

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	蔣 夢奇
論文題目	Changes in relative nitrogen:phosphorus requirements for phytoplankton growth with absolute nutrient levels and their macromolecular basis (植物プランクトンの増殖に必要な窒素とリンの相対要求量に対する栄養塩レベルの影響)		
(論文内容の要旨) <p>窒素 (N) とリン (P) は、植物プランクトンの生化学的機能に利用される重要な栄養元素であり、これらの元素を持つ栄養塩類は水圏生態系における植物プランクトンの成長を制限する。植物プランクトンの成長と NとPの相対的供給量 (N:P供給比) との関係の解明は、富栄養水域でのアオコの抑制や、貧栄養水域での一次生産の増加に関する研究など、さまざまな栄養レベルの水域における植物プランクトンの増殖を理解する上で重要な課題となっている。先行研究のほとんどは、NあるいはPの濃度を固定した上で、さまざまな N:P供給比における植物プランクトンの増殖のみについて検討してきた。しかし、N:P供給比とともに重要と考えられるNやPの栄養塩類の絶対量については、これまで用いられているようなNあるいは Pが一定濃度での実験系では解明できない。本研究では、NとPの栄養塩類の絶対濃度と N:P供給比の影響を組み合わせ、異なる栄養レベルにおける植物プランクトンのN:P供給比についての増殖を評価した。さらに本研究では、先行研究で得られた結果も用いて、異なる濃度 (栄養レベル) における植物プランクトンの N:P相対的 requirement を評価した。</p> <p>本研究では、3 種 (<i>Chlorella vulgaris</i>, <i>Anabaena variabilis</i>, <i>Microcystis aeruginosa</i>) についての本研究の実験結果と、先行研究 (Frank et al. [2020] およびKunikane et al. [1984]) における5 種 (<i>Ankistrodesmus</i> sp., <i>Chlamydomonas reinhardtii</i>, <i>Scenedesmus obliquus</i>, <i>Staurastrum</i> sp., <i>Scenedesmus dimorphus</i>) についての結果を用いて、NとPが異なる栄養レベルにおいてさまざまな N:P供給比を設定し、各植物プランクトンの増殖を評価した。さらに、植物プランクトンの N:P相対的 requirement の変化のメカニズムを解明するため、<i>C. vulgaris</i>を植物プランクトンのモデル生物として用い、増殖率仮説 (Growth rate hypothesis, GRH) の検証を行った。<i>C. vulgaris</i>の細胞内容物 (タンパク質、RNA、クロロフィルa) を定量し、GRHが低栄養条件下での植物プランクトンの成長に適用できるかどうか、また、植物プランクトンのN:P相対的 requirement の変化を導く生体高分子の因果関係を検討した。</p> <p>検討したほとんどの植物プランクトン種で、栄養レベルが高い系 (富栄養環境) では、植物プランクトンの増殖に最適な N : P供給比が有意に低くなった。すなわち、N:P供給比に対する植物プランクトンの増殖において、N制限からP制限への移行には明確な境界がなく、植物プランクトンの増殖に必要な N:P供給比は周りの栄養レベルによって変化し、栄養レベルが低い環境下では N要求量がP要求量よりも高くなることが明らかとなった。さらに<i>C. vulgaris</i>において、N制限下ではGRHが適用できなかった。また、低栄養レベルではPよりもNへの要求量が高い結果が得られ、P制限下でのN、タンパク質、バイオマス間に有意な因果関係が示された。すなわち、低栄</p>			

養条件下で*C. vulgaris*の増殖を制限する主な要素は、PよりもむしろNであることが明らかとなった。

本研究は、植物プランクトンに関わる N:P供給比の問題に取り組むに際し、栄養塩類の絶対量の重要性を実証した。

(論文審査の結果の要旨)

湖沼の植物プランクトンは、動物プランクトンだけでなく、時には魚類の餌資源ともなり、湖沼生態系の基盤を成す重要な生物群である。植物プランクトンは、どの種でも上記の動物の餌資源となるものではなく、種によっては餌資源とはならないものもある。このため、どの植物プランクトン種が優占するかは、湖沼生態系の食物連鎖を介した物質循環を研究するために、極めて重要である。

従来、植物プランクトンの優占種を決める重要な環境要因の一つとして、植物プランクトンに供給される栄養塩類のバランスに注目が集まってきた。古くは、1970年代のD. Tilmanによる一連の研究に見られる通り、窒素、リン、ケイ素の供給バランスの変化が優占植物プランクトン種を決定し、かつ同一系内に共存できる植物プランクトン種の組み合わせについても多くの研究がなされた。また、これらの栄養元素のうち窒素とリンは、湖沼の富栄養化を引き起こす最も重要な栄養元素として扱われ、これらの供給バランス、すなわちN:P供給比は、学術のみならず湖沼の水質管理についても世界中から注目されている。

先行研究では、窒素とリンのバランスに特に着目するため、これらいずれかの元素の濃度を一つに固定して、もう一方の元素濃度を変化させることにより、さまざまなN:P供給比を設定した実験を行ってきた。しかし、自然湖沼には様々な窒素やリンの濃度レベルが存在し、一つに固定された栄養元素濃度のみ扱うことは、現実の湖沼生態系での事象を説明できない。元々、実験系で得られた科学的知見を野外の自然系に適用することは難しいが、室内実験系の研究を少しでもより現実に合わせて実施することは肝要である。蔣夢奇氏は、このことに着目し、窒素とリンの両方の栄養元素濃度をさまざまに変化させた実験系を用いた研究を行った。彼が特に注目したのは、植物プランクトンの細胞のN:P供給比である。従来、植物プランクトン細胞のN:P供給比は、窒素あるいはリンのいずれかの元素の濃度を固定された実験系で検討され、その結果「各植物プランクトン種は、増殖にとって好適な細胞N:P比をただ一つ持つ」と結論されてきた。しかしながら、当該結論の妥当性を体系的に検証する研究は、これまで世界的に皆無であった。蔣氏は、彼の実験系を用いて当該結論の検討を行い、「高い栄養レベル（富栄養環境）では、植物プランクトンの増殖に最適なN:P供給比が有意に低くなる」ことを見出した。すなわち、N:P供給比に対する植物プランクトンの増殖に好適な細胞N:P比は周りの栄養レベルによって変化する。蔣氏はさらに、栄養レベルが低い環境下ではN要求量がP要求量よりも高くなることも明らかにした。

従来、植物プランクトンの優占種とN:P供給比との関係についての研究は、D. W. Schindlerがカナダの実験湖沼群での研究成果を1974年にScience誌に発表後、湖沼の富栄養化防止に関する観点も合わせて、特にリンの供給について注目が集まってきた。植物プランクトンへのリン供給は、主に植物プランクトンの増殖速度に対する影響として検討がなされ、増殖率仮説（Growth rate hypothesis, GRH）として知られている。これに対して蔣氏は、緑藻の*Chlorella vulgaris*を用いた実験系において、先の研究で得られた結論に関連して、*C. vulgaris*の増殖に対する窒素とリンの相対的重要性および、そもそも*C. vulgaris*にGRHは適用可能なのかについて検討した。その結果、低栄養レベル（貧栄養環境）ではPよりもNへの要求量が高いとの結果が得られ、低栄養条件下で*C. vulgaris*の増殖を制限する主な要素はPよりもむしろNであることが明らかとなった。このことで、*C. vulgaris*については、N制限下ではGRHが支持されないことが明らかとなり、GRHの適用限界を提示することができた。

以上の一連の研究は、これまで世界的に広く受け入れられていた結論を覆す重要な知見を提供した。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年1月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： _____ 年 _____ 月 _____ 日以降