

社会環境影響評価のための簡易な漁獲量推定方法の検討
— 漁獲確率を用いた漁獲量推定方法の可能性 —
Consideration about the Simple Method for Estimation of Catch
— The Possibility of Catch Estimation by Fishing Probability —

岩田繁英[†]・中原尚知・婁小波
(東京海洋大学)

Shigehide IWATA, Naotomo NAKAHARA and Xiaobo LOU
(Tokyo University of Marine Science and Technology)

E-mail : [†]siwata0@kaiyodai.ac.jp

【要約】

海洋開発の対象海域と漁業の操業海域が重なっているもしくは近い場合、その影響を定量的に評価する必要がある。しかし、漁獲量に関する情報だけで他の情報が十分に存在しない場合、手元の情報を最大限に活用して将来期待される漁獲量の推定を実施する必要がある。本稿ではそのような状況下で、漁獲量データの平均値を推定値として活用する方法をそのバイアスの補正方法とともに検討した。その結果、漁獲確率を利用することでバイアスを減じる可能性を見出した。また、今後精度の高い推定を実施するにはどのようにしていけばよいか整理した。

【キーワード】

社会環境影響評価、漁獲量推定、漁獲確率

【abstract】

A quantitative evaluation of an effect to the fishery by the marine development is required, if the area of marine development cover the fishing ground. However, in the case where there is not enough other fishery information other than catch information, it is necessary to estimate the catch expected in the future by using catch information as much as possible. In this paper, under such situation, the method of using the mean value of catch data as an estimate was examined by considering the correction method of bias. As a result, we found the possibility to reduce the bias by using the fishing probability. Also, how to carry out estimation with high precision in the future is organized.

1. はじめに

人間は海洋から多くの資源、例えば魚等の水産資源や石油等の鉱物資源、を利用して生活をしている。水産資源は食料供給において重要な役割を果たし、鉱物資源は油田や天然ガス等のエネルギー源として重要な役割を果たす。近年、鉱物資源は海中に存在する資源を利用する気運がみられる(Shirayama *et al.* (2017))。技術が進展しこれまでに利用不可能であった海底鉱物資源生産を基盤とする産業が興った際、海洋開発と既存産業の操業海域が同一もしくは近い地域であれば既存産業への影響は免れない。海洋の場合、既存産業は水産業となり、海洋資源開発が操業区域内で行われた場合、水産業は水産資源の利用に制限がかかる。その場合、水産業への影響を評価する意味で、利用が制限される漁獲量の推定が求められる。資源量推定のためには多くの生物学的、水産学的、物理的のデータが必要となる。現在実施されている資源量評価は、海洋生物に関するデータを用いて、国を越境する魚であれば地域漁業間管理機関 (RFMO) が、沿岸資源のように国を越境しない魚種ならば沿岸国が資源量の推定および評価 (資源評価)・管理を実施する。資源評価後には一定条件の漁獲量、努力量または漁獲割合の下で将来の資源動態を予測 (将来予測) し管理方策による影響の推定が行われ、最終的にはどのような管理方策をとるかについて行政判断が下される。RFMO での資源評価は国際機関の科学委員会で実施され、沿岸国であれば各国の研究機関が実施する。資源評価では、資源評価モデルと呼ばれる数理モデルを活用して、漁獲量、努力量及びそれらから得られる CPUE 等の各種データ (Sakai *et al.* (2017)) を用いて水産資源の資源量の推定を行う (Anonymous (2018))。データが不十分な場合の資源評価の精度は精度の評価研究が検討されている (Cope (2013))。しかし、この方法を適用するためには対象海域以外の資源全体の情報が必要となるが、すべての魚種で十分に漁業に関するデータ (例えば海域別の漁獲量、努力量) が存在するわけではない。更に、資源評価で用いられている手法と同様の手法を社会環境影響評価の中で適用する場合、漁業データに関する知識、資源評価モデルに関するモデルが必要で、でてきた結果を正確に解釈する知識も必要になってくるため実施には困難を伴う。また、地域的に限定されたデータを用いて評価をすることは過小・過大評価にもつながり現実を正確に評価することにつながらない恐れがでてくる。そこで、海底資源開発が実施されたとき、同海域で操業している水産業が被る影響を局所的かつ定量的に評価をする手法が求められる。

本研究では海底鉱物資源の開発等による操業の制限、操業停止または縮小、が起きた場合、開発による影響を簡易的に評価するために漁獲データの種類の整理と漁獲量推定手法としての平均とバイアスの補正手法について検討する。平均値を用いる上で、より精度の高い評価手法にするためにはどのような様にすれば整理する。

2. 漁獲量データと資源評価と漁獲量の簡易推定

2-1. 漁獲量データの特徴

ここで漁獲量を二つの視点から整理する：①変動幅の大きさ、②ゼロ漁獲データの有無についてである。漁獲量データとして考えるときにどの時間スケールで考えるかによって変動幅は大きく変化することになるが季節性の魚であれば年単位、一年を通じて漁獲されるのであれば月単位で検討してもよい、各年の漁獲量の変動幅は海洋性でも湖沼性でも大きくなることもある (Rojo-Vazquez *et al.* (2008)、蘇(2015)) し、当然高度回遊性魚類に関しては漁獲量の変動は回遊しない魚よりも大きくなる。漁獲が起こるためには、資源となる魚がいることが最低条件であり、漁獲可能な状態（出漁できるか、海面の状態は漁業に適しているか等を総合的に考慮した上で漁業ができる状態と判断される状況。実際にはここまでの情報はないので確率的に取り扱う必要がある）であり、漁具が資源となる魚の周辺に存在することが必要になってくる。つまり、漁獲という結果のためには資源、資源を取り巻く環境、漁業それぞれの条件が整う必要があるため、確率的な要素が含まれることになり、漁獲の変動幅が大きく振れるものと考えられる。また、漁業者側は資源となる魚がいる場所に達する事ができればよいが、回遊海域が変化する場合は、毎年漁獲できるポイントに行ける保証はない。そのため、ゼロ漁獲がおこる。ゼロ漁獲データは高度回遊性魚類ではよくみられる状況 (Ijima(2018)、Powers(2018)) であるため高度回遊性魚類に関する影響評価をする場合にはゼロ漁獲データに関して検討する必要性がある。

2-2. 水産資源学からみた漁獲量の推定

水産資源評価を実施する際には利用可能なデータを取得・整理した後に利用できるデータに合わせて資源評価モデル（例えば VPA:Virtual Population Analysis、MULTI-FAN、Stock Synthesis 3 等、Quin and Deriso(1999)、Maunder and Punt(2013)) を選択しデータを解析する手順をとる。資源評価モデルを実施する際、漁獲量、単位努力量当たりの漁獲量 (CPUE: Catch per unit effort) を活用する (Quin and Deriso(1999))。また、CPUE は漁獲量 (Catch) を努力量 (Effort) で割った値になるが推定するためには時間的・地理的な努力量のデータおよび漁獲量のデータがあれば精度の向上につながる (Sakai *et al.* (2017))。再生産に関する情報や、親魚の成熟に関する情報、漁獲物の体長組成に関する情報、対象魚種を漁獲している漁業の漁法及び利用される漁具のサイズ選択性が明らかになればより資源評価モデルの結果の精度が高くなると期待される。水産資源学では漁獲量は単位資源量・単位努力量に対する漁獲量(s)、漁獲可能性(q)、漁獲努力量(E)、資源量(N)に比例していると仮定されることが多い (Quin and Deriso(1999))。Francisco(1996)は、漁獲量 C は s 、 q 、 E 、 N および単位努力量当たりの漁獲量 (CPUE) U と次の関係性があると定義した：

$$C = sqEN \quad \text{もしくは} \quad U = \frac{C}{E} = sqN \quad (1)$$

漁獲可能性は、広義には資源の豊度と漁獲努力量の相互作用の強さを示すパラメータとし

て定義され (Fransisco(1996))、狭義には漁獲効率として定義することもあるが統一された見解はなくその都度定義されているのが現状である。Gulland(1964)、Gulland(1983)、Caddy(1979)らは漁獲可能性を想定される漁場全体の海域(面積を A 、定数)に対する漁具を投入した海域(面積 a)の割合($r = a/A$)が漁獲効率 c に比例する(i.e. $q = c r$)と仮定した。特に、Caddy(1979)らは対象となる資源は漁場全体に一定に分布していると仮定している。この仮定のため、先の割合 r に比例して資源が存在すると解釈される。最終的に漁獲可能性は漁獲効率 c と先の割合 r の積になる。一方、Beverton and Holt(1957)は単位努力量に対する資源数量と捉えた、つまり想定される漁場に存在する資源の分布は一定ではないと考えた。この考えを踏襲して、MacCall(1990)、Christensen and Pauly(1992)は漁場全体の海域ではなく資源の生息域(A' 、定数)に対する漁具を投入した海域(a)の割合($r' = a/A'$)が資源数に依存した漁獲効率 $c(N)$ に比例する(i.e. $q = c(N)r'$)と仮定した。これらの漁獲可能性の定義の共通点は具体的な状況から推測した無次元の取り扱いである点だ。そこで漁獲可能性を数年間で漁獲ができる確率とすることも可能であり、この確率のことを漁獲確率として本稿では定義する。(具体的な解釈としては、ある海域で数年間のうちどれぐらいの可能性でその海域が漁場となりうるかであり、過去の漁獲実績から推測できるものである。)(1)式の右辺の sEN は、 sE を単位資源量に対して努力量 E を投入したときの漁獲量とできるため、最大限漁獲することができる漁獲量、いわば漁獲量のポテンシャル P (以後、漁獲ポテンシャルとする)として解釈できる。するとある年 i の漁獲量は次のように記載できる:

$$C_i = qP_i \quad (2)$$

資源評価においては資源量を正確に推定することが必要になるため、 sE と資源量 N は別々に推定する必要があるが簡易的な評価をする場合には分ける必要性はなくなる。しかし、本来であれば漁獲努力量には不確実性が含まれるし(海況によって出漁するかどうか変化するため)、 s についても基本的な漁具性能は変わらないにしても操業のやり方によっては性能を発揮できるかどうかかわからないためここにも不確実性を含めた方が精度は高まることが期待される。

2-3. 漁獲量推定手法としての平均

前項で述べたように、努力量情報に関する情報があれば精度の高い漁獲量のポテンシャルを推定できる可能性がある。しかし、漁獲量データのみしか利用できない場合は漁獲量データから判断する必要がある。漁獲量情報のみから暫定的な漁獲量の評価を行う場合、単回帰分析もしくは重回帰分析を利用できることもある。玉手(2008)は既存の漁獲量デー

タから過去の漁獲量の推移を重回帰により推定を行った⁽¹⁾。しかし、過去の時系列データから安易に回帰して将来の予測を行うことは季節性や周期性がある場合には見かけの関係をとらえることになり危険である。一方、漁業補償の考え方では、漁業権等の消滅補償に対応し、(平均魚種別漁獲数量×魚種別魚価・平均年間経費)/還元利率、を基本の補償額として水産資源の将来性を考慮し算定するとされる(妻ら(2018))。平均漁獲数量として、過年度の単純平均の漁獲数量が利用されている。(2)式と合わせて考えたとき、 y 年から過去 n 年間($n \geq 1$)の漁獲量情報を用いて推定した場合の推定漁獲量 \bar{C} は次のように計算できる。

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=y-n}^y C_i}{n+1} = q \frac{\sum_{i=y-n}^y P_i}{n+1} = q\bar{P} \quad (3)$$

ここで、漁獲ポテンシャルの平均値 $\frac{\sum_{i=y-n}^y P_i}{n+1}$ を \bar{P} とした。(3)式から導かれる結論は漁獲量のポテンシャルに漁獲可能性 q をかけたものが漁獲量となる。理論的に考えた時、平均漁獲量 \bar{C} を漁獲可能性 q で除して補正をかけると漁獲ポテンシャル \bar{P} の推定値が計算できる。以上の通り、漁獲量と漁獲ポテンシャルの関係性を既存研究から整理できる。

3. 漁獲量データを用いた推定手法とバイアス補正

3-1. 漁獲量データを用いた推定手法の検討

第2節で整理してきたように、平均漁獲量 \bar{C} に対して漁獲可能性 q の逆数をかけてことで漁獲ポテンシャル \bar{P} を計算できることがわかった。では実際の漁獲量データに対して適用するときには漁獲可能性 q をどのように定義すればよいただろうか。本研究では3つの漁獲ポテンシャルの予測値を検討する:

- ① 過去の漁獲量データの平均値を漁獲ポテンシャルの予測値 F_1 とする。

$$F_1 = \frac{\sum_{i \in k} C_i}{n_F} \quad (4)$$

- ② 過去の漁獲量データの平均値より小さいグループと大きいグループの平均値の和を漁獲ポテンシャルの予測値 F_2 とする。

$$F_2 = \frac{\sum_{i \notin l, i \in k} C_i}{n_F - n_l} + \frac{\sum_{i \in l, i \in k} C_i}{n_l} \quad (5)$$

- ③ 過去の漁獲量データでゼロ漁獲以外のデータの平均値をデータの予測値 F_3 とする。

$$F_3 = \frac{\sum_{i \notin m, i \in k} C_i}{n_F - n_0} \quad (6)$$

ここで、 c_t をある時刻 t ($t \in T, T = [1, n]$)における漁獲量、 k を予測に利用する時刻 ($k \in T$ 、 k の要素数を $n_F < n$ とする)、 l を漁獲量が平均以下にある時刻 ($l \in k$ 、 l の要素数を $n_l < n_F$ とする)、 m を漁獲量が0である時刻 ($m \in k$ 、 m の要素数を $n_0 < n_F$ とする)とする。 F_2

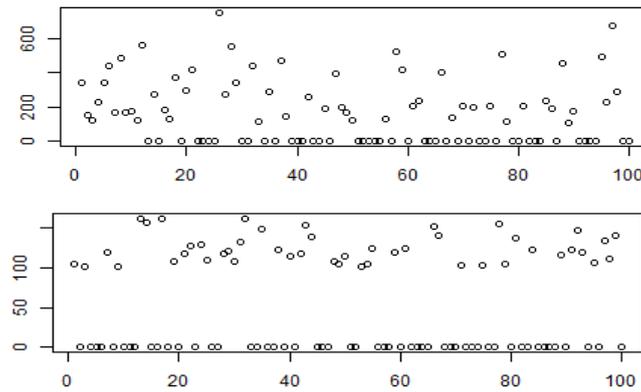


図1 架空データのサンプル

注:上図が状況 $P_{1,100}$ の場合、下図が $P_{2,100}$ の場合を示す。

における閾値 T_{F_2} が平均値となっているが、もし平均値を観測された漁獲量の最大値として読み替えると F_2 は F_1 に、0として読み替えると F_2 は F_3 に対応する。一般的に考えるのであれば閾値 T_{F_2} についても最適な決め方が存在する可能性はあるが本稿では意味づけが簡単な平均について検討した。

3-2. 推定値の精度の検討のための準備

前項で紹介した3つの予測について、架空データを生成して精度の検討をおこなう。架空データの生成は2タイプのデータを次の手順で行う：

- 第1段階 乱数を100個発生させる（架空の漁獲量データ）。
- 第2段階 閾値 j を定め決定し閾値以下である場合には0とする（漁獲量の有無を決定）。
- 第3段階 90個のデータを予測に用い、残り10個のデータの値から予測値 (F_1, F_2, F_3) を引いた残差の平均を取得する。

乱数はパターン1として平均100標準偏差300の正規乱数、パターン2として平均100標準偏差30の正規乱数として、変動が大きい状態と大きくない状態を表現した。正規乱数は期待される漁獲量を表現しており、主漁場の中心に近ければ期待される漁獲量は多く、辺縁部になるに従い漁獲量が少なくなる。この値が負になる場所は漁獲が見込めない場所として捉え、0以上閾値以下の場合には発見することが困難である状況を表現するため一律に0とした。以後、簡単のために状況 $P_{i,j}$ をパターン $i(i=1, 2)$ かつ閾値 j の状況を指すとす。図1は上記の方法の例として表示した。新たに構築した分布は正規分布 $N(\mu, \sigma^2)$ に対して、平均が $\mu + \sigma\phi\left(\frac{a-\mu}{\sigma}\right) / 1 - \Phi\left(\frac{a-\mu}{\sigma}\right)$ (ここで、 $\phi(\cdot)$ は標準正規分布の確率密度関数、 $\Phi(\cdot)$ は標準正規分布の累積分布関数を示す。)と計算され、平均は元の平均よりも大きくなる。また、この2段階の操作を10000回実行し10000個の残差平均を考察することで予測値の評価を行う。

社会環境影響評価のための漁獲量推定方法の検討
 ー漁獲確率を用いた漁獲量推定方法の可能性ー

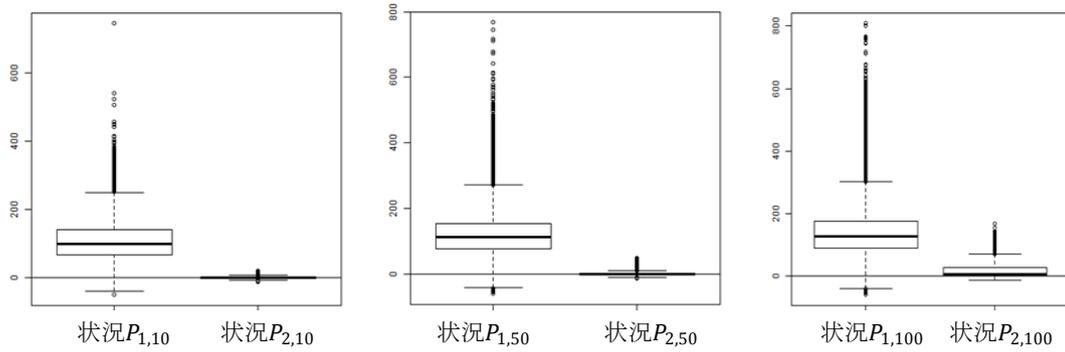


図 2 予測値 F_1 に関する 10000 個の残差平均のボックスプロット

注：左図から状況 $P_{1,10}$ 、状況 $P_{2,10}$ 、状況 $P_{1,50}$ 、状況 $P_{2,50}$ 、状況 $P_{1,100}$ 、状況 $P_{2,100}$ の場合を示す。

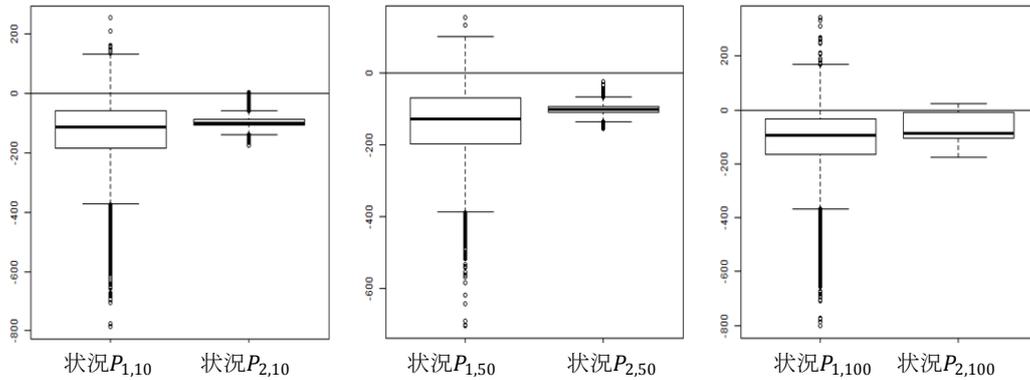


図 3 予測値 F_2 に関する 10000 個の残差平均のボックスプロット

注：左図から状況 $P_{1,10}$ 、状況 $P_{2,10}$ 、状況 $P_{1,50}$ 、状況 $P_{2,50}$ 、状況 $P_{1,100}$ 、状況 $P_{2,100}$ の場合を示す。

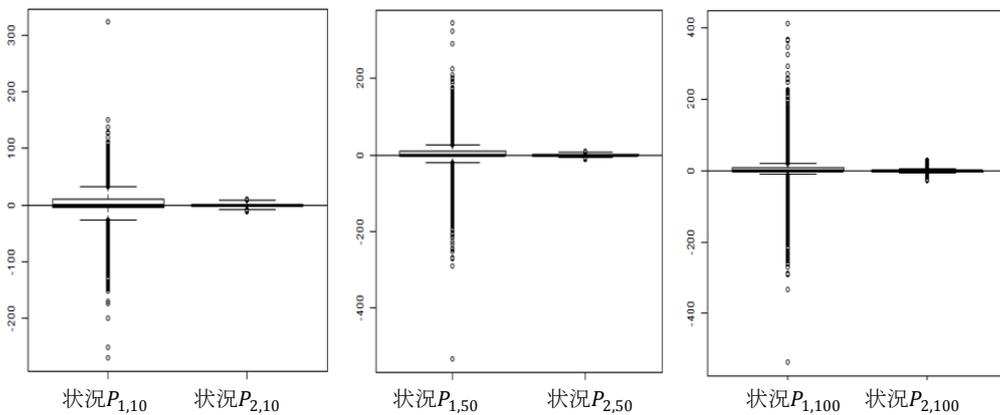


図 4 予測値 F_3 に関する 10000 個の残差平均のボックスプロット

注：左図から状況 $P_{1,10}$ 、状況 $P_{2,10}$ 、状況 $P_{1,50}$ 、状況 $P_{2,50}$ 、状況 $P_{1,100}$ 、状況 $P_{2,100}$ の場合を示す。

4. 結果

図 2-4 に各予測値 F_1 、 F_2 、 F_3 に関する残差プロットの結果を示した。図 2 では通常の算術平均を予測値 F_1 としているのでこの評価との比較を基本とする。図 2-4 から状況 $P_{*,j}$ ($*_1=1,2$)において閾値 j が変化したとしても予測性能は大きく変化しない。また、図 2 から予測値 F_1 では $P_{1,*_2}$ ($*_2=10, 50, 100$)の場合(漁獲量変動が大きい場合、乱数の標準偏差が 300)は過小評価する可能性がある。しかし、 $P_{2,*_2}$ の場合(漁獲量変動が小さい場合、乱数の標準偏差が 30)には残りのデータをよく予測していることがわかる。図 3 から予測値 F_2 では変動が大きかろうが小さかろうが関係なく予測性能は悪く予測値が過大に評価されている。最後に、図 4 から予測値 F_3 ではどの状況であっても予測性能がよい。

5. 漁獲確率による推定漁獲量のバイアス補正

漁獲確率が推定漁獲量のバイアス補正につながる理由を考察する。予測 F_1 ではゼロ漁獲が多ければ多いほど $\frac{\sum_{i \in k} c_i}{n_F} = \frac{\sum_{i \notin m, i \in k} c_i + \sum_{i \in m, i \in k} c_i}{n_F} = \frac{\sum_{i \notin m, i \in k} c_i}{n_F}$ となり予測値は過小評価される。 F_1 の場合、漁獲可能性 q_1 は式(3)との比較から $q_1 = 1$ と計算できる。予測 F_2 を計算すると $F_2 = \frac{\sum_{i \notin l, i \in k} c_i}{n_F - n_l} + \frac{\sum_{i \in l, i \in k} c_i}{n_l} = \frac{\sum_{i \notin l, i \in k} c_i}{\left(\frac{n_F - n_l}{n_F}\right)} + \frac{\sum_{i \in l, i \in k} c_i}{\left(\frac{n_l}{n_F}\right)} > F_1 \left(\frac{n_F - n_l}{n_F} < 1, \frac{n_l}{n_F} < 1\right)$ となることからより大きく推定される。図 3 をみると全体的に過大に評価していることがわかる。 F_2 の場合、漁獲可能性 q_{21} 、 q_{22} (q_{21} を $i \notin l$ 、 q_{22} を $i \in l$ の漁獲可能性と定義)は式(3)との比較から $q_{21} = \frac{n_F - n_l}{n_F}$ 、 $q_{22} = \frac{n_l}{n_F}$ と計算できる。これらは推定に使ったデータ数に対する $i \notin l$ (または $i \in l$)のデータ数という意味で漁獲確率である。一方で、予測 F_3 では $F_3 = \frac{\sum_{i \notin m, i \in k} c_i}{n_F - n_0} = \frac{\sum_{i \notin m, i \in k} c_i}{\left(\frac{n_F - n_0}{n_F}\right)} > F_1 (n_F > n_0)$ 、 $F_3 < F_2$ となりゼロ漁獲が多ければ多いほど予測値を大きく評価するが予測 F_2 ほど過大には評価されないことがない。そのため、推定漁獲量のバイアスを補正する事ができたと考えられる。また、 F_3 の場合、漁獲可能性 q_3 は式(3)との比較から $q_3 = \frac{n_F - n_0}{n_F}$ と計算でき、これは推定に使ったデータ数に対する漁獲があったデータ数であり漁獲確率と解釈できる。また、 F_1 、 F_3 は F_2 において、平均値を閾値とするところ漁獲量の最大値もしくは 0 にしたものである。しかし、先の結果から $F_1 < F_3 < F_2$ となり、 F_2 の閾値 T_{F_2} については 0 と平均値の間に最適な閾値が存在する可能性もあるが、今後の課題とする。

6. 漁獲確率の漁獲量推定への活用の可能性と今後の課題

本研究では、水産資源学の視点から将来期待される漁獲量を推定するため、漁獲量の平

均と水産資源学における漁獲可能性 q の関係性について整理をして、漁獲ポテンシャルの推定をおこなう中で漁獲可能性として漁獲確率を活用する可能性を見出した。まず、(3)式から算術平均を用いた平均漁獲量だけでは漁獲ポテンシャルの平均値を推定することはできず、漁獲可能性 q で補正すれば平均漁獲量から漁獲量のポテンシャルの平均値を推定する事ができることが予想された。一方、漁獲可能性は明確な定義がないため、その補正手法について検討した。その結果、補正手法として、漁獲可能性を漁獲確率 q_3 （全体の漁獲の中で漁獲があった割合）として、平均漁獲量を割れば平均漁獲量を補正できることが明らかになった。社会環境影響評価の一部で漁獲量、漁獲ポテンシャル、推定を実施する手法として平均値を用いる場合、本研究で提案したバイアスの補正手法は精度が算術平均による予測よりも、高く「簡易な」手法として活用する事ができるだろう。本研究では正規乱数を利用して漁獲量の分布を決めたが F_3 についての結論は他の分布を用いても同じことが言える、またランダムにゼロ漁獲データになる場合は標本の分布の特性が大きく変化しないことが期待されるため同様の結果であることが予想されるがより詳細に検討していく必要がある。更に、今回はデータについて増加または減少トレンドがない状態での検討を実施したがこれらのトレンドがある場合、今回の手法が活用できるかについても今後の課題として残っている。

この方法は本研究では漁獲量の予測値を対象として検討をしたが、正值しかとらないデータの集合かつ値としてゼロをとることが多いデータに対してもこの補正手法は有効であると言える。この状況は自然界の資源動態もしくは個体群動態に対して観測するという行為がある場合に合致している。例えば、野生生物の個体数の平均値をカウントする際に、遭遇確率の低い野生生物であれば発見頭数は少なくなる。この場合、本手法は十分に適用可能である。更に、推定精度を高める手法として、状態空間モデル（深谷(2016)）が考えられる。このモデルを適用することで時系列データ解析の精度が上がる事が期待される。ただし、状態空間モデルを簡易社会環境影響評価に組み込むことは非常に難易度が高いことが予想される。そのため、社会環境影響評価で用いる簡易で実用性の高い手法として、本研究では単純な平均値を漁獲確率で補正する方法を検討し提案した。

また、本研究では漁獲量以外の漁業情報は全く利用していない。この漁獲情報を利用することで漁獲可能性を漁獲データだけを使う場合より詳細に推定することが可能になると期待される。特に、漁獲可能性 q については様々なシチュエーションが考えられる。今回は一定の値と仮定したが実際にはこの値はある年における漁獲可能性 q_t として定義することがより实际的であると考えられる。また、年によって水温が変化する、潮流が変化することで漁獲可能性にも影響がでてくるだろう。そうした意味では、より多くの情報を利用することで、漁獲可能性を予測する精度が高まる可能性もあるが、漁獲情報だけしかない場合には存在する情報を最大限活用するしかない。その時には今回の補正が力を発揮することになるだろう。

注

- (1) 玉手(2008)では過去の年別漁獲量を過去に観測された月別漁獲量によって回帰したため問題はない。しかし、時系列データすべてを使い将来の予測をする場合にはみかけの回帰を捉える可能性もある。

参考文献

- [1] Anonymous (2018) “Report of the seventeenth meeting of the international scientific committee for tuna and tuna-like species in the north Pacific Ocean,” *ISC18 Plenary Report*, 1-90.
- [2] Beverton R. J. H. and Holt S. J. (1957) *On the dynamics of exploited fish populations*, Fish Investment Series, 1489.
- [3] Caddy J. F. (1979) “Some considerations underlying definitions of catchability and fishing effort in shellfish fisheries, and their relevance for stock assessment purposes,” *Fisheries and Marine Service Manuscript Report*, 1489.
- [4] Christensen V. and Pauly D. (1992) “ECOPATH II: a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics,” *Ecological Modelling*, 61, 169-85.
- [5] Cope M. J. (2013) “Implementing a statistical catch-at-age model (Stock Synthesis) as a tool for deriving overfishing limits in data-limited situations,” *Fisheries Research*, 142, 3-14.
- [6] Fransisco A-S. (1996) “Catchability: a key parameter for fish stock assessment,” *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 6(2), 221-242.
- [7] Gulland J. A. (1964) “Manual of methods for fish stock assessment,” *FAO Fisheries Technical Paper*. 40.
- [8] Gulland J. A. (1983) *Fish stock assessment. A manual for basic methods*. New York: John Wiley and Sons.
- [9] Ijima H. (2018) “Standardized CPUE of the Indian Ocean black marlin (*Istiompax indica*) caught by Japanese longline fisheries,” *IOTC-2018-WPB16-26*.
- [10] MacCall A. D. (1990) *Dynamic geography of marine fish populations*. ((Washington Sea Grant/Recruitment Fisheries Oceanography), University of Washington press, 153.
- [11] Maunder M. N. and Punt A. A. (2013) “A review of integrated analysis in fisheries stock assessment,” *Fisheries Research*, 142, 61-74.
- [12] Powers S. P., Drymon J. M., Hightower C. L., George T. S., Bosarge S. and Jefferson A. (2018) “Distribution and Age Composition of Red Snapper across the Inner Continental Shelf of the North - Central Gulf of Mexico,” *Transactions of the American Fisheries*

Society, 147(5), 791-805.

- [13] Quinn II, T.J., Deriso R.B. (1999) *Quantitative Fish Dynamics*. Oxford University Press, New York.
- [14] Rojo-Vázquez J.A., Quiñonez-Velázquez C., Echavarría-Heras H.A., Lucano-Ramírez G., Godínez-Domínguez E., Ruiz-Ramírez S., Galván-Piñal V.H. and Sosa-Nishizaki O. (2008) “The fish species composition and variation of catch from the small-scale gillnet fishery before, during and after the 1997-1998 ENSO event, central Mexican Pacific,” *Revista de Biología Tropical*, 56(1), 133-152.
- [15] Sakai O., Hiraoka Y. and Oshima K. (2017) “Japanese coastal longline CPUE for Pacific bluefin tuna: Re-update up to 2014 fishing year for stock assessment” *ISC/17/PBFWG-1/01*.
- [16] Shirayama Y., Itoh H. and Fukushima T. (2017) “Recent Developments in Environmental Impact Assessment with Regard to Mining of Deep-Sea Mineral Resources,” in: R. Sharma, “*Deep-Sea Mining*”, Springer international publishing, 445-463.
- [17] 玉手剛 (2008) 「1980 年以前の北海道沿岸における サクラマス漁獲量の推定」、『水産増殖』第 56 巻第 1 号、pp.137-138。
- [18] 蘇宇・エマニュエル A. S.・傳法隆・上田宏・松石隆(2015) 「チューニング VPA を用いた洞爺湖産ヒメマスの資源評価」、『日本水産学会誌』第 81 巻第 3 号、pp.418-428。
- [19] 深谷肇一(2016) 「状態空間モデルによる時系列解析とその生態学への応用」、『日本生態学会誌』第 66 巻第 2 号、pp.375-389。
- [20] 婁小波・川辺みどり・中原尚知・岩田繁英(2018) 「漁業操業制限補償法に基づく漁業制限補償の仕組みと漁業補償の諸問題」、『沿岸域学会誌』第 31 巻第 2 号、pp.121-132。