

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

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
fukui_shin87@fra.go.jp

frasyrを用いた資源評価計算の概要

- 漁業法改正により、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の解析結果は資源動態の加入についてなにも言及はない
→再生産関係を推定して資源動態を前進可能に

個体群動態と密度効果

- 基本的な個体群動態の表現として指数増殖がある
- 密度効果を含む簡単な個体群動態の表現としてロジスティック方程式がある
 - ある年 t の資源量(ここでは齢構成を考えない)を N_t とすると翌年 $t+1$ は
$$N_{t+1} = r N_t (1 - N_t / K)$$
 - と表現できる (r は内的自然増加率、 K を環境収容力)
 - 時間経過とともに資源量は K に収束

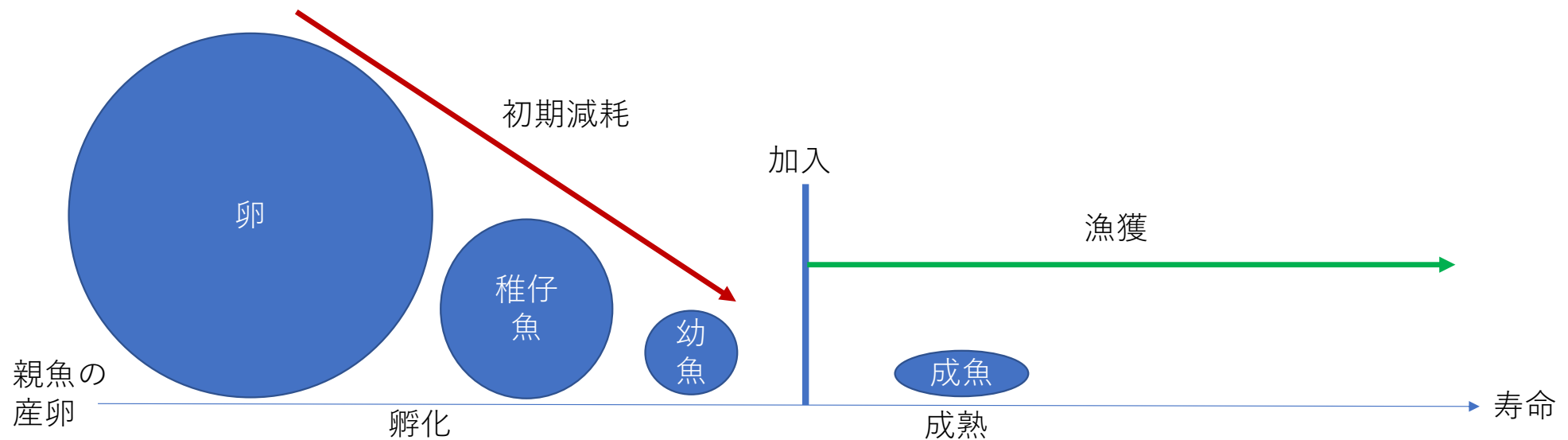
簡単な資源動態

- 基本的な資源動態の表現として、ラッセルの方程式がある
 - ある年 t の資源量(ここでは齢構成を考えない)を B_t とすると
$$B_{t+1} - B_t = (R + G) - (D + Y)$$
 - と表現できる (R は加入、 G は成長、 D は自然死亡、 Y は漁獲)
 - 資源移出入を考えない、閉じた一つの系群を仮定
- VPAでわかる情報
 - VPAでは $t+1$ 年の年齢別資源から t 年にどれだけ資源があったかの推定
 - 齢 a 歳のものが $a+1$ 歳に残ってどれだけ資源が成長(G)したか
 - 漁獲 Y はVPAで基本となる情報
 - 自然死亡 D は仮定しているが、既知とする

→ 加入 R がわからない

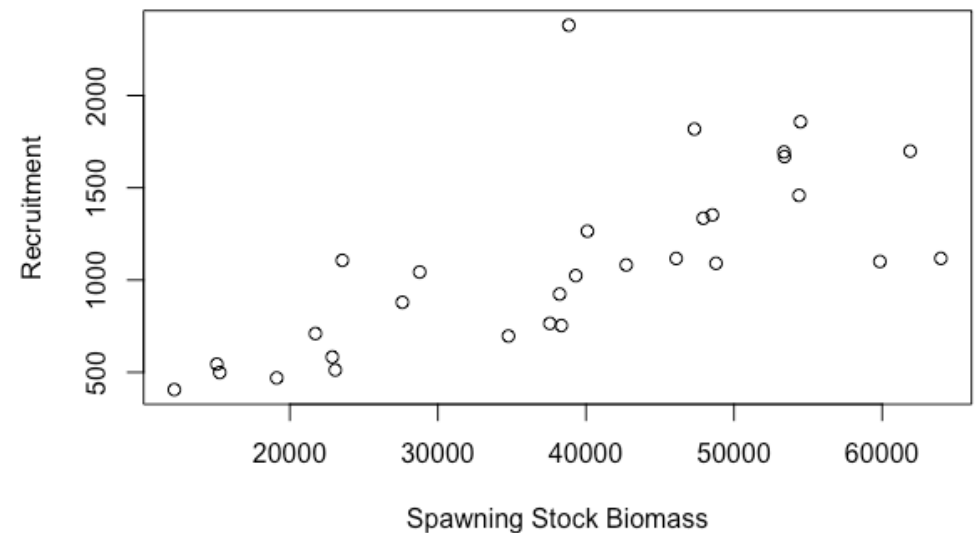
加入(Recruitment)とは

- 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

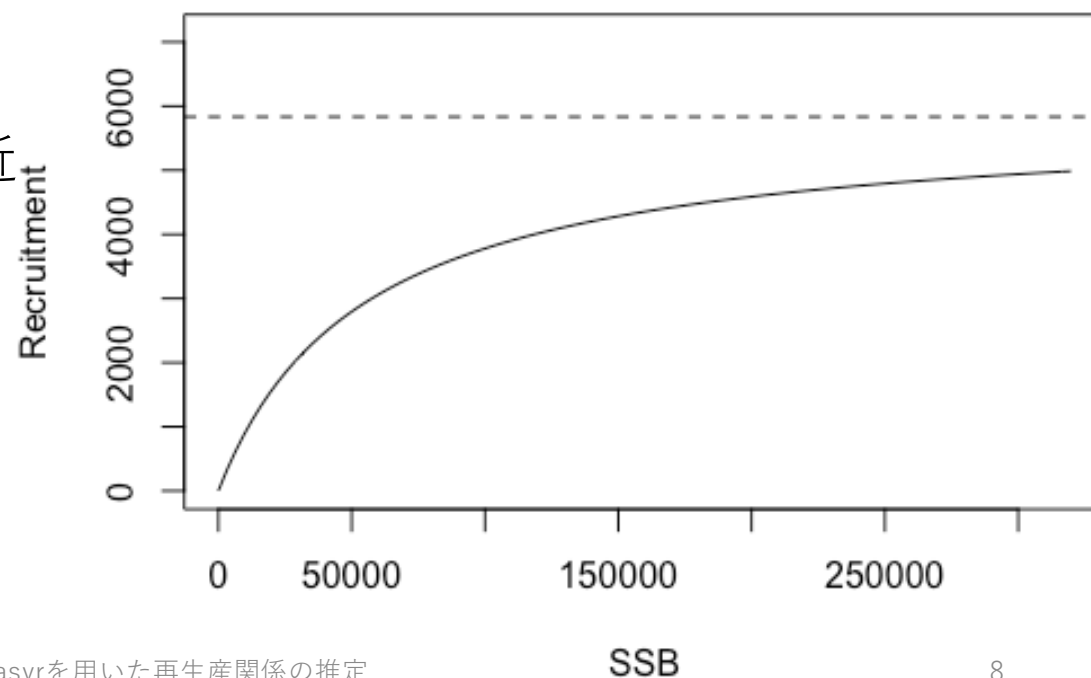


再生産曲線

- 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
 - $R = \begin{cases} a SSB & (SSB < b) \\ a b & (SSB \geq b) \end{cases}$

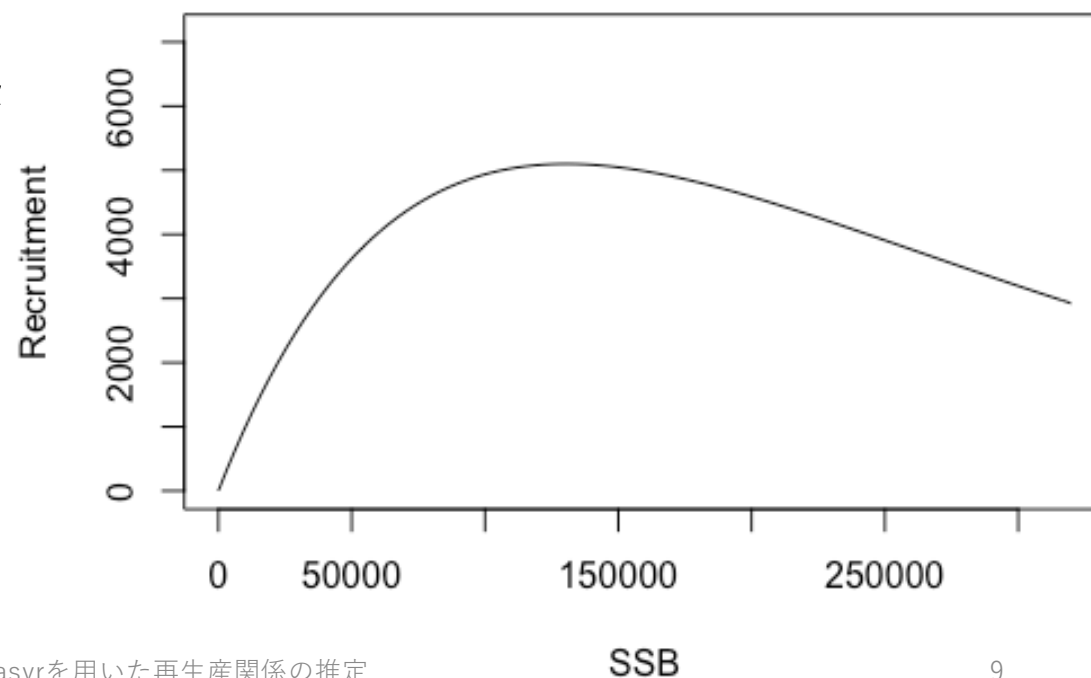
再生産曲線；BH

- 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



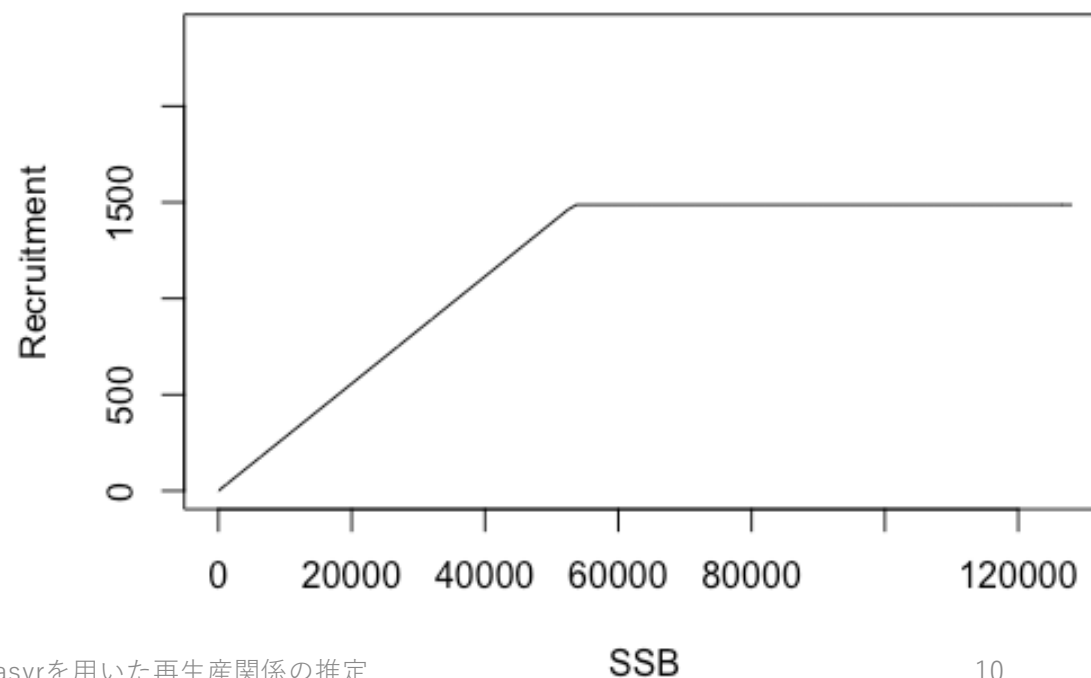
再生産曲線；RI

- 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
 - $R = \begin{cases} a SSB & (SSB < b) \\ a b & (SSB \geq b) \end{cases}$



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
- 明らかに親子関係がある期間の年級群で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

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
 - 残差の計算方法選択（L1:絶対最小法、L2:最小二乗法）
 - 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が用意
- 次回動画でfit.SRを使った再生産関係の推定について実践

絶対最小法／最小二乗法

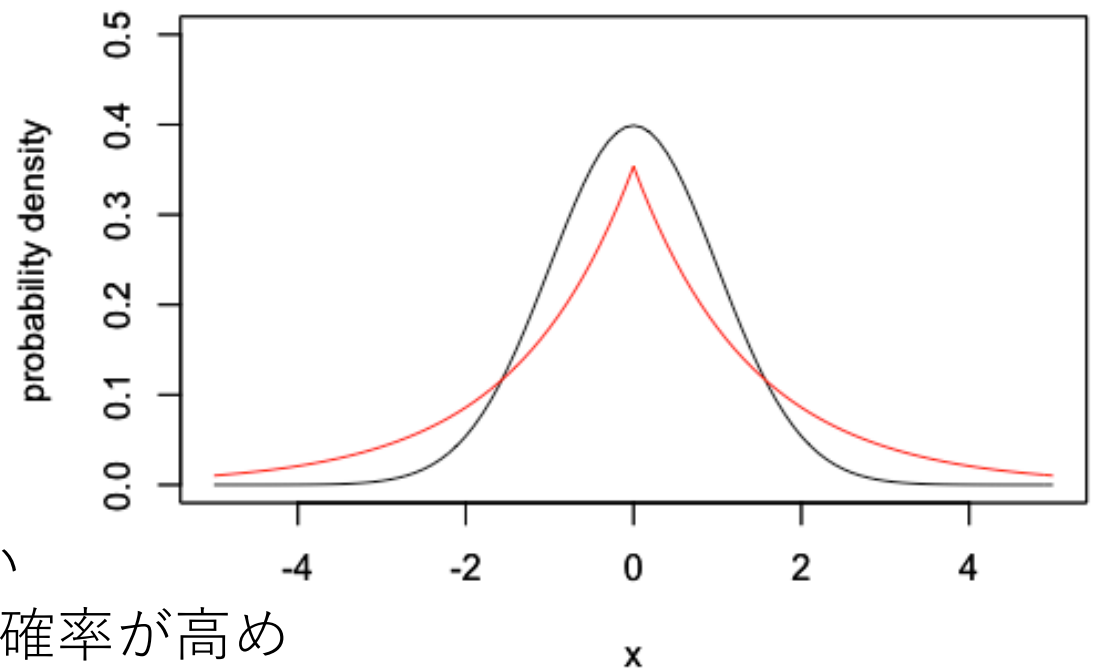
- 再生産関係モデルによる予測値 y_i^{\wedge} と観測データ y_i との差の評価方法
 - frasyrの再生産関係モデルのフィッティングでは $\log y_i^{\wedge}$ と $\log y_i$ の残差 ε_i の和を最小化
- 最小二乗法；残差平方和（ $\sum \varepsilon_i^2$ ）を最小にし、
 ε_i は正規分布に従う（対数尤度は正規分布から算出）
 - 線形回帰モデルでのデータフィッティング方法に同じ（R-14(2021)を参照）
- 絶対最小法；残差の絶対値の和（ $\sum |\varepsilon_i|$ ）を最小にし、
 ε_i はラプラス分布に従う（対数尤度はラプラス分布から算出）
 - 尤度の計算は（R-18(2021)を参照）

正規分布／ラプラス分布

- 正規分布
 - 平均 μ 、分散 σ^2 として
 - $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$

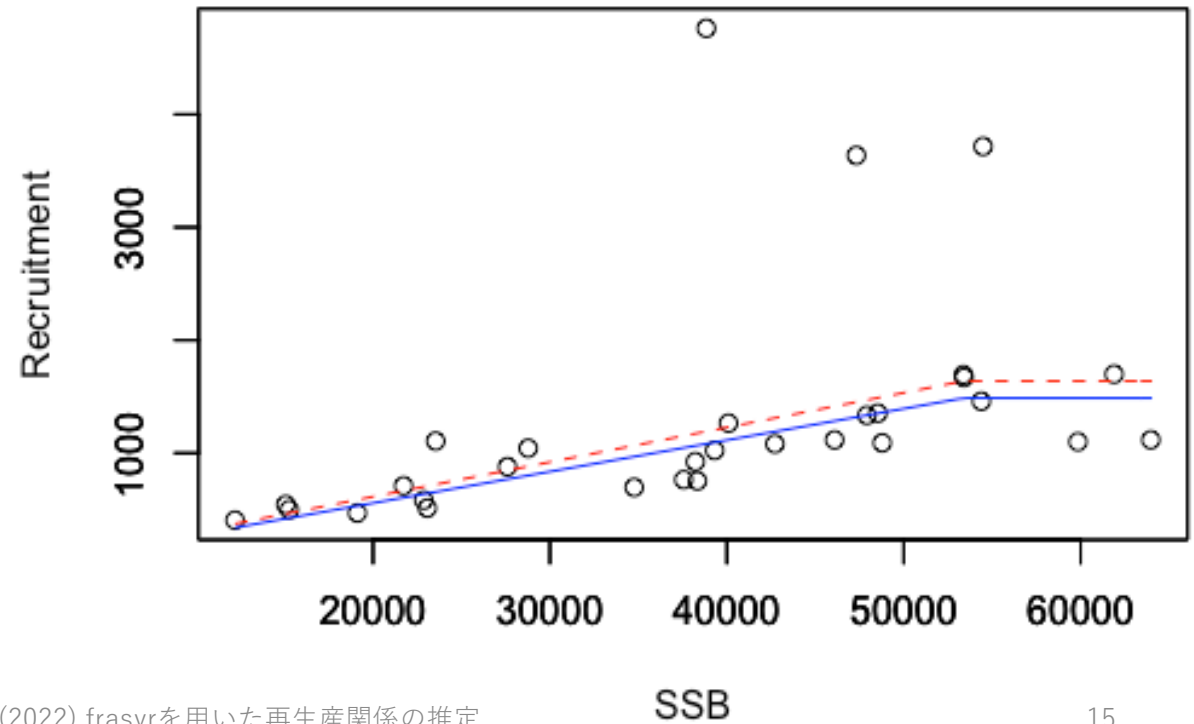
- ラプラス分布
 - 平均 μ 、分散 $2b^2$ として
 - $f(x) = \frac{1}{2b} \exp\left(-\frac{|x-\mu|}{b}\right)$

- ラプラス分布の方が裾が厚い
 - 残差が大きくなるケースの確率が高め
 - 外れ値に引きずられ難い



HSでフィッティング

- 絶対最小(L1)法(青)と最小二乗(L2)法(赤)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



自己相関

- ある年 t の残差 ε_t は前年($t-1$ 年)の残差 ε_{t-1} と似通っている、
という仮定を置いた場合、以下
 - $\varepsilon_t = \rho\varepsilon_{t-1} + \xi_t$
 - $\xi_t \sim \text{Normal}(0, (1 - \rho^2)\sigma^2)$
- 自己相関係数を ρ 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 ξ の和で残差が表現される

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
 - 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を用意
- 次回、fit.SRを使った再生産関係の推定について実践