

## 八郎瀉調整池におけるアナベナ属の増殖因子を用いた細胞数再現モデルの構築

佐藤 信也・珍田 尚俊・藤田 賢一\*

### 要 旨

アオコの形成は、藍藻類の増殖の段階と、これらが水面付近に浮上したり吹き寄せられて集積する段階の二つのプロセスからなると考え、この第一段階である増殖のプロセスについて、藍藻類の一種であるアナベナ属の増殖特性に基づく細胞数再現モデルを構築した。増殖因子と考えられる温度、光、炭酸塩類、硝酸イオン・リン酸イオン及び反応時間については、すべての因子が整わなければ増殖しないことから、アナベナ属の細胞数を各因子の特性関数の積として表すこととした。各因子に関係する指標として、八郎瀉調整池において平成 14 年及び平成 15 年夏季に約 7 日間隔で測定した細胞数、水温、pH、硝酸性窒素・リン酸態リン濃度の実測値、湖水の滞留時間及び日射量を用いることとし、既知の増殖特性に基づき関数形を仮定した。温度については、温度－光合成速度曲線に類似した指数関数を仮定し、光については、細胞数実測値と最も相関の高い前 6 日間積算日射量に比例するものと仮定し、炭酸塩類についてはアナベナ属が利用する炭酸水素イオンの濃度を 10 の pH 乗に比例すると仮定した。硝酸性窒素・リン酸態リン濃度及び滞留時間については、細胞数との相関を検討した結果、特性関数としては、定数として取り扱うこととした。各関数の細部については、細胞数再現値と実測値との差の二乗和が最小となるように定数を定めた。この再現モデルの精度は、調査期間中のアナベナ属細胞数実測値 0 ～ 4,800 cells/0.1ml に対して確率誤差約 490 cells/0.1ml であった。

### 1. はじめに

平成 11 年、12 年の夏季に八郎瀉調整池（図 1）では、ほぼ全域においてアオコが形成され、飲料水や漁業に被害を生じたことから、当センターは、平成 13 年度から 3 年間の計画でアオコ形成機構の解明を目的とした研究を行った。平成 13 年度は、アオコの形成状況と水質を把握するための調査を行ったが、既報<sup>1)</sup>のようにアオコはほとんど形成されなかった。

アオコの形成機構については、アオコを形成する藍藻類の増殖の面と、藍藻類の垂直移動・水平移動による水面への集積の両面からそれぞれ研究されている<sup>2,3)</sup>。一方、当センターのアオコ形成時の現地調査において、異常増殖が生じないと思われるような気象条件でアオコが形成されること、このようなときには凧の状態であることを確認したことがあった。そこで我々は、先の二面の研究を関連付け、アオコの形成機構は、藍藻類の増殖の過程と、各水深で増殖した藍藻類が水面付近に集積したり、これらが平面移動をして濃度の高い領域が生じる過程の二

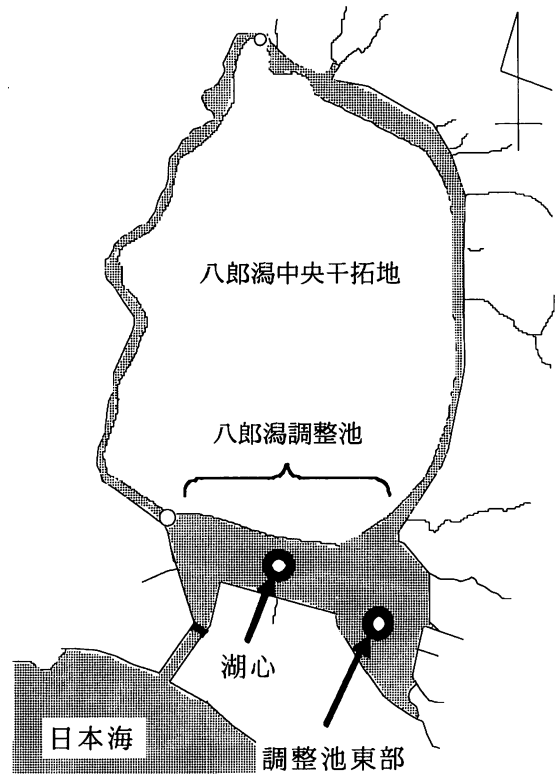


図 1 八郎瀉調整池の調査地点

\*現秋田県北秋田地域振興局大館福祉環境部

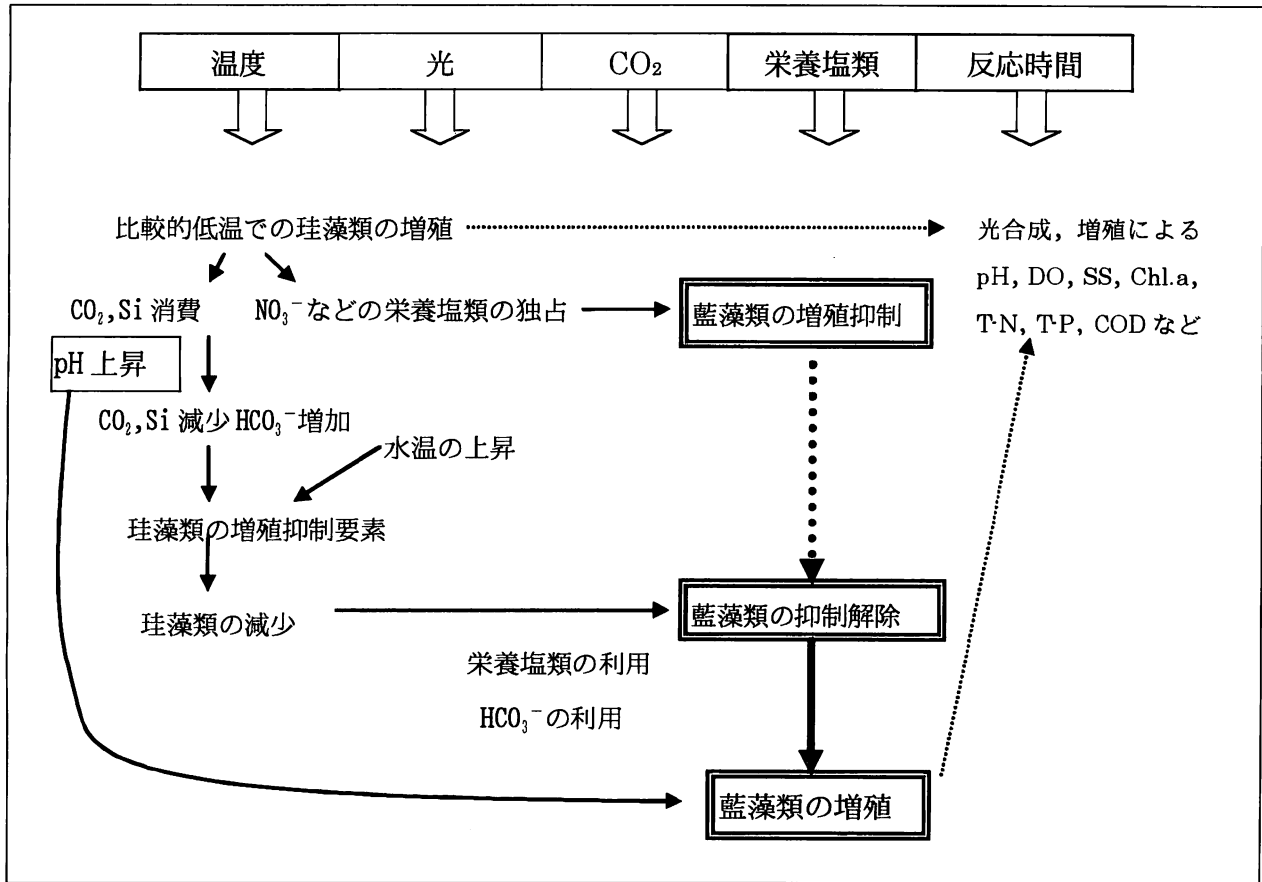


図2 八郎瀉調整池における藍藻類の増殖因子と増殖過程

段階からなると考え、平成14年度及び15年度の調査では藻類各属の濃度を直接的に把握するため細胞数の計数を行い、これら各段階の特性を明らかにすることとした。本報告は、この第一の段階である藍藻類の増殖に関するものである。

八郎瀉調整池における藍藻類の増殖については、光合成の基本要素である水、光、二酸化炭素の他に、図2のように珪藻類の増殖<sup>4)</sup>、温度、栄養塩類、反応時間も関連する因子と考えられる。春の比較的低い水温では、珪藻類が優占して増殖し、藻類に共通の栄養塩類や珪藻類に必須の二酸化炭素やケイ酸などを消費するとともにpH値を上昇させる。この時期は、藍藻類にとっては水温が増殖に適さないだけでなく、利用可能な栄養塩類も制限されていると考えられる。春から夏に向かって水温が上昇するにつれて、珪藻類の適温である水温15～20℃の範囲を超えると珪藻類の増殖速度は低下する<sup>5)</sup>とともに、既に消費されて濃度が低下している二酸化炭素やケイ酸などは、珪藻類の増殖を制限する<sup>6)</sup>ことにもなり、珪藻類は数を減じることとなる。一方、水温は藍藻類にとって適温に近づき、栄養塩類も藍藻類の

利用可能分が増加し、pH値も上昇して藍藻類の炭素源である炭酸水素イオンが増加する、など有利な条件が整い、藍藻類が優占して増殖することになると考えられる。このように、フィールドにおける藍藻類の増殖は、他の藻類の増減も関連している複雑な系であると考えられる。

このような藍藻類の増殖を定量的に取り扱った研究としては、岡田らの水面・水中照度と水温から藍藻類の一種であるマイクロスティス属の増殖特性に基づいてコロニー径を予測する研究<sup>7)</sup>及び小林の藍藻類の一種であるアナベナ属の群体数、水温、珪藻類細胞数、気象、滞留時間など過去のデータからニューラルネットワーク法により導き出した経験式によりアナベナ属の群体数を予測する研究<sup>8)</sup>がある。

このような増殖予測は、八郎瀉調整池においても期待される場所である。しかし、八郎瀉調整池で頻りに観察されているアナベナ属<sup>9)</sup>については、増殖特性の詳細に関するデータが少なく、また、ある程度増殖理論に根拠を置く必要があると考えたため、既存の予測手法を応用することができなかった。

表1 八郎瀧調整池におけるアナベナ属の増殖因子の特性と指標

増殖因子	増殖因子の特性	増殖因子の指標
温度	光合成速度には最適温度がある。最適温度から外れるほど光合成速度は低下する。水中では、温度の指標は水温である。	水温
光	光は光合成に必須である。光量の指標として、日射量を用いる。	日射量
二酸化炭素及び炭酸塩類	二酸化炭素及び炭酸塩類は、光合成に必須である。pH6～10では、炭酸塩類は主に炭酸水素イオンであり、アナベナ属は、これを炭素源として利用できる。その指標はpHである。	pH
栄養塩類	増殖には硝酸イオン、リン酸イオンが必須である。	硝酸性窒素、リン酸態リン濃度
反応時間	反応時間に対応する時間の指標として、ある個体が湖に留まった時間、つまり滞留時間を用いる。	湖水の滞留時間

そこで、本研究では、アナベナ属の増減を定量化するため、既存の知見を基にアナベナ属の増殖特性の概略の形を決め、さらに実測値に適合するようにその細部を決めることにより、アナベナ属細胞数再現モデルを構築した。平成14年度、平成15年度に八郎瀧調整池において調査を行って得られたアナベナ属細胞数実測値と水質データ、気象データなどアナベナ属の増殖因子と関連が深い指標を用いて、アナベナ属細胞数再現値を求め、実測値との比較による精度評価も行った。

## 2. 方法

藍藻類の増殖因子(図2)を基に、八郎瀧調整池におけるアナベナ属の増殖因子とその特性、増殖因子の指標を整理すると表1のとおりである。これらアナベナ属の各増殖因子については、アナベナ属の増殖にとって必須であることから、この条件を満たすアナベナ属細胞数再現値は、式(1)のように各特性関数の乗算の関係で表すことができるものと考えた。

$$\begin{aligned}
 & \text{アナベナ属細胞数再現値} = (\text{比例定数}) \\
 & \times (\text{水温特性関数}) \times (\text{日射量特性関数}) \\
 & \times (\text{pH 特性関数}) \times (\text{栄養塩類濃度特性関数}) \\
 & \times (\text{滞留時間特性関数}). \\
 & \qquad \qquad \qquad (\text{単位: cells/0.1ml}) \quad (1)
 \end{aligned}$$

各因子の特性については、既知の増殖特性を踏まえてモデル化し、実測データを基にパラメータを定めることとした。水質については、平成14年夏季に10回、平成15年夏季に16回、八郎瀧調整池の湖心(以下、「湖心」という。)及び東部(以下「調整池東部」という。)の2地点(図1)で水温を現地測定するとともに、湖心(4層)及び調整池東部(3層)で水深毎に湖水を採取してpH、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、リン酸態リンの分析を行って得られたデータを使用した。珪藻類及び藍藻類の細胞数の計数については、水質調査と同時に採取したサンプルを使用し、平成14年夏季には藍藻類の計数を表層について行い、平成15年夏季には珪藻類と藍藻類の計数を各層について行った。日射量については、秋田地方気象台における観測データを利用した。湖水の滞留時間については、秋田県八郎瀧基幹施設管理事務所による平成14年度、15年度の防潮水門放水量、各排水機場排水量、干拓地取水量のデータを使用した。

これらのデータをアナベナ属の増殖因子として使用するに当たって、調査日の間隔が約7日と離れているので、水温、pH、栄養塩類濃度については、調査日当日のデータを用いる方法と、調査日当日と前回調査日との平均値を用いる方法の二通りを比較し、それぞれに求められたアナベナ属細胞数再現値と細胞数実測値の平均二乗誤差(差の二乗和の平均値の平方根)の小さい方を採用することとした。また、式(1)の右辺の比例定数についても、全地点一括

して定数を求める方法と、地点毎に定数を定める方法が考えられるが、これも同様に再現値の平均二乗誤差の全地点平均値が小さな方を採用することとした。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 アナベナ属の各増殖因子の特性

アナベナ属の増殖因子の指標とした水温、日射量、pH、栄養塩類濃度、滞留時間のそれぞれについて、細胞数との関係を定量化した。

##### 3.1.1 水温特性

藻類の光合成速度の温度特性には、図3のように最適温度があることが知られている。珪藻類の最適温度は 17℃ 付近<sup>3)</sup>であり、アナベナ属の最適温度については、複数の説<sup>3,5)</sup>があり、総合すると 25℃～30℃の範囲内にあるものと考えられる。

平成 14 年、15 年に調査したアナベナ属の細胞数と水温は、図4のとおりで、約 25℃～約 28℃の間に最適温度があるように思われる。

そこで、アナベナ属の細胞数は、光合成速度に比例すると考え、図3と類似の関係として、

$$\text{アナベナ属細胞数} = A \cdot \exp\{- (t - B)^2 / C\}$$

(単位：cells/0.1ml) (2)

の式を仮定した。ここに、 $t$  は、水温、 $A$ 、 $B$ 、 $C$  は、定数である。定数  $B$  は、式の値が最大となる水温を示し、定数  $C$  は、式(2)の右辺の関数の幅に関係する。定数  $B$  を 25、 $C$  を 1 とすると、この関数は、図5のような形となる。

定数  $A$ 、 $B$ 、 $C$  は、平成 14 年と 15 年夏季の調査日当日の各水深におけるアナベナ属細胞数実測値及び水温の実測値を式(2)に代入し、初期値を  $A=920$ 、 $C=1.4$  として、左辺と右辺の差の二乗を全データについて合計し、これが最小となるように試行錯誤法で定める方法により、 $B$ 、 $C$ 、 $A$  の順に求めると、 $A=863$ 、 $B=25.8$ 、 $C=2.82$  となった。これらの定数を代入した式(2)は、純粋培養におけるアナベナ属の水温と増殖の関係を表すものではなく、フィールドにおいて他の藻類の増減とその栄養消費の影響を受けて増減するアナベナ属の細胞数の増減特性を表すものと考えられることができる。

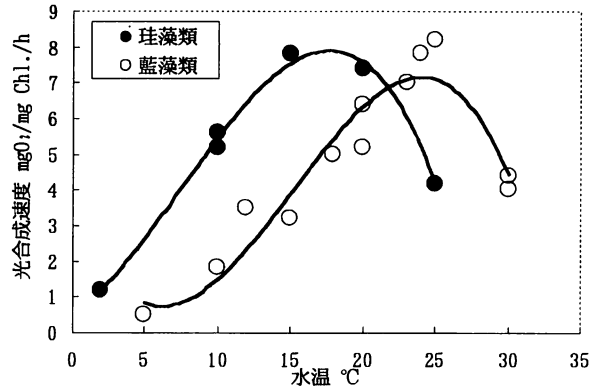


図3 藻類の光合成速度と水温の関係 (Ichimura<sup>3)</sup>を  
改変)

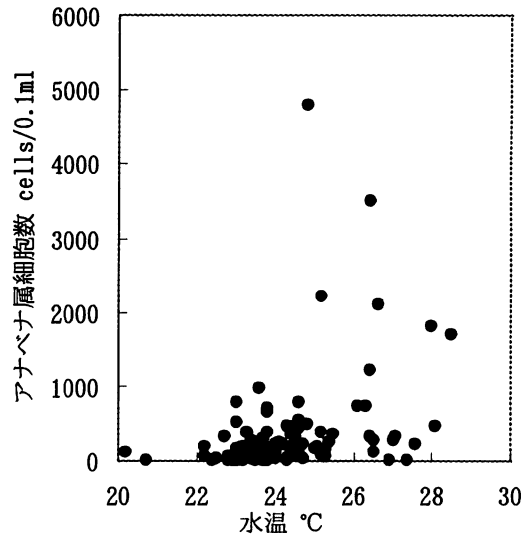


図4 水温とアナベナ属細胞数実測値 (平成 14 年、  
15 年夏季の八郎瀧調整池湖心及び東部各層)

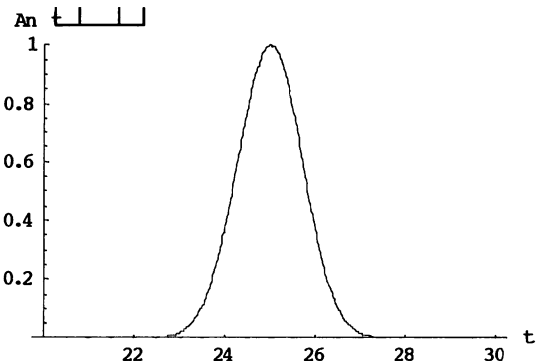


図5 水温特性関数の関数形  $An(t)=\exp\{-(t - 25)^2\}$

##### 3.1.2 日射量特性

光強度が大きくなると光合成速度もそれにつれて増加し、光強度が一定レベルを超えると飽和する、

といわれる<sup>3)</sup>ことから、水中における光強度は、飽和に達するほど強くならず、アナベナ属の細胞数は、日射量に比例して増減すると仮定した。平成14年、15年夏季の湖心及び調整池東部の各層で測定したアナベナ属細胞数実測値と、調査日の前日から前X日間(X=1~10)の積算日射量との相関係数を求めると、両地点の平均値で0.07~0.39の範囲で、最大値を与えるのは前6日間積算日射量であった。よって、日射量としては、前6日間積算日射量を用いることにした。

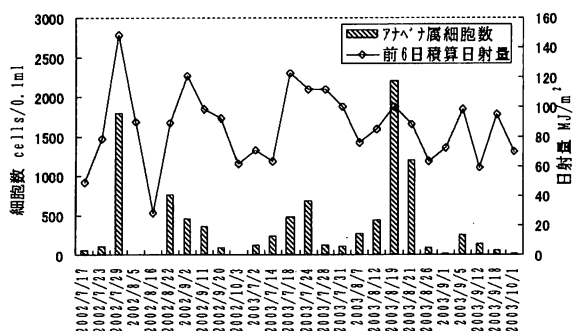


図6 湖心表層のアナベナ属細胞数と前6日積算日射量(平成14年、15年夏季の八郎瀧調整池)

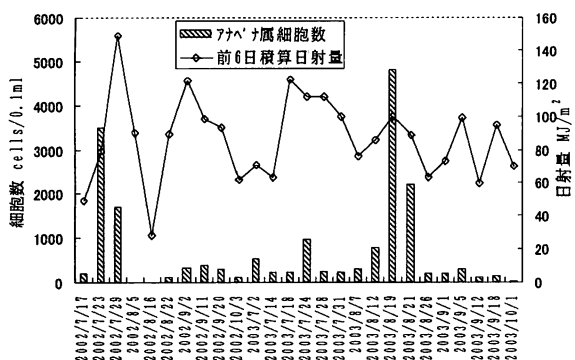


図7 調整池東部表層のアナベナ属細胞数と前6日積算日射量(平成14年、15年夏季の八郎瀧調整池)

湖心、調整池東部の表層におけるアナベナ属細胞数と前6日間積算日射量の関係は、それぞれ図6、図7のとおりで、前6日間積算日射量が多いときに細胞数も多い傾向が認められた。

### 3.1.3 pH特性

アナベナ属は炭素源として炭酸水素イオンを利用するといわれ<sup>6)</sup>、pHが6~10の範囲では炭酸水素

イオンの濃度はpHが高いほど高く、炭酸塩の平衡状態においては近似的に、

$$\text{炭酸水素イオン濃度} \propto 10^{\text{pH}} \quad (3)$$

の関係がある。また、光合成反応において光強度が飽和していないときには、光合成は無機炭酸塩類濃度で制限されているといわれている<sup>6)</sup>。そこで、pHが6~10の範囲では、pHとアナベナ属細胞数との間に次式のような関係があると仮定した。

$$\text{アナベナ属細胞数} = D \cdot 10^{(E \cdot \text{pH})} \quad (\text{単位: cells/0.1ml}) \quad (4)$$

ここに、pHはpH値であり、D、Eは定数を表す。定数D、Eについては、平成14年、15年夏季の調査日当日の各水深におけるアナベナ属細胞数実測値及びpHの実測値を式(4)に代入し、初期値Dを $1.2 \times 10^{-11}$ として、左辺と右辺の差の二乗を全データについて合計し、これが最小となるように試行錯誤法によりE、Dの順に求めると、Eは1.51、Dは $1.21 \times 10^{-11}$ となった。

なお、図8に示すpHとアナベナ属細胞数実測値は、式(4)と同様の傾向が認められる。

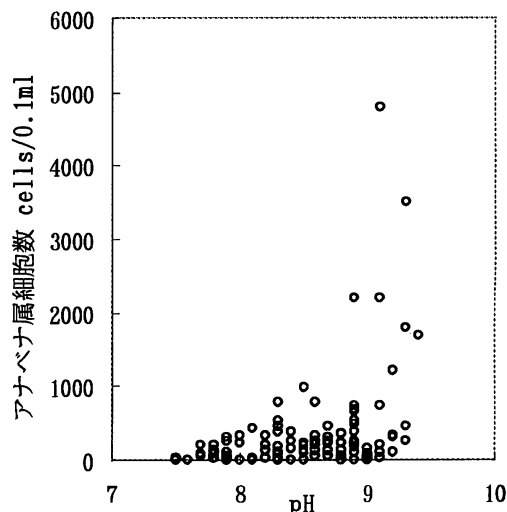


図8 pHとアナベナ属細胞数実測値(平成14年、15年夏季の八郎瀧調整池湖心及び東部各層)

### 3.1.4 栄養塩類濃度特性

アナベナ属細胞数と栄養塩類濃度との相関を調べたところ、平成14年、15年の2地点を併せた相関

係数は、アンモニア性窒素についてはマイナス 0.10、硝酸性窒素についてはマイナス 0.11、リン酸態リンについてはマイナス 0.28 であった。亜硝酸性窒素については濃度が低く、相関が取れなかった。この事実、栄養塩類濃度と藻類の増殖量については正の相関があるはず、という一般的な認識と食い違っている。この理由については、次のように二つの観点から考えることができる。

第一は、測定される湖水の栄養塩類濃度が、湖水に対する栄養塩類の供給量とは相似しないと考えられることである。湖水に供給された栄養塩類は、そこに存在する藻類に速やかに吸収されるため、その結果として湖水中に残存する栄養塩類濃度には、栄養塩類の供給量の変化が反映されにくいと考えられるからである。

第二は、栄養塩類が多量に供給される降水時には、日射量や水温の低下という藻類にとって増殖抑制因子が同時に働き、これらが打ち消しあう可能性が考えられることである。八郎瀧調整池において、湖水の栄養塩類濃度が増加するのは、降水により河川から栄養塩類が一時的に多量に供給されたときと考えられるが、これと同時に降水に伴う水温や日射量の低下などの増殖抑制要因も作用することが考えられる。その結果、増殖抑制因子の方が強く働いたと仮定すれば、相関係数が負となる可能性もあると考えられる。

以上のことから、八郎瀧調整池におけるアナベナ属の栄養塩類濃度の特性関数については、定数と考えることとした。ただし、八郎瀧調整池では、藻類の増殖に必要な栄養塩類が供給されていないということではなく、常に何らかの藻類の増殖が認められることから、藻類が増殖するに十分な栄養塩類は供給されているものと考えられる。また、降水時の水温や日射量低下については、それぞれの項目で考慮される。

### 3.1.5 滞留時間特性

アナベナ属の増殖に関係する時間の経過を考慮するため、同一の状態が継続した時間の目安として、湖水の滞留時間を考える。滞留時間は、同一の個体が湖の中に留まって増殖を続けた時間を表す、と考えることもできる。複雑に水利用が行われている調整池の滞留時間を正確に求めることは困難であるが、湖心から水門までの水域に限定し、農業用取排水施

設では取水と排水の両方がバランスしていると考え、水門からの放水量のみの単純化したモデルを仮定すると、湖水の滞留時間は放水量の逆数に比例すると考えることができる。そこで、湖心におけるアナベナ属細胞数と調査日の前 1 日～10 日の積算放水量の逆数との相関を調べたところ、相関係数はマイナス 0.17～プラス 0.04 で相関は低いと考えられた。よって、滞留時間については、増殖因子として定数と考えることとした。

## 3.2 アナベナ属細胞数再現モデルの構築

これまでに吟味した各因子の特性を基にして、式 (1) により八郎瀧調整池におけるアナベナ属細胞数再現モデルを構成し、各因子の再現値への寄与割合及びモデルの再現精度を示す。

### 3.2.1 アナベナ属細胞数再現モデル

これまでに明らかにした各因子の特性を式 (1) に代入するとアナベナ属細胞数の再現値は、式 (5) で表される。

アナベナ属細胞数再現値＝

$$F \cdot \max_{\frac{t}{B}} [\exp\{-(t-B)^2/C\} \cdot L_6 \cdot 10^{(E \cdot pH)}] \quad (\text{単位: cells/0.1ml}) \quad (5)$$

この式は、表面的には、水温特性、日射量特性、pH 特性だけで表されているが、栄養塩類濃度及び反応時間についても、定数として考慮されている。この式において、 $\max[\ ]$  は、各層について  $[\ ]$  の中を計算し、その中の最大値を採用するという意味を表す。これは、アナベナ属の浮上沈降性を考慮したものである。変数  $t$  は、当日の各層における水温、 $pH$  は、当日の各層における pH 値、 $L_6$  は前 6 日積算日射量であり、 $F$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $E$  は定数である。定数  $F$  以外の定数は、すでに得られている。定数  $F$  については、平成 14 年、15 年夏の 2 地点全層の全データを用いて最小二乗法により決定し、 $3.31 \times 10^{-13}$  と求められた。なお、水温と pH に、調査日当日のデータを用いたのは、調査日当日のデータを用いた場合と、調査日当日と前回調査日のデータの平均値を用いた場合との比較で、前者方が、平均二乗誤差が小さかったためである。また、定数  $F$  を求めるのに、湖心、調整池東部の両地点のデータを一括して用いたのは、地点ごとに求めるよりも平均二乗誤

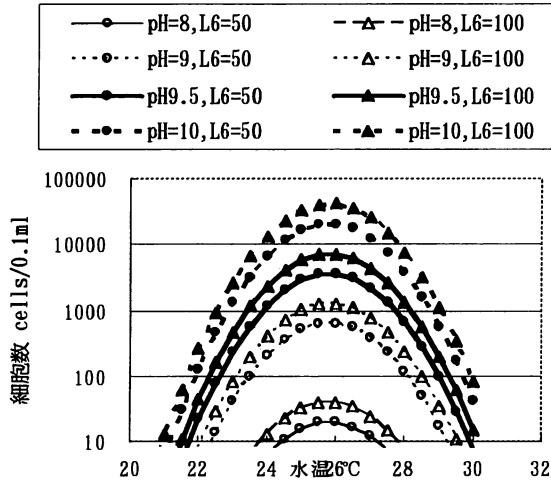


図9 アナベナ属細胞数再現モデルの特性  
注) L<sub>6</sub>は、前6日積算日射量(単位: MJ/m<sup>2</sup>)。

差が小さかったためである。

### 3.2.2 モデルの特性

アナベナ属細胞数の再現値に対する各因子の影響は、表2のとおりである。また、各因子の値を仮定

して再現モデルを適用すると、図9のようになる。水温が最適に近くても pH が低かったり日射量が少なければ細胞数は増えず、三要素が整わなければ細胞数が増えない形になっている。そこで、再現値が一定の細胞数となるための各指標の条件を考える。

まず、アナベナ属細胞数再現値について、アオコが形成される可能性があるレベルの目安を、次のように考える。調査地点においてアオコの形成が確認されたのは、平成14年(2002年)7月23日の1回だけだった。その他の日で、調整池のどこかでアオコの形成が確認されたのは、平成15年(2003年)8月19日及び8月21日であった。これらの日のアナベナ属細胞数再現値は、湖心では、約2,000 cells/0.1ml, 約1,600 cells/0.1ml及び約2,000 cells/0.1ml, 調整池東部では、約2,600 cell/0.1ml, 約1,300 cells/0.1ml及び約800 cells/0.1mlであった。そこで、アナベナ属によりアオコが形成される可能性のある細胞数の目安を1,000 cells/0.1ml程度と考えることにする。

図9において、1,000 cells/0.1ml以上となる条件

表2 細胞数再現値に対する各指標の影響

指標	影響
水温特性	最適温度 25.8 度における細胞数が最も多く、水温が 2 °C 離れると細胞数は約 1/4 となり、水温が 3 °C 離れると細胞数は約 1/25 となる。
日射量	細胞数は前 6 日積算日射量に比例する
pH 特性	pH が高いほど細胞数が多く、pH が 8 における細胞数に対して pH が 9 では約 30 倍、pH が 10 では約 1,000 倍となる。

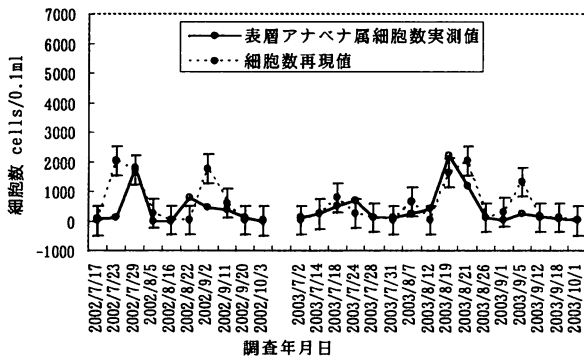


図10 湖心表層におけるアナベナ属細胞数の実測値と再現された細胞数の比較(平成14年, 15年夏季の八郎瀧調整池)

注)再現値の上下に「±確率誤差」を線分で示した。

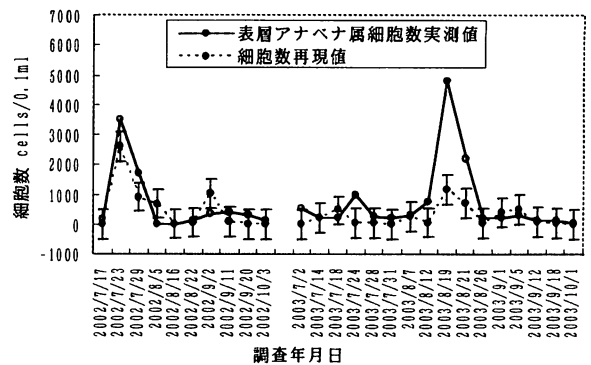


図11 調整池東部表層におけるアナベナ属細胞数の実測値と再現された細胞数の比較(平成14年, 15年夏季の八郎瀧調整池)

注)再現値の上下に「±確率誤差」を線分で示した。

としては、pHが9以上であることが必要で、pHが9のときには、 $L_6$ （前6日間積算日射量）が100 MJ/m<sup>2</sup>ならば、水温は25.5～26.5℃の範囲でなければならない。pHが9.5～10の時には、 $L_6$ は50～100 MJ/m<sup>2</sup>ならば、水温は23～29℃の範囲でなければならない。このような条件が揃えば、細胞数再現値は1,000 cells/0.1mlを超えることになり、さらにこれらの細胞が表層に集積するような条件を整えば、アオコが形成される可能性が高まるといえる。

### 3.2.3 モデルの再現精度

式(5)によるアナベナ属細胞数再現値と湖心及び調整池東部の表層におけるアナベナ属細胞数実測値とを比較すると、図10及び図11のとおりである。再現の精度を評価するために、各地点の表層におけるアナベナ属の細胞数実測値と、式(5)による細胞数の再現値の平均二乗誤差を求めると、約730 cells/0.1mlであった。この平均二乗誤差は、再現値の再現精度の目安と考えることができ、細胞数の実測値は、平均的に再現値±730 cells/0.1mlの範囲にあると考えることができる。確率誤差<sup>10)</sup>は、平均二乗誤差の約0.67倍の約490 cells/0.1mlで、実測値が再現値±490 cells/0.1mlの範囲に入る確率が1/2である。図10及び図11には、再現値に重ねて「再現値±確率誤差」を線で示した。

なお、図11において、平成15年(2003年)8月19日及び8月21日の実測値と比べて再現値が低いのは、これらの日に調整池の他の地点でアオコが形成されていることから、調整池東部においてもアナベナ属が表層へ集積する傾向があった考えることもできる。なお、調整池全体におけるアオコの形成状況、気象とアナベナ属の垂直分布及び平面分布の関連については、本年報の後に掲載される「八郎瀧調整池におけるアオコ形成藻類の細胞数の増加及びアオコ形成の原因推定」において報告される。

## 4. おわりに

アナベナ属の細胞数再現モデルについては、今後、基礎データの少ないアナベナ属の増殖特性に関する研究が進み、さらにフィールドにおける、より精度の高い測定や検証を行うことにより、再現性を改善

することができるものと考えられる。このことによって、アナベナ属の増殖を予測することができるようになれば、次の段階であるアナベナ属の垂直移動や平面移動に関する予測と統合することによって、アナベナ属によるアオコ形成予測技術確立の可能性が高まるものと考えられる。また、アオコの形成を予測するためには、八郎瀧調整池において稀に増殖してアオコを形成するマイクロキスティス属の特性を十分に把握することも必要と考えられる。

## 参考文献

- 1) 藤田 賢一, 佐藤 信也, 珍田 尚俊: 八郎瀧調整池におけるアオコ発生機構解明調査(中間報告), 秋田県環境センター年報, 29, pp. 42-48, 2001.
- 2) 岡田 光正, 須藤 隆一, 合葉 修一: 水の華の生成と消滅のシミュレーション, 国立公害研究所研究報告, 25(R-25-'81), pp. 83-123, 2000.
- 3) Reynolds, C. S. and A. E. Walsby: Water-blooms, Biol. Rev., 50, pp. 437-481, 1975.
- 4) 村上 和仁, 瀧 和夫, 松島 眸: 富栄養化湖沼における植物プランクトン優占種の遷移機構—優占種の変遷に及ぼす温度及び照度の影響に関する実験的検討, 環境情報科学論文集, 17, pp. 331-334, 2003.
- 5) Ichimura, S.: Some Characteristics of Photosynthesis of Fresh Water Phytoplankton, Bot. Mag. Tokyo, 71, pp. 261-269, 1958.
- 6) John T. O. Kirk: 水圏の生物生産と光合成, pp. 239-255, 恒星社厚生閣, 2002.
- 7) 小林 千秋: 琵琶湖南湖におけるアオコ発生予測, 第9回世界湖沼会議, 9(3), pp. 361-364, 2001.
- 8) 吉田 昇, 加藤 潤, 渡辺 寿: 八郎湖のアオコ毒素等水質動態調査(平成10～12年度環境省委託調査), 秋田県環境センター年報, 28, pp. 73-78, 2000.
- 9) 南篠 吉之, 福田 明彦, 平尾 優年, 杉本 多恵子: アオコ(*Anabaena Affinis*)の増殖特性—水温, 塩素イオン濃度との関係について, 鳥取県衛生研究所報, 34, pp. 59-62, 1994.
- 10) 一瀬 正巳: 誤差論, pp. 19-21, 1953.



## 付録

付録表1 2002年湖心表層の水質測定結果

	'02/7/17	'02/7/23	'02/7/29	'02/8/5	'02/8/16	'02/8/22	'02/9/2	'02/9/11	'02/9/20	'02/10/3
水深 (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
水温 (°C)	22.2	26.5	28.0	27.4	23.8	23.0	28.1	25.5	23.5	20.7
pH	7.7	9.2	9.3	8.8	8.4	8.6	9.3	8.8	8.5	8.0
NH4-N (mg/l)	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
NO2-N (mg/l)	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO3-N (mg/l)	0.19	<0.05	<0.05	<0.05	0.21	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
PO4-P (mg/l)	0.022	0.007	0.004	0.006	0.035	0.014	0.007	0.015	0.024	0.038
藻類細胞数 (cells/0.1ml)										
アナベナ属	60	110	1800	0	0	770	460	360	92	0
ミクロキスティス属	0	0	0	0	0	0	0	400	70	0
メロシラ属	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

付録表2 2002年調整池東部表層の水質測定結果

	'02/7/17	'02/7/23	'02/7/29	'02/8/5	'02/8/16	'02/8/22	'02/9/2	'02/9/11	'02/9/20	'02/10/3
水深 (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
水温 (°C)	22.2	26.4	28.5	26.9	23.7	23.1	27.6	25.2	22.7	20.2
pH	7.7	9.3	9.4	9.0	8.4	8.9	9.2	8.3	8.0	7.8
NH4-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
NO2-N (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO3-N (mg/l)	0.2	<0.05	<0.05	<0.05	0.19	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
PO4-P (mg/l)	0.022	0.008	0.003	0.007	0.029	0.016	0.005	0.017	0.029	0.037
藻類細胞数 (cells/0.1ml)										
アナベナ属	190	3500	1700	0	0	110	330	380	320	120
ミクロキスティス属	0	0	50	0	180	0	0	0	7000	0
メロシラ属	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

付録表3 2003年湖心各層の水質測定結果

	'03/7/2	'03/7/14	'03/7/18		'03/7/24				
水深 (m)	0	0	0	2	0	1	2	5	
水温 (°C)	23.2	24.5	24.8	23.5	23.8	23.8	23.8	23.5	
pH	8.5	8.8	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.6	
NH4-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	
NO2-N (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
NO3-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	
PO4-P (mg/l)	0.01	0.016	0.01	0.013	0.008	0.005	0.012	0.012	
藻類細胞数 (cells/0.1ml)									
アナベナ属	130	230	490	12	690	390	650	240	
ミクロキスティス属	0	0	0	0	0	0	0	0	
メロシラ属	76	140	39	270	180	160	150	160	
	'03/7/28				'03/7/31				
水深 (m)	0	1	2	5	0	1	2	5	
水温 (°C)	24.0	23.6	23.5	22.8	23.5	23.4	23.2	22.9	
pH	8.6	8.6	8.6	7.9	8.3	8.2	8.1	7.5	
NH4-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	0.05	0.11	
NO2-N (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
NO3-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	
PO4-P (mg/l)	0.015	0.013	0.014	0.025	0.016	0.016	0.016	0.031	
藻類細胞数 (cells/0.1ml)									
アナベナ属	120	190	62	48	110	130	7	0	
ミクロキスティス属	0	0	0	0	0	0	0	0	
メロシラ属	190	270	320	200	240	250	220	180	

付録表3 続き

	'03/8/7				'03/8/12			
水深 (m)	0	1	2	5	0	1	2	5
水温 (°C)	26.5	26.3	25.1	24.3	24.6	24.5	24.5	24.5
pH	8.9	8.9	8.9	7.5	8.1	8.0	7.9	7.7
NH4-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
NO2-N (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01
NO3-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	0.02	<0.05	<0.05	<0.05	0.05
PO4-P (mg/l)	0.01	0.009	0.012	0.026	0.015	0.01	0.017	0.016
藻類細胞数 (cells/0.1ml)								
アナベナ属	260	720	180	14	440	220	310	70
ミクロキスティス属	90	0	0	0	0	0	0	0
メロシラ属	290	320	350	170	230	360	360	280
	'03/8/19				'03/8/21			
水温 (°C)	25.2	24.6	24.5	24.3	26.4	26.1	25.3	24.6
pH	9.1	8.9	8.7	8.1	9.2	9.1	8.6	7.8
NH4-N (mg/l)	<0.05	0.05	0.05	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	0.08
NO2-N (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO3-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
PO4-P (mg/l)	0.007	0.011	0.016	0.018	0.008	0.012	0.013	0.017
藻類細胞数 (cells/0.1ml)								
アナベナ属	2200	540	220	0	1200	720	46	78
ミクロキスティス属	0	0	0	0	310	0	0	0
メロシラ属	240	280	300	240	330	250	280	160
	'03/8/26				'03/9/1			
水温 (°C)	25.2	24.7	24.4	23.6	23.6	24.0	23.5	22.9
pH	8.5	8.2	7.9	7.5	9.1	9.0	8.9	8.1
NH4-N (mg/l)	0.06	0.06	0.08	0.16	—	—	—	—
NO2-N (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	—	—	—	—
NO3-N (mg/l)	<0.05	<0.05	0.06	0.11	—	—	—	—
PO4-P (mg/l)	0.015	0.019	0.025	0.066	—	—	—	—
藻類細胞数 (cells/0.1ml)								
アナベナ属	94	35	99	17	15	58	110	0
ミクロキスティス属	0	0	0	0	0	0	0	0
メロシラ属	150	140	190	60	420	480	440	400
	'03/9/5				'03/9/12			
水温 (°C)	24.1	23.8	23.4	23.0	23.5	23.4	23.1	22.4
pH	9.3	9.2	9.0	8.3	9.0	8.9	8.3	7.6
NH4-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
NO2-N (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO3-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
PO4-P (mg/l)	0.013	0.014	0.015	0.013	0.009	0.01	0.013	0.011
藻類細胞数 (cells/0.1ml)								
アナベナ属	250	110	27	0	140	110	22	0
ミクロキスティス属	0	0	0	0	0	0	0	0
メロシラ属	260	450	470	540	140	220	300	250
	'03/9/18				'03/10/1			
水温 (°C)	23.6	23.3	23.0	22.5	18.8	18.5	18.5	18.5
pH	8.8	8.8	8.4	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9
NH4-N (mg/l)	—	—	—	—	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
NO2-N (mg/l)	—	—	—	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO3-N (mg/l)	—	—	—	—	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
PO4-P (mg/l)	—	—	—	—	0.019	0.019	0.023	0.024
藻類細胞数 (cells/0.1ml)								
アナベナ属	57	53	150	20	22	24	0	0
ミクロキスティス属	0	0	0	0	0	0	0	0
メロシラ属	330	250	280	160	94	160	120	100

付録表4 2003年調整池東部各層の水質測定結果

水深 (m)	'03/7/2		'03/7/14		'03/7/18		'03/7/24		
	0		0		0	2	0	1	2
水温 (°C)	23.0		24.2		24.7	24.0	23.6	23.6	23.5
pH	8.3		8.9		8.8	8.8	8.5	8.5	8.3
NH4-N (mg/l)	<0.05		<0.05		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
NO2-N (mg/l)	<0.01		<0.01		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO3-N (mg/l)	<0.05		<0.05		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
PO4-P (mg/l)	0.013		0.021		0.004	0.012	0.012	0.011	0.015
藻類細胞数 (cells/0.1ml)									
アナベナ属	520		220		220	120	980	220	80
ミクロキスティス属	0		0		0	0	0	0	0
メロシラ属	50		240		94	200	160	200	210

水深 (m)	'03/7/28			'03/7/31			'03/8/7		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
水温 (°C)	23.5	23.3	23.2	23.7	23.5	23.4	27.1	27.0	26.4
pH	8.4	8.4	8.3	7.8	7.9	7.8	8.6	8.7	8.7
NH4-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	<0.05
NO2-N (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO3-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
PO4-P (mg/l)	0.008	0.011	0.008	0.017	0.02	0.016	0.014	0.012	0.013
藻類細胞数 (cells/0.1ml)									
アナベナ属	250	370	180	210	240	94	320	260	310
ミクロキスティス属	0	0	0	0	0	0	60	0	0
メロシラ属	180	190	160	170	190	210	260	340	330

水深 (m)	'03/8/12			'03/8/19			'03/8/21		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
水温 (°C)	24.6	24.5	24.4	24.8	24.3	24.0	26.6	25.4	25.3
pH	8.3	8.3	8.2	9.1	8.7	8.5	8.9	8.9	8.7
NH4-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
NO2-N (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO3-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
PO4-P (mg/l)	0.014	0.015	0.012	0.012	0.017	0.012	0.012	0.011	0.014
藻類細胞数 (cells/0.1ml)									
アナベナ属	770	460	340	4800	450	210	2200	250	130
ミクロキスティス属	0	0	0	90	0	0	0	36	0
メロシラ属	240	270	220	52	280	240	100	470	400

水深 (m)	'03/8/26			'03/9/1			'03/9/5		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
水温 (°C)	25.0	24.5	24.3	24.0	24.0	23.4	23.7	23.6	23.5
pH	8.2	8.3	8.1	9.1	9.1	8.8	9.2	9.1	9.0
NH4-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	—	—	—	<0.05	<0.05	<0.05
NO2-N (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	—	—	—	<0.01	<0.01	<0.01
NO3-N (mg/l)	0.06	0.06	0.07	—	—	—	<0.05	<0.05	<0.05
PO4-P (mg/l)	0.014	0.017	0.018	—	—	—	0.014	0.012	0.014
藻類細胞数 (cells/0.1ml)									
アナベナ属	200	76	24	200	16	52	300	110	76
ミクロキスティス属	0	0	0	0	0	0	0	0	0
メロシラ属	110	200	180	370	380	460	300	400	450

水深 (m)	'03/9/12			'03/9/18			'03/10/1		
	0	1	2	0	1	2	0	1	2
水温 (°C)	23.5	23.2	22.9	23.1	22.9	22.8	18.3	18.3	18.2
pH	8.9	8.8	8.7	8.6	8.5	8.4	7.8	7.9	7.8
NH4-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	—	—	—	<0.05	<0.05	<0.05
NO2-N (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	—	—	—	<0.01	<0.01	<0.01
NO3-N (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	—	—	—	<0.05	<0.05	<0.05
PO4-P (mg/l)	0.01	0.009	0.011	—	—	—	0.023	0.023	0.026
藻類細胞数 (cells/0.1ml)									
アナベナ属	110	0	50	130	0	0	21	30	67
ミクロキスティス属	0	0	0	0	0	85	0	0	0
メロシラ属	94	150	210	85	130	140	57	100	93

## 八郎潟調整池におけるアオコ形成藻類の細胞数の増加及びアオコ形成の原因推定

珍田 尚俊 ・ 佐藤 信也

### 要 旨

八郎潟調整池全域でのアオコの形成状態及びアオコ形成藻類の発生状況を詳細に把握し、気象等の環境因子と比較することで、アオコ形成藻類の細胞数の増加及びアオコ形成の原因を推定した。

平成 15 年に八郎潟調整池で発生したアオコ形成藻類の優占種はアナベナ属で、ミクロキスティス属はほとんど発生しなかった。湖水中のアナベナ属の細胞数が概ね 5000 cells/0.1mL 以上からアオコが観察された。八郎潟調整池全域でのアナベナ属の細胞数が多かったのは、8月19日及び8月21日であり、他の調査日と比べて気温の上昇、日射量の増加、滞留時間の長期化によりアナベナ属が増殖し、無風により浮遊性のあるアナベナ属が下層から表層へ浮上・集積したためであると考えられた。8月19日及び8月21日の一部の水域でアオコが形成されたのは、その時期の表層中のアオコ形成藻類の細胞数が多かったのに加えて、調査日前に吹いていた風の影響により波及び水流が発生したことで、風下側の水域へ集積したためであると考えられた。

### 1. はじめに

富栄養化した湖沼では、しばしば浮遊性の藻類が増殖して水面に集積し、緑色に著しく着色する現象がみられる。一般にこの現象、またはその状態をつくりだしている藻類群のことを「アオコ」という<sup>1)</sup>。秋田県の日本海側に位置する八郎潟調整池(図1)もアオコがみられる湖沼の一つであり、藍藻類であるアナベナ属(*Anabaena* spp.)やミクロキスティス属(*Microcystis* spp.)の増殖によってアオコが形成されることが当センターの調査<sup>2)</sup>により確認されている。平成11,12年にはアオコの形成量が例年よりも多く、特に平成11年8月には景観が悪化するだけでなく、水道水の異臭味や水産物の価値低下等の問題が発生した<sup>3)</sup>。このアオコの問題に対処するために、アオコ形成の原因を解明する必要があることから、当センターでは、平成13,14年に八郎潟調整池におけるアオコの形成状態と湖水の水質変化・気象条件との関連を究明する調査を実施した<sup>4)</sup>。しかし、目視による観察だけでアオコの形成状態を定量的に把握することや、調査地点が少なかったことでアオコの移動による位置変化を詳細に把握することが困難であったこと等から、アオコ形成の原因を推定するまでには至らなかった。また、アオコ形成藻類の栄養源及び増殖因子である T-N(全窒素)及び T-P(全リン)<sup>5,6)</sup>の湖水濃度が、アオコの発生前後と比較してほとんど変化しなかった<sup>4)</sup>。このことから、

アオコが夏等の暖かい時期にだけ形成される原因を推定するためには、湖水に豊富に存在する窒素及びリンの濃度<sup>9,10)</sup>変化よりも、温度等の環境因子の変化に注目する必要があると考えた。

そこで本調査研究では、アオコ形成機構の解明に関する調査研究の一環として、平成15年度の八郎潟調整池全域でのアオコの形成状態及びアオコ形成藻類の発生状況を面的に把握し、気象等の環境因子の特徴と比較することで、アオコ形成藻類の細胞数の増加及びアオコ形成の原因を推定することとした。ここでは、その調査結果について報告する。

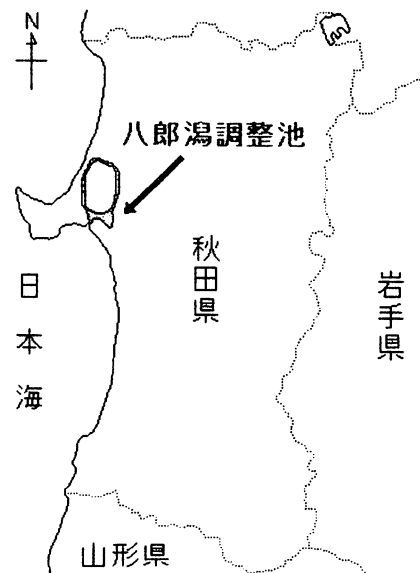


図1 八郎潟調整池の位置図

## 2. 調査方法

### 2.1 調査時期及び地点

平成 15 年 7 月 2 日～10 月 1 日（7 月 2 日，14 日，18 日，24 日，28 日，31 日，8 月 7 日，12 日，19 日，21 日，26 日，9 月 1 日，5 日，12 日，18 日，10 月 1 日）の計 16 回，図 2 に示した八郎潟調整池の A～N 地点の 14 箇所を実施した。

### 2.2 アオコの形成状態

船上から湖面を観察し，アオコまたは浮遊している目視で観察可能なサイズまで成長したアオコ形成藻類の細胞の固まり（以後，「個体群」と称す）の発生の度合を表 1 の「目視レベル」により，5 段階に評価した。この調査では表 1 により，アオコの形成の有無及び形成状態を判断することとし，浮遊性の

藻類が湖面に集積して緑色に着色する現象が観察される「目視レベル 2」以上から，アオコが形成されたと判断することとした。

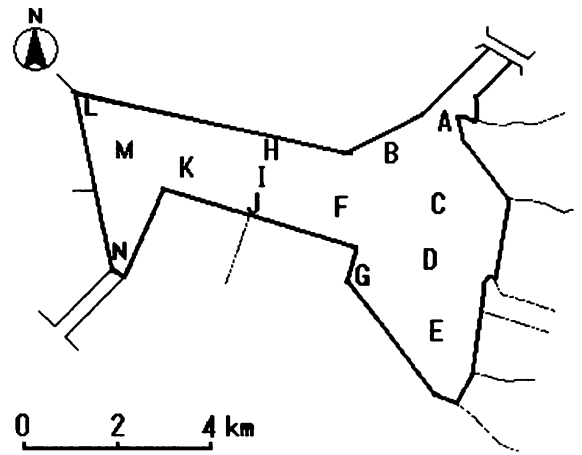


図2 八郎潟調整池の調査地点

表1 「目視レベル」の評価基準

目視レベル	アオコまたはアオコ形成藻類の個体群の観察状況
0	アオコ形成藻類の個体群がほとんど認められない。
1	アオコ形成藻類の個体群の存在がはっきり認められて点在しており，船での移動中には確認できなくなる。アオコの形成は確認できない。
2	アオコ形成藻類の個体群が斑点状または筋状となって水面に浮上し，船での移動中にも確認できる。小規模のアオコとして所々に形成されているのが確認できる。
3	アオコが筋状または膜状となって形成されており，水面の概ね 1/2 未満を覆っている。
4	アオコが膜状またはマット状となって形成されており，水面の概ね 1/2 以上を覆っている。

### 2.3 アオコ形成藻類の細胞数

船上から表層水を採水して実験室に持ち帰り，生物顕微鏡（オリンパス社製 BHS 型）を用いて，アオコ形成藻類であるアナベナ属及びミクロキスティス属の細胞数の計数を行った。

細胞数の計数方法は，次のとおりである。サンプル 0.1 mL を枠付スライドガラスに落とし，顕微鏡の倍率を 100 倍または 200 倍にして，原則として 0.1 mL 中の全てのアオコ形成藻類の細胞数をカウントした。細胞数が特に多い場合には，サンプル量を 0.02～0.05 mL に減じて上記と同様に細胞数をカウントし，その結果を 0.1 mL 当たりの量に換算した。また，下層のアオコ形成藻類の細胞数を把握するため，7 月 18 日～10 月 1 日の計 14 回，D 及び I 地点の 2 地点の下層（1 m，2 m 層）の採水及びアオコ形成藻類の種類毎の細胞数の計数を上記と同様の方法で実施

した。

### 2.4 現場での風向及び風浪階級

平成 15 年 7 月 2 日～10 月 1 日の現地調査時に，現場での風向を記録し，気象庁風浪階級表<sup>11)</sup>の観測方法に従って湖水の波の大きさを観測した。

### 2.5 気象データ及び防潮水門放水量

気象条件について，気温，風向，風速は気象庁の五城目観測所，日射量は秋田地方気象台のデータ<sup>12)</sup>を用いた。収集したデータの期間は平成 15 年 7 月 2 日～10 月 1 日の 3 ヶ月間とした。

湖水の外部への流出量を把握するために，八郎潟基幹施設管理事務所から入手した平成 15 年 7 月 2 日～10 月 1 日の 3 ヶ月分の防潮水門放水量のデータを使用した。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 アオコの形成状態及びアオコ形成藻類の発生状況

調査期間中、アオコの発生が確認された調査日及び地点は、目視レベル 2 を観測した 8 月 19 日の B 地点（調整池東部北西側）、G 地点（天王東排水機場前）、J 地点（湖心南側）、K 地点（湖心南西側）の 4 地点、及び 8 月 21 日の J 地点（湖心南側）、K 地点（湖心南西側）の 2 地点であった（図 3 及び図 4）。この湖面に発生したアオコのサンプルを顕微鏡観察した結果、アナベナ属の個体群が多数集積した状態として観察され、この個体群一つ当たりの細胞数は約 200 cells 以上であった。また、アオコが観察された地点でのアナベナ属の細胞数は 4700 ~ 24000 cells/0.1mL の範囲であり、アオコが観察されなかったときの細胞数は 0 ~ 4800 cells/0.1mL の範囲であったことから、概ね 5000 cells/0.1mL 以上となるとアナベナ属によるアオコの形成が観察されると考えられる。一方、調査期間中、ミクロキスティス属によるアオコは観察されなかった。

八郎瀧調整池 14 地点におけるアオコ形成藻類の各調査日の平均細胞数を図 5 に示した。アナベナ属の細胞数はアオコの発生が確認された 8 月 19 日、8 月 21 日に特に多かった。また、調査期間内に 7 月 24 日、8 月 19 日、9 月 12 日の 3 回の発生ピークがみられた。最もアナベナ属の細胞数の多かった 8 月 19 日には、八郎瀧調整池内 14 地点における平均細胞数が 6173 cells/0.1mL で、最大が J 地点の 24000 cells/0.1mL であった。また、8 月 21 日の平均細胞数は 2464 cells/0.1mL で、最大は J 地点の 16000 cells/0.1mL であった。7 月 24 日及び 9 月 12 日のアナベナ属の平均細胞数は、それぞれ 631 cells/0.1mL 及び 470 cells/0.1mL で、最大でもそれぞれ 1300 cells/0.1mL 及び 2000 cells/0.1mL であり、8 月 19 日と比較しても平均及び最大ともに 1/10 以下であった。

ミクロキスティス属については、最も細胞数の多かった調査日は 8 月 21 日で、八郎瀧調整池内 14 地点における平均細胞数は 149 cells/0.1mL で、最大は E 地点の 650 cells/0.1mL であった。別の調査日での平均細胞数は、0 ~ 20 cells/0.1mL の範囲であった。このように、八郎瀧調整池で発生したアオコ形成藻類の優占種はアナベナ属で、ミクロキスティス属はアナベナ属と比較してほとんど発生しなかった。

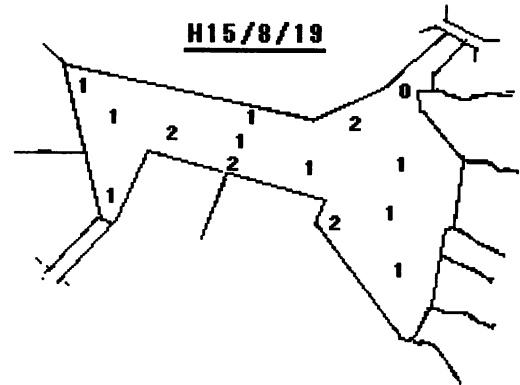


図3 8月19日の目視レベル観察結果

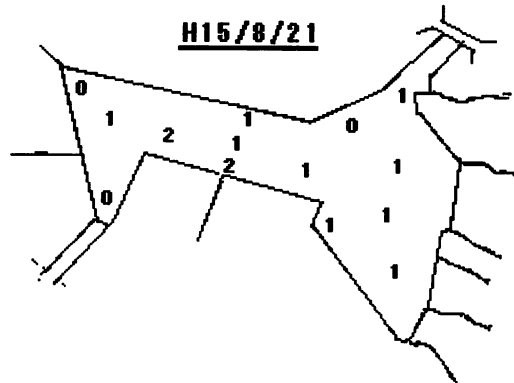


図4 8月21日の目視レベル観察結果

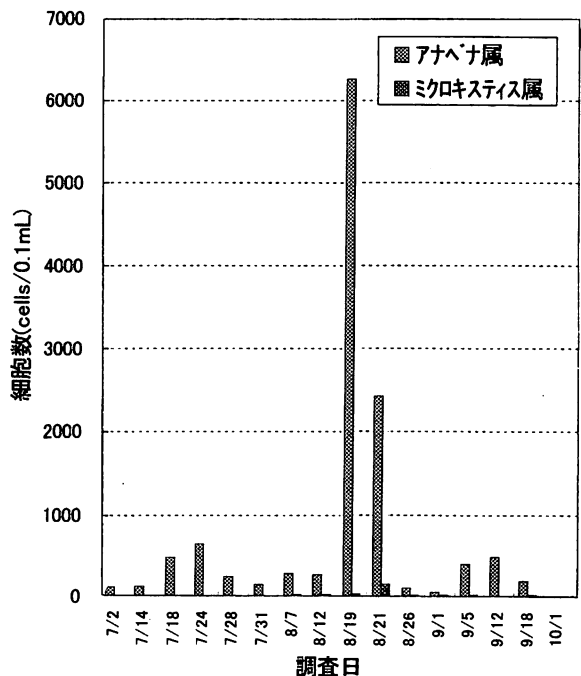


図5 八郎瀧調整池 14 地点におけるアオコ形成藻類の細胞数の平均値

### 3.3 アナベナ属の細胞数の増加要因の推定

#### 3.3.1 日射量・放水量・気温の影響

アナベナ属の細胞数と日射量・防潮水門放水量の変化を図6に示した。日射量が多く(日間平均15 MJ/m<sup>2</sup>以上)放水量が少ない(日間平均2.5 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>以下)期間に、アナベナ属の細胞数が増える傾向がみられた。

アナベナ属の細胞数と気温の変化を図7に示した。日射量が多く放水量が少ない期間の中で、7月18日、7月24日、7月28日の日平均気温が20～21℃であったのに対し、8月19日及び8月21日の日平均気温が22℃前後で、前者より1～2℃高かった。アナベナ属の増殖速度は20～25℃の間では温度が高いほど早くなる<sup>13)</sup>ことから、8月19日及び8月21日のアナベナ属の細胞数が多かったのは、日射量が多く放水量が少なかったことに加えて、気温が高かったことが原因の一つであると推察される。

#### 3.3.2 風及び波の影響

アナベナ属の細胞数と風・波の変化を図8に示した。アナベナ属の細胞数が多かった8月19日、8月21日には、風及び波の無い状態であった。7月24日、7月28日、7月31日、8月26日、9月5日、9月12日の調査時には、風下側の水域にアナベナ属の細胞数が増える傾向がみられた。また、8月19日の場合、8月15日～8月19日調査時直前まで弱い北東の風が吹いており、その風下側の地点でアナベナ属の細胞数が増える傾向があった。これは、八郎瀧調整池に生じる水流の主な原因が風によるものであると考えられている<sup>14)</sup>ことから、表層中のアナベナ属が風によって発生した波(風浪)及び水流によって移動することで、風下側の水域に集積したと考えられる。

表層(0 m層)と下層(1 m及び2 m層)のアナベナ属の細胞数の違いを、各層のアナベナ属の細胞数の割合として図9に示した。8月19日及び8月21日には、表層中のアナベナ属の細胞数の割合が約80%前後と特によく高かった。これは、無風状態により浮遊性のあるアナベナ属が下層から表層へ浮上したためであると考えられる。一方、7月28日、8月7日、9月1日、10月1日の風及び波が強かったときには、表層のアナベナ属の細胞数の割合が30～40%と低かった。日射量が多く放水量が少なかった7月28日の表層のアナベナ属の細胞数が少なかったのは、風

及び波が強いことでアナベナ属が下層まで分散していたためであると考えられる。

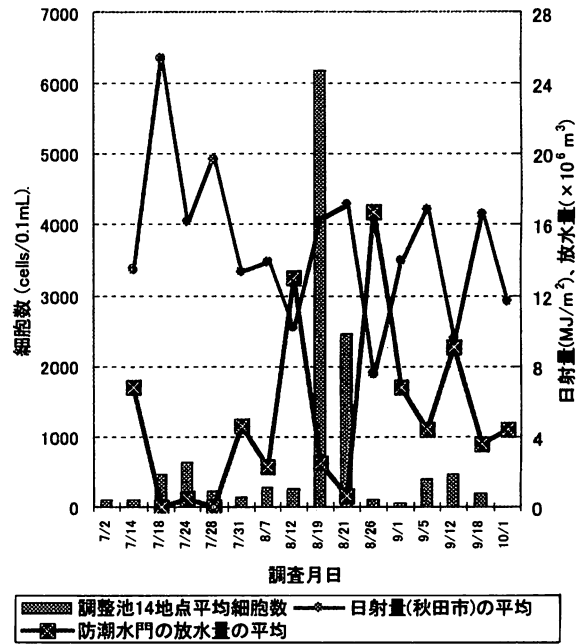


図6 アナベナ属の細胞数と日射量・放水量の変化

注) アナベナ属と気象等の条件を比較するとき、調査日だけでなくその日以前の気象等の条件がアナベナ属の増殖に関与すると考えられるため、図6及び図7で表示している日射量、放水量及び気温は、前調査日の翌日から該当調査日までの日平均値を使用。

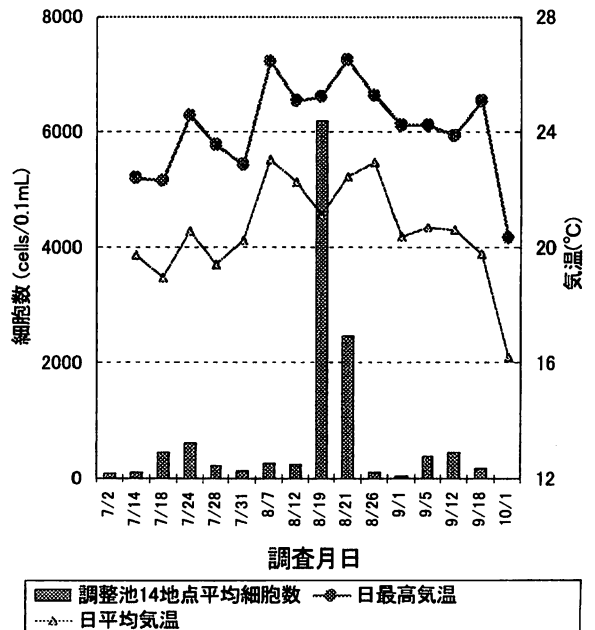


図7 アナベナ属の細胞数と気温の変化

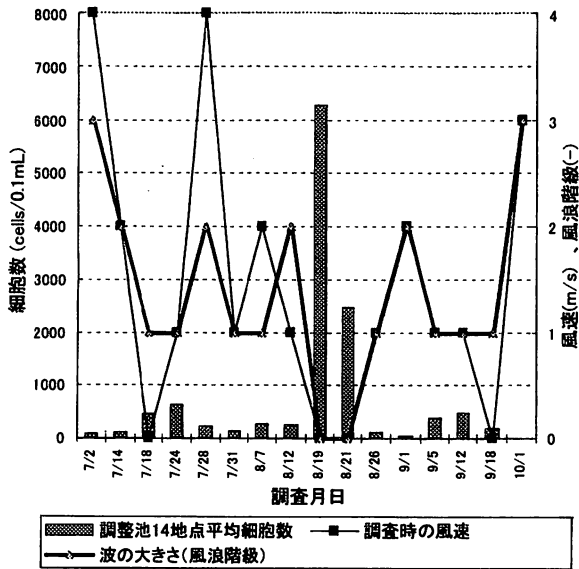


図8 アナベナ属の細胞数と風・波の変化

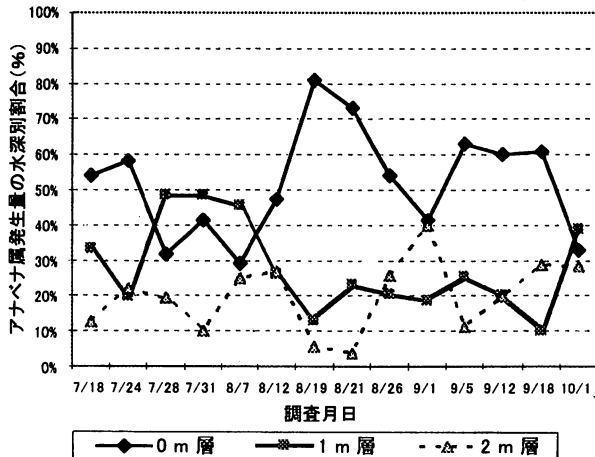


図9 各層のアナベナ属の細胞数の割合(D及びI地点の平均)

注) 0, 1, 2 m層の各細胞数の合計値を100%としたときの各層毎の細胞数の割合を各地点毎に算出し、各層の2地点の割合の平均値をグラフに表示

### 3.4 アオコ形成の原因の推定

8月19日及び8月21日に八郎湖調整池の一部の水域でアオコが形成されたのは、以下のことから、表層中のアナベナ属の細胞数が約5000 cells/0.1mL以上にまで増加したためであると考えられる。

(1)アナベナ属の増殖因子である光(日射量)の増加及び温度(気温)の上昇に加え、湖水の放水量が低下したことで滞留時間が長期化し、アナベナ属が増殖した。

(2)風の影響により波及び水流が発生し、アナベナ属が吹き寄せられることで風下側の水域へ集積した。

(3)風下側へ集積後、無風状態となったことにより、浮遊性のあるアナベナ属が下層から表層へ浮上及び集積したことから、表層中のアナベナ属の細胞数がさらに増加した。

### 参考文献

- 1) 渡辺真利代, 原田健一, 藤木博太: アオコ - その出現と毒素 - , pp. 1-3, 東京大学出版会, 2002.
- 2) 塚田善也 他: 八郎湖調整池のプランクトン相について, 秋田県環境技術センター年報, **13**, 84-100, 1985.
- 3) 吉田昇, 加藤潤, 渡辺寿: 八郎湖のアオコ毒素等水質動態調査(平成10~12年度環境省委託調査), 秋田県環境センター年報, **28**, 73-78, 2000.
- 4) 藤田賢一, 佐藤信也, 珍田尚俊: 八郎湖調整池におけるアオコ発生機構解明調査(中間報告), 秋田県環境センター年報, **29**, 42-48, 2001.
- 5) 秋田魁新報, 平成11年8月22日朝刊
- 6) W. M. ダーリー: 藻類の生理生態学, pp. 29-56, 培風館, 1987.
- 7) 秋山優 他: 藻類の生態, pp. 155-169, 内田老鶴圃, 1986.
- 8) 佐藤泉明: 新・清流青湖への道, p. 2-36, 千曲秀版社, 1989.
- 9) 片野登 他: 八郎湖の富栄養化に関する一考察, 秋田県環境技術センター年報, **17**, 81-103, 1989.
- 10) 秋田県生活環境文化部編: 平成14年度版 環境白書, p. 240, 2002.
- 11) 気象庁: 海洋観測指針(気象庁編), p. 309, 日本気象協会, 1990.
- 12) 気象庁ホームページ(過去の測定データ): [http://www.jma.go.jp/JMA\\_HP/jma/index.html](http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jma/index.html)
- 13) 南篠吉之 他: アオコ(*Anabaena affinis*)の増殖特性 - 水温、塩素イオン濃度との関係について, 鳥取県衛生研究所報, **34**, 59-62, 1994.
- 14) 秋田県生活環境部編: 八郎湖水質汚濁機構解明調査総合報告書, pp. 14-17, 1985.



別表 平成15年度八郎潟調整池14地点におけるアオコ形成藻類の細胞数及び目視レベルの観測結果

(細胞数の単位: cells/0.1mL)

地点名 \ 調査月日	7/2	7/14	7/18	7/24	7/28	7/31	8/7	8/12	8/19	8/21	8/26	9/1	9/5	9/12	9/18	10/1
<b>表層のアナベナ属の細胞数</b>																
A 馬場目川河口付近	-	230	300	280	150	0	63	150	55	2200	57	0	180	0	0	0
B 調整池東部北西側	120	45	810	440	110	74	120	140	7000	370	0	58	740	0	40	0
C 調整池東部北側	28	100	93	530	240	180	95	320	770	2700	100	90	320	170	62	15
D 調整池東部	520	220	220	980	250	210	320	770	4800	2200	200	200	300	110	130	21
E 調整池東部南側	150	0	1100	1300	160	500	-	130	3200	1800	130	12	270	2000	500	0
F 湖心東側	130	99	590	790	130	240	71	140	4300	700	52	0	18	760	21	0
G 天王東排水機場前	-	120	1300	110	270	140	380	360	9900	620	0	58	12	1200	5	0
H 湖心北側	0	0	340	400	270	42	570	420	270	540	15	45	100	470	50	0
I 湖心	130	230	490	690	120	110	260	440	2200	1200	94	15	250	140	57	22
J 湖心南側	0	66	240	1200	70	190	1300	270	24000	16000	580	0	160	720	120	0
K 湖心西側	42	170	310	120	260	11	27	88	16000	4700	49	93	2900	250	10	0
L 南部排水機場前	-	160	0	950	270	87	150	100	620	940	0	0	200	140	1500	0
M 調整池西部	0	43	330	820	400	85	130	60	1800	300	43	0	24	510	10	0
N 防潮水門前	0	0	280	220	480	68	40	250	1700	230	140	110	0	110	38	5
<b>1 m 及び 2 m 層のアナベナ属の細胞数</b>																
D 調整池東部(1m層)	-	-	170	220	370	240	260	460	450	250	76	16	110	0	0	30
D 調整池東部(2m層)	-	-	120	80	180	94	310	340	210	130	24	52	76	50	0	67
I 湖心(1m層)	-	-	250	390	190	130	720	220	540	720	35	58	110	110	53	24
I 湖心(2m層)	-	-	12	650	62	7	180	310	220	46	99	110	27	22	150	0
<b>表層のミクロキスティス属の細胞数</b>																
A 馬場目川河口付近	-	0	0	0	0	0	0	0	0	110	0	0	0	0	0	0
B 調整池東部北西側	0	0	0	0	0	0	0	0	180	0	0	42	84	0	0	0
C 調整池東部北側	0	0	0	0	0	0	0	0	0	380	0	0	0	0	170	0
D 調整池東部	0	0	0	0	0	0	60	0	90	0	0	0	0	0	0	0
E 調整池東部南側	0	0	0	0	0	0	-	0	0	650	0	0	0	0	0	0
F 湖心東側	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0	0
G 天王東排水機場前	-	14	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0
H 湖心北側	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0
I 湖心	0	0	0	0	0	0	90	0	0	310	0	0	0	0	0	0
J 湖心南側	0	0	0	0	0	0	0	0	0	410	0	0	0	0	0	0
K 湖心西側	0	0	0	0	0	0	0	90	0	0	18	0	140	0	0	0
L 南部排水機場前	-	0	0	31	0	0	0	0	0	12	55	0	0	0	0	0
M 調整池西部	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N 防潮水門前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	0	62	0	0	0	0
<b>1 m 及び 2 m 層のミクロキスティス属の細胞数</b>																
D 調整池東部(1m層)	-	-	0	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0
D 調整池東部(2m層)	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	0
I 湖心(1m層)	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I 湖心(2m層)	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>目視レベル</b>																
A 馬場目川河口付近	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
B 調整池東部北西側	0	0	1	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0
C 調整池東部北側	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
D 調整池東部	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
E 調整池東部南側	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
F 湖心東側	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
G 天王東排水機場前	-	1	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
H 湖心北側	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
I 湖心	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
J 湖心南側	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0
K 湖心西側	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	1	0	0	0
L 南部排水機場前	-	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
M 調整池西部	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
N 防潮水門前	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

注1): 目視レベル2の場合、の枠にして他のサンプルと区別した

注2): 細胞数の測定及び目視レベルの評価を実施していない調査地点及び調査月日には、測定結果欄に「-」と記載した

## 田沢湖に流入する中小河川の水質及び負荷量調査結果（平成14、15年度）

珍田 尚俊 ・ 藤田 賢一\*

## 要 旨

水質の悪化が懸念される田沢湖に対して、その水質に影響を与える可能性のある中小河川の流量及び水質の特徴を把握するとともに、中小河川を含めた流入水の負荷量を見出すための調査を実施した。

中小河川の全流量は概ね 200 ～ 1000 L/s の範囲であり、平均流量は 500 L/s 程度であると推察された。田沢湖の水質と比較すると、中小河川の SS、COD、T-N、T-P 及び PO<sub>4</sub>-P 濃度は湖水よりも高く、反対に EC は低かった。降雨の影響で流量の多い時には中小河川の EC が普段より低下し、SS、COD 及び T-N 濃度が高くなる傾向がみられた。中小河川の中では大沢川の負荷が最も大きく、田沢湖南部に位置する冷水沢、大沢川及びその西側の 2 河川、大又沢川の 5 河川に流量及び負荷量が特に集中しており、中小河川の全流量の約 70%、総負荷量の 50 ～ 90% を占めた。田沢湖へ流入する河川水及び雨水の負荷量を各項目について算定した結果、田沢湖へ流入する SS の総負荷量は 147 kg/h、COD は 106 kg/h、T-N は 26.7 kg/h、T-P は 0.421 kg/h、PO<sub>4</sub>-P は 0.267 kg/h であった。中小河川の各項目の負荷量は総負荷量の約 3 ～ 5% であり、導水路 2 箇所の負荷量は 80% 以上で導水路の影響が大きいことがわかった。

## 1. はじめに

秋田県内陸の中央部に位置する田沢湖（図 1 参照）は、湖面積 25.79 km<sup>2</sup>、流域面積 47.8 km<sup>2</sup>、最大水深 423 m で<sup>1)</sup>、以前は規模の小さい河川及び沢水（以後「中小河川」と略す）のみが流入する pH 6.7 程度の湖<sup>2)</sup>であった。しかし、発電及び灌漑用水を確保するために、昭和 15 年以降から大量の玉川の酸性水を田沢湖へ導水したことにより、田沢湖の酸性化が進行して pH が約 4.2 まで低下した<sup>3)</sup>。その後、平成元年に玉川の上流部で酸性水を中和する処理施設（図 1 参照）が完成してから、田沢湖の pH が上昇して 5.6 程度まで回復した<sup>4)</sup>。しかし、pH の回復に伴って湖水の COD 及びクロロフィル *a* 濃度が上昇するようになり、平成 12 年度には湖心の COD 濃度（75% 値）が 1.1 mg/L と環境基準値の 1 mg/L を初めて超過した<sup>4, 5)</sup>ことから、田沢湖の水質の悪化が懸念される。

当センターでは、中和処理後の玉川及び他の流入河川による田沢湖の水質への影響や、田沢湖及びその流入河川の水質の経年変化を把握するために、毎年水質調査を実施している。しかし、流入河川の調査については流量の多い玉川及び先達川導水路（図 1 参照）のみ毎年行われており、中小河川の調査は

平成元年及び 2 年に pH 等の簡易的な水質調査を実施した<sup>6)</sup>だけでほとんど行われていない。今後、水質の悪化が懸念される田沢湖に対して、流入水の水質の改善や負荷量の軽減等の水質保全対策を実施するためには、導水路だけではなく田沢湖の水質に影響を与える可能性のある中小河川についても調査する必要がある。

そこで、例年実施している田沢湖及び導水路の水質調査に加えて、中小河川の流量及び水質の現状や、中小河川を含めた田沢湖への流入負荷量を把握する調査を実施したので、その結果について報告する。

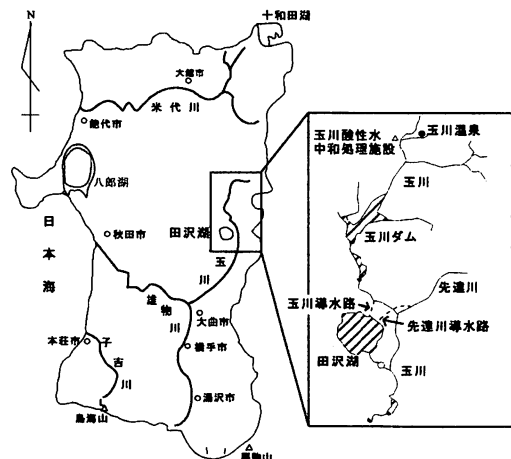


図1 田沢湖の位置及び玉川流域の概略図

\*現秋田県北秋田地域振興局大館福祉環境部

## 2. 調査方法

### 2.1 調査日及び調査地点

#### 2.1.1 中小河川流量及び水質調査

降水の影響で河川流量が大きく変化すると考えられたため、調査日を流量の多い、少ない、普通の3通りの時期に設定した。流量の少ない時期としては晴天が続いた平成14年7月1日、多い時期としては降雨が続いた平成15年4月23日、普通の時期としては晴天日及び降雨日の期間が交互に続いた後の晴天日であった平成15年10月21日の計3回とした。

調査地点については、3回の調査の中で1回以上水の流れ（容易に採水可能な流量として概ね0.1 L/s以上）があった34河川を対象とした。各調査日の調査対象となった河川数は、平成14年7月1日には流量が概ね0.1 L/s以上であった16河川、平成15年4月23日には32河川、平成15年10月21日には25河川であった（図2参照）。

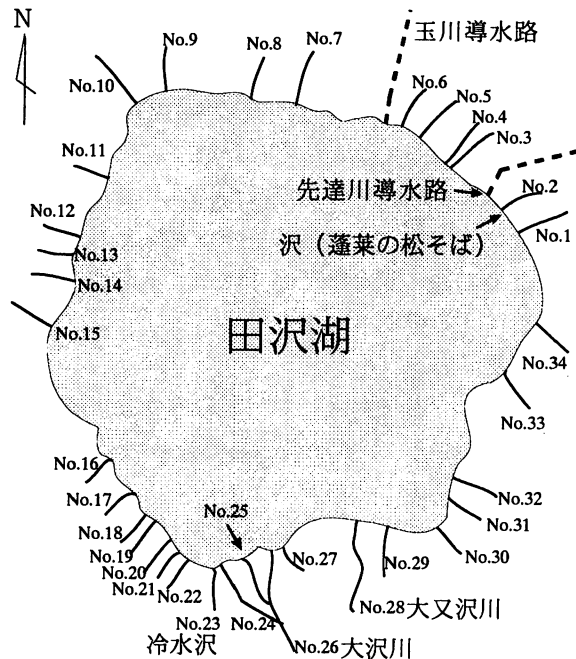


図2 田沢湖に流入する中小河川及び導水路の位置図

#### 2.1.2 田沢湖水質調査

流入水と湖水の水質を比較するために、湖心表層を調査地点とし、調査日については平成14、15年の4～11月の毎月1回の計16回とした。

#### 2.1.3 導水路水質調査

調査日については、平成14年7月1日、平成15年5月27日、10月21日の計3回とした。

調査地点については、田沢湖へ流入する玉川導水

路（玉川の水を導水）及び先達川導水路（玉川の支流である先達川の水を導水）の2箇所（図2参照）を対象とした。

### 2.2 流量調査

中小河川の流量を把握するために、電磁流速計（ケネック社製 LP1100）で流速を測定し、メジャーで河川の幅及び深さを計測した。導水路の流量については、現場での流速測定が困難であるため、東北電力及び玉川発電事務所から入手した平成9～13年度の流量データ（5年間の平均値として玉川導水路 25.22 m<sup>3</sup>/s、先達川導水路 5.60 m<sup>3</sup>/s）を使用した。

### 2.3 分析項目等

中小河川及び導水路ともに田沢湖に流入する手前の水をポリビンに採水して、透視度は透視度計で、水温はベッテンコーヘル水温計で測定した。採水したサンプルを当センターへ持ち帰った後、pH、EC（電気伝導率）に加えて、SS、COD、T-N、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、T-P及びPO<sub>4</sub>-P濃度の10項目をJIS K 0102<sup>7)</sup>に準じて分析した（ただし、平成14年7月1日の中小河川のNO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N及びNH<sub>4</sub>-N濃度の3項目と、平成14、15年8、10、11月の田沢湖心のNO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N及びPO<sub>4</sub>-P濃度4項目は未実施）。また、降水量は気象庁の田沢湖観測所のデータ<sup>8)</sup>を用いた。

### 2.4 雨水分析

平成15年4月23日(12:00～16:00の4時間)に田沢湖春山地区の湖岸で降った雨水をポリビンに採取し、当センターへ持ち帰った後、pH、ECに加えて、COD、T-N、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、T-P及びPO<sub>4</sub>-P濃度の9項目をJIS K 0102<sup>7)</sup>に準じて分析した。

### 2.5 負荷量の算定

各中小河川について、分析項目の濃度及び河川流量の積から、各項目の負荷量を1時間当たりのkg数(kg/h)として算出した。同一調査日の各中小河川の負荷量の和から、調査日毎の全中小河川の負荷量を算出した。ここで算出した中小河川の負荷量に加えて、田沢湖に流入する導水路及び直接湖面に降った雨水の負荷量の和を田沢湖へ流入する水の総負荷量と仮定し、導水路及び雨水の負荷量を各項目の濃度（導水路の場合は各項目の平均濃度）及び流量

(雨水の場合は平成11年～15年の5年間の平均降水量<sup>9)</sup>と湖面積<sup>1)</sup>の積)の積から算出した。

### 3. 調査結果及び考察

#### 3.1 中小河川の流量

中小河川の全流量は平成14年7月1日には16河川合計で176 L/s、平成15年4月23日には32河川合計で1010 L/s、平成15年10月21日には25河川合計で448 L/sであり、これらの流量の平均値は545 L/sであった。このことから、中小河川の全流量は概ね200～1000 L/sの範囲であり、平均流量が500 L/s程度であると推察される。今回、水量が非常に少なかったため採水を実施しなかった中小河川については、1回の調査に付き数～十数カ所確認できたが、その流量が合わせても1～2 L/s前後と推測されたため、調査した中小河川の流量と比べて無視できるレベルであると考えられる。中小河川の中では、田沢湖南部に位置する冷水沢(図2のNo.23)、大沢川(図2のNo.26)及びその西側の2河川(図2のNo.24及びNo.25)、大又沢川(図2のNo.28)の5河川の流量が特に多く、中小河川の全流量の約70%を占めた。

#### 3.2 水質の特徴

##### 3.2.1 中小河川

中小河川の外観についてはほとんどが無色透明で、透視度が降雨時(平成15年4月23日)の大沢川及び蓬萊の松そばの沢(図2のNo.2)を除いて、全て>50 cmであった。

各調査日に実施した中小河川の水質分析結果の概要を表1に示した。降雨の影響で流量の多かった平成15年4月23日には、中小河川のECが普段より低下し、SS、COD及びT-N濃度が高くなる傾向がみられた。また、田沢湖の水質(表2参照)と比較すると、中小河川のSS、COD、T-N、T-P及びPO<sub>4</sub>-P濃度が湖水よりも高く、反対にECは低かった。中小河川のpHはほぼ中性である。しかし、流量が少なくECが低いので、中小河川のpH改善効果は非常に低いと考えられる。

中小河川の中でも、田沢湖南部に位置する冷水沢の水質について、pHは6.2～6.5、ECは2.9～4.0 mS/m、COD濃度は<0.5～1.4 mg/Lで全中小河川中最も低かった。流量の多かった大沢川では、pHは7.4～7.7、T-P濃度は0.006～0.051 mg/L、PO<sub>4</sub>-P濃度は<0.003～0.049 mg/Lで他の中小河川より特に

表1 中小河川の水質分析結果の概要

	採水年月日*	pH	EC	SS	COD	T-N	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P
			mS/m	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
最小値	H14/7/1	6.5	3.88	<1	0.5	0.17	-	-	-	0.003	<0.003
	H15/4/23	6.2	2.70	<1	1.1	0.12	0.03	<0.01	<0.01	<0.003	<0.003
	H15/10/21	6.5	3.84	<1	<0.5	0.08	0.01	<0.01	<0.01	<0.003	<0.003
最大値	H14/7/1	7.4	11.9	7	2.3	1.2	-	-	-	0.032	0.011
	H15/4/23	7.7	6.44	32	6.2	1.2	0.61	0.02	0.04	0.072	0.058
	H15/10/21	7.6	12.0	9	6.3	0.76	0.42	0.01	0.01	0.062	0.037
平均値	H14/7/1	7.0	5.71	1	1.4	0.37	-	-	-	0.012	0.003
	H15/4/23	6.9	3.60	2	2.6	0.42	0.29	<0.01	<0.01	0.011	0.007
	H15/10/21	7.2	5.06	<1	1.8	0.24	0.14	<0.01	<0.01	0.007	0.003

\*: H14/7/1は流量の少ない時期、H15/4/23は流量の多い時期、H15/10/21は流量が中程度の時期  
注): 下限値未満の測定値については下限値の1/2の値として、平均値を算出。また、平均値が下限値よりも小さい場合は下限値未満として処理。(以後の田沢湖心及び導水路についても同様)

表2 平成14、15年の田沢湖心表層の水質分析結果の概要

	pH	EC	SS	COD	T-N	NO <sub>3</sub> -N*	NO <sub>2</sub> -N*	NH <sub>4</sub> -N*	T-P	PO <sub>4</sub> -P*
		mS/m	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
最小値	5.1	8.46	<1	<0.5	0.17	0.12	<0.01	<0.01	<0.003	<0.003
最大値	5.9	10.8	<1	0.9	0.23	0.16	<0.01	<0.01	0.007	<0.003
平均値	5.4	10.1	<1	<0.5	0.19	0.14	<0.01	<0.01	0.003	<0.003

\*: 平成14、15年の4、5、6、7、9月の月1回(計10回)の分析結果について記載

高かった。また、降雨時には大沢川の透視度が 18 cm で黄褐色とやや濁っており、SS 濃度についても 32 mg/L と高くなる傾向がみられた。流量は非常に少ないが、田沢湖東部に位置する蓬萊の松そばの沢の水質が他の中小河川と比べても特に悪く、SS 濃度は 9～23 mg/L、COD 濃度は 6.2～6.3 mg/L、T-N 濃度は 0.76～1.2 mg/L、NH<sub>4</sub>-N 濃度は 0.01～0.04 mg/L、T-P 濃度は 0.062～0.072 mg/L、PO<sub>4</sub>-P 濃度は 0.037～0.058 mg/L であった。

### 3.2.2 導水路

平成 14、15 年に実施した玉川及び先達川導水路の水質分析結果の概要をそれぞれ表 3 及び 4 に示した。流入河川の中で最も流量の多い玉川導水路の水質が田沢湖心に類似していることから、流入水の中では玉川導水路が最も田沢湖の水質に影響を与えている

と考えられる。先達川導水路については、pH 6.9 前後の中性河川で流量が玉川導水路に次いで豊富なことから、流入水の中では最も田沢湖の pH の中和効果が期待できると考えられる。しかし、先達川導水路の SS、T-N、NO<sub>3</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、T-P 及び PO<sub>4</sub>-P 濃度が田沢湖水及び玉川導水路よりも高いことから、流入水の中では先達川導水路が最も田沢湖での植物プランクトンの増殖に影響を与えていると推察される。2 箇所の導水路はともに COD 濃度が低く、平均値で比較すると中小河川の 1/2 以下であった。

### 3.2.3 雨水

田沢湖湖岸で採取した雨水の水質分析結果を表 5 に示した。雨水の EC は中小河川よりも低く田沢湖水の 1/10 以下であったが、雨水の COD、T-P 及び PO<sub>4</sub>-P 濃度は田沢湖水よりも高かった。

表3 平成 14、15 年の玉川導水路の水質分析結果の概要

	pH	EC mS/m	SS mg/L	COD mg/L	T-N mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L	NO <sub>2</sub> -N mg/L	NH <sub>4</sub> -N mg/L	T-P mg/L	PO <sub>4</sub> -P mg/L
最小値	5.2	7.20	<1	0.7	0.18	0.07	<0.01	<0.01	<0.003	<0.003
最大値	5.5	11.8	1	1.0	0.27	0.16	<0.01	0.01	<0.003	<0.003
平均値	5.4	9.49	<1	0.8	0.22	0.12	<0.01	<0.01	<0.003	<0.003

表4 平成 14、15 年の先達川導水路の水質分析結果の概要

	pH	EC mS/m	SS mg/L	COD mg/L	T-N mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L	NO <sub>2</sub> -N mg/L	NH <sub>4</sub> -N mg/L	T-P mg/L	PO <sub>4</sub> -P mg/L
最小値	6.4	12.8	3	0.8	0.28	0.22	<0.01	<0.01	0.007	<0.003
最大値	7.2	20.3	4	0.9	0.42	0.28	<0.01	0.05	0.018	0.007
平均値	6.9	16.9	3	0.8	0.33	0.24	<0.01	0.03	0.011	0.005

表5 田沢湖湖岸の雨水水質分析結果

採水 年月日	pH	EC mS/m	COD mg/L	T-N mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L	NO <sub>2</sub> -N mg/L	NH <sub>4</sub> -N mg/L	T-P mg/L	PO <sub>4</sub> -P mg/L
H15/4/23	5.0	0.80	2.2	0.31	0.10	<0.01	0.10	0.008	0.004

## 3.3 負荷量の算定

### 3.3.1 中小河川からの負荷量

中小河川の総負荷量及び主な中小河川の負荷量を各項目について算定した結果を図 3 に示した。流量が多かった平成 15 年 4 月 23 日の各項目の総負荷量が他の調査日の約 4～20 倍多く、特に SS の負荷量の差が大きかった。全中小河川の中では、大沢川の負荷が最も大きく、特に SS については中小河川の

総負荷量の 80%以上、T-P については約 60%程度であった。大沢川の次に負荷の大きかった中小河川は、大沢川の西側約 500 m 離れたところにある河川（図 2 の No.24）で、T-N については大沢川と同レベルで中小河川の総負荷量の約 20～30%、COD については中小河川の中で負荷量が最も多く約 30%であった。また、流量と同様に中小河川の各項目の負荷量が冷水沢、大沢川及びその西側の 2 河川、大又沢川の 5

河川がある田沢湖南部に集中しており、中小河川の総負荷量の50～90%を占めた。中小河川の中で最

も水質が悪かった蓬萊の松そばの沢の負荷量は、全項目について中小河川の総負荷量の1%未満であった。

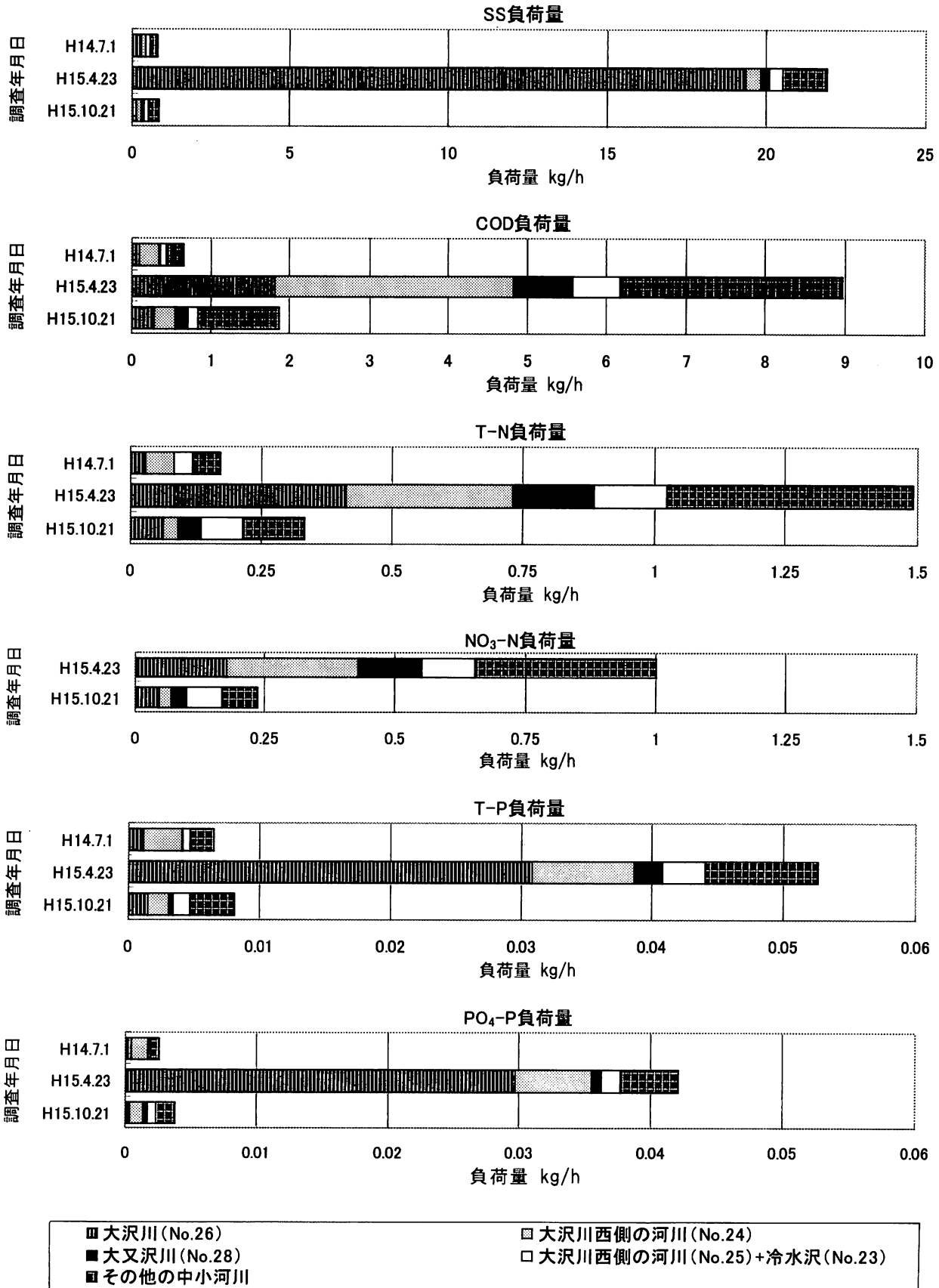


図3 中小河川における各項目の負荷量

### 3.3.2 流入水による田沢湖への総負荷量

田沢湖の流入河川及び田沢湖へ直接降る雨水の負荷量を SS, COD, T-N, T-P 及び PO<sub>4</sub>-P のそれぞれについて算定した結果を図 4 に示した。ここでは、各項目について調査日毎に算出した中小河川の総負荷量の平均値を、中小河川の総負荷量と仮定した。その結果、田沢湖へ流入する SS の総負荷量は約 147 kg/h, COD は約 106 kg/h, T-N は約 26.7 kg/h, T-P は約 0.421 kg/h, PO<sub>4</sub>-P は約 0.267 kg/h であった。中小河川による各項目の負荷量は田沢湖へ流入する総負荷量の約 3 ~ 5% であり、直接湖面に降った雨水の負荷量と同程度またはそれ以下であった。また、玉川導水路による COD 及び T-N の負荷量が田沢湖へ流入する総負荷量の約 70%, SS 及び PO<sub>4</sub>-P の負荷量が約 50% と最も多く、先達川導水路による T-P の負荷量が約 50% と最も多かった。さらに、導水路 2 箇所を合わせた時の各項目の負荷量が 80% 以上と多く、田沢湖の水質に対する導水路の影響が大きいことがわかった。

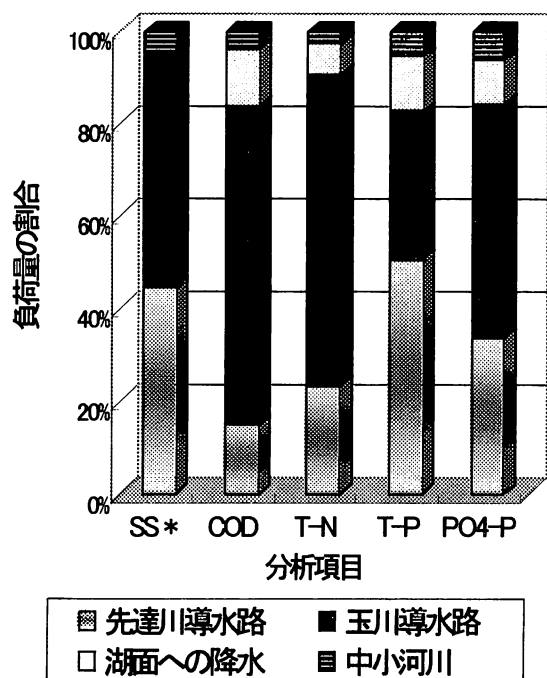


図4 田沢湖流入水における各項目の負荷量の割合

\* : SS については「湖面への降水」を除いた負荷量の算定値

### 4. おわりに

田沢湖への流入水の中で負荷量の大半を占めた玉川及び先達川導水路については、今後も水質変化を継続的に監視する必要がある。また、二つの導水路の COD, T-N 及び T-P 濃度がほとんど変化しないのに、田沢湖水の COD 及びクロロフィル a 濃度が上昇する傾向であったことは、流入水による COD の上昇ではなく植物プランクトンの内部生産に由来する COD (内因性 COD) が上昇したことによるものと推察される。この内因性 COD の上昇は、湖水の pH が中性に近づくことによって植物プランクトンが繁殖しやすくなったことが原因であると考えられる。今後、COD 上昇等による田沢湖の水質の悪化を抑制・防止するためには、植物プランクトンの栄養源である N 及び P の濃度及び負荷量の多い先達川導水路の N 及び P の削減対策や、中小河川の中でも負荷の大きかった田沢湖南部に位置する 5 河川の COD 及び P 等の負荷量を軽減する対策を実施することが、最も効果的であると考えられる。

### 参考文献

- 1) 全国湖沼環境保全対策推進協議会編：全国湖沼資料集〈第7集〉, p. 29, 1995.
- 2) 吉村信吉：田沢湖 - 田沢湖の湖沼学的概観, p. 28, 二光印刷(株), 1959.
- 3) 後藤達夫：田沢湖の水質改化について(4), 水, 40, 11, 77-79, 1998.
- 4) 秋田県環境センター編：田沢湖水質環境基準調査(業務概要), 秋田県環境センター年報, 28, 15-16, 2000.
- 5) 秋田県生活環境文化部編：平成13年度版 環境白書, p. 64, 2001.
- 6) 組谷均 他：田沢湖の水質について - 玉川酸性水中和処理施設稼働以前の水質等 -, 秋田県環境センター年報, 17, 120-129, 1989.
- 7) 日本規格協会：工場排水試験方法 (JIS K 0102), 1998.
- 8) 気象庁ホームページ (過去の測定データ) : [http://www.jma.go.jp/JMA\\_HP/jma/index.html](http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jma/index.html)

