瀬戸内海における沿岸性
主要資源の漁獲変動

○山本昌幸*・大美博昭**・宮原一隆***
* 香川水試　**大阪環農水研　***兵庫水技セ
キーワード：瀬戸内海・漁獲変動・環境変動

1. はじめに

瀬戸内海は，我が国沿岸漁船漁業の漁獲量の約 14%（17.6 万トン［2010 年］）を占めており，沿岸漁業において重要な位置を占めている。

瀬戸内海の漁獲量は 1980 年代中期から減少し，2000 年代前半の漁獲量は 1980 年代の半分以下に減少している。今後，瀬戸内海の生態系を豊かにし，漁獲量を増加するために，鍵種となる沿岸性の重要資源の増減する原因を検討し，それが沿岸域の人間活動によるもの（例えば，漁業，種苗放流，沿岸域の埋立）なのか，それ以外の気候変動（例えば，海水温の上昇）や他海域からの加入変動なのかを知ることは重要である。

本報では，瀬戸内海の主要な水産資源であるイワシ類，サワラ，マダイ，クルマエビ，イカナゴの 1970 年以降から現在までの漁獲量の動向を調べ，漁獲量の増減の原因や今後の課題について議論した。

2. 材料と方法

対象種の漁獲量等については下記の資料を用いた。1）1970 年～2010 年の対象種の漁獲量：「昭和 45 年～平成 22 年漁業・養殖生産統計年報」，2）カタクチイワシの産卵量：河野・銭谷（2008）の産卵量，3）冬期の海水温：香川県水産試験場の浅海定線調査（備讃瀬戸海域の水深 10 m），4）瀬戸内海の埋立面積：「平成 21 年度　瀬戸内海の環境保全（資料集）」，5）瀬戸内海東部 5 府県におけるクルマエビ種苗放流数：「平成 2 年～22 年栽培漁業種苗生産，入手・放流実績（全国），資料編」，6）夏期の海水温：高松市屋島湾の自動観測水温ブイのデータ。

3. 結果および考察

1）イワシ類

瀬戸内海の中央部に位置する燧灘（ひうちなだ）のイワシ類（マイワシとカタクチイワシ）の漁獲量の推移は，全国の傾向とは異なっていた。全国におけるマイワシの漁獲量が最高値を示した年は 1988 年であった一方，燧灘では 1990 年代に入ってから漁獲量が増加し，1997 年に最高値を示した。カタクチイワシにおいては，両海域ともにマイワシの漁獲量が増加した期間に漁獲量が減少したが，2000 年代の漁獲量は，全国では高水準で推移しているにもかかわらず，燧灘では 1970，80 年代の半分程度の水準で推移していた。

2000 年以降，燧灘におけるカタクチイワシの産卵量は，1980 年代と同水準まで回復したが，カタクチイワシ仔魚（シラス）の漁獲量は 1980 年代の半分程度しか回復していなかった（図 1）。燧灘のカタクチイワシ仔魚の生残率はカイアシ類密度と深い関係があることが報告されており（Zenitani et al. 2007; 2011），シラスの加入量が少ない原因として，仔魚期の餌料環境が悪いことが考えられる。

本海域では，主に煮干しの原料としてカタクチイワシが漁獲されており，近年，「脂イワシ」と呼ばれる脂質含有率・肥満度が高い煮干しに不向きなカタクチイワシが漁獲され，いわし機船船びき網漁業の経営を圧迫している。脂イワシは，過剰摂餌によって発生すると考えられており，今後餌料環境と脂質含有率の関係を調べていく必要がある。

2）サワラ

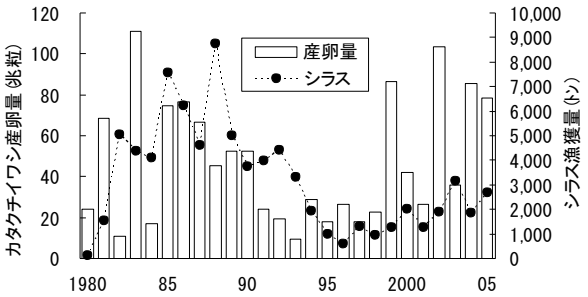

図 1　燧灘のカタクチイワシの産卵量と漁獲量

瀬戸内海においてサワラは，さわら流し刺網によって漁獲量の約 70%が漁獲されている。サワラの漁獲量は 1968 年からネットローラー導入による機械化，1970 年から秋漁普及による漁獲効率・漁獲努力量の向上によって，1986 年（6,378 トン）まで右肩上がりとなるが，それ以降，1998 年（199 トン）まで急減した（図 2）。1998 年以降，種苗放流や休漁等による資源管理の取り組み，卓越年級群の出現によって，2002 年以降，漁獲量は 1,000～1,500 トンまで回復した。サワラとカタクチイワシの漁獲量の関係をみると，1980 年以降，両者の増減傾向が一致し，被食者－捕食者の関係が深いことが示唆された。

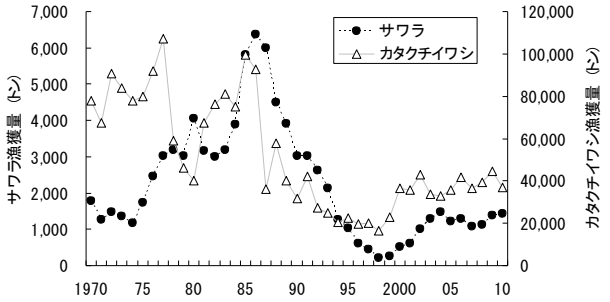

図 2　瀬戸内海のサワラとカタクチイワシの漁獲量

3）マダイ

瀬戸内海のマダイの漁獲量は 1970 年（2,033 トン）から 2010 年（4,410 トン）までに 2 倍以上増加した。しかしながら，漁獲量の変動には地域差があり，和歌山県，大阪府，兵庫県，香川県の漁獲量の推移をみると，外洋水の影響を受けにくい瀬戸内海の中央部に位置する兵庫県と香川県の漁獲量の増加が著しく，逆に太平洋に面した和歌山県の漁獲量は減少していた（図 3）。一般に瀬戸内海中央部のマダイは冬期に淡路島の海峡部や紀伊水道に越冬することが知られている。しかしながら，1980 年代後半以降香川県沿岸において最低水温が 8 ℃を下回る年がほとんどなくなり，冬期のマダイの漁獲が増加した。これらのことから，マダイの太平洋側への移動が減少したことが示唆され，これが兵庫県と香川県の漁獲量増加の一因ではないかと考えられる。

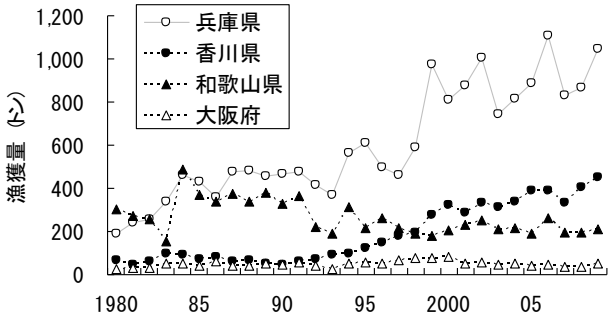

図 3　瀬戸内海東部 4 府県のマダイの漁獲量

4）クルマエビ

瀬戸内海のクルマエビの漁獲量は 1985 年（1,476 トン）をピークに減少傾向であり，他の海区でも同様な傾向であった。埋立面積と漁獲量の関係をみると，1996 年から 2010 年の間に漁獲量は 1/3 程度まで大きく減少しているが，その期間に累積埋立面積は 10%程度しか増えていなかった（図 4）。このことから，埋立（生息域の減少）がクルマエビ漁獲量の減少の主因とは考えにくい。瀬戸内海東部 5 府県におけるクルマエビの漁獲量の減少率（2009 年漁獲量／1990 年漁獲量）をみると，0.03～0.36 と地域差があった。減少率とサイズごとの放流尾数との関係から，全長 50 mm 以上の大型種苗放流数が多いほど漁獲量の減少は抑えられており，大型種苗の放流がクルマエビ漁獲量の下支えをしていることが示唆された。全長 50 mm 以上のクルマエビの生残率は一定水準以上あることから，クルマエビの減少は，捕食者の増加や環境悪化による卵から着底初期までの生残率低下が大きいのではないかと考えられる。

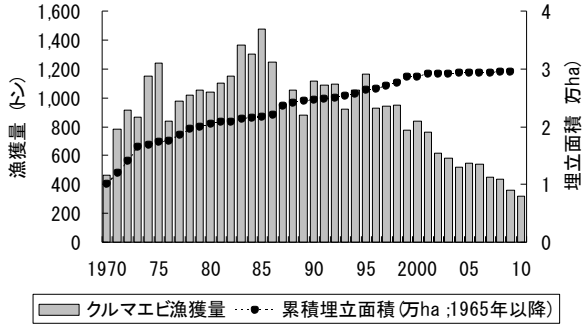

図 4　瀬戸内海の埋立面積とクルマエビ漁獲量

5）イカナゴ

瀬戸内海のイカナゴは，12 月下旬～1 月に産卵し，1～2 月にフルセ（親魚）が漁獲され，2～4 月にシンコ（仔稚魚）が漁獲され，7～12 月に夏眠する。夏眠の際，細砂から粗砂の砂場に潜るため，海底の砂が重要となる。1976 年以降，海砂利採取を止めた兵庫県と 2004 年まで海砂利採取をしていた香川県のイカナゴの漁獲量の変動をみると，1970 年代の香川県の漁獲量は，兵庫県の 2/3 程度であったが，1980 年以降になると 1/5 程度にまで落ち込んだ（図 5）。これは，海砂利採取がイカナゴ資源にとって，マイナスに作用したことを示唆している。飼育実験において水温 26 ℃以上になると，へい死率が高くなり，肥満度は低くなる（赤井・内海，2012）。香川県の備讃瀬戸では，近年水温上昇が報告されており（山本，2003），海水温は 1994 年以降，ほとんどの年で 1 ヵ月以上 26 ℃以上となり，高水温の年では 2 ヵ月以上続くこともある。これらのことから瀬戸内海はイカナゴにとって非常に厳しい生息環境となっていることが推察される。

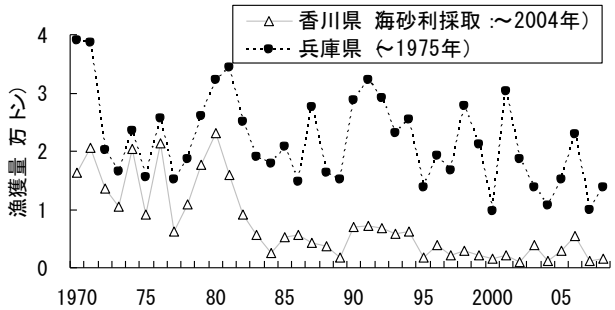

図 5　香川県と兵庫県のイカナゴ漁獲量

日本海南西海域における浮魚資源の漁獲変動と加入動向

志村　健*・大下誠二・依田真里**
安木　茂・寺門弘悦***・内川和久・田　永軍****
* 鳥取水試　**西水研　***島根水技　****日水研
キーワード：日本海南西海域・漁獲変動・浮魚類・加入

目　的

隠岐諸島を中心とする日本海南西海域は浮魚類の好漁場として知られている．本海域では浮魚類の卓越種の交替と数十年スケールで豊凶期が大規模に変化する顕著な漁獲量の増減が確認されている．資源を持続的に利用していくためには，浮魚類が経年的にどのように漁獲されてきたかを知ることが重要である．また連続した加入の成功又は失敗が資源変動を引き起こすきっかけとなるため，当歳魚の資源量を精度良く推定する必要がある．そこで本研究では，浮魚類を多獲する大中型まき網の標本船データを用いて浮魚類の長期的な漁獲量，CPUE 及び漁場がどの様に変遷してきたのかを明らかにした．さらに，本海域に来遊する浮魚類の幼魚を対象に中層トロールを用いた現存量調査を行い近年の加入動向を調べた．

方　法

表面水温

浮魚類の資源と漁場形成に影響を与える本海域の表面水温変化を調べるため，山口県から兵庫県の試験船によって行われた定線海洋観測資料を用いた．これらの海洋観測では，調査定点が季節・経年的に変更されているため，年別月別に線形補間を行って，北緯 35 度～37 度，東経 130 度～135 度の海域について緯度・経度 30 分格子の表面水温データを作成した．この格子データの 1～3 月の平均水温を冬期水温，6～8 月の平均水温を夏期水温として求めた．

標本船資料

浮魚類の豊度や漁場の時空間変化について調べるため，標本船として鳥取県境港に周年水揚げする大中型まき網 2 船団を選んだ．調査項目は，1985～2009 年の 1 日 1 投網毎の操業位置および魚種別漁獲量である．調査対象魚種は，大中型まき網で多獲されるマイワシ，カタクチイワシ，マサバ，マアジ，ブリの 5 種とした．得られたデータから年別の総漁獲量と CPUE（トン/網）を算出した．さらに，優占種とその漁場位置を調べるため，年別に 1～6 月及び 7～12 月の各漁区（緯度経度 30 分）の CPUE を求め，各漁区で最も分布密度の高かった魚種をその漁区の優占種としてマッピングした．本研究では，海洋環境と漁場の変化との関連を調べるため，海洋環境が特徴的な変化を示す年を代表年として解析した．

中層トロール調査

2003～2012 年の 5 月下旬から 6 月中旬に，対馬海峡から隠岐諸島周辺の大陸棚およびその縁辺域で鳥取県及び島根県の水試と水研センターの調査船 4 隻により調査を行った．用いた中層トロールは，網口高さ・幅とも 12 m，コッドエンドの目合 7 mm であり，日中に船速 3 kt で 30 分間水平曳した．

結果と考察

冬季水温の平年値は 13.1℃で夏季は 22.1℃であり，冬季水温は 1985～1989 年までは平年以下であったが，1980 年代後半から急激に上昇し 1991 年以降は 1996 年，2003 年，2011 年を除いて平年以上であった（図 1 上）．夏季水温は変動が激しいものの 5 年移動平均値は 1986 年から 1996 年は平年値を下回り 1997 年から 2008 年まで平年値を上回った（図 1 下）．

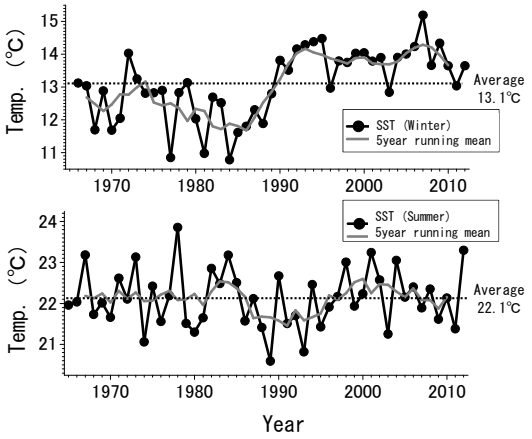

図 1.　冬季（1～3 月：上グラフ）および夏季（6～8 月：下グラフ）の表面水温と 5 年移動平均値

冬季と夏季ともに水温が低かった 1986 年から 1989 年はマイワシの漁獲量は 4 万トンを上回り（図 2），CPUE は 100 トン/網以上あった（図 3）．冬季水温が上昇した 1990 年から 1996 年にマイワシの漁獲量と CPUE は急減した．マイワシの漁場は資源が減少すると大陸棚から沖合へと分散した（図 4）．冬季と夏季ともに水温が高かった 1997 年以降は沿岸ではマアジの漁獲量が最も多くなった．しかしながら，1997～2009 年の CPUE の平均値は 19 トンであり 1985～1996 年の平均値 35 トンよりも少なかった．1997 年以降にマアジ 0 歳魚の漁獲割合が増加しており，0 齢魚の過剰な漁獲圧が資源量の増大を阻害している可能性がある．

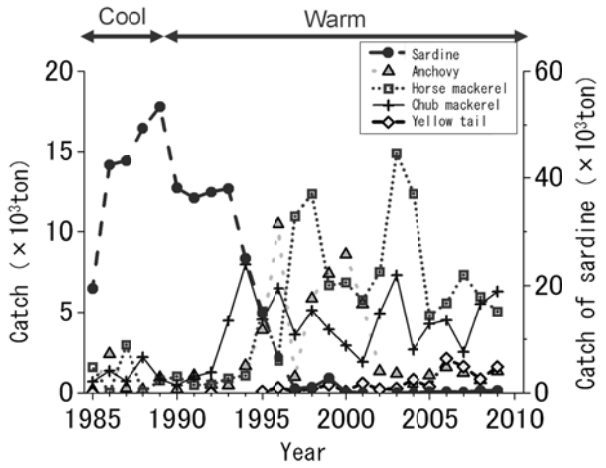

図 2. 標本船よる 1985～2009 年の浮魚 5 種の漁獲量

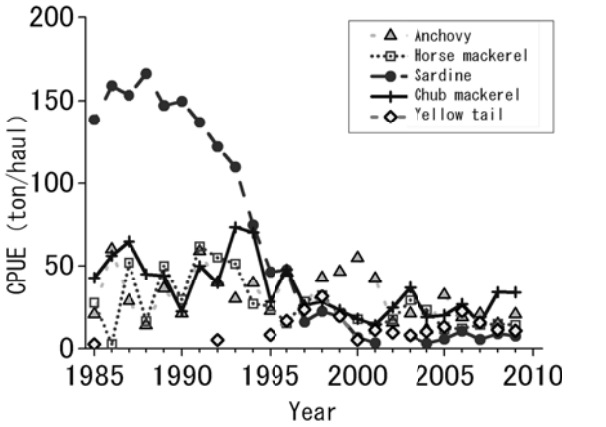

図 3. 標本船による 1985～2009 年の浮魚 5 種の CPUE

2003 年から中層トロールによって尾叉長 20～40mm のマアジ 0 歳魚が定量的に採集されるようになって以来，高い精度で加入量を推定することが可能となった．推定されたマアジの加入量指標値は 2003 年を 1 とすると 2008 年から 2010 年は 1 以上あったが，2011 年以降は 0.5 以下となった（図 5）．この加入量指標値は，まき網で漁獲されるマアジ 0 歳魚の 1 日 1 隻あたりの漁獲尾数と良い対応がみられた．このことはマアジ 0 歳魚に対する漁獲圧は経年的に変化していないことを示唆している．マアジ 0 齢魚に対する過剰な漁獲圧は産卵親魚の資源量を減少させるため，加入が悪い場合は若齢魚の漁獲圧を下げることで資源の持続的利用につながると考えられる．

水温上昇等の海洋環境変化によりマイワシが減少したため，大中型まき網漁業は数量で漁獲金額を確保できなくなった．このため沿岸に季節来遊する魚種を漁獲する操業形態へと変化したと考えられる．とくに 2000 年代は多種を混獲する操業が多く，浮魚類全般において若齢魚に対する漁獲圧を高めていた可能性がある．しかし試験船による調査で加入量を把握できているのはマアジのみであり，その他の浮魚類のデータは乏しいことが課題となっている．地方水試と水研センターの協力により試験船を用いた調査研究が推進されつつある．今後は回復の兆しが見え始めているマイワシ等も含めて浮魚類の加入動向を把握するために調査を拡充していくことが望まれる．

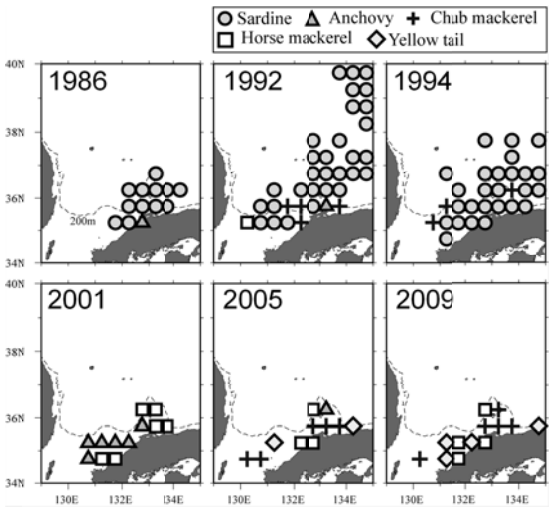

図 4. 代表 6 年における 7～12 月の標本船 2 隻による優占種の分布．点線は 200m 等深線を表す．

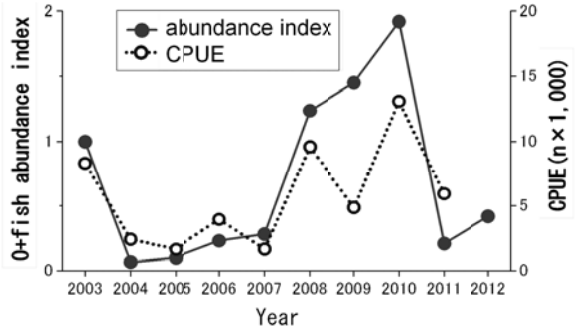

図 5. マアジの加入量指標値とまき網の CPUE

中部太平洋の内湾域における
底生水産資源の変動

○日比野学*・水野知巳**・田島良博***
* 愛知水試漁生研　**三重水研鈴鹿　***神奈川水技セ
キーワード：底生生物・伊勢三河湾・東京湾・資源変動

1. はじめに―内湾における問題の所在―

中部太平洋沿岸には、伊勢・三河湾、浜名湖、駿河湾、相模湾、東京湾といった広義の湾があるが、その中で伊勢・三河湾と東京湾では、物流・工業の拠点としての港湾開発が 1960 年代から大規模に行われた（図１）。いずれも高度成長期を生み出す基盤として、我々にも数々の恩恵をもたらしたことは事実であろうが、そこに住む生物の住処や成育の場としての重要性を省みることなく行われてきたことは、現在の水際の様相や内湾環境を見れば明らかであろう。特に、干潟・浅海域の喪失は、底層の貧酸素化を招き、これらは内湾底生生態系の劣化の主たる原因とも推定される。また、内湾の貧栄養化等、新たな内湾資源変動の要因も近年指摘されつつある。一方で、浮魚類で指摘されるような気候変動によるレジームシフトも、水深の浅い内湾の底生生物相に影響を及ぼす可能性がある。そのような資源変動の中で、漁業による過度の漁獲圧が資源減少に追い打ちをかけた可能性もあろう。以上のように、内湾の底生水産資源は人為的影響を受けやすい資源であり、漁業・環境の関係や今後の沿岸漁業を検討する上で、重要な研究対象と言える。本発表では、それらの諸問題のベースとして伊勢・三河湾と東京湾の底生水産資源の変動を中心に紹介する。

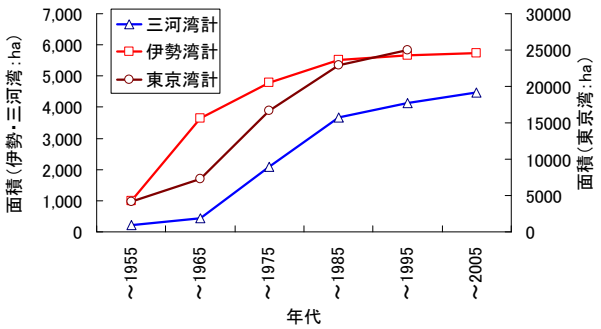

図１　伊勢・三河湾と東京湾における年代別累積埋立面積の推移（出典：伊勢湾環境データベース、東京湾環境情報データセンター）

2. 伊勢・三河湾と東京湾の漁業と資源変動

資源変動の把握には、対象種を主たる漁獲対象とする各漁業種類または県農林水産統計の魚種別漁獲量を主に用いた。

伊勢・三河湾では、干潟や河口域において二枚貝漁業が盛んに行われている。伊勢湾の湾奥に位置する木曽三川河口域では古くから漁業が盛んな海域であったが、木曽岬干拓や長良川河口堰等による漁場縮小のため、ヤマトシジミ、ハマグリの二枚貝類の漁獲量が激減した。三河湾でも、湾奥部の豊橋地先がかつてのアサリ漁業の主漁場であったが、三河港整備に伴う漁場喪失と漁業権の消滅により、この地域の漁獲量は著しく減少した。また、東京湾においても港湾開発と同時期に貝類において顕著な漁獲量の減少が見られる。やはり、比較的定着性の強い底生生物では、場の喪失の影響は資源に対し大きいと推定できる。ただし、三河湾の豊川河口に細々と残された干潟である六条潟では、毎年数千トンのアサリ稚貝が発生し、特別採捕許可を得た漁業者によって採捕され、県内漁場へと移植放流されている。稚貝発生場としての六条潟はアサリ漁業にとって重要な場であり、既に失われた湾奥河口干潟の生産性の高さを暗に明示している。

伊勢湾の小型底びき網では、1960 年代に網口開口板の制度化が認められ、以降板びき網（地方名：まめ板網）が底びき網漁業の中心となっている。この漁業は伊勢湾の広い範囲を漁場とし、無作為性も比較的高いことから、底生資源の推移を把握する上で重要な情報源といえる。主要な漁獲物を年代別にみると（図２）、1970 年代はカレイ類の時代、80 年代はシャコの時代、90 年代はマアナゴの時代、2000 年代はスズキに加えマダコとガザミの時代と、概ね 10 年周期で変遷が見られる。この伊勢湾でみられる主要資源の変動は、多少の時期のズレはあるものの、東京湾と概して変動のタイミングが同期している。また、伊勢湾の重要な漁獲対象であるサルエビ等の小型エビ類は、長期的には横ばいであるが、構成種は若干変化しつつある可能性もある。クルマエビは全国的に減少しており、東京湾でも減少開始のタイミングは同期して

いる。また、サメ・エイ等の板鰓類が多くなったことが、東京湾で指摘されているが、伊勢湾でも漁業者からの聞き取りで確認している。マアナゴやマアジ等の外海からの来遊資源である場合には、産卵場海域からの輸送等により、資源変動がある程度の広域で連動することは理解できる。一方でシャコやスズキ等、基本的に内湾で生活史を完結する生物においてもその変動が類似している点は興味深い。これらは、両湾の港湾開発時期が同期していることや、温暖化による環境・生態系変化の現れなど、両湾に共通する変化に要因を求めることが合理的と考えられる。特にシャコの減少は、東京湾、伊勢湾ともに90年代から顕著であり（図３）、冬季底層水温や気温の上昇、資源構造の変化、夏季貧酸素化における漁獲死亡等、資源形成に関わる諸要因において両湾で共通する部分も多い。

また、近年では2000年を境にシラスウナギ採捕量とマアナゴ葉形仔魚来遊量の関係性の変化や、内湾の底生生物量の大きな落ち込み等、不連続な変化も認められる。これらの要因については瀬戸内海等の他海域との比較を通じて今後検討する必要がある。

以上のように、中部太平洋の内湾域における底生水産資源は、過去に非常に激しい変動をしてきた。その要因や因果関係のほとんどは不明であるが、気候変動や海流が周期的に資源形成に影響をもたらす中で、特に内湾では干潟・浅海域の喪失や貧酸素水塊が底生水産資源に対して影響を与え、さらに漁業がその影響をより大きくする場合があったと推定される。また、これらに加え、近年では陸域からの負荷流入の制限により、内湾の貧栄養化や生物生産力の低下も懸念される。

いずれにしても、底生生物の資源変動は、内湾における環境変動のアウトプットとして表現されるものと推定され、ベースとなる情報である。今後も、多様な生物を漁獲する小型底びき網の漁業情報や、各機関で実施されている生物調査を基盤とした、底生水産資源のモニタリングと海域間での比較が必要と考える。

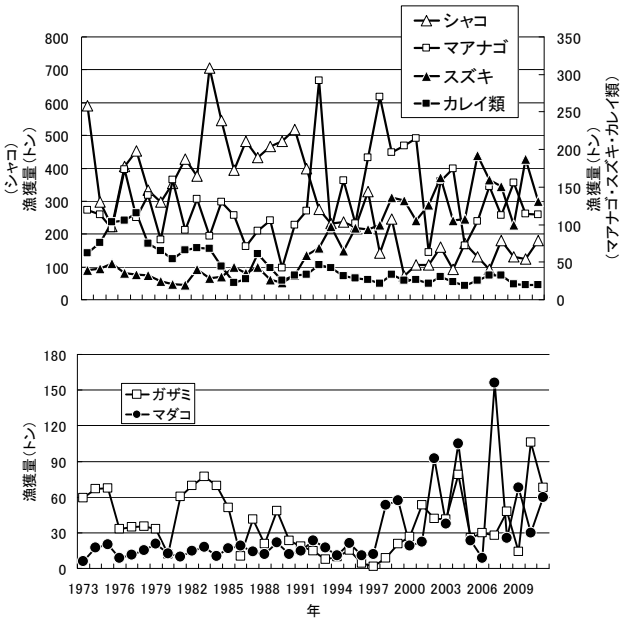

図２　伊勢湾の板びき網漁業（豊浜市場）における主要対象４種（上：日比野・中村（2012）を改変）とガザミ・マダコ（下）の漁獲量の変化

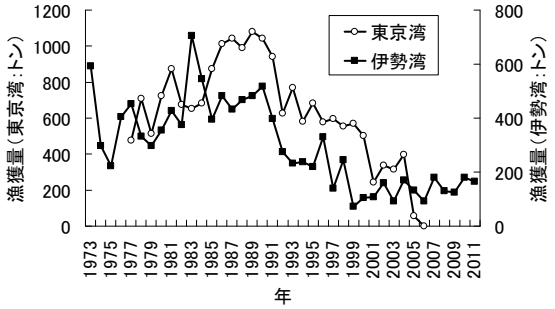

図３　東京湾と伊勢湾におけるシャコ漁獲量の経年変化（東京湾：神奈川県農林水産統計、伊勢湾：豊浜市場魚種別漁獲量）

北海道日本海・オホーツク海における底魚主要資源の変動

○板谷和彦*・城　幹昌**
* 道総研稚内　**道総研網走
キーワード：**北海道日本海，オホーツク海，スケトウダラ，マガレイ**

1. はじめに

演者らの研究フィールドである北海道北部日本海からオホーツク海における魚類資源の変動実態が興味深い魚種として，スケトウダラとマガレイを紹介したい。両種は，北海道の日本海からオホーツク海に広く分布する。スケトウダラは宗谷海峡を挟んで北部日本海とオホーツク南部に分布する群とに分かれ，両者の交流はほとんどなく，資源変動もまったく異なる。一方，マガレイなどのカレイ類の多くは日本海で産卵し，稚魚・未成魚期にはオホーツク海で育ち，成熟に伴って再び日本海へ回遊することが水試の長年の資源研究から明らかとなっている。このように，マガレイはスケトウダラとは対照的に宗谷海峡を通って両海域を行き来し，ひとつの系群として資源を構成している。

2. 各資源の変動実態

日本海のスケトウダラ（減っている資源）

北海道日本海における漁獲量は 1993 年までは 10 万トン前後を維持していたが, それ以降 10 万トンを割り込み減少傾向が続き，最近は TAC による制限もあるが約 1 万トン前後と，過去と比べて大きく減少している。資源の減少は加入量の減少が主な要因であるが，この加入量の減少は産卵親魚が減少する前に起こっており，要因として卵仔魚期の暖流勢力や水温環境が挙げられている（Funamoto，2007）。水産試験場では，加入量の早期把握と初期生残機構の解明を目的に 2005 年から計量魚探を用いた仔稚魚の現存量調査を実施している（板谷ら，2009）。

オホーツク海のスケトウダラ（増えている資源）

日本海とオホーツク海では，過去の標識放流調査では宗谷海峡を越えた再捕例はわずかにあるが，殆ど交流はないと考えられており, 資源変動はそれぞれ異なる。1990 年以降の漁獲量は日本海の動向と異なり，5 千トンから 2.7 万トンの範囲を 5 年くらいの周期で大きく変動している。最近ではこの周期性は見られず，2006 年以降増加傾向が続き，2010 年には 3 万トンを超え，2011 年もほぼ同じレベルの漁獲を維持している。このように北海道北部に分布するスケトウダラでも，日本海では資源が大きく減少，オホーツク海では増加傾向といったように大きく異なる。

オホーツク海南部系群はロシア水域を中心に広範囲に分布しているため，産卵場・生育場といった基本的な知見すら不明で，加入量の変動要因は分かっていない。北海道オホーツク海での漁獲増をもたらしている資源の構造を知るために，漁獲物調査や調査船調査により来遊群の殆どが成熟前の索餌群であることがわかった。また，計量魚探調査でスケトウダラの索餌群を断面観察してきた結果，この海域のスケトウダラは，マイナス水温のオホーツク冷水塊の下部のわずかな隙間を流れる宗谷暖流潜流に分布し，昼夜に大きな鉛直移動しないことがわかり，北海道の他の海域とは分布様式が大きく異なることがわかってきた（**研究テーマの発掘**）。

マガレイ（安定している資源）

スケトウダラと異なりマガレイは日本海からオホーツク海に広く分布し，資源評価ではひとつの系群として扱われている。産卵は日本海で行われ卵仔魚の一部は暖流によって日本海北部へ輸送される。残りは宗谷海峡を越えてオホーツク海へ輸送され，そこで若齢期を過ごし成熟すると産卵のために日本海へ回遊する。これは，標識放流（山本ら,1963）や近年の 1 歳時の耳石輪紋径から分析した結果でも確認されている（オホーツク群は加齢とともに宗谷海峡を越えて，日本海へ移動し，その後年々日本海を南下する : 岡田ら，2007）。オホーツク海の雄武町沿岸では 8 月下旬にそりネットによるマガレイ幼魚（0～1 歳）採集調査が，1977 年から実施され（**貴重なモニタリングデータ**），これまで 10 人近くの研究者によって継続されている（**研究スタイルの継承**）。調査で得られた 1 歳魚の密度は，資源解析による加入量と高い相関があることから，漁況予測の資料として，最近では，資源解析の補助資料として活用されている（下田ら，2006）。最近ではマガレイ仔稚魚耳石上への日周輪の存在が確認され（Joh et al, 2011），2 海域に成育場が存在する意義や加入量変動機構を明らかにするために，初期生態と水温・餌料環境に着目した新たな研究が進展している。

北太平洋におけるマイワシ・カタクチイワシ類の生態比較

○髙橋素光
西水研

キーワード：黒潮親潮移行域・カリフォルニア海流域・マイワシ類・カタクチイワシ類

1. はじめに

北太平洋には，西部の黒潮・親潮域にマイワシとカタクチイワシが，東部のカリフォルニア海流域に別種のマイワシ類（以下カリフォルニアマイワシ）とカタクチイワシ類(以下カリフォルニアカタクチイワシ)が分布し，これらイワシ類の資源量は海洋生態系のレジームシフトに対応して数十年周期で大きく変動する．

1980 年代後半において，黒潮・親潮域では，毎年 100 万トン漁獲されていたマイワシ 1 歳魚が姿を消し，体長 12 cm を超える大型のカタクチイワシ成魚が混獲されはじめた．一方，カリフォルニア海流域では，低迷していたカリフォルニアマイワシの漁獲量が増加し始め，それまで 50 万トン以上漁獲されていたカリフォルニアカタクチイワシの漁獲量が激減した．

魚類の資源量変動は，資源への新規加入量変動に起因するとされ，仔魚～稚魚期における成長や生残過程によって決定される．本発表では，常磐・三陸沖の黒潮親潮移行域と北部カリフォルニア海流域において観察されたイワシ類仔稚魚の成長速度と海洋環境との対応関係を紹介し, 両海域における資源量変動要因について考察する．

2. 黒潮親潮移行域

黒潮親潮移行域におけるマイワシ仔稚魚の分布密度は, 1996～2002 年において減少傾向にあったが, 逆にカタクチイワシ仔稚魚の分布密度は増加傾向を示した．これら仔稚魚の仔魚期後半から稚魚初期における成長速度を, 耳石日輪間隔に基づいて推定した結果，マイワシの成長速度は 1999 年以降低下したのに対し, カタクチイワシの成長速度は上昇する傾向にあった．

採集時の水温および小型カイアシ類の分布密度と成長速度との対応関係から，マイワシの適水温はカタクチイワシよりも低いこと，また両種の成長速度は，好適水温範囲において，餌料密度と正の相関関係にあることがわかった．これら環境条件と成長速度との対応関係に基づいて, 1999 年以降におけるカタクチイワシ仔稚魚の成長速度の増加は水温の上昇が原因であり，同時に起こったマイワシ仔稚魚の成長速度の低下は、餌環境の悪化が原因であることが示唆された．

3. カリフォルニア海流域

北部カリフォルニア海流域において，カリフォルニアカタクチイワシ仔稚魚の仔魚期における成長速度は，沿岸域における湧昇の強化に伴い，増加することが見出された．2005 年のオレゴン・ワシントン州沖における湧昇は, 例年よりも 2～3 ヶ月遅れて 7 月に始まり, それ以後急激に強まった．この湧昇の強化に伴い，クロロフィル濃度が増加し，冷水性カイアシ類が増加した．耳石日輪間隔に基づく成長解析の結果，7 月以前に孵化したカリフォルニアカタクチイワシ仔魚の成長速度は，それ以後に孵化した個体よりも有意に遅いことがわかった．つまり，湧昇の強化に伴い，水温は低下したが，餌環境が好転し，仔魚期の成長速度が増加したと示唆された．

同時に採集されたカリフォルニアマイワシ稚魚の仔魚期における成長速度は，本研究で用いた環境指標と有意な相関関係になかった．カリフォルニアマイワシの加入量変動は，沖合の風応力による湧昇との関連が示唆されており，本研究で用いた環境指標よりも沖合域における環境要因の影響を受けた可能性がある．

4. 東西両海域における資源量変動機構

冬季におけるアリューシャン低気圧の位置と勢力は, イワシ類の成育場における環境条件に強く影響すると考えられてきた．1980 年代後半において，黒潮親潮移行域の水温は，アリューシャン低気圧の勢力が弱まったことによって上昇した．一方，北部カリフォルニア海流域では，沿岸湧昇の勢力が弱まり，水温が上昇して，暖水性カイアシ類が増加した．これらの環境変化は，黒潮親潮移行域において，カタクチイワシ仔稚魚の成長を促進すると同時にマイワシ仔稚魚の成長を低下させ，逆にカリフォルニア海流域では，カリフォルニアカタクチイワシ仔稚魚の成長を低下させたと考えられる．このような環境変化に対する対照的な成長応答が，北太平洋の東西両海域で起こったマイワシ類とカタクチイワシ類との資源量変動の一因と考えられる．今後，東西両海域における両種の生残戦略を明らかにし，北太平洋における統一的な資源量変動要因を解明する必要がある．

加工流通が必要とする水産資源とは何か

○廣田 将仁
中央水研
キーワード：水産物流通・加工、産地集積、産業多様性、漁業管理

1. 流通ビジネス論からの接近

流通や加工業という水産業の陸上セクターに相当する業種ではどのような研究が行われているのか余り馴染みがないかもしれない。これを一言でいうと「良い流通とは何か」ということになるが、近年ではより良い流通として Business Architecture や Supply Chain Management (SCM)が話題になりやすい。Business Architecture という言葉の意味は、生産から消費に至る流通の各工程の一つ一つをモジュールと位置づけ、その接続部分をインターフェースと呼び、共通の様式に統一する。このモジュールの集合体を Architecture と呼び、経済の変化に従ってその都度、全体を最適化するという考え方である。例えばパソコンの組み立てのようなものが想像しやすい。市場の変化に応じて部品（モジュール）をいつでも取り替えられるようにしているのである。一方、後者である SCM は、製品市場（消費）の変化を最優先し、次いで流通のロスを極小化し、最後に素材をコントロールしようとする。例えばトヨタ自動車の“かんばん方式”などが有名であり、消費動向を最優先し、これに応じて組立→部品→原料調達の逆順でコントールする。この二つのアプローチはいずれも、いわば人間の都合を最優先して作られたものであり、「商業至上型」と呼ぶべきかもしれない。流通科学では、人間による商行為を勝ち抜く仕組みこそが“良い流通”としてきた訳である。私見に依れば、欧米の水産業では商業至上型の考えに乗っ取って、より良い水産流通ビジネスを達成するために資源・漁業を管理しようという発想が強いように見える。

２．日本（アジア）の水産業としての接近

しかし、日本をはじめアジア諸国の水産業にとっての“良い流通”とは、このような「商業至上型」とはいささか異なるもののように見える。日本の水産物流通の要である“魚市場”の大きな役割の一つに“分配”という機能がある。これは、空間的に無数に分布する漁村で獲れた魚や、極めて多岐に渡る魚種などを瞬時に整理し消費者に供給するために有効だと言われている。驚くべきことにＩＴ武装したスーパーチェーン全盛の今日でさえ、こと生鮮水産物に限っては無数の魚種を処理しきれず、その機能を魚市場に頼らざるを得ないという。つまり、日本では多くの漁村や漁業者から出荷される無数の魚種を速やかに分配しなければならないという環境優先の「資源分配型」こそが“良い流通”なのである。

この環境優先下の資源分配は“流通”を規定するだけではない。日本をはじめアジア諸国では“魚を自ら食べる”という習慣があり、保存や熟成技術も発達し、無数の加工食品を生み出すなど、多岐に渡る消費の素地をも造ってきた。欧米のように水産物を国際取引の商材と見なすだけではなく、環境優先の発想は漁業・流通の周辺空間に多様な消費を作り出してきたのである。このような日本の水産業は、環境・資源と漁業・流通の周辺空間、多様な消費市場の三つが常に一体となって相互にフラットな関係を保ちながら産業を循環させてきた。これは消費や市場を最上位に置いて、これを踏まえ生産や資源をコントロールするという上下関係的な「商業至上型」の流通科学とは異なる日本独自の水産業の形である。

３．水産流通・加工業に必要な機能

環境条件に優先された「資源分配型」の流通と、これに応じて多岐に渡る製品の市場を循環させる装置として“産地集積”という言葉がある。これは、魚市場を中心にして水産加工業や運送業、副資材などの関連業者が同じ空間に立地し、相互に取引関係を持ちつつ、水揚される漁獲物を速やかに“分配”するための装置である。この装置は欧米にはない。この中の水産加工業は、水産食品製造業や凍結保管業（冷蔵庫業）、ミール加工業などが含まれ、この装置の中核をなしている。このような業種では、一度に大量に漁獲された時には冷蔵庫業が、サイズが小さく食品には適さない場合はミール加工業が、より良いサイズがまとまった時は食品製造業が処理するという役割を持つ。つまり多様性のある業態が集積することにより漁獲の変動に際しても、魚の組成に従った適正な価格と利用を図るという社会成果を達成する。われわれの研究領域ではこれを「産業多様性」と呼んでいる。産業多様性は集積内部の相互依存と相乗効果を発揮し、経済環境の変化に対しても集積内部の経営の頑健性が図られるという考え方に基づく。日本の環境優先下の「資源分配型」流通の安定は、産業多様性の形態による産地の集積装置によってはじめて保障されるという点で極めて重要である。しかし、近年、国際市場への偏向や国内消費市場の弱体化により産業の多様性が維持されなくなり、漁業経営にも負の影響を与えるようになってきた。一例として本報告では、北まき漁業に対応した拠点集積である銚子地区の水産加工集積や、沿岸漁業の例として北海道噴火湾のスケソウダラにかかる水産加工集積などの事例を取り上げて説明することとする。これらは何れも、資源と漁業・流通、多様な消費市場の一体的なバランスが崩れ、水産加工流通業が孤立し、分配処理能力が制約されることに原因する。

４．加工流通が必要とする資源との関係

産業多様性の喪失により、どのような問題が生じているのか。一言でいうならば「魚価の不安定化」である。しかし、私見としてこれは、しばしば問題の原因として槍玉に挙げられる TAC 設定数量というよりも、多様性から孤立した水産加工業の処理能力規定によるところが大きいと考えている。多様性が失われるということは、例えば同じ空間に立地していたはずのミール加工業や食品製造業、消費構造が失われることであり、集積全体の分配（処理）力を低下させる。また、集積内部の相互依存が失われるため、処理能力が同業種のバックアップを得られないまま孤立し、一企業の処理能力が規定条件になり低位硬直化しやすい。すなわち陸上セクターの単純化であるが、一方で依然として環境や資源優先的に且つ一方的に供給される漁獲物を適正に処理できなくなり、魚価が低位不安定化することになる。このような局面において漁業側はどのように対処すればよいのだろうか。

このような加工側が孤立した条件下では陸上セクター経営が水産資源の供給に求めたい条件は、かつてのような短期的な「差益」を生む変動よりも、一義的には経営資源（人員・設備・資金等）の循環に貢献する「安定と連続性」にある。孤立した加工側には大規模な設備と人員が既に装備されており、円滑な稼働効率の維持が切望される。また、孤立による処理能力の限界も併せ持つことから、仮に漁獲物が連続性のないまま供給されれば運営効率の低下とともにコストの上昇を招き経営は弱体化する。このことが水産加工をはじめ陸上セクターが最も回避したいことである。従ってこの局面において加工側が水産資源に求めたいことは、加工側の装備に応じた安定と連続性が担保された供給、また水産加工の事業計画の策定と修正に資するような精緻な漁況予測などが対象になると考えられる。

水産システムの中間点で
どのような漁業管理研究ができるのか？

○金子 貴臣
中央水研
キーワード：水産システム、漁業管理、経済分析、文化

1. 水産システム

「我が国における総合的な水産資源・漁業の管理」のあり方（2009 水研セ）で提起された「水産システム」という考え方は、水産を海中の生物再生産から食卓に上がるまでの１つのシステムとして捉える新しい考え方である（図 1)。従来の日本の水産研究では、生物再生産の段階と漁業生産の段階の相互作用については比較的多くの研究が行われてきていたが、陸上の流通・加工業を含めて水産システム全体で連携した研究はほとんど行われてこなかった。しかし、近年少しずつこの考え方に基づく研究が行われ始めている。

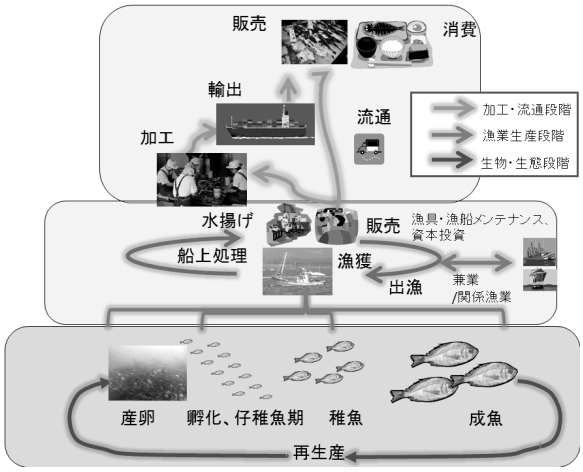

図１　水産システムの概念
（「我が国における総合的な水産資源・漁業の管理」のあり方（2009 水研セ）より、一部改変）

2. 水産システムに基づく”経済”分析

「水産システム」という観点に基づく社会科学系分析のうち、もっとも連携を始めやすいのが、流通・加工業を含めた“経済”分析であり、近年いくつかの研究成果が報告されている。例えば、農林水産技術会議「魚種交替の予測・利用技術の開発」プロジェクトでは、海洋環境の変動から生物大発生のメカニズムを解明する水産海洋学的研究以外に、牧野らが生物大発生に伴う管理オプションの研究を行った。この研究では、1990 年代の北部太平洋大中型巻き網漁業（以降、北まき）の管理に関してレトロスペクティブ分析を行い、考えられる４つの管理オプションについてそれぞれのメリットデメリットを論じた。この際、水揚港周辺地域に対し、管理オプションの与える経済学的なインパクトについて算出した。この成果を応用することで、魚種交替資源をどのように管理するかを定量的に比較･検討することが可能になると考えられる。これは、水産海洋学的事象を、漁業という中間段階を経て、水産業の陸上セクターへの経済効果という形でアウトプットした事例である。

一方､陸上の加工流通産業の経済的変化が、水産海洋に与える影響という逆方向の流れの研究も行われている。2011 年度水産海洋学会研究発表大会で発表された「北部太平洋まき網漁業及び関連産業の回復･復興過程」では、これまでの北まきの歴史をレビューし、魚種交替資源の増減に主導されて発展してきた陸上産業が、東日本大震災の被災により水揚の制約要因となり、漁業を通じて資源や海洋環境に影響を与えうることを示唆した。また、現在取り組んでいるスケトウダラ太平洋系群

の総合的管理の研究では、噴火湾周辺で水揚されているスケトウダラの大半が、限られた地域の水産加工業者により加工処理されることから、この水揚の処理能力の限界が価格下落を引き起すことが明らかになっており、漁業管理上の重要な課題となっていることを示した。この研究を発展させることで、北まきの研究と同様に陸上セクターの加工処理能力が引き起す課題を漁業とその管理にどう結びつけ、その管理のためにどのような生物再生産の情報が必要なのかを考察できるようになるものと期待される。

また、このような水産物の加工処理能力に注目することで、これまでの水産政策上重要な課題であった、社会経済的要因を含めたＴＡＣの設定をより科学的、定量的に議論できる。また、齢構成モデルと組み合わせることで、陸上セクターのニーズにあったサイズ組成を実現するには、どのような漁獲を行えば良いのかを検討することも可能になると考えられる。

このような「水産システム」を意識した経済的研究については発展の途上にある。水産経済の分野は海外で既に広く開拓されており、そのツールも一部利用することが可能である。しかし、日本の消費の特殊性、日本の流通システム・加工業の特殊性、日本の漁業と管理制度の特殊性を鑑みた、日本独自のアプローチが必要となる。

3. 水産システムの研究的課題

水産システム学の研究的課題は、経済分析以外への拡張である。「我が国における総合的な水産資源・漁業の管理」のあり方（2009 水研セ）では「我が国の望ましい水産業」を表した５つの理念（図２）を整理している。特に「文化の振興」が柱の一つとなっている点が重要と考えられる。水産物消費に関わる「食文化」については世界でも有数の独自性があり、また漁業という生産の段階においても多様な文化が存在することは周知の事実である。これら別々に知られている文化を、生物再生産の段階と合わせて上手く体系づけることが次なる課題となる。

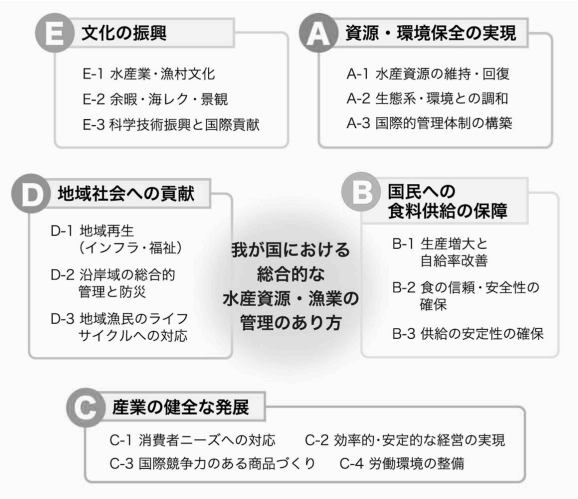

図２　水産政策の５つの理念
（「我が国における総合的な水産資源・漁業の管理」のあり方（2009 水研セ）より）

伊勢・三河湾における
イカナゴ資源管理の現状と課題

○鵜嵜直文*・藤原正嗣**・山本敏博***
*愛知水試　**三重水研　***増養殖研
キーワード：イカナゴ・資源管理・伊勢湾・三河湾

はじめに

伊勢・三河湾におけるイカナゴの資源管理は、1980 年前後の深刻な不漁がきっかけとなり、愛知・三重両県の漁業者による自主的な取り組みとしてはじまった。そこでは、両県水産研究機関（以下、両県水試）の研究成果に基づいた管理方策が実践されている。資源管理の開始以降、長期的な不漁はみられなくなり、これら取り組みは地元漁家の経営安定に一定の成果を収めてきた。

しかし、資源管理の遂行にあたり、作業を進める中では、依然として様々な問題が生じている。そこで今回の発表では、現状の資源管理の概要を示した後、近年の主な課題を整理し、当漁業の発展のため、今後どのような研究が必要かを検討する。

１．資源管理の概要

伊勢・三河湾のイカナゴは、伊勢・三河湾とその周辺海域で一生を過ごす、ひとつの独立した資源である(図)。12 ～ 1 月に湾外でふ化した仔魚は、海流によって湾内へ運ばれて、稚魚、さらに未成魚へと成長しながら漁獲対象となる。6 月には再び湾外に出て、その後 11 月まで海底に潜砂する（夏眠)。この間に成熟し、12 月には産卵がはじまる。漁獲の主体は稚魚であるが、産卵後の親魚も、一部の漁業者によって漁獲される。

現在、実施されている主要な管理方策は、次のとおり。

①産卵親魚の保護：産卵前の親魚の漁獲を抑えるため、試験的に捕獲した親魚の 8 割以上が産卵を終了していることを確認した後、親魚の漁を解禁する。

②解禁日の決定：稚魚の効率的な漁獲を行うため、解禁体長として最も経済価値の高い 3.5cm に達する日を、稚仔魚調査や試験びき調査の結果から両県水試が予測し、それを基に両県漁業者が協議の上、解禁日を決定する。

③終了日の決定：翌年の親魚尾数を確保するため、両県水試がデルーリ法によって当歳魚の残存尾数を推定し、それが 20 億尾を下回らないことを目安に、両県の漁業者が協議の上、終漁日を決定する。

２．主な課題

当資源管理における近年の主な課題は、次のとおり。

①資源量推定の精度：終漁日の決定にあたって推定される資源量は誤差を伴うが、漁期によっては、それが極めて大きい場合がある。近年では、資源量の過大評価による獲り過ぎが、翌年の不漁の一因となった事例もある。資源量の推定精度を考慮した、対応方法の確立が必要と考えられる。

②加入量への環境影響：加入量の年変動は、資源管理の実施後も依然として大きく、環境の影響を強く受けていると考えられる。人為的な管理の効果と限界を具体的に示すため、環境影響の解明が必要である。これは、解禁前の資源量予測に役立つとともに、管理に取り組む漁業者のモチベーション維持にも重要となる。

③価格動向の変化：近年、単価の低迷により、水揚げ金額にも低迷がみられている。最適な解禁体長の基準は、資源管理開始当時の価格動向を元に設定され、現在に至っている。しかし、以前と比べ、小サイズのものに需要が高まっているという市場情報もある。近年の価格動向に即した、解禁・操業方法の見直しが必要であるのかもしれない。

図. 伊勢・三河湾におけるイカナゴの生態
①④索餌回遊（2～5 月；漁期)、②夏眠（6～11 月)、③産卵・ふ化（12～1 月）

漁業者の合意形成に資する
マナマコ高精度資源評価システム

佐野　稔
道総研稚内水試
キーワード：資源管理・リアルタイム資源評価・合意形成・マナマコ

1. 背景

北海道産のマナマコは，2003 年ごろから中国の需要の増大にともない単価が高騰したことで，漁業者の生産意欲が向上し，漁獲量を急激に伸ばしている．そのため，マナマコ資源は獲りすぎの危機に直面している．北海道のマナマコ資源では，漁業者自身による合意形成に基づいて自主的な資源管理(保護区の設定,漁獲制限サイズ,漁獲量の上限規制，漁期など）が行われているものの，資源管理が成功していない地区では資源状況が悪化している．そのため，漁業者から正確な資源量の推定に基づいた科学的な資源管理の実現が強く求められている．そこで，漁業者自身による自主的なマナマコ資源管理を支援するシステムを，公立はこだて未来大学，東京農業大学，北海道大学，日本事務器株式会社，北海道区水産研究所との共同研究で進めており，本講演ではその中の高精度の資源評価システムについて紹介する．

2. 資源量の高精度推定方法

マナマコの資源量推定は，なまこ桁引き網の操業情報を用いた面積密度法で行った．これは,漁船の航跡の GPS データと操業日誌による曳網ごとの漁獲量のデータを用いて，地理情報システムにより処理することで，漁場全体の資源量を推定する方法である．この推定方法では，漁場全体から直接分布密度のデータを取得できるため，従来法の DeLury 法と比べて推定精度が非常に高く,推定誤差を数トン以内に抑えることが可能である．さらに，経年的にデータを蓄積することで，資源の変動を把握することができ，資源の増加量（当年の獲り残しと翌年の初期資源量との差）を超える漁獲を行う地区では，初期資源量が経年的に減少するのに対して，超えない地区では資源水準が維持されることが示された．つまり，マナマコ資源では獲りすぎにより資源が減少し，マナマコの資源水準を維持するためには，漁獲量規制（出口規制）が重要であることが明らかとなった．

3. リアルタイム資源評価

面積密度法による資源量推定では高精度の資源量推定が可能となったものの，GPS ロガーに記録された GPS データと手書きの操業日誌を水産試験場職員が回収，入力し，処理して報告書をつくるため，作業時間がかかり，推定結果が漁業者に届くのは漁期後となっていた．さらに，現状のデータ量では漁期前に翌年のマナマコ資源量を予測できないため，漁期前に漁業者に資源の増加量を提示できず，漁業者による自主的な出口規制に利用できなかった．そのうえ，北海道では地区ごとにマナマコの資源管理が行われているため，全ての地区を水産試験場職員が担うことは不可能である．そこで，漁業者自身による自主的な資源評価と資源管理を実現するために，マナマコのリアルタイム資源評価システムの開発に取り組んだ．このシステムでは，手書きの操業日誌は iPad のデジタル操業日誌に，GPS ロガーは通信可能な GPS ロガーとなった．これにより操業情報は，携帯電話の 3G 回線を通じて，自動的にクラウドサーバに送信された．現段階ではサーバに蓄積されたデータを担当者が処理しているが，来年度までに自動処理するプログラムを完成させる予定である．処理されたデータは，資源診断票として web サイトおよび FAX により，漁業者に漁期中に配信され，漁業者は自主的に出口規制を実践できるようになった．

4. 資源管理の合意形成支援

リアルタイム資源評価の試験運用を行ったなまこ部会では，2010 年度，2011 年度の両年で資源評価結果を参考にして，漁期の切り上げが自主的に行われた．さらに，高精度の資源量推定結果をもとに，漁業者間で資源状況の悪化が共有され,漁期前のなまこ部会の総会では,2010 年度には 1 隻当たり漁獲量の上限の引き下げ，2011 年度に漁獲制限サイズの引き上げ，2012 年度には漁期の短縮を決定するなど，漁業者自身による資源管理の合意形成が進んでいる．ただし，現状ではそれぞれの資源管理方法の効果および適切な組み合わせについては，開発者サイドから提示できていない．そのため，共同研究機関と連携して，北海道マナマコ資源管理のガイドラインの策定に取り組んでおり，来年度の完成を目指している．

5. 謝辞

本課題は，総務省委託研究事業 SCOPE（平成 21-22 年）ならびに新たな農林水産施策を推進する実用技術開発事業（農林水産省，平成 23-25 年）に基づく成果である．

震災復興と沿岸漁業の再生

後藤友明（岩手水技セ）

キーワード：東日本大震災，沿岸漁業，復興

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに伴う大津波によって，リアス式海岸に多くの漁村が点在する岩手県の沿岸域は甚大な被害を受けた。特に，基幹産業としておよそ 4 百億円という価値を生み出していた沿岸漁業は大きなダメージを被り，1 万 4 千隻あった漁船のうち，およそ 9 割が被災を受けたと見積もられている。震災以降，漁協を中心として復旧が進められてきたが，必ずしも沿岸漁業復興に向けた青写真が描けているわけではないのが現状である。そこで，本報告では，岩手県の沿岸漁業を代表として，“持続的な”漁業の再生，という視点から，漁業形態ごとの震災からの復旧・復興の現状と今後の目指すべき方向性を考えてみた。

1 震災復興の現状

1) 養殖漁業

岩手県における養殖漁業は，ワカメを代表として，ホタテ，カキなどリアス式海岸の特性を利用した無給餌型の養殖形態が発達してきた。震災により，漁船の流失のほか，主として湾内に張り巡らされていた養殖施設の大部分が損壊し，生産途上にあったほぼすべての資源を失った。岩手県では，養殖生産額が最も大きく，短期間で収穫に至ることが可能なワカメ養殖を最優先の復旧課題と位置づけ，漁協に対する復旧・復興支援を重点的に行ってきた。その結果，2012 年のワカメ養殖生産規模は震災前の水準の 7 割程度まで回復させるに至った。

2) 採貝藻漁業

岩手県における採貝藻漁業は，主としてアワビやウニ類を対象として，沿岸漁業者にとって主要な漁業形態のひとつとして営まれている。震災により，漁業者自身の被害が甚大であると同時に，津波によるウニ類資源の減耗やアワビの新規加入減少といった資源に対する直接的な打撃が大きく，持続的生産を担保してきた人工種苗生産施設も壊滅的な状態となった。一部地域を除いて個々の漁業者が漁獲を行う本漁業では，復旧の動きは相対的に遅れている。また，資源管理やこの漁業に対する考え方が漁協間で異なっており，2011 年漁期（冬季）にアワビ漁業再開に至ったのは一部に限られた。2012 年漁期にはほぼすべての漁協で操業を開始するとみられるが，操業可能な漁船数は漁協間のバラツキが大きく，十分な資源評価が行われないまま漁獲が再開される漁場も多い。

3) 漁船漁業

定置網漁業は，岩手県の沿岸漁船漁業を代表する一形態で，年間約 10 万トン，200 億円が水揚げされている。今回の震災によって，使用漁船の 83%が使用不能となり，陸上で保管していた漁具の 72%が流失または使用不能となったほか，ほとんどの漁場で側の変形など漁場自体に対する深刻な影響が認められた。岩手県の定置網は，漁協による自営定置が大部分を占め，サケ増殖事業による秋サケの漁獲に強く依存している。従って，定置網の復旧を 2011 年の秋サケ漁期に間に合わせることが漁協自体の復旧における最優先課題と位置づけられ，失われた漁具の再設置と漁船の建造などを官民挙げて取り組んできた。その結果，2011 年 10 月までの定置網漁場の復旧率はほぼ 6 割に達し，2012 年漁期には 8 割程度が操業を再開している。しかし，近年秋サケの漁獲不振が続いており，夏網の漁獲も漁場間で差が大きいため，再開の目処すら立たない漁場もあ

る。

岩手県の沿岸漁船漁業は，海洋環境の変動に伴って変化する魚種組成に呼応して多様で特有な漁業が形作られ，営まれてきた。震災によって流失した漁船数は，5トン以上船が約4割，5トン未満船が約6割に達している。大部分が個人経営体によって営まれている小型漁船漁業では，組織的な復旧の取り組みが極めて限定的で，本漁業形態の復旧は大きく遅れている。漁船数では，現時点までに被災船のおよそ4割が復旧に至っているが，漁業種類間での差が極めて大きい。

2. 沿岸漁業の再生に向けて

岩手県における沿岸漁業震災からの復旧は，「なりわいの再生」をスローガンとして掲げ，漁協を核とした漁業・養殖業の再構築が進められてきた。具体的には定置網復旧，ワカメ養殖の早期再開による漁協組織の体力回復と生産手段の漁協による一括調達，サケ・アワビ種苗生産施設復旧による生産の持続性確保，そして漁協をベースとした協業体形成というプロセスが示されている。これらのプロセスは，核として位置づけられている24の漁協によって地先の取り組みとして行われている。これにより，各地先の被災状況や漁業特性に合わせた復旧が進められ，魚市場と流通体制の復旧と併せて岩手県における沿岸漁業の復旧は全体的には比較的早くに高い水準に到達している。しかしながら，この復旧プロセスは，漁協の能力に強く依存していることから，漁協間の復旧レベルには大きな格差が生じてきている。また，これまでの復旧は，漁協組織の立て直しとともに共同利用船導入など生産体制の組織化として進められてきた。一方で，この地域における漁業の大部分を占める個人経営体中心の漁業形態では，支援の体制作りは遅れてきたのが実態で，漁業の再開状況は被災のレベルや所属漁協間での格差が大きくなっている。さらに，操業が再開された後の水揚げ動向から，震災前と比べて漁業生産構造に変化が認められており，一部の漁業種類に偏る傾向が見られてきている。

個人経営体が営む漁業種類では，これからさらに操業の再開が増加すると予想されるが，リスクを避けての参入となるため，比較的少数の漁業種類に漁獲努力量が集中すると想定される。そのうち，地先資源を漁獲する漁業種類では，漁獲努力量の増加に起因する資源の減少を招きかねず，海洋環境のモニタリングや資源評価とそれに基づく生産構造の適正化を目指す必要がある。しかし，現状の復興プランは，復旧までの道筋が描かれているものの，具体性を伴った資源の持続的利用と漁業生産構造の適正化に向けた中・長期的な復興の形が示されているわけではない。従って，被災地における漁業の再生は，研究者，行政，漁協，漁業者が持続的な漁場や資源の利用を最大化させる方策を一体的に中長期的視野から具現化させることが必要であると考えられる。

海況情報提供における広域連携と漁船情報活用の取り組み

○渡慶次　力*・○萩原快次**・岡部久***
* 宮崎水試　**静岡県庁　***神奈川水技セ
キーワード：海況情報，広域連携，漁船情報

1　はじめに

日本南岸海域では，沖を流れる黒潮の変動に伴う冷水塊の消長や暖水の流入などの海況変化がみられ，漁業者はこれらの海況変化に注目して操業している。そのため，漁業者から地先及び広域の詳細な海況情報を求める声が多く，各都県では海況把握のためリアルタイムで漁海況情報を取得し，提供している。

現在，東京都，千葉県，神奈川県，静岡県，三重県，和歌山県の1都5県では日本南岸の広域をカバーした「関東・東海海況速報」を共同で作成し，漁業関係者などに提供している。また，宮崎県では，漁船の海況情報を収集して，地先の海況図を作成・提供している。

本発表では，これらの2つの取組みについて紹介する。

2　「関東・東海海況速報」の取組み

2005年度から3か年，1都5県水産研究機関と東京海洋大学等が連携して高精度な海況図の開発に取組み，2008年4月から当番制により作成・提供を開始した。

本海況図では現場の実測水温を重視しており，1都5県では定地水温，船舶水温，ブイ水温など，より多くの実測水温の収集に努め，既存の「一都三県漁海況速報」のシステムを利用して関係機関で情報の共有化を行った。これらの実測水温に，謝ら（2006）が開発した手法により，気象庁解析水温，AVHRR水温，AMSR-E水温（2011年10月以降はWindSat水温）を合成し，3.5kmグリッド毎の精度の高い格子データが作成される。海況図には黒潮流路と0.5℃間隔の等温線を描き，広域版（31°N，133.5°Eと36.5°N，142°Eを対角線とする海域）と各都県版の2種類，それぞれカラー版と白黒版を作成する。

2006年12月から試行版を漁業関係者に配布し，意見，要望を収集した。海域範囲や詳細な水温分布についての要望があったが，海況図として見易い，天候に左右されずに情報が得られるなど概ね好評であった。1都5県担当者間では黒潮流路の表示などの検討と改良を行った。

正式発行直後の2008年4月中旬に駿河湾で急潮が発生した。この時の黒潮小蛇行の東進とそれに伴う暖水流入が本海況図により鮮明に捉えられ，海況図の有効性が示された。海況図の精度向上により，伊豆諸島海域に来遊するマサバの挙動と黒潮流路変動の関係解明に関する取り組みを進展させ，漁況予測精度の向上に大きく貢献した。

3　宮崎県の取組み

宮崎水試では，漁船による日向灘海況モニタリングに2010年8月より着手し，県内のまき網船2隻と曳縄船5隻が計測する表層水温や流向・流速の海況情報を水試へリアルタイムで送信・蓄積するシステムを導入した。

漁船が計測する海況情報は様々な漁業活動下で取得されており，得られた海況情報の特徴把握と，精度検証が必要である。検証の結果，まき網船の水温，流向・流速データは日向灘中北部の水深50m～300m海域の南北方向を，曳縄船の水温では日向灘沖に南北方向に展開する各浮魚礁から所属漁港までの東西方向を高頻度で取得していた。データの時空間的な取得範囲は，操業形態やルール，漁場変遷に依存していた。まき網船により計測された流向・流速値は，異常値の割合が多くなる操業時（低速）や高速移動時を除けば，取得3層とも概ね有効であった。また，曳縄船による表層水温値も十分な精度であった。以上の事から，漁船が計測する海況情報は，有効な海況モニタリングツールであると考えられた。

まき網船と曳縄船で得られる海況情報は日向灘全域をカバーしていることから，同水温データと気象庁解析水温を用いて，日向灘の詳細な海面水温図の作成が可能となり，同図は浮魚礁より沿岸側において詳細な海況を表現できた。現在，漁業者と意見交換しながら，より現場で使いやすい海況図の提供を目指して改良しているところである。

4　おわりに

「関東・東海海況速報」は1都5県担当者の迅速な情報入力と作図処理が行われ発行体制は確立された。しかし，漁海況情報の掲載，より詳細な海況図への対応などの課題が残されている。

また，宮崎県においても，水温情報だけでなく，流向・流速情報提供の要望も多いことから，流況図を含めたより精度の高い海況図の作成などの課題が残っている。

高次捕食者から捉える有明海生態系の構造と機能の解明に向けて

山口　敦子
長大院水環
有明海・生態系・板鰓類

多くの水産資源の減少が危惧される中、海洋の高次捕食者であるサメ・エイ類の一部の種は増加傾向にあり、その餌となる水産資源の減少が顕在化している。演者らはそうした水産資源に関する種々の問題を抱える有明海で、諸問題の解明と対策の構築に向けた研究に取り組んできた。

有明海は九州最大の内湾で、平均水深は20m と浅く、湾奥部と中央部東側には多くの流入河川を擁し、現存する干潟の面積は日本一である。これらの河川感潮域や干潟・河口域は各種生物の成育場であり、また日本で有明海のみに見られる生物の生息場所でもある。一方で、島原半島に沿った海域の最も深い地点の水深は 100m を超える。有明海は定住する生物の成息場としての機能を果たすほか、東シナ海に生息する魚類等にも季節的に産卵・成育場として利用されており、生物多様性が高く、生産性の高い海域として有数の好漁場を形成している。

近年、有明海では水産資源にとっての生息環境は急速に悪化したものとみられ、沿岸漁業における漁獲量は大幅な減少傾向にある。主要な生産物である二枚貝類のほか､魚類の漁獲量も 1987 年を境に深刻な減少傾向を示している。有明海では、種々の沿岸開発の影響を受けて干潟が一部消滅したことに加え、潮流速の減少、底泥の細粒化、湾奥部の底層水の貧酸素化、赤潮の頻発、透明度の上昇などが報告されている。漁獲量の急激な減少は、そのような近年の環境変化を反映して、魚類の再生産過程に何らかの変化が生じていることを示唆するものと考えられる。漁獲対象となっているものの中でも、とりわけニベ・グチ類、ヒラメ・カレイ類などは、近年顕著な減少傾向にあるものと思われる。これらの魚類は共通して底層を主な生活の場としていることに加えて、その多くが島原半島に沿った比較的深い海域で産卵し、遠く離れた有明海奥部（諫早湾を含む）で稚魚が成育するタイプの生活史を持つ。このことは、流れによって卵・仔魚が湾奥部の成育場に輸送される過程および成育場となる河口域周辺で、それらを大きく減少させる要因が作用していることを示している。

一方で､ナルトビエイやアカエイ等の一部のエイ類は、近年生息数が増加したものと考えられている。ナルトビエイは貝類を選択的に摂食することから、水産資源であるアサリ等の二枚貝類への捕食圧を軽減するため、有明海に面した4では2001年から体系的な駆除が行われるようになった。同様の問題はその後周防灘など他の海域にも拡大しており、現在では西日本の８県で駆除が実施されている。エイ類増加の背景には、温暖化によるエイの活動期間の長期化と活発化に加え、貝類の資源量減少により、アサリやサルボウなどの養殖漁場が格好の餌場となってしまったこと、そしてエイ類の捕食者であるサメ類が減少した可能性があることなどがわかってきた。ナルトビエイの駆除が毎年継続的に行われた結果、ナルトビエイの資源量は減少傾向に転じていることに加え、貝類を摂食する魚種はナルトビエイのほかにも数多く生息していることにも注意する必要がある。

これまで、生態系の頂点に立つサメ・エイ類についてはほとんど注目されることはなく、研究は経済価値の高い水産資源が中心であり、また単一種を対象に行われる傾向にあった｡このような問題が顕在化するようになり、経済的な価値に限らず、生態系をベースとした研究とそのような視点からの対策が必要であることが強く示唆されている。そこで、各種別の魚類資源の生態と資源の現状、減少要因の解明に加え、高次捕食者を含めた生物相互の食う－食われるの関係から生態系の構造と機能の解明に努め、特に高次捕食者がトップダウンで生態系に及ぼす影響や生態系の中でキーストーン種となっている生物についても同時に明らかにしようとしている。こうした調査研究を通して、生物多様性の保全と水産業の振興の両立を図りながら、どのような対策を取ることが出来るのか、今後の見通しも含めて考察したい。

生態系アプローチによる漁業管理とはどのようなものか

○牧野光琢
中央水研

キーワード：漁業管理・生物多様性条約・知床世界自然遺産・バランスのとれた漁獲

1. 我が国の漁業管理の制度的特徴

1949 年に制定された現行漁業法では、資源利用者（漁業者ら）の組織である漁業協同組合に漁業権を優先的に付与するとともに、選挙で選ばれた漁業者らの代表が構成する漁業調整委員会が強い権限を認めている。さらに、各海域の細かい調整・規則は、地元の漁業協同組合の内部で自治的に決める。つまり、資源利用者が中心となって資源利用を管理する制度が採用されている。

英米法諸国の漁業制度では、水産資源を含む自然の恵み（生態系サービス）の利用は全ての国民が平等に有する権利である。一方、その管理・保全は政府の義務とされている。よって政府がトップダウン式に利用の上限（TAC など）を導入し、その分配については自由競争に委ねるという基本原則がある。そこでは政府と漁業者の間の合意形成は必要なく、また漁業者は政府が監視しコントロールする対象となっている。

英米法の立場から日本の漁業管理制度を見ると、公的責務（政府の役割）とされている管理施策の立案・執行という役割の一部を、地元の資源利用者（漁業者ら）が担っているように見える。よって近年、国際学会や国際機関では日本のような管理制度を共同管理（Co-management）と呼んでいる（Makino 2011）。

2. 制度の生態的・社会的背景

では、なぜ日本でこのような漁業管理制度が発展したのだろうか。図 1 は、統計制度が整備されている OECD 諸国の漁獲物の多様度（H’）を比較したものである。冷水生態系を利用する高緯度の国々に比べ、温帯生態系の国々ほど多様な生物を資源として利用していることがわかる。つまり、日本の水産業は北欧等に比べて多様性の高い生態系を対象にしていることがわかる。

図 2 は、諸国民のたんぱく質摂取量に占める水産物の割合を示している。古くから水産国として有名なノルウェーやアイスランドは、北欧では突出して水産物依存度が高い。中緯度では、日本と韓国が突出している。この結果は、国民の嗜好や食文化を表していると考えられる。なお、低緯度の発展途上国も依存度が高いが、これらの国では所得が低く、畜肉を購入することが困難であり、食料安全保障としての魚の重要度はさらに高い。

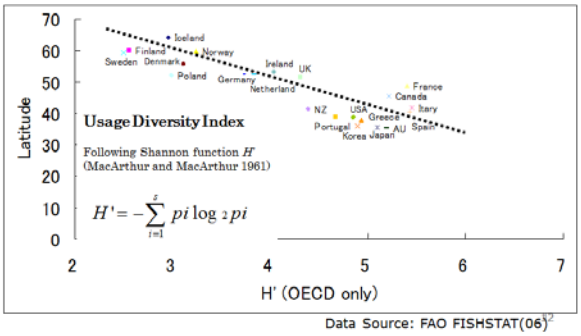

図 1　OECD 諸国の漁獲物多様度の緯度勾配
（縦軸：各国の首都の緯度、横軸：多様度）

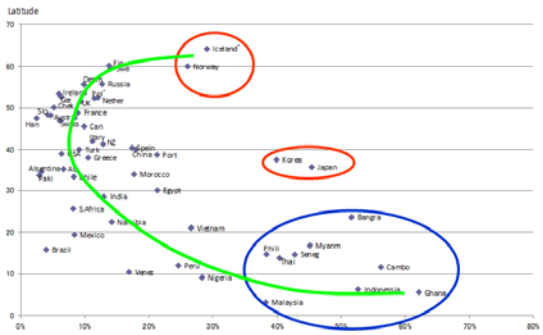

図 2　各国のたんぱく質摂取における水産依存度
（縦軸：首都の緯度、横軸：タンパク質摂取重量に占める水産物の割合。データ：FAO 食料需給表）

さらに、主要先進国の漁業生産構造を比較すると、日本および韓国は漁民数が多く、漁船数も多く、さらにそのほとんどが零細漁業である点が特徴として挙げられる。

零細漁業者が大量に存在し、食料安保上、魚への依存度が高いアジア太平洋諸国やアフリカ沿岸諸国においては、英米法型よりも日本型制度の方が適していると考えられる（Makino and Matsuda 2011）。

3. 生物多様性条約生態系アプローチと漁業管理制度

生態系アプローチとは、生物多様性条約の理念と方法論を 12 の原則であらわしたものであり、生態系を保全するための考え方として現在世界で最も頻繁に参照されるアプローチである。これは単に技術上のガイドラインではなく、社会的な管理戦略である。この 12 原則に照らし

て日本の漁業管理制度を評価した結果、海域生態系保全を実施していくうえでの潜在的な長所と課題が明らかとなった（表 1）。

表 1　生態系保全の視点からみた日本の漁業制度（牧野・松田 2006）

潜在的な長所	・資源利用者による分権的・自治的管理 ・地元の経験的知識と科学的知識の利用 ・地理的スケールに対応した管理機構 ・順応的な漁業管理の実施 ・経済的文脈にそった資源利用・管理
課題	・生態系の視点の導入 ・漁業以外の利害関係者の参画 ・データ収集・モニタリング制度の確立 ・生態系の長期的動向を示す指標の導入 ・適切な海洋保護区の活用

4. 知床世界遺産における海域管理

2005 年に UNESCO 世界自然遺産リストに掲載された知床では、上記の課題に対しさまざまな取組がおこなわれている。例えば生態系モニタリングについては、まず科学的見地から指標種を設定し、また地元漁協で長年蓄積されてきた漁獲統計や漁業者らによる自主的なモニタリングを中心に、足りないところ（水温・水質・流氷・気象などの基礎情報）のみを公的機関が分担している。遡河性魚類の障害となる河川工作物については、近隣住民の生命と財産を保護する見地から不要なものだけを撤去し、必要な工作物については魚道の設置やスリットの作成等で対応している。また幅広い利害関係者の参画と法律・所管をまたがる政策調整を可能とするための新たな調整組織も設立された。IUCN が絶滅危惧種に指定しているトドの餌である、スケトウダラについては、公的管理（漁業許可および TAC 等）とともに、漁業者らが自主的に導入した保護区や漁獲規制についても、条約に基づく海域管理計画の中に正式に取り込んでいる。

これらの取組により、表 1 に示した課題の多くについては対応が進んでいる。そのために必要となった行政コストは、2006 年度で約 5 億円であり、知床の漁業生産額と観光消費額の合計（596 億円）の 1%以下であった。

地元の資源利用者を保全の中心に据え、行政コストも低くおさえた知床のアプローチについて、UNESCO は、「今後の世界遺産プログラムのモデル」として高く評価している。ただし、指標種の変化と生態系保全・漁業管理施策の対応については、まだ十分な整理がなされておらず、まずは理論的蓄積が求められる。また漁業者らによるさまざまな自主的管理施策に対する科学的・行政的なサポートも必要である（Makino et al. 2009）。

5. バランスのとれた漁獲

2008 年、国際自然保護連合（IUCN）生態系管理委員会の下に、水産科学と環境保全の専門家による漁業専門家グループ（FEG）が設立された。この研究グループの目的は、水産業の持続可能な発展と海洋生態系の保全を促進し、諸関連政策に助言を与えるとともに、生態系保全と両立する漁業管理の考え方を提言することであり、日本からは著者が参加している。

IUCN-FEG が 2012 年に Science 誌に発表した論文（Garcia etal. 2011）では、世界各地の 36 の生態系モデルを用いてさまざまな選択的漁獲の比較分析を行った。この結果に基づき、現在よりも多様な種と体サイズに漁獲圧を分散することで、食料安全保障と生態系保全を両立できることを提案している。これを「バランスのとれた漁獲（Balanced harvesting）と呼ぶ（図 3）。

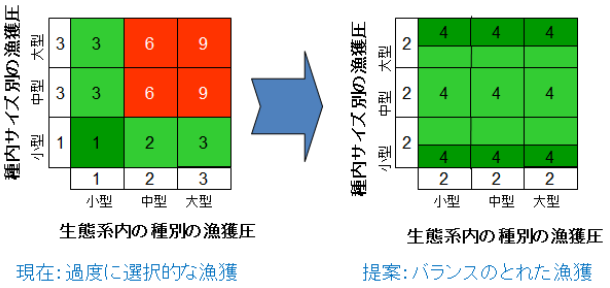

図 3　バランスのとれた漁獲のイメージ

この「バランスのとれた漁獲」を実現するためには、さまざまな漁具・漁法の全体としての生態系への影響を把握し、調整することが求められる。また、これまで漁獲対象となっていなかった種・サイズや、市場に流通していなかった漁獲物の有効活用を実現するための工夫が、市場や加工・流通業、そして消費者にも求められる。

日本の漁業は国際的にみて、非常に幅広い漁具・漁法により、さまざまな魚種やサイズを活用しているという特徴がある。よって、今後このバランスのとれた漁獲を世界で実現していくうえで、日本の漁業管理制度や、水産物流通、加工技術、食文化などは重要な知見となるであろう。

ただし、この「バランスのとれた漁獲」という概念は乱獲を支持するものではない。低位にある資源の回復と、バランスある漁獲という概念は、それぞれ別々で、かつ、お互いに矛盾しないアプローチである。

東北沖生態系がどのように変化してきたのか
-漁業と捕食者データから探る-

○米崎史郎*・清田雅史*・岡村 寛**
*国際水研　**中央水研
キーワード：東北沖生態系・漁業・キタオットセイ・栄養段階

1. はじめに

近年，地球規模での生態系保全が急務となっており，水産業においても，漁獲対象資源だけではなく，海洋生態系を考慮した資源の管理・利用の在り方について，FAO や地域漁業資源管理機関をはじめとした様々な場で議論がなされている．一方で，海洋生態系への漁業による影響（Trophic cascade 説や Fishing down 説）が指摘されているが，それらの仮説には，漁獲の影響が部分的な情報に基づいておりバイアスを含んだ評価であるとの反論もある．いずれにしても，まずは，海洋生態系の変動を把握し，その要因を的確に解釈しなければ，水産資源の持続的利用を目指した海洋生態系の在り方を描くことはできないだろう．

本発表では，世界有数の漁場である東北沖生態系を舞台に，漁業と高次捕食者の互いに独立したデータを相補的に解析し，過去 40 年間に生態系がどのように変化をしてきたのかについて議論する．

2. 東北沖生態系

東北沖は黒潮系の暖水と親潮系の冷水が複雑に絡み合い，“混合域”と呼ばれる特異な海洋構造を形成している．また，当該海域は陸棚や陸棚斜面域を含むことから，特異な海洋構造と相まって，多種多様なハビタットを形成し，豊かな生物相を有している．さらに，カツオ，サンマ，マダラ，カレイ類などの好漁場としても世界的に知られている．また，様々な海産哺乳類や海鳥類（ミンククジラ，ツチクジラ，イシイルカ，ウミネコなどのカモメ類，ミズナギドリ類など）も生息または来遊する．鰭脚類であるキタオットセイも冬季から春季にかけて十数万頭来遊し，東北沖を主要な越冬摂餌海域として利用している．このように，東北沖は種の多様性に富んだ海洋生態系であると言える．

3. 生態サンプラーとしてのキタオットセイ

東北沖海洋生態系の主要な構成種であるキタオットセイは，北太平洋の亜寒帯域およびベーリング海，オホーツク海，日本海などに分布し，近年の個体数は約 120 万頭と言われ，アシカ科では最も個体数が多い．東北沖には，夏季に繁殖活動を終了した成熟雌獣および若齢獣が来遊する．

オットセイは，opportunistic feeder と言われており，彼らの食性情報は，餌環境の特性を知る手がかりとなり得る．そのため，本種の長期的な食性情報があれば，餌環境の時系列変化を取り出すことが可能である．国際水産資源研究所には，1968～98 年にかけて日本周辺で調査捕獲したオットセイの個体別胃内容情報，生殖腺組織・犬歯標本などを“三保コレクション”として収蔵している．本研究では，このデータの中から東北沖で捕獲された個体を抽出し，漁業とは独立した捕食者データ，“生態サンプラー”として用いた．

4. 漁業と捕食者データからみえる生態系の変動

漁業データは，1952～2006 年の宮城県農林水産統計年報で，魚種別・漁法別の漁獲量・努力量をデータベース化したものを用いた．魚種別漁獲量組成から，漁獲物の多様度と平均栄養段階の経年変化を推定した．総漁獲量は 1960・80 年代が高かったが，多様度指数は逆に 1970・2000 年代が高くなっていた．また，漁獲物の栄養段階は緩やかな低下傾向を示したが，fishing down というよりは魚種交替による卓越魚種の交替が影響していると考えられた．オットセイ胃内容物情報から，餌生物の相対豊度の復元を試みたところ，サバ類は 1970 年代に，マイワシは 1980 年代に出現確率が上昇しており，魚種交替と一致する傾向が確認された．さらに，ハダカイワシ類などの非漁獲対象種の変動も確認された．また，組織標本からは，窒素安定同位体比分析を行い，オットセイの栄養段階の経年変化を算出した．サバ類卓越期からマイワシ卓越期にかけて，栄養段階の低下傾向が見られた．魚種交替によるオットセイの食性変化が，食物連鎖長の短縮として現れていた．

これらの結果から，東北沖生態系では，魚種交替による生態系構成種の変動が観察され，その変動にはトップダウン効果よりもレジームシフトのようなボトムアップ効果の影響が大きいと示唆された．また，生態系研究において，漁業および捕食者データを相補的に用いることは，その変動を把握する上で，重要な研究視点となるであろう．

漁業生産の維持を目指した
栄養塩管理の取り組み

○宮原一隆*・原田和弘*・反田實*・山本昌幸**
* 兵庫水技セ　**香川水試
キーワード：瀬戸内海・栄養塩・ノリ養殖・漁業生産

1. はじめに

瀬戸内海では，「瀬戸内海環境保全臨時措置法（1973年)」,「瀬戸内海環境保全特別措置法（1978 年)」，および関連する法令や規制，指導等により，人間活動に起因する環境への負荷の軽減，特に陸域からの有機物(COD)，窒素，リンの汚濁負荷量削減に対する多大な努力が続けられてきた．水質保全面では一定の成果が収められてきており，赤潮発生件数の減少，環境基準の達成率の向上，透明度の全般的な上昇等，総体としての水質は改善されてきたとされている（中央環境審議会瀬戸内海部会，2012)．例えば，1970 年代には年間 200～300 件程度であった赤潮の発生件数は，近年では年間 100 件前後に減少し，その発生規模や漁業被害件数も縮小傾向にある．

一方で，漁業生産の面では，海域の栄養塩濃度の減少に伴い，植物プランクトンや海藻等による基礎生産力の低下が顕在化してきている．特に，かつての富栄養化に依存して生産量を伸ばしてきたノリ養殖は，近年では栄養塩濃度の低下（貧栄養化）が生産上の制限となり，色調低下による品質の劣化（色落ち）による被害が毎年のように発生するようになった．加えて，栄養塩環境の変化が低次生態系の変化を引き起こし，食物連鎖を通じて高次生物の群集構造や生産構造を変えた可能性も指摘されており（例えば，山本，2005)，栄養塩環境（負荷量や濃度等）と魚介類の資源変動との間に関連性が見出される事例や解析結果が蓄積されつつある．

本発表では，ノリ養殖をはじめとする瀬戸内海の漁業生産と栄養塩環境との関係の推移と現状を紹介するとともに，漁業現場において取り組まれている対策，特に漁業生産の維持を目指した貧栄養化対策や栄養塩管理の事例について報告する．

2. ノリ養殖と栄養塩環境

ノリ養殖の長期的な推移は，相次ぐ技術革新により生産効率が変化したことや，全国的な経済活動の変動による生産規模の変化等の社会科学的な要因とも密接に関連するが，基本的には海域の栄養環境の推移と極めてよく対応している．鷲尾ほか（2005）は，兵庫県海域のノリ養殖について，1960～1980 年を「富栄養化の進行とノリ養殖漁業の拡大期」，1980～1995 年を「水質規制による栄養環境の変質とノリ養殖の体質改善期」，1995 年以降を「貧栄養化の拡大とノリ養殖漁場の縮小期」と整理している．海域の栄養塩不足によるノリの色落ちは，1980 年代から散見されはじめ，1995 年以降には頻発するようになり，2000 年代中頃からはほぼ毎年発生している．併せて，近年の高水温化による養殖適期の短縮化の影響も大きく，ノリ養殖は危機的な状況にある（図１)．

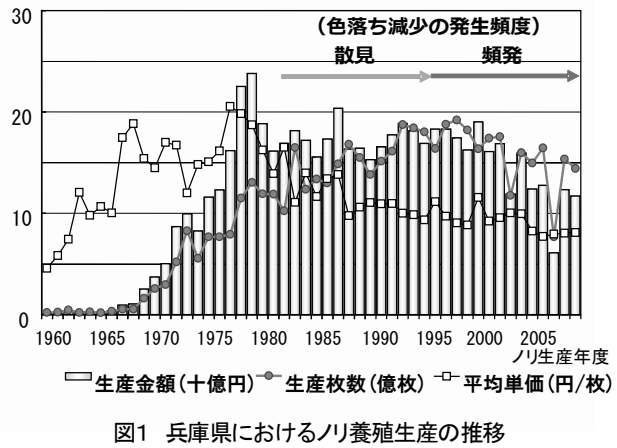

図1　兵庫県におけるノリ養殖生産の推移
（鷲尾ほか，2005にデータ追加）

3. 漁船漁業と栄養塩環境

瀬戸内海の漁船漁業は，漁獲量全体としては 1980 年代，「いわし類」等の入り込み種を除いた場合には 1970 年頃をピークとし，以降は生産の減少傾向が続いている．一部の温水性種や広食性種（マダイ，ハモ，スズキ，コウイカ類等）では，漁獲量が増加しているものもあるが，全体としては漁業生産量は極めて低迷している（図２)．

樽谷・中嶋（2011）は，大阪湾における底生魚介類の漁獲量と陸域からの栄養塩負荷量（リンの発生負荷量）との関係を解析し，底質の有機汚濁に比較的強いとされる「シャコ類」,「シタ類（ウシノシタ科のイヌノシタ，アカシタビラメ他)・カレイ類」では漁獲量と発生負荷量との間に正の対応関係が，また，逆に「タコ類」では負の対応関係があることを示した．一方で，底質の有機汚

濁に敏感な「エビ・カニ類」では，負荷量増加期と減少期とでは漁獲量の応答が異なり，栄養塩負荷量以外の要因が漁獲量変動を支配している可能性を示唆している．

また，反田・原田（2012）は，兵庫県の漁獲統計と長期間の海洋観測データを用いた探索的解析により，播磨灘の小型底びき網による漁獲量やイカナゴ0歳魚の漁獲量が栄養塩（DIN濃度）と相関していることを示したうえで，播磨灘の海中栄養塩の減少が，主に陸域からの負荷量の減少によるものであると推定している．

いずれの報告でも因果関係の解明や科学的な検証が今後の課題として残ることは指摘されており，栄養塩から魚介類にいたる複雑な栄養段階のプロセスを多面的に解析していく必要がある．現場での水産研究の方向性としては，瀬戸内海内部・外部における物質循環過程の解明，海域特性を考慮した漁獲対象種毎の生活史の解明等，漁業生物学的知見の蓄積，気候変化・生息環境・漁獲圧等の影響の適正な評価が不可欠となろう．また，漁場環境としては，藻場・干潟・浅場等の整備・保全が今後ますます重要になろう．

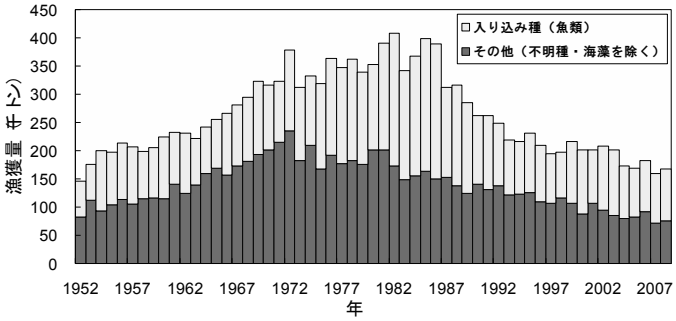

図2　瀬戸内海における漁業生産の推移

4. 栄養塩管理の取り組み事例

漁業生産の維持・回復を目指し，漁業関係者からの働きかけ等により，ダムからの試験放水，ため池からの放水（池干し），浄化センターでの栄養塩管理運転試験，施肥，海底耕耘等が実施されている（図３，４）．効果や波及範囲については，それぞれの取り組みによって異なるが，ノリ養殖への栄養塩供給という直接的・短期的な効果だけではなく，底質等漁場環境の改善や基礎生産力の底上げ等の間接的・中長期的な効果も期待されている．また，漁業者の積極的な活動を通じ，一般市民に対して，「海域の貧栄養化」や「水域環境の保全と漁業生産とのバランス」について広く知ってもらうという普及啓発的な意義も大きい．

これらの取り組みを推進するにあたっては，施設や設備の管轄者等，漁業以外の関係機関や団体との十分な協議を積み重ねる必要があり，試行・試験的な取り組みであっても実施までには相当の困難を伴う場合も多い．この際，漁業側からの説得材料としては，科学的な調査データ，特に水産試験研究機関において長期的継続的に実施されてきたモニタリングデータがきわめて有用であることを改めて強調しておきたい．

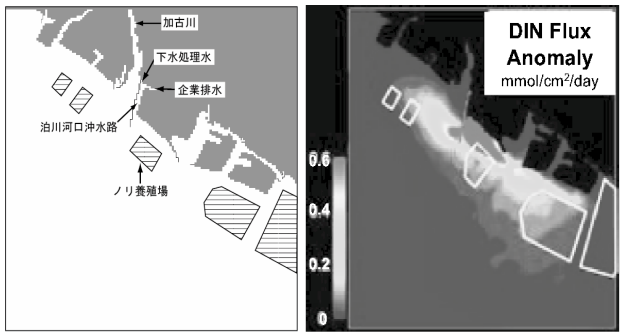

図3　加古川下流浄化センター（播磨灘）における栄養塩管理運転の波及範囲の試算例（阿保ほか，印刷中を一部改変）

図4　播磨灘北部での海底耕耘作業船
（地域で一斉に実施されており，作業の様子は，海色の変化とともに，陸域観測技術衛星でも観察されている．）

文献

阿保勝之・樽谷賢治・原田和弘・宮原一隆（印刷中），海岸工学論文集
樽谷賢治・中嶋昌紀（2011），水環境学会誌，34(A), 47-50.
反田實・原田和弘（2012），海洋と生物，34，132-141.
中央環境審議会瀬戸内海部会（2012），公表資料 http://www.env.go.jp/council/11seto/yoshi11.html
山本民次（2005），海洋と生物，27，203-210.
鷲尾圭司・島本信夫・堀豊・岡本繁好・上田隆敏（2005），海洋と生物，27，238-245.

浮魚の成長モデルによる資源変動機構の理解へのアプローチ

奥西　武
（水研セ東北水研）
マイワシ・マサバ・成長モデル

1. 背景

マイワシ、カタクチイワシ、マサバ等の小型浮魚類の資源は、数十年スケールで大きく変動する。マイワシ、カタクチイワシの資源変動は、気候変動指数と同期して逆位相の変動し、北西太平洋では、寒冷期にマイワシ資源が増大し、温暖期にカタクチイワシ資源が増大することが知られている。マイワシ仔魚の成長速度の好適水温帯は、カタクチイワシ仔魚より高いと報告されており(Takasuka et al., 2007)、種間の生態的特徴と海盆スケールの水温変動からこの２種の数十年スケール資源変動を説明することに矛盾はない。しかし、マイワシの加入率は年変動が大きく、仔魚生息域の水温変化のみでマイワシ加入率の変動を説明することは困難である。マイワシ資源は、水温、餌料、捕食者との遭遇確率、産卵場形成の場所および時期等の複合的な要因によって支配されている可能性がある。また、北西太平洋のマサバも加入変動が大きく、その要因も複雑である。産卵場水温の変動、マイワシとの種間関係、マサバの年齢構成の変化に伴う産卵時期の変化等が資源変動を起因する要因として考えられている。このような小型浮魚の資源変動を引き起こす因子、特に水温、餌生物の分布などの環境因子は、時空間的に大きく変動する。また、一般に初期生残の年変動が、資源変動に寄与すると考えられている。そして、初期生残を考える上で重要となる要素は成長速度である。つまり、仔魚期、幼魚期が経験する環境を把握し、環境要素と初期成長の関係を明確にすることが、生残課程への理解へと繋がると考えられる。著者は、北西太平洋のマイワシ、マサバを対象として成長モデルを基本とした動的な数値モデルを開発し、水温、海流、餌密度の時空間変動を考慮した外力場を用いた数値実験を実施することにより､環境要素と小型浮魚の成長との関係を把握し、その資源変動機構の理解を試みている。ここでは、その研究の取組と成果の一部を紹介する。

2. マイワシの成長モデル

Okunishi et al. (2009) は成長モデルを含むマイワシの回遊モデルを開発し、西部北太平洋のマイワシの成長と分布を再現を試みた。成長モデルは水温、餌密度の関数とし、代謝過程を表現している。魚の移動は、オイラー・ラグランジェモデルを基本とし、海流による受動的な輸送と良好な生息環境を探索する索餌回遊、または産卵域に回帰する産卵回遊に支配されると仮定している。索餌回遊は成長速度が最大となる方向を遊泳方向とする Fitness model が用いられた。そして、索餌回遊による北上期の分布を決定する因子として、餌密度の分布変動が重要な因子であることを指摘した。また、産卵回遊は Artificial Neural Network（ANN）を用いて遊泳の方位決定を表現するシステムを構築した。水温、経験水温差、流速、日長、離岸距離を認識してマイワシが方位決定を行うと仮定し、この５因子を ANN の入力データとして、産卵回遊を表現することに成功した。産卵回遊の表現には、５因子全て情報が必要であり、特に経験水温差、流速、日長の環境因子を方位決定に利用して、産卵回遊を成功させている可能性を示した。

次に、Okunishi et al. (2012) は索餌回遊のモデルに改良を加え、遊泳表現として環境因子に反応して遊泳方向をランダムに変更する Kinesis model（Humston et al., 2000）を基本とした遊泳方向の決定システムを用い、観測されている幼魚期の北上回遊をより現実的に再現することに成功した。また、モデル結果は黒潮続流における仔魚期の水温と黒潮–親潮移行域における稚魚前期の餌料環境の両者がマイワシの成長の重要因子であることを示し、現場観測による知見（Takasuka et al., 2007; Takahashi et al., 2008）と整合的であった。

3. マサバの成長モデル

現場観測および飼育実験の結果を用いて、尾叉長と水温を説明変数としたマサバの成長関数を推定し、マサバ仔魚期の輸送と成長を推定するモデルの開発に現在取り組んでいる。予備的実験として、2002～2008 年級の４月生まれの 25 日齢まで仔魚の分布と成長履歴の計算を実施した。その結果、成長速度の年変動は、再生産成功率の年変動と有意な相関性（r^2=0.62, p<0.05 ）を示した。仔魚期の経験水温が高い年級は成長速度が速く、加入率

が高くなる傾向があるという現場調査の解析から提唱される近年のマサバの加入成功過程の仮説（高橋ら, 2010）とモデル結果は整合的であった。

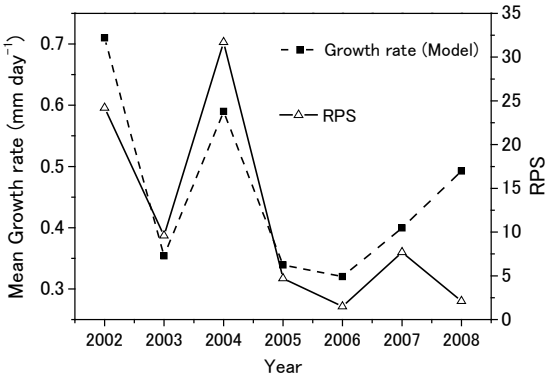

図 1. マサバ成長モデルによって推定された 2002～2008 年級の４月生まれの平均成長速度（0-25 日齢）とマサバ太平洋系群の再生産成功率：*RPS*（H22 年度水産庁・水研センター）

4. おわりに

紹介した研究では、物理現象から魚類の代謝、行動を包括的に表現した動的モデルが用いられている。この種のモデルは､統計モデルで用いられる様なモデル選択性、検定などの手法よって個々のパラメータの重要性を明示的に表現することはできない。また、このような動的モデルによる研究から示唆される結果は、例に上げた回遊のメカニズムの推定など、まだ検証が不十分であることは否めない。しかし、現実的な環境場で動的な試行実験を実施することにより、現場調査から示されている魚類の成長過程を検証し、資源変動機構の理解を深める可能性は十分にある。

5. 参考文献

Humston, R., Ault, J. S., Lutcavage M., and Olson, D. B. (2000) Schooling and migration of large pelagic fishes relative to environmental cues. Fish. Oceanogr. 9: 136-146.

Okunishi T., Yamanaka Y. and Ito S. (2009) A simulation model for Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) migrations in the western North Pacific, Ecological Modeling, 220, 462-479.

Okunishi T., S. Ito, D. Ambe, A. Takasuka, T. Kameda, K. Tadokoro, T. Setou, K. Komatsu, A. Kawabata, H. Kubota, T. Ichikawa, H. Sugisaki, T. Hashioka, Y. Yamanaka, N. Yoshie and T. Watanabe, 2012, A modeling approach to evaluate growth and movement for recruitment success of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the western Pacific, Fish. Oceanogr., 21, 44-57

高橋正知・渡邊千夏子・川端　淳・西田　宏・安倍大介・奥西　武・山下紀生・森　賢・橋本　浩・池上直也・森　訓由・岡部　久・斉藤真美(2010)粒子追跡を用いたマサバ太平洋系群当歳魚の産卵場からの輸送過程とその成長（2004～2007 年）, 2010 年度水産海洋学会研究発表大会

Takahashi, M., Nishida, H., Yatsu, A., and Watanabe, Y. (2008) Year-class strength and growth rates after metamorphosis of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the western North Pacific Ocean during 1996-2003. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 65: 1425-1434.

Takasuka, A., Oozeki, Y., and Aoki, I. (2007) Optimal growth temperature hypothesis: Why do anchovy flourish and sardine collapse or vice versa under the same ocean regime? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 64: 768-776.