

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 22 日現在

機関番号：32663

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560074

研究課題名(和文) 海洋性プランクトンの進化過程を解明するための数値流体力学手法の開発

研究課題名(英文) Development of Method for Analysis of Evolution Process of Marine Plankton Using Numerical Fluid Dynamics

研究代表者

吉野 隆 (YOSHINO, Takashi)

東洋大学・理工学部・准教授

研究者番号：60269496

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、海洋プランクトンの進化過程を解明するための数値流体力学手法を確立することを目標にしたものであるが、この目標はほぼ達成することができたと考えている。海洋プランクトンの中でも特に多様な形態を示す放射虫に焦点をあてて、その進化過程を流体力学的な視点から検討した。特に、数値流体力学的な解析を行うために必要な形態解析の手法については、骨格構造の幾何学的な特徴を抽出する方法や骨組構造を解析する方法などが確立された。さらに、これらの方法を用いて行われた数値流体力学解析では、進化が進むにつれて、形態がより流体力を分散させる構造に近づいていく様子が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research is to develop the method for analysis of the evolution process of marine plankton using numerical fluid dynamics. Radiolarian was focused on and was considered its evolution process from a view point of fluid dynamics. The methods to analyze the skeletal form were established. These were the ones to extract the geometrical features and to analyze skeletal structures. Using these methods, the results of the numerical fluid dynamics revealed that the evolutionary process of a kind of radiolarian corresponds to the dissipation of fluid force.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎

キーワード：海洋プランクトン 進化過程 形態解析 流体力学

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初の背景は以下のようにまとめられる。

- A) 有殻原生生物(海洋性プランクトン)は地球の歴史や地球環境の変化を知る手がかりとして重要な役割を担っている。
- B) 国内外で有殻原生生物の生態に関する研究が始まってきている。
- C) 報告者のこれまでの研究から、一部の有殻原生生物の構造は幾何学的に説明できることがわかってきている。

有殻原生生物は地球史の解明において重要な役割を担っているため、その進化について検討することは必要な課題になっている。しかしながら、その生態の研究については始まったばかりであり、不明な点が多い。近年、一部の海洋プランクトンについて、その捕食行動の観察結果の報告が始まり、生態の一部が明らかになってきている。しかし、その捕食行動に伴ってどの程度の流体力がはたらくのかなど、骨格形成において重要になるとされる要素については不明なままである。報告者は、有孔虫および球形放散虫(ともに海洋プランクトンの一種)の骨格の幾何学的な性質について検討をおこない、その一部はすでに公表されていた。しかし、構造力学的な検討は行われ始めているものの、流体力学的な要素については未着手のままであった。

2. 研究の目的

研究の目的は以下の2点に集約される。

- A) 実際の海洋性プランクトンの骨格構造を測定したデータを用いた数値流体解析法を確立する。
- B) ある程度の生態が解明されている海洋性プランクトンの進化過程を流体力学的にどのような変化だったのかを明らかにする。

プランクトンの進化過程を解明するためには、プランクトンにはたらく流体力を評価して骨格の関係を議論しなければならない。そのために、マイクロ X 線 CT を用いて得られた実際の海洋プランクトンの骨格構造データを用いた数値流体解析法を確立する。さらに、ある程度の生態が解明されている海洋性プランクトンの進化過程が流体力学的にどのような変化であったのかを明らかにし、進化過程における流体力の寄与を明らかにする。

3. 研究の方法

研究は以下のステップによって構成されている。

- A) プリプロセス処理の確立
- B) データ収集
- C) 実践による検証

プランクトン周辺の水の流れのシミュレーションについては、扱う現象はレイノルズ

数が小さい流れなのでそれほど難しくはない。最近では、STL データ周辺での流れ場解析を行うオープンソース・ソフトウェアもあるので、流れ場の計算自体はそれほど難しくはない。以下に述べるように一番の難点はプリプロセス処理である。

骨格は海洋プランクトンの外形と同じではない。単細胞生物の細胞膜は一般に骨格の外側にある。従って、水は細胞膜の外を流れるため、骨格構造データそのものでは孔だらけになってしまい流れ場のシミュレーションとしては不適切である。

本研究課題では、この状況を踏まえ、幾何学的な情報をなるべく取り込んだプリプロセス処理の開発を目指した。具体的には、球形なプランクトン骨格(もしくは妥当な近似によって球形にみなせるプランクトン骨格)のデータの特徴を抽出する技術を開発した。それは主に、殻孔数の計測、骨格フレームの多面体近似、そして形状近似で構成されている。

プリプロセス処理の確立が終了したあとで、海洋プランクトンの骨格進化を研究している研究者から、数種類のマイクロ X 線 CT データを提供してもらった。このデータを用いて、プリプロセス処理が機能しているかを確認した。

取得したデータが示す骨格がどのような流体力学的特色を持っているのかを検討するために、プリプロセス処理をして得られたデータについて数値流体解析を行い、その種がどのような流れ場のもとで生きていたのかを推定した。また、その種にはたらく流体力がどの程度の大きさだったのかも推定した。

また、プリプロセス処理の結果として得られた多面体幾何学データからその構造の多様性を議論する仕組みの構築も行った。球面上でチューリング・パターンの数値シミュレーションを行い、その結果が球形の放散虫骨格とどう対応付けられるのかを検討した。

4. 研究成果

特に研究が進んだのはプリプロセス処理の手法である。この手法は既に論文でまとめられており投稿中である。はじめに、このプリプロセス処理に関係した成果についてまとめる。

(1) 骨格構造の幾何学的特徴の抽出

図 1 に示したのは中生代の放散虫 *Pantanellium* の骨格データである。これは、本研究課題採択後に取得された骨格構造である。この骨格データに上述のプリプロセス解析を行った結果を図 2 に示す。ふたつの図を比較してわかるように、*Pantanellium* の中央部分にある骨格構造の幾何学的特徴がプリプロセス解析を行うことによって抽出されたことがわかる。また、図 3 に示したように、この手法はたくさんの殻孔を持った球形の放散虫に対しても有効であることが、判

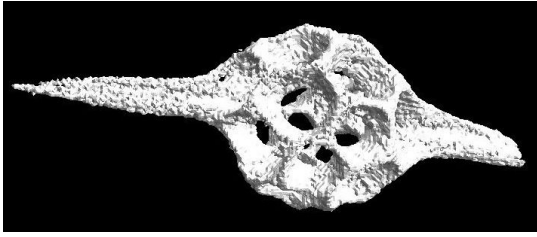


図 1 : Pantanellium の骨格構造データ

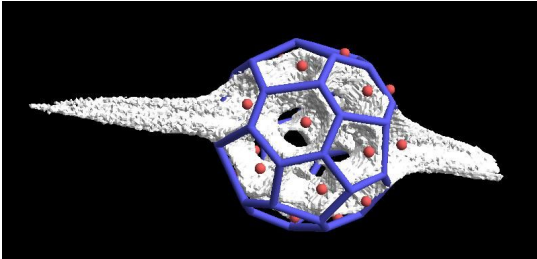


図 2 : プリプロセス処理の結果

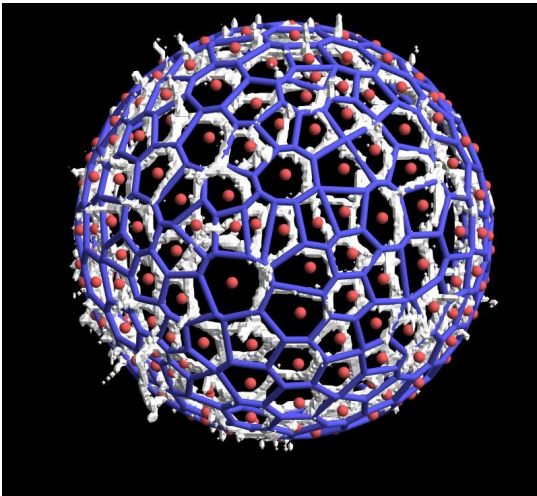


図 3 : 別の放散虫に対するプリプロセス処理の結果 .

明している .

(2)抽出した骨格構造の表現方法の提案

上記のプリプロセス処理を複数の化石試料に適用したところ、同一の種と思われる試料でありながらその骨格構造が異なることが判明した。その骨格構造の表現方法を多面体幾何学の知識（シュタイニッツの定理）に求めてその違いを表現することに成功した。この結果は既に論文にまとめられており、受理されて印刷中である。

新たに提案した球形放散虫の骨格構造の表現方法の例を図 4 に示す。これは平面グラフと呼ばれる多面体の表現方法を放散虫の骨格構造に応用してその多様性を明らかにした点で極めて新規性が高いものになっている。

(3)構造多様性を議論する仕組みの構築

更に、プリプロセス処理の結果として得ら

No. 1

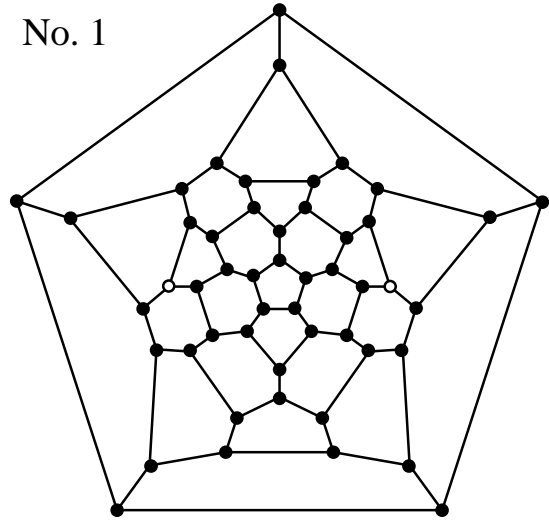


図 4 : 平面グラフの例

れた構造多様性について議論する仕組みとして行った、球面上のチューリング・パターンのシミュレーション方法を検討した。これは現在執筆中であり、平成 25 年度に学会発表を行っている。

図 5 にシミュレーション結果の一例を示す。白い部分に骨格が選択的に形成されるといふ仮説をもとに、骨格構造の多様性を議論することに成功している。

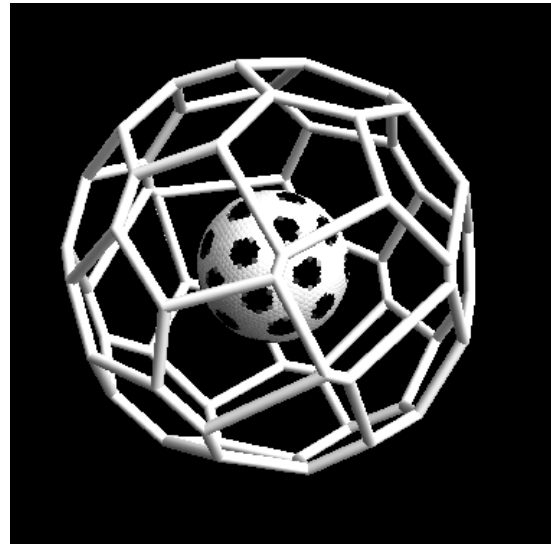


図 5 : 球面上のチューリング・パターン

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

Takashi Yoshino, Atsushi Matsuoka, Toshiyuki Kurihara, Naoto Ishida, Naoko Kishimoto, Katsunori Kimoto, and Shu Matsuura, Polyhedron Geometry of Skeletons of Mesozoic Radiolarian Pantanellium, Revue de Micropaléontologie, 査読有, 印刷中
T. Yoshino, Symmetry Properties of

Results of a Geometrical Modeling Method of Radiolarian Skeleton, 査読有, Symmetry: Culture and Science, 24, p. 171-183 (2013)

Takashi Yoshino, Atsushi Matsuoka, Toshiyuki Kurihara, Naoto Ishida, Naoko Kishimoto, Katsunori Kimoto, and Shu Matsuura, Application of Voronoi Tessellation of Spherical Surface to Geometrical Models of Skeleton Forms of Spherical Radiolaria, FORMA, 査読有, 27, 45-53 (2012)

A. Matsuoka, T. Yoshino, N. Kishimoto, N. Ishida, T. Kurihara, K. Kimoto, S. Matsuura, Exact number of pore frames and their configuration in the Mesozoic radiolarian Pantanellium: An application of X-ray micro-CT and layered manufacturing technology to micropaleontology, Marine Micropaleontology, 査読有, 88-89, p.36-40 (2012)

〔学会発表〕(計12件)

Naoto Ishida, Naoko Kishimoto, Atsushi Matsuoka, Katsunori Kimoto, Toshiyuki Kurihara and Takashi Yoshino, Microfossil research using 3D imaging technology: an experimental study of Jurassic radiolarian fossils using X-ray micro-computed tomography (The 9th International Congress on The Jurassic System, Jaipur, India, 2014.01.06-09)

吉野 隆, 松岡 篤, 球面上のチューリング・パターンの基本的な構造(第76回形の科学シンポジウム, 青山学院大学青山キャンパス, 2013.11.16)

T. Yoshino, Polyhedron Geometry of Turing Patterns on Spherical Surface (9th ISIS Congress-Festival on Labyrinth and Symmetry, Crete, Greece, 2013.9.9-17)

T. Yoshino, Symmetrical properties of the geometrical model for spherical Radiolarian skeleton (SYMMETRY FESTIVAL 2013, Delft, Netherland, 2013.8.2-9)

吉野 隆, 岸本 直子, 石田 直人, 松岡 篤, 栗原 敏之, 木元 克典, 球形放散虫の3次元データから殻孔数を自動判別する試み(第75回形の科学シンポジウム, フォッサマグナミュージアム, 糸魚川市, 2013.06.21)

松岡 篤, 吉野 隆, 岸本直子, 石田直人, 栗原敏之, 木元克典, 中生代放散虫 Pantanellium の外層殻を構成する殻孔数 の 多 様 性 (古 生 物 学 会 , 2013.01.27-29, JAMSTEC 横須賀)

松岡篤, 吉野隆, 岸本直子, 石田直人,

栗原敏之, 木元克典, バッキーボール式殻孔配列の外層殻をもつ中生代放散虫 Pantanellium(第74回形の科学シンポジウム, 東京農工大学, 2012年11月17日) 石田直人, 岸本直子, 松岡 篤, 栗原敏之, 木元克典, 吉野 隆, 松浦 執, マイクロ CT 技術のジュラ紀放散虫化石への応用例(地質学会, 2012.09.16-18, 大阪府立大学)

T. Yoshino, A. Matsuoka, T. Kurihara, N. Ishida, N. Kishimoto, K. Kimoto, S. Matsuura, Geometrical Models of Skeleton Forms of Spherical Radiolaria (INTERRAD XIII, Cadiz, Spain, 2012.3.26)

吉野 隆, 松岡 篤, 岸本 直子, 栗原 敏之, 石田 直人, 木元 克典, 松浦 執, 中生代放散虫 Pantanellium の骨格構造がもつ多面体幾何学的な特徴(第72回形の科学シンポジウム, 鹿児島大学, 2011年12月9日)

吉野隆, 放散虫の骨格構造と多面体幾何学(第11回放散虫研究集会, 愛媛大学, 2011年10月30日, 招待講演)

松岡 篤, 吉野 隆, 栗原 敏之, 石田 直人, 木元 克典, 岸本 直子, 松浦 執, 中生代放散虫 Pantanellium の骨格構造と形態形成(第71回形の科学シンポジウム 2011年6月17日)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://plankton.random-walk.org/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉野 隆 (YOSHINO, Takashi)

東洋大学・理工学部・准教授

研究者番号: 60269496

(2) 研究分担者(0)

(3) 連携研究者(0)