

成層条件下における植物プランクトンの増殖特性に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 20

担当チーム：河川・ダム水理チーム

研究担当者：箱石憲昭、櫻井寿之

【要旨】

貯水池及び湖沼における富栄養化問題は植物プランクトンの増殖・集積により生じ、景観問題や利水における異臭味、ろ過障害等の問題を引き起こすため、現象の解明と対策技術の開発が求められている。

富栄養化現象については、各種モデルが提案され、また湖内循環装置による対策もとられてきているが、植物プランクトンの増殖・集積メカニズムに対する知見が不足しており、モデルの予測精度が十分でない場合や十分な対策効果が得られない場合がみられている。このため、植物プランクトンの増殖・集積メカニズムに対する現象を解明するとともに、これに基づく予測モデルの向上、対策技術の高度化が求められている。

本課題では、上記の要請に対し、これまでに知見の少ない鉛直方向の流動や水温成層がある条件における代表的な植物プランクトンの増殖について①単一種植物プランクトンにおける増殖と各種条件の関係の調査、②複数種植物プランクトン混在時の増殖と各種条件の関係の調査を実施した。その結果、鉛直方向の水質条件による増殖特性への影響が種によって異なることを確認した。

キーワード：植物プランクトン、増殖特性、富栄養化、循環、水温成層、ラン藻、珪藻

1. はじめに

貯水池及び湖沼における富栄養化問題は植物プランクトンの増殖・集積により生じ、景観問題や利水における異臭味、ろ過障害等の問題を引き起こすため、現象の解明と対策技術の開発が求められている。

富栄養化現象については、各種モデルが提案され、また湖内の曝気循環装置や選択取水設備による対策もとられてきているが、植物プランクトンの増殖・集積メカニズムに対する知見が不足しており、モデルの予測精度が十分でない場合や対策の効果が得られていない場合もある。このため、植物プランクトンの増殖・集積メカニズムに対する現象を解明するとともに、これに基づく予測モデルの向上、対策技術の高度化が求められている。

そこで、本研究では、貯水池及び湖沼における植物プランクトンの増殖特性の解明に資するために、これまでに知見の少ない鉛直方向の流動や水温成層がある条件における植物プランクトンの培養実験を行い増殖特性の考察を行った。

2. 研究方法

培養実験には、図-1 に示すミニコスモス実験装置を用いた。培養液を入れる半径約 15cm、高さ 140cm の円筒形の水槽（容量 100L）の外側に上中下の 3 段の水

が循環するジャケットが設置されており、ここに温水や冷水を循環させることで水温の鉛直分布を形成し、センサーと制御装置によって一定の水温鉛直分布を保つことが可能である。水槽内の天井には照明が取り付けられており、タイマーで日照時間のパターンが制御可能である。水槽内には 3 つの標高に水温、pH、DO を

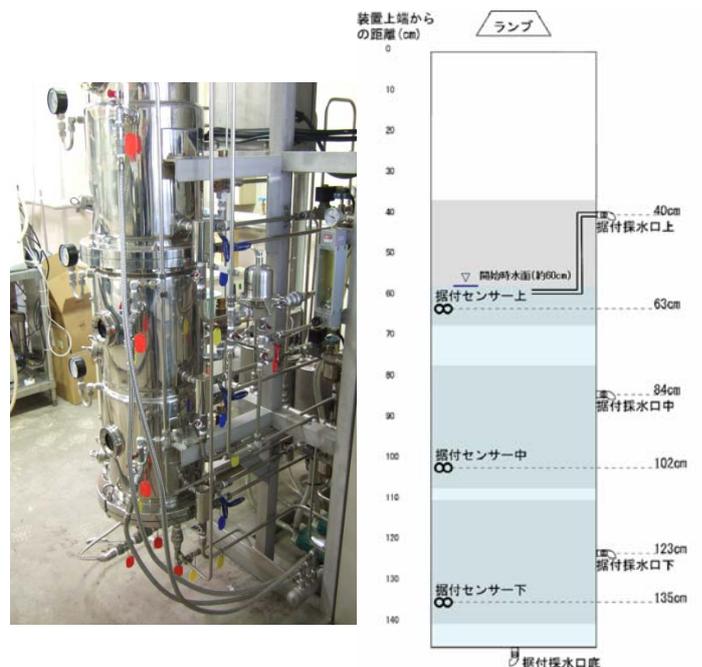


図-1 ミニコスモス実験装置の概要

表-1 実験ケース

ケース名	培養対象藻類	水温設定	鉛直方向 水質条件	培養期間
ケース1	Anabaena smithii N-824	上段及び中段18°C、下段21°C	循環	25日
ケース2	Anabaena smithii N-824	上段及び中段20°C、下段15°C	成層	26日
ケース3	Cyclotella meneghiniana N-805	上段及び中段18°C、下段21°C	循環	25日
ケース4	Cyclotella meneghiniana N-805	上段及び中段20°C、下段15°C	成層	25日
ケース5	二種混合	上段及び中段18°C、下段21°C	循環	16日
ケース6	二種混合	上段及び中段20°C、下段15°C	成層	16日

表-2 実験時の培養条件

培養対象藻類	前培養条件	培養液の組成	培養液の量	栄養塩濃度		光量
				硝酸態窒素	リン酸態リン	
Anabaena smithii N-824	培養液量 500ml	CT培地	60L	0.2mg/L	0.01mg/L	10000 lux 明期：暗期 12h：12h
Cyclotella meneghiniana N-805		CSI培地				
二種混合		CSI培地				

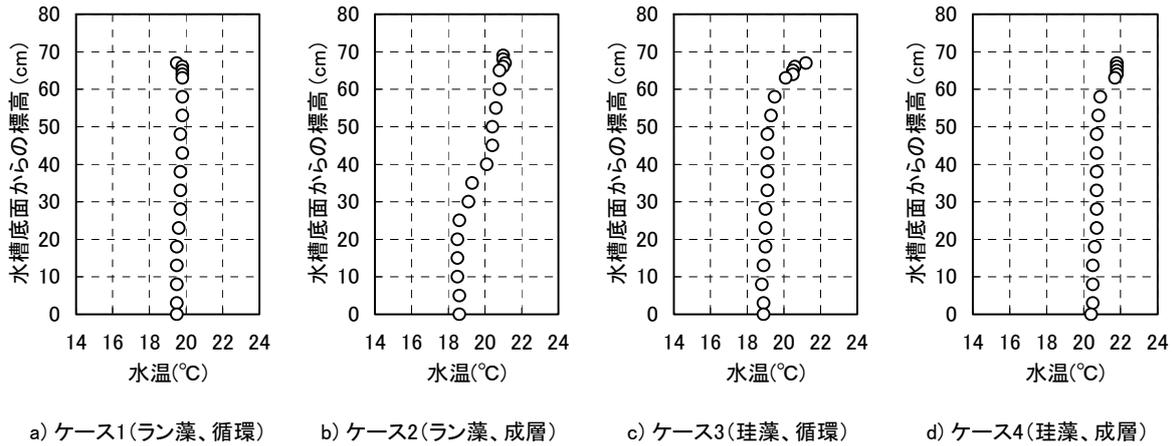


図-2 実験終了時の水温鉛直分布（ケース1～4）

測定するセンサーがついており、また3つの採水口とフロートを用いた表層水からの採水口が設置されている。

培養実験に用いる植物プランクトンとしては、代表的な藻類として、ラン藻と珪藻の2種類を選定した。選定理由としては、ラン藻は細胞内に気泡を有することで浮上することができ、珪藻と比較して鉛直方向の環境変化への応答が異なる可能性を考慮した。実際に用いる株については、培養実験を実施するために細胞をある程度の数まで増殖させる必要があるため、ラン藻についてはアナベナとフォルミディウム、珪藻についてはタイコケイソウを選定してそれぞれの種について国立環境研究所に保存されている株を数個抽出し、事前にフラスコレベルでの培養実験を実施して増殖の様子を考慮して選定を行った。

その結果、最終的には、ラン藻類としてはアナベナ (Anabaena smithii N-824) を選定し、珪藻類としてタイコケイソウ (Cyclotella meneghiniana N-805) を選定した。

実験ケースを表-1に、培養の条件を表-2に示す。貯水池内で曝気等により鉛直方向の循環を行っている状況を模擬することを目的として、ケース1、3、5については、下段の設定水温を中段より高く設定し

た。これによって下層の水が温められ密度が軽くなり浮上して水槽内に緩やかな循環が形成される。ケース2、4、6については、通常の水温成層を形成し、上下の水塊の混合が小さい条件とした。

培養液の栄養塩濃度については、各植物プランクトンについて硝酸態窒素とリン酸態リンの濃度を変化させたフラスコ増殖実験を行って、プランクトンが増殖可能な範囲でなるべく小さい値を設定した。

実験では培養液の量を60L（水深70cm程度）としており、実験装置の水温調整装置の中段と下段の領域が主であり、表層、中層、下層の3地点から採水した。測定を実施した項目は、細胞数、水温、DO、pHであり、採水試料の内いくつか選定したものについては栄養塩の分析も行った。

3. 研究結果

3.1 単一種の場合

単一種について実験を行ったケース1～4の実験終了時の水温鉛直分布を図-2に示す。これより、ケース1、3については、ほぼ一定の水温になっている。ケース2は上下層で2°C程度の水温差がついているが、ケース4は室温の上昇により冷却装置が十分機能しなくて微小な水温差しかつかなかつた。しかし、装置に

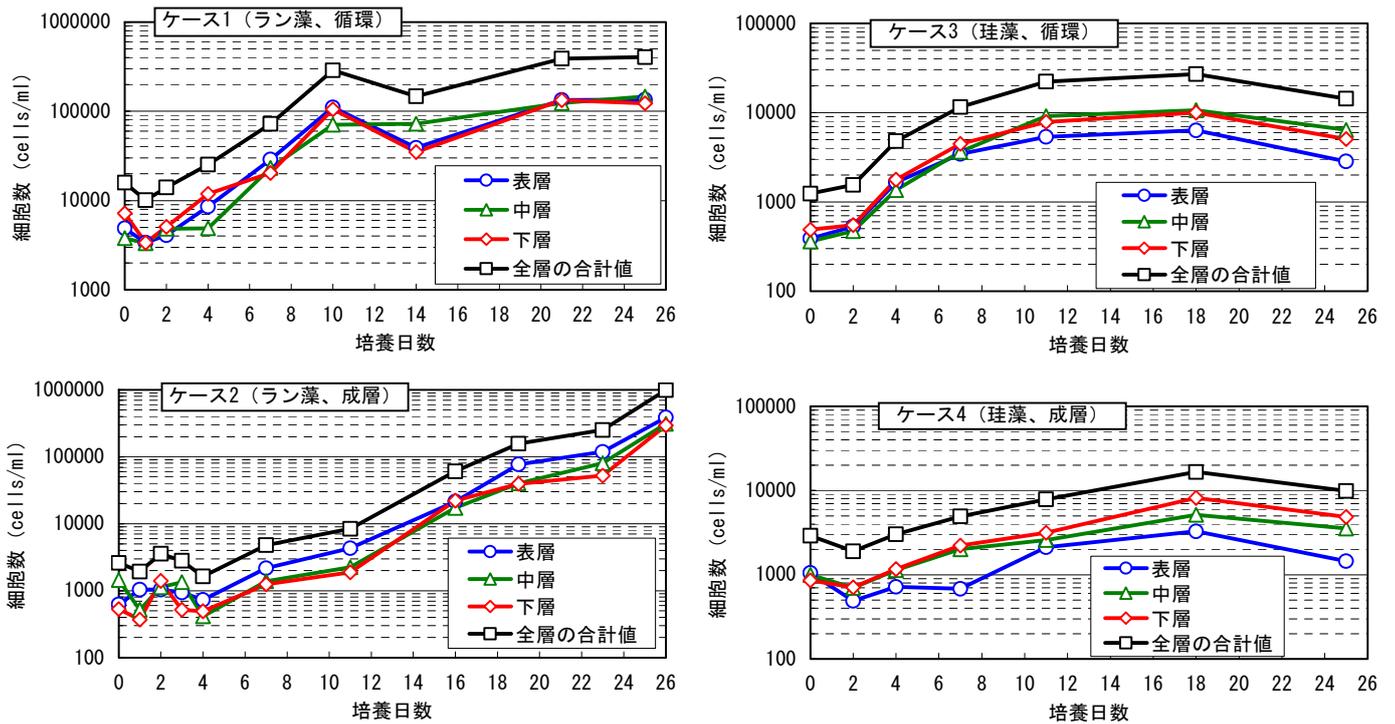


図-3 細胞数の変化 (ケース1~4)

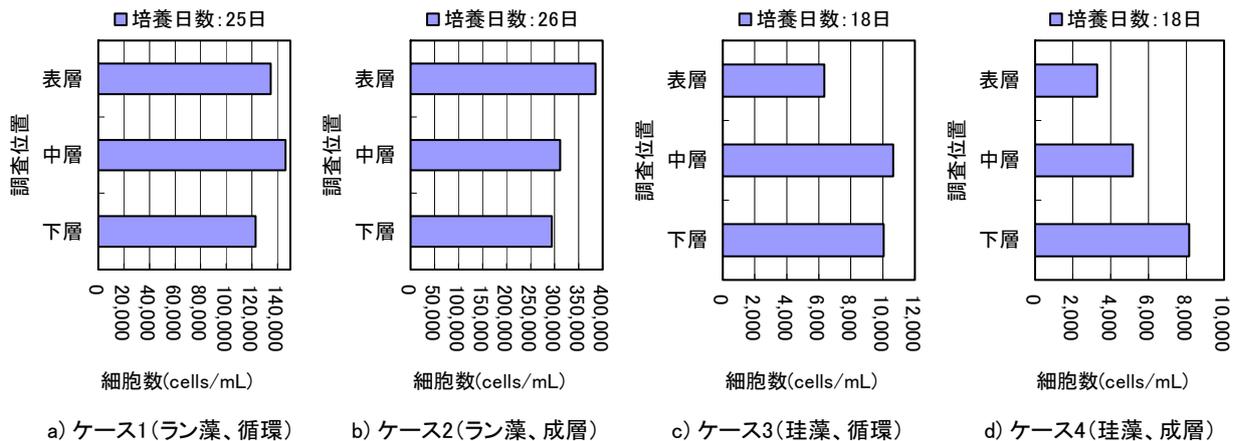


図-4 細胞数の鉛直分布 (ケース1~4、観測細胞数が最大の時点)

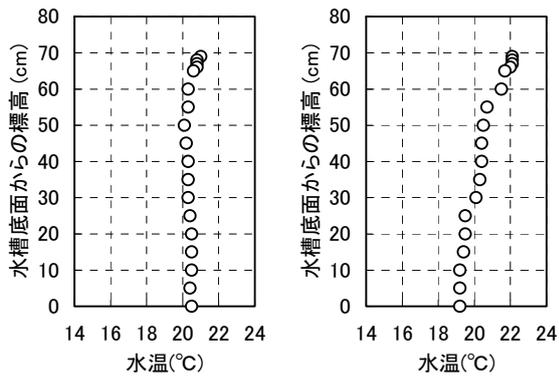
設置されているのぞき窓からの目視観測の結果、ケース1、3ではプランクトンが循環しており、ケース2、4では循環は認められなかったため、循環の有無の影響は考慮できると考えられる。

図-3にケース1~4の細胞数の時系列変化を、図-4にケース1~4の細胞数が最も多かった時点の細胞数の鉛直分布を示す。各ケースの細胞数の合計値について初期の値と最大時の値の比を算定すると、ケース1~4の順に、25.5、381.1、21.8、5.7となり、循環を行ったケース1と3はラン藻と珪藻と同程度の増殖率を示している。ケース2は大きな増殖率を示し、ケー

ス4の増殖率は小さかった。

図-3よりラン藻では25日程度の培養期間の間、ケース1では14日目に減少がみられるが、全体としては細胞数が増え続けている。一方、珪藻では18日にピークを示し減少に転じている。また、ラン藻のケース1をみると各層の増殖の仕方に顕著な違いは認められないが、ケース2では表層の値が大きい傾向がある。またケース3では6日目から表層の値が小さい傾向を示し、ケース4では標高が低いほど細胞数が多い傾向がみられる。

図-4のケース1と3を比較すると、ラン藻は中層



a) ケース5(二種、循環) b) ケース6(二種、成層)

図-5 実験終了時の水温鉛直分布 (ケース5、6)

と表層の値が大きく下層もそれほど小さな値ではないが、珪藻では表層の値が小さくなっている。ケース2と4を比較すると鉛直分布の相違がより顕著に認められ、ラン藻では表層の値が最も大きく標高の高い順に細胞数が多くなっているが、珪藻では逆の傾向がみられる。

3.2 複数種の場合

ラン藻と珪藻を混合して培養実験を行ったケース5、6の実験終了時の水温鉛直分布を図-5に示す。これより、ケース5については、照明で暖められた表層を除きほぼ一定の水温になっている。ケース6は上下層で1°C程度の水温差が形成された。

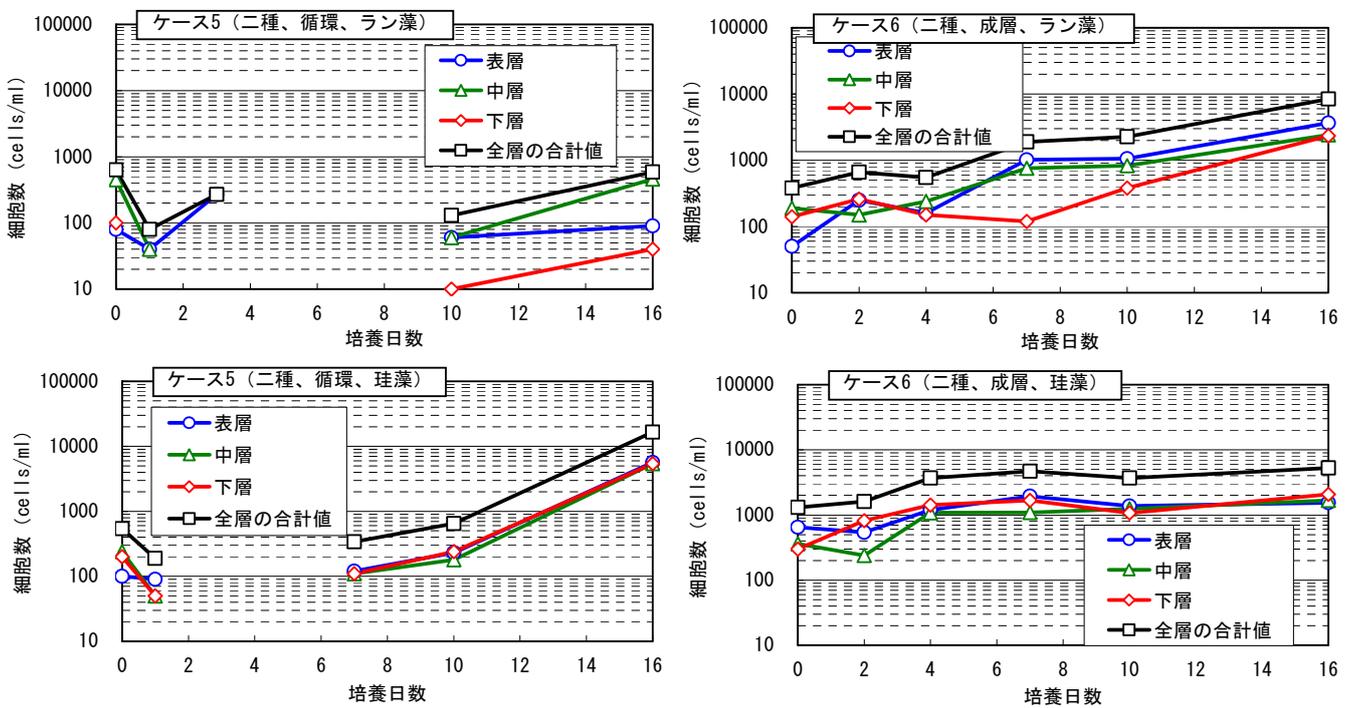
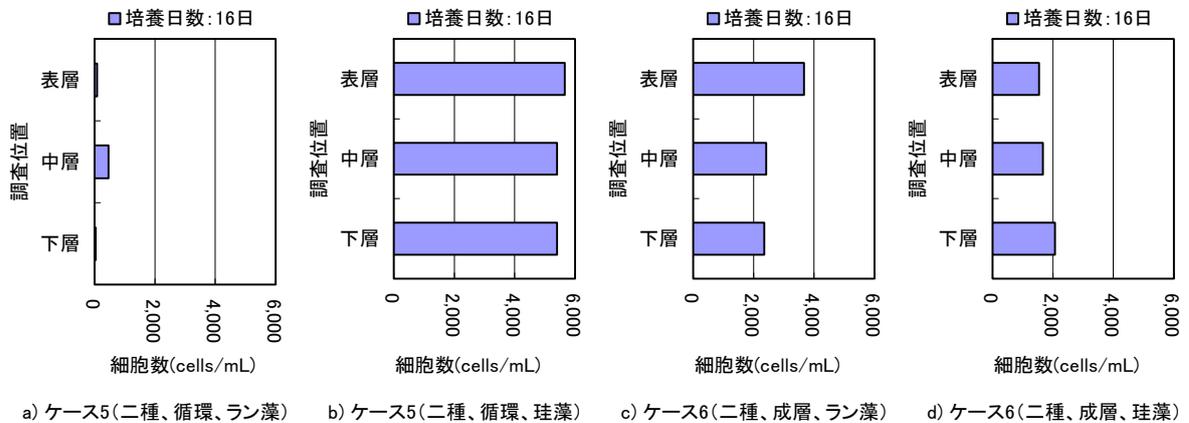


図-6 細胞数の変化 (ケース5、6)



a) ケース5(二種、循環、ラン藻) b) ケース5(二種、循環、珪藻) c) ケース6(二種、成層、ラン藻) d) ケース6(二種、成層、珪藻)

図-7 細胞数の鉛直分布 (ケース5、6、実験終了時)

図-6にケース5、6の細胞数の時系列変化を、図-7にケース5、6の培養実験終了時の細胞数の鉛直分布を示す。各ケースの細胞数の合計値について初期の値と最大時の値の比を算定すると、循環を行ったケース5ではラン藻、珪藻の順に、0.9、30.5となり、珪藻の増殖率が大きい結果となった。一方、成層条件のケース6ではラン藻、珪藻の順に、22.2、4.0であり、ケース5とは逆にラン藻の増殖率が大きくなった。

図-6より循環条件のケース5では両藻類ともに初期には細胞数が減少し、その後増加するが、珪藻の増殖率が大きくなっている。また珪藻では全領域で同様な増殖を示しているのに対し、ラン藻は下層の増殖率が小さい。なお、図中にプロットのない点については、細胞数の計測は実施したが、採水中にプランクトンがみられなかったものであり、原因は特定できなかった。成層条件のケース6では、珪藻はある程度増殖した後細胞数の増加がみられなくなるが、ラン藻は継続的に細胞数が増加しており、10日目までは珪藻の合計数の方が多かったが16日目に逆転している。

図-7をみるとラン藻と珪藻の増殖特性の違いが顕著に認められる。循環条件のケース5では珪藻が全域にわたって大きな増殖率を示し、ラン藻よりも優先して増殖した。成層条件のケース6ではラン藻と珪藻では鉛直分布の大小関係が逆になり、ラン藻の方が優勢に増殖した。ケース5と6を比較すると循環条件のケース5の方が両者の細胞数の差は大きい結果となった。

これらの相違の要因としては両者の鉛直方向への移動能力の違いが影響していることが考えられる。

4. まとめ

鉛直方向の水温を制御可能な中規模サイズの培養実験装置を用いて、ラン藻と珪藻に属する2種類の植物プランクトンについて、鉛直方向の水質条件が異なる場合の増殖特性の検討を行った。その結果得られた知見を以下に示す。

- 1) 単一種の場合、ラン藻と珪藻では鉛直方向の水質条件に対する増殖特性が異なる。
- 2) ラン藻では表層での増殖率が大きい傾向があり、珪藻はその傾向がみられない。これは、珪藻は自ら水中を鉛直方向に移動する機能を持たないが、ラン藻は細胞内に気泡を有することで浮上することができ、これによって、日照条件のよい表層での増殖が可能であることが要因と考えられる。
- 3) 二種混合の場合は、循環した場合には珪藻が、成層条件ではラン藻が優勢に増殖しており、予測モデ

ルの作成や増殖抑制策の検討においてこのような特性を考慮する必要がある。

ただし、実験の対象とした種は限定されており、また鉛直方向の水質条件も実験装置の規模と機能の制約があるため、結果は定性的な傾向として捉える必要があると考える。

本研究を進めるにあたって、土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム天野邦彦上席研究員（2009年4月現在 国土交通省国土技術政策総合研究所環境研究室長）より示唆に富む助言をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 横山洋・山下彰司：「ダム貯水池におけるカビ臭発生要因の検討」、河川技術論文集、第13巻、pp.23-28、2007年6月
- 2) 横山洋・山下彰司：「ダム貯水池におけるフォルミジウム由来カビ臭発生機構の検討」、寒地土木研究所月報、No.655、pp.12-20、2007年12月
- 3) 櫻井寿之・箱石憲昭：「成層条件下における植物プランクトンの増殖特性に関する培養実験」、第64回土木学会年次学術講演会、CD-ROM、2009年9月（投稿中）

【英文要旨】

STUDY ON GROWTH CHARACTERISTICS OF PHYTOPLANKTON IN STRATIFIED CONDITIONS

Abstract : The eutrophication problem in the reservoirs or lakes is caused by increase and accumulation of phytoplankton. It causes scenery problem, smell problem and filtration problem in water utilization. In order to deal with eutrophication problem, some kinds of numerical prediction model were developed and the countermeasures using aeration facilities were carried out. However, because of lack of knowledge about growth and accumulation of phytoplankton, accuracy of predicted results is sometimes not sufficient or countermeasures are not effective in some cases. So, clarification of phytoplankton growth and accumulation mechanism and upgrading of improvement of prediction model of eutrophication countermeasures are required.

Then, this study aims to understand the mechanism of phytoplankton growth under stratified conditions that is less well understood. As a result of incubation experiments using mini-cosmos incubation apparatus, the influences of vertical water circulation or temperature condition on the phytoplankton growth were understood.

Key words: phytoplankton, growth characteristics, eutrophication, circulation, thermal stratification, blue-green algae, diatom