

暦年集計と漁期年集計にもとづく資源評価の比較： マサバ対馬暖流系群を事例として

向(竹垣)草世香^{1†}, 黒田啓行¹

Comparison of stock assessments based on calendar year and fishing year: An example of the Tsushima Warm Current stock of chub mackerel

Soyoka T MUKO^{1†} and Hiroyuki KUROTA¹

資源量変動の推定に「年」の定義が与える影響を検討するために、マサバ対馬暖流系群において、従来の暦年集計と漁期年集計にもとづく資源評価結果を比較した。東シナ海・日本海および韓国近海のマサバ漁獲量は集計方法間で大きな差はなかったが、暦年集計では0歳魚と1歳魚が主体であったのに対し、漁期年集計では0歳魚が全体の8割以上を占めていた。資源量指標値によるチューニングVPAで推定された資源量と親魚量は、年トレンドに大きな違いはなかったが、漁期年集計の方が常に少なかった。一方、推定加入量にはほとんど差がなかった。レトロスペクティブパターンから、暦年集計と漁期年集計ともに資源量の過大推定が継続的に見られた。漁期年集計の修正の程度は多くの年で小さかったが、修正の度合いが大きい年があり、その年代ではABCも過大に算定された。最後に、漁期年集計にもとづく資源評価結果の特徴と今後の課題を整理した。

キーワード：チューニングVPA, ABC, レトロスペクティブ解析

We compared stock assessment for the Tsushima Current stock of chub mackerel based on the fishing year with that based on the calendar year to evaluate how the definition of “year” influenced the estimation of resource fluctuation. The total catches of chub mackerel in the East China Sea, the Sea of Japan, and Korean waters did not have a large difference between the two definitions of year. While most catches consisted of Age-0 and Age-1 in the calendar year basis, over 80% of catches was regarded as Age-0 in the fishing year basis. The fishing year basis estimated less stock biomass and less spawning stock biomass by virtual population analysis tuned to resource abundance indices than the calendar year basis, but no marked difference was found in the trends of the abundance estimates. In contrast, the estimated number of recruitments was about the same between the two bases of year. Retrospective patterns demonstrated that stock biomass was continuously overestimated in both types of year. The degree of overestimation for the fishing year basis was less than that of the calendar year basis in most years, however, it happened to be larger in a few years. Allowable biological catch was also overestimated in such years. Lastly, we listed the characteristics of the stock assessment results based on the fishing year and discussed their future challenges.

Key words: tuned VPA, ABC, retrospective analysis

はじめに

漁業資源を適切に管理するためには、対象資源の資源量や漁獲の強度などがこれまでどのように変動し、資源の現状が健全な状態にあるかどうかを判断する必要がある（黒

田, 2014)。このような資源評価では、通常「年」ごとの資源変動に焦点が当てられる。しかし、その基盤となる資源計算（資源評価モデルを用いた資源量変動などの推定）では、年だけでなく半年や月など様々な時間単位が考えられ、それに合わせて漁獲量の集計や資源動態の計算が行われる。また「年」と言っても、1～12月の暦年を基準とする場合だけでなく、対象資源の産卵期などの生活史特性や漁業の季節性、データの利用可能性、予算執行など行政管理上の都合などにより、異なる「年」の定義が考えられる。

水産庁と水産研究・教育機構が実施する日本周辺水域の漁業資源評価（水産庁・水産研究・教育機構, 2017）では、

2017年5月17日受付, 2017年10月27日受理

¹ 国立研究開発法人水産研究・教育機構西海区水産研究所・資源海洋部, 〒852-2213 長崎県長崎市多良町1551-8

Seikai National Fisheries Research Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, 1551-8 Taira-machi, Nagasaki 851-2213, Japan

† symuko@affrc.go.jp

Table 1. List of assessment year for 28 stocks for which stock assessment is performed by VPA in Japan. Assessment based on fishing year is emphasized in italic font.

Common name	Region	Assessment year
Japanese sardine	Pacific	Jan–Dec
Japanese sardine	Tsushima Warm Current	Jan–Dec
Japanese jack mackerel	Pacific	Jan–Dec
Japanese jack mackerel	Tsushima Warm Current	Jan–Dec
Chub mackerel	Pacific	<i>Jul–Jun</i>
Chub mackerel	Tsushima Warm Current	Jan–Dec
Spotted mackerel	Pacific	<i>Jul–Jun</i>
Spotted mackerel	East China Sea	Jan–Dec
Walleye Pollock	Sea of Japan	<i>Apr–Mar</i>
Walleye Pollock	Pacific	<i>Apr–Mar</i>
Round herring	Tsushima Warm Current	Jan–Dec
Japanese Anchovy	Pacific	Jan–Dec
Japanese Anchovy	Seto Inland Sea	(Monthly)
Japanese Anchovy	Tsushima Warm Current	Jan–Dec
Amberjack	Around Japan	Jan–Dec
Red seabream	Seto Inland Sea (East)	Jan–Dec
Red seabream	Seto Inland Sea (West)	Jan–Dec
Red seabream	Sea of Japan and East China Sea	Jan–Dec
Japanese Spanish mackerel	Seto Inland Sea	Jan–Dec
Japanese flounder	Pacific	<i>Jul–Jun</i>
Japanese flounder	Seto Inland Sea	Jan–Dec
Japanese flounder	Sea of Japan (North and Central)	Jan–Dec
Japanese flounder	Sea of Japan (West) and East China Sea	Jan–Dec
Round-nose flounder	Sea of Japan	Jan–Dec
Pointhead flounder	Sea of Japan	Jan–Dec
Willow flounder	Pacific	Jan–Dec
Japanese pufferfish	Sea of Japan, East China Sea, and Seto Inland sea	<i>Apr–Mar</i>
Japanese pufferfish	Ise and Mikawa bay	<i>Apr–Mar</i>

評価対象の84系群のうち28系群でコホート解析 (Virtual Population Analysis, VPA) を用いた資源評価が実施されている (Ichinokawa et al., 2017). これら28系群のうちカタクチイワシ瀬戸内海系群を除くすべての資源で、1年を時間単位とする資源計算が行われている (Table 1). 年の定義は暦年が20系群と最も多いが、マサバ太平洋系群、ゴマサバ太平洋系群、スケトウダラ、トラフグなど、漁期に合わせて年を定義している資源もある。VPAなど離散時間型の資源評価モデルを用いる場合、時間の定義の違いが異なる資源評価結果をもたらす可能性があるが、これまでその可能性が検討されることはほとんどなかった。

マサバ対馬暖流系群は東シナ海南部から日本海北部、さらに黄海や渤海にも分布し、春夏は索餌のため北上回遊し、秋冬には越冬、産卵のため南下回遊すると考えられている (黒田ほか, 2017). 成熟年齢は1~2歳であり、産卵は分布域の広い範囲で見られ、時期は南部ほど早く (1~4月)、北部ほど遅い (5~6月) 傾向がある (Yukami et al., 2009). 対馬暖流域のマサバは、まき網漁業の重要資源で

あり1年を通して漁獲されるが、盛漁期は10月~翌年3月で、0歳魚および1歳魚が漁獲物の主体である。実質的な漁業への加入は0歳の7月以降とみなせるが、近年は0歳魚が5月から獲れる年もある。管理については、操業許可隻数の制限などの努力量管理に加えて、1997年より漁獲可能量 (Total Allowable Catch, TAC) による資源管理が実施されている。盛漁期が秋冬であることを勘案し、漁業管理上の漁期はマサバ太平洋系群と同様に7月~翌年6月と定められている。平成28年度に行われた資源評価によれば、2015年の資源量は77万トン、親魚量は22万トン、漁獲割合は32%と推定され、資源水準は低位、資源動向は増加と評価されている (黒田ほか, 2017). 2000年以降資源量は低い値で推移しており、早期の資源回復が望まれている。

マサバ対馬暖流系群の資源評価では、暦年で集計した漁獲量や漁獲物の体長組成データをもとに年齢別漁獲尾数および年齢別資源量指標値を算出し、その集計値にもとづいたチューニングVPA (田中, 2012; 市野川・岡村, 2014)

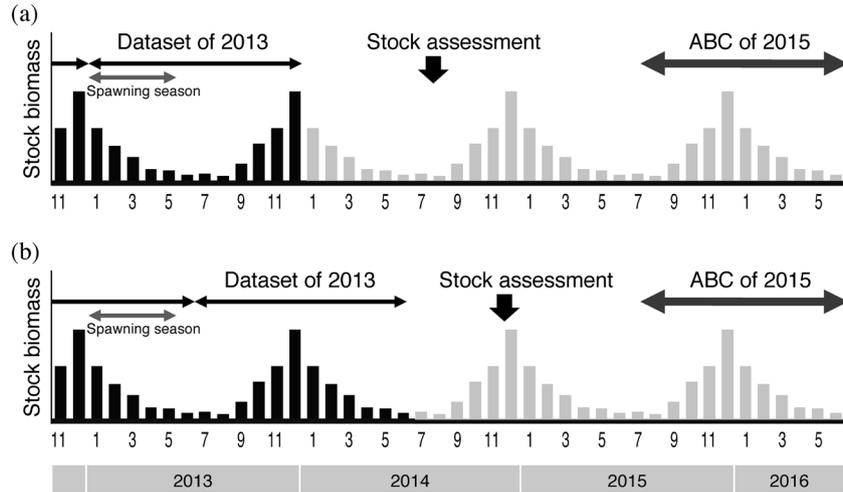


Figure 1. Time flow of stock assessment and evaluation of ABC. An example using dataset of 2013. (a) Calendar year basis and (b) fishing year basis. Stock assessment would be conducted during July and August for calendar year basis and November and December for fishing year basis. Black bars indicate the estimated stock biomass based on the catch amount. Gray bars indicate the projections of future stock biomass made from assessments using virtual population analysis.

による資源計算が行われている(黒田ほか, 2017). そして, VPAの結果をもとに漁期に対応した将来予測を行い, 生物学的許容漁獲量(Allowable Biological Catch, ABC)が算定されている(黒田ほか, 2017). 暦年集計にもとづいて資源計算が行われている主な理由は, 産卵期が分布域の南では1月から始まるため, 親魚量の評価時期として1月初め(つまり暦年)が好ましいと考えられていることと, 沿岸域での漁獲量の算定を暦年ベースの漁獲統計(漁業・養殖業生産統計年報)に依存していることである. しかし, 暦年集計では, 1つの漁期(7月~翌年6月)を2つの年に分けることになり, 同じ漁期内で同じコホートに属する魚に異なる年齢を割り振ることになる(Fig. 1). 例えば, 新規加入群は12月に漁獲されれば0歳魚だが, 1月に漁獲されれば1歳魚とみなされ, さらに次漁期の12月に漁獲された場合も1歳魚とみなされるため, 資源学的な解釈が難しくなる恐れがある. また, 資源評価が現状のように7~11月に行われるとすれば, 暦年集計では前年12月までの情報しか使えず, 直近漁期の後半の情報は資源計算に取り入れられないという問題がある. さらに, 漁期ABCを算定するために, 将来予測に関しては半年単位で新たに計算を行うなどの工夫を要し, 現在の資源評価では直近データから1年半というかなり先のABCを算定している(Fig. 1).

近年, マサバ対馬暖流系群の資源評価は, 資源量や親魚量を過大評価する傾向があり(由上ほか, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015; 黒田ほか, 2016, 2017), 精度向上が求められている. 過大推定の原因の一つとして, 資源量指標値の変動に合わせて漁獲係数を推定するチューニングの影響が指摘されているが(黒田ほか, 2017), 時間単位の問題も関係している可能性がある. そこで, 漁期年にもとづいた資源

計算を行い, 暦年による計算結果と比較することで, 集計方法が資源計算に与える影響を検討した. まず, 東シナ海・日本海および韓国近海のマサバ漁獲量を用いてVPAを行い, 資源量変動を推定した. 次に, レトロスペクティブ解析(平松, 1996, 2001)を行い, 近年の資源量推定値などにバイアスが生じていないかを確認した. さらに, それぞれのモデルで漁期に合わせたABCを算定し, その安定性を比較した.

材料と方法

資源計算は, 日本と韓国の漁獲に対して行い, マサバ対馬暖流系群の漁業資源評価(黒田ほか, 2017)で使われている資源量指標値の変動を考慮したチューニングVPAを用いた. 資源計算に必要なデータは, 漁獲量, 年齢別漁獲尾数(Catch At Age, CAA), 年齢別平均体重と年齢別資源量指標値である. 暦年集計の1年は1~12月, 漁期年集計の1年は7月~翌年6月と定義した(Fig. 1). 魚もそれぞれの年の区切りに従い, 加齢するとした. 7~11月の間に資源評価が行われることを想定して, 暦年集計では1992年1月~2014年12月のデータを, 漁期年集計では1992年7月~2015年6月のデータを用いて, 1992~2014年の資源量等を算出した.

漁獲量

日本のマサバ漁獲量は, 東シナ海・日本海における大中小型まき網漁業(漁獲成績報告書:水産庁)と, 九州・日本海沿岸域における中・小型まき網などその他の漁業(漁業・養殖業生産統計年報:農林水産省)の月別漁獲量を合算した(詳細な方法は黒田ほか(2017)参照). 漁業・養殖業生産統計年報の漁獲量は暦年集計値であるため, 九州主要

港における大中型まき網漁業の入り数別水揚量の比率にしたがって年前半（1～6月）と年後半（7～12月）に分割し、漁期年集計に使用した。韓国のマサバ漁獲量は、韓国沿岸における月別一般海面漁業総漁獲量（韓国海洋水産部）をもとに算出した。暦年、漁期年について日本と韓国の漁獲量の合計をそれぞれ計算し、総漁獲量として資源計算に使用した。

年齢別漁獲尾数と年齢別平均体重

九州主要港における大中型まき網漁業の入り数別水揚量から、月ごとに定めた各年齢の入り数範囲（黒田ほか、2017）を用いて月別CAAと月別年齢別平均体重を推定した。暦年、漁期年に応じて年別CAAと年別年齢別平均体重を集計したのち、日本と韓国の総漁獲量で年別CAAを引き伸ばした。暦年と漁期年の集計方法の違いは1～6月の漁獲物の年齢構成に表れ、漁期年では暦年よりも1歳若い年齢を割り当てることになる。また、加入は7月以降に生じると仮定し、暦年集計では1～6月の0歳の漁獲はないと見なした。

黒田ほか（2017）は、九州・日本海沿岸域における中・小型まき網などその他の漁業に関しては、各府県が行った漁獲物の体長測定データにもとづいてCAAを推定している。しかし、漁業間で漁獲物の年齢構成に大きな差はないため、本解析ではCAAの推定作業を簡略化し、暦年集計でも漁期年集計でも、沿岸域の漁獲物の年齢構成は大中型まき網漁業の年齢構成と同じと仮定した。そのため、本解析の暦年集計における資源計算の結果と黒田ほか（2017）の結果は若干異なる。

年齢別資源量指標値

東シナ海・日本海西部で操業する大中型まき網漁業の漁獲成績報告書（水産庁）にもとづき、各年齢に相当する銘柄の一網当たり漁獲量（Catch Per Unit Effort, CPUE; トン/網）を年齢別資源量指標として求めた。主漁期の1～5月と9～12月の操業のうち、マサバの漁獲量が主要10魚種の総漁獲量の10%を上回る操業をマサバ狙いとみなし、マサバ狙いの操業ごとに銘柄別CPUEを算出した（詳細な方法は黒田ほか（2016）参照）。操業月に応じて各銘柄を年齢へ振り分けた後、マサバ狙いの操業全体の平均値をもとめ、年齢別の資源量指標値とした。ここで銘柄の年齢への振り分けは、暦年集計の場合9～12月の豆銘柄を0歳、1～5月の豆銘柄と9～12月の小銘柄を1歳、1～5月の小銘柄と9～12月の中銘柄を2歳、1～5月の中銘柄と主漁期すべての大銘柄を3+歳とした。漁期年集計の場合、9月～翌年5月の豆銘柄を0歳、小銘柄を1歳、中銘柄を2歳、大銘柄を3+歳とした。なお、加入は7月以降に生じると仮定したため、暦年集計では9月以降の豆銘柄CPUEのみを0歳魚の指標値とした。

資源計算

暦年、漁期年について算出した年別CAA推定値をもとに、

黒田ほか（2017）の方法に準じてチューニングVPAにより資源計算を行った。ここで、暦年、漁期年ともに、成熟割合は0歳=0%、1歳=60%、2歳=85%、3歳以上=100%とし、自然死亡係数は年齢によらず0.4とした。

漁獲データが利用できる最近年（2014年）の年齢別漁獲係数（Fishing mortality coefficient, F）は、年齢別資源量指標値の変動と年齢別資源量の変動が最も合うように推定した（いわゆるチューニング）。チューニング期間は、漁船数など操業形態が現在に近く、漁獲効率が同じとみなせる2003～2014年とした。

VPAは年集計の開始時の資源量を計算するため、暦年集計では1月、漁期年集計では7月の時点での資源尾数が算出されることになる。それに年別年齢別平均体重をかけて資源量とした。また、親魚量（成熟魚資源量）、加入量（0歳魚資源尾数）、および漁獲割合（資源量に対する漁獲量の割合）を求めた。

レトロスペクティブ解析

近年における推定資源量の過大/過少評価の傾向を明らかにする方法の一つに、基準となるデータセットから1年ずつデータを減じて再計算を行い、基準年の推定結果と比較するレトロスペクティブ解析がある（平松、1996, 2001）。そこで、2014年までのすべてのデータを基準とし、2014年から2007年まで1年ずつデータを減じてVPAを行い、資源尾数を再計算した。ここでは、年齢別資源量指標値にもとづくチューニング期間も1年ずつ減じた。

レトロスペクティブパターンの程度を表す指標値として、Mohn rho（Mohn, 1999）を拡張した指標値 ρ を計算した。この指標は評価の最終年だけでなく、過去にさかのぼってバイアスを評価することができる。

$$\rho = \sum_{y=2007}^{2013} \sum_{z=2007}^y \frac{X_{z,y} - X_{z,2014}}{X_{z,2014}} \quad (1)$$

ここで、 X は資源量もしくは親魚量（Spawning Stock Biomass, SSB）、 y は減じたデータセットの年（ $2007 \leq y \leq 2013$ ）、 z は比較する年とする。例えば資源量の場合、 $X_{z,2014}$ は2014年までのデータにもとづくVPAで得られた z 年の資源量推定値（基準値）であり、 $X_{z,y}$ は y 年まで減じたデータセットを用いたVPAで得られた z 年の資源量推定値を示す。このとき、 y 年までのデータの z 年における資源量推定値の相対的修正度は $(X_{z,y} - X_{z,2014})/X_{z,2014}$ で計算できる。 y 年の傾向を示す指標は、相対的修正度の z に対する和で与え、年別相対的修正度と呼ぶ。さらに、年別相対的修正度の y に対する和を ρ と定義する。相対的修正度、年別相対的修正度と ρ は、正值の場合は過大推定、負値の場合は過少推定の傾向を示し、絶対値は傾向の大きさを示す。

生物学的許容漁獲量の算定と再評価

VPAの結果にもとづいてコホート解析の前進法により将来予測を行い、ABCを算定した。また、直近1年分の漁獲

量のデータが追加された場合に改めてVPAを行い、その結果にもとづいた将来予測によりABCを再計算した。これをABCの再評価と呼ぶ。ABCの当初予測値と再評価値を比較することで、算定ABCの安定性を検討した。

現在の資源評価スケジュールによれば、 y 年の資源評価では、 $y-1$ 年までのデータを用いて $y-1$ 年までの資源計算を行い、その結果にもとづいて y 年と $y+1$ 年の資源量や漁獲量などを予測する。ABCは $y+1$ 年の漁獲量で定義される (Fig. 1)。次に、 y 年のデータが追加された時点で y 年までの資源計算を改めて行い、 $y+1$ 年の漁獲量を予測してABCを再評価する。ここで、将来の加入量当たりの親魚量 (Recruitment Per Spawning, RPS) は、1992年から直近年を除いた期間に推定されたRPSの中央値とし、将来予測で計算されたSSBとの積を将来の加入量とした (黒田ほか, 2017)。 y 年の漁獲は現行の漁獲圧 F_{current} (過去3年間の平均)、 $y+1$ 年目からは管理基準値に従った F で漁獲が開始されるとした。本論文では親魚量を維持する漁獲シナリオを考え、将来の F を F_{med} に設定した。 F_{med} とは、加入量当たりの親魚量 (Spawning Per Recruitment, SPR) がRPSの中央値の逆数と等しくなる F である。

現在、マサバ対馬暖流系群のABCは漁期年に合わせて算定されている (黒田ほか, 2017)。そのため、漁期ABCを算定し、集計方法間で比較した。例えば、2014年の資源評価で2015年漁期 (2015年7月～2016年6月) ABCを算定する場合を考える (Fig. 9の表を参照)。漁期年集計では、当初予測値は、2013年までのデータ (2013年7月～2014年6月) を用いて2013年までの資源計算を行い、その結果にもとづいて予測した2015年漁期の漁獲量である。このとき、2014年の F は F_{current} (2011～2013年の平均)、2015年の F は F_{med} と設定する。再評価値は、2014年まで

のデータ (2014年7月～2015年6月) を用いて2014年までの資源計算を行い、その結果にもとづいて予測した2015年漁期の漁獲量であり、2015年の F は F_{med} とする。

暦年集計では、漁期ABCを算定するために、将来予測は年前半 (1～6月) と年後半 (7～12月) の半年を単位としたコホート解析の前進法により行った (詳細は黒田ほか (2017) 参照)。このとき、VPAで推定した年齢別 F は、将来の年齢別漁獲尾数の年前半と年後半の比率が、過去3年間の平均値と等しくなるように分解し、計算に使用した。例えば、2014年の資源評価で2015年漁期ABCを算定する場合、2013年までのデータ (2013年1～12月) を用いて2013年までの資源計算を行ったうえで、半年単位の将来予測を行う。2014年と2015年前半の F を F_{current} 、2015年後半と2016年前半の F を F_{med} としたときに予測される2015年漁期の漁獲量がABCの当初予測値である。再評価では、2014年までのデータ (2014年1～12月) を用いて2014年までの資源計算を行ったうえで、半年単位の将来予測を行う。その際、2015年前半の F を F_{current} 、2015年後半と2016年前半の F を F_{med} としたときに予測される2015年漁期の漁獲量がABCの再評価値である。

本論文では、2010～2015年の漁期ABCをそれぞれ2008～2013年までのデータを用いて算定し、さらにそれぞれ2009～2014年までのデータを用いて再評価を行った。

結果 漁獲量

2004～2011年の日本の大中型まき網漁業 (Fig. 2a) および韓国 (Fig. 2b) では、9～12月の漁獲量が多かった。しかし日本の大中型まき網漁業では、2011年以降12～3月の漁獲量が相対的に多くなり、盛漁期が遅れる傾向が見られた。

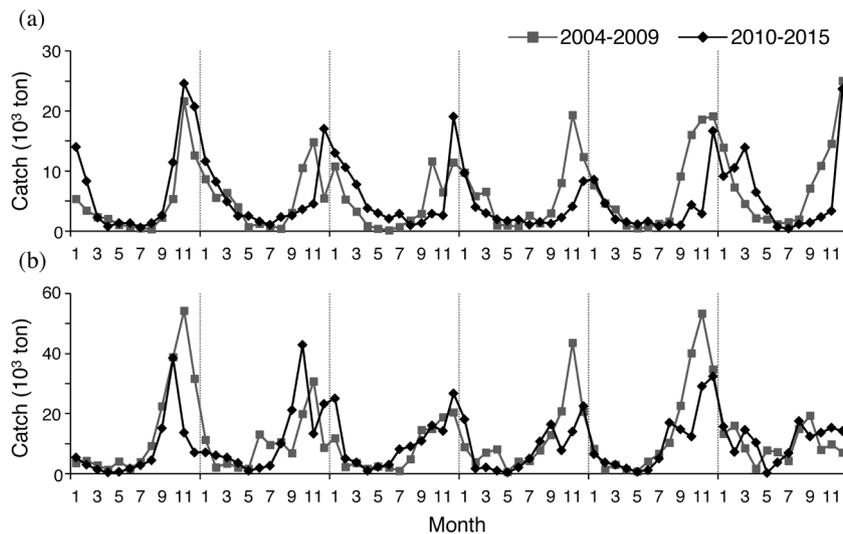


Figure 2. Monthly catch amount (10^3 t) of (a) Japan: the large- and medium-type purse seine fishery and (b) Korea. Gray line with square markers indicate the data from 2004 to 2009 and black line with diamond markers indicate the data from 2010 to 2015.

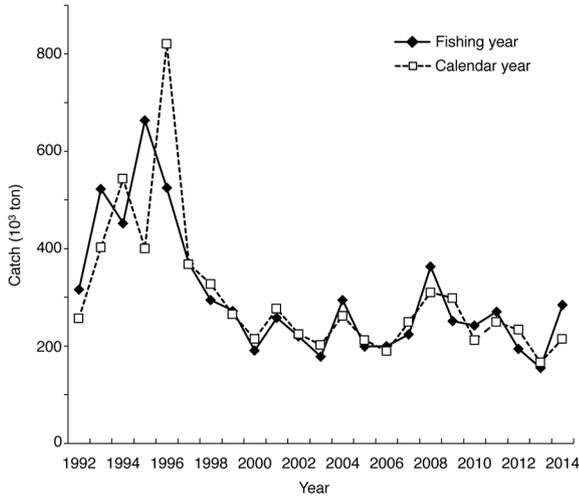


Figure 3. Total catch amount (10^3 t) given by the sum of Japanese and Korean catch from 1992 to 2014. Solid line with diamond markers indicate the fishing year basis and dashed line with open square markers indicate the calendar year basis.

一方、韓国では盛漁期の遅れは見られなかった。

日本と韓国を合わせた総漁獲量の暦年（1～12月）集計値と漁期年（7～翌年6月）集計値を比較すると、1992～2014年の年変動のトレンドは変わらなかった（Fig. 3）。これは、漁獲量の $60.2 \pm 11.6\%$ （1992～2014年の平均値 \pm SD）を占める7～12月が集計方法間で共通しているためと考えられる。ただし、増減のピークや変化幅が異なっている年が見られた（例：1994～1996年、2008～2009年、2011～2014年）。この時期は、年前半（1～6月）に豊漁、もしくは同じコホートでも年後半（7～12月）と翌年前半で漁獲量に差があるという特徴があった（Fig. 2）。

年齢別漁獲尾数と年齢別平均体重

1992～2014年のCAA（0～3+歳）は、暦年集計値と漁期年集計値で年齢組成が大きく異なった（Fig. 4）。暦年集計は0歳魚と1歳魚が主体であったのに対し、漁期年集計では0歳魚が全体の $82.5 \pm 8.1\%$ （平均値 \pm SD）を占めていた。どちらの集計方法でも、2歳、3+歳と年齢が上がるにつれて漁獲尾数は少なくなった。各年齢の漁獲尾数の年変動に大きなトレンドの違いはなかったが、各年の多寡に違いが

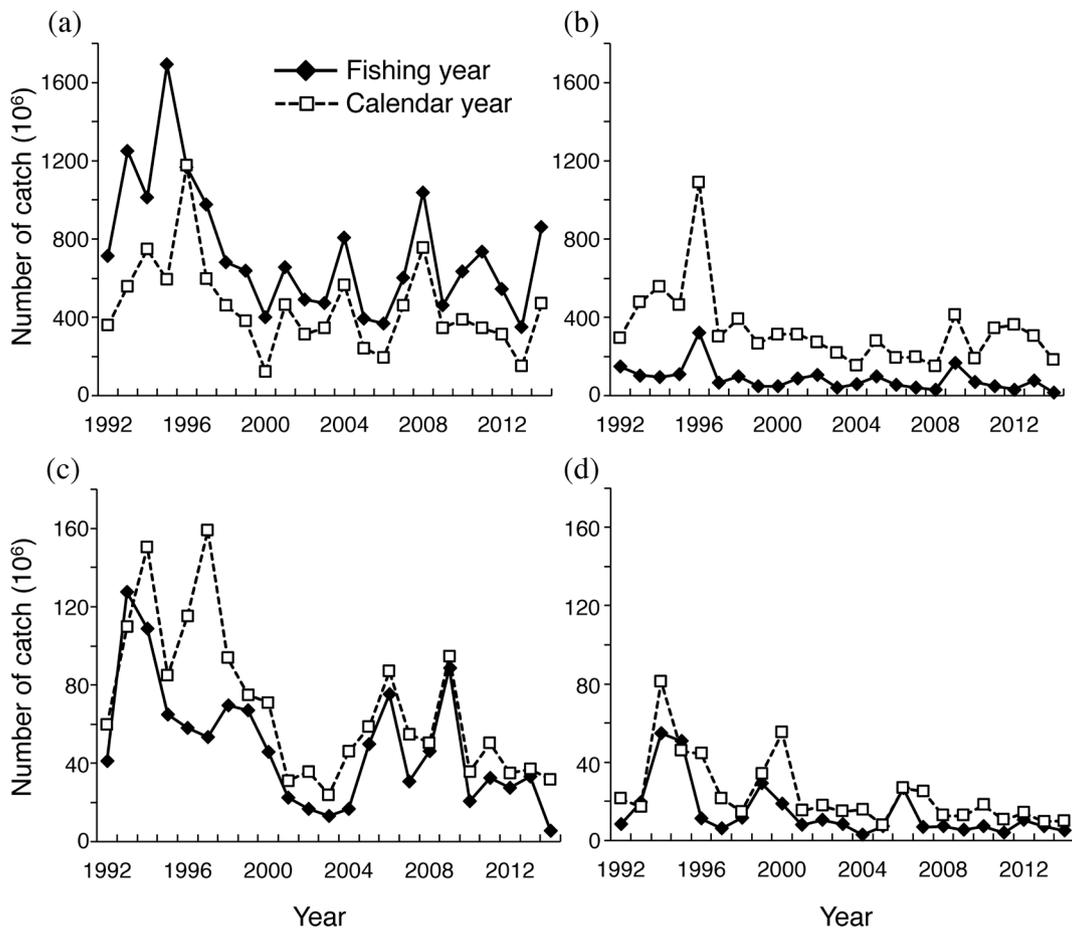


Figure 4. Number of catch (10^6) at (a) Age-0, (b) Age-1, (c) Age-2 and (d) Age-3+ from 1992 to 2014. Solid line with diamond markers indicate the fishing year basis and dashed line with open square markers indicate the calendar year basis.

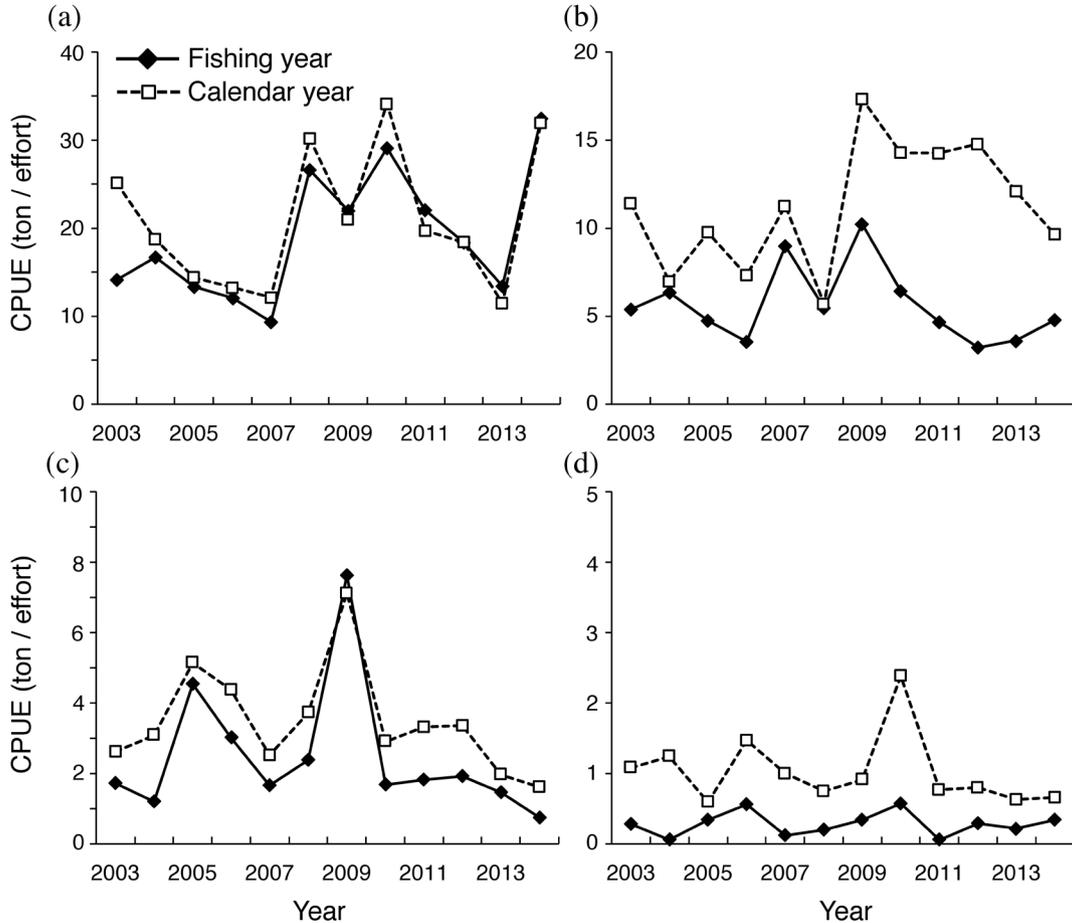


Figure 5. CPUE (t/effort) at (a) Age-0, (b) Age-1, (c) Age-2 and (d) Age-3+ from 1992 to 2014. Solid line with diamond markers indicate the fishing year basis and dashed line with open square markers indicate the calendar year basis.

見られることがあった。例えば、漁期年集計では1995年の0歳魚の漁獲尾数は非常に多かったが、暦年集計では少なかった (Fig. 4a)。また、2011～2013年の1歳魚の漁獲尾数の傾向が異なっていた (Fig. 4b)。

年齢別体重は、すべての年齢で漁期年集計の方が暦年集計よりも常に大きかった。各年齢の平均体重は、漁期年集計では0歳魚が 315 ± 8 g (平均値 \pm SD)、1歳魚が 404 ± 27 g、2歳魚が 517 ± 18 g、3+歳魚が 701 ± 27 gであったのに対して、暦年集計ではそれぞれ 295 ± 9 g、 353 ± 11 g、 472 ± 25 g、 636 ± 29 gであった。

年齢別資源量指標値

2003～2014年のCPUE (0～3+歳)は、暦年集計値と漁期年集計値で大きなトレンドは変わらなかった (Fig. 5)。しかし、2011～2014年の1歳CPUEは集計方法間で傾向が異なっていた (Fig. 5b)。この年代は1～5月の漁獲量が多く (Fig. 2)、その大半は豆銘柄であった。漁期年集計では0歳に換算されるのに対し、暦年集計では1歳に換算されたため、暦年集計値の1歳CPUEが高くなった。

また、別の特徴として、0歳CPUEは、暦年集計値と漁期

年集計値にほとんど違いはなかったが、1歳～3+歳CPUEは、ほぼ常に暦年集計値が漁期年集計値よりも高かった (Fig. 5)。基本的に、大中型まき網漁業は小さい銘柄ほどCPUEが高いため、1歳～3+歳のCPUEは暦年集計値の方が漁期年集計値よりも高くなる (Fig. 4)。一方、豆銘柄CPUEは9～12月と翌1～5月では大きく変化しないため、それらをまとめた漁期年集計の0歳CPUEと、9～12月の豆銘柄CPUEに相当する暦年集計の0歳CPUEはほとんど差がない。

資源計算

VPAで求めた資源量は、暦年集計の方が漁期年集計よりも常に多かった (Fig. 6a)。1996年以前の増減に違いが見られたものの、1997年以降、大きなトレンドは変わらなかった。

親魚量も、暦年集計の方が漁期年集計より多かった (Fig. 6b)。大きなトレンドは変わらなかったが、2011年以降の傾向がやや異なった。

加入量は、暦年集計と漁期年集計ともに、1995年に30億尾前後と最大となった (Fig. 6c)。その後のトレンドは変わ

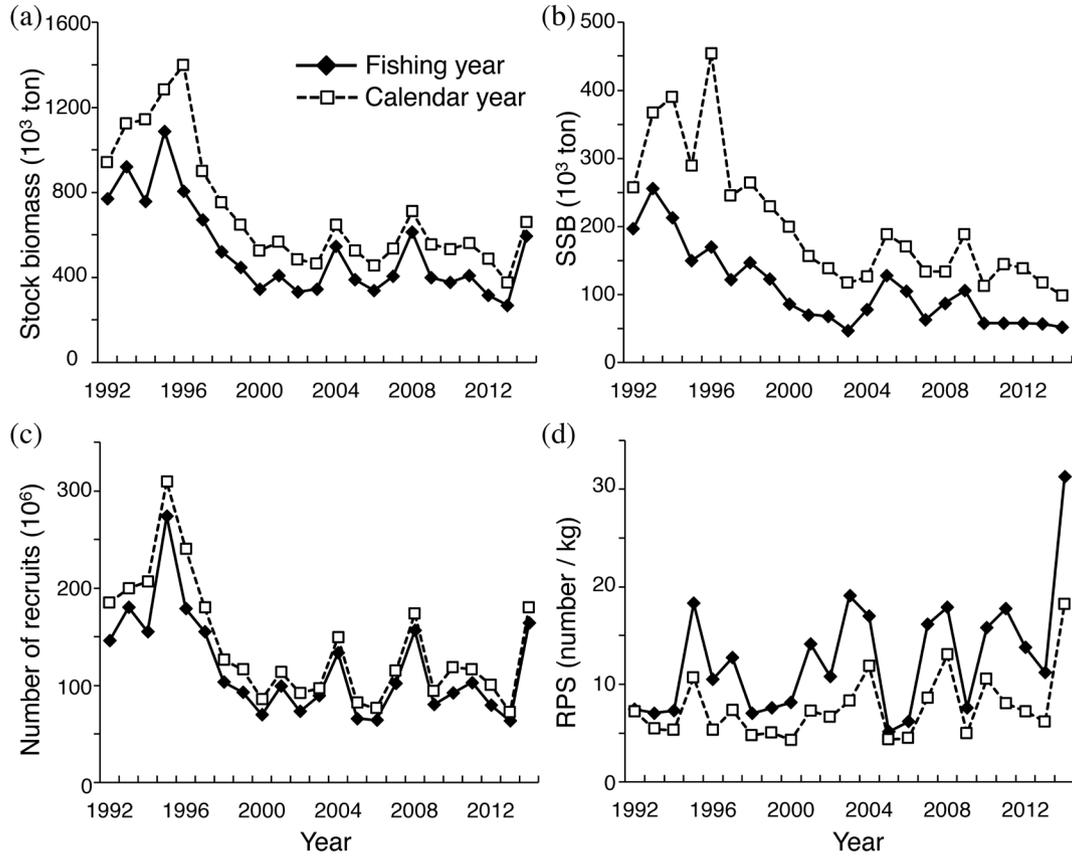


Figure 6. Estimated (a) stock biomass (10^3 t), (b) SSB (10^3 t), (c) number of recruits (10^6), and (d) RPS (number of recruits/kg) from 1992 to 2014. Solid line with diamond markers indicate the fishing year basis and dashed line with open square markers indicate the calendar year basis.

らなかった。また、RPSは漁期年集計の方が暦年集計よりも常に大きかったが、トレンドは変わらなかった (Fig. 6d)。

漁獲割合 (漁獲量/資源量) は、漁期年集計が暦年集計よりも常に高かった (Fig. 7a)。1992年から2014年までの平均値 \pm SDは、漁期年集計では $58.6\pm 6.0\%$ 、暦年集計では $41.0\pm 7.0\%$ であった。

年齢別漁獲係数 (F) は、暦年集計と漁期年集計ともに年変動が大きかった。とくに、1歳および2歳以上の高齢魚のFが大きく変動したが、年齢間で変動に共通の傾向は見られなかった。暦年集計では1歳のFが高いのに対し、漁期年集計では0歳のFが高かった (Fig. 7b, c)。

レトロスペクティブ解析

最近年2014年までのすべてのデータによって求められた資源量を基準とすると、暦年集計では、2007～2008年までのデータをそれぞれ使用した場合は資源量をやや過少に、2009～2013年までのデータをそれぞれ使用した場合は過大に推定する傾向があった (Fig. 8a)。漁期年集計では、2007年は過少に、2008年以降は過大に資源量を推定する傾向があった (Fig. 8b)。親魚量のレトロスペクティブパターンは、暦年集計の場合は資源量と同様の傾向を示し

たが、漁期年集計の場合は2009～2010年に過大に親魚量を推定する傾向が見られたものの、2011年以降顕著なパターンは見られなかった。

2014年までのデータによる推定値を基準とした年別相対的修正度と ρ をTable 2に示した。年別相対修正度によると、資源量と親魚量ともに、2010年の暦年集計値、2009年と2010年の漁期年集計値は過大推定の傾向が強かった。一方、年別相対的修正度の絶対値の大きさが0.1以下の年は、暦年集計値では親魚量の2007年だけであったのに対し、漁期年集計値では資源量の2008年と2013年、親魚量の2008年と2011年、2012年であった。資源量と親魚量の ρ は暦年、漁期年ともに過大推定の傾向にあることを示したが、資源量では漁期年集計値が、親魚量では暦年集計値がより大きかった。漁期年集計は、多くの年で、資源量や親魚量の推定値が修正される程度が暦年集計よりも小さいが、一部の年で大きくなることもあると言える。

生物学的許容漁獲量の算定と再評価

2013～2015年のABCは暦年集計と漁期年集計でほぼ同じであったのに対し、2010～2012年のABCは漁期年集計の方が大きかった (Fig. 9)。とくに漁期年集計の2011年ABC

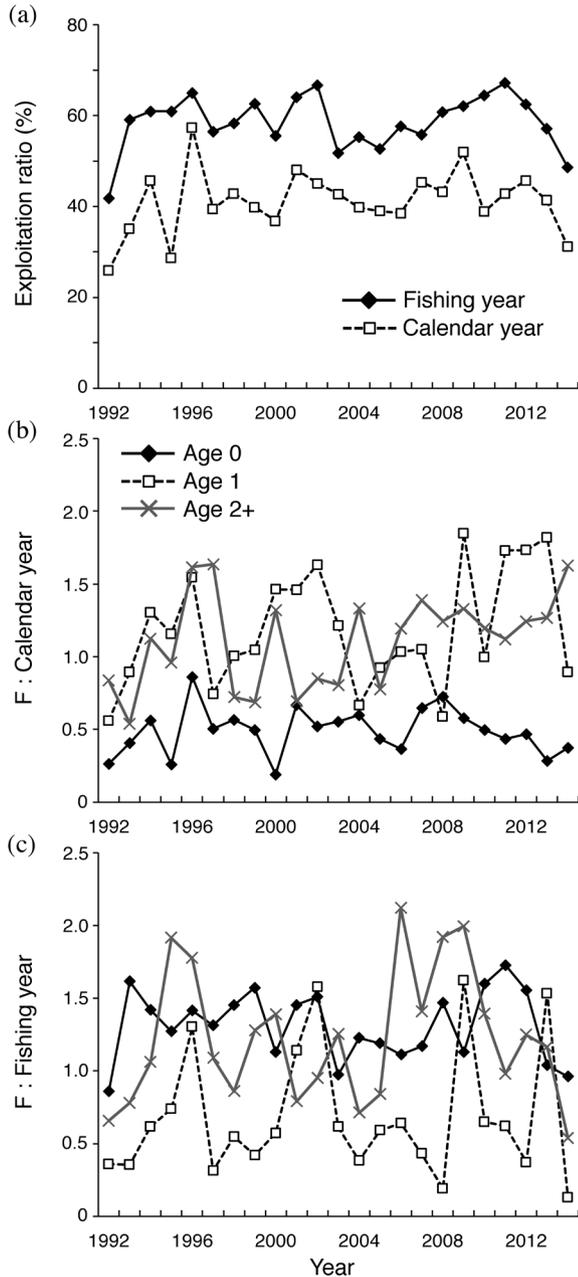


Figure 7. (a) Exploitation ratio (%) from 1992 to 2014. Solid line with diamond markers indicate the fishing year basis and dashed line with open square markers indicate the calendar year basis. Fishing mortality coefficient of (b) calendar year basis and (c) fishing year basis. Solid line with diamond markers indicate Age-0, dashed line with open square markers indicate Age-1, and gray line with cross markers indicate Age-2+.

および2012年ABCは、非常に大きい値が算定された。

再評価では、暦年集計、漁期年集計ともにABCが大きく修正される年があった。特に、漁期年集計では2012年のABCが大幅に下方修正された。

考察

暦年集計と漁期年集計で、資源評価結果にいくつかの差がみられた。日本および韓国におけるマサバ漁獲量は、暦年集計値と漁期年集計値で大きな違いは見られなかった。VPAで求めた加入量にもほとんど差がなかったが、資源量と親魚量は暦年集計の方が漁期年集計よりも常に大きかった。漁期年集計では漁獲割合が非常に高く、特に0歳魚への漁獲強度が高かった。また、レトロスペクティブ解析の結果から、漁期年集計による資源計算では、暦年集計で見られた近年の資源量および親魚量の過大推定の程度は多くの年で軽減した。しかし、暦年集計よりも大きな程度で過大推定する年もあり、その年代は将来予測によって算定したABCも過大評価していた。

日本および韓国のマサバ漁獲量の大半は、9～12月に集中している。この時期は暦年集計と漁期年集計に共通しているため、両者の総漁獲量に大きな違いは生じなかった。しかし1～3月の漁獲が多い年代では、暦年集計値と漁期年集計値が顕著に異なっていた。2011年頃から、日本の大中型まき網漁業では盛漁期が12月～翌年3月にずれ込む傾向が見られており、今後、暦年集計値と漁期年集計値の違いが大きくなる可能性がある。

VPAで求めた加入量に集計方法間で大きな差はなかったが、資源量と親魚量は常に漁期年集計の方が少なかった。その結果、RPSは常に漁期年集計の方が高くなった。資源量と親魚量に見られた差は、それらを推定している基準月の違い（暦年1月、漁期年7月）を主に反映していると考えられる。漁期年集計は1～6月の漁獲や自然死亡を考慮している分、資源量と親魚量が暦年集計より少なくなる。一方、漁業への0歳魚の加入は実質的に7月以降のため、推定加入量には基準月の差が表れにくいと考えられる。また、資源量と親魚量、RPSの年トレンドは集計方法によって大きな違いは見られなかったが、2011年以降の親魚量の傾向が異なっていた。これは、1歳漁獲尾数の傾向が異なっていたことを反映しているのかもしれない。

レトロスペクティブパターンを見ると、暦年集計と漁期年集計ともに過大推定の傾向は長らく見られたが、漁期年集計では修正の程度は低かった。特に、バイアスがあっても評価最終年に限定されることが多く、過去にさかのぼって修正されることはあまりなかった。その一方で、漁期年集計では2009年と2010年のように資源量とABCの大幅な下方修正がみられることもあった。漁期年集計では、漁獲割合が非常に高い。とくに0歳の漁獲係数が高く、0歳の漁獲尾数は全漁獲尾数の82.5%（1992～2014年の平均値）を占めていた。東シナ海・日本海のマサバ漁は若齢魚を中心に成り立っている漁業であると言える。一般に、浮魚資源の加入量は変動が大きく、予測は難しい（桜本, 1998）。また、漁獲データの蓄積が乏しいため、資源評価年近くの若齢魚の推定資源量の信頼性は低い（平松, 2001）。その

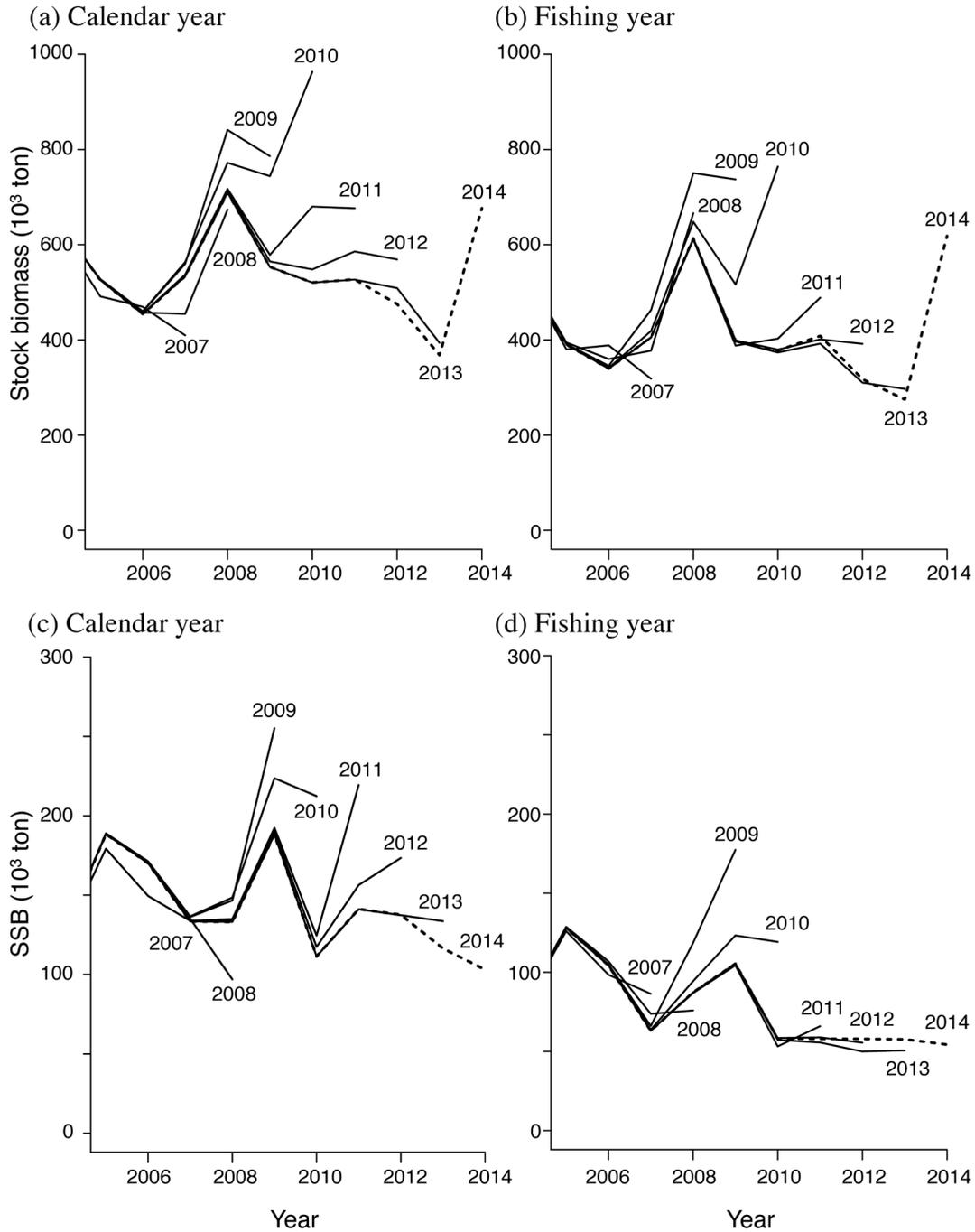


Figure 8. Retrospective patterns of stock biomass for (a) calendar year basis and (b) fishing year basis, and those of SSB for (c) calendar year basis and (d) fishing year basis. Dashed lines indicate the estimates of reference year using the full dataset (1992–2014).

ため、漁獲が0歳魚に過度に依存した資源の評価や予測は不安定にならざるをえない。

将来予測は、過去の資源量や親魚量の推定バイアスに加えて、将来のFや加入の仮定に強く影響を受ける。本系群では、RPSは長期間(直近年を除く1992年以降)の中央値を仮定しているため、年によって大きな変化はない。しかし、漁期年集計の場合、将来の0歳魚のFや加入量の見積

もりを誤ると、ABCが大きく変わってしまう。一方、暦年集計の場合は、新規加入群のFを0歳魚と1歳魚に分けて評価するため、結果的に大きく外れるリスクが軽減されるのかもしれない。この問題はチューニング計算の工夫や将来のFの見積もり方法の改善などで解消できる可能性もある。しかし、その対策には限界があるため、資源計算や将来予測においてマアジ対馬暖流系群(依田ほか, 2017)の

Table 2. Annual relative difference in the results between the peeled analysis and the reference analysis using the full data (1992–2014) and ρ . (a) stock biomass and (b) SSB for calendar year basis and fishing year basis.

(a)		
Year	Calendar year	Fishing year
2007	- 0.23	- 0.22
2008	- 0.2	0.02
2009	0.65	1.22
2010	1.34	1.41
2011	0.65	0.23
2012	0.39	0.22
2013	0.14	0.00
ρ	2.74	2.88

(b)		
Year	Calendar year	Fishing year
2007	0.00	0.37
2008	- 0.26	0.04
2009	0.48	1.09
2010	1.23	1.31
2011	0.71	0.04
2012	0.44	- 0.02
2013	0.14	- 0.32
ρ	2.75	2.51

ような漁業に依存しない加入量調査データの利用が望まれる。

漁期年集計では、若齢魚を主体とするマサバ対馬暖流系群の漁業の構造をより明確に捉えることができた。一方で、その構造ゆえに、資源の評価や予測が不安定になる可能性も示唆された。成熟前の若齢魚に過度に依存した漁業は、資源の持続的利用の観点からは好ましくないだろう(桜本, 1998)。漁期年集計による資源評価は、本資源の資源管理の在り方について再考をもたらすものとなるかもしれない。

最後に、漁期年集計にもとづく資源評価の実施上の課題を挙げておく。マサバ太平洋系群のように資源評価を11月に始める場合、直近漁期後半(同年1~6月)の漁獲量や体長測定データを迅速に集計するシステムを構築しなければならない。漁獲量については、TAC集計に使われているリアルタイムの統計値が利用できそうである。また、各府県体長測定データにもとづく沿岸漁獲物のCAA(本解析では使用しなかった)や年齢別CPUEなどをより正確に推定するために、年齢-体長関係や年齢-銘柄関係などを見直す必要があるかもしれない。特に、年齢と銘柄の対応関係

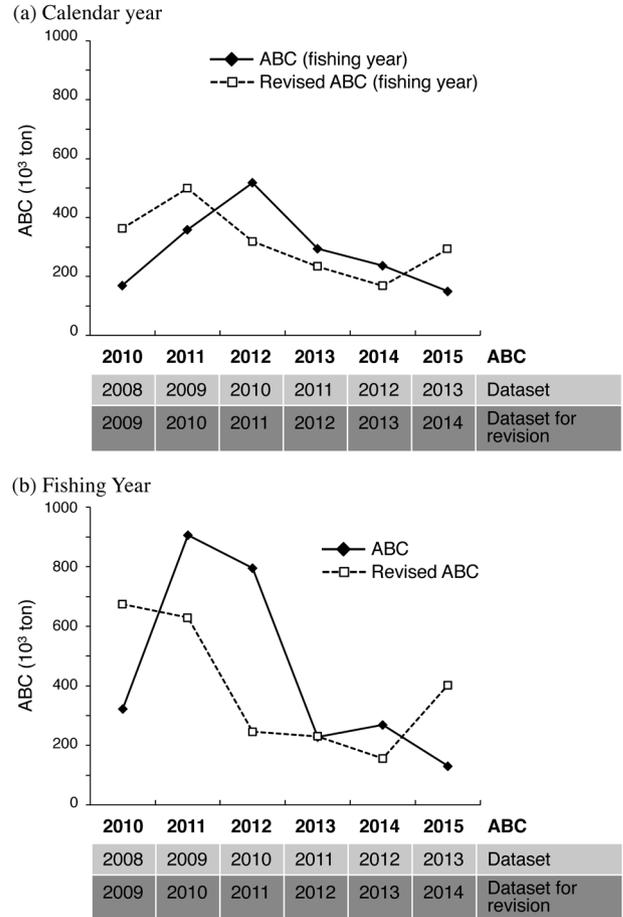


Figure 9. ABC (10^3 t) and revised ABC (10^3 t) for (a) calendar year basis and (b) fishing year basis from 2010 to 2014. Dataset for ABC and that for revised ABC were listed.

にはいくらかの不確実性が存在する。例えば、秋頃の小銘柄には1歳魚だけでなく、成長の早い0歳魚が混ざっている可能性がある。年の集計方法を変えることで顕在化する不確実性もあれば、軽減される不確実性もあるだろう。今後もより適切な資源量指標値を検討していく必要がある。

また、親魚量の評価時期と産卵期との整合性については若干の懸念が残る。マサバ対馬暖流系群では11~3月の盛漁期の最中およびその直後に産卵期が来る。系群としての産卵期は長く、そのピークは東シナ海南部では1~2月、九州西沖では3~5月、日本海西部では5~6月と考えられている(大内・濱崎, 1979; Yukami et al., 2009)。暦年および漁期年にもとづく資源計算では基準月(1月もしくは7月)に加齢すると仮定しているため、どちらの場合も産卵期に加齢する生物学的な加齢時期とはある程度のずれが生じる。しかし4~6月はマサバの漁獲は多くないため、漁期年で集計した場合、生物学的な加齢時期とのずれが資源評価に与える影響はそれほど大きくないと思われる。ただし東シナ海南部のように、産卵時期が早い集団が、次世代の生産

により多く寄与する場合は注意が必要である。また、漁期年集計で資源計算を行う際は、各年齢の成熟率や自然死亡係数など生物学的な仮定も再度吟味する必要があるだろう。漁期年集計の場合、0歳魚は年の終わりには尾叉長27~28 cm程度の個体も含むため、すでに成熟している可能性がある(Shiraishi et al., 2008)。

本研究では、暦年集計と漁期年集計という集計方法の違いが、主に資源計算とABC算定に与える影響を検討した。レトロスペクティブ解析の結果から、漁期年集計では資源量推定が稀に大きく外れるリスクを抱えることになるものの、より多くの年でバイアスが軽減する可能性が示唆された。また、管理上の漁期との整合性が高く、同じ産卵期に生まれた魚を同じ漁期内で1つの齢として捉えるため資源学的な解釈は容易になる利点もある。さらに、資源評価を行う際に直近漁期のすべての漁獲データを明示的に使用することができるため、資源計算の精度向上と漁況に応じた素早い対応が期待される。以上の点を総合すると、まれに見られるABCの不安定性などいくつかの課題が解消されれば、漁期年にもとづく資源評価を行うことで、資源評価やABC算定の信頼性が高まることが期待できる。

資源評価における単位時間や「年」の定義の問題は、あまり注目されることはないが、どの資源にも共通する問題である。本研究は、マサバ対馬暖流系群を事例に、年の定義の違いが異なる資源評価結果をもたらす可能性を示した。さらにより一般的な知見を得るためには、産卵時期や漁期、魚の季節成長などを明示的にモデル化した管理戦略評価(Management Strategy Evaluation, MSE; 黒田2014, 2016)に沿ったシミュレーションが有効である。これらの分析は、資源評価モデルの適切な時間構造を決定する一助となるだろう。

謝辞

国立研究開発法人水産研究・教育機構西海区水産研究所の依田真里氏、永沢亨氏、ならびに2名の匿名の査読者と担当編集委員に原稿に対する有益なコメントをいただいた。深く感謝申し上げる。本研究は、水産庁委託事業「我が国周辺水域資源評価等推進事業」の一部として実施された。

引用文献

平松一彦(1996) 国際会議で用いられる資源評価手法について。水産資源管理談話会報, 15, 3-24。
平松和彦(2001) VPA (Virtual Population Analysis)。『資源評価体制確立推進事業報告書—資源解析手法教科書』田中昌一、青木一郎、赤嶺達郎、一丸俊雄、岸田 達、高場 稔、田中栄次、福田雅明、谷津明彦、由木雄一、和田時夫編、社団法人水産資源保護協会、東京、104-128。

市野川桃子・岡村 寛(2014) VPAを用いた我が国水産資源評価の統計言語Rによる統一の検討。水産海洋研究, 78, 104-113。
Ichinokawa, M., H. Okamura and H. Kurota (2017) The status of Japanese fisheries relative to fisheries around the world. ICES J. Mar. Sci., 74, 1277-1287。
黒田啓行(2014) 資源評価とその方法。「マグロの資源と生物学」水産総合研究センター、成山堂書店、東京、183-196。
黒田啓行(2016) 水産資源管理の考え方。「魚たちとワシントン条約 マグロ・サメからナマコ・深海サンゴまで」中野秀樹、高橋紀夫編、文一総合出版、東京、101-119。
黒田啓行・依田真里・安田十也・福若雅章(2016) 平成27年度マサバ対馬暖流系群の資源評価。平成27年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第1分冊、水産庁・水産総合研究センター、183-220。
黒田啓行・依田真里・安田十也・鈴木 圭・竹垣草世香・高橋素光(2017) 平成28年度マサバ対馬暖流系群の資源評価。平成28年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第1分冊、水産庁・水産研究・教育機構、201-235。
Mohn, R (1999) The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data. ICES J. Mar. Sci., 56, 473-488。
大内 明・濱崎清一(1979) 日本海西部・東シナ海におけるマサバの系統群。西海区水研報, 53, 125-152。
桜本和美(1998) 「漁業管理のABC—TAC制がよくわかる本—」。成山堂出版、東京。
Shiraishi, T., K. Okamoto, M. Yoneda, T. Sakai, S. Ohshimo, S. Onoe, A. Yamaguchi and M. Matsuyama (2008) Age validation, growth and annual reproductive cycle of chub mackerel, *Scomber japonicus*, off waters of northern Kyushu and in the East China Sea. Fish. Sci., 74, 947-954。
水産庁・水産研究・教育機構(2017) 平成28年度我が国周辺水域の漁業資源評価。水産庁・水産研究・教育機構。
田中栄次(2012) 「新訂 水産資源解析学」。成山堂出版、東京。
依田真里・黒田啓行・高橋素光(2017) 平成28年度マサバ対馬暖流系群の資源評価。平成28年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第1分冊、水産庁・水産研究・教育機構、124-153。
Yukami, R., S. Ohshimo, M. Yoda and Y. Hiyama (2009) Estimation of spawning grounds of chub mackerel (*Scomber japonicus*) and spotted mackerel (*S. australasicus*) in the East China Sea based on catch statistics and biometric data. Fish. Sci., 75, 167-174。
由上龍嗣・依田真里・大下誠二・田中寛繁(2011) 平成22年度マサバ対馬暖流系群の資源評価。平成22年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第1分冊、水産庁・水産総合研究センター、191-219。
由上龍嗣・依田真里・大下誠二・田中寛繁・黒田啓行(2012) 平成23年度マサバ対馬暖流系群の資源評価。平成23年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第1分冊、水産庁・水産総合研究センター、187-216。
由上龍嗣・依田真里・大下誠二・安田十也(2013) 平成24年度マサバ対馬暖流系群の資源評価。平成24年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第1分冊、水産庁・水産総合研究センター、167-196。
由上龍嗣・依田真里・大下誠二・安田十也(2014) 平成25年度マサバ対馬暖流系群の資源評価。平成25年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第1分冊、水産庁・水産総合研究センター、169-200。
由上龍嗣・依田真里・安田十也・福若雅章(2015) 平成26年度マサバ対馬暖流系群の資源評価。平成26年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第1分冊、水産庁・水産総合研究センター、173-206。