

水産研究・教育機構の気候変動適応研究計画

令和5年3月3日

水産研究・教育機構

はじめに

気候変動は、毎年のように起こる豪雨や熱波の発生などから、気候危機とも称される状況となっている。2021年に公表されたIPCCの第六次評価報告書（AR6）のWG1の報告書は、「人間活動の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない。」と断定した。不漁問題や漁場の変化など、気候変動に伴う海洋環境の変化の影響と考えられる現象が顕在化する中、自然水域で生産される生物資源に依存する水産業の持続可能化のために対応策を考えなければならない状況となっている。

農林水産省が2021年5月に策定した「みどりの食料システム戦略」では、災害や気候変動に強い持続的な食料システムを構築するために、気候変動に適応する生産安定技術・品種の開発・普及等を推進することとしている。また、気候変動に適応してこの戦略を推進するため、2021年10月には気候変動による影響に関する科学的知見の充実を踏まえ、「農林水産省気候変動適応計画」が改定された。2022年3月に策定された「水産基本計画」では、海洋環境の変化をふまえた資源管理の実施を柱の一つに位置付け、地球温暖化等を要因とした海洋環境の変化が水産業へ及ぼす影響や原因を把握し、変化に応じた具体的な取組を進めていくこととなっている。あわせて、漁船の電化・燃料電池化や漁港・漁村のグリーン化の推進も水産業の持続的な発展に向けて横断的に推進すべき施策となっており、パリ協定実現のための2050年のカーボンニュートラルに向けた技術開発も喫緊の課題である。

水産研究・教育機構（以下、機構）は水産資源の適切な管理と水産業の成長産業化を両立させるための調査・研究、技術開発・移転、教育等を総合的に実施する日本で唯一の研究開発法人である。そこで、機構では水産業に関する気候変動対応研究を分野横断的かつ総合的に実施すべき課題と位置付ける。研究開発にあたっては、効果的な技術や研究成果を生み出せるように、水産業の現場と対話しながら進め、成果の発信と社会実装を進めることとする。これらに

より、気候変動に頑健で持続可能な水産業の実現と水産業の脱炭素化および海洋酸性化の防止に貢献する。

水産研究・教育機構 理事長 中山 一郎

第一章 総論

第1 基本的な考え方

1. 現状と将来の影響評価を踏まえた計画策定

機構は政府の第2次気候変動影響評価報告書、農林水産省気候変動適応計画、みどりの食料システム戦略、水産基本計画と整合し、気候変動による影響への対応を的確かつ効果的に実施するための研究開発に関する計画を策定する。

現実に見られる気候変動は自然起源の気候変動に温室効果ガス増加の影響が加わって生じているが、温暖化の影響の下でこれまで自然現象として数年から数十年周期で周期的に繰り返し起こってきた気候変動とは異なる現象や海洋熱波などの極端現象も生じている。そこで、機構が長年実施してきたモニタリングを継続し、変化の把握と調査結果の発信を行う。また、今世紀末までの影響評価を踏まえつつ、当面10年程度を見据えて必要な取組を整理し、それを中心とした計画を策定する。適応策はそれ自身が環境に負荷を与えないよう配慮しつつ、開発・普及を進めていく。

気候変動予測の不確実性に対処しつつ水産業におけるレジリエンスを高めるためには、科学的な情報とデータに基づいた研究開発が重要であり、国内外の研究機関や水産業の現場と連携したデータや情報の収集に努めることとする。

第四期中長期計画期間以降に公表されたものを中心に気候変動と関係する研究開発成果を別紙に取りまとめた。この中で今後も継続すべき課題として位置付けられたものや残された課題として整理された課題を適切に計画に取り込んで研究開発を実施する。

2. 温暖化等の気候変動による影響への対応

気候変動が海洋に及ぼす影響としては、水温上昇、海洋熱波の発生、貧酸素化、酸性化等の

温室効果ガスの上昇に伴うと考えられる現象とそれ以外の要因も含めた複合現象が考えられる。これらに対応するため、気候変動による影響ならびにそのメカニズムを把握し、適応技術や対応品種の開発、対象種や対応業種の転換等の対策についての研究・開発、実証と普及を推進する。MSY に基づく新たな資源評価を着実に進めるとともに、不漁など海洋環境の変化が資源変動に及ぼす影響に関する調査研究を進め、今後、これらに適応した的確な TAC 等の資源管理に寄与する。また、極端な気象現象が水産業にもたらす被害や影響への対応および防災に役立つ研究開発を実施する。

3. 計画の継続的な見直し、最適化による取組の推進

気候変動の不確実性に対処しつつ気候変動適応に寄与する研究・開発を実施するためには、AR6をはじめ IPCC 等による新しい報告等、最新の知見により現状及び将来の影響評価を見直すことが重要である。本計画に盛り込まれた適応策等の取組の進捗状況や研究成果の確認と、その他、最新の背景事情を踏まえた計画となるよう、政府や農林水産省の「気候変動適応計画」に掲げられる基本的方向と整合性を図りつつ、行政や水産業の現場などの社会的要請や科学技術の進展に応じて継続的に見直しを行うこととする。

SDGs には気候変動、さらには食料、生物多様性、森林、海洋等の環境保全、資源管理など、適応に関連する目標が多く含まれている。パリ協定の下での適応と SDGs は、気候変動に対応できる強靱で持続可能な社会を構築するという共通の目標を有しており、これらに関する国際的な動向を注視しながら研究開発を進める必要がある。また、SDGs、とりわけ SDG14「海の豊かさを守ろう」の達成のため、2021 年から「持続可能な開発のための国連海洋科学のための 10 年」が開始され、国内外の研究機関が様々な取り組みを行うこととしており、これらの活動と歩調を合わせて研究開発と成果の発信を行う。発信にあたっては、機構が実施する SDGs

関連成果の一般向け広報の場も活用する。

第2 気候変動研究の進め方

気候変動の影響を受ける対象が広く、気候変動の影響把握、リスクのモニタリング、適応のための技術開発、成果の普及・社会実装、一般への広報と広報を通じた気候変動対応に資する国民の行動変容への貢献は、機構内の様々な組織が連携して対応すべき事柄である。

機構は、我が国の気候変動の現状及び将来の水産業に及ぼす影響について科学的な評価、適応技術等の基礎的な研究開発を行う。これらにより国が気候変動適応法に基づき取り組む施策に貢献する。水産庁事業などで実施している課題の気候変動関係の成果を組み合わせるとともに、必要な課題を整備・実施して、有効な適応策・緩和策を講じるための科学的根拠を発信し、社会実装につなげる。

第二章 気候変動適応に関する各論

第1 水産資源・漁業

1. 漁業

(1) 現状

20世紀以降の水温上昇は、世界の漁獲可能量減少要因の一つと指摘されている。世界中で温暖化に伴い水生生物の分布が変化しており、日本でも水産資源の分布域の変化とそれに伴う漁期・漁場の変化が報告されている。また、日本周辺の回遊性魚介類については、分布回遊範囲及び体のサイズの変化に関する影響予測が数多く報告されている。

従来獲れていた魚が獲れず、獲れていなかった魚が獲れるといった状態が複数年にわたり継続し、これまでの短期的な漁況の変動とは異なる状況が生まれている。水産庁が設置した不漁問題検討会で取り上げた多獲性浮魚類のサンマ、スルメイカと種苗放流を行ってきたサケの総漁獲量は 2010 年代に減少を開始し、2010 年代半ば以降の 5 年間で漁獲量は 1/4 に減少した。

内水面においても、気候変動の影響による異常出水や異常渇水、水温上昇等が水産資源に及ぼす影響が顕在化しつつある。加えて、出水による災害後の復旧工事も大規模化・長期化しており、水産資源に及ぼす影響を大きくしている。こうした気候変動に起因する環境攪乱が内水面資源に及ぼす影響についての知見は少なく、その早急な解明と適応策の検討が必要である。さらに、不漁やとれる魚が変わることにより加工業や流通業に影響が出ている地域もある。

(2) 取り組み

温暖化など水域環境の変化の悪影響が疑われる現象について、そのメカニズム解明のための研究を推進する。環境変動下の資源量の把握や予測、漁場予測の高精度化と効率化のため、調査船調査、飼育実験、長期データの解析、海洋モデルを用いた解析等の調査・研究を進め、資源変動メカニズムの解明へと繋げる。また、気候変動の影響を予測するためのデータを収集するとともに、影響予測する手法の開発および高度化を行う。さらに、将来予測にあたっては公表されているデータセットを積極的に活用するとともに、社会経済シナリオも活用して水産業における幅広い気候変動への適応策の検討をすすめる。

水産資源分野においては、不漁問題を含む気候変動の水産資源への影響の解明を推進することとしている。ただ、水産資源に及ぼす気候変動の影響は、捉える期間や対象とする種によって大きく異なることが予想される。そこで、個々の資源で気候変動の影響解明に向けた取り組みを進めることとする。気候変動への漁業活動の適応策としては以下の考え方の下で検討を進め

る。基本的には気候変動に対する適応策としては、様々な環境下において資源状態を健全な状態に回復・維持することが考えられる。我が国周辺水産資源の回復および持続的利用に向けた研究開発を推進することが気候変動への対応にも合致する。改正漁業法に対応した新ルールの資源評価では、一部の魚種に対し再生産関係などについて気候変動等の環境変化に適応するためのコンセプトが既に導入されている。また、水産重要種の分布・漁期・漁場の変化を把握し、環境要因を考慮した予測モデルを作成し精度向上を図る。マグロ類やカツオ等の国際的な取組による資源管理が必要とされる高度回遊性魚類については、国際的な漁業管理機関や科学機関と連携しつつ、多様なデータや情報を収集し、気候変動の影響に対する応答を把握する。

気候変動の影響が大きいと考えられるさけます資源の減耗メカニズムに関する環境変動の情報を収集するために、稚魚の降海時期のモニタリングを行う。海洋環境の変化に対応しうるサケ稚魚等の放流手法等を開発するため、母川に回帰した耳石温度標識魚の解析を進め、主要河川における放流適期を把握する。サケ放流時期の沿岸環境が変化していることに対応した沿岸海洋環境予測モデルを開発する。得られた結果を元に適期放流技術の高度化を図る。また、放流魚とは異なる時期やサイズで降下する野生魚について、代表的な河川において活用の可能性を検討するため、その再生産特性等に関する基礎的な調査・研究を行う。

気候変動パターンの予測の前提となってきた気候の定常性の仮定が成立しない可能性が指摘されている。環境変動の影響を適切に評価し、不漁現象のメカニズムの解明に資する調査・研究を推進する。主要な水産資源の不漁現象について、イベント・アトリビューションの考えを入れて気候変動の寄与を明らかにするとともに、気候変動以外の要因の影響についても検討する。環境の変化、複合影響を想定したモニタリングの実施並びに他機関等との連携によるモニタリングの全国展開に務める。IT、ICT 技術などの導入による漁業や市場などの情報を活用し

たモニタリング体制の整備を行う。また、FRA-ROMS の全国版や他組織が運用する海況予測モデルも活用して不確実性に対応する。

有害プランクトン大発生 の要因となる気象条件、海洋環境条件を特定し、各種沿岸観測情報の利用によるリアルタイムモニタリング情報を関係機関に速やかに提供するシステムを構築する。赤潮や貧酸素水塊の発生状況を監視するため、水温、塩分、クロロフィル、濁度、溶存酸素等の項目を継続的に観測可能な手法を開発するとともに、広域の水質データを効率的に収集・公表するシステムを構築する。

気候変動による漁獲物組成の変化に対応して既存漁業が柔軟に対象魚種や漁法の転換を可能とするための研究開発を進める。また、資源状況の比較的良い魚種や、分布が変化するなどにより漁獲が見込める魚種について、効率的な漁獲方法や保管、運搬方法を検討する。併せて、単一漁船で複数の漁法が可能な漁船など、既存の漁船や技術を応用するとともに新たな技術を導入して漁具漁法を開発する。これら技術を既存の漁船や漁具で実証して有効性を確認するとともに、上記漁船建造技術を応用して資源変動に対しても頑健な新たな漁船漁業像を構築する。

気候変動の影響により将来の潮位偏差の増大、波浪の強大化、海面水位の上昇等が懸念される中、漁業地域の安全・安心の確保に資するため、自然災害への対応とともに港内静穏度の向上等の漁港施設の安全性を高めるための技術の開発を行う。

内水面漁業における気候変動の影響解明と適応技術の開発に関する研究を進める。具体的には、気候変動に起因する水温上昇や出水・渇水、災害復旧工事等が、主要魚種の成長・生残や河川等の生息環境に及ぼす直接的・間接的影響を解明するとともにその評価に基づいて適応策

を検討する。また、災害や復旧工事等により破壊された瀬渕構造・産卵場、魚道等の復元や効果的な放流手法等の生産補助技術の開発を行う。

第2 養殖業

(1) 影響評価と将来予測

養殖ノリでは、秋季の高水温により種付け開始時期が遅れ、年間収穫量が各地で減少している。魚類による食害が報告されており、特に秋季の水温降下の遅滞による食害が拡大している。RCP2.6 シナリオで 2050 年代には育苗の開始時期が現在より 20 日程度遅れる。RCP8.5 シナリオで、育苗開始時期が後退し、摘採回数の減少や収量低下が懸念される。

養殖ワカメでは、西日本で不安定な気象・水温上昇・栄養塩不足による種苗生産の不調、生長や品質への影響による減収、秋季の水温降下の遅滞により魚類による食害が拡大している。東日本（三陸）では、秋の海水混合の遅れによる栄養塩不足のため種苗生産が不調となっている。RCP8.5 シナリオで 21 世紀末に芽出し時期が現在より約 1 ヶ月遅くなることや漁期が短縮することが予測されている。

西日本、九州で主に養殖されているブリ類やハタ類では、日本沿岸の水温上昇に伴い養殖適地の北上や拡大が予測されている。その一方、養殖魚類の産地に、夏季の水温上昇で不適になる海域が出現している。海面のサーモン養殖（ギンザケ、トラウトサーモンなど）においては、表面水温が 15° ～20°C の適水温の飼育期間が短くなり、それに伴い出荷サイズが小型化する可能性がある。また、高水温によるホタテ貝の大量へい死、高水温かつ少雨傾向の年におけるカキのへい死が報告されている。

有害有毒プランクトンについて、発生北限の北上、寒冷地における暖水種もしくは寒冷種の発生・増殖、発生の早期化が報告されている。特に北海道周辺海域は、栄養塩が豊富な海域があり、有害種による赤潮が長期化する可能性がある。2021年に北海道太平洋岸に突然大きな被害をもたらした赤潮は海洋熱波の影響が考えられている。海洋熱波発生のメカニズム、その生態学的影响について現場観測結果を収集して詳細に解析することが必要である。シガテラ中毒の原因となる毒化した魚や南方性有毒種の分布域が広がっている可能性がある。

IPCCの報告では、海洋酸性化による貝類養殖への影響が懸念されており、また水温上昇による赤潮発生で二枚貝等のへい死リスク上昇が予想される。水温上昇により生物の代謝活性が高まることで沿岸域に流入するあるいは存在する農薬等の化学物質の二枚貝幼生や甲殻類等の生物に対する反応性が高まり毒性が強くなり発現することが懸念される。また、水温上昇による未知および既知の疾病被害の拡大、海外からの高水温適性養殖対象種の導入による国内未発生疾病の被害が懸念される。

(2) 取り組み

高水温耐性等を有する養殖品種の開発等に取り組む。

わかめや貝類養殖で気候変動による採苗適期の短縮や遅れ、養殖期間の短縮、種苗生産の不調等への対策として、海洋環境（水温・栄養塩等）の予測情報等を活用した適期採苗技術や、気象・海洋の環境変動の影響を受けにくい種苗生産技術の開発を行う。さらなる気候変動の影響の進行に備え、暖海性種等の新たな養殖対象種の導入や効果的な陸上養殖の活用についても検討する。食害対策に関連する研究を進めるとともに、食害生物の付加価値向上に向けた研究開発を推進する。

ブリ、サーモンなどの育種においては、高成長に加え、高水温耐性、高温化によって被害の増加が想定される疾病や赤潮に対する耐性などを育種目標に設定しゲノム育種技術も取り入れながら推進する。天然種苗に依存しているブリ、クロマグロ養殖について、気候変動の影響による種苗入手における不安定化を防ぐため、人工種苗の量産化に向けた研究開発と量産技術を普及するための実証試験を推進する。気候変動の影響を受けにくい陸上養殖による生産を増大させるための研究を推進する。温暖化による養殖地域の拡大に対応するため、ハタ類など高水温に強い新規の養殖品種の導入に関する研究を推進する。

気候変動により既存原料の安定的な入手が困難になることを想定して、気候変動の影響を受けにくい飼料開発を推進する。その一つとして、人工環境下で大量育成・培養が可能な昆虫や細菌などを飼料化する技術開発を進める。水温上昇に伴い至適水温から外れることで養殖対象種に生じる消化生理や代謝等への影響を評価し、高水温に対応した飼料を開発する。水温上昇によって起きる可能性がある養殖対象種の抗病性の低下、新たな疾病の発生、化学物質の影響などに対応する技術が必要になると考えられ、これに対応する。

(3) リスク低減、レジリエンス強化のための研究開発

赤潮プランクトンの発生について、気候変動との関連性に関する調査研究を継続する。赤潮プランクトンの生理・生態的特性を把握し、発生予察や防除等の技術開発を行う。沿岸域に存在する人為活動由来化学物質と水温等の環境因子、あるいはこれらの因子と病原ウイルスとの複合暴露試験を実施し、詳細リスク評価を行うことで気候変動による沿岸生態系に対する影響を把握する。

気候変動モニタリング拠点を設置し、環境 DNA 解析を含む精密な生物環境モニタリングを実施して、情報を蓄積する。また、各拠点に重要な環境指標種を決定し、その遺伝子発現の情報を

収集する。日本の重要な海藻藻場においても、環境 DNA によるモニタリングを行い、海水中に浮遊する遊走子の出現に関する情報等を利用して、各種重要海藻の生殖時期の把握と気候変動による影響を評価・検討する。

気候変動により、他の海域への定着が予想されるような移入種・侵入種（病原生物・有害赤潮生物・水産業に悪影響を与える生物）をリストアップし、精密モニタリングによる検出と定量ができるようなシステムを構築する。病原生物については発生時の被害低減に向け、地方公設試との情報交換や診断研修等を実施していく。

新型機器を用いた赤潮等の監視高度化（有害プランクトンの種判別・分布密度・広範囲観測等）と効率化（自動・遠隔操作・省力・省人・省コスト化）に向けた技術開発を行う。

気候変動予測のダウンスケーリングによる現地への適用と漁場環境の中長期予測技術の高度化を図る。環境モニタリング同化型シミュレーションの高精度化、気象シナリオに応じた水質変動（赤潮の発生・分布・移動速度や生簀周辺の流況・密度成層・貧酸素水塊等）の短期予測の実用化を進める。

第三章 カーボンニュートラルに寄与する研究開発

第1 基本的な考え方

地球温暖化に対する取組が世界的に進んでおり、今後のさらなる気温上昇による影響を緩和するために、我が国においても 2050 年カーボンニュートラルを目指している。また、今世紀末の気温上昇を産業革命前から 2℃以下、可能な限り 1.5℃に近づけるということが国際合意となっている。このために今世紀後半には二酸化炭素の排出をネガティブエミッションとする必要がある。

漁業は年間約 400 万トンの CO₂を排出しており、これは日本全体の排出量の約 0.5%となっている。漁船漁業においては化石燃料が経費全体の 16.4% (2019 年時点) を占めており、操業コスト等にも影響が及ぶ可能性がある。水産関係では漁船の電化・燃料電池化やブルーカーボンの推進等によりカーボンニュートラルに資する研究開発に取り組む。海洋に立地する海洋再生エネルギーや CCUS との共存に寄与する研究開発に取り組む。また、ネガティブエミッションを見据えた研究開発にも着手する。あわせて、漁業や養殖業で生産される水産物の LCA データの蓄積を図る。

第2 漁船漁業におけるゼロエミ化に資する研究

(1) 現状

ウェザールーティングは風、波、海流といった気象海象情報を利用し、安全性を考慮した上で最短時間航路や最少燃料航路といった最適航路を見出す手法である。これまで遠洋・近海かつお一本釣り漁船に対する安全、省エネ効果を実証している。

漁船は高馬力のエンジンや、これに伴うエネルギー消費の増加、長期航海への対応が必要である。このため、早期に電化・水素燃料電池化が見込めるのは養殖の作業船等の沿岸漁船に限られる。

(2) 取り組み

ウェザールーティングの更なる普及をはかるとともに、利便性を高めるため既存の気象・漁場システムとの連携を推進する。また運用における利用のみならず、新しい漁船の初期設計段階における安全・省エネ性能シミュレーション活用も推進する。

水素燃料電池船については、令和３年８月に改訂された安全ガイドラインに従った水素燃料電池漁船の研究開発や、農山漁村での水素需給や技術共用等を踏まえた運用面における水素燃料電池漁船のカーボンニュートラル研究を推進する。

漁業・水産業の省エネ、省力化の技術開発が必要である。

気候変動等の影響によって、漁獲対象種がこれまでに無い資源変動や移動回遊をする事が確認されており、漁場探索のための航走に多くの燃油を要する傾向にある。また、近年漁船隻数の減少に伴い漁場探索のための船間連絡をする僚船が減少しており、その傾向に拍車がかかっている。このため、これらへの対応として新たな漁場探索技術の開発が不可欠である。そこで、ICT の活用および海洋情報や予測モデルを駆使した漁場予測の精度向上を実施する。一方で、直接的な手法として、衛星標識を対象魚種に装着して移動経路を把握することや、無人航空機によって漁船から離れた海域の魚群発見、環境 DNA による海域の魚群存在の確認などの技術開発を推進する。

第３ ブルーカーボンに関する研究開発

１）現状

ブルーカーボンは、温室効果ガス（GHG）吸収源として期待されているが、GHG インベントリ報告書への登録や、IPCC でも算定対象となり得る海藻藻場の炭素貯留能の評価など、多くの知見が不足している。ブルーカーボンは、我が国のみどりの食料システム戦略の中で 2030 年までの技術革新の主軸の一つとして位置付けられており、藻場の評価手法ならびに維持再生・活用技術を国際基準で作成し、ゼロエミッション産業への活用を世界に先駆けて実践することが期待されている。

現在、藻場タイプ別のブルーカーボン貯留量を算定するための評価モデルの開発と、藻場の炭素貯留量の全国評価に加え、二酸化炭素吸収と生態系保全機能を両立可能な藻場の形成・拡大技術の開発を進めている。

2) 取り組み

全国の藻場分布を構成種タイプ別に分類し、ブルーカーボン貯留量の算定に必須な藻場タイプ別の精緻な吸収係数評価モデルを開発する。この評価モデルを用い、ブルーカーボン貯留量の全国評価を実施する。また、各海域の藻場の減衰要因に対応した効果的な対策技術を開発し、藻場面積の活動量を増加させる技術開発を行う。各海域でブルーカーボン生態系を拡大させ、CO₂吸収機能と生態系保全機能を両立させる技術開発を行う。さらに、民間企業を含めた外部との連携も検討しながら、ブルーカーボンの好循環サイクルを成立させるための、海藻利用製品開発・利用手法等の要素技術の開発を進める。水産業とのコ・ベネフィットを見込むことが可能な海洋アルカリ化技術の開発を行う。