

平成 21 年 5 月 13 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2006 ～ 2008
 課題番号：18770017
 研究課題名 (和文) 湖沼生態系における不連続的な富栄養化を予測する汎用モデルの開発
 研究課題名 (英文) Theoretical studies on regime shifts in lake ecosystems
 研究代表者
 加藤 元海 (KATO MOTOMI)
 京都大学・生態学研究センター・研究員 (研究機関)
 研究者番号：60403854

研究成果の概要：湖沼生態系において、突発的に起こる不連続的な富栄養化には沿岸帯に生息する沈水性の沿岸帯植物が関与している。沿岸帯植物の不連続的な富栄養化に対する関与として、(1) 湖底に根を張ることにより湖底から栄養塩であるリンの再循環を抑制して植物プランクトンの増殖を抑える効果と、(2) 動物プランクトンに棲み場所を提供して植物プランクトンへの摂食圧を高める効果が知られている。本研究ではこれら二つの効果に関して、湖沼形態 (面積・水深・湖盆の形状) を考慮した数理モデルを構築し、湖沼形態に応じた不連続的な富栄養化の可能性を予測するモデルを構築した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
18 年度	1,100,000	0	1,100,000
19 年度	1,400,000	0	1,400,000
20 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	210,000	3,410,000

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：湖沼、富栄養化、レジームシフト、生態系、植物プランクトン、リン

1. 研究開始当初の背景

湖沼生態系においては、周水域からの栄養塩負荷の増大と沿岸帯植物群落の消失に起因する富栄養化が起こっている。いずれも人間活動が主要因であり、規制を設ければ抑制可能な課題である。一般的に社会問題

として知られているのは、過剰な栄養塩供給による植物プランクトンの異常増殖、いわゆるアオコの大発生に代表される水質の悪化があげられる。しかし、過剰な栄養塩負荷にもかかわらず、富栄養化が緩衝される場合がある。その条件は、湖沼の形状、

沿岸帯植物群落と動物プランクトンの多寡であるとされているが、今日の環境行政課題として軽視されているのが実状である。最近の研究から、富栄養化を緩衝する効果が働く場合、栄養塩負荷と富栄養化は単純な線形関係ではなく、ある程度の栄養塩負荷までは生態系の自己浄化機能により比較的水質の澄んだ状態が維持されるが、ある臨界的な負荷量を超えると突然富栄養化が進行する、非線形で不連続的な関係が指摘されている。不連続的な富栄養化が起こった後はたとえ栄養塩負荷量を規制しても、水質を回復させることは困難、もしくは不可能である場合が多い。したがって、生態系を保全・管理するにあたっては、不連続的な富栄養化が起こる前に予測を行う必要がある。

2. 研究の目的

富栄養化は、湖沼やダム湖のいずれにおいても、沿岸帯から流入する栄養塩に起因する。したがって富栄養化問題は、着目する生態系において沿岸帯の占める割合や、沖帯と沿岸帯の間の相互作用に依存するため、生態系の規模や形態を考慮することが重要である。沿岸帯植物の不連続的な富栄養化に対する関与として、ボトムアップ制御とトップダウン制御の二つ効果がある。ボトムアップ制御は、沿岸帯植物が湖底に根を張ることで湖底を安定化し、栄養塩であるリンの湖底からの再循環を抑制する。トップダウン制御は、動物プランクトンの棲み場所を提供することによって、植物プランクトンに対する摂食圧が高まる。本研究では、さまざまな湖沼やダム湖に適用できる、不連続的な富栄養化を予測するモデルを開発することを目的とした。

3. 研究の方法

沿岸帯植物のボトムアップ制御の効果に関しては、本研究申請の前年に論文として発表しており、本研究では主にトップダウン制御に関するモデルの構築を行なった。トップダウン制御効果に関しては、食物カスケードの効果が働くため、モデルでは湖沼形態に加えて食物網構造を考慮する必要がある。沿岸帯植物は動物プランクトンにとって小魚からの捕食を回避する隠れ場を提供する。また同時に、小魚にとってもブラックバスなどの大型魚食魚からの捕食を回避する隠れ場として利用される。小魚が捕食回避のために沿岸帯植物内に集まっている場合、動物プランクトンにとって沿岸帯は危険な場所

となり、トップダウン的に富栄養化が緩衝されない可能性がある。そこで、このパズル的な問題を解決するために、食物網構造（植物プランクトン—動物プランクトン—小魚—魚食魚）と空間構造（沿岸帯と沖帯）を考慮に入れたゲームモデルを組み込んだ個体群動態モデルをつくり、トップダウン的な効果により不連続的な富栄養化が起こりやすい湖沼の形態的特徴と食物網構造を理論的に明らかにすることを試みた。

4. 研究成果

沿岸帯植物のボトムアップ制御の効果に関しては、不連続的な富栄養化が起こる可能性は、湖沼形態のうち湖沼の平均水深に依存しており、面積にはほとんど依存しないことが分かっている（図1）。これは、浅い湖沼では沿岸帯植物のリン再循環抑制効果が働き、深い湖沼においては栄養塩希釈効果が働くためである。しかし、中規模の平均水深をもつ湖沼においては、これら沿岸帯植物と希釈のどちらの効果も及ばない特異的な水深が存在したためである。

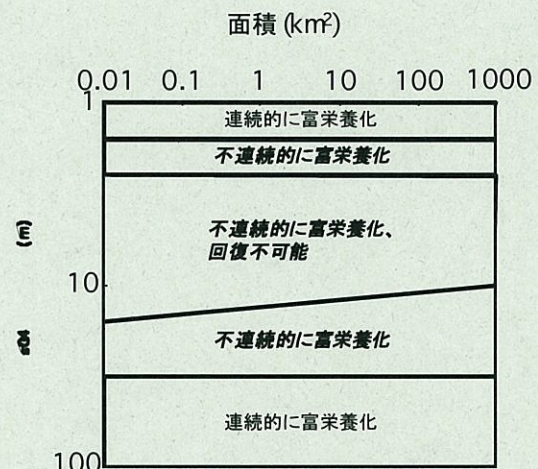


図1. 湖沼形態と不連続的な富栄養化の可能性

トップダウン制御の効果に関しては、まず沿岸帯植物が動物プランクトンと小魚のどちらにとって捕食者に対する隠れ家効果を発揮しているのかを明らかにする必要がある。動物プランクトンと小魚の個体群動態の式に、沖帯と沿岸帯の棲み場所選択に関するゲーム理論を組み込んだ数理モデルを解析した結果、大型魚食魚の有無に関係なく、より弱者である動物プランクトンにとってより隠れ家的効果が高いことが分かった。また、トップダウン制御の効果によって、不連続的な富栄養化が起こるかどうかの可能性に関しては、沖帯よりも沿岸帯の比率が高いような非常に小さくて浅い湖沼に限って、起こりうるということが明らかになった（図2）。また、不連続的な富栄養化の可能性は、沿岸帯植物の

存在によって高まり、魚食魚の存在によって低くなることも明らかにした。

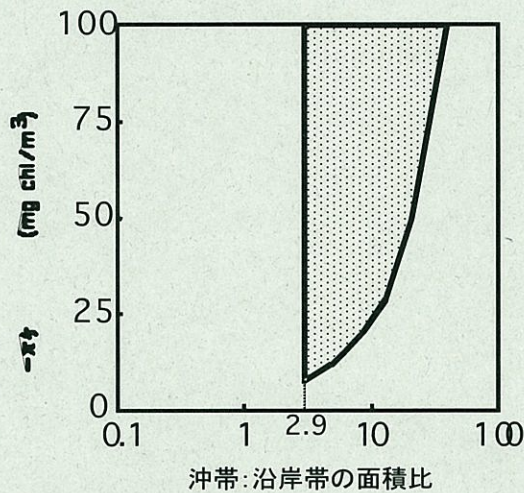


図2. 湖沼形態（横軸：沖帯と沿岸帯の面積比）と富栄養化の指標（縦軸：環境収容力）と、不連続的な富栄養化が起こりうる領域（網掛け部分）

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 17 件）

1. Genkai-Kato M. & Miyasaka H. 2009. On the coexistence of three predatory stonefly species in a central Japanese stream. *Ecological Research*, in press. DOI 10.1007/s11284-008-0540-y (査読有)
2. Miyasaka H. & Genkai-Kato M. 2009. Seasonal change in the gut clearance rate of three stonefly species in a Japanese stream. *Ecological Research* 24: 231–234. (査読有)
3. Miyasaka H. & Genkai-Kato M. 2009. Shift between carnivory and omnivory in stream stonefly predators. *Ecological Research* 24: 11–19. (査読有)
4. Genkai-Kato M., Onishi M., Doi H., Nozaki K., Yoshino K., Miyasaka H. & Omori K. 2008. Photosynthetic property and primary production of phytoplankton in sublittoral sand bank area in the Seto Inland Sea, Japan. *Ecological Research* 23: 1025–1032. (査読有)
5. Takahara T., Miyasaka H., Genkai-Kato M. & Kohmatsu Y. 2008. Length–weight relationships in six amphibian species of Japan. *Current Herpetology* 27: 43–45. (査読有)
6. Fukumori K., Oi M., Doi H., Takahashi D., Okuda N., Miller T.W., Kuwae M., Miyasaka H., Genkai-Kato M., Koizumi Y., Omori K. & Takeoka H. 2008. Bivalve tissue as a carbon and nitrogen isotope baseline indicator in coastal ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 79: 45–50. (査読有)
7. Miyasaka H., Genkai-Kato M., Miyake Y., Kishi D., Katano I., Doi H., Ohba S. & Kuhara N. 2008. Relationships between length and weight of freshwater macroinvertebrates in Japan. *Limnology* 9: 75–80. (査読有)
8. Sekino T., Genkai-Kato M., Kawabata Z., Melnik N. G., Logacheva N. P., Belykh O. I., Obolkina L. A., Bondarenko N. A., Khodzher T. V., Gorbunova L. A., Tanichev A. I., Yoshida T., Kagami M., Gurung T. B., Urabe J., Higashi M. & Nakanishi M. 2007. Role of phytoplankton size distribution in lake ecosystems revealed by a comparison of whole plankton community structure between Lake Baikal and Lake Biwa. *Limnology* 8: 227–232. (査読有)
9. Kawaguchi Y., Miyasaka H., Genkai-Kato M., Taniguchi Y. & Nakano S. 2007. Seasonal change in the gastric evacuation rate of rainbow trout feeding on natural prey. *Journal of Fish Biology* 71: 1873–1878. (査読有)
10. Genkai-Kato M. 2007. Regime shifts in ecosystems. *Kasen* 63(5): 63–65 (In Japanese). (査読無)
11. Genkai-Kato M. & Miyasaka H. 2007. Length–weight relationships of four predatory stonefly species in Japan. *Limnology* 8: 171–174. (査読有)
12. Miyasaka H., Genkai-Kato M., Goda Y. & Omori K. 2007. Length–weight relationships of two varunid crab species, *Helice tridense* and *Chasmagnathus convexus*, in Japan. *Limnology* 8: 81–83. (査読有)
13. Kuwae M., Yamaguchi H., Tsugeki N. K., Miyasaka H., Fukumori K., Ikehara M., Genkai-Kato M., Omori K., Sugimoto T., Ishida S. & Takeoka H. 2007. Spatial distribution of organic and sulfur geochemical parameters of oxic to anoxic surface sediments in Beppu Bay in southwest Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 72: 348–358. (査読有)
14. Genkai-Kato M. 2007. Regime shifts: catastrophic responses of ecosystem to human impacts. *Ecological Research* 22: 214–219. (査読有)
15. Genkai-Kato M. 2007. Macrophyte refuges, prey behaviour and trophic interactions: consequences for lake water

clarity. *Ecology Letters* 10: 105–114. (査読有)

16. Miyasaka H., Dzyuba Y. V., Genkai-Kato M., Ito S., Kohzu A., Anoshko P. N., Khanayev I. V., Shubenkov S. G., Melnik N. G., Timoshkin O. A. & Wada E. 2006. Feeding ecology of two planktonic sculpins, *Comephorus baicalensis* and *Comephorus dybowskii* (Comephoridae), in Lake Baikal. *Ichthyological Research* 53: 419–422. (査読有)
17. Yoshino K., Miyasaka H., Kawamura Y., Genkai-Kato M., Okuda N., Hayami Y., Ito S., Fukumori K., Sekiguchi T., Ohnishi H., Ohmori K. & Takeoka H. 2006. Sand banks contribute to the production of coastal waters by making a habitat for benthic microalgae in the sublittoral zone: food web analyses in Aki-Nada using stable isotopes. *Plankton and Benthos Research* 1(3): 155–163. (査読有)

[学会発表] (計 5 件)

1. 加藤元海 「沿岸域にある好漁場における植物プランクトンの光合成特性と一次生産」 日本生態学会、岩手県立大学、2009年3月.
2. Genkai-Kato M. "Macrophyte refuges, prey behavior, and trophic interactions: Consequences for lake water clarity" アメリカ生態学会 (ESA)、ミルウォーキー (米国ウィスコンシン州)、2008年8月.
3. 加藤元海 「湖沼の規模、食物網構造、動物の適応行動とレジームシフト」 日本生態学会、福岡国際会議場、2008年3月.
4. Genkai-Kato M. "Eutrophication of lakes in relation to lake morphometry, water temperature, and macrophytes." 日米合同数理生物学大会、サンノゼ (アメリカ合衆国)、2007年7月.
5. 加藤元海 「湖沼形態・水温・沿岸帯植物を考慮した不連続的な富栄養化の予測」 日本陸水学会、愛媛大学、2006年9月.

[図書] (計 6 件)

1. 川の百科事典. 2009. 高橋裕編集、丸善 (用語を分担執筆).
2. 流域環境学：流域ガバナンスの理論と実践. 2009. 和田英太郎監修、谷内茂雄・脇田健一・原雄一・中野孝教・陀安一郎・田中拓弥編集、京都大学出版会 (分

担執筆、第2部2章4節、マクロスケール：琵琶湖のレジームシフトの可能性、92–98頁).

3. Genkai-Kato M. & Miyasaka H. 2007. Vital statistics of three omnivorous stonefly species in a central Japanese stream. In Tanabe S., Takeoka H., Isobe T. & Nishibe Y. (Eds.) *Chemical Pollution and Environmental Changes*, pp. 339–341. Universal Academy Press, Tokyo.
4. Miyasaka H. & Genkai-Kato M. 2007. Prey preference of three predatory stonefly species under a low-activity condition. In Tanabe S., Takeoka H., Isobe T. & Nishibe Y. (Eds.) *Chemical Pollution and Environmental Changes*, pp. 331–333. Universal Academy Press, Tokyo.
5. Miyasaka H. & Genkai-Kato M. 2007. Accuracy assessment for chlorophyll *a* measurements in the gut of stream stonefly nymphs. In Tanabe S., Takeoka H., Isobe T. & Nishibe Y. (Eds.) *Chemical Pollution and Environmental Changes*, pp. 335–337. Universal Academy Press, Tokyo.
6. Yoshino K., Miyasaka H., Kawamura Y., Genkai-Kato M., Ohmori K. & Takeoka H. 2007. Food web analyses in Aki-Nada using stable isotopes: ecological significance of sand banks in coastal waters. In Tanabe S., Takeoka H., Isobe T. & Nishibe Y. (Eds.) *Chemical Pollution and Environmental Changes*, pp. 421–424. Universal Academy Press, Tokyo.

[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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 元海 (KATO MOTOMI)

京都大学・生態学研究センター・研究員 (研究機関)

研究者番号：60403854