

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560157
 研究課題名（和文） 走化性バクテリアによって生じる生物対流の三次元的挙動に関する数値解析
 研究課題名（英文） Numerical Analysis of Three-Dimensional Bioconvection Generated by Chemotactic Bacteria
 研究代表者
 柳岡 英樹 (YANAOKA HIDEKI)
 弘前大学・大学院理工学研究科・准教授
 研究者番号：40281951

研究成果の概要：

本研究は、微生物の工学的・環境学的利用を目的として、容器内に存在する走化性バクテリアにより生じる生物対流に関する数値解析を行った。レーリー数や容器深さによる生物対流の変化や酸素とバクテリアの輸送特性を明らかにした。また、生物対流の三次元的挙動やプルームの伸長を捉え、さらにプルーム同士の干渉が輸送特性に及ぼす影響を明らかにした。これらの結果は既存の実験では得られていない初めての研究成果である。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：生物対流，バクテリア，酸素，走化性，計算流体力学

1. 研究開始当初の背景

地球上のあらゆる地域および環境下において、多様な微生物が存在している。これらの微生物は様々な性質をもっており、その中でも、近年、外部からの刺激に反応し、特定の方向へ移動する性質をもつ微生物が注目されている。この微生物の性質は走性と呼ばれ、重力、光、化学物質に反応する走性がそれぞれ走地性、走光性、走化性である。このような走性により懸濁液中の一定量の微生物

物が水面近傍に集中した場合、微生物の比重は水よりも重い場合、微生物集団の沈降がはじまり、生物対流が発生する。この生物対流に関する基礎的研究は従来から数多く行われている。また、この生物対流には、微小機械システムの駆動や、バイオチップ内における微生物の制御、微生物による環境浄化などへ応用できる可能性があり、様々な分野における微生物の利用の観点からも、流体中における走性をもつ微生物の挙動を解明するこ

とは重要である。

2. 研究の目的

生物対流に関する既存の実験的研究では、定量的な評価が十分なされておらず、微生物によって発生する生物対流は三次元的現象であるにもかかわらず、生物対流の三次元的挙動および物質の輸送特性を詳細に解析した研究例はない。以上のような観点から、本研究では、容器内に存在する走化性細菌により形成される生物対流に関する数値解析を行い、レーリー数や容器深さによる生物対流の変化、生物対流の三次元的挙動、プルーム同士の干渉および酸素と細菌の輸送特性を調査することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 生物対流の容器深さによる影響

申請者がこれまでに構築した二次元計算コードを用いて、容器深さが深い場合に発生する生物対流に関して数値解析を行う。懸濁液中には走化性細菌が存在している状況を考える。最初に、理論値との比較を行い、計算手法の妥当性を確認する。その後、容器深さおよびレーリー数による生物対流と輸送特性の変化を調査する。また、酸素流束や細菌流束を求め、容器内における酸素と細菌の輸送特性を詳細に調査する。

(2) 生物対流の三次元的挙動

二次元計算コードを三次元問題へ拡張し、浅い容器中の走化性細菌により生成される生物対流に関して三次元数値解析を行う。三次元計算結果を既存の理論値および実験値と比較し、計算手法の妥当性を確認する。その後、レーリー数による生物対流の変化を調査し、三次元的な生物対流が発生する臨界レーリー数の存在を明らかにする。また、生物対流が発生しているときの酸素と細菌濃度の関連を明らかにするとともに、容器内における酸素と細菌の輸送特性を詳細に調査する。

(3) プルーム同士の干渉による輸送特性の変化

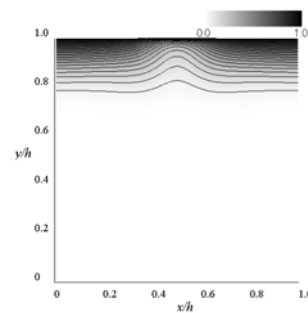
プルーム同士の干渉を調査するため、容器の幅を広げ、複数のプルームが生成されるとき生物対流に関する数値解析を行う。得られた結果をこれまでの単一のプルームに注目した解析結果と比較を行う。また、レーリー数による生物対流パターンの変化を明らかにするとともに、レーリー数とプルーム間の波長の関係を求める。さらに、プルーム同士の干渉が酸素と細菌の輸送特性に

及ぼす影響を調査する。

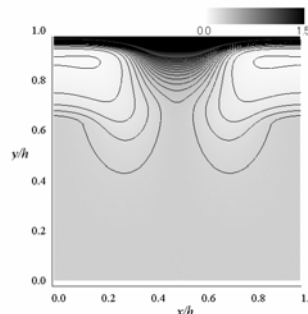
4. 研究成果

(1) 生物対流の容器深さによる影響

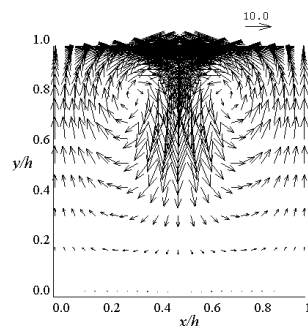
本研究では、容器深さによる生物対流の変化を調査している。レーリー数を増加させたときの酸素と細菌の濃度分布は静止流体中の結果と異なり、非線形性の影響が現れる。臨界レーリー数に達すると、水面近傍に集まった細菌集団が沈降し、生物対流が発生する(図 1)。レーリー数の増加とともに酸素と細菌の対流による輸送が大きくなる。深い容器では底面付近まで酸素が十分に供給されないため、底面近傍では細菌は不活発となり、容器深さにより輸送特性が異なる。臨界レーリー数に達するま



(a) Oxygen concentration



(b) Bacterial concentration



(c) Velocity vectors

Fig. 1 Bioconvection at $\Gamma=9000$ in a deep chamber.

でバクテリアの酸素消費度は一定であるが、レーリー数の増加とともに容器中のバクテリアの酸素消費度は低下する(図 2). これまでに、このような容器深さによる輸送特性の変化を明らかにした研究例はない.

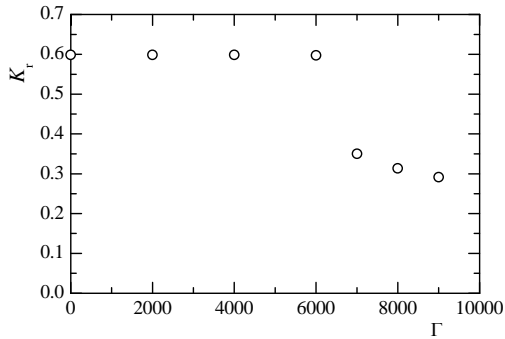


Fig. 2 Oxygen consumption rate of bacteria

(2) 生物対流の三次元的挙動

本研究では、プルームの三次元的形状や生物対流の発生による輸送特性の変化を明らかにしたものであり、国内外を見ても最初の研究である。レーリー数が臨界値に達すると水面近傍のバクテリア集団は三次元的なプルームを形成し、生物対流を発生させる(図 3). 周囲の流体はプルームの影響で下方へ引き込まれ、渦輪が形成される(図 4). さらにレーリー数を増加させると、プルームは底面に向かって伸長し、生物対流は大きくなる。プルームの伸長が水面近傍のバクテリア量を減少させ、底面近傍では増加させる。プルームの形成までの遅れ時間は、レーリー数の増加によって早くなり、実験値と定性的に一

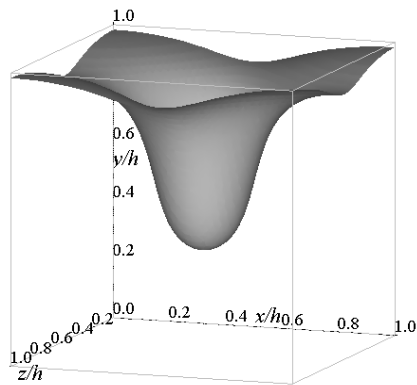


Fig.3 Isosurface of bacterial concentration at $\Gamma=1000$.

致した。レーリー数が増加すると、酸素の拡散やバクテリアの遊泳による輸送と比較して、対流輸送が支配的となる(図 5).

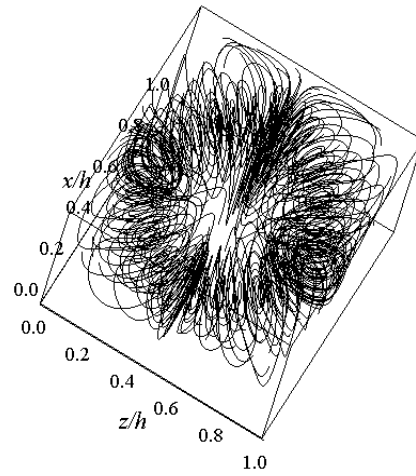
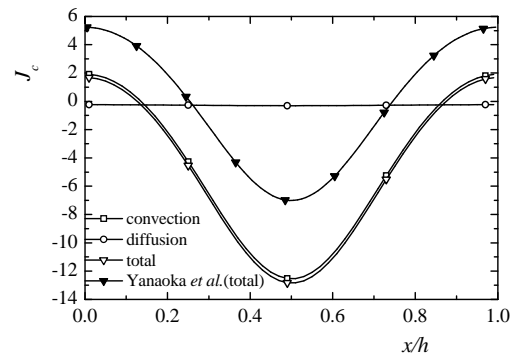
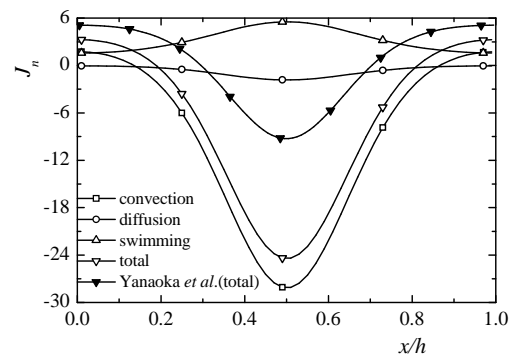


Fig.4 Streamlines around a plume at $\Gamma=1000$.



(a) Oxygen

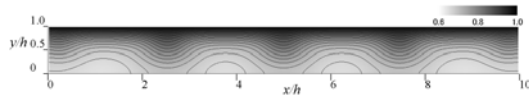


(b) Bacteria

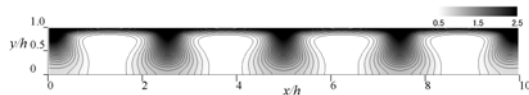
Fig.5 Flux distributions in $y/h=0.5$, $z/h=0.5$ for $\Gamma=1000$.

(3) プルーム同士の干渉による輸送特性の変化

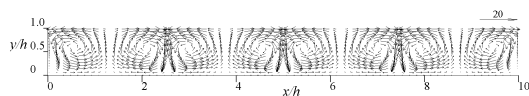
本研究では、レイリー数による生物対流パターンの変化やプルーム同士の干渉が輸送特性に及ぼす影響を調査している。レイリー数が臨界値に達すると、複数のプルームが水平方向に周期的に形成され、プルームまわりでは生物対流が発生し、さらにレイリー数を増加させると、プルームの波長は短くなり、プルーム同士の干渉が強まる(図6, 図7)。このとき、プルーム中心の下降流の流速は速くなり、容器下方へ輸送される酸素と細菌の濃度は増加する。プルーム間では、レイリー数の増加とプルーム同士の干渉の強まりにより、上昇流の流速は速くなる。生物対



(a) Oxygen concentration

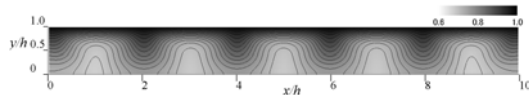


(b) Bacterial concentration

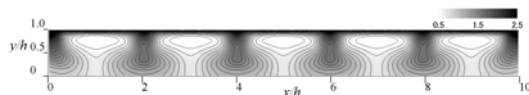


(c) Velocity vectors

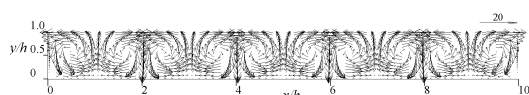
Fig.6 Bioconvection at $\Gamma=400$.



(a) Oxygen concentration



(b) Bacterial concentration



(c) Velocity vectors

Fig.7 Bioconvection at $\Gamma=1000$.

流が発生したとき、対流による酸素と細菌の輸送は輸送形態の中で支配的となる。レイリー数を増加させることにより、プルーム同士の干渉も強まり、容器内全体における酸素と細菌の輸送特性は大きく向上する(図8)。以上のようなプルーム同士の干渉と輸送特性の関係を明らかにした研究は初めての試みである。

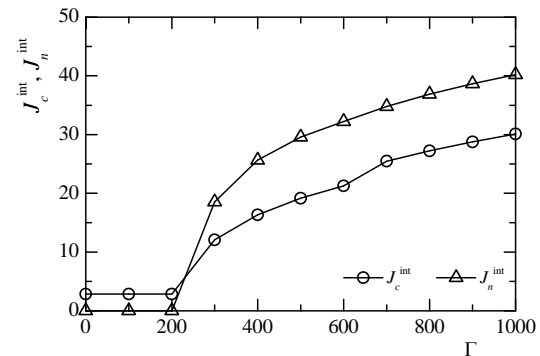


Fig. 8 Integral values of total flux of oxygen and bacteria in y -direction.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ① 柳岡英樹, 稲村隆夫, 田尻恭平, 深い容器中の走化性細菌によって生成される生物対流に関する数値解析, 日本機械学会論文集, B 編, 74 巻 737 号, pp.129-134, 2008, 査読有.
- ② 柳岡英樹, 稲村隆夫, 鈴木薫, 走化性細菌によって生成される生物対流に関する三次元数値解析, 日本機械学会論文集, B 編, 74 巻 737 号, pp.135-141, 2008, 査読有.

〔学会発表〕(計 0 件)

〔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〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柳岡 英樹 (YANAOKA HIDEKI)
弘前大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：40281951

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

稲村 隆夫 (INAMURA TAKAO)
弘前大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：10143017