

## ホッケ道北系群ピア・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

ホッケ道北系群では、年別年齢別漁獲尾数データを使用し、100 トン以上の沖底かけまわし船の漁獲量・努力量データに基づく標準化 CPUE を使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、資源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

ホッケの雄雌の成長は大きく異なるため、現在は性比を 1:1 と仮定しているとのことだが、利用可能な情報がある場合には雌雄比の推定を試みてほしい。成長曲線も少し古いデータに基づいているため、可能ならば近年のデータによる改良をお願いしたい。最近の知見によると、成熟について密度効果が認められる可能性があるとのこと、優先順位は高くないにせよ近年のデータを含めて成熟率の再検討を推奨したい。

### 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

沖底かけまわし漁業による 100 トン以上の商業船データに基づく年齢別の標準化 CPUE に相対面積サイズで重み付けした資源量指数を、VPA のチューニングに使用している。CPUE 標準化に関する数式の見落としが散見されるため、質問票を参照して修正されたい。さらに、CPUE 標準化プロトコルの記述も合わせて修正をお願いしたい。

相対面積サイズで重み付けした資源量指数の計算について、Year\*Area の交互作用が検出可能な場合には、この LSMEANS (least squared means) を抽出すれば良い。しかし、データの欠損などの理由により Year\*Area の交互作用が抽出不可能な場合は、サブエリアを大きくするなどエリア分けを変更するか、もしくは random effect (変量効果) を用いる方法が考えられる。そうでなければ、サブエリア毎に CPUE 標準化を行うなどの大幅な修正が必要となる。

従って、標準化 CPUE に各サブエリアの相対面積サイズを掛け合わせて面積依存の資源量指数を算出するプロセスが正しい方法に基づいているか、念のために再度確認していただきたい。

## (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。未知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 に対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。

関連して、選択率についてプラスグループの 4 歳を基準に 1.0 と設定しているが、F-ratio の仮定を考慮すると適切でないため、2 歳など他の年齢に変更すべきである。

ホッケに特有な VPA の仮定として、年別年齢別の Offshore (沖合漁業) による漁獲量の総漁獲量に占める割合を表すパラメータ  $\Omega_{a,y}$  (a-age, y-year) を導入していることが挙げられる。

そのため、VPA における年齢別沖底 CPUE のフィッティングに際して、一部の漁獲尾数のみを利用していることになる。このこと自体は一概に悪いとは言えないが、もし可能ならば VPA のチューニングに際して  $\Omega_{a,y}$  を使用した場合とそうでない場合の計算を行い、両者の CPUE の当てはまりの度合いを比較してみたら良いのではないだろうか。

リッジ VPA におけるペナルティ項の重み  $\lambda$  を変化させた場合の感度分析結果を見る限り、 $\lambda$  の変化による推定された CPUE 年トレンドの差異は少なく、ホッケ道北系群ではリッジ VPA のペナルティ項を使用しない通常のチューニング VPA でも十分ではないか、と思われる。

なお、年齢別の標準化 CPUE に加えて 1 歳の加入量指標値をチューニングに加えるべきかどうかの判断は難しく、該当部分の推定値や残差のトレンドなどを見ながら慎重に決定すべきである。しかし、加入量指標値を利用する場合は直近の若齢魚の F の推定値が得られるため、リッジ VPA のペナルティ項を使用する必要がなくなった、という経緯は興味深く感じた。

## (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、これらの結果を参考資料として資源評価レポートに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には慎重に検討すべき、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  $\lambda$  の値を定めている。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り、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と。

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

#### 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、KOBE-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。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 (Consistant 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。

ホッケ道北系群の将来予測で使用されている H-S 型再生産曲線の残差診断について、1年のタイムラグで有意な場合は自己相関を考慮したら良いが、2年以上のタイムラグについては無理してモデルに組み込む必要はないのではないかと考えている。

ただし、1次の自己相関を組み込んだ場合に H-S 型の再生産曲線が選択される場合でも、自己相関を使用しない場合に再生産曲線が直線になる場合もあるとのこと、再生産曲線の推定に対する自己相関の条件設定は慎重に検討すべき、と考えている。

将来予測に用いる体重を設定するため、推定資源尾数を説明変数にした単回帰分析により密度効果の有無を調べている。結果を見る限り、決定係数の値は高い場合にも 0.6 程度で当てはまりが良くないため、将来的には局所多項式回帰や平滑化スプラインなど、もう少し柔軟な方法を検討したら良いのではないだろうか。

ホッケ道北系群では、加入量や産卵場での孵化仔魚の量が表面水温などの環境要因の影響を受けやすいという報告があった。今後の状況を見ながら、必要に応じて再生産曲線の推定に水温などの環境要因を説明変数として組み込むことを検討されたい。

スケトウダラなど他魚種の資源評価レポートにも当てはまるかもしれないが、将来

予測において SSB が限界管理基準値を下回る場合に掛け合わせる係数 $\gamma$ などの記号について、読者の利便性向上のために定義なども含めて表記を追加していただきたい。

## (2). 将来予測のシミュレーションについて

ホッケ道北系群に特有な条件設定として、2010年以降の資源量減少を考慮した低加入シナリオの追加、すなわちバックワードリサンプリングと呼ばれる方法の導入が挙げられる。この方法について読者が正確に理解出来るように記述を工夫してほしい。

バックワードリサンプリングでは、将来予測の計算期間を5年毎に区切り、5年単位で前進するごと5年毎の加入量残差を等確率でランダムに参照していく方法と理解しており、ホッケでは2010年代の低加入時期の状況を反映していると考えられる。

ただし、この方法を他の魚種に適用する場合は慎重に検討すべきである。なぜならば、直近の資源状態や加入状況が良い場合には楽観的な数字が得られるからである。

そのため、他の魚種に適用する場合は5年毎の加入残差パターン参照の際に等確率ではなく資源の現状に応じた確率を設定する必要があり、この設定は非常に難しい。

Fに関する300回のランダムサンプリングについて、2017, 2018, 2019の3年かつ1, 2, 3歳の4パターンのため全体で81通りしかなく、重複が気になった。重複しても問題ないとの認識だが、一様分布などの連続確率分布の利用も一案ではないだろうか。

## 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エネルギーもまちまちだが、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きたい。

ホッケ道北系群は、今後資源評価の単位を1年から半年に変更予定と伺っている。このことに関する変更点は多岐に渡り、作業が大変と想定されるが、数年おきでも良いのでこれまでの1年単位の計算も実施し、過去の資源状況との比較を推奨したい。

3(3)の大部分および3(2), 4(1)の一部の記述は、私が担当したホッケ道北系群、スケトウダラ太平洋系群、日本海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