



海洋学の最前線と次世代へのメッセージ
—杉本隆成教授退官記念号—

地球温暖化一僅かな水温変化が海洋生物資源を変える

桜井 泰 憲

Stock fluctuations and changes of marine living resources related to global warming

Yasunori Sakurai

さくらい やすのり：北海道大学大学院水産科学研究科

日本の水産海洋学の先駆者・宇田道隆先生は、その著書の中で「海洋生物は多様な環境的（水理生物学的）条件にしたがって分布し、その条件によって繁栄できる」ことを明記している。21世紀中の気温上昇は1～4℃と推定されている。これが多様な海洋生物の全生活史を通してどのような影響を及ぼすのか。私たちは、これから何を研究するべきか。

1. はじめに

地球温暖化に伴う海洋生物資源と漁業への影響が懸念されている（杉本，1998；Kawasaki, 2001）。地球上での生命誕生以降，生物は様々な転変地異の影響を受け，あるものは死滅し，あるものは反映してきた。人類誕生以降の歴史の中でも，人類大移動や文明の繁栄と崩壊は，地球規模での寒冷化や温暖化という気候変化の影響を大きく受けている。21世紀に入り，私たちは否応なく地球温暖化という言葉に耳にし，日常生活においても桜前線に代表される春の訪れの早さや，真夏日の長さから，足音もなく近づいてきた事実の重さを感じている。ところが，暑ければ冷房，寒ければ暖房という近代生活の中で，私たちはたった1℃の気温変化に気づくことはない。ただ，野や庭に咲く花と街路樹の紅葉などからその気配を感じるだけである。

それでは，海の生き物にとって僅かな水温変化が，どのような影響を与えているのだろうか。日本の水産海洋学の先駆者・宇田道隆先生は，その著書の中で「海洋生物は多様な環境的（水理生物学的）条件にしたがって分布し，その条件によって繁栄できる」ことを明記している（宇田，1960）。21世紀中の気温上昇は1～4℃と推定されている（IPCC）。20世紀末から21世紀の地球環境の将来への不安と関心が高まっている。例えば，南極上空に見られるオゾンホール拡大，産業革命以降の活発な人間活動による大気中の炭酸ガス濃度の増加，南極・北極の海水や氷河の溶解，それに伴う海面上昇などのニュースに触れる機会が増えている。身近な海の生物では，1950年代のニシンと

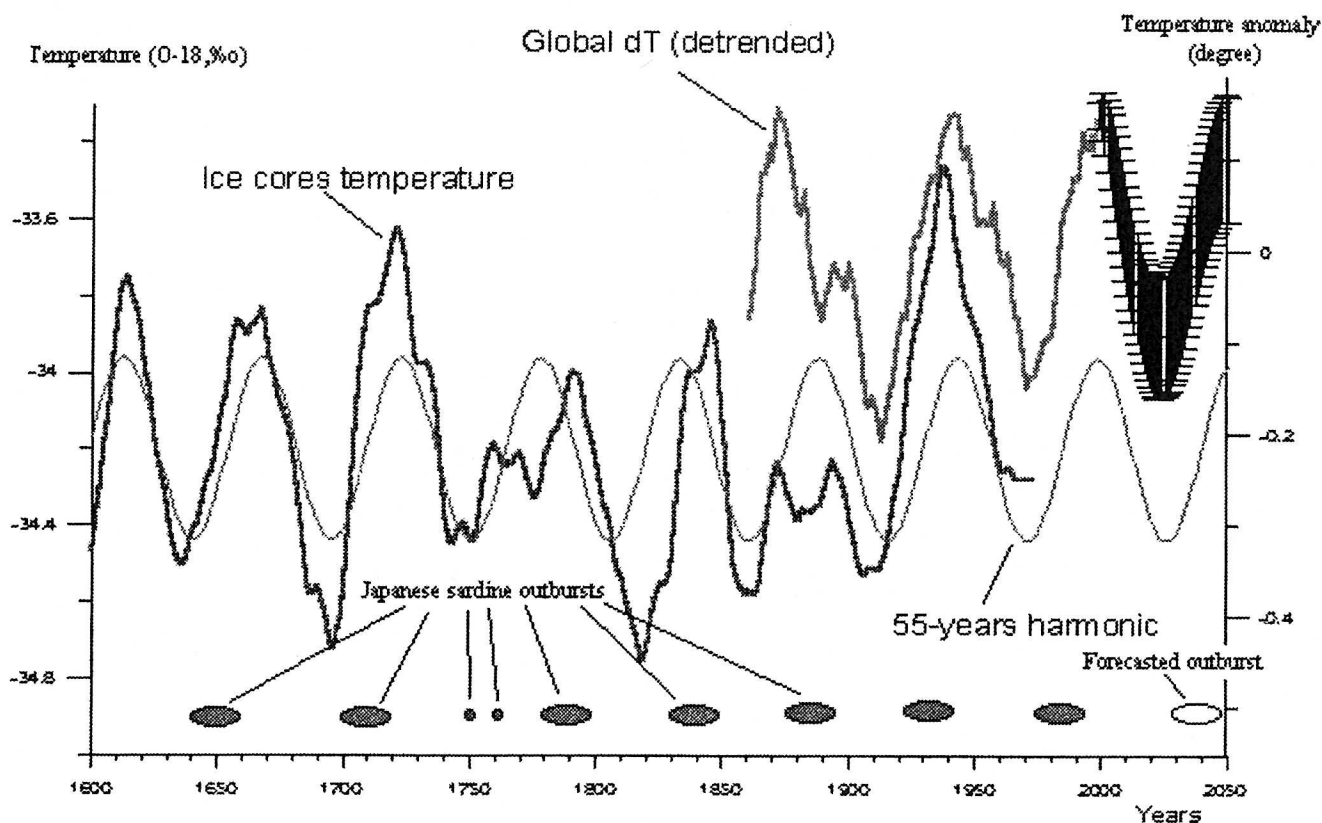


図1 古文書などから類推した過去400年間の日本のマイワシ豊漁期と気温変動(アイス・コアに基づく気温と、1880年代以降は実測気温)との関係。約55年周期のハーモニーが認められる(Klyashtorin, 2001)。

1980年代のマイワシ資源の激減、サケの小型化や資源変動なども海洋環境変化と温暖化による可能性が指摘されている(Kawasaki, 2001, 2002; 川崎, 2003)。

2. 周期的な海洋生物資源変動と気候変化

人が生活している陸上での気温の変化の範囲は、マイナス60℃からプラス50℃と100度以上もの変化がある。では、水中かというと、海水が凍る温度は、およそマイナス1.8度、熱帯の海でもプラス30度前後であり、陸上よりもはるかに温度変化は少ない。それでも、僅かな水温変化が海洋生物資源の変動に与える事例が最近注目されている。ロシアのクリアシュトーリンは、過去数百年の気温変化を、アイスランドの氷河の中に閉じ込められた大気同位体を用いて約55年で温暖・寒冷の周期的変動とマイワシの資源変動と一致する

現象を報告している(Klyashtorin, 2001; 図1)。マイワシは55年周期の寒冷な谷間から温暖へと向かう時期に爆発的な資源の増加が起きている。一方、カリフォルニア沖の無酸素な海底に堆積されたマイワシとカタクチイワシの鱗の体積状況と安定同位体による地質年代推定からも、紀元2世紀以降、両種が約50～60年周期で増えたり減ったりしていることも明らかにされている(Baumgartner *et al.*, 2000)。クリアシュトーリンの資源変動仮説に従えば、日本の海に再びマイワシが復活する時期は、2040年ころとなる。つまり、漁業という海洋生物資源への強制的な圧力による資源変動だけではなく、地球規模での気候変化が海洋生物資源の盛衰にも大きな影響を与えている。

しかし一方では、産業革命以降の石炭・石油などの化石燃料の利用に伴って気温は上昇し、特に20世紀に入って以降は急激な温暖化が心配され、

ふ化後の生残好適海域の抽出例(0歳魚多)

(0歳魚少)

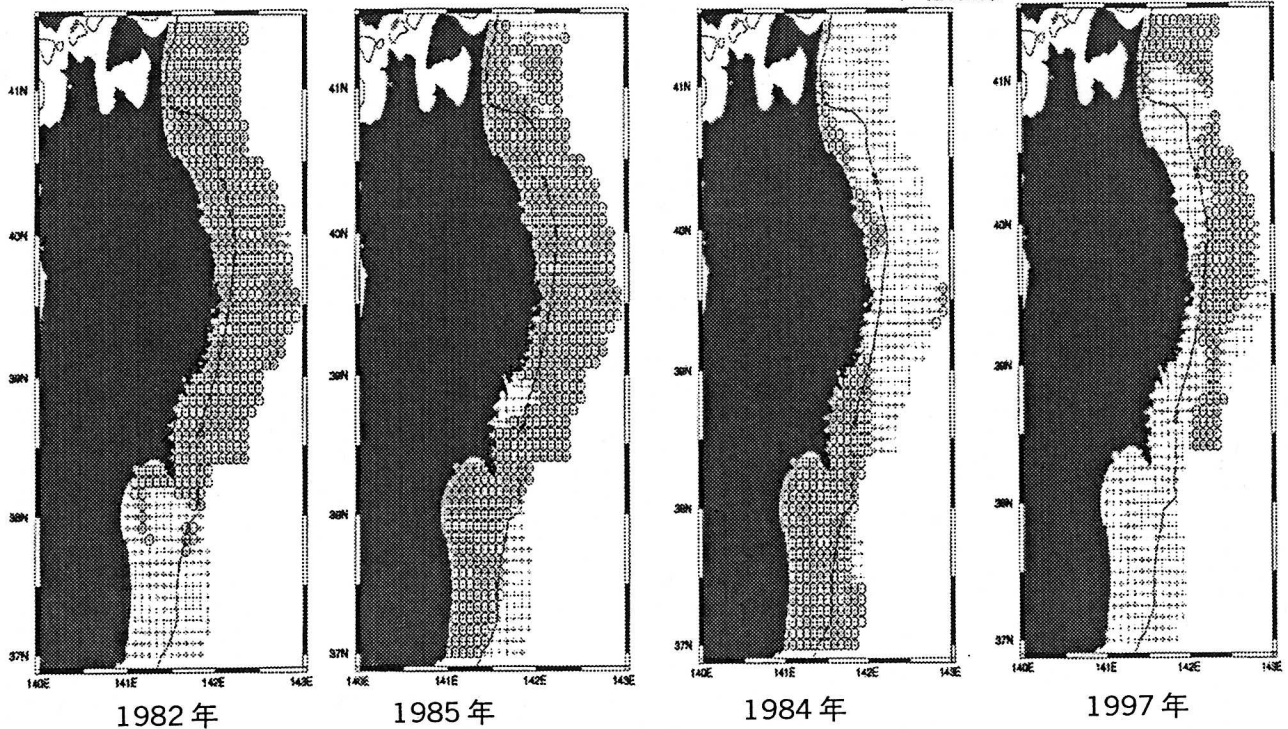


図2 東北海域(3月)におけるスケトウダラふ化仔魚の生残可能海域(水温 $2\sim 8^{\circ}\text{C}$)の抽出例(5分メッシュ海域に○で示した). 1982, 1985年は親潮が東北沿岸に接岸し、スケトウダラ0歳魚が多い. 1984年(異常寒冷年)と1997年(温暖年)は、200m以浅の陸棚域を、 2°C 以下、 8°C 以上の水塊が覆い、0歳魚が少ない.

海洋の平均表面水温も過去100年間に 0.6°C の上昇が報告されている. このまま行けば、今までの寒冷・温暖の周期は、温暖化という右上がりの上昇曲線の中で生じる現象となり、将来の温暖期にはこれまで経験したことない気温となる可能性がある. 温暖化という右上がりの水温上昇の中では、寒冷の谷間の温度は、過去の温度よりもはるかに高くなってしまふ恐れがある. もし、そのようなことが起きれば、マイワシ資源の復活はないかもしれない.

3. 海洋生物の生態と適水温を調べる

私たちは、1970年代の大学院学生のころから、多くの仲間と一緒に北太平洋に生息するタラ類とイカ類の繁殖生態を調べてきた. これまでに、スケトウダラ、マダラ、コマイという北海道でもなじみのあるタラ類のほかに、北極洋とその周辺の

マイナスの水温に生息するホッキョクダラの飼育に挑戦し、これら4種の産卵行動や卵・稚魚の生残可能な水温などを明らかにしてきた(レビュー, 桜井, 1997). さらに、イカ類ではスルメイカとヤリイカの繁殖生態と卵・幼生の生残可能な水温などを調べてきた(レビュー, 桜井, 2001). イカやタラは一体何度の水温で生存できるか、卵や稚魚が正常に生きることのできる水温はなど、実験的な確認が大切である. 自由に最適な水温などの環境条件を能動的に選択できる成魚とは違って、生まれた卵や稚魚はほとんど環境変化に対しては受動的である. そのため僅かな環境変化は、その生き残りに致命的な打撃を与えることとなる. これも、実際に各海洋生物を飼育して自然産卵や人工授精によって卵発生や稚魚を育て、種ごとの最適に生存できる水温範囲などを確かめなければならない.

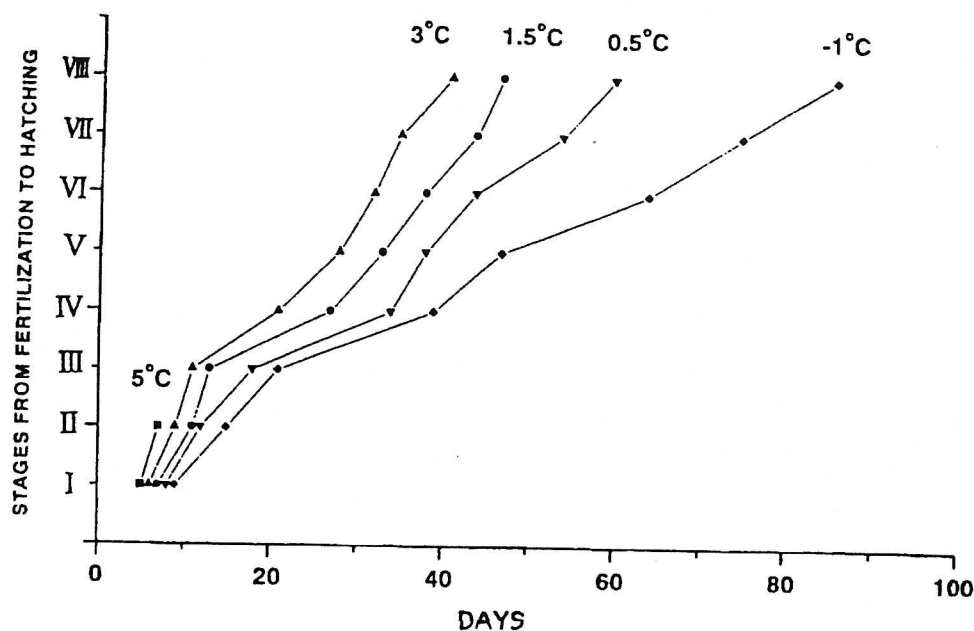


図3 ホッキョクダラの卵発生と水温の関係. -1~3°Cの範囲で正常発生とふ化が生じ, 5°Cでは卵発生初期で死亡する (Sakurai *et al.*, 1998).

4. スケトウダラは気候変化に応答して資源が変わる

スケトウダラとマダラは重要な水産資源であるため, その資源の動向が注目されている. 最近では, 青森県陸奥湾を産卵場とするマダラ漁獲量の激減, あるいはベーリング海, オホーツク海や北海道周辺のスケトウダラにも漁獲量の減少が心配されている. これらタラ類資源の変動の解明, 資源の維持あるいは増やすためには, 両種の繁殖の特徴を考慮して, 資源管理および資源の培養方策を検討する必要がある. スケトウダラは, 卵稚仔が表層水の動きに依存して生残できる海域を産卵場として選択していると考えられる. 卵と稚魚が生残できる水温は, およそ1°Cから8°Cの範囲であり, 本種は産卵に適した水温の水塊内で, 雌雄一対による雄が雌を腹鰭でさかさまになった状態で抱き, 中層で産卵していると想定される. すなわち, 産卵に適した水塊の時期的・地理的移動が生じたとしても, それに併せて産卵場所を移動・選択できる水塊依存型産卵をしている. しかも, 長い産卵期間に繰り返し産卵することによって, いずれかの産卵された卵が生残できるという繁殖戦略をしている (桜井, 1997). 桜井 (2005) は,

1970年以降の東北海域におけるスケトウダラの漁獲量と, 東北海域沿岸の水温を比較した. その結果, およそ2~8°Cの親潮系混合水が2~3月に東北沿岸に接岸する年代が続くとスケトウダラ漁獲量が増加し, 逆に2°C以下の冷たい親潮系水が接岸した年や, 8°C以上の暖水が沿岸を覆っていると漁獲量が激減することを明らかにしている (図2). 特に1990年代からは暖水が覆うことが多く, この年代からスケトウダラの漁獲量が急激に減少している. このように, スケトウダラは卵・稚魚の時代に生き残れる適水温帯の中で成長し, その後陸棚へと移動できることが資源の増加につながっている. 温暖化が続けば, 東北海域まで広がっていたスケトウダラの生息場所は, 次第に北海道より北へと偏って行くことになる.

5. マイナスの海でのみ生活できるホッキョクダラ

それでは, もっとも北の寒い海に生息するホッキョクダラ, *Boreogadus saida* について触れたい. この魚は, 成魚でも全長20cm, 体重100gほどで, 年齢は7~9歳と成長は極端に遅い. 同じ年齢のマダラであれば全長70cm, 7~9kgに相当する. ホッキョクダラは, 北大練習船「おしよる丸」が

ベーリング海の北とベーリング海峡を越えて北極洋のチュクチ海でのトロール調査の時、あがって来た最後の袋網をあけた際に、ピチピチと元気に生きている魚がいた。ホッキョクダラである。これをバケツに入れるとその中で何事もなかったように泳いでいた。これを見て、この魚をはるか大学のある函館まで運ぼうと考えたのがこの魚の研究の始まり、船の実験室の冷却水槽に入れて函館まで飼育しながら輸送した。飼育水温が5℃を超えようものなら今にも死にそうになってしまう。大学では、3℃以下に水温を保てる低温恒温器内に水槽を入れて約3年間飼育し、成熟した雌から卵を取って人工授精を行い、その卵と稚仔魚の適水温と塩分濃度を調べた(Sakurai *et al.*, 1998)。この魚の卵の正常な発生は、マイナス1.5℃から3℃の範囲であり、タラ類の中では最も低い水温に適応している(図3)。また、不思議なことに卵発生途中では低水温には強いが、塩分が低下すると死亡する。しかし、ふ化仔魚は低水温と低塩分に耐えられる。ホッキョクダラの卵は浮遊性で冬の間産卵され、おそらく海表面の氷の下でゆっくりと発生を進め、その氷が溶け出す4~5月にふ化すると推定される。ホッキョクダラは、厳しい寒い海に適応して生きている。もし、温暖化が進むならば彼らの生活の場所は、さらに北の海へと移って行き、やがて絶滅を迎えることになる。

6. おわりに

多種多様な海洋生物の資源変動に対する気候変化の影響は、限られた知見しかない現状ではあるが、タラ類を例に紹介したように、僅か1℃の水温変化によって生死が分かれるほど非常に敏感に応答している。100年間で1~2℃の海水温の上昇は、海洋生物にとって死活問題である。短・中長期の気候変化に伴う海洋生物の資源変動を解明するに当たり、個々の生物の生活史を通した環境変化に応答したメカニズムの解明という地味な研究も大切である。もし、その情報が蓄積されれば、地球規模での温暖化や海洋環境のレジームシフトなどのような海洋環境のダイナミックな動態の中

での個々の生物の生残プロセスに基づく資源変動予測へと展開できるはずである。「いきもの」としての海洋生物の研究は、こつこつと長い階段を一段ずつあがって行く風景にも似ている。

参考文献

- [1] 杉本隆成(1998): 地球温暖化の海洋生物資源への影響, 生物資源科学, 1: 4-11.
- [2] Kawasaki, T. (2001): Global warming could have a tremendous effect on the world fisheries production, J. Int. Fish., 4, 17-21.
- [3] 宇田道隆(1960): 「海洋漁場学」, 水産学全集 16, 恒星社厚生閣, 347pp.
- [4] Kawasaki, T. (2002): Climate change, regime shift and stock management, Fish. Sci., 68 (Supplement I), 148-153.
- [5] 川崎 健(2003): レジーム・シフト研究の現在の意義, 月刊海洋, 35, 75-79.
- [6] Klyashtorin, L. B. (2001): Cyclic change of climate and main commercial species production in the Pacific. Report of a GLOBEC-SPACC/APN Workshop on the Causes and Consequences of Climate-induced Changes in Pelagic Fish Productivity in East Asia, GLOBEC Report, 15, 24-26.
- [7] Baumgartner, T. R., D. Holmgren and V. Ferreira (2000): Evidence from sedimentary records of fish scale-deposition, presented at Beyond El Nino: A Conference on Pacific Climate Variability and Marine Ecosystem Impacts, from the Tropics to the Arctic, March 23~26, 2000, La Jolla, California, U. S. A.
- [8] 桜井泰憲(1997): 水槽の世界から海洋を覗く. 東大海洋研シンポジウム「総特集: 水産科学と海洋科学」, 月刊海洋, 号外, 12, 67-74.
- [9] 桜井泰憲(2001): 気候変化とイカ類資源の変動, 「総特集: 大規模大気海洋相互作用, 一数十年スケール変動の実態と機構」, 月刊海洋, 号外, 24, 228-236.
- [10] Y. Sakurai, K. Ishii, T. Nakatani, H. Yamaguchi, G. Anma and M. Jin (1998): Reproductive characteristics and effects of temperature and salinity of development and survival of eggs and larvae of Arctic cod, *Boreogadus saida*. Memories of Faculty of Fisheries, Hokkaido Univ., 44, 77-89.
- [11] 桜井泰憲(2005): スケトウダラ太平洋系群の資源変動に与える海洋環境変化の影響. 平成16年度資源動向要因分析調査報告書, 平成17年3月, 水産庁増殖推進部漁場資源課・(独)水産総合研究センター, 4-5.

