

機関番号：84201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2010

課題番号：19510038

研究課題名(和文) 植物プランクトンの種間競争に及ぼす窒素：リン比の影響に関する研究

研究課題名(英文) Effects of nitrogen: phosphorus ratios on the interspecific competition of phytoplankton communities

研究代表者

辻村 茂男 (TSUJIMURA SHIGEO)

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター・総合解析部門・専門研究員

研究者番号：60300969

研究成果の概要(和文):

栄養を十分に与えた植物プランクトンの窒素(N):リン(P)比と、実際に増殖に影響が生じる増殖制限 NP 比を検討したところ、どの分類群においても、ゆとりとして貯蔵できる量は N に比べ P が多く、増殖制限となる NP 比は、制限栄養塩の目安として使われてきたレッドフィールド比より大きな NP 比となった。したがって、従来考えられていたより植物プランクトンは N 制限の影響を受けやすいことが示唆された。琵琶湖南湖における溶存態リンと溶存態窒素の供給パターンには相違があり、これにより供給 NP 比も変動する。このことが植物プランクトンの種組成と優占状況に影響していると推察された。

研究成果の概要(英文):

The limited ratio of nitrogen (N) to phosphorus (P) was investigated for some phytoplankton species and was compared with the N:P ratio of nutrient-sufficient cells. Since the intercellular phosphorus reserves are much more than those of nitrogen, the limited N:P ratio was much larger than the Redfield ratio which is used to infer the nutrient limitation. Therefore it is suggested that phytoplankton are affected by N limitation more than we have assumed it so far. There was a difference in the supply pattern of dissolved phosphorus and nitrogen in the South Basin of Lake Biwa, resulted in the fluctuation of the supply N:P ratio. This seems to be influenced the species composition and the dominance in phytoplankton.

交付決定額

(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	600,000	180,000	780,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：生態系影響評価、湖沼生態、植物プランクトン

1. 研究開始当初の背景

窒素(N)とリン(P)の供給が植物プランクトンの増殖に大きな影響を及ぼすことはよく理解されており、湖沼富栄養化対策においては、集水域からのN・P削減が中心的な課題となっている。NとPは必ずしも同じ比率で

削減されるわけではないため、負荷削減対策の進行に伴い、湖沼のNP比が変化する場合がある。そのため近年においては、N・Pそれぞれの濃度のみならずNP比に着目して植物プランクトンの動態を議論する研究が増えてきている。植物プランクトンの平均的な元

素比としてレッドフィールド比（モル比で炭素(C) : N : P = 106 : 16 : 1) がよく知られている。これまで調べられてきた植物プランクトン各種の最適N P比は、種によって違いがあるものの、レッドフィールド比に近い値であることが多いこともあり、N P比が16より小さいか大きいかで、個々の湖沼についてN制限あるいはP制限と判断することが多い。琵琶湖表層水のN P比は北湖で80、南湖で42（2005年度平均値）となっており、P制限の湖と判断されている。また、含リン洗剤が禁止されたことや下水処理でNに比べPを除去しやすいことの影響もあり、1980年以降のN P比の年平均値の変動は上昇傾向になっている。すなわち、琵琶湖ではP制限が強まりN過多の状況となってきた。

一方、湖沼の富栄養化で問題となるアオコが発生する湖沼では低N P比であることが多いことから、低N P比の水環境においてアオコ形成ラン藻類が有利になると考える研究者が多い。低N P比環境でのアオコ形成ラン藻類の優占については、ラン藻類が優占するとリンの蓄え能力が高いため“結果的に”低N P比になることを指摘する研究者もいるが、アオコ発生の要因としてのN P比の重要性に関する議論に決着はついていない。上述したように琵琶湖は高N P比の湖であり、1980年以降N P比が上昇傾向であるにもかかわらず、琵琶湖南湖では1983年から、琵琶湖北湖では1994年から現在に至るまで夏～秋にアオコが発生しており、低N P比の環境でアオコが発生するという報告に合わない状況となっている。

申請者は、滋賀県北部に位置する小さな富栄養湖である余呉湖において植物プランクトンの動態調査を詳細に行ってきた。その過程において、代表的なアオコ形成ラン藻である*Microcystis*の細胞内C N P含量とその比を野外とバッチ培養で調べ、*Microcystis*はレッドフィールドのN P比 = 16よりかなり大きな値であってもN制限になることを示した。すなわちN過多の環境は*Microcystis*にとって好ましい条件である可能性が示された。このことは琵琶湖における近年のN P比の上昇が*Microcystis*の増殖に有利に働いてきた可能性を示唆している。この研究で興味深いことは、窒素とリンを十分与えて培養したときの*Microcystis*の細胞内N P比はレッドフィールド比に近い15であり、N欠乏状態にするとN P比がほとんど変わらないまま増殖が停止したのに対し、P欠乏状態にすると細胞内N P比 = 60以上になるまで増殖速度に影響が出なかったことである。これは細胞内にゆとりとして貯蔵できる量がNとPで大きく違うことに起因しており、栄養を十分に与えて細胞内で生じるN

P比と栄養欠乏状態になり増殖が停止するN P比が異なることを示している。

野外において栄養制限下での植物プランクトン間の競争を考察するためには、細胞内にゆとりとして維持しているN Pを使い切り増殖ができなくなるN P比を重視すべきだと考えられる。しかし、これまでそのような観点から植物プランクトン各種の細胞内N P含量とその比についての研究は行われてこなかった。

2. 研究の目的

本研究では、琵琶湖から分離した様々な分類群（緑藻類、珪藻類、ラン藻類）の代表的な植物プランクトンに関して、栄養を十分に与えた条件下でのN P比と実際に増殖に影響が生じるN P比を培養実験から明らかにすること、培養実験から得られた結果によって、琵琶湖における植物プランクトン各種の現存量の変化や種間競争を説明できるかどうか野外調査で検証すること、琵琶湖における長期的な植物プランクトン優占種の変遷と、N P濃度とその比の変動との関係について見解を示すこと、の3つを目的とし、以上の目的を達成するために野外での定期観測と室内培養実験を行っていく。

野外調査では、週1回程度の定期観測を継続する。比較的頻度の高い定期観測となるが、植物プランクトン種組成・現存量変化に影響を及ぼす外部環境要因（日射、風、温度、栄養塩濃度など）を把握した上で、植物プランクトン動態の変化を検出するためにはこの頻度での観測が必要となる。季節毎の琵琶湖で優占する植物プランクトンの出現パターンはおおよそ決まっているが、各季節での種遷移や優占種の交代のデータは1年に一度しか得られない。植物プランクトンの動態は気象の影響を強く受けるため、年毎の気象の違いを十分考慮した上で長期的な植物プランクトン優占種の変遷とN P濃度とその比の影響を考察するためには長い観測期間が好ましいことから、最終年度まで観測を継続する。

室内培養実験では、申請者が分離し維持している琵琶湖の代表的植物プランクトン培養株を用いて、様々な条件下における細胞内C N P含量とその比を明らかにし、栄養が十分な時のN P比と増殖抑制が起きるN P比の関係を整理する。その結果に基づき、特に同じ季節に出現し競争関係を演じる植物プランクトンについて、どのようなN P濃度と比においてどの種が優占しうるか論理的に考察する

3. 研究の方法

(1)室内培養実験：琵琶湖から分離し維持培養している代表的な植物プランクトンを

対象として以下の室内培養実験を行う。栄養を十分に与えた培地で対数増殖期にある細胞の細胞内CNP含量とその栄養比、N欠乏またはP欠乏培地を用いたバッチ培養で、経時的な細胞内CNP含量の測定と、増殖が停止したときの細胞内最小含量の測定とそのCNP比、様々なNP比でケモスタット連続培養を行い定常状態に達したときの細胞内CNP含量とその栄養比。

栄養を十分に与えた時に得られるCNP比と、増殖ができなくなるCNP比には違いが起きると考えており、この点に着目して、データの整理を行う。

(2) 野外調査：施設前の棧橋（琵琶湖南湖）を定点として、照度・温度センサーロガー、クロロフィル濁度計、超音波流向流速計を投入し連続自動観測する。採水は1週間に1回程度の頻度で行い、以下の項目について測定を行う。検鏡による植物プランクトン計数とクロロフィル濃度の測定、フローサイトメーターによるピコ植物プランクトンと細菌の計数、PAMを用いたクロロフィル励起蛍光法による光合成活性と電子伝達速度の測定、蛍光光度法によるアルカリフォスファターゼ活性の測定、オートアナライザーと分光光度計による全N・P濃度、無機態N・P濃度の測定、炭素窒素分析装置によるセストンC・N濃度の測定。

以上の野外定期観測により、琵琶湖南湖における様々な環境変化に対する植物プランクトンの応答を察知し、プランクトン優占種の変遷と、NP濃度とその比の変動との経時的な関係についてのデータを整理する。

4．研究成果

植物プランクトン各分類群について、栄養が十分な条件下で得られるNP比と実際に増殖に影響が生じる増殖制限NP比に関する室内実験で得られた結果を検討したところ、どの分類群においても、ゆとりとして貯蔵できる量はNに比べPが多く、増殖制限となるNP比は、制限栄養塩の目安として使われてきたレッドフィールド比より大きなNP比となった。したがって、従来考えていられたより植物プランクトンはN制限の影響を受けやすいことが示唆された。

*Microcystis*の増殖制限NP比は他の分類群のそれに比べ高いことが多く、近年の琵琶湖におけるNP比の上昇がラン藻類にとって有利に働く可能性が示唆された。ただし、緑藻類では種によって様々な増殖制限NP比がみられたことから、NP比の影響は分類群レベルではなく種レベルで検討する必要があることが明らかとなった。琵琶湖を含め多くの

湖沼で観察される*Ankistrodesmus*は栄養十分なNP比、増殖制限NP比ともに他の植物プランクトンに比べて低かったことから、N制限の影響を受けにくいことが示唆された。一方、最近になって琵琶湖で秋季に著しい増殖がみられるようになった*Dimorphococcus*の栄養十分なNP比ならびに増殖制限NP比は*Microcystis*のそれに近い値を示しており、Nリッチな環境に適した種であることが想定され、そのことが本種の最近の増殖と関連しているかもしれない。

溶存態リン濃度は夏期におそらく底泥からの供給で上昇するのに対し、溶存態窒素は、冬季に硝酸態窒素で高濃度になるものの初夏には枯渇状態となるものが4年間ともに観測された。このような窒素とリンの変動のタイミングの違いが毎年供給NP比の変化を生み出しており、このことが植物プランクトンの種組成と優占状況に影響していると推察された。

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1件)

辻村茂男、湖沼におけるラン藻の個体群動態解析に向けた取り組み、日本プランクトン学会報、55、51-54。(2008) 査読無

〔学会発表〕(計1件)

Tsujimura, S. Development of cyanobacterial blooms with special reference to the role of overwintering population. The 9th International Phycological Congress (2009年8月3日、国立オリンピック記念青少年総合センター・東京)

〔図書〕(計2件)

Tsujimura, S. and Ichise, S. Characteristics of phytoplankton flora and long-term changes in the phytoplankton community of Lake Biwa. In Kawanabe, H., Nishino, M., Maehata, M. (eds) Lake Biwa: Interactions Between Nature and People. (in press)

Tsujimura, S. and Ishikawa, K. Occurrences of *Uroglana* red tides and cyanobacterial blooms in Lake Biwa. In Kawanabe, H., Nishino, M., Maehata, M. (eds) Lake Biwa: Interactions Between Nature and People. (in press)

〔その他〕

研究機関のホームページ

<http://www.lberri.jp/root/jp/bkjhindex.htm>

6．研究組織

(1)研究代表者

辻村 茂男 (TSUJIMURA SHIGEO)

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター・総合
解析部門・専門研究員

研究者番号：60300969

(2)研究分担者

該当無し

(3)連携研究者

該当無し