

水産資源管理談話会報

第40号

(財)日本鯨類研究所 資源管理研究センター

2007年 8月

翻訳・公表希望者は以下の手続きとり、著者の許可を得た上で
翻訳・公表する。

1. 翻訳・公表希望者は文章（FAX、手紙）で著者、表題および
会報の号を明記し、資源管理談話会事務局を通じて要請し、
著者の許可を得て翻訳・公表する。
2. 翻訳公表物を資源管理談話会事務局に送付する。

目 次

お知らせ

REPORT OF THE 57TH MEETING OF THE
INTERNATIONAL WHALING COMMISSION'S
SCIENTIFIC COMMITTEE

Luis A. Pastene . . . 1

第58回IWC科学委員会報告

後藤睦夫 . . . 5

スケトウダラ資源調査への音響資源調査の導入

本田 聡 . . . 9

スケトウダラ太平洋系群および
日本海北部系群の資源変動について

船本鉄一郎 . . . 25

スケトウダラ太平洋系群および日本海北部系群の資源変動について (Stock fluctuations in two walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) stocks around northern Japan)

船本鉄一郎・本田聡・八吹圭三（北水研）

1. はじめに

スケトウダラは、単一種としての漁獲対象資源の大きさでは、世界の漁業資源の中でも最も大きな魚種の一つである。当然、日本周辺においても重要な底魚資源の一つであるが、近年、このスケトウダラが世間の注目を集めている。その理由はというと、残念ながら世紀の大発見があったというものではなく、日本周辺における資源状態が悪いためである。というのも、資源状態が悪くなると、通常漁獲量が減少したり単価が上昇したりするために、世間の注目が集まるのである。また、通常厳しい資源管理が行われるために、その基礎となる資源量推定や加入量予測に関して高い精度が求められるようになる。その結果、資源評価や資源変動に関する様々な会議やシンポジウムなどが開かれるのだが、今回はスケトウダラの資源変動に関して、水産資源管理談話会で発表する機会を頂いた。

本稿では、日本周辺のスケトウダラの中でも、資源量や加入量が推定されている太平洋系群と日本海北部系群の資源変動について述べる。なお、スケトウダラの資源状態の悪さは日本周辺に限られたものではなく、ベーリング海やロシア水域の一部の海域などにおいても同様で、ベーリング公海においては現在も漁業停止状態が続いている（西村 2005）。

2. 日本周辺のスケトウダラ資源

現在、日本周辺に生息するスケトウダラ資源は、太平洋系群、日本海北部系群、オホーツク海南部、根室海峡の4つの資源評価単位に区分されている（水産庁・水産総合研究センター 2005）（図1）。この中で、太平洋系群は最も大きな資源であり、2005年度の漁獲量（16万トン）は、4資源評価単位全体の漁獲量（20万トン）の79%を占めた（船本ほか 2006）。次いで大きな資源が日本海北部系群であり、2005年度の漁獲量（2.6万トン）は、4資源評価単位全体の漁獲量の13%を占めた（本田・八吹 2006）。よって、これら2系群の漁獲量で、4資源評価単位全体の漁獲量の92%を占めることになり、これら2系群が日本周辺のスケトウダラ資源にとって非常に重要な存在であることがわかる。なお、名称からもわかるように、オホーツク海南部と根室海峡に関しては系群扱いとはなっていない。系群の定義については、水産庁・水産総合研究センター（2005）を参照のこと。

3. 太平洋系群および日本海北部系群の生態

太平洋系群の分布域は、常磐から北方四島にかけての太平洋岸である(船本ほか 2006)(図1)。主産卵場は噴火湾周辺海域であるが、金華山周辺海域、道東海域および択捉島周辺海域にも

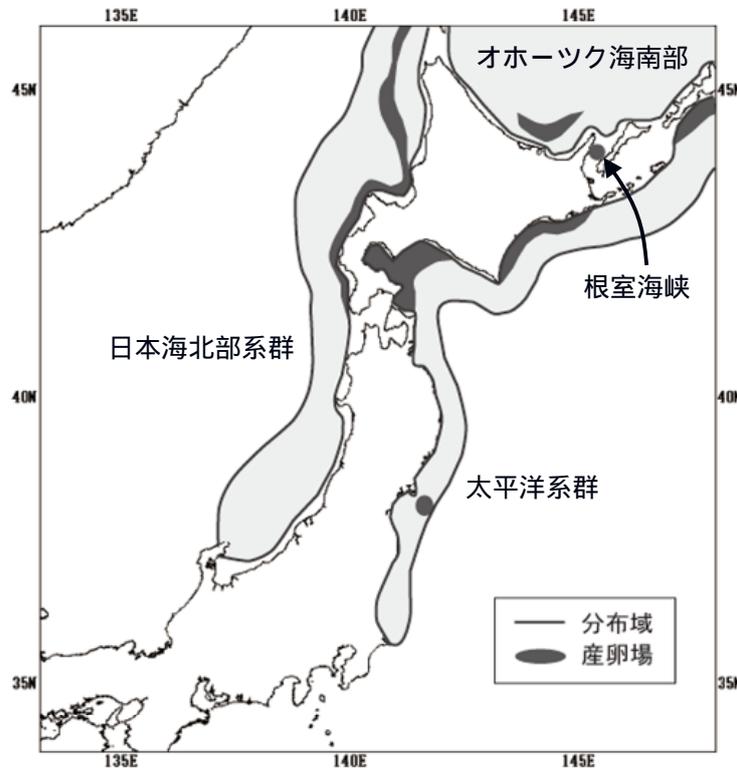


図1. 日本周辺に生息するスケトウダラの分布域と産卵場
(水産庁・水産総合研究センター 2005 を改変)

産卵場が存在する。また、噴火湾周辺海域における産卵期は12~3月で、産卵盛期は1~2月である。この噴火湾周辺海域で産出された卵は、主に噴火湾内に輸送され、そこで仔魚期を過ごす。稚魚になると多くの個体は道東海域へと移動する(移動開始時期はおおよそ6月)。また、これら道東海域で未成魚期を過ごした個体の多くは、成熟すると噴火湾周辺へ産卵回遊する(成熟は3歳で開始され、4歳で大部分の個体が成熟する)。さらに、産卵が終了すると、再び道東海域へ移動するが、その後は毎年、道東海域と噴火湾周辺海域間の移動を繰り返す。なお、東北太平洋岸に分布する若齢魚の多くも、噴火湾周辺海域で発生した個体と考えられている。

日本海北部系群は、能登半島からサハリン西岸にかけて分布している(本田・八吹 2006)(図1)。産卵場は、檜山沿岸、岩内湾、石狩湾、雄冬沖、武蔵堆および利尻・礼文島周辺にあるとされているが、現在確認されている主たる産卵場は檜山海域のみである。また、産卵期は12~3月であるが、盛期は南で早く、北で遅い傾向がある。1990年代の報告では、仔魚は利尻・礼文島周辺に多く分布し、0~2歳の若齢個体は武蔵堆周辺に高密度で分布していた(佐々木・夏目 1990; 夏目・佐々木 1993)。しかし、後述するように資源状態が極めて悪い近年においては、調査船調査によって日本海北部系群の幼魚や若齢魚を採集すること自体が困難となっている。

4. 2系群の資源変動パターン

太平洋系群の資源量は、1981年度以降比較的安定して推移している(船本ほか 2006)(図2)。

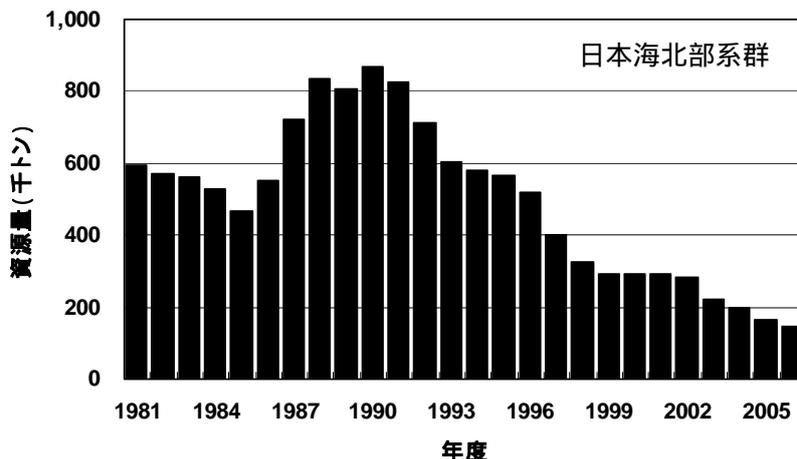
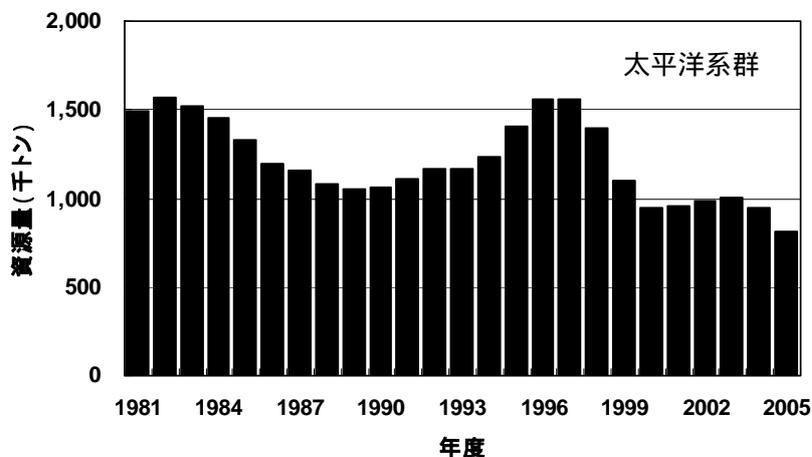


図2. 太平洋系群と日本海北部系群の資源量変動
(船本ほか 2006; 本田・八吹 2006 を改変)

その中で、1983年度以降は減少を続けたが、1990年代に入ると増加に転じ、1996および1997年度には150万トンを上回った。しかし、その後は再び減少に転じ、2000年度には100万トンを下回った。2001年度以降も、2003年度を除くと現在まで100万トン未満で推移しており、2005年度の資源量は1981年度以降最低の82万トンであった。なお、この資源量をもとに、現在の太平洋系群の資源状態は低位で減少傾向と判断されている。

太平洋系群の加入量(0歳魚の資源尾数)は、1981年度以降7~54億尾の範囲で増減を繰り返している(船本ほか 2006)(図3)。ここで、太平洋系群に関しては、0歳魚の資源尾数が30億尾を上回る年級群を卓越年級群とみなしているため、1981、1991、1994および1995年級群が卓越年級群となる。よって、卓越年級群は、1981~2005年度にかけての25年間で4回しか発生していないことになるが、興味深いことに、そのうち3回は1991~1995年度にかけての5年間で

発生している。一方、最後の卓越年級群である 1995 年級群が発生した後は、20 億尾を上回る加入が認められたのは 2000 年級群のみで、その他の年級群の加入量はすべて 16 億尾未満となっ

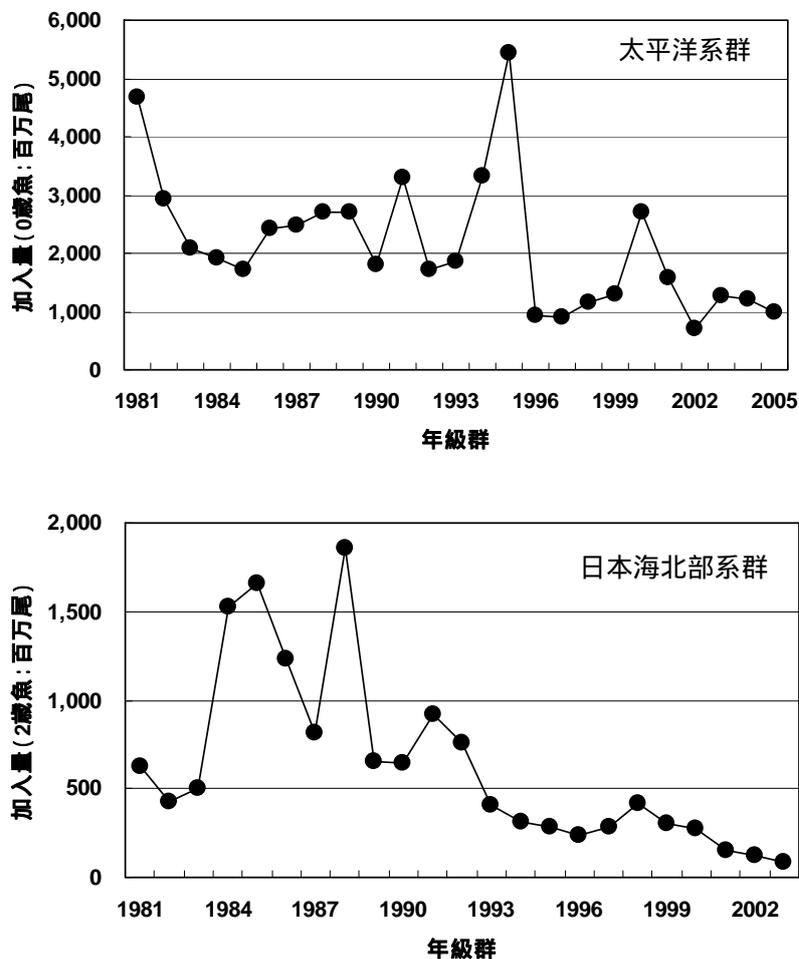


図 3 . 太平洋系群と日本海北部系群の加入量変動
(船本ほか 2006; 本田・八吹 2006 を改変)

ている。

日本海北部系群の資源量は、1980 年代前半は 50 万トン付近で推移したが、その後増加し、1988 ~ 1991 年度にかけては 80 万トンを上回った(本田・八吹 2006)(図 2)。しかし、その後は現在まで減少傾向にあり、2006 年度の資源量は 1981 年度以降最低の 15 万トンであった。なお、この資源量をもとに、現在の日本海北部系群の資源状態は太平洋系群と同様、低位で減少傾向と判断されている。

日本海北部系群の加入量(2 歳魚の資源尾数)は、1984 ~ 1986 および 1988 年級群で 10 億尾を上回った(本田・八吹 2006)(図 3)。ここで、日本海北部系群に関しては、2 歳魚の資源尾数が 10 億尾を上回る年級群を卓越年級群とみなしているため、これら 4 年級群が卓越年級群となる。よって、日本海北部系群に関しても、卓越年級群は 1981 ~ 2003 年度にかけての 23 年間で 4 回しか発生していないことになるが、それらはすべて 1984 ~ 1988 年度にかけての 5 年間で発生して

いる。一方、これらの卓越年級群が発生した後は、加入量は現在まで減少傾向を示しており、2003年級群の加入量は1981年度以降最低の8800万尾であった。

ここで、注目すべきことは、両系群の資源量の増加の多くが、卓越年級群が発生した後に生じていることである。つまり、両系群の資源量の増加は、主に卓越年級群の発生によってもたらされている。このことは、少なくとも1980年代から2000年代前半にかけては、両系群の資源変動の主要因は加入量変動であることを意味しており、両系群の資源変動機構を解明する上で、加入量変動機構を解明することが極めて重要なことが伺える。

一方、太平洋系群の最近年(2005年度)の資源量である82万トンは、1981年度以降の最高値である156万トン(1982年度)の約50%に相当する(図2)。これに対し、日本海北部系群の最近年(2006年度)の資源量である15万トンは、1981年度以降の最高値である87万トン(1990年度)の約20%に相当する。よって、両系群とも現在の資源状態は低位で減少傾向と判断されているが、日本海北部系群の方がより悪い資源状態にあると考えられる。

5. 2系群の加入量変動要因に関する既存の仮説

現在、2系群の加入量変動要因に関しては、いくつかの知見が存在する。

まず、太平洋系群に関しては、様々な環境要因とスケトウダラの生残率の関係を調べた磯田ほか(1998)によって、北西風による噴火湾内への卵輸送が多く、さらに、冷たい沿岸親潮の影響が小さい年級群で生残率が高いことが示唆されている。また、噴火湾周辺におけるスケトウダラ仔魚やかいあし類ノープリウス(スケトウダラ仔魚の主要な餌生物)の分布密度を調べた中谷ほか(2003)によれば、年級群豊度が、摂餌開始期の仔魚の餌環境ではなく、全長30mm前後の稚魚の餌環境や水温と密接に関連している可能性が示唆されている。

これに対し、日本海北部系群に関しては、4月にオホーツク海に分布するスケトウダラ仔稚魚が、主に日本海から移送された個体であることや(これら日本海からオホーツク海に移送されたスケトウダラは、再び日本海に戻ることはない。つまり、「オホーツク海南部」に加入する)、日本海からオホーツク海に移送される仔稚魚が少なかった年に卓越年級群が発生していることなどに注目した夏目・佐々木(1995)によって、日本海からオホーツク海に移送される仔稚魚の多寡が、加入量を左右している可能性が示唆されている。また、漁獲量と表面水温の関係を調べた呉ほか(2002)によれば、再生産や生き残りが水温の影響を受けている可能性が示唆されている。

ここで、両系群に共通していることは、加入量変動に影響を及ぼす要因として、卵・仔稚魚の輸送や水温が示唆されていることである。よって、以下では特に水温に注目し、単純なモデルを用いて両系群の加入量に対する水温の影響を検討した。

6. 水温を考慮した再生産モデル

加入量に対する水温の影響を調べる前に考慮すべきものとして、加入量に対する親魚量(卵量)の影響がある。そこで、まず両系群に関して、加入量と親魚量の間以下の3つの再生産モデルを当てはめた(図4)。

加入量一定モデル： $\ln(R) = \ln()$

親魚量比例モデル： $\ln(R) = \ln() + \ln(SSB)$

リッカーモデル： $\ln(R) = \ln() + \ln(SSB) - (SSB)$

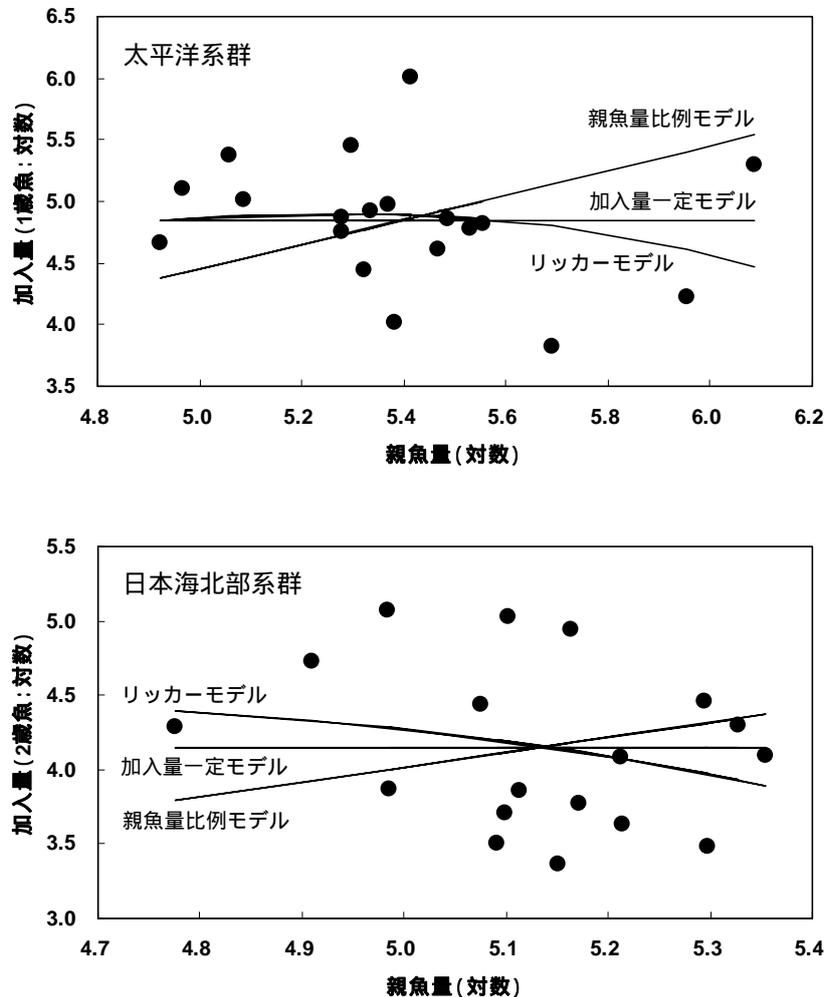


図 4 . 太平洋系群と日本海北部系群に当てはめた再生産モデル

ただし、 R は加入量 (太平洋系群：1 歳魚の資源尾数、日本海北部系群：2 歳魚の資源尾数)、 SSB は親魚量、 a と b は定数である。ここで、これら各再生産モデルからの残差、つまり親魚量では理論上説明できない部分が、環境の影響 (ここでは水温の影響) と考えられる。よって次に、両系群に関して、これら各再生産モデルからの残差と浮遊生活期 (ここでは太平洋系群の卵が産出されてから稚魚が着底するまでの 12~9 月とした) における各月の表面水温の相関関係を調べた。その結果、太平洋系群に関しては、すべての再生産モデルからの残差が、2 月の北海道太平洋岸の表面水温とは強い正の相関関係を示したのに対し、4 月の東北沖の表面水温とは強い負の相関関係を示した (図 5：すべての再生産モデルに関して同様の結果が得られたため、本稿ではリッカーモデルに関する結果のみを示す)。一方、日本海北部系群に関しては、すべての再生産モデルからの残差が、2 月の北海道南部沖の表面水温とは強い負の相関関係を示したのに対し、6 月の北

海道北部沖の表面水温とは強い正の相関関係を示した。そこで、これら強い相関関係を示した月および海域の表面水温を、上述した各系群の3つの再生産モデルに組み込むことによって、新しい再生産モデル（水温を考慮した再生産モデル）を再構築し、さらに、それらの中から最も優れ

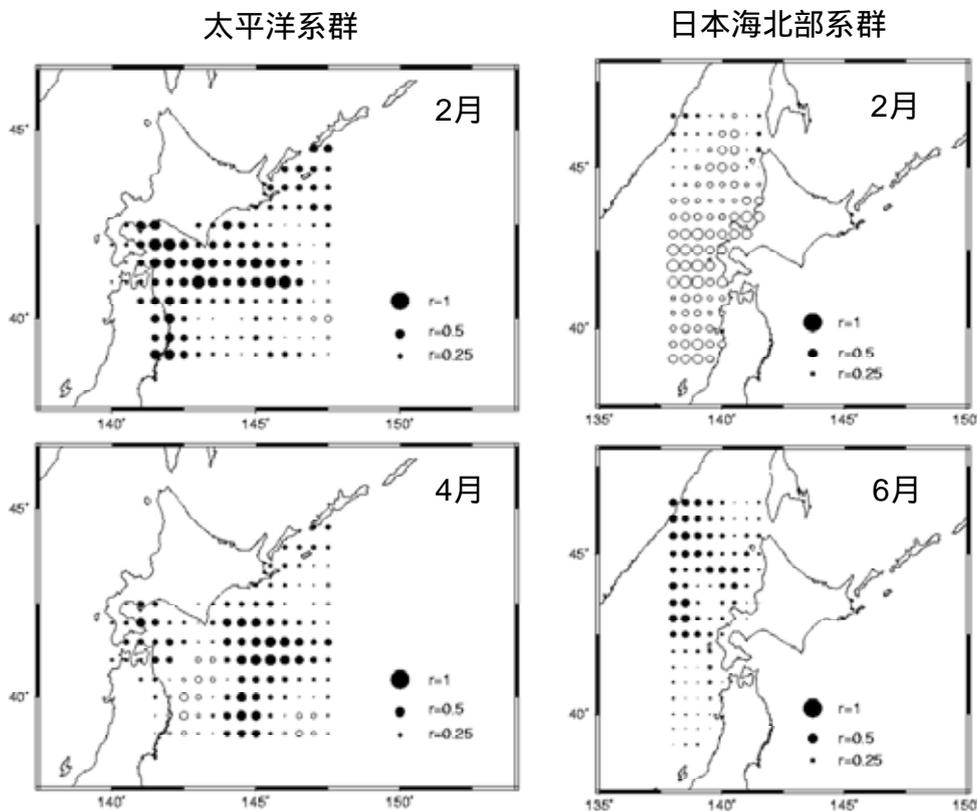


図5．太平洋系群と日本海北部系群に関するリッカーモデルからの残差と表面水温の相関関係（黒丸は正の相関関係を、白丸は負の相関関係を表し、丸の大きさは相関関係の強さを表す）

たモデルをAICを基準に選択した。その結果、太平洋系群に関しては、2月と4月の表面水温とともに組み込んだ加入量一定モデルが、一方、日本海北部系群に関しては、2月の表面水温のみを組み込んだ親魚量比例モデルが最良なモデルとして選択された。また、それら最良なモデルによって、両系群の加入量はかなり精度高く再現された（太平洋系群： $R^2=0.66$ 、日本海北部系群： $R^2=0.61$ ）（図6）。なお、両系群に関する最良なモデルの数式を以下に示す。

$$\text{太平洋系群：} \ln(R) = \ln(83) + 0.34(\text{February SST}) - 0.10(\text{April SST})$$

$$\text{日本海北部系群：} \ln(R) = \ln(8.3) + \ln(SSB) - 0.70(\text{February SST})$$

ただし、SSTは表面水温である。さらに、これら各モデルにおける表面水温の項の符号から、太平洋系群の加入量は2月の水温が高くなると、また逆に、4月の水温が低くなると増加するのに対し、日本海北部系群の加入量は2月の水温が低くなると増加することがわかる。ここで、非常に興味深いことは、加入量と2月の水温の関係が2系群で正反対になっていることであり、ここに2月の水温が両系群の加入量と関連性を示す仕組みを解明する鍵があるように思われる。なお、

太平洋系群に関して加入量一定モデルが最良なモデルとして選択された原因のひとつとしては、少ない親魚量下における加入量情報（通常、再生産モデルの様式に強い影響を及ぼす）の欠如が考えられるため、太平洋系群の再生産モデルの様式については、今後更なる検討が必要である。

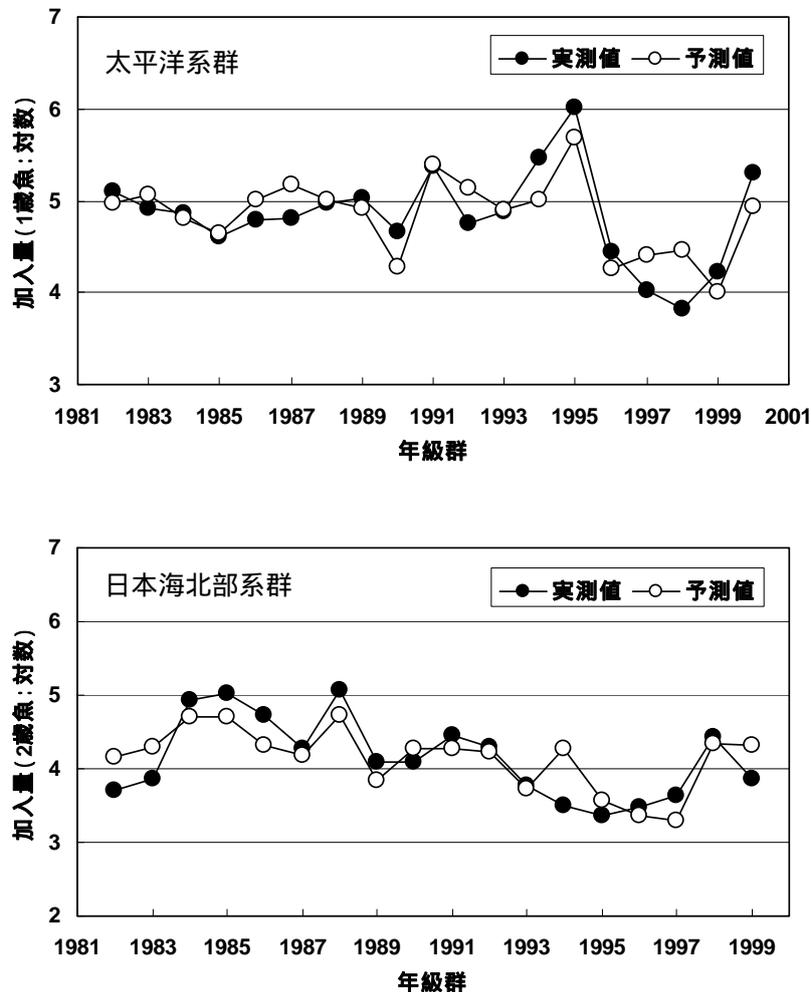


図6. 最良なモデルによる太平洋系群と日本海北部系群の加入量予測値

7. 水温が加入量と関連性を示す仕組み

一般に、水温が加入量と関連性を示す仕組みには、直接的なシナリオと間接的なシナリオが存在する。前者は水温が、産卵期や卵・仔稚魚の生残などに直接的に影響を及ぼすというシナリオであり、後者は水温が、卵・仔稚魚の輸送や仔稚魚の餌環境などの間接的な指標となっているというシナリオである。そこで、2月の水温が両系群の加入量と関連性を示す仕組みとして、以下の3つのシナリオを提案する。

まず1つ目は、2月の水温が仔魚の成長速度（生残）に直接的に影響を及ぼしているというシナリオである。図7に、両系群の加入量（対数）と2月の産卵場付近の表面水温の関係を示す。2月の産卵場付近の水温は、太平洋系群の方が日本海北部系群よりかなり低いために系群別に見ると、太平洋系群では正の相関関係を、一方、日本海北部系群では負の相関関係を示すが、両系

群をまとめると、5~6 付近をピークとするドーム型の関係が読み取れる。現在のところ、日本周辺のスケトウダラに関して、仔魚の成長速度と水温の関係を詳細に調べた研究は存在しない。しかし、マイワシやカタクチイワシに関しては、近年、仔魚の成長速度と水温がドーム型の関係を示すことが明らかとなっている (Takasuka et al. 2004)。また、カタクチイワシに関しては、仔魚の成長速度が被食 (生残) に直接的に影響を及ぼすことも明らかとなっている (Takasuka et al. 2003)。よって、日本周辺のスケトウダラに関しても、仔魚の成長速度と2月の水温がドーム型の関係を示し、その結果、加入量 (対数) と2月の水温もドーム型の関係 (系群別では直線関係) を示している可能性がある。

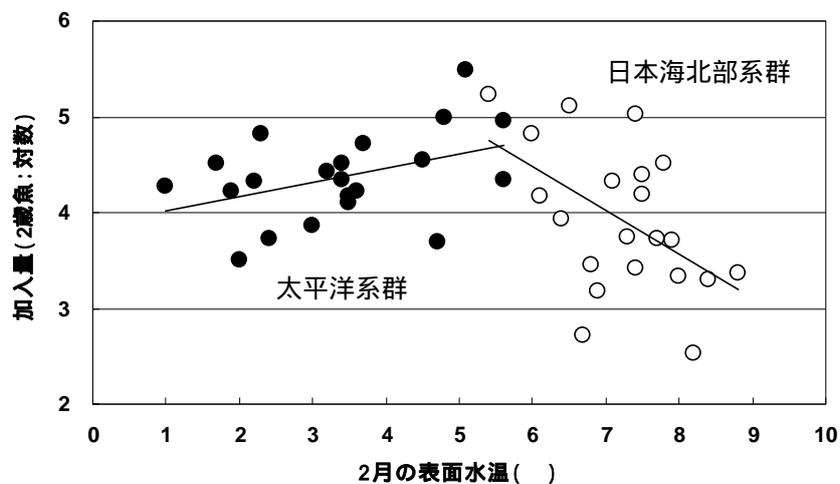


図7. 太平洋系群と日本海北部系群の加入量と2月の産卵場付近の表面水温の関係

2つ目は、2月の水温が海流の強さ (卵・仔稚魚の輸送) の指標になっているというシナリオである。図8に示すように、北海道の太平洋岸には沿岸親潮が存在するが、この沿岸親潮は噴火湾周辺の太平洋系群の卵を生残には不適と推測される沖合域へ輸送すると考えられている (Shimizu and Isoda 1998)。また、この沿岸親潮は寒流のため、その勢力が強くなると北海道の太平洋岸の水温は低下すると考えられる。よって、2月に北海道太平洋岸の水温が低い年には、沿岸親潮の勢力が強くなり、より多くの卵が沖合域へ輸送されるために太平洋系群の加入量が減少すると考えられ、太平洋系群の加入量と2月の水温が正の関係を示すことに矛盾しない。一方、北海道の日本海側には対馬暖流 (宗谷暖流) が存在するが、この対馬暖流は日本海北部系群の仔稚魚をオホーツク海に移送すると考えられている (前述したように、これらの個体は「オホーツク海南部」に加入する) (夏目・佐々木 1995) (図8)。また、この対馬暖流はその名のとおり暖流のため、その勢力が強くなると北海道の日本海側の水温は上昇すると考えられる。よって、2月に北海道日本海の水温が高い年には、対馬暖流の勢力が強くなり、より多くの仔稚魚がオホーツク海へ移送されるために日本海北部系群の加入量が減少すると考えられ、日本海北部系群の加入量と2月の水温が負の関係を示すことに矛盾しない。したがって、2月の水温が海流の強さの指標になっているというシナリオにより、加入

量と2月の水温の関係が、2系群で正反対になっていることを矛盾なく説明できる。

3つ目は、2月の水温が仔魚の餌量の指標になっているというシナリオである。中谷ほか(2003)は、噴火湾周辺におけるかいあし類ノープリウス密度を、1990年代についてまとめ

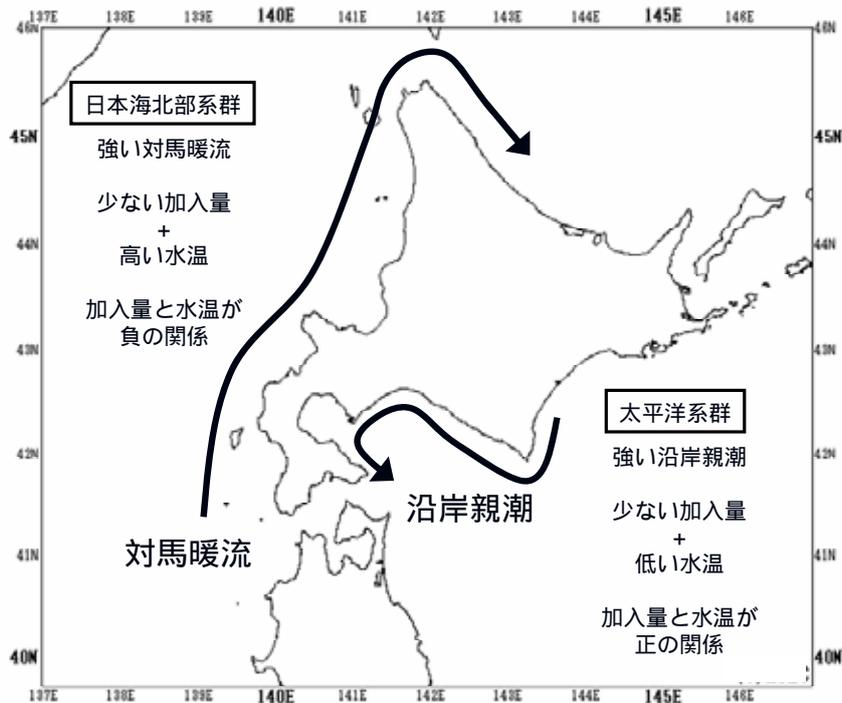


図8. 北海道周辺の主要な海流

ている。その中で彼らは、太平洋系群の加入量が少なかった1996年度にノープリウス密度が高い値であったという理由から、ノープリウス密度は太平洋系群の年級群豊度に影響を及ぼさないと結論付けている。しかし、この1996年度のデータを取り除くと、2月のノープリウス密度と2月の表面水温(最良なモデルに組み込んだ北海道太平洋岸の水温)は、有意な正の相関関係を示す($r=0.88$; $P<0.05$)(図9)。このことは、2月に北海道太平洋岸の水温が高い年には、太平洋系群の仔魚の餌量が増加することを意味しており、太平洋系群の加入量と2月の水温が正の関係を示すことを矛盾なく説明できる。よって、少なくとも太平洋系群に関しては、2月の水温が仔魚の餌量の指標になっている可能性がある。一方、日本海北部系群の仔魚の餌量に関しては、現在のところまとまったデータは存在しないため、今後データを蓄積する必要がある。

これら3つのシナリオのうちどれが正解なのか、もしくは複数のシナリオが組み合わさっているのか、あるいはすべてのシナリオが不正解なのかについては現在のところ不明である。近年、資源管理を行なう上で、加入量変動機構の解明は必須となっており、2月の水温が両系群の加入量と関連性を示す仕組みを早急に解明する必要がある。

一方、4月の水温が太平洋系群の加入量と関連性を示す仕組みについては、強い相関関係が認められた海域(東北沖)から、親潮第一分枝が関与していると思われる。図10に、4月の親潮第一分枝の先端経度(東北区水産研究所)と4月の表面水温(最良なモデルに組み込

んだ東北沖の水温)の関係を示すが、両者の間には有意な正の相関関係が認められる($r=0.50$; $P<0.05$)。このことは、4月に親潮第一分枝が東北地方に接近すると、4月の東北沖の水温は低下することを意味している。一方、前述したように、噴火湾周辺の卵は沿岸親潮によって

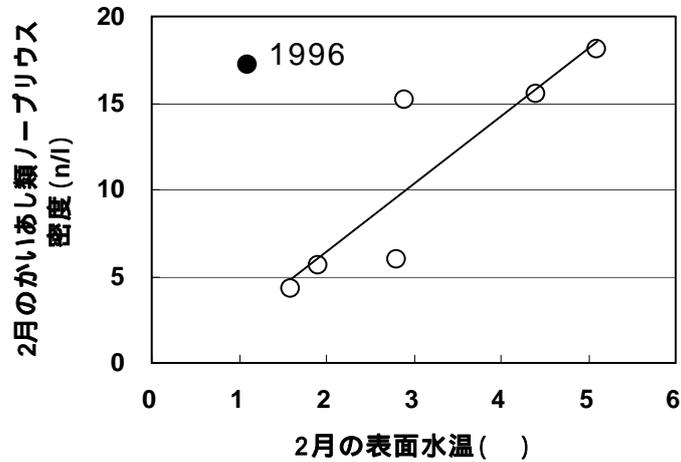


図9. 2月の噴火湾周辺におけるかいあし類ノープリウス密度(中谷ほか 2003)と2月の表面水温の関係

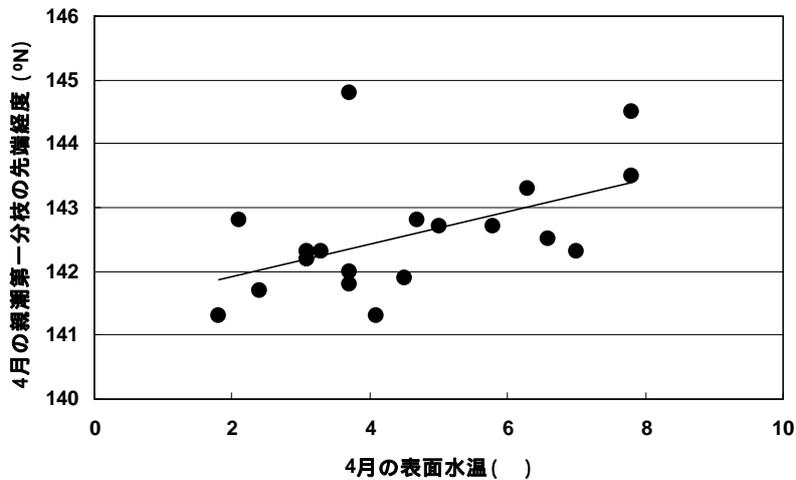


図10. 4月の親潮第一分枝の先端経度(東北区水産研究所)と4月の表面水温の関係

沖合域へと運ばれるが、その中の一部は、その後親潮第一分枝によって、生残に好適と推測される東北沿岸域へ輸送されると考えられる。よって、4月に東北沖の水温が低い年には、親潮第一分枝が東北地方に接近し、より多くの卵・仔稚魚が東北沿岸域へ輸送されるために太平洋系群の加入量が増加すると考えられ、太平洋系群の加入量と4月の水温が負の関係を示すことを矛盾なく説明できる。したがって、太平洋系群に関する4月の水温は、親潮第一分枝の挙動の指標になっていると思われる。

8. おわりに

現在、我が国の周辺水域において、TAC（漁獲可能量）制度を用いた資源管理が行なわれている魚種は、サンマ、スケトウダラ、マアジ、マイワシ、マサバおよびゴマサバ、スルメイカ、ズワイガニの7魚種である。スケトウダラもこの中に含まれているが、その特徴としては、寿命が長く（少なくとも10歳以上）、加入量の変動幅が比較的小さいことが挙げられる（1981～2005年度の変動係数は0.54）。このような魚種では、卵を産出できる親魚になるまでに年数がかかり、さらに、加入に好適な環境下でも加入量の増加に限られる。よって、たとえ加入に好適な環境になっても、親魚量はすぐには増加せず、またその増加の程度も限られる。したがって、このような魚種に関しては、常にある水準以上の親魚量を確保することが資源管理を行なう上で重要と考えられる。一方、寿命が長いことは、コホート解析による資源量推定に適していることや、資源管理効果が長く続くことも意味しており、スケトウダラは資源評価や資源管理に適した魚種とみなすこともできる。前述したように両系群の資源状態が悪い現在こそ（日本海北部系群に関しては極めて悪い）、両系群に対する適切な資源管理（TAC設定）が行なわれることを期待している。

なお、本研究は、水産庁による「我が国周辺水域資源調査推進委託事業」の下で実施された。

9. 引用文献

- 船本鉄一郎・八吹圭三・本田聡. 2006. 平成18年スケトウダラ太平洋系群の資源評価. 平成18年度我が国周辺水域の資源評価, 345-384.
- 本田聡・八吹圭三. 2006. 平成18年スケトウダラ日本海北部系群の資源評価. 平成18年度我が国周辺水域の資源評価, 267-312.
- 磯田豊・清水学・上岡敦・松尾康弘・大谷清隆・中谷敏邦. 1998. 北海道南部太平洋海域におけるスケトウダラの資源量変動に係わる海洋環境の経年変化. 水産海洋研究, 62: 1-11.
- 中谷敏邦・杉本晃一・高津哲也・高橋豊美. 2003. スケトウダラの年級豊度に与える噴火湾の環境要因. 水産海洋研究, 67: 23-28.
- 夏目雅史・佐々木正義. 1993. 北海道北部日本海のスケトウダラ稚仔魚の生態 - 水平分布と孵化時期. 北水試研報, 42: 135-142.
- 夏目雅史・佐々木正義. 1995. 北海道北部海域のスケトウダラ仔稚魚の分布. 北水試研報, 47: 33-40.
- 西村明. 2005. スケトウダラ総説. 平成17年度国際漁業資源の現況, 386-391.
- 呉泰棋・桜本和美・長谷川誠三. 2002. 日本海北部海域におけるスケトウダラの漁獲量変動と水温の関係. 日水誌, 68: 866-873.
- 佐々木正義・夏目雅史. 1990. 武蔵堆およびその周辺水域におけるスケトウダラ若年魚の分布. 日水誌, 56: 1063-1068.
- Shimizu, M., and Isoda, Y. 1998. Numerical simulations of the transport process of walleye pollock eggs into Funka Bay. Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 45: 56-59.

- 水産庁・水産総合研究センター. 2005. 平成 17 年度我が国周辺水域の資源評価, 1-1513.
- Takasuka, A., Aoki, I., and Mitani, I. 2003. Evidence of growth-selective predation on larval Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in Sagami Bay. Mar. Ecol. Prog. Ser., 252: 223-238.
- Takasuka, A., Oozeki, Y., Aoki, I., Kimura, R., Kubota, H., and Yamakawa, T. 2004. Differential optimal temperatures for growth of larval anchovy and sardine: A potential mechanism for regime shifts? Abstracts of North Pacific Marine Science Organization Thirteenth Annual Meeting, 27-28.