

研究成果情報

三陸沿岸域の海洋環境とサケ回帰率の関係

わがわ たく たまで つよし くらだ ひろし いたう しんいち かけひ しげほ やまの め たけし こだま たくや
 和川 拓*1・玉手 剛*2・黒田 寛*3・伊藤 進一*4・笥 茂穂*5・山野目 健*6・児玉 琢哉*7

はじめに

三陸沿岸域は複数の大規模な強い海流が流れ込んでくる世界的に珍しい海域です。複数の海流とは、低温・低塩分の海流である親潮（亜寒帯循環の西岸境界流）と沿岸親潮（オホーツク海水との混合による影響を受けた沿岸境界流）、高温・高塩分が特徴の津軽暖流（対馬暖流からの分流）のことで、また、規模は小さいものの黒潮統流からの（暖水渦を伴う）間欠的な流入水もあります（図 1）。これらの海流がぶつかり合うことに加え、各々の海流の勢力が種々の時間規模で変化することから、三陸沿岸域は水温等の海洋環境の変動が大きく、かつその変動はしばしば急激で複雑であることが知られています（例えば、Hanawa and Mitsudera 1987）。

このような三陸特有の海洋環境変動に当地域の漁業関係者は長年悩まされてきました。その一例が日本一の生産量を誇る岩手県のワカメ養殖業です。秋季と春季の急激な海水温変化は養殖ワカメの品質に悪影響を及ぼします。そこで、大きな海水温変動を予測し、ワカメ養殖業などの被害の軽減を目指した研究が近年行われています(Wagawa et al. 2015)。一方、岩手県沿岸域（図 1 の青線）は、北海道に次ぐ水揚げがある秋サケ主産地であり、秋サケ漁業は当地域の代表的な沿岸漁業の 1 つとなっているのですが、既往研究（入江 1990; Saito and Nagasawa 2009; 小川・清水 2013 など）を整理すると、この地域のサケ回帰率も放流年春季の沿岸滞留期（特に 5-6 月）における海洋環境変動“暖流の相対勢力の変動”の影響を強く受ける可能性があることが分かりました。その可能性をより厳密に検証するため、我々は三陸沿岸域においてはほとんど行われてこなかった、海洋物理学や生態学等の視点・知識を活用する学際的な研究（Wagawa et al. 2016）を実施しました。本稿では、その研究を概説します。

海洋環境変動を捉える：鉛直プロファイル観測と暖流の相対勢力の指標値化

岩手県水産技術センターでは、漁業指導調査船

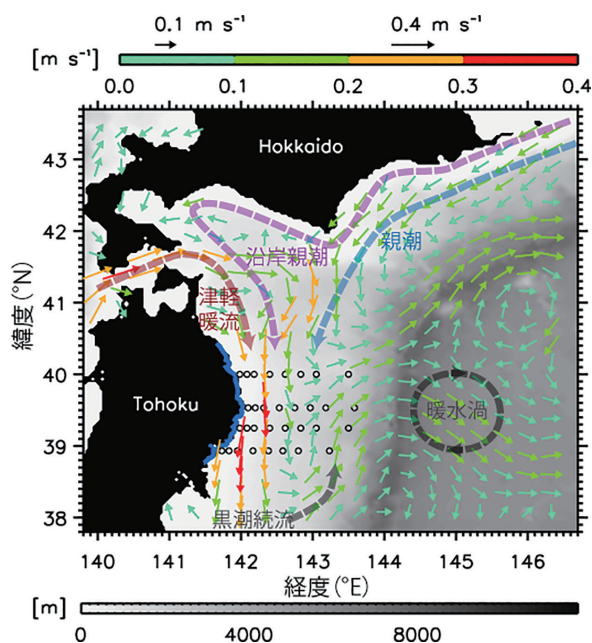


図 1. CTD 観測点(黒色○印)と海底地形。流速ベクトルは海面絶対地衡流速の全期間平均値。沿岸定線は北から順に黒埼定線、とどヶ埼定線、尾埼定線、椿島定線。東北太平洋岸の青線は、岩手県沿岸域を示す。

「岩手丸」を用いて、ほぼ毎月 1 回、沿岸定線海洋観測を実施しています(図 1 の○印の観測点)。沿岸定線は東西方向に延びる 4 本、北から順番に、黒埼定線、とどヶ埼定線、尾埼定線、椿島定線において実施され、海洋観測内容は主に、船の油圧ウィンチを用いて CTD (Conductivity Temperature Depth profiler) を海面から水深 300 m まで沈降・浮上させる、水温・塩分の鉛直プロファイル観測です。CTD 観測データの一部は 2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震による大津波の被害で消失してしまいましたが、関係機関に散在していたデータのコピーを集約することで 1998 年以降のものは復元されました。また、岩手丸は津波の被害を免れたため、長期中断などなく観測を継続しています。

我々の研究（Wagawa et al. 2016）では、このように貴重な、1998 年から 2010 年までの 13 年間分の CTD 観測データを用いて海洋環境変動を解析し、サケ回帰率との関係を調べました。水温・

*1 日本海区水産研究所 資源環境部, *2 元東北水産研究所 沿岸漁業資源研究センター, *3 北海道水産研究所 生産環境部, *4 東京大学 大気海洋研究所, *5 東北水産研究所 資源環境部, *6 岩手県沿岸広域振興局 水産部, *7 岩手県水産技術センター 漁業資源部

塩分の鉛直プロファイルデータを用いれば、観測された水温・塩分特性を持つ”水”がどの海流に属するのか（起源を持つのか）を判断できます。例として、図3に2006年と2008年の5-6月（2ヶ月間平均）における、とどヶ埼定線の水温と塩分の鉛直断面を示しました。なお、当地域のサケは一般に放流された年から3年後に、4歳魚として帰ってくるので（次節参照）、2006年の観測データは2009年度に戻ってきた4歳魚が放流された年の春季（5-6月）に対応し、2008年の観測データは2011年度に回帰したサケ4歳魚が放流された年にあたります（図4参照）。次節でも触れますが、4歳魚回帰率が急激に低下した時期の底が2011年度であり、2009年度はその低下の直前になります。

2006年5-6月のとどヶ埼定線では、水深50m以浅で水温5-8°C、塩分32.8-33.6の水が支配的に分布していました（図3a）。この低温・低塩分水分は、Hanawa and Mitsudera (1987)の分類法により、主に親潮水に分類されます。一方、2008年（図3b）は、上層（水深50m以浅）に最高15°C・塩分34.4の高温・高塩分水分が分布しており、同様の分類法より、この水は津軽暖流水または黒潮水に分類されることがわかりました。

以上のように、観測された水がどの海流に属するか、そして冷水（親潮水と沿岸親潮水）か暖水（津軽暖流水と黒潮水）に分けることが可能で、さらに観測定線下における冷水、暖水の頻度も把握することができるので、我々は暖水の相対勢力を「暖水比」（暖水頻度/冷水頻度）という指標で表すことにしました。この暖水比により、岩手県のサケ幼魚の主要な沿岸滞留期（5-6月）における海洋環境変動を数値で簡潔に示すことが可能になりました。

放流年春季の暖水比とサケ回帰率

岩手県沿岸域（図1の青線）では1980年代後半以降、大震災前年の2010年まで、サケの幼稚魚が年間4億4千万尾ほど放流されてきました。放流された幼稚魚は1-6年後に2-7歳魚として当地域に回帰してきますが、他地域同様、4歳魚が最も多い割合を示します（2001-2013年度の回帰数における4歳魚の平均割合は推定52.0%: Wagawa et al. 2016より）。つまり、4歳魚がサケの回帰主群年齢なので、我々は4歳魚の回帰率（ 100×4 歳魚推定回帰尾数/放流数）が放流年春季（5-6月）における暖水比に応じて変動するかどうかを調べました。

その結果、解析期間（回帰年度2001-2013）において、4歳魚回帰率は放流年春季（回帰年度の3年前にあたる5-6月）の暖水比と有意に相関す



図2. (上写真)岩手丸と(下写真)岩手丸による海洋観測風景。

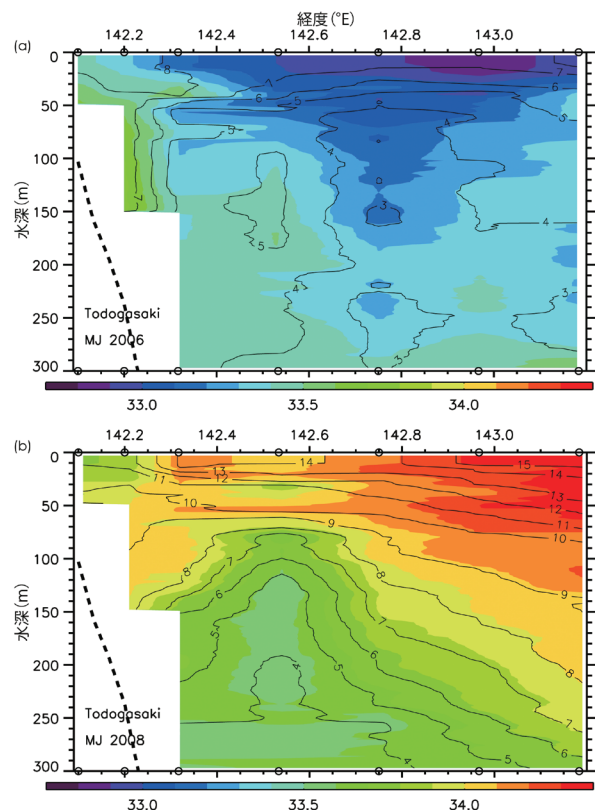


図3. 2006年(a)と2008年(b)の5-6月におけるとどヶ埼沿岸定線の水温(等値線)と塩分(カラー)の鉛直断面。太破線は海底地形を示す。○印はCTD観測点の位置を示す。

ることがわかりました（スピアマンの順位相関係数 $\rho = -0.69$, $p < 0.05$. 図4参照）。特に、回帰率が2009年度の1.0%から2010年度は0.5%にな

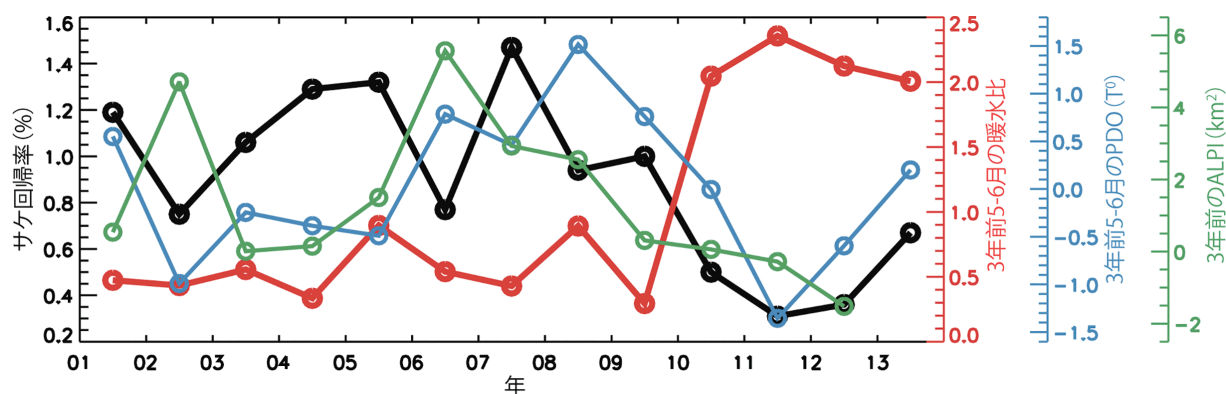


図4. 岩手県サケ4歳魚の回帰率(黒色太線), 放流年春季(5-6月)の暖水比(赤色太線)とPDO(青色線), サケ放流年のALPI(緑色線)の経年変動。横軸は回帰率に対しては西暦年度(20xx)を示すが, 他の指数については3年前の年を表すことに注意(例えば, 図の01(2001)年度の回帰率に対応する暖水比は1998年春季の値になる)。

り, 2011年度はさらに0.3%と急激に低下した期間は, 暖水比が0.3(2006年)から2.0以上(2007-2008年)に急激に増加した時期と一致しており(図4参照), これは暖流の相対勢力が増すとサケ幼魚の生残, ひいては回帰率に負の影響を及ぼすことを端的に示していると思われます。

ちなみに, 北太平洋におけるサケマスが生残に, 広域的な気候・海洋環境変動が影響することを示唆する報告もあります(Sakurai, 2007; Irvine and Fukuwaka, 2011など)。そこで念のため, このような環境変動の代表的な指数であるPDO(Pacific Decadal Oscillation, 太平洋十年規模振動)およびALPI(Aleutian Low Pressure Index, アリューシャン低気圧指数)と4歳魚回帰率との関係も検証してみました。放流年のPDOおよびALPIと回帰率の間にそれほど強い相関関係はありませんでした(図4. PDOと回帰率の順位相関 $\rho = -0.32, p > 0.05$; ALPIと回帰率 $\rho = -0.38, p > 0.05$)。

おわりに

以上, 岩手県沿岸域におけるサケ回帰率は, 本種の沿岸滞留期における局所的な海洋環境に強く影響を受けることが示唆されました。すなわち, サケ幼魚の生育場である沿岸域における暖流・寒流の相対的な強さ(暖水比)の変動が本種の初期生残, ひいては回帰率を概ね決定しうることが明らかになりました。魚類では一般に, 初期生活期における生残の多寡が資源量を強く規定すると考えられており(青木2009; 森田2016など), 本研究もこの学説を支持する有意義な成果と言えます。しかし, 沿岸滞留期における海洋環境の変動がどのようにサケ幼魚の生残に影響するのか, その具体的なメカニズム(例えば, 暖流が相対的に強いと初期餌量が少なくなり, サケ幼魚の生残に関わる成長速度やコンディションの低下を招く?など)

は謎に包まれています。この謎を解くことができれば, 実用上重要な, 新たな放流手法の開発やサケ回帰数の予測モデルの作成を行う際に, 科学的な根拠を与えることが可能になるでしょう。また, その謎解きにも本研究のような学際的な体制が必要になると考えられます。

最後に, 本研究の取り纏めに不可欠な, 海洋観測データの長年に亘る収集・整理に携わった岩手県水産技術センターの職員, 岩手丸の船長及び乗組員の皆様へ感謝します。また, 岩手県のサケに関する情報・データの収集には, 元または現東北区水産研究所職員の大本謙一氏, 佐々木系氏, 八谷三和氏にご協力をいただきました。なお, 本研究は農林水産技術会議委託事業「食料生産地域再生のための先端技術展開事業」の成果の一部です。

引用文献

- 青木一郎. 2009. 資源の変動性. 『水圏生物科学入門』(会田勝美編), 恒星社厚生閣, 東京. pp 94-98.
- Hanawa, K., and Mitsudera, H. 1987. Variation of water system distribution in the Sanriku Coastal Area. *J. Oceanogr. Soc. Japan* 42: 435-446.
- 入江隆彦. 1990. 海洋生活初期のサケ稚魚の回遊に関する生態学的研究. *西水研研報*, 68: 1-142.
- Irvine, J. R., and Fukuwaka, M. 2011. Pacific salmon abundance trends and climate change. *ICES J. Mar. Sci.* 68: 1122-1130.
- 森田健太郎. 2016. 海洋生物の個体群特性. 『シリーズ 現代の生態学 10 海洋生態学』(日本生態学会編), 共立出版株式会社, 東京. pp 191-208.
- 小川 元・清水勇一. 2013. 2 秋サケ漁業の復興支援. 平成 24 年度岩手県水産技術センター年報: 39-44.

Saito, T., and Nagasawa, K. 2009. Regional synchrony in return rates of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Japan in relation to coastal temperature and size at release. *Fish. Res.* 95: 14–27.

Sakurai, Y. 2007. An overview of the Oyashio ecosystem. *Deep-Sea Res., Part 2* 54: 2526–2542.

Wagawa, T., Kuroda, H., Ito, S., Kakehi, S., Yamanome, T., Tanaka, K., Endoh, Y., and Kaga S.

2015. Variability in water properties and predictability of sea surface temperature along Sanriku coast, Japan. *Cont. Shelf Res.* 103: 12–22.

Wagawa, T., Tamate, T., Kuroda, H., Ito, S., Kakehi, S., Yamanome, T., and Kodama T. 2016. Relationship between coastal water properties and adult return of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) along Sanriku coast, Japan. *Fish. Oceanogr.* 25: 598–609.

コラム

季節の遅れや進み具合とサケの回帰率の関係

もりた けんたろう

森田 健太郎（北海道区水産研究所 さけます資源研究部）

地球温暖化は、単に平均気温が高まるというだけではなく、集中豪雨や竜巻などの異常気象の頻度が増したり、季節の移り変わりのパターンにも変化をもたらすことが懸念されています。例えば、春が短くなる、すなわち、冬が終わるとすぐに夏がやってくるという“二季化”という言葉も最近では聞かれるようになりました。そのため、サケの回帰率の年変動を予測するためには、ある時期の平均温度だけではなく、季節の移り変わりのパターンについても着目する必要があると考えられます。

伊茶仁川と徳志別川のサケ耳石温度標識魚の河川回帰率の年変動要因について分析を行ったところ、興味深い結果が得られました (Morita and Nakashima 2015)。それぞれの放流河川近郊の4, 5月気温との相関係数はプラスであったのに対して、逆に6月気温との相関係数はマイナスでした。これは、春の訪れが早いほど稚魚の生き残りが良いが、逆に、夏の訪れは遅いほど稚魚の生き残りが良いことを示唆しています。そこで、季節の移り変わりを数値化することを目的として、次の2つの指標を考えました。

まず、サケの稚魚が生き残るための適温範囲があると仮定して、適温範囲に収まる日数が長いほど、生き残りが良いと考えました (図1上)。次に、稚魚の降海期間中の温度差が小さいほど、生き残りが良いと考えました (図1下)。これらの2つの指標は、いずれも二季化の強さを示すもので、適温範囲に収まる日数が短いほど、降海期間中の温度差が大きいほど、二季化の傾向が強いといえます。予想されたとおり、これら2つの指標と河川回帰率の間には相関関係がありました。二季化の傾向が顕著な年に稚魚が放流された年級ほど、河川回帰率が低い傾向にありました (図2左、中)。

季節の移り変わりを総合的にとらえた生物季節の情報もサケの来遊予測に有益であると考えられます。例えば、さくらの開花日は、全国の気象官署で統一した基準でモニタリングがなされています。放流河川近郊のさくらの開花日とサケの河川回帰率の相関関係を調

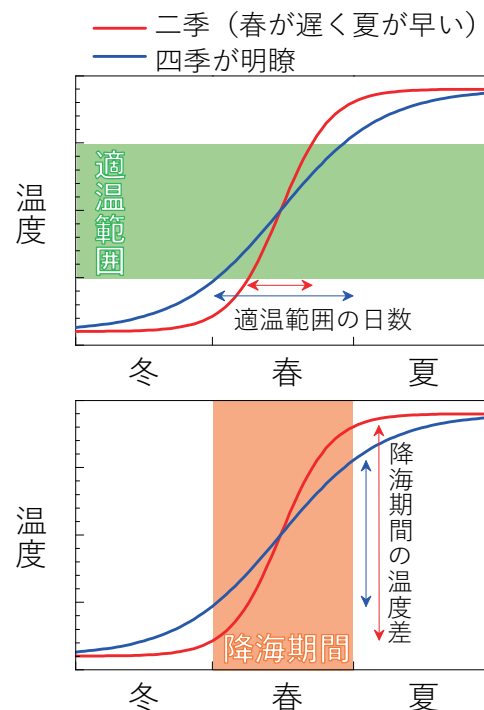


図 1. 二季化の強さを数値化する指標の概念図 (Morita and Nakashima 2015 を改変)。