

テーマ 海洋生態系と水産資源

- 持続的水産資源管理の高度化を目指して -

1. はじめに

魚、貝、海藻などの水産資源は、鉱物資源と違って死亡による量の減少と再生産による量の増加を繰り返す自然資源です。また、資源量が減ってくると種の存続を図るため再生産量が死亡率よりも大きくなる性質があります。いわば預金の利率が大きくなる性質です。このような性質を上手に利用すれば水産資源を有効に持続的に利用することが可能になります。

海洋の生物資源は、自然死亡、再生産（次世代を作り出すこと）、成長（重量の増加）、漁獲によって資源の個体数及び資源量が変化します。資源量は、水温などの海洋環境による死亡率、成長率などの変化を通して影響を受けます。また、生息する生態系を構成している餌生物や資源を餌とする生物の量によっても死亡率、成長率などが変化します。これらの資源、海洋環境、生態系の関係は複雑に絡み合っているため、海洋生態系との関係を取り込んだ変動モデルによって、科学的に信頼性の高い資源評価と予測を行うことは大変困難なものとなっていました。しかし、近年の調査研究によってこの分野の研究が発展しております。

海洋生態系には大きく分けて、植物プランクトン 動物プランクトン 小型魚類 大型魚類と連鎖する浮魚生態系（図 - 1）と、底質中の有機物 底生生物 小型の甲殻類・魚類 大型魚類と連鎖する底魚生態系が見られます。浮魚生態系は後で述べるように構成種の資源量が長期的に見て非常に大きく変動し、非定常な系と見られています。個々の資源が大変動する主要な原因の一つとして、環境変動によって基礎生産力が変動することで駆動されるボトム・アップ型の生産力の制御機構があるのではないかと考えられています。一方で、大型魚類、海産哺乳類、海鳥などによる捕食や漁業による間引きなどで資源量が制御されるトップ・ダウン型の制御機構もあると考えられており、生物資源を適正に管理し、持続的に利用するためにはこのような海洋生態系の構造と機能を解明する必要があります。底魚生態系については、沿岸環境の人為的な改変、漁業の影響などで種組成が変化したり、構成種の平均栄養段階が低下したりした例があり、こちらも資源の持続的有効利用のためには生態系の構造の解明が重要な研究課題となっています。ここでは、そのような研究成果の一端を以下の項目でご紹介します。

- ・ 水産資源生物が生活する海洋環境の特性
- ・ 海洋生態系と水産資源生物
- ・ 海洋環境変動にともなう生物資源の生産構造の変化
 - マイワシの場合 -
- ・ 水産資源の変動予測精度向上への取り組み
 - スケトウダラ、サンマの場合 -

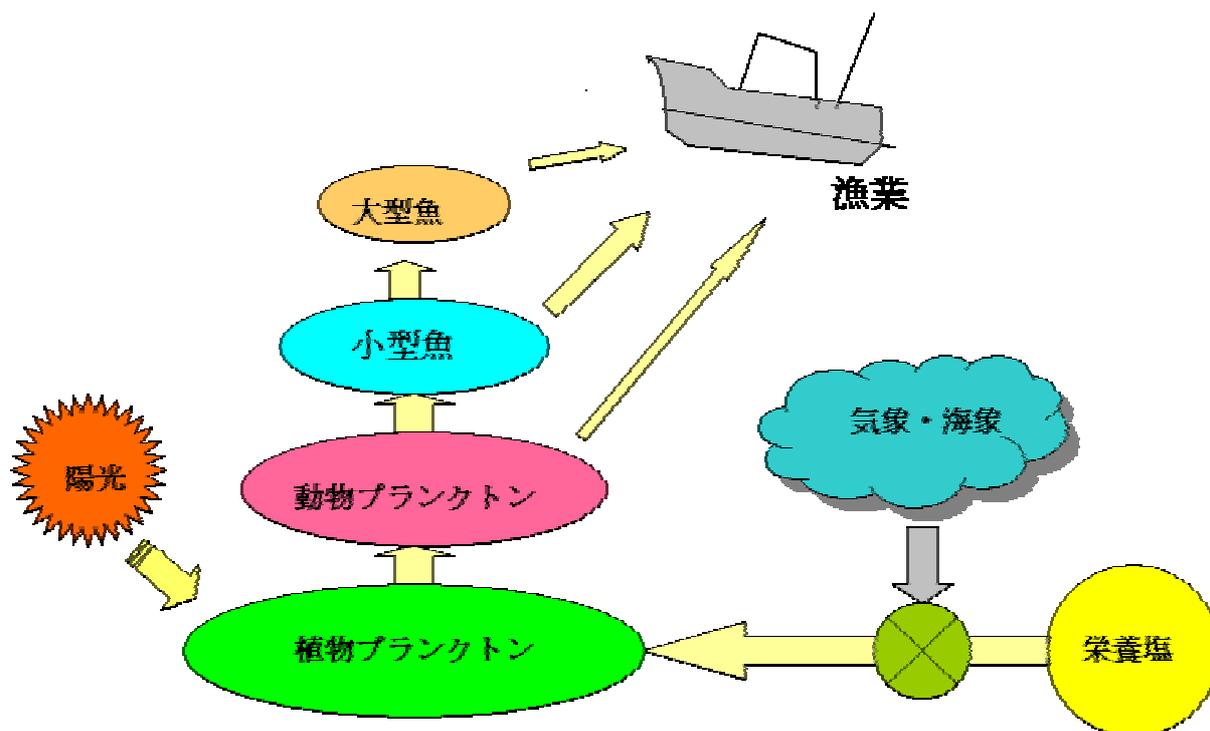


図 - 1 : 海洋生態系と漁業の関係。

海洋生態系は、環境の変化により栄養段階の高い生物の生産力が制御される面と、大型魚による捕食、漁業による間引きなどで低次生物の生産力が制御される面があります。

2 . 水産資源生物が生活する海洋環境の特性

地球スケールで考えると、海洋は広くて薄い水の層で、北太平洋では幅が約 1 万 km なのに対して、深さは 5km ほどしかありません。この薄い層は、さらにいくつかの細かな層の重なりによって構成されています。海の表面水温は北緯 35 度の黒潮流軸付近では約 20 ですが、水深 1,000m では 3~4 にまで低下し、約 2,000m よりも下は 2 以下の冷たい水で占められています。海洋はその上を吹く風によってエネルギーが供給され、表層に大規模な循環が生じます。連続的な吹送流により沿岸域に湧昇流や沈降流も起きます。北太平洋についてみますと、表層循環系は大きく 3 つの部分からなっています。図 - 2 に示す通り亜熱帯循環系、亜寒帯循環系、熱帯・赤道循環系です。

各循環系の西端では他の場所に比べて 10~100 倍の強い流れが生じ、それを西岸境界流と呼んでいます。亜熱帯循環系の西岸境界流が黒潮です。黒潮の流速は最大で毎秒 1~2m に達し、幅が約 100km のこの流れは毎秒約 5,000 万トンの海水を運ぶ世界でも有数の強い海流です。黒潮は膨大な熱・物質を運ぶだけでなく、水産資源などの変動にも大きな影響を及ぼします。亜寒帯循環系の西岸境界流は親潮です。親潮の流速は毎秒約 0.5m ですが、比較的深くまで流れているため、黒潮に匹敵する流量を持っています。

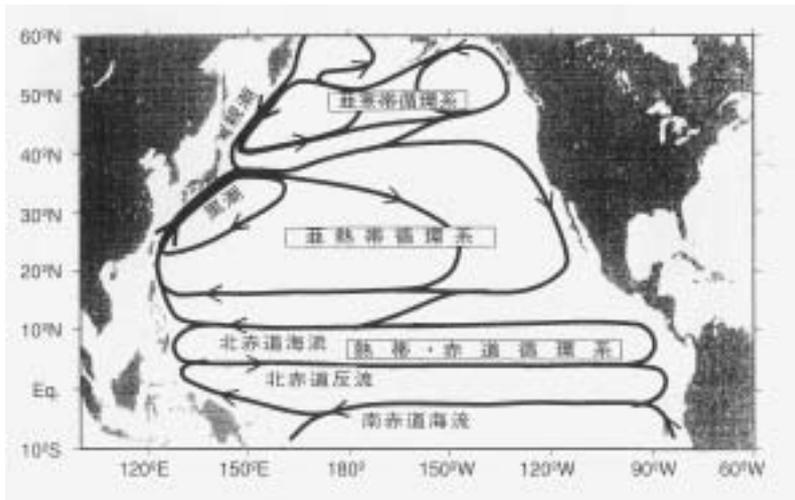


図 - 2 : 北太平洋表層の海流模式図

一方、海洋の深層域の循環は、海水の加熱・冷却による密度の変化が原因で生じています。世界でも北大西洋北部と南極周辺で、表層水が強く冷却されて冷たく重い水(深層水)が形成され、図 - 3 に示すような、地球規模での数千年単位の海洋大循環が存在することが知られています。

この対流は物質循環の視点からも重要です。例えば、北太平洋では、千メートル以深から栄養に富んだ海水が上昇しており、この水が植物プランクトンの発生に重要であり、今問題となっている二酸化炭素の吸収にも、少なからぬ影響を与えていますし、約 50 年の時間スケールで起こる黒潮流域の水温の変動とも何らかの関係があると考えられています。

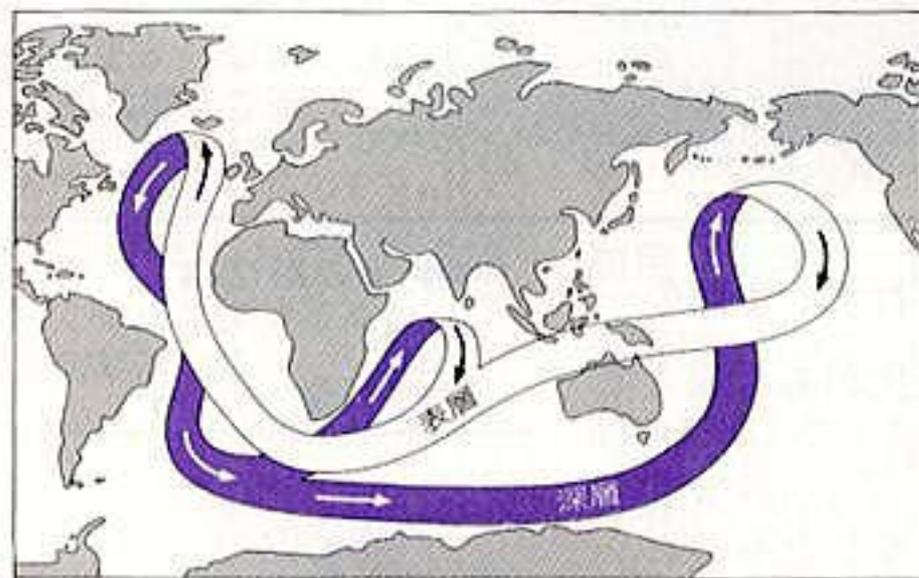


図 - 3 : 海洋大循環模式図 (プロッカーのコンベア・ベルト)

3 . 海洋生態系と水産資源生物

水産業が対象とする生物資源の生活の場は、潮汐の影響を受ける干潟や波打ち際の浅海から、全く光が届かず低温で殆ど水温変化が無い深海にまで及んでいます。また、これら生物はただ 1 種のみで生活しているのではなく多くの種がお互いに結びつきあいながら再生産を繰り返す生態系を構成しています。沿岸には藻場、干潟、岩礁、砂浜、珊瑚礁、マングローブ、汽水域等の生態系が、その沖には陸棚から陸棚斜面に至る生物生産の高い沖合生態系、さらに沖には外洋生

生態系が連なっています。鉛直的には光の届く表層生態系、おおよそ 200m 以深から始まる光の届かない深層生態系からなっています。これら生態系は水の流動や生物の移動によってお互いに物質の交換を行っています。1 日単位でもいろいろな生物が中層域と表層域を昼夜移動することが知られていますし、回遊によってこれら生態系の一つにとどまることなく、生活史の発育段階により、または、季節移動によっていくつかの生態系に関わって生活しています。例えば、サケは河川で産卵し、ふ化後海に下り、沿岸域を回遊しながら、成長するに従い沖合域に移動し、アラスカ湾やベーリング海にまで分布域が広がります。この間、河川、沿岸、沖合、遠洋の特徴的な海域で生活しながら一生を過ごすことが知られています。

水産生物はその種をとりまく餌生物種や捕食者と密接に関わっていますし、これら生物資源の数量変動はそれを取りまく海洋の環境変動と密接に関わっていることも分かってきました。生物資源の生活の場である海洋生態系について、特に浅海域の藻場の生態系における機能は環境の面から、また生物の面からも解明されてきています。

藻場は生産力が高いため、産まれて間もない魚にとって餌が豊富であるばかりでなく、隠れ場所も提供するため、藻場以外に住む魚介類にとっても重要な繁殖場所となっています。例えば瀬戸内海では、クロダイ、クサフグ、マハゼ、マコガレイ、カナガシラ、コチ、メバルなどの産まれたばかりの仔魚が多く見られ、アオリイカの繁殖もこのような場所で行われています。北の海ではハタハタやニシンの産卵場となっているなど、藻場が海の揺りかごと言われるゆえんはここにあります。



写真 - 1 : ホンダワラ藻場 (水産庁・研究指導課 町口裕二研究企画官提供)



写真 - 2 : カジメ藻場 (水産総合研究センター・中央水研 福田雅明室長 提供)

沖合に目を向けると、日本周辺の小型浮魚類は、数十年単位で資源が増えたり減ったりする現象が見られますが、この周期は魚種ごとにずれていて、順次交替して行くように見えます。これを魚種交替と呼びます。1980年代後半には北西太平洋に分布するマイワシの資源量は3,000万トンを超えたと推定され、漁獲量は日本だけでも1988年には430万トンに達しましたが、その後は急速に資源量を減らし2002年には資源量は太平洋系で11.6万トン、漁獲量は5.1万トンにまで低下しました。代わって、カタクチイワシ、サンマなどの資源量が増大しました。マイワシの前にはマサバが増加していましたが、今はカタクチイワシ、サンマなどが増大しています(図 - 4)。底魚類でもスケトウダラの資源量は海洋環境変動に伴って変動します。ニシンは海洋環境変動とそれに適応する系群の生態的特性との関係で資源変動します。

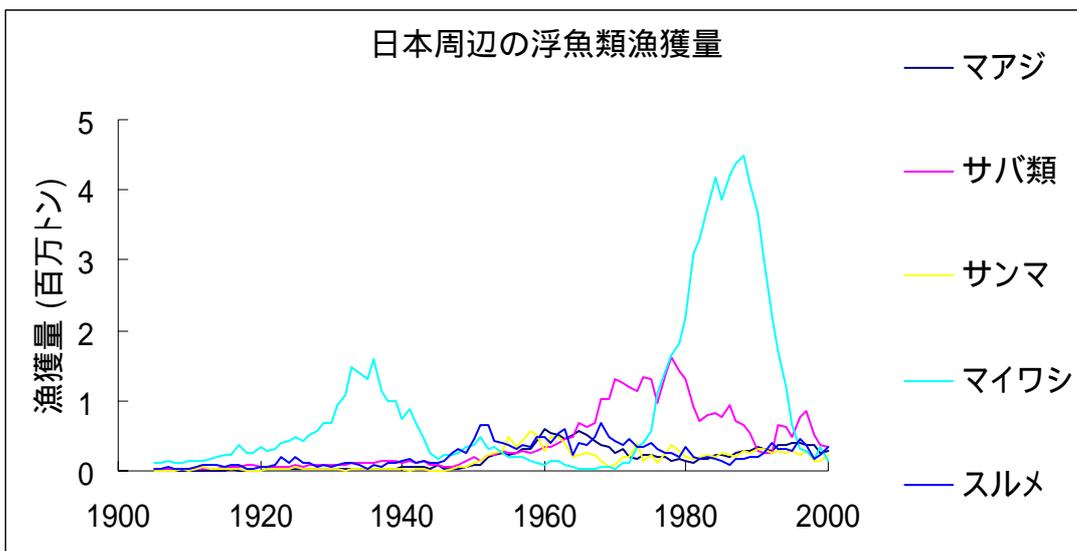


図 - 4 : 日本周辺の主要浮魚類漁獲量の経年変化。

4 . 海洋環境変動にともなう生物資源の生産構造の変化 (マイワシを例として)

1) 太平洋の東と西で同じ現象がみられる

太平洋側に分布するマイワシ *Sardinops melanostictus* の生活史に関するこれまでの調査研究から以下のようなことが分かってきました。すなわち、主に 2~3 月に潮岬から薩南の南部太平洋沿岸域及び黒潮域で産卵し、卵は黒潮に乗って孵化しつつ房総沖東方の黒潮続流域に運ばれます。稚魚は親潮と黒潮が混合する移行域で成育し、成長に伴って北上し道東沖に達することが知られています。晩夏以降、親魚、0 歳魚は南下回遊し、親魚は産卵場に戻り、0 歳魚は常磐沖で越冬します。一部のマイワシは地先群と呼ばれ、四国や九州南東部の沿岸域で産卵・孵化・成育し、地域的な回遊にとどまる群もあると考えられています。親魚になるのに要する年数は資源水準が高い時期で 2~3 年、低水準期では 1~2 年で、寿命は 7 歳程度です。このマイワシ漁獲量は 1960 年代には 1 万トンにも満たなかったのですが、1988 年には 450 万トンに達しました。しかし、その後、急激に減少し、2002 年には約 4~5 万トンにまで低下しました。この資源の変動は何に因るのか解明することが大きな課題でありましたが、1980~2000 年の資源の増大から減少に至る変動期に取り組みられた研究により、資源の変動要因が少しずつ分かってきました。特に、卵から稚魚期に至る時期に過ごす九州南西部海域から房総沖の黒潮の影響する海域の海洋環境と関連が大きいことが明らかになってきました。

太平洋の東岸のカリフォルニアにもマイワシ *S. caeruleus* が分布しますが、この資源の変動傾向と極東のマイワシのそれとは、1930 年代に高水準期があり、1970 年代に再び増加が始まった点は極めてよく一致しており (Kawasaki, 1983)、1990 年代に減少し始めた点も類似しています。ただし、太平洋の東側では漁獲量を見る限りその後再び増加に転じており、近年の両者の乖離の原因はわかりません (図 - 5)。いずれにせよ北太平洋に共通した大規模な海洋環境変動とも密接な関わりがあることが示唆されています。

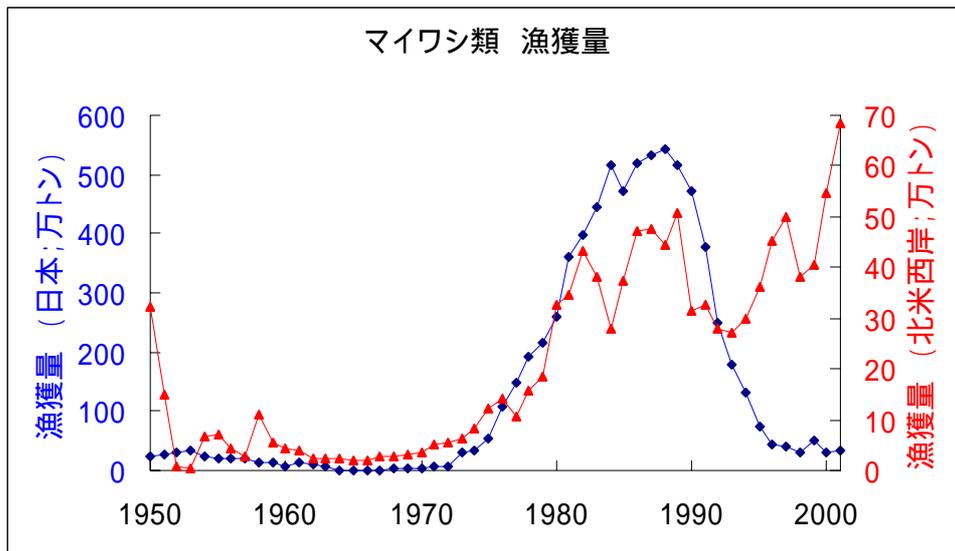


図 - 5 . 北太平洋のイワシ類漁獲量経年変化 (FAO 統計)。青は日本のマイワシ、赤色はカリフォルニアマイワシ。

2) 加入の成功が続く時期と失敗が続く時期がある

資源量はそれぞれの年齢別の個体群量 (年級群豊度) の総和で示されます。マイワシの様に寿命が 5 年ないし 7 年の魚種では年級群豊度の総和が資源量となり、年級群豊度は、その年に産ま

れた子供が漁獲の対象となる大きさまでどれだけ残るかで決まります。この漁獲対象になるまで生き残った新たな資源量は加入量と呼ばれ、マイワシの場合、生後 8 ヶ月程度で、漁場に来遊し、漁獲の対象となります。この時の尾数（加入量）と、産卵に關与した親魚の重量との関係は資源水準により変化がみられています（図 - 6）。0 歳魚 / 親魚の値は資源の増加期には値が高く、減少期には低いことが顕著ですが、一旦高水準期、低水準期に入ってしまうと両者で顕著な差は見られません。加入量の絶対数については資源水準が高かった 1980 年代は 2,000 ~ 3,000 億尾でしたが、1988 年を境に産卵親魚量は多いものの、50 ~ 200 億尾と極めて低い加入量が 4 年間継続しマイワシ資源量は急激に減少しました。1993 年以降は、産卵親魚量、加入量ともに極めて低い水準にまで減少し、2000 年以降では、親魚量が約 20 万トンに対し、加入量は 10 ~ 60 億尾程度と 1980 年代と比べ著しく低下している現状になっています。

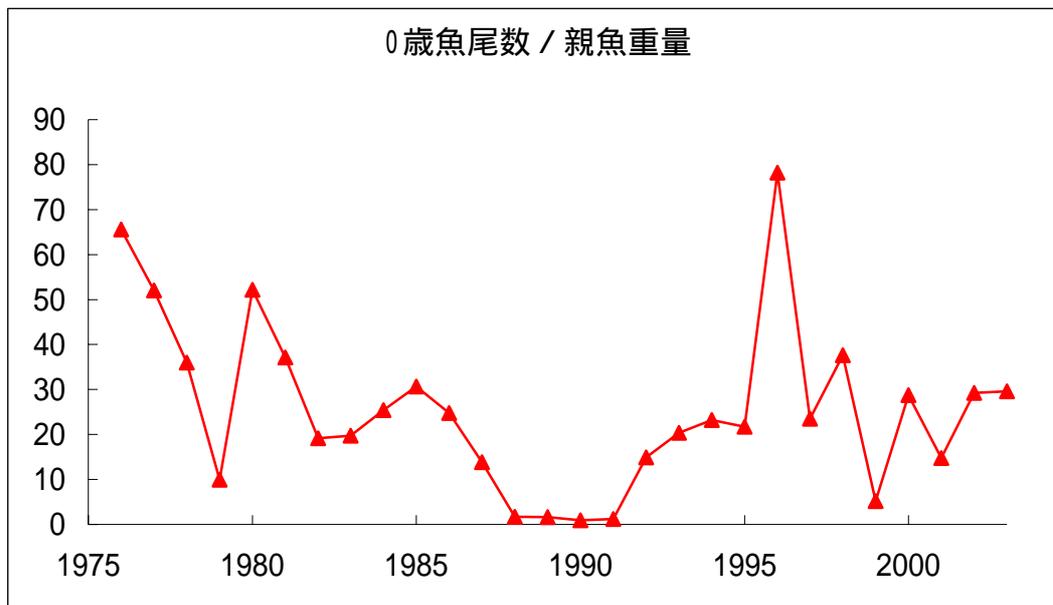


図 - 6 : マイワシの加入尾数と親魚量の比 (資料提供 : 水産庁、水産総合研究センター・中央水研)

3) 黒潮続流域の表面水温の低下、親潮の南下で生き残りが増加する

マイワシの主産卵場は九州南部から四国沖で、ここで産卵された卵は黒潮に乗りながら孵化し、仔魚期（およそ 3 cm 以下）、稚魚期（およそ 3 ~ 6 cm）を過ぎて成長し、房総半島沖から東に流れる黒潮の続流域に達します。幼魚期（6 cm 以上）になると親潮と黒潮の接する移行域に北上します。この時期を過ごす黒潮続流域、移行域の表面水温が低水温傾向である時期にマイワシ漁獲量が増加しています。

また、親潮の南下度合いと再生産成功率(漁場に加入した 0 歳魚量 / 親魚量)の関係をみると、親潮の南下が強ければマイワシの再生産成功率がそれに応じて高いことが示されています。

4) 北太平洋の気候変動がマイワシ資源変動の主要因

マイワシレジームシフトとは、地球規模で気候がある状態から他の状態へ短期間で遷移することで、北太平洋では、1924/25、1947/48、1976/77 年に顕著に表れたことが知られています。場所によっては海の表面水温で平均 2 前後変化しました。この変化はアリューシャン低気圧、親潮を含む海洋の亜寒帯循環、黒潮を含む亜熱帯循環など、気象・海象の変動と関連しており、深層からの栄養塩の供給、それに伴うプランクトンの生産力の変化などを通して魚類生産にも大き

な影響を及ぼすと考えられています(図-7)。図-4と5に示されたマイワシ類漁獲量の大変動もレジームシフトが関係しているものと考えられていますが、マイワシの減少期にはマアジ、マサバなど他の魚種が増加してくるなど、海洋の浮魚生態系はドラストックに種組成を変化させることが知られており、その原因解明と、変動予測が今後の課題となっています。

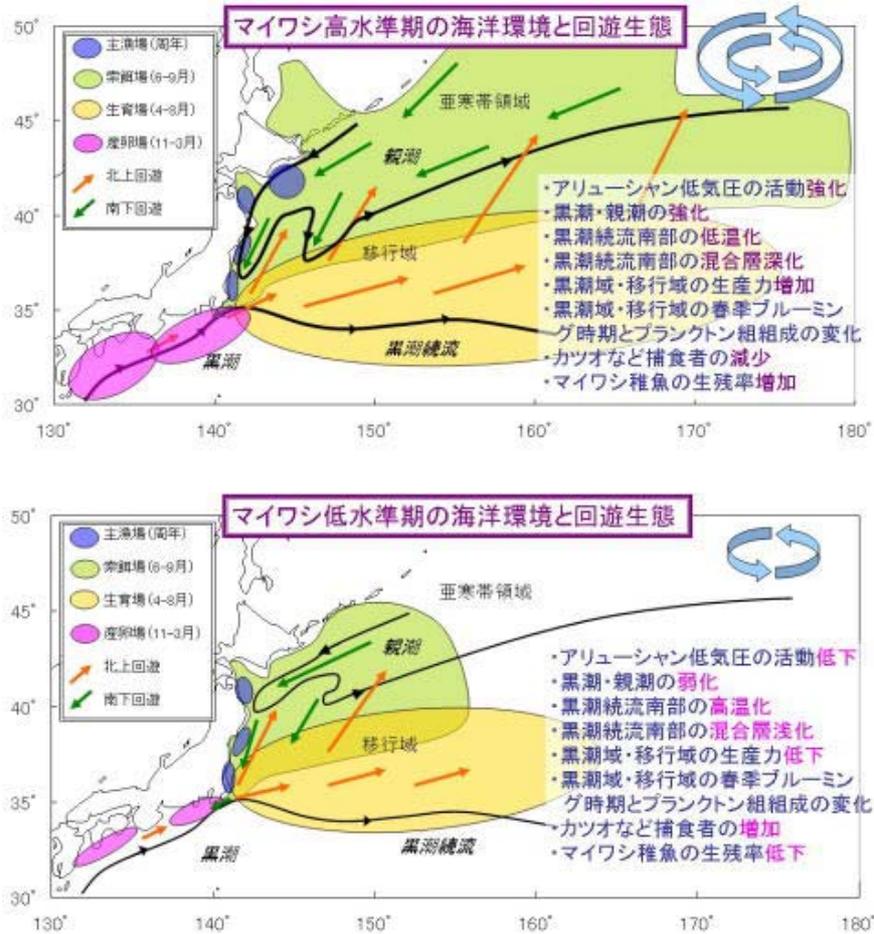


図-7：海洋環境とマイワシ資源変動の関係(資料提供：水産庁・水産総合研究センター)。上はアリューシャン低気圧が強いとき、下は弱いとき。

5) 海洋の生産構造に応じた管理が必要

資源水準が高まる時期には冬季、アラスカ湾に中心を持つアリューシャン低気圧の活動が強く、夏期の親潮の南下が強まり、併せて黒潮の統流域の表層水温が低下し、海水の鉛直混合が大きくなって混合層の深化が起こり、移行域での発育段階に応じた適当なプランクトンの供給が多くなるとともに、生息に適した海域が拡大します。さらに、暖海性大型回遊魚のカツオやピンナガの北上が遅れ、外敵との遭遇が減少すると推定されます。これらのことが連鎖的に起こることにより、マイワシ稚魚期から幼魚期にかけての生き残りが極めて高くなったと考えられるのです。一方、資源水準が低下する時期には、高くなる時期とは逆の現象が起こり、稚魚期から幼魚期の生き残りが悪くなると考えられます(図-7)。しかしながら、このような生産構造は、一定の傾向の期間は常に一方向に起こるのではなく、年によって多少の変動がみられ、資源も短期的に変動します。

このような、マイワシの資源動向を把握するためには、海洋構造の変動をモニターすることが重要である一方、マイワシの生物量を絶対量で把握していくことも併せて重要です。このため、

まずは、産卵量のモニタリング調査から産卵状況を把握するとともに、初夏における黒潮・親潮移行域における餌を含む海洋環境と稚魚や幼魚の分布密度を把握して漁場への加入量を早期に予測することが求められています。資源状態に応じた持続的生産を目指すためには、加入量に見合ったレベルでの漁獲量等の管理を進めるなど、資源の生産構造と動向をよく理解することが重要です。そのためにも資源生態調査・研究の進展と資源の利用と管理技術の開発の役割は大きいものがあります。

コラム 1：魚の履歴調査（日輪と年輪を読む）

魚などの硬組織（鱗、耳石、脊椎骨など）には、樹木の年輪のような輪紋がみられることが古くから知られていましたが、多くの魚類などでこれが年輪であることが確かめられています。この年輪（写真 - 3）を数えることで魚の年齢がわかり資源評価などにとって非常に重要な情報を提供してくれています。

仔稚魚の耳石には顕微鏡で見ると細かい輪紋があります。これは 1970 年代に日輪であることが確かめられました。つまり写真 - 4 のような輪紋が 1 日に 1 本出来ます。仔稚魚の日齢の情報を得ることで資源変動の主要因である生活史初期の大きな減耗過程の把握が可能となりました。最近では耳石の特定の部分を掘り出して成分を分析することで、産まれて何日目どのような環境にいたかを推定することも可能となっています。イカ類の平衡石にも同様の日輪があることが知られています。



写真 - 3 . スケトウダラ耳石にみられる年輪（水産総合研究センター・中央水産研究所 木村量 主任研究官提供）

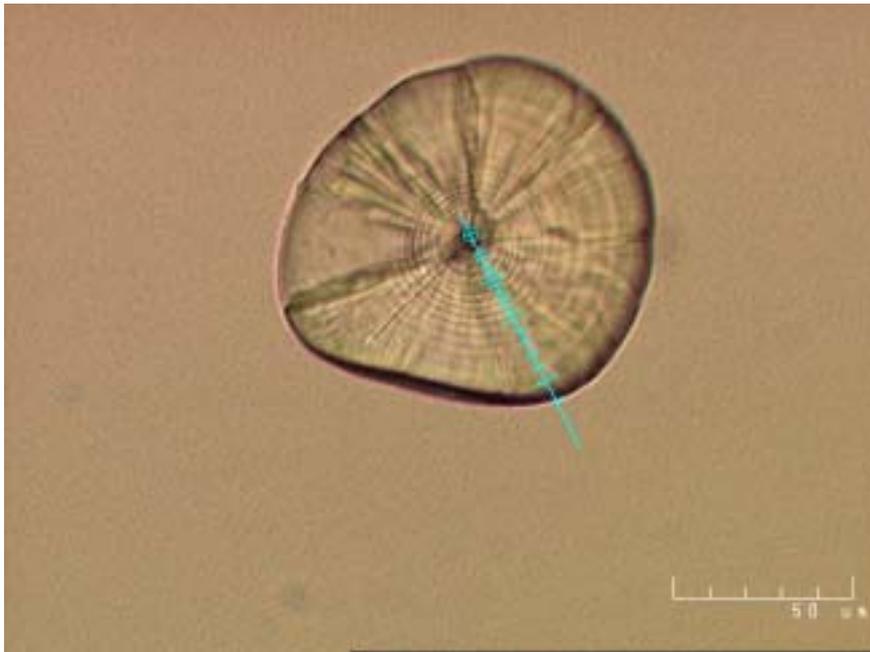


写真 - 4 .マアジ仔魚の耳石に見られる日輪(水産総合研究センター・中央水産研究所 木村 量主任研究官提供)

コラム 2 : 卓越年級群の発生のメカニズム

魚介類の毎年の発生量は一定ではありませんが、特にたくさん生き残り、数量的に多い年代を卓越年級と呼びます。マダラ、ハドック等のタラ科魚類やニシン科魚類には遠く離れている大西洋と太平洋で、あるいは大洋の東西岸で同時に卓越年級群が発生することがしばしば確認されます。例えば、1983年級群のニシン（北海道サハリン系ニシン、ジョージスバンク）があります。このような現象はテレコネクションと呼ばれます。まだこのメカニズムは解明されていませんが、地球規模での気候と海洋の同時性があることが推察されます。

コラム 3 : 大食漢の鯨は海洋生態系における最高位捕食者

日本が1994年から行っている北西太平洋鯨類捕獲調査によればミンククジラの胃から、サンマ、カタクチイワシ、スケトウダラやスルメイカなどが観察されており、非常に幅広い食性を有していることが明らかとなりました(写真 - 5, 6)。2000年から開始された第2期調査では、ミンククジラ、ニタリクジラ、イワシクジラ及びマッコウクジラを調査対象とし、ミンククジラとニタリクジラが生息域の棲み分けを行っていると同時に利用する餌生物を異にしていること、イワシクジラが動物プランクトン以外にサンマやカタクチイワシなどの魚類を捕食していたこと、また、マッコウクジラが主に中深層性のイカ類を多量に捕食していることなど、これらのクジラについての食性や摂餌量などが徐々に明らかになってきつつあります。体重や基礎代謝量から算出したこれらヒゲ鯨類の一日の摂餌量はミンククジラで100～200kg前後、ニタリクジラで300～600kg前後、イワシクジラで400～800kg前後と見積もられています(田村、2003)。

鯨類はヒゲクジラ類と歯クジラ類に分けられ、ヒゲクジラ類は主に小型動物プランクトン等を濾過して食べ、歯クジラ類はイカ類や魚類等を食えると考えられていました。しかし、近年の調査からは、ヒゲクジラ類の代表種であるミンククジラにおいてはサンマ、カタクチイワシ、スケトウダラ等、その海域に分布する主要な魚類をも食べていることが分かり、海洋生態系における高次の捕食者であることが明らかになってきました。このことは資源評価における自然死亡の減耗要因に鯨類の食性を考慮することが必要なことを示しています。



写真 - 5 : ミンククジラ胃内容物 (スルメイカ) ((財) 日本鯨類研究所提供)



写真 - 6 : ミンククジラ胃内容物 (スケトウダラ) (水産総合研究センター・遠洋水研 木白俊哉主任研究官提供)

5 . 水産資源の変動予測精度向上への取り組み (スケトウダラとサンマを例にして)

水産資源の動向を予測することは大変難しく、TAC 対象種についてもまだ予測技術は完成してはいません。すでに述べましたように、生物資源は海洋環境の変動によって大きく変わります。マイワシでは稚魚期の生き残り と 黒潮続流域の水温 と の関係、さらにはアリューシャン低気圧の

強弱とも関連することが示唆されるなど、気象・海洋環境の変動と生物資源の変動との関係を解明することが課題になっています。水産生物資源の動向が予測できれば、利用の仕方に工夫ができ、漁場探索を始めとして必要な量を利用すること等が可能となり、経営の安定にも大きな利点が出てきます。水産庁では水産総合研究センター、都道府県水産試験場等関係機関が協力して多くの情報を元に漁況海況予報事業に取り組んでいますが、さらに飛躍的に資源動向の予測の精度を高めることが求められています。このため、スケトウダラ、サンマを対象に信頼性の高い予測手法の開発に取り組まれました。これらの生息する黒潮域から北海道東方の親潮域に至る海域はプランクトン等の餌生物を含めて生物生産量が高く、気象・海洋変動と餌料動物プランクトンを中心とする生物系の反応とスケトウダラ、サンマ資源の変動との関連について研究が展開されました。

1) スケトウダラ

スケトウダラは太平洋側では常磐沖から北側に、日本海側では朝鮮半島まで広く分布する冷水性の魚種で、ここでは北海道の太平洋側から常磐沖に分布し、主たる産卵場が北海道の噴火湾及び道東沿岸域に形成されるスケトウダラの太平洋系群(図-8)について報告します。仔稚魚期を沿岸域の表層で過ごした後、幼魚期になると底層に移行し、さらに成長するにしたがい沖合域に生活の場を移動します。これまで、底魚類は大きな資源変動は無いと言われていましたが、スケトウダラは年級群豊度(発生年ごとの資源量)の変動が大きいことが分かっています。しかし、年級群豊度が決定される稚魚期から幼魚期に至る発育段階ごとの分布域や生態については不明な点が多く残されていました。稚魚がいつ、どのような経路で産卵場から生育場である道東沿岸域や三陸沿岸域に移動し、さらに成長して漁獲の対象として資源に加入していくのか、年々の加入量の変動や稚・幼魚の成長の良否の原因を解明することが、年級群豊度の早期把握につながり、将来の資源量変動の予測精度向上につながります。



(1) スケトウダラ太平洋系群は噴火湾産まれ

産卵期は 12 月から 4 月で、産卵場は金華山沖から道東海域にあります。最も重要な産卵場は噴火湾とその周辺海域にあることが調査により明らかになっています。トロール調査と魚群探知機を使った最新の調査によれば、噴火湾周辺で孵化した仔魚は 5～6 月に稚魚となり噴火湾から胆振沿岸域に分布しています。7 月になると襟裳岬のすぐ東側の沿岸域に大きな群れを作って分布するようになり、8 月になると釧路沖まで分布域が広がります(図 - 9)。しかし釧路沖の海谷より東側では観察されませんでした。この道東海域に分布した稚魚の耳石の分析から、孵化日は春に噴火湾周辺に分布したものと一緒であることが分かりました。この調査結果から、噴火湾で孵化した仔魚が成長しながら沿岸域を東に移動し道東海域に達する加入過程についての仮説が正しかったことが確認されました。一方、三陸沿岸域については 1997～2001 年の調査で、仙台湾から噴火湾南部の海域で採集した仔稚魚について耳石の日周輪から孵化日を推定し金華山沖生まれと噴火湾周辺産まれを区別したところ、全ての年で噴火湾起源のものが多く、特に春季の親潮第 1 分枝(最も本州側に沿って南下する親潮の流れで、西から順次第 1, 第 2 . .

と呼ぶ)の南下が著しい年に加入量の多いことが明らかになりました。

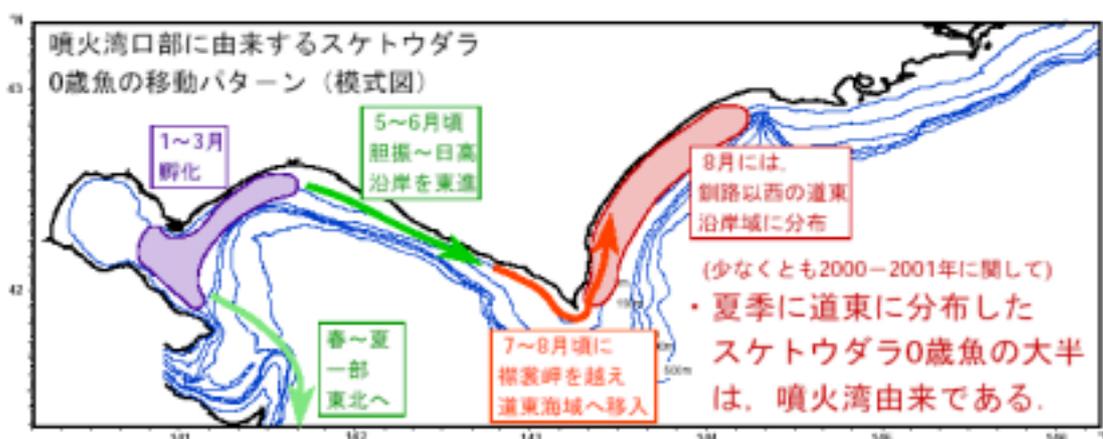


図 - 9 : 道東、噴火湾付近のスケトウダラ 0 歳魚の分布と回遊 (奥田、潮流、31 より)

(2) 資源水準が高いと成長は悪化

1 歳後半から 2 歳になると被食 (他の生物に食べられること) による自然死亡は減少し、加入後の資源動向は、その後の成長の良否や漁獲による減耗によって決まります。水産総合研究センター・北海道区水産研究所の 20 年以上にわたり蓄積してきた資料の分析から、スケトウダラの成長の良否に水温や餌料生物の変動と関係した 10 年程度の長期変動が存在することが明らかになりました。その結果によりますと、1980 年代前半は、資源水準は高かったものの成長は全ての年級群について平均より悪く、主な餌料生物はオキアミで水温は低めでした。一方、80 年代後半から 90 年代前半にかけて資源水準は低いものの成長は良く、その期間の主な餌料生物は動物プランクトンのカイアシ類で、水温は高めでした。

この結果は、スケトウダラ資源の変動は気象・海洋変動 (冬季の北西季節風やアリューシャン低気圧の発達度合いに伴う親潮の南下の勢力)、それに伴う餌料生物の種類・豊度の変化 (環境変化に適した植物・動物プランクトン種の変動)、スケトウダラを捕食するカジカ等魚類相の変化など、多くの要因が相互に絡み合って起こっている事を示しています。今後、スケトウダラの資源動向予測の精度を高めるには、スケトウダラの漁獲という人為的な要因に併せてスケトウダラを取り巻く環境全体 (海洋生態系) を視野に入れた情報の収集と相互関係を研究するシミュレーションモデルの構築が重要であることを示唆しています。

2) サンマ

サンマは我が国では 17 世紀頃から漁獲されてきた重要な資源であり、1940 年代に漁法が流し刺網から棒受け網に移行してから、漁獲量は飛躍的に増加しました。近年では TAC が設定され、漁獲量が制限されていますが、サンマ資源は変動を繰り返しており、資源変動の予測技術の高度化が求められています。このため資源変動についてサンマの生活史や環境変動との関わりから解析するモデルを構築し、変動要因について検討しました。その結果は人為的影響よりも気候変動により引き起こされる海洋環境変動 (表層域) と関わりが強いことが明らかになりました。

(1) サンマには秋、冬、春季発生群が存在

日本周辺の太平洋側に分布するサンマは黒潮域および東北沖の混合域で主に秋から春にかけて産卵し、味覚の秋に獲れるサンマの大きさは産卵時期によって決まることが耳石の調査から分かってきました。大型 (体長 30~32cm 前後) のサンマは耳石に形成される日周輪数と冬に形成さ

れる透明帯の数（1本）から前年の秋に生まれた1歳魚、中型（体長25～29cm前後）は日周輪数と透明帯を持たないことから冬生まれ（2月頃）で、間もなく1歳になるサンマということが明らかになりました。また、寿命もほぼ2年であることが判明しました。

（2）暖冬年は秋生まれ群に有利

サンマは成長にともない北上しながら親潮水域まで広域に回遊します。サンマはその生活史を通じて亜熱帯および亜寒帯の環境変動の影響を大きく受けていると考えられています。農林水産技術会議プロジェクト研究において、サンマ資源の変動と環境要因の関わりを過去の資料から分析することによって、サンマの資源変動メカニズムを明らかにし、サンマ資源の変動予測技術を開発しました。それとともに、サンマの生活史特性を考慮した個体群動態の数理モデルを構築し、物理環境および餌料プランクトンなどを含む環境要因の変動がサンマ資源に与える影響を評価する手法が開発されました。

過去50年間におけるサンマの群別資源量指数、NPI（North Pacific Index；北太平洋の中央域における海面気圧の平均値で定義され、アリューシャン低気圧の指標となるもの）、MOI（Monsoon Index；イルクーツクと根室の海面気圧差で、極東域における冬季季節風の強さの指標となるもの）およびSOI（Southern Oscillation Index；タヒチとダーウィンの海面気圧差（規格化された平年偏差の差）として定義され、エルニーニョ（ラニーニャ）の指標となるもの）などの気候指数および北西太平洋の表面水温（SST）の時系列データを用いて、気候と海洋環境の変動がサンマ資源変動に及ぼす影響について解析しました。その結果、サンマの資源変動は大きい年変動とともに10年規模の変動が卓越し、気候と海洋環境のレジームシフトに対応していることが推定されましたが、大型群と中型群はそれぞれ異なる海洋システムに影響されている可能性が大きいことも示されました。例えばエルニーニョ（ラニーニャ）と密接に変動する黒潮水域の冬季のSSTは大型群に正（負）の効果が見られ、資源変動に大きな影響を及ぼすものの、中型群に対する影響は見られず、混合域から親潮水域のSSTによる影響が大きいことが示唆されました。すなわち、エルニーニョまたは冬季季節風の大気-海洋循環が、巡り巡ってサンマの分布域と産卵場および仔稚魚期を過ごす海域の水温に影響し、このことがサンマの資源変動に影響を及ぼしていることが明らかになりました。サンマ資源の長期変動と気候・環境指数との間に、統計的に有意な定性的な関係が見出されたことは今後の変動予測技術の開発の大きな一歩となります。

（3）サンマの生活史モデルには水温が効く

サンマの各発育段階における成長・生残の違い、および各生活史段階に及ぼす環境要因の影響を考慮し、サンマの資源構造および資源変動傾向を概ね再現することができる生活史モデルを作成し、その実用性が示されました。冬季発生群の稚魚期における黒潮域の冬季水温の影響を考慮したケースでは、1987年におけるレジームシフトを再現でき、黒潮域の冬季水温がサンマの資源変動に大きな影響を及ぼすことが示唆されました。これらによりサンマの資源変動には漁獲よりも環境の影響が大きいことが示唆されました。さらに水温の代わりにSOI指数を用いたモデルでは、より再現性が高まりました（図-10）。これはエルニーニョがサンマの資源変動に大きな影響を与えていることを意味していますが、このモデルでは前年のSOI指数を予測指標に用いることができるため、資源変動予測モデルとして非常に有効であることが分かりました。また、変動機構を考慮したサンマの生活史モデルでは、サンマの成長・生残の違い、および各生活史段階に及ぼす環境要因の影響を組み込み、サンマの資源構造および資源変動の傾向を概ね再現することができました。

しかしながら、本研究で開発された生活史モデルでは、餌料プランクトンがサンマの成長・生残に及ぼす関係のプロセスを定式化出来ず、今後に残された研究課題となっています。

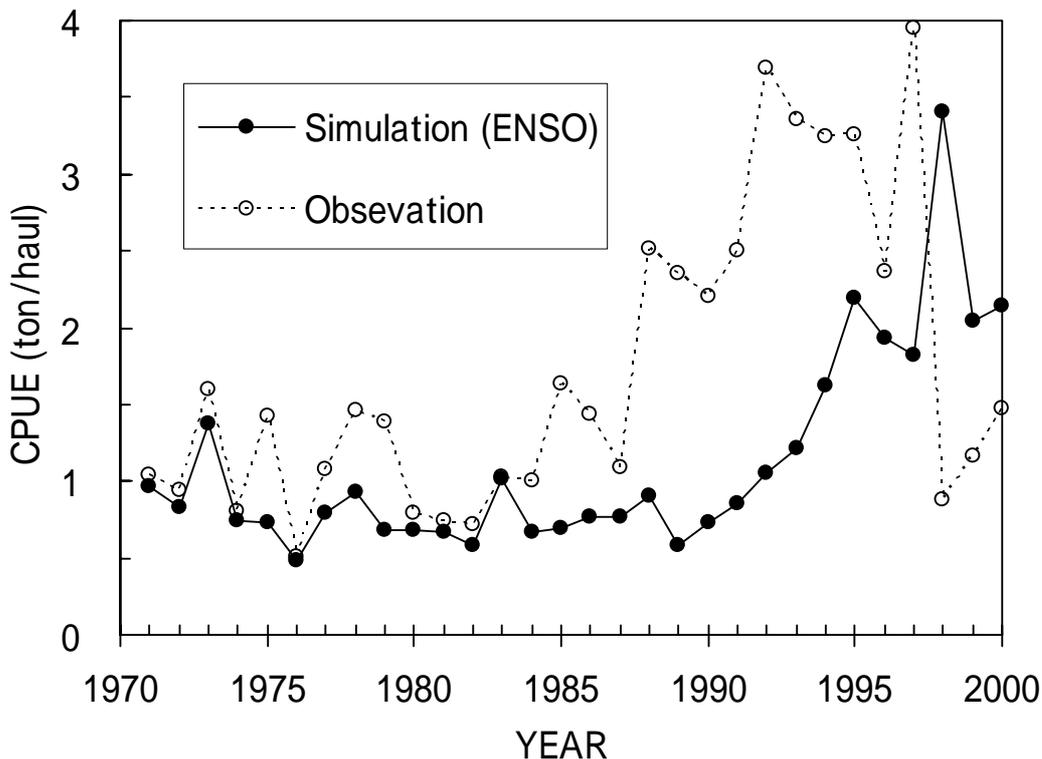


図 - 10: サンマ生活史モデルの計算結果 (SOI指数を組み込んだケース)。田ほか (2002) より。
 はCPUE (努力当たり漁獲量のこと、資源量の指数) の実測値、 はモデルを用いたシミュレーション。

6. おわりに

伝統的な漁業国である我が国では、1997年からTACによる資源管理に取り組むこととなる以前にも資源管理、漁業管理への取り組みは行われて来ました。漁業権、許可漁業などによる参入規制もあり、漁具の目合規制、禁漁区、禁漁期などの制度も各地で設けられていました。また、1970年代からは、乱獲された資源に対して資源の再生産力を活かした回復を図りながら漁獲するという資源管理型漁業が提唱され、各地で実施されてきました。これらの管理手法は分布域が限定された沿岸の漁業資源については調査・研究が比較的容易で管理も行き渡り易いことから伊勢湾のイカナゴ、福島県のホッキ貝、秋田県のハタハタなど多くの成功例がみられます (桜本1998)。

人口の急増が予想され食糧の需給が世界的にみて逼迫して来るとされる21世紀においては、我が国は今まで以上に海洋の水産資源への依存度が高まり、これを高度に有効利用する必要があると考えられ、そのためにはより広域に分布回遊する資源に対しても精度の高い資源管理手法が必要となります。また、水産資源は家畜のように人間が人工的に蓄養したものではなく、自然の生態系の一部であることから、水産資源を永続的に有効利用するためには、図-1に示すような水産資源、並びにそれを取り巻く生態系と、環境及び漁業との間の関わりを解明する研究が不可欠です。そしてそれらの成果を資源管理に取り込み、新しい管理方策を開発する研究も進んでいます。現在我が国ではコラム4に示すような単一種ごとの管理手法がとられていますが、種間相互の関係を定量化して複数種の資源評価を同時に行う手法、生態系モデルを用いて生態系の維持、利用を図る手法などが研究されています。

コラム 4：我が国の管理制度について（TAC制度とTAE制度）

資源管理には大きく分けて 1) 入り口規制 (input control)、2) 出口規制 (output control)、3) その他の方法 (禁漁区、目合い規制、体長制限、漁具規制などの設定) があります。入り口規制とは漁業の入り口での規制、すなわち漁業に投入される漁獲努力量の規制のことです。漁獲努力量とは投入される漁船の隻数、操業日数、投入漁具数など、資源に働きかける漁獲の強さを数量で表したものです。これに対して出口規制とは漁業の出口での規制、すなわち漁獲量の規制のことです。

国連海洋法条約の締結に伴って我が国が導入したのは TAC 制度です。これは漁獲量を規制することによって資源管理を行おうとするもので出口規制です。漁獲可能量 (Total Allowable Catch) 制度による対象種 (特定海洋生物資源) 選定は、漁獲量が多く経済的価値が高い、資源状況が極めて悪く、緊急に保存および管理措置が必要、日本周辺水域で外国漁船により漁獲されている海洋生物資源のいずれかに該当し、TAC を設定するに足るだけの科学的データおよび知見の蓄積があること、が基準となっています。現在、我が国ではマイワシ、マアジ、サンマ、サバ類、スルメイカ、スケトウダラ、ズワイガニの 7 種を対象としています。TAC 制度は、先進国のほとんどで採用されている管理手法です。

TAE 制度は、これまで漁獲量の総量管理を行う TAC 制度に加え、「海洋生物資源の保存及び管理に関する法律」の改正により新たに創設された、漁獲努力量の総量の管理を行う制度です。資源に投入される漁獲努力量の上限 (TAE : Total Allowable Effort) を設定することによって対象資源を管理するものであり資源回復計画の対象種について実施しています。

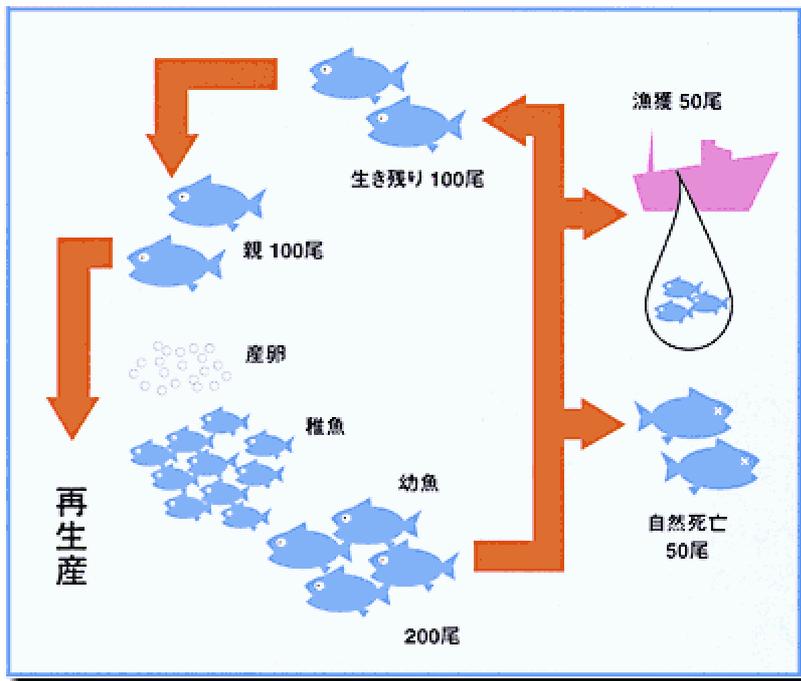


図 - 11：TAC 設定の模式図 (水産庁ホームページより)。

TAC は対象種の再生産関係、自然死亡の大きさなどを調査し、資源の維持、あるいは回復を図れるだけの資源量を残す方針で設定されます。

TAC 設定に先立ち、国はまず生物学的許容漁獲量 ABC を算定し、これに社会・経済的要因を加味して TAC を決定します。ABC とは資源を MSY (その資源にとって持続的に達成

できる最大（高水準）の漁獲量とします）を得ることの出来る水準に維持・回復させるための許容漁獲量のことです。

参考文献

奥田邦明、サンマとスケトウダラの資源動向予測精度向上への取り組み、潮流、31、56-61（2002）

T. Kawasaki, Why do some pelagic fishes have wide fluctuations in their numbers? -Biological basis of fluctuation from the viewpoint of evolutionary ecology-, FAO Fish. Rep., 291(3), 1066-1080 (1983)

桜本和美、漁業管理のABC - TAC制度がよくわかる本 -、成山堂書店、200pp（1998）
田村 力（日鯨研）、平成 14 年度国際資源調査等推進対策事業：複数種一括管理フィジビリティスタディ検討会資料、水産総合研究センター（2003）

田 永軍、赤嶺達郎、須田真木、サンマ個体群総合解析及び個体群動態モデルの開発、研究成果、402、我が国周辺海域における漁業資源の変動予測技術の開発、農林水産技術会議事務局、74-76（2002）