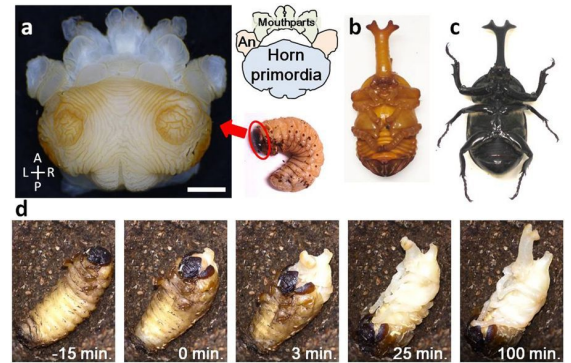


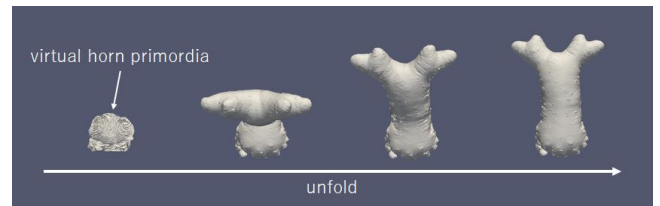
「3D形態をコードした2D折りたたみパターン」による形態形成

臓器や器官の形は、その機能と直結しています。そのため、「生物の形がどのように決まるのか」を解明することは、医学生物学の重要なテーマとなっています。これまでの研究は、形態形成の過程で働く遺伝子と細胞の挙動ついて、多くのことを明らかにしてきました。しかし、3次元の「形」を構築するために必須のマクロな空間情報と、細胞レベルのミクロな挙動のつながりの間には、いまだに大きなギャップが存在しており、現在でも、完全な理解には遠い状態です。

今回、そのギャップを埋めるための新しい研究材料として、私たちはカブトムシの角に注目しました。カブトムシの角は、幼虫の頭の中で、コンパクトに折りたたまれた袋(角原基)として形成され、蛹化時にそれが風船のように膨んで、非常に短い時間で大きな角に変化します。この特徴的な成長様式から、「角の形態形成」は、「細胞シートのどこに折りたたみを作るか」という生物学的な問題と、「折りたたみの展開によりどのような立体構造ができるか」という物理学的な問題に分けることができ、それにより問題が単純化され、完全な理解が可能であると考えました。



実際の研究では、まず、角原基が膨らむ過程で、生物学的要因(細胞増殖や移動など)が関わっていない事を検証しました。凍結切片の連続断面から再構築した角原基3次元データ(バーチャル角原基)を、物理シミュレーションで展開すると、バーチャル角原基はきちんと角の形になりました。当然ながらバーチャル角原基は細胞を持っていないので、角原基から角への変形には細胞は必要なく、すでに形成された折りたたみが物理的に展開されるだけのプロセスであることが示されました。つまり、巨大な角の形態は、コンパクトな角原基の折り畳みパターンの中にコードされていることとなります。次に、角原基の各場所の折りたたみパターンをシミュレーションで展開し、展開後の3D形態を調べました。この計算機実験により、角原基の各部分の折り畳みの方向、形状がどのように展開後の形態を制御しているかの、一般法則に近いものが見えてきました。



遺伝子のミクロな機能とマクロな形態形成現象の間にある大きなギャップを埋めるには、生物学と物理学の両面から研究することが必要ですが、ほとんどの場合、この2つは同時に進行し、独立していません。この論文では、角の形成過程で2つの要素を分離して考えることができることを示しました。また、これまで模様などでよく研究されてきた「2次元パターン形成」と「3次元形態形成」の間を「3D形態がコードされた2D折りたたみパターン」という新しい形態形成の概念で結びつけました。この知見を発展させれば、任意の3D形態を作るための折り畳み構造をデザインすることも可能になると期待しています。

