

水産海洋シンポジウム
- 黒潮親潮生態系の動態メカニズムとモニタリング指標
プログラム

日時：2007年3月26日(月) 9:30-16:40

会場：東京海洋大学 品川キャンパス 楽水会館

共催：日本海洋学会

コンピーナー：谷津明彦(北水研)・千葉早苗(JAMSTEC)・安田一郎(東大海洋研)・
齊藤誠一(北大院)

開会 9:30-9:35
挨拶：渡邊良朗(水産海洋学会会長) 9:35-9:45
趣旨説明：谷津明彦(北水研) 9:45-10:00

第1部 地球温暖化の海洋物理および低次生産への影響と指標 座長：千葉早苗

1. 気候モデルによる温暖化予測の概観 河宮未知生(JAMSTEC) 10:00-10:25
2. 温暖化予測実験における黒潮・親潮の変化
羽角博康(東大CCRS)・坂本 天・鈴木立郎(JAMSTEC/FRCGC) 10:25-10:50
3. 親潮域・移行域の低次生産に対する温暖化の影響と指標
小笠恒夫(北水研)・田所和明(東北水研)・橋岡豪人(北大院地球環境) 10:50-11:15
4. 黒潮域の低次生産 日高清隆・小松幸生(中央水研) 11:15-11:40
昼食：11:40-12:50(幹事会)
宇田賞・論文賞 授賞式：12:50-13:00

第2部 主要魚種の動態メカニズムと指標 座長：谷津明彦

5. シロザケ 帰山雅秀(北大院水)・齊藤寿彦(さけますせ) 13:00-13:20
6. スケトウダラ 西村 明(北水研)・桜井泰憲(北大院水) 13:20-13:40
7. マイワシ・カタクチイワシ・マサバ
谷津明彦(北水研)・渡邊良朗(東大海洋研) 13:40-14:00
8. サンマ資源の再生産と加入量変動 渡邊良朗(東大海洋研) 14:00-14:20
9. スルメイカ 桜井泰憲(北大院水)・森 賢(北水研)・後藤常夫(日水研)・
木所英昭(日水研)・山本 潤(北大FSC) 14:20-14:50
休憩：14:50-15:10

第3部 モデリングとモニタリング 座長：安田一郎

10. NEMURO.FISHからNEMURO.SANへの展開 伊藤進一(東北水研)・
Kenneth Rose(LSU)・Vera Agostini(U. Miami)・Larry Jacobson(NMFS-NFSC)・
Bernard Megrey(NMFS-AFSC)・Francisco Werner(UNC)・岸道郎(北大院水)・
高須賀明典(中央水研) 15:10-15:35

11 . Ecopath/Ecosim モデル 岡村 寛 (遠洋水研) 15:35-16:00

12 . モニタリングおよび PICES Ecosystem Status Report 齊藤誠一 (北大院水) 16:00-16:25

総合討論 座長：齊藤誠一 16:25-16:40

閉会 16:40

総会：16:40-17:30

開催趣旨

IPCC は第 4 次報告で地球温暖化が確実に起きていると報告した。この温暖化の海洋生態系に対する影響は多方面で研究がなされている。例えば、PICES では CCCO の後継プログラムである FUTURE において、この問題への取り組みを、IPCC の将来予測シナリオの検討、気候変動に対する生態系の応答メカニズムの解明、モデリング、モニタリング指標とツールの開発などを通じて行う計画を立てている。その対象生態系は黒潮親潮のほか、黄海・東シナ海、オホーツク海、カリフォルニア海流域で、これらの比較研究により、生態系の挙動やそのメカニズムとともに不確実性に対する理解が深まると考えられる。そこで、本シンポジウムでは、黒潮、親潮および移行域の生態系の特徴と変動メカニズムの現時点での最新の知見を、海洋物理、低次生産、主要魚類について検討し、モデリングとモニタリングの将来について展望することとする。

気候モデルによる温暖化予測の概観

○河宮未知生 (JAMSTEC)

キーワード：温暖化、大気海洋結合モデル、不確実性

1. IPCC がまとめた温暖化予測

IPCC 第4次報告書作成に向け、各国の研究機関が提出した地球温暖化予測シミュレーション結果を見ると、今世紀末における温暖化の度合いは同一の CO₂ 濃度シナリオを用いてもモデルごとに違いがあり、例えば SRES A1B シナリオに基づくもので 2.0-4.5°C である(図1)。この不確実性は、前の第3次報告書の時点と比べ著しく小さくなったとは言えない。温暖化予測の分野では、予測の不確実性をもたらす要因が以下のように多岐にわたるため、不確実性を減らすことよりは不確実性そのものを定量化するほうが現実的であるという考え方が広まってきている。

2. 不確実性をもたらす要因

モデル間の違いを生み出している最も重要な要因の一つに、混合雲（液相と固相が交じり合った雲）のパラメタリゼーションが挙げられる。氷晶は水滴よりも落下速度が速いため、氷晶が水滴に変わる混合雲の形成域で雲水の「溜まり」ができ、この領域が温暖化時の雲フィードバックに対して持つ寄与が大きくなるためである。しかしながら、混合雲が形成される温度領域に液相と固相の比率がどのように決まっているかについての観測は技術的に難しく、モデル計算による温暖化予測の不確実性低減が遅れている原因の一つになっている。

混合雲のパラメタリゼーションは CO₂ を増加させた際の平衡・過渡的両方の応答に対して重要であるが、21世紀末における気候予測実験のような過渡的応答問題においては、他の要因も重要になってくる。例えば、東大、環境研、地球フロンティアが共同で行った温暖化実験では、解像度以外ほぼ同じモデル仕様で行った2つの実験の間で、温暖化の度合いが有意に異なっていた。解析の結果、この違いは海洋混合層や海水分布の再現性が2つの実験間で異なるためであることがわかった。図2は海洋熱吸収量と混合層の分布を比較したもの

のである。両者は酷似しており、混合層の再現性の違いが、海洋熱吸収を通じて CO₂ 増加に対する過渡的応答の違いをもたらすことが示唆される。さらに近年では、気候変化と炭素循環過程との間のフィードバックがさらなる不確実性をもたらす可能性が指摘されている。

3. 提言

水産分野における影響評価の際にも、単一のモデル結果に過度に依存するのではなく、温暖化予測の研究者と協力して十分な情報収集のもとバランスの取れた影響評価を行うことが重要であろう。水産海洋学者と気候予測分野の研究者との協働により、海洋学の新しい地平が拓けることが期待される。

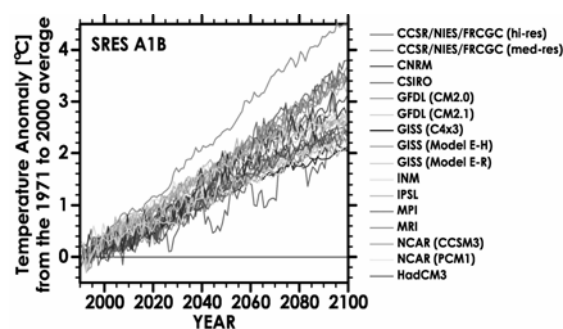


図1：IPCC 第4次報告書作成のため各国の研究機関が提出した温暖化予測結果。

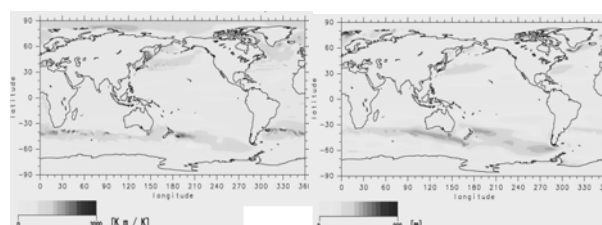


図2：CCSR/NIES/FRCGC の予測モデルにおける、温暖化時の海洋熱吸収量（左）と標準実験での混合層の分布（右）。

温暖化予測実験における黒潮・親潮の変化

羽角 博康¹, 坂本 天², 鈴木 立郎²

1: 東京大学気候システム研究センター, 2: 海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター

キーワード: 温暖化予測実験・黒潮・親潮

1. はじめに

気候システム研究センター・国立環境研究所・地球環境フロンティア研究センターの研究コンソーシアムでは、文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」(平成14~18年度)の課題「高分解能大気海洋モデルを用いた地球温暖化予測に関する研究」において、IPCC SRES シナリオに準拠した温暖化予測実験を行った。用いたモデルの解像度は IPCC AR4 に結果を提出したものの中では最高であり、特に海洋モデルについては黒潮の離岸を現実的に表現できる解像度を唯一採用している。

この実験結果に基づき、地球温暖化に対する黒潮・親潮の応答について述べるとともに、物理循環モデルによるこうした予測実験の限界やその結果を応用する場合の注意点について論ずる。

2. モデルと実験の概要

使用した気候モデル MIROC は、大気大循環モデル CCSR/NIES/FRCGC AGCM 5.7 と海洋大循環モデル COCO 3.4 などから成っており、水平解像度は大気 T106 (約1度)・海洋約 20 km (中緯度)である。これによる実験と並行して、同じモデルで解像度を大気約3度・海洋約1度とした実験も行っている。この低解像度版は IPCC AR4 に結果を提出したモデルの多くと同等の解像度であり、両実験結果の比較を通して、IPCC AR4 の「平均的」結果と本高分解能モデルによる結果の差を論じることができる。

温暖化予測実験では、観測等に基づく20世紀の気候強制力(太陽放射量・温室効果気体濃度・エアロゾル放出量・火山噴火)を与えた20世紀再現計算を行った後、21世紀の温室効果気体濃度に関して政策やそれに基づく産業活動の予測に応じたいくつかの「シナリオ」を仮定した予測計算を行う。高解像度モデルで適用したシナリオは A1B, B1 の2つ(それぞれ2100年時点の大気中二酸化炭素濃度が 720, 550 ppm)である。ここでは A1B シナリオの結果についてのみ紹介する。

3. 結果

この実験結果では、2071-2100年平均の全球平均地上気温は1971-2000年平均と比べて4度あまり上昇し、IPCC AR4 に提出された結果の中では比較的大きな気温上昇を示している。北太平洋表層の水温変化を見ると(図1)、亜寒帯循環域では比較的小さな温度上昇であるのに対し、亜熱帯循環域では温度上昇が大きい。また、黒潮および黒潮続流に沿っては特に温度上昇が大きい。なお、ベーリング海・オホーツク海では海氷の消滅に伴って非常に大きな温度上昇が見られる。

表層循環は亜寒帯循環・亜熱帯循環とも全体的に強化されており、100 m 深流速で見た黒潮・親潮はともに加速されている(図2)。特に黒潮続流の加速は大きく、30年平均値の差で 30 cm s^{-1} に達する。循環の強化は主として温暖化に伴う偏西風強化に対する応答であり(Sakamoto et al., 2005, GRL)、先述した表層水温上昇の分布もその応答の一部であると考えられる。

低解像度版モデルの結果では、表層水温上昇の大まかなパターンは高解像度版と似たものになっているが、黒潮・親潮の再現性には解像度による本質的な問題が存在し、その流速変化やそれとともに存在する強い温度上昇などを議論することはできない。

講演時には、ハインドキャスト実験などを通じた予測実験の信頼性について、および温暖化に対する黒潮・親潮の応答を記述するための指標などについて、詳細に述べる予定である。

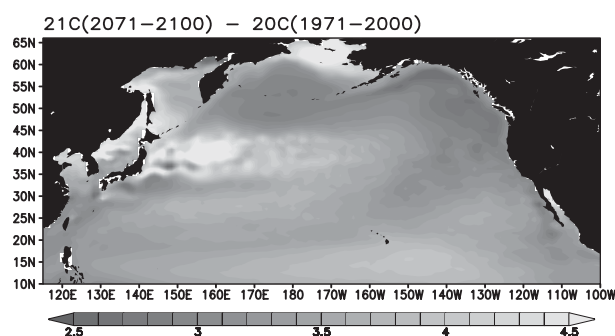


図1: 北太平洋の海面水温上昇(1971-2000年平均と2071-2100年平均の差)

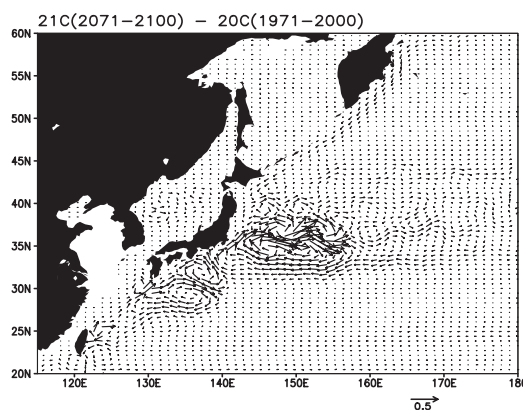


図2: 黒潮・親潮域100m深流速の変化(1971-2000年平均と2071-2100年平均の差)

親潮域・移行域の低次生産に対する温暖化の影響と指標

小埜恒夫¹、田所和明²、橋岡豪人³

¹北水研・²東北水研・³北大院地球環境

キーワード：親潮域 移行域 低次生産 温暖化影響

親潮域・移行域の低次生産に対する温暖化の影響は北大、JAMSTEC、水研センター等様々な機関でモデルによる検討作業が始まっているが、現状ではまだまだスタートラインに立った段階であり正確な予測は難しい。現段階の北大のモデル実験結果では、温暖化によって北太平洋の中高緯度全般で海水温が上昇するだけでなく、それにより表層の成層構造が強まり、混合層深度が浅化すると共に混合層への栄養塩供給量が減少する。これに伴って親潮域と移行域ではトータル Chla 量の数% -30% 程度の減少、大型ケイ藻の優占度の数% -20% 程度の減少、ブルームの早期化、年間群集純生産量の増加等が予測されている。こうした変動は時空間的に一様ではなく、季節的にはブルーム時期、空間的には親潮域より移行域で変動が大きい。動物プランクトンに対する温暖化影響のモデル予測はまだ行われていないが、こうした植物プランクトンレベルの現存量と組成変動の影響によって、動物プランクトンにも種毎に異なった影響が現れると考えられる。

観測データからは、1950年代頃から北太平洋亜寒帯域全般で表層の成層構造が強まっている事が確認されており[Emerson et al., 2004, Deutsh et al., 2006等]、この影響によると思われる冬期混合層の栄養塩濃度の低下が親潮域 [Ono et al., 2002]と混合域[Tadokoro, in prep.]で検出されている。これらのシグナルが温暖化によるものか、それとも自然の長期変動によるものかは未だ不明だが、これらの海洋環境変動に伴う低次生態系の応答は、少なくとも将来の温暖化に対する低次生態系応答の模範例として期待出来る。

親潮域の Chla 現存量は年平均値[Tadokoro et al., 2005]、春期ブルーム時[Chiba et al., 2004]共に1970年代からの時系列が利用可能だが、70年代中旬に大きく減少した後、1980年以降現在まで微小な減少トレンドを示している。一方植物群集中の大型ケイ藻種(特にブルーム時に繁茂するグループ)の優占率は1970年代以降はっきりとした直線的減少トレンドを示しており[Chiba et al., 2004]、現存量より種組成変動の方が温暖化予測モデルの結果に整合的なシグナルを強く示している。

動物プランクトンについては、ODATE コレクションの解析により1950年代からの長期変動が調査されているが、カイアシ類のトータル現存量(4月-9月の平均値)は90年代中旬に特異的に増加したのを除けば、親潮域・移行域共に60年代以降現在まで緩やかな減少トレンドを示している[Tadokoro, in prep.]。この事からは、未だ温暖化影響がモデルで十分に評価されていない動物プランクトンにつ

いても、海洋環境が温暖化方向に変化した際には植物同様減少トレンドを持つ事が示唆されるが、しかし種毎の変動をみると事はそう単純ではない。例えば親潮域の主要カイアシ類の一つである *N. plumthurus* の現存量はカイアシ類総量と同じく減少トレンドを示すが、同じく主要カイアシ類である *N. Cristatus* と *N. flemingeri* は親潮域でどちらかといえば増加トレンドを示している[田所、本大会]。水産資源への影響という観点でみれば、動物プランクトンの総量の変動よりも各魚種・各ステージ毎の特徴的な餌料生物の増減の方が重要となり得るので、動物プランクトン全体の総量が減少トレンドになったとしても魚種によってその影響は全く異なる可能性がある。現時点では個々の動物プランクトン種の温暖化影響を個別に予測する事は甚だ困難を伴うと思われるので、温暖化の指標動物プランクトン種を選ぶ場合には、「どの種に尤も影響が現れそうか」よりも直接に「どの種が(着目する魚種にとって)現時点での尤も重要な餌料か」を選択基準にするのが、現時点では妥当なのではないかと思われる。シンボ時無では更に個別のデータを提示しながら、適切な動物プランクトンの温暖化指標種について考察を進めたい。

黒潮域の低次生産

○日高清隆・小松幸生
(中央水産研究所)

キーワード： 植物プランクトン・動物プランクトン・経年変動・黒潮域

【背景】

本州・九州の南岸と黒潮に挟まれる海域は、冬・春季にマイワシやカタクチワシの産卵場となっており、卵や仔魚は黒潮に取り込まれ輸送されながら成長していく。一方で黒潮からさらに沖合にかけてはサンマの産卵と初期成長の場になっている。これらの海域では、国や都県の調査機関による、CTDとプランクトンネットを主体としたモニタリングが続けられているが、低次生産構造についての、系統的・継続的な観測は限られていた。

近年、中央水産研究所による御前崎沖定線（東経138度）の設置や、海域物理モデル・生態系モデルの構築を目的とした複数のプロジェクト研究の実施等により、黒潮周辺「海域」の低次生産構造についての包括的な理解に向けた研究が進んでいる。今回は、それらの進捗状況について報告するとともに、これまで得られている知見や今後の課題についての整理を行う。

【生物輸送に関わる観測とモデル研究】

黒潮周辺の沖合域に生息する生物にとって、黒潮による輸送は生活史から切り離すことの出来ないプロセスである。このため、黒潮およびその周辺海域についての物理モデルは、物理分野に限らず、生物／化学分野においても有用性が高い。水産総合研究センターでは、マアジ卵稚仔やエチゼンクラゲ等の輸送過程を予測／理解するために渦解像海洋大循環モデルとデータ同化で構成される海況予測システムFRA-JCOPEを導入し、成果を挙げている。

FRA-JCOPEの最大の特徴は、データ同化に各地方自治体の水産研究機関による現場定線データを効果的に導入して、日本周辺海域の水塊構造の再現性を高めている点にある。

このように、モデル研究の発展から現場観測に対する需要の増加が期待されるほか、特定の生物粒子の各年の輸送状況は、その生物の経年変動を考える上で重要なインデックスになると考えられる。

【低次生態系モニタリング】

現在中央水産研究所が継続的に実施している観測としては、東経138度上の「御前崎ライン」におけるものと、卵稚仔調査が挙げられる。前者はまだ10年弱の蓄積

であるが、まがりなりにも栄養塩や各サイズ区分のプランクトンについての包括的な観測であり、生態系の基礎的な理解という面で貢献は大きい。一方、産卵調査からは数十年間に亘るプランクトンネット試料が得られており、中田らがその分析から多くの成果をあげている。両者はそれぞれ時間・海域・内容に制限を抱えており、現状での連携は弱い。これらを整理し、主要魚種の産卵と初期成長が起きる冬から早春にかけての低次生産環境について継続的に観測できれば、経年変動を考察する有効な指標となるであろう。

【モニタリング指標について】

物理環境については海域をある程度カバーする形でのデータ収集体制が整っているため、これを維持することで海域の動向を押さえつつ、目的とする個々のトピックに応じた観測項目を設定／実施することが考えられる。

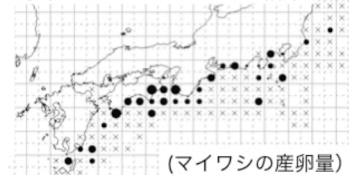
これに対し化学・生物環境については、観測項目がどうしても増えてしまい、維持に関わる労力が大きくなってしまう。正攻法としては、それを維持できるだけの体勢を整えることであるが、現状でそれが出来る海域は限られている。将来生じるトピックに対応するという観点からも、ルーチンとして基礎的な項目のモニタリングを継続する一方、保管できる試料は確実に保管しておき、後に必要となる分析に備えておくことも重要である。

2-3月

卵稚仔調査

広域
プランクトンネット
CTD, Chl. a

毎年のルーチンとしての結果

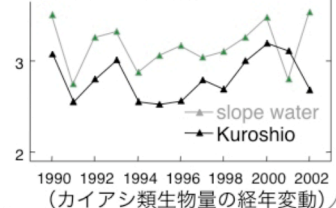


5, 7, 11, 1月

御前崎ライン

定線
低次生産系について
詳細な観測

蓄積した試料の解析



中央水産研究所による沖合域のモニタリング

シロザケ

帰山雅秀 (北大院水)・斎藤寿彦 (さけますセ)

キーワード：シロザケ，地球温暖化，生残率，密度依存効果

現在の大气中の CO₂ 濃度は，ポストーク氷床コア 42 万年間のデータ(Petit et al. 1999)と比較すると，氷河期と間氷期の規則的なサイクルから大幅にはずれ，間氷期の最高値よりも約 100ppmv 高く，その上昇速度は 10～100 倍早い。その他の温室効果ガス濃度も同様の速度で上昇しており，その要因は産業革命後の人間活動に起因する (GCP 2003)。それと連動して，地球表層気温の上昇速度も著しく，地球温暖化が確実視されている。この効果が海洋生態系にどのような影響を及ぼしているのか？ここでは，北海道系シロザケが受ける地球温暖化の影響を，その生活史，個体群動態および環境収容力から検討する。

シロザケのクリティカルな死亡時期は降海直後と最初の海洋越冬期である。沿岸水温と生残率との関係，鱗分析による成長バックカリキュレーションの結果などに基づく，オホーツク海へ回遊するほとんどの北海道系シロザケは，冬季の海水面積が少ない年ほど，夏季と秋季の表層水温 SST が高い年ほど成長がよく，生残率も高い(Figs. 1&2)。1990 年代以降，多くの北海道系の生残率は増加傾向を示すが，南方の北海道南部と本州北部の太平洋系の生残率はむしろ減少傾向を示す。このことは，もし地球温暖化が日本周辺海域とオホーツク海に影響を及ぼしているのであれば，北海道系のほとんどはオホーツク海において温暖化のプラスの影響を，北海道南部と本州北部の太平洋系は温暖化の負の影響を受けることを示唆している。事実，日本系より南方に位置する韓国系の生残率は 1990 年代以降著しく低い。

サケ属魚類の環境収容力と長期的な気候変動とはよくリンクし，環境収容力とアリューシャン低気圧指数(ALPI)の間には顕著な正の相関が観察される(Kaeriyama 2004)。環境収容力とバイオマスとの差を残存環境収容力と定義すると，北海道系シロザケの残存環境収容力と回帰親魚の体サイズとの間には顕著な正の相関が，また平均成熟

年齢との間には著しい負の相関という個体群の密度依存効果が観察される。北海道系シロザケのこの密度依存効果は，ベーリング海における環境収容力とバイオマスとの関数であるとみなすことができる。

地球温暖化の影響を SRES-A2 シナリオ (Kawamiya et al. 2005)とシロザケの最適水温 (Kaeriyama 1986; Ueno et al. 1998; Fukuwaka 2006) に基づき予測すると，北海道系シロザケは，生残率に關係するオホーツク海では 2050 年 8 月には最適水温エリアを消失し，2099 年にはほぼ壊滅状態になる，ベーリング海では 2050 年まで分布域の約 20%を失い，一部で密度依存効果が進行し，2099 年には壊滅状態となる，主な越冬域であるアラスカ湾では 2050 年まで現状を維持するが，2099 年にはアメリカ系個体群間と密度依存効果が顕著になることが予想された。

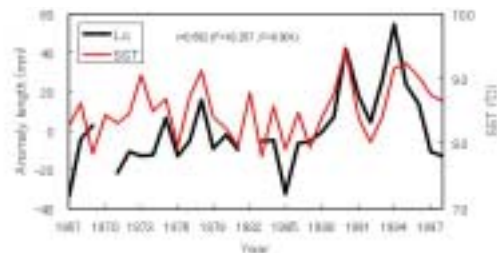


Fig. 1. Annual changes in the sea surface temperature (SST) during summer and fall, and anomaly of growth at the Okhotsk Sea (Lo) of the age-4 chum salmon returning to the Ishikari River. (Kaeriyama et al. *in press*)

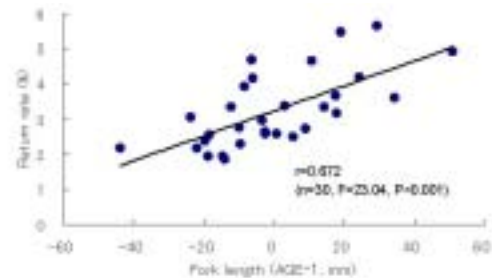


Fig. 2. Relationship anomaly fork length of juvenile Ishikari River chum salmon in the Okhotsk Sea and return rate in Hokkaido chum salmon population (1965-1997 brood years). (Kaeriyama et al. *in press*)

スケトウダラ

西村 明（北水研）・桜井泰憲（北大院）

キーワード：スケトウダラ、資源量変動、振動支配仮説、初期生活史

スケトウダラは北部北太平洋とその縁辺海に広く分布しており、産業上の重要種であることに加えて、海域の生態系においても鍵種として重要な位置にある。本種は北欧付近に源をもつものが、地球環境の変化に伴って、ベーリング海、さらには北太平洋およびその縁辺海に分布を広げてきたものとされている。冬季に比較的長期の産卵期をもち、孵化時期や初期成長にみられる変異幅も大きく、可塑性の高い生活史特性により、生残に有効な環境を利用しつつ分布を拡大してきたものと思われる。

本種は一般的には底魚として認識されているが、その卵は浮性卵であり、仔稚魚も生後半年間は中層に分布することから、初期生活史に限れば浮魚的な生態学的特質をもち、その分布や生残には海洋環境の変動が大きく影響する。資源変動のメカニズムについては、温暖なレジームではボトムアップ効果（初期餌料の供給）が大きく影響するのに対して、寒冷なレジームでは稚魚や未成魚に対するトップダウン効果（被食減耗）が影響するという、振動支配仮説が示されている。また、これらのボトムアップやトップダウンのような生態学的効果は、発育段階に伴って配置される複数のイベントにおける生残過程により調整されており（スイッチ仮説）、これにより年級群豊度が決定され、その資源量が変動しているものと考えられている。

現在国内で最も大きな漁獲を上げているスケトウダラ太平洋系群では再生産成功率（RPS）に年代による変動がみられており、加入水準を指標している。このような加入水準を決定する主要イベントの抽出とともに、海洋環境との関係を含んでそのプロセスに関する調査研究が進められている。北海道太平洋沿岸では親潮系の水塊が卓越している中で、津軽海峡を経て流入する津軽暖流水や、オホーツク海を經由して南西に流れる道東沿岸流あるいは沿岸親潮の挙動など、Basin Scale というよりは地域的な沿岸水塊の挙動が資源に及ぼす影響が注目されている。主産卵

場である噴火湾から東北沖に至る海域では、産卵期の沿岸親潮と津軽暖流水の水塊配置によって、卵仔魚の分布や仔稚魚の生残が影響されていることが示されている。また、春期の海洋環境は初期餌料環境とその後の餌料系列に影響し、仔稚魚期の生残や成長をボトムアップ的に支配する。さらに、着底する道東養育場における餌料環境と潜在的捕食者の多寡は、その年級豊度を決定するトップダウン的な要因として注目すべきところであろう。生活史特性の把握とともに、これらの発育段階での現存量推定値はその資源動態を指標して生残過程を把握するのに有効で、音響資源学的手法の展開が期待されている。

魚探の高度化は、仔稚魚の分布深度帯の視覚化を可能としており、3次元的な海洋環境情報と併せた解析は、より現実的な環境指標の抽出を可能にすることが期待される。資源評価および管理の高精度化に向けて、環境変動の影響を把握することが求められている。加えて、近年明らかになりつつある温暖化の影響が、この資源に対してどのような影響を及ぼすかということについては、先駆的な研究がある中で、メカニズムをも視野に入れた研究展開が必要とされている。

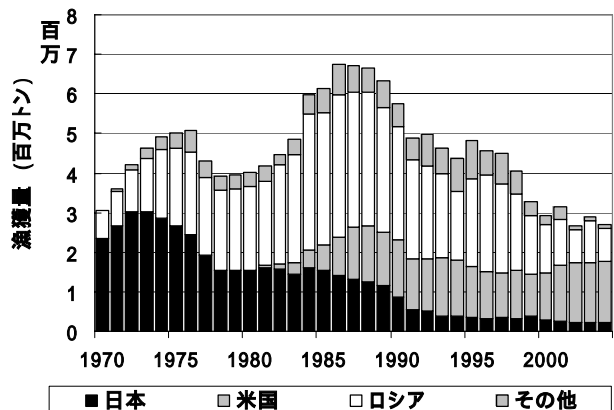


図 全世界のスケトウダラ漁獲量（FAO 統計）；1986年をピークにして世界の漁獲量は減少傾向が続いている。

マイワシ・カタクチイワシ・マサバ

° 谷津明彦・渡邊良朗

(北水研)(東大海洋研)

キーワード：マイワシ，カタクチイワシ，マサバ，カツオ，スルメイカ，生活史，資源変動

マイワシ，カタクチイワシ，マサバの太平洋系群は黒潮親潮生態系において卓越する浮魚類であり，この順に 10 年規模での交替現象が知られる．地球温暖化によるこれら 3 種の動態を検討するために，資源変動メカニズムとその指標に関する情報を取りまとめた．

【生活史・分布域】3 種とも黒潮域内側域を主な産卵場とし，夏～秋には親潮域に索餌回遊を行う個体が多い．3 種の分布域は高資源水準には東経 155 度以東へ拡大し，高水準期のマイワシ産卵場は本州中部～薩南沿岸から黒潮流軸の外側に拡大，高水準期のカタクチイワシ産卵場は移行域の外洋域に拡大する．3 種の生活史には異なる部分も多く，資源水準により変化する（表）．また，餌生物は成魚ではかなり異なるが，稚仔魚期でもデータは少ないが若干異なるようである．

	マイワシ	カタクチイワシ	マサバ
寿命	約 7 年	約 3 年	7 年以上
最大体長	25 cm	14 cm	40 cm
成熟開始年齢	1 才 (低水準期) 3 才 (高水準期)	1 才	2 才 (低水準期) 3 才 (高水準期)
産卵期	冬	春～冬	春
産卵場	本州中南部～九州の黒潮内側域 (高水準期には黒潮流軸の外側へ拡大)	本州北部～九州の沿岸 (高水準期には移行域の外洋に拡大)	本州中南部～九州
餌生物 (成魚)	珪藻，動物プランクトン (コベなど)	動物プランクトン (コベなど)	動物プランクトン (コベ，オキアミなど)，カタクチイワシ，イカ，サルバ
餌生物 (稚仔魚)	Paracalanus, Corycaeus, Oncea など	Corycaeus, Oncea, Paracalanus など	Neoacalanus, Eucalanus, Corycaeus など

【初期死亡率と水温・餌環境・捕食者】マイワシの初期死亡率の年変動は，摂餌仔魚から 1 才魚（加入）までの間に大きく，リッカー型再生産曲線からの加入量の残差（LNRR：再生産成功率（加入尾数÷親魚量）から密度効果を除いたもの）は冬季の黒潮続流南部の水温と負の相関がある．マサバの LNRR は冬季の北部伊豆諸島付近の水温と負の相関がある．また，初期死

亡率と関連する初期成長はマイワシがカタクチイワシに比べて最適水温が低い．黒潮親潮域の動物プランクトン密度や春季ブルームの時期は 10 年規模の変動を示すが，3 種の産卵期や初期生活場との時空間的マッチ・ミスマッチが魚種交替の一因と考えられる．水温以外に海流や混合層の経年変化も関連すると思われるが，よく分かっていない．捕食者との関係では，カツオとスルメイカの分布回遊および資源量変化と 3 種の初期生活の場とのマッチ・ミスマッチも魚種交替に關与すると考えられる

【魚種交替のメカニズム仮説と指標】アリューシャン低気圧が強化された時代に卓越するマイワシの資源変動仮説を図にまとめた．これとは逆にアリューシャン低気圧が弱まると，冬季の黒潮続流と常盤～三陸の水温が正偏差となりカタクチイワシの稚仔の成長率が改善，カツオやスルメイカが増加し生活の場の重複度の大きいマイワシが減少，などによりカタクチイワシに交替する．カタクチイワシからマイワシへの交替時にマサバが卓越するメカニズムとして，マイワシと同様に冬季の黒潮続流の低水温が初期生残に良好，餌となるカタクチイワシが豊富，が考えられる．

LNRR は研究対象系群（種）の資源変動に敏感な指標，資源量はローパスフィルターを経た指標で生態系の動態メカニズムに重要と考えられる．



サンマ資源の再生産と加入量変動

渡邊良朗

(東大・海洋研)

キーワード：サンマ・初期生活史パラメタ・加入量決定機構・繁殖戦略

目的 サンマ科魚類 Scomberesocidae は、太平洋、大西洋、インド洋から大型 2 種と矮小型 2 種の 4 種が報告されている (Hubbs & Wisner, 1980)。矮小型 2 種は主として低中緯度海域に分布するが、体長 30cm を超える大型種は中緯度～高緯度海域まで広く分布する。北太平洋のサンマ *Cololabis saira* は中緯度海域を横断して東西に連続的に分布するだけでなく、千島列島沿いやオホーツク海、ベーリング海、アラスカ湾の亜寒帯水域まで広い範囲に分布する。分布範囲が広いというサンマの特徴は、分布域すなわち回遊範囲に限らず、産卵活動の範囲にもおよぶ。外洋域において広い時空間を繁殖に利用しているサンマ資源の再生産の特徴を概説し、サンマの加入量変動様式と再生産戦略を考察する。

データ 1990～1999 年に行われたサンマ仔稚魚調査の結果を用いた。10 年間の仔稚魚 (5.9～40.0 mm) の分布密度と日齢データを用いて、成長曲線と生残曲線を求めた。成長曲線から体長 40 mm 稚魚の日齢とこの日齢までの平均成長速度を、生残曲線からは海面面積あたりの孵化仔魚および 40mm 稚魚の生産速度を求めて、それら初期生活史パラメタの経年比較と産卵海域間比較を行った (Watanabe et al, 2003)。

産卵期と産卵海域 西部北太平洋におけるサンマの産卵は、秋季 (9～12 月) には三陸・常磐沖合の黒潮親潮移行域において、冬季 (1～3 月) には黒潮海域へ南下して、春季 (4～6 月) には再び移行域へ北上して長期間継続する。産卵場の水温範囲は、秋の移行域では 12 - 21、冬の黒潮域では 16 - 20、春の移行域では 10 - 19 と広い範囲におよぶ。

孵化仔魚生産速度 体長 5.9～9.9mm の孵化仔魚生産尾数は 400～6000 fish/km²/day の範囲で経年変動した。仔魚分布密度から見ると 1990 年代の産卵活動は 1980 年代中盤に比べて極めて高かった。孵化仔魚生産尾数の変動係数は、秋 (移行域)65%、冬 (黒潮域)54%、春 (移行域)44%と、海域間で明瞭な差はなかった。

成長速度 体長 40mm 稚魚の日齢は 42 - 76 の範

囲で変動し、1980 年代中盤より遅かった。5.9mm～40mm に成長するまでの平均成長速度は 0.42 - 0.74mm/day の範囲で変動した。成長速度の変動係数は、秋 (移行域)17%、冬 (黒潮域)6%、春 (移行域)12%と、黒潮域で小さかった。

瞬間死亡係数 孵化から 40mm に成長する間の 1 日瞬間死亡係数は 0.04-0.16 の幅で変動した。瞬間死亡係数の変動係数は、秋 (移行域)35%、冬 (黒潮域)10%、春 (移行域)24%と、黒潮域で小さかった。

40mm 稚魚生産速度 新規加入量の指標となる稚魚生産尾数は、孵化仔魚生産尾数、成長速度、瞬間死亡係数の変動が累積する結果として、4 - 256 fish/km²/day の範囲で大きく変動した。稚魚生産尾数の 10 年間の変動係数は秋 (移行域)84%、冬 (黒潮域)40%、春 (移行域)68%と、やはり黒潮域で小さかった。

新規加入量決定機構 移行域では、稚魚生産尾数の変動係数が孵化仔魚生産尾数の変動係数より大きく、加入量は孵化後の成長速度と死亡係数によって決定されるために、親魚量と加入量に関係がないことがわかった。これに対して黒潮域では、稚魚生産尾数の変動係数が孵化仔魚生産尾数の変動係数より小さく、密度依存的な死亡過程が示唆された。安定な成長・生残過程と密度依存的生残によって、黒潮域における加入量は親魚量の関数として決定される。サンマは、加入量決定機構がまったく異なる移行域と黒潮域を産卵場として利用することで、イワシ類のような大きな資源変動を回避する繁殖戦略をとっている。

Hubbs CL & Wisner RL (1980). Revision of the sauries (Pisces, Scomberesocidae) with descriptions of two new genera and one new species. Fish Bull US 77, 521-566.

Watanabe Y, et al (2003). Growth and survival processes of Pacific saury *Cololabis saira* in the Kuroshio-Oyashio transitional waters. J Oceanogr 59, 403-414.

スルメイカ

桜井 泰憲・森 賢・後藤 常夫・木所 英昭・山本 潤

(北大院水) (北水研) (日水研) (日水研) (北大 FSC)

キーワード：スルメイカ、新再生産仮説、気候変化、資源変動

【はじめに】 イカ類が世界の海の卓越種となる時代が来るかもしれない。現に、夏 秋の日本海ではネクトン類の80%をスルメイカが占めていると言われている。ダイオウイカのような巨大なイカを除いて、その多くの寿命は1年以内と短命である。例えば、アメリカ太平洋側に生息するアメリカオオアカイカ(1年で体重 20kg 以上に成長)では、その急激な資源増加と分布拡大がマグロ類資源の減少の一因と疑われている。1年で食物連鎖の低次から高次捕食者に変身するイカ類は、海洋生態系の鍵種であり、気候変化に応答する指標種と言える。これまで演者らは、寒冷 温暖レジームシフトに応答するスルメイカ資源の変動のシナリオを提案し、寒冷レジーム期には、特に冬生まれ群が減少、温暖レジーム期には秋・冬生まれ群ともに増加すること、この資源変動は、気候変化に伴う冬季季節風の強さ、海面気温、再生産に適する表層水塊、季節的密度躍層の深度の変化に反応する再生産海域の拡大・縮小が、資源水準に大きく影響すると推定してきた。

そこで本報告では、気候変化にどのように反応して再生産の成否が決定するかについて、新再生産仮説を紹介する。さらに、この仮説に基づいて、寒冷・温暖レジームシフトに反応する資源変動の検証と、IPCC による温暖化シナリオ(第4次報告)に準拠して、21世紀におけるスルメイカの生活史、回遊、資源がどのように変化するかについて、現時点での解析結果を紹介する。

【新再生産仮説と再生産可能海域の抽出】 スルメイカの新再生産仮説は、「スルメイカの産卵場を含む再生産可能海域は、陸棚 陸棚斜面(100-500m)域の表層水温 18-23 (特に 19.5-23)で、表層暖水の混合層深度が中層に存在する海域」と新たに定義した。ここでは、その実験・実証の背景は省略するが、かなり限定された再生産に適した海洋条件設定することができた。

スルメイカにとっての好適な「再生産可能海域」が、季節的にどのように移動し、その範囲の拡大・縮小をモニタリングできれば、少なくとも翌年の資源水準が極端に変化することを予測できる。これに、標識放流や南下回遊時のスルメイカの漁場位置などから、その産卵回遊経路の変化をモニタリングし、さらに産卵場の拡大・縮小や移動を加えて解析すれば、その再生産の成否が予測可能である。同時に、気象のモニタリングによる冬季季節風の強さなどから寒冷 温暖レジームシフトが予知されるならば、より精度よくスルメイカ資源の資源動向予測も可能となる。

【過去・未来を通じたスルメイカ資源変動のシナリオ】

新再生産仮説から、陸棚斜面域(水深 100-500m)上で、

衛星画像などによって 18-23 (特に、19.5-23)の海表面水温(SST)の海域を抽出すれば、それがふ化したスルメイカ幼生が最も生残できる海域、つまり「再生産可能海域」とすることができる。また、索餌・成長期のスルメイカの分布は、50m 水深の水温条件(12-23)が適用できる。この場合の水温範囲は、日周鉛直移動するスルメイカの日平均水温とすると、12 水温条件では1-2週間しか飼育できないこと(現在研究継続中)、23 以上では衰弱死亡するという事実に基づいている。

以上に示したような本種の再生産から回遊までの環境条件を加味して、寒冷レジーム期、温暖レジーム期、さらに温暖化シナリオに準じて、特に気候変化に最も反応する再生産の成否を通じた資源変動シナリオを以下のように提案する。

- 1) **寒冷レジーム期(1970年後半-80年代):** 冬季季節風が強く、日本海の冷水域が拡大し、冬季鉛直混合が強化される。そのため、南下する産卵回遊ルートが対馬暖流勢力下の本州日本海沿岸に集中する。秋生まれ群の再生産海域は、この沿岸域に収斂し、冬生まれ群の東シナ海陸棚斜面上の再生産海域は、中国沿岸からの冷水に覆われて縮小するか、台湾北側に限定される。秋生まれ群よりも冬生まれ群が顕著に減少する。
- 2) **温暖レジーム期(80年代以降):** 冬季季節風は弱く、日本海の冷水域は縮小し、本種の産卵に適する密度躍層が発達する。産卵回遊は、秋・冬を通して産卵海域と連なる。再生産海域は、秋には日本海南西部・対馬海峡、冬には対馬海峡・東シナ海陸棚斜面域へと季節的に重複しながら形成される。冬季の再生産の成功は、ふ化幼生の黒潮内側に沿った太平洋北上ルートをもたらす。秋・冬を通じた再生産環境の好転により、冬生まれ群の増加が特に顕著となる。
- 3) **21世紀の温暖化シナリオ:** 50年後に SST が 2 上昇、100年後に 4 上昇とする。索餌回遊時の低温限界水温(水深 50m, 12)域は、50年で緯度にして1度北上する。主な再生産海域は100年間を通して、日本海から対馬海峡・東シナ海へとシフトする。産卵盛期は、現状は10月-2月(秋・冬群主体)であるが、50年後は11月-3月、100年後には12月-4月(冬・春群主体)へと変化して行く。ふ化幼生の北上輸送ルートも太平洋経由が増加し、今より長距離回遊となる。これによる資源水準の動向は特定できないが、寒冷期のような資源の激減はないと推定される。

ただし、あくまでも現在の温暖化シナリオに準じており、精度の良い短期、中期の気候変化予測によって、予測のシナリオは修正可能である。

NEMURO.FISH から NEMURO.SAN への展開

伊藤進一¹・Kenneth Rose²・Vera Agostini³・Larry Jacobson⁴・Bernard Megrey⁵・Francisco Werner⁶・岸道郎⁷・高須賀明典⁸

(¹水研セ東北水研・²LSU・³U. Miami・⁴NMFS-NFSC・⁵NMFS-AFSC・⁶UNC・⁷大院水産・⁸水研セ中央水研)

キーワード：魚類成長モデル・魚類個体群動態モデル・魚類回遊モデル

1. はじめに

PICES モデルタスクチームを中心に海洋低次生態系モデル NEMURO (North Pacific Ecosystem Model for Understanding Regional Oceanography; Kishi et al., 2006) が開発されてきた。さらに NEMURO によって算出される餌料動物プランクトン密度と水温を外力として、サンマあるいはニシンの成長を計算する低次生態系 - 魚類成長結合モデル NEMURO.FISH (NEMURO for Including Saury and Herring; Megrey et al., 2006; Ito et al., 2004) が開発され、環境変動に伴う魚類の成長変動が研究されてきた。その中で、サンマの成長に対し、マイワシによる餌料動物プランクトンの摂餌圧が影響を及ぼしていることが示唆された (Ito et al., 2006a)。このように、ある種の魚類の成長や生物量変動を考える際に、他魚種との競合などが無視できない場合がある。特にマイワシは、非常に大きな生物量を示す場合があり、他魚種への影響を無視できない。そのマイワシとほぼ逆位相の資源量変動を示す魚類としてカタクチイワシが有名である (Lluch-Belda et al., 1992)。さらに、太平洋の黒潮 - 親潮域、カルフォルニア海流域、フンボルト海流域でマイワシの資源量変動が同期していることが示された (Kawasaki and Kumagai, 1984)。マイワシの資源変動は、人類が利用している水産資源の中で、最も大きく、この資源が太平洋の各地で同期して変動することは、人類のタンパク源供給に不安定性要素を与える。幸いなことに、マイワシとカタクチイワシが逆位相を示し、また大西洋と太平洋のマイワシが同期していないため、最悪の事態は免れているが、そのメカニズムを解明しなければ、将来の環境変動によってどのように資源変動が起きるか予測することはできない。これらの観点から、NEMURO.FISH を拡張し、マイワシ・カタクチイワシの魚種交代のメカニズムを調べるためのモデル (NEMURO.SAN: NEMURO for Sardine and Anchovy) の開発に取り組むことが合意された (Ito et al., 2006b)。本報告では、その開発状況について報告する。

2. NEMURO.FISH のマイワシへの応用

NEMURO.FISH は一般的な魚類生物エネルギーモデルを用いて成長を計算しているため、生物パラメーターが求めればプランクトン捕食者の場合、容易に他魚種に適用できる。黒潮 - 親潮域のマイワシの生物パラメーターを過去の文献からまとめ、現実的なマイワシの成長を再現できるモデルを構築した (図 1)。このモデルを用いて、気象庁が整備した SST をマイワシの成長を計算した結果、1980 年代後半から顕著に仔魚期の成長が悪くなることが示された (図 2)。これは主に SST が高温化した影響を受けている。モデル内では、Takasuka et al. (2005) および Takahashi and Watanabe (2005) の結果をもとに摂餌能力の水温特性を定義しており、このため高水温期に成長が悪くなっている。しかし、未成魚期にはこの傾向は消えてしまう。

3. NEMURO.SAN の開発

前述したマイワシ版 NEMURO.FISH は単に NEMURO の出力を用いて成長を計算しているだけであるが、資源量が増大することにより起こる密度効果を表現するためには、個体群動態モデルと結合させる必要がある。ニシンを対象として結合版 NEMURO.FISH が Megrey et al (2006) によって作られている。これをマイワシとカタクチイワシに適用し、さらにその捕食者を含めた 3 種を 2 次元空間に配置し、回遊させるモデル NEMURO.SAN の基本形が作られた (Kenny et al., 2006)。このモデルの中で、それぞれの魚は最も成長がよい (生残確立も含め) 方向に回遊するように仮定されている。このモデルによって出力された産卵資源量変動を図 3 に示すが、このモデルでは、マイワシ・カタクチイワシの餌の競合、捕食者の影響などが含まれているため、両者の逆位相変動が起こるメカニズムを調べる一つの強力なツールになることが期待される。

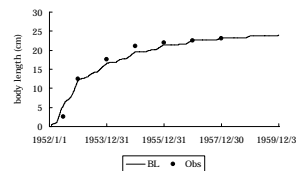


図 1. NEMURO.FISH で計算された体長と観測値。

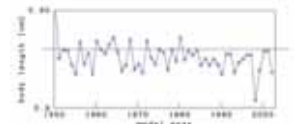


図 2. NEMURO.FISH で計算された体長の経年変動。

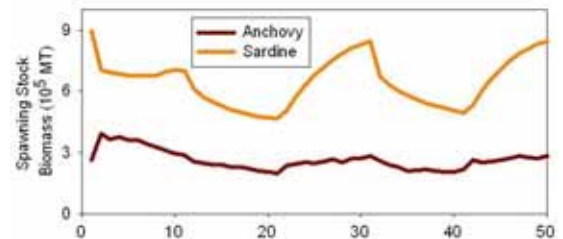


図 3. NEMURO.SAN で計算された親魚量変動。

参考文献

- Kishi et al. (2006) Ecol. Model., doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.08.021.
- Megrey et al. (2006) Ecol. Model., doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.08.020.
- Ito et al. (2004) Fish. Oceanogr., 13 (Suppl. 1), 111-124.
- Ito et al. (2006a) Ecol. Model., doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.07.046.
- Lluch-Belda et al. (1992) Fish. Oceanogr., 1, 339-347.
- Kawasaki and Kumagai (1984) Bull. Japan Soc. Sci. Fish., 50, 1657-1663.
- Ito et al. (2006b) PICES Press, 14, 16-17.
- Takasuka et al. (2005) Fish. Res., 76, 475-482.
- Takahashi and Watanabe (2005) Fish. Oceanogr., 14, 223-235.
- Kenny et al. (2006) PICES XV abstracts, P.71.

Ecopath/Ecosim モデル

○ 岡村 寛 (遠洋水研)

1. 研究の目的

黒潮・親潮および移行域の生態系の特徴と変動メカニズムをとらえるためにモデリングによるアプローチは有効であると考えられる。我々は北太平洋鯨類捕獲調査 (JARPN) の一環として、Ecopath/Ecosim を使用した三陸沖の生態系モデルを構築し、鯨類の捕食によるインパクトを評価した。本講演では、同モデルを使用して、低次生産や主要魚類・高次捕食者の生態系における役割を調査するとともに、今後の課題について議論を行う。また、他の高次捕食者の生態系モデルの情報なども簡単に紹介する。

2. 方法と結果

Ecopath/Ecosim は世界中で広く使用されている生態系モデルであり、さまざまな機能を有し、広範囲な分析が可能である。我々は、既存の情報を用いて三陸沖の Ecopath インプットデータを構築した。それを用いて各種の生態系の中での役割を調べた。一例として Mixed trophic impacts という機能を用いた結果を示す。これはある種の資源重量の増加が他の種の資源重量に与える影響を調べるためのものである。図 1 は、植物プランクトンの増加が主要な魚種に与える影響を見たものである。特にマイワシ (sardine) に対する影響が大きくなっているが、これはマイワシが成長すると植物プランクトンを餌とするため、直接的な影響が効

いているためであると考えられる。カタクチイワシ (anchovy)、サンマ (saury)、サバ (mackerel) に対する効果は比較的よく似ているが、サバの食性はより複雑であることを考えると意外な結果に思われる。

3. 議論

生態系モデルを用いた分析では、単一種や 2,3 の種を用いた分析では見られない間接効果により我々が考えもしなかった結果を見せる場合がある。そのような結果は生態系の管理・保護に有効な情報となりえるものである。しかし、生態系モデルは一般に多くの情報・仮定を必要とし、かなりの不確実性を伴う。それに基づいた漁業管理を行う場合には、注意が必要である。

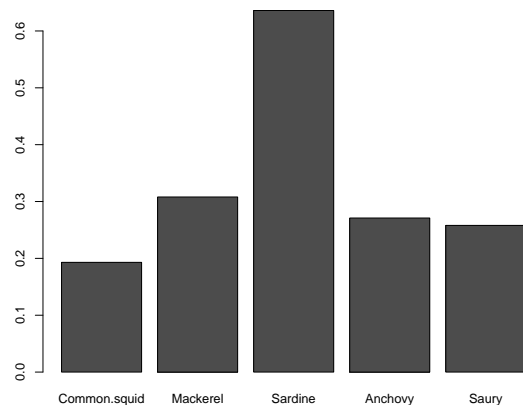


図 1. Mixed trophic impacts の結果。植物プランクトンの増加が主要魚種に与える影響の相対値。

モニタリングおよび PICES Ecosystem Status Report

齊藤 誠一（北大院水）

キーワード：モニタリング・NPESR・指標・アップデート

はじめに

PICES の CCCC プログラムにおける 4 つのタスクチームのひとつが MONITOR であったが、その枠組みから離れて 2 年前より TCODE と同じ MONITOR 技術委員会 (TC) になった。North Pacific Ecosystem Status Report (NPESR) の改訂に関することがその任務の中でも中心である。ここでは MONITOR TC の役割について概要を述べ、NPESR の改訂や生態系の変化をとらえる典型的な指標や、いかにその指標を選んで継続してモニタリングすることが重要であるかについて議論する。

MONITOR TC の役割

これまで、CCCC の活動の中で、MONITOR は北太平洋の海洋生態系および海洋環境のモニタリングの重要性や、長期モニタリングライン・観測点の維持の必要性をサポートしてきた。さらに、Coastal GOOS や Near-GOOS などとのリエゾン活動、あらたな CPR (Continuous Plankton Recorder) アドバイザリパネルの設置をおこない、北太平洋のモニタリング活動へ貢献することを目指してきた。測定方法の相互

検証や標準化についても議論し、最新のモニタリング技術のアセスメントもその活動のひとつであった。

現在の TC の役割は大きく次の 2 つである。

- (1) NPESR のアップデートへの貢献
- (2) North Pacific GOOS 構築への貢献

NPESR とその改訂

NPESR は 2004 年に出版された。総ページ数 277 ページで、10 の地理的な海域にわけられ、特にマグロ類、サケマス類、オヒョウ類の 3 魚種について詳細な現状の報告がなされている。現在 NPESR の成果物として、(1) 生態系の変化を捉える時系列な生態系指標、(2) 生態系変化の現状レポート、(3) アウトルックの 3 つが考えられる (表 1)。(1) は Web 上で、(2) は Web 上もしくは印刷物で、(3) パンフレット形式で特に政策決定者へのサービスを念頭に考えている。その改訂の頻度が議論されているが、年に 1 回、3-5 年に 1 回、5-10 に 1 回のような頻度による改訂が議論されている。

表 1 NPESR の改訂に関する基準

Product	Audience	Period	Form	Who
Time Series	Scientists, Public	Annual	Web	?
Syntheses / Interpretations of Ecosystem Status	Scientists, Public, Policy Makers	3 - 5 yr	Web & Hardcopy	Working Group
Outlooks	Policy Makers	5 - 10	Brochure	Study Group