

資料

常磐・三陸沖における 7-10月のカツオの 主分布域の予測手法について

増島雅親*・岡崎 誠*

A forecasting method to determine the main distribution area of skipjack from July to
October off Joban-Sanriku coast

Masachika MASUJIMA and Makoto OKAZAKI

As part of Research and assessment program for fisheries resources by the Fisheries Agency of Japan, the main distribution area of skipjack, *Katsuwonus pelamis*, in the Joban and Sanriku offshore areas from summer to autumn was forecasted using a method introduced in 2020. Comparisons were made between water temperature data and fisheries data by FRA-ROMS, an oceanographic forecast model of the Japan Fisheries Research and Education Agency. We found that skipjack were frequently caught in areas where the sea surface temperature was 22-24°C during July-August and 19-21°C in September-October, and where the direction of the water temperature gradient at 20m depth during both period was from east and south. The ratio of each period's catch within the predicted area using the above parameters to the total annual catch in both periods between 2010 and 2016 was comparable to conventional forecasts, meaning that our forecasting method performs favourably to previously used methods.

キーワード：カツオ, 海況予測システムFRA-ROMS, 海面水温, 水温勾配
2022年11月24日受付 2023年10月10日受理

カツオ *Katsuwonus pelamis* は、世界のすべての熱帯・亜熱帯海域に生息する回遊性の高い外洋性の種である。日本周辺におけるカツオの漁期は1月から11月頃まで長く、特に6-10月は親潮水と黒潮水が混ざる常磐・三陸沖の混合水域に、主に竿釣や旋網の漁場が形成される。この漁場形成に関連して、現在、水産庁水産資源調査・評価推進委託事業の一環として、夏季から秋季にかけての常磐・三陸沖のカツオの主分布域が予測され、その情報提供が行われている。この予測の原型は昭和42年から始まり、常磐・三陸沖に来遊するカツオの漁獲量、魚体サイズと併せて、北上経路と主漁場の予測を文章により公表していた。平成13年からは水温図を用いた主分布域の予測に移行した(図1左)。観測で得られた直近

の海況に対し、カツオが「暖水ストリーマに沿って」もしくは「暖水渦の周辺」に多く分布する(木村1954, 黒田1955, 水産総合研究センター遠洋水産研究所2002)という定性的な特徴から、主分布域を主観的に地図上に矩形領域を描くことにより提示していた。平成21年からは、観測による水温場ではなく、水産総合研究センター(現、水産研究・教育機構、以下、水産機構という)の海況予測システムFRA-JCOPEの2ヶ月先までの水温予測データが用いられるようになり、カツオの主分布域は定性的に「黒潮系暖水の張り出しの西側」であるとして、楢田領域により示されるようになった(宇田1936, Sugimoto and Tameishi 1992, 二平1996, 水産総合研究センター遠洋水産研究所2010)。平成24年には「黒潮

* 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産資源研究所 水産資源研究センター 海洋環境部
〒236-8648 神奈川県横浜市金沢区福浦 2-12-4

Marine Environment Division, Fisheries Stock Assessment Center, Fisheries Resources Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, National Research and Development Agency, 2-12-4 Fukuura, Kanazawa, Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan
E-mail: masujima_masachika97@fra.go.jp

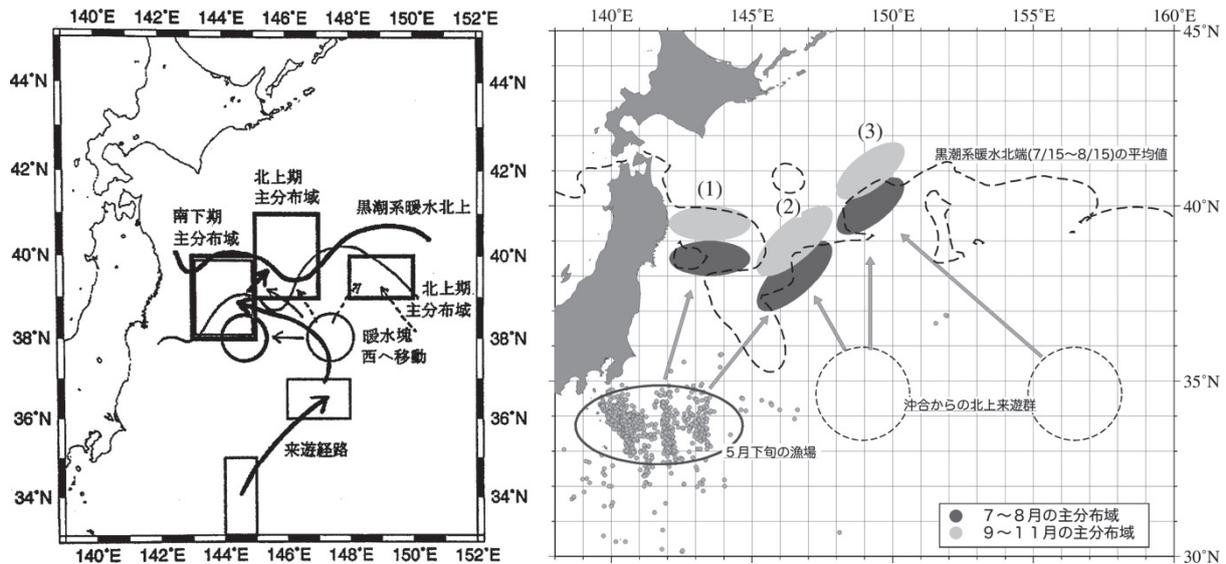


図1. 従来のカツオの主分布域予測図の例
 (左:水産総合研究センター遠洋水産研究所(2002)より抜粋, 右:水産総合研究センター国際水産資源研究所(2016)より抜粋, 一部改変)

系暖水の張り出し, および, 暖水塊の西側」となった (宇田 1936, Sugimoto and Tameishi 1992, 二平 1996, 水産総合研究センター遠洋水産研究所 2013)。平成 25 年以降は, 水産機構の海況予測システム FRA-ROMS (以下, FRA-ROMS という) を用いて予測された海況に対して, 引き続き主観的に, 梶田領域にて主分布域が提示されるようになった (図 1 右)。本報告では, 令和 2 年から導入された, より定量的で客観的な常磐, 三陸沖のカツオ主分布域の予測手法を説明する。

材料と方法

材料 海洋環境パラメータを通してカツオがより多く出現する環境を表すため, 水温データと漁場データを比較することとした。水温データとしては FRA-ROMS 再解析値により計算された数値を用いた。データの水平解像度は, 南北方向・東西方向ともに緯度, 経度 1/10 度間隔である。FRA-ROMS では, 観測データを用いてデータ同化を行うことで, 数値モデルの再現性を高め, 現実に近い水温, 塩分, 流速を計算することができる (Kuroda et al. 2017)。平成 13 年度以降, カツオの北上期である 7-8 月と南下期である 9-10 月 (二平 1996) に分け, それぞれの平均的な海洋構造に対して, カツオの主分布域予測が示されている (水産総合研究センター遠洋水産研究所 2002)。そこで, 本報告においても, カツオの主分布域予測をこれらの期間に分けて予測することとし, また, 水温場もそれぞれの期間の 2 ヶ月平均を施したものを用いることとした。

漁場データとして全国近海かつお・まぐろ漁業協会より提供された近海かつお竿釣漁船の漁船間無線連絡 (以下, QRY という) を用いた。この QRY には, 操業ごとに,

緯度, 経度, 日付, 時刻, カツオの漁獲量と主要サイズ銘柄, まぐろ類の漁獲情報や主要サイズ銘柄などが集計されている。このうち, 2010-2016 年の各操業において, まぐろ類などが混獲されず, カツオのみが漁獲されている QRY データを使用した。図 2 は QRY データ数を月別に緯度, 経度 1 度格子毎に集計したものである。1-4 月のカツオの漁場は本州南方の亜熱帯海域から本州南岸まで広がる。5 月になると漁場は黒潮続流域へと広がり, 6 月から混合水域に中心を移し, 7-8 月は北上し, 9-12 月にかけて南下する。夏季から秋季 (7-10 月) においては, 黒潮続流以南における竿釣漁業も行われているが, 本報告では常磐・三陸沖のカツオ漁場を対象とするため, 水温データを用いて黒潮続流軸 (200m 深水温 14°C, Kawai 1969) 以北の QRY を使用することとした。

QRY による頻度分布 カツオが漁獲された水温と水温勾配の方向について以下のように頻度分布を算出することとした。まず, FRA-ROMS の水温 $T_i = T(t, \vec{X}, z)$ (t : 日付, \vec{X} : [緯度, 経度], z : 深度) を用いて, 7-8 月の 2 ヶ月平均 $\bar{T}_1(\vec{X}, z)$ と 9-10 月の 2 ヶ月平均 $\bar{T}_2(\vec{X}, z)$ を作成した。これを用いて, QRY データの月 t_0 が含まれ, かつ, 緯経度 \vec{X}_0 における水温を $T_{0,i} = \bar{T}_i(\vec{X}_0, z)$ ($i=1,2$) とする。次に, 水温の 2 次元勾配ベクトル $\vec{T}_i(\vec{X}_0, z)$ ($i=1,2$) から, 北を基準とした方位角 $\angle G_{0,i}(\vec{X}_0, z)$ ($i=1,2$) を計算した。以下, これを水温勾配の方向という。さらに, QRY 漁獲量 $C(t_0, \vec{X}_0)$ を用いて, 漁獲量で重み付けした水温の頻度分布 $N_{0,T,i}$ と水温勾配の方向の頻度分布 $N_{0,\angle G,i}$ を次式のように算出した (図 3)。

$$N_{0,T}(i,m,z) = a \cdot \sum_{T_m \leq T_{Q,i} < T_{m+1}} C(t_0, \vec{X}_0), |N_{0,T}| = 1, (i=1,2; m=1,2, \dots, 25),$$

$$N_{0,\angle G}(i,n,z) = b \cdot \sum_{\angle G_n \leq \angle G_{Q,i} < \angle G_{n+1}} C(t_0, \vec{X}_0), |N_{0,\angle G}| = 1, (i=1,2; n=1,2, \dots, 9).$$

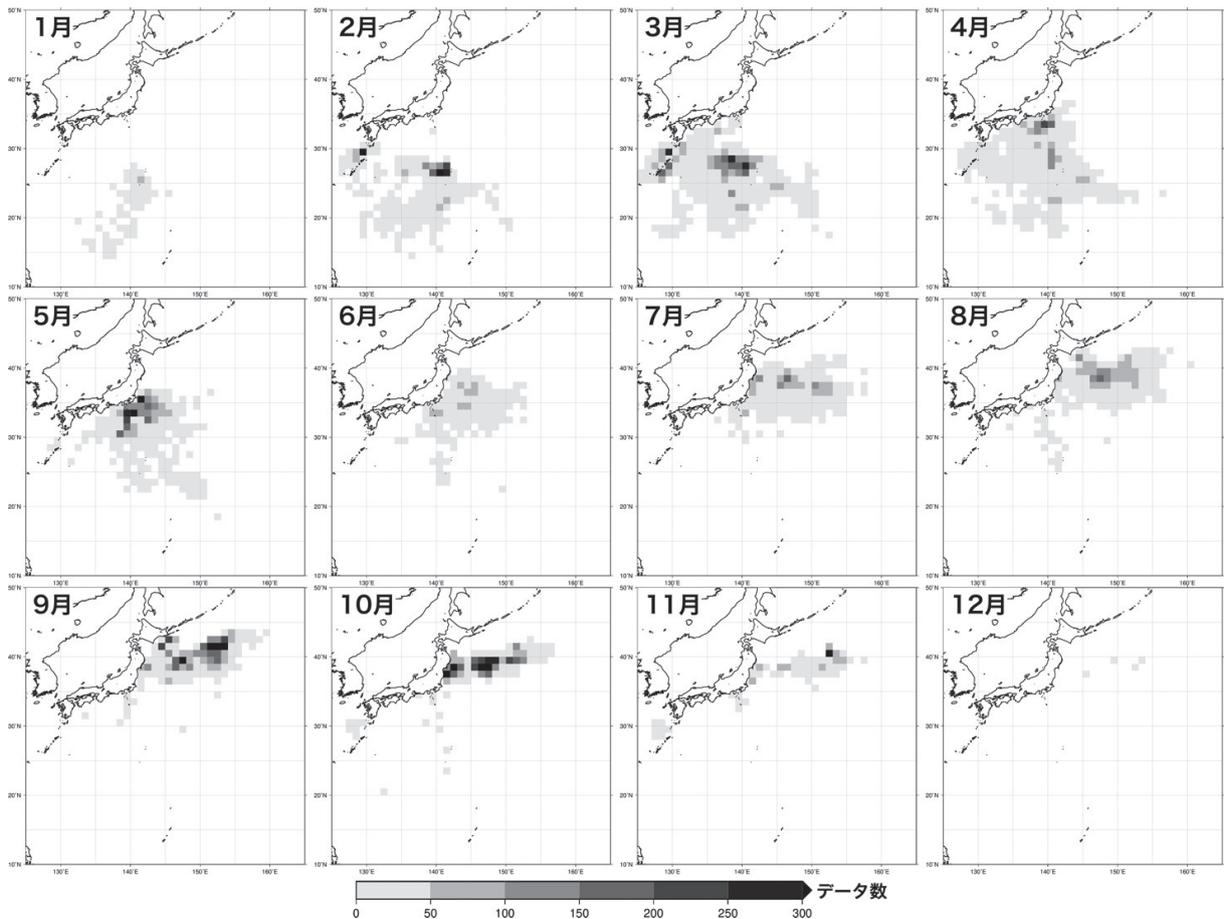


図2. 漁船間無線連絡QRYデータにおいて2010-2016年の間にカツオのみが漁獲されたデータ数の月別分布図

なお、 a, b はそれぞれの頻度分布を規格化するための係数である。 T_m ($m=1,2,3,\dots,25$) は、水温の階級の区切りを表し、ここでは5度から30度まで1度ごとの水温とした。また、 $\angle G_n$ ($n=1,2,\dots,9$) は水温勾配の方向の頻度分布の階級の区切りを表し、それぞれ 0° (北), 45° (北東), 90° (東), 135° (南東), 180° (南), 225° (南西), 270° (西), 315° (北西), 360° (北, 0° と同じ) を表す。この頻度分布では、QRYにおける各操業の漁獲量により頻度を重み付けすることにより、カツオがより多く分布する水温帯もしくは水温勾配の方向に重みを付けている。

FRA-ROMSにおける頻度分布 FRA-ROMSの2ヶ月平均水温 $\bar{T}(i=1,2)$ に対し、前述の T_m と $\angle G_n$ を階級の区切りとして、混合水域における水温と水温勾配の方向の頻度分布 $N_{F,T}(i,m,z)$ と $N_{F,\angle G}(i,n,z)$ をそれぞれ算出した。なお、この算出において混合水域の範囲を東経141-160度、黒潮続流(200m深の水温 14°C , Kawai1969)以北、北緯45度以南の海域とした。

重み付き頻度分布 $N_{Q,T}(i,m,z)$ と $N_{Q,\angle G}(i,n,z)$ におけるFRA-ROMSの水温および水温勾配の方向の頻度の偏りをそれぞれ取り除くため、最終的な重み付き頻度分布 $N_{W,T}(i,m)$ と $N_{W,\angle G}(i,n)$ を次式のように計算した。

$$N_{W,T}(i,m,z) = c \cdot \frac{N_{Q,T}(i,m,z)}{N_{F,T}(i,m,z)} \cdot |N_{W,T}| = 1, (i=1,2; m=1,2,\dots,25),$$

$$N_{W,\angle G}(i,n,z) = d \cdot \frac{N_{Q,\angle G}(i,n,z)}{N_{F,\angle G}(i,n,z)} \cdot |N_{W,\angle G}| = 1, (i=1,2; n=1,2,\dots,9).$$

ただし、 c, d はそれぞれの頻度分布を規格化するための係数である。

結果

カツオが生息することができる水温の下限が 18°C 程度であること (黒田1955, Barkley *et al.* 1978, Dizon *et al.* 1978, 清藤・岡本2011, Kiyofuji *et al.* 2019), また、混合水域ではこれより高い水温が約50m以浅であることを考慮し、深度 z を 0,10,20,30,40m として比較した。

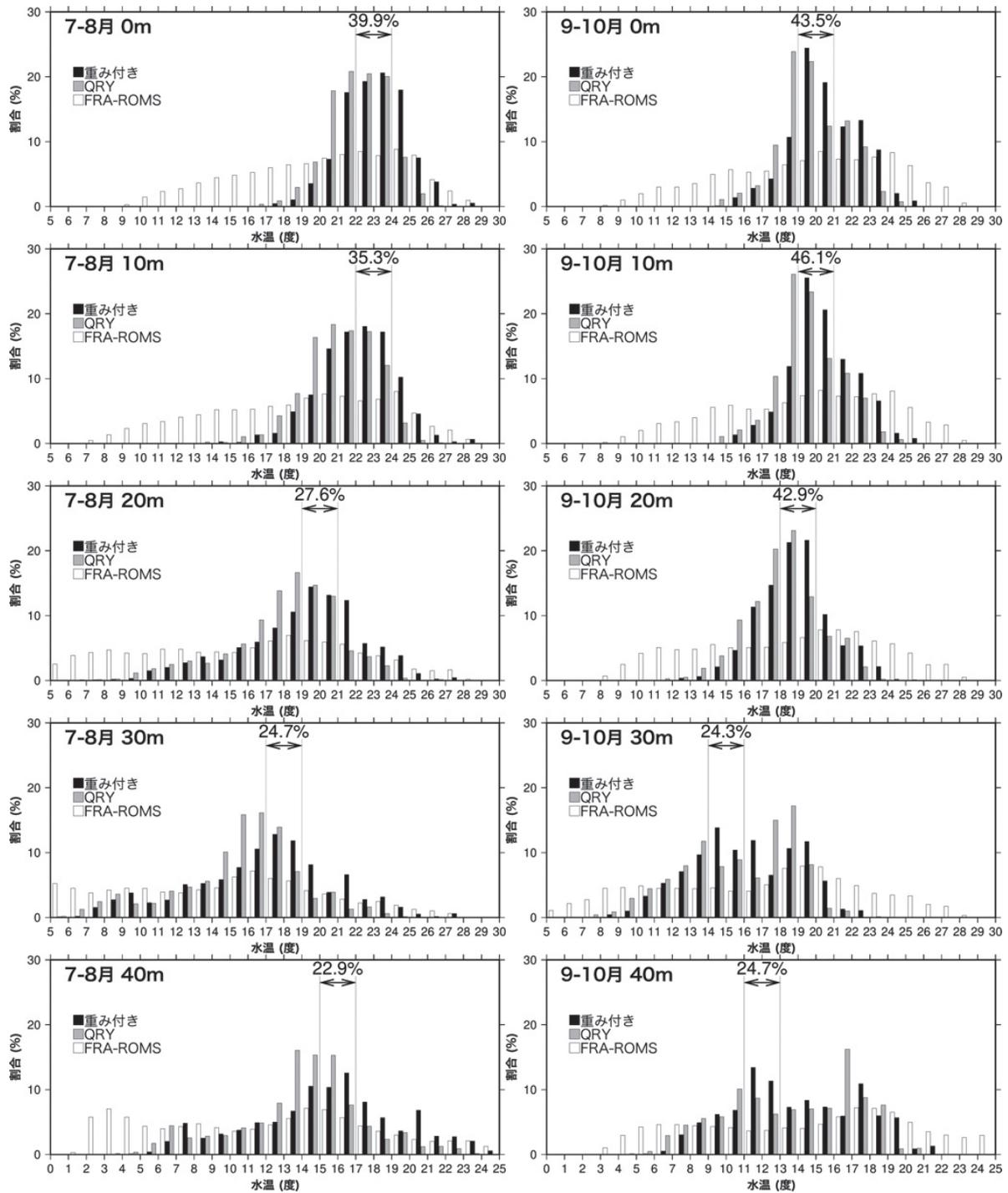


図3. (灰色) QRYによるカツオが漁獲された地点における水温の頻度分布, (白色) FRA-ROMSの水温場の頻度分布, (黒色) 重み付けた水温の頻度分布

左列, 右列はそれぞれ7-8月, 9-10月を表し, また, 上段から0,10,20,30,40m深度のものを表している。図中に表示されている数値は, 重み付き頻度分布において, 最頻値とそれに隣接して次に大きい度数がある階級に含まれる度数の割合を表している。

7-8月 QRYによる水温の頻度分布 $N_{Q,T}(1,m,z)$ (図3左列灰色) はいずれの深度でもおおそ単峰型であり, 最頻値の水温は深くなるほど 21°C から 12°C まで低くなっていた。FRA-ROMSの水温の頻度分布 $N_{F,T}(1,m,z)$ は(図3左列白色)はQRYによるものよりも水温範囲が広く, 10m以浅では単峰型だが, 20m以深では低温側にも頻度が高くなり, 双峰

型になっていた。水温の各階級においてQRYによる頻度分布をFRA-ROMSによる頻度分布で除した重み付き頻度分布 $N_{w,T}(1,m,z)$ (図3左列黒色) では, 20m以浅ではおおそ単峰型で, 30m以深では双峰型であった。重み付き深度分布において, 最頻値のある水温の階級とそれに隣接する頻度の大きい方の階級に含まれる頻度の割合が各深度の

中で最も多かったのは、深さ 0m (海面) における 22-24°C の範囲に含まれる 39.9% で、深くなるほど水温が低くなりつつ、その割合は小さくなっていった。このことから、海面水温 22-24°C の範囲が、7-8 月のカツオがより多く出現する海域のパラメータであると考えられる。

7-8 月における QRY による水温勾配の方向の頻度分布 $N_{Q,\angle G}(1,n,z)$ はいずれの深度でも南東から南までの方向が最も多く、次いで、20m 以浅と 30m 以深ではそれぞれ南から南西まで、西から南東までの方向が多かった (図 4 左列)。FRA-ROMS の頻度分布 $N_{F,\angle G}(1,n,z)$ (図 4 中列) はいずれの深度でも、南東から南までの方向で最も多く、次いで南から南西までの方向が多かった。これはどの深度でも概ね南の方が暖かいことを意味すると考えられる。水温勾配の方向の重み付き頻度分布 $N_{W,\angle G}(1,n,z)$ (図 4 右列) では、各深度を通じた明瞭な特徴が見受けられないが、東から南東までの方向と、北から北東までの方向において多かった。なお、北から東までの方向、並びに、西から北までの方向のほとんどは、それぞれ、暖水塊の南西側、ならびに、南東側の海域に現れていた。北から東まで、東から南まで、南から西まで、西から北までの 4 つの階級にまとめた場合、20m 以浅では東から南までの階級で最も多く、30m 以深では北から東までの方向が最も多かった。20m 深においては東から南までの方向で QRY の頻度分布、つまり、QRY における漁獲量の 51.9% が含まれており (図 4 左列中段)、また、重み付きの頻度分布でも 20m 深において東から南までの方向に 30.4% が含まれていて (図 4 右列中段)、他の深度より多いことが分かる。20m 深の分布と他の深度の分布との間に有意差があるかどうか統計的な解析を実施していないため議論の余地は残るが、7-8 月にカツオが漁獲される地点における水温勾配の方向は、20m における東から南までの方向であることが多いという特徴があることを示すものと考えられることができる。

9-10 月 QRY による水温の頻度分布 $N_{Q,T}(2,m,z)$ (図 3 右列灰色) は、深度 0-20m では 18-19 度においてピークをもつ単峰型であり、30m 以深では双峰型に近い分布をしていた。FRA-ROMS の水温の頻度分布 $N_{F,T}(2,m,z)$ は (図 3 右列白色) は、7-8 月のものと同様に、いずれの深度でも QRY による頻度分布よりも広い水温範囲にあった。重み付き頻度分布 $N_{W,T}(2,m,z)$ (図 3 右列黒色) では、深度 0-20m までは 19°C に最頻値を持ち、最頻値とそれに隣接する頻度の多い方の階級と合わせるといずれの深度でも 40% を超えていた。

9-10 月における QRY による水温勾配の方向の頻度分布 $N_{Q,\angle G}(2,n,z)$ はいずれの深度でも南東から南までの方向で最も多かった (図 5 左列)。FRA-ROMS の頻度分布 $N_{F,\angle G}(2,n,z)$ (図 5 中列) は、7-8 月同様、いずれの深度でも、南東から南までの方向で最も多く、次いで南から南西までの方向が多かった。水温勾配の方向の重み付き

頻度分布 $N_{W,\angle G}(2,n,z)$ (図 5 右列) では、全深度において東から南東までの方向と南東から南までの方向に占める割合が多く、40% 程度であった。7-8 月同様、統計解析を行っていないが、9-10 月においても 20m 深における東から南までの方向が多く、これが 9-10 月のカツオがよく漁獲される海洋環境の特徴であると考えられる。

海洋環境パラメータ カツオがより多く出現する海洋環境として、水温および水温勾配の方向を用いて、次のように表現することができた。

- ・水温は、7-8 月と 9-10 月に対して、海面水温がそれぞれ 22-24°C の範囲、19-21°C の範囲。
- ・水温勾配の方向は、7-8 月、9-10 月ともに、20m 深において、東から南までの範囲。

これらのパラメータが示す海洋構造は、同時期に常磐・三陸沖の混合水域に存在する黒潮系暖水の張り出しの西側や暖水塊の北西側にあたり、これまで「黒潮系暖水の張り出し、および、暖水塊の西側」としていた定性的な予測根拠を定量化したものである。なお、9-10 月の水温の頻度分布では、海面 (0m) に比べ 10m 深の方が、19-21°C の範囲に多く含まれている (図 3 右列 2 段目、46.1%) が、7-8 月の頻度分布を考慮し、9-10 月も海面水温を用いることとした。また、7-8 月の水温勾配の方向の重み付き頻度分布 (図 4 右列) について、東から南までの方向に含まれる割合が、20m 深のもの (30.4%) より海面 (0m) のもの (30.5%) より僅かに少ないが、7-8 月の QRY の頻度分布 (図 4 左列) が 20m 深においては最も多いこと、かつ、9-10 月の QRY の頻度分布と重み付き頻度分布 (図 5) においても 20m 深で東から南までの方向に含まれる割合が最も多いことから、7-8 月の水温勾配の方向においても、9-10 月と同じ 20m 深のものを採用することとした。

これらのパラメータを用いて導出した予測範囲が含む QRY の割合を 2010-2016 年の従来の予測手法の結果と 2010-2016 年の年ごとに比較した。従来手法による予測範囲 (楕円) は主観的に描かれたものであるため、電子データとなっていないので、報告書の図 (たとえば、図 1 右) を画

表 1. カツオの主分布予測域に含まれる QRY の漁獲量の割合

	従来の予測手法		現行の予測手法	
	7-8 月	9-11 月	7-8 月	9-11 月
2010 年	15.2%	16.6%	19.0%	27.2%
2011 年	25.6%	42.7%	0.8%	22.5%
2012 年	8.8%	11.6%	2.8%	23.2%
2013 年	10.2%	23.1%	28.8%	30.1%
2014 年	8.6%	51.0%	19.5%	23.3%
2015 年	41.5%	13.8%	37.0%	19.2%
2016 年	6.8%	39.6%	23.6%	10.7%
平均	16.7%	28.3%	18.8%	22.3%
標準偏差	12.7%	15.8%	13.1%	6.2%

平均と標準偏差は 2010-2016 年の期間において計算された。

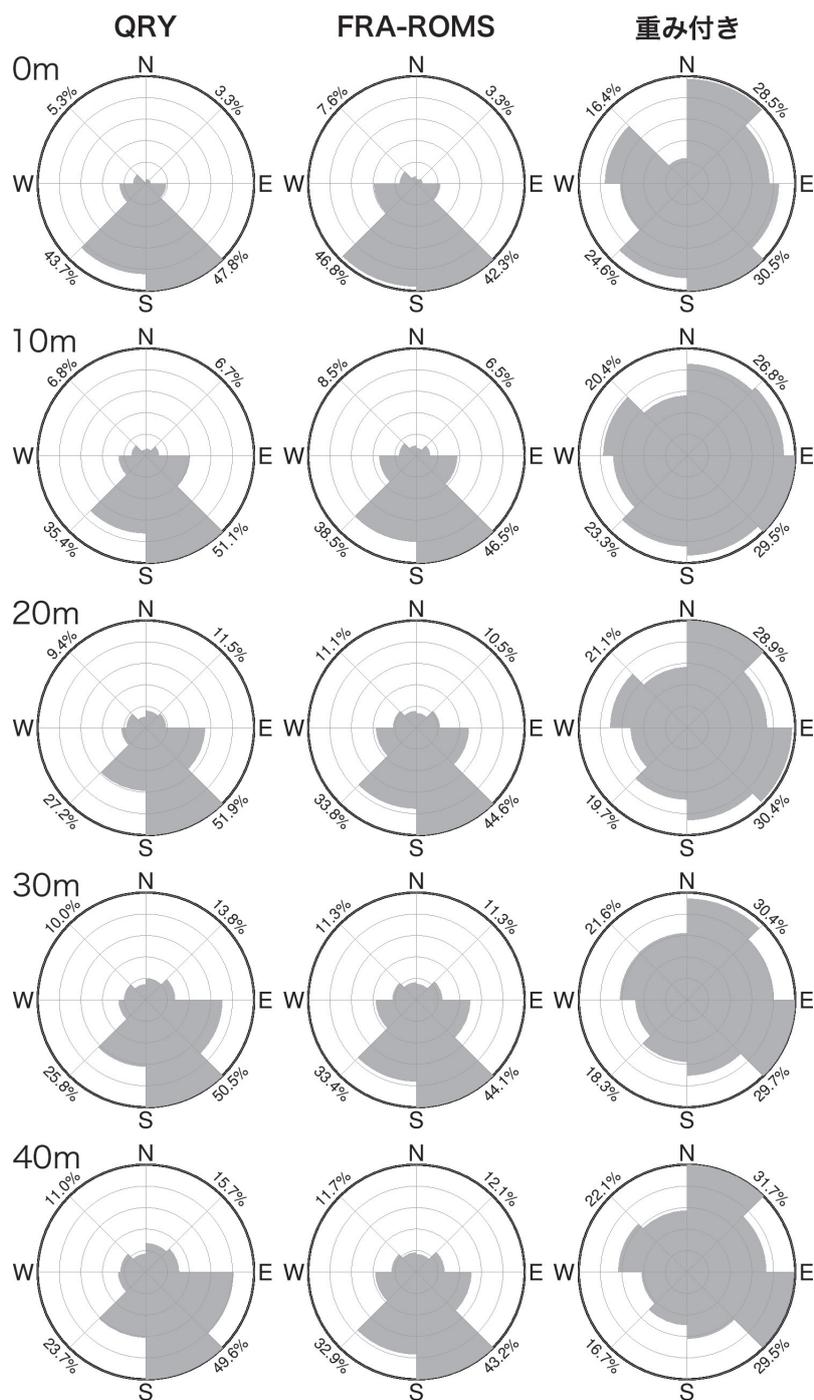


図4. (左) 7-8月のQRYによるカツオが漁獲された地点における水温勾配の方向の頻度分布, (中) 7-8月平均のFRA-ROMSの水温場における水温勾配の方向の頻度分布, (右) 重み付けした7-8月水温勾配の方向の頻度分布
 頻度分布の最頻値を円の最大径としている。上段から0,10,20,30,40m深度のものを表している。図中に表示されている数値は、各象限に含まれる度数の割合を表す。

像ファイルに変換し、デジタイザにより、7-8月と9-11月の予測楕円の外周の位置データを電子化した。次に、従来の予測における楕円の範囲と、先に示したパラメータが合致する海域について、その中に含まれるQRYの漁獲データの割合を計算すると、表1のようになった。7-8月は、現行手法による予測が従来手法と同程度の割合のQRYを含むことができ、9-11月は、現行手法による予測が従来手法のものに比べて、平均としては小さい

割合となっている一方で、標準偏差が小さくなっていった。現行手法が、従来の予測根拠を踏襲しながら、同程度の割合で漁場を提示できることが分かった。

考察

本報告では、カツオ主分布域予測を客観的に実施するために、FRA-ROMSにより予測される水温データを

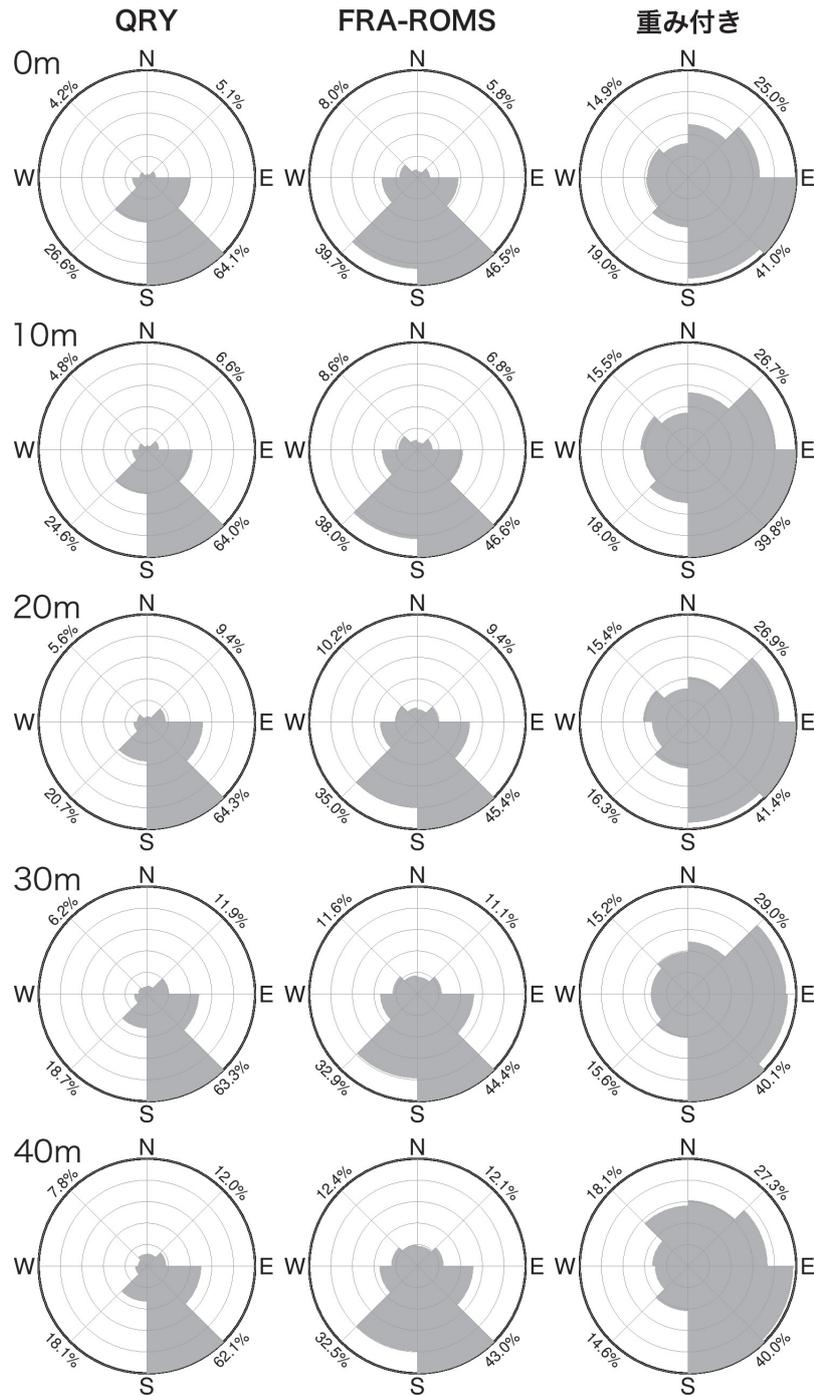


図5. (左) 9-10月のQRYによるカツオが漁獲された地点における水温勾配の方向の頻度分布, (中) 9-10月平均のFRA-ROMSの水温場における水温勾配の方向の頻度分布, (右) 重み付けした9-10月水温勾配の方向の頻度分布
 頻度分布の最頻値を円の最大径としている。上段から0,10,20,30,40m深度のものを表している。図中表示されている数値は、各象限に含まれる度数の割合を表す。

もとの、予測範囲を導出する手法を説明した。QRYを用いて水温および水温勾配の方向の頻度分布を深度ごとに比較することにより、カツオの竿釣漁場の特徴は、7-8月、9-10月の海面水温がそれぞれ22-24°C、19-21°Cの範囲にあることと、20m深水温勾配の方向が、7-8月、9-10月共に、東向きから南向きまでの範囲であることと分かり、これらのパラメータをカツオの主分布域予測に利用することとした。現行の予測手法でのパラメー

タは、深度ごとの頻度分布の比較的単純な比較により導出を行ったが、統計的な有意性を確認する点も検討すべき点の一つである。

従来の予測手法では、黒潮系暖水の張り出し・暖水渦の海洋指標として、水深100mにおける水温10°Cの等値線を用いていたが、現行手法では混合水域におけるカツオの生息水深の範囲に環境特性を表すパラメータを定量的に見出すことができた。川合・佐々木(1962)

では、親潮と黒潮系暖水が東西に接する潮境に北上海流を持つ暖水舌が形成され、これがカツオの混合水域への北上を促進する要因であると指摘している。つまり、暖水舌の周辺がカツオの生息可能下限水温（18°C）よりも低いことにより、北上後はカツオが水平的にも鉛直的にも魚群が集中しやすく、この暖水舌、つまり、黒潮系暖水の張り出しの西側がカツオの好漁場になりやすいことを指摘している。本報告により導出された海洋環境パラメータは、これらの定性的な知見に定量性を加え、高度化したものとする。

今回報告した予測手法においては、海洋環境のパラメータとして水温のみを使用することとした。カツオ漁場と水温の関連性は、宇田・筑紫（1934）、宇田（1936、1939）、木村（1954）、黒田（1955）などにおいてカツオ漁場が水温 18-26°C の範囲に多いことを述べているなど、古くから指摘されている。また、カツオは、亜熱帯から温帯の海を北上する際に、前線や暖流、渦などに関わりを持つことが知られている（為石・四之宮 1989、Sugimoto and Tameishi 1992、清藤・岡本 2011）。一方、水温以外の海洋環境パラメータがカツオの漁場の形成や遊泳に関係しているという報告がある。例えば、溶存酸素については、カツオを遊泳させながら酸素濃度を変化させる水槽実験により、酸素濃度が遊泳行動に影響を与えること（Dizon *et al.* 1978）、酸素濃度 3.0-3.5mL/L という比較的高い環境が必要であること（Barkley *et al.* 1978）が報告されている。また、カツオの最低必要量（2.45mL/L）に対し、表層水では飽和状態（4.5mL/L）に近づくが、水温躍層以深の水域では下回ることが多いことも指摘されている（Wild and Hampton 1993）。齊藤ら（2009）や Mugo *et al.*（2010）、

清藤・岡本（2011）においては、カツオの漁場が海面クロロフィル濃度の前線構造と強い相関があることが示され、索餌に起因するカツオの集積であることが示唆されている。さらに Sugimoto and Tameishi（1992）では、黒潮系暖水の張り出しや暖水渦の西側において、カツオだけでなく、マイワシ・トビイカなども多く出現していたことを報告していることから、黒潮系暖水の張り出しや暖水渦が北上回遊中のカツオの摂餌行動と関係することが推察される。しかしながら、これらの海洋環境のパラメータを北太平洋において現実的に再現、もしくは、予測している海洋モデルがほとんどないため、これらカツオの主分布域予測のパラメータに用いることが難しいのが現状である。今後の海洋生態系モデル開発の進展に注視していきたい。

令和元年までは、現行の予測手法により、7-8月と9-10月の2ヶ月分の主分布域予測をそれぞれ6月下旬、8月下旬の2回公表していたが、同年の水産庁水産資源調査・評価推進委託事業における担当者会議における議論を受け、令和2年以降は、現行の予測手法を用いて、7月から10月までの各月毎の主分布域予測をその前月末に公表することとしている（図6）。FRA-ROMSの2ヶ月先までの予測データのうち、予測精度が比較的高い直近1ヶ月のデータを用いることにより、公表の頻度を上げ、かつ、予測精度を上げるためである。これを受け、7-8月と9-10月2ヶ月平均のFRA-ROMSの水温場ではなく、7-10月の各月平均場を用いてカツオの漁場の特徴を表す海洋環境パラメータを導出することを検討している。また、QRYデータもFRA-ROMSデータも時間間隔1日単位で存在していることから、1日単位で漁場位置と海洋環境を比較することにより、海洋環境パラメータを導出し、将来的な新しい予測手法の開発も検討していきたい。

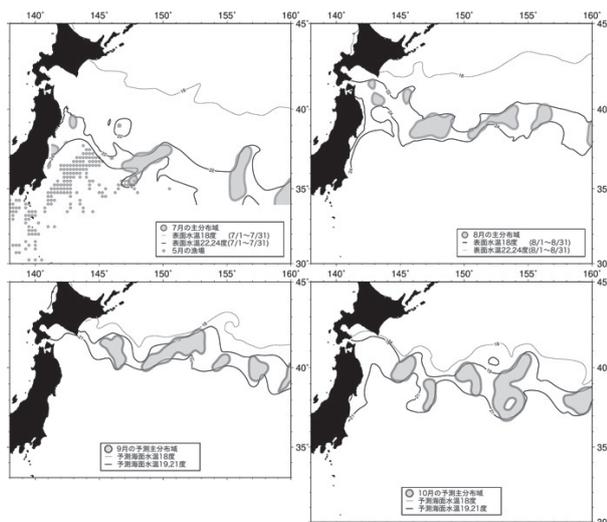


図6. 令和2年のカツオの月別の主分布域予測図(左上:7月, 右上:8月, 左下:9月, 右下:10月)
水産機構水産資源研究所のホームページ (https://www2.fra.go.jp/xq/水産資源研究所/水産資源/skipjack_info/) にて公開されている図を改変した。

謝辞

漁業データを提供いただいた全国近海かつお・まぐろ漁業協会には多大なる感謝を申し上げます。国立研究開発法人水産研究・教育機構水産資源研究所瀬藤聡氏に、FRA-ROMSに関する有益な情報と助言をいただいた。本研究は水産庁水産資源調査・評価推進委託事業の一環で実施された。

文献

- Barkley R A, Neill W H, Gooding R M (1978) Skipjack tuna habitat based on temperature and oxygen requirements. *Fish. Bull.*, **76**, 653-662.
- Dizon A E, Brill R W, Yuen H S H (1978) III. Correlations between environment, physiology, and activity and the effects on thermoregulation in skipjack tuna. *The Physiol. Ecol. Tunas*, 234-260.

- Kawai H (1969) Statistical estimation of isotherms indicative of the Kuroshio axis. *Deep-Sea Res., suppl. to 16*, 109-115.
- 川合英夫・佐々木実 (1962) カツオが黒潮前線を越えて北上回遊をする際の促進的な水理条件について. 東北区水産研究所研究報告, **20**, 1-27.
- 木村喜之助 (1954) カツオ群の性状 (第1報) - 東北海区のカツオ群を"付きもの"の種類別に見た場合の各群の分布・餌付状態・群の大きさに就いて. 東北海区水産研究所研究報告, **3**, 1-87.
- 清藤秀理・岡本 俊 (2011) カツオ回遊動態と環境要因との関連. *海洋と生物*, **192**, 62-68.
- Kiyofuji H, Aoki Y, Kinoshita J, Okamoto S, Masujima M, Matsumoto T, Fujioka K, Ogata R, Nakao T, Sugimoto N, Kitagawa T (2019) Northward migration dynamics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) associated with the lower thermal limit in the western Pacific Ocean. *Prog. Oceanogr.*, **175**, 55-67.
- 黒田隆哉 (1955) 東北海区に於けるカツオ魚群の漁獲水温に就いて. 東北海区水産研究所研究報告, **4**, 47-61.
- Kuroda H, Setou T, Kakehi S, Ito S, Taneda T, Azumaya T, Inagake D, Hiroe Y, Morinaga K, Okazaki M, Yokota T, Okunishi T, Aoki K, Shimizu Y, Hasegawa D, Watanabe T (2017) Recent advances in Japanese Fisheries Science in the Kuroshio-Oyashio region through development of the FRA-ROMS ocean forecast system: Overview of the reproducibility of reanalysis products. *Open Journal of Marine Science*, **07**(1), 62-90.
- Mugo R, Saitoh S, Nihira A, Kuroyama T (2010) Habitat characteristics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the western North Pacific: a remote sensing perspective. *Fish. Oceanogr.*, **19**, 382-396.
- 二平 章 (1996) 潮境域におけるカツオ回遊魚群の行動生態および生理に関する研究. 東北区水産研究所研究報告, **58**, 137-233.
- 齊藤宏和・魚崎浩司・清藤秀理 (2009) 沖合域におけるカツオの漁場形成と海洋環境の関係. *水産海洋研究*, **73**, 30-31.
- Sugimoto T, Tameishi H (1992) Warm-core rings, streamers and their role on the fishing ground formation around Japan. *Deep Sea Res. Part A*, **39**, S183-S201.
- 水産総合研究センター遠洋水産研究所 (2002) 平成13年度カツオ資源会議報告. 13p.
- 水産総合研究センター遠洋水産研究所 (2010) 平成21年度カツオ資源会議報告. 7p.
- 水産総合研究センター遠洋水産研究所 (2013) 平成24年度カツオ資源会議報告. 8p.
- 水産総合研究センター国際水産資源研究所 (2016) 平成27年度カツオ資源会議報告. 11p.
- 為石日出生・四之宮博 (1989) 東北海区における南下期カツオ漁場形成とその判別分析. *日本水産学会誌*, **55**, 619-625.
- 宇田道隆 (1936) 東北海区の鰹漁場中心と潮境との関係. *日本水産学会誌*, **4**, 385-390.
- 宇田道隆 (1939) カツヲ漁獲水温曲線の特性に就て. *日本水産学会誌*, **8**, 169-172.
- 宇田道隆・筑紫次郎 (1934) 鰹の魚群組成の地方的變化. *日本水産学会誌*, **3**, 196-202.
- Wild A, Hampton J (1993) A review of the biology and fisheries for skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Pacific Ocean. *FAO Fish. Tech. Pap.*, **336**(2), 1-51.

