

紀の川上流部に位置する大滝ダムにおける珪藻類の増殖因子から推定する渦鞭毛藻類の抑制環境

THE RESTRAINT ENVIRONMENT OF DINOFLAGELLATE ESTIMATED FROM THE INCREASING FACTOR OF DIATOM IN OTAKI DAM AT THE KINOKAWA RIVER

和田雅光¹・井伊博行²・谷口正伸³

Masamitsu WADA, Hiroyuki II, Masanobu TANIGUCHI

¹学生会員 和歌山大学大学院 システム工学研究科システム工学専攻 (〒640-8510 和歌山市栄谷930)

²正会員 博(理) 和歌山大学教授 システム工学部環境システム学科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930)

³正会員 博(工) 和歌山大学助教 システム工学部環境システム学科 (〒640-8510 和歌山市栄谷930)

The number of dinoflagellate decreased as the number of diatom increased. *Cyclotella* sp., *Navicula* sp., *Cymbella* sp. and *Thalassiosiraseae* sp. are main species of diatom. The number of *Cyclotella* sp. reached the maximum at 5 degree C. On the other hand, the number of *Navicula* sp., *Cymbella* sp. and *Thalassiosiraseae* sp. reached the maximum at 20 to 25 degree C. At 10 to 17 degree C the number of diatom was not so high but the number of dinoflagellate was high. Through all the season, water quality at both flowing water zone and stagnation zone was uniform. Therefore temperature is important factor to control activity of dinoflagellate along the upstream of the Kinokawa River.

Key Words : *phytoplankton, fresh water red-tide, dinoflagellate, diatom, Cyclotella* sp., *Navicula* sp., *Cymbella* sp., *Thalassiosiraseae* sp.

1. はじめに

植物プランクトンは自然水域における有機物の基礎生産者として、その生産に依存する他の生物群の生活と、生態系全般の代謝を支配する上で極めて重要な位置を占めている¹⁾。そのため、水質変化の影響を第一に受ける存在であるがゆえに、水質変化を知るための指標の一つとされている。

水を貯めるという機能を持つダム湖では、栄養塩類を貯留するため富栄養化現象を引き起こし、水の華や赤潮の発生など水質の悪化が顕在化している²⁾。これらの水域における水質の悪化は、その下流に位置する河川や海域の水質・生態系悪化にもつながるため、植物プランクトンを含めた水質の研究は進められている。水の華や赤潮の発生を引き起こす要因として、富栄養化に加え、植物プランクトン自身の生物学的な因子と、気象条件や水の流れ等の力学的な因子が関係する³⁾。赤潮の代表的な構成生物である渦鞭毛藻プランクトンは、増殖による被害報告が多いため、数多くの研究がなされている。しかし、その多くが渦鞭毛藻プランクトンの増殖因子についての研究である。例えば、渦鞭毛藻プランクトンの個体数は、T-N・T-P・クロロフィル-aとの相関関係が非常に

強いとされているが⁴⁾、まだ他の要因が関係あるのではないかと考えられる。

本研究の対象地である大滝ダムにおいても2006年11月において渦鞭毛藻プランクトンの大量発生により淡水赤潮が発生したため、岩根らにより渦鞭毛藻プランクトンとCa²⁺濃度の関係について研究がなされ、Ca²⁺濃度が増殖因子の一つではないかという結論に達したが⁵⁾、まだ他の植物プランクトンとの増殖競合などの要因が関係あるのではないかと考えられる。

そこで本研究では、既往の研究とは違う視点から渦鞭毛藻プランクトンの抑制環境を調べるため、珪藻プランクトンに着目した。大滝ダム周辺水域において、珪藻プランクトンは、藍藻・緑藻・渦鞭毛藻プランクトンと違い、年中を通して多くの個体数が検出される。そこで珪藻プランクトンと渦鞭毛藻プランクトンとの個体数の関係を明らかにした上で珪藻プランクトンの優占種上位4種の増殖環境から、渦鞭毛藻プランクトンの抑制環境の提案をすることを目的とする。

2. 現地の概要



紀の川はわが国最多雨地域である大台ヶ原を水源としており、中央構造線に沿って紀伊半島の中央部を流れ、各支流と合流しながら紀伊平野、紀伊水道に注ぐ流域面積1750km²、幹線流路延長136kmの一級河川である。紀の川上流部にある大滝ダムは、奈良県吉野郡川上村に位置し、貯水容量84,000,000m³（有効貯水量76,000,000m³）の多目的ダムである。集水面積は258km²で紀の川流域の15%を占めている⁶⁾。大滝ダム周辺の地質構造は、50万分の1土地分類図（表層地質図）⁷⁾に従うと、大部分が緑色岩や黒色片岩で構成され石灰岩が所々に見られる。また、土地利用は大部分が森林であるが、民家が少なからず存在するため、大滝ダム湖内の水質に対する人為的影響も考えられる。

3. 水質分析の概要

(1) 現地での測定方法

調査対象地域を図 - 1に示す。水質調査は、2006年8月から2008年7月まで毎月1回ずつ行った(2006年9月, 2007年2月を除く)。河川水質の時間変化を受けないように毎回同じ時刻に採水した。ダム湖内の水深は季節や天候により変化するが、採水を行った各層の水深は、上層(水深0.5m)、中層(水深5~10 m)、下層(水深8~20 m)である。現地測定項目は、携帯用水質測定器(D-24, 堀場製作所製)を用いて、水温、pH、電気伝導度(EC)、酸化還元電位(ORP)を測定した。採水したサンプルは水中の生物活動やそれに伴う水質変化を抑えるため、速やかに実験室に持ち帰り、室内分析を行った。

(2) 室内での分析方法

室内分析では、採水サンプルを孔径0.45 μ mのメンブレンフィルターでろ過した後、主要溶存成分をイオンクロマトグラフィーで測定した。

T-Nは、サンプルに分解処理（ペルオキシ二硫酸カリウム分解法）を施し、サンプル中に存在している有機態窒素、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素をすべて硝酸イオン（ $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ）に分解し比色法を用いた後、吸光度計

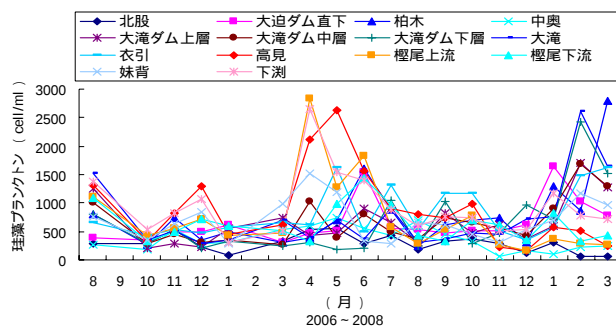


図-2 各地点における珪藻の個体数の変化

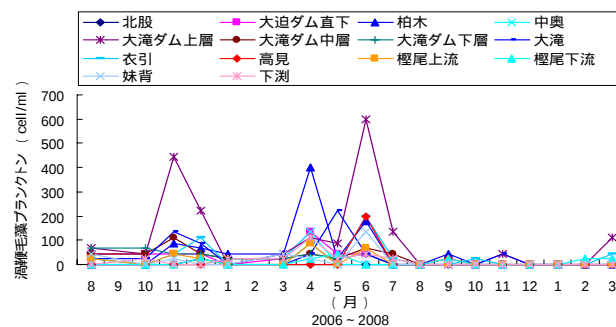


図-3 各地点における渦鞭毛藻の個体数の変化

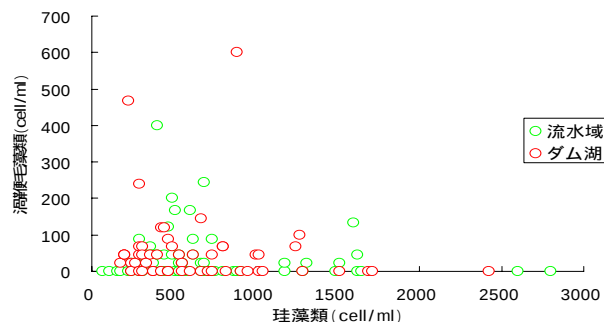


図 - 4 珪藻と渦鞭毛藻の個体数の関係

表 - 1 t 検定の結果

ダム湖			
珪藻類の個体数 (cell/ml)	平均	分散	サンプル数
0 ~ 900	65.10182	14095.12	41
901 ~	19.65812	1114.277	13
t = 2.192			
p = 0.032			
流水域			
珪藻類の個体数 (cell/ml)	平均	分散	サンプル数
0 ~ 700	42.91939	5595.158	51
701 ~	15.87302	1192.24	21
t = 2.096			
p = 0.039			

を用いて測定した。

植物プランクトンは現地においてサンプル量の5%に値するピクロホルマリンを入れ，植物プランクトンを固定した⁸⁾．ピクロホルマリンとは，ホルマリンをピクリン酸で飽和させたものである．固定したサンプルは実験室に持ち帰り，静置沈殿法により濃縮を行った後，日本淡水産動植物プランクトン図鑑を用いて⁹⁾，位相差顕微

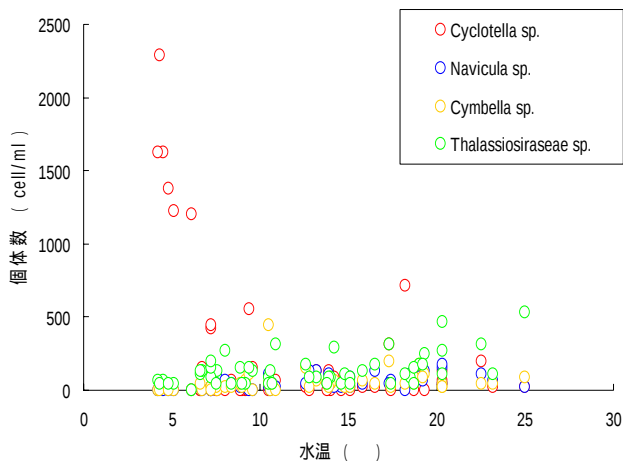


図 - 5 ダム湖における珪藻優占種上位4種の個体数と水温の関係

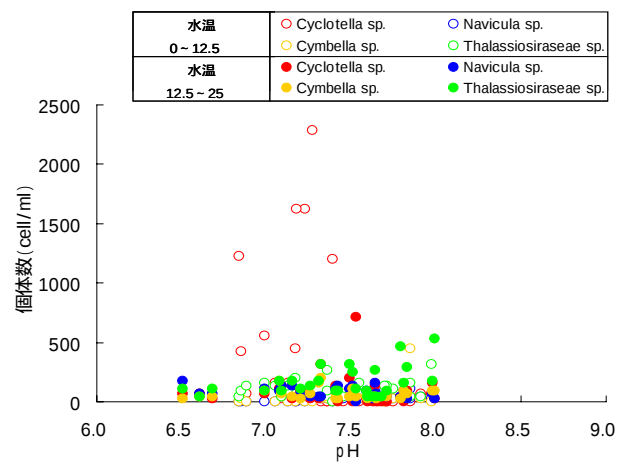


図 - 7 ダム湖における珪藻優占種上位4種の個体数とpH・水温の関係

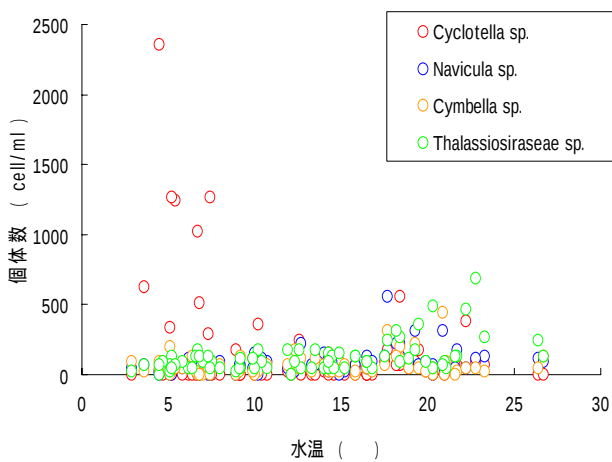


図 - 6 流水域における珪藻優占種上位4種の個体数と水温の関係

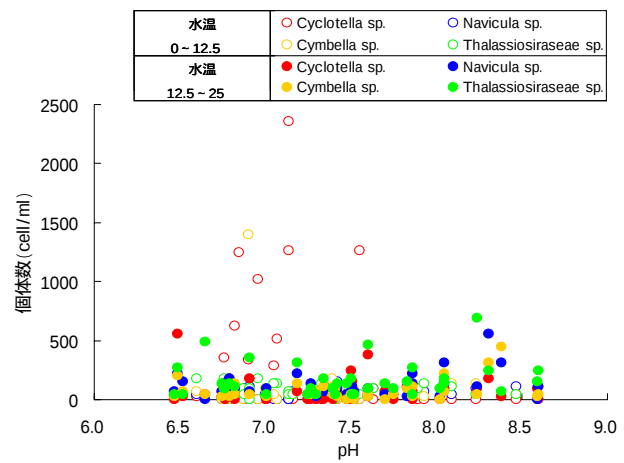


図 - 8 流水域における珪藻優占種上位4種の個体数とpHの関係

鏡（10×40倍）により観察・同定した。

4．珪藻・渦鞭毛藻プランクトンの関係

各地点における珪藻の個体数の変化を図 - 2に示す。また、各地点における渦鞭毛藻の個体数の変化を図 - 3に示す。これを見ると、珪藻プランクトンは年間を通して検出されている。また、渦鞭毛藻プランクトンは、珪藻プランクトンの個体数に比べ少ないが、年間を通して検出された。

そこで、珪藻と渦鞭毛藻の個体数の関係を図 - 4に示す。ダム湖は大滝ダム上層、大滝ダム中層、大滝ダム下層の3地点を示し、流水域はダム湖を除く他の地点を示している。これを見ると、ダム湖・流水域ともに、珪藻プランクトンの個体数が増加すると渦鞭毛藻プランクトンの個体数が減少するという傾向が見られた。そこで、この関係に有意差があるかどうかを調べるため、珪藻類の個体数を100 (cell/ml) ごとにt検定（優位水準0.05）を行った。表 - 1にt検定の結果を示す。その結果、ダム湖では珪藻類の個体数が900 (cell/ml) を境に $p = 0.032$ と最

も有意差が見られた。また、流水域では珪藻類の個体数が700 (cell/ml) を境に $p = 0.039$ と最も有意差が見られた。そのため、ダム湖では珪藻類の個体数が900 (cell/ml) 以上、流水域では珪藻類の個体数が700 (cell/ml) 以上になると渦鞭毛藻類の個体数が減少しやすい環境であることがわかった。

5．珪藻の優先種上位4種と水質の関係

(1) 水温

ダム湖における珪藻優占種上位4種の個体数と水温の関係を図 - 5に示す。これを見ると、*Cyclotella* sp. は水温が10 を下回ると個体数が増加し始め、5 付近になると最も個体数が増加する傾向が見られた。また、その他の3種においては、*Cyclotella* sp. と違い、水温が17 を上回ると個体数が増加し始め、20～25 付近になると最も個体数が増加する傾向が見られた。

次に、流水域における珪藻優占種上位4種の個体数と

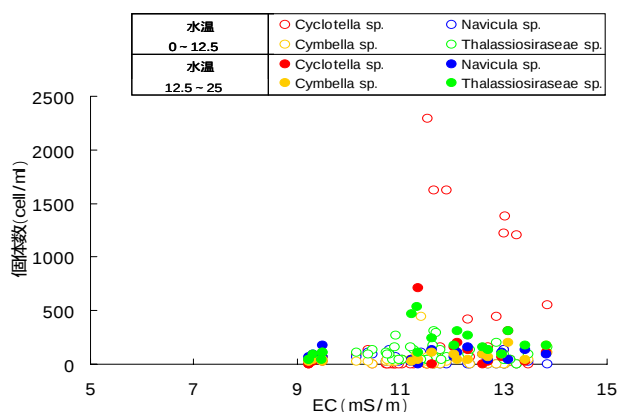


図 - 9 ダム湖における珪藻優占種上位4種の個体数とEC・水温の関係

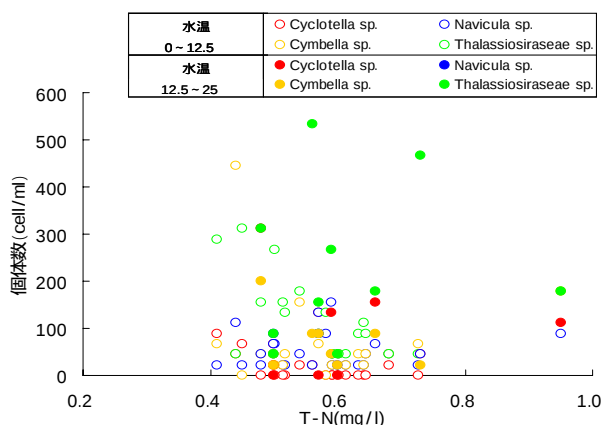


図 - 11 ダム湖における珪藻優先種上位4種の個体数とT-N・水温の関係

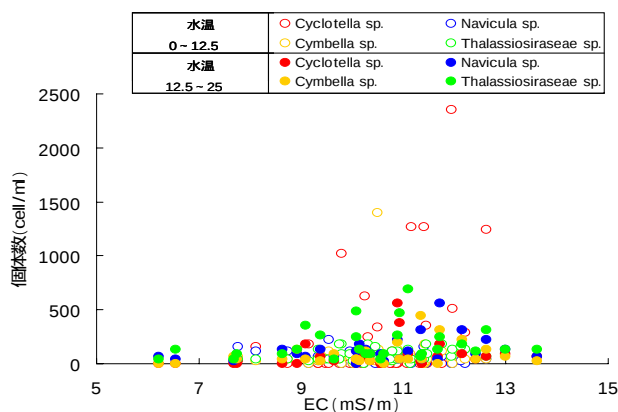


図 - 10 流水域における珪藻優占種上位4種の個体数とEC・水温の関係

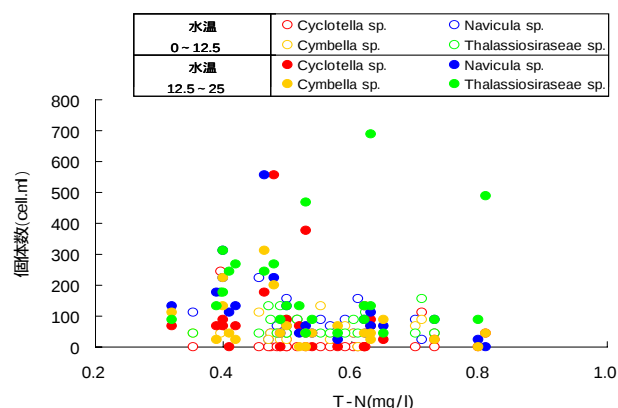


図 - 12 流水域における珪藻優占種上位4種の個体数とT-N・水温の関係

水温の関係を図 - 6に示す。これを見ると、全体的にダム湖と似たような傾向を示しているのが分かる。このことから、珪藻優占種上位4種は、水の流れによる影響をほとんど受けないと考えられる。また、ダム湖と流水域の両方において水温が10～17 の時には優占種の個体数の増加は見られなかった

(2) pH

ダム湖における珪藻優占種上位4種の個体数とpH・水温の関係を図 - 7に示す。これを見ると、*Cyclotella sp.* はpHが7.2前後に個体数が増加し、pHが7.5を上回ると個体数が極端に減少する傾向が見られた。また、その他の種に関しては水温と同様に、*Cyclotella sp.*とは違った傾向を示し、pHの値が増加すると個体数も増加し、8.0前後に個体数が最も増加する傾向が見られた。

次に、流水域における珪藻優占種上位4種の個体数とpH・水温の関係を図 - 8に示す。こちらも水温と同様に、ダム湖と似たような傾向を示した。ただし、流水域では、*Navicula sp.*、*Cymbella sp.*、*Thalassiosiraseae sp.*の3種においてpHが8.2を過ぎると個体数が減少するという傾向が見られた。ダム湖ではpHが8.0以上のサンプルがなかったため、この傾向が見られなかったと考えられる。

(3) EC

ダム湖における珪藻優占種上位4種の個体数とEC・水温の関係を図 - 9に示す。これを見ると、*Cyclotella sp.*においては、ECの値が11～14 (mS/m) の時に個体数を増加させ、11 (mS/m) を下回ると極端に個体数を減少させる傾向が見られた。その他3種においては、*Cyclotella sp.*のようにECの値が11～14 (mS/m) の時に個体数を増加させたが、11 (mS/m) を下回っても極端な個体数の減少は見られなかった。

次に、流水域における珪藻優占種上位4種の個体数とEC・水温の関係を図 - 10に示す。これを見ると、ダム湖と似たような傾向を示しているのが分かる。ただし、ダム湖ではECが11～12 (mS/m) より高い値を示した時でも個体数は確認されたが、流水域では個体数が急激に減少した。

(4) T-N

T-Nの測定期間は2006年8月～2007年7月である。ダム湖における珪藻優占種上位4種の個体数とT-N・水温の関係を図 - 11に示す。岩根らによる研究では、植物プランクトンの優占種の交代時期にはT-N濃度の違いが関係あ

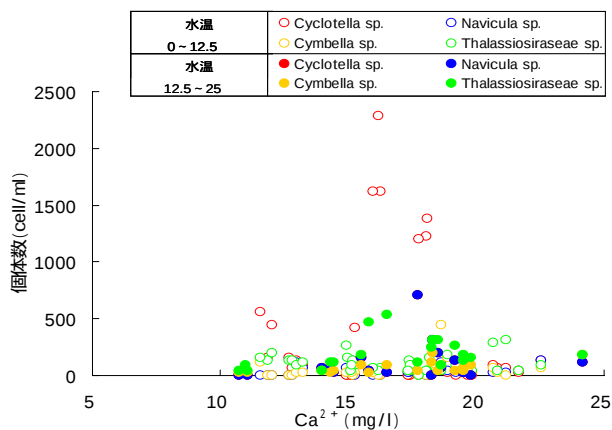


図 - 13 ダム湖における珪藻優占種上位4種の個体数と Ca^{2+} の関係

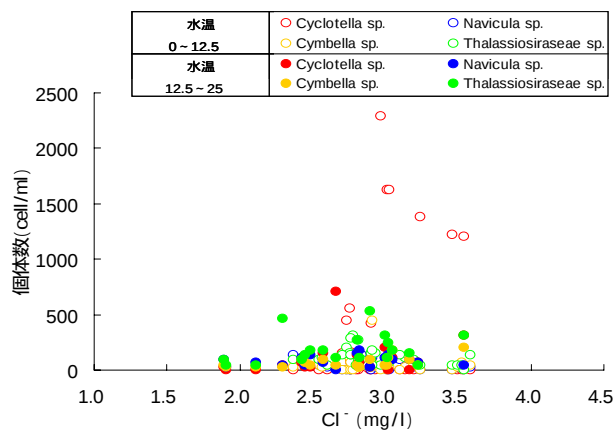


図 - 15 ダム湖における珪藻優占種上位4種の個体数と Cl^- の関係

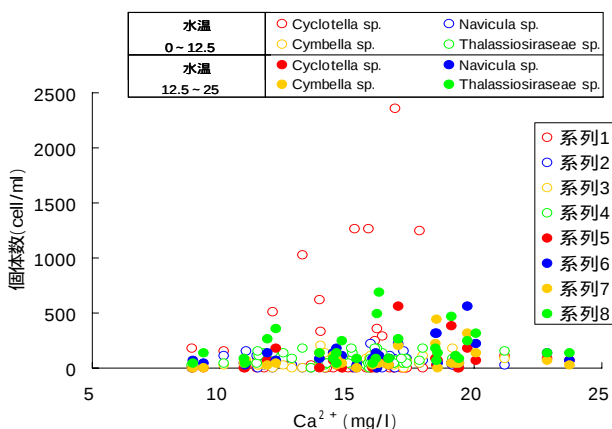


図 - 14 流水域における珪藻優占種上位4種の個体数と Ca^{2+} の関係

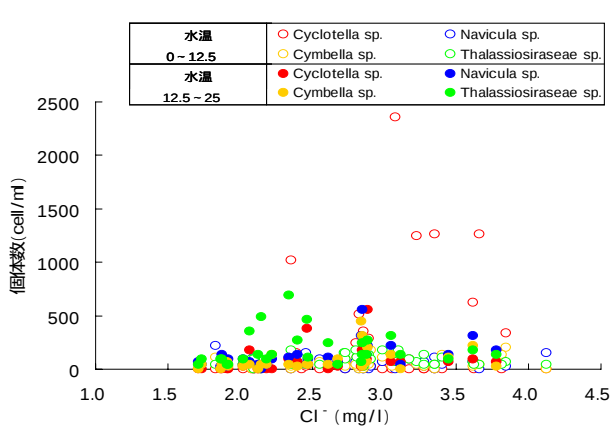


図 - 16 流水域における珪藻優占種上位4種の個体数と Cl^- の関係

るとされ、中でも珪藻類はT・N濃度が低い時に増加しやすいとされている⁵⁾。本研究においてもわずかではあるが、T・N濃度が低いときに個体数が増加しやすいという傾向が見られた。

次に、流水域における珪藻優占種上位4種の個体数とT・N・水温の関係を図 - 12に示す。これを見ると、ダム湖と似たような傾向を示した。

(5) Ca^{2+}

岩根らの研究により Ca^{2+} 濃度が11 (mg/l) より高く、水が停滞している場所において渦鞭毛藻プランクトンが増殖しやすいという研究結果が出されている⁴⁾。また、ダム湖において Ca^{2+} が貯蓄されやすいとも言われている⁴⁾。そこで、 Ca^{2+} 濃度と珪藻プランクトンの関係を調べ、珪藻プランクトンの発生しやすい環境を考察する。ダム湖における珪藻優占種上位4種の個体数と Ca^{2+} ・水温の関係を図 - 13に示す。これを見ると、 Ca^{2+} 濃度が15 ~ 17 (mg/l) の時に珪藻プランクトンの個体数が多くなるという傾向が見られた。中でも、*Cyclotella sp.*が最も個体数が増加していた。そのため、ダム湖において渦鞭毛藻類と*Cyclotella sp.*との優占種の交代時期は、水温変化に伴うということが分かる。

次に、流水域における珪藻優占種上位4種の個体数と Ca^{2+} ・水温の関係を図 - 14に示す。流水域においてもダム湖と似たような傾向が見られた。 Ca^{2+} 濃度を15 ~ 17 (mg/l) の値に保ち、珪藻プランクトンの活動を活発にすることができれば、渦鞭毛藻プランクトンの活動を抑制できるのではないかと考えられる。

(6) Cl^-

ダム湖における珪藻優占種上位4種の個体数と Cl^- ・水温の関係を図 - 15に示す。これを見ると、 Cl^- 濃度が3.0 (mg/l) 前後において珪藻類の個体数が多くなる傾向が見られた。しかし、*Cyclotella sp.*においては、 Cl^- 濃度が3.0 (mg/l) を下回ると極端に個体数を減少させる傾向が見られた。

次に、流水域における珪藻優占種上位4種の個体数と Cl^- ・水温の関係を図 - 16に示す。流水域においてもダム湖と全体的に似たような傾向が見られた。しかし、*Thalassiosiraseae sp.*はダム湖では Cl^- 濃度が3.0 (mg/l) 前後において個体数が多くなる傾向が見られたが、流水域では Cl^- 濃度が2.4 (mg/l) 前後で個体数が多くなる傾向が見られた。

表-2 珪藻プランクトンの優占種上位4種の増殖環境

		増殖環境					
		水温()	pH	EC(mS/m)	T-N(mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)
<i>Cyclotella sp.</i>	ダムサイト	5	7.2	11~14	0.4~0.5	15~17	3
	流水域	5	7.2	11~12	0.4~0.5	15~17	3
<i>Navicula sp.</i>	ダムサイト	20~25	8	11~14	0.4~0.5	15~17	3
	流水域	20~25	8	11~12	0.4~0.5	15~17	3
<i>Cymbella sp.</i>	ダムサイト	20~25	8	11~14	0.4~0.5	15~17	3
	流水域	20~25	8	11~12	0.4~0.5	15~17	3
<i>Thalassiosiraseae sp.</i>	ダムサイト	20~25	8	11~14	0.4~0.5	15~17	3
	流水域	20~25	8	11~12	0.4~0.5	15~17	2.4

6. おわりに

珪藻プランクトンの個体数が増加する時期には渦鞭毛藻プランクトンの個体数が減少する。このことから、大滝ダム周辺水域における珪藻プランクトンの優占種上位4種の増殖環境を調べ、渦鞭毛藻プランクトンの抑制環境を提案する。

珪藻プランクトンの優占種上位4種の増殖環境を表-2に示す。測定項目であるEC・T-N・Ca²⁺・Cl⁻については優占種上位4種すべてにおいて増殖環境はほぼ同じであった。しかし、岩根らの研究によりCa²⁺濃度が11(mg/l)より高く、水が停滞している場所において渦鞭毛藻プランクトンが増殖しやすいとされている⁵⁾。*Cyclotella sp.*においてもCa²⁺濃度が15~17(mg/l)の時に大量発生しやすいことから、ダム湖において渦鞭毛藻類と*Cyclotella sp.*との優占種の交代時期は、水温変化に伴うことが分かる。

水温・pHにおいては*Cyclotella sp.*とその他の3種において違う傾向が見られた。*Cyclotella sp.*は水温が5の低水温の環境を好み、その他の3種は水温が20~25の高水温の環境を好む。また、ダム湖と流水域の両方において水温が10~17の時には優占種の個体数の増加は見られなかった。この性質を利用することで、季節変化に対応した渦鞭毛藻プランクトンの抑制環境をつくることのできるのではないかと考えられる。また、*Cyclotella sp.*はpHが7.2前後を好み、その他3種においてはpHが8.0前後を好む。大滝ダム周辺水域では、pHの値が6.5~8.7の間にあるため、この性質も利用すれば、渦鞭毛藻プランクトンの抑制環境をつくりやすいのではないかと考えられる。

このことから、渦鞭毛藻プランクトンの抑制環境を考察した結果、夏場の高水温になる時期には*Navicula sp.*、*Cymbella sp.*、*Thalassiosiraseae sp.*の増殖環境を保つことで、抑制環境をつくることのできるのではないかと考えられる。また、冬場の低水温になる時期には*Cyclotella sp.*の増殖環境を保つことで抑制環境をつくることのできるのではないかと考えられる。それ以外の時期においては、優占種上位4種の全てが一定の個体数を検出している。過去の渦鞭毛藻プランクトンの増殖(淡水赤潮)は、春や秋に発生していることから、優占種が爆発的に増えないこの時期に、Ca²⁺などの条件を制御して

抑制する必要がある。渦鞭毛藻類の鞭毛や殻などにはCaが含まれており、岩根らの研究によりCa²⁺は渦鞭毛藻類の増殖因子であるとされている⁵⁾。大滝ダム-大迫ダム間の地質構造は50万分の1土地分類図(表層地質図)⁷⁾に従うと石灰岩が分布しており、この石灰岩から溶出したCa²⁺が大滝ダム湖に流入し蓄積されている⁵⁾。また、大滝ダム-大迫ダム間の支流付近には少なからず民家が存在し、支流からの流入により窒素成分等も蓄積されている。大滝ダム湖内の水質は大滝ダム-大迫ダム間の支流からの影響が大きい。これらの影響を受けていない大迫ダムにおいて放流量を調節することにより、支流からの影響を緩和し、大滝ダム湖内の水質を制御することができると考えられる。

参考文献

- 1) 微生物生態研究会 編：微生物の生態1 方法論をめぐって，p.51-70，1974.
- 2) 梅田信・富岡誠司：貯水池における水質環境要素と藻類増殖の関連，土木学会水工学論文集，第51巻，pp.1373-1378，2007.
- 3) 秋山壽一郎：流入型密度流の水理特性とその予測，湖沼，貯水池の管理に向けた富栄養化現象に関する学術研究のとりまとめ(代表者：浅枝隆)，pp.69-167，土木学会水理委員会，環境水理部会，2000.
- 4) 天野邦彦・田中康泰・鈴木宏幸・安田佳哉：貯水池末端における持続的な淡水赤潮に関する研究，土木学会水工学論文集，第44巻，1083-1088，2000.
- 5) 岩根良和・井伊博行・谷口正伸：紀の川流域のダム・堰における植物プランクトンと全窒素・カルシウムイオンとの関係，土木学会水工学論文集，第52巻，1303-1308，2008.
- 6) 国土交通省 近畿地方整備局 紀の川ダム統合管理事務所：<http://www.kkr.mlit.go.jp/kinokawa/>
- 7) 国土庁土地局国土調査課：50万分の1土地分類図(表層地質図)
- 8) 気象庁 編：海洋観測指針(第1部)，pp.109-111，(財)気象業務支援センター，1999土木学会編；土木学会における数値解析，流体解析編，サイエンス社，1974.
- 9) 田中正明：日本淡水産動物プランクトン図鑑，(財)名古屋大学出版会，2002.

(2008.9.30受付)