

SR-01(2022)



# frasyrを用いた 再生産関係の推定:概要編

- 再生産関係とは
- 再生産関係の種類と性質
- 再生産関係の推定方法

水産研究



ANNIVERSARY



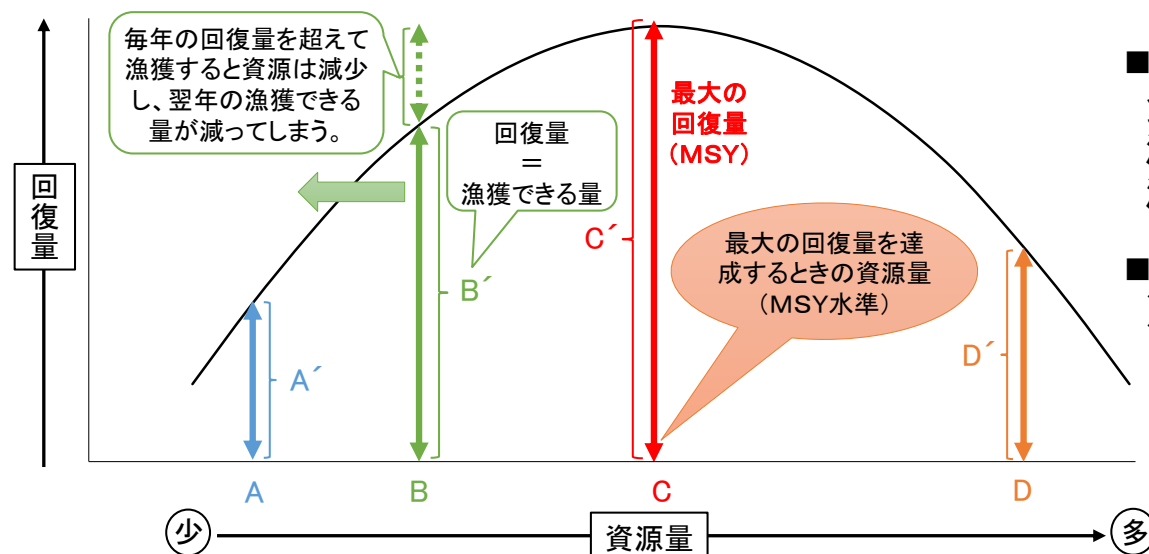
動画製作者 漁業情報解析部 資源解析グループ 福井 眞  
[shinfukui@affrc.go.jp](mailto:shinfukui@affrc.go.jp)  
[fukui\\_shin87@fra.go.jp](mailto:fukui_shin87@fra.go.jp)

# frasyrを用いた資源評価・管理計算の概要

- 漁業法改正に伴い、MSY基準の資源管理を行う(Base-01(2020)参照)
- 資源評価において、十分な時系列の年齢別漁獲尾数データや年齢別体重などの情報がある魚種については、資源量の推定にはVPAで解析(VPA-01(2020)を参照)
- MSY基準を目指した漁獲を決定するため、資源の個体群動態について将来予測を行う必要がある(Info-02(2021)参照)
- VPAの解析結果から、過去はわかるが、将来の加入について言及はない  
→ **再生産(親魚量－加入量)関係を推定して資源動態の将来予測、MSY計算を可能に**

# 密度効果のある個体群動態とMSY

- MSYは資源の**個体群動態に密度効果がある場合**に計算可能  
(Base-02(2020)参照)

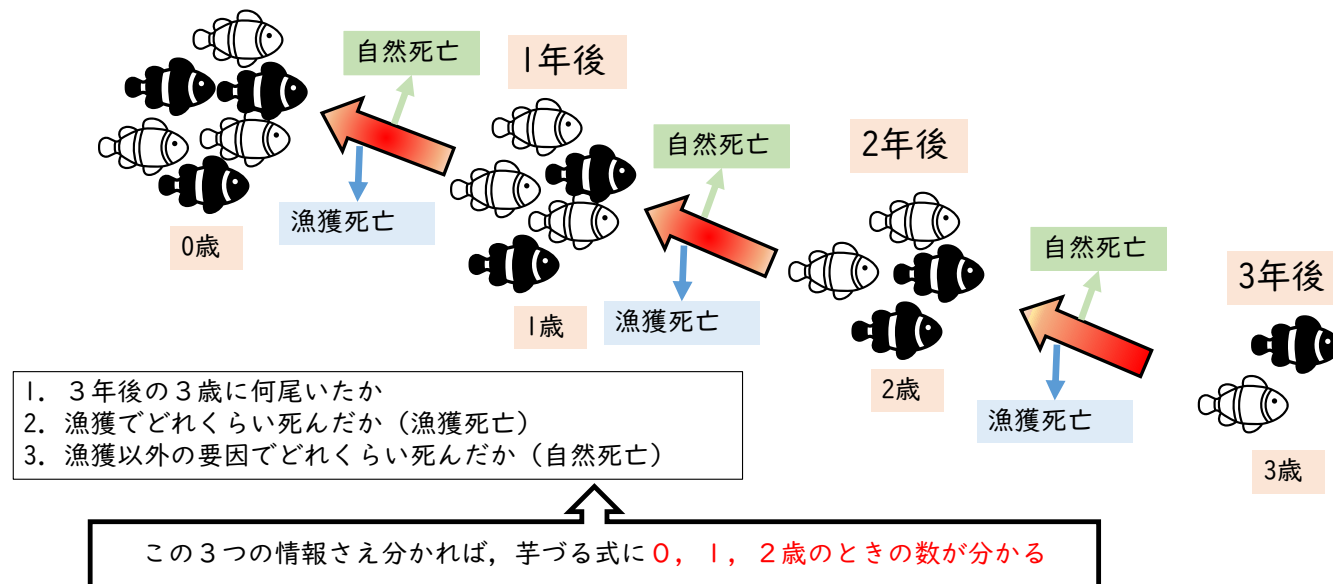


- 資源量がBのときの回復量はB'。B'で漁獲を続ければ資源量はBで維持される。B'以上に漁獲すると資源量は減少し、例えばAまで減少すれば回復力はA'に。逆に資源量がある程度以上多くても回復量は少ない。(DとD')
- 資源量がCのとき、最も回復量が大きくなり、この量(C')をMSYという。

図で見る日本の水産(令和3年 水産庁)より抜粋

# VPAでわかること

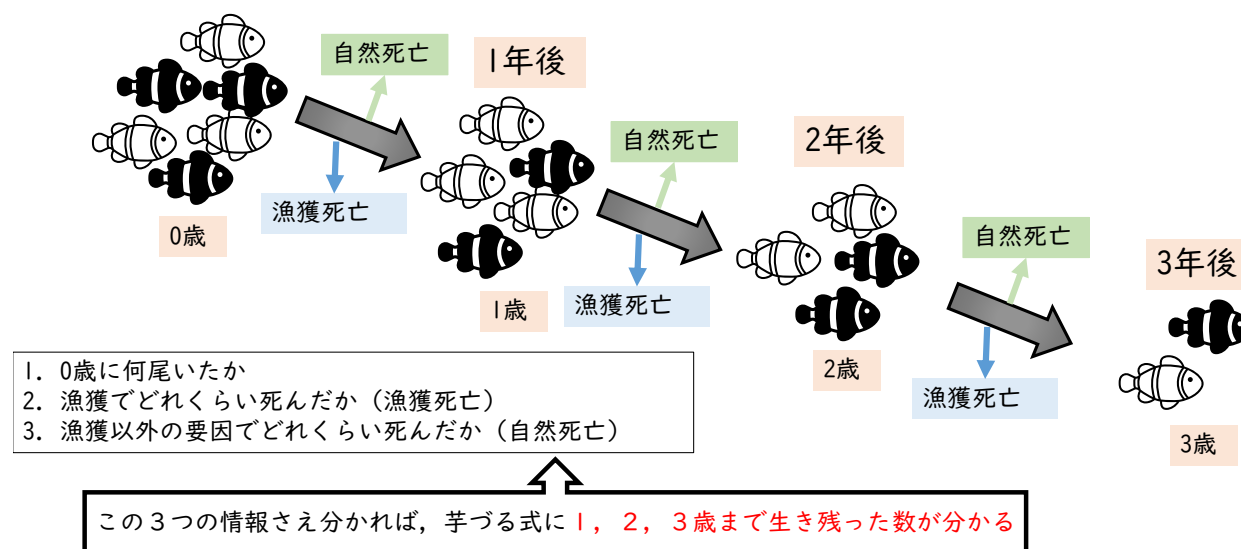
- 年齢別漁獲尾数データと漁獲係数と自然死亡係数の仮定から、過去に遡った年齢別資源尾数を推定(VPA-01(2020)参照)



- 過去の資源状態について知ることができるが、将来どうなるかは不問

# 資源動態の将来予測

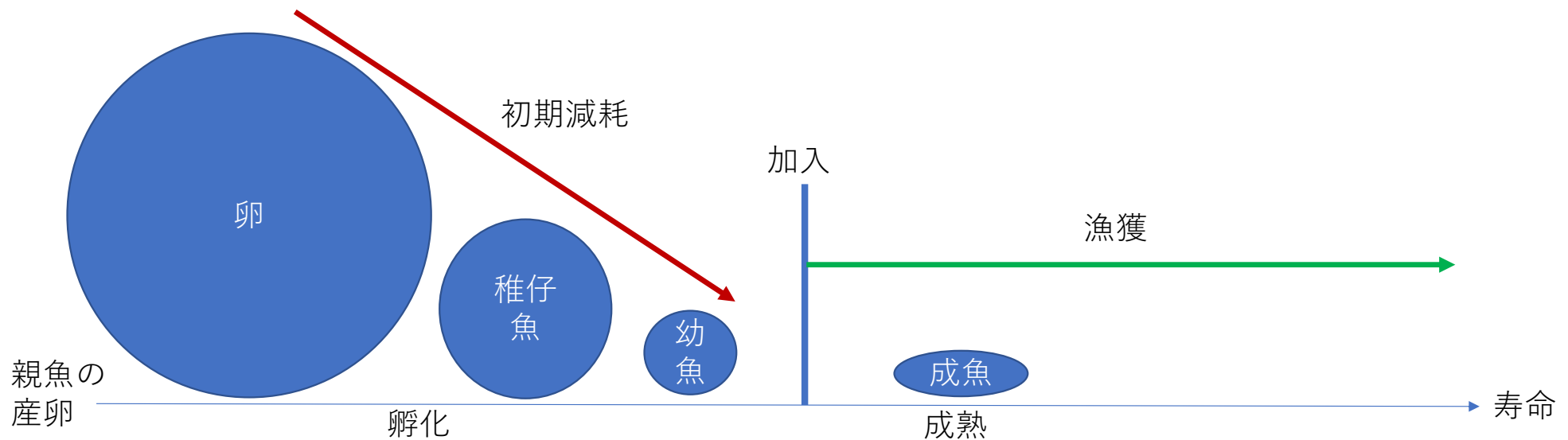
- 後進法で過去の資源状態を推定できたように、前進法で将来の資源状態を予測できる
  - 魚の一生を単純化すると…（寿命は3年とすると…）



- しかし、VPAでは加入量（上図の0歳魚）がどれくらいになるかがわからない
- 親魚資源量から加入量を予測する関係式がわかれば、資源動態予測ができる

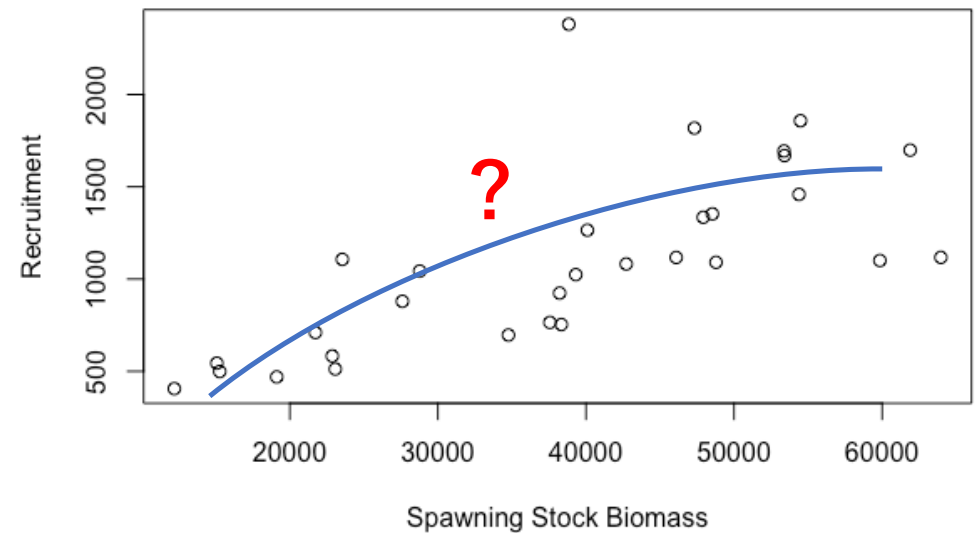
# 加入(Recruitment)とは

- 卵・仔稚魚期の初期減耗を免れて未成魚期（幼魚期）まで生残して網にかかる程度のサイズに成長して漁獲可能となった資源



# 再生産関係(Stock-Recruitment relationship)とは

- 親魚尾数(産卵親魚量Spawning Stock Biomass)に対する加入尾数(加入量 Recruitment)の親子関係を表す
- 親魚の産卵数ではなく、卵・仔稚魚期の初期減耗を免れて未成魚期(幼魚期)まで生残して資源に加わった、加入量に注目



この図の単位は親魚量(トン)

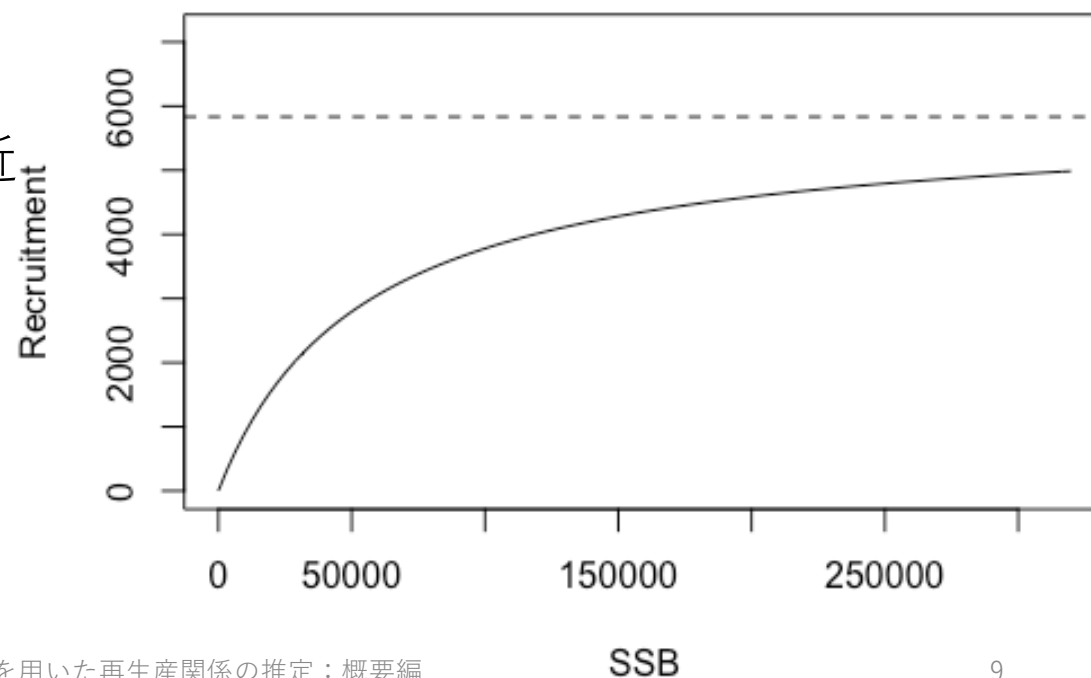
# 再生産曲線

- 資源魚種の生活史特性によってさまざまな再生産関係が考えられる
- 水産資源では明瞭な親子関係が認められない場合もしばしば
  - ベバートン ホルト型(Beverton-Holt, BH型)
    - 勝ち残り型競争
    - $R = a SSB / (1 + b SSB)$
  - リッカー型(Ricker, RI型)
    - 共倒れ型競争
    - $R = a SSB \exp(-b SSB)$
  - ホッケースティック型(Hockey-Stick, HS型)
    - 生物学的な背景はないが、ある親魚量以上で加入量が増えない
    - $R = \begin{cases} a SSB & (SSB < b) \\ a b & (SSB \geq b) \end{cases}$



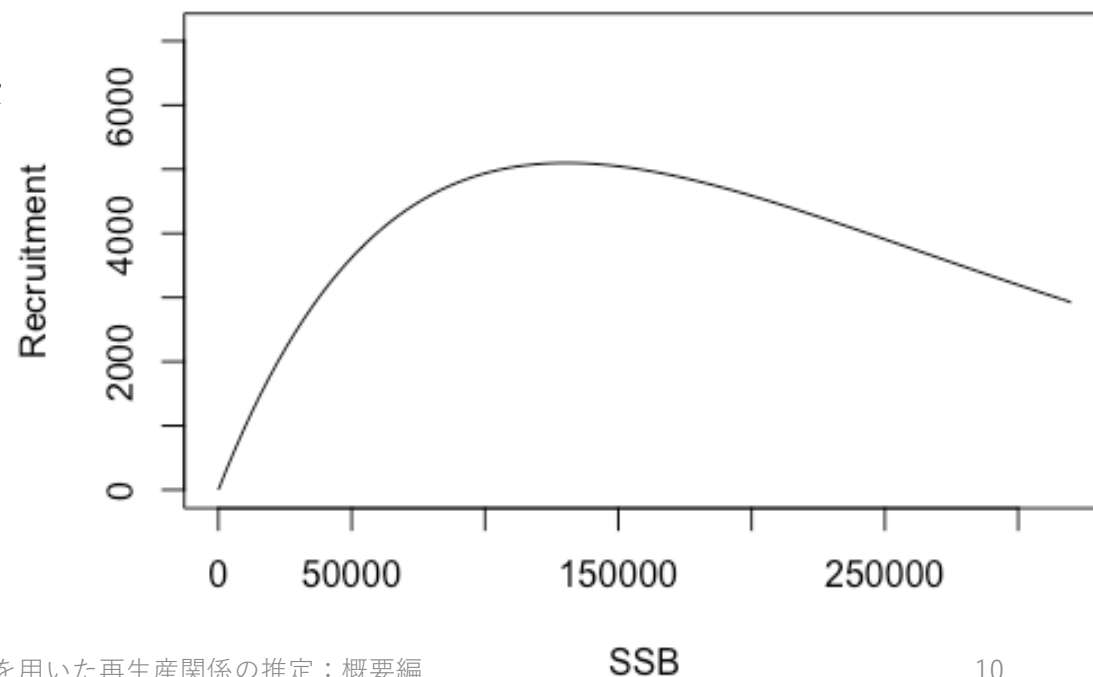
# 再生産曲線；BH

- ベバートン ホルト型(Beverton-Holt, BH型)
  - 勝ち残り（コンテスト）型競争
  - $R = a SSB / (1 + b SSB)$
  - $1 / b \gg SSB$  で傾きが  $a$
  - $SSB$  が大きくなると  $a / b$  に漸近



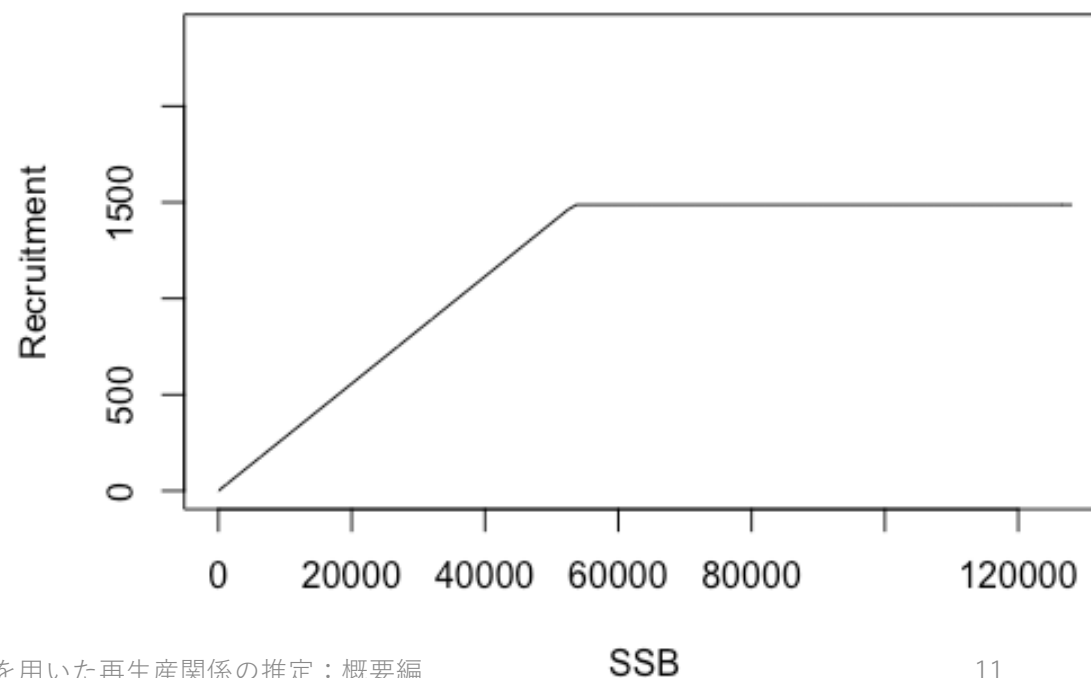
# 再生産曲線；RI

- リッカー型(Ricker, RI型)
  - 共倒れ（スクランブル）型競争
  - $R = a SSB \exp(-b SSB)$
  - $SSB$ が十分小さい時に傾きは $a$
  - $SSB = 1/b$ で $R$ が最大
  - $SSB$ が非常に大きいと $R$ は  
0に漸近



# 再生産曲線；HS

- ホッケースティック型(Hockey-Stick, HS型)
  - 生物学的な背景はないが、ある親魚量( $b$ )以上で加入量が増えず、一定であると仮定
  - $R = \begin{cases} a SSB & (SSB < b) \\ a b & (SSB \geq b) \end{cases}$

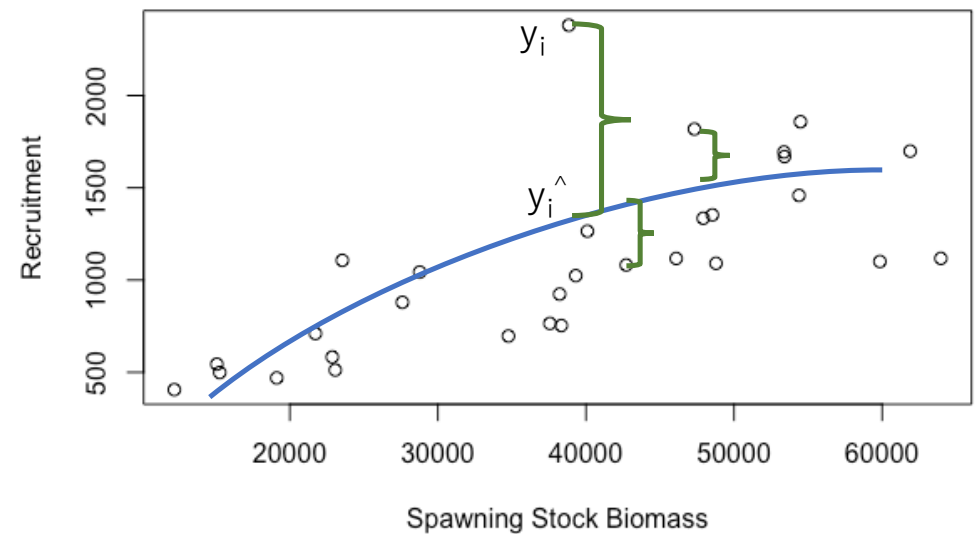


# frasyr::fit.SR/fit.SRregimeで推定

- frasyr では
    - BH,RI,HSのSR関係へのフィッティング [ $a$ ,  $b$ の推定]
    - 残差の計算方法選択 (L1:絶対最小法、L2:最小二乗法) [ $sd$  の推定]
    - 残差に自己相関がある・なしの選択 [ $\rho$ の推定]
    - レジームシフトが明瞭な場合のSR関係の場合わけ
- を考慮して親子関係を推定する関数 fit.SR/fit.SRregimeを実装

# SR関係へのフィッティング

- 再生産関係モデルによる予測値 $y_i^{\wedge}$ と観測データ $y_i$ との差を小さくする
- frasyrにおいて再生産関係モデルのフィッティングは  
 $\log y_i^{\wedge}$ と $\log y_i$ の残差 $\varepsilon_i$ の和を最小化する
- SRの種類(BH/RI/HS)に応じて $a, b$ を推定

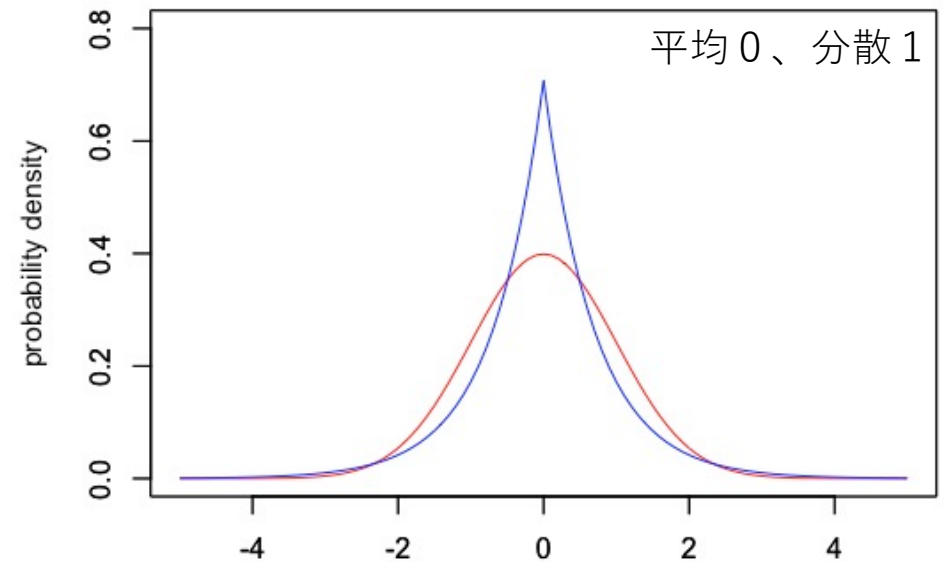


# 残差の計算方法選択

- frasyrのSR関係推定では残差の最小化に2つの方法
- 最小二乗法；残差平方和（ $\sum \varepsilon_i^2$ ）を最小にし、  
 $\varepsilon_i$ は正規分布に従う(対数尤度は正規分布から算出)
- 絶対最小法；残差の絶対値の和（ $\sum |\varepsilon_i|$ ）を最小にし、  
 $\varepsilon_i$ はラプラス分布に従う(対数尤度はラプラス分布から算出)
- 残差の最小化で推定誤差 $sd$ が算出

# 正規分布／ラプラス分布

- 正規分布
  - 平均  $\mu$ 、分散  $\sigma^2$  として
  - $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$
- ラプラス分布
  - 平均  $\mu$ 、分散  $2b^2$  として
  - $f(x) = \frac{1}{2b} \exp\left(-\frac{|x-\mu|}{b}\right)$
- ラプラス分布の方が平均値近辺確率密度が高く、かつ、やや裾が厚い  
→ 残差が大きくなるケースの確率が高め



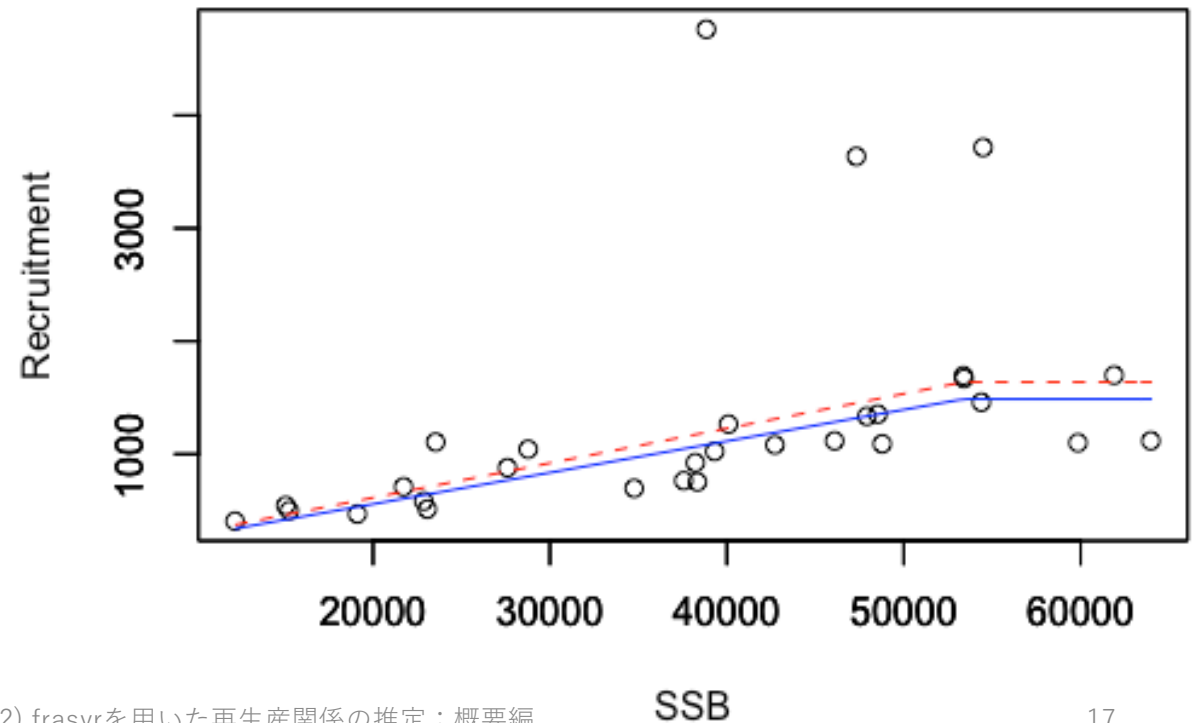
# 加入量変動とレジームシフト

- 著しい加入量変動がしばしばみられ、卓越年級群と呼ばれる加入量が極端に多い年級群が出現  
→再生産関係の推定は大きい残差をもつ加入に引っ張られる？
- 生育環境など環境変化は産卵や初期減耗に強く影響して仔稚魚期の生残率が変化
- 生育環境の変動は複数年にわたって影響することもある  
→再生産関係推定の際の残差に時間的な相関があると仮定
- 親子関係がある期間の年級群で明らかに異なる挙動を示す場合  
→レジームシフトがあるとして、異なる再生産関係を仮定



# HSでフィッティング

- **絶対最小法(L1)**と**最小二乗法(L2)**  
でHSの再生産関係にフィッティング  
させた例
- 赤線の方がRが大きい値に  
引きずられる



# 加入量変動とレジームシフト

- 著しい加入量変動がしばしばみられ、卓越年級群と呼ばれる加入量が極端に多い年級群が出現  
→再生産関係の推定は卓越年級群の加入に引っ張られる？
- 生育環境など環境変化は産卵や初期減耗に強く影響して仔稚魚期の生残率が変化
- 生育環境の変動は複数年にわたって影響することもある  
→再生産関係推定の際の残差に時間的な相関があると仮定
- 親子関係がある期間の年級群で明らかに異なる挙動を示す場合  
→レジームシフトがあるとして、異なる再生産関係を仮定

# 自己相関

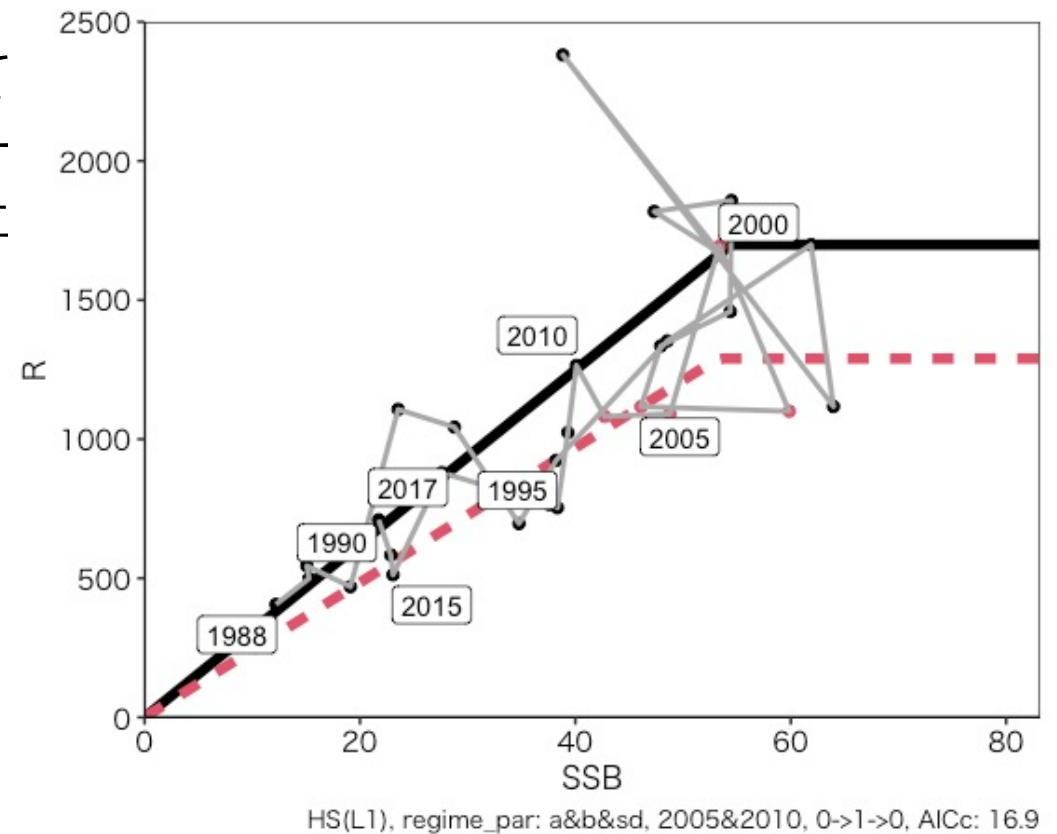
- ある年 $t$ の残差  $\varepsilon_t$  は前年( $t-1$ 年)の残差  $\varepsilon_{t-1}$  と似通っている、という仮定を置いた場合、以下のように表せる
  - $\varepsilon_t = \rho\varepsilon_{t-1} + \xi_t$
  - $\xi_t \sim \text{Normal}(0, (1 - \rho^2)\sigma^2)$
  - $\sigma$  は「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート(FRA-SA-2022-ABCWG02-04)」を参照
- 自己相関係数を  $\rho$  として、前年の残差に比例した成分と、独立して正規分布に従う  $\xi$  の和で残差が表現される
- 再生産関係式(BH,RI,HS)のパラメータ $a, b$ を推定したのち、残差についてから上記の自己回帰モデルの自己回帰係数 $\rho$ を推定する（二段階推定）
- 上記と異なり $a, b, \rho$ を同時に推定する(同時推定)方法もある

# 加入量変動とレジームシフト

- 著しい加入量変動がしばしばみられ、卓越年級群と呼ばれる加入量が極端に多い年級群が出現  
→再生産関係の推定は卓越年級群の加入に引っ張られる？
- 生育環境など環境変化は産卵や初期減耗に強く影響して仔稚魚期の生残率が変化
- 生育環境の変動は複数年にわたって影響することもある  
→再生産関係推定の際の残差に時間的な相関があると仮定
- 親子関係がある期間の年級群で明らかに異なる挙動を示す場合  
→レジームシフトがあるとして、異なる再生産関係を仮定

# レジームシフト

- 同じ系群の再生産関係に対して年級群によって異なるパラメータを推定することで、2つ以上の再生産関係を推定



# SR関係の推定

水産研究



- frasyr では
  - BH,RI,HSのSR関係へのフィッティング
  - 残差の計算方法選択（L1:絶対最小誤差、L2:最小二乗誤差）
  - 残差に自己相関がある・なしの選択
  - レジームシフトが明瞭な場合のSR関係の場合わけを考慮して親子関係を推定する関数 fit.SR/fit.SRregimeを実装
- 次回「frasyrを用いた再生産関係の推定:実践編 SR-02(2022)」ではfrasyrを使って再生産関係の推定を実践
- お疲れ様でした！