

我が国の沿岸域における気候変動の影響評価・適応検討に関連する
大型プロジェクト研究活動および成果の総括

2020年9月

土木学会 海岸工学委員会

沿岸域の気候変動影響評価・適応検討に関する小委員会

目次

沿岸域を対象とした気候変動の影響評価・適応策に対する大型プロジェクトのサマリー	1
気候変動適応策に関する国の計画.....	7
文部科学省.....	11
気候変動適応研究推進プログラム：RECCA.....	11
気候変動適応技術社会実装プログラム：SI-CAT	13
気候変動リスク情報創生プログラム－課題対応型の精密な影響評価－	18
統合的気候モデル高度化研究プログラム	21
環境省	24
環境研究総合推進費戦略的研究開発 S-13	
持続可能な沿岸海域実現を目指した沿岸海域管理手法の開発	24
環境研究総合推進費戦略的研究開発 S-14	
気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究(MiLAI)	29
農林水産省.....	33
農林水産省プロジェクト	33

沿岸域を対象とした気候変動の影響評価・ 適応策に対する大型プロジェクトのサマリー

海岸工学委員会・沿岸域の気候変動影響評価・適応検討に関する小委員会

1. はじめに

海岸工学委員会・沿岸域の気候変動影響評価・適応検討に関する小委員会（以下、小委員会）では、海岸工学およびその周辺分野における気候変動・地球温暖化（以下、温暖化と略記）の影響評価および適応策に関する研究の位置づけおよび新たな方向性を探るため、様々な取り組みを行ってきた。本報告書は、小委員会 WG1 で実施した温暖化研究プロジェクトの動向の成果を取りまとめたものである。

温暖化の影響評価・適応についての省庁が資金配分機関となっている大型プロジェクトは数多く進められてきた。この中には、沿岸域および海岸工学に関連するトピックも多く含まれている。しかし、温暖化に関する大型プロジェクトは、気候変動予測が主体もしくは様々なセクターが組み合わせられた総合的な影響評価・適応策についてがほとんどである。また、多くのプロジェクトが省庁縦割りで、海岸工学のコミュニティで成果が共有されていないという現状認識がある。これは、温暖化研究プロジェクトの運営側が海岸工学のコミュニティから遠いところに位置する他、学会活動とはある程度距離が置かれ、行政主導で実施される場合が多いと思われる。

そこで、小委員会 WG1 では、これまでの大型プロジェクトの研究成果のサマリーとその成果の認識・普及、ついで国の基本方針と実施されている研究項目の関係の洗い出し、海岸工学の分野における気候変動に関連する新たな研究の方向性について検討を行った。以下では、これまでの大型プロジェクトの総括と今後の研究展開に向けてのサマリーを紹介する。個別のプロジェクトの概要と成果については、別資料を参考にされたい。

2. これまでの大型研究プロジェクト成果

(1) 概説

主に 2010 年以降の気候変動についての省庁の動向および省庁主導の大型プロジェクトについてのサーベイと報告書をもとにした成果（一部は途中経過）のとりまと

めを行った。各プロジェクトの情報および成果についての編集者については、最後のページを参照されたい。

我が国の温暖化に関する方針は、2018 年 11 月に閣議決定された「気候変動適応計画」が大きな転機となっている。気候変動適応計画では、気候変動適応の推進に当たっては、科学的知見の充実及び我が国の調査研究機関等の英知を集約した情報基盤の整備を図り、信頼できるきめ細かな情報に基づいて、多様な関係者が連携し、各分野において効果的に気候変動適応を推進していくことが目標とされ、気候変動適応に関する基本戦略及び政府が実施する気候変動適応に関する施策の基本的方向等を示すこと。これらを 5 年ごとに見直すことが明記されている。またこれらを踏まえて、2018 年 11 月に「国土交通省気候変動適応計画」および「農林水産省気候変動適応計画」が改正されている。

一方、ここ 10 年で実施されてきた大型研究プロジェクトは以下のようにまとめられる（図-1）。

● 文部科学省

1. 「気候変動適応研究推進プログラム」（略称：RECCA）2010～2014 年
2. 「気候変動適応技術社会実装プログラム」（略称：SI-CAT）2015～2019 年
3. 「気候変動リスク情報創生プログラム」（略称：創生）2012～2016 年
4. 「統合的気候モデル高度化研究プログラム」（略称：統合）2017～2021 年

● 環境省

1. 環境研究総合推進費 S-14「気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究」（略称：MILAI）2015～2019 年
2. 環境研究総合推進費 S-13「持続可能な沿岸海域実現を目指した沿岸海域管理手法の開発」2010～2014 年

● 農林水産省

1. 「気候変動に対応した循環型食料生産の確立のためのプロジェクト」2010～2014 年
2. 「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」2015 年～

以下では、個々のプロジェクトについての簡単なサマリーを紹介する。

(2) 文部科学省主体のプロジェクト

文部科学省では、気候変動予測をメインとした研究プロジェクトと影響評価・適応をメインとした研究プロジェクトの2つが実施されてきた。5年単位の研究期間で数個の大きなテーマがあり、数百人単位で実施されるプロジェクトである。

気候変動予測をメインとした研究プロジェクトは、2002年にスタートした「人・自然・地球共生プロジェクト」をもとに、第2フェーズとして「21世紀気候変動予測革新プログラム」2007～2011年、続いて、創生プログラムが2012～2016年、統合プログラムが2017～2021年に実施されている。これらは、気候変動予測のための気候モデル開発、予測シミュレーションおよび気候変動のメカニズム研究を主体としている一方で、影響評価についての研究グループも加わっている。創生プログラムでは、テーマDに気候変動に伴う沿岸災害リスクの評価のサブテーマがあり、熱帯低気圧、高潮、常時波浪、極端波浪等についての沿岸災害のハザード評価が全球および東アジアを中心に展開されている。統合プログラムでは、テーマDのi) 極端なハザードの強度と頻度の長期評価に沿岸災害のハザード評価、ii) 21世紀末までのシームレスなハザード予測のサブテーマがあり、サンゴ等の沿岸生態系への影響評価も実施されている。

影響評価・適応をメインとした研究プロジェクトは、「気候変動適応研究推進プログラム」（略称：RECCA）2010～2014年と「気候変動適応技術社会実装プログラム」（略称：SI-CAT）2015～2019年が実施された。RECCAは、気候変動予測の成果を、都道府県、市区町村などの地域規模で行われる気候変動適応策の検討に提供するための研究開発を意図しており、水産資源・海況変動予測が課題として実施された。SI-CATは、日本全国の様々な地域において科学的知見に基づいた適応策の検討、策定に必要な気候変動予測データの提供を目的としている。沿岸域・海岸工学関連としては、課題1-c 日本周辺海域近未来予測技術開発、2-b 街区・港湾スケールの力学的ダウンスケーリング技術開発、3-a モデル自治体等における技術開発（佐賀県）が実施され、海流及び循環場の将来変化予測、沿岸域を対象とする100m解像度の波浪および海流のダウンスケール計算技術開発、佐賀平野における洪水・高潮の複合災害に関する検討が行われている。

(3) 環境省主体のプロジェクト

環境省では、環境研究総合推進費による継続的な大型プロジェクトが実施されている。S-13 持続可能な沿岸海

域実現を目指した沿岸海域管理手法の開発（2014～2018年度）では、統合的沿岸管理手法を最終目標としている。この中で、気候変動の影響も取り上げられており、テーマ3 陸棚・島嶼を含む国際的閉鎖海域・日本海の海域管理法の開発において、日本海の高潮、水温、溶存酸素濃度等の将来変化、これらを踏まえた低次および高次生態系への影響予測が実施されている。

S-14 気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究（2015～2019年度）は、緩和策と適応策との統合的実施に向けて、緩和策、適応策の効果的かつ効率的な定量的基礎資料を整備し、リスクマネジメントとしての気候変動対策の適切な計画立案を目的としている。沿岸域・海岸工学関連としては、テーマ2：生態系保全による緩和策と適応策の統合の中で、マングローブ、CO₂、炭素貯留（サブテーマ2-3）、サンゴ、マングローブ、干潟、砂浜の生態系サービス（サブテーマ2-4）、テーマ3：気候変動に対する地球規模の適応策の費用便益分析のサブテーマ4：社会インフラが関連している。S-14では、沿岸生態系の分布情報整備、沿岸生態系の緩和・適応機能の応答を定量的に予測し経済的評価等が行われている。

(4) 農林水産省主体のプロジェクト

農林水産分野における気候変動研究は、主に農林水産技術会議事務局による委託プロジェクト研究であるが、全てが競争的研究資金ではなく、調査業務も含まれる。

「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」（2015年～）では、沿岸の農地地域を対象とした海面上昇に伴う排水不良や高潮による浸水の増加の予測、漁業・養殖業における気候変動の影響評価、温暖化の進行に適応するノリの育種技術の開発が進められている。また、漁場および漁港漁村における地球温暖化対策に係る検討も行われている。

(5) 政府の方針等

平成27年11月27日に閣議決定された「気候変動の影響への適応計画」は、気候変動による様々な影響に対し、政府全体として、全体で整合のとれた取組を計画的かつ総合的に推進するための基本的な方針、分野別施策の方向性を定めている。

「国土交通省気候変動適応計画」は、国土交通分野の適応策を検討したものであり、平成27年11月に策定された。現在生じているあるいは将来生じうる気候変動の影響による被害を、最小化する施策を科学的な知見に基づいて適切な時期に計画的に講じることにより、効果的・効率的に国民の生命・財産を保護、インフラやシステムの機能を継続的に確保、国民の生活の質の維持、生じうる状況の変化を適切に活用することを基本的な理念として適応策を推進することを示している。

「農林水産省気候変動適応計画」は平成 27 年 8 月に策定され、平成 29 年 3 月 14 日に改正された。現時点で影響評価の無いものについても影響評価を実施し、生産現場での課題に対処し、当面 10 年程度に必要な取組を中心に分野・品目ごとに計画として整理し推進していくことが示されている。また、集中豪雨等による農地の湛水被害や山地災害の激甚化、海面水位上昇、湛水による高潮のリスク増大等に対して、防災に資する施設整備等を計画的に推進する等が示されている。

3. 今後の研究展開に向けて

2 節の大型プロジェクトの総括に加えて、小委員会では、メンバー全員が集まり、沿岸域・海岸工学関連に関する温暖化研究の関連図の作成を行い、WG1 においてこれと大型プロジェクトの関連についての分析を行った。

図-2 に示すのは、作成した研究関連図である。左から右に向かって、温暖化予測、自然への影響そして社会への影響が、図の上側が主に自然災害、下側が環境・生態系への影響が示されている。生態系サービスに至る過程は複雑であるため、生物生態系への関連についてはかなり簡略化していることに留意してほしい。比較的因果関係が明確な防災・減災や社会インフラにおいても、温暖化予測からの経路・影響項目はかなり多くまた複雑であることがわかる。また、これら人間活動の影響は、複数の温暖化予測・影響項目により評価されており、ある程度まとまった形の予測結果がないと、社会影響まで結びつかないことがわかる。

ついで、図-3 に示すのは、図-2 の研究関連図に対して、2 節で行った大型プロジェクトの研究項目を重ねた結果である。暖色系が検討プロジェクトが多い項目を示している。例えば自然変化および直接影響については、海面上昇、極端波浪、生息域変化等は多くのプロジェクトで検討されているが、沿岸流、塩水遡上、土砂流出等の検討はほとんど行われていないことがわかる。また、人間活動への影響についても、防災・減災および炭素貯留や水質に比べて、社会インフラや調整サービスの多くの項目についての研究は少ない。これらの差は、人的資源やプライオリティに加えて、研究を進めるうえでの予測情報の不足も関連していると思われる。

以上のように、沿岸域・海岸工学関連に関する温暖化の予測・影響評価・適応策、そして緩和策についての研究には、進めるべき項目が数多く残されており、また予測・影響評価・適応策を一体的に進める必要があることが分かった。

参考文献

- 1) 統合的気候モデル高度化研究プログラム 統合的ハザード予測，平成 29 年度研究成果報告書，2018.
- 2) 統合的気候モデル高度化研究プログラム 統合的ハザード予測，平成 30 年度研究成果報告書，2019.
- 3) 統合的気候モデル高度化研究プログラム 統合的ハザード予測，令和 1 年度研究成果報告書，2020.

報告書編集メンバー

とりまとめ：森 信人*，二宮順一**

国の計画：加藤史訓，有川太郎，李 漢洙

RECCA：武若 聡

SI-CAT：石川洋一，二宮順一

創生・統合：安田誠宏，志村智也，金 洙洙

S-13：清野聡子，羽角華奈子

S-14：桑江朝比呂，武田将英，茂木博匡

農水：桐 博英，古市尚基

*主査

**幹事

小委員会メンバー（関連図作成等に協力）

有川太郎（中央大学）

石川洋一（海洋研究開発機構）

鵜崎賢一（群馬大学）

加藤史訓（国土技術政策総合研究所）

木所英昭（水産研究・教育機構）#

金 洙洙（鳥取大学）

桐 博英（農業・食品産業技術総合研究機構）

久保田真一（不動産テトラ）

倉原義之介（東亜建設工業）#

桑江朝比呂（港湾空港技術研究所）

小林健一郎（神戸大学）（土木学会水工学委員会）

篠原瑞生（東京海上日動リスクコンサルティング）

澁谷容子（東洋建設）

志村智也（京都大学）

清野聡子（九州大学）

武田将英（東亜建設工業）

武若 聡（筑波大学）

辻尾大樹（パシフィックコンサルタンツ）

中村文則（長岡技術科学大学）

中村亮太（豊橋技術科学大学）

二宮順一（金沢大学）

羽角華奈子（大成建設）

伴野雅之（港湾空港技術研究所）

古市尚基（水産研究・教育機構）

三戸勇吾（復建調査設計）#

茂木博匡（港湾空港技術研究所）#

森 信人（京都大学）

安田誠宏（関西大学）

山北剛久（海洋研究開発機構）#
 李 漢洙（広島大学）
 #2019年7月以降で参画
 （あいうえお順）

謝辞

本稿に記載した研究の内容は、文部科学省統合的気候モデル高度化研究プログラム「統合的ハザード予測」（JPMXD0717935498）、「気候変動適応技術社会実装プログラム」および「気候変動適応研究

推進プログラム」、環境省戦略的研究開発領域課題S-13およびS-14、農林水産省「地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響評価と緩和及び適応技術の開発」、「気候変動に対応した循環型食料生産の確立のためのプロジェクト」、「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」の成果報告書からの抜粋である。ご協力いただいた、これら研究プログラムの研究資金配分機関および研究実施機関の皆様に感謝いたします。

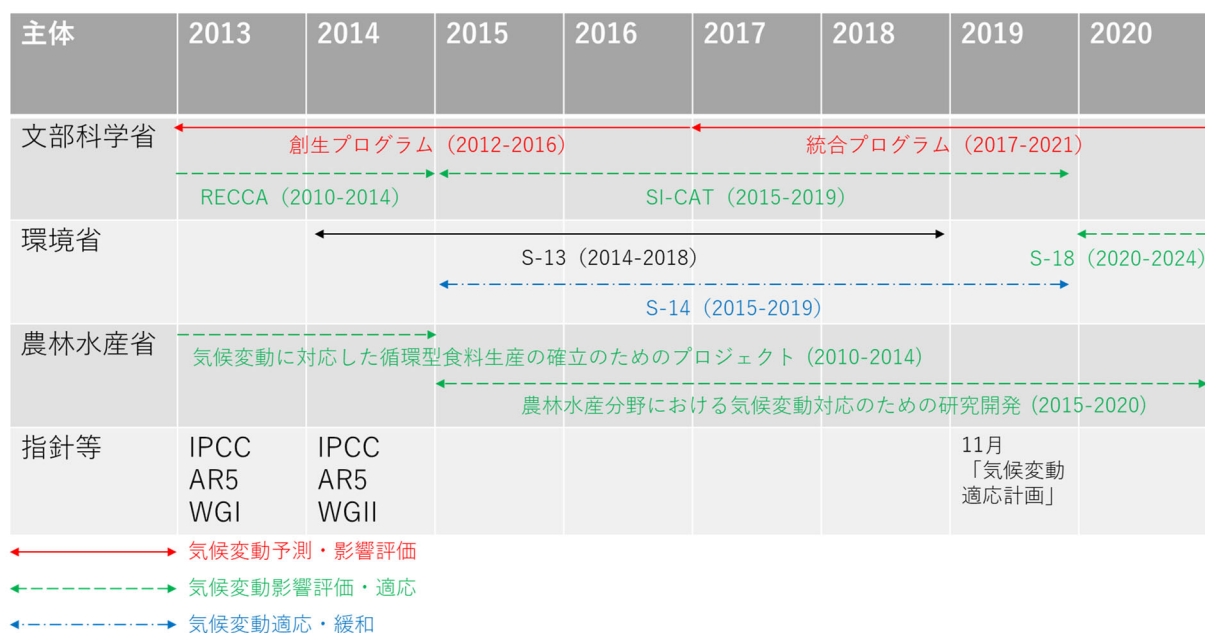


図-1 沿岸域・海岸工学に関連する気候変動に関する研究プログラムの推移

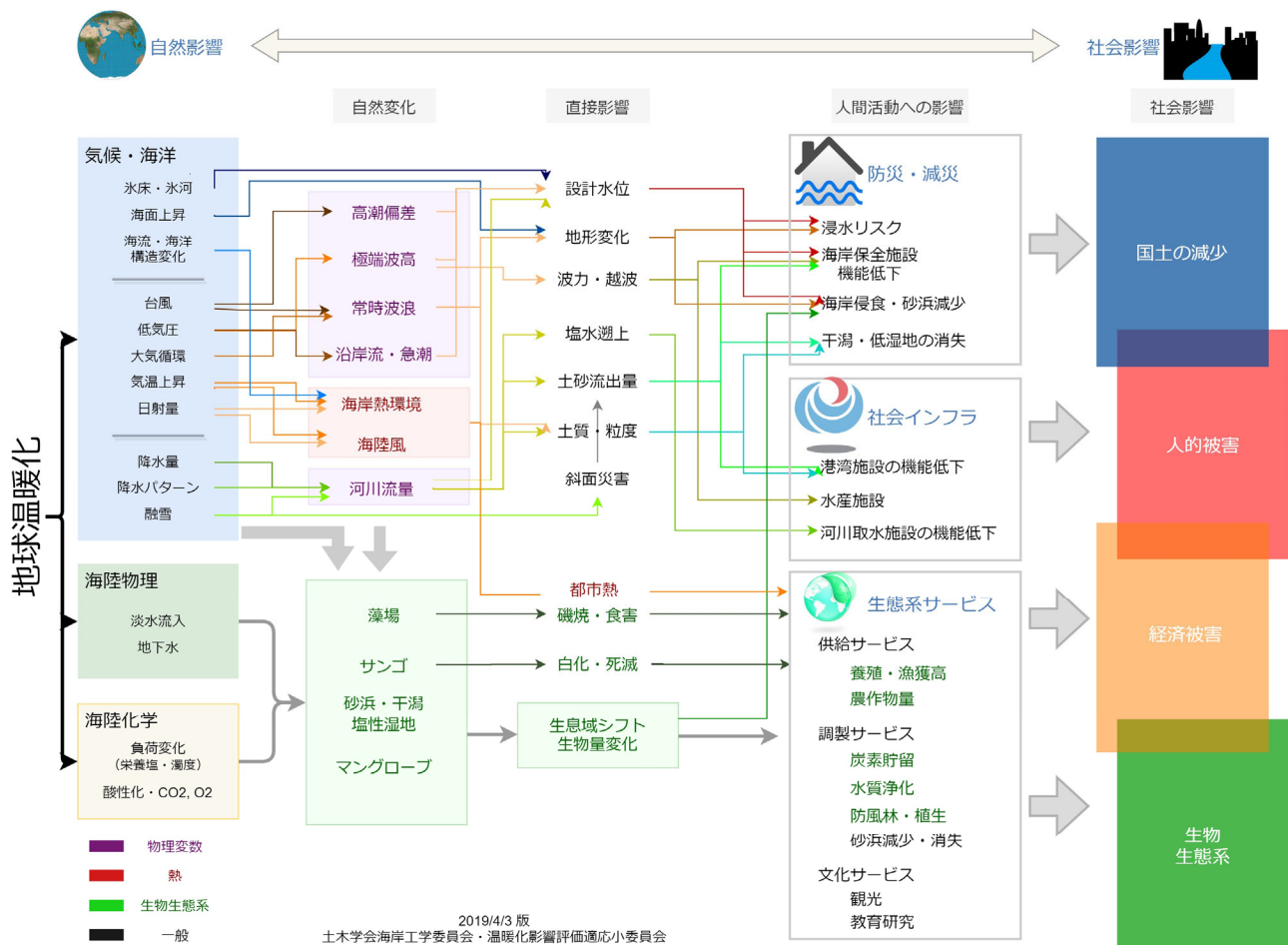


図-2 沿岸域・海岸工学に関する温暖化研究連関図

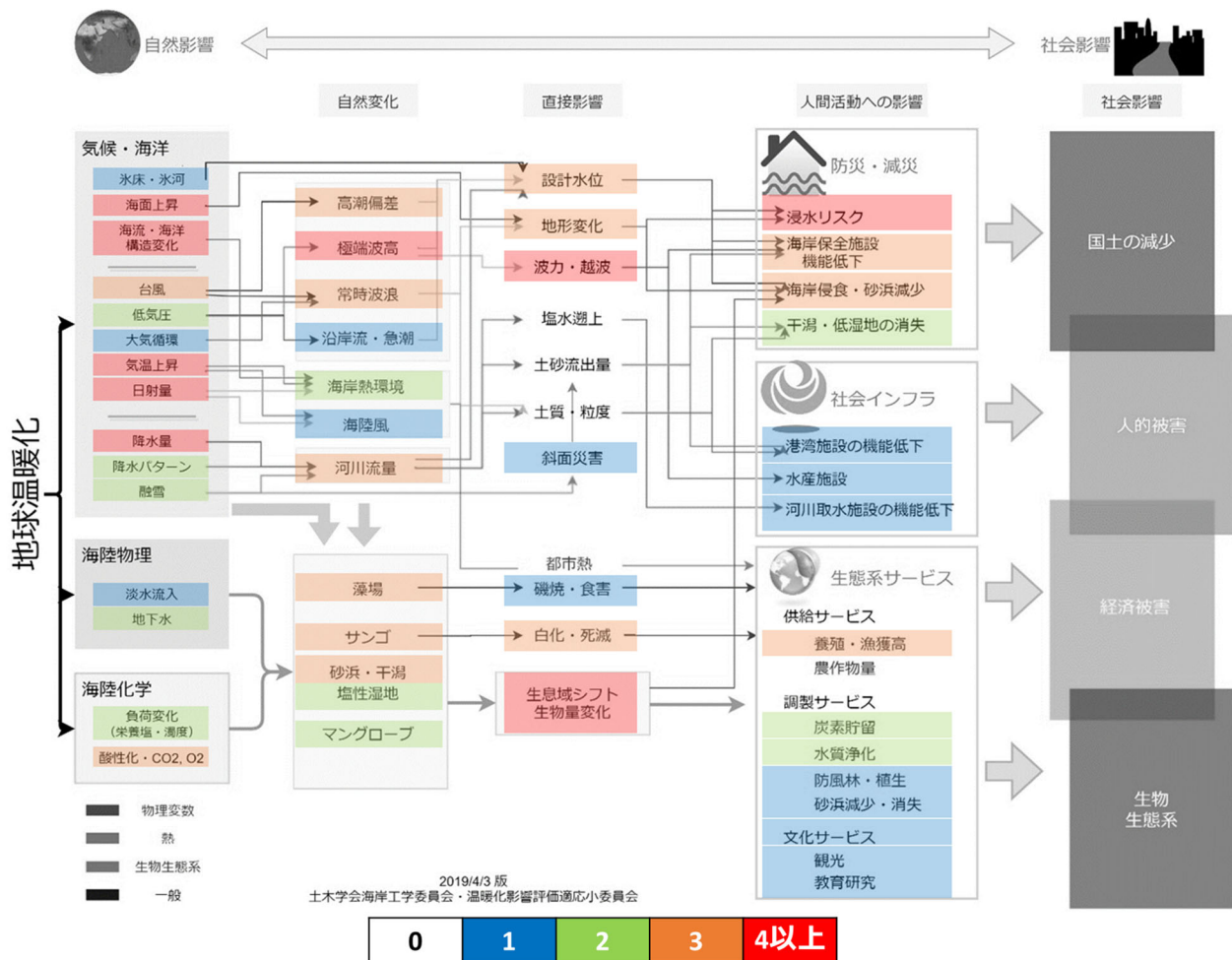


図-3 沿岸域・海岸工学に関する温暖化研究の見取り図と大型研究プロジェクトの関係
(色分けはプロジェクト数)

気候変動適応策に関する国の計画

気候変動適応策に関する国の計画として、政府全体の取り組みをまとめた「気候変動の影響への適応計画」とともに、国土交通省及び農林水産省の気候変動適応計画を紹介する。平成 27 年に閣議決定された「気候変動の影響への適応計画」では、今後おおむね 10 年間における政府の気候変動の影響への適応に関する基本戦略及び政府が実施する各分野における施策の基本的方向が示されている。国土交通省及び農林水産省の気候変動適応計画では、「気候変動の影響への適応計画」と整合した各省の取り組みが示されている。

1. はじめに

本稿では、気候変動適応策に関する国の計画として、政府全体の取り組みをまとめた「気候変動の影響への適応計画」とともに、国土交通省及び農林水産省の気候変動適応計画を紹介する。

2. 気候変動の影響への適応計画

(1) 概要

「気候変動の影響への適応計画」は、気候変動による様々な影響に対し、政府全体として、全体で整合のとれた取組を計画的かつ総合的に推進するため、目指すべき社会の姿等の基本的な方針、基本的な進め方、分野別施策の基本的方向、基盤的・国際的施策を定めた、政府として初の気候変動の影響への適応計画であり、平成 27 年 11 月 27 日に閣議決定された。

本計画においては、21 世紀末までの長期的な展望を意識しつつ、今後おおむね 10 年間における政府の気候変動の影響への適応に関する基本戦略及び政府が実施する各分野における施策の基本的方向が示されている。また、農林水産業分野、国土交通分野、水環境分野及び生物多様性分野等において取りまとめられた適応計画等で示された基本的考え方や具体的な施策は、本計画の基本的考え方や各分野における基本的な施策等に反映されている。

その方針は以下の通りである。

・いかなる気候変動の影響が生じようとも、気候変動の影響への適応策の推進を通じて社会システムや自然システムを調整することにより、当該影響による国民の生命、財産及び生活、経済、自然環境等への被害を最小化あるいは回避し、迅速に回復できる、安全・安心で持続可能な社会を構築することを目指す。

基本戦略①：強靱性の構築、不確実性の考慮、相乗効果の発揮及び技術の開発・普及を通じて政府の関係施策に適応を組み込み、現在及び将来の気候変動の影響に対処する。

基本戦略②：観測・監視及び予測・評価の継続的実施、並びに調査・研究の推進によって、継続的に科学的知見の充実を図る。

基本戦略③：気候リスク情報等の体系化と共有等を通じた各主体の理解と協力の促進を図る。

基本戦略④：地方公共団体における気候変動影響評価や適応計画策定、普及啓発等への協力等を通じ、地域における適応の取組の促進を図る。

基本戦略⑤：開発途上国に対する適応計画策定・対策実施支援、防災支援、人材育成、及び我が国の科学技術の活用を通じ、適応分野の国際協力・貢献を一層推進する。

(2) 分野別施策の基本的方向

水産業、水環境、沿岸生態系、高潮・高波等に関する適応の基本的な施策が示されている。

一例として、高潮・高波等に関する適応の基本的な施策の一部を引用する。

港湾（適応策の基本的考え方）

「地球温暖化に起因する気候変動に対する港湾政策のあり方」（平成 21 年 3 月、交通政策審議会答申）を踏まえるとともに、堤外地及びその背後地の社会経済活動や土地利用を勘案しつつ、軽減すべきリスクの優先度に応じ、下記のようなハード・ソフトの適応策を最適な組み合わせで戦略的かつ順応的に推進することで、堤外地・堤内地における高潮等のリスク増大の抑制、及び港湾活動の維持を図る。また、各種制度・計画に気候変動への適応策を組み込み、様々な政策や取り組みとの連携による適応策の効果的な実施（適応策の主流化）を促す。



図-1 気候変動への影響の適応計画の概要

3. 国土交通省気候変動適応計画

(1) 概要

「国土交通省気候変動適応計画」は、政府全体の適応計画の策定に先駆けて、国土交通分野の適応策を検討したものであり、平成27年11月に策定された。その内容は「気候変動の影響への適応計画」に反映されている。

その方針は以下の通りである。

・現在生じている、あるいは将来生じうる気候変動の影響による被害を最小化する施策を、様々な主体による適切な役割分担とできるだけ科学的な知見に基づいて適切な時期に計画的に講じることにより、効果的・効率的に①国民の生命・財産を守り、②社会・経済活動を支えるインフラやシステムの機能を継続的に確保するとともに、③国民の生活の質の維持を図り、④生じうる状況の変化を適切に活用することを基本的な理念として適応策を推進することとする。適応策の基本的な考え方は以下の通りである。

- 1) 不確実性を踏まえた順応的なマネジメント
- 2) 現在現れている事象への対処
- 3) 将来の影響の考慮
- 4) ハード、ソフト両面からの総合的な対策
- 5) 各種事業計画等における気候変動への配慮
- 6) 自然との共生及び環境との調和
- 7) 地域特性の考慮、各層の取組推進（地方公共団体、事業者、住民等）

(2) 適応に関する施策

高潮・高波、水環境などについて、適応に関する施策が示されている。一例として、高潮・高波に関する施策のうち、海岸に関するものを引用する。

（適応策の基本的な考え方）

海象のモニタリングを行いながら気候変動による影響の兆候を的確に捉え、背後地の社会経済活動及び土地利用の中長期的な動向を勘案して、下記のハード・ソフトの施策を最適な組み合わせで戦略的かつ順応的に進めることで、高潮等の災害リスク増大の抑制及び海岸における国土の保全を図る。

（防護水準等を超えた超過外力への対応）

高潮により超過外力が作用した場合の海岸保全施設の安定性の低下などへの影響等に関する調査研究を進め、背後地の状況等を考慮しつつ粘り強い構造の堤防等の整備を推進するとともに、高潮等に対する適切な避難のための迅速な情報伝達等ソフト面の対策も併せて講ずる。

（増大する外力に対する施策の戦略的展開）

気候変動の影響による海面水位の上昇が認められる場合、あらかじめ将来の海面水位上昇への対応を考慮した整備や施設更新を行うなど、順応的な対策を行う。また、気候変動による漸進的な外力の増加に対して、あらかじめ将来の嵩上げ荷重を考慮した構造物の基礎を整備することで順応的な嵩上げを可能にする等、適応に関する技術開発等について検討を進める。



図-2 国土交通省気候変動適応計画の概要

4. 農林水産省気候変動適応計画

(1) 概要

「農林水産省気候変動適応計画」は平成 27 年 8 月に策定され、平成 29 年 3 月 14 日に改正された。その方針は以下の通りである。

・政府全体の気候変動影響評価と整合し、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計画を策定する。現時点で影響評価の無いものについても、影響評価を実施することに加え、生産現場での課題への対処の観点から、今世紀末までの影響評価を踏まえつつ、当面 10 年程度に必要な取組を中心に分野・品目ごとに計画として整理し推進していく。

・集中豪雨等による農地の湛水被害や山地災害の激甚化、海面水位上昇、湛水による高潮のリスク増大等に対して、防災に資する施設整備等を計画的に推進する等、不断に備える。

(2) 分野別施策の基本的方向

農業、森林・林業、水産資源・漁業・漁港等について施策の基本的方向が示されている。一例として、海面漁業及び漁港・漁村における取り組みについて引用する。

・海面漁業

様々な水産資源について、引き続き産卵海域や主要漁場における海洋環境についての調査を継続し、海洋環境の変動等による水産資源への影響等の把握に努める。

調査船や人工衛星等から得られる様々な観測データを同化する手法を高度化し、運用中の海況予測モデルの精度を高める。これら情報を元に、環境変動下における資源量の把握や予測、漁場予測の高精度化と効率化を図る。

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、気候変動の影響を受けて変動すると考えられる環境収容力等の推定を目的とし、資源情報、ゲノム情報、海洋情報等、多様なデータの収集と、それらデータの統合・解析システムの開発をめざす。

有害プランクトン大発生の一因となる気象条件、海洋環境条件を特定し、衛星情報や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。海洋環境の変化が放流後のサケ稚魚等の生残に影響することが指摘されているため、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。

・漁港・漁村

異常気象による高波の増加などに対応するため、気候変動による影響の兆候を的確に捉えるための潮位や波浪のモニタリングを行うとともに、防波堤、物揚場等の漁港施設の嵩上げや粘り強い構造を持つ海岸保全施設の整備等を引き続き計画的に推進する。また、水位上昇や高波の増加に対応したインフラ施設の設計条件と低コストな既存施設の改良手法を開発する。

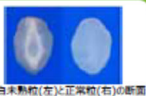
農林水産分野の主な適応策



農林水産業は気候変動の影響を受けやすく、高温による生育障害や品質低下などが既に発生。一方で、気温の上昇による栽培地域の拡大など気候変動がもたらす機会を活用。

水稲

- ・高温による品質の低下。
- ・高温耐性品種への転換が進まない場合、全国的に一等米比率が低下する可能性。



高温耐性品種の開発・普及
肥培管理、水管理等の基本技術の徹底

広島県 高温耐性品種「ののすけ」

畜産

- ・高温による乳用牛の乳量・乳成分・繁殖成績の低下。
- ・肉用牛、豚、肉用鶏の増体率の低下。
- ・高温・小雨などによる飼料作物の夏枯れや虫害。



京都府 ヒト用の冷却素材を応用した家畜用衣料の開発

畜舎内の散水、換気など暑熱対策の普及
栄養管理の適正化など生産性向上技術の開発
飼料作物の高温・小雨に適応した栽培体系・品種の確立

森林・林業

- ・森林の有する山地災害防止機能の限界を超えた山腹崩壊などに伴う流木災害の発生。
- ・豪雨の発生頻度の増加により、山腹崩壊や土石流などの山地災害の発生リスクが増加する可能性。
- ・降水量の少ない地域でスギ人工林の生育が不適になる地域が増加する可能性。



豪雨による大規模な山腹崩壊

乾燥により枯れたスギ

治山施設の設置や森林の整備等による山地災害の防止
気候変動の森林・林業への影響について調査・研究

果樹

- ・りんごやぶどうの着色不良、うんしゅうみかんの浮皮や日焼け、日本なしの発芽不良などの発生。
- ・りんご、うんしゅうみかんの栽培適地が年次を追うごとに北上する可能性。



りんごの着色不良



うんしゅうみかんの浮皮

りんごやぶどうでは、優良着色系統や黄緑色系統の導入
うんしゅうみかんよりも温暖な気候を好む中晩柑（ブラッドオレンジ等）への転換



愛媛県 高温に強いブランド品種「ブラッドオレンジ」

農業生産基盤

- ・年降水量の変動幅が大きくなり、短期間に強く雨が降る傾向。
- ・田植え時期や用水管理の変更など水需要に影響。
- ・農地の湛水被害などのリスクが増加する可能性。

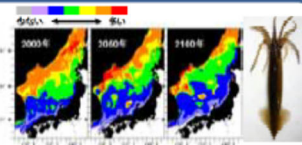


集中豪雨による農地の湛水被害

排水機場・排水路などの整備、ハザードマップの策定など、ハード・ソフト対策を適切に組み合わせ、農村地域の防災・減災機能を維持・向上

水産業

- ・日本海でブリ、サワラ漁獲量の増加、スルメイカの減少。
- ・南方系魚種の増加、北方系魚種の減少。
- ・養殖ブリの種付け時期の遅れ、収穫量の減少。
- ・海洋の生産力が低下する可能性。



日本海におけるスルメイカの分布予測図（7月）

産卵海域や主要漁場における海洋環境調査や資源量の把握・予測
高水温耐性を有する養殖品種の開発

3

図-3 農林水産分野の主な適応策

参考文献

- 1) 日本政府：気候変動の影響への適応計画，2015.
- 2) 国土交通省：国土交通省気候変動適応計画，2015.
- 3) 農林水産省：農林水産省気候変動適応計画，2017.

編集者

加藤史訓・有川太郎・李 漢洙

文部科学省 気候変動適応研究推進プログラム：RECCA

研究プロジェクト情報

配分機関	文部科学省
研究期間	2010－2014 年度
研究予算	(全体の予算) 2010 年度 6.0 億円, 2011 年度 5.7 億円, 2012 年度 5.6 億円, 2013 年度 5.6 億円, 2014 年度 4.8 億円
PD/PO	PD: 三村信男 (茨城大学), PO: 武若 聡 (筑波大学), 太田俊二 (早稲田大学)
関連課題・代表者	気候変動に伴う水産資源・海況変動予測技術の革新と実利用化・淡路敏之, 石川洋一 (海洋研究開発機構)

沿岸域に対する影響評価・適応情報の要約

対象スケール	北太平洋
時間	20 世紀末から 21 世紀初め
事象	海流・海洋構造
関連情報	https://www.restec.or.jp/recca/
報告書公開状況	非公開 (成果集を公開)
データ公開状況	DIAS を通じて公開

1. RECCA (気候変動適応研究推進プログラム)

気候変動適応研究推進プログラム (Research Program on Climate Change Adaptation; RECCA) は、文部科学省・研究開発局・環境エネルギー課の主管で、平成22年度 (2010 年度) から平成 26 年度 (2014 年度) の 5 年度間にわたって実施された研究プログラムである¹⁾。

研究開始時に公募がなされ、12 の研究課題が採択された。公募で求められたのは、

- (1) 先進的なダウンスケーリング手法の開発
- (2) データ同化技術の開発
- (3) 気候変動適応シミュレーション技術の開発

であり、気候変動予測の成果を、都道府県、市区町村などの地域規模で行われる気候変動適応策の検討に提供するための研究開発を意図した点に特徴がある。気候変動の計算結果の信頼性が高まり、また、様々なシナリオに基づく計算結果の蓄積を受けて、政策・施策等の担当者を想定して社会に還元するための方法論の検討が行われた。

採択された 12 の研究課題の内容を分類すると、ダウンスケーリング手法を検討するものが 8 課題、同化手法の検討をするものが 5 課題、適応シミュレーションを検討するものが 8 課題となり、一つの提案が複数の開発を担った。11 の研究課題が陸域・都市域を主な検討領域

としており、海に直接的に関わる研究課題は 1 件であった。これは、当時の社会の関心事と関連の研究者数に拠るものと考えられる。陸域・都市域で対象となったのは、降雨、降雪、ヤマセ、都市域の大気流動と暑熱、流出・出水、水資源、農業分野の適応等である。

以下では海域について行われた研究結果の概略を紹介する。

2. 気候変動に伴う水産資源・海況変動予測技術の革新と実利用化 (海流・海洋構造)

研究代表者は淡路敏之氏、石川洋一氏 (海洋研究開発機構) が務め、研究課題名は「気候変動に伴う水産資源・海況変動予測技術の革新と実利用化」である。

研究目的は「アカイカを対象に、温暖化に伴う漁場や水産資源量の変動の推定を行うとともに、適応策を作るために必要な情報を青森県の漁業者に提供すること」と設定されている。具体的には、漁場を含む領域の海洋流動の同化計算が行われ、この結果が漁業者の操業判断を支援するために提供された。タブレットに最新の予測結果が配信されるシステムが構築され、研究担当者は漁業者の評価を得てこれの改善を図った。

技術的な観点からは「4 次元変分法データ同化」の開

発が特筆される。これは、様々な観測データ（海面高度、係留ブイ、ARGO データ等）を同化により取り込みながら合理的なダウンスケーリングを行う手法である。残念ながら、この研究で計算された結果は公式には公開されていない。

以上で開発された計算技術は RECCA の次に実施されている気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT、平成 26 年度 - 令和 1 年度）²⁾ における北西太平洋海洋長期再解析データセット（FORA-WNP30）³⁾ の作成に引き継がれている（図-1）。同データは 1982 年から 2014 年までの日本沿岸の海洋流動を空間分解能 10 km で再現したもので、24 時間毎の計算結果が提供される。様々な沿岸域における研究に活用できるよう、データセットは公開されており無償で提供を受けることができる。

謝辞： 本稿に紹介した研究は文部科学省気候変動適応研究推進プログラムの助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 気候変動適応研究推進プログラム：<https://www.restec.or.jp/recca>, 2019-07-29 参照。
- 2) 気候変動適応技術社会実装プログラム：<https://si-cat.jp/>, 2019-07-29 参照。

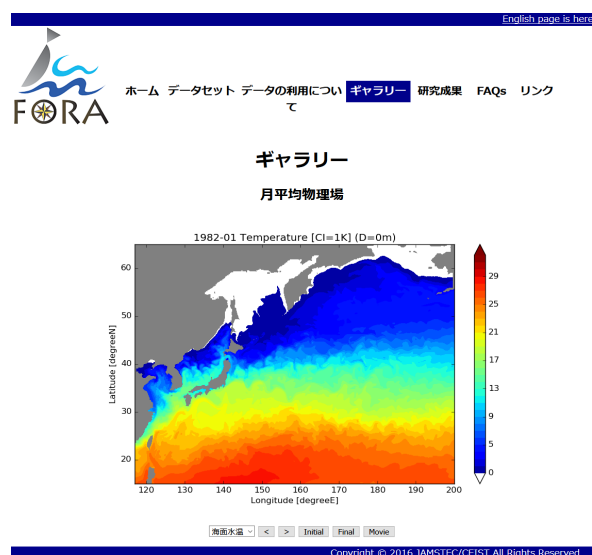


図-1 FORA-WNP30 スクリーンショット

- 3) 北西太平洋海洋長期再解析データセット FORA-WNP30：<http://synthesis.jamstec.go.jp/FORA/>, 2019-07-29 参照。

編集者

武若 聡

文部科学省 気候変動適応技術社会実装プログラム：SI-CAT

研究プロジェクト情報

配分機関	文部科学省
研究期間	2015－2019 年度
研究予算	22 億 5 千万円（期間・プログラム全体）
PD/PO	PD: 三上正男（気象業務支援センター），研究課題代表者: 石川洋一（海洋研究開発機構）
関連課題・代表者	課題 1, 2 信頼度の高い近未来予測技術の開発及び超高解像度ダウンスケーリング技術の開発・石川洋一（海洋研究開発機構） 課題 3 気候変動の影響評価等技術の開発・脇岡靖明（国立環境研究所）
サブ課題名・代表者	課題 1, 2 1-a 日本全国 20km 近未来気候予測技術開発・渡辺真吾（海洋研究開発機構） 1-c 日本周辺海域近未来予測技術開発・石川洋一（海洋研究開発機構） 2-b 街区・港湾スケールの力学的ダウンスケーリング技術開発・森信人（京都大学） 3-a モデル自治体等における技術開発（佐賀県）・橋本典明（九州大学） 3-c モデル自治体等における技術開発（茨城県及び鳥取県）・武若聡（茨城大学） 課題 3 (i)-a-① 適応策評価のための水災害リスクマップの高度利用技術開発・風間聡（東北大学） (ii)-① 経済影響評価：被害・政策マトリックス評価・中嶋一憲（兵庫県立大学）

沿岸域に対する影響評価・適応情報の要約

対象スケール	北太平洋から港湾スケール
時間	20 世紀末から 21 世紀末
事象	海流・海洋構造，海洋構造，海岸熱環境，沿岸流，常時波浪，高潮偏差，台風，浸水リスク，砂浜，地形変化，海岸侵食
関連情報	https://www.restec.or.jp/si-cat/
報告書公開状況	非公開（成果集を公開）
データ公開状況	DIAS を通じて一部公開

1. プロジェクトの概要

気候変動による影響は、台風や集中豪雨等をはじめとした自然災害リスクの増大、高温障害など農林水産業における品質・収量の悪化などがあり、今後ますます多様化・深刻化する可能性が予想されているため、これらの問題に対応することは喫緊の課題である。気候変動に関する政府間パネル (IPCC) が平成 26 年に公表した第 5 次評価報告書統合報告書では、持続可能な社会を実現するために、温室効果ガスの排出を抑制する緩和策だけでなく、気候変動に効果的に適応するための策が重要であると指摘されている。我が国でも政府としての「気候変動

の影響への適応計画」が平成 27 年に策定され、気候変動の影響による被害を最小化あるいは回避し、持続可能な社会の構築を目指しており、今後地方自治体などに適応計画の策定の動きが広がっていくことが期待される。

そこで、本研究では日本全国のような地域において科学的知見に基づいた適応策の検討、策定に必要な気候変動予測データの提供を行うために、「気候変動適応技術社会実装プログラム」（以下「本プログラム」という。）の一環として、地方自治体等が活用可能な信頼性を有する数年～十数年程度先の時間スケールを対象とし、昭和 48 年 7 月 12 日行政管理庁告示第 143 号に基づく「標準地域メッシュ」のうち「基準地域メッシュ（第 3 次地域

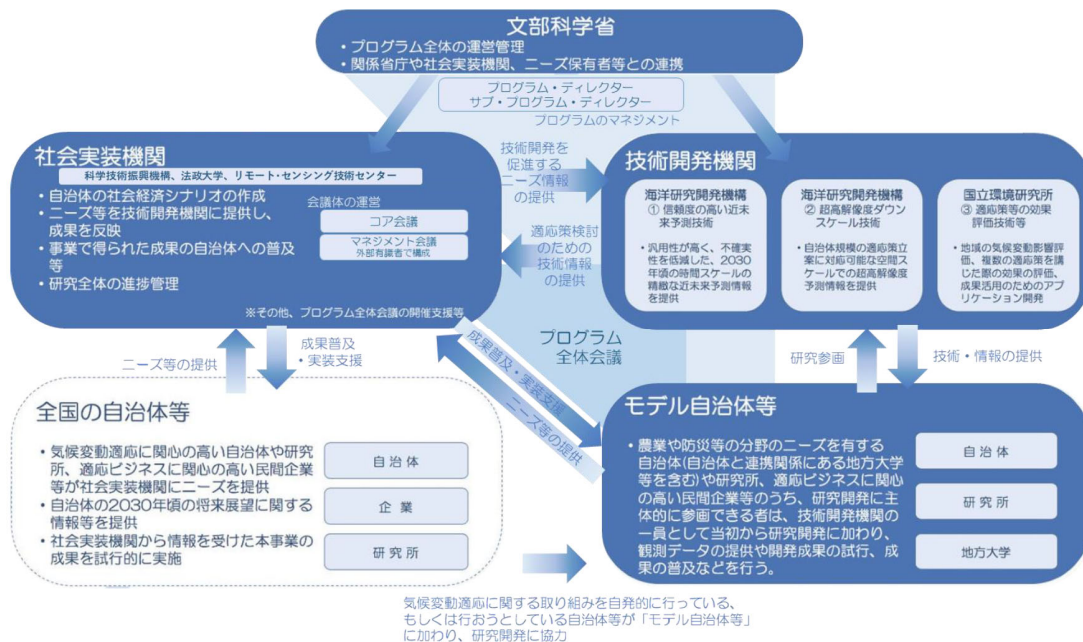


図-1 SI-CATの体制：技術開発機関は課題1から3に設定される気候変動に関する先端的な検討を進める。社会実装機関は全国の自治体等からのヒアリングによって気候変動に関するニーズの抽出および技術開発機関への情報提供を行うとともに、研究成果を全国の自治体等へ提供する窓口となる。また、モデル自治体等には特定分野について関心の高い機関が抽出され、技術開発機関と密に連携しながら試行、普及を行う（気候変動適応技術社会実装プログラム成果集より引用）。

区画）」に相当する1km程度の空間解像度やニーズに応じたより細かなスケールの気候変動予測情報を創出するための研究開発を行う。本プログラムの実施体制は図-1のようにまとめられる¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。

技術開発の成果は、本プログラム終了後全国の地方自治体等が気候変動適応策を主体的に策定できるようにするため、作成したデータセットや地方自治体等の観測情報を「データ統合・解析システム（DIAS）」に格納するとともに、開発した技術を本プログラムの社会実装機関と協力してDIAS上に実装し、自治体等が必要な情報を独自に作成することを可能とする基盤を構築する。また、社会実装機関が行うDIASの利用方法の手引き及び気候変動適応策の策定のための支援ツールの作成や本プログラムの成果の普及等にあたって、必要な協力を行う。なお、将来に向けて共通基盤技術の改良等を可能とする人材の育成や確保、地方自治体等への技術移転の観点から、若手研究者や大学院生、本プログラムのモデル自治体等の研究者を技術開発作業に参画させることにより、人材育成や人材確保、技術移転を図る。

以降では、本プログラムで技術開発として設定される各課題の目的や現在までの成果・進捗についてまとめる。

2. 課題1：信頼度の高い近未来予測技術の開発（海流・海洋構造）

(1) 目的

都道府県や市町村レベルで気候変動適応策の検討を行う際に利用可能な科学的基礎情報として、数年先から十数年程度先の信頼度及び汎用性が高い気候変動予測情報の創出を可能とする近未来予測技術の開発を行う。この技術を用いて、2030年近辺を対象として極端現象を含めた確率情報付きデータセットを作成し、本プログラムの他の技術開発機関、社会実装機関及び地方自治体等に対し、それぞれのニーズに合わせて提供を行う。さらに、作成した大容量のデータセットを有効活用するために、極端現象イベントの確率的变化（イベント・プロジェクション）といった発展的な予測情報や類似イベントの探索等の機能を付加した近未来気候予測データベースとして構成・提供するための、特徴抽出手法や機械学習などの改良を含む情報技術を開発する。

(2) 現在までの成果および進捗

課題1では1-aから1-cまでの3テーマが設定されている。以下では、海岸工学に関連する1-aの一部および1-cの進捗をまとめる。

課題1-a 日本全国20km近未来気候予測技術開発

気候変動リスク情報創生プログラムで開発された「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース」（d4PDF: <http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/design.html>)を参考に、近未来の気候として全球平均地上気温が産業革命以降2℃上昇した世界を対象として、100年に一度生じるレベルの極端現象の確率評価が可能となる数千年規模のアンサンブル大気モデル実験(2℃上昇実験)を実

施し、その結果を DIAS にて公開している。

課題 1-c 日本周辺海域近未来予測技術開発

数値海洋循環モデル MRICOM を基盤とする海洋循環モデルを用いて、北太平洋域から日本周辺域までの空間解像度を 0.5 度、10km（プロダクト名：SICAT10）、2km（プロダクト名：SICAT02）まで順に上げる 3 段入れ子海洋循環モデルを開発した。モデル出力値の信頼性評価を実施した結果、海洋再解析データ FORA-WNP30 と日本周辺海域で強い相関があることが示された⁹⁾。

海洋アンサンブル実験に先立って、CMIP5（第 5 次結合モデル相互比較プロジェクト）の中のモデル・シナリオより、海洋アンサンブル過去・将来予測実験を実施するための大気外力として採用するモデル・シナリオの検討を行った。検討は、SICAT10 モデルの駆動外力として必要な時間解像度（3 時間平均値）をもった必要要素がそろっているか、スベルドラップ輸送から推定される黒潮の流量や変動モードが妥当かつ適度にばらついているかなどの観点を中心に行った。その結果、CMIP5 大気外力のモデルとして MIROC5、MRI-CGCM3、GFDL-ESM2M、IPSL-CM5A-MR を採用することにした。各ケースの積分期間は historical（1960-2005 年）と RCP（2006-2100 年）の合計で 140 年であり、historical は同じモデルでは共通である。ここで、historical 期間のうち初めの 20 年間（1960-1980 年）はスピニアップ期間と見なし、1980 年以降をモデル間の相互比較期間とする。平成 30 年度末時点では、水平解像度 10km の北太平洋モデルによる海洋将来予測データセットの構築を進め、CMIP5 から 4 モデルを外力とする RCP2.6、RCP8.5 シナリオおよび historical を大気外力としたデータセットを構築した。

3. 課題 2：超高解像度ダウンスケーリング技術の開発（海洋構造、海岸熱環境、沿岸流、常時波浪、高潮偏差、台風、浸水リスク、砂浜、地形変化、海岸侵食）

(1) 目的

地方自治体等が気候変動適応策の検討を行う上で必要な「基準地域メッシュ」に相当する 1km 解像度の気候変動情報を作成するための汎用的なダウンスケーリング技術の開発を行うとともに、その技術を用いて、課題 1 で得られた確率情報を含んだ近未来予測結果を 1km 解像度にダウンスケーリングしたデータセットを本プログラムの他の技術開発機関、社会実装機関及びモデル自治体等に対し、それぞれのニーズに合わせて提供を行う。さらにモデル自治体等のニーズに応じて、街区・港湾スケールなど 1 km より細かな解像度へのダウンスケーリング技術を開発し、より詳細な気候変動情報を創出し、モデ

ル自治体等への提供を行う。これら作成したデータセットは、モデル自治体等と連携し観測情報の提供等を受け、検証を行い、データセットの精度に関する情報を創出する。

(2) 現在までの成果および進捗

課題 2 では 2-a 汎用的ダウンスケーリング技術開発、2-b 街区・港湾スケールの力学的ダウンスケーリング技術開発、3 モデル自治体等による技術開発が設定されている。以下では、海岸工学に関連する 2-b と 3 の一部の進捗をまとめる。

a) 2-b 街区・港湾スケールの力学的ダウンスケーリング技術開発

課題 1、課題 3 及びモデル自治体（茨城県、鳥取県）等と連携し、気候変動適応策の検討を行う上で必要な波浪・海洋に関する 1km メッシュダウンスケーリング技術を開発し、データセットを課題 3 及びモデル自治体に提供する。

波浪のダウンスケーリングについては、沿岸の波浪を精度良く計算するためには、遠方の沖合を含めた領域かつ、沿岸部の詳細な地形を考慮した計算が必要である。本課題では、深海域に WWIII（Wave Watch III）、浅海域に SWAN（Simulating WAve Nearshore）を用いた波浪推算モデル（WWIII-SWAN）を開発した。検討対象の一つである鳥取県の場合には、日本海全体の領域から鳥取沿岸の地形を詳細に表現できる 4 領域ネスティングによって高解像度波浪モデルを構築した。各領域の解像度は 0.2 度、0.03 度、0.004 度、0.001 度となっており、第 4 領域では 100m の解像度を持つ。鳥取県を対象とした比較として、全領域を SWAN で計算したモデル（SWAN-SWAN）でもシミュレーションを行った。その結果、いずれの計算モデルにおいても有義波高、有義波周期の計算値は観測値を良好に再現しているが、SWAN-SWAN では波高・周期ともに過大評価となっていた傾向が WWIII-SWAN ではかなり観測値に近づいた。

海洋のダウンスケーリングについては、沿岸域を対象とするモデル開発を行った。海洋モデルは通常、沖合を対象とした計算を行うために設計されているため、沿岸域で重要となる波浪によって生じる流れ、特に不規則波に対する Stokes Drift がうまく考慮されていない。不規則波を対象とする場合、波浪のエネルギースペクトルの積分が必要となるが、モデル間の通信負荷が課題となるためガウス分布を仮定し、負荷を抑えたモデル構築を行った。

茨城県の沿岸部のダウンスケールモデルとして第 1 領域の空間解像度を 2km、第 3 領域の空間解像度を 222m とし、側方境界は FORA-WNP30、海面境界は JRA-55 から線形内挿して与えている。波崎における観測結果と比

較すると、ダウンスケール結果の水温は観測結果に一致しており、バイアスが大きく低減されている。親データの FORA-WNP30 は概ね過小評価である、推進の低い沿岸部の水温を低めに評価する傾向がある。塩分については、ダウンスケール結果は河川の出水に応じて 2~4PSU 程度局所的に塩分を低下させることがわかった⁷⁾。

鳥取県の浦富海岸を対象としたダウンスケールモデルとして空間解像度を 1800m, 600m, 200m, 67m とする 4 領域モデルを構築した。沿岸部の水温は、茨城県沿岸と同様に FORA-WNP30 では過小評価の傾向があるが、ダウンスケーリングによりバイアスが低減された。浦富海岸における漂砂への海流の影響検討を行うため、浦富海岸の湾口付近の流速について解析を行った。その結果、通常、海浜変形計算では沖側境界流速を 0 とするが、0.3m/s 程度の間欠的な流速が見られた。

b) 3-a モデル自治体等における技術開発（佐賀県）

有明海奥に位置する佐賀平野における洪水・高潮の複合災害に関する検討を行った。

有明海を対象とした高潮氾濫シミュレーションのため、FVCOM（Finite Volume Coastal Ocean Model）を用いて最悪台風経路を検討した。仮想的な 128 経路を設定し、Myers 式による気圧分布と経験的な低減係数により風場を表現した経験的な台風モデルを用いて推算した。台風が来襲し通過するまでに堤防を越流した浸水量を台風の危険度としたところ、佐賀平野における最悪台風経路は有明海の東側を通過し筑後川に平行な経路であった。

災害の将来変化について検討するため、d4PDF から佐賀平野に対して危険な経路をとる台風の来襲頻度と強度の将来変化を評価した。その結果、頻度はほとんど変化せず、強度は強くなることがわかった。さらに、過去実験と将来実験それぞれにおいて佐賀平野に最接近したときに台風中心気圧が低い方から上位 10 台風に対してダウンスケーリングを実施し、そのデータを気象外力として与えた高潮氾濫シミュレーションを行うことで有明海の高潮偏差及び佐賀平野における高潮浸水の将来変化を検討した。その結果、有明海に生じる高潮偏差は大きくなり、浸水範囲が広がることがわかった。また、適応策として堤防の嵩上げを実施することで、浸水被害を大きく軽減できる可能性があることもわかった⁸⁾。

c) 3-c モデル自治体等における技術開発（茨城県及び鳥取県）

茨城県及び鳥取県の沿岸分野における適応策を検討した。我が国では、海岸法と国土交通省及び農林水産省の定める海岸保全基本方針に則り、地方自治体が海岸保全基本計画を定めた上で沿岸整備を進めている。海岸保全基本計画は、防災、環境、利用の三側面から沿岸の具体的な整備計画を定めるものであるが、現状では気候変動の影響は考慮されていない。そこで、本プロジェクトで

は茨城県と鳥取県の沿岸を対象に、気候変動による外力の変化に伴い予想される様々な影響を評価し、各分野の研究者と自治体担当者が共同で適応策を検討することを目的としている。

課題 2 において作成された波浪再解析データを JRA55_Wave、ダウンスケーリング版を JRA55_Wave_DS として茨城県の観測結果と比較した再現性の検討を行った。その結果、ダウンスケールにより波高、波向の頻度分布が観測値に近づいた。特に波高が 2.5m 以上ではその改善が顕著であった。波向はダウンスケールにより波の入射方向が現実的な範囲に絞られた。

沿岸のモニタリングとして、茨城沿岸では X バンドレーダによる汀線位置分布の連続観測を実施した。また、SAR 衛星画像によって 10 年間にわたる鹿島灘南部 16km の汀線位置を追跡した。その解析の結果、季節的な変化（岸沖方向）と長期的な変化（沿岸方向）に分離できることを確認し、前者の変動は波の入射エネルギーの大小と関連性が高いことを示した⁹⁾。

4. 課題 3：適応策等の効果評価技術等（砂浜、地形変化、海岸侵食）

(1) 目的

課題 1 及び課題 2 で得られた技術開発の成果を全国の地方自治体等が汎用的に活用するために、気候変動情報に関するニーズに関して具体的な地域の課題を対象に収集するとともに、開発された手法やデータセットの検証、改良及び普及等を本プログラムの技術開発機関、社会実装機関などと協力して行う。

(2) 現在までの成果および進捗

SI-CAT では気候変動の影響評価等技術の開発に関する研究として 14 サブ課題が設定されているが、海岸工学に関連する 2 サブ課題の進捗をまとめる。

a) (i)-a-① 適応策評価のための水災害リスクマップの高度利用技術開発

洪水氾濫、高潮、土砂侵食、ダム湖水質障害評価モデルの精緻化、高分解能化を行った。開発した数値モデルをもとに複数の将来シナリオ、適応シナリオを適用し、複合水災害、砂浜消失、河川土砂供給量等の将来展望を求め、将来の経済損失（被害額等）分布を求めた。

洪水、高潮、洪水高潮の複合の各災害の年平均期待被害額を都道府県ごとに比較すると、31 都道府県において洪水単独災害による被害額が最大、14 都道府県において高潮単独災害による被害額が最大、千葉県のみにおいて複合災害による被害額が最大となった¹⁰⁾。

全国の流域の長期データを用いて過去の砂浜侵食要因

について明らかにし、RCPシナリオに対する砂浜消失の将来予測を行うとともに、解像度の影響について明らかにした。潮位・波浪データが長期的に取得されている地域において、将来の砂浜条件に対する高潮災害リスク評価を行ったところ、維持する砂浜幅により被害額が異なり、適応策において適切な砂浜幅の維持が必要であることが示された¹¹⁾。

b) (ii)① 経済影響評価：被害・政策マトリックス開発

気候変動による砂浜侵食の経済的影響を捉えるために、砂浜侵食による日本全国および都道府県別の経済的被害額の計測、および砂浜回復を目的とした仮想的な適応策の費用便益分析を行った。経済活動における全ての財・サービスや生産要素を扱った応用一般均衡モデルに、砂浜侵食によるレクリエーション需要の変化を捉えることができるモジュールを組み込んだモデルを構築し、砂浜の物理的将来予測データを砂浜侵食シナリオとしてシミュレーション分析を行った。本検討では2つの期間、3つの気候モデル、3つのRCPシナリオの合計18通りのシナリオを評価した¹²⁾。

都道府県別の経済的被害額は、沖縄県、神奈川県、新潟県、兵庫県の4県の被害額合計が日本全体における総被害額のうちの約40%から45%を占めており、気温上昇が大きくなるほど砂浜侵食の被害額は大きくなることがわかった。

適応策の費用便益分析では、砂浜侵食の適応策（養浜）に要する費用よりも、砂浜侵食の適応策を講じることによる便益の方が大きくなるような、適応策が経済的に効率的である地域（費用便益比が1.0を超える地域）に注目した。2031年から2050年の期間では、全てのRCPシナリオにおいて神奈川県、大阪府、佐賀県、熊本県の4府県が該当した。2081年から2100年の期間では、RCP2.6、4.5において兵庫県と広島県が追加された6府県が、RCP8.5において富山県と岡山県がさらに追加された8府県が該当し、気温上昇が大きくなるほど適応策が効率的となる地域が増えることがわかった。

謝辞：本稿に記載した研究の内容は、文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム「信頼度の高い近未来予測技術の開発、超高解像度ダウンスケーリ

ング技術の開発（JPMXD0715667163）」、「気候変動の影響評価等技術の開発に関する研究（JPMXD0715667165）」の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 平成27年度報告書 文部科学省 気候変動適応技術社会実装プログラム, 2016.
- 2) 平成28年度報告書 文部科学省 気候変動適応技術社会実装プログラム, 2017.
- 3) 平成29年度成果報告書 文部科学省 気候変動適応技術社会実装プログラム, 2018.
- 4) 平成30年度委託業務成果報告書 文部科学省 気候変動適応技術社会実装プログラム, 2019.
- 5) 気候変動適応技術社会実装プログラム成果集, 2020.
- 6) 二宮順一・浜野竜太郎・森 信人・Josko Troselj・石川洋一・西川史朗：長期海洋再解析データによる日本海の海洋環境再現性評価と海峡流量解析, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 74 巻, 2 号, pp.I_988-I_993, 2018.
- 7) J. Troselj, Y. Imai, J. Ninomiya, N. Mori: Coastal Current Downscaling Emphasizing Freshwater Impact on Ibaraki Coast, *J. JSCE, Ser.B2 (Coastal Engineering)*, Vol.74, No.2, I_1357-I_1362, 2018.
- 8) 井手喜彦, 鶴田友莉, 山城賢, 橋本典明：佐賀平野における各種高潮対策施設の効果に関する研究. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.74, No.2, pp.I_565-I_570, 2018.
- 9) D. Kumar and S. Takewaka: Estimation of Shoreline Positions by Combining X-band Radar and SAR Observations, *J. JSCE, Ser.B2 (Coastal Engineering)*, Vol. 74, pp. I_979-I_984, 2018.
- 10) 山本道, 風間聡, 峠嘉哉, 多田毅, 山下毅：気候変動による洪水被害に対する緩和策と適応策の評価, 土木学会論文集 G (環境), 75 巻, 5 号, pp.I_15-I_23, 2019.
- 11) Y. Takeda and K. Udo: Effect of Spatial Resolution on Nationwide Projection of Future Beach Loss Rate in Japan, *Journal of Coastal Research*, 95(sp1), 1310-1314, 2020.
- 12) 中嶋一憲, 坂本直樹, 大野栄治, 森杉雅史, 森龍太：気候変動による砂浜侵食に関する適応策の費用便益分析, 土木学会論文集 G(環境), Vol.74, No.5, I_425 I_436, 2018.

編集者

石川洋一・二宮順一

文部科学省

気候変動リスク情報創生プログラム

－課題対応型の精密な影響評価－

研究プロジェクト情報

配分機関	文部科学省
研究期間	2012－2016 年度
研究予算	38 億 8 千 6 百万円（期間・プロジェクト全体）
PD/PO	PD: 住 明正（国立環境研究所），PO: 原澤英夫（国立環境研究所）
関連課題・代表者	領域テーマ D 課題対応型の精密な影響評価・中北英一（京都大学）
サブ課題名・代表者	領域課題 自然災害に関する気候変動リスク情報の創出 a 気候変動に伴う気象災害リスクの評価・竹見哲也（京都大学） b 気候変動に伴う河川流域災害リスクの評価・立川康人（京都大学） c 気候変動に伴う沿岸災害リスクの評価・森 信人（京都大学） d 気候変動リスクの社会・経済影響と適応策の評価手法の構築・多々納裕一（京都大学） e アジアにおける水災害リスク評価と適応策情報の創生・三宅且仁（土木研究所） 領域課題 生態系・生物多様性に関する気候変動リスク情報の創出 b 生態系サービス等を通じた社会・経済的影響の評価研究・中静 透（東北大学） d 沿岸海洋生態系に対する気候変動の複合影響評価研究・山中康裕（北海道大学）

沿岸域に対する影響評価・適応情報の要約

対象スケール	全球から港湾スケール
時間	20 世紀末および 21 世紀末
事象	台風，低気圧，降水，降水パターン，河川流量，斜面災害，高潮，常時波浪，極端波浪，浸水リスク，海岸施設，海浜変形，サンゴ，藻場，砂浜，生息域シフト，養殖
関連情報	https://www.jamstec.go.jp/sousci/
報告書公開状況	非公開（成果集を公開）
データ公開状況	DIAS を通じて一部公開

1. はじめに

本稿では，文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」のレビューを行う。

本プログラムは，あるシナリオを想定したときに，極端な気候変動により起きるであろう災害や被害などをリスクとして評価し，リスクマネジメントに役立つ情報を創出することを目的としている。日本国内においてだけでなく，東南アジアをはじめとする各国の気候変動リスクの予測にも役立つ情報を創出する。プログラムは4つの研究領域テーマ(A,B,C,D)から構成される。テーマAは，根幹となる基盤モデルの開発，テーマBは，基盤モデルに物質循環や生物活動などの要素を加えたより詳細な地球システムモデルの開発および気候を安定化するための

目標値の検討，テーマCは，より詳細な予測情報の抽出および稀にしか起きない気象現象についての「想定するシナリオ」の作成，テーマDは，気候変動に伴って変化する自然災害，水資源，生態系・生物多様性に対する影響を最小限に抑える適応策などを提案するためのリスク予測や評価の実現することを目標としている。以下では，沿岸域の影響評価に密接に関係するテーマDについて，構成する領域課題の研究内容を記述する。

2. 各領域課題の研究内容

- (1) 気候変動に伴う気象災害リスクの評価（台風，低気圧，降水，降水パターン）

気候変動予測情報を用いて、影響評価のための基盤情報となる豪雨・強風・台風などの極端現象による気象災害の変化とその不確実性、および最悪シナリオに基づく気象災害規模について、河川流域圏および沿岸環境圏で評価することを目標として研究を進めた。大きく分けて、1) 台風による気象災害評価、2) 豪雨災害リスクの評価、3) 強風災害リスクの評価の3項目について研究を実施した。

(2) 気候変動に伴う河川流域災害の災害リスクの評価 (降水、降水パターン、河川流量、斜面災害)

洪水・渇水災害を引き起こす極端な降水現象の変化を気候変動予測情報を用いて分析した。また、洪水・渇水に着目した河川流量の将来予測、土砂環境の変動評価、洪水・高潮氾濫の将来予測とそれが経済に及ぼす影響や現状の洪水防御システムに及ぼす影響を分析した。

(3) 気候変動に伴う沿岸災害の災害リスク評価（台風、低気圧、高潮、常時波浪、極端波浪、海岸施設、海浜変形）

温室効果ガスによる気候の長期変化（気候変化・気候変動）の影響は、気温上昇や海面上昇だけでなく様々な影響を与えることが予測されている。将来の温かい気候条件は、海洋の海面温度を上昇させ、大気中の水蒸気量を増やし、熱帯低気圧の強度や発生頻度にも影響を与える。我が国の沿岸部における気候変動の影響の中で、このような台風特性の将来変化は、日本周辺海域の高波や高潮の特性に顕著な影響を与えることが予想される。本プログラムの沿岸災害リスクグループでは、気候変動に伴う沿岸災害に関連する海面上昇、台風、高潮および波浪の将来変化について予測を行った。

本プログラムでは、高潮や高波以外にも、これらの予測結果の応用として、防波堤などの海岸構造物、そして砂浜の将来変化予測も実施した。防波堤や砂浜等は気候変動の時空間スケールに比べて細く、現段階では、我が国の全体の影響を定量的に議論することは難しいが、地域ごとに詳細に評価するモデルを開発した。防波堤や砂浜の将来変化には、海面上昇だけでなく、波浪特性の将来変化が重要であることを確認した。

(4) 気候変動リスクの社会・経済影響と適応策の評価 手法の構築（浸水リスク）

統合型水害リスクコミュニケーション支援システム（iFRiCSS）の開発、経済被害の計量化方法の構築（社会経済的な影響の整合的評価方法、応用一般均衡モデルを用いた社会経済的影響の分析手法の開発）、適応策評価（科学的不確実性下における適応策の便益評価方法）を行った。

(5) アジアにおける水災害リスク評価と適応策情報の創生（降水、河川流量）

土木研究所水災害・リスクマネジメント国際センター（ICHARM）が21世紀気候変化予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」ほかで開発してきた水文モデル、GCM 降雨バイアス補正手法等を、アジアの水災害が懸念される複数の河川流域（特定脆弱地域）に当てはめ、現在及び将来気候における洪水及び渇水に関し、ハザード評価を行い、加えて脆弱性評価を行うことにより、気候変化適応のための主要課題解決に向けた計画立案、意思決定等に必要な情報を創出し、水災害リスク評価を行った。特定脆弱地域としては、最近大きな水災害を経験し、気候変動の社会的影響が大きいと予想される河川流域として、パキスタンのインダス川、タイのチャオプラヤ川、メコン川、インドネシアのソロ川、ならびにフィリピンのパンパンガ川の5流域を対象とした。

洪水リスク評価については、全般的に降雨量、氾濫面積及び農業被害の増大、渇水リスク評価については、雨季（乾季）の時期及び期間の変化のある流域がみられた。

(6) 生態系サービス等を通じた社会・経済的影響の評価研究（サンゴ、藻場、砂浜）

気候変動が生物多様性・生態系サービスに及ぼす影響を経済評価した。気候変動で消失する生態系の経済評価としてサンゴ、高山植物、砂浜の評価に取り組んだほか、適応策における生態系管理に関する市民選好の分析として防潮堤建設及び遊水地建設を事例として扱った。これらの研究では、創生テーマD内の他領域や、環境省のS-14プロジェクトとも連携して研究を行った。

(7) 沿岸海洋生態系に対する気候変動の複合影響評価研究（生息域シフト、養殖）

サンゴ礁や藻場などの沿岸生態系は、高い生物生産性と生物多様性、生態系サービスを有し、漁業や観光業等を通じて人間社会にも多様な便益をもたらしている。一方、日本のサンゴ群集が年間最大 14 km の速度で北上していることからわかるように、日本近海の地球温暖化に伴う海水温上昇は沿岸生態系に影響を及ぼしている。さらに、CO₂が海水に溶け込んで起きる海洋酸性化は、地球温暖化よりもさらに速い速度でサンゴなどの生物に大きな影響を与える可能性が示唆されている。実際にはこれらの地球規模での気候変化が複雑に絡み合って沿岸生態系に影響を及ぼしていると懸念されるが、その評価・予測を行った研究例は少ない。そこで本課題では、地球温暖化と海洋酸性化といった地球規模の現象が沿岸

生態系の分布・多様性・機能に及ぼす複合影響に関する定量的な評価・予測を行った。

謝辞：本稿に記載した研究の内容は，文部科学省気候変動リスク情報創生プログラム「課題対応型の精密な影響評価」JPMXD0712103606 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 気候変動リスク情報創生プログラム 課題対応型の精密な影響評価，平成 28 年度研究成果報告書，2017.
- 2) 気候変動リスク情報創生プログラム 成果集，52p., https://www.jamstec.go.jp/sousei/jp/product/images/170303_sousei_seika_UP.pdf, 2017.

編集者

安田誠宏・志村智也・金 洙列

文部科学省 統合的気候モデル高度化研究プログラム

研究プロジェクト情報

配分機関	文部科学省
研究期間	2017～2021 年度
研究予算	33 億 2 千万円（プロジェクト全体）
PD/PO	PD: 住 明正, 領域テーマ D・PO: 原澤英夫
関連課題・代表者	領域テーマ D 統合的ハザード予測・中北英一（京都大学）
サブ課題名・代表者	(i) 極端なハザードの強度と頻度の長期評価・森 信人（京都大学） (ii) 21 世紀末までのシームレスなハザード予測・田中賢治（京都大学） (iii) 過去災害のハザード分析と気候変動要因の評価・竹見哲也（京都大学） (iv) ハザード評価のアジア・太平洋諸国への展開と国際協力・立川康人（京都大学） (v) 様々な変化を考慮した後悔しない適応戦略・多々納裕一（京都大学） (vi) バイアス補正法・極値評価技術の開発・北野利一（名古屋工業大学）

沿岸域に対する影響評価・適応情報の要約

対象スケール	全球から港湾スケール
時間	20 世紀末および 21 世紀末
事象	台風、低気圧、降水、降水パターン、河川流量、斜面災害、高潮、常時波浪、極端波浪、浸水リスク、海岸施設、海浜変形、サンゴ、マングローブ、藻場、砂浜、生息域シフト、
関連情報	http://www.jamstec.go.jp/tougou/
報告書公開状況	非公開
データ公開状況	DIAS を通じて一部公開

1. はじめに

本稿では、文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」のレビューを行う。

本プログラムは、気候変動研究の更なる推進とその成果の社会実装に取り組むべく、「気候変動リスク情報創生プログラム」（平成 24～28 年度）の成果を発展的に継承しながら、4 つの研究領域テーマを連携させた統合的な研究体制を構築し、気候変動メカニズムの解明、気候変動予測モデルの高度化や気候変動がもたらすハザードの研究等に取り組み、高度化させた気候変動予測データセットの整備する。プログラムは 4 つの研究領域テーマ(A,B,C,D)から構成される。テーマ A は全球規模の気候変動予測と基盤的モデル開発、テーマ B は炭素循環・気候感度・ティッピング・エレメント等の解明、テーマ C は統合的気候変動予測、テーマ D では統合的ハザード予測を行う。テーマ D は、沿岸域の影響評価に密接に関係する。領域テーマ D「統合的ハザード予測」では、高精度化された気候変動予測情報を受け取るハザードモデ

ルについて、モデルの高度化、高解像度化、日本全域へのハザードモデルの最適化などの研究開発を行う。開発されたハザードモデルをもとに、台風や豪雨などの極端現象等に関するハザードについて、その頻度や最大クラスの強度評価も含めた将来変化予測を行う。また、自然災害や水資源を対象に、時系列を考慮して現在から徐々に進行していくハザードの将来変化の時系列についての研究を実施する。さらに、過去のハザードの条件データ収集や再現及びその要因分析についても検討する。

影響評価に加えて、適応策の開始時期や効果を評価するような方法、その影響を左右する社会経済的要因も考慮に入れた適応策評価についての研究を実施する。加えて、アジア諸国等との連携研究を通じてハザード予測技術を世界に向けて展開するための土台構築に取り組む。また、バイアス補正や極値統計などの手法を一般化するための取組について検討する。以下では、テーマ D を構成する 6 つの領域課題ごとに研究内容を記述する。

2. 各領域課題の研究内容

(1) 課題 i. 極端なハザードの強度と頻度の長期評価

本プログラムで実施される気候変動予測結果を用いて、最大クラスの気象外力およびその将来変化を定量的に評価する手法を高度化し、極端現象によるハザードとその将来変化を定量的に評価する手法を確立し、全国規模で風水害ハザードの定量評価とその将来変化を明らかにする。また、モデルの違いによる不確実性を定量化する。河川流量シミュレーションモデルへの入力となる陸面モデルグリッド流出量の補正手法を新たに開発し、高水流量および低水流量の予測精度向上を図るとともに、最大クラスの洪水および渇水を日本全国で分析する。また、荒川など東京圏での氾濫予測を実施するとともに、三大都市圏を対象として気候変動に備えて何らかの施設整備を行った場合の減災効果を分析する。

最大クラスや CMIP6 に対応した高潮・高波ハザードの将来変化予測を完了し、データベース化する。さらに、日本全域を対象に不確実性を考慮した沿岸ハザード長期評価を完了し、高潮氾濫等による沿岸部脆弱性の将来への影響を明らかにし、その適応策について検討する。本領域課題が、沿岸域に対する影響評価を扱う比率が高い。

(2) 課題 ii. 21 世紀末までのシームレスなハザード予測

現在 (2000 年) から将来 (2100 年) までの社会経済活動の変化を描写するシミュレーションモデルにおいて、陸域水循環モデルの出力 (特に利用可能水資源量) を組み込み、土地利用や水利用の変化を 5 年間隔で推計する。すなわち、社会経済シナリオと水循環計算をオンライン結合し、さらには流況変化に適応した貯水池運用規則を反映した水循環計算により、河川水量や水資源量の連続的な影響評価を実施する。また、気候変化に応じて収量や水利用効率を最大化する栽培暦等、複数の作期移動シナリオを作成する。これにより、気候変化やそれに伴う水循環変化に対して、どの社会経済変化シナリオ、どの作期移動シナリオを選択することが有効かを提示する。

分布型水循環モデルによる解析や現地調査等により、農業水利施設による水需給変動及び湛水被害の軽減策、畑地の浸水被害軽減策と段階的導入方法、農業用ため池の用水管理手法の変更や貯留効果の増強による洪水・用水需要変動対策、連続干天日数の増加による用水需要の変化対策等、気候変動の適応策を提示する。

100 年シームレスランに対応した高潮・高波ハザードの将来変化予測を完了し、データベース化する。時間変化特性について解析し、適応策開始時期に対する科学的な知見を提供可能とする。海面上昇と波浪特性の将来変化を考慮した海浜変形モデルを用い、我が国の代表的な砂浜の将来変化予測を行うとともに、養浜等の適応策の

プロトタイプを提案する。マングローブやサンゴなどの沿岸生態系と環境因子との関連性を記述できる生息適地モデルを構築し、それぞれの海域における沿岸生態系の分布・多様性・機能を定量的に評価・予測する。

(3) 課題 iii. 過去災害のハザード分析と気候変動要因の評価

本プログラムの他テーマの気候予測データを用いて、1958 年以前の再解析も視野に入れ、過去に災害をもたらした多数の顕著事象の発生要因を明らかにし、気候変動影響を評価する。台風による強風・豪雨・高潮の統合的ハザードマップを作成し、爆弾低気圧にも適用する。また、それらのプロダクトを用いて日本全国のハザードの地域特性を整理し、気象リスクの評価に繋げる。

台風による森林域の災害発生について、過去の台風被害を対象にして、温暖化条件下における森林生態系への影響の成因や地域による影響の違いを定量的に評価する。

(4) 課題 iv. ハザード評価のアジア・太平洋諸国への展開と国際協力

河川流量シミュレーションモデルへの入力となる陸面モデルグリッド流出量の補正手法を新たに開発し、高水流量および低水流量の予測精度向上を図り、最大クラスの洪水および渇水をインドネシア半島全域で分析する。また、チュラロンコン大学およびインドネシア科学院の研究者と協力して開発した降雨流出氾濫モデルに、気象研から提供される気候変動予測プロダクトを用い、気候変動時の水災害予測を実施する。また、現地政府機関の適応策検討に資する有益な情報提供 (リスク評価結果、投資効果、適応策オプション、ロードマップの作成等) 及び活動支援 (対象 2 流域) を実施し、他国にも適用できる適応策検討ガイドライン作成 (プロトタイプ) 及びマレーシア、ベトナム等への展開に向けたガイドラインの普及に努める。高潮・高波については、アジア・太平洋の高潮・高波の長期ハザード評価を完了し、データベース化して公開する。

(5) 課題 v. 様々な変化を考慮した後悔しない適応戦略

科学的不確実性下の意思決定手法の構築に関しては、全ケーススタディを終え、頑健な意思決定モデルを構築する。気候変動適応戦略の設計・評価のための社会経済シナリオの設計に関しては、少なくとも 3 大都市圏を対象として人口、産業およびインフラに着目した将来予測を実施する。適応戦略の設計評価の方法論の構築に関しては、我が国をはじめとする先進国においても適用可能なモデルを完成させ、我が国を対象としたケーススタディを実施する。堤防やダムなどのハード施設水準を改定していくための意思決定の方法論を、3 大都市圏に適用

し、ハード施設を対象とした適応戦略を求める。また、インドネシア・スマトラ島南部のスカンブン川を対象に、気候変動の影響を踏まえた PES の試行およびその環境保全効果を検討する。

(6) 課題 vi. バイアス補正法・極値評価技術の開発

補正手法を応用したマルチモデル化データを作成する。近年、高解像度の気候モデルの一部ではバイアス補正なしでも問題ない精度があることが示されている。このような高解像度かつ現在再現性の高い気候モデルは有用であるが、そのような気候モデルの数は限られている点が問題である。このような高解像度のモデルの入出力を教師データとして、マルチ気候モデルのダウンスケール(バイアス補正)を行う手法を開発する。また、台風の中心気圧および風速についてのバイアス補正法を汎用化し、CMIP6 モデルの台風についてもバイアス補正を適用する。極値統計解析法については、領域課題内で多数の活用例

を提示する。極値の空間相関を考慮した処理法も提案し、応用例を示す。

謝辞：本稿に記載した研究の内容は、文部科学省統合的気候モデル高度化研究プログラム「統合的ハザード予測」JPMXD0717935498 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 統合的気候モデル高度化研究プログラム 統合的ハザード予測，平成 29 年度研究成果報告書，2018.
- 2) 統合的気候モデル高度化研究プログラム 統合的ハザード予測，平成 30 年度研究成果報告書，2019.
- 3) 統合的気候モデル高度化研究プログラム 統合的ハザード予測，令和 1 年度研究成果報告書，2020.

編集者

金 洙列・志村智也・安田誠宏

環境省

環境研究総合推進費戦略的研究開発 S-13

持続可能な沿岸海域実現を目指した 沿岸海域管理手法の開発

研究プロジェクト情報

配分機関	環境省
研究期間	2014～2018 年度
研究予算	6 億 7 千万円（期間・プロジェクト全体）
研究代表者	柳 哲雄（国際エメックスセンター）
関連課題・代表者	テーマ 3 陸棚・島嶼を含む国際的閉鎖海域・日本海の海域管理法の開発・吉田尚郁（環日本環境協力センター）
サブ課題名・代表者	テーマ 3 3-(2)1 日本海環境変動予測モデルの構築・森本昭彦（愛媛大学） 3-(2)2 日本海環境変動予測モデルの構築・広瀬直毅（九州大学） 3-(3) 日本海高次生態系モデルの構築・郭 新宇（愛媛大学）

沿岸域に対する影響評価・適応情報の要約

対象スケール	瀬戸内海，三陸沿岸，日本海
時間	20 世紀末から 21 世紀末
事象	海流・海洋構造，漁獲高，栄養塩，O ₂
関連情報	https://www.emecs.or.jp/s-13/
報告書公開状況	非公開（成果集は公開）
データ公開状況	DIAS を通じて一部公開

1. プロジェクト概要

沿岸海域は食料供給の場としての機能に加え，環境保全における基盤的な働きも有し，地域活動との共存系としての文化的・精神的な支えなど，生態系サービスを人類に提供する重要な場である．そこで，沿岸域とその後背地である陸域の自然・人間活動を総合的にとらえ，物質循環・エコトーンのあるべき姿に対して，現状をいかに改変することが必要か，沿岸域環境管理手法を提案する研究が企画された．この企画は，2013 年度のフィージビリティスタディを経て，2014～2018 年度環境研究総合推進費による環境省戦略的研究開発 S-13 として，「持続可能な沿岸海域実現を目指した沿岸海域管理手法の開発（研究代表者：柳哲雄）」が実行された．本プロジェクトでは，閉鎖性沿岸海域である瀬戸内海，開放性沿岸海域である三陸沿岸，国際管理が必要な沿岸海域である日本海の三海域をモデル海域として，それぞれの沿岸海域における統合的沿岸域管理のために必要とされる自然科学的諸問題を解明した．そしてその結果をもとに，社会科学的手法を合わせて統合的沿岸管理手法を確立し，そこから「きれいで，豊かで，賑わいのある，持続可能な，

沿岸海域」を実現することを目的としている．

本課題は以下の 5 つのテーマに分かれて実施された．

- テーマ 1 閉鎖性海域・瀬戸内海における栄養塩濃度管理法の開発（研究代表者：西嶋渉 広島大学教授）
- テーマ 2 開放性内湾が連なる三陸沿岸海域における沿岸環境管理法の開発（研究代表者：小松輝久 東京大学准教授）
- テーマ 3 陸棚・島嶼を含む国際的閉鎖海域・日本海の海域管理法の開発（研究代表者：吉田尚郁（公財）環日本環境協力センター主任研究員）
- テーマ 4 沿岸海域の生態系サービスの経済評価・統合沿岸管理モデルの提示（研究代表者：仲上健一 立命館大学教授）
- テーマ 5 沿岸海域管理のための統合数値モデル構築（研究代表者：柳哲雄（公財）国際エメックスセンター特別研究員）

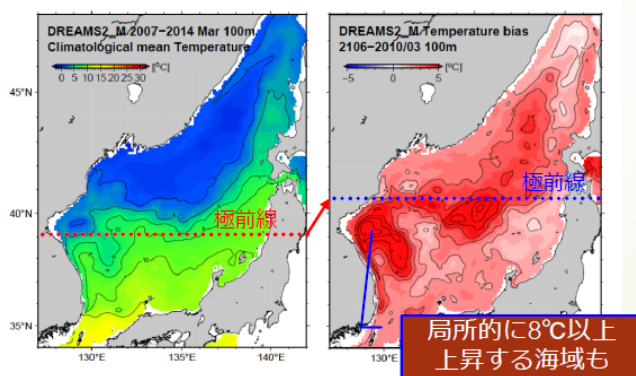
この中で特に気候変動影響に関わる知見および提言を抽出し，以下にまとめる．なお本稿の編集者の一人の清野聡子は，上記テーマ 4 の研究分担者である．

2. 日本海の海域管理法の開発（海流・海洋構造、漁獲高、栄養塩、DO）

(1) 日本海の溶存酸素濃度の数値モデリング（海洋構造、栄養塩、DO）

気候変動予測シナリオに対する日本海の海洋環境と生態系の応答を調べるために、物理・生態系結合モデル DREAMS2 を構築した。具体的には、溶存酸素（dissolved oxygen、以後 DO と省略する）濃度に着目し、海洋の水温・塩分・流動場を予測変数とする海洋循環モデルと、主な海洋生物に必須である栄養塩を単位とした生態系モデル、そして海面における物理的状态と生態系モデルの生化学反応から従属的に決定される DO 濃度で構成されている。海洋循環モデルは RIAM Ocean Model を用いた。生態系モデルは、溶存体無機窒素（dissolved inorganic nitrate : DIN）・植物プランクトン（phytoplankton : PHY）・動物プランクトン（zooplankton : ZOO）・デトリタス（detritus : DET）の 4 成分を構成要素とする窒素循環（NPZD）モデルを使用した。

モデル計算領域は、縁辺海を含めた北太平洋域（東経 105°～180°、北緯 15°～63°）で、水平格子間隔は東西方向 1/4°、南北方向 1/5°、鉛直は z 座標系とし、38 層とした。モデルの海面に与える運動量や熱などの外力には、日平均の JRA-25 の再解析値を使用した。長江などの大陸の大河川から流入する淡水フラックスについては中国水利部の月平均流量データを与え、それ以外の河川については、海岸線から 100km 以内の流域に降った JRA-25 の降水量を河川水と見立てて、最寄りのモデル格子海域にその淡水流量を加入させた。積分期間は 1979 年から 2007 年の 29 年間で、初期の 9 年間をスピンアップ期間とし、残りの 20 年間の計算結果から気候値を算出した。モデルの精度検証については、日本海深層の滞留時間はおおよそ 100 年と推定されているが、計算コストの観点から、滞留時間の短い表層付近でモデルと観測の DO 濃度の比較を行うこととした。観測値として WOA09



(a) 水深 100m, 現在

(b) 水深 100m, 2100 年

図-1 日本海水温の将来予測

https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_5_01/s-13-3.pdf

(World Ocean Atlas 2009) の気候値と解析結果を比較したところ、概ね良好に再現できた。

本モデルを用いて、将来予測を行った結果、以下のことがわかった。

- ・ 日本海は高塩・高温化する。局所的に 8°C 以上上昇する海域もある（図-1）これは、図-2 に示すとおり、対馬暖流の流動強化のためと考えられる。
- ・ 日本海北部の栄養塩供給量が増加する（図-3）。
- ・ 日本海の深層酸素濃度は低下する。（図-4）

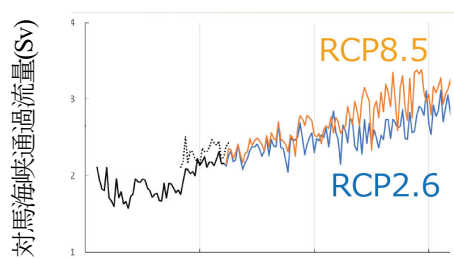


図-2 対馬暖流の将来予測

https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_5_01/s-13-3.pdf

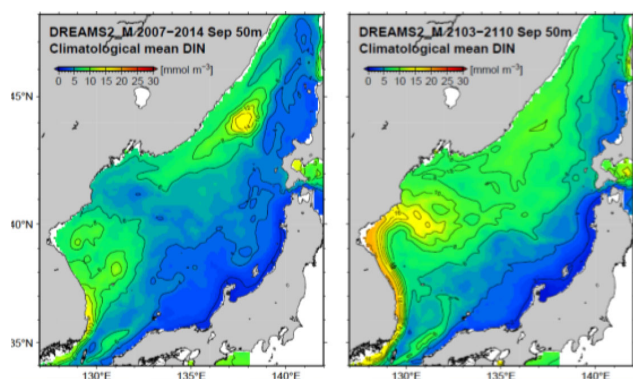


図-3 日本海栄養塩の将来予測

https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_5_01/s-13-3.pdf

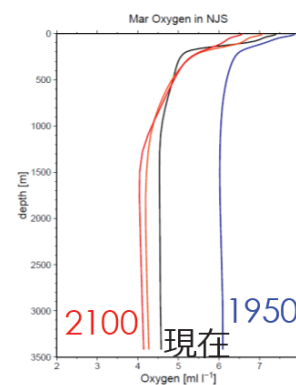


図-4 日本海酸素濃度の将来予測

https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_5_01/s-13-3.pdf

(2) 日本海の栄養塩濃度・基礎生産の将来予測（栄養塩）

日本海は4つの狭く浅い海峡により東シナ海、太平洋、オホーツク海と接しており、内部は平均水深 1667 m と比較的深い海である。海水や物質は主に南西部に位置する対馬海峡から流入し、北部の津軽海峡と宗谷海峡から流出している。日本海での物質循環には、東シナ海陸棚上を流れ対馬海峡から流入する対馬暖流が大きな役割を果たしている。上述した、DREAM2 の結果から、栄養塩の変化を予測した結果、以下のことがわかった。

- 日本海で、溶存体無機リン（DIP）と溶存体無機窒素（DIN）の濃度を比較すると（N/P 比）、レッドフィールド比よりも小さいため、植物プランクトンの増殖は DIN に律速されていると考えられる。よって、DIN濃度に注目し、その将来予測を図-5に示す。これより、概ね全ての領域で DIN 濃度が増加することがわかった。
- DIN の増加を受け、植物プランクトンの変化を図-6に示す。気候変動シナリオ RCP8.5 において、日本海北部で夏から秋の生産量が増加することがわかった。

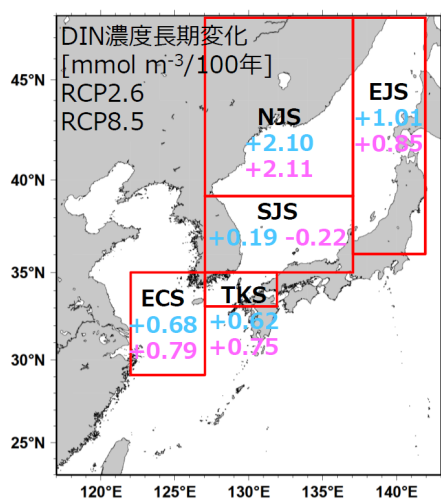


図-5 日本海溶存体無機窒素濃度の将来予測

https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_5_01/s-13-3.pdf

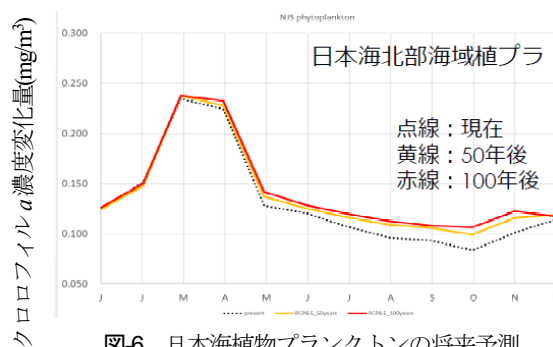


図-6 日本海植物プランクトンの将来予測

https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_5_01/s-13-3.pdf

(3) 日本海高次生態系への影響（漁獲高）

日本海の代表的な生物であるスルメイカとズワイガニに着目し、地球温暖化の影響を調べた結果、以下のことが分かった。

- スルメイカの幼生の分布の変化を調べたところ、幼生数が 2010 年から 2100 年で 160%増加し、分布範囲も増加した。
- ズワイガニ稚ガニ着底率が日本海全体では現在の 0.2%から 2100 年には 1.3%へ増加した（図 7）。また、その分布は、現在は、日本海西部が半数以上を占めているのに対し、2050 年には、日本海西部、中部、北部で同程度となり、2100 年には、日本海北部が半数以上を占めると予想された。

これらは、水温上昇による生存率増加および生息可能範囲の拡大が原因であると考えられる。

(4) 富山湾の海域環境管理法

海洋における水・物質収支の中で主要な供給源は大気からの寄与や河川水の流入、そして熱水の湧昇などであるが、陸域から海洋への水・物質供給という観点からみると、河川に加えて陸域の地下水と連動した海底湧水も、陸から海洋への供給源として重要視されている。

近年、北陸地域において年降水量が減少傾向にある報告されており、この変化によって地下水位が上昇している。地下水位の上昇にともない、海底湧水の湧出量も増加している可能性が示唆された。今後、気候変動といった気候変化の影響から海底湧水の湧出量も変化すると考えられる。

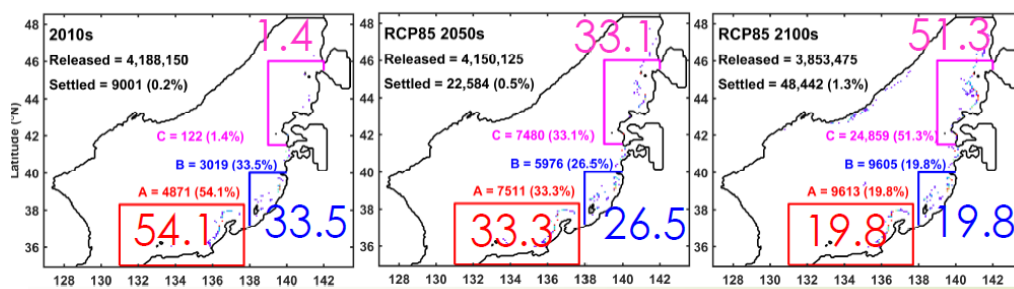


図-7 日本海ズワイガニ稚ガニ着底率の将来予測

https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_5_01/s-13-3.pdf

3. 日本海三階層管理の提言

本課題では以下の知見が得られた。

- 日本海は引き続き気候変動の影響を受け続け、場合によってはその変化速度が加速する可能性がある。
- 地球温暖化は日本海の海水温上昇のみならず物理・化学環境も変化させ、日本海の低次・高次生態系にも影響を及ぼす可能性がある。
- 日本海の沿岸は東シナ海の影響を非常に強く受ける。地球温暖化により対馬暖流が強化されると、

その影響はさらに強化されることが予想される。

以上から、地球温暖化による日本海への影響と東シナ海からの影響を表-1、2 にまとめた。これを踏まえ、日本海の沿岸域管理は個別海域や地先の沿岸管理では機能せず、より広い視野で実施される沿岸管理が必要であると言える。本課題では、日本海を、日本海と東シナ海を含めた広域スケール、日本海の対馬暖流の挙動に着目した中規模スケール、日本海沿岸の個別海域を対象とした局所スケールの3階層の管理を組み合わせる三階層管理を提言している。

表-1 地球温暖化による日本海への影響の評価

分野	項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性			緊急性	信頼度
				観点	判断理由			
環境	日本海(沿岸)	全国207地点の表層海水温データ(1970年代から2010年代)を解析した結果、13地点で優位な上昇傾向(平均:0.039℃/年)にある。(環境省中央環境審議会、2015)	日本海全体の海水温上昇の影響を受け、引き続き水温が上昇することが予測される。温暖化に伴う対馬暖流の流路変動が、沿岸の物理・化学・生物環境を変化させる恐れがある。	◎	環境	日本海沿岸は閉鎖的な内湾が少なく、対馬暖流や外洋の影響を直接受けるため。	○	○
	日本海(全域)	気象庁の報告で、日本海海面平均水温は過去100年間で、南部海域で1.29℃、中部海域で1.71℃上昇している。	IPCCの第6次評価報告書で用いられた2つの気候変動シナリオ(RCP8.5及びRCP2.6)に基づいて予測した結果、100年後には日本海南部で2.75℃(RCP2.6:1.56℃)、日本海北部で3.13℃(RCP2.6:1.04℃)上昇する。温暖化による影響は海水温上昇にとどまらず、対馬暖流の流路変動、日本海の栄養塩分布の変化を引き起こし、日本海の低次生態系に大きな影響を及ぼす可能性がある。	◎	環境	日本海の海水温上昇速度が、温暖化シナリオによってはさらに加速する可能性がある。海水温、流況、基礎生産の変化が日本海の生物の分布や回遊を変化させる可能性があるため。	◎	○
生態系	日本海(沿岸)	温暖化に伴う日本海の基礎生産などの低次生態系への影響に関する研究は少ない。日本海の沿岸各所において、海水温の上昇に伴い、低温性の種から高温性の種への遷移が確認されている。	海水温上昇が継続することが予想され、それに伴い高温性の種への遷移の促進や分布域の拡大が懸念される。対馬暖流の流路変動に伴い、生物の回遊や輸送経路にも変化が生じる恐れがある。	◎	環境	環境の変化に伴う基礎生産、生物の分布や移動が大きく変化する可能性があるため。	◎	△
	日本海(全域)	温暖化に伴う基礎生産などの低次生態系への影響に関する研究はまだ少ない。海水温上昇に伴う、南方系種が日本海各地で確認されている。	海水温上昇に伴う生物の分布域の変化が予想される。対馬暖流の流路変動に伴い、生物の回遊や輸送経路にも変化が生じる恐れがある。栄養塩環境の変化が日本海の基礎生産を大きく変化させる恐れがある。	◎	環境	環境の変化に伴う基礎生産、生物の分布や移動が大きく変化する可能性があるため。	○	○
水産業	回遊性生物(スルメイカ)	海水温が要因とされる分布・回遊域の変化が報告されている。	海水温の上昇に伴い、産卵時期及び産卵海域の変化が予測され、資源量にも何らかの影響を及ぼす可能性がある。対馬暖流の流路変動が、幼生の輸送経路や親魚の回遊経路を変化させる恐れがあり、将来漁場が大きく変わる可能性もある。	◎	社会 経済	近年、日本近海のスルメイカ資源の低迷が指摘されており、資源回復に向けた取組みが急務であるため。	◎	○
	定着性生物(ズワイガニ)	非回遊性、生息水深の深い生物の温暖化による影響に関する知見は少ない。生息水深の深い生物は温暖化の影響を受けにくいと思われるが、浮遊幼生期の海洋環境が資源量に影響するといった報告がある。	ズワイガニの生息水深である200～500mでは水温の上昇は予想されておらず、ズワイガニへの影響は小さいと思われる。一方で、海水温の上昇及び対馬暖流の流況変化が、卵の輸送や生後を孵化させる、稚ガニの着底海域が北上するといった予測が得られている。	◎	社会 経済	現在の主要な漁場となっている能登半島以西の海域で着底量が減少し、日本海東部・北部海域で増加することが予測されており、現在の漁業環境が変化する恐れがあるため。	○	○
水環境・水資源	水供給(地下水)	気候変動に伴う降雪量・降雪時期の変化が予測されており、地下水量の変化に何らかの影響を及ぼす可能性がある。	冬季降雪量の減少、融雪時期の早期化に伴い、地下水供給メカニズムに何らかの変化を及ぼす可能性がある。一方で、北陸地方では、冬季降雪時の融雪に地下水が利用されており、都市部の集中で降雪時の過剰利用で一部の地域で地下水位の一時的低下も報告されている。	○	社会 経済	最近の研究で、地下水(海底湧水)が沿岸生態系や生産性に寄与していることが報告されており、地下水利用の観点だけでなく、沿岸環境保全の観点からも重要になってきているため。	△	△

表-2 東シナ海からの影響の評価

分野	項目	現在の状況	将来予測される影響	重大性			緊急性	信頼度
				観点	判断理由			
環境	日本海(沿岸)	中国大陸の河川(長江)に由来する低塩分水が対馬海峡を通じて日本海に流れ込んでいる。この低塩分水が対馬暖流により日本海沿岸に運ばれてきてることが沿岸定置網での塩分観測から示されている。	日本海沿岸の環境は、東シナ海の影響に強く支配されており、東シナ海の影響変化がそのまま日本海沿岸の環境を変化させる恐れがある。さらに、温暖化を通じて、対馬暖流の流動が強化されることも予測されており、それに伴う東シナ海からの影響がさらに強まる懸念がある。水温上昇、対馬暖流の流路変動に伴い、生物の分布や回遊経路にも変化が生じる恐れがある。中国河川由来の低塩分水は、対馬暖流により、日本海沿岸を北上し、東北沿岸まで達する。この低塩分水は、中国沿岸水を取り込んだものであり、中国沿岸域に存在する残留性有機汚染物質を含む様々な物質の輸送経路となっており、日本沿岸への影響を引き続き監視していく必要がある。	◎	環境 生態系 社会 経済	東シナ海からの影響の定量化を試みたところ、日本海沿岸は特に強い影響を受けていることが示された。日本海沿岸の海水の起源は東北沿岸でも80%が東シナ海由来の海水であること、基礎生産に利用される栄養塩は、対馬暖流から流入する栄養塩に依存しているため。	◎	○
	日本海(全域)	東シナ海からの影響を定量的に示した研究は少ない。	対馬海峡から流入する栄養塩が変化することで、日本海の広範囲にわたって植物プランクトンの増殖量や時期に変化が生じることが予測された。地球温暖化の影響により、対馬暖流の流路が北上することが予測されており、東シナ海からの影響海域が今後変化する恐れがある。	◎	環境 生態系 社会 経済	温暖化に伴う対馬暖流の変動が、東シナ海からの影響を広範囲へと拡大する恐れがあるため。	◎	○

- ・ 第1階層：広域スケール

各国の領海・排他的経済水域が入り組むため、国際連携が必要不可欠である。地球温暖化影響を早期に捉えるための国際共同監視網を構築する必要がある。

- ・ 第2階層：中規模スケール

日本海沿岸域は対馬暖流を通じて、東シナ海から様々な影響を受けている。そのため、対馬暖流観測ネットワークを構築する必要がある。また、日本海の生物多様性・水産資源の保全及び持続的利用が必要であるため、従来の保護区に加えて、年ごとに変化する動的海洋保護区の設定を提案している。

- ・ 第3階層：局所スケール

日本海側には内湾は少なく、外海に直接面する海域が多い。富山湾のように地球温暖化に伴う水循環環境の変化が海水への栄養塩の供給量変化へつながる。陸域の地下水位も含めた陸海統合管理を提案している。

4. まとめ

以上のように、本課題では、気候変動による日本海の物理・化学的变化とそれによる生態系の変化についての知見が中心であった。

謝辞：S-13の研究は、研究代表者の柳哲雄先生と協力研究者の皆様、事務局の国際エメックスセンターの皆様の多大なるご尽力の成果である。ここに多くを引用させていただきましたこと、心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 公益財団法人国際エメックスセンター：環境研究総合推進費 終了研究成果報告書 持続可能な沿岸海域実現を目指した沿岸海域管理手法の開発（S-13），https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_1_r01/s-13_2.pdf, 2019.
- 2) 柳哲雄 編著：里海管理論 きれいで豊かで賑わいのある持続的な海，p.367，農林統計協会，2018.

編集者

清野聡子・羽角華奈子

環境省

環境研究総合推進費戦略的研究開発 S-14

気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究 (MiLAI)

研究プロジェクト情報

配分機関	環境省
研究期間	2015－2019 年度
研究予算	約 2 億 5 千万円×5 年（プロジェクト全体）
研究代表者	沖 大幹（東京大学）
関連課題・代表者	テーマ 1 全体の総括と統合的戦略評価・沖 大幹（東京大学） テーマ 2 生態系保全による緩和策と適応策の統合・松田裕之（横浜国立大学） テーマ 3 気候変動に対する地球規模の適応策の費用便益分析・平林由希子（芝浦工業大学）
サブ課題名・代表者	テーマ 2 サブテーマ 3 緩和策と適応策に資する沿岸生態系機能とサービスの評価・井上智美（国立環境研究所） サブテーマ 5 沿岸生態系の緩和・適応策の経済評価・桑江朝比呂（港湾空港技術研究所） テーマ 3 サブテーマ 4 気候変動に伴う沿岸地域の脆弱性評価と適応策の費用便益分析・横木裕宗（茨城大学）

沿岸域に対する影響評価・適応情報の要約

対象スケール	全球の沿岸域
時間	20 世紀末から 21 世紀末
事象	CO ₂ , 藻場, サンゴ, 砂浜, 干潟, マングローブ, 炭素貯留, 生態系サービス, 社会インフラ
関連情報	http://s-14.iis.u-tokyo.ac.jp/
報告書公開状況	非公開
データ公開状況	一部公開

1. 緩和策と適応策の統合的戦略研究

本稿では、環境省環境研究総合推進費戦略研究プロジェクト S-14「気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究 (MiLAI)」(研究プロジェクトリーダー：東京大学生産技術研究所教授 沖大幹)⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾のレビューを行う。沿岸域のみならず、海陸の生態系、河川洪水や健康、農業、都市における気候変動影響が、分野によっては適応策の効果も含めて経済評価がなされ、投資効率の検討にも資する成果が得られているが、本稿では沿岸域に関連した部分に特化して紹介する。

本プロジェクトは、緩和策と適応策との統合的実施によって復元力に富み、持続可能な社会を構築しようとする施策を国内外で実施するにあたり、投入可能な経済的、人的、制度的資源が限られている条件下で、緩和策、適

応策にどのように取り組むことがもっとも効果的かつ効率的であるかに関する定量的基礎資料を整備し、リスクマネジメントとしての気候変動対策の適切な計画立案に貢献することを目的とする。そのために、5 つの個別テーマを実施するとともに、アドバイザリーボードを設立・運営することで、効率的なプロジェクト運営を行う。

(1)テーマ 1：全体の総括と統合的戦略評価

本テーマの最終目標は、プロジェクト全体を通して、主にグローバルを対象とし、緩和策と適応策のバランスを、国や地域のまとまりごとに評価することである。利用可能な CMIP5 の気候変動シナリオのうち、主に RCP 8.5 と RCP 2.6 の利用を念頭に置いている。また、研究成果を速やかに国際社会に発信するとともに気候変動政策に生かせる形での取りまとめも行う。これにより、気候

変動対策における車の両輪と位置付けられている緩和策と適応策を同一の指標を用いて包括的に評価することで、両者の統合的な実施による効果的で効率的な気候変動対策の計画立案支援、ならびにカンクン合意に基づく発展途上国向けの気候変動適応計画の策定に関わる国際交渉に資することを可能とする。その全体の一翼を担うため、統合的戦略評価を行う。被害額や投資額といった従来の経済的指標に加えて、主観的幸福度や生計資本といった指標なども勘案して多面的に評価し、緩和策と適応策の効果的で効率的な実施策に関する知見を提供する。

次にサブテーマ間の連携について述べる。テーマ1では、戦略課題全体の総括として、テーマ間の研究調整、連携の促進、ならびに課題全体の進行管理の役割を担い、各テーマの成果を統合し、世界、各国、日本、地方自治体、個人としてどのように緩和策と適応策のバランスをとりつつ気候変動対策に取り組むのが効果的であり効率的であるかを様々な指標に照らして多面的に評価する(サブテーマ1:多様な指標による気候変動対策の統合的多面的な評価)。また、そうした統合的な評価にあたっては、テーマ2やテーマ3の知見を集約化し、ライフサイクルアセスメント(LCA)の枠組みで人間健康や生物多様性といったエンドポイントでも気候変動対策の効果を明らかにできるようにする(サブテーマ2:ライフサイクルアセスメントによる気候変動影響評価)。さらに、サブテーマ2とも連携しつつ主観的幸福度や障害調整生命年(DALY)などの指標も用いた気候変動の影響評価、すなわち緩和策や適応策の費用便益分析手法を開発し、サブテーマ1の統合評価で利用可能とする(サブテーマ3:主観的幸福度なども活用した気候変動対策の費用便益分析)。

このように、テーマ1は、気候変動リスクを最小限に抑え込んでいく総合的な戦略に関するものであり、沿岸と密接に関係するものはない。

テーマ2:生態系保全による緩和策と適応策の統合(CO₂、藻場、サンゴ、砂浜、干潟、マングローブ、炭素貯留)

生態系は、それ自体が炭素蓄積や気候調整などの機能を持つと同時に気候変動がもたらす気温上昇、海面上昇、高波、山火事等の自然災害リスクの削減効果を持つ。そのため、生態系の保全は、気候変動問題に対する緩和策と適応策の両者に有効になりえる。他方、人間活動による現世代の経済利益と、生物多様性および生態系サービスの喪失がもたらす将来世代も含めた生態リスク増大との間にはトレードオフが存在した。複数の政策シナリオによる今後の生態系サービス変化の将来予測、全球的及び局所的な緩和策と適応策の両得及び得失相反の関係を明らかにし、統合策への一助となる。

そのため、陸域生態系の強靱化または脆弱化がもたらす災害リスクへの影響を明らかにし(サブテーマ2)、沿岸生態系の分布情報整備と緩和適応策に資する生態系サービスを評価し(サブテーマ3)、沿岸生態系の緩和・適応機能の応答を定量的に予測し経済的に評価し(サブテーマ5)、森林生態系における生物種間相互作用と生態系サービスへのマクロスケールの影響予測にもとづいた緩和策と適応策の統合評価を行い(サブテーマ4)、これらを統合した気候変動と気候変動対策の生態系サービスへの影響評価を明らかにする(サブテーマ1)。

上記のうち、沿岸と密接に関係するのは、サブテーマ3と5である。

a) サブテーマ3:緩和策と適応策に資する沿岸生態系機能とサービスの評価(マングローブ、CO₂、炭素貯留)

沿岸生態系の分布情報整備として、全球統一海岸線データの整備、生態系分布GISデータの整備を予定通りに進めた。また、緩和機能としての炭素貯留機能について、マングローブ生態系の全球実測マップと推定マップを作成して国際会議にて報告した。今後は計画通り沿岸保護機能の評価を進めて行く。生態系の類型化および現地調査についても問題なく進行している。

環境政策への貢献は以下の通りである。

- ・ 熱帯・亜熱帯沿岸生態系ポータルサイト(<http://www.nies.go.jp/TroCEP/index.html>)を開設し、S14(2)-3で作成した生態系分布マップと生物情報の国別データを公開することで、環境政策における沿岸生態系情報活用への推進に貢献した。なお同サイトは環境省ホームページ「我が国の環境政策に関するポータルサイト、日本の環境政策」からもリンクされて発信している。
- ・ 生物多様性国家戦略2012-2020の国別目標B-5に関する関連指標群から「日本のサンゴ礁、藻場、干潟等における各種指定区域の面積」について、サンゴ礁の面積はS-14(2)-3「沿岸生態系分布図(2016)」を使用して算出された(平成20年以來の更新となった)。
- ・ 環境省、琉球大学とともに Environmental Scientists Network for Asia-Pacific Islands (ESNAP) 会合を開催し、太平洋島嶼国における沿岸生態系を活用した緩和適応策の重要性について S14(2)-3 研究成果の講演を行い、今後の ESNAP の方向性の検討に貢献した。
- ・ 環境省「適応策に資する吸収源検討会」の委員として平成28年度委員会に出席し、マングローブ生態系炭素貯留推定モデルの結果を示し、今後の緩和適応策に関する検討に貢献した。

b) サブテーマ5:沿岸生態系の緩和・適応策の経済評価(生態系サービス、サンゴ、マングローブ、干潟、砂浜)

代表的な沿岸生態系(サンゴ礁、マングローブ、海草

藻場、干潟、砂浜など）、もしくは複合生態系（景観）として、モデル生態系を設定するための、文献調査や資料整理を中心とした作業を実施した。また、各数理モデルや社会経済モデルで必要とする既往データを収集し整理した。さらに、気候変動や緩和・適応策に対する生態系の緩和・適応機能の応答を検討するうえで鍵となる生態系の要素（地形、外力、炭素、生物量など）や過程（移流拡散、生成消費など）を抽出し、各数理モデルの基礎式を検討し、モデル構築をすすめた。

環境政策への貢献は以下の通りである。

- ・ UNFCCC 2013 年湿地ガイドラインへのインプット適用に関する日本政府サブミッション案（SB46 の論点）に対し、ブルーカーボンに関する最新の知見や、日本における現状や今後の望ましい姿勢について環境省担当官と協議し、その内容がサブミッションに反映された。（2017 年 2 月）
- ・ 横浜市「平成 27～28 年度横浜市ブルーカーボン検討委員会」の委員として、横浜で社会実践されている海域を活用したカーボンのセットについて、その科学技術的根拠や望ましい進め方について助言し、その内容が採択され実践された。
- ・ 環境省「平成 27 年度適応策に資する吸収源検討会」の委員として、ブルーカーボンによる緩和効果と適応効果の最新情報を提供し、とりまとめ資料に対して助言した。
- ・ 環境省「平成 28 年度適応策に資する吸収源検討会」の委員として、本推進費(S14)で取り組んでいる沿岸生態系の緩和・適応の経済評価研究の概要を説明した。

(2) テーマ 3：気候変動に対する地球規模の適応策の費用便益分析

地球規模の気候変動適応策の効果と費用便益に焦点をあてた研究を担当した。その際には、適応をふまえた防災のあり方の検討を含む、防災と適応策との相乗効果の検討も行った。本テーマでは、(1)水関連災害、(2)穀物生産に関する影響、(3)保健・健康・衛生に関する影響、(4)沿岸災害という 4 つの主要な領域を対象に、地球規模の気候変動影響と、実施可能と想定される適応策の費用便益の検討を行った。本テーマでは、テーマ 4 から得られる気候変動適応策の地域的知見も参照し、地球規模の適応策実施の技術的経済的検討と課題等の整理を行うとともに、テーマ 5 の緩和策と適応策の統合的モデルの構築に必要な知見をテーマ 2 と共に提供した。具体的なサブテーマは、サブテーマ 1「気候変動適応策の総合的な費用便益分析と水関連災害の適応策の費用便益分析」、サブテーマ 2「気候変動による穀物生産への影響評価と適応策の費用便益分析」、サブテーマ 3「気候変動によ

る健康への影響評価と適応策の費用便益分析」、サブテーマ 4「気候変動に伴う沿岸地域の脆弱性評価と適応策の費用便益分析」である。

上記のうち、沿岸に密接に関係するのは、サブテーマ 4 である。

a) サブテーマ 4：気候変動に伴う沿岸地域の脆弱性評価と適応策の費用便益分析（社会インフラ）

沿岸地域に関しては、適応策の中で防護に焦点を当てた影響評価モデル、費用便益分析のパイロットモデルを構築した。具体的には、全球の沿岸域の浸水影響、適応効果の第一次推計、適応防護費用データベース構築とその将来推計を提示し、全球規模の堤防データ抽出プロセスを開発した。

(3) テーマ 4：アジアのメガシティにおける緩和を考慮した適応策の実施事例研究

発展著しくマルチストレスに曝されるアジアのメガシティ（インドネシア・ジャカルタ）において緩和を考慮した適応策の事例研究を実施し、プロジェクト全体の中のグローバルな評価における地域検証研究としての役割を担う。その中で、緩和・適応統合実施の基本シナリオを考慮した上で、最先端の数値予報技術を駆使して都市気候変動の予測を行い（サブテーマ 1）、水災害や健康影響の総合評価（それぞれサブテーマ 2, 3）に資する基礎物理データを提供する。単純な物理的ダウンスケーリングではなく、都市シナリオ・物理モデルを介在させヒートアイランド寄与を考慮している点が大きな特徴である。

サブテーマ 2 では、水災害被害に対する緩和・適応策の効果を費用・便益分析によって検討する。

サブテーマ 3 では、障害調整生存年 (DALY)、ライフサイクルアセスメント (LCA) などを用いて、暑熱健康影響に対する緩和策・適応策の費用便益分析を実施する。

このテーマは、沿岸と密接に関係するものはない。

(4) テーマ 5：気候変動に対する地球規模の緩和策と適応策の統合的なモデル開発に関する研究

本研究では、(1)世界全体を対象として、気候変動による今世紀中の影響金額、適応策費用を推計し、緩和策の情報を統合して示すこと、(2)その情報を環境政策で実施するための制度設計、資金メカニズムを提案すること、を目的とする。対象とする部門は、水資源、生態系（森林管理を含む）、農業、エネルギー、健康、防災とする。また本研究内では S-14 の他テーマの情報を統合して示すため、特定分野の推計手法を先駆的にを行いパイロットスタディとして示し、他テーマとの連携を促進する。

このテーマは、沿岸と密接に関係するものはない。

謝辞：本稿に記載した研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF15S11400)により実施されたものです。

参考文献

- 1) 環境省環境研究総合推進費戦略研究プロジェクト S-14 気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究(MiLAI)ポータルサイト, <http://s-14.iis.u-tokyo.ac.jp>, 参照 2019-07-30.
- 2) 独立行政法人環境再生保全機構：環境研究総合推進費

中間評価個票, https://www.erca.go.jp/suishinhi/seika/pdf/seika_2_01/s-14.pdf, 参照 2019-07-30.

- 3) S-14-2 生態系保全による緩和策と適応策の統合ポータルサイト, <http://ecorisk.ynu.ac.jp/matsuda/MiLAI.html>, 参照 2019-07-30.
- 4) https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/koubo/pdf/11_S-14_appendix.pdf, 参照 2019-07-30.

編集者

桑江朝比呂・武田将英・茂木博匡

農林水産省プロジェクト

研究プロジェクト情報

配分機関	農林水産省
研究期間	2002－2020 年度から抽出（表-1 に記載）
研究予算	－
研究代表者	表-1 に記載

沿岸域に対する影響評価・適応情報の要約

対象スケール	日本近海から漁港スケール
時間	20 世紀末から 21 世紀末
事象	農業水資源、融雪、河川流量、地下水、海面上昇、高潮、浸水、海洋構造変化、海岸熱環境、生息域シフト、養殖・漁獲高、藻場、砂浜・干潟、設計水位、水産施設、浸水リスク、酸性化・CO ₂ ・O ₂ 、サンゴ、波力・越波
関連情報	https://www.affrc.maff.go.jp/docs/project/seika/index.htm
報告書公開状況	公開
データ公開状況	－

1. はじめに

農林水産省は、2015 年 8 月に「農林水産省気候変動適応計画」を策定し気候変動の適応の具体的な計画を定める一方、2017 年 3 月には「農林水産省地球温暖化対策計画」によりパリ協定における長期的目標を見据えた対策を進めている。農林水産分野における気候変動研究は、主に農林水産技術会議事務局による委託プロジェクト研究において、2006 年から「地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響評価と緩和及び適応技術の開発」、2010 年から「気候変動に対応した循環型食料生産の確立のためのプロジェクト」を実施し、気候変動に対する緩和技術や影響評価及び適応技術の開発に取り組んできた。2015 年以降、「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」では、農業分野、森林・林業分野、水産分野、野生鳥獣及び国際連携等に関する課題に取り組んでいる（表-1）。農林水産省で実施する委託プロジェクトでは、主に農林水産分野への気候変動影響の評価と水管理や肥培管理といった生産安定技術、高温耐性を有する品種の開発等に重点が置かれている。本稿ではプロジェクト課題のうち、土木学会海岸工学委員会内の「沿岸域における気候変動影響評価・適応の検討に関する小委員会」が定めたキーワードとの関連が深いと思われるものについて、その取り組みの概要を述べる。

また水産庁による調査事業の中にも、地球温暖化対策推進費によるものや、漁港や漁場整備に資する観点から気候変動対応の関連課題に取り組んだ事例があり、それらについても合わせて紹介する。

2. 農林水産分野における気候変動対応のための研究開発

(1) 気候変動に対応した循環型食糧生産等の確立のためのプロジェクトのうち、地球温暖化が農業分野に与える影響評価と適応技術¹⁾（農業水資源、融雪、河川流量）

農業水利用に係る広域水配分・還元・管理等を組込んだ分布型水循環モデル（以下、「農業水循環モデル」という）を開発し、全国を対象に 5km メッシュ毎に河川流量や作付面積などを算出した。本モデルで関川流域における将来の農業用水の変化を解析し、河川流量（取水可能量）では、①将来の年最大日流量の増加、②取水地点での融雪流量の減少（4～5 月）、③水利権水量を下回る流量の発生（5～6 月）が示された。灌漑用ダムでは、冬季貯水量の増加が予想され、反対にダム流入量となる融雪流出量の減少から春先の貯水量の減少がみられた。また、主要な頭首工（板倉頭首工）の平均的な取水量には大きな影響はみられないものの、少雪年には 5～6 月の取水量が現在よりも減少すると予測され、代かき期に水田域への供給水量が減少し、特に灌漑地区下流部で用水の不均衡が起きやすくなることが示された。

(2) 農業分野の気候変動対策のうち、極端現象の増加に係る農業水資源、土地資源及び森林の脆弱性の影響評価²⁾（農業水資源、地下水、海面上昇、高潮、浸水）

表-1 農林水産分野における気候変動対応のための研究開発における課題群（抜粋），および本稿で紹介する水産庁委託調査事業の一覧（括弧書きは小課題名）

課題名	実施年度	研究代表者
【農林水産分野における気候変動対応のための研究開発】 農業分野における気候変動の影響評価及び適応技術の開発 （農林業に係る気候変動の影響評価） （極端現象の増加に係る農業水資源、土地資源及び森林の脆弱性の影響評価） （温暖化の進行に適応する農作物の品種・育種素材、生産安定技術の開発） （豪雨に対応するためのほ場の排水・保水機能活用手法の開発）	平成 25～29 年度 平成 25～29 年度 平成 27～31 年度 平成 27～31 年度	宮田明（農業・食品産業技術総合研究機構） 増本隆夫（農業・食品産業技術総合研究機構） 育種素材・船附秀行（農業・食品産業技術総合研究機構），生産安定・宮田明（農業・食品産業技術総合研究機構） 北川巖（農業・食品産業技術総合研究機構）
森林・林業分野における気候変動の影響評価及び適応技術の開発 （山地災害リスクを低減する森林管理技術の開発） （人工林に係る気候変動の影響評価） （気候変動に適応した花粉発生源対策スギの作出技術開発）	平成 28～32 年度 平成 28～32 年度 平成 28～32 年度	岡田康彦（森林研究・整備機構） 齊藤哲（森林研究・整備機構） 星比呂志（森林研究・整備機構）
水産分野における気候変動の影響評価及び適応技術の開発 （漁業・養殖業に係る気候変動の影響評価） （温暖化の進行に適応するノリの育種素材の開発） （有害プランクトンに対応した迅速診断技術の開発）	平成 25～29 年度 平成 25～29 年度 平成 28～32 年度	木所英昭（水産研究・教育機構） 加藤雅也（水産研究・教育機構） 五條堀孝（早稲田大学）
野生鳥獣の気候変動等の影響評価及び対応技術，病害虫被害対応技術の開発 （野生鳥獣拡大に係る気候変動等影響評価） （野生鳥獣被害拡大への対応技術の開発）	平成 28～32 年度 平成 28～32 年度	岡輝樹（森林研究・整備機構） 江口祐輔（農業・食品産業技術総合研究機構）
アジア地域の農地における温室効果ガス排出削減技術の開発	平成 25～29 年度	八木一行（農業・食品産業技術総合研究機構）
途上国における農産廃棄物の有効活用による気候変動緩和技術の開発	平成 25～29 年度	村田善則（国際農林水産業研究センター）
途上国における乾燥耐性品種の開発	平成 25～29 年度	浦尾剛（国際農林水産業研究センター）
【水産庁委託調査事業】 地球温暖化対策推進費のうち地球温暖化による沿岸漁場環境への影響評価・適応技術開発 地球温暖化に対応した漁場，漁港漁村対策調査 水産環境整備マスタープラン等漁場整備方策に係る検討調査 （気候変動に対応した漁場整備方策の検討） 漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査 （設計沖波等の設計条件の点検・見直しの標準的な考え方および手法の検討）	平成 21～25 年度 平成 14～15 年度 平成 27～28 年度 平成 30 年度	— — — —

気候変動の影響では洪水及び渇水の両方の極端現象の増加が予想されており，持続的な食糧生産のため農業水資源への影響評価が求められている。このため，気候変動による農業水資源の脆弱性の変化を評価した。

a) 両極端現象にみる農業水資源への影響評価

農業水循環モデルを用いてイネの生育ステージ別の渇

水・洪水リスクを評価し，代かき期の北日本（東北，北陸）で10年確率半旬平均流量が大きく減少することを示した。また，北海道では10年確率半旬平均流量に大きな変化はみられず，RCP4.5程度の気温上昇（北海道ではおよそ3℃程度）では水資源に影響しないことを示した。出穂期の10年確率半旬平均流量では，北日本でやや減少

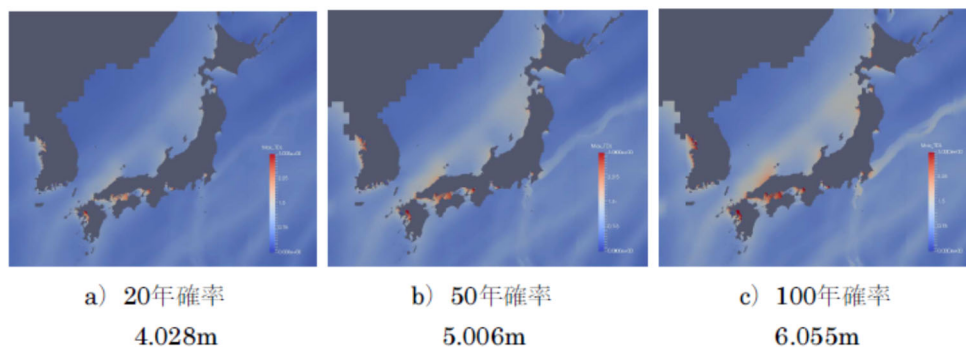


図-1 高潮潮位偏差マップの例（数値は高潮潮位偏差の最大値）²⁾



図-2 農地海岸データベースの表示例²⁾

する傾向がみられ、変化率のばらつきも比較的小さいほか、10年確率日流量は全国的に増加傾向にあることがわかった。

島嶼部では農業用水を地下水に依存しているため、沖縄県内の島嶼において水位と深度別の電気伝導度の連続観測を行い、①淡水レンズの厚さは、潮位変動の影響による半日から一日周期の変動がみられる、②大きな降雨イベントのみが淡水厚増加に寄与すること、③台風接近時には淡水厚が見かけ上薄くなることを明らかにした。また、地下水位の潮汐応答の分析により帯水層の水利定数を推定する手法を開発した。

b) 沿岸部農地における浸水被害の広域リスク評価

沿岸の農地地域では、海面上昇に伴う排水不良や高潮による浸水の増加が予想されている。農地海岸は要保全海岸線の11.6%に過ぎないが、農地海岸以外でも背後に農地を有するものが多い。このため、日本全国を対象に高潮偏差の確率評価を行った。

1951年～2015年に発生した台風のうち、東経112～166°、北緯6～48°の領域を通過した台風属性（中心気圧、移動速度、移動方向）を1.5°格子で抽出し、確率台風モデルで生成した台風をもとに再現期間20年、50年および100年の潮位偏差マップを作成した（図-1）。得られた潮位偏差マップから、再現期間が長くなるにつれて潮位偏差が大きくなる傾向にあるほか、北海道～東北地

方日本海側でも、将来的には高潮被害の危険性があることを示した。

一方、全国の農地海岸の位置、諸元をデータベース化し、高潮の被害発生が見込まれる海岸を検索できるシステムを構築した。また、高潮のモンテカルロシミュレーションで得られた高潮潮位偏差マップを沿岸農地データベースと連携し、全国の農地海岸における将来の高潮潮位偏差を把握するシステムへと発展させた（図-2）。

(3) 水産業分野における気候変動対策のうち、漁業・養殖業における気候変動の影響評価^{3,4)}（海洋構造変化、海岸熱環境、生息域シフト、養殖・漁獲高、藻場）

気候変動による影響は海域および漁業種類によって異なることが予測される。本課題では、日本周辺海域（黒潮・親潮域、東シナ海、日本海および西日本沿岸域）の各海域でのモニタリングにより、温暖化の進行に伴う物理環境や生物生産・餌環境の変化を把握した。さらに各海域の主要漁業資源の分布・回遊および成長モデルを開発し、物理環境や生物生産の予測モデルと合わせて気候変動による物理環境と餌環境の変化を予測し、主要漁業資源への影響、及び養殖業に及ぼす気候変動の影響を評価した。本課題での取り組みの概要を図-3に示すとともに、成果の例を以下に示す。

黒潮域の表面水温の年平均値は、黒潮内側域、強流帯、外側域のどの海域でも増加傾向で、100年あたりでそれぞれ0.78、2.54、0.90℃昇温していた。黒潮周辺海域の冬季の成層状態と栄養塩供給との関係を基にした解析の結果、冬季の混合層深度は浅くなると予測され、温暖化の進行によって100年後の基礎生産量が減少すると予想された。

親潮域の6月～9月の流量には1993年～2014年の間で負のトレンドがみられ、近年の道東域では暖水渦が滞留することで親潮が南下しにくい状況となっている可能性が示された。さらに2002年以降のデータからクロロフィル濃度にも低下トレンドが示され、サンマを餌の面から支

える低次生態系も変化していることが明らかとなった。

サンマ、マイワシ、マサバの産卵場への影響を予測したところ、RCP8.5シナリオによる2090年代には温暖化の影響が顕著に現れ、マサバは房総半島周辺、マイワシは常磐沖周辺、サンマは現在よりも沖合域が産卵場に好適な環境となった。また漁業への影響評価に係るものとして、RCP8.5シナリオではマイワシの北上時期が20日～40日早くなり、南下時期が20日～60日遅くなった。マサバの北上時期もマイワシ同様、20日～40日早くなり、南下時期が20日～40日遅くなった。サンマについては、生鮮で出荷することが多い体長29 cm以上のサイズに注目すると、2051～2060年の各漁場への来遊尾数が現在気候より多くなるものの、2091～2100年になるとこのサイズの来遊尾数が減少すると予測された。

東シナ海におけるカタクチイワシへの気候変動による影響として、産卵場が水温上昇に伴って北に移動することが示唆された。鹿児島県吹上浜におけるシラス加入量の変化を予測したところ、現在気候では5月生まれが加入の主体となっていたが、RCP8.5では加入量のピークが2、3月になると予想された。日本海沖合におけるスルメイカの漁期・漁場の変化として、RCP8.5シナリオによる100年後の予測結果では、現在の日本のスルメイカの主要漁場の一つである大和堆では、漁期を通じてCPUE(釣り機1台1時間あたりの漁獲尾数)が低調となるのに対し、北朝鮮やロシア沿岸域の海域では比較的高いCPUEが維持されることが示された。

西日本沿岸域の藻場生態系への影響として、RCP8.5のシナリオのもとでは、瀬戸内海の冬季水温は現在(1993～2014年)と比較して、2050年代には2～3℃の上昇、2090年代ではほぼ全域で3℃以上の上昇となった。夏季水温については、アラメ・カジメ類の致死温度である水温29℃のエリアが現在は局所的な出現に止まっているものの、2050年代には周防灘・燧灘・播磨灘、2090年代にはほぼ瀬戸内海全域に拡大した。RCP2.6のシナリオのもとでは、2090年代までの平均的な水温上昇が1～3℃程度に抑えられ、これらの藻場が広域に残存すると予測された。ノリ等藻類養殖への影響については、RCP8.5シナリオ下の2050年代では、ノリ養殖を開始する目安となる水温23℃に降下する時期が11月中旬、ノリ網の本張りが開始される目安の水温18℃への低下が12月になり、ノリの年内生産は厳しい状況になると予測された。

(4) 水産業分野における気候変動対策のうち、温暖化の進行に適応するノリの育種技術の開発⁹⁾(海岸熱環境、養殖・漁獲高)

水温が23℃以下で生産を行うノリ養殖業では、高水温による生産開始の遅れなどから生産量の減少や不安定

化が生じており、高水温耐性を持ったノリ品種の開発が望まれる。本課題は、水温24℃以上で2週間以上生育可能なノリの育種素材を開発することを目指し、様々な技術を用いた課題に取り組んだ。以下に成果の例を示す。

ノリを含む植物のひとつひとつの細胞には、硬い細胞壁があるが、本課題では、この細胞壁を酵素で溶かして取り除き、選抜に便利のようにバラバラにした裸の細胞(プロトプラスト)を用いたり、分離した高温で生き残ったノリを選抜したり、ノリに共生している細菌を利用して育種に取り組んだ。ノリの細胞壁には多くの細菌が付着しているため、細胞壁を取り除くことで無菌化が可能となり、ノリの安定的な培養技術を開発することができた。また、分離したプロトプラストに処理を施し、同種間細胞融合由来株の作成と異種間細胞融合由来株の作成を行い、24℃条件下における生長および生理的評価を行った。異種間細胞融合由来株の多くは、ある値の塩分培地を用いることにより、比較的安定した殻胞子の放出が確認された。また、塩分調製、低温処理および通気の種々の組み合わせにより、実験に耐えうる殻胞子量を確保することができた。次に多層化率による高水温耐性候補株の選抜を行ったところ、異種間細胞融合由来の6株と同種間細胞由来株1株で低い値を示し、高水温耐性を有している可能性が高いことが分かった。更に、高水温選抜で生き残った個体由来の葉状体を培養し、この葉状体を成熟させ自家受精により生じた果胞子から候補系統(高水温耐性候補系統)を得た。

3. 水産庁委託調査事業

(1) 地球温暖化対策推進費のうち、地球温暖化による沿岸漁場環境への影響評価・適応技術開発委託事業⁹⁾(海岸熱環境、養殖・漁獲高)

本事業の目的は、地球温暖化による海水温の上昇という環境変化に対し、育種研究による高水温耐性品種の作出、あるいは高水温耐性の指標となるマーカー等の開発を通じて養殖現場へ貢献しようとするものである。陸上養殖が主流であり、夏季高水温の影響を受けるヒラメ、河川水・湧水を利用した冷水性魚類を代表するニジマス、あるいは水温の低下時期の遅れから漁期の短縮が懸念されるアマノリを対象として調査を実施した。ヒラメでは高水温耐性評価法の開発、評価法に基づいて選抜した個体と次世代の作出による遺伝性の確認、高水温に付随する低酸素耐性個体解析のための評価法の開発と解析家系の作出およびQTL解析による候補DNAマーカーの開発、ニジマスでは冷水性魚類で高水温耐性個体を選抜する指標となるようなマーカーの開発、さらにアマノリでは自然界に存在する高水温耐性アマノリ類の特性評価や、実

漁業・養殖業に係る気候変動の影響評価



図-3 漁業・養殖業における気候変動の影響評価における研究成果の概要図⁴⁾

際に開発された高水温耐性アマノリ品種を用いた高水温時に特異的に発現するタンパク並びに高水温耐性マーカーとして有用な遺伝子等を明らかにした。

(2) 地球温暖化に対応した漁場、漁港漁村対策調査⁷⁾
 （海岸熱環境、養殖・漁獲高、藻場、砂浜・干潟、生息域シフト、設計水位、水産施設、浸水リスク）
 本課題では、概ね 21 世紀末までに地球温暖化の進行に伴って生じると予想される海水温および海水面の上昇等による海洋環境の変化が、魚類等の生息環境や海洋生

態系、漁業、漁場漁港漁村に及ぼす影響を定性的および定量的に予測する手法を提示した。さらに、地球温暖化の進行に対応して、漁港漁村施設に発生する諸問題に対して事例解析を試み、代表的な地域に対して、漁港漁村における対策プログラムを提案することを目的とした。

調査内容の例として、地球温暖化予測の現状について、IPCC 及び気象庁の予測方法、予測結果を示し、本調査で用いる水温分布や海面上昇量の設定を行った。評価時期は現状と将来（短期、中期、長期）の 4 ステージを設定した。全国的な影響予測・評価を行うため、全国の漁

表-2 これまで報告されている環境変動と対策（適応計画）の分類（水産庁ガイドライン⁹より）

気候変動の水産業における捉え方	気候変動への対策の視点	事例	対策
漁業被害	これまで分布している種を守る	・ウニ類やアイゴ・ブダイ等の植食性魚類の食害による藻場の衰退に対し、食害生物の除去や防除対策 ・藻場の構成種の変化に伴って、減少した種に着目し、高水温耐性種の作出による種の保全	＜保全策＞ 被害を軽減・最小化するための対策
魚海況の変化	新たに加入する種を育てる	・ウニ類やアイゴ・ブダイ等の植食性魚類の食害生物の利用対策 ・藻場の構成種の変化に伴って、増加した種に着目した増殖対策	＜適応策＞ 変化に対応した順応的な対策

港管理者に対して各漁港の防波堤、係船岸、防波護岸の各主要施設や漁港施設用地及び漁業集落についてアンケート調査を行った。併せて、全国の海面漁業協同組合及び各都道府県の水産試験場や大学等の試験研究機関に対して、現状で認識している影響、将来的に考えられる影響等について、アンケート調査を行った。さらに、地球温暖化が水産生物に与える影響について予測評価法を定め、定性的な評価を行った。地球温暖化影響を考える上で、第一の律速要因を水温と仮定し、水産生物の水温応答特性について整理し、都道府県別の影響予測と評価を行った。さらに、地球温暖化がもたらす生物影響に対して、海域区分別の影響評価予測と、短期、中期、長期的な対策を示した。地球温暖化がもたらす漁港漁場施設の影響に対して、潮位差、波浪条件、漁港規模の違いによる影響発生傾向を整理し、対策が急がれる条件や施設を抽出するとともに、地域別に短期、中期、長期的な対策を取りまとめた。

(3) 気候変動に対応した漁場整備方策の検討^{8,9)}（海面上昇、海岸熱環境、酸性化・CO₂・O₂、藻場、サンゴ、砂浜・干潟、養殖・漁獲高、生息域シフト、浸水リスク）

気候変動による海水温の上昇等は、従来の漁獲対象種の分布域や藻場の構成種等に変化を及ぼし、漁場施設の効果発現に影響を与えると見込まれている。そこで、水温、酸性化、クロロフィル、藻場、サンゴ、魚種別漁獲量、定置網漁獲量、魚介類出現状況、将来予測に関するデータ収集とともに漁業者へのヒアリング等を通じた実体把握を行い、今後の対応について検討を行った。

気候変動に伴う海水温上昇等の海洋環境の変化は、我が国周辺海域の海洋生態系や水産業に対して大きな影響を与えることが懸念されている。こうした中で、これまで報告されている海水温上昇等に起因する漁業への影響については、「漁業被害」という捉え方と「魚海況の変化」に区分される。前者についてはこれまでの漁業対象種となっている種を守る視点であり、後者については、新たに加入する種を育てる視点に区分される。また、前

者に対応した対策としては、被害を最小化するための方策と捉えることができ、本ビジョンでは、「保全策」と呼ぶ。一方、後者については変化を受け入れた対策と捉えることができ、本ビジョンでは「適応策」と呼ぶ（表-2）。気候変動に対応した漁場整備方策としては、両者の視点に立ち、互いに補完しながら各地域で生じている諸問題を整理し、今後取り得る適切かつ効果的な漁場整備に関する対策（適応計画）についてガイドラインとしてとりまとめた。

(4) 設計沖波等の設計条件の点検・見直しの標準的な考え方および手法の検討¹⁰⁾（波力・越波、水産施設）

合理的な設計沖波の推算には、長期の気象・海象データとして海上風および波浪の観測値が必要であり、そのデータに基づいた適切な沖波推算手法が必要である。しかしながら、設計沖波の基礎となる波浪については、地球温暖化の影響により台風の強大化や爆弾低気圧等により、高波浪の出現が予想され、事実、岩手県や宮城県などでは近年、既往最高波高を観測している。

本調査では、既往資料・知見の収集整理に基づき、高波浪の長期的な変動の把握、近年の技術進展を反映した沖波の推算方法の整理を行うとともに、アンケート調査に基づき、全国の漁港管理者が実施した設計沖波の見直し時期や推算手法、漁港の被災の発生などの実態を把握した。その結果を踏まえ、今後の設計沖波手法の提案や設計沖波等の設計条件の点検・見直しの標準的な考え方を提案した。

謝辞：本稿のとりまとめにあたり、水産庁、国立研究開発法人水産研究・教育機構、一般財団法人漁港漁場漁村総合研究所ならびに「沿岸域における気候変動影響評価・適応の検討に関する小委員会」における多くの関係者のご協力をいただいた。ここに記して深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 農林水産技術会議事務局：気候変動に対応した循環型

食糧生産等の確立のためのプロジェクト（プロジェクト研究成果シリーズ557），2016

- 2) 農林水産技術会議事務局：農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」最終年度報告書：極端現象の増加に係る農業水資源，土地資源及び森林の脆弱性の影響評価，2018.
- 3) 農林水産技術会議事務局：農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」最終年度報告書：漁業・養殖業に係る気候変動の影響評価，2018.
- 4) 農林水産技術会議事務局：農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」漁業・養殖業に係る気候変動の影響評価の研究成果の概要図，2018.
- 5) 農林水産技術会議事務局：農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」最終年度報告書：温暖化の進行に適

応するノリの育種技術の開発，2018.

- 6) 「温暖化適応技術」共同研究機関：水産庁委託事業地球温暖化対策推進費のうち地球温暖化による沿岸漁場環境への影響評価・適応技術開発委託事業成果報告書，2014.
- 7) 水産工学研究所：地球温暖化に対応した漁場，漁港漁村対策調査総合報告書，2004.
- 8) 水産庁：水産環境整備マスタープラン等漁場整備方策に係る検討調査報告書，2016.
- 9) 水産庁：気候変動に対応した漁場整備方策に関するガイドライン，2017.
- 10) 水産庁：漁港漁場施設の設計手法の高度化検討調査のうち設計沖波等の設計条件の点検・見直しの標準的な考え方および手法の検討，2019.

編集者

古市尚基・桐 博英