

資料

琵琶湖における水の華発生状況について - *Oscillatoria kawamurae* の増殖 1998 -

一瀬 諭^{*1} 若林徹哉^{*1} 水嶋清嗣^{*1} 藤原直樹^{*1} 野村 潔^{*1}

Aspect of the Occurrence of Water-bloom in Lake Biwa - Growth of *Oscillatoria kawamurae* 1998 -

Satoshi ICHISE^{*1}, Tetsuya WAKABAYASHI^{*1}, Kiyoshi MIZUSHIMA^{*1},
Naoki FUJIWARA^{*1} and Kiyoshi NOMURA^{*1}

はじめに

琵琶湖における水の華（以下「アオコ」と呼ぶ）の発生は、昭和58年9月に初めて南湖湖岸部で確認¹⁾されて以来、毎年のように夏季～秋季にかけて発生している（表1）。また、その水域も平成5年までは南湖湖岸部に限られたが、平成6年からは北湖湖岸部でも確認²⁾されるようになった。そしてアオコ構成種も、昭和58年当時は *Anabaena* 属が主体¹⁾であったが、昭和60年以降は *Anabaena* 属に加えて *Microcystis* に属する種も主体となるようになってきた。さらに、平成10年には、アオコ発生水域の水色が黄緑色からやや黒色化を示し、検水中には肉眼でも確認可能な大型の *Oscillatoria kawamurae* の群体を多く認め、本種を主体とするアオコ現象であることを初めて確認した。

滋賀県では毎年このアオコ発生時期に、経年的な発生状況を把握するため、県関係機関および関係市による、アオコ監視湖岸パトロールが実施されている。当所では監視パトロールの一部と、発生時におけるプランクトン種の同定・計数を担当している。

今回は、平成10年度のアオコの発生状況ならびに、この *O.kawamurae* の増加に特に注目し、その形態や過去の出現状況について報告すると共に琵琶湖で出現するアオコを形成する各種の平均体積量^{3・4)}を推定し、全体の総体積量に占める本種の割合についても合わせて検討を行ったので報告する。なお、本論文の一部は平成11年11月に高知大学で開催された第15回微生物生態学会で発表⁵⁾した。

調査方法

1. 調査地点および期間

調査地点は、過去にアオコ発生が確認された琵琶湖南湖湖岸部と、北湖北東部に位置する長浜港内およびその周辺部水域である。また、調査期間はこの現象が毎年観察される8月～11月である。

2. 調査項目および調査方法

調査項目は主にアオコを形成するプランクトン種およびその群体数である。採水方法はアオコ発生水域の表層～水深10cmを可能な場合はコアパイプで、そうでない場合はポリエチレンピーカーまたはバケツで採水し、速やかに実験室に搬入後、光学顕微鏡下でアオコの原因となる藍藻（細胞内に偽空胞を有する）に属する種類およびその群体数を計数した。計数は、各地点の試料から検水1mlを界線入りプランクトン計数板⁶⁾に採り、100～



図1 アオコ発生地点位置図

*1 滋賀県立衛生環境センター 〒520-0834 滋賀県大津市御殿浜13-45
Shiga Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science,
13-45, Gotenhama, Ohtsu, Shiga, 520-0834, Japan

600倍の倍率で行った。

Microcystis 属の種は直径100 μmを1群体として計数し、*Anabaena* 属は、群体が直線状のものは長さ約200 μmを1群体、螺旋状のものは1巻きを1群体として計数を行った。超大型種である *O.kawamurae* は、群体の長さが短いもので200 μm、長いものでは1cm以上に達するものもあることから、長さ1mmを1群体として計数し、それぞれの総群体数および総体積量に換算した。各種プランクトンの体積を求める換算式および各種の総体積量については所報第30集「琵琶湖のプランクトンの簡易体積測定について」で記載⁴⁾したとおりであり、ここでは省略する。

調査結果および考察

1. アオコの構成プランクトン

平成10年度におけるアオコ形成種は、表2に示したように *Anabaena* 属5種、*Microcystis* 属5種、*Oscillatoria* 属2種、*Raphidiopsis* 属1種の合計13種であった。

2. 平成10年のアオコ発生状況

本年のアオコ発生は、8月4日～10月29日の間に、17日間延べ30水域で認められ、その発生水域は図1に示した10地点である。その水域は湖岸部でも湖流の滞留しやすい場所、および港内の船溜まりのような場所に限られていた。次に各アオコ発生地点における構成種について述べる。

(1) 琵琶湖南湖

本年度のアオコ発生状況を表3に示した。琵琶湖南湖では8月4日に東岸の北山田港内で本年最初のアオコの発生が認められ、その後、矢橋帰帆島の間水路(8月18日)、琵琶湖文化館(9月3日)、浜大津八景館付近(9月9日)、烏丸半島南側(9月9日)、膳所公園北側(9月11日)と各地点へ広がり、最後は西岸に位置する雄琴港内(10月29日)であった。

表2 琵琶湖で発生したアオコ形成種
(平成4年～平成10年)

<i>Anabaena spiroides</i>
<i>Anabaena spiroides</i> var. <i>crassa</i>
<i>Anabaena macrospora</i> var. <i>crassa</i>
<i>Anabaena affinis</i>
<i>Anabaena flos-aquae</i>
<i>Microcystis aeruginosa</i>
<i>Microcystis wesenbergii</i>
<i>Microcystis novacekii</i>
<i>Microcystis viridis</i>
<i>Microcystis ictyoblabe</i>
<i>Oscillatoria tenuis</i>
<i>Oscillatoria Kawamurae</i>
<i>Raphidiopsis mediterranea</i>

浜大津八景館付近

南湖でも南部に位置する本地点での主な構成種はジズモと呼ばれる *Anabaena spiroides* var. *crassa* であり、全体の91%が本種によって占められ *Microcystis* 属や *O.kawamurae* は他の地点に比べ少なかった。アオコ発生は1日間のみであった。

琵琶湖文化館

浜大津に近い本地点での発生は4日間であり、その主な構成種は *A. spiroides* var. *crassa* と *Anabaena affinis* であった。この2種類によって全体の84%が占められていた。また、*O.kawamurae* は9月8日に最高220群体/mlを計数した。

膳所公園北

南湖でも瀬田川に近い場所に位置する本地点の主な構成種は *A. spiroides* var. *crassa* であり、全体の89%が本種によって占められていた。また、*O.kawamurae* は31群体/mlを計数した。アオコ発生は1日間のみであった。

矢橋帰帆島中間水路

南湖東岸部に位置する本地点のアオコの発生は9日間と他の地点に比べ多かった。9月までは *Microcystis* 属と *Anabaena* 属が占める割合は同程度(*Microcystis* 属:38%、*Anabaena* 属:36%)であったが、9月以降は *A. spiroides* var. *crassa* の増加が顕著となり、本種が占める割合は全体の87%と多くなった。また、*O.kawamurae* は76～530群体/mlと多く計数された。

北山田港内

前地点と同じく東岸に位置する本地点のアオコの発生は9日間であり、と同様に多く計数された。主に *Microcystis aeruginosa* と *Microcystis wesenbergii* の増加が顕著であり、*Microcystis* 属全体が占める割合は81%であった。*O.kawamurae* は8～1700群体/mlと変動が大きく、8月6日には過去最高値を記録した。

烏丸半島南側

南湖東岸の本地点でのアオコ発生は1日間のみであった。その主な構成種は *A. spiroides* var. *crassa* と *A. affinis* で、この2種によって全体の74%が占められ、*Microcystis* 属は全体の5%程度と少なかった。また、*O.kawamurae* は3群体/mlと他の地点に比較すると少なかった。

雄琴港内

南湖西岸部に位置する本地点の主な構成種は *M. wesenbergii* であり、全体の占める割合は78%であった。また、*O.kawamurae* は10群体/mlを計数した。雄琴港内でのアオコ発生の特徴は10月29日と他の地点に比べ非常に時期が遅かったことである。

(2) 琵琶湖北湖

北湖湖岸では8月20日に東岸に位置する長浜港内で本年最初のアオコの発生が認められ、その後米川河口(8月27日)、長浜ヨットハーバー(9月8日)でも小規模なアオコが認められた。各地点における主な構成種

の特徴を次に述べる．

長浜ヨットハーバー

本地点の主な構成種は *Microcystis novacekii* と *M. aeruginosa* であり，本2種によって全体の88%を占めていた．また，*O.kawamurae* は確認されなかった．アオコ発生はこの1日間のみであった．

長浜港内

長浜港内での主な構成種は *M. wesenbergii* (34%) と *M. aeruginosa* (28%) および *A. spiroides* var. *crassa* (30%) であり，本3種によって全体の92%を占めていた．また，*O. kawamurae* は本地点でも確認されなかった．発生は1日間のみであった．

米川河口

主な構成種は *M. novacekii* と *M. aeruginosa* であり，本2種によって全体の91%が占められており，*Anabaena* に属する種は少なかった．また，*O. kawamurae* は本地点でも確認されなかった．アオコの発生は2日間であった．

(3) 経日変動の特徴

全体の変動をみると，8月中は北山田港内を中心に *Microcystis* 属の群体が多く計数されたが，9月以降になると琵琶湖文化館や矢橋帰帆島中間水路を中心に *Anabaena* 属の群体が多く計数された．また，その発生水域をみると湖流が滞留しやすい各港内の地点では *Microcystis* 属が比較的多く計数され，南湖の沿岸部に位置する地点では *Anabaena* 属が多く計数される傾向が認められ，時期によっても，また，地域によっても構成種が異なる傾向が認められた．

過去（昭和59～61年）のアオコの発生状況を見ると，南湖では *Anabaena* 属の増加後に *Microcystis* 属が増加してくることを我々は報告¹⁾してきた．しかし，本年は *Anabaena* 属が後半に増加してくるパターンであった．また，超大型の *O.kawamurae* は南湖の各発生地点で多く確認されたが，北湖での発生は全く確認されなかった．

3．*O. kawamurae* の形態的特徴

本種は薄い円盤形の細胞が縦1列に並んで，紐のような長い群体を形成する⁷⁾（図2，写真1，2）．各細胞の直径は約80 μ m，高さは約8 μ mであり，その群体の長さは最高1cm以上にも達し，肉眼でも容易にその存在を確認することができる．また，細胞内容は淡青緑色で顆粒の程度は種々であり，中央部に規則正しく配列する数個の偽空胞（ガス胞）を有するために湖面に浮上し，沿岸部に集積してアオコ現象を引き起こす．

4．*O. kawamurae* の過去の出現状況

本種は，昭和15年に根来健一郎によって新種として記載⁸⁾されたのが最初であり，琵琶湖では，平成2年8月に同氏によって報告⁹⁾されている．また，当センター



図2 *Oscillatoria kawamurae* (A) と *Anabaena affinis* (B) の群体

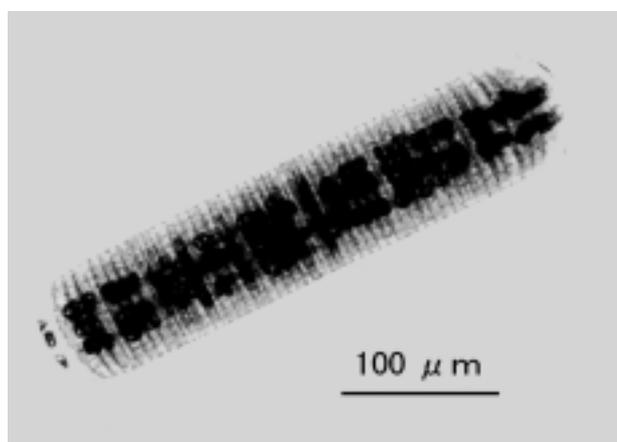


写真1 *Oscillatoria kawamurae* の群体



写真2 *Oscillatoria kawamurae* の群体（拡大）
（中央部に規則正しく配列する偽空胞を有する）

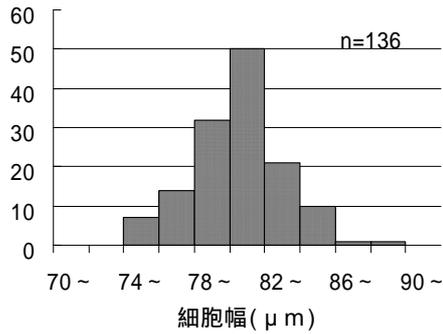


図3 *Oscillatoria kawamurae* の細胞幅の分布

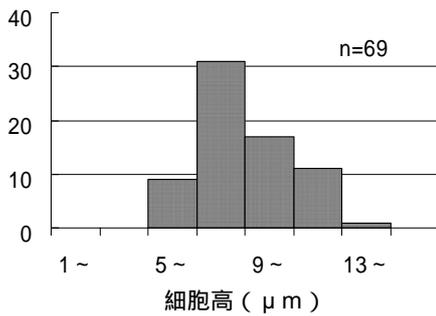


図4 *Oscillatoria kawamurae* の細胞高の分布

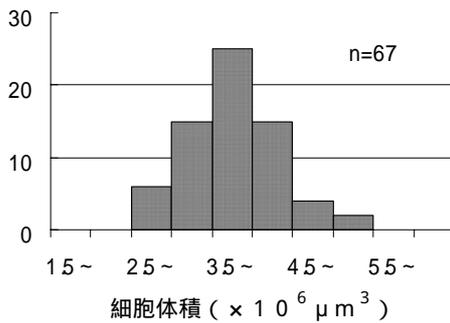


図5 *Oscillatoria kawamurae* の細胞体積の分布

のアオコ調査では、平成4年9月13日に赤の井湾内のアオコの中から見出したのが最初¹⁰⁾であった。その後、徐々に増加傾向を示していたものの、総群体数中に占める本種の割合は1%以下であった。しかし、平成10年には、増加時で15~17%と群体数からみても過去にない発生となった。

5. 総体積からみた *O. kawamurae* の出現状況

O.kawamurae はプランクトンの中でも超大型種である。本期間中に採集した琵琶湖産の実測値では、細胞幅は74~88μm (n=136: 図3)、細胞高は5~13μm (n=69: 図4) で変動し、1細胞当たりの平均体積は $3.6 \times 10^4 \mu\text{m}^3$ となり、1群体(長さ1mmを1単位として計数: 1群体100細胞, n=67: 図5) 当たりに換算すると、平均

表4 琵琶湖南湖における *Oscillatoria kawamurae* の出現状況

	総群体数 / 年	出現回数 / 年
平成4年	15	2
平成5年	0	0
平成6年	100	5
平成7年	37	4
平成8年	12	2
平成9年	30	2
平成10年	5,300	26

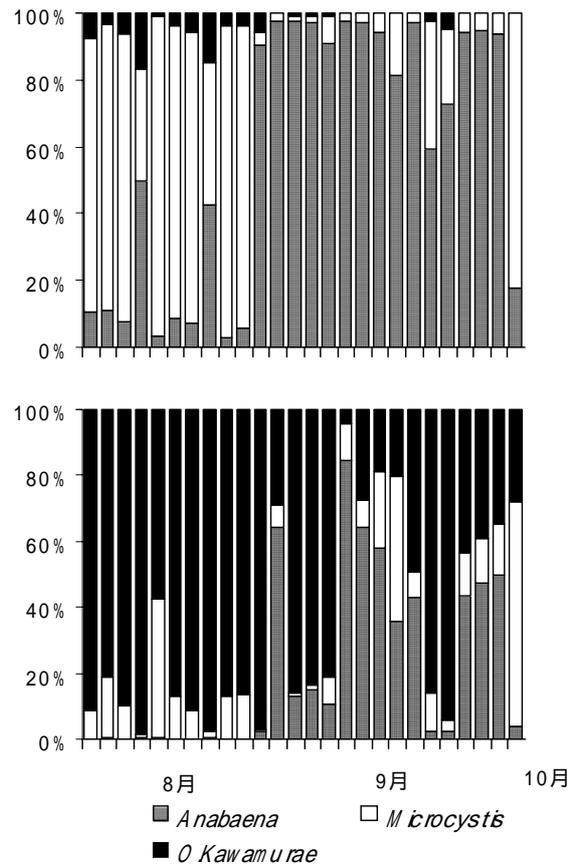


図6 水の華(アオコ)構成種の群体数と体積の各割合

体積は約 $3.6 \times 10^6 \mu\text{m}^3$ となった。同じアオコを形成するプランクトンの中でも *M.aeruginosa* は1細胞の直径が平均5μmで、平均細胞体積では $65 \mu\text{m}^3$ となり、1群体(直径100μmの群体を1単位として計数: 1群体500細胞)に換算すると、平均体積は $3.2 \times 10^4 \mu\text{m}^3$ である。両種を比較すると約110倍の差がある。また、同様に琵琶湖のアオコ中で多く観察される *A.affinis* は、1細胞の直径が約6μmで、平均細胞体積では $110 \mu\text{m}^3$ となり、1群体(1群体20細胞)の平均体積では $2.2 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ となる。本種と *O.kawamurae* を比較すると約1,600倍と同じ1群体でも顕著な差が認められた。

これらの結果をもとに、南湖における *O. kawamurae* の占める割合を総群体数と総体積量とで比較した結果、

図6に示したように、群体数で見ると *O. kawamurae* の占める割合は8月の中旬では16%であるのに対し、総体積に換算すると98%以上となり、また、全期間を通して、70%以上が本種によって占められていた。また、過去の南湖における *O.kawamurae* の変遷を見た結果(表4)、平成10年の *O.kawamurae* の出現は総群体数からも、出現回数からも非常に多かったことが明らかとなった。

まとめ

1. 平成10年度におけるアオコ形成種は *Anabaena* 属6種, *Microcystis* 属5種, *Oscillatoria* 属5種, *Raphidopsis* 属1種の合計14種であった。
2. 本年のアオコ発生は17日間延べ30水域であり、その主な水域は、湖岸部でも湖流の滞留しやすい場所および港内でも船溜まりのような場所に限られていた。
3. 地点別変動は、8月中は港内を中心に *Microcystis* 属の群体が多く計数されたが、9月以降になると琵琶湖の湖岸部を中心に *Anabaena* 属の群体が多くなる傾向が認められた。
4. 南湖における過去(昭和59~61年)のアオコ発生状況は *Anabaena* 属の増加後に *Microcystis* 属が増加したが、本年はパターンが異なり *Anabaena* 属が後半に増加した。また、*O.kawamurae* は南湖の各発生地点で多く確認したが、北湖では全く確認されなかった。
5. 琵琶湖での *O.kawamurae* の出現は平成2年からであるが、平成10年は過去にない大発生となった。
6. *O. kawamurae* 1群体の平均体積量を推定した結果、

約 $3.6 \times 10^6 \mu\text{m}^3$ となり、*M.aeruginosa*1群体の約110倍、*A. affinis*1群体の約1,600倍にも達し、全体の総体積量に占める本種の割合は、8月の中旬のアオコで98%が占められ、また、南湖のアオコ発生期間中を通して、70%以上が本種によって占められていたことが明らかとなった。

したがって、水の華を引き起こす主たるプランクトンを今後判断する場合、総群体数だけで決定するのではなく、総細胞体積を指標とした現存量の推定が大変重要であると考えられた。

参考文献

- 1) 琵琶湖における「水の華」に関する調査報告書(昭和59年~61年):滋賀衛環セ(1988)
- 2) 環境白書:滋賀県,50-51(平成7年版)
- 3) KOVALAL.P.E & J.D.LARRANCE: Department of Oceanography University of Washington, Special Report 38,21 (1966)
- 4) 一瀬 諭 et al.:琵琶湖の植物プランクトンの形態に基づく生物量の簡易推定について,滋賀衛環セ所報,30,27-35 (1995)
- 5) 一瀬 諭 et al.:琵琶湖における *Oscillatoria kawamurae* による水の華の発生状況について,日本微生物生態学会要旨集,15,129-130 (1998)
- 6) 琵琶湖のプランクトンデータ集,滋賀衛環セ,1990~1993,2-3 (1995)
- 7) 廣瀬弘幸:日本淡水藻図鑑,藍藻綱,102-106 (1997)
- 8) 根来健一郎:満州産陸水藍藻綱類,関東州及び満州国陸水生物調査書,523-538 (1940)
- 9) 根来健一郎:1991年秋の琵琶湖のアオコ,日本水処理生物学会誌,28,129-130 (1992)
- 10) 一瀬 諭:未発表資料