

2006年秋の網走川におけるサケ親魚斃死時の状況

渡辺智治・安富亮平・隼野寛史・田村亮一・畑山 誠・藤原 真・鈴木邦夫・新谷康二

(水産孵化場)

川尻敏文 (西網走漁業協同組合)・今田和史 (元 水産孵化場)

2006年11月9日付近の数日間に、網走川のサケ親魚蓄養池で蓄養中のサケ親魚が斃死しました。斃死の原因を究明するため、北海道立水産孵化場では、11月9日斃死発生時の蓄養池飼育水の水質分析、斃死魚の魚病診断を実施しました。また、海水の影響が予測されたことから、(社)北見管内さけ・ます増殖事業協会及び水産孵化場道東内水面室により、11月10日から14日にかけて、網走川遡上サケ親魚を蓄養池に4日間蓄養して蓄養前後のサケ親魚の血中Na⁺を調べました。これらの調査結果は、「平成18年低気圧通過時の降雨による網走川の濁りと蓄養サケ親魚斃死の原因調査報告書」として、2007年1月に関係機関に提出しました。報告書は、(1)低気圧通過時の降雨による網走川の濁りと網走湖の環境変化(今田)、(2)蓄養サケ親魚の斃死と網走川の水質について(安富)、(3)網走川サケ親魚魚病診断(畑山)、(4)網走川・斜里川サケ親魚蓄養試験血清Na⁺・Cl⁻濃度分析結果(渡辺)からなります。ここでは、この報告書の調査結果から、11月9日付近の数日間に於いて網走川蓄養サケ親魚が斃死した時の状況を明らかにし、斃死原因について考察しました。

場本場で水質分析を実施しました。蓄養池飼育水は、蓄養池上流の網走川から水中ポンプにより取水されています。12月6日14時の大潮満潮時に網走川蓄養池表層及び底層、蓄養池取水口、大曲表層及び底層で水温、塩分、及びpHを測定しました。

網走湖水質調査

2006年10月21、28日、11月4、13、20、29日、及び12月6日に、西網走漁協により網走湖湖中央部(図1)で透明度、表層水温、及び表層塩分を測定し、表層湖水を採水しました。湖水をグラスファイバーフィルター(ワットマンGF/F)で濾過後、メチルアルコール抽出法によりクロロフィルa及びフェオフィチン濃度を蛍光光度計(TURNER, 10-AU)を用いて測定しました。

サケ親魚蓄養試験

2006年11月10日に、北見管内さけ・ます増殖事業協会及び水産孵化場道東内水面室により網走川ウライのシロサケ(*Oncorhynchus keta*)親魚を蓄養池へ移動し蓄養試験を開始しました。蓄養池へ移動した30尾(Na⁺測定は23尾)のサケに麻酔をかけ、注射器により尾柄部から採血しました。11月14日に蓄養サケ親魚のうち30尾に麻酔をかけ採血しました。採取した血液は、遠心分離後血清を凍結して後日、水産孵化場本場の原子吸光度計(日立, Z6000)でナトリウムイオン(Na⁺)を測定しました。

方法

サケ親魚蓄養池水質調査

2006年11月9日11時30分から、網走湖下流の網走川サケ親魚蓄養池(網走市、北見管内さけ・ます増殖事業協会所管;図1)の表層水を採水し、11月10日に北海道立水産孵化

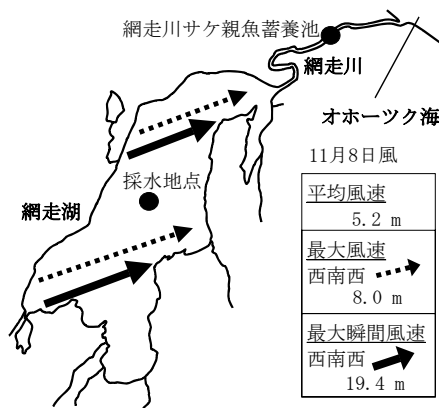


図1 網走川サケ親魚蓄養池の位置、網走湖採水地点、及び2006年11月8日の風向・風速

結果及び考察

サケ親魚蓄養池(網走川)の水質

2006年11月9日の網走川蓄養池水質分析結果のうち、ほとんどの水質分析項目が水産用水基準(日本水産資源保護協会, 2006)の基準値以下の数値でしたが、浮遊物質(SS)が18mg/Lとやや高い値を示していました。SSの水産用水基準値は、淡水域の河川では25mg/L以下、貧栄養湖で、サケ、マス、アユなどの生産に適する湖沼においては1.4mg/L以下、温水性魚類の生産に適する湖沼においては3.0mg/L以下であることとなっています。サケ親魚が斃死した際の網走川の18mg/LというSS値は、河川のSS基準値25mg/Lには及ばな

いものの、湖沼の基準値の1.4及び3.0mg/Lを大きく超える値であり、網走川蓄養サケ親魚に影響を与えたことが推測できます。通常、SSが高くなる原因としては、降雨により土砂が流出し濁水が発生することが挙げられます。降雨によって土砂が流出することで土砂中の鉄も流出し、河川水中の鉄濃度も高くなります。親魚斃死時の蓄養池の総鉄濃度は0.29mg/Lと水産用水基準値の0.09mg/Lより高い値となっていました。カワマスの96時間LC50毒性値の0.96mg/L(水産用水基準, 2006)よりは低い値であり、鉄がサケ親魚の斃死に大きな影響を与えたとは考えられません。11月9日の網走川でSS及び鉄濃度がやや高かった原因として、11月7日に網走であった雷を伴う28mmの降雨による濁水が考えられます。しかし、斃死時の蓄養池水質では、鉄濃度と比較してSSがやや高い数値を示していました。SSの内容として11月7日の降雨由来の濁水に加えてさらに他の物があることが考えられます。11月9日蓄養池のクロロフィルa濃度は、38 μ g/Lと河川水としては高い数値を示していました。また、この蓄養池の水を顕微鏡で検鏡したところ植物プランクトンの一種である珪藻類を容易に視認することができました。すなわち、11月9日のサケ親魚が斃死し始めた後の蓄養池飼育水は、SSが18mg/Lとやや高く、その内容は、土砂による濁水の影響に加えて植物プランクトンの一種である珪藻類が多くを占めていたということが判明しました。11月9日蓄養池のpHは8.8であり、おそらく珪藻類の光合成の影響でpHがアルカリ側にあります。

12月6日大潮満潮時の蓄養池底層の塩分濃度が28psuであり海水の33psuに近いことから、11月9日の大潮満潮時にも蓄養池で塩分濃度が海水に近かったことが推測されます。

網走湖の水質

2006年10月21日から12月6日の網走湖湖中央部のクロロフィルa濃度(図2)を見ると、10月21日には18 μ g/Lでしたが、10月28日及び11月4日は、70 μ g/L台まで上がり、さらに蓄養池サケ親魚が斃死していた11月13日には、125 μ g/Lにまで達していました。長良川河口堰完成後の堰上流15kmでの1995~1998年のクロロフィルa濃度は40~100 μ g/L、1970年代の霞ヶ浦のピーク値が20~40 μ g/L、諏訪湖の最大値が160 μ g/L程度となっています(宇野木, 2005)。蓄養池でサケ親魚が斃死していた11月13日前後の網走湖のクロロフィルa濃度は、これらの水質汚染が顕著な川や湖に匹敵する濃度にありました。2006年10月7日から8日にかけて、台風並みに発達した低気圧による大雨と強風が網走湖や網走川水系に多大な被害を及ぼしました。10月7日の低気圧の強風とともに網走湖では青潮が発生し、その後網走湖の植物プランクトン優占種が藍藻類の*Phormidium tenue*から珪藻類の*Cyclotella meneghiniana*に変わり、網走湖及び網走川の水色が変化しました(栗倉, 2007)。珪藻出現時の網走湖湖中央での観測では、湖水水色は茶褐色でした。汽水域

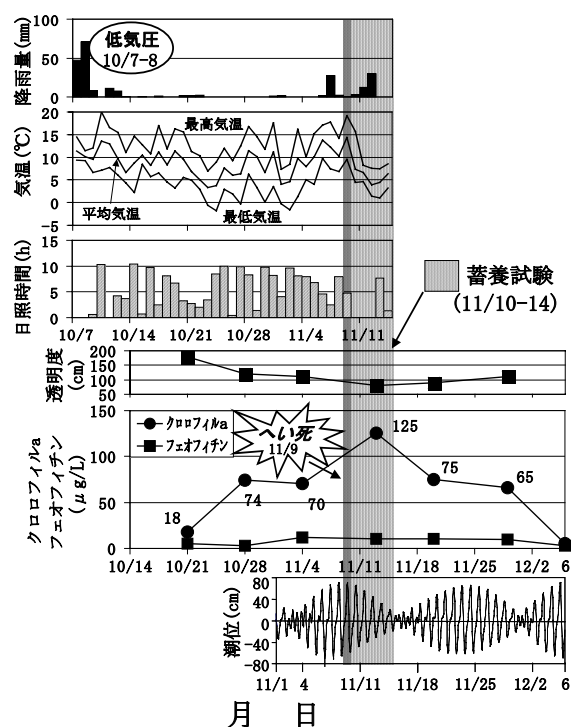


図2 2006年秋の網走における降雨量、気温、及び日照時間と、網走湖湖中央の透明度及びクロロフィルa・フェオフィチン濃度と、潮位(気象庁)の推移

の植物プランクトンは、出水によって河川から栄養塩類が流入した後、好天の日が1日から数日続き透明度が回復し光合成を行うのに十分な日射があると、栄養塩類と光を用いて急激に大增殖します(濱・半田, 1996など)。網走湖上層においては低気圧による出水、強風、及び青潮で集水域や下層塩水層及び湖底から窒素やリン等の栄養塩類が多量に加入されることが考えられます。気象庁の網走の気象観測データを見ると、10月7日から8日の低気圧通過後から11月7日の大雨以前まで、最高気温が15 $^{\circ}$ Cを超えた日と日照時間が8時間以上の日が12日間あり気温が高く好天の日が続いており、この間約1ヶ月の降水量の合計が38.5mmでした(図2)。10月13日から11月7日の大雨以前に限ると11mmに過ぎません。サケ親魚が斃死した11月9日は最高気温が19 $^{\circ}$ Cあり、直近の11月6日及び7日には17 $^{\circ}$ Cに達していました。10月21日の網走湖湖中央の透明度は180cmであり(図2)、低気圧による濁りがかなり回復しています。好天と透明度の上昇によって網走湖表層の有光層が拡大し、10月下旬の網走湖上層には植物プランクトンの増殖に必要な栄養塩類や光が十分備わります。そして、10月28日及び11月4日には網走湖湖中央表層で70 μ g/L台までクロロフィルa濃度が上昇していることから、珪藻が十分な栄養塩類や光を用いて大発生したことが推測されます。透明度を見ると10月16日の180cmから10月28日及び11月4日には120cm及び110cmまで低下しており(図2)、この間好天で濁水の影響が無いことから珪藻の増加によって透明度が低下したものと見做せます。

サケ親魚が斃死した11月9日直前の11月7日に28mmの大雨があったことを前述しましたが、この大雨のあった7日から8日にかけて網走地方では強めの風が吹いていました(図1)。気象庁の網走での観測値では、11月8日は平均風速が5m/s、最大風速が西南西の風向で8m/s、最大瞬間風速が西南西の風向きで19m/sであり、網走湖西南岸から北東の湖尻へ湖を横断する風が吹いています。すなわち、10月下旬から11月上旬に網走湖表層で大発生した珪藻が、11月7日から8日にかけて風によって湖尻周辺に吹き寄せられたことが推測されます。植物プランクトンが大発生すると炭酸ガスが植物プランクトンの光合成によって消費されpHがアルカリ側に变化します(中村, 1998)。湖尻周辺に吹き寄せられた多量の珪藻が光合成を行った場合湖水のpHがアルカリ側に变化したことが推測されます。長良川河口堰下流部では、浮遊藻類の一つである褐色鞭毛藻類の多量の発生が認められた時期は、未明に溶存酸素濃度が最も低くなります(村上ら, 2001)。網走湖や湖下流の網走川においても多量の珪藻が夜間に呼吸を行えば酸素が多量に消費され低酸素状態になったことも推測されます。これらのことから、11月9日付近の数日間、11月7日から8日の強風で湖尻周辺に吹き寄せられた珪藻の活動によって局所的にアルカリ性あるいは低酸素の湖水が網走川下流へ流下していたことが想定されます。

海老瀬(2000)によると、網走湖の長軸方向(南北)に強風が長時間継続して上部の淡水が風下に吹き寄せられると、風上で下層の無酸素塩水が湧昇して青潮が発生するとしており、塩水・淡水境界水深が6.5mの場合秋季には春季より青潮が発生しやすく風速約12m/sが青潮の発生限界となっています。11月7日から8日の風は西寄りの風でしたが、強めの風が吹いていたことから風上の西岸付近で塩水層の湧昇が起こっていれば、湧昇した無酸素塩水層水が風によってさらに湖尻周辺に吹き寄せられ網走川下流へ流下していた可能性もあります。

11月12日には、30mmの降雨と、風速が平均6m/s、最大11m/s、瞬間最大が22m/sの北西風が吹いており、風によって小規模ながら青潮の発生があったことも推測されます。この降雨、その後の出水、及び青潮により網走湖上層へ栄養塩類が加入し、翌13日は天気が晴れて日照時間が7.7時間でした。この栄養塩類と日射を用いてすでに多量に珪藻がさらに増殖していれば、13日の網走湖湖央でクロロフィルa濃度が125μg/Lに達していたことが説明つきます。

サケ親魚蓄養試験

図3に網走川サケ親魚蓄養池へ網走川のサケ親魚を蓄養する前(11月10日)と後(14日)の血清Na⁺濃度の全測定値、平均値、標準誤差、及び最高値を示します。Hirano *et al.* (1990)は、三陸沿岸岩手県の大槌湾外の太平洋及び大槌湾内の性成熟がほぼ完了したシロサケを海水中に5日間保ち、血液中の

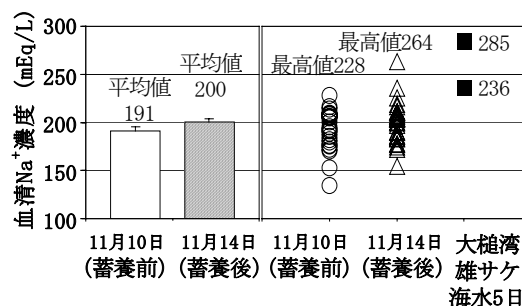


図3 2006年11月10~14日に網走川サケ親魚を蓄養池へ蓄養する前後の血清Na⁺濃度の平均値及び標準誤差(左)と、全測定値及び最高値(右)

■ 岩手県大槌湾の成熟雄サケ親魚を5日間海水へ投入し生残した個体の血漿Na⁺濃度(Hirano *et al.*, 1990)

Na⁺を調べています。また、対照群として大槌川のサケを淡水中に5日間投入しており、その間の血中Na⁺濃度平均値は150mEq/L付近です。この淡水中のサケの血中Na⁺濃度と比較して本実験の網走川蓄養サケの血中Na⁺濃度は、ほとんどのサケで極めて高い値であり、150mEq/L台は試験前後群共に1尾のみでした。Hirano *et al.* (1990)の実験では、太平洋及び大槌湾サケの両実験群共に海水投入後日数が経過するにしたがい血中Na⁺濃度が増加し、斃死していききました。血中Na⁺濃度増加量及び斃死数は、太平洋群より大槌湾群が多く、また両群共に雄より雌が多い結果でした。海水投入5日後の斃死数(斃死率)は、太平洋群の雌で7尾中3尾(43%)で、大槌湾群の雄で7尾中5尾(71%)、雌で7尾中6尾(86%)となっています。斃死魚が見られた実験群では生残したサケの血中Na⁺濃度平均値が200mEq/Lを超えていました。海水投入5日後生残した大槌湾雄サケ2尾の血中Na⁺濃度は236と285mEq/Lでした(図3)。網走川蓄養サケ親魚の血清Na⁺濃度最高値は蓄養前で228mEq/L、蓄養後で264mEq/Lであり、Hirano *et al.* (1990)の実験で斃死率が71%であった大槌湾雄サケ群のうち生残していたサケの血中Na⁺濃度の236と285mEq/Lに相当します(図3)。また、血中Na⁺濃度が200mEq/Lを超えていたサケの割合は、蓄養前が43%で、蓄養後が57%でした。11月10日から14日の蓄養期間中もサケの斃死があったことから、血中Na⁺濃度が200mEq/Lを超えたサケが斃死していた可能性があります。

金子(2002, 2006)によると、三陸沿岸岩手県大槌湾の性成熟がほぼ完了したサケを海中に保つと、体液の浸透圧が急激に上昇し、3日と持たず死亡してしまいます。サケは成熟が進み河川へ遡上する間近になると、鰓の二次鰓弁上の海水型塩類細胞が退縮して、淡水型塩類細胞が鰓弁上に出現してきます。海水型塩類細胞は体内(血中)のイオンを体外へ排出する働きを持ちます。

網走川ウライ中のサケで成熟が進み海水型塩類細胞を持たないか持っても数が少ない個体は、体内(血中)に入ったNa⁺を海水型塩類細胞によって体外へ排出することがで

きなくなり、血清 Na^+ 濃度平均値が 191mEq/Lと高い状態になってしまったことが考えられます(図3)。蓄養後の血清 Na^+ 濃度平均値は蓄養前より 10mEq/L程高く 200mEq/Lでした。蓄養期間中に4度潮の干満があり満潮時にかけて4回蓄養池が海水並みに塩分濃度が増加することによって(図2)、環境水の塩分濃度が高くなる度に蓄養サケの体内(血中)に Na^+ が浸入し、成熟した個体では干潮時の淡水環境でも体内(血中) Na^+ を体外へ排出することができず、血中 Na^+ がさらに増加したことが考えられます。

サケ親魚斃死要因

2006年11月9日網走川蓄養池の斃死サケ親魚について水産孵化場魚病防疫科が細菌・ウイルス検査を実施した結果、魚病細菌やウイルスが検出されず、サケ親魚は感染症が原因によって斃死していないことが診断されました。

11月9日網走川サケ親魚蓄養池(網走川)の水質は、SSが18mg/Lと湖沼の水産用水基準値を大きく超え、クロロフィルa濃度が $34\mu\text{g/L}$ と高く珪藻類が容易に検鏡されたことから、珪藻がSSの主成分であることが考えられました。サケ親魚の鰓に珪藻が付着していることが観察されており、高濃度の珪藻がサケ親魚の二次鰓弁を閉塞し呼吸を障害した可能性があります。2004年秋の能取湖では、台風通過後形質鞭毛藻が大発生し、定置網中のサケの鰓に形質鞭毛藻がからまることで、サケが斃死しています(小出, 2006)。また、サケ親魚が斃死した時期とその前後に、網走湖で珪藻が大量発生したことが示唆され(図2)、11月8日の風によって湖尻に珪藻が吹き寄せられ多量の珪藻が湖下流へ流下したことが推測されました。多量の珪藻の光合成により湖水がアルカリ性に傾き、呼吸によって夜間から明け方にかけて湖水が低酸素状態に陥った可能性があります。干潮時にアルカリ性や低酸素の湖水が網走湖下流の網走川へ流下してサケ親魚蓄養池へ取水され、アルカリ性や低酸素の飼育水がサケ親魚に影響を及ぼした可能性があります。

11月9日付近の数日間は、大潮による激しい潮の干満によって海水が網走川へ大きく遡上し(図2)、網走川蓄養池付近の網走川で海水並みの塩分があったことが示唆されました。11月9日及び10日から14日の蓄養試験期間中においてもサケ親魚の斃死が見られると共に、10日及び14日のサケ親魚の血清 Na^+ 濃度平均値が191及び200mEq/Lであり、Hirano *et al.* (1990)の実験で海水中でサケ親魚が斃死する血中 Na^+ 濃度の200mEq/Lに相当します(図3)。11月9日付近数日間の網走川サケ親魚蓄養池のサケ親魚のうち成熟したサケ親魚は、海水型塩類細胞を持たないか持っているも少ないため、満潮時の海水並みの塩水に曝されて体内(血中)へ侵入した Na^+ を干潮時の淡水環境でも体外へ排出できず、体内(血中)の Na^+ が高い状態が続くことで浸透圧調節が阻害され死亡したことが推測されます。

以上のように、11月9日付近数日間の網走川蓄養池では、

干潮時には網走湖で大発生した珪藻類自体と珪藻の活動によるアルカリ性あるいは低酸素の湖水が流入し、満潮時には大潮による海水の遡上により塩分濃度が海水近くまで増加したことが推測されます。すなわち、サケに大きく影響を与える二つの特殊な要因が、11月9日付近数日間に一致しています。網走川蓄養池中のサケは、干潮時の高濃度珪藻及びアルカリ性低酸素河川水と、満潮時の高塩分河川水に交互に曝されるという特殊な環境によって、主に窒息及び血中 Na^+ 増加による浸透圧調節阻害により斃死した可能性が考えられました。

謝辞

(社)北見管内さけ・ます増殖事業協会の松川洋専務理事と隠岐修一事業部長には、サケ親魚蓄養試験の進行とサケの採血等でご協力いただきました。感謝申し上げます。

引用文献

- 栗倉輝彦(2007). 網走湖の動植物プランクトンの状況について. 第19回網走湖水産研究会(2007年3月9日).
海老江邦雄(2000). 網走湖一塩分躍層一. 「日本の水環境1. 北海道編」(社)日本水環境学会編, pp. 45-50. 技報堂出版, 東京.
濱順子・半田暢彦(1996) 出水期における植物プランクトン生産の動態—衣浦湾を例にして—. 月刊海洋, 28(2), 134-142.
Hirano, T., Ogasawara, T., Hasegawa, S., Iwata, M., and Nagahama, Y. (1990). Changes in plasma hormone levels during loss of hypoosmoregulatory capacity in mature chum salmon (*Oncorhynchus keta*) kept in seawater. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 78, 254-262.
金子豊二(2002). 浸透圧調節. 「魚類生理学の基礎」(会田勝美編), pp. 215-232. 恒星社厚生閣, 東京.
金子豊二(2006). 魚類のイオン・浸透圧調節に関する機能形態学的研究. 日本水産学会誌, 72(4), 632-635.
気象庁 <http://data.kishou.go.jp/etrm/index.html>
小出展久(2006). 道東内水面室この一年. 魚と水, 42, 13-17.
村上哲生・服部典子・藤森俊雄・西條八束(2001). 夏季の長良川河口堰下流部の貧酸素水塊の発達と解消. 応用生態工学, 4(1), 73-80.
中村由行(1998). 水質の基礎知識. 「水圏の環境」(有田正光編), pp. 1-61. 東京電機大学出版局, 東京.
日本水産資源保護協会(2006). 「水産用水基準」.
宇野木早苗(2005). 「河川事業は海をどう変えたか」, p. 56. 生物研究社, 東京.

(わたなべ ともはる: 内水面資源部研究職員)