Ridge-VPAの概要

- VPAのおさらい
- Ridge-VPAとは
- 正則化の程度・種類の決め方
- 実際の資源での適用例

国立研究開発法人
水産研究・教育機構

動画作成者　漁業情報解析部　宮川光代
(miyagawa_mitsuyo88@fra.go.jp)

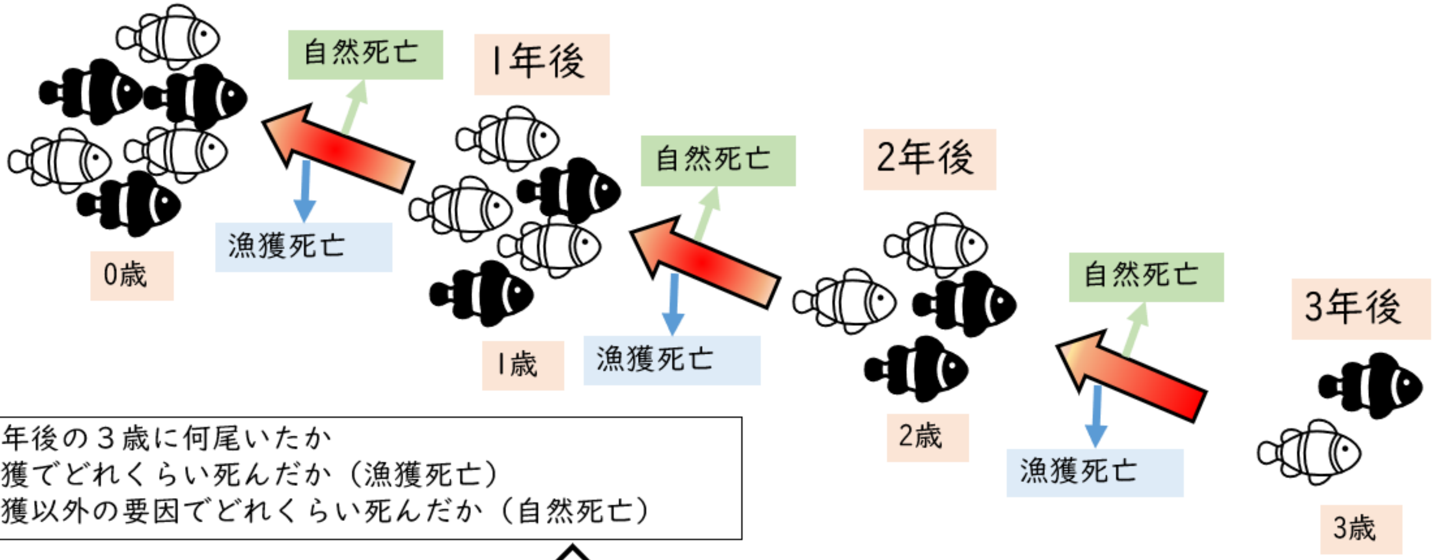
VPAの復習

動画VPA-01『frasyrを用いたVPA概要編』より

- Virtual Population Analysisの略
- 日本語ではコホート解析
- 年齢別漁獲尾数の値から，後進法などを用いて，年齢別資源尾数を計算

VPAの原理の説明（後進法）

- 逆にたどると…



1. ３年後の３歳に何尾いたか
2. 漁獲でどれくらい死んだか（漁獲死亡）
3. 漁獲以外の要因でどれくらい死んだか（自然死亡）

この３つの情報さえ分かれば，芋づる式に０，１，２歳のときの数が分かる

VPAの復習

動画VPA-01『frasyrを用いたVPA概要編』より

VPAの原理の説明

実際には，最終年最高年齢の資源尾数を与えるよりは，漁獲係数（漁獲を死亡原因とした資源量の減少率の大きさを表す係数）を仮定する場合が多い

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳										?
1歳										?
2歳										?
3歳	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

上の表の色あり部分（最高齢＋最終年の漁獲係数）＋自然死亡係数＋漁獲尾数が分かれば，下表のように芋づる式に年別年齢別資源尾数が計算できる！

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
1歳	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
2歳	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
3歳	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

VPAの復習

動画VPA-01『frasyrを用いたVPA概要編』より

VPAの原理の説明

色掛け部分の最高齢最終年の漁獲係数（ターミナルFと呼ぶ）はどのようにもとめるのか？

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳										?
1歳										?
2歳										?
3歳	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

もっともらしい値を仮定する（この辺り，勘と経験と思い切りの良さが必要！）　（平松，1999）

多くの場合は，

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳										?
1歳										?
2歳	同じ	同じ	同じ	同じ	同じ	同じ	同じ	同じ	同じ	同じ
3歳										

よって，最近年の漁獲係数のみを仮定すればよい　**Fの仮定Ⅰ**

VPAの復習

動画VPA-01『frasyrを用いたVPA概要編』より

ターミナルFの様々な計算方法

1. ターミナルFは過去X年の漁獲係数の平均に等しいと仮定

- **チューニングなしVPA**

2. ターミナルFは過去X年の選択率の平均に等しいと仮定

- **二段階法**
  ① 一度チューニングなしVPAを行う
  ② その後，年別年齢別選択率を計算する
  ③ ターミナルFは過去X年の選択率の平均に等しいとして再度ターミナルFを推定する

- **選択率更新法**
  選択率一定の仮定を最初からおいて中で繰り返し計算でターミナルFをもとめる

3. ターミナルFを齢別に全て推定する

- **全F推定法**
- **リッジVPA法**（レトロスペクティブバイアスが小さくなるように，尤度へのペナルティーの相対的な貢献度を選び，ターミナルFを推定する．通常全F推定法のときに用いられるが，選択率更新法でも適用可能）

チューニングVPA

年齢別漁獲尾数以外に資源量指標値や努力量の情報が得られている場合に，これらを利用してターミナルFを推定

リッジVPA (Ridge virtual population analysis)

ICES Journal of
Marine Science

ICES International Council for the Exploration of the Sea
CIEM Conseil International pour l'Exploration de la Mer

ICES Journal of Marine Science (2017), 74(9), 2427–2436. doi:10.1093/icesjms/fsx089

Original Article

Ridge virtual population analysis to reduce the instability of fishing mortalities in the terminal year

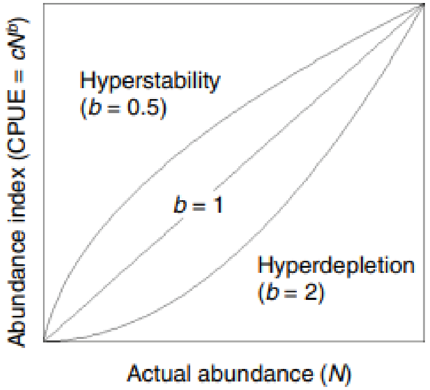
Hiroshi Okamura[1,*], Yuuho Yamashita[2], and Momoko Ichinokawa[1]

当機構所属の岡村寛さん、山下夕帆さん、市野川桃子さんらが開発した手法

チューニングVPAにおけるターミナルF推定の問題

よくある状況

- チューニングに用いる資源量指数が一部の年齢群のものしかない
- 年齢別の資源量指数がない
- 資源量と資源量指数は非線形の関係にある
  (b<1ときhyperstability, b>1ときhyperdepletion)



Fig,1 of Hashimoto et al. 2019

動画VPA-08 『実データを用いたfrasyrによるVPA解析③：資源量ー資源量指標値間の非線形性と全F推定』参照

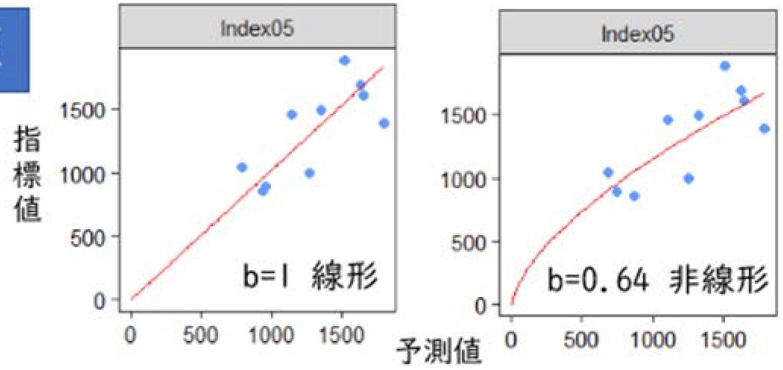
あるターミナルFの下でVPAから計算される資源尾数

非線形の項

$$\log(I) = \log(q \cdot N^{b}) + \varepsilon$$

資源量指標値

比例定数



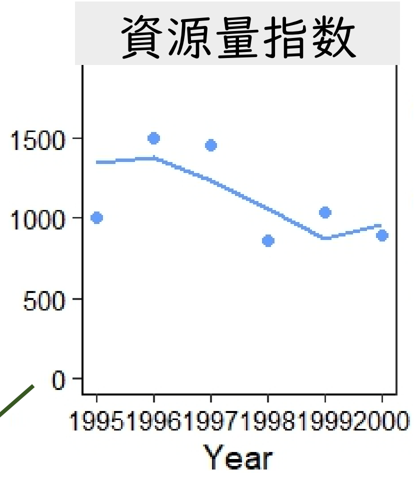
動画VPA-01『frasyrを用いたVPA概要編』より

チューニングVPAにおけるターミナルF推定の問題

R初心者講習　第16回を参照

生じる問題

- 年齢別の選択率の情報が不足し、資源量指数や漁獲尾数（データ）への過適合がおきてしまい、ターミナルFの推定が不安定になってしまう
→非線形パラメータbの推定不可



通常のあてはまり

過適合

※VPAは後進法に基づくものであり、その1年先の関係には何も制約をおいていない

過適合への対処法

R初心者講習　第32回を参照

正則化（regularization）

- 過適合することに罰則(penalty)を設ける手法

→　最小にすべき負の対数尤度にペナルティ項を加える

おさらい：正則化抜きの負の対数尤度

K:調査の数、I:資源量指数、q:比例定数、N：VPAから推定される資源量、σ：資源量指数の分散

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{y=1}^{Y}\left[\log(\sigma_k)+\frac{\left(I_{k,y}-\log\left(q_k N_y\right)\right)^2}{2\sigma_k^2}\right]$$

←の負の対数尤度を最小にするようにターミナルFを決める

新：正則化ありの負の対数尤度

ペナルティー項

$$(\mathbf{1}-\boldsymbol{\lambda})\sum_{k=1}^{K}\sum_{y=1}^{Y}\left[\log(\sigma_k)+\frac{\left(I_{k,y}-\log\left(q_k N_y\right)\right)^2}{2\sigma_k^2}\right]+\boldsymbol{\lambda}\sum_{\boldsymbol{a}=\mathbf{1}}^{\boldsymbol{A}}\left|\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{a},\boldsymbol{Y}}\right|^{\boldsymbol{\beta}}$$

正則化ありの負の対数尤度におけるペナルティー項

新：正則化ありの負の対数尤度

a歳のターミナルF

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

正則化の種類（β=1のときはラッソ回帰(L1ノルム)、
β=2のときはリッジ回帰（L2ノルム）と呼ぶ）

正則化の程度をコントロールするパラメータ
0≦λ≦1

- λ=0のときは、正則化なしの負の対数尤度と同じ
- λが1に近づくほどペナルティーの効果大

質問2: βは1と2どちらを使えばいいの？

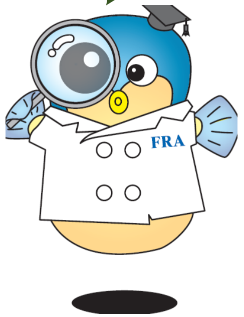
質問1: λの大きさはどのように決めればよいの？

質問１：正則化の程度（λ）はどう決めるのか？

答え：レトロスペクティブバイアスが小さくなるようなλを選択する

資源管理研修動画
VPA-04（2020）
を参照

レトロスペク
ティブバイアス
はどうやって
計算するの？



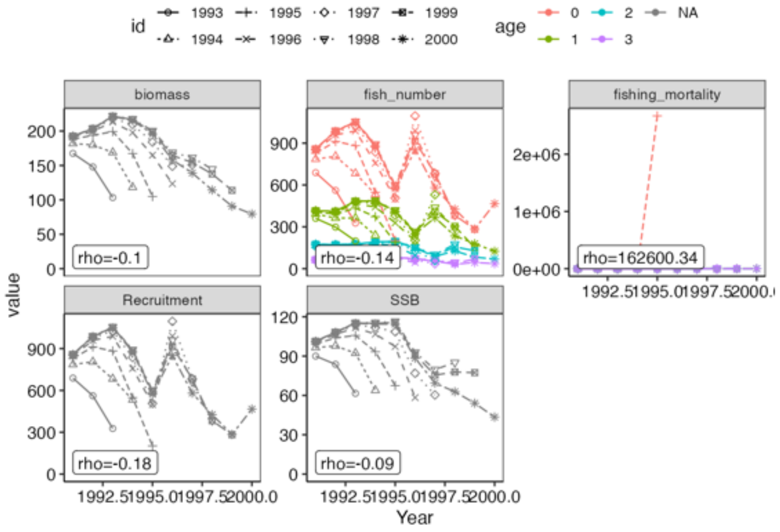
おさらい

モデル診断の種類②
ーレトロスペクティブ解析

予測性能の確認

- 最近年からデータを1年ずつ抜いて解析

レトロスペクティブパターン**大**
⇒推定値に**バイアス**がある
⇒推定値の**修正の度合が大**
⇒**予測精度が低い**



復習：レトロスペクティブバイアスの計り方

おさらい:Mohn’s rho(モーンズロー) $\boldsymbol{\rho}$

資源管理研修動画
VPA-06（2021）
を参照

i年分のデータを除去したときのターミナル年の推定値

$$\boldsymbol{\rho} = \frac{1}{P}\sum_{i=1}^{P}\left(\frac{\hat{\theta}_{Y-i}^{R_i} - \hat{\theta}_{Y-i}}{\hat{\theta}_{Y-i}}\right)$$

データを除去する年数

Y-i年におけるフルモデル（全年数分のデータを用いたモデル）の推定値

ρが正：資源量はデータ（年）が増えていくにつれ下方修正の傾向（＝現在は過大推定の可能性）
ρが負：資源量はデータ（年）が増えていくにつれ上方修正の傾向（＝現在は過小推定の可能性）

Ridge VPA:レトロスペクティブバイアスが小さくなるようなλを選択する

λの具体的な探索方法は資源管理研修動画VPA-11（2023）を参照

ターミナル年のFの推定値が安定＆レトロバイアスが小さくなる

正則化ありの負の対数尤度におけるペナルティー項

新：正則化ありの負の対数尤度

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

a歳のターミナルF

正則化の種類（β=2のときはリッジ回帰（L2ノルム）、1のときはラッソ回帰(L1ノルム)と呼ぶ)

正則化の程度をコントロールするパラメータ
0≦λ≦1

- λ=0のときは、正則化なしの負の対数尤度と同じ
- λが1に近づくほどペナルティーの効果大

質問2: βは1と2どちらを使えばいいの？

こちら

質問1: λの大きさはどのように決めればよいの？

解決◎

質問２：正則化の種類（β）はどう決めるのか？

新：正則化ありの負の対数尤度

正則化の種類（β=2のときはリッジ回帰（L2ノルム）、1のときはラッソ回帰(L1ノルム)と呼ぶ)

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

R初心者講習　第32回を参照

ラッソ回帰（β＝１）：ペナルティー項が回帰係数（この例ではターミナルF）の絶対値の和
→傾向：回帰係数の大きさを小さくするのではなく、説明変数の数自体を減らす（回帰係数を0にする）ような選択がなされる

リッジ回帰（β＝２）：ペナルティー項が回帰係数（この場合はターミナルF）の二乗和
→傾向：回帰係数の大きさを小さくする傾向にある

通常β=2(リッジ) を使用（ターミナルFは0に設定する必要ないため）

目的に応じてβ=1も可能（例）ターミナル年の選択率は過去数年の選択率の平均に等しいという強い仮定を置く場合など

$$+\lambda\sum_{a=1}^{A}\left|S_{a,Y}-(\mathbf{1}/n)\sum_{y=Y-n}^{Y-1}S_{a,y}\right|^{\mathbf{1}}$$

資源評価でリッジVPAを使用している系群例その1

系群名	ペナルティー項（λのみ）
マサバ太平洋	$(1-\lambda)\sum_{k=1}^{4}\sum_{y}\left[\frac{\ln(2\pi\sigma_k^2)}{2}+\frac{\{\ln(I_{k,y})-\ln(q_k X_{k,y}^{b_k})\}^2}{2\sigma_k^2}\right]+\lambda\sum_{a=0}^{5}F_{a,2021}^2$
マサバ対馬	$(1-\lambda)\ln L+\lambda\sum_{a=0}^{2}\left(\hat{F}_{a,(Y-4,Y-1)}-F_{a,Y}\right)^2$
ゴマサバ東シナ海	$(1-\lambda)\ln L+\lambda\sum_{a=0}^{2}{F_{a,Y}}^2$
スケトウダラ日本海北部	$(1-\lambda)\times\sum_k\sum_y\left[W_k\times[\ln(I_{k,y})-\ln(q_k {N_y}^{b_k})]^2\right]+\lambda\times\sum_{a=2}^{9}(F_{a,Y})^2$
カタクチイワシ太平洋	$(1-\lambda)\sum_{k=1}^{p}\sum_{t}\left[\frac{\{\ln(I_{k,t})-\ln(q_k X_{k,t}^{b_k})\}^2}{2\sigma_k^2}-\ln(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_k})\right]+\lambda\sum_{a=0}^{2}\left(F_{a,2021}-\frac{1}{3}\sum_{t=2019}^{2021}\hat{F}_{a,t}\right)^2$
カタクチイワシ瀬戸内海	$(1-\lambda)\times RSS+\lambda\times\left(F_{1,t}\right)^2$

資源評価でリッジVPAを使用している系群例その2

系群名	ペナルティー項（λとη）
マイワシ太平洋	$(1-\lambda)\sum_{k=1}^{3}\sum_{y}\left[\ln(I_{k,y})-\ln(q_k X_{k,y}^{b_k})\right]^2+\lambda\left[(1-\eta)\sum_{a=1}^{4}F_{a,2021}^2+\eta F_{0,2021}^2\right]$
スケトウダラ太平洋	$(1-\lambda)\mathrm{lnL}+\alpha\lambda\left[(1-\eta)\sum_{a=4}^{9}F_{a,Y}^2+\eta F_{3,Y}^2\right]$

マイワシ太平洋：親魚量のレトロバイアスを小さくすると、加入量のレトロバイアスが大きくなるというトレードオフ

（解決策）→ペナルティに対する重みを1歳以上（λ）と0歳魚（η）で変えた

スケトウ太平洋：3歳のFのレトロバイアスが特に強い

（解決策）→ペナルティに対する重みを4歳以上（λ）と3歳魚（η）で変えた

資源評価でリッジVPAを使用している系群例その3

系群名	ペナルティー項（β）
ホッケ道北	$\sum_{i=1}^{2} \beta_i \times 0.5 n_i \{\log(2\pi) + \log(\sigma_i^2) - 1\} + W_s \times SelCon$

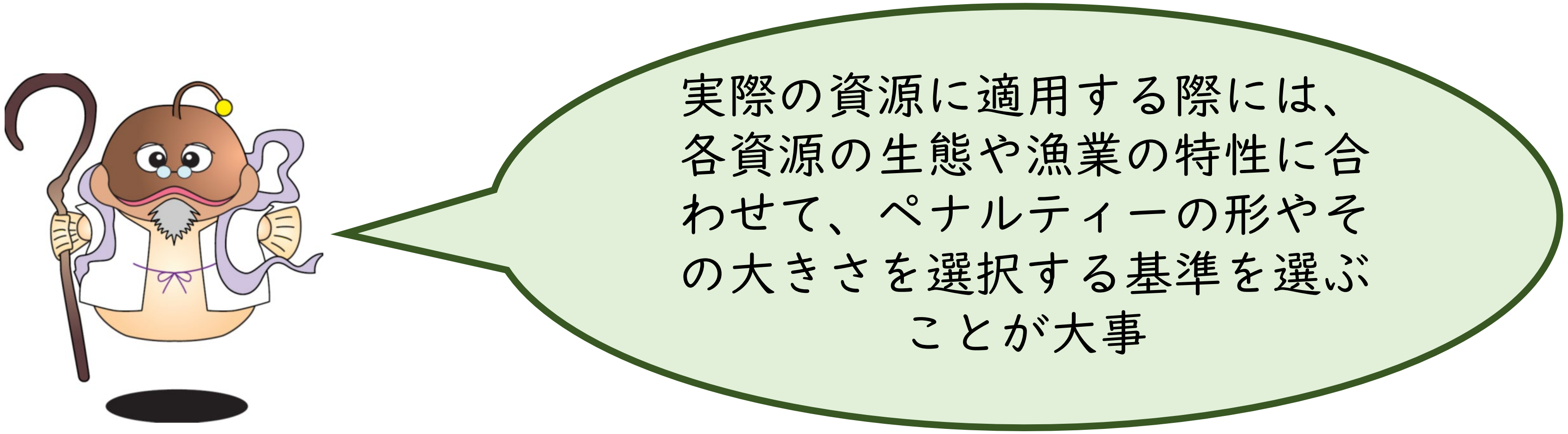
ターミナルFのペナルティーではなく、資源量指数の重み（β$_i$は指数間で重みを調整するパラメータ）をペナルティーとして、モーンズρを最小化するように決定

系群名	λ選択の際にモーンズρ以外の基準の利用
スケトウダラ日本海北部	年齢組成が多く、将来予測を行うには、各年齢のF値をもとにした年齢別選択率が重要となるため、年齢別F値のレトロスペクティブ残差（各年齢のFの平均値の残差でなく） $SSR = \sum_{i=1}^{P} \sum_{a=2}^{9} \left(\frac{F_{a,Y-i}^{R_i} - F_{a,Y-i}}{F_{a,Y-i}} \right)^2$

リッジVPA のまとめ

- **何が問題だったのか**：チューニングVPAにおいて、資源量指数に関する情報が充分になかったり、資源量と資源量指数との間の非線形性を推定しようとすると、データに対する過適合が起こり、ある年齢のターミナルFが発散してしまい、コホートが絶滅するような非現実的な結果が得られる場合がある

- **対処法**：リッジ回帰によるペナルティーを尤度関数に加え、さらにレトロバイアスを最小化するようにペナルティーの大きさを選択するという考えを導入することで問題を解決



次の動画　VPA-IIでは、frasyrを用いたリッジVPAの実行方法について紹介