

(公財)農学会・日本農学アカデミー共同主催

公開シンポジウム

講演要旨

変わりゆく海の環境と海の恵み

2024年3月30日(土) 13時00分~17時25分

後援：東京大学大学院農学生命科学研究科
ワールドウォッチジャパン

講演要旨 目次

はじめに	3
(公財)農学会会長 丹下 健	
気候変動下における海の環境と生物生産	4
水産研究・教育機構 水産資源研究所 小埜 恒夫	
地球温暖化で魚の大きさは変わるの？日本周辺の魚に注目して	6
東京大学大気海洋研究所 伊藤 進一	
わが国のサケに及ぼす地球温暖化の影響	8
北海道大学北極域研究センター 梶山 雅秀	
温暖化がおこした藻場の変化	10
長崎大学海洋未来イノベーション機構 グレゴリー 西原	
水産物生産流通販売における新課題： ネイチャーポジティブとカーボンニュートラルにどう取組めばよいか	12
東京大学大学院農学生命科学研究科 八木 信行	
講演者プロフィール	14

はじめに

大雨や干ばつなどの異常気象が世界各地で頻発し、気候変動が顕在化しています。気候変動の原因は、大気中の温室効果ガス濃度の上昇による地球温暖化です。国連気候変動枠組条約締約国会議（IPCC）では、産業革命前に比べて世界の年平均気温の上昇を 1.5℃以内に抑えることを目指すとしたパリ協定が合意されました。現在の年平均気温は、産業革命前に比べてすでに 1℃以上も上昇しており、近年では世界の年平均気温の最高値の更新が続いています。このままの経済活動が継続すると今世紀末には 4℃上昇すると予測されています。

地球温暖化に伴い海面水温も上昇します。大気二酸化炭素濃度の上昇は、海水に溶け込む二酸化炭素量を増加させ、海水を酸性化させます。海面水温の上昇は、海水に溶け込む酸素量を減少させます。地球温暖化は、海洋生物の生育環境にも大きな影響を与えることとなります。近年、多く報道されるようになった日本近海で獲れる魚種や漁獲量の変化も、海の環境変化によるものと考えられています。

魚介類は、主要なタンパク質源であり、世界的にも消費量が増えています。天然の魚介類は、他の動物性タンパク質と比較して、食品の生産過程における温室効果ガス排出量が少なく、カーボンニュートラルな社会の実現においても重要な食料です。魚介類に対する世界的な需要量の増加に伴って、資源量の持続性が危惧される魚種も増えてきています。SDGs でも、目標 14「海の豊かさを守ろう」が掲げられて、緊急な対策の必要性が示されています。海の豊かさを守り、海の恵みを将来にわたって享受し続けるためには、地球温暖化緩和策とともに、資源保全のための漁獲量管理や未利用魚の流通促進、食品ロス削減など、海産物資源の持続性を高めるための食料システムの変革などの適応策も求められます。

共同主催団体である日本農学アカデミーとは、昨年 4 月に、「食の未来 –タンパク質食品–」と題する公開シンポジウムを開催しました。生産過程での GHG 排出量が多い肉類に代わるタンパク質食品なども取り上げ、地球温暖化の緩和と食料生産の両立に向けた取り組みについて紹介いたしました。今回は、日本人にとって重要なタンパク質源である魚介類を取り上げ、海洋環境の変化が我々の食に与える影響についての最新の科学的知見を共有し、持続可能な社会に向けて我々に何ができるのか、何をすべきなのかを考える機会といたしたく本シンポジウムを企画いたしました。ご参加いただいた皆様にとって有意義な時間となりますことを願っております。

最後になりますが、ご多忙のなか、ご講演をお引受け頂きました登壇者の皆様に深く感謝いたします。

公益財団法人 農学会
会長 丹下 健

気候変動下における海の環境と生物生産

小笠恒夫

(国研)水産研究・教育機構

1. はじめに

人類活動に起因した気候変動の影響はすでに海洋にも及んでいることが明確になりつつあり、2019年には気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が海洋と雪氷圏への気候変動影響に特化した特別報告書を作成するまでになっている。この報告書の中では海水温の上昇、酸性化の進行、溶存酸素濃度の減少、純一次生産力の現象等の様々な気候変動影響が記述されているが、これらの個々の影響の現れ方は個々の海域の地理的・海洋学的条件によって様々なこととなり、またそれらの変化に対する海洋生態系の応答も海域、季節、あるいは人類による利用状況等に応じて大きく変化する。この講演では、主として日本近傍の海域において気候変動によって生じたと考えられている海洋環境の変動と、それらに対する低次生態系の応答について概観してみたい。

2. 水温の上昇と低次生態系の分布変化

現時点において海洋生態系に最も大きな影響を与えている気候変動要素は水温の上昇である。世界全体では100年あたり0.6°Cの速度で海面水温の上昇が起きている。日本近海で観測されている海面水温の上昇速度はそれよりも大きく、太平洋近海域で100年あたり1.0°C～1.7°C、日本海では1.5°C～1.9°Cにもなっている。日本近海では単純な水温の上昇に加えて、黒潮や対馬暖流といった日本近海を流れる暖流の勢力強化の影響も受けていることが理由と考えられる。こうした水温上昇に伴って、個々の生物にとって適切な水温帯が北上しつつある。これは冷水性の生物にとっては適正水温海域面積の減少を意味するが、暖水性の生物でも生息下限水温線の北上速度よりも上限水温線の北上速度が早ければ、やはり適正水温海域面積は減少することになるので注意が必要である。実際に、沿岸の海藻類や魚類の分布域が北上を開始していることがすでに複数の論文で報告されている。系統的なデータの限られる外洋域でも、西部北太平洋域において暖水性動物プランクトンの分布域の北上が確認されている。

こうした継続的な水温分布の変化に上乗せされる形で、近年は過去数十年に観測されたことがないような極端な高水温の発生現象（海洋熱波）も、各所で頻発するようになってい

る。このような極端現象は短期であっても生態系に大きな影響を引き起こすため、特に監視が必要である。

3. 海の成層強化と表層栄養塩の減少

海は海面への日射が主な熱供給源なので、ちょうど風呂を上から温めているのと同じ状況になっており、表層付近に暖かくて軽い水塊、それより下により冷たくて重い水塊が分布する成層構造をなしている。海での光合成活動は太陽光の届くごく表層付近のみに限られており、またそこで作られた有機物の多くは重力によって表層から下層に向けて沈降していきながらバクテリア等により分解されていく。これらの結果、海の中ではリン・窒素等の栄養塩

の濃度分布も表層で低濃度、下層で高濃度となる成層構造を示す。反対に溶存酸素濃度は表層で高濃度、下層で低濃度となっている。

気候変動によって表層水温が上昇することは、この成層構造を強化することにもつながっているため、海洋表層の栄養塩濃度は経年的により減少していくことが予測されている。実際に北太平洋では、海洋表層のリンとケイ素の濃度が継続的に減少していることが確認されているが、興味深いことに海洋表層の硝酸濃度には減少傾向が見られない。気候変動による海洋の成層強化の一方で、人類活動によってアジア大陸から大気経由で北太平洋に運ばれる窒素化合物の量が経年的に増加していることが確認されており、この両者が相殺することによって、リンとケイ素の減少にかかわらず硝酸塩濃度だけが一定に保たれていると推定されている。これは北太平洋外洋域の表層における栄養塩の濃度比が経年的に変化し続けていることを意味しており、この現象が植物プランクトンの群集組成や生産力に与える影響について今後の研究が必要である。

太平洋亜熱帯域ではこの栄養塩供給の減少により、表層の一次生産力が経年的に減少していることが確認されている。一方北太平洋の亜寒帯域では成層化によって表層栄養塩濃度が低下する一方で、風等による混合によって植物プランクトンが光の弱い下層までかき混ぜられてしまう深さ（混合層深度）が減少するので、植物プランクトンの光条件は改善する。この結果、北太平洋の亜寒帯域では栄養塩濃度の低下にもかかわらず、植物プランクトンの一次生産力は増加していると考えられている。

4. そのほかの気候変動影響と、高次生態系の複合的な応答

現在広域的に影響を及ぼしている気候要素は上記の水温上昇と成層強化の二つだが、このほかにも海流構造の変化や生物季節の変化、貧酸素化、海洋酸性化など、ケースバイケースで生物に影響をあたえる環境変動が数多く存在している。現実の生態系はこれら多数の変動から複合的な影響を受けているので、個々の海域・生態系の気候変動に対する応答は極めて複雑である。例えば、親潮域では成層強化による表層栄養塩の減少の影響が光条件の向上の影響を上回り、その結果春季の一次生産力は減少しているが、それにも関わらず動物プランクトンの現存量は減少傾向を示していない。これは、気候変動によって水温が上昇するだけでなく、春の到来時期も早期化しているため、動物プランクトンのうち早春期に成長を開始する種にとってはかえって餌条件が好転し、この群集の現存量が増加していることで晩春期成長種の現存量減少を相殺しているためという説明がなされている。また宗谷地方の昆布群集は、水温上昇により配偶体や幼胞体の成長は好転しているにも関わらず、同時に成長が好転したウニ類の増加により捕食圧が高まったことで、現存量が低下している可能性が指摘されている。後者の例では複数の環境要素の影響を考慮するだけでなく、単一の気候変動要素の変動が種間関係を通じて複数の影響を及ぼすことも考慮する必要がある。

したがって、個々の海域・生態系に対する気候変動の影響を評価する際には、まずその海域の生態系やその生産力が維持されている仕組みを理解した上で、その個々の仕組みに気候変動がどのような影響を与えるかを詳細に吟味していくことが重要である。

地球温暖化で魚の大きさは変わるの？日本周辺の魚に注目して

伊藤進一

東京大学大気海洋研究所

1. はじめに

魚類は自律的に水温を調節することができない外温動物であるため、地球温暖化に伴う水温上昇によって、自身の適水温帯にあわせた調節が必要となる。適水温を得るためには、適水温帯へ移動する、もしくは適水温帯にあうように季節的な周期を変える必要がある。このため、(1) 極方向もしくは深層への分布移動、(2) 季節的シグナルの早期化(産卵時期や回遊開始時期が早まる)が多く魚類、海域で確認されている。一方で、そのような調節が不十分なために適水温帯から外れてしまうと様々な影響を受ける。このため、上記2つの魚類の応答に加え、第3の反応として、(3) 温暖化に伴う小型化が予想されてきた。その理由は、一般的に、同じ種の生物であれば高温で育ったものの方が小さい体サイズで成熟するという温度-サイズ則が様々な生物において実験的あるいは経験的に確認されているからである。すなわち、地球温暖化が温度-サイズ則を通じて魚類の小型化を生じさせるという仮説が提案されてきた。

しかし、北海などの一部の海域を除き、温暖化に伴う魚類の小型化は検出されておらず、上記の第3の反応に疑問を呈する研究も示されてきた。また、魚類の体重減少に関しては、餌料プランクトン量が海域に存在する魚類が必要とする量に十分には達しておらず、餌をめぐる競争が生じ、十分に摂餌できないために生じていると報告した研究もある。そこで、本研究では、日本において長期に蓄積された魚類体重データを利用し、共通した体重変動を調べ、その体重変動の原因を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

本研究では、水産庁および水産研究・教育機構が発行している171の魚種別系群別資源評価票(<https://abchan.fra.go.jp/hyouka/>)を調べ、20年以上の年齢別体重データが記録されている13種17系群のデータベースを整備した。その結果、長期時系列として1978～2018年に4種6系群(マイワシ太平洋系群、マイワシ対馬暖流系群、マサバ太平洋系群、ウルメイワシ対馬暖流系群、カタクチイワシ太平洋系群、カタクチイワシ対馬暖流系群)、中期時系列として1995～2018年に13種17系群(マイワシ太平洋系群、マイワシ対馬暖流系群、マアジ対馬暖流系群、マサバ太平洋系群、マサバ対馬暖流系群、ゴマサバ太平洋系群、ゴマサバ東シナ海系群、ウルメイワシ対馬暖流系群、サワラ瀬戸内海系群、カタクチイワシ太平洋系群、カタクチイワシ対馬暖流系群、マダラ本州太平洋北部系群、ブリ、スケトウダラ太平洋系群、イカナゴ瀬戸内海東部系群、キチジ太平洋北部系群、ソウハチ日本海南西部系群)の年齢別体重データを得ることができた。

各系群の年齢別成熟率によって、稚魚、未成魚、成魚の3つの成熟段階に分類し、各成熟段階の体重に動的因子分析と呼ばれる共通トレンドを検出する分析を実施し、体重トレンドを抽出した。抽出した体重トレンドと、水温、植物プランクトンの生産性を指標する表層と亜表層の水温差、餌料プランクトンをめぐる競争を指標する主要魚類の資源量などの環境要素と比較することで、体重トレンドの原因を考察した。

3. 結果

長期時系列から1980年代と2010年代に体重減少を示す共通トレンドを各成熟段階で検出した(図1)。1980年代の体重減少は、水温との関係は不明瞭であり、温度-サイズ則による影響とは判断されず、同時期のマイワシの資源量の劇的増加と対応しており、過去の研究でも指摘されていたように、餌料プランクトンをめぐる競合がマイワシの種内およびマイワシと他の魚種の間で生じ、体重減少につながっていると判断された。

2010年代の体重減少は、より多くの魚種を含む中期時系列の共通トレンドでも検出された。しかし、2010年代は魚類資源量が中程度にしか増加しておらず、1980年代の例ではまだ餌料プランクトンをめぐる競合が体重変動に影響を与えるレベルにはなかった。

1980年代と2010年代で変化している海洋環境に注目すると、表層と下層の水温差が多くの海域で強化されており、表層と下層の海水が混合し難い状況になっていた。海洋の植物プランクトンは下層から供給される栄養塩をもとに繁殖し、その植物プランクトンを食べて魚類の餌料である動物プランクトンが成長する。地球温暖化によって、下層からの栄養塩供給が減少し、多くの魚類の餌料である動物プランクトンの生産が抑制され、その結果、2010年代には魚類資源の増大が中程度でも、餌料プランクトンをめぐる競合が生じ、体重減少につながったと判断された。

4. おわりに

今後、地球温暖化に伴い、海洋の餌料プランクトン生産はさらに減少することが危惧されている。小型化する魚類を念頭に、将来の効果的な資源管理を実施していくことが期待される。

本研究の内容は、Lin Z. and S. Ito (2024) Fish weight reduction in response to intra- and interspecies competition under climate change. *Fish and Fisheries*.

<https://doi.org/10.1111/faf.12818> に掲載されている。

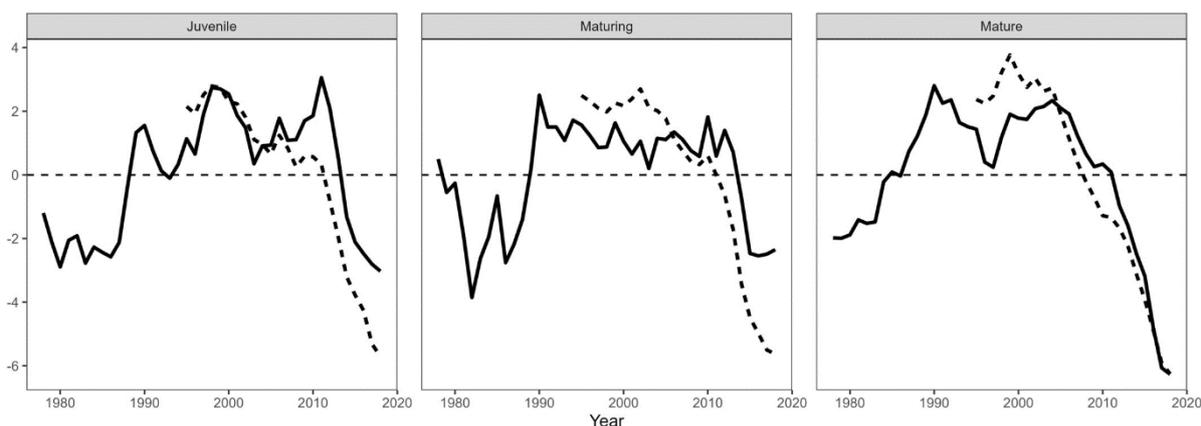


図1. 幼魚(左)、未成魚(中央)、成魚(右)における日本周辺海域の魚類の体重の共通トレンド。実線は1970年代からデータが得られた4種6系群の共通トレンド、破線は13種17系群のトレンド。Lin Z. and S. Ito (2024) Fish weight reduction in response to intra- and interspecies competition under climate change. *Fish and Fisheries*. <https://doi.org/10.1111/faf.12818> より。

わが国のサケに及ぼす地球温暖化の影響

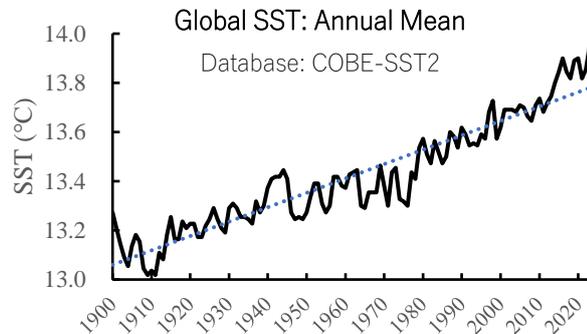
帰山 雅秀

北海道大学北極域研究センター

1. はじめに

IPCC-WG1 (2021) が「人間の影響が大気、海洋および陸域を温暖化させてきたことに疑いの余地がない」と断言してすでに2年8ヶ月が過ぎた。その間、地球温暖化は更に加速し、「気候変動は人間の幸福と惑星の健康に対する脅威であり、私たちは持続可能な将来を確保する機会の窓を急速に閉ざそうとしている」

(IPCC 統合報告書 2023) とまで言われ、それを裏付けるかのように、2023年の海面水温 SST は全球レベルで1900年以降過去最高(年平均値 $14.0 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$) を記録した。

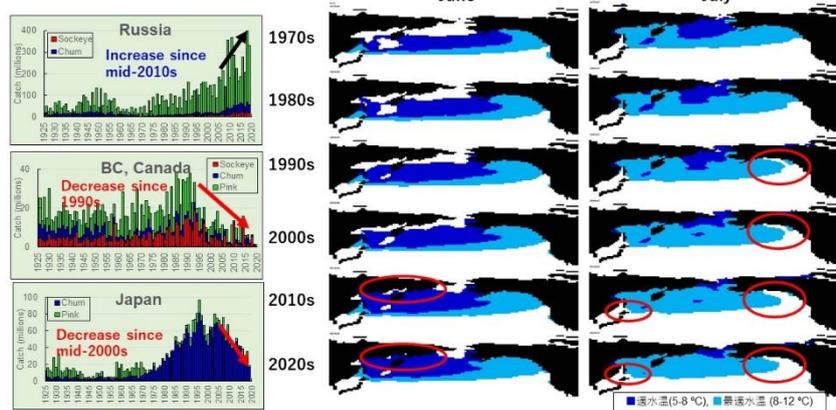


2. 気候変動とサケ属魚類のバイオマス動態

北太平洋に分布するサケ属魚類(以下、サケ類)のバイオマスは1975/1976年気候レジームシフト以降増え続けており、2021年には過去最高を記録した(6.659億尾)。しかし地理的には、北方域(ロシアとアラスカ)では現在も増加し続けているが、南方域ではカナダBC州が1990年代以降、日本が2000年代以降減少傾向に転じている。そのようなサケ類の時空間変動は北太平洋のSST変化とよくリンクしている。

一方、アラスカ湾では冬期SSTが2010年代以降上昇傾向にあり、越冬時におけるサケ類の分布等に影響を及ぼしている。

● 1970~2020年代6月&7月、北太平洋におけるサケの適・最適水温エリアの変化



3. わが国におけるサケのバイオマス動態とそのメカニズム

わが国のサケの回帰数は、三陸では1990年代後半より、北海道では2000年代後半より減少傾向を示しており、北海道サケの環境収容力は2010年代以降急激に減少しはじめた。サケの減少傾向は、親潮の影響下に分布する個体群(寒流系)の方が対馬暖流の影響下に分布する個体群(暖流系)に比べて顕著である。鱗バックカリキュレーションによる成長履歴の解析結果、三陸系サケは幼魚期に沿岸SSTの上昇に伴い沿岸滞在期間が短縮し、十分成長できずに沖合移動せざるを得ず、その結果として回帰率が低下し、バイオマスを著しく減少さ

せている。

また、地球温暖化による北方域のサケ属魚類バイオマスの著しい増加は、ベーリング海生態系の栄養カスケードや種内間相互作用を引き起こし、わが国のサケにもその影響が及んでいることが最近分かってきた。例えば、北海道系サケは2000年代以降西部ベーリング海系カラフトマスの増加に伴い、ネガティブな影響を受けるようになってきたことがLotka-Volterra競争モデルから明らかになりつつある。

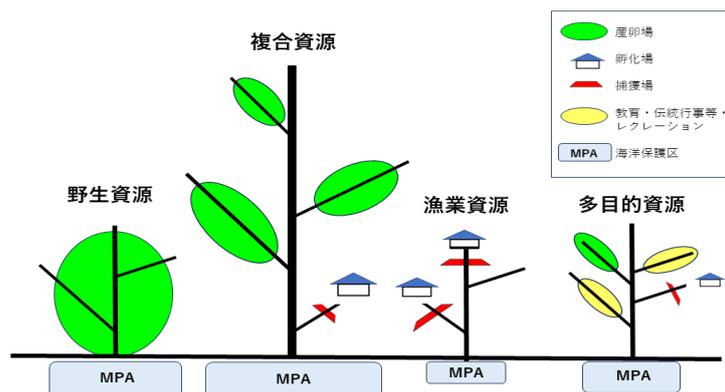
遺跡考古学報告書から縄文時代におけるサケ遺存体の分布をレビューした結果、5～6千年前の縄文海進時代、北海道と本州日本海側にはサケは分布するが、本州太平洋側ではサケ遺存体がほとんど見られないことが分かった。この縄文海進時における本州太平洋側のサケの消失は最近の三陸系サケの減少状態によく似ている。縄文海進時の気温は約2000年間で2℃上昇した。一方、最近の地球温暖化ではわずか100年間で1℃上昇しており、昇温速度は縄文時代の10倍である。今後、わが国のサケがこのように高い昇温速度の環境下で適応し続けることができるのか注視していく必要がある。

4. サケ来遊予測

サケの来遊予測にはこれまで経験則からなるシブリング法（個体群の年齢構成の規則性）により行われてきた。この方法は海洋生態系が比較的安定している場合は強力なツールとなるが、現在のように地球温暖化により全球ベースで生態系が変動している場合果たして適切な方法と言えるか疑問である。事実、最近の不規則なサケの回帰パターンにより予測精度が低下しているようにみえる。ここでは今後の来遊予測手法の可能性として、北海道系サケの海洋生活史を通して海洋生態系の環境要因と種内間相互作用をパラメータとした変数減少法による重回帰分析と一般加法モデルによる回帰予測モデルを紹介する。

5. 地球温暖化時代、サケを次世代に残すには

サケ類の南限に位置するわが国において、サケを将来の遺伝資源として保全するためには、野生魚の局所個体群の集まりであるメタ個体群の保全と高い適応度を維持すること、サケの自然再生産を保障する河川生態系のレストレーションが大切である。野生サケの適応度、遺伝的固有性と多様性を具体的に確実に



にするためには、(1)従来的人工ふ化放流事業への極端な依存を早急に見直し、(2)野生魚と孵化場魚のゾーニング、(3)海洋保護区の設定、(4)捕獲場の河口から孵化場への移設など、野生サケの効果的な保全政策へ転じるべきであろう。その上で、環境変動下におけるサケの持続可能な資源保全に向けたバックキャストをベースとする生態系アプローチ型持続可能な保全管理を確立すべきである。

温暖化がおこした藻場の変化

グレゴリー 西原

長崎大学海洋未来イノベーション機構

1. 海藻

海藻は、陸上植物よりも先に進化した光合成生物ですが、海藻はさらに緑藻類 (Chlorophyta)、紅藻類 (Rhodophyta)、褐藻類 (Phaeophyta) に分類されます。アオサやヒトエグサなどの緑藻類とマクサやノリなどの紅藻類は、陸上植物の先祖だと考えられますが、コンブやワカメなどの褐藻類は、現在の進化論では珪藻類に近いと考えられています。海藻は淡水域、汽水域、海水域に生息し、非常に種多様性が高く、1 万種以上も確認されています。海藻は、日本の食文化において重要な位置づけを有しており、積極的に養殖されている海藻は、コンブ、ワカメ、ヒジキの褐藻類、アオサ、ヒトエグサ、ウミブドウの緑藻類、ノリの紅藻類です。

海藻は、生態系において、ハビタット (habitat) を形成し、他の多くの生物の生存や栄養に不可欠な役割を果たしています。このような役割を果たす生物は、基盤種 (foundation species) と呼ばれ、日本沿岸域では、海藻やサンゴなどが基盤種となります。海藻が基盤種として形成する生態系は、一般的には藻場とよばれます。コンブやワカメが基盤種として形成するコンブ場やワカメ場、ホンダワラ科海藻が基盤種として形成するガラモ場は日本各地にみることができます。

ところが、藻場を形成する多くの基盤種は気候変動の影響を受けています。水温の上昇、海洋熱波、海面水位の上昇、海洋酸性化などは直接的または間接的に藻場に変化をもたらしています。

2. フェーズシフト (phase shift)

生態系は自然に状態が変化します。生態系の状態変化は、通常、環境要因の変化によって起こります。季節消長(あるいは生物季節学、phenology)とは、生物や生態系の状態が自然に変化することを指し、環境の季節的变化に起因する現象です。毎年おきる開花と紅葉は季節消長の典型的な現象です。

生態系においては、レジームシフト (regime shift) が起きることもあります。レジームシフトとは、生態系の環境状態の一時的な変化や、生物の群集構造に変化をもたらす要因 (環境ストレス) によって引き起こされる生態系の変化です。レジームシフトが起きると生態系における生物群集の構造と構成が一時的に変化しますが、こうした変化は長く継続せず、環境ストレスが緩和されるとともに生態系および生物群集は元の状態に戻ります。

フェーズシフト (phase shift) はレジームシフトに似た現象です。しかし、レジームシフトとは異なり、フェーズシフトはより長く継続する現象です。一度フェーズシフトが起こると、次のフェーズシフトを引き起こすためには、環境要因や生物群集に大きな変化が起こらなければなりません。つまり、フェーズシフトとは、生態系群集の全体的な構造や構成が大きく変化することを示します。フェーズシフトは通常、生態系を取り巻く環境の変化によって引き起こされます。沿岸生態系では、水温の上昇、環境汚染、沿岸工事などが典型的な原因です。フェーズシフトが起きた場合には、生態系は新たな平衡点 (equilibrium) に達し、以前の状態とは異なる構造と構成を持つ新たな状態になります。例えば、日本をはじめとして、世界中で磯焼けという現象が起きています。磯焼けは、藻場生態系から海

藻が姿を消し、岩とウニだけが目立つ生態系の現象です。つまり、生態系は海藻が茂っていた状態から海藻のない状態へフェーズシフトしたと言えます。

3. 長崎県有川湾に起きたフェーズシフト

有川湾は五島列島の中通島の北部にある湾です。有川湾は北に開けているので、冬は北風の影響を受けて、水温が低下してよく時化ることがあります。かつては温帯性の藻場が繁茂しており、アワビやサザエなどの水産資源も豊富な場所でした。しかしながら、五島列島周辺海域の海水温は着実に上昇しており、我々は、冬季(1月～3月)の月間日平均水温は過去100年間で1.6℃上昇したと考えています。

長崎大学水圏植物生態学研究室では、水温の上昇がこの地域の多くの大型褐藻類の減少を誘発したと考えています。2017年以前、有川湾には多くの温帯性大型褐藻類(アラメ、クロメ、ワカメ、ノコギリモクなど)が繁茂していました。ところが、コンブ科に属するアラメは2018年までには、局地的に絶滅し、2020年までに温帯性のホンダワラ科海藻類もほとんど観察されなくなり、岩が目立つようになりました。この時点で、最初のフェーズシフトが起きたと考えています。つまり、温帯性藻場から磯焼けのフェーズシフトが起きました。しかし翌年には、亜熱帯性小型海藻が優占する藻場が形成され、2度目のフェーズシフトが起きたと考えています。2022年には亜熱帯性のホンダワラ科海藻類が生態系に加入したことで、2023年には3度目のフェーズシフトが起きたと考えています。

生態系にフェーズシフトが起こると、その場の生態系純一次生産(net ecosystem production, NEP)が変化する可能性があります。生態系純一次生産は、海藻群集による二酸化炭素の吸収と海藻生態系に生息するすべての生物による二酸化炭素の排出の差し引きです。NEPの値が正であれば、生態系に生息するすべての生物の呼吸による二酸化炭素の排出よりも、海藻による二酸化炭素の吸収が上回ると理解できます。NEPの値が負であれば、その逆が起きています。有川湾の藻場が温帯性藻場から磯焼け海域に変化するとともに、NEPは急速に低下しましたが、小型藻類が増えたことで、NEPは若干上昇しました。NEPが負の値となる状態は従属栄養型生態系と呼ばれ、藻場は二酸化炭素の排出源となります。しかし、藻場に亜熱帯性のホンダワラ科海藻が加入したことで、NEPの値はさらに上昇し、二酸化炭素の吸収源に変わったと考えられます(独立栄養型生態系の状態)。

4. 最後に

地球温暖化は、大気中の温室効果ガスの蓄積によって起きています。大気中の温室効果ガスのほとんどは、化石燃料の燃焼が排出源です。排出された二酸化炭素の温室効果によって温度が上昇するにつれ、生態系の種構成や構造に劇的な変化をもたらすのです。有川湾にみられる藻場のフェーズシフトは、生物多様性の変化や水産資源の減少につながり、食料資源の持続可能性にも影響を及ぼすと考えられます。有川湾の熱帯化は今後も続くことが予想されますが、同じような現象は国内外でも起きています。水圏植物生態学研究室の今後の目的としては、有川湾でおきたフェーズシフトの具体的な原因と機構を解明することとしています。

水産物生産流通販売における新課題 ネイチャーポジティブとカーボンニュートラルにどう取組めばよいのか

八木 信行

東京大学大学院農学生命科学研究科

【水産物生産流通販売における新旧の課題】

水産物の生産現場における課題は、第一に安全操業、続いて担い手の確保、資金繰り、地域社会との相互協力、省エネ、安定的な水揚げ、HACCP（国際的な衛生管理基準）その他の認証への対応、水産資源管理への対応、海難救助・不審船への監視対応などがあり、極めて多岐にわたっている。そこに更に気候変動、ネイチャーポジティブとカーボンニュートラルへの対応など新規の課題が加わる。いずれの課題も時間軸やベクトルの方向が違うため、どれかを優先させれば別の案件で犠牲を払う関係になりがちである。各課題のバランスをどう取るか、知恵が必要になる。

水産物の流通加工販売現場についても同様で、魚の鮮度を維持して安心安全な水産物を届けることを巡る従来の諸課題が存在しており、これらに加えて気候変動、ネイチャーポジティブとカーボンニュートラルへの対応などが今後求められる。ここでもあちらを取ればこちらがたたない関係が多方面に存在し、バランスをどう取るのか知恵が必要になる。

【カーボンニュートラル】

水産業は、気候変動で影響を受ける立場であると同時に、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスを排出しており温暖化の影響を及ぼす立場であるともいえる。ただし他の食品と比較すれば水産物の場合は生産時に排出される温室効果ガスは比較的少ないとの研究が複数ある。例えば100グラムのタンパク質を生産する際に二酸化炭素換算で養殖魚では6kg、養殖エビでは7.6kg、マトンやラムは20kg、牛肉は50kg、それぞれ温室効果ガスを排出するとの試算がある¹。特に水産物の中でも小型浮魚類を人間が食物として消費する場合は、他の魚介類や畜産物を消費する場合に比べ単位栄養あたりの温室効果ガス排出量が小さくなるとされる²。従って、食料の生産に関わる温室効果ガス排出量を減少させるためには、サバやイワシなど小型浮魚類食品利用を推し進めることが有力な選択肢になるといえる。

これに向けた取組として2024年1月に東京大学生協と銚子発・CFPの見える水産加工品流通促進協議会が共催した「食べるCO2削減」の例を今回シンポジウムで取り上げる。これは銚子で水揚げしたいわしを使った「オイルサーディン丼」などを東京大学生協食堂で提供し、その際に温室効果ガスの排出量を表示して消費者（主として学生）からのフィードバックを得たものである。学生からのフィードバックの一部は2024年2月に東京大学大学院農学生命科学研究科・東京大学未来社会協創推進本部GX推進分科会が共催したシンポジウム「東京大学で目指すべきネイチャーポジティブアクション」³で東京大学GX学生ネットワーク(GXSN)から一部発表があったが、今回もこれを引用しつつ更に議論を深める。

【ネイチャーポジティブ】

ネイチャーポジティブとは聞き慣れない言葉かもしれないが、日本語訳は「自然再興」とされ、具体的には「自然を回復軌道に乗せるため、生物多様性の損失を止め、反転させる」ことをさすとの説明を環境省が行っている⁴。この達成に向けては多様な手段が存在する。中でも各地域が自主的に取り組んでいる「自然共生サイト⁵」について今回、取り上げることとしたい。この枠組みは、各地域が自主的に取り組んでいる保全活動を環境省が認定するもので、2023年から認定が開始され、初年度が終了した現在、全国で184箇所が認定を受けた状況となっている。内容としては、陸上の森林や草原などの保全に加えて沿岸域での藻場や砂浜などの保全を含んでいる。今回は、認定箇所の一つである鹿児島県指宿市の山川（やまがわ）町漁業協同組合による活動を取り上げる。

今後の課題としては、水産物の消費者からのサポート体制や、企業のCSR活動との連携をどう構築するかとの側面、さらには水産庁による「水産多面的機能発揮対策⁶」の取組みなどどう連携して相乗効果を上げるのかなど、多岐にわたる案件が存在する。このような課題についても、今回更に議論を深めることとする。

¹ Poore J., Nemecek T. (2018), Reducing food's environmental impacts through producers and consumers, *Science*, 360: 987–992.

² Koehn J.Z. et al. (2022). The role of seafood in sustainable diets. *Environ. Lett.*, 17: 035003.

³ <https://www.u-tokyo.ac.jp/content/400232187.pdf>

⁴ <https://www.env.go.jp/guide/info/ecojin/eye/20240214.html>

⁵ <https://policies.env.go.jp/nature/biodiversity/30by30alliance/kyousei/>

⁶ https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_thema/sub391.html

講演者プロフィール

敬称略・講演順

【小笠 恒夫（おの つねお）】

1968年茨城県生まれ。1996年北海道大学水産学部博士後期課程修了後、水産庁中層水産研究所 PD、地球フロンティア研究システム招聘研究員等を経て、2002年から独立法人水産総合研究センター（現在の国立研究開発法人水産研究・教育機構）に勤務。気候変動が海洋環境と海洋生態系に与える影響に関する研究に一貫して従事している。2024年現在、北太平洋海洋科学機関(PICES)気候・炭素循環委員会共同議長。中央環境審議会地球環境部会気候変動影響評価等小委員会・気候変動影響自然生態系分野 WG 委員。

【伊藤 進一（いとう しんいち）】

1989年北海道大学理学部卒業。1991年同大学院理学研究科博士課程前期修了。1995年博士(理学)。1995年水産庁東北水産研究所海洋環境部研究員、2002年(独)水産総合研究センター東北水産研究所混合域海洋環境部海洋動態研究室室長などを経て、2014年から現職。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第6次評価報告書のLead Author。著書に「地球温暖化とさかな」(成山堂書店,章担当)、「海の温暖化ー変わりゆく海と人間活動の影響ー」(朝倉書店,章担当)など。

【帰山 雅秀（かえりやま まさひで）】

北海道出身。1973年北海道大学水産学部卒業、水産庁入庁。1985年北海道大学にて水産学博士取得。1998年北海道東海大学工学部教授、2005年北海道大学大学院水産科学研究院教授、2013年北海道大学名誉教授、同年北海道大学国際本部特任教授。2018年より北海道大学北極域研究センター研究員。「サケ学大全」(2013年、共編著、北海道大学出版会)や「サケ学への誘い」(2018年、北海道大学出版会)など著書多数。主な受賞として日本水産学会賞(2019年)、日本農学賞、第57回読売農学賞(2020年)など。

【Gregory N. Nishihara（ニシハラ・グレゴリー・ナオキ）】

沖縄県生まれ、ハワイ育ち。1996年ハワイ大学マノア校工学部土木学科卒業後、鹿児島大学大学院連合農学研究科水産資源学科に進学し、2004年に修了(博士・水産)。2008年長崎大学環東シナ海環境資源研究センターテニユアトラック助教などを得て、2020年から現職(海洋未来イノベーション機構教授)。2018年にアメリカのPew Marine Fellowを受賞。現在長崎大学で、藻場生態系の保護および回復についての研究や藻場生態系における炭素吸収能力の研究に取り組む。

【八木 信行（やぎ のぶゆき）】

東京大学農学部卒、1987年農林水産省入省、水産庁配属。1992年人事院による行政官長期派遣により米国留学し1994年ペンシルバニア大学ウォートンスクール経営学修士(MBA)取得。1999-2002年農水省から外務省に出向し在アメリカ合衆国日本大使館一等書記官。2008年農水省を退職し、東京大学大学院特任准教授。2008年東京大学博士(農学)取得。2011年東京大学大学院准教授、2017年同教授、現在に至る。日本水産学会理事(2020-2024年)、日本学術会議連携会員(2017-2029年)、国連食糧農業機関(FAO)世界農業遺産(GIAHS)プログラムの科学アドバイザー会合委員(2019-2023年)なども務める。2019年カンボジア王国友好勲章(Royal Order of Sahametrei)受賞。2023年韓国済州特別自治道名誉道民証書受賞。

講演内容や要旨に関して、記事等で公表する場合は、必ず事前に
(公財)農学会事務局にご相談の上、許可を得てください。

☎ 03-5842-2210 ✉ zaidan@nougakkai.or.jp