

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

研究課題名	細胞レベルから構築した微生物サスペンション力学による藻類の分布予測モデルの革新
研究機関・部局・職名	東北大学・大学院工学研究科・教授
氏名	石川 拓司

【研究目的】

藻類は流体中に存在するため、周囲の流れの影響を強く受ける。例えば海洋では、海流と海面上の風向きによって海面から鉛直下向きに速度変化が生じ、個々の藻類の遊泳と流れ場が干渉することで、水面下数メートルの位置に周囲の数百倍の密度で分布することが報告されている (Durham et al., *Science*, 2009)。また、バイオ燃料等のバイオリクター内では、藻類を良好な状態で培養するために、栄養物や酸素、二酸化炭素等の物質輸送が十分に行われるよう、リアクター内に流動を生じさせている。こうした流れ中の藻類の分布を予測し効率的に制御することは、生態系の予測や地球環境の予測、バイオリクターの高効率化等において非常に重要である。

藻類の挙動に対する数理モデル化においては、藻類の走地性や走光性等に加え、流れと細胞遊泳の干渉や、細胞同士の干渉を考慮する必要があるが、現象が非常に複雑で未だに数理モデルは確立していない。本研究課題では、こうした現状を打破するため、代表者がこれまでに開発してきた微生物サスペンション力学を藻類に拡張し、藻類の分布予測モデルを革新することを目的とする。

研究期間内においては、まず始めに静止流体中の藻類の単一細胞に対し、走性や遊泳能を考慮した数理モデルを確立する。数値解析手法には、代表者がこれまでに開発した境界要素法を応用し、藻類の細胞表面上の繊毛または鞭毛の運動が流体に与える力を数理モデル化する。実験による検証を行う際には共焦点 micro-PIV システムを用い、単一細胞周りの流れ場を高精度で計測して比較する。次に、藻類の単一細胞がせん断流れ中にある場合の数理モデルを確立する。流れの中に藻類が存在する場合には、流れの渦度によって藻類の方向ベクトルが回転するため、渦度の強さや時間変化、細胞の回転緩和時間等のパラメータを変化させる必要がある。パラメータ解析によって得られた知見を用い、多数の藻類が流れ中にある場合の数理モデルを確立する。数値解析手法には代表者が開発しているストークス動力学法を用い、この手法を改良して高濃度の藻類懸濁液にも対応できるようにする。そして、流動なしの条件下、およびせん断流れ下における、藻類懸濁液の粒子応力テンソル、自己拡散テンソル、物質拡散テンソルを解明する。マクロスケールの藻類の挙動・分布を解析する際には、流体の質量保存則と運動方程式、藻類の数密度の保存則、栄養素等の物質の移流拡散方程式を連立し、流体の運動方程式中の粒子応力テンソル

ル、藻類の数密度の保存則の自己拡散テンソル、物質の移流拡散方程式の物質拡散テンソルに、上述の方法で求めた値を代入する。これにより、従来の数理モデルに対して藻類の分布を高精度で予測できる、革新的な数理モデルを開発する。

【総合評価】

○	特に優れた成果が得られている
	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】

① 総合所見

本研究課題の当初の目的、

- 1) 静止流体中の藻類の単一細胞に対する数理モデルの確立
- 2) せん断流れ中の藻類の単一細胞に対する数理モデルの確立
- 3) 多数の藻類が流れている場合の数理モデルの確立

について、すべて目標を達している。その成果は 2011 年からこれまでに掲載された査読付き雑誌論文 33 編に発表されている。中でも物理学の分野ではインパクトファクターが最高レベルにある *Physical Review Letter* 誌（インパクトファクター 7.4）に 3 編の論文が掲載されており、33 編の論文の平均インパクトファクターは 2.9 である。この値は工学をベースとする研究領域では極めて高く、世界に見ても評価の高い研究成果が上げられている。

また、研究期間中に 2 度のプレスリリースが行われ、*Physics*、*Physics of Fluids* 誌の Research Highlights、Yahoo Japan ニュース、日経産業新聞など取り上げられている。特に、バクテリア懸濁液の研究では当初予定して以上の成果が上がり、*Physical Review Letter* 誌の Editors' Suggestions に選ばれ、Analysis Prognosis News に「Energy Transport in a Concentrated Suspension of Bacteria」で取り上げられている。さらに、本研究課題から派生した細胞操作技術にもブレークスルーが得られ、乳がんの検診に役立つ画期的な特許を申請中であり、日経産業新聞にも「乳がん細胞 低コスト検出」としてとりあげられた。

本研究課題の成果は、藻類のみならず細菌など、他の微生物あるいは血球などの流体を流れる細胞にも応用可能であることが明らかになり、医学研究者など他領域への展開も期待できるため、社会的に反響も大きい成果があがっている。

② 目的の達成状況

・所期の目的が

(全て達成された ・ 一部達成された ・ 達成されなかった)

初期の研究目的のすべてが達成されている。また、本研究課題の成果は他の分野への展開も測られている。その成果はアカデミック的にも、社会的にも高い評価がされている。

③ 研究の成果

・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が

(ある ・ ない)

・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が

(創出された ・ 創出されなかった)

・当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

本研究で開発する藻類の分布を予測する数理モデルは、環境問題や地球温暖化、エネルギー問題、食糧問題など、地球規模のさまざまな問題の解決に役立つ。地球上の藻類の分布の高精度予測、海洋生態系の高精度予測により、赤潮や青潮の被害予測の高精度化や、海洋から吸収される二酸化炭素量を高精度で予測、地球温暖化のスピードや、炭素固定の地球規模での効果の早期診断などが可能になる。また、藻類からバイオ燃料を精製するために、バイオ燃料用バイオリクターの性能の飛躍的に向上に資すると考えられる。

本研究課題は藻類に対するものであるが、他の微生物でも同様の研究が発展すると考えられる。微生物による污水处理、パンや酒などの食料生産など工業的分野だけではなく、大腸菌など体内微生物の動態の解明等医療分野への応用も考えられる。このように、本研究成果は、グリーンイノベーションのみならず、ライフイノベーションまで幅広い波及効果を与えるものである。

以上、本研究成果は広い野で多くのブレークスルーを与えるものと期待される。

④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が

(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が

(見込まれる ・ 見込まれない)

研究課題の成果は、海洋における赤潮や青潮対策のみならず、藻類からのバイオ燃料の生産などグリーンイノベーション領域での貢献が期待される。また、藻類のみならず細菌などにも応用展開できることから、将来的には医学研究への貢献も期待されるなど、社会的・経済的な課題の解決への波及効果が見込まれる。

⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

本研究課題に専念する助教、ポスドク、外国人、日本人のドクター学生他のスタッフがおり、また、国際的な協力体制を組むなど、研究実施体制は、マネジメントも含めて適切である。

本研究の内容はインパクトファクターの高いジャーナルに 33 編の論文として発表されており、その他レビュー論文、解説論文等で一般への研究内容の発信もされている。また、これまでに 3 回の市民講座を開催し、市民との積極的な対話に努め、市民講座の内容を web 上で公開することで世界中からいつでも閲覧できるようにするなど広く国民にも情報を発信している。