

北海道日本海におけるマダラの資源状態について

星野 昇*

Evaluation of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) stocks in the Sea of Japan off Hokkaido.

Noboru HOSHINO*

The catch of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*), one of the most important species in the coastal waters off Hokkaido in the Sea of Japan, has been decreasing in recent years. In this study, Pacific cod stocks were evaluated based on verification of catch fluctuation, estimation of catch-at-age in each fishery, and stock size by VPA. The catch trend in each fishery, except that in the coastal sea area off Souya, has been decreasing since 2000, especially for the offshore trawl fishery. The fishing season has changed to spring (February to April), resulting in a decrease in the ratio of the catch from December to January, which was the major fishing season previously. Stock size estimated using VPA fluctuated between 25,000 and 30,000 tons in the first half of the 1990s; however, it has been reduced to less than 10,000 tons in recent years. One reason for the decline in stock is that the stock-recruitment relationships (RPSs) for the 1994, 1995, and 1996 year classes showed a continuous change to a lower level. Although RPSs for the 1997, 2000, and 2005 year classes were at a higher level, their recruitment sizes did not have sufficient capability for enhancing the stock size because of the lower maternal stock size. These results suggest a necessity for the fisheries management plan to increase the spawning stock biomass.

キーワード：マダラ，日本海，漁獲動向，年齢組成，VPA，資源量，再生産関係

まえがき

北海道日本海においてマダラは主要な漁業資源のひとつである。その漁獲量は1991年に1万トンを超えたが、以降は減少が続き、近年は4,000トンを下回る低い水準で推移している (Fig.1)。特に沖合底曳き網漁業では、スケトウダラ、ホッケに次ぐ重要対象種であったが、最近では沿岸漁業による漁獲量を下回っている。漁獲量の減少の背景には資源量の減少があると考えられるが、同海域に分布するスケトウダラやホッケでは調査船調査による採集調査や魚群探知機調査などによるモニタリングを併用して、資源量の定量的評価が行われている¹⁾のに対し、マダラでは資源動向について理解が進んでいない。我が国では仙台湾を主産卵場とする東北地方太平洋側に分布する資源のみ定量的な評価が進んでいる²⁾。

北海道日本海産マダラの資源評価が困難であった背景

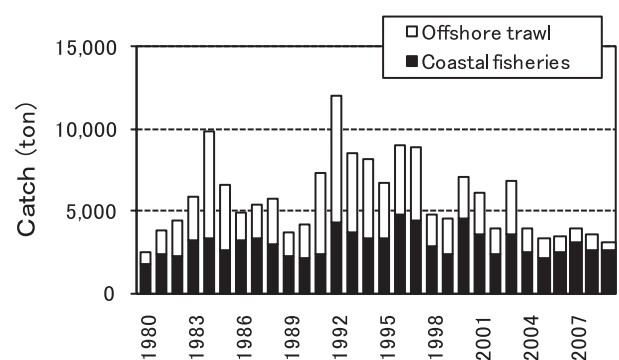


Fig.1 Change in annual catch of Pacific cod in the Sea of Japan off Hokkaido. Annual catch is the sum of the catch from April to the following March (Statistics: Hokkaido Suisan Gensei).

については、星野³⁾に詳記されている。すなわち、漁獲物が大型で高価なため、漁獲物標本調査における標本測定数が少ないうえに、漁獲物が洋上において独特な方法で箱詰めされた状態で出荷されることが多いため、市場における漁獲物測定調査などの一般的な方法がとれない。これに加え、北海道日本海産マダラでは耳石輪紋の構造が複雑で年齢査定が容易でないといわれている。星野³⁾は、このような北海道日本海におけるマダラの出荷事情に応じた、少数標本に基づくAge-Length-Keyなどの推定方法を示したうえで、これまで行ってきた漁獲物標本調査データから妥当な漁獲物年齢組成を得ることができることを示した。また、マダラの年齢査定については、比較的高度な読輪技術を要するが、服部⁴⁾が示した方法に基づいて観察者の訓練を行えば十分に査定可能であると思われる。

一方、VPA（コホート解析）による資源量推定については、いずれの漁業・海域・時期を、どの漁獲物標本組成で代表すればよいか、いわゆる「引きのぼし」に関する考え方が未整理であることで、北水試における既存データの活用が進んでいなかったという事情が大きい。

そこで、北海道日本海における近年の資源動向を定量的に把握し、漁獲減の背景への理解と資源管理方策を検討するための情報を得ることを目的として、日本海においてマダラを漁獲する各海域・漁業の漁獲量変動傾向などを検討した。さらに、北水試における既存の標本データ（年齢など）や漁獲統計データを精査し、さらに活用方法の検討、新たな漁獲統計データの収集を進め、VPAによる資源量推定を行った。これにより、北海道日本海におけるマダラ資源動向の特徴について知見を得たので報告する。

材料と方法

本稿では、宗谷、留萌、石狩、後志、および檜山の各支庁沿岸と、北海道日本海沖合の沖合底曳き網漁業の漁場で漁獲されるマダラを対象とした。

1. 漁獲統計

各支庁の沿岸漁業による漁獲量統計値は、北海道水産現勢に基づく。沖合底曳き網漁業の漁獲量統計値は、沖合底曳網漁業漁場別漁獲統計年報（北海道区水産研究所）の、「中海区/北海道日本海」に記載の値に基づく。いずれも、1980～2009年の期間を集計範囲とした。

漁獲物年齢組成を得るための銘柄別漁獲統計値は、稚内機船漁業協同組合、小樽機船漁業協同組合、および余市郡漁業協同組合の水揚げ伝票に基づき月別・銘柄別漁獲統計に集計したものをを用いた。集計期間は1990～2009

年とした。

2. 漁獲物年齢組成

1997～2009年に、稚内機船漁業協同組合、小樽機船漁業協同組合、余市郡漁業協同組合、船泊漁業協同組合に、主に冬季の盛漁期に水揚げされた漁獲物から標本を採集し、基本測定、耳石採取などを行った。標本収集を行った年・月は漁協により異なる。なお、この中には、水産庁の「我が国周辺水域資源調査推進委託事業」によって北海道区水産研究所に委託され北海道へ再委託された予算経費で購入した標本の測定データを含む。

耳石（扁平石）を、短径方向に核を通過するよう薄片を切り抜き、その断面を厚さ0.3mm程度まで研磨し実体顕微鏡で観察した（Fig.2）。日本海産マダラの耳石は、太平洋、オホーツク海のものに比べ、Fig.2に向かって左側、すなわち短軸方向の成長量が小さい傾向にあり（星野、私信）、短軸方向の方が輪紋のコントラストが明瞭であるが、高齢個体については縁付近で輪紋が収束し読輪が困難になることがある。したがって、基本的には長軸方向を観察することとし、微細な成長線の成長方向が変化する部分（direction change）を見極め読輪した。これにより、服部⁴⁾の示した個体成長の傾向と対比して大きな違いのない読輪結果を得ることができた。概ね漁獲物の全体長範囲から任意に抽出し、標本数は27～98個体（平均53個体）であった。ほぼ全個体について耳石による年齢査定を行った。

1990～2008年度について海域・漁業別年齢組成を推定した。盛漁期が秋から翌春にかけてであるので、7月1日を基準日（年齢更新日）とした。1997年度以降の年齢組成の推定は、星野³⁾の方法によった。すなわち、引きのぼし対象の漁協・期間について、各銘柄別漁獲尾数分の体長データを当該漁協の全年の銘柄別測定データからランダム抽出して作り、Age-Length-Keyを用いて年齢に分解した。1996年以前は標本年齢データがなく、体長

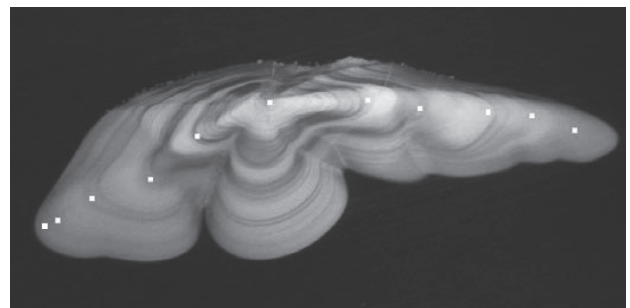


Fig. 2 Photograph of a sagittal otolith of a Pacific cod from the Sea of Japan off Hokkaido.

組成データのみであるため、1997～2002年度の沖合底曳き網漁業によるAge-Length-Key平均値を用いて、それぞれの年の体長組成データを年齢組成に分解した。

3. VPA

上記2で推定した年別・年齢別漁獲尾数値に基づきVPAを行った。当資源については、資源量指数などVPAのチューニングに利用可能な情報がないので、I型VPA⁵⁾を適用した。計算式は平松⁶⁾である。なお、事前の設定条件として必要な最近年の年齢別F（漁獲死亡係数）は過去5年平均とし、M（自然死亡係数）は田内・田中⁷⁾により、これまでの年齢査定を最高齢として出現した「10歳」を寿命と考え、 $2.5/10=0.25$ とした。最高齢を7プラスグループ、最若齢（新規加入年齢）を2歳とした。2003～2008年度は、7プラスグループと6歳のFが等しいと仮定して計算し、それによって得られた

2003～2008年度の F_{7+} 平均値0.856を、1990～2002年度の F_{7+} とした。

結果

1. 漁獲動向

Fig.3に、各支庁および沖合底曳き網漁業の漁獲量推移を1980年以降について示した。なお、石狩支庁の漁獲量はわずかなので後志支庁と合算した。年変動の全体的な傾向を対比すると、1990年代前半までは、宗谷、留萌の両支庁および沖合底曳き網漁業（以下、沖底漁業）は相似的な動向を、檜山支庁ではそれらと逆相を呈している。すなわち、宗谷、留萌、沖底漁業では1984年まで増加傾向で、その後、減少傾向を示すものの1992年にかけて顕著な増加傾向となっている。檜山支庁では1985年まで減少傾向が続き、その後は比較的高い水準となるが1993年にかけて急減している。一方、石狩・後志支庁の漁獲量は、これらの特徴が相殺されたような変動の少ない推移となっている。1990年代後半は、各海域・漁業で1997年から1999年にかけて急減し、2000年は沿岸4支庁

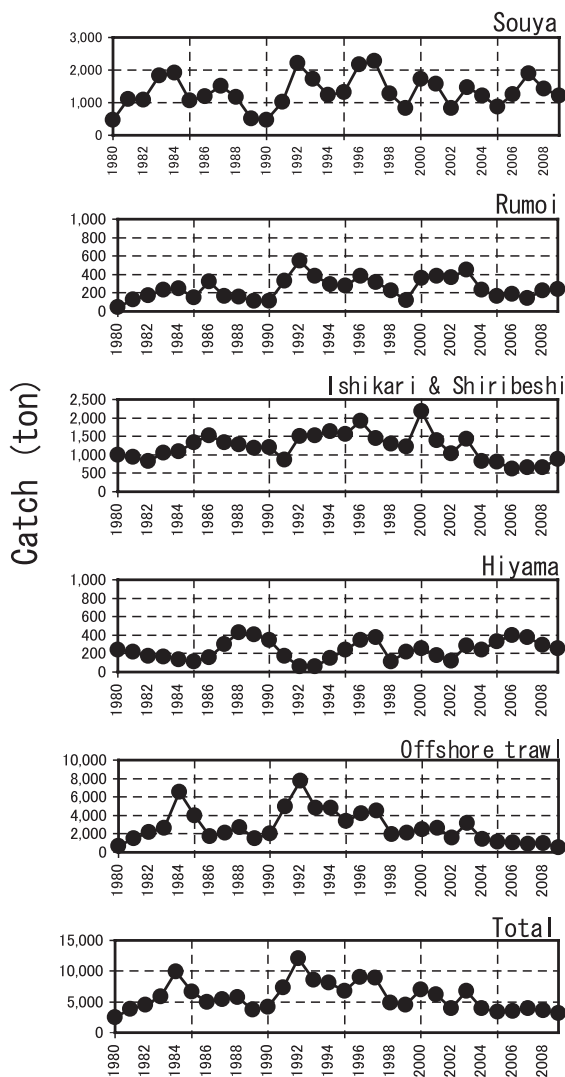


Fig.3 Changes in the annual catch of Pacific cod for coastal fisheries and offshore trawl.

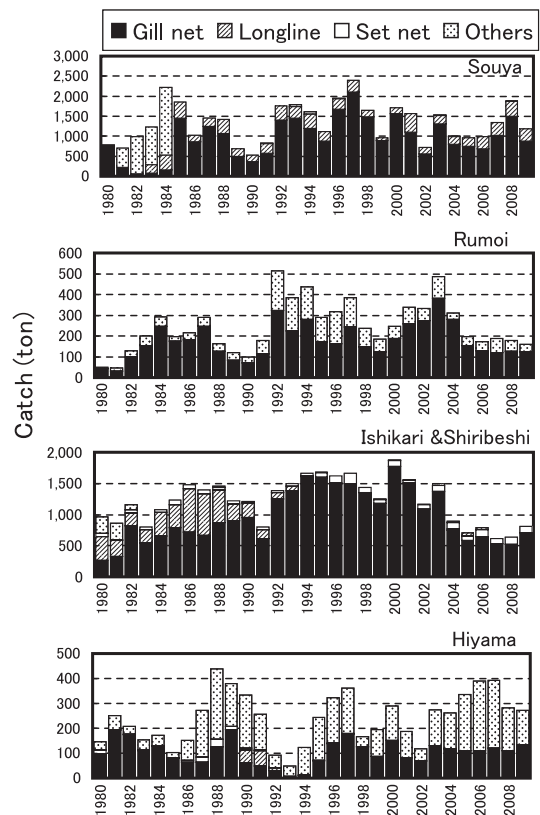


Fig.4 Annual catch of Pacific cod in the coastal waters in terms of fishing gear.

で大きく増加したが沖底漁業では増加率が小さかった。2000年代前半は、留萌、石狩・後志、沖底漁業では減少傾向で推移しており、特に2003年から2004年の減少幅が大きかった。一方、宗谷支庁では変動しつつも一方向的な増減の傾向はみられず、檜山支庁では明瞭な増加傾向となっている。2000年代以降の北海道日本海産マダラの著しい漁獲減は、漁獲量の多い沖底漁業と後志支庁で顕著であり、海域全体の漁獲量の減少傾向は、多産海域である宗谷沿岸の比較的安定した漁獲量によって緩和され

ている状況と見てとれる。

Fig.4に、各支庁沿岸漁業の漁業種別漁獲量を示した。近年は、宗谷、留萌、石狩・後志の各沿岸での漁獲量の多くは刺し網漁業によるもので、留萌支庁のみ、えびこぎ網などその他の漁業による漁獲がある。檜山支庁は刺し網漁業よりその他の割合が多くなっているが、これは釣り漁業によるものが多い。

Fig.5に月別漁獲割合の年変化を各支庁沿岸漁業および沖底漁業について示した。宗谷、石狩・後志の沿岸漁

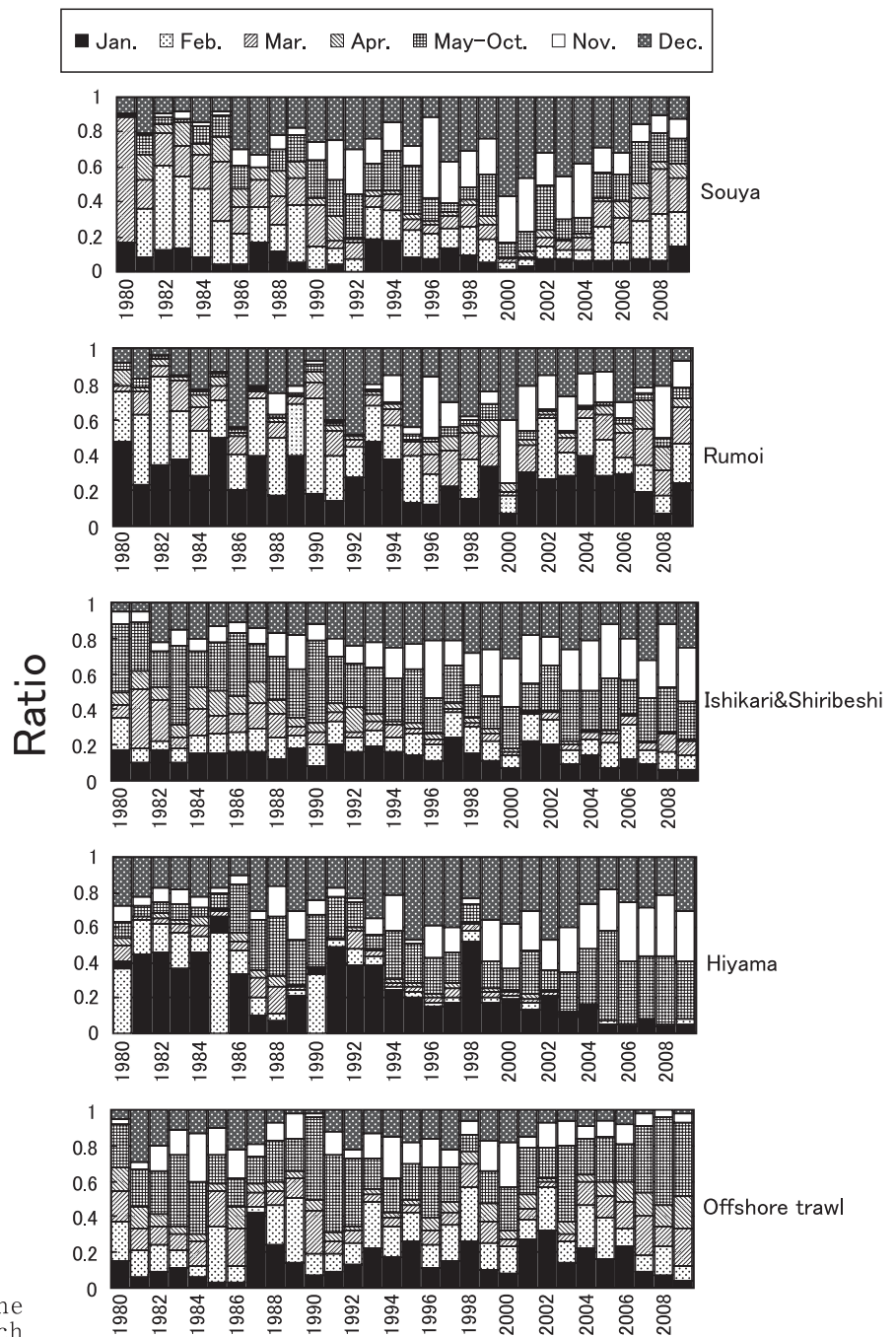


Fig.5 Annual changes in the fishing season for each fishery.

業と沖底漁業について、2000年代以降の推移をみると、宗谷では11～12月の漁獲割合の減少、2～4月にかけての漁獲割合の増加が顕著に進行している。後志では、宗谷とは逆の傾向、すなわち2～4月の漁獲割合の減少と11～12月の割合の増加という傾向が進んでいる。沖底漁業は宗谷と同様に、従来の盛漁期であった12～2月の漁獲割合が減り、3～4月の漁獲割合の増加が顕著に進んでいる。沖底漁業については5～10月にかけての漁獲割合の増加も目立つが、その内訳は5月と10月の増加である。

2. 年別・年齢別漁獲尾数

上記の漁獲動向、漁業種、漁期などの特性に基づいて、日本海マダラ漁業を4つの海域・漁業に大別し、それぞれの年別・年齢別漁獲尾数を1990～2008年度（7月1日基準日）について推定した。

北部沖合域

稚内機船漁業協同組合所属の沖底船主体による漁獲で、当該漁協の漁獲物年齢組成を「稚内ノース場」、「利尻周辺」、「武蔵堆」の3小海区における漁獲量で引きのばした（Fig.6-a）。

北部沿岸域

大半を礼文町の水揚げが占める。漁場は礼文島周辺で

あり、北部沖合域と近接・重複する。2000年1月に船泊漁業協同組合に水揚げされた漁獲物成は、同年同月に稚内機船漁業協同組合に水揚げされた漁獲物と、体長約450mm以上で年齢-体長組成がほぼ同一であり、450mm以下の個体はほとんど漁獲対象となっていなかった。これを根拠に、当該海域の年別・年齢別漁獲尾数は、北部沖合域の頻度分布から450mm未満の階級度数を除去した年齢組成を、宗谷支庁管内の沿岸漁業漁獲量で引きのばした（Fig.6-b）。

南部沖合域

小樽機船漁業協同組合所属の沖底船が主体であり、当該漁協の漁獲物年齢組成を、北部沖合域以外の小海区漁獲量の合計値で引きのばした（Fig.6-c）。

南部沿岸域

基本的には留萌支庁沖の海域が主漁場であり、後志および留萌管内の刺し網漁業と沖底漁業、えびこぎ網漁業などが漁場利用調整を行いつつ操業している。余市郡漁業協同組合の漁獲物年齢組成を留萌、石狩、後志、檜山の沿岸漁業漁獲量で引きのばした（Fig.6-d）。

年、年代によって各漁協の年齢組成を得られていない場合があり、その際は、他の海域の組成を当該海域の漁獲量で引き伸ばすことで補完した。

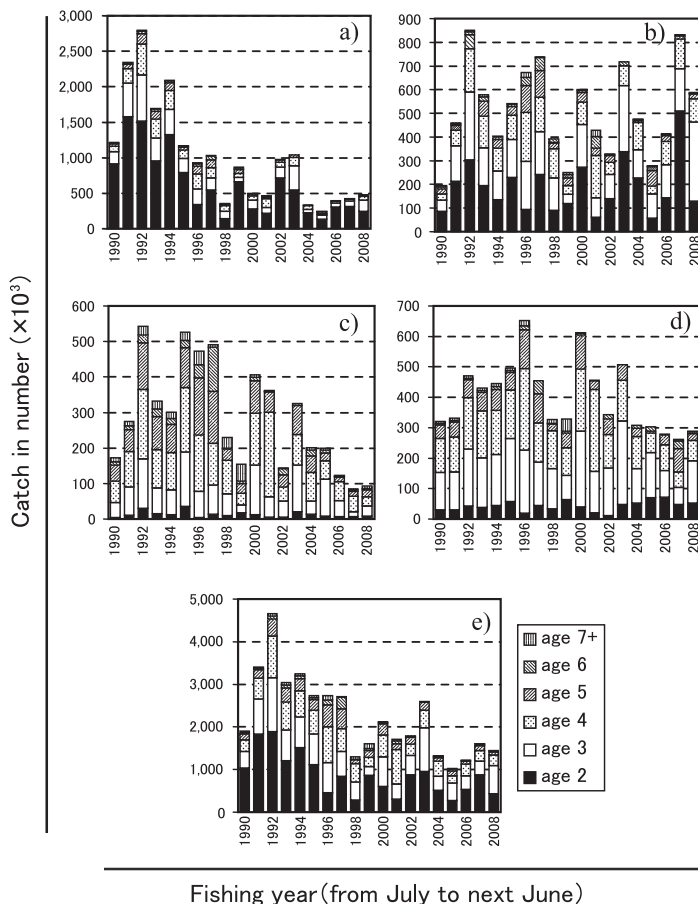


Fig.6 Annual changes in the catch-at-age of Pacific cod. Graph a, Northern offshore; Graph b, Northern coastal waters; Graph c, Southern offshore; Graph d, Southern coastal waters; Graph e, Total number.

概観すると、南部海域の漁獲主体は3～5歳であるのに対し、北部海域では2歳魚の漁獲割合が高い傾向がある。全体としては、高齢化あるいは若齢化といった年齢組成の一方向的な変化は認められないが、漁獲量の推移同様に近年の尾数は約100～150万尾と低水準である (Fig.6-e)。

3. VPA

Fig.6-eの数値からVPAにより年別・年齢別資源尾数を計算した (Fig.7)。また、年齢別平均体重推定値を各年齢の尾数に乗じて資源重量に変換した (Fig.8)。各年齢群の2歳初めの資源尾数すなわち新規加入尾数の推移をFig.9-a示した。各年齢群の親資源重量を、t年発

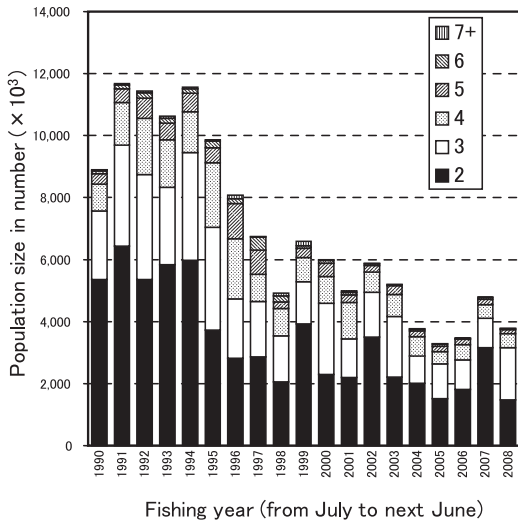


Fig.7 Annual change of population size in terms of number of Pacific cod estimated using VPA in the Sea of Japan off Hokkaido.

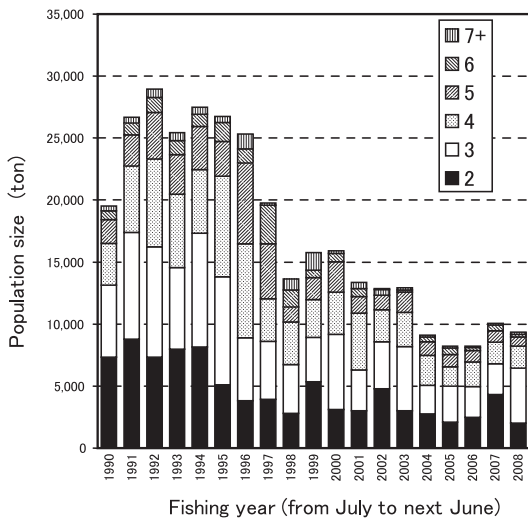


Fig.8 Annual change of biomass estimated by VPA.

生年級群に対してt-2年の3歳以上の資源重量と仮定して、その推移をFig.9-bに示した。ただし、2～3歳魚には未成魚が含まれているため、3歳、4歳の資源重量には任意の数値として0.5を乗じてから合算した。また、Fig.10には、再生産関係(親子関係)を表した。

資源は1990年代前半に1,000万～1,200万尾、重量にして2.5万～3万トンに達したが、その後激減し、近年は1990年代前半の3分の1程度の水準で推移している。新規加入尾数は1993～1996年級群で著しく低下しており、引き続き産卵親魚量も1996年をピークに、以降は急速に低下し現在に至っている (Fig.9)。再生産関係は、1994、1995、1996年級群について全体傾向から大きく外れ低い水準となった。その後、1997、2000、2005年

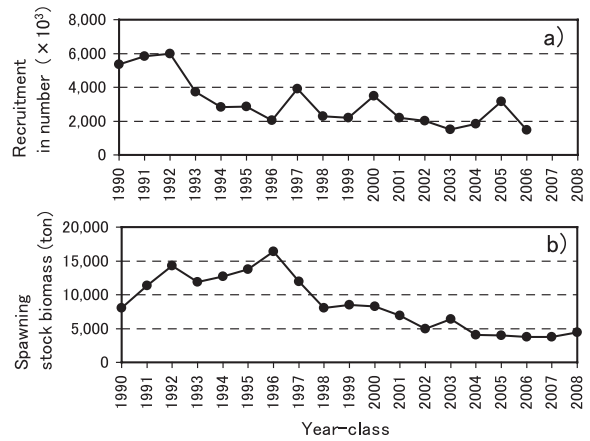


Fig.9 Recruitment in number (Graph a) and spawning stock biomass (Graph b) estimated using VPA of Pacific cod in the Sea of Japan off Hokkaido.

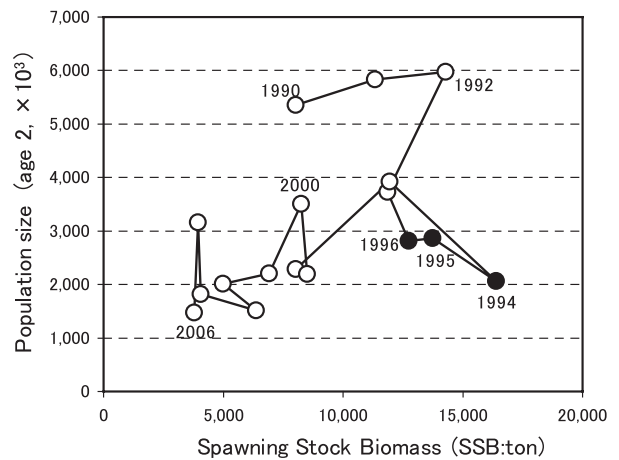


Fig.10 Relationship between spawning stock biomass (SSB, ton) and population size in terms of the number of age 2 of Pacific cod in the Sea of Japan off Hokkaido.

級群の再生産成功率はいずれも前年より大幅に好転して新規加入尾数が増加したが、資源量全体の増加にはつながっていない。Fig.11 に2歳時Fおよび3～5歳時の平均Fより求めた漁獲率の変化を示した。1990年代に比べ、どちらの漁獲率も高めに推移している傾向がみられる。さらに、年級群ごとの年齢別漁獲割合を示した(Fig.12)。例えば、1988年級群は2歳初めの資源尾数のうち2歳時に約20%、3歳時までに35%、最終齢までに約60%が漁獲されたということである。年級群豊度の水準が下がった1997年級以降のトレンドは、特に3歳の漁獲割合が高くなっていることがわかる。また、年級群ごとの2歳初め時点での%SPRの直線トレンドは負(傾き-0.006/年, $p < 0.05$)の傾向が明瞭であった(Fig.13)。

考察

漁獲量が低水準で推移している北海道日本海のマダラ資源について、各海域・漁業の漁獲動向と漁獲物標本の年齢査定結果に基づき、4個に大別した海域・漁業ごとに年別・年齢別漁獲尾数を推定し、その合計値からVPAにより資源動向を把握した。

VPAによる最近年の資源尾数計算値は1990年代の3分の1程度に低下しており、1990年代後半から2000年代初めにかけて、資源量は大きく減少したことが示された。特に1994～1996年級群の親から加入までの再生産成功率が低く推移したことで、1990年代後半に新規加入尾数が大きく減退した。これは初期減耗期における生息環境の変化に起因するものと考えられるが、日本海マダラ資源については、0歳魚の採集がほとんどできておらず、その詳細な検討は現状では困難である。一方、同海域のスケトウダラ資源の再生産成功率にも、1993～1996年級群に低水準の傾向が現れている¹⁾。三宅ら⁸⁾、板谷ら⁹⁾は、日本海スケトウダラの生残に水温が影響している可能性を指摘している。北海道日本海のマダラの産卵盛期は2月(星野, 私信)で、沈性粘着卵を砂地に産する¹⁰⁾のに対し、スケトウダラはマダラよりやや早い時期に分離浮遊卵を産するので、スケトウダラと単純に比較することはできないが、東北海域産のマダラでは清水ら¹¹⁾が、浮遊期と水温レジームとの関係性を見出している。また、北海道日本海の水温は1990年前後から1990年代にわたって高水温レジームに入ったことが知られており¹²⁾、スケトウダラ、マダラとともに北海道日本海の最有用魚種であるホッケの動向にも大きな影響を及ぼした可能性を、星野ら¹³⁾が指摘している。これらのことから、北海道日本海産マダラにおいても1990年代半ばの低い再生産成功率には産卵期後の高水温傾向の影響が示唆される

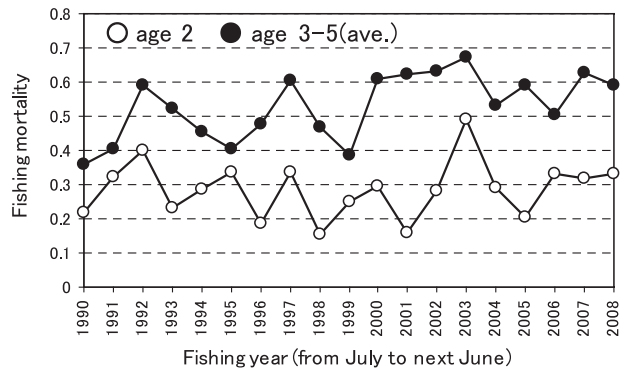


Fig.11 Change in fishing mortality (i.e., $1 - \exp(-F_{a,t})$) for age2 and age 3-5 average.

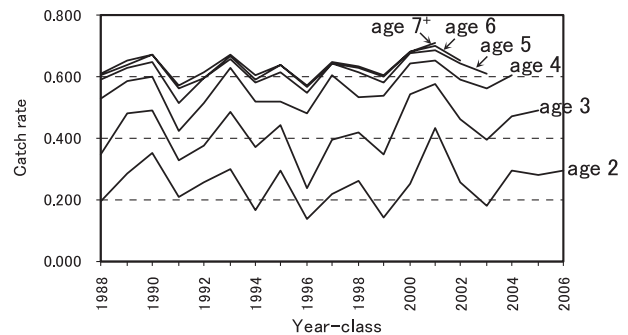


Fig.12 Catch rate for number of recruitment by age.

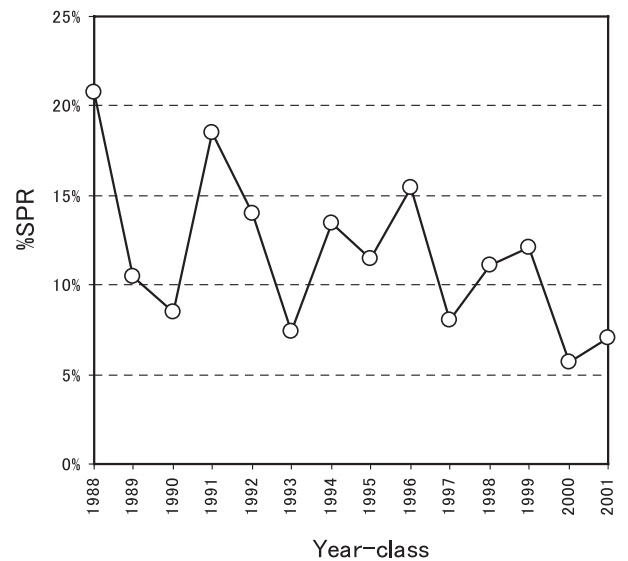


Fig.13 Change in %SPR of age 2 fish for year-class.

が、マダラ卵仔稚魚に水温がどのように影響するのか、もしくはスケトウダラやホッケなどバイオマスの大きな資源とどのような種間関係で変動しているのか、これら他魚種の状況も含めさらに解析を進める必要がある。

1994～1996年の再生産成功率が低かった時期を除くと、その他の年級群の再生産関係には正相関の傾向が認められる ($r=0.75$)。2000年代以降も再生産関係が悪化しているような状況はみられない。しかし、1997、2000、2005年など相対的に高い再生産成功率となる年が出現しているにもかかわらず、資源水準は回復していない。これは、資源が大きく減少して親魚量が少ない状態が慢性化しているため、不連続に生存条件の良い年があっても、連続して高豊度の加入がなく資源量が増加しない状態と考えられる。さらに、各年級群の新規加入尾数に対し3歳までに漁獲される割合が増加傾向にあり (Fig.11)、% SPR値も次第に低下 (Fig.12) している。これらの結果は、漁獲管理により親魚量を確保する資源回復方策の必要性和その有効性を同時に示している。F削減率や許容漁獲量の算出などを早急に進める必要がある。

マダラ資源に対するVPAによる資源量推定は、東北太平洋海域の資源について、トロール調査結果を併用して行われている¹⁴⁾。それによると、東北太平洋海域の新規加入尾数 (1歳) の年間変動率は最大で4.8倍程度と大きく変動しているのに対し、北海道日本海では Fig.7 に示したとおり2歳資源尾数の年間変動率は最大でも1.9倍と比較的変動幅が小さい。成松¹⁵⁾は東北太平洋マダラの変動要因のひとつに、0歳期成長量の密度依存性を挙げているものの、本海域と異なりあまり明瞭な親子関係は見出せないとしている。

本稿では、これまで資源評価の範囲として便宜的に設定している海域、すなわち宗谷支庁稚内市から檜山支庁にかけての沿岸域と沖合域における漁獲動向に対してVPAによる資源計算を行って、以上の結果を得た。しかし、この海域範囲が同一の再生産動向に基づいた資源変動の単位とみなせるか不明瞭である。本種は、北米での標識放流結果¹⁶⁾などにに基づき、水平方向の移動範囲がせまく集団規模が小さいと考えられている。北海道日本海における漁獲動向や漁獲物の年齢組成は海域間で様ではない (Fig.3, Fig.6) ので、サハリン海域やオホーツク海、本州日本海などに主産卵場のある資源の動向が含まれている可能性もある。これについては、標識放流試験や分子遺伝学的手法による集団構造の把握など、今後の研究が待たれる。一方、Fig.3やFig.6に示した漁獲動向の海域差は、北海道日本海のマダラ資源の移動・分散生態を反映したものである可能性が考えられる。北

部沖合域と北部沿岸域の漁獲物には2歳魚が比較的多く含まれているのに対し、南部海域では少ない。さらに、参考として Fig.14 に、後志南端に位置する島牧村沖の底建網で漁獲されランダムに抽出された標本の年齢-体長関係を示した。単年の結果ではあるが、当該海域の年齢組成は南部沖合・沿岸海域の年齢組成よりもさらに高齢で若齢個体の漁獲が少ないことが現れている。また、檜山の沿岸漁業は、他の海域とは異なる漁獲変動傾向を示した (Fig.2) が、この動向は後志以北の海域で漁獲量の高水準傾向が続くと、数年後に遅れて檜山海域の漁獲量が高水準になるという時間遅れのパターンと見ることもできる。これらのことを併せ考えると、北海道日本海のマダラ資源は浮遊期に分散した稚魚が北方から加入し、成熟、加齢とともに次第に南部海域の根に付くような生態を持っている可能性を指摘できる。VPAの計算結果である程度の再生産関係が検出されていることから、当面は現行の資源評価範囲に基づいて資源計算を行い、資源診断や資源管理技術の検討などを進めることが必要かつ適切と考えられる。

本資源でVPAを行う場合の技術的問題はいくつかある。例えば、この資源の年齢組成が、もとより高度な読輪技術を要するうえに、他資源のモニタリングと比べ著しく少ない標本数より推定されていることにより、特に最高齢など高齢の年齢別漁獲尾数推定値が、読輪ミスや抽出誤差の影響を受けやすいという点が挙げられる。VPA後退計算では、年級群数が十分にあり、それらの漁獲尾数が最高齢に対し圧倒的に多い場合は、新規加入尾数など若齢部分の推定値に最高齢のFや漁獲尾数の影響はほとんど及ばなくなることは明らかである。しかし、本資源のような場合では、ある年級群の7プラスグループや6歳の尾数が著しく過小もしくは過大に推定される場合があると想定される。このとき、7プラスグループと6歳のFが等しいと仮定し計算を進めると、状況に

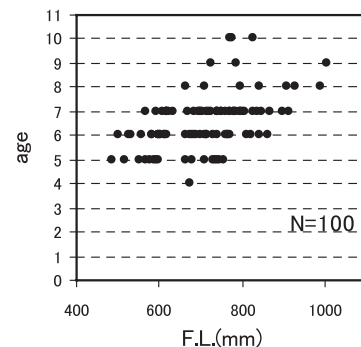


Fig.14 Relationship between fork length and age of Pacific cod caught by bottom set nets in southern coastal waters (Shimamaki, December and February 2007).

よっては、それより1年前の年級群の高齢部分推定値に著しい誤差がもたらされ、当該年級群の全年齢推定値にその誤差が伝播する。その可能性があることから、本稿では、2003年以降の計算のみこの仮定を用い、それ以前については、2003年以降のF（7プラスグループ）推定値の平均値を一律で与えた。本資源で、年別・年齢別漁獲尾数推定値を用いて実用に耐えるVPAを行う際には、年齢査定や引きのばし方法の「妥当性の程度」といった、主観的な情報も重要である。

要約

近年、漁獲量が低水準で推移している北海道日本海産マダラの資源状態を、漁獲動向の検討やVPAによる資源量推定に基づき評価した。

漁獲量は宗谷地方の沿岸漁業を除いて2000年代以降減少が続いており、特に沖合底曳き網漁業の漁獲減が著しい。これに伴って漁期の変化もみられ、沖合底曳き網漁業などで従来の盛漁期であった冬季の漁獲割合が減少し、産卵期後の3～5月の漁獲割合が増加している。VPAによる資源量推定結果から、1990年代に2.5万～3万トンあった資源は、1990年代後半に急減し、近年はおよそ3分の1の水準で推移している。その要因として、1994～1996年の再生産成功率が低く、その間の新規加入尾数が急減したことで資源量が減ったことが示された。その後の再生産条件は良好で、正の相関関係がみられているが、親魚量が少ないことで豊度の高い年級群が連続加入しないため資源が増加傾向とならない状況にあると推察された。漁獲管理による親魚確保の方策が有効であると考えられた。

謝辞

本稿で用いたデータは、稚内水産試験場と中央水産試験場の歴代マダラ担当者によって収集された。また、その際には、稚内機船漁業協同組合、小樽機船漁業協同組合、余市郡漁業協同組合、船泊漁業協同組合をはじめ、関係各機関のご協力を常にいただいている。その成果としてここにとりまとめた。また、とりまとめに際しては、北海道立総合研究機構水産研究本部、中央水産試験場の西内修一博士、高柳志朗氏に有益なご意見をいただいた。皆様に感謝申し上げます。

文献

1) 山下夕帆, 千村昌之:平成21年度スケトウダラ日本

- 海北部系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価 第1分冊. 311-366 (2009)
- 2) 成松庸二, 伊藤正木, 服部 努, 奥田武弘:平成21年度マダラ太平洋北部系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価 第2分冊. 851-866 (2009)
- 3) 星野 昇:北海道日本海産マダラにおける漁獲物年齢組成の推定方法. 北水試研報. 77, 35-44 (2010)
- 4) 服部 努, 桜井泰憲, 島崎健二:マダラの耳石薄片法による年齢査定と成長様式. 日水誌. 58(7), 1203-1210 (1992)
- 5) 平松一彦:マイワシ太平洋系群の資源評価に用いられるVPAの信頼性の検討. 日水誌. 75(4), 661-665 (2009)
- 6) 平松一彦:“VPA (Virtual Population Analysis)”. 資源評価解析手法教科書. 東京, 社団法人日本水産資源保護協会, 2001, 104-128.
- 7) 田中昌一:水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報. 28, 1-200 (1960)
- 8) 三宅博哉, 田中伊織:北海道日本海のスケットウダラ資源の変動. 月刊海洋. 38, 187-191 (2006).
- 9) 板谷和彦, 三宅博哉, 和田昭彦, 宮下和士:北海道日本海・オホーツク海沿岸域におけるスケトウダラ仔稚魚の分布. 水産海洋研究. 73, 80-89 (2009)
- 10) Sakurai Y. and Hattori T.: Reproductive behavior of Pacific cod in *captivity*. *Fish. Sci.* 62, 222-228 (1996)
- 11) 清水勇吾, 北川大二, 成松庸二:東北海域におけるマダラ加入量変動の環境要因の考察. 東北底魚研究. 22, 12-16 (2002)
- 12) 田中伊織:北海道西岸における20世紀の沿岸水温およびニシン漁獲量の変遷. 北水試研報. 62, 41-55 (2002)
- 13) 星野 昇, 高嶋孝寛, 渡野辺雅道, 藤岡 崇:北海道南部沿岸域におけるホッケ資源の年齢構造および漁獲動向. 北水試研報. 76, 1-12 (2009)
- 14) 上田祐司, 成松庸二, 服部 努, 伊藤正木, 北川大二, 富川なす美, 松石 隆:VPA と着底トロール調査による資源量から推定された東北海域におけるマダラの漁獲効率. 日水誌. 72(2), 201-209 (2006)
- 15) 成松庸二:マダラの生活史と繁殖生態-繁殖特性の年変化を中心に-. 水研センター報. 別冊4号, 137-146 (2006)
- 16) Westrheim S. J. and Tagart J. V.: Bathymetric distribution of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) off British Columbia and Washington State. *Int. North Pac. Fish. Comm. Bull.* 42, 189-199 (1984)

