

トピックス

第 3 回 NPAFC 国際サーモン年バーチャル・ワークショップ：
太平洋サケマス類の生産と環境変動の関係うらわ しげひこ
浦和 茂彦*

第 3 回 NPAFC 国際サーモン年ワークショップ (Third NPAFC-IYS Workshop on Linkage between Pacific Salmon Production and Environmental Changes) は、新型コロナウイルス感染症の流行により 1 年延期となり、2021 年 5 月 22～24 日に函館で開催を予定していましたが、感染症の収束が見通せず、国内外の移動制限等も継続していたことから、同年 5 月 26～28 日 (日本時間) にオンライン形式 (ライブセッションと事前収録したビデオ・ポスター講演) で開催されました。主催は北太平洋溯河性魚類委員会 (NPAFC) で、協力機関 (パートナー) は水産庁、北海道立総合研究機構、全国さけ・ます増殖振興会、北海道さけ・ます増殖事業協会、東北マリンサイエンス拠点形成事業、北太平洋海洋科学機構 (PICES) と水産研究・教育機構でした。

国際サーモン年 (IYS) の 6 つのテーマ：(1) サーモンの現状 (Status of Salmon), (2) 変動する生息環境におけるサーモン (Salmon in a Changing Salmosphere), (3) ニューフロンティア (New Frontiers), (4) 人間の関わり (Human Dimension), (5) 情報システム (Information System), (6) 地域社会における広報とコミュニケーション活動 (Outreach & Communication) (IYS Working Group 2016) と、それらに対応した NPAFC 科学計画 (SSC 2016) の進展状況をレビューするため、本ワークショップ・シリーズが設定されました。第 1 回ワークショップは 2018 年 5 月 26～27 日にロシアのハバロフスク (NPAFC 2018)、第 2 回ワークショップは 2019 年 5 月 18～20 日に米国オレゴン州ポートランドで開催されました (NPAFC 2019)。

今回の第 3 回ワークショップでは、3 つのセッションが設定され、(1) サケマス資源に地球温暖化など環境変動が与える影響と生残メカニズムを探り、(2) 持続可能なサケマス類の資源管理に向けた最新の研究や技術の情報共有を図ると共に、

(3) IYS の目標である「サケマス類と人間のレジリエンスの確保」に向け、東日本大震災により大きな被害を受けた三陸沿岸におけるサケ資源と人々との結びつきなど復興を目指す様々な活動と課題が取り上げられました。3 日間のライブセッションでの基調講演 13 題と口頭講演 15 題に加え、事前に収録されたビデオ講演 29 題とポスター講演 32 題がウェブ上で公開され、各セッションの最後に討論が行われました。現在、講演の大

部分は NPAFC ワークショップ・ホームページ (<https://npafc.org/workshop-presentations-2021/>) に収録され視聴が可能です。ここでは、各セッションのトピック情報をいくつか紹介します。

(1) 環境変動下におけるサケマス資源

太平洋サケマス類の資源変動

太平洋サケマス類の総漁獲量は、1977 年のレジームシフト以後増加を続け、最近では 100 万トンを超えた年も度々ありましたが、昨年 (2020 年) は約 60 万トン (カラフトマス 27.8 万トン、サケ 16.5 万トン、ベニザケ 13.7 万トン、ギンザケ 1.8 万トン、マスノスケ 0.5 万トン) で、前年 (2019 年) より約 38 万トンも減少し、記録の残る 1925 年以後では最大の落ち込みとなりました (Anonymous 2021)。過去 10 年の平均漁獲量と比較した減少率は、マスノスケで 50%、サケで 42%、カラフトマスで 40%、ギンザケで 27%、ベニザケで 10% とすべての魚種で減少しました (Ruggerone et al. 2021)。

カラフトマスの影響

カラフトマスは種間競争で最も上位を占め、密度依存的な成長低下を引き起こすことが知られています。カラフトマスの個体数は 1960 年代より増加し、最近ではサケマス全個体数の約 70% を占めています。通常、カラフトマスは豊漁年 (奇数年) と不漁年 (偶数年) が交互に繰り返されます。しかし、不漁年のはずの 2018 年に漁獲と河川遡上を合計した総個体数が約 7 億尾と記録の残る 1925 年以後で最大となり、2019 年にも約 6.4 億尾に達しました。この 2 年連続のカラフトマス資源の増加が転換点 (tipping point) に達して北太平洋の生態系を大きく変動させ、海面水温の異常な上昇 (ヒートウェーブ現象) も加わり、2020 年のサケマス資源量の急激な減少を引き起こしたとの仮説が提唱されました (Ruggerone et al. 2021)。また、北米ワシントン州沿岸では、マスノスケの放流数と生残率は、カラフトマス豊漁 (奇数) 年に負の関係、不漁 (偶数) 年に正の関係となり、カラフトマスが密度依存的なマスノスケの生残率低下を引き起こすことも報告されました (Kendall et al. 2021)。

冬期における減耗の可能性

国際サーモン年のイベントとして、2019年冬にアラスカ湾で国際共同調査が実施されました (Pakhomov et al. 2019)。この調査では、カナダのブリティッシュ・コロンビア (BC) 州産サケ3~4年魚の60~75%が肥満度0.9以下の痩せた状態だったことが報告され (Urawa et al. 2021)、これらが産卵回帰する2019年と2020年はBC州内のサケ漁獲数が史上最低レベルとなりました (Grant et al. 2021a, 2021b; Velez-Espino et al. 2021)。この原因として、アラスカ湾で2018年9月頃より発生したヒートウェーブ現象やカラフトマス卓越年級群との競合により、越冬前までに十分な栄養蓄積が出来なかったことが考えられます。2019年冬のアラスカ湾では、日本産サケも18~40%が肥満度0.9以下でした (Urawa et al. 2021)。北海道全域で回帰したサケ親魚の魚体重や肥満度が低下傾向にあることが報告され (Yamaguchi et al. 2021)、その原因としてカラフトマスなどの密度依存的影響が示唆されています (Kaeriyama 2021a)。冬のアラスカ湾では肥満度が0.756と極端に痩せた日本産耳石標識サケが見つかっていますが (浦和2020)、どの程度の冬期死亡が起きているかについては更なる調査が必要です。

カナダにおける資源変動要因

カナダ太平洋沿岸のBC州では、サケマス類の平均漁獲数が1925~1993年に24百万尾、1994~2014年に13百万尾、2014~2020年には5百万尾と段階的に減少し (Grant et al. 2021a, 2021b)、岩手県におけるサケの減少パターン (Nagasaka and Shimizu 2021) と類似しています。地球温暖化による乾燥化や森林火災などにより河川環境が悪化し、水温が上昇してサケマス類の産卵や幼稚魚の生残に影響を与えていることが報告されました (Grant et al. 2021b)。地球温暖化の影響は海洋にも及び、2014年以後頻繁にアラスカ湾の海水温が平年値より3~5°C上昇するヒートウェーブ現象が観察されています。そのため、栄養に富んだ大型の冷水性餌生物が減少して、サケマス類の成長と生残を低下させていると推定されています。プレーザー川産カラフトマスの来遊数は、稚魚が降海した年の5月の沿岸における表面水温と負の相関関係があります (Hague et al. 2021)。一方、BC州のジョージア海峡では、ギンザケ資源量は海洋の環境収容力により制御され、幼稚魚の成長を促進させる沿岸環境と密接に関係していることが指摘されました (Beamish and Neville 2021)。

日本における資源変動要因と対策

日本産サケの来遊数は2004年のピーク (7,663万尾) 以後は減少傾向にあり、最近5年間 (2016

~2020年) の平均来遊数は2,475万尾に低下しています。サケ稚魚がオホーツク海に到達するまでの初期生残率と来遊数の間には高い正の相関がみられ、日本産サケの年級群豊度は、放流後オホーツク海に到達するまでにはほぼ決まることが報告されました (Urawa and Bugaev 2021)。日本の孵化場より放流されたサケ稚魚がオホーツク海に到達するまでの初期生残率は、2011年級が15%と推定され、この年級は約5,040万尾が回帰しました。しかし、2012年級以後は、初期生残率が4%以下に減少し、来遊数も低迷しました。特に2015年級は、初期生残率が僅か1.2%で、5年魚までの来遊数は約1,200万尾 (回帰率0.7%) でした。

日本産サケの初期生残率が低下した原因について、幾つかの重要な講演がありました。北海道の太平洋とオホーツク海沿岸では、晩春 (5月) における沿岸水温の低下がサケ幼稚魚の成長と生残率を低下させることが報告されました (Honda et al. 2021; Urabe et al. 2021)。一方、北海道や三陸の太平洋沿岸では、親潮や沿岸親潮の勢力が弱まるなどして、春から初夏にかけて沿岸水温が急激に高まる傾向にあります (Saito 2021)。そのため、サケ幼稚魚が沿岸に滞在できる適水温期間が短縮すると共に (Kaeriyama et al. 2021; Nagasaka and Shimizu 2021)、栄養に富んだ大型の冷水性餌生物が減少し (Sato et al. 2021; Yamada et al. 2021)、サケ幼稚魚の成長と初期生残率が低下することが示唆されました。

サケ幼稚魚が北海道東部の太平洋沿岸からオホーツク海に移動する際、遊泳速度が秒速35 cm以上になるとオホーツク海に到達できる個体が出現するようになり、秒速60 cm以上 (著者注: 尾叉長が約9 cm以上) になると到達できる割合が高まることが回遊モデルで示されました (Azumaya et al. 2021)。一方、日本海沿岸のサケ幼稚魚は、遊泳速度に関係なく、津軽暖流に運ばれてオホーツク海に到達できることが示されました。また、室内実験によると、サケ幼稚魚の遊泳に要するエネルギーコストは水温13°C以下で低く抑えられ、臨界遊泳速度は体サイズと正の相関があるが (Iino et al. 2021)、低栄養や低水温 (5°C以下) 状態では低下することが報告されました (Torao et al. 2021)。

これらの報告から、地域により要因は異なりますが、沿岸環境 (特に水温と餌生物) の変動がサケ幼稚魚の沿岸に滞在し摂餌する期間や成長速度に影響を与え、オホーツク海に到達できる遊泳能力を得るまでに成長できないと、体サイズに依存した初期死亡が起きると推測されます。

サケの初期生残率を高める対策として、日本海沿岸では放流時期、加えて太平洋沿岸では放流時の体サイズが重要であることが指摘されました (Azumaya et al. 2021)。日本海沿岸の石狩川では、

河川水温が 4.6°C以上、河口近くの沿岸水温が 5.3°C以上でサケ稚魚を放流すると河川回帰率が高まることをモデルを使って示されました (Saito et al. 2021)。根室沿岸の西別川では、河口より約 100 km 上流より放流されたサケ稚魚が降河中に栄養状態(肥満度)が低下し、それらの河川回帰率は下流放流群の半分程度に減少することが標識放流により確認され (Kasugai et al. 2021)、稚魚を下流域で放流することにより回帰率を改善できる可能性が示唆されました。オホーツク海沿岸では、親魚の捕獲や畜養、稚仔魚の飼育など各行程で飼育魚へのストレスを減らし、放流種苗の質的向上を図ると共に、沿岸環境モニタリングシステムにより、最適な放流のタイミングを把握できることが報告されました (Miyakoshi 2021; Saitoh et al. 2021)。

地球温暖化による分布のシフト

地球温暖化によりサケマス類の分布域が大きく変化することが指摘されました。北太平洋では過去 100 年の間に表面水温が 1°C 上昇し、夏期における最適水温海域 (8~12°C) の面積は、日本近海やアラスカ湾で減少、ベーリング海で増加する傾向を示しています (Kaeriyama 2021a)。海水温が 1.5~3°C 上昇すると、サケの越冬可能水域は、アラスカ湾で大きく減少しますが、北西太平洋やベーリング海では拡大すると予測されています (Urawa et al. 2021, 2022)。海水温の上昇が続くと、日本産サケの回遊ルートと海洋分布は大きく変わる可能性があります。一方、冬期における海水温の上昇とベーリング海における流氷域の減少がロシア産カラフトマス資源を増加させると考えられています (Krovin et al. 2021)。サケ、カラフトマスとベニザケはカナダ北極圏の河川に分布を広げ、特にカラフトマスは北大西洋のラブラドル海沿岸まで到達し、タイセイヨウサケと分布が一部重複することが報告されました (Dunmall et al. 2021)。

(2) サケマス類の研究と資源管理のための革新技术と情報システム

ゲノム解析、環境 DNA や生理的指標など新たな手法や、情報を共有するシステムの開発により、サケマス類の研究や資源管理を革新させる可能性が示されました。

DNA ベースの遺伝的系群識別は、2000 年代になって急激に進展し、最近ではゲノム上に広く分布する SNP (一塩基多型) を遺伝マーカーとする手法が標準化しつつあります (Sato and Urawa 2021; Templin et al. 2021)。次世代シーケンサーを利用したゲノム解析は、数百種類以上の SNP を分析可能とし、海洋に分布するサケマス類の地理

的起源を個体毎に識別できるレベルに達しています (Urawa et al. 2021)。

水中に存在する環境 DNA は、イトウなど絶滅危惧種を含むサケマス類の分布に加え (Mizumoto and Araki 2021)、捕食者や餌生物などの探索といったサケマス類の生態研究に幅広く使われ始めています (Deeg et al. 2021)。環境 DNA による資源量推定も試みられていますが、精度を上げるには、サンプリング頻度や対象種の生活史などを考慮する必要があります。

サケマス類は初期生活期と冬期に減耗しやすく、いずれも成長の良否に依存すると考えられています。鱗や耳石の日周輪分析で過去の成長履歴を推定できますが (Honda et al. 2021; Koshino et al. 2021)、野外で個体の成長をリアルタイムで調べるのは困難です。これを克服する技術として、血中に含まれるインスリン様成長因子 (IGF-I) と IGF 結合タンパク (IGFBP-1b) が、それぞれ成長を促進あるいは阻害する指標となることが報告されました (Shimizu 2021)。生理的指標を使い、放流したサケ幼稚魚の成長やストレス度を把握し、種苗性 (遊泳力や海水適応能力など)、河川や沿岸の環境 (水温や餌生物量など) と比較し、生残率を高める放流技術の開発が期待されます。

(3) サケマス類と人類のレジリエンス : 2011 年東日本大震災からの復興に向けた活動

IYS の大きな目標である「サケマス類と人類のレジリエンス (回復・適応力) の確保」のケース・スタディとして、東日本大震災により大きな被害を受けた三陸沿岸におけるサケの生息環境と資源、漁業や人々との結びつきなど復興を目指す様々な活動と課題が取り上げられました。まず、東北マリンサイエンス拠点形成事業の取り組みが紹介されました (Kijima 2021)。このプロジェクトでは、地震と津波で被害を受けた三陸沿岸におけるサケを含む水産業の復興に貢献するため、全国の研究者が連携して科学調査を 10 年に渡り実施しました。

三陸のサケは、重要な水産資源である上に、地域に根ざした文化遺産で (Yoshimura and Kodani 2021)、復興に向けた象徴でもあります (Aoyama and Hyodo 2021)。津波により多くの孵化場が被害を受けましたが、関係者の努力により迅速に孵化場の修復が行われ、サケ資源への影響は限定的でした (Nagasaka and Shimizu 2021)。三陸における孵化放流事業の重要性が再認識されましたが、地球温暖化がもたらす生息環境の悪化により、サケの来遊数は減少を続けています。

津波により海面養殖施設が被害を受け、多くのギンザケが三陸沿岸に逃避し、一部は河川に遡上

しましたが、それらが再生産することはなかったことが確認されました (Sasaki et al. 2021)。東日本大震災の影響は北太平洋に広く及び、福島第一原子力発電所由来の放射性物質が拡散すると共に (Kaeriyama 2021b)、北米西海岸に日本に生息していた外来生物が漂流物と共に漂着し、外来生物のさらなる分布域拡大が懸念されました。しかし、北米でのモニタリングの結果、現在までに外来生物の定着は確認されず、放射性物質 (137Cs) の濃度は健康被害を起こすレベルより遙かに低かったことが報告されました (Brodeur et al. 2021)。

東日本大震災からの復興に向けた取り組みから、自然災害や環境変動など不確実性に対応するため、河川や沿岸環境、餌生物、サケ幼稚魚の分布と成長、回帰親魚の動態、遺伝的特性などに関する継続的なモニタリングとコミュニケーションの重要性が指摘されました (Irvine et al. 2021)。また、サケマス類がレジリエンスを発揮できるような生態系の保全を図ると共に、地球温暖化などに伴うリスクに対する持続可能な管理アプローチの必要性も指摘されました (Aoyama et al. 2021; Kaeriyama et al. 2021)。

おわりに

新型コロナウイルス感染症の世界的流行により、本ワークショップは企画から開催まで2年以上を要することになりました。オンラインによる初めてのNPAFCワークショップの開催でしたが、講演は89題に及び、参加申込者は約300名と盛況でした。

開催に向け、長期にわたりご協力いただいたワークショップ運営委員会とNPAFC事務局のメンバー、並びに協力機関(パートナー)の水産庁、北海道立総合研究機構、全国さけ・ます増殖振興会、北海道さけ・ます増殖事業協会、東北マリンサイエンス拠点形成事業、北太平洋海洋科学機構(PICES)の関係者に厚くお礼申し上げます。

本ワークショップを通し、気候変動、特に地球温暖化がサケマス類に与える影響が、日本のみならず北太平洋全域に及んでいることが知れました。影響のメカニズムや程度は地域や海域により異なりますが、北太平洋を広く回遊する日本産サケを、持続可能な状態で維持管理するには、国際協力が不可欠です。国際サーモン年のイベントとして、2022年2~4月に北太平洋でサケマス類の越冬海域を網羅する大規模な国際共同調査が行われます (<https://yearofthesalmon.org/2022expedition/>)。また、同年10月4~6日にはカナダのバンクーバーで、国際サーモン年の成果を取りまとめるシンポジウムが開催されます (https://yearofthesalmon.org/synthesis_symposium/)。

引用文献

- Anonymous. 2021. Committee on Scientific Research & Statistics activities and catch & hatchery release statistics. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Newsletter, 50: 7-12.
- Aoyama, J., and Hyodo, S. 2021. Challenges to make salmon in Sanriku an icon of the region. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 158-159.
- Aoyama, J., Urawa, S., Kaeriyama, M. 2021. Resilience for salmon and people—lessons learned from the Great East Japan Earthquake in 2011: summary and discussion. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 205-207.
- Azumaya, T., Kuroda, H, Unuma, T., Yokota, T., and Urawa, S. 2021. Factors affecting the migration of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) from the coast of Hokkaido to the Okhotsk Sea. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 63-64.
- Beamish, R. J., and Neville, C. 2021. Ocean carrying capacity is regulating the production of coho salmon rearing as juveniles in the Strait of Georgia. Abstract Book of the Third NPAFC-IYS Workshop on Linkages between Pacific Salmon Production and Environmental Change. p. 39. (Available at <https://npafc.org/wp-content/uploads/2021/Abstract-Booklet-1Mar.2021.pdf>)
- Brodeur, R. D., Miller, J. A., Chapman, J. W., Hansen, G. I., and Neville, D. R. 2021. Legacies of the Tohoku Earthquake and Tsunami impacting the Northern California Current in the eastern North Pacific Ocean. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 192-195.
- Deeg, C. M., Li, S., Hunt, B. P. V., Esenkulova, S., and Miller, K. M. 2021. Environmental DNA surveys of the Gulf of Alaska during the 2019 and 2020 IYS Gulf of Alaska expeditions. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 116-120.
- Dunmall, K. M., McNicholl, D. G., Farley, E., and Reist, J. D. 2021. Reported occurrences of Pacific salmon in the Canadian Arctic continue to increase whereas reports of Atlantic salmon sightings remain low. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 88-91.
- Grant, S. C. H, MacDonald, B. L., Lewis, D., Wilson, N., Boldt, J. L., King, J., Ross, T., Perry, R. I., Patterson, D. A., Robinson, K. A., Selbie, D. T., Hannah, C. G., and Velez-Espino, A. 2021a. Canada's 2020 report on recent Pacific salmon abundance and ecosystem trends. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 1984. 9 pp. (Available at <https://npafc.org>).

- Grant, S. C. H., MacDonald, B. L., Boldt, J. L., Patterson, D. A., Robinson, K. A., Perry, I., King, J., Neville, C. M., Selbie, D. T., Benner, K., Pon, L., Tadey, J. A., and Hawkshaw, M. 2021b. State of Canadian Pacific salmon 2019 & 2020: responses to changing climate and habitats. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 1–7.
- Hague, M. J., Hornsby, R. L., Gill, J. A., Michielsens, C. G. J., Jenkins, E. S., and Wong, S. 2021. Moving targets: assessing Fraser River pink salmon run size during a period of change and uncertainty. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 18–22.
- Honda, K., Sato, T., Kuroda, H., and Saito, T. 2021. Initial growth characteristics of poor-return stocks of chum salmon *Oncorhynchus keta* originating from the Okhotsk and Nemuro regions in Hokkaido on the basis of scale analysis. Fish. Sci., 87: 653–663.
- Iino, Y., Kitagawa, T., Abe, T. K., Nagasaka, T., Shimizu, Y., and Ota, K. 2021. Ontogeny of critical swimming speeds for juvenile chum salmon. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 50–52.
- International Year of the Salmon (IYS) Working Group. 2016. Outline proposal for an International Year of the Salmon (IYS) ‘Salmon and People in a Changing World’. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 1663. 9 pp. (Available at <https://npafc.org>).
- Irvine, J. R., Kaeriyama, M., Urawa, S., and Aoyama, J. 2021. Building salmon resilience: lessons learned from The Great East Japan Earthquake (GEJE) and other ecological disasters. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 188–191.
- Kaeriyama, H. 2021b. Radioactive cesium in the North Pacific after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 202–204.
- Kaeriyama, M. 2021a. Dynamics on distribution, production, and biological interactions of Pacific salmon in the changing climate of the North Pacific Ocean. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 102–106.
- Kaeriyama, M., Shimizu, Y., Minegishi, Y., and Aoyama, J. 2021. Recovery from a critical disaster and sustainable conservation management for chum salmon under a warming climate on the Sanriku coast, Japan. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 167–173.
- Kasugai, K., Torao, M., and Nagata, M. 2021. Does long-distance downstream migration influence the survival of chum salmon? Comparison of adult returns between the upper and lower reaches release sites. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 42–43.
- Kendall, N. W., Nelson, B. W., and Losee, J. P. 2021. Density-dependent marine survival of Salish Sea Chinook and coho salmon associated with pink salmon presence. Abstract Book of the Third NPAFC-IYS Workshop on Linkages between Pacific Salmon Production and Environmental Change. p. 40. (Available at <https://npafc.org/wp-content/uploads/2021/Abstract-Booklet-1Mar.2021.pdf>)
- Kijima, A. 2021. Research project of TEAMS for restoration of ecosystems and human society. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 157.
- Koshino, Y., Nakamura, T., Hashimoto, R., Kasugai, K., and Fujiwara, M. 2021. Early marine life of chum salmon under different marine environments in eastern Hokkaido, Japan. Abstract Book of the Third NPAFC-IYS Workshop on Linkages between Pacific Salmon Production and Environmental Change. p. 71. (Available at <https://npafc.org/wp-content/uploads/2021/Abstract-Booklet-1Mar.2021.pdf>).
- Krovnin, A. S., Kivva, K. K., Moury, G. P., and Sumkina, A. A. 2021. The ups and downs of Far East salmon stocks during recent decades: some considerations and possible causes. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 83–87.
- Miyakoshi, Y. 2021. Challenges to improving the chum salmon hatchery program in Kitami Region, Hokkaido. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 153.
- Mizumoto, H., and Araki, H. 2021. Hokkaido-wide eDNA monitoring for Sakhalin taimen, endangered salmonid species. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 121.
- Nagasaka, T., and Shimizu, Y. 2021. Effects of the Great East Japan Earthquake and Tsunami on fisheries and salmon in Iwate Prefecture. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 160–163.
- North Pacific Anadromous Fish Commission (NPAFC). 2018. Proceedings of First NPAFC-IYS Workshop on Pacific Salmon Production in a Changing Climate, May 26-27, 2018, Khabarovsk, Russia. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 11. 140 pp.
- North Pacific Anadromous Fish Commission (NPAFC). 2019. Proceedings of Second NPAFC-IYS Workshop on Salmon Ocean Ecology in a Changing Climate, May 18-20, 2019, Portland, Oregon, USA. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 15. 204 pp.
- Pakhomov, E. A., Deeg, C., Esenkulova, S., Foley, G.,

- Hunt, B.P.V., Ivanov, A., Jung, H.K., Kantakov, G., Kanzeperova, 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. (Available at <https://npafc.org>)
- Ruggerone, G. T., Irvine, J. R., and Connors, B. 2021. Did Recent marine heatwaves and record high pink salmon abundance lead to a tipping point that caused record declines in North Pacific salmon abundance and harvest in 2020? N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 78–82.
- Saito, T. 2021. An overview of the recent salmon returns in Japan: poor returns of chum and pink salmon. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 32–34.
- Saito, T., Watanabe, K., Honda, K., and Sato, T. 2021. Effective hatchery releases to increase adult returns of chum salmon in the Ishikari River, Hokkaido, Japan. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 138–139.
- Saitoh, S., Miyakoshi, Y., Takahashi, F., Hirata, T., Alabia, I. D., Hosokawa, T., and Miyoshi, T. 2021. Research and development of a supporting information system for optimization of salmon release operations and monitoring coastal environment on the Okhotsk coast, Japan. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 154–156.
- Sasaki, K., Kurokawa, T., Hasegawa, K., and Yatsuya, M. 2021. Farmed non-native coho salmon in Sanriku region affected by recent intense natural disasters. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 200–201.
- Sato, S., and Urawa, S. 2021. International variability of Japanese chum salmon abundance in the summer Bering Sea during a long monitoring survey in 2007–2019. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 16–17.
- Sato, T., Saito, T., Honda, K., and Watanabe, K. 2021. Characteristics of prey environment during the early ocean life of juvenile chum salmon in two coastal areas around Hokkaido, northern Japan. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 65–66.
- Science Sub-Committee (SSC). 2016. North Pacific Anadromous Fish Commission Science Plan 2016–2022. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 1665 (Rev. 1). 8 pp. (Available at <https://npafc.org>).
- Shimizu, M. 2021. Physiological tools for evaluating growth status of migrating salmon. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 113–115.
- Templin, W. D., Munro, A. R., Habicht, C., Oxman, D., Gilk-Baumer, S., Larson, W., and Gray, A. 2021. Salmon genetics at sea: three decades of new insights. Abstract Book of the Third NPAFC-IYS Workshop on Linkages between Pacific Salmon Production and Environmental Change. p. 14. (Available at <https://npafc.org/wp-content/uploads/2021/Abstract-Booklet-1Mar.2021.pdf>)
- Torao, M., Miyakoshi, Y., and Shimizu, M. 2021. Low nutritional status in the freshwater phase and temperature at seawater entry reduce swimming performance of juvenile chum salmon. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 58–59.
- Urabe, H., Saneyoshi, H., and Hatakeyama, M. 2021. Recent trend in variability of chum salmon stock and its potential mechanism in Hokkaido, Japan. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 15–15.
- 浦和茂彦. 2020. 冬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か? SALMON 情報, 14: 40–44.
- Urawa, S., and Bugaev, A. V. 2021. Survival of Japanese chum salmon during the early ocean life in 2011–2017. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 60–62.
- Urawa, S., Beacham, T., Sutherland, B., and Sato, S. 2021. Stock identification of chum salmon overwintering in the Gulf of Alaska by using a new SNP baseline. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 67–68.
- Urawa, S., Beacham, T., Sutherland, B., and Sato, S. 2022. Winter distribution of chum salmon in the Gulf of Alaska: a review. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 18: (In press).
- Velez-Espino, A., Ramshaw, B., and Hamilton, S. 2021. Canadian salmon catch and enhanced salmon production 2017–2020. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 1941. 13 pp. (Available at <https://npafc.org>).
- Yamada, Y., Sasaki, K., Yamane, K., Yatsuya, M., Shimizu, Y., Nagakura, Y., Kurokawa, T., and Nikaido, H. 2021. The utilization of cold-water zooplankton as prey for chum salmon fry in Yamada Bay, Iwate, Pacific coast of northern Japan. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 180–183.
- Yamaguchi, F., Nakamura, T., and Urabe, H. 2021. Temporal and spatial variations in body size of chum salmon in Hokkaido. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17: 23–24.
- Yoshimura, K., and Kodani, R. 2021. First salmon ceremony in the southernmost area of salmon habitat. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Tech. Rep., 17:

164-166.