

本件の取り扱いについては、下記の解禁時間以降でお願い申し上げます。

2020年10月29日

TV・ラジオ・WEB … 日本時間 2020年10月29日(木)午後7時
 新聞 … 日本時間 2020年10月30日(金)朝刊

カブトムシの角の形を決めるメカニズムを明らかに ～「折り畳み方」を決める仕組み～

■ 概要

カブトムシの角は蛹への脱皮の時に「突然」現れます。これは脱皮に先立って、幼虫の頭の殻の内側で角を「折り畳んだ状態」で作成し、脱皮時にエアバックのように角を展開することで可能になっています。この角のもとになる「原基⁽¹⁾」の折り畳みが、角の最終形態を決めますが、どのようなメカニズムが折り畳みパターンを決めているのかはわかっていませんでした。

情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所の後藤寛貴博士研究員、大阪大学の近藤滋教授、基礎生物学研究所の新美輝幸教授らの研究グループは、カブトムシの角の形成に関わることで知られる様々な遺伝子の機能を失わせたときに、どのように原基の折り畳みパターンが変わるかを調べました。その結果、折り畳み皺（しわ）の「深さ」のみが変わるケースと、皺の「方向（パターン）」のみが変わるケースがあることが分かりました。これにより、皺の「深さ」と「方向」は異なる独立したメカニズムで決まっていることが示されたのです。

角の原基の折り畳み皺の「深さ」と「方向」のどちらが変わっても、角の最終的な形態は変化しました。昆虫の角形成メカニズムはこれまでも研究されてきましたが、今回、「折り畳み皺」に着目したことで複数の異なる分子メカニズムが独立に角形成や角の形の決定に関わっていることがわかりました。

世界のカブトムシの仲間には角を持つ種類が多く、その角の形や大きさは様々です。これらカブトムシのそれぞれの角の形はいずれも原基の折り畳み皺によって決まっていることが予想されます。今後は、種間で角の形状が異なる要因が皺の「深さ」なのか「方向」なのか、あるいは両方なのかを調べることで、多様な角の形態を作り出すメカニズムが明らかになると期待されます。

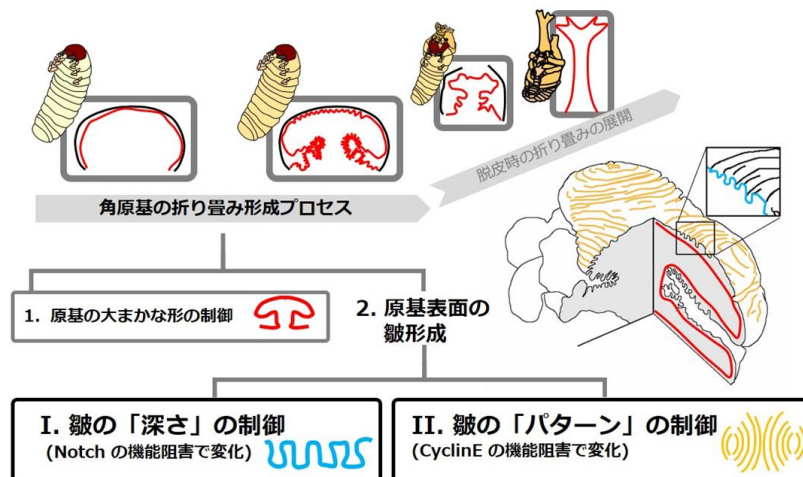


図 1:カブトムシの角は、脱皮に先立って「折りたたまれた状態で」作られる。どのような「折り畳み皺」を作るかで最終的な角の形が決まる。本研究では、原基表面の皺に着目し、その深さとパターンは異なる分子メカニズムで制御されていることを明らかにした。

■ 成果掲載誌

本研究成果は、英国科学雑誌「Scientific Reports」に 2020 年 10 月 29 日午後 7 時(日本時間)に掲載されま
す。

論文タイトル: Genetical control of 2D pattern and depth of the primordial furrow that prefigures 3D shape of
the rhinoceros beetle horn.

(カブトムシの角の3次元構造を決める原基の折り畳み皺の深さとパターンを決める遺伝的制御)

著者: H Adachi, K Matsuda, T Niimi, S Kondo, H Gotoh

(足立 晴彦、松田 佳祐、新美 輝幸、近藤 滋、後藤 寛貴)

■ 研究の詳細

● 研究の背景

カブトムシの角は蛹への脱皮の時に「突然」現れます。これは脱皮に先立って、幼虫の頭の殻の内側で角を
「折り畳んだ状態」で作り、脱皮時にエアバックのように展開することで可能になっています。展開される前の角
の原基の表面には非常に密な折り畳み皺がみられます。これまでに、角の原基の皺の深さやパターン(皺の
方向性)によって、展開後の角の形や大きさが決まることが分かっていました(図 2)。

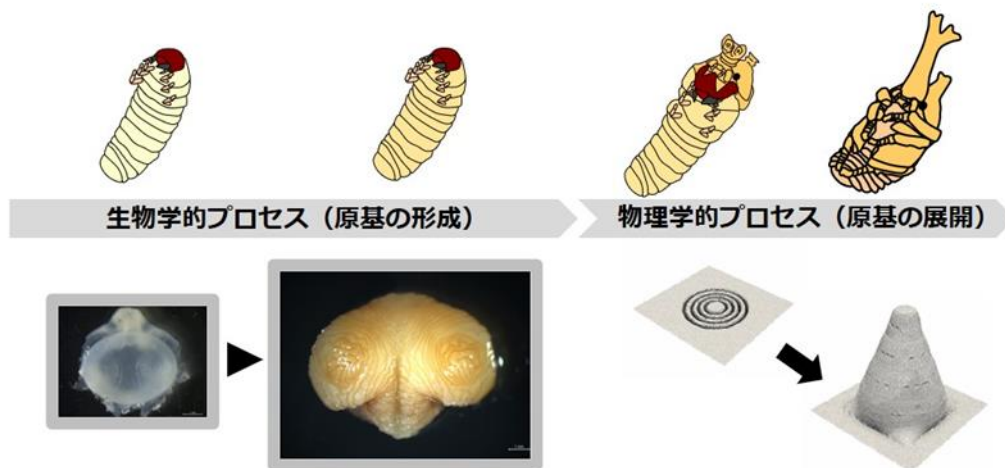


図 2. カブトムシの角形成

カブトムシの角は、蛹への脱皮に先立ち、幼虫の頭殻の内側で形成される。この「角のもと」である角
原基は、非常に密に折り畳まれた構造をしている。脱皮時に、体液の圧力を受けて、この折り畳み皺
が展開することで細長い角にトランスフォームする。

しかしながら、カブトムシの角の形や大きさを決めている原基の折り畳み皺がどのように作られているのか、
とりわけ、皺の深さや方向がどのように決まっているのかについてはわかりませんでした。

● 本研究の成果

カブトムシでは角の形の決定に関与する遺伝子がいくつかわかっています。本研究グループは、それらの遺
伝子の中でも Notch⁽²⁾(ノッチ)という遺伝子の機能を失わせると、角原基の皺の「深さ」が通常の個体に比べて

浅くなることを発見しました。しかし、Notch の機能を失わせたとき、深さは変わったものの、皺の方向性には影響がありませんでした。一方で、CyclinE⁽³⁾ (サイクリン E) という別の遺伝子の機能を失わせると、今度は皺の深さは変わりませんでした、皺の方向性が変わりました(図 3)。

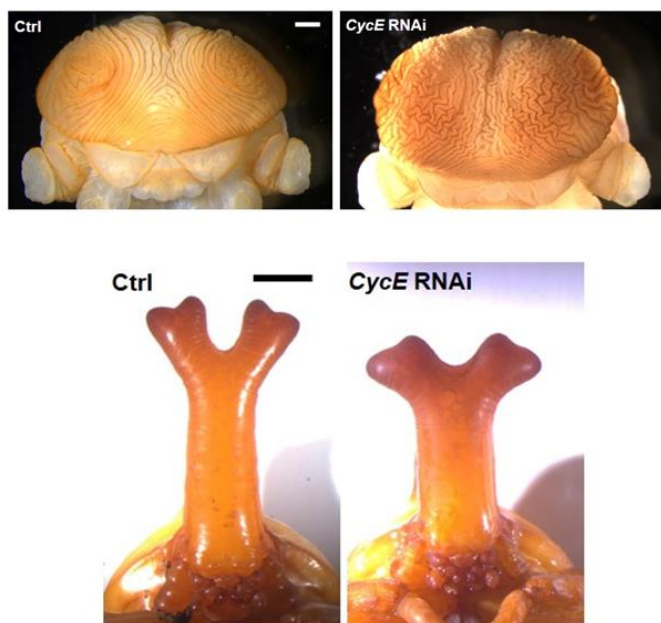


図 3: CyclinE の機能阻害による折り畳みパターンの変化と、その結果としての角形態の変化

通常個体では原基の表面には一対の同心円状の皺が見られる(左上)。この同心円状の皺があることで、展開後の角の先端は大きく二股に分かれる(左下)。一方、CyclinE 遺伝子の機能を失わせた個体では、同心円状の皺が見られない(右上)。その結果、展開後の角は先端の分岐が浅く、横に広がったような形態へと変化してした(右下)。

これらの結果は、折り畳み皺の「深さ」と「方向」が独立に制御されていることを示しています。皺の「深さ」と「方向」のどちらも、最終的な角の形を変えうる要素ですが、それらは異なる分子メカニズムで制御されていることがわかったのです。

● 今後の期待

脱皮に先立って、新しい体を「折り畳んだ状態で」形成し、脱皮時に展開するというのは、昆虫を含む節足動物に共通する形態形成の様式です。「折り畳み」の形成メカニズムの解明から、節足動物の形態形成について新たな知見が得られたのです。

また、カブトムシの角の「折り畳み」は、大きな立体構造を限られた空間に収める技術を開発する上でヒントとなることが期待できます。

■ 用語解説

(1)原基

生物の発生過程において、特定の組織や器官へと成長するもととなる細胞群。カブトムシの角の場合、幼虫の頭部の上皮細胞の一部が、蛹になるのに先立って角原基へと分化する。この角原基は最初、ドーム状のなめらかな膨らみだが、徐々に複雑な折り畳み皺構造を形成していき、蛹化の際に折り畳みを一気に展開することで細長い「角」へと変化する。

(2)Notch

ヒトから昆虫まで、動物において広く保存されている遺伝子であり、細胞間コミュニケーションをつかさどるシグナル伝達に関わることが知られる。多くの動物の発生や様々な器官形成において重要な役割を有する。Notch

を働かなくしたカプトムシの角原基において、折り畳み皺が浅くなったのは、細胞間コミュニケーションになんらかの異常が起こったためと考えられる。

(3)CyclinE

細胞周期(1つの細胞が分裂して2つの細胞になるまでのサイクルのこと)の制御に関わる遺伝子の一つ。G1期(DNA複製準備期)からS期(DNA複製期)への移行に関与する。CyclinEを働かなくしたカプトムシの角原基において、折り畳み皺の方向性が乱れたのは、細胞分裂の制御になんらかの異常が起こったためと考えられる。

■ 研究体制と支援

本研究は国立遺伝学研究所、大阪大学、基礎生物学研究所の研究者からなる共同研究グループにより行われました。

本研究は、科研費 新学術領域「3D ロジック」の支援を受けて行われました。

■ 問い合わせ先

<研究に関すること>

- 国立遺伝学研究所 生態遺伝学研究室
後藤 寛貴 (ごとう ひろき)

<報道担当>

- 国立遺伝学研究所 リサーチ・アドミニストレーター室 広報チーム

※時節柄、Zoom 会議での取材にも対応できますので、Zoom 会議をご希望の場合には、その旨お知らせください。