

氏名	井下田 寛
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博甲第801号
学位授与の日付	平成18年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	カシノナガキクイムシの移動と分布に影響を及ぼす要因の解明
論文審査委員(主査)	中村 浩二(自然計測応用研究センター・教授)
論文審査委員(副査)	岡澤 孝雄(留学生センター・教授), 木下 栄一郎(自然計測応用研究センター・助教授), 川幡 佳一(教育学部・教授), 山口 正晃(自然科学研究科・助教授)

Abstract: Field surveys and laboratory experiments were carried out to investigate the influence of light condition and wind on the distribution and movement of *Platypus quercivorus* adults at the stand level. Both male and female adults showed a positive phototaxis. In the field, influence of light on adult distribution and movement were stronger than that of wind at the stand level. The positive phototaxis of newly emerged beetles appeared to be one of the causes of these phenomena. *P. quercivorus* tends to show a positive phototaxis under canopy and a negative phototaxis inside gap. The proximate cause was high concentrations of *P. quercivorus* adults near forest edge in relation to light conditions. I conclude that adult *P. quercivorus* is generally associated with the forest edge, a trait shared by several other bark and ambrosia beetles. Japanese oak wilt is also known to start in the locations beside roads and around gaps. These phenomena are also related to positive phototaxis of *P. quercivorus*. Oak mortality following harvesting and powerful typhoons is more due to gap formation and the positive phototaxis of *P. quercivorus* than to the existence of weakened and dead trees as sites of colonization.

学位論文要旨

近年、日本海側を中心とした各地でナラ類の集団枯損が発生している。カシノナガキクイムシ *Platypus quercivorus* (以下、「本種」) は、その病原菌 *Raffaelea quercivora* の重要な媒介昆虫である。本研究では、本種成虫の林分レベルにおける移動と分布、およびこれらに関連する要因を解明するための調査を行った。

林分レベルにおける光環境が飛翔するカシノナガキクイムシ成虫の移動と分布に及ぼす影響

林道をはさんだ斜面に調査地を設け、粘着板トラップによって、林分レベルにおける本種成虫の分布と移動を調べるために調査した。あわせて、光環境の影響を明らかにするために、走光性実験と光環境を測定した。野外調査区は、林道によって2つの部分(aとb)に分けられた: 調査区aは、斜面上方に林道が接しており、調査区bは、斜面下方に林道が接していた。調査区aには、0.5 m四方の粘着板トラップ21個(3×7)を設置し、調査

区 b には、18 個 (3×6) 設置したため、合計で 39 個 (3×13) のトラップを設置した。光環境の影響を明らかにするために、各トラップの位置と裸地の地上高 1.5 m で同時に照度を測定し、相対照度を測定した。トラップの場所での照度の測定は、3 方向で行った：鉛直方向を測定した通常の相対照度を鉛直照度という。ほかに、斜面に平行な方向に沿って照度計を斜面上方に向けて測定した相対照度と (以下、上方照度)、斜面下方に向けて測定した相対照度である (以下、下方照度)。室内の走光性実験の結果、オス・メスともに正の走光性が認められた。正の走光性を示す成虫の割合は、2 つのライトを使用して実験したときより、1 つのライトだけを使用して実験したときの方が高かった。これらの結果は、2 つのライトの絶対値と相対値の両方が、走光性の強さに影響を及ぼしたことを示している (図 1)。調査地周辺では、調査区 a の下方にある寄主木から多数の成虫が羽化脱出したと推測される。もし調査区 a の中央付近の寄主木から羽化脱出した成虫がランダムに分散したならば、成虫の空間分布は寄主木の近くにピークを持つ一山型の分布になるはずである。しかし、実際には、多くの成虫が林道に沿った林縁部で捕獲され、斜面に沿った捕獲数の勾配が形成された (図 2)。一方、調査区 b から羽化脱出した成虫数は、調査区 a のそれよりかなり少なかったと推測される。しかし、両方の調査区間のトラップ当たりの捕獲数には有意差は認められなかった。これらの結果は、調査区 a の中央付近から羽化脱出した成虫の多くが、斜面上方に向かって移動したことを示す。本研究では、多くの採集日でトラップの山側面より谷側面でも有意に多くの成虫が捕獲された。この結果もまた、本種成虫が調査区内の斜面に沿って斜面上方に移動したことを示す。野外の調査区 a では、斜面上方へ移動する本種成虫の割合は、上方照度/下方照度の値と関連していた。この値が小さかった調査区 b では、斜面上方へ移動する傾向は不明瞭であった。これらの結果から、光環境が林分レベルにおける移動と分布の重要な決定要因であると考えられた。

ギャップ周辺において飛翔するカシノナガクイムシ成虫の空間分布

もし、正の走光性が飛翔する成虫の林内分布に関係しているなら、林縁よりも明るい林道上では、林縁よりもさらに密度が高いと推測される。しかし、これまでの研究では、林内と林道のような林外における本種成虫の密度の比較はされていない。そこで、ギャップとその周辺を飛翔する本種成虫の空間分布を解明するために 4 種類の粘着性のトラップを用いて野外調査を行った。調査に使用した粘着性のトラップは、目的によって 4 種類 (i ~ iv) に大別される。(i) 林内と林縁部における飛翔成虫の垂直分布を調べるために、長さ 6~10 m、幅 0.5 m の粘着板を垂直に吊り下げて設置した (以下、縦長トラップ)。(ii) ギャップ内部における飛翔成虫の垂直分布を調べるために、0.5 m 四方の粘着板をロープで連結し、ギャップの中央部にバルーンを使って吊り下げた (以下、バルーントラップ)。(iii) ギャップ内部とその周辺の樹冠下を飛翔する成虫の水平分布を調べる目的で、地上高約 1 m の位置に、ギャップを横切るように長さ 10~16 m、幅 0.5 m の粘着板を設置した (以下、横長トラップ)。(iv) バルーントラップの捕獲数と比較するために、0.5 m 四方の粘着板を、バルーントラップを設置したギャップの周りの樹冠下の地上高約 1 m の位置に設置した (以下、粘着板トラップ)。林内・林縁・ギャップ内部で、高さ別に捕獲数を調査した結果、本種成虫の捕獲数のピークは 2.0 m 以下にみられた。本種の穿孔数は地際部に多いことが知られている。この原因は、1) 高い位置にある細い幹では本種成虫が十分な長さの坑道を構

築できないため、2) 本種成虫と幼虫ともに餌とするアンブロシア菌の成長に必要な適度な水分が欠乏しているためと推測される。本種成虫のマスアタックによって枯死した寄主木では、その地際部の直径が大きいことと、土壌から水分が供給されることによって、適度な水分が保たれる。地際部の材が乾燥しにくいことが、本種が、林内でも林縁でも低い位置を飛翔する究極要因であると推測された。横長トラップの結果、林冠とギャップの境周辺に捕獲数のピークができた。また、高さ1 m では、ギャップの中央部に設置したバルーントラップより、ギャップ周辺の樹冠下に設置した粘着板トラップの方が捕獲数が多かった。これらの結果から、本種もまた、いくつかのキクイムシ類と同様に、林縁種であると考えられた。

林分内の光環境が飛翔するカシノナガキクイムシ成虫の空間分布に及ぼす影響

本種は林縁部で飛翔する成虫密度が高い林縁種であるが、成虫のもつ正の走光性のみでは林縁種であることを説明できない。なぜなら、ギャップ内では林縁より明るいにもかかわらず密度が低いからである。そこで、光環境が林分レベルにおける本種成虫の分布に及ぼす影響を調べるために野外調査を行った。ギャップを横切るように長さ12~21 mの横長トラップ2枚を十字に設置し、0.5 mごとに捕獲数と光環境の関係を調べた。光環境の影響を明らかにするために、トラップの端から0.5~1 m間隔に区切った際の各区画の中央部と裸地の地上高1.5 mで、同時に光環境を測定し、相対値を計算した。トラップの場所での明るさの測定は、3方向で行った。鉛直方向を測定した明るさ、ほかに、斜面に平行な方向にトラップに沿って右側と左側方向を測定した明るさである。光環境を測定した結果、概ね、ギャップ内部が最も明るく林内に向かうにつれて暗くなることを示すデータが得られた。3種類の明るさの中では、鉛直方向が最も明るく、次いで太陽方向が明るく、太陽と逆方向が最も暗かった。これら3種類の明るさの移動平均値を使い、測定点のクラスタリングを行った。その結果、3つのクラスターに類別される傾向が認められた。これらのクラスター間では、光の条件が異なることを示しており、それぞれギャップの内部とギャップ両側の樹冠下に対応していた。しかし、実際の境界とクラスタリングの結果得られた境界とは一致せず、太陽と反対側の樹冠方向へクラスタリングの境界が偏っていた。これらの結果は、太陽が鉛直方向にないことと調査地の斜面方向に関係していると考えられる。横長トラップの結果を細かく解析すると、ギャップの両側で捕獲数の対称性が崩れる場合があり、捕獲数のピークができる位置にもギャップの両側で違いが認められた。すなわち、太陽側ではギャップの境界付近にピークができたのに対し、日射が樹冠下に深く差し込む太陽と反対側の樹冠下では、捕獲数のピークが樹冠下奥深くにできた。一方、本種成虫の飛翔行動を野外で観察した結果、明るいギャップ内部では暗い林内方向に向かい（負の走光性）、暗い樹冠下では明るいギャップ方向に向かう（正の走光性）走光性の逆転が観察された。本種成虫のこの走光性の逆転が、相対的な明るさが0.2付近で起こるために、ギャップを横切るように設置した横長トラップの林縁付近に捕獲数のピークが現れたと考えられた（図3）。これらの結果から、成虫の走光性の逆転が林縁で成虫密度が高くなる直接的原因と考えられた。

光と風が飛翔するカシノナガキクイムシ成虫の移動に及ぼす相対的な影響

光と風が林分レベルでの本種成虫の移動に及ぼす影響を相対的に評価するために野外調査を行った。あわせて、光環境の影響を明らかにするためにシミュレーションを行った。新たに開発した風向きトラップは2つの円筒形の粘着バンドからなる(図4)。風と移動の関係を調べるため、風見鶏に円筒状の粘着シートを取り付けた(以下、回転バンド)。その下には、地形と移動の関係を調べるために、円筒状の固定バンドを取り付けた。回転バンドと固定バンドは、円周を1.7 cmの区画に区切り、各区画の個体数を記録した。風向きトラップの設置と同時に、自記録装置付きの風向計も1台、調査地のほぼ中央にそれぞれ設置した。光環境の影響を明らかにするために、斜面に日射が当たる時間帯約120分の、斜面への日射の当たり方をシミュレーションした。風向きトラップを設置した調査区周辺の斜面から、特徴的な地形(尾根、谷、そして、林道)でポリゴン(多角形)を切り出した。切り出した枠内について2つの方法で重心を計算した。ひとつは、ポリゴンの幾何重心である。もうひとつは、陽が当たり始める時刻で重みづけした重心で、これを日照重心という。幾何重心から日照重心へ向かうベクトルの方向と、固定バンドの調査結果から求められた本種成虫の移動方向が一致するかどうかを調べた。野外調査の結果、回転バンドより固定バンドで個体数の移動の方向性がより明確に現れた。これは、風と地形では地形の方が強く本種の飛翔方向に影響を及ぼしており、斜面上下とは別の地形的な要因が強く関係していることを示している。斜面に日射が当たり始める時間帯の、太陽の動きと斜面への日射の当たり始め方をシミュレーションした結果、東斜面では、朝早い時刻から日射が当たり始めた。最初は尾根部に陽があたり、太陽高度が上がるにしたがって、徐々に斜面下部にも陽があたるようになった。調査地の幾何重心から日照重心へのベクトルは斜面下方から斜面上方を向いており、このベクトルと本種成虫の移動方向は一致した(図5)。それに対して、西斜面では、ある程度太陽高度が高くなってから、陽が当たるようになった。この斜面では、南東から北西に向かって順に日射が当たった。日射の解析の結果、幾何重心から日照重心へのベクトルの方向は南東方向で、本種成虫の移動方向と一致していた。これらの結果から、光環境が林分レベルでの成虫の移動を決定する最重要な要因と考えられた。

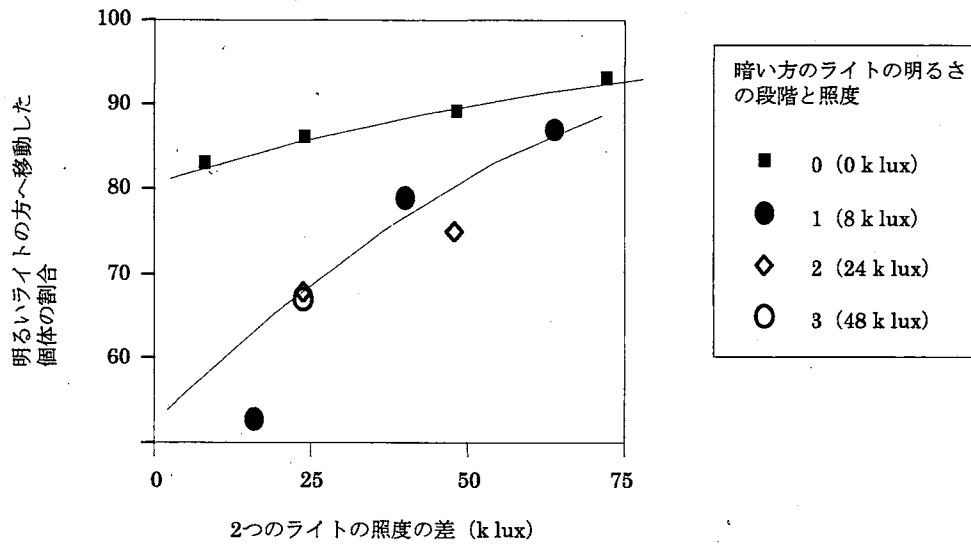


図1. 走光性実験装置の2つのライトの照度差と明るいライトの方へ移動したカシノナガキクイムシ成虫の割合の関係. 2種類の回帰曲線が得られた. 一つは、片側のライトの照度が“0”だったときのもので、もう一つは、両側のライトの照度が点灯していたときのものである.

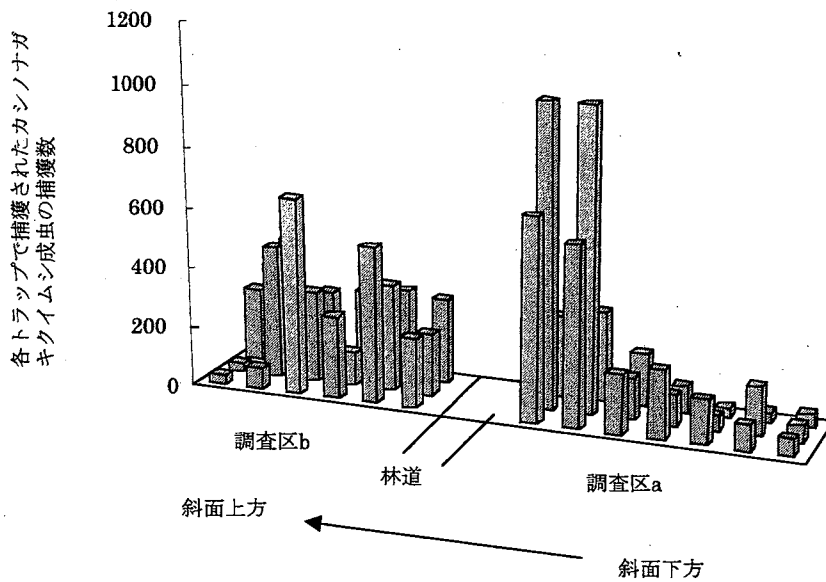


図2. カシノナガキクイムシ成虫の分布を調べるために設置した粘着板トラップの合計捕獲数. 林道に沿った斜面下方側を調査区a、斜面上方側を調査区bという.

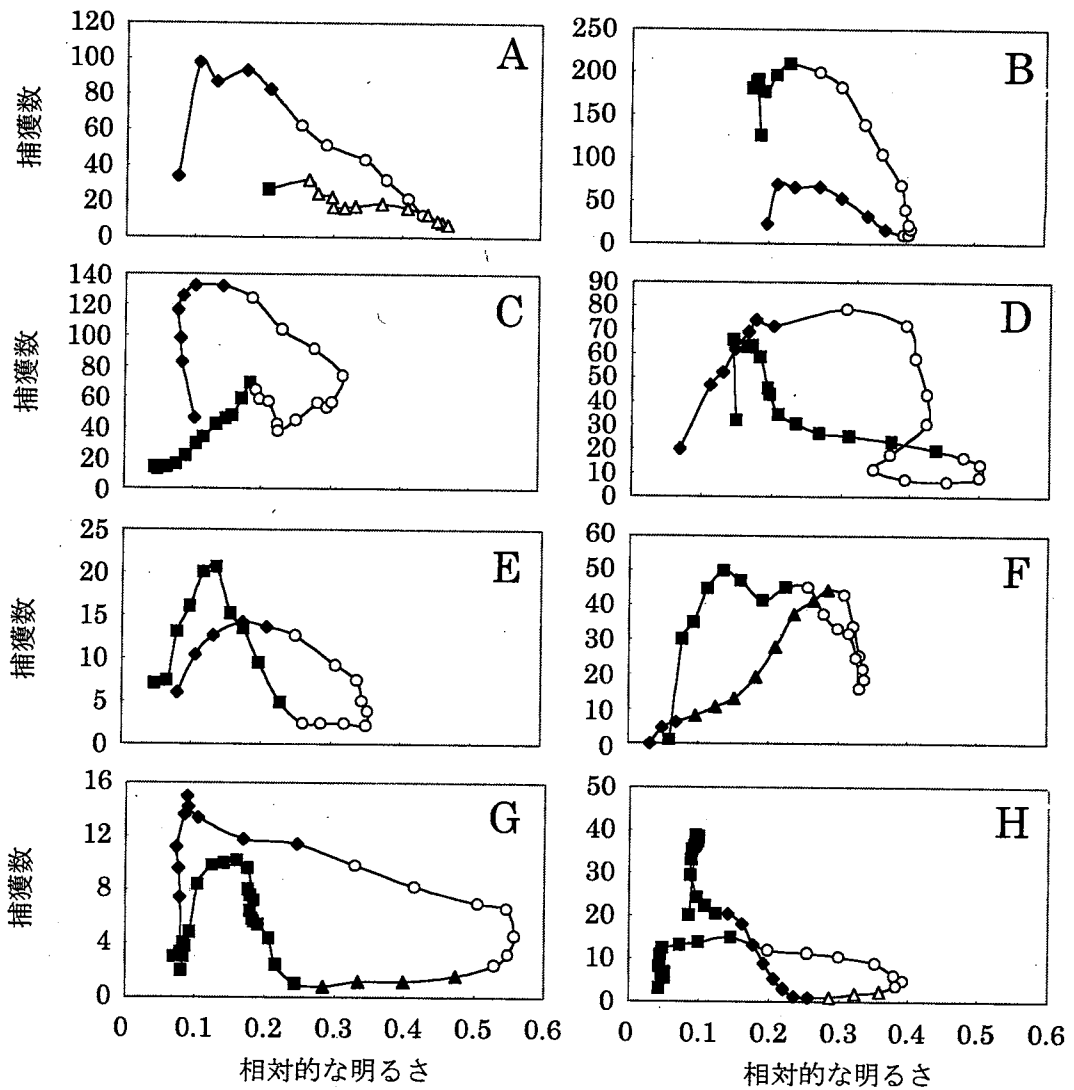


図3. ギャップを横切るように設置した横長トラップによるカシノナガキクイムシ成虫の捕獲数と相対的な明るさ(照度または日射量)の関係。明るさは鉛直方向に向けて測定したデータを使用した。明るさと捕獲数は移動平均値を使用した。曲線は、平滑化されたデータを横長トラップの区画順に結んだ結果を示す。曲線のマークは、3種類の相対的な明るさの移動平均値を使って行ったクラスター解析の結果に基づいている。白のマークはギャップ、黒のマークは樹冠下に対応する。A~H:それぞれトラップa~hに対応。

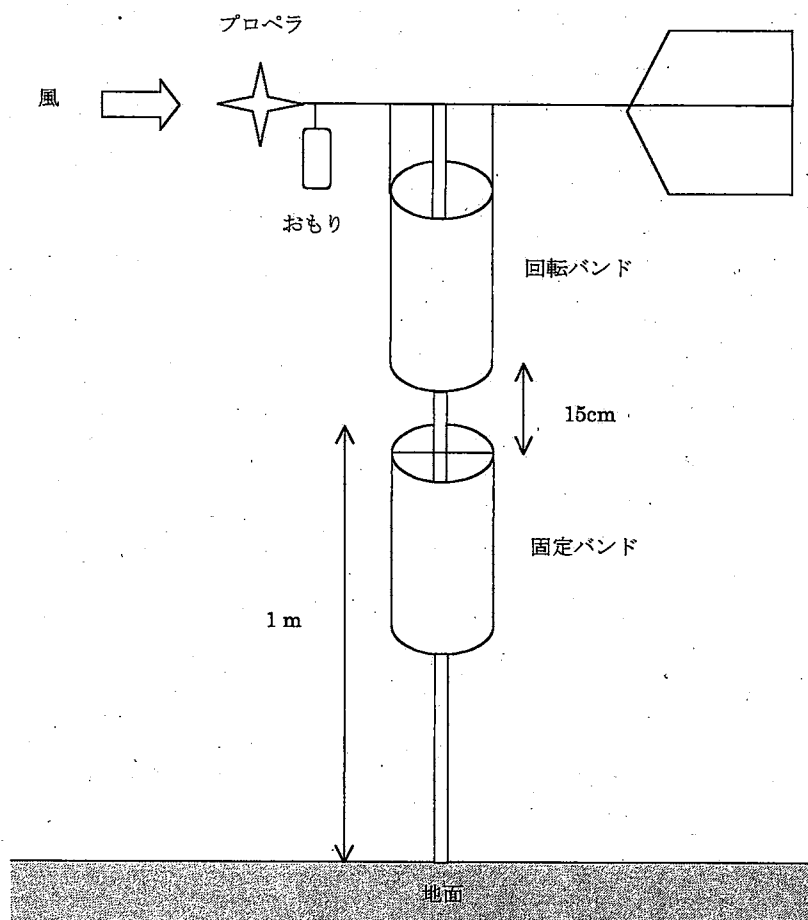


図4. 林分レベルにおける飛翔するカシノナガキクイムシの移動を調べるために設置した風向きトラップ.

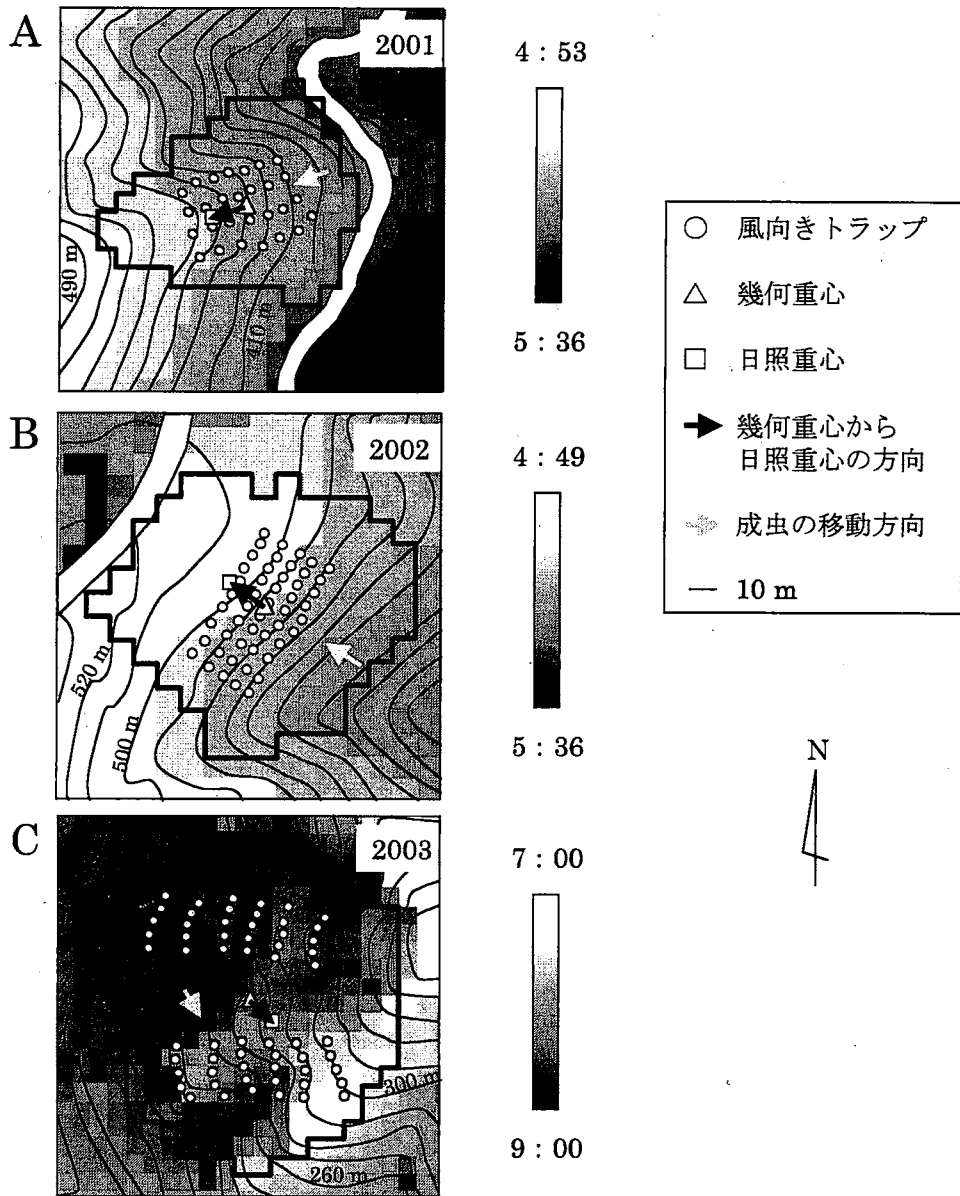


図5. 調査地のトラップの位置と日射が当たり始める時刻の空間分布。白色は日射が最初にあたった時刻，黒色は日射が最後にあたった時刻を示す。枠は，特徴的な地形（尾根，谷，林道）で切り出した風向きトラップを設置した調査地周辺の斜面を示す。○は風向きトラップ，△は枠内の幾何重心，そして，□は日射があたった時間で重みづけをした重心（日照重心）を示す。黒矢印は枠内の幾何重心から日照重心の方向を示す。白矢印は飛翔成虫の移動方向を示す。1ブロックのサイズは10 m×10 m。A：2001年の午前4：53～5：36。B：2002年の午前4：49～5：36。C：2003年の午前7：00～9：00。

学位論文審査結果の要旨

近年、ナラ枯れ病の被害が拡大しており、カシノナガキクイムシ *Platypusquercivorus* (以下、本種) は、その重要ベクターである。本研究の目的は、成虫の移動と分布に影響を及ぼす要因を、室内実験と野外調査により解明するとともに、その知見をナラ枯れ病の被害防止法の開発に役立てることである。

(室内実験) 実験装置の中央に本種成虫を入れ、両側からライトを照射した。その結果、ライトの明るさの差が大きくなるにつれて明るい方へ移動する成虫の割合が増加し、正の走光性が認められた。

(野外調査) 石川県加賀市刈安山において、粘着板トラップを用いた野外実験により以下を明らかにした。①本種成虫の移動と分布を調べた結果、斜面上方へ向かって移動し、調査区上方の林道付近に多数滞留することが明らかになった。これはオラ枯れ病が林道周辺で発生しやすいことを説明している。②ギャップ周辺を飛翔する本種成虫の空間分布を調査したところ、ギャップと樹冠の境界付近の低い位置に捕獲数のピークがあった。③本種成虫の捕獲と同時に光環境を測定したところ、林縁部の相対的な明るさが0.1～0.3付近で捕獲数が最大となり、この閾値を境に成虫の走光性が逆転した。④新開発の風向きトラップを使用して、風よりも光が本種成虫の移動方向を決定することを明らかにした。それによりナラ枯れ病が太陽の日射が当たりやすい東斜面や屋根沿いから発生することを説明できた。

研究は本種成虫の行動、生態の基礎情報のみならず、ナラ枯れ病防止のための重要知見を多くもたらしており、本委員会は博士(理学)に値すると判断した。