

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04184

研究課題名(和文) カイアシ類は流されながら流速場をどのように検知し応答するのか

研究課題名(英文) How do copepods detect flow field around them with being drifted

研究代表者

秋葉 龍郎 (Akiba, Tatsuro)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・生命工学領域・主任研究員

研究者番号：00221713

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：水中生物の泳行動と流速場の関係について、理論的研究を行なった。水中で生息する生物は自身の周囲の流れの影響を感じて生きざるを得ない。そのことは水中で生きる生物の大前提である。そこで、生物内の秩序と生物の周囲の秩序の双方の折り合いをつける必要が生じた。そのことが西部の神経系および運動機能、感覚機能の獲得および進化に大きな役割を果たしたことを解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

知性発現の研究は、生物の知性研究に新しい展望と開くものと考えられる。  
またこの流体力学応答特性を利用して、産業の創出も可能となると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We have studied the relation between aquatic organisms and flow field around them theoretically. Mechanical interaction between an organism and flow field is the major premise for its survival. Organs in the organism should be arranged at proper position though flow field acts to deform it. Then intellect, sensing ability and behavioral function are considered to evolve so as to maintain the order in the organism.

研究分野：知性の発言

キーワード：知性発現の研究 流体力学と生物 歪みテンソル

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

海洋性動物プランクトンは海中で流されながら生きている。プランクトンが周囲の流れにさからって泳ぐほどの遊泳能力をもたないものの、遊泳するのはなぜだろうか。また触角で周囲の流速場を検知できることが知られているが、彼らは何を感じて、どう遊泳しているのだろうか。

カイアシ類がある種の変形に対して、忌避行動を示すことが知られている。そこで様々な流速場環境下でカイアシ類の遊泳行動を観察し、流体力学的信号とカイアシ類の行動との関係を探ろうと考えていた。そこで時間的、空間的に変化する流速場信号に対してカイアシ類の遊泳行動を支配する原因を探ることとした。

### 2. 研究の目的

湖沼、海洋などの水圏生態系は多様な生物群で構成されているが、中でも節足動物門カイアシ亜綱に属するカイアシ類は地球上で個体数最大の消費者と言われ、繁栄している。節足動物は遅くとも約5億年前のカンブリア紀には地球上に出現しており、現生類カイアシ類と似た形状の生物の化石が発見されている。カイアシ類の大きさは数100 $\mu\text{m}$ から数mm程度であり、触角および触覚に備わった剛毛を利用して、周囲の流体力学的信号を検知することで環境を探っている。また逃避能力も優れており、極めて短時間で移動できる。自然界ではカイアシ類は止水中ではなく時々刻々変化する流速場の中におり、流速場とともに移動するラグランジュ粒子である。ある継続的な刺激(応力テンソル)と遊泳行動との関係を長時間にわたり観察することで、自然界で沈降、ジャンプを繰り返す彼らの行動原理を明らかにするには、ある継続的な刺激(応力テンソル)と遊泳行動との関係を長時間に渡り観察することが必要であると考えていた。

### 3. 研究の方法

定常かつ空間的に変化する流速場と、時間的、空間的に変化する流速場環境下でカイアシ類の遊泳行動を観察し、流速場と遊泳行動との関係を探ることとした。

また、流体の力学について理論的な研究を行い、生物の遊泳行動を支配する基本原理を探る。さらに、水中から陸域および空域へと生息環境を変化させていった生物進化の家庭でに獲得した行動の原理や、環境検知の原理について理論的研究を行った。

3次元的位置と速度が対応する水流をつくり、その水槽内でのカイアシ類の行動を観察する方針で装置開発を行なった。吸い込み流に対する逃避行動観察実験。水流は矩形水槽の底にパイプを配置しそこから水を抜くことで点対称吸い込み流をつくることできる。吸い込み流速場に対する逃避行動を直交する2つのカメラを利用して撮影することで観察し、行動を定量化する。

アクリルパイプなどを用いて、テイラークエット流生成水槽を開発する。テイラークエット流は同軸の2本の円筒の回転速度を変えることで生成できるので、内側の円筒のみを回転させて、円周方向に速度が変化するようにする。速度分布は中性浮力のトレーサーをいれて観測する。時間安定性や理論式からのずれを評価し、速度分布の円周方向依存性の式を得る。次にテイラークエット流でのカイアシ類の行動を観察する。この場合は1方向から観察する。

定常流刺激の環境では水槽下部から細管で水を吐出しすることで、流水中で徐々に変形度が増加する水流刺激装置を考案した。また、吐出するポンプをパルス駆動のピエゾポンプとすることで、時間的に変化する刺激装置を作成した。

また、水中で生息する生物は種固有の流体力学嗜好性があることが示唆されたので、その特性を利用して、生物の自動分級装置を考案した。

### 4. 研究成果

生物と流速場の相互関係について基礎的な研究を行った。

周囲の流速場により受動的に動かされる流体中の生物(物体)の運動について考察すると、並進と回転と変形の3種類に分類できることが分かった。さらに周囲の流体が水の場合、水は非圧縮流体であるので、等積的な変形のみである。一方、並進と回転は物体に運動エネルギーは与えるものの、弾性エネルギーを与えることはなく、物体の内部にエネルギーは生じない。

さて一方、変形を加えられる物体に眼を転じると、変形により物体の中には2点間の距離が変わる作用が生じることなる。生物には2点間の距離の変化を大きく許容できる生物と許容できない生物がある。一般に受動的な生物は弾性変形を受け入れるのみである。一方、生物の中には降伏点に達する以前に弾性変形を回避する生物がある。これが運動性および環境知覚という能力を有する生物である。換言すれば脳のある生物は運動能力があり、力学的に周囲を検知することで、知性を獲得してきたことが示唆された。すなわち生物の知性が仮に力学的な環境の検知により育まれたことが示唆された。力学的に生物自身の体が応力変形されるということは、周囲の環境と生物自身の内部が連続しているからである。すなわち環境の変化を自身の変形として検知することで、外部の情報が生物の内部の状態を変化させる。媒質と生物の連続性が、生物の感覚脳や情報処理能力の発現を導いたことが示唆された。

このことは脳のある生物は押し並べて自発的に動くことができることから支持される。またホヤは幼体では遊泳能力があり、脳を有しているが、固着生活をする成体になると脳がなくなることが知られている。これらのことも水中で浮遊生活あるいは遊泳生活をするためには脳が必要であることを示唆する。

研究当初はカイアシ類という特定の生物種と流速場の関係を研究する予定であったが、流体中の全ての生物、特に流速場に応答する生物すべてに通用する普遍的な研究テーマであることがわかってきた。このテンソル応答能力は水棲生物のみならず、陸域の生物の動きも説明できることがわかった。例えば、陸域生物が運動するときの動きも等積変形であるし、面的非対称な動きで自身を推進することなどである。空気中では流体の密度と生物の密度が大きく異なるので、空気の流れに生物の動きが制限されることが少ないが、自発的な運動にも水中で獲得した運動性能が維持されていることが多くの例から推察される。

以上のことから水中の生物が変形テンソルに応答する性質を利用して、水棲生物を分級することに想到した。さらに生物の流体運動応答特性を利用して生物を分級できる装置を考案した。

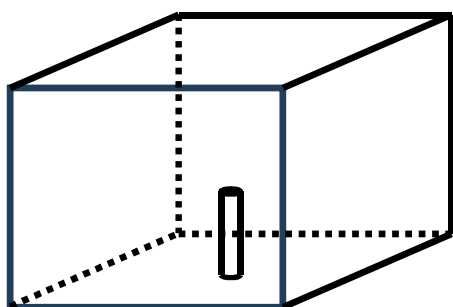


図1 吸い込み流刺激装置

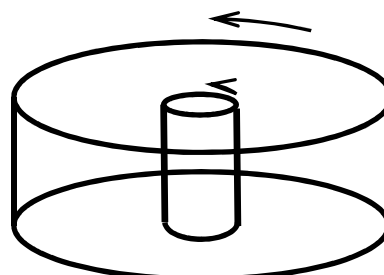


図2 テイラーケット流発生装置(周囲の水槽と内部の円柱が別の回転速度で回転する。)吸い込み流刺激装置

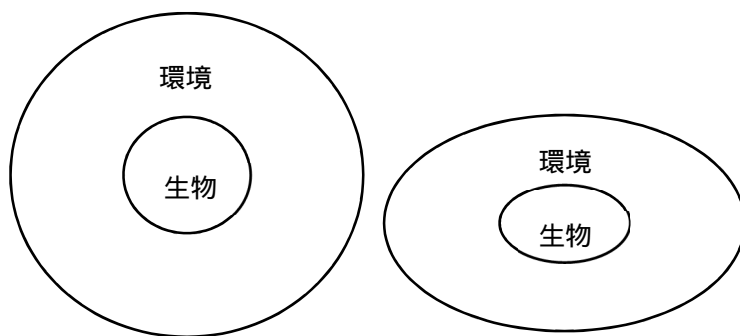


図3 力学的連結により意識の発生、弾性変形か塑性変形か選択することが意識の誕生につながった

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	田中 祐志  (Tanaka Yuji)  (90207150)	東京海洋大学・学術研究院・教授    (12614)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関