

令和 2 年 3 月 13 日

昆虫の季節適応機構の解明 日長と温度による制御の仕組みを、初めて分子レベルで明らかに

◆発表のポイント

- ・昆虫は熱帯に起源をもち、そこから温帯へと生息域を広げてきたと考えられています。この過程で、春から夏にかけて繁殖し、休眠により冬を越すという季節に適応した生活史を獲得したと考えられています。
- ・この季節への適応は、日長への反応によるとされてきましたが、本研究では、幼虫発育を遅延させて越冬するタンポコオロギを用いた研究により、この季節適応が、光周期による脱皮(注1)の調節と、温度による成長速度の調節の2つの経路で制御されることを初めて分子レベルで明らかにしました。

岡山大学大学院自然科学研究科(理)の篠原従道大学院生(博士前期課程1年)、富岡憲治教授らの研究グループは、昆虫の季節適応の仕組みを解明しました。本成果は、2月24日に米国科学アカデミー紀要「*Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*」電子版に掲載されました。

昆虫は熱帯に起源をもち、温帯へと生息域を拡大してきたと考えられています。常に暖かい熱帯と異なり、温帯には四季があり、生存のためには厳しい冬を越すことが不可欠です。昆虫が卵やさなぎで越冬することはよく知られています。しかし、幼虫で越冬する昆虫がどのようにして季節に適応しているのかは、未解明でした。本研究では、タンポコオロギを用いて、日長が脱皮回数と体のサイズを決定することと、他方温度は体の成長速度を決定しており、両者が協調して作用することで、秋から冬にかけての短日と低温が脱皮回数を増加させ、幼虫発育速度を低下させ、幼虫で厳しい冬を乗り越えていることを明らかにしました。本研究は徳島大学と Pompeu-Fabra 大学(スペイン王国)との共同で行ったものです。

◆研究者からのひとこと

体内時計を使った昆虫の季節への適応機構を研究してきました。昆虫は、日長の変化を手掛かりに、季節変化を前もって知り、生理的な準備をしていると考えられてきました。この研究ではこの季節適応に、日長を読み取って脱皮を調節する仕組みに加えて、温度が直接発育速度を調節する仕組みが関係することを、それらの背後にある分子機構も含めて明らかにすることができました。しかし、日長がどこで、どのようにして感受されているのか、温度がどこで感受されているのかなど、多くの問題が残されていて、興味は尽きません。



富岡教授



PRESS RELEASE

■発表内容

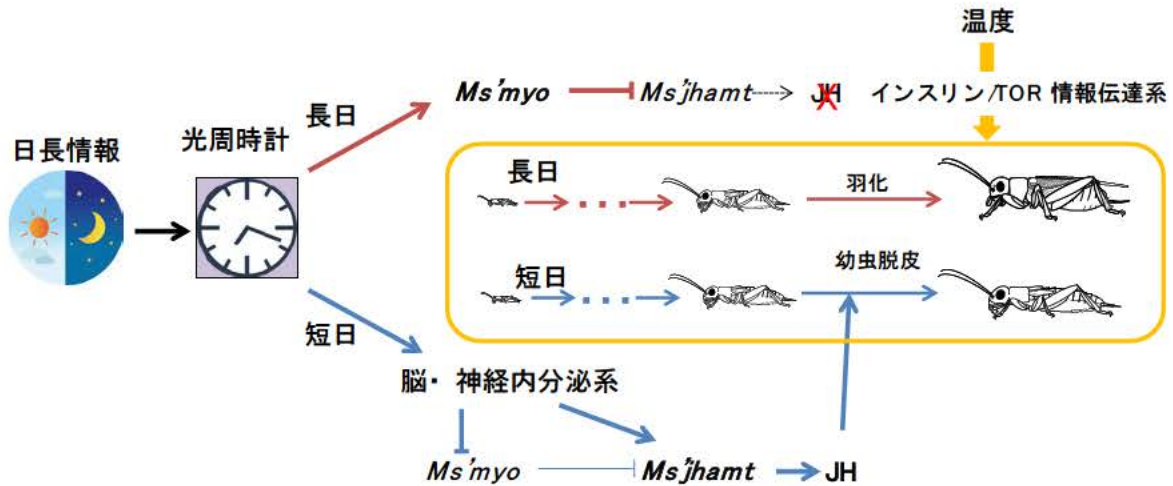
<背景>

昆虫は熱帯に起源をもち、温帯へと生息域を拡大してきたと考えられています。常に暖かい熱帯と異なり、温帯には四季があり、生存のためには厳しい冬を乗り越えることが不可欠です。昆虫が卵やさなぎで休眠し越冬することはよく知られています。しかし、幼虫で越冬する昆虫がどのような仕組みで季節に適応しているのかは、未解明でした。

<研究成果の内容>

幼虫で越冬する昆虫は、日長によって発育が制御され、日の長い夏の間は速やかに成長し、日が短くなると成長が抑制されることが知られていて、日長が主たる要因であると考えられてきました。本研究では本州から九州にかけて広く生息するタンボコオロギ (*Modicogryllus siamensis*) を用いて、季節によって変化する日長と温度の幼虫発育への影響を調べ、日長が脱皮回数を増加させ、体のサイズを大きくすること、一方、温度は体の成長速度を決定していて、両者が協調して作用することで、秋から冬にかけての短日と低温が、幼虫発育速度を低下させ、厳しい冬を乗り越えていることを明らかにしました。

タンボコオロギの幼虫発育はこれまで日長により制御されることが分かっていました。25°C長日条件下（注2）では、卵から孵化した幼虫は7~8回の脱皮を経て約50日で成虫になりますが、短日条件下では9回以上脱皮を繰り返してゆっくりと成長し、半数が成虫になるのに100日を要します。成虫の体重は、短日では長日の約2倍になります。温度を30°Cにした場合、長日、短日条件での脱皮回数と体重は、25°Cの場合とほとんど変わりませんでした。発育速度は大きく促進され、短日でも25°Cの場合の長日条件よりも早く成虫が羽化しました。この背後にある仕組みを調べたところ、脱皮回数の決定には変態を促す *myoglianin* (*myo*) 遺伝子が重要な役割を担うことがわかりました（図）。*myo* は、幼虫から成虫への変態を抑制する幼若ホルモンの合成を抑制し、変態を促す因子です。長日条件下で *myo* の発現を抑制すると、脱皮回数が増加し、短日型の発育を示すようになりました。また、この *myo* の発現は日長情報が脳を経て制御していることも明らかになりました。一方、温度による発育速度の制御には、インスリン系が関わっており、この系に関係する Insulin-like peptide(ILP)や Target of rapamycin (TOR)の30°Cでの高発現によって発育が促進され、ILPの受容体 (*Inr*)を発現抑制すると、発育が抑制されて幼虫期間が遅延しましたが、脱皮回数には影響しないことが明らかとなりました（図）。これらの結果は、この昆虫の発育が、日長による脱皮回数の制御と温度による成長速度の制御により調節され、これによって季節へ適応していることを示しています。



図：日長と温度によるタンボコオロギ幼虫発育の制御の仕組み

日長は光周時計により長日と短日が判定され、長日ではタンボコオロギの変態を促す遺伝子 *Ms'myo* が4回目の脱皮以降に発現し、幼若ホルモン (JH) の合成酵素遺伝子 *Ms'jhamt* の発現を抑制することで幼若ホルモン (JH) の合成を抑制し、成虫への変態 (羽化) を促します。短日では *Ms'myo* の発現が抑制され、幼若ホルモン (JH) の合成が促進され、幼虫から幼虫への脱皮を繰り返すことで、成虫への変態が遅れ、体のサイズも大きくなります。一方、温度はインスリン・TOR 情報伝達系を通じて発育速度を制御します。

<社会的な意義>

本研究の成果は、昆虫の季節適応の仕組みを理解するうえで極めて重要です。また、この仕組みを乱すことによって、幼虫休眠を阻害することも可能であり、害虫駆除などへの応用も可能になると期待されます。

■論文情報

論文名：Photoperiod and temperature separately regulate nymphal development through JH and insulin/TOR signaling pathways in an insect

掲載紙：Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

著者：Taiki Miki, Tsugumichi Shinohara, Silvia Chafino, Sumihare Noji, and Kenji Tomioka

DOI：doi.org/10.1073/pnas.1922747117

URL：https://www.pnas.org/content/early/2020/02/24/1922747117



PRESS RELEASE

■補足・用語説明

注1：脱皮

昆虫の体の大きさは、外皮（外骨格とよばれる）の大きさによって決められ、外骨格のサイズ以上には成長できません。そこで、十分に成長すると、外骨格を脱ぎ捨てる「脱皮」を行うことで、古く小さい外骨格をサイズの大きい新しい外骨格に取り換えます。これによって、さらに大きく成長できるようになります。

注2：長日条件・短日条件

一日のうち昼の長さ（夜明けから日の入りまでの時間）がある一定以上に長くなると、長日反応が誘導されます。この条件を長日条件といい、この研究では昼 16 時間、夜 8 時間を長日条件として用いています。一方、短日条件は、昼の長さがある一定以上に短く、短日反応を誘導する条件をいい、この研究では昼 12 時間、夜 12 時間を短日条件として用いています。

<お問い合わせ>

岡山大学大学院自然科学研究科（理）

教授 富岡憲治

（電話番号）086-251-8498

（FAX番号）086-251-8498



岡山大学
OKAYAMA UNIVERSITY



岡山大学は持続可能な開発目標（SDGs）を支援しています。