

中海における赤潮発生機構調査について

【水環境室】

道上隆文・永美敏正・南條吉之
若林健二・森明寛・奥田益算

Investigation of red tide generation mechanism in Lake Nakaumi

Takafumi MICHIEUE, Toshimasa NAGAMI, Yoshiyuki NANJO
Kenji WAKABAYASHI, Akihiro MORI, Masukazu OKUDA

Abstract

Lake Nakaumi is located on the border of Tottori and Shimane Prefectures. Every year in the period from the autumn to the beginning of spring an algal (*Prorocentrum minimum*) bloom induces a red tide. The red tide gives the water a brownish to mahogany hue, lowers water quality, and has thus become a serious problem for both prefectures. Various countermeasures have been implemented with little success. In 2002, however, an effective countermeasure suppressed the annual mahogany tide.

We investigated the generative mechanism of red tide by comparison of an AGP Test (Algae Growth Potential) with water quality tests from the past three years, including 2002. We conclude that the emergence time of the nutrient salt supply from the lake sediment strongly determines the red tide outbreak in Lake Nakaumi.

1 はじめに

鳥取県と島根県の県境に位置する中海は、両県により湖沼水質環境基準の類型A及びⅢに指定されている。

両県では、基準達成のために各種施策を実施するとともに、公共用水域水質測定計画を策定し調査を行っているが、環境基準達成に至っていない。

この原因の一つとして毎年冬季を中心に秋から初春にかけて発生する *Prorocentrum minimum* による赤潮発生があげられる。

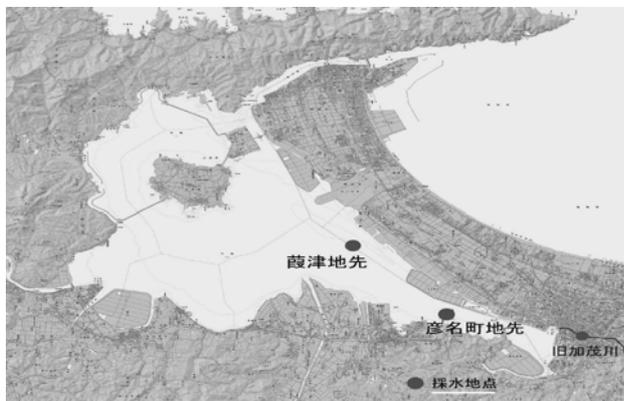


Fig.1 Sampling point of Lake Nakaumi

2002年度については、これまで発生していた強い赤潮は確認されず、わずかに2002年5月と2003年3月の採水調査時に極めて弱い発生が、局地的（米子湾、米子湾～彦名町地先）に確認されたのみであった。

又、この中海における赤潮発生のメカニズム解明については、様々な方面から調査・研究が行われ^{1)~5)}、当所においても藻類増殖試験（AGP試験）を中心に研究を進めているところである。

そこで、これまでに赤潮発生の要因として、*Prorocentrum minimum* による赤潮の発生が促進されること、赤潮の発生する秋季に底泥からの栄養塩の供給が始まり、春先まで発生をもたらしている可能性があることなどの結果を得てきた。

先にも述べたとおり2002年度は、まとまった赤潮が認められない特徴ある年度であった。

この期間のAGP試験及び毎月の水質調査結果から中海での赤潮発生機構の考察を行った。

2 調査方法

1) AGP試験

- (1) 調査時期：2002年12月～2003年3月
- (2) 採水地点：彦名町地先及び旧加茂川
- (3) 採水位置：上層（表層0.5m）

下層（湖底 1.0m）

(4) 実験条件

① 試料

上層水、下層水、上層水+下層水、上層水+流入水、下層水+流入水、Mix（上層水+下層水+流入水）の6グループの試料を作成した。

② 栄養塩

上記(1)の6グループを栄養塩の添加により、無添加、窒素(N)、リン(P)、窒素+リン(NP)の4つの栄養塩添加グループに分けた。

③ 培養条件

これらの調整した試料に中海より分離単藻化した *Prorocentrum minimum* を Chl-a で $1 \sim 2 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ となるよう添加し、藻類培養試験器により 20°C、2,000lx で 21 日間培養⁴⁾を行った。

④ 測定方法

実験開始時から7日目、14日目、21日目に TOC（全有機炭素）を測定し、その最大増殖量から初期値を差し引き増殖量とした。

2) 水質調査

平成 14 年度鳥取県公共用水域測定計画に基づく調査及び補足調査。

(1) 調査時期 毎月 1 回

(2) 調査地点 葭津地先（環境基準地点）

(3) 採水位置 上層：表層 0.5m

下層：湖底から 1.0m

(4) 調査項目 水温、DO、TN、TP、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、PO₄-P、塩化物イオン

(5) 分析方法 各項目とも JIS K0102 の方法による。

3 結果

1) AGP 試験

まず、月別に見てみると 12 月では各試料グループにおいて、全ての検体で増殖はほとんど見られなかった。(Fig.2)

1 月から 3 月にかけては、試料の混合グループにより増殖量に差が見られ、NP を添加した試料グループが、他の栄養塩添加試料グループより増殖が大きかった。(Fig.3~5)

次に試料グループ別に見ると、上層の 12 月、1 月では N、P どちらの栄養塩を添加した場合でも顕著な増殖は見られなかったが、2 月、3 月に NP 添加で増殖が認められた。特に 3 月では、10mg・l⁻¹ と赤潮形成レベルまで達した。

又、下層では 12 月から 3 月にかけて、栄養塩として NP を添加したもので増殖が確認され、全体的に増殖傾向であった。

その他の試料グループでは、その増殖量に若干の差が認められるが、下層水の入った試料グループでは下層水と同じ傾向を示した。

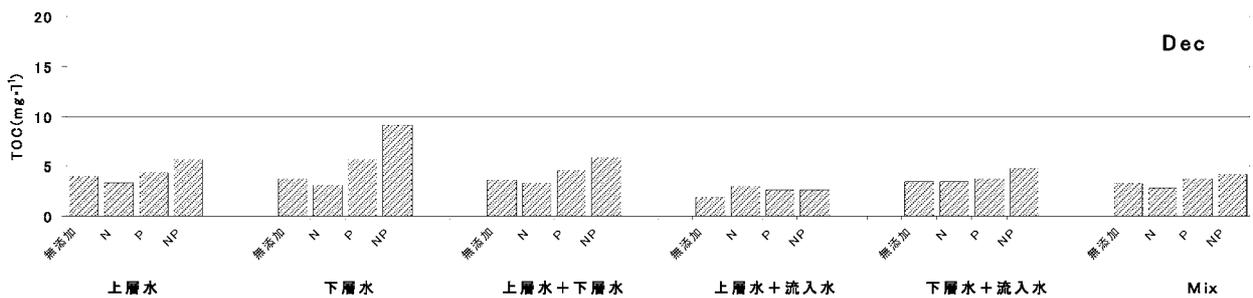


Fig.2 Results of the AGP test (2002.12)

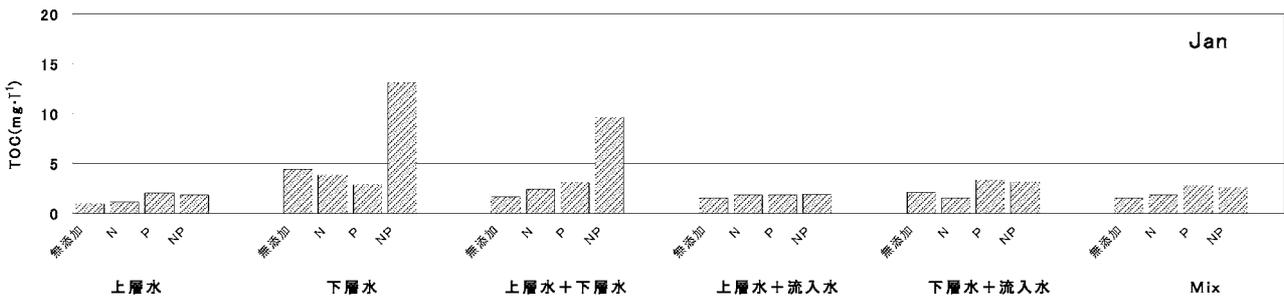


Fig.3 Results of the AGP test (2003.1)

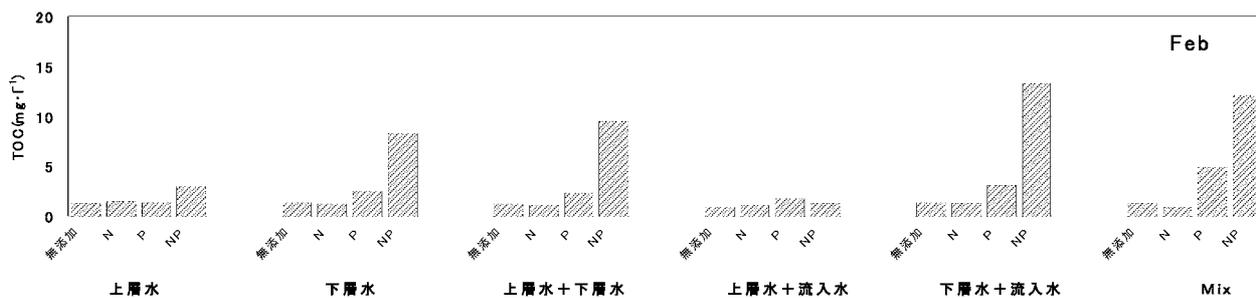


Fig.4 Results of the AGP test (2003.2)

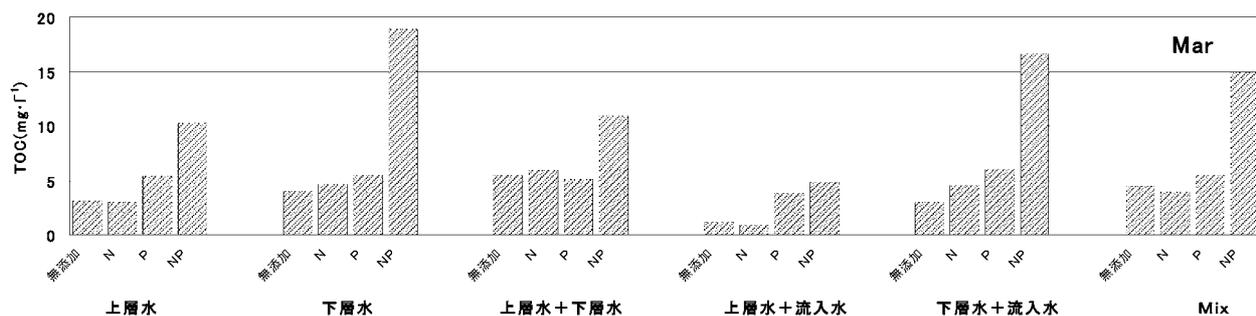


Fig.5 Results of the AGP test (2003.3)

2) 水質調査

2-2) - (4) に示した調査項目の内、赤潮発生に影響を及ぼすと考えられる項目について、赤潮発生が確認された過去3年間の水質と比較し検討を行った。

(1) 水温、D0、塩化物イオン濃度 (Fig. 6~8)

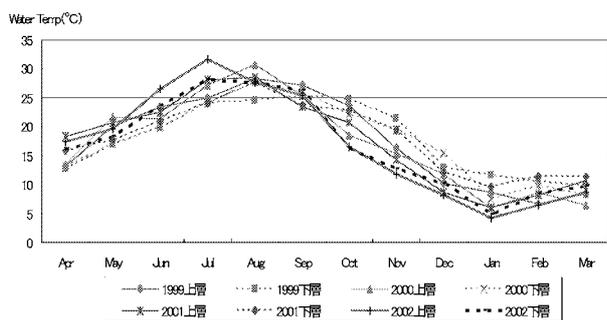


Fig.6 Water Temp

① 水温については、年間を通し平年と同様な推移となっているが、10月、11月については、上下層とも過去3年間と比べ約5~7度前後低くなっている。

② D0については、同時期は平年であれば下層付近は $2\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下で還元状態となっているが、平

成14年度ではについては約 $8\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と十分な溶解酸素が認められた。

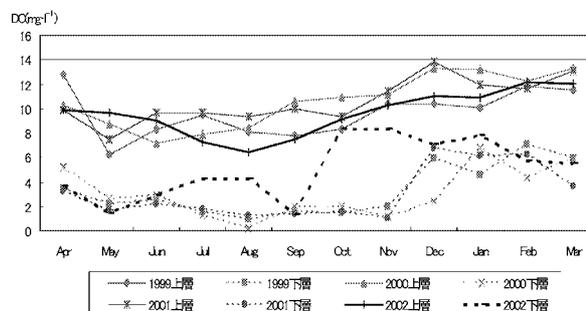


Fig.7 DO

③ 塩化物イオン濃度については、上層で若干高めであったが下層については平年並みであった。

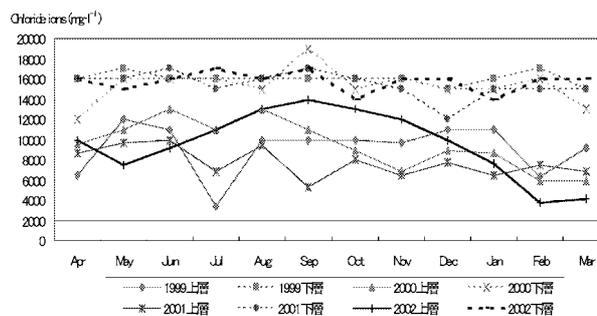


Fig.8 Chloride ions

(2) TN、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N

(Fig. 9~12)

- ① これら各種窒素態については、平年と比較して特に大きな変化は認められなかった。
- ② 上層の NO₂-N、NO₃-N が 12 月以降で濃度が高くなっている。
- ③ 夏季から秋季における下層の NH₄-N が平年よりも低くなっている。

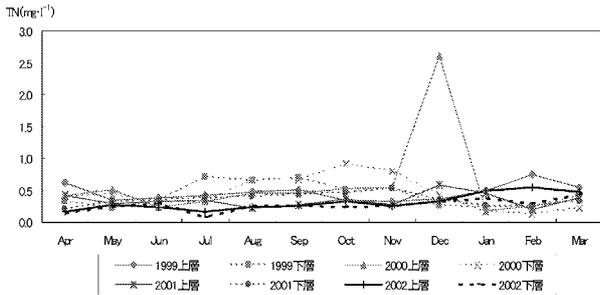


Fig.9 TN

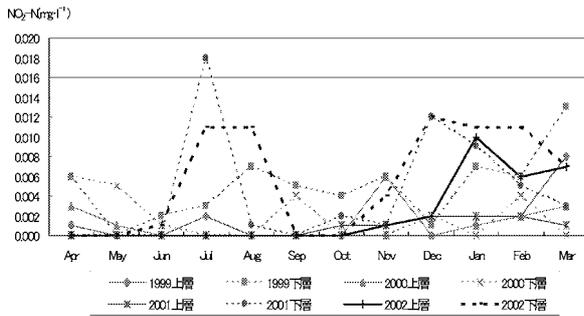


Fig.10 NO₂-N

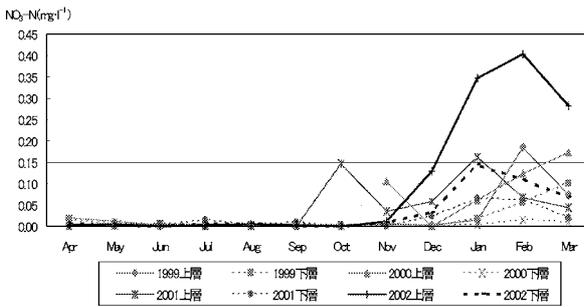


Fig.11 NO₃-N

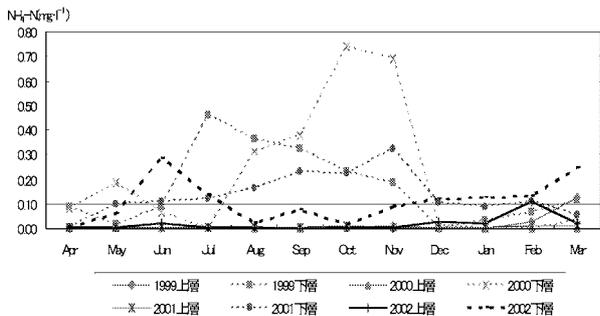


Fig.12 NH₄-N

(3) TP、PO₄-P (Fig. 13~14)

- ① 下層の PO₄-P が平年に比べ年間を通し低い推移であった。
- ② 特に平年であれば、PO₄-P は夏季から 11 月までは約 0.1~0.15mg・l⁻¹ 前後の (高い) 継続した高いピークが確認されるが、2002 年においては、この高いピークの持続は 9 月までで、10 月、11 月においては平年の 10 分の 1 程度であった。
- ③ TP は、PO₄-P が低値になったことから押し下げられ、平年と比較し低い値となっていた。

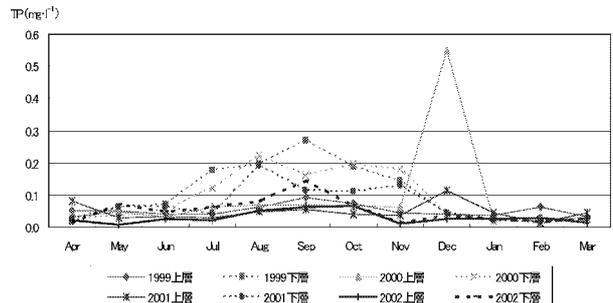


Fig.13 TP

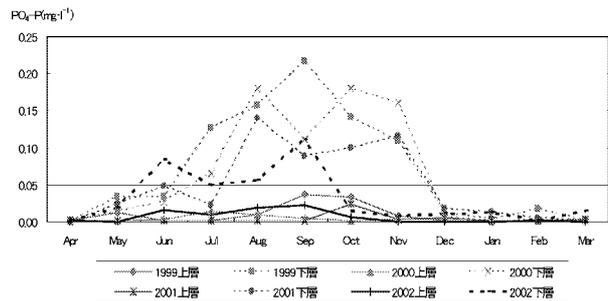


Fig.14 PO₄-P

4 考察

1) AGP 試験

この AGP 試験結果から赤潮発生がほとんど確認されなかった本年度の中海の状況を考察すると次のとおりであった。

- (1) 例年であれば、赤潮発生時期の中海の湖水に窒素、リンの栄養塩添加を行った場合、高い増殖量が確認されるが、全く赤潮の発生していなかった 2002 年度は、12 月の下層水への N、P 両栄養塩添加で弱い増殖が見られるのみであり、その他の試料グループでは栄養塩を添加した場合でも増殖しなかった。

これは当年度の中海では窒素、燐の主たる栄養塩だけではなく、その他の微量栄養塩についても赤潮が発生可能な状況に至っていないことを示していると考えられる。

(2) 下層水又は下層水を混合した試料グループでは、時期が進むにつれて N、P の両栄養を添加した試料で増殖量が大きかった。

これは、主な栄養塩である窒素、燐は不足しているが、底質から鉄等の微量必須金属の溶出が始まっているためであると考えられる。

このような状態になるには、下層の嫌気状態が続くことが必要であり、下層で嫌気状態が進んでいたと考えられる。

(3) 次に、上層水を見ると赤潮が全く見られなかった2月までは、栄養塩を添加しても顕著な増殖は見られなかったが、弱い赤潮の確認された3月に窒素、燐の栄養塩を添加した検体について、TOC 値が赤潮発生の目安となる $5\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ を超え $10.2\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ を示した。

このことは、上記(2)で示した栄養塩を含む下層水と上層水との混合が起こり、上層においても窒素、燐の栄養塩さえ満たされれば、赤潮が発生するレベルになっていたと考えられる。

(4) 上記(1)～(3)の結果から2002年度は、何らかの要因により赤潮発生時期に下層水に十分な栄養塩が供給されていなかったと考えられ、下層における嫌気状態が進んでいなかったと推察される。

2) 水質調査

水質調査の結果を平年の結果と比較し考察を行った。

(1) 水温と塩化物イオン濃度については、その傾向に年間を通じて平年と大きな変化は認められないが、2002年度は夏季から秋季にかけて上層の水温が低く、塩化物イオン濃度が高く推移しているため、下層との差が小さかった。

この原因としては、2002年度の降水量が少なく、その結果、上層の塩化物イオン濃度が高くなったためと考えられる。

このため、例年強固に形成される躍層の密度差が小さくなり上下混合が起こりやすい状態になっていたと推察される。

(2) D0 の推移傾向は、例年と変わらないが、下層は11月まで概ね $2\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下の嫌気状態で推移しているのに対し、2002年度は夏季で約 $4\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と例年よりも高く、10月には例年より2ヶ月程早く約 $8\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ の高値を示した。

2月以降も例年並みの $6\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ のまま推移しており、年間をとおして下層の D0 は高めであった。

(3) 栄養塩となる窒素について、全窒素は例年と比べ特に変化は認められなかったが、12月以降で上層、下層共に $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高くなっていた。

層別に見ると下層は平年と同じ傾向であるが上層は高くなっていた。

これは赤潮が発生しなかったために、主に陸域から供給された窒素が栄養塩としてプランクトンに消費されなかったことによるものと考えられる。

(4) 燐については、全燐は例年に比べ大きな変化は認められなかったが、 $\text{PO}_4\text{-P}$ では下層において夏季における最高値が約 $0.1\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ と例年の1/2程度であり、例年であれば11月まで続く高値が、9月までしか続いていなかった。

これは上記(2)で示した D0 の推移と同じであることから、10～11月付近の下層における水中の溶存酸素量が例年より豊富にあったため、底泥からの $\text{PO}_4\text{-P}$ 等の溶出が押さえられたためであると考えられる。

(5) 同じく下層における $\text{NH}_4\text{-N}$ も $\text{PO}_4\text{-P}$ の推移と同様であり、2002年度は例年並みの強い還元状態に至っていなかったことを示している。

5 まとめ

2002年度は、中海にとって赤潮の発生が認められなかった特異な年度であったが、赤潮が発生した過去の年度と比較することにより、次のことが明か

なった。

- (1) 秋季から春季にかけて中海で発生する *Prorocentrum minimum* による赤潮は、夏季から秋季に水中に蓄えられた $PO_4\text{-P}$ を中心とした栄養塩を利用し発生が始まっていると考えられる。
- (2) プランクトン増殖のためには、下層において夏季から DO 低下による還元状態が 11 月頃まで持続する必要があるが、2002 年度のように DO が十分に保たれた場合、底泥から湖水中への栄養塩の溶出が押さえられ、結果としてこれを利用するプランクトンの増殖抑制となる。
- (3) 特に 2002 年度については、AGP 試験結果から $PO_4\text{-P}$ だけではなく、鉄等の微量必須元素の溶出も押さえられていたことが分かった。
- (4) 夏季から秋季にかけて、低い降水量の状態が継続した場合、上層の塩分濃度が高くなることから上下層の密度差が小さくなり、溶存酸素が下層水に供給されやすい状態となるため、上記 (2) ~ (3) の原因となっていたと考えられる。
- (5) 中海では、夏季から上下層の塩分濃度、DO の水質測定と AGP 試験を継続することにより、赤潮の発生予測に利用できるものと考えられる。

51(3), 173-184(1990)

- 4) 南条吉之, 福田明彦, 矢木修身, 細井由彦: 汽水湖沼におけるアオコおよび赤潮発生の制御に関する基礎的研究, 水環境学会誌, 21, 530-535(1998)
- 5) 川上誠一, 黒崎理恵, 神谷宏, 石飛裕, 林喬一郎: 宍道湖・中海の植物プランクトン調査について, 島根県衛公研所報第32号, 101-125

—参考文献—

- 1) 南条吉之, 福田明彦: 藻類の増殖に及ぼす塩素イオン濃度について, 第6回世界湖沼会議霞ヶ浦'95 論文集, 3, 1346-1349(1995)
- 2) 江角日出郎: 宍道湖・中海の植物プランクトン調査結果, 島根県衛公研所報第35号, 76-83(1993)
- 3) Kunio KONDO, Yasushi SEIKE and Yoshio DATE: Relationships between phytoplankton Occurrence and Salinity or Water temperature in Brackishi Lake Nakaumi 1979~1986, Jan.J. Limnol,