

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：14602

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23770024

研究課題名(和文) 生物から環境への「反作用」に着目した生態学・地球化学・進化的理論研究

研究課題名(英文) Theoretical explanations for the microbial effects on physicochemical environmental conditions from the stand point of Ecology, Geochemistry, and Evolution.

研究代表者

瀬戸 蘭美 (Seto, Mayumi)

奈良女子大学・自然科学系・助教

研究者番号：10512717

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では生物から環境への影響(反作用)の生態学・進化学・地球化学的意味を理論的に考察することを目標とし、微生物生態系を対象とした数理モデリングと解析を行った。反作用がある場合と無い場合のモデルの応答について定性的・定量的な解析を行った結果、生物による環境への寄与は生態系の安定性や個体群の絶滅リスクに影響を与える他、物質の循環速度や存在形態、系のエネルギー状態と密接に関係することが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study was to theoretically explore the biological effects on physicochemical environmental conditions from the stand point of ecology, evolution, and geochemistry. Mathematical models describing microbial ecosystems were analytically and numerically examined to compare the behavior of the models with and without microbial effects on environmental conditions (pH, concentrations of nutrients and heavy metals, and Gibbs free energy etc.). The results indicated that microbial effects on environmental conditions affect ecosystem stability and population extinction risk. Furthermore, microbial activities may control fluxes and speciation of redox species, and consequently the Gibbs energy of ecosystems.

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：基礎生物学・生態・環境

キーワード：微生物群集 数理モデル 化学合成細菌 個体群動態 物質循環 作用-反作用 微生物生態系

1. 研究開始当初の背景

標準的な生態学の教科書においては「環境は生物を規定し、生物は環境を作る(作用-反作用)」と記載される(例: 生態学入門, 2004)。古くは進化論の提唱者である Darwin (1881) や地球化学者の Vernadsky (1926) によって生物と環境との相互作用が生物の進化や地球の形成に大きな役割を果たしてきたことが言及されてきた。また、生物による環境構築は「ニッチ構築」や「生態系改変」とも呼ばれ、生物による環境構築の生態学的・進化学的役割に着目されている。しかしながら、これまでの多くの理論生態学モデルでは環境はパラメータとして扱われ、一方的に生物の成長を規定するものとして記述されてきた(図1)。実際の生態系や地球環境は生物と環境の相互作用を経て形成されたものであり、生物から環境への「反作用」の影響を理論的に調べることは不可欠である。

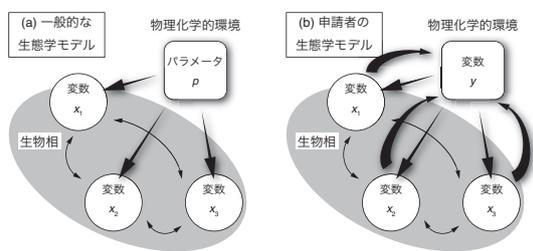


図1: (a) これまでの一般的な生態学モデル。
(b) 本研究で提案する生態学モデル。

2. 研究の目的

微生物から環境変数への寄与をモデル化し、生物から環境への反作用の生態学・進化学・地球化学的意味を理論的に考察する。

3. 研究の方法

微分方程式モデルを用いて微生物による環境への「反作用」と、環境から微生物への「作用」を記述し、「反作用」がある際の特徴を定性・定量的に解析する。具体的には、微生物が環境変数(pH、栄養塩や重金属の活量、反応ギブス自由エネルギー変化等)に及ぼす影響(反作用項)を熱力学や速度論に従って数式化し、その結果として微生物の増殖速度や物質のフラックスに及ぶ変化を調べた。反作用項がある場合と無い場合のモデルのふるまいについて定性・定量的に比較するために、力学系解析と数値シミュレーションに取り組んだ。モデルの定性的ふるまいについては平衡点近傍における局所安定性解析をおこない、多重安定性について検証した。

4. 研究成果

平成 23-24 年度は植物プランクトンや従属栄養バクテリアによる pH やリン・亜鉛・炭

素の循環への寄与をモデル化し、それぞれの個体群の増殖動態や微生物ループの構造に生じる影響を検証した。その結果、微生物による環境変数への反作用により、微生物生態系の安定性や個体群の絶滅リスクに変化が生じることが明らかとなった(図2)。これらの研究成果について 2 本の論文を国際誌(Journal of Theoretical Biology 誌並びに Chemosphere 誌)に投稿、受理された。また、本研究成果について国内で 2 件の招待講演、国際学会で 2 件の口頭発表を行い、計 5 回研究成果を発表した。

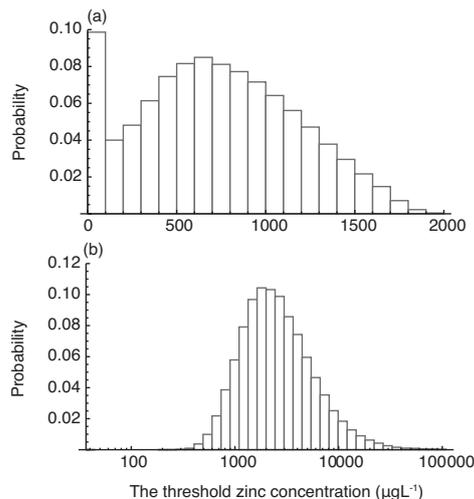


図2: 微生物生態系における亜鉛負荷量に対する消費者の絶滅リスク。植物プランクトンによる有機物供給を考慮しない場合 (a) とする場合 (b) では、亜鉛負荷量に対する消費者の絶滅リスクが大きく異なる (Seto et al. (2013) Chemosphere, 90(3), pp. 1091-1102 に掲載)。

平成 24-25 年度は化学反応を促進することによって代謝に必要なエネルギーを得る化学合成細菌群衆による反作用のモデル化に取り組んだ。化学合成細菌は環境修復(バイオリメディエーション)技術に用いられる他、地球上の様々な栄養塩・重金属の循環に密接に関わるため、化学合成細菌群と環境の動態を知ることは重要である。本研究では特に、鉄循環を駆動する細菌群を対象とし、細菌による鉄循環フラックスへの寄与を考慮し、化学エネルギーの収量と反応速度に基づき個体群動態をモデル化した。その結果、細菌群と化学的な反応の競合や、細菌が改変した系のエネルギー状態が細菌の個体群増殖動態に影響することが明らかになった。また、細菌による反応への寄与をモデル化することで、反応フラックスへの影響や物質の存在形態をより正確に予測することができる可能性が示唆された(図3)。この研究成果について 1 本の論文を国際誌(Geomicrobiology Journal)に投稿、受理された他、現在 1 本の論

文を投稿中である。また、本研究成果について国際学会で3件の口頭発表を行い、計4回研究成果を発表した。その他、本研究を通し、カナダの University of Waterloo の Ecohydrology Research Group との共同研究に着手し、現在継続的に研究を展開している。

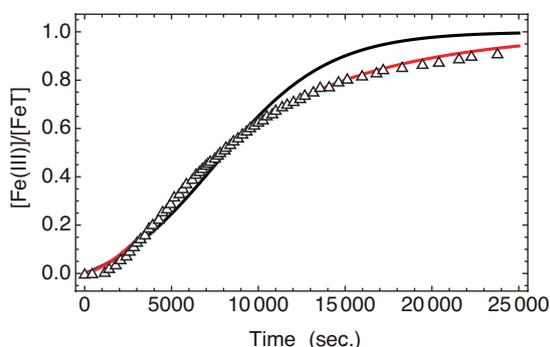


図 3: バッチ培養における鉄酸化速度のシミュレーション結果。三角は鉄酸化細菌存在下における鉄酸化実験の実測値。黒線と赤線は鉄酸化細菌がそれぞれ異なる形態の酸化鉄を生成する2つのシナリオをシミュレーションした結果である。後者の結果が実測値と良く一致したことから、後者のシナリオが鉄酸化動態をより正確に記述している可能性を示唆する。(Goldschmidt 2013 にて口頭発表、投稿準備中。)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

1. Mayumi Seto, The Gibbs free energy threshold for the invasion of a microbial population under kinetic constraints, *Geomicrobiology Journal*, 査読有, in press
2. Mayumi Seto, Noriko Takamura, and Yoh Iwasa, Individual and combined suppressive effects of submerged and floating-leaved macrophytes on algal blooms, *Journal of Theoretical Biology*, 査読有, **319**, 2013, pp 122 – 133
3. Mayumi Seto, Shigeki Wada, and Satoru Suzuki, The effect of zinc on aquatic microbial ecosystems and the degradation of dissolved organic matter, *Chemosphere*, 査読有, **90**(3), 2013, pp 1091 – 1102

〔学会発表〕(計 9 件)

1. Mayumi Seto*, Invasibility of chemotrophic species: a combination of thermodynamic and kinetic approach, The 21th International Symposium on Environmental Biogeochemistry, 2013 年 10 月, 武漢, 中国

2. 瀬戸 繭美*, 化学合成細菌群衆の存在を予測するための新しい指標: ミニマルモデルによる解析, 日本地球化学会年会 2013, 2013 年 9 月, つくば
3. Mayumi Seto* and Philippe Van Cappellen, Competition between microbial and abiotic Fe(II) oxidation: a kinetic modeling approach, Goldschmidt 2013, 2013 年 8 月, Florence, Italy
4. Mayumi Seto*, Mathematical model for the dynamics of chemolithotrophic bacteria, International Society for Environmental Biogeochemistry and Microbe-Mineral Interactions: Molecular to Global Scale Processes, 2012 年 11 月, Cancun, Mexico
5. Mayumi Seto*, Shigeki Wada, and Masao Ishii, Potential biological pH buffering effect and regime shift, Third International Symposium on the Ocean in a High CO₂ world, 2012 年 9 月, Monterey, California
6. 瀬戸 繭美*, 数理モデルで探る微生物生態系の法則性 (招待講演), 日本地球化学会若手の会 2012, 2012 年 9 月, 福岡
7. 瀬戸 繭美*, 生物は環境の「ノイズ」ではないのか? - 地球化学的問題に対する数理生物学的アプローチ (招待講演), 日本地球化学会年会 2012, 2012 年 9 月, 福岡
8. Mayumi Seto*, Shigeki Wada, and Masao Ishii, Possible effects of ocean acidification on a phytoplankton- pH feedback, China-Japan- Korea International Conference on Mathematical Biology, 2012 年 5 月, 釜山, 韓国
9. 瀬戸 繭美*, 亜鉛負荷による海洋微生物食物網並びに溶存有機炭素分解に対する影響予測, 日本地球化学会年会 2011, 2011 年 9 月, 札幌

〔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://www.e.ics.nara-wu.ac.jp/~seto/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

瀬戸 繭美 (SETO, Mayumi)

奈良女子大学・自然科学系・助教

研究者番号：10512717