

ISSN 1882-840X

岐阜県森林研究所
研究報告
第43号

Bulletin of the Gifu Prefectural
Research Institute for Forests

Vol. 43

岐阜県森林研究所
Gifu Prefectural Research Institute for Forests
岐阜県美濃市
Mino, Gifu
2014年3月
March 2014

——論 文——

- 1 90年生ヒノキ人工林皆伐地に生育する広葉樹の侵入過程／
大洞智宏
- 5 カシノナガキクイムシ *Platypus quercivorus (MURAYAMA)* の穿入孔から脱出した
捕食者相／
伊藤昌明, 大橋章博
- 13 高標高地域で発生したナラ枯れ枯死木におけるカシノナガキクイムシ
Platypus quercivorus (MURAYAMA) の穿入密度／
伊藤昌明, 大橋章博

——資 料——

- 23 イノシシによる獣害を受けたクヌギ植栽木の初期成長／
岡本卓也, 渡邊仁志, 田中伸治
- 29 間伐手法の違いがスギ過密人工林の収穫に与える影響／
臼田寿生, 古川邦明

——論文抄録——

- 35 *Pseudomonas*属細菌によるマツタケ担子胞子の発芽促進／
水谷和人
- 36 ナラ枯れ被害跡地での更新に与えるシカ食害の影響／
大洞智宏, 渡邊仁志, 横井秀一
- 37 2年生ヒノキ造林地の樹高と下刈り省略がシカ食害に及ぼす影響／
渡邊仁志, 茂木靖和, 岡本卓也
- 38 育苗時の施肥条件が植栽後のヒノキ苗の初期成長に及ぼす影響／
渡邊仁志, 茂木靖和
- 39 育苗条件がヒノキさし木苗の伸長量に及ぼす影響／
茂木靖和, 渡邊仁志, 上辻久敏
- 40 スギ人工林皆伐跡地での広葉樹の更新状況／
大洞智宏, 横井秀一

清流の国ぎふ憲章

～ 豊かな森と清き水 世界に誇れる 我が清流の国 ～

「清流の国ぎふ」に生きる私たちは、

知 清流がもたらした自然、歴史、伝統、文化、技を知り学びます

創 ふるさとの宝ものを磨き活かし、新たな創造と発信に努めます

伝 清流の恵みを新たな世代へと守り伝えます

平成26年1月31日 「清流の国ぎふ」づくり推進県民会議

論 文

90年生ヒノキ人工林皆伐跡地に生育する広葉樹の侵入過程

大洞 智宏

Invasion process of broad-leaved trees after clear cutting of 90 year-old hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) plantation

Tomohiro OBORA

要旨

皆伐跡地に更新した樹木の侵入過程を把握するため、ヒノキ人工林（90年生）が皆伐され6年が経過した林地に幅2m、長さ30mの調査枠を設置し、枠内の樹木個体について種名、樹高、樹齢を記録した。枠内に出現した種は21種で、総出現個体数は43,833個体/haであった。樹種ごとの平均樹高は、ミズキ、シラカンバ、ウダイカンバが、その他の種と比較して突出して大きかったが、相対積算優占度（SDR2）は低木性種で高い傾向がみられた。調査個体のうち6年生以下が低木性種で78%，高木性種で89%と伐採後に侵入した個体が多くつた。最も樹齢の高い個体はソヨゴの11年生であった。前生樹由来の高木性種は833個体/haで出現個体数の2%に過ぎなかつた。

キーワード：侵入時期、皆伐、更新、ヒノキ、広葉樹、前生樹

I はじめに

林業とそれを取り巻く情勢は、長年低迷を続けており、立木の収穫による収入から伐採作業コストを支出した差額では、再造林にかかる経費がまかないきれなくなっている。このため、針葉樹人工林の皆伐後、植栽を行わない「再造林放棄地」の増加が懸念されている。岐阜県においても大型製材工場の進出による木材需要の増加に対応するため、間伐ではなく伐採効率の良い皆伐による収穫が選択され、再造林放棄地が増加する可能性がある。再造林放棄地に関する研究は九州地方で多く取り組まれてきた（例えば堺, 1997；吉田, 2006など）。これに対して、中部地方の多雪地域では、いくつかの皆伐跡地での植生回復に関する研究（小谷, 2009；高橋ら, 2013）があるものの、天然更新によって皆伐跡地にどのような森林が成立するのか、あるいは成立しないのか、について明確な回答はない。再造林放棄地の増加は、森林資源の減少や水土保全機能等の公益的機能の低下につながる（野田, 2004）ものとして危惧されている。このため、今後、再造林放棄地への対策を考えるうえで、針葉樹人工林伐採跡地での植生回復の過程を把握することは非常に重要である。

そこで、本研究では、多雪地域の皆伐跡地における植

生回復過程の把握の一助とするため、針葉樹人工林皆伐跡地に生育する樹木の侵入過程について調査を実施した。

II 調査地

岐阜県高山市荘川地内において、2006年にヒノキ人工林（90年生）が皆伐された林地を調査対象とした。六厩地域気象観測所（北東へ約10km、標高1,015m）における観測によると、気象の平年値（1981～2010年）は、平均降水量2,439mm、平均気温7.2°Cであった（気象庁, 2013）。調査対象地は、標高約1,100m、最深積雪1.5～2.0m（岐阜県, 2010）で、西向き斜面中部に位置し、傾斜は約13°であった。伐採前のヒノキの立木密度は、伐根の数から800本/haであったと推定された。伐根の平均直径は40cmであった（地上高40cm位置）。

調査枠を設定した地点の斜面上方には針葉樹人工林が存在し、最も近い広葉樹林は南方へ100mほど離れて存在する（図-1）。

III 調査方法

2012年8月に斜面下部から上部に向けて幅2m、長さ30mの調査枠を設置し（図-1）、調査枠を15個の2m×2mの調査区に分割した。調査区は、出現する全ての木

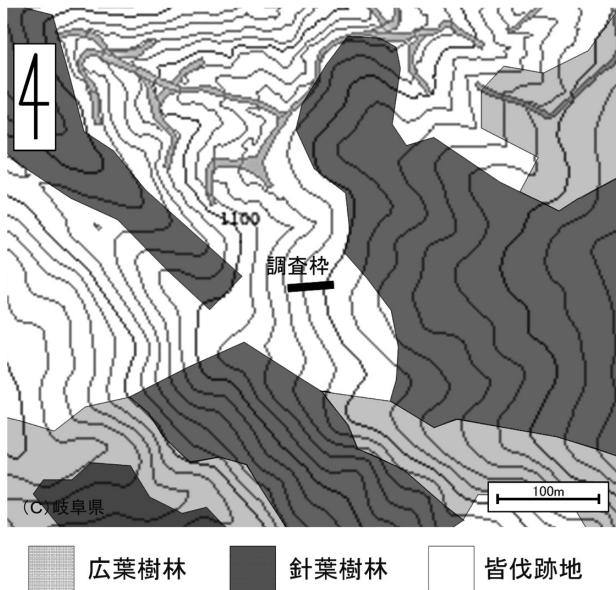


図-1 調査枠位置

本植物を調査対象（アカシバは対象外とした）とする調査区（全木区：8区）と、高木性種のみを調査対象とする調査区（高木区：7区）に分け、斜面下側から全木区と高木区を交互に設置した。調査区ごとに調査対象個体の樹種、樹高、樹齢を記録した。高木性種は、茂木ほか（2000a, 2000b, 2001）で高木とされる種とし、それ以外の種を低木性種とした。樹種ごとの個体数（本/ha）は、高木性種については、全木区（32m²）、高木区（28m²）両区での出現個体数、低木性種は全木区（32m²）での出現個体数を単位面積（ha）当たりに換算した値とした。各樹種の平均樹高は、調査枠全体の種ごとの平均値とした。樹齢の調査の際には、対象木の根元付近の土壤を可能な限り除去し、個体を確定させた上で、根元から樹齢解析用の試料を採取した。採取した試料は持ち帰り、デジタルマイクロスコープ（KEYENCE:VHX-10000）を用いて年輪数を読み取った。

IV 結果と考察

総出現個体数は43,833個体/haであり、そのうち高木性種が7,833個体/ha、低木性種が36,000個体/haであった。高木性種の樹高は、0~50cmに分布のピークがみられ、個体数は樹高階が大きくなるに従い、減少した（図-2）。低木性種についても、0~50cmに分布のピークがみられ、高木性種と同様に、個体数は樹高階が大きくなるに従い、減少する傾向がみられた（図-2）。低木性種の個体数は350cm以下の各樹高階で高木性種を上回っていた。

樹種ごとの出現個体数を図-3に示す。総出現種数は21種であった。出現個体数はエゴノキ（5,938個体/ha）が最も多く、次いでソヨゴ（5,625個体/ha）が多かった。

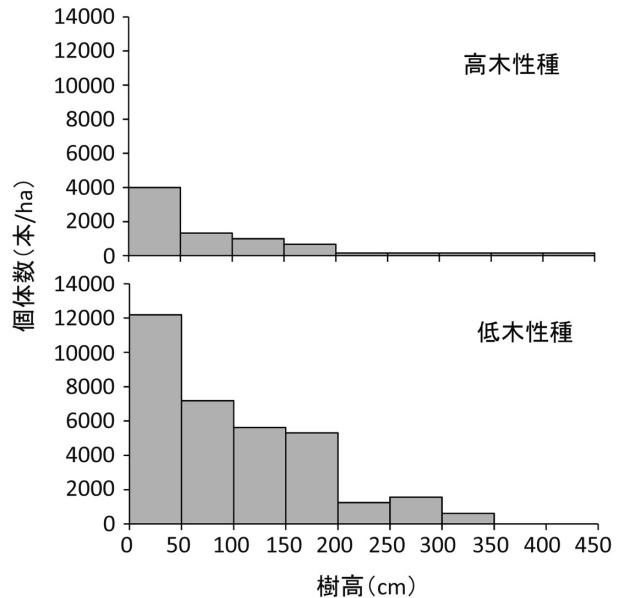


図-2 出現種の樹高階分布

各高木性種の出現個体数は、ヒノキが5,000個体/haで突出して多かったが、その他の高木性種は167~667個体/haと、低木性種（625~5,938個体/ha）より少なかった。樹種ごとの平均樹高を図-4に示す。ミズキ、シラカンバ、ウダイカンバの平均樹高は324.5, 285.0, 305.0cmで、その他の種と比較して突出して大きかったが、その他の高木性種の平均樹高（15.5~160.0cm）は、低木性種（45.4~190.0cm）と同程度であった。

個体数と平均樹高から算出した相対積算優占度（SDR2）はソヨゴ、クロモジ、エゴノキの順で高かった。高木性種ではミズキの値が高かった。以上のことから、本調査地では、低木性種が優占するものの、少数の高木性種がその上に存在していると考えられた。

高木性種の樹齢の分布は6年生が最も多い1山型で（図-5），皆伐後に侵入した6年生以下の個体数が89%を占めた。低木性種の樹齢は、2年生と6年生にピークを持つ2山型の分布を示し（図-5），6年生以下の個体数が78%を占めた。低木性種、高木性種ともに前生林分の皆伐後に侵入した個体が多かった。最も樹齢の高い個体はソヨゴの11年生であった。

樹種ごとの侵入時期と個体数を図-6に示す。前生樹と後生樹の出現個体数を見てみると、耐陰性を持つ種であるソヨゴ（谷本, 1990）、クロモジ、リョウブ（森林総研, 2011）などで前生樹が多く存在した。耐陰性の低い種であるヤマウルシ（森林総研, 2011）などにも前生樹がみられたが、伐採の前年に侵入した個体であり、枯死する前に光環境が変わったため生存していたと考えられた。前生林分のヒノキ林床に2年以上存在していた種は、ソヨゴ、クロモジ、ヒノキ、リョウブの4種であった。

人工林での広葉樹の更新を考える上で前生樹の存在が

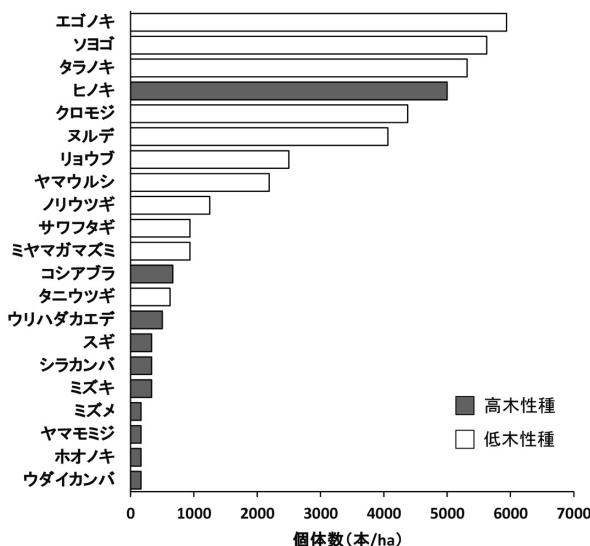


図-3 出現種の個体数

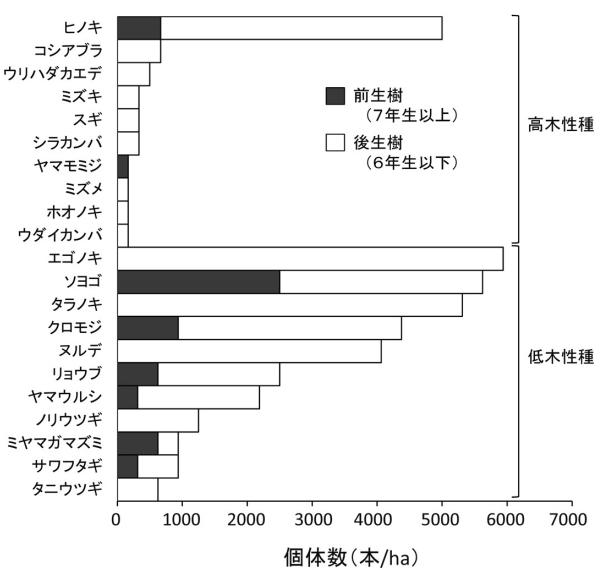


図-6 樹種ごとの侵入時期と個体数

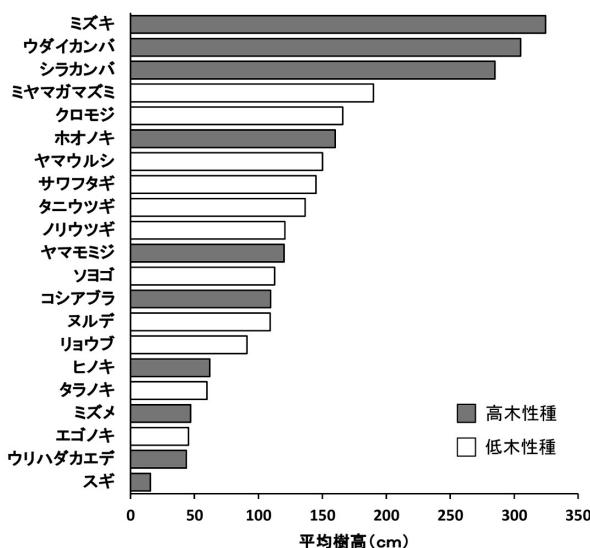


図-4 出現種の平均樹高

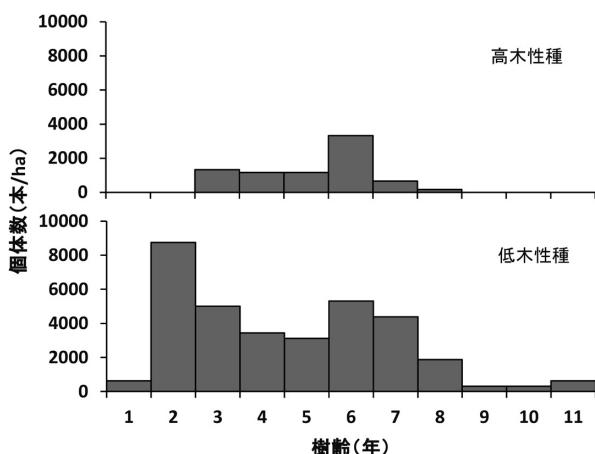


図-5 出現種の樹齢分布

重要視されている（「広葉樹林化」研究プロジェクトチーム, 2010）。本調査地で出現種した前生樹の個体数は6,146個体/ haで全出現個体の15%であった。また、前生樹由来うち高木性種の個体数は833個体/ haで、その割合は全出現個体の2%と非常に少なかった。多雪地帯のスギ人工林皆伐跡地での調査事例では、伐採後の林冠構成種となり得る前生樹は少なく（高橋ら, 2013），スギ人工林の伐採後初期には、前生樹よりも埋土種子由來の樹種の優占度が高くなる（小谷, 2005）ことが示されており、本調査結果は、これらの報告と合致した。

皆伐跡地の植生回復に関する研究は、九州地域を中心に行われてきており、この中で、植生回復の過程はいくつかのパターンに整理されている。長島ら（2011）は、九州における再造林放棄地の植生回復は、埋土種子・前生樹・新たな種子供給の三つの再生資源の量や種類に左右されるとし、ニホンジカによる食害の程度が低い場合の植生回復パターンを6つに分類した。一方で、多雪地域での再造林放棄地における植生回復についての研究事例は多くなく、回復過程のパターン化も十分に行われていない。高橋ら（2013）は、富山県での事例を長島ら（2011）のパターンのうち、②のパターン（前生樹が少なく、伐採直後に埋土種子由來の先駆種が発生し、非先駆性種が徐々に優占する）に類似するが、非先駆性種の侵入時期などで相違があるとした。本調査地でも②のパターンに類似するものの、伐採直後に非先駆性のエゴノキ、ホオノキなどの樹種が侵入していた点や、皆伐後6年経過時にはミズキ、ウダイカンバなどの樹高がスルデ、タラノキなどの先駆性種を超えている点などから、富山県での事例（高橋ら, 2013）に近いと考えられた。これらのことから、多雪地での植生回復過程は九州での回復パターン

に必ずしも一致しないことが考えられた。しかし、高橋ら（2013）も指摘するように、限られた事例からの結論であるため、立地環境などの条件によっては、異なるパターンによって更新が推移する可能性もあるため、今後多くの事例研究が必要である。

謝　　辞

飛騨産業株式会社には、調査地の設定に関して協力をいただいた。また、岐阜県森林研究所の和多田友宏主任研究員、田中伸治主任研究員、鳥取大学農学部の長谷川恵士氏、岐阜大学応用生物科学部の西部俊希氏には調査の実施にご協力いただいた。深く感謝の意を表する。

引用文献

- 岐阜県（2010）第12次宮・庄川地域森林計画書（宮・庄川森林計画区）。岐阜県
- 気象庁（2013）気象統計情報、過去の気象データ検索（オンライン）<http://www.jma.go.jp/>（参照日：2013年12月20日）
- 小谷二郎（2005）スギ人工林の伐採跡地の更新に対する埋土種子由来の樹木群集の役割。116回日林講演要旨集：PA031
- 小谷二郎（2009）多雪地帯のスギ人工林皆伐跡地において標高の違いが木本種の定着に与える影響。森林立地 51:69-76
- 「広葉樹林化」研究プロジェクトチーム（2010）広葉樹林化ハンドブック2010。森林総合研究所四国支所
- 「広葉樹林化」研究プロジェクトチーム（2011）森林総合研究所樹木データベース（オンライン）<http://treedb.ffpri.affrc.go.jp/>（参照日：2013年12月10日）
- 茂木透・高橋秀夫・勝山輝男・太田和夫・城山四郎・崎尾均・中川重年・吉山寛（2000a）樹に咲く花 離弁花 1. 山と渓谷社
- 茂木透・高橋秀夫・勝山輝男・太田和夫・城山四郎・崎尾均・中川重年・吉山寛（2000b）樹に咲く花 離弁花 2. 山と渓谷社
- 茂木透・高橋秀夫・勝山輝男・太田和夫・城山四郎・崎尾均・中川重年・吉山寛（2001）樹に咲く花 合弁花・單子葉・裸子植物。山と渓谷社
- 長島啓子・大本健司・吉田茂二郎（2011）九州地方における再造林放棄地の植生回復パターンとその要因：再造林放棄地の管理にむけて。日林誌93:294-302
- 野田巖（2004）国内の大面積皆伐放置問題について。森林技術752:24-27
- 堺正弦（1997）林業の経営マインドの後退と森林資源政策の再編（I）：人工林の施業放棄について。九大演報

76:25-38

高橋由佳・長谷川幹夫・岡子光太郎・相浦英春（2013）富山県のスギ人工林皆伐跡地における実生更新初期段階の稚樹の動態。日林誌95:182-188
谷本丈夫（1990）広葉樹施業の生態学。創文
吉田茂二郎（2006）「再造林放棄地」について—その実態を事前科学的に解明する試みー。山林1460:6-15

論 文

カシノナガキクイムシ *Platypus quercivorus* (MURAYAMA) の穿入孔から 脱出した捕食者相

伊藤 昌明・大橋 章博

An ambrosia beetle (*Platypus quercivorus* (MURAYAMA)) predators emerging from gallery holes on death of *Quercus crispula* BLUME

Masaki ITO and Akihiro OHASHI

カシノナガキクイムシの穿入孔にチューブトラップを設置し、穿入孔から脱出する捕食者を捕獲した。9分類群585個体の捕食者が捕獲され、すべて鞘翅目であった。その中で、ケシキスイ科幼虫とツツオニケシキスイ成虫の捕獲個体数が多く、全捕獲個体数の94.5%を占めた。ケシキスイ科幼虫の出現傾向は、調査地点間で偏りがみられ、また、材直径が大きくなるほど出現数は少なくなった。ツツオニケシキスイ成虫も調査地点間で出現数に違いがみられたが、材直径の増加とともに出現数も増えることが明らかとなった。なお、いずれの捕食者個体数も標高との間に相関関係はみられなかった。また、カシノナガキクイムシはオス1個体のみが採集された。以上の結果から、ツツオニケシキスイを含むケシキスイ科甲虫がカシノナガキクイムシの重要な捕食者である可能性が示唆された。また、材直径との関係から、ケシキスイ科甲虫が大径木内では成虫まで発達し、小径木内では成長しきれずに脱出することが推察された。これは、材内の餌資源量によるものと考えられた。

キーワード：カシノナガキクイムシ、ブナ科樹木萎凋病、ミズナラ、チューブトラップ、捕食者相

I はじめに

近年、ブナ科樹木萎凋病（以下、ナラ枯れ）によるブナ科樹木の集団枯損被害が全国的に発生している。その被害は2011年までに30府県に拡大した（林野庁, 2011）。岐阜県においてもその被害はみられ、1996年に揖斐郡揖斐川町で被害が初記録された後、岐阜県東部に被害地が拡大しており、2010年には、その東端が恵那市に達した（大橋, 2011）。また、2005年には岐阜県北部の大野郡白川村で、2006年には隣接する飛騨市で被害が確認され、その被害地が南下している（大橋, 2008）。

ナラ枯れは真菌類の一種である *Raffaelea quercivora* KUBONO et ITO (Kubono and Ito, 2002) によって引き起こされる。この菌はカシノナガキクイムシ *Platypus quercivorus* (MURAYAMA) (以下、カシナガ) と共生関係を持っており、カシナガによって樹木内に運び込まれることが明らかとなっている (Kinuura, 2002; Kinuura and Kobayashi, 2006)。

現在、ナラ枯れ被害の拡大を防止することを目的とした様々な対策が行われている（林野庁, 2011）。例えば、

被害木のくん蒸・焼却によるカシナガの駆除、健全木への粘着剤の塗布やビニールシート被覆によるカシナガの侵入予防、殺菌剤の樹幹注入による共生菌の繁殖阻害とカシナガの繁殖抑制などがある。また、被害木を伐倒後、50cm以下の短木に処理する、割材し薪とする、チップ化する方法なども用いられている（大橋, 2011）。以上のような、物理的、化学的防除方法に加えて、天敵を利用した生物的防除方法も試みられている。例えば、齊・二井（2012）はカシナガの孔道から昆虫病原性を持つ微生物の探索を行い、駆除効果が期待できる菌として *Beauveria bassiana* を検出している。また、昆虫寄生性の線虫を被害木に接種し、カシナガ個体群の密度を低下させる方法も行われている（大橋, 2009）。

このように、様々な防除方法が試みられているが、その方法の多くは単木的な処理が中心である。しかし、被害の発生規模が大きい地域では、処理を必要とする樹木個体数も多くなるものと推察される。そのような地域では、単木ごとの処理のみではなく、被害が発生している森林全体で個体群密度を低下させる面的な防除方法が必要となるだろう。その方法のひとつとして、移動性の高い天敵を用いた防除が考えられる。これまでに、カシナ

* 前：森林研究所、現：地方独立行政法人青森県産業技術センター 林業研究所

ガを含むキクイムシ類の天敵として、孔道を利用する甲虫類、寄生蜂、アリ類および線虫などが報告されている (Kirkendall, 1993; 梶村, 2002; 小林・上田, 2005; 梶村, 2006)。これらの中で、カシナガの孔道を利用し、分散能力の高いものが有効な防除資材としての有力候補になるだろう。

本研究では、カシナガの穿入によって枯死したナラ枯れ被害木を対象として、カシナガ穿入孔から脱出した捕食者を採集した。それらの種構成および構成割合を算出し、寄主木の選好性を検討した。これらの結果から、面的な防除方法の開発を目的として、生物防除に有効と考えられる捕食者の探索を行った。

II 材料と方法

1. 調査地

本研究は岐阜県大野郡白川村の牛首林道（北緯 $36^{\circ}17'$ ；東経 $136^{\circ}55'$ ）で行った。林道沿いで、2011年に枯死したナラ枯れ被害木がみられた7ヶ所を調査地点に設定した

(図-1；表-1)。調査地点の標高は1,050～530mである。なお、調査地に最寄りのアメダスによる平均気温は 10.7°C で、平均降水量は $2,432.4\text{mm}$ である(1981～2010年；気象庁アメダス白川)。

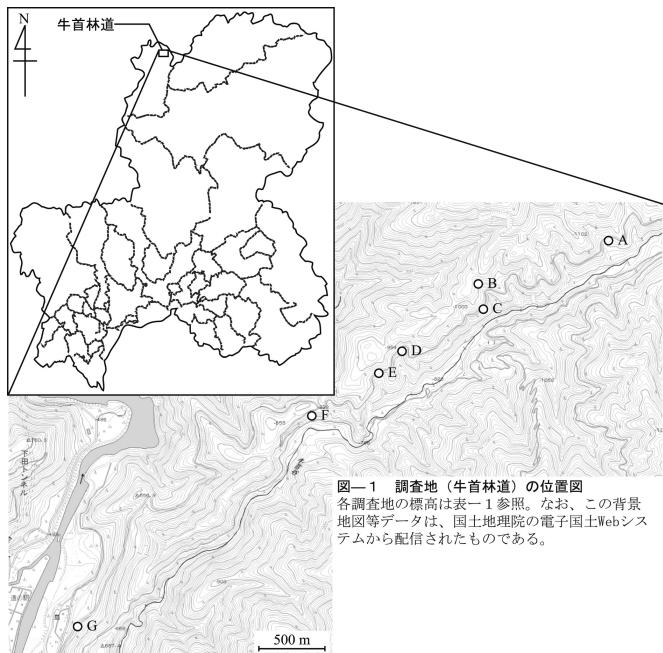


図-1 調査地（牛首林道）の位置図

各調査地の標高は表-1参照。なお、この背景地図等データは、国土地理院の電子国土Webシステムから配信されたものである。

表-1 調査地点概要

調査地点	標高(m)	供試木(本)	チューブトラップ(基)
A	1,050	2	40
B	1,020	5	100
C	990	5	100
D	940	5	100
E	880	5	100
F	830	5	100
G	530	1	40
合計		28	580

2. 供試木

対象とした樹種はミズナラ *Quercus crispula* BLUMEである。2011年にカシナガの穿入によって枯死したミズナラを供試木とし、調査地点Aからは2本、調査地点Gからは1本、それ以外の調査地点からは5本を選定し、実験に用いた。なお、供試木28本の胸高直径は $35.85 \pm 11.64\text{cm}$ (中央地土標準偏差) であり、最大で 65.7cm 、最小で 22.1cm であった(図-2)。また、調査地点間では、調査地点Cの方が調査地点Fよりも胸高直径が有意に大きかった(ANOVA, $p < 0.05$; Tukey-Kramer test, $p < 0.05$ ；図-2)。

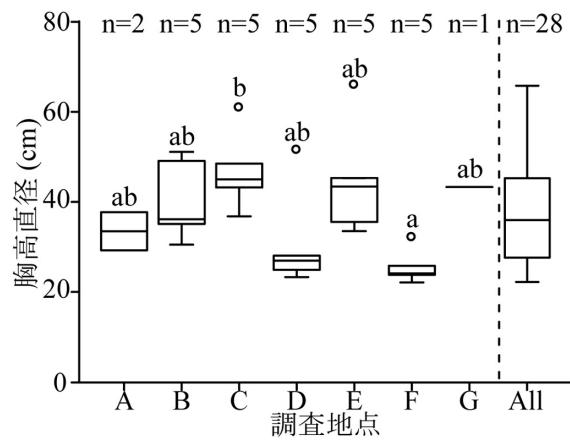


図-2 供試木の胸高直径

箱の上端は75パーセンタイル、下端は25パーセンタイル、箱中の横線は中央値を示す。縦棒は箱の長さの1.5倍の範囲内における最大値および最小値を示し、○は外れ値を示す。nは供試木の個体数を示す。異符号間で胸高直径に有意差有り(Tukey-Kramer test, $p < 0.05$)。

3. 調査方法

カシナガの穿入孔から脱出する捕食者を捕らえるために、チューブトラップ(小林, 2004)(図-3)を供試木に設置した。チューブトラップは供試木1本あたり20基設置した。なお、調査地区Gの供試木1本のみ、40基設置した。設置期間は2012年6月18日～9月26日である。設置期間中、2～4週間に1回、チューブトラップの交換を行い、トラップ内のサンプルを回収した。設置期間を通して、合計5回、サンプルを回収した。回収したサン

ブルは岐阜県森林研究所に持ち帰り、ソーティングした。ソーティング後、捕食者を種～科レベルで同定し、分類群ごとに個体数を計数した。なお、トラップを設置したカシナガの孔道は終齢幼虫が排出するフラス (Tarno・山崎, 2012) が確認され、初期の繁殖に成功したと考えられるものとした。

捕食者の餌資源量の指標として、供試木の地上高0.5mと1.5m地点における、材直径を計測した。これは、材直径とカシナガの次世代生産数の間に正の相関がみられる事から (Hijii, et al., 1991; 小林, 2006), カシナガの捕食者の餌資源量も同様に増加するものと考えられるためである。また、昆虫の繁殖力や生活史サイクルに温度が影響を及ぼすため、気温の指標として、調査地点の標高を計測した。

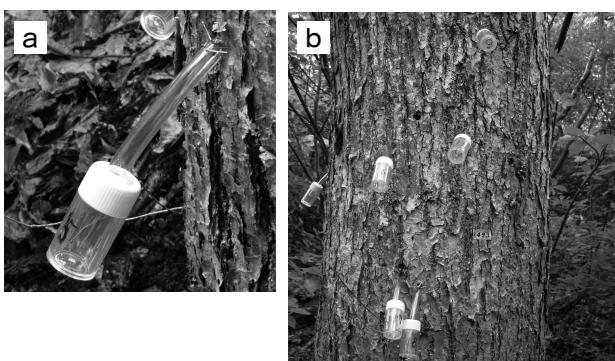


図-3 チューブトラップ

- a) チューブトラップの拡大写真
- b) チューブトラップの設置状況

4. 統計解析

調査地点間全体において、出現する捕食者相に違いがみられるかを明らかにするために、 χ^2 検定を行った。これは、各調査地点における捕食者分類群ごとの個体数を用いて比較した。なお、各調査地点間を対象とした多重比較は行わなかった。

捕食者の捕獲量に影響を及ぼす要因を明らかにするために、一般化線形混合モデル (GLMM) による解析を行った。この解析では、応答変数に捕食者の個体数、説明変数に材直径および標高もしくは調査地点、変量効果に樹木個体を用いた。応答変数はポアソン分布に従うと仮定し、link 関数は log link 関数とした。なお、説明変数の材直径および標高は連続変数であり、調査地点は名義変数である。すべての独立変数の組み合わせモデルに関して、赤池の情報量基準 (Akaike's Information Criteria, AIC) の値を比較し、AIC 値が最小のモデルを選択した。なお、これらの解析には R 2-15-2 パッケージ (R Development Core Team, 2012) を使用し、GLMM には R パッケージ内の”lme4 Ver. 0.999999-0” (Bates et al., 2012) を用いた。

III 結果

本研究で捕獲された捕食者は9分類群585個体で、すべてコウチュウ目であった (表-2)。その中で、ケシキスイ科幼虫が最も多く、346個体が捕獲された。次いで、ツツオニケイシスイ *Librodor subcylindricus* REITTER 成虫が207個体捕獲され、上位の2分類群のみで捕獲個体数の94.5%を占めた。以上から、これ以降の結果では、総捕獲個体数、ケシキスイ科幼虫およびツツオニケイシスイ成虫の捕獲個体数について、解析を行った。なお、カシナガが初期繁殖に成功したと考えられる孔道 (Tarno・山崎, 2012) にトラップを設置したものの、全調査期間を通して、カシナガ成虫はオス1個体しか捕獲されなかつた。

表-2 捕獲されたコウチュウ目相

捕獲分類群	調査地点							合計
	A	B	C	D	E	F	G	
ケシキスイ科幼虫	3	36	72	70	108	40	17	346
ツツオニケシキスイ成虫	1	40	9	36	67	33	21	207
ゴミムシダマシ科成虫	5	1	1	3	5	3	2	20
クチキムシダマシ科成虫			2					2
オオコクヌスト幼虫		1				1		2
ゾウムシ科成虫						1		1
ハナノミ科成虫			1				1	2
ホソエンマムシ科幼虫						1		1
Coleoptera spp.				1	2	1		4
合計	10	80	82	110	185	78	40	585
チューブトラップ数	40	100	100	100	100	100	40	580

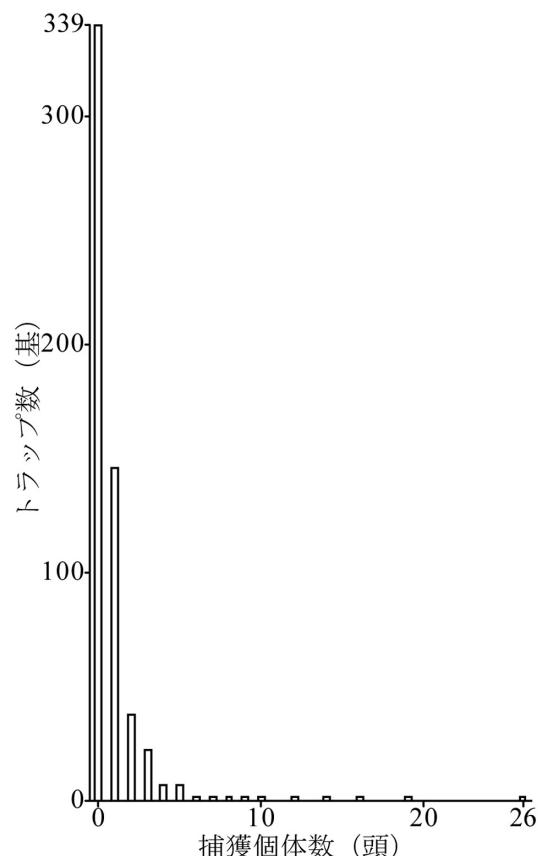


図-4 トラップあたりの捕獲個体数

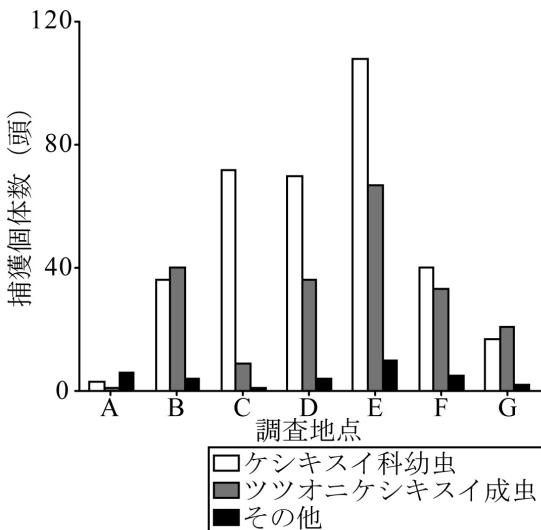


図-5 捕食者の捕獲個体数

捕獲された捕食者の分類は凡例の通り。

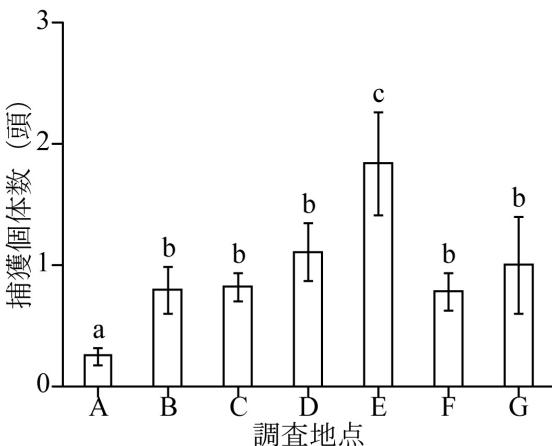


図-6 捕食者の総捕獲個体数

縦棒は標準誤差を示す。異符号間で捕獲個体数に有意差有り (GLMM, $P < 0.05$)。

全580基のチューブトラップの中で、捕食者が捕獲されたチューブトラップは241基であり、設置トラップ全体の41.6%であった(図-4)。各チューブトラップの捕獲個体数は0~4個体のものが全体の95%を占め(図-4)，捕獲個体数が最大であったチューブトラップでは、26個体が捕獲された。また、18基のチューブトラップで、ケシキスイムシ科幼虫とツツオニケシキスイ成虫の両方が捕獲された。

各調査地点の捕食者相の構成割合について、ケシキスイ科幼虫、ツツオニケシキスイ成虫およびその他に分けて比較したところ、調査地点間全体で有意差がみられた(χ^2 検定, $P < 0.05$; 図-5)。したがって、調査地点間全体における捕食者相の構成割合に有意な違いがあることが明らかとなった。なお、各調査地点間における多重比較は行っていないため、各調査地同士の類似性や違いなどは検出していない。

表-3 GLMM より選択されたモデルとその係数

応答変数	説明変数†	Intercept†	AIC
総捕獲個体数	調査地点 A -1.268* BCDFG 0 E 0.728*	-0.118*	1988.194
ケシキスイ幼虫	調査地点 A -1.881* BDFG 0 CE 0.853*	-0.022*	-0.228 ns 1301.616
ツツオニケシキスイ成虫	調査地点 AC -1.840** BDEFG 0	0.030-	-2.599*** 1147.420

†: *** $P < 0.005$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$, - $P < 0.1$, ns $P > 0.1$

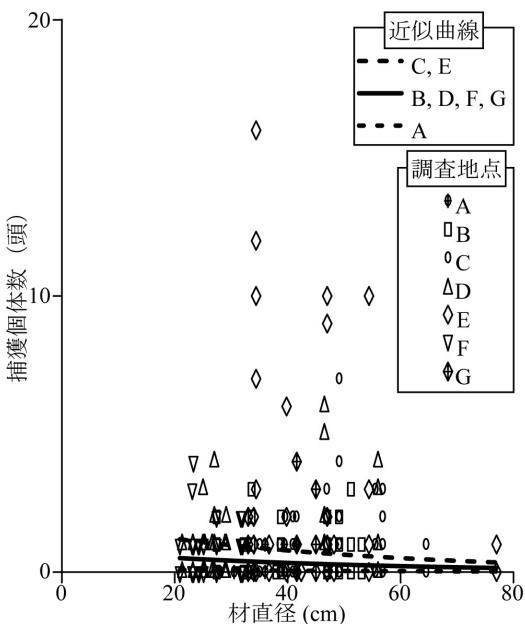


図-7 材直径とケシキスイ科幼虫の捕獲個体数の関係

材直径と捕獲個体数との間に有意な負の相関有り (GLMM, $P < 0.05$)。また、3近似曲線間で、捕獲個体数に有意な違い有り。各点および近似曲線の示す調査地点は凡例の通り。

総捕獲個体数を応答変数としたGLMMの結果、調査地点のみを説明変数としたモデルでAIC値が最小となった(AIC=1988.194; 表-3)。また、調査地点Aおよび調査地点Eのみをそれぞれ異なる調査地点とし、残りの5調査地点を同一のものとした場合にAIC値が最小となった。各調査地点の捕獲個体数は、調査地点Aが他の調査地点よりも有意に少なく、調査地点Eが有意に多かった(GLMM, $P < 0.05$; 図-6)。

ケシキスイ科幼虫の捕獲個体数を応答変数とした結果では、調査地点および材直径を説明変数としたモデルでAIC値が最小となった(AIC=1301.616; 表-3)。また、調査地点を調査地点A、調査地点CおよびE、調査地点B, D, FおよびGの3組に分類した場合でAIC値が最小となった。それぞれの捕獲個体数は、調査地点Aが他

の調査地点よりも有意に少なく、調査地点CおよびEが有意に多かった(GLMM, $P < 0.05$; 図-7)。また、材直径と捕獲個体数の間には、有意な負の相関がみられた(GLMM, $P < 0.05$; 図-7)。

ツツオニケシキスイ成虫の捕獲個体数を応答変数とした結果でも同様に、調査地点および材直径を説明変数としたモデルで AIC 値が最小となった ($AIC = 1147.420$; 表-3)。また、AIC 値が最小となった調査地点の組み合わせは、調査地点AおよびCと調査地点B, D, E, F およびG の2組に分けたものであった。捕獲個体数は調査地点AおよびCで有意に少なかった (GLMM, $P < 0.05$; 図-8)。また、材直径の増加に伴い捕獲個体数も増加する傾向がみられた (GLMM, $P = 0.059$; 図-8)。なお、いずれの解析においても、標高は説明変数として選択されなかった (GLMM, $P > 0.05$)。

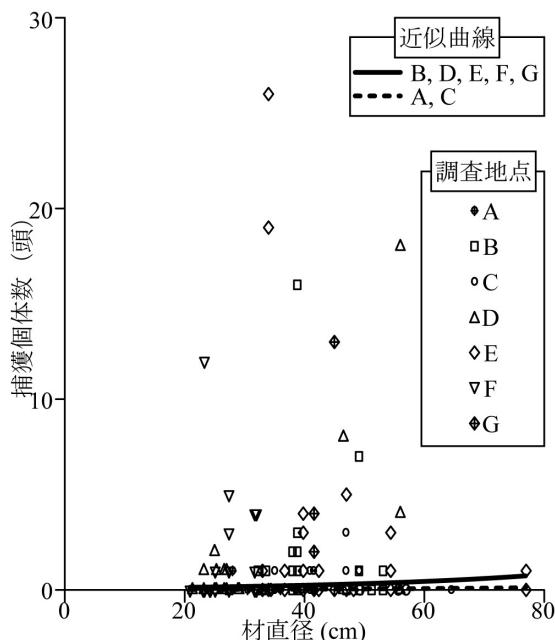


図-8 材直径とツツオニケシキスイ成虫の捕獲個体数の関係

材直径と捕獲個体数との間に有意な正の相関有り (GLMM, $P < 0.05$)。また、2近似曲線間で、捕獲個体数に有意な違い有り。各点および近似曲線の示す調査地点は凡例の通り。

IV 考察

本研究で捕獲された捕食者はすべてコウチュウ目昆虫であり、その94.5%をケシキスイ科が占めた(表-2)。ツツオニケシキスイを含む、オニケシキスイ亜科の数属の幼虫はキクイムシ類の天敵であり(久松, 1985), 同属のヨツボシケシキスイ *Librodor japonicus* (MOTSCHULSKY) の幼虫も他種昆虫の幼虫を摂食する(林,

2005)。これらのことから、本調査地において、ツツオニケシキスイはカシナガの重要な天敵であると考えられる。また、科レベルまでの同定となつたが、ケシキスイ科幼虫とツツオニケシキスイ成虫が同一のチューブトラップで捕獲される例が18例みられたことから、ケシキスイ科幼虫がツツオニケシキスイの幼虫である可能性もあるものと思われる。このことは、ツツオニケシキスイのカシナガの天敵としての重要性をさらに高めるものと考えられる。一方で、チューブトラップ580基の中で、捕食者が捕獲されたものは241基であり、全体の41%に過ぎなかつた(図-4)。また、95%のチューブトラップで捕獲個体数が0~4個体であった。これらのことから、捕食者は一様に分布しているのではなく、偏在しているものと推察される。また、調査地点間における捕食者の捕獲割合に違いがみられた(χ^2 検定, $P < 0.05$; 図-5)。したがって、捕食者の分布構造には一定の傾向はないものと考えられる。このように、分布の偏在化や分布構造の不均一性が検出された。しかし、それらを作り出す要因について、本研究から明らかにすることは困難である。

総捕獲個体数、ケシキスイ科幼虫およびツツオニケシキスイ成虫の捕獲数すべてにおいて、調査地点間で有意な違いがみられた (GLMM, $P < 0.05$; 表-3)。また、材直径との間にケシキスイムシ科幼虫では負の、ツツオニケシキスイ成虫では正の相関がみられた (ケシキスイムシ科幼虫, GLMM, $P < 0.05$; ツツオニケシキスイ成虫, GLMM=0.059; 表-3, 図-7, 8)。一方、標高はいずれの捕獲個体数とも関係がみられなかった (GLMM, $P > 0.05$)。ここで、総捕獲個体数において材直径との間に相関関係がみられなかつたのは、ケシキスイ科幼虫およびツツオニケシキスイ成虫と、材直径の相関関係が正負対立であったためであろうと思われる。その結果、調査地点ごとの捕獲個体数の違いのみを反映したモデルが採択されたものと推察される。

ケシキスイ科幼虫とツツオニケシキスイ成虫で、材直径との関係が異なつたのは、餌資源の量に関係しているのかもしれない。すなわち、餌資源が豊富な大径木からは成虫が、餌資源が少ない小径木からは幼虫が多く脱出するものと考えられる。カシナガの孔道長や次世代生産数は材直径の増加に伴つて増加することが示されている

(Hijii, et al., 1991; 小林, 2006)。したがつて、本研究で捕獲されたケシキスイ科幼虫がツツオニケシキスイであるならば、ツツオニケシキスイは小径木に作られたカシナガの孔道内の餌資源のみで、生活史を完遂することが不可能なのかもしれない。そのため、幼虫は他孔道のカシナガ幼虫や、孔道内の菌類などを獲得するために、脱出するのではないかと推察される。ツツオニケシキスイと同属のヨツボシケシキスイの幼虫は、他種の昆虫の幼虫を捕食するとともに、樹液や腐植等も摂食する(林,

2005)。このことも、ケシキスイ科幼虫が餌資源を求めて他孔道などへ移動する可能性を支持するものと考えられる。

ケシキスイ科幼虫およびツツオニケシキスイ成虫とともに、調査地点間で捕獲個体数が異なることが明らかになった(GLMM, $P < 0.05$; 表-3)。しかし、ケシキスイ科幼虫では、調査地点A、調査地点CおよびE、調査地点B, D, FおよびGの3組に、ツツオニケシキスイ成虫では調査地点AおよびC、調査地点B, D, E, FおよびGの2組に分けるモデルが選択された。本研究で用いた供試木の胸高直径は、調査地点Cよりも調査地点Fの方が有意に小さいが(Tukey-Kramer test, $P < 0.05$; 図-2)，その他の調査地点間では差はない。また、すでに材直径による影響がモデルに組み込まれているため、調査地点間での捕獲個体数の違いは材直径以外の要因が関係しているものと思われる。例えば、気温が挙げられる。本研究において、気温に影響を及ぼすと考えられる標高差はモデルより棄却された。しかし、本研究では、調査地点ごとの気温の計測や各調査地点の斜面方位や樹冠の密度、林内における照度など気温に関係するパラメータの測定は行っておらず、その影響を検討することはできない。また、湿度やツツオニケシキスイを誘引する物質の有無あるいはその存在比が異なっていることなども考えられる。材直径以外のどのような条件がツツオニケシキスイの個体群密度に影響を及ぼすのか、今後検証する必要があるものと思われる。

本研究から、ツツオニケシキスイがカシナガの重要な捕食者である可能性が示唆された。また、材直径が捕獲個体数に影響を及ぼすことが明らかとなった。これまでにもキクイムシ類の捕食者は報告されており、例えば小林・野崎(2009)はツツオニケシキスイを含む8種のコウチュウ目昆虫をカシナガの孔道から捕獲している。また、キクイムシ類の捕食者として、アリ類や寄生蜂の報告もある(Kirkendall, 1993; 梶村, 2002; 小林・上田, 2005; 梶村, 2006)。しかし、これらの捕食性昆虫を用いた生物防除の検討はほとんどなされていない。その中で、ツツオニケシキスイは生物防除用資材の有力候補になるものと思われる。ツツオニケシキスイは99.5%エタノールに誘引されやすく、これを誘引剤とした小型の衝突板トラップ(名大式トラップ; 伊藤・梶村, 2006)で大量捕獲が可能である(伊藤, 未発表)。また、同属のヨツボシケシキスイでは、バナナを用いた継代飼育方法が確立されているため(Okada and Miyatake, 2007), ツツオニケシキスイも同様の方法で継代飼育ができるかもしれない。したがって、容易に大量捕獲と大量増殖ができる可能性が高いものと考えられる。今後、これらのこととを検証し、捕食効率等を解明することによって、生物防除用資材としての有効性を検討することが可能となるだろう。

引用文献

- Bates D, Maechler B, Bolker B (2012) Package *lme4*: Linear mixed-effects models using S4 classes. Version 0.999999-0. <http://lme4.r-forge.r-project.org/>
- 林 長閑 (2005) ケシキスイ科. 日本産幼虫図鑑(石綿進一・花田聰子・林 文男・山崎柄根・上村佳孝・青木典司・林 正美・野崎隆夫・福田晴夫・岸田泰則・林 長閑・篠原明彦・篠永 哲監修, 学研). 245
- Hijii, N, Kajimura H, Urano T Kinuura H, Itami H (1991) The mass mortality of oak trees induced by *Platypus quercivorus* (MURAYAMA) and *Platypus calamus* BLANDFORD (Coleoptera: Platypodidae)-the density and spatial distribution of attack by the beetles-. J Jpn For Soc 73 : 471-476
- 久松定成 (1985) ケシキスイ科 Nitidulidae. 原色日本甲虫図鑑(I II) (黒澤良彦, 久松定成, 佐々木寛之編著, 保育社). 175-196
- 伊藤昌明・梶村 恒 (2006) 養菌性キクイムシの生け捕りを目的とした新型トラップの開発. 中森研54:227-230
- 梶村 恒 (2002) 養菌性キクイムシ類の生態と森林被害. 森林科学35 : 15-23
- 梶村 恒 (2006) 養菌性キクイムシ類の生態—昆虫が営む樹内農園—. 木の中の虫の不思議な生活穿孔性昆虫研究への招待(柴田叡式・富樫一巳編著, 東海大学出版会). 161-187
- Kinuura H (2002) Relative dominance of the mold fungus, *Raffaelea* sp., in the mycangium and proventriculus in relation to adult stages of the oak platypodid beetle, *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae). J For Res 7 : 7-12
- Kinuura H, Kobayashi M (2006) Death of *Quercus crispula* by inoculation with adult *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae). Appl Entomol Zool 41 : 123-128
- Kirkendall L R (1993) Ecology and evolution of biased sex ratio in bark and ambrosia beetle. In : Evolution and Diversity of Sex Ratio in Insects and Mites. Wrensch DL and Ebbert MA (eds) Chapman and Hall, 235-345
- 小林正秀 (2004) カシノナガキクイムシの穿入に伴うブナ科樹木集団枯死被害の発生機構. 京都府林試研報, 7 : 1-139

- 小林正秀 (2006) ブナ科樹木萎凋病を媒介するカシノナガキクイムシ. 木の中の虫の不思議な生活穿孔性昆虫研究への招待 (柴田叡式・富樫一巳編著, 東海大学出版会). 189-212
- 小林正秀・野崎 愛 (2009) ナラ枯れ被害をどう防ぐのかー被害のメカニズムと防除法ー. 京都府林業試験場
- 小林正秀・上田明良 (2005) カシノナガキクイムシとその共生菌が関与するブナ科樹木の萎凋枯死ー被害発生要因の解明を目指してー. 日林誌87: 435-450
- Kubono T, Ito S (2002) *Raffaelea quercivora* sp. nov. associated with mass mortality of Japanese oak, and the ambrosia beetle (*Platypus quercivorus*). Mycoscience, 43: 255-260
- 大橋章博 (2008) 岐阜県におけるナラ類枯損被害の分布と拡大. 岐阜県森林研研報, 37: 23-28
- 大橋章博 (2009) カシノナガキクイムシ幼虫に対する Steinernema 属線虫の殺虫力について. 中森研57: 287-288
- 大橋章博 (2011) ナラ枯れ被害を防ぐために. 岐阜県森林研究所
- Okada K, Miyatake T (2007) *Librodor japonicus* (Coleoptera : Nitidulidae) : life history, effect of temperature on development, and seasonal abundance. Appl Entomol Zool 42: 411-417
- R Development Core Team (2012) R : A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria
- 林野庁 (2011) 平成23年度 森林・林業白書. 一般社団法人全国林業改良普及協会
- 齊 宏業・二井一禎 (2012) 仲間もいれば敵もいる—カシノナガキクイムシを取り巻く微生物. 微生物生態学への招待～森をめぐるミクロな世界～ (二井一禎・竹内祐子・山崎理正編, 京都大学学術出版会). 307-325
- Tarno H・山崎理正 (2012) 親子二世代の連係プレー—木屑が語る坑道の中の社会的な生活. 微生物生態学への招待～森をめぐるミクロな世界～ (二井一禎・竹内祐子・山崎理正編, 京都大学学術出版会). 279-292

論 文

高標高地域で発生したナラ枯れ枯死木におけるカシノナガキクイムシ (*Platypus quercivorus* (MURAYAMA)) の穿入孔密度

伊藤 昌明*・大橋 章博

Attack density of an ambrosia beetle (*Platypus quercivorus* (MURAYAMA)) on the Japanese oak wilt in high elevation forests

Masaki ITO and Akihiro OHASHI

2012年夏以降に発生したナラ枯れ枯死木の樹幹に分布するカシナガの穿入孔を計数し、穿入孔数と樹種、胸高直径、周辺環境との関係を明らかにした。また、初期の繁殖成否についても関係性を解明した。その結果、フラスの排出が確認された穿入孔の数は胸高直径および気温と正の関係を示し、その孔数はフモトミズナラで最も多く、次いでコナラで、ミズナラが最も少なかった。一方、フラスの排出がみられなかった穿入孔の数は高緯度地域で多く、気温と負の関係を示し、ミズナラで他樹種よりも多かった。また、初期の繁殖は標高が高い地域あるいは最低気温が低い地域で成功割合が低く、胸高直径の増加に伴い、成功割合も上昇した。樹種では、コナラが他樹種よりも初期の繁殖成功割合が低かった。これらのことから、①大径木で大量かつ確実な繁殖が期待され、②寒冷地では穿入密度が低く、繁殖も困難であり、③繁殖に最も好適な寄主はフモトミズナラであることが示された。

キーワード：カシノナガキクイムシ、ブナ科樹木萎凋病、穿入孔数、初期の繁殖成否、フラス排出

I はじめに

ブナ科樹木萎凋病（以下、ナラ枯れ）は、真菌類の一種である *Raffaelea quercivora* KUBONO et ITO (Kubono and Ito, 2002) によって引き起こされ、ブナ科樹木を枯死させる樹木病害である。この菌はカシノナガキクイムシ *Platypus quercivorus* (MURAYAMA) (以下、カシナガ) と共生関係を持っており、カシナガによって樹木内に運び込まれる (Kinuura, 2002; Kinuura and Kobayashi, 2006)。

近年、ナラ枯れによるブナ科樹木の集団枯損被害が全国的に発生し、2011年までに30府県において被害がみられた (林野庁, 2011)。岐阜県でも、ナラ枯れによる集団枯損被害は発生しており、1996年に岐阜県西部の揖斐郡揖斐川町で被害が初記録された (大橋, 2011)。その後、その被害は岐阜県東部に拡大し、2010年にはその東端が恵那市にまで達した。また、2005年には岐阜県北部の大野郡白川村で、2006年には隣接する飛騨市で被害が確認され、岐阜県北部ではその被害が南下している (大橋, 2008)。

岐阜県のナラ枯れによる枯死被害はブナ科4属13種で発生しており、その集団枯損被害はナラ類で著しい (大

橋, 2011)。特に枯死しやすいナラ類の集団枯損被害は標高400–600m前後で樹種が変化し、標高が低い地域ではコナラ *Quercus serrata* MURRAY、高い地域ではミズナラ *Quercus crispula* BLUME が中心となる。また、岐阜県中濃～東濃地域では、フモトミズナラ *Quercus serrata* MURRAY subsp. *mongolicoides* でも集団枯損被害が発生している。

ナラ枯れの被害はミズナラが優占する標高域を中心で発生し (松浦・中島, 2011)，その後、寄主木の分布域全域に拡大し、特に低標高地域に拡大する (小林, 2004; 大橋, 2008)。一方、同様にミズナラが優占する地域でも、標高が700 m を超えるような標高の高い地域では被害が拡大しにくい傾向がみられる (小林, 2004; 松浦・中島, 2011)。しかし、岐阜県では、標高700 m 以上の地域にもナラ枯れによる集団枯損被害が拡大しており、この傾向は揖斐郡揖斐川町から東進した集団、大野郡白川村および飛騨市から南下した集団の両方ともにみられる (大橋, 2011)。現在では両集団とも、標高1,000 m 超の地域で被害を発生させている (大橋, 2011)。

カシナガの生活史サイクルには気温が重要であることが報告されている (曾根ら, 2000; 斎藤ら, 2003)。カシナガの発育限界温度の報告はないものの、羽化脱出に積算気温が関係していることは示されており、山形県では

* 前：森林研究所、現：地方独立行政法人青森県産業技術センター 林業研究所

表一 調査地概要

調査地	調査地(詳細)	緯度(N)	経度(E)	標高(m)	アメダス気温 平均最高最低	対象アメダス	樹種			合計
							コナラ	フモトミズナラ	ミズナラ	
神岡	岐阜県飛騨市神岡町大多和	36.424	137.352	780	11.4 17.2 7.1	神岡	-	-	-	12 12
宮川打保	岐阜県飛騨市宮川町打保	36.388	137.151	900	11.0 16.6 6.8	神岡・河合	-	-	-	7 7
宮川菅沼	岐阜県飛騨市宮川町菅沼	36.355	137.213	690	11.0 16.6 6.8	神岡・河合	-	-	-	2 2
河合二ツ屋	岐阜県飛騨市河合町二ツ屋	36.321	137.082	730	10.6 15.9 6.6	河合	-	-	-	2 2
河合天生	岐阜県飛騨市河合町天生	36.270	137.013	670-	730 10.8 16.2 6.6	河合・白川	-	-	-	11 11
白川牛首	岐阜県大野郡白川村牛首	36.297	136.938	830-1020	11.0 16.4 6.7	白川	-	-	-	23 23
白川荻	岐阜県大野郡白川村荻町	36.265	136.940	1020	10.8 16.2 6.6	河合・白川	-	-	-	1 1
白鳥	岐阜県郡上市白鳥町六ノ里	35.892	136.961	810-1160	11.7 16.8 7.6	長滝	-	-	-	5 5
笠置山	岐阜県恵那市笠置町	35.507	137.321	630	12.6 18.6 7.8	恵那・黒川	5	-	-	5
恵那峡	岐阜県恵那市大井町	35.482	137.408	270	13.6 19.6 8.8	恵那・中津川	1	-	-	1
岩村	岐阜県恵那市岩村町飯羽間	35.397	137.396	680-	690 13.4 19.6 8.4	恵那	-	-	-	8 8
関	岐阜県関市山田	35.471	136.875	50	15.4 20.7 11.1	岐阜・美濃・美濃加茂	4	-	-	4
瑞浪	岐阜県瑞浪市日吉町	35.435	137.265	430-	500 14.3 20.6 9.2	恵那・多治見	8	3	-	11
土岐	岐阜県土岐市泉町定林寺	35.392	137.196	290-	340 15.3 21.6 10.1	多治見	4	31	-	35
稻武	愛知県豊田市野入町	35.222	137.570	1050	11.8 17.4 7.2	稻武	-	-	-	4 4
合計							22	34	75	131

9.5–10.0°Cを基準に算出した積算温度に基づく回帰式によって、カシナガの初発日を高精度で予測できることが示されている(斎藤ら, 2003)。岐阜県でもカシナガの分散時期について報告されており、気温が高いコナラ林における分散時期に比べて、気温が低いミズナラ林での分散時期が1–2週間程度遅くなることが示されている(大橋, 2011)。分散時期が遅れることによって、幼虫の発育に有効な気温に達する期間が短くなるため(曾根ら, 2000), 気温が低い、標高が高い地域のミズナラ林はカシナガの生息にあまり適していないと推察される。

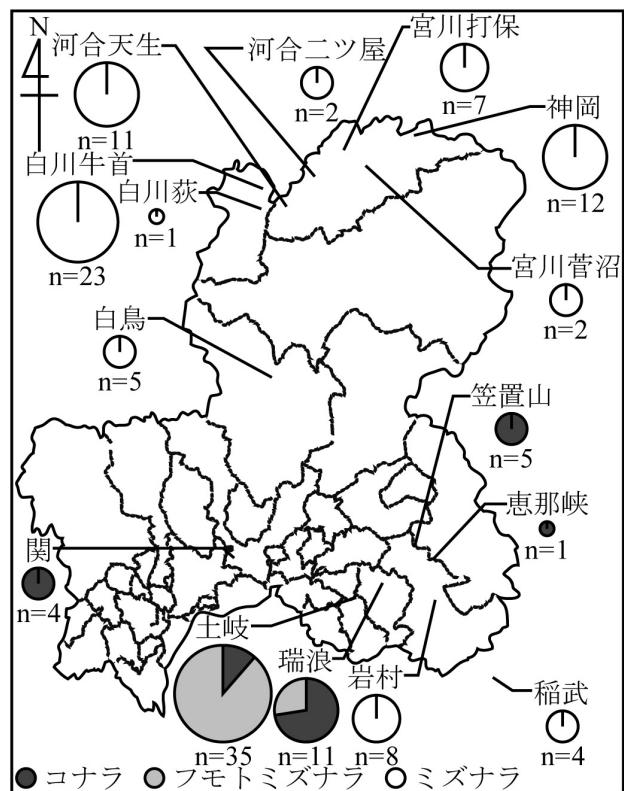
岐阜県では現在、このようなカシナガの生息に不適と思われる高標高地域においてナラ枯れ被害が多発している。これらの地域におけるナラ枯れ被害の発生様式について、樹種の違いを除き、どのような特徴がみられるのか、明らかにされていない。新規に被害が拡大している、生息にあまり適さない地域における被害発生様式の把握は、同様の地域における今後の被害拡大傾向を推測することにもつながり、また、被害対策を行ううえでの指針の一つになりうると思われる。そこで、本研究ではナラ枯れ被害の発生地域でみられた枯死木を対象として、その穿入密度、資源量および周辺環境を地域ごとに明らかにし、岐阜県におけるナラ枯れ被害木の特徴を検出することを目的とした。それによって、高標高地域における被害の傾向を検証した。

II 材料と方法

1. 調査地

本研究は岐阜県内14ヶ所(飛騨市神岡町大多和(神岡)、飛騨市宮川町打保(宮川打保)、飛騨市宮川町菅沼(宮川菅沼)、飛騨市河合町二ツ屋(河合二ツ屋)、飛騨市河合町天生(河合天生)、大野郡白川村荻町(白川荻)、大野郡白川村牛首(白川牛首)、郡上市白鳥町六ノ里(白鳥)、

恵那市笠置町(笠置山)、恵那市大井町(恵那峡)、恵那市岩村町飯羽間(岩村)、関市山田町(関)、瑞浪市日吉町(瑞浪)、土岐市泉町定林寺(土岐)、愛知県内1ヶ所(豊田市野入町(稻武))で行った(表一、図一)。全調査地における標高の範囲は50–1,160mであり、緯度の範囲は北緯35.22167–36.42412°である。



図一 調査地と供試個体数

円の大きさは個体数を反映している。nは個体数を示す。

調査地は表一と同じ。

表-2 GLM より選択されたモデルとその係数

応答変数	説明変数†		Intercept†	AIC	モデル
全孔道	胸高直径	樹種			
	0.0319*	コナラ・ミズナラ -0.2758*** フモトミズナラ 0.0000	2.2481***	974.4	(1-1)
	胸高直径	樹種			
	0.0304*	コナラ・フモトミズナラ 0.2268*** ミズナラ 0.0000	1.9933***	975.0	(1-2)
最高気温	胸高直径				
0.0304*	0.0304***		1.4473***	975.4	(1-3)
平均気温	胸高直径				
0.0421*	0.0302***		1.6304***	975.7	(1-4)
プラス有	最高気温	胸高直径			
0.0883***	0.0348***		0.2191ns	902.1	(2-1)
	胸高直径	樹種			
	0.0364***	コナラ 0.3597** フモトミズナラ 0.5663*** ミズナラ 0.0000	1.4689***	904.4	(2-2)
平均気温	胸高直径				
0.0965***	0.0346***		0.6631***	904.5	(2-3)
プラス無	緯度				
	1.2330***		42.9635***	626.8	(3-1)
最高気温					
-0.1723***			4.1469***	630.4	(3-2)
	樹種				
		コナラ・フモトミズナラ -1.0610*** ミズナラ 0.0000	1.6987***	630.8	(3-3)

†: *** P < 0.001, ** P < 0.01, * P < 0.05, ns P > 0.05

2. 供試木

対象とした樹種はコナラ、フモトミズナラおよびミズナラの3種である。2012年にカシナガによる穿入および穿入孔からプラスの排出が認められ、枯死した個体を供試木とした。各調査地で1–31本の個体を選定し、合計でコナラ22本、フモトミズナラ34本、ミズナラ75本を用いた。

3. 調査方法

供試木の地際から地上高2m範囲内に存在するカシナガの穿入孔を対象とした。20×20cmの方形枠を樹幹に設置し、方形枠内の穿入孔を計数した。方形枠は供試木1本あたり3ヶ所設置した。なお、穿入孔はプラス排出の有無によって、プラス有、プラス無の二種類に区別した。

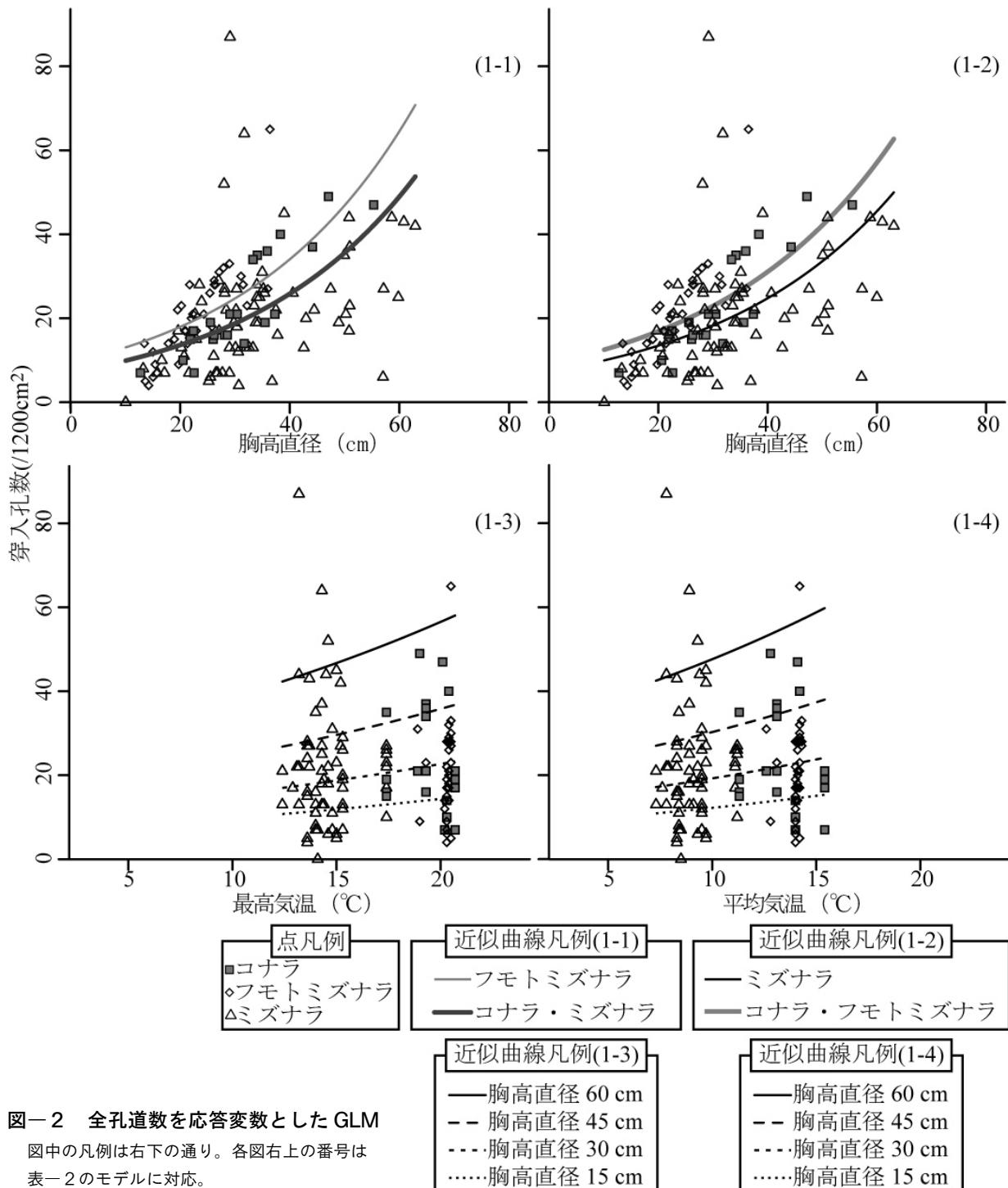
カシナガの穿入孔数に影響を及ぼす要因の一つとして、胸高直径を計測した。これは、長梯子型の孔道を構築するカシナガ（加辺、1959）では、大径材ほど繁殖に有利であること（Hijii et al., 1991）から、その穿入密度が大径木ほど高くなり（小林・上田、2005）、また、直径10cm以下の個体には穿入しないこと（山崎、2012）が報告されていることによるものである。

また、昆虫の繁殖力や生活史サイクルに温度が影響を

及ぼすため、気温を各調査地に近いアメダスより取得した。用いたデータは2002年～2011年までの10年間のものであり、アメダスごとに10年間の平均値を算出した。なお、算出した気温は平均気温、最高気温、最低気温の3種類についてである。これらの気温を調査地の標高で補正したものを調査地の気温として用いた。補正方法は、アメダスの標高（m）から調査地の標高（m）を減じた標高差を100mで除し、そこに0.6を乗じた値を加えたものである。すなわち、（補正気温（℃）） = アメダス気温（℃） + {（アメダスの標高（m） - 調査地の標高（m）） / 100（m）} × 0.6（℃）である。なお、複数地点のアメダスデータを用いた調査地については、アメダスデータおよびアメダスの標高をあらかじめ平均し、同様の補正に用いた。

4. 統計解析

ナラ枯れ被害木の穿入孔数に影響を及ぼす要因を明らかにするために、一般化線形モデル（GLM）による解析を行った。この解析では、応答変数に穿入孔数、説明変数に胸高直径、樹種、平均気温、最高気温、最低気温、標高、緯度を用いた。応答変数は負の二項分布に従うと仮定し、link関数はlog link関数とした。なお、応答変



図一 全孔道数を応答変数とした GLM

図中の凡例は右下の通り。各図右上の番号は表一のモデルに対応。

数である穿入孔数は方形枠3ヶ所の合計を用いた。また、穿入孔数はプラス有、プラス無およびそれらの合計である全穿入孔道数（全孔道）の3つを解析にそれぞれ用いた。説明変数について、3種類の気温データはすべて異なるモデルを構築し解析した。また、標高および緯度と気温も同一モデルには組み込まなかった。これは、3種類の気温同士および気温と標高および緯度が強い相関関係を持つためであり、その結果によって生じる多重共線性を回避するためである。すべての説明変数の組み合わ

せモデルに関して、赤池の情報量基準（Akaike's Information Criteria, AIC）の値を比較し、AIC 値が最小となるモデルを選択した。

カシナガの穿入初期における繁殖の成否に影響を及ぼす要因を明らかにするために一般化線形混合モデル(GLMM)による解析を行った。この解析では、応答変数にプラス有／全孔道、説明変数に胸高直径、樹種、平均気温、最高気温、最低気温、標高、緯度、変量効果に調査地を用いた。応答変数は二項分布に従うと仮定し、link 関数は

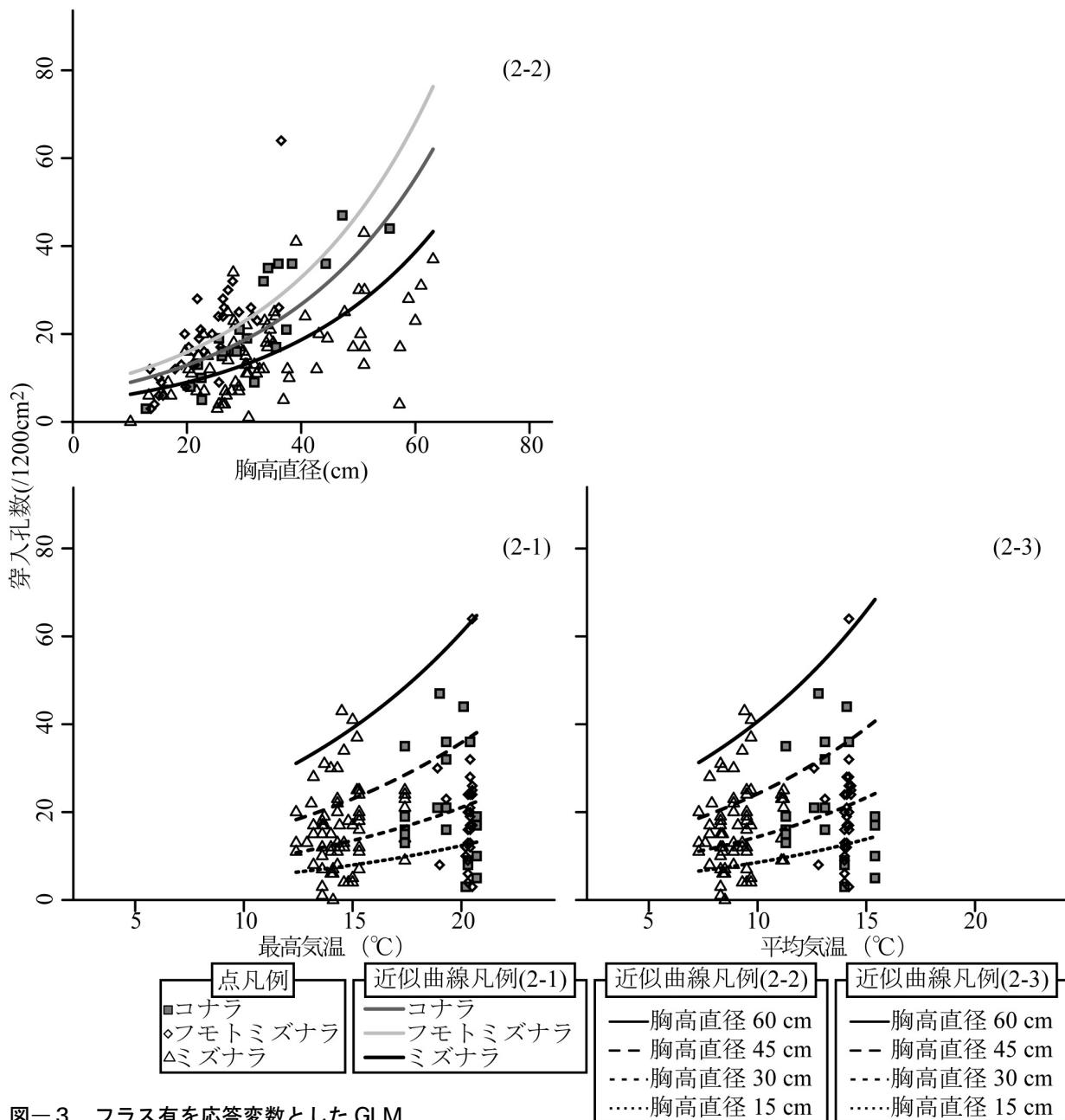


図-3 フラス有を応答変数とした GLM

図中の凡例は右下の通り。各図右上の番号は表一のモデルに対応。

logit link 関数とした。なお、説明変数は GLM による解析と同様の理由から、3種類の気温データおよび気温と標高および緯度について、すべて異なるモデルを構築し解析した。モデルの選択は GLM と同様に、AIC 値を算出し、その値が最小となるものを選択した。

なお、これらの解析には R 2-15-2 パッケージ (R Development Core Team, 2012) を使用し、GLMM には R パッケージ内の “glmmML ver. 0.82-1” (Brostrom and Holmberg, 2011) を用いた。

III 結 果

1. 穿入孔数

全孔道を応答変数とした GLM の結果、胸高直径と樹種を説明変数としたモデルで AIC 値が最小となった (表一2)。その中で、フモトミズナラのみを異なるグループとし、残りのコナラおよびミズナラを同一のグループとした場合に AIC 値が最小となった (胸高直径=0.0319、コナラ・ミズナラ=-0.2758、AIC 値=974.4)。また、ミズナラを別グループとし、コナラおよびフモトミズナラを同一グループとしたものも同様に小さい AIC 値を示した

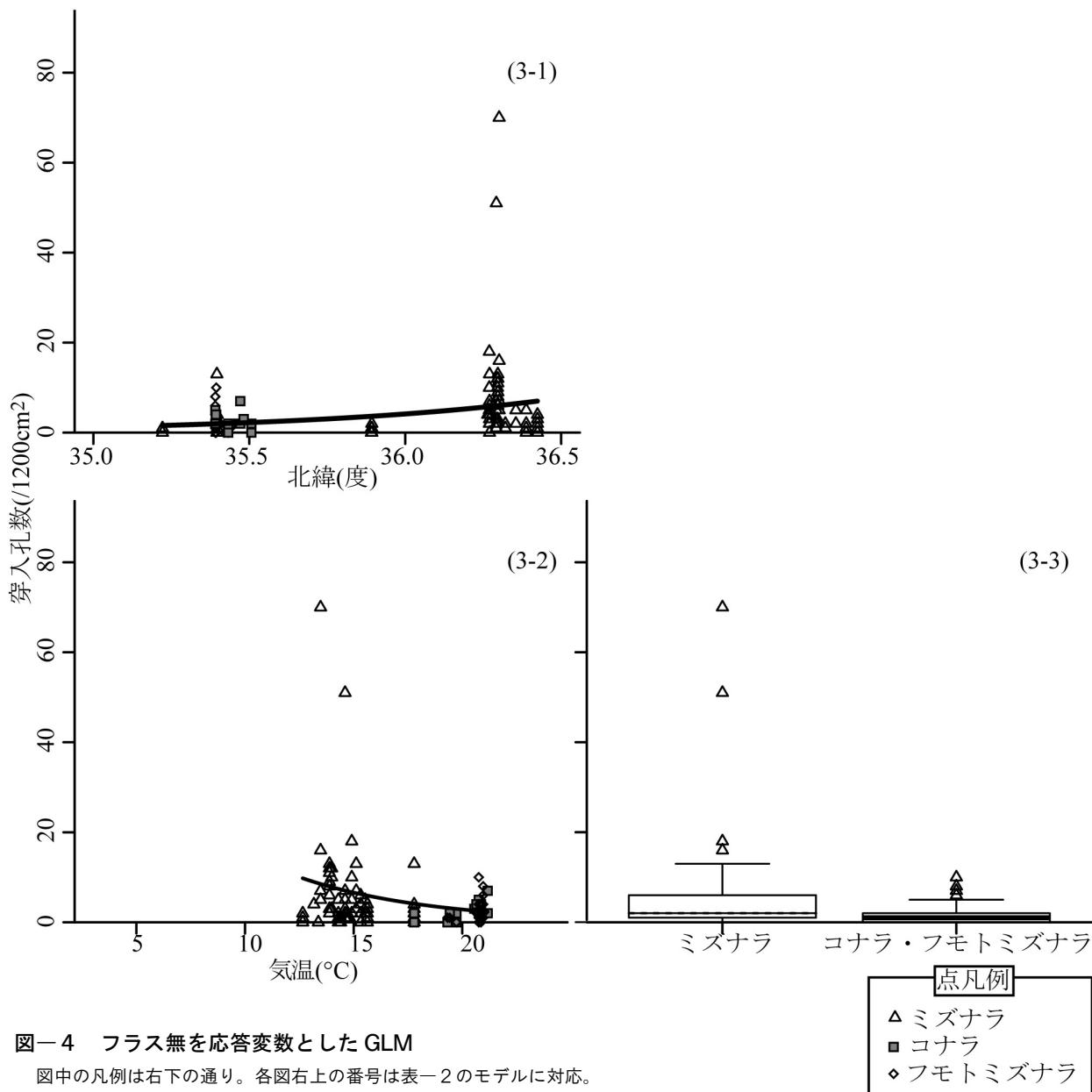


図-4 フラス無を応答変数としたGLM

図中の凡例は右下の通り。各図右上の番号は表-2のモデルに対応。

(胸高直径=0.0304, コナラ・フモトミズナラ=0.2268, AIC 値=975.0)。胸高直径と最高気温, または平均気温を説明変数としたモデルでも AIC 値が小さかった (最高気温=0.0304, 胸高直径=0.0304, AIC 値=975.4; 平均気温=0.0421, 胸高直径=0.0302, AIC 値=975.7; 表-2)。これらのモデルに共通して, 胸高直径は全孔道との間に有意な正の相関を示した (GLM, $P < 0.05$; 図-2)。また, 気温も全孔道との間に有意な正の相関を示した (GLM, $P < 0.05$; 図-2)。樹種では, フモトミズナラがコナラおよびミズナラよりも有意に全孔道が多いこと, ミズナラでコナラおよびフモトミズナラよりも有意に全孔道が少ないことが示された (GLM, $P < 0.05$; 図-2)。

フラス有を応答変数としたGLMでは, 最高気温と胸高直径を説明変数としたモデルが最小のAIC 値を示した (最

高気温=0.0883, 胸高直径=0.0348, AIC 値=902.1; 表-2)。また, 胸高直径と3樹種を説明変数としたモデル (胸高直径=0.0364, コナラ=0.3597, フモトミズナラ=0.5663, AIC 値=904.4; 表-2), 平均気温と胸高直径を説明変数としたモデルでも AIC 値が小さかった (平均気温=0.0965, 胸高直径=0.0346, AIC 値=904.5; 表-2)。これらのモデルにおいて, 胸高直径と気温はフラス有との間に有意な正の相関を示しており (GLM, $P < 0.05$; 図-3), 樹種ではミズナラでフラス有が最も少なく, フモトミズナラで最も多かった (GLM, $P < 0.05$; 図-3)。

フラス無では, 緯度を説明変数としたもので AIC 値が最も小さくなった (緯度=1.2330, AIC 値=626.8, 表-2)。また, 最高気温を説明変数としたモデル (最高気温=-0.1723, AIC 値=630.4), ミズナラのみを別グループと

表一3 GLMM より選択されたモデルとその係数

応答変数	説明変数†		Intercept†	AIC	モデル
プラス有/全孔道	胸高直径 標高	樹種 フモトミズナラ・ミズナラ 0.8916*** コナラ 0.0000	2.7586**	649.1	(4-1)
胸高直径 最低気温	樹種 フモトミズナラ・ミズナラ 0.9353*** コナラ 0.0000		-3.8154**	649.8	(4-2)
胸高直径 最高気温	樹種 フモトミズナラ・ミズナラ 0.9489*** コナラ 0.0000		-8.1117***	649.9	(4-3)

†: *** P < 0.001, ** P < 0.01, * P < 0.05, ns P > 0.05

した樹種を説明変数としたモデルも小さい AIC 値を示した (コナラ・フモトミズナラ=-1.0610, AIC 値=630.8)。これらのモデルにおいて、緯度はプラス無との間に正の相関が、最高気温は負の相関がみられた (GLM, P < 0.05; 図一4)。また、ミズナラはコナラおよびフモトミズナラと比べてプラス無の穿入孔数が有意に多かった (GLM, P < 0.05; 図一4)。

2. 初期の繁殖成否

プラス有の穿入孔数を全孔道数で割った値を応答変数とした GLMM の結果、胸高直径、標高およびコナラのみを別グループとした樹種を説明変数としたモデルで AIC 値が最小となった (AIC 値=649.1; 表一3)。また、このモデルの説明変数の標高を最低気温に変えたモデル (AIC 値=649.8; 表一3) および最高気温に変えたモデル (AIC 値=649.9; 表一3) でも小さい AIC 値を示した。これらのモデルにおいて、プラス有の割合と胸高直径との間に有意な正の相関がみられた (GLMM, P < 0.05; 図一5)。また、最高気温、最低気温も同様にプラス有の割合との間に有意な正の相関がみられ、一方、標高では負の相関がみられた (GLMM, P < 0.05; 図一5)。樹種においては、すべてのモデルに共通して、コナラでフモトミズナラおよびミズナラよりもプラス有の割合が有意に小さくなることが示された (GLMM, P < 0.05; 図一5)。

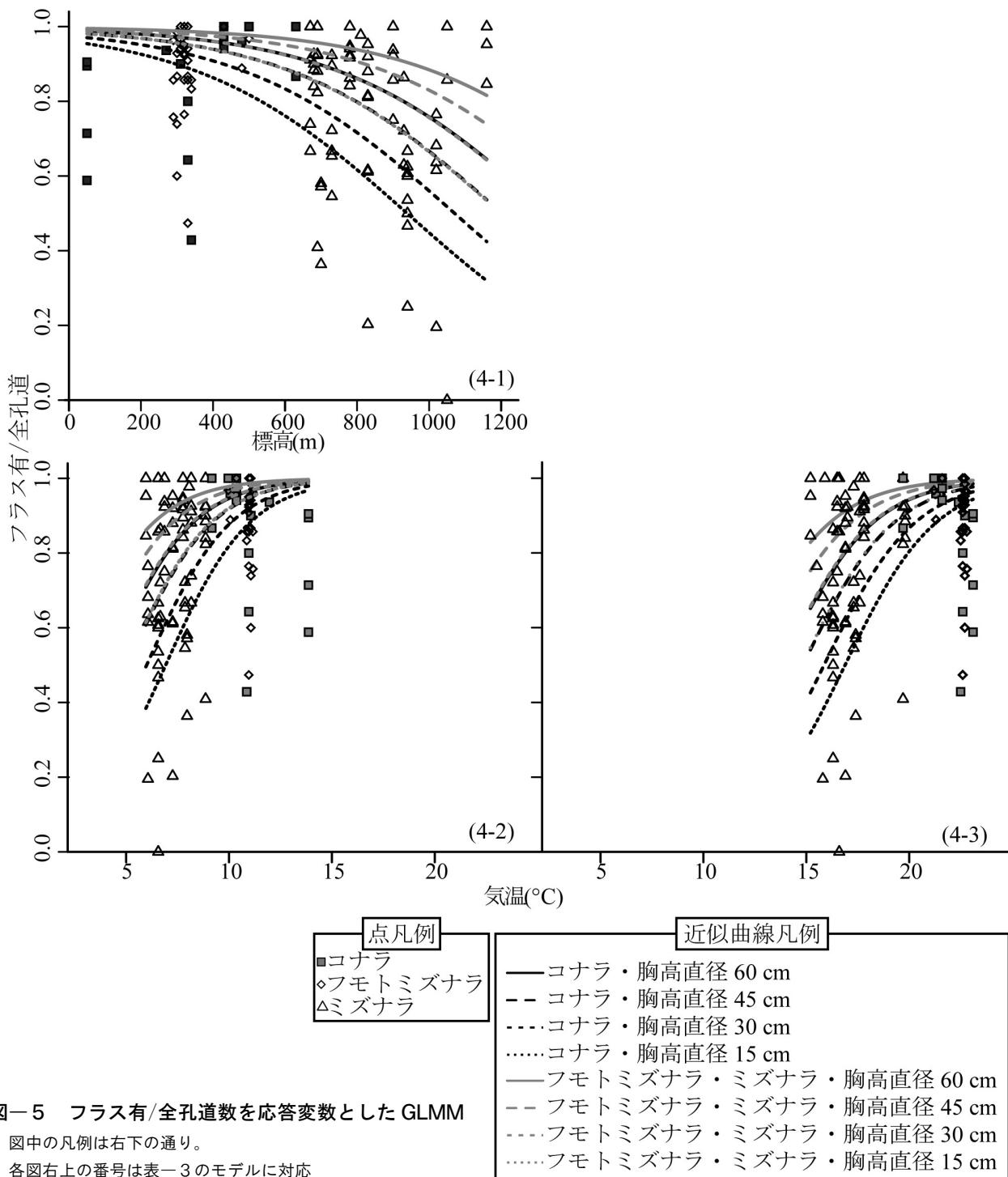
IV 考 察

本研究で得られたモデルを比較した結果から、ナラ枯れによる枯死木に発生した全孔道数は胸高直径の肥大とともに増加することが示された (GLM, P < 0.05; 表一2)。ここで、すべての供試木において1,200cm²あたりの穿入孔数を解析に用いている。したがって、全孔道数の増加は穿入密度の上昇を示しており、胸高直径の肥大に伴って、樹幹に穿入するカシナガの密度が上昇することを示唆している。また、気温に関する説明変数も有意な

正の相関を示したことから (GLM, P < 0.05; 図一2)，暖かい地域ほどカシナガの穿入密度が上昇すると言えるだろう。さらに、樹種間でも全孔道数に違いがみられ、とくに、フモトミズナラとミズナラの間で顕著であった。よって、穿入密度は樹種によっても異なることが示唆され、フモトミズナラで穿入密度が高く、ミズナラで低いことが考えられる。これらの結果はプラス有の穿入孔数の結果とほぼ同様であった (表一2)。したがって、全孔道の傾向はプラスの排出が確認され、初期の繁殖に成功したと思われるカシナガの穿入孔数に強く依存しているものと推察される。

一方で、プラス無の結果はまったく異なるものであり、選択された3つのモデルは共通した説明変数を持たなかつた (表一2; 図一4)。AIC 値が最小であったモデルは緯度を説明変数に用いたものであり、その係数は正の値を示した。次に AIC 値が小さかったものは最高気温を用いたものであり、係数は負であった。また、ミズナラのみを別グループとする樹種を説明変数に用いたものでは、ミズナラが他樹種よりもプラス無の穿入密度が高かった。高緯度地域および気温が低い地域においてプラス無が多くなるものと考えられるが、これらの地域では、供試木の多くがミズナラである。したがって、地域的な特性としてプラス無が多くなるのは、その地域にミズナラが分布していることが原因なのかもしれない。しかし、AIC 値が最小となったモデルが緯度を説明変数とするものであつたことから、岐阜県北部地域の環境的な要因や、岐阜県に侵入してきたカシナガ集団の由来の違いが影響している可能性も考えられる。プラス無の穿入孔数を上昇させる要因を解明するためには、今後、岐阜県北部地域でコナラの、南部地域でミズナラの供試数を増やしていくことが必要であろうと推察される。また、より標高の低い地域においてミズナラの、高い地域においてコナラおよびフモトミズナラの供試数を増やすことも必要と思われる。

初期の繁殖成否はいずれのモデルにおいても同様の結果を示しており、胸高直径が大きい樹木、気温が高い地



域および標高が低い地域ほど繁殖成功率が高く、コナラが他樹種に比べて初期の繁殖成功率が低いことが明らかとなった（表-3；図-5）。初期の繁殖成功率は、オスが樹木に穿入したのち、メスに選択される確率を示している（山崎, 2012）。つまり、フラスの排出がみられない穿入孔はメスに選択されなかった穿入孔の可能性がある。カシナガの最終的な繁殖は大径木ほど有利になること（Hijii et al., 1991），小径木は穿入木として選択されにくいくこと

が示されている（山崎, 2012）。したがって、大径木になるほど初期の繁殖成功率が上昇するのは、繁殖に有利な大径木の方が穿孔されやすく、メスにも選択されやすいためと推察される。

初期の繁殖成功率が、低い気温の地域および高標高地域ほど低くなるのは、孔道内における幼虫の成育と関係している可能性が考えられる。カシナガの孔道から排出されるフラスは、メス成虫によるものと、終齢（5齢）

幼虫によるものの2種類が存在し（小林，2006；Tarno・山崎，2012），1日あたりのメス成虫によるフラスの排出量は、終齢幼虫によるものに比べて少ない（小林，2006）。また、メス成虫は、初回に産下した卵から孵化した幼虫が終齢に達するまで、2回目以降の産卵を行わない（小林，2006）。しかし、カシナガは穿入時期が遅くなるほど幼虫の発育に必要な温量が不足し、終齢幼虫に達することができない（曾根ら，2000）。また、孔道内の幼虫が終齢にまで発育していなくても、気温の低下に伴って孔道の拡張は終了する（曾根ら，2000）。そのため、そのような孔道からは、終齢幼虫に由来するフラスは排出されないだろう。気温が低い地域、あるいは標高の高い地域では、終齢幼虫まで達するのに必要な温量を確保できる期間が、温暖な地域や標高の低い地域に比べて短くなるものと推察される。つまり、穿入時期のわずかな遅れが終齢幼虫の生産を著しく困難にするものと思われる。終齢幼虫の生産に失敗した孔道からは、メス成虫に由来するわずかなフラスしか排出されないと考えられるため、終齢幼虫の生産に成功した孔道に比べて、フラス排出の痕跡を発見することは難しいだろう。このことが、終齢幼虫生産に適した穿入期間が短い地域における、初期の繁殖成功率を低下させている要因の一つなのかもしれない。

樹種間で比較した場合、コナラにおいて初期の繁殖成功率が他の2樹種よりも低くなることが明らかになった。これは、樹種ごとの抵抗力の違いによるものと思われる。この抵抗力には、樹液によるカシナガの排除（小林，2006）などが考えられる。カシナガによるマスアタックを受けた樹木の枯死率は、樹種によって異なり、樹幹の直径には依存しない（Yamasaki and Futai, 2012）。この枯死率はコナラの方がフモトミズナラやミズナラよりも低く（上田・小林，2001；大橋，2011），抵抗力が強い。本研究では、枯死した樹木個体のみを調査の対象としているため、本研究で対象とした供試木に穿入したカシナガは、穿入木の防御機構を突破したものと考えられる。しかし、コナラでは、他樹種に比べて防御機構の突破に必要な穿入密度が高く、穿入しても、高い抵抗力によって排除されたものが多いと思われる。その結果、初期の繁殖成功率が低下したのだろう。

本研究で明らかとなった、カシナガの穿入密度および初期の繁殖成否に影響を及ぼす要因を表一3に示す。これから、①大径木ほど大量かつ確実な繁殖が期待されること、②寒冷地ほど穿入密度が低く、繁殖も難しいこと、③繁殖に最も好適な寄主はフモトミズナラであり続いてミズナラ、コナラであることが示唆された。①は繁殖資源である辺材部の増加と強い関係があるだろう。②は穿入適期、あるいは幼虫の成育可能な期間の短さが影響しているものと推察される。また、穿入密度の低さは、初期繁殖成功度の低さから、新規の枯死被害が被害林分外

からの飛来に依存しているためかもしれない。③は本研究の結果に加えて、フモトミズナラを寄主とした場合に繁殖成功率が高くなること（大橋・岡本，2011），その分布がカシナガの繁殖に適した温暖な地域（岐阜県東濃地方～愛知県にかけての丘陵地～低山地（大橋，2011））に集中していることなどが考えられる。同所的に分布していても比較的抵抗性が高く、枯死率が低いコナラ（上田・小林，2001）や、同程度の枯死率や繁殖成功率を示すものの、より冷涼な地域に分布するミズナラよりも、フモトミズナラの方がカシナガにとって利用しやすい寄主といえるかもしれない。これらのことから、高標高地域は好適な寄主であるミズナラが分布するものの、カシナガの繁殖には不適な地域であるものと推察される。したがって、高標高地域におけるナラ枯れ被害の発生は、高標高地域の森林でカシナガが繁殖を繰り返していることが主要因ではなく、近隣に存在する低標高の森林からカシナガが移入することによって引き起こされているものと考えられる。よって、高標高地域における被害発生の抑制には、その地域の周辺に分布する低標高地域の森林で防除を徹底することが重要となるだろう。

本研究では、カシナガの穿入密度と初期繁殖の成否を決定付ける要因として、以上の3点を示すことができた。しかし、調査地の周間に分布する枯損木の密度やそこから脱出する成虫数あるいは周辺から飛来する成虫数など、カシナガそのものに起因し、穿入密度を変化させると考えられる要因の調査を行わなかった。今後は本研究の視点に加えて、周間に分布するカシナガの密度などを考慮した調査を行い、より精度を高めた決定要因を検出する必要があるものと考えられる。

引用文献

- Broström G, Holmberg H (2011) Package ‘glmmML’ : Generalized linear models with clustering. Version 0.82-1. <http://cran.r-project.org/web/packages/glmmML/index.html>
- Hijii N, Kajimura, H, Urano T, Kinuura H, Itami H (1991) The mass mortality of oak trees induced by *Platypus quercivorus* (MURAYAMA) and *Platypus calamus* BLANDFORD (Coleoptera : Platypodidae) - the density and spatial distribution of attack by the beetles -. J Jpn For Soc 73: 471-476
- 加辺正明 (1959) 日本産キクイムシ類食痕図説. 明文堂
- Kinuura H (2002) Relative dominance of the mold fungus, *Raffaelea* sp., in the mycangium and proventriculus in relation to adult stages

- of the oak platypodid beetle, *Platypus quercivorus* (Coleoptera; Platypodidae). J For Res 7: 7-12
- Kinuura H, Kobayashi, M. (2006) Death of *Quercus crispula* by inoculation with adult *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae). Appl Entomol Zool 41: 123-128
- 小林正秀 (2004) カシノナガキクイムシの穿入に伴うブナ科樹木集団枯死被害の発生機構. 京都府林試研究報7: 1-139
- 小林正秀 (2006) ブナ科樹木萎凋病を媒介するカシノナガキクイムシ. 木の中の虫の不思議な生活 (柴田徹式・富樫一巳編著. 東海大学出版会.) 189-212
- 小林正秀・上田明良 (2005) カシノナガキクイムシとその共生菌が関与するブナ科樹木の萎凋枯死—被害発生要因の解明を目指してー. 日林誌, 87: 435-450
- Kubono T, Ito S (2002) *Raffaelea quercivora* sp. nov. associated with mass mortality of Japaneseoak, and the ambrosia beetle (*Platypus quercivorus*). Mycoscience 43: 255-260
- 松浦崇遠・中島春樹 (2011) 「ナラ枯れ」Q & A. 富山県農林水産センター森林研研究2: 1-16
- 大橋章博 (2008) 岐阜県におけるナラ類枯損被害の分布と拡大. 岐阜県森林研研究報37: 23-28
- 大橋章博 (2011) ナラ枯れ被害を防ぐために. 岐阜県森林研究所
- 大橋章博・岡本卓也 (2011) フモトミズナラにおけるカシノナガキクイムシの穿入孔数と成虫脱出数. 中森研59: 231-232
- R Development Core Team (2012) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria
- 林野庁 (2011) 平成23年度 森林・林業白書. 一般社団法人全国林業改良普及協会
- 齊藤正一・中村人史・後藤 徹 (2003) 山形県におけるカシノナガキクイムシの初発日の予測. 東北森林科学8: 99-101
- 曾根晃一・宇都一輝・福山周作・永野武志 (2000) カシノナガキクイムシの繁殖に与える坑道作成開始時期の影響. 日応動昆誌44: 189-196
- Tarno H・山崎理正 (2012) 親子二世代の連係プレー—木屑が語る坑道の中の社会的な生活. 微生物生態学への招待～森をめぐるミクロな世界～ (二井一穎・竹内祐子・山崎理正編, 京都大学学術出版会.) 279-292
- 上田明良・小林正秀 (2001) 生立木へのカシノナガキクイムシとヨシブエナガキクイムシの飛来消長. 日林誌83: 77-83
- 山崎理正 (2012) 探索は闇雲じゃなく精確に—微小な昆虫による宿主木の探し方. 微生物生態学への招待～森をめぐるミクロな世界～ (二井一穎・竹内祐子・山崎理正編, 京都大学学術出版会.) 265-278
- Yamasaki M, Futai K (2012) Discrimination among host tree species by the ambrosia beetle *Platypus quercivorus*. J For Res 17: 149-155

資料

イノシシによる獣害を受けたクヌギ植栽木の初期成長

岡本卓也・渡邊仁志・田中伸治

キーワード：クヌギ，イノシシ，初期成長，獣害

I はじめに

クヌギ (*Quercus acutissima*) は、岩手県・山形県以南の本州・四国・九州に分布する落葉高木であり、古くから薪炭用材、シイタケ (*Lentinula edodes*) の原木用材として利用されてきた（北村ら, 1979）。クヌギは成長が早く、切り株からの萌芽再生能力が比較的高い（橋詰, 1989）ため、持続的に利用が可能な樹木の一つと考えられる。

クヌギは胸高直径12cm程度で伐採するのが原木として利用する場合に都合がよく、実生から造成すると地位上で12~20年、地位中で15年以上の時間を要する（橋詰, 1985）。原木採取に適している林齡を3~4齡級とすれば、岐阜県におけるクヌギの蓄積約2000m³のうち利用可能量は12m³である（林野庁, 2012）。岐阜県内では、平成23年に34万4000本の原木栽培が行われており（岐阜県, 2013），クヌギの本格的な利用が行われた場合、資源の枯渇が懸念される。そこで、資源確保の観点から植栽によるクヌギの人工造林について検討を重ねる必要がある。

植栽後の管理や諸被害（雪害ならびに獣害など）が、樹木の成長に与える影響を明らかにすることは、育林技術の確立に必要不可欠である。これまでに行われたクヌギの植栽試験の報告（橋詰, 1987；橋詰ら, 1993；田村, 1989）では、肥培効果や雪害の発生状況が報告されている。しかし、成長初期に獣害を受けたクヌギのその後の成長に関する報告はない。また、岐阜県ではほぼ全域的にイノシシ (*Sus scrofa*) の生息に適した状況にあると考えられること、中山間地域における人とイノシシの生息環境がますます重なっていく状況となっている（岐阜県, 2010）ことから、今後の被害拡大が懸念されるため、被害後のクヌギの成長について情報を収集する必要がある。

そこで本研究では、植栽後にイノシシによる獣害（植栽木周辺の掘り起こしおよび植栽木の引き抜き）が発生したクヌギ原木林を対象に、植栽後4年間（5成長期）の成長について調査を行ったので報告する。

II 試験方法

1. 調査地

調査対象地は、岐阜県美濃加茂市三和町地内（標高約250m）に設定した。美濃加茂地域気象観測所（調査対象林分から南西約9km, 標高74m）の観測によると、平年値（1981年から2010年）の年降水量は1739.6mm, 平均気温は14.6°Cである（気象庁, 2013）。

調査対象地の前生林分はコナラ (*Quercus serrata*) であったが、カシノナガキクイムシ (*Platypus quercivorus*) が伝播するブナ科樹木萎凋病により枯死したため皆伐を行い、2009年3月にクヌギを4000本/haの密度で植栽した。植栽から2013年の調査終了まで、下刈りなどの保育は行なわれなかった。

2011年1月～2月にかけて、イノシシによる植栽木周辺の掘り起こしや引き抜きが発生し、一部の植栽木の根が露出した。2011年2月7日に、根が露出した植栽木を植栽されていたと推定される場所に再度植栽した。その後、対策として調査対象地を高さ1.0mの侵入防止網で取り囲んだ。

2. 植栽木の成長および獣害発生状況の評価

2009年4月16日に調査対象地内に調査区A（南西向き、尾根地形）、調査区B（北西向き、平衡斜面）、調査区C（南西向き、谷地形）の3調査区を設定した（図-1, 表-1）。

調査は2009年4月16日（植栽直後）、2011年2月7日（獣害発生直後）、2012年4月5日、2013年11月20日に実施した。調査項目は、2009年と2011年は植栽木の樹高（地際から主幹の先端までの直線距離）を、2012年と2013年はそれに加え、樹高1.2mを超えた個体の胸高直径を測定した（表-2）。測定と同時に植栽木の生残状況、獣害発生の有無を目視により確認した。

植栽木は確認された状況により、獣害木、枯死木（植栽木が植栽箇所に見当たらないものも含む）、健全木（獣害木、枯死木と判断されなかつた植栽木）の3区分に分類した。このうち、獣害木は植栽木の根系の露出程度により、掘り起こし（植栽木周辺の地面が掘り起こされ根

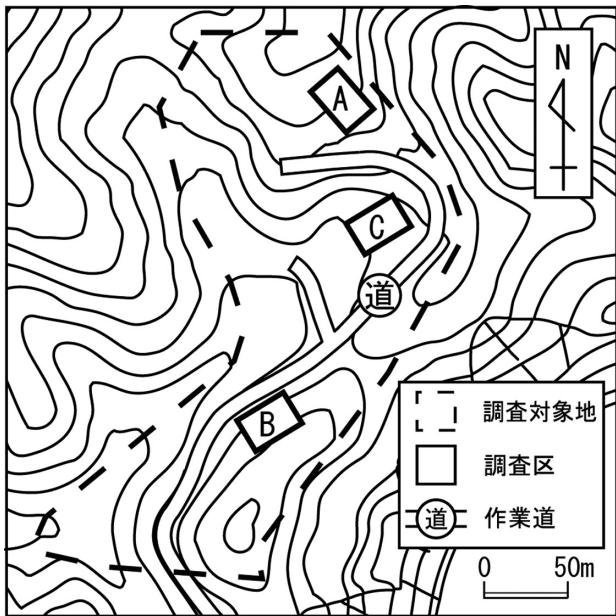


図-1 調査位置図

表-1 調査区概要

調査区	植栽本数 (本)	面積 (m ²)	標高 (m)	傾斜角 (°)	斜面 方位	地形
A	68	226	260	14	南西	尾根
B	68	175	237	29	北西	平衡
C	50	144	247	11	南西	谷

系の一部が露出したもの）と引き抜き（植栽木周辺の地面が掘り起こされ根系の全部が露出したものまたは、植栽木が引き抜かれ根系が全部露出したもの）の2区分に分類した。なお本報告では、一度でも獣害を受けた植栽木は翌年以降に獣害を受けなくても獣害木として、獣害を受けた後に枯死した植栽木は枯死木として扱った。

III 結果と考察

1. 植栽木の生残および獣害発生状況

それぞれの調査区における、植栽木の生残および獣害発生状況の推移を図-2に示す。

2011年における獣害の発生率は、調査区C, A, Bの順に高かった。調査区間の獣害発生率には有意差が認められ (χ^2 検定, $p < 0.01$)、獣害発生率は調査区AおよびCで高く調査区Bで低かった（表-3）ことから、調査区ごとにイノシシの利用状況が異なった可能性が考えられた。いずれの調査区でも2011年の健全木はそれ以降に獣害を受けることはなく、獣害の発生は1度のみであった。枯死木はいずれの調査区でも徐々に増加する傾向にあり、獣害の影響のほか、活着不良やクヌギが陽樹である（橋詰, 1983）ことから下刈りの省略による雑草木との競争により枯死した可能性が考えられた。

獣害木のうち、掘り起こしを受けたものはほとんど枯死しなかったが、引き抜きを受けたものはその多くが枯死した（図-3）。掘り起こしと引き抜きの枯死率には有意差が認められ（Fisherの正確確率検定, $p < 0.01$ ），根系の露出程度がその後の枯死に影響を与えていたと考えられた。

2. 植栽木の成長

植栽時における植栽木の樹高には、調査区間で有意な差は認められなかった（Kruskal-Wallis検定, $p > 0.05$ ）。樹高には健全木、獣害木とともにいずれの調査区においても成長がみられた（図-4）。調査区間で5成長期の樹高成長量（最終調査時の樹高から植栽時の樹高を引いたもの）を比較したところ（図-5），調査区AおよびCの成長量は調査区Bに比べ大きく、有意差が認められた（Steel-Dwass 検定, $p < 0.01$ ）。調査区ごとに獣害の有無で樹高成長量を比較したところ（図-6），調査区Cでは有意差は認められなかった（Mann Whitney U test, $p > 0.05$ ）が、調査区Bでは有意差が認められた（Mann Whitney U test, $p < 0.01$ ）。

胸高直径には健全木、獣害木ともにいずれの調査区に

表-2 調査対象本数と胸高直径測定本数

調査区	状況	2012年			2013年		
		対象本数 (本)	測定本数 (本)	測定割合 (%)	対象本数 (本)	測定本数 (本)	測定割合 (%)
A	健全木	2	2	100.0	2	2	100.0
	獣害木	33	28	84.8	32	31	96.9
B	健全木	48	25	52.1	47	45	95.7
	獣害木	11	3	27.3	10	9	90.0
C	健全木	9	3	33.3	9	9	100.0
	獣害木	34	22	64.7	32	30	93.8

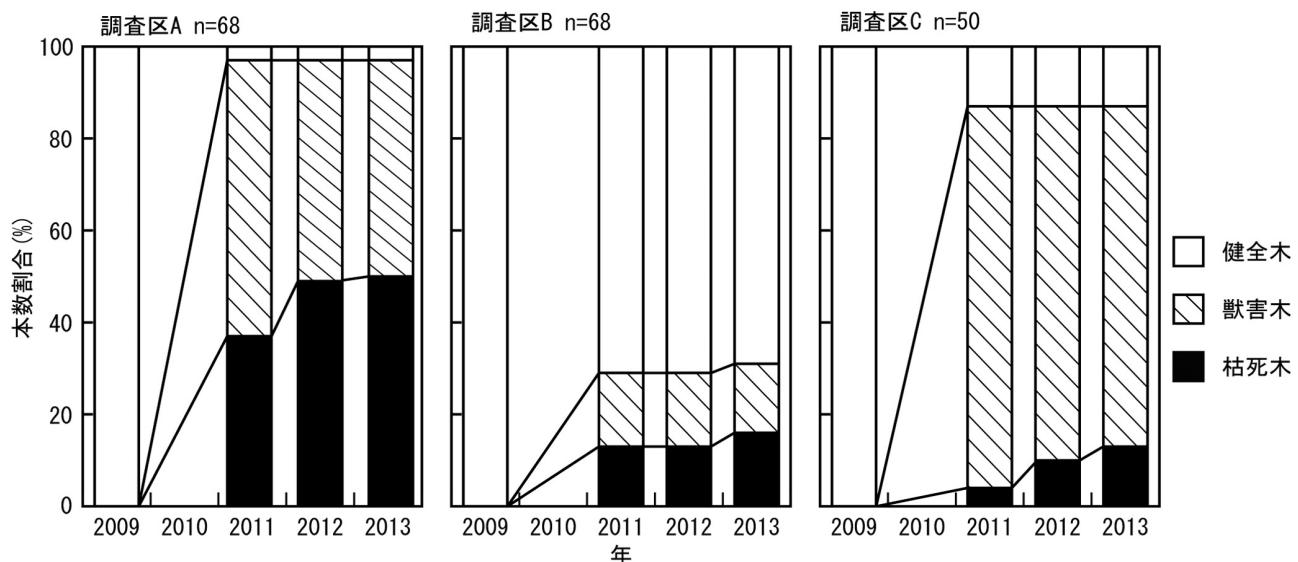


図-2 植栽木の生残状況

表-3 調査区と獣害発生の関係

χ^2 値	自由度	検定結果	調整済み残差	
			獣害あり	獣害なし
73.19	2	$p < 0.01$	調査区 A 5.56	-5.56
			調査区 B -8.44	8.44
			調査区 C 3.46	-3.46

おいても成長がみられた（図-7）。調査区間で5成長期の胸高直径成長量（最終調査時の胸高直径から植栽時の胸高直径を引いたもの）を比較したところ（図-8），調査区 A および C の胸高直径成長量は調査区 B に比べ大きく，有意差が認められた（Steel-Dwass 検定， $p < 0.01$ ）。調査区ごとに獣害の有無で胸高直径成長量を比較したところ（図-9），調査区 B, C ともに有意な差は認められなかつた（Mann Whitney U test， $p > 0.05$ ）。

今回の樹高成長を他地域におけるクヌギ植栽試験の結果（表-4）と比較すると，調査区 A, C の健全木および獣害木の平均成長量は，施肥を行った場合の報告よりも大きかつた。一方，調査区 B の健全木の平均伸長量は，施肥を行っていない場合と同程度であった。調査区 C では健全木と獣害木の樹高成長に差は見られず，調査区 B では健全木と獣害木の樹高成長に差がみられたことから，樹高成長が年間50cmを超える成長条件では，獣害を受けた影響から回復できると考えられた。

胸高直径成長については一部の個体で測定できたにとどまっているが，調査区 B においても，C においても直径成長量に差は見られなかつたことから，獣害が直径成長に与える影響は樹高に比べ小さく，樹高の成長が年間25cm程度の成長条件でも獣害を受けた影響から回復できる可能性が示唆された。

獣害は発生してから対策するのではなく，発生しないように予防策を行うのが大切である。しかし，万一発生してしまった場合でも，引き抜きを受け根が完全に露出した場合を除き，本調査地のようにすみやかに生残個体を再植栽し，その後に獣害を受けなければ直径成長の回復は期待できるようである。また，樹高成長が年間50cmを超える成長条件では，樹高成長，直径成長とともに回復が期待できる可能性が示唆された。今後も継続して調査を行い収穫までの年数の差異などについて明らかにしていく必要がある。

謝 辞

本研究を実施するにあたり，岐阜県加茂郡川辺町の横田俊光氏には調査地を提供していただいた。調査区の設定および現地調査にあたっては，岐阜県森林研究所の横井秀一部长（当時），大洞智宏専門研究員ならびに岐阜県可茂農林事務所の職員の皆様にお力添えをいただいた。ここに記して各位に厚くお礼申し上げる。

引用文献

- 岐阜県（2010）特定鳥獣保護管理計画（イノシシ）（第1期）．岐阜県
- 岐阜県（2013）平成23年度岐阜県森林・林業統計書．岐阜県．
- 気象庁（2013）気象統計情報，過去の気象データ検索（オンライン）<http://www.jma.go.jp/>（参照：2013年12月24日）
- 北村四郎・村田源（1979）原色日本植物図鑑 木本編（II）．保育社．
- 橋詰隼人（1983）クヌギ苗の生育と陽光量との関係．広

- 葉樹研究2：1-12
 橋詰隼人（1985）シイタケ原木林の造成法（5），人工造林法（その2），菌蕈31（3），28-35
 橋詰隼人（1987）広葉樹幼齢林の雪害について，広葉樹研究4：61-74
 橋詰隼人（1989）クヌギ・コナラ林の施業，現代林業566：24-27。
 橋詰隼人・韓海栄（1993）クヌギ大苗の人工造林に関する研究，広葉樹研究7：1-22
 林野庁（2012）森林資源の現況（平成24年3月31日現在）（オンライン），<http://www.rinya.maff.go.jp/>（参照：2014年1月15日）
 田村輝夫（1989）シイタケ原木林の造林技術に関する研究，クヌギ幼齢林の肥培効果について，鳥取県林驗研報32：1-11

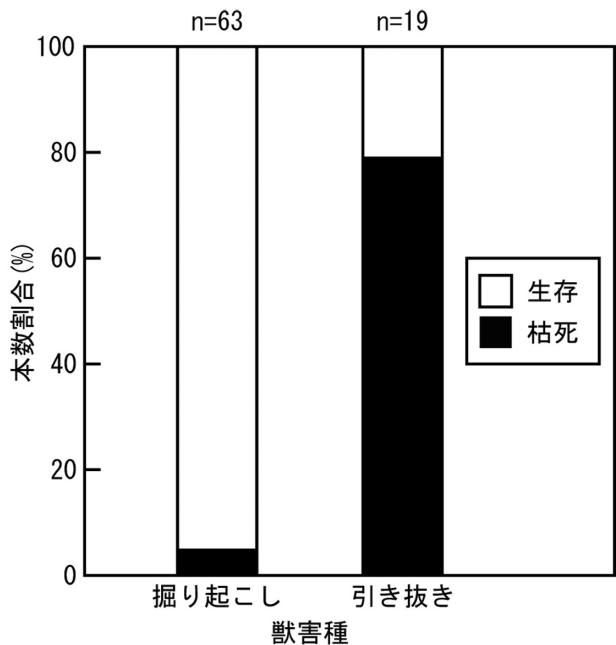


図-3 獣害種別の植栽木の生残状況

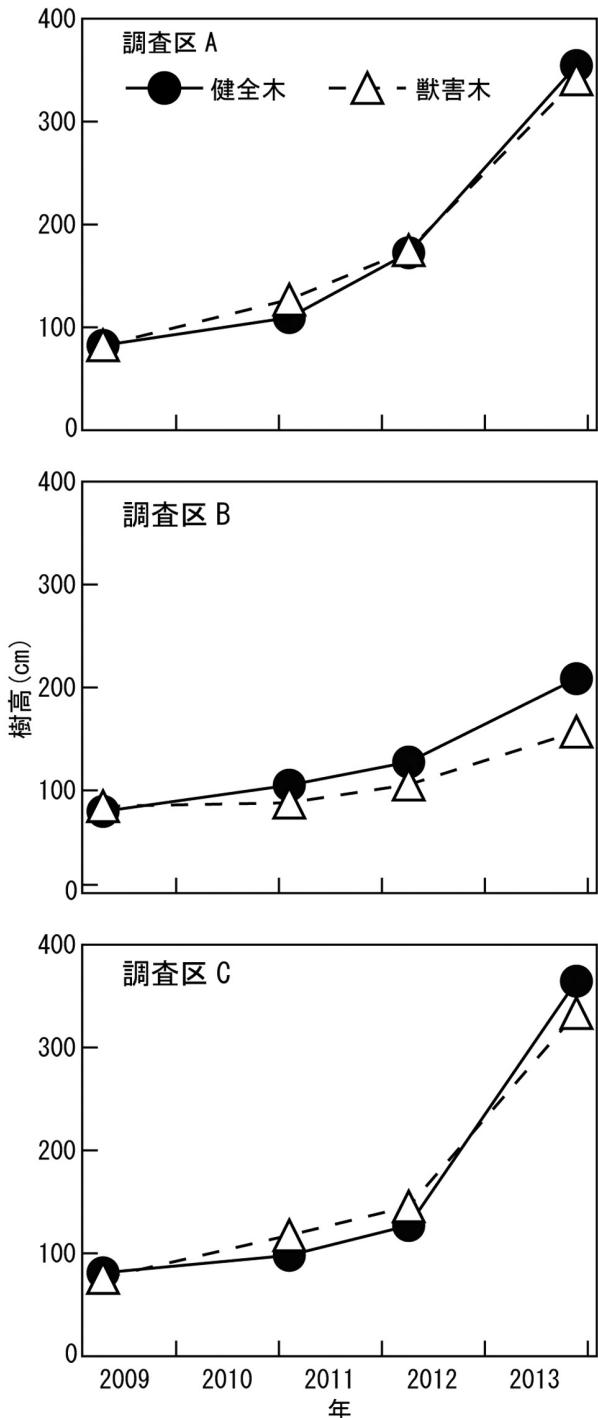
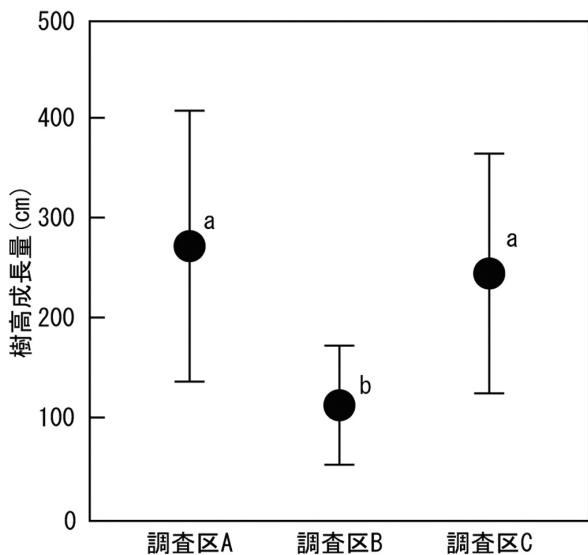


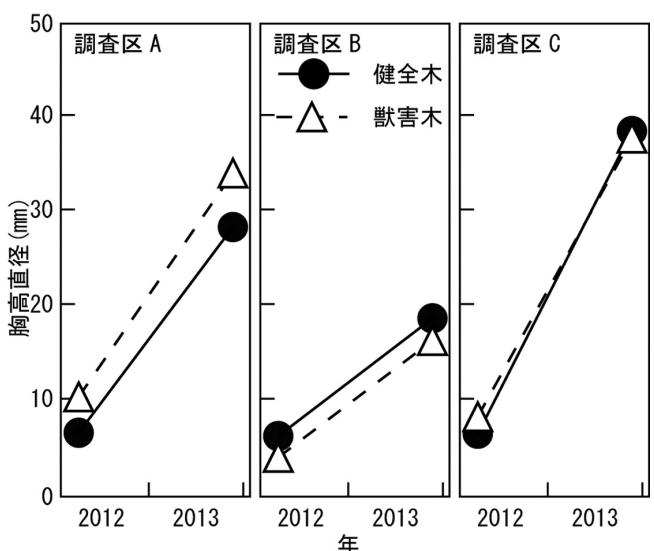
図-4 獣害の有無別の植栽木の樹高成長（2009-2013年）

2009年における健全木および獣害木の集計対象は、2011年における健全木および獣害木と同一の植栽木とした。



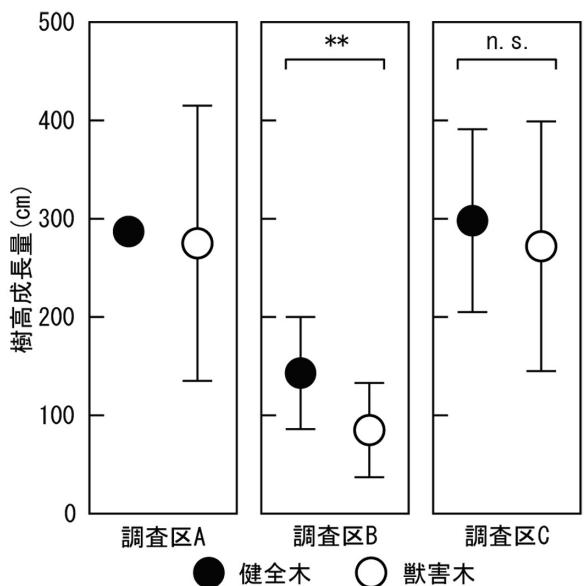
図－5 調査区別の樹高成長量（2009–2013年）

図中の異なる英字間で有意差があったことを示す（Steel-Dwass法, $p < 0.01$ ）。
図中のエラーバーは標準偏差を表す。



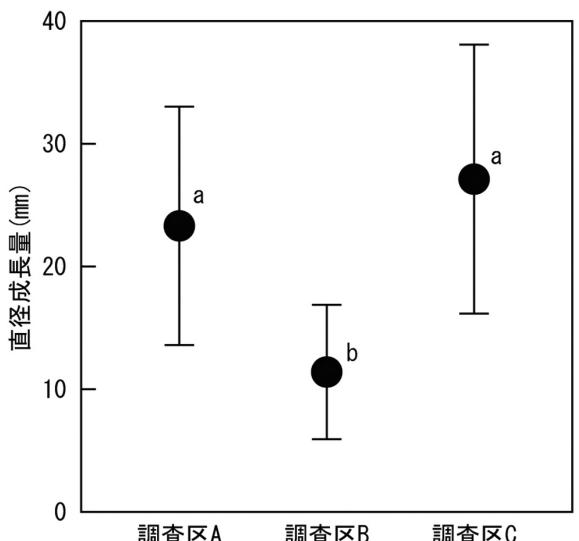
図－7 獣害状況別の植栽木の胸高直径成長

2013年の集計対象は、2012年に計測した植栽木と同一とした。



図－6 獣害の有無別の樹高成長量（2009–2013年）

図中の**は有意な差を示す（Mann Whitney U-test, $p < 0.01$ ）。
図中のn.s.は有意差がなかったことを示す（Mann Whitney U-test, $p > 0.05$ ）。
調査区 A は、標本数が少ないので検定を行わなかった。
図中のエラーバーは標準偏差を表す。



図－8 調査区別の胸高直径成長量（2012–2013年）

図中の異なる英字間で有意差があったことを示す（Steel-Dwass法, $p < 0.01$ ）。
図中のエラーバーは標準偏差を表す。

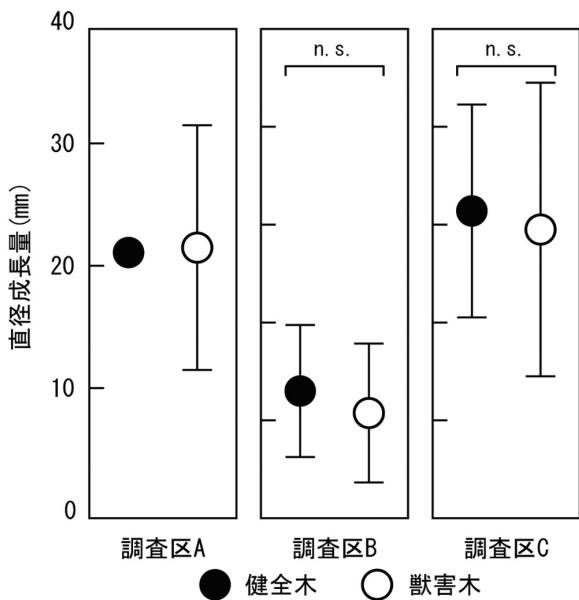


図-9 調査区別被害状況別の胸高直徑成長量（2012-2013年）

図中の n.s. は有意差がなかったことを示す (Mann Whitney U-test, $p > 0.05$)。

調査区 A においては、標本数が少ないとため検定を行わなかった。

図中のエラーバーは標準偏差を表す。

表-4 樹高成長の比較

試験地		樹高 (cm)		成長期数	平均成長量 (cm/成長期)	備考
		植栽時	最終測定期			
岐阜県	調査区A	健全木	82.5	354.5	5	54.4
		被害木	82.3	341.3	5	51.8
	調査区B	健全木	79.6	208.3	5	25.7
		被害木	84.3	156.9	5	14.5
岡山県 ^{※1}	調査区C	健全木	81.1	364.7	5	56.7
		被害木	75.9	333.7	5	51.6
岡山県 ^{※1}	1年生苗	施肥	91.0	246.0	4	38.8
	2年生苗	施肥	112.0	277.0	4	41.3
鳥取県 ^{※2}			82.0	264.5	5	36.5
			78.0	209.0	5	26.2
		施肥	82.7	326.8	5	48.8
		施肥	78.5	256.8	5	35.7

※1 橋詰ら (1993) を一部改変

※2 田村ら (1989) を一部改変

資料

間伐手法の違いがスギ過密人工林の収穫に与える影響

白田寿生・古川邦明

キーワード：スギ，過密人工林，間伐手法，かかり木，残存木損傷，収支シミュレーション

I はじめに

岐阜県内民有林面積の45%を占める針葉樹人工林では、その多くが標準伐期齢に達している（岐阜県林政部, 2013）。これらの人工林の中には、木材価格の低迷による林業への関心の低下などから、従来の間伐体系に沿った間伐が行われず過密化した林分があり、これらを間伐により解消することが喫緊の課題となっている。しかし、過密化した人工林に適した間伐の方法はまだ確立されておらず、実用的な間伐技術体系の構築が求められている。

立木密度が間伐作業に与える影響について、酒井ら（1988）は、チェーンソーによるスギおよびヒノキの間伐時において、かかり木となる立木の干渉範囲について調査し、隣接木との距離が胸高直径の約4～9倍になると、かかり木発生の危険性が高くなることを報告している。これは立木密度が高くなると、かかり木の発生により間伐作業の効率が低下することを示唆している。しかし、過密林の間伐時におけるかかり木発生率などの作業効率に関する報告は少なく、これらの実態を明らかにする必要がある。

渡邊（2005）は過密人工林における間伐手法に関して、3残1伐の列状間伐は、機械作業に支障をきたさず、林分構造が壊れにくいと報告している。さらに、列状間伐は点状間伐と比較して生産性が高くなる（澤田, 2012）との報告もある。このような観点から、県内の過密人工林においても利用間伐の生産性を高くすることを目的とした列状間伐の事例が数多く見られる。

一方で、鹿又（2012）は、列状間伐は点状間伐である下層間伐と比較して、径級の太い材を伐採することにより、間伐時の生産性の向上や収入の増加につなげていることから、将来の皆伐の際には下層間伐を実施した林分よりも収入が低くなると指摘している。このことから、過密人工林において列状間伐を行う場合の将来の収穫への影響についても明らかにしておく必要がある。

また、間伐手法と伐倒や集材にともなう残存木の損傷率の関係について、岡ら（2005）、平林ら（2008）は、点状間伐は列状間伐と比較して、伐区内における残存木の損傷率が高かったと報告している。残存木の損傷は、材

の価値を低下させ、将来の収益に影響をあたえるため、最小限に抑える必要がある。しかし、過密人工林を対象とした間伐手法と残存木の損傷率の関係についての報告はまだ少なく、様々な条件において検討が必要である。

そこで本研究では、間伐手法の違いが過密人工林の収穫量と収穫にともなう収支に与える影響を明らかにするため、県内のスギ過密人工林において、間伐手法が異なる試験区を設置し、間伐手法の違いによる林分構造の変化と作業効率および残存木の損傷の発生状況を調査した。さらに、その試験区の1つをモデルとして、間伐手法の違いによる収穫量および収支のシミュレーションを行った。なお、本研究では、異なる間伐手法として、列状間伐と点状間伐を対象とし、このうち点状間伐については、下層間伐に絞って検討した。このため、以降は異なる間伐手法として「列状間伐」と「下層間伐」の名称を用いることとした。

II 方 法

1. 間伐手法の違いによる林分構造の変化と作業効率および残存木への損傷の調査

郡上市明宝小川浅谷山地内のスギ人工林（50年生）において、下層間伐区と列状間伐区をそれぞれ1箇所設置した（図-1）。試験区の設置は2010年10月に行い、間伐前の立木の胸高直径、樹高を測定した（表-1）。両試験区の胸高直径には有意な差は見られなかった（Mann-WhitneyのU検定, $p > 0.05$ ）。また、各試験区の相対幹距比はともに9%であり、過密な林分であった。

間伐作業は2011年2月に実施され、伐倒はチェーンソー、木寄せはグラップルにより行われた。伐倒時には伐倒方向およびかかり木の発生状況を記録した。列状間伐区の伐倒は3残1伐とした。また、両試験区の伐倒木の選木および伐倒方向は伐倒者の判断によるものとした。間伐後には、伐倒および木寄せ作業により発生した残存木の傷を調査した。なお、傷の対象は、幹または根元の樹皮が剥がれているものとした。

表-1 間伐試験区の概要

試験区	面積 (ha)	傾斜角 (度)	立木密度 (本/ha)	平均胸高 直径(cm)	平均樹高 (m)	相対幹距比 (%)
下層間伐区	0.08	10	1,738	25.3	25.8	9
列状間伐区	0.06	9	1,700	26.2	26.3	9

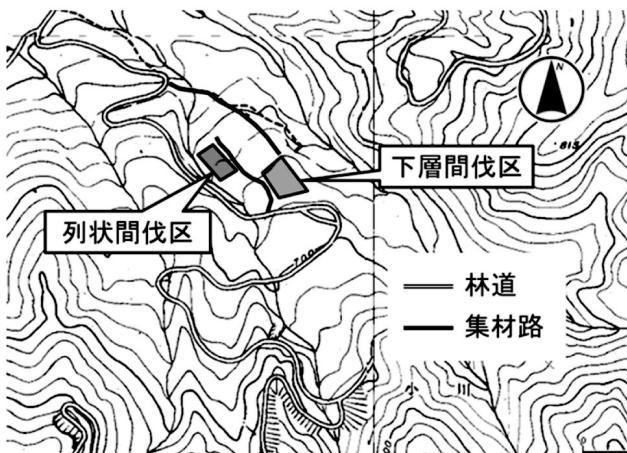


図-1 間伐試験区の見取図

2. 間伐手法の違いによる収穫量と収支のシミュレーション

間伐手法の違いが過密人工林の収穫に与える影響を明らかにするため、スギ過密人工林（以下、過密林）をモデルとして、下層間伐と列状間伐の収穫量と収支のシミュレーションを行った。シミュレーションの条件設定は以下のとおりである。

過密林モデルの初期データには、前述の間伐調査を行った列状間伐区（表-1）のデータを用いた。林分成長量は、「シルブの森・岐阜県スギ版（一般地域）（岐阜県森林科学研究所, 2006）」により算出し、収支は、鹿又（2012）が開発した「伐出見積もりシステム」により算出した。なお、このシステムにより算出される収入は、搬出した材の売り上げ額であり、支出は、材の販売までに要する人件費、機械経費、市場経費および諸経費などの合計額である。

シミュレーションの起点は、林分調査を行った林齡50年とし、間伐の周期と回数は、10年間隔で3回とした。また、シミュレーションの起点から30年経過後（林齡80年）には皆伐することとし、これをシミュレーションの終点とした。

シミュレーションのプランは、すべての間伐を下層間伐で行うプラン（以下、下層間伐プラン）と、すべての間伐を列状間伐で行うプラン（以下、列状間伐プラン）の2種類とし、間伐率はいずれも本数率で33%とした。

林分面積は、国庫補助事業の対象面積を参考に5 haとした。路網の整備状況は、伐倒により道路上からグラップルが直接材をつかむことができる程度（路網密度で200m/ha程度）にあらかじめ開設されていることとし、これらの路網開設費用はシミュレーションの支出額に含めないこととした。作業機械は、間伐調査をした現場を参考に、伐倒および造材にチェーンソー、道路までの木寄せおよび運搬車への積み込みにグラップル、土場までの搬出にフォワーダを用いることとした。なお、フォワーダの積載量は4 tクラス、土場までの平均運搬距離は500mとした。また、1日あたりの作業時間は6時間とし、労務単価は15,000円/人日、土場から市場までのトラック運材（運搬距離約40km）にかかる費用は3,000円/m³とした。

搬出した材の売り上げを算出するための木材単価は、岐阜県森林組合連合会の岐阜支所林産物共販所における2013年12月3日の木材市況（岐阜県山林協会, 2013）を参考に表-2のとおり設定した。なお、計算を単純化するために、直材率はすべて100%とした。また、シミュレーションの収入額には、補助金などの助成金を加算しないこととした。

表-2 シミュレーションに用いた木材（スギ）の単価

長さ (m)	径 (cm)	単価 (円/m ³)
3	16～18	12,300
	16～18	11,000
	20～22	12,000
4	24～28	13,000
	30以上	14,000
	16～18	16,000

※単価は並材二番玉の平均価格

表-3 各試験区における間伐率と平均胸高直径

試験区	本数 間伐率 (%)	材積 間伐率 (%)	伐倒前 平均胸高 直径(cm)	伐倒木 平均胸高 直径(cm)	残存木 平均胸高 直径(cm)
下層間伐区	47.5	38.8	25.3	23.3	27.2
列状間伐区	33.3	31.7	26.2	25.8	26.3

表-4 各試験区におけるかかり木発生率の比較

試験区	伐倒木数 (本)	かかり木 発生木数 (本)	かかり木 発生率 (%)
下層間伐区	67	10	15
列状間伐区	34	0	0

III 結 果

1. 間伐手法の違いによる林分構造の変化と作業効率および残存木への損傷の調査

両試験区における間伐率、伐倒木の平均胸高直径および残存木の平均胸高直径を表-3に示す。伐倒木の胸高直径には有意差が見られ (Mann-Whitney の U 検定, $p < 0.05$)、列状間伐区の方が大きかった。残存木の胸高直径には有意差は見られなかった (Mann-Whitney の U 検定, $p > 0.05$)。

両試験区の伐倒時のかかり木発生率を表-4に示す。かかり木は、下層間伐区では15%発生したが、列状間伐区では発生しなかった。両試験区のかかり木発生率には有意な差がみられた (Fisher の正確確率検定, $p < 0.05$)。

各試験区における間伐時の伐倒および木寄せ作業にともなう残存木の傷発生率を表-5に示す。残存木の傷発生率は、下層間伐区では11%であったのに対して、列状間伐区では1%にとどまり、両試験区間に有意な差がみられた (Fisher の正確確率検定, $p < 0.05$)。

2. 間伐手法の違いによる収穫量と収支のシミュレーション

初回間伐時および皆伐時の伐採木と残存木の胸高直径階分布を図-2に示す。初回間伐時において、下層間伐プランは、伐採木のほとんどが間伐前の平均胸高直径である26.2cm (表-1) を下回っていた (図-2a) ため、間伐後の平均胸高直径は29.4cmと間伐前より大きくなつた。一方、列状間伐プランは、伐採木の胸高直径が細いものから太いものまで幅広く分布した (図-2b) ため、平均胸高直径は間伐前と変わらなかつた。

表-5 各試験区における残存木への傷発生率の比較

試験区	残存 木数 (本)	傷発生 木数 (本)	残存木の 傷発生率 (%)
下層間伐区	73	8	11
列状間伐区	68	1	1

皆伐時の下層間伐プランの胸高直径の分布 (図-2c) は、平均値の43.7cm付近を中心とした一山型となつた。一方、列状間伐プランの胸高直径の分布 (図-2d) は、平均値の37.7cm付近を中心に20cmから54cmまでの間に大きくばらついた分布となつた。また、皆伐時の立木1haあたりの蓄積量は、下層間伐プランが1,107m³/ha、列状間伐プランでは831m³/haとなり、下層間伐プランの方が約3割多かつた。

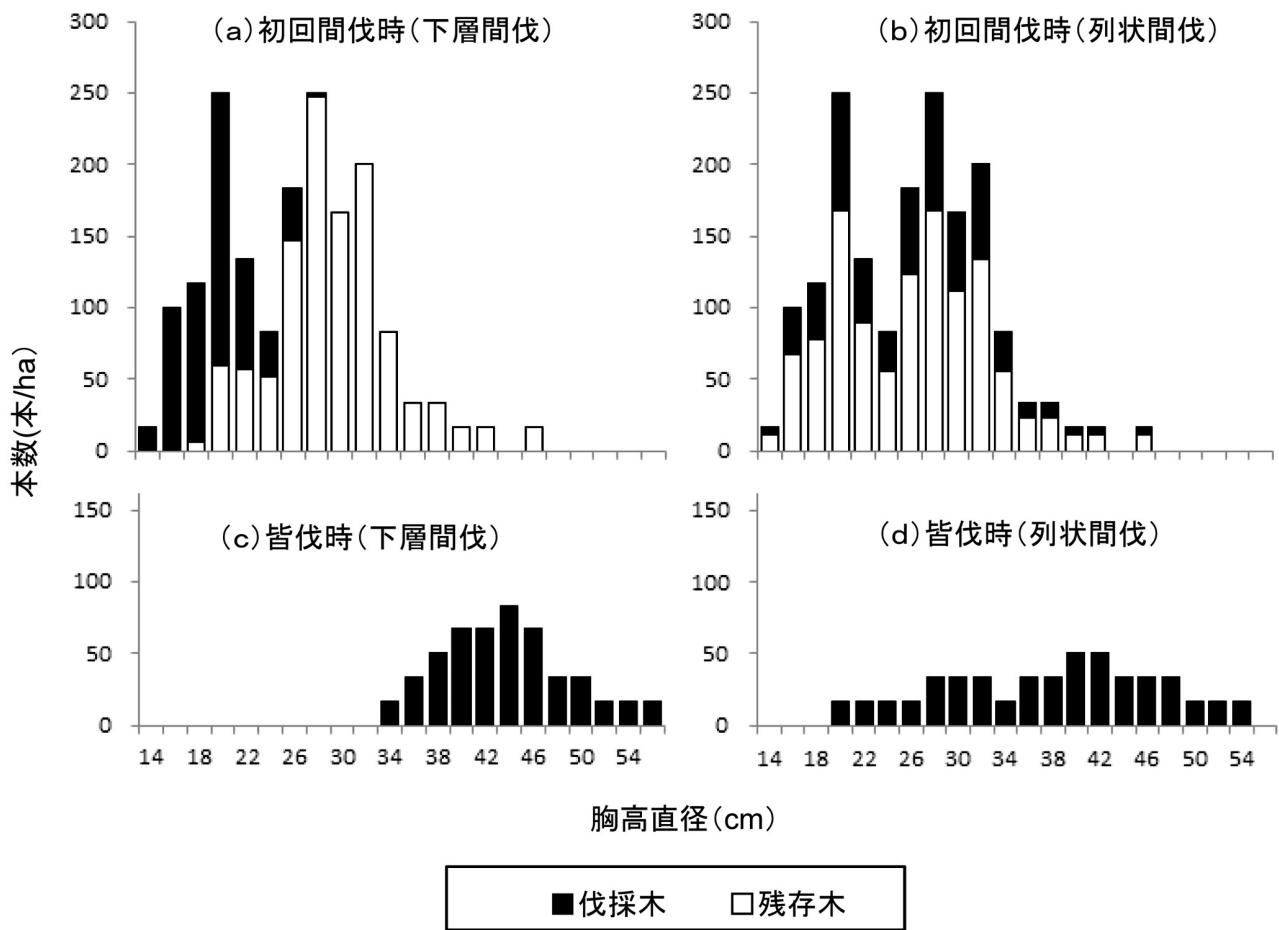
収支シミュレーションの結果を図-3に示す。各プランの当期の収益を比較すると、初回から2回目 (10年後) の間伐時までは、列状間伐プランが下層間伐プランよりも多かつたが、3回目の間伐時 (20年後) および皆伐時 (30年後) においては、下層間伐プランが列状間伐プランよりも多かつた (図-3)。

各プランの通算収益を比較すると、3回目の間伐までは列状間伐プランが下層間伐よりも多かつたが、皆伐時には逆転し、最終的には下層間伐が列状間伐プランよりも約1.2倍多かつた (図-3)。

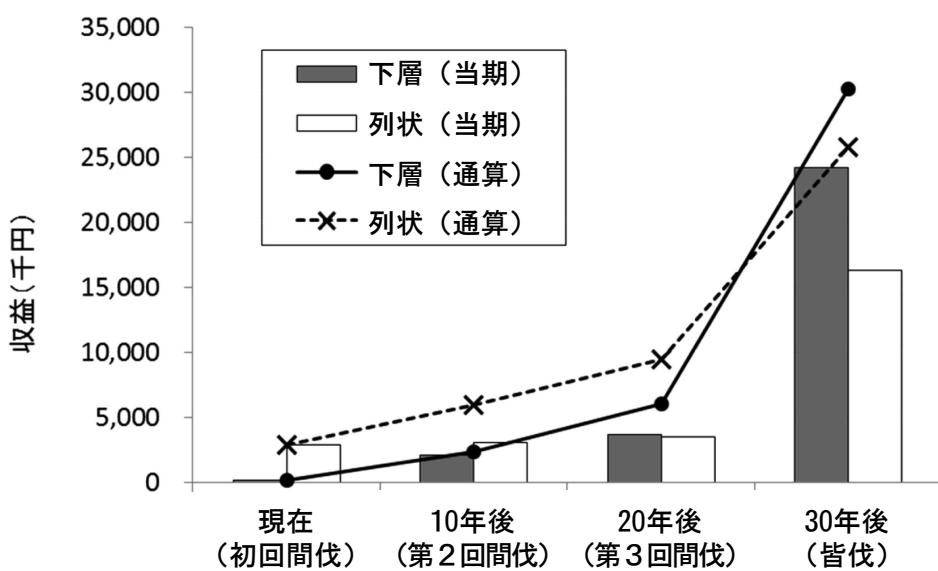
IV 考 察

間伐手法の違いによる伐倒木の胸高直径の違いを調査した結果、列状間伐区では下層間伐区と比較して、伐倒木の胸高直径が大きかつた (表-3)。これには、それぞれの間伐手法の選木特性が影響していると推察された。

伐倒作業の調査結果について、伐倒方向は、下層間伐区では斜面上方向または下方向、列状間伐区では斜面横方向であった。これは、林地が緩傾斜で、どの方向にも伐倒が行いやすいうことから、どちらの試験区も伐倒後の木寄せ作業を考慮して、最も近い車道方向へ伐倒したためと推察された。かかり木の発生率は、列状間伐区では



図－2 初回間伐時および皆伐時における胸高直径階分布
胸高直径は2cm括約で測定したデータを使用



図－3 収支シミュレーションの結果

下層間伐区よりも低かった（表-4）。これは、既往の報告（澤田、2012）と同様の傾向であった。

間伐手法の違いによる残存木の損傷について調査した結果、下層間伐区では列状間伐区と比較して残存木の傷発生率が高かった（表-5）。これは、既往の報告（岡ら、2005、平林ら、2008）と同様の傾向であった。このことから、過密林は特に立木間が狭く、損傷を与えやすくなると考えられるため、下層間伐などの点状間伐を行う場合には、何らかの損傷防止対策が必要であるといえる。

下層間伐と列状間伐の違いによる収穫量と収支のシミュレーションの結果について、間伐および皆伐時における当期の収益は、シミュレーション初期の間伐時において、列状間伐プランが有利となった。これは、列状間伐が下層間伐よりも生産性が高いことに加え、列状間伐では機械的な選木であることから、優勢木を含めた収穫となるため、材の売り上げが下層間伐プランよりも大きかったことが寄与しているためである。しかし、間伐後に残る林分蓄積では下層間伐が有利となることから、シミュレーション後期の間伐および皆伐時における当期の収益は、下層間伐プランが有利となった。皆伐時の胸高直径階分布（図-2c、図-2d）から、下層間伐プランでは、今回の設定条件で材価が有利な直径30cm以上の丸太が採材できる立木が多かったのに対して、列状間伐プランでは少なく、これが材の売り上げに影響したと推察された。

シミュレーションの起点から終点までの通算収益は、皆伐時の材の売り上げの差が大きく影響し、下層間伐プランが列状間伐プランよりも有利な結果となった。

以上の結果から、スギ過密人工林における列状間伐は、下層間伐と比較して伐倒および材の搬出がしやすく、優勢木も含めて収穫することから、間伐初期における当期の収益では有利となるが、通算収益で考えると下層間伐よりも不利になる場合があることがわかった。このため、スギ過密人工林において間伐手法を検討する際には、主伐時までの林分の変化や通算収支を加味した検討を行うことが重要である。

謝 辞

間伐調査の実施にあたっては、くさかべ林業、郡上森林組合、公益社団法人岐阜県森林公社、岐阜県森林研究所の職員の方々に多大なご協力をいただいた。独立行政法人森林総合研究所の鹿又秀聰氏には、収支のシミュレーションにおけるプログラムの使用にあたり多大なご協力をいただいた。各位に深く感謝の意を表する。

引用文献

- 岐阜県林政部森林整備課（2013） 平成23年度 岐阜県森林・林業統計書
岐阜県山林協会（2013）木材市況 森林のたより724：18
岐阜県森林科学研究所（2006）シルブの森・岐阜県スギ版（一般地域）および操作説明書. 岐阜県森林科学研究所
平林慧遠・澤口勇雄・立川史郎（2008）超高密度作業路網を基盤とした高性能林業機械間伐作業による残存木への損傷. 岩大農演報39：37－46
鹿又秀聰（2012）伐出見積もりシステムの開発－搬出間伐の現状と将来のシミュレーション－. 森林技術840：34－38
岡勝・近藤耕次・吉田智佳史・田中良明・佐々木達也・井上源基・近藤道治・山口達也・小嶋重幸（2005）伐出作業に伴う残存木被害軽減策の検討（I）－架線系集材における被害要因の分析－. 日林関東支論56：79－80
酒井秀夫・伊藤幸也・石原猛（1988）チェーンソーによる間伐木の伐木造材作業. 日林誌70：1－10
澤田智志（2012）スギ人工林の低コスト間伐技術の導入による非皆伐施業体系の確立：高能率な作業システムによる間伐の生産性. 秋田県森技研報21：17－36
渡邊定元（2005）新しい間伐法の紹介：列状間伐と中層間伐. 森林科学44：18－25

抄 錄

Pseudomonas 属細菌によるマツタケ担子胞子の発芽促進*

水谷和人

Stimulation of basidiospore germination of the ectomycorrhizal fungus *Tricholoma matsutake* by bacteria of the genus *Pseudomonas*

Kazuto MIZUTANI

マツタケの胞子発芽に及ぼす細菌の影響について検討した。細菌は *Pseudomonas* 属の 1 種と同定された。マツタケ胞子発芽率は、基本培地に酪酸を添加した培地に細菌を接種すると 14.38% と高くなった。また、細菌を胞子播種範囲から 8 mm 離して接種しても胞子発芽率が高かった。しかし、*n*-酪酸を添加しない培地や *n*-酪酸を添加しても素寒天培地では、細菌を接種しても胞子発芽率は高くならなかった。胞子発芽を高めるには、*n*-酪酸を添加した培地で、細菌が増殖していることが重要であった。

キーワード：細菌，担子胞子，発芽，酪酸，*Tricholoma matsutake*

Effects of bacteria on the basidiospore germination of the ectomycorrhizal fungus *Tricholoma matsutake* were investigated. The bacteria used in this study were identified as a species of the genus *Pseudomonas*. The basidiospore germination rate of *T. matsutake* reached 14.38% as a result of inoculation of the basal medium (containing 30 μ L *n*-butyric acid) with the bacteria. Furthermore, the germination rate was high when bacteria were incubated far from spores. However, the basidiospore germination rate did not improve when they were inoculated in the medium without *n*-butyric acid or the water agar medium with *n*-butyric acid. These results indicate that bacterial proliferation with *n*-butyric acid is important for basidiospore germination.

KeyWards : bacteria, basidiospore ; germination, butyric acid, *Tricholoma matsutake*

* 日本菌学会会報54, 2013, 60-65

Transactions of The Mycological Socical Society 54, 2013, 60-65

抄 錄

ナラ枯れ被害跡地での更新に与えるシカ食害の影響*

大洞智宏・渡邊仁志・横井秀一**

The effect of sika deer browsing damage on regeneration
in mass mortality area of Japanese oak trees *

Tomohiro OBORA, Hitoshi WATANABE and Shuichi YOKOI **

岐阜県内西濃地域では、ナラ類の枯損による林冠ギャップ下であっても、植生の発達がみられない箇所が存在する。西濃地域は以前からニホンジカが生息し、生息密度も高いことから、シカの採食によって森林の更新が阻害されている可能性が考えられた。そこで、シカ柵を設置し、植生の変化を観察した。調査地は、岐阜県揖斐郡池田町のナラ枯れによって発生した林冠ギャップのうち4カ所とした。シカ柵設置直後、柵外の方形区では、シカの嗜好性の低いシダ類以外の植被率の増加はほとんどみられなかった。柵内の方形区では植被率合計は増加し(52~138%)、特にキイチゴ類、スキの増加が顕著であった。調査地4では、表土流亡によって、実生の定着が妨げられている可能性が考えられた。高木性種は成長が比較的遅く、成長の早い低木生種などの下層に存在する多いため、低木性種などが繁茂することにより、高木性種の侵入・生育が妨げられる可能性がある。これらのことから、この林分において、高木性種による速やかな更新を望む場合には、シカ柵を設置し、表土流亡の抑止や刈り出しなどの更新補助作業を実施する必要があると考えられた。

キーワード：ニホンジカ、ナラ枯れ、更新、シカ柵

* 日本綠化工学会誌39, 2013, 260-263

Journal of the Japanese society of revegetation technology 39, 2013, 260-263

** 岐阜県立森林文化アカデミー

抄 錄

2年生ヒノキ造林地の樹高と下刈り省略が シカ食害に及ぼす影響*

渡邊仁志・茂木靖和・岡本卓也

Influence of tree height and non-weeding treatment on browsing
damage by Sika deer (*Cervus nippon* Temminck) to 2-year-old
Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) Endl.) plantation *

Hitoshi WATANABE, Yasukazu MOTEKI and Takuya OKAMOTO

ニホンジカの生息密度が高い岐阜県郡上地域において、ヒノキ2年生造林地におけるシカ食害の発生状況を把握し、植栽木の樹高や下刈り省略がヒノキ造林地の食害の発生に及ぼす影響を検討した。頂枝の食害は、下刈り省略区に比べ下刈り区で多く発生した。下刈り省略区では、下刈り区よりも植栽木周辺の植生（雑草木）の量を表す指標（雑草木の植生高、植被率、遮蔽方位数）がいずれも大きかった。また植栽木の樹高が高いほど食害発生率が低下する傾向がみられた。このことから、造林地では下刈りの回数や方法を工夫することに加え、植栽木を速やかに成長させることによって、シカによる食害が軽減できる可能性が示唆された。

キーワード：ニホンジカ、樹高、下刈り省略、食害軽減、ヒノキ

* 日本綠化工学会誌39, 2013, 264-267

Journal of the Japanese society of revegetation technology 39, 2013, 264-267

抄 錄

育苗時の施肥条件が植栽後のヒノキ苗の初期成長に及ぼす影響*

渡邊仁志・茂木靖和

Influence of fertilization on nurseries for initial growth of Japanese cypress
(*Chamaecyparis obtusa* (Sieb. et Zucc.) Endl.) seedlings after plantation*

Hitoshi WATANABE and Yasukazu MOTEKI

下刈り作業を軽減する方法のひとつとして、初期成長に優れた苗木の利用がある。本研究では、育苗時の施肥管理によって成長を促進したヒノキ苗における植栽後の成長を明らかにすることを目的として、マルチキャビティコンテナを用いて、異なる施肥条件（肥料の種類および施肥量）で育苗したコンテナ苗と、造林用普通苗における植栽後の成長を比較した。育苗終了時の樹高は育苗時の施肥条件や苗の種類によって異なっていたが、期間成長量はそれらの条件によって違いが認められなかった。育苗時の施肥が植栽後のヒノキ苗の樹高成長に及ぼす影響は小さく、植栽後に無施肥で管理した場合、成長面におけるコンテナ苗の優位性は維持されない場合がある。

キーワード：育苗、施肥、コンテナ苗、初期成長、ヒノキ

* 中部森林研究61, 2013, 51-54

Chubu Forestry Research 61, 2013, 51-54

抄 錄

育苗条件がヒノキさし木苗の伸長量に及ぼす影響*

茂木靖和・渡邊仁志・上辻久敏

Influence of nursing conditions for growth of rooted cutting of
*Chamaecyparis obtusa**

Yasukazu MOTEKI, Hitoshi WATANABE and Hisatoshi KAMITSUJI

組織培養でシートの発根促進が示唆されたシート育成時の培地中における活性炭や無機塩の濃度調整が、採穂用母樹の育成管理においても有効であるかを検証するため、岐阜県産ヒノキ精英樹で少花粉の益田5号のさし木苗を活性炭と肥料の配合割合を変えて育成し、育苗条件が苗の伸長量に及ぼす影響を検討した。その結果、細粒の鹿沼土を培土とし、溶出日数100日の緩効性肥料の施用では、施肥の影響が1～2ヶ月経過後に大きくなり、3～4ヶ月経過後に小さくなると推測された。また、苗の伸長量を大きくするには、窒素よりリン酸の配合割合を高めた施肥が有効であると推察された。

キーワード：少花粉ヒノキ、益田5号、さし木、育苗、緩効性肥料

* 中部森林研究61, 2013, 55-56
Chubu Forestry Research 61, 2013, 55-56

抄 錄

スギ人工林皆伐跡地での広葉樹の更新状況*

大洞智宏・横井秀一**

Regeneration of broad-leaved trees after clear cutting of Japanese Cedar
(*Cryptomeria japonica*) plantation*

Tomohiro OBORA and Shuichi YOKOI**

皆伐跡地に生育する樹木の侵入時期を把握するため、スギ人工林（52年生）が皆伐され3年が経過した林地に長さ 30m、幅2m の調査区を設置し、区画内の樹木個体について、樹種、樹高、樹齢を記録した。伐採前のスギの立木密度は1636本/ ha であった。調査個体の64%が3年生以下で、伐採後に侵入した個体が多かった。また、6年生以上の個体は全体の5%程度で、伐採前から存在した個体の多くは、伐採年かその前年に発生したものであった。

キーワード：皆伐跡地、天然更新、樹齢

* 中部森林研究61, 2013, 95-96

Chubu Forestry Research 61, 2013, 95-96

** 岐阜県立森林文化アカデミー

岐阜県森林研究所研究報告 執筆要領（抜粋）

1. 投稿は、岐阜県森林研究所の職員（または旧職員）に限り、それらの者が在職中に実施した研究の業績を投稿するものとする。ただし、編集委員が認めたときはこの限りではない。また、筆頭者以外の著者にはその他の者を含むことができる。
2. 原稿の種別は、「論文」、「資料」、「学術雑誌論文抄録」および「その他」とする。「論文」とは、新規性のある知見を、十分な議論を含めて公表するものとする。「資料」とは、論文にはならないが記録として公表することがふさわしい調査結果・実験結果などを論文形式で取りまとめたものであり、単なるデータ集ではない。「学術雑誌論文抄録」とは、研究報告の刊行される前年に他の学術雑誌に掲載された論文等の抄録とする。「その他」とは、印刷公表することがふさわしく、かつ、本執筆要領の適用が困難な論文（学位論文等）とする。

本誌に掲載された論文および報告は次の方々によって審査された。

古川邦明 池戸秀隆 上辻久敏 水谷和人 茂木靖和 大洞智宏 大橋章博
臼田寿生 渡邊仁志

岐阜県森林研究所研究報告／第43号編集委員会

編集委員長 岐阜県森林研究所・部長研究員 古川邦明
編集委員 岐阜県森林研究所・専門研究員 渡邊仁志
編集委員 岐阜県森林研究所・専門研究員 上辻久敏

岐阜県森林研究所研究報告 第43号

平成26年3月28日 印刷
平成26年3月31日 発行

編集者 岐阜県森林研究所研究報告編集委員会
発行者 岐阜県森林研究所
発行所 岐阜県森林研究所
〒501-3714 岐阜県美濃市曾代1128-1
TEL 0575-33-2585 FAX 0575-33-2584
URL <http://www.forest.rd.pref.gifu.lg.jp/>
e-mail info@forest.rd.pref.gifu.jp
印刷所 株式会社サン・ライン
