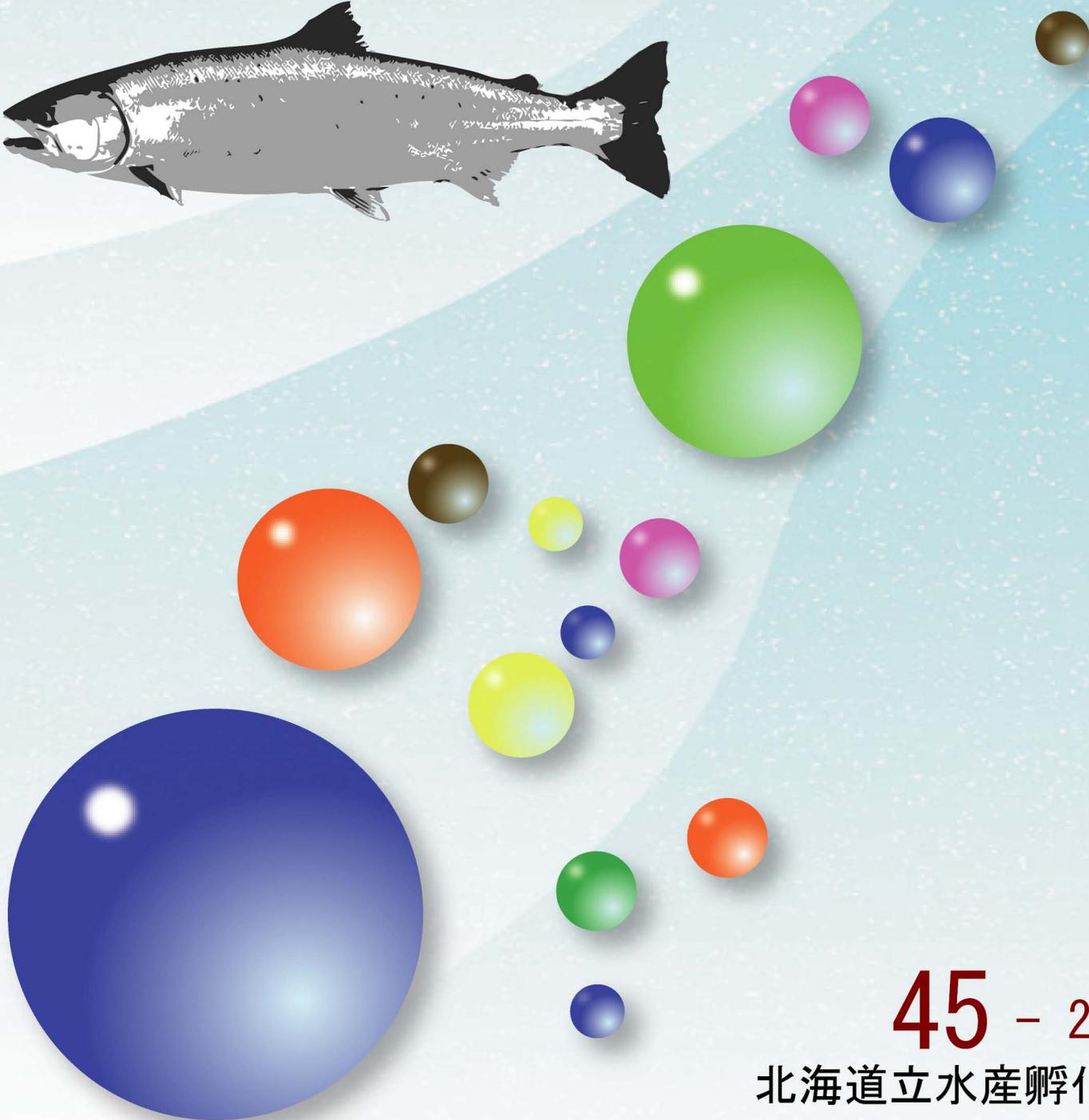
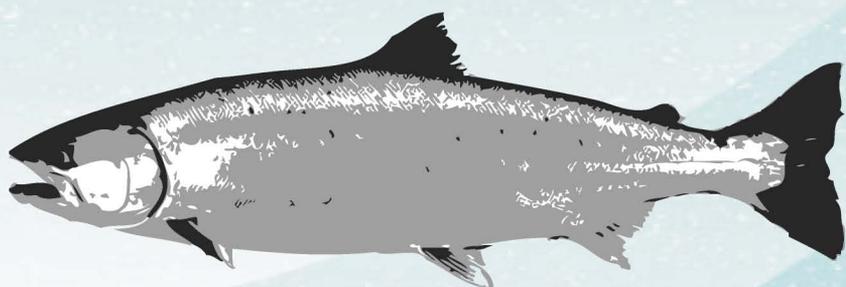


# 魚と水

Uo to Mizu



45 - 2

北海道立水産孵化場

# 目次

## [現在行っている試験研究の紹介]

ブラックバスを北海道が一掃宣言	.....	工藤 智	1
水産孵化場場内向け広報誌	.....	小出展久	6
阿寒湖の水質環境の現状	.....	安富亮平	8



## ブラックバスを北海道が一掃宣言

工藤 智・木村 環

最近、様々な外来生物による影響が社会問題として大きくクローズアップされています。今や、この外来生物の代表格といえる外来魚のブラックバス（オオクチバスとコクチバス）が人為的に他から持ち込まれて、繁殖すると、在来魚や生態系に大きな影響を与えることが知られており（日本魚類学会自然保護委員会編、2002）、ブラックバスの効果的な駆除方法の確立が求められています。

平成19年5月28日、北海道は南幌町のブラックバスの駆除が完了したことに伴い、全国の都道府県で初めて、ブラックバスの駆除終了宣言を行うことが出来ました。これは、平成20年1月27日、滋賀県草津市で開催した「第3回 外来魚情報交換会（外来魚駆除 in 琵琶湖、琵琶湖を戻す会、2008）」で口頭発表していますが、この拙文は、その要旨の一部を加筆・改変したものです。

### ブラックバス初確認と駆除

平成12年から2年間の計画で、北海道（水産孵化場）は水産庁の内水面外来魚管理対策事業として外来魚の生息調査を始めました（工藤、2001）。

2年目の平成13年7月13日、放流情報によって北海道で初めてブラックバス（コクチバス）を渡島支庁管内森町の大沼湖沼群の円沼（まるぬま、0.05k㎡）で1尾（全長23cm、体重205g、図1）を確認しました（工藤、2002）。



図1 初確認したコクチバス（平成13年7月）

さらに7月26日には、同じ沼でブラックバスのオオクチバス1尾（全長33cm、体重569g）を確認したことから、北海道は平成13年10月、内水面漁業調整規則の一部改正を行い、ブラックバス等の移植放流を禁止したほか、地元の大沼漁業協同組合が徹底的にブラックバス捕獲のため地曳き網等の漁獲を続けましたが、円沼ではこれ以外の生息確認はできませんでした。

このため、平成13年12月、担当の渡島支庁が「水中発破による駆除法」を立案したことがマスコミを通じて全国に知られることになり、翌14年3月には、水産庁から水産資源保護法に抵触することが指導されて、実施は見送られることになりました。

円沼は、浮島が多く漁獲効率が悪いいためブラックバスの生息数は全くわかりませんでした。ブラックバスが産卵期で繁殖するとバス稚魚が大沼全体に流出する可能性が大きいため、地元漁業者の危機意識は高まり、ブラックバスの侵入阻止対策は、当時の社会問題であった狂牛病よりも些少ではないとしました（宮崎、2002）。

平成14年4月以降、沼岸沿いに大きな土嚢を積んで、増水時に大沼本湖への流出を防ぐ対策を行なうとともに、山梨県や長野県から新たなブラックバス用刺網による捕獲と神奈川県で開発した人工産卵床（西原ほか、1988）によるブラックバス親魚の誘導を試みましたが、円沼で



図2 人工産卵床の設置作業

毎週1回の中水観察を続けたが、産卵は確認出来なかった。

生息は確認することは出来ませんでした (図2)。

一方、この人工産卵床を使って寒冷地の北海道でブラックバスの越冬・産卵行動を観察するため、平成13年9月から本州産オオクチバスの越冬飼育試験を恵庭市の水産孵化場の屋外試験池で行なっていました。

翌年6月下旬まで22尾(全長244-413mm, 体重221-1206g)が生き残り、オオクチバスは予想に反して、越冬後にも高い生残率(88%)を示しました。さらに平成14年7月22日には、屋外試験池に設置した人工産卵床で産卵行動が行なわれたことで、改めて北海道でもブラックバスが定着する可能性を確信しました(工藤ら、2002)。

産卵行動を観察した数日前の平成14年7月19日には、放流情報により後志支庁管内余市町の余市ダム湖(0.08km<sup>2</sup>)で道内2例目となるオオクチバス成魚2尾(平均全長27cm, 平均体重360g)の捕獲が行なわれたばかりでした。この余市ダム湖では、さらに同年9月2日に北海道では初めてオオクチバスの稚魚を大量に捕獲することになったのでした(図3)。



図3 余市ダムで捕獲したオオクチバスの稚魚  
(平成14年7月)

その後、同年10月末までに地元後志支庁や余市町役場の職員が捕獲調査を続けた結果、合計223尾(平均全長6.5cm, 平均体重4.1g)を捕獲し、ダム湖で残っているオオクチバス稚魚の監視を継続することになりました。

余市ダムの越冬期間(平成14年11月~平成15年5月)のダム湖の月平均水温は、11月:3.1℃、12月:0.4℃、1月:0.5℃、2月:0.8℃、3月:0.9℃、4月:2.7℃、5月:9.8℃でした。この越冬後のオオクチバスの生息確認のため、平成15年5月から月1回の割合で計5回、延べ12名で約17時間の潜水調査(図4)を行っています。



図4 余市ダム湖の潜水調査(平成15年7月)

今回は初の本格的な潜水調査となり、プロの潜水士が臨時職員として協力してくれたほか、私も民間の潜水士資格を取得して必死で潜りました。さらに琵琶湖でブラックバス潜水調査で有名な中井克樹氏(滋賀県立琵琶湖博物館)、魚類の写真・ビデオ撮影を長年続けている田口哲氏(映像作家)の調査協力を得て、ダム湖岸全般に亘って水深1m~10m位を隈なく泳ぎ回りましたが、オオクチバス稚魚(幼魚)の生息は全く確認できませんでした。

この調査の結果、余市ダム湖のオオクチバス稚魚の越冬は「魚体サイズが小さいため」失敗したとみなしましたが、北海道の冬季低水温でも、今回より大型のオオクチバス稚魚が違法放流された時には越冬出来る可能性も否定できませんでした(工藤ら、2005)。

このような調査を行なっているうちにも、ブラックバスの違法放流はさらに続きました。

平成15年8月17日には、札幌市近郊の空知支庁管内南幌町の親水公園の沼(0.079km<sup>2</sup>)で新たなオオクチバ



図5 南幌親水公園沼で釣獲したオオクチバス  
(平成15年8月)

スを捕獲 (全長 38cm、体重 940g、図 5)。その翌日から 9 月までの 2 ヶ月間、断続的な刺し網調査を行ないました。この調査にあたっては南幌町役場のほか、地元フナ釣り愛好家がボランティアで協力してもらいました。13 回の調査で延べ 244 反の刺網により合計 77 尾 (平均全長 18.3cm、平均体重 100g) のオオクチバスを大量に捕獲したので

す。このように突然、大型のオオクチバスが大量に捕獲できたのは初めてでした。さらに、オオクチバスが何を食べて育ったのか (食物連鎖) を知る手法となる安定同位体比の分析を行い、今回のオオクチバスは「新た々に持ち込まれた違法放流」と推定しました (伊藤ら、2005)。

この成果は外来生物法 (特定外来生物による生態系等に係る被害防止に関する法律) による特定外来生物の指定に際し、分類群専門家グループ会合 (魚類) オオクチバス小グループ会合 (平成 17 年 1 月 7 日) の議事資料のなかで有力な資料として使われています (瀬能、2006)。

これらの調査結果から、北海道内でもブラックバスの違法放流が本州と同様に本格化する現実が明らかになってきました。

#### 電気ショッカーボートによるブラックバス調査

北海道では拡大が懸念されてきたオオクチバス調査の問題点として、(1) 調査時間の効率性を図ること、(2) 調査での在来魚に対する悪影響に防ぐこと、(3) 南幌町で捕獲した体サイズでは越冬後に生残・繁殖する可能性があり、このことから早急な駆除の技術的開発を行う必要があると結論され、北海道では、違法放流の抑止手段としても有効と考えられる「電気ショッカーボート」の導入を国内で初めて決定しました (工藤、2004)。

南幌町の親水公園の沼は、石狩川水系千歳川の河跡湖

です。主な生息魚類はイシカリワカサギ、モツゴ、ヘラブナ、ウグイ等です。

平成 16 年 7 月 12 日、この沼で「電気ショッカーボート」はブラックバスの捕獲道具としてデビューすることになりました。

電気ショッカーボート (米国スミスルート社製、モデル 2.5GPP 型) によるオオクチバスの捕獲調査は、表面水温 (°C) と電気電導度 (mS/m) を計測後に沼内の岸沿いを 1 回あたり 2~3 周反復して行いました。設定した値は全て、AC モード・High レンジ (50-1000 ボルト) ・出力 50~60% の値、航行速度は 3~5km/時間を維持しています。作業は乗員が先ず、船首部に設置したフットペダルを踏み込んでスイッチをオンにすると、コントローラから警報音が鳴ると同時に、船首部の黄色いアーム先に電極ワイヤーから水中に放電が起こり、付近に生息する感電して麻痺した魚が浮き上がってきます。これを目視で魚種を確認しながら、オオクチバスのみをタモ網で掬い上げました (図 6、図 7)。しばらくすると、掬わなかった他の魚は感電麻痺からさめて泳いで行きます。

この電気ショッカーボートによるオオクチバスの捕獲結果 (表 1) によって、平成 16 年に 8 日間の調査で 63 尾、平成 17 年は 7 日間の調査で 8 尾を捕獲しましたが、平成 18 年は 3 日間の調査にもかかわらず 1 尾も捕獲することが出来ませんでした。

平成 19 年 5 月 28 日、水産孵化場は南幌親水公園沼の再調査を行ない、この日を含めて 4 日間連続してオオクチバスが捕獲されなかったことから、南幌親水公園からオオクチバスが一掃されたと判断しました。

これに伴い、北海道におけるブラックバスの生息を確認した 3 ヲ所 (円沼、余市、南幌) の駆除は、現時点ですべて終了したことを北海道は宣言しました。



図 6 電気ショッカーボートの船首部と電極



図 7 平成 16 年 7 月、南幌町で捕獲したオオクチバスの最大個体 (全長 42cm、体重 1140g)

表1 電気ショッカーボートによるオオクチバスの捕獲数 (南幌親水公園)

調査月日	開始時刻	終了時刻	休止時間	調査時間	捕獲数	捕獲時間/尾	水温 (°C)	電気電導度 (mS/m)
H16. 7. 12	-	-	-	予備調査	3	-	17.7	64.4
H16. 7. 13	9:50	16:10	1:10	5:10	7	0:44	19.4	32.3
H16. 8. 2	10:20	15:35	1:20	3:55	18	0:13	25.9	35.8
H16. 9. 9	10:15	14:50	1:05	3:30	6	0:35	21.9	121.4
H16. 9. 21	10:00	15:25	2:00	3:25	9	0:22	18.3	122.1
H16. 10. 4	10:00	15:00	1:30	3:30	6	0:35	15.4	136.6
H16. 10. 18	9:50	15:00	1:45	3:25	11	0:18	12.1	145.2
H16. 10. 25	9:45	11:45	0:00	2:00	3	0:40	10.0	157.5
平成16年	合計 (平均)			24:55	63	(0:29)	(17.6)	(101.9)
H17. 4. 25	10:00	13:45	1:30	2:15	1	2:15	9.9	-
H17. 5. 27	10:30	14:10	1:00	2:40	1	2:40	13.0	54.6
H17. 6. 30	9:50	14:30	1:30	3:10	0	0:00	22.8	47.6
H17. 8. 8	9:50	14:20	1:30	3:00	0	0:00	25.9	42.6
H17. 9. 30	9:50	14:40	1:10	3:40	4	0:55	18.1	68.9
H17. 10. 12	9:50	14:00	1:15	2:55	2	1:27	15.0	57.6
H17. 10. 14	10:05	10:50	0:00	0:45	0	0:00	15.3	57.0
平成17年	合計 (平均)			18:25	8	(0:50)	(17.1)	(54.7)
H18. 6. 23	10:00	14:20	1:40	2:40	0	0:00	17.2	45.4
H18. 9. 15	9:10	14:30	1:30	3:50	0	0:00	23.8	50.5
H18. 10. 2	10:15	14:10	0:55	3:00	0	0:00	18.3	96.2
平成18年	合計 (平均)			9:30	0	(0:00)	(19.8)	(64.0)

結局、この駆除の完了に至る調査には延べ7年間を要しました。

**ブラックバス駆除の完了以後**

新たに平成19年から5年計画で、(独立行政法人)水産総合研究センターから北海道への受託研究課題「電気ショッカーボートによる外来魚の駆除技術の開発」が始まっています。

この研究課題の目的は、外来魚が及ぼす外来生態系への影響評価と対策手法の進展のためには、捕獲効率性の高い電気ショッカーボートによる外来魚の生息数推定方法確立が喫緊の課題となっています。この生息数推定方法を確立するために、道内で唯一ブルーギルが生息する五稜郭公園お濠、環境省の皇居外苑管理事務所が管理する外苑濠での外来魚抑制調査、本受託研究に係る埼玉県や滋賀県でも共同調査が継続される予定です。

この研究課題の他に、北海道では平成20年以降、南幌町のモニタリングの継続や違法放流に対する早急な対策を講じるほか、その他の水域での外来魚の違法放流禁止の普及啓発を行なう予定です。

さらには、水産資源への影響が確認されているブラウントラウトについても、生息抑制調査を必要に応じて実施する予定ですが、今後は、外来魚を対象とする遊漁のあり方などについても議論が必要と考えています。



図8 皇居外苑の桜田濠における外来魚生息調査 (平成18年5月)

## 謝辞

「北海道にブラックバスはいらない」という強い問題意識を持ったすべての道民の人々が、この調査を全面的に支えてくれました。とりわけブラックバスの捕獲作業や外来魚放流禁止活動に取り組んでいただいた大沼漁業協同組合の宮崎司組合長をはじめ漁業者の方々、森町・七飯町役場・余市町役場・南幌町役場・函館市役所職員、当時の渡島・後志・空知支庁の関係部局の方々には、未熟な電気ショックボートの操船を始めとして基礎的な技術開発を含んだ調査方法に対して寛容にも協力して下さい、この場を借りて厚く御礼いたします。

## 参考文献

- 琵琶湖を戻す会 (2008). 外来魚駆除 in 琵琶湖  
<http://homepage2.nifty.com/mugituku/index.html>
- Bass Stop! 北海道 (2002) .  
<http://www7.plala.or.jp/PreciousField/bass/>
- 伊藤富子・工藤 智・下田和孝 (2005). 炭素窒素同位体法により推定した北海道への移入種オオクチバスの食性変移. 北海道水産孵化場研報, 59 : 11-20.
- 工藤 智(2001). 北海道における外来魚の影響調査について. 育てる漁業 : 336, 3-7.
- 工藤 智 (2002). 北海道 2001 年, ブラックバス調査事始. 魚と水, 38, 7-18.
- 工藤 智・吉田徳市・田口 哲 (2002). 北海道の屋外飼育池で越冬したオオクチバスの産卵行動, 第9回さけます増殖談話会講演要旨集, (札幌市).
- 工藤 智・中井克樹・田口哲 (2004). 北海道余市ダム湖で越冬できなかったオオクチバス稚魚, 平成16年度日本水産学会大会講演要旨集, (鹿児島市).
- 工藤 智 (2004). 早期対応によるオオクチバス駆除, 「外来魚防除最前線」, オオクチバスの駆除技術の現状と課題日本魚類学会公開シンポジウム, (秋田市).
- 日本魚類学会自然保護委員会編 (2002). 川と湖沼の侵略者, ブラックバス - その生物学と生態系への影響, 恒星社厚生閣.
- 西原ほか (1988). オオクチバスの産卵生態と孕卵数について, 神奈川県淡水試報, No. 24, pp27-35.
- 瀬能 宏 (2006) . 外来生物法はブラックバス問題を解決できるか?, 哺乳類科学, No. 46 (1) : 103-109. 日本哺乳類学会.
- 宮崎 司 (2002). 移入種の生態系への影響, 大沼公園のブラックバス問題, 北海道の自然, No. 40.

(くどう さとし: 内水面資源部河川湖沼科長)

## 水産孵化場場内向け広報紙

小出展久

水産孵化場の企画室は平成5年7月に室長と主査の2名体制でスタートしました。企画室はそれまで水産孵化場にはありませんでしたが、情勢の変化に俊敏に対応できるようにと設置されました。初代企画室長は既に道職員を退職されている今田和史氏、主査には松尾圭子氏が就任しています。平成6年には二代目室長として現中央水産試験場副場長の小島博氏が就任しており、この時に「企画室からのお知らせ」という場内向け広報誌が誕生しました。記念すべき第1号は平成8年6月20日。A4 2段組の一枚物で、白黒印刷で場員に配られました。この「企画室からのお知らせ」は平成9年5月20日まで通算15号が発刊され、場員間の情報の共有化に役立ちました。このような場内向け広報誌は次の室長にも継承され、同年8月4日には名称も新たに“Hokkaido Fish Hatchery Headline News”とあか抜けたタイトルになり、場員に配布されました。原盤はカラーで印刷されましたが、場員には白黒コピーで配られました。毎号違った魚のイラストが隅に描かれており、次は何のイラストかと楽しみでもありました。執筆者は三代目企画室長杉若圭一氏、現さけ・ます資源部長です。ヘッドラインニュースは室長在任期間2年8ヶ月でなんと123号を発刊し、一部はマリンネット上でも公開されていました。平成12年4月、企画室長は現道南支場長伊澤敏穂氏に変わりますが、このころから水産孵化場は体制整備への動きが加速していきます。伊澤室長の後、平成15年6月に企画室長は現計画管理室長小林美樹氏に引き継がれますが、体制整備への移行期の煩雑な業務の中、企画室から発刊される広報誌はありませんでした。水産孵化場は平成16年7月に新体制への整備を行い、資源管理部、養殖技術部、病理環境部の研究3部を、さけ・ます資源部、内水面資源部、養殖病理部の新研究3部体制にし、えりも、真狩、宗谷の3支場を手離すとともに森支場を試験池とし、中標津に道東支場を、網走に道東内水面室を新設しました。熊石支場、増毛支場もこの時、道南支場、道北支場へと名称を変更しています。この新体制により、企画室も新たに情報主査を加え、3名体制に拡充されました。私が企画室長に就任したのは平成18年4月、情報主査には引き続いて遠藤智樹氏が、企画主査には神力義仁氏の後任と

して中島美由紀氏が就任しています。新体制になって少し落ち着いた頃合いということで、休止していた場内向け広報紙を復刊することにしました。熟考の末名称は“きかく室”。漢字表記の“企画”ではなく、ひらがなで“きかく”とし、やわらかさを出したつもりでしたが、代わり映えしないとおしかりも。新しい広報紙“きかく室”は私の在任期間1年2ヶ月の間、35号を発刊して閉じましたが、引き継いだ竹内企画室長が同じ名称で、号数も引き続いて発刊を続けてくれています。場内向け広報紙“きかく室”は原則として場員のみを購読対象にしていますが、OBの方にもみてもらえるように外部から閲覧できるようになっています。詳しくは企画室までおたずね下さい。

企画室のような立場にいと研究部にいたときは異なり、水産孵化場という組織が北海道の中でどんな位置にいるのか、どんな位置にいないのかよく見えてきます。各部や各科も水産孵化場の中でどのような位置にいるのか、また、どうあるべきかが見えてきます。場内向け広報がそんな再認識の手助けになればと思いました。小さな機関でも人と人の意志の疎通はできているようではなかなかできないのです。このような場内向け広報紙が場内の情報を共有化し、それぞれの人の橋渡しになって仕事への励みになれば幸いです。最後に発刊123号を誇ったヘッドラインニュースの最終号、“これにて失礼つかまつる”の記事から一部を紹介して筆を置きます。「このニュースを発行した目的は皆さんに孵化場の仕事を大局的に把握してもらうこと。そのための情報提供の手段でした。その背景には、水産孵化場という試験研究機関が何のためにどういう仕事をしているのか、という姿が外から見ても中からみても希薄になっていると感じたからです。(中略)自分が所属するセクションの中で、水産孵化場という試験研究機関の中で、道の研究機関全体の中で、そして道庁という大きな組織の中で自分は何のために何をなすべきなのか、何ができるのかをいつも考えている必要があると思います。(2000年4月3日発刊No.123より)」

(こいでのぶひさ：養殖病理部長)

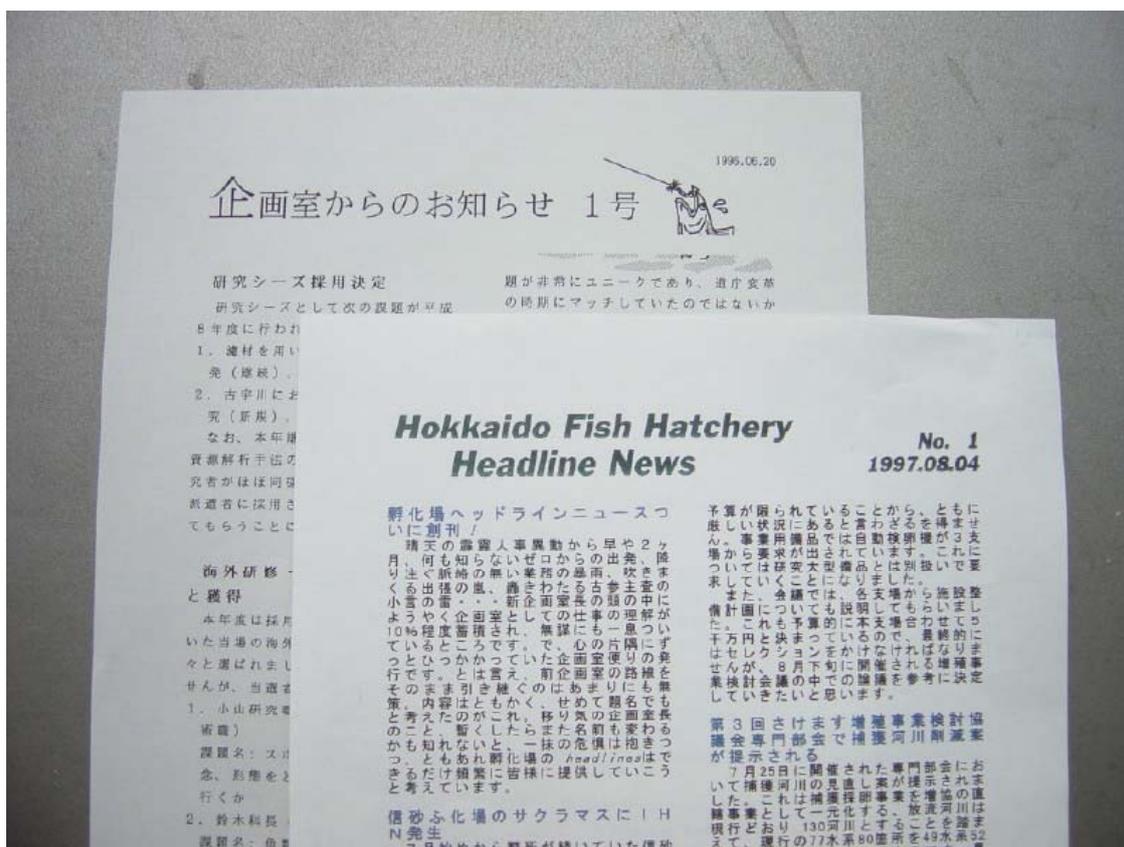


図1 記念すべき場内向け広報紙  
初代「企画室からのお知らせ」(奥)と二代目「ヘッドラインニュース」(手前)の創刊号



図2 復刊した三代目「きかく室」の創刊号(左)と最終号(右)

## 阿寒湖の水質環境の現状

安富亮平、渡辺智治、隼野寛史、眞野修一

### 調査の目的

近年、北海道の主要漁業生産湖沼でワカサギやヒメマスの漁獲量が減少し、このことが地元組合の存亡にもかかわるなど内水面漁業の大きな問題となっています。

阿寒湖のワカサギは、かつて100トン前後の漁獲があったものが、最近では10-30トンまで低下し、2008年に59トンまで持ち直したとしても、全体的な傾向として減少傾向が認められています。

このような、漁業資源の減少原因として、周辺の開発・整備等による水質などを含めた湖水環境が変化することが主なものとして考えられていますが、環境変化と漁獲量の関連性についての検証はいまだ充分になされていません。このため、湖沼の生物生産の根源となる植物プランクトンの作る基礎生産を測定し、これを指標とし湖沼の生産力評価を行ない、現在の減少した漁獲量を各湖沼に適した水準まで引き上げ、資源を持続的に利用するための管理手法を提言することを目的とした調査研究を行っています。ここでは、その中から、阿寒湖の水質及び基礎生産量の現状と漁獲量の関係について明らかになったことを報告します。

### 調査の内容および方法

#### 調査の内容

- (1) 水質環境調査
  - 水温、水質のモニタリングとその変化の把握
  - 栄養塩類、イオン類の水深ごとの変動
- (2) クロロフィルa濃度
  - 植物プランクトン量変動
- (3) 基礎生産量調査
  - 安定同位体による基礎生産の測定
  - 水深ごとの生産量の変化
- (4) 動物プランクトン調査
  - 動物プランクトン量の変化の把握
  - 種の同定と、量の変化
- (5) 漁獲量調査
  - 漁獲物の量と大きさの把握
  - 漁獲量、平均体長の時期的な変動
- (6) 気象条件の把握
  - 風速、日照、気温の変化

以上の内容で阿寒湖の調査を実施しました。

### 調査の方法

阿寒湖の調査地点を図1に示しました。この地点は従来から行われている公共用水域水質測定調査地点(Sta.2)です。調査は、平成18年5月15日、6月20日、7月24日、8月28日、9月25日、10月23日、11月27日、平成18年2月5日、5月23日、7月24日、10月24日、平成20年1月29日の12回実施しました。採水は、0、2.5、5、10、15、20、30mで行い、それぞれの水深の水温、COD、栄養塩、アニオンとカチオン、総鉄、クロロフィルa、フェオフィチンなどについて測定および分析を実施しました。そのほか、調査地点のプランクトン組成調査、漁獲日誌等による漁獲量調査も実施しました。また、2007年5月23日、7月24日、10月24日については、上記の調査のほかに、採水水深での、安定同位体<sup>13</sup>Cを使用した現場法で基礎生産量を測定しました。

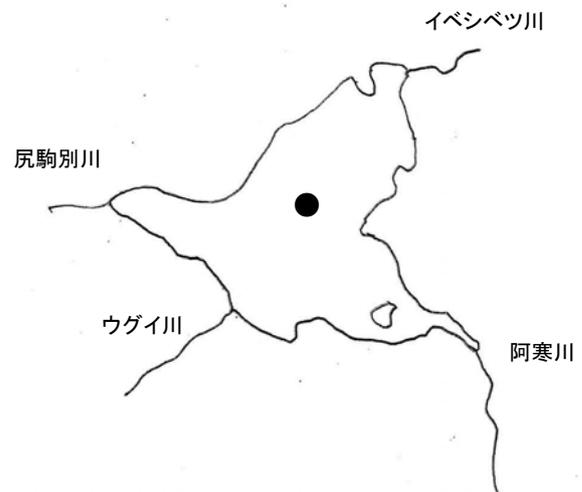


図1 阿寒湖の調査地点

### 結果と考察

#### (1) 水質環境調査

調査地点の水深ごとの水温の変化を図2に示しました。

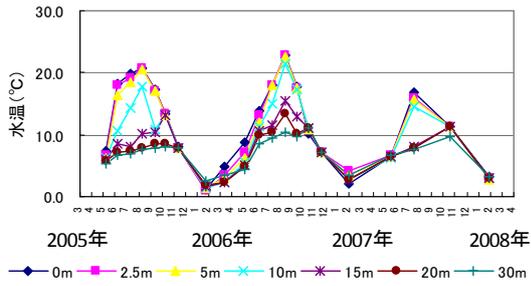


図2 水深ごとの水温の変化

春と秋に表層から底層まで水温がほぼ同じになる循環期が存在していることがわかります。この時期は水の密度が表層から底層までほぼ同じになりますので、容易に上下の水の混合が起こると考えられます。春の循環期と秋の循環期の間には、ある水深から急に低くなる水温躍層といわれる層ができる時期があります。それが成層期と言われます。この時期は、水塊の上下混合が起きにくくなります。また、秋の循環期と春の循環期の間にも、表面水温0°C、底の水温が4°Cとなる時期があります。これは逆成層と言われ、この時期もまた、水塊の上下混合が起きにくくなります。図2ではあまりはっきりしていませんが2月にそのような逆成層の傾向がみられます。

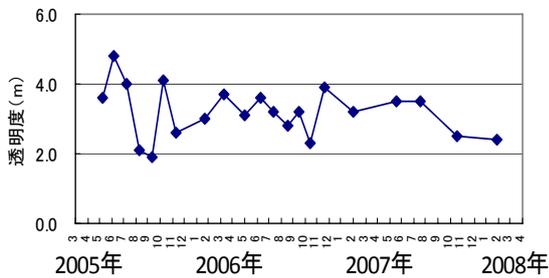


図3 透明度の変化

図3に透明度を示しました。2005年6月23日に4.8mと最大値を示し、2005年9月26日に1.9mと最低値を示しました。平均値は3.2mでした。

栄養塩は、リンと窒素があり、リンは溶存態のリン酸イオン、窒素は、溶存態のアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素があります。アンモニア態窒素は、酸素がある場合、酸化されて亜硝酸態窒素をへて硝酸態窒素になります。魚に対して毒性があるのは、アンモニア態窒素と亜硝酸態窒素です。硝酸態窒素の毒性を表す濃度は高く、通常の問題では問題となりません。また、リンと窒素の栄養塩のバランスによりアオコが発生しやすい環境となることが知られています。

図4にリン酸イオン、図5にアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素を示しました。

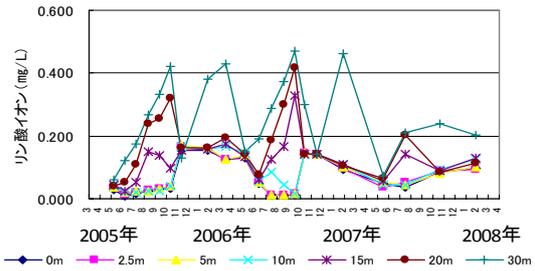


図4 リン酸イオンの変動

リン酸イオンは、底層で濃度が高くなる傾向があります。夏季と冬季にこのような高い濃度が検出されています。これは夏季の水温の上昇とそれに伴う成層と底泥の有機物の分解などによるリンの溶出が起きていると考えられます。また、冬季は表層が結氷し、表面の水温が4°Cより下がることで、水の密度が低くなるという逆成層の傾向がみとめられます。このために、底層の水が滞留し上記と同じ原因でリン酸イオン濃度の上昇が起きていると考えられます。

図5-1,2に各種溶存態窒素の濃度変化を示しました。アンモニア態窒素は、循環期を除いて30mが他の水深より濃度が高くなっています。とくに冬季結氷時の停滞期においては0.3mg/Lの高い濃度を示しています。

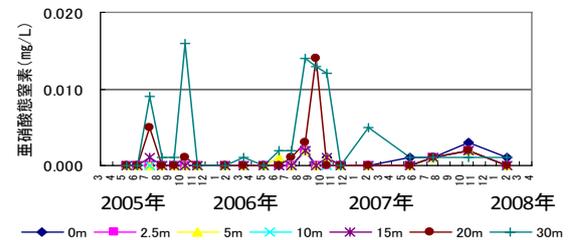
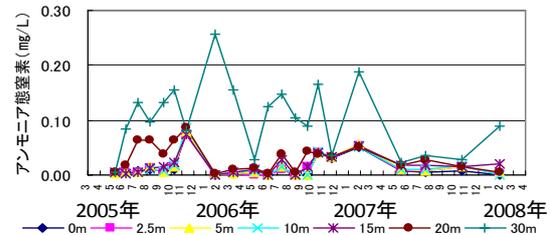


図5-1 溶存態窒素濃度の変化

(アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素)

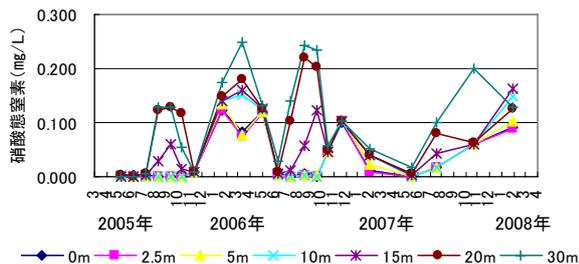


図 5-2 溶存態窒素の濃度変化(硝酸態窒素)

また、夏場の表層では濃度が低いことがわかります。これは、植物プランクトンの増殖に使われているものと考えられます。亜硝酸態窒素は 20m、30m で高い濃度が測定されていますが、その他の水深では検出されません。

硝酸態窒素は、冬場で表面から底まで、夏場 15m 以深で濃度の上昇がみられます。最大濃度でも 0.3mg/L を超えないことがわかります。これら窒素の濃度は、底層での濃度が高い傾向にあるのがわかります。この理由として、夏場の表層では光合成により窒素が消費され濃度が低下し、底層では有機物の分解により酸素が消費され、窒素が溶出していくと考えられます。

酸素濃度を図 6 に示しました。水温と同じように、成層が起きている場合、水塊は、上下混合が起こりにくく、このため滞留した状況で底泥中の有機物などの分解がおこり、底層のリンと窒素濃度が高くなります。つまり、アンモニア態窒素は有機物の分解で生じ、酸素がある状況では、バクテリアにより酸化されて亜硝酸態窒素をへて硝酸態窒素と変化します。また、リンと鉄は、酸素があると結合状態で存在していますが、酸素がなくなると鉄からリンが外れて水中に溶出していきます。このことが底層でおきていると考えられます。

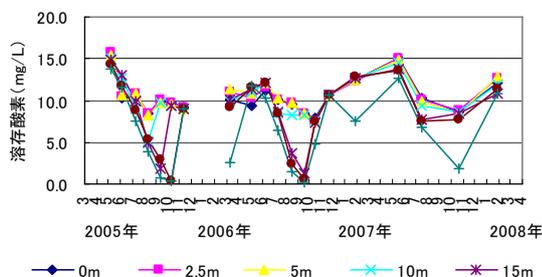


図 6 溶存酸素濃度

溶存酸素は循環期には、表面と底の濃度がほぼ同じになっているのがわかります。また、リンと窒素の栄養塩も酸素が低下している底の部分で濃度が高くなっている傾向が見られます。2006年の2月に30mでアンモニア態窒素が高くなっていますが、この時期は溶存酸素が欠測状態になっています。次の3月の30mの溶存酸素が低いことからおそらく2月も底での溶存酸素濃度は低かったと考えられます。このように、水温、溶存酸素、栄養塩濃度は関連し合っていることがわかります。

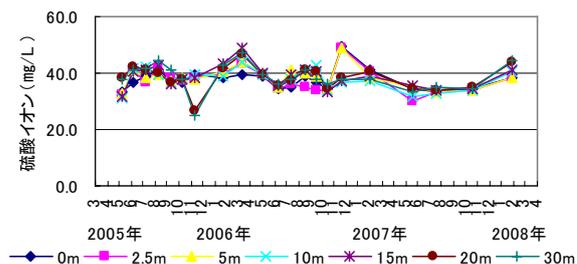


図 7 硫酸イオン濃度

硫酸イオンは、硫化物鉱床からの溶出水、温泉水の中に多く含まれています。24.9~49.4mg/Lで最低値は2005年11月24日の30m、最大値は2006年11月27日の0mで、平均濃度は38.1mg/Lでした。

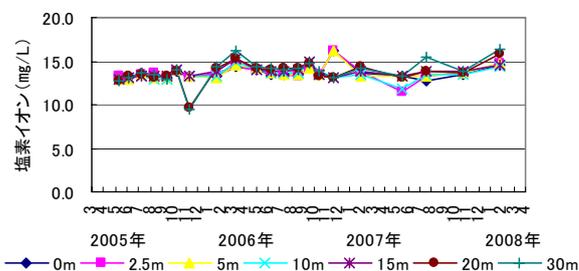


図 8 塩素イオン濃度

塩素イオンは、温泉水に多く含まれています。9.5~16.4mg/Lで、最低値は2005年11月24日の30m、最大値は2008年1月29日の30mで、平均濃度は13.7mg/Lでした。

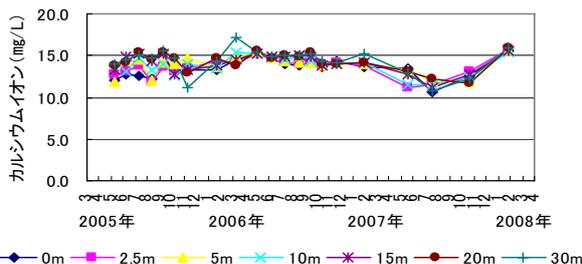


図9 カルシウムイオン濃度

カルシウムイオンは、石灰岩を含む地層からの水に多く含まれています。10.7～17.2mg/Lで、最低値は2007年7月23日の0m、最大値は2006年3月23日の30mで、平均濃度は13.9mg/Lでした。

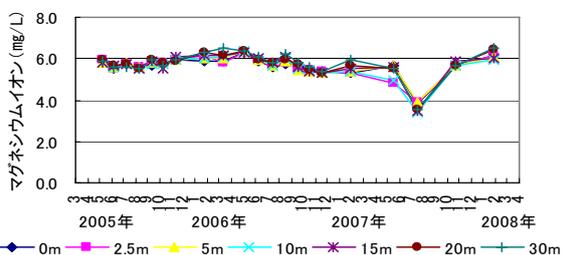


図10 マグネシウムイオン

マグネシウムイオンは、マグネシウムを含む岩石土壌の風化したものからの溶出水に多く含まれます。3.4～6.5mg/Lで、最小値は2007年7月23日の10m、最大値は2006年3月23日の30m、平均濃度は、5.7mg/Lでした。この7月23日の濃度の低下は、20日から23日にかけて降水があったので、それと関係があるかもしれません。

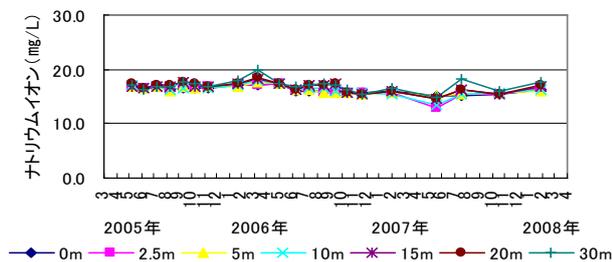


図11 ナトリウムイオン濃度

ナトリウムイオンは、塩化ナトリウムを含んだ岩石からの溶出水、温泉水に多く含まれています。12.9～20.0mg/Lで、最小値は2007年5月23日の2.5m、最大値は2006年3月23日の30m、平均濃度は16.5mg/Lでした。

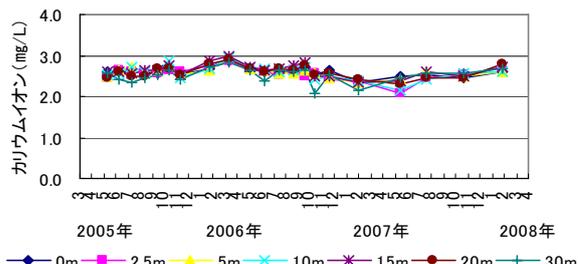


図12 カリウムイオン濃度

カリウムイオンは、花崗岩等の風化したものからの溶出が多く、夏には植物によって土中のカリウムが吸収されるために流水中のカリウムイオンが低下するといわれています。2.1～3.0mg/Lで、最小値は2007年5月23日の2.5m、平均濃度は2.6mg/Lでした。

以上の結果から、硫酸イオン、塩素イオン、カルシウムイオンとも2005年の11月24日の30mで濃度の低下と2006年の11月27日の0～5mで、硫酸イオン、塩素イオン濃度の上昇が認められました。これらの変化は他のイオンでは認められませんでした。また、2007年7月23日の0～30mまでのマグネシウムイオンの低下も特徴的です。これも他のイオンでは認められない変化です。このイオン類の濃度は水の性質を知る上でも必要です。また、これとは別にアルカリ度を測ることは次のトリリニアダイアグラムを書く場合必要になってきます。また、分析の精度を見ることもアルカリ度を測ることによって解ります。このアルカリ度はpHを4.8まで下げるのに必要な硫酸量から計算します。pHが中性付近にある場合、水中の重炭酸イオンHCO<sub>3</sub>量とほぼ等しいといわれています。図12にアルカリ度の変化を示しました。

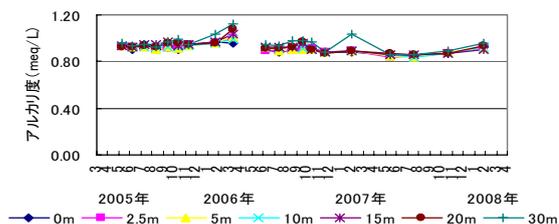


図13 pH4.8 アルカリ度の変化

アルカリ度は底層で上昇する例が見られましたが、水深、調査時期による大きな変化はないことがわかります。0.84～1.12meq/L、最小値は2007年5月23日の2.5m、2007年7月23日の5、10m、最大値は2006年3月23日の30m、平均値は0.92 meq/L (ミリ当量/L) でした。

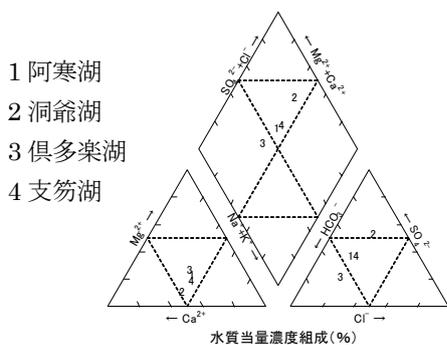


図 14 各湖沼のトリリニアダイアグラム  
(早狩進氏作成アドイン使用)

これまでに述べたイオン濃度とアルカリ度がわかれば、トリリニアダイアグラムがかけます。図 14 は阿寒湖のほか、参考のために加えた、洞爺湖、倶多楽湖、支笏湖のトリリニアダイアグラムです。イオン類の濃度から等量濃度を計算して、矢印の方向に 0 から 100% の割合になるように図示したものです。阿寒湖と支笏湖は、同じ位置にプロットされているので、イオン割合が似ています。また、阿寒湖はナトリウムとカリウム、マグネシウム、カルシウムイオンの割合が倶多楽湖のイオン割合とにており、硫酸イオンと塩素イオン、炭酸イオンが洞爺湖と倶多楽湖の中くらいの割合にあることが解ります。塩素イオンは 4 湖沼で構成割合が似ていることがわかります。また、洞爺湖は硫酸イオンの割合が他のイオン類より高いことが解ります。このようにトリリニアダイアグラムを描くことにより視覚的に湖沼のイオン構成割合の類似性がわかります。

## (2) クロロフィル a 濃度

ワカサギの餌として重要な動物プランクトンは、湖沼で生産されている植物プランクトンと関連があります。植物プランクトンは光合成で有機物を作っています。その有機物は食物連鎖網に乗り動物プランクトン、魚類へと移ってきます。クロロフィル a 濃度は、この植物プランクトン量を推定する一つの指標となります。

クロロフィル a 濃度は 20 μm 以下 (<20 μm)、20 μm 以上 (>20 μm) に分けて測定をしました。なぜこのようにサイズ分けしたかといいますと、過去の調査から、<20 μm のサイズの基礎生産と漁獲量がある程度、正の関係があることが解っているからです。このことについては次の基礎生産量のところで説明します。図 15 に総クロロフィル a 濃度の変動を示しました。クロロフィル a 濃度は、植物プランクトンが存在すれば数値が出てきますので、必ずしも光合成をしているとは限りません。

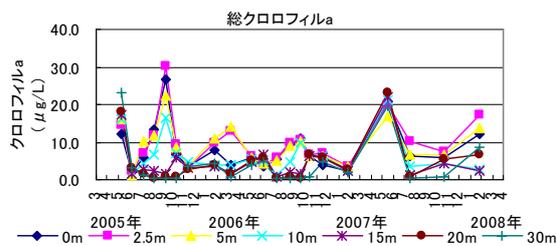


図 15 総クロロフィル a 濃度

2005 年の秋、2007 年の春に高い数値を示しているのがわかります。植物プランクトンのブルームがおきていると考えられます。これをサイズ別にグラフにしたのが図 16 です。総クロロフィル a 量と >20 μm のクロロフィル a 量の変動が似ていることがわかります。<20 μm のサイズは 2007 年の春の大きなスパイク以外は大きな変動は認められませんでした。2005 年の秋、2007 年の春は、この結果からはサイズ構成が異なっていることがわかり、2005 年の秋は >20 μm のサイズの割合が高く、2007 年の春では両サイズともに増えていることがわかります。これは植物プランクトン組成が異なっていることを示しています。

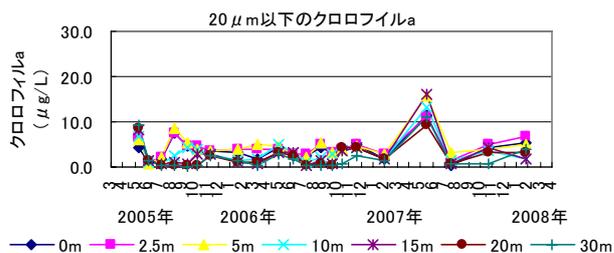
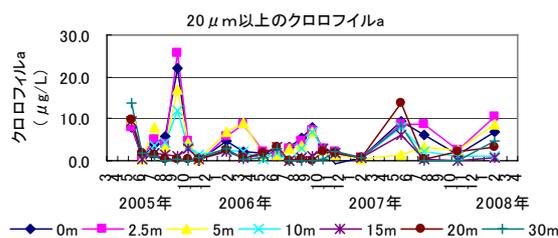


図 16 サイズ分けしたクロロフィル a 濃度

## (3) 基礎生産量調査

湖沼の基礎生産量を図 17 に示しました。基礎生産量は、植物プランクトンが光合成で作る有機物の量を炭素量 (C) であらわしたものです。阿寒湖の場合、日野ら\*1 が過去からの数値をまとめたものがあり、それにわれわれが、2007 年に測定したものを載せました。2002 年から 2007 年までは基礎生産量の測定はありません。

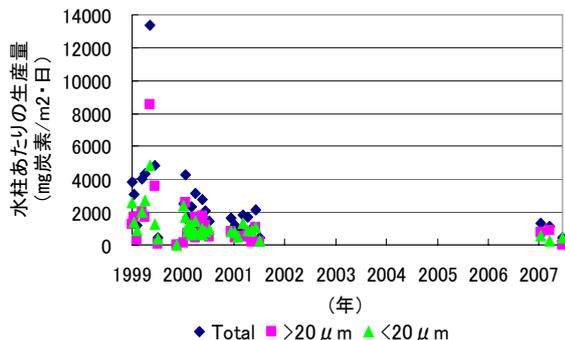


図 17 水柱あたりのサイズ別基礎生産量

図 17 はサイズを総量 (Total)、<20 μm に分けて計算しました。これは阿寒湖の 1m<sup>2</sup>あたりの底から表面まで、一日あたりに固定される (有機物になる) 炭素量を示したものです。2007 年の数値は特に従来から大きくかけ離れた数値ではないことが解ります。また、1999 年 9 月 13 日に 13.3 g C/m<sup>2</sup>・日の最大の生産量を示していますが、2007 年は生産量が低めに測定されています。次に、基礎生産量を、調査年別に阿寒湖全体で 1 日に固定される炭素の量として示したものが図 18 です。

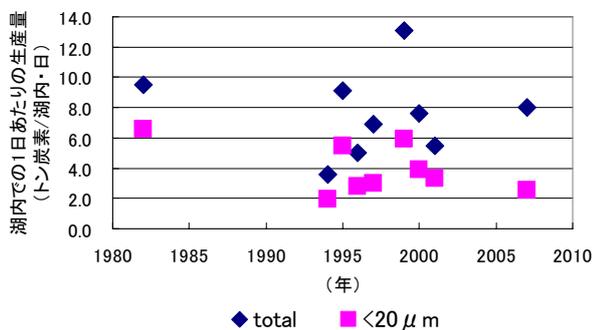


図 18 阿寒湖全体の一日あたりの基礎生産量 (年平均値)

ここでも総量は平年並みであるが、<20 μm のサイズの生産量が低めに測定されているのがわかります。

#### (4) 動物プランクトン調査

ここでは、底から表面まで NXX13 のプランクトンネット (口径 30cm) で採取し、ホルマリン固定したサンプルを 24 時間静置したときに沈殿する動物プランクトンの容積について説明します。魚の餌となるにはその魚にあった大きさが必要ですが、動物プランクトンは湖沼の基礎生産量に関連して量を増やしたりしていません。また、それを餌としている魚類などによっても量

は変化します。図 19 は動物プランクトンの沈殿量をグラフにしたものです。

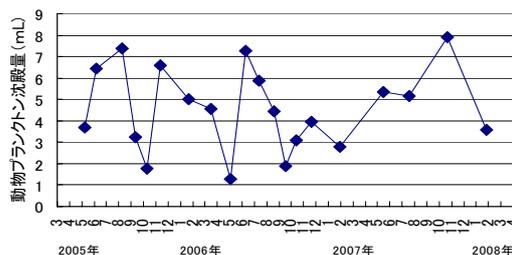


図 19 動物プランクトンの沈殿量

2005 年から 2008 年 1 月までの量を示しました。2007 年の 11 月に最大量 8mL を示しています。この時期は総基礎生産量が 2007 年 3 回の調査の中で最小値を示していた時期です。動物プランクトンの捕食により植物プランクトンによる生産量が少なくなっている可能性があります。

#### (5) 漁獲量調査

図 20 にワカサギの漁獲量変化を示しました。ワカサギの漁獲量は 1988 年に 93 トン取れていたものが、全体的に減少傾向にあり 2007 年では持ち直したといっても 59 トンでした。このような減少傾向の原因の一つに湖内への栄養塩の供給の減少したことが上げられています。それは、温泉地からの生活廃水を集中処理場経由で湖外に放水しているためと考えられています。

図 21 のワカサギ漁獲量と基礎生産量の関係では、統計的に有意ではないが、総量 (total) より<20 μm のサイズとの相関が高いことが解ります。大きなマークは 2007 年の 3 回の調査を年間 240 日の解氷期として年間の平均値を取ったものです。2007 年は、総量 (total) は平均的であるものの<20 μm のサイズの基礎生産が低い割に漁獲量があったことが解ります。しかし、基礎生産量測定回数が 3 回と少ないので、測定回数を増やすと、基礎生産量が変わってくる可能性があります。

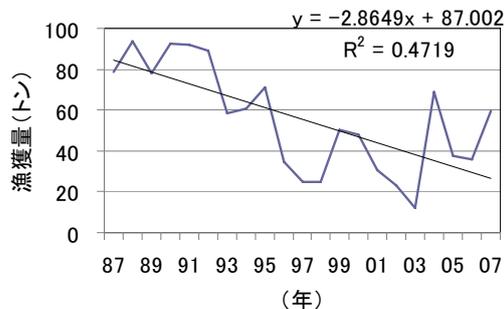


図 20 ワカサギの漁獲量の変化

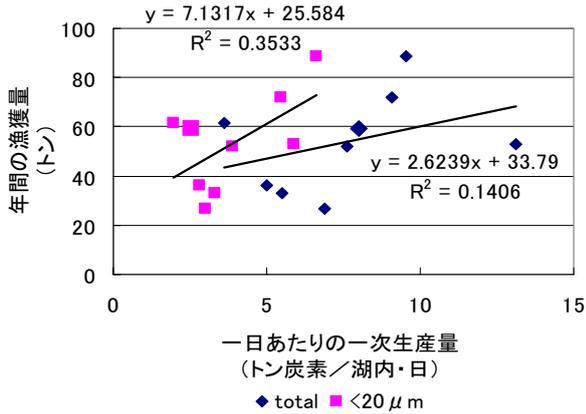


図 21 ワカサギの漁獲量と基礎生産量の関係  
(日野ら作成データ\*1 に 2007 年度分を加えたもの)

このように、1 年間の調査で初めて年間の生産量を出せますので、このグラフに総量 (total)、<20 μm にそれぞれ一つの点を加えることが出来るのです。

この結果からは、阿寒湖のワカサギの漁獲量は、1982 年から現在まで大きな変化は認められないので、湖内の基礎生産量とワカサギの漁獲量の関係を考えてゆくことは有効な方法と考えられます。

### (6) 気象条件の把握

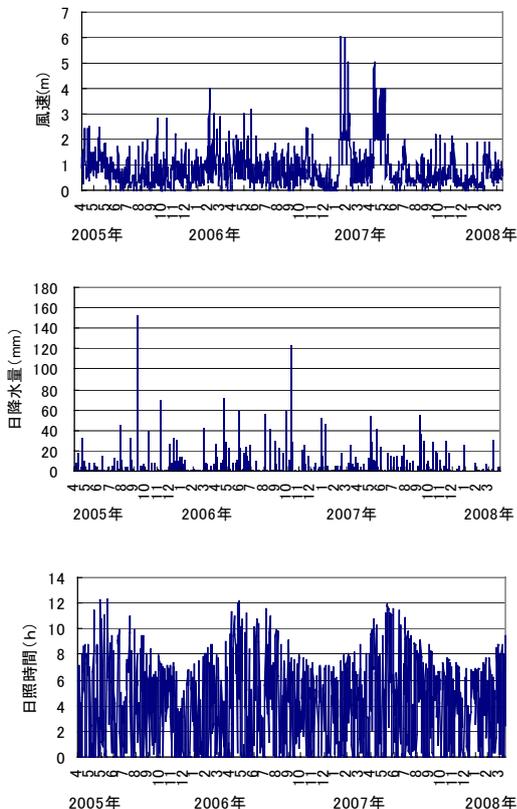


図 22 阿寒湖の風速、日降水量、日照時間の変化

風の影響で、栄養塩に富んだ底の水が上昇することにより、表層での生産量が上がる可能性が考えられます。2005 年から 2008 年までの降水量、風速、日照を気象庁のホームページのデータからグラフ (図 22) を作成しました。風速については 2007 年の 2 月、5 月にピークが認められます。5 月は循環期に当たりますので、攪拌がおきやすく風で容易に、底の栄養塩が表層に上昇したと考えられます。

表 1 各年の平均降水量、日照時間、風速、気温

年	降水(mm)	日照(h)	風速(m)	気温(°C)
2005	3.32	4.22	0.72	11.55
2006	4.74	4.33	0.84	11.50
2007	3.67	4.63	0.96	11.08

また、日降水量は 2006 年の 10 月に高いピークが見られますが、日照時間については、このグラフからははっきりしません。そこで平均値を出してみました。湖の基礎生産は冬季にはほとんど行われていないことが過去の調査からわかっています。このため生産が行われていると考えられる 5 月から 11 月までの平均風速、平均日照、平均気温を表 1 に示しました。2007 年の特徴としては、日照時間が長く、風速が他の 2 年より高く、気温は低い傾向が認められました。また、2006 年は降水量が他の 2 年より多いことがわかりました。降水量は、湖に栄養塩を添加します。また、強風が循環期に起これば、湖水の上下攪拌が起こり底層の栄養塩を光合成の行われている有光層に供給します。日照は基礎生産量の増減に関係します。気温は水温の上昇に関連します。これらの現象は互に関連しあって、湖の生産量を増減させていると考えられます。

### まとめ

阿寒湖は、底層のリン、窒素の濃度が他の水深より高い傾向にありました。夏季から秋季にかけての表層では、植物プランクトンの増殖により、窒素欠乏、リンの濃度の低下状況が出現していました。各種イオン類については、時期により種類によりわずかな濃度の変動は見られますが、全体的には、濃度は安定していました。アルカリ度を含めたイオン類から、阿寒湖の特徴を見たところ、阿寒湖は、支笏湖とイオン組成の割合が類似し、ナトリウムとカリウム、マグネシウム、カルシウムイオンの割合は、俱多楽湖と類似し、硫酸イオンと塩素イオン、炭酸イオンの割合が洞爺湖と俱多楽湖の間くらいにあることが解りました。

植物プランクトンのクロロフィル a 濃度は、おおむ

ね春と秋の循環期に濃度が高くなる傾向を示していました。底からの栄養塩を利用して、この時期に植物プランクトンの増殖が活発になっていると解釈できます。サイズで見ると、2007年の春先は<20μmのサイズが、2005年からの3年間で最大の濃度を示しています。>20μmのサイズも2番目に高くなっているのがわかりました。

基礎生産量は、過去の調査結果と比較すると、総生産量 (total) の数値は平均的な数値で、<20μmはやや低い値を示していましたが、特に従来から大きく異なる値ではありませんでした。

ワカサギ漁獲量は減少傾向にありますが、2007年の漁獲量は、近年では高く59トンになりました。気象条件では2007年の春先、循環期に強い風が吹いていたことが確認され、日照が長く、気温が低い傾向からワカサギの生産量増加につながった可能性が考えられます。つまり、循環期に風が吹いたことから底からの栄養塩の供給が多くなったこと、日照時間、水温の低下などが基礎生産量の増加とワカサギの餌料生物の増加をもたらした、近年にない漁獲量をもたらしたと考えられます。このことは、2007年春の循環期にクロロフィルa濃度の増加として認められましたが、基礎生産量の測定からは、この現象を捉えることが出来ませんでした。基礎生産量は日照に影響を受けるので、測定頻度を上げることにより、高い基礎生産量となった時期を捉えることができた可能性があります。

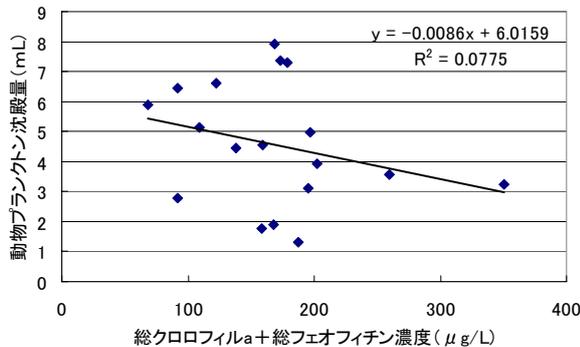


図 23 光合成色素と動物プランクトン量

図 23 にクロロフィルa+フェオフィチンと動物プランクトンとの関係を示しました。サイズは総量 (total) です。また、フェオフィチンはクロロフィルaの分解産物です。動物プランクトン量は「(4)動物プランクトン調査」の項目で説明したとおり、NXX13 ネットで底から表面まで曳いて採れたプランクトンをホルマリン固定したものを24時間静置したときの沈殿量です。調査結果からは有意な相関は認められないものの、動物

プランクトンが多いときは植物プランクトンが少なくなっていると考えられるところも見られました。このことは、植物プランクトンの生産量に動物プランクトンが依存していることを考えれば当然のことでしょうが、この調査からは傾向しかわからなく、量的な関係を明らかにするまでには至りませんでした。この調査では、プランクトンの種組成も調べており、これも含めて解析を行っています。

以上が現在まで行われた、阿寒湖の調査概要と現状です。水産孵化場では、漁業が行われている湖沼の湖沼環境変化、漁場環境を把握し、悪化した場合の改善策を考えるために、漁業協同組合の協力のもとこのような調査をしています。現在、洞爺湖、倶多楽湖、天塩パンケ沼で行っていますが、阿寒湖ほどのデータは集積していないのが現状です。いずれの調査も、環境の変化とそれに付随する問題が起きる前にその問題の予測に役に立つ調査を計画し、継続していくことが必要と考えています。

謝辞

稿をおえるにあたって、貴重なデータ、助言をいただきました山形大学の准教授日野修次氏、北海道環境科学研究センター石川靖氏、北海道栽培漁業振興公社技術顧問今田和史氏に深謝いたします。

参考文献

\*1 山形大学理学部、北海道環境科学研究センター、北海道立衛生研究所、阿寒湖漁業協同組合、「阿寒湖の基礎生産環境と魚類餌料としての微生物の生産に関する研究報告書」、平成11年～13年 阿寒町受託研究。

(やすとみ りょうへい  
: 内水面資源部水域環境科長)

