

選択取水方式の導入が植物プランクトンの鉛直分布と生長環境に及ぼす影響

INFLUENCE OF SELECTIVE INTAKE ON VERTICAL DISTRIBUTION AND ENVIRONMENTAL GROWTH OF PLANKTON

牧野育代¹・寶 馨²・立川康人³

Ikuyo MAKINO, Kaoru TAKARA, Yasuto TACHIKAWA

¹正会員 学(工) 京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻 (〒615-8530 京都市西京区京都大学桂)

²フェロー 工博 京都大学防災研究所教授 社会防災研究部門 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

³正会員 博(工) 京都大学防災研究所助教授 社会防災研究部門 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

The main purpose of introducing the selective intake to the reservoir of the Ogochi dam was to cope with cold water downstream of the dam. However, since 1992 when the selective intake was commenced, increasing levels of water pollution and water quality problems have reported. This paper investigates how the selective intake influences vertical distribution of planktons and their discharge from the reservoir, which in turn directly influence water quality. Based on around 20 years of examination of the relationship between vertical distribution and surface water discharge due to the selective uptake, it has become evident that surface water discharge affects the number of planktons in the reservoir production layer to decrease, while producing a relative increase of planktons in reservoir effluent.

Key Words: selective intake, vertical distribution, Ogochi dam, Anabaena, production layer

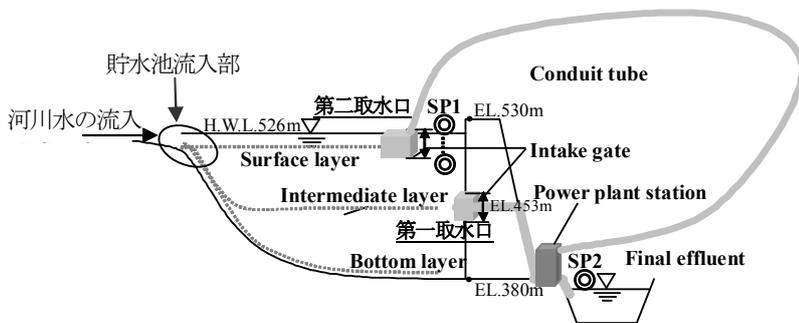
1. はじめに

本研究で対象とする奥多摩湖(小河内ダム貯水池)は国内では珍しく、ダム完成後に取水口の位置を切り替えた(選択取水方式)ダム貯水池である(ダム完成1954年、選択取水開始1992年)。このダム貯水池における選択取水方式の導入(以下、選択取水)は、ダム下流への冷水対策を主要な目的としている。その一方で、選択取水開始後より貯水池の水質汚濁化が進行し、ダム下流への水質障害が生じているとの報告がなされている(たとえば、小河内貯水池管理年報¹⁾平成12年度版, 2001)。このような背景から本稿では水質障害に対して直接的な影響を持つプランクトンの鉛直分布とその放流に及ぼす選択取水による影響を明らかにすることを目的とする。

対象ダム貯水池における選択取水は1992年7月以降に開始され、これまで年間を通じて中層から取水していたところを12月から3月までの冬期を除く時期に表層水の放流をするようになった。筆者らはこの選択取水の導入における貯水池水質への影響を検討した。その結果、表層水の放流が始まって以降の流入河川の水温は0.5℃も上昇していたことがわかり、これまで中層に流入してい

た栄養塩類が表層よりに流入するようになったことで、主要な富栄養化現象であるクロロフィルa量(表面から透明度の3倍水深までを範囲とした生産層におけるクロロフィルa量)が増加したことを統計的手法を用いて論じた²⁾。平成16年から平成17年にかけて行った東京都水道局の小河内貯水池流動調査³⁾によると、表層水の放流の時期にはその取水ゲートの水深と貯水池流入部3地点に設置した分画フェンスによって貯水池内の流動が影響を受けることを推定するとともに、河川流入水は貯水池流入部における潜入密度流との関係により、7月~9月の受熱期には貯水池内における水温躍層近傍の水深10m~20mの間を流れ、濁質をダム地点まで輸送していることが報告されている。この報告は表層への栄養塩類の流入という筆者らの推論を裏付ける結果であり、表層面にみられる富栄養化現象の主要な要因は、受熱期に表層水の放流をするといった選択取水システムにあることが十分に考えられる。

また筆者らは、小河内貯水池における主要な貯水池流入部と湖心~ダム地点における「アオコ」と「水の華」の30年間に及ぶ発生状況をまとめ、1992年(選択取水方式導入の年)以降ではこれまで流入部で発生していたAnabaenaとMicrocystisで構成される「アオコ」が湖心~



SP1：ダム地点の調査地点。調査の範囲は透明度の3倍水深（小河内貯水池で規定される生産層の範囲）。SP2：水褥池（放流水）の調査地点。貯水池内の表層流・中層流・底層流は、貯水池流入部と流入河川との水温差で生じた密度流の影響と、取水される位置により受ける影響をイメージしたものである。

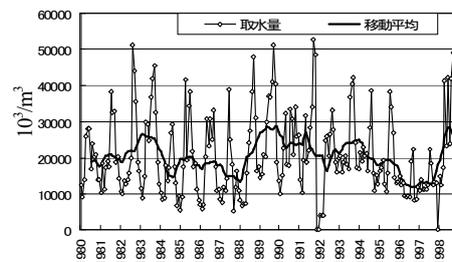
図-1 河川水の貯水池への流入から小河内ダム貯水池を経て水褥池に及ぶまでの模式図

ダム地点で確認されるようになったことを見出した⁴⁾。つまり、生物学的にみて水質汚濁現象が貯水池全域に及ぶようになった原因には、貯水池の流動機構の変化によってもたらされた表層における物質輸送ルートの確立が考えられる。しかしながら、その一方で選択取水方式の導入後は、植物プランクトンの出現数（生産層におけるプランクトン数密度）の減少や透明度の上昇などといった、貯水池の保全に関して選択取水方式の導入による効用にも取れるような現象が生じている。

このような考えから本稿では、選択取水方式の導入が、生物的・物理的側面に波及して貯水池の生長環境に及ぼす影響と効用について論じる。

2. ダム貯水池の概要と調査地点

小河内ダム貯水池は最大水深142.5m（EL.526.5m）、総貯水容量1億8,540万 m^3 を有する。集水域面積に対して貯水池容量は大きく、ダム完成以降2004年の時点で満水となった回数は16回である。ダムの高さは149m（EL.530m）である。貯水池の年間交換率（=年間総流入量/貯水池容量）は1~3（1977年~2004年の変動）と低い。受熱期には安定した水温躍層が発達して成層を形成する。図-1には、左から河川水の流入~貯水池流入部~ダム貯水池~水褥池（すいじょくち）におよぶ模型図を示す。図からはわからないが、対象地において主要流入河川および貯水池流入部はそれぞれ4つ存在する。流入河川水は貯水池流入部を経てダム地点へと到達し、ダム地点あるいはその付近に位置する取水口（第一取水口：EL.453m、第二取水口（冷水対策施設）：EL.526.5m~EL.490m）または余水吐放流口（余水吐の越流頂：EL.512m）から放流される。余水吐放流口の使用は冷水対策取水施設が完成するまでその代用としての利用の他、洪水などの貯水池への流入量が400 m^3/s に達する際に使用されていて通常利用はしていない。取水口から放流された水は導水路を通り発電所を経て水褥池へと



選択取水導入（1992年7月）以降基本的に、12月から3月までは第一取水口（中層）、4月から11月までは第二取水口（表層）と、取水口の使用時期を分け、完全に切り替え取水している。取水以外には、余水吐放流、洪水放流、満水放流があるがいずれもその放流の機会が少ない。

図-2 取水量の変遷（移動平均と季節変動）

流れ入り一旦貯留された後、下流へと放流される。本稿で用いる放流水のデータは基本的に水褥池のものである。

図-2に第一取水口と第二取水口からの取水量の変遷を示す。1992年7月以降、ダム下流における冷水問題の改善を目的にダム貯水池の運転方法として選択取水を導入した。それまでは通年であった中層水の放流（第一取水口）を取りやめて中層水の放流は基本的に12月~3月（冬期）とし、4月~11月には表層水（第二取水口）を放流している。図-1のダム地点（SP1）における植物プランクトンは、水深0m、2m、5m、10m、以降10mおきに底層2mまで調査し、放流水（水褥池、SP2）は表層の水を調査している。

3. 方法

本稿では、これまで定点観測が継続的に行われているダム地点ならびに水褥池（図-1のSP1とSP2）に出現した植物プランクトンにおける鉛直方向の長期データを解析に用いる。小河内貯水池ダム地点の長期にわたる鉛直方向のプランクトンデータの誌面上での発表は、本稿が初めてであろう。解析に用いたデータはすべて東京都水道局が所有する資料から得たものである（小河内貯水池管理年報：1977年~2004年、小河内貯水池水質調査結果：1988年~2005年）。植物プランクトンの測定値の単位は個体数(N)/mlあるいは群数(N)/mlである。鉛直方向のプランクトンは、生産層（小河内貯水池では透明度の3倍水深と規定）を範囲とする。一部では、生産層の水深を範囲として定点観測したプランクトン数の合計を生産層の水深で除して平均化した値（以下、生産層プランクトン数密度）を使用している。生産層プランクトン数密度は平均化しているので実際の出現数よりも少なく見積もられる可能性があるが、鉛直方向のプランクトンのデータは1988年以前について入手が困難であったため、1988年より以前について議論する際には生産層プランクトン数密度を使用した。その詳しい算出方法については

平成5年度版小河内貯水池管理年報¹⁾を参照されたい。以下に具体的な方法を述べる。

(1) 植物プランクトンの年間出現総数の経年変化を明らかにする。その結果を選択取水の前後で比較し、表層放流と中層放流の違いがプランクトンの生長動態に及ぼす影響について検討する。

(2) 透明度の上昇にみる選択取水がもたらした効用と考えられる現象について考察する。

(3) 選択取水開始前の年、選択取水開始当年、選択取水開始後について年間を通じた水温分布を明らかにする。その結果を用いて成層形成に対する選択取水の影響を検討する。

(4) 選択取水が流動機構、プランクトンの生長環境および物質輸送ルートに及ぼす影響とそのメカニズムについて考察する。

4. 結果と考察

(1) 植物プランクトン数の経年変化と受熱期の植物プランクトンの減少にみる選択取水の影響

表-1には選択取水前後の1989年～2004年にわたる生産層の水深を示す。本稿で用いるプランクトンデータは、小河内貯水池で定めている生産層（透明度の3倍水深）を範囲とし、表-1の結果から解析に用いる低限水深は20mとする。図-3には各水深（0m,2m,5m,10mおよび20m）および水褥池（放流水）において計測された植物プランクトンの年間出現総数の経年変化を、図-4には生産層におけるプランクトン数密度を示す。1992年までは水深ごとまたは放流されるプランクトン数との差が大きいが、以降はその差が小さくなっている。これは、選択取水の他にダムの基本運転方法に変更がない¹⁾こと、貯水池の流動変化に關与するような気象要因の断続的な影響がない（図-5）ことから、選択取水により表層水に含まれるプランクトンが相対的に多く放流されるようになった結果と判断できる。1989年と1991年はプランクトンの大量発生が生じている。図-4の生産層におけるプランクトン数密度（方法を参照）より求めた1980年～2004年の年間合計数においても1989年と1991年の年間合計数は特に高い。図-3の1992年が高いのは、4月、6月および

8月にプランクトンの出現が多くなっているためである。選択取水の開始は7月21日からなので、その直後（8月）までプランクトンの出現の多い傾向は続いていたことがわかる。このように、1989年～2004年にかけての図-3と図-4のプランクトン数の増減はほぼ対応していることから、それ以前の年についても対応しようと考へ、鉛直方向のプランクトンデータのない1988年以前のデータについて議論する場合には、その代用として生産層のプランクトン数密度のデータを用いる。

表-1 生産層の水深における変遷

選択取水施行前 生産層の水深 (m)	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	平均
	17	14	13	8	14	17	16	18	17	13	17	15	14.9
選択取水施行後 生産層の水深 (m)	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	平均
	21	18	19	17	21	17	17	20	17	17	15	19	18.2

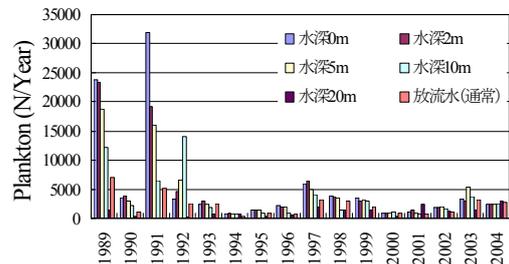


図-3 ダム地点における観測水深ごとの植物プランクトンの変遷

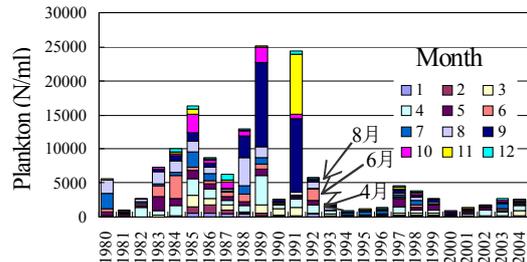


図-4 ダム地点の月別生産層プランクトン数密度の積算における経年変化

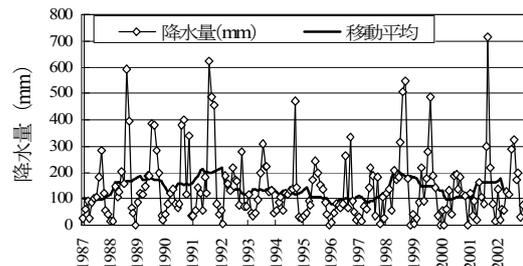


図-5 降水量の経年変化（移動平均と季節変動）

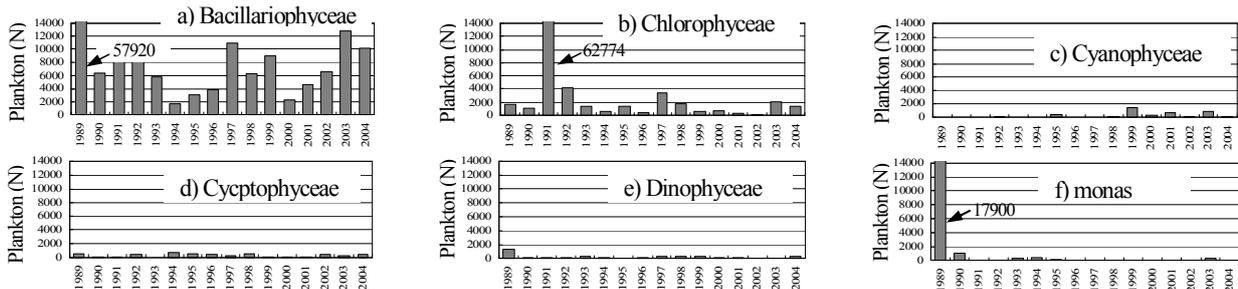


図-6 ダム地点における種別プランクトンの年間出現総数の変遷 g)は紙面上の都合で省略

図-4に示されるように、ダム地点のプランクトン数は1993年以降、減少している。放流されたプランクトン数(図-3)には大きな変化はみられないので、放流により貯水池のプランクトンが減少したとは言えない。1991年までは中層に位置する第一取水口から放流していた(図-1)ためプランクトンは生産層の下に位置する分解層でデトリスト(生物遺体やその分解物)化されている。よって、貯水池のプランクトン数が放流水に反映されなかったと考えられる。一方、1992年以降はプランクトンが出現する表層(生産層)水を取水(第二取水口)していることで放流水中に貯水池のプランクトン数が反映される。このことが、貯水池のプランクトン数が減少しても放流されたプランクトンが減少していない理由であろう。図-4の1991年までは、1993年以降と比較して4月~9月のプランクトン出現数が多い。このことから選択取水は受熱期におけるプランクトンの出現数の減少に影響していると考えられる。

図-6には、図-3で用いたデータを植物プランクトンの種別でまとめ直した結果を示す(a.珪藻類, b.緑藻類, c.藍藻類, d.褐色鞭毛藻類, e.渦鞭毛藻類, およびf.monasにおける年間合計数の変遷)。1989年のmonas, 1991年の緑藻の出現数を除くと、珪藻類の出現数が年間出現総数(図-3)と近いことがわかる。珪藻は春から秋にかけて出現する種である。図-4の選択取水後には4月~9月において植物プランクトンの出現数が減少していることがわかる。このことから、選択取水による出現プランクトンの減少の影響は、珪藻が最も受けていることが示唆される。一方、藍藻は選択取水後に増加している。この現象については、選択取水による貯水池流入部で発生したAnabaenaの輸送ルートの発達に関係しているものと考えられる。この現象については(4)で考察する。

(2) 表層水の放流がプランクトンの生長環境と透明度の変化に与える影響

図-7にダム地点の透明度の変遷を、図-8に表層を除く生産層(5m~20m)のa.珪藻類, b.緑藻類, c.藍藻類, d.

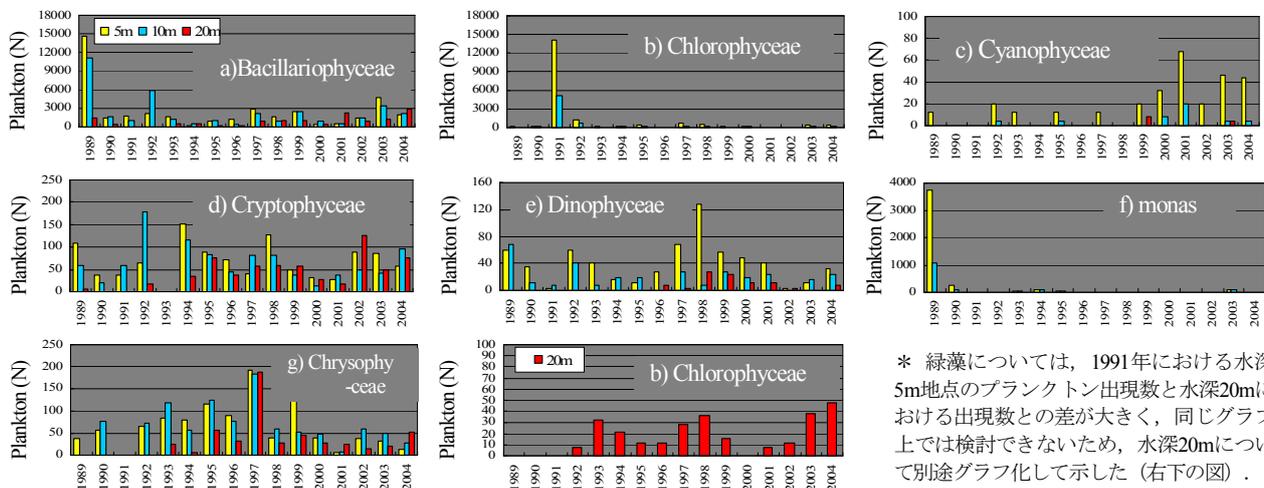
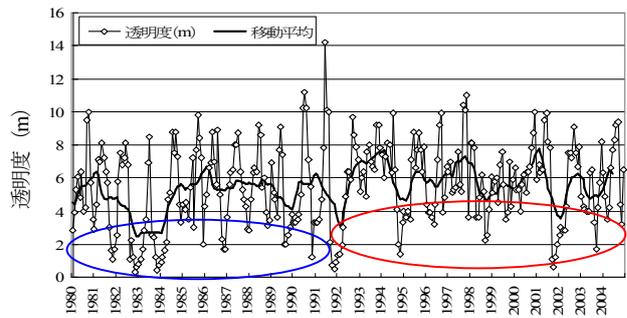


図-8 水深5m, 10m, および20m地点の各種プランクトンの分布における経年変化



赤丸の中は選択取水導入後における透明度の最小値の経年変化を示す。選択取水導入前の青丸と比べて選択取水導入後の最小値付近は高い傾向にあることがわかる。

図-7 ダム地点における透明度の変遷

褐色鞭毛藻類, e.渦鞭毛藻類, f.monas, およびg.黄金藻類における鉛直分布の変遷を示す。monasを除くいずれの藻類についても選択取水後(1992年以降)に分布する水深が深くなったことがわかる。この現象は表-1にあるように1992年を境に生産層(透明度の3倍水深)が厚くなったために生じたと考えられるもので、プランクトンの生息範囲が広がった。また、図-4に示したように生産層におけるプランクトン数密度も低下している。したがって、表層水の放流は、プランクトンの水柱下方向への分布、すなわち、分散することによるプランクトン数密度の低下が、透明度の上昇(図-7)に寄与することが推測される。

(3) 選択取水方式導入後に生じた成層形成と部分循環機構の発達

選択取水前(1998年)から2004年までを検討して、選択取水前と選択取水後とは、明瞭な成層形成の違いがあることが確認された。すなわち、選択取水前の年はいずれも8月~12月にわたり水温分布が水深30m~70mにかけて伸びている(図-9)。一方、選択取水後のどの年についても選択取水前に見られた8月~12月の水深30m~70mにわたる水温分布は見られない(図-11)。つまり、表層放流をするとダム方向への流れに伴いせん断応力が生じ、強固な成層が形成されることで上下の水の交換が滞

* 緑藻については、1991年における水深5m地点のプランクトン出現数と水深20mにおける出現数との差が大きく、同じグラフ上では検討できないため、水深20mについて別途グラフ化して示した(右下の図)。

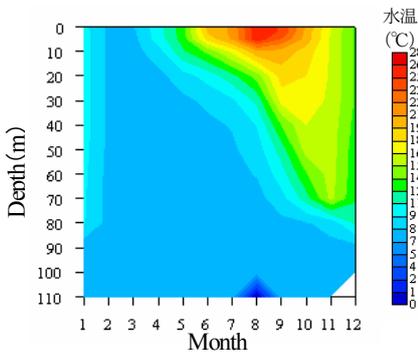


図-9 1990年のダム前地点における水柱方向の水温分布（選択取水前）

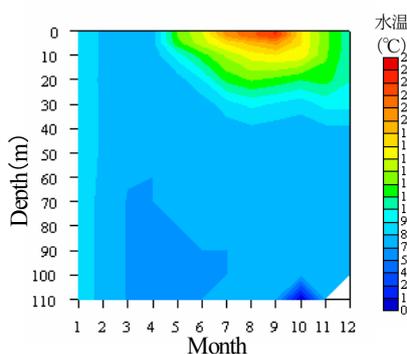


図-10 1992年のダム前地点における水柱方向の水温分布（選択取水当年）

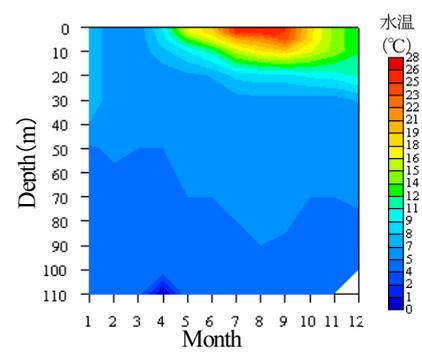


図-11 1997年のダム前地点における水柱方向の水温分布（選択取水後）

表-2 各層の4月～11月の平均水温

	選択取水前 (1980～1991)	選択取水後 (1993～2004)
表層(0m)	18.8	19.0
中層取水口(約70m)	9.2	5.8
底層(底層より2m上方)	7.0	5.8

る。そのため、選択取水後は成層より下方の水深では温度が伝わらずに結果、水温分布は水深30m付近までになったと推察される。

ここでは紙面の都合上、選択取水前後各1年ずつと選択取水当年の3ヵ年で比較・検討する。図-9、図-10および図-11には選択取水開始前の年（1990年）、選択取水開始当年（1992年）、および選択取水開始後の年（1997年）のダム地点における年間の水温分布を示す。図の縦軸は水深を示し水深0が水面である。横軸は月を示す。図右横の水温バーはほぼ1°Cで区切っている。なお、図中の白い部分（例えば1990年12月水深110mの位置）は貯水位が110mまで達せず、水温データがない部分である。1990年は2月～3月にかけて水温差1°C内で循環した後、4月に水深10m程度の位置で水温躍層が発達している。その後は季節が進むにしたがって徐々に水温変化が水深70mにまで及んでいる。一方、1992年は1月と2月に水温差1°C内で循環している。1990年には見られた8月～11月の水温変化の水柱方向への大きな伸びは見られず、7月下旬から行われた表層水の放流が水温分布、つまり、成層の発達に直接的な影響を及ぼしていることがわかる。1997年は1月～3月にかけて50m水深で循環が滞っているし、季節の進行に伴う水温分布の変化はほぼ生産層（水深20m）の範囲に限られている。また、25度以上の水温になる月は1990年で8月～9月であるのに対し、1997年は7月～9月と、選択取水開始後の年で高温の期間が延びている。しかも5月は水深2mという水深浅い位置で一次水温躍層（水深2mの水温16.8°C、水深5mの水温13.7°C）が発達している。この現象が生じた原因には次のことが考えられる。

1992年以降の受熱期において、中層水は放流されず表層水を放流している。そのため表層より下方では冷たい水塊が貯留され表層と中層の水温差が広がることで強固な成層が形成された。水の上下交換が滞ることは熱容積の縮小を伴う。熱容積の縮小により浅い水深での部分水循環機構が発達したことで、太陽光の熱が表層に留まるようになり、受熱期の早い時期から表層水温の上昇となった。5月と比較すると選択取水開始後の年の水温上

昇は明らかである。

選択取水導入前後で比較した各層の4月～11月の水温平均を表-2に示す。この表からも水温表層の暖かい水と中層以下の冷たい水との水温差により強固な成層が形成されることが伺える。

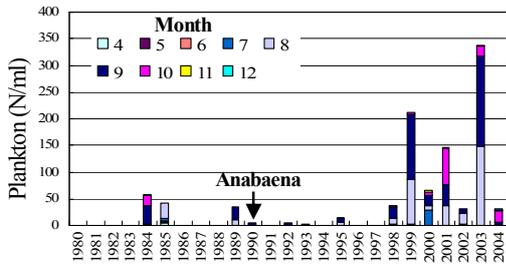
(4) 流動機構の変化とAnabaenaの出現の経過にみる表層における物質輸送ルートの確立

ここでは、4の(1)で明らかとなった、選択取水後の藍藻増加の原因について論じる。すなわち、選択取水後に特に増加したAnabaenaの動態を用いて、表層水の放流がプランクトンの輸送に及ぼす影響について、検討・考察する。なお、取水口周辺のながれやダム地点の水平・鉛直循環流によるプランクトンの分布への影響はあるものと考えられるが、通常の取水位置（水深0m～20m）が生産層の範囲（水深0m～20m）にあること、また平常時における貯水池流入部から第二取水口にかけての流速は2 cm/s～5 cm/s³と遅いことから、その影響は小さいものとして本稿では考慮しないこととする。

東京都水道局による表層放流（選択取水）が実施された後の流動調査³⁾によると、7月～9月において河川からの貯水池への流入水は、ダム地点において水深10m～20mの範囲を流動することが明らかとなっている。よって、受熱期においては河川水の貯水池への流入に伴う栄養塩類と貯水池流入部で発生したプランクトンはダム地点へと向かい、鉛直方向において生産層（水深20mまで）に輸送されると推測される。

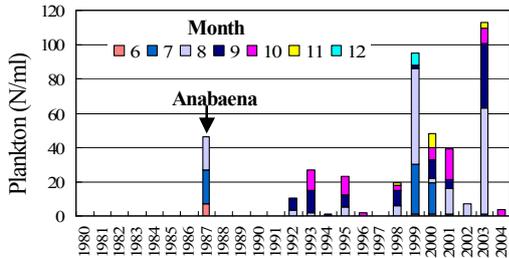
図-12は、1980年～2004年の月別生産層のプランクトン数密度の積算によるダム地点の藍藻の経年変化を示す。ただし、1990年の藍藻（Anabaena）は、生産層のプランクトン数密度においては1群体数(N)/ml以下となりグラフ上には示されないところを議論上必要なため、水深0m地点のAnabaenaの計測値をそのまま記載している。

図-13には、1980年～2004年の水褥池における藍藻の月別出現数の積算による経年変化を示す。ダム地点と水褥池において1990年以降に出現する藍藻はAnabaenaとMicrocystisの2種で、Anabaenaの方が出現数が多い。1990年はダム地点で初めてAnabaenaが確認された年である。Anabaenaは貯水池流入部において1983年に初めて観測されている。1987年になると6月～8月に初めて水褥池で確認されている。しかしながら、ダム地点においては1990年になって、水深0m地点で初めて確認されている。



* 藍藻の出現は4月～12月に限られた。

図-12 ダム地点の生産層のプランクトン数密度と1990年の水深0mにおける藍藻の月別収支



* 藍藻の出現は6月～12月に限られた。

図-13 水褥池で計測された藍藻の月別収支

1987年は余水吐放流（表層水の放流）を行っていない。このため、風による表層水の流動が主たるもので、特に表層の流動が滞っていることが考えられる。放流水は光の届かない水深70mに位置する水（中層水）である。牧野²⁾は主要な2河川の流入水が密度差により、1991年までは表層よりも中層よりに流入していることを示した。よって、貯水池流入部で発生するAnabaenaの多くは、そのアキネート（仮眠状態）も含め、1991年までは光の届かない水深を経由してダム地点第一取水口付近まで輸送されたことで、表層で生長する環境になかった。そのためダム地点の表層よりも先（1987年）に水褥池において出現が確認されたことが考えられる。

1990年の9月には水深0m地点においてAnabaenaがわずかながら（4群体/ml）確認されている。1990年は大雨による出水のため9月から12月にかけて余水吐放流が行われている¹⁾（平成2年度版，1991）。余水吐の放流口は表層に位置している。東京都水道局の調べでは、貯水池流入からダム方向へ流れる水の水深は、取水ゲートの位置（放流口）の位置に影響されると報告している³⁾。このことから、表層放流が行われている時期の貯水池流入部のプランクトンは、表層に生じたダム方向への流れに沿って流動することが考えられる。よって、水深0mで確認されたAnabaenaは余水吐放流によりダム地点へと輸送された結果と考えられ、選択取水方式以外においても、表層水の放流が行われた場合、ダム方向への表層における物質輸送ルートの形成があることが伺える。しかしながら、余水吐放流は毎年行うものではなく、行われたとしても数時間から数日間といった短い期間の連続であるため物質輸送ルートの一時的な形成にとどまると推察される。一方、選択取水方式は、毎年4月～11月にかけて表層水を放流するため、ダム方向への表層における物質輸送ルートが確立すると考えられる。

AnabaenaやMicrocystisなどの藍藻は浮遊性を有し水柱移動できるので他の藻類よりも栄養供給と適切な光レベ

ルの獲得に有利である。それにまたアオコ（藍藻）の増加速度は同じ光合成微生物と比べて遅いことから、貯水池内の流速が $2\text{ cm/s} \sim 5\text{ cm/s}$ ³⁾と遅くダム地点に到達するのに時間がかかっても“生きて”いられるのであろう。つまり、表層放流による流動機構の変化が表層における物質輸送ルートを確立させたことで、ダム地点における藍藻が選択取水後に増加したと考えられる。一方、珪藻、緑藻等については、栄養をめぐる競争においても、また水よりも少し重く沈降しやすいので生産層に留まりにくい等、時間のかかるダム地点への移動は藍藻と比べて難しいと推測される。したがって、4の(1)で明らかとなった“珪藻等が減少する一方、藍藻が増加する”現象について、矛盾はない。

5. まとめ

受熱期に表層の水を放流する選択取水方式を導入して以来、小河内貯水池では水質汚濁化現象が顕著に確認されるようになった。本稿では選択取水方式の導入が植物プランクトンの鉛直分布と生長環境に及ぼす影響と効用について検討した。

以下には主要な検討結果をまとめた。

1. 選択取水方式の施行は、珪藻の出現数を減少させた。その一方で、藍藻は増加した。
2. 貯水池流入部に出現したAnabaenaは、余水吐放流によってダム地点へと運ばれた経過がある。選択取水後には、表層におけるAnabaenaの輸送ルートが確立したと考えられる。
3. 表層水の放流は、鉛直方向にみてプランクトンの生長可能範囲を広げ、そのことによるプランクトンの分散は透明度の上昇に寄与すると考えられる。
4. 浅い成層の発達には熱容積の縮小となり、受熱期の早い時期から表層水の水温を上昇させる原因となる。
5. 表層の水を放流する一方で中層水が滞ることは、表層と中層～底層との水温差の拡大を生じさせ、強固な成層の発達を促す原因となる。

謝辞: 本稿で解析に用いたプランクトンデータは、東京都水道局より貸与いただいたものです。この場をおかりして深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 東京都水道局：小河内貯水池管理年報，1978-2000。
- 2) 牧野育代・寶 馨・立川康人：流入河川の水質特性と冷水対策が貯水池水質に及ぼす影響，水工学論文集，第50巻，pp.1369-1372，2006。
- 3) 東京都水道局：小河内貯水池流動及び栄養塩類溶質調査，2005。
- 4) 牧野育代・寶 馨・立川康人：貯水池におけるプランクトンの出現状況の変遷からみた富栄養化の段階推移に関する研究，H18年度京都大学防災研究所年報，印刷中。

(2006.9.30受付)