

### 3.3. 海水温上昇等による瀬戸内海の水産生物や養殖への影響調査

#### 3.3.1. 概要

##### 3.3.1.1. 背景・目的

「日本における気候変動による影響に関する評価報告書」（中央環境審議会地球環境部会）によれば、海水温の上昇によるものと考えられる漁獲量や生産量、生息範囲の変化などが全国各地で報告されている。瀬戸内海西部海域においても平均水温はここ30年で約1°C上昇しており、気候変動による水産資源への影響が懸念されている。

カキは瀬戸内海における最重要の水産物の1つであるが、長期的には減少傾向にある。瀬戸内のその他の特徴的な水産品であるカタクチイワシ等の魚介類やノリ、ワカメ等の海藻類についても、海水温の上昇が不漁の一因として挙げられている。

本調査では、瀬戸内海中西部の将来の水温を予測し、気候変動による海水温の上昇による、カキ、カタクチイワシ、ノリ、ワカメ等に対する影響を評価し、将来海水温が上昇した場合においても、瀬戸内海でこれらの生物の利用を持続的に行うための適応策を検討した。

##### 3.3.1.2. 実施体制

本調査の実施者：株式会社地域計画建築研究所、国立大学法人広島大学（環境安全センター、生物圏科学研究科、工学研究科、竹原ステーション）、一般財団法人日本気象協会

アドバイザー：（国研）水産研究・教育機構水産大学校 生物生産学科教授 野田 幹雄



図 3.3.1 実施体制

##### 3.3.1.3. 実施スケジュール（実績）

3年間の調査スケジュールを図3.3.2に示す。初年度（平成29年度）は、まず、本検討を進める上でベースライン情報を整理し、水温と漁獲量等の関係の把握、将来の水温の推定手法についての検討と水温推計の試行、次年度以降に養殖漁業を対象とした飼育実験や野生魚類を対象とした海域調査等を実施するための予備実験・予備調査等を行った。また、瀬戸内海の各県の水産試験場等を対象にしたヒアリングを実施し、海水温の上昇等の気候変動の兆候や養殖業等の水産分野における課題等についての状況を把握した。また、中国四国地域の各県・政令市の水産関係の課と試験研究機関の担当者が集まる意見交換会を開催した。

平成30年度は、29年度に引き続き、水温が調査対象の魚類、海藻類、貝類に与える影響等についての調査や、暖海性魚類を対象とした海洋調査等を行った。その後、海洋調査等で採取した試料を用いて、環境DNA等を用いた分析を行った。その一方、陸域の気候シナリオに基づいて予測した将

來の水温を基に、瀬戸内海の主要な養殖等の実施エリアを対象として、海水温上昇等による瀬戸内海の水産生物や養殖への影響調査を試行した。

また、同年度より、瀬戸内海よりも水温がやや高く、瀬戸内海の水温が上がった場合の生物相の変化を先取りしていると考えられる日本海側の調査を追加で実施している。

最終年度となる平成31年度は、用いる気候シナリオを海洋シナリオに変更した上で、影響評価の妥当性の確認及び再評価等を行うとともに、適応策の検討を行った。

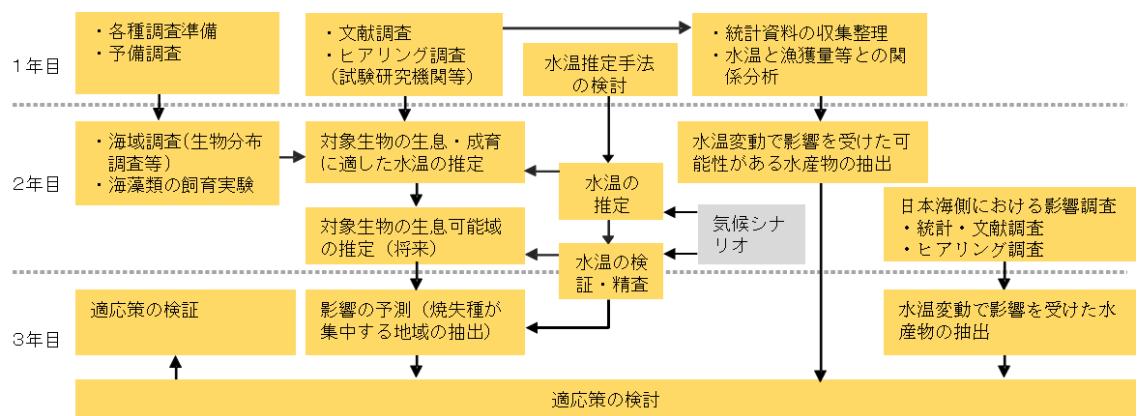


図 3.3.2 調査スケジュール

### 3.3.1.4. 気候シナリオ基本情報

影響予測に使用した気候シナリオの基本情報は下表に示すとおりである。

表 3.3.1 気候シナリオ基本情報

項目	瀬戸内海の水産生物や養殖への影響調査 (カキ、ノリ、ワカメ、アイゴ、カタクチイワシ)
気候シナリオ名	海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ (SI-CAT)
気候モデル	MRI-CGCM3
気候パラメータ	海水温
排出シナリオ	RCP2.6 (21世紀末のみ) RCP8.5 (21世紀中頃と21世紀末)
予測期間	21世紀中頃 / 日別 21世紀末 / 日別
バイアス補正の有無	有り (地域)

### 3.3.1.5. 気候変動影響予測結果の概要

#### ① カキの種苗採苗時期に関する影響予測

文献調査結果：

- ・マガキの産卵時期は積算水温によって概ね決定され、水温 10°Cを基準とし積算温度量が 600°Cに達する頃産卵する（大泉ら、1921）。

ヒアリング調査結果：

- ・水温上昇に伴う、産卵および稚貝の採苗時期の早期化や、成貝が好適に成長できる水温が維持される期間や場所の変化に対する影響が懸念されていた。

影響予測結果：

- ・カキの種苗の採苗時期を決定づけるマガキの成熟日は、現在に比べ将来早期化すると予測される。
- ・21世紀末 (RCP8.5) ではマガキ成熟日の年変動が有意に大きくなり、年によって 26 日程度成熟日が前後すると予測される（図 3.3.3）。

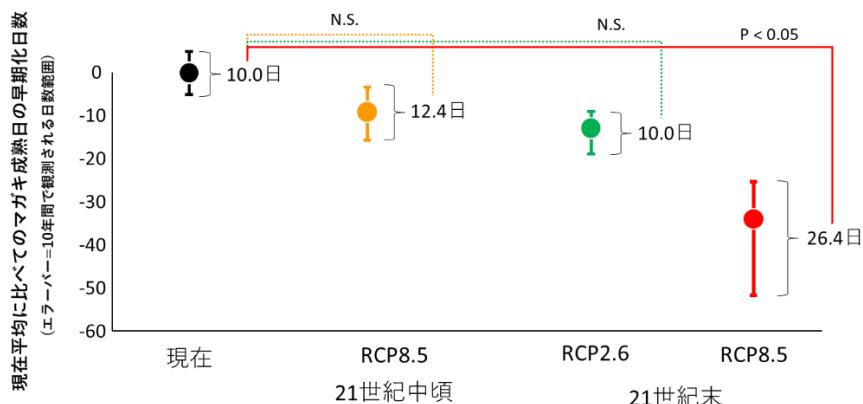


図 3.3.3 マガキ成熟日の早期化日数と年間変動の大きさに関する予測結果 (MRI-CGCM3)

※各 10 年分の予測値における平均値を示す。

※エラーバーは 10 年分の予測値の範囲(最小値から最大値)を示す。

#### ② ノリ・ワカメの養殖期間に関する影響予測

文献調査結果：

- ・ノリの養殖における適水温期間は、20°C以下に低下する時期から 16°C以上に達する日までであった（下茂ら、2000）。
- ・ワカメの養殖における適水温期間は、23°C以下に低下する時期から 18°C以上に達する日までであった（下茂ら、2000）。

ヒアリング調査結果：

- ・近年、秋の水温低下が遅れるのに伴い、ノリ、ワカメとも養殖開始が遅れ、漁期が短縮している。
- ・ノリでは高水温耐性がある壇紫菜や、高い付加価値のあるアサクサノリの養殖が導入されている。

## 影響予測結果：

- ・ノリ、ワカメとともに現在に比べ、将来、養殖開始時期は遅くなり、漁期終了時期が早期化することが予測される。
- ・ノリ養殖では、21世紀末 RCP8.5において、瀬戸内海の主要な養殖域全てで収穫が困難な年が30～100%の確率で発生しうると予測される。
- ・ワカメ養殖では、徳島県沿岸にあたる東部養殖域において、21世紀末には、RCP2.6、RCP8.5とともに収穫が困難な年が発生しうると予測される。
- ・ワカメ養殖においては、西部・中部養殖域では、仮に徳島沿岸における養殖と同様に23°C以下に到達する日から養殖を開始できた場合、収穫期間を22日から27日程増やすことが可能であると予測される。

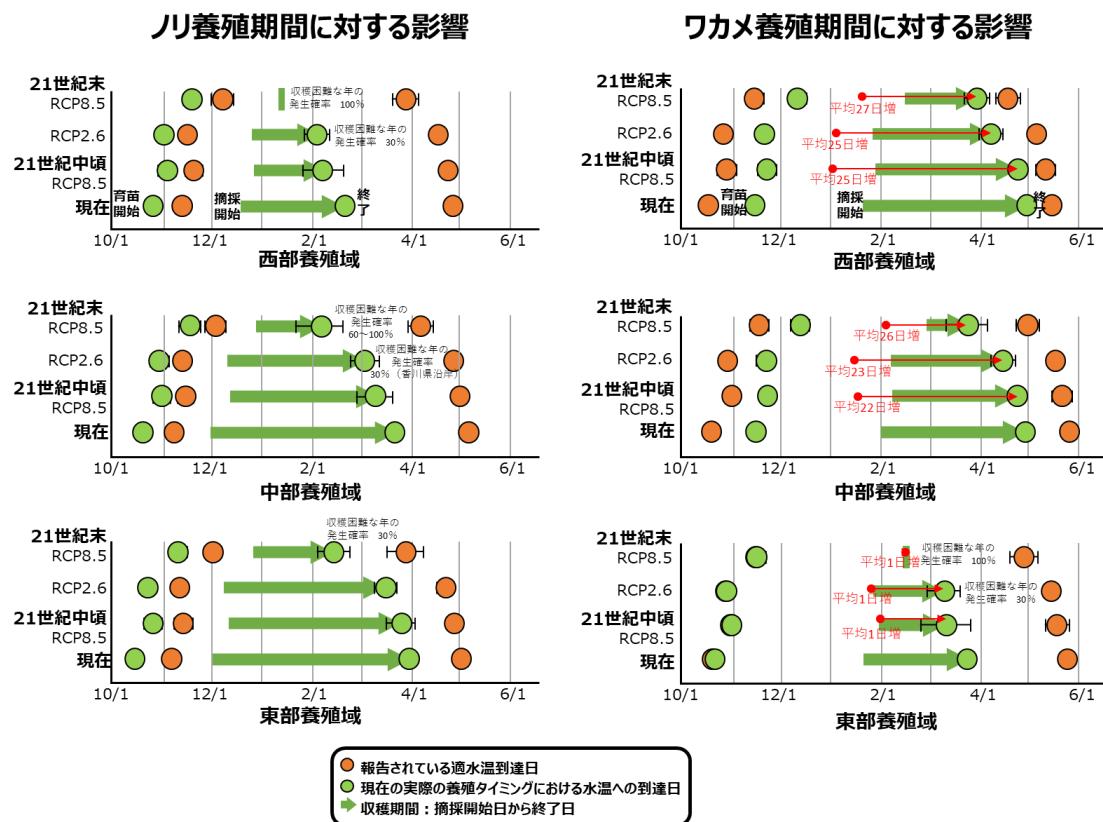


図 3.3.4 ノリおよびワカメ養殖期間の予測結果 (MRI-CGCM3)

※各10年分の予測値における平均値と標準偏差を示す。  
 ※ワカメ養殖期間に対する予測結果における赤矢印はワカメ適水温である23°C以下到達日から養殖を開始した場合の収穫開始から収穫終了までの期間と、それにより増加する収穫日数を示す。

### ③ ワカメの成長率に関する影響予測

文献調査結果：

- ・ワカメの1日あたりの重量もしくは表面積における増加率(日間相対成長率)は水温と関係し、瀬戸内海および近隣海域のワカメにおける成長の適温は、三重産の天然ワカメでは20°C、徳島産の養殖ワカメでは18°Cということが確認され、適温から外れるほど日間相対成長率が減少する(Morita et al. 2003, 馬場 2008, Gao et al. 2013)。

ヒアリング調査結果：

- ・高水温による生育不良への対策として、選抜や交雑などにより高水温耐性品種が作出され、実用化あるいは実証規模での試験が行われている。

影響予測結果：

- ・ワカメの主要な養殖期間である11月から4月の間において、水温が最適温度より高い11月には将来、水温上昇に伴い成長率が低下し、最適温度を下回る12月から4月にかけては水温上昇に伴い成長率が高まると予測される。

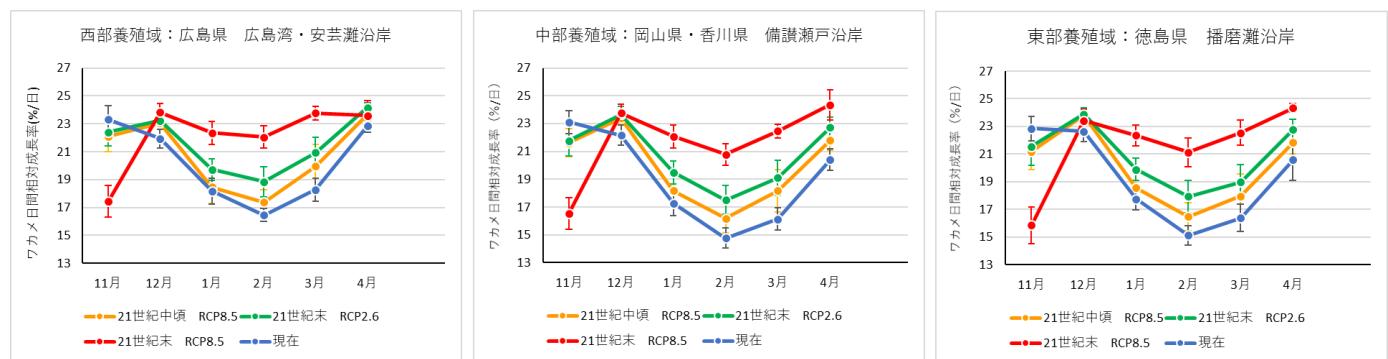


図 3.3.5 ワカメ日間相対成長率の予測結果 (MRI-CGCM3)

※各10年分の予測値における平均値と標準偏差を示す。

### ④ アイゴの越冬・周年定住個体による繁殖域の拡大および暖海性食害魚侵入域に関する予測

文献調査結果：

- ・藻類食害魚として、イズズミ類、ブダイ類、アイゴ類およびニザダイが主に着目されている。(藤田ら 2006)。
- ・ノリ養殖に対しては、クロダイ(草加 2007)およびボラ類(伊藤ら 2008)も食害被害をもたらすと懸念されている。
- ・これまでに豊後水道を含む瀬戸内海西部における出現魚類について、調査対象海域が特定しうる知見として8報の知見が報告されており、1,342種の魚種が確認され、うち37種の藻類養殖への食害が懸念される種が確認されていた。

ヒアリング調査結果：

- ・暖海性魚類の侵入および越冬に関し、瀬戸内海沿岸複数県で、アイゴの冬期定住と海藻への食

害影響の確認事例が近年増加傾向にあることがわかった。

- ・アイゴの冬期定住が増加傾向にある地域において、ロウニンアジ、マナガツオのなど暖海性魚類の出現が確認されるなど、海水温上昇に伴う暖海性魚類の分布北上を示唆する事例が増加している。

影響予測結果：

- ・現在のアイゴを含めた暖海性食害魚の分布は、瀬戸内海北部はほぼ全域でボラ類、クロダイ、メジナに加えてアイゴが冬期以外に生息する状態で、伊予灘の南側においてアイゴが越冬し繁殖を開始している状況である。
- ・21世紀中頃（RCP8.5）および21世紀末（RCP2.6）では、アイゴの越冬・繁殖域が広島湾・安芸灘を中心に山口県東部から燧灘全体にかけて拡大し（図 3.3.6）、広島県や愛媛県北部沿岸においては、アイゴによる周年定住と繁殖の常態化は避けがたく、すぐ間近に迫った問題であると予測される。
- ・21世紀末（RCP8.5）では、瀬戸内海ほぼ全域でアイゴが越冬・繁殖可能になるとともに、現在に比べてイスズミ類、ブダイ類、ニザダイなど3～7種程度対策を講じるべき食害魚が増加すると予測される（図 3.3.6）。

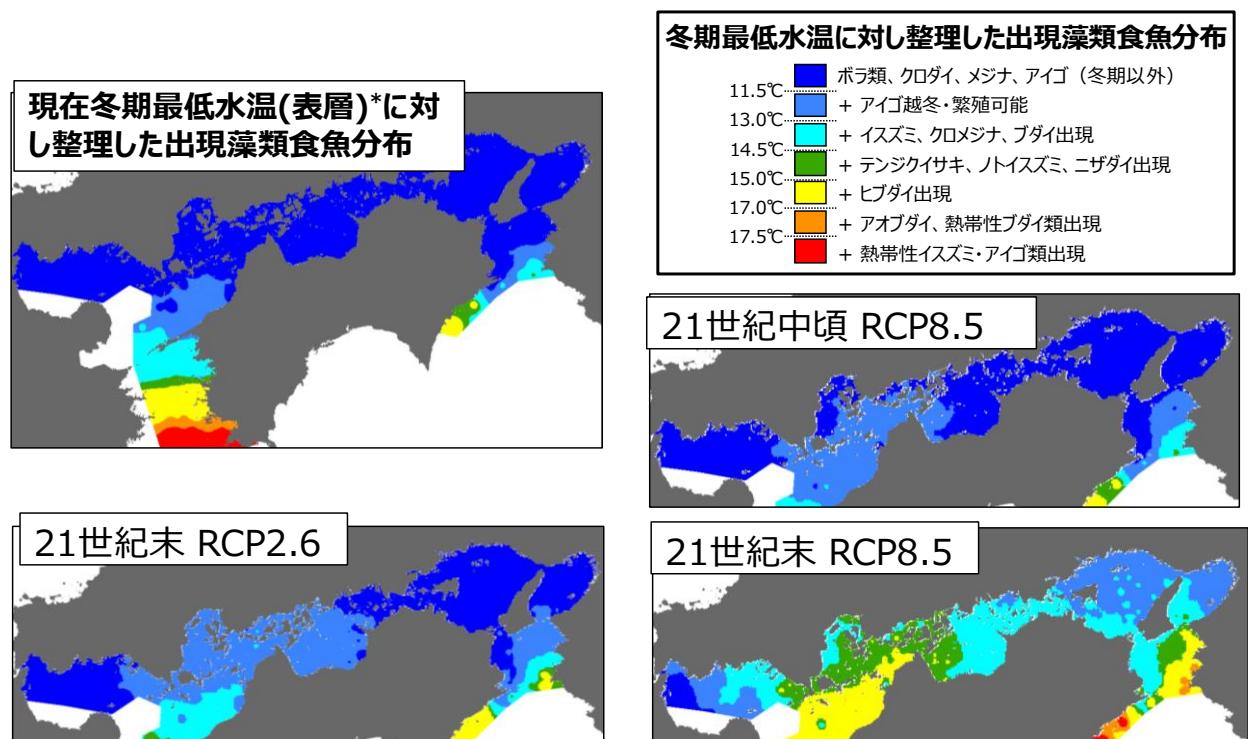


図 3.3.6 暖海性藻類食害魚の侵入域予測結果 (MRI-CGCM3)

## ⑤ アイゴによる藻類摂食量に関する影響予測

文献調査結果：

- ・1日当たりに摂食する藻類重量(日間摂食量)と水温に関する既存知見を集積し(長谷川ら 2018、磯野ら 2016、木村ら 2007、野田ら 2017、上田・棚田 2018、山内ら 2006、山田 2006)、25°C以下の水温带における水温とアイゴの日間摂食量の回帰モデル(アイゴ日間摂食量(g/日/

アイゴ 1kg) =  $11.77 \times \text{日平均水温} - 163.89$  が得られた。

- ・水温が 11.1°C を下回ると低水温での斃死が生じ始める（上田・棚田 2018）。

#### ヒアリング調査結果：

- ・徳島県において、ワカメに対する摂餌方法の調査が行われていることがわかった。
- ・近年、アイゴは香川県沿岸どこにでも季節を問わず出没し、香川県では数少ないノリに、食害魚が群がっている実情が分かった。

#### 影響予測結果：

- ・現在では毎年、アイゴが低温斃死し始める水温へ到達しているが、将来は低温斃死水温に達しない年が増え、越冬したアイゴによる春期のノリ・ワカメの食害が発生する可能性があると予測される（表 3.3.2）。
- ・将来の水温上昇に伴いアイゴの摂食量が増加すると予測される（図 3.3.7）。

表 3.3.2 春（3～5月）に越冬アイゴによる食害が発生する割合の予測結果（MRI-CGCM3）

	現在	21世紀 中頃	21世紀末 RCP2.6	21世紀末 RCP8.5
西部養殖域：広島	10%	60%	100%	100%
中部養殖域：岡山・香川	0%	0%	20%	100%
東部養殖域：徳島	0%	0%	20%	100%

※数値は 10 年あたりに食害が発生すると予測される年の割合

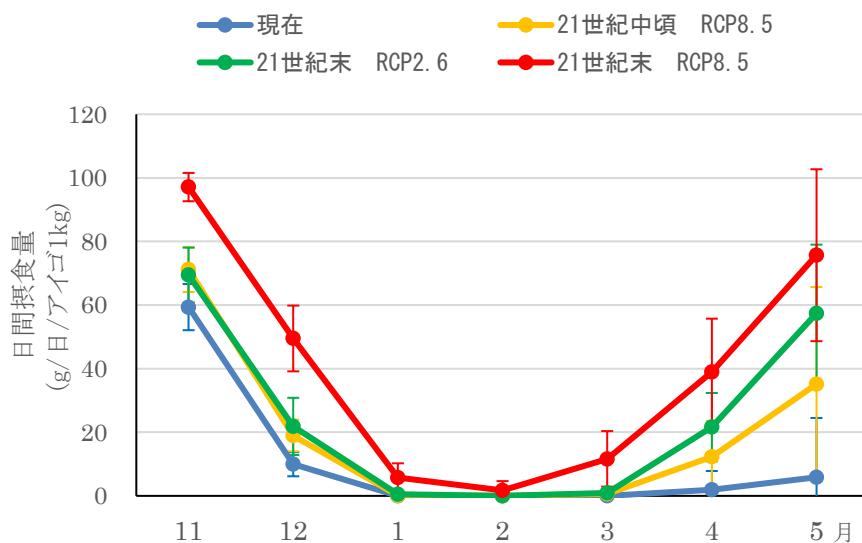


図 3.3.7 ノリ・ワカメ養殖期間におけるアイゴ日間摂食量の予測結果（MRI-CGCM3）

※各 10 年分の予測値における平均値と標準偏差を示す。

## ⑥ カタクチイワシにおける高温斃死が生じる危険水温期間に関する影響予測

文献調査結果：

- 成魚の生残率は水温上昇とともに低下することが知られ、24 時間における半数致死温度が 28.5°C、48 時間における半数致死温度が 27.3°Cであった（小田ら 2018）。

ヒアリング調査結果：

- 広島県沿岸において、産卵まではできていることが確認できているが、その後育っていない現状にあることがわかった。

影響予測結果：

- 広島湾においてカタクチイワシの高温斃死が生じる危険水温が発生する期間は、現在では広島湾内 9 地点（宇品、岬島、津久根、カクマ、奈佐美、大野、松ヶ鼻、呉湾、白石）全域の、表層から底層の全水深で 0 日であると予測される（図 3.3.8）。
- 21 世紀末 RCP8.5 では、水深 0m で危険水温に到達する日が増加すると予測されるが、呉湾を除き水深 5m 以深において危険水温に達する日はほぼ 0 日に維持され、表層に留まらず生息できるカタクチイワシにとって、広島湾では成魚の高温斃死について深刻な影響は出ないと予測される（図 3.3.8）。

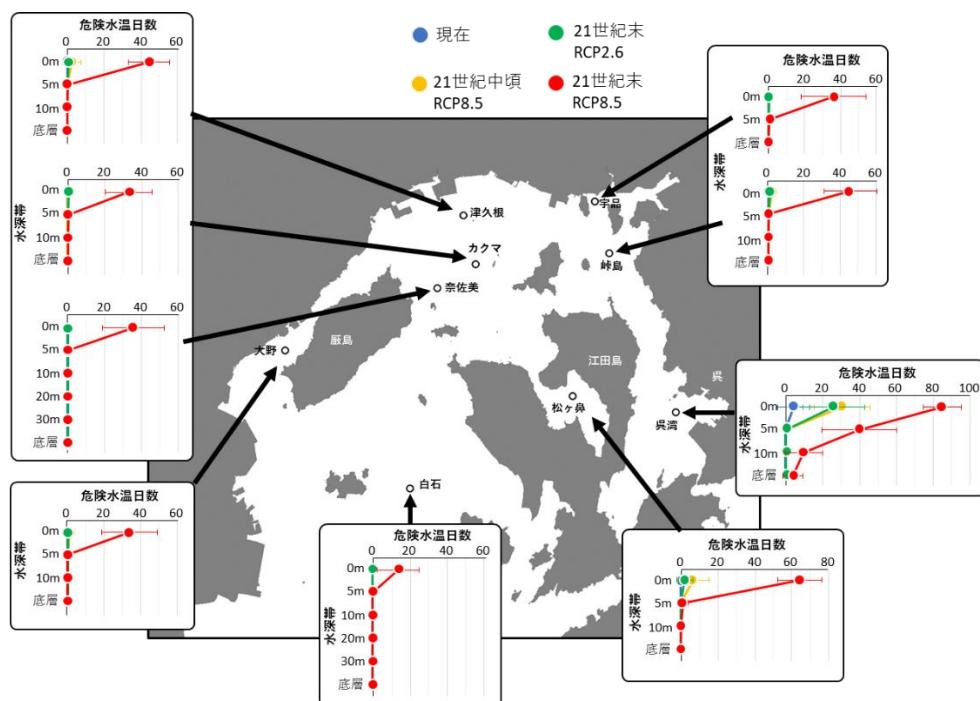


図 3.3.8 カタクチイワシにとって高温斃死が生じる危険水温が発生する期間の予測結果  
(MRI-CGCM3)

※縦軸に予測対象水深、横軸に危険水温日数のグラフを示す。

※対象予測期間 10 年毎の平均値をプロットし、エラーバーは 10 年間の標準偏差を示す。

## ⑦ 日本海側における暖海性魚類等の生息状況に関する評価

日本海側については、瀬戸内海よりも水温が高いことに注目し、文献調査やヒアリング調査を行い、特に暖海性魚類の生息状況について瀬戸内海と比較検討した。

文献調査結果：

- ・日本海側における暖温帶性の魚類の出現数について、中国地方を中心に長崎県から青森県までの各県の状況を整理した結果、平均海面水温が上昇すると、出現（観察）した魚種数が増加していた。

ヒアリング調査結果：

- ・中国地方の日本海側にある鳥取県、島根県、山口県の水産関係の試験研究機関にヒアリングを行った。いずれの県においても、アイゴ等やウニ等の食害の影響が挙げられる一方、場所によって、被害状況が異なり、海水温上昇による影響のほか、地形や日射の影響があるのではという声があげられたが、その因果関係については定かでない。
- ・一方、高水温の影響が受けにくい岬や水の流れが速いところ、造成がうまくいった場所などでは、藻場が増えている様子が確認できた。また、藻場の消失が心配される一方、ハタ類やクエが増えている等の状況も見受けられた。
- ・隠岐では、「昔は、子どもやおばあさんが巻き貝を取っていたので、ある程度、間引かれていたが、最近は、ほとんど誰も取りに行かないで、増加する一方であり、このような社会情勢も影響しているのではないか」ということであった。最近は、「海は危ないから遊んではいけない」と大人から注意受けているので、海で遊ぶ子どもは少ない。これら社会の海への関わりへアプローチすることも考えていく必要がある。

将来への影響（瀬戸内海の先行指標としての日本海の評価）：

- ・気候変動に伴う瀬戸内海での水温上昇により観察される魚種数は、現在の水温が上昇することで増加すると見込まれるが、瀬戸内海での21世紀半ば、或いは末の出現魚種数の変化量を、現在の日本海側で地域を西（水温上昇側）に移動することによる出現魚種数の変化によって評価できると示唆される。

### 3.3.1.6. 活用上の留意点

#### ① 本調査の将来予測対象とした事項

本調査では、瀬戸内海中四国沿岸域におけるマガキ天然種苗の採苗時期、ノリ・ワカメの養殖期間、ワカメの成長率、アイゴおよびその他の藻類食害魚の分布域拡大、アイゴによる藻類食害量に及ぼす影響および、広島湾におけるカタクチイワシにとって高温斃死が生じる危険水温に達する期間について、気候変動による海水温上昇が及ぼす影響を対象に予測を行った。

日本海側については、暖海性魚類等を対象に情報収集を行い、水温と出現魚種の関係から、瀬戸内海との比較検討を行った。

## ② 本調査の将来予測の対象外とした事項

カキの採苗時期、アイゴの藻類食害程度の予測に対しては、表層の水温のみを用いて予測しており、春から夏にかけて生じる水温成層の影響は考慮にいれていない。藻類養殖には栄養塩濃度における変化も影響を及ぼすと考えられるが、今回の予測では栄養塩濃度の影響は考慮に入れていない。魚類分布に対しては、水温の他、塩分や藻類、サンゴ分布など生息地環境要因の変化も影響を及ぼすと考えられるが、今回の予測では考慮していない。また、カタクチイワシの高温斃死水温の知見は成魚に関するもので、仔稚魚期における影響は考慮できていない。今回記載する、予測結果、モデル使用においては以上の点に留意する必要がある。

## ③ その他、成果を活用する上での制限事項

ワカメの成長率の予測値はあくまで水温との関係のみで予測した結果であり、成長率の増加に伴い増えると考えられる栄養塩要求を満たすことができない場合、色落ちや生育不良など質的な商品価値の低下につながりうるため、結果の解釈に留意する必要がある。

アイゴの食害程度に関しては、アイゴ単位重量当たりの摂食量に関する予測値であり、水温上昇に伴うアイゴ個体数の増加およびアイゴ体長の大型化の影響も食害程度に大きくかかわりうるため、単位重量当たりの摂食量における変化以上に大きな食害程度の変化が生じうることに留意が必要である。

カタクチイワシにとって危険水温となる地点・水深の評価は、主に成魚サイズの個体における実験結果に基づき予測しているため、仔稚魚の生残に対する危険性については今後、仔稚魚の斃死水温に関する知見が集積されたうえで再評価されるべきである点に留意が必要である。

### 3.3.1.7. 適応オプション

適応オプションの概要を表 3.3.3 に示す。

表 3.3.3 (1) 適応オプションの概要

対象	気候変動影響	適応オプション	想定される実施主体			普及状況	課題	評価結果								
								現状		実現可能性			効果			
			行政	事業者	個人			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			
ノリ養殖	時期の早期化 養殖開始時期の遅延および終漁	有用系統(高水温耐性)の導入	●	●		普及が進んでいない	試験研究の段階であり、実用化にむけた研究が必要。	△	○	N/A	N/A	長期	低			
		壇紫菜のような高水温海域の養殖種の導入	●	●		普及が進んでいる	養殖を行う海域の環境条件に合わせた養殖方法の開発が必要である。また、従来種のスサビノリに比べ、硬い食感でうまみが少なく、スサビノリとは異なる品質をもつため、加工法や用途の開発も合わせて必要。	△	○	○	◎	長期	中			
	期間減少 養殖適期の	アサクサノリのような高付加価値の種の導入	●	●		普及が進んでいる	養殖品種の開発と、養殖を行う海域の環境条件に合わせた養殖方法さらに加工技術の改善が必要。	△	○	○	◎	長期	中			
ワカメ養殖	期化 および終漁時期の遅延	有用系統(高水温耐性、広域温度耐性、高成長特性など)の導入	●	●		普及が進んでいる	有用系統や各地で収集した野生株との交雑による品種作出・選抜が必要。	△	○	○	◎	短期	高			
			●	●		普及が進んでいない	試験研究の段階であり、実用化にむけた研究が必要。	△	○	○	△	長期	高			
	長れる潜伏期間で見込まれる潜在的な成長	従来の品種の養殖					水温上昇により促進される成長に要求される栄養塩が海域に十分含まれているか検証する必要がある。									
藻類食害魚	(アイゴを含む植食性魚類の北上拡大)	アイゴ幼魚の漁獲による水産利用(沖縄の伝統食であるスクの生産)	●	●		普及が進んでいない	・沖縄では国外からアイゴ幼魚を取り寄せている現状にある。商品生産技術開発、コスト、需要拡大等の経済評価が必要。	△	△	△	△	長期	中			
		植食性魚類(アイゴ、ニザダイ、ブダイ、イスズミ類)の成熟サイズ個体の積極的漁獲による食用利用	●	●		普及が進んでいない	・熱帯水域から暖温帶水域では食材として好まれているが、瀬戸内海域では植食性魚類を利用する習慣がない。商品価値を向上させる調理方法の開発と普及を推進させる広報・啓蒙が必要。	△	○	◎	△	長期	中			

表 3.3.3 (2) 適応オプションの概要

対象	気候変動影響	適応オプション	想定される実施主体			普及状況	課題	評価結果					
			行政	事業者	個人			現状		実現可能性			
								人的側面	物的側面	コスト面	情報面		
藻類食害魚 域の北上拡大	アイゴを含む植食性魚類の増加懸念(繁殖可能地)	養殖場へのネット等の設置による侵入対策	●	●	●	普及が進んでいない	・アイゴ幼魚の侵入を妨ぎつつ養殖環境の悪化を生じさせない効果的なネット設置デザインの検討が必要。	△	△	△	△	短期	高
		養殖筏等の沖合への設置(岸よりの藻場からの隔離)、養殖筏間に距離をおく(互いに近接させない)、筏におけるシェルター構造の排除および点滅閃光装置の設置		●	●	普及が進んでいない	・幼魚はシェルターのある場所へ定着(藻場から筏への二次的移動も考慮)。筏を藻場および筏どうしを近接させないことでアイゴ幼魚にとって捕食されやすい環境を創出する。捕食者への警戒により採餌行動を抑えることができると予想される。但し、経済コスト・漁業者間の水面利用調整が必要。	△	△	△	△	短期	中
カキ養殖	身入り不良・出荷への影響	養殖深度操作による早期低水温刺激の提示	●	●		普及が進んでいない	・適切な効果が期待される移動先深度とその操作における費用対効果の検討が必要。	△	△	N/A	◎	短期	中
		3倍体マガキ(かき小町)の生産増	●	●	●	普及が進んでいる	・3倍体種苗の安定した供給体制の支援が必要。 ・現在の3倍体マガキは、品質を高めたブランド品としての生産を主な目的として普及が進められており、現在の栽培品種における高水温耐性の検証など水温上昇への適応策としての更なる効果検証が必要である。	△	○	△	◎	短期	高
		ヒオウギガイやアコヤガイ等より温暖な海域での養殖種の生産導入	●	●		普及が進んでいない	・代替品種により見込まれる収入が、気候変動の影響によるマガキ養殖収入の変化に対し効果的に補完しうるか経済的な評価が必要。	△	○	△	◎	長期	低
カタクチイワシ	高温斃死のリスク増大	相対的に水温が低い場所での集中漁獲の抑制	●	●		普及が進んでいない	特定の水温帯にカタクチイワシが蟻集するという情報がなく、検証が必要。	△	◎	◎	△	N/A	低

表 3.3.4 適応オプションの考え方と出典

対象	気候変動影響	適応オプション	適応オプションの考え方と出典
ノリ養殖	養殖開始時期の遅延および終漁時期の早期化	有用系統(高水温耐性)の導入 壇紫菜のような高水温海域の養殖種の導入	試験研究の段階であり、実用化にむけた研究は今後の課題である(H29 年度水産庁委託プロジェクト研究最終年度報告書:温暖化の進行に適応するノリの育種技術の開発)。 壇紫菜導入にあたり試験研究がおこなわれている(荒巻 2010. 佐賀水振報告 20: 13-18)。壇紫菜については、国内でも養殖・出荷されているが、従来種のスサビノリの代替種としては、さらに品種改良や加工法の改善などが必要と思われる。
	養殖適期の期間減少	アサクサノリのような高付加価値の種の導入	「三重のアサクサノリ養殖復活に向けた取組」(津坂:三重県 <a href="http://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000787819.pdf">http://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000787819.pdf</a> )によると、自生種からの種苗開発は試験研究機関により行われたが、養殖法や加工法の改善は漁業者の既存の施設の利用で概ね対応可能で、製品の高価格での販売により経営改善効果も見込めるため、大幅な水温上昇がおこならければ、有効な経営安定化の手段の 1 つになりうる。
	養殖開始時期の遅延および終漁時期の早期化	有用系統(高水温耐性、広域温度耐性、高成長特性など)の導入	棚田 (2016 海洋と生物 38:464-471) より、高水温耐性の交雑品種についてでは、継続的に出荷例あり。 Niwa & Kobiyama (2019 23rd International Seaweed Symposium Meeting Abstract: 143-144) より、高水温耐性の交雫品種が従来の養殖開始水温 (23 °C) より早い時期(24.5 °C)からの養殖が可能。 風間ら (2016 作物研究 61: 73-79) より、重イオンビーム照射による変異体作出・選抜が行なわれ、高成長株が作出されている。
ワカメ養殖	同一月で見込まれる潜在的な成長率は増加	従来の品種の養殖	
	アイゴを含む植食性魚類の増加懸念(繁殖可能地域の北上拡大)	アイゴ幼魚の漁獲による水産利用(沖縄の伝統食であるスクの生産) 植食性魚類(アイゴ、ニザダイ、ブダイ、イスズミ類)の成熟サイズ個体の積極的漁獲による食用利用 養殖場へのネット等の設置による侵入対策	国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所 HP に掲載された記事「水産加工品のいろいろ すぐがらす」によると、近年沖縄の伝統食材すぐがらす(アイゴ稚魚の塩蔵品)の加工用原料は、その約 90%をフィリピン等の海外からの輸入に頼っていることから、原料であるアイゴ稚魚の需要はあるものと思われる。ただし、その経済効果について検討が必要なため効果は中とした。 香川県においてノリ養殖の食害対策にネットの設置を試みている事業者が存在する(2019 年度水産分野意見交換会での報告)。
藻類食害魚			

対象	気候変動影響	適応オプション	適応オプションの考え方と出典
藻類食害魚	アイゴを含む植食性魚類の増加懸念(繁殖可能地域の北上拡大)	養殖筏等の沖合への設置(岸よりの藻場からの隔離)、養殖筏間に距離をおく(互いに近接させない)、筏におけるシェルター構造の排除および点滅閃光装置の設置	坂井ほか(2013)において、シェルター構造物の乏しい筏へのアイゴの寄り付きが少ないことが報告されている。また、見通しの悪い狭い空間ではアイゴの警戒心が高まり採餌行動が抑えられること、発光装置による点滅閃光を設置することによりアイゴが接近を回避する傾向が報告されており(野田ら 2019)、筏における食害対策としての有効性が示唆されている。
カキ養殖	身入り不良:出荷への影響	養殖深度操作による早期低水温刺激の提示	平田ら(2011) 広総研水技セ研報 4:5-11 より、養殖深度を操作し、水温の低い低水深に降ろす操作で早期に低水温を経験させ身入りを促進を早期化できる可能性が示されている。ただし、その効果の大きさや費用面での検討および、適応可能水域の検討など、技術の具体化に向け更なる知見集積が必要とされる技術であることから、適応策としての相対的な効果として中とした。
		3倍体マガキ(かき小町)の生産増	赤繁・伏見(1992) 日水誌 56: 1063-1071 より、3倍体カキの身入りおよびグリコーゲン蓄積が、天然品種より良いことが示されており、水温上昇による産卵の増加に伴うマガキの疲弊および身入り開始時期の遅延の問題を回避しうることが期待される。現在の栽培品種における高水温耐性の検証など水温上昇への適応策としての更なる効果検証は必要であるものの、3倍体種苗の生産技術は実用化されており、天然品種に比べ高付加価値がついた形で既に流通が成されていることから、実現可能性および経済的な面において他の適応策にくらべ期待される効果は高とした。
		ヒオウギガイやアコヤガイ等より温暖な海域での養殖種の生産導入	生産技術は既に他地域で養殖が行われている品種であるため情報面での知見は充実している。また、物的側面において、いずれの品種も沿岸の筏などからの垂下しての養殖であり、既存のマガキ養殖資材の一部は転用可能と考えられる。ただし、品種転換に伴う経済的效果については現在のマガキ養殖の収入を補完しうるか不明であることから、効果は低とした。
関連 カタクチイワシ	高温斃死のリスク増大	相対的に水温が低い場所での集中漁獲の抑制	資源保全の観点では重要である抑制するだけでは適応オプションとしての効果は期待できず、低とした。ただし代替となる魚種が新たに利用できるようになればこの限りではない。

### 3.3.2. 気候シナリオに関する情報

#### 3.3.2.1. 気候シナリオ基本情報

表 3.3.5 気候シナリオ基本情報

項目	瀬戸内海の水産生物や養殖への影響 (カキ、ノリ、ワカメ、アイゴ、カタクチイワシ)
気候シナリオ名	海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver. 1
気候モデル	MRI-CGCM3
気候パラメータ	海水温
排出シナリオ	RCP2.6 (21世紀末のみ) RCP8.5 (21世紀中頃と21世紀末)
予測期間	21世紀中頃 / 日別 21世紀末 / 日別
バイアス補正の有無	有り (地域)

#### 3.3.2.2. 使用した気候パラメータに関する情報

海洋近未来予測力学的ダウンスケーリングデータ by SI-CAT ver. 1 (海洋シナリオ) における日平均水温と観測値の日水温 (月 1 回の浅海定線調査で観測された水温を日別値に内挿したもの) を比較したところ、海洋シナリオとの差異が認められた。そこで観測値を利用し、バイアス補正を行った。

バイアス補正をした海洋シナリオの水温は、21世紀中頃 (RCP8.5) および 21世紀末 (RCP2.6) で現在に比べ 1~2°C 程度、21世紀末 (RCP8.5) では現在に比べ 3~4°C 程度の水温上昇傾向が認められた (図 3.3.9)。

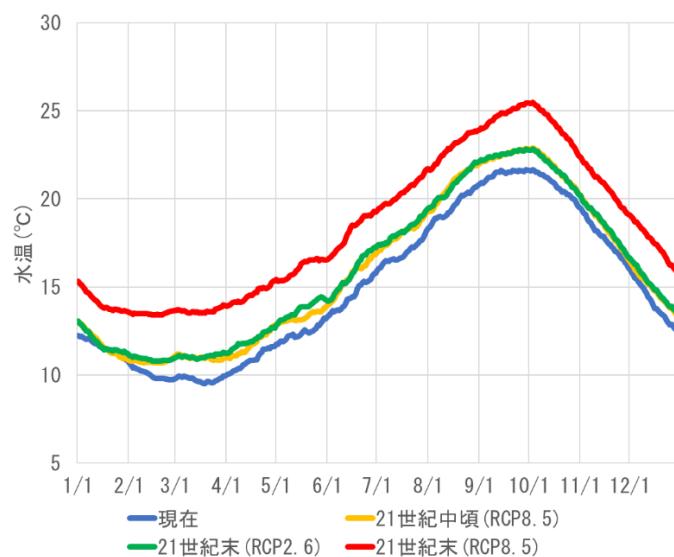


図 3.3.9 広島湾の代表地点 (北緯 34.190°、東経 132.348°) の水深 10m  
における日平均水温の変化 (MRI-CGCM3)

また、海洋シナリオにおける瀬戸内海中国四国沿岸の養殖域での海面水温は、年平均海面水温において現在を基準として、21世紀中頃（RCP8.5）までに0.5~1.4°C、21世紀末までにRCP2.6で0.9~1.7°C、RCP8.5で3.4~4.1°Cの水温上昇が推定された（図3.3.10）。

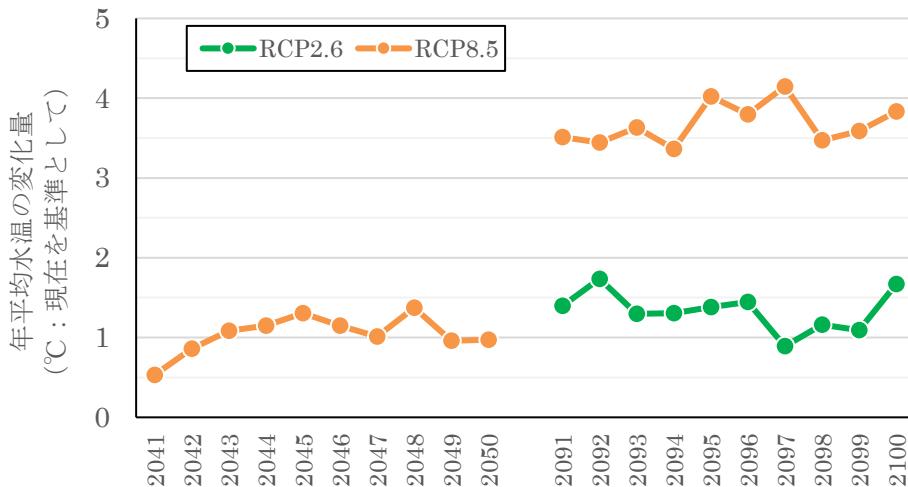


図3.3.10 瀬戸内海年平均水温における水温変化傾向（MRI-CGCM3）

### 3.3.2.3. 気候シナリオに関する留意事項

推定値は実測値に比べ誤差があり、特に瀬戸内海における水温の地域変異が過小になる傾向があった。そのため、各メッシュにおける1996年から2005年の平均値を基準とした水温および閾値水温到達日における変化量のみを採用し、実測値に変化量を加算し将来予測を行うことで、実際の水温における地域変異を反映させることで予測を行った。

### 3.3.2.4. バイアス補正に関する情報

海洋シナリオの水温を浅海定線調査で観測された水温を用いて補正し、影響評価に利用するデータセットを作成した。

はじめに浅海定線調査の各観測地点について、1996年から2005年までの平均水温を月毎に求めた（図3.3.11①）。ただし、浅海定線調査は月1回の観測であり、またその観測日も不定であるため、観測日の平均日を、平均水温の日とした。求めた月毎の水温を日付方向に線形内挿し、これを海洋シナリオと比較するための日毎の水温観測値とした（図3.3.11②）。さらに、5m、10m、20m、30m、底層における水温について0mにおける水温との差を求めた（図3.3.11③）。

1996年から2005年の水深0mにおいて、浅海定線調査で各月の平均水温を求めた日について海洋シナリオと浅海定線調査の差をとった（図3.3.11④）。この差をバイアスとし、月毎のバイアスを日毎に内挿したものをおよびシナリオの水温に加えることで補正を行った（図3.3.11⑤）。この補正を行うことで、海洋シナリオ水温を実際の水温に近づけることが確認された（図3.3.12）。

さらに、0mにおける補正済みの海洋シナリオ水温と、浅海定線調査から求めた水温の0mからの差を組み合わせ、各水深における水温を求めた（図3.3.11⑥）。

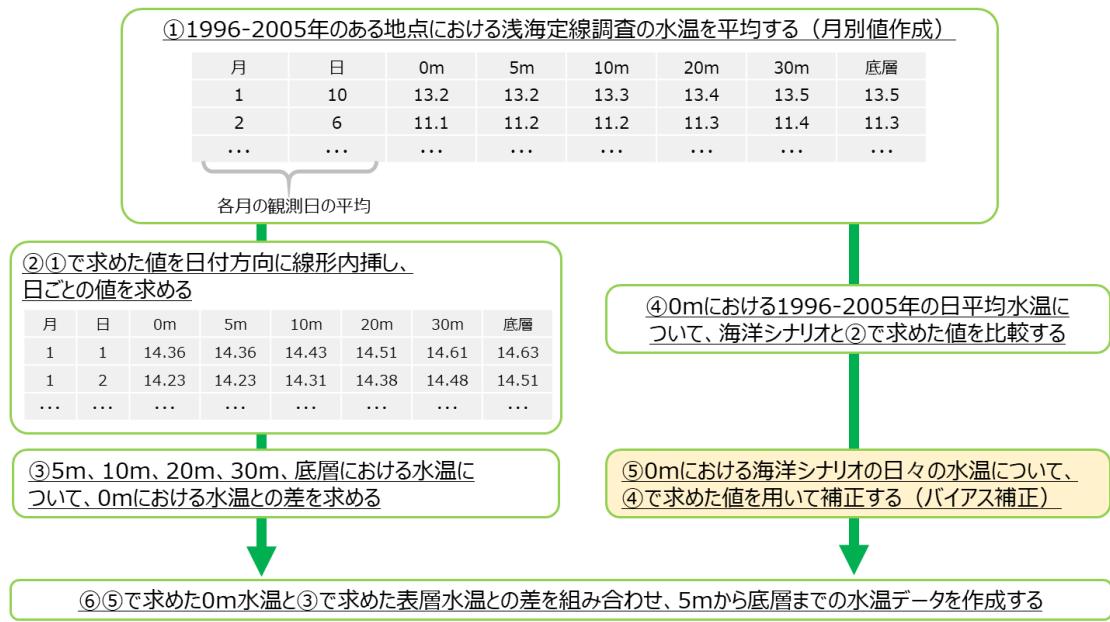


図 3.3.11 水温データ作成の流れ

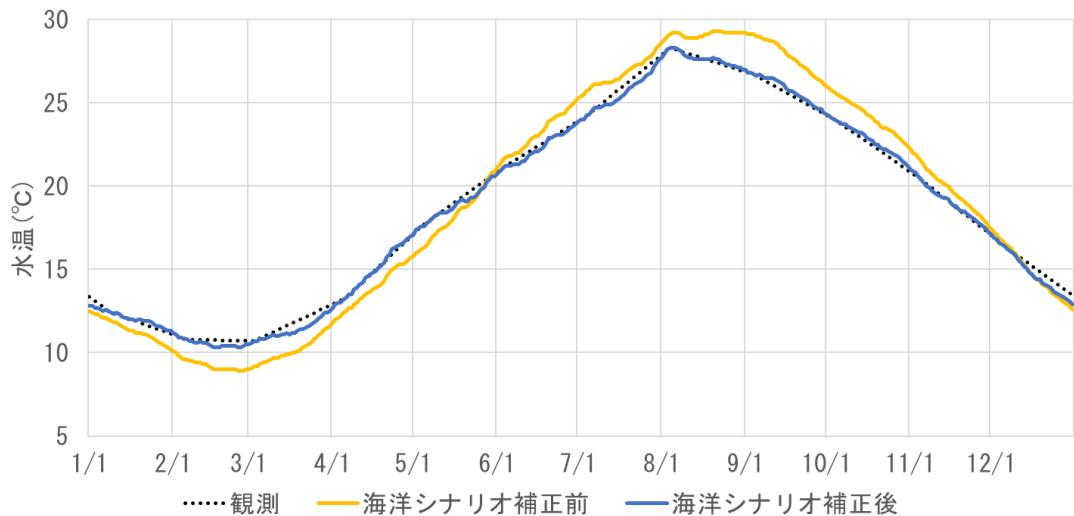


図 3.3.12 広島湾の代表地点（北緯 34.190°、東経 132.348°）の  
表層における日平均水温の比較（MRI-CGCM3）

また、養殖の時期的变化量の予測においては、現在の平均値を基準とした将来の閾値水温到達日の变化量を用いたため、バイアス補正を行っていない。

暖海性魚類の侵入予測においては、冬期最低水温月 2 月海面水温に着目し、現在の平均値を基準とした水温变化量を、現在の水温実測値に加算することでバイアス補正を行い、予測に用いた。

ワカメ成長率、アイゴ摂食量の推定の際は、現在の実測値と同一地点における海洋シナリオ予測値との誤差を計算し、その誤差分を海洋シナリオにおける 21 世紀中頃および 21 世紀末の予測値に加算するしバイアスを補正し、予測計算に用いた。

### 3.3.2.5. 気候シナリオ選択の理由

海洋シナリオが、本調査で利用可能な気候シナリオのうち唯一の海水温を含むであったため選択した。

### 3.3.3. 気候変動影響に関する調査手法

#### 3.3.3.1. 手順

影響評価に関する調査手順を図 3.3.13 に示す。

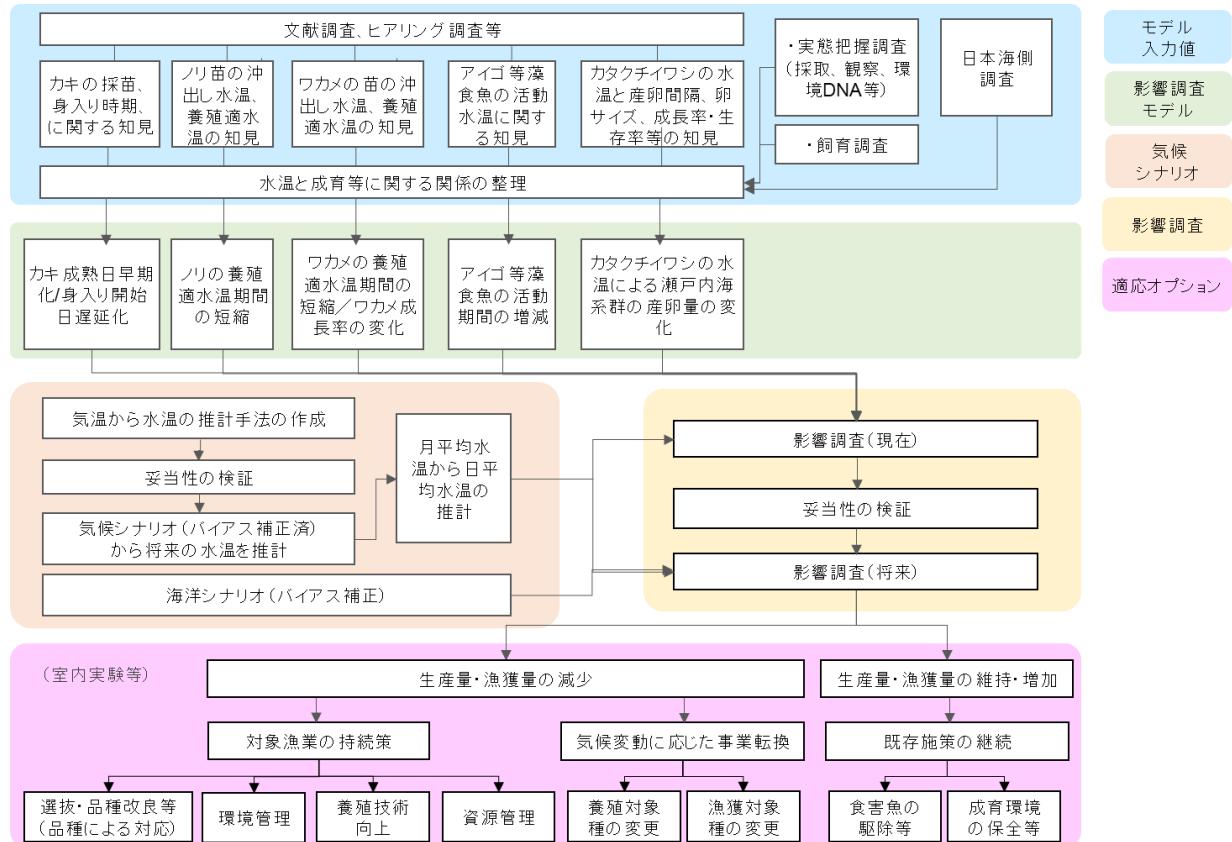


図 3.3.13 影響評価の手順

#### 3.3.3.2. 使用したデータ・文献

瀬戸内海における実測海水温として以下のデータを使用した。

表 3.3.6 収集データリスト

収集データ	出典	提供元
月別水温	浅海定線調査 (1996年～2005年)	山口県水産研究センター、広島県立総合技術研究所水産海洋技術センター、愛媛県農林水産研究所水産研究センター、岡山県農林水産総合センター水産研究所、香川県水産試験場、兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター、地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所
	瀬戸内海総合水質調査 (1996年～2005年)	国土交通省中国地方整備局港湾空港部海洋環境・技術課 瀬戸内海総合水質調査ホームページ <a href="http://www.pa.cgr.mlit.go.jp/chiki/suishitu/">http://www.pa.cgr.mlit.go.jp/chiki/suishitu/</a>
	公共用水域水質調査 (1996年～2005年)	国立環境研究所環境数値データベース <a href="https://www.nies.go.jp/igreen/index.html">https://www.nies.go.jp/igreen/index.html</a> 公共用水域水質検体値データファイル
	MODIS 衛星海面水温データ	JAXA／東海大学 (TSIC/TRIC)
	山口県水温観測データ	・山口県：萩市沖（萩-見島フェリーによる観測）の水温データ（1963年以降）、長門市通沖（水温ブイによる観測）の水温データ（2006年以降）
	島根県水温観測データ	島根県：恵曇港の毎日の水温データ、浜田港の毎日の水温データ（1980年4月～2018年7月）

表 3.3.7 (1) 収集文献リスト

影響予測対象	使用文献情報
カキ	大泉重一・伊藤進・小金沢昭光・酒井誠一・佐藤隆平・菅野尚 (1921) カキ養殖の技術. In 今井丈夫 監. 改訂版浅海完全養殖. pp. 153-190. 恒星社厚生閣. 東京.
ノリ・ワカメ	下茂繁・秋本泰・高浜洋 (2000) 海生生物の温度影響に関する文献調査. 海生研研報 2: 1-315.
	Morita T, Kurashima A, Maegawa M (2003) Temperature requirements for the growth of young sporophytes of <i>Undaria pinnatifida</i> and <i>Undaria undariooides</i> (Laminariales, Phaeophyceae) <i>Phycol. Res.</i> 51: 266-270.
	Gao X, Endo H, Taniguchi K, Agatsuma Y (2013) Genetic differentiation of high-temperature tolerance in the kelp <i>Undaria pinnatifida</i> sporophytes from geographically separated populations along the Pacific coast of Japan. <i>J. Appl. Phycol.</i> 25: 567-574.

表 3.3.7 (2) 収集文献リスト

影響予測対象	使用文献情報
藻類食害魚分布	平田智法・山川武・岩田明久・真鍋三郎・平松亘・大西信弘 (1996) 高知県柏島の魚類相—行動と生態に関する記述を中心として—. 高知大学海洋生物教育研究センター研究報告 16:1-177
	河合祐樹・坂井陽一・橋本博明 (2013). 広島湾と安芸灘の境界に位置する鹿島における浅海魚類相 — 潜水センサス法による魚種組成の周年変化の調査 —. 広島大学総合博物館研究報告 5:39-45.
	坂井陽一・越智雄一郎・坪井美由紀・門田立・清水則雄・小路淳・松本一範・馬渢浩司・国吉久人・大塚攻・橋本博明 (2010)瀬戸内海安芸灘の浅海魚類相 — ホシササノハベラとホシノハゼの分布に注目して —. 生物圏科学 49: 7-20.
	清水則雄・門田立・坪井美由紀・坂井陽一 (2010) 潜水センサスを用いた瀬戸内海倉橋島における浅海魚類相—出現魚種の季節的消長. 広島大学総合博物館研究報告 2:43-52
	清水孝昭 (2006) 愛媛県伊予灘島嶼部沿岸域より得られた魚類. 徳島県立博物館研究報告 16: 15-64.
	清水孝昭 (2001) 愛媛県伊予市沿岸域の魚類目録. 徳島県立博物館研究報告 11: 17-99.
アイゴ	高木基祐・平田智法・平田しおり・中田親 (2010) えひめ愛南お魚図鑑. 創風社出版. 松山.
	上田幸男・棚田教生 (2018) 飼育下のアイゴの生残および摂餌に及ぼす冬季の低水温と餌の影響. 徳島水研報 12: 11-19
カタクチイワシ	小田憲太郎、橋本博、増田賢嗣、et al (2018) 飼育下におけるカタクチイワシの高温側水温耐性と水温別低酸素耐性に関する研究. 水産技術 10:1-7
漁港別漁獲量データ等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・山口県：山口県漁協萩地方卸売市場および山口県漁協仙崎地方卸売市場の水揚量（2013年1月以降）</li> <li>・島根県：漁獲量属人データ（1998年～2018年、月別データ）</li> <li>・鳥取県：鳥取県漁獲情報提供システムよりダウンロード（1999年～2018年、沿岸および沖底、地区別漁獲量（年データ））</li> <li>・日本海産魚類目録（秋田県立博物館 HP）</li> <li>・河野光久らによる日本海産魚類目録（山口県水産研究報告第11号、1-30（2014年）</li> </ul>

### 3.3.3.3. 有識者ヒアリング

NO.	1
ヒアリング対象者	水産大学校生物生産学部 阿部講師、村瀬教授
日付	平成 29 年 12 月 4 日 13 時 00 分～15 時 00 分
場所	水産大学校（山口県下関市）
概要	水産庁等のアマノリ類の温暖化対策のプロジェクトでは、高水温耐性研究を進めるほか、栄養塩の低下による色落ちや食害による生産量減少の問題も指摘されている点、さらに、ノリの代替種ではなく、地域特産種の活用などノリそのものの付加価値を上げる方向で努力している点を聞き取った。

NO.	2
ヒアリング対象者	広島県環境県民局環境政策課 福富主査、広島県農林水産局水産課 半田主査、広島県立総合技術研究所 水産海洋技術センター 柳川研究部長、広島市経済観光局農林水産部水産課 石津課長、広島市農林水産振興センター 島津課長補佐、瀬田氏
日付	平成 29 年 12 月 15 日 9 時 30 分～12 時 00 分
場所	広島県情報プラザ
概要	カキの養殖では、気候変動に伴う水温の変化に伴う、産卵および稚貝の採苗時期の早期化や、成貝が好適に成長できる水温が維持される期間や場所の変化に対する影響が懸念されていた。カタクチイワシについて、広島県沿岸において、産卵まではできていることが確認できているが、その後育っていない現状にあることがわかった。暖海性魚類の侵入および冬期定着に関し、瀬戸内海沿岸複数県で、アイゴについて近年冬期の定住と海藻への食害影響の確認事例が増加傾向にあることがわかった。また、アイゴの冬期定住の増加傾向が確認されている地域において、ロウニンアジ、マナガツオのなど暖海性魚類の出現が確認されるなど、海水温上昇に伴う暖海性魚類の分布北上を示唆する事例が増加していることを聞き取った。

NO.	3
ヒアリング対象者	徳島県立農林水産総合技術支援センター 棚田主任研究員、多田研究員
日付	平成 29 年 12 月 18 日 13 時 00 分～15 時 00 分
場所	徳島県立農林水産総合技術支援センター（徳島県徳島市）
概要	温暖化対策として、徳島県沿岸南部に生育するワカメ用いた早生種を作出し、実際の養殖で効果を上げ始めている点、徳島県沿岸産ワカメの高水温耐性研究は、水産機構の瀬戸内海区水産研究所と水産大学校の研究プロジェクトで進められている点を聞き取った。また、アイゴのような食害魚がワカメを食べる方法等も調べておられ、アイゴはどこにでも出没し、季節も問わなくなっていることを聞き取った。

NO.	4
ヒアリング対象者	香川県水産試験場主席研究員 宮川昌志氏
日付	平成 29 年 12 月 19 日 10 時 00 分～12 時 00 分
場所	香川県水産試験場
概要	秋口の水温が下がらない、春の水温上昇の時期が早まっているなど、水温上昇を実感じている。シンコ、シャコ、イイダコ、穴子など、主要な水産物の水揚げは長期的に大幅に減少している。一方、アイゴ、ハモなど暖海性の魚類は、高水温を好むために水温上昇によって増えているとのことだった。ノリについて収穫量の減少と色落ちによる被害を受けているうえ、数少ないノリに、食害魚が群がっていることを聞き取った。

NO.	5
ヒアリング対象者	大崎内浦漁協中村組合長
日付	平成 30 年 5 月 17 日 15 時 30 分～17 時 00 分
場所	大崎内浦漁協（広島県豊田郡大崎上島町）
概要	平成 29 年秋～30 年春期のワカメ、アカモク、ヒジキ（養殖以外）の収穫状況や対象種の生育の年変動を聞き取った。

NO.	6
ヒアリング対象者	水産大学校生物生産学部 阿部准教授、村瀬教授
日付	令和元年 11 月 25 日（月）13 時 00 分～15 時 00 分
場所	水産大学校（山口県下関市）
概要	海藻養殖、とくにスサビノリの温暖化への適応策について、高温耐性種の導入や品種改良などの具体例を聞き取った。
NO.	7
ヒアリング対象者	徳島大生物資源産業学部 岡講師
日付	令和元年 12 月 16 日 11 時 00 分～13 時 00 分
場所	徳島大学（徳島県徳島市）
概要	海藻養殖（スジアオノリ、ヒトエグサ）の温暖化への適応策および、高温耐性ワカメが冬期の新たな漁業として導入される例を聞き取った。

NO.	8
ヒアリング対象者	島根水産技術センター 内水面浅海部浅海科
日付	平成 30 年 4 月 13 日 10 時 00 分～12 時 00 分
場所	島根水産技術センター 内水面浅海部浅海科
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3 年前から藻場の減少が起こっている。食害が原因の可能性もあるが、はつきりとはわからない。理由としては、①アイゴ、②ウニ、ガンガゼ等が考えられる。藻場につくウニは数えやすいことから食害生物として確認されるが、イスズミ、ブダイ、アイゴ等は漁獲対象でないことから存在量などが確認できない。</li> <li>・98 年に水温のレジームシフトが起こった。黒潮が蛇行し、水温が上がり、魚がいなくなってしまった。</li> <li>・ハタ類は増えている。サワラも増えているが、食習慣の違いなのか、値段が高くないため、漁業者の関心が高くない。</li> </ul>

NO.	9
ヒアリング対象者	鳥取県栽培漁業センター 増殖推進室
日付	平成 30 年 4 月 13 日 14 時 00 分～16 時 00 分
場所	鳥取県栽培漁業センター 増殖推進室
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ウニの食害が多い。アイゴは平成 25 年が多かった。藻場の少ないところにムラサキウニが多い。地形的にたまりやすい場があるのでないか。ウニだけでなく、春先はヒメクボガイ、小型のマキガイ、ウラウズガイが多い時もある。ウニの駆除したものは処分している。</li> </ul>

NO.	10
ヒアリング対象者	山口県水産研究センター 外海研究部
日付	平成 30 年 4 月 24 日 13 時 30 分～15 時 30 分
場所	山口県水産研究センター
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海洋生物に関する特記的現象の調査が先に進んでいて、水温データの調査を実施した。</li> <li>・ハタ類、クエ、サワラも増えてきている。メダイは 2000 年まで漁獲が増加していたが、近年減っている。</li> <li>・山口は大陸棚が大きい。気温だけでなく、海底地形や海流の影響もあるのではないだろうか。</li> </ul>

NO.	11
ヒアリング対象者	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海士町漁業組合</li> <li>・岡部株式会社 海洋事業部</li> <li>・島根県隱岐支庁水産局</li> <li>・犬来漁港 漁業者</li> <li>・株式会社海中景観研究所</li> </ul>
日付	平成 30 年 7 月 25 日～27 日
場所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・海士町漁業組合</li> <li>・岡部株式会社 海洋事業部</li> <li>・島根県隱岐支庁水産局</li> <li>・犬来漁港 漁業者</li> <li>・株式会社海中景観研究所</li> </ul>
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・岬などの地形が出っ張っている場所に、生えている藻場は、元気に育っているよう思う。水温に関しても、他の場所とは明らかに異なる。</li> <li>・ホンダワラ類、アラメ、ツルアラメが主流であるが、消失が進んでいる。</li> <li>・知夫村では、西側沿岸のアラメ場の衰退が問題になっている。平成 21 年度に藻場の調査を行った結果、特定の水深帯に海藻が少なく、アラメも殆ど観察されない状態であった。この状況は、調査以前から持続しているようであるが(漁業者聞き取り)、原因については分らない。</li> <li>・長崎県事業では、植食性魚類(アイゴ、イスズミ)の影響があるために、藻礁をカゴで囲った。カゴのネットの目合いサイズは、小型のアイゴやイスズミも入れない大きさに設計した。</li> <li>・昭和 30～40 年は、海岸線に防風林(松の木)が植わっていたが、平成 19 年くらいには、松くい虫の影響で防風林がなくなつたため、海にずっと日が当たる様になった。</li> <li>・アイゴは、10 年前は多く見かける時もあったが、最近は見かけない。沖でも刺網に掛かることも少ない。</li> <li>・主に昔から生えていた海藻は、アラメ類であるが、アラメが一番減っている。ホンダワラ類は、あまり減っていないが、昔ほどは見なくなった。</li> <li>・アワビも以前は 1 回の操業で 3～5kg 程度漁獲していたが、今は数が減少して 1 回の操業の漁獲量は 1kg 程度である。(平成 2 年頃は、アワビの単価が 1 万円/kg 程度だった)</li> <li>・アワビの漁獲量が減少し始めたのは、約 2～3 年前からである。</li> <li>・犬来地区では、アイゴではなく、ウラウズガイによるクロメの摂餌が確認されている。</li> <li>・昔は、子どもやおばあさんが巻き貝を取っていたので、ある程度、間引かれていたが、最近は、ほとんど誰も取りに行かないで、増加する一方である。</li> <li>・最近は、「海は危ないから遊んではいけない」と大人から注意受けているので、海で遊ぶ子どもは少ない。隱岐の漁村の環境も、昔とは変わりつつある。</li> </ul>
概要 (続き)	

NO.	12
ヒアリング対象者	福岡県農林水産部水産局 水産海洋技術センター
日付	平成 30 年 10 月 11 日 10：00～11：00
場所	福岡県農林水産部水産局 水産海洋技術センター
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水温があがった際に、藻場が一時期減少したが、現時点では回復して、海水温上昇が起因していると分かる影響は出でていない。</li> </ul>

### 3.3.3.4. 観測および実証実験

#### ① カキの種苗採苗時期に関する影響予測

観測および実証実験は行っていない。

#### ② ノリ・ワカメの養殖期間に関する影響予測

観測および実証実験は行っていない。

#### ③ ワカメの成長率に関する影響予測

広島県沿岸に生育する天然ワカメの生育への水温の影響を把握するため、生育適温に関する飼育実験を行った。本研究では、広島県沿岸で採集した天然ワカメ 1 株から、研究室で配偶体の株（フリー配偶体）を確立し、この雌雄の配偶体を掛け合わせて作成した幼胞子体を実験に用いた。母藻は、2018 年 4 月に、広島県呉市音戸町で採集した。採集したワカメの胞子葉（めかぶ）を切り出し、滅菌海水で数回洗浄した。その後、胞子葉をシャーレに入れ、滅菌海水を注ぎ、遊走子を放出させた。放出された遊走子は、パストールピペットで吸い取り、滅菌海水を満たした新しいシャーレに単離した。単離後、20°C、光量 100  $\mu\text{mol photon/m}^2/\text{s}$ 、明暗周期 L:D=14:10 で、約 3 週間、インキュベーター（冷凍機付インキュベーター MIR-154-PJ、パナソニック）で培養した。その後、実体顕微鏡下で、雌雄の配偶体をピンセットでそれぞれ別のシャーレに分けて、さらに培養を継続した。雌雄の配偶体の掛け合わせを行う約 2 ヶ月前から、上記の条件で通気培養を行って配偶体の拡大培養を行った。掛け合わせの約 2 週間前から、15°C、明暗周期 L:D=10:14 で配偶体の成熟誘導を行った。増殖させた配偶体は、雌雄それぞれ湿重量で約 0.5g ずつ、海水とともにミキサーで 5 細胞程度になるまで裁断し、化繊糸に付着させ、20°C、光量 50-100  $\mu\text{mol photon/m}^2/\text{s}$ 、明暗周期 L:D=12:12 で培養を行った。培養開始から 2 週間で、卵形成や受精が確認された。配偶体を付着させた化繊糸を屋外水槽へ移し、天然海水の掛け流し条件下で、約 1 ヶ月半培養し、約 1-2 cm の幼胞子体を得、ワカメ生育水温範囲（5-25°C）における日間相対成長率の確認実験に用いた。実験では、幼胞子体 5 個体を 500ml 枝付きフラスコ 1 個に収容し、1 温度条件につき 3 反復とした。水温は 5、10、15、20、25°C の 5 段階に設定し、5 台のインキュベーター（冷凍機付インキュベーター MIR-154-PJ、パナソニック）を用いて、通気培養を 11 日間行った。培養液は 25%PESI（栄養塩溶液）を添加した滅菌濾過海水を用い、4 日目に交換した。培養 4、7 日目に培養液の交換を行い、成長率の測定のため、4、7、11 日目に藻体の写真を撮影し、写真から表面積を計測して算出した。日間相対成長率（Relative Growth Rate: RGR）は、以下の式で、11 日目の値を算出した。

$$\text{日間相対成長率 RGR } (\% / \text{day}) = 100 \times \ln(W_t/W_0)/t$$

(W<sub>0</sub> は実験開始時の表面積、W<sub>t</sub> は t 日目の表面積)

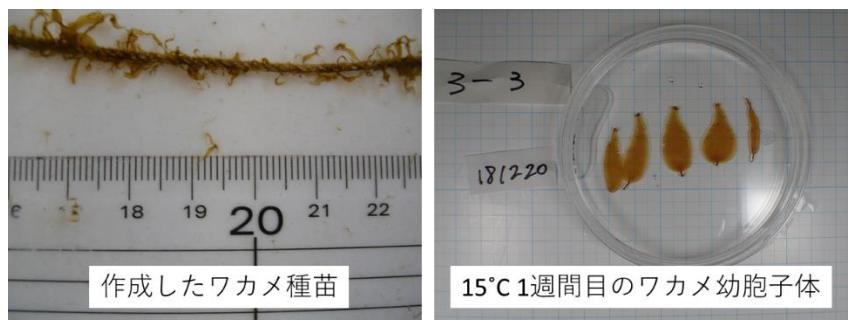


図 3.3.14 実験で作成したワカメ種苗と幼胞子体

#### ④ アイゴ越冬・周年定住個体による繁殖域の拡大および暖海性食害魚侵入域に関する予測

##### [アイゴの越冬・繁殖北限水温の確認]

ノリ・ワカメの主要な食害魚として懸念される暖海性魚アイゴは、広島湾や安芸灘といった瀬戸内海奥部においてもアイゴは成魚サイズ個体の出現が記録されているが、高水温期に限られていることから越冬しないものと考えられてきた（坂井ら 2013、清水ら 2010）。しかし、海水温上昇に伴い、瀬戸内海奥部でのアイゴの越冬や繁殖の可能性が懸念されてきている。そこで瀬戸内海中西部におけるアイゴの冬期を含めた出現傾向に関する分布生態調査、および漁獲標本個体の解剖による繁殖実態を解明する調査を実施した。分布生態調査については、水中ドローンと水中カメラ（Go-pro）を用いた目視調査を行った。広域調査は広島大学附属練習船豊潮丸を用いて 2018 年の 3 月と 12 月に、大分県地無垢島（豊後水道）、伊予灘愛媛県佐田岬、青島、釣島、山口県周防大島、情島（以上、伊予灘）、広島県猪子島（広島湾）の南北に広がる島嶼部 7 地点で実施した。また、アイゴの冬期を含めた周年の生息状況を確認するため、愛媛県佐田岬神崎にて 2018 年 3 月より 2019 年 3 月まで毎月、水中ドローンによる観測を行った。漁獲標本に基づく繁殖実態の調査は愛媛県佐田岬神崎（伊予灘）と愛媛県大三島（安芸灘）の 2 地点より入手したサンプルを用い、各地点での生殖腺重量指数（GSI：生殖腺重量/体重×100）の月別変化を分析し行った。分析標本は、神崎では 2018 年 3 月から 10 月まで（9 月除く）、大三島では 2018 年 8 月から 10 月までの期間で、それぞれ漁獲標本を得ることができた（いずれも刺網）。

##### [暖海性藻類食害魚の分布]

瀬戸内海北部へのアイゴ以外の暖海性食害魚の侵入は、冬期最低水温が重要な制限要因となり現在抑えられている状態にあるが、気候変動による冬期最低水温の上昇に伴い暖海性魚類の冬期侵入・定着が懸念されており、その対策の検討が急務である。

瀬戸内海北部に比べて豊後水道南部は冬期水温が 6~8°C 高く、水温が上昇した将来の生態系を先行して達成していると考えられる。そこで、当該地域における暖海性魚類の生息状況を文献調査および実態調査から把握し（図 3.3.15）、冬期水温帯別に藻類養殖に対し食害を及ぼしうる藻類食魚の出現を予測するため対照表を整理する。

暖海性魚類の生息状況の実態調査は、広島大学附属練習船豊潮丸を用いて秋期に 3 回（2017 年 10 月 3 日から 10 月 9 日、2017 年 11 月 6 日から 11 月 10 日および 2018 年 12 月 3 日から 12 月 7 日）、冬期に 1 回（2018 年 3 月 12 日から 3 月 16 日）、宇和海 3 地点、伊予灘 7 地点、広島湾 3 地点、安芸灘 2 地点で調査を実施した。調査においては、先行的に調査が実施された坂井ら（2010）において

て用いられている餌釣り法を採用して実施した。加えて、水中カメラ、水中ドローンを用いた水中観測を実施するとともに、環境DNA分析のため沿岸表層水を1Lずつ3回採取した。環境DNA用の水試料は採取後速やかに、GF/Fガラス纖維ろ紙で生息魚類由来の排出物を含む懸濁物を捕集し、-20°Cで冷凍保存し研究室に持ち帰った。

これらの調査に加えて、年間最低水温期間を挟んで2018年11月12日から16日の秋期および2019年4月8日から12日早春に、高知県大月町柏島から広島県竹原市にかけて25地点で環境DNA用に沿岸表層水を1Lずつ3回採取し、孔径0.45μmのステリベクスフィルターを用い懸濁物を捕集した(図3.3.16)。環境DNAの抽出および、DNAバーコーディング領域(ミトコンドリアDNA12S rRNA領域の部分配列: Miya et al. 2015)の增幅および塩基配列決定、DNA配列からの魚種同定はMiya et al. (2015)およびYamamoto et al. (2017)に従った。

魚類相の実態調査各地の冬期水温には、MODIS衛星データに基づき、各調査の直前(2017、2018、2019年)の2月海面水温平均値(JAXA/東海大学(TSIC/TRIC)提供公開プロダクトolst)を用いた。また、文献調査で魚類相の既報がある地域における冬期水温は、対象文献における調査期間が2003年~2012年に含まれる場合は、実態調査と同じJAXA/東海大学(TSIC/TRIC)提供公開プロダクトolstにおける各地の2月海面水温平均値を用い、2003年以前に調査された地点については、各地の最近隣で観測された浅海定線調査結果(愛媛県農林水産研究所水産研究センター愛媛県伊予灘および豊後水道定線調査)における2月表層水温の調査期間平均値を用いた。

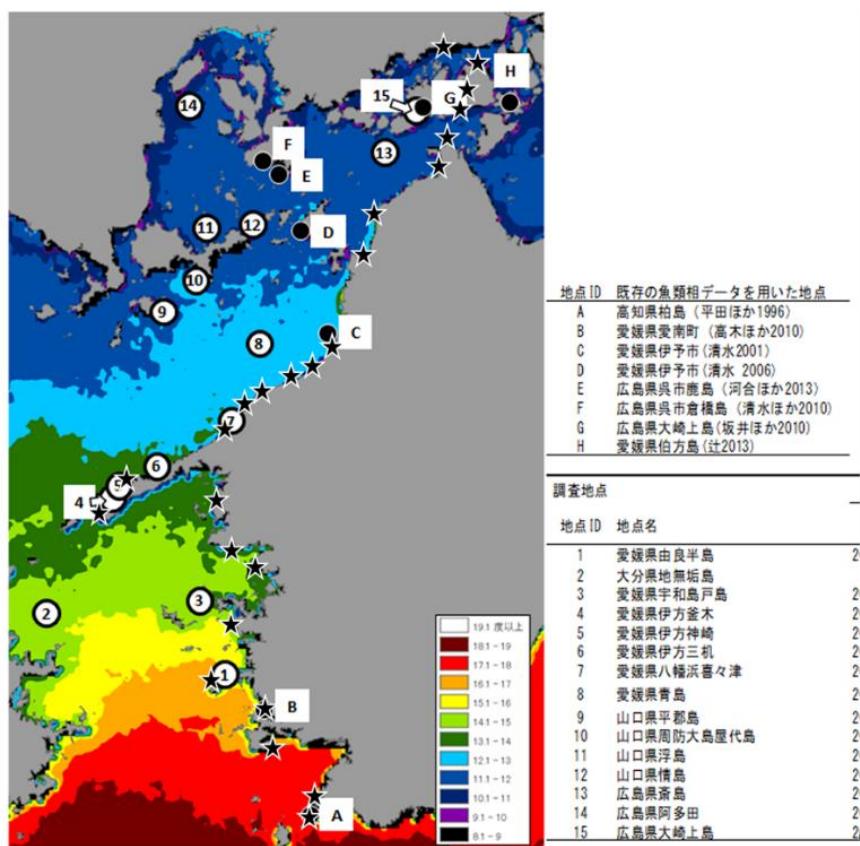


図3.3.15 藻類食害魚分布に関する収集文献の対象地点と実態調査地点

※1~15番は実態調査地点

※星印は秋期・春期環境DNA調査地点

※海面の色は2003~2012年の2月海面水温平均値



図 3.3.16 環境DNA調査における採水・現地濾過作業

##### ⑤ アイゴによる藻類摂食量に関する影響予測

観測および実証実験は行っていない。

##### ⑥ カタクチイワシにおける高温斃死が生じる危険水温期間に関する影響予測

観測および実証実験は行っていない。

#### 3.3.3.5. 気候変動影響予測手法の検討

##### ① カキの種苗採苗時期に関する影響予測

カキ養殖が盛んな広島県・広島市に対するヒアリング調査から、カキの養殖では、水温上昇に伴う、産卵および稚貝の採苗時期の早期化が懸念されていた。マガキの産卵日については、春から夏の水温上昇期における積算水温が重要な決定要因となることが知られている（大泉ら 1921）。そこで、海洋シナリオにおける広島県沿岸の水温を用いて、春から夏の水温上昇期における積算水温の変化に着目し将来の影響を予測した。

##### ② ノリ・ワカメの養殖期間に関する影響予測

ノリ・ワカメ養殖は海面で養殖が行われるため、表層水温を対象に影響評価を進めた。ノリ・ワカメの海面養殖に適する養殖期間を予測するうえで、ノリ・ワカメそれぞれにおける成長の適水温に関する既報値（下茂ら 2000、 Gao et al. 2013）に着目し、海洋シナリオを用い適水温条件を満たす期間を予測した。また、広島県、岡山県、香川県、徳島県における実際のノリ・ワカメの海上養殖の開始および終了日（平成30年度瀬戸内海ブロック水産業関係研究開発推進会議関連資料）に基づき、各ノリ・ワカメ養殖開始・終了時期の現在水温を整理し閾値とし、海洋シナリオ水温を元に開始時期水温を下回る日および終了時期水温を上回り始める日における将来の遅延・早期化日数を予測した。予測においては、広島県安芸灘・備後芸予瀬戸沿岸の養殖域を瀬戸内海西部養殖域、岡山県お

および香川県の備讃瀬戸沿岸の養殖域を瀬戸内海中部養殖域、徳島県播磨灘・紀伊水道沿岸の養殖域を瀬戸内海東部養殖域として区分けし予測を行った（図 3.3.17）。

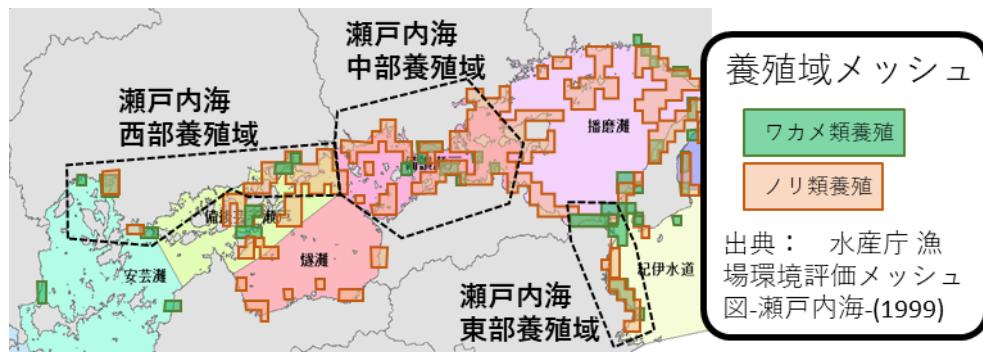


図 3.3.17 ノリ・ワカメ養殖への影響予測における海域区分

### ③ ワカメ成長率に関する影響予測

ワカメの成長率が水温と関連することが報告されており (Gao et al. 2013, Morita et al. 2003)、将来の水温上昇に伴い養殖ワカメの成長率が影響を受けると考えられる。そこで、海洋シナリオを用い将来予測される水温上昇に対し、成長率がどの程度変化するか予測した。ワカメの成長率と水温の関係は、株の採取地域ごとに異なる可能性があるため、これまで知見のなかった瀬戸内海西部の野生株における成長率と水温の関係について実証実験を行ったうえで、瀬戸内海で生育するワカメにおける成長率と水温の関係を整理（表 3.3.9）し予測を行った。予測においては、広島県安芸灘・備後芸予瀬戸沿岸の養殖域を瀬戸内海西部養殖域、岡山県および香川県の備讃瀬戸沿岸の養殖域を瀬戸内海中部養殖域、徳島県播磨灘沿岸の養殖域を瀬戸内海東部養殖域として区分けし予測を行った（図 3.3.17）。

### ④ アイゴ越冬・周年定住個体による繁殖域の拡大および暖海性食害魚侵入域に関する予測

瀬戸内海への暖海性食害魚の侵入・冬期定着は、冬期最低水温が重要な制限要因となり、現在抑えられている状態にある。今後、冬期最低水温が上昇するとともに、暖海性魚類の冬期侵入・定着が懸念されており、その対策の検討は急務である。瀬戸内海沿岸域を対象に、魚類採集調査および環境DNA分析の現地調査から、冬期水温と藻類食魚類分布の対照表データベース（表 3.3.11）を構築し、海洋シナリオの冬期水温と照らし合わせることで、藻類養殖に対し食害を及ぼしうる暖海性の藻類食魚類の侵入や冬期定着域の拡大を予測した。

### ⑤ アイゴによる藻類摂食量に関する影響予測

ノリ・ワカメへの食害影響が懸念されているアイゴにおいて、水温耐性実験から水温低下に伴い摂餌活性が低下し、斃死水温以下に達すると死滅することが知られている（上田・棚田 2018）。そのため、現在では冬期の水温低下に伴うアイゴの摂食量の減少と死滅により、養殖ノリやワカメへの食害は主に秋から冬に限られている状況が、水温上昇に伴い食害の期間や量が増加することが懸念されている。そこで、水温と摂餌量の関係に関する先行知見を整理し、水温に対する摂食量予測モデル（図 3.3.25 図 3.3.25）を構築し、将来の水温上昇に伴うアイゴ摂餌量の増加程度の予測を行った。

行った。予測においては、広島県安芸灘沿岸、岡山県と香川県の備讃瀬戸沿岸および徳島県播磨灘沿岸のノリ・ワカメの養殖域を対象とした。

#### ⑥ カタクチイワシにおける高温斃死が生じる危険水温期間に関する影響予測

カタクチイワシは、広島県にて「こいわし」という名称で親しまれる非常に重要な水産資源である。既存の文献から、カタクチイワシの生残率は水温上昇とともに低下することが知られている。そこで、カタクチイワシにとって生残率低下が懸念される水温を高温斃死の危険性が高まる水温閾値として、広島湾における高温斃死の危険性が高まる日数がどのように増加しうるか予測した。

#### ⑦ 日本海側における暖海性魚類等の生息状況に関する評価

瀬戸内海より先行して影響が出ている日本海側を対象に海水温上昇による藻場等への影響について調査し、瀬戸内海での影響評価・適応策の検討に反映することを目的に情報収集及び分析を行った。

日本海側自治体・漁業者へのヒアリング、山口県の観測データの分析、日本海側各県が測定した海面水温と暖温帶種の魚種数を分析し、海水温と暖海性魚類の出現傾向について分析、評価を行った。

##### 3.3.3.6. 影響予測モデルに関する情報

###### ① カキの種苗採苗時期に関する影響予測

マガキは水温が10°Cを超える始める日から、(水温-10) °Cの値を積算していく閾値である600°Cに到達すると産卵を開始する(大泉ら 1921)ことから、海洋シナリオを用い、(水温-10) °Cの値の積算値が閾値600°Cに到達する日を推定し、カキ種苗採苗時期への影響を予測した(図3.3.18)。

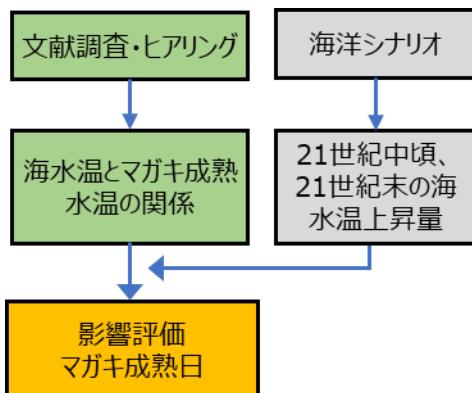


図 3.3.18 カキ種苗採苗時期に関する影響予測フロー

###### ② ノリ・ワカメの養殖期間に関する影響予測

ノリ・ワカメの海面養殖に適する水温時期として、文献調査より整理したノリ・ワカメの育苗および本養殖の生育適温(表3.3.8)から、ノリについては20°C以下に水温降下する日から16°C以上に水温上昇するまでの期間、ワカメについては23°C以下に水温降下する日から18°C以上に水温上昇するまでの期間として評価した。加えて、文献調査より現在の実際の養殖開始・終了時期を整理し、

開始・終了各時期の水温を浅海定線調査観測値から求め養殖開始・終了の閾値水温（表 3.3.8）として用い、ノリ・ワカメの養殖期間を予測した（図 3.3.19）。

表 3.3.8 ノリとワカメの生育適温および瀬戸内海での養殖時期水温

		ノリ（アマノリ類）	ワカメ
生育適温	育苗	20°C前後、適温は18°C	23度°C以下
	本養殖	20°C以下、適温は15-16°C	15-20°C、鳴門産は18°C
実際の養殖期間 (現在水温) 開始/終了	瀬戸内海 西部養殖域	10月下旬 (22°C) / 2月中旬 (10°C)	11月中旬 (19°C) / 4月末 (16°C)
	瀬戸内海 中部養殖域	10月中旬 (23°C) / 3月中～下旬 (11°C)	11月中旬 (19°C) / 4月末 (14°C)
	瀬戸内海 東部養殖域	10月中旬～11月中旬 (22°C) / 3月末 (12°C)	10月下旬 (22°C) / 3月中下旬 (10°C)

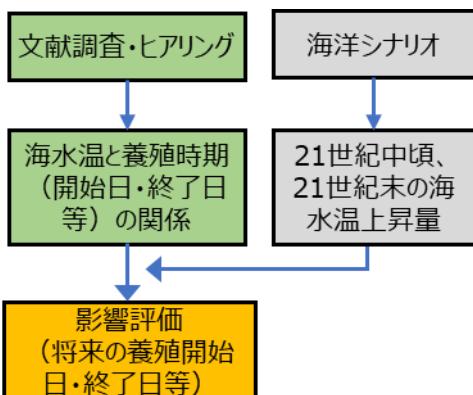


図 3.3.19 ノリ・ワカメ養殖期間に関する影響予測フロー

### ③ ワカメの成長率に関する影響予測

水温上昇に伴い影響をうけると懸念される養殖ワカメの成長率について、ワカメの日間相対成長率（1日あたりの湿重量もしくは表面積の増加割合）と水温の関係を整理し、現在と将来の予測水温と照らし合わせることで成長率を推定し、気候変動に伴う影響を評価した。日間相対成長率の知見は、徳島県鳴門および近隣の三重県におけるワカメの日間相対成長率の先行知見 (Gao et al. 2013、 Morita et al. 2003) および本事業で確認した広島産の天然株における3つの日間相対成長率の値を用いた。各報告における日間相対成長率を水温 5°C から 30°C までの範囲で一次線形補間にて 1°C 刻みの値を計算したうえで、同一温度帯における3例の日間相対成長率を平均し整理した（表 3.3.9）。その結果、ワカメの成長率は 18°C 以上 19°C 未満を最高として、18 度未満では水温が低いほど、19°C 以上では水温が高いほど成長率が低下することが分かった（表 3.3.9）。ワカメ養殖が行われる 11 月から 4 月の間の日別水温に対し、この 1°C 刻みに整理した平均日間相対成長率を当てはめることで養殖期間中の 1 日毎の成長率を決定し、その月平均値を用い影響を予測した（図 3.3.20）。

表 3.3.9 水温別ワカメの日間相対成長率

温度帯 (°C)	鳴門養殖株 日間相対成長率 (%/day) <b>実測 (Gao et al. 2013)</b>	三重野生株 日間相対成長率 (%/day) <b>実測 (Morita et al. 2003)</b>	広島野生株 日間相対成長率 (%/day) <b>実測 (本事業)</b>	平均日間相対成長率 (%/day) 影響評価に使用
	一次線形補完での推定値	一次線形補完での推定値	一次線形補完での推定値	
5 ≤ x < 6	12.0	8.3	8.0	9.4
6 ≤ x < 7	13.0	9.9	9.5	10.8
7 ≤ x < 8	14.0	11.6	10.9	12.2
8 ≤ x < 9	15.0	13.2	12.4	13.5
9 ≤ x < 10	16.0	14.9	13.8	14.9
10 ≤ x < 11	17.0	16.5	15.3	16.3
11 ≤ x < 12	18.0	17.7	17.5	17.7
12 ≤ x < 13	19.0	18.9	19.7	19.2
13 ≤ x < 14	20.0	20.1	22.0	20.7
14 ≤ x < 15	21.0	21.3	24.2	22.2
15 ≤ x < 16	22.0	22.5	26.4	23.6
16 ≤ x < 17	23.0	23.2	25.8	24.0
17 ≤ x < 18	25.0	23.8	25.1	24.6
18 ≤ x < 19	27.0	24.5	24.5	25.3
19 ≤ x < 20	22.5	25.1	23.8	23.8
20 ≤ x < 21	18.0	25.8	23.2	22.3
21 ≤ x < 22	16.5	22.7	20.3	19.8
22 ≤ x < 23	15.0	19.7	17.4	17.4
23 ≤ x < 24	12.0	16.6	14.5	14.4
24 ≤ x < 25	9.0	13.6	11.6	11.4
25 ≤ x < 26	6.0	10.5	8.7	8.4
26 ≤ x < 27	3.0	8.4	5.8	5.7
27 ≤ x < 28	0.0	6.3	2.9	3.1
28 ≤ x < 29	0.0	4.2	0.0	1.4
29 ≤ x < 30	0.0	2.1	0.0	0.7

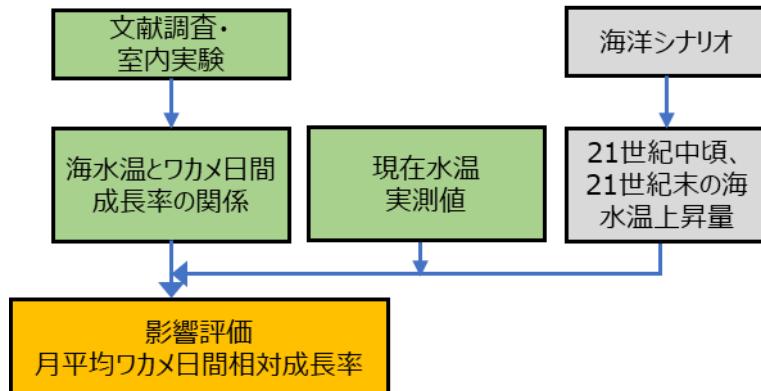


図 3.3.20 ワカメ成長率に関する影響予測フロー

#### ④ アイゴ越冬・周年定住個体による繁殖域の拡大および暖海性食害魚侵入域に関する予測

瀬戸内海における藻類食害魚の分布に関する、文献調査、野外調査結果をもとに、冬期最低水温月の2月海面水温と暖海性藻類食害魚分布の対照表（表 3.3.11、表 3.3.12）を整理した。この対照表と海洋シナリオから作成した瀬戸内海における2月表層水温地図を照らし合わせることで、将来の瀬戸内海における暖海性藻類食害魚の分布予測地図を作製した（図 3.3.21）。

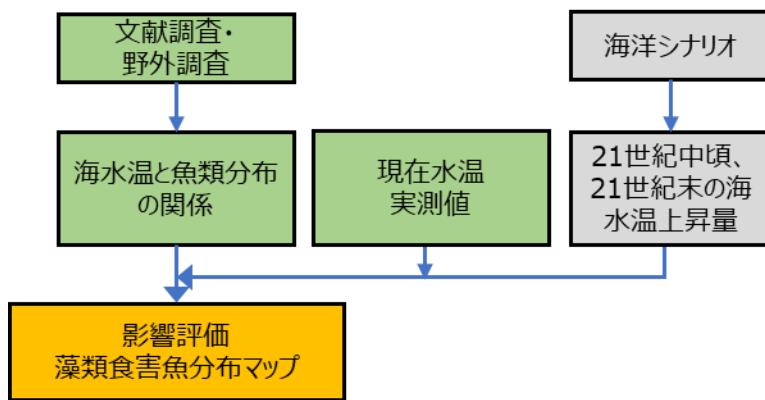


図 3.3.21 アイゴ越冬・周年定住個体による繁殖域の拡大および暖海性食害魚侵入域に関する影響予測フロー

##### ⑤ アイゴによる藻類摂食量に関する影響予測

アイゴによる藻類の摂食量は水温低下とともに減少することが知られている。そこで、25°C以下の水温帯におけるアイゴの日間摂食量（アイゴが1日に摂食する藻類重量をアイゴの単位重量当たりで補正した値）と水温に関する既存知見を整理し得られた回帰モデル（図3.3.25）、

$$\text{アイゴ日間摂食量 (g/日/アイゴ 1kg)} = 11.77 \times \text{日平均水温} - 163.89$$

に、ノリ・ワカメ養殖期間にあたる11月から5月の間の水温を代入しアイゴの日間摂食量を予測した（図3.3.22）。

加えて、徳島県で採集されたアイゴにおける飼育実験において低水温での斃死が生じ始めた11.1°C（上田・棚田 2018）を、瀬戸内海におけるアイゴの低温斃死の閾値水温として用い、この閾値水温を下回る年はアイゴが冬期に養殖域からなくなるものとして、越冬アイゴによる春期の「食害なし」、下回らない年は「食害あり」と判定し、越冬アイゴによる春期の食害発生確率を評価した。

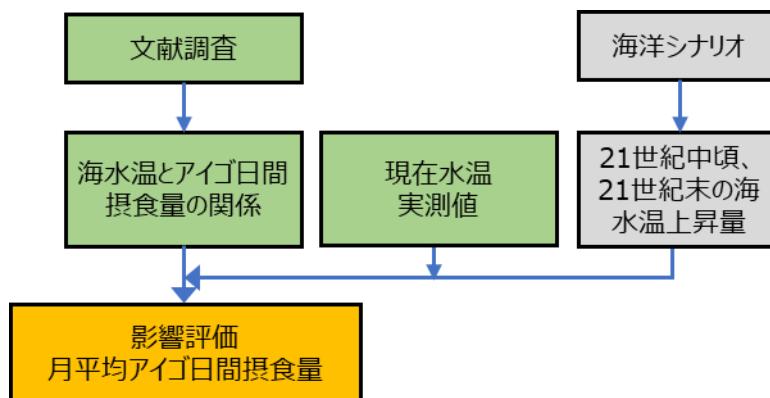


図 3.3.22 アイゴによる藻類摂食量に関する影響予測フロー

## ⑥ カタクチイワシにおける高温斃死が生じる危険水温期間に関する影響予測

カタクチイワシの生残率は水温上昇とともに低下し、48時間における半数致死温度が $27.3^{\circ}\text{C}$ であることが報告されている（小田ら 2018）。そこで、この半数致死温度を高温斃死の危険性を判定する閾値として用い、実測値でバイアス補正を施した海洋シナリオ水温に対し、表層から底層に至る深度別に閾値水温を超えるカタクチイワシにとって危険な高水温となる日数を評価した（図 3.3.23）。

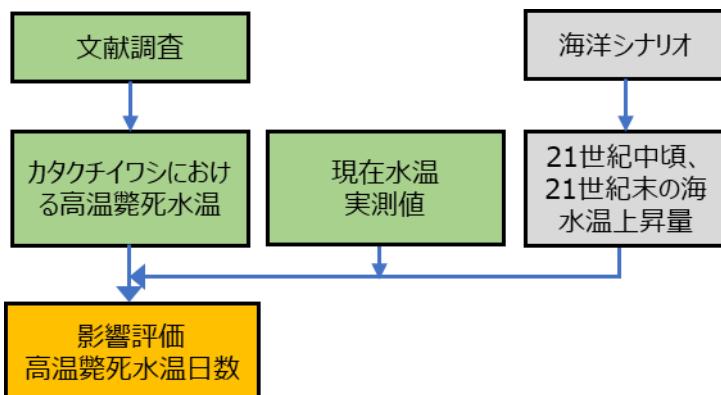


図 3.3.23 カタクチイワシにおける高温斃死が生じる危険水温期間に関する影響予測フロー

## ⑦ 日本海側における暖海性魚類等の生息状況に関する評価

漁港別漁獲量および海水温データの収集・分析においては、データ数や各地域に入手できる内容に差異はあるが、まず、地域でどのようなデータが把握であるかを確認すること、さらに、それらのデータについて、自治体領域を超えて分析を行うこととした。

山口県、島根県、鳥取県において把握している漁港別の魚種のうち、2県または3県が共通して把握している魚種および藻場の食害の影響を及ぼしていると想定される魚種の漁獲量動向について把握を行った。

秋田県立博物館 HP に掲載の「日本海産魚類目録」および河野光久らによる日本海産魚類目録（山口県水産研究報告第 11 号、1-30 (2014 年)）を整理し、熱帶・亜熱帶性魚類の出現種数等について、近年増加している様子を確認した。

### 3.3.3.7. 影響予測に必要な入力パラメータ

カキの採苗時期、藻類養殖期間、ワカメの成長率、暖海性藻類食害魚の分布、アイゴによる藻類摂食量とカタクチイワシの生残危険水温期間の予測にあたっては、予測対象地点における水温データの実測値が必要である。また、ノリ・ワカメの養殖期間においては、対象養殖株における海上養殖開始、終了時の水温データおよび生育適水温知見も必要である。

### 3.3.3.8. 影響予測における留意事項（制限事項）

今回実施した予測においては、水温影響のみに焦点をあてており、藻類の養殖に影響を及ぼす栄養塩濃度における変化の影響は考慮に入れていない。また、魚類分布に対して影響しうる塩分等の、水温以外の生息地環境要因の変化は考慮していない。今回記載する、予測結果、モデル使用においては以上の点に留意する必要がある。カキの採苗時期、アイゴの低温斃死、摂食量の予測に対して

表層の水温のみを用いて予測しており、春から夏にかけて生じる水温成層の影響は考慮にいれていない。また、カタクチイワシの高温死水温の知見は成魚に関するもので、仔稚魚期における影響は考慮できていない。今回記載する、予測結果、モデル使用においては以上の点に留意する必要がある。

### 3.3.4. 調査結果

#### 3.3.4.1. 文献調査結果

##### ① カキの種苗採苗時期に関する影響予測

マガキの産卵時期は春から夏にマガキが経験する積算水温によって概ね決定され、水温  $10^{\circ}\text{C}$  を基準とした積算温度量  $\Sigma$  (水温-10) が  $600^{\circ}\text{C}$  に達する頃産卵することが報告されていた(大泉ら 1921)。

##### ② ノリ・ワカメの養殖期間に関する影響予測

ノリ、ワカメの養殖に対する、採苗、育苗、本養殖の各段階における生育適温(下茂ら 2000、Gao et al. 2013)が報告されていた(表 3.3.10)。

表 3.3.10 ノリとワカメの生育適温

	ノリ (アマノリ類)	ワカメ
採苗 (海中)	23°C以下、適温は 15-23°C	-
育苗	20°C前後、適温は 18°C	23 度°C以下
本養殖	20°C以下、適温は 15-16°C	15-20°C、鳴門産は 18°C

##### ③ ワカメの成長率に関する影響予測

ワカメの日間相対成長率について、三重県産の野生株(Morita et al. 2003)で  $5^{\circ}\text{C}$  から  $30^{\circ}\text{C}$  の範囲で、徳島産の養殖株(Gao et al. 2013)について  $14^{\circ}\text{C}$  から  $24^{\circ}\text{C}$  の範囲で実証実験の結果が報告されていた(図 3.3.24)。

—●— 鳴門養殖株(重量 : Gao et al. 2013)

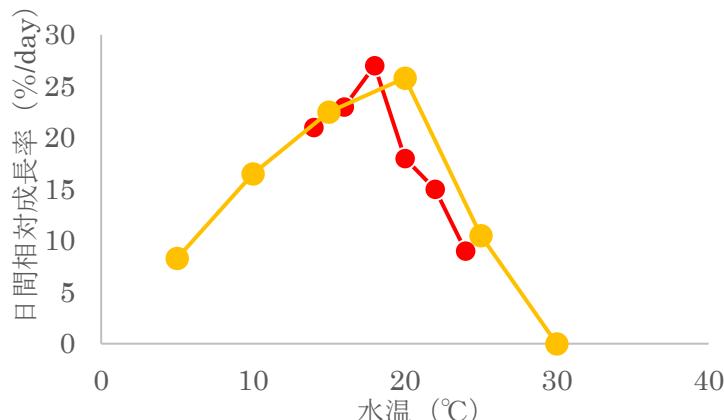


図 3.3.24 ワカメにおける飼育水温と日間相対成長率

#### ④ アイゴ越冬・周年定住個体による繁殖域の拡大および暖海性食害魚侵入域に関する予測

文献調査の結果、これまでに豊後水道を含む瀬戸内海西部において、調査対象海域が特定しうる知見として8報の魚類相の知見（平田ら 1996、河合ら 2013、坂井ら 2010、清水 2001、清水 2006、清水ら 2010、高木ら 2010、辻 2013）が報告されており、1342種の出現が確認されていた。そのうち、将来的にノリ・ワカメ等の藻類養殖に食害を及ぼす可能性の高い藻類食魚類として、イスズミ類、ブダイ類、アイゴ類およびニザダイ（藤田ら 2006）に加え、ノリ養殖における食害被害をもたらすと懸念されるクロダイ（草加 2007）およびボラ類（伊藤ら 2008）について、37種が確認されていた。

#### ⑤ アイゴによる藻類摂食量に関する影響予測

秋から春にかけてのアイゴの藻類摂食量の評価にむけ、25°C以下の水温帯における藻類に対するアイゴの日間摂食量と水温に関する既存知見（長谷川ら 2018、磯野ら 2016、木村ら 2007、野田ら 2017、上田・棚田 2018、山内ら 2006、山田 2006）を整理した（図 3.3.25）。25°C以下の水温帯において、アイゴの日間摂食量は水温に対し有意な負の関係にあり、以下の有意な回帰モデルが得られた。

$$\text{アイゴ日間摂食量(g/日/アイゴ 1kg)} = 11.77 \times \text{日平均水温} - 163.89 \quad (N=49, R^2 = 0.457, P<0.01)$$

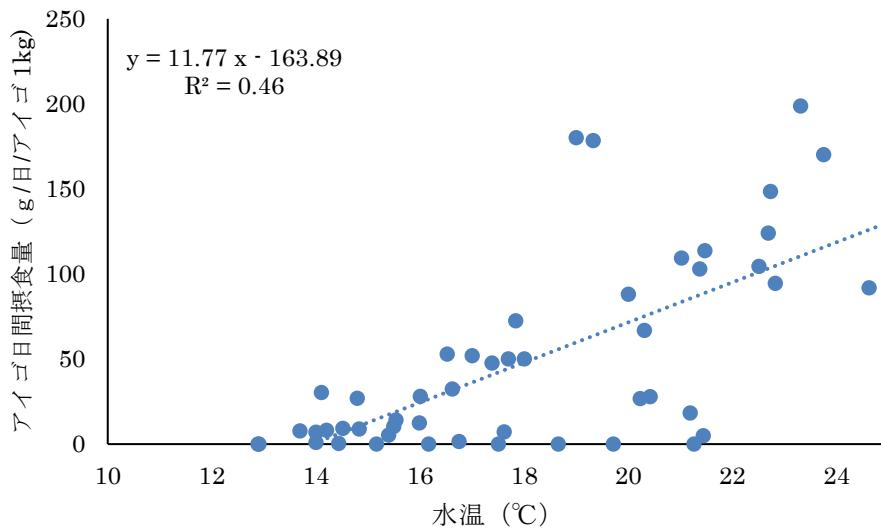


図 3.3.25 文献調査から整理したアイゴ日間摂食量と水温の関係

徳島県で採集されたアイゴにおいて、飼育実験から 11.1°Cを下回ると低水温での斃死が生じ始めることが確認されていた（上田・棚田 2018）。

#### ⑥ カタクチイワシにおける高温斃死が生じる危険水温期間に関する影響予測

カタクチイワシの成魚（被鱗体長  $92.3 \pm 5.0$  mm：平均土標準偏差）において、水温と生残率の関係が報告されていた。この報告では 120 時間の飼育試験が行われ、水温 15°C、20°C、25°Cではほとんど死亡が確認されず、30°Cにおいて試験開始直後から死亡が観測され 66 時間後に全個体が死亡し

たと報告されていた（小田ら 2018）。この試験の結果より、24 時間における半数致死温度が 28.5°C、48 時間における半数致死温度が 27.3°C であることが報告されていた。

## ⑦ 日本海側における暖海性魚類等の生息状況に関する評価

秋田県立博物館 HP に掲載の「日本海産魚類目録」および河野光久らによる日本海産魚類目録（山口県水産研究報告第 11 号、1-30（2014 年））を整理し、熱帯・亜熱帯性魚類の出現種数等について、近年増加している様子を確認した。

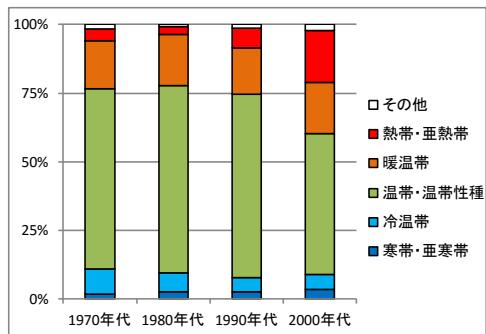


図 3.3.26 山口県年代別生息域別魚種数の変遷

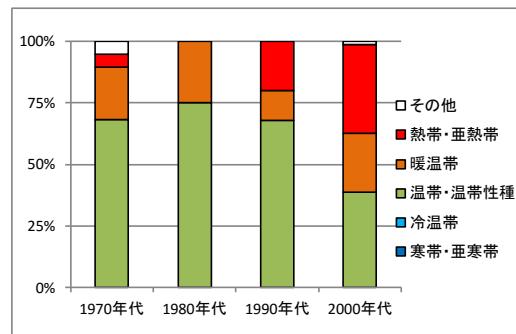


図 3.3.27 日本海産魚類目録より北進魚種※の山口県内生息域別魚種数の変遷

※各県の動向を見て南から北に進むと想定される魚種

### 3.3.4.2. 有識者ヒアリングの結果

広島県におけるカキの養殖に対する水温上昇に伴う影響に対して、産卵および稚貝の採苗時期が早期化することや、成貝の成長に好適な水温が維持される期間や場所が変わってくることの懸念があるとのことであった。またノリやワカメの養殖に対しては、近年、秋の水温低下が遅れ、春の水温上昇の時期が早まっており、それに伴い養殖開始が遅れ、漁期が短縮している実情にあるとのことであった。また、ノリ、ワカメの養殖に対する水温上昇の影響として、高水温による生育不良があるとの指摘を得て、このような生育不良への対策として、高水温耐性品種が選抜や交雑などにより作出について、既に実証規模での試験が行われているとの知見を提供頂いた。加えて、ノリでは高水温耐性がある壇紫菜や、高い付加価値のあるアサクサノリの養殖の導入も試みられているが、これまでと異なる養殖種の導入において、養殖経営の安定化のために養殖方法だけでなく販売方法まで考慮する必要があると考えておられることが分かった。さらに、ノリ、ワカメ以外に瀬戸内海で養殖されている藻類としてスジアオノリやヒトエグサがあり、これらの種においても高水温に関係する不漁が問題になっているとのことであった。いずれの海藻養殖でも、水温上昇の直接的な影響以外に、貧栄養化や魚類による食害の影響にも大きな懸念が寄せられ、水温上昇と他の要因との複合的影響についても考慮する重要な意見を得た。

魚類による養殖藻類への食害影響については、中四国地域沿岸府県の多くで水温上昇に伴うアイゴによる食害被害拡大を憂慮していることが分かった。徳島県では、アイゴなどの食害魚がワカメをどのように摂食するかの生態調査も始めておられるとのことであった。また、香川県沿岸において、近年アイゴは海域も季節も問わず広域かつ周年確認されることが多くなっており、数少ないノリに食害魚が群がっていることが確認されるという実情について知見を得た。また、アイゴの冬期定住の増加傾向が確認されている地域において、ロウニンアジ、マナガツオなど、これまで確認さ

れることのなかった暖海性魚類の出現が確認されるなど、海水温上昇に伴う暖海性魚類の分布北上を示唆する事例が増加していることがわかった。

広島県沿岸におけるカタクチイワシの成育状況について、産卵までは確認できているが、その後育っていない現状にあることがわかった。

日本海側については、山口、鳥取、島根とともに、アイゴ等やウニ等の食害の影響が挙げられる一方、場所によって、被害状況が異なり、海水温上昇による影響のほか、地形や日射の関係があるのであればという声があげられたが、その因果関係については定かでない状況である。また、高水温の影響が受けにくい岬や水の流れが速いところ、造成がうまくいった場所などでは、藻場が増えている様子が確認できている。また、藻場の消失が心配される一方、ハタ類やクエが増えてきている等の影響もある。

さらに、日本海側の藻場については、人工培養で初期の発生から幼葉体期までを育成することによって、水温の影響を敏感に受けるステージを飛ばす処置が行える。また、大型に育成しているため、移植した海藻が育つこともある。人工的に大型に育成した藻体を移植することで、食害を受けても再生し易い利点がある、等の適応策が他地域の取り組みで分かっているとのことであった。また、隠岐では、昔は、子どもやおばあさんが巻き貝を取っていたので、ある程度、間引かれていたが、最近は、ほとんど誰も取りに行かないで、増加する一方であり、このような社会情勢も影響しているのではないか、ということであった。最近は、「海は危ないから遊んではいけない」と大人から注意受けているので、海で遊ぶ子どもは少ない。これら社会の海への関わりへアプローチすることも考えていく必要があるということであった。

### 3.3.4.3. 観測や実証実験の結果

#### ① ワカメの成長率に関する影響予測

瀬戸内海西部でのワカメ養殖におけるワカメ成長率への影響を評価するうえで活用しうる広島産の天然ワカメの日間相対成長率を確認した結果、15°Cで 26.4%と最も高く、次いで 20°Cでやや減少し 23.2%となっており、生育適温は 15–20°Cにあると判断された（図 3.3.28）。この生育適温を外れ、水温が低下もしくは上昇すると成長率は大きく低下し、5°Cで 8.0%、25°Cで 8.7%に減少することが確認された。

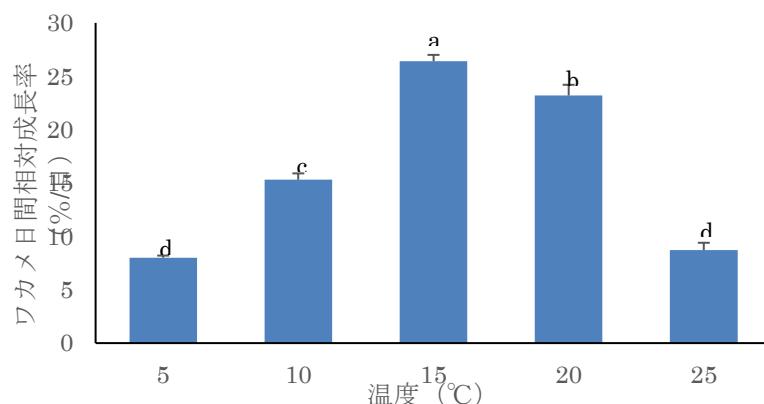


図 3.3.28 広島産の天然ワカメの水温別日間相対成長率

※エラーバーは標準誤差。

※図中の異なるアルファベットは有意な差がみられることを示す（Tukey の多重比較検定、 $p < 0.05$ ）

本調査を通じ確認できた、広島産の天然ワカメの生育適温および各温度帯での成長率は、同様の温度実験で成長率が確認された、三重産の天然ワカメ (Morita et al. 2003) や徳島産の養殖ワカメ (Gao et al. 2013 図 3.3.28) と同程度であると確かめられた。そのため、ワカメの成長率を予測するうえで、これら3つの調査における日間相対成長率の平均値を用いることとした(表 3.3.9)。

## ② アイゴ越冬・周年定住個体による繁殖域の拡大および暖海性食害魚侵入域に関する予測 [アイゴの越冬・繁殖北限水温の確認]

2018年12月におけるアイゴの広域分布調査結果から、豊後水道と伊予灘中南部の調査地点（地無垢島から青島までの水域）でアイゴが確認された（図 3.3.29）。一方、伊予灘と安芸灘の境界部にある周防大島、情島、釣島ではアイゴは確認されず、最北の広島湾の猪子島ではその年産まれの小型個体が確認されるにとどまった。2018年3月の調査において、愛媛県佐多岬神崎では体長 20～30cm ほどのアイゴが多数刺し網漁で漁獲されており十分に活動活性高くアイゴが生息できていることが確認された一方、神崎から約 10 km 北上した喜々津においては同程度の体長 20～30cm ほどのアイゴが衰弱して様子が確認された。加えて、神崎における水中ドローンを用いたアイゴの季節的な出現傾向の調査結果より、アイゴは 2018 年 3 月から 2019 年 3 月まで毎月安定して出現が確認された。このことから佐田岬神崎周辺での水温環境が、アイゴが野外において越冬できる下限水温に近いことが確認された。また、2018年において、佐田岬神崎のアイゴにおいて夏期 8 月に向かって生殖腺が発達する傾向が認められ生殖腺内に発達した卵細胞を持つ雌の存在が確認されたが、より北部の愛媛県大三島においては、同 8 月の標本において生殖腺の発達が認められなかった（図 3.3.30）。このことから 2018 年の水温環境では、神崎個体群では少なくとも一部の個体は繁殖できていることが確認された一方、安芸灘では繁殖が行われていないことが強く示唆された。



図 3.3.29 アイゴの広域分布調査地点と調査時の様子

※黒塗りはアイゴの出現確認地点。白抜きはアイゴ未確認地点。

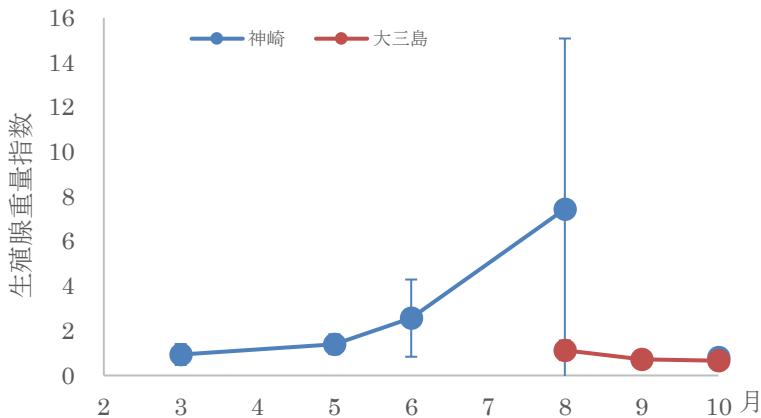


図 3.3.30 アイゴの雌における生殖腺の発達状態の経月変化

本調査で、アイゴが越冬および繁殖可能な北限域にあることが強く示唆された佐田岬神崎の 2018 年 3 月の現場水温は 11.5°C であり、衰弱個体のみが確認され、越冬の可能性が低いと考えられた隣接する喜々津周辺海域での現場水温は 10.5°C であった。これは瀬戸内海で捕獲されたアイゴで確認された致死水温範囲が 10.4°C-11.1°C (上田・棚田 2018) という知見と一致しており、神崎では致死水温をわずかではあるが上回る一方、喜々津では致死水温に到達していた。ただし、神崎周辺海域においても 2018 年 2 月にはアイゴの死体が水面に浮いていることを操業中の漁業者が目視確認していることから、同所の 2018 年の冬期の水温環境は越冬できる限界条件に近い状況にあるものと推察される。したがって、本調査で越冬・繁殖が確認された北限である佐多岬神崎における冬期水温 11.5°C をアイゴの越冬・繁殖可能地域を判定する閾値水温として設定することが妥当と判断された。

#### [暖海性藻類食害魚の分布]

のべ 71 地点での藻類食魚分布の広域調査結果より、98 科 215 属 302 種の分布情報が得られ、そのうち 15 種の藻類食魚が確認された。この調査結果と、文献調査で確認されたイスズミ類、ブダイ類、アイゴ類、ニザダイ、クロダイ、ボラ類の 37 種の藻類食魚について、出現が確認された地点における冬期水温を 0.5°C 刻みで区分したうえで集計し、藻類食害魚が出現する冬期水温を整理した。その結果、冬期水温 9°C 以上 18°C 未満の幅広い冬期温度帯にある海域での藻類食害魚の分布と冬期水温の対照表が得られた (表 3.3.11)。

この結果より、藻類食害魚の分布状況の変化が生じうる水温閾値として、7 つの段階に整理された (表 3.3.12)。特に、冬期水温が 11.5°C を超え出すと、アイゴが冬期を含め周年生息し続けるとともに、越冬したアイゴによる繁殖が行われだす。このような状態になった場合、当該海域で孵化したアイゴが近隣に供給されることで、近隣の海域を含め急速にアイゴの個体密度増加が進行し食害が深刻化しうるため、アイゴ対策が急務になると考えられる。次いで、13.0°C を超えるとイスズミ、ブダイといった藻場の主要な食害魚として大きく懸念される種が出現し始めることが分かった。そして以降の水温上昇に伴い、食害対策を講じるべき対象の多様化が順次進行し、様々な生態を持つ藻類食魚を対象とした多面的な食害魚対策が必要とされる局面に移行することを提示する結果が得られた。

表 3.3.11 冬期最低水温（表層）と藻類食魚分布の対照表

科	気候帯	和名	18°C	17.5°C	17°C	16.5°C	16°C	15.5°C	15°C	14.5°C	14°C	13.5°C	13°C	12.5°C	12°C	11.5°C	11°C	10.5°C	10°C	9.5°C	9°C
ボラ	温帯	ボラ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●								
		コボラ																			
		セスジボラ																			
		メナダ																			
タイ	温帯	クロダイ	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
		イスズミ	●																		
		テンジクイサキ	●	●																	
		ノトイズミ	●																		
イスズミ	熱帯	ミナミイズミ																			
		オキナメジナ																			
		クロメジナ	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
		メジナ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ブダイ	温帯	ブダイ	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
		アオブダイ	●																		
		ヒブダイ	●	●																	
		アミメブダイ																			
熱帯	熱帯	イチモンジブダイ																			
		イトヒキブダイ																			
		オビブダイ																			
		カメレオンブダイ																			
アイゴ	温帯	カワリブダイ																			
		キビレブダイ																			
		スジブダイ																			
		ツキノワブダイ																			
ニザダイ	温帯	ナガブダイ																			
		ニシキブダイ																			
		ブチブダイ																			
		イロブダイ																			
ニザダイ	熱帯	ナンヨウブダイ																			
		ハゲブダイ																			
		ミゾレブダイ																			
		アイゴ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
アイゴ	熱帯	越冬可能域 再生産可能域	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
		アミアイゴ																			
		ハナアイゴ																			
		ブチアイゴ																			
ニザダイ	温帯	セダカハナアイゴ																			
		ニザダイ	●	●	●		●		●		●										

※橙色塗りつぶし：既存文献における出現確認種

※環境DNAでの検出種：赤丸

※釣獲で確認された種：青丸

※水中観察で確認された種：緑丸

※2018年のアイゴの分布・生態調査結果に基づき確認された、越冬および繁殖可能な水温域を矢印で示す。

表 3.3.12 暖海性食害魚出現予測に用いた基準水温

海水温	出現する暖海性食害魚(藻類食魚)
11.5°C未満	ボラ類、クロダイ、メジナ、アイゴ(冬期以外)
11.5~13.0°C	上記+ アイゴの越冬・繁殖可能
13.0~14.5°C	上記+ イスズミ、クロメジナ、ブダイ
14.5~15.0°C	上記+ テンジクイサキ、ノトイズミ、ニザダイ
15.0~17.0°C	上記+ ヒブダイ
17.0~17.5°C	上記+ アオブダイ、熱帯性ブダイ類
17.5°C以上	上記+ 热帯性イスズミ類、热帯性アイゴ類

### 3.3.4.4. 気候変動影響予測結果

#### ① カキの種苗採苗時期に関する影響予測

カキの養殖用種苗の採苗時期を決定づけるマガキの成熟日は、21世紀中頃（RCP8.5）で現在と比べて平均して9日程度、21世紀末（RCP2.6）で現在に比べて約12日、21世紀末（RCP8.5）で現在に比べて34日程度早期化することが予測された（図 3.3.31）。また予測された成熟日における年間の変動幅は、現在で10日ほど前後しうるのに対し、21世紀中頃（RCP8.5）で12日程度、21世紀末（RCP2.6）で10日の変動が予測され、年間変動幅において有意な変化は予測されなかった。一方で、21世紀末（RCP8.5）ではカキ成熟日の年間変動幅は有意に大きくなり、年によって2.6日程度、

成熟日またそれに伴う採苗日が前後することが予測された。これらの結果は、水温上昇によりカキの採苗時期が早期化するだけでなく、気候変動が深刻な場合、21世紀末には採苗時期の年間変動が大きくなり、採苗作業を適切なタイミングで実施するために、水温およびマガキのモニタリングに基づくマガキ成熟日予測の精度向上が重要となることを示唆している。

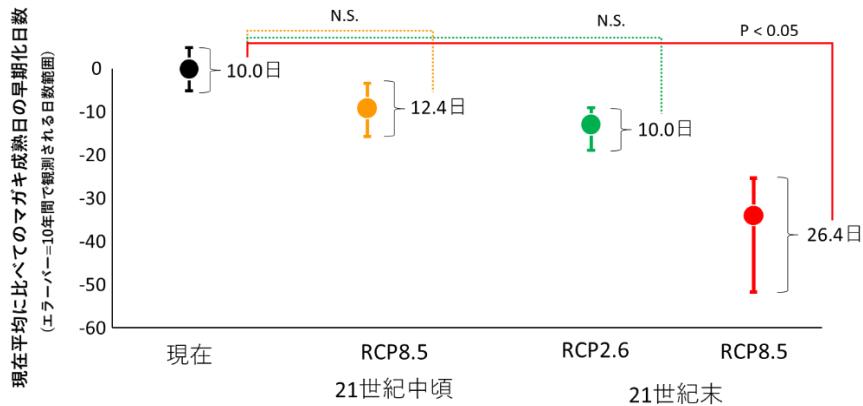


図 3.3.31 マガキ成熟日の早期化日数と年間変動の大きさに関する予測結果 (MRI-CGCM3)

※各 10 年分の予測値における平均値を示す。

※エラーバーは 10 年分の予測値の範囲(最小値から最大値)を示す。

## ② ノリ・ワカメの養殖期間に関する影響予測

瀬戸内海全体の平均として、ノリの養殖開始時期は、21世紀中頃 (RCP8.5) で現在と比べて 10 日程度、21世紀末 (RCP2.6) で現在に比べて約 9 日、21世紀末 (RCP8.5) で現在に比べて 25 日程度遅延することが予測された（図 3.3.32）。また、漁期終了時期については、21世紀中頃 (RCP8.5) で現在と比べて 14 日程度早期化し、21世紀末 (RCP2.6) で現在に比べて約 18 日、21世紀末 (RCP8.5) で現在に比べて 47 日程度早期化することが予測された。加えて、収穫が困難となる水温上昇が生じる年が、21世紀末の RCP2.6 では香川県および西部養殖域全体において 30%、RCP8.5 では西部養殖域で 100%、中部養殖域で 60～100%、東部養殖域で 30% の確率で生じる可能性が予測された。

ワカメの養殖開始時期は、21世紀中頃 (RCP8.5) で現在と比べて 7 日程度、21世紀末 (RCP2.6) で現在に比べて約 6 日、21世紀末 (RCP8.5) で現在に比べて 25 日程度遅延することが予測された（図 3.3.32）。また、漁期終了時期については、21世紀中頃 (RCP8.5) で現在と比べて 10 日程度早期化し、21世紀末 (RCP2.6) で現在に比べて約 15 日、21世紀末 (RCP8.5) で現在に比べて 39 日程度早期化することが予測された。加えて、収穫が困難となる水温上昇が生じる年が、21世紀末の RCP2.6 で東部養殖域において 30%、RCP8.5 では東部養殖域で 100% の確率で生じる可能性が予測された。また、ワカメにおいては西部・中部養殖域での現在の実際の養殖は、ワカメの適水温 23℃より低い水温から開始されているため、仮に 23℃以下到達日から養殖が開始できるようにした場合に収穫期間が 22 日から 27 日程増加させることが可能であることが予測された。

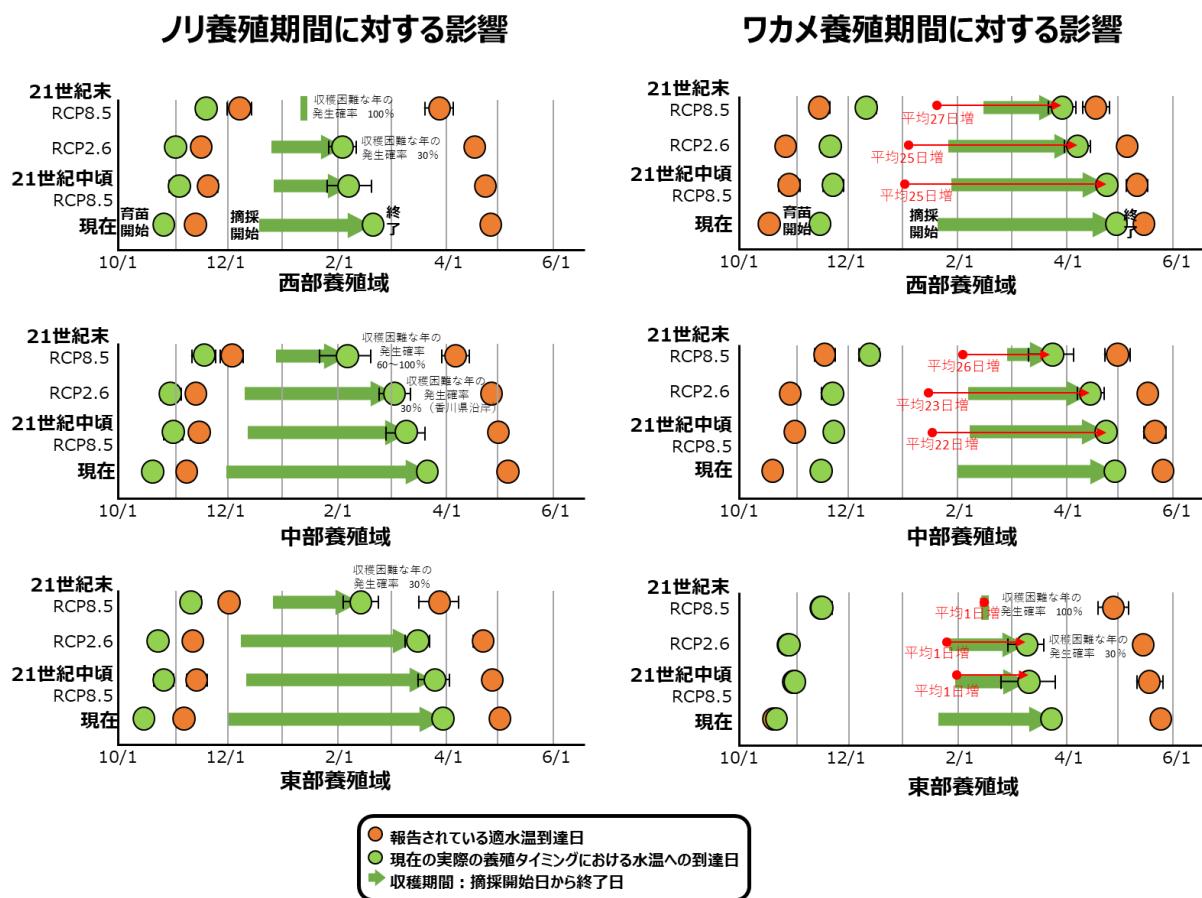


図 3.3.32 ノリおよびワカメ養殖期間の予測結果 (MRI-CGCM3)

※各 10 年分の予測値における平均値と標準偏差を示す。

※ワカメ養殖期間に対する予測結果における赤矢印はワカメ適水温である 23°C

以下到達日から養殖を開始した場合の収穫開始から収穫終了までの期間と、  
それにより増加する収穫日数を示す。

### ③ ワカメの成長率に関する影響予測

文献調査および本事業における調査結果よりワカメにおいて、18°C以上 19°C未満が成長において最適な水温で、18 度未満では水温が低いほど、19°C以上では水温が高いほど成長率が低下すると整理された（表 3.3.9）。そのため主要なワカメ養殖期間である 11 月から 4 月の間においては、水温が最適温度より高い 11 月には水温上昇が予測される将来ほど成長率が低下し、21 世紀中頃 (RCP8.5) の成長率は現在と比べて 0.93~0.95 倍、21 世紀末 (RCP2.6) で 0.94~0.96 倍、21 世紀末 (RCP8.5) で 0.69~0.75 倍となると予測された（図 3.3.33）。一方、最適温度を下回る 12 月から 4 月にかけては、水温が上昇する将来ほど成長率が高まる予測となった。ワカメ成長率における現在と比べた将来の増加率が最も大きかった 2 月において、21 世紀中頃 (RCP8.5) で 1.05~1.10 倍、21 世紀末 (RCP2.6) で 1.15~1.19 倍に影響が留まるものの、21 世紀末 (RCP8.5) には 1.34~1.41 倍成長率が高まると予測された（図 3.3.33）。

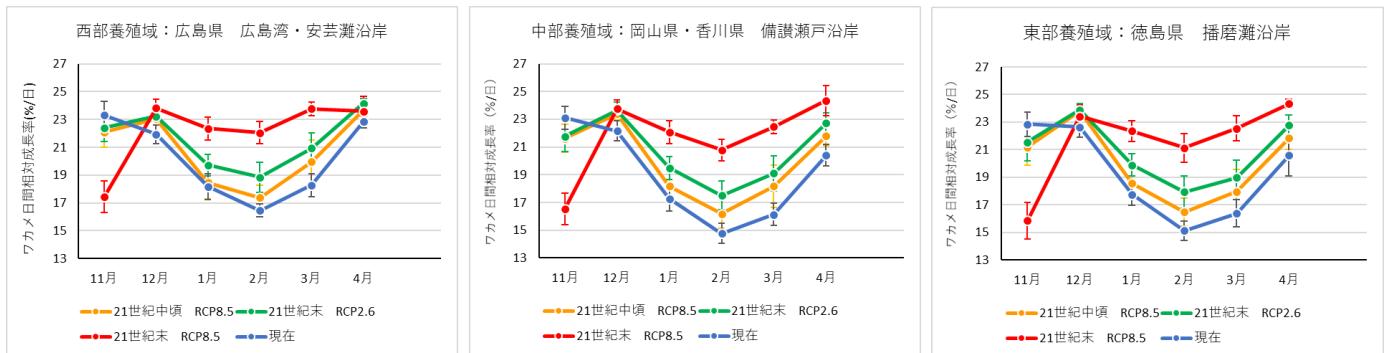


図 3.3.33 ワカメ日間相対成長率の予測結果 (MRI-CGCM3)

※各 10 年分の予測値における平均値と標準偏差を示す。

#### ④ アイゴ越冬・周年定住個体による繁殖域の拡大および暖海性食害魚侵入域に関する予測

暖海性食害魚の分布は、ボラ類、クロダイ、メジナは現在、将来問わず、瀬戸内海全域に分布するものと予測される（図 3.3.34）。アイゴについては、現在は瀬戸内海北部ほぼ全域で越冬できず冬季以外に出現する状態に対し、伊予灘の南側で越冬し繁殖が開始されている状況であると推定された（図 3.3.34）。アイゴの越冬・繁殖域は将来の水温上昇とともに拡大すると予測され、21世紀中頃（RCP8.5）には安芸灘、広島湾まで拡大、21世紀末にはRCP2.6においても山口県東部から燧灘全体にかけて拡大すると予測された（図 3.3.34）。これらの結果より、広島県や愛媛県北部沿岸においては、アイゴによる周年定住と繁殖の常態化は避けがたく、すぐ間に迫った問題であることが裏付けられ、アイゴ対策に資する知見の集積の重要性が示唆された。

また、ボラ類、クロダイ、メジナ、アイゴなど現在でも瀬戸内海北部で確認されている食害魚以外の、新たな暖海性の藻類食害魚の侵入については、21世紀中頃（RCP8.5）ではまだ新たな種の増加はない予測された（図 3.3.34）。21世紀末においては瀬戸内海北部にも新たな食害魚の増加が予測され、RCP2.6においても、イスズミやクロメジナ、ブダイが伊予灘に広く出現し始めると予測された（図 3.3.34）。また、21世紀末のRCP8.5では、ノリ・ワカメの養殖域の多い広島県、岡山県、香川県、徳島県沿岸にイスズミ、クロメジナ、ブダイが広く常在しこのまま、安芸灘や広島湾においては更にテンジクイサキ、ノトイズミ、ニザダイが出現し始め、現在と比べて3～7種程度対策を講じるべき食害魚が増加する予測となった（図 3.3.34）。

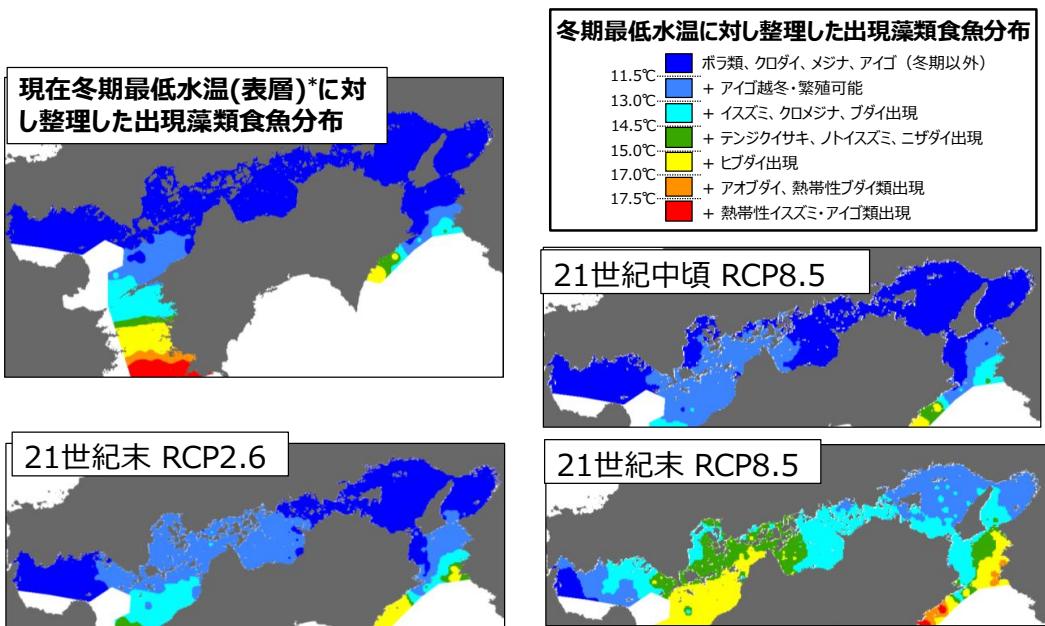


図 3.3.34 暖海性藻類食害魚の侵入域予測結果 (MRI-CGCM3)

##### ⑤ アイゴによる藻類摂食量に関する影響予測

現在では毎年、アイゴが低温斃死し始める水温へ到達しているが、21世紀中頃 (RCP8.5) では中部・東部養殖域においては変わらず毎年アイゴの低温斃死水温に達するものの、西部養殖域では50%の確率で低温斃死水温に達することなく、越冬したアイゴによる春期のノリ・ワカメの食害が発生すると予測された（表 3.3.13）。21世紀末では、越冬アイゴによる春期食害が発生する確率は、RCP2.6において西部で90%、中部で40%、東部で10%に増加すると予測されるのに対し、RCP8.5では西部で100%、中部・東部でも90%とほぼ毎年越冬アイゴによる春期食害が発生すると予測された（表 3.3.13）。

将来の水温增加に伴いアイゴの摂食量が増えることによる食害の深刻化も危惧される。本事業にて整理した水温とアイゴの単位重量当たりの日間摂食量の回帰モデルをもとに、アイゴによる藻類摂食量を予測した結果、アイゴの日間摂食量は、現在では11月の59.4g/日/kgから水温低下とともに減少していく、2月には斃死水温に達することで以降のアイゴ食害が無くなると推定された（図 3.3.35）。これに対し、21世紀中頃 (RCP8.5) では11月の日間摂食量が71.2g/日/kgに増加するものの、2月にはほぼ摂食がなくなると予測された（図 3.3.35）。ただし、瀬戸内海西部養殖域においては、越冬アイゴによる春期食害が発生し始め、11月から5月までの全期間を通じた平均日間摂食量で比較した場合、現在に比べ5.1g/日/kg増加する予測となった。21世紀末には、RCP2.6で11月から5月までの全期間平均の摂食量において、現在に比べ8.8g/日/kg増加、RCP8.5では31.4g/日/kg増加すると予測された（図 3.3.35）。

表 3.3.13 春（3～5月）に越冬アイゴによる食害が発生する割合の予測結果（MRI-CGCM3）

	現在	21世紀中頃 RCP8.5	21世紀末 RCP2.6	21世紀末 RCP8.5
西部養殖域：広島	10%	60%	100%	100%
中部養殖域：岡山・香川	0%	0%	20%	100%
東部養殖域：徳島	0%	0%	20%	100%

※数値は10年あたりに食害が発生すると予測される年の割合

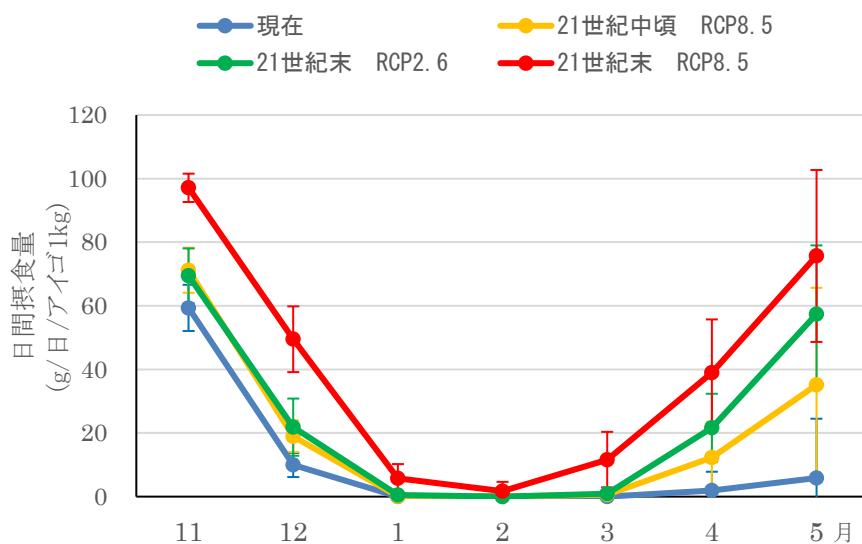


図 3.3.35 ノリ・ワカメ養殖期間におけるアイゴ日間摂食量の予測結果（MRI-CGCM3）

※各10年分の予測値における平均値と標準偏差を示す。

#### ⑥ カタクチイワシにおける高温死が生じる危険水温期間に関する影響予測

広島湾においてカタクチイワシに高温死が生じる危険水温に達する期間は、現在では全域で表層から底層に至る全水深帯において0日と予測された。それに対し、21世紀中頃（RCP8.5）では呉湾において水深0mで平均30.3日危険な高温に達するものの、その他の地点の水深0mでの危険水温発生日は平均で1.6日に留まると予測された。また、水深5m以深においては呉湾を含め広島湾全域で、危険水温発生日が0日と予測された。21世紀末のRCP2.6では、水深0mにおいては呉沖で平均25.8日、その他地点で平均0.5日発生するのみで、水深5m以深においては呉湾を含め全域で危険水温発生日が0日と予測された。21世紀末のRCP8.5においては、水深0mにおける危険水温発生日は大幅に増え、全地点の平均で43.6日となり、呉湾で最大85.0日発生し、最小となる広島湾中央の白石地点でも13.7日危険水温が生じると予測された。一方、水深5m以深においては呉湾の水深5mで39.9日危険水温に達する以外は、その他の地点、水深において危険水温発生日が0日の予測となり、平均で0.6日に留まると予測された。そのため、生息水深が表層に制限されないカタクチイワシにとって、広島湾では成魚の高温死については、将来の水温上昇において深刻な影響は出ないものと予測された（図3.3.36）。

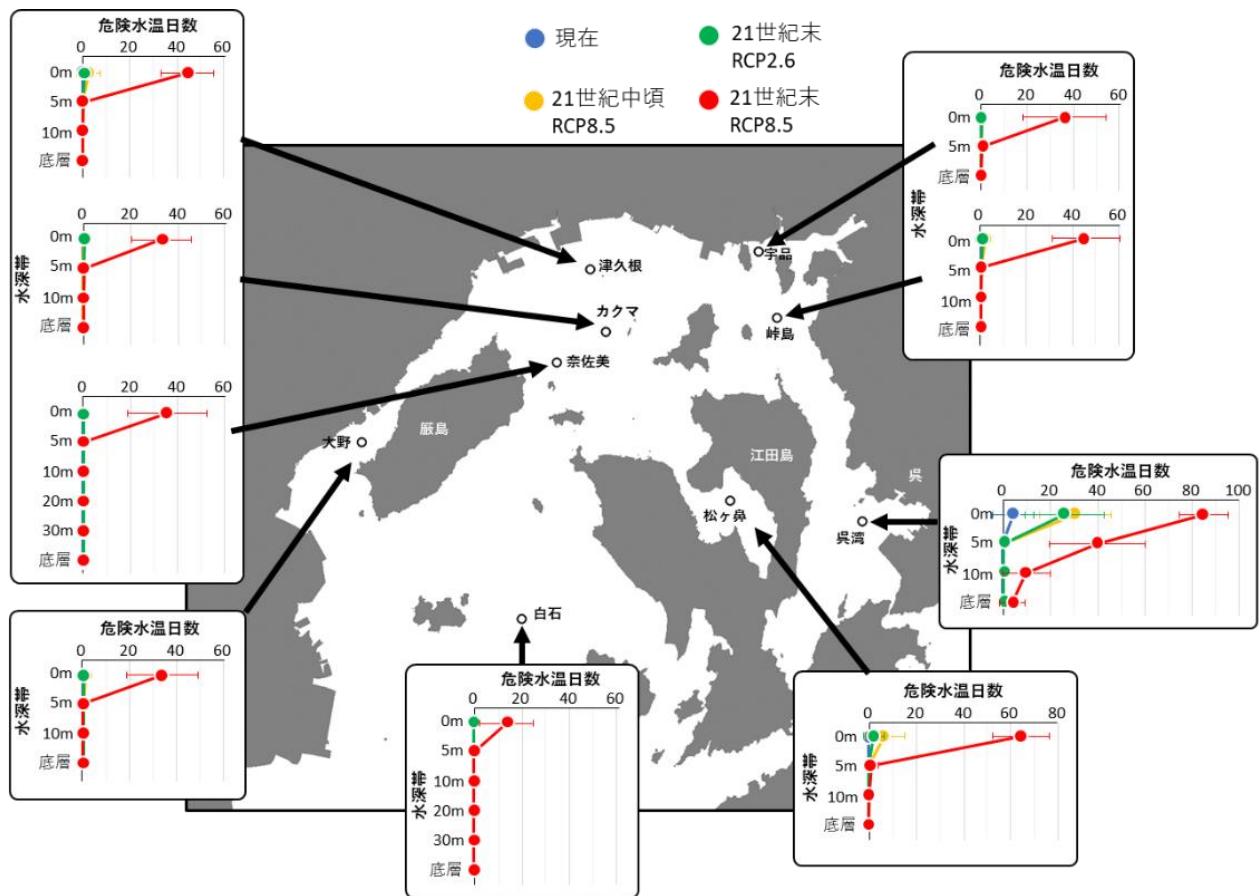


図 3.3.36 カタクチイワシにとって高温斃死が生じる危険水温が発生する期間の予測結果 (MRI-CGCM3)

※縦軸に予測対象水深、横軸に危険水温日数のグラフを示す。  
※プロットは、各 10 年分の予測値における平均値と標準偏差を示す。

## ⑦ 日本海側における暖海性魚類等の生息状況に関する評価

海面水温 1 と魚種発生数 2 の関係性をプロットした結果を見ると、日本海側の各県で出現(観察)した魚種数は、平均海面水温が上昇すると増加している(図 3.3.37)。

気候変動に伴う瀬戸内海での水温上昇により観察される魚種数は、現在の水温が上昇することで増加すると見込まれるが、瀬戸内海での 21 世紀半ば、或いは末の出現魚種数の変化量を、現在の日本海側で地域を西(水温上昇側)に移動することによる出現魚種数の変化によって評価できると示唆される。

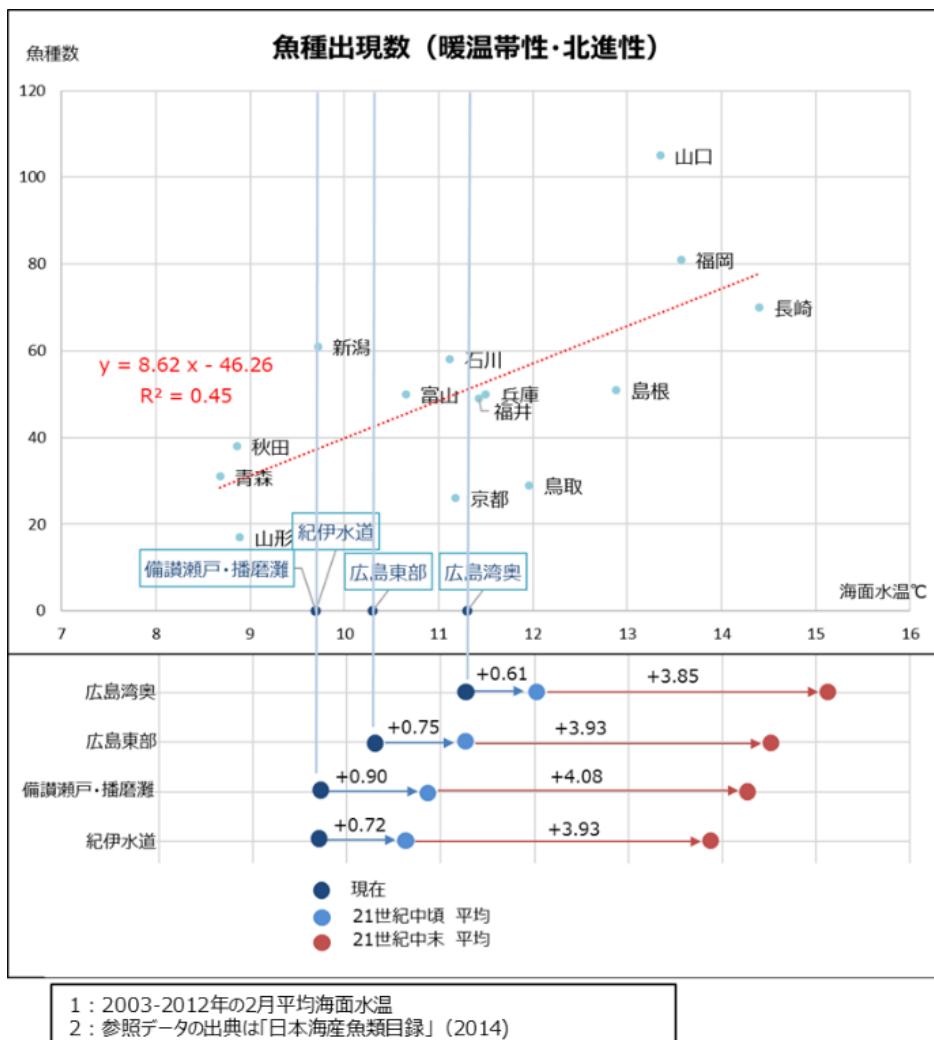


図 3.3.37 日本海、瀬戸内各府県の海面水温と魚種出現数

### 3.3.4.5. 結果を活用する上で留意点・制限事項

#### ① 本調査の将来予測対象とした事項

本調査では、瀬戸内海中四国沿岸域におけるマガキ天然種苗の採苗時期、ノリ・ワカメの養殖期間、ワカメの成長率、アイゴおよびその他の藻類食害魚の分布域拡大、アイゴによる藻類食害量に及ぼす影響および、広島湾におけるカタクチイワシにとって高温死が生じる危険水温に達する期間について、気候変動による海水温上昇が及ぼす影響を対象に予測を行った。

日本海側については、暖海性魚類等を対象に情報収集を行い、水温と出現魚種の関係から、瀬戸内海との比較検討を行った。

#### ② 本調査の将来予測の対象外とした事項

カキの採苗時期、アイゴの低温死、摂食量の予測に対して表層の水温のみを用いて予測しており、春から夏にかけて生じる水温成層の影響は考慮にいれていない。藻類養殖には栄養塩濃度における変化も影響を及ぼすと考えられるが、今回の予測では栄養塩濃度の影響は考慮に入れていない。魚類分布に対しては、水温の他、塩分や藻類、サンゴ分布など生息地環境要因の変化も影響を及ぼすと考えられるが、今回の予測では考慮していない。また、カタクチイワシの高温死水温の知見

は成魚に関するもので、仔稚魚期における影響は考慮できていない。今回記載する、予測結果、モデル使用においては以上の点に留意する必要がある。

### ③ その他、成果を活用する上で制限事項

ワカメの成長率の予測値はあくまで水温との関係のみで予測した結果であり、成長率の増加に伴い増えると考えられる栄養塩要求を満たすことができない場合、色落ちや生育不良など質的な商品価値の低下につながりうるため、結果の解釈に留意する必要がある。

アイゴの食害程度に関しては、アイゴ単位重量当たりの摂食量に関する予測値であり、水温上昇に伴う個体数の増加および体長の大型化の影響も食害程度に大きくかかわりうるため、単位重量当たりの摂食量における変化以上に大きな食害程度の変化が生じうることに留意が必要である。

カタクチイワシにとって危険水温となる地点・水深の評価は、主に成魚サイズの個体における実験結果に基づき予測しているため、仔稚魚の生残に対する危険性については今後、仔稚魚の斃死水温に関する知見が集積されたうえで再評価されるべきである点に留意が必要である。

#### 3.3.5. 適応オプション

適応オプションの検討の流れを図3.3.38に示した。適応オプションの検討に当たっては、文献やヒアリング調査、また、地方公共団体の情報提供を元に、既存の適応策を含めた適応オプションについてリストアップし、評価を行った。さらに、飼育実験等により、適応オプションの効果等について評価を行った。

##### 3.3.5.1. 手順

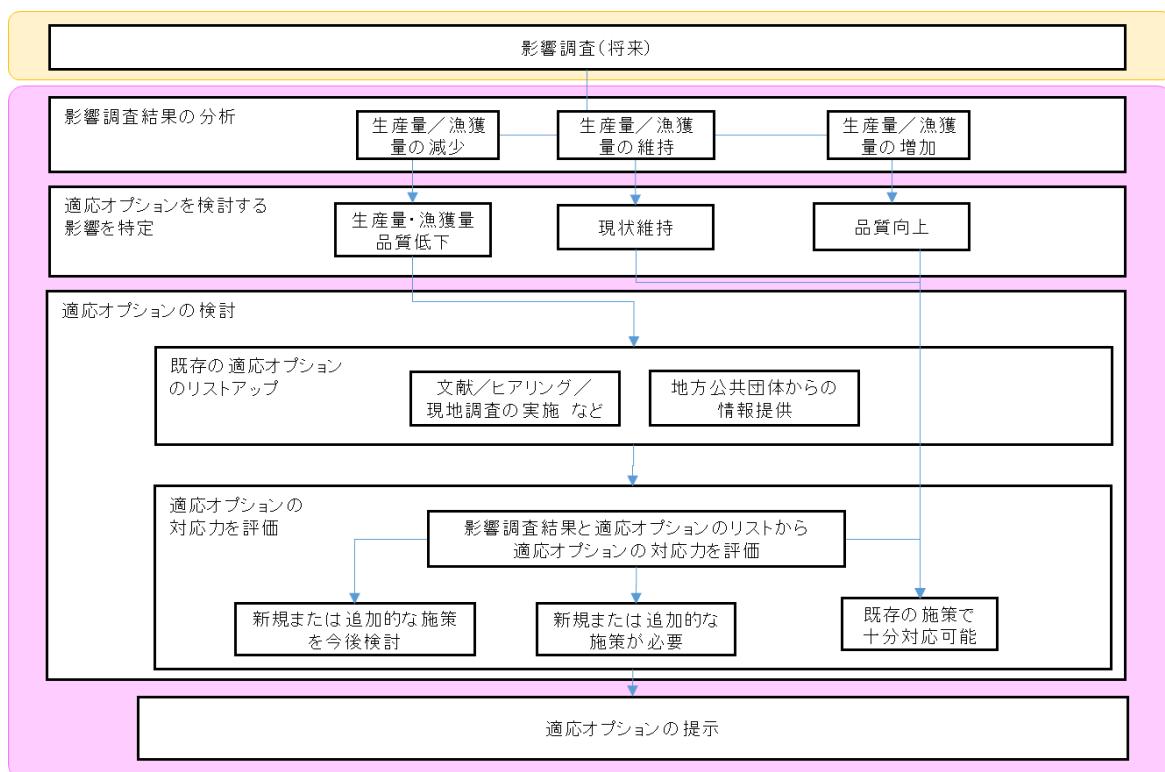


図3.3.38 適応オプションの検討の流れ

### 3.3.5.2. 概要

適応オプションの概要を表 3.3.14 に示す。

表 3.3.14 (1) 適応オプションの概要

対象	気候変動影響	適応オプション	想定される実施主体			普及状況	課題	評価結果							
			現状					実現可能性			効果				
			行政	事業者	個人			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		
ノリ養殖	時期の早期化 養殖開始時期の遅延および終漁	有用系統(高水温耐性)の導入	●	●		普及が進んでいない	試験研究の段階であり、実用化にむけた研究が必要。	△	○	N/A	N/A	長期	低		
		壇紫菜のような高水温海域の養殖種の導入	●	●		普及が進んでいる	養殖を行う海域の環境条件に合わせた養殖方法の開発が必要である。また、従来種のスサビノリに比べ、硬い食感でうまみが少なく、スサビノリとは異なる品質をもつため、加工法や用途の開発も合わせて必要。	△	○	○	◎	長期	中		
	期間減少 養殖適期の	アサクサノリのような高付加価値の種の導入	●	●		普及が進んでいる	養殖品種の開発と、養殖を行う海域の環境条件に合わせた養殖方法さらに加工技術の改善が必要。	△	○	○	◎	長期	中		
ワカメ養殖	期化 養殖開始時期の遅延 および終漁時期の早延	有用系統(高水温耐性、広域温度耐性、高成長特性など)の導入	●	●		普及が進んでいる	有用系統や各地で収集した野生株との交雑による品種作出・選抜が必要。	△	○	○	◎	短期	高		
		●	●			普及が進んでいない	試験研究の段階であり、実用化にむけた研究が必要。	△	○	○	△	長期	高		
	長れる潜る月は増加的な成同一月で見込まれる潜在的な成	従来の品種の養殖					水温上昇により促進される成長に要求される栄養塩が海域に十分含まれているか検証する必要がある。								
藻類食害魚	(繁殖可能地域の北上拡大) アイゴを含む植食性魚類の増加懸念	アイゴ幼魚の漁獲による水産利用(沖縄の伝統食であるスクの生産)	●	●		普及が進んでいない	・沖縄では国外からアイゴ幼魚を取り寄せている現状にある。商品生産技術開発、コスト、需要拡大等の経済評価が必要。	△	△	△	△	長期	中		
		植食性魚類(アイゴ、ニザダイ、ブダイ、イスズミ類)の成熟サイズ個体の積極的漁獲による食用利用	●	●		普及が進んでいない	・熱帶水域から暖温帶水域では食材として好まれているが、瀬戸内海域では植食性魚類を利用する習慣がない。商品価値を向上させる調理方法の開発と普及を推進させる広報・啓蒙が必要。	△	○	◎	△	長期	中		

表 3.3.14 (2) 適応オプションの概要

対象	気候変動影響	適応オプション	想定される実施主体		評価結果								
						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		
藻類食害魚 域の北上拡大	アイゴを含む植食性魚類の増加懸念(繁殖可能地)	養殖場へのネット等の設置による侵入対策	●	●	●	普及が進んでいない	・アイゴ幼魚の侵入を妨ぎつつ養殖環境の悪化を生じさせない効果的なネット設置デザインの検討が必要。	△	△	△	△	短期	高
		養殖筏等の沖合への設置(岸よりの藻場からの隔離)、養殖筏間に距離をおく(互いに近接させない)、筏におけるシェルター構造の排除および点滅閃光装置の設置		●	●	普及が進んでいない	・幼魚はシェルターのある場所へ定着(藻場から筏への二次的移動も考慮)。筏を藻場および筏どうしを近接させないことでアイゴ幼魚にとって捕食されやすい環境を創出する。捕食者への警戒により採餌行動を抑えることができると予想される。但し、経済コスト・漁業者間の水面利用調整が必要。	△	△	△	△	短期	中
カキ養殖	身入り不良・出荷への影響	養殖深度操作による早期低水温刺激の提示	●	●		普及が進んでいない	・適切な効果が期待される移動先深度とその操作における費用対効果の検討が必要。	△	△	N/A	◎	短期	中
		3倍体マガキ(かき小町)の生産増	●	●	●	普及が進んでいる	・3倍体種苗の安定した供給体制の支援が必要。 ・現在の3倍体マガキは、品質を高めたブランド品としての生産を主な目的として普及が進められており、現在の栽培品種における高水温耐性の検証など水温上昇への適応策としての更なる効果検証が必要である。	△	○	△	◎	短期	高
		ヒオウギガイやアコヤガイ等より温暖な海域での養殖種の生産導入	●	●		普及が進んでいない	・代替品種により見込まれる収入が、気候変動の影響によるマガキ養殖収入の変化に対し効果的に補完しうるか経済的な評価が必要。	△	○	△	◎	長期	低
カタクチイワシ	高温斃死のリスク増大	相対的に水温が低い場所での集中漁獲の抑制	●	●		普及が進んでいない	特定の水温帯にカタクチイワシが蟻集するという情報がなく、検証が必要。	△	◎	◎	△	N/A	低

表 3.3.15 適応オプションの考え方と出典

対象	気候変動影響	適応オプション	適応オプションの考え方と出典
ノリ養殖	養殖開始時期の遅延および終漁時期の早期化	有用系統(高水温耐性)の導入 壇紫菜のような高水温海域の養殖種の導入	試験研究の段階であり、実用化にむけた研究は今後の課題である(H29年度水産庁委託プロジェクト研究最終年度報告書:温暖化の進行に適応するノリの育種技術の開発)。 壇紫菜導入にあたり試験研究がおこなわれている(荒巻 2010. 佐賀水振報告 20: 13-18)。壇紫菜については、国内でも養殖・出荷されているが、従来種のスサビノリの代替種としては、さらに品種改良や加工法の改善などが必要と思われる。
	養殖適期の期間減少	アサクサノリのような高付加価値の種の導入	「三重のアサクサノリ養殖復活に向けた取組」(津坂:三重県 <a href="http://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000787819.pdf">http://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000787819.pdf</a> )によると、自生種からの種苗開発は試験研究機関により行われたが、養殖法や加工法の改善は漁業者の既存の施設の利用で概ね対応可能で、製品の高価格での販売により経営改善効果も見込めるため、大幅な水温上昇がおこなうれば、有効な経営安定化の手段の1つになりうる。
	同一月で見込まれる潜在的な成長率は増加	従来の品種の養殖	
ワカメ養殖	養殖開始時期の遅延および終漁時期の早期化	有用系統(高水温耐性、広域温度耐性、高成長特性など)の導入	棚田 (2016 海洋と生物 38:464-471) より、高水温耐性の交雑品種については、継続的に出荷例あり。 Niwa & Kobiyama (2019 23rd International Seaweed Symposium Meeting Abstract: 143-144) より、高水温耐性の交雫品種が従来の養殖開始水温(23 °C)より早い時期(24.5 °C)からの養殖が可能。 風間ら (2016 作物研究 61: 73-79) より、重イオンビーム照射による変異体作出・選抜が行なわれ、高成長株が作出されている。
	アイゴを含む植食性魚類の増加懸念(繁殖可能地域の北上拡大)	アイゴ幼魚の漁獲による水産利用(沖縄の伝統食であるスクの生産)	国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所 HP に掲載された記事「水産加工品のいろいろ すぐがらす」によると、近年沖縄の伝統食材すぐがらす(アイゴ稚魚の塩蔵品)の加工用原料は、その約 90%をフィリピン等の海外からの輸入に頼っていることから、原料であるアイゴ稚魚の需要はあるものと思われる。ただし、その経済効果について検討が必要なため効果は中とした。
藻類食害魚	アイゴを含む植食性魚類の増加懸念(繁殖可能地域の北上拡大) 身入り不良:出荷への影響	植食性魚類(アイゴ、ニザダイ、ブダイ、イスズミ類)の成熟サイズ個体の積極的漁獲による食用利用 養殖場へのネット等の設置による侵入対策 養殖筏等の沖合への設置(岸よりの藻場からの隔離)、養殖筏間に距離をおく(互いに近接させない)、筏におけるシェルター構造の排除および点滅閃光装置の設置	香川県においてノリ養殖の食害対策にネットの設置を試みている事業者が存在する(2019 年度水産分野意見交換会での報告)。
	坂井ほか(2013)において、シェルター構造物の乏しい筏へのアイゴの寄り付きが少ないことが報告されている。また、見通しの悪い狭い空間ではアイゴの警戒心が高まり採餌行動が抑えられること、発光装置による点滅閃光を設置することによりアイゴが接近を回避する傾向が報告されており(野田ら 2019)、筏における食害対策としての有効性が示唆されている。		

対象	気候変動影響	適応オプション	適応オプションの考え方と出典
カキ養殖	身入り不良：出荷への影響 高温斃死のリスク増大	養殖深度操作による早期低水温刺激の提示	平田ら(2011) 広総研水技セ研報 4:5-11 より、養殖深度を操作し、水温の低い低水深に降ろす操作で早期に低水温を経験させ身入りを促進を早期化できる可能性が示されている。ただし、その効果の大きさや費用面での検討および、適応可能水域の検討など、技術の具体化に向け更なる知見集積が必要とされる技術であることから、適応策としての相対的な効果として中とした。
		3倍体マガキ(かき小町)の生産増	赤繁・伏見(1992) 日水誌 56: 1063-1071 より、3倍体カキの身入りおよびグリコーゲン蓄積が、天然品種より良いことが示されており、水温上昇による産卵の増加に伴うマガキの疲弊および身入り開始時期の遅延の問題を回避しうることが期待される。現在の栽培品種における高水温耐性の検証など水温上昇への適応策としての更なる効果検証は必要であるものの、3倍体種苗の生産技術は実用化されており、天然品種に比べ高付加価値がついた形で既に流通が成されていることから、実現可能性および経済的な面において他の適応策にくらべ期待される効果は高とした。
		ヒオウギガイやアコヤガイ等より温暖な海域での養殖種の生産導入	生産技術は既に他地域で養殖が行われている品種であるため情報面での知見は充実している。また、物的側面において、いずれの品種も沿岸の筏などからの垂下しての養殖であり、既存のマガキ養殖資材の一部は転用可能と考えられる。ただし、品種転換に伴う経済的效果については現在のマガキ養殖の収入を補完しうるか不明であることから、効果は低とした。
関連 カタクチイワシ	捕食魚への影響	相対的に水温が低い場所での集中漁獲の抑制	資源保全の観点では重要である抑制するだけでは適応オプションとしての効果は期待できず、低とした。ただし代替となる魚種が新たに利用できるようになればこの限りではない。

### 【ノリ養殖】

#### 3.3.5.3. 有用系統（高水温耐性）の導入

ノリの養殖において、海水温上昇により、養殖適期の変化（短縮）による生育不良や、色落ち等による品質の低下への対策として、交雑や細胞選抜による高水温耐性品種が開発され、導入され始めている。プロトプラスト融合による高水温耐性品種は、試験研究の段階であり、実用化にむけた研究は今後の課題である（平成29年度水産庁委託プロジェクト研究最終年度報告書：温暖化の進行に適応するノリの育種技術の開発）。

#### 3.3.5.4. 壇紫菜のような高水温海域の養殖種の導入

海水温上昇への適応策として、現在、養殖されているスサビノリより高水温耐性のある壇紫菜 (*Pyropia haitenensis*) を導入している地域がある。

壇紫菜導入にあたり試験研究がおこなわれている（荒巻 2010. 佐賀水振報告 20: 13-18）。壇紫菜については、国内でも養殖・出荷されているが、従来種のスサビノリの代替種としては、さらに品

種改良や加工法の改善などが必要と思われる。

### 3.3.5.5. アサクサノリのような高付加価値の種の導入

現在の養殖環境で生産できるノリによる収入を増加させるため、スサビノリより高価格のアサクサノリの養殖が一部地域で行われている（「三重のアサクサノリ養殖復活に向けた取組」、津坂：三重県 <http://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000787819.pdf>）。前述の報告によると、自生種からの種苗開発は試験研究機関により行われたが、養殖法や加工法の改善は漁業者の既存の施設の利用で概ね対応可能で、製品の高価格での販売により経営改善効果も見込めるため、大幅な水温上昇がおこらなければ、有効な経営安定化の手段の1つになりうる。

アサクサノリについては、他の地域で出荷等も行われているが、各養殖海域に適応した養殖品種の開発と、養殖を行う海域の環境条件に合わせた養殖方法、さらに加工技術の改善が必要である。

#### 【ワカメ養殖】

### 3.3.5.6. 有用系統（高水温耐性、広域温度耐性、高成長特性など）の導入

高水温耐性候補株の選抜や品種改良により、高海水温下でも養殖漁業が継続できる取組が行われている。

有用系統や各地で収集した野生株との交雑による品種作出・選抜が必要である。試験研究の段階であり、実用化にむけた研究が必要である。

### 3.3.5.7. 有用系統（高成長特性）の導入

高成長特性を持つ系統を導入することにより、養殖適期の減少に対応することが可能になる。現時点では、試験研究の段階であり、実用化にむけた研究が必要である。

試験研究においては、風間ら（2016 作物研究 61: 73-79）より、重イオンビーム照射による変異体作出・選抜が行なわれ、高成長株が作出されている。

### 3.3.5.8. 従来の品種の養殖

ノリ養殖と同様、ワカメ養殖においても、栄養塩不足による品質低下に対応するため、施肥試験が行われている（「ノリ、ワカメ養殖場における栄養塩供給技術実証試験事例集」、水産庁：<https://www.jfa.maff.go.jp/j/koho/pr/pamph/attach/pdf/index-6.pdf>）。施肥試験を行う際には、現在および将来の水温上昇により促進される成長に要求される栄養塩が海域に十分含まれているか検証する必要がある。

#### 【藻類食魚】

### 3.3.5.9. アイゴ幼魚の漁獲による水産利用（沖縄の伝統食であるスクの生産）

沖縄の伝統食としてアイゴ幼魚を塩漬けしたスクが食されている。近年では、このスクの原材料となるアイゴ幼魚を海外から取り寄せており、このことから、アイゴの幼魚はスク原材料として水産資源となりうる。ただし、瀬戸内海でのアイゴ幼魚の漁獲利用を実現するうえで、商品生産技術開発や、アイゴ幼魚漁獲の費用対効果について経済評価が必要である。

### 3.3.5.10. 藻類食魚（アイゴ、ニザダイ、ブダイ、イスズミ類）の積極的漁獲による食用利用

アイゴは中四国地域の一部の地域では、昔から食用に利用される文化があったが、安定した漁獲と流通経路が整っておらず、水産資源として大きく活用はされていなかった。今後、水温上昇とともにアイゴが安定して漁獲される状況に進むと予測されることから、瀬戸内海沿岸にある伝統的なアイゴの食材利用方法などを参考に、新たな安定した水産資源としての活用が期待できる。また、ニザダイ、ブダイ、イスズミ等、今後の水温上昇に伴い出現が予測される種についても、食材利用されている地域の利用方法を参考としつつ、新たな水産資源としての活用法を開発することで、藻類食害魚の防除と新たな漁業収入に効果を導くと考えられる。今後、商品価値を向上させる調理方法の開発と普及を推進させる広報・啓蒙などが課題となる。

### 3.3.5.11. 養殖場へのネット等の設置による侵入対策

養殖藻類への食害被害軽減策として、アイゴ幼魚の侵入を防ぎつつ養殖環境の悪化を生じさせない効果的なネット設置デザインの検討が必要と考えられる。香川県において、ノリ養殖の食害対策にネットの設置を試みられており（2019年度水産分野意見交換会での報告）、このような知見の集積と分析を通じた、食害被害軽減に効果的な防除方法の検討が重要となると考えられる。

### 3.3.5.12. 養殖筏における、アイゴ蝋集および藻類摂食活性を低減させる筏設置デザインの改良

アイゴ幼魚は隠れ場となる構造物を好み定着する傾向が知られている（坂井ら 2013）。また、藻場に大きな集団を形成し蝋集することも知られる。そのため、筏を密集させることで隠れ場を増やすことがないように、アイゴ幼魚が蝋集する藻場から筏を近接させないことで、藻類養殖の現場へのアイゴ幼魚の蝋集を防ぐ効果が期待される。また、養殖筏において、アイゴにとって魚食魚からの捕食が回避しにくい環境の創出を通じ、アイゴの捕食者への警戒を導き摂食行動を抑えることができると予想されている（野田ら 2019）。このようなアイゴ蝋集および藻類摂食活性を低減させる筏設置デザインの開発を通じ、今後水温上昇に伴い深刻化が予測されるアイゴの食害低減が期待される。但し、新たな養殖筏の設置デザインにおける、経済コスト・漁業者間の水面利用調整が課題となると考えられる。

#### 【カキ養殖】

### 3.3.5.13. 養殖深度操作による早期低水温刺激の提示

カキの養殖深度を操作し、水温の低い低水深に降ろす操作で早期に低水温を経験させ身入り促進を早期化できる可能性が示されている（平田ら 2011）。この手法により、今後の水温上昇に伴うカキへの影響低減が期待されるが、その効果の大きさや費用面との兼ね合いの検討および、適応可能水域の検討など、技術の具体化に向け更なる知見集積が必要とされる。

### 3.3.5.14. 3倍体マガキ（かき小町）の生産増

3倍体マガキは品質を高めたブランド品として収益性の高い品種で、将来の海水温上昇に伴うカキ養殖業における収益悪化リスク低減策のひとつとして、このような収益性の高い品種の養殖の増加が効果を示すと期待される。また、赤繁・伏見（1992）によると、3倍体カキの身入りおよびグリコーゲン蓄積が天然品種より良く、水温上昇によるマガキの疲弊および身入り開始時期の遅延の問

題回避に効果があると期待されている。今後、3倍体種苗の安定した供給体制の支援が重要となるとともに、3倍体マガキにおける高水温耐性の検証など水温上昇への適応策としての更なる効果検証が必要である。

### 3.3.5.15. ヒオウギガイやアコヤガイ等より温暖な海域での養殖種の生産導入

今後の水温上昇に対し、将来予測される水温帯で現在養殖されている代替品種への転換も一つの適応オプションとなりうると考えられる。21世紀末RCP8.5において広島湾の水温環境は、現在の愛媛県宇和海相当に高まると予測されている。現在、愛媛県宇和海において、ヒオウギガイとアコヤガイの二枚貝の筏養殖が行われている。貝類筏養殖の代替品種としてこれら2品種の導入は、生産技術は既に他地域で養殖が行われている品種であるため情報面での知見は充実している。また、物的側面において、いずれの品種も沿岸の筏からの垂下養殖であり、既存のマガキ養殖資材の一部は転用可能と考えられる。そのため、広島湾におけるカキ養殖の代替品種として、これら2品種は比較的容易に導入しうると見込まれる。ただし、これら代替品種の導入により見込まれる収入が、気候変動の影響によるマガキ養殖収入の変化に対し効果的に補完しうるか経済的な評価が必要である。

#### 【カタクチイワシ関連】

### 3.3.5.16. 相対的に水温が低い場所での集中漁獲の抑制

カタクチイワシにおいて高水温で死亡率が増加することが確認されているため、将来、水温が上昇する中で、カタクチイワシにとって比較的影響が緩和される低水温域がある場合、そのような海域でのカタクチイワシの漁獲抑制が資源保全の観点で効果が期待される。ただし、特定の水温帯にカタクチイワシが聚集するという情報がなく今後の検証が必要であることと、特定海域に限定した漁獲抑制の効果検証が課題となる。

### 3.3.5.17. 漁獲対象種の変更

資源状況に応じて漁獲対象を変更する事例は、水産業においてよく実施されているので一つの適応オプションとして挙げられる。ただし、広島湾のカタクチイワシ漁の代替として、どのようなものへの変更が有効となるか、将来の水温上昇に伴い代替となりうる種の検討が重要な課題となる。

#### 引用文献一覧

馬場将輔 (2008) 新潟県産ワカメの生育に及ぼす温度、光量、塩分の影響. 海生研研報 11: 7-15.

藤田大介・野田幹夫・桑原久美 (2006) 海藻を食べる魚たち—生態から利用まで—. 成山堂書店.  
東京.

Gao X, Endo H, Taniguchi K, Agatsuma Y (2013) Genetic differentiation of high-temperature tolerance in the kelp *Undaria pinnatifida* sporophytes from geographically separated populations along the Pacific coast of Japan. J. Appl. Phycol. 25: 567-574.

- 長谷川一幸・磯野良介・島 隆夫・渡邊幸彦・渡邊裕介・箕輪 康 (2018) 低水温期におけるアイゴ未成魚のアラメ摂餌と水温の関係. 海生研研報 23: 65-68.
- 平田智法・山川武・岩田明久・真鍋三郎・平松亘・大西信弘 (1996) 高知県柏島の魚類相—行動と生態に関する記述を中心として—. 高知大学海洋生物教育研究センター研究報告 16:1-177
- 磯野良介・島隆夫・渡邊幸彦・長谷川一幸・馬場将輔 (2016) アラメ *Eisenia bicyclis* を摂餌したアイゴ *Siganus fuscescens* の成長. 水産工学 52: 185-187.
- 伊藤龍星・林 享次・中川彩子・寺脇和信・高木儀昌・森口朗彦 (2008) ボラによるノリ芽の食害とバリカン症. 海苔と海藻 75 : 1-3.
- 河合祐樹・坂井陽一・橋本博明 (2013). 広島湾と安芸灘の境界に位置する鹿島における浅海魚類相 — 潜水センサス法による魚種組成の周年変化の調査 -. 広島大学総合博物館研究報告 5:39-45.
- 木村創・山内信・能登谷正浩 (2007) 魚類の捕食回避に網生簾を利用したヒロメ早期収穫技術の開発. 水産増殖 55: 467-473.
- 草加耕司 (2007) クロダイによる養殖ノリの摂餌試験. 岡山県水産試験場報告 22: 15-17
- Miya M, Sato Y, Fukunaga T, Sado T, Poulsen JY, Sato K, Minamoto T, Yamamoto S, Yamanaka H, Araki H, Kondoh M, Iwasaki W (2015) MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: detection of more than 230 subtropical marine species. R Soc Open Sci 2:150088. doi: 10.1098/rsos.150088
- Morita T, Kurashima A, Maegawa M (2003) Temperature requirements for the growth of young sporophytes of *Undaria pinnatifida* and *Undaria undariooides* (Laminariales, Phaeophyceae) Phycol. Res. 51: 266-270.
- 野田幹雄・小林孝平・荒木めぐみ・安倍大地・村瀬昇 (2017) アイゴの摂餌による大型海藻の藻体欠損量に影響する要因について～水温別の日間採餌量の見積と群れの大きさの影響. 海苔と海藻, 85, 20-33.
- 小田憲太郎, 橋本博, 増田賢嗣, et al (2018) 飼育下におけるカタクチイワシの高温側水温耐性と水温別低酸素耐性に関する研究. 水産技術 10:1-7
- 大泉重一・伊藤進・小金沢昭光・酒井誠一・佐藤隆平・菅野尚 (1921) カキ養殖の技術. In 今井 丈夫 監. 改訂版浅海完全養殖. pp. 153-190. 恒星社厚生閣. 東京.
- 坂井陽一・越智雄一郎・坪井美由紀・門田立・清水則雄・小路淳・松本一範・馬渕浩司・国吉久人・大塚攻・橋本博明 (2010) 瀬戸内海安芸灘の浅海魚類相 — ホシササノハベラとホシノハゼの分布に注目して —. 生物圏科学 49: 7-20.
- 坂井陽一・清水則雄・海野徹也 (2013) 広島湾江田島沖のカキ養殖筏の垂下構造中にみられた魚類. 生物圏科学 52: 25-33.
- 清水則雄・門田立・坪井美由紀・坂井陽一 (2010) 潜水センサスを用いた瀬戸内海倉橋島における浅海魚類相—出現魚種の季節的消長. 広島大学総合博物館研究報告 2:43-52
- 清水孝昭 (2006) 愛媛県伊予灘島嶼部沿岸域より得られた魚類. 徳島県立博物館研究報告 16: 15-64.
- 清水孝昭 (2001) 愛媛県伊予市沿岸域の魚類目録. 徳島県立博物館研究報告 11: 17-99.
- 下茂繁・秋本泰・高浜洋 (2000) 海生生物の温度影響に関する文献調査. 海生研研報 2: 1-315.

- 高木基祐・平田智法・平田しおり・中田親 (2010) えひめ愛南お魚図鑑. 創風社出版. 松山.
- 辻幸一 (2013) 愛媛県伯方島の魚類相. 徳島県立博物館研究報告 23: 1-21.
- 上田幸男・棚田教生 (2018) 飼育下のアイゴの生残および摂餌に及ぼす冬季の低水温と餌の影響. 徳島水研報 12: 11-19
- 山田博一 (2006) 水槽飼育におけるアイゴ成魚のカジメ採食量とカジメ脱落量の季節変化ならびにアイゴ成魚の生残・成長におよぼす餌料の影響. 静岡県水産試験場研究報告 41: 15-19.
- Yamamoto S, Minami K, Fukaya K, Takahashi K, Sawada H, Murakami H, Tsuji S, Hashizume H, Kubonaga S, Horiuchi T, Hongo M, Nishida J, Okugawa Y, Fujiwara A, Fukuda M, Hidaka S, Suzuki K, Miya M, Araki H, Yamanaka H, Maruyama A, Miyashita K, Masuda R, Minamoto T, Kondoh Michio (2017) Environmental DNA metabarcoding reveals local fish communities in a species-rich coastal sea. Sci Rep 7:40368. doi: 10.1038/srep40368
- 山内信・木村創・藤田大介 (2006) アイゴ (*Siganus fascescens*) の摂餌生態と音刺激による摂餌抑制効果について. 水産工学 43: 65-68.
- 河野ほか(2014) 日本海産魚類目録, 山口県水産研究センター研究報告. 11 1-30.
- 河野ほか(2012) 2005～2009 年の山口県日本海域における海洋生物に関する特記的現象. 山口県水産研究センター研究報告 9: 1-27
- 河野ほか(2015) 2010～2013 年の山口県日本海域における海洋生物に関する特記的現象. 山口県水産研究センター研究報告 12: 1-27
- 渡辺ほか(2013) 山口県北西沖海域における水温の長期変化. 海と空 第 89 卷 第 2 号
- 吉田(2018) 気候変動とその藻場への影響～瀬戸内海からみた“迫りくる脅威”～. 海洋と生物 vol.40 no.3: 203
- 村瀬ほか(2018) 水温の変動が藻場構成種および植食性魚類に与える影響. vol.40 no.3: 227
- 島袋ほか(2018) 今後 100 年間に生じる水温と藻場生態系の変遷を予測する. vol.40 no.3: 223