

## 令和 8（2026）年度ウルメイワシ太平洋系群の状態空間余剰生産モデルによる資源解析

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 浮魚第 2G  
日野晴彦・安田十也・渡井幹雄・木下順二・木皿祐雅・塚田秋葉・河野悌昌・高橋正知

### 1. 背景

本資源では、令和 4 年度から 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）による資源解析を検討している。令和 4 年度・5 年度の検討時には、漁獲量が減少・低迷している太平洋中区の資源量指数が不足していたことが課題となっており、資源状態の判断は困難と考えられた。

その後、令和 6 年度の資源評価では太平洋中区の主要県である三重県の情報が利用可能になったことから、余剰生産モデルを再検討した。再検討の結果、余剰生産モデルで得られた資源量の相対値が頑健であると判断し、その結果を資源量指標値に利用する 1C21 として評価している（日野ほか 2024, 2025）。令和 8（2026）年度の資源評価を実施するにあたり、当該余剰生産モデルによる解析の更新結果を示した。

### 2. 状態空間余剰生産モデル

#### (1) 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）は以下のように表している。

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

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、 $\sigma_B$  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  $\gamma$  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関するパラメータとして、初期資源量の環境収容力に対する比  $b_k$  も間接的に求められる。決定論的 ( $\sigma_B = 0$ ) な個体群動態のもとでは、(5) 式の通り  $m$  は最大持続生産量  $MSY$  の値に相当する。また、決定論的な  $B_{msy}$  および  $F_{msy}$  はそれぞれ以下の (6) 式および (7) 式で表される。

$$MSY^d = m \quad (5)$$

$$B_{msy}^d = n^{1/(1-n)} K \quad (6)$$

$$F_{msy}^d = m / B_{msy} \quad (7)$$

一方、確率論的な MSY、Bmsy、および Fmsy はそれぞれ以下の (8) (9) (10) 式で表される。

$$MSY^s = MSY^d \left( 1 - \frac{n/2}{1 - (1 - F_{msy}^d)^2 \sigma_B^2} \right) \quad (8)$$

$$B_{msy}^s = B_{msy}^d \left( 1 - \frac{1 + F_{msy}^d (n-2)/2}{F_{msy}^d - (2 - F_{msy}^d)^2 \sigma_B^2} \right) \quad (9)$$

$$F_{msy}^s = F_{msy}^d - \frac{(n-1)(1 - F_{msy}^d) \sigma_B^2}{(2 - F_{msy}^d)^2} \quad (10)$$

形状パラメータ  $n$  が 1 を下回る場合は確率論的な MSY、Bmsy、および Fmsy の推定値は不安定になるとされているため、Pedersen and Berg (2017) に従い、 $n > 1$  の場合には確率論的な値を、 $0 < n \leq 1$  の場合には決定論的な値を用いている。

SPiCT では、季節的な漁獲のプロセスを以下の (11)、(12) 式でモデル化しており、1 年間に細かく区切った計算が可能である。

$$F_t = S_t G_t \quad (11)$$

$$d \log G_t = \sigma_F dV_t \quad (12)$$

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。 $\sigma_F$  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。

## (2) 観測モデル

SPiCT でのパラメータの推定に用いる資源量指数は以下の観測モデルで取り扱われる。

$$\log(I_{t,i}) = \log(q_i B_t) + e_{t,i} \quad (13)$$

$$e_{t,i} \sim N(0, \sigma_{I,i}^2) \quad (14)$$

SPiCT では複数の資源量指数を使用できる。 $I_{t,i}$  は  $i$  番目の資源量指数の時間  $t$  における値である。 $q_i$  は  $i$  番目の資源量指数における漁獲効率パラメータである。 $e_{t,i}$  は  $i$  番目の資源量指数の観測誤差であり、 $\sigma_{I,i}$  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(15)(16)式で推定できる。

$$\log(C_t) = \log\left(\int_t^{t+\Delta} F_s B_s ds\right) + \epsilon_t \quad (15)$$

$$\epsilon_t \sim N(0, \sigma_C^2) \quad (16)$$

ここで  $\epsilon_t$  は漁獲量の観測誤差であり、 $\sigma_C$  はその標準偏差である。本資源では、観察された漁獲量の誤差を 0 に固定したモデルから検討した ( $\epsilon_t = 0$ )。ただしウルメイワシは他の浮魚類と混ざって漁獲されることが多いため、一部のモデルでは漁獲量の誤差を 0 に固定せずに検討した。

## (3) 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、 $n$ 、 $m$ 、 $K$ 、 $q_i$ 、 $B_t$ 、 $F_t$ 、 $\sigma_B$ 、 $\sigma_{I,i}$ 、 $\sigma_F$  である。内的自然増加率  $r$  は  $n$ 、 $m$ 、および  $K$  が推定されることで下式 (17) により得られる。

$$r = m \left( \frac{K}{n(n-1)} \right)^{-1} \quad (17)$$

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が可能となっている。なお、プロセス誤差の大きさ  $\sigma_B$ 、観測誤差の大きさ  $\sigma_L$ 、漁獲係数のノイズの大きさ  $\sigma_F$ 、初期資源量の環境収容力に対する比  $\text{bkfrac}$  にも同様に事前分布を与えることが出来るが、今回の解析では事前分布を与えずにこれらのパラメータを推定した。パラメータの信頼区間は、デルタ法で近似された標準誤差を用いて、対数正規型を仮定して求めた。

### 3. 計算方法

#### (1) 使用するデータセット

余剰生産モデルに用いるデータセットとして、令和 8 年度の資源評価で示した 1979～2025 年における漁獲量を用いた。資源量指数として、標準化した卵密度（1979～2025 年、日野ほか 2026a）、および宮崎県（2001～2025 年、日野ほか 2026b）・愛媛県（1995～2025 年、日野ほか 2026c）・高知県（2000～2025 年、日野ほか 2026d）・三重県（2016～2025 年、日野ほか 2026e）における中・小型まき網の標準化 CPUE を用いた。

なお本系群では令和 3（2021）年度評価まで、半年 VPA による資源量推定結果が示されている（渡邊ほか 2021）。半年 VPA では評価毎に最高齢の F が過去に遡って変化し、資源量の推定値が変化するという課題があったため 2 系資源に移行したが、トレンド自体には資源量の絶対値ほどの大きな変化は見られていない。標準化した卵密度および 4 県の標準化 CPUE では安定した結果が得られなかったことから、VPA による資源量の推定結果を利用した。1999～2020 年における資源量の推定値について、ソウハチ道北系群およびマガレイ道北系群の資源評価（濱邊ほか 2025a, 菅野ほか 2025）を参考にして残存資源量  $D$  を求めた。これは、VPA に基づく推定資源量が余剰生産モデルで推定される資源量とは定義が異なることによる。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。そこで、令和 3 年度に示された VPA の結果を基に (18) 式により  $D$  を推定した。

$$D_y = \left( B_{y-1} \cdot e^{\left(-\frac{M}{2}\right)} - C_{y-1} \right) e^{\left(-\frac{M}{2}\right)} \quad (18)$$

ここで  $B_y$  は VPA で推定された  $y$  年の資源量、 $C_y$  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（半年当たり 0.625）であり、 $D$  が余剰生産モデルで推定される資源量に該当する。標準化した卵密度と 4 県における標準化 CPUE に加えて、2000～2021 年における  $D$  を資源量指数として利用し、 $D$  の漁獲効率  $q$  について、平均値を 1 とした事前分布を与えて解析した。

#### (2) パラメータの事前分布

検討したモデルの事前分布の組み合わせを表 1 に示した。一般的に余剰生産モデルは全く情報を用いずに全てのパラメータを適切に推定することは難しい。そのため、パラメータ推定に当たり、以下の手順で検討した。パラメータを固定した場合は、事前情報における標準偏差を 0.001 とした。

また、昨年度より R パッケージ SPMpriors (Winker 2020) を用いて、年齢構成平衡状態モデル (Age-structured

equilibrium model、ASEM) を構築することで Pella-Tomlinson 型の  $r$  と  $n$  を推定する環境が整備された。ASEM ではベバートン・ホルト型の再生産曲線を仮定しており、体長体重関係および von-Bertalanffy の成長式などに系群固有の値を与えることが可能である。そこで ASEM に過去の測定データから得られた体長体重関係式 ( $BW=0.079BL^{3.1811}$ 、 $BW$  は体重  $g$ 、 $BL$  は被鱗体長  $cm$ ) の係数、および山田 (1994) の成長式 ( $L_t=22.70 (1-e^{-0.1368(t+0.6868)})$ ) における  $t_0$  を与えて推定された  $n$  と  $r$  の平均値 ( $n:1.25$ 、 $r:1.19$ ) についても検討した。

- (1) M0: 全てのパラメータに事前分布を仮定しないモデル (ただし、漁獲量の誤差  $\epsilon_t$  のみ 0 に固定)。
- (2) M1: 形状パラメータ  $n$  の事前分布を与える情報の候補として、Schaefer 型である 2 を平均値として利用し、内的自然増加率  $r$  の候補として FishLife (Thorson 2020) での予測値 (Schaefer 型を仮定) である 0.63 を平均値としたモデル。それぞれのパラメータについて事前分布を広く (標準偏差 1) した対数正規分布を仮定。
- (3) M2~M3: M1 において、それぞれ  $r$ 、 $n$  の事前分布を狭く (標準偏差 0.5) したモデル。
- (4) M4~M6: M1~M3 において、漁獲量の誤差 ( $\epsilon_t$ ) を 0 に固定しないモデル。
- (5) np1\_r1:  $n$  と  $r$  の平均値に ASEM の推定結果 ( $n:1.25$ 、 $r:1.19$ ) を利用し、事前分布を広く (標準偏差 1) したモデル。
- (6) np1\_r05~np05\_r1: np1\_r1 において、それぞれ  $r$ 、 $n$  の事前分布を狭く (標準偏差 0.5) したモデル。
- (7) np1\_r1\_C~np05\_r1\_C: np1\_r1~np05\_r1 において、漁獲量の誤差 ( $\epsilon_t$ ) を 0 に固定しないモデル。
- (8) S1~S2: 感度分析として、それぞれ M2 で  $n$  を Schaefer 型の 2、メタ解析 (Thorson 2012) での全魚種平均値である 1.19 に固定したモデル。

#### 4. 推定結果

##### (1) 推定値の妥当性の判断

検討したモデルの推定の妥当性について、プロダクションモデルガイドライン (資源評価高度化作業部会 2026) を参考に以下の観点から検討した。

- 1) モデルが収束してパラメータが適切に推定されているか。
- 2) パラメータの推定が不安定ではないか。例えば、信頼区間が非常に大きな値まで発散していないか (推定値の上 5% 信頼区間は下 5% 信頼区間の 10 倍程度に収まるのが望ましいとされている)。

パラメータの推定値と信頼区間を表 2 に示した。全 15 モデルで収束した。M0、M2、np1\_r1、np1\_r05 の計 4 モデルでは、一部パラメータ推定値の上 5% 信頼区間が下 5% 信頼区間の 20 倍を超えた。また、マダラ北海道太平洋の余剰生産モデルの解析結果 (濱邊ほか 2025b) を参考にすると、M1、M4、M5、np1\_r1\_C、np1\_r05\_C の計 5 モデルは  $n$  の信頼区間の上限は現実的でない高い値 ( $>7$ ) と判断された。M3、M6、np05\_r1、np05\_r1\_C、S1、S2 の計 6 モデルでは上記のような問題は確認されなかった。

以上から M3、M6、np05\_r1、np05\_r1\_C、S1、S2 の計 6 モデル以外では安定したパラメータが得られなかったと判断し、モデル診断の対象から除外した。

##### (2) モデル診断

M3、M6、np05\_r1、np05\_r1\_C、S1、S2 の計 6 モデルについて、以下に着目してモデル診断を行った。

### 尤度プロファイル

内的自然増加率  $r$  の最終的な推定値が、FishLife の予測値や尤度プロファイルの結果に対して乖離していないか確認した（図 1）。全体として負の対数尤度が低くなった  $r$  の範囲は 0.1～0.2 であったが、この範囲において  $n$  の変化に対する負の対数尤度の違いは少なかったことから、現在のデータセットから  $n$  を推定する情報は限られており、 $n$  の事前分布に異なる仮定を置いて検討する方法は妥当と考えられた。最終的な  $r$  の推定値は 0.13～0.38 であり（表 2）、FishLife の予測値（0.63）や ASEM の結果（1.19）より低く、 $r$  の推定値には事前情報よりもデータの影響が強いことが示されている。

### レトロスペクティブ解析

推定された資源量の過大推定や過小推定の傾向の有無を把握するため、5 年分までのデータを 1 年ずつ取り除き推定結果を比較した（図 2）。比較には Mohn's  $p$ （Mohn 1999）を用いた。B/Bmsy および F/Fmsy に関する Mohn's  $p$  の値は、いずれも許容範囲の目安である -0.22～0.3 の範囲に収まった（Hurtado-Ferro et al., 2015）。なお近年顕著な減少傾向を示した卵密度の観測誤差  $sdi1$  には、経年的な変化が見られた。

### ハインドキャスト交差検証

予測精度の評価を行うため、ハインドキャスト交差検証を行った（図 3）。レトロスペクティブ解析では B/Bmsy および F/Fmsy の推定値同士を比較したが、ハインドキャスト交差検証では資源量指数の観測値と予測値を比較することで、純粋な予測精度を評価した。評価指標には平均絶対スケール誤差（MASE: Mean Absolute Scaled Error）を用いた（Carvalho et al. 2021）。MASE>1 の場合、平均的な予測性能はランダムウォークより悪いとみなされ、0 に近いほど予測性能が良いことを示す。MASE が大きく 1 を超えるような場合には注意が必要である。

いずれのモデルで宮崎県および三重県の CPUE では MASE が 1 未満の値を示したものの、それ以外の 4 つの資源量指数では 1 以上を示した。特に卵密度と残存資源量  $D$  の MASE はいずれのモデルで 2 以上を示した。資源量指数間で動向が異なるため、全ての指数の MASE が 1 未満には収まらなかった。

### 資源量指数の当てはまりの残差分析

資源量指数の残差が正規分布の仮定に当てはまっているか、また顕著な自己相関パターンが認められるかを検討するため、残差分析を実施した（図 4）。いずれのモデルにおいて、残差は正規分布の仮定に概ね当てはまった。卵密度と愛媛県および高知県の CPUE では自己相関が確認され、注意が必要と考えられた。

### 資源変動の要因分析

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するため、要因分析を実施した（図 5）。いずれのモデルにおいても、余剰生産・漁獲・プロセス誤差のいずれかが極端に大きく、または小さく推定されることはなかった。ただし資源量が増加から減少傾向に転じた 2010 年代については、プロセス誤差が一時的に増加した。

### (3) 推定結果の解釈

#### 推定資源量の絶対値

資源量推定値の絶対値は信頼区間が広く、不確実性が非常に大きかった（図 2）。また、パラメータの安定性に大きな問題は無いと判断されたものの、宮崎県と三重県の標準化 CPUE を除き、ハインドキャスト交差検証で MASE が 1 以上の値を示した（図 3）。また D の  $q$  についても、平均値を 1 とした事前分布を与えたが、最終的な推定値は 0.13~0.16 を示した。以上から、資源量の絶対値を利用する 1C1 による評価は困難と考えられた。

#### 推定資源量の相対値

資源量の相対値の推移はモデル間ではほぼ一致しており（図 6）、頑健であることが示された。推定された漁獲圧の相対値の推移についても、モデル間ではほぼ一致した（図 7）。各モデルによる余剰生産曲線は図 8 に示した。

以上から、余剰生産モデルで推定された資源量の相対値を 2 系資源の資源量指標値として利用する 1C21 による評価が可能と判断した。資源量指標値としては、感度解析 S1・S2 を除いた M3、M6、np05\_r1、np05\_r1\_C の資源量相対値の平均値を用いた（図 9）。資源量指標値は 1979~1998 年にかけて 0.87 前後で変動し、その後減少して 2002 年に最低値となる 0.62 を示した。2003 年以降は増加し、2015 年に最高値となる 1.64 を示した。2016 年以降は減少傾向が継続しており、2025 年における相対値は 0.86 となった。

M3、M6、np05\_r1、np05\_r1\_C における漁獲圧相対値の平均値は 1979 年以降低下し、1987 年に最低値 0.37 を示した。その後は増加傾向に転じ、1997 年に 1.33 を示した。その後は増減を繰り返しながら 1.2 前後で推移し、2025 年の相対値は 1.25 となった。

本検討において資源量の相対値の頑健性は確認されたものの、パラメータの頑健性や絶対資源量の妥当性について、データや資源の特性、モデルの不確実性などの観点から引き続き注視する必要があると考えられた。

#### 神戸プロット

直近年（2025 年）の資源量と MSY を実現する資源量との比 ( $B/B_{msy}$ ) は、信頼区間が広く、現在の資源水準が  $B_{msy}$  を高い確率で上回っているとはいえなかった（図 10）。また、直近年の漁獲圧と MSY を実現する漁獲圧との比 ( $F/F_{msy}$ ) についても、平均値は 1 付近で信頼区間が広く、現在の漁獲圧が  $F_{msy}$  を高い確率で下回っているとは言えなかった。信頼区間が広くまた複数の事象に跨っていることから、資源評価に神戸プロットを利用する 1C22 による評価は困難と考えられた。

### 5. その他

資源解析には SPiCT の R パッケージ spict (ver.1.3.9, <https://github.com/DTUAqua/spict/tree/master/spict>) を使用した。モデルの更なる詳細情報については Pedersen and Berg (2017) を参照された。作図には独自に開発した R コードを用いた。

## 6. 引用文献

- Carvalho, F., Winker, H., Courtney, D., Kapur, M., Kell, L., Cardinale, M., Schirripa, M., Kitakado, T., Yemane, D., Piner, R, K., Maunder, N. M., Taylor, I., Wetzel, R. C., Doering, K., Honson, F. K. (2021) A cookbook for using model diagnostics in integrated stock assessments. *Fisheries Research* 240. 105959. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2021.105959>
- Fletcher, R. (1978) On the restructuring of the Pella-Tomlinson system. *Fishery Bulletin*, **76**, 515–521.
- 濱邊昂平・千葉 悟・佐藤隆太・森田晶子・境 磨・市野川桃子 (2025a) 令和 7 (2025) 年度マガレイ道北系群の資源評価. FRA-SA2025-SC14-03
- 濱邊昂平・境 磨・千村昌之・千葉 悟・伊藤正木 (2025b) 令和 7 (2025) 年度マダラ北海道太平洋の状態空間余剰生産モデルによる資源解析に関する資料. FRA-SA2025-SC01-702
- 日野晴彦・安田十也・渡井幹雄・井元順一・木下順二・木皿祐雅・河野悌昌・高橋正知 (2024) 令和 6 (2024) 年度ウルメイワシ太平洋系群の資源評価. FRA-SA2024-SC09-04
- 日野晴彦・安田十也・渡井幹雄・木下順二・木皿祐雅・塚田秋葉・河野悌昌・高橋正知 (2025) 令和 7 (2025) 年度ウルメイワシ太平洋系群の資源評価. FRA-SA2025-SC09-02
- 日野晴彦・安田十也・渡井幹雄・木下順二・木皿祐雅・塚田秋葉・河野悌昌・高橋正知 (2026a) 令和 8 (2026) 年度ウルメイワシ太平洋系群の資源評価 平均卵密度の CPUE 標準化・モデル診断結果. FRA-SA2026-SC08-0402
- 日野晴彦・安田十也・渡井幹雄・木下順二・木皿祐雅・塚田秋葉・河野悌昌・高橋正知 (2026b) 令和 8 (2026) 年度ウルメイワシ太平洋系群の資源評価 宮崎県中・小型まき網漁業の CPUE 標準化・モデル診断結果. FRA-SA2026-SC08-0403
- 日野晴彦・安田十也・渡井幹雄・木下順二・木皿祐雅・塚田秋葉・河野悌昌・高橋正知 (2026c) 令和 8 (2026) 年度ウルメイワシ太平洋系群の資源評価 愛媛県中・小型まき網漁業の CPUE 標準化・モデル診断結果. FRA-SA2026-SC08-0404
- 日野晴彦・安田十也・渡井幹雄・木下順二・木皿祐雅・塚田秋葉・河野悌昌・高橋正知 (2026d) 令和 8 (2026) 年度ウルメイワシ太平洋系群の資源評価 高知県宿毛湾における中型まき網漁業の CPUE 標準化・モデル診断結果. FRA-SA2026-SC08-0405
- 日野晴彦・安田十也・渡井幹雄・木下順二・木皿祐雅・塚田秋葉・河野悌昌・高橋正知 (2026e) 令和 8 (2026) 年度ウルメイワシ太平洋系群の資源評価 三重県中型まき網漁業の CPUE 標準化・モデル診断結果. FRA-SA2026-SC08-0406
- Hurtado-Ferro, F., Szuwalski, C. S., Valero, J. L., Anderson, S. C., Cunningham, C. J., Johnson, K. F., Licandeo, R. (2015). Looking in the rear-view mirror: bias and retrospective patterns in integrated, age-structured stock assessment models. *ICES Journal of Marine Science*, **72**: 99–110
- 菅野隼人・千葉 悟・佐藤隆太・森田晶子・濱邊昂平・境 磨・市野川桃子 (2025) 令和 7 (2025) 年度ソウハチ道北系群の資源評価. FRA-SA2025-SC14-02
- Mohn, R. (1999) The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data. *ICES J. Mar. Sci.*, **56**, 473–488.
- Pedersen, M. W. and C. W. Berg (2017) A stochastic surplus production model in continuous time. *Fish and Fisheries*, **18**(2), 226–243. <https://doi.org/10.1111/faf.12174>

資源評価高度化作業部会（2026）令和 8（2026）年度状態空間プロダクションモデルの我が国資源への適用のためのガイドライン. FRA-SA2026-ABCWG02-07.

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. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 69, 1556-1568.

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(2)**, 237–251.  
<https://doi.org/10.1111/FAF.12427>

渡邊千夏子・安田十也・渡井幹雄・宇田川美穂・井元順一・木下順二 (2021) 令和 3 (2021) 年度ウルメイワシ太平洋系群の資源評価. FRA-SA2021-RC02-1

Winker, H. (2020). SPMpriors: SPMprior generation with FishLife. <https://github.com/Henning-Winker/SPMpriors>.

表 1. 各モデルにおける事前分布の設定

| モデル       | $n$   |       | $r$  |      | $D$ の $q$ |      | 説明                     |
|-----------|-------|-------|------|------|-----------|------|------------------------|
|           | 平均    | 標準偏差  | 平均   | 標準偏差 | 平均        | 標準偏差 |                        |
| M0        |       |       |      |      |           |      | 無情報（漁獲量の誤差のみ0に固定）      |
| M1        | 2.00  | 1.0   | 0.63 | 1.0  | 1.00      | 1.00 | n:Schaefer型、r:FishLife |
| M2        | 2.00  | 1.0   | 0.63 | 0.5  | 1.00      | 1.00 | M1のr標準偏差が0.5           |
| M3        | 2.00  | 0.5   | 0.63 | 1.0  | 1.00      | 1.00 | M1のn標準偏差が0.5           |
| M4        | 2.00  | 1.0   | 0.63 | 1.0  | 1.00      | 1.00 | M1で漁獲量の誤差を0に固定しない      |
| M5        | 2.00  | 1.0   | 0.63 | 0.5  | 1.00      | 1.00 | M2で漁獲量の誤差を0に固定しない      |
| M6        | 2.00  | 0.5   | 0.63 | 1.0  | 1.00      | 1.00 | M3で漁獲量の誤差を0に固定しない      |
| np1_r1    | ASEM  | 1.0   | ASEM | 1.0  | 1.00      | 1.00 | nとrにASEMの平均値を利用        |
| np1_r05   | ASEM  | 1.0   | ASEM | 0.5  | 1.00      | 1.00 | np1_r1でrの標準偏差が0.5      |
| np05_r1   | ASEM  | 0.5   | ASEM | 1.0  | 1.00      | 1.00 | np1_r1でnの標準偏差が0.5      |
| np1_r1_C  | ASEM  | 1.0   | ASEM | 1.0  | 1.00      | 1.00 | np1_r1で漁獲量の誤差を0に固定しない  |
| np1_r05_C | ASEM  | 1.0   | ASEM | 0.5  | 1.00      | 1.00 | np1_r05で漁獲量の誤差を0に固定しない |
| np05_r1_C | ASEM  | 0.5   | ASEM | 1.0  | 1.00      | 1.00 | np05_r1で漁獲量の誤差を0に固定しない |
| S1        | 2.00  | 0.001 | 0.63 | 0.5  | 1.00      | 1.00 | M2でnをSchaefer型に固定      |
| S2        | 1.19* | 0.001 | 0.12 | 0.5  | 1.00      | 1.00 | M2でnをメタ解析の全魚種平均値に固定    |

\*FishLife で参照される  $r$  は Schaefer 型を仮定した値になるため、SPiCT での事前情報として使用するにあたり

$r_{Pella-Thomlinson} = r_{Schaefer} \times (n - 1)$  として Pella-Thomlinson 型の値に変換した。

黄色は採用したモデルを表す。

表 2. 主要パラメータの推定値と 90%信頼区間

| モデル名            | M0        |           |           | M1        |           |           | M 2       |           |           | M 3       |           |           | M 4       |           |           | M 5       |           |           | M 6       |           |           | np1 r1    |           |           |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| パラメータ           | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      |
| r               | 0.16      | 0.05      | 0.51      | 0.29      | 0.12      | 0.72      | 0.43      | 0.20      | 0.92      | 0.29      | 0.13      | 0.64      | 0.32      | 0.08      | 1.21      | 0.50      | 0.23      | 1.10      | 0.24      | 0.10      | 0.55      | 0.31      | 0.13      | 0.72      |
| K               | 4.72.E+06 | 1.02.E+04 | 2.19.E+09 | 3.67.E+05 | 1.86.E+05 | 7.24.E+05 | 3.30.E+05 | 1.65.E+05 | 6.60.E+05 | 3.67.E+05 | 1.87.E+05 | 7.21.E+05 | 4.44.E+05 | 2.20.E+05 | 8.94.E+05 | 4.00.E+05 | 2.16.E+05 | 7.41.E+05 | 4.41.E+05 | 2.23.E+05 | 8.69.E+05 | 3.38.E+05 | 1.75.E+05 | 6.53.E+05 |
| n               | 0.18      | 0.00      | 1110.49   | 1.99      | 0.50      | 7.82      | 3.07      | 0.65      | 14.49     | 2.00      | 0.91      | 4.35      | 3.40      | 0.90      | 12.83     | 4.98      | 2.13      | 11.66     | 2.34      | 1.02      | 5.36      | 1.66      | 0.36      | 7.69      |
| $\sigma_B$      | 0.13      | 0.08      | 0.22      | 0.17      | 0.10      | 0.27      | 0.17      | 0.09      | 0.31      | 0.16      | 0.10      | 0.27      | 0.13      | 0.08      | 0.20      | 0.12      | 0.08      | 0.19      | 0.13      | 0.08      | 0.20      | 0.18      | 0.11      | 0.28      |
| $\sigma_F$      | 0.26      | 0.20      | 0.34      | 0.23      | 0.17      | 0.33      | 0.23      | 0.16      | 0.34      | 0.23      | 0.17      | 0.33      | 0.15      | 0.10      | 0.25      | 0.15      | 0.09      | 0.25      | 0.16      | 0.10      | 0.26      | 0.22      | 0.16      | 0.32      |
| ct              | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.15      | 0.10      | 0.24      | 0.16      | 0.10      | 0.24      | 0.15      | 0.10      | 0.24      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
| bkfrac          | 0.68      | 0.40      | 1.16      | 0.42      | 0.20      | 0.88      | 0.41      | 0.18      | 0.91      | 0.42      | 0.21      | 0.86      | 0.35      | 0.15      | 0.83      | 0.36      | 0.18      | 0.71      | 0.37      | 0.15      | 0.95      | 0.46      | 0.22      | 0.96      |
| BBmsy           | 8.76      | 0.01      | 6302.00   | 1.50      | 0.66      | 3.40      | 1.28      | 0.48      | 3.40      | 1.50      | 0.79      | 2.83      | 1.00      | 0.41      | 2.47      | 0.91      | 0.48      | 1.73      | 1.19      | 0.47      | 3.04      | 1.69      | 0.70      | 4.09      |
| FFmsy           | 0.01      | 0.00      | 260.85    | 0.66      | 0.16      | 2.66      | 0.83      | 0.19      | 3.73      | 0.66      | 0.22      | 2.02      | 1.24      | 0.55      | 2.80      | 1.34      | 0.77      | 2.32      | 1.03      | 0.34      | 3.17      | 0.53      | 0.10      | 2.74      |
| q-卵密度           | 2.10.E-07 | 0.00.E+00 | 1.18.E-04 | 4.19.E-06 | 1.77.E-06 | 9.95.E-06 | 4.77.E-06 | 2.13.E-06 | 1.07.E-05 | 4.19.E-06 | 1.77.E-06 | 9.93.E-06 | 4.28.E-06 | 1.84.E-06 | 9.96.E-06 | 4.69.E-06 | 2.18.E-06 | 1.01.E-05 | 4.09.E-06 | 1.68.E-06 | 9.95.E-06 | 4.27.E-06 | 1.76.E-06 | 1.04.E-05 |
| q-D             | 7.35.E-03 | 1.31.E-05 | 4.11.E+00 | 1.49.E-01 | 6.32.E-02 | 3.49.E-01 | 1.69.E-01 | 7.71.E-02 | 3.69.E-01 | 1.49.E-01 | 6.33.E-02 | 3.49.E-01 | 1.48.E-01 | 6.50.E-02 | 3.35.E-01 | 1.61.E-01 | 7.57.E-02 | 3.41.E-01 | 1.42.E-01 | 6.02.E-02 | 3.36.E-01 | 1.53.E-01 | 6.33.E-02 | 3.69.E-01 |
| q-愛媛            | 1.60.E-07 | 0.00.E+00 | 8.80.E-05 | 3.13.E-06 | 1.31.E-06 | 7.52.E-06 | 3.56.E-06 | 1.58.E-06 | 7.99.E-06 | 3.14.E-06 | 1.31.E-06 | 7.52.E-06 | 3.12.E-06 | 1.33.E-06 | 7.31.E-06 | 3.40.E-06 | 1.55.E-06 | 7.45.E-06 | 3.00.E-06 | 1.23.E-06 | 7.32.E-06 | 3.21.E-06 | 1.31.E-06 | 7.90.E-06 |
| q-宮崎            | 1.80.E-07 | 0.00.E+00 | 1.01.E-04 | 3.60.E-06 | 1.52.E-06 | 8.52.E-06 | 4.08.E-06 | 1.85.E-06 | 9.02.E-06 | 3.60.E-06 | 1.52.E-06 | 8.52.E-06 | 3.61.E-06 | 1.56.E-06 | 8.36.E-06 | 3.93.E-06 | 1.81.E-06 | 8.53.E-06 | 3.48.E-06 | 1.44.E-06 | 8.37.E-06 | 3.70.E-06 | 1.53.E-06 | 8.95.E-06 |
| q-高知            | 1.90.E-07 | 0.00.E+00 | 1.05.E-04 | 3.76.E-06 | 1.60.E-06 | 8.84.E-06 | 4.26.E-06 | 1.94.E-06 | 9.36.E-06 | 3.76.E-06 | 1.60.E-06 | 8.84.E-06 | 3.76.E-06 | 1.63.E-06 | 8.65.E-06 | 4.10.E-06 | 1.91.E-06 | 8.81.E-06 | 3.62.E-06 | 1.51.E-06 | 8.66.E-06 | 3.86.E-06 | 1.60.E-06 | 9.30.E-06 |
| q-三重            | 1.70.E-07 | 0.00.E+00 | 9.41.E-05 | 3.28.E-06 | 1.36.E-06 | 7.94.E-06 | 3.70.E-06 | 1.61.E-06 | 8.48.E-06 | 3.28.E-06 | 1.36.E-06 | 7.93.E-06 | 3.41.E-06 | 1.40.E-06 | 8.34.E-06 | 3.74.E-06 | 1.64.E-06 | 8.53.E-06 | 3.27.E-06 | 1.30.E-06 | 8.24.E-06 | 3.35.E-06 | 1.36.E-06 | 8.26.E-06 |
| $\sigma_1$ -卵密度 | 0.38      | 0.30      | 0.48      | 0.39      | 0.30      | 0.51      | 0.39      | 0.30      | 0.52      | 0.39      | 0.30      | 0.51      | 0.38      | 0.29      | 0.49      | 0.38      | 0.29      | 0.49      | 0.38      | 0.30      | 0.49      | 0.39      | 0.30      | 0.51      |
| $\sigma_1$ -D   | 0.24      | 0.16      | 0.36      | 0.27      | 0.17      | 0.42      | 0.28      | 0.17      | 0.44      | 0.27      | 0.18      | 0.42      | 0.23      | 0.16      | 0.35      | 0.23      | 0.16      | 0.35      | 0.24      | 0.16      | 0.36      | 0.28      | 0.18      | 0.43      |
| $\sigma_1$ -愛媛  | 0.70      | 0.55      | 0.89      | 0.68      | 0.52      | 0.89      | 0.68      | 0.52      | 0.89      | 0.68      | 0.52      | 0.89      | 0.72      | 0.56      | 0.92      | 0.72      | 0.56      | 0.92      | 0.71      | 0.55      | 0.92      | 0.68      | 0.52      | 0.88      |
| $\sigma_1$ -宮崎  | 0.46      | 0.35      | 0.60      | 0.44      | 0.34      | 0.59      | 0.44      | 0.33      | 0.59      | 0.44      | 0.34      | 0.59      | 0.47      | 0.36      | 0.61      | 0.47      | 0.36      | 0.61      | 0.47      | 0.36      | 0.61      | 0.44      | 0.33      | 0.58      |
| $\sigma_1$ -高知  | 0.32      | 0.23      | 0.45      | 0.30      | 0.20      | 0.45      | 0.30      | 0.19      | 0.45      | 0.30      | 0.20      | 0.45      | 0.33      | 0.23      | 0.47      | 0.33      | 0.23      | 0.48      | 0.32      | 0.22      | 0.47      | 0.30      | 0.20      | 0.45      |
| $\sigma_1$ -三重  | 0.43      | 0.29      | 0.63      | 0.44      | 0.30      | 0.66      | 0.45      | 0.30      | 0.68      | 0.44      | 0.30      | 0.66      | 0.42      | 0.28      | 0.62      | 0.42      | 0.28      | 0.62      | 0.42      | 0.28      | 0.62      | 0.45      | 0.30      | 0.67      |

灰色は信頼区間が広いパラメータを表す（上 5%信頼区間が下 5%信頼区間の 20 倍以上）

赤字は n の信頼区間上限が 7 以上を示す。

表 2. (続き)

| モデル名            | np1_r05   |           |           | np05_r1   |           |           | np1_r1_C  |           |           | np1_r05_C |           |           | np05_r1_C |           |           | S1        |           |           | S2        |           |           |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| パラメータ           | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      | 推定値       | 下限5%      | 上限5%      |
| r               | 0.76      | 0.33      | 1.75      | 0.29      | 0.14      | 0.61      | 0.37      | 0.09      | 1.56      | 0.82      | 0.38      | 1.76      | 0.22      | 0.10      | 0.48      | 0.38      | 0.22      | 0.64      | 0.13      | 0.06      | 0.27      |
| K               | 3.16.E+05 | 1.64.E+05 | 6.08.E+05 | 3.38.E+05 | 1.75.E+05 | 6.54.E+05 | 4.08.E+05 | 2.09.E+05 | 7.97.E+05 | 3.41.E+05 | 1.91.E+05 | 6.10.E+05 | 4.01.E+05 | 2.13.E+05 | 7.56.E+05 | 3.11.E+05 | 1.68.E+05 | 5.76.E+05 | 5.34.E+05 | 2.61.E+05 | 1.09.E+06 |
| n               | 5.66      | 1.95      | 16.45     | 1.35      | 0.59      | 3.07      | 3.69      | 0.92      | 14.80     | 6.95      | 3.07      | 15.72     | 1.48      | 0.60      | 3.64      | 2.00      | 2.00      | 2.00      | 1.19      | 1.19      | 1.19      |
| $\sigma_B$      | 0.16      | 0.09      | 0.28      | 0.18      | 0.12      | 0.27      | 0.13      | 0.08      | 0.20      | 0.13      | 0.08      | 0.19      | 0.14      | 0.09      | 0.22      | 0.18      | 0.12      | 0.27      | 0.15      | 0.09      | 0.23      |
| $\sigma_F$      | 0.24      | 0.17      | 0.33      | 0.22      | 0.16      | 0.32      | 0.15      | 0.09      | 0.25      | 0.15      | 0.09      | 0.24      | 0.16      | 0.10      | 0.26      | 0.22      | 0.15      | 0.31      | 0.25      | 0.19      | 0.32      |
| ct              | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.15      | 0.10      | 0.24      | 0.16      | 0.11      | 0.24      | 0.14      | 0.09      | 0.24      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
| bkfrac          | 0.36      | 0.21      | 0.61      | 0.48      | 0.24      | 0.95      | 0.35      | 0.16      | 0.78      | 0.36      | 0.20      | 0.63      | 0.46      | 0.21      | 1.00      | 0.47      | 0.25      | 0.88      | 0.31      | 0.11      | 0.89      |
| BBmsy           | 0.97      | 0.54      | 1.74      | 1.88      | 1.02      | 3.47      | 0.98      | 0.40      | 2.38      | 0.86      | 0.53      | 1.39      | 1.68      | 0.76      | 3.69      | 1.60      | 1.07      | 2.40      | 1.38      | 0.55      | 3.48      |
| FFmsy           | 1.15      | 0.60      | 2.21      | 0.44      | 0.12      | 1.59      | 1.25      | 0.58      | 2.70      | 1.40      | 0.87      | 2.25      | 0.61      | 0.14      | 2.70      | 0.56      | 0.23      | 1.37      | 0.78      | 0.25      | 2.40      |
| q-卵密度           | 5.63.E-06 | 2.69.E-06 | 1.18.E-05 | 4.17.E-06 | 1.73.E-06 | 1.01.E-05 | 4.66.E-06 | 2.03.E-06 | 1.07.E-05 | 5.42.E-06 | 2.63.E-06 | 1.12.E-05 | 3.74.E-06 | 1.51.E-06 | 9.26.E-06 | 4.57.E-06 | 1.94.E-06 | 1.08.E-05 | 3.91.E-06 | 1.65.E-06 | 9.22.E-06 |
| q-D             | 1.94.E-01 | 9.28.E-02 | 4.07.E-01 | 1.49.E-01 | 6.20.E-02 | 3.59.E-01 | 1.60.E-01 | 7.17.E-02 | 3.58.E-01 | 1.84.E-01 | 9.08.E-02 | 3.74.E-01 | 1.32.E-01 | 5.44.E-02 | 3.22.E-01 | 1.64.E-01 | 7.07.E-02 | 3.82.E-01 | 1.36.E-01 | 5.82.E-02 | 3.20.E-01 |
| q-愛媛            | 4.12.E-06 | 1.93.E-06 | 8.79.E-06 | 3.14.E-06 | 1.28.E-06 | 7.70.E-06 | 3.39.E-06 | 1.47.E-06 | 7.83.E-06 | 3.91.E-06 | 1.87.E-06 | 8.19.E-06 | 2.78.E-06 | 1.11.E-06 | 6.96.E-06 | 3.45.E-06 | 1.45.E-06 | 8.20.E-06 | 2.90.E-06 | 1.21.E-06 | 6.94.E-06 |
| q-宮崎            | 4.72.E-06 | 2.24.E-06 | 9.93.E-06 | 3.62.E-06 | 1.50.E-06 | 8.73.E-06 | 3.92.E-06 | 1.72.E-06 | 8.96.E-06 | 4.52.E-06 | 2.18.E-06 | 9.37.E-06 | 3.23.E-06 | 1.31.E-06 | 7.96.E-06 | 3.97.E-06 | 1.70.E-06 | 9.29.E-06 | 3.32.E-06 | 1.40.E-06 | 7.87.E-06 |
| q-高知            | 4.93.E-06 | 2.36.E-06 | 1.03.E-05 | 3.77.E-06 | 1.57.E-06 | 9.07.E-06 | 4.09.E-06 | 1.80.E-06 | 9.26.E-06 | 4.71.E-06 | 2.29.E-06 | 9.68.E-06 | 3.36.E-06 | 1.37.E-06 | 8.24.E-06 | 4.15.E-06 | 1.78.E-06 | 9.65.E-06 | 3.47.E-06 | 1.47.E-06 | 8.16.E-06 |
| q-三重            | 4.33.E-06 | 1.99.E-06 | 9.39.E-06 | 3.28.E-06 | 1.33.E-06 | 8.06.E-06 | 3.71.E-06 | 1.54.E-06 | 8.95.E-06 | 4.31.E-06 | 1.98.E-06 | 9.38.E-06 | 3.02.E-06 | 1.19.E-06 | 7.67.E-06 | 3.58.E-06 | 1.50.E-06 | 8.55.E-06 | 3.07.E-06 | 1.26.E-06 | 7.50.E-06 |
| $\sigma_I$ -卵密度 | 0.39      | 0.28      | 0.53      | 0.39      | 0.30      | 0.51      | 0.38      | 0.29      | 0.50      | 0.38      | 0.29      | 0.50      | 0.38      | 0.30      | 0.49      | 0.39      | 0.30      | 0.51      | 0.38      | 0.29      | 0.50      |
| $\sigma_I$ -D   | 0.27      | 0.16      | 0.44      | 0.28      | 0.18      | 0.43      | 0.23      | 0.16      | 0.35      | 0.23      | 0.15      | 0.34      | 0.24      | 0.16      | 0.37      | 0.28      | 0.19      | 0.43      | 0.26      | 0.17      | 0.40      |
| $\sigma_I$ -愛媛  | 0.69      | 0.51      | 0.91      | 0.68      | 0.52      | 0.88      | 0.72      | 0.55      | 0.92      | 0.72      | 0.56      | 0.93      | 0.71      | 0.55      | 0.91      | 0.68      | 0.52      | 0.87      | 0.69      | 0.53      | 0.90      |
| $\sigma_I$ -宮崎  | 0.45      | 0.33      | 0.60      | 0.44      | 0.33      | 0.58      | 0.47      | 0.36      | 0.61      | 0.47      | 0.36      | 0.62      | 0.46      | 0.35      | 0.60      | 0.44      | 0.33      | 0.57      | 0.45      | 0.35      | 0.60      |
| $\sigma_I$ -高知  | 0.30      | 0.19      | 0.49      | 0.30      | 0.20      | 0.44      | 0.33      | 0.22      | 0.48      | 0.33      | 0.23      | 0.48      | 0.32      | 0.22      | 0.46      | 0.29      | 0.20      | 0.44      | 0.31      | 0.21      | 0.47      |
| $\sigma_I$ -三重  | 0.44      | 0.29      | 0.66      | 0.45      | 0.30      | 0.67      | 0.42      | 0.28      | 0.62      | 0.42      | 0.28      | 0.62      | 0.43      | 0.29      | 0.63      | 0.45      | 0.31      | 0.68      | 0.43      | 0.29      | 0.64      |

灰色は信頼区間が広いパラメータを表す（上 5%信頼区間が下 5%信頼区間の 20 倍以上）

赤字は n の信頼区間上限が 7 以上を示す。

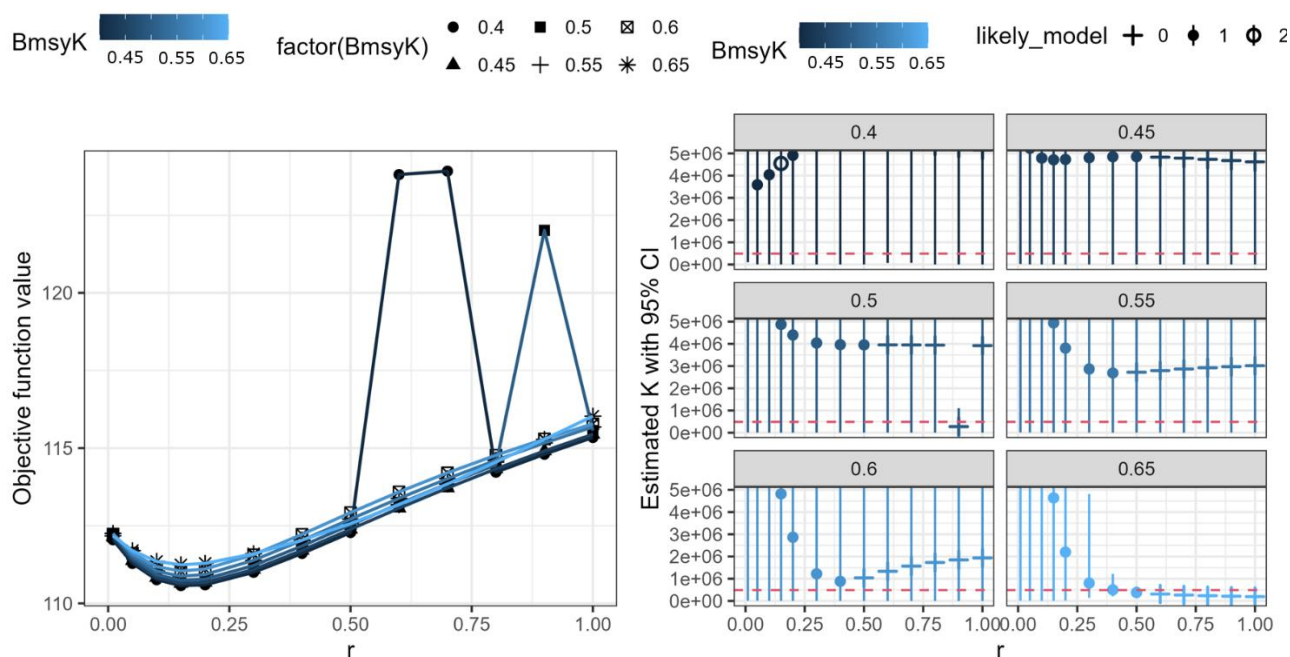
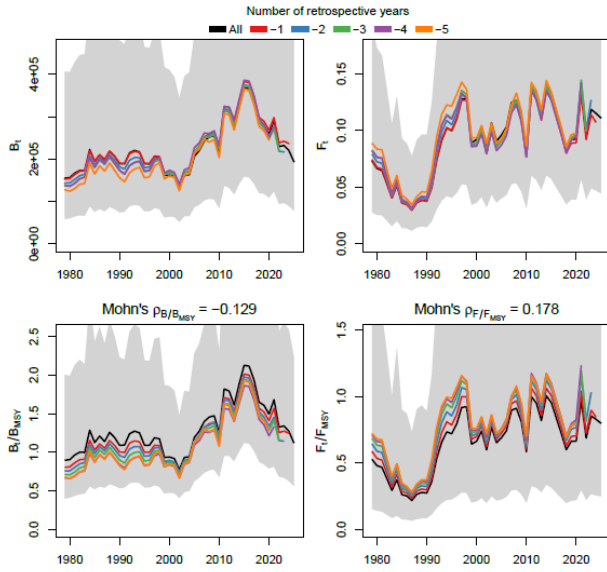


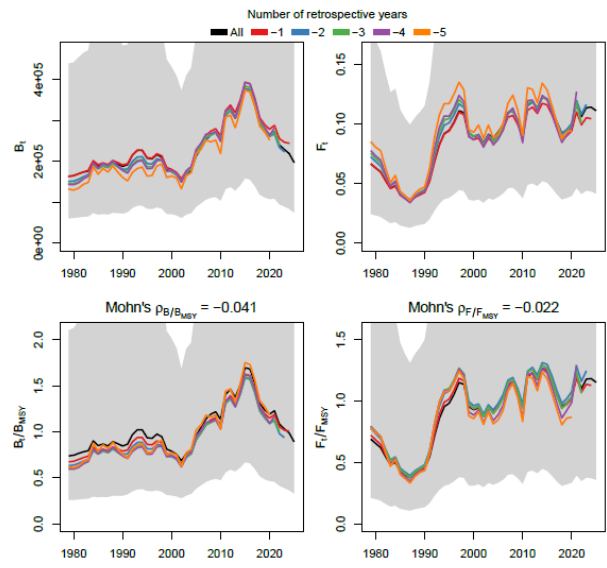
図 1. 内的自然増加率 $r$ の尤度プロファイル

縦軸は負の対数尤度、横軸は仮定した  $r$  の値、線のシンボルと色は仮定した  $Bmsy/K$  を表す。 $Bmsy/K$  が 0.40、0.45、0.50、0.55、0.60、0.65 の場合、形状パラメータ  $n$  はそれぞれ、1.19、1.54、2.00、2.60、3.39、4.48 となる。右図の横軸は  $r$ 、縦軸は環境収容力の  $K$  (と 95%信頼区間)、パネルの違いは仮定した  $Bmsy/K$ 。右図のシンボルは、最小の負の対数尤度を得られたモデル (白丸)、最小尤度との差が 2 以下のモデル (黒丸)、それ以外。

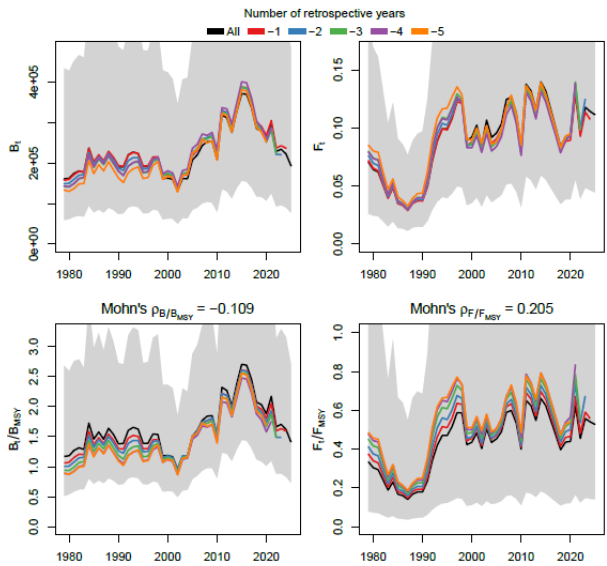
M3



M6



np05\_r1



np05\_r1\_C

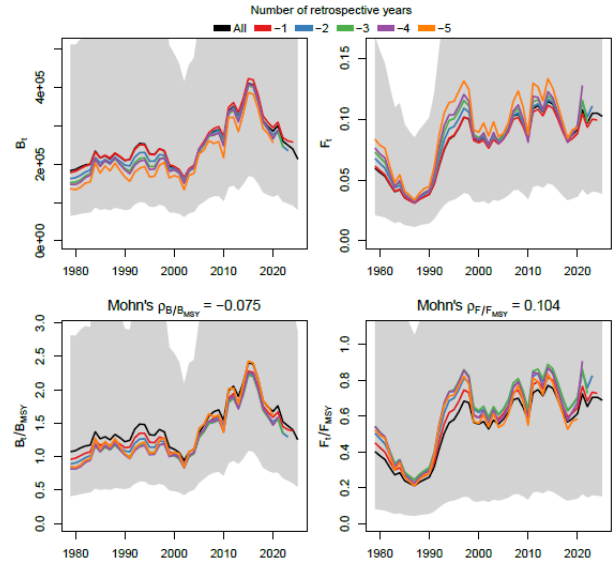
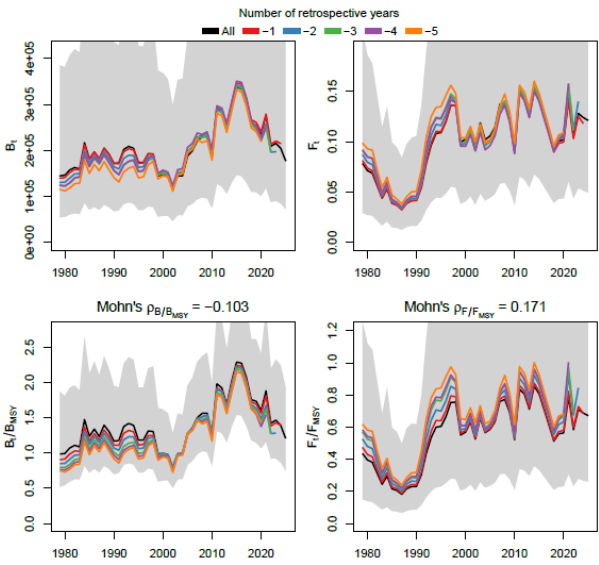


図2. M3、M6、np05\_r1、np05\_r1\_C、S1、S2 のレトロスペクティブ解析の結果

それぞれ資源量の絶対値（左上）、漁獲係数（右上）、資源量の相対値（左下）、漁獲係数の相対値（右下）を表す。相対値については Mohn's  $\rho$  が併記されている。

S1



S2

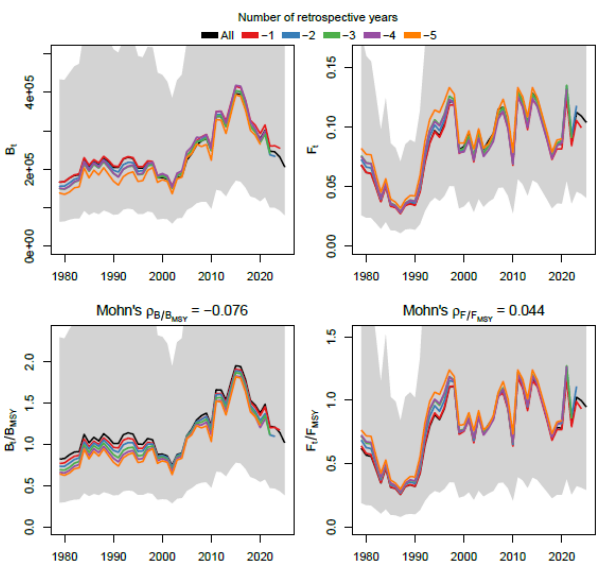
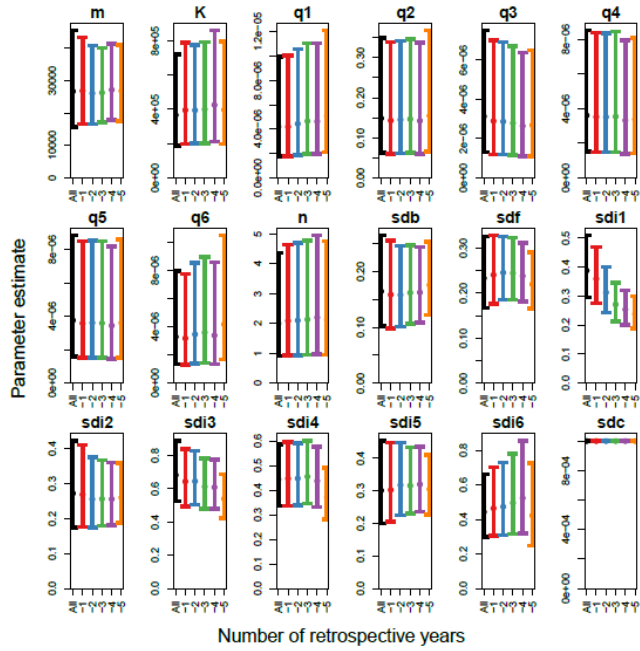
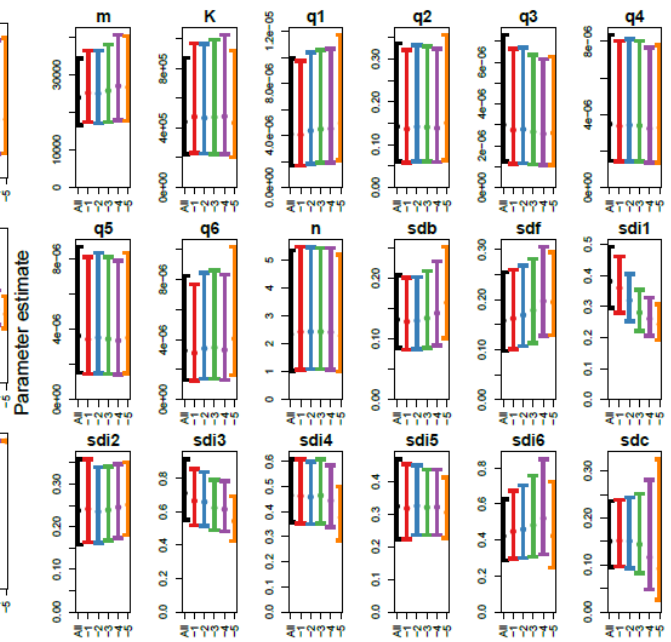


図 2. (続き)

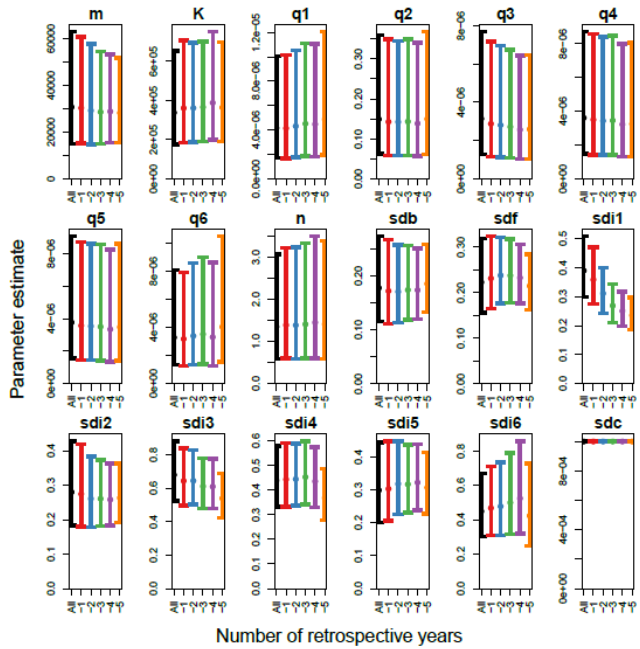
M3



M6



np05\_r1



np05\_r1\_C

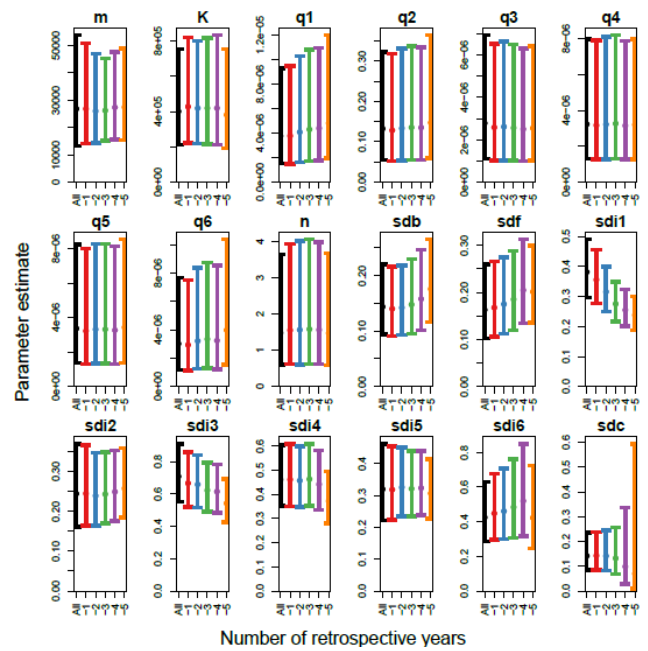
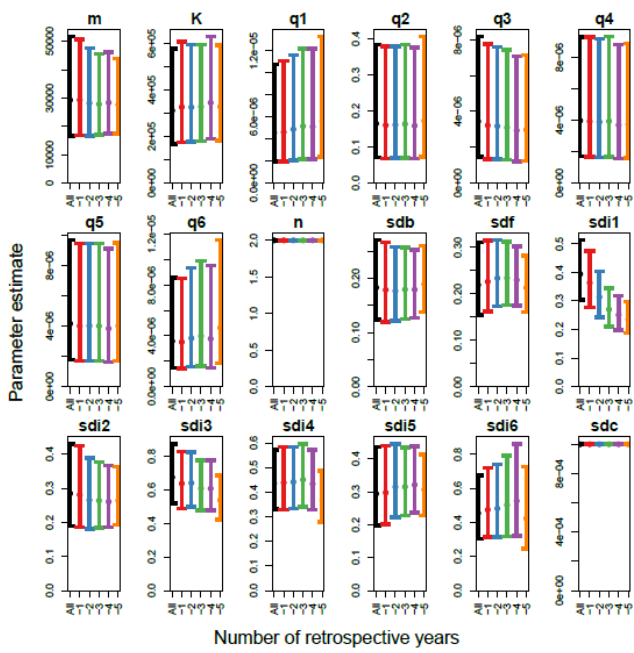


図 2. (続き)

S1



S2

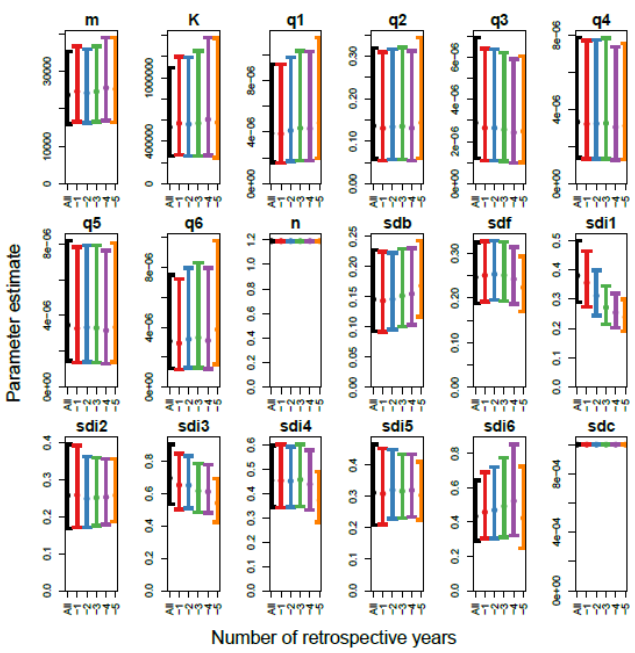
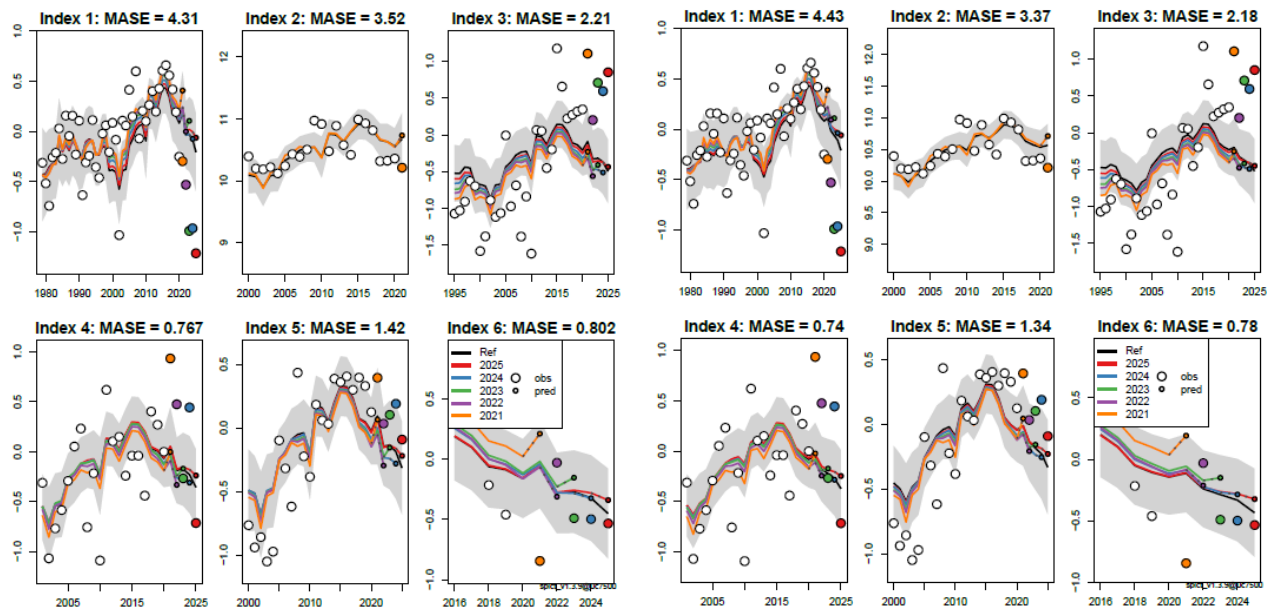


図 2. (続き)

M3

M6



np05\_r1

np05\_r1\_C

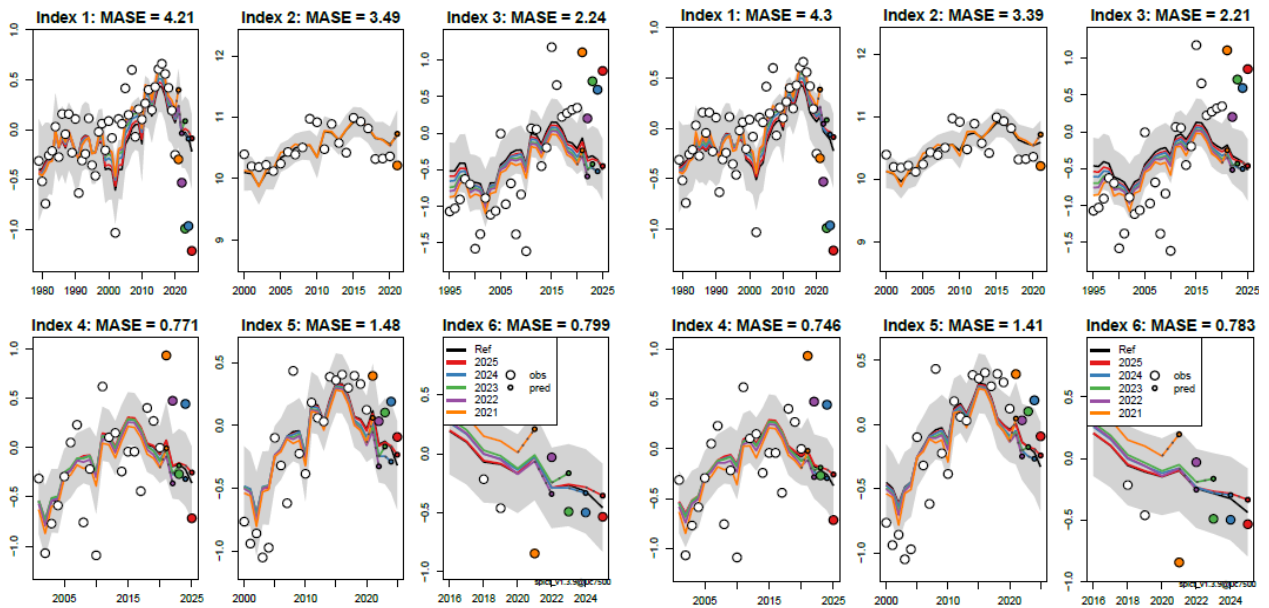
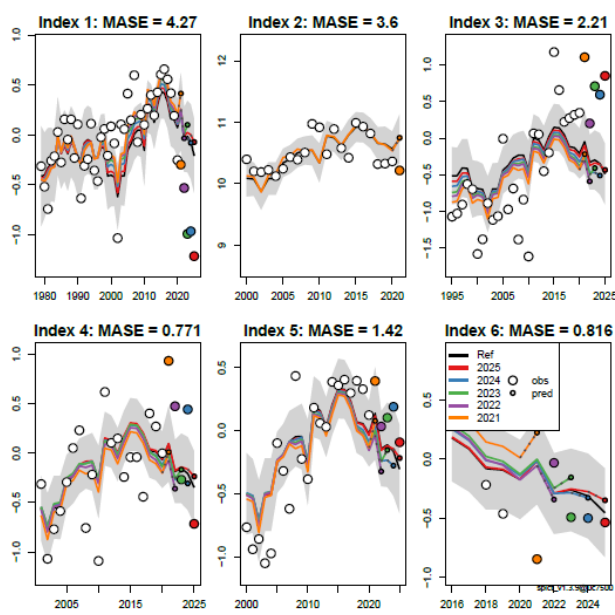


図 3. M3、M6、np05\_r1、np05\_r1\_C、S1、S2 ハイインドキャスト交差検証の結果  
大きい丸印が観察された資源量指数、小さい丸印が 1 ステップ前のデータまでを用いて予測された資源量指数を表す。色の違いは遡るタイムステップの違いを表す。Index1～6 がそれぞれ卵密度、残存資源量 D、愛媛県・宮崎県・高知県・三重県における標準化 CPUE を表す。

S1



S2

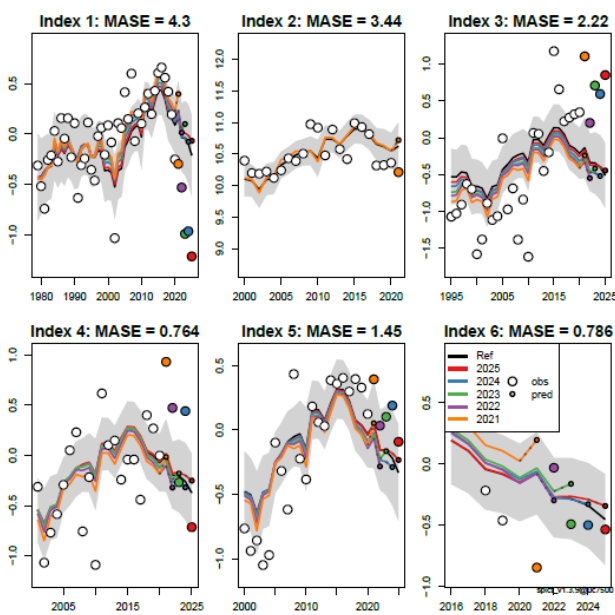
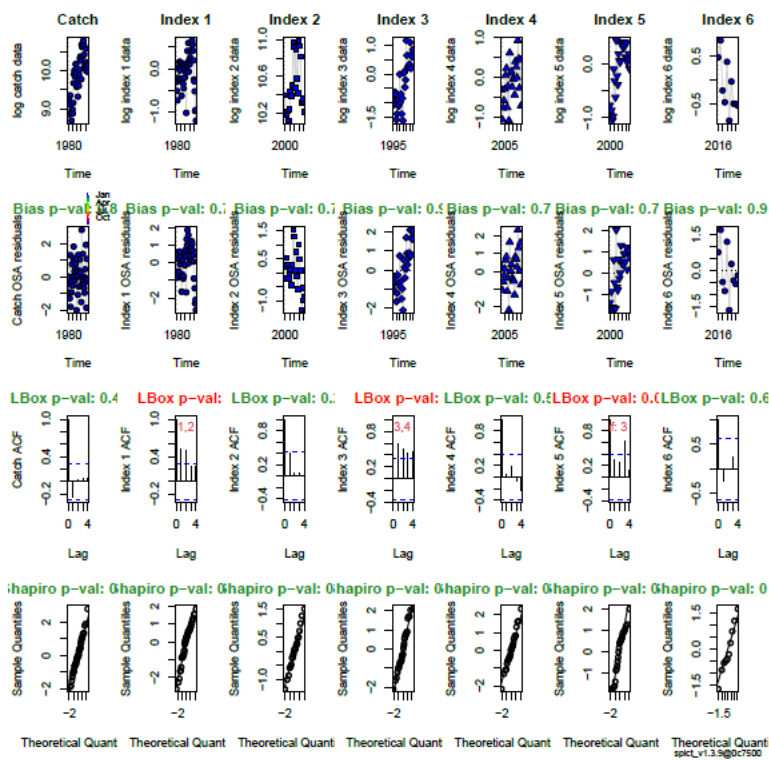


図 3. (続き)

M3



M6

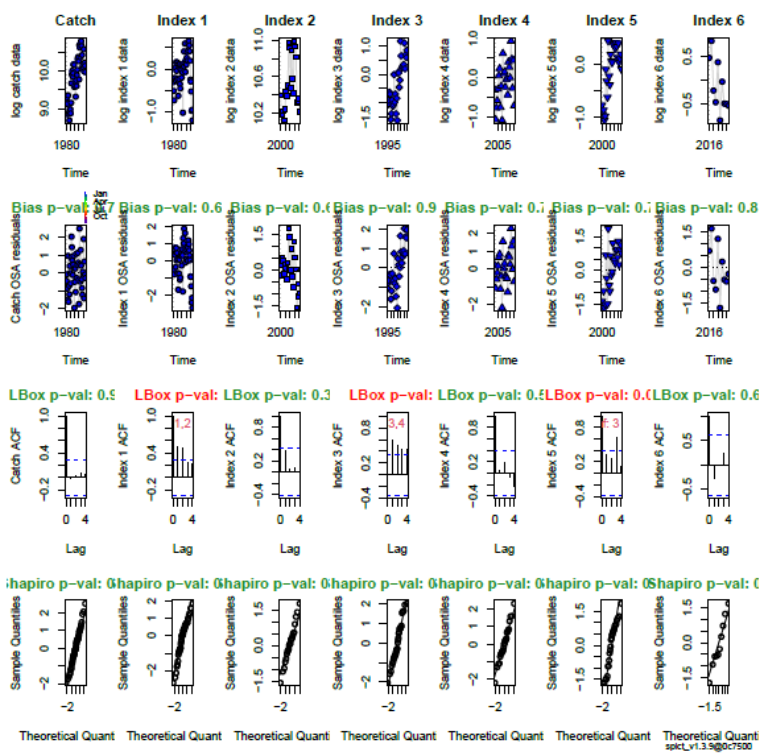
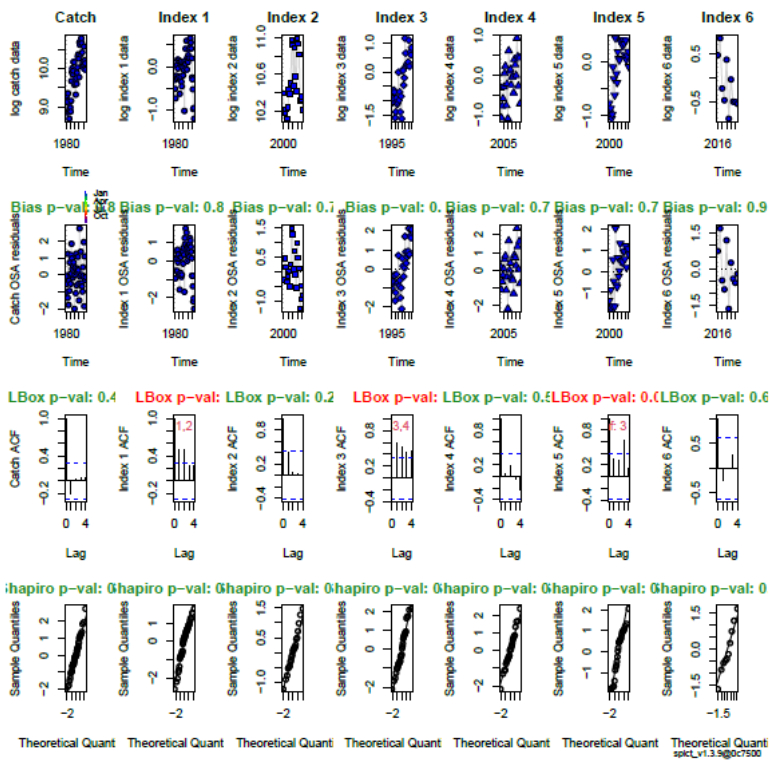


図 4. M3、M6、np05\_r1、np05\_r1\_C、S1、S2 の資源量指数の残差分析結果  
Catch が漁獲量、Index1～6 がそれぞれ卵密度、残存資源量 D、愛媛県・宮崎県・高知県・三重県における標準化 CPUE を表す。

np05\_r1



np05\_r1\_C

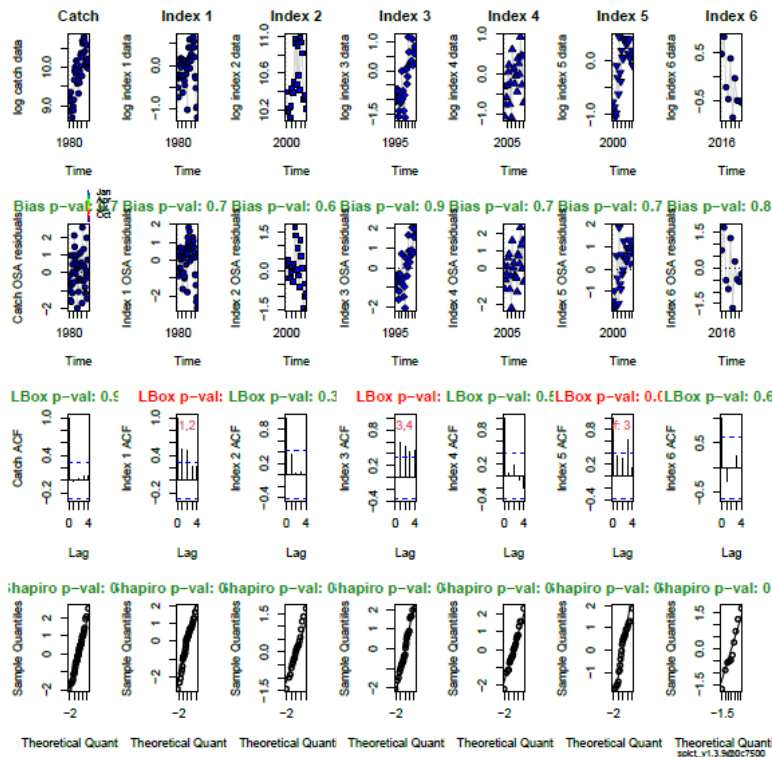
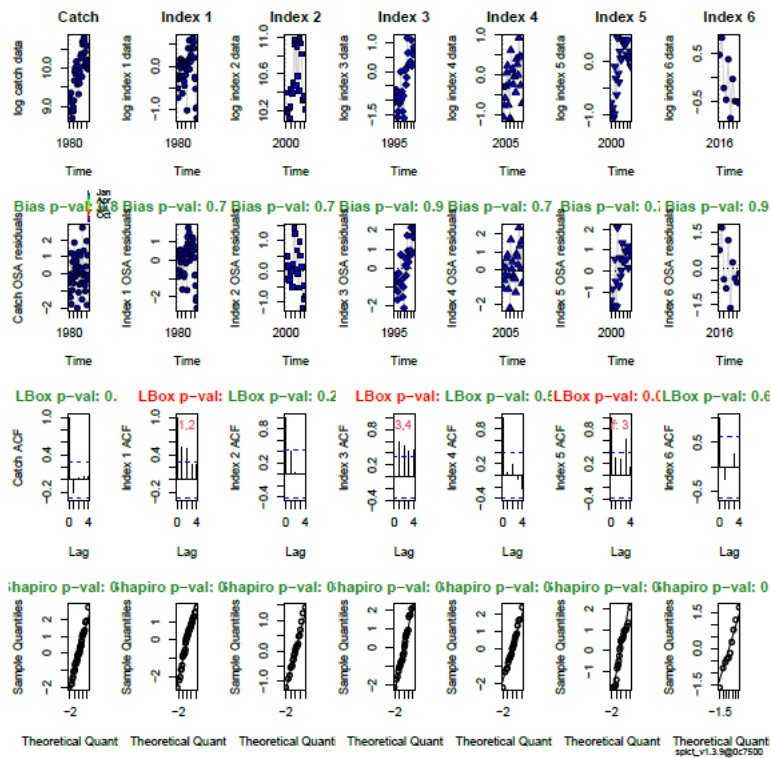


図 4. (続き)

S1



S2

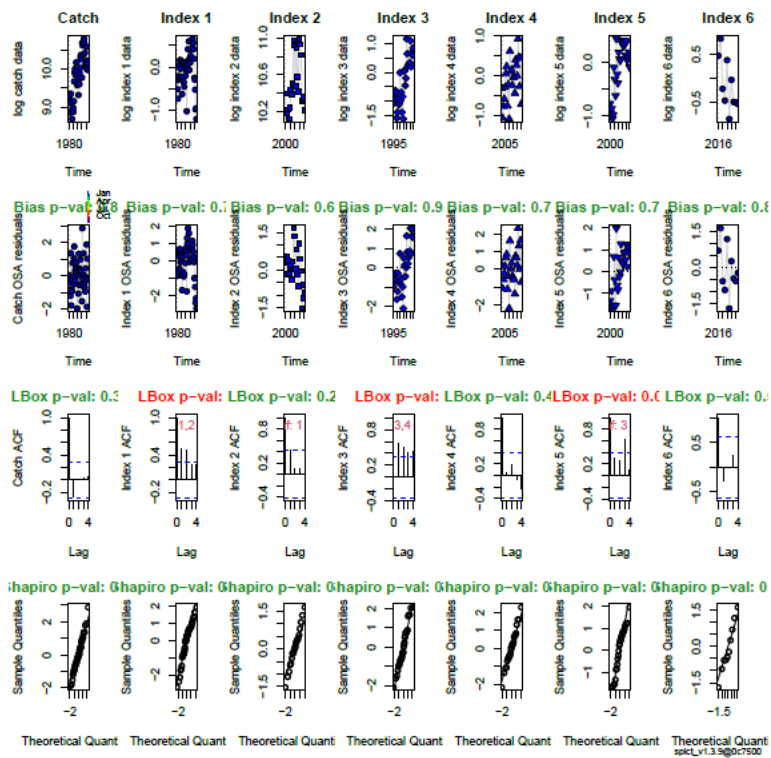
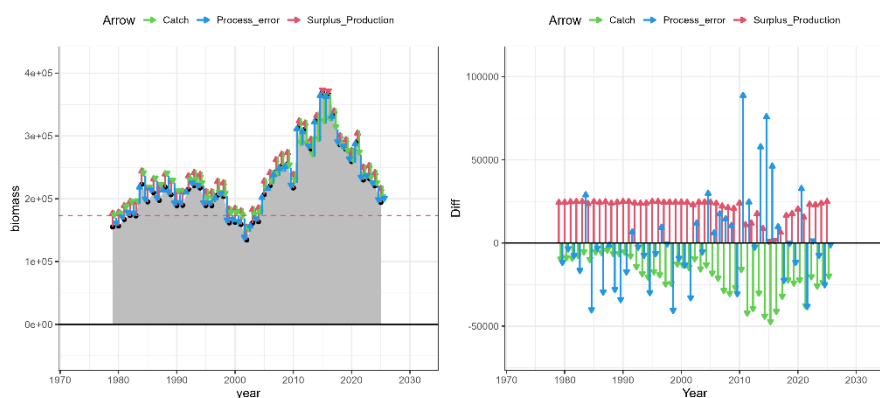
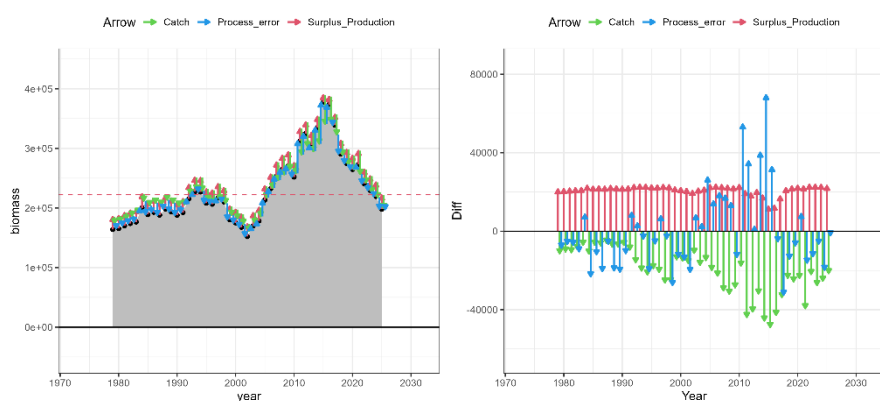


図 4. (続き)

M3



M6



np05\_r1

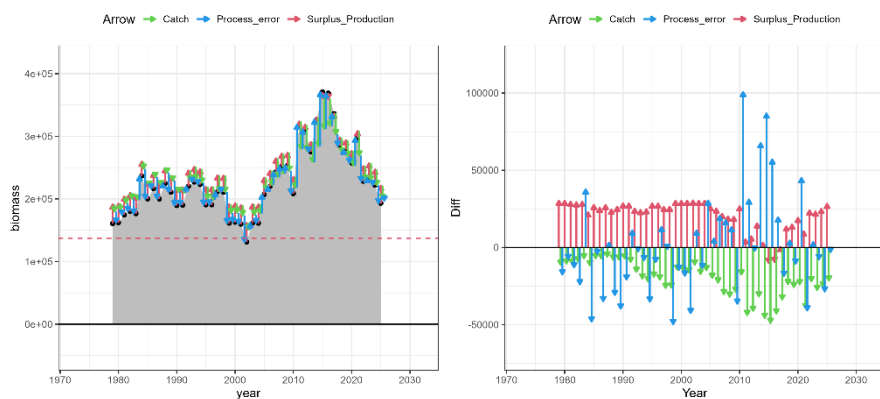
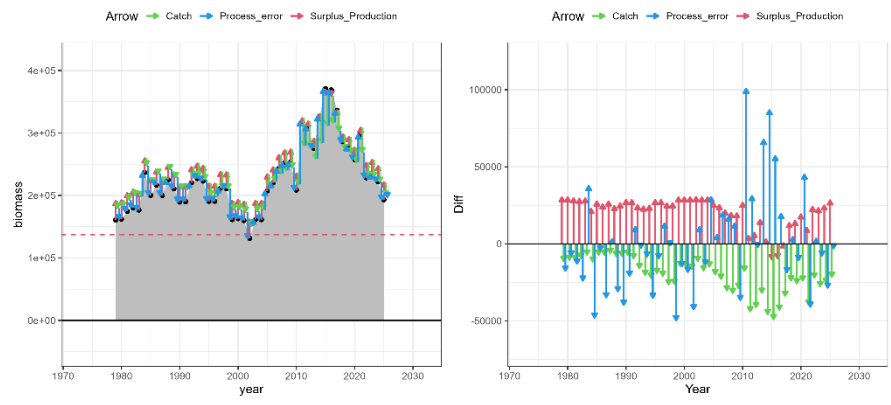
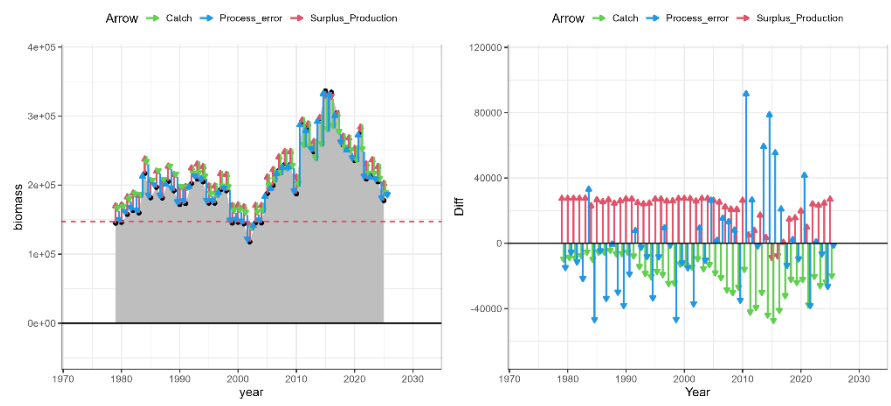


図 5. M3、M6、np05\_r1、np05\_r1\_C、S1、S2 で推定された資源変動の要因分析プロット  
 左図の灰色は資源量の推定値を示し、赤、緑、青の矢印がそれぞれ資源量の変動に対する余剰生産、漁獲、プロセス誤差の影響の大きさを示す。右図は基準を 0 とした場合の余剰生産、漁獲、プロセス誤差の影響の大きさを示す。

np05\_r1\_C



S1



S2

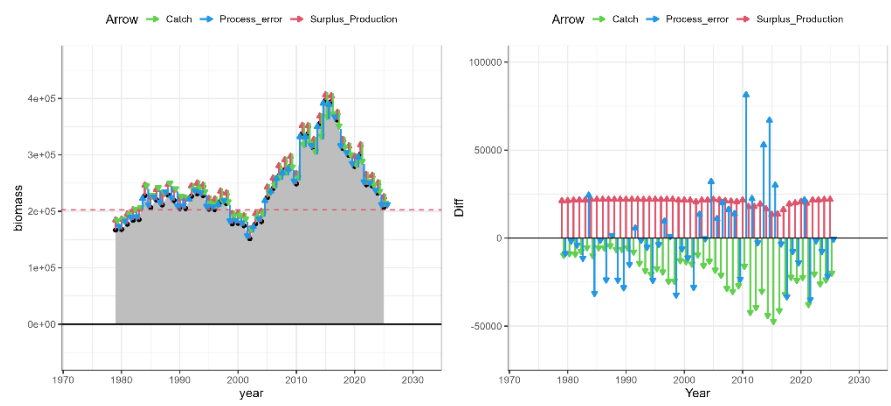


図 5. (続き)

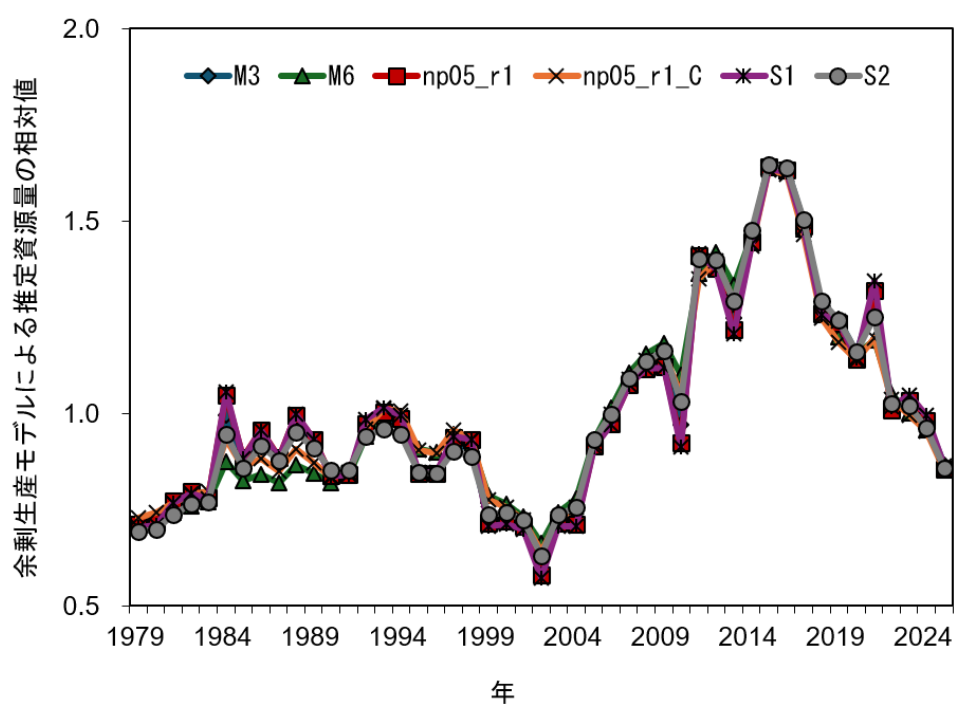


図 6. 各モデルにおいて推定された資源量の相対値  
平均値で割り規格化した。

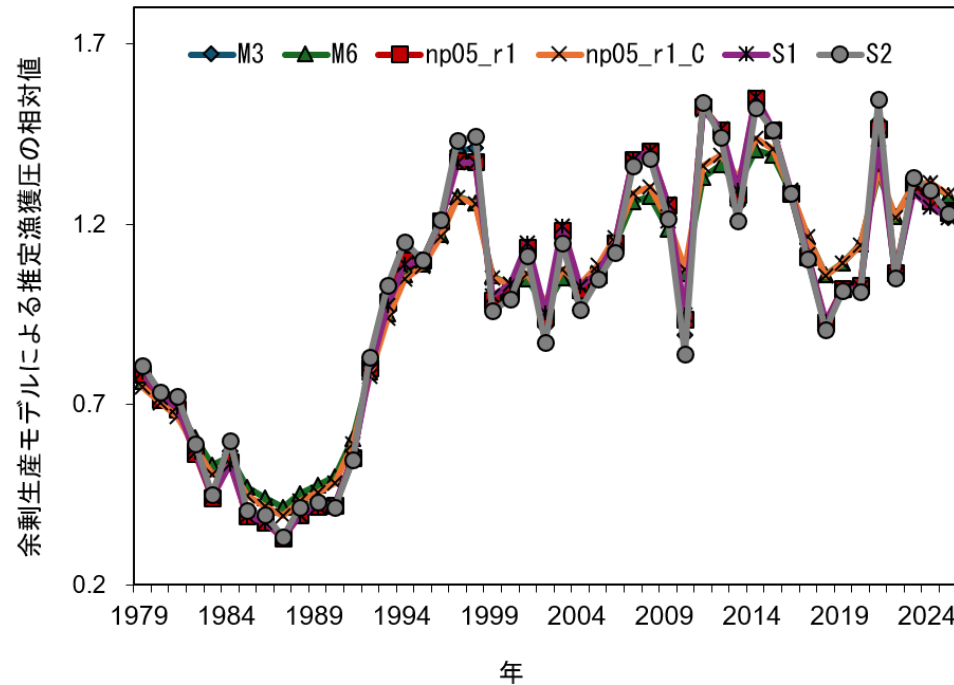


図 7. 各モデルにおいて推定された漁獲圧の相対値  
平均値で割り規格化した。

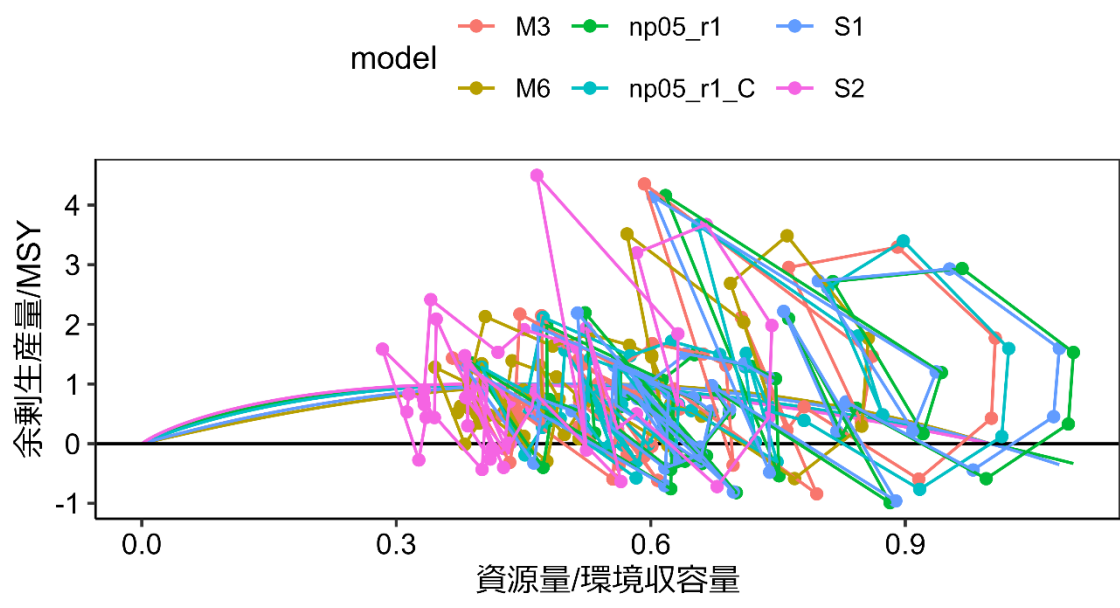


図 8. 余剰生産曲線

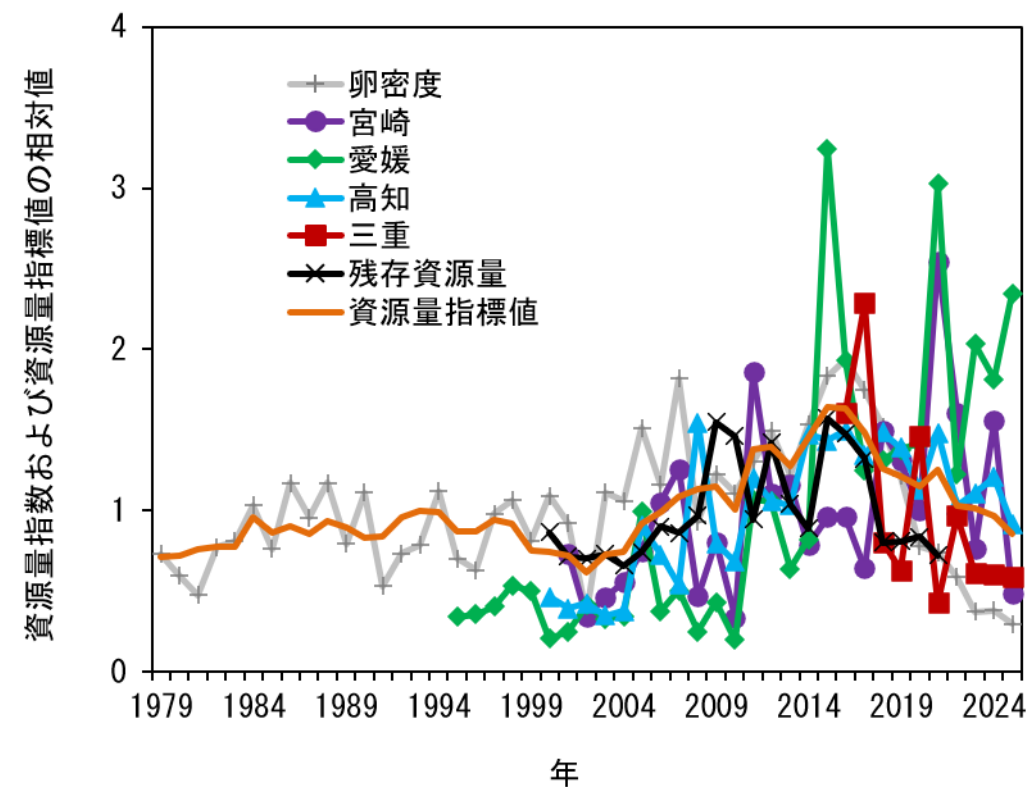


図 9. 資源量指数および資源量指標値の相対値の推移

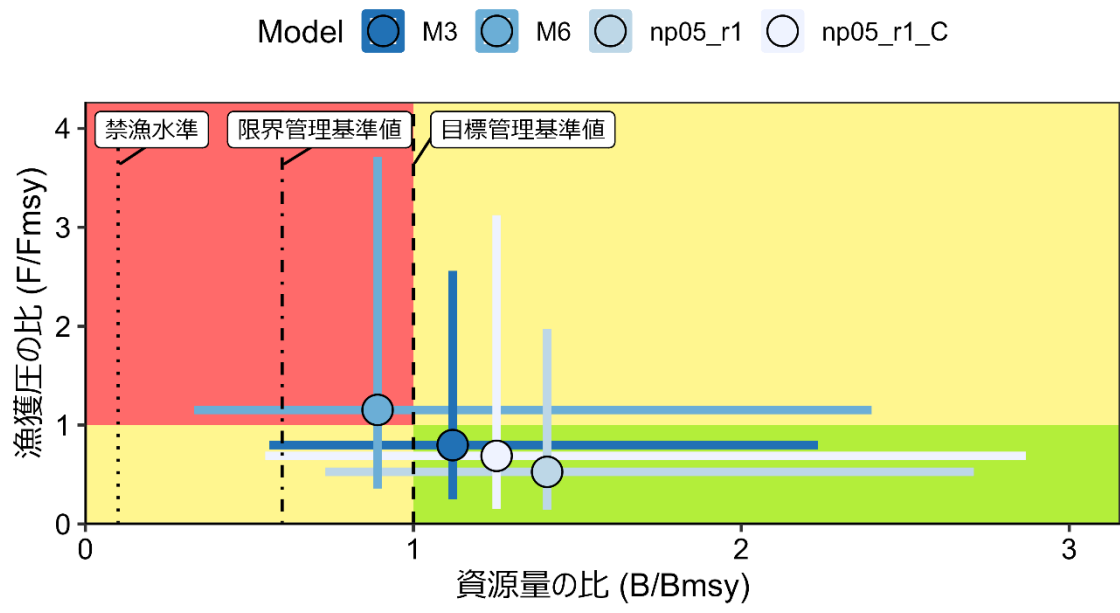


図 10. 各モデルにおいて推定された直近年の神戸プロット  
丸印は直近年（2025 年）の資源状態を示し、エラーバーの範囲が 90%信頼区間を示す。