

図1 オホーツク海沖合における調査箇所. ▲: トロール調査、○: 夜間調査

表1 採集されたサケマス幼稚魚の体サイズ. 各項目は平均 ± 標準偏差 (範囲).

魚種	測定 個体数	尾叉長 (cm)	体重 (g)	肥満度
サケ	21	9.13 ± 1.54 (5.79 - 11.44)	8.19 ± 4.22 (1.42 - 15.46)	9.52 ± 0.98 (7.11 - 10.98)
カラフトマス	1	7.2	2.85	7.63

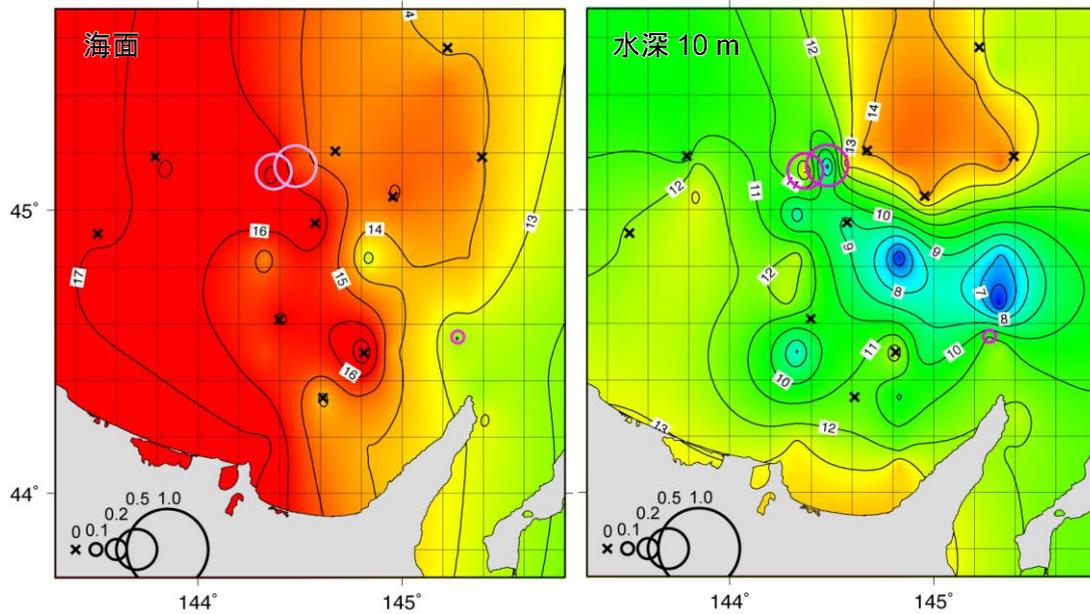


図2 海面（左）と水深 10 m（右）の水温分布とサケマス幼稚魚がトロール網で採集された場所. 1 時間あたりの採集尾数で示す.

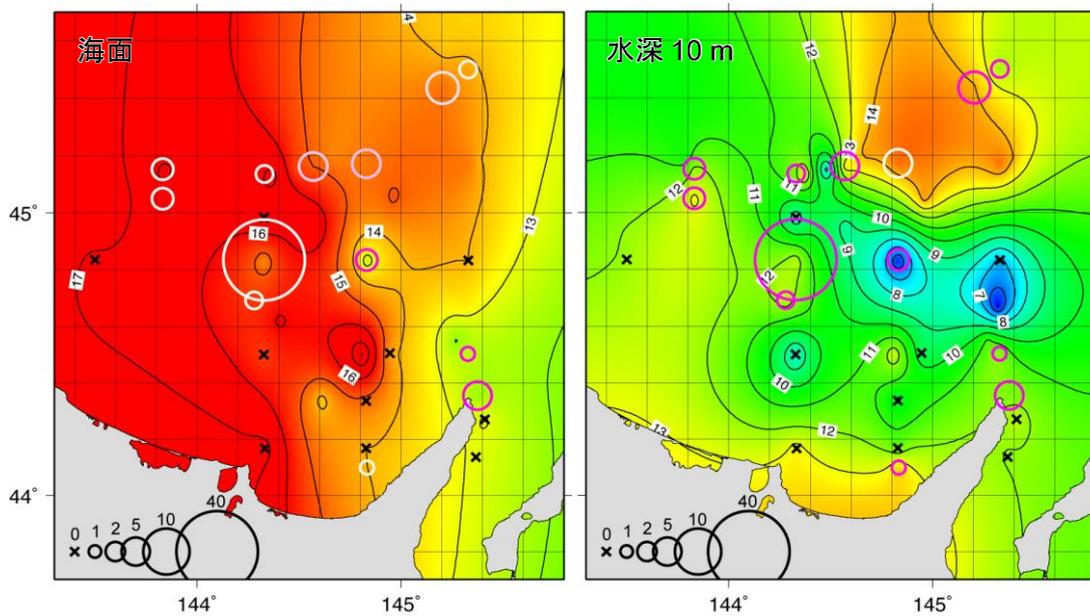


図3 海面（左）と水深 10 m（右）の水温分布とサケマス幼稚魚が夜間に観察された場所. 1 時間あたりの観察尾数で示す.

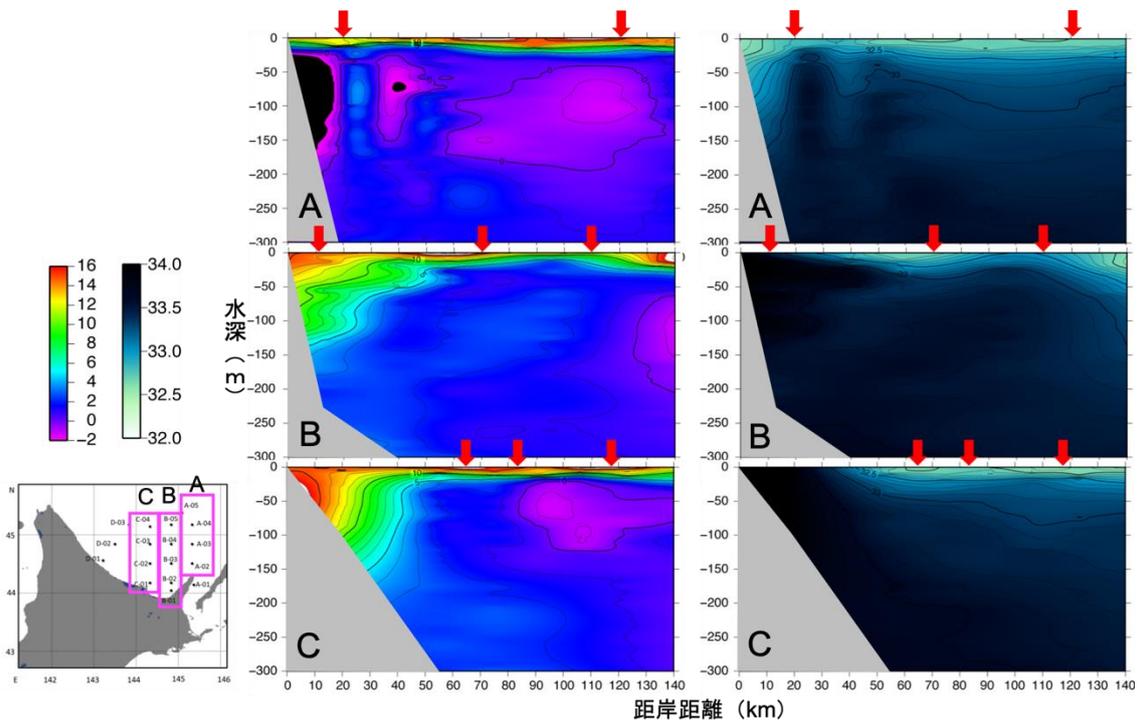


図4 A (上段)、B (中段)、C (下段) の各ラインにおける水温 (左) と塩分 (右) の鉛直分布. 図中の矢印はサケマス幼稚魚が確認・採集された場所を示す. 水温の鉛直分布で黒い部分と白い部分はそれぞれ -2°C 未満、または 16°C を越える水温を示す.

③ サケ幼稚魚回遊モデル

実施機関及び担当者:

水産資源研究所 水産資源研究センター 海洋環境部 寒流第1グループ: 東屋知範、黒田 寛

水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 亜寒帯浅海域グループ: 鶴沼辰哉、横田高士

【目的】

高解像度海洋循環モデルを用いて、太平洋および日本海沿岸の双方から放流されたサケ幼稚魚の移送経路をシミュレーションし、サケ稚魚の遊泳条件および回遊経路を推定する。

【方法】

1) 2003年～2013年における3月～8月までの毎日の海面水温(SST)データ(NOAA High-resolution Blended Analysis of Daily SST and Ice)の解析を行い、北日本周辺におけるサケ幼稚魚の適水温の変動と本州太平洋の回帰量の相関関係を調べた。また、同期間の高解像度海洋循環モデルの再解析値による海洋環境(水温・塩分・流れ)と本州太平洋の回帰量の相関関係を調べた。本州太平洋サケ回帰量2002年～2012年級群の平均以上の年級群(2003年、2004年、2005年、2006年、2010年)と平均以下の年級群(2007年、2008年、2009年、2011年、2012年、2013年)の2グループを抽出し、各2グループの年級群が降海時に経験する翌年春季の海洋環境を平均した合成図を作成し比較した。

2) 2003年～2018年までの高解像度海洋循環モデル再解析値を用いたサケ幼稚魚回遊モデルの経年変動実験を行った。これまでの結果を基に、サケ幼稚魚回遊モデルには、北海道石狩湾沿岸から投入する粒子には遊泳効果を入れず、太平洋岩手県沿岸から投入する粒子には、流れの逆向きに遊泳する効果を入れて経年変動実験を行った。石狩湾沿岸と岩手県沿岸から投入した粒子は、これまでと同様に1日1回44個と96個の粒子を図1に示した海域からそれぞれ投入した。モデルで調べるサケ幼稚魚の回遊の期間は3月1日～8月31日までとした。石狩湾沿岸投入粒子についてはオホーツク海に(図1 赤ハッチの領域)、岩手県沿岸投入粒子については道東沿岸(43°N以北、146°E以东)に到達する粒子数を調べた(図1 青ハッチの領域)。更に岩手県沿岸投入粒子については遊泳速度と到達数の関係調べため、設定遊泳速度を30cm/s・50cm/s・80cm/sの3ケースについて経年変動実験を行った。

【結果】

1) 海洋環境

本州太平洋サケ回帰量に基づく平均海洋環境

本州太平洋海域の回帰量とSSTの適水温になる時期(図2 左)、終わる時期(中)、適水温期間(右)との相関の空間分布を示す。回帰量の増加に対するそれぞれの相関係数は適水温になる時期が遅い(早い)、終わる時期が遅い(早い)、適水温期間が長い(短い)と正(負)の相関係数になる。本州太平洋海域の回帰量と適水温になる時期の相関係数はほぼ北日本周辺域で正の相関係数を示し、特に岩手沿岸域では0.6以上($p < 0.05$)であった。また適水温時期終わる時期、適水温期間の相関関係についても、同様に正の相関係数の海域が広がって

いた。つまり、本州太平洋海域の回帰量が多い年級群が経験する海洋環境は、この海域の水温が低温で適水温時期が遅くゆっくり昇温していたことになる。

SST 解析と同様に、本州太平洋海域の回帰量と高解像度海洋循環モデル再解析値の 0m における水温、塩分、東西成分の流速(東向きが正)、南北成分の流速(北向きが正)の相関係数の空間分布を図 3 に示した。水温・塩分・南北成分の流れにおいて、相関関係-0.6 以下 ($p < 0.05$) の領域が東北沿岸海域に分布した。これらの結果から、回帰量が多い年級は、岩手県沿岸域の水温・塩分が低く、流れが南向きである海洋環境であった。

高解像度海洋循環モデルの再解析値の 0m と 100m における本州太平洋の回帰量が多い年級群が経験した年のグループと回帰量が少ない年級群が経験した年のグループの平均水温・流れベクトルを図 4 に示す。図の青色が 5°C 以下、水色 5~10°C、黄色 10~15°C、赤色 15°C 以上の水温帯を示す。回帰量が多いグループの平均から少ないグループの平均を引いた差の図における寒色(暖色)は、回帰量が多いグループの平均水温が少ないグループの平均水温より低い(高い)場合を示す。0m では東北沿岸から北海道東岸にかけて回帰量が多いグループの平均水温が、少ない年の平均水温より低かった。水深 100m では、その特徴が顕著になり、低水温域が南まで分布していた。この水温分布の違いは、水塊の配置の違いと考えられる。そこで 0m における同再解析値を用い、回帰量が多いグループと少ないグループの平均した水塊分布と流れベクトルを図 5 に示した。水塊区分は Ohtani (1971) と Hanawa and Mistudera (1982) に従った。ただし本調査では、沿岸親潮水の昇温水を SW1 とし親潮水 OW の昇温水を SW2 として色を変えて示している。回帰量が少ないグループに比べ多いグループには、親潮 (OW) や沿岸親潮・親潮の昇温水 (SW1・SW2) がより南まで分布していた。水塊分布と同時現象ではあるが、回帰量が多い年の平均的な流動場には道東から東北沿岸まで連続した流れが 6 月まで存在するが、少ない年の平均流動場にはその流れがなかった。

2) サケ幼稚魚回遊モデルの経年変動実験

石狩湾沿岸から投入しオホーツク海に達した粒子数

北海道日本海側の回帰量(降海した年に合わせ表示)の相対値(青)と石狩湾沿岸から投入しオホーツク海に達した粒子数の経年変化は、2003 年を除いては似ていた(図 6 上段)。図 6 下段には X 軸に到達粒子数、Y 軸に回帰量の散布図を示すと、統計的に優位な相関ではないが ($R=0.32$)、到達粒子数が多くなると、回帰量も多くなる傾向がみられた。石狩湾沿岸から投入された粒子がオホーツク海に入る場合の粒子投入時期、投入付近水温、そして経験水温の関係をみると(図 7)、投入付近水温が灰色の適水温時期になる前に投入された粒子がオホーツク海に達するまでの経験水温は、サケ分布水温 (2.7°C~15.6°C) 内(緑色)であった。一方、投入付近水温が灰色の適水温時期に投入された粒子がオホーツク海に達するまでの経験水温は 15.7°C 以上(赤色)になった。ほぼ全ての年で同様な傾向がみられた。このことから、石狩湾付近の沿岸水温が適水温時期になる前に離岸したサケ幼稚魚は、より生残に有利になるかもしれない。

本州太平洋岩手県沿岸から投入し道東に達した粒子数

2003年～2018年について、岩手県沿岸から投入された粒子が北海道東岸に達する間の経験水温がサケ分布水温内であった移動経路と粒子数を調べた。道東まで到達する粒子の移動経路や棒グラフから、設定遊泳速度の速い場合(青色)の粒子が遊泳速度の遅い場合(赤色)より多く道東まで達した。これまでの平均的な海洋環境場での粒子追跡実験結果と同様であり、経年変動実験でもサケ幼稚魚の遊泳速度が速いほど道東まで達することがわかった。粒子の主な移動経路には、岩手県沿岸から北海道襟裳沿岸付近に達した後、道東に達するケースと、岩手県沿岸からいったん東の沖合に出た後、北上して道東に達するケースがあった。2005、2006、2010年では、適水温期間(赤線)に投入した粒子は、遊泳速度が遅い場合(赤色)でも道東まで達した。これらの年は、本州太平洋の回帰量が多い年級群が経験した年に対応している。一方、近年の2014年～2016年では、遊泳速度が速くても道東まで達する粒子は非常に少なかった。2017、2018年では遊泳速度が速い場合に粒子は道東まで達した。サケ幼稚魚回遊モデルでは、岩手県沿岸海域から投入される粒子には流れに逆らって泳ぐ仮定を設定しているため、道東から本州太平洋沿岸にかけて連続した親潮系の流れがあると、流れに逆らって(沿って)道東まで効率よく達した。ただし遊泳速度は、南下流速より速い必要がある。モデルによる岩手県沿岸から道東までの到達粒子数が本州太平洋の回帰量を反映すると仮定すると、次の可能性が考えられる。①モデルによる到達粒子数が相対的に多く、実際の回帰量が多い場合(2005、2006、2010年)。サケ幼稚魚の離岸のタイミングと幼稚魚にとって良い海洋環境(道東まで達しやすい海洋環境)が一致している。②モデルによる到達粒子数が相対的に多いが、実際の回帰量が少ない場合(2007、2008、2009、2012、2013年)。実際のサケ幼稚魚の離岸のタイミングと良い海洋環境が一致していない。モデルの図下段の棒グラフの高い時期に、実際にはサケ幼稚魚が離岸していない可能性がある。③モデルによる到達粒子数が相対的に少ないが、実際の回帰量が多い場合(2003、2004)。実際のサケ幼稚魚の離岸のタイミングと良い海洋環境は一致している。モデルの図下段の棒グラフが低い時でも、実際にはその時に多くのサケ幼稚魚が離岸した可能性がある。④モデルによる到達粒子数が相対的に少なく、実際の回帰量も少ない場合(2014、2015、2016年)。実際のサケ幼稚魚の離岸のタイミングには関係なく海洋環境がサケ幼稚魚に適していない。①～③の場合には、道東まで粒子が到達し易い指標を見出せる可能性がある。一方、④については、粒子が岩手県沿岸から道東にまで到達できる条件を更に調べる必要がある。

現場調査では大きな体長の幼稚魚が道東に達しており、遊泳速度が速いと道東に達する粒子が多くなることと整合性がある。サケ幼稚魚の生物エネルギーモデルにおける湿重量の時間変化は式(1)で表される。

$$dW/dt=(C-(R+SDR+E+F))* \quad (1)$$

ここで、Wは湿重量、tは時間、Cは餌の消費による増加率、Rは呼吸・代謝、SDRは特異動的作用、Eは排泄、Fは排出による減少率である。摂取エネルギー量と水温が一定の条件下で

は、(1) 式の SDR 項以外は一定となる。しかし遊泳速度が速いほど SDR の項が大きくなり成長率が抑制される。これは遊泳速度が速い場合には遊泳速度が遅い場合より小さな体長になる可能性を意味する。このことから、より大きな幼稚魚の状態で道東に達するためには、どのような経路水温と遊泳速度の組み合わせを選択すればよいか更に調べる必要がある。

【引用文献】

Hanawa, K. and H. Mitsudera (1986) Variation of water system distribution in the Sanriku coastal area. J. Oceanogr. Soc. Jpn., 42, 435-446.

Ohtani, K. (1971) Studies on the change of the hydrographic conditions in the Funka Bay II. Characteristics of the waters occupying the Funka Bay. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 22, 58-66 (in Japanese with English abstract).

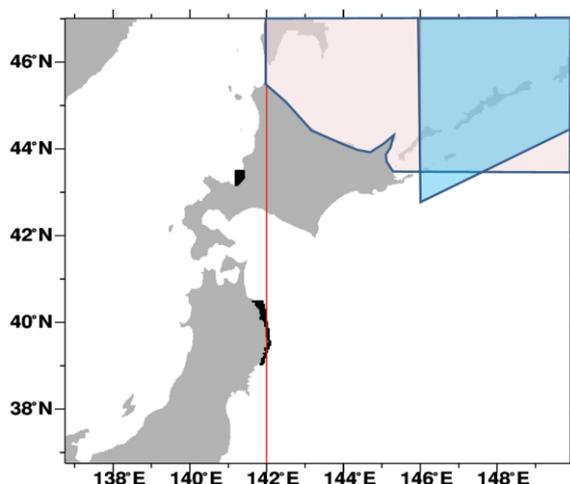


図 1. サケ幼稚魚回遊モデルの計算領域とサケ稚魚を模した粒子を投入した海域(黒色)。石狩湾沿岸から投入した粒子は 142° E 以東まで達した粒子(赤ハッチ)、岩手県沿岸海域から投入された粒子は北海道東岸(43° N 以北、146° E 以東 青ハッチ)に達した数の経年変化を調べた海域。

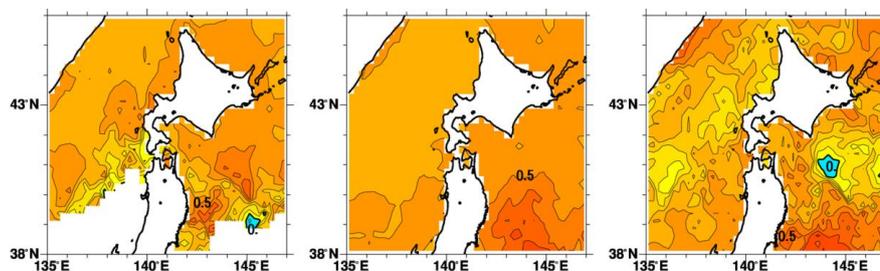


図 2. 本州太平洋海域の回遊量と SST の適水温になる時期(左)、終わる時期(中)、適水温期間(右)との相関の空間分布を示す。暖色(寒色)は正(負)の相関係数の海域を示す。細線は 0.1、太線は 0.5 の相関係数を示す。

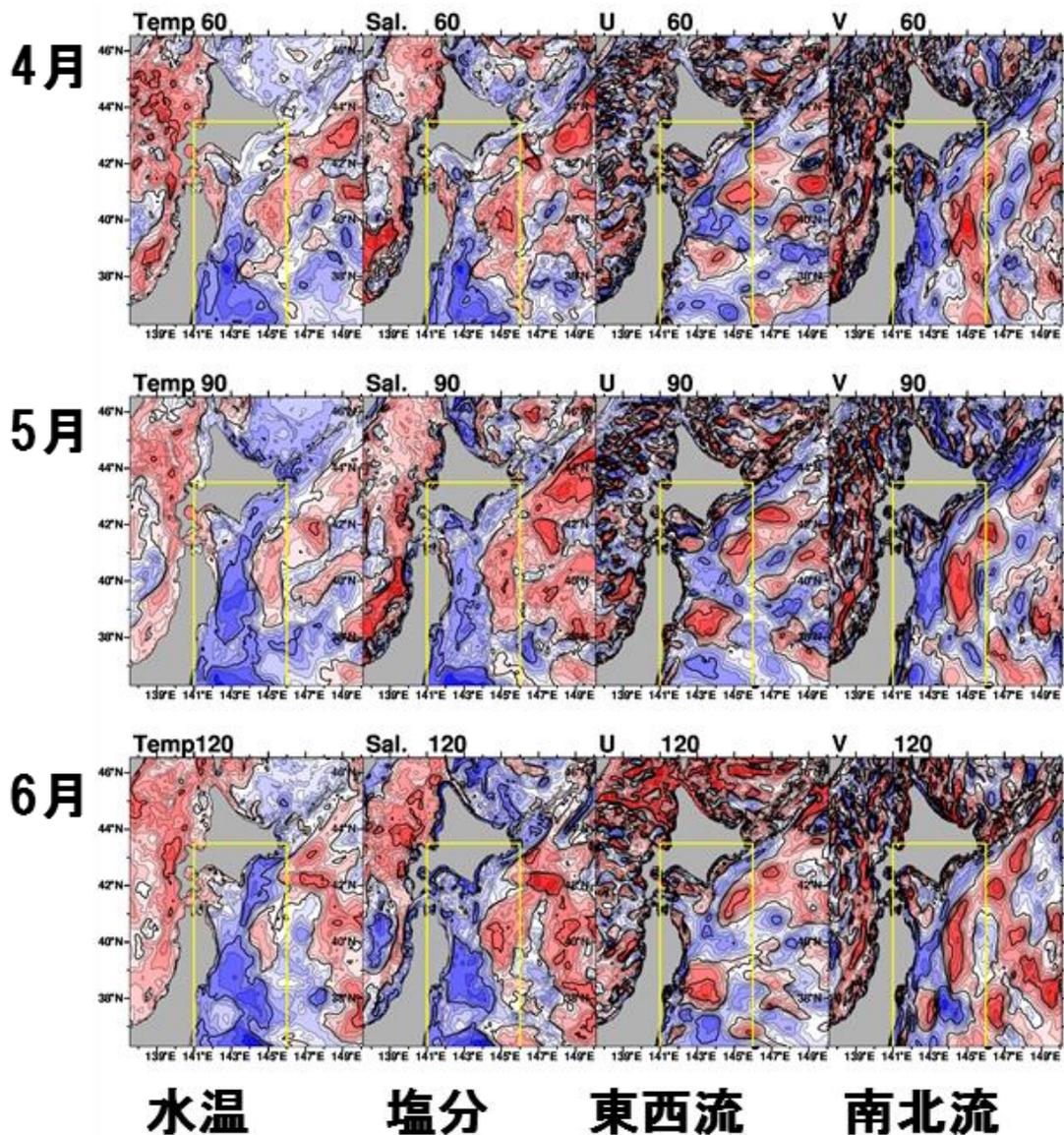


図 3.本州太平洋海域の回遊量と高解像度海洋循環モデルによる再解析値の水深 0m における水温、塩分、東西成分の流速(東向きが正)、南北成分の流速(北向きが正)の相関係数の空間分布を示す。暖色(寒色)は正(負)の相関係数の海域、細線は 0.1、太線は 0.5 の相関係数を示す。上段から 4 月、5 月、6 月を示す。