

論 文

両面スクリーントラップを用いた“マツ枯れ”林の甲虫類調査

二井一禎*・前原紀敏**・津田 格***・神崎菜摘*

Survey of beetles in pine wilt-infested forests with double-faced screen traps

Kazuyoshi FUTAI*, Noritoshi MAEHARA**, Kaku TSUDA*** and Natsumi KANZAKI*

上賀茂試験地と滋賀県田上山で“マツ枯れ”に関連する甲虫群集の調査、解析を行った。調査は当初マツ材線虫病の媒介昆虫、マツノマダラカミキリの個体群調査のために企画され、その飛来方向を明らかにするため両面スクリーントラップを開発し、これを調査に用いた。このトラップで捕獲されたマツノマダラカミキリの数は、上賀茂試験地が被害終息期にあり、田上山が恒常型被害地であることを考えると、むしろ多かった。この調査を通じて、飛来方向による甲虫群集の違いや、捕獲される甲虫群集の組成に誘引剤がどのような影響を与えるかを知る上でこのトラップが有効な手法であることが明らかになった。また、この方法を経年的に利用することにより、生息環境の変化を知る手がかりが得られる可能性が示唆された。

キーワード：両面スクリーントラップ，“マツ枯れ”，甲虫類相，多様度指数，類似係数

Beetle communities were comparatively studied in Kamigamo Experimental Station of Kyoto University and in Mt. Tanakami, Shiga prefecture. Double-faced Screen traps developed to examine the population of Japanese Pine Sawyer, *Monochamus alternatus* served for the survey of beetle community. Taking the situation of pine wilt in Kamigamo and Tanakami into consideration, population of *M. alternatus* was rather high. The traps adopted here were useful in estimating the direction where beetles come from, and in evaluation of the effects of attractant used for the trap on the beetles' diversity, which trapped.

Key words: double-faced screen trap, pine wilt, beetles, diversity index, similarity index

1. はじめに

マツ材線虫病，いわゆる“マツ枯れ”は日本各地のアカマツ，クロマツ林に激しい被害をもたらし，西日本ではもはやマツ林が壊滅状態に陥ったところも少なくない。私たちはこの被害のすさまじさに目を奪われ，植生の変化にばかり注意を向けがちであるが，マツ林の崩壊は必然的にそこに共棲する小動物や植物，微生物の群集からも生息環境を奪い，絶滅への道を強いている可能性がある。

よく知られているように，“マツ枯れ”の病原体は体長1 mmほどの微少なマツノザイセンチュウ(*Bursaphelenchus xylophilus*)で，これをマツノマダラカミキリ(*Monochamus alternatus*)という甲虫類の一種が枯れた木から健全な木へと媒介することによりこの病気を流行病化させている。京都大学農学研究科付属演習林上賀茂試験地（面積約50 ha）の主たる植生はアカマツの二次林であった。しかし，1960年代からこの試験地にも“マツ枯れ”が

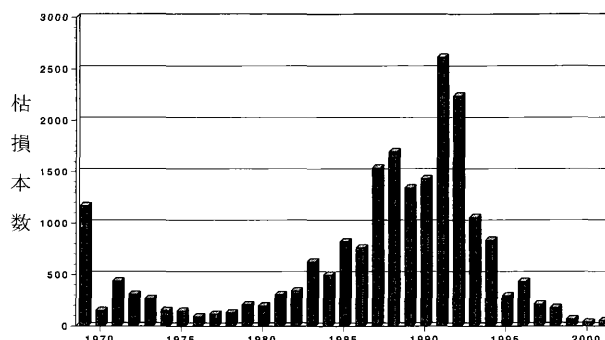


図1 上賀茂試験地における“マツ枯れ”被害量の年次変動
Annual loss of Japanese red pine trees by pine wilt in Kamigamo Experimental Station.

侵入し，関係者の必死の防除努力にも関わらず，現在ではアカマツは孤立木として生残している個体を除けばほぼ壊滅の状況にある。この間に伐倒処理されたアカマツ個体は2万本を上回り（図1），この試験地に植栽されている貴重な外国産マツ属樹種にも甚大な被害をもたらしてきた（古野ら1993）。

* 京都大学農学研究科 地域環境科学専攻

** 独立行政法人森林総合研究所 森林昆虫研究領域 昆虫管理研究室

*** 岐阜県 森林文化アカデミー

* Division of Environmental Science and Technology, Graduate School of Agriculture, Kyoto University

** Forestry and Forest Products Research Center

*** Gifu Academy of Forest Science and Culture

“マツ枯れ”の被害がほぼ終息期を迎えた 1997 年から翌 1998 年にかけて、上賀茂試験地において本病媒介者であるマツノマダラカミキリの生息密度の調査を実施した。特に、この病気による被害拡大様式に焦点を合わせて研究を実施してきた立場からは、試験地において防除が徹底して実施されてきたにもかかわらず被害が再発する原因の究明が重要と考えられた。その場合、駆除処理を実施していない周辺林分からの媒介昆虫マツノマダラカミキリの飛び込みの可能性が大きいがその実態は明らかになっていない。周辺林分からのマツノマダラカミキリの飛び込みの可能性を検証するためには、この昆虫の飛来方向を明らかにすることが有効な情報になると考えた。

昆虫相の調査方法には様々なものがあり、一長一短があることが知られている。しかし、そのもっとも基本的な条件は、その方法が対象とする昆虫群集の行動習性に適合していることである。マツノマダラカミキリの個体数推定のためにはこれまで揺すり落としによる後食中のカミキリ捕獲といった方法(Shibata 1986)も考案されているが、この方法が適用できるのは小径木に限定される。あるいは、殺虫剤の空中散布後に落下している昆虫をトランスセクト法により調査する方法(渡辺 1976 a, b)も報告されているが、回を重ねて多くの樹を対象に実施することは困難である。そこで、簡便に適用できる方法として誘引剤を用いたトラップ法が一般に用いられてきた。しかし、誘引剤を装填したトラップに捕獲されたマツノマダラカミキリがどの方向から飛来したものを明らかに出来るような装置はこれまで無かった。一方、飛翔力のある昆虫を対象としたトラップ法として、スクリーントラップ法(衝突トラップ法)というものがある。これは、透明な板、あるいは網を空中につるし、その板や網に飛翔中の昆虫が衝突し落下したところをその下に備え付けられた容器に捕獲し、その数を調べるというものである。本研究ではこのスクリーントラップに少し手を加え、スクリーンに衝突し捕獲された昆虫がスクリーンのどちらの側に衝突したかを明らかにできるように改良した。こうすることにより、捕獲した昆虫がスクリーンのどちら側から飛来したかをある程度明らかにすることが可能になる。また、このトラップを林縁など、異なる植生の隣接部などに設置することにより、トラップの両側に広がる異なる植生の間で昆虫相を比較したり、それら植生間における昆虫の移動などを調査したりすることが可能となろう。

当初、このようにマツノマダラカミキリの個体数とその飛来方向の調査のために実験を設定したが、捕獲される昆虫相はマツノマダラカミキリのみではなく、甲虫類

(鞘翅目)に限っても 100 種を優に越え、本調査法が甲虫類相の実態解明にも有効であることが明らかになった。調査対象をマツノマダラカミキリのみならず甲虫類全般に広げることにより、トラップの両面での昆虫相のちがいや、捕獲される昆虫相に誘引剤が与える影響を評価することが可能になる。そこで、本報告ではマツノマダラカミキリ個体数の季節的変動と併せて、捕獲された甲虫類相全般についてその調査結果を解析し報告する。また、この調査と平行して実施された滋賀県大津市田上山における同様の調査の結果についても比較のため整理、検討した。なお、田上山では山腹保育工の結果、クロマツ林が成林しており、上賀茂試験地で調査対象としているアカマツ林との比較が可能と考えた。

甲虫類調査用の新しいトラップの開発に当たっては上賀茂試験地の技官の方々から技術の提供や、改良のアイデアなど多くの協力をいただいた。さらに、同試験地での“マツ枯れ”による被害推移のデータを提供していただいた。また、この調査のために用いた誘引剤は保土谷アグロス社から研究用として無償提供いただいたものである。ここに記して深謝の意を表しておきたい。

2. 調査地の概要

2. 1. 上賀茂試験地

1997 年には同試験地の第 1～3 林班と 22, 23 林班の間を走る尾根沿いの林道に合計 7 器 (Nos. 1～4, 6, 8, 9), また第 18 林班に 2 基 (Nos. 10, 11) の合計 9 基のトラップを設置した。翌, 1998 年には合計 9 基のトラップ (Nos. 1～9) を前年と同じ尾根沿いの林道に設置した。ここで、トラップの番号はそれらを設置した場所を表すが、調査を実施した 2 年の間で同じ番号は同じ設置地点に対応している。各トラップは林道沿いに生

表 1 上賀茂試験地で 1998 年度に設置したトラップの高さと設置した樹種

The height of traps settled at Kamigamo Experimental Station in 1998, and the tree species on which the traps were settled.

Trap No.	トラップの高さ (cm)*	トラップを設置した樹種
No. 1	480	コナラ
No. 2	520	コナラ
No. 3	425	ヒノキ
No. 4	435	コナラ
No. 5	890	枯れアカマツ
No. 6	390	コナラ
No. 7	820	アカマツ
No. 8	370	コナラ
No. 9	280	ヒノキ

*トラップの高さは地面からトラップの底部までの距離。

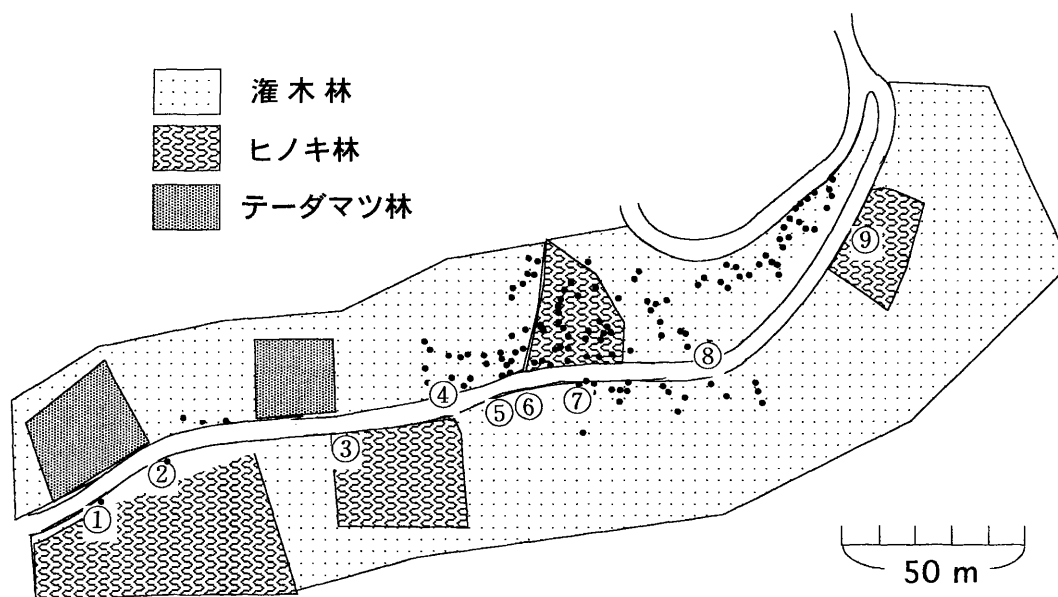


図2 上賀茂試験地における誘引トラップ設置個所と周辺の植生

Experimental sites where screen traps were settled and surrounding flora.

○で囲んだ数字はトラップの番号をあらわす。また小さい黒丸は生存アカマツ個体の位置を示す。

Encircled numbers and small solid circles represent the trap number and surviving Japanese red pine trees, respectively.

育するアカマツ、コナラ、ヒノキなどの樹木の枝にロープでつり下げ設置した。その際、スクリーン（衝突板）の片面が林道側に、他面が林内に向くよう林縁に設置した。尾根沿いの林道に設置したトラップの位置と周辺の植生の概略を図2に示す。この周辺には多数のアカマツが分布していたが、この調査に先立つ約10年の間に“マツ枯れ”の進展によって激減し、少数を残すのみとなっている。その過程については、著者の一人、二井が報告している（二井 1999）。トラップを設置した木の種類と設置高については表1にまとめる。

2. 2. 滋賀県大津市田上山

この調査を実施した田上山系は奈良時代から続いた過伐により荒廢地と化していたが、明治以後の山腹保育工により現在では植生が回復しつつある。この山腹保育工に用いられたのは初期成長の良いクロマツ（*Pinus thunbergii*）と肥料木として土壌肥沃化に有効な、カバノキ科のヒメヤシャブシ（*Alnus pendula*）、マメ科のエニシダ（*Sarothamus scoparius*）などである。現在、この人工植栽されたクロマツと、自生のアカマツ（*P. densiflora*）に“マツ枯れ”被害が広がっている。この調査地では上賀茂試験地とは対照的に、被害木の駆除処理はほとんど行われていないが、アカマツもクロマツも小さなパッチ状に灌木林の間に分布しているため林分全体が一斉に“マツ枯れ”被害により枯損するといった現象はあまり見られない。この調査地ではマツノマダラカミキリの個体群動態と甲虫類相の調査のために8器のト

ラップを用意した。これらのトラップは林道沿いに造られた人工林とその周辺域に設けられた4カ所のプロット内の尾根付近にあるクロマツの枝に設置した。また、各プロットに2基ずつを配し、一方には誘引剤を設置し、他の一基には誘引剤を付けないままにして、対照とした。なお、それぞれのプロットの間は少なくとも50m以上の距離がある。

3. 調査方法

調査対象の甲虫類、なかでもマツノマダラカミキリの飛来方向の解明のために、図3のような新しいスクリーン（衝突）トラップを開発した。このトラップは一辺が70cmの正方形の透明なアクリル樹脂板（衝突板）とその下、両側につけた2個のプラスチックトレイからで

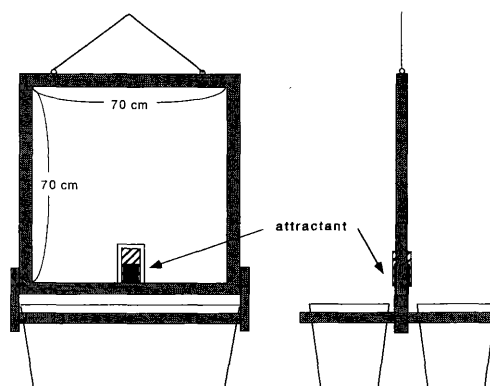


図3 両面スクリーントラップ
Double - faced screen trap

きており、このスクリーン(衝突板)を地面に垂直になるよう空中につるし、これに衝突して落下した昆虫を板の両側で別々に捕捉しようというものである。調査の現場ではこのプラスチックトレイにそれぞれ2ℓほどの水を入れ、さらにこれに少量の界面活性剤を滴下してから樹の枝などにつるし、衝突板が動かないようにロープなどで固定しておく。誘引剤としては保土谷アグロス社のホドロンを用い、調査のたびに新しいものと交換した。各調査時にそれぞれのトラップより回収した昆虫試料は袋に入れて研究室に持ち帰り、同定と計数を行った。

4. 結果と考察

4. 1. マツノマダラカミキリの個体数変動

マツ材線虫病、いわゆる“マツ枯れ”の媒介昆虫であるマツノマダラカミキリの個体群動態はこの病気の流行を左右する最も重要な要因である。本病の感染鎖が明らかになってから、この媒介昆虫の個体数推定については多くの研究が重ねられてきたが、その飛翔距離の大きさや野外での捕獲の困難さから野外個体群の正確な個体数

推定は今も確立していない。

本調査では誘引トラップを用いているため、トラップ設置個所の自然な個体数を推定していることにはならないが、その後背地も含めた地域集団のおおよその把握には利用できるものと考ええる。

新しく開発したトラップの設置条件などを明らかにすることを主眼に行った初年度('97の調査では、上賀茂試験地では6月の末から9月初旬まで、翌'98年の本調査では6月の末から9月中旬までの間トラップを設置した。また、同じ時期に平行して行った田上山の調査では初年度は7月末から9月初旬まで、'98年度には6月末から9月中旬までの間トラップを設置した。この間、上賀茂では初年度には7回、2年目にはほぼ毎週、計12回トラップされた昆虫の回収を行った。また、田上山の調査地については初年度には5回、2年目は13回の回収を行った。それらのデータはすべてのトラップで捕獲されたマツノマダラカミキリ成虫を雌雄まとめて調査地毎に図4と5に表した。ただ、それぞれのトラップについて、衝突スクリーンのどちら側から飛来したかを区別するため、林内側と林道側のデータを区別して表してある。

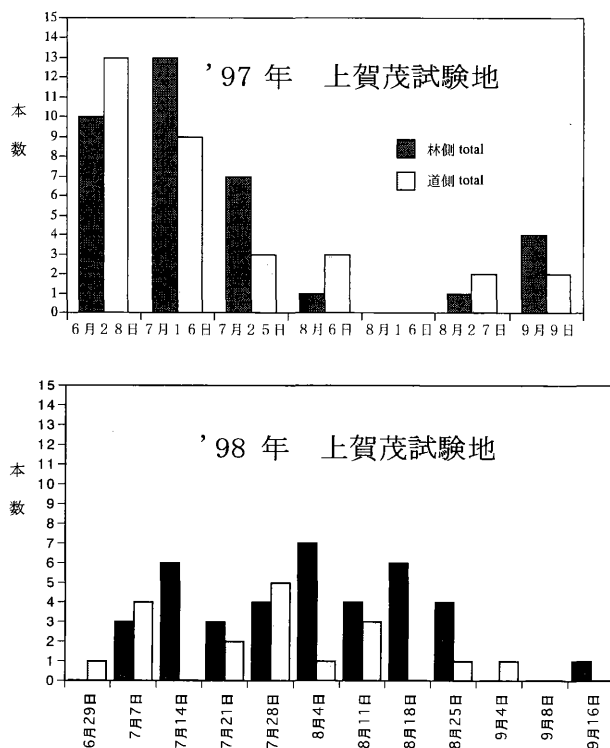


図4 上賀茂試験地において捕獲されたマツノマダラカミキリ個体数の季節変動

Population changes in Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* trapped in Kamigamo Experimental Station. Closed and open columns represent the number of Japanese pine sawyer captured at a side of the trap screen, which face to forest, and that trapped at the other side of the screen, which face to open area, respectively.

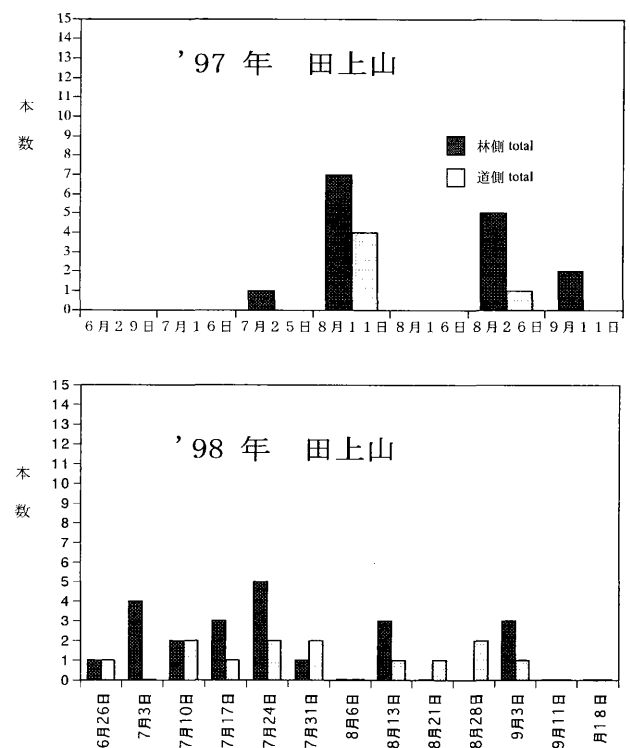


図5 田上山において捕獲されたマツノマダラカミキリ個体数の季節変動

Population changes in Japanese pine sawyer, *M. alternatus* trapped in Mt. Tanakami, Shiga prefecture. Closed and open columns represent the number of Japanese pine sawyer obtained at a side of the trap screen, which face to forest, and that trapped at the other side of the screen, which face to open area, respectively.

初年度 ('97) に上賀茂試験地の 9 基のトラップで捕獲されたマツノマダラカミキリの総個体数は68頭で、うちオスは31頭メスは37頭であった。これらのうち、半数以上が第18林班の周囲が開けたアカマツの孤立木に設置したNo.11で得られたものである。翌年、尾根沿いの林道にのみ設置した 9 基からは合計56頭が回収され、うち17頭がオス、39頭がメスであった。

田上山では初年度は短い時期しか設置しなかったせいか、合計20頭しか得られなかった。そこで、2年目は上賀茂試験地での調査とほぼ並行して調査を実施した。しかし、捕獲されたマツノマダラカミキリの総数は25頭に過ぎず、全般に上賀茂試験地よりその数は少なかった。しかし、これは同調査地に設置した8基のトラップのうち4基にしか誘引剤を装填していなかったことが主たる理由と考えられる。今回用いた誘引剤はエタノールやテルペン類を主成分としているが、これはマツ材線虫病に感染し、樹脂分泌を停止したような異常マツから発散さ

れ、産卵期に入ったマツノマダラカミキリがこれら物質に誘引され、異常になったマツに飛来し産卵すると報告されている (Ikeda and Oda 1980)。したがって、この誘引剤を装填したトラップで捕捉されたカミキリはこれら揮発性のガスに誘引され飛来した産卵期のメスとそれを求めて徘徊するオスであると考えられる。条件の等しい '98年度のデータについて上賀茂試験地 (図4) と田上山 (図5) のデータを比較すると両調査地とも7月から8月にかけてマツノマダラカミキリが林内を盛んに飛翔しているが、9月になるとほとんど活動しなくなることが分かる。ただ、田上山の方が活動期は少し遅くまで続くようである。

今回両調査地で得られたマツノマダラカミキリの個体数は決して多くはないが、上賀茂試験地での“マツ枯れ”が被害終息期にあることや、田上山では被害が徐々にしか広がらない事実をふまえると、この個体数はむしろ多いと判断すべきかもしれない。

表2 上賀茂試験地と田上山でトラップに捕獲された主要な甲虫類 (太字はマツ類に関連した種)
Table 2 Primary beetle species captured in Kamigamo Experimental Station and in Mt. Tanakami, Shiga prefecture.

上賀茂試験地		田上山調査地	
種 名	個 体	種 名	個 体 数
クロカミキリ (<i>Spondylis buprestoides</i> L.)	2521	クロカミキリ (<i>S. buprestoides</i> L.)	1871
キイロコキクイムシ (<i>Cryphalus fulvus</i> NIJIMA)	873	キイロコキクイムシ (<i>C. fulvus</i> NIJIMA)	961
シラホシナハナムグリ (<i>Protaetia brevitaris</i> LEWIS)	753	クロダングラカコウムシ (<i>S. nakanei</i> IGA)	822
クロダングラカコウムシ (<i>Stigmatius nakanei</i> IGA)	202	シラホシゾウ属 spp.* (<i>Shirahoshizo</i> spp.)	461
マツクチプトキクイソウムシ (<i>Stenoscelis gracilitarsis</i> WALLASTON)	129	ヒゲナガモモフトカミキリ (<i>Acanthocinus griseus</i> FABRICIUS subsp. <i>orientalis</i> OHBAYASHI)	154
クシコメツキ (<i>Melanotus legatus</i> CANDEZE)	67	シラホシナハナムグリ (<i>P. brevitaris</i> LEWIS)	60
ナガヒゲフトコメツキ (<i>Aulonothroscus longulus</i> CANDEZE)	61	マリ阿克モソウムシ (<i>Euryommatus mariae</i> ROGER)	46
マツノマダラカミキリ (<i>Monochamus alternatus</i> HOPE)	56	マツノマダラカミキリ (<i>Monochamus alternatus</i> HOPE)	36
シラホシゾウ属 spp.* (<i>Shirahoshizo</i> spp.)	52	チビムクゲケシキスイ (<i>Circopes suturalis</i> REITTER)	32
チャイロコメツキ (<i>Haterumelater bicarinatus</i> CANDEZE)	39	ムナクボカミキリ (<i>Arhopalus coreanus</i> SHARP)	23

* マツノシラホシゾウムシ: *S. insidiosus* ROELOFS
ニセマツノシラホシゾウムシ: *S. rufescens* ROELOFS
コマツノシラホシゾウムシ: *S. pini* ROELOFS

4. 2. 両面スクリーントラップで捕獲された甲虫群集

調査2年目(1998年)は、前年の予備的な調査結果より調査期間や調査時期を決定した。この年、上賀茂試験地で捕獲された甲虫類は111種5389個体で、同時期に田上山で得られた甲虫類は118種4924個体であった。両調査地で共通の種の数56種で共通係数(後述)は0.33となる。これらの調査地で捕獲された主要な甲虫類を個体数の多い方から順番に10種ずつを並べ比較したのが表2である。主要10種のうち6種までが共通であることは興味深い。両調査地の植生は全く異なる。しいて類似点を挙げるなら、“マツ枯れ”による枯損木が多数存在することであろう。クロカミキリやキイロコキクイムシ、シラホシゾウ属3種(ニセシラホシゾウムシ、マツノシラホシゾウムシ、コマツノシラホシゾウムシ)、マツノマダラカミキリなどマツ属樹種と関連が深い甲虫類が多いのはこのことを物語っている。

スクリーントラップに飛来する甲虫群集を調査地間や、プロット間、衝突スクリーンの林道側と林内側(あるいは山側)の間、あるいは、誘引剤の有無という処理の間で比較するために、種数や総個体数とともに、群集の多様度、群集間の類似性といった尺度についても検討した。

表3 上賀茂試験地の甲虫類多様度(1997年度)

Table 3 Number of species and total beetle population, and diversity indices evaluated for beetle species captured in Kamigamo Experimental Station, in 1997.

Plot No.		種数	総個体数(N)	多様度指数(β)
1	林道側	20	76	4.55
	林内側	18	52	5.97
2	林道側	18	49	7.89
	林内側	15	35	4.21
3	林道側	12	29	4.56
	林内側	16	55	2.60
4	林道側	25	147	3.49
	林内側	12	70	3.24
6	林道側	9	64	3.90
	林内側	21	117	0.90
8	林道側	21	131	4.11
	林内側	16	193	1.67
9	林道側	19	85	2.97
	林内側	12	74	2.14
10	林道側	18	98	6.39
	林内側	16	82	4.24
11	林道側	10	47	4.14
	林内側	9	62	3.01

群集の多様度を表す指数には多くのものがあるが(木元・武田 1989), 本研究で用いた多様度指数は、次式で与えられる森下(1967)の β 指数である。

$$\beta = \frac{N(N-1)}{\sum n_i(n_i-1)}$$

ここで、Nは総個体数で、 n_i はi番目の種の個体数である。

まず、上賀茂試験地で'97年度と'98年度に得られたトラップ毎の甲虫群集を林道側と林内側に分け、それぞれの種数、総個体数、多様度をまとめた(表3, 4)。兩年の間で種数や総個体数に大きな違いがあるが、その主たる原因は2年目にはサンプル回数を増やし、誘引剤の取り替えを頻繁に行ったことがあげられる。また、われわれの同定能力が向上し、初年度には同一にして数えていた種が、2年目には複数の種からなることが明らかになったケースもあった。その点で、初年度の調査結果の信頼度は低いと言わざるをえない。そこで、信頼性の高い2年目のデータ(表4)に議論を限定すると、多様度が低い値を示す、Plot 4の林道側とPlot 6, 9の林内側については、飛来甲虫群集のなかで、優占種(ここでは

表4 上賀茂試験地の甲虫類多様度(1998年度)

Table 4 Diversity indices evaluated for beetle species captured in Kamigamo Experimental Station, in 1998.

Plot No.		種数	総個体数(N)	多様度指数(β)
1	林道側	23	113	6.26
	林内側	32	262	2.81
2	林道側	16	49	10.31
	林内側	20	58	12.72
3	林道側	12	19	13.15
	林内側	19	35	20.52
4	林道側	40	652	1.97
	林内側	29	259	2.80
5	林道側	36	227	5.17
	林内側	40	532	4.52
6	林道側	34	362	3.10
	林内側	40	668	1.95
7	林道側	14	118	3.31
	林内側	21	292	3.25
8	林道側	32	418	3.52
	林内側	38	461	3.60
9	林道側	30	366	2.10
	林内側	27	488	1.62

クロカミキリ)の占める割合がそれぞれ、70.2%, 70.5%, 77.5% ときわめて高いことが目に付く。一方、多様度指数 β の値が著しく高いPlot 3は誘引剤を装填していない対照プロットで、捕獲された甲虫類も少なく、その種構成の中で特に優占した種も存在しなかった。これらの結果は、トラップ法により密度推定を行う際に誘引剤を用いることの功罪を顕著に示すものである。Plot 4の林内側は得られた昆虫の数も、その種数も林道側に比べて明瞭に少ない。一方、多様度は林道側に比べて高い値になっている。これは捕獲された総個体数の中で優占種クロカミキリの占める割合が林道側では70.2% (458個体)であったのに比して、林内側では53.3% (138個体)と低く、さらに2番目の優占種シラホシハナムグリの占める割合が林道側では10% (65個体)であったのに、林内側では27% (70個体)と高い値になったことに起因している。つまり、Plot 4では、トラップの衝突スクリーンをはさんで林道側と林内側の間で飛来したクロカミキリの数に大きな違いがあったが、シラホシハナムグリの数には大差が無かったことが特徴的であったと言える。また、この結果はスクリーントラップが昆虫の飛来方向などを考える上で有効な方法となることを強く示唆するとともに、昆虫の種による行動の違いを示すものである。これらの点を検証するために、林道側と林内側から飛来した甲虫群集間で類似性を調査した。群集間の類似性を表す尺度についても様々な指数が提案されている (木元・武田1989)。ここでは、もっとも古典的で簡単なJACCARD (1902)の共通係数 (C C) を採用した。

$$C C = c / (a + b - c)$$

この式で、aおよびbはそれぞれの群集の種数、cはそれらに共通する種の数である。

この指数 (C C) では少数しか登場しない希少種を優占種と同一に扱うため、前者を過大に評価するという問題点があるが、簡便な方法であるため頻繁に用いられてきた。

1998年に上賀茂試験地に設置した9基のトラップで捕獲された甲虫類について、林内側から飛来したものと林外から飛来したものの間で共通係数を求め、表5に一覧した。

ここでも誘引剤を装填しなかったPlot 3での共通係数の低さが目を引く。つまり、誘引剤を装填すると衝突スクリーンの両側から飛来する昆虫相の間に本来存在する相違を打ち消すほど、特定の昆虫を多数誘引飛来させるのであろう。従って、それぞれの地域で飛翔している常在性の昆虫相をありのままにとらえるためには誘引剤の

装填は慎まなければなるまい。しかし、本調査のように、“マツ枯れ”に関連した特定の昆虫集団を標的にした調査では誘引剤の使用もやむを得ないものであった。

次に、田上山での調査結果について検討する。この調査地では4つのプロットそれぞれについて2基ずつトラップを設置し、一方には誘引剤を装填し、他方にはそれを装填しないまま対照として用いたので、誘引剤装填の効果についてより明瞭な形で比較が可能である。また、この調査地ではトラップはすべて林内の高所に設置し、衝突スクリーンの両面はそれぞれ開放された道路側と後ろに林分が広がる山側に面している。その点で、上賀茂試験地でのトラップ設置条件とは異なる。比較のための基準を衝突スクリーンの山側と道路側の違いと、誘引剤の有無による違いの2つに設定して結果をとりまとめた。

まず、田上山の4つのプロットで捕獲された昆虫群集の種数、総個体数、多様度について誘引剤を装填したトラップとそれを装填していない対照トラップの間で比較した。また、'97年と'98年の調査結果はそれぞれ別個にまとめた。表6から明らかなように、いずれの年にも誘引剤の装填により、捕獲された種数、個体数ともに大きくなるが多様度は却って小さくなるという明瞭な傾向が見られた。これは上賀茂試験地でも見られたように、誘引剤に誘引され飛来する特定の種類が飛来群集のなかで優占する度合いが大きいためである。例えば優占度が大きい上位3種が飛来昆虫群集に占める割合は、誘引剤を装填したトラップについてはPlot 1, 2, 3, 4でそれぞれ66.0%, 69.9%, 86.2%, 82.0% と大きな値になった。従って、このように誘引剤に強く引きつけられて集合飛来した種についてはその他の常在性の種とは区別して取り扱う必要があるかもしれない。

海浜性の動物群集を研究した元村 (1932) は群集を構成する個々の種の個体数と、その個体数を基準に構成種を並べた時その種が群集の中で位置する順番の間に“元村の等比級数則”と呼ばれる一定の規則性があることを見いだした。吉川 (1993) はこの考え方を援用し、誘引トラップに飛来した穿孔性甲虫類の群集構造の解析を試みている。田上山と上賀茂試験地で'98年に捕獲された昆虫群集についても同様の解析を実施し、その結果を図6に示す。この図は上賀茂試験地では優占度の高い上位6種とそれ以外の種の間に、また田上山では優占度の高い上位8種とそれ以外の種の間に不連続点が見られる。つまり、これら優占種は誘引剤に強くひきつけられた昆虫種で、不連続点で分かたれたその他の甲虫種はそのプロットの常在群集と考えられる。

表5 飛来甲虫類の種構成におよぼすトラップ面の方向性の影響
Table 5 Similarity indices evaluated for beetle guild captured at a side of the trap screen, which face to forest, and that trapped at the other side of the screen, which face to open area (Kamigamo Experimental Station, in 1998).

Plot No.		種 数	トラップの 両側共通種 (共通係数*)	プロット別総種数
1	林道側	22	17 (0.46)	37
	林 側	32		
2	林道側	16	10 (0.39)	26
	林 側	20		
3	林道側	12	5 (0.19)	26
	林 側	19		
4	林道側	39	20 (0.42)	48
	林 側	29		
5	林道側	37	25 (0.46)	54
	林 側	42		
6	林道側	33	21 (0.41)	51
	林 側	39		
7	林道側	14	9 (0.35)	26
	林 側	21		
8	林道側	32	22 (0.46)	48
	林 側	38		
9	林道側	30	17 (0.42)	41
	林 側	28		

* 共通係数 (C/C) = $c / (a + b + c)$, ここでa, bはそれぞれの区の種数, cは両区の共通種

(Jaccard, 1902による)

次に、田上山での調査結果について衝突スクリーンの両側、誘引剤の有無といった基準で飛来した甲虫群集の類似度を検討した結果を表7と8に一覧した。'97年と'98年の結果を通して、衝突スクリーンの両側で捕獲された甲虫群集の共通係数の値が誘引剤を装填しなかった場合には低くなることが明らかである。これは、上述した上賀茂試験地の結果の中でただ一基誘引剤を付けなかった対照プロットであるNo.3トラップで、スクリーン面の両側の共通係数が低い値であったことと同じ理由による。つまり、衝突スクリーンの両側に飛来する甲虫群集には本来違いがあること、誘引剤の装填はその違いを打ち消す傾向があることを示している。誘引剤を装填したトラップとそれを装填していない対照トラップの間での共通係数はプロット1と2では低い値となり、プロッ

ト3と4では比較的高い値となった。これはプロット1と2では誘引剤の有無により飛来甲虫種数に大きな差があるのに、プロット3, 4ではその差はほとんどないことと関連があると考えられる。つまり、この違いはトラップを設置したプロット間の林分環境の違いを反映しているものと考えられる。

4. 3. 両面スクリーントラップについて

マツノマダラカミキリの個体群を調査するためにこれまでに用いられてきた主な方法は誘引剤を用いた個体数推定法である。この方法は、簡便であるが、既に見てきたようにいくつかの問題点がある。その一つは、誘引剤を用いるため、この誘引剤に誘引される昆虫集団だけを不均等に捕獲してしまうおそれがある点である。そのた

表6 飛来甲虫類の種多様度プロット間比較と誘因剤の影響
('97年度と'98年度の比較)

Table 6 Number of species and total beetle population, and diversity indices evaluated for beetle species captured in Mt. Tanakami, Shiga prefecture, in 1997, and 1998. Kamigamo Experimental Station, in 1997.

'97 年度

Plot	誘因剤	種数	総個体数(N)	多様度指数 β^*
1	有り	19	142	5.05
	無し	14	24	11.50
2	有り	20	106	5.55
	無し	5	6	15.00
3	有り	20	237	3.53
	無し	14	27	11.70
4	有り	28	467	3.05
	無し	21	57	5.78

'98 年度

Plot	誘因剤	種数	総個体数 (N)	多様度指数 β^*
1	有り	62	1136	5.05
	無し	24	40	20.53
2	有り	42	792	5.12
	無し	32	56	10.73
3	有り	41	1221	2.96
	無し	37	64	28.39
4	有り	53	1490	3.59
	無し	43	125	9.94

* : $\beta = N(N-1) / \sum n_i(n_i-1)$, ここで n_i は第 i 番目の種の個体数 (森下1967より)

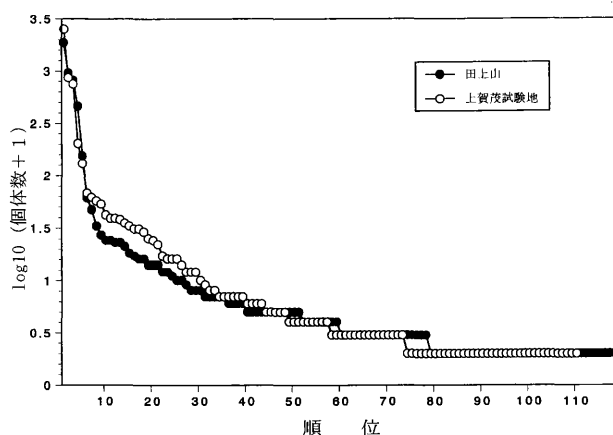


図6 誘引トラップで捕獲された甲虫集団における各甲虫種の個体数とその個体数の順位の関係

The relationship between the population of each beetle species and its rank among the total species captured.

めトラップを設置した場所の本来の昆虫相を反映していない可能性が強い。本来スクリーントラップはこの問題にひとつの解決策を提供するものである。ただ、この方法は捕獲効率が悪いのでトラップ数を相当増やさなければ調査対象となる地域の正確な昆虫相の把握は困難である。今回の調査では当初“マツ枯れ”の媒介昆虫であるマツノマダラカミキリに焦点を絞っていたのであえて誘引剤を装填したスクリーントラップを用いた。ただ、調査対象をマツノマダラカミキリに限定したとしても、誘引剤を用いる調査法にはもう一つの問題がある。それは、既往の誘引剤はすべて産卵期に入った（性成熟した）雌雄カミキリを対象にしている点である。マツノマダラカミキリは羽化脱出直後にはまだ性成熟しておらず (KATSUYAMA *et al.* 1989), 一定期間の摂食活動（後食）を経てようやく交尾・産卵が可能になる。従って、現在市販されている誘引剤を用いても羽化直後の7～10日間のマツノマダラカミキリは調査の対象外になってしまう可能性が高い。一方、Shibata (1986) が開発したマツ樹からの揺り落とし法による個体数推定法はこの後食期のマツノマダラカミキリを標的にしているのので、誘引剤を用いる調査法の欠点を補完できる。ただ、この方法が実施できるのは小径木を主体とした若齢林に限定されるという制約がある。

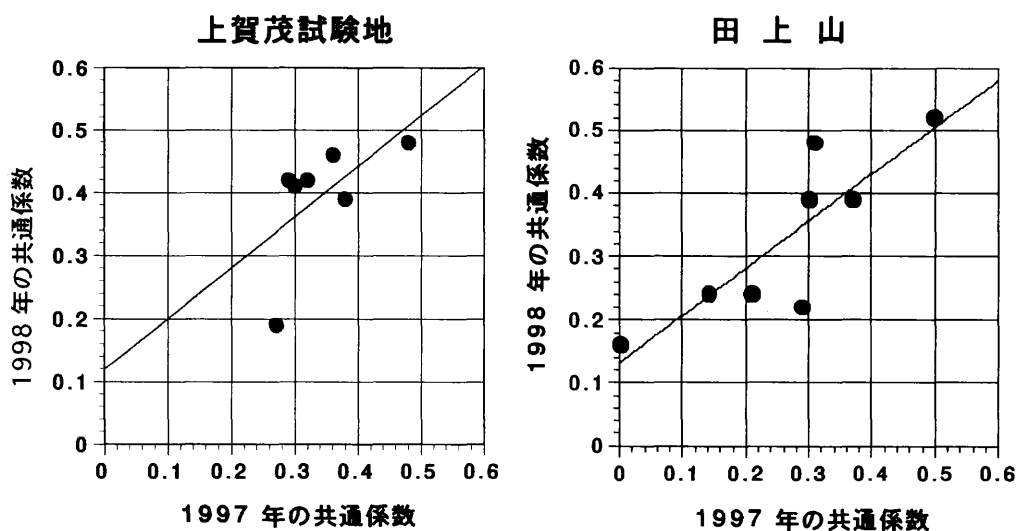
このような問題点を踏まえた上で今回開発した両面スクリーントラップ法を検討してみると、誘引剤を装填しない場合、衝突スクリーンの両側で捕獲した甲虫群集に明らかな相違があり（共通係数が低い）、この方法で飛翔力の強い甲虫類については飛来方向を識別できることが明らかになった。また、誘引剤を装填したものとそうでないものを併設することにより、誘引剤の効果についても客観的な判定が可能であった。

もし生息環境に大きな変化がなければ、特定のプロットの甲虫類群集は毎年よく似たものとなる。そのことを確かめるために今回用いた両面スクリーントラップは有効な手段となりうる。つまり、単に捕獲される甲虫群集の種数や個体数といった情報以外に、飛来方向による群集の違いという新たな情報も加味できるので、それらの年度間での違いを吟味することにより、生息環境に生じている変化をより鋭敏にとらえることが可能である。ひとつの試みとして、スクリーントラップの両側で捕獲された甲虫群集の間の類似係数について '97 年と'98 年のデータの相関を調べてみた。ここで、田上山での調査期間は年度間で相当異なるが、トラップ設置場所や誘引剤装填の有無などの条件は年度間で変わらない。上賀茂試験地については設置場所が年度間で同じであった7つのトラップについてだけ相関を求めることにした。二つ

表7 飛来甲虫類の種構成によらずトラップ面の方向性、および誘因剤の影響（田上山1997年）
 Table 7 Similarity indices evaluated for beetle guild captured at a side of the trap screen, which face to forest, and that trapped at the other side of the screen, which face to open area (Mt. Tanakami, in 1997).

Plot No.	誘引剤 処理	トラップの 向き	種 数	トラップの 両側共通種 (共通係数*)	処理別 総種数	各処理共通種数 (共通係数)	プロット別 総種数
1	有り	山側	14	7	19	8 (0.320)	24
		道側	1 2	(0.368)			
	無し	山側	7	2	14		
		道側	9	(0.143)			
2	有り	山側	1 3	6	20	3 (0.136)	2 2
		道側	1 3	(0.300)			
	無し	山側	4	0	5		
		道側	1	(0.000)			
3	有り	山側	1 3	7	20	8 (0.308)	2 6
		道側	1 4	(0.305)			
	無し	山側	5	3	14		
		道側	1 2	(0.214)			
4	有り	山側	2 2	1 4	28	14 (0.400)	35
		道側	2 0	(0.500)			
	無し	山側	1 3	6	21		
		道側	1 4	(0.286)			

* 共通係数 (C C) = $c / (a + b + c)$, ここでa, bはそれぞれの区の種数, cは両区の共通種
 (Jaccard, 1902による)



$$f(x) = 8.074792E-1 \cdot x + 1.188643E-1$$

$$R^2 = 3.670169E-1$$

$$f(x) = 7.458081E-1 \cdot x + 1.320812E-1$$

$$R^2 = 7.156726E-1$$

図7 スクリーントラップの両側で捕獲された甲虫群集の類似係数の年度間での相関
 Correlation between similarity indices evaluated for the data of '97 and that of '98.

表8 飛来甲虫類の種構成におよぼすトラップ面の方向性, および誘因剤の影響 (田上山1998年)
 Table 8 Similarity indices evaluated for beetle guild captured at a side of the trap screen, which face to forest, and that trapped at the other side of the screen, which face to open area (Mt. Tanakami, in 1998).

Plot No.	誘引剤 処理	トラップ の 向き	種数	トラップの 両側共通種 (共通係数＊)	処理別 総種数	各処理共通種 (共通係数)	プロット 別総種数
1	有り	道路側	45	23 (0.39)	59	14 (0.21)	66
		山 側	37				
	無し	道路側	10	5 (0.24)	21		
		山 側	16				
2	有り	道路側	31	16 (0.39)	41	13 (0.22)	59
		山 側	26				
	無し	道路側	17	5 (0.16)	31		
		山側	19				
3	有り	道路側	24	20 (0.48)	42	22 (0.39)	57
		山側	38				
	無し	道路側	22	9 (0.24)	37		
		山側	24				
4	有り	道路側	35	25 (0.52)	48	27 (0.41)	66
		山側	38				
	無し	道路側	26	10 (0.22)	45		
		山側	29				

* 共通係数 = $c / (a + b + c)$, ここでa, bはそれぞれの区の種数, cは両区の共通種

(Jaccard, 1902による)

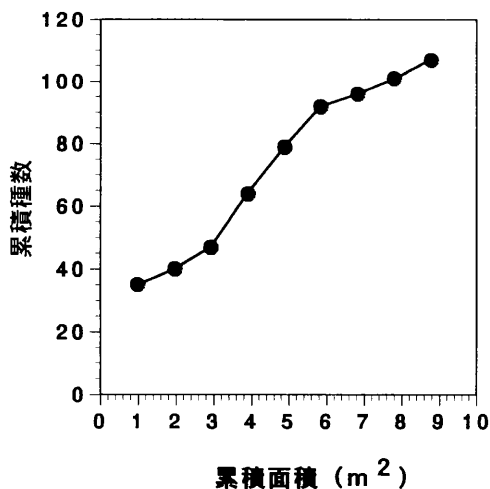


図8 スクリーントラップの数(捕獲面積)と累積出現種数の関係

The relationship between cumulative trap area and cumulative species number newly obtained.

の調査地の結果を図7にまとめた。この図から明らかに、年度間の共通係数の相関は田上山の方がはるかに高い。このことは、トラップに飛来する昆虫群集の飛

来方向、種組成において田上山では年度間の変化が小さかったこと、上賀茂試験地ではその変化が大きかったことを示唆するものである。つまり、飛来する甲虫類の生息環境に生じた変化が上賀茂試験地でより大きかったと考えられる。

最後に、ある環境で特定の昆虫を対象にして密度推定を実施する際に用いるトラップの数がいくつ必要かを決定する必要がある。今回用いた両面スクリーントラップ法では、スクリーンの片面が 0.49 m²あるため、トラップ1基につき、両面で約 1 m²の広さがある。上賀茂試験地での '98年の調査においてトラップの数に応じてこの面積が増えていくとき新たに捕獲される種の数がどのように変化するかを図8に示した。この図では、トラップの増設に伴う種数の追加は9基目でもまだ平衡状態にはなっていないが、その増え方は明らかに少なくなっており、この調査地での昆虫群集の概要を把握する上で今回用いた数で一応の目的を達していると考ええる。

以上、様々な点から、上賀茂試験地、田上山の甲虫群集を比較してきたが、いずれの調査地においても“マツ枯れ”被害の影響は濃厚であるといわざるを得ない。それは、異常木や枯死木から揮散される物質を模した誘引

剤に飛来する甲虫の種類と個体数の多さが何よりも明確に示唆するところであろう。また、ある地域の甲虫集団を調査・解析する上で、今回新たに開発した両面スクリーントラップの有効性は顕著であったといえよう。

参考文献

- 1) 古野東洲・中井勇・上中幸治・羽谷啓造 (1993) 上賀茂および白浜試験地における外国産マツのマツ枯れ被害—マツ属のマツザイセンチュウに対する抵抗性—, 京大農習林集報, 25: 20 - 34
- 2) 二井一禎 (1999) アカマツ林における“マツ枯れ”被害の進展様式. 京大農演習林報告, 71: 9 - 18
- 3) IKEDA, T. and ODA, K. (1980) The occurrence of attractiveness for *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) in nematode-infected pine trees. J. Jpn. For. Soc. 62: 432 - 434
- 4) JACCARD, P. (1902) Geetze der Pflanzenver theilung in der alpinen Region. Flora 90: 349 -377 (木元・武田著, 群集生態学入門より)
- 5) KATSUYAMA, N., SAKURAI, H., TABATA, K. and TAKEDA, S. (1989) Effect of age of post-feeding twig on the ovarian development of Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*. Res. Bull. Fac. Agr. Gifu Univ. 54: 81 - 89
- 6) 木元新作・武田博清 (1989) 群集生態学入門, 共立出版(株), 198 pp., 東京
- 7) 森下正明 (1967) 京都付近における蝶の季節分布, 森下・吉良編 自然 - 生態学的研究 -, pp. 95 - 132, 中央公論社, 東京
- 8) 元村 勲 (1932) 群集の統計的取扱に就いて, 動物学雑誌, 44: 379 - 383
- 9) SHIBATA, E. (1986) Dispersal movement of the adult Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) in a young pine forest. Appl. Ent. Zool. 21: 184 - 186
- 10) 渡辺弘之 (1976a) マツクイムシ防除のための殺虫剤空中散布が樹上節足動物に与えている影響, 日林関西支講 27: 278 - 280
- 11) 渡辺弘之 (1976b) アカマツ・クロマツ混交林の樹上節足動物の個体数と現存量—殺虫剤の空中散布を利用して— 生理生態17: 291 - 295
- 12) 吉川 賢 (1993) 半田山に生息する穿孔性甲虫類の群集構造について (2) - 誘引剤により捕獲した穿孔虫類の個体数 - 平成 4 年岡山大学教育研究学内特別経費研究成果報告書: 99 - 105