



クワガタムシの雌雄差を生み出す遺伝子の同定に成功

研究成果のポイント

- ・クワガタムシで雌雄差を生み出す遺伝子を同定した。
- ・この遺伝子の機能を阻害した個体は、雌雄の中間的な特徴を持つことを明らかにした。
- ・この遺伝子は、雌雄で大きさが顕著に異なる大顎^(注1)の発達制御も行っていることを明らかにした。
- ・この遺伝子は、大顎発達を促進するホルモンへの応答性を制御している可能性がある。
- ・これまで、性決定遺伝子のホルモンを通じた形態形成制御の実験的証拠は、昆虫ではほとんどない。
- ・本研究の結果は、昆虫の雌雄の違いがどのように生じるかを明らかにする上で重要な知見である。

(注1) 昆虫の口の一部分。クワガタムシのオスでは顕著に発達し、俗に「ハサミ」と呼ばれる。

研究成果の概要

クワガタムシはオスとメスで非常に異なった姿をしていることで知られています。オスは俗に「ハサミ」と呼ばれる一対の発達した大顎を持っていますが、メスではこの大顎発達は見られません。同じ種であるにも関わらず、このような全く異なった姿へと成長する背景にはどんなメカニズムがあるのでしょうか？本研究では、メタリフェルホソアカクワガタを材料に、性決定遺伝子と幼若ホルモン^(注2)経路に注目してこのメカニズムの解明に取り組みました。

研究の結果、昆虫の性決定遺伝子の1つである *dsx* 遺伝子がクワガタムシでも雌雄の形態の違いを制御していることが示されました。また特に雌雄差が大きい大顎発達の程度の違いは、*dsx* 遺伝子が幼若ホルモン応答性を雌雄で異なる方向に制御することで生み出されていると示唆されました。この結果は、これまで昆虫ではほとんど知られていなかった「ホルモン応答性を介した *dsx* 遺伝子による性分化制御機構」を明らかにした点で画期的であり、他の昆虫においても性による形態の違いがどのように生じるかを研究する上で重要な知見であると言えます。

(注2) 昆虫のホルモンの一種。昆虫全般で成長や変態の制御を行うことが知られる。これらの機能に加えて、クワガタムシでは大顎発達を促進する機能を持つことが明らかになっている。

論文発表の概要

研究論文名 : Developmental link between sex and nutrition; *doublesex* regulates sex-specific mandible growth via juvenile hormone signaling in stag beetles (性と栄養の発生学的リンク : クワガタムシにおける性特異的大顎発達は 幼若ホルモン経路を通して *doublesex* 遺伝子が制御している)

著者：氏名（所属）後藤 寛貴^{*1*2}，宮川 一志^{*1*2}，石川 麻乃^{*1*4}，石川 由希^{*1*5*6}，
杉目 康広^{*1}，Douglas J. Emlen^{*7}，Laura C. Lavine^{*2}，三浦 徹^{*1}

*1 北海道大学 *2 ワシントン州立大学 *3 基礎生物学研究所 *4 国立遺伝学研究所 *5 東北大学
*6 名古屋大学 *7 モンタナ大学

公表雑誌：PLoS Genetics

公表日：米国東部時間 2014年1月16日（木）

研究成果の概要

（背景）

生物の中にはクジャクやカブトムシのように、オスとメスで姿が大きく異なる種類が数多く知られています。クワガタムシもこのような生物の代表的な例であり、オスは俗に「ハサミ」と呼ばれる一対の発達した大顎を持っていますが、メスではこの大顎発達は見られません（図1）。同じ種であるにも関わらず、このような全く異なった姿へ成長する背景にはどんなメカニズムがあるのでしょうか？

本研究では、これを明らかにするために「性」を決める遺伝子（性決定遺伝子）の1つである *doublesex* (*dsx*) 遺伝子に注目しました。この遺伝子は多くの昆虫で性決定に関与することが知られており、クワガタムシでも同様の機能を持つ可能性が考えられました。また、クワガタムシでは幼若ホルモン（juvenile hormone: 以下 JH）が大顎発達を引き起こすことが、我々のグループにより既に明らかにされています。JHの大顎発達促進効果はオスだけで見られ、メスではJHに対して応答が見られないことが明らかになっています。これらの背景より、我々は「性決定遺伝子が大顎のJH応答性制御を通して、雌雄の大顎発達の違いを生じさせている」という仮説を立てました。

（研究手法）

まずは材料として用いたメタリフェルホソアクワガタ *Cyclommatus metallifer* から、*dsx* 遺伝子を単離し、配列の同定を行いました。次いでRNA干渉（RNAi）という手法を用いて *dsx* の機能阻害を行い、その機能を解析しました。最後に、*dsx* の機能阻害とJH処理を組み合わせた実験を行い、*dsx* の機能阻害で大顎のJH応答性が変化するかを調べました。

（研究成果）

配列同定と発現解析の結果、材料種のクワガタでは *dsx* は少なくとも4種類の異なるタンパク質へと翻訳されることが明らかになりました。うち2つは主にオスで作られ、あとの2つは主にメスで作られることが明らかになりました。性特異的に作られるオス型とメス型の *dsx* タンパクは、それぞれオスへの分化とメスへの分化を促進すると考えられます。

幼虫の期間中（成虫の形態が形成される前）にRNAiにより *dsx* の機能阻害を行ったところ、*dsx* の機能を抑制した個体では、オスでもメスでも、雌雄の中間的な特徴を持つ成虫へなりました（図2）。この結果より、*dsx* は雌雄のいずれでも正常な性分化に必要なと考えられます。

最後に、*dsx* の機能阻害とJH処理を組み合わせた実験を行いました。*dsx* の機能阻害を行っていない場合では、オスではJH処理により大顎の過剰発達が引き起こされましたが、メスでは大顎サイズに変化はありませんでした。しかし *dsx* を機能阻害した場合では、オスでもメスでもJH処理により大顎の発達が引き起こされました（図3）。これは、*dsx* が働かない状態ではオスでもメスでも

大顎は JH に応答して発達を起こすことを示しています。つまり、メスでは *dsx* の機能阻害を行うか否かで大顎の JH への応答性が変化しています。これより、メスで発現するメス型 *dsx* には大顎の JH 応答性を抑制する働きがあると示唆されました。これらの結果は、「性決定遺伝子が大顎の JH 応答性制御を通して、雌雄の大顎発達の違いを生じさせている」という仮説を支持するものです。

(今後への期待)

本研究では、これまで全く知られていなかったクワガタムシの雌雄差が生じる発生メカニズムの一端を明らかにしました。*dsx* は様々な昆虫で性決定・性分化に関与することが知られていましたが、ホルモンへの応答性を通して雌雄で異なる形態形成を制御している例は、本研究で初めて示されました。これまで良くわかっていなかった性決定遺伝子とホルモン経路の関係について新しい知見が提供されたことで、様々な昆虫で雌雄間の形態差を生じさせる発生メカニズムについて、研究の進展が期待できます。

お問い合わせ先

所属・職・氏名：北海道大学大学院地球環境科学研究院 准教授 三浦 徹 (みうら とおる)

TEL : 011-706-4524 FAX : 011-706-4524 E-mail : miu@ees.hokudai.ac.jp

ホームページ : http://noah.ees.hokudai.ac.jp/~miu/miura_lab_japanese.html

【参考図】



図1. 今回の研究に用いられたメタリフェルホソアカクワガタ (*Cyclommatus metallifer*)
メス(左)に比べてオス(右)は非常に発達した大顎を持つ。スケールバー: 20mm。

発表論文中の図を改変して引用

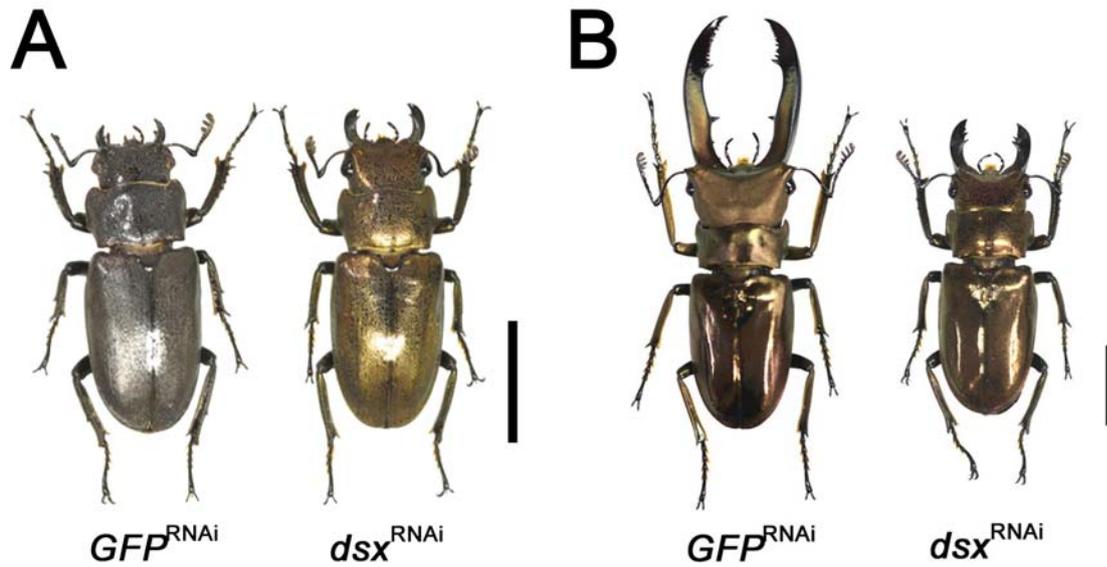


図 2. *dsx* の機能阻害の効果

A) メスの場合，対照個体（左）では通常の個体と変わらないが，*dsx* を機能阻害した個体（右）では，金色の体色，やや大きくなった大顎などオスとメスの中間的な表現型となる。スケールバー：10mm。

B) オスの場合，対照個体（左）は通常の個体と変わらないが，*dsx* を機能阻害した個体（右）では大顎発達が抑制されるなど，オスとメスの中間的な表現型となる。スケールバー：10mm。

発表論文中の図を改変して引用

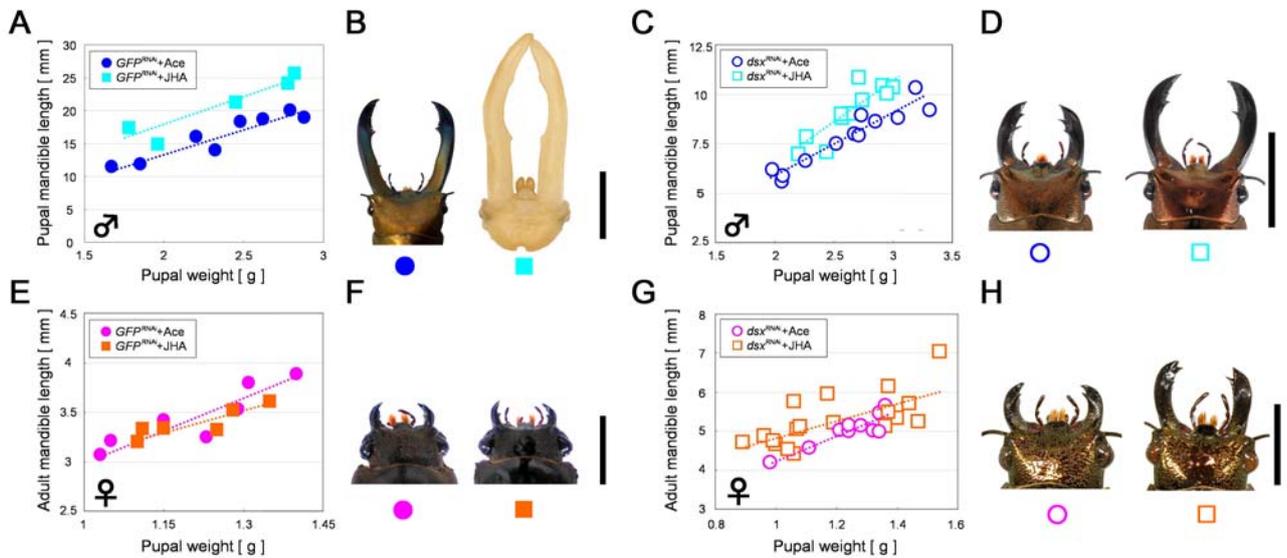


図3. *dsx*の機能阻害とJH処理の組み合わせ実験の結果

A, B) *dsx* 機能阻害を行っていないオスの場合。JH 処理をしていない個体（青丸●、写真左）に比べ、JH 処理を行った個体（水色四角□、写真右）では大顎の過剰な発達を引き起こされている。スケールバー：10mm。

C, D) *dsx* 機能阻害を行ったオスの場合。JH 処理をしていない個体（青丸●、写真左）に比べ、JH 処理を行った個体（水色四角□、写真右）では大顎の過剰な発達を引き起こされている。スケールバー：10mm。

E, F) *dsx* 機能阻害を行っていないメスの場合。JH 処理をしていない個体（桃色丸●、写真左）と JH 処理を行った個体（橙四角□、写真右）では大顎サイズに違いは見られない。つまり JH 処理に対して大顎サイズは影響を受けない。スケールバー：5mm。 G, H) *dsx* 機能阻害を行ったメスの場合。JH 処理をしていない個体（桃色丸●、写真左）に比べ、JH 処理を行った個体（橙四角□、写真右）では大顎サイズが大きくなっている。つまり *dsx* の機能阻害をすると大顎サイズ JH 処理に対しては影響を受けるようになっており応答性が変化していると言える。スケールバー：5mm。

A, C, E, G のグラフの横軸は蛹重（体サイズの指標）、縦軸は大顎の長さを示す。

発表論文中の図を改変して引用