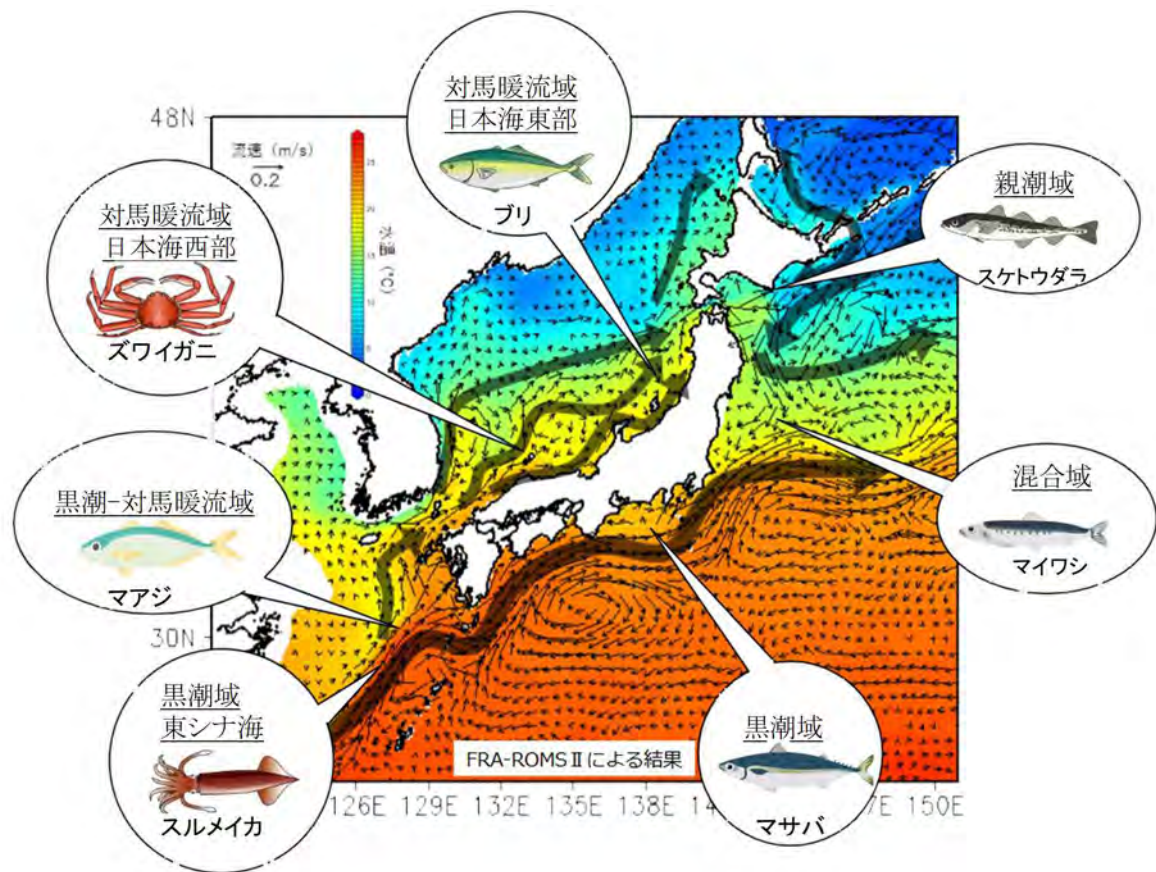


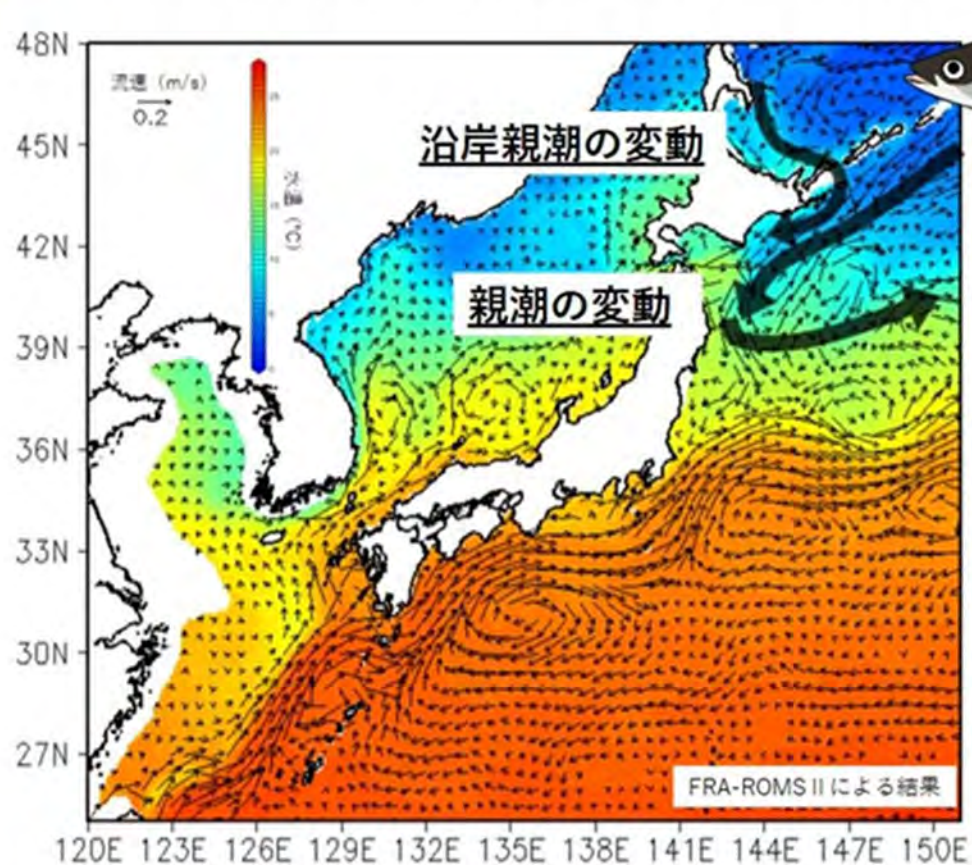
日本周辺の海流系と水産資源

本編では、以下の海流系・海流域・海域とそこに分布する重要資源に関する分析結果を報告します。

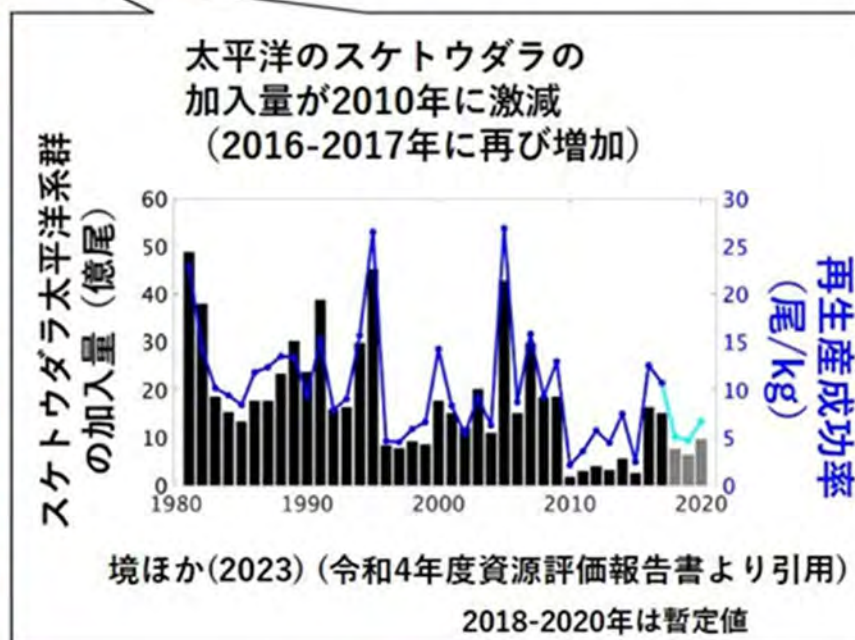
- ・親潮域: スケトウダラ
- ・混合域: マイワシ
- ・黒潮域: マサバ
- ・黒潮域、東シナ海: スルメイカ
- ・黒潮-対馬暖流系: マアジ
- ・対馬暖流域、日本海西部: ズワイガニ
- ・対馬暖流域、日本海東部: ブリ
- ・対馬暖流域、日本海東部: ブリ



■ 近年のスケトウダラ資源量変動に見られる特徴と関連する海洋環境



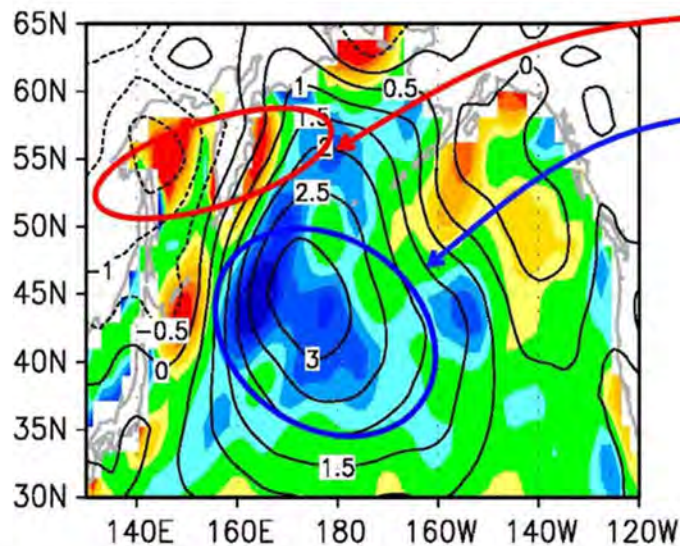
スケトウダラ



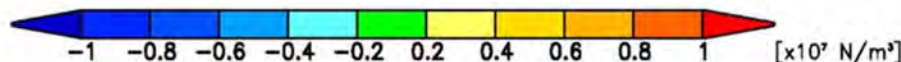
親潮域の海洋環境変動が
スケトウダラに与える影響

■ 2000年~2010年代前半の親潮域の海洋環境変動

2005-2015年の冬季海面気圧偏差と
風応力偏差の回転成分の空間分布



海面気圧：等値線 (hPa)
風応力：カラー ($\times 10^{-7} \text{ N/m}^3$)



負の値は、反時計回りの風応力が弱くなったことを示す

オホーツク海やその周辺海域で
風応力の回転成分が強化

アリューシャン低気圧による
風応力は弱化

北太平洋の中高緯度域では、偏西風と極東風による風応力によって、反時計回りの海洋循環（亜寒帯循環）が形成される。親潮は、亜寒帯循環の西縁に位置する海流で、千島列島沿いを南下して、低温の海水を、北海道・三陸沖にもたらす。

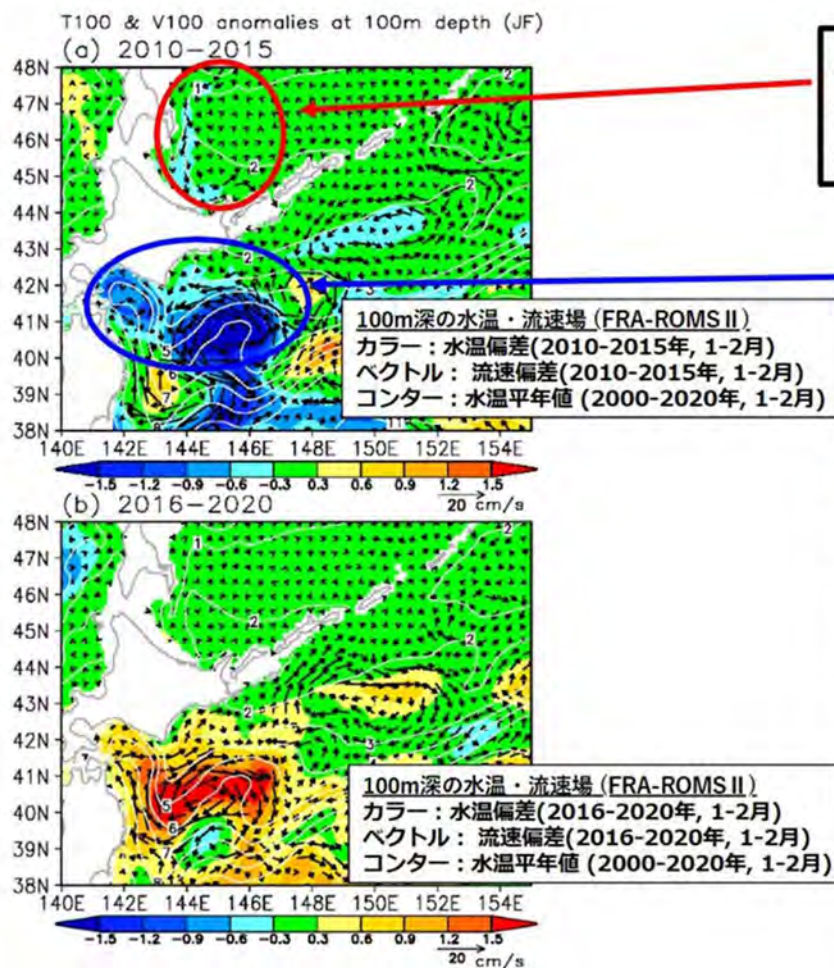
1980年代の親潮強化

親潮の南下度合いは、北太平洋中高緯度の海盆スケールの風応力に影響を受けることが知られており、冬季アリューシャン低気圧が強化された1980年代は、亜寒帯循環の強化に伴い、冬季の親潮の南下が拡大した（Sekine, 1988; Yasuda and Hanawa, 1997等）。その結果、三陸・道東沖では、外洋の広い範囲で冬季に低温傾向となった。

2000年~2010年代前半のオホーツク海周辺の海洋循環強化

NCEP-NCAR大気再解析値の風応力データから、2000年代は、冬季のアリューシャン低気圧の弱体化に伴い（図）、北太平洋の亜寒帯循環が弱化したことが明らかとなった。一方、オホーツク海やその周辺海域では、反時計回りの風応力が強化されており（図）、オホーツク海内での反時計回りの海洋循環が強化されたことが示唆された（Nakanowatari and Ohshima, 2014; Kuroda et al. 2020）。この期間の低温域は、三陸や北海道の沿岸域で顕著であり、1980年代の低温域の空間分布とは異なる特徴を有していた。

2000年~2010年代前半にかけての沿岸親潮の強化



2010年代前半は、
冬季に樺太東岸を南下する低温水の流れが増加し、
オホーツク海から太平洋への沿岸親潮の流出量が増加

噴火湾周辺海域の低温化

2000年~2010年代前半の沿岸親潮の強化

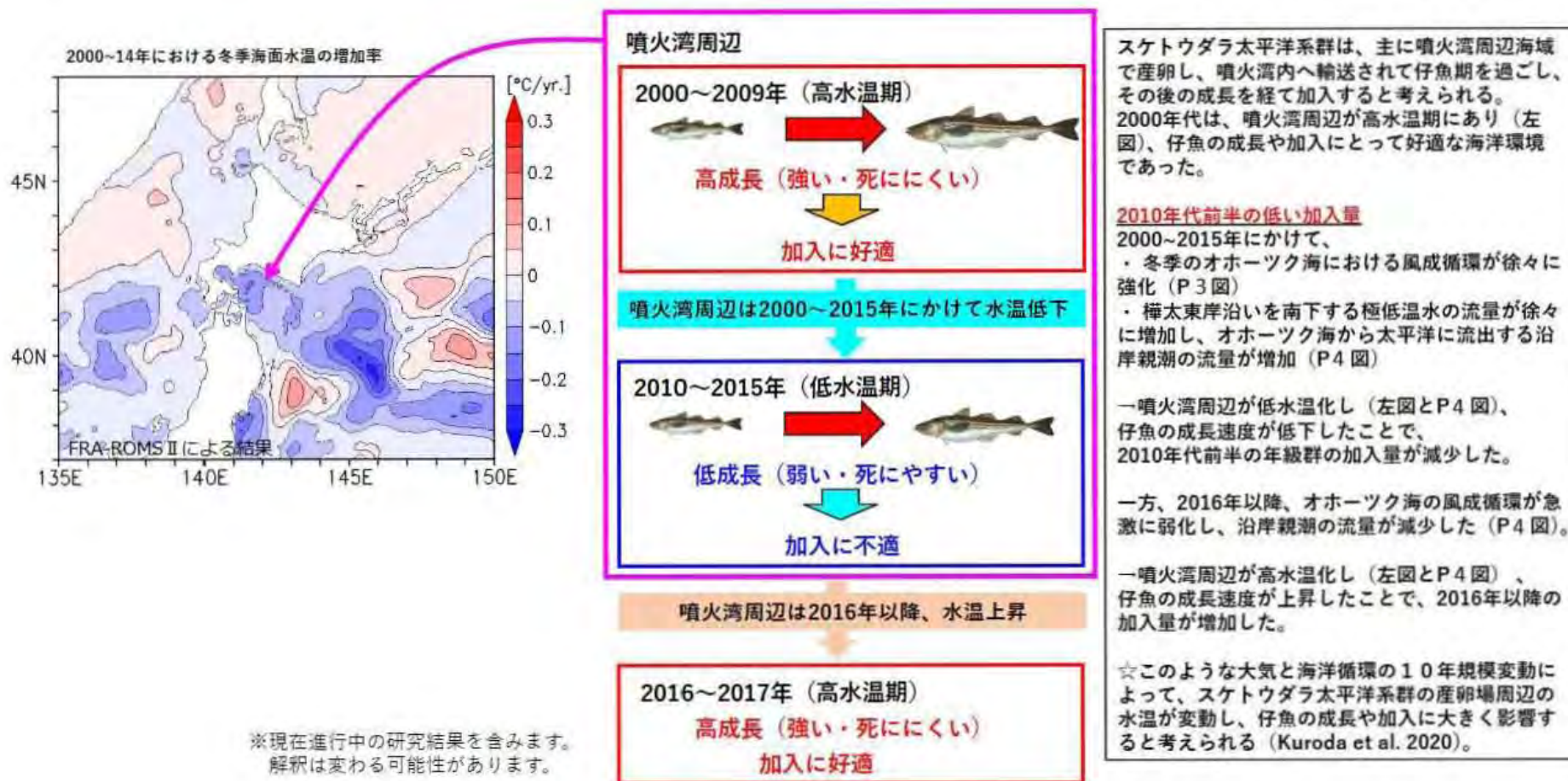
2010年-2015年は、冬季にオホーツク海内での反時計回りの海洋循環が強化され、樺太東岸を南下する低温水の流れが増加した(上図)。そして、オホーツク海から太平洋へ流出する低温の沿岸親潮の流量が増加し、噴火湾周辺や三陸沿岸における冬季水溫が低下した(上図)(Kuroda et al. 2020)。

2016年以降の沿岸親潮の弱化

2016年以降は、オホーツク海周辺での反時計回りの風応力が急激に弱化し、沿岸親潮の流量が減少したことで、噴火湾周辺での冬季水溫が上昇した(下図)(Kuroda et al. 2020)。

なお、沿岸親潮の弱化に加え、千島列島沿いを流れる親潮(亜寒帯循環)も弱化傾向にあり(下図)、噴火湾周辺の水溫上昇を同時に促進した可能性もある。

■親潮域の海洋環境変動がスケトウダラに与える影響

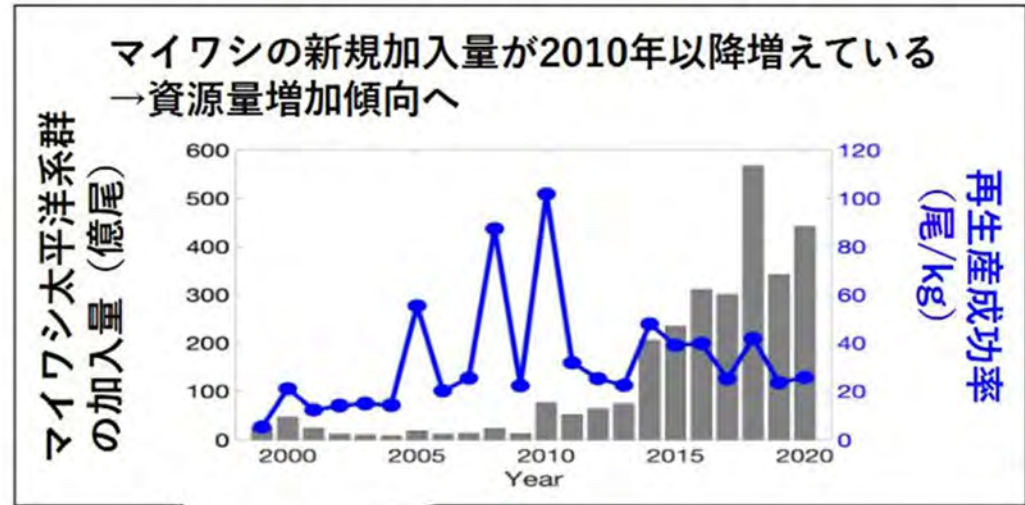
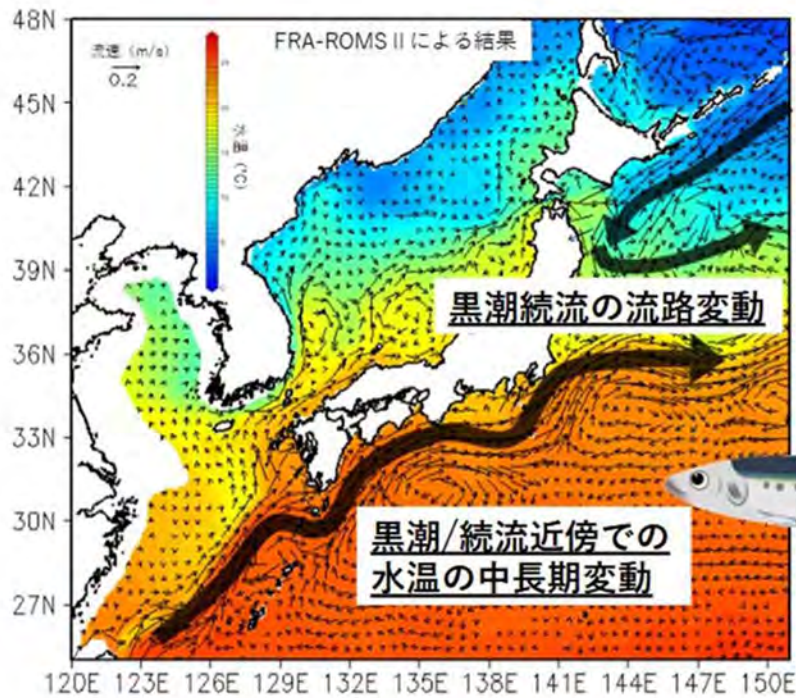


■引用文献

【スケトウダラ】

- Kuroda, H., T. Saito, T. Kaga, A. Takasuka, Y. Kamimura, S. Furuichi, and T. Nakanowatari (2020), Unconventional Sea Surface Temperature Regime Around Japan in the 2000s- 2010s: Potential Influences on Major Fisheries Resources. *Front. Mar. Sci.*, 7:574904, doi: 10.3389/fmars.2020.574904.
- Nakanowatari, T., and K. I. Ohshima (2014), Coherent sea level variation in and around the Sea of Okhotsk, *Prog. Oceanogr.*, 126, 58-70, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.05.009>.
- Sekine, Y. (1988), Anomalous southward intrusion of the Oyashio east of Japan: 1. Influence of the seasonal and interannual variations in the wind stress over the North Pacific, *J. Geophys. Res.*, 93(C3), 2247-2255, doi:10.1029/JC093iC03p02247.
- Yasuda, T., and K. Hanawa (1997), Decadal Changes in the Mode Waters in the Midlatitude North Pacific. *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 858-870, [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1997\)027<0858:DCITMW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1997)027<0858:DCITMW>2.0.CO;2).

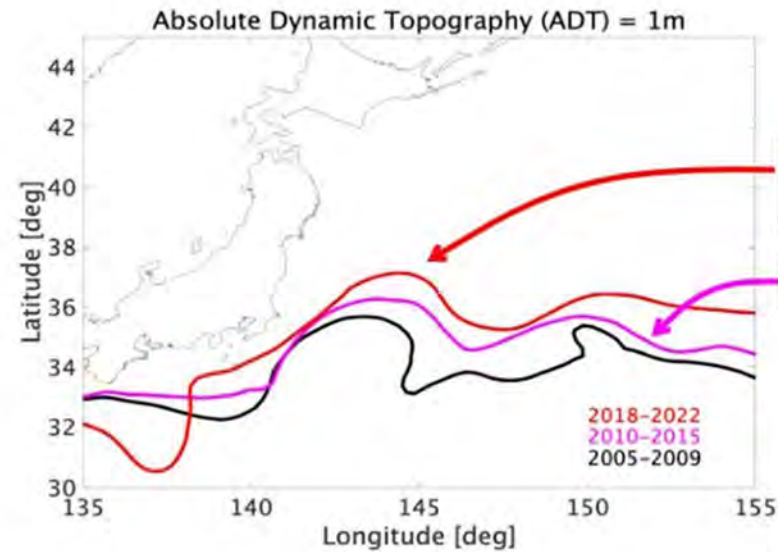
■ 近年のマイワシ資源量変動に見られる特徴と関連する海洋環境



↓

混合域の海洋環境変動が
マイワシの新規加入に与える影響

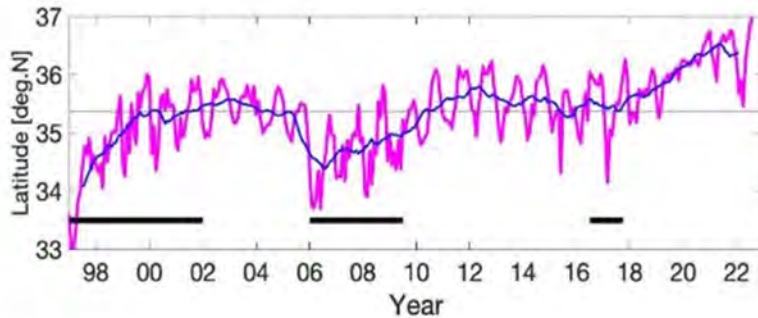
■ 2010年以降の黒潮続流の北偏傾向



黒潮大蛇行に伴う
2018年以降の北偏傾向

2010年代前半の北偏傾向

人工衛星で捉えた絶対海面高度 (ADT)の南北勾配が最も大きな ADT=1mを黒潮流軸として抽出。各期間の春季 (4-6月)の平均流路を示す。



ピンク線は、141E~155Eの黒潮流軸の平均緯度
青細線は13ヶ月移動平均
黒細線は平均値
黒太線は、Qiu et al. 2020で定義された不安定流路期間

亜熱帯循環の西岸境界流である黒潮は、日本南岸を東向きに流れた後、房総半島沖から離岸して、太平洋の沖合を東向きに流れる黒潮続流となります。黒潮と同様に、黒潮続流も、低緯度から中緯度への熱や卵仔魚の輸送に重要な役割を果たしています。

2010-2015年の黒潮続流北偏傾向

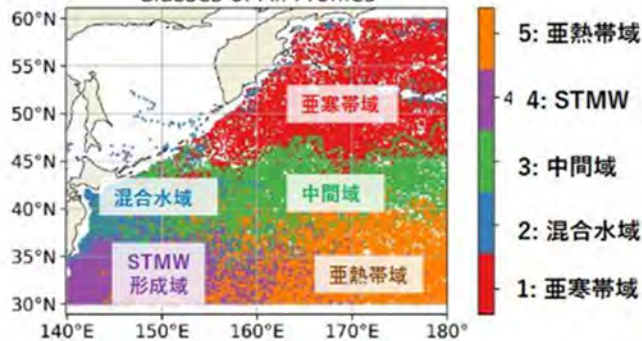
黒潮続流は、約10年周期で、流路が変動することが知られています (Qiu and Chen, 2005; Sugimoto et al. 2014)。人工衛星で得られた海面高度の情報から黒潮続流の流軸緯度の変動を抽出したところ、2000-2004年は北偏傾向だったのに対し、2005年以降は南偏化していました (左図)。また、2006-2009年の流路は、大きな蛇行を伴って東向きに流れる「不安定流路」という流路形態を取った期間でした (Qiu et al. 2020)。2010年になると、黒潮続流は再び北偏傾向となり、蛇行の少ない比較的直線的な「安定流路」を取るようになりました。このような黒潮続流の流路変動は、北東太平洋で生じた海面高度の凹凸の変動が、西向きに伝播するロスビー波と呼ばれる波動によって、太平洋西岸まで影響することが要因として考えられています (Qiu and Chen, 2010, Qiu et al. 2014)。

2018年以降の強い北偏傾向

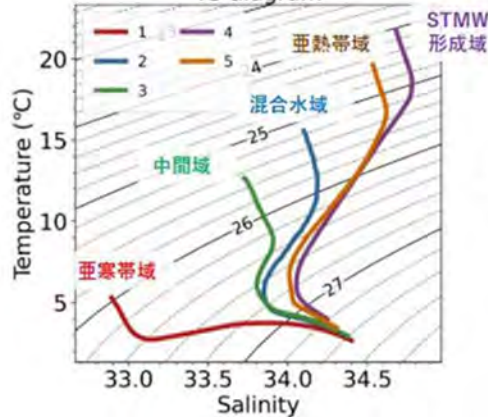
2016年頃、黒潮続流はわずかに南偏化しましたが、2018年以降再び北偏化し、近年は、過去25年で最も北偏傾向の強い期間となっています (左図)。この北偏傾向は、上記のような約10年周期の変動とは異なり、2017年に発生した黒潮大蛇行の影響が示唆されており (Qiu et al. 2020)、過去に長期間の大蛇行が発生した期間も同様の北偏傾向が報告されています (1975-1980年など: Mizuno and White, 1983; 川合, 1989)。

■ 黒潮続流の北偏→水塊変化

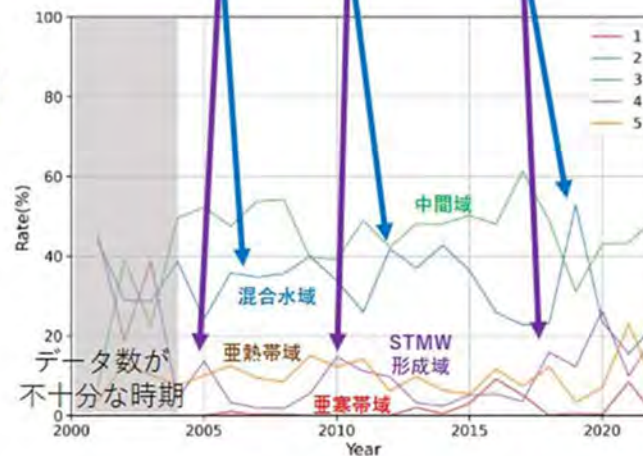
(a) プロファイルのクラスタリング
Classes of All Profiles



(b) 水温・塩分特性
TS diagram



STMW形成域クラスが増えた後に
混合水域クラスが増える
暖水波及→混合水域クラス形成



水温・塩分プロファイルに基づく水塊クラスタリング

北西太平洋における自動観測ロボット (Argoフロート) の水温・塩分プロファイルのクラスター解析を行い (Sambe and Suga 2022)、水塊を5つのクラスに分類した (図a, b)。各クラスは、そのプロファイルが多くみられる海域で概ね分けられる。

2010年前後における水塊分布変化

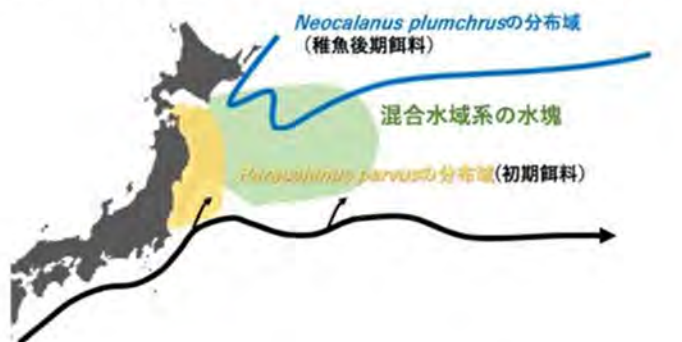
黒潮親潮移行域における各クラスの出現割合の変動を調べると、混合水域に特徴的な水塊の出現割合は、STMW形成域の水塊の割合が増大した1-2年後に増大することがわかった (図c)。

この水塊分布の変動は、黒潮続流北偏やジェット強化によって移行域に波及した暖水が、周囲の水塊と混合して変質し、混合水域系水塊が形成される過程を反映していると考えられる。このような暖水の波及とその後の混合水域クラスの水塊の増加は繰り返され、2010年から2015年にも発生していた。

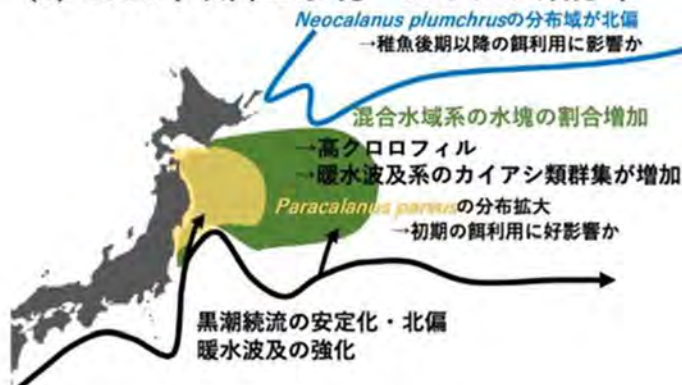
(c) 35-45° N, 140-160° E
3-7月の各クラス出現割合

■ 黒潮続流の北偏→水塊変化→餌環境への影響

(a) 2010年以前の水塊・カイアシ類分布



(b) 2010年以降の水塊・カイアシ類分布



2010年前後における浮遊性カイアシ類の群集構造の変化

調査船調査で得られた同海域の浮遊性カイアシ類の群集構造解析によると、2010-15年の間に群集構造は大きく変化していた (Miyamoto et al. 2022)。2010-15年以降、黒潮続流分枝にみられる亜熱帯性小型カイアシ類が減少した一方、亜寒帯域への暖水波及域にみられる亜寒帯性の大型カイアシ類や暖水性カラヌスが增大していた。黒潮続流の北偏や、亜熱帯域から亜寒帯域への暖水波及の活発化に伴い、近年は解析対象海域の餌環境が好転したことが示唆される。

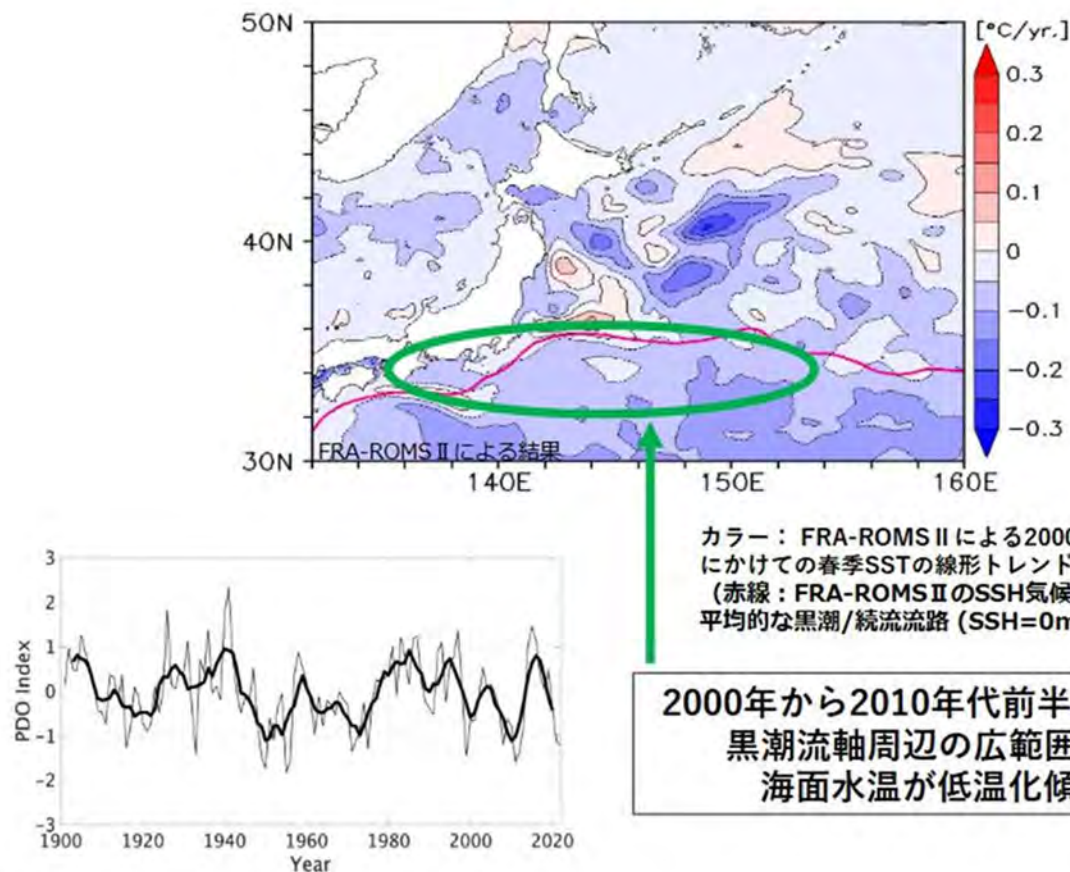
Paracalanus parvus s.l. (初期餌料) の分布変化

移行域におけるParacalanus parvus s.l. (マイワシやマサバの初期餌料となる) の出現確率の出現確率と現存量は、太平洋10年規模振動 (PDO) 指数との対応はなく分布の拡大と縮小を繰り返していた。2010年以前は分布は沿岸に限られていた (図a) が、2010年以降は黒潮続流の北偏や暖水波及・ジェット強化に伴い、分布域が沖合へ拡大していた。この拡大は、初期の餌利用に好影響の可能性はある。

Neocalanus plumchrus (稚魚後期餌料) の分布変化

移行域におけるNeocalanus plumchrus (マイワシやマサバの稚魚後期の餌料となる) の出現確率は、PDO指数と対応して変動 (PDO正のとき上昇) していた。一方で、現存量はPDO指数に従わず、近年は減少傾向にあり、2010年以前 (図a) に比べて2010年以降 (図b) は、分布域が北偏していた。この北偏は、稚魚後期以降の餌利用の遅れ等に影響する可能性がある。

■ 黒潮および黒潮続流周辺での水温の中長期変動



年平均PDO指数の時系列 (太線：5年移動平均)

(データ：気象庁(https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/b_1/pdo/pdo.html))

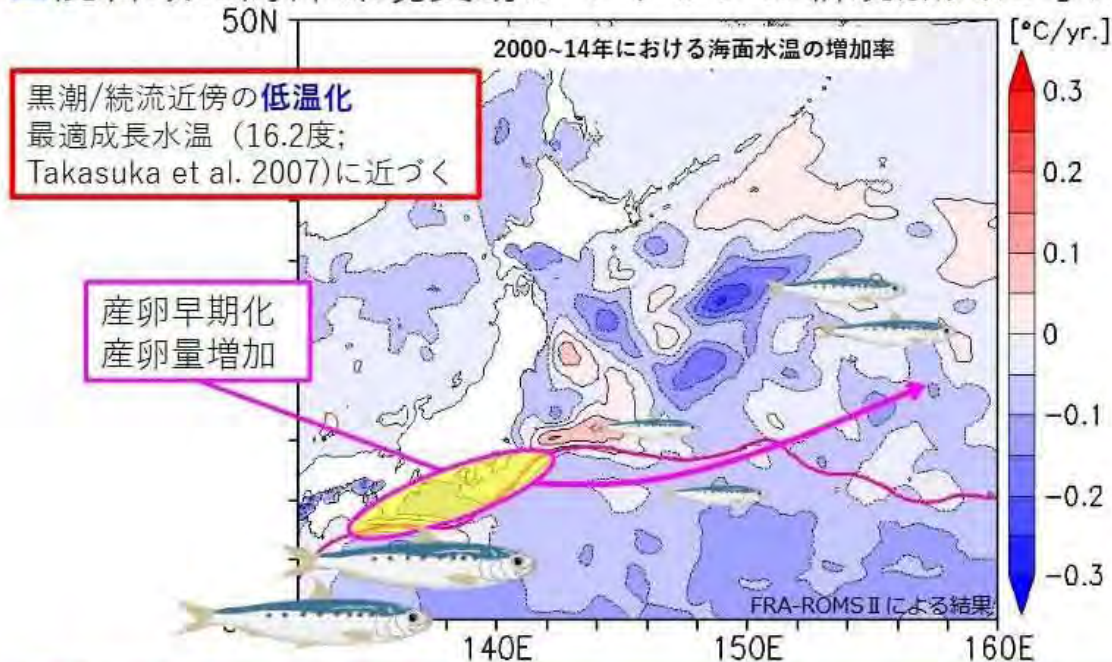
2000年以降の黒潮流軸周辺の低温化

2000年以降、東海・関東南岸の黒潮流軸から内側域周辺の広範囲の海域において、冬季および春季の海面水温が長期的（15年程度）に低下する傾向が報告されています（上図, Kuroda et al. 2020）。

この日本周辺の低温化の一因として、中央ユーラシア大陸における冬季の極端な気温低下が考えられており（Kuroda et al. 2020）、北極海の海水減少がその極端な気温低下に影響した可能性が指摘されていますが（Mori et al. 2019ほか）、未だに完全な理解は得られていません。

また、太平洋10年規模振動（PDO）指数は、1998年から2013年まで、概ね負となっており（下図）、従来の考え方では、日本周辺の海面水温は高温化する期間と考えられてきました。このように、2000年から2010年代前半にかけて、日本周辺の黒潮・黒潮続流近傍の海面水温は、これまでの典型的な変動パターンとは異なる要因により、低温化したことが指摘されています（Kuroda et al. 2020）

■ 混合域の海洋環境変動がマイワシの新規加入に与える影響



近年の加入量増加傾向

= 産卵の早期化、早生で低成長の個体の生残

以下の海洋環境変動が関連している可能性がある：

- ・ 仔魚期の経験水温の低温化（最適成長水温に近づく）
- ・ 餌環境の変化

マイワシ太平洋系群は、資源が減少した1990年代以降、主に四国沖から関東近海にかけての黒潮内側域で産卵する。孵化した仔魚は、黒潮/黒潮続流によって東方へ移送され、黒潮親潮移行域で成長し、千島列島東方の亜寒帯域で夏季の索餌期を過ごしたあと、秋冬季に南下して漁場に参加する沖合加入群を形成すると考えられている。

近年の加入量増加傾向

・ 2013年以降、産卵が早期化し、産卵量が増加した（主産卵月：3月～2月；Niino et al. 2021）。成長と加入量の関係は、近年は成長率に関わらず高加入であることを示した（Furuichi et al. 2020）。すなわち、早生で低成長の個体を含む多様な個体が生残する状況が続いている。

・ 2010年以降、黒潮続流が北偏し（P8の図）、黒潮親潮移行域への暖水波及が強化されたことで（P9の図）、本系群の主な餌生物である浮遊性カイアシ類が増加し、本系群の稚魚にとって、好適な餌環境となった（Miyamoto et al. 2022）。

・ 2000年～2014年にかけて、黒潮流軸近傍の海面水温は低下傾向にあり、期間の後半（2010年以降）は、本系群の仔魚の成長にとって好適な水温環境であったことが示唆されている（Kuroda et al. 2020）。

— 近年の多様な個体が生残する状況に、仔魚期の経験水温や餌環境の変化が影響している可能性がある。

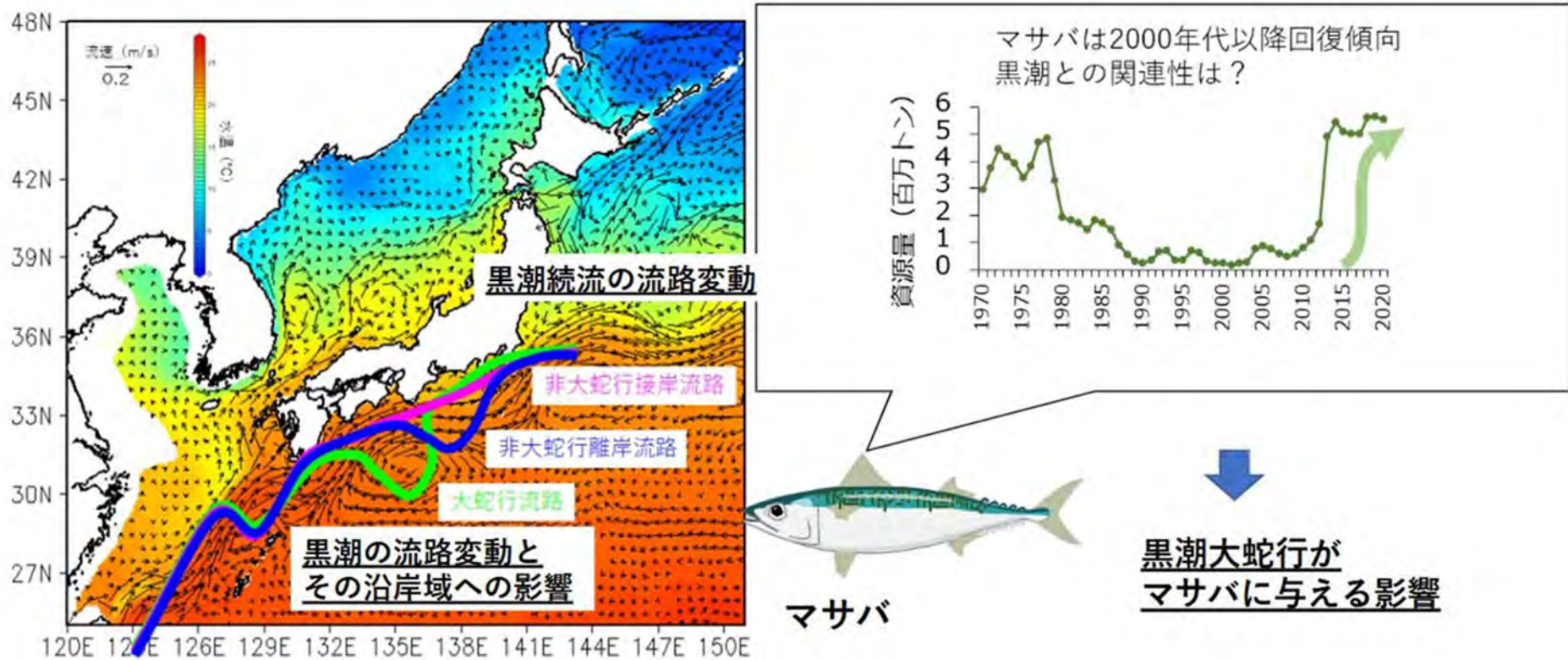
※現在進行中の研究結果を含みます。
解釈は変わる可能性があります。

■引用文献

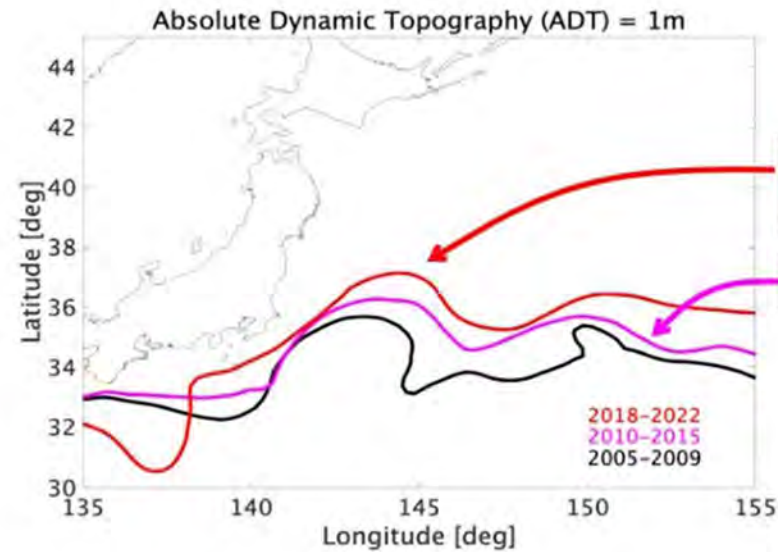
【マイワシ】

- Furuichi, S., Y. Niino, Y. Kamimura, and R. Yukami (2020), Time-varying relationships between early growth rate and recruitment in Japanese sardine, *Fish. Res.*, 232, 105723.
- Kuroda, H., T. Saito, T. Kaga, A. Takasuka, Y. Kamimura, S. Furuichi, and T. Nakanowatari (2020), Unconventional Sea Surface Temperature Regime Around Japan in the 2000s- 2010s: Potential Influences on Major Fisheries Resources. *Front. Mar. Sci.*, 7:574904, doi: 10.3389/fmars.2020.574904.
- Mizuno, K., and W. B. White (1983), Annual and interannual variability in the Kuroshio Current system. *J. Phys. Oceanogr.*, 13, 1847-1867, [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1983\)013,1847:AAVIT.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1983)013,1847:AAVIT.2.0.CO;2).
- Miyamoto, H., K. Takahashi, H. Kuroda, T. Watanabe, Y. Taniuchi, A. Kuwata, H. Kasai, S. Kakehi, T. Fuji, S. Suyama, and K. Tadokoro (2022), Copepod community structure in the transition region of the North Pacific Ocean: Water mixing as a key driver of secondary production enhancement in subarctic and subtropical waters. *Prog. Oceanogr.*, 207, 102865.
- Mori, M., Y. Kosaka, M. Watanabe, H. Nakamura, and M. Kimoto (2019), A reconciled estimate of the influence of Arctic sea-ice loss on recent Eurasian cooling. *Nat. Clim. Change* 9, 123-129. doi: 10.1038/s41558-018-0379-3.
- Niino, Y., S. Furuichi, Y. Kamimura, and R. Yukami (2021), Spatiotemporal spawning patterns and early growth of Japanese sardine in the western North Pacific during the recent stock increase. *Fish. Oceanogr.*, 30, 643-652.
- Qiu, B., and S. Chen (2005), Variability of the Kuroshio Extension jet, recirculation gyre and mesoscale eddies on decadal timescales. *J. Phys. Oceanogr.*, 35, 2090-2103, <https://doi.org/10.1175/JPO2807.1>.
- Qiu, B., and S. Chen (2010), Eddy-mean flow interaction in the decadal modulating Kuroshio Extension system. *Deep-Sea Res. II*, 57, 1098-1110, <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2008.11.036>.
- Qiu, B., S. Chen, N. Schneider, and B. Taguchi (2014), A coupled decadal prediction of the dynamic state of the Kuroshio Extension system. *J. Climate*, 27, 1751-1764, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00318.1>.
- Qiu, B., S. Chen, N. Schneider, E. Oka, and S. Sugimoto (2020), On reset of the wind-forced decadal Kuroshio Extension variability in late 2017. *J. Climate*, 33, 10 813-10 828, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0237.1>.
- Sambe, F., and S. Suga (2022), Unsupervised clustering of Argo temperature and salinity profiles in the mid-latitude northwest Pacific Ocean and revealed influence of the Kuroshio Extension variability on the vertical structure distribution. *J. Geophys. Res. Oceans*, 127, e2021JC018138.
- Sugimoto, S., N. Kobayashi, and K. Hanawa (2014), Quasi-Decadal Variation in Intensity of the Western Part of the Winter Subarctic SST Front in the Western North Pacific: The Influence of Kuroshio Extension Path State. *J. Phys. Oceanogr.*, 44, 2753-2762, <https://doi.org/10.1175/JPO-D-13-0265.1>.
- 川合英夫 (1989), 東北海区近海の黒潮続流軸北限と親潮水南限の長期変動. *水産海洋研究*. 53(4), 353-363.

■ 近年のマサバ資源量変動に見られる特徴と関連する海洋環境



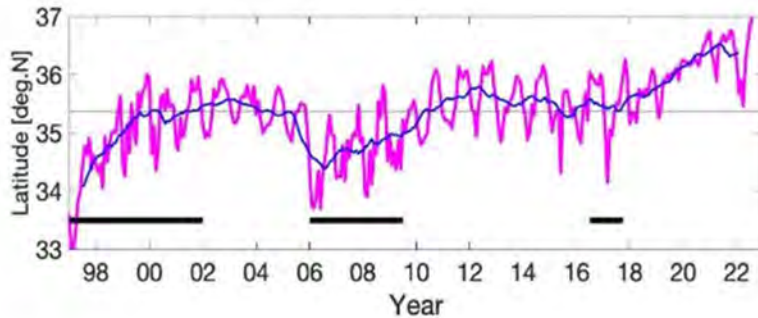
■ 2010年以降の黒潮続流の北偏傾向



黒潮大蛇行に伴う
2018年以降の北偏傾向

2010年代前半の北偏傾向

人工衛星で捉えた絶対海面高度 (ADT)の南北勾配が最も大きな ADT=1mを黒潮流軸として抽出。各期間の春季 (4-6月)の平均流路を示す。



ピンク線は、141E~155Eの黒潮流軸の平均緯度
青細線は13ヶ月移動平均
黒細線は平均値
黒太線は、Qiu et al. 2020で定義された不安定流路期間

亜熱帯循環の西岸境界流である黒潮は、日本南岸を東向きに流れた後、房総半島沖から離岸して、太平洋の沖合を東向きに流れる黒潮続流となります。黒潮と同様に、黒潮続流も、低緯度から中緯度への熱や卵仔魚の輸送に重要な役割を果たしています。

2010-2015年の黒潮続流北偏傾向

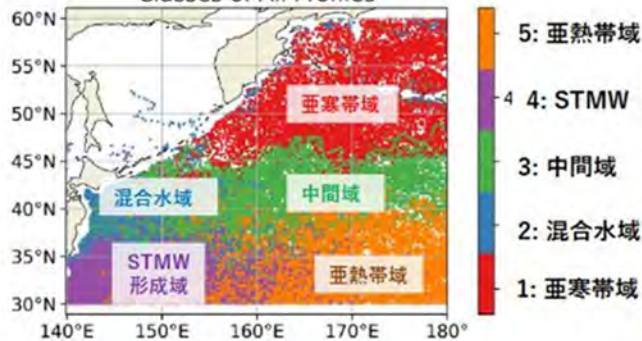
黒潮続流は、約10年周期で、流路が変動することが知られています (Qiu and Chen, 2005; Sugimoto et al. 2014)。人工衛星で得られた海面高度の情報から黒潮続流の流軸緯度の変動を抽出したところ、2000-2004年は北偏傾向だったのに対し、2005年以降は南偏化していました (左図)。また、2006-2009年の流路は、大きな蛇行を伴って東向きに流れる「不安定流路」という流路形態を取った期間でした (Qiu et al. 2020)。2010年になると、黒潮続流は再び北偏傾向となり、蛇行の少ない比較的直線的な「安定流路」を取るようになりました。このような黒潮続流の流路変動は、北東太平洋で生じた海面高度の凹凸の変動が、西向きに伝播するロスビー波と呼ばれる波動によって、太平洋西岸まで影響することが要因として考えられています (Qiu and Chen, 2010, Qiu et al. 2014)。

2018年以降の強い北偏傾向

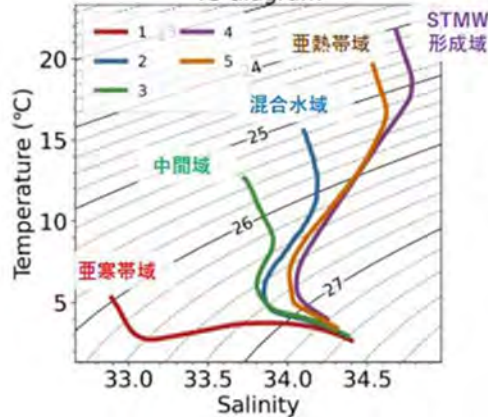
2016年頃、黒潮続流はわずかに南偏化しましたが、2018年以降再び北偏化し、近年は、過去25年で最も北偏傾向の強い期間となっています (左図)。この北偏傾向は、上記のような約10年周期の変動とは異なり、2017年に発生した黒潮大蛇行の影響が示唆されており (Qiu et al. 2020)、過去に長期間の大蛇行が発生した期間も同様の北偏傾向が報告されています (1975-1980年など: Mizuno and White, 1983; 川合, 1989)。

■ 黒潮続流の北偏→水塊変化

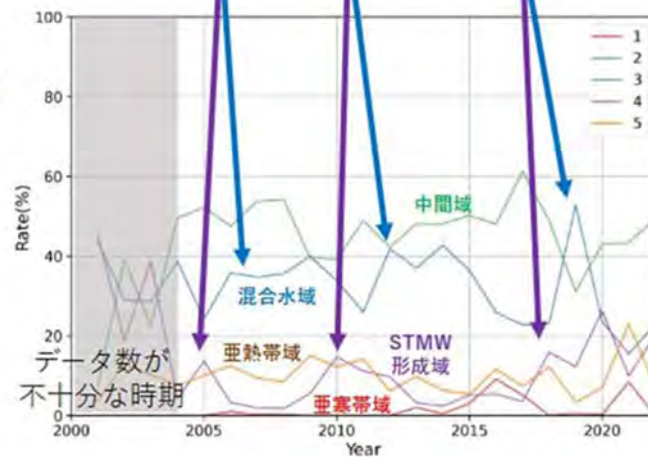
(a) プロファイルのクラスタリング
Classes of All Profiles



(b) 水温・塩分特性
TS diagram



STMW形成域クラスが増えた後に
混合水域クラスが増える
暖水波及→混合水域クラス形成



水温・塩分プロファイルに基づく水塊クラスタリング

北西太平洋における自動観測ロボット (Argoフロート) の水温・塩分プロファイルのクラスター解析を行い (Sambe and Suga 2022)、水塊を5つのクラスに分類した (図a, b)。各クラスは、そのプロファイルが多くみられる海域で概ね分けられる。

2010年前後における水塊分布変化

黒潮親潮移行域における各クラスの出現割合の変動を調べると、混合水域に特徴的な水塊の出現割合は、STMW形成域の水塊の割合が増大した1-2年後に増大することがわかった (図c)。

この水塊分布の変動は、黒潮続流北偏やジェット強化によって移行域に波及した暖水が、周囲の水塊と混合して変質し、混合水域系水塊が形成される過程を反映していると考えられる。このような暖水の波及とその後の混合水域クラスの水塊の増加は繰り返しみられ、2010年から2015年にも発生していた。

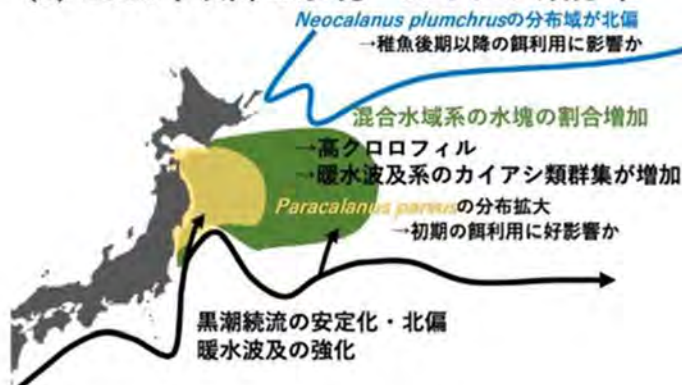
(c) 35-45° N, 140-160° E
3-7月の各クラス出現割合

■ 黒潮続流の北偏→水塊変化→餌環境への影響

(a) 2010年以前の水塊・カイアシ類分布



(b) 2010年以降の水塊・カイアシ類分布



2010年前後における浮遊性カイアシ類の群集構造の変化

調査船調査で得られた同海域の浮遊性カイアシ類の群集構造解析によると、2010-15年の間に群集構造は大きく変化していた (Miyamoto et al. 2022)。2010-15年以降、黒潮続流分枝にみられる亜熱帯性小型カイアシ類が減少した一方、亜寒帯域への暖水波及域にみられる亜寒帯性の大型カイアシ類や暖水性カラヌスが增大していた。黒潮続流の北偏や、亜熱帯域から亜寒帯域への暖水波及の活発化に伴い、近年は解析対象海域の餌環境が好転したことが示唆される。

Paracalanus parvus s.l. (初期餌料) の分布変化

移行域におけるParacalanus parvus s.l. (マイワシやマサバの初期餌料となる) の出現確率の出現確率と現存量は、太平洋10年規模振動 (PDO) 指数との対応はなく分布の拡大と縮小を繰り返していた。2010年以前は分布は沿岸に限られていた (図a) が、2010年以降は黒潮続流の北偏や暖水波及・ジェット強化に伴い、分布域が沖合へ拡大していた。この拡大は、初期の餌利用に好影響の可能性はある。

Neocalanus plumchrus (稚魚後期餌料) の分布変化

移行域におけるNeocalanus plumchrus (マイワシやマサバの稚魚後期の餌料となる) の出現確率は、PDO指数と対応して変動 (PDO正のとき上昇) していた。一方で、現存量はPDO指数に従わず、近年は減少傾向にあり、2010年以前 (図a) に比べて2010年以降 (図b) は、分布域が北偏していた。この北偏は、稚魚後期以降の餌利用の遅れ等に影響する可能性がある。

■ 黒潮流路変動

日本南岸を流れる黒潮の流路は、数週間～数ヶ月～数年の時間スケールで変動する。その流路型は、蛇行の有無や岸から流軸までの距離の違いによって、三つのパターンに大別される。一つ目は非大蛇行接岸流路（左図）で、黒潮は日本南岸に沿って、関東・東海沖では真っ直ぐに流れる。二つ目は大蛇行流路（中図）で、黒潮流路は東海沖で大きく蛇行し、流軸は南方沖合に離岸する。大蛇行流路の判定基準は、「黒潮が潮岬沖で離岸していること」、「東海沖（東経136～140度）の黒潮最南下点が北緯32度より安定して南に位置していること」である。三つ目は非大蛇行離岸流路（右図）で、伊豆諸島近海で小さく蛇行して流れる。伊豆諸島海域では、黒潮は八丈島の南を通過して流れる特性がある。

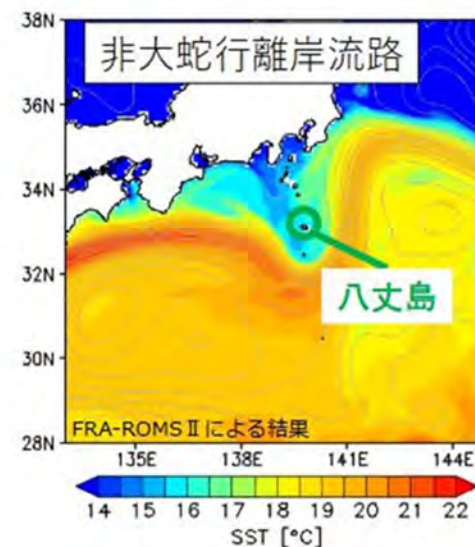
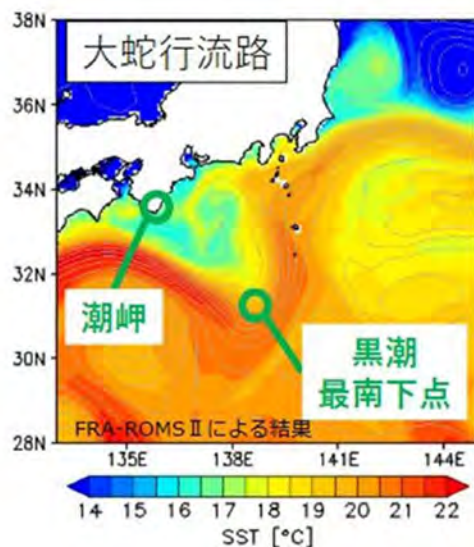
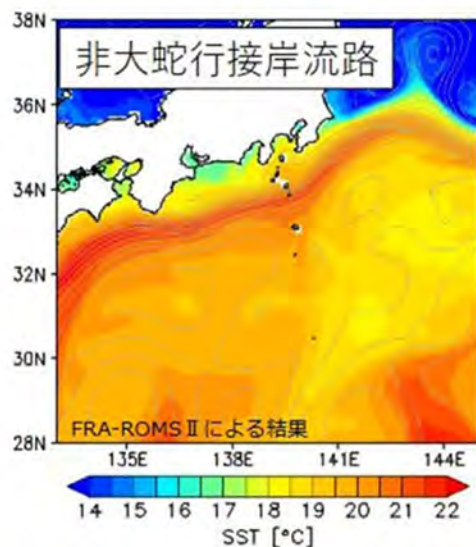
2000年以降の春季の黒潮流路変動

2000年以降の春季の流路型は概ね以下のように分類される。

非大蛇行接岸流路：02-04年

大蛇行流路：05, 18-23年

非大蛇行離岸流路：00-01, 06-17年



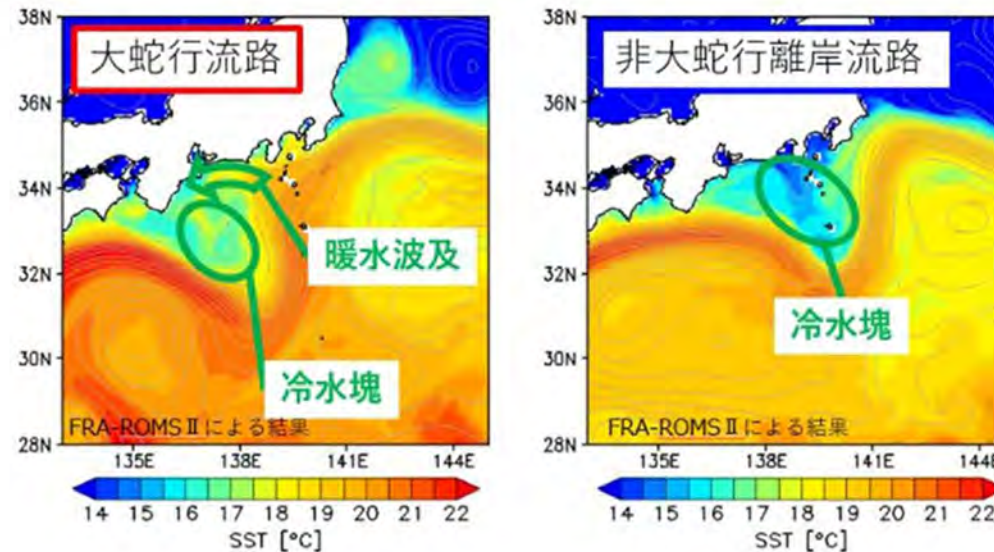
■ 黒潮内側の冷水塊と暖水波及

黒潮内側冷水渦

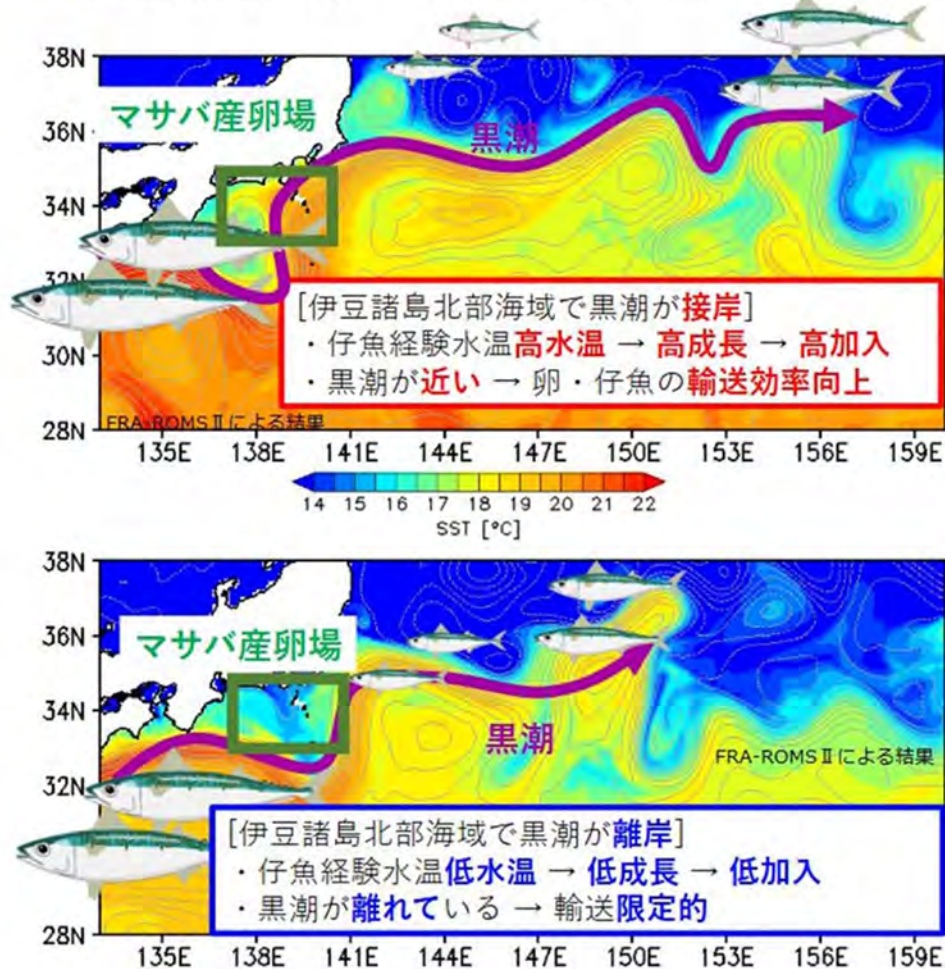
蛇行により広がった岸と流軸の間の領域はよく黒潮内側（ないそく）域と呼ばれる。この黒潮内側域は、黒潮流軸からその南側に広く分布する高温・高塩分の亜熱帯系水塊に比べて低温・低塩分の水塊で覆われる（図）。この冷水塊は低気圧性、すなわち反時計回りの回転をする渦（=内側冷水渦）であり、この時空間変動は東海沖の海洋環境や蛇行の維持・減衰に大きく影響する。

黒潮内側域への暖水波及

黒潮が大蛇行流路をとる期間中、蛇行の始端（東向きの流れが南向きに曲がる部分）と終端（北向きの流れが東向きに曲がる部分）では黒潮内側域に向かってしばしば黒潮系暖水が波及する。この現象は暖水波及と呼ばれ、特に蛇行終端から内側冷水渦の反時計回りの回転に沿う暖水の流れは内側反流とも呼ばれる。暖水波及は強い沿岸流である急潮を引き起こすことでも知られ、定置網等の漁具の破損や流出の原因にもなっている。暖水波及は黒潮流軸の曲率の大きな領域で発生しやすく、遠心力による不安定が暖水波及の発達要因の一つと考えられる（Ito et al. 投稿中）。黒潮大蛇行の発達に伴い、東海沖では内側冷水渦が発達するものの、渦の縁辺では暖水波及の影響がむしろ大きく、沿岸域は暖水に覆われることが多い（左図）。一方、非大蛇行離岸流路の時期には、蛇行の始端と終端は大きな曲率を持たず、不安定が起こりにくいため、沿岸域における暖水の影響は小さい（右図）。



■ 黒潮流路変動がマサバの加入量に与える影響



伊豆諸島北部海域で黒潮が接岸している時期（黒潮接岸流路、黒潮大蛇行流路）

マサバ卵・仔魚（春）期に、産卵域である関東・東海沖に黒潮や暖水塊が接近すると、

- （1）仔魚の成長に最適な高水温が持続して高成長となり、
- （2）仔魚は黒潮の流れに乗って効果的に輸送されるため、**高加入**が期待される。

伊豆諸島北部海域で黒潮が離岸している時期（黒潮非大蛇行離岸流路）

マサバ卵・仔魚（春）期に、産卵域である関東・東海沖から黒潮が離れると、

- （1）仔魚の成長に最適な低水温が持続して低成長となり、
- （2）仔魚は黒潮の流れに乗って輸送されにくいいため、**低成長・低加入**が予測される。

* 高成長と高加入の関係：Kamimura et al. (2015)。

* 黒潮流路と成長の関係：Kaneko et al. (2019)ほか2000-2019年の解析結果。

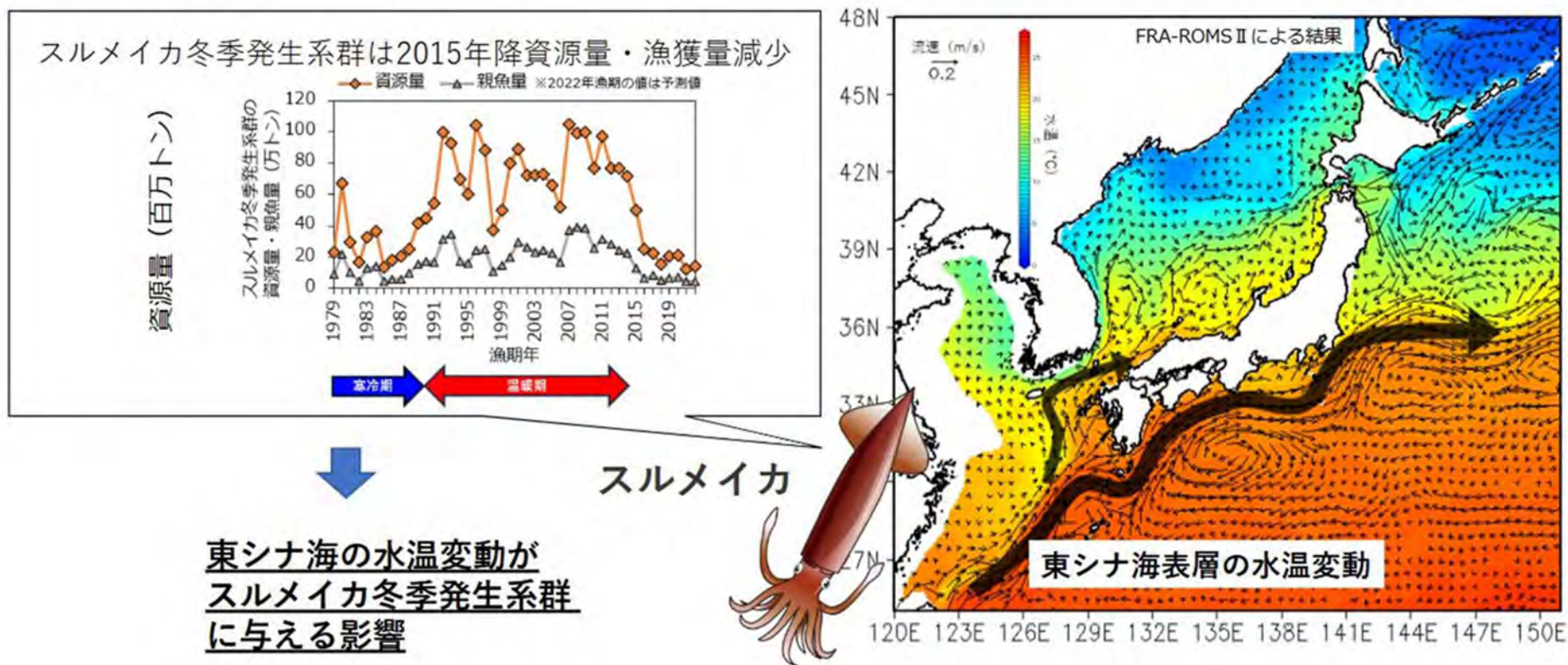
※現在進行中の研究結果を含みます。
 解釈は変わる可能性があります。

■引用文献

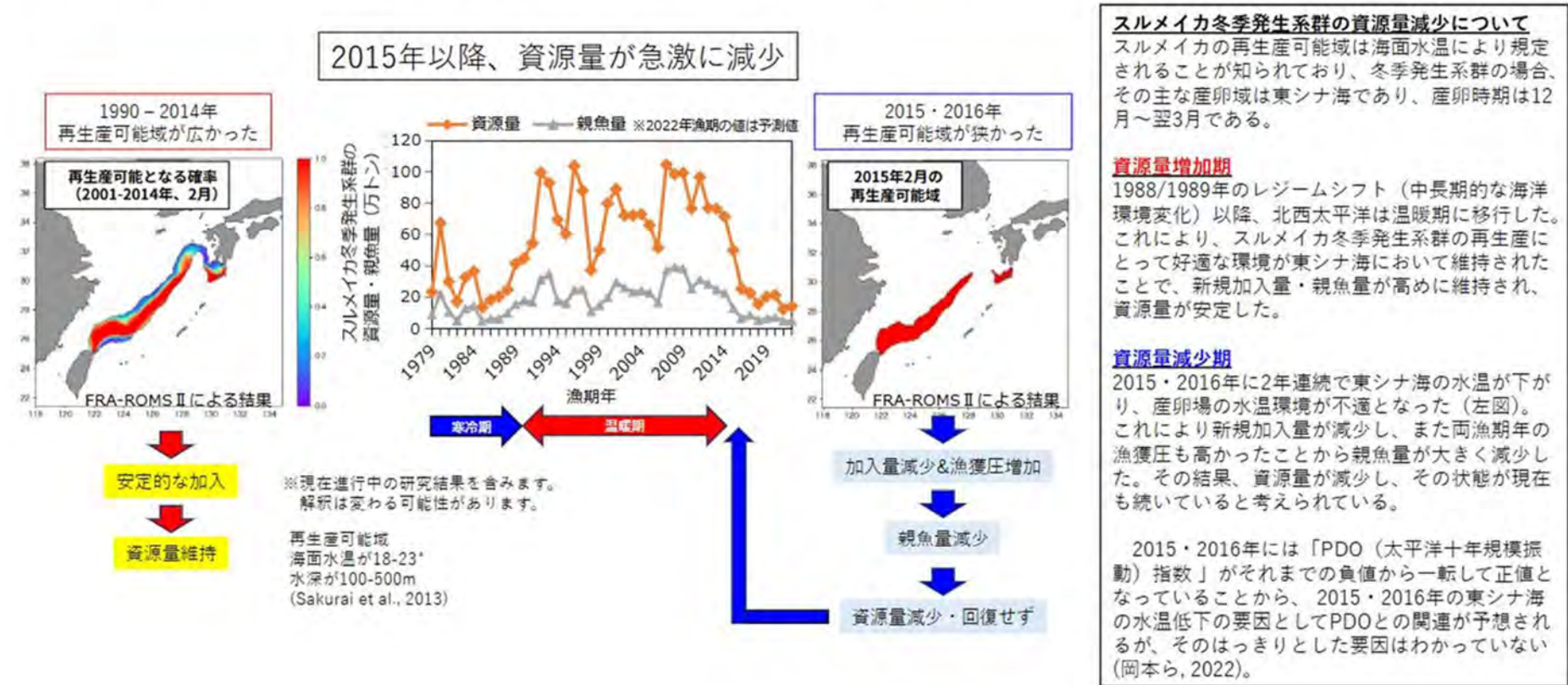
【マサバ】

- Ito, D., Y. Shimizu, T. Setou, A. Kusaka, D. Ambe, Y. Hiroe, K. Hidaka, S. Sogawa, and T. Yamaguchi (2024), Temporal variation of the 2017 Kuroshio large meander based on repeated surveys along 138°E. J. Oceanogr. (submitted).oshio large meander based on repeated surveys along 138°E. J. Oceanogr. (submitted).
- Kamimura, Y., M. Takahashi, N. Yamashita, and C. Watanabe (2015), Larval and Juvenile growth of chub mackerel *Scomber japonicus* in relation to recruitment in the western North Pacific. Fish. Sci., 81, 505-513.
- Kaneko, H., T. Okunishi, T. Seto, H. Kuroda, S. Itoh, S. Kouketsu, and D. Hasegawa (2019), Dual effects of reversed winter-spring temperatures on year-to-year variation in the recruitment of chub mackerel (*Scomber japonicus*). Fish. Oceanogr., 28, 212-227.

■近年のスルメイカ冬季発生系群の資源量変動に見られる特徴と関連する海洋環境



■ 東シナ海の水温変動がスルメイカ冬季発生系群に与える影響

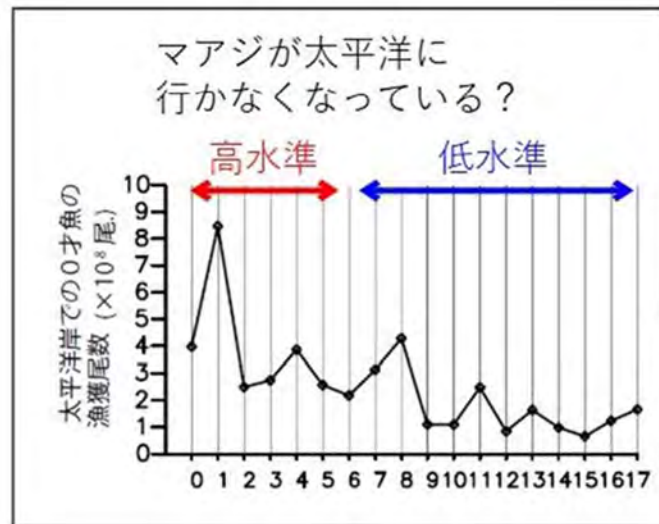


■引用文献

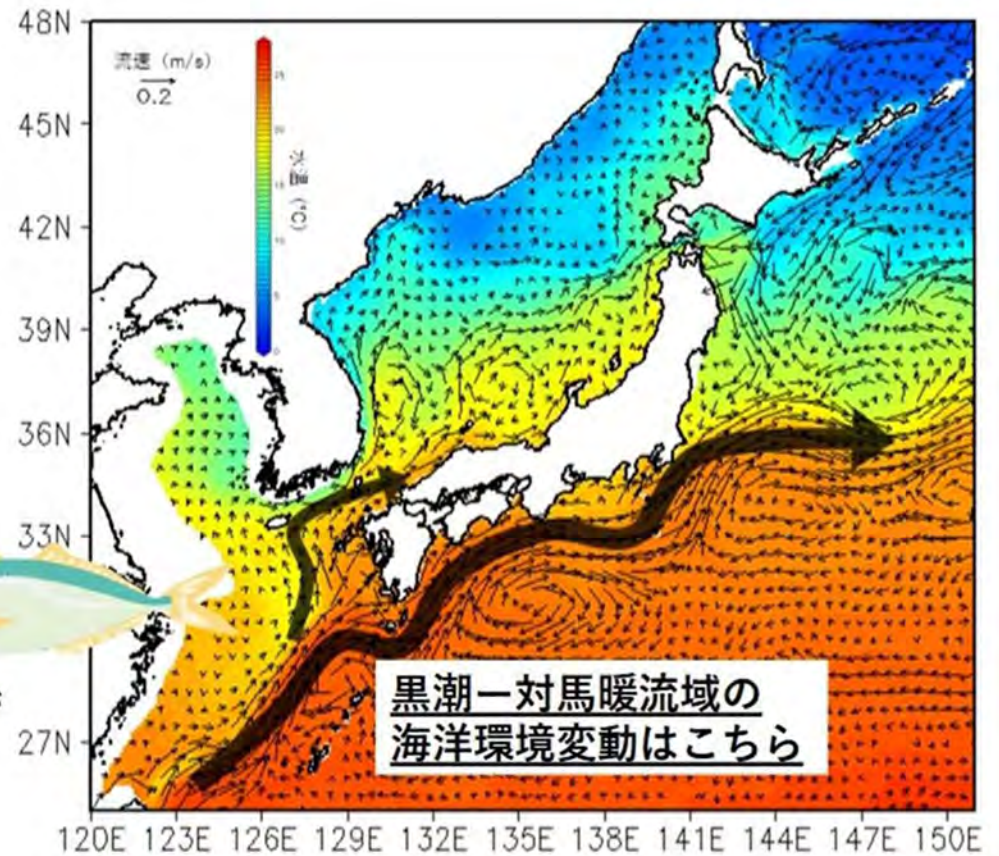
【スルメイカ】

- 岡本俊・宮原寿恵・松井萌・森山丈継・倉島陽・阿呆純一・西嶋翔太・瀬藤聡(2022),令和 4(2022)年度スルメイカ冬季発生系群の資源評価.水産庁・水産研究・教育機構,東京,49 pp.
https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20221202/FRA-SA2022-SC11-01.pdf(2022年12月2日)
- Sakurai Y, Kidokoro H, Yamashita N, Yamamoto J, Uchikawa K, Takahara H (2013), *Todarodes pacificus*, Japanese common squid. In: Rosa R et al (eds) Advances in squid biology, ecology and fisheries part II-Oegopsid squids. Nova Science Publishers Inc, New York, pp 249-271

■近年のマアジ太平洋系群の資源量変動に見られる特徴と関連する海洋環境



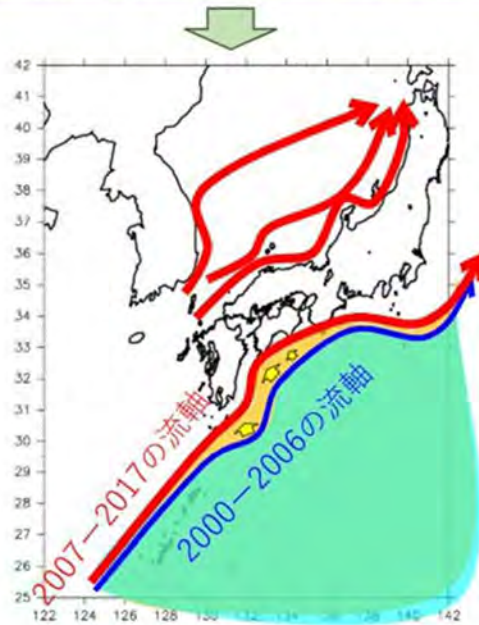
黒潮-対馬暖流域の海洋環境変動がマアジに与える影響



■ 黒潮の北上→対馬暖流系の流量増加

北太平洋上での
偏西風・貿易風の分布変化

↓
黒潮流軸の北上(Liu et al., 2021)

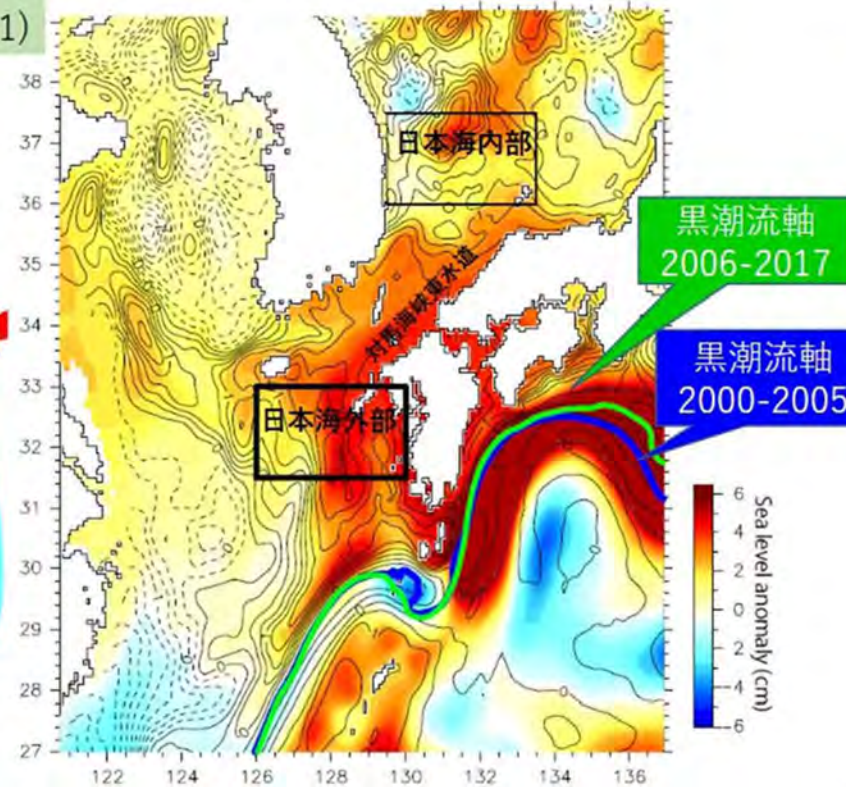


海面高度偏差 (カラー)

後半 (2006~2017) 平均

- 前半 (2000~2005) 平均

値が大きい(暖色系)と後半の方が海面が高いことを意味する



黒潮の北上

黒潮は、偏西風と貿易風によって形作られる風成循環である。1998~2012年の間に、偏西風と貿易風の分布が変わり、黒潮の流軸が北上した(Liu et al., 2021)。その結果、日本の太平洋岸に黒潮流軸が接近し、それに伴って高潮位領域が形成されるようになった(左模式図)。

海況モデルに見られた黒潮の北上

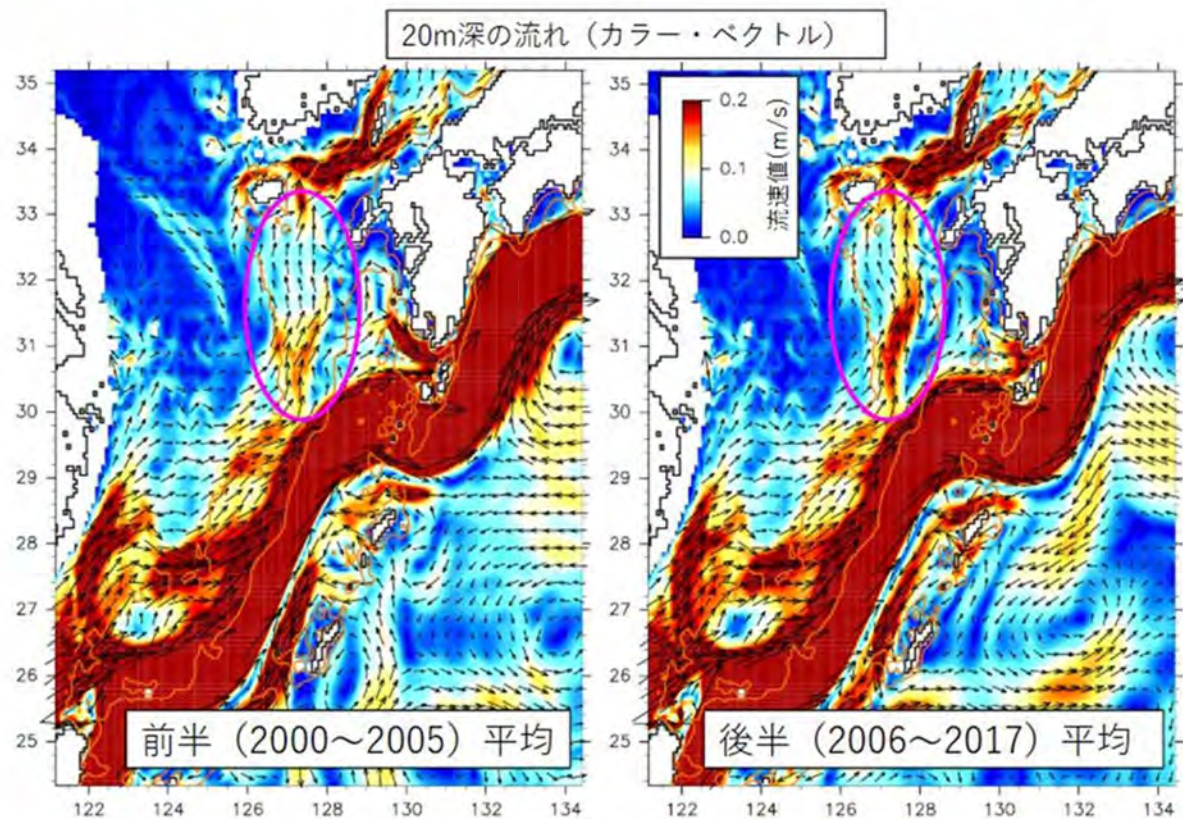
水産機構運用の海況モデルから、黒潮の北上の様子を抽出した。その結果、黒潮流軸は、2000~2005年平均(右図青線)に比べ、2006~2017年平均(右図緑線)の方が北上しており、かつ高潮位領域が本州南岸に形作られていた(右図暖色系領域)。これは左図の模式図と一致する特徴であり、海況モデルで黒潮の北上が再現されていたことを示す。

対馬暖流の強化

右図では、本州南岸の高潮位領域が九州西方・対馬海峡東水道を經由して日本海まで伸びている。これは、対馬暖流の流勢が強化されていることを意味している。

- 1) 本州南岸の高潮位領域が「沿岸捕捉波」として九州西方まで伝播する(Kida et al., 2021; Usui et al., 2021)
- 2) 対馬海峡を挟んだ、日本海内部と外部領域(右図四角)の潮位差が大きくなる。
- 3) 上記潮位差で駆動されている対馬海峡通過流量が増加し、対馬暖流の流量が増幅したと説明される。

■ 対馬暖流系の流量増加→九州西方の北上流の強化



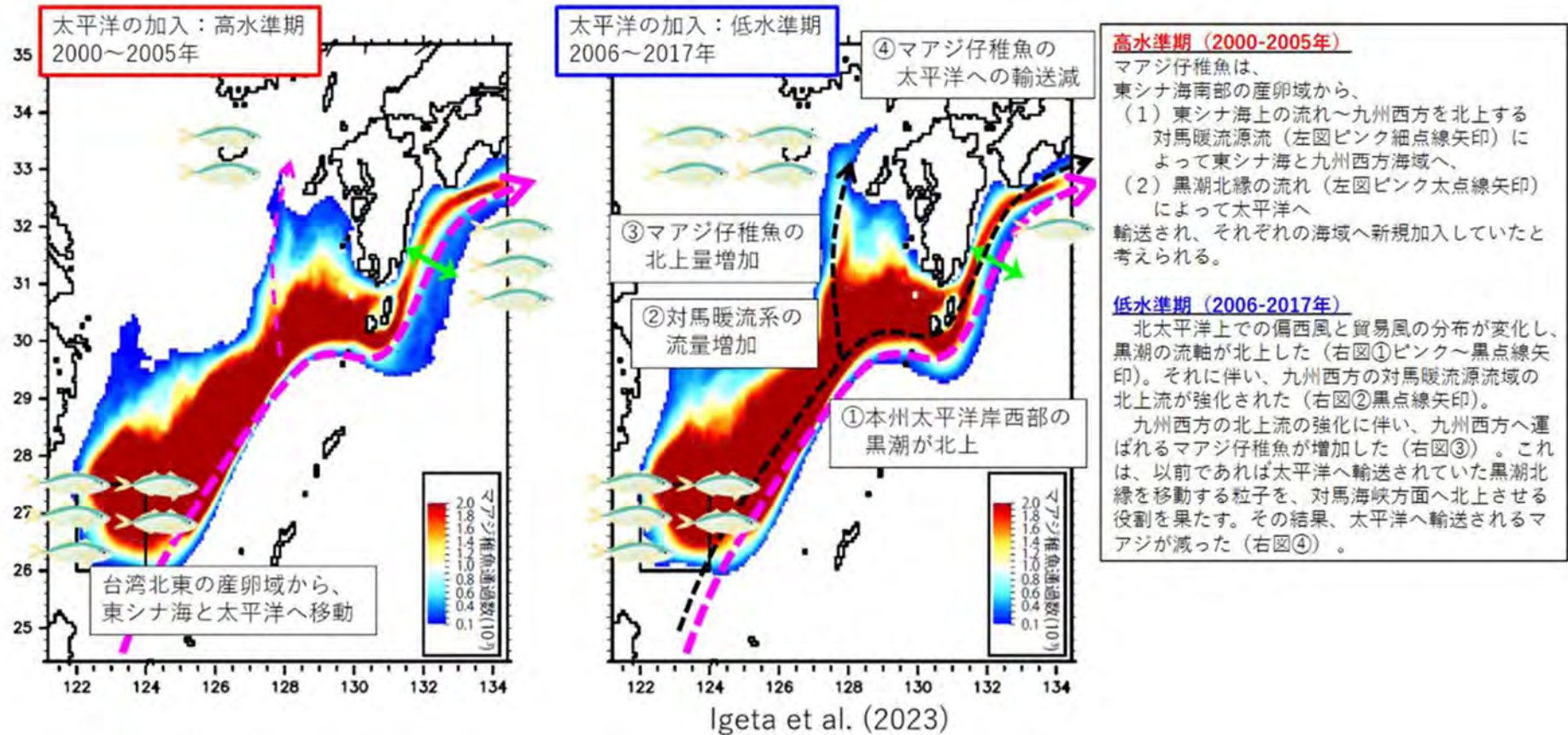
対馬暖流流量の増加に伴う九州西方北上流の強化

九州西方では、対馬暖流の源流にあたる北上流が春先以降見られる。水産機構運用の海況モデルでは、この北上流が2000~2005年（左図ピンク楕円内の流れ）に比べ、2006~2017年の方（右図ピンク楕円内の流れ）が強まっていた。

対馬暖流の増幅にともない、九州西方の対馬暖流源流域の北上流が強化された結果と考えられる。

これは、対馬海峡通過流の増幅に伴い、九州西方から対馬海峡へ連行される海水量が増えた結果、と解釈できる。

■ マアジ太平洋系群の新規加入量変化の一因



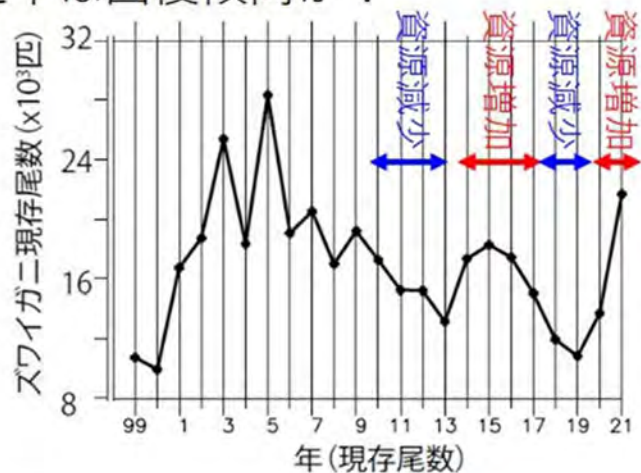
■引用文献

【マアジ】

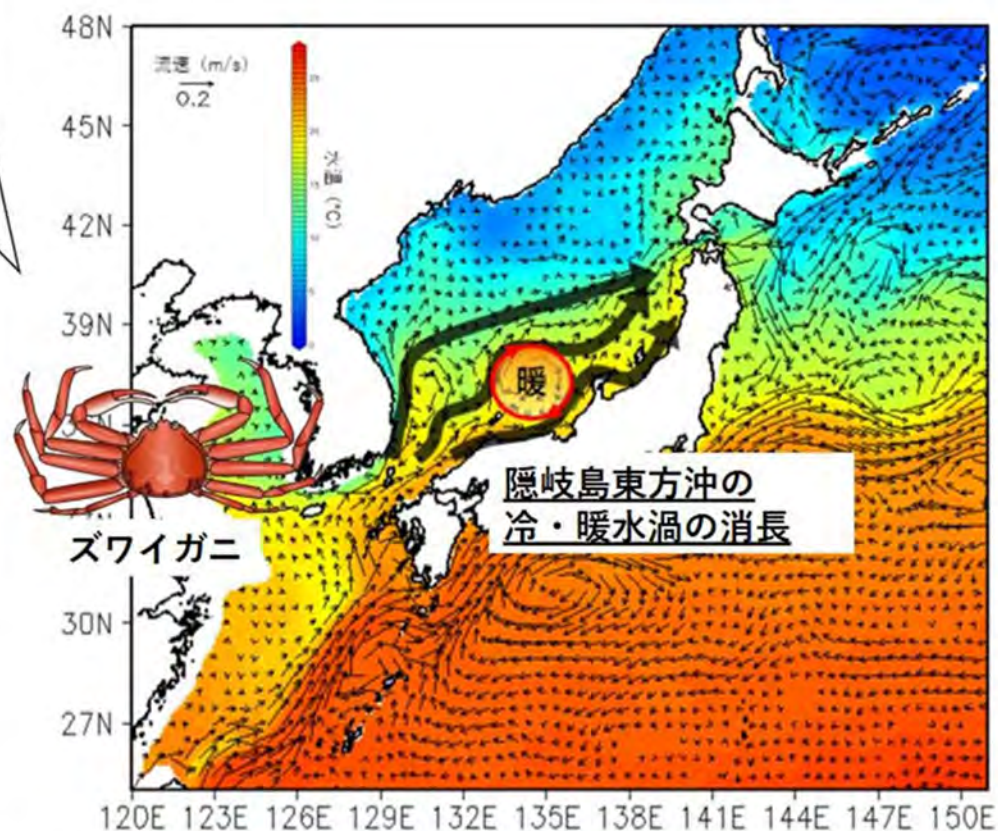
- Igeta, Y., C. Sassa, M. Takahashi, M. Kuga, S. Kitajima, T. Wagawa, S. Abe, C. Watanabe, T. Setou, H. Nakamura and N. Hirose (2023), Effect of interannual variations of Kuroshio-Tsushima Warm Current system on the transportation of juvenile Japanese jack mackerel (*Trachurus japonicus*) to the Pacific coast of Japan. Fish. Oceanogr., 32, 133-146.
<https://doi.org/10.1111/fog.12622>
- Kida, S., K. Takayama, Y.N. Sasaki, H. Matsuura and N. Hirose (2021), Increasing trend in Japan Sea Throughflow transport. J. Oceanogr., 77, 145-153.
<https://doi.org/10.1007/s10872-020-00563-5>
- Liu Z.-J., Zhu X.-H., Nakamura H., Nishina A., Wang M., & Zheng H. (2021), Comprehensive observational features for the Kuroshio transport decreasing trend during a recent global warming hiatus. Geophysical Research Letters, 48, e2021,
<https://doi.org/10.1029/2021GL094169>
- Usui, N., Ogawa, K., Sakamoto, K. et al. (2021), Unusually high sea level at the south coast of Japan in September 2011 induced by the Kuroshio. J Oceanogr 77, 447-461.
<https://doi.org/10.1007/s10872-020-00575-1>
- 安田十也・井須小羊子・渡邊千夏子・木下順二(2021),令和2(2020)年度マアジ太平洋系群の資源評価. 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 33 pp. https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2020/details_2020_03.pdf (2022年11月15日)

■ 近年のズワイガニ資源量変動に見られる特徴と関連する海洋環境

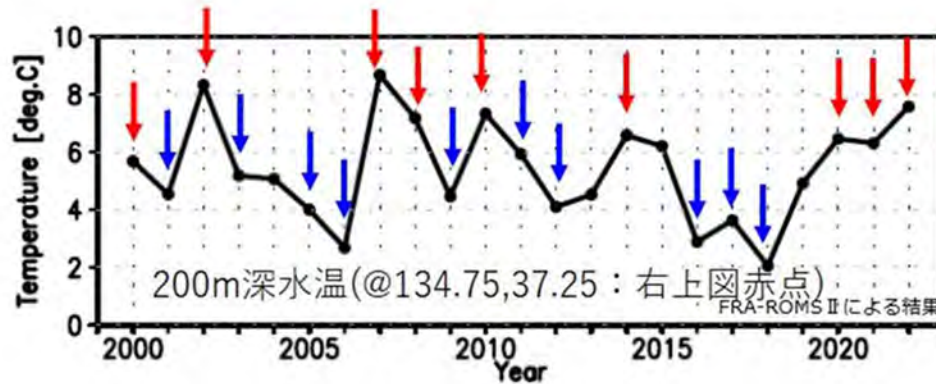
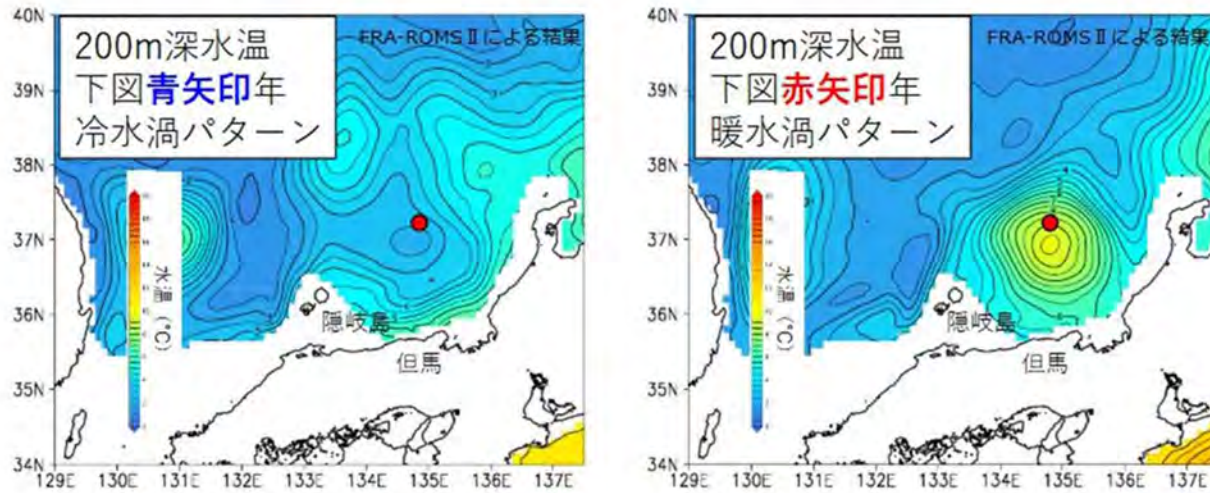
ズワイガニ資源量はなぜ変動する？
近年は回復傾向か？



隠岐島東方沖の冷・暖水域が
ズワイガニの新規加入に与える影響



■ 隠岐島東方沖の冷・暖水渦の消長



隠岐島東方沖の冷・暖水域

隠岐島東方では、冷・暖水渦が頻繁に出現することが知られている (Kurita et al., 1999; Watanabe et al., 2009)。冷・暖水渦は対馬暖流沿岸・沖合分枝の流路上に発生し、渦の配置が対馬暖流の流路を変える (Yabe et al., 2021)、冷水渦が対馬暖流沿岸分枝を強化する (Kaneda et al., 2019)、もしくは対馬暖流が渦を引き起こす等、相互作用が示唆されているが、詳細はわかっていない。

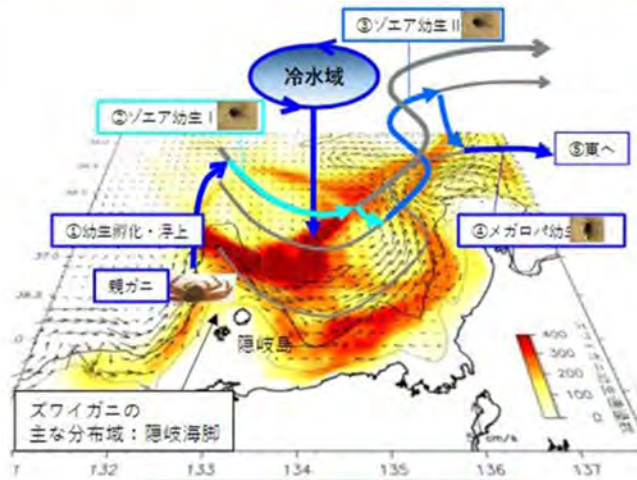
上段右左図は、FRA-ROMS II の水温データセットから描いた、冷水域 (上段左図)、暖水渦 (上段右図) の平均的な位置を示している。冷水渦は但馬沿岸に暖水域を押し付けるような分布をしている (上段左図)。このような場合は、対馬暖流沿岸分枝が強まっている可能性が高い。一方で、暖水域は冷水渦と比較して沖合に分布する (上段右図)。暖水渦は渦を中心に時計回りの循環流をもつ。

低隠岐島東方の暖水域分布の長期傾向

暖水渦の中心が分布しやすい海域 (上段図の赤点) における 200m 深水温 (2~4 月平均) の経年変化を下図に示した。水温が高い時期は、暖水渦が発達している時期として検出できる (下図赤矢印の年)。この時系列からは、2 年程度で暖水渦が消長を繰り返していることが見て取れる。

■ 日本海西部の渦がズワイガニの新規加入量に与える影響

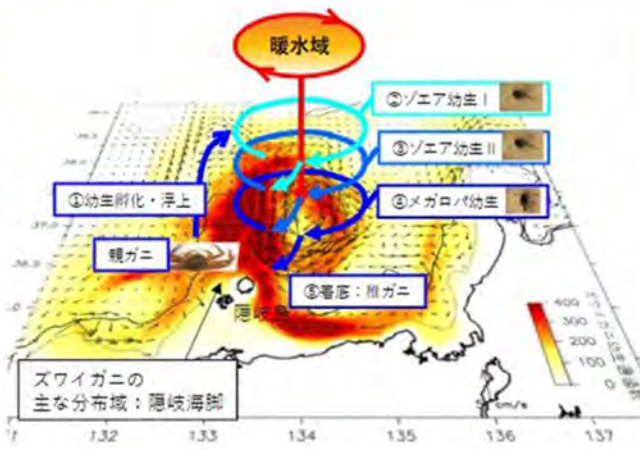
資源量減少期：隠岐海脚の東に冷水渦



ズワイガニが冷水域を取り囲む
対馬暖流に流され、
生まれ故郷に帰ることができない

資源量減少

資源量増加期：隠岐海脚の東に暖水渦



ズワイガニが暖水域に捕まり、
生まれ故郷に帰ることができる

資源量増加

ズワイガニ幼生について

ズワイガニは隠岐島周辺の海底に多く分布する。冬に、親ガニから生まれたズワイガニ幼生は、海水と比較して軽いのに加え海面付近まで自発的に浮上する。その後、成長とともに深場へ沈み、3か月程度で海底に着底する(Kon, 1982)。

資源量減少期

隠岐島から能登半島西岸にかけて、対馬暖流が海底地形に沿って流れる(左図灰色矢印)。隠岐島東方が冷水域で占められているときは、この対馬暖流が強化される(左図)。このような状況の時には、孵化したズワイガニ幼生が、浮上→沈降する間に対馬暖流に沿って能登半島以東へ流される(左図青系矢印)。その結果、生育に有利な主分布域の隠岐島周辺へとどまることができず、資源量減少につながる。

資源量増加期

隠岐島東方に暖水域が分布する際には、暖水域に沿って時計回りの循環流が形成される(右図)。このような状況の時には、孵化したズワイガニ幼生が暖水域に捕らわれ、隠岐島東方を時計回りに循環する間に沈降する。その結果、生育に有利な主分布域の隠岐島周辺の海底へ着底することができ、資源量増加につながる。

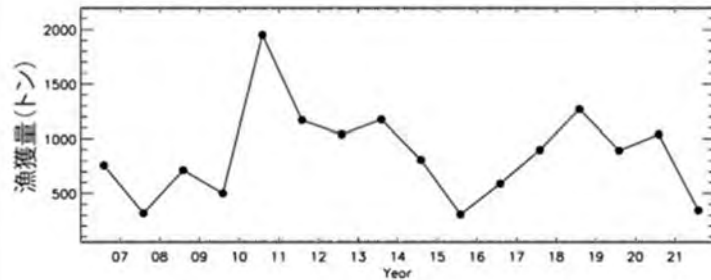
■引用文献

【ズワイガニ】

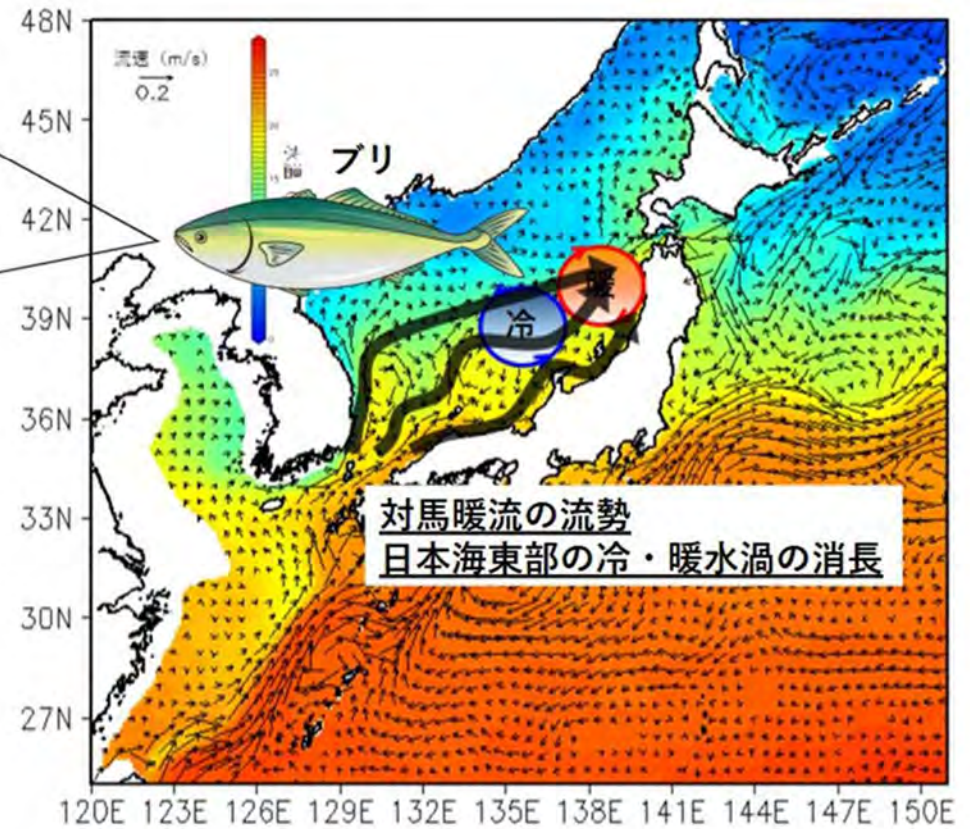
- Kon T. (1982), On the planktonic larval life of the zuwai crab, *Chionoecetes opilio*, occurring along coasts of the central Japan Sea. In: Melteff B, editor. Proceedings of the international symposium on the genus Chionoecetes. Fairbanks (AK): Alaska Sea Grant College Program; p. 137-156.
- Kaneda, A., Ayukawa, K., Hirose, N. et al. Intensification of current in coastal waters around Cape Echizen in summer. J Oceanogr 75, 157-169 (2019), <https://doi.org/10.1007/s10872-018-0492-y>
- Watanabe, T., Simizu, D., Nishiuchi, K. et al. (2009), Surface current structure of the Tsushima Warm Current region in the Japan Sea derived by satellite-tracked surface drifters. J Oceanogr 65, 791-801. <https://doi.org/10.1007/s10872-009-0066-0>
- Yabe, I., Kawaguchi, Y., Wagawa, T., Fujio, S. (2021), Anatomical study of Tsushima Warm Current system: Determination of Principal Pathways and its Variation, Progress in Oceanography, 194, 102590, ISSN 0079-6611, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102590>

■ 近年のブリ漁獲量変動に見られる特徴と関連する海洋環境

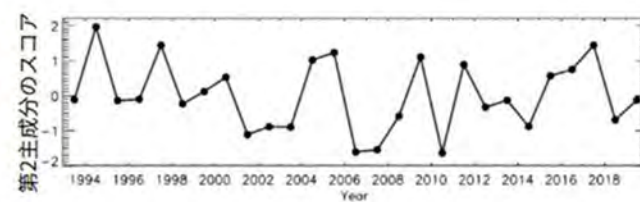
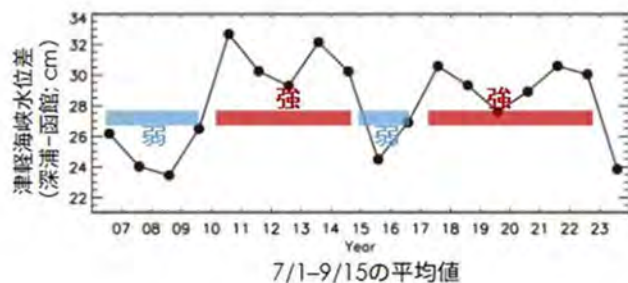
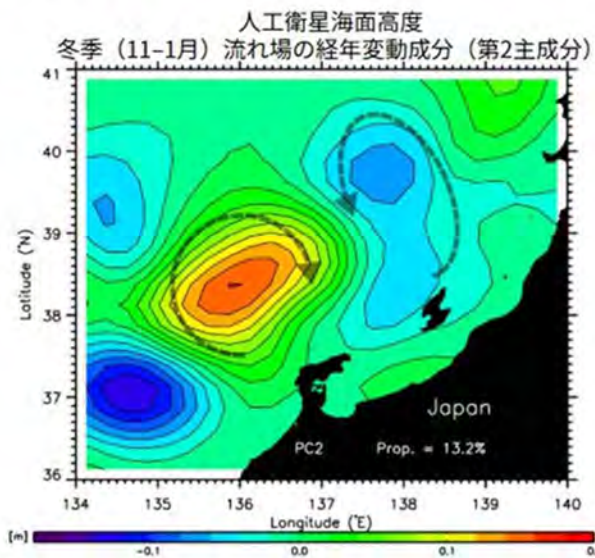
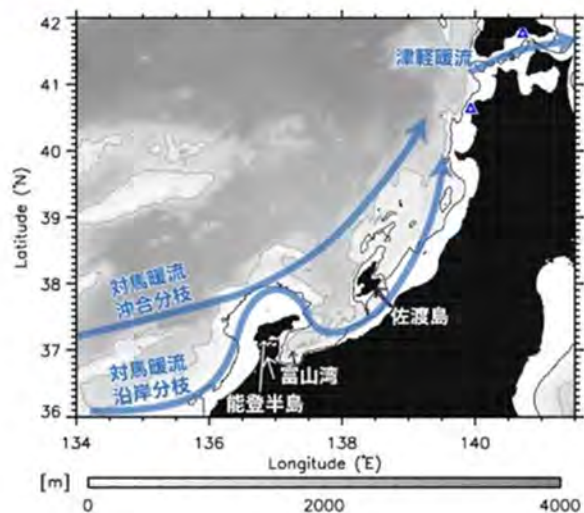
ブリの漁獲量は大きく変動する。
ブリは暖水を好むため、
海洋環境変動の影響がありそう。



日本海の対馬暖流・渦が
南下ブリへ与える影響



■ 対馬暖流の流勢、日本海中-東部の渦



対馬暖流の流勢

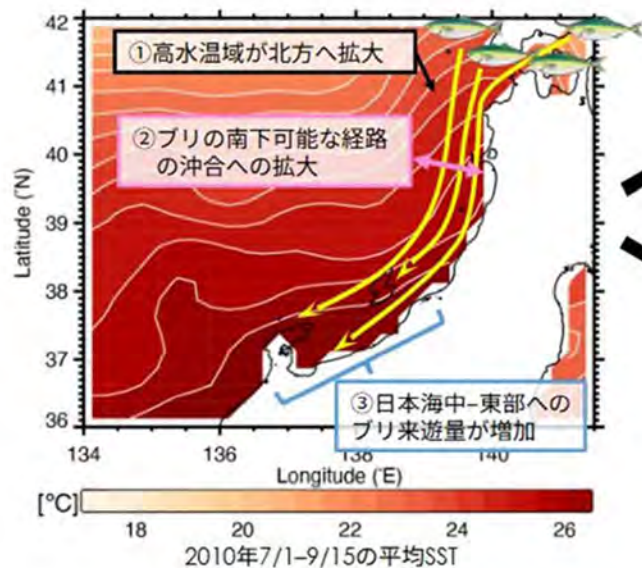
(左上図) 日本海の日本沿岸に沿って流れる対馬暖流と、その下流の津軽暖流は、一続きの対馬暖流系として運動している部分がある (Kida et al., 2016)。(左下図) 験潮所で測定されている水位データより計算した深浦-函館の水位差が大きいほど、津軽暖流は強く流れるため、この水位差データを利用すれば対馬暖流系の流勢を指標できる。対馬暖流系は数年規模で強弱して変動することがわかる。

日本海中-東部の渦

(右上図) 能登・佐渡沖合域では、時計回りの循環流を伴う暖水渦と反時計回りの循環流となる冷水渦が頻繁に出現する (Wagawa et al., 2020)。このような渦は、人工衛星が測定した海面高度データを用いて主成分分析を行うことで抽出できる。(右下図) このような暖・冷水渦は経年変動が大きいこともわかる。

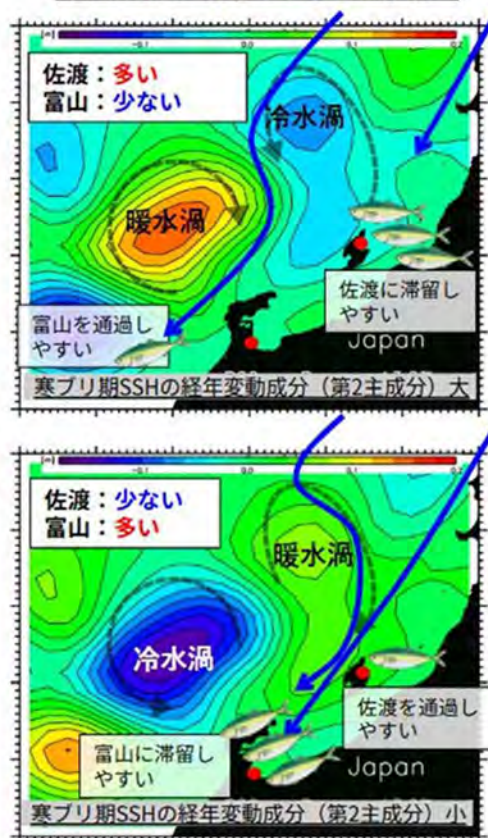
■ 日本海の対馬暖流・渦がブリの漁獲量に与える影響

第1段階（南下回遊開始時）



※現在進行中の研究結果を含みます。
解釈は変わる可能性があります。

第2段階（南下回遊以降）



ブリの回遊・来遊について

ブリは夏-秋に北海道周辺まで北上回遊し、秋-冬になると南下回遊すると考えられている。ブリは暖かい水温を好んで回遊・来遊することが知られている。沖合域に冷水域があると暖水域が押し寄せられている沿岸域に来遊しやすくなり、沿岸域に設置された定置網で漁獲されるブリが増加すると考えられている。

日本海への来遊量（第1段階）

北海道での漁獲が増加する9-10月もしくはそれ以降の南下期よりも、北海道周辺に滞在する期間から南下のごく初期である夏-秋における対馬暖流系の流勢が強いと、日本海へ南下回遊するブリは増加する傾向がある。

日本海中部での来遊の振り分けの変動（第2段階）

能登半島北部に暖水渦、佐渡北方に冷水渦があると、冷水渦が沖にある海域の方が、ブリの南下回遊の通り道が沿岸近くに寄せられ、定置網に入網しやすくなるが、暖水渦が沖にあるときは通り道が沖合まで広がって、沿岸の定置網には入網しにくくなる。