



Title	カブトムシ角形成における2Dパターンと3D形態をつなぐ物理モデル
Author(s)	松田, 佳祐
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/92127
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (松 田 佳 祐)	
論文題名	カブトムシ角形成における2Dパターンと3D形態をつなぐ物理モデル The physical model connecting 2D pattern and 3D morphology in the beetle horn formation
論文内容の要旨 生物の形ができるメカニズムの解明は生物学の大きな問題の一つである。外骨格生物は、体の最外層が硬いクチクラで覆われているため、脱皮という方法で成長する。脱皮の前後で大きく形が変わることはあまりないが、一部の不完全変態昆虫や、完全変態昆虫では脱皮の前後で大きく形を変える。この「変態」のメカニズムの解明は、外骨格生物の形態形成メカニズムを明らかにするためには非常に重要である。 これまで、完全変態昆虫のモデルとしてショウジョウバエの脚や翅の形成(成虫原基の発生)がよく調べられてきた。しかし、ショウジョウバエの成長方法が外骨格生物全体に一般化できるかは明らかではない。そのため、外骨格生物の形態形成を理解するためには、他の外骨格生物の形態形成メカニズムを調べる必要がある。 そこで本研究では、完全変態昆虫の中でも代表的な日本のカブトムシ <i>T. dichotomus</i>の角形成メカニズムについて研究した。角は外見的には二段階で形成される。第一段階は幼虫から蛹になるときで、幼虫にはなかった角が突然出現する。第二段階は蛹から成虫になるときで、蛹の丸みを帯びた角から、成虫の角ばった角へと変形する。これまでの研究により、第一段階に関しては、幼虫の頭の中に角原基と呼ばれる複雑に折りたたまれた上皮細胞のシートが存在しており、これが蛹化の際に膨らんで蛹の角となることが分かっていた。また第二段階の”remodeling”と呼ばれるプロセスでは、蛹の角が上皮細胞シートのアポトーシスなどにより吸収され成虫の角となることが分かっていた。しかし、変態において上皮細胞シートがどのように変形して角の形を作っているのかは十分に説明できていなかった。そこで本研究では、<i>T. dichotomus</i>の角ができる際の上皮細胞シートの変形に注目し、どのように上皮細胞シートが変形しているか、その背景にどのような要素が関与しているかを調べた。 まず第一段階に関しては、複雑に折り畳まれている角原基の展開過程に着目し、<i>in vivo</i>, <i>in vitro</i>, <i>in silico</i>の三つの方法で角原基を展開することで、角原基の展開過程では細胞活動やクチクラの局所的異方性の形への影響を無視できることを示した。このことから、折り畳みの展開が、角原基から蛹の角への変形を規定していることが分かった。そこで次に、コンピュータ上で角原基表面の折り畳みの走行や変形における役割を解析する手法を開発し、角原基表面にある折り畳みパターンと、それによって生じる変形の関係性を網羅的に調べた。その結果、角原基から蛹の角になる際の大きな3つの変化(四分岐構造の出現、近遠位方向の伸長、角の背側への起き上がり)が異なる領域の折り畳みによって生じることが分かった。また、折り畳みのメカニズムが各領域で異なることが示唆された。 次に第二段階に関しては、成虫の角形成過程の観察とRNAi実験により、リモデリングにおいて変形に寄与する要素として「先端から腹側の接着」、「不均一な細胞シートの収縮」、「体積減少」の3つの要素を見出した。そして、これらの要素を考慮して力学シミュレーションを開発し、実際にリモデリングを再現できることを示した。最後に、この力学シミュレーションをオオクワガタの大顎のリモデリングに適用し、甲虫のリモデリング全般に適用可能であることを示した。 これらの研究により、角の形成において、ショウジョウバエの成虫原基の発生ともある程度共通性がある、「折り畳み形成と展開」による形態形成と「接着と収縮」による形態形成が生じていることが分かった。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (松 田 佳 祐)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	近藤 滋
	副 査	教授	木村 真一
	副 査	教授	井上 康志

論文審査の結果の要旨

松田佳祐氏は、動物の3D形態がどのようにしてできるかという、未知の分野に挑み、画期的な成果を挙げた。まず、研究対象としてカブトムシの角を選んだことが、非常に重要な点である。カブトムシの角原基は蛹になるときに、皺が進展することで、短時間に、巨大な3D形態を作る。松田氏は、皺構造を電子的に写し取り、その3Dメッシュモデルを作成、内側から圧力をかけると、正確に3D構造が再現できることを示した。このことは、原基表面の皺パターンに3D形状をコードしていることを示している。また、3Dの物理計算を駆使して、皺の各部分が3D形態のどこに寄与しているかを詳細に調べることで、皺と3D形態コーディングの関係を明らかにした。さらに、蛹から成虫への変形が皺の伸展とは逆の収縮とクチクラへのピン止め効果によって起きることも明らかにした。

これらの成果は3本の論文にまとめられており、既に、多くの研究者の高い評価を得ている。

以上から、博士の学位を授与するに値するものと認める。なお、チェックツール“iThenticate”を使用し、剽窃、引用漏れ、二重投稿等のチェックを終えていることを申し添えます。

近藤滋 (2023. 3. 1)