

## スケトウダラ日本海系群ピア・レビュー報告書

庄野 宏（広島工業大学・工学部）2022/1/5(水)

### 1. はじめに

スケトウダラ日本海系群では、年別年齢別漁獲尾数データを使用し、加入量調査や親魚現存量調査などに基づく3つの指標を利用したチューニングVPA（近年の若齢魚の漁獲係数Fに制約を加えたリッジVPA）を利用して資源評価を実施し、評価結果に基づく広範なシナリオによる長期間の将来予測を実施している。

資源評価や将来予測に関する手法の選択は概ね妥当と考えられ、推定精度は高いと思われる。その上で、私が事前に提出した質問票（コメントを含む）に対する回答、2021年12月8～9日に水産資源研究所（横浜市）にて開催されたピア・レビュー委員会での資源評価担当者によるプレゼンテーション、および関連する質疑応答などに基づき、今後の改良点も含めた検討事項について、項目毎に分けて簡潔に記述したい。

### 2. 資源評価に用いられたデータおよび生物学的パラメータについて

年齢別体重について、4月分は1995-2002年のデータ、10月分は2006年以降のデータから算出しているとのこと、経年変化があるかもしれないため、少し気になった。

沿岸で漁獲量が多い刺し網漁業について、知事許可漁業のため漁獲成績報告書などの報告率が低く、努力量データを使用出来ないとのこと、スケトウダラ太平洋系群と同じく、商業船による標準CPUEを資源量指数としてチューニングVPAに組み込む必要があると考えており、出来れば今後の収集体制についても検討していただきたい。

成熟率について、4月と10月で1歳ずらして利用しているとのこと、半年単位での推定値の算出が可能かどうか、検証していただきたい。

### 3. 資源評価に用いられた前提条件および手法の妥当性について

#### (1). 資源量指数について

チューニングVPA（リッジVPA）で利用する3種類の資源量指数について、親魚現存量：0歳加入量：1歳加入量=10：1：1の重み付けを使用したとのこと、主観的な重み付けは避けるべきであり、特に親魚現存量は重量ベース、0歳および1歳の加入量は尾数ベースで単位が異なるため、注意が必要である。仮に最小二乗項の大きさ（オーダー）がほぼ同じであっても各々の資源量指数の信頼度は同じとは限らないため、重みの値を変化させての感度分析は有用であるが、重みの値の推定に関する検討を推奨したい。頻出の方法として、各々の資源量指数の自然対数値に対して正規分布を仮定して最尤法を適用した、分散の逆数に基づく重み付けの適用が挙げられる。この方法はスケトウダラ太平洋系群にも適用されており、計算しやすいのではないだろうか。

## (2). チューニング VPA について

プラスグループの F とプラスグループを除く最高齢の F の比率である F-ratio ( $\alpha = F_{10+}/F_9$ ) について、計算期間を通じて一定の値 (1.0) で固定しているが、あまりにも強い制約条件ではないか。パラメータ数が多すぎて毎年の推定が難しい場合は、F-ratio が一定と考えられる数年毎のグループ分に基づいて推定するか、もしくは F-ratio に関して一次の自己相関モデル (AR(1)) を適用することを推奨したい。

## (3). リッジ VPA について

リッジ VPA (Okamura et al, 2017) について、リッジ回帰 (Hoerl et al, 1970, 2 編の論文) を適用した VPA と考えていたところ、リッジ回帰とは大きく異なるコンセプトに基づく計算が行われており、非常に驚いた。誤解を招かないようにするためにも、リッジ VPA のネーミングを再考しても良いのかもしれない。

スケトウダラ太平洋系群の資源評価で実施していたように、近年の若齢魚の F に関するペナルティを与えたリッジ VPA と通常の VPA で資源量指数である CPUE のフィッティングを比較してみることを、本節の最初に提案したい。

リッジ VPA とリッジ回帰の違いは、私の理解では大別して次の 3 点になる。

- 1) リッジ回帰では最小二乗項が未知パラメータの線形結合になっているのに対し、リッジ VPA ではパラメータ F の非線形関数になっていること  
(リッジ VPA では CPUE でフィッティングを行っているため)
- 2) ペナルティ項の比率を表すパラメータ  $\lambda$  について、リッジ回帰では目的関数に含めて推定しているのに対し、リッジ VPA では外部情報に基づき固定していること  
(この点について、私(庄野)と提案者の岡村さんの間に見解の相違が認められた)
- 3) リッジ回帰では全ての未知パラメータをペナルティ項に含めているのに対して、リッジ VPA では直近の若齢魚の漁獲係数 F のみをペナルティ項に含めていること  
特に一番の違いはリッジ VPA における 1) の非線形性であり、それゆえに 2) の  $\lambda$  の推定を難しくしている。

1) について、最小二乗項が未知パラメータの線形結合の場合と非線形関数の場合では、挙動が全く異なり、リッジ回帰のみならず代表的な  $L_p$  正則化である LASSO (Tibshirani, 1996) や Elastic Net (Zou and Hastie, 2005) でも線形関数のみを取り扱っている。岡村さんは 2018 年に発表した論文で VPA の構造に基づいた F (漁獲係数) を未知パラメータとした非線形関数でシミュレーションを行い性能が良いことを確認したとのこと、資源評価レポートにこれらの結果を参考資料として記載することは有用と思われるが、私は非線形関数の取り扱いが慎重に検討すべき、と考えている。

私の認識として、 $\lambda$  は目的関数に含めて同時に推定するか、 $\lambda$  が閉区間  $[0, 1]$  の間にあることを利用して、0.01 刻みなどのグリッドサーチに基づく非線形数値的最適化を利用した逐次推定を行うのが基本である、難しい場合には n-fold cross-validation など

を利用した情報量規準による選択を行うべきと考えている。リッジVPAでは、Mohn (1999)によるレトロスペクティブ・バイアスという方法を利用して $\lambda$ の値を定めており、私は外部情報を用いて固定していると捉えている一方、岡村さんはVPAと類似の構造に基づいているため cross-validation の一種と考えており、見解の相違がある。

リッジVPAでは非線形性ゆえに $\lambda$ の他の未知パラメータとの同時推定が困難で、さらに各々の未知パラメータから平均を引いて標準偏差で割るなどの標準化に代表されるスケールリングが難しいため $\lambda$ を複数設定する必要がある、グリッドサーチに基づく逐次推定を複雑にしている。

この点について、拡張カルマンフィルター等非線形関数を線形化する方法の適用も一案であるが、Fの値が1を超えることはめったに起こらないことを考慮し、[0,1]区間に mapping させるスケールリングを標準化の代わりに利用したら良いのではないかな。

また、リッジVPAの最小二乗項を形式的に線形化する方法、すなわちCPUEに代えてFでフィッティングするVPAを感度分析の1つとして試しても良いのではないだろうか (parametrization などの工夫が必要なため簡単な作業ではないかもしれない)。

なお、ペナルティ項における未知パラメータの選択について、直近の若齢魚の漁獲係数Fのみをデフォルトとするにせよ、robustness test の一環として全てのパラメータをペナルティ項に含めたチューニングVPAを実施することも合わせて推奨したい。

オリジナル論文の引用の是非について、一般に広く参照されている教科書で代用できるという考え方に私は反対であり、その理由として、以下に2つ挙げておきたい。

- (i) 教科書とオリジナル論文の記述が異なる場合もあり、読者の misleading に繋がる可能性があること
- (ii)教科書は引用文献が多く、読者がオリジナル論文に辿り着けない可能性があること

最後に、0歳および1歳の加入量指数により最近年の若齢魚のFをVPAと独立に推定出来れば、リッジVPAのペナルティを用いないことも可能ではないか、と感じる。

#### 4. 将来予測に用いられた前提条件および手法の妥当性について

##### (1). 再生産曲線、管理基準値、KOBÉ-plot などについて

B-H (ベバートン・ホルト) , Ricker, H-S (ホッケー・スティック) などの再生産曲線の比較表について、最小絶対値法や最小二乗法という用語が使われている。これは、対数尤度関数の二乗誤差の項を絶対誤差で置き換えた、統計学的に誤った方法と混同される可能性があるため、L1 ノルムと L2 ノルムなど、表記を改めたら良いのではないかな。加えて、検算を容易にするため、もし可能ならば標本数と未知パラメータ数、仮定した確率分布の名称および最大対数尤度の値を追記することを推奨したい。

上記の比較表で使用している AICc (AIC の有限修正) について、オリジナルの正しい表記は c-AIC である。CAIC (Consistent AIC; Bozdogan, 1987) や cAIC (conditional

AIC; Vaide and Blanchard, 2005) と見間違える可能性もなくはないが、c-AIC は始まりが小文字で - (ハイフン)があるため、識別可能である。記法を改め、参照されることが少ないオリジナル論文 (Sugiura, 1978) も忘れずに引用すべきである、と考えている。

スケトウダラ太平洋系群やホッケ道北系群と異なり、KOBE-plot などを見る限りスケトウダラ日本海系群の資源状態は良くないため、将来予測シミュレーションなどに基づく管理基準値や漁業管理規則の設定については、細心の注意が必要である。

## (2). 将来予測のシミュレーションについて

スケトウダラ日本海系群に特有の将来予測シナリオとして、前年度に獲り残した漁獲枠を翌年度に繰り越すパターンが挙げられる。このようなシナリオ設定について、獲り残し分を次の年に全て獲りきれぬのかを考えて現実的に設定すべきであり、逆に容易に超過してしまうようなことのないように  $\beta$  の設定を行うべきであろう。

さらに、獲り残し分を加味したシミュレーションに際して、卸売価格や販売価格などの経済的な要因を加味したら、より現実的な設定になるのではないだろうか。

獲り残し分の翌年度への繰り越しに対する影響評価のシミュレーションでは、ランダム変化として 0~40% の一様分布を仮定しているが、あまり現実的ではないような気がする。過去の漁獲パターンなどに基づく妥当な割合もしくは 20% を頂点し、下限の 0% および上点 40% を底辺として、確率密度関数の積分値、すなわち三角形の面積が 1 になるように頂点の値を設定した三角形分布に基づくパラメトリック・リサンプリングの適用を推奨したい。下限を 0%(0.0)、上限を 40%(0.4) とする場合には底辺の長さが 0.4 となるため、頂点の座標位置にかかわらず底辺から頂点までの高さは 5.0 となる。

## 5. おわりに

2~4 節で記述したコメントや提案について、重要度や改善に要する時間もまちまちだが、適宜取捨選択して優先順位の高い事項から検討していただけるとありがたい。

スケトウダラ日本海系群の資源状況は太平洋系群と異なり低位で、漁獲量が多い沿岸刺し網漁業の努力量が利用できないなど、データ収集体制の整備も重要である。

3(3)の大部分および 3(2), 4(1)の一部の記述は、私が担当したスケトウダラ日本海系群、太平洋系群、ホッケ道北系群の報告書に共通である。ご了承いただきたい。

## 文献

- Bozdogan, H. (1987) Model selection and Akaike's information criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions. *Psychometrika*, **52**: p.345-370
- Hoerl, A. E. and Kennard, R. (1970) Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems, *Technometrics*, **12**: p.55-67

- Hoerl, A. E. and Kennard, R. (1970) Ridge regression: Applications to nonorthogonal problems. *Technometrics*, **12**: p.69-82
- Mohn, M. (1999) The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data. *ICES Journal of Marine Science*, **56**: p.473-488
- Okamura, H., Yamashita, U. and Ichinokawa, M. (2017) Ridge virtual population analysis to reduce the instability fishing mortalities in the terminal year. *ICES Journal of Marine Science*, **74**: p.2427-2436
- Sugiura, N. (1978) Further analysis of the data by Akaike's information criterion and the finite corrections. *Communications in Statistics -Theory and Methods*, **7**: p.13-26
- Tibshirani, R. (1996) Regression shrinkage and selection via the Lasso, *Journal of the Royal Statistical Society B*, **58**: p.267-288
- Vaida, F. and Blanchard, S. (2005) Conditional Akaike Information for Mixed-Effects Models. *Biometrika*, **92**: p.351-370
- Zou, H. and Hastie, T. (2005) Regularization and variable selection via the elastic net, *Journal of the Royal Statistical Society B*, **67**: p.301-320