

3 3-1 気候変動による水産業及び生物生息基盤(藻場、アマモ場等)への影響調査

3.1 概要

3.1.1 背景・目的

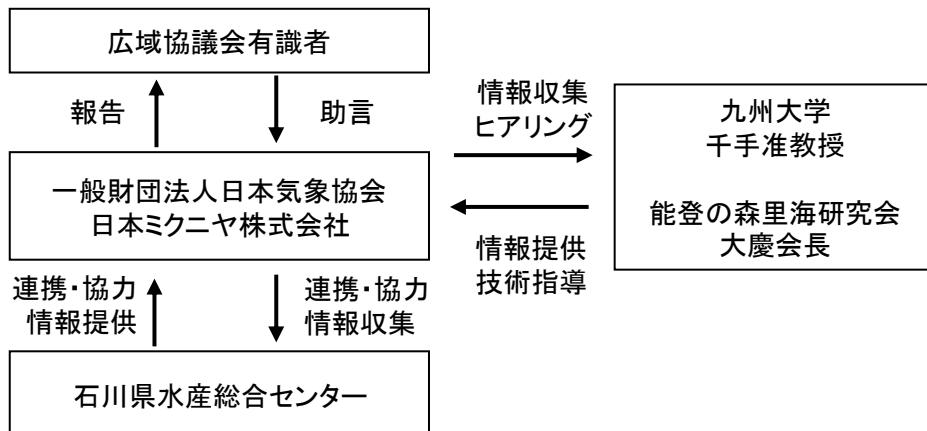
太平洋と日本海に面している中部地方においては、沿岸の各県においてそれぞれの海域の特性を生かした水産業が営まれている。しかし、近年では気温や水温の上昇、水質の変化等による影響が顕在化しつつある。例えば石川県の七尾湾においては、養殖マガキ等の斃死に加え、生物生息基盤となるアマモ等藻場への影響が懸念されている。

このような状況を踏まえ、石川県七尾湾をモデル地域として気候変動が水産業や生物生息基盤に与える影響を評価し、将来に備える適応策を検討するとともに、同様にアマモ場が分布しカキ養殖が行われている三重県沿岸部についても考察し、検討を深めることを目的として、本調査を実施した。

3.1.2 実施体制

本調査の実施者：一般財団法人日本気象協会、日本ミクニヤ株式会社

アドバイザー：能登の森里海研究会 会長 大慶則之



3.1.3 実施スケジュール(実績)

本調査では、平成 29 年度から平成 31 年度の 3 年間で、対象地域における水温の上昇等が対象種(カキ、アマモ)に与える影響を調査し、将来の影響評価及び適応策の検討を行った(図 3-2)。

平成 29 年度は、文献調査・ヒアリングによりカキ・アマモの生育条件に関する既存知見を広範に収集するとともに、将来水温予測手法の検討と、そのために必要な既存データの収集・整理を行った。

平成 30 年度は、前年度の検討をもとに、既存データによる検証を行いつつ、将来水温予測手法を構築した。また現地における水温やアマモ生育状況の把握のため現地調査を行った。

平成 31 年度は、上半期まで継続して現地調査を実施した。その結果や既存知見等を総合して生育影響の指標を設定し、将来の水温上昇による影響について評価を行った。さらに、影響評価結果をもとに、石川県関係者とも協議しつつ、適応策について検討した。

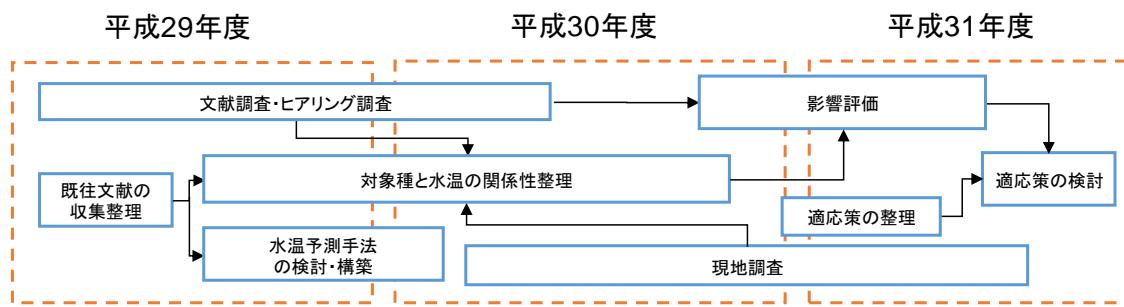


図 3-2 本調査の実施フロー(調査項目 3-1)

3.1.4 気候シナリオ基本情報

本調査で使用した気候シナリオの基本情報を表 3-1 に示す。

表 3-1 気候シナリオ基本情報(調査項目 3-1)

項目	七尾湾周辺水温予測
気候シナリオ名	NIES 統計 DS データ
気候モデル	MIROC5、MRI-CGCM3
気候パラメータ	日平均気温
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5
予測期間	21 世紀中頃、21 世紀末
バイアス補正の有無	有り(全国) ¹

¹ 「有り(全国)」: 提供元によりバイアス補正を実施した気候パラメータを使用した。(他の調査についても同様)

3.1.5 気候変動影響予測結果の概要

文献調査およびヒアリングから、七尾湾の水温上昇に伴うカキ養殖やアマモ場衰退への影響が顕在化していることが明らかになった。各地(カキ産地、アマモ場存在海域)の実態と現地観測結果を活用して、将来水温の評価指標値(30°C、28°C)を設定した。

影響予測の結果、将来において水温が指標値を上回る日数が増加し、カキやアマモに以下の影響発生(図 3-4)が想定され、適応策を検討する必要性があることが判明した。

3.1.5.1 七尾湾周辺水温予測

七尾湾の特性(水深浅く、閉鎖性強い)を踏まえ、近隣の気温と水温の関係性を利用した水温予測手法を採用した(図 3-3)。

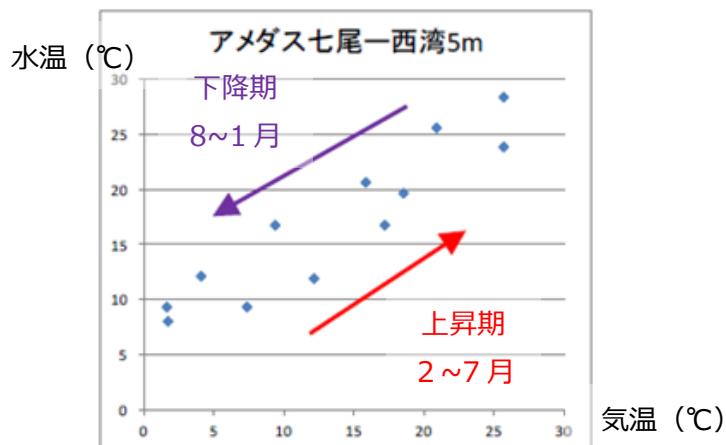


図 3-3 アメダス月平均気温と七尾西湾(水深 5m)月平均水温の関係

3.1.5.2 カキへの影響

表層における養殖・生育は困難となり、場所移動や養殖サイクルの見直しによる高水温の回避等の適応策検討の必要性が示唆された。

3.1.5.3 アマモへの影響

水温条件からは分布域はより深い層へ移行するとみられる。一方で光合成に必要な水中光量確保のため水深限界が存在するため、アマモ場のさらなる衰退の懸念が示唆された。

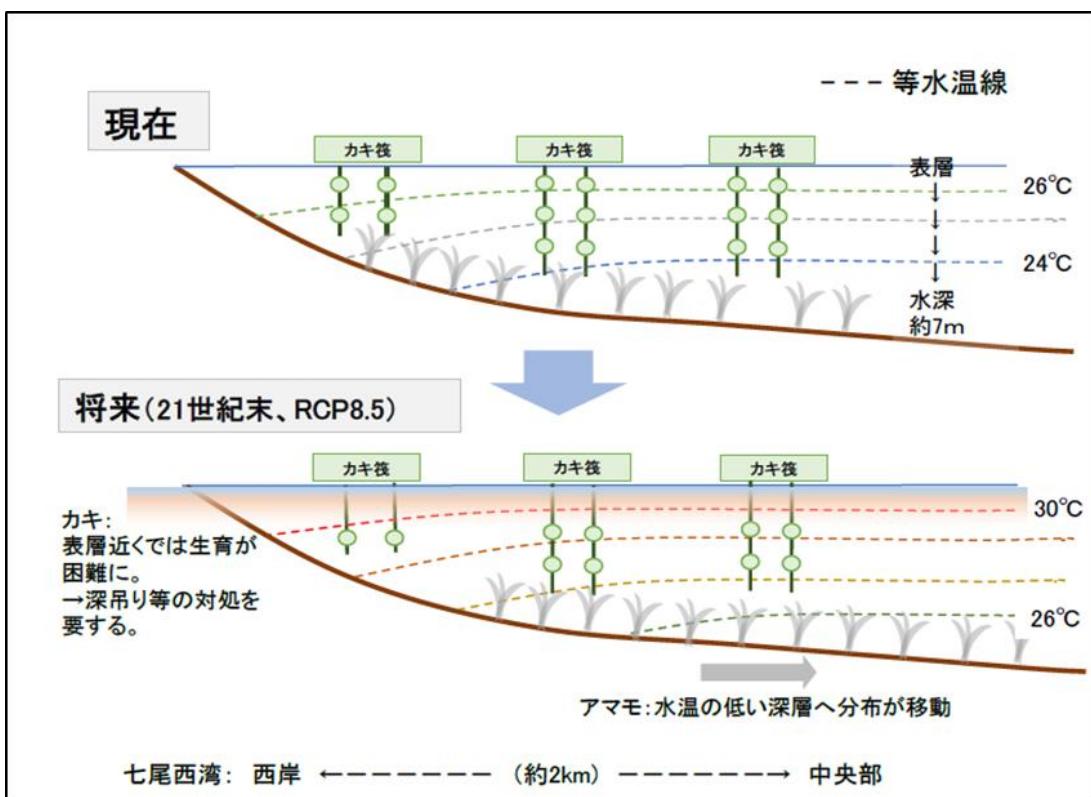


図 3-4 現在・将来の水温とカキ・アマモの状況模式図

3.1.6 活用上の留意点

3.1.6.1 本調査の将来予測対象とした事項

本調査では、気候変動による水温上昇がカキ・アマモの生育に直接的に与える影響のみを対象に、既存知見や各地実態に基づく指標を用いて予測評価を実施した。

3.1.6.2 本調査の将来予測の対象外とした事項

カキ・アマモの生育には、水温上昇以外に以下の要因による影響が想定されるが、本調査の気候変動影響予測評価においては、対象外としたことに留意が必要である。

- ・貧酸素状態の発生、水深／水質の変化による水中光量の変化、海面上昇
- ・食害生物等の増減、降水や河川水による水温・塩分濃度変化
- ・生育に関連する栄養素(植物プランクトン、窒素・リン・カリウム等)の変化

3.1.6.3 その他、成果を活用する上での制限事項

指標を上回る日数は年によって変動することが想定される。また、七尾西湾内外の各所において状況は異なると考えられる。成果を活用する際はこれらの時間的・空間的な相違にも留意が必要である。

3.1.7 適応オプション

適応オプションを表 3-2 に、その根拠を表 3-3 に示す。

表 3-2 適応オプション(調査項目 3-1)

適応 オプション	想定される 実施主体			現状		実現可能性				効果	
	行政	事業者	個人	普及 状況	課題	人的 側面	物的 側面	コスト面	情報面	効果発現 までの 時間	期待 される 効果の 程度
<カキ> 高水温条件の回避 a) 養殖場所の移動	●	●		一部普及が進んでいる	・深吊りについては現地水深が浅く、移動可能範囲に制約がある。 ・また、底層で発生する貧酸素水塊に留意する必要がある。 ・水平的な移動については、漁業権等の扱いを検討し柔軟な海面利用が可能となることが前提である。	△	○	△	◎	短期	中
<カキ> 高水温条件の回避 b) 養殖時期の変更など栽培・管理方法の見直し	●	●		一部普及が進んでいる	・サイズや味等に変化が生じる可能性がある。 ・現地に根付いた食習慣・生活史に影響が生じる可能性がある。	△	○	△	◎	短期	中
<カキ> 海況情報発信の充実	●			一部普及が進んでいる	・現状運用の拡充であり、実現可能性は高いと考えられるが、対象海域・項目・更新頻度等について検討が必要である。	◎	○	△	◎	短期	中
<カキ> 高温耐性を備えた品種の導入 a) 自家採苗による高温耐性を備えた品種の育成	●	●		一部普及が進んでいる	・十分な高温耐性を備えた種苗を得るまでは長期間を要すると考えられる。	△	○	△	△	長期	中
<カキ> 高温耐性を備えた品種の導入 b) 他産地・類似種の導入	●	●		一部普及が進んでいる	・サイズや味等に相違が生じる可能性がある。 ・現地に根付いた食習慣・生活史に影響が生じる可能性がある。	△	○	△	◎	短期	中
<アマモ> 生育状況のモニタリング	●		●	—	・アマモ自身は産業の対象ではなく、直接的な受益者もいないことから、調査コストの捻出が課題となる。	△	○	△	◎	短期	低
<アマモ> 悪影響要因の除去・低減	●		●	—	・上記同様に、対策コストの捻出が課題となる。	△	△	△	◎	長期	中
<アマモ (カキ)> 現存生息域周辺におけるアマモ場の維持・拡充			●	一部普及が進んでいる	・種まきによる維持・拡充に際しては、根付くよう、現状の確認と悪影響要因の除去・低減が必要である。	△	○	△	◎	短期	低

表 3-3 適応オプションの根拠(調査項目 3-1)

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
<カキ> 高水温条件の回避	<p>カキの生育が困難となる、夏季の高水温を、場所移動や時期の変更等によって回避する。</p> <p>a) 相対的に低温が維持されることが想定される海域(深吊り、湾中央部等)への養殖域の移動。広島湾での実施例あり。(参考:「二枚貝漁場環境改善技術導入のためのガイドライン」(H25、水産庁)) また、海外では、一時的に水面上へ引き上げるような対応事例もみられる。(瀬戸内海区水産研究所 堀主任研究員)</p> <p>b) 他産地で運用されている養殖サイクル等も参考にしつつ、栽培・管理方法を再検討する。例として、九州エリア(豊前海、筑前海等)で春に種苗を投入し、同年の冬～翌春に収穫を行っている状況がある。(参考:「福岡県におけるカキ養殖の产地構造と生産性・収益性」(H31、福岡県水産海洋技術センター))</p> <p>気候変動対応の意識ではないものの、七尾湾周辺の現地において漁業者の自主判断により、深吊りや水平移動等の対応や、養殖サイクルの変更に取り組んでいる事例がある(石川県農林水産部水産課)ことから、「一部普及している」と記載した。</p>
<カキ> 海況情報発信の充実	<p>高水温条件の回避(養殖場所の移動)を適応オプションとして実施する場合の実効性を高めるため、特に深吊り時等に警戒すべき貧酸素水の発生状況を迅速に把握・周知する。石川県では現在、石川県水産総合センターにより、連続観測センサーを用いた水温、溶存酸素、塩分、クロロフィル等のリアルタイム実況値や、各種の予測値を発信するシステムが運用中(石川県農林水産部水産課)であり、それらを拡充することで、より適切な対応に資するようにする。</p>
<カキ> 高温耐性を備えた品種の導入	<p>高水温においても生育可能な種・個体の導入・育成を図る。</p> <p>a) 高温耐性には個体差があるので、自家採苗により現地で生き残った個体の交配を重ねることで、耐性を持った品種を育成する。(堀主任研究員)</p> <p>b) 他産地のカキ(マガキ)の導入のほか、外観等がほぼ同一の類似種の導入の検討も考えられる。(堀主任研究員)</p> <p>気候変動対応の意識ではないものの、七尾湾周辺の現地において漁業者の自主判断により、自家採苗や種苗入手先の変更に取り組んでいる事例がある(石川県農林水産部水産課)ことから、「一部普及している」と記載した。</p>
<アマモ> 生育状況のモニタリング	<p>アマモ減少要因には水温のほか、水質汚濁による光量不足や、高水温で増加する食害生物等の影響も考えられ、定期的な状況把握が望ましい。(北大 仲岡教授)</p> <p>なお、現状のモニタリングは、環境省等の取組等や、研究目的の調査が主体である。</p>
<アマモ> 悪影響要因の除去・低減	<p>上記モニタリング結果もふまえて、水質汚濁による水中光量減少などの悪影響要因の除去・低減を図ることにより、水温以外の要因による衰退を最小化することも適応策である(東大 高橋教授)。</p>
<アマモ (カキ) > 現存生息域周辺におけるアマモ場の維持・拡充	<p>環境の変化によりアマモの生育適地でなくなった海域への種まきは推奨されない(東大 高橋教授)が、現存生息域周辺であれば根付く可能性もある。本県においても NPO 等によりそのような活動がなされている。(石川県水産総合センター) アマモ場の維持・再生により生物多様性が確保されることは、カキにとっても栄養源の供給のほか、クロダイによる稚貝の食害などを防ぐ意義もあり、カキに対する適応策ともなりうる。(石川県水産総合センター)</p>

3.2 気候シナリオに関する情報

3.2.1 気候シナリオ基本情報

本調査項目では表 3-4 に示す気候シナリオを利用した。

表 3-4 気候シナリオ基本情報(調査項目 3-1):再掲

項目	内容
気候シナリオ名	NIES 統計 DS データ
気候モデル	MIROC5、MRI-CGCM3
気候パラメータ	日平均気温
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5
予測期間	21世紀中頃、21世紀末
バイアス補正の有無	有り(全国)

3.2.2 使用した気候パラメータに関する情報

将来予測に用いた気候パラメータである、アメダス七尾が属するメッシュの月平均気温の推移を図 3-5 に示す。21世紀末時点での各月の平均気温は RCP2.6(図 3-5(1))では現在より 1~2°C 程度、RCP8.5(図 3-5(2))では 3~5°C 程度上昇すると予測された。

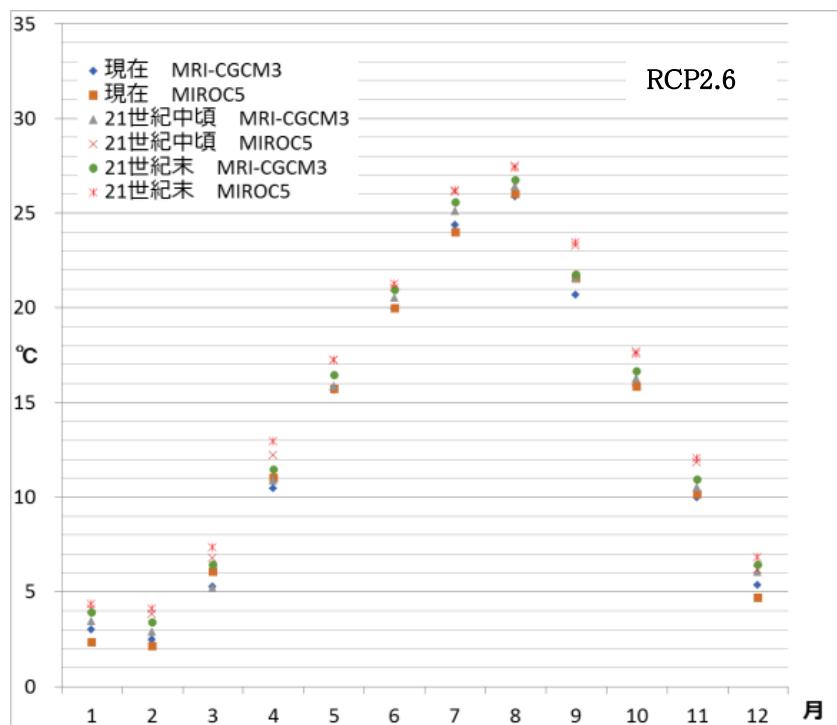


図 3-5(1) 七尾付近の将来気温予測(月別)

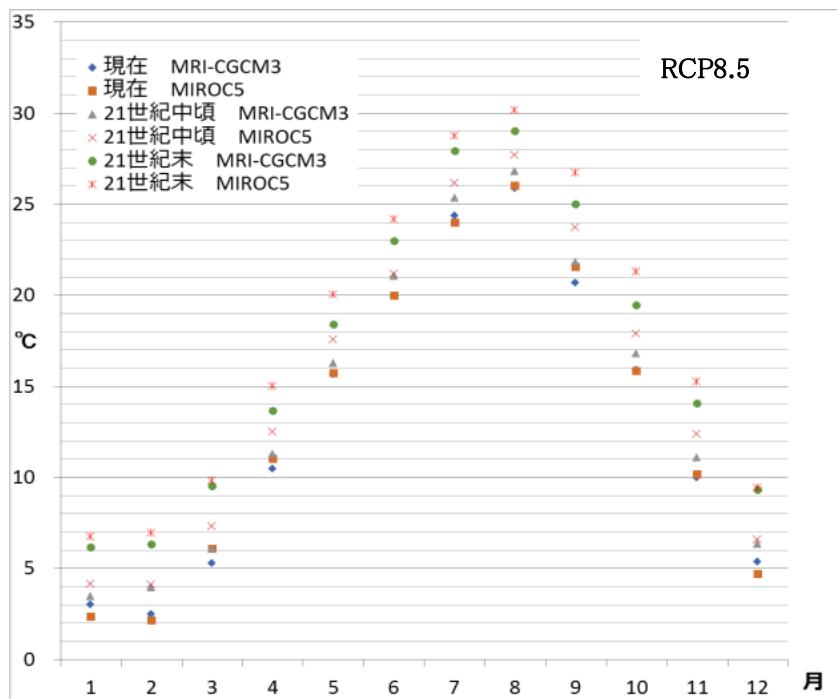


図 3-5(2) 七尾付近の将来気温予測(月別)

3.2.3 気候シナリオに関する留意事項

観測値(アメダス七尾の 20 年間の平均気温)と気候シナリオの現在(気温)を月別に比較すると、現在の月平均気温は観測値と 1.0°C 程度以内で一致していた。また、気温や水温が最も低下する時期として 2 月、昇温期間の代表として 5 月、気温や水温が最も高くなる時期として 8 月、そして下降期間の代表として 11 月を選定し、累積出現率の比較を行った。累積出現率グラフの形状は観測値と気候シナリオの現在で類似しており、平均値による検討とあわせて、気候シナリオの結果は現況を再現しており、本調査に適用することは妥当であると判断した。

3.2.4 バイアス補正に関する情報

「3.2.3 気候シナリオに関する留意事項」記載の気候パラメータ再現性の検証結果より、気候シナリオの再現性は概ね良好であるため、補正を行う必要はないと考えられ、独自のバイアス補正は実施しない。

3.2.5 気候シナリオ選択の理由

本調査では、七尾湾における将来水温推定に必要な気象要素(気温)を含み、また可能な限り空間解像度が細かいシナリオとして「NIES 統計 DS データ」が適していると考えられるため、バイアス補正済みの統計的ダウンスケーリングデータである、本シナリオを選択した。

3.3 気候変動影響に関する調査手法

3.3.1 手順

本調査の実施フローを図 3-6 に示す。

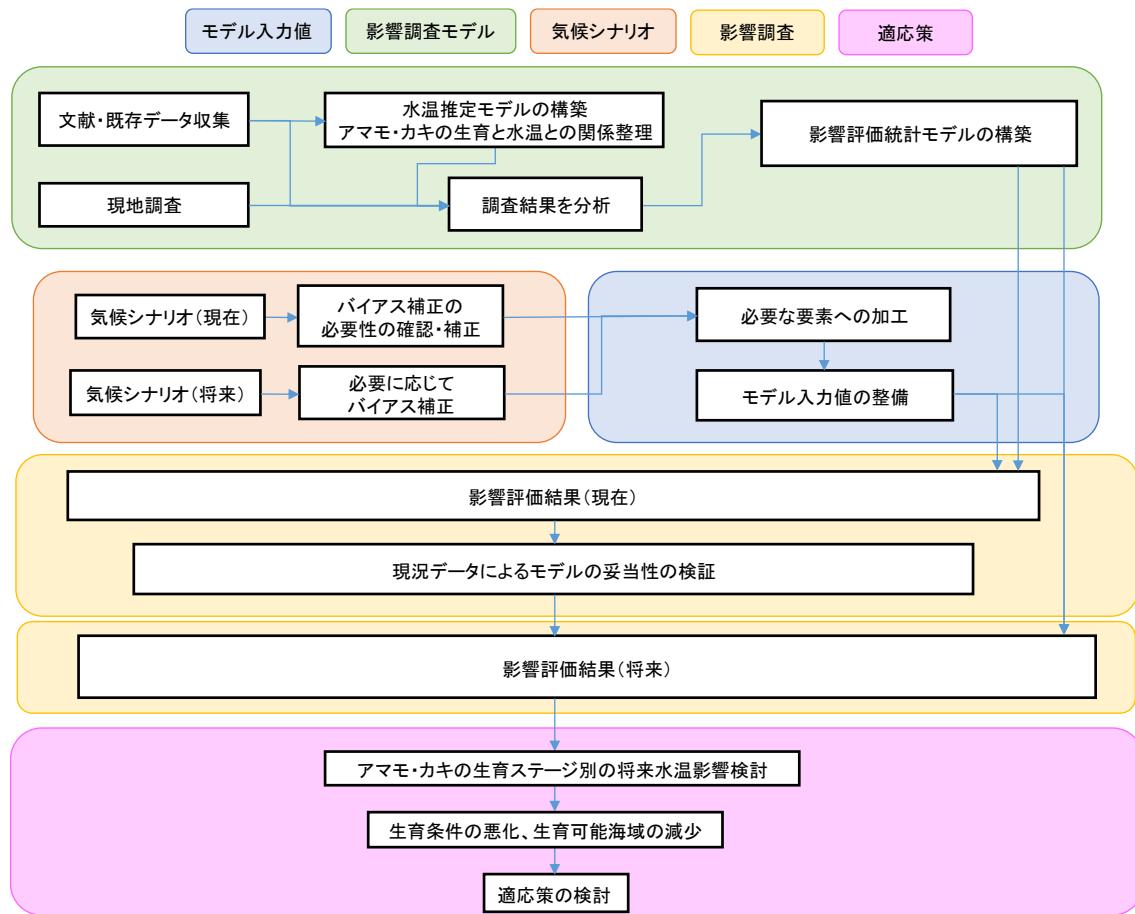


図 3-6 本調査の実施フロー(調査項目 3-1)

3.3.2 使用したデータ・文献

将来影響予測・評価に使用した既存のデータ・文献を表 3-5 に示す。

表 3-5 将来影響予測・評価に使用したデータ・文献

区分	地点等	入手方法・出典等
水温データ	七尾湾内 3 地点(西湾・長浦・志ヶ浦) 七尾湾外 5 地点	石川県水産総合センター提供
気温・降水量データ	アメダス七尾	気象庁ホームページ
カキ産地	三重県、岡山県、広島県、 福岡県、長崎県	各産地ホームページ
水温データ		
アマモ場	安芸灘、指宿	モニタリングサイト 1000
モニタリング結果		生物多様性センター／環境省

3.3.3 有識者ヒアリング

有識者ヒアリング結果の概要を表 3-6 にまとめた。

表 3-6 (1) ヒアリング結果の概要(調査項目 3-1)

NO.	1
ヒアリング対象者	石川県水産総合センター 次長 大慶則之氏ほか
日付	2017 年 9 月 13 日、12 月 23 日
場所	石川県水産総合センター
概要	<ul style="list-style-type: none"> カキ大量斃死の問題は、高水温のほか貧酸素等の要因が考えられる。 カキ養殖は、大部分が西湾で水深 5m 程度が主体である。 アマモが多年生→単年生となる状況がみられ、生態系への影響が懸念される。 カキのほか養殖のトリガイも同様の気候変動影響を受けるほか、多くの水産物への影響が懸念される。 降雨による淡水流入による斃死も発生している。

NO.	2
ヒアリング対象者	三重県水産研究所 國分秀樹氏
日付	2017 年 11 月 16 日
場所	三重県水産研究所
概要	<ul style="list-style-type: none"> すべてが気候変動起因とは言い切れないが水産業の状況が変わりつつある。 県下最大のアマモ場は松名瀬付近に存在、南部の内湾のものは小規模である。 アマモが多年生→単年生となる状況が一部でみられ、生態系への影響が懸念される。

NO.	3
ヒアリング対象者	石川県水産総合センター 次長 大慶則之氏ほか
日付	2018 年 10 月 31 日、2019 年 2 月 25 日
場所	石川県水産総合センター
概要	<ul style="list-style-type: none"> 水深の浅い西湾で気温上昇が水温に与える影響が大きくなつたと考えられる。 水温ピーク後にみられた 2018 年 8 月の水温低下は、台風による北東風が持続し湾外からの冷水が流入したためと思われる。 夏季の七尾湾は表層の高水温層、底層の貧酸素層に挟まれて生物生息環境が厳しくなりつつある。 次年度早期に現地調査を行いアマモの生育状況を確認することが望ましい。

表 3-6 (2) ヒアリング結果の概要(調査項目 3-1)

NO.	4
ヒアリング対象者	北海道大学 教授 仲岡雅裕氏ほか
日付	2019年9月19日
場所	静岡市内
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・アマモの生育には夏の水温が効くと考えられる。各地の状況を確認して評価指標を定めることが適切である。 ・水温上昇によりアイゴ等のアマモ食害増加も懸念される。 ・水温上昇はカキの貝毒増加の要因ともなる。 ・カキ適応策は、南方の産地における管理手法が参考になるだろう。

NO.	5
ヒアリング対象者	瀬戸内海区水産研究所 主任研究員 堀正和氏
日付	2019年9月20日
場所	東京都内
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・透明度が高ければ水温上昇時にアマモは深い層に退避できるが、七尾湾の過去の分布推移をみると光量不足となっている可能性がある。 ・カキは潮間帯に生息し、水温よりさらに変動幅の大きい気温変化にも遭遇するため、ホタテなどと比べると周辺環境の変動に対して比較的強い。 ・カキの斃死には、病気や餌の減少による消耗も要因となる。 ・カキの自家採苗を行い、現地で生き残った高温に強い種を育成していくことは適応策になるのではないか。

NO.	6
ヒアリング対象者	東京大学 教授 高橋一生氏
日付	2019年9月25日
場所	東京大学
概要	<ul style="list-style-type: none"> ・アマモ場は産卵場所やハビタットの機能を持ち生物多様性の維持に貢献する。生産性の向上にも寄与している。 ・水温上昇が避けられないとしても、それ以外のアマモ生存の阻害要因を除去することはアマモ場維持に重要である。

3.3.4 観測および実証実験

調査対象海域として設定した七尾西湾における、水深別の水温の季節変化状況を詳細に把握するとともに、アマモの生育状況を確認し水温や水深との関係性検討のための情報を得ることを目的として、2018年度～2019年度上半期に現地観測を実施した。

現地観測の概要を図3-7、図3-8および表3-7、表3-8に示す。水深や離岸距離の異なる3地点について、水温の連続測定を実施したほか、数か月に1回の頻度で、アマモの生育状況の確認と水温の詳細な鉛直分布の測定を実施した。

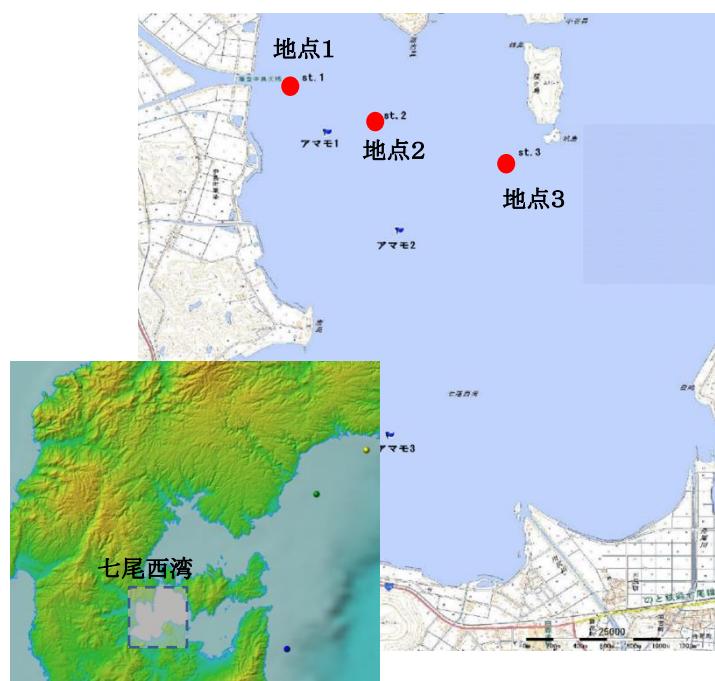


図3-7 現地観測地点位置

環境アセスメントデータベース(環境省)及び電子国土 Web(国土地理院)を基に作成

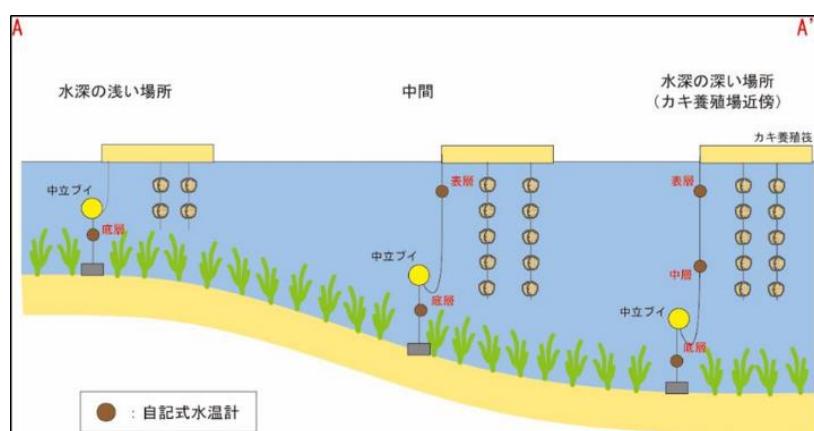


図3-8 現地観測の概要

表 3-7 現地観測地点

項目	地点1	地点2	地点3
経度(東経)	136° 52' 12.36"	136° 52' 37.55"	136° 53' 16.49"
緯度(北緯)	37° 06' 21.06"	37° 06' 11.02"	37° 06' 00.89"
水深(m)	3.7	4.7	6.3
水温測定 水深(m)	1.0 3.7	1.0 3.7	1.0 3.0 5.3

表 3-8 現地観測の内容

項目	測定日時・回数等	備考
水温連続測定	2018年5月17日～ 2019年10月16日	2018年9月15日～11月7日 地点3のみ欠測(台風影響による)
水温鉛直プロファイル測定	2018年度:9回実施 2019年度:6回実施	
アマモ 生育状況調査	2018年度:10回実施 2019年度:4回実施 5/10 開花期前 6/20 伸長期～衰退期 7/25 水温ピーク時(衰退期) 9/5 衰退期後(残存量確認)	2019年度は潜水目視・坪刈りによる以下の調査を実施した。 ・栄養株、実生株の確認・区別 ・密度(被度) ・最大/最小草丈 ・生育株数 ・バイオマス(湿重量/m ² 、乾燥重量/m ²)

3.3.5 気候変動影響予測手法の検討

将来水温の予測手法として、現状における気温と水温の関係性をもとに、将来気温から将来水温を算定する方法を採用した。中川ら(2018)等、各地の沿岸部の水温推定に用いられた実績を有し、閉鎖性が高く水深が浅い七尾湾の条件に鑑みて、気温との関係性が高いことが期待されるため、有効であると判断した。

3.3.6 影響予測モデルに関する情報

3.3.6.1 気温と水温の関係を用いた将来水温予測モデル

石川県水産総合センターから提供を受けた七尾西湾における水温データ(期間:2017年5月～2018年4月)を統計し、横軸に気温(アメダス七尾)、縦軸に七尾西湾の水温(いずれも月平均値)をとった散布図に示した(図3-9)。グラフの形状を踏まえ、昇温期(2月から7月)と降温期(8月から1月)に分割して関係式を作成した。結果は表3-9のとおりで、相関係数0.96以上の高い相関関係が得られたことから、本予測モデルの採用は妥当であると考えられる。

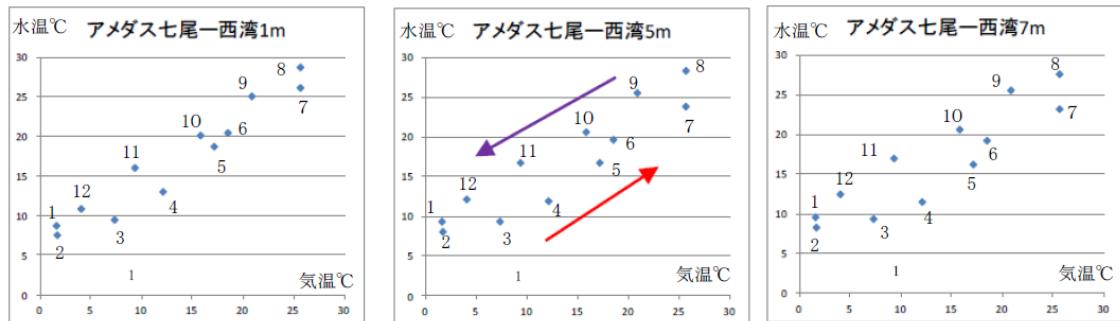


図 3-9 アメダス七尾月平均気温(横軸)と七尾西湾月平均水温(縦軸)の関係

表 3-9 七尾西湾における水温推定式

水深 (m)	昇温期(2~7月)		降温期(8~1月)	
	推定式(x:気温,y:水温)	相関係数	推定式(x:気温,y:水温)	相関係数
1	$y=0.818x+4.61$	0.987	$y=0.823x+7.62$	0.999
5	$y=0.705x+5.26$	0.973	$y=0.776x+8.78$	0.997
7	$y=0.668x+5.43$	0.968	$y=0.745x+9.21$	0.995

3.3.7 影響予測に必要な入力パラメータ

解析にあたり、対象地域における過去の水温データと気温データ入手し、影響予測モデルの構築に活用した。

3.3.8 影響予測における留意事項(制限事項)

得られた関係式は、気温と水温の平均的な対応関係を表現したものであり、実際には、日々の降水や河川からの流入の影響による変動が生じることに留意が必要である。

3.4 調査結果

3.4.1 文献調査結果

既存文献(日本水産資源保護協会, 1983、川崎,1987)による、カキ及びアマモの生育条件と水温の関係を図 3-10 に示す。

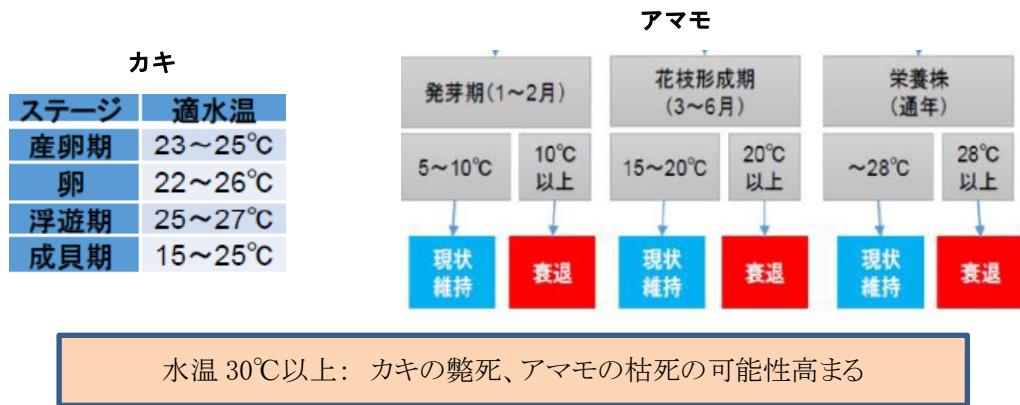


図 3-10 既存文献によるカキ・アマモの生育条件と水温の関係

次項(2)の有識者による助言にあるとおり、上記の値を参考にしつつ、実際の各地の状況を踏まえて評価指標を設定すべきと考えられる。各地の Web サイトの情報を収集した結果を図 3-11、図 3-12、表 3-10 に示す。

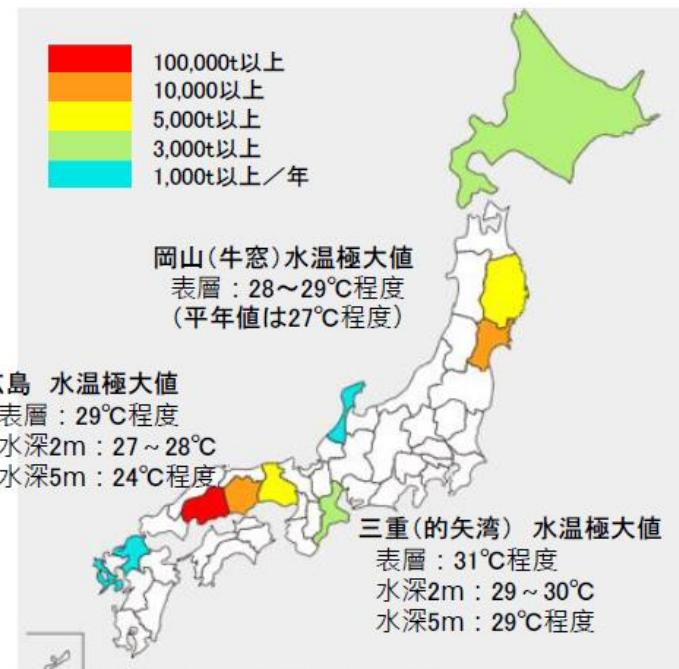


図 3-11 主なカキ産地と水温の状況



図 3-12 アマモ場の状況(環境省モニタリングサイト 1000 より)

表 3-10 各地のカキ・アマモ場の状況まとめ

項目	各地の状況
カキ	各地の近年の水温状況を調査した結果、石川県以南の各産地において、表層～水深5m付近において、水温 29°C 程度までは養殖・生産が行われている。
アマモ	モニタリングサイト 1000 のうち、アマモが消失したとみられる指宿では近年 30°C 前後の水温に達している。一方、部分的な消失・衰退が起こりつつある安芸灘の夏季の水温は 27°C 程度とみられる。

3.4.2 有識者ヒアリングの結果

七尾湾における水温上昇によるカキへの影響が顕在化しつつあることや、アマモが多年生から単年生に移行するなど衰退しつつあることが明らかになった。一方で、貧酸素状態の発生や混濁による水中光量の減少、クロダイによるカキ稚貝の食害など、水温以外の要因への留意の必要性も示唆された。

影響評価の際に用いる指標としては文献値のみならず、各地(カキ産地、アマモ場存在海域)の実態も踏まえて設定することが妥当であるとの助言があった。

適応策について、他産地の状況を参考とすべきこと、アマモ場の存在による生物多様性維持機能に着目すべきこと、気候変動以外の阻害要因の除去にも配慮すべきこと等が指摘事項として挙げられた。

3.4.3 現地観測結果

2018～2019 年度に七尾西湾において実施した現地観測結果は、以下のとおりである。

3 地点での各水深の水温(時別値をグラフ化)は、図 3-13 に示すように 3 月前半頃に最高(32℃前後)、2 月前半頃に最低(8℃前後)となる変化を示していた。5～7 月の昇温期には表層の水温が高く、日々の変動幅が大きかった。9～11 月に水温が低下するときは、深さによる相違は小さく全層が同様に推移していた。12～3 月は表層の水温が低い傾向が明瞭である一方、日々の変動は比較的小さかった。

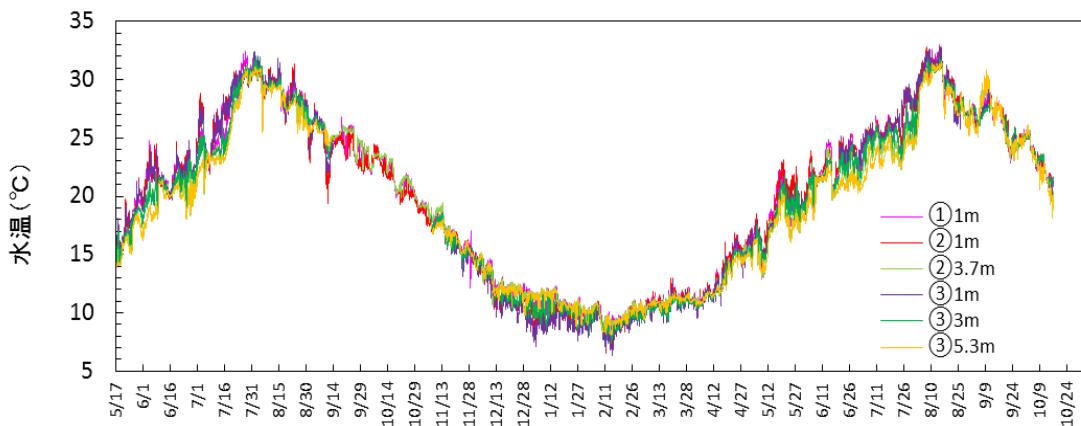


図 3-13 現地観測による七尾西湾の水温の推移(2018 年 5 月～2019 年 10 月)

地点間や水深による相違をみるため、地点 3 水深1mを基準とした水温差のグラフを作成した。地点間の差(図 3-14 上図、各地点の水深1mを比較)をみると、岸に近い地点1との水温差は変動が大きく最大で 4℃程度に達する。正負いずれにも振れやすいが昇温期は負(沖合が高温)、晚秋から冬季にかけては正(沿岸が高温)のケースが多かった。地点 2 と地点 3 では水温差は 1℃以内の期間が大半を占める。また、差が正の期間が長く、やや岸に近い地点 2 の水温が若干高めであることが分かった。

水深による差(図 3-14 下図、地点 3 の各水深を比較)をみると、4～8 月は値が負(深い層が相対的に低温)であり、水深 5.3m の水温は水深 1m より 3～4℃低いケースも少なくない。9～10 月は深さによる水温の差は小さい。11～3 月にかけては、差は正(深い層が相対的に高温)となり、12～1 月には差は 3℃程度に達する。

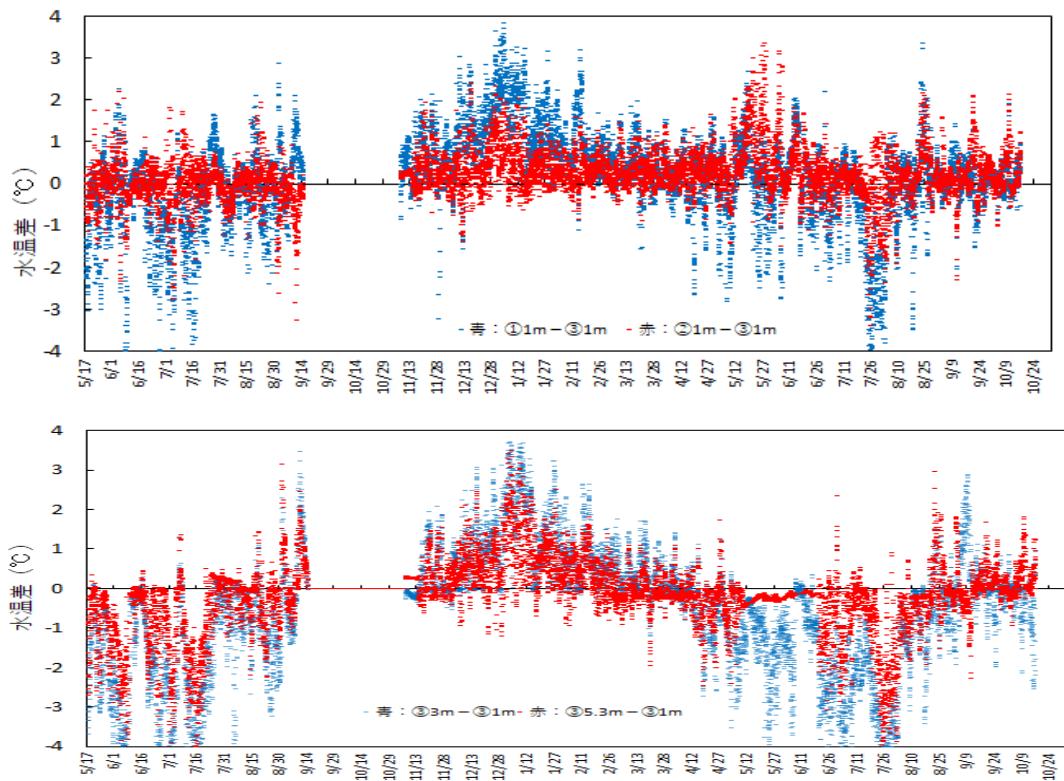


図 3-14 地点・水深による水温の相違

地点3の水深 1m の水温を基準とした(上:水深 1m での地点比較、下:地点3の水深比較)

2019 年度に実施した、アマモ生育の現地確認状況の主要な結果を図 3-15 および図 3-16 に示す。5~6 月におけるアマモの株数や重量は地点 1 > 地点 2 > 地点 3 で推移している。沖合ほど水深が深く、光量が不足していることが要因のひとつと考えられる。潜水して撮影した写真(図 3-16)でも両地点における繁茂状況の相違がみてとれる。

いずれの地点でも高水温が継続した夏季に、アマモの株数や重量は次第に減少し、9 月には見られなくなった。

文献や各地の状況を考慮すると、水温が 28°C や 30°C を上回った時期にアマモ場の消失が進行したと考えられる。

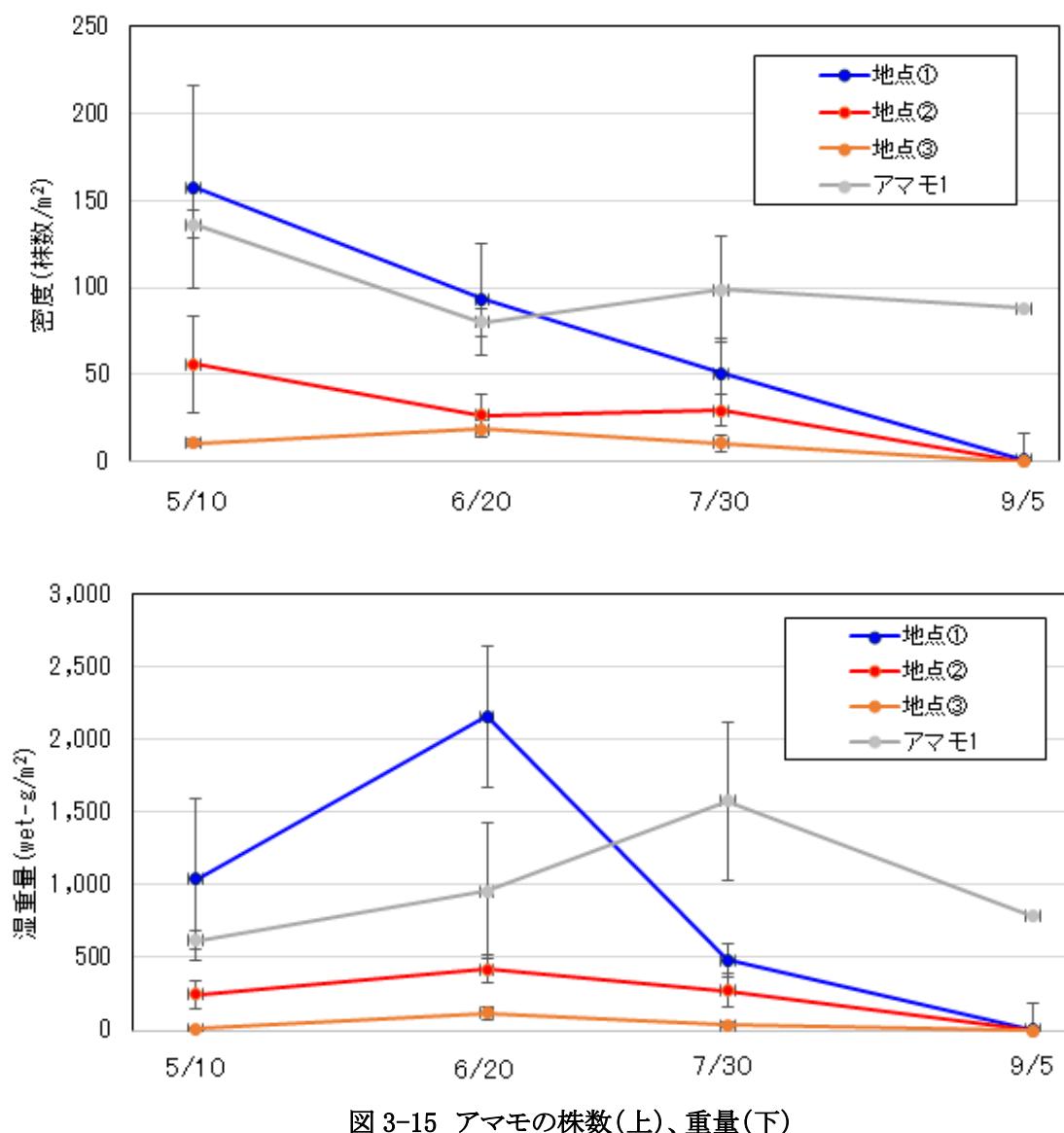


図 3-15 アマモの株数(上)、重量(下)



図 3-16 アマモの繁茂状況 地点1(左)、地点3(右)

3.4.4 気候変動影響予測結果

既存文献(各地 web サイトにおける情報含む)、有識者ヒアリング、現地観測結果を総合し、カキやアマモの生育に影響を与える水温の指標は表 3-11 のとおりとした。

表 3-11 将来水温の評価指標

水温	説明
30℃	カキの生息が可能な上限や、アマモ枯死発生の目安となる水温
28℃	アマモの多年生が消失し、アマモ場衰退が顕著となる水温

将来のシナリオ、年次ごとに表 3-9 の関係式を用いて将来気温から将来水温を予測し、上記の指標値を超える日数を算定した結果を図 3-17、図 3-18 に示す。

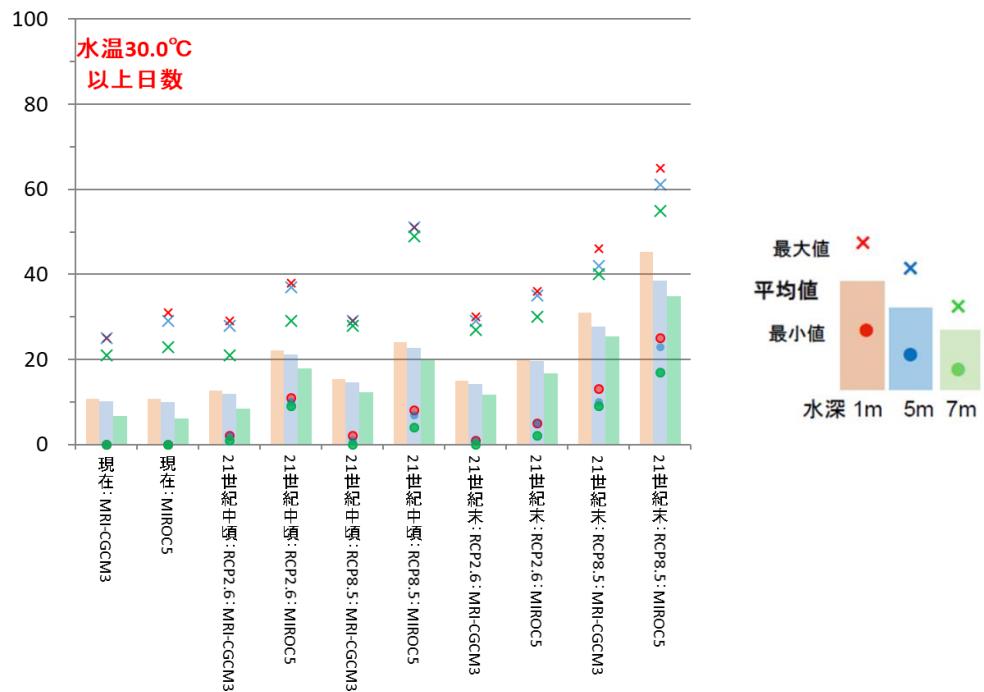


図 3-17 七尾湾周辺水温予測結果(水温 30℃以上の日数)

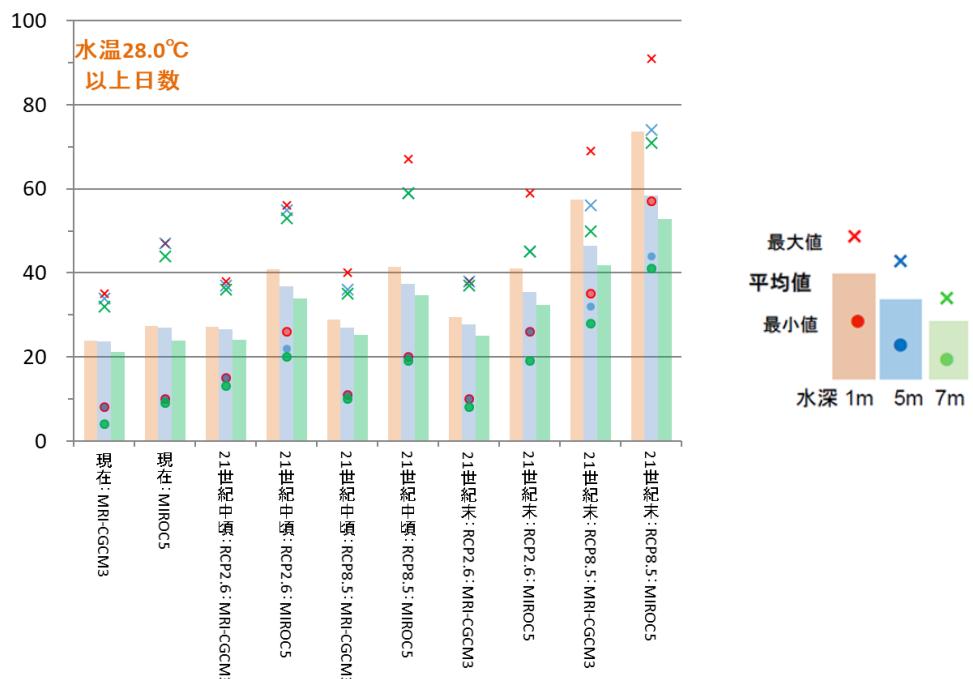


図 3-18 七尾湾周辺水温予測結果(水温 28℃以上の日数)

夏季水温は21世紀中頃で現在より1°C程度、21世紀末では2~4°C程度上昇するものと予測され、指標となる水温を上回る期間が長期化して、カキやアマモの生育環境が悪化することが懸念される。

指標値は生育影響の目安としての値であり、超過が死滅や衰退に直結するものではないが、たとえばMRI-CGCM3、RCP8.5の場合の超過日数(水深1m、平均値)は現在の2~3倍に達し、悪条件にさらされる期間が大幅に増加することになる。

なお、底層(水深7m)でも高水温日数は現在より増加するものの表層にくらべてある程度状況は緩和される。また図3-17、図3-18にみるとおり、年々の予測値には幅があり、上記、平均的な値よりかなり多い年や少ない年が起こりうることにも留意が必要である。

七尾西湾の夏季(7月末を想定)における現在と将来の水温分布の模式図を図3-19に示す。

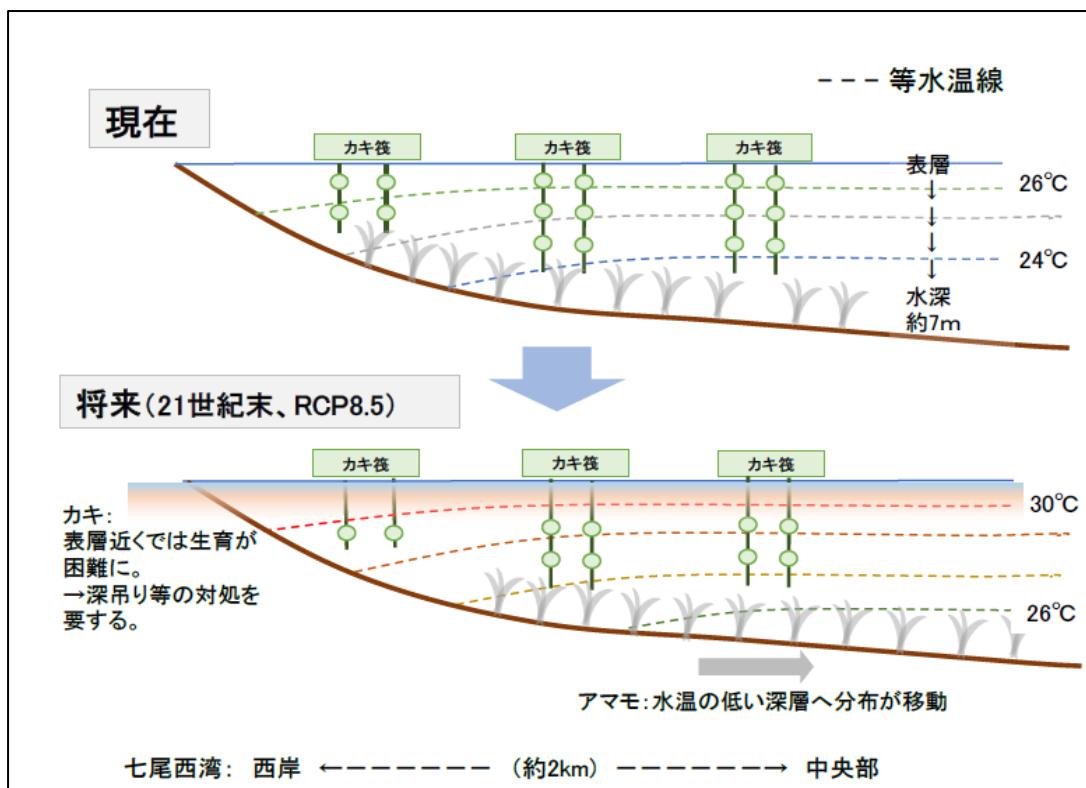


図3-19 七尾西湾における夏季水温分布模式図

将来は、とくに表層近くでのカキの生育・養殖は困難になると考えられる。海底に近い層では、将来予測結果でも表層にくらべて超過日数の若干の減少がみられることや、現地調査結果においても、水温が極大となる時期の直前までは表層とくらべて3°C程度の水温差がみられていることから、深吊り等によりカキ生育可能な海域はある程度は残存するものと考えられる。

アマモについても、水温条件の観点からは分布は水温の低い深い層へ移動することが示唆される。一方で、光合成に必要な水中光量との関連で、生育可能な水深の限界があるため、さらなる衰退が懸念される。

3.4.5 結果を活用する上での留意点・制限事項

本調査では、気候変動による水温上昇がカキ及びアマモの生育に直接的に与える影響のみを対象とし、また、生育影響の指標として既存知見や現状のカキ産地及びアマモ場における実態を踏まえて設定した水温 30°C もしくは 28°C を適用して予測を行っている。これらの指標はカキ及びアマモの生育への影響が懸念される目安の数値であり、指標値を超過すると即座に斃死や枯死に直結するものではないことに留意が必要である。また、予測結果の図にも認められるとおり、超過日数は年により大きな差がある点も念頭におく必要がある。

さらに、カキ及びアマモの生育には、水温上昇以外に、以下のような要因による影響が想定される。本調査において気候変動影響予測を実施するにあたり、下記に列挙した要素の影響は考慮していない。

- ・貧酸素状態の発生(カキ)
- ・水深もしくは水質の変化による水中光量の変化(アマモ)
- ・海面上昇(カキ、アマモ)
- ・食害生物等の増減(カキ、アマモ)
- ・生育に関連する栄養素(植物プランクトン、窒素・リン・カリウム等)の変化(カキ・アマモ)
- ・降水や河川水による水温・塩分濃度変化(カキ、アマモ)

これらの影響要素のうち、貧酸素状態の発生は水温成層との関連が強く、また、食害生物の増減も水温に依存する部分があり、水温上昇の副次的影響を受けることが考えられる。くわえて水質や降水・河川水等も気候変動影響により、現状と異なってくることが想定される。

3.5 適応オプション

3.5.1 手順

適応オプションの検討フローは図 3-20 のとおりである。

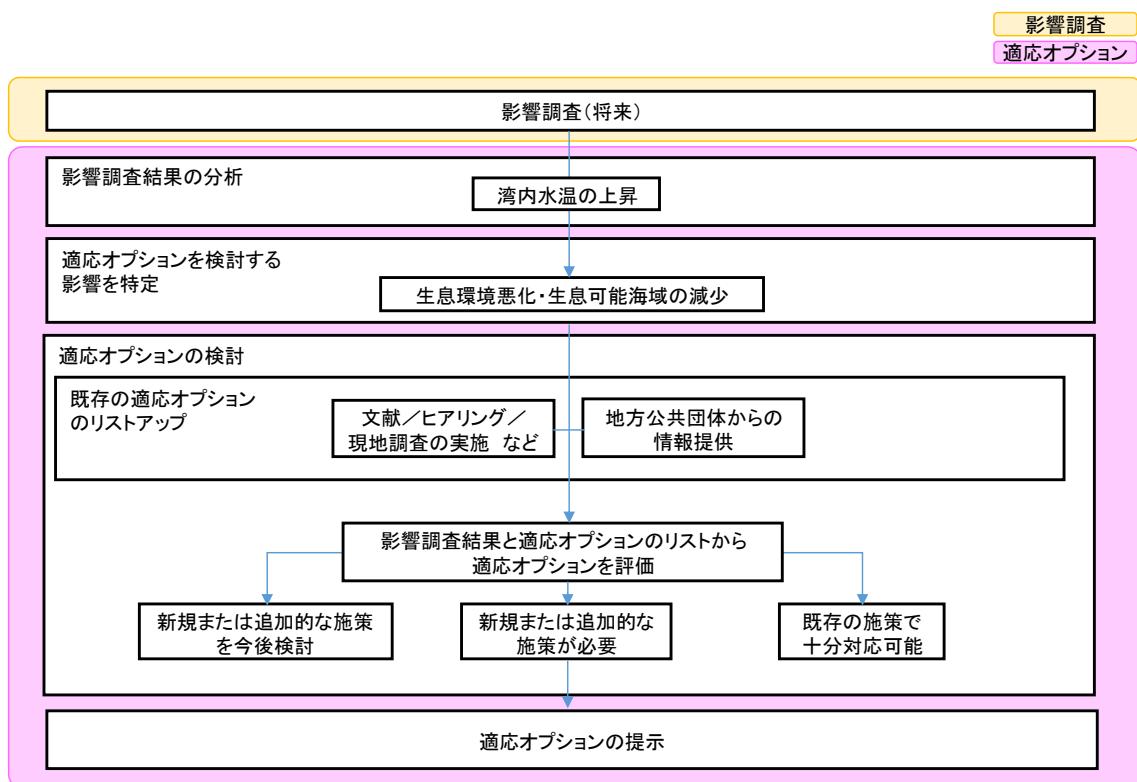


図 3-20 適応オプションの検討フロー

3.5.2 概要

適応オプションを表 3-12 に、その根拠を表 3-13 に示す。

表 3-12 適応オプション(調査項目 3-1):再掲

適応 オプション	想定される 実施主体			現状		実現可能性				効果	
	行政	事業者	個人	普及 状況	課題	人的 側面	物的 側面	コスト面	情報面	効果発現 までの 時間	期待 される 効果の 程度
<カキ> 高水温条件の回避 a) 養殖場所の移動	●	●		一部普及が進んでいる	・深吊りについては現地水深が浅く、移動可能範囲に制約がある。 ・また、底層で発生する貧酸素水塊に留意する必要がある。 ・水平的な移動については、漁業権等の扱いを検討し柔軟な海面利用が可能となることが前提である。	△	○	△	◎	短期	中
<カキ> 高水温条件の回避 b) 養殖時期の変更など栽培・管理方法の見直し	●	●		一部普及が進んでいる	・サイズや味等に変化が生じる可能性がある。 ・現地に根付いた食習慣・生活史に影響が生じる可能性がある。	△	○	△	◎	短期	中
<カキ> 海況情報発信の充実	●			一部普及が進んでいる	・現状運用の拡充であり、実現可能性は高いと考えられるが、対象海域・項目・更新頻度等について検討が必要である。	◎	○	△	◎	短期	中
<カキ> 高温耐性を備えた品種の導入 a) 自家採苗による高温耐性を備えた品種の育成	●	●		一部普及が進んでいる	・十分な高温耐性を備えた種苗を得るまでには長期間を要すると考えられる。	△	○	△	△	長期	中
<カキ> 高温耐性を備えた品種の導入 b) 他産地・類似種の導入	●	●		一部普及が進んでいる	・サイズや味等に相違が生じる可能性がある。 ・現地に根付いた食習慣・生活史に影響が生じる可能性がある。	△	○	△	◎	短期	中
<アマモ> 生育状況のモニタリング	●		●	—	・アマモ自体は産業の対象ではなく、直接的な受益者もいないことから、調査コストの捻出が課題となる。	△	○	△	◎	短期	低
<アマモ> 悪影響要因の除去・低減	●		●	—	・上記同様に、対策コストの捻出が課題となる。	△	△	△	◎	長期	中
<アマモ (カキ)> 現存生息域周辺におけるアマモ場の維持・拡充			●	一部普及が進んでいる	・種まきによる維持・拡充に際しては、根付くよう、現状の確認と悪影響要因の除去・低減が必要である。	△	○	△	◎	短期	低

表 3-13 適応オプションの根拠(調査項目 3-1):再掲

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
<カキ> 高水温条件の回避	<p>カキの生育が困難となる、夏季の高水温を、場所移動や時期の変更等によって回避する。</p> <p>a) 相対的に低温が維持されることが想定される海域(深吊り、湾中央部等)への養殖域の移動。広島湾での実施例あり。(参考:「二枚貝漁場環境改善技術導入のためのガイドライン」(H25、水産庁)) また、海外では、一時的に水面上へ引き上げるような対応事例もみられる。(瀬戸内海区水産研究所 堀主任研究員)</p> <p>b) 他産地で運用されている養殖サイクル等も参考にしつつ、栽培・管理方法を再検討する。例として、九州エリア(豊前海、筑前海等)で春に種苗を投入し、同年の冬～翌春に収穫を行っている状況がある。(参考:「福岡県におけるカキ養殖の产地構造と生産性・収益性」(H31、福岡県水産海洋技術センター))</p> <p>気候変動対応の意識ではないものの、七尾湾周辺の現地において漁業者の自主判断により、深吊りや水平移動等の対応や、養殖サイクルの変更に取り組んでいる事例がある(石川県農林水産部水産課)ことから、「一部普及している」と記載した。</p>
<カキ> 海況情報発信の充実	<p>高水温条件の回避(養殖場所の移動)を適応オプションとして実施する場合の実効性を高めるため、特に深吊り時等に警戒すべき貧酸素水の発生状況を迅速に把握・周知する。石川県では現在、石川県水産総合センターにより、連続観測センサーを用いた水温、溶存酸素、塩分、クロロフィル等のリアルタイム実況値や、各種の予測値を発信するシステムが運用中(石川県農林水産部水産課)であり、それらを拡充することで、より適切な対応に資するようにする。</p>
<カキ> 高温耐性を備えた品種の導入	<p>高水温においても生育可能な種・個体の導入・育成を図る。</p> <p>a) 高温耐性には個体差があるので、自家採苗により現地で生き残った個体の交配を重ねることで、耐性を持った品種を育成する。(堀主任研究員)</p> <p>b) 他産地のカキ(マガキ)の導入のほか、外観等がほぼ同一の類似種の導入の検討も考えられる。(堀主任研究員)</p> <p>気候変動対応の意識ではないものの、七尾湾周辺の現地において漁業者の自主判断により、自家採苗や種苗入手先の変更に取り組んでいる事例がある(石川県農林水産部水産課)ことから、「一部普及している」と記載した。</p>
<アマモ> 生育状況のモニタリング	<p>アマモ減少要因には水温のほか、水質汚濁による光量不足や、高水温で増加する食害生物等の影響も考えられ、定期的な状況把握が望ましい。(北大 仲岡教授) なお、現状のモニタリングは、環境省等の取組等や、研究目的の調査が主体である。</p>
<アマモ> 悪影響要因の除去・低減	<p>上記モニタリング結果もふまえて、水質汚濁による水中光量減少などの悪影響要因の除去・低減を図ることにより、水温以外の要因による衰退を最小化することも適応策である(東大 高橋教授)。</p>
<アマモ (カキ) > 現存生息域周辺におけるアマモ場の維持・拡充	<p>環境の変化によりアマモの生育適地でなくなった海域への種まきは推奨されない(東大 高橋教授)が、現存生息域周辺であれば根付く可能性もある。本県においても NPO 等によりそのような活動がなされている。(石川県水産総合センター) アマモ場の維持・再生により生物多様性が確保されることは、カキにとっても栄養源の供給のほか、クロダイによる稚貝の食害などを防ぐ意義もあり、カキに対する適応策ともなりうる。(石川県水産総合センター)</p>

3.5.3 適応オプション

3.5.3.1 高水温の回避(カキ)

カキの生育が困難となる夏季の高水温を、養殖場所の移動や時期の変更等によって回避する。移動先候補としては相対的に低温が維持されることが想定される海域(深吊り、湾中央部等)が想定される。養殖時期の変更については他産地で運用されている養殖サイクル等も参考にしつつ、栽培・管理方法を再検討することが考えられる。

【留意事項】

深吊りや時期変更は、当該海域の漁業者の自主判断すでに実施している例がある。これらの既存取組に気候変動対応の観点をくわえて進めることが適切と考えられる。また、水平移動は、漁業権等の扱いを検討し柔軟な海面利用が可能となることが前提である。なお、浅く閉鎖性の高い七尾湾では、場所移動の可能性や効果はかなり限定的とならざるを得ないが、カキ筏数の削減による生育環境の改善効果にも留意しつつ、適切な方策を検討することが望まれる。

3.5.3.2 海況情報発信の充実(カキ)

前項の高水温回避策の実施には、当該海域の海況を常に把握することが不可欠である。とくに深吊りは、夏季の底層にしばしば発生する貧酸素水塊に起因するカキ斃死のリスクを高めるため、状況の早急な察知と対策が不可欠である。

【留意事項】

現在、石川県水産総合センターから発信されている水温、溶存酸素等に関する情報サービスをより充実させ、対策の適切な実施に資する内容とすることが重要である。

3.5.3.3 高温耐性を備えた品種の導入(カキ)

自家採苗により現地で生き残った個体の交配を重ねることで、現地環境に即した耐性を有する品種の育成を図るとともに、高水温の海域で養殖されている他産地のカキ(マガキ)の導入のほか、類似種等の導入も視野に検討する。

【留意事項】

自家採苗や他産地種の導入は、当該海域の漁業者の自主判断すでに実施している例がある。これらの既存取組に気候変動対応の観点をくわえて進めることが適切と考えられる。なお、他産地・類似種の導入については、現状の食習慣や生活史に影響を与える可能性もあるため、関係者の協議・検討が必要となる場合があると考えられる。

3.5.3.4 生育状況のモニタリング(アマモ)

アマモの減少要因には水温上昇のほか、水質汚濁による光量不足や、高水温で増加する食害生物等の影響も考えられる。定期的な状況の把握が維持保全検討の出発点となる。

【留意事項】

アマモ自身は産業の対象ではなく、直接的な受益者もいないことから、定期的な調査コストの捻出が課題となる。

3.5.3.5 悪影響要因の除去・低減(アマモ)

モニタリング結果も踏まえて、アマモ減少のさまざまな影響要因の除去・低減を図ることにより、水温以外の要因による衰退を最小化しつつ、残存株の維持につとめる。

【留意事項】

とくに水質汚濁による水中光量減少は、水温面では相対的に有利な底層におけるアマモの生育を阻害するため、状況の把握と対策が、水温上昇条件下でのアマモ場維持には不可欠である。ただし、前項同様、アマモ自身は産業の対象ではなく、直接的な受益者もいないことから、調査や対策を、関係者のうちの誰がどのような費用負担で行うかを、検討・協議していく必要がある。

3.5.3.6 現存生息域周辺におけるアマモ場の維持・拡充(アマモ(カキ))

モニタリング結果も踏まえつつ、また、悪影響要因にも留意しながら、現在残存している生育域周辺においてアマモの種まきを行い、アマモ場の維持・拡充につとめる。

アマモ場の存在は生物多様性の維持に貢献しており、カキにとってもプランクトン等の栄養供給の観点にくわえ、クロダイによるカキ稚貝の食害等を防ぐ意味でも寄与が期待されることから、アマモ場の維持・拡充の適応策は、カキ養殖に関連する適応策にもなると考えられる。

【留意事項】

根付き・定着の可能性が期待できる、現存生息域周辺における種まきはNPO等の取組が進められつつあり、それらを軸に今後の展開・拡充を図るべきと考えられる。

3.6 引用文献一覧

- ・川崎保夫, 1987:アマモへの温度の影響Ⅲ昇温によるライフサイクルの変化, 電力中央研究所我孫子研究所報告,U87046.
- ・社団法人日本水産資源保護協会, 1983:漁場環境調査検討事業 環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理.
- ・中川憲一, 福田義和, 金子秀毅, 中村寛, 中村辰男, 2018:東北地方の養殖漁業のための沿岸水温予測方法の紹介, 測候時報, 第 85 卷, 13-29.