

# TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

資源管理方策評価法(MSE)を用いた海洋保護区(MPA)の効果検証

|       |   |
|-------|---|
| メタデータ | 言語: jpn<br>出版者:<br>公開日: 2018-04-09<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者: 周, 金鑫<br>メールアドレス:<br>所属: |
| URL   | <a href="https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1537">https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1537</a> |

修士学位論文

資源管理方策評価法(MSE)を用いた  
海洋保護区(MPA)の効果検証

平成 29 年度  
(2017 年 9 月)

東京海洋大学大学院  
海洋科学技術研究科  
海洋管理政策学専攻

周 金鑫

# 目次

|     |                       |    |
|-----|-----------------------|----|
| 第1章 | 緒論                    | 1  |
| 1.1 | 背景と目的                 | 1  |
| 1.2 | 海洋保護区(MPA)の概念と説明      | 3  |
| 1.3 | 資源管理方策評価法(MSE)の概念と説明  | 4  |
| 第2章 | 方法                    | 7  |
| 2.1 | 想定研究対象種               | 7  |
| 2.2 | 想定研究海域                | 7  |
| 2.3 | オペレーティングモデルの構築        | 8  |
| 2.4 | シナリオの設定               | 14 |
| 2.5 | 管理方法の設定               | 16 |
| 2.6 | シミュレーションの流れ           | 21 |
| 2.7 | 効果評価                  | 21 |
| 第3章 | 結果                    | 23 |
| 3.1 | 評価結果の展示               | 23 |
| 3.2 | 総当たり                  | 26 |
| 3.3 | まとめ                   | 30 |
| 第4章 | 考察                    | 32 |
| 4.1 | レーダープロット              | 32 |
| 4.2 | 結果                    | 33 |
| 4.3 | まとめ                   | 39 |
| 4.4 | 本研究結論                 | 39 |
| 4.5 | 今後の課題                 | 39 |
|     | 謝辞                    | 41 |
|     | 参考文献                  | 42 |
| 付録1 | MSY レベルの計算方法          | 45 |
| 付録2 | 各シナリオ結果の一部(シナリオ 1-20) | 47 |
| 付録3 | 統計解析ソフト R によるプログラムソース | 87 |

## 第1章 緒論

### 1.1 背景と目的

海洋保護区 (Marine Protected Area, 以下 MPA) は指定された海域で漁獲を禁止・制限する管理方法である。この方法は、卵稚子を保護することを目的とした閉鎖禁漁海域の考えから発展してきたといえる。一例としては、1978 年に西太平洋で数個の産卵域を漁船の出入り禁止にする伝統的な海洋管理方法が実行されたケースが挙げられる (Johannes, 1978)。その後、閉鎖禁漁海域を漁業管理の一つとする認識が一般に広がり、その対象範囲も拡大していった (Mcclenachan *et al.* 2013)。しかし、その時期の閉鎖禁漁海域は、特定の魚種、或いは漁獲圧の高い漁具に限って実行されていた。

現在、地球温暖化や海水の酸性化などの環境悪化が進み、ミレニアム生態系評価により現在の絶滅スピードは過去の 1 000 倍以上になっていると示唆され、生物は過去の大量絶滅の半分に及ぶ程度の絶滅危惧に直面している (佐藤 *et al.*, 2004; IUCN レッドリスト 2009 年版)。一方で、世界中での人口の増加とともに、水産資源は食料獲得競争の中で徐々に重視されてきており、世界の食用水産物消費量は 1970 年から 2003 年で 2.5 倍と高騰している (FAO 「Food balance sheets」; 農林水産省 「食料需給表」)。

そこで、MPA が生物多様性保全等の多面的機能を有している点に鑑み、新たな管理政策として提案された。特に、漁業分野での水産資源の回復と持続的な利用については注目が集まってきている。例えば、カナダ水産海洋省によるガイダンス (François *et al.* 2006) に従い St. Anns Bank MPA や 2010 年には北極地方で初めての Tarium Niryutait MPA を設

定され、シロイルカ (*Delphinapterus leucas*) 等の対象種の保全や漁業対象種の持続的な利用の試みが始まった。しかし、MPA は国によってその目的が異なり、国別に異なる管理が行われている。その例として、ケニアでは国立海洋公園内における石油の採掘は禁止されているが、国立海洋保護区では許容されている。一方、タンザニアの海中公園においては漁業が許可されている(朱, 2013)。したがって、共通の MPA 効果の評価は今後 MPA 設定のガイドラインと成り得るので、喫緊の課題と言える。

現時点 MPA の評価方法としては、漁業分野で主に下記の点に従っている(Russ 2002)。

(1) より低い漁獲死亡率の達成或いは漁獲死亡率を 0 にできること。(2) 対象種の密度をより高められること。(3) 平均体長や寿命がより長くできること。(4) バイオマスがより豊富にできること。(5) 魚卵や仔稚魚の生産量がより高められること。

ただし、研究の進みとともに、MPA の効果は対象とする資源の性質や設置場所・時期により異なると報告されてきた(Leah *et al.* 2005)。したがって、MPA の適切な評価や設定には、対象魚種や対象海域の特徴を踏まえることが非常に重要である。

こうした中で、MPA 効果の研究は大きく二種類に分けられる。一つ目は、経験(empirical)に基づく方法である。集約された生物の資源量データを基にし、四つの生物種(無脊椎動物, 草食性魚, 肉食性魚, プランクトン食性魚)に分けて保護区と非保護区を比較し(Halpern . 2003), その後、MPA の実施につれて資源量変化の明確化を行った(Halpern *et al.* 2002)。保護区に近い海域だけではなく、遠くまで MPA 海域の資源状況とよく似ている海域も選択し、同時に資源量データを収集して MPA の効果評価を行った先行研究もある(Kerwath *et*

*al.* 2013). しかし, MPA が広い影響を及ぼすため, 採集のデータを基にした評価には限界があり, 根拠が不確かであるとする見解がいくつみられた. 二つ目は, モデルに基づく方法である. この方法は個体群保護に関する研究を発端として発展してきた(Beverton *et al.* 1957)が, 1990 年代までにこのテーマは注目されてこなかった. 特に近年, モデルを用いた研究が盛んになり(Fulton EA *et al.* 2015), 「移動率が低い魚種には MPA による生物多様性の改善効果が著しい」等の結論(Botsford *et al.* 2003)が指摘された. しかし, 多くの研究は漁業管理に応用されていない(Guenette *et al.* 1999). なぜなら, モデル内のパラメータの詳細が考慮されず, 不確実性が不適當に処理されてきたためである (Mapstone BD. 1996). モデルに基づく法が依然として未熟であるので, MPA の評価に関する研究もまだ萌芽期の段階にとどまっている.

本研究では, こうした先行研究を渉猟したのち, 各利害関係者を考慮する総合的な管理方法の評価という観点から, 資源管理方策評価法 (Management Strategy Evaluation;以下 MSE) の枠組みで個体群動態モデルを作成してシミュレーションを行い, 効果的な MPA の設置方法を模索することを目的とした.

## 1.2 海洋保護区(MPA)の概念と説明

前述したように, 海洋保護区については, 国際的な共通の定義は存在しないが, 国際自然保護連合 (IUCN) は, 保護地域のすべてのカテゴリーを含めて次のように定義した. その定義は, 「海洋・沿岸の保護区は任意の海洋環境内または海洋環境に隣接し, 法律または習

慣などの効果的方法により切り分けられた区域で、その中の海洋及び/または沿岸の生物多様性は周辺地域より高い程度で保護される。明確な境界区域で、当地域の水域と植物、動物、歴史的、文化的特性を含む。」である(Graeme K. 1999)。さらに、保護地域を6つのカテゴリーに分類した。

表 1-1 IUCN の保護地域分類

| カテゴリー  | 区域               | 内容                              |
|--------|------------------|---------------------------------|
| カテゴリー1 | 厳正保護地域<br>原生自然地域 | 学術研究若しくは原生自然の保護を主目的として管理される保護地域 |
| カテゴリー2 | 国立公園             | 生態系の保護とレクリエーションを主目的として管理される地域   |
| カテゴリー3 | 天然記念物            | 特別な自然現象の保護を主目的として管理される地域        |
| カテゴリー4 | 種と生息地管理地域        | 管理を加えることによる保全を主目的として管理される地域     |
| カテゴリー5 | 景観保護地域           | 景観の保護とレクリエーションを主目的として管理される地域    |
| カテゴリー6 | 資源保護地域           | 自然の生態系の持続可能利用を主目的として管理される地域     |

出典 IUCN 日本委員会ホームページ(<http://www.iucn.jp/protection/reserve/reserve.html> July. 6<sup>th</sup>, 2017.)

そのため、本研究では漁業分野に焦点を当て、カテゴリー4に注目し、管理を加えることによる保全を主目的として管理されるMPAの効果を評価する。

### 1.3 資源管理方策評価法(MSE)の概念と説明

MSE とは、シミュレーションを通して管理方策を評価する方法である。コンピュータ内に複数のシナリオを用意して対象資源の動態を再現するための仮想現実を表わすオペレーティングモデル(Operating Model;以下 OM)を構築し、様々な管理方法を試す。管理目標の達成度を評価する指標から、想定される不確実性の下でより頑健な管理方法を提案することが可能である。

OM を用いた MP の開発では以下のようなステップを踏む。

- (1) 管理目標と指標の決定
- (2) OM の構造の決定と条件設定 (Conditioning)
- (3) シミュレーションの仕様の決定
- (4) OM で仮想現実の作成
- (5) 評価モデルを用いて管理基準値の推定
- (6) MP の決定やシミュレーション実行
- (7) 上記の (4) ~ (6) の繰り返し (図 1-1 の参照)
- (8) 指標を検討し最適な管理方法に合意

そのため、不確実性に対して頑健な管理方法の開発を目指し、近年 MSE を用いた研究が注目されてきた。本研究では、MSE の枠組みに従い、MPA の評価を行った。ただし、評価モデルを使わずに資源調査データを資源量として使用する。さらに、資源調査は毎年行われると仮定するが、MP は 5 年に一回更新されると仮定する。

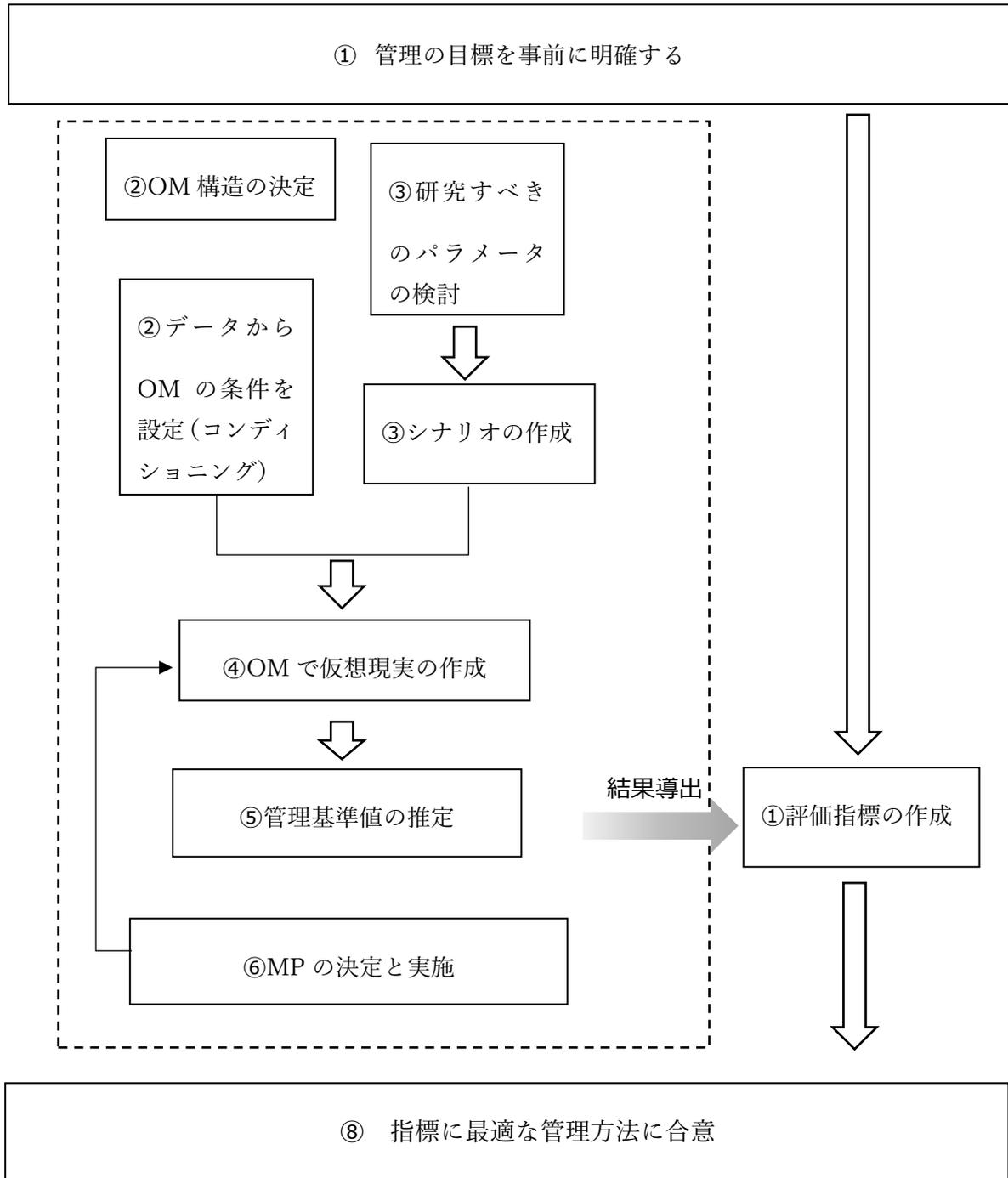


図 1-1 資源管理方策評価の手順

## 第2章 方法

### 2.1 想定研究対象種

シミュレーションでは体長, 体重や成熟率等の生物学的パラメータを仮定する必要があるため, 仮想の研究対象を想定しなければならない. 本研究ではフウセイ (*Larimichthys crocea*) を仮想研究の対象とする.

フウセイは硬骨魚綱スズキ目ニベ科キグチ属の魚(魚介類 2.5 万名前大辞書). 体長 50cm, 体色は黄金色を呈する. 3 分の 1 以上の高さが鱗に覆われる背鰭・臀鰭を持つ (WEB 魚図鑑, フウセイ). 分布: 東シナ海, 黄海, 渤海, 南シナ海. 水深 120cm より浅い泥, 砂まじり泥または泥まじり砂底に生息(日本産魚類検索). 東シナ海において昔には毎年 200 トン前後の水揚げがあったが, 近年は殆ど獲れなくなった (WEB 魚図鑑, フウセイ).

### 2.2 想定研究海域

フウセイは産卵回遊種であり, 主に春に東シナ海で産卵する (WEB 魚図鑑, フウセイ). そのため, 産卵海域と索餌海域の間における移動がある. この生態を基に研究海域として 2 ヶ所を設定した(図 2-1). Area1 は魚卵や仔稚魚が集まる未成魚の生息域と仮定し, Area2 は成魚のバイオマスが豊富である成魚の生息域を仮定した.

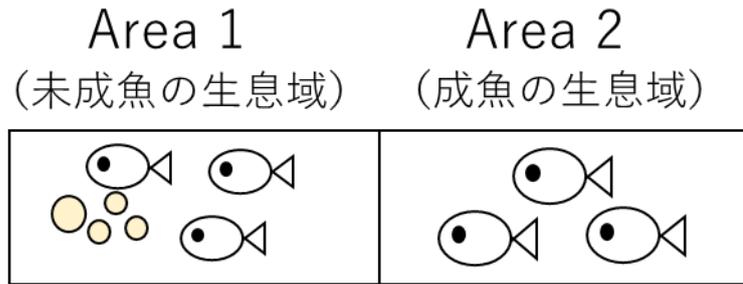


図 2-1 想定研究海域

つまり，本研究では Area1 に生まれた魚が成長してから Area2 に移動しつつある．一方，Area2 に生息している魚が産卵時期のみ Area1 に寄り，その後すぐに Area2 に戻る．

### 2.3 オペレーティングモデルの構築

本研究では年齢構造モデルを基に，海域間の移動を考えた上で年齢を分けてそれぞれの資源量を計算するという OM を作成した．年齢構造モデルは魚類の生活史に基づく成長・生残モデル及び再生産モデルにより繋がった関係を利用しながら，初期資源量を与えられると芋蔓式に次々と各年齢の資源量を計算する方法である（田中，1985）．

本研究では，再生産関係が Beverton-Holt 型に従い，年ごと加入した個体が漁獲活動および自然死亡によって減少した後，性成熟の個体が再び産卵親魚になるものとした．図 2-2 のように，初期資源量は平衡状態に応じる資源量状態と仮定し，逐次的に翌年の資源量を計算していく．初期値の設定以外に，OM にあたってはまた 2 つの仮定を置いた．まず，毎年の自然死亡率は魚類の年齢に依らずに一定であること．もう一つ，各年齢の魚に対する漁獲死亡率は漁具選択性により異なること．

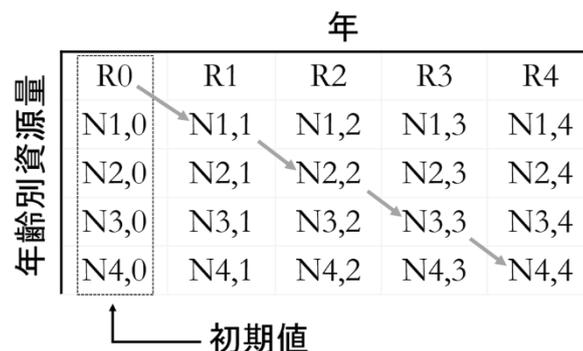


図 2-2 年齢構造モデルの構造

本モデル内では年齢ごとの資源個体数  $N$  は当年の加入個体数または産卵量  $R$ , 自然死亡率  $M$ , 漁獲された個体数  $C$ , 海域間における移動している個体数  $P$  の関係が式(N.1)に従うとした。初期値は平衡状態に従い, 式(N.2)で計算した。

この後, 毎年の資源量が計算できるようになった。ただし, パラメータとして与えられた自然死亡率  $M$  や移動関数による移動個体数  $P$  を除い, 年ごとの加入量  $R$ , 漁獲量  $C$  の計算法方は下記のようなのである。

加入量  $R$ , つまり再生産関係は Beverton-Holt モデルを用い, 密度依存効果を考慮して作成できた (式 R.1)。ここで, Beverton-Holt モデルでの  $a$  は  $4h R_0 / (5h - 1)$  であり,  $b$  は  $B_0(1 - h) / (5h - 1)$  である (Haddon, 2011)。

この後, 年ごとの資源量  $B$  の計算は下記のように示す。まずは, 魚の体長や体重の計算式である。年齢に対する魚類の体長  $L$  と体重  $W$  は Von Bertalanffy 成長モデルにより計算した(式 G.1-G.3)(田中, 1985)。次には, 魚卵を産む能力を決定する成熟性である。成熟性  $O$  はロジスティクス曲線に従い, 50%の魚類が成熟した年齢  $a_{50}$  と 95%の魚類が成熟した年齢  $a_{95}$  により, すべての年齢に対する成熟性が計算された (式 G.4)。ただし, 0 歳の魚類の

性成熟は 0 である。したがって、年ごとの資源量  $B$  は式 (B.1) により計算されてきた。

続いては漁獲量の計算方法である。漁獲量は総資源量の中で各年齢の漁獲死亡率による減少した分と等している。年齢別の漁獲死亡率はロジスティクス曲線に従う漁具選択性より計算された。成熟性の定義と同様に、50%の魚類が漁獲された年齢 $a_{50}$ と 95%の魚類が漁獲された年齢 $a_{95}$ を決めてから年齢別の漁獲率を計算した (C.1)。本研究では漁獲活動が当年度の半ばに行われるという仮定により、漁獲個体数、漁獲量をそれぞれ計算した (C.2-C.4)。

まとめると、本研究で使われたパラメータ及び数式は下記のようなものである。

表 2-1 パラメータリスト

| 符号         | 値  | 解釈       |
|------------|----|----------|
| $a$        |    | 魚の年齢     |
| $a_{plus}$ | 14 | 計算した最大年齢 |
| $N$        |    | 各年齢魚の個体数 |
| $i$        |    | 海域番号     |
| $t$        |    | 年数       |
| $B$        |    | 資源量      |
| $R$        |    | 加入量      |
| $M$        |    | 自然死亡率    |

---

|                |                        |                         |
|----------------|------------------------|-------------------------|
| C              |                        | 漁獲量                     |
| P              |                        | 移動率                     |
| $L_a$          |                        | 各年齢の体長                  |
| K              | 0.16                   | 成長が頭打ちとなる早さを決定する        |
| $L_\infty$     | 0.5821                 | 年齢が無限に大きくなった時に極限        |
|                |                        | 的に到達する体長                |
| $L_{min}$      | 0.1753                 | 最小体長                    |
| $\alpha$       | $6.7645 \cdot 10^{-5}$ | 体重パラメータ                 |
| $\beta$        | 2.7082                 | 体重パラメータ                 |
| $W_{beg}$      |                        | 年始めの体重                  |
| $W_{mid}$      |                        | 一年の中頃の体重                |
| $a_{50}^{mat}$ | 2                      | 50%個体数が成熟した年齢           |
| $a_{95}^{mat}$ | 4                      | 95%個体数が成熟した年齢           |
| O              |                        | 成熟性                     |
| $R_0$          | $10^7$                 | 平衡状態の加入量 (初期加入量)        |
| h              |                        | ステイープネス (0.2 倍の初期資源     |
|                |                        | 量に対応する加入量は h 倍の $R_0$ ) |

---

|                        |        |                   |
|------------------------|--------|-------------------|
| $B_0$                  |        | 平衡状態の資源量          |
| $\varepsilon_{R_t}$    |        | 再生産関係における不確実性     |
| $\sigma_{R_t}$         |        | 再生産関係における不確実性     |
| $\sigma_{R_t}^{Area1}$ | 0.2    | Area1 における加入の不確実性 |
| $\sigma_{R_t}^{Area2}$ | 0.4    | Area2 における加入の不確実性 |
| $a_{50}$               | 3      | 50%個体数が漁獲された年齢    |
| $a_{95}$               | 5      | 95%個体数が漁獲された年齢    |
| $S_a$                  |        | 漁具選択率             |
| $q$                    | 0.0012 |                   |
| $E$                    |        | 漁獲努力量             |

表 2-2 数式リスト

資源個体数の計算式

$$\begin{aligned}
 \text{N.1} \quad N_{a,i,t} &= \left. \begin{aligned} & \sum_{\hat{i}}^{R_{i,t}} \left\{ \left[ N_{a-1,i,t-1} \exp\left(-\frac{M}{2}\right) - C_{a-1,i,t-1} \right] \exp\left(-\frac{M}{2}\right) P_{i,\hat{i}} \right\} & a = 0 \\ & \sum_{\hat{i}} \left\{ \left[ N_{a,i,t-1} \exp\left(-\frac{M}{2}\right) - C_{a,i,t-1} + N_{a-1,i,t-1} \exp\left(-\frac{M}{2}\right) - C_{a-1,i,t-1} \right] \exp\left(-\frac{M}{2}\right) P_{i,\hat{i}} \right\} & a_{plus} > a > 0 \end{aligned} \right\} \\
 & \left. \sum_{\hat{i}} \left\{ \left[ N_{a,i,t-1} \exp\left(-\frac{M}{2}\right) - C_{a,i,t-1} + N_{a-1,i,t-1} \exp\left(-\frac{M}{2}\right) - C_{a-1,i,t-1} \right] \exp\left(-\frac{M}{2}\right) P_{i,\hat{i}} \right\} \right\} a = a_{plus}
 \end{aligned}$$

---


$$N.2 \quad N_{a,i,0} = \left. \begin{cases} \sum_i \{N_{a-1,i,0} \exp(-M) P_{i,i}\} & a = 0 \\ \sum_i \left\{ N_{a-1,i,0} \frac{\exp(-M)}{1 - \exp(-M)} P_{i,i} \right\} & a_{plus} > a > 0 \\ & a = a_{plus} \end{cases} \right\}$$


---

再生産関係

---


$$R.1 \quad R_{i,j,t+1} = R_0 \frac{\frac{4h}{\left(\frac{B_t}{B_0}\right)}}{(1-h) + (5h-1)\left(\frac{B_t}{B_0}\right)} \exp\left(\varepsilon_{R_t} - \frac{\sigma_{R_t}^2}{2}\right)$$


---

体長、体重及び成熟率

---


$$G.1 \quad L_a = L_\infty + L_{min} - L_\infty \exp[-k(a)]$$

$$G.2 \quad w_{a,beg} = \alpha \hat{L}_a^\beta$$

$$G.3 \quad w_{a,mid} = \alpha \hat{L}_{a+0.5}^\beta$$

$$G.4 \quad O_a = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{-\ln(19)(a - a_{50}^{mat})}{(a_{95}^{mat} - a_{50}^{mat})}\right]} \quad a \geq 1$$


---

資源重量

---


$$B.1 \quad B_t = \sum_a \sum_i \sum_j 0.5 N_{a,i,j,t} O_a w_{a,beg}$$


---

漁獲量及び漁具選択性

---


$$C.1 \quad S_a = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{-\ln(19)(a - a_{50})}{(a_{95} - a_{50})}\right]}$$

$$C.2 \quad C_{a,i,j,t} = N_{a,i,j,t} \exp\left(-\frac{M}{2}\right) q S_a E_t$$

$$C.3 \quad C_{i,j,t} = \sum_a C_{a,i,j,t} w_{a,mid}$$


---

---

C.4

$$C_t = \sum_a \sum_i \sum_j C_{a,i,j,t} w_{a,mid}$$

---

さらに、管理方法制定の一環とし、最大持続生産量（Maximum Sustainable Yield;以下 MSY）とそのときの資源量（MSYL (MSY Level)) を推定しなければならない。異なる漁獲努力量における平衡漁獲量を持続生産量 (SY) とすること。したがって、持続生産量とそのときの資源量の関係に極大条件をつかうと、最大持続生産量 MSY を計算できる。本研究では、OM と同様の年齢構造モデルを用い、すべてのパラメータが既知と仮定され、様々な漁獲努力量を試してから、各持続生産量と資源量の関係を明らかにして MSY レベルを計算した。ただし、このやり方は理論的な計算方法であり、現実の管理政策決定にはまだ実現できない。本研究では、現実の複雑な MSY レベルの推定を単純化し、代わりに MSY の理論値を用いた。

## 2.4 シナリオの設定

近年、地球温暖化、環境変動または餌生物の資源量変動により、保護対象種の生態もずつと変化している。更に、資源調査、管理政策決定または管理実施にも完璧に出来るわけではないので、様々な不確実性を考慮しなければならない。そのため、シミュレーションをする時に、シナリオを作成する。

本研究では、5つのパラメータ（移動関数P、自然死亡M、再生産関係のステイプネスh、

管理開始前の資源状態Dep, 資源データ収集の不確実性 $\sigma$ ) に注目し, 各パラメータに 3 つのレベルを作った. そのため, 併せて 243 通りのシナリオを作成した (表 2-3) .

表 2-3 パラメータの設定

| パラメータ             | レベル                 |                      |                      |
|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| M                 | 0.2                 | 0.3                  | 0.4                  |
| h                 | 0.7                 | 0.8                  | 0.9                  |
| Depletion         | 0.1B <sub>MSY</sub> | 0.3 B <sub>MSY</sub> | 0.5 B <sub>MSY</sub> |
| Movement          | P1(高)               | P2(中)                | P3(低)                |
| $\sigma_{survey}$ | 0                   | 0.3                  | 0.6                  |

ここで, 自然死亡M, 再生産関係のステープネス h, 管理開始前の資源状態Dep に対するレベルの値はすべて各パラメータの値である. ただし, 移動関数と調査の観測誤差は以下のようなものである.

まずは, 移動パターンの設定である. Area1 から Area2 行きの移動割合が魚種年齢の増加に伴い大きくなっており, Area2 に生きている魚はすべて Area2 に戻ること. 移動率はロジスティクス曲線に従い, Area1 から 50%の魚が移動した年齢及び 95%の魚が移動した年齢や, 移動割合の頭打ちを基に決められた (図 2-3) .

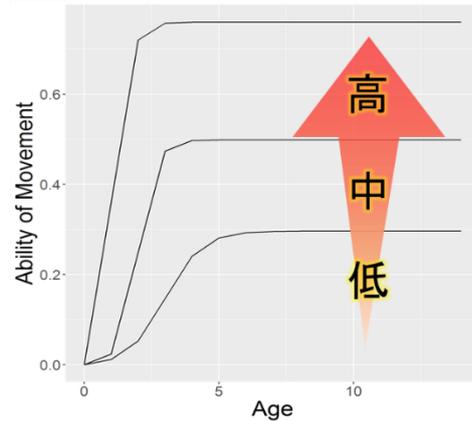


図 2-3 移動パターン

次に、資源データ収集過程にも誤差を加えて観測の不確実性を考慮した。ここで、調査観測値が対数正規分布に従うという仮定がある。

$$\log(B_t^{obs}) \sim N(\log(B_t), \sigma^2)$$

ただし、 $B_t$ は資源量で、 $B_t^{obs}$ は資源量観測値である。

## 2.5 管理方法の設定

本稿ではMPAに関する管理方法を6つ作成した。そのうえ、MPAに比較するために、資源の維持・回復を図るため魚種毎に漁獲できる総量を定める漁獲可能量政策(TAC)に基づき、さらに3つを作成した。図2-4の通りに、MP1~6がMPAを示しており、MP7~9がTACを示している。すべての管理方法は当年の資源量に基づき、翌年の漁獲係数を決定するのに通して漁獲量を制限する方法である。

このやり方で、資源量において2つの閾値( $B_{limit}, B_{msy}$ )が存在している。 $B_{limit}$ は禁漁水準とも言い、再生産式において最大のRの50%が得られる資源量である。 $B_{msy}$ は資源の回

復措置をとる閾値とも言い、MSY レベルにおける資源量である。  $F_{msy}$  は MSY レベルにおける漁獲係数である。

続いては図の中で各線の意味に関する説明である。各線は海域ごと或いは全海域に対する漁獲係数の変化方法を示している。緑線は Area 1 を表わしており、紫線は Area 2 を表わしており、青線は全海域を表わしている。

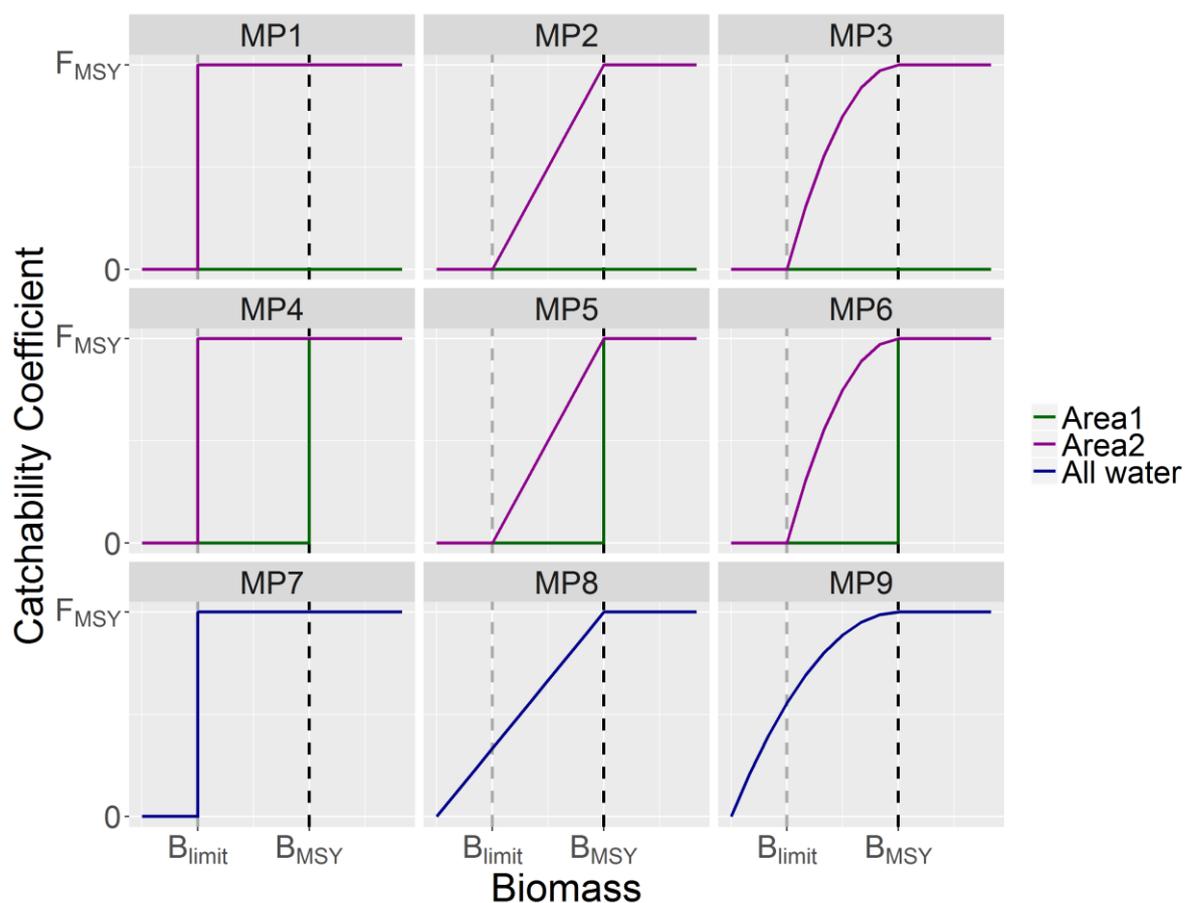


図 2-4 漁獲決定ルールの設定図

図の読み方として MP1 を挙げて説明していく（図 2-5 の参照）。MP1 の図に、緑線と紫線の 2 種類の線があり、海域ごと分けると、図 2-6 のように示している。言い換えると、Area1 と Area2 の管理方法が違い、MPA の管理方法に属している。まずは、緑線を見ていく

と、資源量状態にもかかわらず、漁獲係数が 0 に維持している。そのため、Area1 にはどう  
 な時期にも全面禁漁であることが分かった。ただし、紫線は水平ではなく、資源量が $B_{limit}$   
 より小さい時に漁獲係数が 0 になっており、資源量が $B_{msy}$ より大きくなると漁獲係数が  
 $F_{msy}$ レベルとなり、さらに、 $B_{limit}$ と $B_{msy}$ の間になったら、漁獲係数が線形に従って 0 から  
 $F_{msy}$ まで変化している。

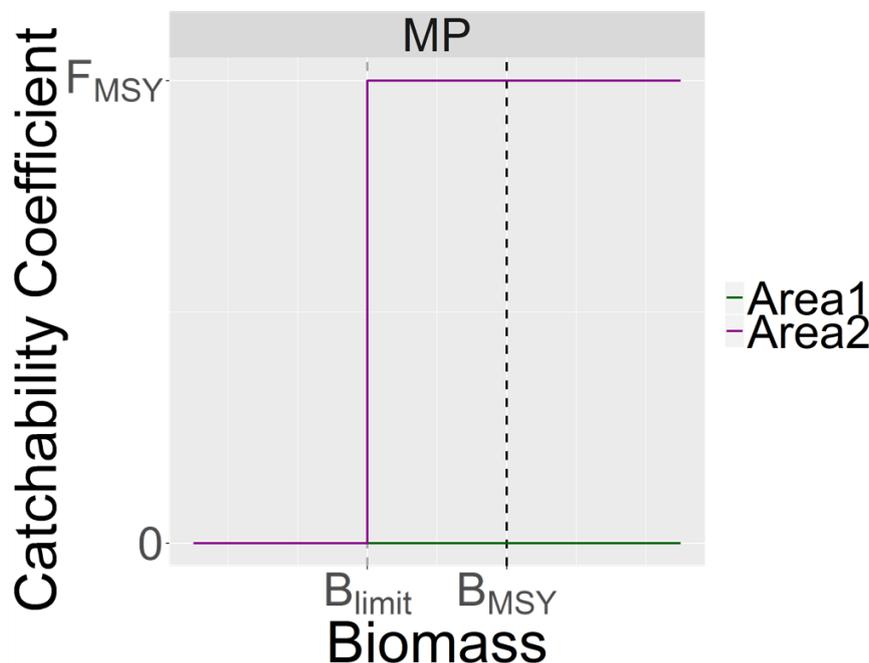


図 2-5 MP1 の設定図

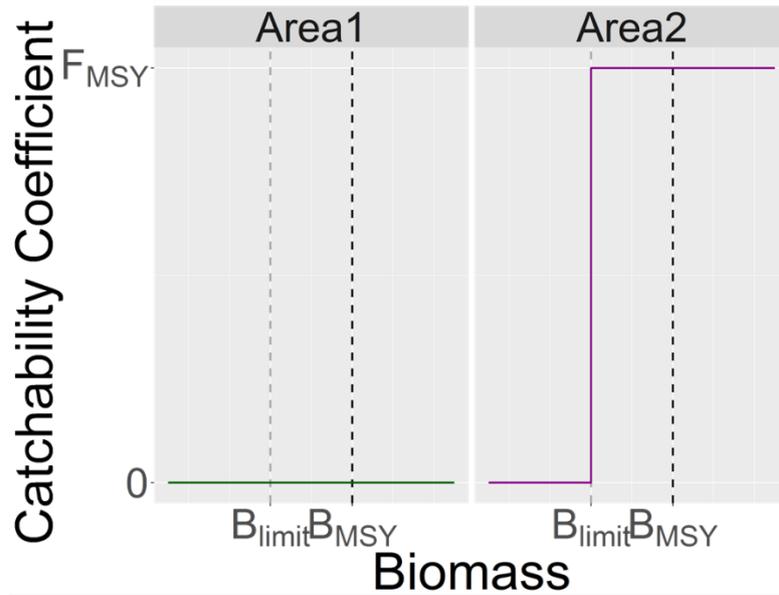


図 2-6 MP1 を海域ごと分け図

前述した図が数式で表わすと、次のようである。

表 2-4 管理方法数式

| MP  | Area1 | Area2  |
|-----|-------|--|
| MP1 | $F=0$ | $F = \begin{cases} 0 & B < B_{limit} \\ F_{MSY} & B_{limit} \leq B \leq B_{MSY} \\ F_{MSY} & B_{MSY} \leq B \end{cases}$                             |
| MP2 | $F=0$ | $F = \begin{cases} 0 & B < B_{limit} \\ \frac{F_{MSY}}{(B_{MSY} - B_{limit})} B_{limit} \leq B \leq B_{MSY} \\ F_{MSY} & B_{MSY} \leq B \end{cases}$ |

---

|     |       |  |  |
|-----|-------|--|--|
| MP3 | $F=0$ |  | $F= \left\{ \begin{array}{ll} 0 & B < B_{\text{limit}} \\ \frac{-F_{\text{MSY}}}{(B_{\text{MSY}} - B_{\text{limit}})^2} & B_{\text{limit}} \leq B \leq B_{\text{MSY}} \\ F_{\text{MSY}} & B_{\text{MSY}} \leq B \end{array} \right.$ |
|-----|-------|--|--|

---

|     |      |   |   |
|-----|------|---|---|
| MP4 | $F=$ | $\left\{ \begin{array}{ll} 0 & B \leq B_{\text{MSY}} \\ F_{\text{MSY}} & B_{\text{MSY}} \leq B \end{array} \right.$ | $F= \left\{ \begin{array}{ll} 0 & B < B_{\text{limit}} \\ F_{\text{MSY}} & B_{\text{limit}} \leq B \leq B_{\text{MSY}} \\ F_{\text{MSY}} & B_{\text{MSY}} \leq B \end{array} \right.$ |
|-----|------|---|---|

---

|     |      |   |   |
|-----|------|---|---|
| MP5 | $F=$ | $\left\{ \begin{array}{ll} 0 & B \leq B_{\text{MSY}} \\ F_{\text{MSY}} & B_{\text{MSY}} \leq B \end{array} \right.$ | $F= \left\{ \begin{array}{ll} 0 & B < B_{\text{limit}} \\ \frac{F_{\text{MSY}}}{(B_{\text{MSY}} - B_{\text{limit}})} & B_{\text{limit}} \leq B \leq B_{\text{MSY}} \\ F_{\text{MSY}} & B_{\text{MSY}} \leq B \end{array} \right.$ |
|-----|------|---|---|

---

|     |      |   |  |
|-----|------|---|--|
| MP6 | $F=$ | $\left\{ \begin{array}{ll} 0 & B \leq B_{\text{MSY}} \\ F_{\text{MSY}} & B_{\text{MSY}} \leq B \end{array} \right.$ | $F= \left\{ \begin{array}{ll} 0 & B < B_{\text{limit}} \\ \frac{-F_{\text{MSY}}}{(B_{\text{MSY}} - B_{\text{limit}})^2} & B_{\text{limit}} \leq B \leq B_{\text{MSY}} \\ F_{\text{MSY}} & B_{\text{MSY}} \leq B \end{array} \right.$ |
|-----|------|---|--|

---

|     |      |  |
|-----|------|--|
| MP7 | $F=$ | $\left\{ \begin{array}{ll} 0 & B < B_{\text{limit}} \\ F_{\text{MSY}} & B_{\text{limit}} \leq B \leq B_{\text{MSY}} \\ F_{\text{MSY}} & B_{\text{MSY}} \leq B \end{array} \right.$ |
|-----|------|--|

---

|     |    |   |   |
|-----|----|---|---|
| MP8 | F= | { | $0 \quad B < B_{\text{limit}}$ $\frac{F_{\text{MSY}}}{(B_{\text{MSY}} - B_{\text{limit}})} \quad B_{\text{limit}} \leq B \leq B_{\text{MSY}}$ $F_{\text{MSY}} \quad B_{\text{MSY}} \leq B$    |
| MP9 | F= | { | $0 \quad B < B_{\text{limit}}$ $\frac{-F_{\text{MSY}}}{(B_{\text{MSY}} - B_{\text{limit}})^2} \quad B_{\text{limit}} \leq B \leq B_{\text{MSY}}$ $F_{\text{MSY}} \quad B_{\text{MSY}} \leq B$ |

## 2.6 シミュレーションの流れ

シミュレーションは1年に平衡状態より開始し、100年まで終了した。初期パラメータ設定値をチェックするため、20年間を置いて漁獲活動は20年目に始まると仮定した。、さらに、漁業歴史において激しい漁獲活動は恐らく30年間があったので、管理方法は50年目から実施すると仮定した（図 2-7）。不確実性に対応するため、異なる乱数を用いて各シナリオに500回周った。なお、シミュレーションには、フリー統計ソフト R を用いた。

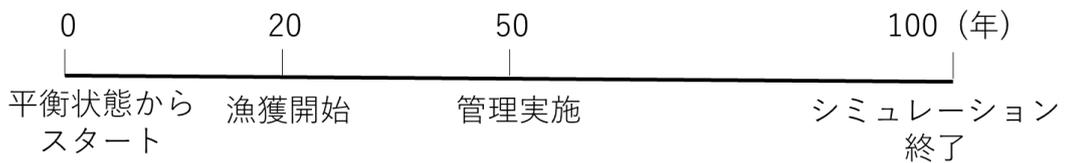


図 2-7 シミュレーションの流れ

## 2.7 効果評価

効果評価が2つの部分に分け、短期（50-70年目まで）の20年間と長期（70-100年目）の30年間において、それぞれの効果を検証した。また、5つのパフォーマンス指標を作成した。まずは、資源状態を表わしている $\bar{B}/B_{MSY}$ 、 $\Pr(B < B_{limit})$ や $\Pr(B > B_{MSY})$ という3つの資源量指標である。漁獲量指標には平均漁獲量 $C$ 、漁獲量平均年変動(AAV)という2つの指標を作成した。

さらに、各シナリオの結果として3つの表・図を出した。一つ目は、まとめ表である。まとめ表で、上記の5つのパフォーマンス指標に対し、500回の中央平均値を取った値を並び、MPごとの長所と短所を示す。次に、Trade-offプロットである。平均漁獲量を縦軸にして資源量を横軸にし、資源保全と漁獲利益のバランス状況を明確する。その図を用いて同様な資源状態で最大な漁獲量を求める管理方法を簡単に見つけられる。最後に、資源動態図で資源量の年変動を示す。パフォーマンス指標に同じの中央平均値としても、年ごとの変動仕方のような細かい差別等が明らかにできる。

### 第3章 結果

#### 3.1 評価結果の展示

本研究では 243 個のシナリオがあるため、すべて載せるのは荷が重いと思っているので、ここでシナリオ 1 を例にして仕様を示す。

最初のにはまとめ表である。

表 3-1 シナリオ 1 の評価結果

| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5   | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
|------------|--------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.51  | 0.63  | 0.58 | 0.51  | 0.63  | 0.58  | 0.52  | 0.58  | 0.32  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| short term | Pr(B<Blimit) | 2%    | 0%    | 0%   | 2%    | 0%    | 0%    | 2%    | 0%    | 45%   |
| short term | AveCatch     | 5.31  | 4.99  | 5.16 | 5.31  | 5     | 5.16  | 5.32  | 4.91  | 4.15  |
| short term | AAV          | 0.33  | 0.35  | 0.34 | 0.33  | 0.35  | 0.34  | 0.33  | 0.31  | 0.26  |
| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5   | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 0.76  | 0.92  | 0.85 | 0.76  | 0.92  | 0.85  | 0.77  | 0.89  | 0.74  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 0%    | 4.4%  | 0.2% | 0%    | 5.6%  | 0.4%  | 0%    | 2.2%  | 0%    |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 10.58 | 10.99 | 10.9 | 10.59 | 11.05 | 10.93 | 10.69 | 11.08 | 10.16 |
| long term  | AAV          | 0.24  | 0.26  | 0.25 | 0.24  | 0.26  | 0.25  | 0.24  | 0.25  | 0.24  |

さらに、図 3-1 のように Trade-off プロットでは資源量を横軸にして漁獲量を縦軸にする。点の色は MP を表わしており、点の大きさは漁獲量の平均年変動を表わしている。実線は各指標に対する下限 2.5% から上限 97.5% の範囲を示している。

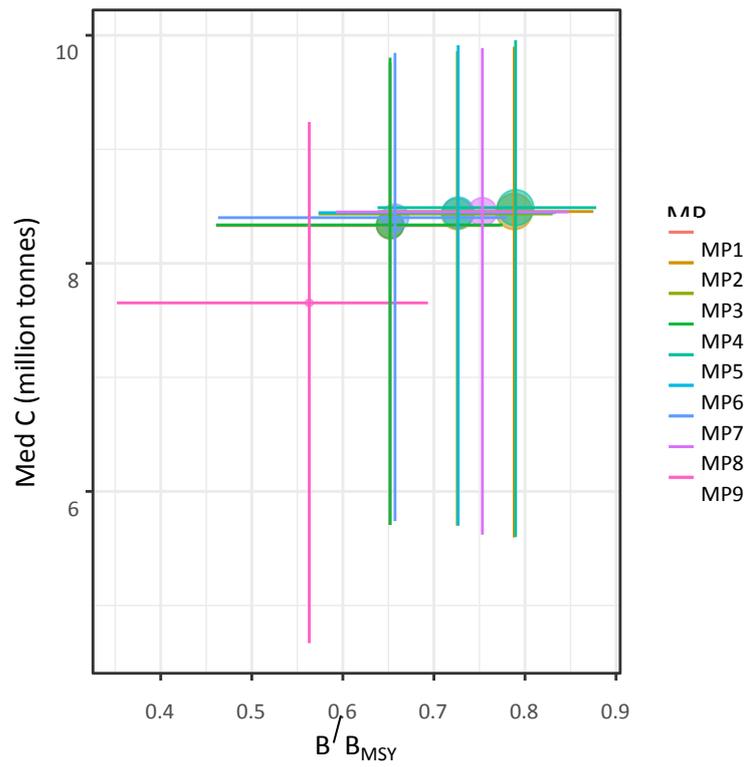


図 3-1 シナリオ 1 の Trade-off プロット結果

最後に、管理方法実施後の資源動態や漁獲量の変化をよく見るため、資源量動態図や漁獲量の年変動を描いた（図 3-2 と図 3-3）。

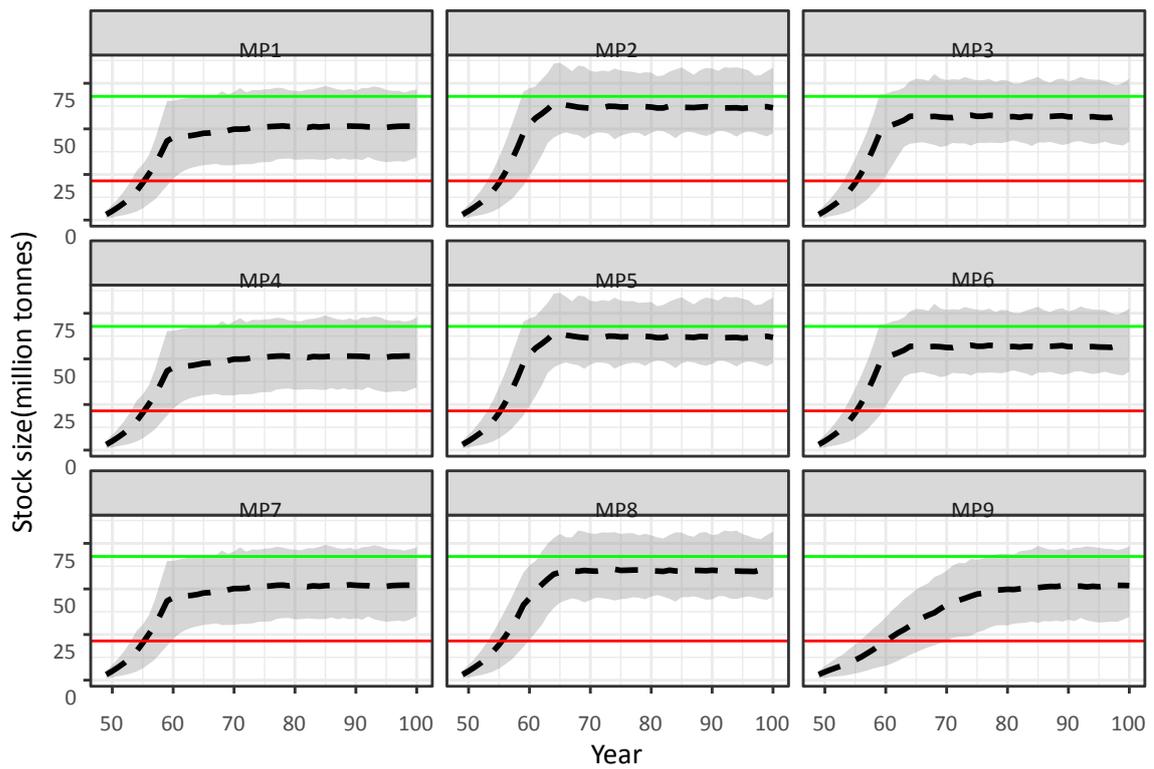


図 3-2 シナリオ 1 の資源量動態

図 3-2 では、赤線が禁漁水準(Blimit)を表わしており、緑線が MSY レベルを表わしており、点線は 500 回の平均値を示している。背景の灰色区域は下限 2.5%から上限 97.5%の範囲を示している。

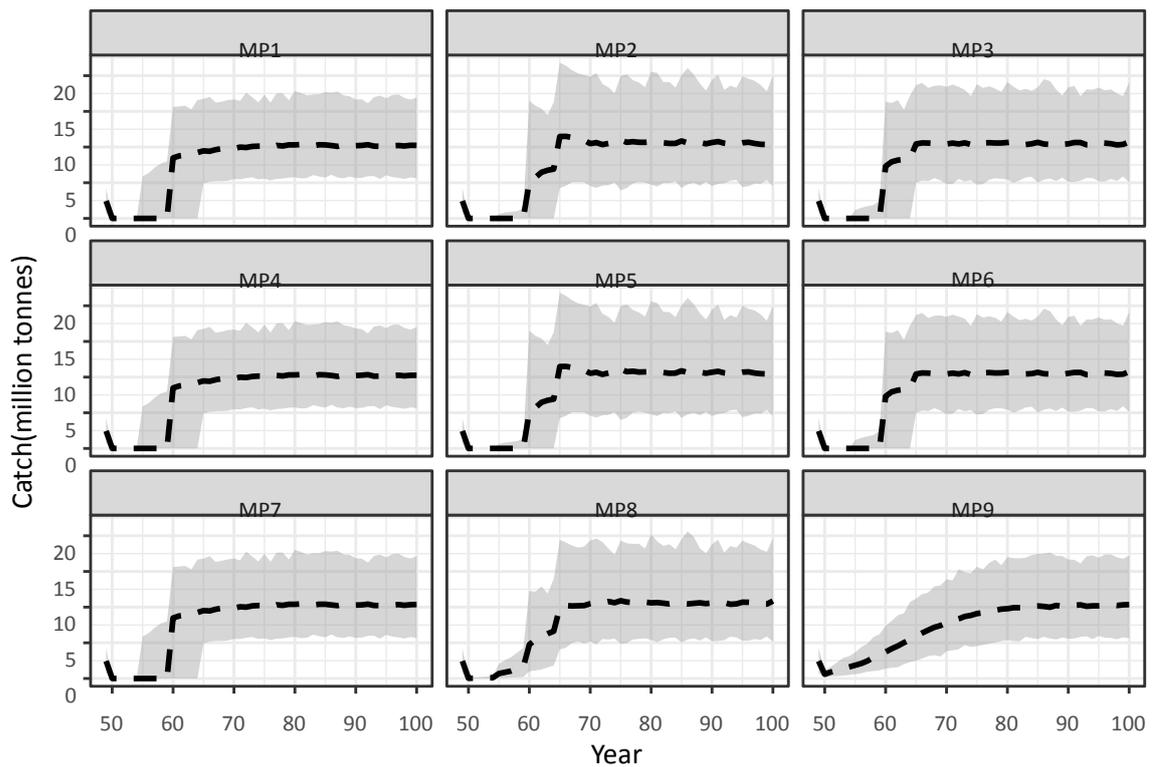


図 3-3 シナリオ 1 の漁獲量変動

同様に、点線は 500 回の平均値を示しており、背景の灰色区域は下限 2.5% から上限 97.5% の範囲を示している。

### 3.2 総当たり

そこで、すべてのシナリオ結果を結合するのは新たな問題になってしまうので、本研究では Trade-off プロットを基にし、図 3-4 のように総当たり図を作成した。このような図は、Trade-off プロットに基づき、x ラベルと y ラベルを加えた。x ラベルは各管理方法をあらわしており、y ラベルはパラメータと評価期間（短期か長期）を示している。

まずは、管理開始前の資源状態で分ける結果である（図 3-4）。横軸は資源量指標、縦軸

は漁獲量指標である。右側の「ST」は短期（管理方法実施後20年内），「LT」は長期（管理方法実施してから20年後から50年までの間）である。「10%」は管理開始前の資源量がMSYレベルの0.1倍，「30%」は管理開始前の資源量がMSYレベルの0.3倍，「50%」は管理開始前の資源量がMSYレベルの0.5倍である。

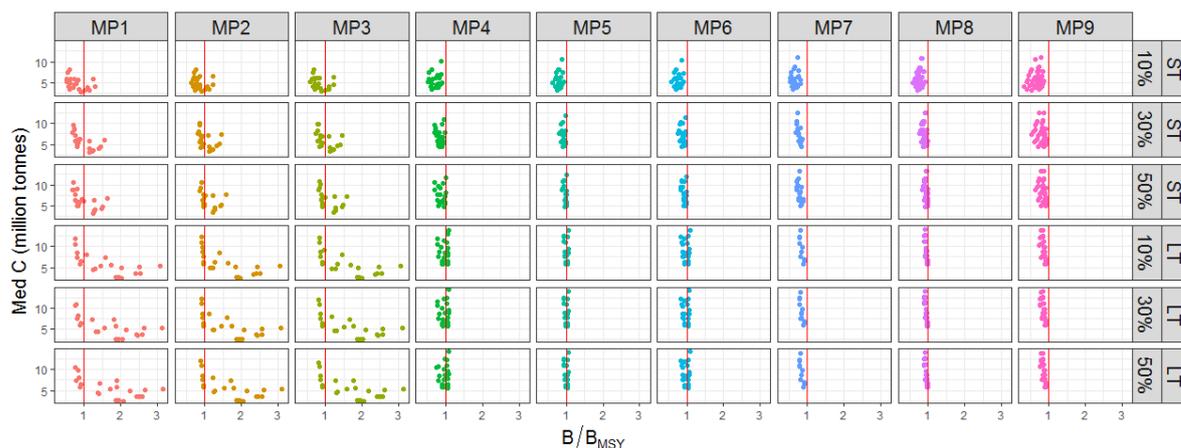


図 3-4 管理開始前の資源状態で分ける結果

図 3-4 のように、結果が概ねに、MP1~3, MP4~6 や MP7~9 という3つのグループに分けられることが分かった。この分け方は管理方法の設定による分け方法と一緒である。つまり、管理方法のタイプが大切であることを判明した。また、行ごとを見れば、管理開始前の資源状態の改善（10%から50%まで）に伴い、短期的な資源保護効果が顕著に上がり、漁獲量もある程度で向上していく傾向を示した。ただし、長期的な効果の増加傾向が見られなかった。管理開始前の資源状態と係らずに各管理方法グループがあくまで同程度の効果を求められることを明確した。

ところで、各管理方法グループ内に注目すると、MP1~3 がより高い資源量を保証できる。しかし、MP4~6 の資源量結果がMSYレベルの近くに及び、MP7~9 の資源量結果がMSYレ

ベルより僅かに小さいことを発見した。

この節の結論としては、MP4~6 が資源回復の目標を完成できて最大の漁獲量を求められるので、一番良いである。

次には、移動パターンで分ける結果である（図 3-5）。横軸等の設定は図 3-4 と一緒、ただし、ここで「P1」は高移動率を表わしており、「P2」は中移動率を表わしており、「P3」は低移動率を表わしている。

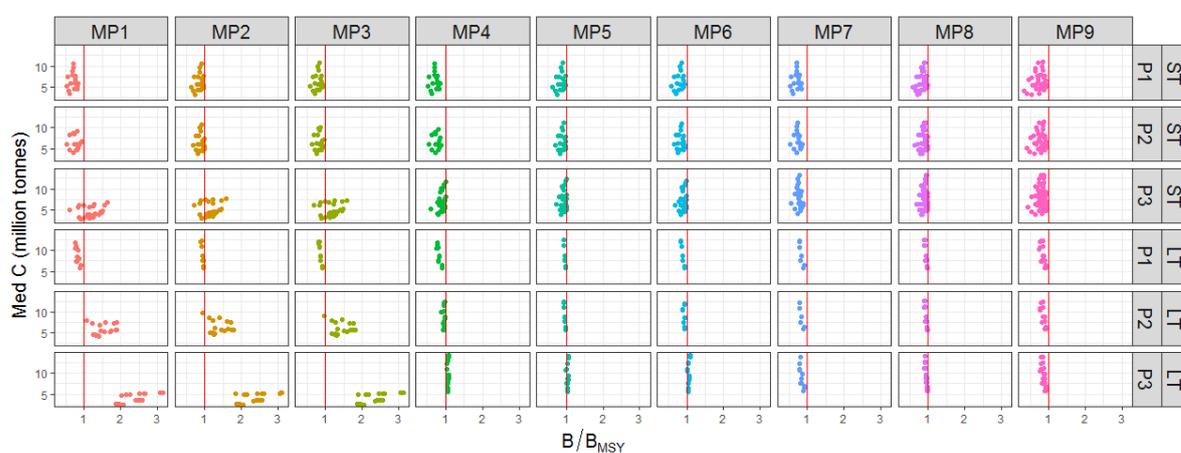


図 3-5 移動パターンで分ける結果

MP1~3 を見れば、移動率の低下とともに短期だけではなく長期的な結果も著しい変化していることを発見した。「P1 LT」の結果に基づき、MP1~3 の資源量指標はほぼ MSY レベルの近くに揃えている。「P2 LT」の場合で資源量結果がほぼ MSY レベルを超え、「P3 LT」の資源量結果は完全に MSY レベルより大きく 3 倍の MSY レベルになれることを判明した。MP4~9 に対し、資源量結果が MSY レベルを超える傾向が存在しているが、MP1~3 より弱いである。ゆえに、移動パターンはとても重要なパラメータ、保護効果に大きい影響を与える。

結論としては、今回の目標に対して MP4~6 が優先に推薦すべきである。

続いては、再生産のステイプネスと自然死亡の結果である（図 3-6 と図 3-7）．右側の

数字は各パラメータの値を示している．

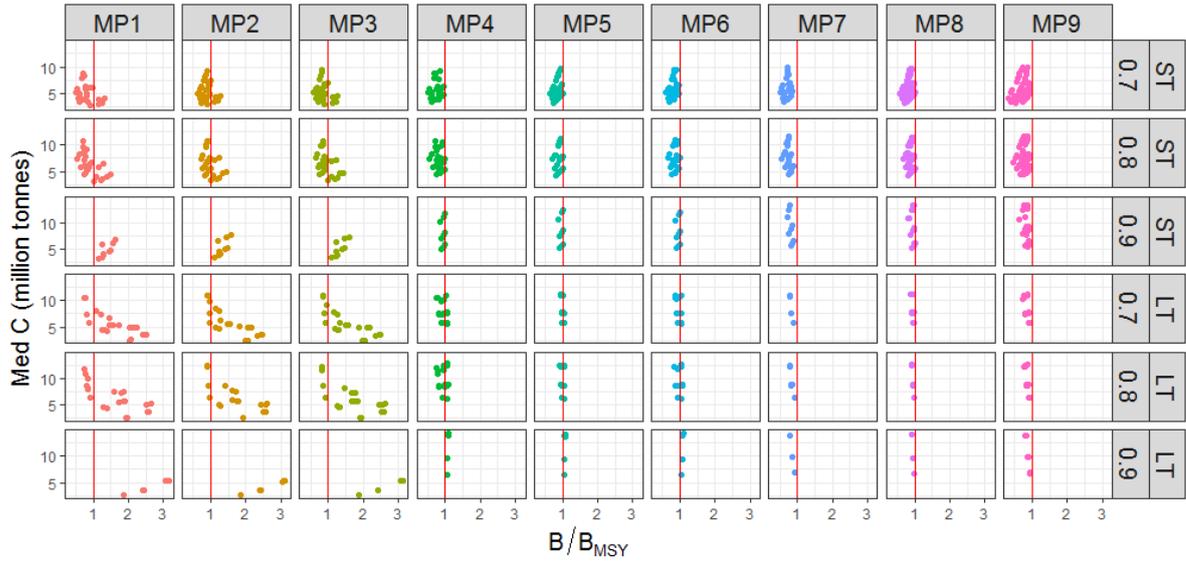


図 3-6 加入のステイプネスで分ける結果

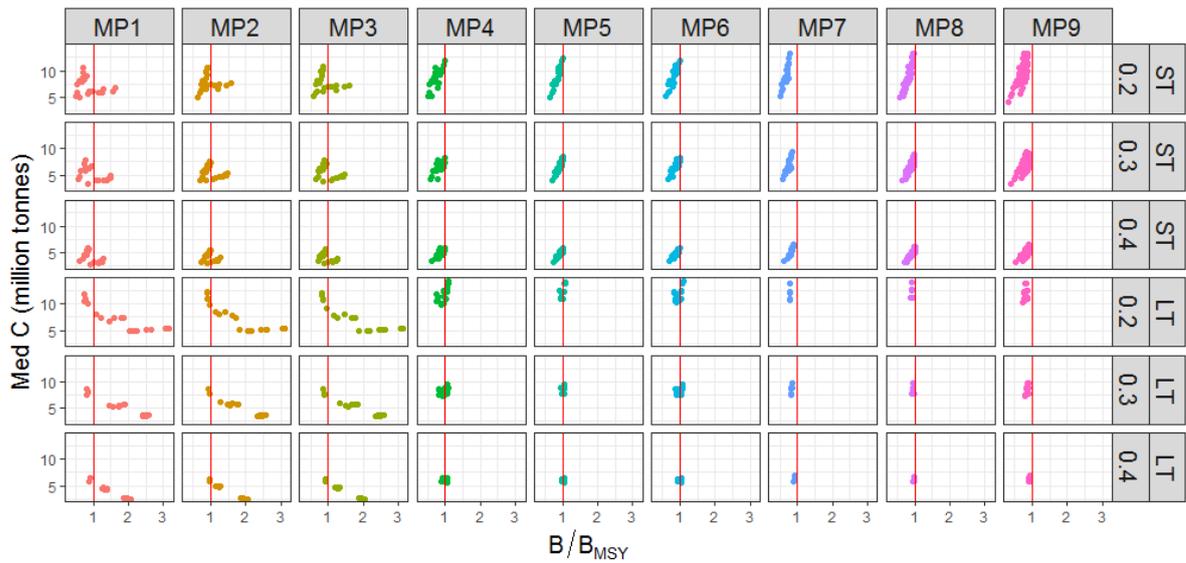


図 3-7 自然死亡で分ける結果

結論としては、MP4~6 により資源量が MSY レベルに回復できると同時に漁獲量も大き

いので、優れていると思っている。また、再生産関係のステイプネスが増加すると資源量も増加し、自然死亡率が増加すると資源量が減少することが分かった。とくに、MP1~3によりこの変化が一番見られやすいである。

最後に、調査観測誤差で分ける結果である（図 3-8）。右側の数字は観測誤差の分散を示している。

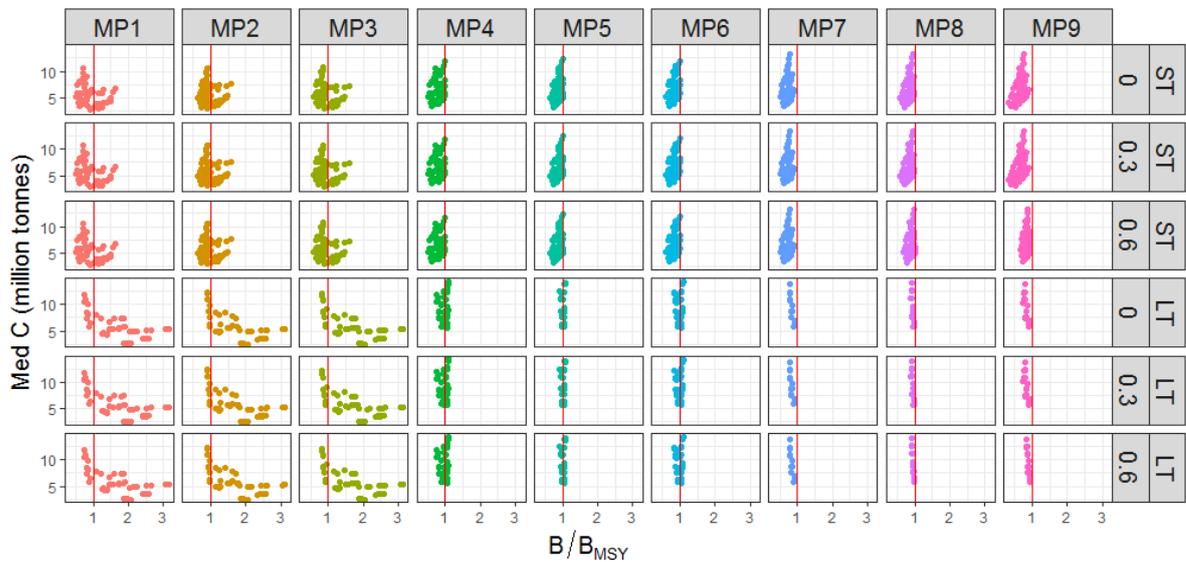


図 3-8 調査観測誤差で分ける結果

前の図に比べ、今回の特徴は資源量指標の結果または漁獲量指標の結果が観測誤差の増加とともに大きな変化を見つられなかったことである。言い換えると、調査誤差が今まで検討したパラメータより重要ではないである。

### 3.3 まとめ

図 3-4 から図 3-8 までの結果をまとめると、MP1~3 の管理方法は資源保護効果が著しいである。つまり、魚卵や仔稚魚が生息している海域を保護区にすると資源保全効果が顕著

である。MP4~6の管理方法は資源回復を保証すると同時に、MP7~9と同様な漁獲量レベルになれる。つまり、MP4~6が資源保全と漁獲利益のバランスを取れ、今回の管理目標に対して一番良いである。

ひるがえって今までの結果に基づき、MP4~6の区別がまだできていないため、この3つに優劣の比較は一体どうであるかまだ分かっていないである。これこそ、改めてランキング方法を作成しなければならない。

## 第4章 考察

### 4.1 レーダープロット

MP4~6 を区別するために、本稿ではレーダープロットを用いて試みてきた。

レーダープロット（別名：レーダーチャート）は、複数の項目の優劣を一見して比較することのできるグラフであり、分かりやすいという特徴で研究結果の示し方としてよく使われている（寺嶋 *et al.* 2009）。本研究では、選ばれた指標に対して各 MP の効果を比較するためにレーダープロットを用いる。

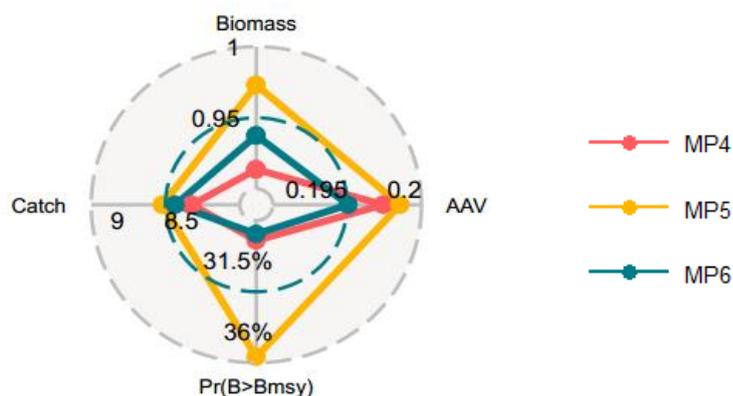


図 4-1 レーダープロットによる優劣評価の一例

図 4-1 が示したように、本研究では4つの評価指標を採択した：資源量指標の平均資源量（Biomass）と資源量が MSY レベルを超える確率( $\text{Pr}(B>B_{\text{msy}})$ ), 漁獲量指標の平均漁獲量（Catch）や漁獲量の平均年変動（AAV）。外側の数字は各指標に対する最大値を表わしており、裏側の数字は各指標に対する中央値を表わしている。そのため、この二つの数字に

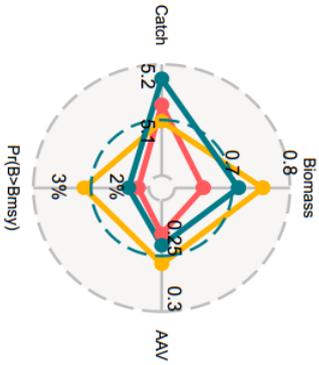
よって各指標の変動範囲を決められるようになった。赤線は MP4 の結果を表わしており、黄色線は MP5 を表わしており、青線は MP6 の結果を表わしている。見方としては、大きい資源量、大きい漁獲量、大きい確率や小さい AAV の管理方法がいいという結論がある。

## 4.2 結果

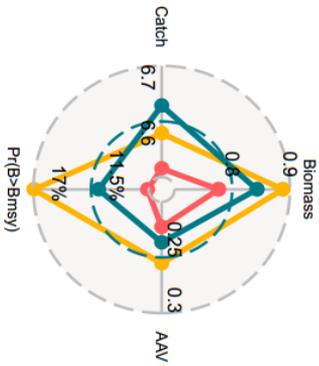
第三章における説明方法と一緒に、各パラメータを分けて検討していく。

まずは、図 4-2 のように管理開始前の資源状態で分ける結果を示す。短期に MP6 が僅かに大きな漁獲量を求められるが、MP5 は資源量指標に優れていることを究明した。次には、移動パターン（図 4-3）を考慮すると、短期に各 MP における大きな差別を見られていなかった。長期的に、魚種の移動率の増加とともに MP4 管理方法の魅力が減っていき、MP5 の強さが出ていく。加入のステイプネスや自然死亡に関しては、概ねに MP5 がよりよいことが分かった。特に、資源保護効果に対し一番強いである。しかし、加入のステイプネスにより各 MP の漁獲利益がばらつきが見られてきた。自然死亡率に関しては、高死亡率のシナリオのみ、MP6 が大きな漁獲量を得られることを明らかにした。最後に、調査観測誤差が効果評価結果に影響を与えるが、他のパラメータより重要ではないことが分かった。

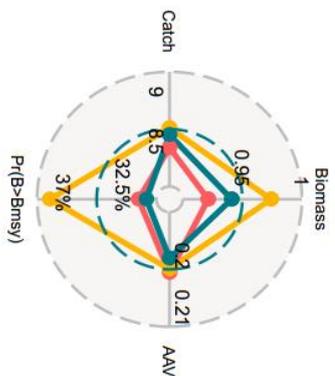
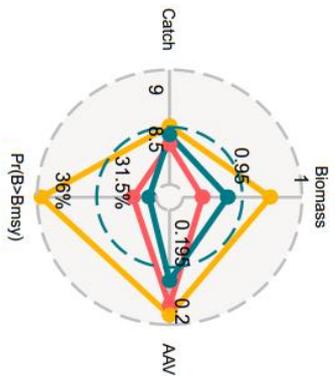
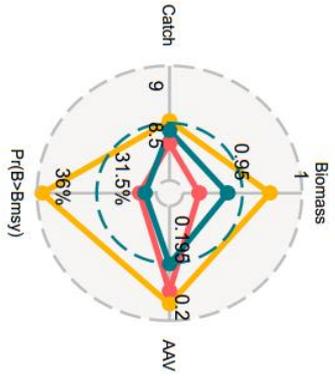
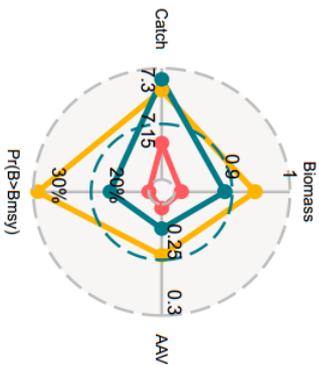
Del=10%



Del=30%



Del=50%



L T

S T

MP6

MP5

MP4

図 4-2 管理開始前の資源状態で分ける結果

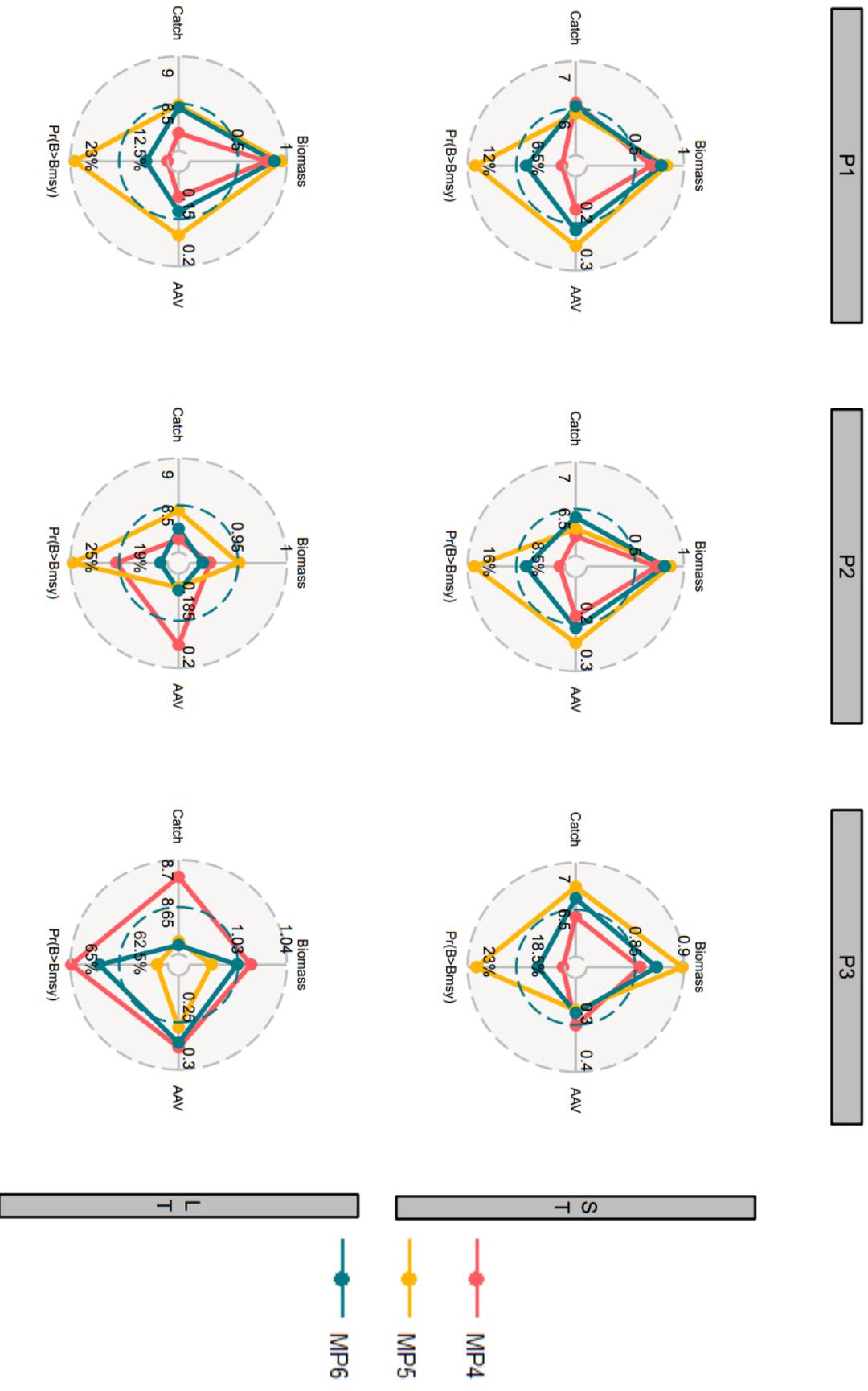
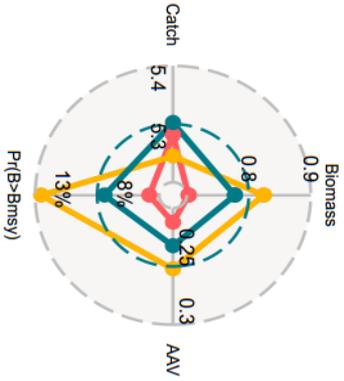
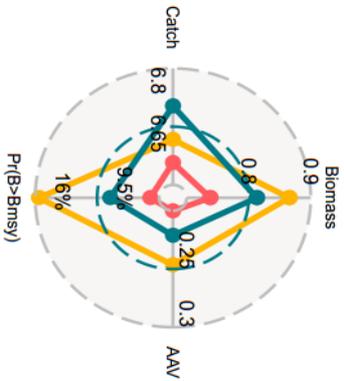


図 4-3 移動パターンで分ける結果

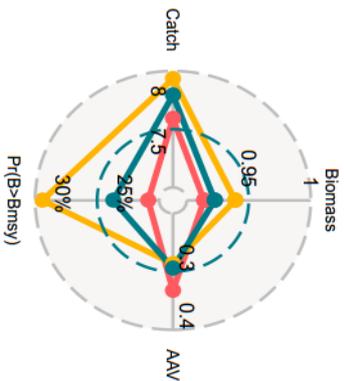
h=0.7



h=0.8



h=0.9

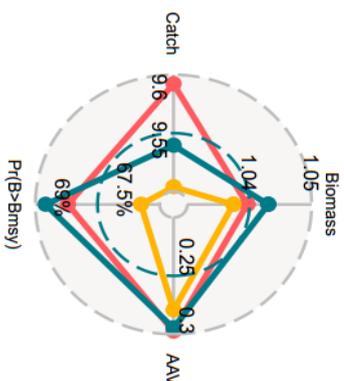
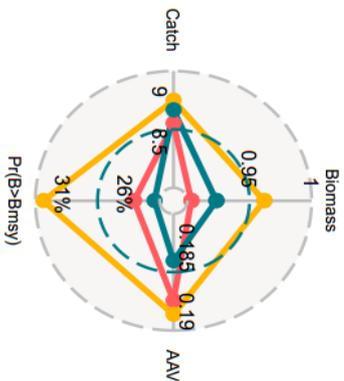
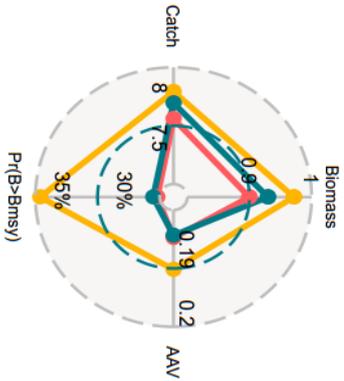


S T

MP4

MP5

MP6



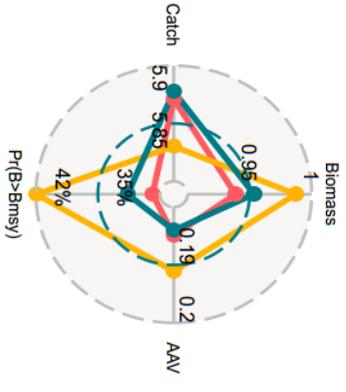
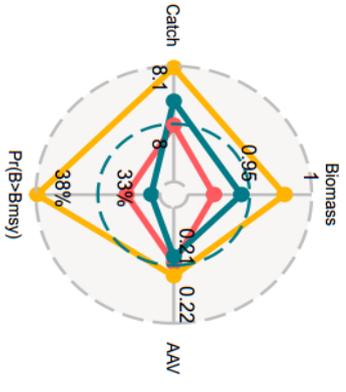
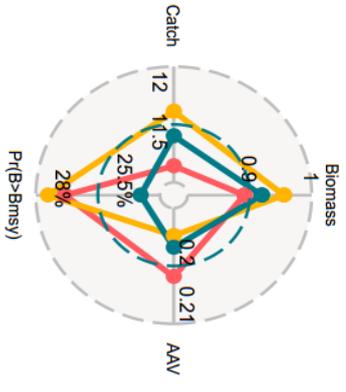
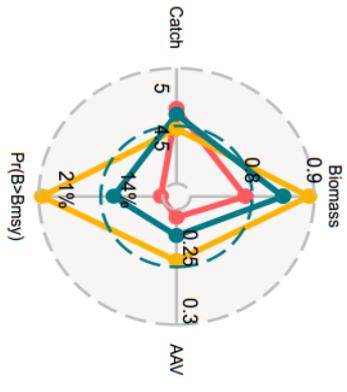
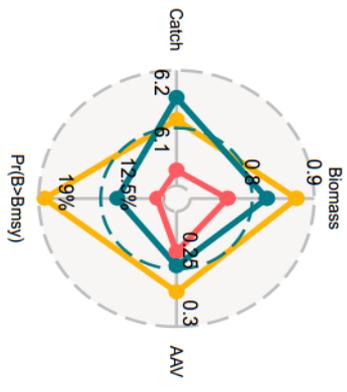
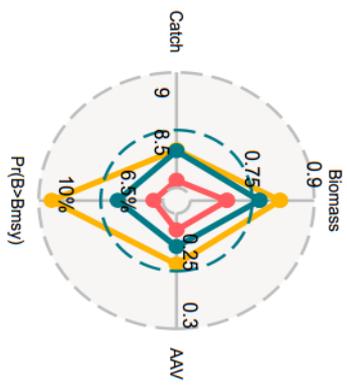
L T

図 4-4 加入のステータスで分ける結果

M=0.2

M=0.3

M=0.4



S

L

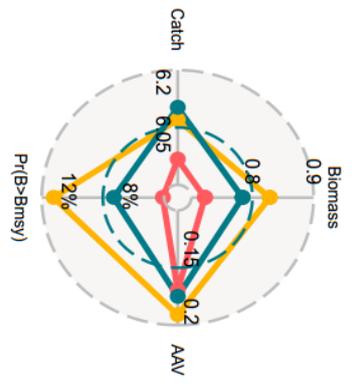
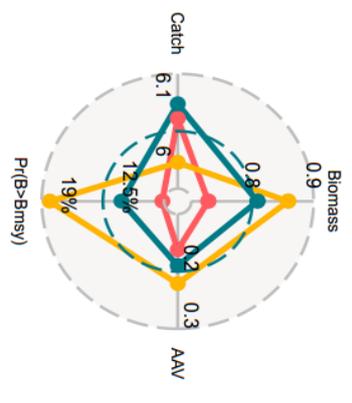
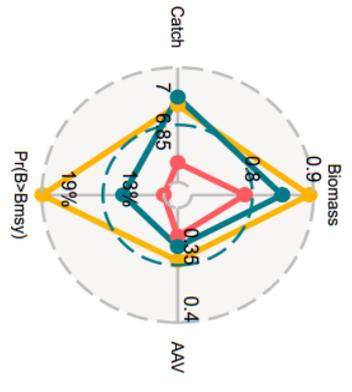
- MP4
- MP5
- MP6

図 4-5 自然死亡で分ける結果

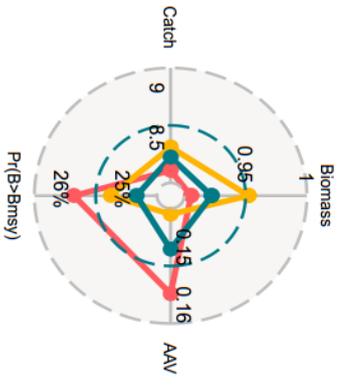
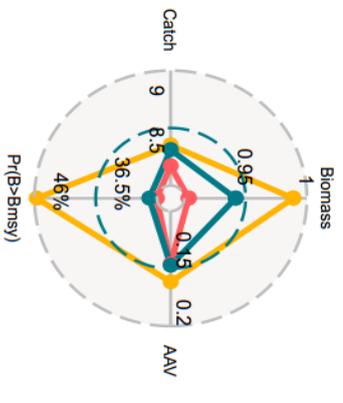
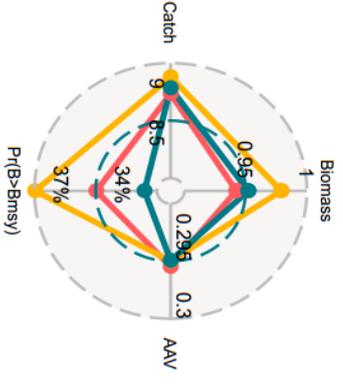
Sig=0

Sig=0.3

Sig=0.6



S T



L T

- MP4
- MP5
- MP6

図 4-6 調査観測誤差で分ける結果

### 4.3 まとめ

本研究の結果に従い、全体的に MP5 は本研究の中で一番いい管理方法である。特に MP5 の資源保護効果が顕著である。とすると、保護対象種の資源量が非常に少なく、あるいは保護対象種に関する必要な生態情報を集めることが難しい時に、MP5 が海洋保護区政策として優先に推薦されるべきである。

MP6 の特徴としては、短期的な漁獲利益を求めやすいことである。そのため、漁師者達の立場から見れば、MP6 の実施により急激な漁獲量の減少を防げて基本的な生計に支障を来たさなと思っています。

### 4.4 本研究結論

本研究のテーマは海洋保護区の効果検証なので、結論としては海洋保護区は資源保護に効果が顕著であることが分かった。また、海洋保護区の設置方法により、資源を保護すると同時に大きい漁獲量も求められることを発見した。

そのため、枯渇の資源状態または厳格な資源保護を満たす時に、海洋保護区政策が一番よい政策と思っている。さらに、海洋保護区の設置により、異なる結果が期待されるので、各利害関係者の利益をより易く実現できる柔軟性がある。

### 4.5 今後の課題

本論文は MSE の枠組みに参照したが、資源量インデックスに関しては、仮定して行われ

た資源調査の結果を直接に使用したままであり、資源評価モデルなど利用せずに結果の偏差が出てくるようになってしまった恐れがある。そのため、今後の課題として、現在の枠組みに評価モデルも考え入れるべきである。

この後、今回調べたパラメータがまだ少なく、シナリオの設置も不十分ではないかと疑問を抱いている。将来的に、各パラメータをよく調べたうえで、シナリオの更新していきたいと思います。最終的に、管理方法優劣の評価基準は確かに本稿に限って適切かつ明確であるが、一般的にもうまく機能できる評価基準を作るため、よりクリアな評価プロセスや明快な評価指標を考えなければいけないと思っている。

## 謝辞

本論文を作成するにあたり，多くの助言と心温かいご指導をしていただきました，東京海洋大学資源解析学の北門利英教授に心より御礼を申し上げます。また，本論文の審査をお引き受けいただきました田中栄次教授及び鈴木直樹先生に感謝いたします。また，2年間お世話になった同研究室の岩田繁英先生，村田博明，大津山賢人，片山佳実，資源解析学研究室の先輩，後輩の方々に深く感謝いたします。

さらに，東京海洋大学の日中韓プログラムに参加させて頂きまして，二年間プログラムの先生達からご丁寧にご指導を頂きまして誠に有難うございました。お互い応援していたプログラムの同期生達にも深く感謝いたします。

## 参考文献

- Bailey, N., 2008. *Larimichthys crocea* (Richardson, 1846). In: Froese, R. and D. Pauly. Editors., 2017. FishBase. Accessed through: World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=281271> on 2017-07-10.
- Beverton, R.J.H., Holt, S.J., 1957. On the Dynamics of Exploited Fish Populations. Her Majesty's Stationary Office, London.
- Botsford, L.W., Micheli, F., Hastings, A., 2003. Principles for the design of marine reserves. *Ecol. Appl.* 13(Suppl.), S25–S31.
- François C., Jessica F., 2006. Marine Protected Areas: an essential element of the fisheries management toolbox.
- Fulton EA et al., 2015. Modelling marine protected areas: insights and hurdles. *Phil. Trans. R. Soc. B* 370: 20140278. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0278>
- Graeme K., 1999. Guidelines for Marine Protected Areas, page 98.
- Guenette, S., Pitcher, T.J., 1999. An age-structured model showing the benefits of marine reserves in controlling overexploitation. *Fish. Res.* 39, 295–303.
- H.ウィッカム著, 石田 基広, 石田 和枝訳, 2009. グラフィックスのための R プログラミング ggplot2 入門, 丸善出版

- Halpern, B.S., 2003. The impact of marine reserves: do reserves work and does reserve size matter? *Ecol. Appl.* 13, S117–S137.
- Halpern, B.S., Warner, R.R., 2002. Marine reserves have rapid and lasting effects. *Ecol. Lett.* 5, 361–366.
- IUCN レッドリスト 2009. Accessed through: [http://www.iucn.jp/protection/species/redlist\\_table.html](http://www.iucn.jp/protection/species/redlist_table.html), Aug.3rd, 2017.
- Johannes, R.E., 1978. Traditional marine conservation methods in Oceania and their demise. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 9, 349–364.
- Kerwath, S.E., Winker, H., Gotz, A., Attwood, C.G., 2013. Marine protected area improves yield without disadvantaging fishers. *Nat. Commun.* 4. <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms3347>.
- Leah R. Gerber, K. David Hyrenbach, Mark A. Zacharias, 2005. Do the Largest Protected Areas Conserve Whales or Whalers? *Science*, 28 Jan, 525-526.
- Malcolm, H., 2011. *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries Second Edition*, p282-284.
- Mapstone BD., 1996. Scalable decision rules for environmental impact studies: Effect size, type I, and type II errors. *Ecol Appl* 5: 401–410.
- Mcclenachan, L., Kittinger, J.N., 2013. Multicentury trends and the sustainability of

coral reef fisheries in Hawai'i and Florida. *Fish Fish.* 14, 239–255.

Ray Hilborn, Carl J. Walters, 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment Choice, Dynamics and Uncertainty* Routledge, Chapman & Hall

Russ, G.R., 2002. Yet another review of marine reserves as reef fishery management tools. *Coral reef fishes: Dynamics and diversity in a complex ecosystem*, 421-443.

WEB 魚図鑑, フウセイ, Accessed through: <https://zukan.com/fish/internal2799> on 2017-07-10

Winston Chang, 石井 弓美子, 河内 崇, 瀬戸山 雅人, 古畠 敦訳, 2013. *R グラフィックスブック ggplot2 によるグラフ作成のレシピ集*, オライリー・ジャパン

魚介類 2.5 万名前大辞書, 日外アソシエーツ, 2008.

孔 祥雨. 浙江近海漁場大黄魚 *Pseudosciaena crocea* (Richardson) 生长的研究. 1985.

佐藤 矩行, 柁原 宏, 馬渡 峻輔, 長谷川 政美, 大野 照文, 西田 治文, 川上 紳一, 石川 統, 2004. *マクロ進化と全生物の系統分類 (シリーズ進化学 1)*, 岩波書店. 175-194 頁

## 付録1 MSY レベルの計算方法

漁獲による新たな平衡状態になる状況を基にし、年間総漁獲量と年間総資源量の値を求める。

$$C = \sum_a^{a_{plus}} C_a * w_a \quad (1)$$

$$B = R * w_0 + \sum_a^{a_{plus}} N_a * w_a \quad (2)$$

漁獲量と各年齢資源量の計算式より

$$C_a = N_a * e^{-M/2} * S_a qE \quad (3)$$

$$N_a = (N_{a-1} * e^{-M/2} - C_{a-1}) * e^{-M/2} \quad a \geq 2 \quad (4)$$

これを(4)式に代入し、

$$N_a = (N_{a-1} * e^{-M/2} - N_{a-1} * e^{-M/2} * S_a qE) * e^{-M/2} = N_{a-1} * e^{-M} * (1 - S_a qE) \quad (5)$$

漁具選択性の定義により、魚卵が獲られないため、

$$N_1 = R * e^{-M} \quad (6)$$

これを(1)式に代入し、

$$\begin{aligned} C &= N_1 * w_1 * e^{-\frac{M}{2}} * S_1 qE + N_2 * w_2 * e^{-\frac{M}{2}} * S_2 qE + N_3 * w_3 * e^{-M/2} * S_3 qE + \dots \\ &= N_1 * w_1 * e^{-\frac{M}{2}} * S_1 qE + N_1 * e^{-M} * (1 - S_1 qE) * w_2 * e^{-\frac{M}{2}} * S_2 qE + \dots \\ &= R * e^{-M} * w_1 * e^{-\frac{M}{2}} * S_1 qE + R * e^{-M} * e^{-M} * (1 - S_1 qE) * w_2 * e^{-\frac{M}{2}} * S_2 qE + \dots \\ &= R(e^{-\frac{3M}{2}} w_1 S_1 qE + e^{-\frac{5M}{2}} w_2 S_2 qE (1 - S_1 qE) + \dots \\ &= RqE e^{-\frac{M}{2}} (e^{-M} w_1 S_1 + e^{-2M} w_2 S_2 (1 - S_1 qE) + \dots \quad (7) \end{aligned}$$

同様に,

$$\begin{aligned} B &= R(w_0 + e^{-M}w_1 + e^{-2M}w_2(1 - S_1qE) + \dots \\ &= Rw_0 + R(e^{-M}w_1 + e^{-2M}w_2(1 - S_1qE) + \dots \quad (8) \end{aligned}$$

さらに, Beverton-Holt 再生産式により,

$$R = R_0 \frac{4h(B/B_0)}{(1-h)+(5h-1)(B/B_0)} \quad (9)$$

ここで, 各シナリオによる  $M$  (自然死亡),  $h$  (再生産関係) や研究対象による  $w$  (体重係数) や漁具, 漁法による  $S$  (選択性係数) が決めると, 各漁獲圧による平衡状態の  $MSY$  (漁獲量) と  $BMSY$  (資源量) が計算できる.

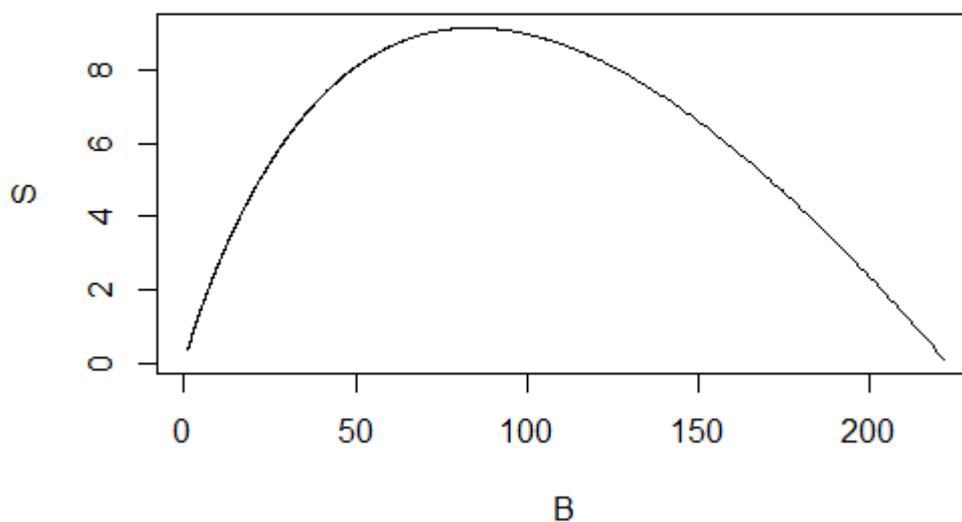


図 A- 1 MSY 計算結果の一例

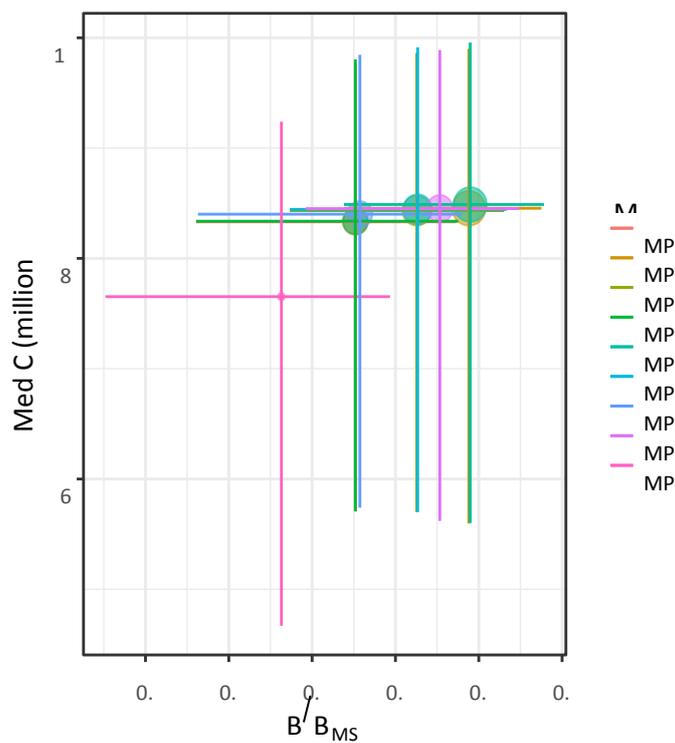
付録2 各シナリオ結果の一部(シナリオ 1-20)

シナリオ 1

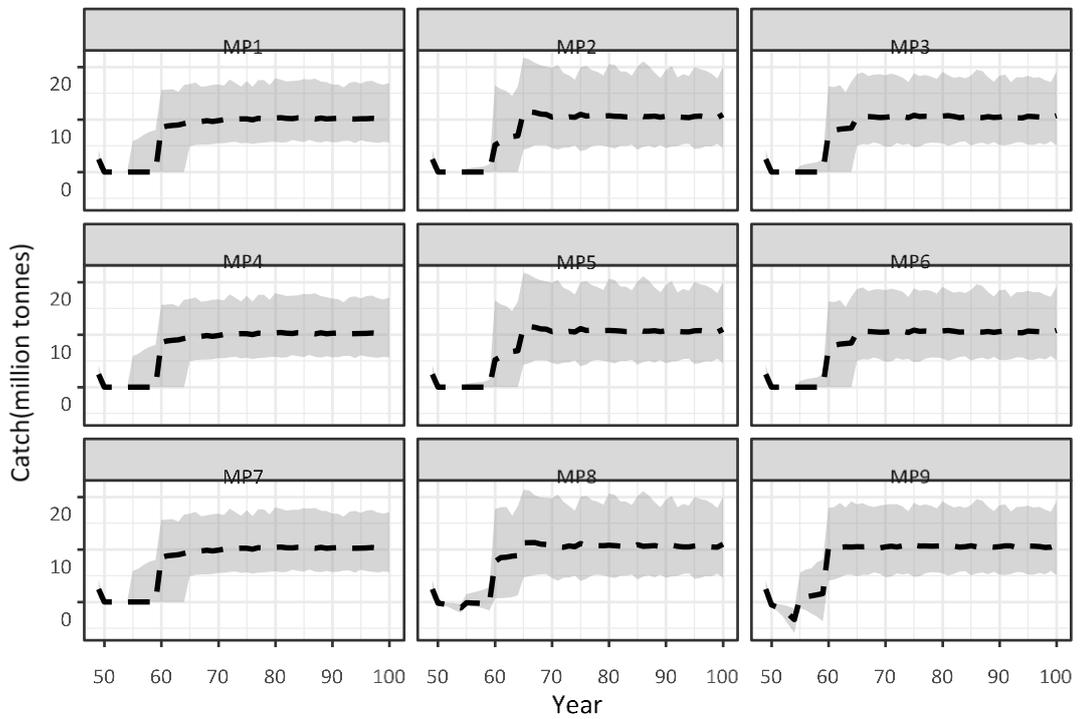
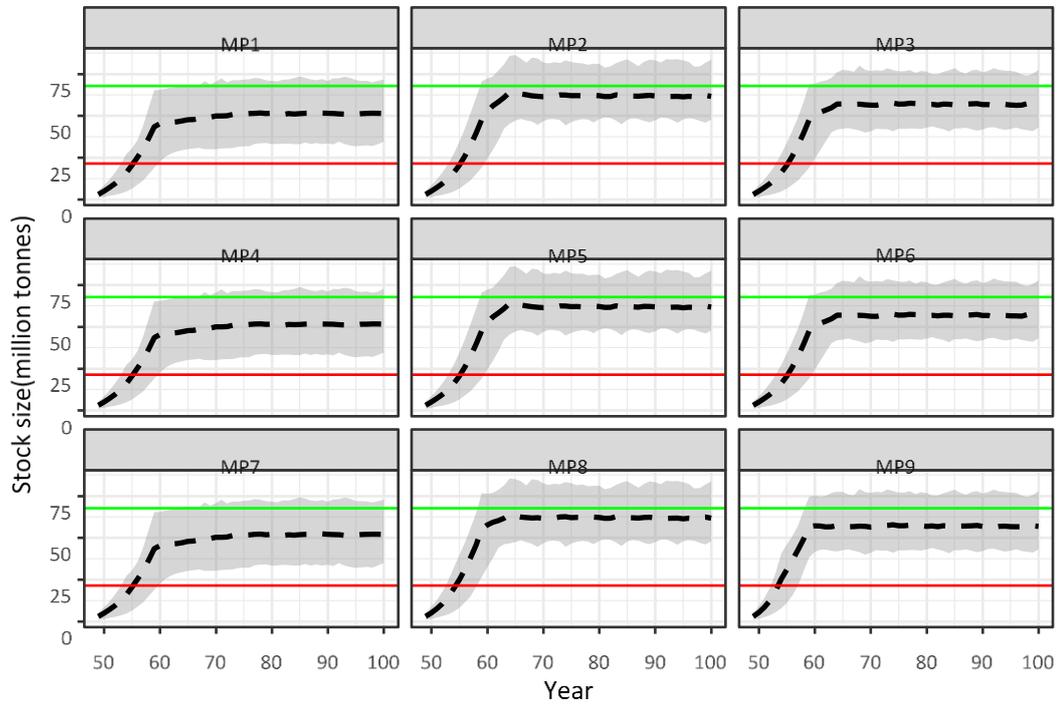
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5   | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
|------------|--------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.51  | 0.63  | 0.58 | 0.51  | 0.63  | 0.58  | 0.52  | 0.58  | 0.32  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| short term | Pr(B<Blimit) | 2%    | 0%    | 0%   | 2%    | 0%    | 0%    | 2%    | 0%    | 45%   |
| short term | AveCatch     | 5.31  | 4.99  | 5.16 | 5.31  | 5     | 5.16  | 5.32  | 4.91  | 4.15  |
| short term | AAV          | 0.33  | 0.35  | 0.34 | 0.33  | 0.35  | 0.34  | 0.33  | 0.31  | 0.26  |
| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5   | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 0.76  | 0.92  | 0.85 | 0.76  | 0.92  | 0.85  | 0.77  | 0.89  | 0.74  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 0%    | 4.4%  | 0.2% | 0%    | 5.6%  | 0.4%  | 0%    | 2.2%  | 0%    |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 10.58 | 10.99 | 10.9 | 10.59 | 11.05 | 10.93 | 10.69 | 11.08 | 10.16 |
| long term  | AAV          | 0.24  | 0.26  | 0.25 | 0.24  | 0.26  | 0.25  | 0.24  | 0.25  | 0.24  |

● Trade-off プロット



● 資源動態図

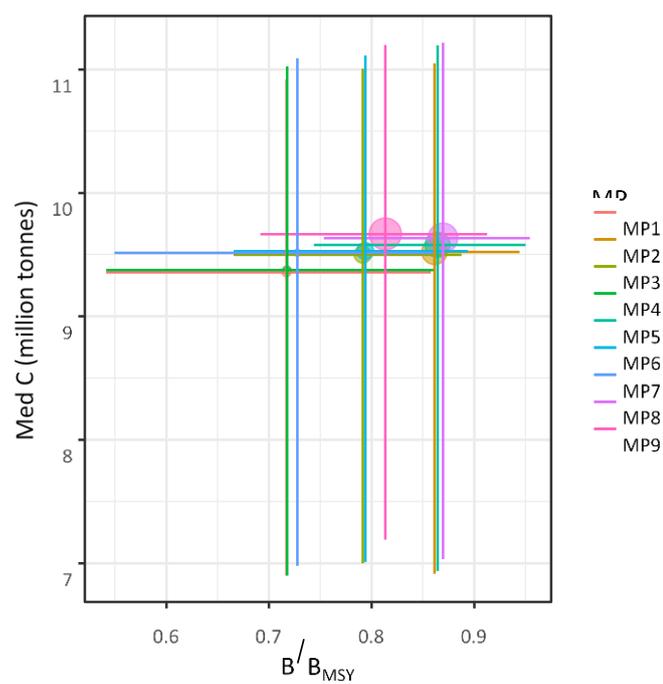


## シナリオ 2

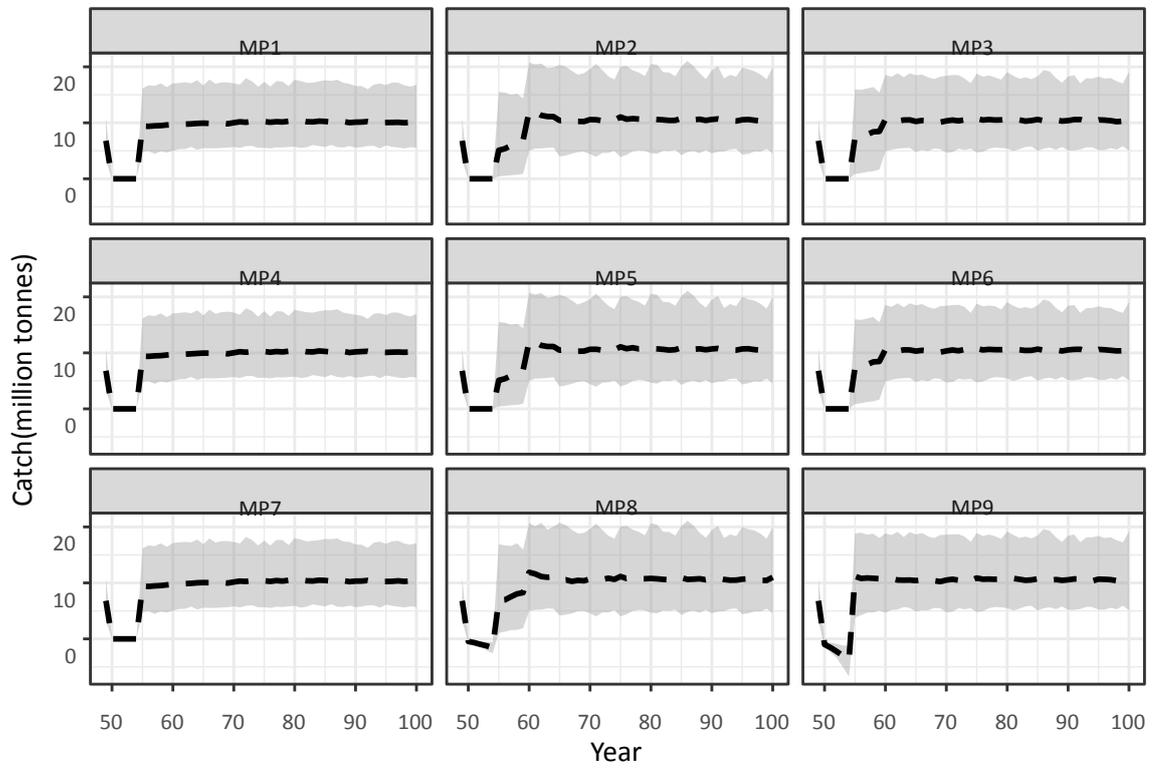
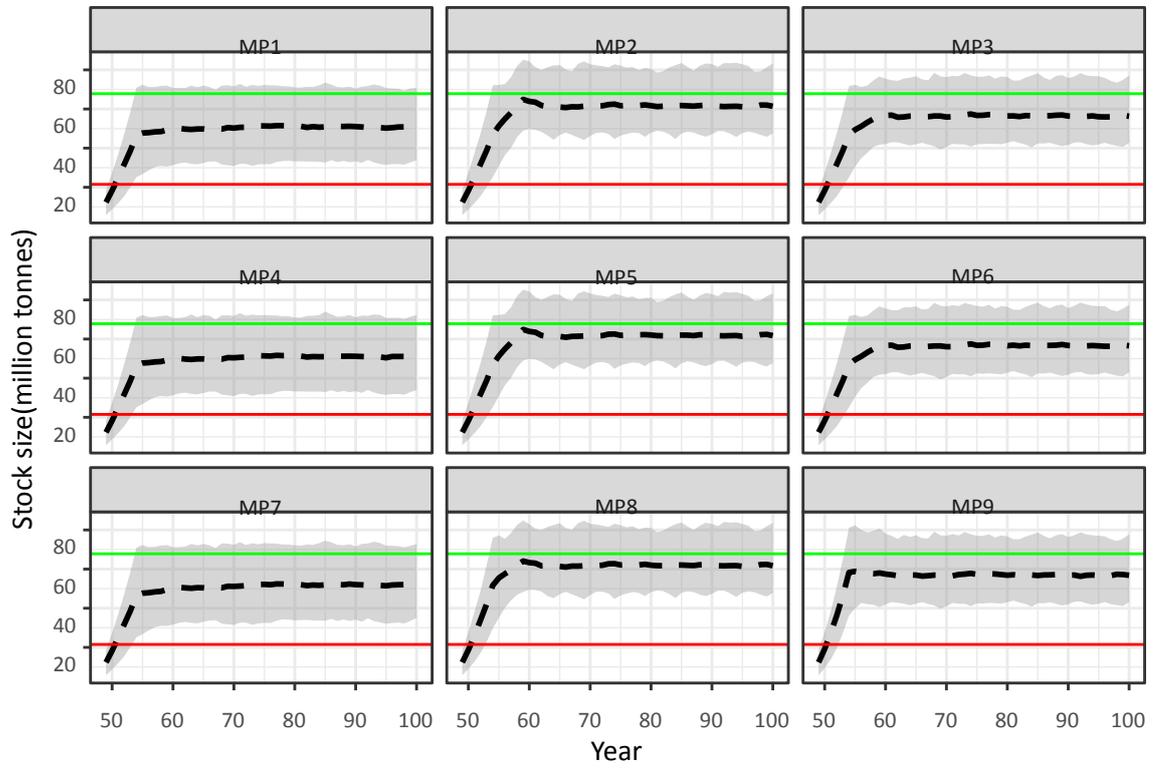
### ● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5   | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
|------------|--------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.68  | 0.81  | 0.75 | 0.68  | 0.81  | 0.75  | 0.69  | 0.82  | 0.78  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0%    | 0.8%  | 0%   | 0.2%  | 0.8%  | 0.2%  | 0.2%  | 1.6%  | 1.4%  |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| short term | AveCatch     | 7.82  | 7.48  | 7.66 | 7.82  | 7.53  | 7.68  | 7.89  | 7.61  | 7.91  |
| short term | AAV          | 0.31  | 0.33  | 0.31 | 0.31  | 0.33  | 0.31  | 0.3   | 0.35  | 0.39  |
| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5   | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 0.76  | 0.92  | 0.84 | 0.76  | 0.92  | 0.85  | 0.77  | 0.92  | 0.85  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 0%    | 4.2%  | 0%   | 0%    | 5.6%  | 0.4%  | 0%    | 6%    | 0.4%  |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 10.55 | 11.01 | 10.8 | 10.58 | 11.09 | 10.91 | 10.75 | 11.13 | 10.98 |
| long term  | AAV          | 0.24  | 0.26  | 0.25 | 0.24  | 0.26  | 0.25  | 0.24  | 0.26  | 0.25  |

### ● Trade-off プロット



● 資源動態図

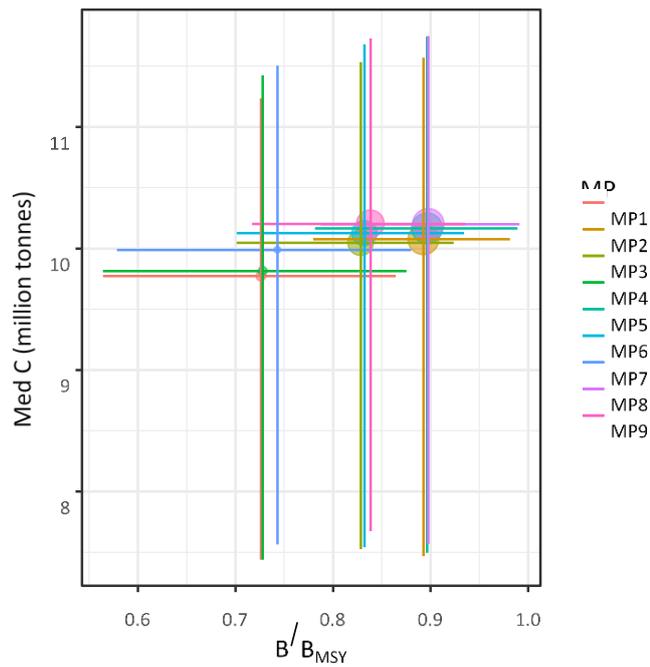


シナリオ 3

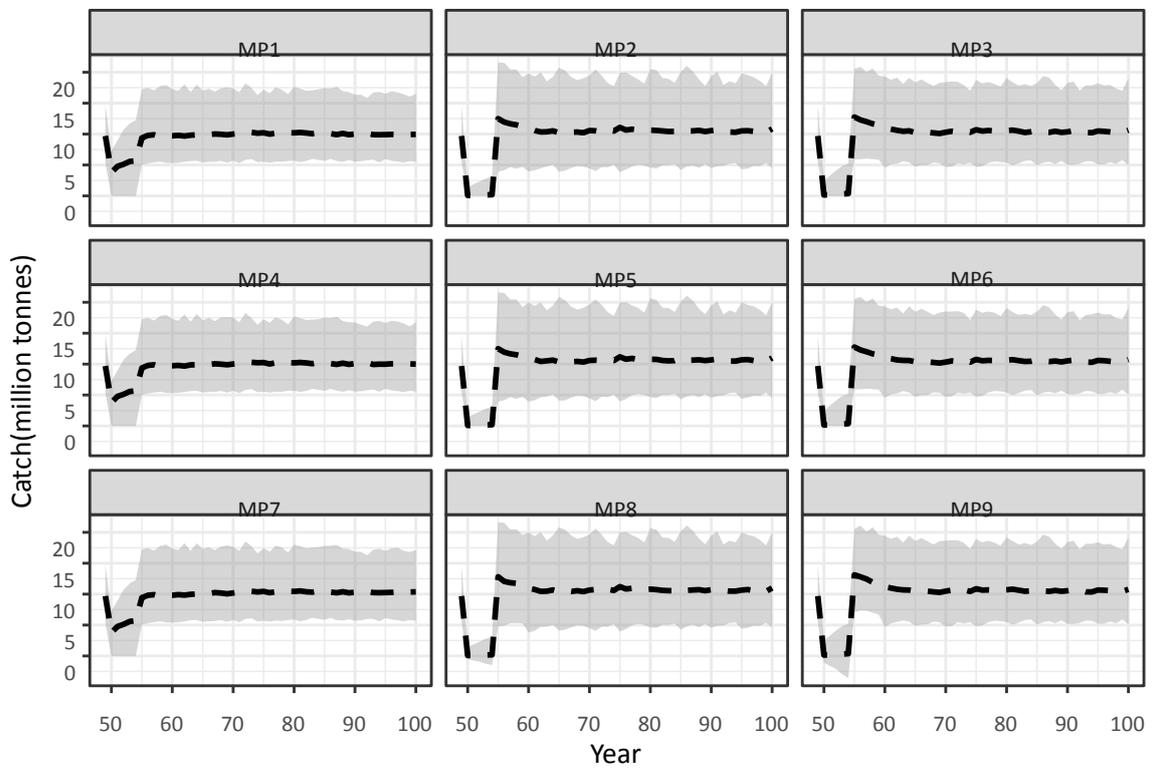
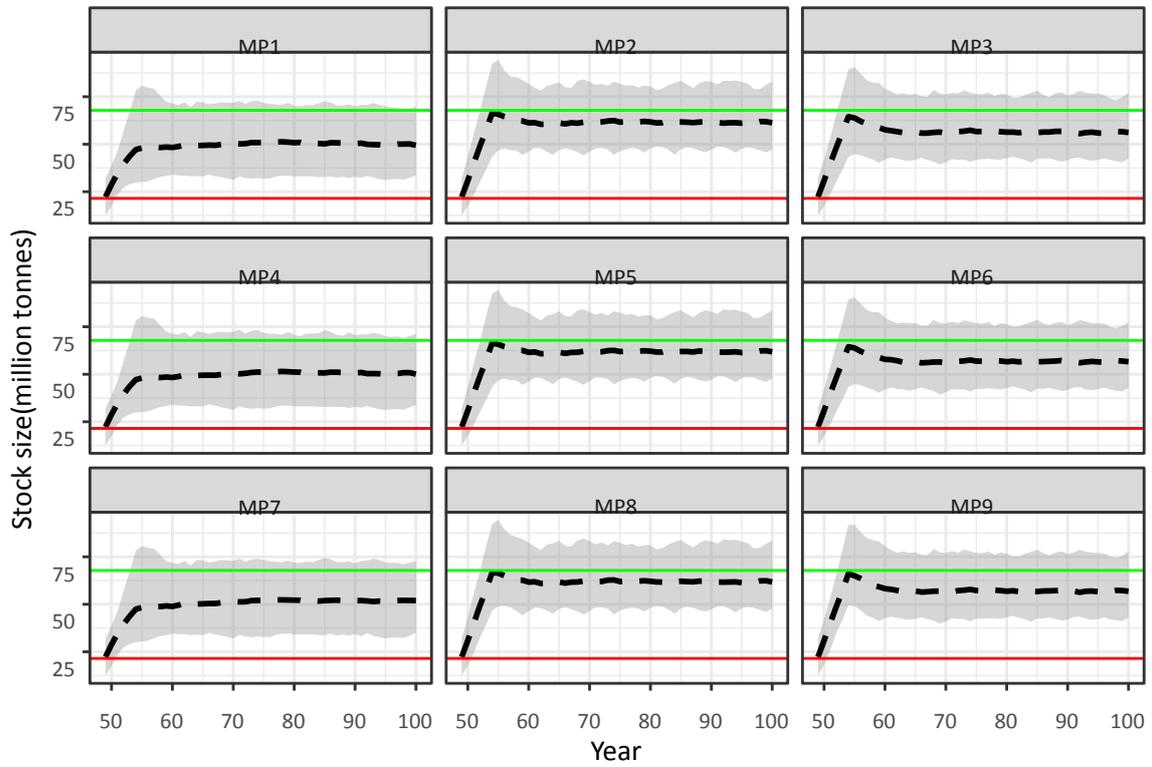
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5   | MP6  | MP7   | MP8   | MP9   |
|------------|--------------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.69  | 0.88  | 0.83 | 0.69  | 0.88  | 0.83 | 0.7   | 0.88  | 0.83  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0.6%  | 5%    | 3%   | 0.8%  | 5.4%  | 3.2% | 0.8%  | 6%    | 3.6%  |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    |
| short term | AveCatch     | 8.78  | 8.67  | 8.91 | 8.78  | 8.74  | 8.92 | 8.9   | 8.77  | 9.03  |
| short term | AAV          | 0.28  | 0.33  | 0.31 | 0.28  | 0.33  | 0.31 | 0.28  | 0.33  | 0.32  |
| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5   | MP6  | MP7   | MP8   | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 0.75  | 0.92  | 0.84 | 0.76  | 0.92  | 0.85 | 0.77  | 0.92  | 0.85  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 0%    | 4.2%  | 0%   | 0%    | 5.8%  | 0.4% | 0%    | 6.2%  | 0.4%  |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 10.45 | 10.99 | 10.8 | 10.53 | 11.09 | 10.9 | 10.76 | 11.12 | 10.98 |
| long term  | AAV          | 0.24  | 0.26  | 0.25 | 0.24  | 0.26  | 0.25 | 0.24  | 0.26  | 0.25  |

● Trade-off プロット



● 資源動態図

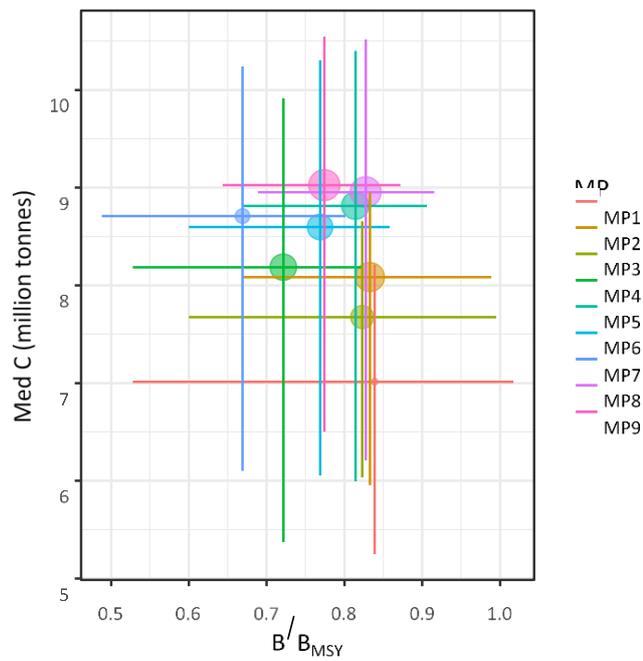


シナリオ 4

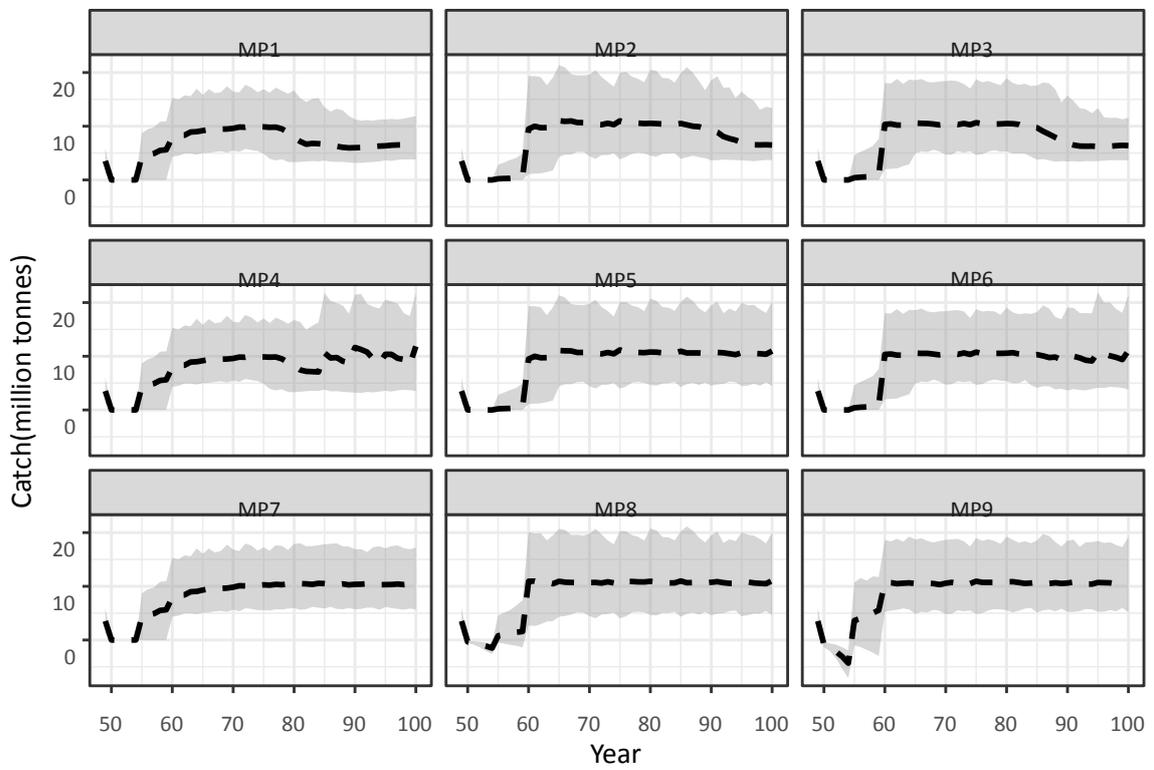
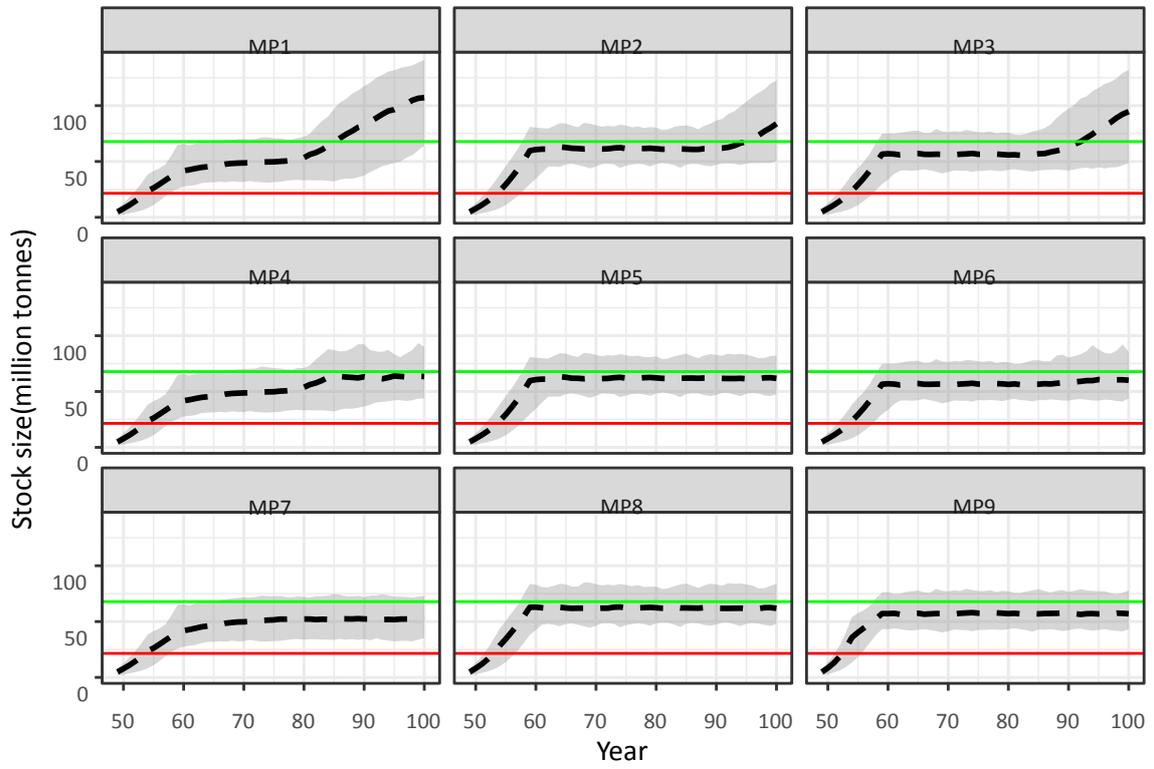
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4  | MP5   | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
|------------|--------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.53 | 0.69 | 0.65 | 0.53 | 0.69  | 0.65  | 0.54  | 0.72  | 0.69  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0.2% | 0%   | 0%   | 0.2% | 0%    | 0%    | 0.2%  | 0%    | 0%    |
| short term | AveCatch     | 5.96 | 5.79 | 5.99 | 5.96 | 5.81  | 5.99  | 6.02  | 5.99  | 6.41  |
| short term | AAV          | 0.3  | 0.35 | 0.33 | 0.3  | 0.35  | 0.33  | 0.3   | 0.38  | 0.41  |
| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4  | MP5   | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 1.07 | 0.95 | 0.96 | 0.87 | 0.92  | 0.87  | 0.77  | 0.93  | 0.85  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 60%  | 35%  | 40%  | 1%   | 5.8%  | 0.8%  | 0%    | 7.2%  | 0.4%  |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 7.92 | 9.8  | 9.07 | 9.92 | 11.07 | 10.58 | 10.73 | 11.16 | 11.04 |
| long term  | AAV          | 0.23 | 0.26 | 0.24 | 0.26 | 0.26  | 0.25  | 0.24  | 0.26  | 0.25  |

● Trade-off プロット



● 資源動態図

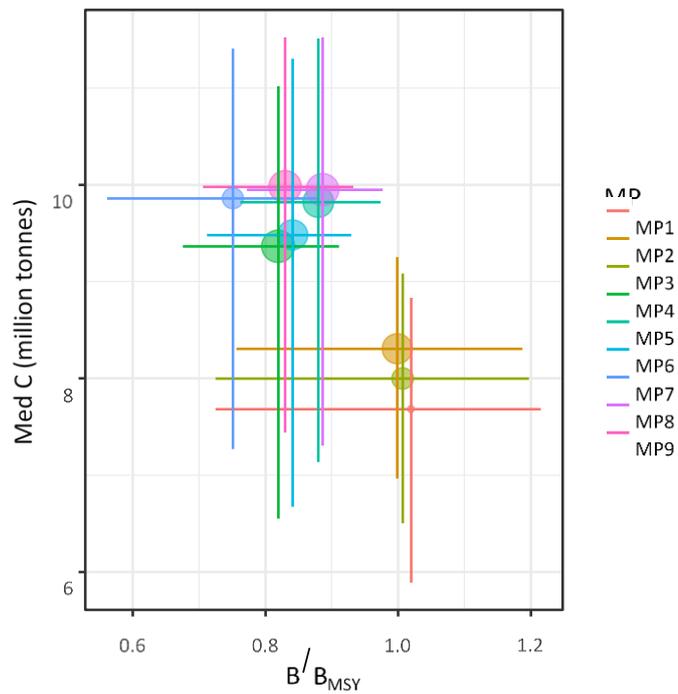


シナリオ 5

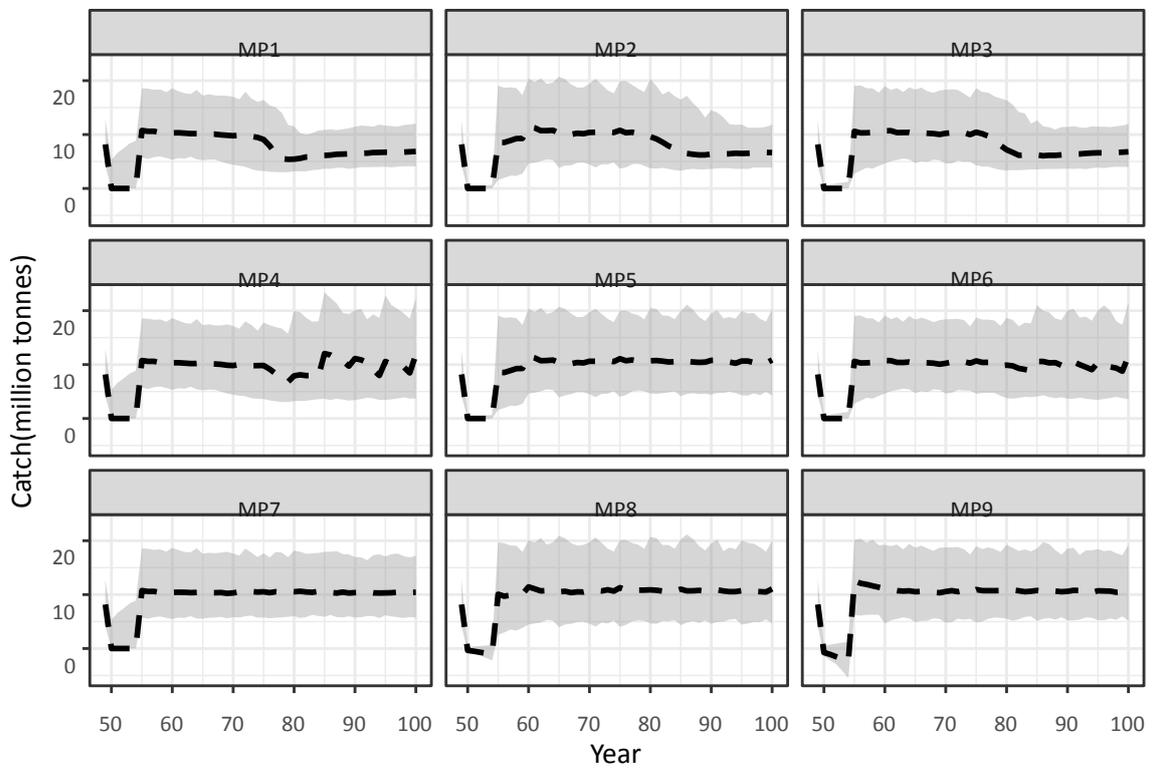
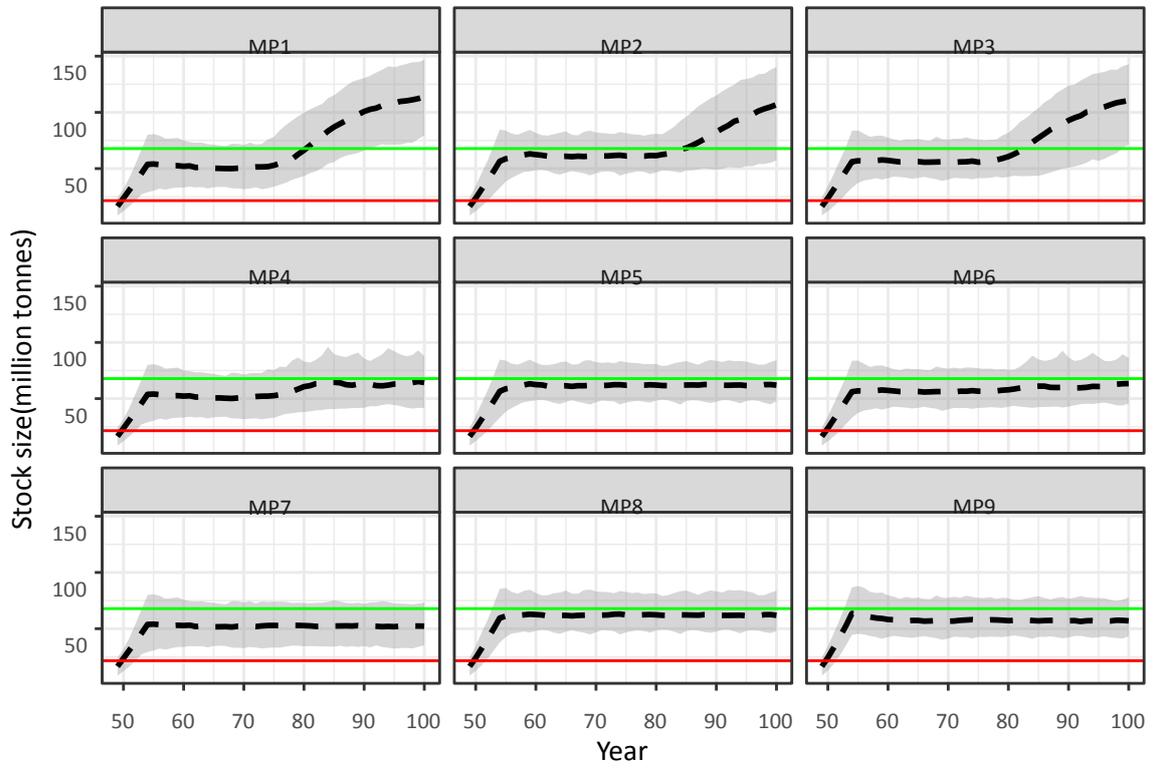
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4  | MP5   | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
|------------|--------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.73 | 0.84 | 0.78 | 0.73 | 0.84  | 0.79  | 0.74  | 0.85  | 0.82  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0.8% | 1.8% | 1%   | 1%   | 2.4%  | 1.4%  | 1%    | 2.6%  | 2%    |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| short term | AveCatch     | 8.38 | 8.03 | 8.26 | 8.39 | 8.11  | 8.27  | 8.55  | 8.19  | 8.48  |
| short term | AAV          | 0.31 | 0.32 | 0.31 | 0.31 | 0.32  | 0.31  | 0.31  | 0.34  | 0.36  |
| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4  | MP5   | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 1.22 | 1.13 | 1.18 | 0.89 | 0.92  | 0.89  | 0.78  | 0.93  | 0.85  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 92%  | 79%  | 86%  | 4.6% | 6%    | 2.8%  | 0%    | 7.2%  | 0.4%  |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 7.3  | 8.55 | 7.92 | 9.94 | 11.05 | 10.31 | 10.86 | 11.19 | 11.05 |
| long term  | AAV          | 0.21 | 0.25 | 0.22 | 0.28 | 0.26  | 0.26  | 0.24  | 0.26  | 0.25  |

● Trade-off プロット



● 資源動態図

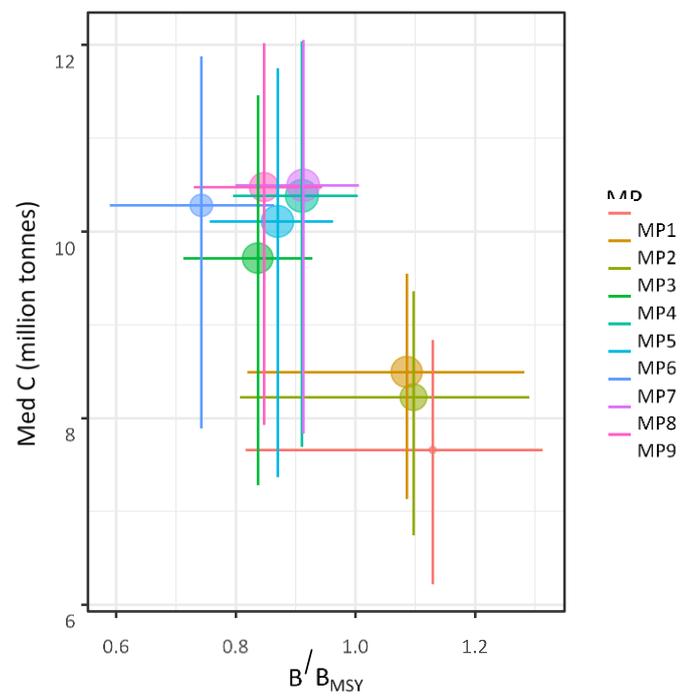


シナリオ 6

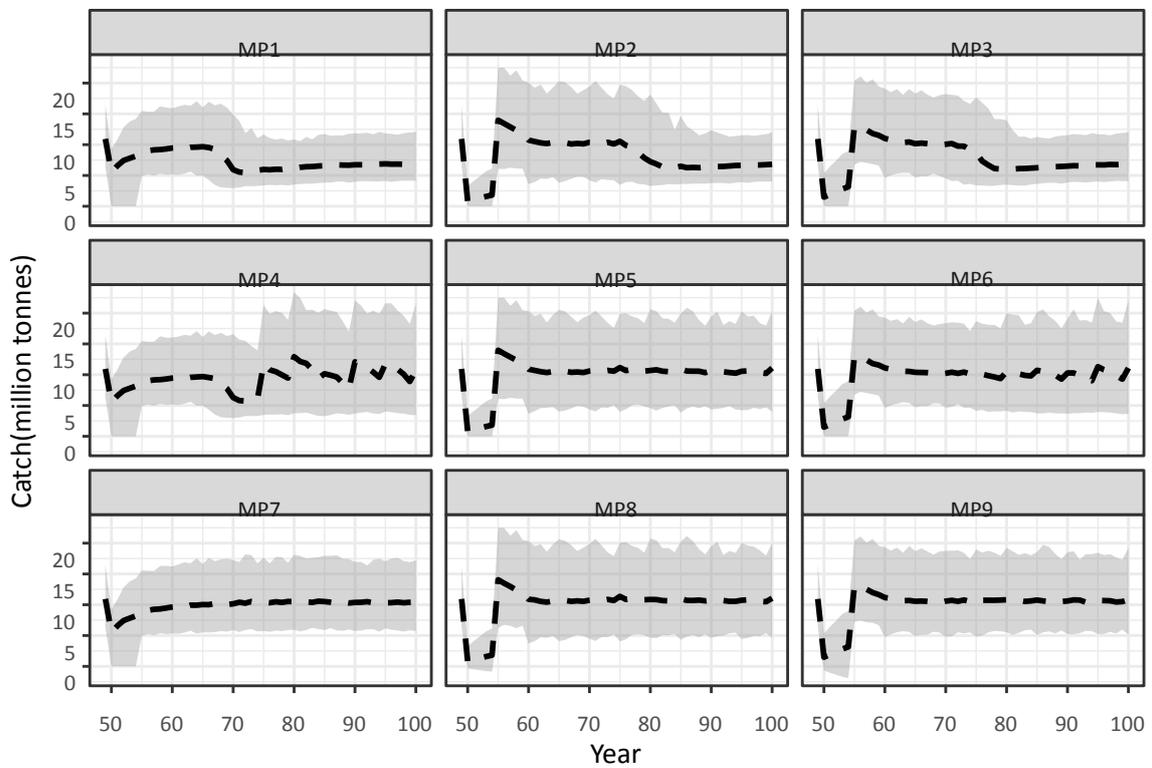
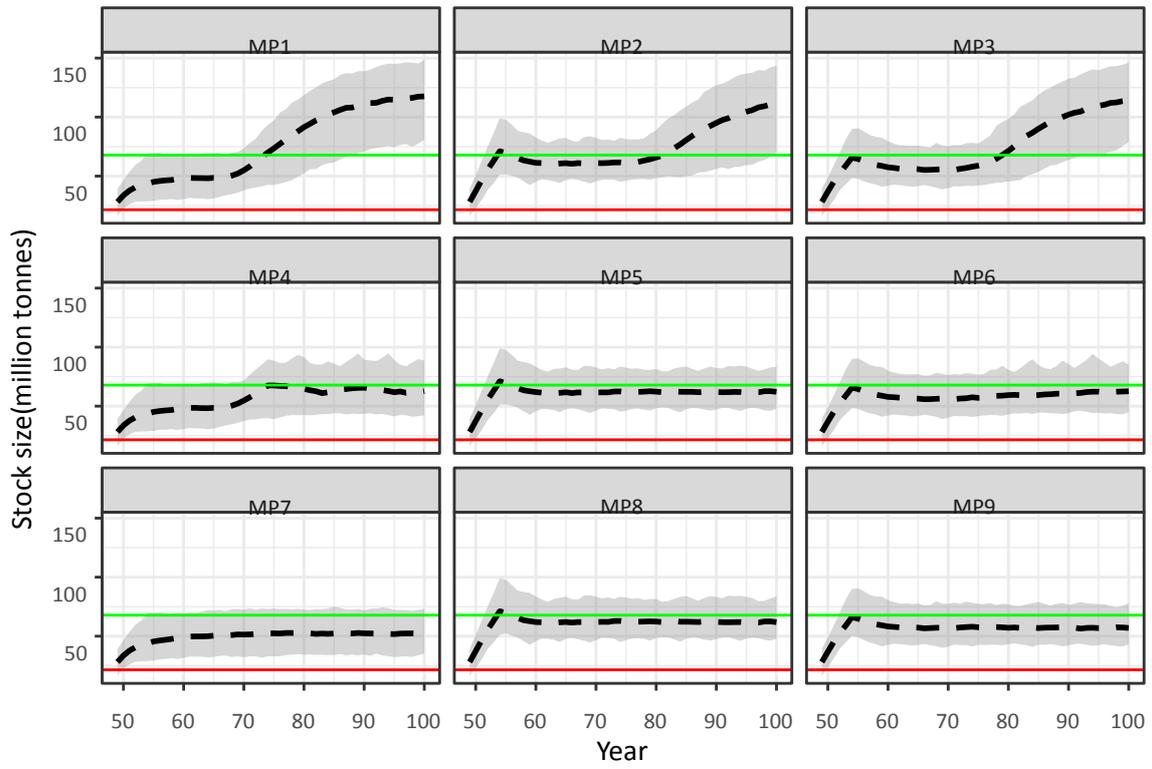
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5   | MP6  | MP7  | MP8   | MP9   |
|------------|--------------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.69 | 0.9  | 0.84 | 0.69  | 0.91  | 0.84 | 0.71 | 0.91  | 0.85  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0.2% | 8.6% | 3%   | 0.2%  | 9.8%  | 4.6% | 0.2% | 10%   | 4.6%  |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%   | 0%    | 0%    |
| short term | AveCatch     | 8.77 | 9.18 | 9.35 | 8.77  | 9.28  | 9.4  | 9.42 | 9.35  | 9.53  |
| short term | AAV          | 0.26 | 0.32 | 0.3  | 0.26  | 0.32  | 0.3  | 0.25 | 0.32  | 0.3   |
| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5   | MP6  | MP7  | MP8   | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 1.44 | 1.23 | 1.28 | 0.94  | 0.92  | 0.89 | 0.78 | 0.93  | 0.85  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 95%  | 91%  | 93%  | 17%   | 7%    | 3.4% | 0%   | 7.2%  | 0.4%  |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%   | 0%    | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 6.78 | 8.03 | 7.47 | 10.12 | 11.03 | 10.5 | 10.8 | 11.18 | 11.05 |
| long term  | AAV          | 0.19 | 0.23 | 0.21 | 0.28  | 0.26  | 0.27 | 0.24 | 0.26  | 0.25  |

● Trade-off プロット



● 資源動態図

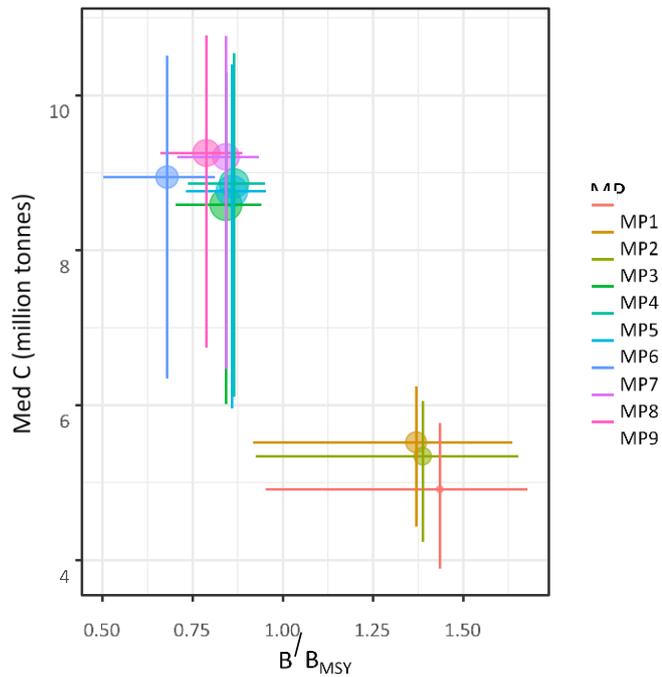


シナリオ 7

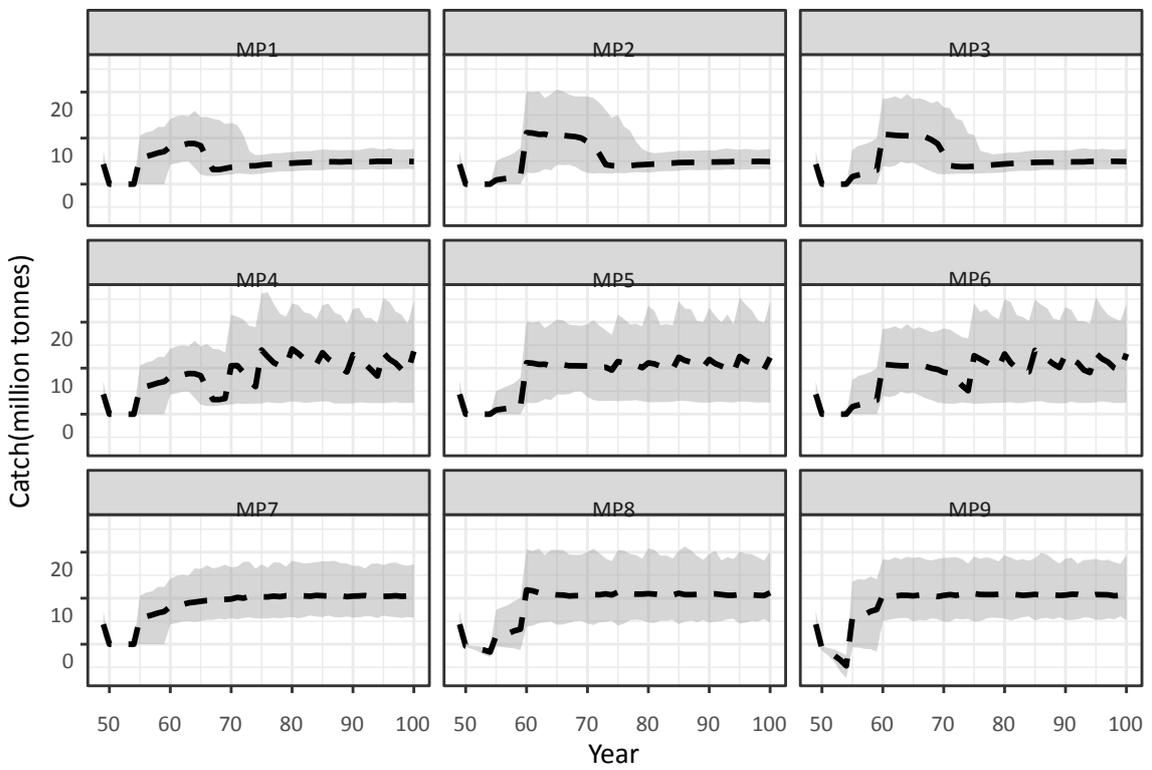
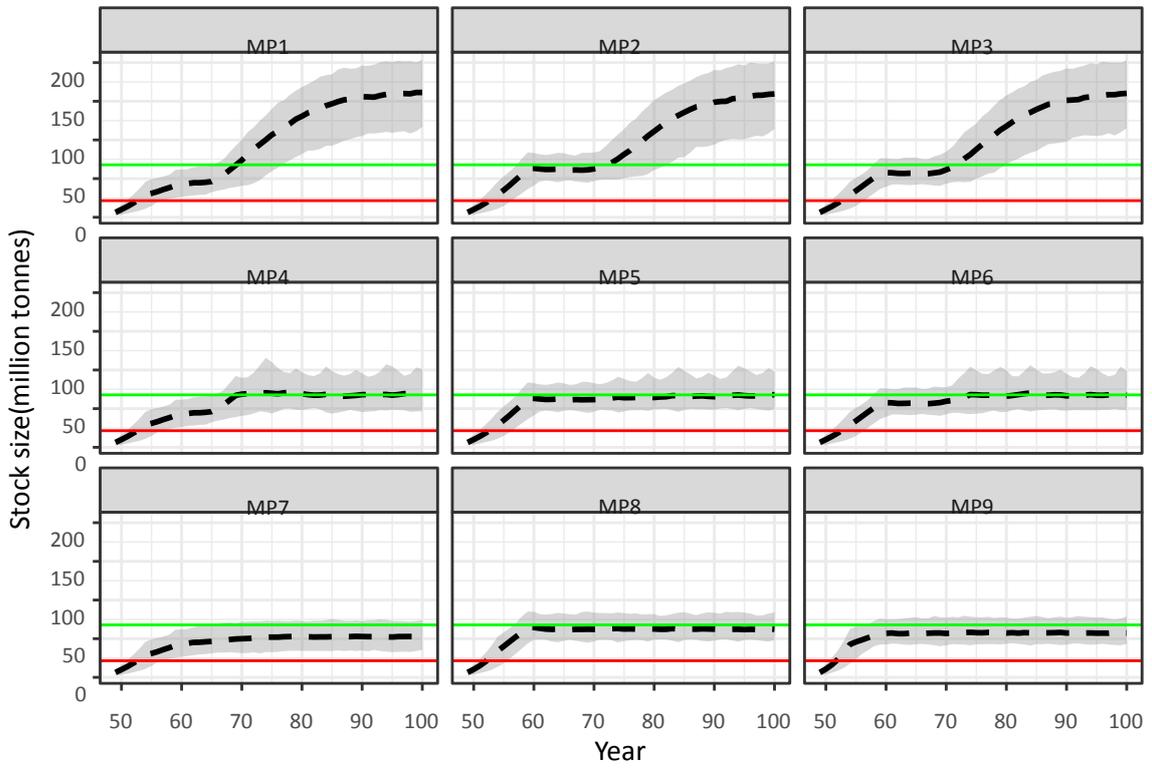
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
|------------|--------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.6  | 0.72 | 0.68 | 0.6   | 0.72 | 0.68  | 0.56  | 0.75  | 0.72  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| short term | AveCatch     | 5.05 | 6.24 | 6.11 | 5.27  | 6.26 | 6.18  | 6.51  | 6.46  | 6.83  |
| short term | AAV          | 0.34 | 0.35 | 0.34 | 0.37  | 0.34 | 0.34  | 0.3   | 0.38  | 0.41  |
| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 2.02 | 1.84 | 1.89 | 1.03  | 0.99 | 1.01  | 0.78  | 0.93  | 0.86  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 100% | 100% | 100% | 71%   | 39%  | 55%   | 0%    | 9.2%  | 0.4%  |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 4.81 | 5.19 | 4.93 | 10.94 | 10.8 | 10.61 | 10.82 | 11.25 | 11.12 |
| long term  | AAV          | 0.11 | 0.15 | 0.13 | 0.33  | 0.31 | 0.34  | 0.24  | 0.26  | 0.25  |

● Trade-off プロット



● 資源動態図

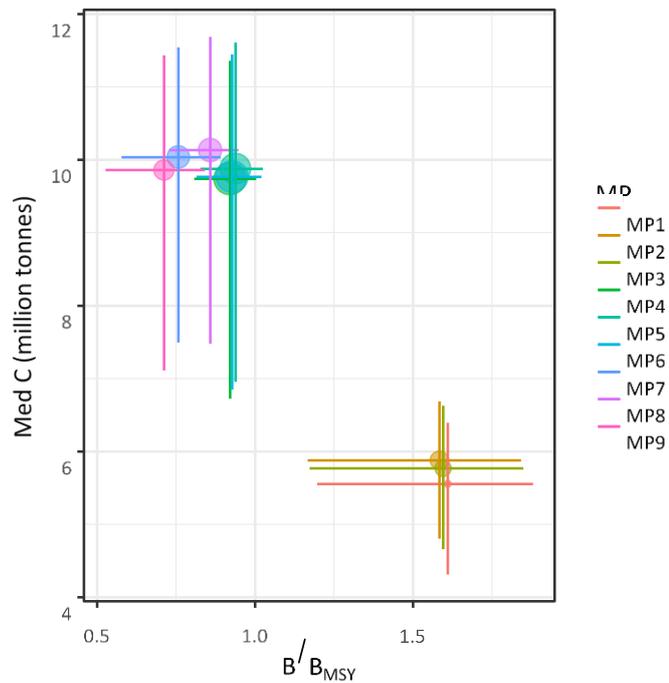


シナリオ 8

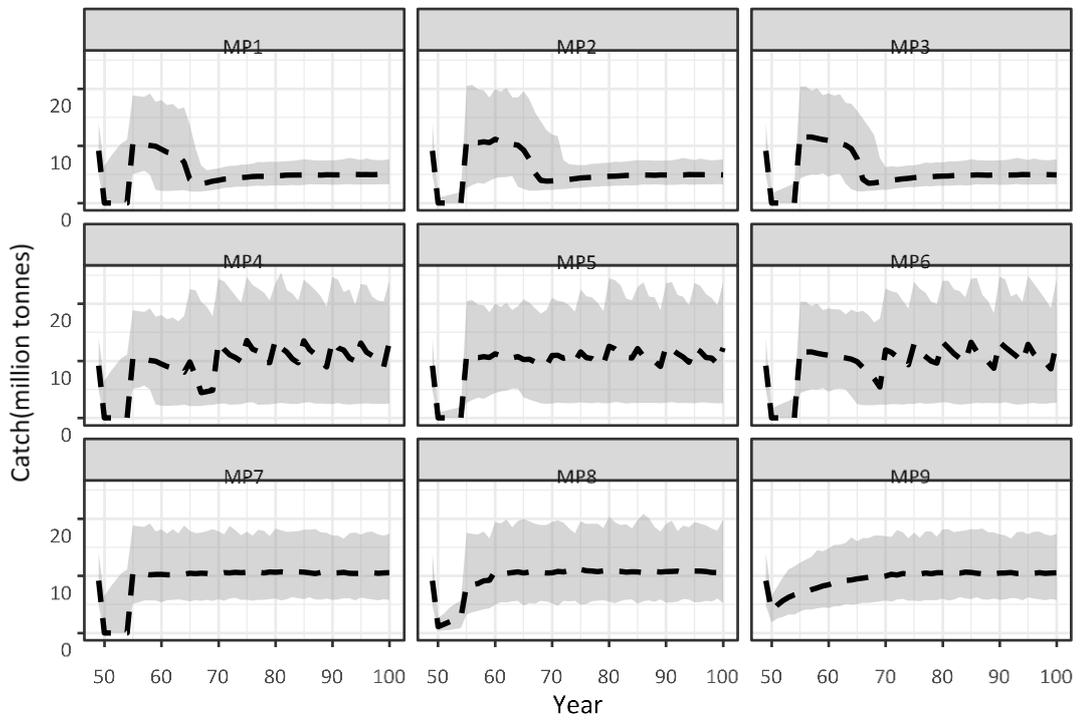
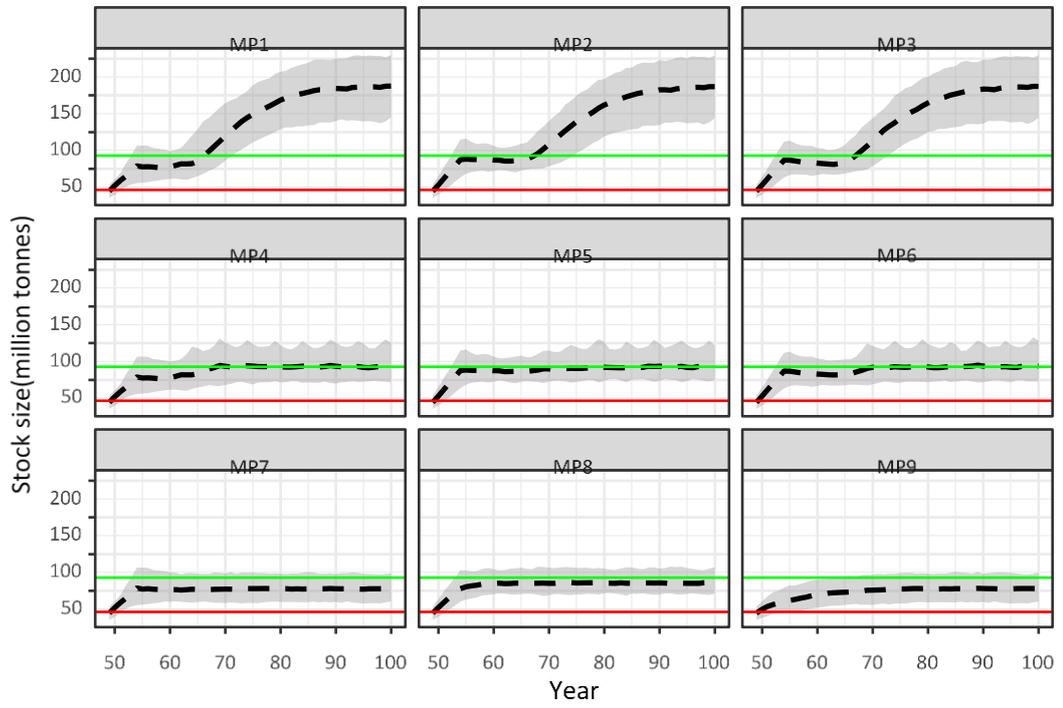
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
|------------|--------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.87 | 0.9  | 0.88 | 0.81  | 0.87 | 0.84  | 0.73  | 0.82 | 0.63  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 13%  | 13%  | 12%  | 1%    | 3.8% | 3%    | 0.4%  | 1.4% | 0%    |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| short term | AveCatch     | 6.17 | 7.16 | 6.83 | 7.7   | 8.26 | 7.75  | 8.73  | 8.54 | 8.42  |
| short term | AAV          | 0.32 | 0.35 | 0.35 | 0.35  | 0.34 | 0.36  | 0.3   | 0.29 | 0.25  |
| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 2.15 | 2.08 | 2.1  | 1.02  | 1    | 1.01  | 0.79  | 0.9  | 0.78  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 100% | 100% | 100% | 61%   | 52%  | 58%   | 0%    | 2.4% | 0.2%  |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 4.89 | 4.87 | 4.85 | 10.96 | 10.8 | 10.81 | 10.93 | 11.2 | 10.83 |
| long term  | AAV          | 0.1  | 0.11 | 0.1  | 0.33  | 0.31 | 0.33  | 0.24  | 0.25 | 0.24  |

● Trade-off プロット



● 資源動態図

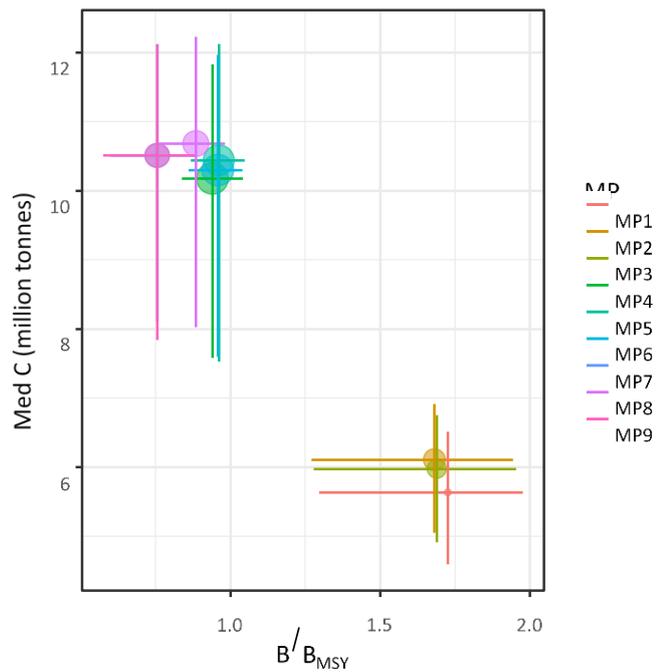


シナリオ 9

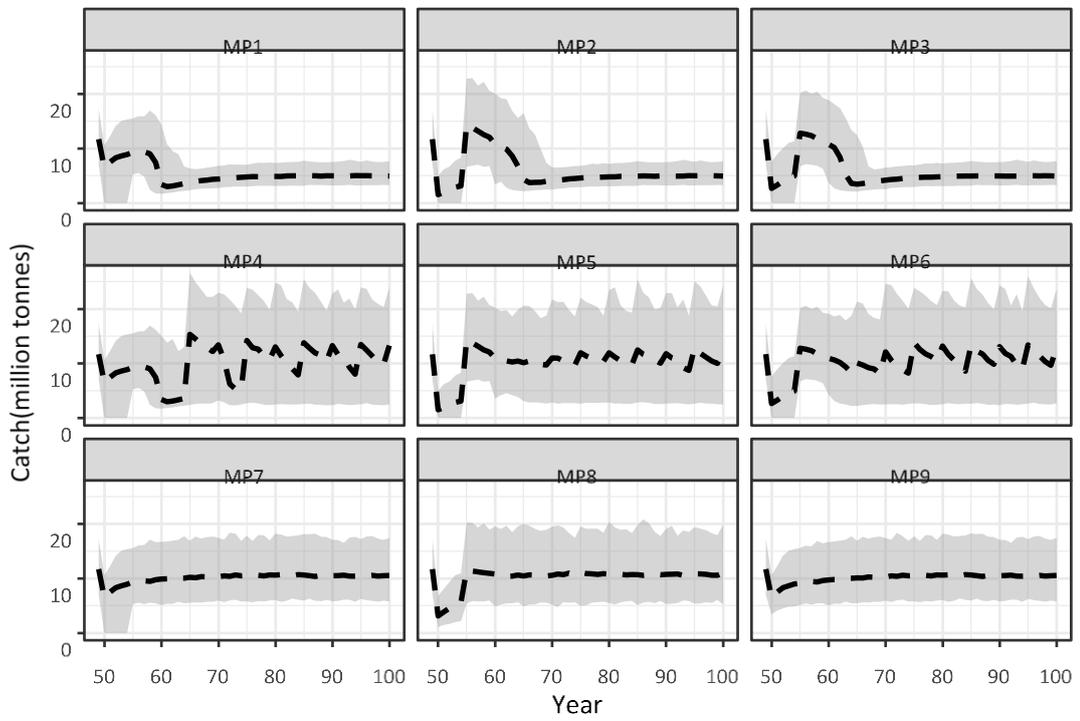
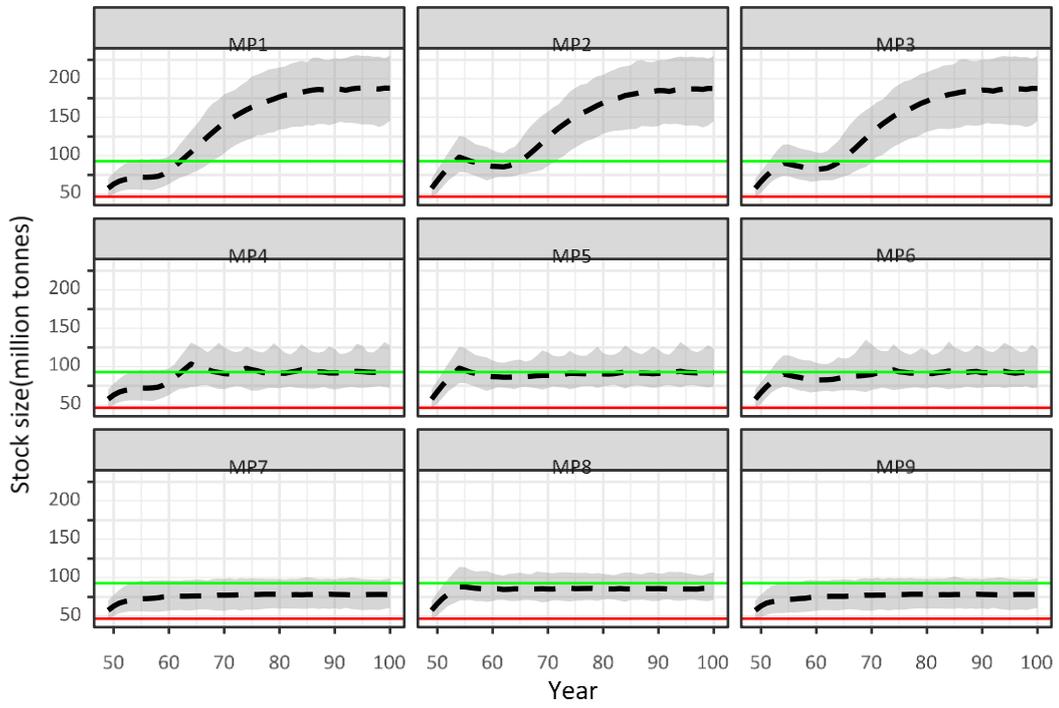
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
|------------|--------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.99 | 1.01 | 1    | 0.85  | 0.93 | 0.89  | 0.73  | 0.87 | 0.72  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 47%  | 52%  | 49%  | 3.8%  | 14%  | 7.6%  | 0.4%  | 5.2% | 0.4%  |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| short term | AveCatch     | 6.21 | 7.43 | 7.08 | 9.2   | 9.62 | 9.5   | 9.81  | 9.72 | 9.81  |
| short term | AAV          | 0.23 | 0.34 | 0.3  | 0.32  | 0.33 | 0.33  | 0.25  | 0.28 | 0.25  |
| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 2.25 | 2.16 | 2.19 | 1.02  | 1    | 1.02  | 0.78  | 0.9  | 0.78  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 100% | 100% | 100% | 62%   | 47%  | 60%   | 0%    | 2.4% | 0%    |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 4.99 | 4.92 | 4.94 | 10.99 | 10.9 | 10.94 | 10.89 | 11.2 | 10.89 |
| long term  | AAV          | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.33  | 0.31 | 0.33  | 0.24  | 0.25 | 0.24  |

● Trade-off プロット



● 資源動態図

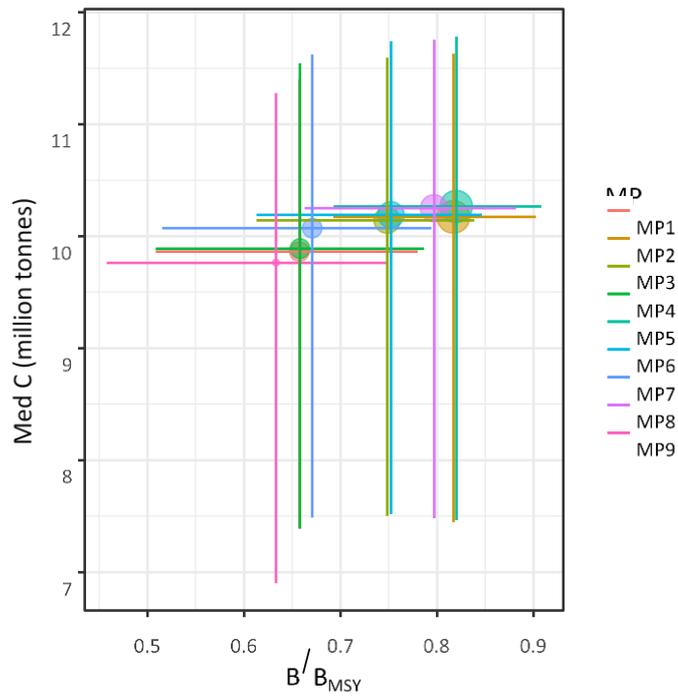


シナリオ 10

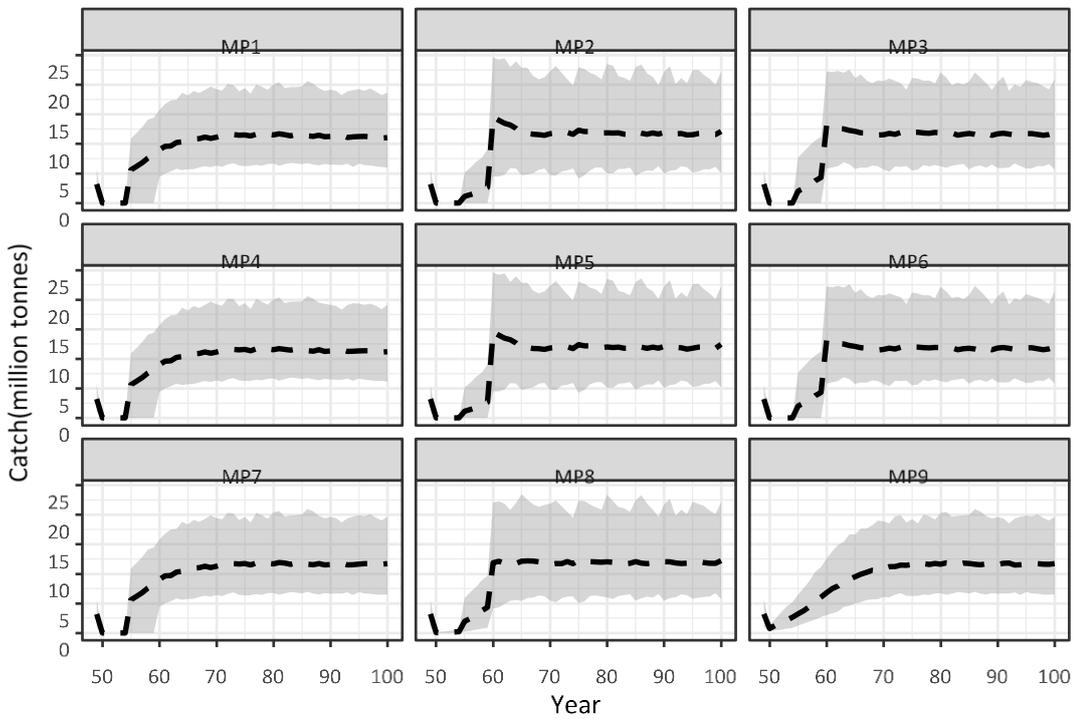
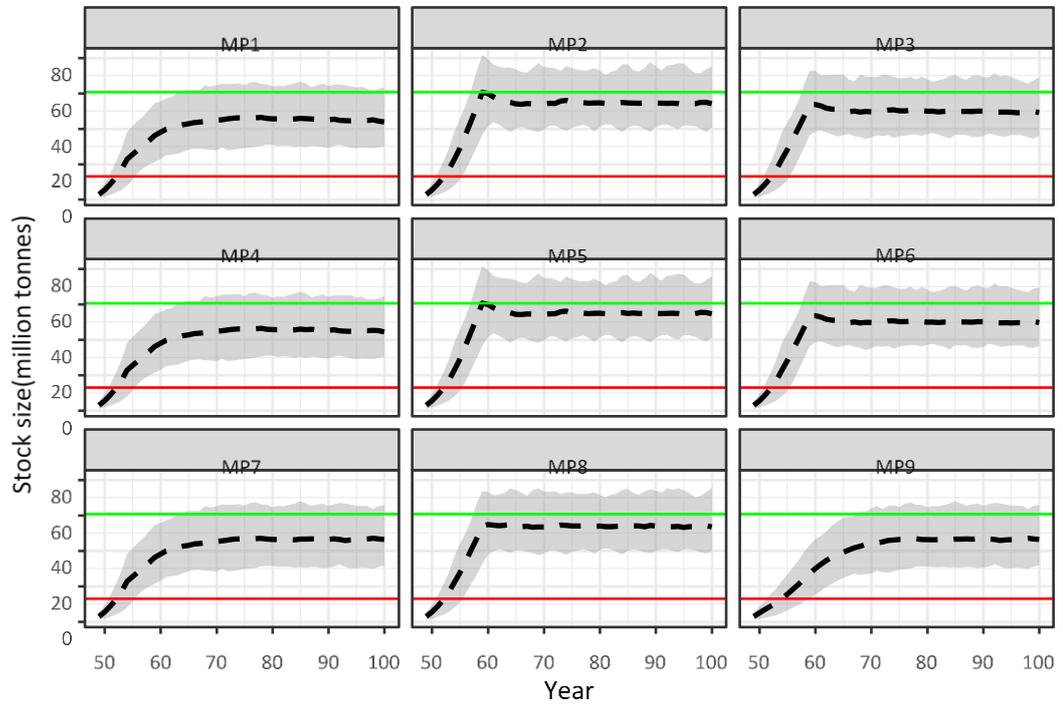
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
|------------|--------------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.55  | 0.71  | 0.66 | 0.55  | 0.71 | 0.66  | 0.55  | 0.69 | 0.46  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| short term | AveCatch     | 7.38  | 7.36  | 7.53 | 7.38  | 7.39 | 7.53  | 7.42  | 7.42 | 6.69  |
| short term | AAV          | 0.3   | 0.35  | 0.32 | 0.3   | 0.35 | 0.32  | 0.3   | 0.32 | 0.27  |
| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 0.75  | 0.91  | 0.83 | 0.76  | 0.92 | 0.84  | 0.78  | 0.9  | 0.77  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 0%    | 2.6%  | 0%   | 0%    | 4.4% | 0%    | 0%    | 1.8% | 0%    |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 11.84 | 12.32 | 12.1 | 11.89 | 12.4 | 12.25 | 12.13 | 12.4 | 12.08 |
| long term  | AAV          | 0.25  | 0.26  | 0.25 | 0.25  | 0.26 | 0.25  | 0.25  | 0.26 | 0.25  |

● Trade-off プロット



● 資源動態圖

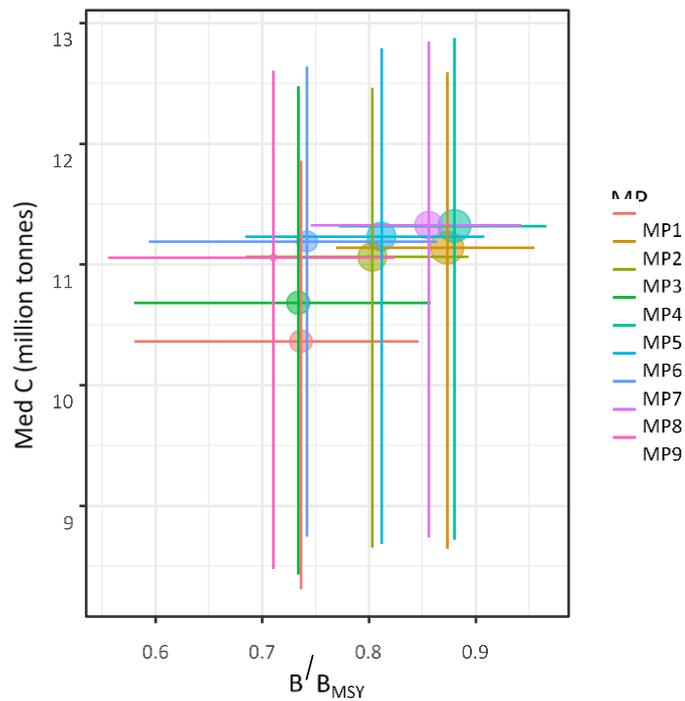


シナリオ 11

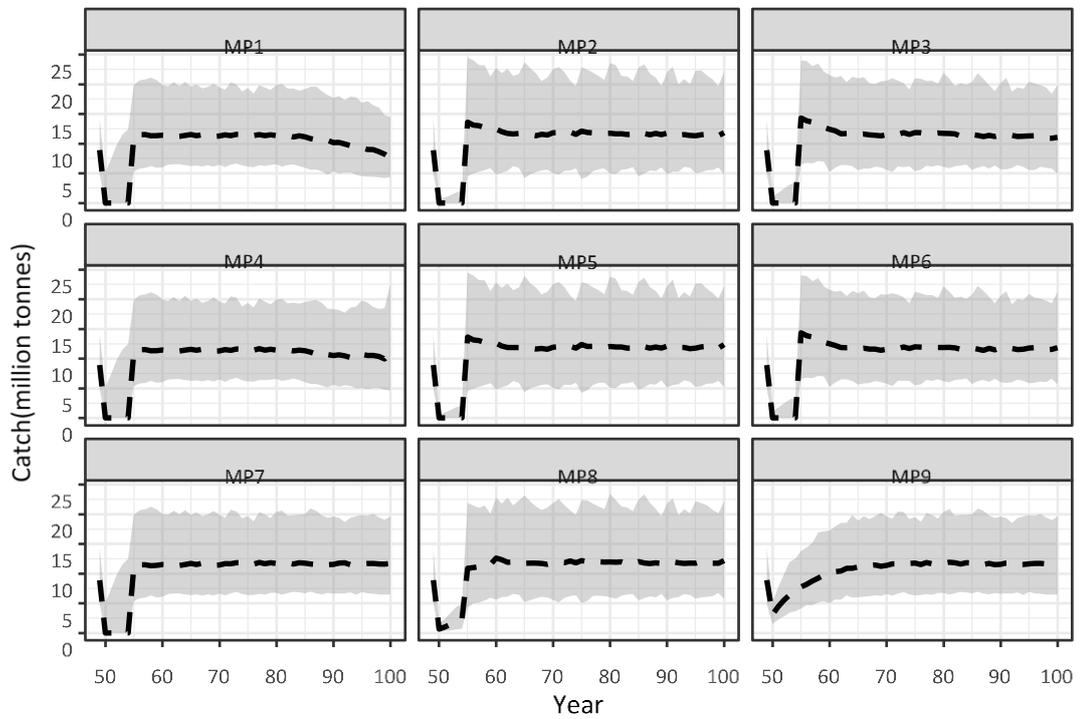
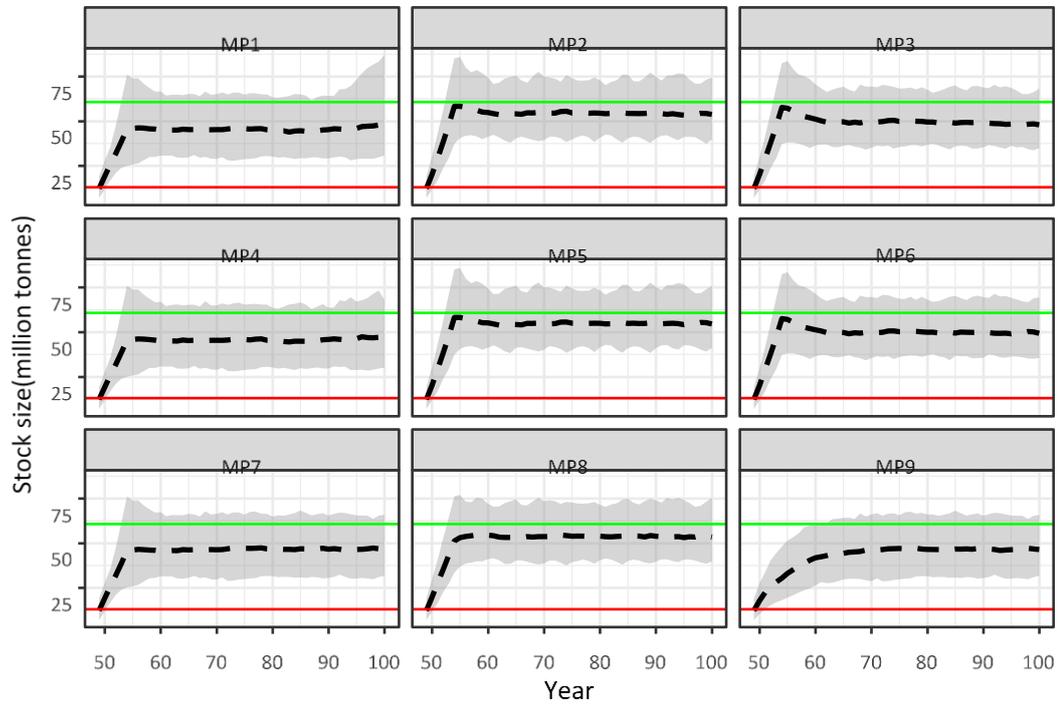
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
|------------|--------------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.7   | 0.85  | 0.8  | 0.7   | 0.86 | 0.8   | 0.71  | 0.82 | 0.63  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0.2%  | 2.2%  | 1%   | 0.2%  | 2.4% | 1.6%  | 0.2%  | 1.4% | 0%    |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| short term | AveCatch     | 9.67  | 9.63  | 9.83 | 9.67  | 9.71 | 9.86  | 9.81  | 9.75 | 9.53  |
| short term | AAV          | 0.3   | 0.33  | 0.32 | 0.3   | 0.33 | 0.32  | 0.3   | 0.31 | 0.26  |
| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 0.77  | 0.9   | 0.82 | 0.77  | 0.92 | 0.83  | 0.78  | 0.9  | 0.78  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 0.2%  | 1.2%  | 0%   | 0%    | 4%   | 0%    | 0%    | 1.8% | 0%    |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 10.88 | 12.21 | 11.9 | 11.43 | 12.4 | 12.18 | 12.18 | 12.4 | 12.16 |
| long term  | AAV          | 0.25  | 0.26  | 0.25 | 0.25  | 0.26 | 0.25  | 0.25  | 0.26 | 0.25  |

● Trade-off プロット



● 資源動態図

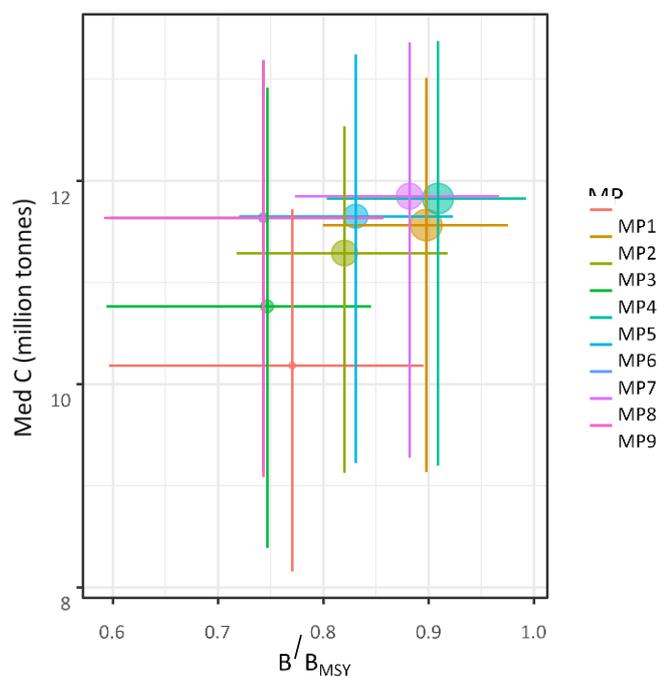


## シナリオ 12

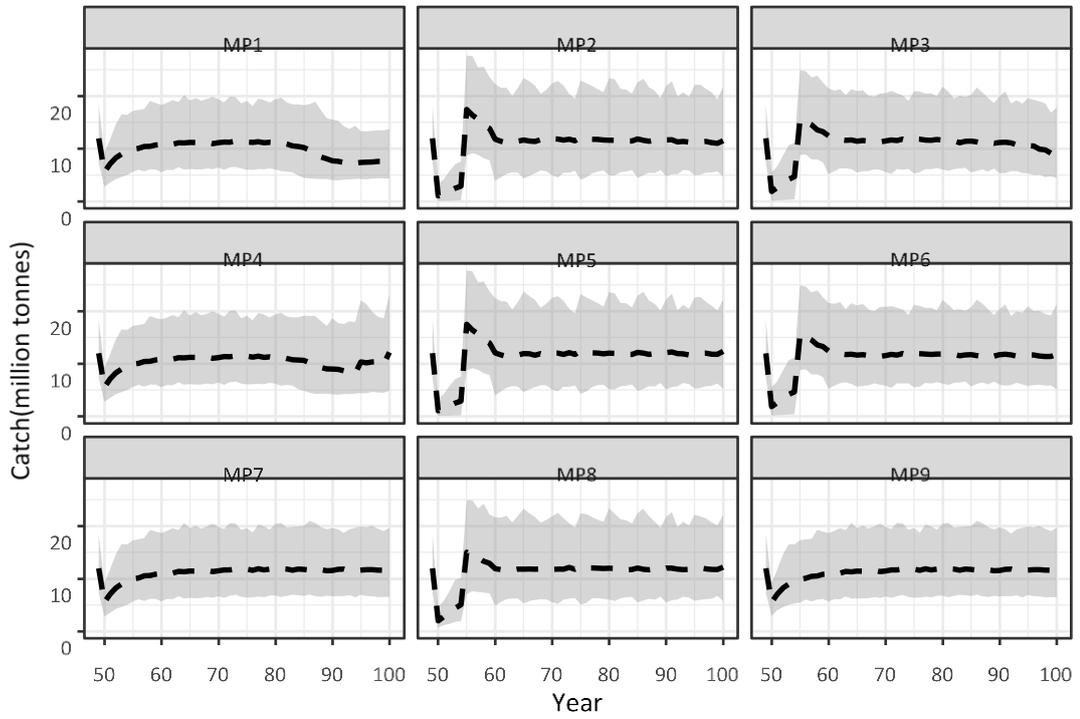
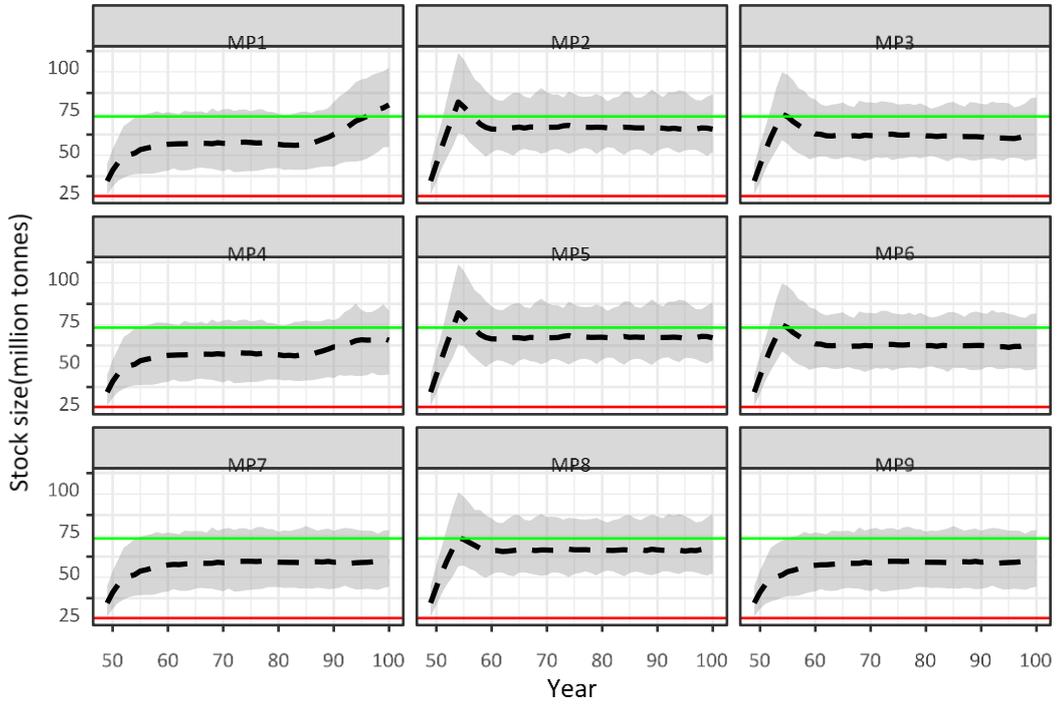
### ● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
|------------|--------------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.7   | 0.91  | 0.84 | 0.7   | 0.92 | 0.85  | 0.71  | 0.88 | 0.71  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0%    | 10%   | 3%   | 0%    | 12%  | 4.2%  | 0%    | 5.6% | 0%    |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| short term | AveCatch     | 10.59 | 10.64 | 10.7 | 10.6  | 10.7 | 10.86 | 10.77 | 10.7 | 10.76 |
| short term | AAV          | 0.26  | 0.33  | 0.3  | 0.26  | 0.33 | 0.3   | 0.26  | 0.3  | 0.25  |
| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 0.83  | 0.9   | 0.82 | 0.79  | 0.92 | 0.83  | 0.78  | 0.9  | 0.78  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 1%    | 0.8%  | 0%   | 0%    | 4.2% | 0%    | 0%    | 1.8% | 0%    |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 9.94  | 12.11 | 11.6 | 10.78 | 12.4 | 12.13 | 12.18 | 12.4 | 12.18 |
| long term  | AAV          | 0.24  | 0.27  | 0.25 | 0.25  | 0.26 | 0.25  | 0.25  | 0.26 | 0.25  |

### ● Trade-off プロット



● 資源動態図

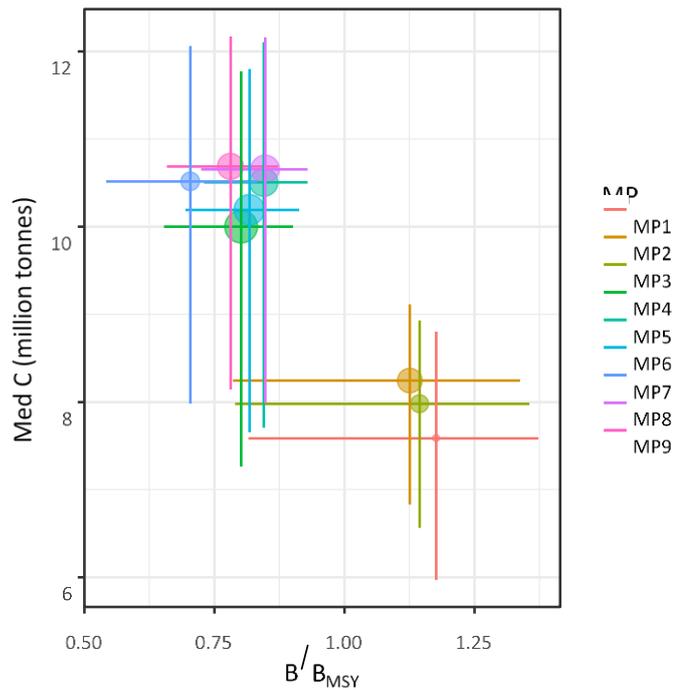


シナリオ 13

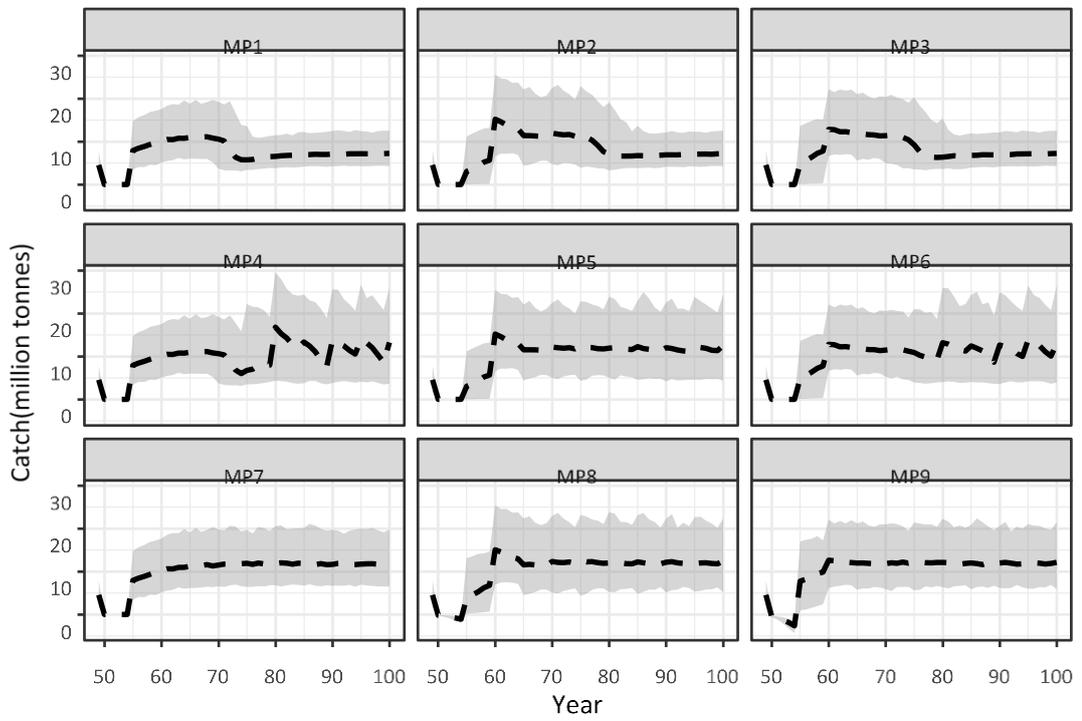
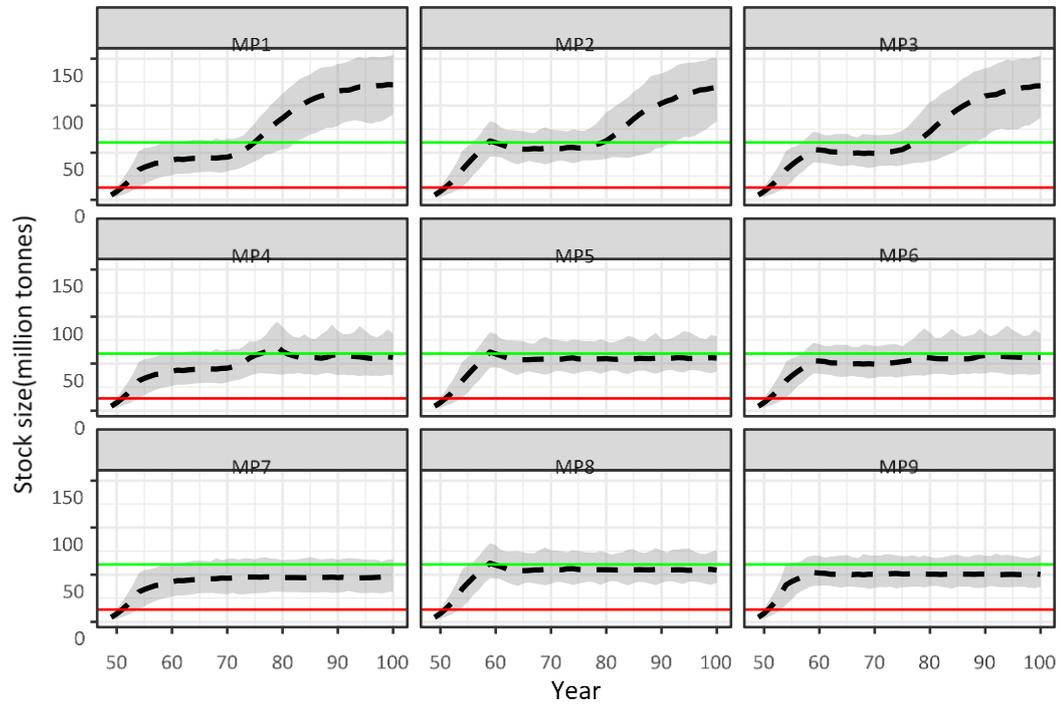
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
|------------|--------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.61 | 0.76 | 0.69 | 0.61  | 0.76 | 0.69  | 0.62  | 0.78 | 0.72  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| short term | AveCatch     | 8.13 | 8.03 | 8.21 | 8.13  | 8.11 | 8.22  | 8.3   | 8.2  | 8.47  |
| short term | AAV          | 0.3  | 0.34 | 0.31 | 0.3   | 0.34 | 0.31  | 0.3   | 0.35 | 0.35  |
| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 1.58 | 1.4  | 1.47 | 0.95  | 0.92 | 0.92  | 0.78  | 0.92 | 0.85  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 98%  | 95%  | 96%  | 19%   | 7.6% | 13%   | 0%    | 5%   | 0%    |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 7.41 | 8.59 | 8.06 | 11.43 | 12.3 | 11.79 | 12.25 | 12.5 | 12.42 |
| long term  | AAV          | 0.2  | 0.24 | 0.22 | 0.31  | 0.27 | 0.3   | 0.25  | 0.26 | 0.25  |

● Trade-off プロット



● 資源動態図

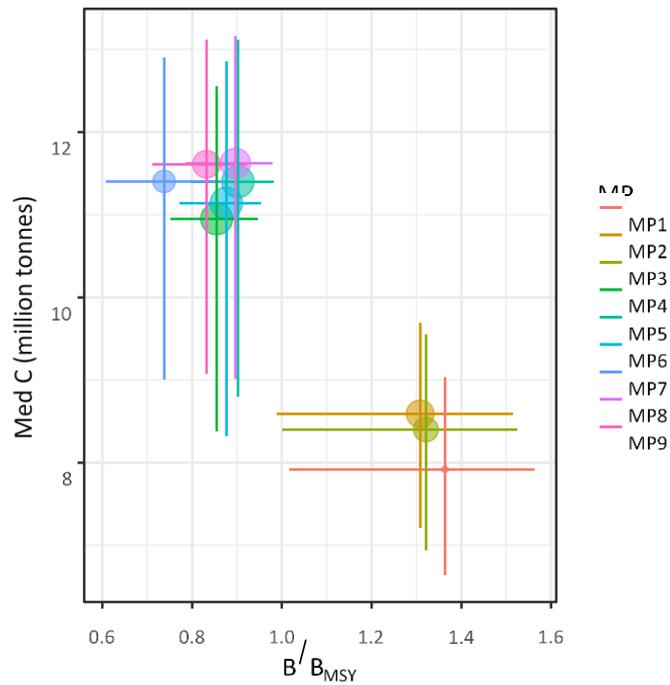


シナリオ 14

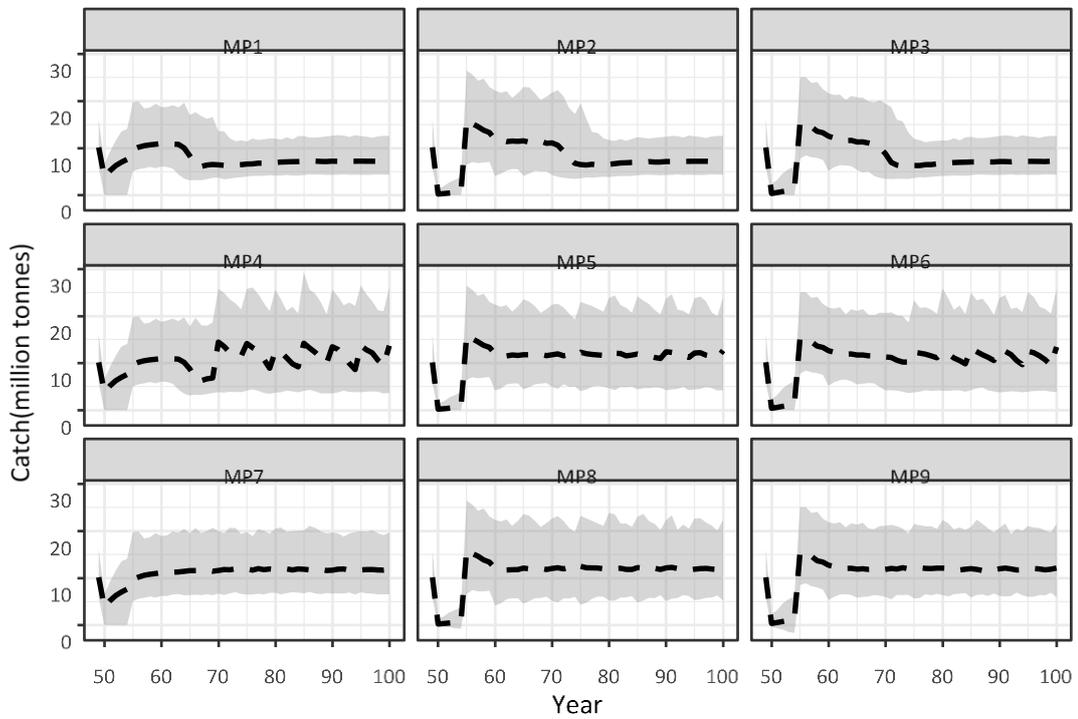
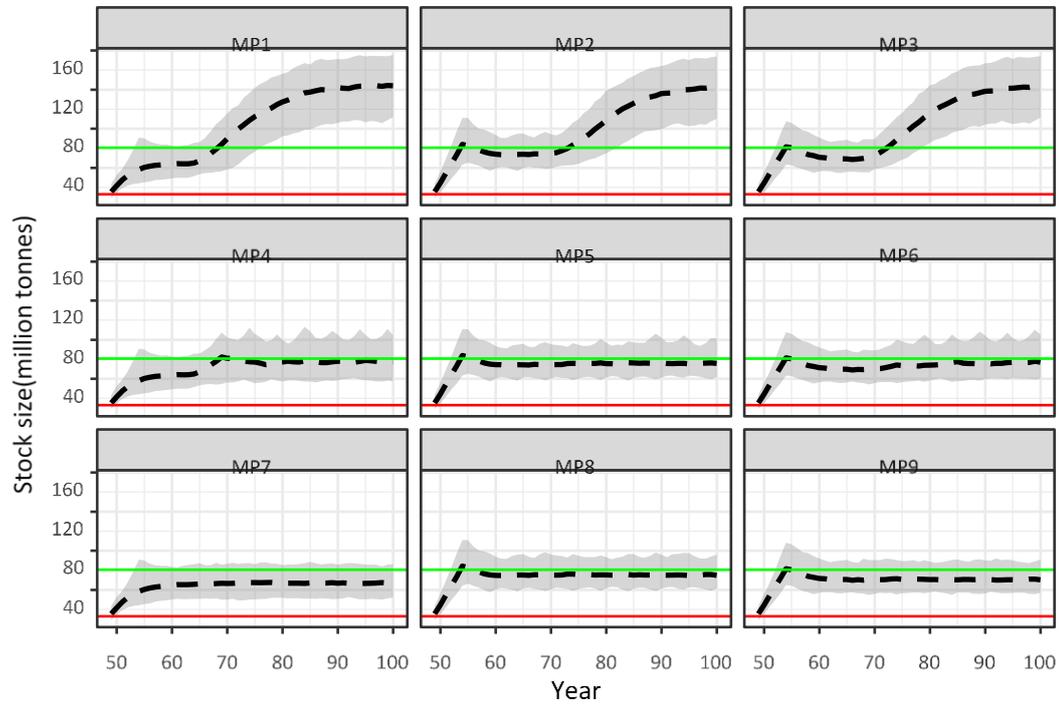
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
|------------|--------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.74 | 0.87 | 0.82 | 0.73  | 0.88 | 0.83  | 0.7   | 0.89 | 0.83  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0.6% | 4.8% | 2%   | 0.2%  | 6%   | 3%    | 0.2%  | 6.2% | 3.2%  |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| short term | AveCatch     | 8.58 | 9.96 | 9.86 | 9.01  | 10.1 | 10.2  | 10.14 | 10.2 | 10.4  |
| short term | AAV          | 0.28 | 0.34 | 0.33 | 0.3   | 0.34 | 0.32  | 0.27  | 0.34 | 0.32  |
| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 1.81 | 1.62 | 1.67 | 0.96  | 0.93 | 0.92  | 0.78  | 0.92 | 0.85  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 100% | 100% | 100% | 26%   | 9.2% | 10%   | 0%    | 5%   | 0%    |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 7.32 | 7.74 | 7.36 | 12.23 | 12.2 | 11.71 | 12.26 | 12.5 | 12.43 |
| long term  | AAV          | 0.18 | 0.21 | 0.19 | 0.3   | 0.28 | 0.29  | 0.25  | 0.26 | 0.25  |

● Trade-off プロット



● 資源動態図

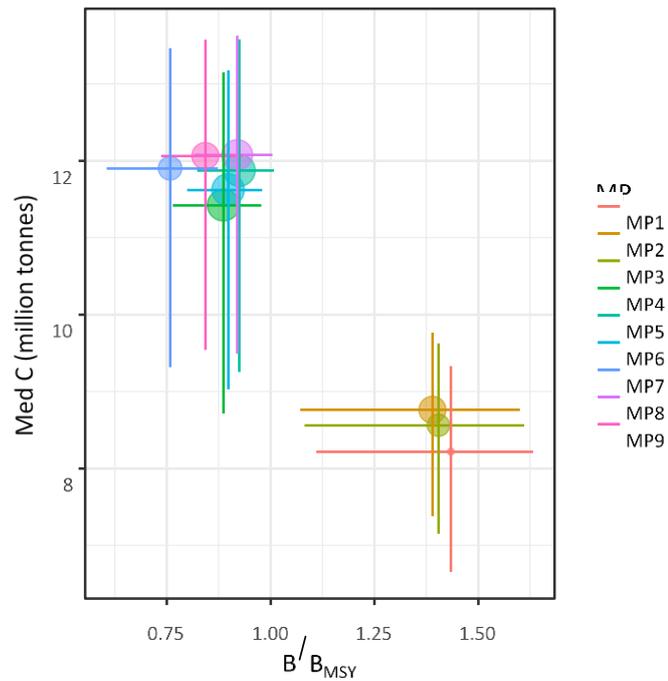


シナリオ 15

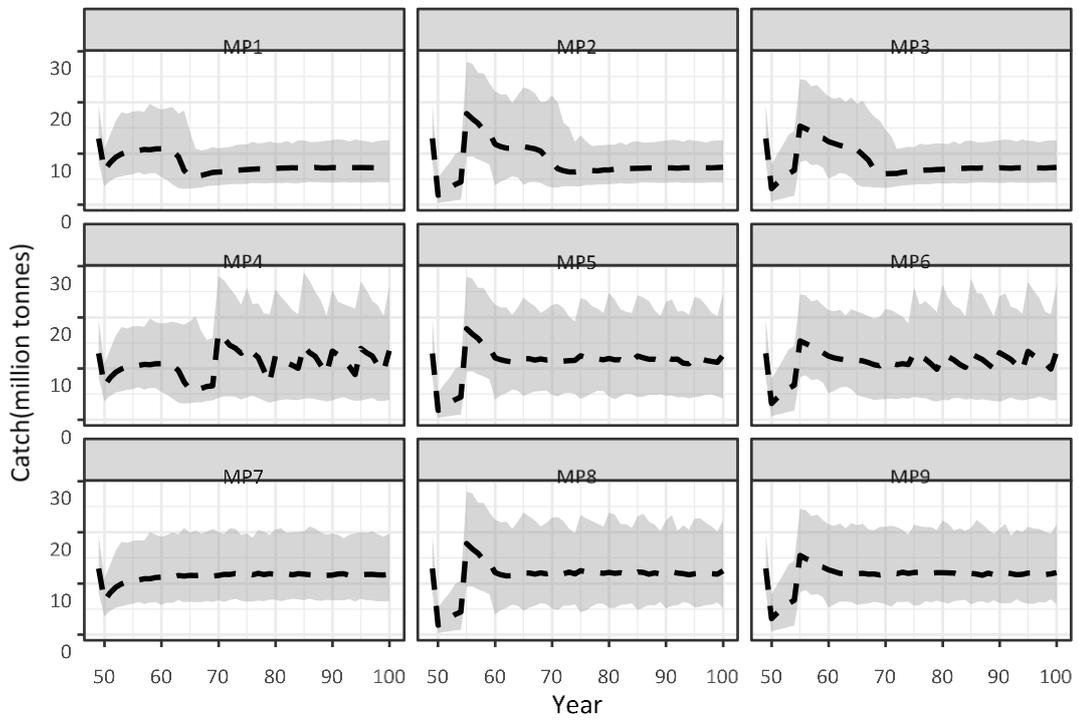
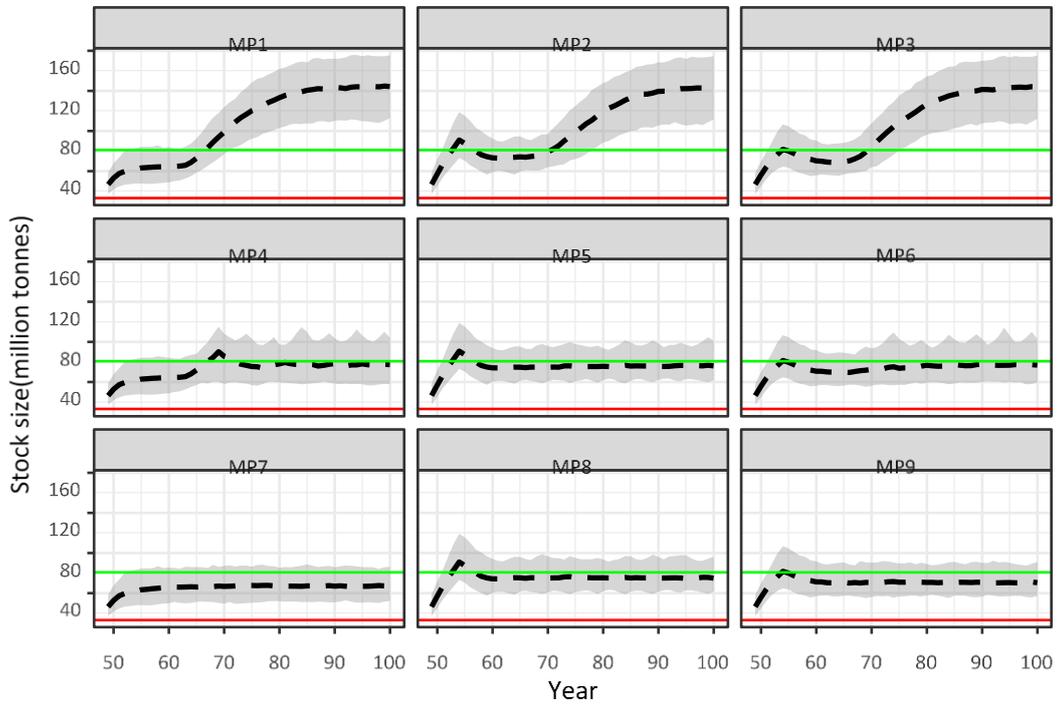
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1  | MP2   | MP3  | MP4  | MP5   | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
|------------|--------------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.82 | 0.93  | 0.87 | 0.8  | 0.93  | 0.86  | 0.73  | 0.93  | 0.86  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 3.6% | 16%   | 7%   | 0.6% | 17%   | 4.4%  | 0.2%  | 17%   | 4.4%  |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%    | 0%   | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| short term | AveCatch     | 9.06 | 10.65 | 10.1 | 9.67 | 11.11 | 10.99 | 11.23 | 11.19 | 11.32 |
| short term | AAV          | 0.25 | 0.33  | 0.3  | 0.29 | 0.32  | 0.3   | 0.25  | 0.32  | 0.29  |
| Period     | Performance  | MP1  | MP2   | MP3  | MP4  | MP5   | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 1.88 | 1.72  | 1.78 | 0.96 | 0.93  | 0.94  | 0.78  | 0.92  | 0.85  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 100% | 100%  | 100% | 26%  | 8%    | 17%   | 0%    | 5%    | 0%    |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%    | 0%   | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 7.39 | 7.44  | 7.28 | 12.5 | 12.3  | 11.84 | 12.27 | 12.5  | 12.43 |
| long term  | AAV          | 0.18 | 0.19  | 0.18 | 0.3  | 0.28  | 0.3   | 0.25  | 0.26  | 0.25  |

● Trade-off プロット



● 資源動態図

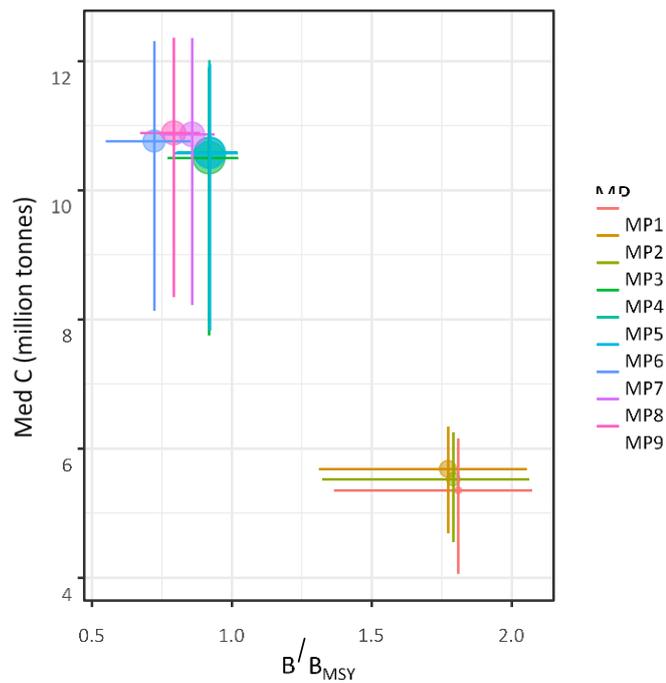


シナリオ 16

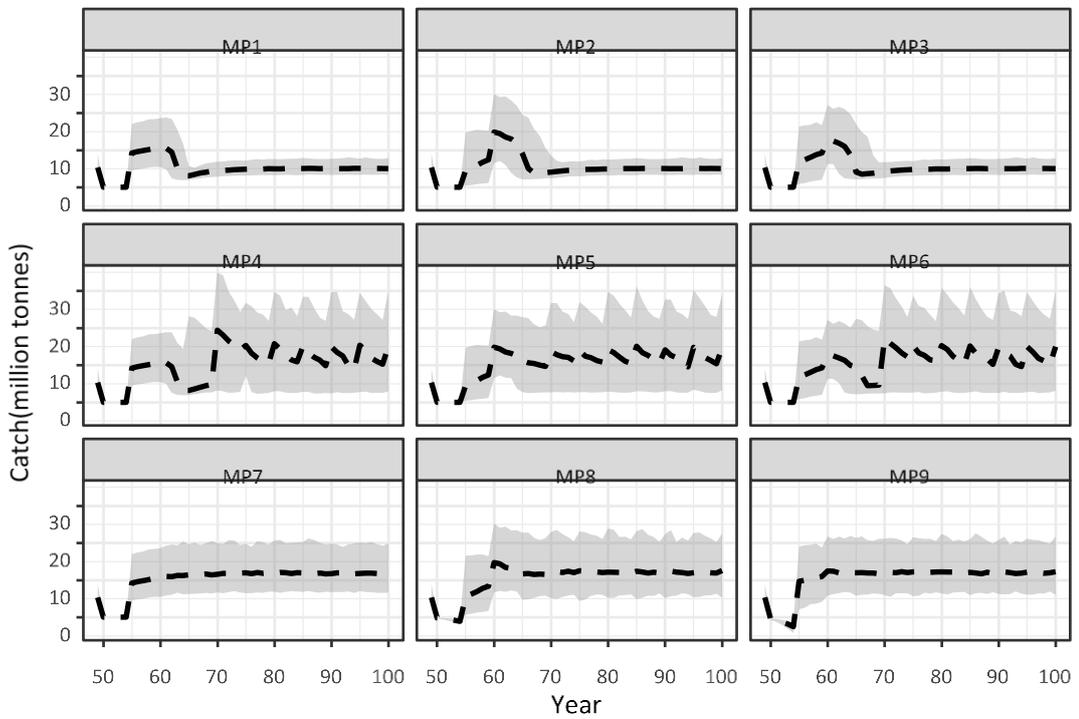
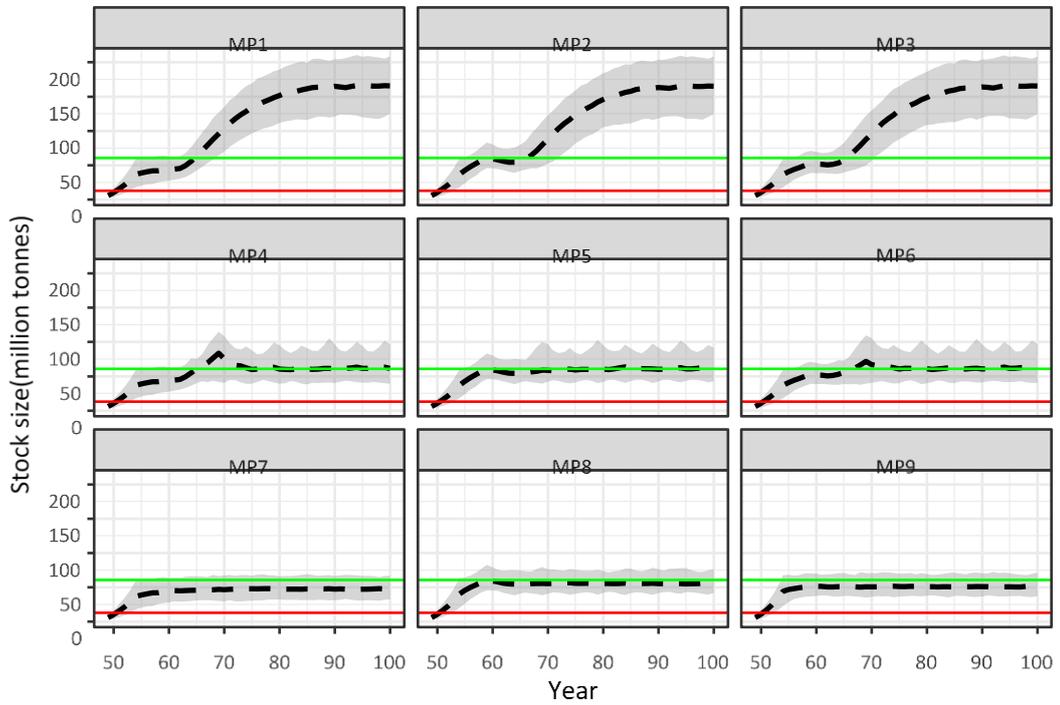
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
|------------|--------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.84 | 0.86 | 0.85 | 0.78  | 0.8  | 0.78  | 0.66  | 0.79 | 0.74  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 8.8% | 8.8% | 8%   | 0.2%  | 0.2% | 0.2%  | 0%    | 0.2% | 0%    |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| short term | AveCatch     | 5.64 | 6.5  | 6.11 | 6.69  | 8.11 | 7.08  | 8.72  | 8.57 | 8.81  |
| short term | AAV          | 0.34 | 0.38 | 0.36 | 0.43  | 0.36 | 0.4   | 0.31  | 0.35 | 0.35  |
| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 2.51 | 2.43 | 2.47 | 1.05  | 1.03 | 1.04  | 0.79  | 0.92 | 0.85  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 100% | 100% | 100% | 78%   | 61%  | 73%   | 0%    | 6.2% | 0%    |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 5.1  | 5.05 | 5.07 | 12.93 | 12.3 | 12.59 | 12.35 | 12.6 | 12.51 |
| long term  | AAV          | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.35  | 0.35 | 0.35  | 0.25  | 0.26 | 0.25  |

● Trade-off プロット



● 資源動態圖

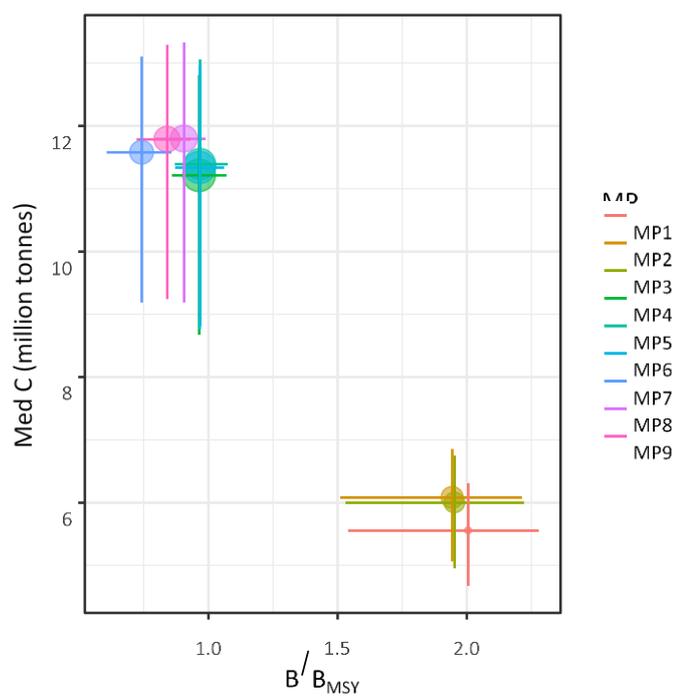


## シナリオ 17

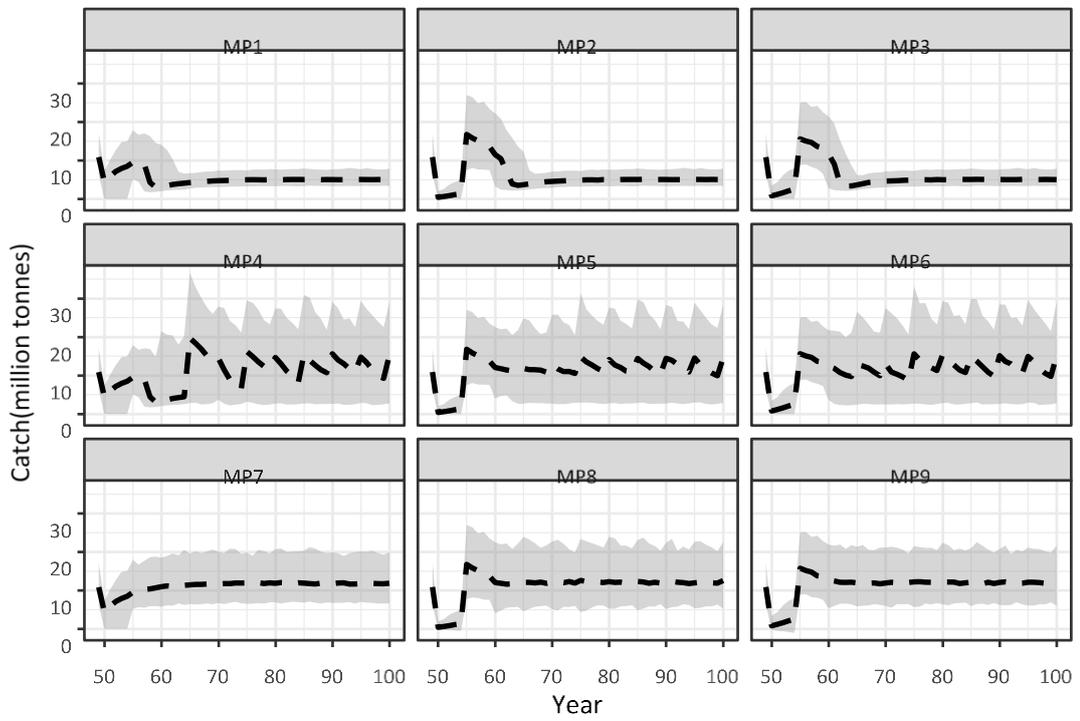
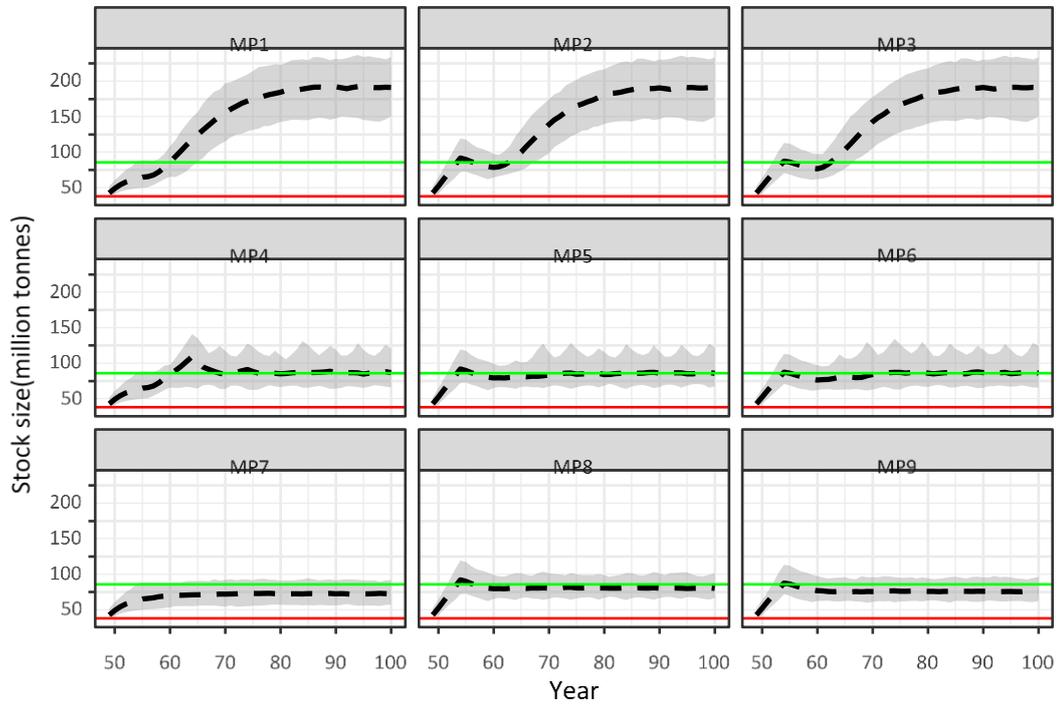
### ● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
|------------|--------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| short term | B/BMSY       | 1.15 | 1.11 | 1.11 | 0.89  | 0.91 | 0.88  | 0.7   | 0.9  | 0.84  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 83%  | 77%  | 77%  | 9.2%  | 10%  | 5.6%  | 0.2%  | 9%   | 3.6%  |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| short term | AveCatch     | 5.78 | 7.13 | 6.91 | 9.73  | 10.2 | 10.08 | 10.4  | 10.4 | 10.65 |
| short term | AAV          | 0.24 | 0.37 | 0.35 | 0.37  | 0.36 | 0.37  | 0.26  | 0.34 | 0.31  |
| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 2.63 | 2.56 | 2.58 | 1.04  | 1.03 | 1.04  | 0.79  | 0.92 | 0.85  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 100% | 100% | 100% | 73%   | 64%  | 71%   | 0%    | 6%   | 0%    |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 5.17 | 5.12 | 5.13 | 12.34 | 12.2 | 12.27 | 12.36 | 12.6 | 12.52 |
| long term  | AAV          | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.36  | 0.35 | 0.37  | 0.25  | 0.26 | 0.25  |

### ● Trade-off プロット



● 資源動態図

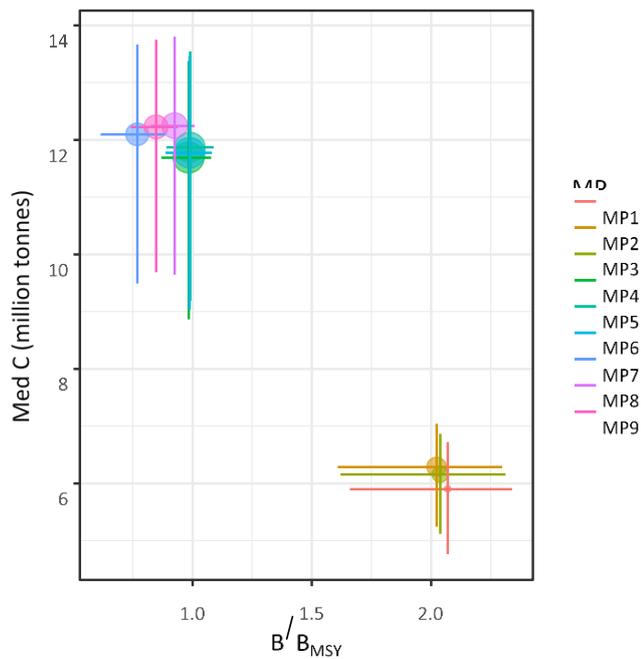


シナリオ 18

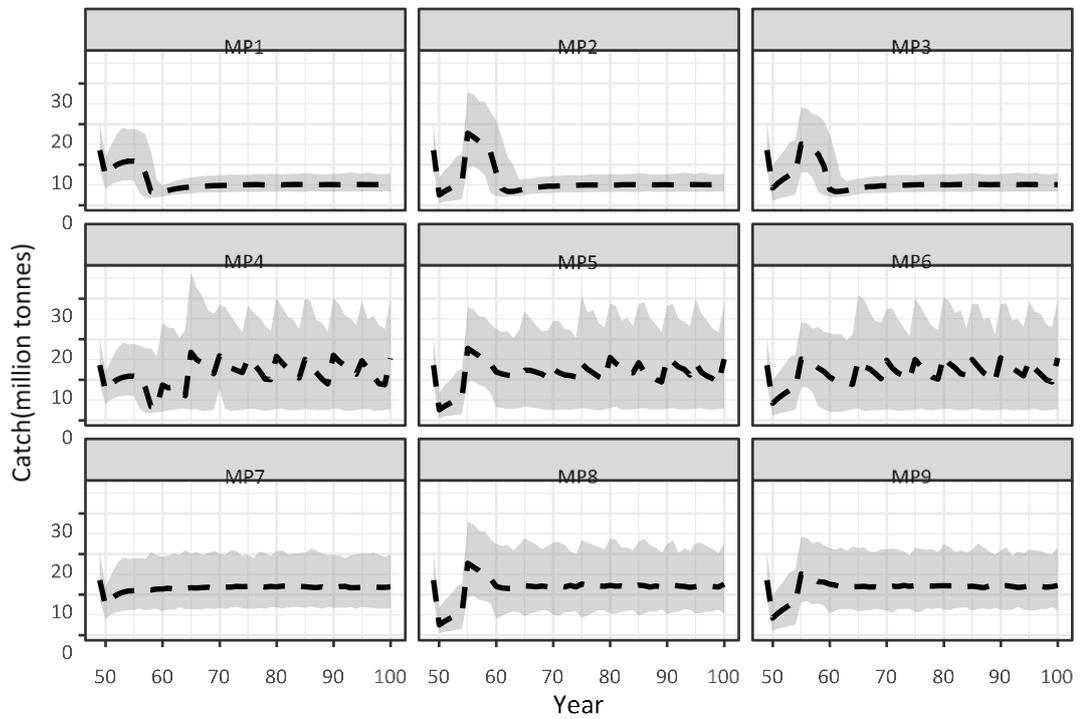
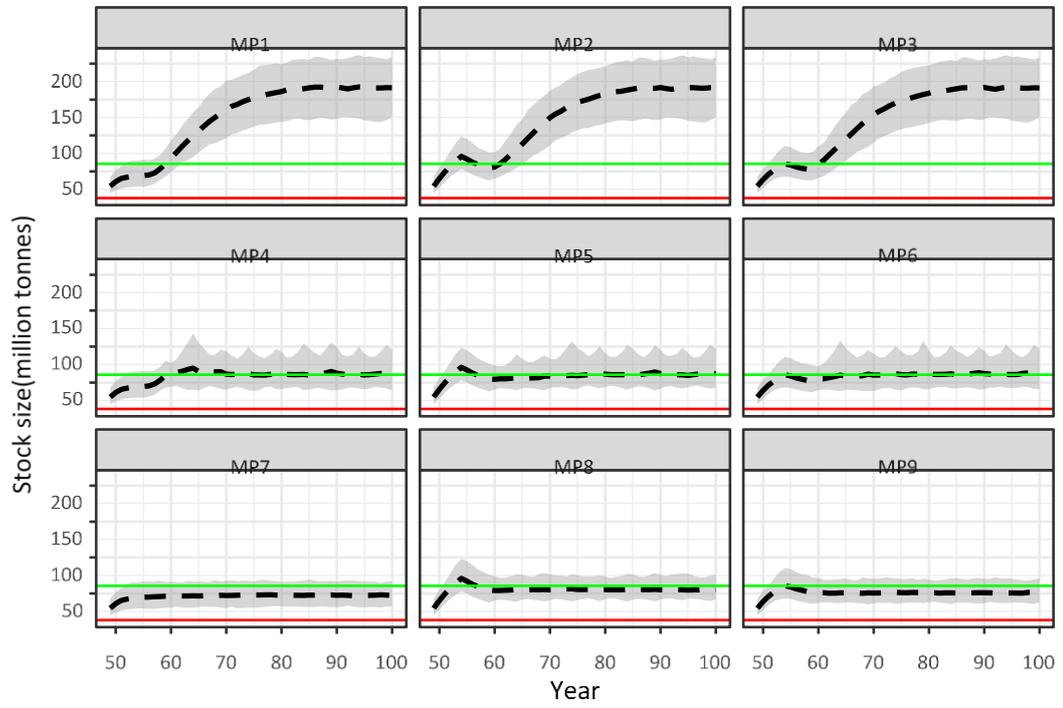
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5   | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
|------------|--------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| short term | B/BMSY       | 1.27 | 1.24 | 1.24 | 0.93  | 0.95  | 0.93  | 0.75  | 0.94  | 0.86  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 95%  | 92%  | 92%  | 20%   | 27%   | 21%   | 0.8%  | 22%   | 4.4%  |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| short term | AveCatch     | 6.46 | 7.48 | 7.14 | 10.46 | 11.11 | 10.79 | 11.52 | 11.44 | 11.58 |
| short term | AAV          | 0.23 | 0.33 | 0.29 | 0.36  | 0.34  | 0.35  | 0.25  | 0.31  | 0.28  |
| Period     | Performance  | MP1  | MP2  | MP3  | MP4   | MP5   | MP6   | MP7   | MP8   | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 2.65 | 2.6  | 2.62 | 1.04  | 1.03  | 1.04  | 0.79  | 0.92  | 0.85  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 100% | 100% | 100% | 73%   | 66%   | 72%   | 0%    | 6%    | 0%    |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%   | 0%   | 0%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 5.18 | 5.15 | 5.16 | 12.4  | 12.2  | 12.32 | 12.36 | 12.6  | 12.51 |
| long term  | AAV          | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.36  | 0.35  | 0.36  | 0.25  | 0.26  | 0.25  |

● Trade-off プロット



● 資源動態図

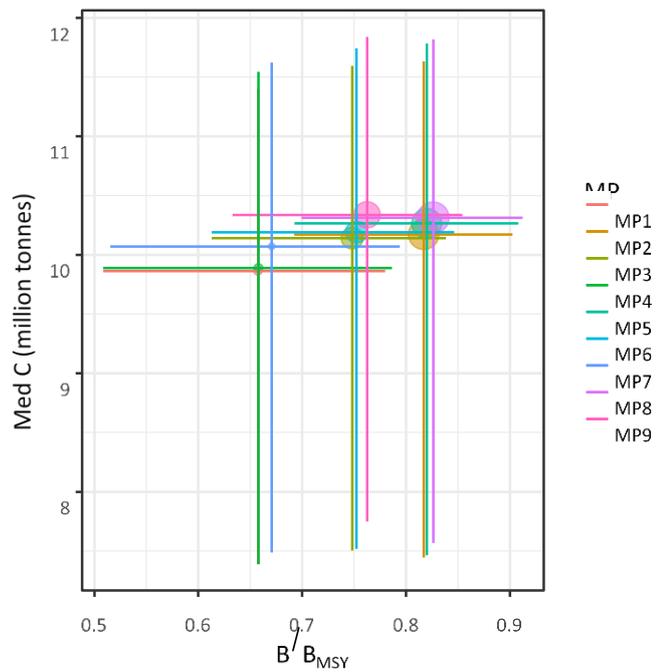


シナリオ 19

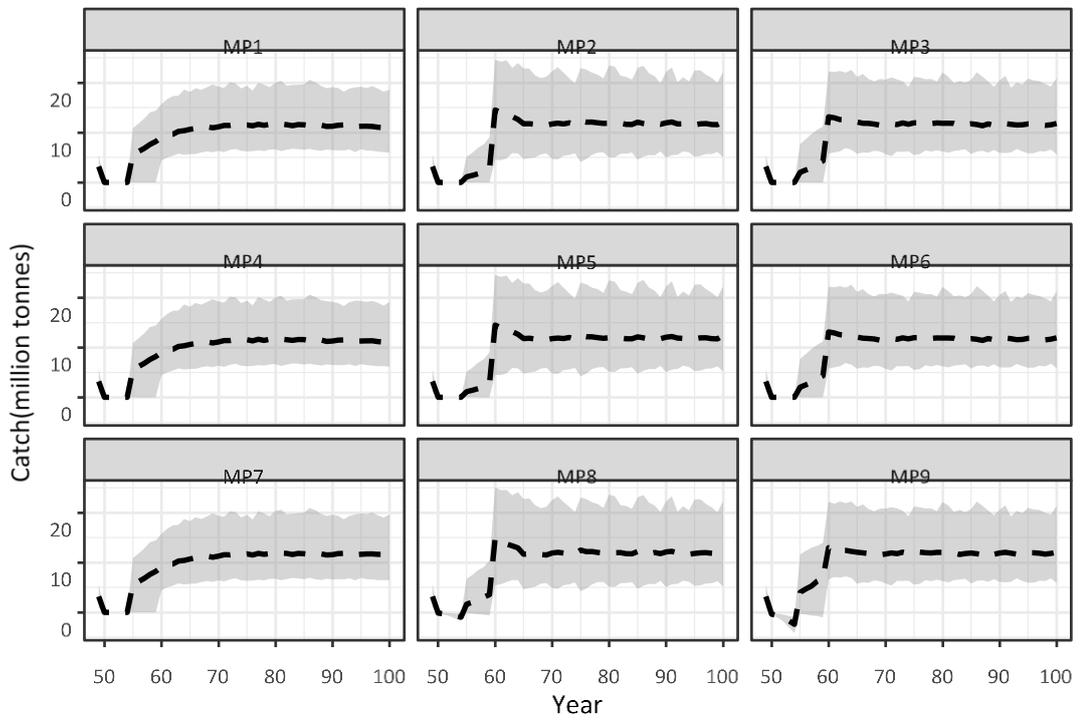
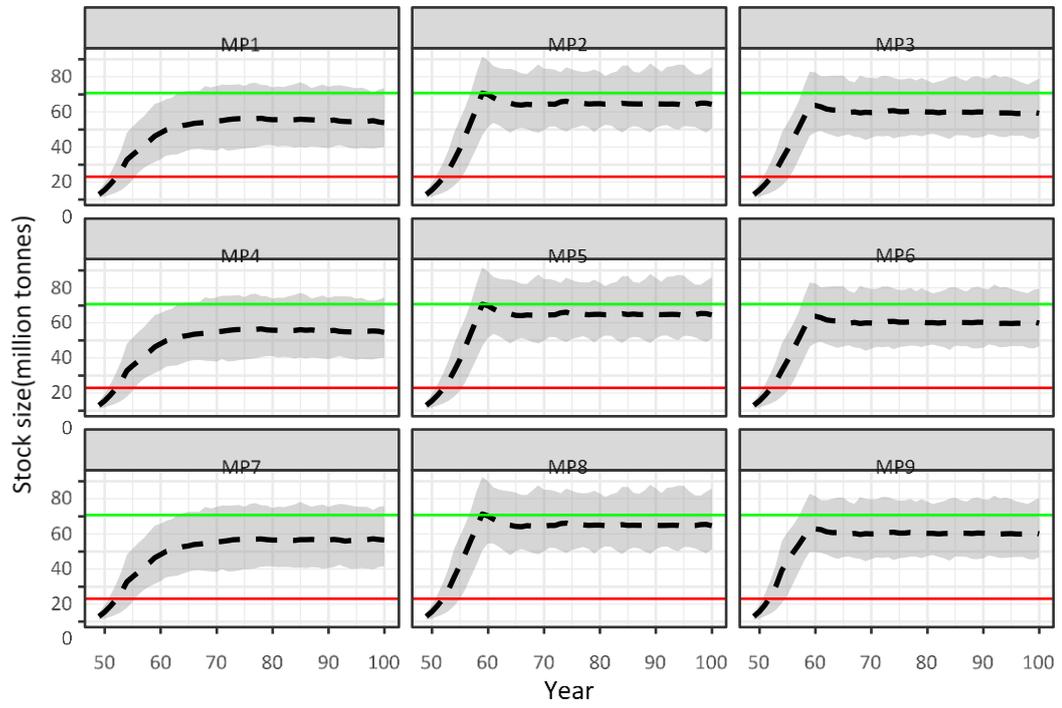
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
|------------|--------------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.55  | 0.71  | 0.66 | 0.55  | 0.71 | 0.66  | 0.55  | 0.73 | 0.68  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| short term | AveCatch     | 7.38  | 7.36  | 7.53 | 7.38  | 7.39 | 7.53  | 7.42  | 7.49 | 7.76  |
| short term | AAV          | 0.3   | 0.35  | 0.32 | 0.3   | 0.35 | 0.32  | 0.3   | 0.37 | 0.36  |
| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 0.75  | 0.91  | 0.83 | 0.76  | 0.92 | 0.84  | 0.78  | 0.92 | 0.84  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 0%    | 2.6%  | 0%   | 0%    | 4.4% | 0%    | 0%    | 4.6% | 0%    |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 11.84 | 12.32 | 12.1 | 11.89 | 12.4 | 12.25 | 12.13 | 12.4 | 12.34 |
| long term  | AAV          | 0.25  | 0.26  | 0.25 | 0.25  | 0.26 | 0.25  | 0.25  | 0.26 | 0.25  |

● Trade-off プロット



● 資源動態圖

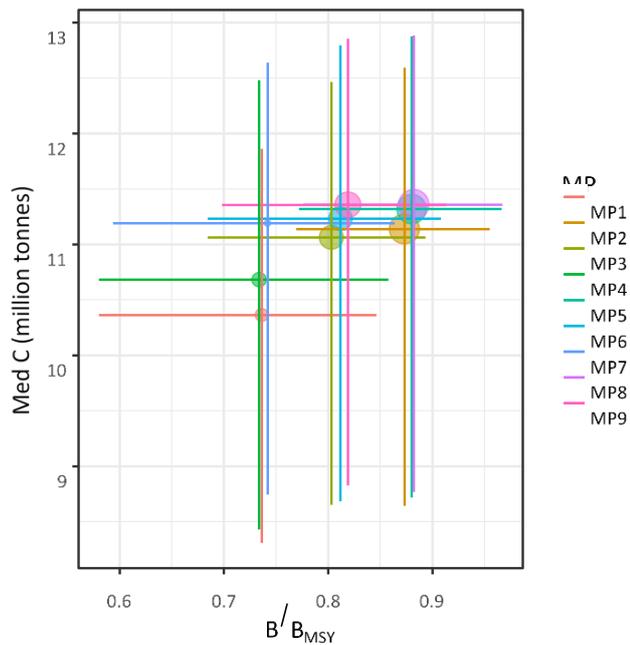


シナリオ 20

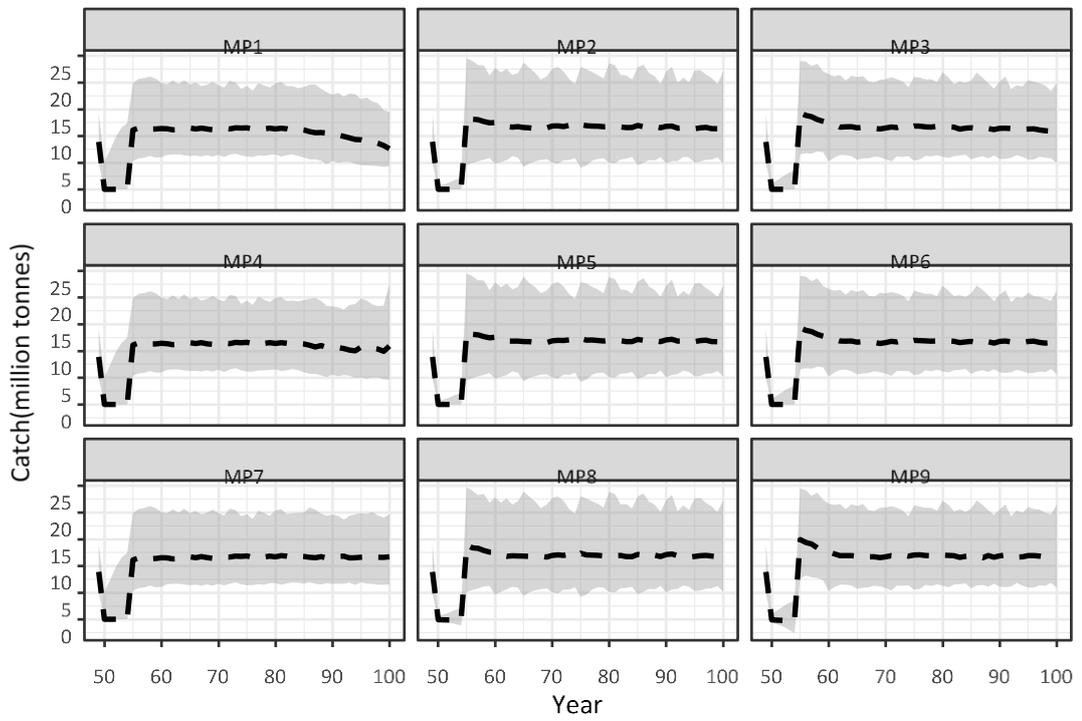
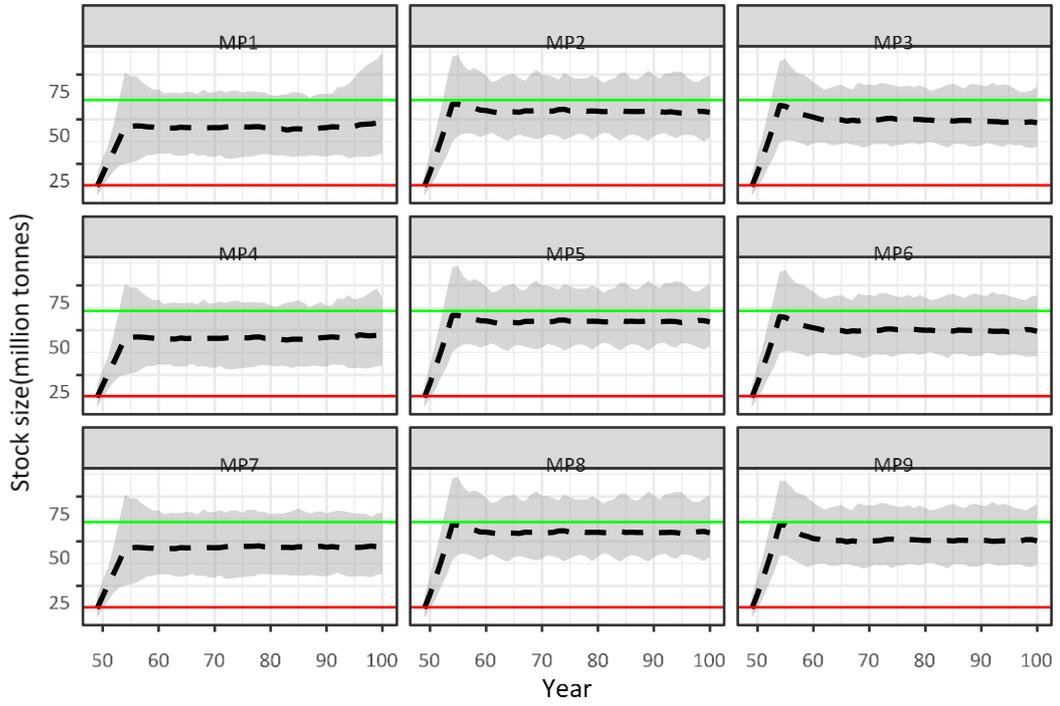
● まとめ表

| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
|------------|--------------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| short term | B/BMSY       | 0.7   | 0.85  | 0.8  | 0.7   | 0.86 | 0.8   | 0.71  | 0.86 | 0.81  |
| short term | Pr(B>BMSY)   | 0.2%  | 2.2%  | 1%   | 0.2%  | 2.4% | 1.6%  | 0.2%  | 2.4% | 1.8%  |
| short term | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| short term | AveCatch     | 9.67  | 9.63  | 9.83 | 9.67  | 9.71 | 9.86  | 9.81  | 9.76 | 9.96  |
| short term | AAV          | 0.3   | 0.33  | 0.32 | 0.3   | 0.33 | 0.32  | 0.3   | 0.34 | 0.33  |
| Period     | Performance  | MP1   | MP2   | MP3  | MP4   | MP5  | MP6   | MP7   | MP8  | MP9   |
| long term  | B/BMSY       | 0.77  | 0.9   | 0.82 | 0.77  | 0.92 | 0.83  | 0.78  | 0.92 | 0.84  |
| long term  | Pr(B>BMSY)   | 0.2%  | 1.2%  | 0%   | 0%    | 4%   | 0%    | 0%    | 4.4% | 0%    |
| long term  | Pr(B<Blimit) | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    | 0%   | 0%    | 0%    | 0%   | 0%    |
| long term  | AveCatch     | 10.88 | 12.21 | 11.9 | 11.43 | 12.4 | 12.18 | 12.18 | 12.4 | 12.35 |
| long term  | AAV          | 0.25  | 0.26  | 0.25 | 0.25  | 0.26 | 0.25  | 0.25  | 0.26 | 0.25  |

● Trade-off プロット



● 資源動態圖



### 付録3 統計解析ソフト R によるプログラムソース

## 年齢構造モデル

```
data.beforeMan <- function(nseed)
```

```
{ #Definition
```

```
  N1 <- array(NA, c(age+1, narea, Man. year))
```

```
  R1 <- matrix(NA, nrow=narea, ncol=Man. year+1)
```

```
  B1 <- matrix(NA, nrow=narea, ncol=Man. year)
```

```
  epsonR <- matrix(NA, nrow=narea, ncol=Man. year)
```

```
  M <- M0
```

```
  h <- h0
```

```
##First year
```

```
{R1[, 1] <- R0/narea
```

```
  N1[1, 1, 1] <- R1[1, 1]*(1-Pa[1, 1])+R1[2, 1]*(1-Pa[2, 1])
```

```
  N1[1, 2, 1] <- R1[1, 1]*Pa[1, 1]+R1[2, 1]*Pa[2, 1]
```

```
  for(i in 1:(age-1)) {
```

```
    N1[i+1, 1, 1] <- (N1[i, 1, 1]*(1-Pa[1, i+1])+N1[i, 2, 1]*(1-Pa[2, i+1]))*exp(-M)
```

```
    N1[i+1, 2, 1] <- (N1[i, 1, 1]*Pa[1, i+1]+N1[i, 2, 1]*Pa[2, i+1])*exp(-M)}
```

```
  N1[age+1, 1, 1] <- (N1[age, 1, 1]*(1-Pa[1, age+1])+N1[age, 2, 1]*(1-Pa[2, age+1]))*exp(-M)/(1-exp(-M))
```

```
  N1[age+1, 2, 1] <- (N1[age, 1, 1]*Pa[1, age+1]+N1[age, 2, 1]*Pa[2, age+1])*exp(-M)/(1-exp(-M))
```

```
  #Biomass
```

```
  #round-off number
```

```
  N1 <- floor(N1)
```

```
  for(j in 1:2){B1[j, 1] <- Bio. M(N1[, j, 1])}
```

```
  B0 <- sum(B1[, 1])
```

```
  #Reproduction; no variance in the first year
```

```
  R <- Bio. S(sum(B1[, 1]), sum(B1[, 1]), h)
```

```
  R1[, 2] <- R*(B1[, 1]/sum(B1[, 1]))}
```

```
##Second year till catch happens
```

```
for (t in 2:(catch. year-1))
```

```
{ set. seed(nseed*t)
```

```

M <- logistic(rnorm(1, logit(M0), SigM))

N1[1, 1, t] <- R1[1, t]*(1-Pa[1, 1])+R1[2, t]*(1-Pa[2, 1])
N1[1, 2, t] <- R1[1, t]*Pa[1, 1]+R1[2, t]*Pa[2, 1]

for(i in 1:(age-1)){
  N1[i+1, 1, t] <- (N1[i, 1, t-1]*(1-Pa[1, i+1])+N1[i, 2, t-1]*(1-Pa[2, i+1]))*exp(-M)
  N1[i+1, 2, t] <- (N1[i, 1, t-1]*Pa[1, i+1]+N1[i, 2, t-1]*Pa[2, i+1])*exp(-M)}

N1[age+1, 1, t] <- (N1[age, 1, t-1]*(1-Pa[1, age+1])+N1[age, 2, t-1]*(1-Pa[2,
age+1]))*exp(-M)+(N1[age+1, 1, t-1]*(1-Pa[1, age+1])+N1[age+1, 2, t-1]*(1-Pa[2,
age+1]))*exp(-M)
N1[age+1, 2, t] <- (N1[age, 1, t-1]*Pa[1, age+1]+N1[age, 2, t-1]*Pa[2, age+1])*exp(-
M)+(N1[age+1, 1, t-1]*Pa[1, age+1]+N1[age+1, 2, t-1]*Pa[2, age+1])*exp(-M)

#round-off number
N1 <- floor(N1)

for(j in 1:2){B1[j, t] <- Bio. M(N1[, j, t])}
for(j in 1:2){
  set. seed(nseed+t)
  eponR[j, t]<- rnorm(1, mean=0, sd=(SigR[j]))}
R <- Bio. S(sum(B1[, t]), sum(B1[, 1]), h, SigR[j], eponR[j, t])
R1[, t+1] <- R*(B1[, t]/sum(B1[, t]))}

##Catch starts
#Definition
Eij <- matrix(0, nrow=narea, ncol=Man. year)
Caijt <- array(0, c(age+1, narea, Man. year))
Cijt<- matrix(0, nrow=narea, ncol=Man. year)
Ct<- numeric(Man. year)

#before assessment
for (t in catch. year:Man. year){
  #natural mortality
  set. seed(nseed+t*t)
  M <- logistic(rnorm(1, logit(M0), SigM))

```

```

Eij[, t] <- E[t]*B1[, t-1]/sum(B1[, t-1])
for (i in 1:(age+1)){
  Caijt[i, , t] <- N1[i, , t-1]*exp(-M/2)*(1-exp(-q*Sa[i]*Eij[, t]))}
for(j in 1:2){Cijjt[j, t] <- Caijt[, j, t]*%*%Wamin}

#The amount of Catch
Ct[t] <- sum(Cijjt[, t])
N1[1, 1, t] <- R1[1, t]*(1-Pa[1, 1])+R1[2, t]*(1-Pa[2, 1])
N1[1, 2, t] <- R1[1, t]*Pa[1, 1]+R1[2, t]*Pa[2, 1]
for(i in 1:(age-1)) {
  N1[i+1, 1, t] <- ((N1[i, 1, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[i, 1, t])*(1-Pa[1, i+1])+(N1[i, 2, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[i, 2, t])*(1-Pa[2, i+1]))*exp(-M/2)
  N1[i+1, 2, t] <- ((N1[i, 1, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[i, 1, t])*Pa[1, i+1]+(N1[i, 2, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[i, 2, t])*Pa[2, i+1])*exp(-M/2)}
  N1[age+1, 1, t] <- ((N1[age, 1, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age, 1, t])*(1-Pa[1, age+1])+(N1[age, 2, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age, 2, t])*(1-Pa[2, age+1])+(N1[age+1, 1, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age+1, 1, t])*(1-Pa[1, age+1])+(N1[age+1, 2, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age+1, 2, t])*(1-Pa[2, age+1]))*exp(-M/2)
  N1[age+1, 2, t] <- ((N1[age, 1, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age, 1, t])*(Pa[1, age+1])+(N1[age, 2, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age, 2, t])*(Pa[2, age+1])+(N1[age+1, 1, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age+1, 1, t])*(Pa[1, age+1])+(N1[age+1, 2, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age+1, 2, t])*(Pa[2, age+1]))*exp(-M/2)

#round-off number
N1 <- floor(N1)
for(j in 1:2){B1[j, t] <- Bio. M(N1[, j, t])}
for(j in 1:2){
  set. seed(nseed+j*t)
  eponR[j, t]<- rnorm(1, mean=0, sd=(SigR[j]))}
R <- Bio. S(sum(B1[, t]), sum(B1[, 1]), h, SigR[j], eponR[j, t])
R1[, t+1] <- R*(B1[, t]/sum(B1[, t]))}
list(N1=N1, R1=R1, B1=B1, Caijt=Caijt, Cijjt=Cijjt, Ct=Ct)}

data. afterMan <- function(Biomass. iter, nseed, type, MP)
{ #definition
  N1 <- array(NA, c(age+1, narea, (nyear-Man. year+2)))
  R1 <- matrix(NA, nrow=narea, ncol=(nyear-Man. year+3))

```

```

B1 <- matrix(NA, nrow=narea, ncol=(nyear-Man. year+2))
epsonR <- matrix(NA, nrow=narea, ncol=(nyear-Man. year+2))
M <- M0
h <- h0
E <- 200000 #initial to be large
Eij <- matrix(0, nrow=narea, ncol=(nyear-Man. year+2))
Caijt <- array(0, c(age+1, narea, (nyear-Man. year+2)))
Cijjt <- matrix(0, nrow=narea, ncol=(nyear-Man. year+2))
Ct <- Ct. obs <- numeric(nyear-Man. year+2)

#initial
N1[, , 1] <- Biomass. iter[[nseed]]$N1[, , Man. year]
R1[, 2] <- Biomass. iter[[nseed]]$R1[, Man. year]
B1[, 1] <- Biomass. iter[[nseed]]$B1[, Man. year]
Caijt[, , 1] <- Biomass. iter[[nseed]]$Caijt[, , Man. year]
Cijjt[, 1] <- Biomass. iter[[nseed]]$Cijjt[, Man. year]
Ct[1] <- Biomass. iter[[nseed]]$Ct[Man. year]

#after assessment
for (t in 2:length(Ct)){
  #natural mortality
  set. seed(nseed+t*t)
  M <- logistic(rnorm(1, logit(M0), SigM))

  #area choice
  if ((t+48)%5==0) index <- sum(B1[, t-1])
  E. TAC <- E*B1[, t-1]/index
  E. MPA. 123 <- c(0, E)
  E. MPA. yes <- E*B1[, t-1]/index
  E. MPA. no <- c(0, E)
  ifelse(type != "MPA", Eij[, t] <- E. TAC,
         ifelse(MP < 4, Eij[, t] <- E. MPA. 123,
                ifelse(index > BMSY, Eij[, t] <- E. MPA. yes, Eij[, t] <- E. MPA. no)))

  #The amount of Catch
  for (i in 1:(age+1)){
    Caijt[i, , t] <- N1[i, , t-1]*exp(-M/2)*(1-exp(-q*Sa[i]*Eij[, t]))}

```

```

for(j in 1:2){Cijt[j, t] <- Caijt[, j, t]%%Wamin}
Ct[t] <- sum(Cijt[, t])

#yield check
Flim <- ifelse(type=="MPA", 0, 0.5*FMSY)
control.pars <- c(FMSY, Flim, BMSY, Blim)
Man.result <- control(index, control.pars, MP)*sum(B1[, t-1])
Ct.targ <- ifelse(Man.result == 0, 0, implement(Man.result, SigE))
if (Ct[t]>Ct.targ){
  for (i in 1:(age+1)) {Caijt[i, , t] <- Caijt[i, , t]*Ct.targ/Ct[t]}
  for (j in 1:2) {Cijt[j, t] <- Caijt[, j, t]%%Wamin}
  Ct[t] <- sum(Cijt[, t]) }

#age-structure
N1[1, 1, t] <- R1[1, t]*(1-Pa[1, 1])+R1[2, t]*(1-Pa[2, 1])
N1[1, 2, t] <- R1[1, t]*Pa[1, 1]+R1[2, t]*Pa[2, 1]
for(i in 1:(age-1)) {
  N1[i+1, 1, t] <- ((N1[i, 1, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[i, 1, t])*(1-Pa[1, i+1])+(N1[i, 2, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[i, 2, t])*(1-Pa[2, i+1]))*exp(-M/2)
  N1[i+1, 2, t] <- ((N1[i, 1, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[i, 1, t])*Pa[1, i+1]+(N1[i, 2, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[i, 2, t])*Pa[2, i+1])*exp(-M/2)}
  N1[age+1, 1, t] <- ((N1[age, 1, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age, 1, t])*(1-Pa[1, age+1])+(N1[age, 2, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age, 2, t])*(1-Pa[2, age+1])+(N1[age+1, 1, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age+1, 1, t])*(1-Pa[1, age+1])+(N1[age+1, 2, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age+1, 2, t])*(1-Pa[2, age+1]))*exp(-M/2)
  N1[age+1, 2, t] <- ((N1[age, 1, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age, 1, t])*(Pa[1, age+1])+(N1[age, 2, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age, 2, t])*(Pa[2, age+1])+(N1[age+1, 1, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age+1, 1, t])*(Pa[1, age+1])+(N1[age+1, 2, t-1]*exp(-M/2)-Caijt[age+1, 2, t])*(Pa[2, age+1]))*exp(-M/2)

#round-off number
N1 <- floor(N1)
for(j in 1:2){B1[j, t] <- Bio. M(N1[, j, t])}
for(j in 1:2){
  set.seed(nseed+j*t)
  eponR[j, t]<- rnorm(1, mean=0, sd=(SigR[j]))}
R <- Bio. S(sum(B1[, t]), B0, h, SigR[j], eponR[j, t])

```

```

R1[, t+1] <- R*(B1[, t]/sum(B1[, t]))}

#output
B. i <- numeric(length(B1[1, ]))
for(j in 1:length(B1[1, ])) B. i[j] <- sum(B1[, j])
data. period <- 2:(length(Ct)-1)
short. period <- 2:(2+20)
long. period <- (2+21):(length(Ct)-1)
AAV <- sum(abs(diff(Ct[data. period])))*length(data. period)/(length(data. period)-
1)/sum(Ct[data. period])
AAV1 <- sum(abs(diff(Ct[short. period])))*length(short. period)/(length(short. period)-
1)/sum(Ct[short. period])
if(sum(Ct[short. period])==0) AAV1 <- 0
AAV2 <-sum(abs(diff(Ct[long. period])))*length(long. period)/(length(long. period)-
1)/sum(Ct[long. period])
rbind(data. frame(year=(Man. year-1):nyear, value=B. i, type="biomass", iter=nseed,
MP=paste0("MP", MP)),
data.frame(year=(Man. year-1):nyear, value=as. numeric(Ct), type="catch", iter=nseed,
MP=paste0("MP", MP)), data. frame(year=0, value=AAV, type="AAV", iter=nseed,
MP=paste0("MP", MP)), data. frame(year=0, value=AAV1, type="AAV1", iter=nseed,
MP=paste0("MP", MP)), data. frame(year=0, value=AAV2, type="AAV2", iter=nseed,
MP=paste0("MP", MP)))}

##管理方法の設定
HCR. result <- function(){
result <- data. frame()
Biomass. iter <- list()
Biomass. ass. plot <- data. frame()
for(i in 1:niter){
Biomass. iter[[i]] <- data. beforeMan(nseed=i)
B. raw <- numeric(length(Biomass. iter[[i]]$B1[1, ]))
for(j in 1:Man. year) B. raw[j] <- sum(Biomass. iter[[i]]$B1[, j])
Biomass. ass. plot <- rbind(Biomass. ass. plot, data. frame(year=1:Man. year, biomass=B.
raw[1:Man. year], iter=i))}
for (MP in 1:9){
for (nseed in 1:niter){
if(MP > 6){

```

```

    result <- rbind(result, data. afterMan(Biomass. iter=Biomass. iter, nseed=nseed,
type="TAC", MP=MP))
  }
  else{
    result <- rbind(result, data. afterMan(Biomass. iter=Biomass. iter, nseed=nseed,
type="MPA", MP=MP))} } }
return(result)}

```

```
##シナリオ
```

```
#control panel
```

```
Mcontrol <- c(0. 2, 0. 3, 0. 4)
```

```
hcontrol <- c(0. 7, 0. 8, 0. 9)
```

```
Pcontrol <- list(Movepattern(1, 2, 0. 8), Movepattern(2, 3, 0. 5), Movepattern(3, 5, 0. 3))
```

```
#observation uncertainty
```

```
SigB. obs <- 0
```

```
lengthM <- length(Mcontrol)
```

```
lengthh <- length(hcontrol)
```

```
lengthP <- 3
```

```
##ラン
```

```
scenario_all <- lengthM*lengthh*lengthP
```

```
final_result <- list()
```

```
shortterm_overall <- data. frame()
```

```
longterm_overall <- data. frame()
```

```
allterm_overall <- data. frame()
```

```
iflag <- 0
```

```
for (nscenario in 1:scenario_all){
```

```
  print(paste0("No. ", nscenario))
```

```
  if(nscenario%%lengthP!=0){Pa<-Pcontrol[[nscenario%%lengthP]]}else {Pa<-
Pcontrol[[3]]}
```

```
  if(nscenario%%(lengthP*lengthh)==0) {h0<-hcontrol[3]}else
```

```
if(nscenario%%(lengthP*lengthh)<=lengthP) {h0<-hcontrol[1]}else
```

```
if(nscenario%%(lengthP*lengthh)<=(2*lengthP)){h0<-hcontrol[2]}else{h<-hcontrol[3]}
```

```
  if(nscenario%%(lengthM*lengthh*lengthP)==0) {M0<-Mcontrol[3]}else
```

```
if(nscenario%%(lengthM*lengthh*lengthP)<=(lengthP*lengthh)) {M0<-Mcontrol[1]}else
```

```
if(nscenario%%(lengthM*lengthh*lengthP)<=(2*lengthP*lengthh)){M0<-
Mcontrol[2]}else{M0<-Mcontrol[3]}
```

```

DE <- matrix(NA, nrow=1000, ncol=3)
for (E_test in 1:1000){
  E0 <- c(rep(0, catch. year-1), rep(E_test, (nyear-catch. year)))
  DE[E_test, ] <- BMSY_FMSY_B0(E0, h0, M0)}
BMSY <- DE[which(DE[, 1]==max(DE[1:1000, 1])), 2]
FMSY <- DE[which(DE[, 1]==max(DE[1:1000, 1])), 1]/DE[which(DE[,
1]==max(DE[1:1000, 1])), 2]
B0 <- mean(DE[, 3])
Blim <- (1-h0)/(3*h0+1)*B0

#Fixed Depletion on the standard one
Econtrol <- E_Depletionlevel2(h0, M0)
for (nE in 1:3){
  iflag <- iflag+1
  E <- Econtrol[nE, ]
  result <- HCR. result()
  final_result[[iflag]] <- result

#analysis
shortterm <- analysis. dynamic. part(result=subset(result, year==0|year>=Man.
year&year<=(Man. year+20)), term="short")
longterm <- analysis. dynamic. part(result=subset(result, year==0|year>=(Man.
year+20)&year<=nyear), term="long")
allterm <- analysis. dynamic. all(result=result)
shortterm_overall <- rbind(shortterm_overall, shortterm)
longterm_overall <- rbind(longterm_overall, longterm)
allterm_overall <- rbind(allterm_overall, allterm) }}

```