



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Behavioral modeling of coordinated movements in brittle stars with a variable number of arms [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	脇田, 大輝
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(生命科学)
Dissertation Number	甲第13957号
Issue Date	2020-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/78041
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Daiki_WAKITA_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士 (生命科学) 氏 名 脇 田 大 輝

審査担当者	主査	准教授	青沼仁志
	副査	教 授	水波 誠
	副査	教 授	山下正兼

学 位 論 文 題 名

Behavioral modeling of coordinated movements in brittle stars with a variable number of arms
(腕数に個体差があるクモヒトデの協調運動の行動モデリング)

博士学位論文審査等の結果について (報告)

動物が、環境や身体構造の変化に応じた行動を発現するメカニズムの解明は、生物学分野における解決すべき課題のひとつとして古くから議論されている。なかでも、協調運動を生み出す制御メカニズムの理解は、当該分野にとどまらず、ロボット工学や制御工学など多くの研究分野とも共通する課題にもなっている。したがって、この課題解決は、運動制御の生物学的理解に加え、周辺領域研究の発展と貢献には不可欠な状況にある。

本論文は、生物が進化させた適応的な行動の発現メカニズムを紐解くため、放射相称の身体構造と小規模な神経系をもつ棘皮動物に着目し、協調的な運動を生み出す神経系と身体構造のはたらきについて理解を深めた研究である。論文は四章構成であり、主要部は第二章のロコモーションを扱った研究と第三章の盤のポンピング運動について扱った研究からなる。

第二章では、腕数の個体差が高頻度でみられるチビクモヒトデ科の小形種 *Ophiactis brachyaspis* を使って、四・五・六・七腕の個体の歩容を定量解析し、腕数について一般化した制御則を明らかにした。腕への接触刺激で誘発される逃避行動を題材とし、移動方向と腕の運動様式を解析した。「漕ぎ手」として動く腕は後方へ遅く漕いで前方へ速く戻ることから、各腕の動きの「左右度」を角速度に基づいて定義した。また、腕間の同期の程度を腕の各対の角速度から定量化した。さらにデータの分布や相関を解釈するため、確率分布による数理モデルを立て、ベイズ法で推定した予測分布の良さをWAICで評価した。その結果、四〜七腕個体に共通して、刺激した腕の左回りか右回りに二つ隣の腕の動きが左右に偏りにくいこと、その両隣の腕（刺激した腕の一つ隣と三つ隣の腕）が左右の漕ぎ手になりやすく、逆位相で同期しやすいことを示した。ここから、クモヒトデの逃避行動の発現は、ある腕が脅威を感知すると、その情報を載せた信号は放射神経を経由し神経環へ伝えられ、左か右回りのどちらかへ優先的に伝搬して一方向的に進み、何番目にあたる腕かによって左・前・右腕の挙動が決まる設計であることを示した。

第三章では、時系列に沿った運動制御について考察するため、大形種であるオオクモヒトデ (*Ophiarachna incrassata*) で新たに発見したシンプルな協調運動「ポンピング」に着目し、形態の個体差と協調運動の関係を時系列に沿って調べた。ポンピングは採餌後に見られることから消化に関連する行動と考えられる。五腕個体のポンピングは、盤の五つの間幅（隣り合う腕に囲まれた扇状の領域）が一分ほど規則的に膨縮を繰り返す運動であることがわかった。各間幅のしぼむ（膨らむ）タイミングは同期せず、一回りに間幅 1→5 とすると、1→3→5→2→4 もしくは 1

→4→2→5→3 の順を繰り返した。まずポンピングの運動を担う器官を調べるため、X線マイクロCTを使って盤の内部構造を観察した。次に、盤の膨らみ（ポンプ）の動きを説明する数理モデルを構築した。モデルでは、五つのポンプを満たした一定量の液体は、圧が高いポンプから低いポンプへ流れると仮定した。そして、ポンプの収縮期に圧が上がり、内部の液体は隣のポンプへ流れこみ弛緩期のポンプを膨らませる現象を説明した。このモデルを使ったシミュレーション実験では、パラメータを変えても結果はロバストであった。次に、このモデルで六腕個体を想定し、その動作をシミュレーションで予測した。その結果、一回りに間幅1〜6とすると、1・3・5の動きが同期した後、2・4・6の動きが同期することを繰り返した。そこで、六腕のオオクモヒトデを入手し、実際の運動様式を観察したところシミュレーション結果と同じ動作であった。このことから、ポンピングの運動は、腕数にかかわらず、ポンプ内の体液は最近接の間幅へ流れることで引き起こされると解釈できた。この際の体液の流れは、五腕個体では進行波、六腕個体では定常波になると予測できる。このことから、動物には、同じ制御則を使いながらも、身体構造の変化に応じた運動を表出させる設計が存在することを明らかにした。

これを要するに、著者は、動物の協調的な運動の制御メカニズムについて、神経系ばかりではなく、身体の利用した協調的な運動を生み出す設計について新知見を得たものであり、また、前後軸をもたない放射相称の動物がどのように身体の前後左右を決めるのか、その設計についても明らかにした。これにより、動物の適応的な行動の発現メカニズムの理解を深めることに貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（生命科学）の学位を授与される資格あるものと認める。