

令和 5（2023）年度マダラ北海道太平洋の コホート解析に関する資料

本資源について、2005 年漁期以降の年齢別漁獲尾数を推定してコホート解析による資源量の試算を行った。チューニングは沖底 CPUE を用いてオメガ法により行った。

（1）年齢別漁獲尾数の推定

年齢別漁獲尾数は、沖底と沿岸漁業の漁業種類別に、襟裳以西と道東の 2 海域それぞれについて推定して合算した。

沖底については、襟裳以西と道東における漁獲物の大半が水揚げされる室蘭追直港と釧路港における銘柄別水揚げデータを用いた。沖底漁獲物の測定データから作成した Length－銘柄 Key（図 1、2）および、商業漁獲物と調査船の着底トロール漁獲物の測定・年齢査定データから作成した Age-length Key（図 3、4）を用いて年齢別漁獲尾数を算出した。室蘭追直港では 2005、2006 年漁期の銘柄別水揚げ量データが得られなかったため、この 2 漁期年の年齢別漁獲尾数は、漁獲物の年齢組成が 2007～2011 年漁期の平均であったと仮定して計算した。

沿岸漁業については、北海道襟裳以西は恵山港に水揚げされたはえ縄漁獲物、道東は釧路港に水揚げされた刺網漁獲物の銘柄別水揚げデータと商業漁獲物および調査船の着底トロール漁獲物の測定・年齢査定データから作成した Age－銘柄 Key（図 5、6）を用いて年齢別漁獲尾数を算出した。ただし、2019 年漁期以降における道東の沿岸漁業の年齢別漁獲尾数は、根室市で水揚げされた分は根室花咲港の漁獲物組成を用い、それ以外のえりも町から浜中町で水揚げされた分は釧路港の漁獲物組成を用いて推定した。根室市水揚げ分は、根室花咲港の刺網漁獲物の測定データから作成した Length－銘柄 Key（図 7）および、商業漁獲物と調査船の着底トロール漁獲物の測定・年齢査定データから作成した Age-length Key（図 4）を用いて年齢別漁獲尾数を算出した。釧路港では、2011 年漁期以前の銘柄別水揚げデータが入手できなかったため、2005～2011 年漁期の年齢別漁獲尾数は漁獲物の年齢組成が 2012～2016 年漁期の平均であったと仮定して計算した。陸奥湾周辺海域の年齢別漁獲尾数は青森県産業技術センター水産総合研究所が推定した値を用いた。恵山港におけるはえ縄漁獲量が北海道襟裳以西の沿岸漁業の漁獲量全体に占める割合は、2005～2022 年漁期の平均で約 3 割であった。釧路港における刺網漁獲量が道東の沿岸漁業の漁獲量全体に占める割合は、2012～2018 年漁期の平均で約 1 割であった。2019～2022 年漁期において、釧路港と根室花咲港における刺網漁獲量がえりも町から浜中町と根室市の沿岸漁業全体の漁獲量に占める割合は、ともに約 2 割であった。

海域別漁業種類別に推定した年齢別漁獲尾数を図 8 に示した。2022 年漁期の北海道太平洋の沿岸漁業では 1、2 歳魚の漁獲尾数が少なかった。一方、2022 年漁期の沖底は 1 歳魚の漁獲尾数が多かった。陸奥湾周辺の沿岸漁業は 5 歳の漁獲尾数が多く、襟裳以西の沖底、沿岸漁業ともに 5 歳魚は漁獲尾数が多いように見受けられた。海域別漁業種別年齢別漁獲尾数を合算した本資源の年齢別漁獲尾数を図 9 に示した。2018 年漁期から減少していた 1 歳魚漁獲尾数は 2022 年漁期に増加した一方で、同年漁期の 2 歳魚尾数は前年と比べて減少し

た。2021 年漁期に 3 歳以上の漁獲尾数が増加したが、2022 年漁期もそれらの漁獲尾数は高かった。

(2) 資源量の推定の方法

年齢別資源尾数、資源重量、漁獲係数はコホート解析により推定した。コホート解析では生活史に基づき 4 月を起点とし、1 歳～9+歳の年齢別に各値を求めた。年齢別資源尾数 N の計算には Pope (1972) の式を用い、プラスグループの資源尾数については平松 (1999) の方法を用いた。自然死亡係数 M は、寿命を 10 歳として田内・田中の式 (田中 1960) から 0.25 とした。具体的な計算式は以下のとおりである。コホート解析の考え方と実際については平松 (1999) を参照されたい。

各年の年齢別資源尾数 $N_{a,y}$ は、各年の年齢別漁獲尾数および自然死亡係数から (1) 式により計算した。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \exp(M_a) + C_{a,y} \exp\left(\frac{M_a}{2}\right) \quad (1)$$

ここで、 $N_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の資源尾数、 $C_{a,y}$ は y 年 a 歳魚の漁獲尾数、 M_a は a 歳魚の自然死亡係数である。

8 歳および 9+歳の資源尾数はそれぞれ(2)、(3)式により求めた。

$$N_{8,y} = \frac{C_{8,y}}{C_{8,y} + C_{9+,y}} N_{9+,y+1} \exp(M_8) + C_{8,y} \exp\left(\frac{M_8}{2}\right) \quad (2)$$

$$N_{9+,y} = \frac{C_{9+,y}}{C_{8,y} + C_{9+,y}} N_{9+,y+1} \exp(M_{9+}) + C_{9+,y} \exp\left(\frac{M_{9+}}{2}\right) \quad (3)$$

直近年の年齢別資源尾数 $N_{a,2022}$ は直近年の年齢別漁獲係数 $F_{a,2022}$ を用いて (4) 式より求めた。

$$N_{a,2022} = \frac{C_{a,2022} \exp\left(\frac{M_a}{2}\right)}{(1 - \exp(-F_{a,2022}))} \quad (4)$$

資源量および親魚量の計算には表 1 の年齢別体重を用いた。この年齢別体重は、商業漁獲物および調査船調査漁獲物から推定した成長曲線と体長と体重の関係式から暫定的に求めた 4 月 1 日時点の体重である。

各年の親魚量 SSB_y は (5) 式により求めた。

$$SSB_y = \sum_{a=1}^{8+} N_{a,y} \times m_{fa} \times w_a \quad (5)$$

ここで、 m_{fa} は a 歳の雌個体の成熟率 (仮定値)、 w_a は a 歳の体重である。

漁獲係数 F の計算は、最高齢 (9+) の F と最近年の F 以外は (6) 式により求めた。

$$F_{a,y} = -\ln \left(1 - \frac{C_{a,y} \exp(\frac{M_a}{2})}{N_{a,y}} \right) \quad (6)$$

9+歳の F は 8 歳の F と等しいとした。

直近年（2022 年漁期）の最高齢（9+歳）の F（ターミナル F）は、オメガ法を用いて推定した。全体の漁獲量に対する沖底の年齢別漁獲割合 Ω と、全体の F の年齢別選択率 S を用いて、沖底標準化 CPUE が資源量の傾向と合うように選択率更新法により推定した。ここで、ターミナル F の選択率は近年 3 年（最近年の 3 年前～最近年の 1 年前）の平均値として、(7) 式を最小にするターミナル F を探索的に求めた。

$$SSQ = \sum_y \left[\log(CPUE_y) - \log \left(q \left\{ \sum_{a=1}^{9+} \Omega_{a,y} S_{a,y} B_{a,y} / \sum_{a=1}^{9+} \Omega_{a,y} S_{a,y} \right\}^b \right) \right]^2 \quad (7)$$

ここで、q は CPUE と資源量との比例係数、b は CPUE と資源量の非線形性を表す係数であり、それぞれ (8) 式と (9) 式により求められる。

$$q = \exp \left(\frac{1}{n} \sum_y \log(CPUE_y) - \frac{b}{n} \sum_y \log \left(\sum_{a=1}^{9+} \Omega_{a,y} S_{a,y} B_{a,y} / \sum_{a=1}^{9+} \Omega_{a,y} S_{a,y} \right) \right) \quad (8)$$

$$b = \frac{\text{cov}(\log(CPUE_y), \log(\sum_{a=1}^{9+} \Omega_{a,y} S_{a,y} B_{a,y} / \sum_{a=1}^{9+} \Omega_{a,y} S_{a,y}))}{\text{var}(\log(\sum_{a=1}^{9+} \Omega_{a,y} S_{a,y} B_{a,y} / \sum_{a=1}^{9+} \Omega_{a,y} S_{a,y}))} \quad (9)$$

ここで、 $S_{a,y}$ と $B_{a,y}$ は年齢別選択率と年齢別資源量であり、それぞれ $S_{a,y} = F_{a,y} / \max(F_{a,y})$ と $B_{a,y} = N_{a,y} \times w_a$ で求められる。

全ての解析は frasyr パッケージ (<https://github.com/ichimomo/frasyr>、コミット番号 07b070539ab34f6133d9a451c14571eed1e6002b) を用いた。

(3) 資源量の推定結果

チューニング VPA で推定された資源尾数、資源量および親魚量を図 10、11 に示す。1 歳以上の資源量推定値は、2005～2012 年漁期に増加して、2013～2018 年漁期はほぼ横ばいで推移したのち、2019 年漁期以降に大きく増加して、2021 年漁期は最も多く、2022 年漁期もそれと同水準の資源量であった。2021 年漁期まで資源量の主体を構成していたのは 2～4 歳であった。前年と比べて 2022 年漁期は 2 歳魚資源量が減少した。また 5 歳魚資源量が前年と比べて増加傾向にあった。資源尾数としてみると、2022 年漁期の 1 歳魚は 2005 年漁期以降最も多くなったのに対して、2 歳魚は少なかった。これらが、実際の資源尾数を反映しているのか、あるいは直近年の若齢個体の推定不確実性が大きい VPA の特性によるものかは本解析では検討できなかった。親魚量推定値は、2005～2020 年漁期は 0.76 万～0.97 万トンの範囲でほぼ横ばいで推移して、2022 年漁期は前年よりも増加して 1.97 万トンであった。

残差プロット（図 12）から、CPUE にある程度フィットしていることが確認できたが、2010 年漁期以前は負の残差、2011 年漁期から 2015 年漁期は正の残差といった自己相関のような傾向が確認された。また、資源量と資源量指標値の非線形性のパラメータ b は 1.77 と推定され、資源量指標値に対して hyperdepletion の傾向にあることが示唆された。5 年分さかのぼったレトロスペクティブ解析（図 13）の結果、Mohn's ρ が低いことが、2019 年まで

遡ったときの資源重量や 2018 年まで遡った時の SSB にレトロスペクティブバイアスがあることが確認された。

親魚量と加入量の関係（再生産関係）が得られる 2005～2021 年級群の親魚量の範囲が狭く、再生産関係の推定や MSY を実現する親魚量（SBmsy）および漁獲圧（Fmsy）を計算するためには親魚量の経年的な変動幅が狭く、再生産関係の推定がバイアスする可能性が考えられる。生物学的特性値について、年齢別成熟率は仮定値を用いたこともあり、今後も検討する必要があると考えている。また年齢別自然死亡係数や年齢別体重も暫定的に使用したものであるため引き続き精査する必要がある。これらの生物学的特性値は資源量の絶対値に影響するだけでなく、VPA に基づいた 1 系管理（1A、1B ルール）を適用した場合には管理基準値や将来予測結果にも影響することから、現段階では VPA による資源量推定結果を評価結果に用いることは難しく、経年的な資源量の推移や年齢組成の変化について参考情報として使用することが妥当であると考えられる。

引用文献

平松一彦 (1999) VPA の入門と実際. 水産資源管理談話会報, 日本鯨類研究所, 20, 9-28.

Pope, J.G. (1972) An investigation of the accuracy of virtual population using cohort analysis. Res. Bull. inst. Comm. Northw. Atlant. Fish., 9, 65-74.

田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業管理. 東海水研報, 28, 1-200.

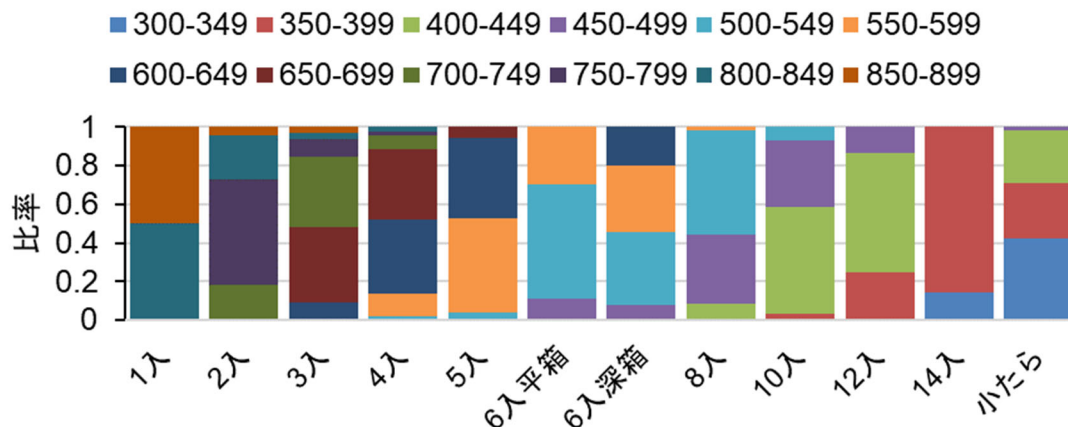


図 1. 室蘭追直港におけるマダラ沖底漁獲物の Length—銘柄 Key 凡例は標準体長 50 mm ごとに作成した Length のカテゴリを示す。箱詰めされないバラたら銘柄の組成は小たら銘柄と同じ組成とした。

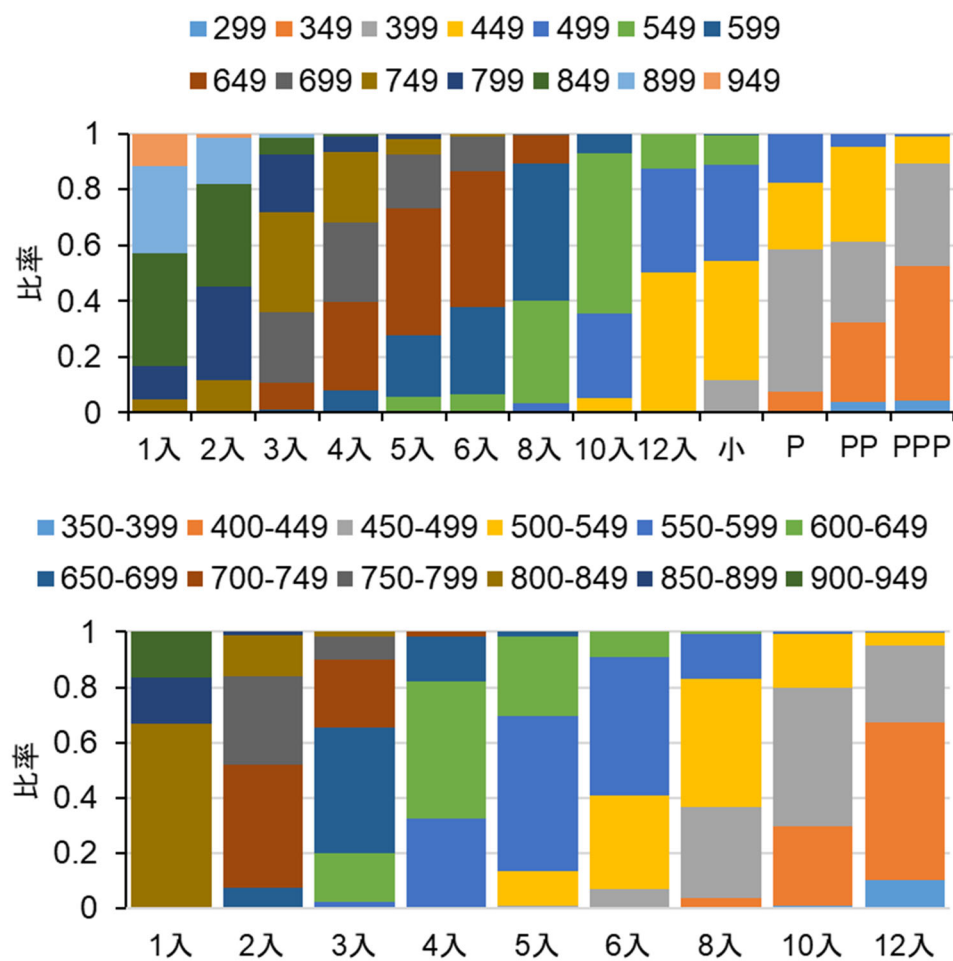


図 2. 釧路港におけるマダラ沖底漁獲物の Length—銘柄 Key 凡例は標準体長 50 mm ごとに作成した Length のカテゴリを示す。上図が木箱、下図が発泡箱の Key である。箱詰めされないバラ銘柄は、木箱 3P 銘柄と同じ組成とした。

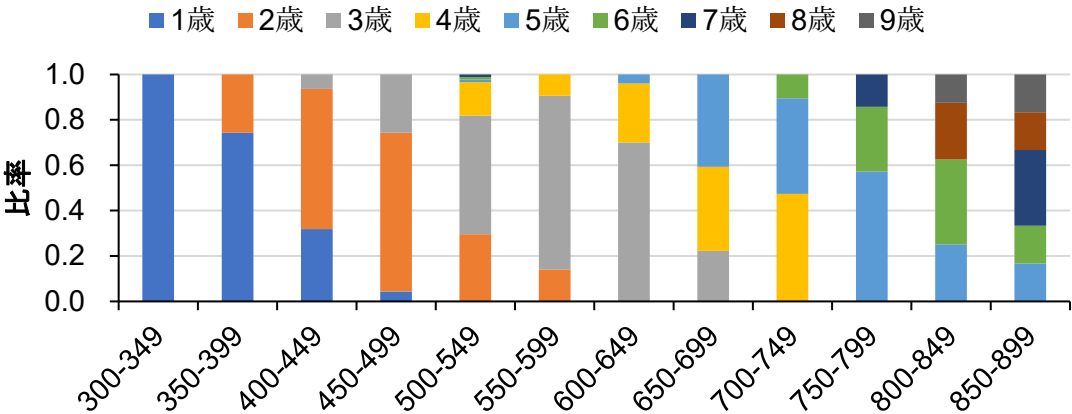


図 3. 襟裳以西の沖底・沿岸漁業漁獲物に適用した Age-length Key
下半期（10 月～翌年 3 月）の Key である。

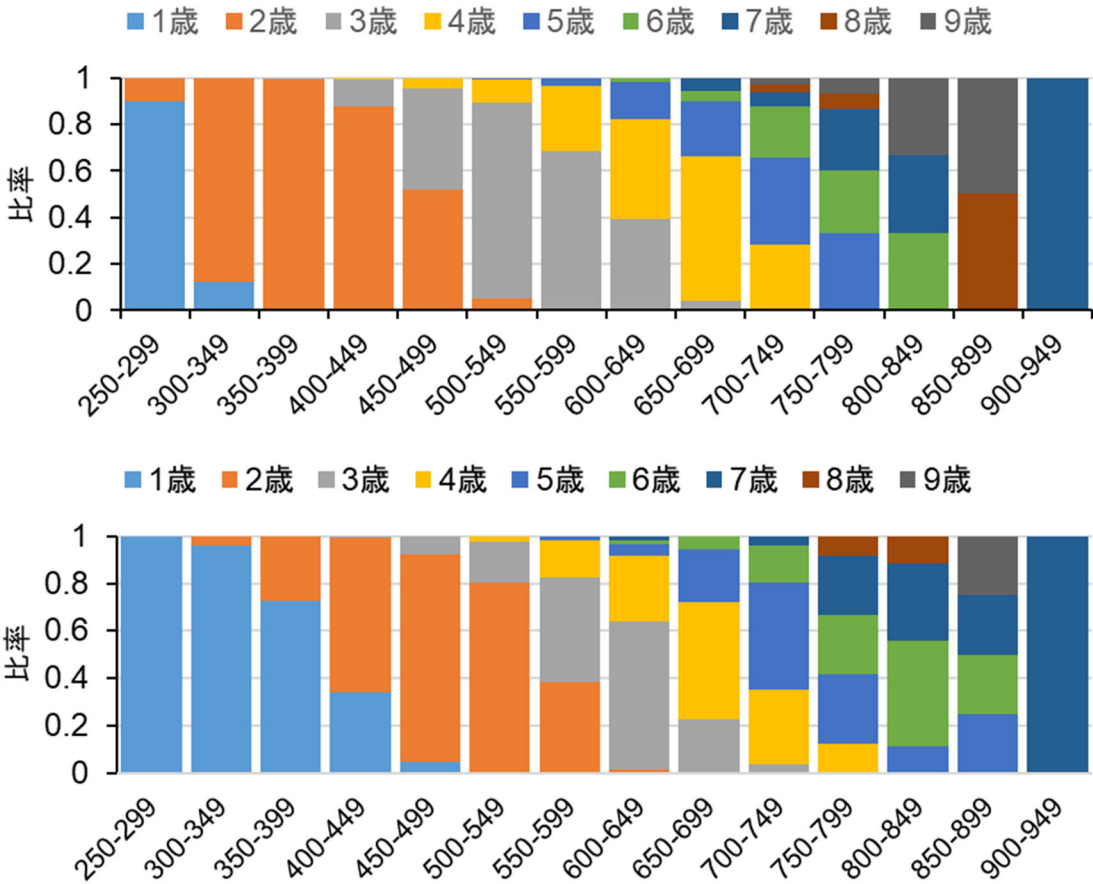


図 4. 道東の沖底漁獲物および根室市の沿岸漁業漁獲物に適用した Age-length Key
上図は上半期（4 月～9 月）、下図は下半期（10 月～翌年 3 月）の Key である。

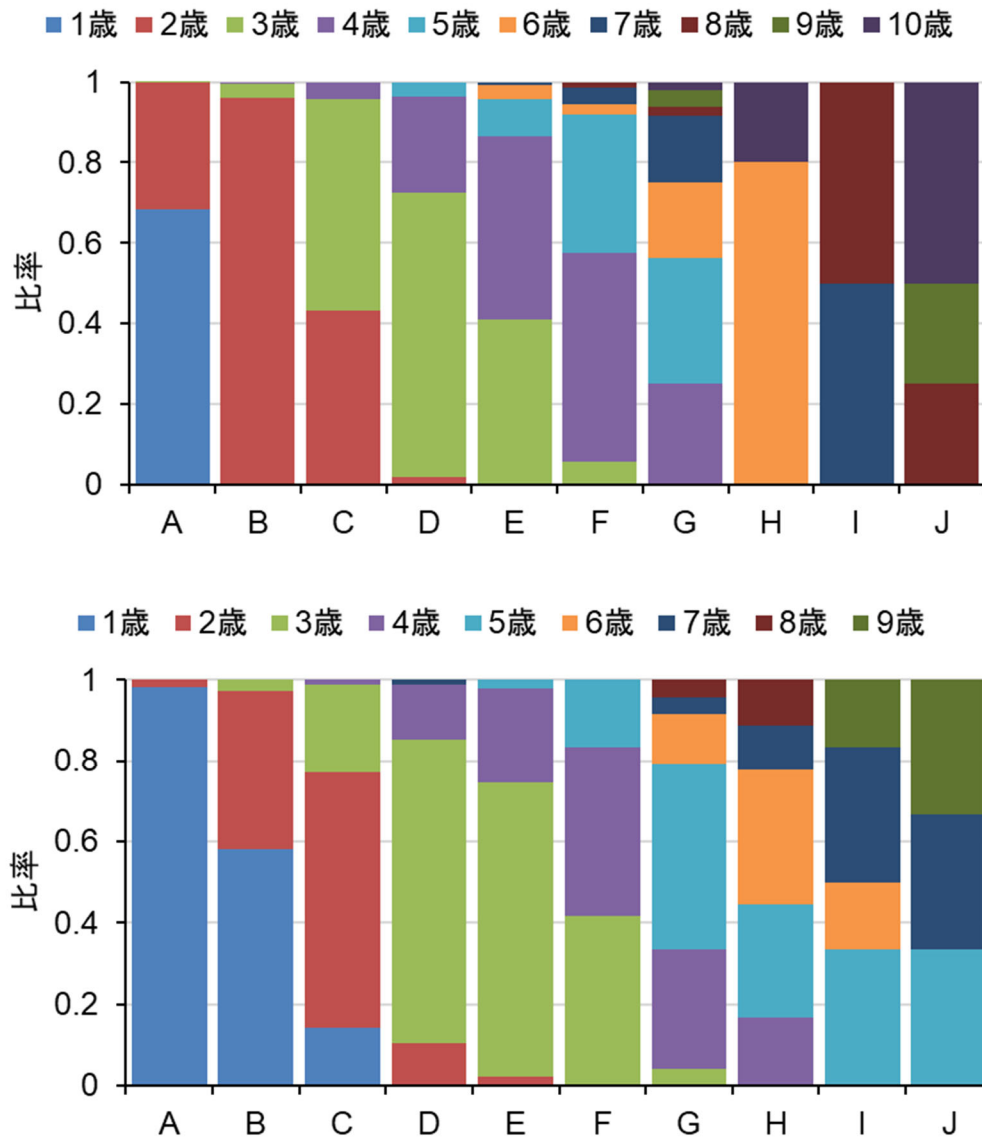


図 5. 恵山港におけるマダラ延縄漁獲物の Age-銘柄 Key

上図は上半期（4月～9月）、下図は下半期（10月～翌年3月）の Key。A は 0.6 kg 未満、B は 0.6～1 kg 未満、C は 1 kg 台、D は 2 kg 台、E は 3 kg 台、F は 4 kg 台、G は 5～6 kg 台、H は 7～8 kg 台、I は 9 kg 台、J は 10 kg 以上の銘柄を示す。

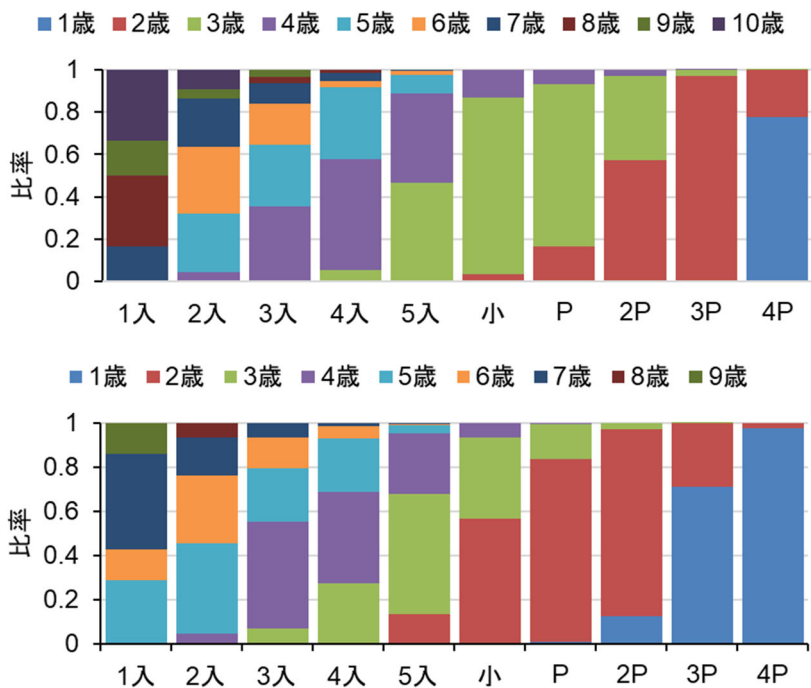


図 6. 釧路港におけるマダラ刺網漁獲物の Age—銘柄 Key
上図は上半期（4 月～9 月）、下図は下半期（10 月～翌年 3 月）の Key

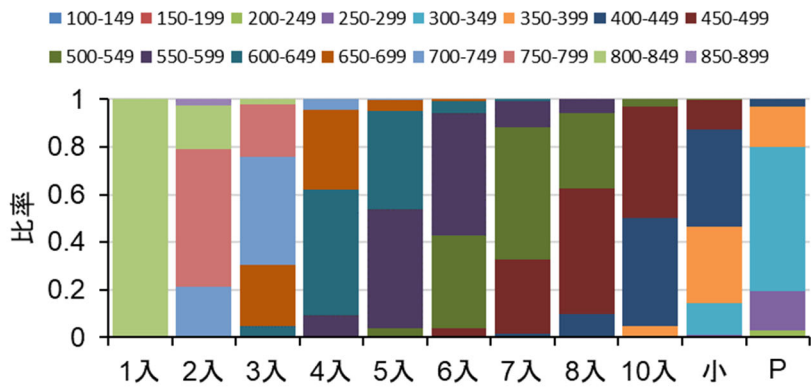


図 7. 根室花咲港におけるマダラ刺網漁獲物の Length—銘柄 Key
標準体長 50 mm ごとに作成した

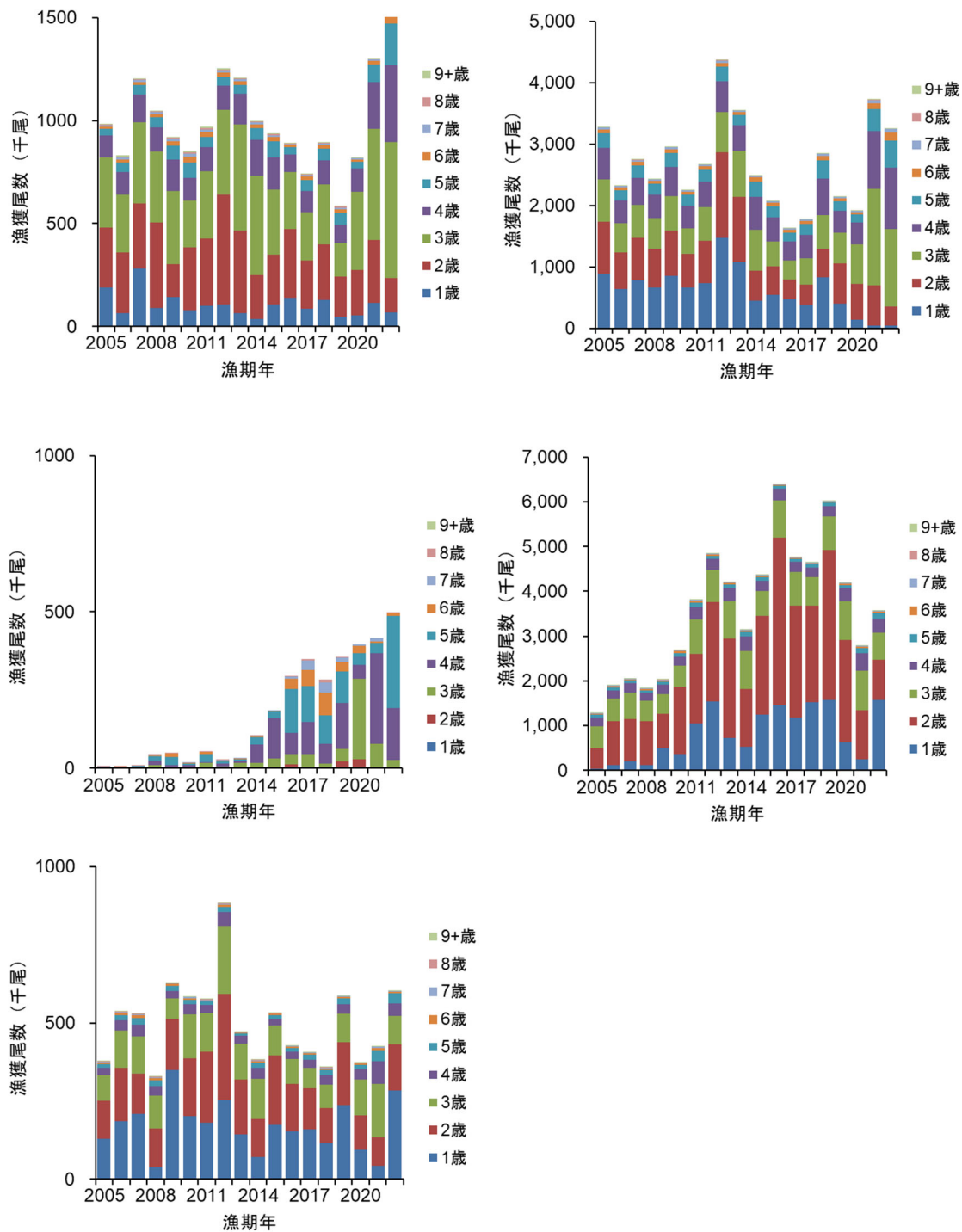


図 8. 本資源の海域別漁業種類別の年齢別漁獲尾数

左上が襟裳以西沿岸、右上が道東沿岸、左中が陸奥湾周辺、右中が道東沖底、左下が襟裳以西沖底の年齢別漁獲尾数である。

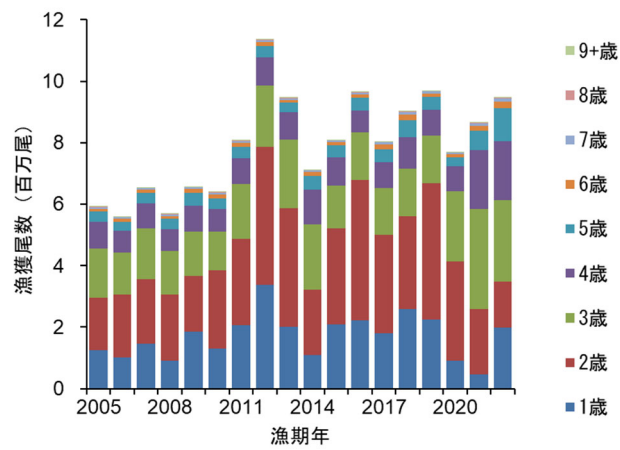


図 9. 本資源の年齢別漁獲尾数

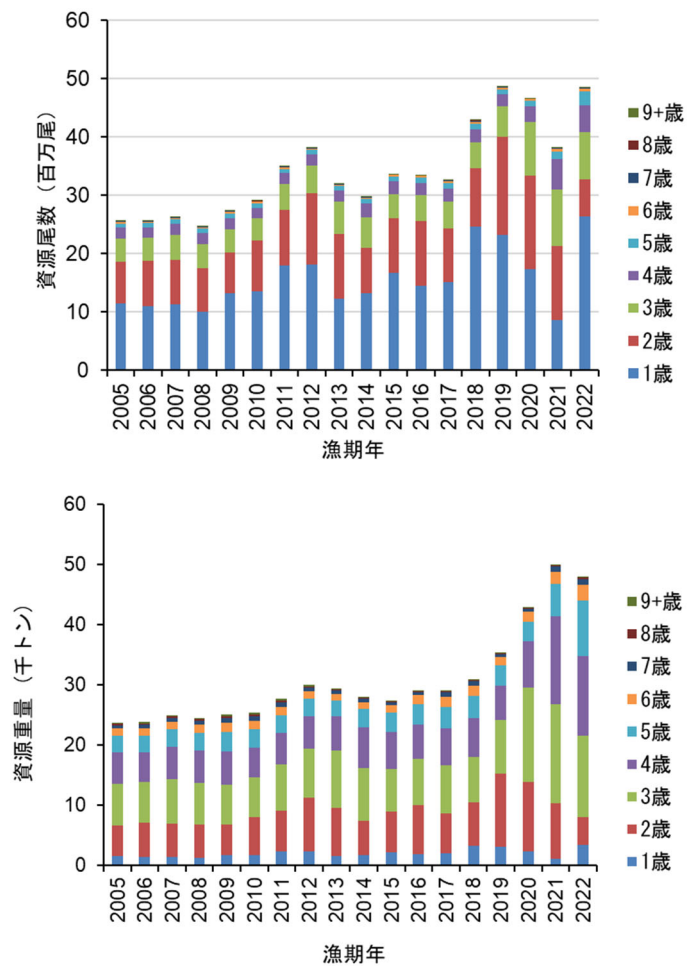


図 10. コホート解析で推定された年齢別資源尾数（上）および年齢別資源量（下）

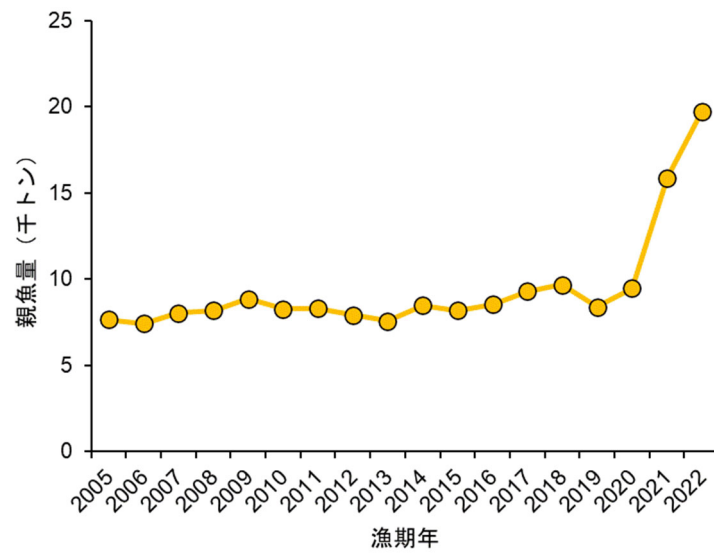


図 11. コホート解析で推定された本資源の親魚量

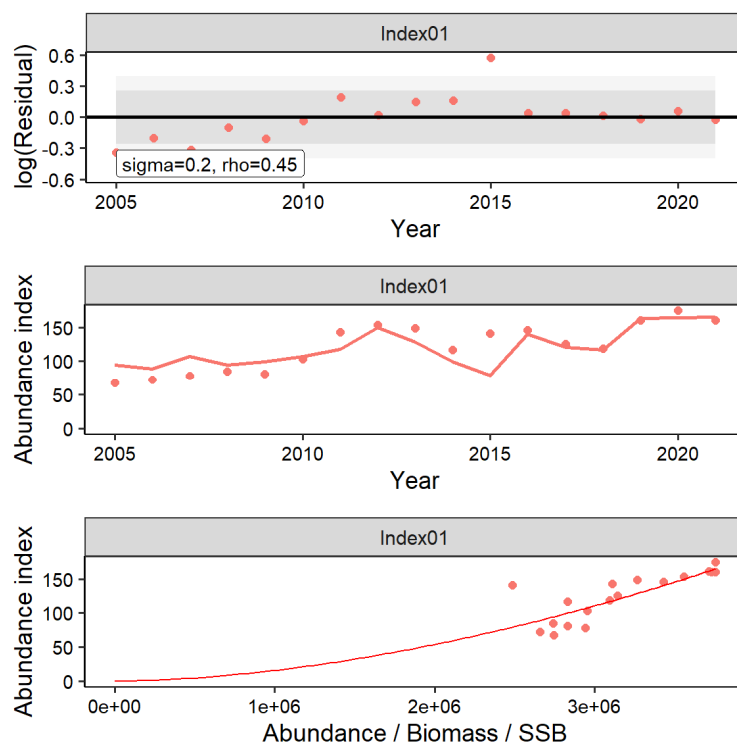


図 12. 残差プロット。

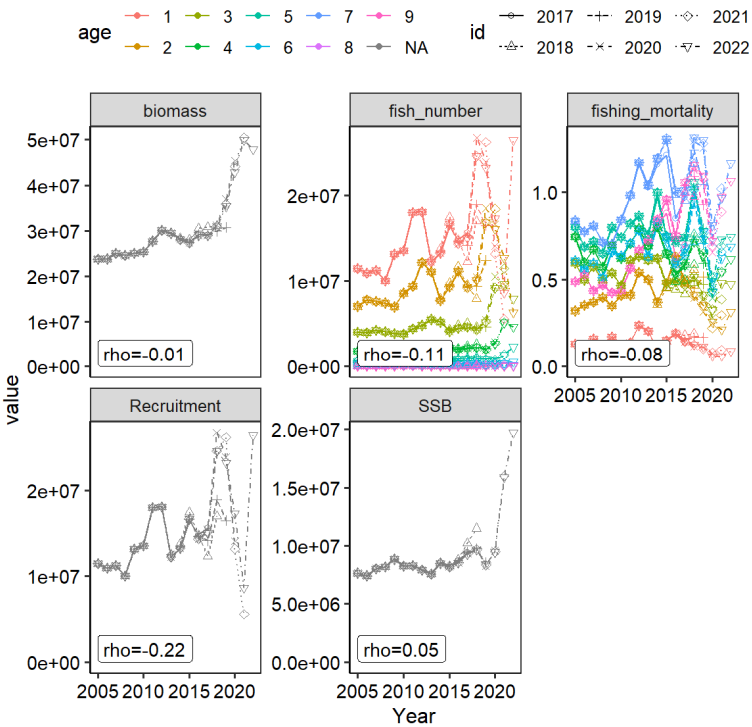


図 13. レトロスペクティブ解析の結果。

表 1. 年齢別体重 (kg)

年齢	1 歳	2 歳	3 歳	4 歳	5 歳	6 歳	7 歳	8 歳	9+歳
体重	0.1	0.7	1.7	2.8	3.9	4.9	5.8	6.4	7.2

表 2. 雌個体の年齢別成熟率 (%)

年齢	1 歳	2 歳	3 歳	4 歳	5 歳	6 歳	7 歳	8 歳	9+歳
体重	0	0	0	50	100	100	100	100	100