

## トピックス

# 冬期のアラスカ湾における国際共同調査：サケは冬に死亡するのか？

うらわ 浦和    しげひこ 茂彦（北海道区水産研究所 さけます資源研究部）

## はじめに

日本系サケの来遊数は、2000年代半ばより長期的に減少傾向を示すようになり、2019年には約1,970万尾（12月31日現在の速報値）と過去40年間で最も低くなった。日本系サケの減少要因として、初期生活期における生残率の低下が指摘されている（斎藤・福若 2018; 宮腰 2018; 春日井 2018; 川島ら 2018; 佐藤ら 2018）。一方、冬の海洋生活期にもサケマス類の死亡が起きやすいと考えられ（Nomura et al. 2000; Beamish and Mahnken 2001; Moss et al. 2005; Farley et al. 2007）、サケマス類の成長に関連した海洋死亡が最初の秋から冬にかけて起き、それが年級群豊度を規定しているとの仮説（critical-size and critical-period hypothesis）が提唱されている（Beamish and Mahnken 2001; Beamish et al. 2004）。

北太平洋東部のアラスカ湾では、1992年、1996年と2006年に水産庁の調査船「開洋丸」による冬期調査が行われ（Ueno et al. 1996; Ishida et al. 2000; Fukuwaka et al. 2006）、北米系だけでなく日本を含むアジア系サケもこの海域で越冬することが遺伝分析で明らかになった（Urawa et al. 1997, 2016; Beacham et al. 2009）。同海域にはカラフトマス、ベニザケ、ギンザケやマスノスケも生息し、アラスカ湾は太平洋サケマス類にとって極めて重要な越冬場所となっている（Fukuwaka et al. 2006; Myers et al. 2016）。しかし、過去の冬期調査では、調査海域や時期が限定され、正確な分布域や資源量などを特定できていない。謎の多い冬期のサケマス類の海洋生態を調査し、冬期死亡仮説を検証するため、2019年2月16日～3月18日にアラスカ湾で国際共同調査プロジェクト「International Gulf of Alaska Expedition」が国際サーモン年活動の一環として実施された（Pakhomov et al. 2019）。

## 冬期調査の概要

北太平洋溯河性魚類委員会（NPAFC）がロシアの調査船「プロフェッサー・カガノフスキー

（Professor Kaganovskiy）」を外部資金で用船した（写真1）。本船はウラジオストックを母港とするTINROセンターの調査船（総トン数2,062トン、乗員30名）で、1987年に進水した。乗船する研究者が待つカナダのバンクーバーまで調査を実施しながら北太平洋を横断してきたが、途中猛烈な低気圧に襲われ、到着が2日ほど遅れた。2月16日午後には船上で盛大な出港セレモニーが行われ、政府機関や報道などの関係者が多数集まった（写真2）。加盟5カ国から研究者21名（カナダ6名、日本1名、韓国1名、ロシア9名、米国3名、NPAFC事務局1名）が冬期調査に参加した（写真3）。研究者は海洋観測グループ、プランクトン・栄養分析グループと魚類グループに別れ、筆者は魚類グループで耳石や遺伝標本の採集と標識放流を担当した。



写真1. カナダのノースバンクーバーに停泊したロシア調査船「プロフェッサー・カガノフスキー」



写真2. ロシア調査船「プロフェッサー・カガノフスキー」の甲板で行われた出航セレモニーで挨拶するプロジェクト提唱者のDick Beamish博士。カナダ政府、ロシア政府やBC州などの来賓も参加した。



写真 3. 冬期アラスカ湾国際共同調査に参加した 21 人の研究者

調査海域はアラスカ湾(北緯 47-56 度, 西経 137-147 度) の 60 定点で (図 1), 表層トロールによる漁獲 (写真 4), ボンゴと Judy ネットによる動物プランクトン・マイクロネクトン採集と CTD 等を用いた海洋観測を行った。また, 環境 DNA 分析用の採水と, 最近問題になっているマイクロプラスチックの採集も行われた (写真 5)。さらに, Live Box を装着したトロールで漁獲された活魚の標識放流を行った (写真 6)。航海中は 24 時間体制で, 深夜や早朝など時間に関係なく, 定点に到着すると, すべての研究者が調査に参加した。

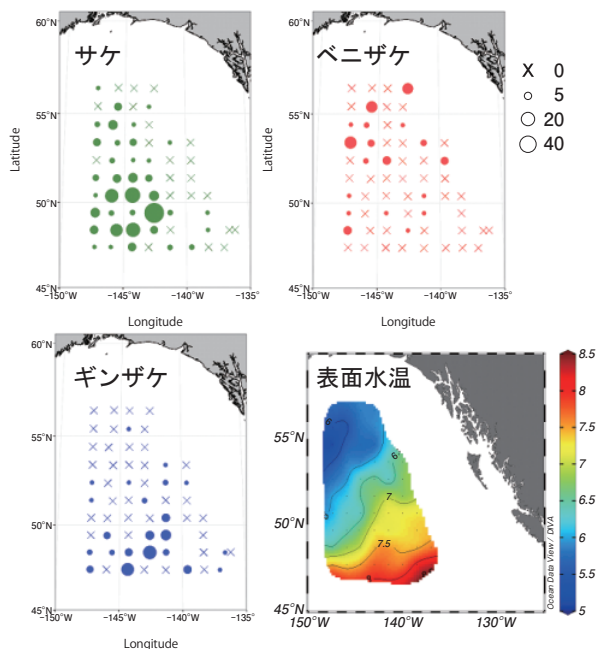


図 1. アラスカ湾の調査定点にけるサケ, ベニザケとギンザケの CPUE 分布と表面水温。CPUE=1 時間曳き当たりの漁獲尾数。出典: Pakhomov et al. (2019)

漁獲されたサケマス類に個体識別タグ (Floy Tag) を付け, 魚種別に魚体を測定して, 鱗, 耳石と遺伝標本を採集した (写真 7)。また, 摂餌状況を把握するため胃内容物を分析し, 栄養状況等を調べるために筋肉と肝臓を採集した。さらに, 成長や健康状態を把握するための採血を行うと共に, 遺伝子解析で病原体の保有状況を調べるために, 鰓, 心臓, 肝臓, 腎臓, 消化管, 脳などを細かく切り出し, 一部は組織観察用に固定保存した (写真 8)。沖合における本格的な病原体検査はおそらく初めての試みで, ストレスを受けた冬期のサケマス類に病原生物がどのような影響を与えているか注目された。担当したカナダの研究者からの情報によると, サケ稚魚に頻繁に寄生し病害を起こす鞭毛虫 *Ichthyobodo salmonis* が, 沖合のサケから始めてみつかった。本種は, 淡水と海水の両方で生残り増殖可能で (Urawa and Kusakari 1990), 海洋生活期のサケにも寄生し続け, 親魚と共に母川に戻り新たな感染源になるとの仮説が提唱されている (Mizuno et al. 2017)。アラスカ湾を回遊するサケからの *I. salmonis* の発見は, この仮説を裏付けている。



写真 4. トロール網の操業風景, ネットソナーで網の深さや開口面積をモニタリングし, 表層から 30 メートルまでの深さを毎時 4.4 ノット (平均) で 1 時間曳網。



写真 5. 海中に漂うマイクロプラスチックの採集作業



写真6. トロール網のコッドエンドに装着されたロシア製のLive Box。調査の最終盤に使用したため、ギンザケ2個体を漁獲し標識放流するに留まった。



写真7. 遺伝分析用に採集されたサケの鱭標本。標本はカナダ、日本とロシア用に分割し、そのままシートに貼り付け乾燥させるか99%エタノール入り標本ビンに入れて保存した。



写真8. 栄養・健康状態や病原体の検査のため、漁獲された魚から血液、筋肉や種々の臓器をコンタミを防ぎながら切り出す繊細な作業が船内で行われた。

## サケマス類の海洋分布

調査した海域の表面水温は、北方で5°C、南方で7-8°Cであった(図1)。表層トロールで漁獲されたサケマス類は、サケ223個体、カラフトマス31個体、ベニザケ73個体、ギンザケ93個体、マスノスケ3個体の合計423個体だった(写真9)。1時間曳き当たりの平均漁獲尾数(CPUE)は7個体で、過去3回の開洋丸冬期調査(41-91個体)よりも少なかった。用いたトロール網の開口部が横40m、高さ30mと小さく(開洋丸はそれぞれ60m)、曳航スピードが4ノット台(開洋丸は5

ノット)と遅いことが一因と考えられた。また、漁獲された魚の種組成は昼夜で大きく異なり、サケは80%、カラフトマスは87%が昼間漁獲されたのに対し、ベニザケは89%、ギンザケは75%が夜間に漁獲された。一方、開洋丸での調査では、トロール網による漁獲操作が昼間のみ行われている。調査海域内でも魚種により分布に差がみられた(図1)。サケは水温5.0~7.6°Cの海域に広く分布していたが、南西海域で多い傾向を示した。ベニザケは北方の水温5°C台の冷たい海域に多く分布していた。海洋生活1年ほどで成熟するギンザケとカラフトマスは、大部分が水温7°C前後の南の海域に分布していた。なお、カラフトマスは北米で豊漁となる奇数年級にあたるが、漁獲尾数は僅かで、分布域を特定することができなかった。



写真9. アラスカ湾定点45(北緯49度, 西経143度)で漁獲されたマスノスケ(上端)とギンザケ。船上での遺伝解析により、このマスノスケは米国コロンビア川産、ギンザケは大部分がカナダ産と同定された。

## サケの地理的起源と肥満度

最近カナダで開発された新しい環太平洋SNP基準群(537SNPs, 424個体群)を用いた遺伝分析により、沖合で漁獲されたサケの地域起源や河川起源が高い精度で個体別に識別できるようになった。この新たなSNP分析によると、日本系サケは22%含まれ、これらの大部分は北緯52°より南の海域に分布していた。日本系以外の系群組成は、西アラスカ系14.8%、ユーコン川系5.1%、中央アラスカ系6.5%、南東アラスカ系11.2%、カナダBC系16.5%、ワシントン系3.7%、ロシア系20.2%で、多様な地域個体群起源のサケがアラスカ湾で越冬していることが確認された。また、耳石を分析したところ、サケ32個体(全体の14%)より耳石標識が検出された。これら耳石標識魚の大部分は中央アラスカおよび南東アラスカのふ化場起源だったが、当所の斜里さけます事業所および虹別さけます事業所から放流された3個体も含まれ、これら日本系耳石標識魚はいずれも北緯50度以南に分布していた。過去の調査でも、日本系



写真 10. 調査海域の南西部(北緯 47 度, 西経 144 度, 表面水温 7.5°C) で漁獲された痩せたサケ。海洋年齢 3 歳の雌で, 肥満度は僅か 0.756, 耳石標識から北海道の斜里川由来であることが判った。このように痩せた個体が頻りに観察された。

サケは比較的水温の高いアラスカ湾南部に比較的多く分布することが示されているが (Urawa et al. 2016), その理由は良く判っていない。

今回の冬期調査では, 痩せたサケが頻りに見つかった (写真 10)。これらは大部分が海洋年齢 2-3 年魚で, 特に海洋年齢 2 年魚の 39% が肥満度 0.9 未満だった。SNP 分析によると, 日本系サケは海洋年齢 2 年魚の 40%, 3 年魚の 17% が肥満度 0.9 未満であった。また, BC 系サケは海洋年齢 2 年魚の 70-75% が肥満度 0.9 未満であった。

サケの胃内容指数は, 同じ海域で漁獲されたベニザケ, ギンザケやマスノスケよりも低い値を示した。冬の間, サケはあまり餌を食べず, 越冬前に蓄えたエネルギーを利用して乗り切る戦略を取っているのかもしれない。冬期におけるサケの生息水温は, 北西太平洋よりアラスカ湾の方が高く (Urawa et al. 2018), そのため筋肉中の脂質含量は北西太平洋よりアラスカ湾に生息するサケの方が有意に低いことが報告されている (Kaga et al. 2006)。越冬前の栄養蓄積が十分でないと, アラスカ湾での生息水温が比較的高いので, 代謝エネルギー消費量が増加し, サケは痩せて死亡するリスクが高いように思われる。また, 海洋生活 1 年目の秋から冬が危険期と考えられているが (Beamish and Mahnken 2001), 2 年目以後の冬も死亡の起きる可能性が示唆された。冬期死亡仮説を検証するため, 冬期とその前後の季節に連係した沖合調査を実施する必要がある。

## おわりに

得られた成果は, 2019 年 10 月 19-20 日にカナダのビクトリアで開催された PICES 年次会合のワークショップで報告されたほか, 2020 年 5 月 23-25 日に函館で開催される NPAFC-IYS ワークショップでも取り上げられる予定である。今回は多分野の専門家が乗船したが, 相互協力して多様な調

査を概ね計画通り実施できた。参加者の国籍も様々で, 沖合調査における国際協力のあり方を示す良い機会となった。今回の調査をモデルケースとして, 複数の調査船による大規模な国際共同調査を 2021 年に実施することが計画されている。日本からも次世代を担う若手研究者が参加し, 他国研究者と共に貴重な体験を積むことを望む。

## 謝辞

本調査では, 計画作成や外部資金獲得を先導した Dick Beamish 博士 (Pacific Biological Station, DFO Canada), 調査船「プロフェッサー・カガノフスキー」乗組員や各国から参加した研究者たちの多大なる協力を得た。また, SNP 分析は Terry Beacham 博士 (Pacific Biological Station) と佐藤俊平グループ長 (当所さけます資源研究部), 耳石標識分析は桑木基靖係長 (当所さけます生産技術部) が担当した。記して深く感謝申し上げる。

## 引用文献

- Beacham, T.D., Candy, J.R., Sato, S., Urawa, S., Le, K.D., and Wetklo, M. 2009. Stock origins of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in the Gulf of Alaska during winter as estimated with microsatellites. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 5: 15-23.
- Beamish, R.J., and Mahnken, C. 2001. A critical size and period hypotheses to explain natural regulation of salmon abundance and the linkage to climate and climate change. Prog. Oceanogr., 49: 423-437.
- Beamish, R.J., Mahnken, C., and Neville, C.M. 2004. Evidence that reduced early marine growth is associated with lower marine survival of coho salmon. Trans. Am. Fish Soc., 133: 26-33.
- Farley, E.V., Moss, J.H., and Beamish, R.J. 2007. A review of the critical size, critical period hypothesis for juvenile Pacific salmon. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 4: 311-317.
- Fukuwaka, M., Sato, S., Takahashi, S., Onuma, T., Davis, N., Moss, J., Volkov, A., Seong, K.-B., Sakai, O., Tanimata, N., and Makino, K. 2006. International salmon research aboard the R/V Kaiyo maru in the North Pacific Ocean during the winter of 2006. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 957. 12 pp.
- Ishida Y., Ueno, Y., Nagasawa, K., and Shiomoto, A. 2000. Review of ocean salmon research by Japan from 1991 to 1998. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 2: 19-201.

- Kaga, T., Sato, S., Fukuwaka, M., Takahashi, S., Nomura, T., and Urawa, S. 2006. Total lipid contents of winter chum and pink salmon in the western North Pacific Ocean and Gulf of Alaska. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 962. 12 pp.
- 春日井 潔. 2018. 北海道沿岸における環境変動がサケ幼稚魚の移動と生残に及ぼす影響. 海洋と生物, 40 (4): 335-341.
- 川島拓也・清水勇一・太田克彦・山根広大. 2018. 三陸沿岸におけるサケ幼稚魚の分布、生息環境と親魚回帰. 海洋と生物, 40 (4): 342-345.
- 宮腰靖之. 2018. 北海道におけるサケの資源変動. 海洋と生物, 40 (4): 330-334.
- Mizuno, S., Urawa, S., Miyamoto, M., Saneyoshi, H., Hatakeyama, M., Koide, N., and Ueda, H. 2017. Epizootiology of the ectoparasitic protozoans *Ichthyobodo salmonis* and *Trichodina truttae* on wild chum salmon *Oncorhynchus keta*. Dis. Aquat. Org., 126: 99-109.
- Moss, J. H., Beauchamp, D.A., Cross, A.D., Myers, K.W., Farley, E.V. Jr., Murphy, J.M., and Helle, J.H. 2005. Evidence for size-selective mortality after the first summer of ocean growth by pink salmon. Trans. Am. Fish. Soc., 134: 1313-1322.
- Myers, K.W., Irvine, J.R., Logerwell, E.A., Urawa, S., Naydenko, S.V., Zavolokin, A.V., and Davis, N.D. 2016. Pacific salmon and steelhead: life in a changing winter ocean. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 6: 113-138.
- Nomura, T., Urawa, S., and Ueno, Y. 2000. Variations in muscle lipid content of high-seas chum and pink salmon in winter. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 2: 43-54.
- Pakhomov, E.A., Deeg, C., Esenkulova, S., Foley, G., Hunt, B.P.V., Ivanov, A., Jung, H.K., Kantakov, G., Kanzeparova, A., Khleborodov, A., Neville, C., Radchenko, V., Shurpa, I., Slabinsky, A., Somov, A., Urawa, S., Vazhova, A., Vishnu, P.S., Waters, C., Weitkamp, L., Zuev, M., and Beamish, R. 2019. Summary of preliminary findings of the International Gulf of Alaska expedition onboard the R/V Professor Kaganovskiy during February 16-March 18, 2019. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 1858. 25 pp.
- 斎藤寿彦・福若雅章. 2018. 北太平洋におけるサケ属魚類の資源変動. 海洋と生物, 40 (4): 319-329.
- 佐藤俊平・佐藤智希・本多健太郎・鈴木健吾・浦和茂彦. 2018. 沖合における日本系サケの資源動態と生息環境. 海洋と生物, 40 (4): 351-357.
- Ueno, Y., Ishida, Y., Shiimoto, A., Urawa, S., Myers, K.W., Morris, J., and Koval, M.V. 1996. Summary of wintering salmon research aboard the research vessel Kaiyo-maru in January 1996. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 213. 20 pp.
- Urawa, S., and Kusakari, M. 1990. The survivability of the ectoparasitic flagellate *Ichthyobodo necator* on chum salmon fry (*Oncorhynchus keta*) in seawater and comparison to *Ichthyobodo* sp. on Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). J. Parasitol., 76: 33-40.
- Urawa, S., Ishida, Y., Ueno, Y., Takagi, S., Winans, G., and Davis, N. 1997. Genetic stock identification of chum salmon in the North Pacific Ocean and Bering Sea during the winter and summer of 1996. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 259. 11 pp.
- Urawa, S., Beacham, T., Sato, S., Kaga, T., Agler, B.A., Josephson, R., and Fukuwaka, M. 2016. Stock-specific abundance of chum salmon in the central Gulf of Alaska during winter. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 6: 153-160.
- Urawa, S., Beacham, T.D., Fukuwaka, M., and Kaeriyama, M. 2018. Ocean ecology of chum salmon. Pages 161-317 in R. Beamish, editor. Ocean ecology of Pacific salmon and trout. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.