

標識放流による北海道オホーツク海沿岸における 未成熟ミズダコの移動, 成長, 経験水温および漁場水温の季節変化

城 幹昌^{1†}, 三好晃治², 佐藤政俊³, 佐野 稔⁴

Seasonal migration, growth, and exposed water temperature of immature giant octopus *Enteroctopus dofleini* using mark and recapture experiment and seasonal change in bottom water temperature in the fishing ground

Mikimasa JOH^{1†}, Kouji MIYOSHI², Masatoshi SATO³ and Minoru SANO⁴

北海道オホーツク海沿岸でディスク型タグや水温ロガーを未成熟ミズダコに装着して標識放流を行い, 移動と成長, そして経験水温を明らかにするとともに, 主要なミズダコ漁場である網走市能取岬沖の海底に水温ロガーを設置して夏-冬季の漁場水温を連続観測した. ミズダコの成長は夏-秋季に速く, 冬-春季に遅かった. 当海域のミズダコは放流された地区で再捕される割合が86%と高く移動距離は比較的小さかったが, 季節的な深浅移動は顕著で7-9月には深場へ10月以降は浅場へ移動する傾向が強かった. 2013年8-9月の水深40m以浅の海底水温は20°Cを上回ることが多く, 夏季の深場への移動は沿岸の高水温の回避が目的であると考えられた. 経験水温の最高値は20.1°Cで, 平均値は4個体(50%)で15.0°C以上であった. 本研究は当海域のミズダコ漁場水温の時空間的变化, ミズダコの移動や成長を明らかにするとともに, ミズダコの経験水温を初めて直接把握することができた.

The migration, growth, and exposed water temperature of immature giant octopuses (*Enteroctopus dofleini*) were investigated in the coastal Okhotsk Sea area of Hokkaido using the mark and recapture method. Disk tags were used to document the migration and growth patterns, and data loggers were used to measure exposed temperature. Data loggers were also placed on the sea bottom off Notoro Cape, Abashiri City, which is one of the main giant octopus fishing grounds in this area, to document the spatial and temporal changes in water temperature during the summer and winter. The daily growth of the immature giant octopuses changed seasonally, and the daily growth of marked individuals was faster during summer and autumn than during winter and spring. A major portion of the released individuals (86%) were recaptured from the area where they were initially released, and the migration distance of 76% of the octopuses was ≤ 10 km, suggesting a small scale of migration in the area. However, a seasonal pattern of migration between deep and shallow areas was evident, with more individuals migrating toward deep areas during July-September and toward shallow areas starting in October. In the summer of 2013, sea-bottom temperature was higher in shallower areas, particularly in August and September, when the water temperature of 20- to 40-m deep areas exceeded 20°C. This suggests that the driving factor of summer migration to deeper waters is related to the avoidance of overheating. Highest exposed water temperature was 20.1°C and mean temperature of 4 individuals (50%) was ≥ 15.0 °C. The present study indicates the water temperature of the giant octopus fishing ground changes rapidly in response to both the sea currents

2016年9月16日受付, 2017年1月30日受付

¹ 地方独立行政法人北海道立総合研究機構栽培水産試験場, 051-0013 北海道室蘭市舟見町1-156-3
Mariculture Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, 1-156-3 Funami-cho, Muroran, Hokkaido 051-0013, Japan

² 地方独立行政法人北海道立総合研究機構網走水産試験場, 099-3119 北海道網走市鱒浦1-1-1
Abashiri Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, 1-1-1 Masuura, Abashiri, Hokkaido 099-3119, Japan

³ 地方独立行政法人北海道立総合研究機構中央水産試験場, 046-8555 北海道余市町浜中町238
Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, 238 Hamanaka-cho, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan

⁴ 地方独立行政法人北海道立総合研究機構稚内水産試験場, 097-0001 北海道稚内市末広4-5-15
Wakkanai Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, 4-5-15 Suehiro, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, Japan

[†] joh-mikimasa@hro.or.jp

and the passing of strong low pressure. It also reports, for the first time, information on the movement, growth, and exposed temperature of immature octopuses in the area.

Key words: *Enteroctopus dofleini*, mark and recapture, exposed temperature, growth, seasonal migration, temperature environment

はじめに

ミズダコ *Enteroctopus dofleini* は、北日本、サハリン、千島列島沿岸などからアラスカ湾やカリフォルニア州の沿岸におよぶ北太平洋亜寒帯域の広い海域に生息している。ミズダコは1個体の重量が重く、また単価も高いため、北海道沿岸で重要な漁獲対象となっており、2010–2014年における平均年間漁獲量は12,500トン、漁獲金額は63億4千万円であった (http://www.fishexp.hro.or.jp/marinedb/internetdb/fishdb/fish_year.asp, 2016年9月5日)。

北海道庁オホーツク総合振興局管内（以下、網走管内、Fig. 1）では、網走管内たこ漁業連絡協議会によって、漁獲された4 kg未満の小型ミズダコは資源保護のため放流することが自主的に取り決められている。ミズダコについては交接が確認された雌の最小サイズは4 kg、精莖を所持していた雄の最小サイズは6 kgと報告されていることから（佐野ほか、2011）、オホーツク海沿岸で放流されている小型個体は未成熟個体であると考えられる。また1988年頃からは、移動や成長に関する知見を得るために放流する未成熟ミズダコの一部にディスク型標識を用いて標識放流する取り組みが開始され、現在でも継続されているが、これまで結果は取りまとめられていない。

北海道オホーツク海沿岸には宗谷暖流が流下しており、その勢力は季節的に変動し、冬–春季に弱く、夏–秋季に強い（松山ほか、1999; Fukamachi et al., 2008）。オホーツク海に入った高温・高塩分の宗谷暖流水は北海道の海岸線にそって分布し、勢力が強い夏–秋季には沖合の低温なオホーツク海水との間に顕著な水温フロントを形成し混合することなく流れる（青田、1975）。ミズダコは亜寒帯域に分布していることから比較的寒冷な水温を好み、一般的に16°Cより低い水温に生息が確認され、通常7–15°Cに生息すると報告されている（Hartwick, 1983）。これらのことから推察すると、夏季北海道オホーツク海沿岸域に宗谷暖流が活発に流下することは、沿岸域の水温の上昇を引き起こし、当海域に分布するミズダコの移動や分布に影響を与えている可能性がある。しかし、これまでに北海道オホーツク海沿岸におけるミズダコ生息域の海底水温や夏季のミズダコ経験水温に関する知見は報告されていない。

本研究では、漁業者自らが行ってきた未成熟ミズダコ標識放流の結果を整理し、未詳である北海道オホーツク海沿岸における成長や移動を調べた。さらに、北海道オホーツク海沿岸域における主要なミズダコ漁場の一つである網走市能取岬沖（Fig. 1）の海底に水温ロガーを設置し漁場水温を把握するとともに、未成熟ミズダコにもロガーを装

着して標識放流を行うことで経験水温を把握した。これらを通じて未成熟ミズダコの移動と水温の関係を考察することを目的とした。

材料と方法

ディスク型タグによる標識放流

ディスク型タグを用いた標識放流は、網走管内の市町村

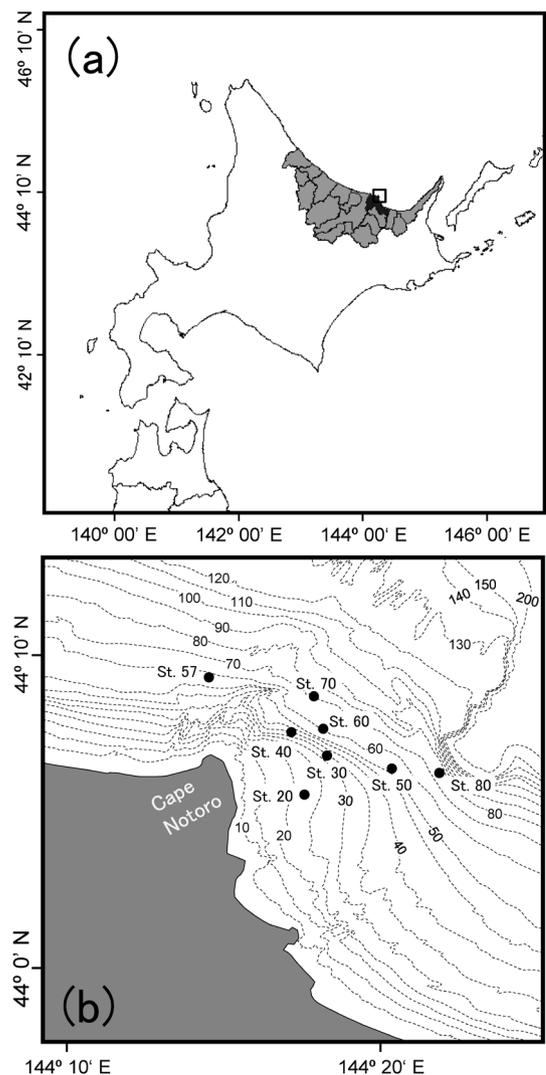


Figure 1. Location of Okhotsk Region in Hokkaido (a) and stations where temperature data loggers were set (b). Gray and black colored areas in (a) show the Okhotsk Region and Abashiri City, respectively. The small square in (a) indicates the area of panel (b).

(Fig. 1a)のうち、オホーツク海に面した地区（北から雄武町・興部町・紋別市・湧別町・北見市・網走市・斜里町）において行われた。標識放流は、協議会により漁獲されても放流するよう取り決められている小型ミズダコに、漁業者がプラスチック製のディスク型タグを装着し、可能な限り緯度・経度、体重、日付、性別を記録した後に放流する形で行われた。また、再捕時には漁業者によって可能な限り緯度・経度、体重、日付、性別が記録された。本研究では1988–2013年の間に得られたデータを用いた。タグは、ステンレス製の針金もしくはナイロン製結束パーツ（ユニタイファスナーUTF-100）を用いて、腕の基部に装着した。

1988–2013年の間に合計5,650個体の未成熟ミズダコが標識放流され、合計370個体が再捕された。移動の解析には、ある程度の期間海中で生活した個体のデータに限定するため、放流および再捕の日付と位置が明らかで放流から再捕までに20日以上のある期間がある個体（242個体）のデータを用いた。移動距離は放流地点と再捕地点を結ぶ直線距離とした。これらの個体の放流水深は4–102 mの範囲にあり、平均値は46 mであった（25および75パーセンタイル値はそれぞれ32および55 m）。季節的な深浅移動を解析するうえで、個体間および放流時期による放流水深の大きな違いは解析結果にバイアスを与えると考えられる。この影響を可能な限り軽減するため、季節的な深浅移動の解析は、放流水深の25および75パーセンタイル値に近い30–60 mの範囲内の水深帯で放流された個体に限定して行った。

成長の解析には、移動と同様に放流から再捕までに20日以上のある期間があるものに限定し、さらに放流・再捕時の日付および体重が記録されている個体に限定して行った（245個体）。日間成長量（ $g \cdot day^{-1}$ ）は、再捕時体重から放流時体重を減算したものを放流日数で除した値とした。また、解析可能なデータ数が多かった2006, 2009, 2010年の3–4月に放流され、7–9月に再捕された個体の日間成長量には年間で有意差がみられなかったため（one-way ANOVA, $p=0.35$ ）、成長の解析は異なる年を含めて行った。さらに、これらの個体について、年を含めて雌雄間の日間成長量を比較した結果、有意差はみられなかったため（one-way ANOVA, $p=0.79$ ）、性別も区別せずに雌雄を含めて解析を行った。他海域では、ミズダコの成長は季節的に大きく変動することが知られている（Robinson and Hartwick, 1986）。したがって、本研究では3–4月に放流され年内に再捕された個体、7–9月および10–12月に放流されその後いずれかの時期に再捕された個体にグループ分けして成長の解析を行った。さらに、日間成長量の季節的な変化パターンを以下の方法で解析した。まず、各個体の日間成長量の値をその個体の放流と再捕までの間の各月各旬に与えた。つまり、4月1日に放流され6月31日に再捕された個体の日間成長量が $10 g \cdot day^{-1}$ であった場合、4月上旬から6月下旬まで

の9つの旬にこの値を与えた。この作業をすべての個体について行った後、旬ごとに含まれる値の中央値を算出し、これを各旬における平均的な成長量とした。この方法では、放流期間が長く、かつ、放流および再捕時期が成長の遅い季節と速い季節にまたがっている個体の日間成長量は、成長の遅い時期の実際の成長量よりは若干高めに、成長の速い時期の実際の成長量よりは低めに算出される可能性が高い。こういった放流記録の割合が高いと、成長が遅い（速い）時期の各旬の成長パターンは実際の当海域の未成熟ミズダコの成長より高め（低め）に算出され、実際の成長量の季節変化を鈍化させてしまうと考えられる。しかし、本研究で成長の解析に用いたデータのうち、このような成長が異なる時期にまたがるデータは、245個体中22個体であり、ごく一部であった。

水温データロガーによる漁場水温の把握

2013年7月から翌年1月の間、網走管内における主要タコ箱漁場の1つである能取岬沖の水深20, 30, 40, 50, 57, 60, 70, 80 m地点の海底に水温ロガー（ALPHA MACH社：iBCod）を設置し（Fig. 1b）、漁場の海底水温の変化を記録した。ロガーの水温記録間隔は4時間とした。また、水温の分解能は $\pm 0.5^{\circ}C$ に設定した。

水温データロガーによる標識放流

未成熟ミズダコの水温ロガーによる標識放流は、2013年7月24日–10月19日の間、計8回、網走漁協所属の各タコ箱漁船の通常操業に著者が乗船し、漁獲された体重約4 kg未満の個体に漁場水温把握に用いたのと同じ水温ロガーを装着し、日付、体重、性別、緯度経度の記録を行った後、合計103個体放流した。ロガーの装着はディスク型タグと同様にステンレス製針金で腕の基部に装着した。水温の記録間隔は1時間とし、分解能は漁場水温と同様に設定した。放流ミズダコが再捕された際の日付、体重、緯度経度などのデータの記録およびロガーの回収は漁業者が行った。

再捕後は各個体の水温ロガーから水温データを抽出した。また、放流点付近の漁場水温との類似や差異が顕著だった3個体について放流から再捕までの短期的な移動について検討した。具体的には、7月24日に水深40 m地点で放流された2個体（T1, T2; Table 1）の経験水温と水深40 mに設置されたロガーの海底水温、また、9月4日に水深69 mで放流された個体（T6）の経験水温と水深70 m地点の海底水温の時間的な推移や水温差を調べた。

結 果

ディスク型タグを装着して標識放流された未成熟ミズダコの概要

標識を装着し放流されたミズダコの平均体重は2.2 kgであり、体重4 kgを若干上回る個体もわずかに含まれていたが、多くは1–3 kgであった（Fig. 2a）。

放流に用いた小型ミズダコの漁獲水深とほぼ等しいと考

Table 1. Summary of giant octopuses on which temperature data logger was installed in 2013.

ID	Release			Recapture		Duration (days)	Exposed temperature	
	Date	Depth (m)	Weight (kg)	Date	Depth (m)		Mean	(Min.–Max.)
T1	24 July	40	3.4	31 July	55	8	13.7	(8.6–16.6)
T2	24 July	40	2.6	31 July	40	8	15.6	(10.1–16.6)
T3	24 July	50	3.0	31 July	55	8	14.4	(9.1–16.6)
T4	4 Sep.	65	3.6	9 Sep.	53	6	15.0	(11.1–18.1)
T5	9 Sep.	60	3.2	23 Sep.	47	15	18.0	(14.6–20.1)
T6	4 Sep.	69	3.6	23 Sep.	60	20	14.5	(10.1–19.2)
T7	7 Oct.	16	3.6	11 Oct.	14	5	16.6	(14.2–16.7)
T8	19 Oct.	53	3.9	21 Oct.	61	3	13.5	(10.1–15.7)

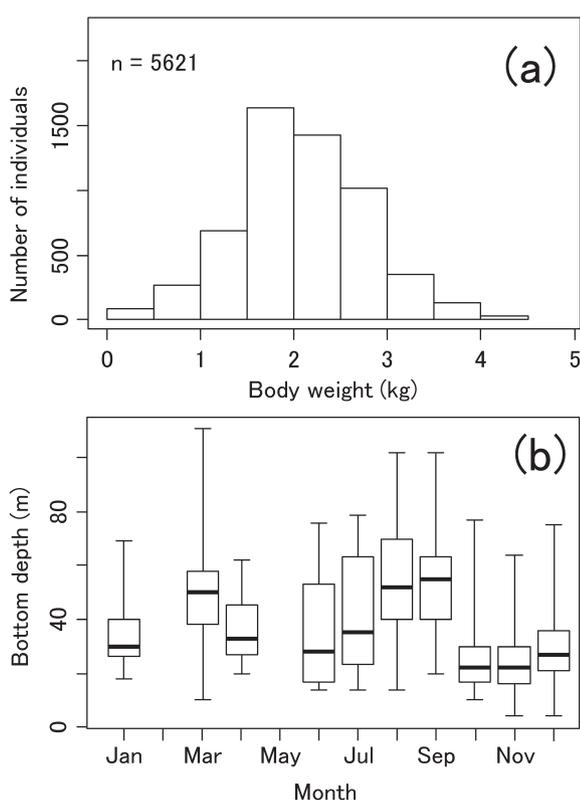


Figure 2. Disk tag experiment. Distribution of body weight of giant octopus at the time of release (a) and bottom depth of the location where they were caught, tagged, and released (b). The x-axis in panel (b) indicates month when they were released.

えられる放流地点の水深は、4–111 mの範囲にあり、いずれの月でも幅広い水深帯で小型ミズダコが漁獲されていたが (Fig. 2b)、8–9月の漁獲水深の25および75パーセント値は1–7月と比較すると深い水深帯に、10–12月の漁獲水深は浅い水深帯に偏っていた。なお、後述する季節的な深浅移動の解析は放流水深が30–60 mの個体に限定して解析した (材料と方法参照)。

Table 2. Number of recaptured giant octopus at each fishery cooperative (FC) and the relationship between FCs in which octopuses were released and recaptured.

Recapture FC	Number of recapture	FC in which octopuses were released			
		Same	Next	After next	Farther
Oumu	9	9			
Saruru	10	8	2		
Mombetsu	9	4	1	1	3
Yuibetsu	33	29	2	2	
Tokoro	151	134	4	11	2
Abashiri	30	25	5		
Total	242	209	14	14	5

未成熟ミズダコの海岸線に沿った方向の移動および移動距離

移動の解析に用いた242個体のうち1個体は網走管内の北に隣接する宗谷総合振興局管内の枝幸町沖で再捕されたが、その他はすべて網走管内で再捕された。また、放流された地区と同じ地区内で再捕される例が全体の86% (209個体) を占めていた (Table 2)。

ミズダコの移動距離の中央値は4.9 kmであった。また、全再捕個体の76% (184個体) の移動距離は10 km未満であり、移動距離が短い個体が多かった。一方で、全体の2.9% (7個体) と割合は低いものの40 kmを超える移動をみせた個体も存在し、最大の移動距離は82 kmであった。放流期間200日未満 (短期群) とそれ以上 (長期群) に分けた場合の40 kmを超える移動をしていた個体の全体に占める割合は、長期群で17.9% (28個体中5個体)、短期群で0.9% (214個体中2個体) であり、長期群のほうが割合は高かった。

季節的な深浅移動

3–4月に放流され6月に再捕された5個体のうち、3個体 (60%) は放流時とほぼ同じ水深 (水深差±5 m以内) で、

残り1個体ずつは放流時よりも浅いもしくは深い水深で再捕された (Fig. 3a). 同時期に放流され7月に再捕されたミズダコでは放流時よりも深い地点で再捕される割合が増え (45%, 53個体), 8-9月に再捕された個体ではその割合はさらに増加し (85%, 48個体), 放流時よりも浅い地点で再捕された個体の割合は2%であった. 一方で, 10-12月に再捕された8個体のうち, 再捕水深が放流時よりも深かった個体は2個体 (25%) で, 放流地点と同等か, それよりも浅い地点で再捕される割合が高かった.

7-9月に放流され, 9月までに再捕された個体は3個体全てが放流時よりも深い地点で再捕されていたのに対し, 10-12月に再捕された個体は3個体すべて放流時よりも浅い水深で再捕されていた (Fig. 3b). 10-12月に放流され12月までに再捕された個体はそれぞれ2個体ずつが放流地点よりも若干深い, もしくは若干浅い水深で再捕されていた (Fig. 3c).

成長

3-4月に放流され6-7月および8-9月に再捕された個体の日間成長量の頻度分布は類似していた (Fig. 4a, b). 両者とも範囲は5-55 $\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$ で, 最頻値が20-34 $\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$ にあるほぼ単峰型であった. 10-12月に再捕された個体の日間成長量は単峰型であったが, その範囲は25-59 $\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$ と, 6-9月再捕と比べて成長量大きいほうに組成が偏っていた (Fig. 4c). 7-9月, または10-12月に放流され, 年内もしくは翌年に再捕された未成熟ミズダコの日間成長量は, それぞれ1個体を除けば0-54 $\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$ および0-39 $\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$ の範囲にあり, それぞれ10-14 $\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$ および30-44 $\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$ 階級, 0-4 $\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$ および20-24 $\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$ に最頻値のある二峰型を示した (Fig. 4d, e). なお, それぞれのグループにおいて全放流個体の平均放流体重である2.2 kg (Fig. 2a) 以下とそれより大きい個体間で日間成長量を比較した結果, いず

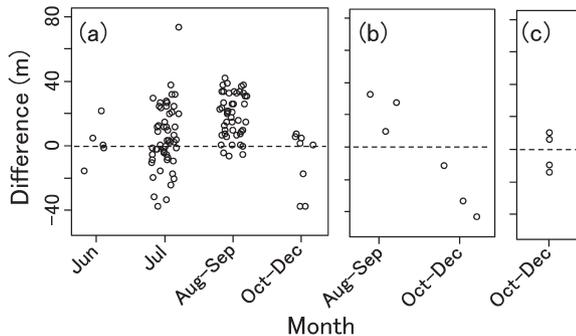


Figure 3. Disk tag experiment. Difference in depths of locations where each giant octopus was released and recaptured. (a), (b) and (c) show the results from the octopus released in March-April, July-September, and October-December, respectively. The x-axis indicates month when they were recaptured. Positive value indicates that the octopus was recaptured in deeper water than when released.

れも有意差はみられなかった (one-way ANOVA, $p>0.11$).

各月各旬の日間成長量の季節変化を Fig. 5 に示す. 3月上旬の日間成長量の中央値は $12.3 \text{ g}\cdot\text{day}^{-1} \pm 12.8$ で, それ以降は大きく増加し4月上旬には $29.4 \text{ g}\cdot\text{day}^{-1} \pm 10.6$ に, 8月中旬には $32.4 \text{ g}\cdot\text{day}^{-1} \pm 11.3$ に達した. その後の中央値は10月下旬まではほぼ横ばいであったが, それ以降では低下していき, 12月上旬には $18.5 \text{ g}\cdot\text{day}^{-1} \pm 15.6$, 翌年1月上旬には $7.5 \text{ g}\cdot\text{day}^{-1} \pm 8.2$ まで低下し, それ以降3月までは低い値でほぼ横ばいであった.

漁場水温

すべての地点において, 2013年9月3日および12月14日に急激かつ一時的な水温の低下がみられた (Fig. 6). また, 7月から9月にかけて, 浅場ほど水温が高い傾向があったが, 10月13日頃に水深間の水温差は急激に小さくなり, それ以降の水温は水深間の差は小さいまま低下し, 宗谷暖流の勢力が弱まる11月以降は浅場と深場で水温が逆転していた (Fig. 7). また, 水深20, 30, 40 m地点の, 水深50, 57, 60 m地点の, そして水深70, 80 m地点の漁場の海底水温の値や変化傾向はそれぞれ類似していた. 水深20-40 mでは, 8月中-下旬と9月中旬の2度, 水温は 20°C を超えて

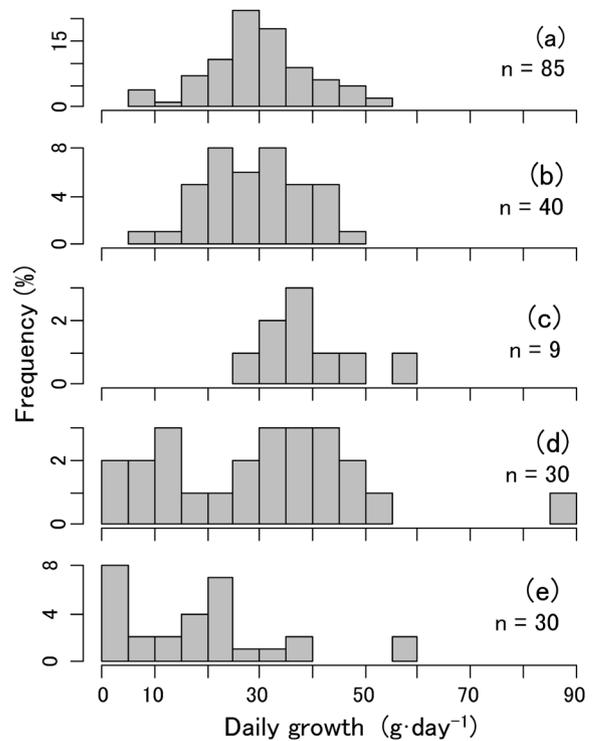


Figure 4. Disk tag experiment. Daily growth of giant octopuses released in March-April and recaptured in June-July (a), released in March and recaptured in August-September (b), and released in March and recaptured in October-November (c). (d) and (e) are those of octopuses released in July-September and recaptured at any time and in October-December and recaptured at any time, respectively.

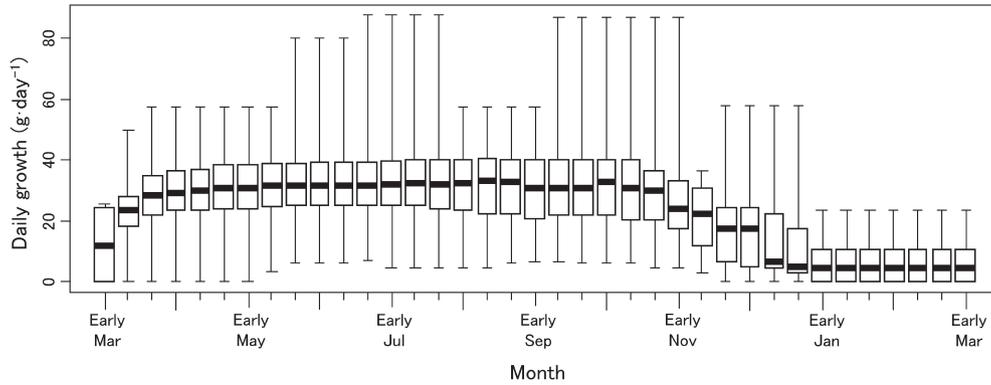


Figure 5. Disk tag experiment. Seasonal change in daily growth of giant octopus. Boxplots indicate median value (horizontal bars), 75 and 25 percentiles (upper and lower edges, respectively), and maximum and minimum values (upper and lower limits of vertical bars, respectively).

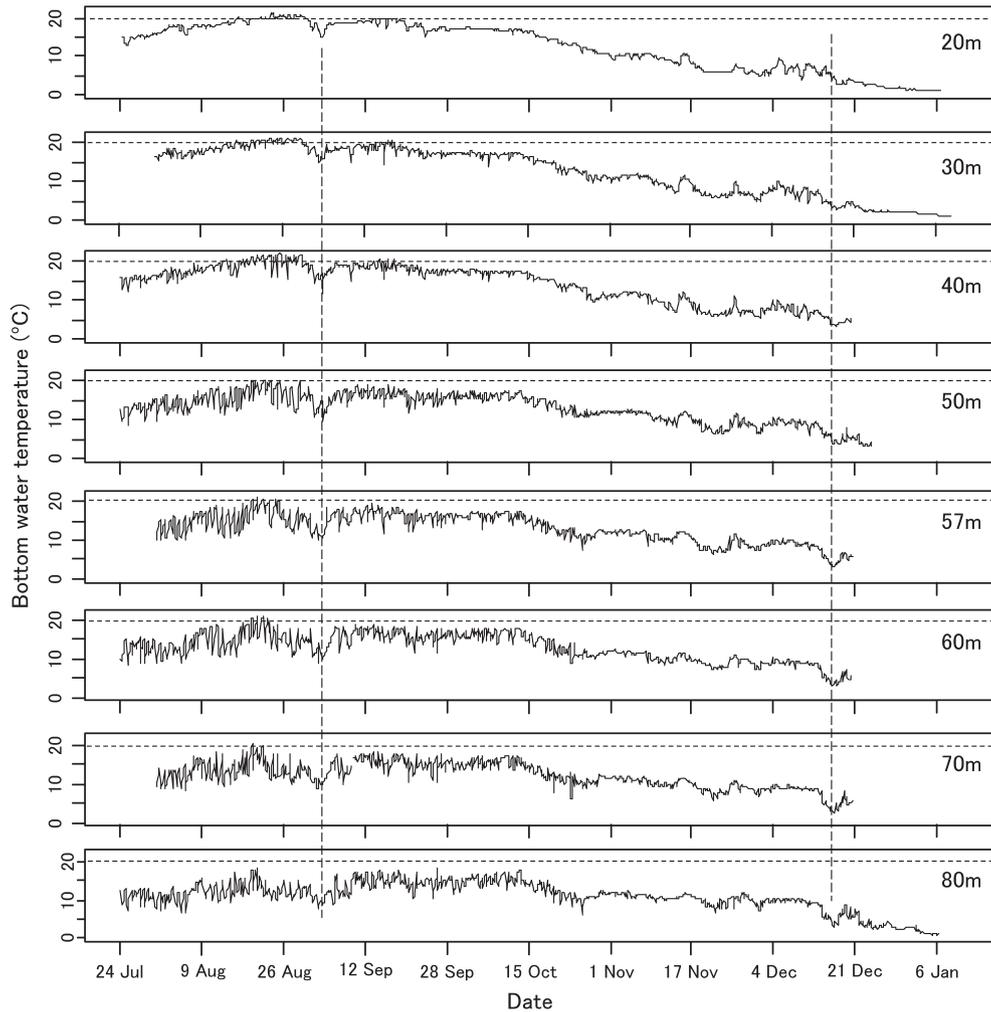


Figure 6. Bottom water temperature of octopus fishing ground off Notoro Cape, Abashiri from 24 July to 6 January, 2013. Horizontal dashed lines indicate 20°C; vertical dashed lines indicate 3 September and 14 December, when abrupt decline of water temperature was recorded.

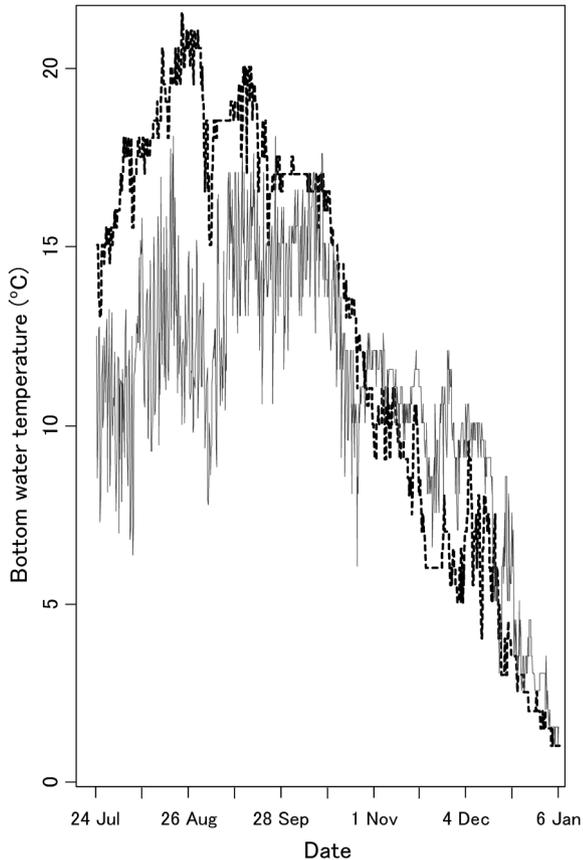


Figure 7. Bottom water temperature for stations of 20 m (dashed line) and 80 m (solid line) depth off Notoro Cape, Abashiri from 24 July to 6 January, 2013.

おり、最高水温は21.5–22.2°Cであった。水深50–70 mでは、8月中–下旬にかけて水温が20°Cを超え、最高水温はそれぞれ20.7, 21.1, 21.1, 20.6°Cであった。水深80 m地点では水温が20°Cを超えることはなかった。8–9月に得られた水温記録のうち20°C以上であったものの割合は、水深20–40 mでは18–21%、水深50–70 mでは0.5–2.7%であった。

漁場水温は1日のうちにも変動し、水深20–30 m地点の平均日間水温差（最高–最低）は0.8–0.7°Cであったのに対し、水深60–80 m地点では2.7–3.1°Cと深場ほど日間水温差が大きい傾向がみられた。また、水深20–30 m地点では顕著でないが、水深40 mより深場では10月中旬までのほうが、それ以降よりも日間水温差が大きかった。例えば、水深20 m地点の10月中旬までとそれ以降の平均日間水温差はともに0.8°Cであったのに対し、水深80 mではそれぞれ4.3°Cと1.9°Cであった。このような傾向はFig. 6の折れ線の振れ幅の水深間および時期の違ひからも読み取れる。

水温データロガーによる標識放流

放流した103個体のうち9個体が再捕されたが、そのうち1個体の水温ロガーは破損しておりデータが得られなかった。残り8個体のうち6個体は放流後3–8日で、2個体は放

流後15および20日後に再捕された (Table 1)。各個体の平均経験水温は13.5–18.0°Cの範囲にあり、最低水温は8.6–14.6°C、最高水温は16.6–20.1°Cの範囲にあった。

10月7日に水深19 m地点で放流され、11日に14 m地点で再捕された個体 (T7) の経験水温は、16.7°Cでほぼ一定であったが、その他の個体の経験水温は時間とともに変動していた。7月24日に水深40 m地点で放流され、ともに7月31日に再捕された3個体 (T1, T2, T3) の経験水温は、7月28日頃までは似た変動傾向を示していたが、7月28日以降ではT2の水温は約16°Cでほぼ一定であるのに対し、他の2個体の水温は時折大きく低下していた (Fig. 8)。9月4日に65 m地点で放流され、9月9日に水深53 m地点で採捕された個体 (T4) の経験水温は、11–18°Cの間で大きく変動していた (Fig. 8)。9月4日に放流され、9月23日に再捕されたT6の経験水温は1日の間で大きく変動しつつも、期間の後半ほど経験水温は高めに推移していた (9月4–15日および16–23日の平均経験水温、それぞれ13.5および16.2°C)。9月9日に水深60 mで放流され、9月23日に水深47 mで再捕された個体 (T5) の経験水温は、期間を通してみれば約18.0°Cでほぼ横ばいで推移しており、9月13–17日の間に数回、1–4時間という短い期間20.1°Cに達していた。10月19日に53 mで放流され、10月21日に水深61 mで再捕された個体 (T8) の経験水温は10.1°Cから15.7°Cの間で変動していた。

9月4日に水深69 mで放流されたT6の経験水温は9月4–8日と9月16–23日の間は放流水深に近い水深70 mの漁場海底水温とほぼ同等の水温を記録していたが、9月9–15日の間は漁場水温よりも低い水温を経験していた (Fig. 9a, b)。7月24日に水深40 m地点で放流され7月31日に同じ水深で再捕されたT2の経験水温は、放流期間を通じて水深40 mにおける海底水温とほぼ同様に变化していた (Fig. 9c, d)。一方で、同日に同地点で放流され、31日に55 mで再捕されたT1の経験水温はT2と比較すると、期間の前半と後半に40 m海底水温より低い水温を経験していた (Fig. 9e)。

考察

漁場水温の季節変化

本研究では、夏季から冬季における網走市能取岬沖のタコ箱漁場の海底水温を初めて把握することができ、浅場の海底水温は8–9月には20°Cを上回ることがわかった。北海道オホーツク海沿岸には宗谷暖流が海岸に密に接して、沖合水と混合することなく北西から南東方向に流れている (青田, 1975)。また、宗谷暖流の勢力には季節変動があり、その流量は晩秋–冬季に最小で、夏季に多い状態が継続する (松山ほか, 1999; Fukamachi et al., 2008)。したがって、本研究で明らかになった比較的浅い地点における夏季の昇温は、宗谷暖流の流下が主要な要因であると考えられる。

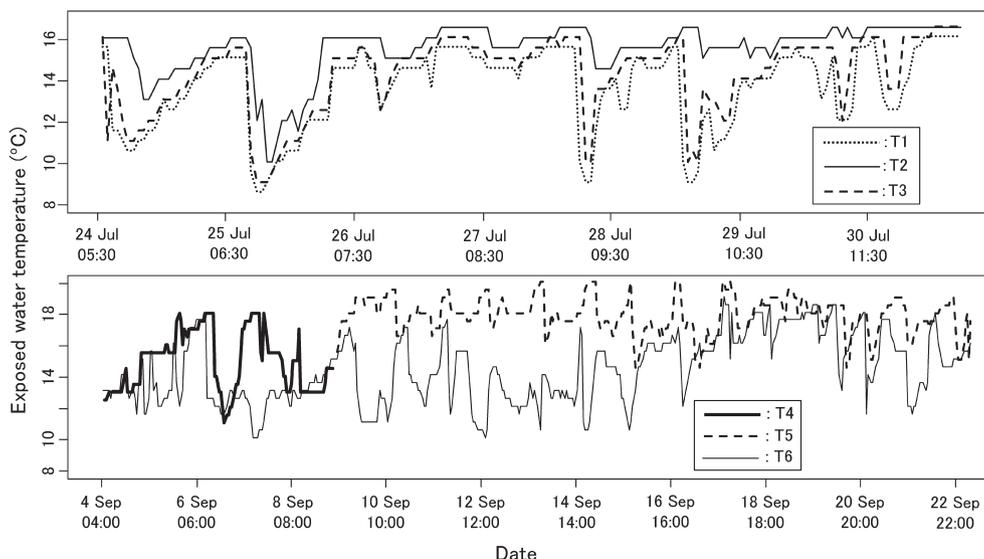


Figure 8. Data logger experiment. Exposed water temperature of recaptured octopuses. The data for 2 individuals (T7 and T8) were omitted.

観測期間中にはいくつかの特徴的な水温変化が観測された。具体的には、9月3日と12月14日には全地点で急激な水温変化がみられ (Fig. 6), 10月13日には地点間の夏季の水温差は突如解消されていた (Fig. 7). 10月と12月の水温変化がみられた日の前後には北海道周辺を強力な低気圧が通過しオホーツク海に抜けていたことから、これらの原因は低気圧通過に伴う時化による攪拌などの影響である可能性が考えられる (<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/hibiten/2013/1310.pdf>, <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/hibiten/2013/1312.pdf>, 2016年9月2日)。これらのことは、沿岸域の海底水温は、時化などによる大気からの影響を強く速やかに受けることを示唆している。一方で、9月3日の前後には上述のような大型の低気圧の北海道付近の通過はみられず、当時の急激な水温低下は低気圧通過の影響によるものではないと考えられ、本研究ではこの水温低下の要因は特定できなかった。

10月15日頃に地点間の水温差が解消されて以降、水温差は小さいまま、いずれの地点でも海底水温は低下していった。この水温の低下は、宗谷暖流の季節的な勢力の衰退と冬季の気温による冷却によるものと思われる。また10月中旬以降、それまで深場で顕著であった日間水温差が小さくなっていったが、この要因は不明である。

ディスク型標識放流再捕による当海域の未成熟ミズダコの成長

当海域の未成熟ミズダコの日間成長量には季節パターンが存在し、夏-秋季の日間成長量は高いが、11月以降低下していき、1月以降はほとんど成長していないことが示された。カナダのバンクーバー島周辺ではミズダコの日間成長量は1-6月には低く、7-12月には高いことが報告されてお

り (Robinson and Hartwick, 1986)、この傾向は本研究の結果と一致している。また、津軽海峡においてはミズダコの成長の個体差が非常に大きいことが報告されているが (野呂・桜井, 2012)、本研究でも成長に大きな個体差がみられた (Fig. 4)。

当海域の未成熟ミズダコの水平移動

全再捕個体の76%の移動距離は10.0 km以下であった。留萌海域ではミズダコの移動は深淺方向の移動が主であり、あまり大きな水平方向の移動はしないことが (金丸, 1964)、また津軽海峡海域では、海峡内の移動がほとんどであり海峡外への移動は稀であったことが報告されている (佐藤・依田, 1999)。一方で、本研究では数は少ないものの比較的長移動距離を行う個体がまれにみられた。北海道宗谷海峡および利尻・礼文島海域では、ミズダコの移動は放流地点から5マイル以内の移動が主であったが、本研究と同様に長距離移動を行う個体がわずかにみられたことが報告されている (福田・山下, 1978)。ただし、本研究の結果でも既存の知見でも長距離移動の個体の割合は低く、また本研究では放流された地区と同じ地区で再捕された個体が大部分を占めていたことから、未成熟ミズダコの水平方向の移動規模はさほど大きくないといえるだろう。

未成熟ミズダコの経験水温と深淺移動

ミズダコは一般的に16°Cより低い水温で分布が確認され、通常は7-15°Cの範囲に分布する (Hartwick, 1983)。また、野呂・桜井 (2012) は既往の知見を整理して、ミズダコの生息可能な上限水温は約15°Cと結論づけている。本研究では、すべての個体の最高経験水温が15°Cを超え、8個体中4個体の平均経験水温は15.0°C以上であった。したがって、オホーツク海沿岸の未成熟ミズダコの生息上限水温は

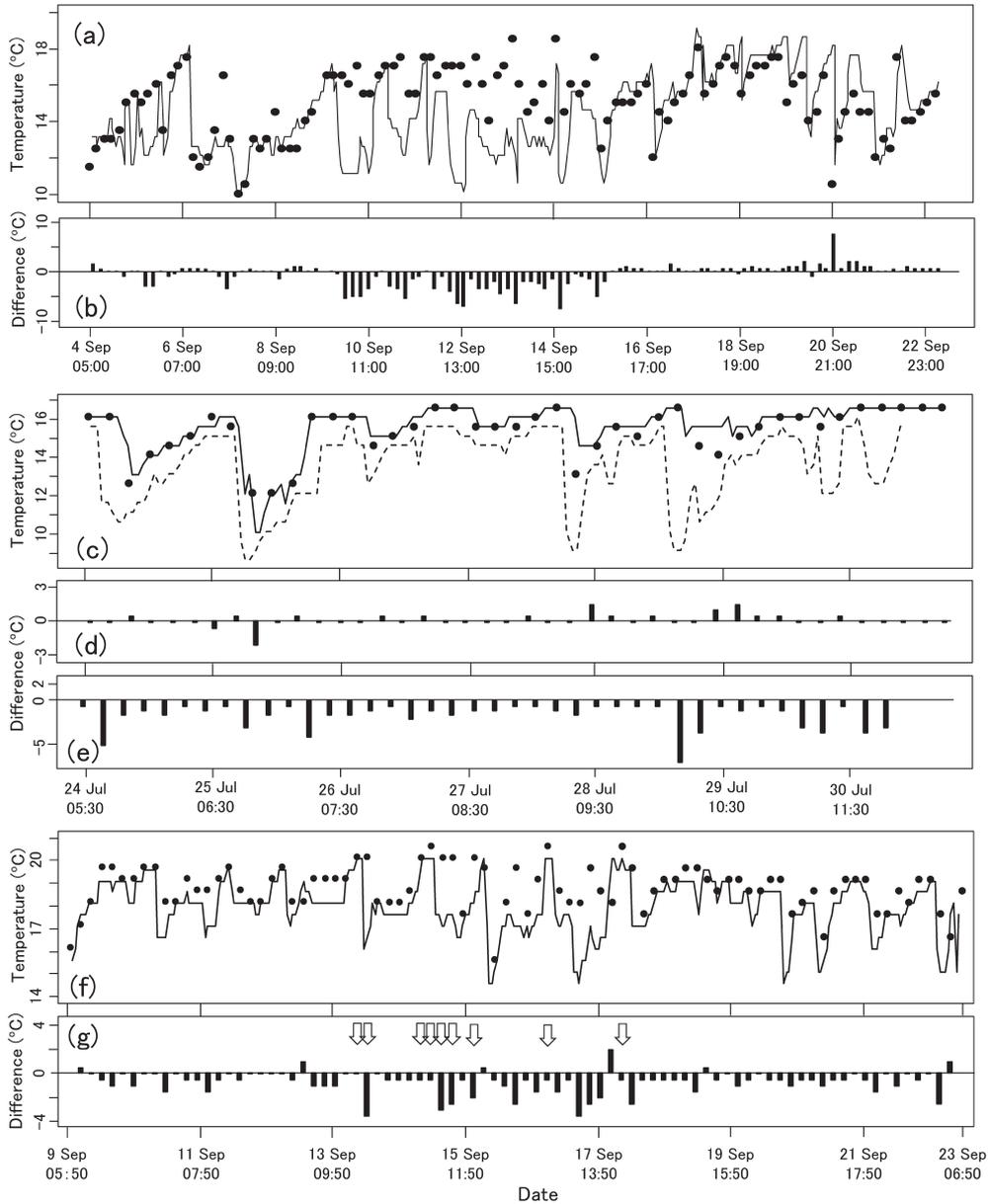


Figure 9. Data logger experiment. Relationship between exposed water temperature of recaptured octopus and water temperature of sea bottom near the octopus-release point. (a) Exposed temperature of T6 (solid line) and sea bottom temperature (70 m depth) (solid circles); (b) difference of exposed temperature from sea bottom temperature for T6; (c) exposed temperatures of T2 (solid line), T1 (dashed line), and sea bottom temperature (40 m depth) (solid circles); (d) and (e) differences of exposed temperature from sea bottom temperature for T2 and T1, respectively; (f) exposed temperature of T5 (solid line) and sea bottom temperature (40 m depth) (solid circles); (g) difference of exposed temperature from sea bottom temperature for T5. Vertical arrows in (g) indicate the timing when bottom temperature (40 m depth) exceeded 20°C.

既往の知見から認識されていた値よりも高いと考えられる。本研究で得られたミズダコの経験水温の最高値は20.1°Cで(T5), この個体は9月13-17日の夜間に数回, この温度を数時間ずつ経験していた (Fig. 9f)。この個体の経験水温と水深40 m地点の海底水温の差は後述する一部の期間を除いて小さく, この個体は多くの時間を水深40 mに近い

水深帯で過ごしていたと推測される。一方で, 経験水温が20°Cを超えていた時期では, 両水温の差がその前後と比べると大きな負の値であることが多く (Fig. 9g), この個体はこの期間は水深40 mよりも深場へ一時的に移動していた可能性が考えられる。以上のことを総合すると, 当海域の未成熟ミズダコは短い時間であれば20.1°Cまで経験す

ることが可能であるが、長時間経験することは好まない可能性が考えられる。一方で、同個体の経験水温が19°C台であった記録の全水温記録に占める割合は比較的高く、当海域の未成熟ミズダコは19°C台の水温であれば比較的長い時間経験することが可能なのかもしれない。

当海域では夏季には深場へ、そして晩秋季には浅場へといった季節的な深浅移動を行っている可能性が示唆された (Fig. 3)。夏季、当海域には宗谷暖流が海岸線に密に沿った形で強く流れており、本研究により浅場の海底水温は夏季に20°Cを超えることが明らかとなった。こういった浅場の夏季の高水温化は未成熟ミズダコの生息に適していない可能性が高く、本研究でみられた夏季の深場への移動は高水温環境を回避しているものと考えられた。北海道宗谷海峡、津軽海峡周辺、そして福島県沖太平洋沖でも、ミズダコは夏季に深場へ晩秋季に浅場へ移動を行うことが報告されており (石田・遠藤, 2003; 野呂・桜井, 2012; 佐野・坂東, 2015), いずれも夏季沿岸域の高水温化が移動の要因と考察されている。また、秋季に浅場へ移動することに関しては、水温が低下してミズダコの生息に好適になったことに加え、浅場の餌料環境が深場よりも好適である可能性が指摘されている (佐野・坂東, 2015)。

本研究は、比較的安価な水温ロガーでも環境水温と経験水温の両方を把握することで、未成熟ミズダコの短期的な移動を推測できる可能性を示した。例えば、T2の経験水温は放流地点に近い水深40 m地点の海底水温とほぼ同様の推移をしていたことから、放流期間中に大きな移動は行わなかったことが推察される。一方で、同時同所で放流されたT1の経験水温と同地点の海底水温との差は放流直後から常に比較的大きな負の値であった。当時の海底水温は浅場ほど高温であったことから、この個体は放流後早い時点で放流地点より深い海域に移動し、その後は40 mよりも浅い海域へは移動しなかったことが推察される。同様にT6については、一時期放流地点よりも深場へ移動したのちに、放流時とほぼ同じ水深帯に戻っていたことが推察される。最近バイオロギング・バイオテレメトリー手法が海中の動物の行動把握に活発に応用されており、ミズダコに関しても2例報告がある。米国アラスカ州沿岸域では、ミズダコは1日の大部分をほとんど動かさず過ごしており、行動のピークは真夜中から午前5時の間にあることが報告されている (Scheel and Bisson, 2012)。また、北海道函館市白尻地区においては、ミズダコが周囲に敷設された刺し網に羅網した魚類を捕食しようと短期的に浮上していたことが報告されている (Rigby and Sakurai, 2005)。今後は、北海道オホーツク海沿岸においてもこういった手法を用いた研究を行うことで、より詳細なミズダコの行動を解明することが可能となるであろう。

謝 辞

ディスク型タグによる標識放流の実施、データの提供を長年継続してこられた網走管内たこ漁業連絡協議会およびオホーツク総合振興局管内各漁協のタコ箱漁業者の皆様から敬意と感謝を表す。水温ロガーによる標識放流に協力していただいた網走漁協の吉田 透氏・本田洋平氏、調査時に乗船させていただいた第18清栄丸、第18三洋丸、第38興運丸、第38太平丸、第8能代丸をはじめとしたすべての網走漁協たこ箱部会の船長・乗組員各位に感謝する。解析手法や海洋環境の考察に重要な助言をいただいた稚内水産試験場鈴木祐太郎氏、中央水産試験場嶋田 宏氏および品田晃良博士に、また本研究の初期段階で貴重な議論や情報交換を行うことができた故ロビン・リグビー博士にも心から謝意を表す。また、多くの有益なコメントをいただいた2名の査読者にも心から謝意を表す。

引用文献

- 青田昌秋 (1975) 宗谷暖流の研究. 低温科学 物理篇, **33**, 151-172.
- Fukamachi, Y., I. Tanaka, K. I. Ohshima, N. Ebuchi, G. Mizuta, H. Yoshida, S. Yakayanagi and M. Wakatsuchi (2008) Volume transport of the Soya Warm Current revealed by bottom-mounted ADCP and ocean-radar measurement. *J. Oceanogr.*, **64**, 385-392.
- 福田敏光・山下 豊 (1978) 宗谷海峡・利礼海域に分布するミズダコについて. 北水試月報, **35**(3), 1-24.
- Hartwick, B. (1983) 17 *Octopus dofeini*. In: *Cephalopod life cycles Vol. 1*, ed. P. R. Boyle, Academic Press, London, UK, pp. 277-291.
- 石田敏則・遠藤克彦 (2003) 常磐海域におけるミズダコ及びヤナギダコについて. 福島県水産試験場研究報告, **11**, 27-48.
- 金丸信一 (1964) 留萌沿岸のタコの種類とミズダコの生活. 北水試月報, **21**, 189-210.
- 松山優治・青田昌秋・小笠原 勇・松山佐和 (1999) 宗谷暖流の季節変動. 海の研究, **8**, 333-338.
- 野呂恭成・桜井泰憲 (2012) 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, **60**, 429-443.
- Rigby, P. R. and Y. Sakurai (2005) Multidimensional tracking of giant Pacific octopuses in northern Japan reveals unexpected foraging behavior. *Mar. Tech. Soc. J.*, **39**, 64-67.
- Robinson, S. M. C. and E. B. Hartwick (1986) Analysis of growth based on tag-recapture of the Giant Pacific octopus *Octopus dofeini martini*. *J. Zool.*, **209**, 559-572.
- 佐野 稔・坂東忠男 (2015) 宗谷海峡におけるミズダコの季節的移動. 日本水産学会誌, **81**(1), 27-42.
- 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**(4), 616-624.
- 佐藤恭成・依田 孝 (1999) 津軽海峡域におけるミズダコの漁獲動向と移動回避について. 北水試研報, **56**, 119-124.
- Scheel, D., L. Bisson (2012) Movement patterns of giant Pacific octopuses, *Enteroctopus dofeini* (Wülker, 1910). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **416-417**, 21-31.