

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：82105

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24658143

研究課題名(和文) マツノマダラカミキリの分布の北限決定要因：夏の夜の寒さが性成熟を妨げるのか？

研究課題名(英文) Factors determining the northern limit of the distribution of *Monochamus alternatus*: does the low temperature of summer nights prevent the beetles from becoming mature?

研究代表者

前原 紀敏 (MAEHARA, Noritoshi)

独立行政法人森林総合研究所・東北支所・主任研究員

研究者番号：20343808

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：「マツノマダラカミキリの分布の北限は、夏の夜の寒さが成虫の卵巣発育に影響することによって決まっている」という仮説を立て、マツノマダラカミキリの卵巣発育に対する温度の影響を室内実験で調べた。日中の気温が25℃であれば夜間の気温が15℃であっても、卵巣発育には影響しなかった。一方、日中の気温が25℃であっても夜間の気温が10℃にまで下がれば、卵巣発育が遅れ、成熟卵数が少なくなった。しかし、成熟卵が全くできないわけではないため、夏の夜の寒さが成虫の卵巣発育に及ぼす影響だけで分布の北限を説明することはできなかった。

研究成果の概要(英文)：The effect of temperature on ovary development of *Monochamus alternatus* was examined in the laboratory to verify the hypothesis that "the low temperature of summer nights affects the ovary development of this beetle and determines the northern limit of its distribution". Twenty-five in the daytime and 15 at night did not affect ovary development. On the other hand, 25 in the daytime and 10 at night delayed ovary development and decreased the number of mature eggs of the beetles. However, the effect of the low temperature of summer nights on ovary development could not explain the northern limit of the beetle's distribution alone because some eggs became mature.

研究分野：森林微生物生態学

キーワード：昆虫 分布 マツノマダラカミキリ 性成熟

1. 研究開始当初の背景

(1) マツ材線虫病の被害は北上を続けており、2011年9月には秋田県境に近い青森県深浦町のクロマツ枯死木から病原体マツノザイセンチュウが発見されるに至った。このため、マツノザイセンチュウの媒介者であるマツノマダラカミキリの青森県での定着の可能性(分布の北限の決定要因)を明らかにする必要がある。

(2) 昆虫は変温動物であり、温度によってその分布が制限されていることが多い。その場合、分布の北限は、越冬可能温度(耐寒性)および生活環完了に必要な有効積算温度(実際の温度と昆虫の発育限界温度との差の時間積算)によって決まるとされている。マツノマダラカミキリの場合、越冬幼虫の耐寒性はかなり高いので、夏季の短さによる温度不足で1年1世代の生活環を維持できなくなることが分布の北限を決定すると考えられている。ただし、この考え方には、2年1世代の生活環になってしまう地域では定着できないという前提が必要となるが、この前提が証明されているわけではない。

(3) マツノマダラカミキリは、成虫になった時点では性成熟しておらず、3~4週間の摂食(幼虫期の摂食と区別して後食(こうしょく)と呼ぶ)期間を経て卵巣が発育する。この期間は温度の低下とともに長くなる。そのため、寒冷地では、マツノマダラカミキリが産卵するためには、成虫がより長く生存しなければならないことになる。また、15℃の恒温条件下では卵巣は発育しないことが知られており、寒冷地ではそもそも卵巣が発育できない可能性もある。

(4) マツノマダラカミキリは夜行性の昆虫であり、移動、交尾行動、および産卵行動は夜間に集中する。後食行動は昼間にも見られるが、夜間の割合の方が高い。

(5) 東北地方では、関東以南と比べて、夏でも夜の気温はかなり低い。

(6) 研究代表者は、科学研究費補助金(若手研究B、平成18~20年度)の研究で、マツノマダラカミキリ成虫の昆虫病原菌 *Beauveria bassiana* への感染について、脱出直後に最も感受性が高いこと、脱出後2週間目までは時間の経過とともに感受性が低くなること、及び脱出後4週間目では再び脱出直後に近い程度にまで感受性が高くなることを明らかにしている。このことは、気温が低いために産卵可能になるまでの期間が長くなった場合には、産卵可能になる前に昆虫病原菌に感染して死亡してしまうリスクが高まることを意味している。

2. 研究の目的

研究代表者らは、1.の背景を基に、生活環を開始するために必要不可欠な成虫の産卵の成否に着目し、「マツノマダラカミキリの分布の北限は、夏の夜の寒さが成虫の卵巣発育および寿命に影響することによって決まっている」という仮説を立てた。本研究では、この仮説を検証することで、成虫になった後、性成熟のために後食する必要がある昆虫の分布の北限を決定する要因を解明する。

3. 研究の方法

(1) マツ林の夏季の林内気温の測定

マツノマダラカミキリが分布する秋田県秋田市、分布境界である岩手県盛岡市と青森県深浦町(秋田県との県境に位置する)および分布しない青森県青森市において、データロガーを用いて、マツ林の夏季(6月から9月)の林内気温の変化を3年間(2012~2014年)測定した。

(2) マツノマダラカミキリ(岩手県産)の卵巣発育および寿命に対する温度の影響の解明

人工飼料で幼虫から飼育した岩手県産マツノマダラカミキリ雌成虫を用い、卵巣発育および寿命に対する温度の影響を調べた。温度区は、(1)の林内気温の測定結果を踏まえ、2013年は10℃恒温区(14時間明期-10時間暗期)、25℃恒温区(14時間明期-10時間暗期)及び25℃(14時間明期)-10℃(10時間暗期)変温区とした。また、2014年は15℃恒温区(14時間明期-10時間暗期)、25℃恒温区(14時間明期-10時間暗期)及び25℃(14時間明期)-15℃(10時間暗期)変温区とした。羽化後6日目から40日間アカマツ1年枝(5日ごとに新しい枝と交換)を後食させた後(図1)解剖して卵巣の発育度合い(卵黄蓄積の有無および成熟卵の有無)と成熟卵数を調べた。また、後食開始後40日目までの生存率を求めた。



図1. プラスチックカップを用いたマツノマダラカミキリの飼育実験

(3) 岩手県産と茨城県産のマツノマダラカミキリの比較

人工飼料で幼虫から飼育した茨城県産マツノマダラカミキリ雌成虫についても15℃恒温区(14時間明期-10時間暗期)、25℃恒

温区（14 時間明期-10 時間暗期）及び 25（14 時間明期）-15（10 時間暗期）変温区を設けて調べ、岩手県産と茨城県産のマツノマダラカミキリの間で卵巣発育、成熟卵数、および寿命に対する低温（15）の影響に違いがあるかを比較した。

4. 研究成果

(1) マツノマダラカミキリの夏季の林内気温の測定

マツノマダラカミキリの夏季の林内気温変化を測定した 4 地点の中で、マツノマダラカミキリが分布しない青森市の林内気温が全般的に一番低かった。マツノマダラカミキリが分布する秋田市と分布境界の深浦町では、夏季の林内気温にそれほど違いはなく、分布境界の盛岡市では、これら 2 地点より林内気温は低めであった。

マツノマダラカミキリ成虫は、東北地方では 6 月にマツ類枯死木から羽化脱出し、後食を開始する。青森市における 6 月の林内の最低気温は 10 前後（2012 年：9.7、2013 年：10.7、2014 年：11.5）で、最高気温は 25 前後（2012 年：27.3、2013 年：23.3、2014 年：24.0）だった。一方、秋田市の 6 月の林内の最低気温は、10～13（2012 年：11.8、2013 年：10.7、2014 年：12.8）で、最高気温は 30 を超えていた（2012 年：30.3、2013 年：31.5、2014 年：31.7）。この測定結果を基に、室内実験の低温区の温度を 10 及び 15、高温区の温度を 25 と決定した。

(2) マツノマダラカミキリ（岩手県産）の卵巣発育および寿命に対する温度の影響の解明

25 恒温区では、マツノマダラカミキリ（岩手県産）の卵巣が十分に発育し、成熟卵ができた（図 2）のに対し、15 恒温区及び 10 恒温区では、少なくとも後食開始後 40 日目時点で卵巣は十分には発育しておらず（15 恒温区：卵黄蓄積初期の個体が多い（図 3）10 恒温区：卵黄蓄積がまだ始まっていない個体が多い）、成熟卵は全く見られなかった。



図 2. 25 恒温区におけるマツノマダラカミキリの卵巣及び成熟卵の例（卵黄蓄積後期・成熟卵期）



図 3. 15 恒温区におけるマツノマダラカミキリの卵巣の例（卵黄蓄積初期）

25 -15 変温区では、25 恒温区と比較して卵巣発育の程度（両区とも全ての個体が卵黄蓄積後期・成熟卵期）および成熟卵数に差がなかった。成熟卵数は、25 -15 変温区（ $n = 10$ ）が 6.8 ± 3.7 （平均値±標準偏差）で、25 恒温区（ $n = 9$ ）が 9.4 ± 3.1 であった（2014 年の実験結果）。このため、日中の気温が 25 であれば夜間の気温が 15 であっても、卵巣発育には影響しないと考えられた。一方、25 -10 変温区では、25 恒温区に比べて、卵巣発育が遅れ（25 恒温区：全ての個体が卵黄蓄積後期・成熟卵期、25 -10 変温区：3 頭が卵黄蓄積中期、残り 5 頭が卵黄蓄積後期・成熟卵期）、成熟卵数が有意に少なくなった。成熟卵数は、25 -10 変温区（ $n = 8$ ）が 2.8 ± 2.6 で、25 恒温区（ $n = 5$ ）が 9.8 ± 3.0 であった（2013 年の実験結果）。すなわち、日中の気温が 25 であっても夜間の気温が 10 にまで下がれば、卵巣発育に影響することが明らかになった。

後食開始後 40 日目までの生存率に対する温度の影響は見られなかった（25 恒温区：100%、15 恒温区：90%、10 恒温区：100%、25 -15 変温区：90%、25 -10 変温区：100%）。

(3) 岩手県産と茨城県産のマツノマダラカミキリの比較

岩手県産と茨城県産のマツノマダラカミキリの間で、卵巣発育、成熟卵数、および寿命に対する低温（15）の影響の差は見られなかった。

(4) 全体のまとめ

日中の気温が 25 であれば夜間の気温が 15 であっても、マツノマダラカミキリの卵巣発育には影響しなかった。一方、日中の気温が 25 であっても夜間の気温が 10 にまで下がれば、卵巣発育が遅れ、成熟卵数が少なくなった。しかし、成熟卵が全くできないわけではないため、夏の夜の寒さが成虫の卵巣発育に及ぼす影響だけで分布の北限を説明することはできなかった。

(5) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

ある昆虫が寒冷地に定着できるかどうかを検討する場合、低温生物学的には越冬時の耐寒性を問題にする。マツノマダラカミキリの場合、越冬幼虫の耐寒性はかなり高いので、森林保護学的には1年1世代の生活環を維持するための有効積算温量が考えられてきた。これに対して本研究は、生活環を開始するために必要不可欠な成虫の産卵の成否に着目した点に最大の特色がある。この視点から研究を進めた結果、夏の夜の寒さが成虫の卵巣発育に及ぼす影響を明らかにすることができた。

(6) 今後の展望

夏の夜の寒さが成虫の卵巣発育に及ぼす影響だけでマツノマダラカミキリの分布の北限を説明することはできなかったが、マツノマダラカミキリは夜行性であるため、夏の夜の寒さが、成虫の移動、交尾行動、および産卵行動に直接影響する可能性が残されている。また、夏の夜の寒さが、マツノマダラカミキリ成虫の昆虫病原菌感染の感受性に影響を及ぼす可能性も考えられる。もしこのようなことが実際に見られれば、夏の夜の寒さが成虫に及ぼす影響で、マツノマダラカミキリの分布の北限を説明できるかもしれない。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

Noritoshi Maehara, Takuya Aikawa and Natsumi Kanzaki 2015. Relationship between pine wilt disease development in asymptomatic carrier trees of *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) and their use by *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). Applied Entomology and Zoology 50, 33-39. (査読有)
DOI: 10.1007/s13355-014-0299-2

Noritoshi Maehara and Natsumi Kanzaki 2014. Effect of aging in adult *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) on the susceptibility of the beetle to *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales). Journal of Forest Research 19, 357-360. (査読有)
DOI: 10.1007/s10310-013-0423-0

Noritoshi Maehara 2014. Effects of location of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae) pupal chambers and individual trees from which the beetles emerged on the number of *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) carried by the beetles.

Nematology 16, 369-372. (査読有)
DOI: 10.1163/15685411-00002784

Noritoshi Maehara, Natsumi Kanzaki, Takuya Aikawa and Katsunori Nakamura 2013. Effects of two species of cerambycid beetles, tribe Lamiini (Coleoptera: Cerambycidae), on the phoretic stage formation of two species of nematodes, genus *Bursaphelenchus* (Nematoda: Aphelenchoididae). Nematological Research 43, 9-13. (査読有)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjn/43/1/43_9/_pdf

〔学会発表〕(計1件)

前原紀敏、神崎菜摘 *Bursaphelenchus okinawaensis* のマツノマダラカミキリとキボシカミキリへの乗り移り. 第59回日本応用動物昆虫学会大会 2015年3月28日 山形大学(山形県山形市)

〔図書〕(計1件)

前原紀敏 他 京都大学学術出版会 線虫学実験(水久保隆之・二井一禎編) 2014 324(262-264).

〔その他〕

前原紀敏、相川拓也、神崎菜摘 マツノザイセンチュウの潜在感染木における病徴進展とマツノマダラカミキリによるそれらの木の利用の関係. 森林防疫(全国森林病虫獣害防除協会) 2015 64, 106-110.

前原紀敏 カミキリムシと線虫の相性. 岩手の林業(岩手県林業改良普及協会) 2015 686, 8-9.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前原 紀敏 (MAEHARA, Noritoshi)
独立行政法人森林総合研究所・東北支所・主任研究員
研究者番号: 20343808

(2) 研究分担者

中村 克典 (NAKAMURA, Katsunori)
独立行政法人森林総合研究所・東北支所・グループ長
研究者番号: 40343785