

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K15874

研究課題名（和文）樹皮下キクイムシの産卵選好性と寄主利用能力およびその地理的変異の解明

研究課題名（英文）Preference and performance of bark beetles

研究代表者

高木 悦郎（Takagi, Etsuro）

東京都立大学・都市環境科学研究科・助教

研究者番号：60718675

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：樹皮下キクイムシは、世界中の針葉樹林で甚大な被害を及ぼしている。近年アジアでも、樹皮下キクイムシの一種であるトドマツノキクイムシによる被害が顕在化している。2019年度から2023年度の5年間の助成では、トドマツノキクイムシを材料に、樹皮下キクイムシの産卵選好性と寄主利用能力、およびその地理的変異を明らかにすることを目的とした。これまで、以下のX点に関する9本査読付き国際論文が受理、公表された。

1) 小径木への選好性、2) 繁殖様式と坑道の様式、3) 穿孔場所と樹皮構造の関係、4) 産卵選好性とその地理的変異、5) 加害成功率とその地理的変異、6) 再寄生の発見、7) 伐倒・風倒木の効果的な処理。

研究成果の学術的意義や社会的意義

樹皮下キクイムシは、世界中の針葉樹林で甚大な被害を及ぼしている。近年アジアでも、樹皮下キクイムシの一種であるトドマツノキクイムシによる被害が顕在化している。こうした被害は、木材生産への経済的悪影響だけでなく、物質循環、生物多様性、文化的サービスへも悪影響を及ぼしている。悪影響とそのメカニズムをより明らかにし、効果的な対策を行うために葉、樹皮下キクイムシの生態を明らかにする必要がある。本課題による成果によって、樹皮下キクイムシがどのような寄主を好むかや、繁殖様式、およびそれらの地理的変異を明らかにし、発生リスクの推定および効果的な防除方法を示す足がかりが得られた。

研究成果の概要（英文）：Bark beetles cause a great deal of damage to coniferous forests around the globe. Recently, *Polygraphus proximus* has become an emerging insect pest of *Abies* forests in Asia. We have conducted several studies, especially preference and performance of the bark beetle and its geographic variation. We have revealed following topics and published nine papers. 1) the preferential attack to small diameter trees, 2) mating systems and gallery patterns, 3) distribution pattern of entrance holes, 4) host preference and its geographic variation, 5) colonization success and its geographic variation, 6) reemergence and sister brood, and 7) reduction of attacks by cutting into short logs.

研究分野：森林科学

キーワード：樹皮下キクイムシ トドマツノキクイムシ モミ属

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、トドマツノキクイムシは、ロシアにおいてシベリアモミ、日本においてモミ、シラビソ、およびオオシラビソで大量枯損を引き起こすなど、被害が顕在化してきている。しかし、トドマツノキクイムシの生態に関する知見は未だ非常に乏しく、それぞれの樹種に対する加害様式はほとんど明らかになっていなかった。さらにモミ属各種はほぼ異所的に分布しているため、トドマツノキクイムシは分布域によって利用できる樹種が異なる。このような場合、寄主に対する加害様式に地理的変異が存在することがある。最近、北米でのキクイムシ研究から、気候変動による分布域の拡大と、大量枯損パターンの変化が明らかになりつつある。分布域の拡大や変化は、新たな寄主との出会いを生み、新たな森林被害をもたらす可能性があり、気候変動などで起こりうるトドマツノキクイムシの分布変化が、トドマツノキクイムシの加害様式に与える影響を明らかにする意義があった。

2. 研究の目的

本研究では、気候変動などで起こりうるトドマツノキクイムシの分布変化が、トドマツノキクイムシの加害様式に与える影響を明らかにするために、1)異なる樹種間での産卵選好性と寄主利用能力の違い(Preference-Performance 仮説)と、2)その地理的変異を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

モミ属各樹種は、ほぼ異所的に分布している(図1)。たとえば北海道では、トドマツのみが分布しており、他の4種は分布していない。この場合、北海道のトドマツノキクイムシは、トドマツのみを寄主として識別、利用できる可能性がある。そこで、4月にモミ属5種(モミ、ウラジロモミ、シラビソ、オオシラビソ、トドマツ)の丸太を、東京大学北海道演習林、および筑波大学菅平高原実験所に各樹種の設置した。トドマツノキクイムシの穿孔後に剥皮し、北海道と本州中部でのトドマツノキクイムシの樹種別穿孔数を明らかにし、トドマツノキクイムシの寄主選好性の地理的変異を明らかにした。

さらに、多くの場合、昆虫の産卵選好性と寄主利用能力は一致する(Preference-Performance 仮説)。しかし、寄主植物と加害昆虫の分布が一致していない場合、両者は出会ったことがなく、この関係が崩れるかもしれない。そこで、東京大学北海道演習林、および筑波大学菅平高原実験所に各樹種の丸太を設置し、トドマツノキクイムシの穿孔からしばらく経った時期に回収、剥皮した。トドマツノキクイムシの全坑道のうち、成功していた(=幼虫が発育を開始していた)坑道数から、穿孔成功率を明らかにした。この結果と、上記の穿孔数との結果を合わせることで、トドマツノキクイムシの産卵成功率の地理的変異を明らかにした。

4. 研究成果

トドマツノキクイムシは、シラビソ=モミ>ウラジロモミ>トドマツの順で選好性を示した(図2)²⁾。選好性は、北海道と本州で有意な違いは見られなかった²⁾。

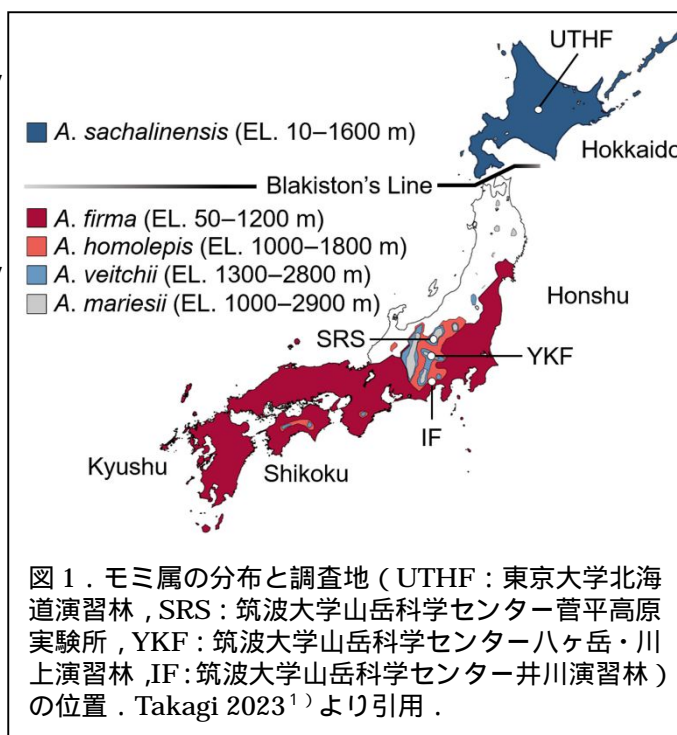


図1. モミ属の分布と調査地 (UTHF: 東京大学北海道演習林, SRS: 筑波大学山岳科学センター菅平高原実験所, YKF: 筑波大学山岳科学センター八ヶ岳・川上演習林, IF: 筑波大学山岳科学センター井川演習林) の位置. Takagi 2023¹⁾ より引用。

穿孔成功率は、シラビソ > トドマツ = ウラジロモミ > モミの順に高かった(図3)¹⁾。穿孔成功率も、北海道と本州で有意な違いは見られなかった¹⁾。

寄主選好性と穿孔成功率から、トドマツは選好性が低いにも関わらず、80%以上の穿孔成功率を示すという、寄主選好性と穿孔成功率の不一致が見られた¹⁾。一方、モミは選好性が高いにも関わらず、極めて低い穿孔成功率を示すという不一致が見られた¹⁾。

本研究以前、トドマツノキクイムシの生態に関する知見は未だ非常に乏しかった。しかしながら、寄主選好性と穿孔成功率を調査する過程で、繁殖様式と加害様式に関するいくつかの知見が得られた、例えばその繁殖様式は一夫多妻制だと報告されていた。しかしながら、本研究により、トドマツノキクイムシの繁殖様式は、一夫一妻制であることが明らかになった³⁾。母坑数に1~4本の変異があり、ほとんどは1本か2本であることが明らかになった⁴⁾。特に母坑数が2本のときに、最も産卵数が多かった⁴⁾。

トドマツノキクイムシの穿入孔は一様分布を示した⁵⁾。トドマツノキクイムシは樹皮下での幼虫間の資源競争を緩和するために、互いに避けあって穿孔することが示唆された。しかしながら、穿孔密度が上昇すると、節周辺への集中分布を示した⁵⁾。節周辺は内樹皮が厚く、幼虫の発育に好適であることから、穿孔密度が高い場合には、幼虫間の資源競争が高くなるリスクを冒しても好適な資源(=節周辺)に集中することが示唆された。

他にも、トドマツノキクイムシの被害を予測する上で重要な知見がいくつか得られた。ヨーロッパで大きな被害をもたらしている樹皮下キクイムシの一種のタイリクヤツバキクイムシは、一度繁殖した寄主から脱出し、他の寄主を再度加害(再寄生)する。再寄生は、加害される寄主が増えるだけでなく、餌木丸太による誘引・駆除の妨げとなる。これまで、トドマツノキクイムシが再寄生をするかは明らかでなかった。本研究により、トドマツノキクイムシの再寄生が確かめられた⁶⁾。

また、寄主選好性と穿孔成功率を明らかにする過程で、長さの異なる丸太を林内に設置したところ、短い丸太ほど、加害密度が減少した⁷⁾。タイリクヤツバキクイムシやトドマツノキクイムシは、大量の枯死木が発生すると、その枯死木で繁殖し、個体群密度が高くなり、生立木を加害する。したがって、風倒木や伐倒木を林内に残すと、大発生リスクが高まる。しかしながら、枯死木を林内から除去するには、多大な労力を要する。本研究の結果から、林内に風倒木や伐倒木を残す場合には、細かく玉切りにすることで、その後のトドマツノキクイムシの大発生を抑制できることが示唆された。

その他、トドマツノキクイムシは小径木へ選好性を示し、小径木をマサアタックによって枯死させ、小径木が不足するにつれて大径木へと被害が移っていくことが明らかになった⁸⁾。しかしながら、大径木では繁殖することができず、被害は収束していくことが示唆された⁸⁾。また、北米において、樹皮下キクイムシの一種の分布が拡大した際に起こりうる新たな種間関係を報告した⁹⁾。これらを合わせて、本研究により、これまでに9報が国際英文誌に受理、掲載された。

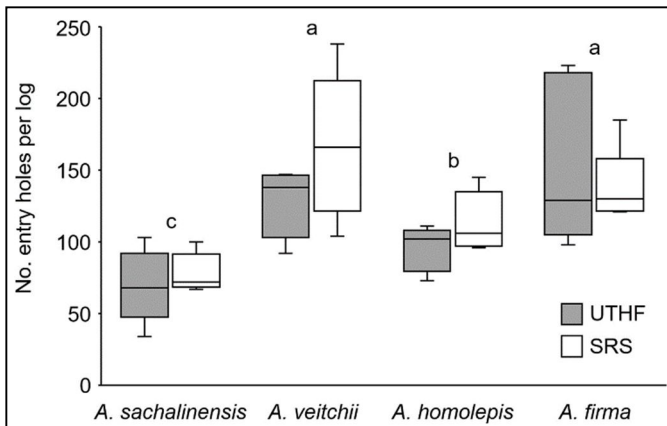


図2. モミ属4種の丸太に対するトドマツノキクイムシの穿入孔数.異なるアルファベットは、有意に異なることを示す。(UTHF:東京大学北海道演習林, SRS:筑波大学山岳科学センター菅平高原実験所. Takagi 2022²⁾より引用。

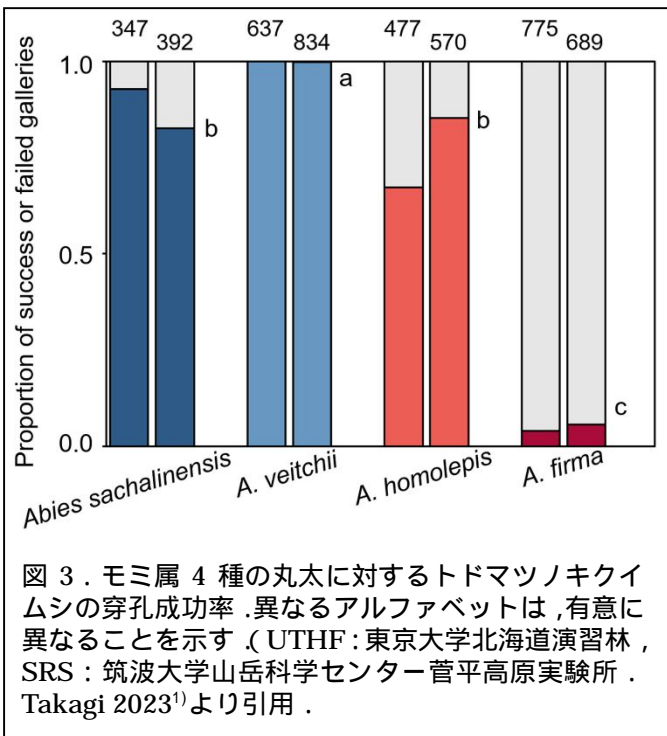


図3. モミ属4種の丸太に対するトドマツノキクイムシの穿孔成功率.異なるアルファベットは、有意に異なることを示す。(UTHF:東京大学北海道演習林, SRS:筑波大学山岳科学センター菅平高原実験所. Takagi 2023¹⁾より引用。

- 1) Takagi, E.* (2023) Colonization success of a tree-killing bark beetle: Geographic variation and mismatch with host preference. *Ecology and Evolution*, 13, e10274.
- 2) Takagi, E.* (2022) Host preference of the tree-killing bark beetle *Polygraphus proximus* across a geographic boundary separating host species. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 170, 1001-1007.
- 3) Kōbayashi, K., & Takagi, E.* (2020) Mating systems of the tree-killing bark beetle *Polygraphus proximus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Journal of Insect Science*, 20, 1-4.
- 4) Kōbayashi, K., Iguchi, K. & Takagi, E.* (2022) Number of gallery arms of the tree-killing bark beetle *Polygraphus proximus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 25, 101929.
- 5) Takei, S., Kōbayashi, K. & Takagi, E.* (2021) Distribution pattern of entry holes of the tree-killing bark beetle *Polygraphus proximus*. *PLoS ONE*, 16, e0246812.
- 6) Takagi, E.* & Yamanaka, S. (2024) Reemergence and sister brood establishment in the bark beetle *Polygraphus proximus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) under laboratory conditions. *Applied Entomology and Zoology*.
- 7) Takagi, E.* & Aochi, M. (2024) Cutting into short logs reduces infestation by the bark beetle *Polygraphus proximus*. *Journal of Applied Entomology*
- 8) Smith, Z.M.*, Chase, K.D., Takagi, E., Kees, A.M. & Aukema, B.H. (2021) Colonization and reproduction of potential competitors with mountain pine beetle in baited logs of a new host for mountain pine beetle, jack pine. *Forest Ecology and Management*, 497, 119455.
- 9) Takagi, E.*, Masaki, D., Kōbayashi, K. & Takei, S. (2021) Trunk diameter influences attack by *Polygraphus proximus* and subsequent mortality of *Abies veitchii*. *Forest Ecology and Management*, 479, 118617.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Takagi Etsuro, Aochi Mai	4. 巻 -
2. 論文標題 Cutting into short logs reduces infestation by the bark beetle <i>Polygraphus proximus</i>	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Applied Entomology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/jen.13266	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Takagi Etsuro, Yamanaka Shino	4. 巻 59
2. 論文標題 Reemergence and sister brood establishment in the bark beetle <i>Polygraphus proximus</i> (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) under laboratory conditions	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Applied Entomology and Zoology	6. 最初と最後の頁 111 ~ 116
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s13355-023-00860-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Takagi Etsuro	4. 巻 13
2. 論文標題 Colonization success of a tree killing bark beetle: Geographic variation and mismatch with host preference	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ece3.10274	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kobayashi Kenta, Iguchi Kazunobu, Takagi Etsuro	4. 巻 25
2. 論文標題 Number of gallery arms of the tree-killing bark beetle <i>Polygraphus proximus</i> (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Asia-Pacific Entomology	6. 最初と最後の頁 101929 ~ 101929
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.aspen.2022.101929	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takagi Etsuro	4. 巻 170
2. 論文標題 Host preference of the tree killing bark beetle <i>Polygraphus proximus</i> across a geographic boundary separating host species	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Entomologia Experimentalis et Applicata	6. 最初と最後の頁 1001 ~ 1007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/eea.13229	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Smith Zach M., Chase Kevin D., Takagi Etsuro, Kees Aubree M., Aukema Brian H.	4. 巻 497
2. 論文標題 Colonization and reproduction of potential competitors with mountain pine beetle in baited logs of a new host for mountain pine beetle, jack pine	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Forest Ecology and Management	6. 最初と最後の頁 119455
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foreco.2021.119455	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhu Xue-Jiao, Zhang Sheng-Nan, Watanabe Kana, Kawakami Kako, Kubota Noriko, Takagi Etsuro, Tanahashi Masahiko, Wen Xiu-Jun, Kubota K?hei	4. 巻 12
2. 論文標題 Diverse Heat Tolerance of the Yeast Symbionts of Platycerus Stag Beetles in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Microbiology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmicb.2021.793592	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kobayashi, K., Takagi, E.	4. 巻 20
2. 論文標題 Mating Systems of the Tree-Killing Bark Beetle <i>Polygraphus proximus</i> (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Insect Science	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jisesa/ieaa140	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takagi, E., Masaki, D., Kobayashi, K., Takei, S.	4. 巻 479
2. 論文標題 Trunk diameter influences attack by <i>Polygraphus proximus</i> and subsequent mortality of <i>Abies veitchii</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Forest Ecology and Management	6. 最初と最後の頁 118617
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foreco.2020.118617	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takei, S., Kobayashi, K., Takagi, E.	4. 巻 16
2. 論文標題 Distribution pattern of entry holes of the tree-killing bark beetle <i>Polygraphus proximus</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 e0246812
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0246812	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 高木悦郎	4. 巻 25
2. 論文標題 樹皮下キクイムシの加害様式 トドマツノキクイムシの話題を中心に	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 樹木医学研究	6. 最初と最後の頁 22-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 1件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 高木悦郎
2. 発表標題 樹皮下キクイムシの加害様式 トドマツノキクイムシの話題を中心に
3. 学会等名 第25回樹木医学会大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takagi, E. & Kobayashi, K
2. 発表標題 Host preference and larval performance of a bark beetle and its geographic variation in Japan
3. 学会等名 Entomological Society of America (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木悦郎, 小林憲太, 武井進也, 大塚大, 小林元
2. 発表標題 オオシラビソ丸太におけるトドマツノキクイムシの繁殖様式
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高木悦郎, 小林憲太
2. 発表標題 トドマツノキクイムシの母孔内における一夫二妻制
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高木悦郎, 武井進也
2. 発表標題 トドマツノキクイムシの穿入孔の空間分布
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Smith, Z.M., Takagi, E., Kees, A.M., Chase, K.D., Aukema, B.H.
2. 発表標題 Avoidance of Ips grandicollis to pheromones of a novel com petitor, Dendroctonus ponderosae
3. 学会等名 Entomological Society of America (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
米国	University of Minnesota	USDA Forest Service	
スウェーデン	Lund University	Mid-Sweden University	