

東海地方の暖温帯二次林におけるカシノナガキクイムシ被害の経年変化

佐藤貴紀・松井理生・田中延亮・蔵治光一郎（東京大学生態水文学研究所）

東海地方の暖温帯二次林におけるカシノナガキクイムシ被害の経年変化を明らかにするために、2007年から2014年の8年間にわたって行われた調査プロットに生育する191本のコナラを対象として、カシノナガキクイムシによる穿入被害の追跡調査の結果を解析した。その結果、2009年に初めてカシノナガキクイムシの穿入が確認され、2014年までに157本が穿入被害にあい、そのうち55本が枯死した。被害初期において、カシノナガキクイムシによる穿入被害は傾斜の大きい場所に偏っていたが、年が経過するにつれて、被害の中心が周囲長の大きい個体へと移り変わっていくという空間分布の経年変化がみられた。

キーワード：カシノナガキクイムシ被害、経年変化、コナラ、地形、個体サイズ

I はじめに

ナラ枯れとは、カシノナガキクイムシ（以下、カシナガ）がナラ類樹木へ穿入することで葉が褐色に萎凋し、場合によっては枯死に至る被害のことである。カシナガは体内に菌のうを持っており、病原菌（*Raffaella quercivora*）と共生している。カシナガがナラ類樹木へ穿入することでこの病原菌に感染し、生細胞の壊死と辺材部の変色が起こることで通水機能が失われ、枯死に至ることが明らかとされている（4, 5, 12）。カシナガに穿入されたナラ類樹木は、上記のように枯死する場合もあれば生存する個体も存在する。以降、本論文ではカシナガの穿入によって枯死する場合と枯死しない場合を合わせてカシナガ被害という言葉を使用する。

1980年代以降、日本海側を中心にカシナガ被害が急速に拡大した（6）。その後カシナガ被害の分布は九州南部、紀伊半島、東海地方などの太平洋側にも広がってきた。カシナガ被害は2010年にピークを迎え、現在は全国的には減少傾向にあるものの、新たに被害が発生した地域や被害が拡大している地域が現在でも存在している（3）。特に太平洋側において今後、新たな被害地が発生することが考えられることから、東海地方において発生したカシナガ被害の状況を整理すること、及び被害の空間分布の特徴を明らかにすることは重要である。

カシナガ被害の空間分布の特徴を明らかにするために、胸高直径とカシナガ被害との関係（1, 13, 19, 22）、傾斜量、斜面方位などの地形情報とカシナガ被害の空間分布との関係（14, 15, 17）、カシナガの正の走行性について（2, 21）などが明らかにされてきた。また、カシナガ被害の空間分布を予測するための統計モデルが構築された（18）。しかし、上記の既往研究のほとんどは被害初期や短期間によって得られた情報によって解析されたものである。カシナガ被害の空間分布の特徴を明らかにするためには、固定されたプロットにおいて被害が

発生する前から長期間にわたって得られたデータを時系列的に解析することが必要であると考ええる。

従って、本研究の目的は、東海地方のコナラを中心とする二次林において発生したカシナガ被害の被害状況を整理すること、カシナガ被害の空間分布の経年変化を個体サイズと地形情報に着目して明らかにすることである。そのために2007年から2014年の8年間にわたって、固定された調査プロット内に生育しているコナラを対象として行われたカシナガ被害の追跡調査のデータを使用した。

II 調査概要

カシナガ被害の追跡調査は、愛知県瀬戸市にある東京大学生態水文学研究所の赤津研究林において行った。年平均気温は12.9℃、平均年降水量は1,860mmであり、温暖な気候である（20）。林分内には環境省モニタリング1000プロジェクトの支援によって設置した1ha（100m×100m）のプロット（以下調査プロット）がある。調査プロットを設置した林分は、1917年から1918年にヒノキが植栽されたがその後放棄され、現在ではコナラを中心とする二次林となっている。図-1は、1m間隔DEMから作成された調査プロットの地形図とコナラ位置図を示している。調査プロット内には181本のコナラが生育している。図-1より、コナラは尾根筋とその周辺の斜面に主に生育していることがわかる。調査プロットではカシナガ被害が2009年において初めて確認され、2014年現在も被害が継続している。

調査プロット内に生育するすべてのコナラを対象として、2007年から2014年の8年間にわたって、カシナガの新たな穿入が確認された個体、穿入が確認され枯死した個体、穿入が確認されず枯死した個体の数を年ごとにカウントした。この追跡調査は毎年11月から12月にかけて行われた。追跡調査の結果から調査プロット内のコ

SATO Takanori, MATSUI Masaki, TANAKA Nobuaki, KURAJI Koichiro (Ecohydrology Research Institute, The University of Tokyo Forests, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo) satot@uf.a.u-tokyo.ac.jp

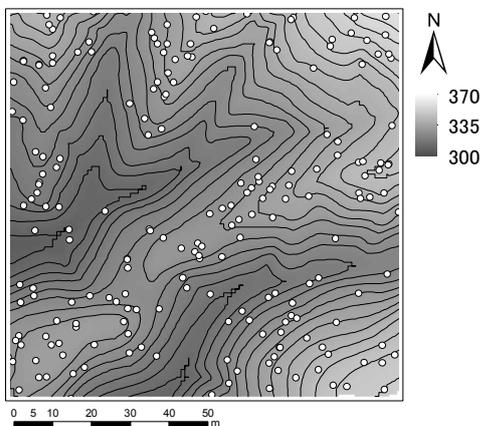
Temporal variation of infestation by *Platypus quercivorus* (Murayama) in a warm-temperate secondary forest stand in Tokai District

ナラを非穿入木、穿入生存木、穿入枯死木、自然枯死木の4つのグループに分類した。8年間を通して一度もカシナガの穿入履歴のない個体を非穿入木、一度でも穿入履歴がある個体を穿入生存木、穿入履歴があり枯死した個体を穿入枯死木、一度も穿入履歴がなく枯死した個体を自然枯死木とした。

調査プロット内においてカシナガ被害が発生する前である2004年と2008年に実施された胸高部の幹外周長（以下、周囲長）の測定結果を使用した。周囲長が15.0 cm以上の幹を対象として、巻尺を用いて0.1 cm単位で周囲長を測定した。測定位置はあらかじめ胸高（地際から1.3 m）にペンキによって印がされている(7)。周囲長の測定は11月から12月にかけて行われた。カシナガ被害が発生する前における周囲長と周囲長増加量を基準とするために、周囲長は2008年の値を、周囲長増加量は2008年の周囲長から2004年の周囲長を差し引いた値を、個体サイズの指標として用いた。

地形データは、GISソフト（ArcGIS Ver. 10.2.2. ESRI ジャパン）を用いて1 m間隔のDEMからコナラ個体ごとの標高、傾斜量、斜面方位を抽出した。抽出した斜面方位は8方位（NE: 22.5° - 67.5°, E: 67.5° - 112.5°, SE: 112.5° - 157.5°, S: 157.5° - 202.5°, SW: 202.5° - 247.5°, W: 247.5° - 292.5°, NW: 292.5° - 337.5°, N: 337.5° - 22.5°）に分類し、カテゴリカルデータとした。

統計解析は、統計解析ソフト（R Ver. 2.15.2. R Development Core Team）を使用して、非穿入木、穿入生存木、穿入枯死木の3つのグループにおいて、周囲長、周囲長増加量、標高、傾斜量が統計的に有意であるかどうかを示すためにノンパラメトリック法におけるグループ間の多重比較を行った。3グループの組み合わせごとにウィルコクソンの順位検定を行い、ボンフェローニ法によってp値を補正した。カテゴリカルデータである斜面方位については、3グループの組み合わせごとにフィッシャーの正確確率検定を行い、ボンフェローニ法によってp値を補正した。自然枯死木は他のグループと比べて個体数が少なかったため、この解析から除外した。



図—1. 調査プロットの地形図とコナラ位置図
白抜きの点がコナラ位置を示す。

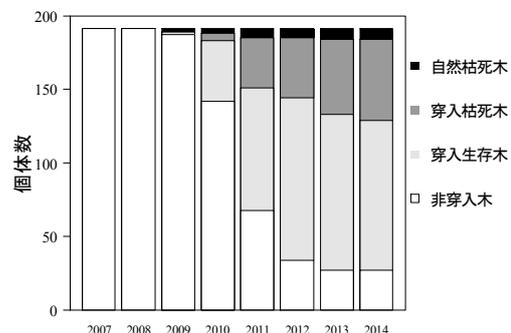
Ⅲ 結果

1. カシナガ被害の経年変化

表—1は、2007年から2014年の8年間において実施されたカシナガ被害の追跡調査によって得られた、年ごとに新たな穿入が確認された個体、穿入が確認され枯死した個体、穿入が確認されず枯死した個体のカウント数である。2009年において、南西にある尾根の南向き斜面に生育する2本のコナラにおいて、初めてカシナガの穿入が確認された。2010年には南東にある北西向き斜面及び中央の尾根筋の北側斜面を中心にカシナガの穿入が確認され、2011年にはほぼプロット全域に被害が拡大した。2011年において、新たに穿入が確認された個体及び穿入が確認され枯死した個体のカウント数がピークとなった。その後、穿入被害は減少傾向となり、2014年には新たな穿入被害が確認されなかった。2014年において4本の枯死個体が確認されたが、これは、過去にカシナガによる穿入履歴があり、2014年に枯死したものである。図—2は追跡調査の結果から4つのグループに分類した時における、2007年から2014年までの各グループの個体数の経年変化を示している。2014年時点において、カシナガ被害にあった総コナラ個体数（穿入生存木と穿入枯死木の合計）は157本であり、被害率は約80%であった。そのうちの55本（約35%）は枯死した。穿入生存木のうち20本は2回の穿入が確認され、穿入枯死木のうち2本は2回目の穿入によって枯死が確認された。また、穿入枯死木には、当年に枯死するものだけではなく、翌年以降に枯死が確認されたものが11本存在した。

表—1. 追跡調査によって得られた新たにカシナガの穿入が確認された個体、穿入が確認されて枯死した個体、穿入が確認されず枯死した個体の年ごとのカウント数

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
新たな穿入が確認された個体	0	0	2	39	48	34	19	0
穿入が確認され枯死した個体	0	0	0	5	29	7	10	4
穿入が確認されず枯死した個体	0	0	2	1	3	0	1	0



図—2. 2007年から2014年にかけての自然枯死木、穿入枯死木、穿入生存木、非穿入木の個体数の経年変化

2. カシナガ被害と樹木サイズ及び地形との関係

表—2は、2010年から2014年にかけての非穿入木、穿入生存木、穿入枯死木の個体数と、周囲長、周囲長増

加量, 標高, 傾斜量の中央値, そして8方位に分類されたうちの最多頻度の斜面方位を示している。表中における網掛け部分の異なるアルファベットの組み合わせにおいて有意差があることを示している。カシナガ被害の初期である2010年において, 穿入生存木が有意に北西斜面に偏っていた。また, 有意差は見られなかったが, 穿入生存木及び穿入枯死木の傾斜量は, 非穿入木に比べて大きい傾向がみられた。カシナガ被害の後半にあたる2013年では, 穿入枯死木が有意に南斜面に偏っていた。そして, 新たなカシナガの穿入被害がみられなかった2014年では, 穿入生存木及び穿入枯死木の周囲長が非穿入木に比べて有意に大きく, 周囲長増加量についても同様な傾向が見られた。

表—2. 非穿入木, 穿入生存木及び穿入枯死木の個体数, 周囲長, 周囲長増加量, 標高, 傾斜量の中央値及び最多頻度の斜面方位と検定結果
網掛け部分の異なるアルファベット間の組み合わせにおいて有意差がある ($p < 0.05$) ことを示している。

Year	被害状況	個体数	周囲長 (cm)	周囲長増加量 (cm)	標高 (m)	傾斜量 (°)	斜面方位
2010	非穿入木	142	74.1	2.8	332.1	27.1	S ^a
	穿入生存木	41	81.2	3.3	332.9	32.0	NW ^b
	穿入枯死木	5	70.3	2.0	337.2	35.0	W ^{ab}
2011	非穿入木	68	71.9	2.5	333.1	28.0	NW
	穿入生存木	85	77.6	3.3	332.2	28.2	NW
	穿入枯死木	34	79.0	2.9	332.4	33.0	SE, S, NW
2012	非穿入木	34	60.9 ^a	1.9 ^a	334.0	28.2	NW
	穿入生存木	110	78.2 ^b	3.3 ^b	332.6	28.0	NW
	穿入枯死木	41	86.5 ^b	3.0 ^{ab}	331.7	31.4	S, NW
2013	非穿入木	27	60.1 ^a	1.8 ^a	334.0	26.5	NW ^{ab}
	穿入生存木	106	77.2 ^b	3.2 ^b	333.1	28.0	NW ^a
	穿入枯死木	51	85.5 ^b	2.9 ^{ab}	331.3	29.5	S ^b
2014	非穿入木	27	60.1 ^a	1.8 ^a	334.0	26.5	NW
	穿入生存木	102	77.6 ^b	3.2 ^b	333.3	28.0	NW
	穿入枯死木	55	82.6 ^b	2.9 ^{ab}	331.3	29.5	NW

IV 考察

1. カシナガ被害の空間分布の経年変化

東海地方の暖温帯二次林を対象として8年間のカシナガ被害の追跡調査を行い, 被害の経年変化を明らかにし, 個体サイズ及び地形との関係を明らかにした。カシナガ被害の初期である2010年において, カシナガ被害は傾斜量が大きい場所に集中していた。カシナガの空間分布を明らかにした既往研究より, カシナガ被害は急傾斜地に集中することが明らかにされており (17, 18), 本調査プロットでも同様の傾向が得られた。また, カシナガの飛翔時間が主に午前中であることから, カシナガ被害は東向き斜面に集中することが明らかにされている (11)。一方, 本調査プロットでは北西斜面において有意に穿入生存木が偏っていた。この結果は, 2010年においてカシナガの穿入被害が調査プロット南東にある北西向き斜面に集中していたことと一致する。これは, 調査プロット内には西向き斜面が多く, 東向き斜面が少なかったためであると考えられる (18)。また, 2013年において穿入枯死木が有意に南斜面に偏っており, この傾向は2012年にもみられた。

カシナガ被害の空間分布が傾斜地や斜面方位に従う理由として, カシナガには正の走行性が存在することが考えられる (2, 21)。また, カシナガの被害は風倒木や人為的伐採を行った周辺に集中することが指摘されている (10)。すなわち, カシナガが侵入しやすい光環境となる日当たりのよい傾斜や斜面方向, またはギャップがある場所においてカシナガの穿入が発生しやすく, 枯死木も発生しやすいことが考えられる。

そして, 年が経過するにつれて調査プロット内のカシナガ被害は樹木サイズの大きい個体へと集中していった。これは, カシナガの大径木への指向性が原因として考えられる。大径木ほどカシナガの穿入被害に合いやすく, 直径10 cm前後の個体は穿入を免れていること (13), 直径10 cm前後の小径木ではカシナガの飛来個体数が少ないことが明らかとされている (22)。本調査地において, 被害初期である2010と2011年の周囲長に統計的な有意差がみられなかったが, いずれの年も穿入生存木の周囲長が非穿入木に比べて大きかった。そして, カシナガ被害が拡大して大径木が被害に合うことで穿入生存木及び穿入枯死木に分類されてゆき, 非穿入木には残った小径木が分類されるようになったことが考えられる。カシナガは穿入後, 辺材部分を深く, そして幾層にもわたる坑道を作ることから, 繁殖をするためには十分な容積の辺材部分を必要とする。また, カシナガが媒介する病原菌が繁殖するためには, カシナガが侵入後も樹幹内の含水率が高く保たれる必要がある。大径木は以上の条件を十分に満たしているため, カシナガは好んで大径木へと穿入をすることが明らかにされている (9)。

以上の既往研究と本研究によって得られた結果をまとめると, まず, 被害初期にはカシナガが侵入しやすい光環境である傾斜地において穿入被害が発生しはじめ, 被害が拡大してゆくにつれてカシナガの大径木の指向性のために, 穿入被害の中心が大径木へと移り変わっていったことが考えられる。

2. カシナガ被害の今後の推移について

2014年時点において, 調査プロット内では新たな穿入被害が確認されなかった。一般に, 一度カシナガの穿入被害を受けた個体は再び穿入されることは少ないことが報告されている (8)。しかし, 本調査プロットにおけるカシナガ被害の追跡調査の結果から, 2回以上の穿入被害を受ける個体が確認された。また, 穿入被害を受けても当年で枯死せず, 翌年以降に枯死する個体もみられた。カシナガ被害が激害化しやすいミズナラにおいて, 10年ほど被害が継続するとほぼすべての個体が枯死に至ることが報告されている (16)。一方, 本調査プロットにおけるコナラの穿入木に占める枯死木の割合は約35%であった。ミズナラは一度カシナガによる穿入被害を受けるとほぼ枯死してしまう一方, コナラは穿入されても生存する確率が高いため, 再び穿入被害の対象となってしまうことが考えられる。さらに, 穿入被害を

受けて生存したコナラが被害後の直径成長によって新しい辺材が形成されること、枯死木が発生して林冠が疎開になることによって、カシナガ被害が発生しやすい環境が整ってゆくと考えられる。従って、コナラを中心とするカシナガ被害を対象とした追跡調査において、一見被害が終息したと思われたとしても、引き続き追跡調査を継続する必要があると考える。

V 結論

東海地方の暖温帯二次林を対象として 2007 年から 2014 年の 8 年間にわたり、固定された調査プロット内に生育するコナラを対象としてカシナガ被害の追跡調査を行い、カシナガ被害の経年変化と被害拡大の特徴を明らかにした。調査プロット内において 2009 年に初めてカシナガ被害が発生し、2014 年時点において、調査プロット内に生育する 191 本のコナラにおける穿入被害率は約 80%であり、そのうち枯死率は約 35%であった。また、被害初期では傾斜が急な場所において被害が集中していたが、年が経過するにつれて周囲長の大きい個体へと被害の中心が移動してゆく傾向がみられた。固定されたプロットにおいて長期間のカシナガ被害の追跡調査を行うことで、カシナガ被害の空間分布の経年変化を明らかにすることができた。

謝辞

本研究は、環境省モニタリング 1000 プロジェクトの支援を受けた。また、カシナガ被害の追跡調査及び毎木調査は東京大学生態水文学研究所の教職員によって行われた。この場をお借りして深く感謝いたします。

引用文献

- (1) 赤石大輔・鎌田直人・中村浩二 (2006) コナラ・アベマキ二次林におけるカシノナガキクイムシの初期加害状況. 日林誌 88:274-278
- (2) Igata Y, Esaki K, Kato K, Kamata N (2003) Influence of light condition on the stand-level distribution and movement of the ambrosia beetle *Platypus quercivorus* (Coleoptera: Platypodidae). Appl. Entomol. Zool. 38:167-175
- (3) 一般社団法人日本森林技術協会 (2015) ナラ枯れ被害対策マニュアル改訂版. 林野庁
- (4) 伊藤進一郎 (2002) ナラ枯れ被害に関する菌類と枯死機構. 森林科学 35:35-40
- (5) 伊藤進一郎・窪野高徳・佐橋憲生・山田利博 (1998a) ナラ類集団枯損被害に関する菌類. 日林誌 80:170-175
- (6) 伊藤進一郎・山田利博 (1998b) ナラ類集団枯損被害の分布と拡大. 日林誌 80:229-232
- (7) 環境省自然環境局生物多様性センター (2010) モニタリングサイト 1000 森林・草原調査コアサイト設定・毎木調査マニュアル.

http://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/tree_ver2.pdf

- (8) 加藤賢隆・江崎江二郎・井下田寛・鎌田直人 (2002) カシノナガキクイムシのブナ科樹種 4 種における繁殖成功度の比較 II - 過去の穿入履歴が繁殖成功度に与える影響について -. 中林研 50:79-80
- (9) 小林正秀・野崎愛・上田明良 (2004) 寄主の含水率がカシノナガキクイムシの穿入行動と孔道内菌類に与える影響. 応動昆 48:141-149
- (10) 小林正秀・柴田繁 (2001) ナラ枯損発生直後の林分におけるカシノナガキクイムシの穿入と立木の被害状況 (1) 京都府鶴舞市における調査結果. 森林応用研究 10:73-78
- (11) Komura R, Libhold A, Esaki K, Igata Y, Muramoto K, Kamata N (2006) Incidence of Japanese oak wilt in relation to topography and sunshine. Proceedings: 2004-05 International Symposium on Environmental Monitoring in East Asia -Utilization change-, Kanazawa University, Kanazawa, Japan, pp.33-38
- (12) 黒田慶子・山田利博 (1996) ナラ類の集団枯損にみられる辺材の変色と通水機能の低下. 日林誌 78:84-88
- (13) 松浦崇遠・中島春樹 (2012) カシノナガキクイムシの穿入や繁殖に影響を及ぼす寄主サイズと急伸単木の齡構成. 中林研 60:143-146
- (14) 野堀嘉裕・高橋教夫・佐藤明・斉藤正一 (2007) GIS を用いたナラ類集団枯損被害の予測. 森林防疫 56:9-14
- (15) 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
- (16) 斎藤正一・柴田鏡江 (2012) 山形県におけるナラ枯れ被害林分での森林構造と枯死木の動態. 日林誌 94:223-228
- (17) 佐藤明・野堀嘉裕・高橋教夫・斉藤正一 (2004) GIS を用いた山形県朝日村におけるナラ類集団枯損の地理的特徴解析. 東北森林科学会誌 9:13-20
- (18) 澤田晴雄・平尾聡秀・鎌田直人 (2013) 東海地方の暖温帯二次林におけるカシノナガキクイムシ加害初期の穿入木の経年変化と空間分布. 森林防疫 62:10-15
- (19) 曾根晃一・牛島豪・森健・井出正道・馬田英隆 (1998) 林内におけるカシノナガキクイムシの被害発生状況と被害木の空間分布様式. 鹿児島大学農学部演習林報告 23:11-22
- (20) 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所 HP (<http://www.uf.a.u-tokyo.ac.jp>)
- (21) 上田明良・小林正秀 (2000) カシノナガキクイムシの飛翔と気温・日照との関係. 森林応用研究 9:93-97
- (22) Yamasaki M, Futai K (2008) Host selection by *Platypus quercivorus* (Murayama) (Coleoptera: Platypodidae) before and after flying to trees. Appl. Entomol. Zool. 43: 249-257