

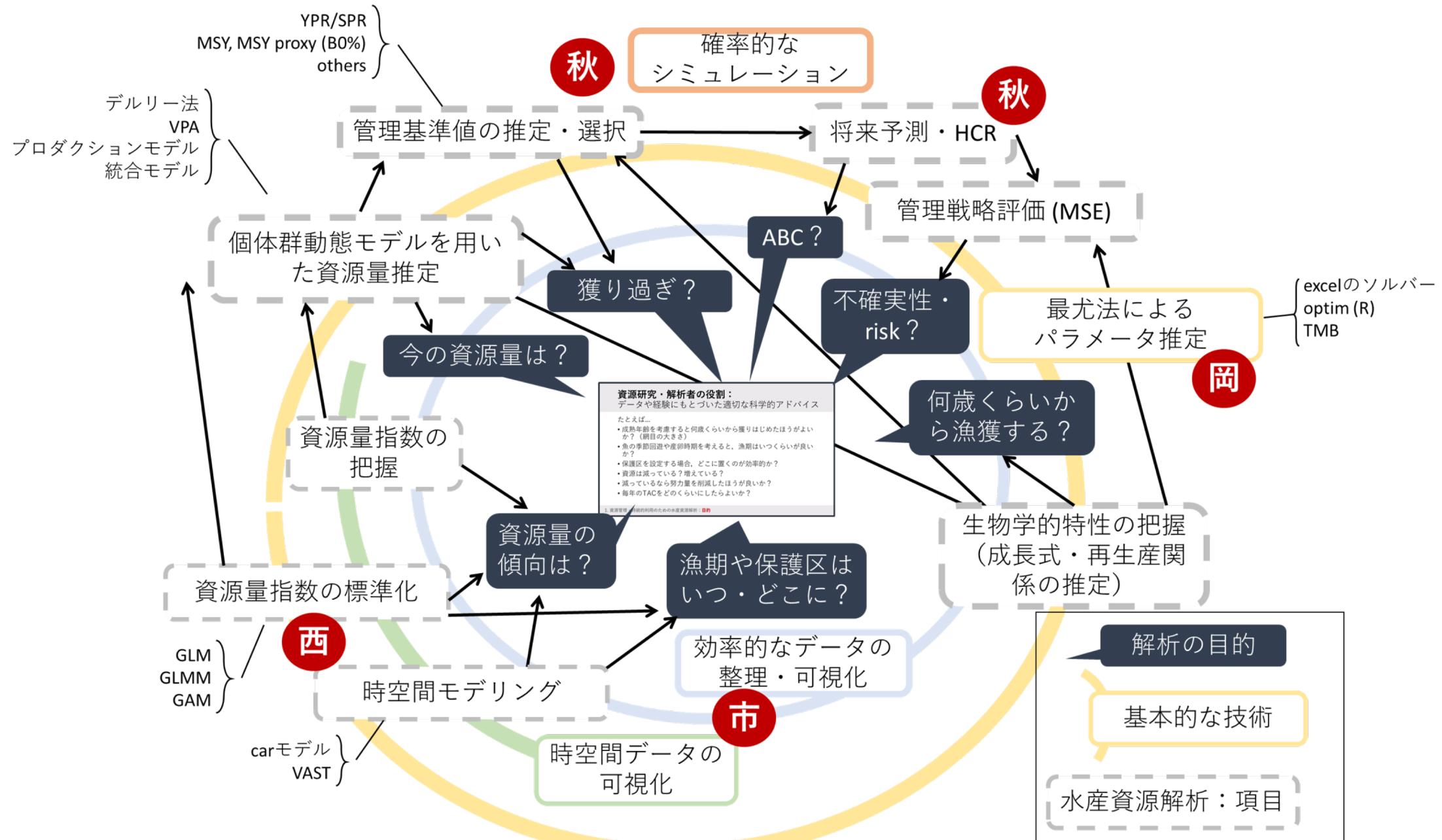
1：最大持続生産量（MSY）と管理基準値

2：漁獲制御ルール

秋田 鉄也

水産研究・教育機構 中央水産研究所
資源研究センター・資源管理グループ・任期付研究員、
併任：くろまぐろ資源部（国際水研）

水産資源解析フロー チャート



管理基準値とは？

- ・目標管理基準値：管理のために望ましい目標値
- ・限界管理基準値：管理のために望まれない閾値
- ・漁業あるいは資源の状態を表す指標で示される

望ましい漁業状態・資源状態とは

- ラッセルの方程式
 - 資源量の増分(ΔP) = 加入(R) + 成長(G) - 自然死亡(D) - 漁獲(Y)
= 自然増加量(V) - 漁獲(Y)
- $V = Y$ を満たすとき、資源量は釣り合っている（毎年同じ）
- $V = Y$ を満たす最大の漁獲量をMSY (**M**aximum **S**ustainable **Y**ield) と呼ぶ
- MSYを実現する漁業状態・資源状態を望ましい状態と考える

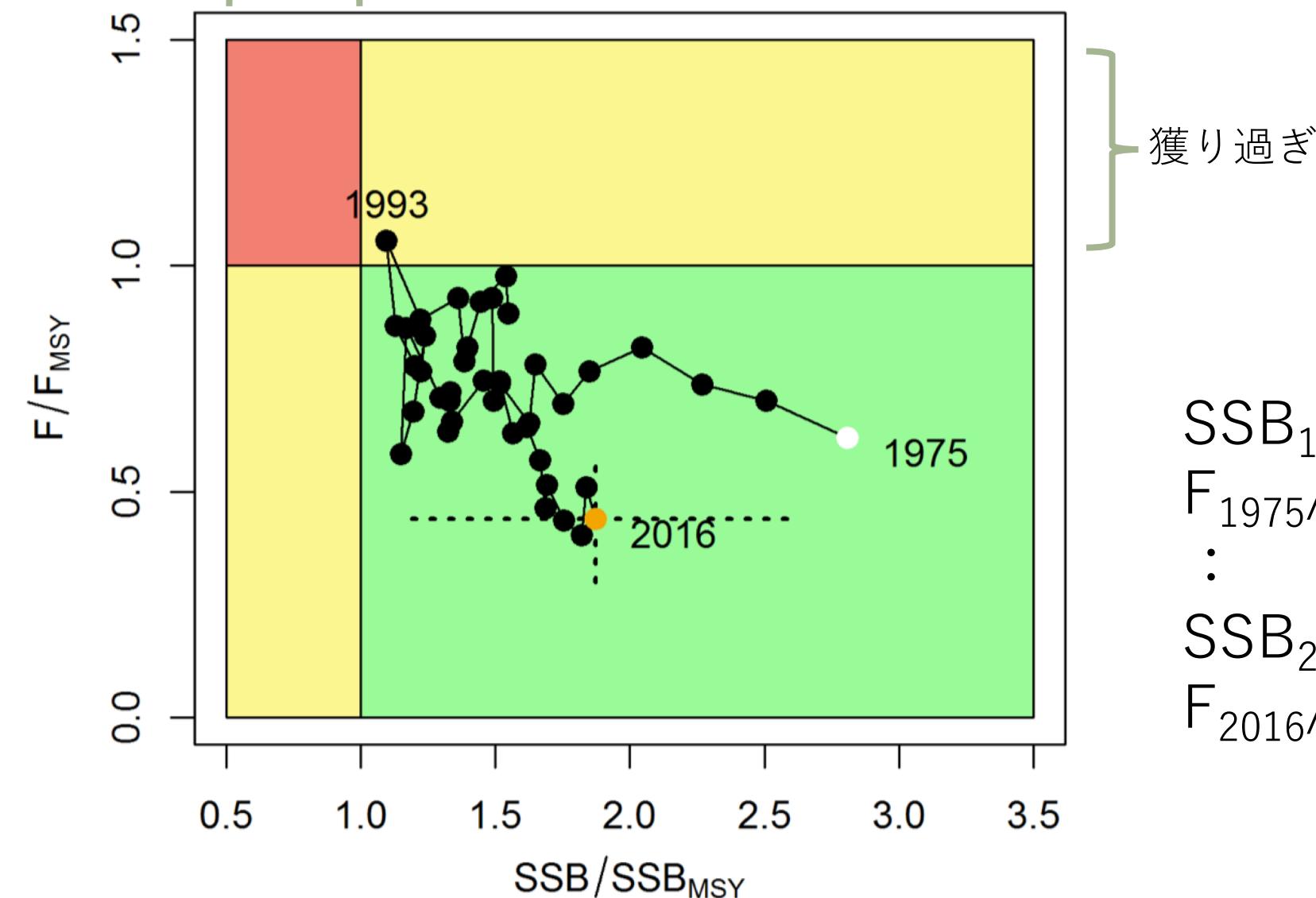
漁業の状態と資源の状態をどう表すか？

- 漁業の状態 : F (漁獲死亡係数)
 - F_{MSY} : MSYを達成する漁獲圧
- 資源の状態 : B (資源量)
 - B_{MSY} : MSYを達成する資源量
- 用語の使用例：
 - 現状の資源量は、 B_{MSY} を下回っている
 - 最近 3 年間の平均的漁獲圧は、 F_{MSY} よりも高い
 - 過去 10 年間は 20% B_{MSY} を下回っていたが、80% F_{MSY} レベルの漁獲圧を 5 年間維持したところ、 B_{MSY} レベルまで資源量が回復した

漁獲圧・資源量の診断 (Kobeプロット)

獲られ過ぎ

メカジキ 北太平洋
(Swordfish, *Xiphias gladius*)



$$\begin{aligned} SSB_{1975}/SSB_{MSY} &= 2.8 \\ F_{1975}/F_{MSY} &= 0.6 \\ \vdots \\ SSB_{2016}/SSB_{MSY} &= 1.9 \\ F_{2016}/F_{MSY} &= 0.45 \end{aligned}$$

MSYの推定は難しい

- ・海産生物は加入変動が非常に大きい：
 - ・MSY計算に必須の再生産関係の推定が困難
 - ・基準とする選択率の設定次第で B_{MSY} 達成が困難

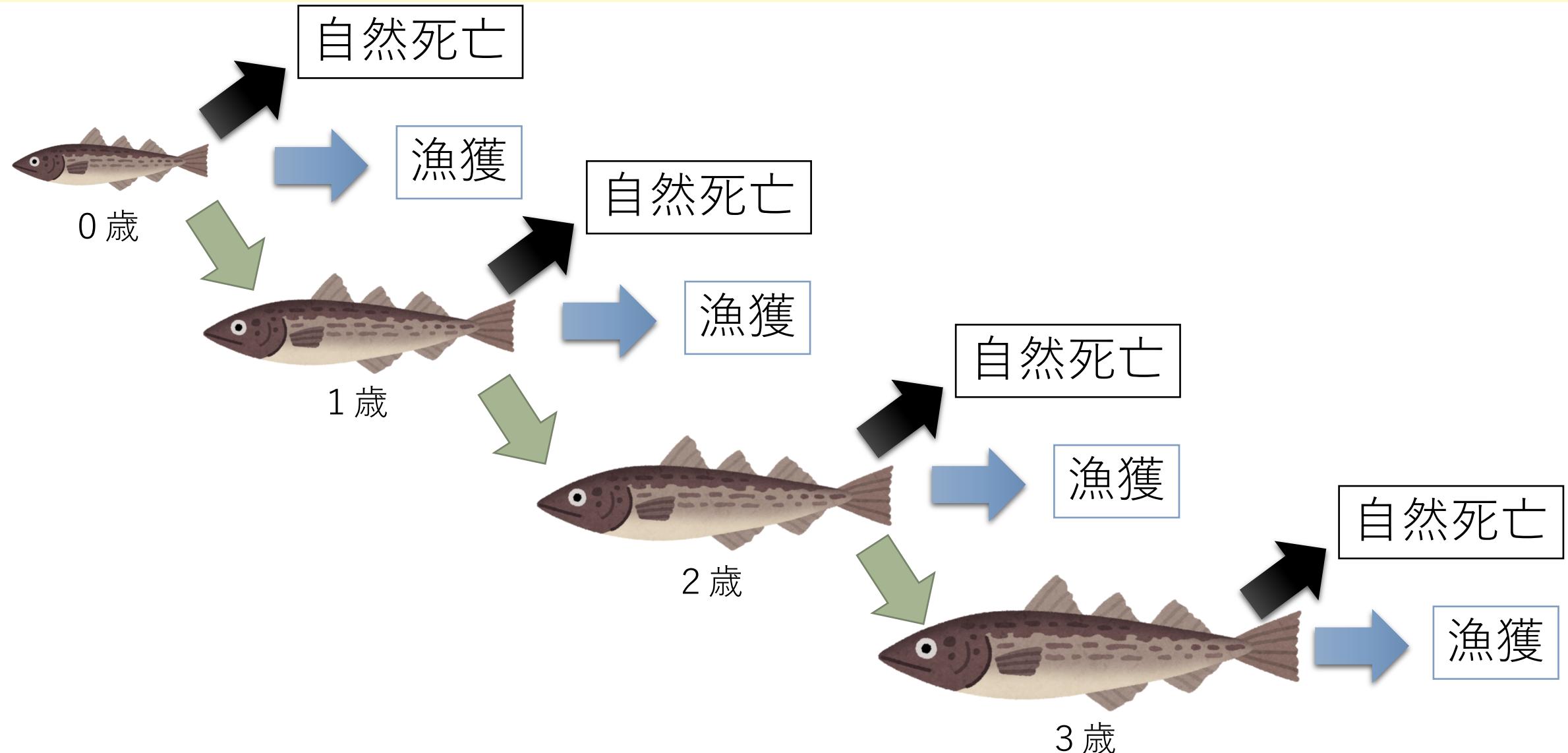
MSYの推定は難しい

- ・再生産関係を必要としない代替指標を用いる
- ・加入変動を考慮した不確実性に強いMSYを用いる

F_{MSY} の代替値を考える

- 加入 1 個体あたりの期待漁獲量 : YPR (Yield Per Recruitment)
 - 将来漁獲価 (future harvest value)
 - 成長乱獲を防ぎ、(加入あたりの) 利益の最大化に有用

加入 1 個体あたりの期待漁獲量：YPR



加入 1 個体あたりの期待漁獲量：YPR

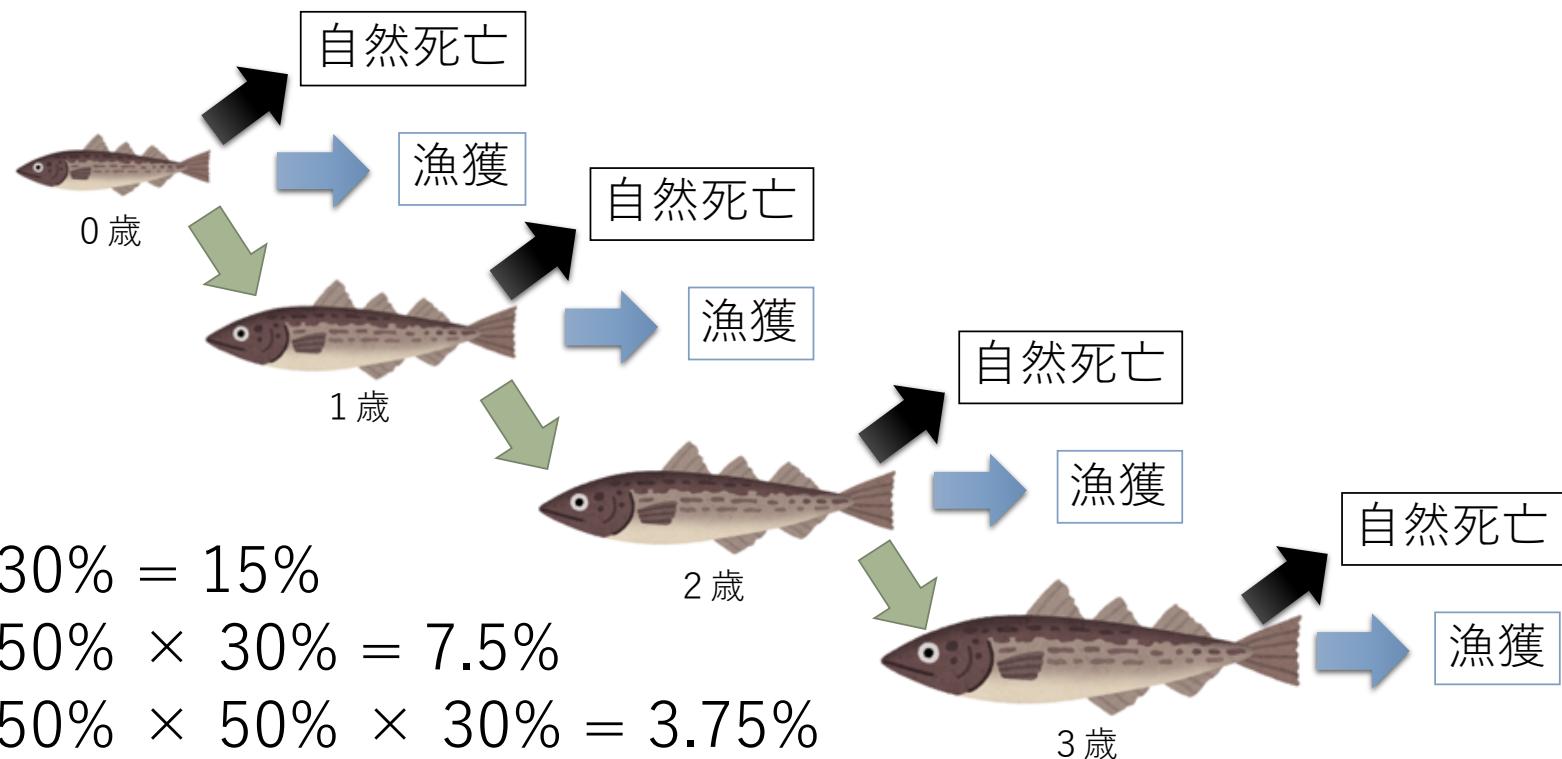
自然死亡を20%、
漁獲率を30%とすると、
翌年までの生存率は50%

$$0\text{歳で漁獲される確率} = 30\%$$

$$1\text{歳で漁獲される確率} = 50\% \times 30\% = 15\%$$

$$2\text{歳で漁獲される確率} = 50\% \times 50\% \times 30\% = 7.5\%$$

$$3\text{歳で漁獲される確率} = 50\% \times 50\% \times 50\% \times 30\% = 3.75\%$$



0歳～3歳の重量を、0.1kg, 1kg, 2kg, 3kgとすると

加入 1 個体あたりの期待漁獲重量(YPR)は

$$0.1\text{kg} \times 30\% + 1\text{kg} \times 15\% + 2\text{kg} \times 7.5\% + 3\text{kg} \times 3.75\% = \mathbf{0.4425\text{kg}}$$

加入1個体あたりの期待漁獲量：YPR

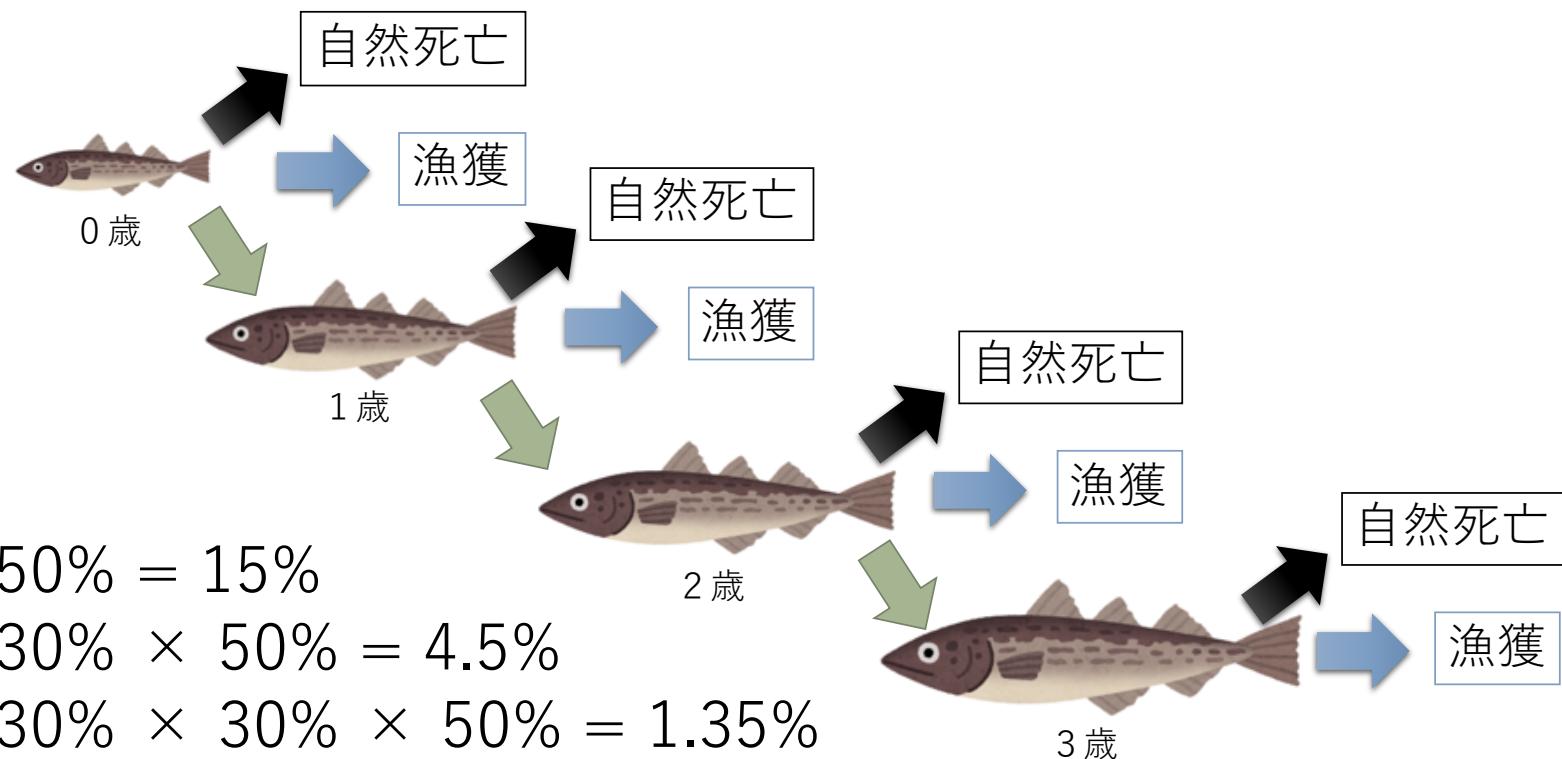
自然死亡を20%、
漁獲率を**50%**とすると、
翌年までの生存率は30%

$$0\text{歳で漁獲される確率} = 50\%$$

$$1\text{歳で漁獲される確率} = 30\% \times 50\% = 15\%$$

$$2\text{歳で漁獲される確率} = 30\% \times 30\% \times 50\% = 4.5\%$$

$$3\text{歳で漁獲される確率} = 30\% \times 30\% \times 30\% \times 50\% = 1.35\%$$



0歳～3歳の重量を、0.1kg, 1kg, 2kg, 3kgとすると

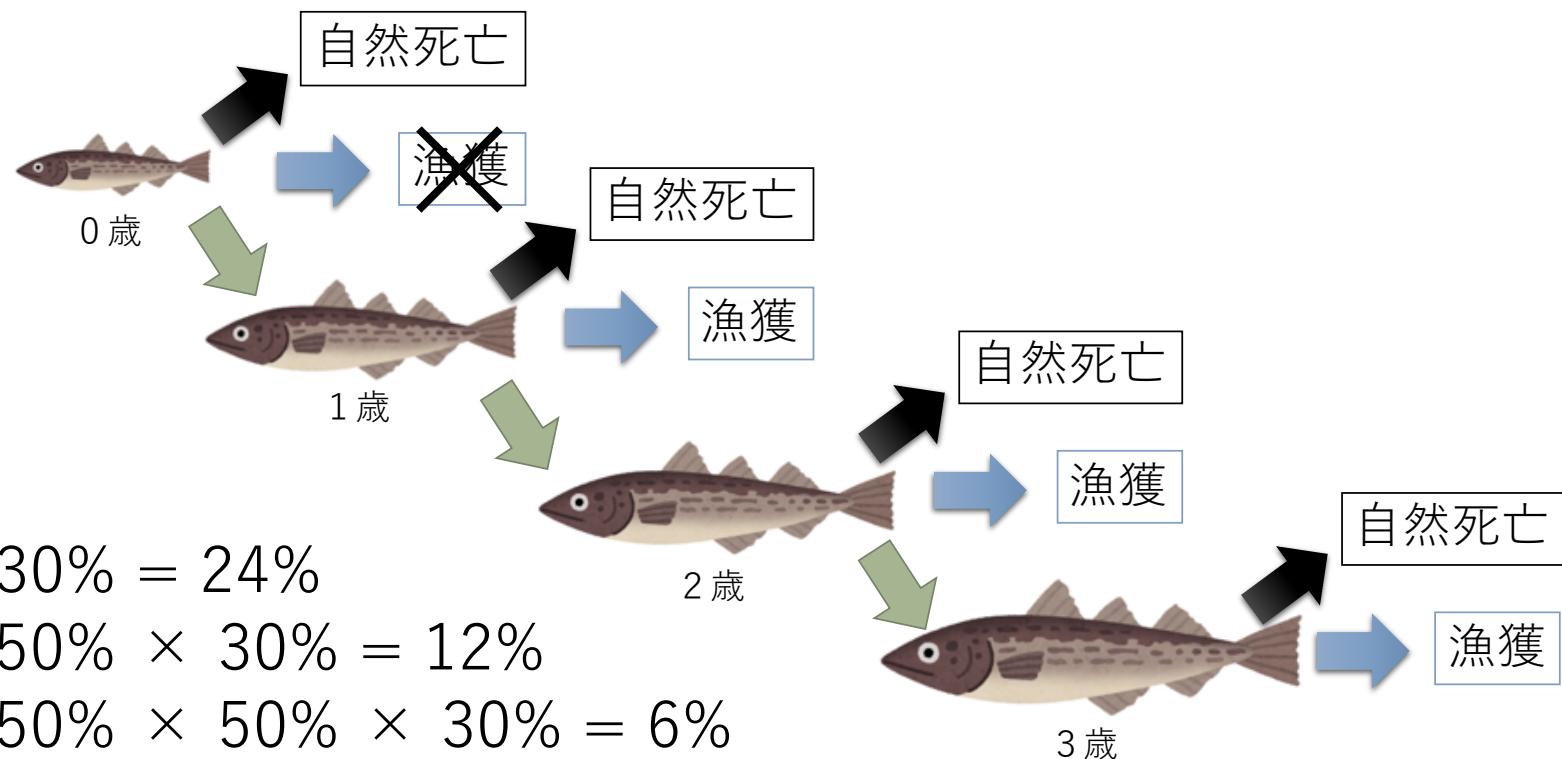
加入1個体あたりの期待漁獲重量(YPR)は

$$0.1\text{kg} \times 30\% + 1\text{kg} \times 15\% + 2\text{kg} \times 7.5\% + 3\text{kg} \times 3.75\% = \mathbf{0.3305\text{kg}}$$

大きくなる前に漁獲して
しまうことによる成長乱獲

加入 1 個体あたりの期待漁獲量：YPR

自然死亡を20%、
漁獲率を30%とすると、
翌年までの生存率は50%



0歳を禁漁とすると

$$\text{1歳で漁獲される確率} = 80\% \times 30\% = 24\%$$

$$\text{2歳で漁獲される確率} = 80\% \times 50\% \times 30\% = 12\%$$

$$\text{3歳で漁獲される確率} = 80\% \times 50\% \times 50\% \times 30\% = 6\%$$

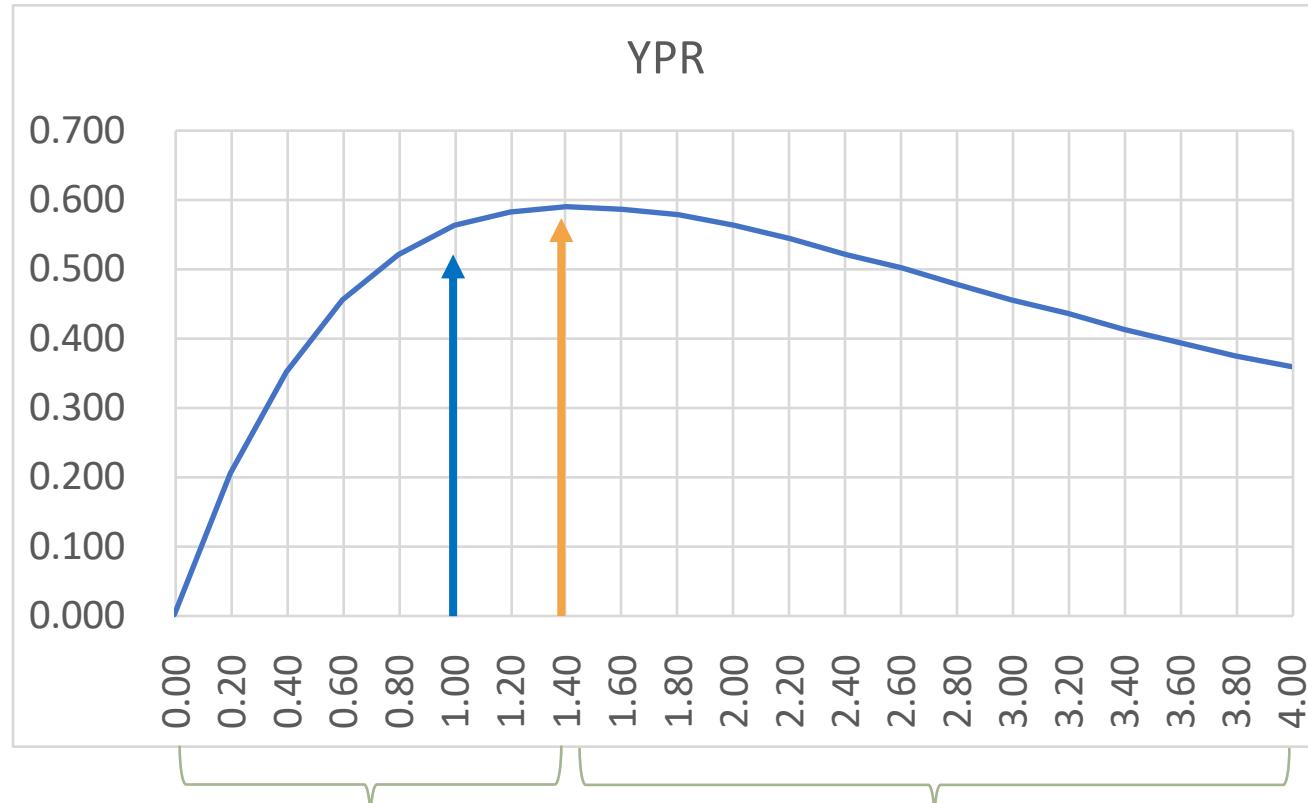
0歳～3歳の重量を、0.1kg, 1kg, 2kg, 3kgとすると

加入 1 個体あたりの期待漁獲重量(YPR)は

$$1\text{kg} \times 24\% + 2\text{kg} \times 12\% + 3\text{kg} \times 6\% = \mathbf{0.66\text{kg}} \uparrow$$

加入1個体あたりの期待漁獲量：YPR

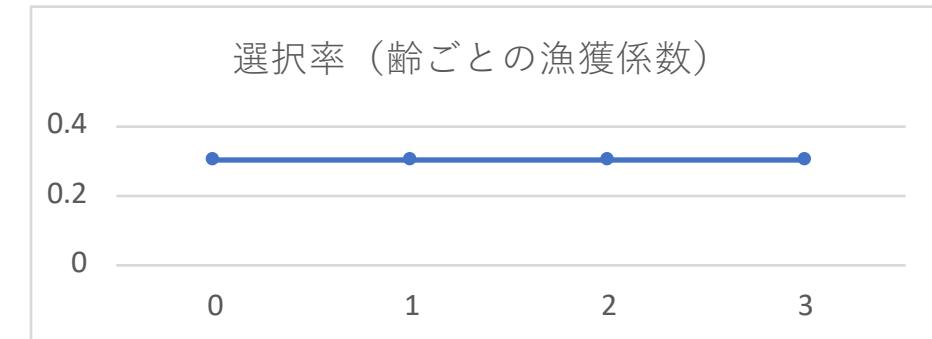
F_{\max} : YPRを最大にするF



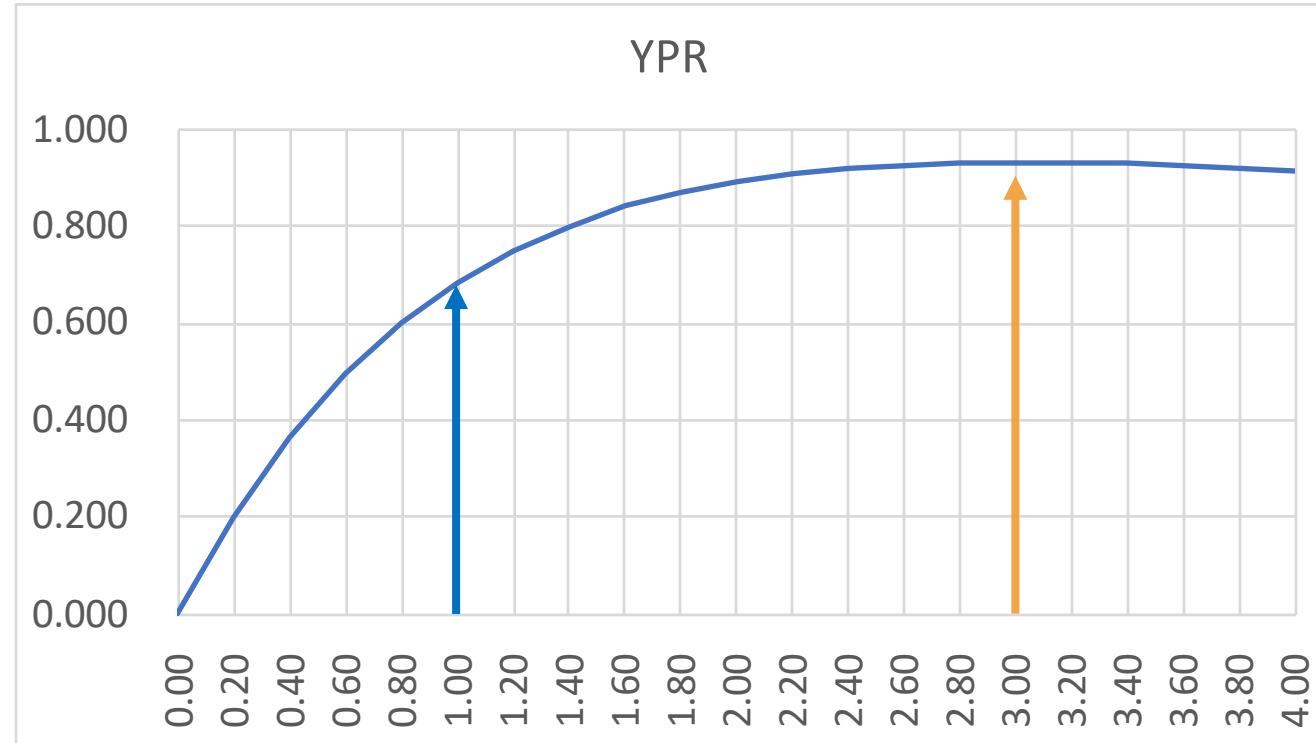
もっと漁獲
できる??

大きくなる前に
漁獲しそぎ

$$F_{\text{現状}}/F_{\max} = 1/1.4 = 0.71$$

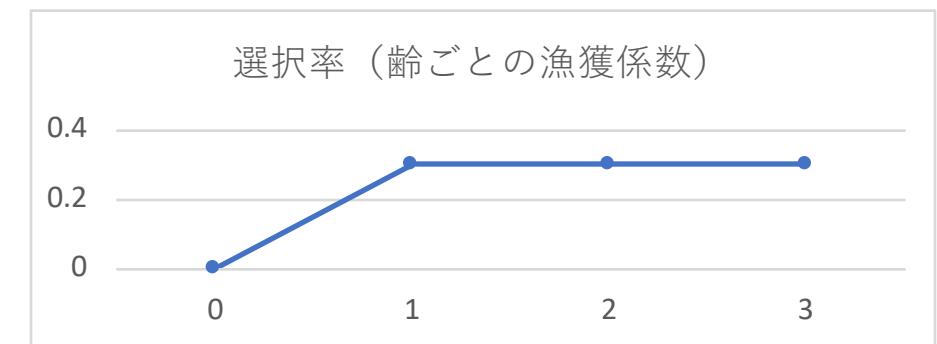


加入 1 個体あたりの期待漁獲量 : YPR



小型魚を取り残すことで、
もっと漁獲量を増やせる

$$F_{\text{現状}}/F_{\max} = 1/3 = 0.33$$

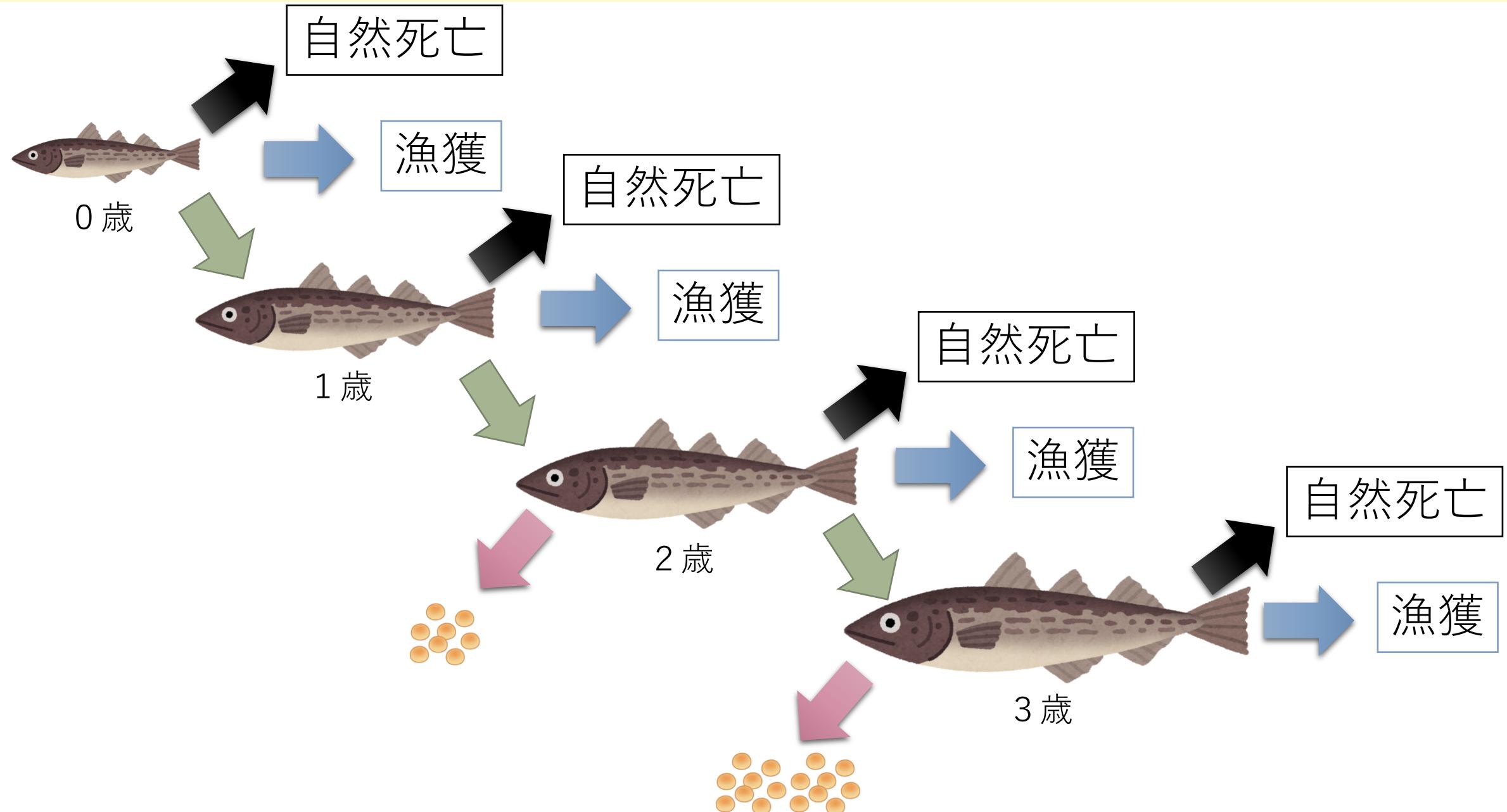


成長乱獲を防ぎ、（加入あたりの）利益の最大化をすることは、資源を望ましい状態にするのか？

F_{MSY} の代替値を考える

- 加入 1 個体あたりの期待漁獲量 : YPR (Yield Per Recruitment)
 - 将来漁獲価 (future harvest value)
 - 成長乱獲を防ぎ、(加入あたりの) 利益の最大化に有用
- 加入 1 個体あたりの産卵親魚量 : SPR (Spawning Per Recruitment)
 - 繁殖価 (reproductive value)
 - 加入乱獲を防ぎ、(加入あたりの) 産卵量の確保に有用

加入 1 個体あたりの産卵親魚量：SPR



加入 1 個体あたりの産卵親魚量：SPR (漁業なし)

自然死亡を20%、
漁獲がないとすると、
翌年までの生存率は80%

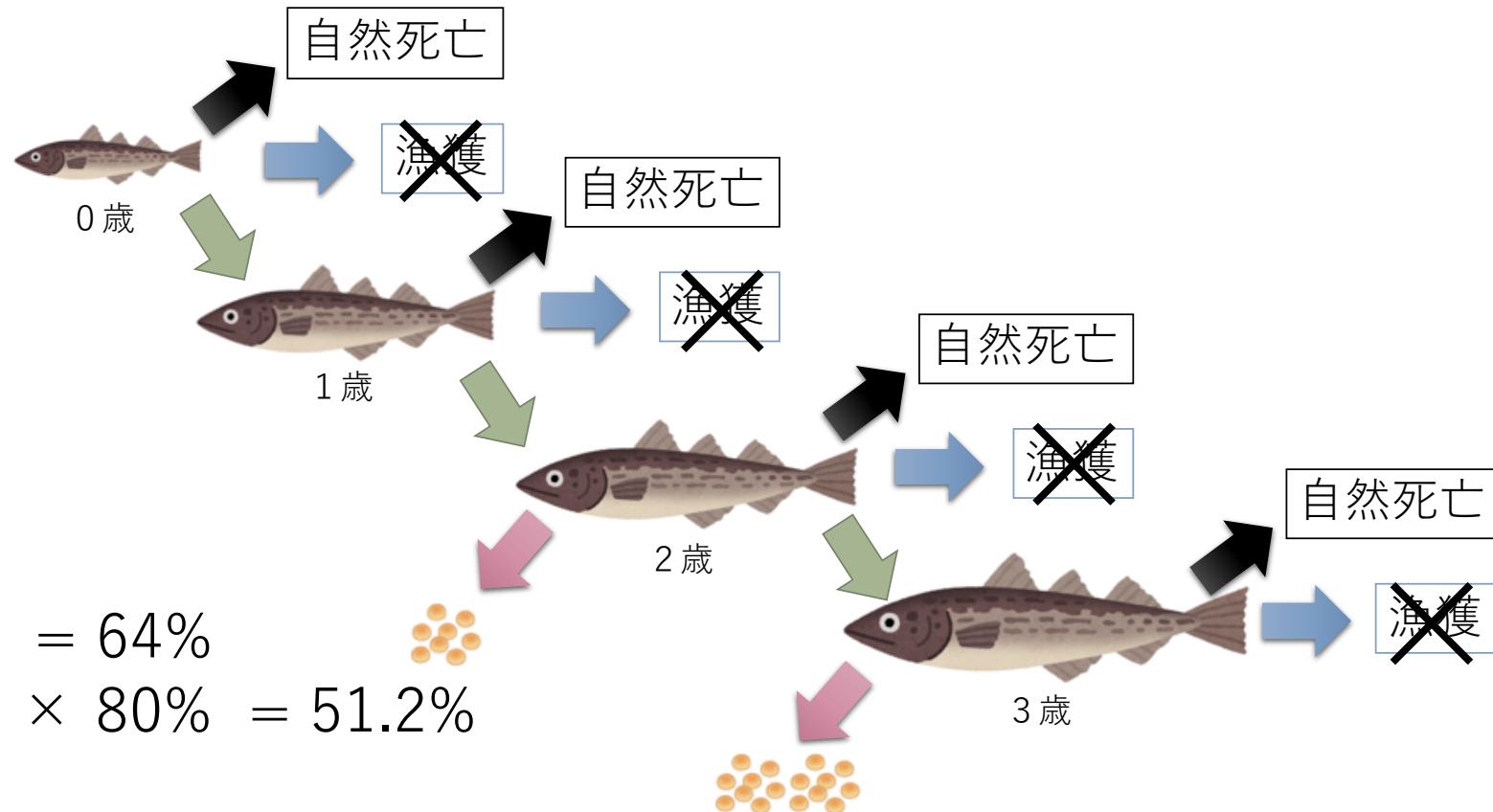
成熟齢を 2 歳とする

$$2 \text{ 歳までの生存率} = 80\% \times 80\% = 64\%$$

$$3 \text{ 歳までの生存率} = 80\% \times 80\% \times 80\% = 51.2\%$$

0 歳～ 3 歳の重量を、 0.1kg, 1kg, 2kg, 3kg とすると

加入 1 個体あたりの産卵親魚量(SPR)は
 $2\text{kg} \times 64\% + 3\text{kg} \times 51.2\% = \mathbf{2.816\text{kg}}$



加入1個体あたりの産卵親魚量：SPR（漁業あり）

自然死亡を20%、
漁獲率を30%とすると、
翌年までの生存率は50%

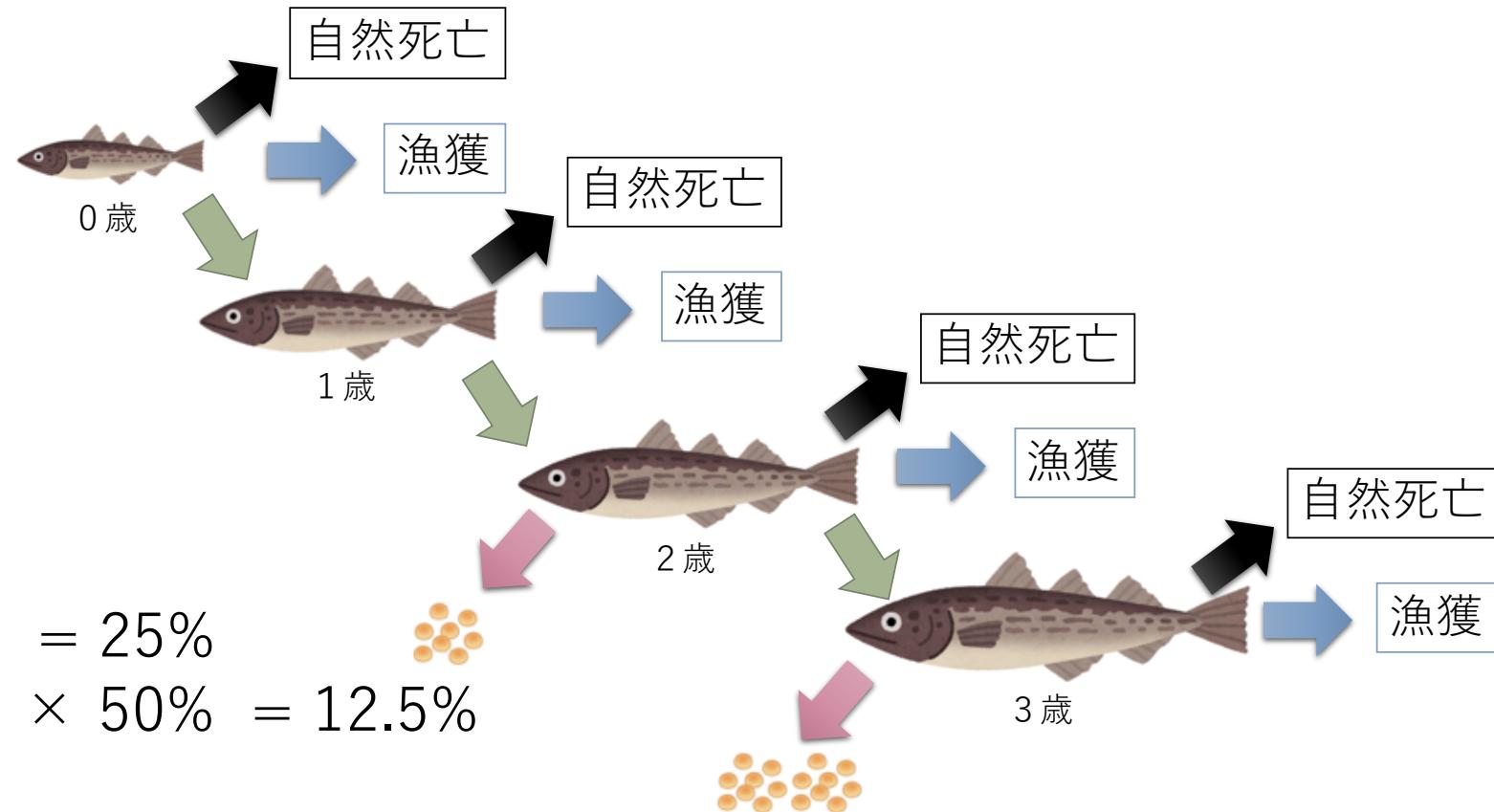
成熟齢を2歳とする

$$2\text{歳までの生存率} = 50\% \times 50\% = 25\%$$

$$3\text{歳までの生存率} = 50\% \times 50\% \times 50\% = 12.5\%$$

0歳～3歳の重量を、0.1kg, 1kg, 2kg, 3kgとすると

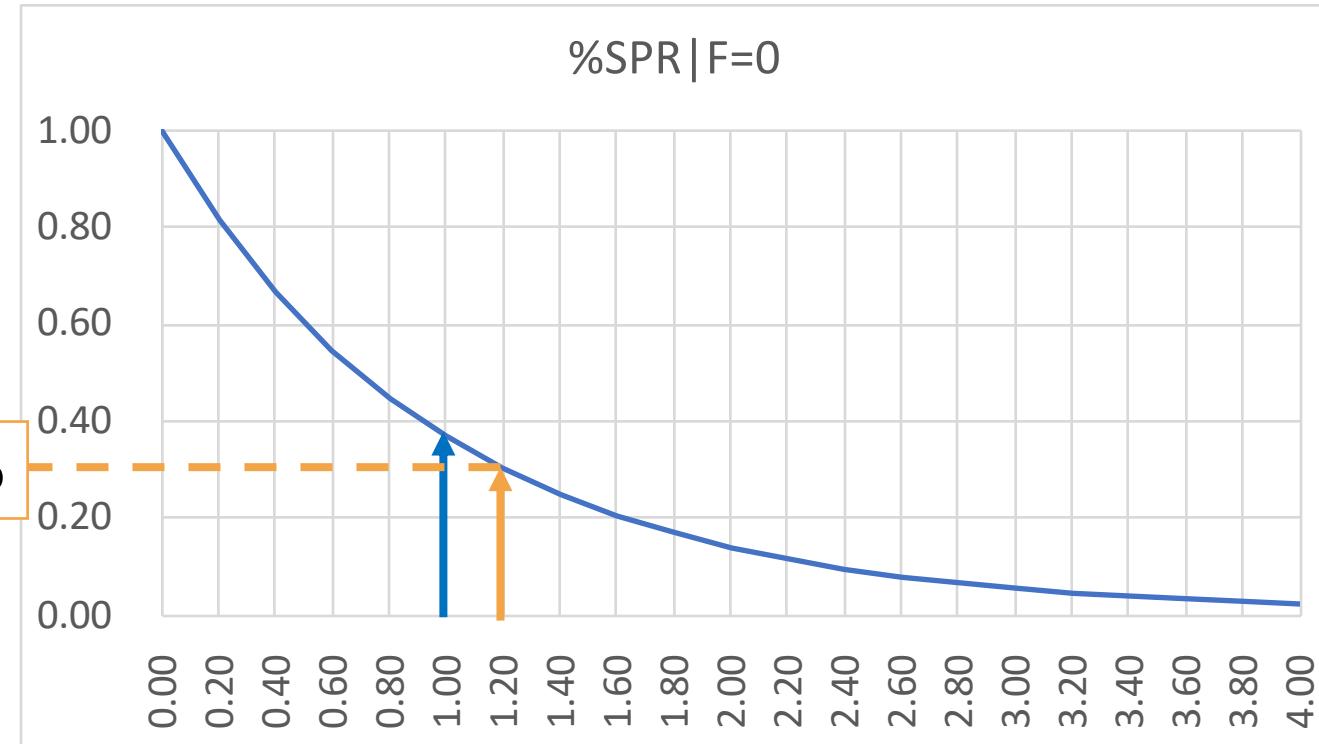
加入1個体あたりの産卵親魚量(SPR)は
 $2\text{kg} \times 25\% + 3\text{kg} \times 12.5\% = 0.875\text{kg}$



$$0.875 / 2.816 = 30\%$$

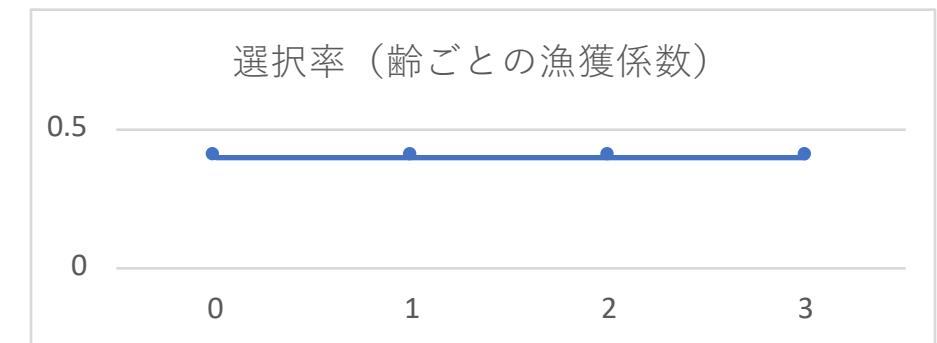
漁業がない状態の30%の漁獲圧

加入 1 個体あたりの産卵親魚量 : SPR

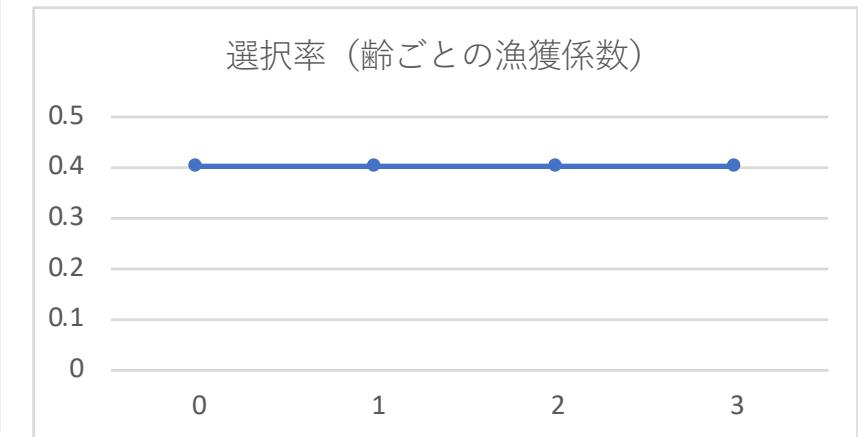
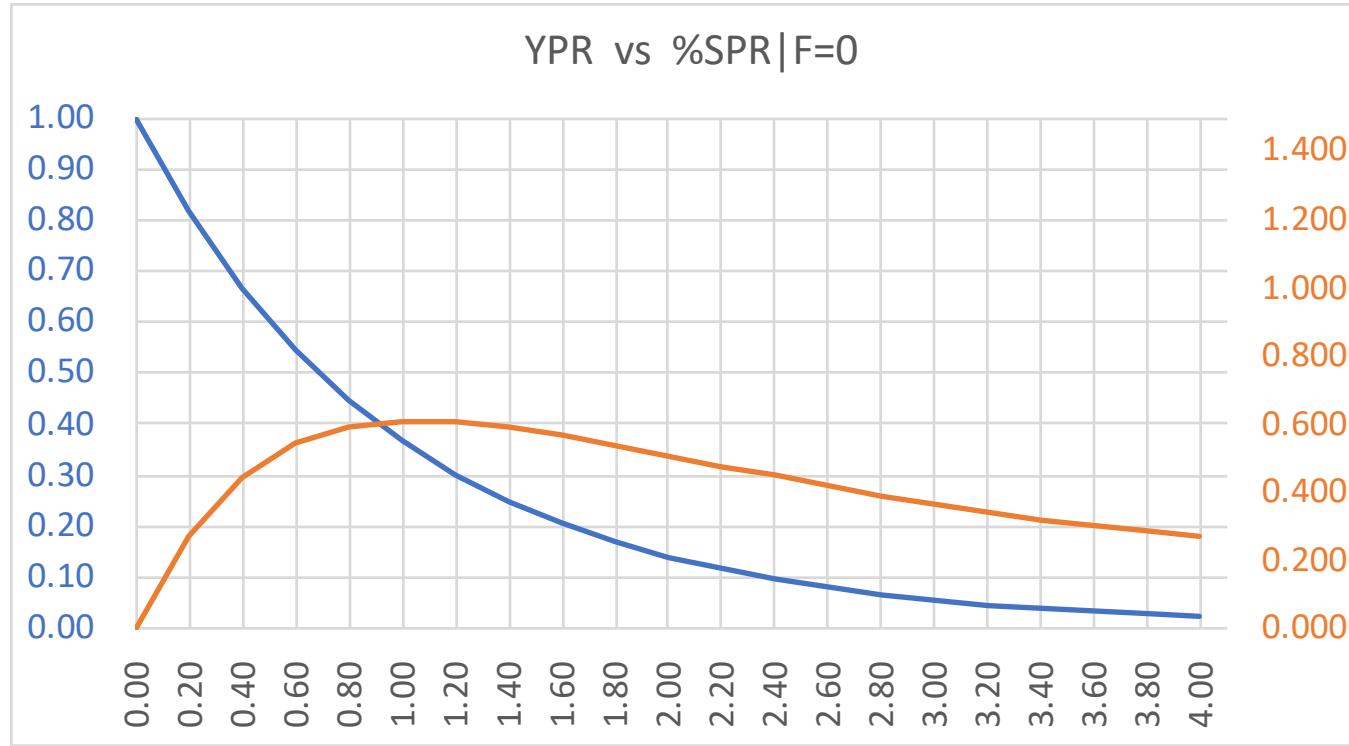


現状の漁獲圧は、3割の親魚取り
残しの漁獲圧よりも小さい

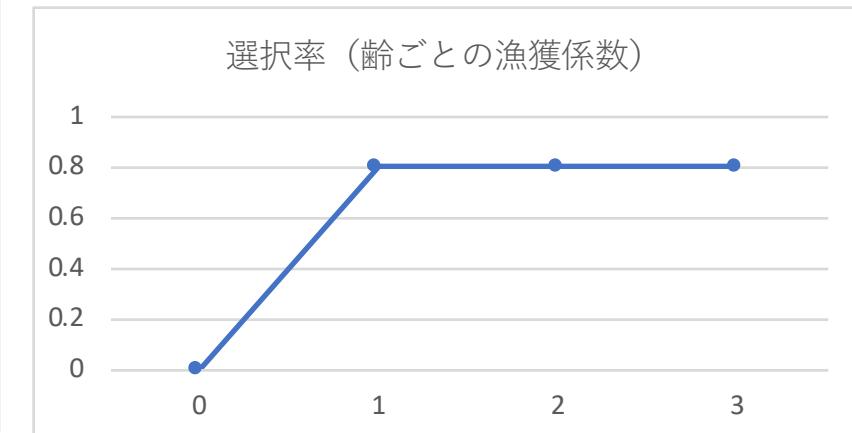
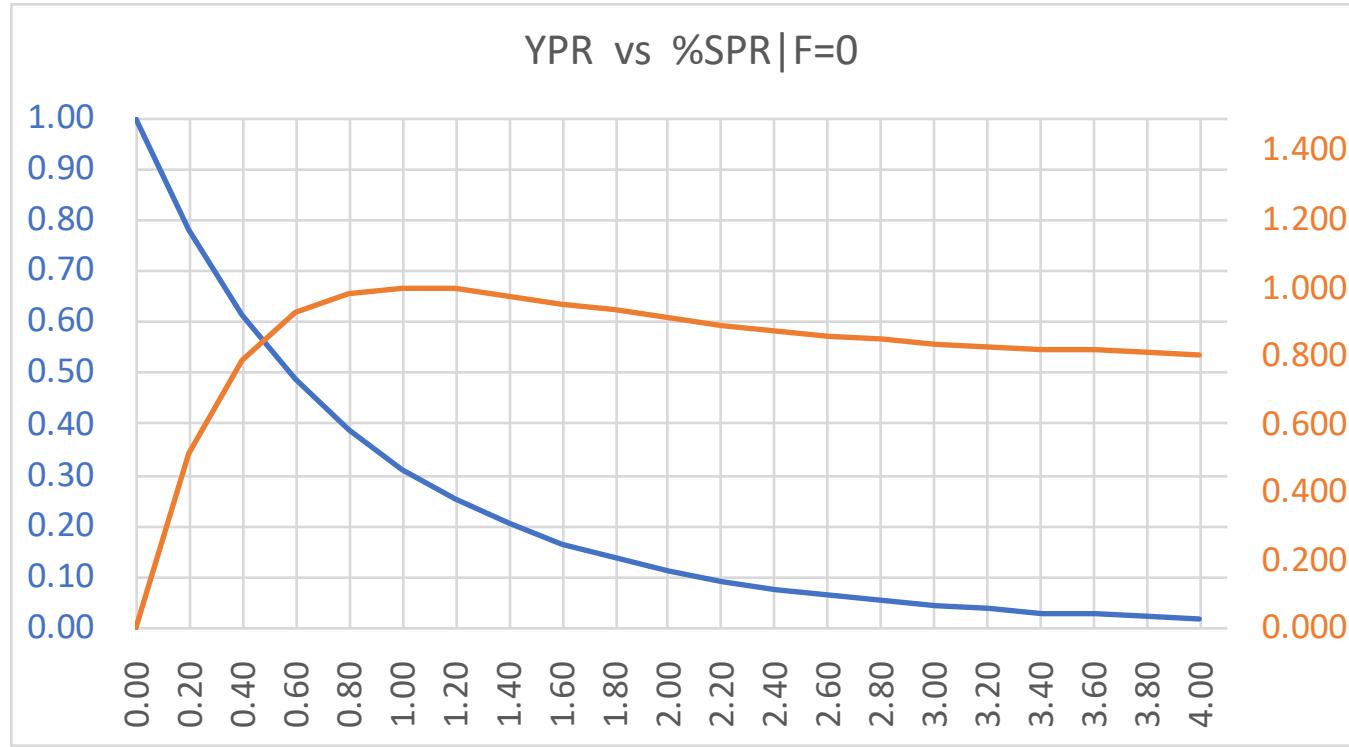
$$F_{\text{現状}} / F_{30\% \text{SPR}} = 1 / 1.2 = 0.83$$



YPR vs %SPR| $F=0$



YPR vs %SPR| $F=0$



YPRとSPRのまとめ

	YPRシリーズ	SPRシリーズ
定義は？	加入1個体あたりの期待漁獲量	加入1個体あたりの産卵親魚量
何を診断する指標？	成長乱獲（もっと大きくてから漁獲した方が、儲けが良い？）	加入乱獲（産卵親魚量をもっと残した方が良い？）
漁獲圧が上昇すると…？	ある値でピークを取る or ダラダラと上昇する	急激に減少してゆく
必要なデータは？	齢あたりの死亡率（自然+漁業）	齢あたりの死亡率（自然+漁業）・成熟率
具体的な管理基準	$F_{max} \cdot F_{0.1}$	$F_{20\%SPR} \cdot F_{30\%SPR} \cdot F_{40\%SPR}$

B_{MSY} の代替値を考える

- $20\%B_0$
 - 初期資源（漁業がない状態）の2割
 - $B_0 = SPR|_{F=0} \times R_0$ から計算されるので不確実性はそれなりにある
- 目視
 - これ以上下がったら十分な加入が得られない資源量
- 最大加入量の半数を実現する資源量
 - 今回のシミュレーションで採用

漁獲制御ルール

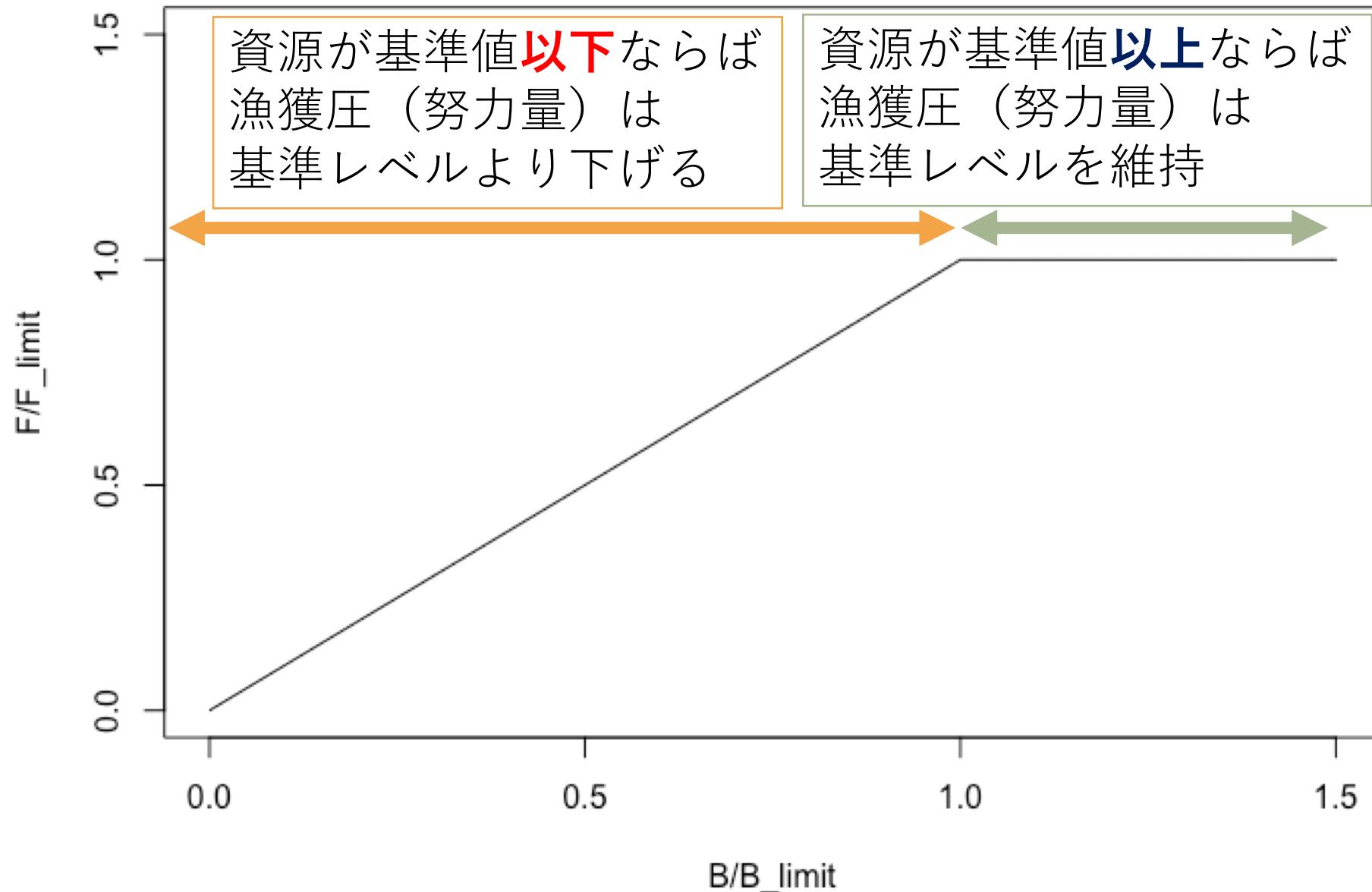
- ・シンプルな漁獲方策
 - ・漁獲量一定方策
 - ・漁獲率一定方策
 - ・産卵親魚量一定方策
- ・管理基準値に基づいたフィードバック管理方策

実演でチェック

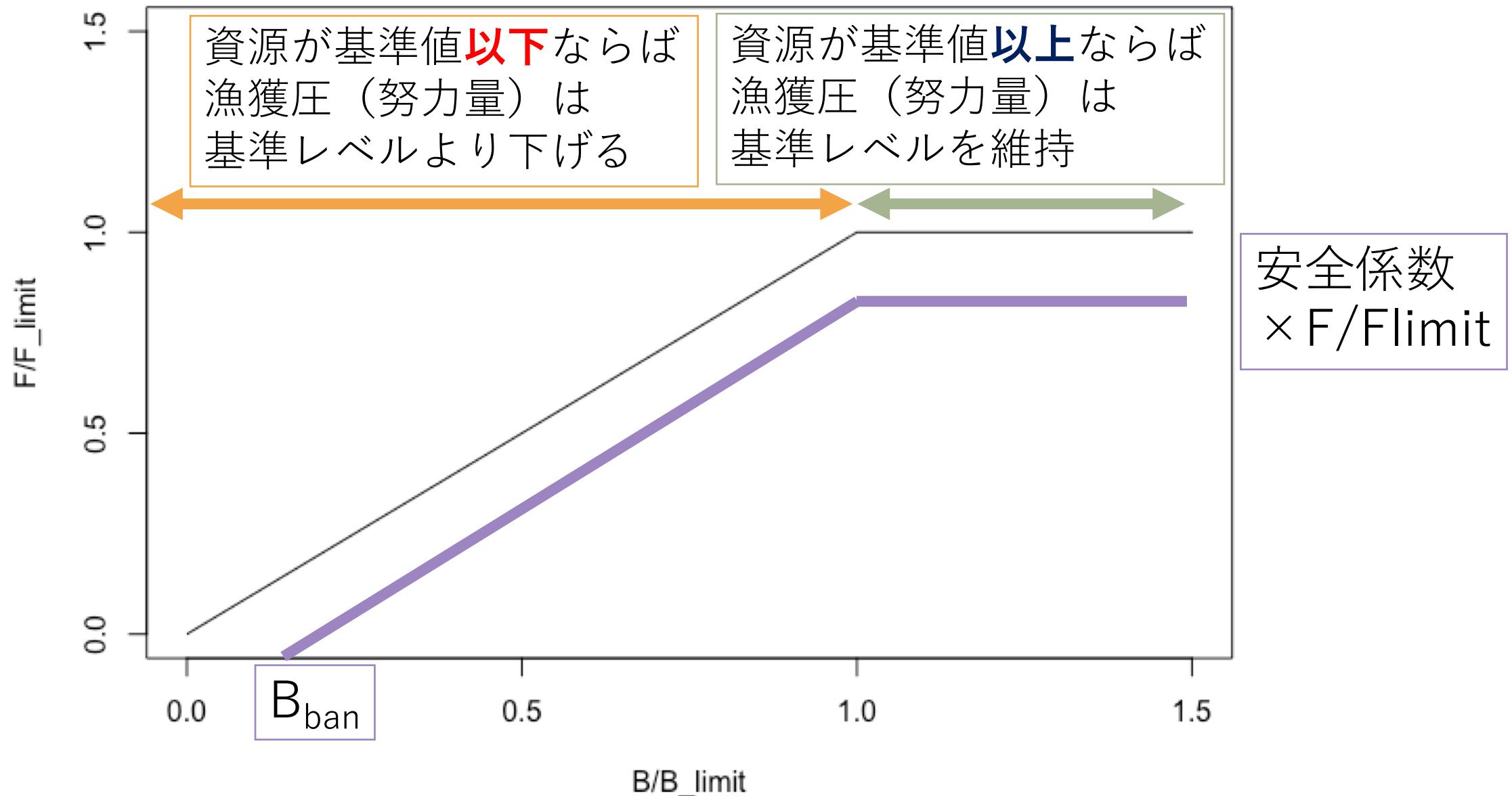
シンプルな漁獲方策のまとめ

	漁獲量一定	漁獲率一定	産卵親魚量一定
一定にするのは？	漁獲量	努力量	取り残す産卵親魚量
主なメリット	安定した漁獲量	安定した努力量	資源状態は常に良好
主なデメリット	資源量減少に伴い努力量が増大し、資源がクラッシュする	対応が遅いと、回復にかかる時間が増大	・禁漁と過剰漁獲が繰り返される

管理基準値に基づいたフィードバック管理方策



予防原則アプローチ

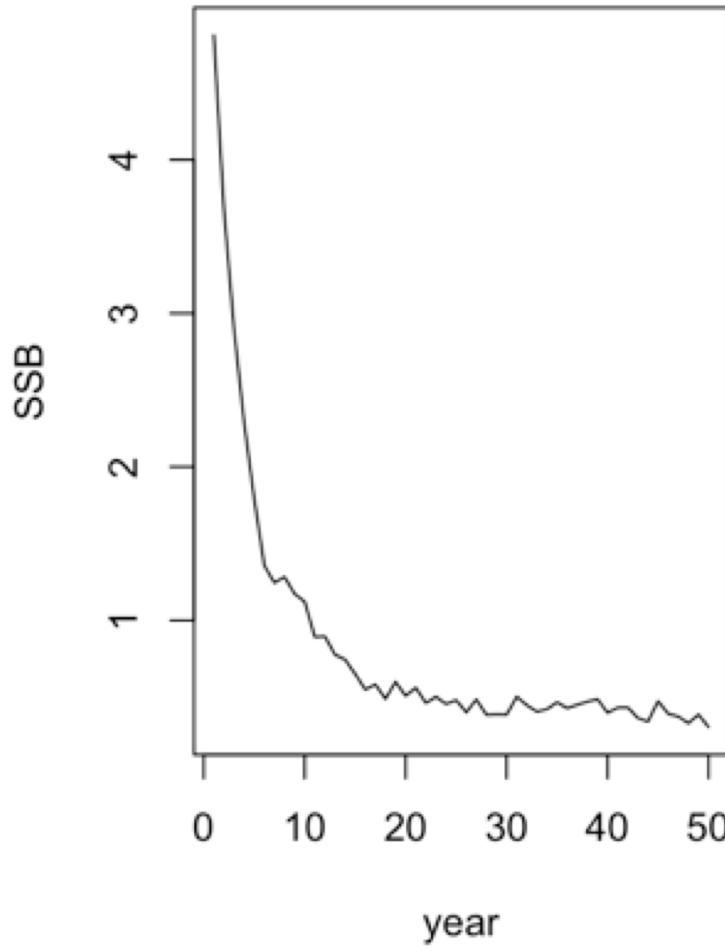


漁獲制御ルールの実装例

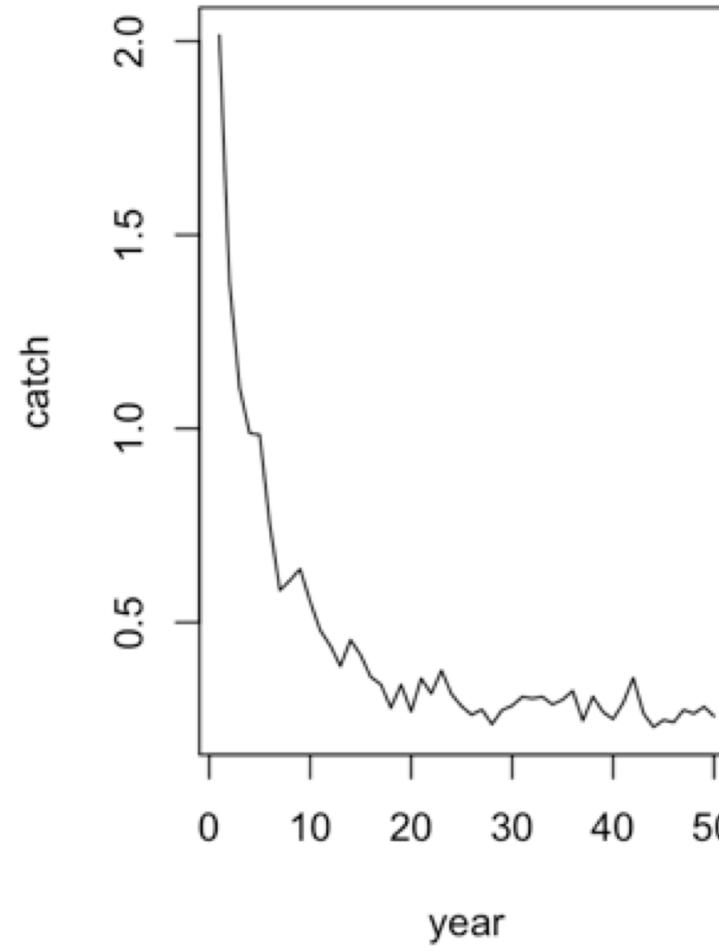
- ・資源評価によって、対象期間の漁獲圧・資源量情報を推定
- ・管理基準値を定め、Kobe plot等から診断
- ・管理方策に基づいた将来予測による評価
- ・生物学的許容漁獲量(ABClimit)を計算

資源評価の結果例

SSB



catch

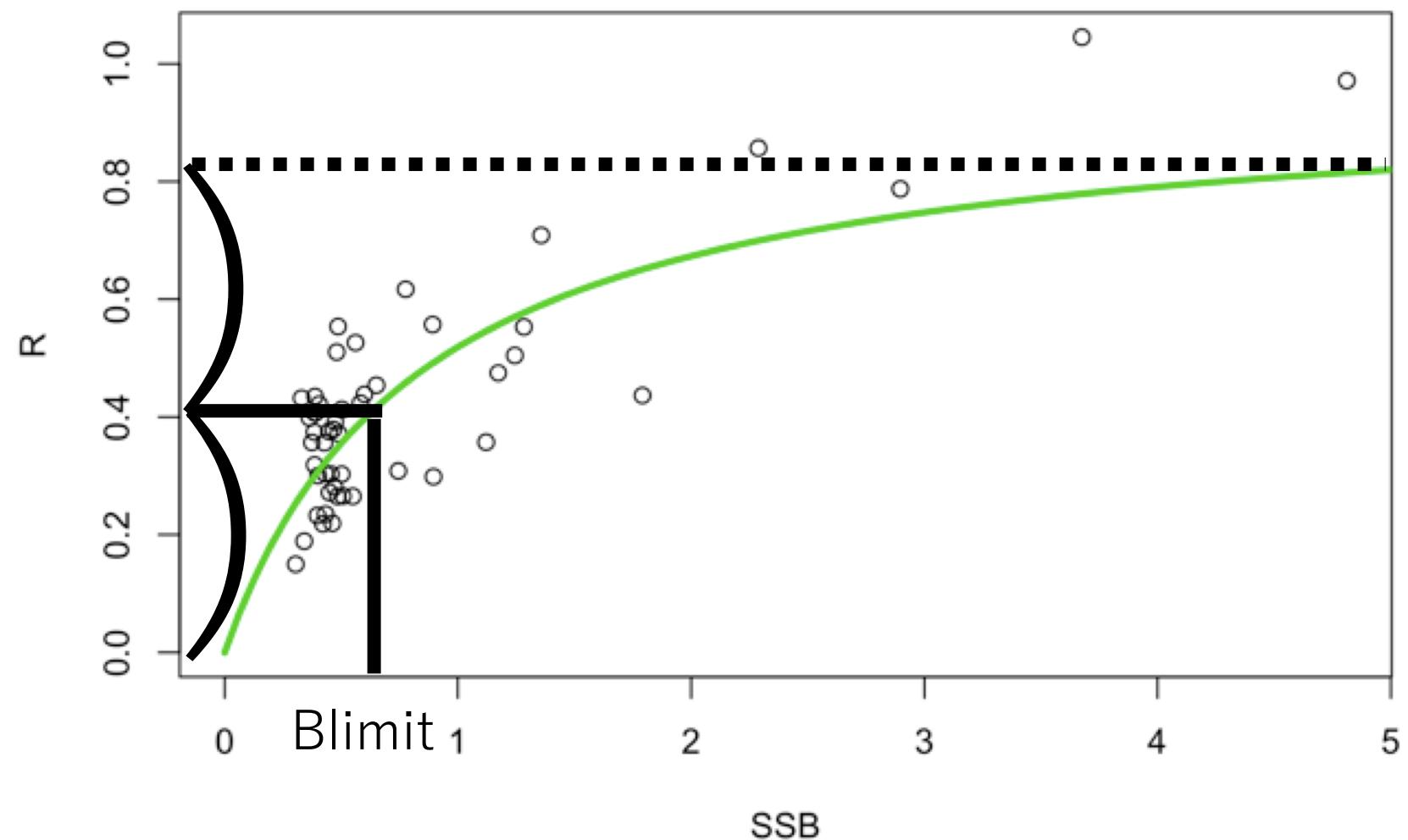


努力量を同一のまま
50年間漁業を継続

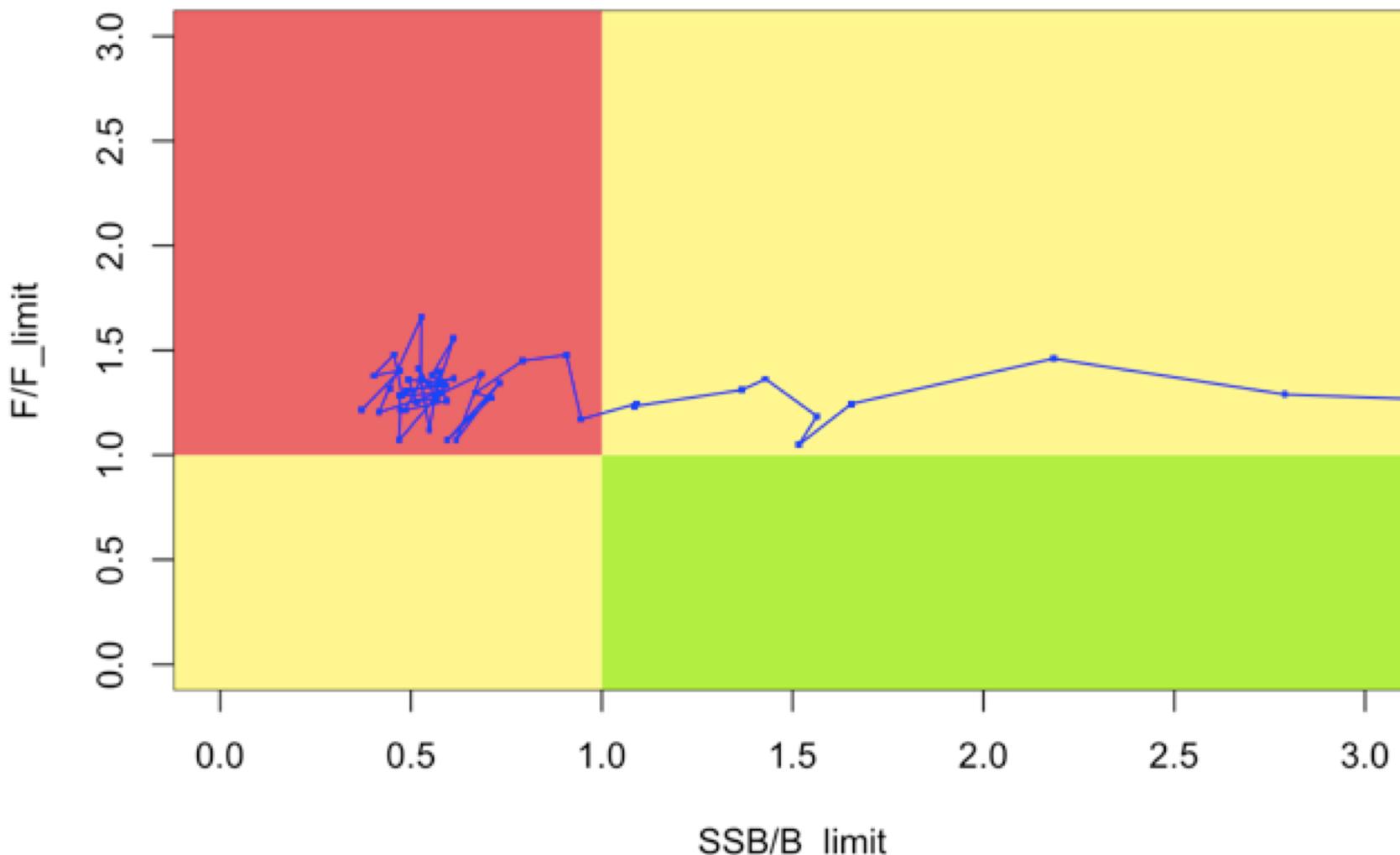
漁獲圧の限界基準値 (Flimit)

- ・未開発時の30%を取り残す漁獲圧 $F_{\%30SPR}$ を選択
- ・現状の年齢・体長別の漁獲利用方法が変わらないという仮定

資源量の限界基準値 (Blimit)



Kobe plot (管理開始前まで)

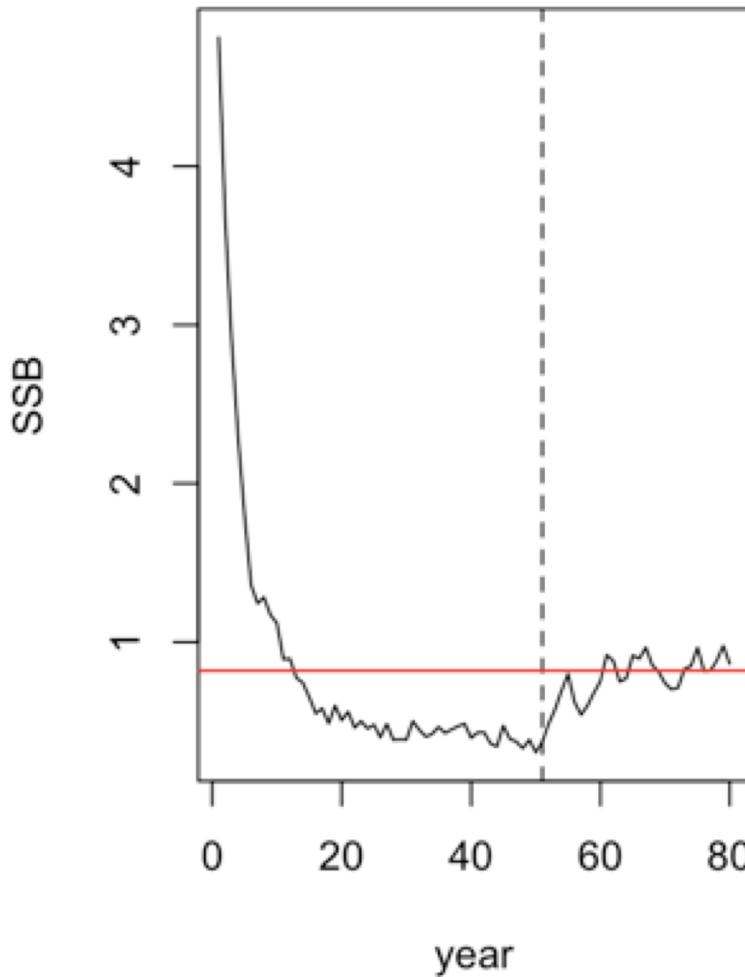


$F_{\text{limit}}: F_{30\% \text{SPR}}$

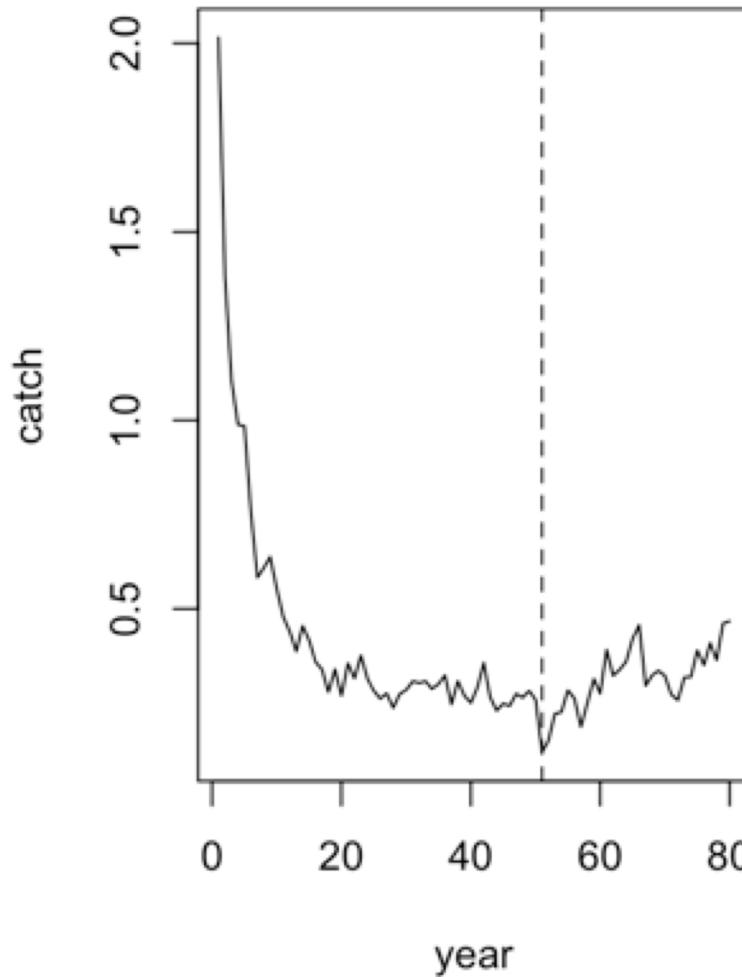
$B_{\text{limit}}: \text{SSB}_{|R=R_0/2}$

管理導入後（管理前 50 年 + 管理後 30 年）

SSB_under_management

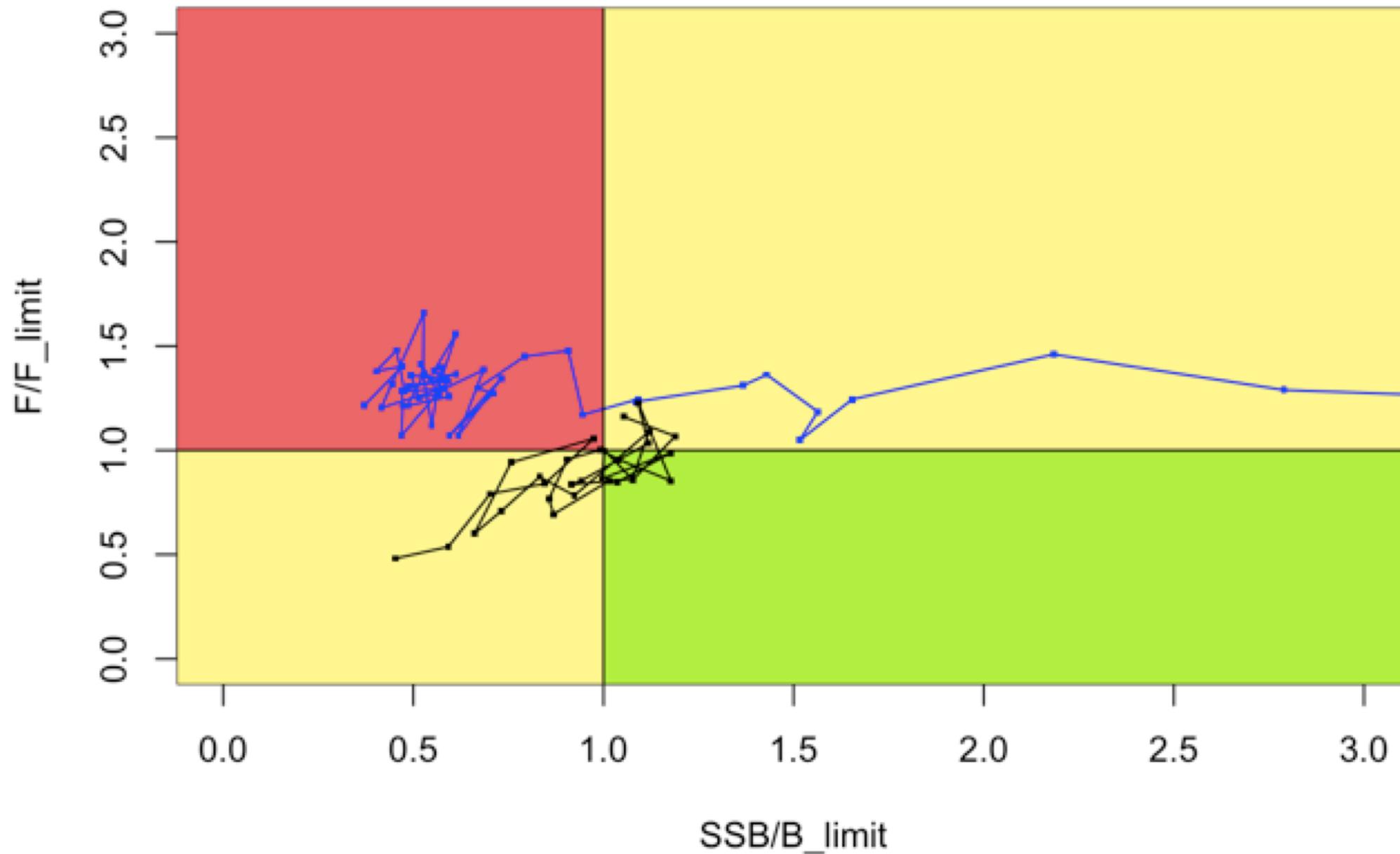


catch_under_management



1. 漁獲量の短期的な減少
 2. 産卵親魚量の回復
 3. 漁獲量の回復
- の順番で観測される

管理導入後 (管理前 50 年 + 管理後 30 年)



将来予測結果に基づいたパフォーマンス計算

- 回復速度
 - 例：Blimitに到達する期待年数
- 回復確率
 - 例：10年後までにBlimitに到達する確率
- 資源崩壊確率
 - 例：10年間の間に1度でも過去最低のSSBを下回る確率
- 漁業崩壊確率
 - 例：10年間の間に1度でも過去最低の漁獲率を下回る確率

様々な管理方策を計算して判明すること

- 魚種の生活史特性と資源回復
 - 成熟年齢
 - 再生産関係
- トレードオフ
 - 短期的な漁獲量と資源回復スピード
 - 漁獲割当量の年変動と取り残し資源量の年変動
- 確率変動の影響