

令和 4（2022）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

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（2017～2021 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 387 トンとなった。沿岸漁業を含めた総漁獲量も、2014 年にはそれまでの最低の 443 トンとなったが、その後増加して 2018 年に 8,729 トンとなった後、再び減少して 2021 年は 426 トンとなった。

年	資源量 (トン)	親魚量 (トン)	漁獲量 (トン)	F 値	漁獲割合 (%)
2017	—	—	4,818	—	—
2018	—	—	8,729	—	—
2019	—	—	7,191	—	—
2020	—	—	4,277	—	—
2021	—	—	426	—	—

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、2017～2020 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 2021）。

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 2021）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ほぼ同様である（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。現在のイカナゴ類を対象とした沖底は、主に宗谷海峡東方海域（稚内イース場）において、1～6 歳魚の索餌群を漁獲対象として 6～9 月に実施されている。このうち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。

さらに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、その後増加に転じ、1995 年には 5.2 万トンに回復した（図 3、表 1）。2000 年以降に再び漁獲量は減少し、2006 年に 3.1 万トンに増加したものの、2010 年までは 1.0 万～2.2 万トンの低い水準で推移した。2011 年以降の漁獲量は 1.0 万トンを下回り、2014 年にそれまでで最低の 429 トンに減少したが、その後増加して 2018 年に 7,568 トンとなった後、再び減少し、2021 年は 387 トンとなった。2014 年の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であると考えられる（稚内水産試験場 2016）。また、2021 年に漁獲量が急減しているのは、近年漁獲の主体であった漁船が漁期前から操業できない状況にあり、6 月の盛漁期の漁獲量が非常に少なかったためである（稚内水産試験場 2022）。

沿岸漁業の漁獲量は、沖底と比較して少ない。1980 年代後半～1990 年代中頃は 1,400～5,600 トン程度の漁獲量であったが、2000 年以降は 50～1,200 トンと低い水準となった。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 トンとなった後、再び減少して 2021 年は 39 トンとなった。

沖底と沿岸漁業を合わせた総漁獲量は、2014 年にはそれまでで最低の 443 トンであったが、その後増加して、2018 年に 8,729 トンとなった後、再び減少して、2021 年は 426 トンとなった。

(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）。そのうち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、概ね 200～700 網程度の低い水準で推移した（2006 年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）。2013 年に過去最低の 56 網に減少して以降はやや増加して、2021 年は 238 網であった。かけまわしの漁獲努力量は、1982 年に 6,322 網に増加したが、1983 年以降減少し、1994 年には 0 網となった。その後、概ね 1,000 網前後で推移したものの、2012 年から減少傾向に転じた。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 年には 2～24 網と少なく、2021 年には操業がなかった。なお、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 の推定には日別船別漁区別統計値の有漁操業データを使用し、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変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、北海道沖底漁獲成績報告書の日別船別漁区別統計値をデータとして使用したため、解析期間はデータが存在する 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、2000 年にかけて 3.7 トン/網まで減少した。その後、増加傾向を示し、2006 年には 17.5 トン/網となったが、それ以降再び減少傾向に転じ、2014 年には 1997 年以降で最低の 0.7 トン/網となった。2015 年に一時的に 7.6 トン/網まで増加したものの、再び減少し、2021 年は 0.9 トン/網となった。ただし、前述の通り 2021 年はオッタートロール船の盛漁期の出漁が少なく例年とは異なる操業実態であったこと、また、かけまわし船の操業もなかったことから、両漁法のデータを用いて算出される標準化 CPUE は、資源量指標値としての信頼性が例年よりも低くなっている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

2011～2021 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。2014 年まで、漁期前半の 6～7 月には体長 21～25 cm の大型魚が主体となる傾向があった。ただし、2013 年 7 月は体長 21 cm 未満の中小型魚の割合が大型魚に匹敵し、双峰性の組成であった。漁期後半の 8～9 月には中小型魚の漁獲割合が増し、幅広い体長範囲のイカナゴ類が漁獲対象となる傾向があった(2014 年漁期後半は、早期終漁のため標本なし)。2015 年および 2016 年は、漁期を通じて体長 21 cm 未満の中小型魚(主に 2 歳以下の若齢魚)が漁獲物の主体であった。2017 年の主体はそれより大きい体長 20～22 cm の個体であり、2015 年以降の主体を形成した個体群が成長して漁獲対象になったと考えられる(稚内水産試験場 2018)。2021 年も上記の個体群が成長した体長 21～24 cm の個体が多く漁獲されたと考えられる。

(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。1996～2021 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。2021 年の水準指数は 6 であったため、資源水準は低位と判断した(図 5)。また、過去 5 年間(2017～2021 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 2021)の下、引き続き今後の加入状況に注視しつつ、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 (2021) 我が国の海洋生物資源の資源管理指針. 58 pp.

<https://www.jfa.maff.go.jp/j/council/seisaku/kanri/attach/pdf/211214-10.pdf>

(last accessed 2022/8/26)

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.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/> (last accessed 2020/11/12)

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.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/> (last accessed 2020/11/12)

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.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/> (last accessed 2020/11/12)

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.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/> (last accessed 2020/11/12)

稚内水産試験場 (2021) イカナゴ類 (宗谷海峡海域). 2020 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, 13 pp.

<http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/> (last accessed 2022/8/24)

稚内水産試験場 (2022) イカナゴ類 (宗谷海峡海域) の来遊状況の概要報告. 2022 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, 4 pp.

https://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/central/section/shigen/26_sandlance_SouyaSt_2022_summary.pdf (last accessed 2023/2/6)

(執筆者：濱津友紀、森田晶子、境 磨)

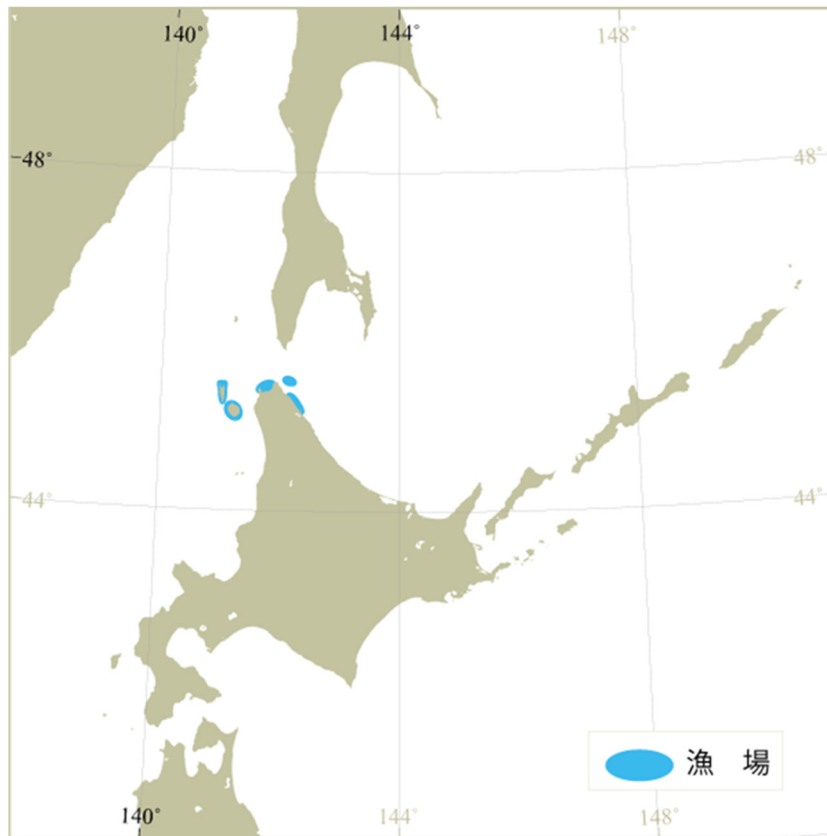


図 1. イカナゴ類宗谷海峡の漁場図

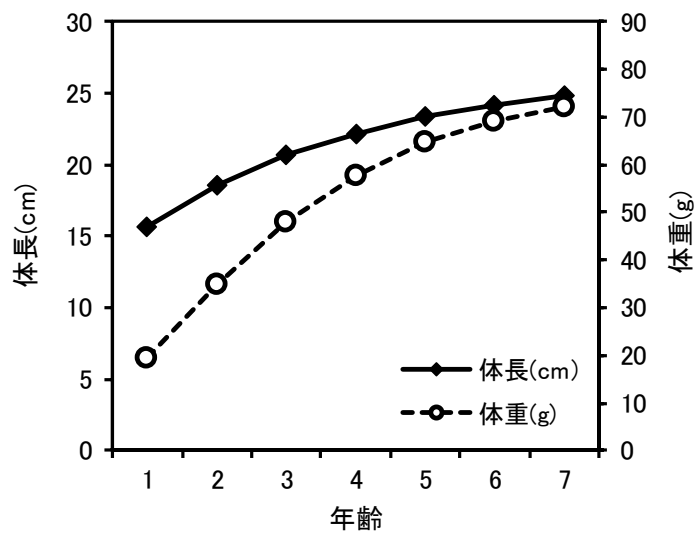


図 2. イカナゴの成長（堀本ほか（2018）より作図）
オオイカナゴの成長もほぼ同様である。

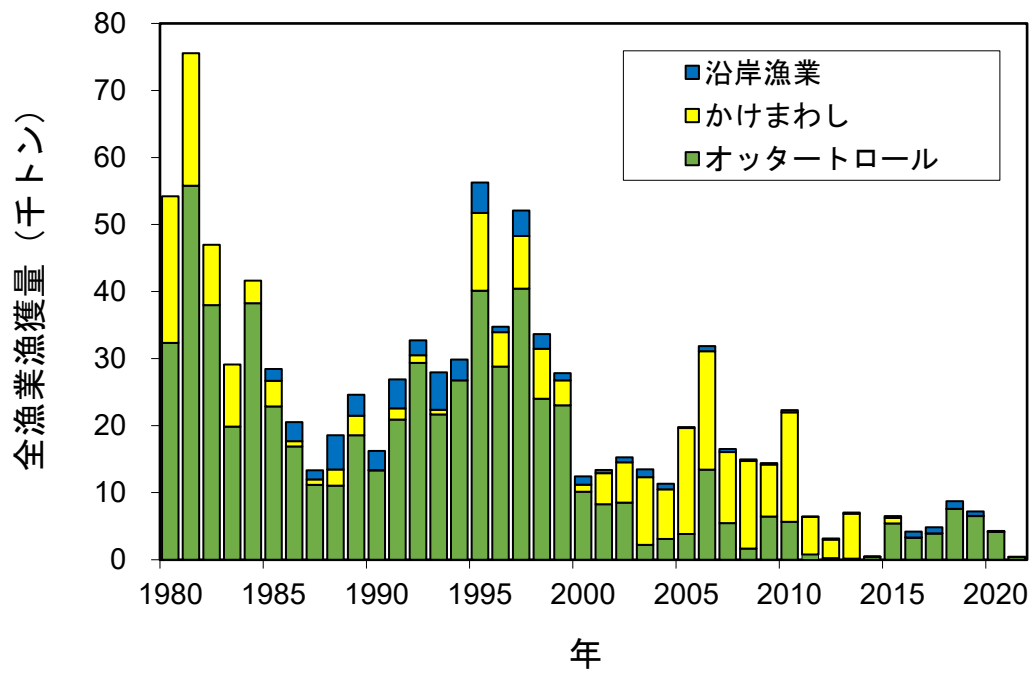


図 3. イカナゴ類宗谷海峡の漁獲量 沿岸漁業の漁獲量は 1985 年以降の数値。

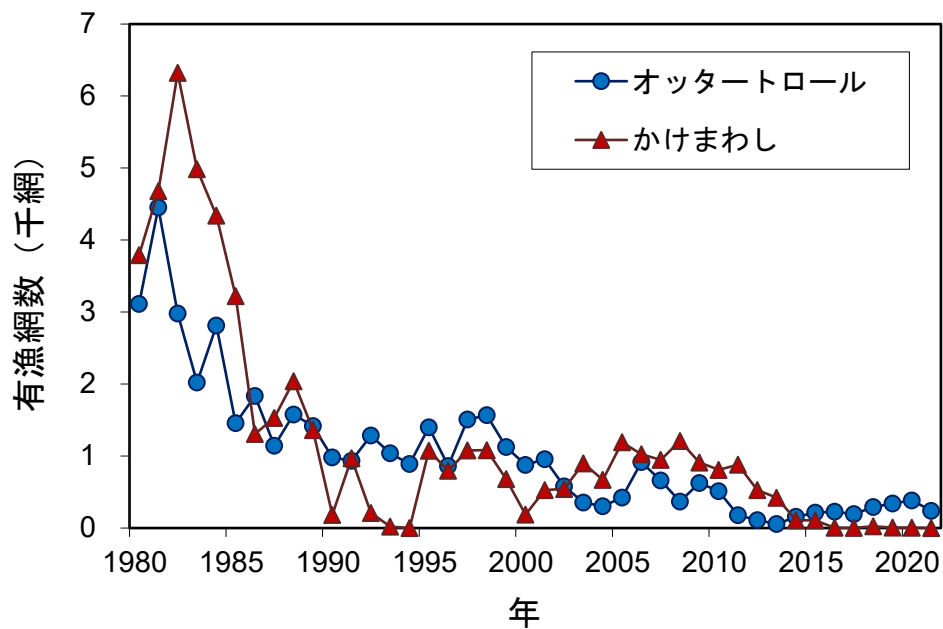


図 4. イカナゴ類宗谷海峡に対する沖底の漁獲努力量（有漁網数）

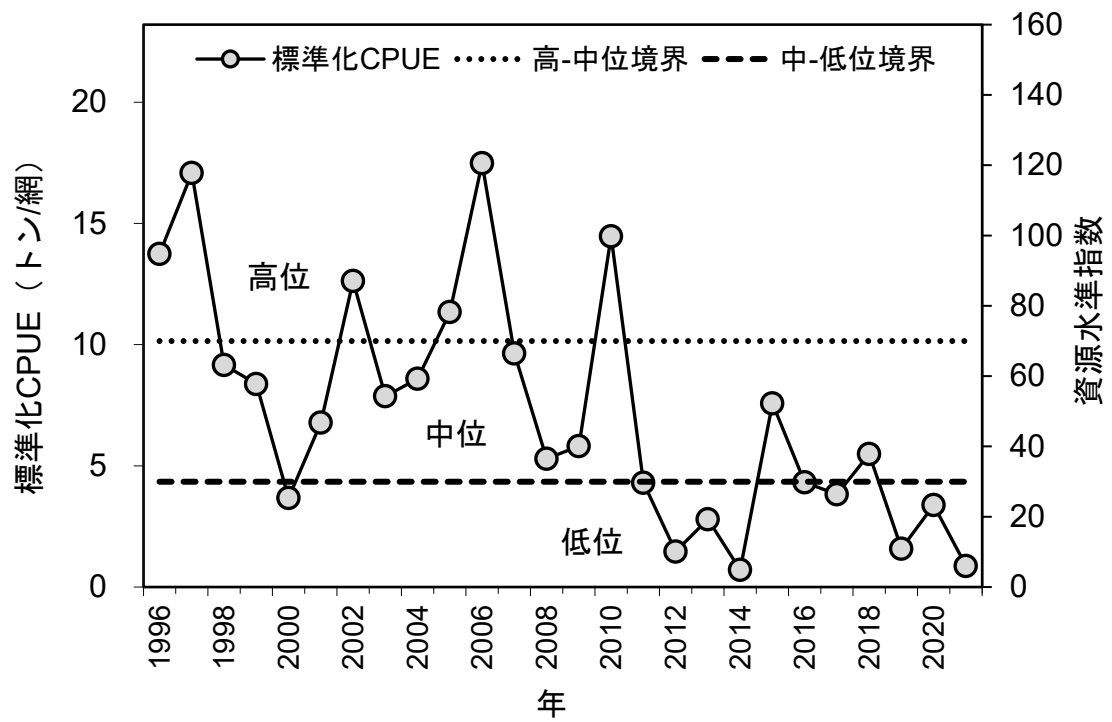


図 5. イカナゴ類宗谷海峡の標準化 CPUE の推移と資源水準

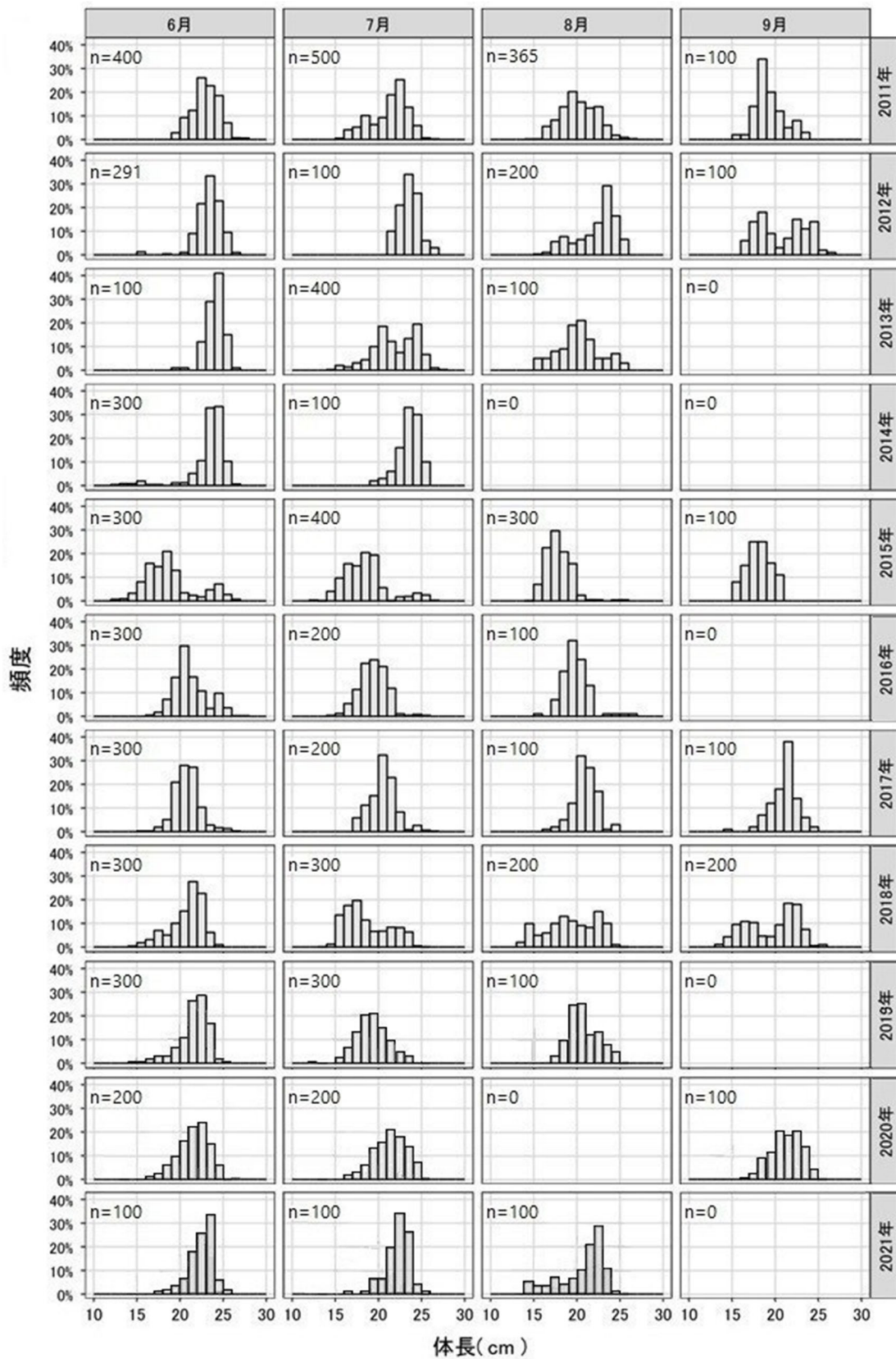


図 6. 宗谷海峡周辺において沖底により漁獲されたイカナゴ類の 6～9 月の体長組成
(稚内水産試験場 未発表資料)

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	合計	沖底 (オホーツク)		沖底 (オホーツク)		
	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	13.7
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	12.6
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	11.3
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	9.6
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	4.3
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

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 2020 年までの漁業生産高報告、および 2021 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）。

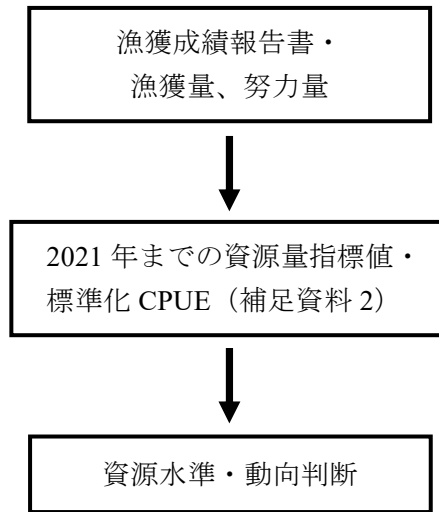
沿岸漁業 宗谷総合振興局（沖底漁獲を除く）。

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。

2021 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、データのない組み合わせが生じるため、固定効果として扱うとその組合せのパラメータ、および標準化 CPUE を推定できないため、変量効果として扱うことで対処した。誤差分布は正規分布に従うと仮定した。

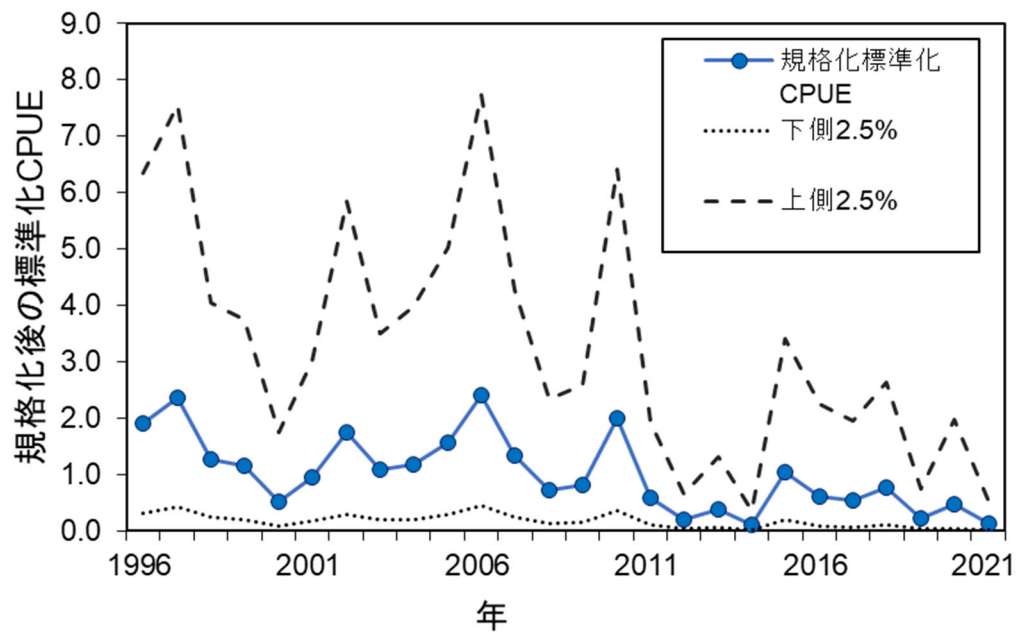
総当たり法により、ベイズ情報量規準（BIC）を用いてモデル選択した結果、下式が最終的に選択された。

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

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、および漁法毎の 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である。



補足図 2-1. 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。