位置情報取得によるたこいさり樽流し漁の漁具の流向・流速解析

高 博 昭,* 和田 雅 昭

(2016年7月15日受付, 2017年12月15日受理, 2018年3月9日J-STAGE 早期公開)

公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科

Analysis of the drift speed and drift direction of fishing gear for pot drift fishing for
Enteroctopus dofleini by obtaining positional information

HIROAKI TAKA* AND MASAOKI WADA

Department of Media Architecture, School of Systems Information Science, Future University Hakodate, Hakodate, Hokkaido 041-8655, Japan

In this study, we aimed to achieve efficient fishing operation by obtaining positional information of fishing gear (pots) used for pot drift fishing for the North Pacific giant octopus *Enteroctopus dofleini*; this type of fishing is mainly performed in coastal areas of Hokkaido, Japan. We attached GPS watches to fishing pots to obtain positional information, which was then used to calculate the pot drift speed and direction. Based on the results, the average drift speed of the pots was approximately 9 cm/s, and the drift direction was dependent on meteorological and oceanographic phenomena. We suggest that the time at which fishing pots are picked up can be estimated based on changes in drift speed. In future, optimal conditions for pot drift fishing can be estimated by correlating the drift speed and direction with catch amount.

キーワード：ICT 漁業, 位置情報, 漁具, 樽流し漁, ミズダコ

日本の漁業・養殖業の生産量は、排他的経済水域の設定による遠洋漁業の衰退、地球温暖化による海洋環境の変化、乱獲による水産資源の減少、燃料費の高騰などの影響により、1984年をピークに減少傾向が続いている。近年では、少子高齢化に起因する漁業従事者の減少も懸念されており、日本の水産業は厳しい状況に置かれている。

このような水産業の現状を踏まえ、Savilleらは情報通信技術を活用した水産業支援に取り組んでおり、北海道留萌市沿岸域では、漁業者によるマナマコ *Stichopus japonicus* (Selenka, 1867) の自主的な資源管理を実現した。なまこ桁引き網漁の漁船に位置情報を取得・送信するための装置（マイクロキューブ）を搭載するとともに、漁業者が容易に漁獲量の情報を入力・送信することができるiPadアプリケーションを開発し、得られた漁船の位置情報と漁獲量の情報から、当日のCPUEや漁期中の海域の漁獲圧などをリアルタイムに計算し、漁業者に提供する環境を実現した。¹⁾

こうした取り組みの一環として、我々は現在北海道留萌市をフィールドとして、ミズダコ *Enteroctopus dofleini* の樽流し漁に関する研究に取り組んでいる。北海道留萌市の場所をFig. 1, 樽流し漁の概要をFig. 2に示す。樽流し漁では、樽にいさり（疑似餌）を結びつけて海上に投入する。樽が風や潮流によって流されると同時に、樽と糸とで結ばれたいさりも海底を引きずるように移動する。ミズダコの縄張り付近をいさがりが通過するとき、ミズダコはいさを餌、あるいは外敵と見なしていさに飛びつく。このとき、海上にある樽の動きが変化する（止まる、回転する、あるいは海中に沈む）ため、漁業者は目視により樽の動きを確認し、ミズダコがかかったと判断した樽といさを引き揚げ、ミズダコを漁獲する。漁業者は操業中に気象・海象条件や水深に応じて、いさに錘を取りつけて樽の流速の調整や、糸の長さを調節し、いさと海底の接触角度を調整している。実験フィールドである北海道留萌市では、操業は日の出から集荷が行われる昼過ぎまで行われる。また、樽

Fig. 1 The position of Rumoi, Hokkaido. Rumoi is a city located on the northwestern coast of Hokkaido.

Fig. 2 A schematic diagram of pot drift fishing for *Enteroctopus dofleini*, drawn using the rectangular coordinate system. A lure is dragged along the seabed by drifting a fishing pot. The pot is moved by the wind and tide. The movement of the pot stops when an octopus grasps the lure considering it to be an enemy or food. A fisherman then pulls up the pot and lure to capture the octopus.

の数は資源保護の観点から最大 20 個に制限されている。海面漁業生産統計調査 (http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/#c, 2017 年 10 月 5 日参照) によれば、北海道留萌市では樽流し漁が主流であるが、2011 年から 2015 年のミズダコの漁獲量は 34–94 トンと不安定である。また、2013 年漁業センサス報告書 (<http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/fc/2013/report/>, 2017 年 10 月 5 日参照) によれば、北海道の漁業者数は減少傾向にある。樽流し漁は風や潮流と樽の動きを経験的に把握する必要があるため、安定かつ効率的な操業を行うためには経験が必要であり、新規漁業者に熟練した漁業者の勘や経験を伝承する必要がある。そのためには、操業実態を明らかにし、情報通信技術を活用して操業の効率化に取り組むことも一助となると考えられる。

ミズダコの生態については、内浦湾での成長効率に関

する研究²⁾や津軽海峡における成長と移動に関する調査^{3,4)}などが行われている。しかし、樽流し漁の操業実態を明らかにした研究はほとんど行われていない。こうした中、佐野らは、漁船の航跡情報から樽の漂流速度を推定し、漂流速度と漁獲量の関係性を解析して推奨される樽の漂流速度を明らかにした。⁵⁾ さらに、山崎らは樽流し漁の操業の効率化とミズダコの資源管理の迅速化を目的として、漁船の航跡情報から操業海域を自動的に抽出するアルゴリズムを提案した。⁶⁾ しかし、漁船の航跡情報に着目した過去の研究では、漁船の航跡情報を用いて樽の動きや操業箇所を推定しているに過ぎず、樽自体の動きの詳細は明らかになっていない。樽の動きは気象条件や海象条件の影響を受けるため、樽の動きに応じて操業効率も変化する。樽の動きを把握することができれば、見込まれる漁獲量や漁獲に適した海域、樽を流す間隔などの情報を漁業者に提供することで、樽流し漁の操業の効率化を実現することができ、さらに、こうした情報の集約と定量化は新規漁業者の育成支援にもつながると考えられる。

そこで本研究では、GPS 腕時計を利用してこれまで行われていなかった樽流し漁の漁具の位置情報取得を行い、漁船と樽の位置関係、樽の移動状況を調査することを目的とした。

材料と方法

今回、北海道留萌市の新星マリン漁業協同組合に所属する樽流し漁を行う漁船 2 隻を対象とし、樽の位置情報取得実験を行った。トン数は漁船 A が 4.6 トン、漁船 B が 2.9 トンである。

樽流し漁に用いられる樽の緯度、経度、時刻を取得するために、GPS 腕時計 (GARMIN 製 ForeAthlete220J) を用いた。この GPS 腕時計は、主にランニングなどのスポーツでの利用を想定されたデバイスであり、50 m の完全防水機能を有し、約 10 時間の連続稼働が可能である。GPS 腕時計自体の重量も 40.7 g と非常に軽量であることから、樽の動きに影響を与える可能性も少ない。本実験では GPS 腕時計の着脱を容易にするために、防水ケースを樽に装着し、その中にベルトを外した腕時計を封入した。防水ケースと腕時計を合わせた重量は約 49 g であった。腕時計が取り付けられた樽の写真を Fig. 3 に示す。

GPS 腕時計はナンバリングされており、船上でミズダコの漁獲時刻と GPS 腕時計の番号をデジタルカメラにより記録した。また、漁業者には事前に GPS 腕時計を装着した樽での試験操業を依頼し、樽の動きを大きく阻害することがないことを確認した。今回実験で用いた GPS 腕時計は、運動の記録を専用の Web サイト (Garmin Connect : <https://connect.garmin.com/ja-JP/> ,

Fig. 3 A GPS watch (Foreathlete 220J, Garmin) is attached to a fishing pot. Each GPS watch is numbered. When an octopus is caught, a picture of the numbered pot is taken to identify the pot that caught the octopus.

2016年6月7日参照)で管理する製品である。本実験では、Webサイト経由でGPS腕時計に記録された緯度、経度、時刻を、GPX形式に変換したデータを利用した。また、スポーツでの利用を想定されたデバイスであるため、移動速度や距離に応じて位置情報を記録する仕様である。そのため、GPS腕時計のデータの記録間隔は一定ではない。そこで本実験では、緯度、経度から平面直角座標系に変換し、10秒間隔のデータに補間した。GPS腕時計によって得られた時刻 t_1 の平面直角座標を (x_1, y_1) 、時刻 t_2 の平面直角座標 (x_2, y_2) とする。補間対象である時刻 t の樽の平面直角座標 (x, y) は、 (x_1, y_1) と (x_2, y_2) の座標を結ぶ直線を $(t-t_1):(t_2-t)$ で内分する点とし、次式で求めた。ただし $t_1 < t < t_2$ とする。

$$x = \frac{x_1(t_2 - t) - x_2(t - t_1)}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

$$y = \frac{y_1(t_2 - t) - y_2(t - t_1)}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

この式を用いて10秒間のデータに補間した後に、10秒単位の樽の流速や流向の再計算を実施した。

漁船には関連研究^{1,6)}でも利用したマイクロキューブが搭載されており、10秒ごとの漁船の位置情報を取得した。また、樽の流向と気象条件との関係を調べるために、気象庁(<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>, 2016年6月30日参照)で公開されている気象データから、北海道留萌市における実験日の天候や風向、風速に関するデータを取得した。

結 果

GPS腕時計の特性 前述の通り、GPS腕時計の記録間隔は不定であることから、実験で取得したGPS腕時計による位置情報の記録間隔を調査した。Figure 4に

Fig. 4 A histogram showing the measurement intervals of the GPS watches.

のべ23個のGPS腕時計による位置情報記録間隔のヒストグラムを示す。今回の実験では、23個のGPS腕時計で計4,875回位置情報が記録されていた。そのうち、2回は記録間隔が40分を超えていた(2,416sと2,787s)。これはGPS腕時計が完全に海面下に潜り込み、GPS衛星の信号を受信できなかったことが原因だと考えられる。Figure 4は、これら2つのデータを除いた計4,873個のデータのヒストグラムであり、全データの記録間隔は5分以内に収まっていることがわかる。また、データ記録間隔が15秒以下の場合が相対的に多くなっている。これは樽が船上にあるときは高速に移動したためである。前述の通り、GPS腕時計は移動速度や距離に応じてデータを記録する仕様のため、樽が高速で移動したときはデータ記録間隔が短く、データ記録回数も多くなる。

Figure 5にデータ取得間隔と速度の関係を示す。Figure 5からデータ取得間隔と速度の間には非線形の関係があることがわかる。この関係性は以下の漸近指数モデルで表すことができる。

$$v = 9.725 \cdot 0.918^t + 0.147 \quad (3)$$

上記の式において、 v は樽の流速、 t はデータの取得間隔を表す。

実験環境 実験は、2016年5月14日、6月4日の2日間実施した。5月14日は漁船A、6月4日は漁船Bを対象としており、5月14日の出港時刻は午前5時0分、帰港時刻は午後12時21分、6月4日の出港時刻は午前5時19分、帰港時刻は午前9時31分であった。操業中に用いられた樽の個数は、5月14日は14個、6月

Fig. 5 Relationship between the speed of the fishing pot (v) and the measurement interval (t). The formula of the trend line is $v = 9.725 \cdot 0.918^t + 0.147$.

Table 1 Mean wind speeds and directions at Rumoi*

Hour	May 14		June 4	
	Speed [m/s]	Direction	Speed [m/s]	Direction
5	5	ESE	7.2	ESE
6	4.6	ESE	7.7	ESE
7	3.5	ESE	7.6	ESE
8	2.3	S	7.5	ESE
9	2.6	W	7.4	ESE
10	2.9	W	7.5	ESE
11	3.2	WSW	6.5	ESE
12	3.1	W	5.6	ESE
13	2.1	W	6	ESE

* These data are sourced from the Japan Meteorological Agency (JMA). This table only shows data collected from 5:00 am to 1:00 pm because fishermen generally fish for *Enteroctopus dofeini* during this time period.

4日は9個であり、本研究では2日間のべ23個の樽の位置情報を取得した。気象条件は、5月14日の天候は「晴」、6月4日の天候は「雨」であった。Table 1に、実験日の北海道留萌市における1時間ごとの風向・風速のデータを示す。5月14日は、早朝東よりの風が、後に西よりの風に変わっている。一方、6月4日は操業中常に東南東からの風が吹いていた。また、風速は6月4日に5 m/s以上の風速を記録しており、5月14日に比べて風速が大きい条件であった。以降、10秒間隔に補間したデータの解析結果について述べる。

漁船の位置情報データとの比較 Figure 6にマイクロキューブで取得した5月14日の漁船の航跡と、GPS

Fig. 6 Trajectories of the fishing vessel and the fishing pot (ID=1) on May 14, 2016. There are many fishing pots drifting in this area. The fishing vessel moves around in a narrow range to pull up pots. The pots are driven from south to north. After each pot has drifted a certain distance, it is collected and attached to a different fishing point.

腕時計で取得した特定の樽の軌跡を示す。樽流し漁では、漁業者は複数の樽を用いて操業を行い、樽の動きを目視で確認してミズダコがかかったかどうかを判断し、漁船を近づけてから樽を船上に引き揚げる。狭い海域で頻繁に樽に近づき引き揚げる作業を繰り返すことから、漁船の航跡は入り組んだ複雑な航跡となる。一方、樽は海中に投げ入れられた後、潮流や風の影響によって漂流する。そのため、樽の軌跡は直線的な軌跡となる。

漁船と樽の速度の比較をFig. 7に、漁船と樽の間の距離の変動をFig. 8に示す。Figure 7中の縦の破線は、著者が操業に同行した際に記録したミズダコの漁獲時刻を示す。Figure 7より、漁船は樽に近づき引き揚げ作業を行うことを繰り返すため、船速は激しく変動している。一方、樽の流速は安定しているが、ミズダコの漁獲のあった時刻で増加している場合が多い。これは、船上に樽を引き揚げたためである。また、Fig. 8では、一部の時間帯を除いて、漁船と樽の間の距離は250 m以下の場合が多い。8時半から9時の間で距離が大幅に増加しているのは、漁船が他の樽を回収し、別の操業場所に移動して投げ入れ作業を行ったためである。Table 2に、漁船と各樽との距離の最小、最大、平均値を求めた結果を示す。ただし、5月14日の操業では、8時から9時のデータは漁場移動があったため、除外している。この結果から、漁船と樽の間の平均距離は100 m程度であることがわかる。

樽の漂流方向 Figure 9(a), (b)は各実験日において、すべての樽のGPS腕時計のデータから求めた樽の流向分布を、16方位に分割したレーダーチャートで示

Fig. 7 Speed of the fishing vessel and the fishing pot (ID = 1) on May 14, 2016. The speed of the vessel fluctuates greatly, because the vessel picks up pots that have caught an octopus.

Fig. 8 Distance between the fishing vessel and the fishing pot (ID=1). The distance was separated at around 8 : 45, because the vessel attached the pot to a different fishing point, and departed to collect other pots.

Table 2 Distance between the fishing vessel and each fishing pot*

ID	May 14			June 4		
	Min.	Max.	Mean	Min.	Max.	Mean
01	0.4	375.9	82.8	2.1	307.5	74.4
02	0.3	384.8	71.6	0.1	253.0	70.7
03	0.7	349.6	94.3	1.7	241.7	61.8
04	0.3	304.8	85.0	0.6	308.0	68.9
05	0.8	340.0	104.5	2.2	556.4	170.1
06	1.3	372.4	73.7	1.7	214.1	75.7
07	1.0	228.7	80.9	0.6	256.2	77.1
08	1.3	367.7	87.8	3.0	249.7	73.6
09	1.3	418.4	90.7	5.5	303.4	80.4
10	0.2	355.1	114.0	—	—	—
11	0.6	319.0	97.4	—	—	—
12	1.6	358.2	87.3	—	—	—
13	2.6	256.7	101.0	—	—	—
14	1.0	231.4	82.8	—	—	—

* The data from 8:00 am to 9:00 May 14 are excluded due to a change of fishing point.

Fig. 9 Distribution of pot drift directions on (a) May 14, 2016 from data of 14 pots drifting in a north-northwest direction, (b) June 4, 2016 from data of 9 pots drifting in a west-northwest direction.

Fig. 10 Analysis model for the drag by wind and tide. In this model, we assume that the shape of the fishing pot is cylindrical. R is the radius of the bottom of the cylinder, and L is the height of the cylinder. The ratio of the pot exposed to air to the pot submerged in water is 10:1.

した結果である。この図では、最も頻度の高い方位を100%とした。この結果から5月14日は北北東方向に樽が流れており、6月4日は西北西方向に樽が流れていることがわかる。今回実験を行った留萌市は北海道北西

地方に位置しており、南北方向の移動は陸に対して平行、東西方向の移動は陸と垂直な向きに樽が流れることとなる。Table 1 で示した実験日の気象条件も含めて判断すると、5月14日は東よりから西よりの風に変化していたが、樽は北北東方向に流れており風向と樽の流向は一致しない。6月4日については、風は東南東から吹いており、樽は西北西方向に流れていたため、風向と樽の流向は一致した。

樽の流向と、風と潮流の関係を確認するために、簡易モデルで抗力の計算を行った。抗力 D は次式で与えられる。

$$D = C_D \frac{1}{2} \rho U^2 S \quad (4)$$

ここで、 C_D は実験的に求められた無次元量の抗力係数、 ρ は流体の密度、 U は流体と物体の相対速度、 S は物体の基準面積である。計算のモデルを Fig. 10 に示す。樽の形状は、実際に漁業者が使用していたものを計測し、底面の直径 $R = 0.3$ m、高さ $L = 0.3$ m の円柱、大気気温を 20°C としたときの空気の密度は 1.2465 kg/m^3 、水の密度は 998.204 kg/m^3 とした。⁷⁾ 風と潮流は樽の側面部分を垂直に押すものと仮定し、樽が大気中にある割合と海中にある割合は 10:1 とした。抗力係数は、基本的な形状の値のみしか明らかになっておらず、Fig. 10 のように海面で大気中と海中に分断された柱体に関する係数は明らかにされていない。そこで、本稿では簡単化のため、大気中と海中の樽の底面部はそれぞれ円柱であるものと仮定し、大気中にある部分は $C_D = 0.82$ 、海中にある部分は $C_D = 0.63$ とした。⁸⁾ 式(4)の抗力の式を元

に、樽流し漁の漁具にかかる抗力 D_P を次式で表す。

$$D_P = D_W + D_T + D_0 \quad (5)$$

D_W は風力による抗力、 D_T は海面の潮流による抗力である。海中の潮流は深さによって速度や方向が異なる場合もある。そのため、海中の糸やいさりの状況は、詳細が不明であることから、未知の抗力 D_0 とした。本論文では、簡単化のため D_0 は定数とし、海中の糸の抗力とした。海中の潮流を表層の潮流と同じと仮定し、樽といさを結ぶ糸を直径 5 mm、 $C_D = 1.2$ の円柱とみなし、糸の長さを 10 m、20 m、30 m の 3 通りとして計算した。Figure 11(a) に潮流が 0.1 m/s、Fig. 11(b) に潮流が 0.5 m/s のときに、風速を 0.1 m/s から 10.0 m/s まで変化させた場合の D_W と $D_T + D_0$ を示す。 $D_T + D_0$ は糸の長さが 10 m、20 m、30 m の 3 通りの値をプロットしている。Figure 11(a) から、糸の長さが 10 m の場合は風速 3.3 m/s、20 m の場合は 4.5 m/s、30 m の場合は 5.5 m/s 以上で D_W が $D_T + D_0$ を上回っており、潮流が遅い環境では風速がある値以上の場合、風が樽の動きに与える影響が大きいと考えられる。一方、Fig. 11(b) では、 D_W は常に $D_T + D_0$ を下回っており、潮流が速いときは潮流が樽の動きに与える影響が大きいと推測される。実際には潮流や風向は同一ではなく、より詳細な解析のためにはいさり部分も考慮に加えるべきである。しかし、理論計算から、潮流が遅い場合は少なくとも風速が一定以上の場合、風が樽に与える影響の方が大きいことを確認できた。この傾向は 2 日間の実験結果からも示唆される。

樽の漂流速度 Figure 12 は、5月14日の各樽の流速

Fig. 11 Analysis result of D_W , and $D_T + D_0$ when the tide is (a) 0.1 m/s, (b) 0.5 m/s. Horizontal dashed lines indicate $D_T + D_0$ when the length of rope is 10 m, 20 m, and 30 m, and the curve represents D_W for various wind speeds.

を実線, ミズダコを漁獲した時刻を縦の破線で, 漁場の移動時間帯を灰色の帯で示した結果である。操業中は一度にすべての樽を投げ入れるのではなく, 潮の流れなどを見ながら段階的に投げ入れる。その日の操業で各樽を最初に海に投げ入れるタイミングで GPS 腕時計の測位を開始したため, Fig. 12 では, グラフの描画開始時刻が樽ごとに異なっている。ID=7 の樽は 8 時以前でデータ欠損があるが, これは樽が着水する際の衝撃で測位が停止してしまったためである。Figure 12 から, 樽の流速が増加するタイミングがあることがわかる。例えば,

5 月 14 日の 8 時から 9 時頃までの間は, すべての樽の速度が一時的に増加したことがわかる。これは, Fig. 8 の説明でも述べた通り, 樽が漁船上にあることを意味しており, この時間帯で樽を回収して漁場を変更していることを著者が目視で確認した。また, 縦の破線が示しているミズダコを漁獲したタイミングだけではなく, それ以外の場合にも樽の流速が増加していることがわかる。Table 3 に操業中の樽の流速を求めた結果を示す。なお, 平均流速は, 樽が船上にあって移動していると考えられる 50 cm/s 以上は除外して算出した。5 月 14 日の

Fig. 12 Drift speeds of fishing pots and the time taken to catch an octopus on May 14, 2016. Solid lines denote the drift speed of a pot, and vertical broken lines denote the times at which a fisherman caught *Enteroctopus dofleini*.

Table 3 Mean drift speed of fishing pots

ID	Mean drift speed [cm/s]	
	May 14	June 4
01	8.89	8.59
02	10.51	8.01
03	8.85	7.93
04	9.24	7.77
05	8.62	8.86
06	8.82	9.35
07	7.58	7.73
08	8.41	8.52
09	12.51	9.22
10	7.89	—
11	8.00	—
12	10.02	—
13	6.93	—
14	9.46	—
Mean	8.98	8.44
SD	1.34	0.58

最大値は 12.51 cm/s、最小値は 6.93 cm/s、平均は 8.98 cm/s、6 月 4 日の最大値は 9.35 cm/s、最低値は 7.73 cm/s、平均は 8.44 cm/s であった。また、標準偏差は 5 月 14 日が 1.34 cm/s、6 月 4 日が 0.58 cm/s であった。

Figure 13 に、5 月 14 日と 6 月 4 日のミズダコの漁獲時刻の前後 5 分間の計 10 分間における最高流速と最低流速の差を示す。両日の漁獲数は、5 月 14 日は 42 個体、6 月 4 日は 7 個体の計 49 個体であったが、データ欠損時に 1 個体の漁獲があった。そのため、Fig. 13 は計 48 個体のデータを解析した結果である。漁獲時の位置情報が取得できた計 48 回のうち、流速変化が 10 cm/s 以上であったのが 45 回、流速変化が 20 cm/s 以上であったのが 40 回であった。

考 察

本研究では、GPS 腕時計を用いて樽の位置情報を取得できることを確認した。これにより、これまで明らかではなかった、操業中の樽の動きに関する情報を取得することが可能となった。Figure 5 の結果が示す通り、GPS 腕時計は移動速度または距離に応じて位置情報を記録する仕組みのため、樽が漂流中のときは GPS のデータ取得間隔は数分程度の間隔で記録されている場合が多く、測位間隔は一定ではない。しかし、樽が漂流しているときはその移動速度は非常に遅く、本論文で示した方法によってデータを一定時刻間隔に補間することで、樽の流向・流速解析を問題なく行うことができる。

漁船と樽の位置情報を比較したところ、漁船は複数の樽を投げ入れ、引き揚げの作業があることから、速度変

Fig. 13 Histogram showing drift speed difference. The drift speed difference is calculated by subtracting the minimum drift speed from the maximum drift speed for 5 min before and after the time of catching an octopus.

化が大きく複雑な航跡となる。一方、樽の引き揚げ作業時以外は、風や潮流の影響で漂流するため、速度変化が小さく単純な軌跡となる。また、Table 2 から、樽と漁船間の距離は平均 100 m 程度と非常に近いことが示唆された。これは、樽流し漁の特性上、漁業者が目視で樽の動きを確認する必要があるためである。

GPS 腕時計のデータから、操業中の樽の流速および流向を求めた結果、流速の平均は約 9 cm/s であること、流向は操業を行う日によって異なることを確認した。海域は異なるため参考程度ではあるが、佐野らの研究⁵⁾によれば、宗谷海峡沖では樽の流速は 5–50 cm/s を推奨している。今回の実験の結果は、流速は推奨範囲内であった。樽流し漁はその性質上、樽がある程度の流速で流れる必要があるため、データを取得した日は適切に操業を行っていたと考えられる。樽の流向について、漁業者に対してヒアリングを実施した。その結果、流向は操業効率を左右する重要な要素であることを確認した。北海道北西部では、南北方向では水深がほとんど変化しないのに対して、東西方向では水深が大きく変化する。そのため、樽が東西方向に向かって流れているときは、漁業者は水深の変化に合わせて、樽といさを結ぶ糸の長さを調整する必要があるため、作業量が多くなる。一方、南北方向に流れている場合は、水深変化が少なくなることから糸の長さを調整する回数が少なくなるため、樽が東西方向に流れている場合に比べて糸の長さの調整にかかる作業量が少なくなることが判明した。

ミズダコの漁獲時刻の前後5分間に着目したところ、Fig. 12に示すように、ミズダコの漁獲があった際には樽の流速が大きく変化する場合が多いことがわかる。漁業者は樽の動きを目視で確認して、動きが止まっている樽を引き揚げるために樽の近くまで移動する。いさりを引き揚げる際にはまず樽を船上に引き揚げると、このとき、漂流している漁船の移動速度が樽の移動速度よりも速いことから樽の速度が増加したと考えられる。ただし、この事実を確認するためには、漁船と樽の位置情報をより短い時間間隔で、補間せずに取得する必要がある。一方で、ミズダコの漁獲がない場合にも、樽の流速が大きく変化する場合がある。実験中に操業の様子を観察したところ、ミズダコの引き揚げ作業以外に、根掛かり、いさりの重さや糸の長さの調整、漁場の移動、操業終了時に樽が船上に引き揚げられていることを確認した。今回用いたGPS腕時計では、Figs. 4, 5で示した通り、樽が漂流していると考えられる低速域では、データ取得間隔が分単位になる。樽の引き揚げ作業が、このデータ取得間隔よりも短い場合には、データを補間したとしても速度変化を検出することはできない。そのため、樽を引き揚げた際にミズダコが漁獲されたかどうかを正確に判断することは現状困難である。しかし、毎秒測位を実施するGPSロガーを用いれば、樽が漁船上に引き揚げられる時刻や樽が船上にある時間をより詳細に取得できる。ミズダコの引き揚げ作業と他の作業では、樽が船上にある時間は異なると考えられるため、ミズダコの漁獲を区別できる可能性がある。また、加速度センサなどの他のセンサを用いてミズダコの漁獲を判断する方法も考えられる。

以上のことから、これまでは漁船の位置情報から間接的に漁具の流速や漁場の推定を行っていたが、漁具の位置情報を直接取得することで、操業の実態や、樽の流向・流速のデータの取得が可能となった。現時点では樽

にGPS腕時計を取り付けて操業終了時に回収している。そのため、データ解析は操業終了後に行わなければならない。今後は、操業中に位置情報を取得・送信するためのノードを開発し、データ取得環境を向上させるとともに、大量データの蓄積・解析を行い、操業の効率化や新規漁業者育成につながる知見を得る必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、新星マリン漁業協同組合の皆様には、操業に同行させていただき、データ取得に多大なるご協力をいただいた。また、本研究の一部は「ノーステック財団若手研究人材・ネットワーク育成補助金」の支援を受けて行われた。関係者諸氏に深謝する。

文 献

- 1) Saville R, Hatanaka K, Sano M, Wada M. Application of information and communication technology and data sharing management scheme for the coastal fishery using real-time fishery information. *Ocean & Coastal Management* 2015; **106**: 77-86.
- 2) Robin RP, Sakurai Y. Temperature and feeding related growth efficiency of immature octopuses *Enteroctopus dofleini*. *Suisan Zoshoku* 2004; **52**: 29-36.
- 3) 野呂恭成, 桜井泰憲. 津軽海峡周辺海域におけるミズダコの移動と分布および成長. *水産増殖* 2012; **60**: 429-443.
- 4) 野呂恭成, 桜井泰憲. 津軽海峡周辺海域におけるミズダコの性成熟と生殖周期. *水産増殖* 2014; **62**: 279-287.
- 5) 佐野 稔, 坂東忠男, 江淵直人, 高柳志朗. 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* 2012; **76**: 123-130.
- 6) 山崎礼華, 和田雅昭, 佐野 稔, 高 博昭. 航跡情報を活用した漁場抽出アルゴリズムについて—たこいさり樽流し漁の事例—. *日本航海学会論文誌* 2014; **130**: 62-68.
- 7) 松岡祥浩, 青山邑里, 児島忠倫, 應和靖浩, 山本全男. 「流れの力学—基礎と演習—」コロナ社, 東京. 2001; 6.
- 8) 宮田昌彦, 水木新平, 辻田星歩. 「よくわかる水力学」オーム社出版局, 東京. 2001; 119-120.