

## 宗谷岬沖潮流カレンダーによるミズダコ樽流し漁業活動の変化

佐野 稔<sup>1†</sup>, 坂東忠男<sup>2</sup>, 本前伸一<sup>3</sup>, 江淵直人<sup>4</sup>

## Change in drift-fishing activities due to the introduction of a tidal current calendar in a coastal area off Cape Soya in Hokkaido, Japan

Minoru SANO<sup>1†</sup>, Tadao BANDO<sup>2</sup>, Shinichi MOTOMAE<sup>3</sup> and Naoto EBUCHI<sup>3</sup>

宗谷岬沖潮流カレンダーは2009年から北海道宗谷地区で配布され、ミズダコ樽流し漁業で活用されている。本研究では、本カレンダーで用いている「樽流しに適した表層流速」を検証し、同時に本カレンダーの導入による漁業活動の変化を明らかにすることを目的とした。宗谷地区の短波海洋レーダの観測値と樽流し漁業の1日あたり1隻あたり1隻あたりの漁獲量を用いた回帰解析の結果、宗谷岬沖の海域において0.1–1.0 ktの表層流の発生時間が長くなれば操業時間も長くなり、漁獲量も増加した。2007年の表層流速は、2003–2006年のレーダのデータから推定した潮汐流と平均流をもとに推定し、この予測値と2007年の実測値の間の相関係数は0.79を示した。樽流し出漁日数が年間100日以上と50日以上漁業者の出漁日数は、カレンダー導入後減少し、樽流しに適さない日に出漁しなくなったものと推定した。

A tidal current calendar for the coastal area off Cape Soya in Hokkaido, Japan, has been used by fishermen of the drift fishery for giant Pacific octopus, *Enteroctopus dofleini*, since 2009. In the present study, the accuracy of suitable surface current velocities described in the calendar was verified and changes in drift-fishing activities resulting from the introduction of the calendar were clarified. A regression tree analysis of surface velocity measurements recorded by high-frequency ocean radar stations in the Soya region and the catch ( $\text{kg} \cdot \text{boat}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ) showed that the catch increased when the surface velocity was in the range of 0.1 to 1.0 kt. Surface velocities were simulated based on tidal currents and the mean velocity of the Soya Warm Current. A correlation coefficient of 0.79 was obtained between the observed velocity and the simulated velocity. After the introduction of the calendar, the proportion of actual fishing days to possible fishing days (Fishing Effort Index) for fishermen who fished  $\geq 50$  days per year decreased. Most fishermen did not go fishing on days considered unsuitable for drift fishing after the introduction of the calendar.

**Key words:** drift fishery, *Enteroctopus dofleini*, HF radar, Soya/La Pérouse Strait, surface current, tidal current calendar

## はじめに

宗谷海峡は宗谷岬とサハリン最南端のクリリオン岬との間にあり、対馬暖流から派生した宗谷暖流が日本海から北海

道沿岸のオホーツク海へと流れている。この海域はミズダコ *Enteroctopus dofleini* の好漁場であり、年間1,600–4,200 t 漁獲される。この海域においてミズダコは主に樽流し（北海道水産業改良普及職員協議会、2006）で漁獲され、その年間漁獲量は宗谷漁業協同組合のミズダコ漁獲量の約8割を占める。樽流しでは、浮き（樽）に糸と擬餌針のついた1組の漁具を1隻あたり15–20個用いる。これら漁具を潮の流れにまかせて浮標させ、擬餌針が海底を引きずられるようにすることで、ミズダコが擬餌針に飛びつき漁獲される。そのため、潮の流れが漁獲の成否を決める重要な要素であり、流れが速すぎると擬餌針が海底から離れてしまい、遅すぎると擬餌針がほとんど動かず、ミズダコが漁獲されなくなる。佐野ほか（2012）は、樽流し漁船の航跡のGPS情報（緯度、経度、時刻）から算出した樽流し漁具の漂流速度とミズダコ漁獲量の関係を解析し、宗谷海峡での最適な

2014年10月10日受付、2015年7月13日受理

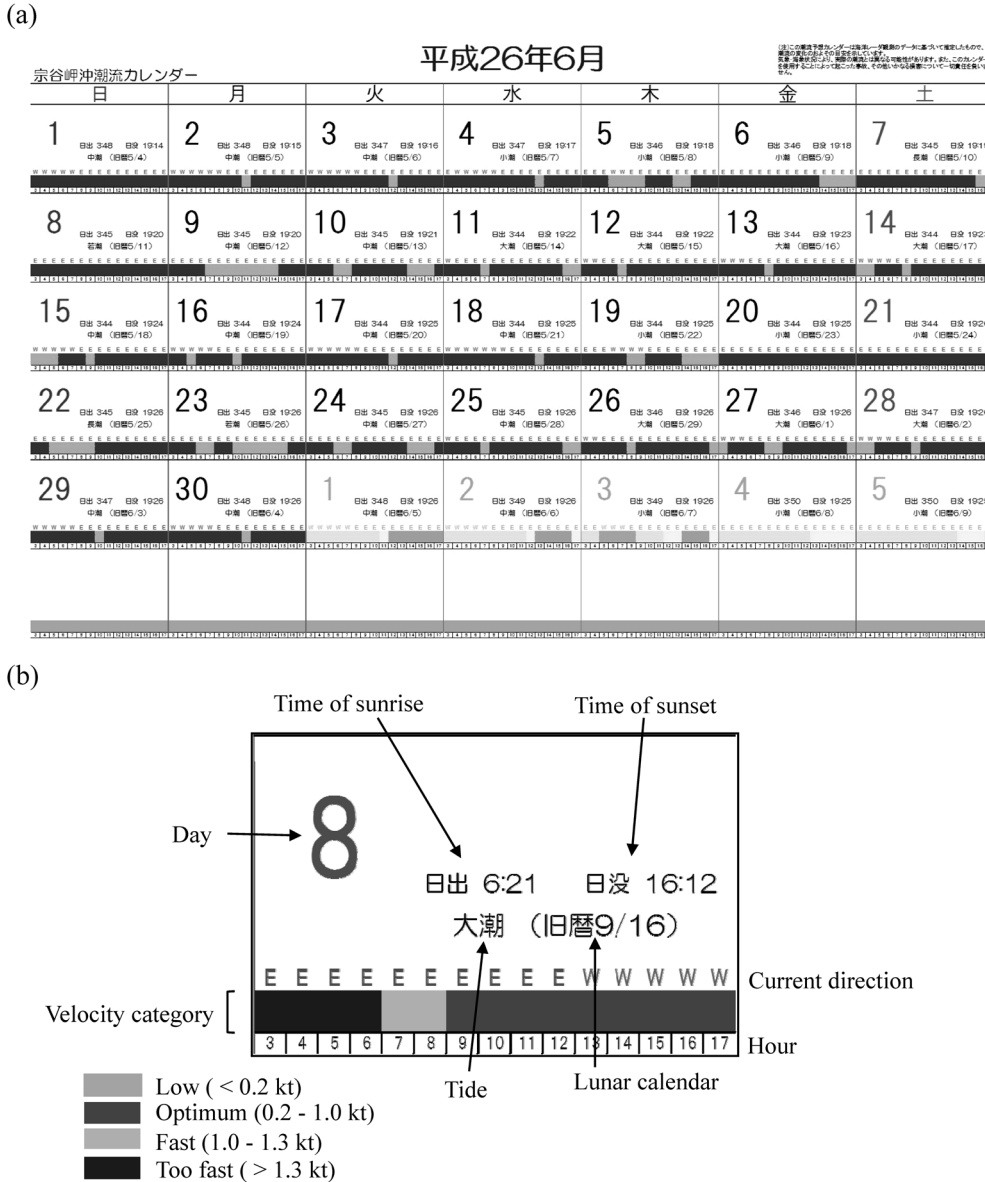
<sup>1</sup> 北海道立総合研究機構稚内水産試験場  
Wakkanai Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, Japan

<sup>2</sup> 宗谷漁業協同組合  
Soya Fisheries Cooperative Association, Wakkanai, Hokkaido 098-6755, Japan

<sup>3</sup> 根室地区水産技術普及指導所標津支所  
Nemuro Fisheries Extension Office, Shibetsu, Hokkaido 086-1364, Japan

<sup>4</sup> 北海道大学低温科学研究所  
Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo, Hokkaido 060-0819, Japan

† sano-minoru@hro.or.jp



**Figure 1.** Example of the tidal current calendar for the coastal area off Cape Soya. (a); calendar month showing the data for June 2014. (b); enlarged view of a day on the calendar. Velocity category shows the potential suitability for drift fishing for giant Pacific octopus on a given day.

漁具漂流速度は0.1–1.0 ktであり、漁獲量を増やすためには樽流し時間を増やすことが必要であることを明らかにした。

一方で、宗谷海峡では北海道大学低温科学研究所の短波海洋レーダによる宗谷暖流の観測が2003年より行われている (Ebuchi et al., 2006)。稚内水産試験場、北海道大学低温科学研究所、および稚内地区水産技術普及指導所は共同で、この観測データを用いてミズダコの漁場と重なる北緯45度35分から45度40分、東経141度50分から142度10分の範囲の海域について1時間ごとの表層流の発生予測を行い、予測結果を記した宗谷岬沖潮流カレンダー (Fig. 1, <http://www.fishexp.hro.or.jp/cont/wakkanai/section/zoushoku/>

f1hig4000000215.html, 2014年8月19日)を2009年から宗谷漁業協同組合へ提供している。このカレンダーでは、樽流し漁具の漂流速度の解析結果 (佐野ほか, 2012) をもとに、樽流し漁業において遅い表層流速度を0–0.2 kt, 最適な速度を0.2–1.0 kt, やや速い速度を1.0–1.3 kt, 速い速度を1.3 kt以上とした。ここで、最適な表層流速度を最適な漁具漂流速度の0.1–1.0 ktではなく、0.2–1.0 ktとしたのは樽流し漁具の漂流速度が遅くなる時間帯を強調するためである。このカレンダーは宗谷漁業協同組合のカレンダーとして全組合員に配布されている。樽流し漁業者から潮流予測が当たるといった好評を得ており、宗谷海峡の樽流し漁業

に貢献している（北海道新聞，2011年6月1日）。

この宗谷岬沖潮流カレンダーの表層流速は短波レーダの流速データを用いているが、最適としている表層流の速度は、漁船のGPSデータから算出した樽流し漁具の最適な漂流速度（佐野ほか，2012）を根拠としているため、短波レーダによる表層流速の実用性とその予測値の科学的根拠を明確にする必要がある。そして、カレンダーの提供から5年が経過しており、宗谷地区の新しい暦として定着している（北海道新聞，2011年6月3日）にもかかわらず、カレンダーの導入による樽流し漁業活動の変化は定量的には解析されていない。これらの検証を行うことは、今後他の海域でも表層流予測情報の提供による漁業活動の効率化を進めていくうえで参考になると思われる。そこで、本研究では最適な表層流速を検証し、表層流速予測値の精度を明示するとともに、宗谷岬沖潮流カレンダーの提供による樽流し漁業活動の変化を定量的に明らかにすることを目的とした。

材料と方法

海洋レーダ

北海道大学低温科学研究所は、宗谷海峡周辺域および雄武一紋別沖海域沿岸に5局の海洋レーダ局を設置し、2003年8月より当海域における海洋表層流速の毎時観測を継続して行っている（Ebuchi et al., 2006）。海洋レーダは、陸上に設置したアンテナから短波帯の電波を海面に向けて発射し、海面からの後方散乱される信号を受信するものである。受信電波のドップラーシフトを通して、海面直下の流速の視線方向成分が観測できる（例えば、土木学会海岸工学委員会，2001）。同一の海面を複数の方向から観測した視線方向速度をベクトル合成することにより、流速・流向を求めることが可能である。宗谷海峡においては、ノシャップ岬、宗谷大岬、猿払の3局を配置することにより、宗谷海峡からオホーツク側の海域の表層流を、空間分解能3 kmで毎時観測している（Fig. 2, <http://www.oc.lowtem.hokudai.ac.jp/hf-radar/>, 2014年9月3日）。Ebuchi et al. (2006)は、宗谷海峡域の海洋レーダで観測した表層流速が、漂流ブイ、船舶搭載超音波流速計データと残差の標準偏差  $20 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  (0.39 kt) 程度で一致することを示している。

樽流しに最適な表層流速の検証

宗谷海峡において、樽流し漁業の漁具の漂流速度が0.1–1.0 ktの時にミズダコの漁獲量が多くなる（佐野ほか，2012）。そこで、0.1–1.0 ktの表層流の1日あたりの発生時間が長ければ宗谷漁業協同組合の樽流し漁業の1日あたり1隻あたりの漁獲量 ( $\text{kg} \cdot \text{boat}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ) も増えるという仮説を立てて、宗谷海峡の0.1–1.0 ktの表層流発生時間数とこの漁獲量との関係を検討した。宗谷岬沖潮流カレンダーを2009年から漁業者へ提供しているため、カレンダーが提供される前の2007年のデータを用いて解析した。解析に用いた表層流速の観測値は、樽流し漁場と重なる北緯

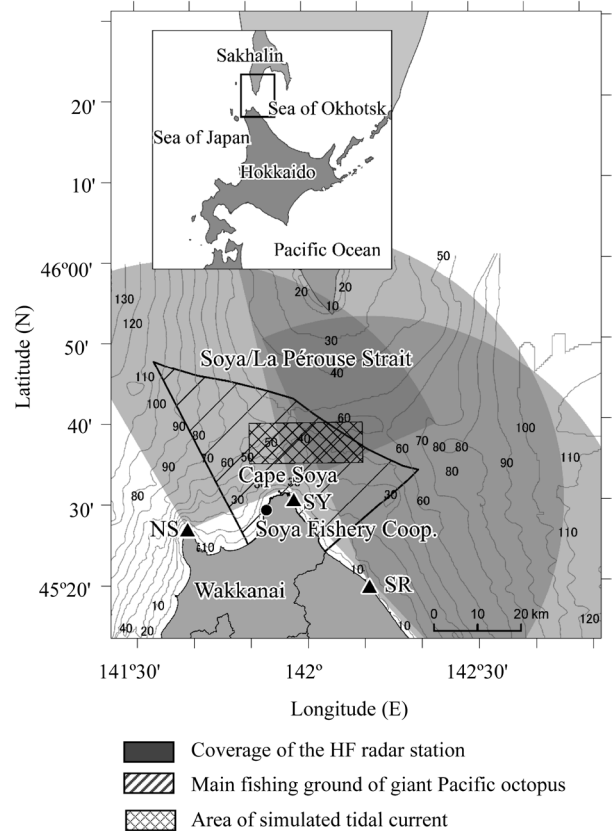


Figure 2. Main fishing grounds of giant Pacific octopus with High Frequency (HF) radar station coverage (NS; Noshappu radar station, SY; Soya radar station, SR; Sarufutsu radar station) and the area of simulated tidal current in Soya/La Pérouse Strait. Numerals on bathymetric contours indicate depth in meter.

45度35分から45度40分、東経141度50分から142度10分の範囲（Fig. 2）の平均値を用いた。樽流し漁業の出漁は日の出から日没までなので、4–16時の間に0.1–1.0 ktの表層流速が観測された合計時間数を日ごとに算出した。樽流し漁業の日別ミズダコ漁獲量、日別出漁隻数の集計には、宗谷漁業協同組合の水揚げ伝票を用いた。出漁隻数は、その日に出荷記録のあった漁業者数とした。1隻あたり1日あたり漁獲量は、宗谷漁業協同組合全体の日別漁獲量の合計をその日の出漁隻数で除した値とした。

日ごとの樽流し漁業の操業状況と表層流速との関係を解析する際に、漁業協同組合内部の取り決めによる出漁禁止日や、天候により操業できない時化日を除く必要がある。宗谷漁業協同組合の樽流し漁業は、毎年4月1日から12月24日まで行われ、その期間中に宗谷漁業協同組合による出漁禁止日が設定されている。そのため、同組合の資料である「休漁日および沖止票」により組合が設定した出漁禁止日を把握して、解析から除いた。時化による休漁日については明確に定義された資料がないため、推定する必要がある。

る。時化の指標には波高が適切であると思われるが、宗谷海峡の日毎の波高を知ることは容易ではない。そこで、気象庁で観測した2007年4-12月の宗谷岬における風速の日平均 (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrm/index.php>, 2014年8月20日) を用いて時化を判断する指標とした。時化による休漁日と判断する風速範囲を明らかにするために、1日あたりの出漁隻数を被説明変数、風速の日平均を説明変数にした回帰樹解析を行い出漁隻数が最も少なくなる時の風速を明らかにし、この風速が認められた日を推定時化日とした。

0.1-1.0 ktの表層流発生時間数が多くなれば1日あたり1隻あたり漁獲量も高くなるという仮説を検証するために、2007年4月1日から12月24日で組合が設定した出漁禁止日、風速に基づく推定時化日を除いた日について、表層流発生時間数を説明変数、1日あたり1隻あたり漁獲量を被説明変数にした回帰樹解析を行った。一連の統計解析には、R 2.10.0 (Ihaka and Gentleman, 1996) を用いた。

#### 表層流速の推算

過去の海洋レーダで観測されたデータをもとに、将来の表層流の予測を試みた。ここでは2003年8月から2006年12月までのデータを用いて、以下の比較的簡便な手法を用いて2007年の表層流速を推算し、その推算値を2007年の実際の海洋レーダデータと比較した。宗谷海峡の対象海域における海洋表層の流れを

$$\text{潮汐流} + \text{平均流} + \text{吹送流}$$

の3つの成分からなるものと仮定した。

潮汐流は、2003-2006年に海洋レーダで観測された毎時の表層流（東西成分、南北成分）データに調和解析（柳, 1993）を行い、得られた主要8分潮（K1, O1, P1, Q1, M2, S2, N2, K2）の調和定数を使って計算した。この海域では、日周潮流（主にK1, O1）が卓越しており、潮流成分は最大で $60 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  (1.2 kt) 程度以上の大きさを持つことが知られている（Odamaki, 1994; Ebuchi et al., 2006）。

宗谷暖流を含む平均流には、季節変動のみを考慮した気候値を作成して使用した。2003-2006年の海洋レーダの毎時の表層流（東西成分、南北成分）データに25時間の移動平均をかけて潮汐流成分を取り除いた後、日平均データを作成した。それを各年の同じ日付で平均した後、15日の移動平均をかけて平滑化して気候値とした。対象海域での宗谷暖流は、9月から10月に最も強くなり、その最大流速は $60 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  (1.2 kt) に達する。また、12月から1月には、 $10 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  (0.2 kt) 以下の最小値をとる。宗谷暖流の経年変化は、今回の推算では考慮していない。しかし、Ebuchi et al. (2009) によれば、2003年以降の海洋レーダの観測データを見る限り、対象海域周辺での経年変動は小さく、ほぼ同じ季節変動が繰り返されているとしている。

吹送流は、海上風の数%の大きさを持つで、秋季から

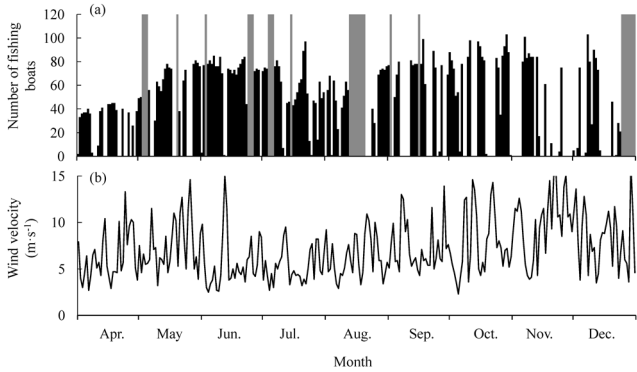
冬季の強風時には、潮流や平均流と同程度の大きさを持つことが予想される。しかしながら、海上風速・風向を1年以上の期間にわたって予測することは現実的には不可能なので、今回の潮流推算では吹送流成分は無視することとした。ただし、上記の平均流の気候値には、平均的な風系による吹送流成分の気候値が含まれている。

#### 宗谷岬沖潮流カレンダーの提供前と後の樽流し漁業の操業状況の比較

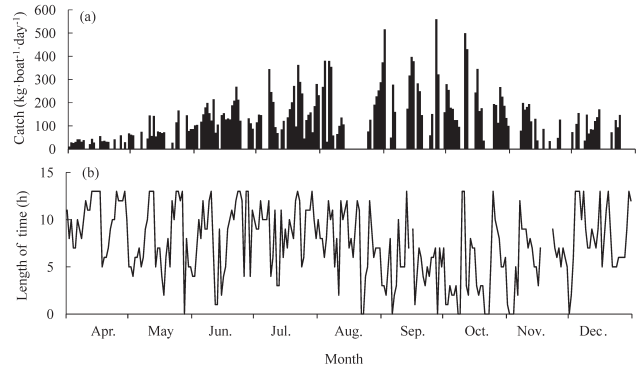
樽流し漁業の操業状況の指標として、漁船ごとの年間出漁日数と1日あたり1隻あたり漁獲量の年間平均値を用い、宗谷岬沖潮流カレンダーの提供前と後で比較を行った。2006-2013年の宗谷漁業協同組合の水揚げ伝票から、漁船ごとの出漁日、日別漁獲量を集計した。組合が設定した出漁禁止日を解析から除くために、宗谷漁業協同組合の資料である2006-2013年の「休漁日および沖止票」から組合が設定した出漁禁止日を把握した。さらに、時化による休漁日を除くために、気象庁で観測した2006年4月から2013年12月までの宗谷岬における風速の日平均 (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrm/index.php>, 2014年8月20日) を用いて、「樽流しに最適な潮流速度の検証」で推定した時化日と思われる風速にもとづいて時化日を推定した。これらを用いて、年間出漁可能日数に対する実際の出漁日数の割合 (Fishing days ratio:  $FD\%$ ) を求め、カレンダーの導入によって漁業者が自主的に出漁を見合わせた日数の割合の増加を推定した。式は

$$FD\% = \frac{D}{d - (M + S)} \times 100$$

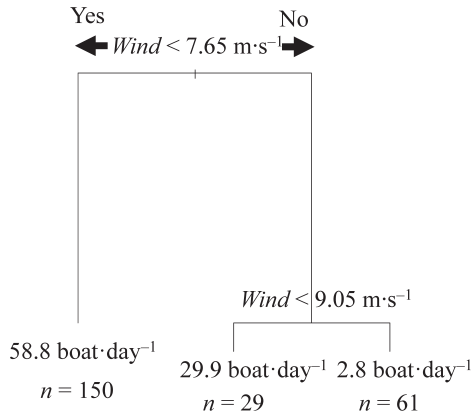
である。ここで $D$ は各漁船の年間出漁日数、 $d$ は各年の4月1日から12月24日の期間で267日間（定数）、 $M$ は出漁禁止（組合が設定した休漁日）の日数、 $S$ は推定時化日数であり、2006-2013年の各年について漁船ごとに算出した。宗谷漁業協同組合の樽流し漁船は200隻近くあり、漁業者により樽流し漁業への依存度は変わり、各漁船の年間出漁日数は異なる。加えて、この期間に廃業、休業や新たに着業した漁業者も含まれる。そこで、2006-2013年まで毎年出漁した漁業者を抽出し、専業と思われる漁業者として年間最低出漁日数が100日以上、兼業と思われる漁業者として年間最低出漁日数が50日以上、専業と思われる漁業者としてグループAと定義した。次にこれ以外の漁業者について、比較的樽流し漁業への依存度が高い兼業漁業者として年間最低出漁日数が50日以上、兼業と思われる漁業者としてグループBに、残りの漁業者すなわち樽流し漁業への依存度が低い兼業漁業者としてグループCと定義した。各漁業者について、カレンダー導入前の2006-2008年の $FD\%$ の年平均値と、導入後の2009-2013年の年平均値の差をもとめ、グループごとにカレンダー導入前と後で漁業者対応のある1標本 $t$ 検定を行った。さらに、1日あたり1隻あたり漁獲量についても、同様にグループ



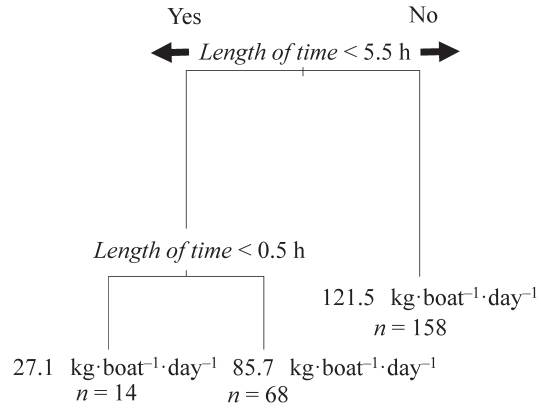
**Figure 3.** (a) Daily number of drift fishing boats affiliated with the Soya Fishery Cooperative Society fishing for giant Pacific octopus and (b) mean wind velocity ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) at Cape Soya from April to December 2007. Black bars: numbers of drift-fishing boats; Gray bars: days on which a moratorium on drift fishing was declared by the Soya Fishery Cooperative Society.



**Figure 5.** (a) Daily catch ( $\text{kg} \cdot \text{boat}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ) for the drift-fishing boats affiliated with the Soya Fishery Cooperative Society catching giant Pacific octopus, and (b) length of time (h) that the surface current was in the range of 0.1 to 1.0 kt in the study area in Soya/La Pérouse Strait from April to December 2007. Black bars: daily catches for the drift-fishing boats.



**Figure 4.** Regression tree for daily number of drift-fishing boats affiliated with the Soya Fishery Cooperative Society catching giant Pacific octopus. The explanatory variable is mean wind velocity ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) at Cape Soya;  $n$  indicates the number of day in the nodes. Numbers above  $n$  values indicate number of drift-fishing boats in the nodes.



**Figure 6.** Regression tree for daily catch ( $\text{kg} \cdot \text{boat}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ) in the giant Pacific octopus fishery. The explanatory variable is the length of time (h) that the surface current was in the range of 0.1 to 1.0 kt in the study area of Soya/La Pérouse Strait from April to December 2007.  $n$  indicates the number of day in the nodes. Numbers above  $n$  values show the mean daily catch for the drift-fishing boats in the nodes.

ごとに2006–2008年の年平均値と2009–2013年の年平均値の間で差を求め、漁業者対応のある1標本 $t$ 検定を行った。

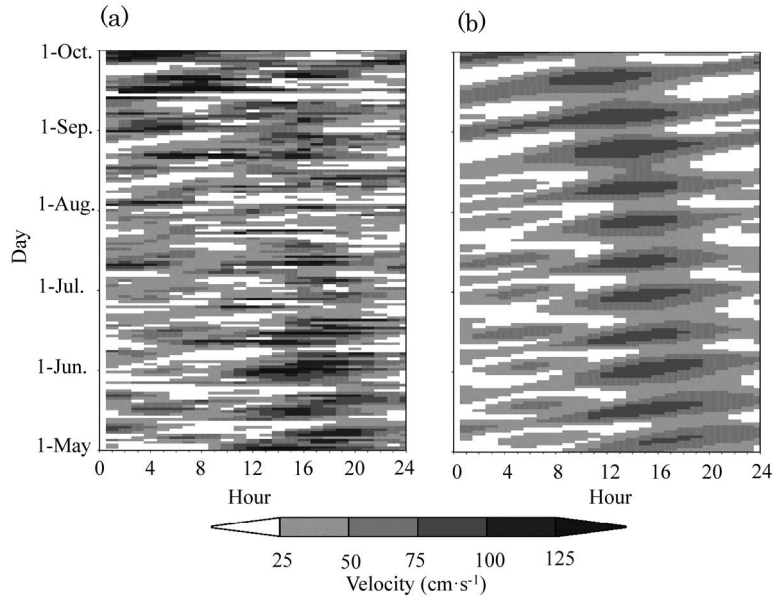
**結果**

**樽流しに最適な表層流速度の検証**

2007年4–12月の出漁禁止日を除いた日について、出漁隻数が0の日の多くは、日平均風速が約 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上であった (Fig. 3)。出漁隻数は4月では多い日で約40隻であり、5月以降では約70–80隻となった。出漁がほとんど認められない日は9–12月に頻繁に認められ、そのときの風速は約 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上であった。回帰樹分析の結果 (Fig. 4) では、平均風速が大きくなるにつれて樽流し漁船の出漁隻

数が少なくなり、平均風速 $9.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上の日に出漁隻数が平均2.8隻となった。そのため、平均風速 $9.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上の日を推定時化日とした。

1日あたり1隻あたり漁獲量が比較的高くなる期間と、宗谷岬沖に0.1–1.0 ktの表層流が発生する時間数が多い期間が一致する傾向を示した (Fig. 5)。この漁獲量は日による変動はあるものの、4月から徐々に増加して9月ごろ最も高くなり、10月以降に減少した。9–11月では0.1–1.0 ktの表層流発生時間数が5時間を超える日で漁獲量が多くなった。回帰樹分析の結果 (Fig. 6)、0.1–1.0 ktの表層流発生時間数が5.5時間以上であれば、漁獲量は $121.5 \text{ kg} \cdot \text{boat}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ となり、この発生時間数が短くなれば漁獲量も減少し、0.5



**Figure 7.** Comparison between observed and simulated velocities in the area of the current in Soya/La Pérouse Strait from 2003 to 2006. Observed velocities were recorded by the HF radar; (a) observed velocities from 1 May to 1 October in 2007, (b) simulated velocities from 1 May to 1 October in 2007.

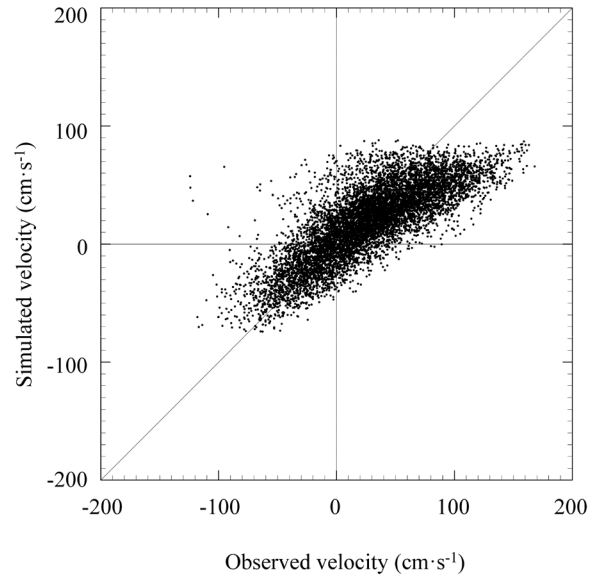
時間未満では  $27.1 \text{ kg} \cdot \text{boat}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$  と低かった。

#### 表層流速の推算

2007年の実際の観測データ (Fig. 7a) と、2003年8月から2006年12月までの海洋レーダ観測データを使って推算した表層流速 (Fig. 7b) を比較した。観測データは、Fig. 2に示した対象海域内での平均値を用いた。観測データは、時間スケールの短い風の変動による吹送流成分を含むため、変動が大きいが、全体的な変動のパターンは推算値とおおむね一致していた。特に、強い流れが現れる時間帯が日付とともに変わっていく様子や、大潮・小潮の14日周期で流速が変動している様子などがよく再現された。

2007年の毎時の東西流速の観測値と推定値の関係を Fig. 8に示した。吹送流によると思われる観測値の変動が大きいため、点のばらつきは比較的大きいが、全体的な傾向はよく一致していた。残差の平均値は  $8 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  (0.16 kt)、標準偏差は  $28 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  (0.54 kt)、相関係数は0.79であった。**宗谷岬沖潮流カレンダーの提供前と後の樽流し漁業の操業状況の比較**

樽流しによりミズダコを水揚げした漁船数は、年変動があるもの163–196隻の範囲であった (Table 1)。操業許可日数は、宗谷岬沖潮流カレンダーを提供する前 (2006–2008年) の245–246日間に比べて、提供後 (2009–2013年) には出漁禁止日 (組合が設定した休漁日) が増加したことにより237–244日間に短くなった。推定された時化の日数は年によるばらつきがあり、46–66日の範囲を示し、最大20日間の差があった。結果として、操業許可日数から時化日数を除いた出漁可能日数は、カレンダー提供前の2006–



**Figure 8.** Relationships between observed and simulated velocities in the area of the current in the Soya/La Pérouse Strait in 2007. Observed velocities were recorded by the HF radar.

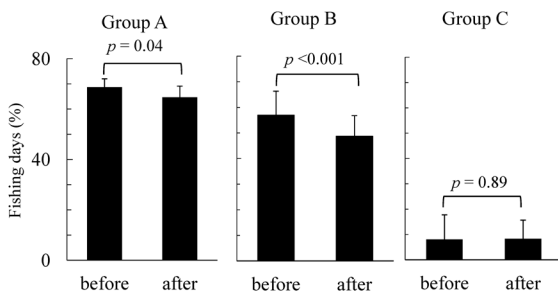
2008年には180–200日間に対し、提供後の2009–2013年には176–185日間に短くなった。

樽流し漁業への依存度が高いグループAのFD%の平均値は、カレンダー導入前で68.6%であったが、カレンダー導入後には64.6%まで有意に減少していた (対応のある1標本t検定:  $p=0.04$ ; Fig. 9)。抽出された樽流し漁業者の半数を占め、樽流し漁業への依存度が中程度のグループBに

**Table 1.** Number of fishing boats, total catch, and possible fishing days from 2006 to 2013.

Year	No. of fishing boats	Total catch (t)	Permitted fishing days <sup>1)</sup>	Stormy days on fishing days <sup>2)</sup>	Possible fishing days <sup>3)</sup>
2006	194	1,413	246	46	200
2007	163	1,407	246	66	180
2008	178	1,533	245	49	196
2009	194	1,309	244	64	180
2010	188	1,329	243	58	185
2011	196	1,470	238	62	176
2012	190	1,359	237	61	176
2013	185	1,425	237	53	184

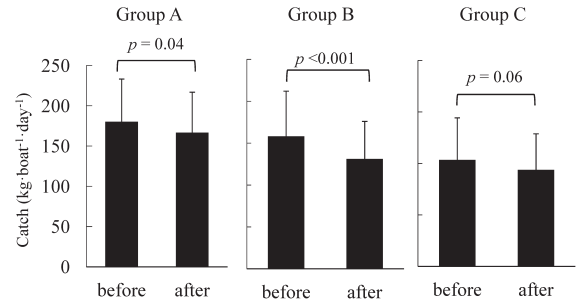
- 1) Days exclusive of the moratoria on fishing.
- 2) Wind velocity  $\geq 9.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  on permitted fishing days.
- 3) Wind velocity  $< 9.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  on permitted fishing days.



**Figure 9.** Difference in mean fishing days in percentage before (2006–2008) and after (2009–2013) introduction of the tidal calendar to the drift fishery in the coastal waters off Cape Soya. Fishing days: Proportion of actual fishing days to possible fishing days (%). Group A ( $n=6$ ): fishermen with  $\geq 100$  d of actual fishing per year from 2006 to 2013. Group B ( $n=40$ ): fishermen with  $\geq 50$  d of actual fishing per year, exclusive of Group A. Group C ( $n=32$ ): fishermen with  $< 50$  d of actual fishing per year from 2006 to 2013.  $p$ : the probability of paired-sample  $t$ -test. Error bars show standard deviations.

においても、 $FD\%$ の平均値はカレンダー導入前の56.9%から、導入後の48.7%まで有意に減少した( $p < 0.001$ )。グループCでは、カレンダー導入前後で $FD\%$ の平均値に有意差は認められなかった( $p = 0.89$ )。

1日あたり1隻あたり漁獲量の平均値は、グループA,Bにおいて宗谷岬沖潮流カレンダー導入後に有意に減少した(それぞれ $p = 0.04, < 0.001$ ; Fig. 10)。平均値はカレンダー導入前にグループAで $180.1 \text{ kg} \cdot \text{boat}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ 、グループBで $158.1 \text{ kg} \cdot \text{boat}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ であったが、導入後にはそれぞれ $166.6 \text{ kg} \cdot \text{boat}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ 、 $131.1 \text{ kg} \cdot \text{boat}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ に低下した。グループCでは、カレンダー導入の前後で平均値に



**Figure 10.** Difference in catch ( $\text{kg} \cdot \text{boat}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ) before (2006–2008) and after (2009–2013) introduction of the tidal calendar to the drift fishery in the coastal waters off Cape Soya. Group A ( $n=6$ ): fishermen with  $\geq 100$  d of actual fishing per year from 2006 to 2013. Group B ( $n=40$ ): fishermen with  $\geq 50$  d of actual fishing per year, exclusive of Group A. Group C ( $n=32$ ): fishermen with  $< 50$  d of actual fishing per year from 2006 to 2013.  $p$ : the probability of paired-sample  $t$ -test. Error bars show standard deviations.

有意差はなかったが(導入前： $103.4 \text{ kg} \cdot \text{boat}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ 、導入後： $93.7 \text{ kg} \cdot \text{boat}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ ;  $p = 0.06$ )、導入後は導入前の91%を示した。

### 考察

本論文の目的である、比較的簡便な方法によって、ミズダコ樽流し漁に最適流速が発生する時間帯を、将来の1年以上の期間にわたって予測する観点でいえば、本研究で提案した表層流速推定モデルと実測値との差は、実用的には問題のない精度と考えられた。

宗谷海峡において樽流し漁船のGPSデータと漁獲量の関係から算出したミズダコ樽流し漁具の最適な漂流速度は、 $0.1\text{--}1.0 \text{ kt}$ と推定されている(佐野ほか, 2012)。本研究では、短波レーダによる $0.1\text{--}1.0 \text{ kt}$ の表層流速帯の発生時間数と樽流しの1日あたり1隻あたり漁獲量の関係を検証した結果、この発生時間数が長くなると漁獲量が多くなることを示した(Fig. 6)。したがって、短波レーダによるデータにおいても、 $0.1\text{--}1.0 \text{ kt}$ の表層流速は、樽流し漁業に適した流速と判断される。宗谷海峡内の表層流速は潮汐の影響により日周期的に変化しており、その範囲は $0\text{--}2.0 \text{ kt}$ である(Ebuchi et al., 2006)。 $0.1\text{--}1.0 \text{ kt}$ の表層流発生時間も周期的に増減しており(Fig. 5)、宗谷岬沖潮流カレンダーを導入する前には、漁業者は $0.1\text{--}1.0 \text{ kt}$ の表層流が発生する時間帯を潮汐表と経験などから予測して出漁していたと思われる。

$0.1\text{--}1.0 \text{ kt}$ の表層流が10時間以上となる日は、4–5月で多かったが(Fig. 5)、1日あたり1隻あたり漁獲量の最大値は4月でもっとも小さく、その後徐々に大きくなり9月に最大となった( $400 \text{ kg} \cdot \text{boat}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ 以上)。そのため、この最大値の季節変化は $0.1\text{--}1.0 \text{ kt}$ の表層流発生時間だけ

では説明できない。宗谷海峡において樽流し漁場は4-6月には宗谷岬周辺の浅所に形成され、7-10月にかけて深所へ移り、11-12月には再び宗谷岬周辺の浅所へと変化する(佐野ほか, 2012)。一方で、樽流し漁業の漁獲物の体重組成は5-6月に体重4-5 kgにモードがあり体重の大きい方への裾広がり分布型であったものが、7-8月には体重の大きい個体が漁獲されなくなり、9月以降再び体重の大きい方へ徐々に裾広がりとなる分布型になる(佐野ほか, 2011)。つまり、ミズダコの分布密度や、樽流し漁具で漁獲される大きさも季節的に変化する事から、1日あたり1隻あたり漁獲量の月別最大値が季節変化するの、ミズダコ資源の時空間的な動態やミズダコの漁獲サイズの変化も反映しているものと思われる。

本カレンダーの導入により、大半の樽流し漁業者は、0.1-1.0 ktの表層流がほとんど発生しない日の出漁を止めていたと思われる。樽流し漁業への依存度が比較的高い漁業者のグループA, BのFD%の平均値はそれぞれ64.6, 48.7%で、導入前に比べ-4.0および-8.2ポイントとなった(Fig. 9)。2009-2013年の出漁可能日数の平均値は180.2日であったことから、カレンダーが未導入だった2006-2008年に比べてグループAでは7.2日、グループBでは14.8日短くなったこととなる。一方、年間最低出漁日数が50日未満のグループCでは、カレンダー導入後もFD%の減少は認められなかった(Fig. 9)。このグループCは、他の漁業を優先したため、カレンダーの導入による出漁日数の減少の効果が顕著ではなかったものと思われる。

カレンダーの導入により、いずれの漁業者グループでも樽流し漁業の1日あたり1隻あたり漁獲量は上昇しなかった(Fig. 10)。グループA, Bは、最適な表層流発生時間数が少ない日、すなわち漁獲が期待できない日を避けて出漁していたので、1日あたり1隻あたり漁獲量が少ない日が減り、結果的に1日あたり1隻あたり漁獲量は上昇することが期待された。しかし、実際には低下していたことから、2009年以降ミズダコ資源の水準そのものが低下するなどの別な要因に起因したのかもしれない。本カレンダーの導入に伴って、無駄な出漁の削減には役立つものの、現段階では1日あたり1隻あたり漁獲量の増加への効果は明らかではない。

本研究により宗谷岬沖潮流カレンダーは、宗谷海峡において樽流しに適さない日を示して、樽流し漁業者の無駄な出漁を避けるようにながす効果があると考えられた。さらに稚内水産試験場で個別に配布した本カレンダーは曳き網漁業や遊漁などに活用されていることが、カレンダーを

配布する際の聞き取り調査により確認されているため、このような表層流の予測情報は、他の沿岸漁業の燃油の節約や計画的な操業にも貢献できるようである。さらに、このような表層流予測情報は、海上で作業を行う定置網の漁業者からも情報提供の要望が寄せられており、網揚げ作業の可否を判断するうえでも貢献しそうである。そのため、他の海域でも当海域のように潮汐情報よりも進んだ表層流予測情報を提供することで、沿岸漁業の効率化に貢献できると思われる。ただし、本計算手法では、潮汐と海流の影響が強いことが必要であり、これらの影響が弱く、風の影響が強い海域では予測精度が低下するだろう。そのため、漁業現場へ表層流予測情報を提供する際には、始めに継続的な流速の観測を行って海域の特性を明らかにして、表層流の予測精度が沿岸漁業の実用に耐えうるものかどうかを検討する必要があるだろう。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、宗谷漁業協同組合の皆様には多大なご協力を頂いた。心よりここに厚くお礼申し上げる。本研究は、農林水産委託研究事業「新たな農林水産施策を推進する実用技術開発事業」の「宗谷海峡の空間情報統合によるミズダコ資源管理システムの開発(平成18-21年度)」を活用した成果である。ここに記して謝意を表す。

## 引用文献

- 土木学会海岸工学委員会(2001)「陸上設置型レーダによる沿岸海洋観測」。土木学会, 東京, 212 pp.
- Ebuchi, N., Y. Fukamachi, K. Ohshima, K. Shirasawa, M. Ishikawa, T. Takatsuka, T. Daibo and M. Wakatsuchi (2006) Observation of the Soya Warm Current using HF ocean radar. *J. Oceanogr.*, **62**, 47-61.
- Ebuchi, N., Y. Fukamachi, K. I. Ohshima and M. Wakatsuchi (2009) Sub-inertial and seasonal variations in the Soya Warm Current revealed by HF radars, coastal tide gauges, and bottom-mounted ADCP. *J. Oceanogr.*, **65**, 31-43.
- 北海道水産業改良普及職員協議会(2006)北海道の漁業図鑑 写真でみる沿岸漁業最前線。北海道水産業改良普及職員協議会, 札幌. CD-R.
- Ihaka, R. and R. Gentleman (1996) R: a language for data analysis and graphics. *J. Comp. Graph. Stat.*, **5**, 299-314.
- Odumaki, M. (1994) Tides and tidal current along the Okhotsk coast of Hokkaido. *J. Oceanogr.*, **50**, 265-279.
- 佐野 稔・坂東忠男・三原行雄(2011)宗谷海峡におけるミズダコの成熟状態の季節変化。日本水産学会誌, **77**, 616-624.
- 佐野 稔・坂東忠男・江淵直人・高柳志朗(2012)宗谷海峡のミズダコ樽流し漁業における漁具の漂流速度と漁獲量の関係。水産海洋研究, **76**, 123-130.
- 柳 哲雄(1993)「海洋観測データの処理法」。恒星社厚生閣, 東京, 113 pp.