

青潮発生後の網走湖の化学的、生物学的環境変化

三上英敏 日野修次 有末二郎

要 約

網走湖は塩分成層という特異的な環境下において富栄養化が進行している湖沼である。網走湖の上部好気層において、1986年以前には *Anabaena spiroides* 等による水の華が発生していたが、1987年5月の青潮発生以後表層の塩分上昇により水の華が観測されなくなり、栄養塩類の拡散にともなって汽水産の植物プランクトンが増殖した。その後1989年に塩分濃度が低下したにもかかわらず、再び水の華は発生しなかった。その理由としては、1989年から嫌気層上部で増殖し集積してきた光合成細菌が栄養塩類を吸収し好気層への栄養塩の拡散を抑制し、好気層の栄養塩類濃度を低下させたことによるものと考えられた。網走湖の植物プランクトンの優占種や現存量は、青潮発生による好気層の水質変化の影響を強く受けており、さらに、それにとまって形成した光合成細菌集積層との間にも深い関連のあることが推定された。

1 緒 言

水域の環境を保全するためにはその周辺環境を自然科学的および社会科学的に考え、内部で起きている現象を適確に把握する必要がある。特に湖沼や内湾等の閉鎖性水域は水が停滞しやすいことから周辺の都市活動や農工業活動などともなって排出される汚濁要因物質を蓄積しやすく、そのため、湖内の水質が劣化し生物活動に影響をおよぼす。特に、栄養塩類の蓄積は富栄養化を進行させ、その水質環境の悪化は近年社会的な問題となっている。なかでも、ラン藻類の異常増殖により発生する水の華(アオコ)は、訪れる観光客等に不快感を与えたり、その湖沼が水道水源となっている場合はろ過障害や悪臭等の影響を与えている¹⁾。異常増殖した藻類はいずれ死滅し沈降するが、その分解の過程において多量の酸素を消費し、成層下では溶存酸素の供給が不足し嫌気状態になりやすい。また、その死滅した藻類から溶出する栄養塩類は水系に放出・拡散され、再び一次生産に寄与することになる。このように、栄養塩等の水質汚濁要因物質が十分に蓄積した湖沼の水質環境を考慮するには、その周辺状況を把握するとともに湖内の化学的および生物学的環境要因の把握が必要であり、本報告では網走湖を対象にした。

網走湖は、Fig. 1 に示す様にオホーツク海に隣接する平均水深7.2m、最大水深16.1m、湖面積32.5km²の海跡湖である。満潮時には網走川を通じて海水が逆流し深層部に停滞するため、強固な塩分成層を形成している。また、長期にわたる流域からの栄養塩類の流入により、網走湖は塩分成層という特異的な環境下において富栄養化が進行している。過去の調査研究報告²⁾によれば、夏期には *Anabaena spiroides* 等による水の華(アオコ)が大発生し、嫌気状態である深部塩水層(嫌気層)には、多量の硫化物、重碳酸、アンモニア、リン酸等が蓄積しているため、上層

(好気層)の水質は流入河川水の他にこの嫌気層の影響を強く受ける可能性が指摘されている。これは、多量の無機態栄養塩が好気層に拡散していることを示唆しており、藻類の増殖に寄与しているものと思われる。

1987年5月、この網走湖において多量の硫化物を含む深層水が湧昇し表層部に拡散する青潮現象が生じ、生息していた魚類に多大なる被害を出した。この青潮が生じた後、従来大発生していた水の華(アオコ)は水温の上昇する夏期においてもほとんど出現せず、一方、1989年頃から嫌気層の上端に光合成細菌の集積層が形成されはじめた。この光合成細菌集積層は1992年5月に生じた青潮以後消滅した。

本報告では、1986年から1992年までの網走湖の湖心における調査結果をもとに、青潮発生と上部好気層における塩

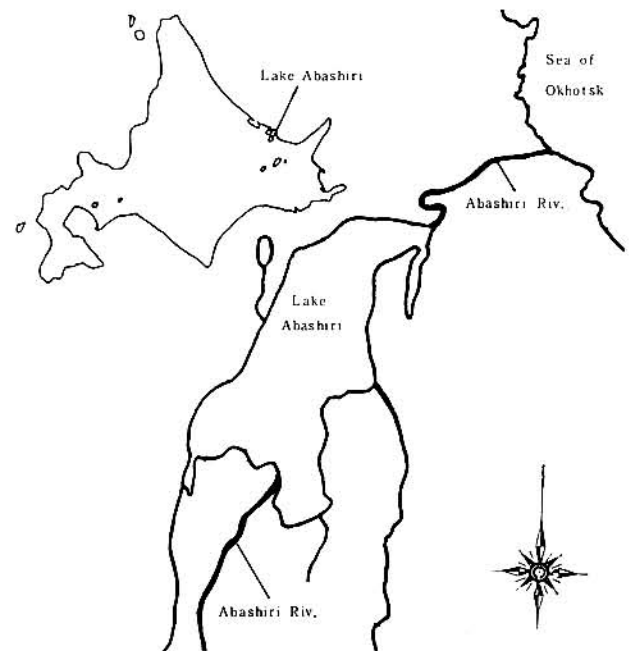


Fig. 1 Location and map in Lake Abashiri

分や栄養塩等の水質変化および植物プランクトンの優占種の変化、さらには嫌気層上端における光合成細菌集積層の形成及び消滅等のそれぞれの関連性について考察し、網走湖好気層の化学的、生物学的環境に影響を与える要因について検討を試みた。

2 調査及び分析の方法

調査は1986年から1992年まで2月、5月、6月、7月、8月、9月、10月および11月に各1回合計56回実施した。採水は、6ℓのバンドン採水器をもちいて層別採水を行った。水温および溶存酸素は、サミスター温度計付きDOメーター (YSI MODEL 58) による直接測定を採用した (一部の調査では棒状水銀温度計およびウインクラー法によって求めた)。採水した試料は必要に応じて前処理を行った後、当研究センターの実験室に持ち帰り、塩化物イオン、栄養塩類、クロロフィル-a等について分析を行った。植物プランクトンは、1ℓポリビンに最終濃度1%となるように中性ホルマリンを加え固定した試料を20mlまで沈殿濃縮した後、顕微鏡を用いて観察した。塩化物イオンは硝酸銀滴定法、全窒素はアルカリ性過硫酸カリウム分解法、全リンは過硫酸カリウム分解法を用いた。クロロフィル-aは、採水後直ちにワットマンGF/Cフィルターでろ過し、凍結保存してもち帰った試料をメタノールによって一晚抽出した後、ターナー-111型蛍光光度計によって測定した。また、1991年8月からはバクテリアクロロフィルと溶存硫化物の分析を追加した。バクテリアクロロフィルは、採水後直ちにワットマンGF/Cでろ過し、凍結保存してもち帰った試料を Takahashi et al.³⁾の方法によって測定した。溶存硫化物については、液体検知管 (光明理化学社製) を用いて採水後直ちに測定した。

3 結 果

3.1 表層の水質経年変化

網走湖湖心表層における1986年から1992年までの塩化物イオン、全窒素、全リンおよびクロロフィル-a濃度の変化をそれぞれFig. 2, 3, 4および5に示した。塩化物イオン濃度は2月に極端に低下しており、結氷下では流入河川水が氷層直下を流走するためであると考えられる。このことから、2月の全窒素、全リンおよびクロロフィル-a濃度は河川水の水質を反映している。

塩化物イオン濃度は、2月を除いて1000~4000mg/ℓの範囲内で変動していた。1986年に1500mg/ℓ前後であった塩化物イオン濃度は青潮が生じた1987年5月にはほぼ2倍程度の3000mg/ℓ程度まで上昇し、1988年の5月に2000mg/ℓ程度まで低下した。その後、11月に青潮が再び生じ3000mg/ℓを超えた。1989年より1991年までは1986年の場合と同じレベルの濃度にまで低下し、その後3年間は安定した状態を維持していた。しかしながら、1992年の春に再び青

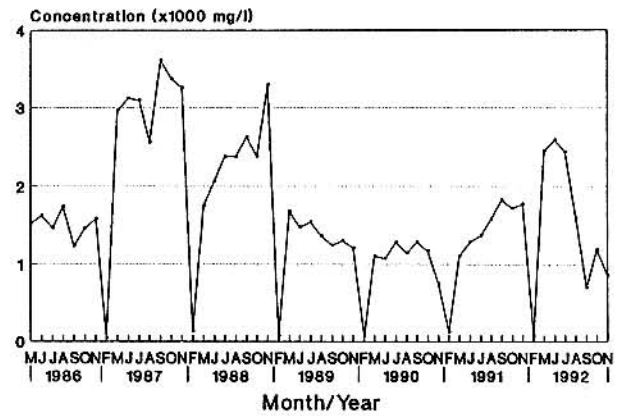


Fig. 2 Seasonal change in surface concentration of chloride ion in Lake Abashiri

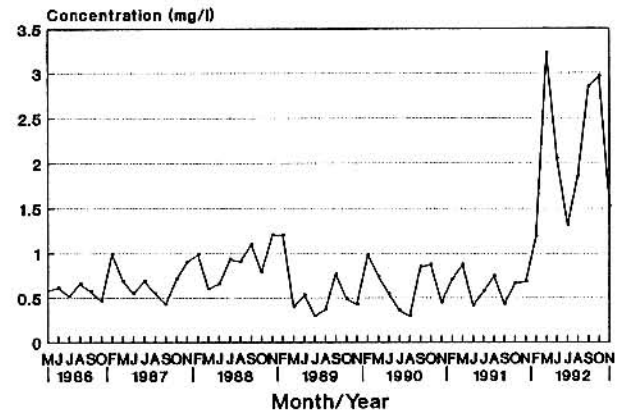


Fig. 3 Seasonal change in surface concentration of total nitrogen in Lake Abashiri

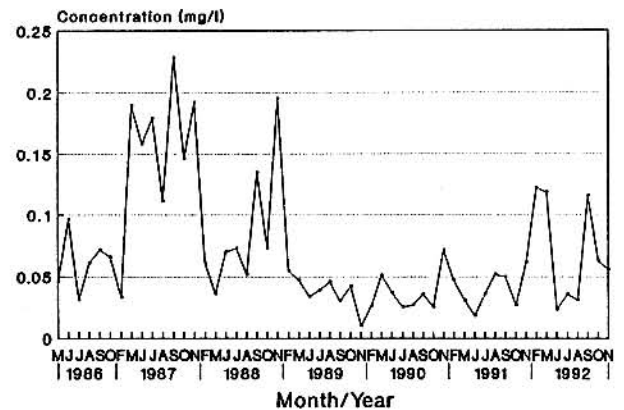


Fig. 4 Seasonal change in surface concentration of total phosphorus in Lake Abashiri

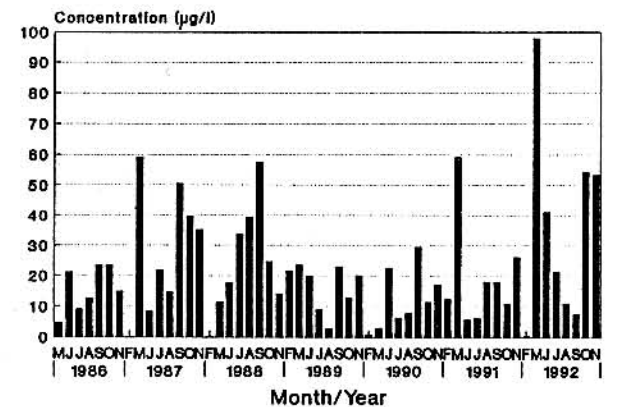


Fig. 5 Seasonal change in surface concentration of chlorophyll-a in Lake Abashiri

潮が生じた際には約2500mg/lまで上昇した。その後、夏から秋にかけて降水量が大幅に増加し、それにもなって濃度は急激に低下し1000mg/l程度を示した。

全窒素濃度は1991年まで0.3~1.2mg/lの範囲で変化していたが、1992年は他の年に比べて3mg/lを超えることがあった。また、1989年から1991年までの期間は1986年から1988年までの期間より濃度が低い傾向が認められた。

全リン濃度に関して、1986年には0.05mg/l程度であったが、青潮が生じた1987年及び1988年秋には大きく増加した。1989年から1991年までの期間は再び減少し観測月の大半が0.05mg/l以下を示した。また、1992年においては、2、5および9月に0.1mg/l以上の高濃度を示した。

植物プランクトン量を表すクロロフィルa濃度は、全体的に見れば、5月もしくは6月と9月以降に高濃度になる傾向がある。1986年、1989年および1990年においては高い値を示す月でも30μg/l以下であったが、それ以外の年での高い場合にはその倍の60μg/lを示す事があり特に1992年5月においては100μg/l程度まで増加した。しかし、1988年を除いて夏期に低下する傾向がみられ、1989年8月、1990年7月、1991年7月等では5μg/l程度と特に低い値を示した。

3.2 植物プランクトンの優占種の変化

過去の報告²⁴⁾によれば1986年以前の網走湖においてほぼ毎年夏期に *Anabaena spiroides* 等による水の華 (アオコ) が大発生していたことが明らかとなっている。しかし、1987年から1992年までの間は *Anabaena spiroides* 等ではなく、汽水産のケイ藻類が優占した。1987年には汽水産の *Cyclotella* sp. が、1988年から1991年には1987年と同様に *Cyclotella* sp. の他、同じ汽水産の *Chaetoceros affinis* が多く見られ、水温の上昇する夏期においても、アオコと呼ばれるラン藻類の異常増殖は見られなくなった。また、1992年には汽水産の *Nitzschia longissima* が優占した。

3.3 光合成細菌集積層

1989年夏期より嫌気層上部に光合成細菌の生育の兆候が見られた。さらに、1990年夏期には、バクテリオクロロフィルの定量を行っていないが、採水試料から安定した光合成細菌集積層の形成が肉眼でも確認された。1991年夏期においても同様な状態が確認され、その90%アセトン抽出による吸収スペクトルからバクテリオクロロフィル-d²⁵⁾を含有することが明らかとなった。顕微鏡観察による形態および吸収スペクトルより同種は緑色イオウ細菌で、*Chlorobium* 属の一種であると同定された。

1991年8月の光の透過度、溶存硫化物濃度、溶存酸素濃度、クロロフィルa濃度およびバクテリオクロロフィル-d濃度の鉛直分布をFig. 6に示す。1990年より嫌気層上部において安定して増殖している光合成細菌が観察され、1991年8月に5.5m層においてバクテリオクロロフィル-dとして66.9μg/lの高濃度値が検出された。安定した光

合成細菌集積層が形成されていた1991年8月において、光合成細菌の生育に必要な硫化物と光の両因子について見てみると硫化物が検出される境界層である水深5.5mに光が表面の約0.1%透過していた事が示された。その後、秋から冬にかけて全体的に減少し、1992年6月以後バクテリオクロロフィル-dが検出されなくなり、光合成細菌集積層が完全に消滅したと考えられる。

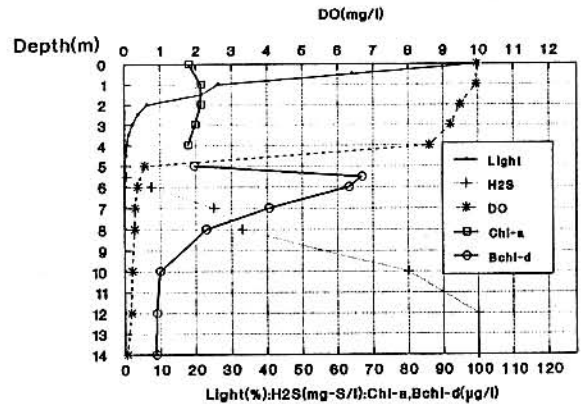


Fig. 6 Vertical distribution of light penetration, hydrogen sulfide, dissolved oxygen, chlorophyll-a, and bacteriochlorophyll-d in Lake Abashiri (20 August 1991)

4 考 察

一年中深層部に多量の硫化物を含む無酸素水域を有し停滞する網走湖において1987年5月に大規模な青潮が生じ、魚類に多大なる被害をおよぼした。1987年の表層における塩化物イオン濃度やリン濃度から青潮の影響で高濃度の塩分やリン酸を含む深層水が湧昇し上層部に拡散したことが示された。1988年11月や1992年5月にも青潮が確認されており表層の塩化物イオン濃度が上昇していた。しかし、これら青潮後の表層の栄養塩濃度について見ると、全リン濃度は深層水の湧昇による拡散影響によって著しく増加しているにもかかわらず、1987年5月や1988年11月の青潮後の全窒素濃度はさほど高くないことが示された。現在この理由は不明である。青潮の発生について、北海道開発局の調査によると、近年の小雨傾向により1980年頃には嫌気層の上端が水深10m前後であったのに対し1986年には5m前後にまで上昇してきたため、強風によって深層水が湧昇しやすくなったとし、さらに、時期的に青潮が生じやすいのは結氷期を除く湖内密度成層がゆるむ春先と台風や大型低気圧の通過する夏の終わりから秋口にかけてであると報告している⁶⁾。

網走湖において、1987年から夏期に水の華 (アオコ) の発生が観測されなくなったのは、同年5月に起きた青潮に起因する塩分濃度の上昇に関連があると考えられる。近藤らは、網走湖と同様な汽水湖である島根県の中海において植物プランクトンの出現と塩分あるいは水温との関係につ