらの調査結果を総合すると, 天然林や帯状皆伐人工林などでは, 他からの侵入を含めてアブラムシの移動分散自体が阻害され, 寄主に飛来しないしは到達しうる個体数の割合が小さいこと, 次に寄主に定着しえても増殖しないうちにクモ類を主とする多食性捕食者により捕食され, 死亡するものが多いこと, さらに定着増殖に成功しても, 密度が高くなるとヒラタアブ類などの捕食虫による集中的な捕食をうけ, 個体数がいちじるしく減少してしまうこと, こうした経過をたどりながら, アブラムシの密度が低く保たれているものと思われる。そしてこのような天敵類の活動を助長している 1 つの条件として, これらの地区ではアブラムシと共生しているアリの種類が, ほとんどすべて活動が鈍く土莖を作らないクシケアリ類 (*Myrmica* spp.) であることをあげることができる (Fig. 20)。

これに対し, 大面積皆伐人工林では, アブラムシの移動分散が有利に行われ, 寄主に定着しうる個体数の

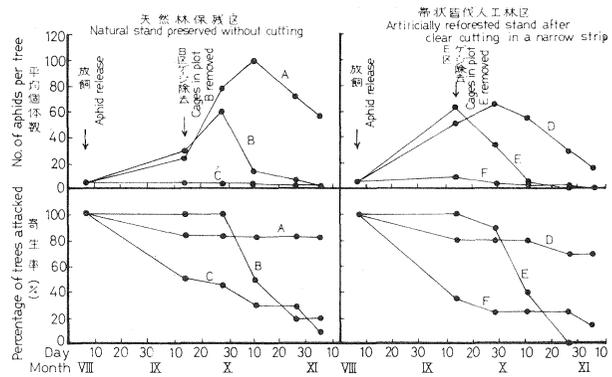


Fig. 18 トドマツオオアブラ放飼後の 寄生の推移と個体数の変動 (古田, 1976 より書き直す)

- A, D : 全期間天敵除去 (ケージ区)。供試木 A (12本), D (10本)
- B, E : 放飼後約 1 か月間ケージにより天敵除去。B, E (各 10 本)
- C, F : 自然条件 (無ケージ区)。C, F (各 20 本) (各区とも 1 本当たり成虫 5 頭放飼)

Changes in artificially introduced aphid populations in the two stands at Jozankei.

- A, D : Exclusion of natural enemies by cages for whole period. No. of trees used ; A (12), D (10).
- B, E : Exclusion of natural enemies by cages for about 1 month after releasing. No. of trees used ; B (10), E (10).
- C, F : Natural condition without cages. No. of trees used ; C (20), F (20). (Five apterous adults were released on each tree)

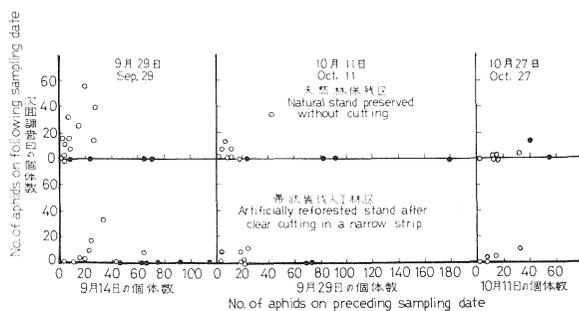


Fig. 19 各調査日にヒラタアブ幼虫の認められた林木 (黒丸) と, いない林木 (白丸) におけるトドマツオオアブラの個体数の推移 (前回の調査日と次回の調査日との個体数の関係) (古田, 1976 の資料をもとに書く)

Changes of the number of aphids on a tree with (●) or without (○) syrphid larvae (Relationship between the number of aphids on the preceding sampling date and that on the following sampling date).

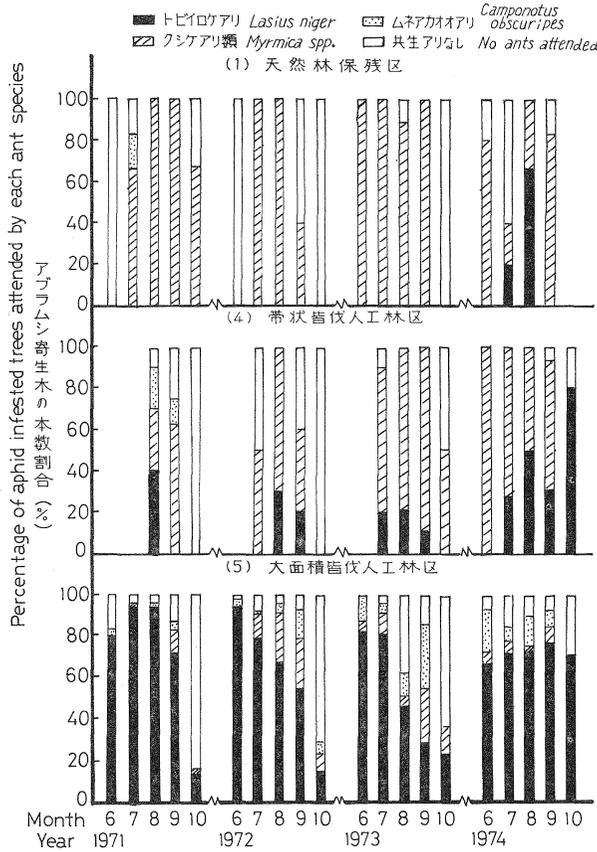


Fig. 20 共生しているアリの種類別にみたトドマツオオアブラ寄生木の本数割合 (定山溪) Changes in proportions of attendant ant species on trees attacked by the aphids in the three stands at Jozankei. (1), (4), (5) : See Fig. 12.

割合が高く、したがってそれだけ増殖に成功する個体数も多くなる。しかも共生アリの主体が土莢を作るトビロケアリであり (Fig. 20), その保護をうけて天敵の活動も制限されるため、その後は急激に密度が上昇、このようにしてトドマツ植栽後 3~4 年たつと、被害許容限界をこすようになる。ただし植栽後 7~8 年たつて木が大きくなると、寄生部位が幹の上部や枝に限定されてくる関係で、夏期の異常高温など気象要因の影響だけでなく、天敵の攻撃もうけやすくなり、密度は次第に減少、10 年前後にはふたたび低密度になるという経過をたどる (山口, 1976¹⁵⁾ 参照)。

3. 育林的操作による防除法

上記の結果からもわかるように、造林のしかたなど育林的操作によってアブラムシの密度を制御し、被害を回避していくためには、まず第 1 にアブラムシの移動分散をできるだけ抑制する、第 2 に天敵の活動を助長、促進させる、この 2 点に焦点をあわせてその方策を考えていく必要がある。そのための具体的な方法を列記すれば、次のとおりである。

(1) 既被害地に隣接してトドマツ造林地をつくらない。施業の都合上どうしてもトドマツ造林地を連続してつくる場合は、すでにある造林地が少なくとも 10 年以上、できれば 15 年前後以上たつてから行う (その頃にはその林地のトドマツオオアブラ個体群は消滅する)。

(2) トドマツを植栽する場合は周辺に天然林を残存させるか、あるいは他樹種の造林地をつくる。

(3) 上記いずれの場合においても、1植栽区の面積はできるだけ小さくし、大面積の造林地はつくりたくない。これは面積が大きいほど、有翅虫の侵入定着する確率が高くなるからである。なお、どの程度の大きさまで適当であるか、これを推定する資料はまだ得られていないが、いまのところは経験的に3ha前後以下と考えられる。

(4) 樹下植栽、もしくは上木をできるだけ残して植栽する。このことにより有翅虫の侵入分散をかなり抑制しうるほか、共生アリの種類相を被蔭性のクシケアリ類の優占する構成に保つことができる。ただしこの場合でも、被害地に隣接しているときは大きな被害をうけることがある。これらの上木もしくは保残木は、植栽後2～3年たてば、場合によっては伐採してもよく、その意味では伐採前に造林を行ういわゆる先行造林法も有効な方法といえよう。

(5) 全刈りより筋刈りがよく、またできれば筋刈り幅は狭くして、1筋内の植栽列りを少なくする。さらに筋刈り間の広葉樹、灌木は可能な限り残し、これらが育林上障害になるときは、2～3年たってから除伐を実施する。

(6) くわしい比較検討はなされていないが、天敵類のすみ場という点から考えて、林床植生はササより草本類の方が好ましい。したがって必要に応じ、このような林床植生の転換をはかる。

要するに、本種の被害は木が小さいほど大きく、このためトドマツ植栽後アブラムシの侵入定着を2年程度おくらせる、ないしはこの間をきわめて低密度に抑えておくだけでも、大幅に被害を軽減しうる。したがって実際の施業にあたっては、特に上記(1)～(3)への配慮が必要と思われる。また条件によっては大苗造林、もしくは林地肥培により初期の生長促進をはかることなども、被害の軽減に役立つものと考えられる。

V 生物的防除

1. 目的と方法

上記の林業的防除は、林業経営上どこにでも適用しうるというわけにはいかない上、同じ施業方法でも条件によっては同様の効果をあげ得ない場合も考えられる。このような場合、それでは人為的な天敵の導入放飼によって被害の発生を抑制しうるかどうか、その可能性、条件、効果を検討しておく必要がある。

ところで、前述のごとくトドマツオオアブラにおいては、トドマツ植栽後のアブラムシの侵入定着、密度の上昇を2年程度遅らせるだけで、直接防除を必要としないほどに被害を軽減できる。しかるに造林地への侵入初期には寄生木は小集団の集中分布をし（前掲被害解析の項参照）、全体的にみれば密度が低いが、局部的に密度の高い部分がある。しかもその被害は、1年、2年の短期間というより数年間におよぶ加害の累積が問題になる上、被害許容限界のレベルもかなり高く、密度制御効果のある程度の時間的遅れも許容するという特徴点がある。これらのことが天敵の利用を意図した大きなよりどころにもなっており、また実際に天敵を導入するにあたっては、アブラムシの侵入初期の段階に、局部的に密度の高い地点を中心に集中的に放飼するという方法を計画した理由といっていよい。

天敵の導入放飼には寄生蜂の1種モミオオアブラバチを用いた。この寄生蜂は、北海道では1961年にはじめて発見された種で、あるいは本州から侵入もしくは移入された寄生蜂ともみられ、その後各地に広がっていることが調査されている。寄主であるトドマツオオアブラの世代経過にほぼ同調して繁殖をくり

Table 3. モミオオアブラバチの放飼試験地と放飼年月日、放飼数
Date and numbers of the hymenopterous parasites,
Pauesia momicola released in each experiment plot

試験地 Experiment plot	植栽年度 Years planted	調査本数 No. of trees sampled	放飼年月日 Date released	放飼数 No. of parasites released		備考 Remarks
				成虫 Adults	マミイ (羽化成虫) Mummies (adult emergence)	
苦小牧放飼地 1 Parasite release plot No. 1 at Tomakomai	1970. 秋 Fall	523	1973, VI-11	♀♂19対 pairs	133 (0)	マミイ羽化前に消失 All mummies disappeared before adult emergence
” 2 No. 2	1971. 秋 Fall	507	1974, VI-7~21	29	540 (104)	マミイ羽化前に消失多し Many mummies disappeared before adult emergence
” 3 No. 3	1971. 秋 Fall	489	1975, VI-18	0	500 (207)	放飼前一部薬剤防除 Part of area was sprayed before releasing
苦小牧薬剤防除地 Chemical control plot at Tomakomai	1970. 秋 Fall	1,045	—	—	—	1973, VI-5 薬剤散布 Sprayed on June 5, 1973
苦小牧対照地 Control (Untreated) plot at Tomakomai	1971. 秋 Fall	379	—	—	—	
定山溪放飼地 Parasite release plot at Jozankei	1973. 春 Spring	352	1974, IX-13	16	0	
定山溪対照地 Control (Untreated) plot at Jozankei	1973. 春 Spring	493	—	—	—	

(注) 成虫は、アブラムシ寄生木をケージで囲んだ放飼ステーション内に1~3対ずつ放飼。マミイはビニールテープにはりつけて寄生木、周辺灌木に吊す。

かえしており、産卵数も多く、また古くから土着しているキバラオオアブラバチにくらべはるかに分散力も大きいとみられるなど、有利な点がある。その上光周反応を利用すると、いつでも休眠型（越冬型）マミイを生産することができ（山口，1973¹⁸⁾），放飼材料の貯蔵も容易である。これらについては別に報告するので、ここでは野外の放飼試験についてのみ述べることにしたい。

1973年から1975年まで苦小牧で3か所、定山溪で1か所、計4か所の地において導入放飼試験が実施された。各試験地の放飼年月日、放飼数等を示せば、Table 3のとおりである。いずれの地も ha 当たり3,000本植栽なので、放飼試験地の大きさはほぼ0.12~0.17 haの間にある。

苦小牧の各放飼地ならびに対照地は、間に天然林を介在しているものの互いに近接した地にあり、立地、環境条件には指摘しうような差はみられていない。しかし共生しているアリの種類が、放飼地1ではクシケアリ類、ムネアカオオアリ (*Camponotus obscuripes* MAYR) 等土莖を作らないアリ類の割合が高かったのに対し、他はいずれも土莖を作るトビイロケアリが優占的であった（後掲 Fig. 24 参照）。なお放飼地3では、こうしたトビイロケアリの共生率を落すため、寄生蜂の放飼前に一部薬剤防除（トビイロケアリの共生した寄生木の60%を防除）を実施したが、その後拡大された寄生木のほとんどがトビイロ

ケアリの共生をうけたこともあって、共生率はほとんど変わらず、所期の目的が達成されていない。また薬剤防除地は放飼地1に隣接する地で、浸透性有機燐剤の粒剤を1本当たり約5gあて、全林木に散布している。

定山溪での放飼試験は、アブラムシ侵入後のごく初期にあたる、まだ密度がきわめて低い段階における放飼効果を検討するために行っている。

放飼にあたっては、成虫は寄生木をケージで囲った放飼ステーション内に1~3対ずつ放飼して、約1か月後にケージを除去、またマミイは、はじめ(苦小牧放飼地1)カゴ状にした網の容器に20前後入れて寄生木の根元に設置したが、羽化前にほとんど消失するなど結果がよくなかったため、その後はビニールテープにはりつけて、寄生木、周辺灌木につるした。

2. 寄生蜂の導入と個体数の変動、被害との関係

これらモミオオアブラバチの導入放飼試験の結果を整理、要約してみると、次のごとくである。

(1) 放飼後の寄生蜂の個体数の変動、寄生の推移

まず苦小牧の各試験地における放飼結果をみると (Fig. 21~23), 放飼地1以外は対照地と比較して寄生蜂個体数のきわだった増加もみられず、よい結果が得られていない。これに対し放飼地1では、放飼後の寄生蜂の分散、密度の上昇がいちじるしく、これに応じてアブラムシの寄生の拡大、密度の増大も抑制されるという、予期以上の好結果が得られている。

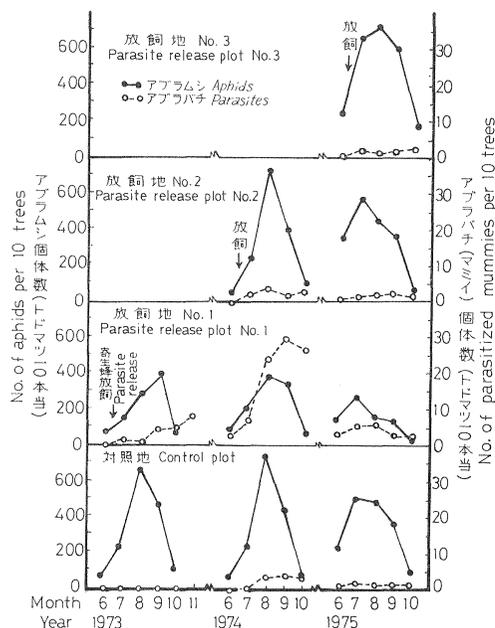


Fig. 21 寄生蜂放飼地と対照地におけるトドマツオオアブラとモミオオアブラバチの個体数の変動 (苦小牧)
Changes in aphid and parasite (*Pauesia momicola*) populations in the parasite release and control plots at Tomakomai.

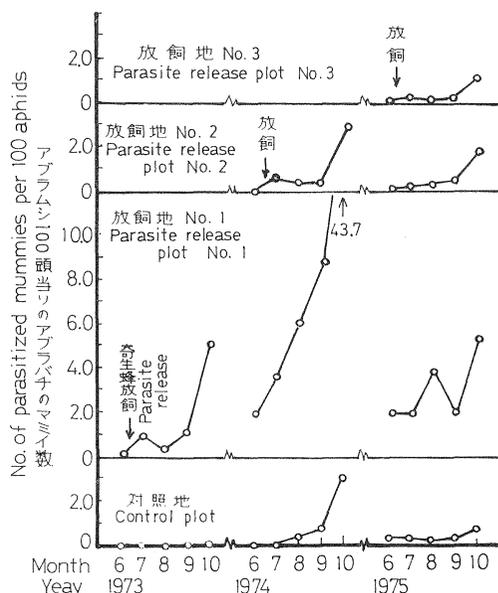


Fig. 22 寄生蜂放飼地と対照地における寄生蜂/寄主の密度比 (トドマツオオアブラ100頭当りのモミオオアブラバチのマミイ数) (苦小牧)
Relative abundance of *Pauesia momicola* to the aphids in the parasite release and control plots at Tomakomai.

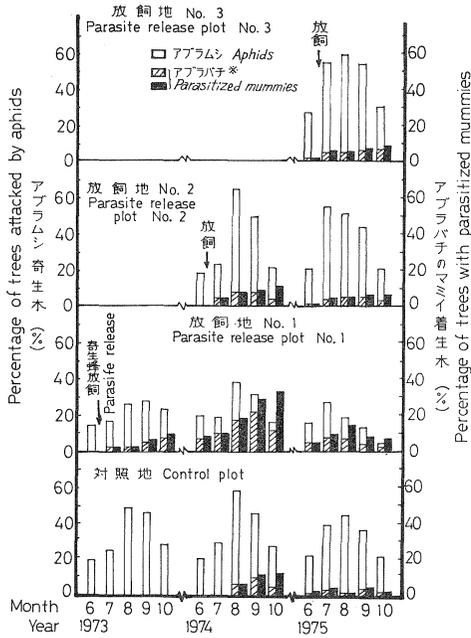


Fig. 23 寄生蜂放飼地と対照地におけるトドマツオオアブラの寄生木とモミオオアブラバチのマミイ着生木の推移 (苦小牧)
* 斜線はアブラムシ寄生木中のマミイ着生木の割合
Changes in percentages of trees attacked by the aphids and in those of trees with parasitized aphid mummies of *Pauesia momicola* in the parasite release and control plots at Tomakomai.
Bar with oblique lines indicate the aphid infested trees with parasitized mummies.

(2) 放飼効果と共生しているアリ類との関係

放飼結果にこのようなちがいの現われた原因として、共生しているアリ類の影響が考えられる。すなわち、アブラムシの寄生木にアリが共生している割合は、一般に秋10月になるといちじるしく低下するが、それまでの間、土莖を作るトビロケアリの共生している割合が、放飼地1では40%前後ないしはそれ以下であるのに対し、他はこれより20%内外高い (Fig. 24)。しかるにアブラバチのマミイ着生状態をみると、トビロケアリの共生している寄生木ではマミイ着生木の割合が小さく、特にアブラバチ放飼後の密度の低い段階においてこれが顕著である (Fig. 25)。この点、放飼地1では土莖を作らないアリ類の

共生率が高く、その中でもマミイの着生が多い、すなわちアブラバチの攻撃をうけやすいとみられるムネアカオオアリの共生している寄生木の割合が高かったことが、好結果の得られた最大の原因と考えられる。

Table 4. 寄生蜂放飼地と対照地におけるトドマツオオアブラの春から夏への増殖率 (苦小牧)

Rate of the aphid population increase from June to August in the parasite release and control plots at Tomakomai

試験地 Experiment plot	増殖率 Rate of population increase		
	1973	1974	1975
対照地 Control (Untreated) plot	10.32	11.34	2.13
放飼地1 Parasite release plot No. 1	8.82	5.55	1.75
放飼地2 Parasite release plot No. 2	—	13.17	1.61
放飼地3 Parasite release plot No. 3	—	—	2.88

(3) 苦小牧放飼地1における寄生蜂導入による防除効果

苦小牧放飼地1では、放飼後アブラバチは着実に分布を広げ、個体数を増大していき放飼の翌年にあたる1974年の秋には、アブラムシ寄生木の大半にマミイの着生がみられ、寄主に対する密度比もいちじるしく高くなっている (Fig. 21~23)。なお Fig. 23 に示されているように、アブラムシの寄生していない木にも

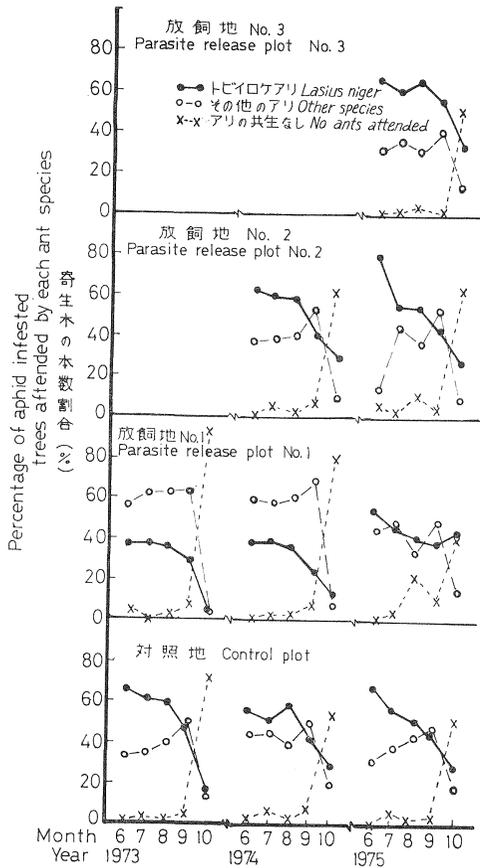


Fig. 24 共生しているアリの種類別に見たトドマツオオアブラ寄生木の本数割合 (苦小牧)

Changes in proportions of attendant ant species on trees attacked by the aphids in the parasite release and control plots at Tomakomai.

(注) その他のアリは大部分がクシケアリ類とムネアカオオアリ

Most of the other ant species were *Myrmica* spp. and *Camponotus obscuripes*.

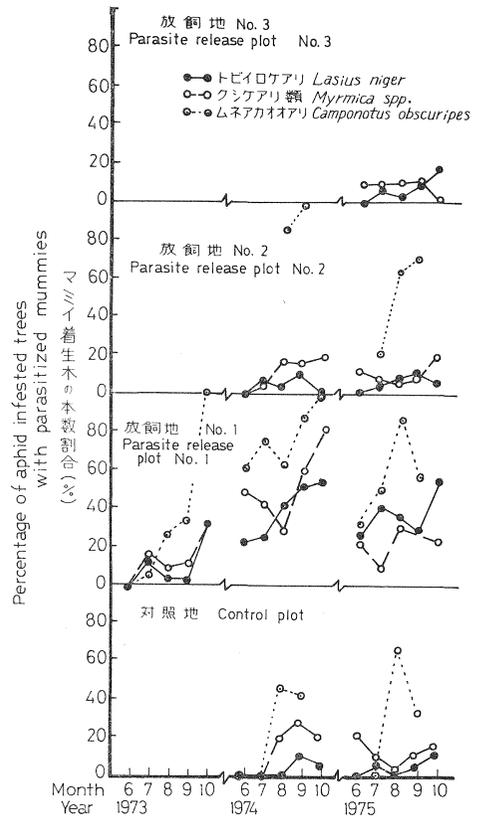


Fig. 25 共生しているアリの種類とモミオオアブラバチマミイ着生木との関係 (寄生木中のマミイ着生木の割合) (苦小牧)

Changes in percentages of aphid infested trees with parasitized aphid mummies of *Pausesia momicola* by attendant ant species in the parasite release and control plots at Tomakomai.

マミイの着生がかなりみられるようになっているのは、アブラバチの寄生をうけたアブラムシは異常行動をとり、寄主から離れて隣接の未寄生木に移るものがあるほか、アブラバチの寄生でアブラムシが絶滅し、寄生が消滅した木もみられていることによる。

このようなアブラバチの分布の拡大、密度の増大に応じて、寄主であるアブラムシの春から夏への密度の増加率 (増殖率) は明らかに低下、密度の上昇は大きく抑制されており、平均密度の年変動は横ばいから減少へと転じている (Table 4, Fig. 26)。

これを防除効果という観点から被害許容限界と照らしあわせてみると (Fig. 27)、アブラバチを導入した翌年にはまだ許容限界の第2レベルをやや上回っているが、2年目には限界以下のレベルに落ちており、

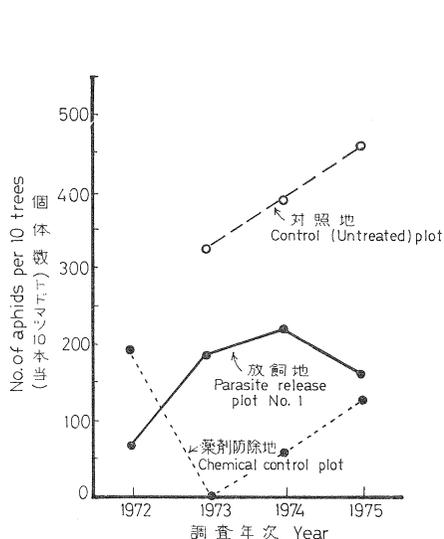


Fig. 26 トドマツオオアブラの平均密度の年変動 (苦小牧)

(注) 密度はトドマツ現存木10本当りの個体数で表示

Annual changes of the seasonal average of aphid population densities in the three experiment plots at Tomakomai.

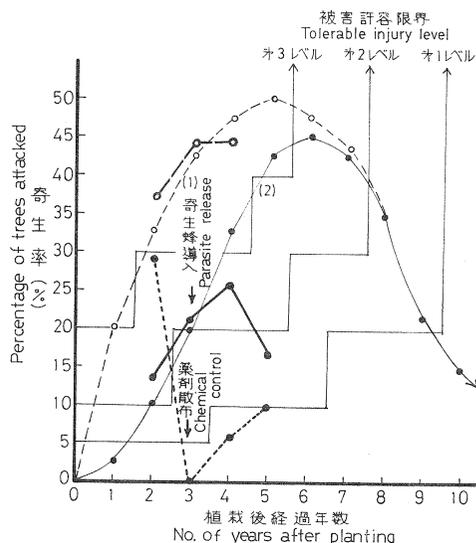


Fig. 27 トドマツオオアブラの平均寄生率の推移 (苦小牧)

寄生蜂放飼地 1 (実線), 薬剤防除地 (点線), 対照地 (破線)

(1), (2)の曲線は寄生の広がり方にみられる3つの型のうち2つの型を示す

(注) 寄生率は現在本数に対する寄生木の割合

Seasonal average of percentages of trees attacked by the aphids plotted against years after planting in relation to the tolerable injury levels in the three experiment plots at Tomakomai.

Parasite release plot No. 1 (solid line), chemical control plot (dotted line) and control plot (broken line). Curves with (1) and (2) indicate two of the three generalized types of aphid infestation (See Fig. 3).

Table 5. 枯損木の発生率とその年次推移 (苦小牧)
Tree mortalities caused by aphid attack in the three experiment plots at Tomakomai

試験地 Experiment plot	植栽年度 Years planted	調査本数 No. of trees sampled	年 Year				計 Total	備考 Remarks	
			1972	1973	1974	1975			
対照地 Control (Untreated) plot	1971. 秋	379	本数 No.	—	37	38	32	107	1973年の枯損には前年の枯れを含む
			%	—	9.8	10.0	8.4	28.2	
放飼地 1 Parasite release plot No. 1	1970. 秋	523	本数 No.	2	4	18	8	32	1973年 6月寄生蜂放飼
			%	0.4	0.8	3.4	1.5	6.1	
薬剤防除地 Chemical control plot	1970. 秋	1,045	本数 No.	24	56	3	7	90	1973年 6月薬剤散布
			%	2.3	5.3	0.3	0.7	8.6	

また枯損木の発生率も総計約6%と、対照地の28%にくらべはるかに低く (Table 5)、一応所期の防除効果は達成されているとみてよいであろう。

(4) 放飼方法と放飼効果を左右する条件

放飼方法として、マミイを放飼した場合は、設置後羽化するまでに消失してしまうものがきわめて多い。たとえば1974年の放飼実験においては、ビニールテープにはりつけて寄生木についたものは実にその90%近くのもの、周辺灌木についたものでは30%が、成虫の羽化前に消失してしまっており、その大部分がアリ類によって捕食されていることが観察されている (Table 6)。樹上に自然に形成されたマミイではこのような現象がみられていないのに、なぜ人為的に放飼したものが集中的に捕食されてしまうのか、理由ははっきりしない。いずれにしてもマミイの放飼は、さらに羽化してから交尾あるいは寄主の発見、攻撃までの死亡もかなり大きいとみられるなど効率は悪い。これに対し、寄生木をケージで囲

Table 6. モミオオアブラバチのマミイの放飼結果 (苫小牧放飼地2)
Percentage of adult emergence from the mummies of *Pauesia momicola* released in parasite release plot No. 2 at Tomakomai

放飼年月日 Date released	放飼方法 Release method	放飼数 No. of mummies released	消失数 Disappearance	未羽化 Failure to emerge	羽化 Emergence
1974, VI-7	寄生木に吊す Attached aphid infested trees ¹⁾	400	346 (86.5%)	21 (5.3%)	33 (8.2%)
1974, VI-17	周辺灌木に吊す Attached shrubs ¹⁾	140	42 (30.0%)	27 (19.3%)	71 (50.7%)

1) Twenty mummies pasted on a vinyl tape were attached each tree or shrub.

Table 7. モミオオアブラバチの成虫の放飼結果

Results of the adult releases of *Pauesia momicola* in the parasite release plots. One to three pairs of males and females were released in each net-covered cage enclosing an aphid infested tree (release station). The cages were removed about 1 month after releasing

試験地 Experiment plot	放飼年月日 Date released	放飼対象木 Release station		放飼数 No. of adults released	約1か月後 1 month after releasing		備考 Remarks
		共生アリの種類 Attendant ant species	本数 No. of trees		マミイ形成本数 No. of trees with mummies	マミイ数 No. of mummies	
苫小牧放飼地1 Parasite release plot No. 1 at Tomakomai	1973, VI-11	ムネアカオオアリ <i>Camponotus obscuripes</i>	2	♀♂2対 pairs	1	32	土莢なし
		クシケアリ類 <i>Myrmica</i> spp.	3	7	2	28	土莢なし
		トビイロケアリ <i>Lasius niger</i>	5	10	3	22	土莢はらい落して放飼
苫小牧放飼地2 Parasite release plot No. 2 at Tomakomai	1974, VI-21	クシケアリ類 <i>Myrmica</i> spp.	6	14	5	56	土莢なし
		トビイロケアリ <i>Lasius niger</i>	6	15	2	36	土莢そのままにして放飼

(注) アブラムシ寄生木をケージで囲んだ放飼ステーション内に1~3対ずつ放飼。

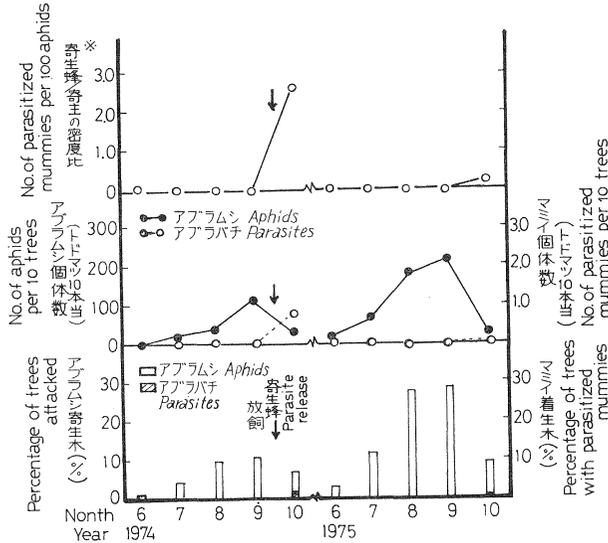


Fig. 28 定山溪放飼地におけるトドマツオオアブラとモミオオアブラバチの個数体の変動、寄生率の推移。

* アブラムシ 100 頭当りのアブラバチのマミイ数

Changes in aphid and parasite (*Paesia momicola*) populations in the parasite release and control plots at Jozankei.

った放飼ステーション内への成虫放飼は、定着、産卵する率が高く、また少量放飼を行いながら大量放飼と同様の効果をおげることができ、効率的かつ実用的といえる。ただし、この場合においても、土蕨を作るトビイロケアリの共生している寄生木に放飼した場合は、土蕨をはらい落してもアブラバチの定着、増殖が悪く、形成されるマミイ数が少ない (Table 7)。

この点も含めて、放飼効果は共生しているアリ類の構成状態に大きく左右されるとみられ、トビイロケアリの共生割合の高い林地では、そのままでは十分な効果をおげることが困難と考えられる。なお寄生蜂の導入放飼時期としては、たとえば定山溪放飼地のごとく、アブラムシ侵入直後の極端に低密度の段階では、たとえ定着に成功しても、その後繁殖を継続していくことはむずかしいように思われる (Fig. 28)。

3. 寄生蜂を利用した生物的防除法

寄生蜂モミオオアブラバチの人為的な導入放飼による生物的防除法は、どこにでも適用するというわけにはいかず、その成否はいろいろな条件に支配される。

まず第 1 に、すでにアブラムシの密度が高まり寄生の広がった被害地では、林地全面にかなり大量の寄生蜂の放飼を行わない限り、実質的な効果は望めない。しかしながら、このようないわば農薬的適用法は、対象地の面積が広大であるということもあって、放飼材料の大量生産を必要とし、技術的、経理的な面からみて実際上不可能とみられ、またたとえ実行可能としても、果して被害の発生を抑制しうるかどうかが疑問である。そのため、トドマツ植栽後アブラムシの侵入をみてからまだあまり密度の高まらない段階に、導入放飼を行う必要がある。ただし、前述のごとく極端に低密度の場合は、その後繁殖を継続していくのが困難とみられるので、アブラムシの侵入後 2 年くらい経過し、寄生率が 10% 前後に達した 6 月中旬頃 (第 2 世代目の一部成虫になり始めた頃) が放飼適期と考えられる。その際、局部的に密度の高い部分の寄生木を利用して放飼ステーションを設け、そこで一たん野外増殖を行った後、周辺に分散させるという方法を用いると、放飼材料が少量でも広い面積をカバーすることができ、経済的でもあり、実用的でもある。なお放飼にあたっては成虫を用いた方が効率的ではあるが、取り扱いが不便なので、たとえば羽化直前のマミイを放飼してみるなど、放飼方法についてはさらに検討を重ねる必要がある。

次にトビロケアリの共生割合の高い林地では、これまでの試験結果からみて十分な効果をあげることは期待できない。したがってこのようなところでは、トビロケアリの共生率を落すため、薬剤防除との併用を考える必要がある。また上木の残存したやや被蔭されたところでは、一般にトビロケアリの共生率が小さいので、こうした造林方法との組み合わせも有効な方法と思われる。

このほか、防除対象となる被害地があまりに大面積であったり、あるいは同様の被害地が相接続して存在しているような場合は、周辺からの侵入を含めて、アブラムシの移動分散が好条件に行われる関係で、寄生の広がり方も急激であり、そのため放飼効果はかなり制約されるのではないかと考えられる。これらの地では、その一部に薬剤防除を実施した後寄生蜂の導入をはかるなどの方法をとる必要がある。いずれにしても、本法は本来単独で用いるより、前項で述べた林業的防除法、あるいは薬剤防除法とたくみに組み合わせていくことにより、すぐれた効果を発揮するものと思われる。

VI 防除法の体系化

以上の結果を総括し、それぞれ条件に応じて適用されるべき防除法を体系化すると、Fig. 29 のごとく要約できる。すなわち、4月から8月までの5°C以上の月平均気温の積算度が40°C以下の地域(安全地帯)では、トドマツの植栽を続けても、アブラムシの被害からみてまず安全といえるが、45°C以上の地域(危険地帯)では、植栽時点で帯状ないし小区画造林など周辺に天然林を残すか、もしくは他樹種の造林地をつくるなど、または植栽年度の間隔を大きくするといった森林の造成法の改善(林業的防除法)を行わない限り、大きな被害をうけるおそれがある。その際、条件によっては、アブラムシの侵入初期に寄生蜂を放飼することにより被害を回避しうるのが(生物的防除法)、その効果の

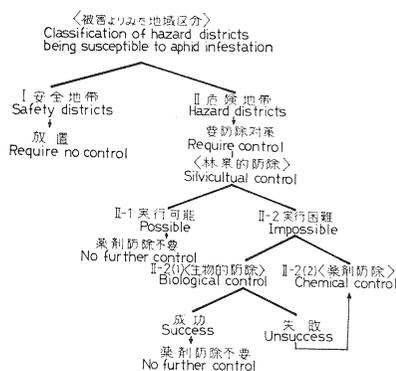


Fig. 29 トドマツオオアブラの防除体系 (山口, 1973¹⁴⁾
An integrated control system for the Todo-fir aphid.

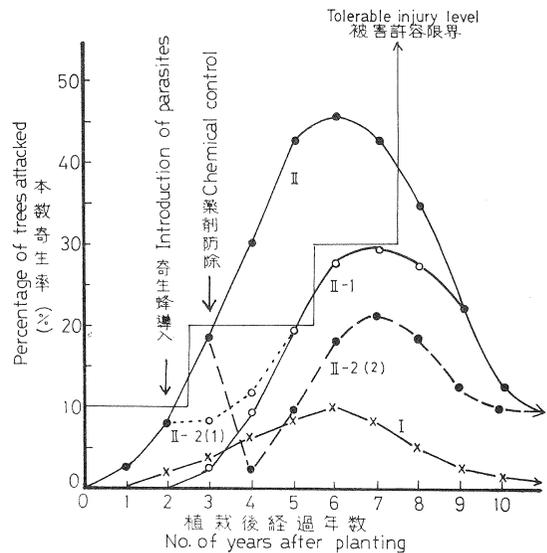


Fig. 30 各種防除法を適用した場合のトドマツオオアブラの寄生の推移。
(Ⅰ 安全地帯, Ⅱ 危険地帯およびⅡ-1 林業的防除, Ⅱ-2(1) 生物的防除, Ⅱ-2(2) 薬剤防除実施した場合の推移) (山口, 1973¹⁴⁾
Transition of the aphid attacks when various control methods would be applied. Changes in percentages of trees attacked in safety districts [Ⅰ], in hazard districts [Ⅱ], and in areas controlled by silvicultural practices [Ⅱ-1], by introduction of the parasites [Ⅱ-2(1)] and by insecticides [Ⅱ-2(2)] respectively.

制限される地、あるいは不成功に終わった地では、薬剤防除を実施する。これら各種防除法を適用した場合の期待されるアブラムシの寄生の推移を示すと、Fig. 30 のとおりである。

ところで、被害よりみた危険地帯に属する地域では、植栽地の周辺の状況、造林方法のいかんにより、トドマツ植栽後、アブラムシの寄生がどのように推移していくかおおよそ推測しうる（前掲 Fig. 3 参照）。したがって、すでにある造林地はもちろんのこと、今後植栽が予定される造林地を含めて、その地域全体に対して各種防除手段を選択、組み合わせながら、計画的に防除を実施していくことが望ましい。たとえば、トドマツ造林予定地に対しては被害を回避しうる造林方法の採用が必要ではあるが、施業上どうしても既被害地に隣接するような場合は、その地の薬剤防除を実施してから植栽を行うなどの配慮が必要となる。また薬剤防除地に介在しないしは近接している、いまだ被害許容限界以下の被害地には寄生蜂の導入放飼を行い、できるだけ両者を併行的に実施して、その地域一帯のアブラムシの密度を全般的に低下させながら、他方寄生蜂の密度の増大をはかっていくことも、たいせつな問題である。こうした防除が広域的に、総合的に実施されて、初めて真の意味の総合防除が達成されるのであり、そのことによりたんに薬剤防除面積を大幅に減らしうるだけでなく、自然環境の保全にも役立ち、結局は林業経営の健全な発展、生産性を高めることにもつながっていくものと思われる。

結 言

トドマツオオアブラは、植栽後 10 年ぐらまでのトドマツ幼齡木を加害する害虫であり、環境の人為的改変、すなわち人工林化にともなって発生が恒常化するとともに、被害も拡大されてきた。したがって、その被害の発生を根本的に防止していくためには、森林の取り扱い方そのものを改善していくことが基本条件となる。本種の総合防除法も、このような観点から、森林の造成法の改善による林業的防除法を中心に組み立てられた。

はじめにもふれたように、林木の生産期間はひじょうに長く、しかもその間、林木の生育に応じて昆虫相も変っていく。また樹種によっても加害害虫の種類が異なるのがふつうである。それ故、本来はこうした長期にわたる全生産期間を通して、その地域の全森林を対象に害虫の被害を回避しうるような、もしくは少なくともその発生の規模、頻度を最小限に抑えうるような、森林ならびに害虫の管理方式というものが確立されるべきであろう。すなわち、森林一害虫群に関して、一貫した総合防除体系を確立していくこと、これはいわば森林生態系そのものの管理システムの解明ともいべき問題であろうが、実はこの点にこそ総合防除が指向すべき最終目標があると思われ、今後解決すべき最大の課題ともいえよう。

摘 要

トドマツ幼齡造林地の害虫トドマツオオアブラに関し、その総合防除法の確立を目標に、被害許容限界ならびに各種防除手段について調査検討を行うとともに、これらの成果をもとに条件に応じて適用されるべき防除法の体系化を試みた。

(1) 被害許容限界

本種は植栽後 10 年ぐらまでの幼齡木を加害し、その被害の現われ方は、植栽後のアブラムシの侵入定着、寄生の広がり方と密接な関係がある上、林木の生育に応じて寄生によってうける影響も異なってくる。このようなアブラムシの寄生の推移と林分生長（単木生長量、枯損量）および被害木の分布との関係

から、被害許容限界として3つのレベルを設定した。このうちどのレベルをとるかは、その森林の価値、経営目的、生育条件など、それぞれの条件に応じて判断されるべきであるが、一般的に言えば木材生産を目的とした経済林においては、第2のレベルをとるのが最も妥当のように思われる。すなわち、植栽後1～2年では本数寄生率（寄生をうけている林木の割合）10%、3～5年では20%、6～7年では30%の線で、これをこせば要防除となる。

（2）被害よりみた危険地帯の地域区分

こうした被害許容限界を土台として、北海道内の立地区分による各地域のアブラムシの発生状況、被害実態に関する調査結果と、その生態に関する知見をもとに、本種の被害よりみた地域区分が行われた。これはこれまでの造林のあり方を再検討し、いわば生物害よりみた造林適地の判定という観点から行われたもので、4月から8月までの5°C以上の月平均気温の積算度（一種の温量指数）が45°C以上の地は危険地帯、45°C以下の地であれば安全地帯と区分しうる。

（3）育林的操作による林業的防除法

上記の危険地帯と区分された地域においては、植栽時点で被害の発生を回避もしくは軽減しうる造林方法など、森林の造成法の改善策を講じない限り、被害許容限界をはるかにこすような大きな被害をうけるおそれがある。このような育林的操作による林業的防除法としては、帯状皆伐や小区画皆伐のごとく1つの伐区、造林面積を小さくし、周囲に天然林を残すか、あるいは他樹種の造林地をつくるなど、また植栽年度の間隔を大きくするといった造林計画で、アブラムシの侵入定着をできるだけ抑制する方法が、きわめて有効な手段となる。また場所によっては、樹下植栽によっても被害を回避しうる。

（4）寄生蜂の導入による生物的防除法

このような造林方法を適用しても、条件によっては被害許容限界をこすおそれのある地も生ずる。これらの造林地では、アブラムシの侵入初期に、寄生蜂の1種モミオオアブラバチを導入放飼することにより、大幅に被害を軽減しうる。ただし、その効果は共生しているアリ類の種類構成に大きく左右され、土爽（巣状の土の覆い）を作るトビイロケアリの優占している林地では、そのままでは十分な効果は期待できない。

（5）防除法の体系化

以上を総括し、それぞれ条件に応じて適用されるべき防除法を体系化すると、次のとおりである。

まず、その地域がアブラムシの被害発生に対し、安全地帯か危険地帯であるかを区分する（4月から8月までの5°C以上の月平均気温の積算度が40°C以下の地域は安全、45°C以上は危険地帯）。次に、危険地帯については被害の回避、軽減を期待できる森林の造成法（林業的防除法）の採用の可否を検討する。その実行が困難な場合には、生物的防除法（寄生蜂の導入放飼）、薬剤防除法などの方法をその場所の条件に応じて実行する。

このような防除体系を林業生産の経営のしくみの中にとり入れることにより、薬剤防除を必要とする面積を大幅に減少できるだけでなく、自然環境の保全にも役立ち、またこのことが結局は林業経営の健全な発展と生産性を高めることにもつながっていくものと思われる。

文 献

- 1) 秋田米治：トドマツ稚幼樹の樹上にいるクモ類の季節的消長およびアブラムシ類に対する捕食について，84回日林講，315～317，(1973)
- 2) 深谷昌次・桐谷圭治編：総合防除，講談社，415 pp.，(1973)
- 3) 古田公人：マイマイガとトドマツオオアブラの低密度個体群の動態に関する研究，林試研報，279，1～85，(1976)
- 4) 井上元則：トドマツオオアブラの被害防除に関する試験成績，北海道林試時報，53，1～36，(1944)
- 5) ———・山口博昭：トドマツ造林地におけるアブラムシ類（第1報），苫小牧地方の被害及びアブリとの関係，林試北海道支場業務報告，特別報告，3，28～41，(1955)
- 6) MORISITA, M. : Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., Ser. E, 2, 215～235, (1959)
- 7) 高井正利：苫小牧地方における針葉樹寄生アブラムシ類の被害実態調査，日林会北支講，8，48～50，(1959)
- 8) 山口博昭：トドマツオオアブラの生活史と個体数の季節的消長，75回日林講，403～404，(1964)
- 9) ———：トドマツオオアブラの個体群動態，被害解析，防除（その1），森林防疫ニュース，16，250～252，(1967)
- 10) ———：トドマツオオアブラの個体群動態，被害解析，防除（その2），森林防疫ニュース，17，5～9，(1968)
- 11) ———：トドマツオオアブラの発生環境と被害よりみた危険地帯の地域区分，林試北海道支場年報（1969），166～167，(1970)
- 12) ———：これからの森林保護 一害虫の総合防除の問題と関連して一，林業技術，376，1～6，(1973)
- 13) ———：トドマツオオアブラの光周反応と寄生蜂モミオオアブラバチの休眠，20回日生態大会講演要旨（帯広），B03，(1973)
- 14) ———：森林害虫の総合防除，深谷昌次，桐谷圭治編，総合防除，講談社，359～402，(1973)
- 15) ———：トドマツオオアブラの個体群動態と多型の出現機構，林試研報，283，1～102，(1976)
- 16) ———：森林害虫の総合防除一害虫防除は自然破壊か一，山林，1107，35～41，(1976)
- 17) ———・平佐忠雄・高井正利：トドマツオオアブラ類の被害の推移と防除，北方林業，16，195～201，(1964)
- 18) ———・———・———：トドマツオオアブラの個体数変動にみられる二，三の特徴，76回日林講，355～357，(1965)
- 19) ———・———・———：トドマツ，カラマツに寄生するオオアブラ類の天敵とその利用（永年作物害虫の生物的防除に関する研究），農林水産技術会議研究成果，28，93～106，(1966)
- 20) ———・小泉 力：昭和49年度に発生した森林害虫と最近10年間の発生状況，北方林業，27，111～114，(1975)
- 21) ———・高井正利：トドマツ植栽後のトドマツオオアブラの侵入，寄生のひろがり，林試北海道支場年報（1966），169～175，(1967)

**An Integrated Control System for the Todo-fir Aphid,
Cinara todocola INOUE in Young Todo-fir Plantations**

Hiroaki YAMAGUCHI⁽¹⁾ and Masatoshi TAKAI⁽²⁾

Summary

The Todo-fir aphid, *Cinara todocola* INOUE, is one of the most destructive pests in young plantations of Todo-fir, *Abies sachalinensis* FR. SCHMIDT, in Hokkaido. Its damage has increased greatly following the extensive typhoon damage of 1954 and the subsequent increase in plantations resulting from a large scale planting program started in 1958. Chemical control has been applied on about 10,000 to 15,000 ha of heavily infested Todo-fir every year for more than 10 years. Damage did not decrease, however, because the areas reforested with Todo-fir have extended to over 30,000 to 35,000 ha annually, most of which have been infested by the aphids sooner or later (Fig. 1).

A long term project was started in 1958 to clarify the population dynamics of this insect and to establish a silvicultural control or integrated control system for it. This paper deals with the latter studies which have been conducted in connection with previous investigations (See YAMAGUCHI, 1976¹⁾).

Damage and tolerable injury level

The aphids attack only young plantation trees less than about 10 years old. The impact of their attacks on newly planted seedlings is large and becomes less as the trees grow larger. Therefore, damage caused by this aphid in a given plantation is closely related to the developmental stage of the plantation. The time of initial invasion and the duration of the infestation is equally important. In a plantation which was surrounded by hardwood forests, the invasion and establishment of aphids was observed 3 years after planting, and an increase in percentage of trees attacked was slow, so that the total damage was rather small. On the other hand, a plantation directly in contact with heavily infested areas was invaded by the aphids immediately after planting and showed a high percentage of trees attacked in a few years. This resulted in high tree mortality, 40 per cent during the 10 years (Table 1, Figs. 4 and 5).

For the first 2 or 3 years after planting, most of the trees attacked died the following year, but thereafter tree mortality would necessitate the successive aphid attacks extending 2 to 4 years according to tree growth and attack densities. Consequently mortality rates of the infested trees decreased with forest development (Table 1 and Fig. 5).

The infested trees which survived, however, showed great reductions in height growth (Fig. 6). On heavily infested trees which had been attacked for more than 3 years from 5 years after planting, height growth reductions became larger, and an average tree height at

Received November 1, 1976

(1) (2) Hokkaido Branch Station

1) YAMAGUCHI, H. (1976). Biological studies on the Todo-fir aphid, *Cinara todocola* INOUE, with special reference to its population dynamics and morph determination. Bull. Gov. For. Exp. Stat., No. 283, 1~102.

10 years after planting was nearly equal to that on an undamaged tree of 7 years old.

One more important component for evaluating the damage caused by this insect is the spatial distribution of trees attacked. Just after the first aphids' invasion into the newly established plantation, they attacked trees in some small groups, then their attacks spread to the surrounding trees. The distribution pattern of trees attacked, therefore, changed with increasing numbers of trees attacked; that is, a contagious distribution with small clumps at first, then one with large clumps, and lastly a uniform distribution (Figs. 7 and 8). This suggested that the forest growth would be further delayed because the damaged trees were in scattered groups and consequently the forest crown closure was destroyed.

Three tolerable injury levels²⁾ for the Todo-fir aphid are decided, based on these effects of its attack on tree mortality, growth loss and distribution of damaged trees (Fig. 9). The levels are shown by the percentage of trees attacked in relation to the number of years after planting.

The aphid infestation has almost no effect on forest growth below the 1st level. If the percentage of infested trees had exceeded this level, forest growth would be reduced, but the loss would be relatively small until they reached the 2nd level. If above the 3rd level, damage would be so large that replanting was required. Which level should be accepted in a given case depends on the objectives of silviculture, the economic value, and the growth condition. In general, the 2nd level seems to be most reasonable for forests aiming at timber production.

Classification of hazard districts being susceptible to the aphid infestation

Studies on the aphid infestation and damage revealed that there were certain districts where the percentage of trees attacked did not exceed the tolerable injury level (1st level) without resorting to any control measures. From the results of general surveys throughout Hokkaido, such districts all belonged to those where the cumulative temperatures (monthly mean temperature above 5°C from April to August) were below 40°C. These districts, from a viewpoint of aphid damage, may be classified as safety zones. On the other hand, the aphids threaten to cause severe damage in districts where the accumulated temperature are above 45°C, so these may be classified as hazard zones (Fig. 10 and see YAMAGUCHI, 1976).

Control through silvicultural practices

In the districts classified as the hazard zones, plantations newly established will be subject to serious damages far exceeding the tolerable injury level, unless an improvement in silvicultural methods is made. As mentioned before, one of the effective control measures through silvicultural practices is to leave natural hardwood forests, or to reforest with other tree species in the surrounding areas in order to prevent or delay the invasion and establishment of aphids (Figs. 4 and 11).

This was confirmed by research on the dynamics of aphid population in five stands, where the different cutting-regenerating systems were practiced respectively. The results indicated that in the artificially reforested stands after clear cutting in a narrow strip (50 m wide and

2) We used this term instead of the economic injury level after "Integrated control of insects" edited by S. FUKAYA and K. KIRITANI (1973). One of the reasons for this is that we have tried to clarify biological or physical impact of insect attacks on trees rather than loss of economic value or benefit/cost ratio.

600 m long) or under the partial shelter of reserved trees, the aphid population densities were kept at quite low levels, and the percentage of trees attacked did not exceed the 1st tolerable injury level. On the contrary, the plantation established after clear cutting over large areas (about 30 ha) suffered from severe damage exceeding the 3rd tolerable injury level (Figs. 12~14).

In the small reforested stands as well as in the naturally regenerated stands, not only the rates of increase in the number of trees attacked were kept low by the high dispersal loss of aphids, but also the population increases were held down probably by the activities of natural enemies, especially by the predation of spiders and insect predators (Figs. 16~19). In results analyzing the change in artificially introduced aphid populations, the mortality rates of aphids which were released on host trees and protected from predation by using cages were much smaller than those which were exposed to predators. Most of the released aphids on exposed trees seemed to be killed by spiders before they began to reproduce (Fig. 17). Some of the aphids escaped predation and succeeded in colonization on host trees. However, other experimental populations revealed that their descendants would be almost completely destroyed by predators (mainly syrphids) in the fall, even if their population increased in summer (Figs. 18 and 19). One of the important causes for high predation may be attributed to the composition of ant species associated with the aphids in these stands where the proportion of *Lasius niger* L., which constructed shelters on the aphid infested trees, was very small throughout the seasons (Uppermost and middle figures in Fig. 20).

Biological control using the hymenopterous parasite

Against the rapid increase in the population of aphids, the effect of their natural enemies is apt to lag behind, and this seems to constitute a major cause for allowing serious damage exceeding the tolerable injury level. Therefore, the tests were conducted to artificially introduce and release the natural enemies at the early stage of aphid infestations.

For 2 or 3 years after the aphids' invasion, there were some local areas where the population density was high, while the overall density was still low. Releases of the hymenopterous parasite, *Pauesia momicola* WATANABE et TAKADA, onto these local areas were made in four experiment plots (Table 3), and an encouraging result was obtained in one of them (Figs. 21~23, Tables 4 and 5). The released parasites increased their population and spread to almost all the aphid infested trees by the following fall. This brought about a great reduction in the aphid population growth and consequently the percentage of infested trees was held down below the 2nd tolerable injury level (Parasite release plot No. 1 at Tomakomai in Table 4, Figs. 21~23, 26 and 27).

The effect of released parasites was greatly restricted in the plots where the dominant ant species was *L. niger* (Figs. 24 and 25). This ant species enclosed the colonies of aphids within shelters constructed of nest materials and protected them from the parasite attacks. In such cases joint use of chemical control measures seemed to be necessary to lower the proportion of *L. niger*.

When the parasites were released in the field, both parasitized aphid mummies and adults were used. In adult releases, 1 to 3 pairs of males and females were put in a net-covered cage enclosing an aphid infested tree and the cage was removed about 1 month after releasing (Table 7). This field multiplication method is very efficient because the parasites are establi-

shed easily and releases in small numbers are able to cover large areas.

Integrated control system

In summary, the control measures to be used in different situations can be systematized as shown in Fig. 29. Areas classified as safety districts, where the cumulative temperatures (monthly mean temperature above 5°C from April to August) remain below 40°C, are safe from the aphid damage even if successive planting operations of Todo-fir continue. But in areas classified as hazard districts, where the accumulated temperatures are above 45°C, the aphids threaten to cause severe damage far exceeding the tolerable injury level. In such cases, silvicultural control measures such as planting in a narrow strip, or in small areas, or under the partial shelter of reserved trees should be practiced. Damage may be eliminated by artificially introducing *Pauesia momicola* at an early stage of aphid infestation. Chemical control should be applied only when the effects of these control measures are restricted or end in failure. The expected trend in aphid attacks using various control methods are shown in Fig. 30.