

北 水 試 研 報
Sci. Rep.
Hokkaido Fish. Res. Inst.

CODEN : HSSKAJ
ISSN : 2185-3290

北海道水産試験場研究報告

第 107 号

SCIENTIFIC REPORTS OF HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES No.107

北海道立総合研究機構水産研究本部

北海道余市町

2025年3月

Hokkaido Research Organization
Fisheries Research Department

Yoichi, Hokkaido, Japan

March, 2025

北海道立総合研究機構水産研究本部は次の機関をもって構成されており、北海道水産試験場研究報告は、これらの機関における研究業績を登載したものです。

In addition, the Fisheries Research Department of the Hokkaido Research Organization will now comprise the following seven local Fisheries Research Institutes. The study achievements of these institutes will be published in the “Scientific reports of Hokkaido Fisheries Research Institutes”.

**地方独立行政法人
北海道立総合研究機構
水産研究本部**

(Local Independent Administrative Agency
Hokkaido Research Organization
Fisheries Research Department)

中央水産試験場 (Central Fisheries Research Institute)	046-8555 余市郡余市町浜中町238 (Hamanaka-cho, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)
函館水産試験場 (Hakodate Fisheries Research Institute)	040-0051 函館市弁天町20-5 函館市国際水産・海洋総合研究センター内 (Benten-cho, Hakodate, Hokkaido 040-0051, Japan)
釧路水産試験場 (Kushiro Fisheries Research Institute)	085-0027 釧路市仲浜町4-25 (Nakahama-cho, Kushiro, Hokkaido 085-0027, Japan)
網走水産試験場 (Abashiri Fisheries Research Institute)	099-3119 網走市鱒浦1-1-1 (Masuura, Abashiri, Hokkaido 099-3119, Japan)
稚内水産試験場 (Wakkanai Fisheries Research Institute)	097-0001 稚内市末広4-5-15 (Suehiro, Wakkanai, Hokkaido 097-0001, Japan)
栽培水産試験場 (Mariculture Fisheries Research Institute)	051-0013 室蘭市舟見町1-156-3 (Funami-cho, Muroran, Hokkaido 051-0013, Japan)
さけます・内水面水産試験場 (Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute)	061-1433 恵庭市北柏木町3-373 (Kitakashiwagi-cho, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan)

北海道水産試験場研究報告

第107号

目 次

後藤陽子, 堀本高矩, 三谷曜子

北海道松前沿岸域に來遊するキタオットセイの食性

—漁業被害発生機序の解明にむけた基礎情報の収集…………… 1

中多章文, 田中伊織

北海道西岸日本海における対馬暖流の直接測流と暖流流量の再評価…………… 15

(2025年3月)

**SCIENTIFIC REPORTS
OF
HOKKAIDO FISHERIES RESEARCH INSTITUTES**

No.107

CONTENTS

YOKO GOTO, TAKANORI HORIMOTO and YOKO MITANI

Prey of northern fur seals off the coast of Matsumae, Hokkaido, Japan

— Toward understanding the dynamics of feeding ecology in relation to fisheries 1

AKIFUMI NAKATA and IORI TANAKA

Direct measurement and re-evaluation of volume transport of the Tsushima Warm Current off western

Hokkaido, Japan 15

(March, 2025)

北海道松前沿岸域に来遊するキタオットセイの食性 — 漁業被害発生機序の解明にむけた基礎情報の収集

後藤陽子^{*1,2}, 堀本高矩¹, 三谷曜子³

¹ 北海道立総合研究機構稚内水産試験場, ² 現所属: 北海道立総合研究機構水産研究本部,

³ 京都大学野生動物研究センター 海獣班

Prey of northern fur seals off the coast of Matsumae, Hokkaido, Japan
— Toward understanding the dynamics of feeding ecology in relation to fisheries

YOKO GOTO^{*1,2}, TAKANORI HORIMOTO¹ and YOKO MITANI³

¹ Wakkanai Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, *Wakkanai, Hokkaido 097-0001*,

² Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, *Yoichi, Hokkaido 046-8555*,

³ Ocean Mammal Team, Wildlife Research Center, Kyoto University, *Sakyo, Kyoto, Kyoto 606-8203, Japan*

The stomachs of northern fur seals *Callorhinus ursinus* ($n = 94$) captured off the coast of Matsumae, Hokkaido, Japan between 2011 and 2020 were examined to determine their prey. The results showed that fur seals mainly feed on Okhotsk atka mackerel *Pleurogrammus azonus*, rockfishes, and squids. These prey species are important targets of coastal fisheries in the spring. The estimated body and mantle lengths of these prey species almost matched the size of fishes in the commercial catch. This indicates that fur seals and commercial fisheries are using the same resources; therefore, fur seals are potentially susceptible to conflict with fisheries. However, during the migration of pelagic fishes such as anchovies and sardines, fur seals were observed to also feed on these prey species, which are not targeted by fisheries in the study area. The results highlight the importance of long-term monitoring to understand the dynamics of feeding ecology.

キーワード: *Callorhinus ursinus*, キタオットセイ, 食性, ホッケ, 松前沿岸域

キタオットセイ *Callorhinus ursinus* (以下オットセイ) はカリフォルニア州南部から北はベーリング海, 西はオホーツク海と日本の本州まで広く生息している (NMFS, 2023)。夏の繁殖期には, ベーリング海のプリビロフ諸島で繁殖し, ほかにロシア, ベーリング海南部のボゴスロフ島, 南カリフォルニア沖のサンミゲル島で繁殖する (Gentry, 1997; Gelatt *et al.*, 2015)。

本種はこれまで三陸沖や道東太平洋沖など太平洋側の沖合海域での発見例が多かったが, 2000年代以降は北海道から東北地方にかけての日本海側での来遊増加が報告されており, 沖合だけでなく沿岸域での発見も多くなっている (堀本ら, 2012; Horimoto *et al.*, 2016)。オットセイの来遊増加とともに, 北海道道央から道南にかけての日本海側沿岸ではオットセイによる漁業被害も増加し,

2011年には4億円を超えた (北海道オープンデータ CC-BY4.0; 小林ら, 2011)。地元漁業者らへの聞き取り調査によれば, オットセイは通常沖合に分布することから, 1960年代頃は沖合の日本海さけます流し網などで漁具被害が報告されていたが, 当時は沿岸漁業との摩擦が問題になることは少なかったとされる (後藤, 2020)。その後, 日本海さけます流し網漁業の衰退・終了に伴い, オットセイの沖合での漁獲物略取手段が途絶えたことにより, 沿岸での漁業被害が増加したと考えられている (後藤, 2020)。例えば, 2000年代初頭~2015年頃の檜山管内では水深200~400mの陸棚斜面域で行われるスケトウダラ延縄漁業の縄回収時に, オットセイが船に付きまとうといった被害報告があった (函館水産試験場未発表データ, 私信)。

報文番号 A639 (2024年10月28日受理)

*Tel: 0135-23-8707. Fax: 0135-23-8720. E-mail: goto-yoko@hro.or.jp

漁業被害の実態把握や被害対策には、加害生物とされるオットセイの来遊状況や北海道における摂餌生態の解明が喫緊の課題である(後藤, 2020)。2000年以降の沿岸漁業での被害増加は、オットセイの分布様式の変化や来遊数の増加(堀本ら, 2012; Horimoto *et al.*, 2016)によるものと推察されるが、被害発生の機序は明らかではない。また、被害問題が顕在化している北海道日本海沿岸における本種の知見は少なく、餌料についても明らかにされていない。

オットセイの日本近海の太平洋側(三陸沖・千葉沖)での餌は、魚類(スケトウダラ *Gadus chalcogrammus*, ハダカイワシ類, マイワシ *Sardinops melanostictus* など)やイカ類(スルメイカ *Todarodes pacificus*, ドスイカ *Berryteuthis magister* など)とされている(和田, 1971; Mori *et al.*, 2001)。また道東太平洋では、定置網混獲個体の胃内容物分析から、スケトウダラやスルメイカが主要餌生物として報告されている(堀本, 2015)ほか、千島列島の繁殖場周辺海域において収集された糞からはキタノホッケ *Pleurogrammus monoptyerygius*, サケ類およびイカ類が主要餌生物として出現している(Waite *et al.*, 2012)。本種の食性に関する既往の知見から、本種は日和見捕食者 *opportunistic feeder* とされ、分布域や魚種交代などの餌生物環境の変化に応じて餌をスイッチさせることが明らかとなっている(Kajimura, 1984; Zeppelin and Orr, 2010; Call and Ream, 2012)。Yonezaki *et al.* (2008)は、三陸沖の調査結果から、マサバ *Scomber japonicus* の資源量が豊富であった1970年代はオットセイはそれらを主要餌生物とし、マイワシ資源量が豊富であった1980年代にはマイワシを主要餌生物とするというように、魚種交代に対応して餌生物を切り替えていたことを明らかにした。このような動態を明らかにするためにも、動物の食性解析は長期的な視点にたったモニタリングが重要であると考えられている(辻・高槻, 2008)。

日本海側における本種の食性について、本州ではイカ類やスケトウダラが餌として利用されていたことが報告されているもの(北太平洋おっとせい委員会, 1971; 1975; 1980)、以来数十年以上調査が行われておらず、また沿岸域における食性調査の結果は乏しい。津軽海峡周辺海域で刺し網に混獲された、または死亡して漂着したオットセイの胃内容物からは、イカナゴ *Ammodytes japonicus*, ヤリイカ *Heterololigo bleekeri* およびホッケ *Pleurogrammus azonus* などが見られたと報告されている(堀本, 2015)。本研究では、道南日本海に位置する松前町沿岸域において得られたオットセイの食性解析を行い、漁獲対象種を中心に餌生物の利用様式を明らかにした。

資料及び方法

標本と分析 北海道松前沿岸域において、2011~2013年および2015~2020年の2~6月に合計94個体のオットセイを捕獲し、胃内容物を収集した(Table 1)。これらのオットセイ標本は水産庁より特別採捕の許可を得て北海道(2011~2013年)および北海道立総合研究機構(2015~2020年)により収集された。採捕海域はFig. 1に示した。いずれも沿岸の港から松前小島の間の海域および松前小島で銃により捕獲(採捕)された。採捕活動に従事した松前さくら漁業協同組合による操業日誌より、採捕時刻のデータを使用した。採捕活動は概ね朝9時頃出港し夕方16時ごろに帰港する間に行われた。

採捕個体の体長を0.1 cm単位まで、体重を0.1 kg単位まで計測し、性判別ののち、胃の噴門部と幽門部を中身が出ないように縛り摘出した。摘出した胃は分析時まで冷凍保存とした。胃を解凍後、胃内容物を含む全体の胃重量から、胃壁重量を除いた値を胃内容物重量とした。各重量は全て0.1 g単位まで計量した。胃内容物は10%中性ホルマリンまたは70%エタノールにて1次固定し、分析に供した。その際、胃内容物の消化段階を加藤(1978)に従い、I:未消化(摂餌直後)、II:やや消化、III:消化により餌の肉と骨は分かれている、IV:消化(骨や耳石のみ)、V:空胃の5段階に分け記録した。ホルマリン溶液による耳石の溶解を最小限とするため1日を限度として固定し、その後内容物を水道水により洗浄した。流水

Table 1 Total number of stomachs of northern fur seals by body weight (BW) class collected off the coast of Matsumae, Hokkaido, Japan, during the periods 2011–2013 and 2015–2020
Numbers in parentheses indicate the number of empty or almost empty stomachs.

Year	Month	BW (kg)	Male			Female	Total
			≤ 50	51 - 99	≥ 100	14 - 57	
2011	Feb.			1			1
	May			1			5
2012	Feb.				1		1
	Mar.				3		3
	Apr.		2 (2)	1	1		4 (2)
	May		1 (1)		6	1 (1)	8 (2)
2013	Mar.				2		2
	May				14 (3)		17 (3)
2015	Apr.		2	1			3
	May		2	1			6
	Jun.				3	1 (1)	4 (1)
2016	Apr.				1	1	2
	May		2 (1)		4		6 (1)
2017	May		1 (1)	1	5 (1)	1 (1)	8 (3)
	Jun.				2		2
2018	Apr.			1			1
	Jun.				2 (1)		2 (1)
2019	Apr.		1	1	1		3
	May		3		1	1 (1)	5 (1)
2020	Apr.				1		1
	May				8 (1)		10 (1)

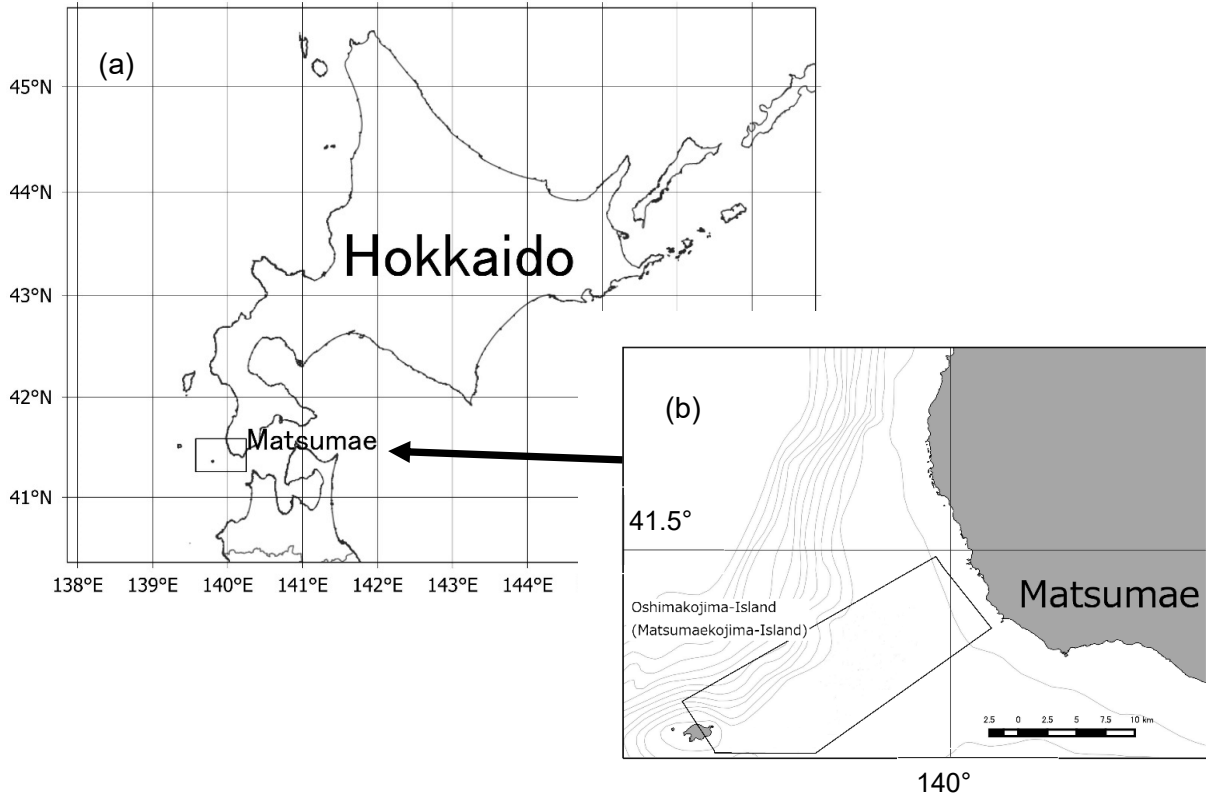


Fig. 1 (a) Map of Matsumae, Hokkaido, Japan. (b) Location of the study and capture (box) areas in Matsumae.

にて胃内容物を 8 mm, 4 mm, 1 mm (または 2 mm) 目合いの篩 (ふるい) にて選別し, 残渣の湿重量を測定した。消化されずに出現した餌種については, 標準体長または外套背長および重量を 1 尾ごとに測定した。また, 消化が進んでいた胃内容物については, 各部の骨, 筋肉, 耳石, タラ科魚類の下鰓蓋骨, 頭足類の顎板, 目玉, 残渣などに分類し, それぞれの湿重量を記録した。餌料以外の寄生虫や採捕時に逆流したとみられる血餅, 砂などについては, 重量を記載し以降の解析からは除外した。胃内容物中の未消化の魚類は松原 (1955) に従い, 可能な限り種まで同定した。頭足類の顎板, 魚類の骨及び耳石については, 稚内水産試験場所蔵リファレンスコレクションおよびウェブに公開されているデータベース「頭足類の顎板による種査定に関するマニュアル」(窪寺ら, 2005) に従い可能な限り下位の分類群まで同定した。

各餌の出現頻度 (Frequency of Occurrence: FO%) は調査年別に, (その餌が出現した胃数 / 空胃を除く全胃数) $\times 100$ (%) で表した。

各餌の重量は, 種が同定された未消化の魚類の骨, 頭足類の筋肉を計量し調査年別に算出した。なお, 消化により実重量が測定できなかった各餌生物の重量は, Goto and Shimazaki (1998) に準じて各餌生物の出現尾数をもとに按分により各餌生物の重量として算出した。従来海

生哺乳類の胃内容物分析には, 復元胃内容物重量 (reconstructed stomach contents weight) が解析に用いられる (Tollit *et al.*, 2010)。しかし, 本研究に使用した標本個体の体重は, 最小 10.7 kg ~ 最大 242 kg と差が大きいことから, 一度の摂餌量にも大きな差が生じることが考えられる。そこで標本サイズ差によるバイアスを除くため, 各餌生物重量による重要性の評価は Goto *et al.* (2017) に従い, 各年各餌カテゴリーの相対重量組成 (Gravimetric composition: G) により評価した。G 値は次式により求めた値に 100 を乗じ, 百分率表記 (G%) とした。

$$G_{y,k} = \sum_{i=1}^{ny} (W_{iyk} / \sum_{k=1}^{11} W_{iyk}) / n_y$$

y : 標本採集年 i : 各サンプル k : 餌カテゴリー W : 餌生物重量 (0.1 g まで計量) n : 標本数 餌生物は同定された餌種をもとに, 11 種類 (カタクチイワシ *Engraulis japonicus*, マイワシ, マダラ *Gadus macrocephalus*, スケトウダラ, メバル属魚類 *Sebastes* spp., ホッケ, その他魚類 (同定不可能種含む), ヤリイカ, スルメイカ, その他イカ類 (ジンドウイカ *Loliolus japonica*, ドスイカ, 種不明イカ), えび類) に区分した。

餌生物体サイズ推定 摂餌サイズの推定に用いた関係式は以下の通りである。

ヤリイカ: 2013年4月に松前沿岸においていか釣りにより漁獲されたヤリイカ標本98尾の顎板嘴刃長 (Lower Rostrum Length; LRL, mm) と外套長 (Mantle Length; ML, mm) の関係式を作成した ($r^2 = 0.76$)。

$$ML = 118.01 \text{ LRL} + 6.3509$$

また、標本の外套長測定結果は、松前さくら漁業協同組合による月別銘柄別漁獲量を用いて引き延ばし、漁獲物外套長組成を作成した。

$$\text{スルメイカ: } ML = 37.44 \text{ LRL} + 18.53 \text{ (Clarke, 1986)}$$

ホッケ: 函館水試所有の松前沿岸で刺し網により漁獲されたホッケ179尾の耳石長 (Otolith Length; OL, mm) と体長 (Standard Length; SL, mm) から関係式を作成した ($r^2 = 0.15$)。

$$SL = 14.862 \text{ OL} + 227.37$$

解析 成長段階別の食性について検討するため、オットセイオス標本の体重を階級別に51 kg未満、51 kg以上100 kg未満および100 kg以上に3区分した。それぞれ既往の知見 (Baker *et al.*, 1994) および採捕個体の性状態を参考に幼獣・亜成獣・成獣となるよう区分した。体重未計測個体は全て大型個体であったため100 kg以上に区分した。

解析には適宜エクセル多変量解析、エクセル統計 (ともにエスミ, 東京) を使用した。

結果

出現餌生物の頻度と割合 総サンプルのうち完全な空胃は8個体 (消化段階 V)、餌生物の痕跡のみ残存していた消化胃 (消化段階 IV) は7個体であった (Table 2)。これらの標本は以降の解析から除外した。胃内容物重量は0.1~16.6 kgの範囲で、平均5.1 kgであった。また、空胃、消化個体および体重未計測個体を除いた胃内容物重量の体重に対する割合 (Stomach Contents Index: SCI) の平均値は $3.6\% \pm 2.6 \text{ S.D.}$ (最大13.3%; $n = 66$) であった。

調査年別の相対重量組成 (G%) では、2017年および2018年を除いてホッケが最も高い割合を占めていた (Fig. 2)。2015年以降、マダラおよびスケトウダラのG%に占める割合が増加していたが、2019年は両種とも出現せず、2020年はマダラの痕跡のみがみられた。イカ類では2012年はヤリイカのG%の値が最も高かったが、2013年はヤリイカの出現はほとんどなく、スルメイカのFO%およびG%の値が高かった (Table 2, Fig. 2)。2011年および2013年を除いて2016年までは、ヤリイカは比較的主要な餌生物となっていたが、2017年以降はほとんど摂餌されていなかった。また、スルメイカについては2011年を除き2019年までは28.6~100%の出現頻度で毎年摂餌されていたが、2020年の標本からは出現しなかった (Table 2)。

Table 2 Frequency of occurrence (FO%) of prey species in stomachs of northern fur seals collected off the coast of Matsumae, Hokkaido, Japan, during the periods 2011–2013 and 2015–2020. The name in parentheses indicates that the name listed in international databases (e.g., FishBase, WoRMS, SeaLifeBase) differs from the name used domestically.

Prey item		Sampling Year								
		2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Japanese anchovy	<i>Engraulis japonicus</i>	66.7		37.5						
South American pilchard (Japanese sardine)	<i>Sardinops sagax</i> (<i>Sardinops melanostictus</i>)			12.5	33.3	14.3		100		20
Pacific cod	<i>Gadus macrocephalus</i>		8.3		41.7	42.9	85.7	50		30
Alaska pollock (Walleye pollock)	<i>Gadus chalcogrammus</i>	33.3		6.3	25.0	14.3	42.9	50		
Unidentified cod	Gadidae spp.			6.3						
Oweston sting fish	<i>Sebastes owstoni</i>					14.3	71.4		14.3	10
Yellow body rockfish	<i>Sebastes steindachneri</i>		8.3							
Unidentified rockfish	<i>Sabastes</i> spp.	66.7	25.0	50.0	75.0		14.3	50	42.9	50
Okhotsk atka mackerel (Arabesque greenling)	<i>Pleurogrammus azonus</i>	83.3	83.3	75.0	58.3	57.1	57.1	50	85.7	90
Unidentified prickleback	Stichaeidae spp.		8.3							
Unidentified fishes		16.7	16.7	12.5		28.6			14.3	
Spear squid	<i>Heterololigo bleekeri</i>		25.0	12.5	16.7	57.1	14.3	50		10
Japanese squid	<i>Loliolus japonica</i>		16.7				14.3			
Magister armhook squid	<i>Beryteuthis magister</i>	33.3	8.3	25.0	16.7	14.3	85.7		14.3	10
Japanese flying squid	<i>Todarodes pacificus</i>		33.3	62.5	100	42.9	28.6	100	42.9	
Chiroteuthid squid	<i>Chiroteuthis picteti</i>					14.3				
Unidentified squids		16.7	25.0	6.3	33.3	28.6	71.4			
Unidentified crustaceans					8.3	14.3				

FishBase: <https://www.fishbase.se/search.php> (Accessed: September 30, 2024)

WoRMS: <https://www.marinespecies.org/index.php> (Accessed: September 30, 2024)

SeaLifeBase: <https://www.sealifebase.ca/search.php> (Accessed: September 30, 2024)

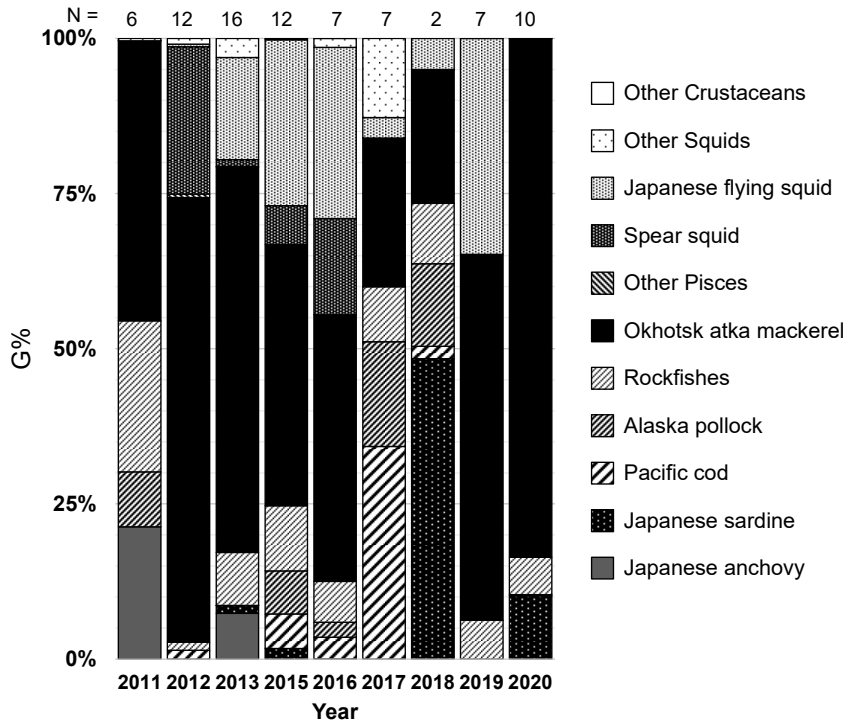


Fig. 2 Annual changes in the gravimetric composition (G%) of prey types present in the stomach contents of northern fur seals. The number on each bar shows the number of samples, except empty stomachs.

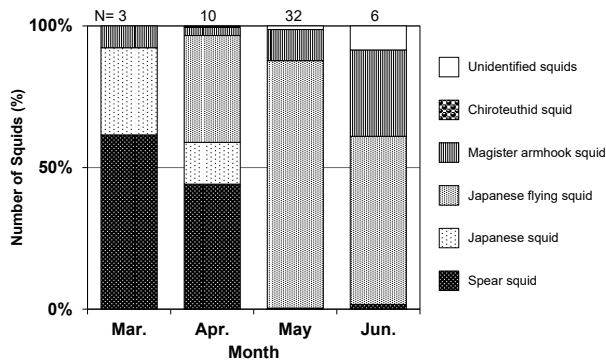


Fig. 3 Monthly changes in the number of squids found in the stomach contents of northern fur seals. Data are pooled for all research years. The number on each bar shows the number of samples including squids.

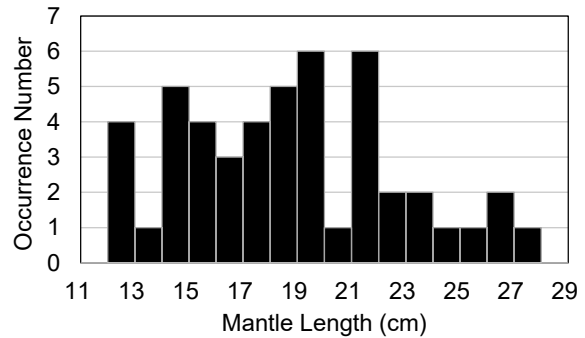


Fig. 4 Mantle length composition of undigested spear squid found in the stomach contents of northern fur seals.

多くの胃内容物中のイカ類は消化が進んでおり、正確な摂餌重量の把握は困難であった。そこで、出現顎板数を摂餌尾数の指標とし、標本の採捕月別にイカ類の出現尾数の種別割合をみると、3月および4月はヤリイカの割合が高かったが、5月および6月にはスルメイカの割合が高かった (Fig. 3)。

その他に比較的沖合に生息するハツメ *Sebastes owstoni* のFO%も高かった。また、カタクチイワシやマイワシのような多獲性浮魚類や、ヤナギノマイ *Sebastes steindachneri* や他のメバル属魚類 (ハツメを除く) のよう

な沿岸性底魚類のFO%も高かった (Table 2)。

胃内容物中に漁網 (刺し網) や釣り針が確認された個体 (刺し網: $n = 1$; 釣り針: $n = 2$) があつた。刺し網の目合は79 mmで、松前地先においてメバル属魚類とホッケを漁獲対象とする「がや・ほっけ刺し網」に使用される目合と一致していた。

摂餌サイズ 2012年に得られた標本からは未消化のヤリイカが多数出現した。これらのヤリイカの外套長組成は12~28 cm台の範囲で、複数のモードを持つ多峰型を示した (Fig. 4)。また、2012年および2016年に得られた

胃内容物のヤリイカ顎板について, 嘴刃長と外套長との関係式より推定した外套長組成は, 13~34 cm 台の範囲であった (Fig. 5)。いずれの年も複数のモードがみられる多峰型を示した。松前沖において2013年4月に漁獲されたヤリイカの外套長組成は, 14~31 cm 台の範囲にあり, 19 cm 台, 22 cm 台および28 cm 台にモードがみられた (Fig. 6)。これらのヤリイカ推定外套長組成と漁獲物組成は統計的に有意に異なるものの, 範囲は類似していた(コルモゴロフ・スミルノフ検定, $\chi^2 = 25.13, p < 0.001$)。

2012~2019年に得られた胃内容物にみられたスルメイカ顎板から同様に求めた推定外套長は6~21 cm 台の

範囲にあり, 2012年および2013年のモードは14 cm 台であったが, 2015年以降では8~9 cm 台にモードがあり小型の個体が摂餌されていた (Fig. 7)。

胃内容物中にみられたホッケ推定体長組成は, 25~32 cm 台の範囲にあり, モードは年により異なったが, 概ね29~30 cm 台にみられた (Fig. 8)。2020年標本からは多数のホッケ耳石が出現したが, これらの体長組成は26~30 cm 台の範囲にあり, モードは27 cm 台で他の年よりも小型の個体が多く摂餌されていた (Fig. 8)。

成長段階別の食性 オットセイオス標本の体重階級別みたG%は, 51 kg 未満の個体ではスルメイカが多くを

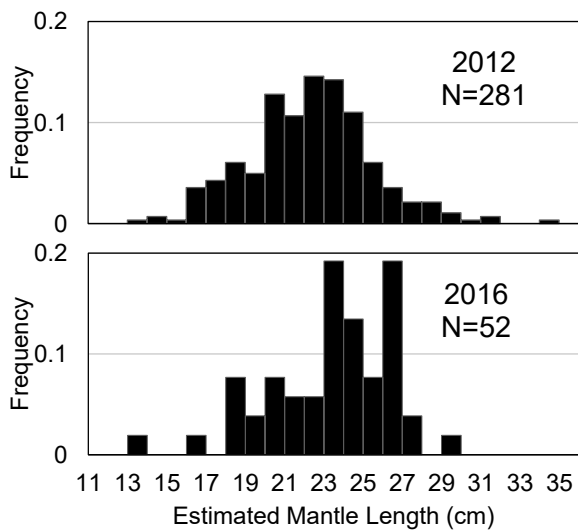


Fig. 5 Frequencies of estimated dorsal mantle length of spear squids present in the stomach contents of northern fur seals by sampling year. Only sampling years in which a total of 52 or more beaks were present in the stomach contents are shown.

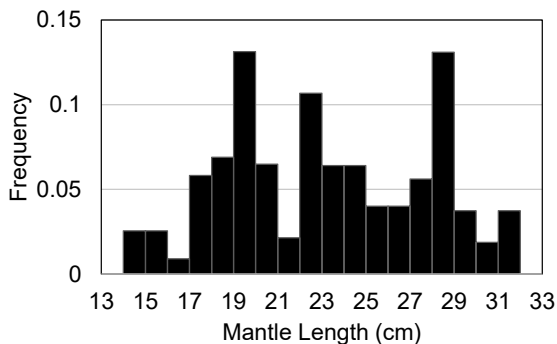


Fig. 6 Frequency distribution of dorsal mantle length of spear squids caught off the coast of Matsumae, Hokkaido, Japan in April 2013.

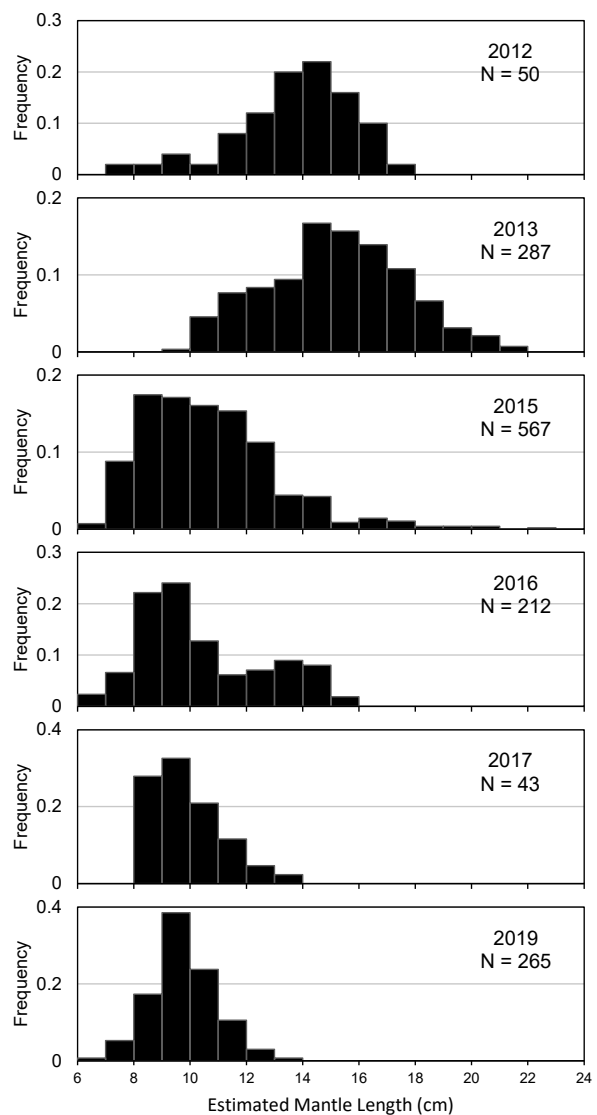


Fig. 7 Frequencies of estimated dorsal mantle length of Japanese flying squids present in the stomach contents of northern fur seals by sampling year. Only sampling years in which a total of 43 or more beaks were present in the stomach contents are shown.

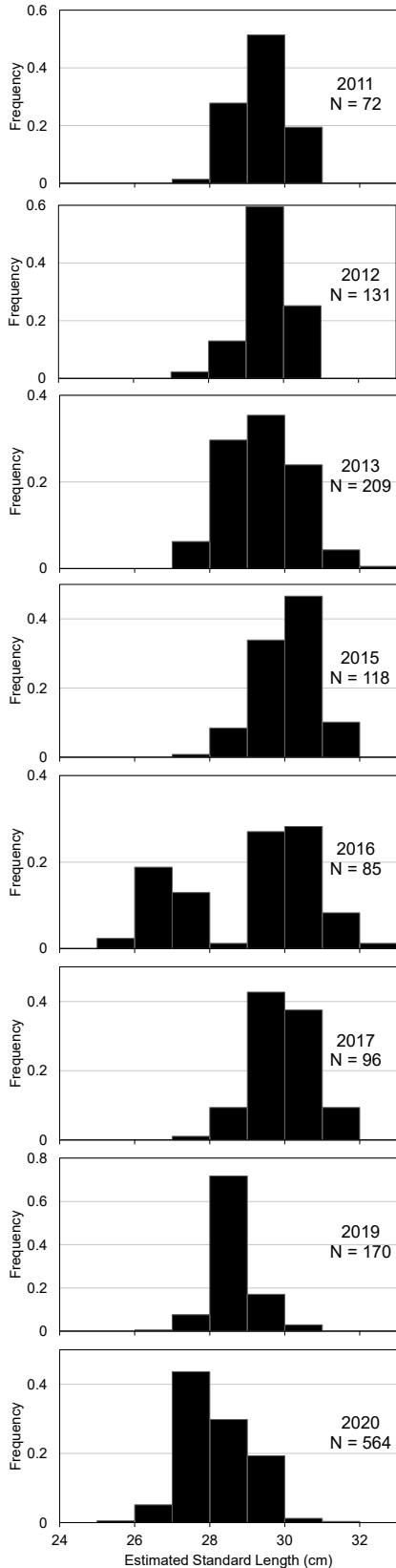


Fig.8 Frequencies of estimated body length of Okhotsk atka mackerels present in the stomach contents of northern fur seals. Only sampling years in which a total of 72 or more beaks were present in the stomach contents are shown.

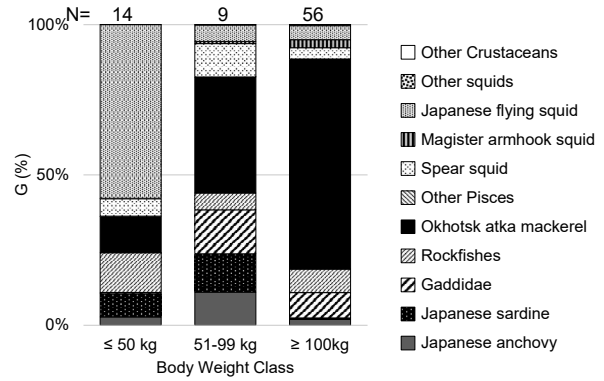


Fig.9 Gravimetric composition (G%) of prey types present in the stomach contents of northern fur seals by body weight class. Fur seal body weight was categorized as follows: a) ≤ 50 kg, b) 51–99 kg, c) ≥ 100 kg. The number on each bar shows the number of samples. Data are pooled for all research years.

Table 3. Frequency of occurrence (FO%) of Japanese flying squid (JFS) and Okhotsk atka mackerel (OAM) in the stomach contents of northern fur seals (NFS) by weight class. Data are pooled for all research years.

NFS weight class (kg)		≤ 50	51-99	≥ 100
Number of samples		15	9	56
FO%	JFS	80.0	44.4	37.5
	OAM	20.0	66.7	87.5

占めるのに対し、100 kg 以上の個体ではホッケが多くを占めた (Fig. 9)。各階級別にみたスルメイカおよびホッケの FO% は、51 kg 未満の階級と 100 kg 以上の階級間に有意差が認められた (スルメイカ : $p < 0.001$, クラメールの連関係数 $v = 0.364$, ホッケ : $p < 0.001$, クラメールの連関係数 $v = 0.566$, Bonferroni 法, Table 3)。2018 年までの結果では、51 kg 未満の個体からホッケは全く出現しなかったが、2019 年以降の標本から出現していた (Fig. 10)。

捕獲時間帯別の消化段階 捕獲時間帯別に各標本の消化段階を区分したところ、ほぼいずれの時間帯においても空胃および摂餌直後の個体がみられた (Fig. 11)。また、捕獲時間帯を説明変数とし、標本の消化段階を従属変数とした多項ロジスティック解析を試みたが、有意なモデルは選択されなかった ($n = 94, p = 0.88$)。

消化段階 I および II の標本にみられた主要餌生物のうち、ホッケは比較的未消化で出現した胃標本数が多かったが、これらはいずれの時間帯にもみられた (Fig. 12)。その他の餌種についても捕獲時間帯との関連は見いだせなかった (Fig. 12)。

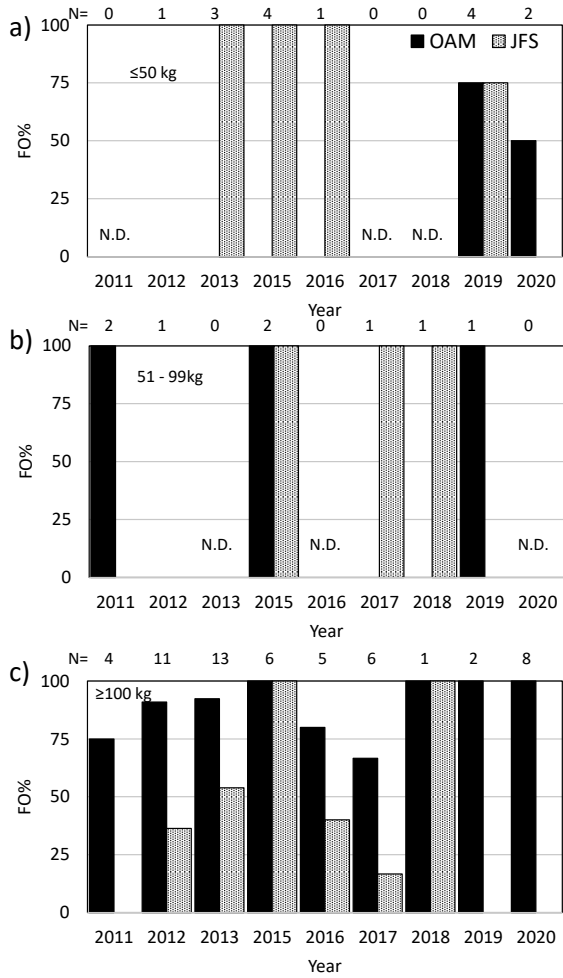


Fig. 10 Frequency of occurrence (FO%) of Okhotsk atka mackerel (OAM) and Japanese flying squid (JFS) in the stomach contents of northern fur seals by sampling year. Data shown by fur seal body weight class: a) ≤ 51 kg, b) 51–99 kg, c) ≥ 100 kg. The number on each bar shows the number of samples. N.D. indicates no samples.

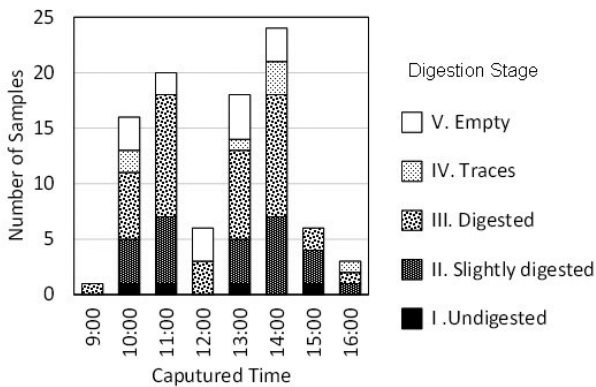


Fig. 11 Number of samples of the stomach contents of northern fur seals by digestion stage (I–V). Data are pooled for all research years.

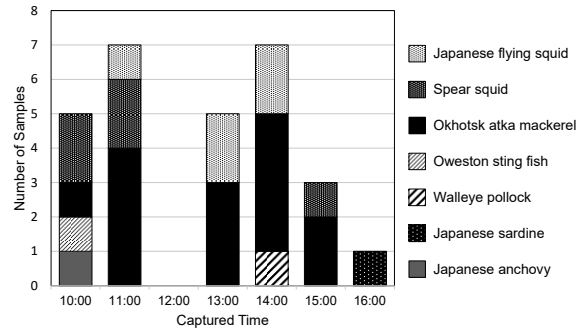


Fig. 12 Number of stomach samples containing undigested prey species (digestion stage I or II) by captured time. Data are pooled for all research years.

考察

出現餌生物の頻度と割合 松前沿岸において、オットセイはホッケやメバル属魚類など主に刺し網によって漁獲される魚類や、春期における重要な漁獲対象種であるイカ類を主要餌生物としていることが示された。特にホッケはFO%およびG%がともに高く、来遊期間中の主要な餌生物となっていることが明らかとなった。一方で時期によっては回遊性の魚類（マイワシ・カタクチイワシ）およびイカ類（ヤリイカ・スルメイカ）に主要餌生物がシフトしていた。その他メバル属魚類の利用頻度も高く、既往の日本海沖合海域における調査結果とは餌生物組成が異なっていた。

Waite *et al.* (2012) による千島列島のトドとオットセイの繁殖場において収集した糞分析の結果から、トドとオットセイ幼獣の食性は有意に重複していたことが明らかとなった。オットセイ成獣については、スケトウダラやキタノホッケなどトドと重複する餌生物も利用するほか、イカ類やサケ科魚類 *Salmonidae* を主要餌生物とし、トガリイチモンジイワシ *Leuroglossus schmidti* といった中深層性魚類も利用する点でトドの食性と異なっていた。これらは異なる採餌海域を利用することにより種間競争を避ける戦略と考えられている。北海道日本海側において来遊域の重複するトドの餌生物組成は (Goto *et al.*, 2017), ホッケが主要餌生物となっている点でオットセイの結果と類似するが、その他トドの主要餌生物となっているミズダコ、異体類やカジカ類は本研究において出現しなかった。一方で、本研究において比較的出現頻度の高かったハツメはトドの胃内容物から出現していない。異体類やカジカ類は比較的沿岸浅海域に生息する (例えば、中田, 2003; 渡野邊, 2003)。道南日本海沿岸域におけるトドの食性に関する知見は少ないが、松前町に隣接する福島町において2008年に得られたトドの胃内容物が

らはヤリイカおよびボラ *Mugil cephalus cephalus* が出現していた (小林ら, 2011)。これらのことから千島列島の結果と同様に、北海道日本海側におけるトドの餌生物 (Goto *et al.*, 2017) と本研究におけるオットセイの利用餌生物はホッケ、タラ科魚類やイカ類などの主要餌生物は重複するものの、オットセイはより沖合に生息する魚類を主に利用することで、トドとの採餌海域の重複は小さい可能性がある。

漁獲対象種の摂餌 イカ類では年や時期によって摂餌されていた種が異なった。主要なイカの種類はヤリイカとスルメイカであった。松前沿岸においてヤリイカは主に2~5月に漁獲され、年によって異なるものの盛漁期は概ね4月である (北海道立総合研究機構水産研究本部データベース水産現勢漁業生産高検索, <https://www.hro.or.jp/fisheries/h3mfc0000000ge0.html>, 2024年8月13日 閲覧, Appendix 1)。渡島管内でヤリイカは松前町で最も漁獲量が多く、重要な漁獲対象種である。当海域のヤリイカ漁獲物に関する最近の知見は少なく、青森県津軽海峡西部において1996年5月に漁獲されたヤリイカの外套長組成は、11~27 cm 台の範囲にあり、オスでは23 cm 台に、メスでは22 cm 台および17 cm 台にモードのある組成が報告されている (伊藤, 2007)。これは本研究における漁獲物外套長組成の範囲と類似し、複数のモードを有する多峰型を示す点が特徴となっている。オットセイ胃内容物から未消化で出現したヤリイカの外套長組成および残存していたヤリイカ顎板からの推定外套長組成は、体サイズや複数のモードがみられる点で漁獲物外套長組成と類似していた。松前町において2011~2014年に実施した漁業者 (主にヤリイカ電光網、イカ釣りおよびマグロ延縄) に対するアンケート調査では、オットセイは2~3月もしくは3~4月にかけて発見が増加することが示されており (後藤・北海道, 未発表資料)、ヤリイカの盛漁期と本種の索餌回遊経路との関連が示唆される。

ヤリイカ盛漁期以外の時期に得られたオットセイ標本からはヤリイカはほとんど出現せず、5月以降の標本からはスルメイカが多く出現していた。スルメイカは例年松前沿岸域では4月頃から来遊が見られ、漁期は6月1日以降となっている (北海道渡島総合振興局, 2024)。2011~2020年頃の5月下旬の津軽海峡西部におけるスルメイカの外套長組成は、10~20 cm の範囲にあり (例えば、澤村, 2013)、15 cm 未満の小型個体がほとんどであった。一方、漁期中の漁獲物外套長組成では15 cm 以上の割合が多く、漁期前の組成よりも大型化していた (例えば、澤村, 2013)。オットセイの胃内容物中にみられたスルメイカ推定外套長組成は、漁獲物の体サイズよりも小型の組成であった。また、2011~2016年頃までは、6月に松前

で得られた漁獲物標本の外套長組成において15 cm 台にモードがみられていたが、2017年以降は14 cm 台にモードがみられている (澤村, 2013; 有馬, 2020)。オットセイの胃内容物中にみられたスルメイカの推定外套長組成においては、2015年以降は2012, 2013年よりも小型個体を中心とした組成となっていた。2012年頃より日本海のスルメイカの漁獲量は減少傾向が続いており、低い資源水準で推移している (函館・中央・稚内水産試験場, 2023)。胃内容物中のスルメイカ出現頻度に特に年変化はみられなかったが、このような摂餌サイズの変化はスルメイカの来遊状況の変化を反映していると考えられた。

松前における2011年7月のホッケ刺し網漁獲物の体長組成 (函館水産試験場, 未発表) は22~34 cm 台の範囲にあり、モードは30 cm 台にあった (Fig. 13)。胃内容物中のホッケ推定体長 (範囲25~32 cm 台、モード29~30 cm 台) は、漁獲物の体長とほぼ一致していた。松前沿岸ではホッケは主要な漁獲対象種であり、春期は4~7月頃刺し網で漁獲される (函館水産試験場, 2023)。2010年以降、道南海域においてホッケ資源量の大幅な減少が報告されており、最も漁獲量が少なかった2017年の漁獲量は599トンで、本研究が開始された2011年の3,110トンの5分の1程度であった (函館水産試験場, 2023)。2018年以降は太平洋側で漁獲量が増加しており、道南海域における資源水準も2020年には中水準に回復している (函館水産試験場, 2023)。オットセイの胃内容物中のホッケFO%は2011~2013年には75~83%、G%は45~70%と高い値であったが、2017年および2018年のホッケFO%はそれぞれ57%、50%、G%は24%、21%と低くなっており、ホッケ資源量の減少に起因する利用可能性の低下によると考えられた。2018年以降ホッケ資源水準が好転したが、2018年のオットセイの胃内容物中の出現頻度は50% (全2個

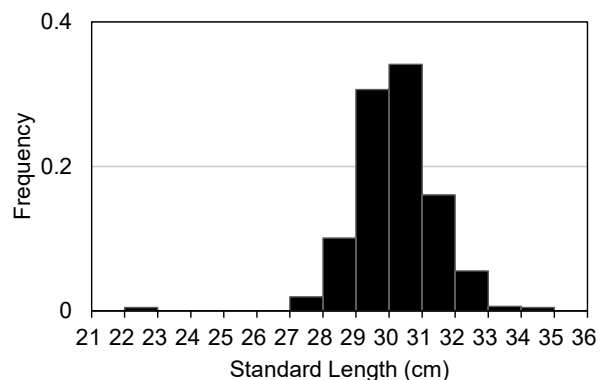


Fig. 13 Frequency distributions of the standard length of Okhotsk atka mackerel caught by gillnet off the coast of Matsumae, Hokkaido, Japan in November 2011. The raw data were obtained from the Hakodate Fisheries Research Institute (unpublished).

体中1個体)にとどまった。2018年に胃内容物がみられた2個体のうち、1個体は4月に採捕されていたが、ホッケは胃内容物中にはみられなかった。一方、別の1個体は6月に採捕されており、胃内容物中にホッケが出現した。2018年の道南海域(檜山~渡島)における月別ホッケ漁獲量は5月に急増していたことから(Appendix 2)、ホッケ資源状態とオットセイの摂餌において矛盾は生じないと考えられた。2019年以降再び胃内容物中のホッケの出現頻度が高まったが、これらの推定体長は以前よりも小型魚が中心であった。函館水産試験場(2023)によるホッケの資源評価では、2017年級および2019年級の加入量は近年の中では多かったとされ、これらはオットセイの食性にも反映されていたと考えられた。このような餌生物の年級群の豊度の変化によるオットセイの食性の変化は、ベーリング海東部におけるスケトウダラとオットセイの食性の関係でも報告されている(Sinclair *et al.*, 1994)。

オットセイの小型個体と中~大型個体でみられた餌生物組成の違いは、捕獲地点が体サイズによらずランダムであったことから(北海道ほか、未発表資料)、調査年や捕獲地点によるものではなく、成長段階における食性の差異を示すと考えられた。本種の性別や成長段階における餌生物組成の差や採餌戦略の相違については、アラスカ湾やベーリング海における研究から明らかにされており、冬期間においては潜水や遊泳能力の差異に起因すると考えられている(Ream *et al.*, 2005; Sterling *et al.*, 2014)。本研究において、幼獣とみられる小型個体の胃内容物からはホッケがほとんどみられず、これらはドスイカを除くイカ類やマイワシなど表層に分布する魚種を採餌していた。これはアラスカ湾などの報告例と同様に、成獣との潜水能力の差異によると考えられた。一方、2019年および2020年の結果から、餌生物環境によっては小型個体もホッケを摂餌することが明らかとなった。2019年および2020年に摂餌されていたホッケはそれまでよりも体長組成のモードが小さく、小型個体によっても摂餌しやすかったことが考えられる。また、魚食性の鰭脚類では、選択的日和見食性を示す採餌戦略が知られている(後藤, 2020)。例えば、スコットランドのゼニガタアザラシでは、餌の利用可能性の変化に応じて戦略を切り替えている可能性が示されている(Tollit *et al.*, 1998)。ゼニガタアザラシはニシン類の利用可能性が高いときは、ニシン類以外にもシロガネダラ *Merluccius productus* など比較的外洋域に生息する魚類も利用するが、逆に低い時にはイカナゴ属魚類のような上陸場に近い沿岸底生性の魚類の捕食が多くなると推察されている。本研究において、オットセイ幼獣はホッケ資源量の多いときはホッケも利用し、資源量低下により利用可能性の低下した際にはイワシ類や

イカ類などの表層に分布する採餌労力を低くできる餌種へシフトしたと考えられた。

本研究の調査期間中、ホッケは資源量低下に伴い餌生物利用可能性も低下したが、恒常的にオットセイの主要な餌となっており、出現頻度も他の餌種より高かった。Sinclair *et al.* (1994)は、繁殖場におけるメスおよび幼獣オスについての調査から、少なくとも夏~秋季にはサイズ選択的に中層性魚類・頭足類を摂餌しており、日和見食性とは異なると結論づけている。また、既往の知見からオットセイは黒潮・親潮移行領域や潮目など、餌生物となる魚類の集積しやすい海域で採餌することが明らかとなっている(和田, 1971; Sinclair *et al.*, 1994)。道南日本海においては、陸棚斜面上の急激に深くなる海域でオットセイの分布密度が高く、餌となるホッケやスケトウダラの分布との関連が示唆されている(Horimoto *et al.*, 2016)。ホッケが高密度に分布する海域でのオットセイの採餌成功率や、栄養価の高いホッケに対する嗜好性(選択性)の有無についても検討する必要がある。

摂餌時間帯の推定 捕獲時間帯別の各標本の消化段階は、ほぼいずれの時間帯においても空胃および摂餌直後の個体がみられた。したがって、松前沿岸域においては、日中いずれの時間帯においても採餌を行っていると考えられた。三陸沖における先行研究では、オットセイはハダカイワシ類のような中深層性魚類は、夜間に0~150 mに浮上する際に摂餌するが、夜間の採餌以外にカタクチイワシなどは日中にも摂餌することが報告されている(和田, 1971)。また、ベーリング海やアラスカ湾における先行研究から、オットセイの索餌のための潜水深度は日中には深く(およそ180~200 m)、夜間は浅い潜水(30 m以浅)を繰り返すことが明らかになっており、利用する餌生物の生息深度や鉛直移動により潜水パターンを変えているとされる(Goebel *et al.*, 1991; Sterling *et al.*, 2014)。本調査において得られた結果からは、主要な餌種別の捕食時間帯についての傾向は認められず、ほぼいずれの時間帯においてもホッケ、スルメイカおよびヤリイカの未消化物がみられた。これら主要餌生物は沿岸から大陸棚上に生息し、日中も200 m以浅に分布することから(川端ら, 2001; 夏目, 2003, 坂口, 2003)、捕食時間帯に一定の傾向が認められなかったものと考えられた。

夜間についてはデータがなく不明であるが、当海域においてヤリイカ電光敷網漁は夕方から夜間に行われており、操業中にオットセイによる魚群の散逸や略取が目撃されている。したがって夜間にも採餌している可能性は高い。

漁業とオットセイの相互関係 道南海域においてはこれまでもオットセイによる刺し網漁獲物の略取が度々観察され、漁業活動との摩擦が顕在化していた(小林ら, 2011;

堀本ら, 2012)。本研究においても胃内容物中に刺し網の破片が出現しており、漁網への依存が懸念される。

松前沿岸において、オットセイはホッケやメバル属魚類など主に刺し網によって漁獲される魚類およびヤリイカ・スルメイカといった春期における重要な漁獲対象種について同一の資源を利用していることが示された。Fig. 8 に示されるように、オットセイは松前沿岸域において体長 25~27 cm 程度の比較的小型のホッケも摂餌している。体長サイズからこれらの小型ホッケは 1 歳とみられる (函館水産水産試験場, 2023)。一般に漁業において若齢魚は資源保護の対象として獲り控えが推奨されることから、オットセイによる採餌の影響が資源回復の妨げとなる可能性が懸念される。

オットセイの胃内容物中にみられた捕獲時期によるイカ優占種の変遷は、イカ類の来遊状況に対応して変化したものと考えられた。スルメイカ漁が開始される 6 月にはオットセイの来遊ピークは過ぎており (Horimoto *et al.*, 2016; 後藤・北海道, 未発表資料)、スルメイカに関する漁業被害の報告はこれまで多くなかったが、スルメイカ来遊初期の資源を漁期前に相当量採餌していると考えられ、潜在的な漁業との競合の可能性が示唆された。

漁業者への聞き取り調査から、日本海側におけるトドによる漁業被害の対策として、刺し網の網入れ時刻の変更や、毎日網揚するなど、トドの活動時間帯を避けた操業の工夫がみられる (例えば、小林ら, 2011)。トドは北海道沿岸に複数の上陸場があり、来遊期間中休息することも多い。しかし、オットセイは繁殖期以外に上陸する習性はなく、洋上で休息することから、いずれの時間帯にも機会があれば採餌の可能性があり、トド同様の対策は困難である。また、ヤリイカ電光敷網漁業のような集魚灯を用いた操業については、夜間操業に限定される。北海道沿岸域でのオットセイの分布密度の高い海域は、餌となる魚類も高密度で分布しており好漁場となっている海域が多い (Horimoto *et al.*, 2016)。したがって潜在的に漁業との競合を避けることの困難な状況であるといえる。

2019 年以降、オットセイによる漁業被害額は大きく減少している (北海道, 2023)。近隣の繁殖場であるロシア海域におけるオットセイの最近の生息頭数の変化については明らかではなく、漁業被害との関連については検討できない。しかし、2021 年頃からオットセイの遭遇率が沖合で高い (中央水産試験場, 2022, 2023) ことは、沿岸での漁業被害額の減少との関連が推察される。このような変化の背景にはイワシ類の分布が影響していると考えられている (中央水産試験場, 2022)。北海道日本海沿岸では 2017 年頃からしばしばマイワシの漂着が確認されており (後藤, 2022; 鈴木, 2024)、12 月頃からマイワシ

またはカタクチイワシの高密度の分布が確認されている (鈴木, 2024) ほか、マイワシ対馬暖流系群の資源量増加も報告されている (向ら, 2023)。本研究においてもカタクチイワシおよびマイワシは比較的高頻度で出現した。これらイワシ類は日本において重要な漁業資源であるが、北海道日本海側沿岸域では漁獲対象となっていない。イワシ類のような漁獲対象種以外の捕食割合が増加したことにより、漁業被害額が減少した可能性はあるが、長期的なモニタリングなしにはこのような関係の把握は難しい。今後餌生物環境の変化やオットセイ個体群動態の変化により、再び漁業との摩擦が激化する可能性もあり引き続き本種の生態の解明に取り組む必要がある。

謝 辞

本研究は北海道によるオットセイ基礎調査ならびにオットセイ食性実態把握調査および特定非営利活動法人水産業・漁村活性化推進機構による有害生物漁業被害防止対策事業のうち有害生物出現実態・生態把握調査において実施された。実施にあたり標本収集には松前町水産課、松前さくら漁業協同組合、倉松修氏ならびに木村直人氏はじめ松前町鳥獣被害防止対策協議会構成員諸氏、北海道大学大学院桜井泰憲教授 (当時)、小林由美研究員および大学院生らにご協力賜った。試料の分析や解析には、道総研中央水試和田昭彦研究主査をはじめ有害生物 (オットセイ) 漁業被害軽減対策検討会構成員諸氏ならびに道総研稚内水試職員にご協力ならびにご助言賜った。ここに感謝申し上げる。

引用文献

- 有馬大地. 2.1 スルメイカ. 「平成 30 年度道総研函館水産試験場事業報告書」, 函館. 2020; 8-20.
- Baker JD, Fowler CW, Antonelis GA. Body weight and Growth of Juvenile Male Northern Fur Seals, *Callorhinus ursinus*. *Mar. Mamm. Sci.* 1994, 10(2): 151-162.
- Call KA, Ream RR. Prey selection of subadult male northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) and evidence of dietary niche overlap with adult females during the breeding season. *Mar. Mamm. Sci.* 2012, 28(1): 1-15.
- Clarke M. *A Handbook for the identification of Cephalopod Beaks*. Clarendon Press, London, 1986.
- 中央水産試験場. オットセイ調査情報 2022 (令和 4) 年度. Download from: (<https://www.hro.or.jp/upload/31674/2022otto.pdf>) (2024.8.9)

- 中央水産試験場. オットセイ調査情報2023(令和5)年度. Download from: (<https://www.hro.or.jp/upload/50941/2023otto.pdf>) (2024.8.9)
- Gelatt T, Ream R, Johnson D. *Callorhinus ursinus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2015; e.T3590A45224953.
- Gentry RL. *Behavior and ecology of the northern fur seal*. Princeton University Press, New Jersey. 1997.
- Goebel ME, Bengtson JL, DeLong RL, Gentry RL, Loughlin TR. Diving patterns and foraging locations of female northern fur seals. *Fish. Bull.* 1991; 78: 171-179.
- Goto Y, Shimazaki K. Diet of Steller sea lions off the coast of Rausu, Hokkaido, Japan. *Biosphere Conservation* 1998; 1(2): 141-148.
- Goto Y, Wada A, Hoshino N, Takashima T, Mitsunashi M, Hattori K, Yamamura O. Diets of Steller sea lions off the coast of Hokkaido, Japan: An inter-decadal and geographic comparison. *Marine Ecology* 2017; 38: e12477.
- 後藤陽子. 「日本の鰭脚類 海に生きるアシカとアザラシ 第8章 鰭脚類の食性(服部薫編)」東京大学出版会, 東京, 2020.
- 後藤陽子. お騒がせマイワシ. 北水試だより, 2022; 105: 21.
- 函館水産試験場・中央水産試験場・稚内水産試験場. スルメイカ(日本海海域). 「2023年度北海道周辺海域における主要魚種の資源 評価書」, 道総研水産研究本部, 2023: 491-509.
- 函館水産試験場. ホッケ(道南日本海～道南太平洋海域). 「2023年度北海道周辺海域における主要魚種の資源評価書」, 道総研水産研究本部, 2023: 137-151.
- 北海道. 海獣類による漁業被害状況. Download from: (<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sky/186211.html>) (2024.8.9)
- 北海道オープンデータ CC-BY4.0: “北海道オープンデータポータル”. Download from: (<https://www.harpp.lg.jp/opendata/>) (2024.8.4)
- 北海道渡島総合振興局. 令和4年版渡島の水産. 2024. Download from: (<https://www.oshima.pref.hokkaido.lg.jp/ss/sis/osimanosuisan2.html>) (2024.8.9)
- 北海道立総合研究機構水産研究本部データベース. “水産現勢漁業生産高検索”. Download from: (<https://www.hro.or.jp/fisheries/h3mfc0000000ge0.html>) (2024.8.9)
- 堀本高矩, 三谷曜子, 小林由美, 服部薫, 桜井泰憲. 2009年冬-春季の渡島半島西部から津軽海峡におけるキタオットセイ *Callorhinus ursinus* の来遊状況. 日本水産学会誌 2012; 78(2): 256-258.
- 堀本高矩. キタオットセイのロシア繁殖群における非繁殖期の分布と摂餌生態. 博士課程論文, 北海道大学大学院水産科学院, 函館. 2015.
- Horimoto T, Mitani Y, Sakurai Y. Spatial association between northern fur seal (*Callorhinus ursinus*) and potential prey distribution during wintering period in the northern Sea of Japan. *Fish. Oceanogr.* 2016; 25(1): 44-53. DOI: 10.1111/fog.12133
- 伊藤欣吾. 北日本ヤリイカ個体群の分布回遊と資源変動要因に関する研究. 青森県水産総合研究センター研究報告 2007; 第5号: 11-68.
- Kajimura H. Opportunistic feeding of the Northern Fur Seal, *Callorhinus ursinus*, in the Eastern North Pacific Ocean and Eastern Bering Sea. *NOAA Technical Report* 1984; NMFS-SSRF-779: 49p.
- 加藤秀弘. サハリン東岸および根室海峡の流水域におけるゴマフアザラシ (*Phoca vitulina largha*) とクラカケアザラシ (*Histiophoca fasciata*) の分布と食性. 修士学位論文, 北海道大学大学院水産学研究所, 函館. 1978.
- 川端淳, 上野康弘, 栗田豊, 巢山哲, 谷津明彦. 北西太平洋における北上期スルメイカの分布特性. 国立研究開発法人水産研究・教育機構研究紹介 水産研究開発成果情報 平成13年度水産研究成果情報 東北ブロック水産業関係試験研究推進会議. (<https://www.fra.go.jp/home/kenkyushokai/kseika/h13/myg01003.html#:~:text=>) (2024.9.30): 28096.
- 北太平洋おっとせい委員会. 北太平洋おっとせい委員会調査報告 1962-1963 1971. 在ワシントン委員会本部.
- 北太平洋おっとせい委員会. 北太平洋おっとせい委員会調査報告 1967-1972 年の調査報告 1975. ワシントン D.C. 委員会本部.
- 北太平洋おっとせい委員会. 北太平洋おっとせい委員会 1973年-1976年の間の調査報告 1980. ワシントン D.C. 委員会本部.
- 窪寺恒己, 大泉宏, 今泉智人. 頭足類の顎板による種査定に関するマニュアル. (<https://www.kahaku.go.jp/research/db/zoology/Beak-v1-3/index.html>) (2024.8.5).
- 小林由美, 條野真奈美, 後藤陽子, 服部薫, 桜井泰憲. 渡島半島日本海沿岸における海生哺乳類, 特に鰭脚類の出現と漁業被害. 北海道大学水産科学研究彙報 2011. 61(2/3): 44-53.
- 松原喜代松. 「魚類の形態と検索」石崎書店, 東京. 1955.
- Mori J, Kubodera T, Baba N. Squid in the diet of northern fur seals, *Callorhinus ursinus*, caught in the western and central North Pacific Ocean. *Fish. Res.* 2001; 52: 91-97.

向草世香, 高橋素光, 藤波裕樹, 黒田啓行, 依田真理. 令和5(2023)年度マイワシ対馬暖流系群の資源評価(速報版). 国立研究開発法人水産研究・教育機構 令和5年度マイワシ・マアジ対馬暖流系群資源評価会議. FRA-SA2023-SC02-02; Download from: (https://www.fra.go.jp/shigen/fisheries_resources/meeting/stok_assesment_meeting/2023/files/2023-12/fra-sa2023-sc02-02.pdf) (2024.8.9)

中田淳. 「新 北のさかなたち 45. ツマグロカジカ (水島敏博, 鳥澤雅監修, 上田吉幸, 前田圭司, 嶋田宏, 鷹見達也編)」北海道新聞社, 札幌. 2003.

National Marine Fisheries Service (NMFS). Draft Conservation Plan for the Eastern Pacific Stock of Northern Fur Seal. *NOAA Tech. Memo.* 2023; NMFS-F/AKR-27: 168 p.

夏目雅史. 「新 北のさかなたち 42. ホッケ (水島敏博, 鳥澤雅監修, 上田吉幸, 前田圭司, 嶋田宏, 鷹見達也編)」北海道新聞社, 札幌. 2003.

Ream RR, Sterling J, Loughlin TR. Oceanographic features related to northern fur seal migratory movement. *Deep-Sea Res. II*, 2005 ; 52 : 823-843.

坂口健司. 「新 北のさかなたち 82. ヤリイカ (水島敏博, 鳥澤雅監修, 上田吉幸, 前田圭司, 嶋田宏, 鷹見達也編)」北海道新聞社, 札幌. 2003.

澤村正幸. 1.1 イカ類「平成 24 年度道総研函館水産試験場事業報告書」, 函館. 2013 ; 5-12.

Sinclair ES, Loughlin T, Percy W. Prey selection by northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) in the eastern Bering Sea. *Fish. Bull.* 1994 ; 92 : 144-156.

Sterling JT, Springer AM, Iverson SJ, Johnson SP, Pelland NA, Johnson DS, Lea M-A, Bond NA. The sun, moon, wind, and biological imperative-shaping contrasting wintertime migration and foraging strategies of adult male and female northern fur seals (*Callorhinus ursinus*). *PLoSone* 2014 ; 9(4): e93068.

鈴木祐太郎. 試験調査船金星丸の計量魚群探知機調査で観察された強反応について. 試験研究は今, 2024; No. 996; Download from: (<https://www.hro.or.jp/upload/49624/ima996.pdf>) (2024.8.9).

Tollit DJ, Pierce GJ, Hobson KA, Bowen WD, Iverson SJ. 9. Diet. In: Boyd IL, Bowen WD, Iverson SJ (eds). *Marine mammal ecology and conservation: a handbook of techniques*, Oxford University Press, Oxford, 2010 ;191-221.

辻大和, 高槻成紀. 哺乳類の食性の長期研究事例. 哺乳類科学 2008 ; 48(2): 221-235.

和田一雄. 三陸沖のオットセイの食性について. 東海水

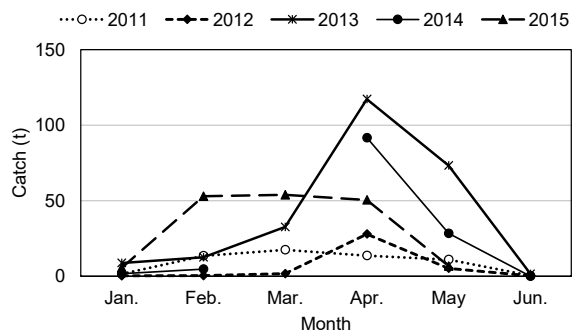
研報 1971 ; 64 : 1-37.

Waite JN, Burkanov VN, Andrews RD. Prey competition between sympatric Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*) and northern fur seals (*Callorhinus ursinus*) on Lovushki Island, Russia. *Can. J. Zool.* 2012;90:110-127.

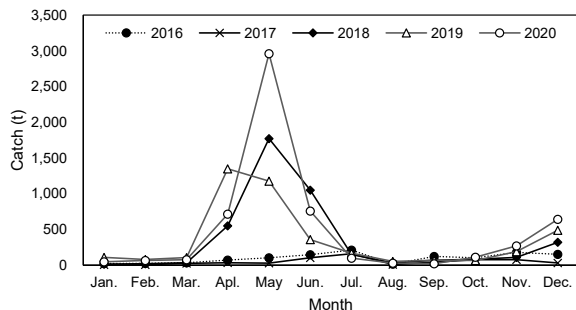
渡野邊雅道. 「新 北のさかなたち 67. マガレイ (水島敏博, 鳥澤雅監修, 上田吉幸, 前田圭司, 嶋田宏, 鷹見達也編)」北海道新聞社, 札幌. 2003.

Yonezaki S, Kiyota M, Baba N. Decadal changes in the diet of northern fur seal (*Callorhinus ursinus*) migrating off the Pacific coast of northeastern Japan. *Fish. Oceanogr.* 2008 ; 231-238.

Zeppelin TK, Orr AJ. Stable isotope and scat analyses indicate diet and habitat partitioning in northern fur seals *Callorhinus ursinus* across the eastern Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2010. 409 : 241-253.



Appendix 1 Monthly catches of spear squid in Matsumae during the main fisheries season (January to June) from 2011 to 2015. Data were obtained from ‘Current status of Hokkaido’s fisheries’ (<https://www.hro.or.jp/fisheries/h3mfc000000ge0.html>, Accessed: August 13, 2024)



Appendix 2 Monthly catches of Okhotsk atka mackerel in Oshima- and Hiyama-subprefectures from 2016 to 2020. Data were obtained from ‘Current status of Hokkaido’s fisheries’ (<https://www.hro.or.jp/fisheries/h3mfc000000ge0.html>, Accessed: August 13, 2024)

北海道西岸日本海における対馬暖流の直接測流と暖流流量の再評価

中多章文^{*1}, 田中伊織²

¹ 北海道立総合研究機構中央水産試験場, ² 元北海道立総合研究機構中央水産試験場

Direct measurement and re-evaluation of volume transport of the Tsushima Warm Current off western Hokkaido, Japan

AKIFUMI NAKATA^{*1} and IORI TANAKA²

¹ Central Fisheries Research Institute, Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido, 046-8555,

² Formerly: Fisheries Research Department, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan

To precisely evaluate the volume transport and velocity of the Tsushima Warm Current in the western Hokkaido Japan Sea, we conducted direct current measurements using one-mooring with three instruments at three depths at three points (M1: 1998–1999, M2: 1999–2000, and M3: 2001–2002) in the Tsushima Warm Current area. The comparisons between the current velocities observed by the current meter and geostrophic calculation showed a good relationship in the absence of extraordinary sea conditions such as a passing mesoscale eddy. Deep currents approximately 2100 m at the M1 and M3 mooring points showed a dominant northward current, and the annual mean velocity was 7.5 cm/s and 1.7 cm/s at M1, and M3, respectively. A weak westward current was observed at M2. The underestimation of volume transport above the reference level (500 m) caused by these deep currents was approximately 1.1 Sv.

キーワード：係留観測, 深層循環, 順圧流速, 対馬暖流流量

本道西岸を北上する対馬暖流は, その沿岸境界流 (花輪, 1984) としての特徴ゆえ本道西岸日本海からオホーツク海を経て道東太平洋にいたる本道沿岸海域としての源流部に位置付けられる。このため本道沿岸の漁場環境の変動や特徴を把握し, 気候変動に伴う海洋環境の変化や資源生物への影響をいち早く捉えるため, この源流域である道西日本海において, 対馬暖流の流量や水温塩分特性, 栄養塩や動物プランクトンのモニタリングを継続して実施してきている (吉田ら, 2004)。このうち海流のモニタリングでは, 海洋観測から得られる海水の密度分布から, J4 線 (42.5° N) における傾圧地衡流量を対馬暖流の北上流量として求め, その流量変化を評価してきた (中多・田中, 2002)。一方で海流の流速成分には 2 つあり, さきに述べた傾圧成分だけでなく, 海面の高低差から生じる順圧成分も存在し, 傾圧成分だけの流量では十分とは言いきれない。少なくとも, 傾圧地衡流を計算す

る際の基準面 (流速をゼロと仮定する深度) でどのくらいの流速が実際に存在するのか, またどの程度流量計算に影響するのかを確認が必要である。

1990 年代に J4 線より南方で津軽海峡以南の青森県へナシ崎西方の日本海において対馬暖流の係留観測が行われ, 傾圧地衡流に加えて流速 10 cm/s 程度の北上順圧流の存在が確認された (磯田ら, 1998; 森ら, 2001)。また, 10 cm/s の流速値は J4 線の表層傾圧流速と同程度で単純に流速が倍になる流速であり, 海洋生物の卵稚仔の移流や拡散への影響は無視できない流速と考える。さらに, 森ら (2001) も指摘しているように, 日本海の深層循環や本道西岸の深層流はいまだ不明な点が多く, 表層の対馬暖流との関係もよく分かっていない。そこで, 現行の傾圧地衡流量のモニタリングで用いている基準面での流速と暖流下層の深層流の水平分布を明らかにするため, 本道西岸の複数地点において係留観測を実施した。

報文番号 A640 (2024 年 10 月 25 日受理)

*Tel: 0135-23-7451. Fax: 0135-23-3141. E-mail: nakata-akifumi@hro.or.jp

試料及び方法

Fig. 1 に係留地点と海底地形を示す。観測に用いる係留系は3台の流速計 (RCM8 Aanderaa 社製, Norway) を上, 中, 下層に配した1系で, 1998年6月から1999年6月にM1地点, 1999年10月から2000年8月にM2地点, 2001年6月から2002年6月にM3地点において, 北海道立中央水産試験場所属 (当時) の試験調査船おやしお丸 (2012年3月用途終了廃船) により設置回収を行った。下層の流速計は当時の日本海深層流の係留観測結果 (磯田ら, 1998; 森ら, 2001) を参考に深度約2000mを各係留地点で共通した測流深度とし, 上・中層の2層では対馬暖流ならびに沖合冷水域の直接測流を目的とした深度設定を行った。Fig. 2 に係留観測以前の約15年間 (1988~2003年) の偶数月毎の定期海洋観測で得られた水温の平均断面図にM1からM3の係留地点と流速計の深度を重ねて示した。M1, M2の地点は定期海洋観測線上 (J4線 42° 30' N) にあるが, M3はJ41点の北方約10マイルの地点にあり, これを断面図にはJ41-42間と見なして書き込んでいる。流速計の測定間隔は1時間とし, 10ヶ月から1年間の連続観測とした。これらの1時間毎の

流速データを統計処理し位置情報や深度をまとめ, Table 1 に係留観測の基本情報を示した。各地点での係留観測期間中には, 2ヶ月に一度の定期海洋観測時にCTD (SBE 9/11plus SeaBird Electronics, Inc., USA) による観測深度を通常より深くまで延長した (800~1000m 深まで) 観測を行い, 流速計の設置深度に合わせた基準面の設定を可能にした他, 過去の観測データ (海洋調査要報, 1999) および Fig. 1 の△表示点で実施されている偶数月月上旬に実施されている定期海洋観測の未印刷資料を用いた。流れや流れの向きとその季節変化を調べるため, 1時間毎の原データから30日毎に○印を付した進行ベクトル図を作成した。また, 卓越する流速の南北成分について進行ベクトルと合わせて30日毎の平均と偏差を求め季節変化を調べた。流れの周期変動を調べるため, スペクトル解析 (FFT法) を行い, 流速データに慣性振動が卓越していることをスペクトル解析から確認した上で, 生データから慣性振動を除くため, タイドキラーフィルター (花輪・三寺, 1985) を施し, 24時間に1回の再サンプリングを行って流速ベクトル図を作成した。

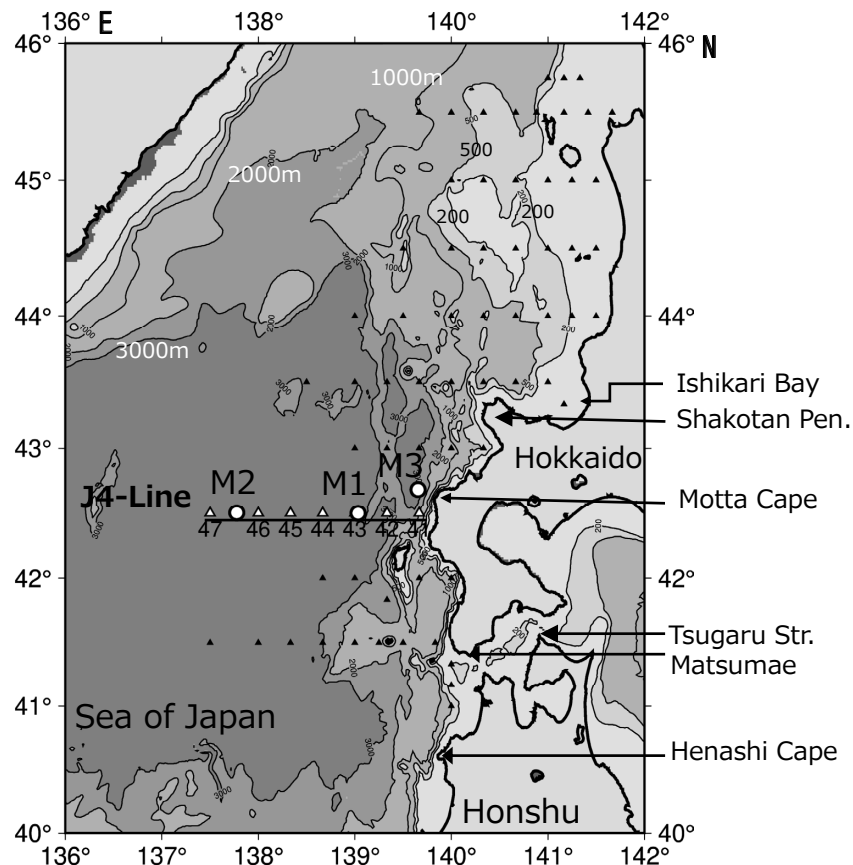


Fig. 1 Location of the periodical observation, three mooring points and sea bottom topography.

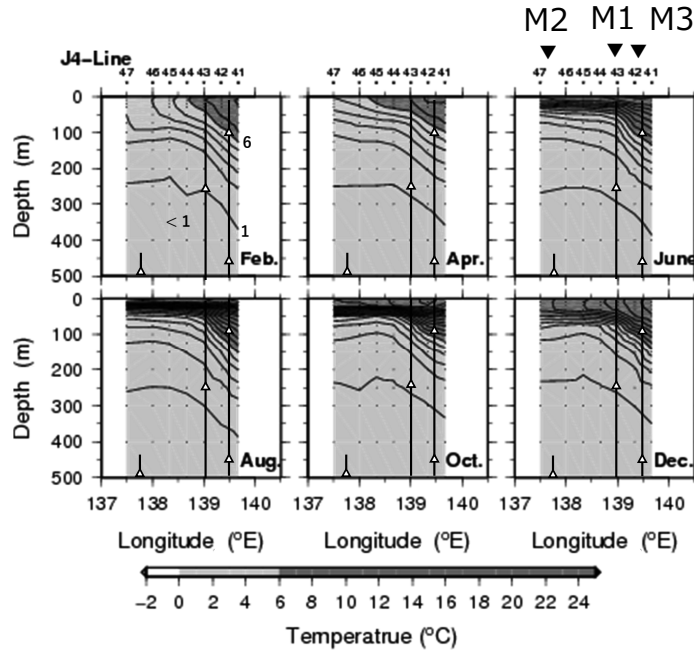


Fig.2 Vertical distributions of long-term (1988–2003) mean temperature and currents measuring points on the J4-Line.

Table 1 Basic mooring point characteristics and statistical results.

Mooring	Latitude degreeN	Longitude degreeE	Instrument depth(m)	Bottom depth(m)	Date	Mean(cm/s)		Variance(cm ² /s ²)		CM-S/N
						N-Scomp.	E-Wcomp.	N-Scomp.	E-Wcomp.	
M1	42-30.0N	139-02.0E	250	3400	9-Jun-1998	6.3	-1.0	26.0	24.0	S/N10046
			600		8-Jun-1999	5.6	-0.8	11.1	7.1	S/N10047
			2100			7.5	-0.8	8.0	1.6	S/N11511
M2	42-30.2N	137-46.6E	500	3700	20-Oct-1999	0.2	-0.7	7.5	7.6	S/N10046
			1100		24-Aug-2000	0.0	-0.4	1.7	2.0	S/N10047
			2100			0.2	-0.4	1.7	2.2	S/N11511
M3	42-41.1N	139-39.3E	100	3200	5-Jun-2001	10.6	1.0	245.5	215.9	S/N10046
			450		11-Jun-2002	2.0	0.6	6.4	3.7	S/N10047
			2200			1.7	0.0	3.4	1.1	S/N11511

結果

測流結果 Table 1の平均流速について見るとM1地点の南北流速成分（+は北向き）の平均は上層から順に6.3, 5.6, 7.5 cm/sで北向きに、東西流速成分では（+は東向き）-1.0, -0.8, -0.8 cm/sとなって弱い西向きの流れとなっており、全体として北向きの流れが卓越していた。M2地点では各層で流れが弱いいずれも1.0 cm/s以下で、南北流速成分の平均は上層から0.2, 0.0, 0.2 cm/sとなり、東西流速成分では-0.7, -0.4, -0.4 cm/sと南北成分より東西成分の流れがやや大きく、全体として西向きの流れとなっていた。M3地点の南北成分流速は上層で

10.0 cm/sを超える北向きの強い流れとなっており、中層、下層でも2.0, 1.7 cm/sの北向きの流れとなっていた。東西流速成分は上、中層で1.0, 0.6 cm/sと東向きの、下層でほぼ0.0 cm/sと全体として北からやや東よりの流れとなっていた。観測年は異なるが期間と（1年間）深度がほぼそろっているM1とM3の下層（約2100 m深）の南北成分の平均流速を比べると沖側のM1地点の流速が大きく、岸側M3地点との差はおよそ6 cm/sに達していた。また、中、下層の南北成分の流速について見るとM1では中層より下層が大きいが、M3では中層より下層が0.3 cm/sとわずかに小さい差があるもののほぼ同じ流速となっていた。

スペクトル解析 スペクトル解析によって求めた南北・東西流速成分のスペクトル密度と回転スペクトル密度を Fig. 3 に示す。両スペクトル密度ともにおよそ 18 時間付近にピークがあり、回転スペクトルでは右回りに大きな密度のピークが認められた。これらのピークは係留点の慣性周期 17.7 時間 (42.5° N) であり右回りの慣性振動であることが確認できた。

進行ベクトル図からみた流れの特徴 1 時間毎の原データから作図した進行ベクトル図を Fig. 4 に示す。30 日毎に○印を付けその日付を表示した。M1 (Fig. 4a) では、流向は 3 層ともに年平均で北から約 10 度西に傾いている。各層について見ると、下層 (2100 m 深) は年間で見ると最も北よりの向きとなっており、上 (250 m 深)、中層 (600 m 深) と比べて月単位の流向の変化は少ないが、12 月以前と以降で流向がやや北寄りに変化していることが分かる。上層を見ると、6~7 月に流向の急激な変化 (JM1A1) が見られ、中層でも同じ時期に流向の変化は見られるが、下層では流向の変化はあまり見られない。1999 年 4 月中~下旬に上層で右回りに流向が変化しており (矢印 M1A3)、同時期中層でわずかに痕跡が見えているものの、やはり下層では見られない。

Fig. 4 の流程上の○印の間隔に注目すると隣り合う○の間隔が広くなったり狭くなったり変化している期間がいくつか見える。そこで、隣合う○印の期間 (30 日間) 毎に卓越する南北成分流速の平均と標準偏差を月別に図示した。M1 (Fig. 5a) の各層の平均流速は年間を通して見ると類似した変化を示し、中でも 7 月と 12 月に各層で流速が減少していた。進行ベクトル図 (Fig. 4a) で先に指

摘した 7 月 (JM1A1) の他に、12 月でも (JM1A2) 上層で東西に大きく流向が変化していることが分かる。平均流速は下層で 8 月に年間の最大値 10.9 cm/s となり、中層で 7.9 cm/s となるが、上層の最大値は 6 月の 9.2 cm/s と中・下層とは異なる月に最大となった。

M2 (Fig. 4b) では、係留当初の 10 月は 3 層ともに北向きであったが、1999 年 10 月末から 2000 年 1 月末までは西~南向きの流れに変化した。その後の 3 ヶ月は流れが弱く流程としても同じようなところに留まっていた。2000 年 4 月中旬に西から北西に向かう流れとなっており、流向には各層で同様の変化があるように見える。南向きの流れとなっている 11~1 月の南北成分は南向きに 1~0.5 cm/s であり、西~北西に向かう 4~8 月の東西成分は西向き 1 cm/s となっていた。

M3 (Fig. 4c) では流速が年平均値で一桁異なるため、上層と中・下層で軸の縮尺を変えて表示している。M1, 2 と比較すると主体となる流向が各層で異なっているように見えるが、これは M3 地点から岸側に至る測流深度の等深線の方向と流向はほぼ一致していることから海底地形の影響によるものと考えられる。10 月以降、上層と中層の流向が北から北北東寄りに約 15 度傾いてほぼ同じになっている。各層についてみると、下層では流れが北向きを主体としつつ、数ヶ月周期で東西に振動しているように見える。中層では係留開始直後は下層と類似した西よりの北上流となったが、その後は短周期の流向変化を流程上の棘のように見せながら一貫して北北東寄りに流れていた。M3 の上層では、6 月の係留開始直後は北東方向であったが、南、西、北向きと右回りに円を描くよ

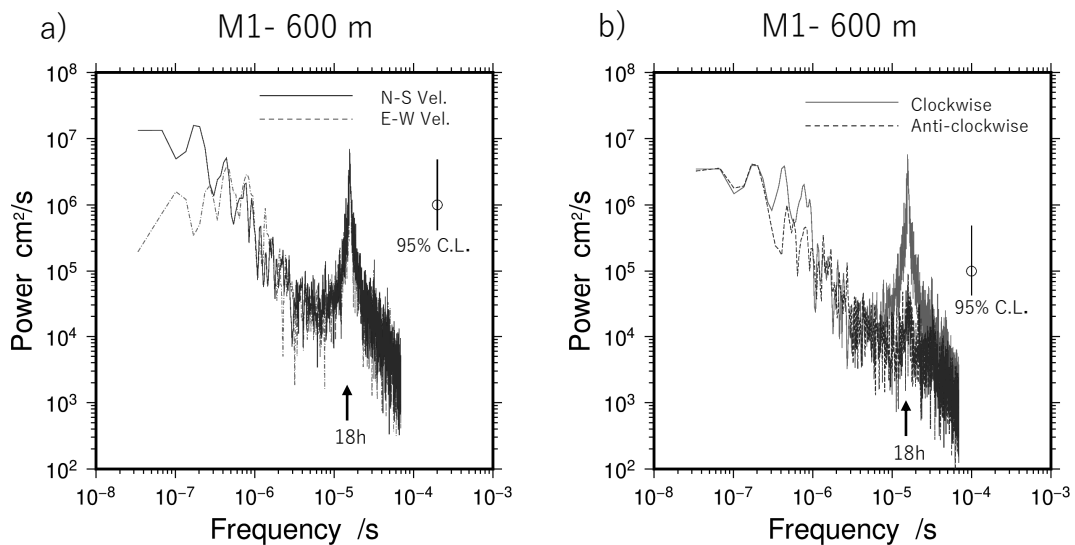


Fig. 3 Spectra (a) and rotary spectra (b) of the observed current velocity at M1 (depth 600 m) during from June/1998 to June/1999.

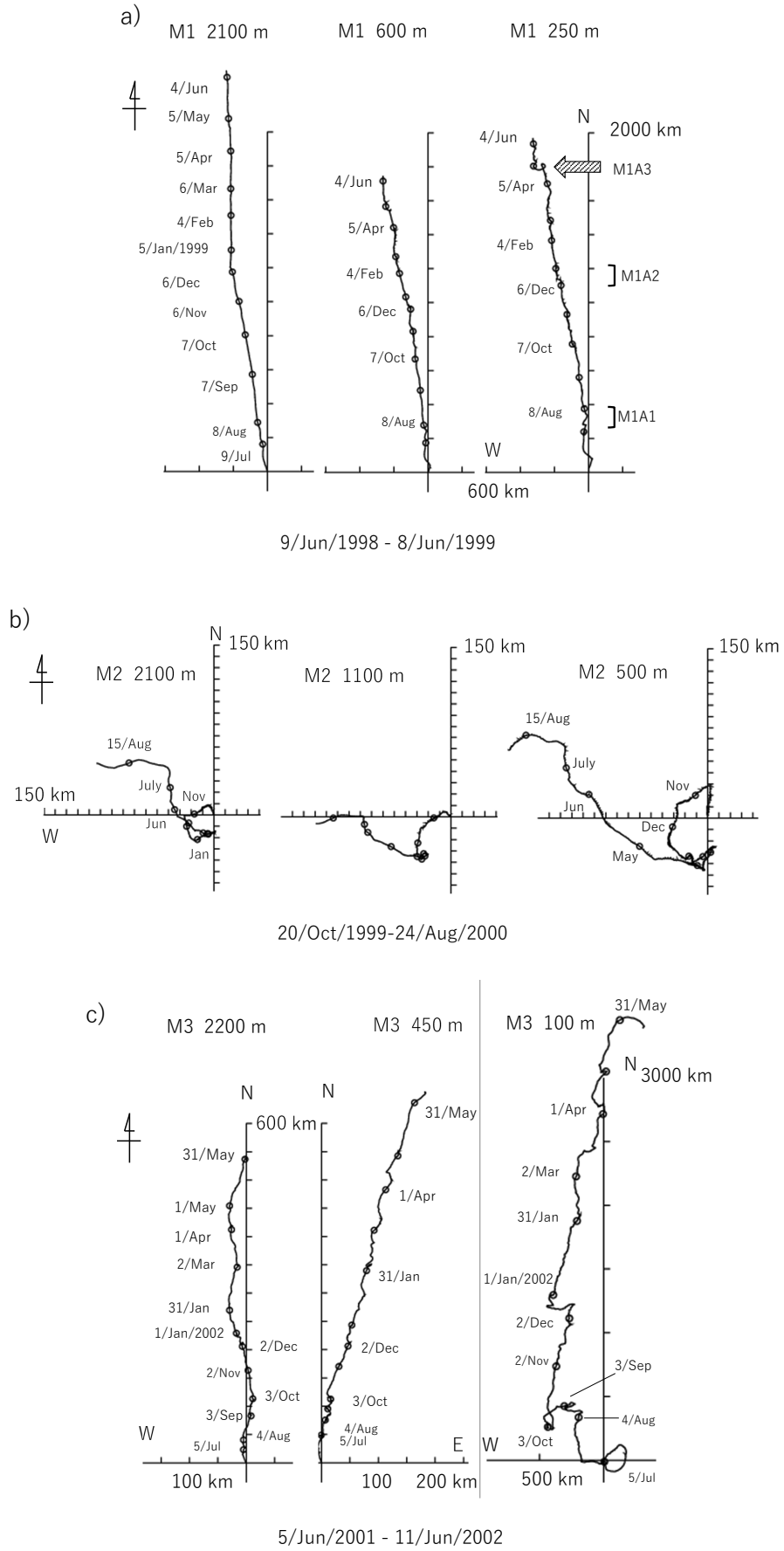


Fig.4 Progressive vector diagrams at M1 (a), M2 (b), and M3 (c).

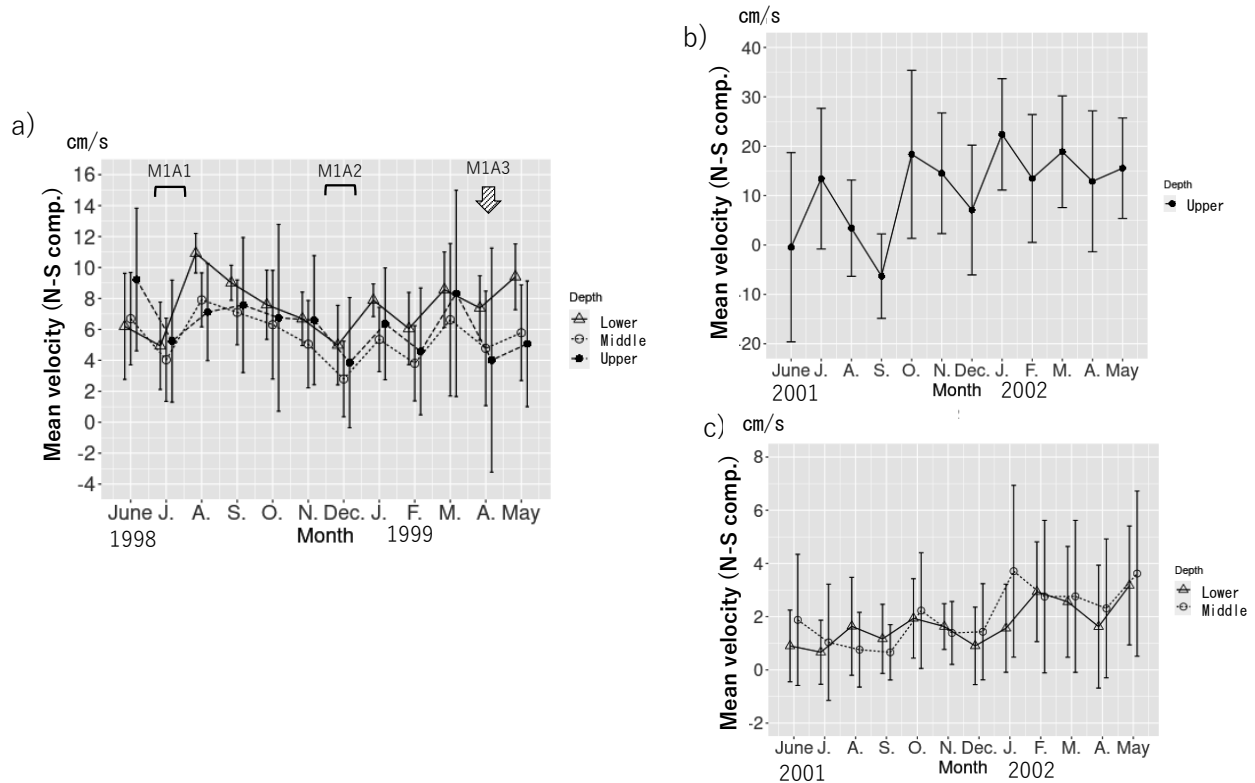


Fig.5 Monthly changes in the 30day average velocity of the observed north-southward current at three layers at M1 (a), upper layer at M3 (b), and middle and lower layers at M3 (c).

うに流向を変えた後、進行ベクトル図の原点付近でも小さく右回りし、その後西向きに流れた。7月中旬に北向きの流れとなったが、8月以降は10月始めまで北向きの流れは少なく、むしろ南向きの流れが多くなった。10月以降、ようやく北向きの流れが主体となり、流向は中層とほぼ同じ向きで北よりの流れになった。12月中旬にも西向きの流れになったが下旬には再び北よりの流向に戻った。

M1 同様に 30 日間毎に求めた M3 の南北成分流速の平均の月変化を Fig. 5b, c に示す。上層は設置水深が浅く流速値が大きいため図を分けて示す (Fig. 5b)。中・下層について見ると、流速は年平均でも差が無く、月変化もほぼ同じように見える。係留年が異なる M1 と共通するのは、下層で 7, 12 月に流速が低下することと、6 月も低い流速で始まっていることである。中層では 8, 9 月に下層より流速が小さくなり下層の最低値並の 0.66 cm/s となっていたが、10 月以降増加し 1 月に年間最大の 3.71 cm/s を示した後、5 月まで高く推移した。下層も 1 月以降増加傾向となり 5 月に 3.17 cm/s と年間最大値を示した。上層では 6, 9 月に 30 日平均値で南下流 (マイナス) を示すなど低流速であったが、10 月以降は流速が増加傾向となり 1 月に 22.40 cm/s と最大値を示し、5 月まで 15 cm/s 程度で推移した。

流速ベクトル図から見た流れの特徴 各地点の流速ベクトルを Fig. 6 に示す。M1 と M3 中層の上部にある逆三角形は係留系を挟む両側の測点で海洋観測が行われた日付を示している。M1 では下層から上層まで北向きの流れが卓越しており、ほぼ順圧的な流れとなっている。中下層と比べ、上層では流向の変動がやや大きくなっており、進行ベクトル図に見られたように 1999 年 4 月には暖水渦の通過とみられる時計回りの流向の変化が見える (矢印 M1A3)。1998 年 7 月と 12 月に 3 層ほぼ同時期に流速低下が見られており (M1A1, M1A2)、下層の流速低下が上中層より若干先行しているように見える。この 12 月の流速低下を境に、下層では流向がやや北寄りに変化し、中・上層では流速が減少していることが分かる。

M2 では流速が小さく分かりにくいだが、10 月から 1 月までは 3 層で南向きの流れが多く、5 月以降は北から西よりの流れとなっており、流向に季節変化が見られた。

M3 では上層の流速、流向の変動が最も大きく、中下層のそれは小さい。タイドキラーフィルターを施す前の生データ (1 時間毎) で上層では測定値の最大は 58 cm/s (流向 357°) を記録 (2001/10/27 03 時) している。渦の通過とみられる流向の変化が投入直後の 2001 年 6 月下旬から 10 月まで頻繁に見られ、12 月に比較的大きな流速で西向きの流れが続き、その後の 1 月以降は比較的小

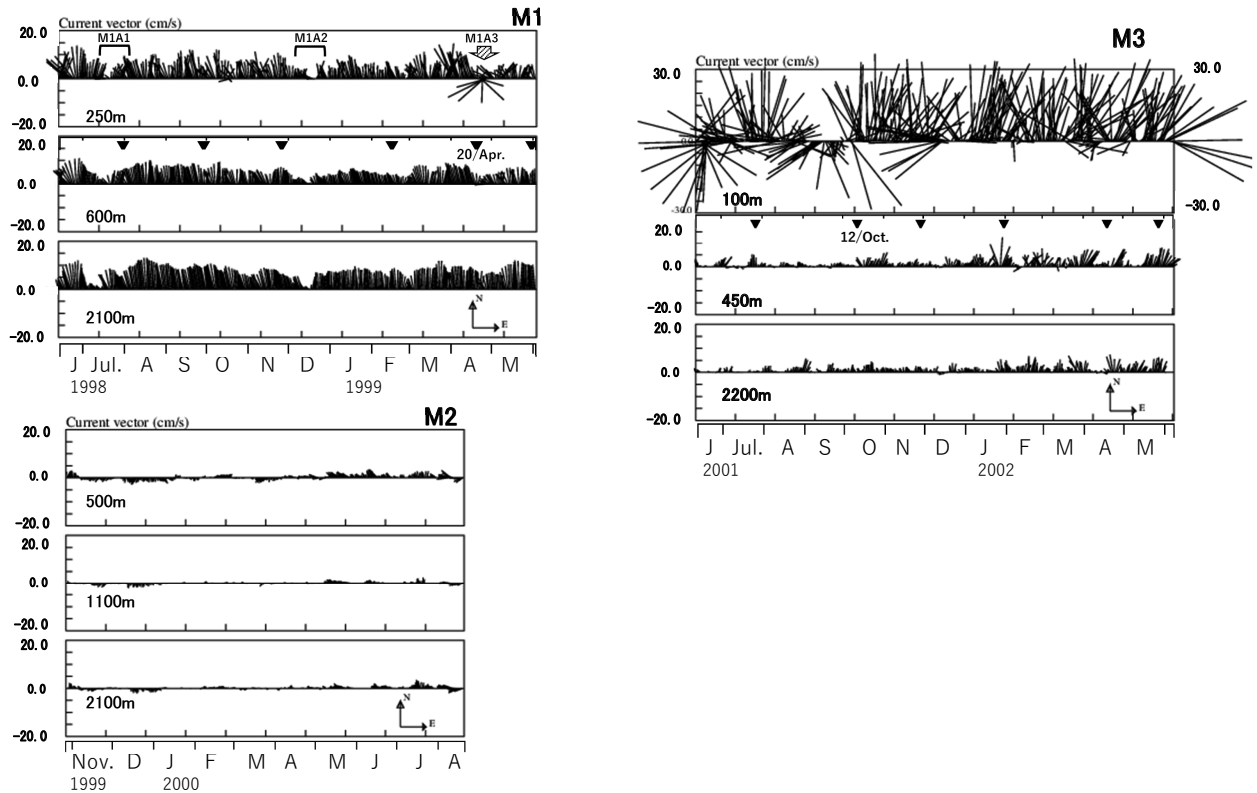


Fig. 6 Stick diagram of the M1, M2, and M3 mooring points using a 48-hour tide-killer filter and plot at time 00:00 of a day. Inverted triangles plotted in the middle layer indicates the date of oceanographic observation for computation of geostrophic velocity at the M1 and M3 mooring points.

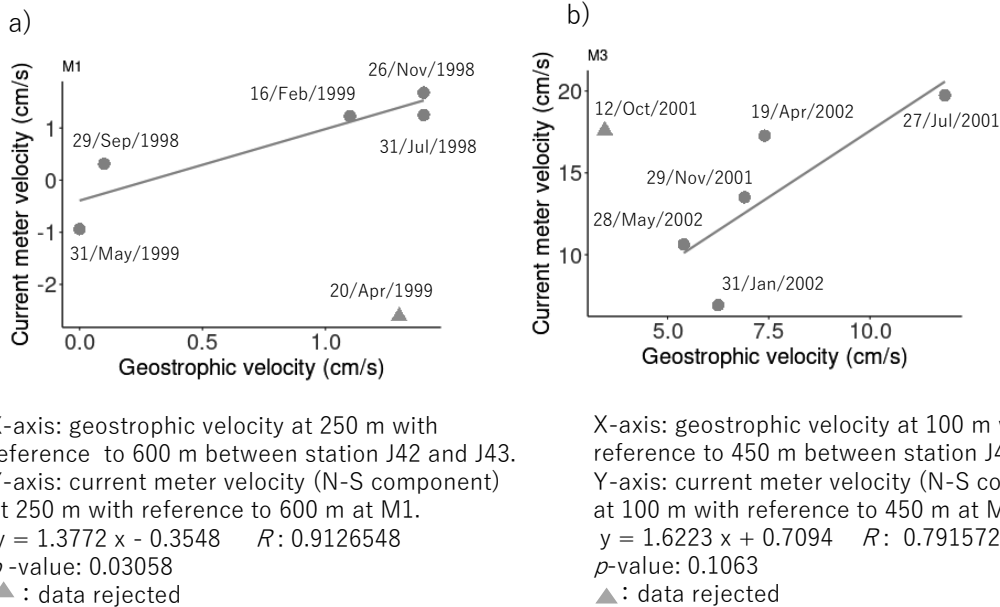


Fig. 7 Relationship between the geostrophic and direct measurement current velocities at 250 m with reference to 600 m at M1 (a) and at 100 m with reference to 450 m at M3 (b).

よりの流れが多くなっていた。係留期間の最後の6月になって、渦の接近を示唆する流速ベクトルの右回りの変化を見せている。

傾圧地衝流速と直接測流流速との相関 比較する流速は

M1 では係留測流地点を東西に挟む海洋観測地点 (Fig. 1) の J43 と J42 の水温塩分分布から傾圧地衝流速分布 (基準面深度は 800 m) を算出し、M1 の流速計係留深度である上層 250 m 深の傾圧地衝流速から中層 600 m 深の傾圧

地衡流速を差し引き、中層基準の上層の相対地衡流速(北向きを正)を求めた。M3では係留測流地点がJ4線よりおよそ10マイル北側にあるが、ほぼ同一水深の海洋観測地点であるJ41とJ42の水温塩分分布からM1と同様に基準面深度を800mとして求めた傾圧地衡流速分布から中層(450m深)基準の上層(100m深)の相対地衡流速を求めた。これらの傾圧地衡流速に対し、流速計データからは毎時の南北成分流速について傾圧地衡流速と同様に上層と中層の差をとり中層基準の上層の流速を求め、これを毎時の流速差データとした。既存の知見(磯田ら, 1998)を参考に毎時データを25時間移動平均し、1日1回09時の再サンプリングを行って日平均データとして、さらにこれを11日間の移動平均をかけた時系列データから海洋観測実施日のデータを用いた。想定される相関関係から大きく外れている点を除いた相関係数(R)はM1の上中層間の速度差(深度250mと600m間の速度差)で0.913, M3の上中層間の速度差(深度100mと450m間)で0.792となった(Fig.7)。深度差や地点差にかかわらず、傾圧地衡流速値が一桁異なるM1とM3の両地点ともに直接測流の流速値と高い相関を示したことから、傾圧地衡流速で鉛直方向の相対的な流速分布を代表できることが示された。

考 察

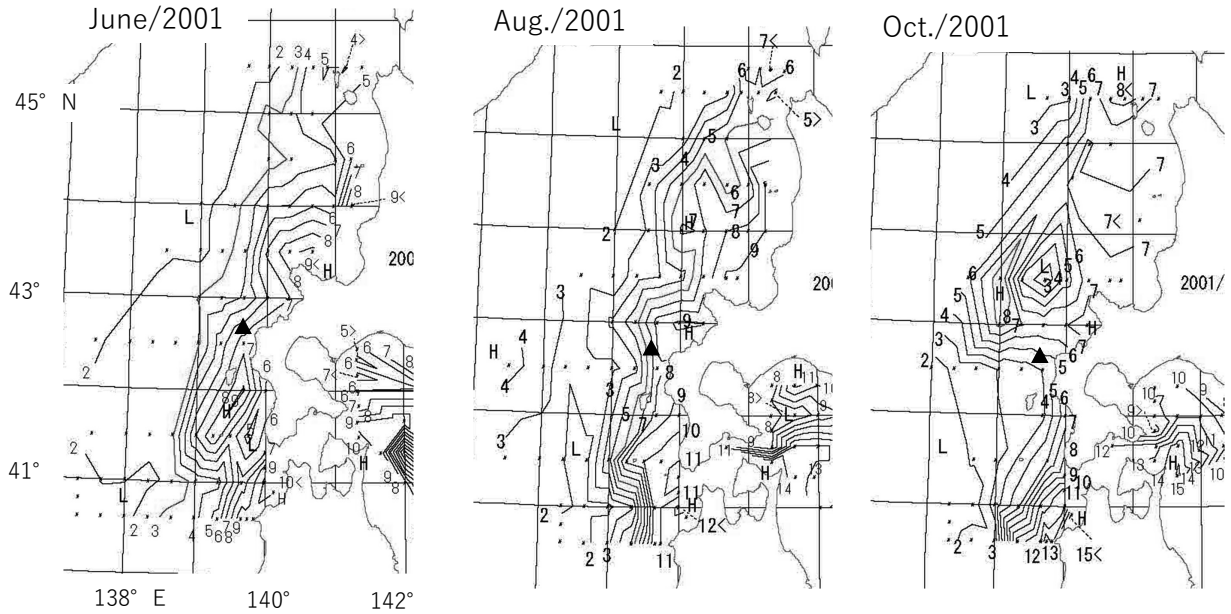
道西日本海の深層流の分布と特徴 長期係留観測から得られた本道西岸日本海の2000m深付近の南北流速成分の年平均値は、北海道沿岸側から順にM3で1.7cm/s, M1で7.5cm/s, 沖合M2で0.2cm/sとなっており、東西方向の平均流速値に大きな差があった。また、M3では12月を境に流向や流速に変化が見られたが、M1では非常に安定した季節変化の少ない北上流であるなど異なる特徴を示した。森ら(2001)の青森県西方日本海の測流結果(以降AM2と呼ぶ)と比較すると、M3下層の南北流速成分の年平均はAM2の測流結果の1/3, M1下層の1/4の流速値となっていた。これらの係留観測は同時期に行われたものではなく経年変化分を考慮できないため、直接の比較やその解釈には注意が必要であるが、日本海の深層循環が青森県西方と北海道西方と連続して流れているとすれば、AM2とM1の下層2000m深の北上流速は同程度であり矛盾しない。やや岸に近いM3下層では奥尻島や海底・海岸地形の影響を受け、AM2やM1の下層より小さい流速となっていると考えられる。

次に流れの特徴について見ると、周期的な変化のある流れのAM2に対して流れの変化が少ないM1下層との違いは、AM2の設置地点が陸棚斜面上の水深2500m付近

に対し、M1では南北に連なる奥尻海嶺の西端付近の海嶺の緩やかな斜面上水深3400m付近であり設置地点の水深が異なる上、陸棚斜面と海嶺斜面の違いがある。このような隣接する海底地形の違いで流れの特徴が異なっている可能性がある。M1のあるJ4線(42.5°N)では対馬暖流が東側に収束し、周年安定した主流部を形成している(中多・田中, 2023)が、このM1地点の北上深層流の存在が主流部の安定に関与しているかもしれない。

西側沖のM2では10ヶ月の係留期間で年平均には期間が不足しているが、流れの特徴として南北より東西方向の流速が大きく平均値で-0.4cm/sと弱い西向きの流れになっており、Takematsu *et al.* (1999)の日本海盆北部の係留結果と比較すると同程度の値となっていた。しかし流れの特徴は少し異なっており、M2では秋から冬は南下流であったが春4月以降は西よりの流れとなっていた。これは春から夏は北西向きの弱い深層流の存在を示唆していると考えられる。観測に用いた流速計RCM8では低流速時に流向がばらつく特性が報告されている(中野ら, 2008)。しかし、M2の回転スペクトルの慣性周期にピークが検出されていることから、ローター等の故障や機能不全ではなく低流速でも計測可能な範囲であったと考えられる。

傾圧地衡流速と実測流速の相関と例外の検討 基準面からの相対流速である傾圧地衡流速は、基準面と同じ深度の流速計による移動平均を施した実測流速値と高い相関関係を示した。この際に外れ値と見なしたデータについてその妥当性を検討する。M1の1999年4月20日の外れ値については、ベクトル図(Fig.6)の該当期間(M1A3)をみると、1週間程度の時間規模の渦の通過の直前の時期に該当し、移動平均による20日以降の流速値に渦の影響が含まれるため、この影響を受けた外れ値と見なした。M3の2001年10月12日の外れ値については、この年の6, 8, 10月の100m深水温分布(海況速報)を(Fig.8)見ると、積丹半島西方から檜山沖にかけての道西日本海の対馬暖流は、積丹半島西方で暖・冷水渦を形成して例年より東西の蛇行が大きく、10月には茂津多岬西方J4線では100m深6℃以上の等温線が南北につながらない程の対馬暖流の流量が減少していることが分かる。このため岩内西方のJC1線(43°N)とJ4線間では等温線が東西に延び、例年の南北ではない西向きの流れとなっていることが分かる。この時M3の係留地点はJ4線の約10マイル北側にあるので、この西向きの流れを測流していることになり、進行ベクトルFig.4cに見られる8~9月末までの滞留、不安定な流向や西よりの流れはこれら暖流流量の減少とそれに伴う擾乱を捉えていたと考えられる。Fig.4cの進行ベクトル図とFig.6のM3のベクトル



Temperature distributions at a depth of 100 m and mooring point of M3 (▲).

Fig.8 Temperature distributions at a depth of 100 m based on observations of the *Kaikyou-Sokuhou* by the HRO Fisheries Research Institute during June to October in 2001. Triangles indicate the mooring position of M3.

を見ると、10月上旬の前後で卓越する流向流速の変化が見える。2001年10月12日の観測値による傾圧流速値はこの流向流速の大きな変化が見られた時期と近く、外れ値と見なした。一方、2001年7月27日については、進行ベクトル図 (Fig. 4c) でも順調に北上している期間に該当しており外れ値とは見なしていない。

道西日本海の傾圧流と対馬暖流の北上流量 傾圧流速として求められる上下2層間 (下層が基準面) の流速差と、同じ深度の実測流速差には高い相関があることが分かった。このことは傾圧地衡流が成立していることを示している。一方で基準面での実測流速について見ると、M1中層で5.6 cm/s、M3中層で2.0 cm/sの年平均値となっており、年平均値が約12 cm/sの表層の傾圧地衡流速と比べると無視できない流速値となっている。M3の中・下層の年平均実測流速値はほぼ同じで Fig. 4c を見ると中層と下層の30日平均流速の月変化は類似している。M1では下層の流速が中層より1.9 cm/s大きいが、M3同様に中層と下層の30日平均流速の月変化は類似しており (Fig. 5a)、また Fig. 6 のベクトル図を見るとM1の中・下層では順圧的な流れが支配的であると見ることができる。これらの特徴からM1、M3における中層の実測流速を傾圧流と仮定し、対馬暖流の北上傾圧流量を見積ると、深さを500 mとし、流れの幅はこの観測線における対馬暖流の主流部に相当 (中多・田中, 2023) するM3をJ42-43間、M1をJ41-42間に対応させると合わせて約1.1 Svと

見積もられる。道西日本海の対馬暖流北上流量は傾圧流だけで約1.2 Svと見積もられており (中多・田中, 2002)、ほぼ同じ量が過小評価されている可能性が示された。

謝辞

北水試初となる深海係留観測を3度にわたり無事に設置回収をやり遂げた当時のおやしお丸の歴代船長をはじめ、乗組員各位にあらためて敬意を表するとともに深く感謝申し上げます。また、深海係留のノウハウやデータ処理ツールの情報提供および教示を頂いた、当時の北海道大学水産学部海洋学気象学講座の先生方、大学院生の皆さんにも感謝申し上げます。前例のない観測計画にかかわらず、実施決定をなされた当時の部長、場長の皆様方に深く敬意を表するとともに、調査にご協力いただいた当時の同僚職員に心よりお礼申し上げます。最後に有益なコメントを頂いた査読者の皆様にお礼申し上げます。

引用文献

- 花輪公雄. 沿岸境界流. 沿岸海洋研究ノート 1984;22: 67-82.
 花輪公雄, 三寺史夫. 海洋資料における日平均値の作成について. 沿岸海洋研究ノート 1985;23:79-87.

磯田豊, 中山智治, 村上敬, 金相裕, 大谷清隆. 津軽海峡南西海域における対馬暖流の係留観測. 海の研究 1998 ; 7(4) : 237-224.

北海道立水産試験場 海況速報 No.80~82 2001 <https://www.hro.or.jp/fisheries/research/central/section/kankyou/sokuhou.html>(2024/10/25).

北海道立水産試験場 海洋調査要報 第1~13号 余市, (1985-1997).

北海道立水産試験場 海洋調査要報 第14~15号 余市, (1998-1999) <https://www.hro.or.jp/fisheries/research/central/section/kankyou/youhou.html> (2024/10/25).

森康輔, 磯田豊, 村上敬, 大谷清隆. 津軽海峡南西海域における深層流の長周期変動. 海の研究 2001 ; 10(1) : 1-13.

中野俊也, 石崎廣, 四竈信行. 長期係留による4種類の流速観測結果の比較. 気象研究所技術報告 2008 ; 55 : 1-22.

中多章文, 田中伊織. 北海道西岸における対馬暖流傾圧流量の季節および経年変化. 北海道立水産試験場研究報告 2002 ; 63 : 1-8.

中多章文, 田中伊織. 道西日本海における対馬暖流流量分布の季節および経年変化. 北海道立水産試験場研究報告 2023 ; 105 : 29-36.

Takematsu M, Nagano Z, Ostrovskii A.G., Kim K., Volkov Y.. Direct measurements of deep currents in the Northern Japan Sea. *J. Oceanogr.* 1999 ; 55 : 207-216.

吉田英雄, 中多章文, 浅見大樹, 田中伊織. 北海道における海洋環境モニタリングの現状・成果と今後の取り組み. 月刊海洋 2004 ; 36(1) : 5-10.

北海道松前沿岸域に來遊するキタオットセイの食性
—漁業被害発生機序の解明にむけた基礎情報の収集

後藤陽子, 堀本高矩, 三谷曜子

2011～2020年に北海道松前沿岸域で採捕されたキタオットセイ94個体の胃内容物を分析し, 主要餌生物を明らかにした。調査の結果, 松前沿岸においてオットセイは, ホッケ, メバル属魚類およびイカ類などの春季における重要な漁獲対象種を主要餌生物としていることが示された。これら餌生物の体サイズは, 商業漁獲物の体サイズと重複しており, オットセイと漁業は同一の資源を利用していると考えられた。ただし, カタクチイワシやマイワシなどの多獲性魚類が來遊した場合には, それらを利用するなど, 漁獲対象種以外の魚種の採餌も認められた。このような食性の動態は長期的なモニタリングにより明らかになることが示された。

A639 北水試研報 107, 1-13 (2025)

北海道西岸日本海における対馬暖流の直接測流と暖流流量の再評価

中多章文, 田中伊織

本道西岸の日本海を北上する対馬暖流の流量や流速をより正確に評価するため, 対馬暖流域の3カ所(M1地点: 1998-1999年, M2地点: 1999-2000年, M3地点: 2001-2002年)で1系3層の直接測流を実施した。2層間の傾圧流速と直接測流による流速差を比較したところ, 渦の通過など特異な海況時を除くと両者の流速差は高い相関を示した。また, 暖流下の深層流(深度2100~2200m)は北上流が卓越しており, 沿岸側の年平均の南北成分流速は北向きに1.7 cm/s, 沖側で7.5 cm/sとなっていた。西方はるか沖の日本海盆内では西向き弱い流れが観測された。基準面深度における年平均の北上流速値から道西日本海での500m以浅の対馬暖流の流量は約1.1Sv過小評価されている可能性が示された。

A640 北水試研報 107, 15-24 (2025)

水産研究本部図書出版委員会

委員長 佐々木 剛

委員 美坂 正 清水 洋平 中野 敦博 板谷 和彦

嶋田 宏 奥村 裕弥 佐藤 敦一 佐野 稔

藤原 真

事務局 高嶋 孝寛 後藤 陽子 加賀 均 鎌水 梢

水産研究本部出版物編集委員会

委員長 高嶋 孝寛

委員 美坂 正 西田 芳則 清水 洋平 福田 裕毅

中野 敦博 三上 加奈子 藤原 真 下田 和孝

楠田 聡 伊藤 慎悟

事務局 後藤 陽子 加賀 均 鎌水 梢

(作業補助：武田 奈緒子)

北海道水産試験場研究報告 第107号

2025年3月3日発行 ISSN: 2185-3290

編集兼
発行者 北海道立総合研究機構水産研究本部
〒046-8555 北海道余市郡余市町浜中町238

電話 総合案内 0135(23)7451 (総務部総務課)

図書案内 0135(23)8705 (企画調整部企画課)

FAX 0135(23)3141

Hamanaka-cho 238, Yoichi-cho, Hokkaido 046-8555, Japan

印刷所 株式会社 総北海 札幌支社

〒065-0021 札幌市東区北21条東1丁目4番6号

電話 011(731)9500