

南極に生きる昆虫・ナンキョクユスリカの成長過程における季節性のメカニズムの一端を解明

<概要>

ナンキョクユスリカ(図1)は南極大陸に生息する唯一の昆虫で、成虫はわずか5日ほどしか寿命がなく、その間に子孫を残す必要があります。ナンキョクユスリカは幼虫の状態で2年間過ごし、脱皮や2回の冬越しを経て夏に一斉にさなぎ、そして成虫になります(図2)。しかし、



図1 交尾中のナンキョクユスリカの成虫(左)と幼虫(右)
成虫の体長は2・3 mm、幼虫の体長は4・5 mm 撮影：清水悠太

成長速度には個体差があるにも関わらず、なぜ夏に一斉に成虫になるのか、その成長過程における季節性のメカニズムは明らかになっていませんでした。

大阪公立大学大学院理学研究科の後藤 慎介教授、吉田 美月氏(当時 大阪市立大学大学院理学研究科 後期博士課程3年)らの研究グループは、ナンキョクユスリカが成虫になるまでに経験する2回の越冬に着目し、6年間にわたる研究から確立した飼育方法に基づき成長過程を調べました。その結果、2齢幼虫の越冬は恐らく、寒くなれば発育を停止し暖くなれば発育を再開する「休止」によるもの、4齢幼虫の越冬は「内因性休眠」と呼ばれる気温などの環境条件によらず起こる自発的な発育停止によるものであることが分かりました。また、内因性休眠の終了と越冬期間の関係を分析したところ、冬の経験期間が長いほど成虫になる個体が多いことが明らかになりました。さらに、凍結・凍結保護脱水と呼ばれる2つの越冬状態のどちらが内因性休眠の終了に重要なかを、 -3°C と -5°C の環境で6ヶ月飼育した幼虫の生存率と休眠終了率から検討。凍結保護脱水よりも凍結の方が、そして -3°C よりも -5°C の方が内因性休眠の終了に重要な因子であることが分かりました。今後はさらに研究を進め、ナンキョクユスリカの季節適応機構の解明を目指します。

本研究成果は、2025年2月12日に国際学術誌「Scientific Reports」のオンライン速報版に掲載されました。

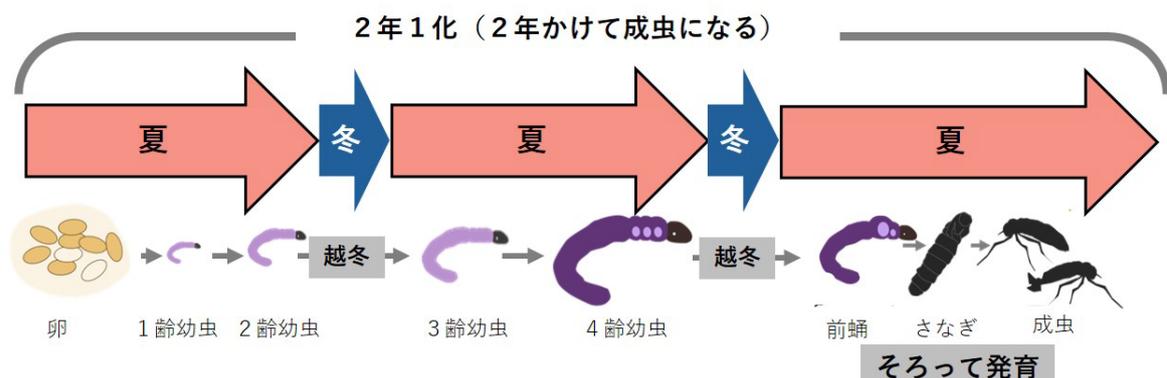


図2 ナンキョクユスリカの成長過程(生活史)と季節性

生物の可能性と普遍性を知るためには、特殊な性質や生物に広く共通する性質を明らかにしていくことが必要です。極限環境である南極では、一年を通して低温かつ乾燥した状態が続きます。本研究では、生物の環境適応の仕組みを明らかにするために、特殊な環境に生息する昆虫の個体そのものを詳しく観察することで、南極の環境での生存に不可欠な性質を発見しました。



吉田 美月氏

<研究の背景>

南極には、ナンキョクユスリカ (*Belgica antarctica*) と呼ばれるユスリカが生息しています。ナンキョクユスリカとその近縁種の祖先は、6850 万年前にパタゴニアに生息していた近縁種から分化し、南極大陸の移動とともに南極の気候に適応したと考えられています。本種が生息する南極半島の気候は比較的穏やかで、冬の平均気温は-5℃、夏の平均気温は2℃ほどですが、冬は長く8ヶ月ほどあります。成虫は、南極の短い夏のはじめに現れ、交尾の後、卵を産みます。卵からふ化した幼虫は1齢幼虫となり、脱皮して2齢幼虫になります。2齢幼虫は冬越しの後、3齢幼虫、終齢(4齢)幼虫となり、再び冬越しをします。冬越しをした終齢幼虫は、夏にそろって蛹(さなぎ)、成虫になります。成虫の寿命は短く数日で、この間に異性に出会えなければ、次世代を残すことはできません。このように、ナンキョクユスリカの生活史(いつ成虫が現れるのかといった特性)には明瞭な季節性がありますが、どのようにこの季節性が生み出されるのかは分かっていませんでした。

<研究の内容>

本研究グループは初めに飼育法の検討を行い、6年を経てようやく飼育法を確立することができました。その過程で、卵から終齢(4齢)幼虫になるまでの発育はすみやかに起こるものの、その後幼虫は発育を停止し蛹にはならないことが分かりました。このような環境条件によらず起こる自発的な発育停止は、「内因性休眠」と呼ばれます(図3)。一方で、1齢、2齢、3齢幼虫での内因性休眠の証拠は得られませんでした。さらなる研究が必要ではあるものの、野外で見られる2齢幼虫の越冬は環境条件に直接誘導される発育停止で、寒くなれば発育を停止し暖くなれば発育を再開する「休止」によるものと考えられます(図3)。

他の昆虫での研究から、内因性休眠は冬の低温によって終了することが知られています。そこで、本種の終齢幼虫を南極の冬を模した条件に3ヶ月あるいは6ヶ月さらした後、夏に移してみました。冬の条件にさらさなかった集団からは成虫は現れませんでした。冬の条件にさらした集団からは成虫が現れました。また、冬の経験期間が長いほど、より多くの成虫が現れることが確認されたことから、内因性休眠の終了には冬の経験が必要であることが分かりました。

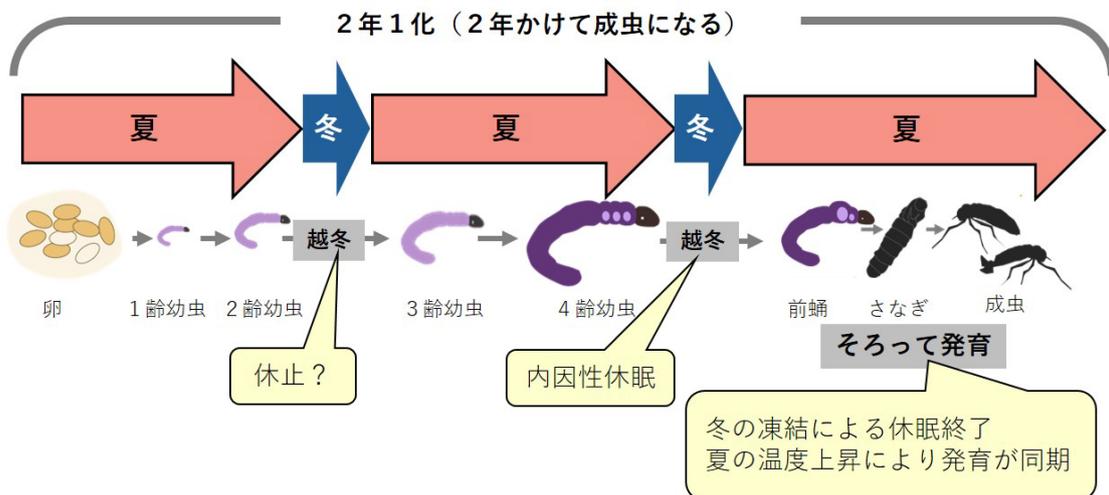


図3 ナンキョクユスリカは内因性休眠と凍結による休眠終了によって南極の季節に適応している

次に、ナンキョクユスリカが冬に経験する 2 つの越冬状態、すなわち凍結と凍結保護脱水 (cryoprotective dehydration) のどちらが、内因性休眠の終了に重要であるかを検討しました。凍結保護脱水は、環境中の水の凍結による湿度低下で昆虫が脱水し凍結しなくなる現象です。凍結状態、凍結保護脱水状態の幼虫を -3°C と -5°C に 6 ヶ月間さらし、その後夏の条件に移しました。その結果、越冬後の生存率と休眠終了率において、凍結保護脱水よりも凍結の方が、そして -3°C よりも -5°C の方が内因性休眠の終了に重要であることが分かりました。

以上の結果から、本種は、1 回目の冬を休止で、2 回目の冬を内因性休眠でやり過ごすと考えられます (図 3)。夏の気温上昇で暖かくなることで、すぐに活動を再開できる休止は、南極という過酷な環境に適応するために重要と考えられます。一方、内因性休眠は冬の低温で終了します。内因性休眠を終了した幼虫は、夏の生息場所の温度上昇に反応して一齐に蛹になるため、成虫の出現が同期します。「休止」と「内因性休眠」の両方を用いて複数回越冬するという季節適応戦略は、他の生物では報告されていませんでしたが、同じく過酷な環境である北極や高山に生息する昆虫も類似の戦略を用いていることが考えられます。

<期待される効果・今後の展開>

本研究により、ナンキョクユスリカの季節適応機構の一端が明らかになりましたが、「どのようにして凍結した状態で温度を区別しているのか」、「どのようにして自身が凍結している期間を知るのか」、「凍結している期間に何が起きているのか」、「凍結後にどのようにして発育を開始するのか」については、不明のままです。今後さらに研究を進めることで、極地の季節に適応する仕組みを明らかにしていきたいと考えています。

<資金情報>

本研究は、JST SPRING (JPMJSP2139)、NSF-OPP (1341393、1341385、1850988)、NSF-NERC (NE/T009446/1)、USDA NIFA Hatch Project (1010996) からの支援を受けて実施しました。

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 Scientific Reports

【論文名】 Obligate diapause and its termination shape the life-cycle seasonality of an Antarctic insect

【著者】 Yoshida, M, Convey, P, Hayward, S.A.L, Lee, R.E, Denlinger, D.L, Teets, N.M, Goto, S.G.

【掲載 URL】 <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86617-4>

【研究内容に関する問い合わせ先】

大阪公立大学大学院理学研究科
教授 後藤 慎介 (ごとう しんすけ)
TEL : 06-6605-2573
E-mail : shingoto@omu.ac.jp

【報道に関する問い合わせ先】

大阪公立大学 広報課
担当 : 竹内
TEL : 06-6967-1834
E-mail : koho-list@ml.omu.ac.jp