

令和 4（2022）年度マガレイ北海道北部系群の資源評価

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、稚内水産試験場、網走水産試験場

要 約

マガレイ北海道北部系群の漁獲量は 1995 年漁期の 4,229 トンをピークに減少し、2011 年漁期までは数年おきに漁獲が増える年があったが、長期的には減少をつづけ 2021 年漁期は過去最低の 1,243 トンとなった。近年 5 年間の漁獲量の平均値は 1,732 トンであった。また、資源量の相対的な傾向を示す沖底標準化 CPUE は、2007 年漁期にピークの 62.9 kg/網を記録した後は、2011 年漁期に一時的に増加するものの 2014 年漁期まで減少して推移した。2015～2019 年漁期は再び増加した後、2020 年漁期から減少に転じて 2021 年漁期は 27.8 kg/網となった。これらの漁獲量、標準化 CPUE データに加え、北海道立総合研究機構が VPA によって推定したマガレイの資源量から推定した残存資源量のデータを用い、本資源の資源状態を状態空間型の余剰生産モデル(プロダクションモデル)を用いて評価した。事前情報の与え方のシナリオについては 3 つ考慮し、3 つの基本モデルから得られた評価結果から資源状態を判断した。3 つのモデルから推定された資源量や漁獲圧の相対的な傾向はほぼ同様の結果を示した。資源量は 1994～1997 年漁期に増加した後は増減を繰り返しながら横ばいで推移し、2008～2014 年漁期に減少した後に 2018 年漁期まで増加して再び減少に転じた。2021 年漁期は資源評価期間の平均的な値となった。漁獲圧は長期的に減少が続いている。3 つのモデルから推定される資源量や漁獲圧は異なるが、それらの点推定値の平均値（代表値）は、2021 年漁期の資源量は 6,901 トン（90%信頼区間は 4,233～11,345 トン）、漁獲圧は 0.18（90%信頼区間は 0.11～0.29）であった。

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(トン)* (90%信頼区間)**	漁獲量(トン)	漁獲圧(F)* (90%信頼区間)**
2017	7,112 (4,368～11,689)	2,080	0.29 (0.18～0.48)
2018	8,694 (5,388～14,205)	2,246	0.26 (0.16～0.42)
2019	8,111 (5,025～13,267)	1,725	0.21 (0.13～0.34)
2020	7,302 (4,504～11,966)	1,365	0.19 (0.11～0.30)
2021	6,901 (4,233～11,345)	1,243	0.18 (0.11～0.29)

漁期年は7月～翌年6月。2020、2021年の漁獲量は暫定値である。各年の資源量は漁獲対象資源量を示す。

*3つの基本モデルの推定値の平均値を代表値として扱った。

**ここで示される90%信頼区間の下側5%は3つの基本モデルでそれぞれ推定された下側5%点の小さいほうの値を、上側5%は3つの基本モデルでそれぞれ推定された上側5%点の大きいほうの値をとったもの。この後も、3つのモデルの結果を要約する際には上記の定義に従うこととした。

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	主要港漁業種別水揚量(北海道)・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※	沖底標準化 CPUE・道総研 VPA 資源評価結果

※はプロダクションモデルによる資源量推定のために用いたデータ。

1. まえがき

マガレイ北海道北部系群は、北海道の日本海側からオホーツク海側にかけての沿岸域において、刺し網漁業の重要な漁獲対象となっている。

2. 生態

(1) 分布・回遊

マガレイは、樺太・千島以南の日本各地の沿岸から朝鮮半島、中国にかけて広く分布している(水産庁研究部 1986)。本系群の分布を図1に示す。本系群には、日本海北部で産卵されたものが、そこで着底し一生を過ごす群(日本海育ち群)と、オホーツク海へ運ばれて着底し、そこで未成魚期を過ごした後、成熟の進行に伴い日本海北部へ産卵回遊する群(オホーツク海育ち群)が存在する(加賀・菅間 1965、菅間 1967、下田ほか 2006)。

(2) 年齢・成長

各年齢(7月1日を誕生日とした満年齢)における雌雄別・育ち群別の全長と体重を図2に示す(中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2022)。日本海育ち群はオホーツク海育ち群に比べて成長が遅い。寿命は、雄が5歳程度、雌が10歳以上と考えられている(星野 2003)。

(3) 成熟・産卵

雌では2歳から、雄では1歳から成熟する個体が見られる（中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2022）。産卵期は4～6月で、産卵場は石狩湾と苫前沖～利尻・礼文島周辺海域（産卵水深は40～60 m）である（図1）。

(4) 被捕食関係

仔魚はカイアシ類を、未成魚および成魚はゴカイ類、二枚貝類、ヨコエビ類、クモヒトデ類を捕食している（渡野邊 2003）。捕食者は海獣類である（Goto et al. 2017）。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

系群は主に刺網漁業などの沿岸漁業によって漁獲されるほか、沖合底びき網漁業（以下、「沖底」という）によっても漁獲され、漁獲量は日本海が約6割を占めていたが、2021年漁期は日本海で漁獲量が減少し、反対にオホーツクでは増加したため漁獲量の割合が逆転した（図3）。刺し網の主漁期は日本海で10～翌年6月、オホーツク海で5～12月である。また、日本海では主に成魚が漁獲されるのに対し、オホーツク海では主に未成魚が漁獲されている。

(2) 漁獲量の推移

本系群の漁獲量を図3および表1に示す。沖底では1980～1981年漁期には2,000トンに迫る漁獲量を記録していたが、その後1987年漁期にかけて大きく減少した。その後は増減しながらほぼ横ばいで推移している。2021年の漁獲量は、前年より減って215トンであった。沿岸漁業の漁獲量は、1988年漁期以降増加傾向を示し、1995年漁期には3,440トンに達したが、その後は増減しながら長期的には減少傾向にある。2021年の漁獲量は1,027トンであった。沖底と沿岸漁業を合わせた漁獲量は、1988年漁期以降増加し、1995年漁期には4,229トンに達したが、その後は増減しながら減少傾向にある。2021年の漁獲量は1,243トンであった。

沿岸漁業の漁獲量や沖底と沿岸漁業を合わせた漁獲量は、豊度の高い年級群が発生した後に増加している。近年では2013年級群の豊度が比較的高いと考えられており、再生産成功率も2008～2012年級群と比較して2013年級群以降で増加した（中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2022）と考えられている。一方、日本海の春の刺し網漁の操業において、海獣類による被害を避けるため操業の開始時期を遅らせる、魚価安のため小型魚を避けたり操業を早く切り上げたりあるいは見合わせる、ニシン狙いの操業が増加するなどの操業形態の変化が認められており（中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2022）、このような変化は近年の沿岸漁業の漁獲量の減少に少なからず影響を与えているものと考えられる。

(3) 漁獲努力量

本系群の漁獲努力量として、沖底のオッターコントロール、かけまわしの有漁網数（試験操業除く）を月別集計データに基づき示した（図4）。オッターコントロールの有漁網数は、1980年代前半に大きく減少したあとは低いまま推移していたが、2020年漁期に増加して2021

年漁期は 1982 年以降で最大となる 704 網であった。近年の漁獲の主体であるかけまわしの有漁網数は増減を繰り返しながらも減少傾向で推移しており、2021 年漁期の有漁網数は 3,682 網であった。

沿岸漁業の漁獲努力量については把握できていないが、前述の影響で刺し網の努力量は近年低下しているものと推察される。また、参考として刺し網漁業の漁業権行使数の推移を補足資料 2 に示した。漁業権行使数は各地域ともに、長期的に減少傾向が見られている。

(4) 漁獲物の年齢組成

北海道立総合研究機構（以下、道総研）による年齢別漁獲尾数推定の結果（中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2022）を補足資料 5 に示す。1990 年代後半に漁獲の主体が 2 歳魚から 3、4 歳魚に移行している（補足図 5-3）。特に 2019～2020 年漁期において 5 歳以上の高齢魚が漁獲の約半数を占めるに至っている。この主な要因として、単価の安い小型魚の水揚げを避けたことや、若齢魚が漁獲の主体であった日本海の北部やオホーツクにおいて努力量・漁獲量ともに減少していること、関係漁業者間で取り組まれている資源管理協定に基づいた未成魚保護を目的とする漁獲制限などが考えられる。

4. 資源の状況

(1) 資源評価の方法

1990～2021 年漁期の漁獲量と、1990～2021 年の沖底標準化 CPUE、および道総研が VPA によって推定した 1989～2020 年漁期の資源重量（中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2022）から求めた残存資源量に基づいて、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）によって、資源量と漁獲圧を推定した（補足資料 1、3、4）。事前情報の与え方のシナリオについては 3 つ考慮し、3 つの基本モデルから得られた評価結果から資源状態を判断した。

沖底標準化 CPUE の算出方法の詳細は別文書 FRA-SA-SC08-102 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-SA-SC08-202 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資源量指標値を図 5 および表 1 に示した。沖底標準化 CPUE は、2007 年漁期にかけて増加した後に 2014 年漁期まで減少し、2015～2019 年漁期に再び増加し 2020 年漁期から減少に転じた。道総研が VPA で推定した資源量（補足図 5-1）から推定した残存資源量は、1994～1996 年漁期に大きく増加した後、2000 年漁期に減少に転じた。2007 年漁期に再び増加したが、2012～2014 年漁期に再び減少するが 2016 年漁期から増加に転じた。

(3) 最大持続生産量を実現する資源量および環境収容力

余剰生産モデルから推定されたパラメータ値を補足表 3-1 に示す。推定された内的自然増加率 r は Model 0 で 1.59（90%信頼区間は 0.58～4.34、以下同様）、Model 1 で 1.15（0.41～3.24）、Model 2 で 0.85（0.42～1.72）、環境収容力 K は Model 0 で 10,134 トン（6,931～14,817

トン)、Model 1 で 10,896 トン (7,436~15,967 トン)、Model 2 で 12,155 トン (8,420~17,547 トン) である。形状パラメータ n は Model 0 で 3.08 (1.21~7.82)、Model 1 で 2.16 (0.80~5.87)、Model 2 で 1.63 (0.86~3.10) であるため、余剰生産量が最大になる際の資源量 (最大持続生産量を実現する資源量、 B_{msy}) は Model 0 で 5,590 トン (3,643~8,578 トン)、Model 1 で 5,369 トン (3,493~8,523 トン)、Model 2 で 5,386 トン (3,593~8,073) と推定された (図 6)。また、余剰生産量が最大になる際の漁獲圧 (最大持続生産量を実現する漁獲圧、 F_{msy}) は Model 0 で 0.50 (0.33~0.75)、Model 1 で 0.52 (0.34~0.79)、Model 2 で 0.51 (0.34~0.78) と推定された。

(4) 資源量と漁獲圧の推移

余剰生産モデルでは 3 つ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 (図 7)。同じく余剰生産モデルにより求めた資源量と漁獲圧の推移を図 8、9 および表 2 に示した。資源量は 2007 年漁期に Model 0 で 10,296 トン (6,493~16,328 トン)、Model 1 で 10,554 トン (6,624~16,816 トン)、Model 2 で 10,840 トン (6,761~17,380 トン) のピークを記録した後は、2014 年漁期に Model 0 で 3,793 トン (2,327~6,180 トン)、Model 1 で 3,848 トン (2,360~6,274 トン)、Model 2 で 3,947 トン (2,418 トン~6,443 トン) まで減少した。2016~ 2018 年漁期に増加したが 2019 年漁期から減少に転じて 2021 年漁期は Model 0 で 6,832 トン (4,233~11,025 トン)、Model 1 で 6,856 トン (4,249~11,063 トン)、Model 2 で 7,015 トン (4,338~11,345 トン) と推定された。漁獲圧は 2006 年漁期まで減少傾向で推移した後、2015 年漁期まで横ばいから微増で推移し、2016 年漁期から再び低下に転じた。2021 年漁期の漁獲圧は Model 0~2 全てで 0.18 (0.11~0.29) と推定された。3 つのモデルから推定された資源量の相対値および資源量と漁獲圧の各年の推定値の平均値を代表値として表 3 に示した。2021 年漁期の資源量の B_{msy} との比 (B/B_{msy}) は 1 を上回り、漁獲圧と F_{msy} との比 (F/F_{msy}) は信頼区間を含めて 1 を下回った (補足図 3-8)。

5. 資源評価のまとめ

余剰生産モデルによる資源量推定結果から、マガレイの資源量は 1990 年代中盤から増加したが、2010 年代前半にかけて減少した。その後は再び増加したが、2019 年漁期以降は減少傾向にあるものの、2021 年漁期の資源量は資源評価期間の平均的な値であると考えられる。

6. その他

本系群には漁業関係者間で取り組まれている資源管理協定に基づき、未成魚保護を目的として全長 18 cm (体長 15 cm) 未満に対する漁獲制限が設けられている。近年の漁獲物は幅広い年齢層で構成されているのが特徴となっており (補足図 5-3)、若齢魚の漁獲圧が低い状況であることから再生産への寄与率が高く資源が安定していると考えられる。引き続き加入を促進するためにも、漁獲圧を現状程度に抑え、親魚量を確保することが重要である。

プロダクションモデルを用いた資源量推定は本年度からの初めての試みとなる。事前分

布の仮定や推定パラメータの妥当性の検討、基本モデルの絞り込みなど、今後、余剰生産モデルの手法の改善と資源量推定結果の精査を継続的に行っていく必要がある。

7. 引用文献

- 中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 (2022) マガレイ (石狩湾以北日本海～オホーツク海海域). 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, 1-12,
https://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/central/section/shigen/11_yellowstripedflounder_JSOkhotsk_2022.pdf (last accessed 2022/12/06)
- 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. *Marine Ecology*, **38**, e12477.
- 星野 昇 (2003) 道北日本海沿岸におけるマガレイ産卵群の資源構造. 北水試だより, **60**, 15-19.
- 加賀吉栄・菅間慧一 (1965) 石狩湾におけるマガレイの生活とその資源. 北水試月報, **22**, 50-57.
- Pedersen, M. W., and 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>
- 下田和孝・板谷和彦・室岡瑞恵 (2006) 北海道北部産マガレイ耳石輪紋径に基づく「育ち群」判別, 第1報 漁獲物の1～3歳における「育ち群」. 北水試研報, **71**, 55-62.
- 菅間慧一 (1967) 北部日本海のマガレイの生活について. 北水試月報, **24**, 57-78.
- 水産庁研究部 (1986) 底びき網漁業資源. ブループリント, 234 pp.
- 渡野邊雅道 (2003) マガレイ. 「新北のさかなたち」水島敏博・鳥澤雅監修, 北海道新聞社, 北海道, 272-277.

(執筆者：千葉 悟、佐藤隆太、森田昌子、境 磨、濱津友紀)

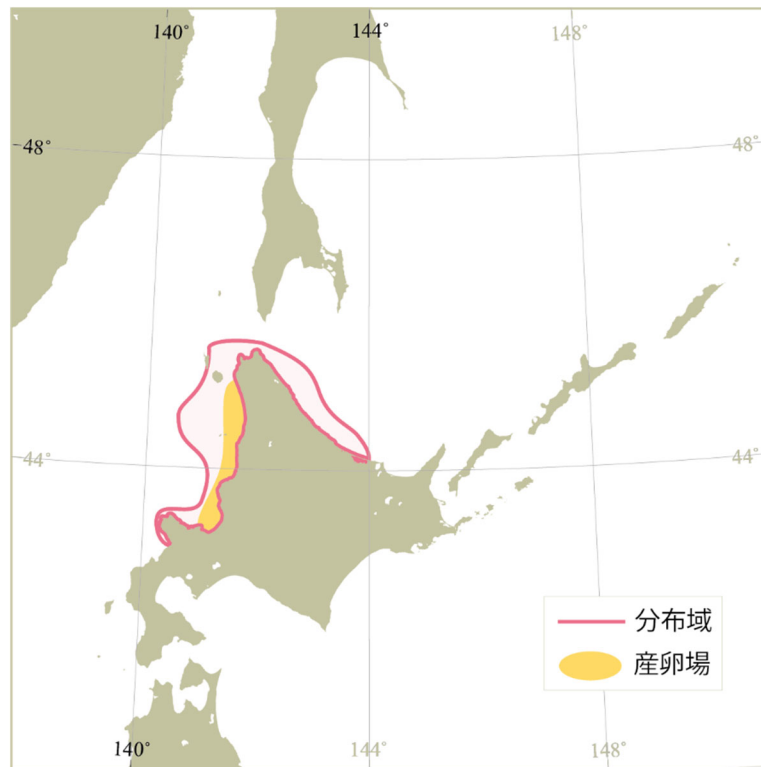


図 1. マガレイ北海道北部系群の分布

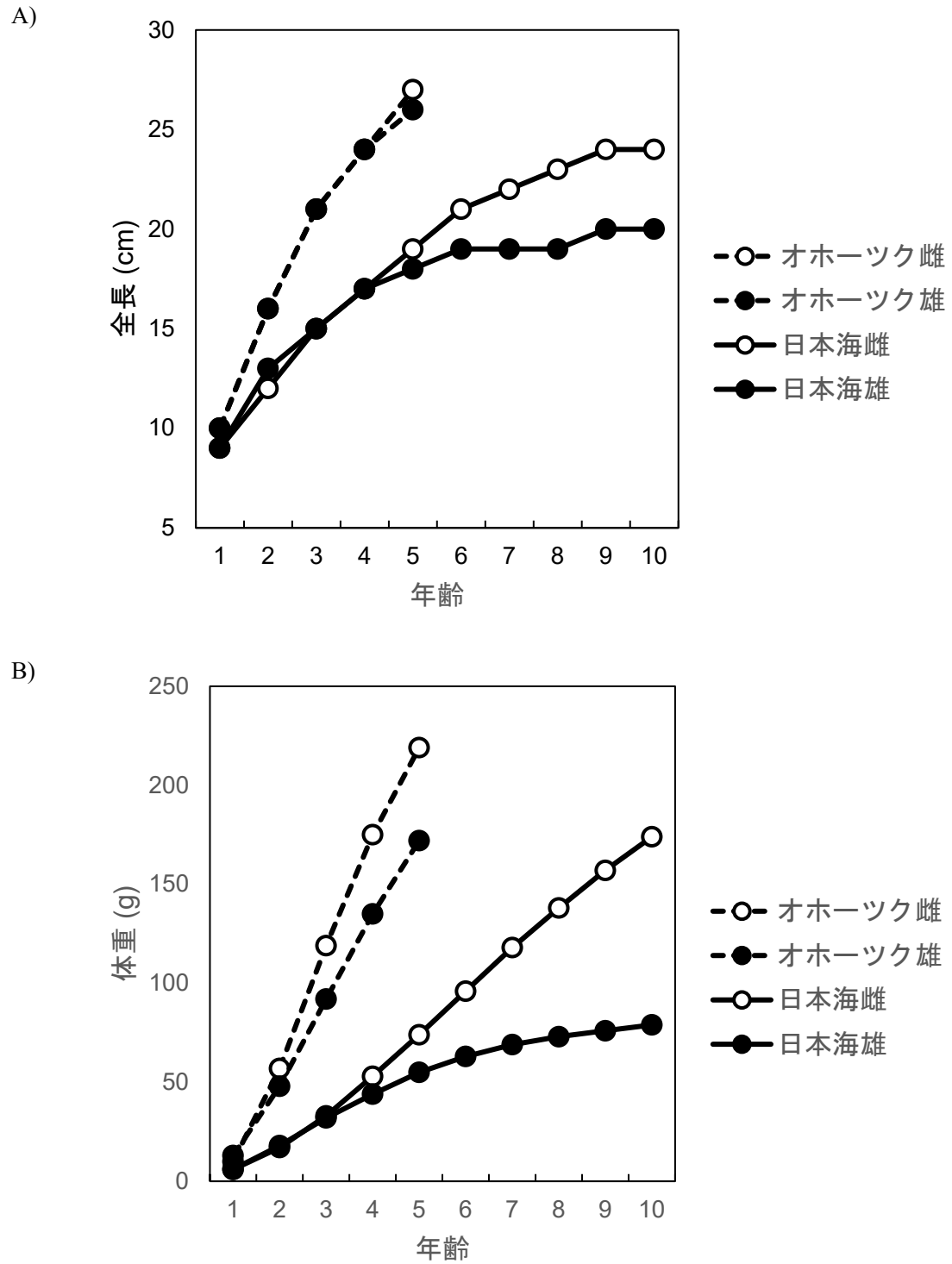


図 2. マガレイ北海道北部系群の成長 A: 全長、B: 体重 (数値は中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 (2022) より引用)

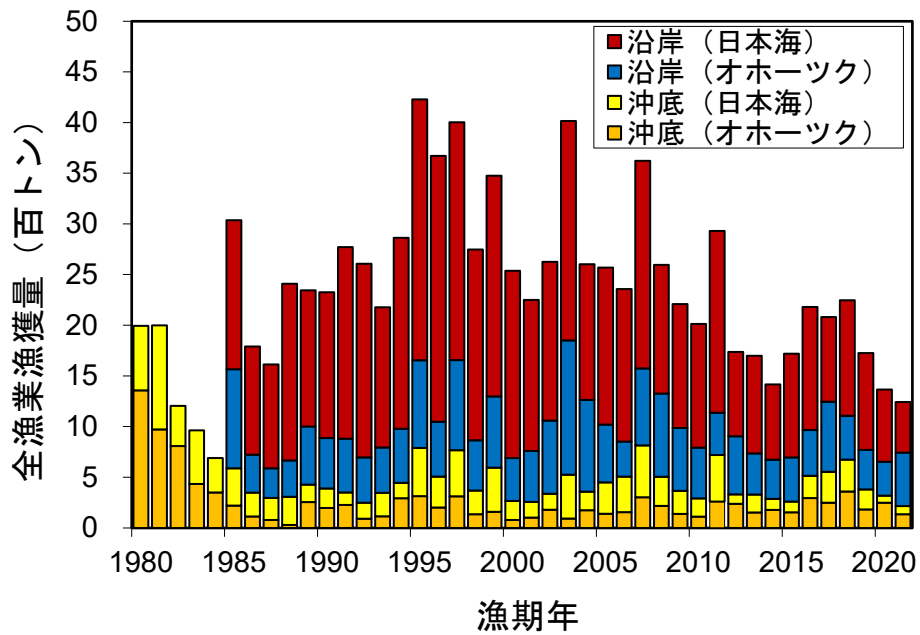


図 3. マガレイ北海道北部系群の漁獲量（1984 年以前の沿岸漁業漁獲量は未集計）

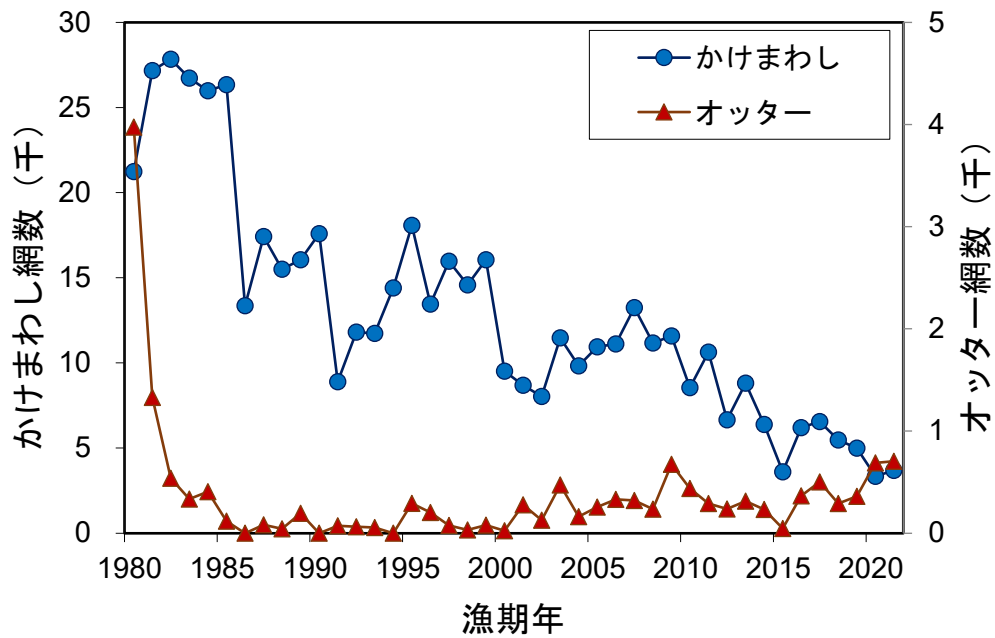


図 4. マガレイ北海道北部系群に対する沖底の漁獲努力量（有漁網数）

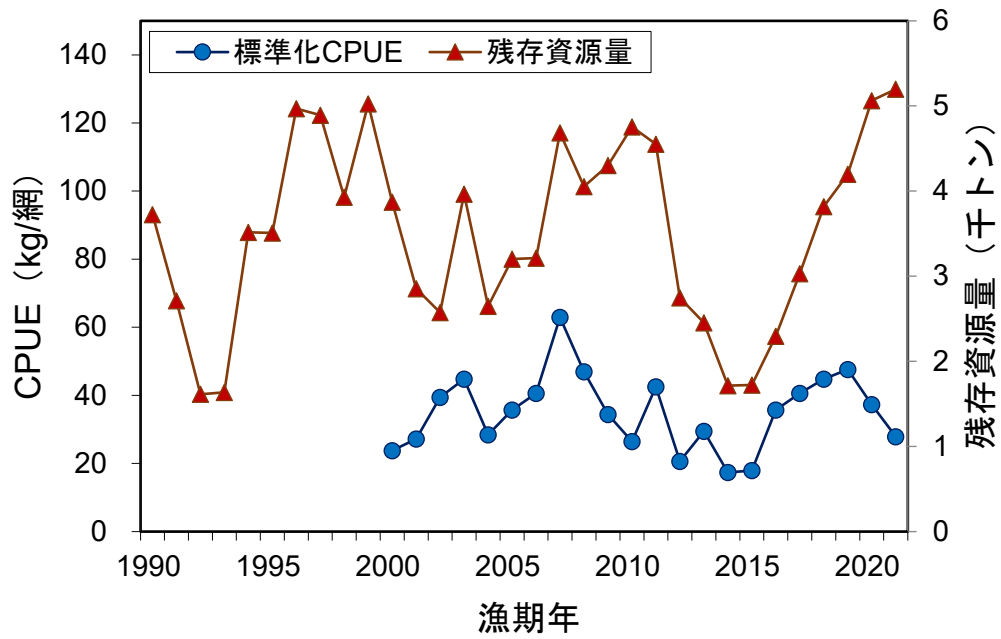


図 5. 沖底標準化 CPUE と VPA で推定された資源量から推定した残存資源量

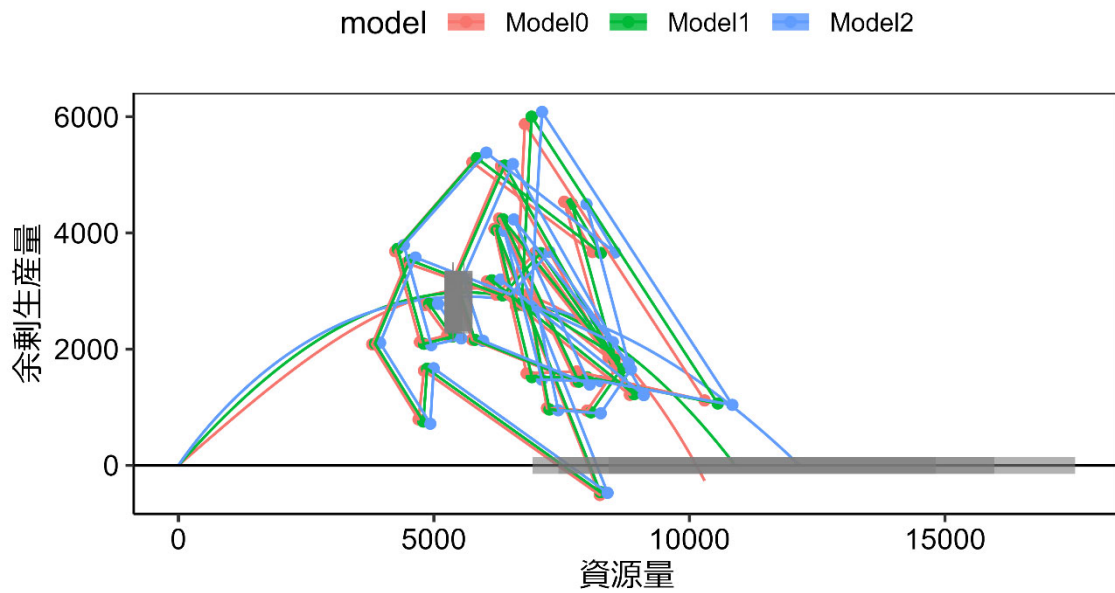


図 6. 資源量に対する余剰生産量の関係と実際の漁獲量の推移（余剰生産量曲線）
灰色の網掛けは 90%信頼区間。

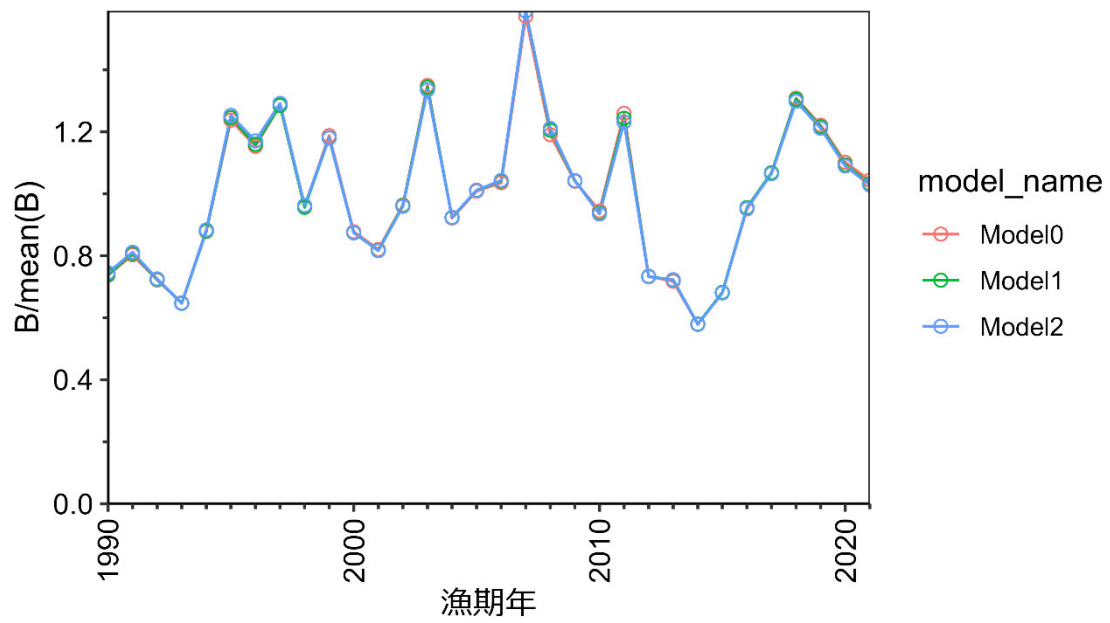


図 7. 資源量相対値の推移

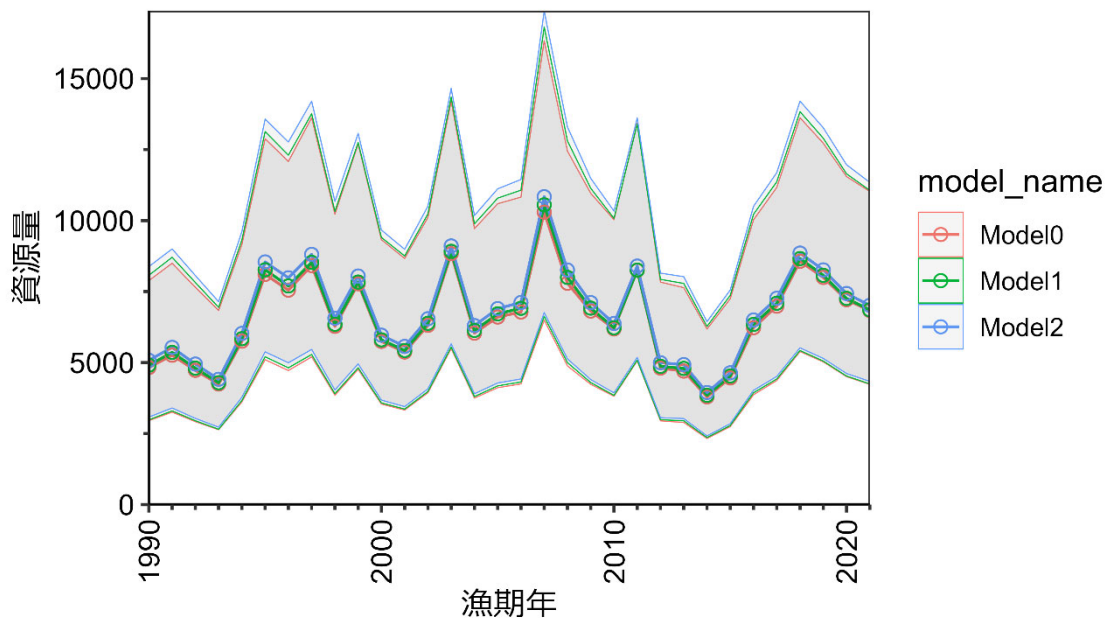


図 8. 資源量の推移（実線）と 90%信頼区間（灰色の網掛け）

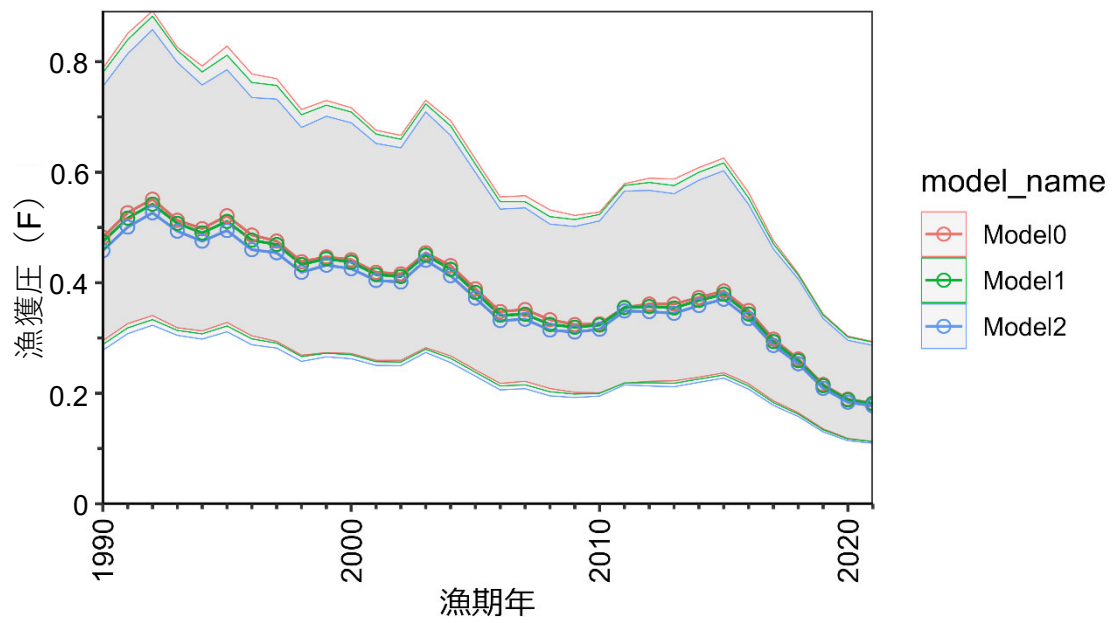


図 9. 漁獲圧 (F) の推移 (実線) と 90%信頼区間 (灰色の網掛け)

表1. マガレイ北海道北部系群の漁業種類別漁獲動向

漁期年	沖底 漁獲量 (トン)	沿岸 漁獲量 (トン)	総計 漁獲量 (トン)	沖底かけまわし (月別集計)				推定残存資源量 (トン) **
				漁獲量 (トン)	努力量 (網) *	有漁CPUE (kg/網) *	標準化CPUE (kg/網) *	
1980	1,994			1,829	21,235	86.1		
1981	1,999			1,928	27,167	71.0		
1982	1,204			1,173	27,838	42.1		
1983	962			955	26,721	35.7		
1984	690			641	25,981	24.7		
1985	588	2,448	3,037	586	26,339	22.3		
1986	348	1,441	1,790	348	13,354	26.1		
1987	296	1,317	1,613	287	17,417	16.5		
1988	306	2,102	2,409	305	15,502	19.7		
1989	427	1,917	2,344	425	16,052	26.5		
1990	389	1,937	2,326	389	17,585	22.1		3,724
1991	349	2,421	2,771	349	8,897	39.2		2,712
1992	249	2,358	2,607	249	11,809	21.1		1,614
1993	347	1,830	2,177	340	11,736	29.0		1,636
1994	444	2,419	2,863	444	14,397	30.8		3,515
1995	789	3,440	4,229	786	18,075	43.5		3,507
1996	505	3,166	3,671	505	13,455	37.5		4,969
1997	767	3,235	4,003	767	15,975	48.0		4,892
1998	368	2,379	2,748	368	14,582	25.2		3,929
1999	595	2,880	3,475	594	16,055	37.0		5,025
2000	267	2,271	2,537	267	9,513	28.0	23.8	3,871
2001	256	1,994	2,249	255	8,683	29.4	27.2	2,853
2002	336	2,288	2,625	331	8,028	41.3	39.4	2,574
2003	526	3,490	4,016	513	11,472	44.7	44.8	3,964
2004	358	2,245	2,602	347	9,822	35.3	28.4	2,647
2005	450	2,119	2,568	434	10,939	39.7	35.7	3,200
2006	506	1,851	2,357	490	11,115	44.1	40.6	3,213
2007	814	2,808	3,622	789	13,242	59.6	62.9	4,685
2008	505	2,091	2,595	492	11,164	44.1	47.0	4,054
2009	366	1,843	2,209	332	11,582	28.7	34.4	4,301
2010	291	1,722	2,013	240	8,550	28.1	26.5	4,753
2011	719	2,211	2,931	634	10,631	59.6	42.5	4,551
2012	330	1,407	1,737	309	6,654	46.5	20.6	2,746
2013	330	1,368	1,698	322	8,812	36.5	29.5	2,454
2014	287	1,129	1,416	275	6,385	43.0	17.4	1,714
2015	260	1,459	1,719	205	3,597	57.1	18.0	1,722
2016	513	1,666	2,179	510	6,194	82.3	35.7	2,296
2017	553	1,527	2,080	539	6,548	82.4	40.6	3,029
2018	673	1,573	2,246	673	5,471	123.0	44.8	3,818
2019	379	1,346	1,725	379	4,996	75.9	47.6	4,197
2020	319	1,046	1,365	317	3,341	94.9	37.3	5,063
2021	215	1,027	1,243	208	3,682	56.6	27.8	5,197

試験操業を除く通常操業の値。ただし、2015年漁期以降は一部の試験操業を通常操業と見なした。

沖底漁業の集計範囲は中海区北海道日本海およびオロック沿岸(ロシア水域を除く)、沿岸漁業の集計範囲は積丹からウトロまで。

2020、2021年漁期は暫定値。1984年漁期以前の沿岸漁業漁獲量は未集計。

*月別集計値に基づく。

**中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場(2022)がVPAで推定した資源量から残存資源量を算出。

表2. 余剰生産モデルから推定され資源量と漁獲圧の推定値および90%信頼区間

漁期年	Model 0						Model 1					
	資源量(トン)			漁獲圧			資源量(トン)			漁獲圧		
	下限	推定値	上限	下限	推定値	上限	下限	推定値	上限	下限	推定値	上限
1990	2,953	4,825	7,885	0.30	0.48	0.79	2,983	4,907	8,073	0.29	0.47	0.78
1991	3,255	5,259	8,497	0.33	0.53	0.85	3,299	5,360	8,707	0.32	0.52	0.84
1992	2,921	4,727	7,649	0.34	0.55	0.89	2,952	4,805	7,819	0.33	0.54	0.88
1993	2,635	4,244	6,836	0.32	0.51	0.83	2,652	4,291	6,943	0.31	0.51	0.82
1994	3,614	5,752	9,155	0.31	0.50	0.79	3,663	5,841	9,313	0.31	0.49	0.78
1995	5,100	8,104	12,879	0.33	0.52	0.83	5,204	8,267	13,133	0.32	0.51	0.81
1996	4,719	7,550	12,080	0.30	0.49	0.78	4,815	7,697	12,304	0.30	0.48	0.76
1997	5,201	8,416	13,620	0.29	0.48	0.77	5,285	8,529	13,764	0.29	0.47	0.76
1998	3,853	6,276	10,225	0.27	0.44	0.71	3,904	6,349	10,325	0.27	0.43	0.70
1999	4,760	7,776	12,701	0.27	0.45	0.73	4,816	7,835	12,747	0.27	0.44	0.72
2000	3,539	5,745	9,326	0.27	0.44	0.72	3,579	5,802	9,406	0.27	0.44	0.71
2001	3,329	5,371	8,667	0.26	0.42	0.68	3,363	5,426	8,753	0.26	0.41	0.67
2002	3,938	6,311	10,113	0.26	0.42	0.67	3,981	6,384	10,236	0.26	0.41	0.66
2003	5,494	8,834	14,204	0.28	0.45	0.73	5,545	8,918	14,343	0.28	0.45	0.72
2004	3,750	6,037	9,717	0.27	0.43	0.69	3,803	6,132	9,886	0.26	0.42	0.68
2005	4,116	6,603	10,593	0.24	0.39	0.62	4,179	6,715	10,790	0.24	0.38	0.61
2006	4,247	6,780	10,826	0.22	0.35	0.56	4,315	6,911	11,070	0.21	0.34	0.55
2007	6,493	10,296	16,328	0.22	0.35	0.56	6,624	10,554	16,816	0.22	0.34	0.55
2008	4,881	7,794	12,444	0.21	0.33	0.53	4,997	7,999	12,804	0.20	0.32	0.52
2009	4,235	6,813	10,961	0.20	0.32	0.52	4,297	6,918	11,137	0.20	0.32	0.51
2010	3,814	6,185	10,030	0.20	0.33	0.53	3,846	6,226	10,079	0.20	0.32	0.52
2011	5,060	8,245	13,436	0.22	0.36	0.58	5,087	8,256	13,398	0.22	0.35	0.58
2012	2,948	4,805	7,834	0.22	0.36	0.59	2,987	4,867	7,930	0.22	0.36	0.58
2013	2,892	4,699	7,637	0.22	0.36	0.59	2,951	4,794	7,788	0.22	0.35	0.58
2014	2,327	3,793	6,180	0.23	0.37	0.61	2,360	3,848	6,274	0.23	0.37	0.60
2015	2,745	4,460	7,246	0.24	0.39	0.63	2,784	4,529	7,366	0.23	0.38	0.62
2016	3,867	6,227	10,026	0.22	0.35	0.56	3,936	6,343	10,221	0.21	0.34	0.55
2017	4,368	6,984	11,166	0.19	0.30	0.48	4,423	7,090	11,366	0.18	0.29	0.47
2018	5,388	8,566	13,619	0.16	0.26	0.42	5,424	8,662	13,833	0.16	0.26	0.41
2019	5,025	7,996	12,723	0.14	0.22	0.34	5,053	8,073	12,899	0.13	0.21	0.34
2020	4,504	7,212	11,550	0.12	0.19	0.30	4,526	7,260	11,647	0.12	0.19	0.30
2021	4,233	6,832	11,025	0.11	0.18	0.29	4,249	6,856	11,063	0.11	0.18	0.29

表2. 余剰生産モデルから推定され資源量と漁獲圧の推定値および90%信頼区間（続き）

漁期年	Model 2					
	資源量(トン)			漁獲圧		
	下限	推定値	上限	下限	推定値	上限
1990	3,081	5,081	8,379	0.28	0.46	0.76
1991	3,402	5,534	9,002	0.31	0.50	0.81
1992	3,036	4,948	8,064	0.32	0.53	0.86
1993	2,725	4,412	7,144	0.30	0.49	0.80
1994	3,777	6,026	9,613	0.30	0.48	0.76
1995	5,378	8,545	13,575	0.31	0.49	0.79
1996	4,994	7,985	12,767	0.29	0.46	0.74
1997	5,464	8,809	14,203	0.28	0.45	0.73
1998	4,037	6,564	10,675	0.26	0.42	0.68
1999	4,954	8,047	13,071	0.27	0.43	0.70
2000	3,680	5,964	9,667	0.26	0.43	0.69
2001	3,450	5,569	8,988	0.25	0.40	0.65
2002	4,076	6,545	10,508	0.25	0.40	0.64
2003	5,659	9,106	14,654	0.27	0.44	0.71
2004	3,903	6,303	10,181	0.26	0.41	0.67
2005	4,283	6,901	11,118	0.23	0.37	0.60
2006	4,423	7,115	11,446	0.21	0.33	0.53
2007	6,761	10,840	17,380	0.21	0.33	0.54
2008	5,131	8,260	13,296	0.20	0.31	0.51
2009	4,403	7,112	11,488	0.19	0.31	0.50
2010	3,934	6,376	10,334	0.19	0.32	0.51
2011	5,180	8,398	13,615	0.22	0.35	0.57
2012	3,062	4,995	8,149	0.21	0.35	0.57
2013	3,028	4,930	8,025	0.21	0.34	0.56
2014	2,418	3,947	6,443	0.22	0.36	0.59
2015	2,849	4,639	7,555	0.23	0.37	0.60
2016	4,023	6,499	10,502	0.21	0.34	0.54
2017	4,513	7,263	11,689	0.18	0.29	0.46
2018	5,520	8,855	14,205	0.16	0.25	0.41
2019	5,147	8,263	13,267	0.13	0.21	0.34
2020	4,616	7,432	11,966	0.11	0.18	0.30
2021	4,338	7,015	11,345	0.11	0.18	0.29

表3. 余剰生産モデルから推定された資源量、漁獲圧、資源量相対値のモデル平均値

漁期年	モデル平均*		
	資源量(トン)	漁獲圧	資源量相対値**
1990	4938	0.47	0.740
1991	5384	0.51	0.807
1992	4826	0.54	0.724
1993	4316	0.5	0.647
1994	5873	0.49	0.881
1995	8305	0.51	1.245
1996	7744	0.47	1.161
1997	8585	0.47	1.287
1998	6397	0.43	0.959
1999	7886	0.44	1.182
2000	5837	0.43	0.875
2001	5455	0.41	0.818
2002	6413	0.41	0.962
2003	8953	0.45	1.342
2004	6157	0.42	0.923
2005	6739	0.38	1.011
2006	6936	0.34	1.040
2007	10564	0.34	1.584
2008	8017	0.32	1.202
2009	6948	0.32	1.042
2010	6262	0.32	0.939
2011	8300	0.35	1.244
2012	4889	0.36	0.733
2013	4807	0.35	0.721
2014	3863	0.37	0.579
2015	4543	0.38	0.681
2016	6356	0.34	0.953
2017	7112	0.29	1.066
2018	8694	0.26	1.304
2019	8111	0.21	1.216
2020	7302	0.19	1.095
2021	6901	0.18	1.035

*Model 0～2の推定値を平均した値。 **全年の平均を1として基準化した。

補足資料 1 資源評価の流れ

1990～2021 年漁期の漁獲量
2000～2021 年漁期の沖合底びき網漁業（かけまわし）の標準化 CPUE
1989～2020 年漁期の道総研によって VPA から推定された資源重量から
残存資源量を推定したもの

CPUE の標準化については補足資料 4 および
別資料 FRA-SAFRA-SA2022-SC08-201 を参照

↓
余剰生産モデルによる資源解析

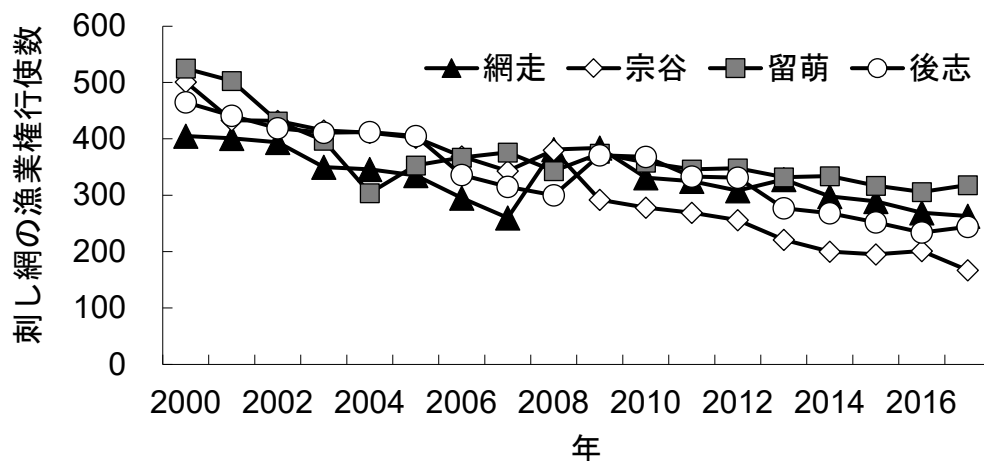
モデルの概要および推定方法・結果の詳細は補足資料 3 および
別資料 FRA-SA-2022-SC08-202 を参照

資源量、漁獲圧の推移
資源の状況

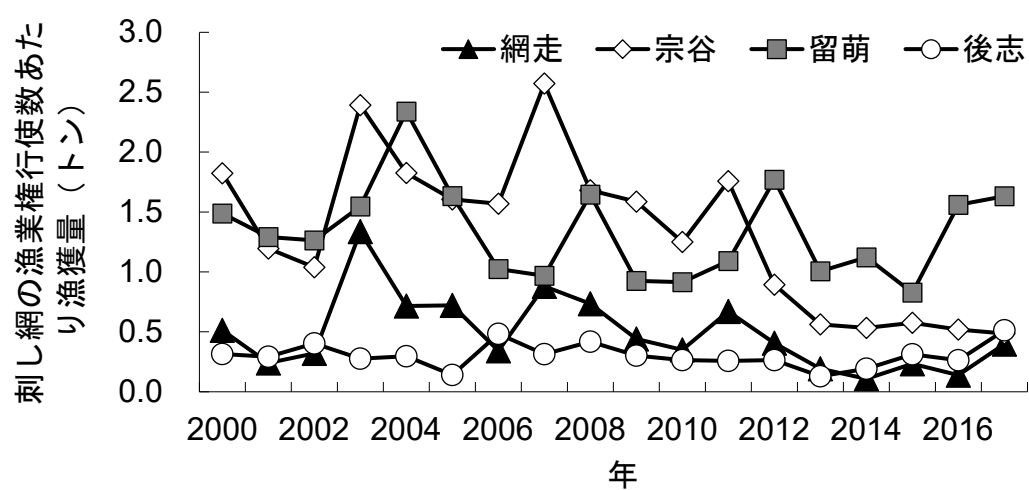
管理に係る目標等の基準値、資源の動向などについては、本年度中に開催される研究機関
会議資料に記述します。

補足資料 2 沿岸漁業の漁業権行使数の推移

沿岸漁業の漁獲努力量の参考として、各振興局でとりまとめられている第二種共同漁業権に属する刺し網漁業の漁業権行使数の推移を補足図 4-1 に示した。漁業種類については、本系群を主に漁獲する「かれい刺し網」を対象とした。年については現時点で複数の地域で連続してデータが比較できる 2000～2017 年を対象とし、地域は網走、宗谷、留萌、後志振興局を対象とした。なお集計時期は地域や年によっては 1～12 月の年集計でない場合もあるが、月ごとの分離や再集計はできないため、ここでは各年度資料に掲載されている値を各年の代表値とみなし、図の横軸は年で統一した。これらの漁業権行使数は長期的にみていずれも減少傾向にある。一方、各振興局の同漁業によるマガレイの漁獲量（年集計）をこの漁業権行使数で割った値は、地域によって傾向が若干異なるものの、長期的には概ね横ばいで推移している（補足図 2-2）。



補足図 2-1. 刺し網漁業の漁業権行使数の推移 網走は外海、サロマ湖、33-35 号の計、留萌と後志（積丹以東）は単有、共有の計。数値は各振興局発行「オホーツクの水産」「宗谷の水産」「留萌の水産」「後志総合振興局管内水産統計資料」の各年度資料およびその先行資料より得た。



補足図 2-2. 刺し網漁業の漁業権行使数あたりのマガレイ漁獲量の推移

補足資料 3 余剰生産モデルを用いた検討

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）によって資源量や漁獲量の推定、最大持続生産量を実現する水準との位置関係の検討を行った。

(1) 状態空間余剰生産モデル

状態モデル

SPiCT では、直接的には観察されない資源量の時間変化（状態モデル）は以下のように表される。

$$dB_t = \frac{r}{n-1} B_t \left(1 - \left[\frac{B_t}{K} \right]^{n-1} \right) dt - F_t B_t dt + \sigma_B B_t dW_t \quad (1)$$

ここで B_t は時間 t での資源量、 F_t は時間 t での漁獲係数、 r は内的自然増加率、 K は環境収容力である。 $\sigma_B B_t dW_t$ は過程誤差（プロセス誤差）であり、 σ_B はプロセス誤差の標準偏差、 W_t はブラウン運動である。 n は形状パラメータであり、 n が 1 であれば Fox 型の余剰生産モデル、2 であれば Schaefer 型プロダクションモデルとなり、その値が大きいくほど環境収容力に対する 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。一般的に r と K には強い相関があることから、Fletcher（1978）による（2）式への変形により、より安定した推定を実現している。

$$dB_t = \left(\gamma m \frac{B_t}{K} - \gamma m \left[\frac{B_t}{K} \right]^n - F_t B_t \right) dt + \sigma_B B_t dW_t \quad (2)$$

ここで γ は（3）式、 m は（4）式の通りである。

$$\gamma = n^{n/(n-1)} / (n-1) \quad (3)$$

$$m = \frac{rK}{n^{n/(n-1)}} \quad (4)$$

資源評価期間の最初の年の資源量については、初期資源量の環境収容力に対する比 b/k も推定される。 m は決定論的（ $\sigma_B = 0$ ）な個体群動態のもとでの MSY の値に相当する。

SPiCT では、季節的な漁獲のプロセスを以下の（5）～（6）式でモデル化しているが、本系群のモデルでは漁獲の季節変化は仮定せず年に 1 回漁獲が発生するものとした（ $S_t=1$ ）。

$$F_t = S_t G_t \quad (5)$$

$$d \log G_t = \sigma_F dV_t \quad (6)$$

ここで漁獲係数 F_t は漁獲の季節変化 S_t とランダムな効果 G_t から構成される。 σ_F は漁獲係数のノイズに関する標準偏差、 V_t はブラウン運動である。漁獲の季節変化をモデル化する場合は S_t に周期的な B スプライン曲線を仮定する等の方法がある。SPiCT ではモデル内での 1 年間に細かく区切って計算を行うことが出来るため、季節的な情報・データの取得時期の違いを踏まえた計算が可能だが、本系群では 1 年に 1 つの漁獲・指標値のデータを用いており、季節的な情報をモデルに取り入れていない。そのためモデルでの時間刻みも、一般的な離散型の余剰生産モデルと同様に 1 年刻みの個体群動態になるように設定した。

観測モデル

パラメータの推定に用いる指標値は以下の観測モデルで取り扱われる。

$$\log(I_{t,i}) = \log(q_i B_t) + e_{t,i} \quad (7)$$

$$e_{t,i} \sim N(0, \sigma_{I,i}^2) \quad (8)$$

SPiCT では複数の指標値を使用できる。 $I_{t,i}$ は*i*番目の指標値の時間*t*における値である。 q_i は*i*番目の指標値における漁獲効率パラメータである。 $e_{t,i}$ は*i*番目の指標値の観測誤差であり、 $\sigma_{I,i}$ はその標準偏差である。

SPiCT では、漁獲量統計値の誤差に対応して、漁獲量も直接的に観察されない値として以下の (9) ～ (10) 式で推定できる。

$$\log(C_t) = \log\left(\int_t^{t+\Delta} F_s B_s ds\right) + \epsilon_t \quad (9)$$

$$\epsilon_t \sim N(0, \sigma_C^2) \quad (10)$$

ここで ϵ_t は漁獲量の観測誤差であり、 σ_C はその標準偏差である。

パラメータの推定

SPiCT では余剰生産モデルのパラメータはベイズ推定の一種である罰則付き最尤法で推定する。本資源で推定するパラメータは、 n 、 m 、 K 、 q_i 、 B_t 、 F_t 、 σ_B 、 $\sigma_{I,i}$ 、 σ_C 、 σ_F 、 $bkfrac$ である。内的自然増加率 r は m と K が推定されることで得られる。それぞれのパラメータには推定を行う前に既知の情報として事前分布を置くことや、予め既知パラメータとして与えることが可能である。プロセス誤差の大きさ σ_B 、漁獲係数のノイズの大きさ σ_F 、初期資源量の環境収容力に対する比 $bkfrac$ も事前分布を与えた上で推定できるが、今回の解析ではこれらのパラメータには事前分布を与えずに推定した。

(2) 計算方法

使用するデータセット

余剰生産モデルに用いる漁獲量として、令和4年度のマガレイ北海道北部系群の資源評価で用いる1985～2021年漁期の漁獲量集計のうち1990年以降を用いた。指標値には、 I_1 として北海道立総合研究機構が本系群に対してVPAによって推定した1989～2020年漁期の資源重量（中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2022）から推定した残存資源量、 I_2 には2000～2021年漁期の沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）の標準化CPUEを用いた。VPAに基づく推定資源量は、余剰生産モデルで推定される資源量とは定義が異なる。VPAの資源量は、ある年において成長・加入等の資源増加が起きた後、かつその年の漁獲が発生する前の値である。一方、余剰生産モデルでの資源量は、ある年において余剰生産量が加わる前、かつその年の漁獲が発生する前の値であり、VPAでは前年の漁獲および自然死亡で減じた後の残存資源量に相当する（補足図3-1）。そこで、本検討ではVPAの結果に基づき下式により余剰生産モデルと対比させるための全年の残存資源量 D を求めた。

$$D_y = (B_{y-1} \cdot e^{\left(-\frac{M}{2}\right)} - C_{y-1})e^{\left(-\frac{M}{2}\right)} \quad (11)$$

ここで B_y は VPA で推定された y 年の資源重量、 C_y は y 年の漁獲量、 M は VPA による解析において仮定された自然死亡係数を雌雄で平均した値 (0.23) であり、得られた D が余剰生産モデルで推定される資源量に相当する。従って、1989～2020 漁期年の VPA によって推定された資源量から上記の計算によって 1990～2021 漁期年の D を求めた上で指標値 I_1 として解析に使用した。指標値の情報がない 1985～1989 年漁期の漁獲量データを解析に加えると計算が不安定になることが確認されたため、使用する漁獲量データは指標値の情報が存在する 1990～2021 年漁期とした。

パラメータの事前分布

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 $n=2$ (Schaefer 型モデル) として検討した。内的自然増加率 r の事前分布の平均値を、FishLife (Thorson 2020) でマガレイに予測された 0.593 として検討した。

指標値 I_1 は VPA での残存資源量 D であり資源量の絶対値に係わる情報を持つため、その漁獲効率 q_1 には平均値を 1 とする事前分布を与えた。事前分布における標準偏差の大きさについては、標準偏差 0.001 から 0.5 の範囲で探索的に妥当な値を検討した。標準偏差が小さくなると漁獲効率の推定値が 1 に近づき、推定される 2021 年漁期の資源量は VPA から算出される残存資源量の値に近くなることが確認された (補足図 3-2)。また、標準偏差 0.1 のかなり狭い事前分布の場合でも、 q_1 は 1 以下の値を取ったことから、本データセットから推定される q_1 は 1 よりも小さい、つまり VPA から推定される資源量よりもプロダクションモデルから推定される資源量は多くなった。しかし、 q_1 の事前分布の標準偏差を小さくして資源量の推定値が VPA の資源量推定値に近づくと、計算が収束しない場合がある事、レトロスペクティブバイアスが大きくなること (補足図 3-3) から、本評価では q_1 の事前分布の標準偏差を 0.4 と仮定した。なお、漁獲効率 q_1 に与える事前分布の標準偏差を 0.001 から 0.5 の範囲で変えた場合、ほとんどのモデルで最新年の資源量は MSY を実現する水準を上回り、漁獲圧は MSY を実現する水準を下回っていることが確認された (補足図 3-4) が、形状パラメータと内的自然増加率に標準偏差 0.5 で事前分布をおいて q_1 に 0.001 および 0.1 の小さい標準偏差で事前分布を設定した場合 (M2_q1_1_0001 および M2_q1_1_01) に、最新年の資源量が MSY を実現する水準を僅かに下回った (それぞれ 0.92 および 0.99)。解析方法の詳細は別文書 FRA-SA-2022-SC08-202 に示した。

(3) 推定結果

推定値の妥当性の判断

検討の結果、プロダクションモデルガイドライン (FRA-SA2022-ABCWG02-07) に基づき、形状パラメータと内的自然増加率に事前分布を与えない Model 0、標準偏差 1 で広い事前分布を与えた Model 1、および標準偏差 0.5 で狭い事前分布を与えた Model 2 におい

て、モデル収束条件や推定パラメータの安定性・妥当性について大きな問題は認められず適切な推定値が得られたと考えた。推定されたパラメータと 90%信頼区間を補足表 3-1 に示した。

モデル診断

レトロスペクティブ解析の結果、Model 0～2 において全ての年の推定値が得られ、資源量と B_{msy} の比ではデータが加わることで年々上方修正される傾向にあり、若干のレトロスペクティブバイアスが認められた (Mohn's ρ は -0.169～-0.195) が全ての推定値は全年のデータから推定された 90%信頼区間に含まれた (補足図 3-5)。漁獲圧と F_{msy} の比ではデータが加わることで年々下方修正される傾向にあり、若干のレトロスペクティブバイアスが認められた (Mohn's ρ は 0.238～0.284) が、全年のデータから推定された 90%信頼区間に含まれた。また、モデル間でレトロスペクティブパターンの顕著な違いは認められなかった。資源量と B_{msy} の比および漁獲圧と F_{msy} の比の両方においてレトロスペクティブバイアスの存在が認められたが、保守的な方向へのバイアスであり、その程度も小さいことから、このバイアスの存在による資源崩壊のリスクは相当に低いものと判断した。その一方で、本解析によって得られた推定結果は、実際の資源量よりも少なく、実際の漁獲圧よりも高く推定されている可能性があることに注意が必要である。

指標値のあてはまりを残差分析により検討したところ、いずれも残差は正規分布の仮定によく当てはまった。指標値 I_1 において 1 年差の自己相関パターンが認められたが、これらの指標値を用いたモデルの推定において特段の問題はないものと考えられた (補足図 3-6)。

要因分析により、推定された資源変動が余剰生産・漁獲・プロセス誤差のいずれから影響されているかを検討した。資源変動はいずれも余剰生産と漁獲量で説明される部分が多く、プロセス誤差で説明される変動は僅かであった (補足図 3-7)。

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 (補足図 3-8)。Model 0～2 で同様の結果が得られ、直近年の資源量の B_{msy} との比 (B/B_{msy}) は 1 を上回り、直近年の漁獲圧の F_{msy} との比 (F/F_{msy}) も信頼区間を含めて 1 を下回ると推定された。なお、過去年の資源状態については神戸プロットに信頼区間が示されていないが、補足図 3-9 に示したように直近年同様の信頼区間が存在することに留意が必要である。

引用文献

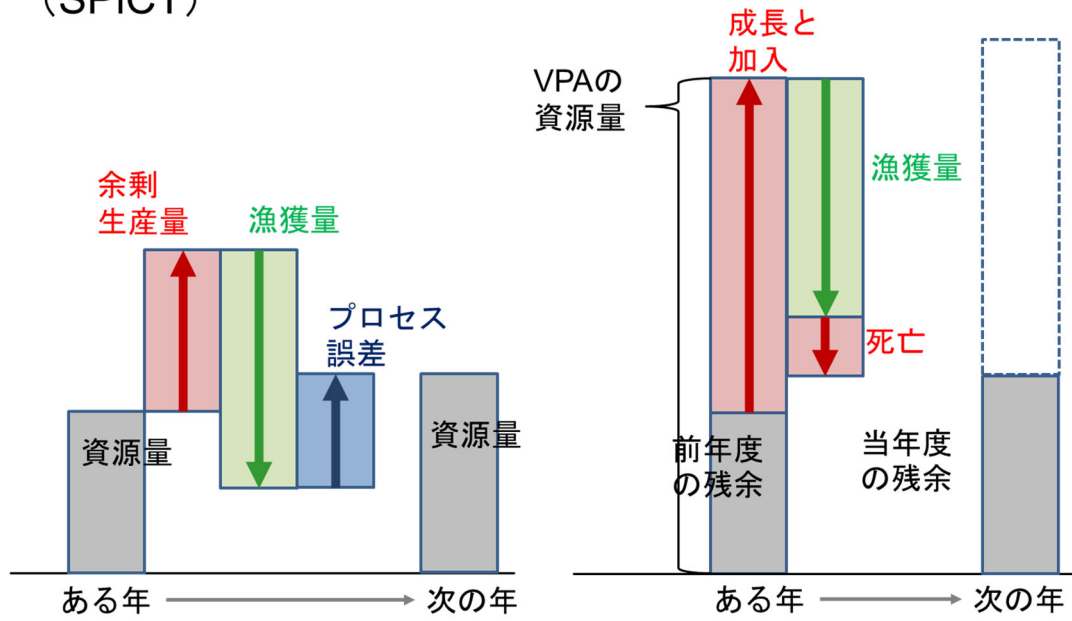
- 千葉 悟・佐藤隆太・森田昌子・境 磨・濱津友紀 (2022) 令和 4 (2022) 年度マガレイ北海道北部系群の状態空間余剰生産モデルによる資源解析. (FRA-SA-2022-SC08-202)
- 中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 (2022) マガレイ (石狩湾以北日本海～オホーツク海海域). 2022 年度水産資源管理会議評価書, 北海道立総合研究機構水産研究本部
- Pedersen, M. W., and Berg, C. W. (2017). A stochastic surplus production model in continuous time.

Fish and Fisheries, **18**, 226-243. <https://doi.org/10.1111/faf.12174>

Thorson, J. T. (2020). Predicting recruitment density dependence and intrinsic growth rate for all fishes worldwide using a data-integrated life-history model. *Fish and Fisheries*, **21**, 237-251. <https://doi.org/10.1111/FAF.12427>

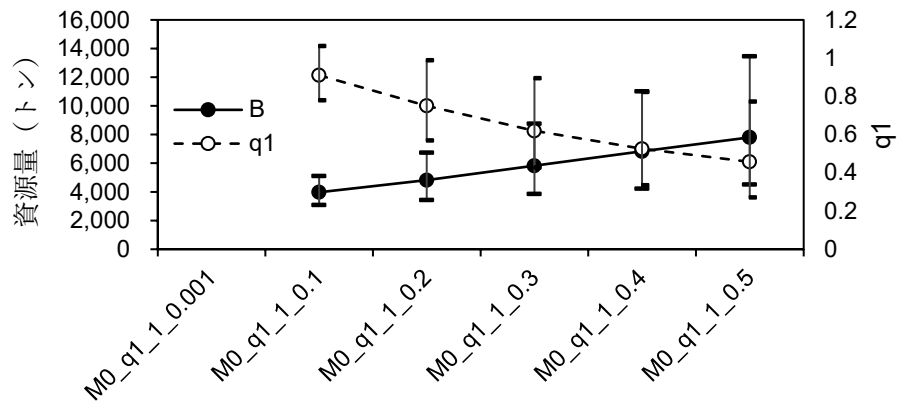
余剰生産モデル (SPiCT)

VPA

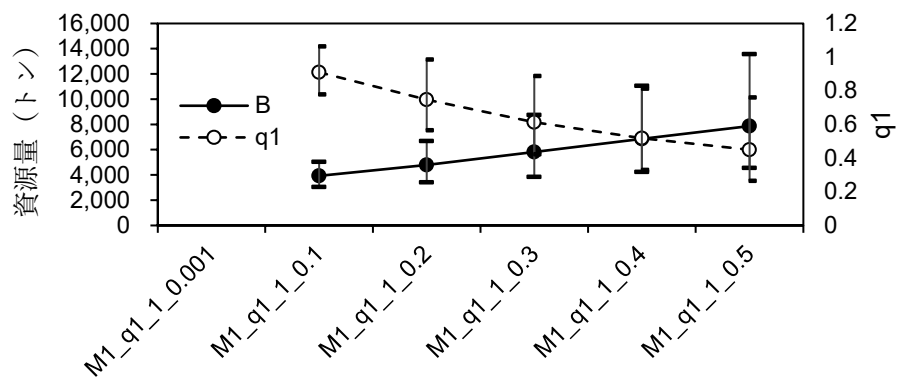


補足図 3-1. 余剰生産モデル (SPiCT) と VPA とで推定される資源量の概念図

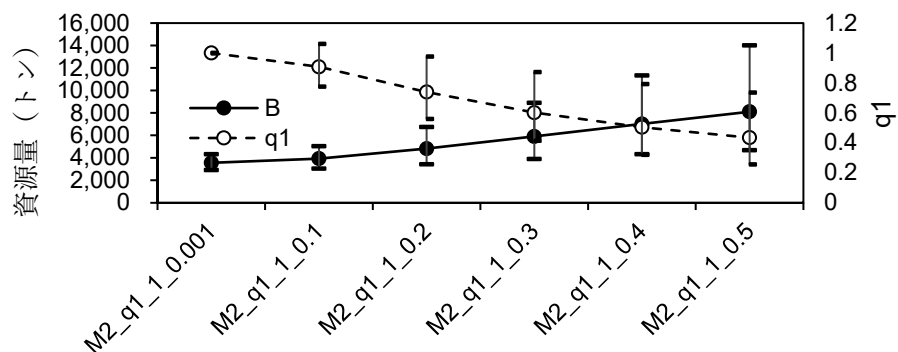
- A) Model 0 (Schaefer 型モデルの n 、Fishlife のマガレイの r に標準偏差 1 の事前分布とした場合)



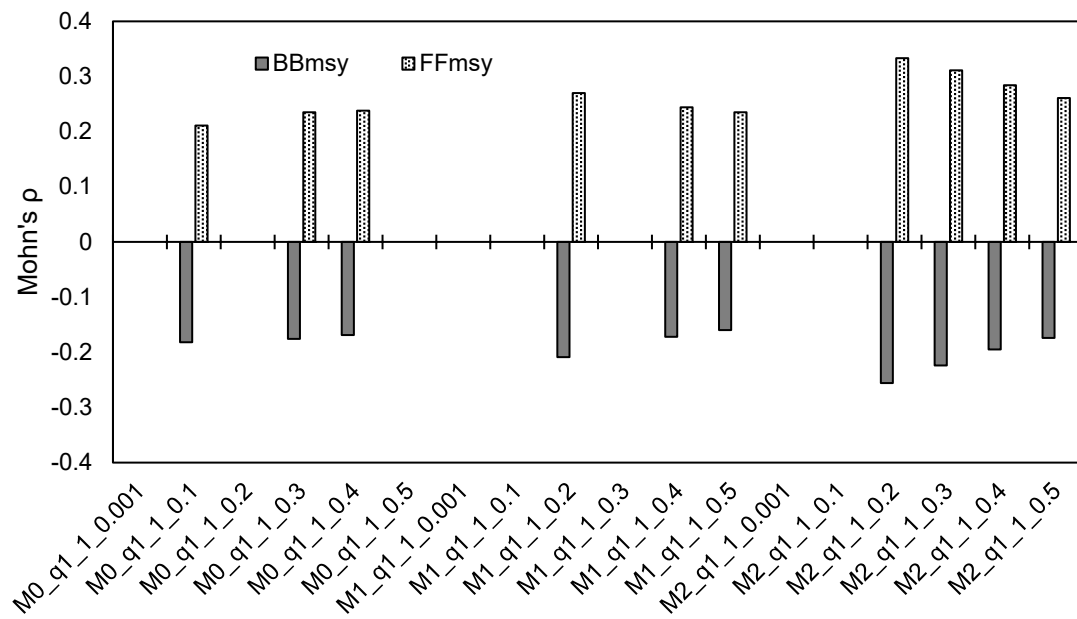
- B) Model 1 (Schaefer 型モデルの n 、Fishlife のマガレイの r に標準偏差 1 の事前分布とした場合)



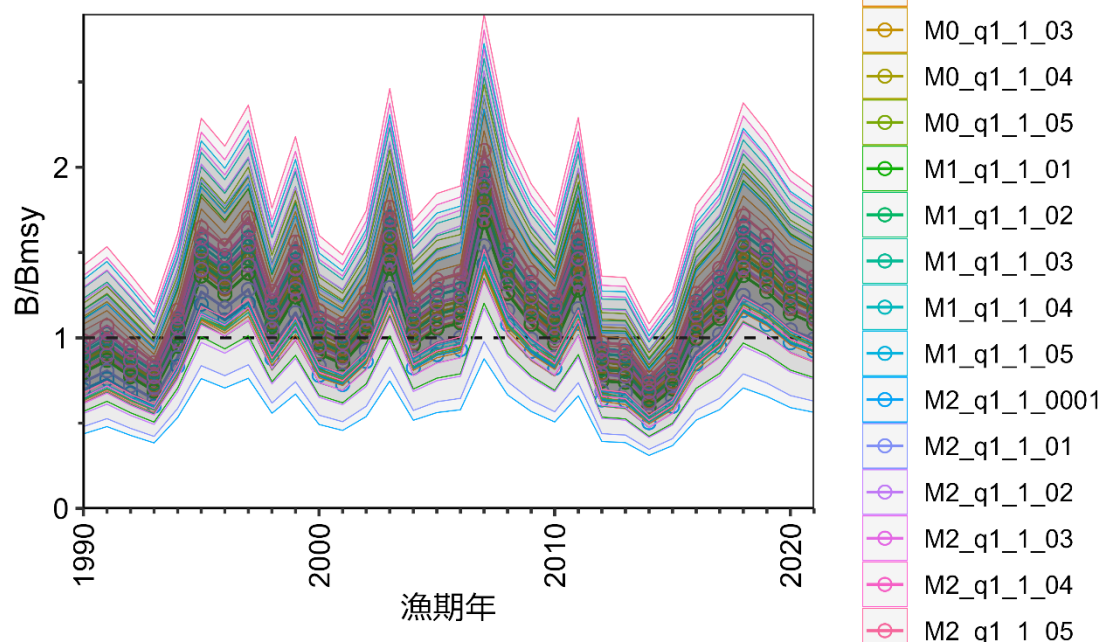
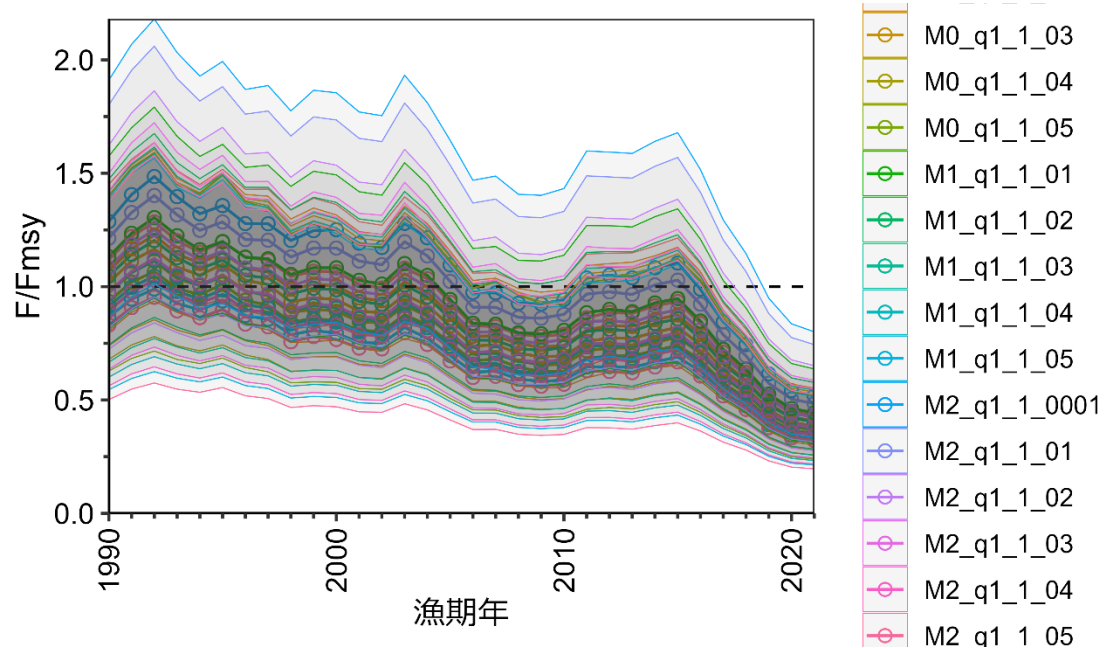
- C) Model 2 (Schaefer 型モデルの n 、Fishlife のマガレイの r に標準偏差 0.5 の事前分布とした場合)



補足図 3-2. 漁獲効率パラメータ $q1$ における事前分布の標準偏差の仮定についての感度分析のうち 2021 年漁期の資源量 B_{2021} と漁獲効率パラメータ $q1$ の推定値
直線で結ばれた上下の横棒は 90%信頼区間。

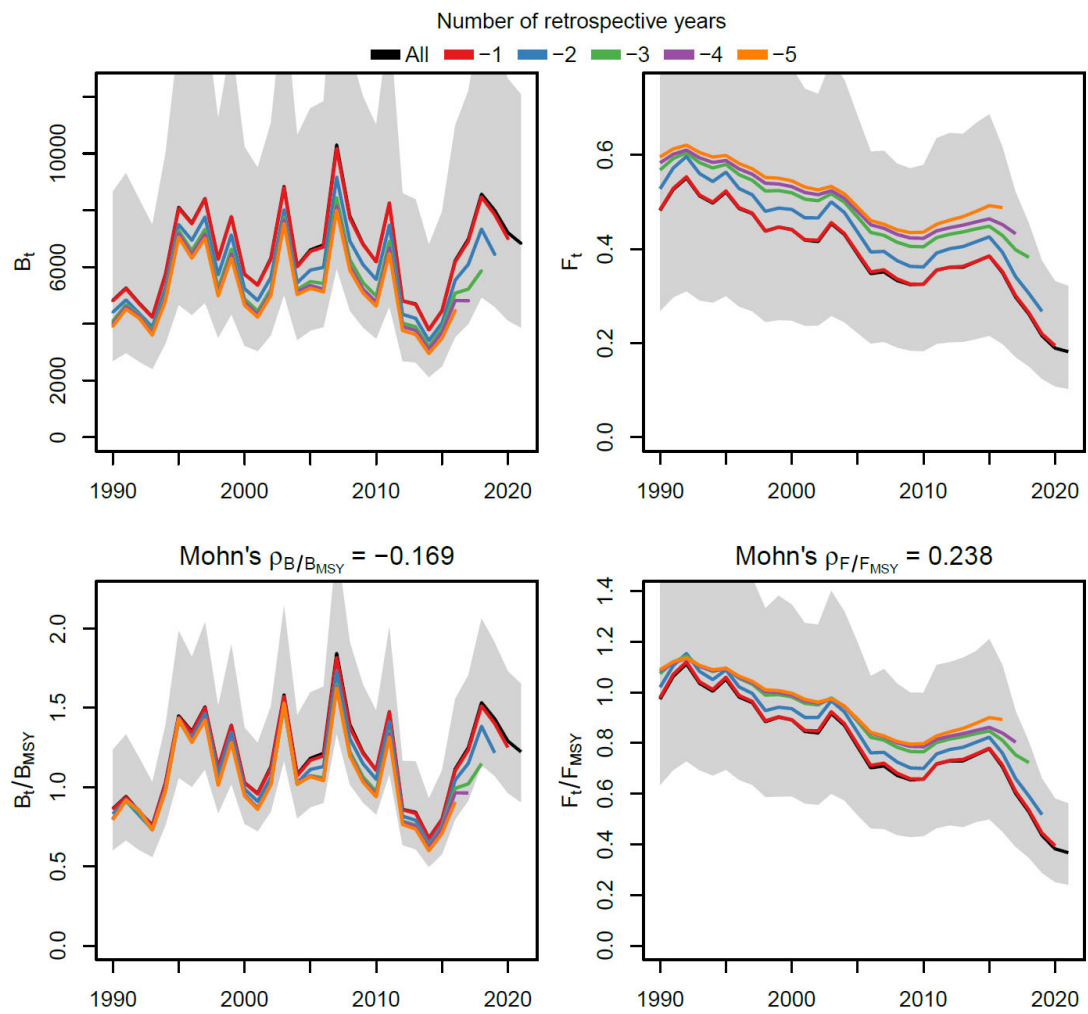


補足図 3-3. 漁獲効率パラメータ q_1 における事前分布の標準偏差の仮定についてのレトロスペクティブ解析で得られた Mohn's rho
推定値が得られなかった年があるモデルは棒グラフがない。

A) B/B_{msy} の推移B) F/F_{msy} の推移

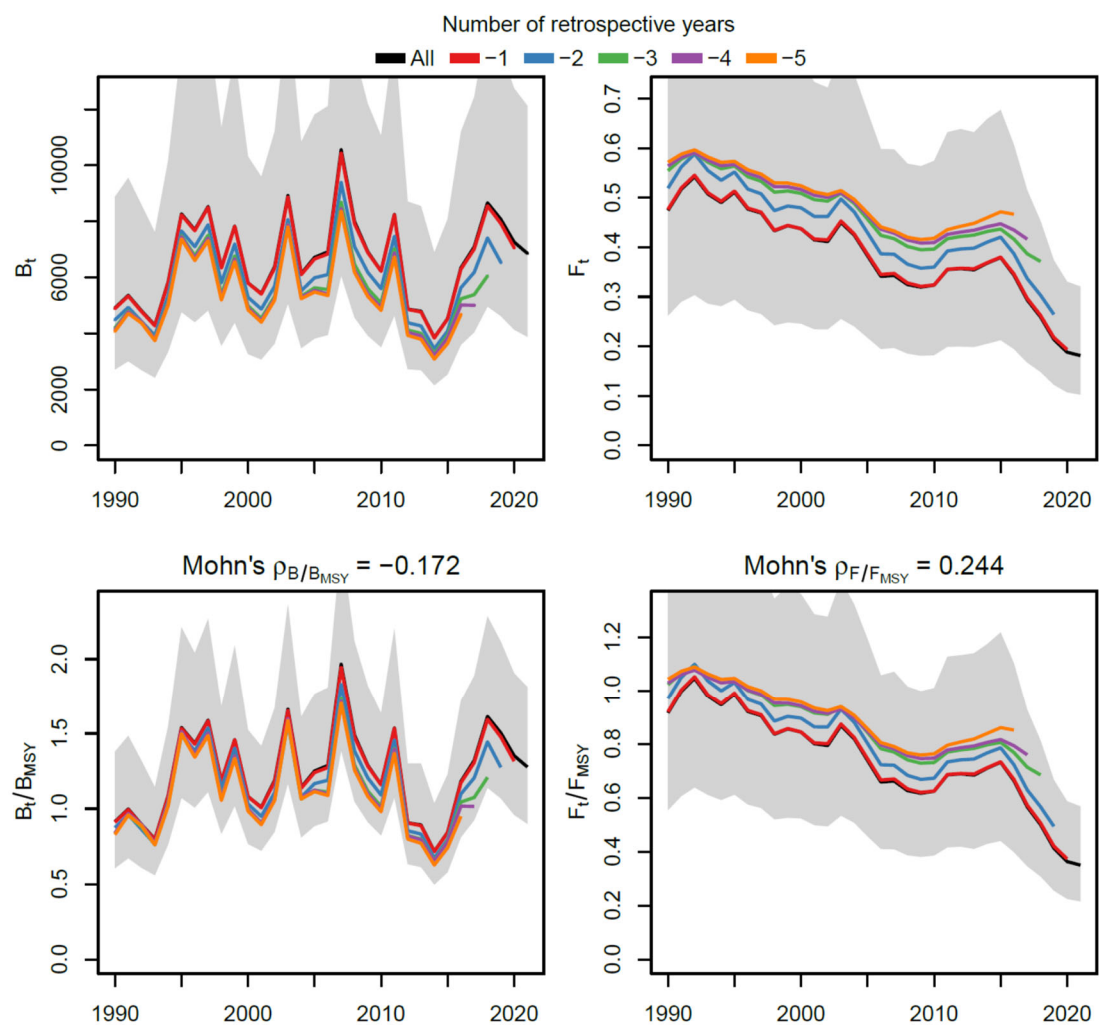
補足図 3-4. 漁獲効率パラメータ $q1$ における事前分布の標準偏差の仮定についての感度分析のうち B/B_{msy} および F/F_{msy} の推定値
 灰色の網掛けは 90%信頼区間を示す。

A) Model 0



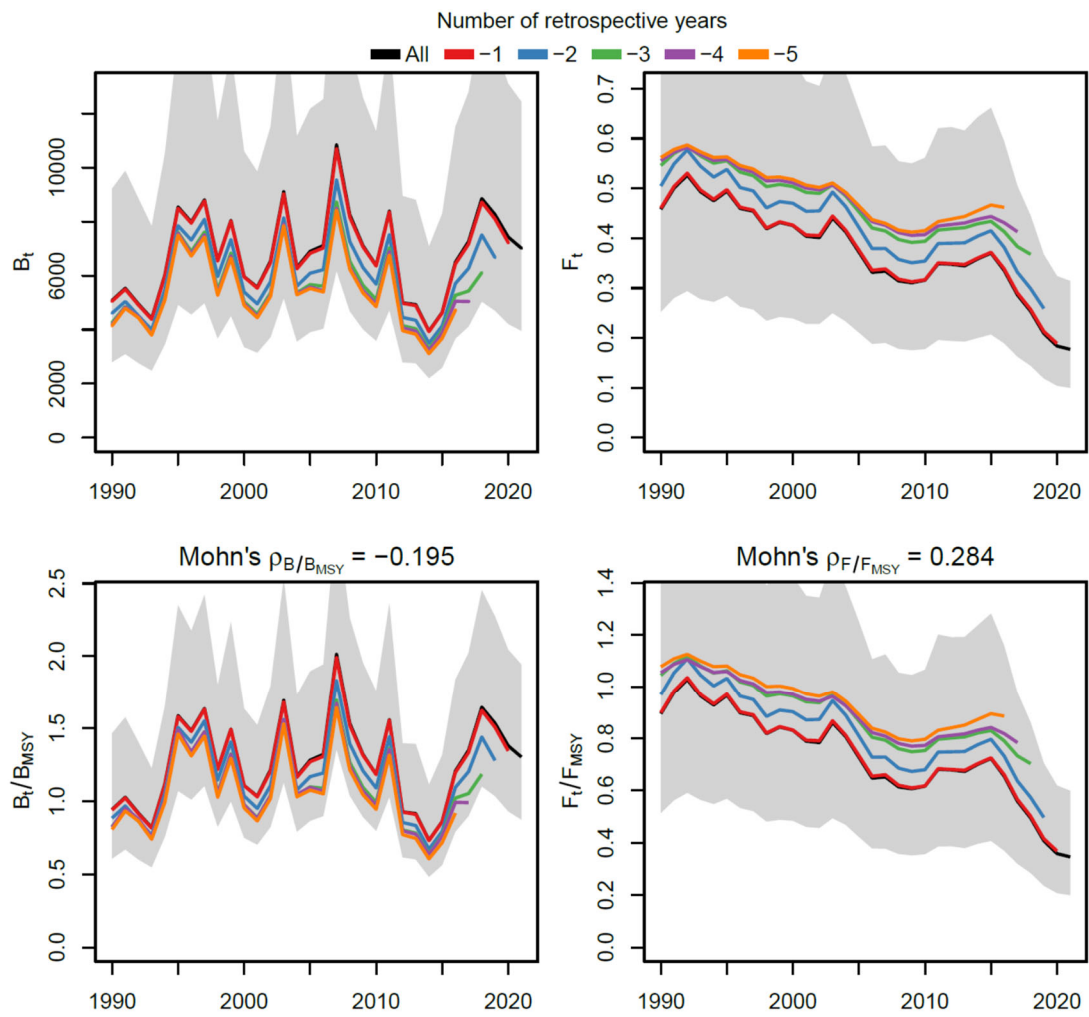
補足図 3-5. レトロスペクティブ解析の結果

B) Model 1



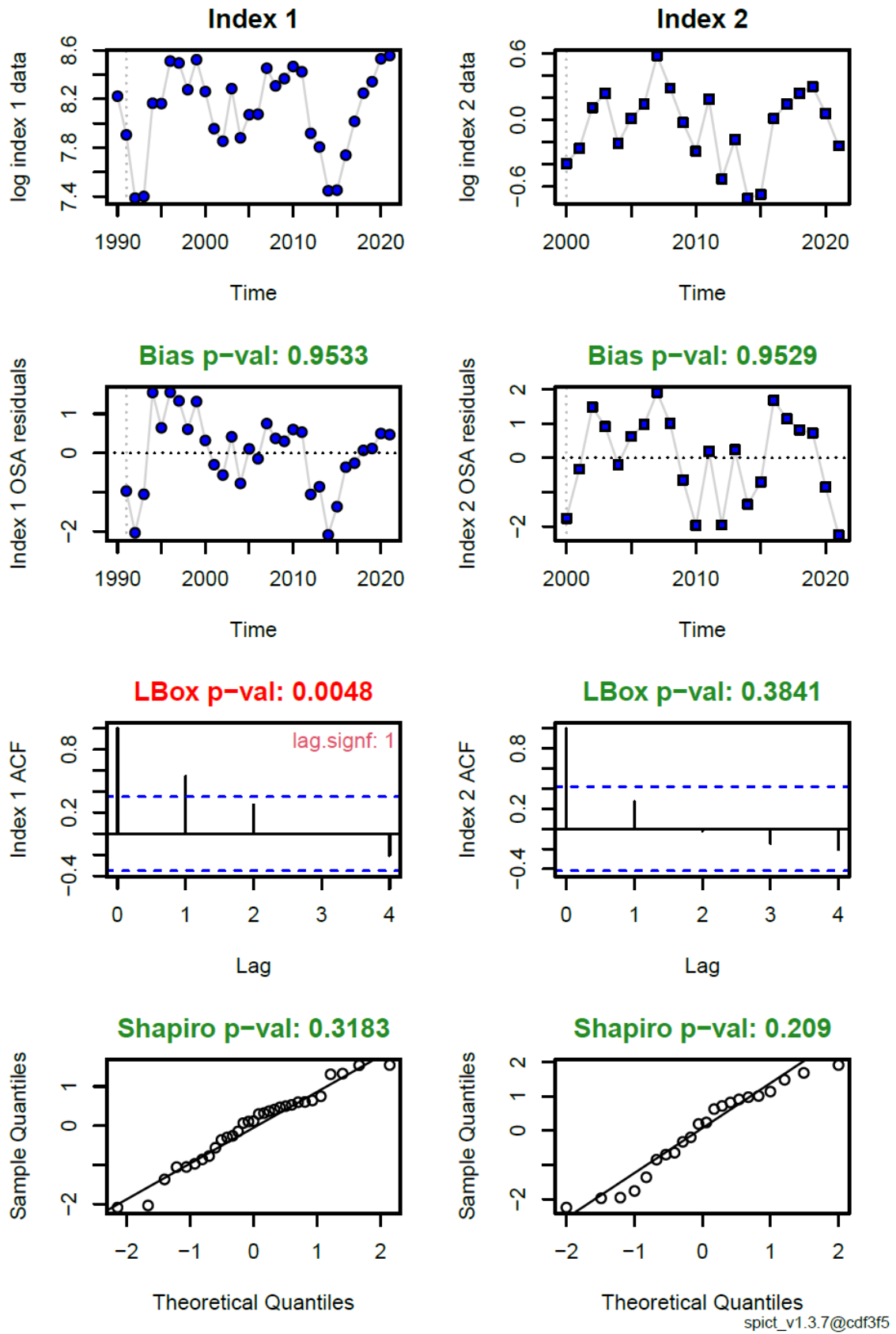
補足図 3-5. レトロスペクティブ解析の結果 (続き)

C) Model 2



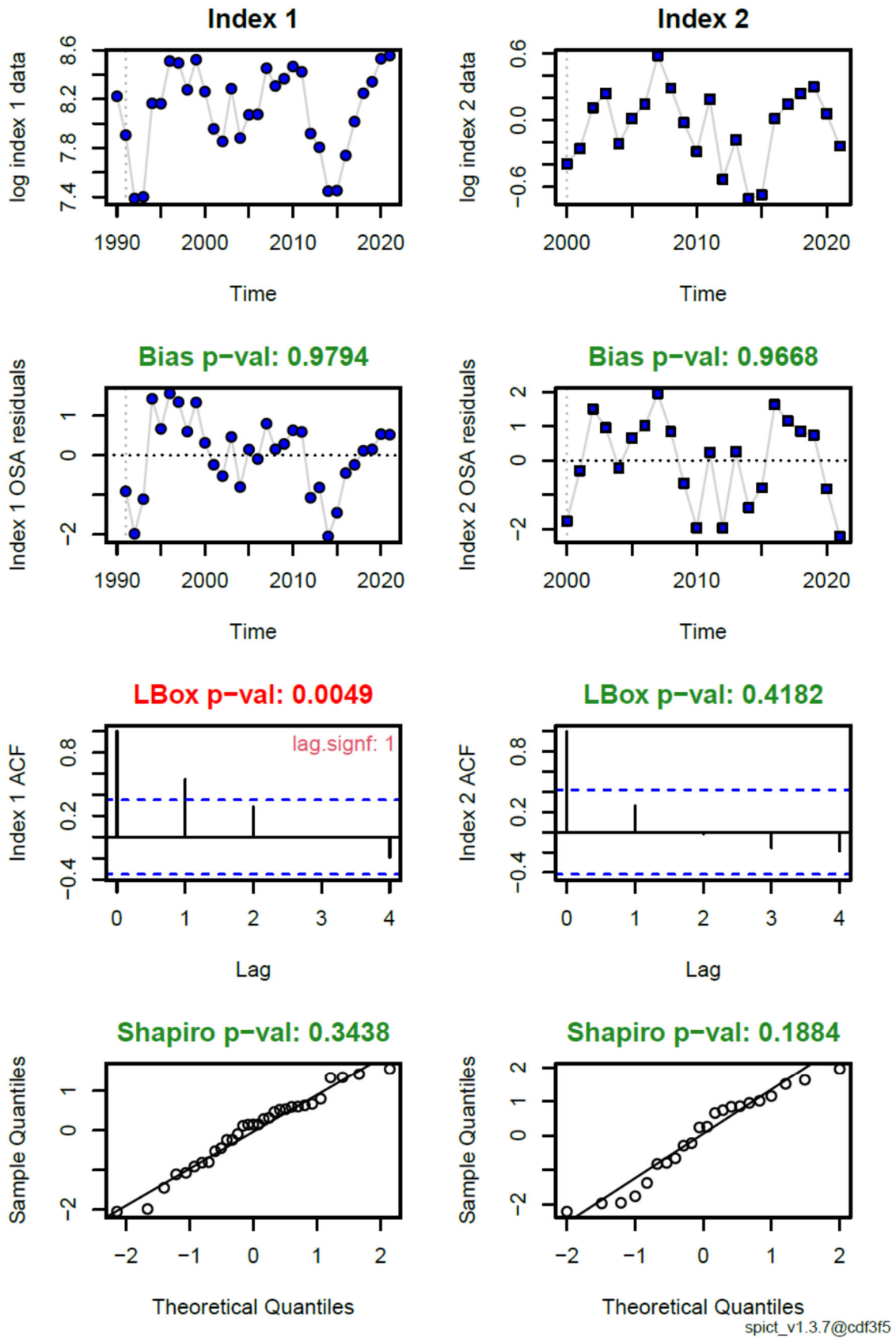
補足図 3-5. レトロスペクティブ解析の結果 (続き)

A) Model 0



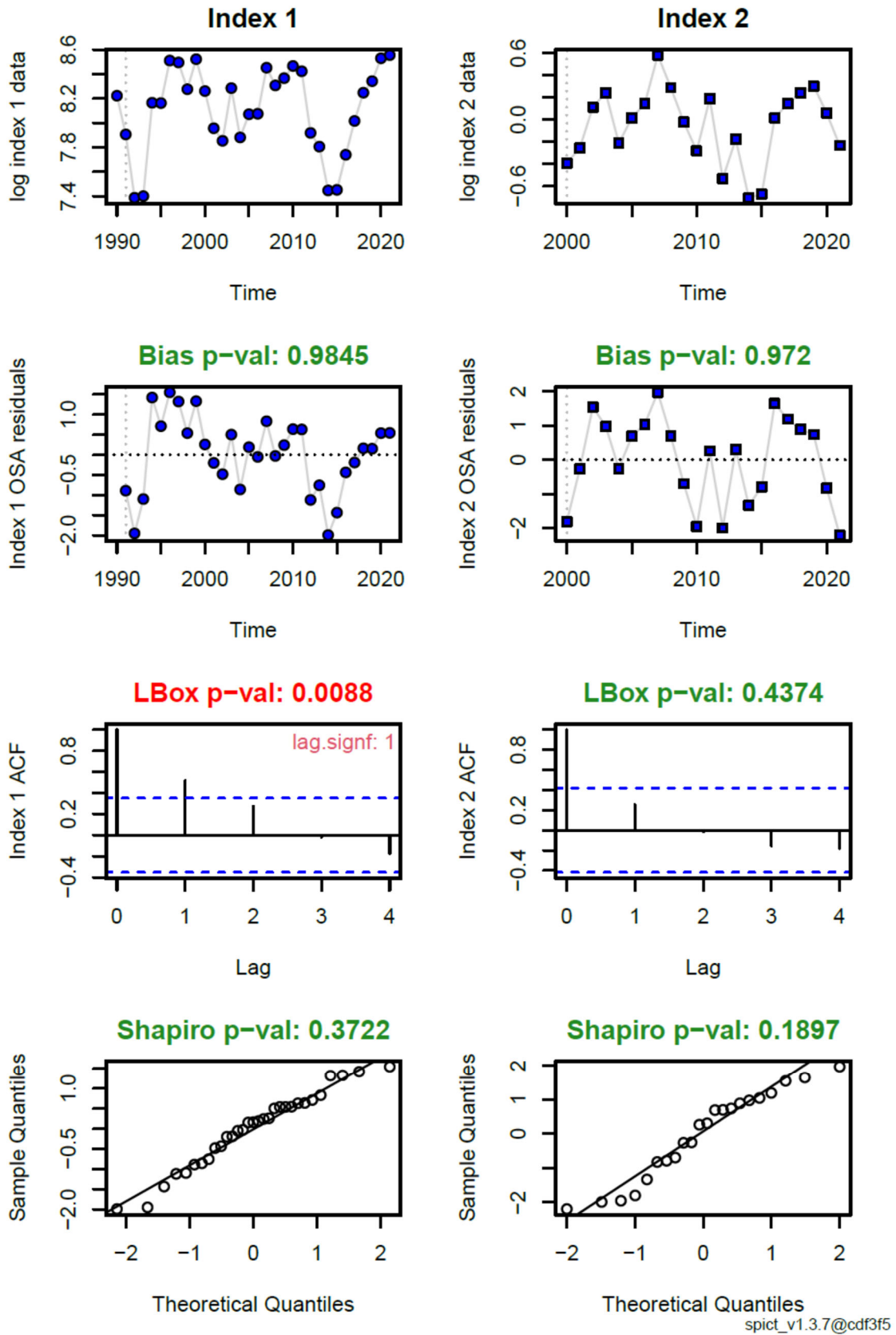
補足図 3-6. 指標値の残差分析

B) Model 1



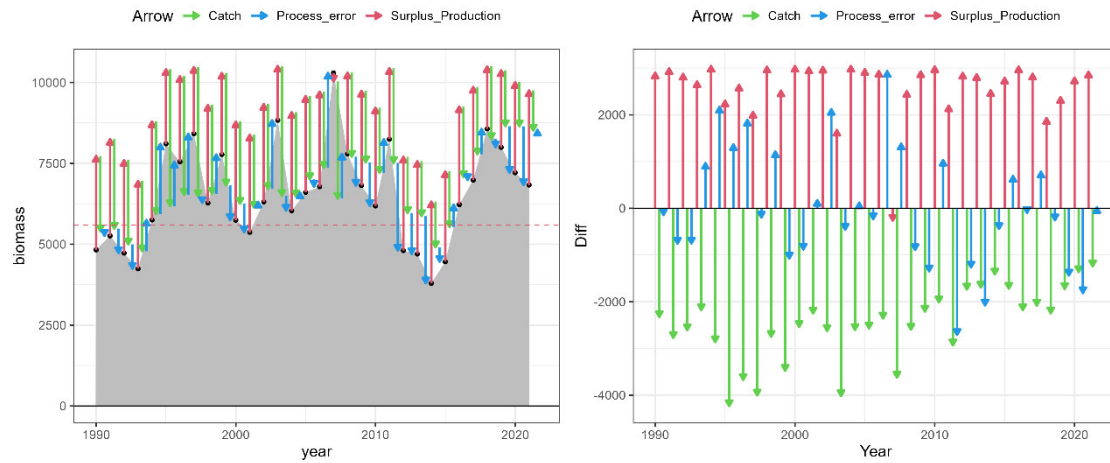
補足図 3-6. 指標値の残差分析 (続き)

C) Model 2

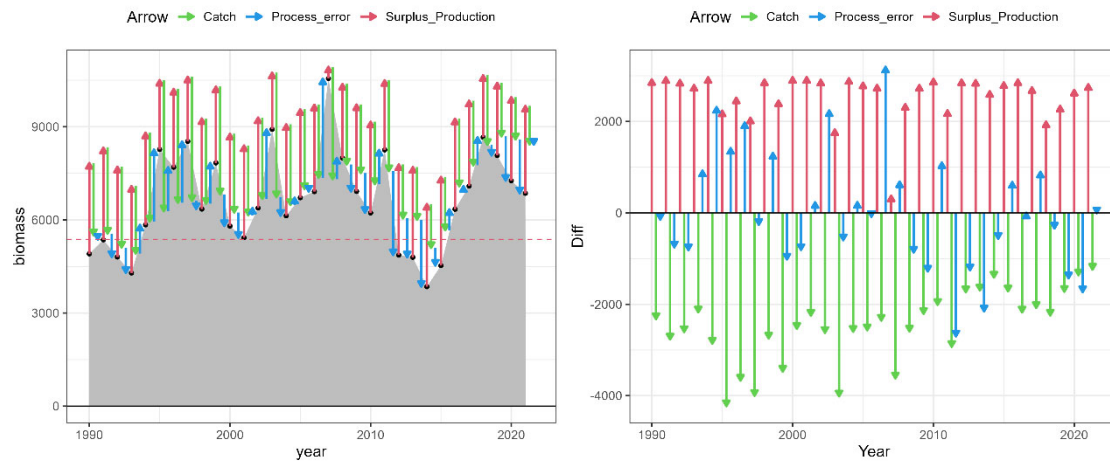


補足図 3-6. 指標値の残差分析 (続き)

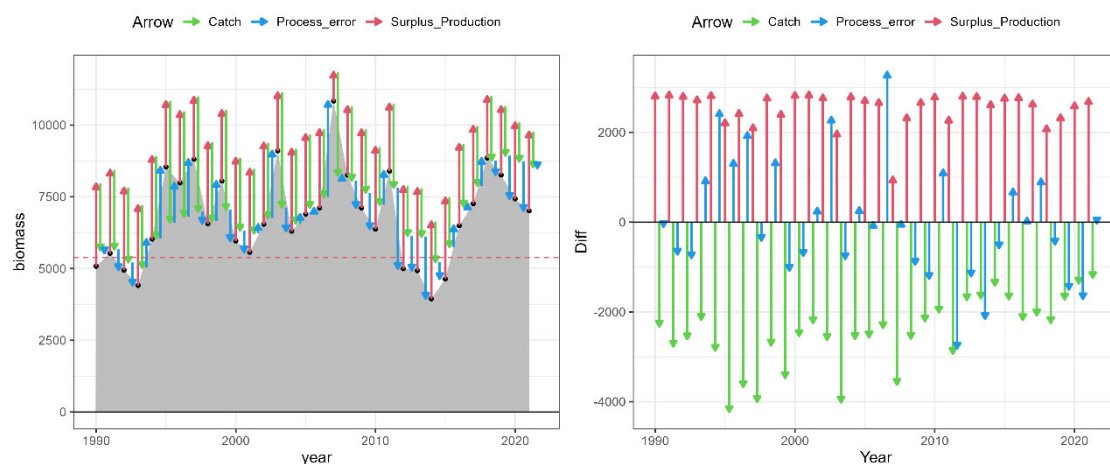
A) Model 0



B) Model 1

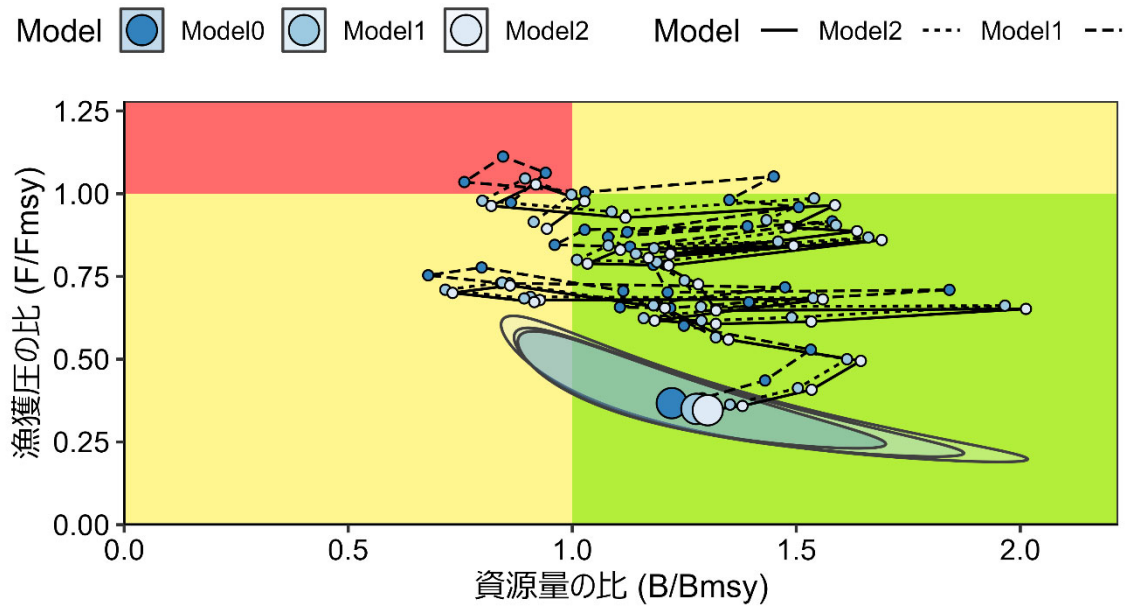


C) Model 2



補足図 3-7. 資源変動の要因分解プロット

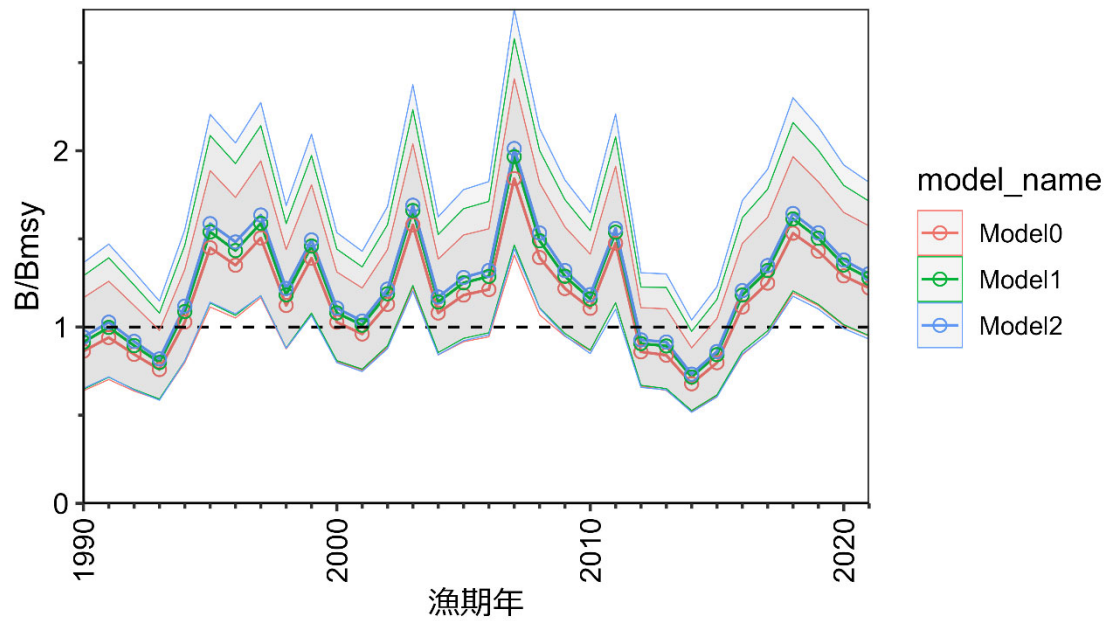
左図の灰色は資源量の推定値を示し、赤、緑、青の矢印がそれぞれ資源量の変動に対する余剰生産、漁獲、プロセス誤差の影響の大きさを示す。右図は基準を 0 とした場合の余剰生産、漁獲、プロセス誤差の影響の大きさを示す。



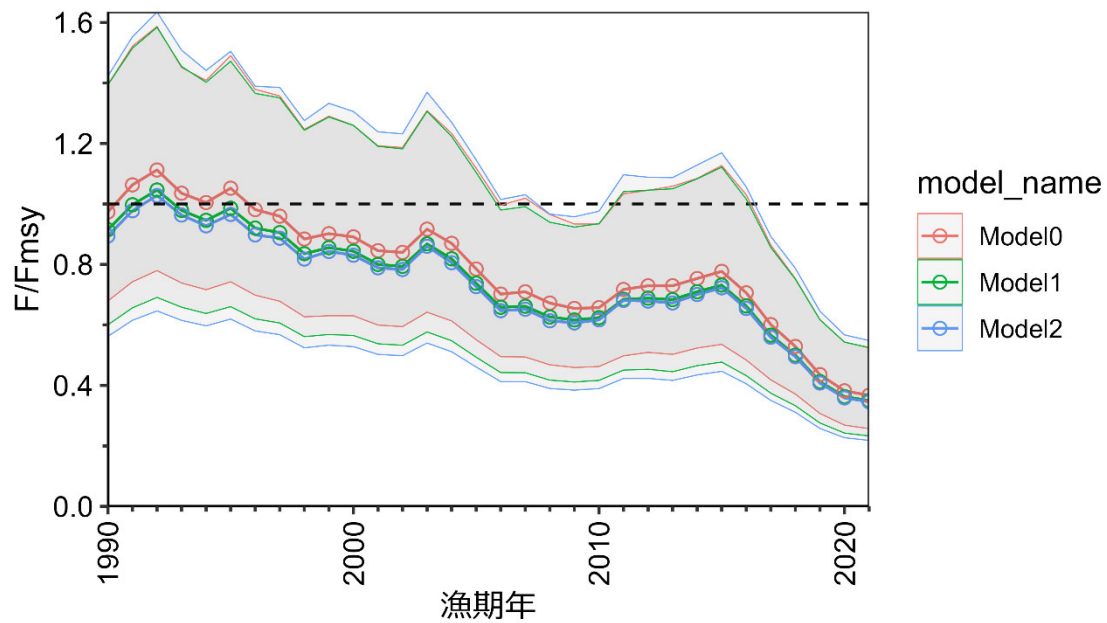
補足図 3-8. 神戸プロット

余剰生産モデルにおいて、形状パラメータと内的自然増加率に事前分布を仮定しない Model0、形状パラメータの事前分布の平均値に 2、内的自然増加率の事前分布の平均値に 0.593 を、それぞれ標準偏差を 1 として与えた Model 1、および同じ事前分布の平均値で標準偏差を 0.5 として与えた Model 2 の結果を示した。全てのモデルで q_1 に平均値 1、標準偏差 0.4 の事前分布を設定した。図中の大きな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。

A) 資源量の推移



B) 漁獲圧の推移



補足図 3-9. 推定された資源量と漁獲圧

余剰生産モデルにおいて、形状パラメータと内的自然増加率に事前分布を仮定しない Model0、形状パラメータの事前分布の平均値に 2、内的自然増加率の事前分布の平均値に 0.593 を、それぞれ標準偏差を 1 として与えた Model 1、および同じ事前分布の平均値で標準偏差を 0.5 として与えた Model 2 の結果を示した。灰色の網掛けは 90%信頼区間を示す。

補足表3-1. 各モデルで得られたパラメータの推定値と90%信頼区間

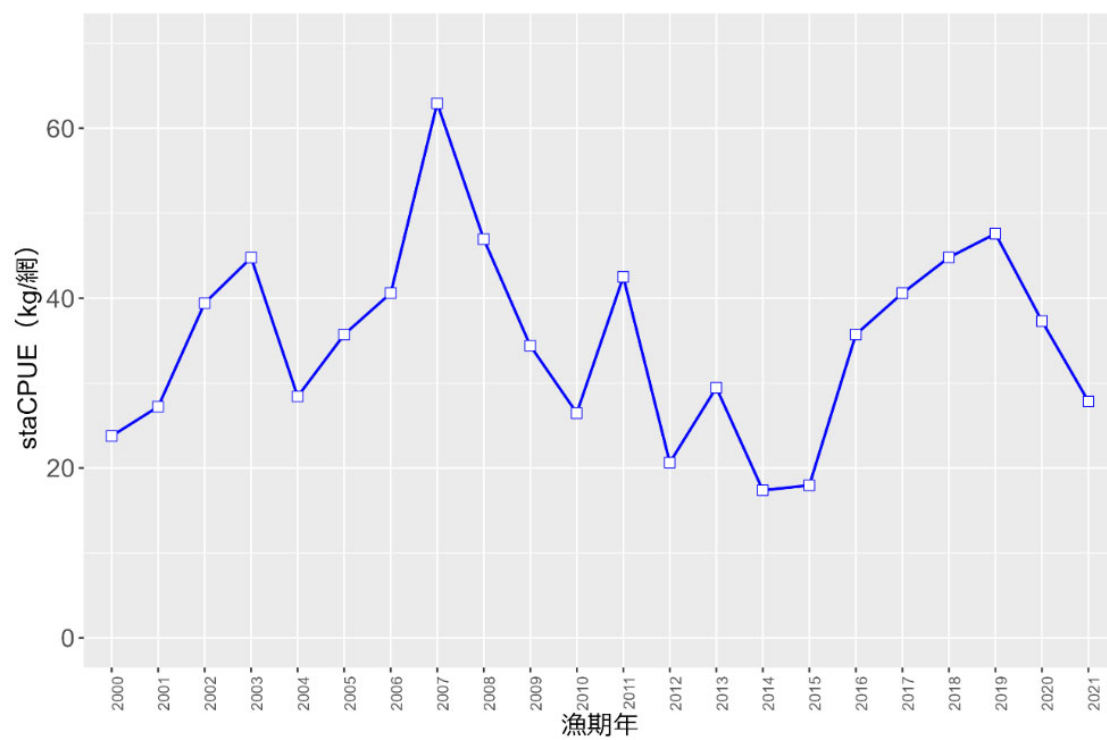
モデル	Model 0			Model 1			Model 2		
事前分布の設定	- 形状パラメータおよび内的自然増加率に事前分布を仮定しない q_1の平均値に1を狭い事前分布 ($SD=0.4$) で仮定した			- 形状パラメータの平均値に$n=2$、内的自然増加率の平均値に$r=0.593$をそれぞれ広い事前分布 ($SD=1$) で仮定した q_1の平均値に1を狭い事前分布 ($SD=0.4$) で仮定した			- 形状パラメータの平均値に$n=2$、内的自然増加率の平均値に$r=0.593$をそれぞれ狭い事前分布 ($SD=0.5$) で仮定した q_1の平均値に1を狭い事前分布 ($SD=0.4$) で仮定した		
	下限5%	推定値	上限5%	下限5%	推定値	上限5%	下限5%	推定値	上限5%
r	0.58	1.59	4.34	0.41	1.15	3.24	0.42	0.85	1.72
K	6931	10134	14817	7436	10896	15967	8420	12155	17547
$\ln(q1)$	-1.09	-0.64	-0.19	-1.11	-0.66	-0.21	-1.14	-0.68	-0.23
$\ln(q2)$	-9.29	-8.83	-8.37	-9.30	-8.84	-8.38	-9.33	-8.87	-8.40
n	1.21	3.08	7.82	0.80	2.16	5.87	0.86	1.63	3.10
σ_B	0.17	0.22	0.28	0.17	0.22	0.28	0.17	0.22	0.28
σ_F	0.08	0.12	0.17	0.08	0.12	0.17	0.08	0.12	0.17
$\sigma_{I,1}$	0.18	0.24	0.32	0.18	0.24	0.32	0.18	0.24	0.32
$\sigma_{I,2}$	0.12	0.17	0.23	0.12	0.16	0.23	0.12	0.16	0.23
$bkfrac$	0.33	0.48	0.68	0.29	0.45	0.69	0.26	0.42	0.67

補足資料 4 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、北海道北部における沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）の月別船別集計の漁獲成績報告書に基づき、マガレイ CPUE（1 網あたりのマガレイ漁獲量 kg/網）の標準化をおこなった。本海域のマガレイ資源の動向に関係すると考えられる操業データとして、2000～2021 年漁期、稚内・枝幸・小樽の根拠地に限定し、さらに有漁操業データにおける水深の分布の下側 10%（水深 274 m 以深に相当）を除去し、198,217 操業にフィルタリングした。狙い操業の効果を考慮するため、フィルタリング後のデータに Direct Principal Component モデル（Winker et al. 2013）を採用し、狙いの効果をモデリングした。DPC モデルでは、漁獲物組成データの主成分分析から得られた連続的な主成分スコアを、一般化加法モデル（GAM）の枠組みの中で非線形予測子として使用する。本資源は一般的に混獲種でありゼロキャッチデータが多いことから、ゼロデータをモデリングに加えることが可能で目的変数に CPUE の連続変数を用いる Tweedie モデルを採用した。Type-III ANOVA と Quasi-AIC によって選択された説明変数は、漁期年（1990～2021 年漁期）、四半期（7～9 月、10～12 月、1～3 月、4～6 月）、馬力階級（8～9）、根拠地（稚内、枝幸、小樽）、第 1 主成分スコア、第 2 主成分スコア、緯度経度、水深の主効果および、漁期年と根拠地、四半期と根拠地の交互作用項である。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。標準化の詳細は別文書 FRA-SA-2022-SC08-102 に示した。

引用文献

- 千葉 悟・佐藤隆太・森田昌子・境 磨・濱津友紀 (2022) 令和 4 (2022) 年度マガレイ北海道北部系群の沖合底びき網漁業（かけまわし漁法）の CPUE 標準化について. (FRA-SA-2022-SC08-102)
- Winker, H., SE. Kerwath, and CG. Attwood (2013) Comparison of two approaches to standardize catch-per-unit-effort for targeting behaviour in a multispecies hand-line fishery. *Fish. Res.*, **139**, 118-131.

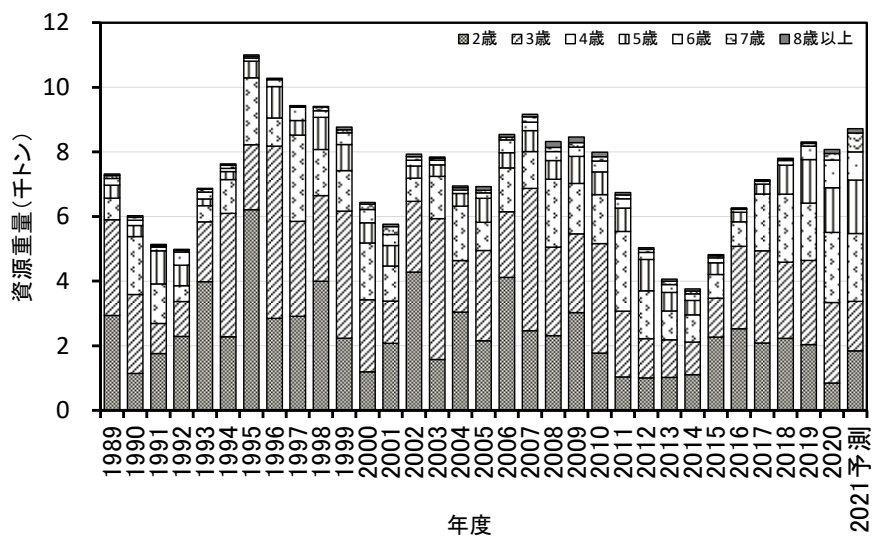


補足図 4-1. マガレイ標準化 CPUE の年トレンド

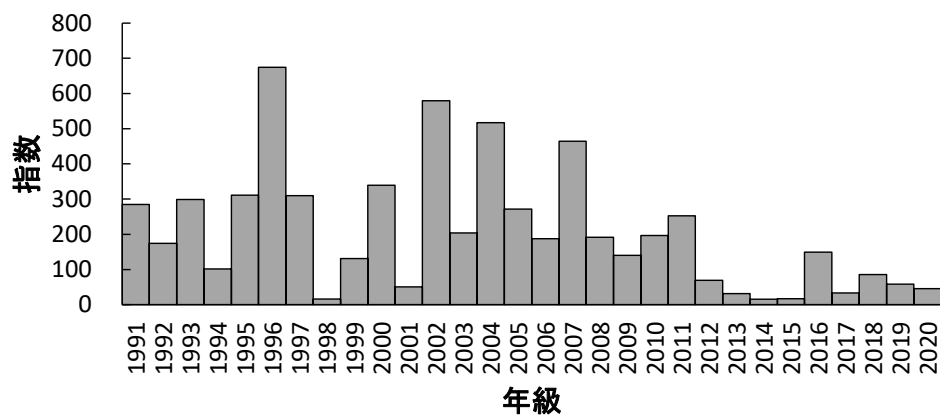
補足資料5 マガレイ（石狩湾以北日本海～オホーツク海）について北海道立総合研究機構が実施した Pope の近似式に基づくチューニング VPA の結果（中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 2022）より引用

引用文献

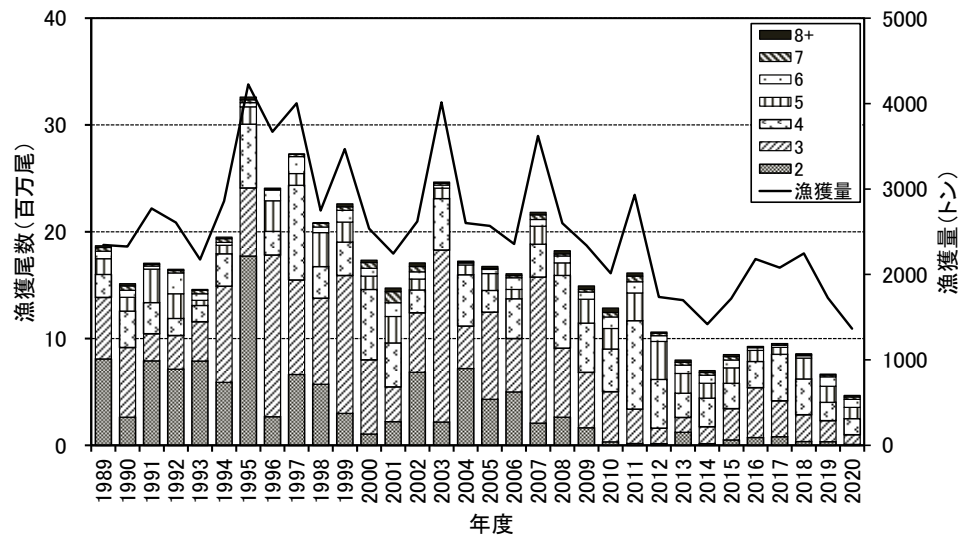
中央水産試験場・稚内水産試験場・網走水産試験場 (2022) マガレイ(石狩湾以北日本海～オホーツク海海域). 2022 年度水産資源管理会議評価書, 北海道立総合研究機構水産研究本部



補足図 5-1. マガレイの育ち群を考慮した年齢別資源重量（年度は7月1日から6月30日の漁期年）



補足図 5-2. マガレイの幼魚（1歳）魚資源量指数の推移（雄武町沖）



補足図 5-3. マガレイの年齢別漁獲尾数