

令和 5（2023）年度イカナゴ類宗谷海峡の資源評価

水産研究・教育機構

水産資源研究所 水産資源研究センター（千村昌之・濱津友紀・森田晶子・
境 磨）

参画機関：北海道立総合研究機構 稚内水産試験場

要 約

本資源の資源状態について、沖合底びき網漁業の標準化 CPUE に基づいて評価した。1996 年以降の標準化 CPUE の推移から、資源水準は低位であると判断した。また、直近 5 年間（2018～2022 年）の標準化 CPUE の変化から、資源動向は減少と判断した。

沖合底びき網漁業による漁獲量は、2010 年まで 1 万トン以上で推移した後、2014 年には 429 トンに減少した。その後増加して 2018 年に 7,568 トンとなったが、再び減少して 2021 年には過去最低の 387 トンとなり、2022 年は 657 トンであった。沿岸漁業を含めた総漁獲量も、2014 年には 443 トンに減少した後増加して 2018 年に 8,729 トンとなったが、再び減少して 2021 年には過去最低の 426 トンとなり、2022 年は 681 トンであった。

年	資源量 (トン)	親魚量 (トン)	漁獲量 (トン)	F 値	漁獲割合 (%)
2018	—	—	8,729	—	—
2019	—	—	7,191	—	—
2020	—	—	4,277	—	—
2021	—	—	426	—	—
2022	—	—	681	—	—

暦年（1～12 月）での値

水準：低位 動向：減少

本件資源評価に使用したデータセットは以下のとおり

データセット	基礎情報、関係調査等
漁獲量	北海道沖合底びき網漁業漁獲成績報告書(水産庁) 主要港漁業種類別水揚げ量(北海道)
漁獲努力量	北海道沖合底びき網漁業漁獲成績報告書(水産庁)
資源量指標値	北海道沖合底びき網漁業の標準化 CPUE(水研)
漁獲物体長組成	生物情報収集調査(北海道)

1. まえがき

宗谷海峡周辺のイカナゴ類は、主に宗谷海峡東方海域で沖合底びき網漁業（以下、「沖底」という）によって漁獲されている（図 1）。本資源にはイカナゴとキタイカナゴの 2 種が存在するとされていたが（三宅 2003）、近年、DNA 解析により、新種として記載されたオオイカナゴも本資源に含まれることが明らかとなった（Orr et al. 2015）。オオイカナゴが新種として記載される以前は、耳石の特徴や軟条数によって、イカナゴとキタイカナゴの 2 タイプの判別が可能とされてきた（三宅 2003、田中 2004）。しかし、オオイカナゴを含めた 3 種は漁獲統計上では区別されておらず、形態形質などによる簡便な種判別法も現段階では開発されていないため、本評価ではイカナゴ類として一括して扱った。なお、漁獲物の一部を DNA 分析した結果、2016 年には全体のおよそ 6 割がイカナゴであり、2017～2021 年には全体のおよそ 7 割以上がオオイカナゴであった（稚内水産試験場 2023）。2022 年はイカナゴの割合が最も高く、全体のおよそ 5 割を占めた（稚内水産試験場 2023）。

宗谷海峡のイカナゴ類は 2004 年に資源回復計画の対象魚種に指定され、操業期間の短縮（6～10 月を 6～9 月に 1 ヶ月短縮）、底びき網漁業の休漁（7～9 月に月 1 回連続 3 日間の休漁）、オッタートロール船の減船措置（2004 年に 2 隻、2011 年に 1 隻減船）が実施されてきた。2012 年度以降は、現行の「我が国の海洋生物資源の資源管理指針」（水産庁 2023）の下、資源回復計画で実施した漁獲努力量削減の取り組みを継続している。

2. 生態

(1) 分布・回遊

イカナゴは日本各地の沿岸、オオイカナゴは宗谷海峡周辺海域や三陸沿岸、キタイカナゴはサハリンや千島列島などからベーリング海を経てカナダ西岸にかけての沿岸に分布する（Lindberg 1937、松原 1955、Mecklenburg et al. 2002、Orr et al. 2015）。宗谷海峡周辺に分布するイカナゴ類は、水深 40～80 m の砂礫地帯に生息している（稚内水産試験場 2015）。

(2) 年齢・成長

各年齢（6 月 1 日を誕生日とした満年齢）におけるイカナゴの標準体長（以下、「体長」という）と体重を図 2 に示す（堀本ほか（2018）より作図）。寿命は 7 歳以上である。オオイカナゴの成長もイカナゴとほぼ同じである（堀本ほか 2018）。キタイカナゴの詳細は不明である。

(3) 成熟・産卵

イカナゴは 2～3 歳で成熟する（三宅 2003、稚内水産試験場 2015）。イカナゴの産卵場は稚内、枝幸および利尻島、礼文島周辺の沿岸域である（稚内水産試験場 2015）。キタイカナゴの産卵場はサハリン周辺の沿岸域と考えられているが、詳細は不明である（稚内水産試験場 2015）。産卵期は、イカナゴが春（3 月下旬～5 月上旬）で、キタイカナゴが初冬（11 月下旬～12 月）である（Okamoto et al. 1989）。オオイカナゴの詳細は不明である。なお、成熟・産卵時期等の生態に関する既存の知見は、複数種混在していた試料の分析結果に基づいている可能性があるため検討が必要である（稚内水産試験場 2019）。

(4) 被捕食関係

未成年魚は、カイアシ類などの浮遊性甲殻類や珪藻類を捕食し、成魚は、カイアシ類、端脚類、オキアミ類、十脚類、ヤムシ類、魚類を捕食している（北口 1977、水産庁研究部 1989）。一方、捕食者としては、魚類、海獣類のトドが考えられている（三宅 2003）。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

宗谷海峡周辺のイカナゴ類の大部分は沖底によって漁獲され、日本水域の漁場は、沖底の漁期中におけるイカナゴ類資源の分布域の南限に当たる。ロシア水域における着底トロールの操業は 1988 年に禁止となり、さらに 2002 年には第 IV 水域（二丈岩・宗谷海峡）におけるイカナゴ類の漁獲割り当てもなくなった。現在沖底は、主に宗谷海峡東方海域（稚内イース場）において 1～6 歳魚の索餌群を 6～9 月に漁獲している。オッタートロール船の主漁場は、サハリン島～北海道の中間ラインとオッタートロール禁止ラインに囲まれた水域である。一方、かけまわし船は、猿払～枝幸の沿岸海域を主漁場としている。同漁場では 6 月末頃までケガニかご漁業を行っているため、イカナゴ漁はそれ以降に開始している。

沖底以外の小型定置網、すくい網および敷網などの沿岸漁業でも漁獲される（図 3、表 1）。沿岸漁業では、利尻島・礼文島周辺海域や稚内沿岸において、0～3 歳魚を 4～7 月に漁獲している。

(2) 漁獲量の推移

沖底の漁獲量は、1982 年以降減少傾向を示し、1987 年には 1.2 万トンに落ち込んだが、その後増加して 1995 年には 5.2 万トンであった（図 3、表 1）。1998 年以降減少傾向を示し、2010 年までは 1.0 万～3.1 万トンの範囲で推移した。2011 年以降は 1.0 万トンを下回り、2014 年にはそれまでの最低の 429 トンに減少した。その後増加して 2018 年に 7,568 トンとなったが、再び減少して 2021 年は過去最低の 387 トン、2022 年は 657 トンであった。2014 年に漁獲量が少なかったのは、操業可能な海域におけるイカナゴ類の分布量が少なかったためと考えられている（稚内水産試験場 2016）。2021 年に漁獲量が急減したのは、近年の漁獲の主体であったオッタートロール船が盛漁期の 6 月にほとんど操業できない状況にあったことに加えて、イカナゴ類の漁場への来遊量が少なかったためと考えられている（稚内水産試験場 2023）。2022 年もイカナゴ類の漁場への来遊量が少なかったと考えられており（稚内水産試験場 2023）、オッタートロール船によるイカナゴ類の漁獲があったのは漁期前半の 6 月～7 月上旬のみであった。また、2021 年と 2022 年はかけまわし船によるイカナゴ類の漁獲がなかった。

沿岸漁業の漁獲量は沖底よりもかなり少ない。1980 年代後半～1990 年代は 0.8 千～5.6 千トンの範囲であったが、2000 年以降は 14～1,200 トンで推移している（図 3、表 1）。2014 年に過去最低の 14 トンに減少したものの、その後増加して 2018 年には 1,161 トンとなったが、再び減少して 2021 年は 39 トン、2022 年は 25 トンであった。

沖底と沿岸漁業を合わせた総漁獲量は、2014 年にはそれまでの最低の 443 トンであった。その後増加して 2018 年に 8,729 トンとなったが、再び減少して 2021 年は過去最低の

426 トン、2022 年は 681 トンであった。

(3) 漁獲努力量

漁獲の主体を占めるオホーツク海域での沖底の漁獲努力量（有漁網数）は、1980 年以降減少傾向を示した（図 4、表 1）。オッタートロールの漁獲努力量は、1986～2001 年は 900～1,800 網程度であったが、2002 年以降は紋別根拠の漁船が加入したことが影響して網数が増加した 2006 年を除くと概ね 200～700 網程度で推移している。2013 年に過去最低の 56 網に減少したが、その後やや増加して、2022 年は 166 網であった。かけまわしの漁獲努力量は、1982 年に 6,322 網であったが、1983 年以降減少し、1994 年は 0 網であった。1995～2011 年は概ね 1,000 網前後で推移したが、2012 年以降減少した。2014 年以降はかけまわしの操業海域に漁場が形成されず（稚内水産試験場 2018）、2016～2020 年の漁獲努力量は 2～24 網と少なく、2021 年と 2022 年は 0 網であった。なお、1980～1995 年の漁獲努力量の集計には月別船別漁区別統計値を使用し、1996 年以降の漁獲努力量の集計には日別船別漁区別統計値を使用した。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

資源評価は補足資料 1 に示した手順に従い実施した。資源状態の判断には沖底の標準化 CPUE を利用した。標準化 CPUE の推定には北海道沖底漁獲成績報告書の日別船別漁区別統計値を使用し、イカナゴ類の漁獲量が全体漁獲量の 10%未満のデータは混獲データと見なして解析から除外した。標準化 CPUE の推定方法に関する詳細は補足資料 2 に記す。標準化には一般化線形混合モデルを適用した。モデル選択の結果、最終的に標準化に用いたモデルは、年、月、漁法（オッタートロール、かけまわし）を主効果とし、年と漁法、年と月の交互作用を变量効果とした下式のモデルである。

$$\log(\text{CPUE}_{ijk}) = \alpha + \text{Year}_i + \text{Month}_j + \text{Gear}_k + a_{ik} + b_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

α は切片、 Year_i は年の効果、 Month_j は月の効果、 Gear_k は漁法の効果、 a_{ik} は年と漁法の交互作用、 b_{ij} は年と月の交互作用、 ε_{ijk} は i 年、 j 月、漁法 k での残差を表す。年効果の Lsmean（Least squares mean: 最小二乗平均）を計算することで、年以外の効果を除去した標準化 CPUE を推定し、資源量指標値とした。ただし、宗谷海峡周辺のイカナゴ類は日本水域とロシア水域に跨って分布しているため、CPUE に基づく資源状態の判断には不確実性が伴う。なお、解析期間は日別船別漁区別統計値が存在する 1996 年以降である。

(2) 資源量指標値の推移

資源量指標値として使用した標準化 CPUE の推移を図 5、表 1 に示した。1997 年に 17.1 トン/網であった標準化 CPUE は、その後減少して 2000 年は 3.7 トン/網であった。2001 年以降増加傾向を示して 2006 年には 17.5 トン/網となったものの、その後再び減少傾向を示し、2014 年にはそれまでで最低の 0.7 トン/網であった。2015 年に一時的に 7.6 トン/網まで増加したが、再び減少して 2022 年は 1996 年以降で最低の 0.6 トン/網であった。ただし、オッタートロール船では 2021 年は盛漁期の 6 月の操業が少なく、2022 年は漁期前半のみ

の操業であったこと、また、かけまわし船では2021年以降操業がなかったことから、両漁法のデータを用いて算出した2021年と2022年の標準化CPUEは、資源量指標値としての信頼性が例年よりも低い可能性があることに留意する必要がある。

(3) 漁獲物の体長組成

直近5年間(2018~2022年)に沖底で漁獲されたイカナゴ類の体長組成を図6に示した。2018年は体長22~24cmの4~5歳魚と体長15~18cmの1~2歳魚が漁獲された(稚内水産試験場2023)。2019年は6月に体長21cm以上の大型魚が、7月以降は18~21cmの2~3歳魚が漁獲の主体であった(稚内水産試験場2023)。2020年は漁期を通して体長20cm前後の個体が多く、2021年と2022年は体長21cm以上の大型魚が漁獲物の大半を占めたが、2021年8月と2022年6月の漁獲物には体長18cm未満の小型若齢魚もみられた。

(4) 資源の水準・動向

沖底の標準化CPUEの推移から資源水準および動向を判断した。1996~2022年の標準化CPUEの平均値を50として、各年の相対値を資源水準指数とした。水準指数70以上を高水位水準、30以上70未満を中位水準、30未満を低位水準とした。2022年の水準指数は4であったため、資源水準は低位と判断した(図5)。また、直近5年間(2018~2022年)における標準化CPUEの推移から、資源動向は減少と判断した。

5. 資源管理の方策

資源量指標値の推移から、資源状態が良くなっているとは判断できないため、現行の「我が国の海洋生物資源の資源管理指針」(水産庁2023)の下、引き続き今後の加入状況を注視しつつ、これまでの資源回復計画での取り組み(操業期間の短縮、休漁日の設定)を継続する必要がある。

6. 引用文献

- 堀本高矩・後藤陽子・甲斐嘉晃・鈴木祐太郎・美坂 正 (2018) 北海道北部海域で採集されたイカナゴ属魚類の成長. 北水試研報, **94**, 47-51.
- 北口孝郎 (1977) 宗谷海峡周辺水域のイカナゴ漁業と若干の生物学的知見. 北水試月報, **34**, 1-12.
- Lindberg, G. U. (1937) On the classification and distribution of sand-lances genus *Ammodytes* (Pisces). Bull. Far. East. Branch Acad. Sci. USSR, **27**, 85-93.
- 松原喜代松 (1955) 「魚類の形態と検索」. 石崎書店, 東京, 1605 pp.
- Mecklenburg, C. W., T. A. Mecklenburg and L. K. Thorsteinson (2002) Fishes of Alaska. American Fisheries Society, 1037 pp.
- 三宅博哉 (2003) イカナゴ. 「新北のさかなたち」水島敏博・鳥澤 雅監修, 北海道新聞社, 札幌, 220-223.
- Okamoto, H., H. Sato and K. Shimazaki (1989) Comparison of reproductive cycle between two genetically distinctive groups of sand lance (genus *Ammodytes*) from northern Hokkaido.

Nippon Suisan Gakkaishi, **55**, 1935-1940.

Orr, J. W., S. Wildes, Y. Kai, N. Raring, T. Nakabo, O. Katugin and J. Guyon (2015) Systematics of North Pacific sand lances of the genus *Ammodytes* based on molecular and morphological evidence, with the description of a new species from Japan. Fish. Bull., **113**, 129-156.

水産庁 (2023) 我が国の海洋生物資源の資源管理指針. 48 pp.

https://www.jfa.maff.go.jp/j/suisin/s_keikaku2/attach/pdf/s_keikaku_2-5.pdf

(last accessed 2023/6/30)

水産庁研究部 (1989) 我が国漁獲対象魚種の資源特性 (I). 76 pp.

田中伸幸 (2004) 耳石を用いたイカナゴ属 2 種の種判別. 北水誌研報, **67**, 109-111.

稚内水産試験場 (2015) イカナゴ類 (宗谷海峡海域). 2015 年度水産資源管理会議評価書, 北海道立総合研究機構水産研究本部, 10 pp.

http://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/central/section/sigen/att/32_ikanagosp_soyach_2015.pdf (last accessed 2023/6/30)

稚内水産試験場 (2016) イカナゴ類 (宗谷海峡海域). 2016 年度水産資源管理会議評価書, 北海道立総合研究機構水産研究本部, 9 pp.

http://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/central/section/sigen/att/32_ikanagosp_soyach_2016.pdf (last accessed 2023/6/30)

稚内水産試験場 (2018) イカナゴ類 (宗谷海峡海域). 2018 年度水産資源管理会議評価書, 北海道立総合研究機構水産研究本部, 11 pp.

http://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/central/section/sigen/att/32_ikanagosp_soyach_2018.pdf (last accessed 2023/6/30)

稚内水産試験場 (2019) イカナゴ類 (宗谷海峡海域). 2019 年度水産資源管理会議評価書, 北海道立総合研究機構水産研究本部, 12 pp.

http://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/central/section/sigen/att/32_ikanagosp_soyach_2019.pdf (last accessed 2023/6/30)

稚内水産試験場 (2023) イカナゴ類宗谷海峡海域. 2023 年度北海道周辺海域における主要魚種の資源評価書, 北海道立総合研究機構水産研究本部. 329-340.

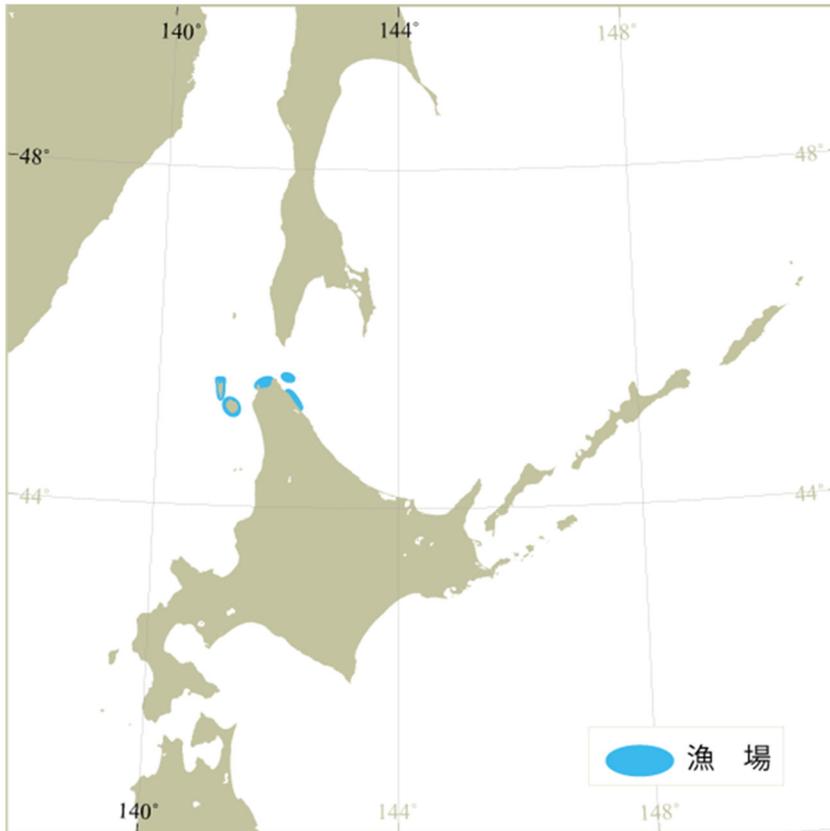


図1. イカナゴ類宗谷海峡の漁場図

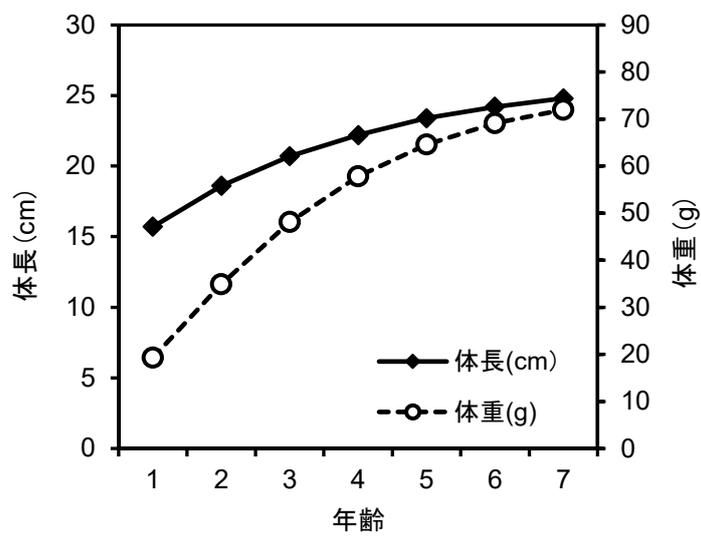


図2. イカナゴの成長（堀本ほか（2018）より作図）
オオイカナゴの成長もほぼ同様である。

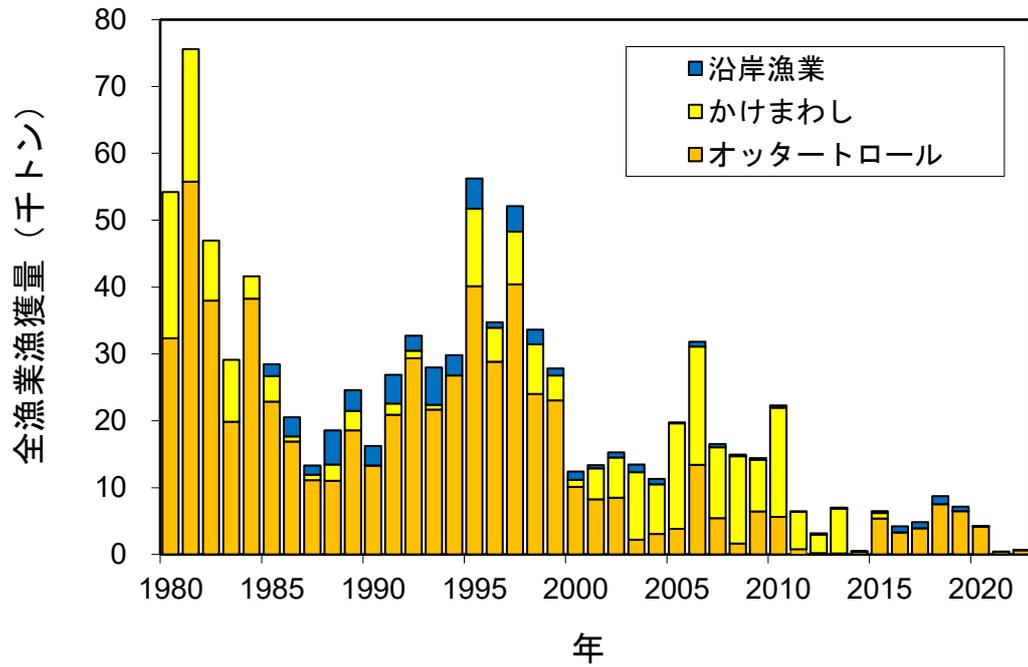


図3. イカナゴ類宗谷海峡の漁獲量 沿岸漁業の漁獲量は1985年以降の数値。

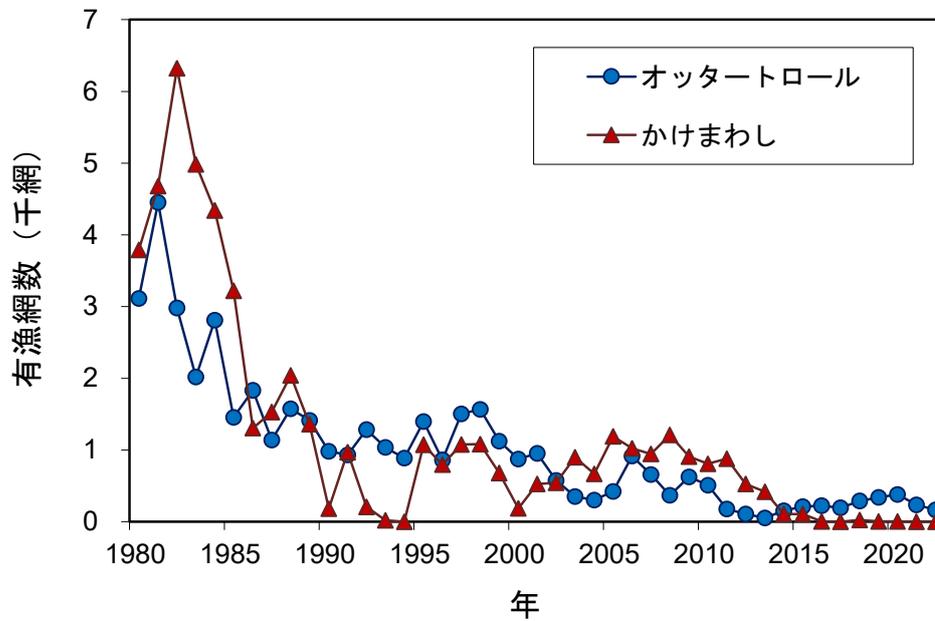


図4. イカナゴ類宗谷海峡に対する沖底の漁獲努力量 (有漁網数)

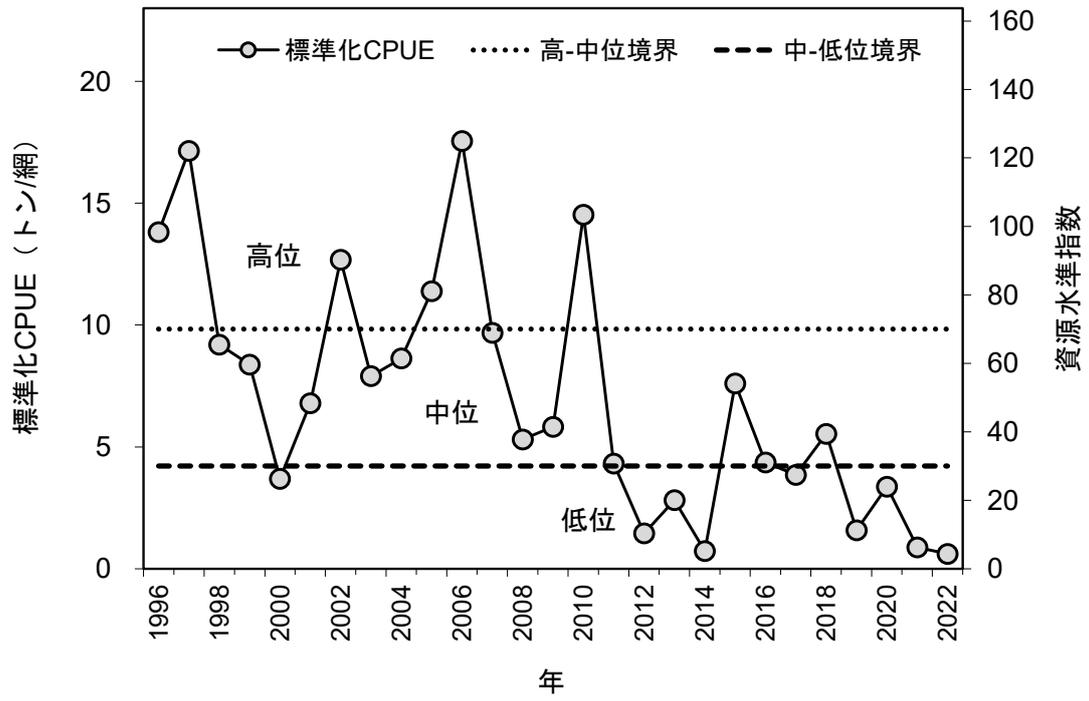


図5. イカナゴ類宗谷海峡の沖底標準化 CPUE の推移と資源水準

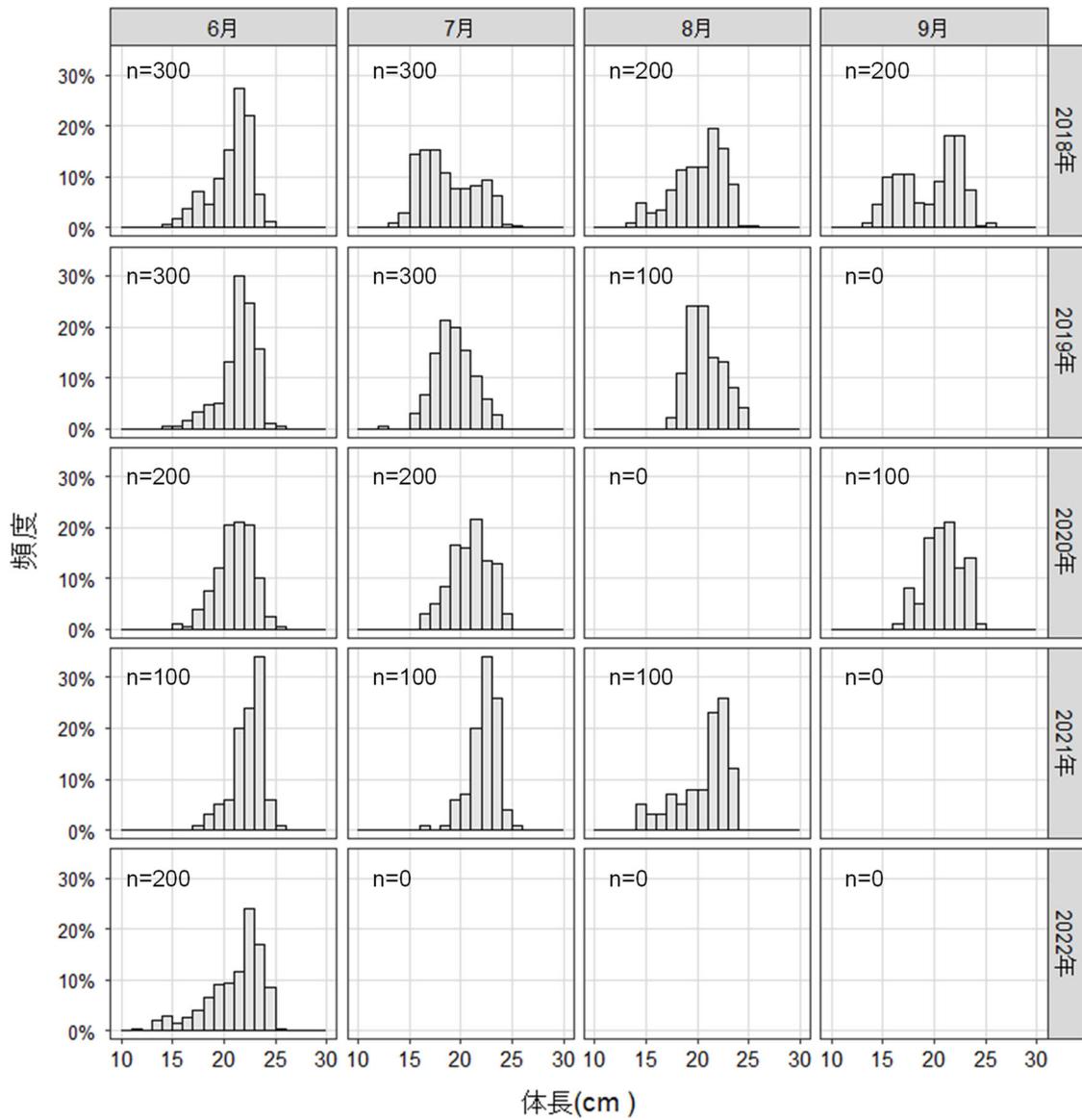


図 6. 宗谷海峡周辺において沖底により漁獲されたイカナゴ類の 6～9 月の体長組成 (稚内水産試験場 (2023) の図を改変)

表 1. 宗谷海峡周辺海域におけるイカナゴ類の漁獲動向

年	漁獲量(トン)						努力量(網)		CPUE(トン/網)			
	沖底				沖底計	沿岸漁業	沖底(オホーツク)		沖底(オホーツク)		標準化	
	オッタートロール		かけまわし				オッタートロール	かけまわし	オッタートロール	かけまわし		
	オホーツク	日本海	オホーツク	日本海								
1980	31,910	436	21,873	0	54,219		54,219	3,112	3,789	10.3	5.8	
1981	55,697	85	19,767	0	75,549		75,549	4,453	4,679	12.5	4.2	
1982	37,975	0	8,983	12	46,970		46,970	2,979	6,322	12.7	1.4	
1983	19,809	29	9,268	6	29,112		29,112	2,020	4,983	9.8	1.9	
1984	38,251	0	3,352	14	41,617		41,617	2,812	4,339	13.6	0.8	
1985	22,852	0	3,769	69	26,690	1,764	28,454	1,455	3,222	15.7	1.2	
1986	16,780	101	707	94	17,682	2,845	20,527	1,834	1,306	9.1	0.5	
1987	10,944	205	813	0	11,962	1,366	13,328	1,142	1,530	9.6	0.5	
1988	11,042	0	2,406	0	13,448	5,106	18,554	1,577	2,039	7.0	1.2	
1989	18,566	0	2,908	0	21,474	3,120	24,594	1,415	1,361	13.1	2.1	
1990	13,341	0	1	3	13,345	2,882	16,227	981	183	13.6	0.0	
1991	20,898	0	1,653	15	22,566	4,320	26,886	933	969	22.4	1.7	
1992	29,344	0	1,146	0	30,490	2,237	32,728	1,284	209	22.9	5.5	
1993	21,665	0	701	0	22,366	5,586	27,953	1,037	19	20.9	36.9	
1994	26,757	2	0	0	26,759	3,087	29,846	889	0	30.1	-	
1995	40,129	0	11,602	0	51,731	4,537	56,268	1,399	1,074	28.7	10.8	
1996	27,907	900	5,044	85	33,936	815	34,751	861	795	32.4	6.3	13.8
1997	40,391	38	7,825	45	48,299	3,781	52,081	1,506	1,077	26.8	7.3	17.1
1998	24,002	0	7,436	7	31,445	2,215	33,659	1,566	1,081	15.3	6.9	9.2
1999	23,037	0	3,628	86	26,751	1,063	27,814	1,124	679	20.5	5.3	8.4
2000	10,134	0	1,046	0	11,180	1,232	12,412	876	186	11.6	5.6	3.7
2001	8,276	0	4,613	0	12,889	483	13,373	955	526	8.7	8.8	6.8
2002	8,518	0	6,003	0	14,521	739	15,260	578	543	14.7	11.1	12.7
2003	2,210	0	10,089	0	12,299	1,181	13,481	354	898	6.2	11.2	7.9
2004	3,079	0	7,417	0	10,496	820	11,316	302	668	10.2	11.1	8.6
2005	3,820	0	15,426	383	19,629	148	19,777	423	1,191	9.0	13.0	11.4
2006	13,424	0	17,339	345	31,108	746	31,854	915	1,024	14.7	16.9	17.5
2007	5,461	0	10,353	234	16,048	450	16,499	660	946	8.3	10.9	9.7
2008	1,651	0	12,829	238	14,718	233	14,951	367	1,209	4.5	10.6	5.3
2009	6,434	1	7,763	0	14,198	211	14,409	625	910	10.3	8.5	5.8
2010	5,634	0	16,297	39	21,970	341	22,310	511	807	11.0	20.2	14.5
2011	778	0	5,575	37	6,390	50	6,440	177	880	4.4	6.3	4.3
2012	215	0	2,767	0	2,982	168	3,151	109	526	2.0	5.3	1.5
2013	148	0	6,647	74	6,869	150	7,020	56	420	2.6	15.8	2.8
2014	398	0	31	0	429	14	443	155	107	2.6	0.3	0.7
2015	5,399	0	817	0	6,216	290	6,506	213	106	25.3	7.7	7.6
2016	3,307	0	3	0	3,310	886	4,196	226	4	14.6	0.6	4.4
2017	3,926	0	3	0	3,929	889	4,818	193	2	20.3	1.6	3.8
2018	7,564	0	4	0	7,568	1,161	8,729	290	24	26.1	0.2	5.5
2019	6,509	0	6	0	6,515	675	7,191	339	6	19.2	1.0	1.6
2020	4,147	0	1	0	4,148	129	4,277	383	5	10.8	0.2	3.4
2021	387	0	0	0	387	39	426	238	0	1.6	-	0.9
2022	657	0	0	0	657	25	681	166	0	4.0	-	0.6

資料：沖底 北海道沖合底びき網漁業漁獲成績報告書。1995年までは月別、1996年以降は日別の船別漁

区別統計値を使用。沿岸漁業 2021年までの漁業生産高報告、および2022年の水試集計速報値。

集計範囲：沖底 中海区北海道日本海およびオホーツク沿岸（ロシア水域も含む）。

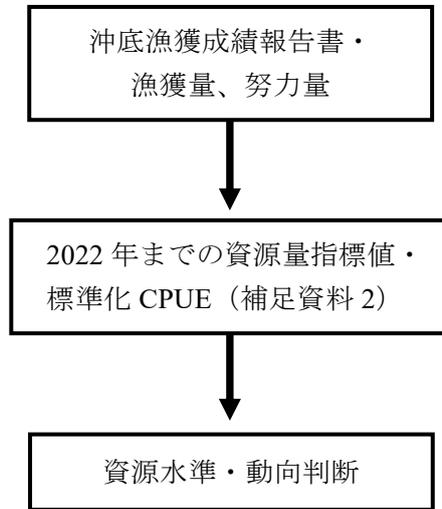
沿岸漁業 宗谷総合振興局（沖底漁獲を除く）。

1984年以前は漁業種類別に集計できないため、未集計。

標準化 CPUE 日別データを使用しているため、1996年以降に限定。

2022年の数値は暫定値。

補足資料 1 資源評価の流れ



補足資料 2 標準化 CPUE について

本評価では、以下の方法で沖底標準化 CPUE を推定し、資源量指標値として使用した。初めに、1996 年以降の北海道沖底漁獲成績報告書の日別船別漁区別統計値を用いて、宗谷海峡周辺海域におけるイカナゴ類の有漁操業データを抽出した。ただし、沖底漁業者へのアンケート結果を参考に、イカナゴ類の漁獲量が全体漁獲量の 10%未満のデータを混獲データとみなし、除外した。また主要な漁獲時期である 6～9 月の稚内根拠のデータを抽出した。最終的に抽出されたデータを使用して、CPUE の対数値を応答変数とした一般化線形混合モデルを適用し、年、月、漁法（オッタートロール、かけまわし）、海域、および交互作用の変量効果を説明変数（カテゴリカル変数）とした候補モデルを作成した。交互作用は、固定効果として扱うとデータのない組み合わせが生じてその組合せのパラメータおよび標準化 CPUE が推定できないため、変量効果として扱った。誤差分布は正規分布に従うと仮定した。

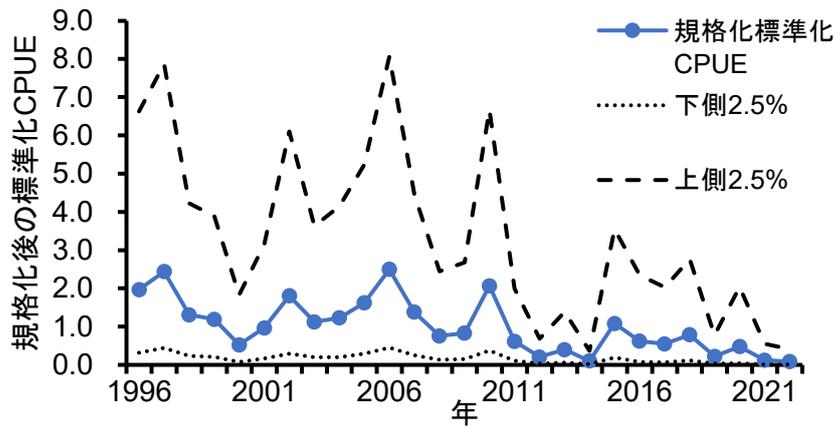
総当たり法により、ベイズ情報量規準（BIC）を用いてモデル選択した結果、下式が最終的に選択された。

$$\log(\text{CPUE}_{ijk}) = \alpha + \text{Year}_i + \text{Month}_j + \text{Gear}_k + a_{ik} + b_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

α は切片、 Year_i は年の効果、 Month_j は月の効果、 Gear_k は漁法の効果、 a_{ik} は年と漁法の交互作用の変量効果、 b_{ij} は年と月の交互作用の変量効果、 ε_{ijk} は i 年、 j 月、漁法 k での残差を表す。

選択されたモデルの妥当性を確認するため、残差分布の分散が応答変数の適合値に対して均一かどうかについて、および残差の頻度分布が正規分布から逸脱していないかどうかについて定性的に調べた。残差分布の分散に大きく偏った傾向は見られず、残差の頻度分布は正規分布から逸脱していなかったことから、CPUE 標準化モデルとして妥当であると判断した。

上記モデルから年効果の Lsmean (Least squares mean: 最小二乗平均) を計算することで、年以外の効果を除去した標準化 CPUE を推定した（補足図 2-1）。標準化 CPUE では操業月や漁法の効果、および漁法ごとの CPUE の年効果が異なることの影響を統計学的に除去しているため、ノミナル CPUE（総漁獲量/総漁獲努力量）よりも妥当な資源量指標値と考えられる。



補足図 2-1. 沖底標準化 CPUE と 95%信頼区間の推移 平均値で除すことで規格化した。