

# 資源管理研修（初級）

## 新しい資源評価票・研究機関会議 資料の読み方

（2019/11/14版）

水産研究・教育機構

中央水産研究所 資源研究センター

主任研究員 市野川桃子

# 内容

- 「新しい資源評価・管理」にたどりつくまで
  - 資源評価の流れ
  - 簡単な計算方法

**データの準備と資源評価（資源量の推定）**

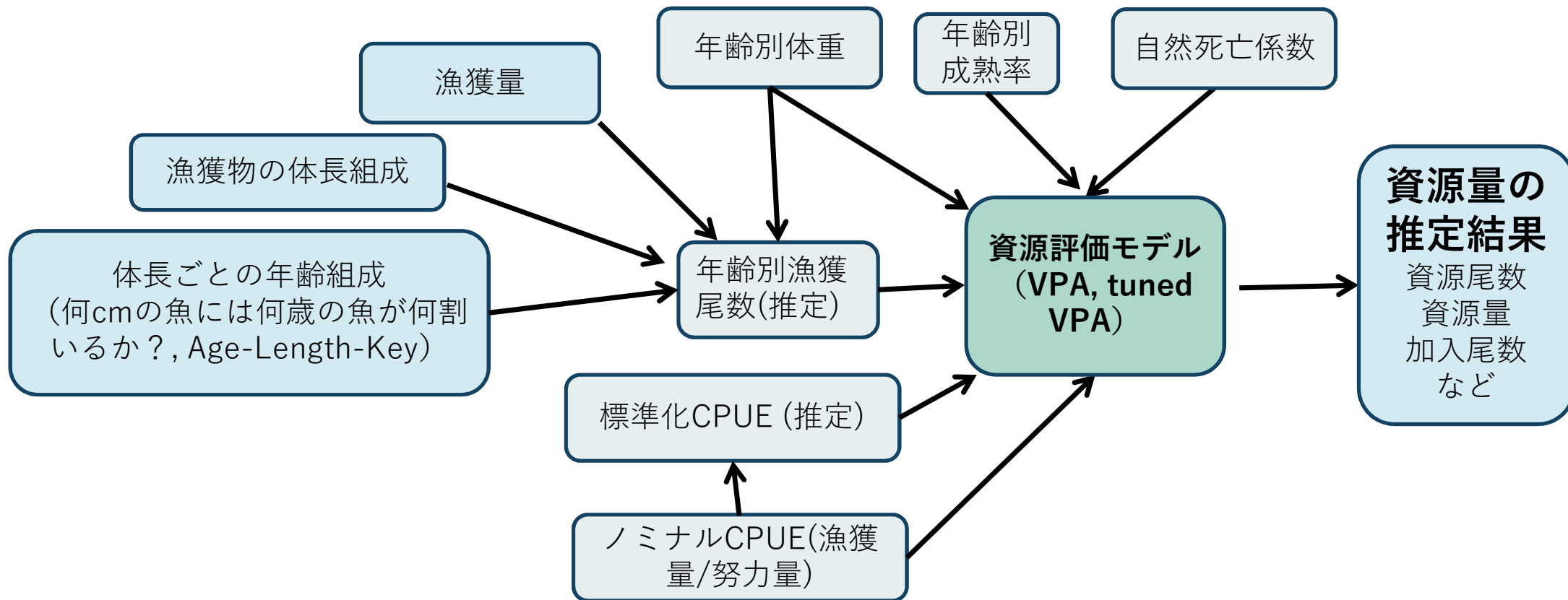
- 「新しい資源評価・管理」
  - 概念（岡村さん）
  - 計算の流れ（+用語解説）
  - 簡単な計算方法

**資源評価結果を使って、将来予測をしたり  
MSYを推定したりします**

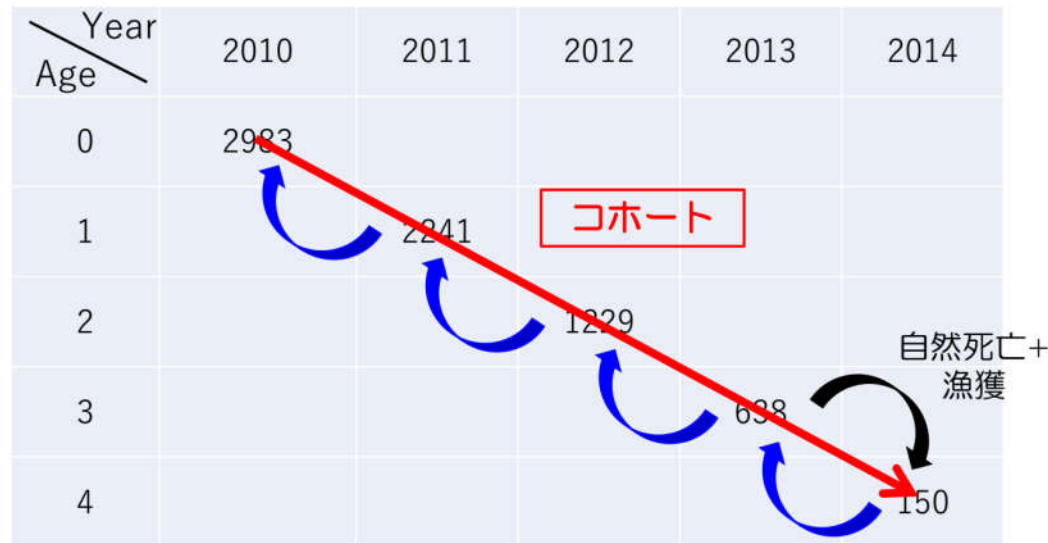
# ねらい

- 資源評価会議・研究機関会議でどのようなことを議論しているのか？
- 何が重要な推定値で、それを導くためにはどのような仮定をおしているのか？
- どの仮定はどのような考え方のもとに設定されているのか？また、代替仮説はないか？
- 計算がおかしくないか？

# 1. データの準備から資源評価まで (資源量の推定)



# VPA=Virtual Population Analysis



- コホートを追いかけて，漁獲された分と自然に死ぬ分を足し上げ，それを資源尾数とする
- 全年齢分の情報がない最近年の資源量については，さまざまな仮定をおいて推定する

Popeの近似式

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

漁獲死亡係数

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

- エクセル：水産資源解析マニュアル（6章．資源量推定）
- RVPA（市野川・岡村．2014．水産海洋研究．78．104-113）
- 2015年資源管理研修  
<http://cse.fra.affrc.go.jp/ichimomo/fish/kensyu2015/kensyu2015.html>

# エクセルによる例

- 水研機構ホームページ：水産資源解析マニュアル  
[https://www.fra.affrc.go.jp/kseika/guide\\_and\\_manual/afr/index.html](https://www.fra.affrc.go.jp/kseika/guide_and_manual/afr/index.html)



国立研究開発法人  
水産研究・教育機構

ホーム 指針・マニュアル 水産資源解析マニュアル

水産資源解析マニュアル

5. 生残率と死亡率 – 魚の生き死に – 	(5-survival.xls) 
6. 資源量推定 – 魚の量を知る – 	(6-vpa.xls) 
7. 加入当たり漁獲量と加入当たり産卵親魚量 – 魚を上手に利用する – 	(7-ypr_spr_2.xls) 
8. 再生産能力 – 魚の増えを知る – 	(8-fec.xls) 

## 資源量指数がない場合

年齢別漁獲尾数  
(データとして与える)

(6-vpa.xls) 

漁獲尾数										
年齢	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0	40	40	53	53	67	67	83	83	67	45
1	50	50	60	65	75	81	92	99	75	56
2	60	58	69	67	84	82	100	98	81	59
3	58	60	68	65	72	75	82	85	67	55
4	33	31	37	34	36	32	37	34	29	24
5	13	13	15	14	14	12	12	11	8	8
6	7	5	6	5	6	5	4	4	3	2

自然死亡係数  
(仮定として与える)

$$\textcircled{1} \quad N_{a,y} = N_{a+1,y+1} e^M + C_{a,y} e^{M/2}$$

$$\textcircled{2} \quad N_{a,y} = C_{a,y} e^{M/2} / (1 - e^{-F_{a,y}})$$

芋づる式に計算される部分

[illegible]

$$M = 0.4$$

$$\textcircled{3} F_{a,y} = \ln(N_{a,y}/N_{a+1,y+1}) - M$$

④ 同一年齢の過去3年の平均値  $F_{a,y} = (F_{a,y-1} + F_{a,y-2} + F_{a,y-3}) / 3$

制約条件を与えると  
計算できる部分

漁獲係數										
年齡	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0	=LN(C14/D15)-\$O\$14	=LN(D14/E15)-\$O\$14	=LN(E14/F15)-\$O\$14	=LN(F14/G15)-\$O\$14	=LN(G14/H15)-\$O\$14	=LN(H14/I15)-\$O\$14	=LN(I14/J15)-\$O\$14	=LN(J14/K15)-\$O\$14	=LN(K14/L15)-\$O\$14	=LN(L14/M15)-\$O\$14
1	=LN(C15/D16)-\$O\$14	=LN(D15/E16)-\$O\$14	=LN(E15/F16)-\$O\$14	=LN(F15/G16)-\$O\$14	=LN(G15/H16)-\$O\$14	=LN(H15/I16)-\$O\$14	=LN(I15/J16)-\$O\$14	=LN(J15/K16)-\$O\$14	=LN(K15/L16)-\$O\$14	=LN(L15/M16)-\$O\$14
2	=LN(C16/D17)-\$O\$14	=LN(D16/E17)-\$O\$14	=LN(E16/F17)-\$O\$14	=LN(F16/G17)-\$O\$14	=LN(G16/H17)-\$O\$14	=LN(H16/I17)-\$O\$14	=LN(I16/J17)-\$O\$14	=LN(J16/K17)-\$O\$14	=LN(K16/L17)-\$O\$14	=LN(L16/M17)-\$O\$14
3	=LN(C17/D18)-\$O\$14	=LN(D17/E18)-\$O\$14	=LN(E17/F18)-\$O\$14	=LN(F17/G18)-\$O\$14	=LN(G17/H18)-\$O\$14	=LN(H17/I18)-\$O\$14	=LN(I17/J18)-\$O\$14	=LN(J17/K18)-\$O\$14	=LN(K17/L18)-\$O\$14	=LN(L17/M18)-\$O\$14
4	=LN(C18/D19)-\$O\$14	=LN(D18/E19)-\$O\$14	=LN(E18/F19)-\$O\$14	=LN(F18/G19)-\$O\$14	=LN(G18/H19)-\$O\$14	=LN(H18/I19)-\$O\$14	=LN(I18/J19)-\$O\$14	=LN(J18/K19)-\$O\$14	=LN(K18/L19)-\$O\$14	=LN(L18/M19)-\$O\$14
5	=LN(C19/D20)-\$O\$14	=LN(D19/E20)-\$O\$14	=LN(E19/F20)-\$O\$14	=LN(F19/G20)-\$O\$14	=LN(G19/H20)-\$O\$14	=LN(H19/I20)-\$O\$14	=LN(I19/J20)-\$O\$14	=LN(J19/K20)-\$O\$14	=LN(K19/L20)-\$O\$14	=LN(L19/M20)-\$O\$14
6	=C30	=D30	=E30	=F30	=G30	=H30	=I30	=J30	=K30	0.8850908097

推定する部分

2000年の漁獲圧  
はその前の3年  
平均と同じ

⑤ 最高齢6才のFは5才のFと同様と仮定  $F_{a,y} = F_{a-1,y}$

⑥  $F_{6,2000}/F_{6,2000}$ と $F_{6,2000}$

## 変化させる

## 資源量指数がある場合

## 年齢別漁獲尾数と資源量指数 (データとして与える)

漁獲尾数										
年齢	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0	40	40	53	53	67	67	83	83	67	45
1	50	50	60	65	75	81	92	99	75	56
2	60	58	69	67	84	82	100	98	81	59
3	58	60	68	65	72	75	82	85	67	55
4	33	31	37	34	36	32	37	34	29	24
5	13	13	15	14	14	12	12	11	8	8
6	7	5	6	5	6	5	4	4	3	2

資源量指数										
年齢	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0~6	2410	2397	2491	2516	2638	2679	2807	2850	2977	3127

自然死亡係数  
(仮定として与える)

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} e^M + C_{a,y} e^{M/2}$$

$$N_{a,y} = C_{a,y}$$

資源尾数										
年齢	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0	=D21*EXP(\$O\$20)+C6*EXP(\$O\$20/2)	=E21*EXP(\$C=F21*EXP(\$G=G21*EXP(\$H=H21*EXP(\$I=I21*EXP(\$J=J21*EXP(\$K=K21*EXP(\$L=L21*EXP(\$M=L6*EXP(\$O\$20/2)/(1-EXP(-L38))								
1	=D22*EXP(\$O\$20)+C7*EXP(\$O\$20/2)	=E22*EXP(\$C=F22*EXP(\$G=G22*EXP(\$H=H22*EXP(\$I=I22*EXP(\$J=J22*EXP(\$K=K22*EXP(\$L=L22*EXP(\$M=L7*EXP(\$O\$20/2)/(1-EXP(-L39))								
2	=D23*EXP(\$O\$20)+C8*EXP(\$O\$20/2)	=E23*EXP(\$C=F23*EXP(\$G=G23*EXP(\$H=H23*EXP(\$I=I23*EXP(\$J=J23*EXP(\$K=K23*EXP(\$L=L23*EXP(\$M=L8*EXP(\$O\$20/2)/(1-EXP(-L40))								
3	=D24*EXP(\$O\$20)+C9*EXP(\$O\$20/2)	=E24*EXP(\$C=F24*EXP(\$G=G24*EXP(\$H=H24*EXP(\$I=I24*EXP(\$J=J24*EXP(\$K=K24*EXP(\$L=L24*EXP(\$M=L9*EXP(\$O\$20/2)/(1-EXP(-L41))								
4	=D25*EXP(\$O\$20)+C10*EXP(\$O\$20/2)	=E25*EXP(\$C=F25*EXP(\$G=G25*EXP(\$H=H25*EXP(\$I=I25*EXP(\$J=J25*EXP(\$K=K25*EXP(\$L=L25*EXP(\$M=L10*EXP(\$O\$20/2)/(1-EXP(-L42))								
5	=D26*EXP(\$O\$20)+C11*EXP(\$O\$20/2)	=E26*EXP(\$C=F26*EXP(\$G=G26*EXP(\$H=H26*EXP(\$I=I26*EXP(\$J=J26*EXP(\$K=K26*EXP(\$L=L26*EXP(\$M=L11*EXP(\$O\$20/2)/(1-EXP(-L43))								
6	=C12*EXP(\$O\$20/2)/(1-EXP(-C44))	=D12*EXP(\$C=E12*EXP(\$G=F12*EXP(\$H=G12*EXP(\$I=H12*EXP(\$J=I12*EXP(\$K=L12*EXP(\$M=L12*EXP(\$O\$20/2)/(1-EXP(-L44))								

$$M = 0.4$$

资源尾数 $N_y$	=SUM(C20:G26)	=SUM(D20:D	=SUM(E20:E	=SUM(F20:F	=SUM(G20:G	=SUM(H20:H	=SUM(I20:I26	=SUM(J20:J	=SUM(K20:K	=SUM(L20:L26)
资源量指数 $I_y$	2410	2397	2491	2516	2638	2679	2807	2850	2977	3127
$I_y * N_y$	=C28*C27	=D28*D27	=E28*E27	=F28*F27	=G28*G27	=H28*H27	=I28*I27	=J28*J27	=K28*K27	=L28*L27
$N_y^2$	=C27^2	=D27^2	=E27^2	=F27^2	=G27^2	=H27^2	=I27^2	=J27^2	=K27^2	=L27^2
$\sum I_y N_y / \sum N_y^2 =$	=029/030									
$(I_y - a(N_y))^2$	= (C28 - \$C\$31 * C27)^2	= (D28 - \$C\$31 * D27)^2	= (E28 - \$C\$31 * E27)^2	= (F28 - \$C\$31 * F27)^2	= (G28 - \$C\$31 * G27)^2	= (H28 - \$C\$31 * H27)^2	= (I28 - \$C\$31 * I27)^2	= (J28 - \$C\$31 * J27)^2	= (K28 - \$C\$31 * K27)^2	= (L28 - \$C\$31 * L27)^2

$\sum I_y N_y =$	=SUM(C29:L29)
------------------	---------------

$\sum N_v^2 =$	=SUM(C30:L30)
----------------	---------------

$$(I_Y - aN_Y)^2 = \text{SUM}(C32:L32)$$

PAから計算された資源量)の残差平方和を  
二合うように資源尾数、つまりFを調整・チュー

漁獲係數										
年齡	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0	=LN(C20/D21)-\$O\$20	=LN(E20/E2)=LN(E20/F2)=LN(F20/G2)=LN(G20/H2)=LN(H20/I21)=LN(I20/J21)=LN(J20/K2)=LN(K20/L21)=\$L\$43*(K38+J38+I38)/(\$K\$43+\$J\$43+\$I\$43)								
1	=LN(C21/D22)-\$O\$20	=LN(D21/E2)=LN(E21/F2)=LN(F21/G2)=LN(G21/H2)=LN(H21/I22)=LN(I21/J22)=LN(J21/K2)=LN(K21/L22)=\$L\$43*(K39+J39+I39)/(\$K\$43+\$J\$43+\$I\$43)								
2	=LN(C22/D23)-\$O\$20	=LN(D22/E2)=LN(E22/F2)=LN(F22/G2)=LN(G22/H2)=LN(H22/I23)=LN(I22/J23)=LN(J22/K2)=LN(K22/L23)=\$L\$43*(K40+J40+I40)/(\$K\$43+\$J\$43+\$I\$43)								
3	=LN(C23/D24)-\$O\$20	=LN(D23/E2)=LN(E23/F2)=LN(F23/G2)=LN(G23/H2)=LN(H23/I24)=LN(I23/J24)=LN(J23/K2)=LN(K23/L24)=\$L\$43*(K41+J41+I41)/(\$K\$43+\$J\$43+\$I\$43)								
4	=LN(C24/D25)-\$O\$20	=LN(D24/E2)=LN(E24/F2)=LN(F24/G2)=LN(G24/H2)=LN(H24/I25)=LN(I24/J25)=LN(J24/K2)=LN(K24/L25)=\$L\$43*(K42+J42+I42)/(\$K\$43+\$J\$43+\$I\$43)								
5	=LN(C25/D26)-\$O\$20	=LN(D25/E2)=LN(E25/F2)=LN(F25/G2)=LN(G25/H2)=LN(H25/I26)=LN(I25/J26)=LN(J25/K2)=LN(K25/L26) = 0.378212460527567								
6	=C43	=D43	=E43	=F43	=G43	=H43	=I43	=J43	=K43	=L43

最高齡6才のFは5才のFと同様と仮定  $F_{a,y} = F_a$

資源量指数と推定資源尾  
数ができるだけ近くなる  
ようにパラメータを推定



# VPAにおける仮定・推定バリエーション

## 共通の仮定

- 自然死亡係数：日本ではおもに，田内・田中の経験式 ( $2.5/\text{寿命}$  を利用)
- プラスグループ（最高年齢）とそれより1歳若い魚の選択率の比；1 を仮定
- 年齢別漁獲尾数は正しい：実際には推定値

## 資源量指数なしのVPA

- 最新年の漁獲の強さは，それ以前の何年かの年の平均と同じ
  - 何年平均するか？で結果が異なる
  - 獲り控えなどによって，最新年の漁獲を減らした場合，過去年と同じ漁獲の強さと仮定するのは危険

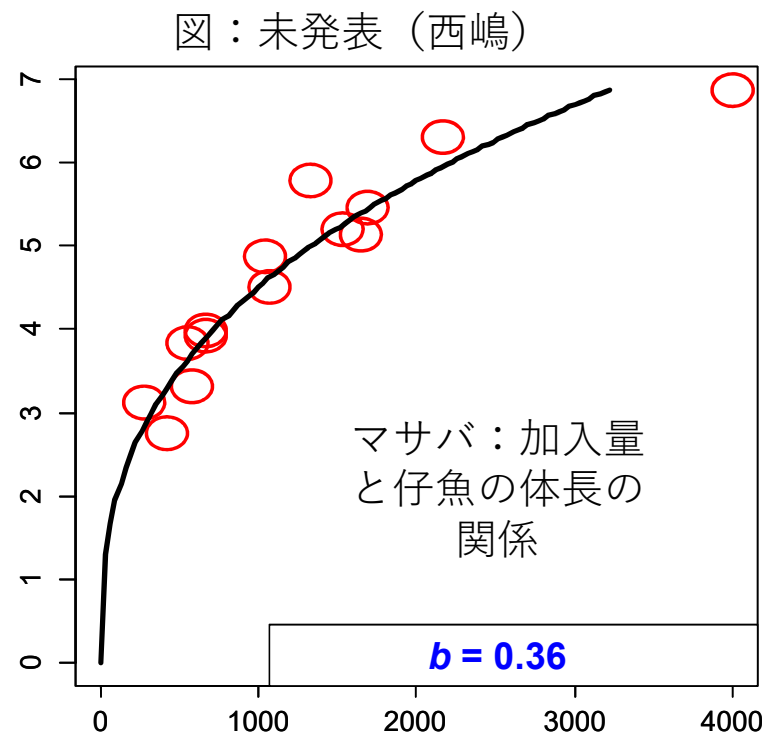
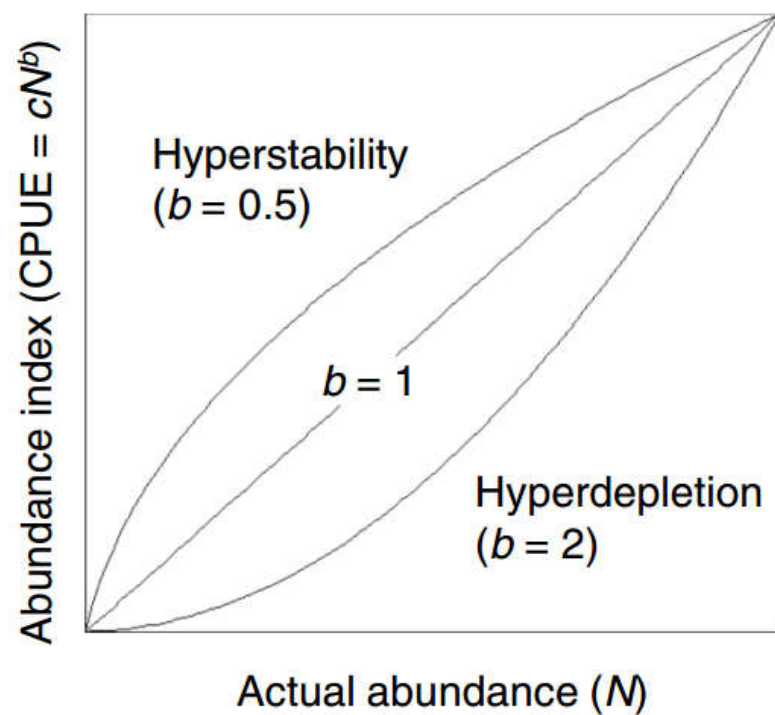
# VPAにおける仮定・推定バリエーション

## 資源量指数ありのVPA (tuned VPA)

- 資源量指数の選択・重み付け
- どのパラメータを推定するか？
  - 最新年の全部の漁獲係数を推定（全F推定）：有効な資源量指数が複数ある場合に可能。資源量指数が十分でないと、推定が不安定に（リッジペナルティの利用）
  - 最新年・最高齢の漁獲係数のみを推定：最新年の選択率は仮定（任意の年を選ぶ，二段階法，選択率更新法など）
- 資源量指数と資源尾数の非線形性の推定

# 非線形性の推定

- 資源量と資源量指数のあいだの**非線形性パラメータ $b$** の仮定 (Hashimoto et al. Fish. Sci. 2018)



# リッジペナルティ (ridge-VPA)

- 最新年のFが非常に大きくなってしまふ問題の対処 (リッジVPA, Okamura et al. ICES Journal.2018)

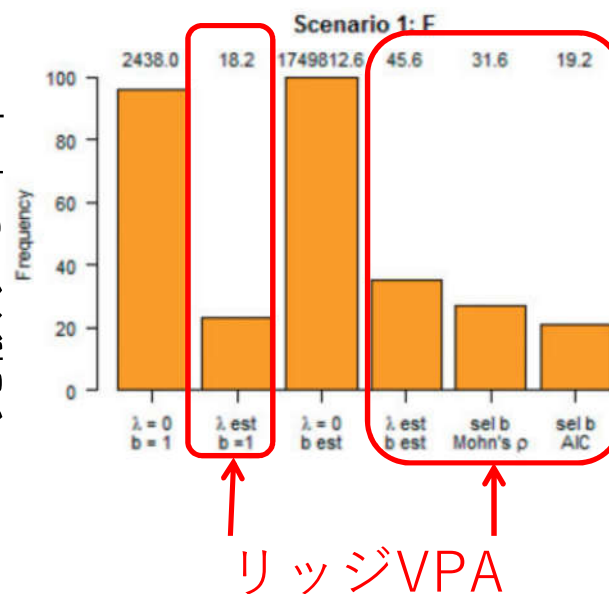
$$(1 - \lambda) \sum_{k=1}^K \sum_{y=1}^Y \left[ \log(\sigma_k) + \frac{(I_{k,y} - \mu_{k,y})^2}{2\sigma_k^2} \right] + \lambda \sum_{a=1}^A |F_{a,Y}|^\beta$$

資源尾数と資源量指数との  
あいだのずれの大きさ

最新年の漁獲  
係数の和

両者の合計を最小化  
(重みの配分:  $\lambda$ )

最新年のFが  
発散する確率



$\lambda$  は, レトロスペクティブパターンが最小になるように探索的に決める

# Rによる例

- リッジVPAやb推定など，VPAも複雑化→エクセルの限界
- VPAを用いた我が国水産資源評価の統計言語Rによる統一的検討(市野川・岡村. 2014. 水産海洋研究. 78. 104-113)
  - プロトタイプ版：<http://cse.fra.affrc.go.jp/ichimomo/>
  - 最新版（Rパッケージ）：<https://github.com/ichimomo/frasyr>

<https://github.com/ichimomo/frasyr>

ichimomo / frasyr

Unwatch 5 Unstar 3 Fork 8

Code Issues 23 Pull requests 0 Actions Projects 0 Wiki Security Insights Settings

Fisheries Research Agency (FY2020) project: Field (SY) with R

Manage topics

149 commits 10 branches 1 environment 4 contributors GPL-3.0

Branch: master New pull request Create new file Upload files Find file Clone or download

ichimomo Merge pull request #72 from ichimomo/dev Latest commit d0d40e3 on 5 Oct

R	vignetteのestMSYとかSRR-guidlineとかを追加	last month
data-raw	add MSE option for future.vpa/add recruitment functions	
data	add get.SPR function etc.	
doc	uplowd SRR-guidline	
inst	improve parameter estimation of ref.F by incorporating grid serach (e...	
man	vignetteのestMSYとかSRR-guidlineとかを追加	last month

# frasyr

- Fisheries Research Agency (FRA) provides the method for calculating sustainable yield (SY) with R
- 水研機構で開発した、MSYを基礎とした目標管理基準値を計算するためのRのパッケージです。開発途中のものであること、ご承知おきください。

## 使い方

### パッケージのインストール方法

```
# install.package("devtools") # <-- devtoolsをインストールしていない人はインストールする

# マスター版（最新・安定版）をインストールする場合
devtools::install_github("ichimomo/frasyr")

# 開発中の最新版をインストールする場合（バグ可能性あり！）
#   ref=""で開発中のブランチを指定します。だいたい、"dev"ブランチに開発中のものがあります
devtools::install_github("ichimomo/frasyr", ref="dev")

# 過去の安定版を指定してインストールする場合
#   @以下にしてたりリリースバージョンを指定します
devtools::install_github("ichimomo/frasyr@v1.00")

# 以上の操作をしてfrasyrをインストールしてから、以下のコマンドで呼び出します
library(frasyr)
```



マニュアルへのリンク

## マニュアル

---

- VPAによる資源量推定 <https://ichimomo.github.io/frasyr/doc/vpa.html>
- 新ルールのもとでの将来予測計算 <https://ichimomo.github.io/frasyr/doc/future.html>
- 管理基準値の計算 <https://ichimomo.github.io/frasyr/doc/estMSY.html>
- 再生産関係決定ガイドライン <https://ichimomo.github.io/frasyr/doc/SRR-guidline.html>
- 今後追加予定

## 開発ワークフロー（開発者向け）

---

### ブランチ構成

---

- master: 公開用のブランチ。いつでも動くようにしておく
- dev: 開発用ブランチ。新規変更はこちらのブランチにアップすること



# Rコマンド

```
## VPA計算 ---  
## https://github.com/ichimomo/frasyr  
caa <- read.csv("https://raw.githubusercontent.com/ichimomo/frasyr/dev/data-  
raw/ex2_caa.csv", row.names=1)  
waa <- read.csv("https://raw.githubusercontent.com/ichimomo/frasyr/dev/data-  
raw/ex2_waa.csv", row.names=1)  
maa <- read.csv("https://raw.githubusercontent.com/ichimomo/frasyr/dev/data-  
raw/ex2_maa.csv", row.names=1)  
dat <- data.handler(caa=caa, waa=waa, maa=maa, M=0.5)  
  
# VPAによる資源量推定  
res_vpa <- vpa(dat,fc.year=2015:2017,tf.year = 2015:2016,  
               term.F="max",stat.tf="mean",Pope=TRUE,tune=FALSE,p.init=0.5)
```

**注：隠しオプション多数あり！**

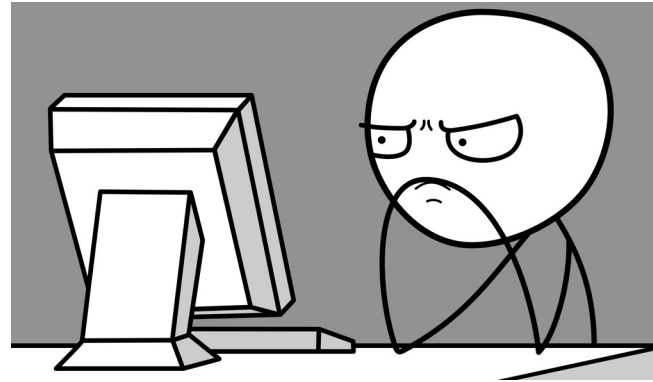
<https://ichimomo.github.io/frasyr/doc/vpa.html>

# Rコマンド

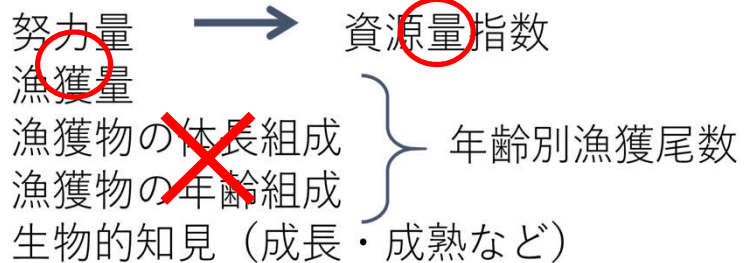
```
## VPA計算 ---  
## https://github.com/ichimomo/frasyr  
caa <- read.csv("https://raw.githubusercontent.com/ichimomo/frasyr/dev/data-raw/ex2_caa.csv", row.names=1)  
waa <- read.csv("https://raw.githubusercontent.com/ichimomo/frasyr/dev/data-raw/ex2_waa.csv", row.names=1)  
maa <- read.csv("https://raw.githubusercontent.com/ichimomo/frasyr/dev/data-raw/ex2_maa.csv", row.names=1)  
dat <- data.handler(caa=caa, waa=waa, maa=maa, M=0.5)  
  
# VPAによる資源量推定  
res_vpa <- vpa(dat,fc.year=2015:2017,tf.year = 2015:2016,  
               term.F="max",stat.tf="mean",Pope=TRUE,tune=FALSE,p.init=0.5)
```

# さまざまな資源評価手法： どんなときにどんな方法を使うか？

データ・知見



- 努力量
  - 漁獲量
  - 漁獲物の体長組成
  - 漁獲物の年齢組成
  - 生物学的知見（成長・成熟など）
- 資源量指数（漁獲量/努力量）
- 年齢別漁獲尾数



データ不足

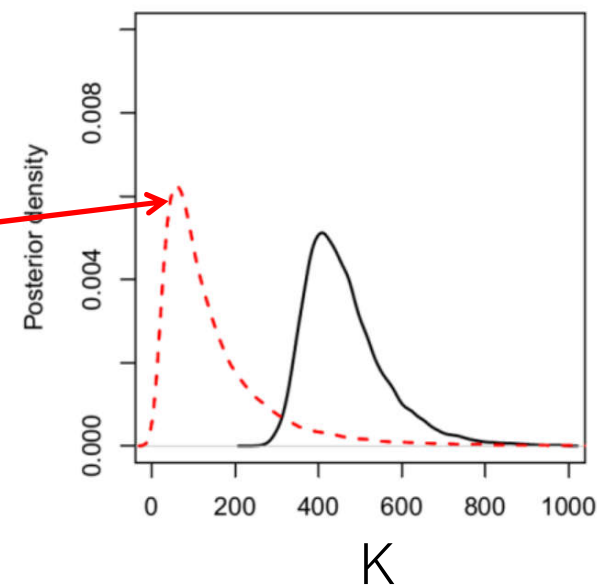
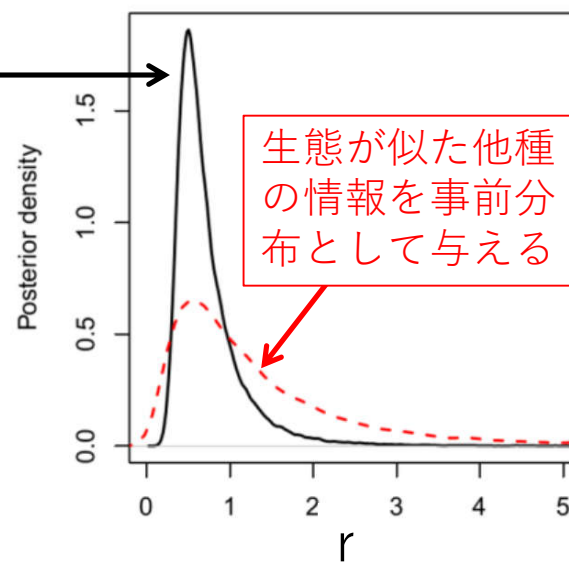
プロダクションモデル

特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>ロジスティックモデルを資源量指数と漁獲量にあてはめ、プロダクションモデルのパラメータ(<math>r</math>, <math>K</math>, <math>B_0</math>, <math>q</math>)を推定する</li> </ul>
利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>漁獲量と資源量指数だけで、資源量もMSY管理基準値も推定できる</li> </ul>
欠点	<ul style="list-style-type: none"> <li>推定値の不確実性はかなり高い。変数間の相関も高い。</li> <li>コントラスト（漁獲によって資源が急減→その後復活など）の強いデータでないとうまく推定できない。</li> </ul>
解説	<ul style="list-style-type: none"> <li>エクセル：<a href="#">水産資源解析マニュアル</a>（10章プロダクションモデル）</li> <li>R: 2013年度資源管理研修（21日後半） <a href="http://cse.fra.affrc.go.jp/ichimomo/fish/ichinokawa_R.pdf">http://cse.fra.affrc.go.jp/ichimomo/fish/ichinokawa_R.pdf</a></li> <li>R: 2019年資源管理研修（上級，西嶋）</li> </ul>

# ベイズアン・プロダクションモデル

- 全てのパラメータを推定するのはほぼ不可能→一部パラメータは推定せず、与える（ex. 内的自然増加率の $r$ など）
- 特定のパラメータに事前分布を与えるベイズ型プロダクションモデル

対象種のデータを加えて情報を更新する  
(事後分布)



努力量 → 資源量指数  
 漁獲量  
 漁獲物の体長組成 } 年齢別漁獲尾数  
 漁獲物の年齢組成 }  
 生物学的知見 (成長・成熟など)

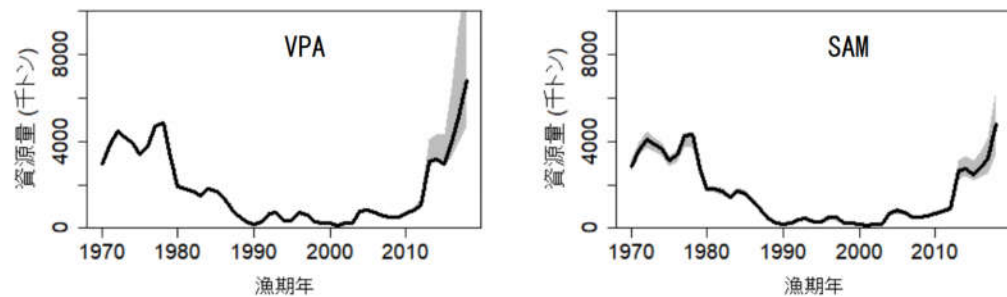
# Statistical Catch at age (SCAA)

データ十分

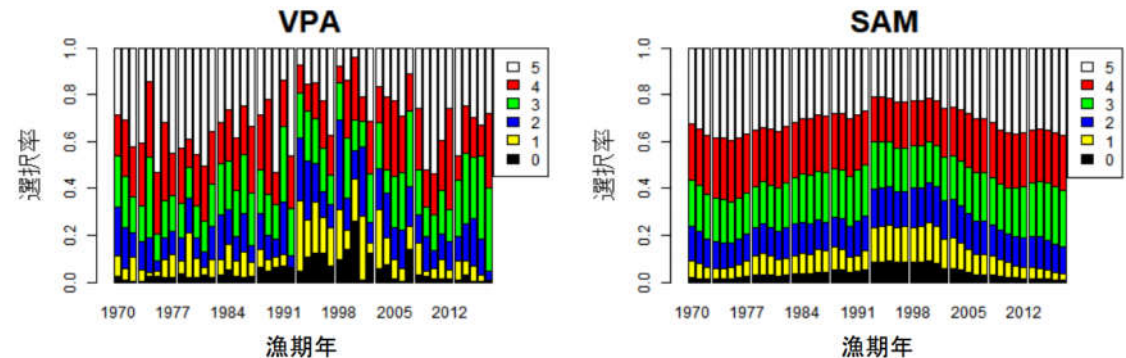
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>海外ではよく使われている。</li> <li>漁業ごとに選択率を仮定。毎年の加入量を推定し、そこから前進計算。</li> </ul>
利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>年齢別漁獲尾数の誤差をモデル化できる→不確実性の評価</li> <li>再生産関係をモデル内で推定→MSYをモデル内で推定できる</li> <li>年齢別漁獲尾数の欠損もある程度許す</li> </ul>
欠点	<ul style="list-style-type: none"> <li>漁業種別の年齢別漁獲尾数が必要。</li> <li>その漁業種内で、選択率がある程度一定とする仮定</li> </ul>
解説	<ul style="list-style-type: none"> <li>2019年資源管理研修・上級</li> </ul>

# SCAA: 最近の流れ

- 選択率の柔軟な変化を許すState-Space Assessment Model (SAM, Nielsen and Berg 2014 Fisheries Research ) (右図)がヨーロッパ(ICES)の資源評価でVPAに代わって利用されるように
- マサバ太平洋系群など, VPAにかわる資源モデルとして適用検討中



補足図 6-2. ノンパラメトリックブートストラップ (500 回) による資源量推定値の 80% 信頼区間 (左図: VPA、右図: SAM、灰色部分は 80% 信頼区間)



補足図 6-4. VPA と SAM による選択率の推定値 (左図: VPA、右図: SAM) 最高齢 6+ 歳を除く 0 歳から 5 歳までの漁獲係数の和が 1 となるように変換した。

2018年度太平洋マサバ資源評価：補足資料より

<http://abchan.fra.go.jp/digests2018/details/201805.pdf>

努力量 → 資源量指数  
 漁獲量  
 漁獲物の体長組成  
 漁獲物の年齢組成  
 生物学的知見（成長・成熟など）

月別・日別など  
 年齢別漁獲尾数

## デルリー法

データ不足

### 特徴

- 日別・月別の資源量指数と漁獲量が利用でき、閉じた資源で、漁獲圧が高い場合に利用できる。
- 漁期内で漁獲が進むにつれて資源量指数が減る→その程度の大きさから、漁獲前の資源量を推定。
- わが国資源評価でも以外と使われている（スルメイカ・伊勢三河湾イカナゴ・伊勢三河湾トラフグ・神奈川県ナマコ）

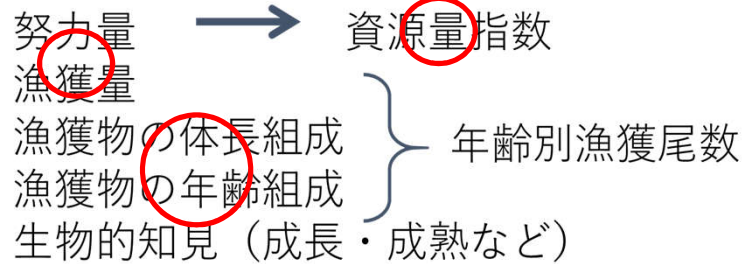
### 利点

- 漁獲量と資源量指数のみから資源量が推定できる

### 欠点

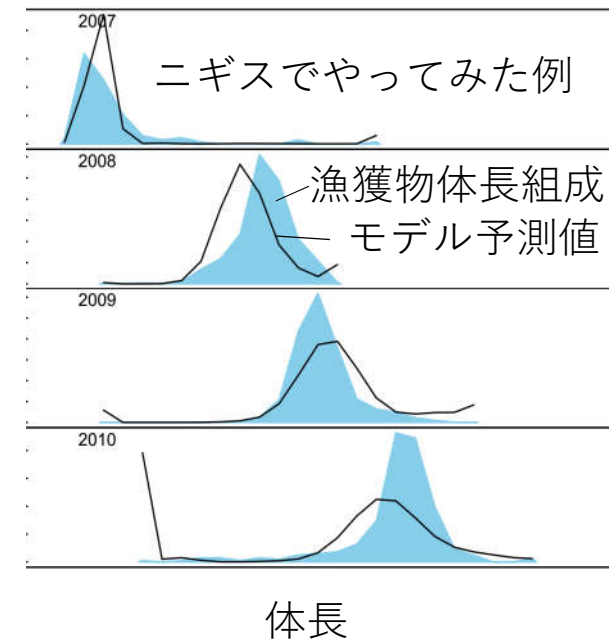
- 単年の資源量推定のみ。ただし、デルリー法＋プロダクションモデルを組み合わせた方法も（神奈川県ナマコ資源評価, Nakayama et al. Fish Sci., in press）



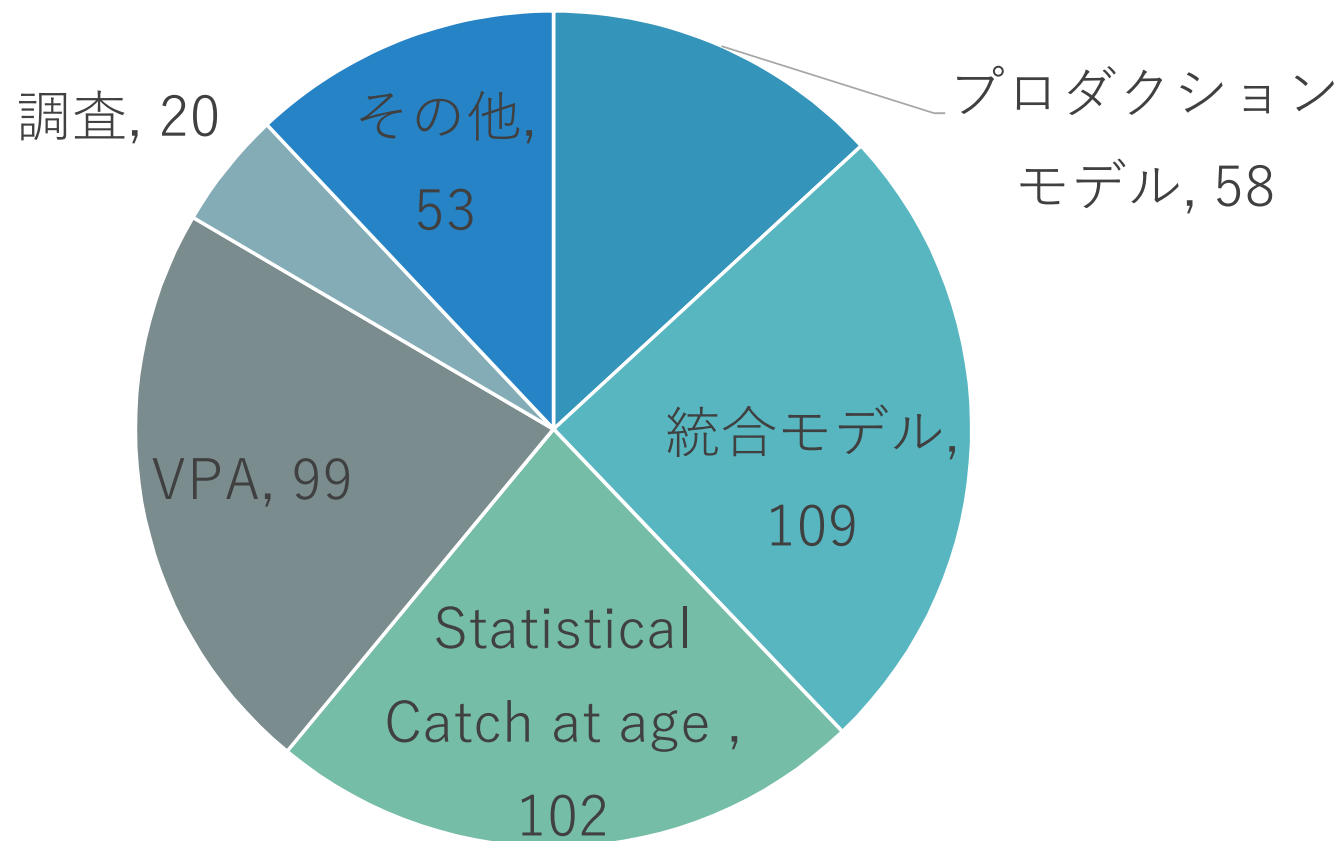


## 体長ベースの統合モデル

特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 漁獲物の体長組成と成長式から、年齢別漁獲尾数をモデル内で推定する</li> <li>・ 太平洋クロマグロなど国際資源、米国西海岸の資源でよく利用</li> </ul>
利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 年齢別漁獲尾数がモデル内部で推定されるので、年齢別漁獲尾数を外部で推定する手間が省ける &amp; 不確実性が評価できる</li> <li>・ 体長組成データの欠損も許す</li> </ul>
欠点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ モデルが複雑で、モデル調整に職人技が必要</li> </ul>
解説	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 統合モデル検討会のページ：  <a href="http://cse.fra.affrc.go.jp/ichimomo/ss-kento/ss-kentos.html">http://cse.fra.affrc.go.jp/ichimomo/ss-kento/ss-kentos.html</a> （開催報告：市野川ら（2015）日本水産学会誌. 81. 756-761）                 </li> </ul>



# 世界の中での資源評価モデルの利用



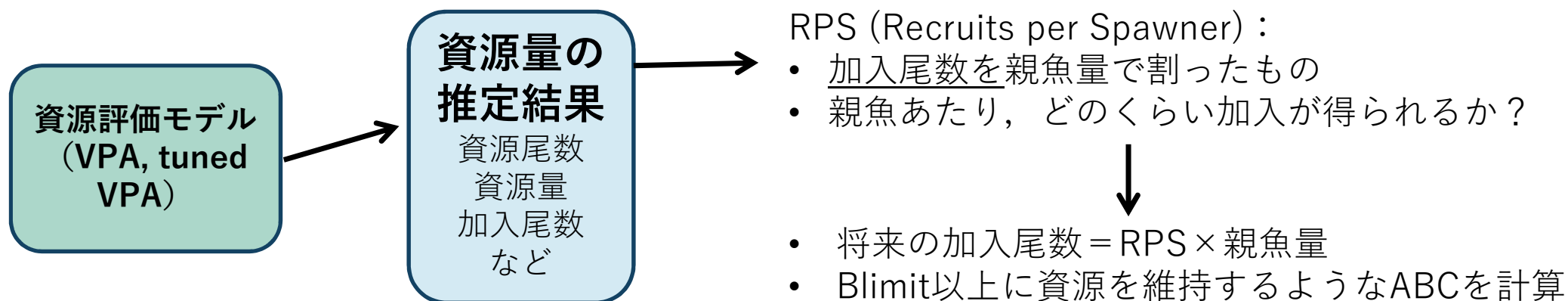
RAMデータベース451資源の結果 (<http://ramlegacy.org/>, 2017年調べ)

# 今後の資源評価→200種に拡大

- さまざまな資源評価モデルの利用：データとモデルのマッチングが大事
  - とくに、年齢査定データがあまりないローカルな資源のデータでも、ベイジアン・プロダクションモデル、デルリー法、統合モデルが利用できるかも

## 2. 資源評価結果を使って，将来予測をしたり MSYを推定したりします

### いままでのやり方



## いままでのやり方

RPS (Recruits per Spawner) :

- 加入尾数を親魚量で割ったもの
- 親魚あたり、どのくらい加入が得られるか？



- 将来の加入尾数 =  $RPS \times \text{親魚量}$
- Blimit以上に資源を維持するようなABCを計算

親の密度が多くても・少なくても親あたりの加入は同じ？

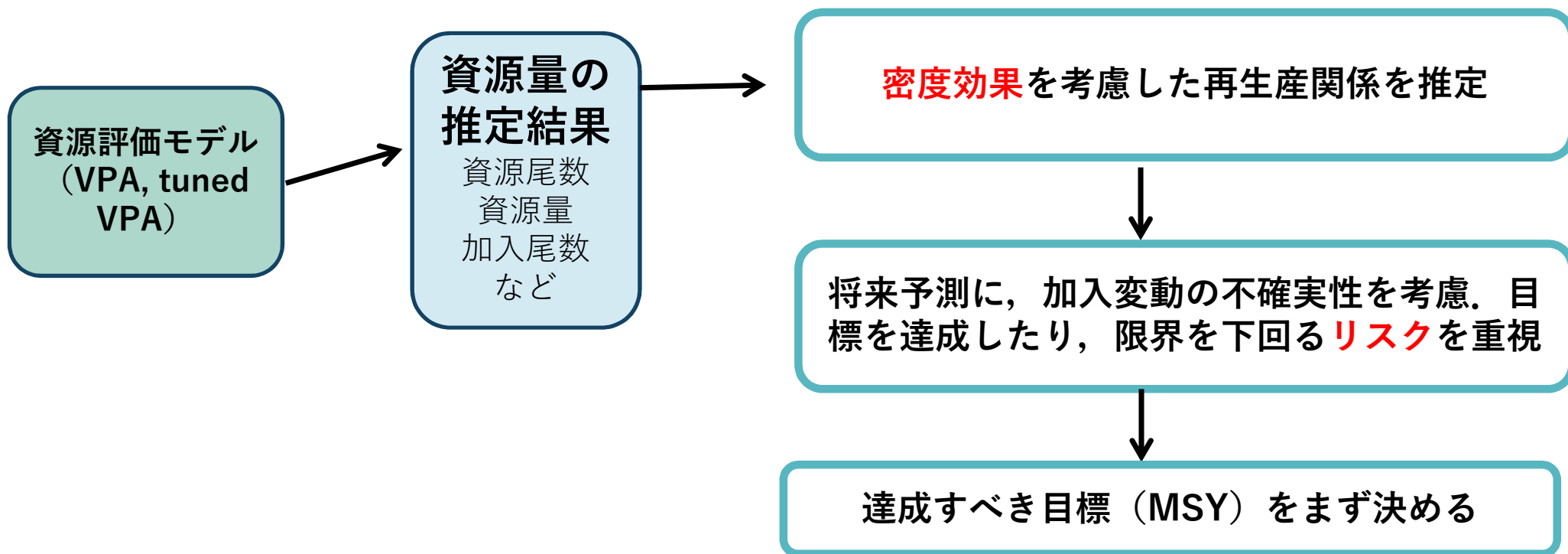
親が混みすぎteいたら、親魚あたりの加入はそれに応じて少なくなるのでは？（密度効果）

RPS = 加入尾数は環境によって毎年変動するのでは？悪い加入がつづけておこったりした場合にそなえなくて大丈夫？

Blimit以上だったらどこでも良い？だったら、Blimitぎりぎりがいいな．．．

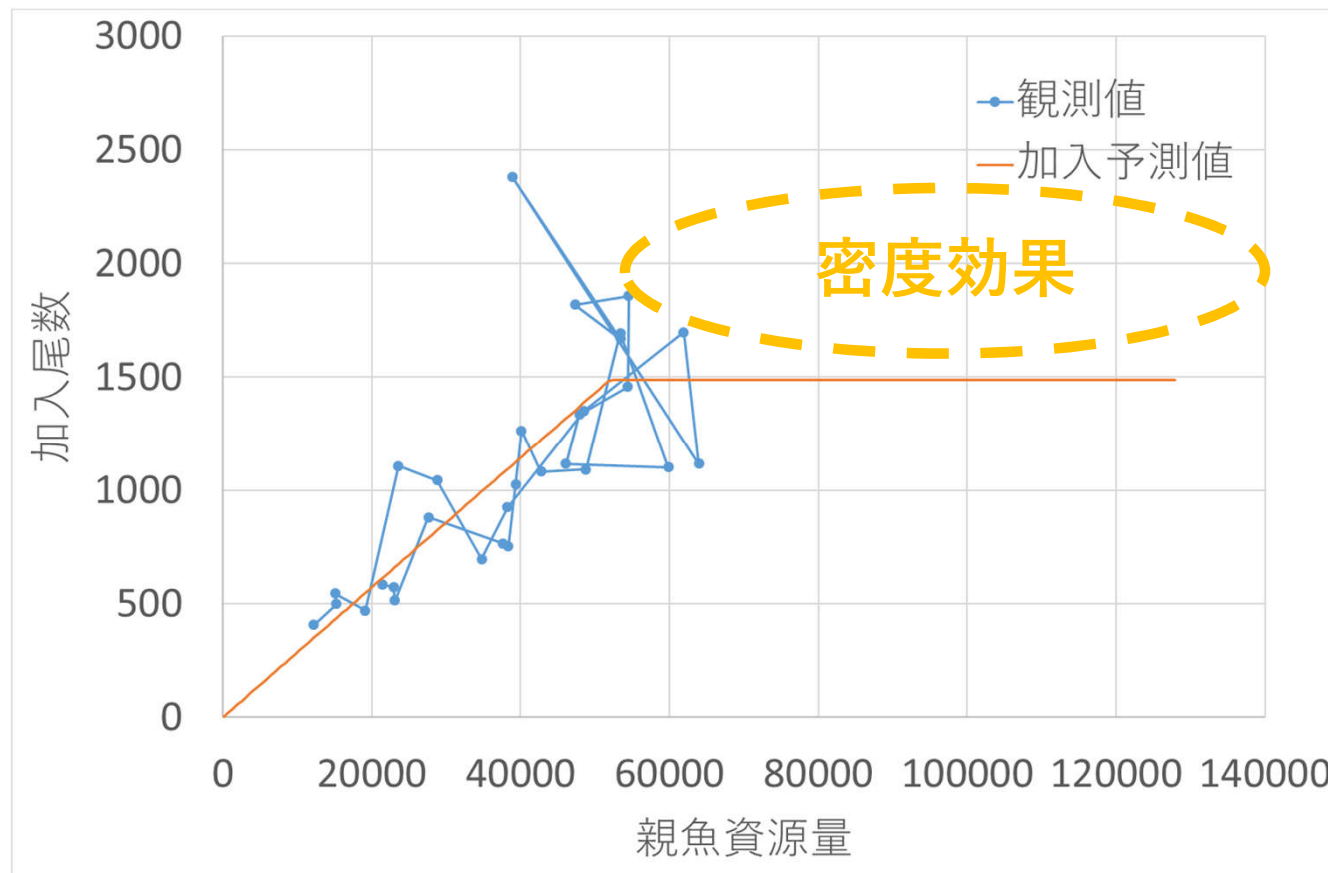
## 2. 資源評価結果を使って，将来予測をしたり MSYを推定したりします

新しいやり方

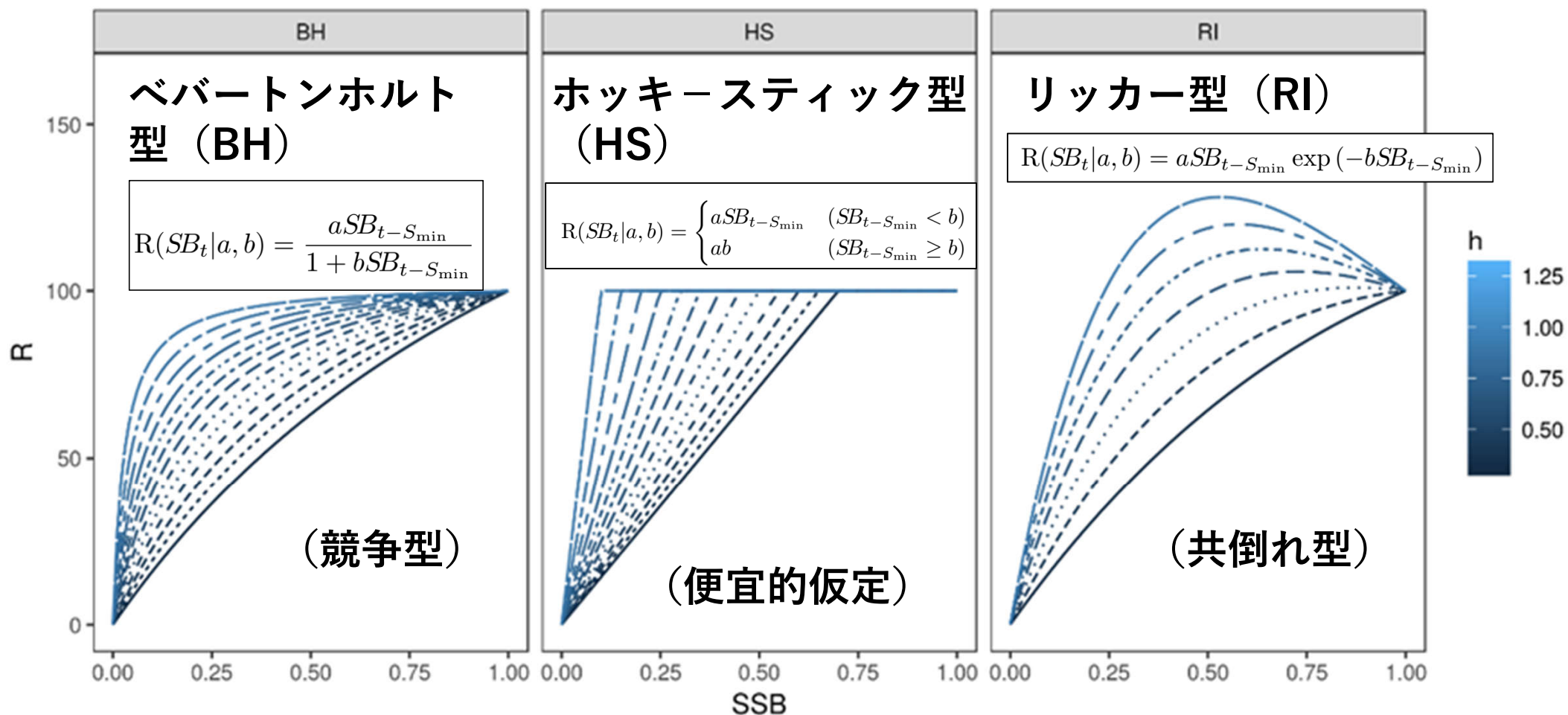


# 再生産関係の推定

1. 横軸に親魚資源量を取り，縦軸に加入量をとる．
2. 両者の関係をモデル化する



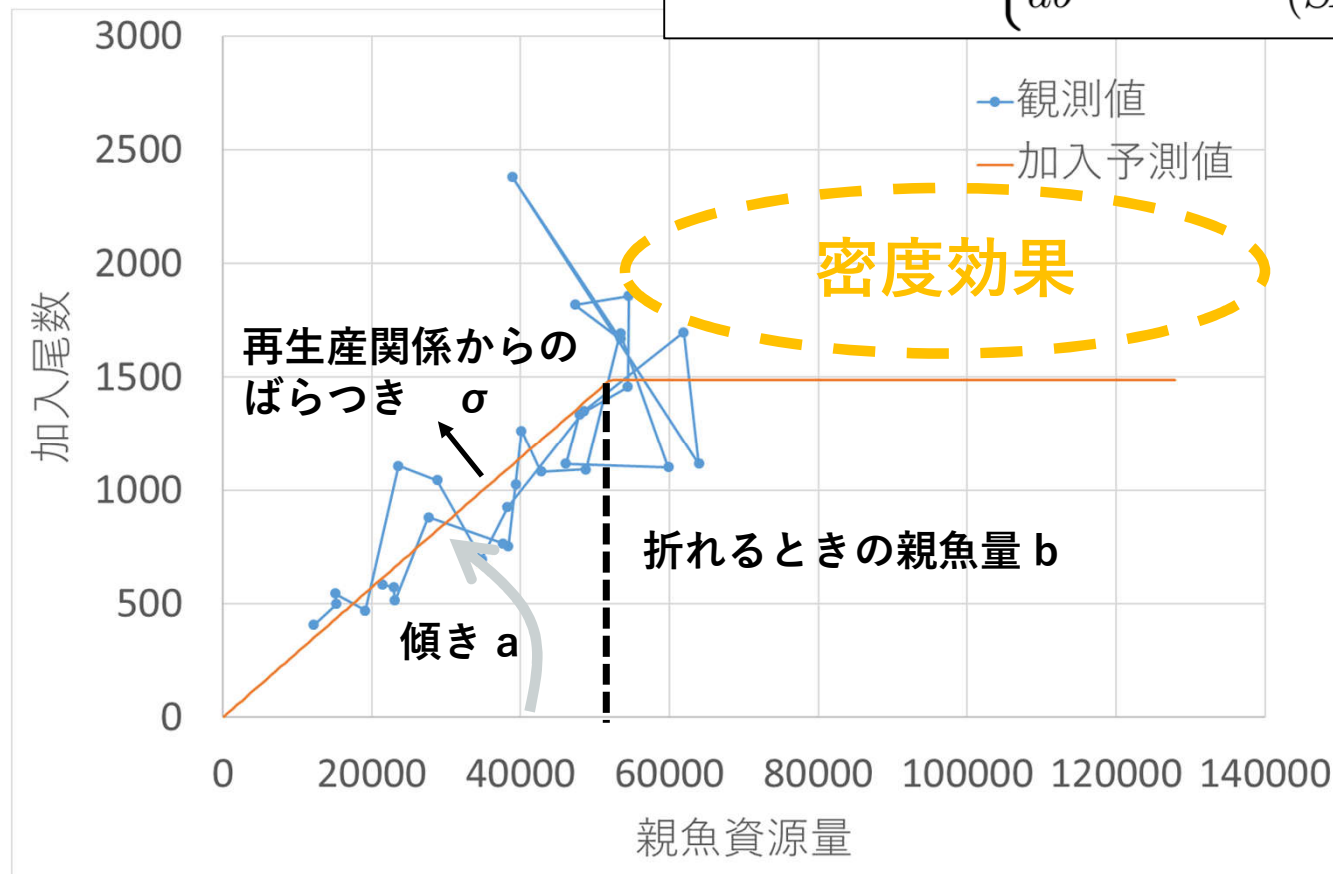
# 主な再生産関係





# 再生産関係のパラメータ

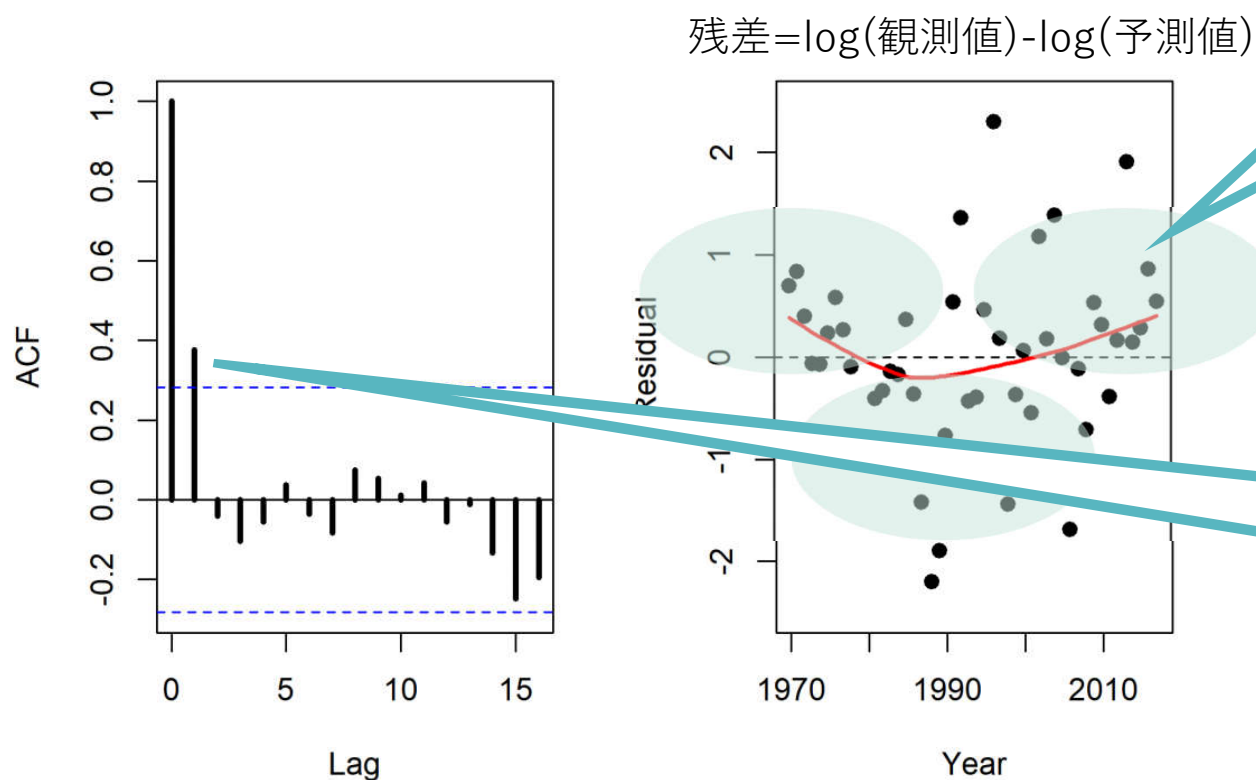
$$R(SB_t|a, b) = \begin{cases} aSB_{t-S_{\min}} & (SB_{t-S_{\min}} < b) \\ ab & (SB_{t-S_{\min}} \geq b) \end{cases}$$



# 再生産関係推定のバリエーション

- 関数の形：BH, RI, HS
- パラメータ推定法
  - 最小二乗法（＝二乗誤差を最小化）
  - 最小絶対値法（＝誤差の絶対値を最小化）
- 自己相関
  - 残差に自己相関があるか？

# 残差の自己相関



年代によって、予測値よりも観測値が低くなったり、高くなったりする傾向がある = 自己相関

Rのacf関数に時系列を入れると、自己相関が有意に高いかどうか検定してくれる

補足図 1-3. 再生産関係の残差の自己回帰係数（左）と残差の時系列プロット（右）。

# エクセルによる例(MSY\_est.xls) \*自己相関の推定はできません

①あてはめる関数形を選ぶ  
HS: ホッキー・スティック  
BH: ベバートン・ホルト  
RI: リッカー

②最小化手法を選ぶ  
・最小二乗  
・最小絶対値  
(通常は最小二乗)

③誤差分布を選ぶ  
・対数正規  
・正規分布  
(通常は対数正規)

⑦推定パラメータが表示される。実際には、パ  
易にするため、G4, G5のセルの値が推定パラメ  
る)  
\*a, bの意味は以下の通り  
HSの場合:  $R=a(ssb+sqrt(b^2+(gamma^2)/4))-s$

関数型

HS

最小化法

最小二乗

誤差

対数

④データを入力  
・年, 加入尾数, 親魚資源量  
(加入年齢が1歳以上の場合は、加入と親魚  
資源量が対応するように調整してください)  
・単位を守ってください  
・漁獲率, 漁獲量もわかれば入れてください  
(プロット用, 必須ではない)

推定パラメータ

a

0.01431

-4.24696129

-3.3843

b

51936.455547940

1.46260916

10.8571

SD

0.2576

gamma

0.00001

n (データ数)

30.00

目的関数

1.990018009

親子関係データ

年

加入尾数  
(100万尾)

親魚資源量  
(トン)

漁獲率

漁獲量  
(トン)

加入予測値  
(HS)

加入予測値(BH)

加入予測  
値(RI)

加入予測値

残差

乗

1982

406

12199

0.43

14658.64

349

0

0

349

0.15

0.02

1983

499

15267

0.47

19410.98

1984

544

15072

0.42

18309.93

1985

470

19114

0.36

16590.36

1986

1107

23544

0.46

36518.26

1987

1043

28769

0.44

38768.31

1988

697

34764

0.41

33872.02

⑥目的関数の参照範囲を確認したのち、「データ」⇒「ソルバー」  
\* 収束しない場合、明らかにおかしい場合はI4,5の値(初期値)を変えて  
てください(実際のパラメータをlogまたはlogit変換した値になってい  
す)。  
\* 参考となる初期値はSRparm.csvで配布しています  
\* 初期値をランダムに変えて複数回計算するオプションを使っているの  
で、ちょっと時間がかかります

⑤見る年

加入尾数

予測値プロット用

①再生産関数フィット

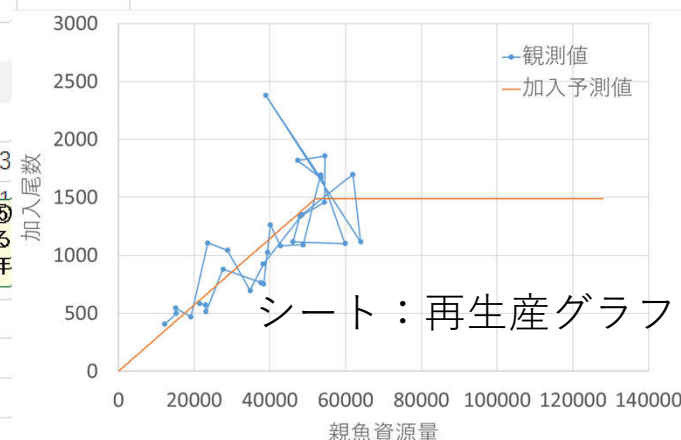
②MSY管理基準値計算

③B0管理基準値

④PGY\_lower

⑤PGY\_upper

⑥ %SPR ...



①再生産関数フィット

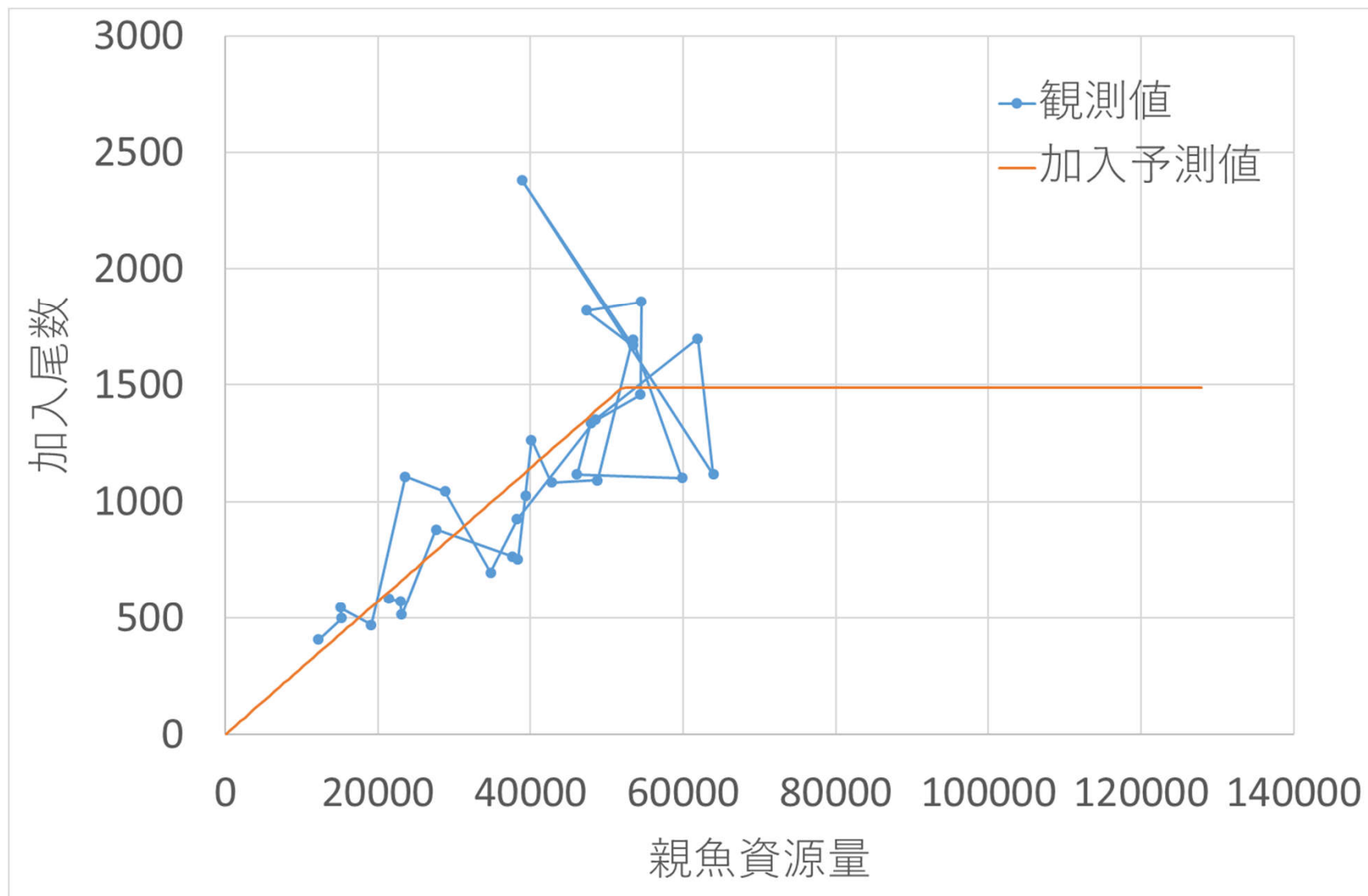
②MSY管理基準値計算

③B0管理基準値

④PGY\_lower

⑤PGY\_upper

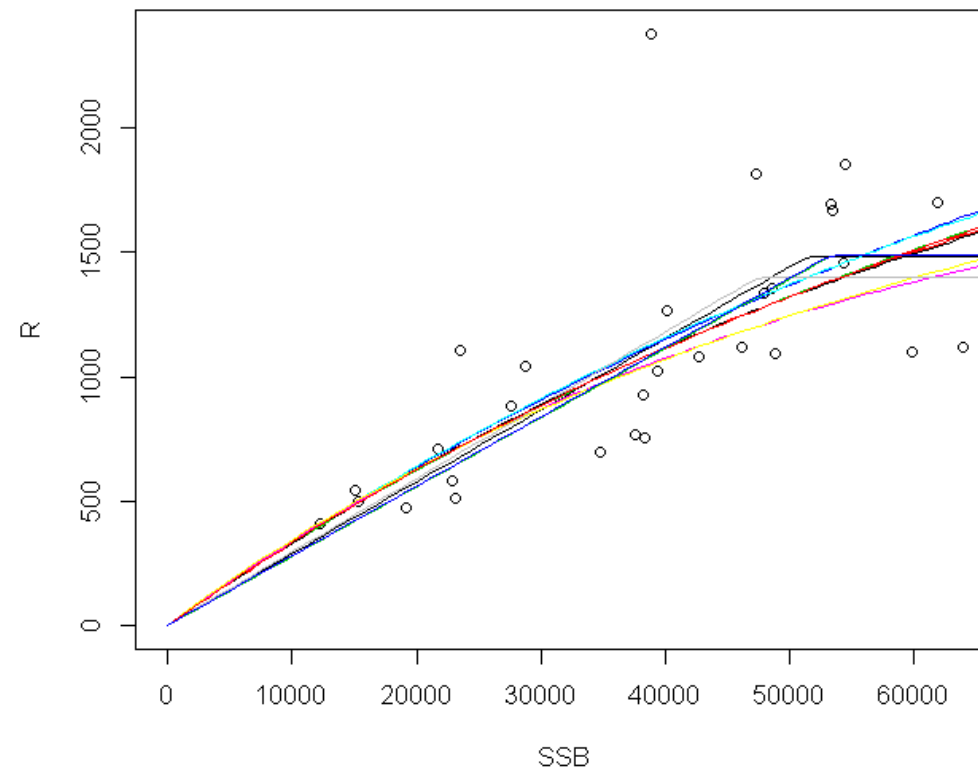
⑥ %SPR ... (+) :



# Rでやる場合

```
## 再生産関係の推定と管理基準値計算 ---  
## https://ichimomo.github.io/frasyr/doc/estMSY.html  
  
SRdata <- get.SRdata(res_vpa)  
## モデルのフィット(網羅的に試しています)  
# 網羅的なパラメータ設定  
SRmodel.list <- expand.grid(SR.rel = c("HS","BH","RI"), AR.type = c(0, 1), L.type = c("L1", "L2"))  
SR.list <- list()  
for (i in 1:nrow(SRmodel.list)) {  
  SR.list[[i]] <- fit.SR(SRdata, SR = SRmodel.list$SR.rel[i], method = SRmodel.list$L.type[i],  
    AR = SRmodel.list$AR.type[i], hessian = FALSE)  
}  
  
SRmodel.list$AICc <- sapply(SR.list, function(x) x$AICc)  
SRmodel.list$delta.AIC <- SRmodel.list$AICc - min(SRmodel.list$AICc)  
SR.list <- SR.list[order(SRmodel.list$AICc)] # AICの小さい順に並べたもの  
(SRmodel.list <- SRmodel.list[order(SRmodel.list$AICc), ]) # 結果
```

```
plot_SRdata(SRdata)
for(i in 1:nrow(SRmodel.list)) lines(SR.list[[i]]$pred,col=i)
```



# 研究機関会議資料では. . .

こんな表が出てきます

再生産 関係式	最適化法	AICc	$\Delta AIC$	SD	データ 数
HS	最小絶対値法	128.48	0.00	0.93	48
RI	最小絶対値法	129.35	0.88	0.93	48
BH	最小絶対値法	129.36	0.88	0.93	48
<b>HS</b>	<b>最小二乗法</b>	<b>130.91</b>	<b>2.44</b>	<b>0.88</b>	<b>48</b>
BH	最小二乗法	131.34	2.87	0.89	48
RI	最小二乗法	131.35	2.87	0.89	48

\* 候補として推奨する再生産関係を太字とした

平成 31（2019）年度マサバ太平洋系群の管理基準値等に関する 研究機関会議報告書（p.2）より  
[https://www.fra.affrc.go.jp/shigen\\_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail\\_masaba\\_p.pdf](https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_masaba_p.pdf)



# 再生産関係選択の基準

- a. 予測力
- b. 生物学的妥当性 or 便宜的仮定
- c. 外れ値に対する頑健性
- d. 観察された最大親魚量以上で，加入尾数が過去に観察された最大尾数以上の極端な外挿値になるような場合の回避
- e. 観察された最低親魚量以下で加入尾数が保守的でない外挿値になるような場合の回避
- f. 推定された管理基準値の頑健性
- g. 異なる再生産関係を用いた場合のリスクの非対称性
- h. 自己相関
- i. 管理方策の頑健性（MSE による評価）

## 付録. 再生産関係の決定に関するガイドライン

[http://abchan.fra.go.jp/nc/htdocs/?action=cabinet\\_action\\_main\\_download&block\\_id=1543&room\\_id=765&cabinet\\_id=78&file\\_id=6204&upload\\_id=9747](http://abchan.fra.go.jp/nc/htdocs/?action=cabinet_action_main_download&block_id=1543&room_id=765&cabinet_id=78&file_id=6204&upload_id=9747)

## 4. 適用事例集

### 平成 31 年 4 月研究機関会議（7 系群）

系群	再生産関係	選択基準	説明
スケトウダラ 太平洋系群	HS, L2, AR0	3e	HS は AICc 最小モデル (RI, $\Delta AICc=8.1$ ) よりも予測力が低い が、親魚が少ない範囲で RI が加入を過大評価するリスクを避けた
		3b, 3f	RI の場合 2010～2014 年の 5 年間のデータのみが曲線の形を決めるため、 生物学的背景の吟味および関係式間での MSY 管理基準値算出値の比較の上で RI の使用を避けた
スケトウダラ 日本海系群	HS, L2, AR0	3d	HS, RI, BH とともに直線的な再生産関係になり AICc はほぼ変わらないため、 観察された最大親魚量以上で極端な加入の外挿を避ける HS を選択
ホッケ道北系群	HS, L1, AR0	3a, 3c	AICc が最小のモデルを選択. 結果として, L1 が選択されたため、 外れ値に対しても頑健なモデルとなった.
		3i	簡易的な MSE を行い、近年の低い加入を想定した場合のリスクを漁獲制御ルールにおいて考慮した (図 4).

マサバ太平洋系群	HS, L2, AR1	3h	残差の自己相関が有意だったため、将来予測では加入の自己相関構造も考慮した。これにより加入の自己相関から生じる潜在的なリスクを管理基準値に取り入れることができた（図 5）。また、近年の残差は正であったため、直近年の将来予測は加入が通常よりも良い状況となることが仮定された。
マサバ対馬暖流系群	HS, L2, AR0	3e	HS は AICc 最小モデル（RI, $\Delta AICc=5.9$ ）よりも予測力が低い、親魚が少ない範囲で RI が加入を過大評価するリスクを避けた（図 6）
ゴマサバ太平洋系群	HS, L1, AR0	3e, 3g	RI は AICc 最小モデル（BH or HS, $\Delta AICc=6.4$ or 6.5）よりも予測力が低い、親魚が少ない範囲で RI が加入を過大評価するリスクを避けた
ゴマサバ東シナ海系群	HS, L1, AR0	3f	図 7 の解説を参照
		3g	図 8 の解説を参照

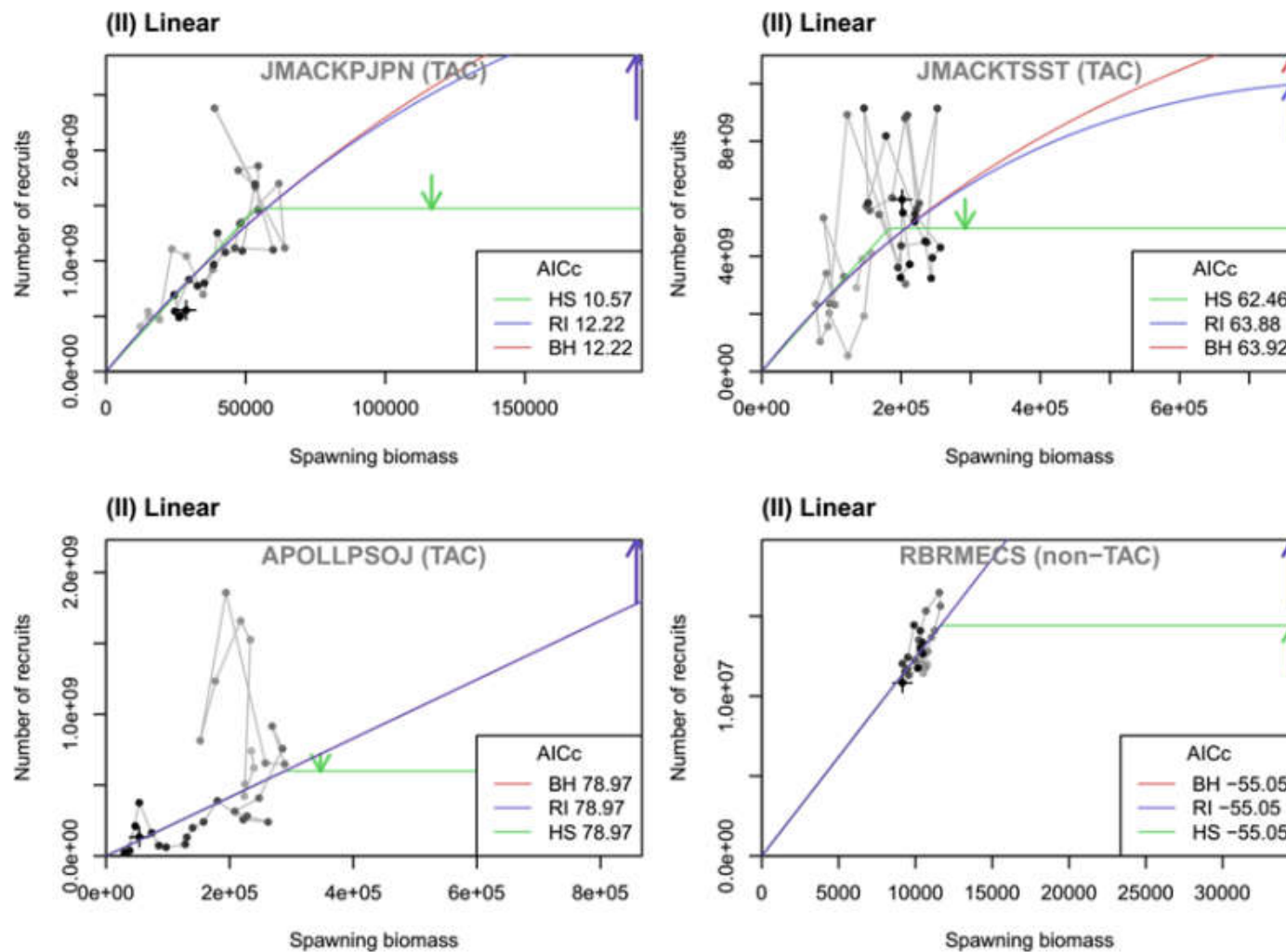


図 2. 加入尾数の期待値が過去最大加入尾数以上の極端な外挿値になるために BH や RI の使用は勧められないケース (Ichinokawa et al. 2017, Figure S3)



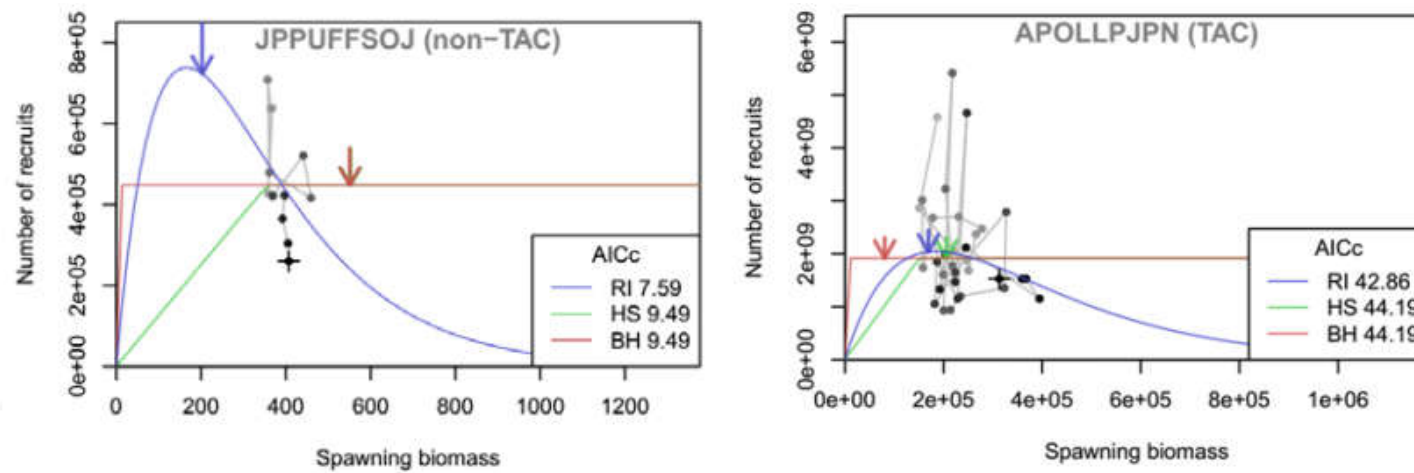


図 3. 極端な外挿がおこるために RI (左), BH (右) の使用は勧められないケース (Ichinokawa et al. 2017, Figure S3)

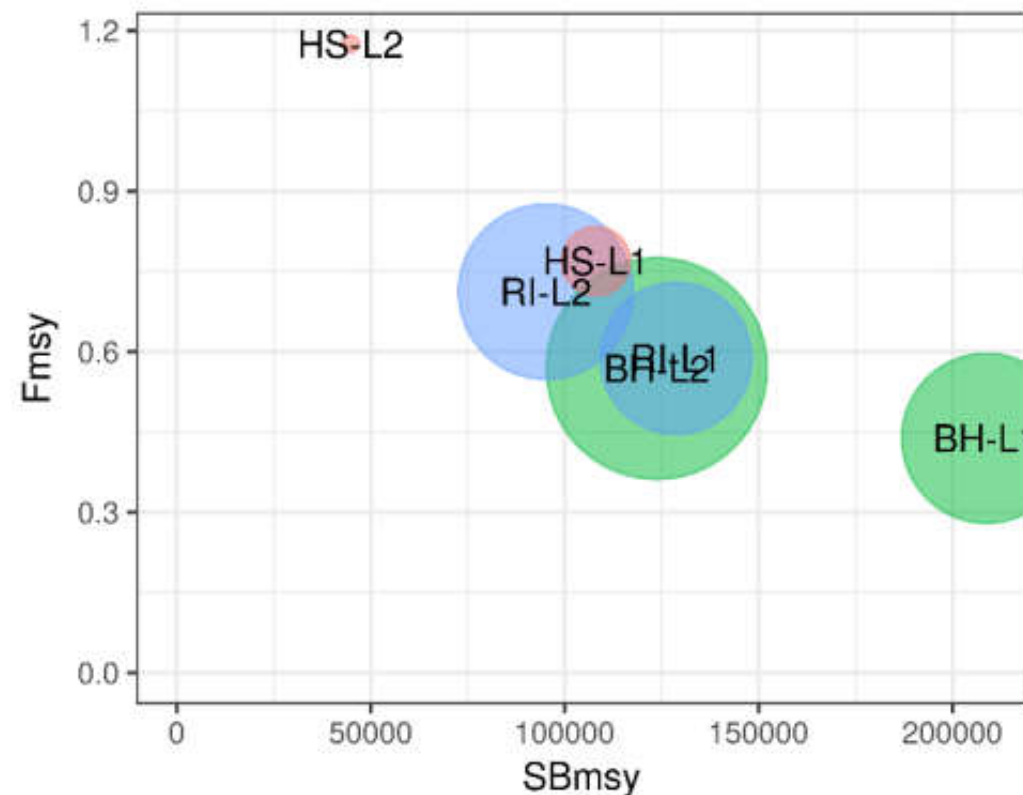
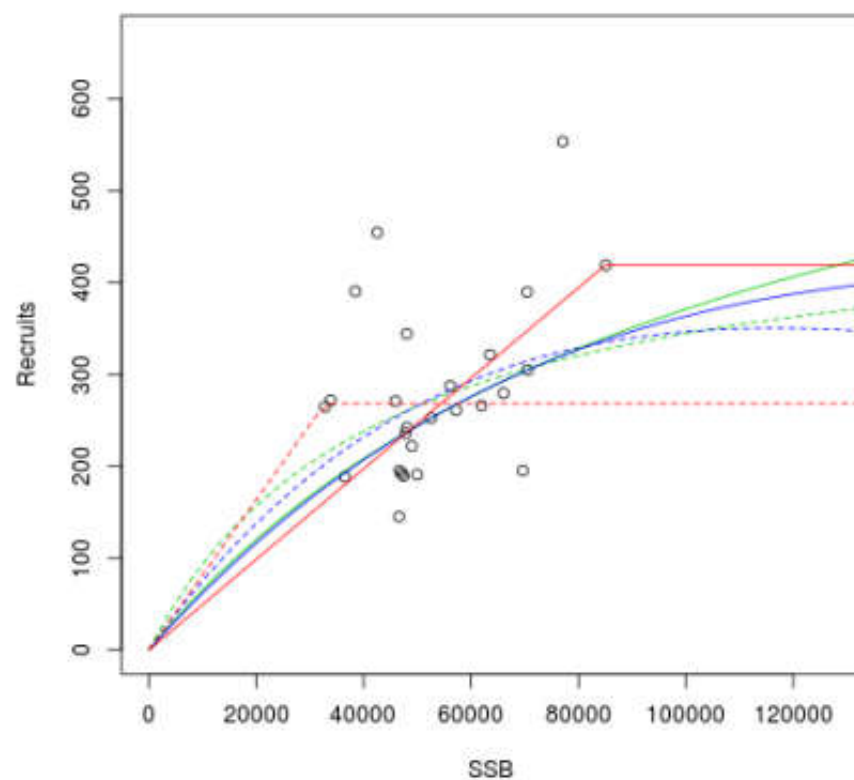
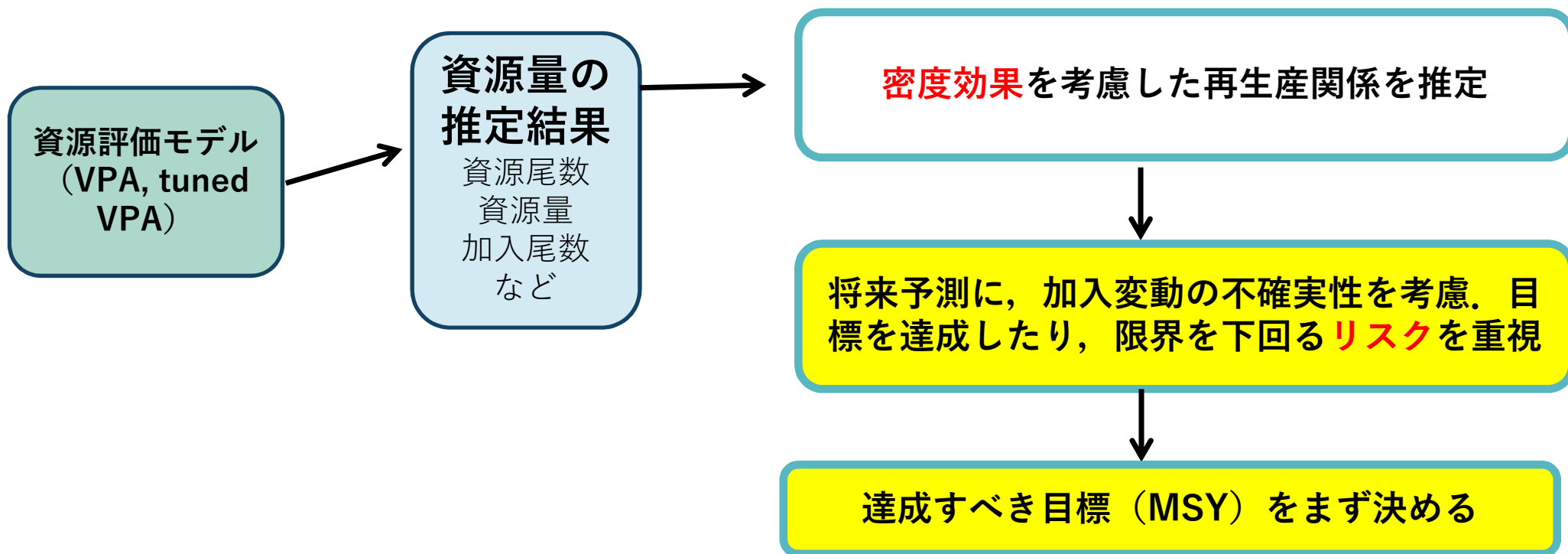


図 7. ゴマサバ東シナ海系群における 6 つの再生産関係のあてはめの結果（左）と、推定された管理基準値（右）。右図では、再生産関係式・最適化法ごとに推定された管理基準値の値をプロットし、丸の大きさは Akaike Weight に比例させた（最大の Akaike Weight は BH-L2 で 0.289, 最小は HS-L2 で 0.07）。HS の L1 と L2 間での AICc の差は大きくないが、HS-L1 から推定される管理基準値は、より AICc が小さい他の再生産モデルから推定される管理基準値に近く、再生産曲線の選択に対して管理基準値が頑健と考えられる。

## 2. 資源評価結果を使って，将来予測をしたり MSYを推定したりします

新しいやり方



# 選択した再生産関係のもとで 将来予測 & 管理基準値計算：手順

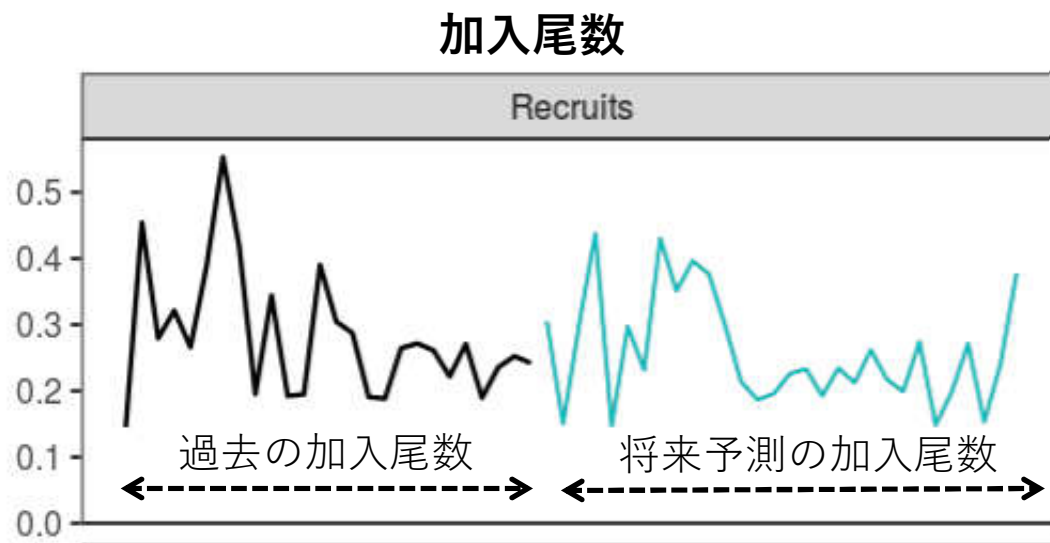
- ① 毎年の加入尾数を再生産関係に従って発生させる
  - 予測値と観察値のばらつきを確率分布からランダムに発生
- ② 最新年の資源尾数から前進計算する
- ③ 繰り返し計算し，平均や信頼区間を見る
- ④ 将来の漁獲の強さのシナリオごとの違いを見る
  - 現状の漁獲圧（最近年の平均），新しい管理ルール

<https://ichimomo.shinyapps.io/shiny-future/> （サバを例にしたウェブアプリ）  
<https://github.com/ichimomo/future-text> のpdfファイル（計算方法の詳細）

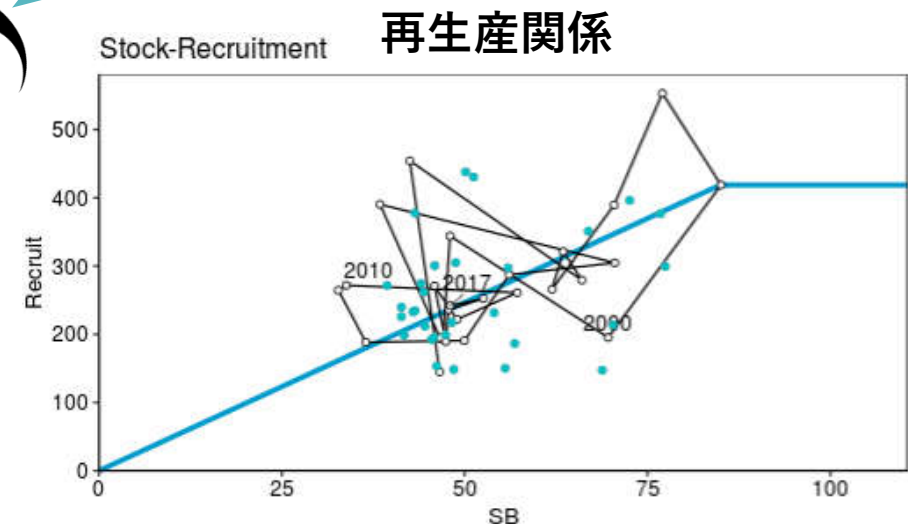


# ① 毎年の加入尾数を再生産関係に従って発生させる

## シミュレーションの一例



仮定した再生産関係と実際にみられたばらつき具合から加入をランダムに発生させる

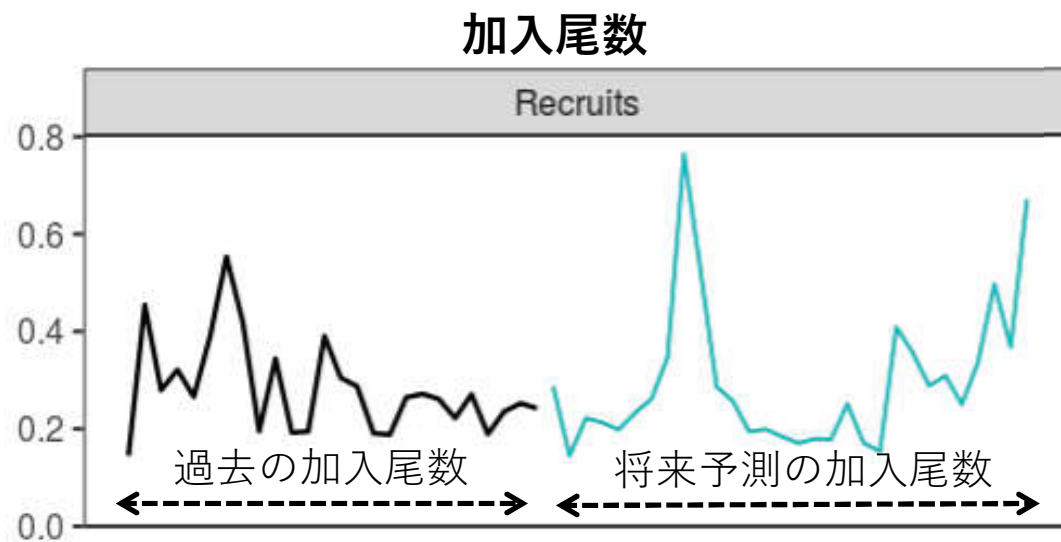


<https://ichimomo.shinyapps.io/shiny-future/>

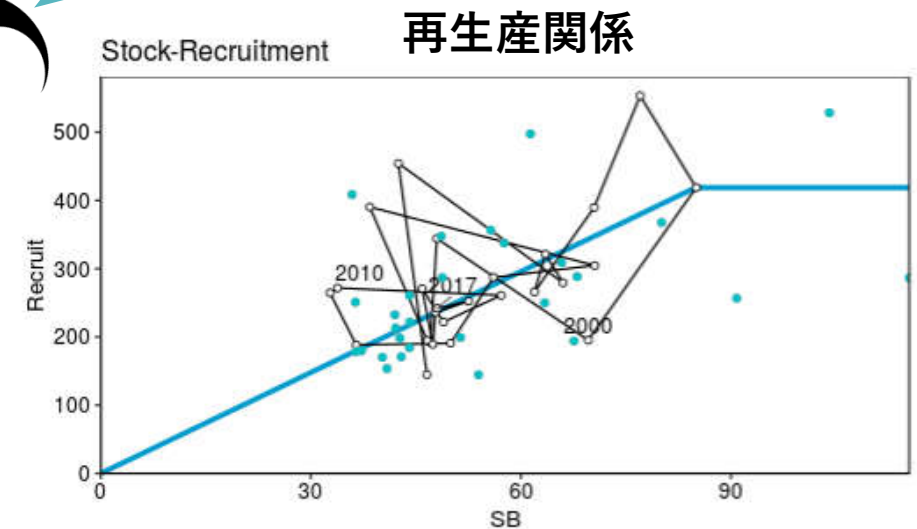
ゴマサバ東シナ海の例

# ① 毎年の加入尾数を再生産関係に従って発生させる

## シミュレーションの一例



仮定した再生産関係と実際にみられたばらつき具合から加入をランダムに発生させる



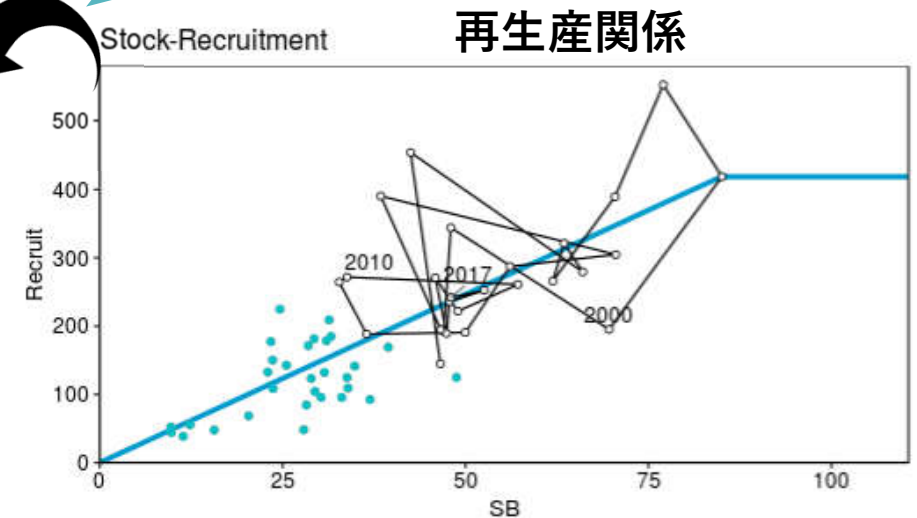
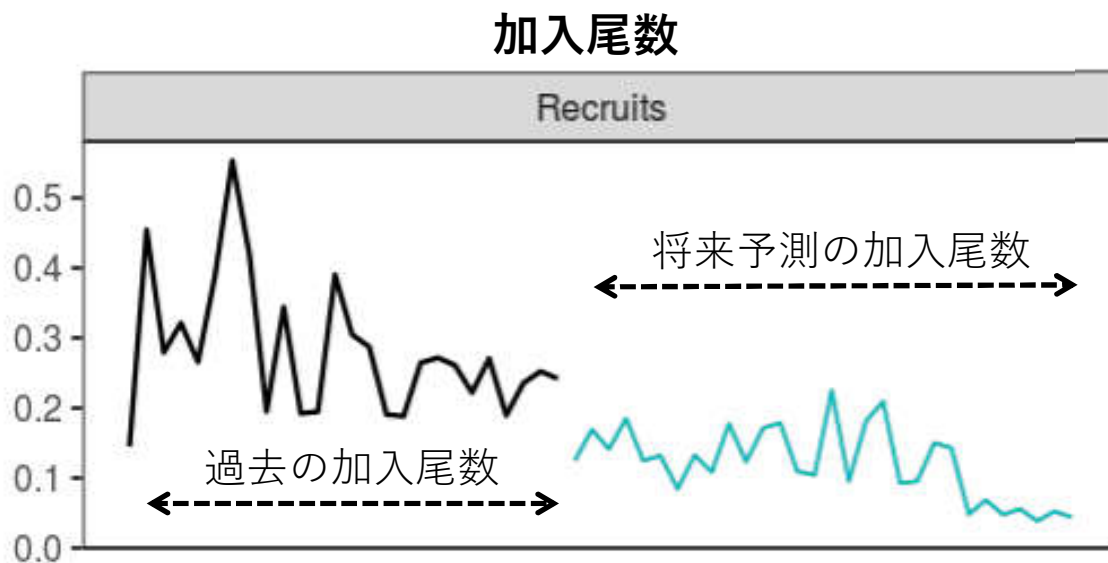
<https://ichimomo.shinyapps.io/shiny-future/>

ゴマサバ東シナ海の例

# ① 毎年の加入尾数を再生産関係に従って発生させる

## シミュレーションの一例

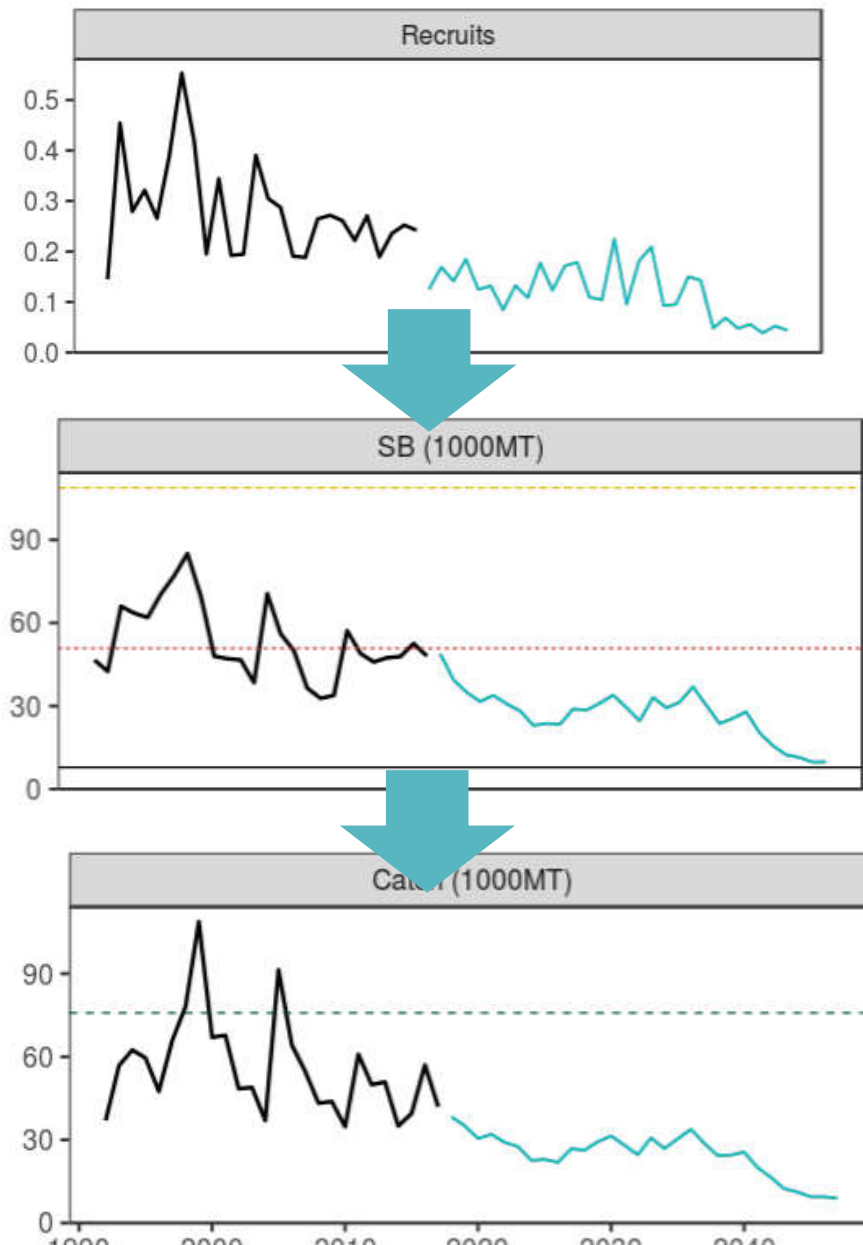
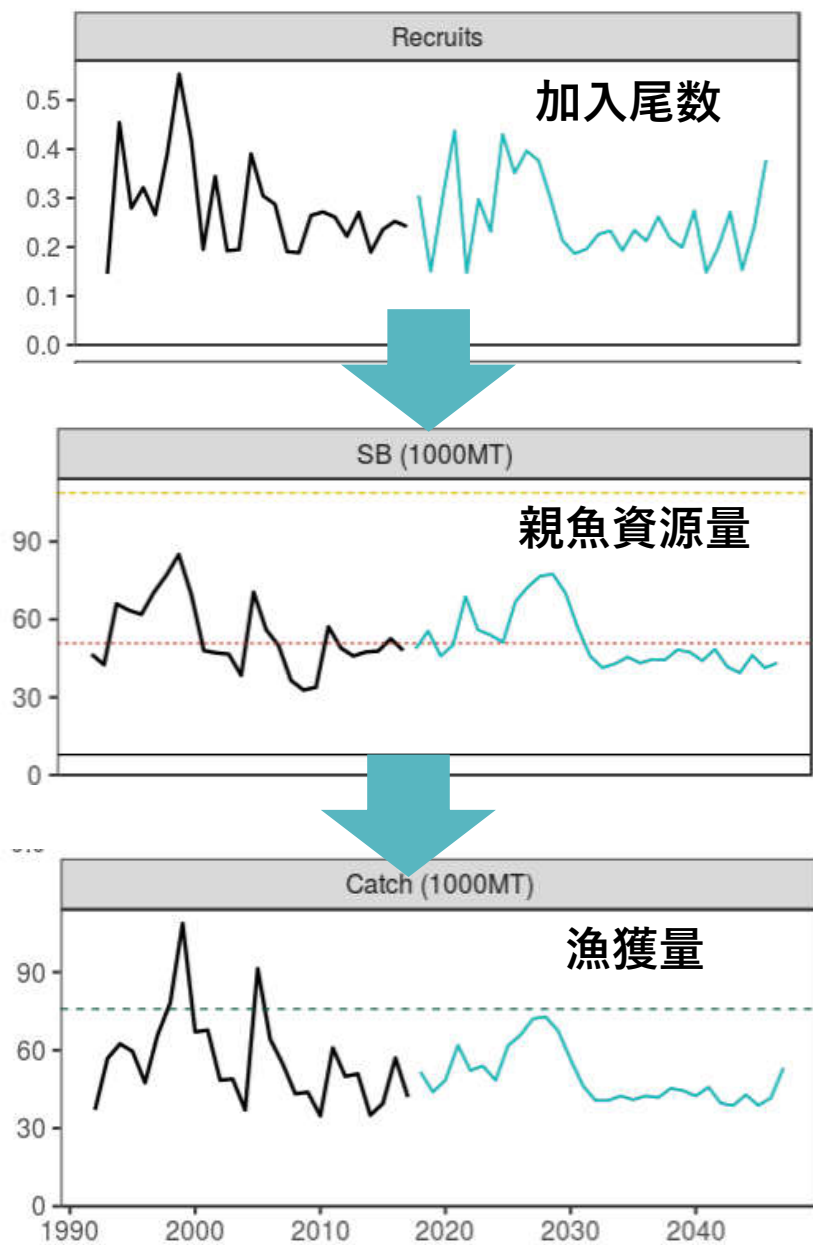
仮定した再生産関係と実際にみられたばらつき具合から加入をランダムに発生させる



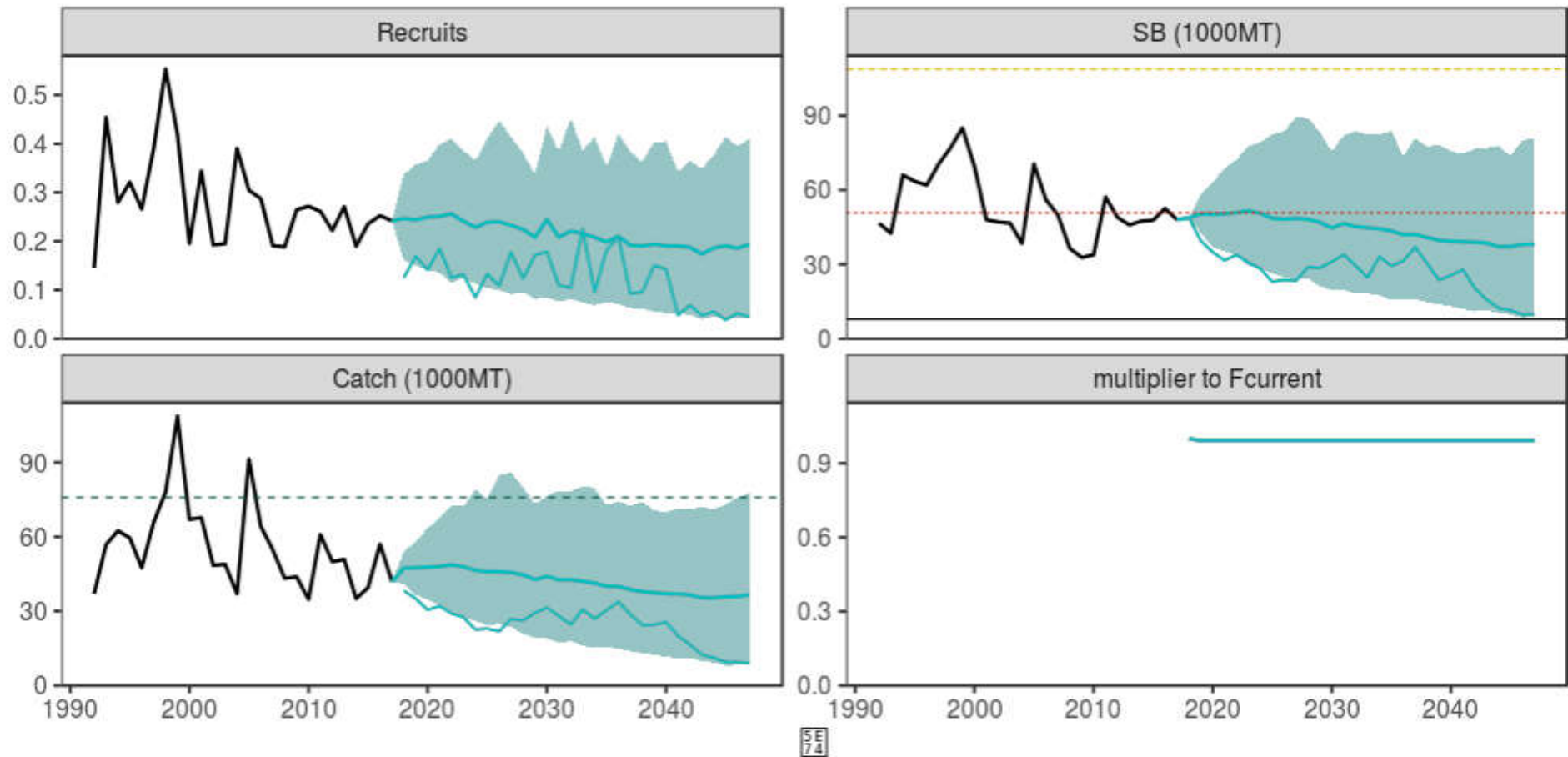
<https://ichimomo.shinyapps.io/shiny-future/>

ゴマサバ東シナ海の例

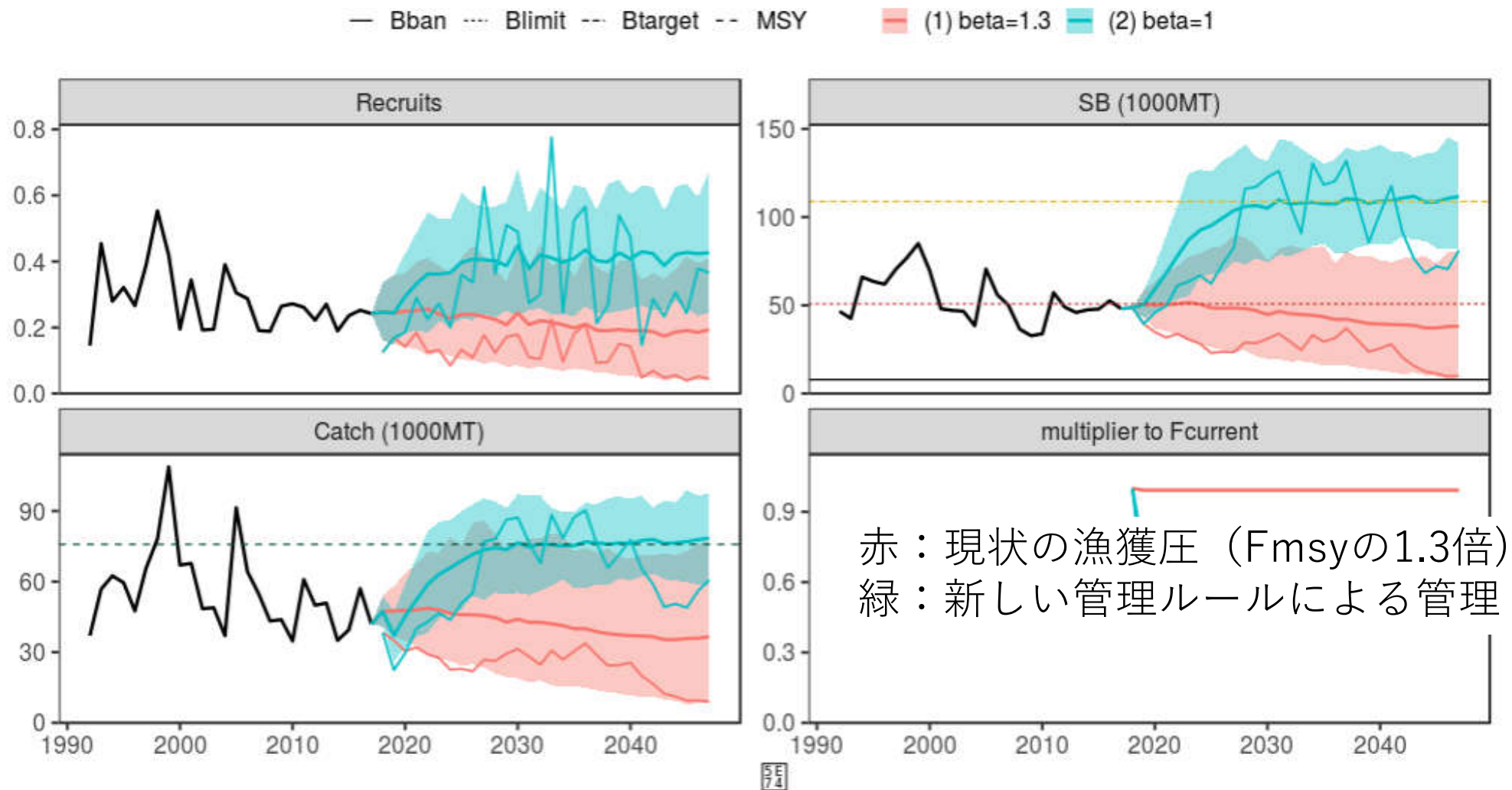
②最新年の  
資源尾数から  
前進計算  
する



### ③ 繰り返し計算し，平均や信頼区間を見る

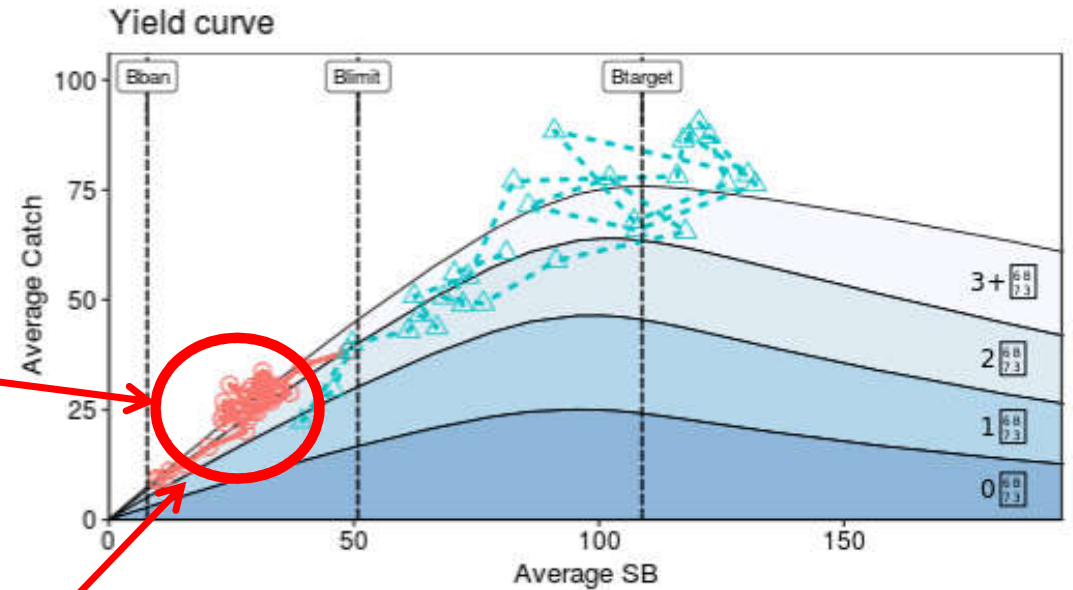
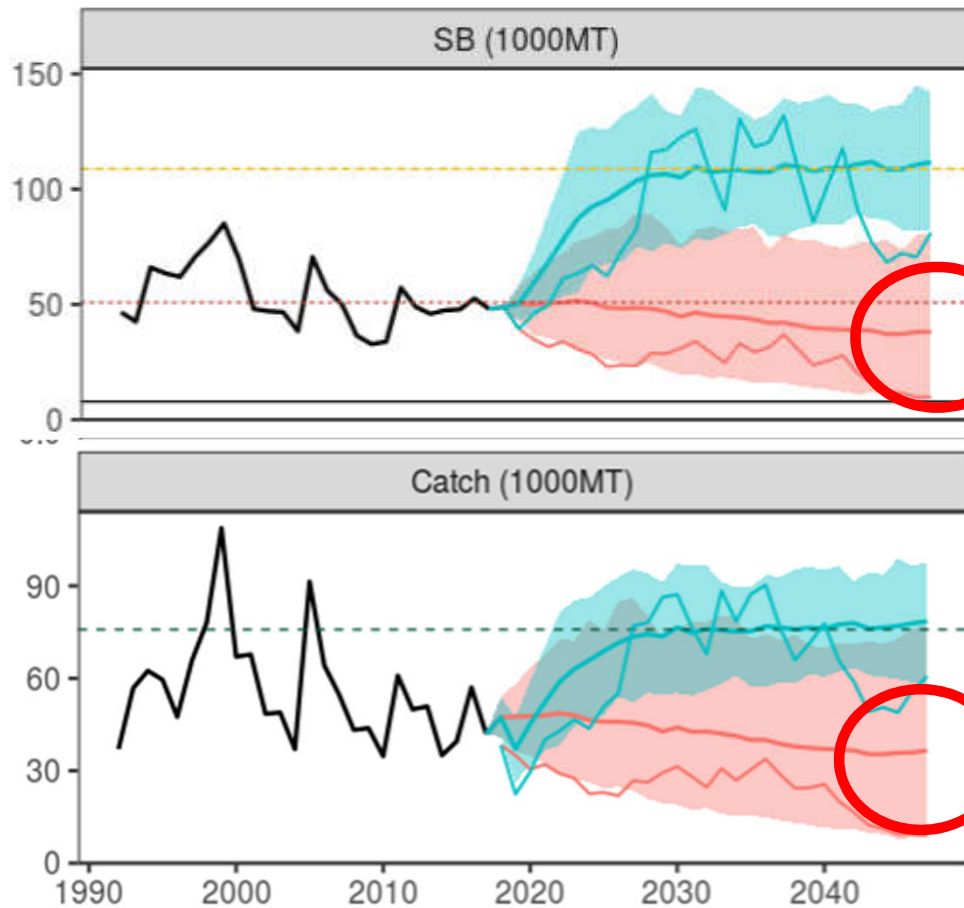


## ④ 将来の漁獲の強さのシナリオごとの違いを見る



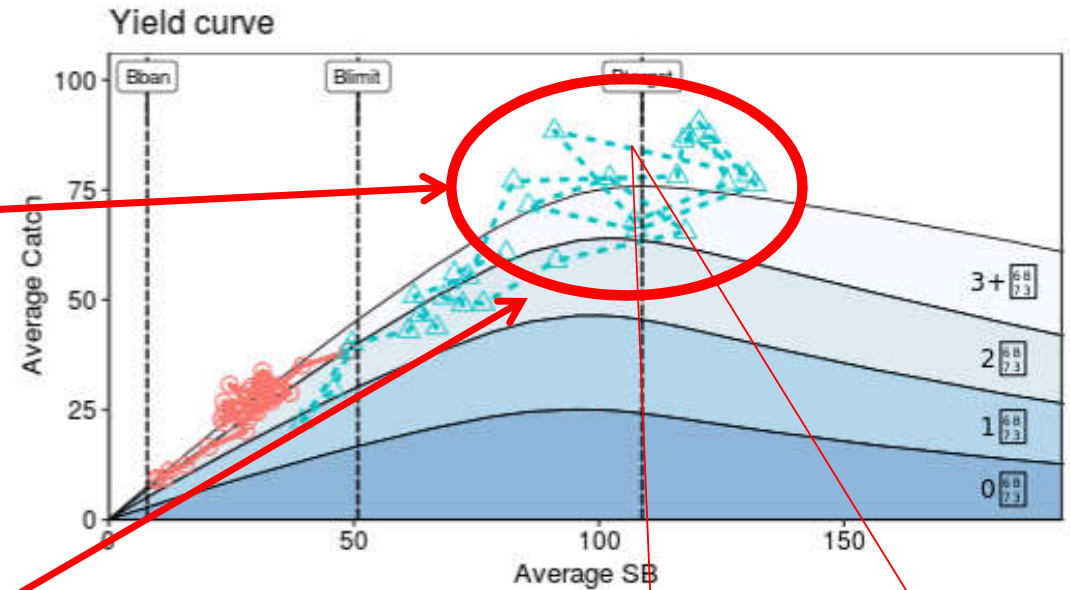
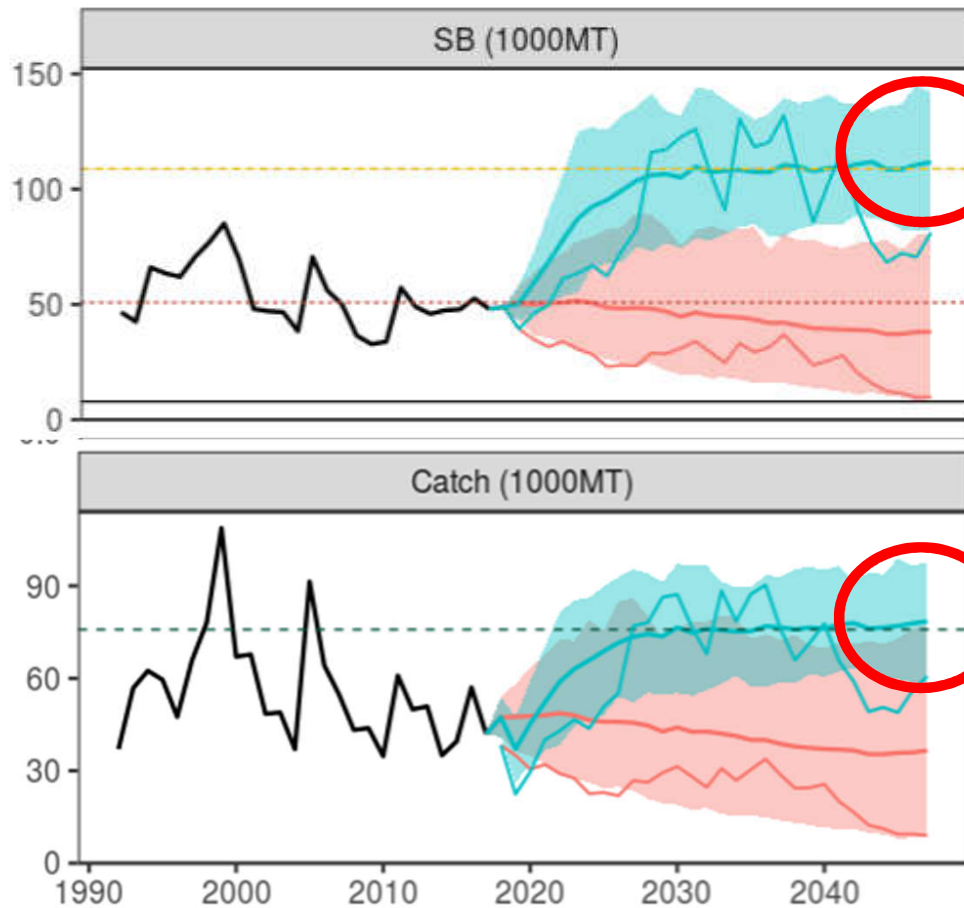


# MSY管理基準値の意味



漁獲圧が大きいと親魚が少なく、  
漁獲量が少ないところで安定する

# MSY管理基準値の意味

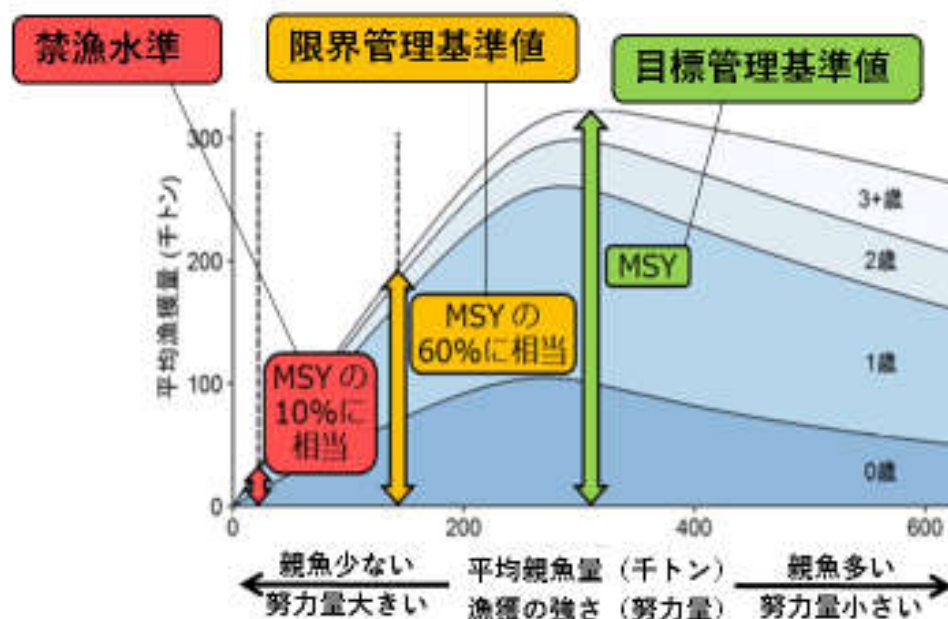


漁獲圧が小さいと親魚が多くなり，漁獲量はある一定のFのときにピークになる  
＝そのときの漁獲量がMSY，そのときの親魚量が $B_{MSY}$ (=目標管理基準値)，そのときのFが $F_{MSY}$



# ① 資源管理の目標を導入（その8）

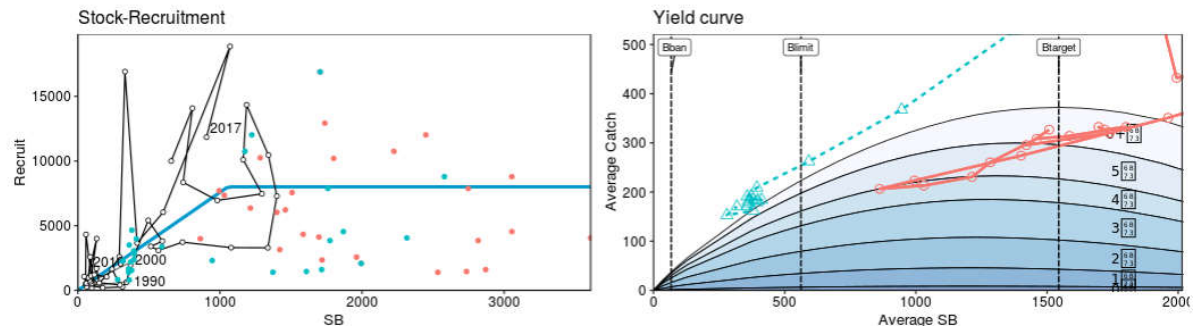
## 管理基準値の提案



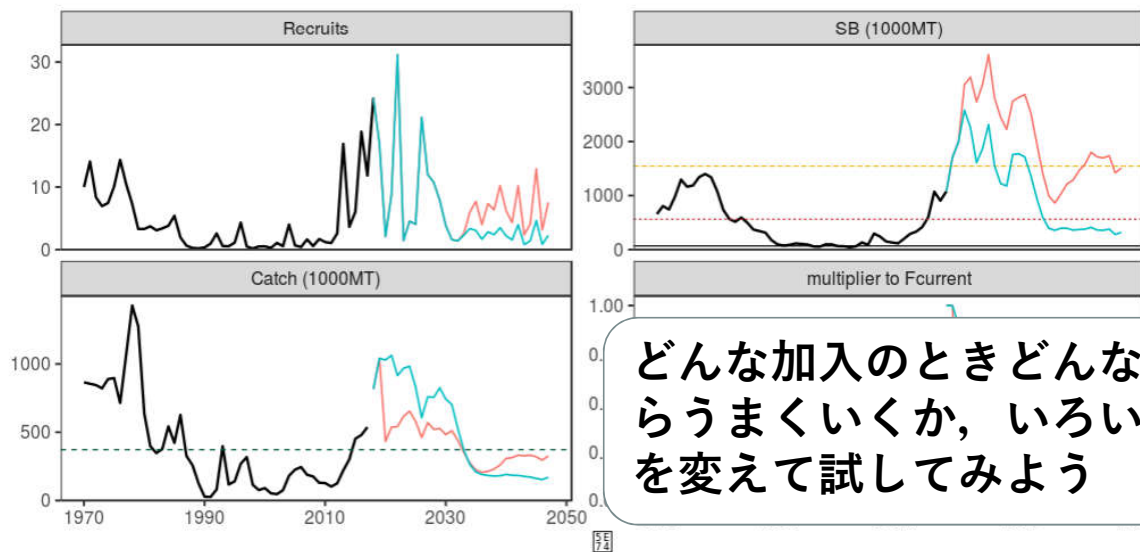
- 目標管理基準値（MSYを達成する資源水準の値）**：MSYを得られる時の親魚量水準を基本とする。漁獲圧を一定にした時、親魚量がこの水準に維持される時の漁獲圧をFMSY（目標を達成するための漁獲圧）とする。
- 限界管理基準値（乱かくを未然に防止するための資源水準の値）**：MSYの60%の平均漁獲量を得る水準を基本とする。資源がこの水準を下回ったら、漁獲圧を資源状況に応じて引き下げる。
- 禁漁水準（これを下回った場合には漁獲を0とすべき資源水準の値）**：資源の減少により、平均漁獲量がMSYの10%しか得られない水準を基本とする。

# ウェブ上で先行4魚種の将来予測の例が見れます

将来予測と管理基準値計算(マサバ・ゴマサバ、太平洋・対馬)



Future projection



どんな加入のときどんな方策だった  
らうまくいくか、いろいろシナリオ  
を変えて試してみよう

# 計算ツール

- エクセル：MSY\_est.xlsx
  - 近似的な計算方法なので、正確ではないかもです
  - 自己相関がある場合には対応していません
  - 重いです
- R
  - frasyr内の関数を使って計算できます
  - コマンドを集約したユーティリティもあります (frasyr\_tool)  
[https://github.com/ichimomo/frasyr\\_tool](https://github.com/ichimomo/frasyr_tool)

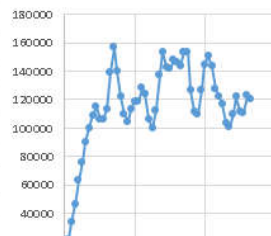
# エクセルの場合

		生物パラメータ		漁獲量計算方式		Pope		④ VPA計算時の漁獲量計算方法を入れてください (Popeの近似式がBavanovか)		プラスグループ		⑤ 年齢分だけパラメータを入力する。 プラスグループは必ず一番右側の行に入れてください。		再生産パラメータ (シー)	
		年齢	0	1	2					3+				a	0.01431
		体重 (g)	40	100	230						380			b	51936.5
		自然死亡係数	0.5	0.5	0.5						0.5			gamma	0.00001
		成熟率	0	0.5	1						1			SD	0.25755
		Current F	0.5436	1.1767	1.3059						1.3059			⑥ 「データ」→「ソルバー」 100年目から5100年めの漁獲 最大化するようなFが決める 算なので、Rの値や乱数によ くらい? のずれはあります	
最近3年分の		2009	513.1128	210.27	37.986						10.07610945				
資源尾数		2010	570.9195	201.71	40.791						9.040498559				
		2011	585	197	39						7				
		F <sub>MSY</sub>	0.279567	0.6052	0.6716	0	0	0	0	0	0.671609295				
			0	1	2						3+				
		Average	1489	683	226	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!			102				
		年齢	資源尾数							median					
		加入期待値	SSB0	0	1	2				3+	Total biomass	SSB	log biomass	log SSB	
		2009		513.1128	210.27	37.986	0	0	0		54117	23079			
		2010		570.9195	201.71	40.791	0	0	0		55825	22903			
		2011		585	197.49	38.518	0	0	0		54702	21428			2011
73	2012	968	23079	707	268	65				14	75523	33827	11.232193	10.429	2012
99	2013	1317	22903	1095	324	89				25	106044	46012	11.571614	10.736663	2013
65	2014	1486	21428	912	502	107				35	124779	63181	11.734299	11.053757	2014
12	2015	1486	33827	1441	418	166				44	154529	75962	11.948134	11.237991	2015
02	2016	1486	46012	1112	661	139				65	167213	89698	12.027023	11.4042	2016
54	2017	1486	63181										12.155281	11.5112	2017
25	2018	1486	75962										12.183498	11.60069	2018
18	2019	1486	89698										12.132403	11.652322	2019
91	2020	1486	99828										12.160418	11.568632	2020
08	2021	1486	109173										12.172281	11.571338	2021
46	2022	1486	114958										12.400209	11.633332	2022
02	2023	1486	105729										12.457271	11.84579	2023
48	2024	1486	106015										12.416178	11.961475	2024
98	2025	1486	112796										12.312976	11.849288	2025
91	2026	1486	139496										12.190688	11.709811	2026
65	2027	1486	156604										12.140134	11.601418	2027
46	2028	1486	139985										12.196765	11.556304	2028

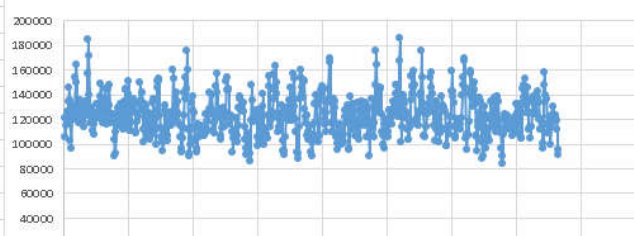
⑧ 列の乱数の値をB  
4にコピー (形式を  
選択して貼り付け→  
値)

データがないところは空欄にしてく  
ださい

SSB時系列 (最初の50年)



SSB時系列 (5000年後)  
(平衡状態っぽくなっているか確認してください)



# Rコマンド

## 将来予測の実施

```
SRmodel.base <- SR.list[[1]] # AIC最小モデルを今後使っていく
```

```
res_future_Fcurrent <- future.vpa(res_vpa,  
  multi=1,  
  nyear=50, # 将来予測の年数  
  start.year=2011, # 将来予測の開始年  
  N=100, # 確率的計算の繰り返し回数=>実際の計算では1000~5000回くらいやってください  
  ABC.year=2019, # ABCを計算する年  
  waa.year=2015:2017, # 生物パラメータの参照年  
  maa.year=2015:2017,  
  M.year=2015:2017,  
  is.plot=TRUE, # 結果をプロットするかどうか  
  seed=1,  
  silent=FALSE,  
  recfunc=HS.recAR, # 再生産関係の関数  
  # recfuncに対する引数  
  rec.arg=list(a=SRmodel.base$pars$a,b=SRmodel.base$pars$b,  
    rho=SRmodel.base$pars$rho, # ここではrho=0なので指定しなくてもOK  
    sd=SRmodel.base$pars$sd,resid=SRmodel.base$resid))
```

# Rコマンド

## MSY管理基準値の計算

```
res_MSY <- est.MSY(res_vpa, # VPAの計算結果
```

```
    res_future_Fcurrent$input, # 将来予測で使った引数
```

```
    resid.year=0, # ARありの場合、最近何年分の残差を平均するかをここで指定する。ARありの設定を反映させたい場合必ずここを1以上とすること（とりあえず1としておいてください）。
```

```
    N=100, # 確率的計算の繰り返し回数=>実際の計算では1000~5000回くらいやってください
```

```
    calc.yieldcurve=TRUE,
```

```
    PGY=c(0.95,0.9,0.6,0.1), # 計算したいPGYレベル。上限と下限の両方が計算される
```

```
    onlylower.pgy=FALSE, # TRUEにするとPGYレベルの上限は計算しない（計算時間の節約になる）
```

```
    B0percent=c(0.2,0.3,0.4),
```

```
    Bempirical=c(round(tail(colSums(res_vpa$ssb),n=1)),
```

```
        round(max(colSums(res_vpa$ssb))),
```

```
        24000, # 現行Blimit
```

```
        SRmodel.base$pars$b) # HSの折れ点
```

```
    ) # 計算したいB0%レベル
```



# 脱線；資源評価票の「○○係数」とは

- 自然死亡係数・漁獲係数
- 死ぬ割合などを「対数」で表したもの

普通に考えられる魚のモデル

$$N_t = S_t \times N_{t-1}$$

生き残る率