

浅い湖沼では光が減ると水質が悪化する： 湖底の水草と水中の植物プランクトンの予想外な関係が判明

1. 発表者：

山道 真人（東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学系 講師）
風間 健宏（国立環境研究所地域環境研究センター（琵琶湖分室） 特別研究員）
時田 紘太郎（研究当時：東北大学大学院生命科学研究所生態発生適応科学専攻 修士課程学生）
片野 泉（奈良女子大学理学部化学生物環境学科 准教授）
土居 秀幸（兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 准教授）
吉田 丈人（東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学系 准教授・総合地球環境学
研究所 准教授）

Nelson G. Hairston Jr. (Cornell University, Department of Ecology and Evolutionary
Biology, Frank H. T. Rhodes Professor of Environmental Science)

占部 城太郎（東北大学大学院生命科学研究所生態発生適応科学専攻 教授）

2. 発表のポイント：

- ◆植物の成長は光に依存しているため、光量が減ると植物プランクトン量も減ると予想されていたが、予想に反し、光量減少はむしろ植物プランクトンを増やし水質を悪化させることが判った。これは、浅い湖沼で光が減ると、競争者である水草が減少して栄養が使われなくなり、植物プランクトンの成長が増加するためである。
- ◆光環境の変化に対する生態系の反応については、学術的知見が乏しいが、本研究は、光環境の変化が生物間相互作用を介して湖沼生態系に大きな影響を与えることを、野外実験により初めて実証した。
- ◆本研究成果は、光の変化に対して生態系がどのように反応するか、という生態学の大きな問題を解く手がかりを発見したものであり、太陽光を遮って有害な藻類を減少させたり、水上太陽光発電を行ったりする際には、生物間相互作用への影響を十分に考慮せねばならないことを示している。

3. 発表概要：

太陽光は、光合成を通して生態系を維持しています。しかし現在、さまざまな人間活動が湖沼生態系に降り注ぐ光の量を変化させています。これまでの湖沼研究では富栄養化（注1）が注目されることが多く、光量が湖の生態系に与える影響はあまり調べられていませんでした。

東京大学総合文化研究科の山道真人講師と、東北大学生命科学研究科の占部城太郎教授らの研究グループは、光が弱まると水草が減少し植物プランクトンが増加して、水質や生態系に大きな影響を及ぼすことを発見しました。この研究は、野外の実験池における遮光実験と、数理モデルを組み合わせて実施されました。

今回の研究成果は、光の変化に対して生態系がどのように反応するか、という生態学の大きな問題を解く手がかりを発見したものであり、国内外の環境政策に影響する学術的知見として利用されることが期待されます。また、社会の身近な問題である有害な藻類の大発生や水上太陽光発電の現場において、生物間相互作用の考慮を一層強く求めることにもつながることが期待されます。

4. 発表内容：

太陽光は、光合成を通して生態系を駆動する主要な環境要因です。現在、さまざまな人間活動によって、淡水生態系に降り注ぐ光の量は変化してきています。例えば、排水などの濁った水が流入したり、池の上にソーラーパネルを並べたりすることで、池の光環境は大きく変化します。また、太陽光を遮って有害な藻類を制御しようという試みもあります。しかし、このような人間活動の影響にも関わらず、これまで湖沼生態系全体に及ぼす光量変化の影響は調べられてきていませんでした。

東京大学総合文化研究科の山道真人講師、東北大学生命科学研究科の占部城太郎教授、総合地球環境学研究所・東京大学総合文化研究科の吉田丈人准教授らの研究グループは、米国ニューヨーク州イサカのコーネル大学が所有している 30m 四方、深さ 1.5m の野外実験池（図 1）において、プール用の遮光カバーを浮かべて太陽光を遮り、7月から3ヶ月間、生態系の反応を観測しました（図 2）。

その結果、暗い池ほど植物プランクトンが増加するという傾向が見られました（図 3A）。これは、光が減れば光合成速度が遅くなり、植物プランクトンが減少するだろうという当初の予想に反するものでした。さらに、暗い池では植物プランクトンが増える一方で、湖底に生える水草（主にシャジクモ）が減る傾向がありました（図 3B）。このような複雑な観測結果を理解するため、光と栄養塩を巡って、水中の植物プランクトンと湖底の水草が競争するという現象を記述した数理モデルを構築してシミュレーションを行ないました。その結果、水中に差し込む光の量が減ると湖底まで届く光が少なくなり、水草が大きな打撃を受けて減少する一方で、水中の栄養塩が得られやすくなって、植物プランクトンが増えるという説明が可能であることがわかりました（図 4）。

ただし、遮光をしていない池では、上記の傾向に一致する、植物プランクトンが少なく水草が多い池と、植物プランクトンが多く水草が少ない池に分かれる結果になりました（図 3）。そこで、光が豊富な池での一般的な傾向を調べるため、遮光実験を行わなかった 35 個の実験池で観測を行いました。その結果、水草の量が多い池と少ない池に二分化する傾向があることがわかりました。数理モデルのシミュレーションにおいても、光が弱い時は植物プランクトンが、光が強い時は水草が優先し、中程度の光の強さでは代替安定状態（注 2）が生じて、水草が多く植物プランクトンが少ない池と、水草が少なく植物プランクトンが多い池に二分化する可能性が示唆されました（図 4）。

これまで湖沼生態系における光量の変化はあまり注目されてきませんでした。本研究によって生態系に大きな影響を与えることが示されました。今回の研究成果は、光の変化に対して生態系がどのように反応するか、という問題の重要な一面を新たに発見したものであり、国内外の環境政策に影響する学術的知見として利用されることが期待されます。また、社会の身近な問題である有害な藻類の大発生や水上太陽光発電の現場において、生物間相互作用の考慮を一層強く求めることにもつながることが期待されます。

本研究は、日本学術振興会 科学研究費助成事業 基盤研究 (A) 海外学術「水界生物群集に及ぼす光-栄養バランスの生態化学量効果：北米での野外実験による検証」(代表：占部城太郎)の支援を受けて行われました。

5. 発表雑誌：

雑誌名：「英国王立協会紀要 (Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences)」

論文タイトル：A shady phytoplankton paradox: when phytoplankton increases under low light

著者：Masato Yamamichi*, Takehiro Kazama, Kotaro Tokita, Izumi Katano, Hideyuki Doi, Takehito Yoshida, Nelson G. Hairston Jr. and Jotaro Urabe

DOI 番号：10.1098/rspb.2018.1067

アブストラクト URL：<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.1067>

6. 問い合わせ先：

東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学系

講師 山道 真人 (やまみち まさと)

TEL：03-5454-6423

E-mail：c-yamamichi@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

東北大学大学院生命科学研究科生態発生適応科学専攻

教授 占部 城太郎 (うらべ じょうたろう)

TEL：022-795-6681

E-mail：urabe@m.tohoku.ac.jp

7. 用語解説：

注1：富栄養化：栄養塩が湖に流れ込み、過剰に栄養豊富な状態になること。このような状態になると、0.1 ミリにも満たない植物プランクトン（藻類）が大繁殖し、透明度や酸素濃度が低下して水質が悪化したり、生物多様性が減少したりする問題が引き起こされるようになる。

注2：代替安定状態：初期の状態に応じて、生態系が異なる安定な状態に遷移すること。浅い湖では、水が濁り植物プランクトンが優先した状態と、水が澄んで水草が優先した状態が、代替安定状態であることが多いと言われる。

8. 添付資料：



図 1. 米国ニューヨーク州イサカのコーネル大学実験池。1964年に50個の池が作られ、さまざまな研究にもちいられてきた。



図 2. プール用カバーを浮かべた遮光中の池で調査を行う様子。

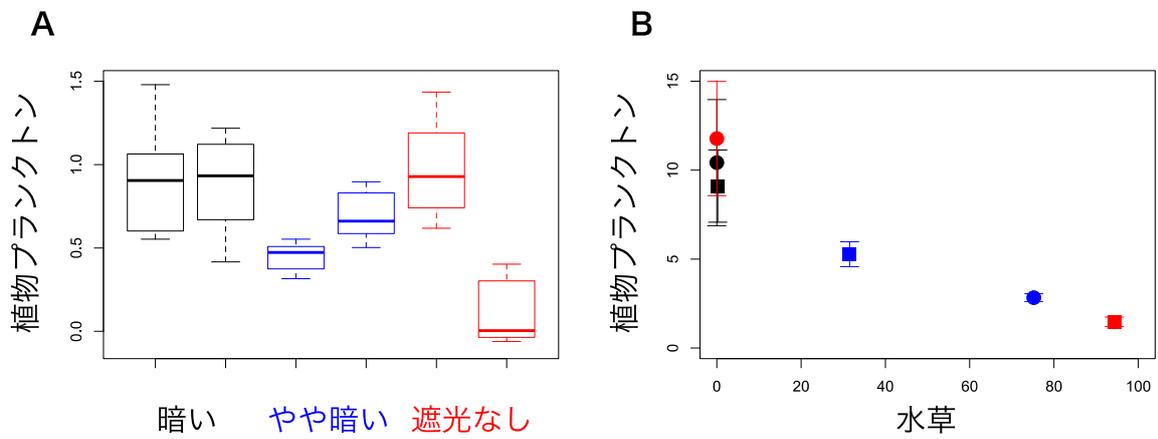


図 3. A. 暗い池 (左、黒) では、やや暗い池 (中央、青) よりも植物プランクトンが多かった。遮光なしの池 (右、赤) は植物プランクトンが多い池と少ない池に分かれた。B. 植物プランクトンが多い池では、水草が少なかった。

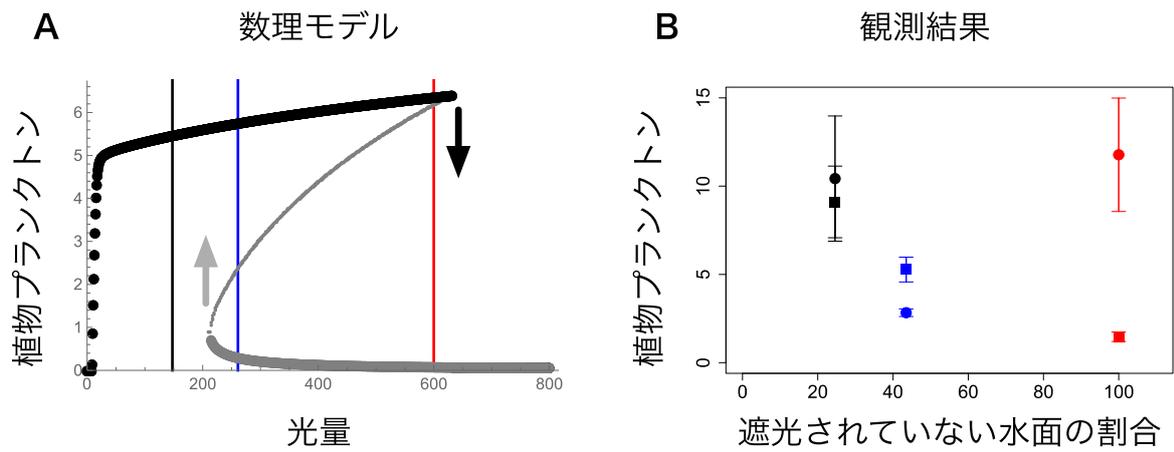


図 4. 数理モデル (A) と観測結果 (B) の比較。A では、大きい点 (黒・灰色) が安定な状態を、小さい灰色の点は不安定な平衡状態を、矢印 (黒・灰色) は光量の変化で抜本的な生態系の変化が生じることを示す。