

令和 4（2022）年度マダラ北海道日本海の資源評価

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中央水産試験場、北海道立総合研究機構稚内水産試験場

要 約

マダラ北海道日本海の資源状態について、平衡状態を仮定しない余剰生産モデル（プロダクションモデル）に基づき資源状態を評価した。1985～2021 年漁期の漁獲量と沖合底びき網漁業の 100 トン以上のかけまわし船におけるマダラの標準化した 1 網当たり漁獲量（沖底標準化 CPUE）から、余剰生産モデルのパラメータを推定して資源量相対値の推移を推定し、これを資源量指標値とした。

本資源の漁獲量は、1992 年漁期の 1.22 万トンにピークに減少し、2000～2013 年漁期は 0.35 万～0.72 万トンで推移した。その後 2014 年漁期に一旦減少した後急増し、2018 年漁期以降は 1 万トン以上の漁獲が続いている。2021 年漁期は 1.12 万トンであった。近年 5 年間の漁獲量の平均値は 1.05 万トンであった。沖底標準化 CPUE も漁獲量と同様に 2016 年漁期以降急増し、2019～2021 年漁期には全年の平均の 3～4 倍に至った。近年の漁獲量および沖底標準化 CPUE の増加について、資源の生産力が変化した可能性も考慮し、余剰生産モデルでは内的自然増加率に関するパラメータを 2017 年漁期前後で分割するモデルも検討した。また、余剰生産量曲線の形を定める形状パラメータの事前情報の違いも含めて 4 種類のモデルで資源解析を行い、その推定された資源量相対値の平均を資源量指標値として示した。資源量指標値は、2000 年代半ばまでは緩やかな減少傾向にあり、その後、低い水準にて横ばいで推移していたが、2014 年漁期に過去最低水準まで減少した後急増した。2021 年漁期は全年の平均の 3.9 倍となった。

管理に係る目標等の基準値、資源の動向などについては、本年度中に開催される研究機関会議資料に記述します。

漁期年*	資源量指標値	漁獲量(百トン)
	(余剰生産モデルからの資源量推定値の相対値)**	
2017	1.145	52
2018	2.815	116
2019	3.756	136
2020	3.475	107
2021	3.864	112

* 漁期年（4 月～翌年 3 月）での値。

**平均を 1 とした相対値を示す。

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・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) 主要港漁業種類別水揚げ量(北海道)

1. まえがき

マダラは北太平洋沿岸に広く生息する冷水性の魚種である。日本近海ではおもに北海道周辺海域に分布し、分布の南限は、太平洋側では茨城県、日本海側では島根県である（三島 1989）。北海道周辺における系群構造はよく分かっていないが、産卵場は北海道の沿岸域全体に散在し、各繁殖群の回遊範囲は限定されていると考えられている（服部 1994）。また、マダラの資源変動様式は、生息環境の違いから、北海道の太平洋、日本海、オホーツク海の海域間で異なることが想定される。本資源では、北海道日本海～サハリン西岸の沿岸および陸棚斜面域に分布するマダラを評価単位として扱い、漁獲量集計範囲を沖合底びき網漁業（以下、「沖底」とする）の中海区北海道日本海ならびに沿岸漁業の松前町松前～稚内市とした。なお、平成 30 年度まではマダラ北海道として 1 つの報告書の中で 4 つの海域（北海道太平洋、北海道日本海、オホーツク海、根室海峡）を取り扱っていたが、令和元年度からは各海域をそれぞれ独立の評価単位として扱い（図 1）、資源の水準・動向を判断している。

2. 生態

(1) 分布・回遊

本資源の分布域は北海道日本海～サハリン西岸の沿岸および陸棚斜面域である（図 1、三島 1989）。なお、サハリン西岸の北方海域（ダッタン海湾）のマダラは脊椎骨数や年齢構成、分布密度の相違から本資源とは独立した地域集団であると考えられている（北海道機船漁業協同組合連合会 1978）。北海道日本海の北部と南部とでの漁獲物の年齢組成の違いから、本海域では浮遊期に分散した稚魚が北方から加入し、成熟、加齢とともに次第に南部海域の根に付くような生態を持っている可能性が指摘されている（星野 2010）。

(2) 年齢・成長

北海道日本海のうち、稚内市周辺および礼文島沖～武蔵堆の海域（道北日本海）と、雄冬岬沖（道西日本海）において 11 月～翌年 3 月に沖底または刺網で漁獲されたマダラの年齢別平均尾叉長を図 2 に示した（星野ほか 2017）。本評価では 4 月 1 日を年齢の加齢日としており、図中の値は満年齢時の値に近い。道北日本海における年齢別平均尾叉長は、3 歳で 41 cm、4 歳で 51 cm、5 歳で 61 cm、6 歳で 65 cm、7 歳で 68 cm であり、道西日本海における年齢別平均尾叉長は、2 歳で 33 cm、3 歳で 53 cm、4 歳で 59 cm、5 歳で 65 cm、6 歳で 70 cm、7 歳で 74 cm である。

(3) 成熟・産卵

産卵場は分布域全体に散在し、産卵親魚は沖合から沿岸へ移動して産卵を行う（水産庁研究部 1986、三島 1989）。北海道日本海における産卵期は 12 月～翌年 3 月下旬で、50%

成熟体長は雄が 50 cm、雌が 53 cm である（北海道区底曳資源研究集団 1960、三宅・中山 1987）。雌個体の毎年の産卵は 1 度の放卵によって完了する（桜井・吉田 1990）。

（4）被捕食関係

漂泳生活をしている幼稚魚期はおもにカイアシ類を、底生生活に入ってからはおもに魚類、甲殻類、頭足類および貝類を捕食している（北海道区底曳資源研究集団 1960、竹内 1961、三島 1989）。一方、捕食者は海獣類である（Goto and Shimazaki 1998、Goto et al. 2017）。

3. 漁業の状況

（1）漁業の概要

北海道日本海において、マダラは沖底に加えて刺網、はえ縄、底建網などの沿岸漁業によって漁獲されている。ほぼ周年漁獲されるが、そのなかでも冬季～春季に漁獲量が多い。沖底の漁獲量は、小海区の稚内ノース場、利礼周辺、島周辺、雄冬沖において多い（補足資料 2）。沿岸漁業の漁獲量は宗谷管内と後志管内において多い（補足資料 4）。

（2）漁獲量の推移

本資源の漁獲量は、1992 年漁期（1992 年 4 月～1993 年 3 月、以下同様）の 1.22 万トン をピークに減少し、2004～2010 年漁期は 0.35 万～0.41 万トンで推移した（図 3、表 1）。その後、2011、2012 年漁期に増加したが、2013 年漁期からは減少して 2014 年漁期には過去最低の 0.25 万トンまで落ち込んだ。2015 年漁期以降は再び増加に転じ、2019 年漁期には 1985 年漁期以降で最大の 1.36 万トンに達した。2018 年漁期以降、1 万トン以上の漁獲が続いており、2021 年漁期は 1.12 万トンであった。近年 5 年間の漁獲量の平均値は 1.05 万トンであった。漁獲量全体に占める沖底漁獲量の割合は、1992 年漁期以降低下して 2005～2016 年漁期は 2～3 割であったが、2017 年漁期以降はおよそ 4 割である。

（3）漁獲努力量

北海道周辺海域における沖底によるマダラの漁獲量と漁獲努力量の大部分を 100 トン以上のかけまわし船が占めているため（千村・船本 2011）、100 トン以上の沖底かけまわし船によるマダラの有漁網数を漁獲努力量とした。有漁割合は、2021 年漁期は 99.7%（直近 5 年の平均は 99.6%）であった。北海道日本海における漁獲努力量は、1985 年漁期以降 1999 年漁期までは 1.74 万～2.09 万網で推移したが、2000 年代に入ってから減少傾向となり、2020 年漁期には過去最少の 0.36 万網に至った。2021 年漁期は前年からわずかに増加して 0.40 万網であった（図 4、表 2）。なお、本資源では沿岸漁業（刺網等）の漁獲努力量に関する情報は得られていない。

4. 資源の状態

（1）資源評価の方法

資源評価に用いる資源量指標値には、平衡状態を仮定しない Pella-Tomlinson 型余剰生産モデル（プロダクションモデル）である SPiCT（連続時間における確率的な状態空間余剰生産モデル：Pedersen and Berg 2017）にて推定した資源量の相対値を用いた（補足資料 1、

2)。余剰生産モデルでの推定には 1985～2021 年漁期の漁獲量と、1996～2021 年漁期の北海道日本海における 100 トン以上の沖底かけまわし船による 1 網あたり漁獲量（CPUE、kg/網）を標準化したもの（以下、「沖底標準化 CPUE」とする）を用いた（補足資料 3）。沖底標準化 CPUE の算出方法の詳細は別文書 FRA-SA2022-RC07-101 に示した。使用した余剰生産モデルの概要およびパラメータ推定の詳細は FRA-SA2022-RC07-201 に示した。

（2）資源量指標値の推移

余剰生産モデルに用いた沖底標準化 CPUE は、日別船別漁区別集計値に基づくため 1996 年漁期以降のデータになる（図 5、表 2）。1996～2021 年漁期の平均を 1 として基準化した沖底標準化 CPUE は、2015 年漁期までは 0.260～1.107 で推移していたが、2016 年漁期以降急増し、2019～2021 年漁期には全年の平均の 3～4 倍に至った。2021 年漁期は 4.124 であった。この 2016 年漁期以降の急増傾向は標準化処理をしていない CPUE（沖底の有漁 CPUE）でも同様にみられている（図 5、表 2）。

余剰生産モデルでは複数のモデル設定で極めて類似した資源量相対値（平均を 1 として基準化した資源量）が推定された（表 3）。本評価報告書では、その相対値の平均値に基づき資源状態を評価した（図 6）。本資源では 2000 年代までは 1991 年漁期に資源量のピークを迎えたのちは増減しながらも緩やかに減少を続け、2000 年代中盤からは低い水準にて横ばいで推移していた。2010 年代は、2014 年漁期に過去最低水準まで減少した後は増加に転じ、2016～2019 年漁期の急増を経て、2019～2021 年漁期は全年の平均の 3.5～3.9 倍となった。近年 5 漁期年の資源量は増加傾向にあると考えられる。2021 年漁期の資源量指標値は過去最高の 3.864 であった。

余剰生産モデルから推定された 2021 年漁期の資源量が MSY を実現する水準（Bmsy）を上回るか否かは、現段階で断定することは困難と考えられた。2021 年漁期の漁獲圧は MSY を示現する水準（Fmsy）よりも低い可能性が考えられるものの、その推定の不確実性が大きいことに注意が必要である。2021 年漁期の資源量と漁獲圧の Bmsy および Fmsy に対する位置関係は、余剰生産モデルの設定次第で推定結果が異なる。したがって、これらは現段階では参考情報としての取り扱いに留めるべきと考えられた（補足資料 2）

本資源では、2014 年頃から調査船調査や沖底、えびこぎ網漁業で混獲情報が多く寄せられており、2014 年前後に生まれた群の豊度は高いと考えられる（中央水産試験場・稚内水産試験場 2022）。2014 年漁期以降の資源量の増加は、これらの年級群の加入と成長を反映していると考えられる。これらの年級群は、後述する小樽港（図 7）や稚内港（図 8）の沖底漁獲物の銘柄別水揚げ量にみられるように、2017 年漁期に尾叉長 40～60 cm に成長して本格的に漁獲加入し、2018 年漁期以降は尾叉長 50～70 cm に成長することで、2017～2019 年漁期の資源量の急増を引き起こしたと考えられる。なお、2000 年代以降は漁獲努力量が大きく減少しており（図 4、表 2）、それに伴い積丹沖や武蔵礁などの沖合域での操業が少なくなっている（補足資料 4）。

（3）漁獲物の銘柄組成

北海道では日本海側の沖合底びき網漁業の主要水揚げ港である小樽港と稚内港において、漁獲物の銘柄別水揚げ量の情報が収集されている（中央水産試験場・稚内水産試験場

2022)。両海域の銘柄別水揚げ量の年推移を北海道の水産資源管理協議会の委託事業の下で作成された資源評価書からそれぞれ図 7 と図 8 に転載した。

小樽港では、多くの年で尾叉長が約 60～80 cm である 3 尾入（箱当たり 3 尾、以下同じ）と 4 尾入の銘柄が水揚げの主体となっているが、2017 年漁期以降は尾叉長が 50 cm 台後半～60 cm 台前半の 6 尾入の銘柄と、より小型の 7 尾入以上の銘柄の水揚げ量が大きく増加した。さらに、2018 年漁期は尾叉長 60 cm 台を中心とした 5 尾入の銘柄、2019 年漁期以降はそれに加えて尾叉長が 60 cm 台後半～70 cm 台の 4 尾入りの銘柄の水揚げ量も増加しており、成長に伴う漁獲物の大型の銘柄への変化が見られる。小型の 6 尾入、7 尾入以上の銘柄の水揚げ量は 2017 年漁期に急増した後、2020 年漁期までやや減少傾向が見られたが、2021 年漁期は増加に転じた。

稚内港ではオホーツク海と北海道日本海の両方の沖底漁獲物が水揚げされる。2005 年漁期以降、多くの年では北海道日本海からの水揚げが 70%以上を占めるが、2010、2016、2017 年漁期はオホーツク海と北海道日本海からは同程度の水揚げであった。2019 年漁期と 2020 年漁期は、北海道日本海からの水揚げがそれぞれ 66%と 58%であったが、2021 年漁期は 70%を超えた（76%）。稚内港では、多くの年で尾叉長が 60 cm 未満の M 銘柄やそれより小型の銘柄が水揚げの大半を占める。北海道日本海からの水揚げが主体であり、水揚げ量が比較的多かった 2011～2013 年漁期は、水揚げの主体となる銘柄が年々大型化した。2017 年漁期以降は、尾叉長が約 40～60 cm である 6 尾入や、それよりも小型の M、S、および SS～4S 銘柄の水揚げ量が急激に増加している。小樽港と同様に、2018 年漁期以降はより大型の銘柄である 3 尾入りの銘柄についても水揚げ量が増加傾向にあるのに対し、5 尾入りの水揚げ量は減少傾向にある。2021 年漁期は小型の銘柄である SS～4S の銘柄の水揚げ量が減少している。

2017 年漁期以降の漁獲量の増加は、年齢と成長の関係（図 2）から、主に 2014 年級群およびその前後の年級群の加入によるものと考えられるが、上記の通り小型の銘柄も依然として水揚げされていることから、後続の年級群も継続して資源に加入しているものと考えられる。なお、石川県～青森県の本州日本海に分布する日本海系群では、当歳魚および 1 歳魚を対象とした調査船調査結果から、近年では 2014、2017 年級群の豊度が高いことが示唆されている（佐久間ほか 2021）。

5. 資源評価のまとめ

余剰生産モデルによる資源解析結果から、現在の資源は増加傾向にあると考えられた。増加の詳しい原因は明らかではないが、現在の増加した資源を持続的に利用していくには、増大した資源に過度な漁獲圧をかけずに親魚量を維持し、安定した加入量の確保につなげることが重要である。親魚量の維持には、特に未成魚が成熟するまで獲り残されることが望ましいと考えられる。

6. 引用文献

- 千村昌之・船本鉄一郎（2011）平成 22 年度マダラ北海道の資源評価．平成 22 年度我が国周辺の水産資源評価 第 2 分冊，水産庁・水産総合研究センター，857-877.
- Goto, Y. and K. Shimazaki (1998) Diet of Steller sea lions around the coast of Rausu, Hokkaido,

- Japan. Biosphere Conservation, **1**, 141-148.
- Goto, Y., A. Wada, N. Hoshino, T. Takashima, M. Mitsunashi, K. Hattori, and O. Yamamura (2017) Diets of Steller sea lions off the coast of Hokkaido, Japan: An inter decadal and geographic comparison. *Mar. Ecol.*, **38**, e12477.
- 服部 努・桜井泰憲・島崎健二 (1992) マダラの耳石薄片法による年齢査定と成長様式. *日水誌*, **58**, 1203-1210.
- 服部 努 (1994) マダラの成長、成熟および繁殖生態に関する研究. 北海道大学博士号論文, 140 pp.
- 北海道区底曳資源研究集団 (1960) タラ. 「北海道中型機船底曳網漁業」, 北海道機船漁業協同組合連合会, 札幌, 63-64.
- 北海道機船漁業協同組合連合会 (1978) I 1956 (昭 31) 年における「ダッタン海湾漁場開発調査」—報告書の再録— 「北海道沖合底びき網漁業, 北海道機船漁業協同組合連合会創立 25 周年記念出版」, 北海道機船漁業協同組合連合会 北海道底魚資源研究集団, 札幌, 37-70.
- 星野 昇 (2010) 北海道日本海におけるマダラの資源状態について. *北水試研報*, **78**, 41-49.
- 星野 昇・田中伸幸・本間隆之・鈴木祐太郎 (2017) 北海道周辺海域におけるマダラの年齢組成 (資料). *北水試研報*, **92**, 33-42.
- 三島清吉 (1989) 日本周辺におけるマダラ (*Gadus macrocephalus* TILESIIUS) の資源とその生物学的特性. *北太平洋漁業国際委員会研究報告*, **42**, 172-179.
- 三宅博哉・中山信之 (1987) 日本海武蔵堆海域におけるマダラの成熟体長と産卵期. *北水試月報*, **44**, 209-216.
- Pedersen, M. W., & Berg, C. W. (2017). A stochastic surplus production model in continuous time. *Fish and Fisheries*, **18**, 226–243. <https://doi.org/10.1111/faf.12174>
- 境 磨・千村昌之・千葉 悟・濱津友紀 (2022) 令和 4 (2022) 年度マダラ北海道日本海の資源評価 沖合底びき網漁業 (かけまわし漁法) の CPUE 標準化について. (FRA-SA2022-RC07-101)
- 境 磨・千村昌之・千葉 悟・濱津友紀 (2022) 令和 4 (2022) 年度マダラ北海道日本海の状態空間余剰生産モデルによる資源解析. (FRA-SA2022-RC07-201)
- 佐久間啓・藤原邦浩・吉川 茜 (2021) 令和 2 (2020) 年度マダラ日本海系群の資源評価. 令和 2 年度我が国周辺の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構, 47 pp. (<http://abchan.fra.go.jp/digests2020/details/202035.pdf>)
- 桜井泰憲・吉田英雄 (1990) 我が国におけるマダラ資源とその生態. *水産技術と経営*, 40-54.
- 水産庁研究部 (1986) 底びき網漁業資源, 234 pp.
- 竹内 勇 (1961) 北海道沿岸のタラ科魚類の餌料. *北水試月報*, **18**, 329-336.
- 中央水産試験場・稚内水産試験場 (2022) マダラ (日本海海域). 2022 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, 13p., https://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/central/section/shigen/05_Pacificcod_JS_2022.pdf (last accessed 6 February 2023)

(執筆者：境 磨、千村昌之、千葉 悟、濱津友紀)



図 1. 北海道日本海におけるマダラの分布域

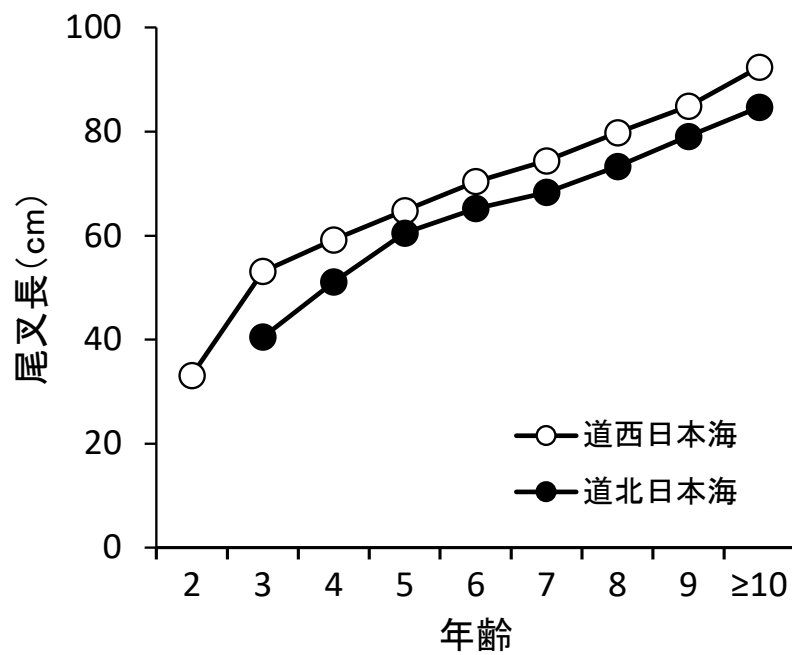


図 2. 北海道日本海におけるマダラの成長

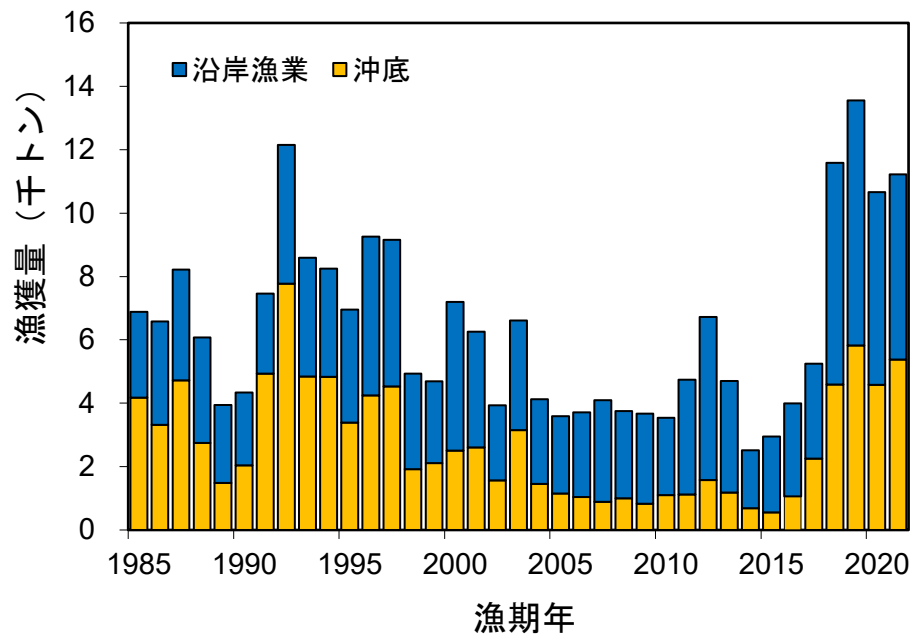


図 3. 北海道日本海におけるマダラの漁獲量

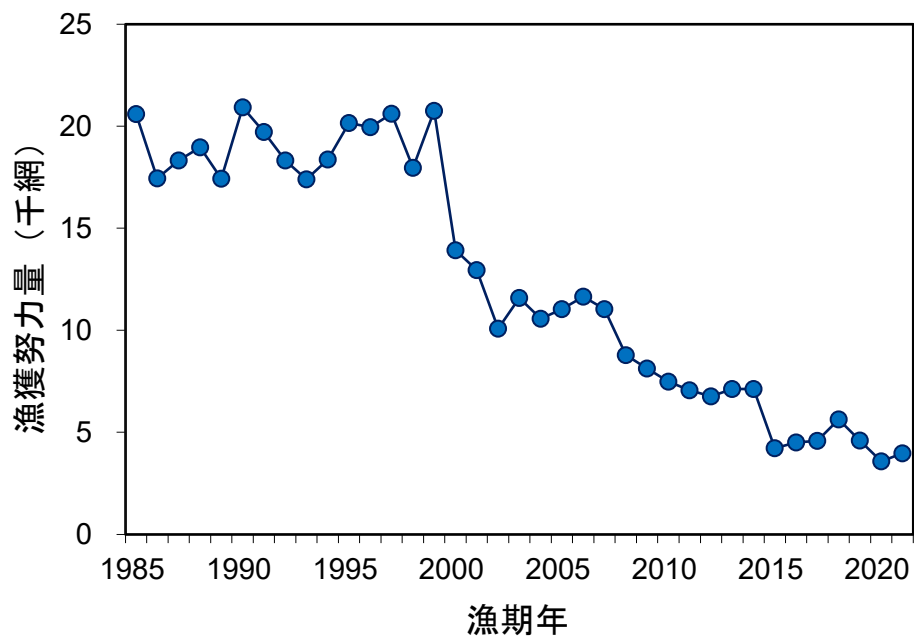


図 4. 北海道日本海のマダラに対する沖合底びき網漁業（かけまわし 100 トン以上）の漁獲努力量（有漁網数）

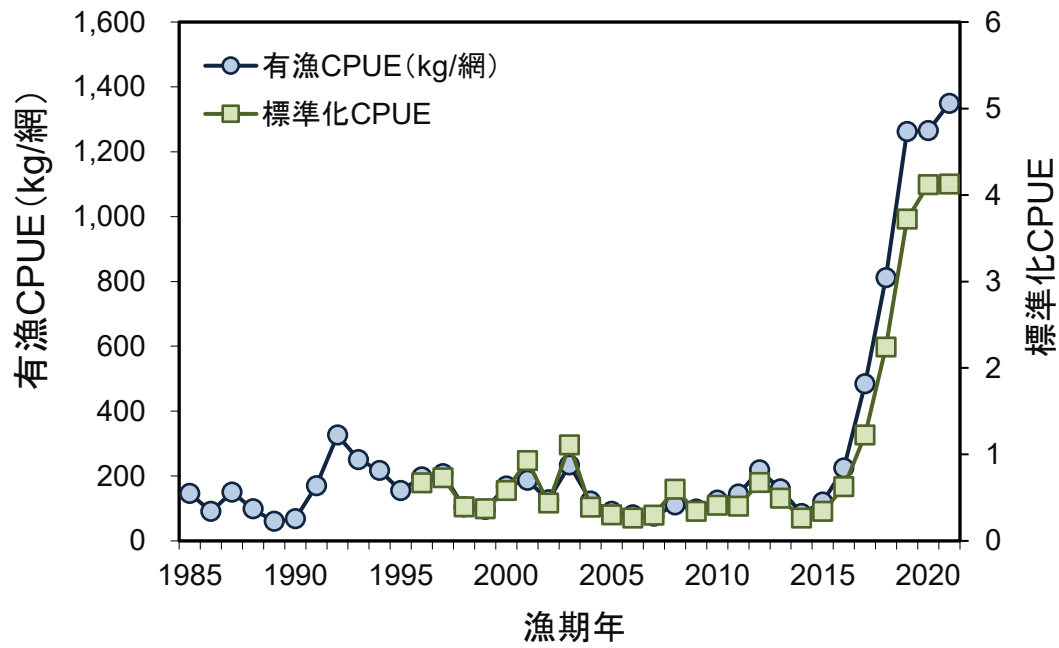


図 5. 北海道日本海のマダラに対する沖合底びき網漁業（かけまわし 100 トン以上）の有漁操業の CPUE (kg/網) と標準化 CPUE

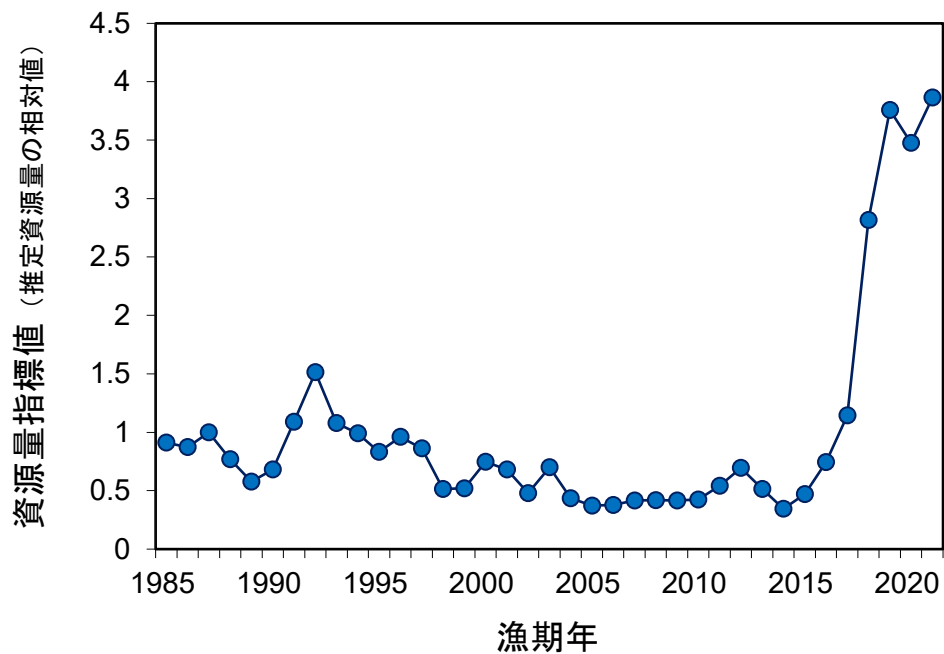


図 6. 資源量指標値（余剰生産モデルで推定された資源量の相対値）の推移

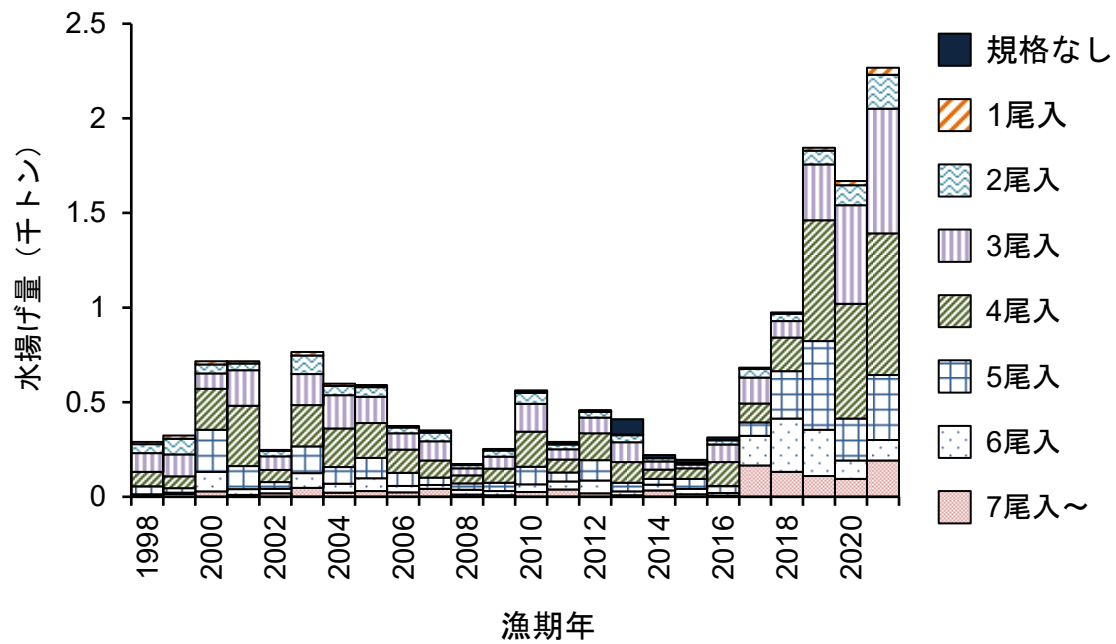


図 7. 小樽港における沖合底びき網漁業での漁獲物の銘柄別水揚げ量
 北海道の水産資源管理協議会の委託事業の下で作成された資源評価書（中央水産試験場・稚内水産試験場 2022）から転載

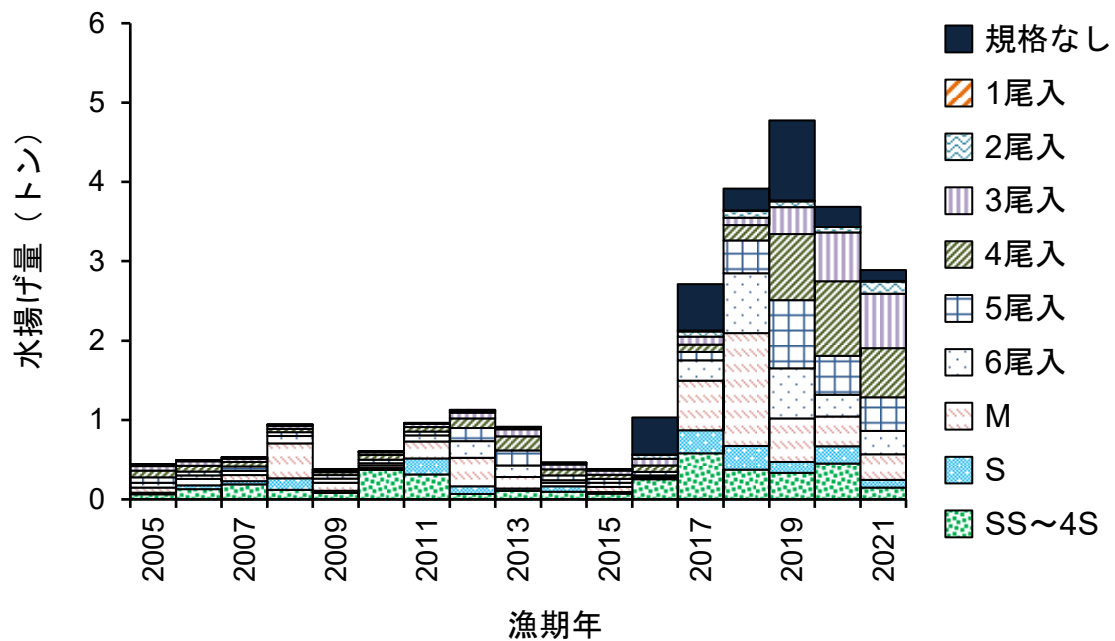


図 8. 稚内港における沖合底びき網漁業での漁獲物の銘柄別水揚げ量
 北海道の水産資源管理協議会の委託事業の下で作成された資源評価書（中央水産試験場・稚内水産試験場 2022）から転載

表 1. 北海道日本海におけるマダラの漁業種類別漁獲量（トン）

漁期年	合計	沖底	沿岸漁業
1985	6,888	4,173	2,715
1986	6,583	3,320	3,263
1987	8,221	4,723	3,497
1988	6,075	2,748	3,327
1989	3,940	1,488	2,452
1990	4,337	2,040	2,297
1991	7,464	4,929	2,535
1992	12,153	7,768	4,385
1993	8,587	4,847	3,741
1994	8,247	4,835	3,412
1995	6,952	3,386	3,566
1996	9,260	4,247	5,013
1997	9,155	4,531	4,624
1998	4,929	1,925	3,004
1999	4,690	2,116	2,574
2000	7,198	2,507	4,691
2001	6,254	2,611	3,643
2002	3,937	1,564	2,373
2003	6,609	3,157	3,452
2004	4,128	1,455	2,673
2005	3,584	1,155	2,428
2006	3,709	1,045	2,664
2007	4,094	894	3,200
2008	3,754	1,002	2,752
2009	3,669	827	2,842
2010	3,539	1,102	2,437
2011	4,742	1,120	3,622
2012	6,721	1,581	5,140
2013	4,698	1,181	3,517
2014	2,513	686	1,826
2015	2,953	559	2,394
2016	3,988	1,067	2,921
2017	5,245	2,250	2,995
2018	11,581	4,588	6,992
2019	13,550	5,820	7,730
2020	10,662	4,578	6,084
2021	11,221	5,380	5,841

集計範囲：沖底は中海区北海道日本海で集計した。沿岸漁業は 1992 年漁期までは松前町松前～稚内市、1993 年漁期以降は松前町（大沢地区を含む）～稚内市を集計範囲とした。

2020、2021 年漁期は暫定値である。

表 2. 北海道日本海のマダラに対する北海道根拠の沖合底びき網漁業（かけまわし 100 トン以上）の漁獲努力量、有漁 CPUE、および標準化 CPUE

漁期年	漁獲努力量 (網)*	有漁 CPUE (kg/網)*	標準化 CPUE**
1985	20,590	146	
1986	17,446	90	
1987	18,323	150	
1988	18,962	98	
1989	17,434	59	
1990	20,928	67	
1991	19,707	169	
1992	18,325	326	
1993	17,402	250	
1994	18,368	217	
1995	20,154	154	
1996	19,947	197	0.668
1997	20,608	206	0.729
1998	17,956	104	0.391
1999	20,742	96	0.367
2000	13,919	168	0.580
2001	12,948	186	0.928
2002	10,084	126	0.437
2003	11,586	234	1.107
2004	10,573	122	0.386
2005	11,043	90	0.298
2006	11,650	79	0.260
2007	11,044	76	0.296
2008	8,775	110	0.595
2009	8,124	97	0.339
2010	7,486	125	0.410
2011	7,056	143	0.398
2012	6,764	218	0.673
2013	7,122	159	0.491
2014	7,117	84	0.261
2015	4,222	119	0.339
2016	4,505	225	0.622
2017	4,576	484	1.225
2018	5,630	811	2.238
2019	4,595	1262	3.718
2020	3,583	1265	4.118
2021	3,966	1349	4.124

試験操業を除く通常操業のみの値。ただし、2015～2017 年漁期は一部の試験操業を通常操業とみなした。

* 月別集計値に基づく。

**日別集計値に基づく。平均を 1 として基準化した。

2020、2021 年漁期は暫定値。

表 3. 余剰生産モデルで推定された資源量相対値

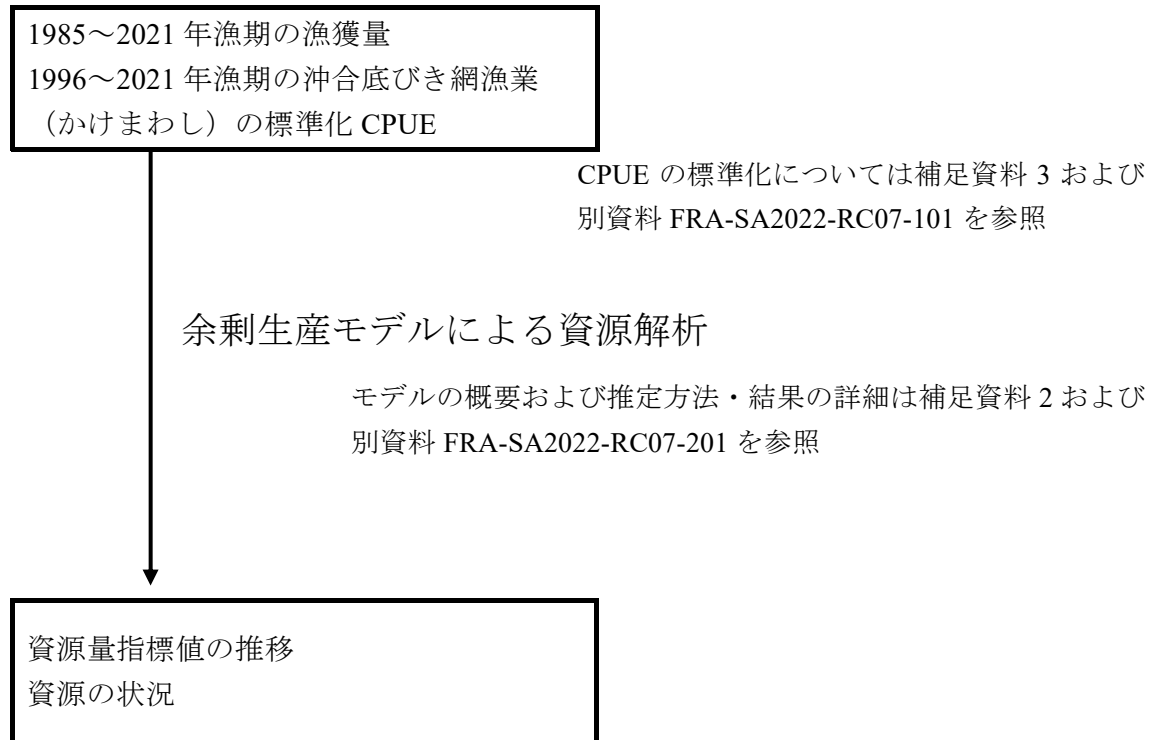
モデル*	余剰生産モデルで推定された資源量の相対値				平均
	設定1 (Model 6)	設定2 (Model 7)	設定3 (Model 8)	設定4 (Model 9)	
形状 パラメータ	メタ解析での全魚 種での値(1.19)を 事前分布で与える	Schaeferモデルに 相当する値(2)を 事前分布で与える	メタ解析でのタラ目 での値(1.46)を 事前分布で与える	メタ解析での全魚 種での値(1.19)を 事前分布で与える	
生産力	尤度プロファイルの 結果に基づき内的 自然増加率rの事前 分布を与える	生産力の年変化が起きたと仮定する**			
1985	0.850	0.910	0.935	0.952	0.912
1986	0.816	0.872	0.895	0.910	0.873
1987	0.923	1.002	1.028	1.045	1.000
1988	0.695	0.774	0.794	0.807	0.768
1989	0.529	0.583	0.595	0.603	0.577
1990	0.652	0.684	0.694	0.700	0.683
1991	1.084	1.083	1.093	1.097	1.089
1992	1.528	1.503	1.510	1.510	1.513
1993	1.095	1.071	1.073	1.072	1.078
1994	1.020	0.983	0.982	0.979	0.991
1995	0.872	0.824	0.819	0.814	0.832
1996	1.017	0.949	0.940	0.933	0.960
1997	0.904	0.857	0.848	0.842	0.863
1998	0.535	0.514	0.507	0.503	0.515
1999	0.542	0.518	0.511	0.507	0.519
2000	0.770	0.745	0.738	0.734	0.747
2001	0.682	0.683	0.679	0.677	0.680
2002	0.479	0.481	0.477	0.476	0.478
2003	0.695	0.704	0.701	0.700	0.700
2004	0.433	0.438	0.434	0.432	0.434
2005	0.375	0.374	0.369	0.367	0.371
2006	0.384	0.379	0.374	0.371	0.377
2007	0.420	0.419	0.414	0.412	0.416
2008	0.415	0.422	0.419	0.418	0.418
2009	0.411	0.418	0.415	0.414	0.415
2010	0.423	0.427	0.423	0.422	0.424
2011	0.544	0.543	0.539	0.537	0.541
2012	0.687	0.701	0.699	0.698	0.696
2013	0.491	0.522	0.520	0.520	0.513
2014	0.329	0.351	0.350	0.349	0.345
2015	0.463	0.476	0.474	0.474	0.472
2016	0.764	0.741	0.738	0.736	0.745
2017	1.256	1.115	1.107	1.102	1.145
2018	2.833	2.824	2.808	2.797	2.815
2019	3.702	3.791	3.771	3.760	3.756
2020	3.473	3.474	3.475	3.478	3.475
2021	3.909	3.845	3.848	3.854	3.864

余剰生産量モデルでの資源解析にあたり、余剰生産量曲線の形状に影響するパラメータ n や、内的自然増加率に関わる設定から 4 種類のモデル設定を選定した。評価ではこれらの 4 モデルの推定結果の平均を用いた。

* モデルの詳細を示した FRA-SA2022-RC07-201 での Model 6 が設定 1、Model 7 が設定 2、Model 8 が設定 3、Model 9 が設定 4 のモデルに対応する。

**設定 2～4 (Model 7～9) のいずれでも、2016/2017 年漁期にシフトが起きたと仮定した場合に AIC が最も低くなった。

補足資料 1 資源評価の流れ



管理に係る目標等の基準値、資源の動向などについては、本年度中に開催される研究機関
会議資料に記述します。

補足資料 2 余剰生産モデルを用いた検討

(1) 余剰生産モデルを用いた資源解析

本資源では平衡状態を仮定しない Pella-Tomlinson 型余剰生産モデル（プロダクションモデル）である SPiCT（連続時間における確率的な状態空間余剰生産モデル：Pedersen and Berg 2017）による検討を行った。解析は 1985～2021 年漁期の漁獲量と、1996～2021 年漁期の北海道日本海における 100 トン以上の沖底かけまわし船による 1 網あたり漁獲量（CPUE、kg/網）を標準化したもの（以下、「沖底標準化 CPUE」とする）に基づき、R パッケージ spict（ver. 1.3.5）により行った。余剰生産モデルで推定するパラメータは、 n 、 m 、 K 、 q 、 B_t 、 F_t 、 σ_B 、 σ_I 、 σ_F 、 $bkfrac$ である。このうち n は余剰生産量曲線の形状を規定するパラメータであり、 n が 1 であれば Fox 型、2 であれば Schaefer 型の余剰生産モデルとなる。形状パラメータ n の値が大きいほど環境収容力 K に対する B_{msy} （最大持続生産量を実現する資源量）の相対的な位置が大きくなる。 m は決定論的な個体群動態のもとでの MSY の値に相当する。一般的に内的自然増加率 r と K には強い相関があることから、今回使用した余剰生産モデル SPiCT では、直接 r を推定するのではなく、 $m=rK/n^{(n-1)}$ と変形して m の値を推定したのちに r を計算している。その他、 q は漁獲効率、 σ_B はプロセス誤差の大きさ、 σ_I は指標値の観測誤差の大きさ、 σ_F は漁獲係数のノイズの大きさ、 $bkfrac$ は初期資源量の環境収容力に対する比である。SPiCT はベイズ推定的一种である罰則付き最尤法を用いるため、パラメータ推定の際には事前分布を与えることが出来る。一般的に形状パラメータ n は推定が困難であるため、本解析では n の事前分布の平均値をメタ解析の結果（Thorson et al. 2012）を参考に $n=2$ （schaefer 型モデル）とした場合、 $n=1.46$ （メタ解析でのタラ目の値）とした場合、および $n=1.19$ （メタ解析での全魚種での値）とした場合について検討した。本資源では 2010 年代中盤以降、漁獲物に占める小型銘柄の増加とその後の大型銘柄の漁獲量増加が見られており、生産力が近年上昇した可能性が考えられる。そのため内的自然増加率 r については、事前分布を与えた場合の他に、生産力の年変化を仮定して変化前 r_1 と変化後 r_2 の 2 パラメータの r を推定するモデルについても検討した。

検討の結果、事前分布の平均値として形状パラメータでは $n=1.19$ 、内的自然増加率 r では尤度プロファイルで負の対数尤度が最小となる値を用いた場合（設定 1）と、形状パラメータの事前分布の平均値に上記の $n=2$ 、 $n=1.46$ 、 $n=1.19$ を用いて、生産力の年変化を仮定した場合（それぞれ設定 2、設定 3、設定 4）の 4 つのモデルにて、適切な推定値が得られたと考えられた。なお、形状パラメータや内的自然増加率に与えた事前分布は、上述の平均値のもとで標準偏差を 0.5 とした対数正規分布とした。推定されたパラメータと 90% 信頼区間を補足表 2-1 に示した。解析方法の詳細は別文書 FRA-SA2022-RC07-201 に示した。

(2) 資源量指標値として用いる余剰生産モデルでの推定資源量と漁獲圧の相対値

余剰生産モデルにおけるレトロスペクティブ解析の結果、資源が急増する 2016～2019 年漁期の前後では、推定される資源量の絶対値が大きく変化することが示された。そのため、資源量の絶対値は推定が不安定であると考えられることから、評価に用いることは不適切と判断した。ただし、その相対値については資源量増加前後での影響は小さいと考えられ

たため、余剰生産モデルから推定された資源量の相対値を本資源の資源評価に用いることとした（補足図 2-1a）。適切な推定値が得られたと考えられた 4 つのモデルにおいて、1985～2021 年漁期の資源量の相対値の推移はモデル間でほぼ一致し、2014 年漁期に過去最低水準まで減少した後に増加へ転じ、2016～2019 年漁期の急増を経て現在は資源量が多い状況にあると考えられた（2019～2021 年漁期の資源量はどのモデルでも全年の平均の 3.5～3.9 倍）。資源評価に用いる資源量指標値としては、これらのモデルの資源量相対値の平均値を用いた。なお、余剰生産モデルでは資源量と指標値のある年の一年後までの資源量が計算できるため、2022 年漁期に予測される資源量も参考情報として示した。

推定された漁獲圧の相対値についても 4 つのモデルでは概ね一致した推移を示した（補足図 2-1b）。いずれのモデルでも資源量が増加する 2014 年漁期から漁獲圧が低下した。各モデルで推定された漁獲圧の相対値を比較すると、近年 5 年（2017～2021 年漁期）の漁獲圧の平均値は、その前 5 年（2012～2016 年漁期）の平均値の 46～49%、更にその前 5 年（2007～2011 年漁期）の平均値の 40～41%であり、近年は漁獲圧が低下した状況にあると考えられた。

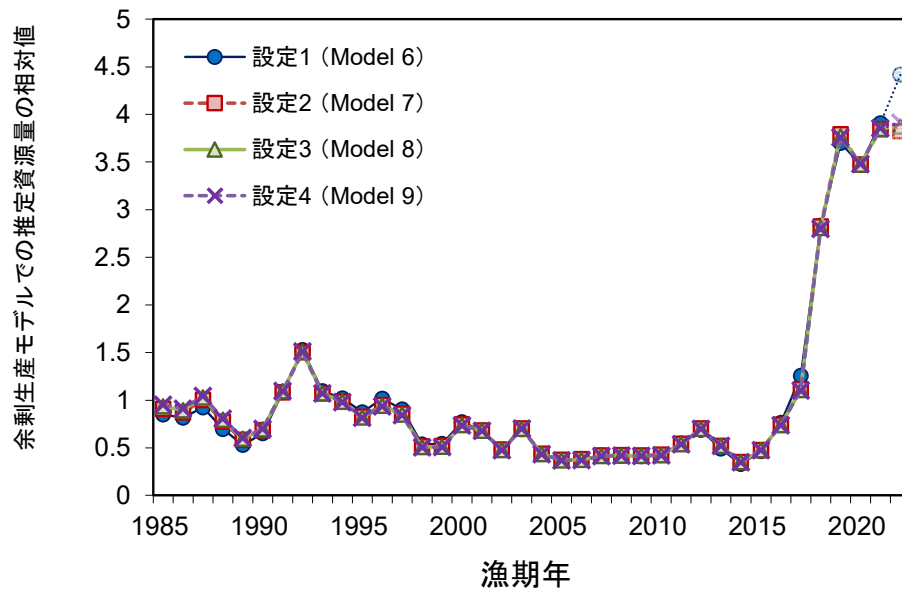
（3）余剰生産モデルにて推定された直近年の資源状態

直近年（2021 年漁期）の資源量や漁獲圧が最大持続生産量（MSY）を実現する水準（ B_{msy} および F_{msy} ）を上回っているか否かについて、余剰生産モデルによる推定結果を示した。適切な推定値が得られたと考えられた 4 つのモデルでは、設定 1（Model 6）と設定 2～4（Model 7～9）とで異なる結果となった。設定 1 では直近年の資源量と B_{msy} との比（ B/B_{msy} ）や、直近年の漁獲圧と F_{msy} との比（ F/F_{msy} ）は、それぞれ 1 となる基準値を跨いだ広い信頼区間となった。一方、設定 2～4 では B/B_{msy} が信頼区間も含めて 1 を上回り、 F/F_{msy} は信頼区間も含めて 1 を下回ると推定された（補足図 2-2）。生産力の年変化に関する仮定の違いにより各モデルでの現在の資源状態に関する結果・解釈が変わることに注意が必要である。これらの 4 つのモデルからは、直近年の漁獲圧は F_{msy} を下回る水準まで下がっている可能性が考えられるが、その推定の不確実性は大きい。また資源量が B_{msy} を上回るか否かは、モデルでの生産力の仮定次第で結果が異なるため、現段階で断定することは困難であると考えられた。

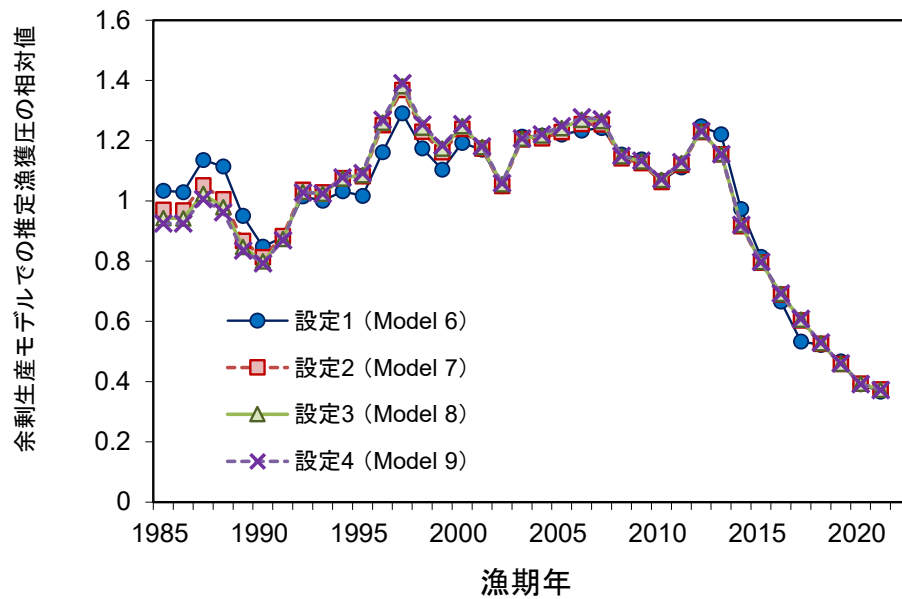
引用文献

- Thorson, J. T., Cope, J. M., Branch, T. A., & Jensen, O. P. (2012). Spawning biomass reference points for exploited marine fishes, incorporating taxonomic and body size information. 1568, 1556-1568. <https://doi.org/10.1139/F2012-077>
- Pedersen, M. W., & Berg, C. W. (2017) A stochastic surplus production model in continuous time. *Fish and Fisheries*, 18, 226-243.
- 境 磨・千村昌之・千葉 悟・濱津友紀 (2022) 令和 4 (2022) 年度マダラ北海道日本海の状態空間余剰生産モデルによる資源解析. (FRA-SA2022-RC07-201)

a) 資源量の相対値



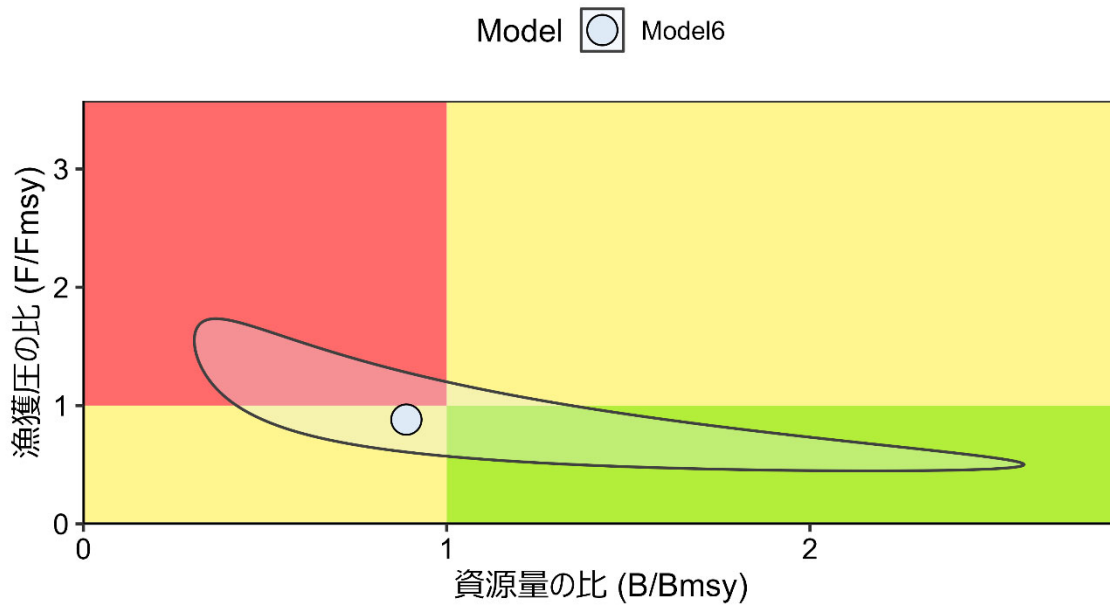
b) 漁獲圧の相対値



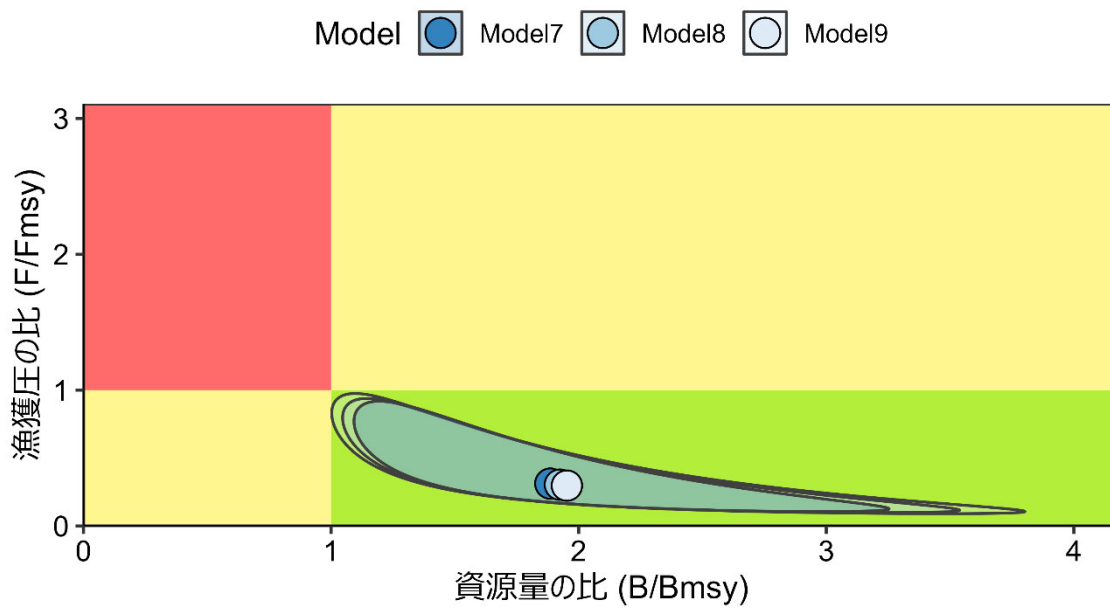
補足図 2-1. 推定された資源量の相対値

余剰生産モデルにおいて、形状パラメータ n に 1.19 を、内的自然増加率 r に尤度プロファイルで負の対数尤度が最小となる値を与えた場合（設定 1 : Model 6）、および生産力の年変化を仮定し、形状パラメータ n の事前分布に 2 を与えた場合（設定 2 : Model 7）、1.46 を与えた場合（設定 3 : Model 8）、1.19 を与えた場合（設定 4 : Model 9）の結果を示した。事前分布は標準偏差を 0.5 とした対数正規分布とした。

a) 設定 1 (Model 6)



b) 設定 2～4 (Model 7～9)



補足図 2-2. 神戸プロット

余剰生産モデルにおいて、形状パラメータ n に 1.19 を、内的自然増加率 r に尤度プロファイルで負の対数尤度が最小となる値を与えた場合（設定 1 : Model 6）、および生産力の年変化を仮定し、形状パラメータ n の事前分布に 2 を与えた場合（設定 2 : Model 7）、1.46 を与えた場合（設定 3 : Model 8）、1.19 を与えた場合（設定 4 : Model 9）の結果を示した。事前分布は標準偏差を 0.5 とした対数正規分布とした。図中の丸印が直近年の資源状態を示す。色の付いた枠の範囲は 90%信頼区間を示す。

補足表 2-1. 各モデルのパラメータ

モデル名	設定 1 (Model 6)			設定 2 (Model 7)		
事前分布 の設定	- 形状パラメータには $n=1.19$ を平均値とした狭い事前分布 ($SD=0.5$) を与えた。 - 内的自然増加率 r には尤度プロファイルが負の対数尤度が最小となる値 (0.530) を平均値とした狭い事前分布 ($SD=0.5$) を与えた。			- 形状パラメータには $n=2$ を平均値とした狭い事前分布 ($SD=0.5$) を与えた。 - 生産力の年変化が起きたと仮定し、内的自然増加率は変化した年の前後で分けて推定した ($r1, r2$)。		
	下限 5%	推定値	上限 5%	下限 5%	推定値	上限 5%
$r1 (r)$	0.254	0.634	1.581	0.141	0.488	1.686
$r2$	—	—	—	0.467	1.075	2.478
K	2.74E+04	6.90E+04	1.74E+05	2.46E+04	5.19E+04	1.10E+05
n	0.828	1.166	1.641	0.698	1.156	1.915
σ_B	0.123	0.224	0.409	0.153	0.227	0.336
σ_F	0.098	0.139	0.196	0.096	0.140	0.204
q	7.48E-05	1.46E-04	2.87E-04	3.83E-05	8.82E-05	2.03E-04
σ_I	0.189	0.254	0.343	0.187	0.254	0.346
$bkfrac$	0.025	0.074	0.221	0.086	0.176	0.359

モデル名	設定 3 (Model 8)			設定 4 (Model 9)		
事前分布 の設定	- 形状パラメータには $n=1.46$ を平均値とした狭い事前分布 ($SD=0.5$) を与えた。 - 生産力の年変化が起きたと仮定し、内的自然増加率は変化した年の前後で分けて推定した ($r1, r2$)。			- 形状パラメータには $n=1.19$ を平均値とした狭い事前分布 ($SD=0.5$) を与えた。 - 生産力の年変化が起きたと仮定し、内的自然増加率は変化した年の前後で分けて推定した ($r1, r2$)。		
	下限 5%	推定値	上限 5%	下限 5%	推定値	上限 5%
$r1$	0.113	0.400	1.413	0.094	0.347	1.276
$r2$	0.385	0.933	2.262	0.331	0.844	2.151
K	2.63E+04	5.65E+04	1.21E+05	2.72E+04	6.04E+04	1.34E+05
n	0.607	1.023	1.724	0.546	0.940	1.616
σ_B	0.157	0.228	0.332	0.159	0.229	0.331
σ_F	0.097	0.142	0.206	0.098	0.143	0.208
q	3.74E-05	8.50E-05	1.93E-04	3.58E-05	8.23E-05	1.89E-04
σ_I	0.186	0.253	0.346	0.184	0.253	0.347
$bkfrac$	0.079	0.174	0.382	0.074	0.172	0.401

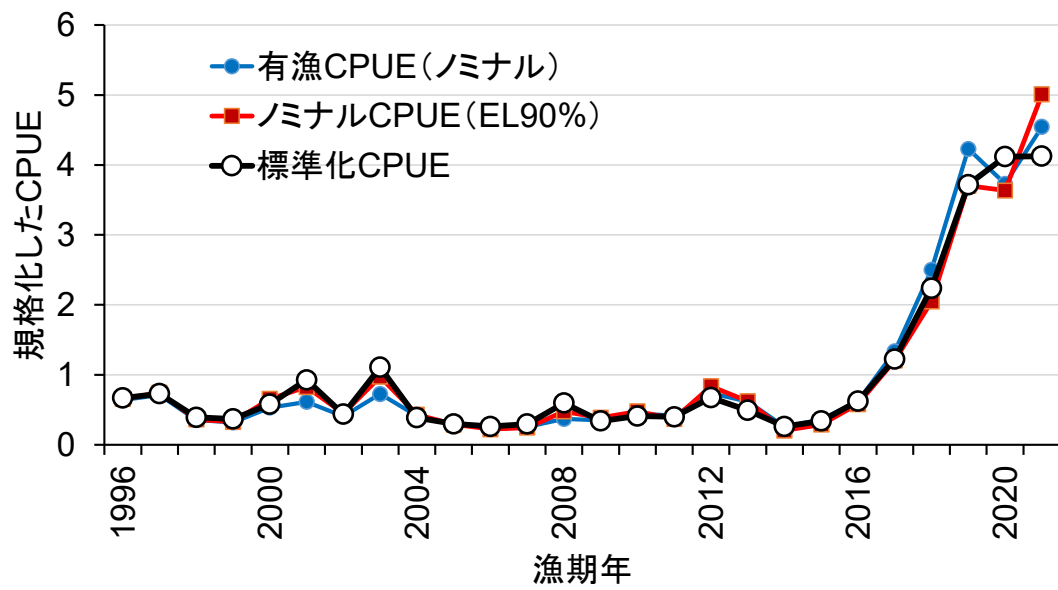
設定 2～4 では、2010 年代中盤以降に生産力の年変化が起きたと仮定した。様々な区切り年での年変化を検討した結果、余剰生産モデルでは設定 2～4 のいずれでも 2016～2017 年漁期に年変化が起きたとした場合にモデルの AIC が最も小さくなったため、内的自然増加率に関するパラメータを 2017 年漁期より前と後とで分けて求めることとした。

補足資料 3 沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）CPUE の標準化

余剰生産モデルに用いる指標値として、北海道日本海における沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）の日別船別集計の漁獲成績報告書に基づき、マダラ CPUE（1 網当たりのマダラ漁獲量 kg/網）の標準化を行った。本海域のマダラ資源の動向に関係すると考えられる操業データとして、まず Biseau (1998) に従い 90%説明レベルでフィルタリングした (96,632 操業)。マダラの漁獲は複数の狙い操業により構成されていると考えられるため、フィルタリング後のデータの解析に有限混合モデル (Finite Mixture Model) を採用し、直接観測できない「狙い」の効果をモデル内で推定した。有限混合モデルでは、漁獲情報の背景には観察されない漁業の戦略（すなわち「狙い」）があると仮定し、2 つ以上の確率密度関数を組み合わせて対象種の CPUE の年変動パターンと同時に、漁業の戦略の効果（「狙い」効果）も推定する (Shibano et al. 2021)。有限混合モデルではマダラ CPUE に対数正規分布を仮定した GLM を適用した。BIC により選択された説明変数は、漁期年（1996～2021 年漁期）、季節（1～3 月、4～6 月、7～9 月、10～12 月の 4 季）、陸揚港（小樽、留萌、稚内）である。パラメータ推定にあたり、漁期年 (Year) の推定パラメータは、「狙い」のグループ (Cluster) 間で共通とした。有限混合モデル内では Cluster の同時推定にあたりホッケ、スケトウダラおよびソウハチの有漁確率モデルも同時推定した。有漁確率は二項分布を用いた GLM で推定し、説明変数はマダラ CPUE のモデルと同一とした。Cluster 数は 5 要素とした場合のモデルが選択された。選択されたモデルを用いて推定された標準化 CPUE の年トレンドを補足図 3-1 に示す。標準化の詳細は別途説明文書 FRA-SA2022-RC07-101 に示した。

引用文献

- Biseau, A (1998) Definition of a directed fishing effort in a mixed-species trawl fishery, and its impact on stock assessments. *Aquat. Living Resour.* **11**: 119-136.
- 境 磨・千村昌之・千葉 悟・濱津友紀 (2022) 令和 4 (2022) 年度マダラ北海道日本海の資源評価 沖合底びき網漁業(かけまわし漁法)の CPUE 標準化について. (FRA-SA2022-RC07-101)
- Shibano, A., M. Kanaiwa, M. Kai (2021) Performance of a finite mixture model in CPUE standardization for a longline fishery with target change. *Fish. Sci.* **87**, 465-477

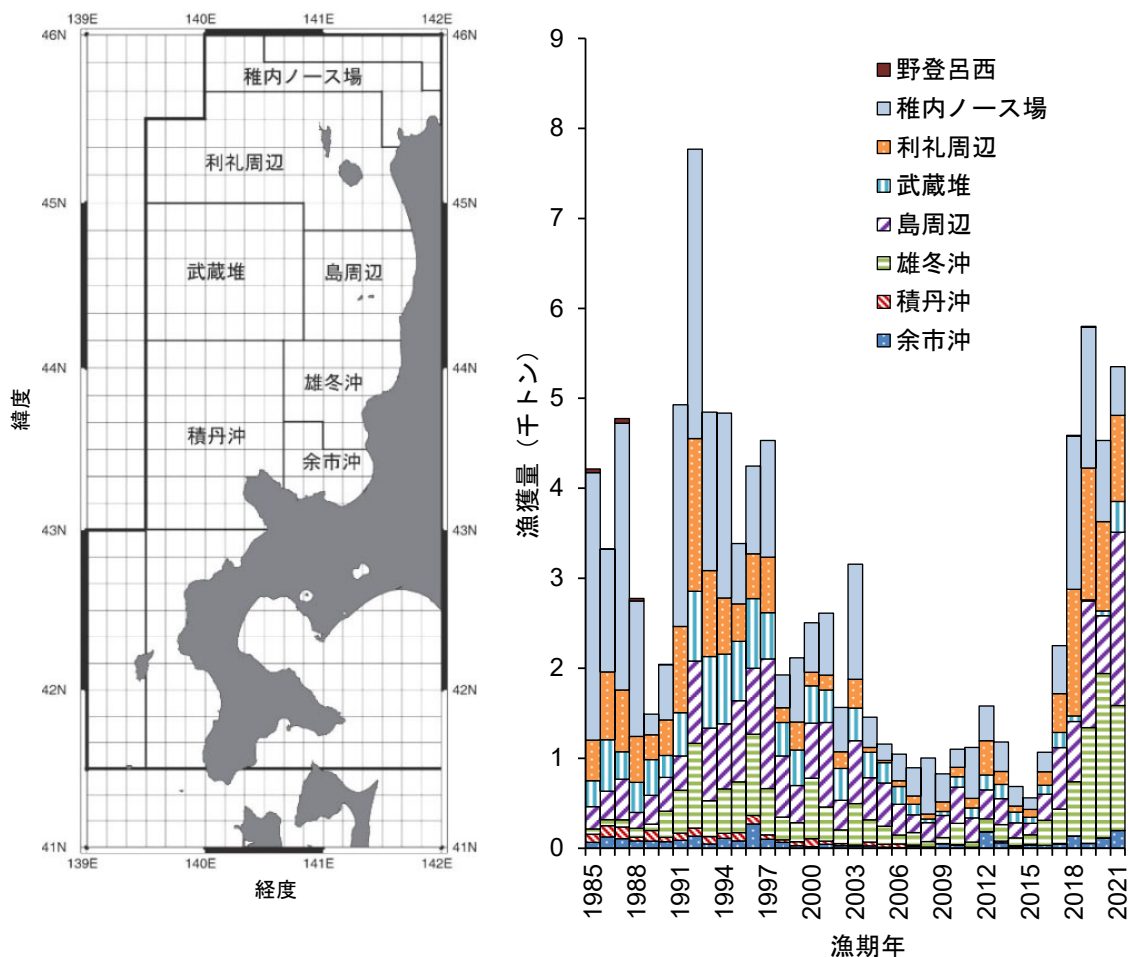


補足図 3-1. マダラ標準化 CPUE とノミナルの有漁 CPUE と 90%説明レベル CPUE

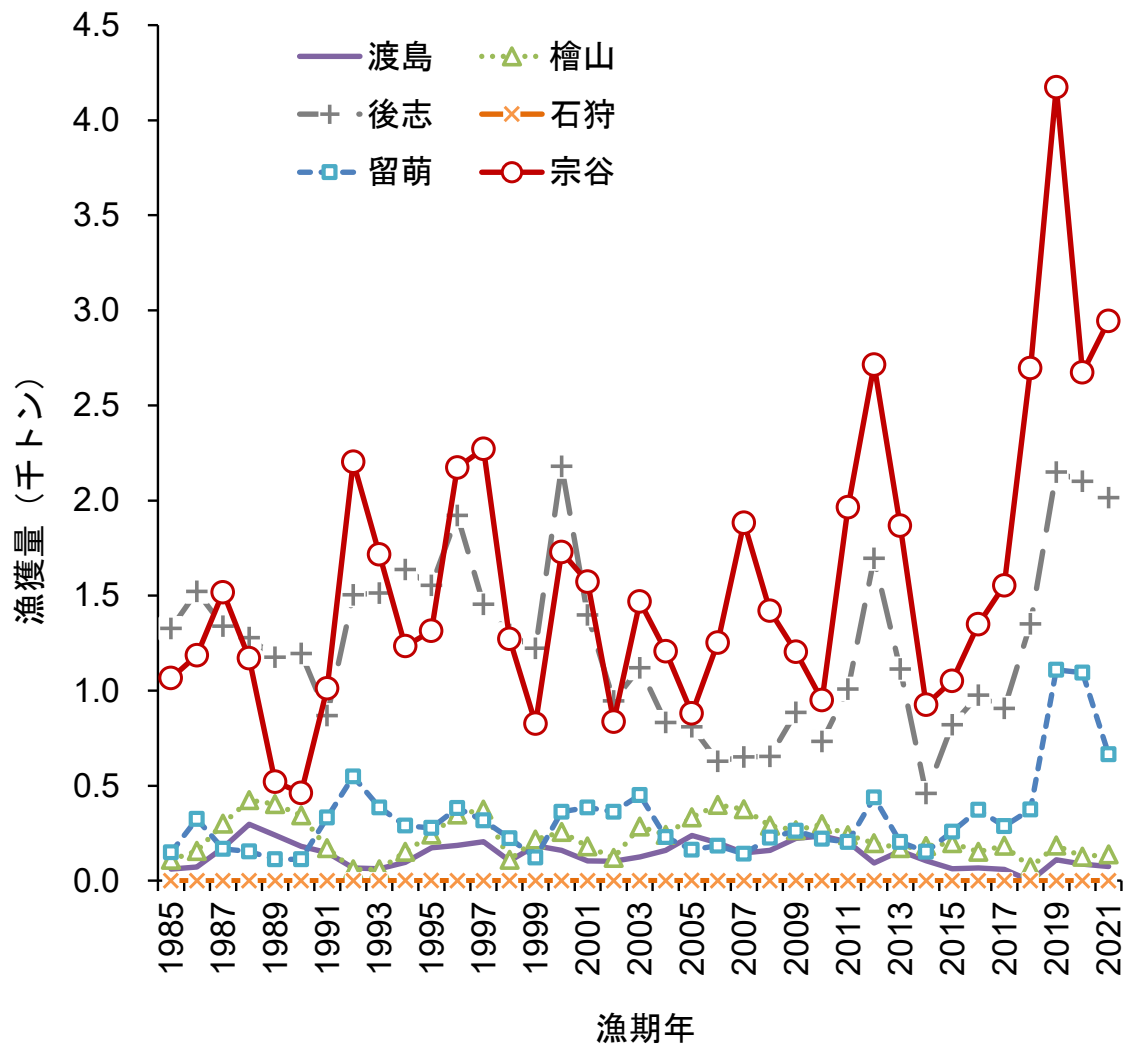
補足資料 4 小海区別の沖底漁獲量および地域別の沿岸漁業漁獲量の推移

小海区別の沖底漁獲量の推移を補足図 4-1 に示す。漁獲量は小海区の稚内ノース場、利礼周辺、島周辺、雄冬沖において多い。直近 3 年間（2019～2021 年漁期）についてみると、いずれの漁期年も雄冬沖、島周辺、利礼周辺、および稚内ノース場での漁獲量が多い。近年は武蔵堆や積丹沖など比較的沖合域での漁獲が少なくなっており、減船や操業戦略の変化に伴い漁獲努力量が減少しているものと考えられる。また、スケトウダラなど他魚種の漁獲制限に伴う操業パターンの変化も本種の漁獲に影響していると考えられるため、当該漁業の CPUE を標準化には、その影響を適切に取り扱うことが重要である（補足資料 3）。

地域別の沿岸漁業漁獲量の推移を補足図 4-2 に示す。沿岸漁業の漁獲量は、宗谷管内と後志管内において多い。沿岸漁業の漁獲量は 2018 年漁期に大きく増加した。地域別にみると、宗谷、留萌、後志管内では大きく増加した一方、石狩、渡島、および檜山管内では減少もしくは横ばい傾向である。



補足図 4-1. 北海道日本海における沖底による小海区別のマダラ漁獲量の推移



補足図 4-2. 北海道日本海における沿岸漁業による地域別のマダラ漁獲量の推移