

修士論文内容の要旨

ふりがな	こばやし じゅんき	
氏名	小林 淳希	
専攻名	海洋生物資源科学専攻	
入学年度	平成 27 年 4 月	
指導教員名	主査 今井一郎 特任教授	副査 澤辺智雄 教授 副査 山口 篤 准教授
論文題目	北海道渡島大沼における植物プランクトン群集の動態に関する研究	

北海道渡島大沼は駒ヶ岳山麓に位置し、大沼及び小沼から形成された風光明媚な淡水湖である。本湖は古くから漁業が盛んであることに加え、観光業も重要な産業である。しかし、1980年代より富栄養化の進行が著しく、それ以来、毎年夏季から秋季に藍藻類のブルームであるアオコが発生している。アオコの発生は景観を悪化させるとともに、藍藻毒の産生により生態系が破壊される恐れがあり、経済や生態系保全の観点からその対策は急務である。植物プランクトンは水域の栄養状態を最も素直に反映する生物群である。そのため、渡島大沼の栄養状態の変遷を評価するためには、植物プランクトン群集の変動を合わせた考察が必要である。しかしながら、渡島大沼では藍藻類をはじめ、植物プランクトンの出現動向に関する知見が決定的に不足している。そこで本研究では、(1) 水柱の植物プランクトン群集の季節的モニタリング、(2) 湖底堆積物中の植物プランクトン休眠期細胞のモニタリングを実施した。また、2015年9月には渡島大沼の湖岸沿いで広範囲に渡り、溶藻性原生生物 *Asterocaelum* sp. による湖水の乳白色化現象 (シロコ) が発生した。そこで、(3) この湖水の乳白色化現象の解明を本研究に加え、以上を通じて、渡島大沼における植物プランクトン群集の動態と環境要因の変動について考察を加えた。

(1) 水柱の植物プランクトン群集の季節的モニタリング

調査は2015年5-11月及び2016年4-10月の期間、原則として毎月1回、渡島大沼に設けたStns.1-5 (Stn.1は大沼の北東端、Stn.5のみ小沼)、及び湖岸沿いのStn.OPとStn.OCで行った。湖水はStns.1-5では表層、中層 (水深5 m以深の定点のみ)、及び底層から採取した。採水試料はグルタルアルデヒドで終濃度1%にて固定後、倒立顕微鏡を用いて植物プランクトンの同定と計数を行った。また、水理環境については、水温、pH、各種栄養塩濃度、クロロフィル a 、ならびにフェオフィチン等を測定した。

表層のクロロフィル a 量を見ると、2015年は全ての定点で8月に最大値を示す単峰型の変動を示した (最大はStn.2の $28.7 \mu\text{g L}^{-1} \text{Chl.}a$)。2016年にはStn.3を除き、9-10月に最大を示す単峰型の変動が認められた。同時期の値を定点間で比較すると、2015年は北側の定点で高い値が認められたが、2016年はStn.3 (湖心) やStn.4 (湾内) の定点において、一時的に高い値が認められた。出現種の季節変動を見ると、5月には

Stn.5で黄色鞭毛藻 *Uroglena volvox* の割合が高く、6月にはStn.5以外の定点で羽状目珪藻 *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa* や中心目珪藻 *Aulacoseira* spp. が増加した。藍藻類については、2015年8月には窒素制限条件下で、全ての定点において窒素固定能を有する *Dolichospermum planctonicum* の優占が観察された (最大 4.4×10^4 cells mL⁻¹)。一方、2016年には全ての定点で *Microcystis* 属が優占した (最大 5.6×10^4 cells mL⁻¹)。9月以降は両年共に植物プランクトンの細胞数が総体的に減少し、中心目珪藻 *Cyclotella* spp. やクリプト藻 *Cryptomonas* spp. の増加が認められた。

(2) 湖底堆積物中の植物プランクトン休眠期細胞のモニタリング

渡島大沼のStns.1-5において、堆積物試料 (0-3 cm深) を採取し、冷暗所で1ヶ月以上保存し、終点希釈法 (MPN法) を用いて植物プランクトンの休眠期細胞を計数した。MPN法では2種類の培地 (CSi培地, GeO₂添加CT培地) を用い、2段階の温度条件 (10°C, 20°C) を設定した。マイクロプレートを用いた培養は、光強度 $100 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、明暗周期 14h L: 10h D で2週間行い、倒立顕微鏡下で観察後、休眠期細胞数を求めた。また、通常のMPN法では最重要のアオコ原因藍藻 *Microcystis* 属が検出できなかったため、堆積物試料に篩分け処理を施し、20-150 μm のサイズ画分を調製して同様の手順でMPN法による計数を行った。さらに、*Microcystis* 属の *Mi. aeruginosa*, *Mi. wesenbergii* の2種については、倒立顕微鏡の青色励起光下で堆積物中のコロニー数と細胞数の計数を行った。

MPN法による計数の結果、全定点の湖底堆積物で珪藻類、緑藻類、及び藍藻類の出現と増殖が観察され、10°Cでは緑藻類と比較して主に珪藻類の優占的増殖が確認された。温度20°Cでは緑藻類の *Chlorella* spp. が最大 10^7 MPN g⁻¹ wet sediments のオーダーの密度で観察された。珪藻については、Stn.5 (小沼) において、Stns.1-4 (大沼) と比較して、羽状目珪藻 *Fr. crotonensis* が少なく、中心目珪藻が多く検出された。藍藻類については、*Dolichospermum* sp. の休眠期細胞数はStns.1-4で230-330 MPN g⁻¹ wet sediments であり、Stn.5では45-230 MPN g⁻¹ wet sediments と少なかった。*Mi. aeruginosa* は70-230 MPN g⁻¹ wet sediments, *Mi. wesenbergii* は40-310 MPN g⁻¹ wet sediments の密度で検出された。また、直接検鏡の結果、*Mi. aeruginosa* は21-128 colonies g⁻¹ wet sediments (最高はStn.2), *Mi. wesenbergii* は4-32 colonies g⁻¹ wet sediments の範囲でコロニーが観察され、MPN法の結果と比較して低い値が検出された。

藍藻類の水柱における出現動向と合わせてアオコの発生機構を考察すると、*Mi. aeruginosa* の堆積物から水柱への供給は4-6月に全定点で同時的に進行していると考えられる。*Microcystis* 属の水柱への浮上には10-15°Cの水温が必要と報告されており、渡島大沼の底層水温は4月に約10°C、5月には約18°Cを記録しているため、この条件を満たしている。また、渡島大沼は平均水深4.7 mと浅く、風による堆積物の巻き上げが藍藻類の湖底から水柱への供給に影響しているであろう。以上より、渡島大沼では全定点が *Microcystis* 属の供給源になると考えられる。しかし実際には、表層における藍藻類の分布は風や流れ等の物理的要因の影響を大きく受けるため、今後はこれらを考慮したモニタリングが必要である。

(3) 渡島大沼において発生した溶藻性原生生物 *Asterocaelum* sp. による湖水の乳白色化現象の解明

調査は2015年9月17日及び20日に、着色域の形成が濃密であった Stn.OP 及び Stn.OC において実施した。湖水は生試料とグルタルアルデヒド固定試料 (終濃度 1%) に分け、DAPI 染色やカルコフルオル染色等の観察に供した。

観察の結果、溶藻性の原生生物 *Asterocaelum* sp. (分類学上の所属は不詳) のシスト及び耐久シスト

(以下、シスト相と呼ぶ) が高密度で検出された。シスト相は最高 6.1×10^5 cysts mL⁻¹ の密度で検出されたが、シロコの発生から数日後には観察されなくなった。

Stn.OP において 2015 年 8 月末にアオコを実質的に形成していた藍藻 *Do. planctonicum* が 9 月 17 日以降には激減していた事、*Asterocaelum* sp. シストの内部に *Do. planctonicum* に特徴的なアキネートやヘテロサイトが高頻度に見出されていた事、そして実際にこの溶藻性原生生物が *Do. planctonicum* を摂餌する様子が確認された事、以上の 3 点の事実から、夏季に大量発生した *Do. planctonicum* を *Asterocaelum* sp. が摂餌して爆発的に増殖し、この原生生物が形成した浮遊性のシスト相が湖面を被覆する事で今回の着色域が形成されたと結論される。乳白色化現象と同時期には、通常より格段に高い濃度のアンモニウム態窒素が検出されており、*Do. planctonicum* が *Asterocaelum* sp. により摂餌され、細胞が分解されて大量のアンモニウム態窒素が湖水中に放出されたと考えられる。着色域発生後には *Microcystis* 属が *Do. planctonicum* に替わって優占した。これはアンモニウム態窒素の湖水への回帰により N:P 比が上昇し、窒素制限が解除された条件下で *Microcystis* 属が増加した結果と考えられる。

本研究により、渡島大沼の植物プランクトン、特にアオコの主要構成種の出現動向は、水理環境の変化を反映して年度毎に変動することや、湖底全域が藍藻類の水柱への供給源となっている可能性が示された。また、湖水の乳白色化現象のシロコについては、藍藻 *Do. planctonicum* によるアオコに伴って発生することが確認された。アオコとシロコの発生の根本的な原因は湖水の富栄養化である。富栄養化前の好ましい栄養状態への復元には長期間を要するであろう。そのため、今後も水理環境や植物プランクトン群集の長期的なモニタリングを継続して行い、長期的な視野で過去との比較を踏まえて湖沼管理を行っていくことが今後の大きな課題であろう。