

サケ稚魚滞泳期の網走湖の水質について

清水幾太郎*・真山 紘*・関 二郎*

Chemical Conditions in Lake Abashiri during the Seaward Migration Period of Chum Salmon Fry.

Ikutaro SHIMIZU*, Hiroshi MAYAMA*, and Jiro SEKI*

Abstract

Lake Abashiri is one of the brackish lagoons in eastern Hokkaido. It is a eutrophic lake formed in the lower reaches of the Abashiri River. Pond smelt fishery and freshwater clam fishery are important in lake Abashiri, and it is also used for propagating chum salmon and pink salmon resources. Chemical conditions in Lake Abashiri were investigated from May to July of 1982. A thermocline was formed between depths of 8 m and 9 m. In the surface zone above the thermocline, a layer of oxygen-saturated water was observed from May to July and the concentrations of nutrients decreased in July. These observations suggested that phytoplankton consumed nutrients and that dissolved oxygen was probably supplied by photosynthesis. By contrast, anoxic water was observed below the thermocline and concentrations of chloride ion, ammonia nitrogen and phosphate in the hypolimnetic water were remained higher than those in the surface zone.

はじめに

網走湖はサロマ湖、能取湖と並び、オホーツク海に面する汽水湖の一つで海跡湖と呼ばれている。その成因をみると、海進期（6000—5000年前）には浅海域であったが、その後の海退で取り残され（北川 1984）、今から1500—1300年前に現在のような汽水性の湖になった（湊・北川 1955）と言われている。さらに、1910年頃から1925年頃にかけては一時的に淡水化が起り、その後、降水量の少ない年が続いて再び汽水化が進んだ（中尾 1984）。汽水化の進行した当時の無酸素層の深度は15 m（中尾 1988）と深く、その層も薄かったが、深層部への海水の浸入とともに急速に無酸素層の深度が上昇して今日に至っている。そして、無酸素水が存在する深層部の水質状態から強還元湖（坂田・安藤 1981）とも呼ばれている。一方、CODが5 mg/ℓ以上（坂田他 1984）という富栄養湖であるため生物生産力が高く、ワカサギや汽水性のヤマトシジミが重要な漁業資源となっている。また、オホーツク海に面するこの地方の河川には、4月から5月にかけてサケやカラフトマスの稚魚が放流され、網走湖もこれら稚魚の生育場として有効に利用されている。

常に無酸素水と富栄養化の問題を抱えている網走湖の水質については古くから研究が行われており、上記

北海道さけ・ますふ化場研究業績第325号

* 水産庁北海道さけ・ますふ化場(Hokkaido Salmon Hatchery, Fisheries Agency of Japan, 2-2 Nakanoshima, Toyohira-ku, Sapporo 062, JAPAN)

の報告以外に高安・飛鳥 (1930), 石田 (1950), 香山他 (1952), 安藤・中村 (1966), 青井他 (1978), 坂田・安藤 (1979) の報告がある。これらの報告は陸水学的な観点から湖を捉えたものであり, 湖に放流されたサケ稚魚が湖内で滞泳している時期の水質に関しては安藤・中村 (1966), 青井他 (1978) の報告に見られる。この他には元田・石田 (1948) が網走湖のプランクトン相に関する報告の中で, 小林・黒萩 (1968) が網走湖のサケ稚魚の生態に関する報告の中で環境条件について触れているに過ぎない。

筆者らはサケ稚魚の生育する環境として網走湖を捉えることを目的に, サケ稚魚滞泳期の湖水環境を調査し, この時期の水質の特徴とそれがサケの増殖事業に与える影響について考察した。

なお, 本文に入るに先立ち, 本調査に御協力頂いた水産庁北海道さけ・ますふ化場北見支場と同網走事業場の職員各位, 並びに調査船の運行等, 多大のお世話を頂いた北見管内さけ・ます増殖事業協会と同網走川捕獲場の職員各位, 本調査の実施にあたって配慮を与えられた西網走漁業協同組合に深く感謝申し上げます。また, 原稿の校閲と貴重な助言を頂いた北海道立水産孵化場の今田和史水質科長に謹んで感謝の意を表す。

調査方法および分析方法

試料の採取および現場での測定は網走湖内の5定点, すなわち St-1 (女満別湾, 水深 4-5 m), St-2 (喜多山沖, 水深 9-10 m), St-3 (湖心, 水深 15-16 m), St-4 (双見沖, 水深 9 m), St-5 (呼人湾, 水深 3 m) と St-1 の女満別湾に流入する網走川の定点 (治水橋) で行った (図 1)。試料採取時期は湖内の定点が1982年 5月24日, 6月18日, 7月7日の3回, 河川内の定点が5月21日, 6月18日である。採水はリゴー B号透

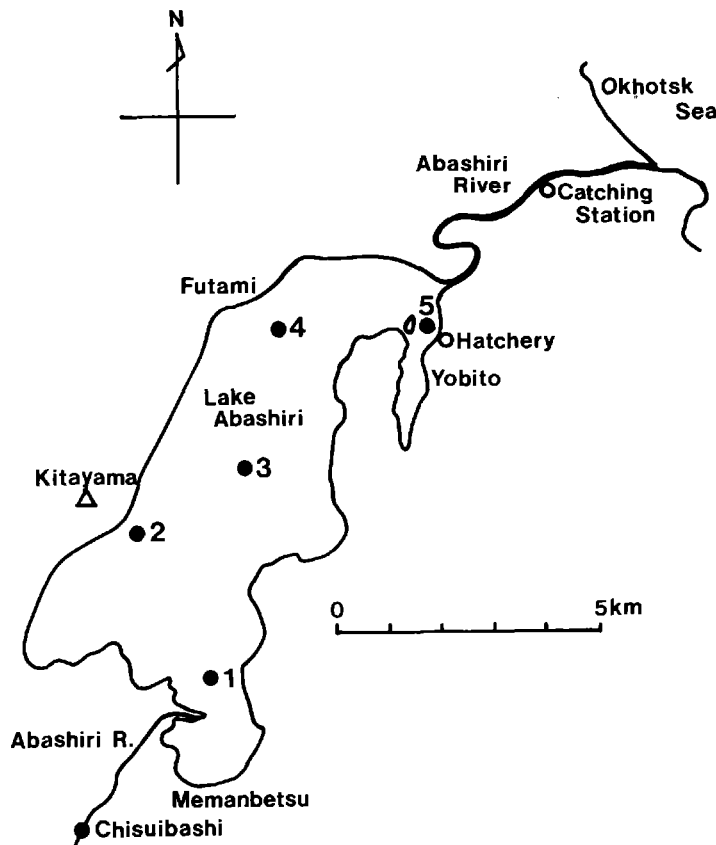


Fig. 1. Map showing the location of sampling stations in Lake Abashiri.
図1 網走湖における調査定点位置図。

明採水器を用い、0 m、1 m、3 m、5 m、7 m、10 m、15 m の各層から行った。採水と同時に電気水温計による1 m 毎の水温測定と、径 25 cm の透明度板による透明度の測定を行った。採取した試料水について直ちに船上で pH 比色計により pH を測定し、溶存酸素量測定のため酸素ビンに固定した。

栄養塩類と塩素イオン濃度の分析に際しては、実験室に持ち帰った試料水をワットマン GF/C (47 mm) フィルターでろ過した後に行った。溶存酸素量はウインクラー法に従い、その他の水質分析方法は清水(1984)と同様である。

結 果

1. 網走湖の湖水環境

St-1 から St-5 を順に結ぶ断面を想定してこの面上での鉛直分布を示し、各項目の特徴について述べる。

水温 水温の鉛直断面分布を見ると (図 2)，水深 8-9 m に水温躍層が存在し、湖心の St-3 の 8 m 層と 9 m 層では 5 月が 9.0°C から 4.7°C へ、6 月が 13.8°C から 6.3°C へ、7 月が 15.0°C から 8.9°C へと急激な低下が見られた。また、5 月から 7 月を通じて 12 m 以深は 5°C 台の安定した水温を保っていた。水温躍層より上層の 7 m 以浅では湖南側の St-1 で低く、湖北側の St-5 に向かうにつれて高くなる傾向を示し、特に 5 月でこの傾向が著しかった。水深 8-9 m の躍層と水深 12 m の間では同じ深度で比べると、時期が経過するにつれ水温が上昇する傾向があり、躍層下への水温の伝達が見られた (図 3)。

透明度(図 4) 湖南側の定点では 5 月が St-1 で 0.5 m、St-2 で 1.3 m、6 月が St-1 で 1.2 m と低く、時期的

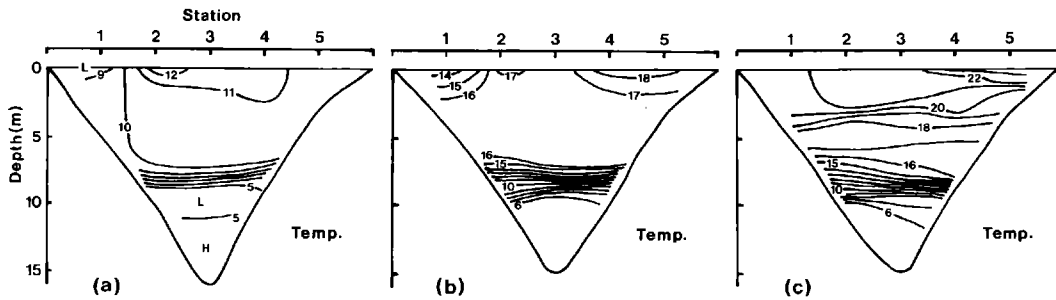


Fig. 2. Vertical distribution of water temperature (°C) in Lake Abashiri. Sampling dates in 1982: (a) 24 May; (b) 18 June; (c) 7 July.

図 2 水温(°C)の鉛直断面分布。調査月日(1982年)：(a) 5月24日，(b) 6月18日，(c) 7月7日。

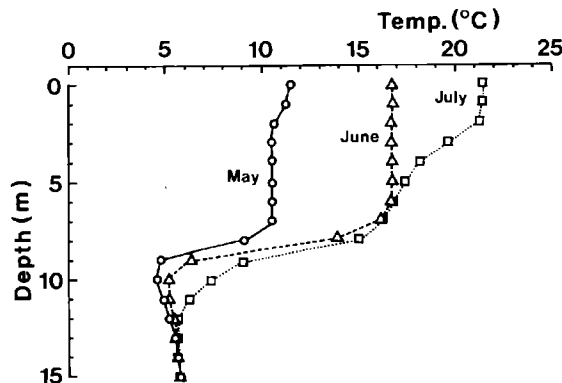


Fig. 3. Vertical profiles of water temperature (°C) at station 3, the deepest point in Lake Abashiri, from May to July of 1982.

図 3 1982年の5月から7月に至る定点3(湖心)における水温(°C)の鉛直分布。

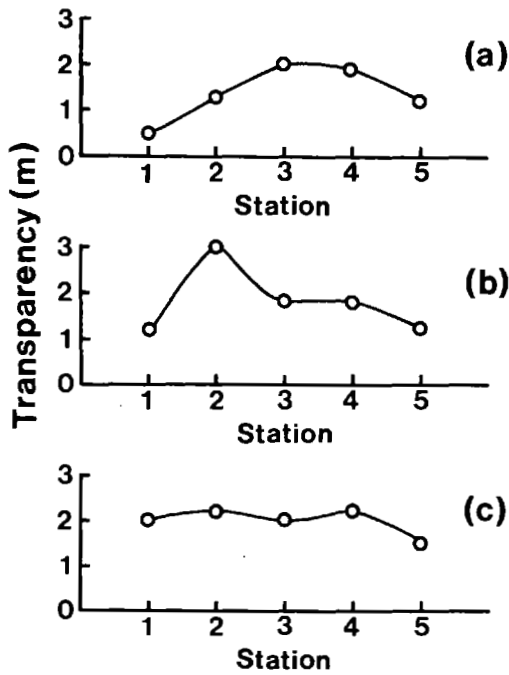


Fig. 4. Distribution of transparency (m) in Lake Abashiri. Sampling dates in 1982: (a) 24 May; (b) 18 June; (c) 7 July.

図4 網走湖における透明度(m)の分布。調査月日(1982年)：(a) 5月24日, (b) 6月18日, (c) 7月7日。

かったが、6月になると St-1 から St-4 においては $50 \mu\text{g/l}$ 以上と高く、特に St-1 の 0 m 層は $90 \mu\text{g/l}$ で最も高かった。しかし、7月に入ると水深 5 m 以浅は $10 \mu\text{g/l}$ 以下に減少した。水深 8-9 m の水温躍層以深では、時期を通じて 10 m 層で $500 \mu\text{g/l}$ 以上の濃度を示し、特に 7月の St-3 の水深 15 m 層では $1500 \mu\text{g/l}$ に達した。

硝酸態・亜硝酸態窒素(図9) 5月は水深 10 m 以浅の上層では、St-1 で高く、 $300 \mu\text{g/l}$ 以上を示したが、St-5 へ向かうにつれて減少していく傾向を示した。6月においても同様の傾向が見られたが、7月になると 10

な変動も大きい。一方、湖心より北側の St-3 から St-5 にかけては時期を通じてほとんど変動せず、St-3 と St-4 で 2.0 m 前後、St-5 で 1.2 m-1.5 m を示した。

塩素イオン濃度(図5) 水温躍層より上層では St-1 で低く、St-5 に向かうほど高くなる傾向が見られた。鉛直的には水深 7 m 以浅は 5月から7月を通じて 1000 mg/l 以下であったが、水深 10 m 層では $3500-6500 \text{ mg/l}$ に上昇し、St-3 の水深 15 m 層では 9000 mg/l 以上の高濃度を示した。

溶存酸素量(図6) 5月から7月を通じて、水深 7 m 以浅の上層では 8 mg/l 以上を示した。一方、水深 10 m 以深では常に無酸素状態にあった。また、水深 7 m 以浅の上層の酸素飽和度は 5月の St-1 の 0 m 層の 158% を最高として、水深 3-5 m 以浅は 100% 以上の過飽和状態を示した。溶存酸素量も水温、塩分と同様、鉛直的に急激な変動を示した。

pH(図7) 水深 7 m 以浅の上層においては、St-1 の塩素イオン濃度の低い層で pH 値も低い傾向があるが、St-2 から St-5 にかけては溶存酸素量が高く、過飽和となっている層で pH 値が高い傾向が見られた。水深 8-9 m の水温躍層以深は pH 7.3 で一様な値を示した。

アンモニア態窒素(図8) 水深 7 m 以浅では、5月は St-1 と St-4 の 0 m 層を除いて $20 \mu\text{g/l}$ 以下と低

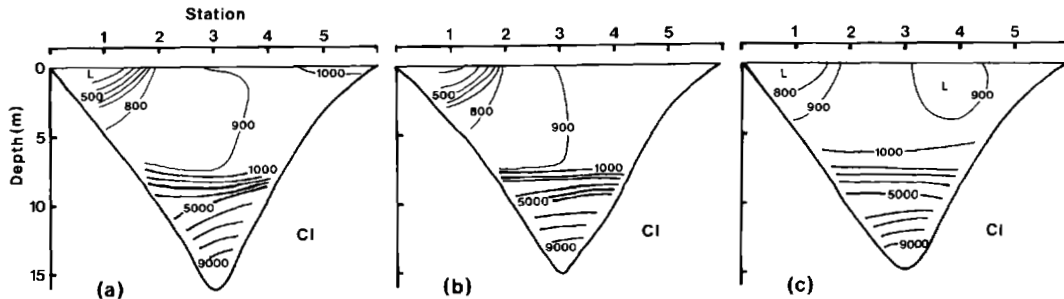


Fig. 5. Vertical distribution of chloride ion (mg/l) in Lake Abashiri. Sampling dates in 1982: (a) 24 May; (b) 18 June; (c) 7 July.

図5 塩素イオン濃度(mg/l)の鉛直断面分布。調査月日(1982年)：(a) 5月24日, (b) 6月18日, (c) 7月7日。

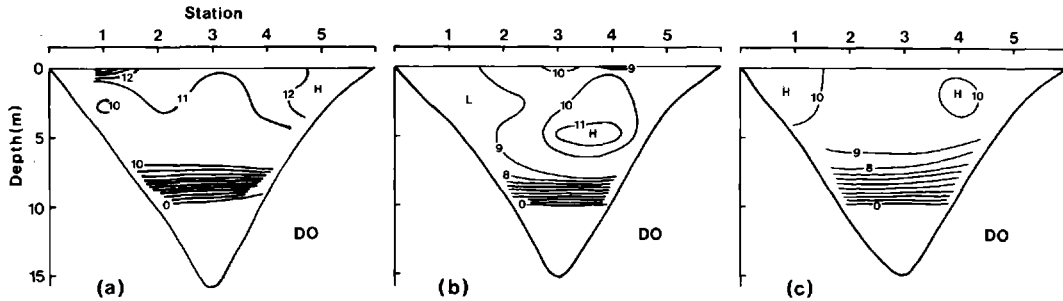


Fig. 6. Vertical distribution of dissolved oxygen (mg/l) in Lake Abashiri. Sampling dates in 1982: (a) 24 May; (b) 18 June; (c) 7 July.

図6 溶存酸素量(mg/l)の鉛直断面分布。調査月日(1982年)：(a) 5月24日, (b) 6月18日, (c) 7月7日。

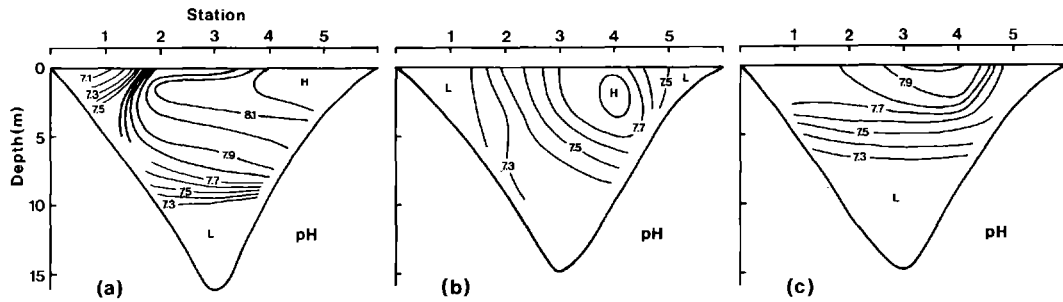


Fig. 7. Vertical distribution of pH in Lake Abashiri. Sampling dates in 1982: (a) 24 May; (b) 18 June; (c) 7 July.

図7 pHの鉛直断面分布。調査月日(1982年)：(a) 5月24日, (b) 6月18日, (c) 7月7日。

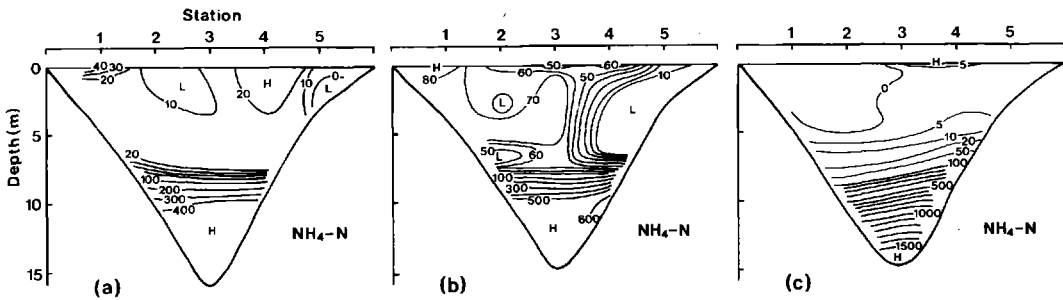


Fig. 8. Vertical distribution of ammonia nitrogen ($\mu\text{g/l}$) in Lake Abashiri. Sampling dates in 1982: (a) 24 May; (b) 18 June; (c) 7 July.

図8 アンモニア態窒素($\mu\text{g/l}$)の鉛直断面分布。調査月日(1982年)：(a) 5月24日, (b) 6月18日, (c) 7月7日。

m以浅の全定点で検出されなくなった。一方、水深10m以深では5月から7月を通じて10 $\mu\text{g/l}$ 以下の低濃度に保たれていた。

リン酸塩(図10) 5月から7月の調査期間を通じて、水深7m以浅では20-80 $\mu\text{g/l}$ のリン酸塩が存在し、6月のSt-1, St-5では100 $\mu\text{g/l}$ 以上を示した。水深10m層では常に3000 $\mu\text{g/l}$ 以上の濃度を示し、さらに、

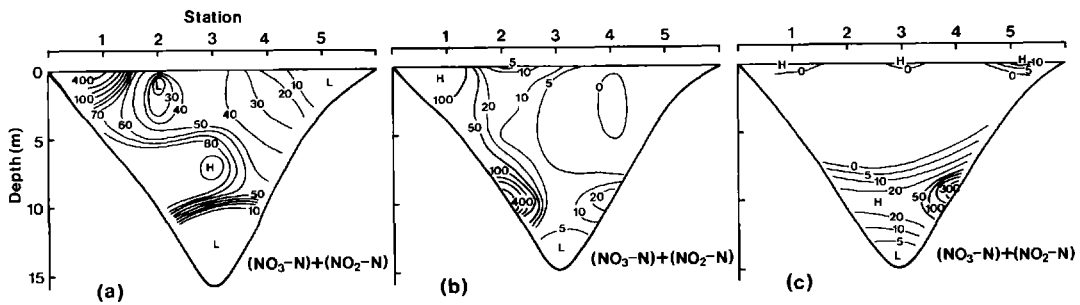


Fig. 9. Vertical distribution of nitrate nitrogen + nitrite nitrogen ($\mu\text{g/l}$) in Lake Abashiri. Sampling dates in 1982: (a) 24 May; (b) 18 June; (c) 7 July.

図9 硝酸態・亜硝酸態窒素($\mu\text{g/l}$)の鉛直断面分布。調査月日(1982年): (a) 5月24日, (b) 6月18日, (c) 7月7日。

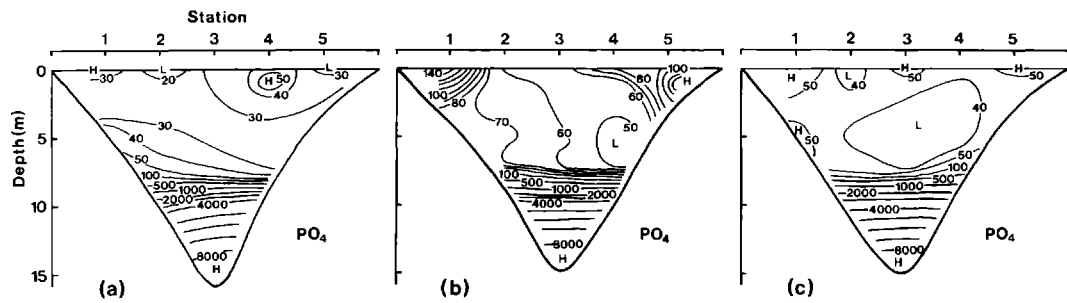


Fig. 10. Vertical distribution of phosphate ($\mu\text{g/l}$) in Lake Abashiri. Sampling dates in 1982: (a) 24 May; (b) 18 June; (c) 7 July.

図10 リン酸塩($\mu\text{g/l}$)の鉛直断面分布。調査月日(1982年): (a) 5月24日, (b) 6月18日, (c) 7月7日。

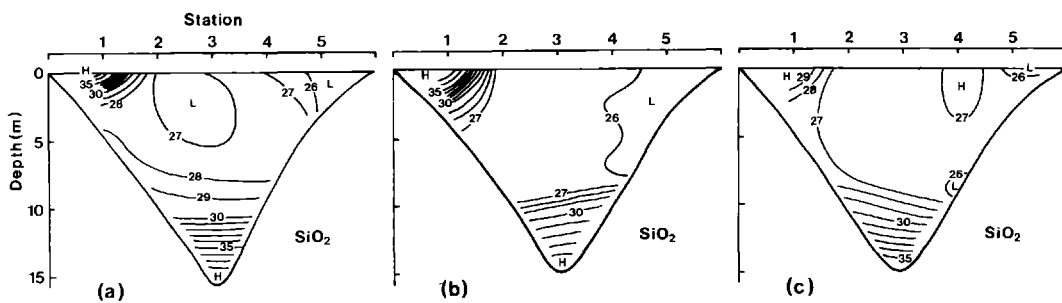


Fig. 11. Vertical distribution of silicate (mg/l) in Lake Abashiri. Sampling dates in 1982: (a) 24 May; (b) 18 June; (c) 7 July.

図11 ケイ酸塩(mg/l)の鉛直断面分布。調査月日(1982年): (a) 5月24日, (b) 6月18日, (c) 7月7日。

St-3の水深15m層では8000 $\mu\text{g/l}$ 以上の高濃度に達した。

ケイ酸塩(図11) 5月から7月を通じて、St-2からSt-4にかけての水深7m以浅では26-27 mg/l のほぼ均一した濃度分布が見られたが、St-1では30 mg/l 以上と高く、逆にSt-5では他の定点に比べて25 mg/l とやや低い値を示した。また、水深10m以深では29-38 mg/l と水深7m以浅の上層部に比べて高い傾向を示した。

2. 流入河川の水質

St-1の女満別湾に注ぐ網走川の定点(治水橋)での水質を表1に示した。水温は5月が9.7°Cと低いが6月は17.8°Cに上昇した。塩素イオン濃度は8.4 mg/l(5月)と低く、pHは5月、6月とも7.0前後でほぼ一定していた。しかし、栄養塩は5月、6月とも高濃度を示した。特に5月ではアンモニア態窒素が146 $\mu\text{g/l}$ 、硝酸態・亜硝酸態窒素が284 $\mu\text{g/l}$ 、6月ではリン酸塩が196 $\mu\text{g/l}$ と著しく高かった。また、ケイ酸塩は5月、6月とも40 mg/l以上の高い値を示した。

表1 網走川(治水橋)の水質。

Table 1. Chemical conditions at Chisuibashi station on the Abashiri River.

Sampling dates	WT (°C)	pH	Cl (mg/l)	NH ₄ -N ($\mu\text{g/l}$)	NO ₃ -N +NO ₂ -N ($\mu\text{g/l}$)	PO ₄ ($\mu\text{g/l}$)	SiO ₂ (mg/l)
21 May 1982	9.7	6.9	8.4	146	284	28	42
18 June 1982	17.8	7.1	—	57	195	196	41

考 察

1. 水質の鉛直分布について

水温、塩素イオン濃度 水深8-9 mにある水温躍層より上層での水温は、5月の融雪期には湖南側で低く、湖北側で高い。これは南側の女満別湾に流入する網走川の水温の影響を受けているためである。塩素イオン濃度も同様に、5月にはSt-1で、女満別湾に流入する網走川の影響を受けていることは明らかである。水深8-9 mの水温躍層を境に下層では、急激に塩素イオン濃度が上昇して密度が高くなることから、この部分は鉛直的に安定な状態にあると思われる。

透明度 調査期間中の透明度は各定点で3 m以下と低く、典型的な富栄養期の特徴(吉村 1976)を示した。特に湖南側の定点で5月の融雪期に著しく低い値を示したのは、網走川の流入水の影響を受けたためと考えられる。

溶存酸素量 5月から7月の期間の透明度が各定点で2 m前後であることから、この時期の水深3-5 m以浅は有光層とみられる。この層での溶存酸素は100%以上の過飽和を示し、特に7月は過飽和層の占める割合が多い。青井他(1978)によれば、網走湖のクロロフィルaの濃度が6月では女満別湾と湖中央部で高く、8月になると6月よりさらに高くなる傾向がある。このことから、躍層以浅の上層部における過飽和現象は植物プランクトンによる光合成の結果ではないかと推定される。

アンモニア態窒素 アンモニア態窒素の濃度は5月、6月のSt-1で高い。この定点は塩素量が低く、流入河川水の影響を強く受けることから、河川からのアンモニアの供給を受けたためと考えられる。逆に7月のSt-1では塩素量が高く、アンモニア態窒素の値が低くなるのは河川流入量が少なくなったためと思われる。水温躍層下の水深10 m以深では500 $\mu\text{g/l}$ 以上を示したが、分析過程で硫化水素の妨害を受けた(青井他 1978, 後藤・安藤 1979)とみられ、実際はさらに高濃度で存在しているものと推定される。

硝酸態・亜硝酸態窒素 硝酸態・亜硝酸態窒素の鉛直分布を見ると、5月ではSt-2からSt-4で水深5-10 m層の値が5 m以浅よりも高い。また、6月ではSt-2の水深7-9 mの中層で高い値が見られ、さらに、7月においても水深10 m層付近のみ高い分布が見られる。これらはいずれも網走川からの流入水が密度の大きい還元層へは流入できずに、還元層の上方に流れ込んだものと見られ、網走湖特有のこの現象の理由として、青井他(1978)は河川水がその水温と等しい層に流入したためと考えている。

pH, リン酸塩, ケイ酸塩 7月にはSt-2からSt-4の水深1-7 m層で、周囲の水に比べてリン酸塩濃度が

低下している。また、水温躍層より上層では、アンモニア態窒素や硝酸態・亜硝酸態窒素が検出されなくなる。このことは溶存酸素の過飽和現象とそれによる pH の増加とを考えあわせると、植物プランクトンによる栄養塩の消費の結果とみられる(図12)。St-2 から St-4 の湖中央部の水深 0-5 m 層で、ケイ酸塩濃度が時期を通して低いことも植物プランクトンによる消費(青井他 1978)が考えられる。一方、水深 10 m 以深ではケイ酸塩濃度が増加しているが、これは植物プランクトンを含む懸濁物質が上層から沈積したため(青井他 1978)と見られる。また、坂田他(1984)は春期にケイ酸が多いと同時に溶存有機物も多い原因として、植物プランクトンとそれを捕食する動物プランクトン由来と考えている。

このように網走湖は密度の違いから表水層、変水層、深水層(底水層)の3層構造(坂田・安藤 1981)からなり、それぞれの層で顕著な水質特性を持つことが明らかとなった。網走湖には流入する河川水から高濃度の栄養塩が供給され(表1)、表水層では栄養塩が消費されて植物プランクトンの増殖が盛んに行われる。さらに、夏期の高水温時には異常増殖した植物プランクトンにより、いわゆるアオコの出現が見られる(青井 1984)。この表水層の植物プランクトンの現存量を維持するのに、網走湖においては底層水からの栄養塩の回帰が重要で、底層水の存在が大きく寄与している(坂田他 1984)とされている。表水層の栄養塩は流入河川からの供給の他に、栄養塩濃度の極めて高い深水層からの溶出によって供給がされ、表水層の生物生産に貢献しているものと考えられる。

一方、深水層は海水の浸入により高塩分で、かつ水中の酸素は有機物の酸化に使われて無酸素状態になっている。無酸素層には硝酸態窒素は少なく、硝酸態窒素が還元された状態のアンモニア態窒素が大量に存在し、さらに、海水の硫酸イオンが有機物の酸化に使われ硫化水素を発生させている(香山他 1952)。柳(1989)は硫酸イオン濃度の低い陸水の富栄養湖では硫酸還元状態からメタン発酵に容易に移行すると述べているが、大量の硫酸イオンの存在する網走湖では硫酸還元の状態で止まっているとみられ、硫酸イオン濃度の違いによって無酸素水中での化学反応に大きな相違が生ずると考えられる。

2. サケの生育環境としての網走湖

網走湖を含む網走川水系には、毎年約3000万尾のサケ稚魚と約300万尾のカラフトマス稚魚が4月下旬から5月上旬頃をピークに放流される。これらの稚魚が降海する5月中旬から6月下旬の間は湖内の豊富な餌を利用して生育する。いわば網走湖は自然の養魚場として機能しているわけである。小林・黒萩(1968)によ

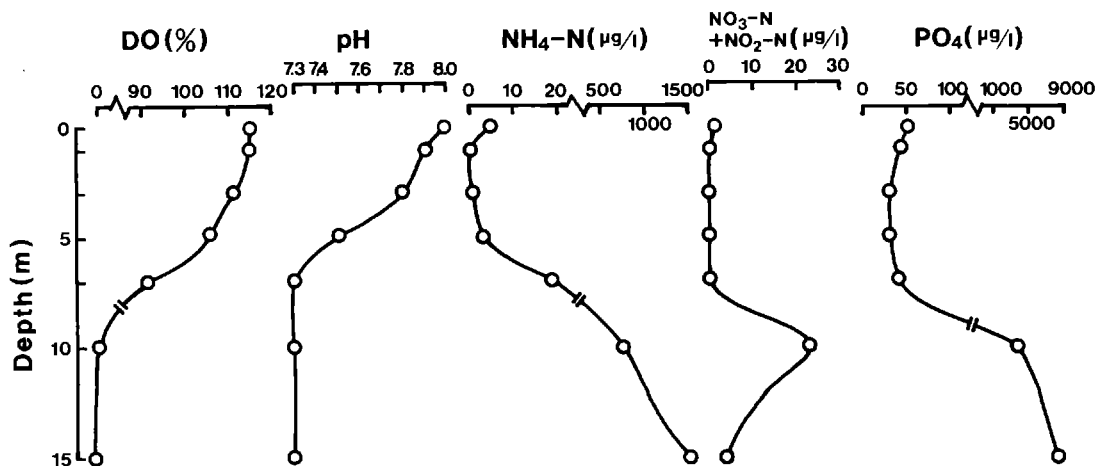


Fig. 12. Vertical profiles of percentage saturation with dissolved oxygen, pH, ammonia nitrogen ($\mu\text{g/l}$), nitrate nitrogen+nitrite nitrogen ($\mu\text{g/l}$), and phosphate ($\mu\text{g/l}$) at station 3, the deepest point in Lake Abashiri, on July 7 in 1982.

図12 1982年7月7日の定点3(湖心)における溶存酸素飽和量(%), pH, アンモニア態窒素($\mu\text{g/l}$), 硝酸態・亜硝酸態窒素($\mu\text{g/l}$), およびリン酸塩($\mu\text{g/l}$)の鉛直分布。

れば、時期の推移に伴う湖の生物生産の高まりにつれて、5月下旬以降湖内のサケ稚魚は極めて急激に成長し摂餌量が増加する。このことは、無酸素水の存在によって動物プランクトンが表水層に生息することを余儀なくされ、表水層が捕食圧の高い状態になっているという花里(1989)の考え方を裏付けている。また、無酸素水の湧昇現象は密度差が大きく鉛直混合が起きにくい網走湖にとっては、表水層への栄養塩供給の役目を担っているともみられる。

一方、無酸素層の深度は、中尾(1988)によれば、1930年代前半の水深15m前後から急速に上昇し始め、1940年代後半には水深10m前後に上昇した。その後は水深8-10mの間を推移し、1940年代後半からはほぼ一定した水深を維持していたとみられる。本調査の1982年でも無酸素層の深度は最も深い所で水深10mにあり、このことを裏付けている。しかし、最近では急速に変化して1986年には水深5mにまで上昇した(中尾 1988)。このため1987年の4月から7月にかけて、網走湖南側の喜多山沖や女満別湾で無酸素水の湧昇現象が見られ、ウグイ、カワガレイ、コイ、ワカサギ、サケ稚魚が大量に斃死したと報告された(黒萩 1988; 北海道 1988)。

このように無酸素層の拡大が進むことによって、湖に放流されたサケ稚魚や他の水生生物に、酸素供給の上で直接害を与える頻度が高まり、また、湖内の生産層すなわち生物の生育場が減少しつつあることも気がかりである。富栄養湖である網走湖においては無酸素層の深度の上昇に伴う無酸素水の湧昇現象は潜在的な問題と言えよう。

網走湖の汽水化の原因が降水量の減少にある(中尾 1984)とすれば、網走湖は誕生から何回となく汽水化と淡水化を経てきたと考えられ、すでに述べたような湧昇現象と生物生産の繰り返しの結果、現在の姿を呈していることが想像される。高い生産力を維持している網走湖や網走川を利用して、サケ・マス資源の増大が現在計られているが、これまで述べたような種々の問題をはらんだ水域だけに、今後、さらに湖水環境に関するデータの集積を重ね、サケ・マスの再生産に有効な対策を講じていく必要があると考える。

要 約

1. サケ稚魚の生育環境として網走湖を捉えることを目的に、サケ稚魚滞泳期の1982年5月から7月にかけて湖水環境を調査し、この時期の水質の特徴とそれがサケの増殖事業に与える影響について考察した。
2. 網走湖は密度の違いから表水層、変水層、深水層の3層構造を示し、各々の層で顕著な水質特性をもつことが明らかとなった。
3. 表水層は、5月、6月では河川が流入する湖南側ほど栄養塩濃度が高いが、7月になると湖中央部で栄養塩濃度の低下が見られた。このことは、7月の表水層での溶存酸素の過飽和現象とそれによるpHの増加とを考えあわせると、植物プランクトンによる栄養塩の消費と見られた。
4. 深水層は、調査期間を通して高塩分かつ無酸素状態を呈し、アンモニア態窒素やリン酸塩が大量に存在することが示された。
5. 網走湖は高い生産力を維持しつつも、種々の問題を抱えた湖であり、さらに湖水環境に関するデータの集積を計り、サケ・マスの再生産を進める上で有効な対策を講じる必要があると考える。

文 献

- 安藤和夫・中村俊夫(1966)：網走湖の水質について、北海道立衛生研究所報，(16)，153-161。
青井孝夫・安藤和夫・中村俊夫(1978)：富栄養化に関する研究 3. 網走湖の富栄養化について、北海道公害防止研究所報，(5)，131-147。
青井孝夫(1984)：湖沼特集 湖沼とその環境，北海道の自然，(24)，41-52。
後藤英昭・安藤和夫(1979)：アンモニア定量時における硫化水素除去について，北海道公害防止研究所報，(6)，117-119。
花里孝幸(1989)：富栄養湖におけるラン藻と動物プランクトンの相互関係，陸水学雑誌，50(1)，53-67。

さけ・ますふ化場研究報告 第44号 (1990)

北海道(1988)：昭和62年度網走湖漁場環境調査報告書。

石田昭夫(1950)：網走湖の研究 磷酸塩その他の成層状態に就て，水産孵化場試験報告，5(2)，113-117。

香山 勲・大蔵 武・岡本 剛・大竹好美・諸住(1952)：網走水系の研究，水産孵化場試験報告，7(1・2)，183-187。

北川芳男(1984)：湖沼特集 北海道の湖沼—その地学的特性—，北海道の自然，(24)，2-9。

小林哲夫・黒萩 尚(1968)：網走湖・網走川におけるサケ稚魚の生態とその保護について，さけ・ますふ研報，(22)，37-71。

黒萩 尚(1988)：日本陸水学会第52回大会シンポジウム記録 「網走湖の湖環境変動と漁業生物」 水質と生態環境，陸水学雑誌，49(4)，296。

湊 正雄・北川芳男(1955)：海岸湖の鹹度の变化，陸水学雑誌，17(1)，1-3。

元田 茂・石田昭夫(1948)：網走湖の研究 特にプランクトン相に就て(第一報)，水産孵化場試験報告，3(1)，1-12。

中尾欣四郎(1984)：湖沼特集 網走湖の湖環境変遷，北海道の自然，(24)，30-40。

中尾欣四郎(1988)：日本陸水学会第52回大会シンポジウム記録 「網走湖の湖環境変動と漁業生物」 湖環境の変動機構，陸水学雑誌，49(4)，293-296。

坂田康一・安藤和夫(1979)：北海道の湖沼および沿岸域の堆積環境について(2) 網走湖の懸濁物について，北海道公害防止研究所報，(6)，84-87。

坂田康一・安藤和夫(1981)：北海道の湖沼および沿岸域の堆積環境についての研究—強還元湖における懸濁物質の沈降過程と化学成分の挙動について—，北海道立公害防止研究所報，(8)，99-104。

坂田康一・青井孝夫・村田清康・近藤秀治・日野修治・小西一夫(1984)：富栄養化に関する研究 網走湖のCODについて，北海道公害防止研究所報，(11)，52-66。

清水幾太郎(1984)：さけ・ますふ化用水の水質について，さけ・ますふ研報，(38)，57-77。

高安三次・飛島貫治(1930)：湖沼調査 第4編網走湖(昭和4年)調査，水産調査報告，第22冊，1-62。

柳 哲雄(1989)：シンポジウム「貧酸素水塊」のまとめ，沿岸海洋研究ノート，26(2)，141-145。

吉村信吉(1976)：湖沼学，増補版，327-350，生産技術センター，東京。