

講演要旨 (当日、印刷物として配布する予定です。)

頭蓋骨縫合線のパターン形成:発生と数理をつなぐ

三浦岳 博士 (京都大学大学院医学研究科 生体構造医学講座 形態形成機構学教室 准教授)

生物の形作りは、どう理解したら良いのだろうか?本発表では、現象の山から数理モデリングを用いて形づくりの原理を理解するやり方の一例を紹介する。

我々の頭蓋骨は複数の骨からなっている。これらの骨の継ぎ目の部分は縫合線と呼ばれる。縫合線組織は、出生直後は単純な直線状の構造だが、年齢を経るに従って湾曲してフラクタル構造を作る。この現象に関与する因子は多数同定されてきたが、要するになぜこのような細い一定幅の未分化の組織が維持され、さらに湾曲するのか、そのメカニズムは不明であった。

我々はまず、縫合線のパターン形成に関わっている遺伝子群を、その局在と機能で3群に分類した。このうちの2群の遺伝子は、組織を骨、もしくは未分化な間葉組織の2種類の分化状態に安定に保つ働きをするため、組織の分化状態 u という変数で働きを実装した。もう1群の遺伝子は、未分化な間葉組織で産生され、骨の分化を促進する因子で、別の変数 v で実装した。このモデルは、一次元のバンドの幅の維持、二次元の湾曲構造の形成、フラクタル構造の形成等をすべて再現できた。また、生成されるパターンの違いから、 v の産生される領域を予測することが出来、その予測が正しいことを実験的に確かめることが出来た。

形態形成の現場を捉える -ショウジョウバエ気管原基陥入を例にして-

近藤武史 博士 (理化学研究所 発生・再生科学総合研究センター 形態形成シグナル研究グループ 研究員)

動物胚は、細胞が互いに接着し合うことで作られる一層のシート(上皮)を巧妙に折りたたんでいくことで複雑な器官を形成していく。上皮形態形成の駆動力は構成する個々の細胞の分裂や物理的性質の制御による形態変化により生み出されると考えられている。しかしながら、力を生み出すために細胞はどのような形態変化を使い分けているのか、さらにはそれらがどのように協調して多細胞組織の形態形成を引き起こしているのかについては不明な点が多い。

私たちは上皮シートの陥入機構を明らかにするために、ショウジョウバエ胚気管陥入過程をモデル系にして研究を行っている。ライブイメージング法を用いた個々の細胞の三次元的な形態変化の解析を通じて、M 期進入に伴う“細胞球形化”が気管陥入を加速させる駆動力になること新たに発見した。M 期球形化は動物細胞にとって普遍的な現象であり、ほとんどの場合は上皮シート構造には影響しないが、気管原基では球形化に先立って周辺細胞により生み出される力と協調して陥入を加速するというモデルを考えている。近年、形態形成を理解する上でライブ観察はもはや当たり前となっているが、今回はその一例として、現場を捉えることの重要性を考えるきっかけになれば幸いである。

細胞へのマイクロな力学作用が microRNA を介してマクロな心臓の形態を生み出すロジック

宮坂恒太 博士 (東北大学 加齢医学研究所 神経機能情報研究分野 助教)

心臓は血流動態に対し非常に柔軟な適応性を有していることが明らかとなってきた。ゼブラフィッシュにおいても、血流の停滞は、房室パターンや弁の形成不全など、ヒトにおける種々の先天性心疾患の病態に酷似した表現形を誘導する。このことは心臓が血流動態を感知し、正確な心臓形成のために反応していることを示している。しかし、メカニカルストレスと心臓発生を架橋する因子の存在は、これまで明確にされていない。

マウスの大動脈弓を結紮して、左心室にかかるストレスを増大させると、いくつかの microRNAs (miRNA) の発現が顕著に変化することが分かっている。本研究ではメカニカルストレスを介して、物理的な刺激を生化学的なシグナルへと変換し、心臓形成に関与する因子として miRNA を想定した。

miRNAs の発現パターンから、我々は miR-21 と miR-143 に着目した。これらの発現は拍動依存的に制御されており、拍動を停止させると消失し、拍動を再開させると速やかに回復した。また、miR-21 の機能阻害胚は房室弁が欠失し、miR-143 の機能阻害胚では心室の心筋の一部が心房へと変異するなど、血流を停止させた胚と同様の表現形を示すことが分かった。本講演では、miRNAs の標的因子を明らかにし、種間で高度に保存されたメカニカルストレスを介した発現制御機構と心臓発生について議論したい。

クビナガハムシ類(昆虫綱, コウチュウ目)のペニスはなぜ体長より長くなれたのか？

松村洋子 博士 (北海道大学 農学研究院 博士研究員)

昆虫では体長より長いペニスが発達している。その場合、ペニスの一部の硬化部が伸長し、それはどんなに長くても腹の狭い空間に収納される。長いペニスを持つ虫たちは、ペニスを絡まることなく収納し、破損することなく使用しなければならない。これらの条件をどうやって満たし、長いペニスは進化したのだろうか？

演者らは、伸長部を持つ種と持たない種が混在するクビナガハムシ亜科を材料に、形態と行動の種間比較から歴史推定を行ってきた。収納と簡易な出し入れを可能にする特異な形態は、祖先状態から大きく逸脱することで前適応的に進化しており、この形態を獲得したグループでのみ体長に匹敵する伸長部の進化が可能となっていた。ところが、形態形成時に起因する要因により、伸長部を持ったペニスは羽化時には機能的な形状を持っておらず、羽化後単独でペニスを出し入れすることで、機能的な形状をつくる。他種との比較から、この行動は極端な伸長と共進化もしくは前適応的に獲得されたと推定された。以上のことから、亜科内に見られるペニスの形状の分布は、制約と前適応・共進化で獲得された形・行動の有無に規定され、現在に至ったという歴史が見えてきた。

翼形態型腕足動物の採餌戦略と流水環境に対する殻形態の最適性

椎野勇太 博士 (東京大学総合研究博物館 特任助教)

生物の「かたち」に付随する機能特性は、形態の新規性や革新性だけでなく、サイズや長さなどの些細な変化によって劇的に変化することもある。特に、骨格が比較的少ない無脊椎動物では、一見区別しにくい形質の差異が、ある機能特性に大きな影響を与える可能性が考えられる。例えば、二枚の殻を持つ海洋無脊椎動物の腕足動物は、殻の形態によって自動的(受動的)に形成される水流を殻の内側へと引き込む形態機能を持っている。そして、流入した水から微小な有機物をろ過して採餌を行うことが知られている。形態に生じる変異が一見小さい場合でも、殻まわりの流れを改変し、結果として各個体が望まない全く異なる水流が形成されることもある。そのため、腕足動物の殻形態は、個体の要求に見合った水流を保つための制約を受けている。一方、採餌水流の形成に関与する形質は、種内変異が大きい。流れの様相や個体の生息姿勢には不確定要素があるため、腕足動物の殻形態に見られる種内変異は、各個体の生息する環境条件に応じて、適切な受動的採餌水流を形成するためだと考えられる。本発表では、古生代中後期の「腕足類の黄金期」を築いた翼形態型腕足動物を題材とし、殻形態に備わった機能とその最適性について検討した例を紹介する。

多脚型受動的動歩行が示すもの

杉本靖博 博士 (大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 助教)

歩行ロボットの研究において、1990年にT. McGeerによって提唱された受動的動歩行(PDW: Passive Dynamic Walking)が、近年非常に注目されている。この運動が示唆するものの一つは、骨格系だけのロボットであっても歩行が実現できるということであろう。運動を行う機構(骨格)そのものが歩行といった複雑な現象の実現に大きな役割を果たしていることは、このPDWの現象の中に、いわば「歩行の原理」と呼ぶべき要素が含まれている可能性を意味する。

ここで生物の移動様式に目を向けると、歩行を行う生物はヒトや馬といった比較的サイズの大きいものから、昆虫やムカデなどサイズの小さい物まで、非常に多く存在している。ただし、日常的に二脚歩行をおこなう生物はヒトのみであり、それ以外は四脚やそれ以上の脚数を持つ。PDWのこれまでの研究では、二脚のロボットを対象にしたものがほとんどであり、四脚を含めた多脚のPDWの研究については我々のグループを除けばごく少数のみである。

そこで、本講演では、歩行生物の歩容解析との比較を行いながら、多脚型受動的動歩行の実現及びその歩容解析を行ってきた我々の研究結果を紹介する。