

【新学術領域研究（研究領域提案型）】

生物系



研究領域名 生物の3D形態を構築するロジック

大阪大学・大学院生命機能研究科・教授 **こんどう しげる**
近藤 滋

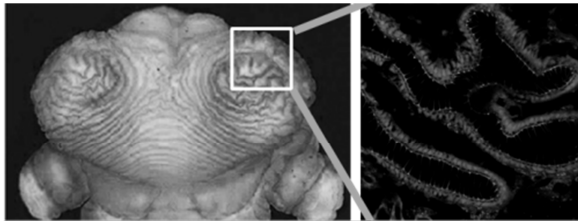
研究課題番号：15H05856 研究者番号：10252503

【本領域の目的】

生物の臓器や器官の機能、あるいは個体の行動は、その形態に依存する。そのため、形ができる原理の解明は生物学の最重要課題の一つである。分子生物学の導入以降、形態形成に重要な遺伝子・分子の多くが特定され、発現パターンも解っている。しかし、遺伝子の発現パターンは、既に存在している場を区別しているのであり、形を生み出すことはない。3Dの形態は、個々の細胞の物理的な変化の集積として、場が3次元的に変形して生み出されるのだが、その因果関係についての情報は極めて少ない。本領域では、生物の形態形成現象の中でも、「3D」を意識しないと理解できない現象を取り上げ、生物の3次元形態がどのようなロジックで作られているかの解明を目指す。

【本領域の内容】

本領域の特徴は、①3Dの形態形成に特化した研究対象、②数理科学との融合、の2つである。

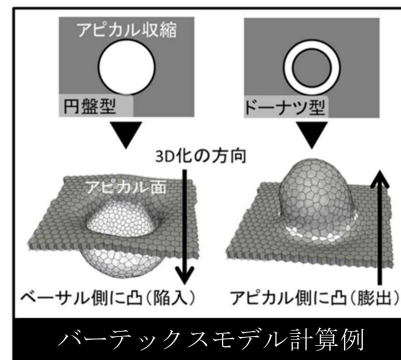


カブトムシ角の原基のしわ(折り畳み)

上図はカブトムシの角の原基では、複雑な折り畳み構造が見えるが、完成形と対応づけることは難しい。そもそも、優美な完成形の構造を折り畳んだ状態で作ることも自体が、とてつもなく困難に思える。数学側から見ても、「有限の伸縮しか許されないリアルな世界で任意の複雑な形態をどうすれば平面上の原基に折り畳めるか？」という問題に解答するのは難しい。しかしながらこの空間構造に関する問いに答えられない限り、真の意味で生物の3D形態がどうやってできるかは、解らないのである。逆に、この複雑な3D形態の折り畳み方法がわかれば、任意の形を作れることになる。他にも、魚類の体節の3D変形、ショウジョウバエ後腸のキラルな捻転、インビトロで培養される上皮細胞が見せる3D形態形成、両生類胚の神経管形成時に起きる細胞層の3D変形等を研究対象として扱う。

3Dバーテックスモデル等の適切な計算システムを使えば、細胞シートの一部で発生された力が、場をどのように変形させるかを計算できる。これ

に実験データを組み合わせ、さらに数学的に拡張すれば、ツノゼミのような複雑な3D構造を完全に説明することも夢ではないだろう。



【期待される成果と意義】

非常に複雑なツノゼミのヘルメット構造も、カブトムシの角や昆虫の翅と同様に、細胞シートの折り畳みでできる。したがって、折り畳み構造と3D形態の関係が解明できれば、ほとんどの昆虫、甲殻類の3D形態が形成される仕組みを、ある程度「理解」できるはずである。これは発生生物学における一つのゴールに他ならない。また、細胞シートの折り畳みと3D形態とのあいだの関係が解明できれば、太陽電池パネルの折り畳み法として有名な「三浦折り」の様な、未知の応用につながる可能性もある。

【キーワード】

3次元形態
細胞シート
折り紙の理論

【研究期間と研究経費】

平成27年度～31年度
1,102,300千円

[Grant - in - Aid for Scientific Research on Innovative Areas(Research in a proposed research area)]
Biological Science



Title of Project : Discovery of the logic that establishes the 3D structure of organisms

Shigeru Kondo
(Osaka University, Graduate School of Frontier Biosciences,
Professor)

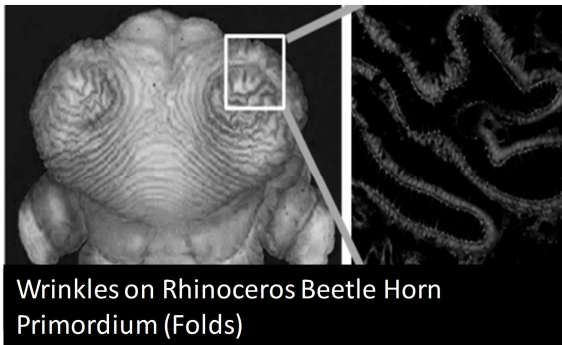
Research Project Number : 15H05856 Researcher Number : 10252503

【Purpose of the Research Project】

In this research project, we approach morphological phenomena that cannot be understood without an explicit awareness of "three-dimensionality (3D)". Our aim is to explain the logics governing the creation of the three-dimensional form of living beings.

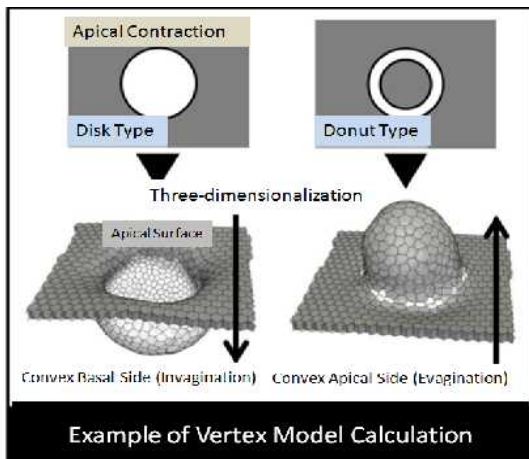
【Content of the Research Project】

There are two characteristics of this research project: (1) specialized research subjects in 3D morphogenesis; and (2) the integration of mathematical science.



Wrinkles on Rhinoceros Beetle Horn Primordium (Folds)

In the above picture of a rhinoceros beetle's horn primordium, a complex folded structure can be seen, but it is hard to correlate it with the completed form. To start, the creation of the elegant structure of the completed form in its fully-folded state can be considered all but impossible. From a mathematical perspective, it is difficult to answer the question, "In the real world, which doesn't allow for anything but a



kolimited amount of expansion and contraction, how can an arbitrarily complex shape be folded out of the planar surface of a primordium?" Nevertheless, as long as one cannot answer the question posed by this spatial structure, one cannot truly know how organisms get their 3D form. Conversely, if one understood how to fold such complicated 3D shapes, then one could create any given shape.

Additionally, some of the research subjects we are working on include the 3D transformation of fish somites, chiral torsion in the hindgut of *Drosophila*, in vitro cultivation of epithelial cells showing 3D morphogenesis, and the 3D transformations occurring in the cell layer during neural tube formation in amphibian embryos.

If one uses an appropriate calculation system like a 3D vertex model, one can calculate the way in which forces generated in one section of the cell sheet transform the morphogenetic fields. If we combine this system with experimental data and extend it mathematically, then complete explanations of complex 3D structures such as that of the treehopper will no longer be mere dreams.

【Expected Research Achievements and Scientific Significance】

The extremely complicated structure of the treehopper helmet, like the horns of the rhinoceros beetle and the wings of insects, is formed from the folding of a cell sheet. Therefore, with a better understanding of the relationship between folding structures and 3D form, one can certainly claim to understand the mechanisms of the formation of the 3D shape of most insects and crustaceans. This is one of the primary goals of developmental biology.

【Key Words】 Three-dimensional form, Cell sheet, Origami theory

【Term of Project】 FY 2015-2019

【Budget Allocation】 1,102,300 Thousand Yen