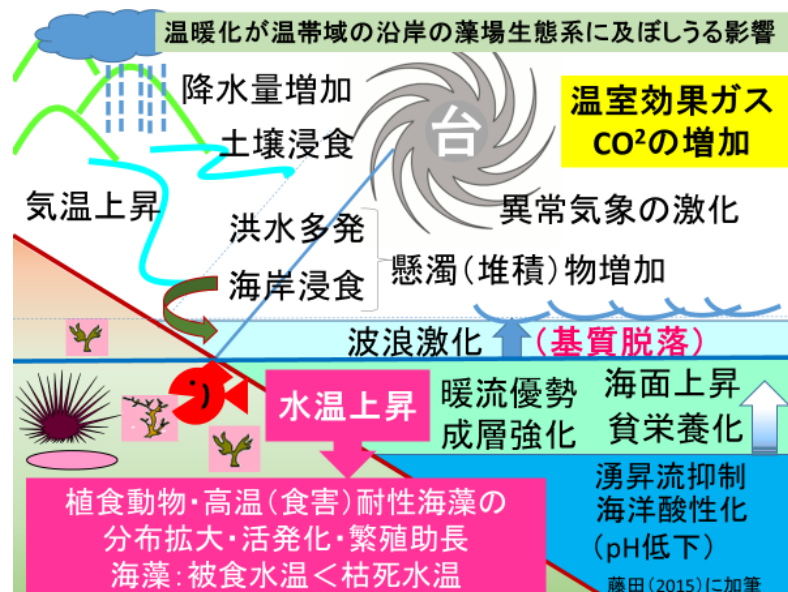
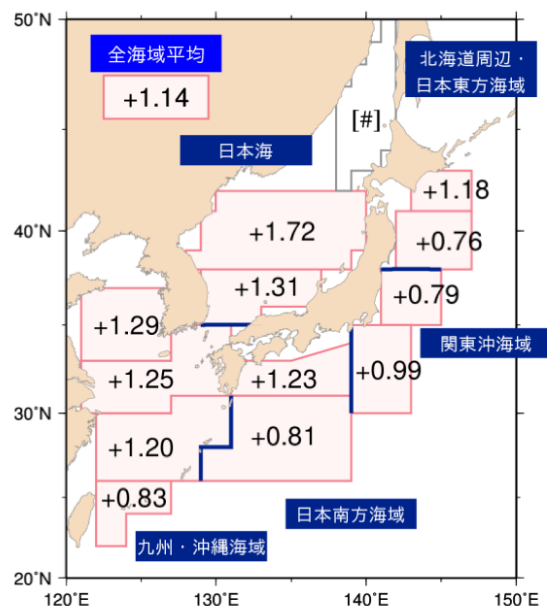


海水温の上昇に対応した藻場の保全・創造について

(一社) 水産土木建設技術センター

完山 暢



温暖化が藻場に及ぼす影響 (磯焼け対策ガイドラインより)

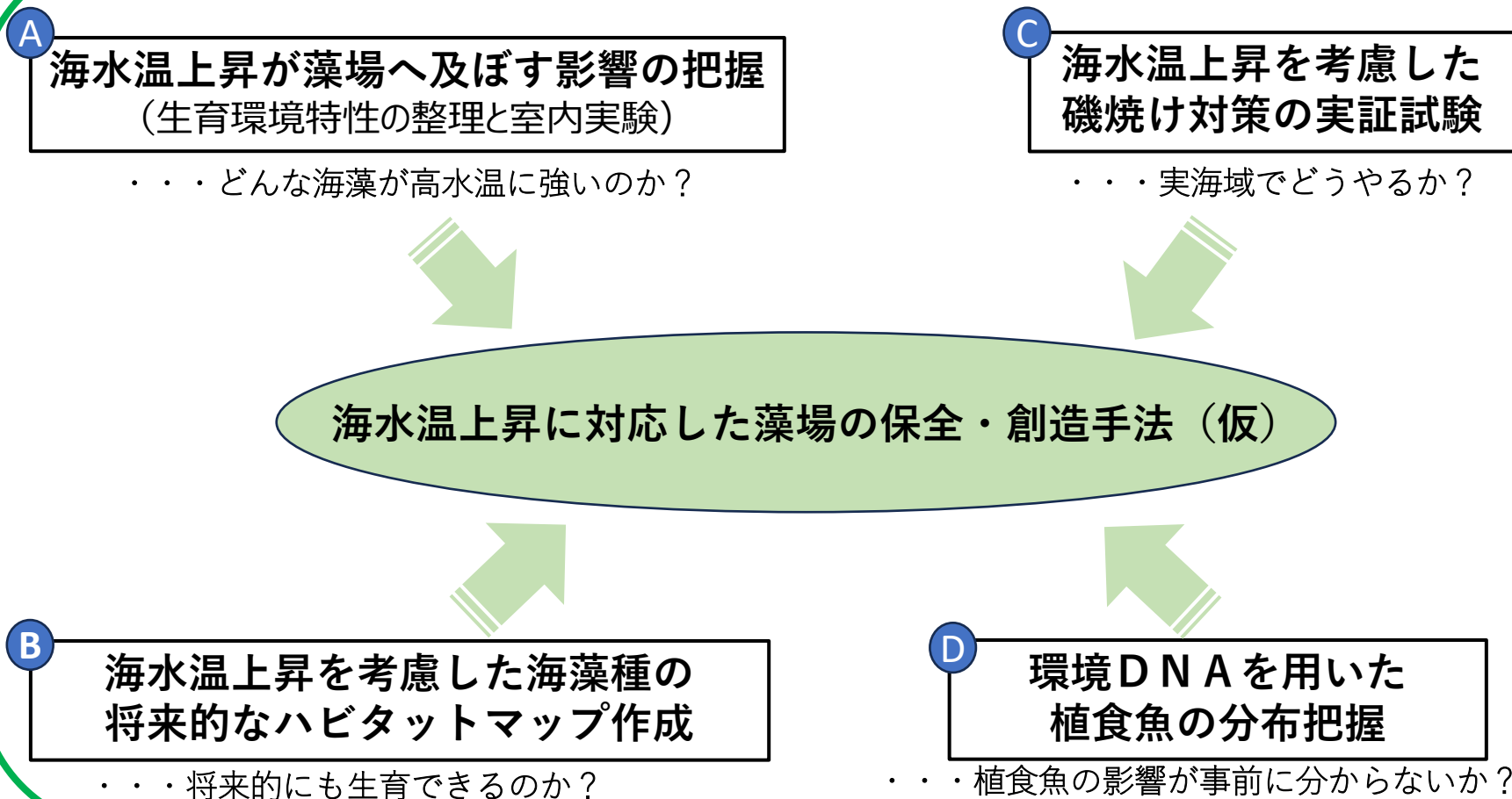
- 日本近海ではこの100年間で1.14°Cも海水温が上昇したとされている
- 「植食動物に食われる」「枯れる」「芽生えなくなる」「流出する」といった磯焼けの発生・持続要因は温暖化・海水温上昇によって増幅される

海水温上昇が藻場に及ぼす様々な影響 (一例)



➡ 海水温上昇に対応した藻場の保全・創造の手法が求められている

令和4年度からの水産基盤整備調査委託事業「海水温上昇に対応した藻場整備における検討調査」にて各種調査を実施中



【目的】

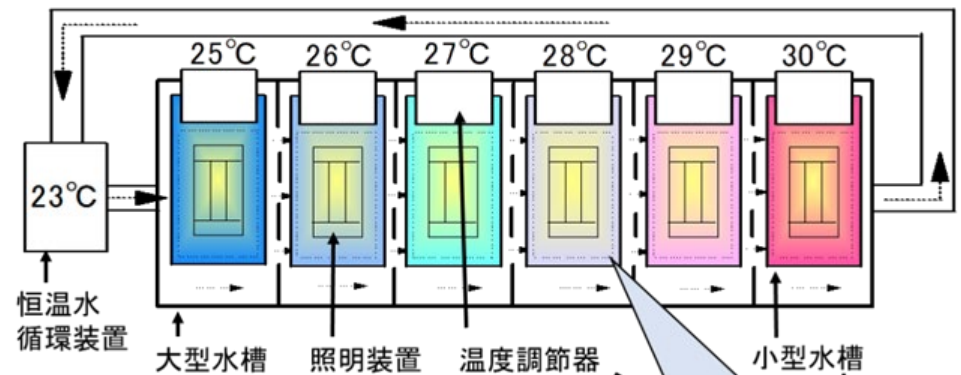
海水温→**海藻の水平分布（地理的分布）**を制限する主要因

海水温の上昇や急変による**藻場の衰退**や**構成種の置き換わり**が懸念

例：九州西岸：多年生クロメ等が衰退、春藻場や南方系ホンダワラ類が優占

実海域では水温以外の様々な要因が単独あるいは複合的に関与

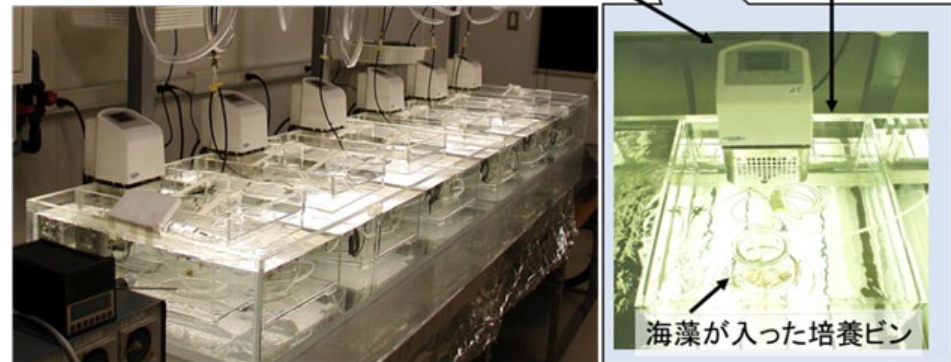
→温度以外の要因を同じ条件に設定した**培養実験が有効**



流水式温度勾配培養装置（図）

- ・ 1°C間隔（精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ）で制御可能
- ・ 光量，日長条件，培地等は同一条件

15日間の培養で生長が確認できる最も高い温度 = **生育上限温度**



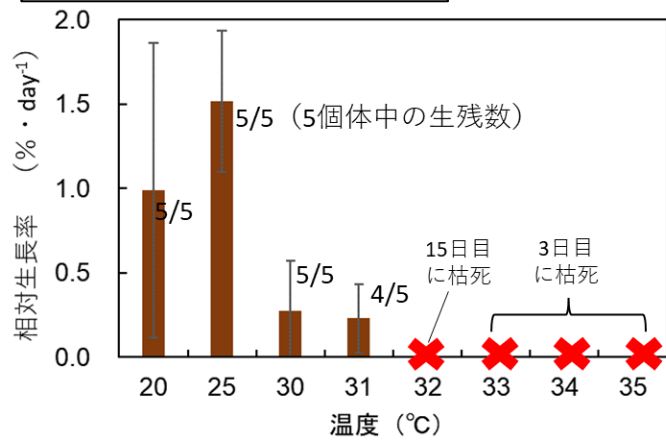
藻場構成種が生育できる最も高い温度を生育上限温度として把握する

A 海水温上昇が藻場へ及ぼす影響の把握（生育環境特性の整理と室内実験）

【対象海藻種と結果】

区分	海藻種	部位	採取地	生育上限温度
温帯性カジメ類	クロメ		壱岐	28℃
温帯性ホンダワラ類	ノコギリモク	主枝	福岡	31℃
		基部	唐津	30℃
	ヨレモク	主枝	壱岐	31℃
		基部	壱岐	31℃
	マメタワラ	主枝	唐津	32℃
亜熱帯性ホンダワラ類	キレバモク	主枝	壱岐	32℃
		主枝	宿毛	32℃
	マジリモク	主枝	唐津	32℃

例：ヨレモク（主枝）



ヨレモク基部の生育上限温度
= 31℃

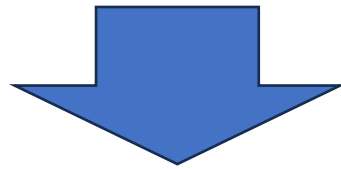
【まとめ】

クロメ < ヨレモク・ノコギリモク < マメタワラ・マジリモク・キレバモク

⇒ カジメ類 < ホンダワラ類，温帯性 ≤ 亜熱帯性

⇒ ヨレモクの生育上限温度：主枝先端部 = 越夏する基部：高温からの再生力強い

⇒ ノコギリモクの生育上限温度：主枝 > 基部：高温からの再生力弱い

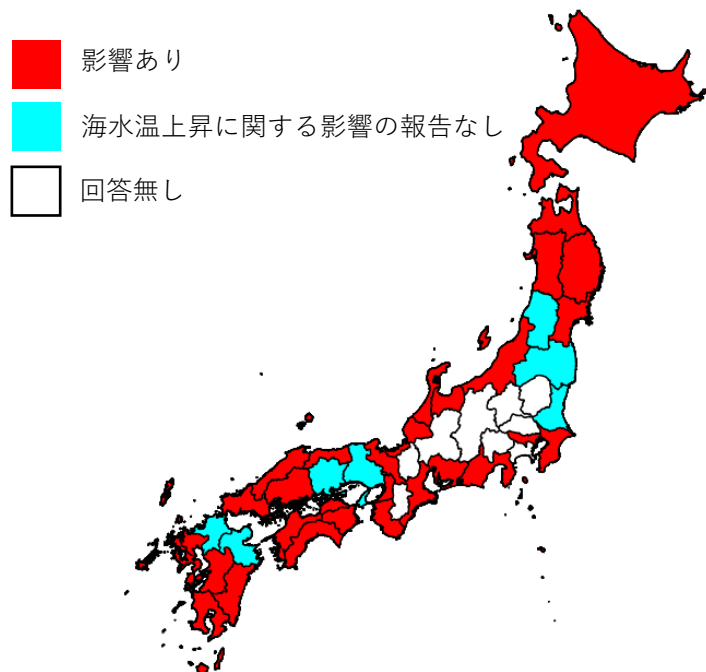


- ◆ 南方系ホンダワラ類（キレバモク・マジリモク）と温帯性ホンダワラ類（マメタワラ・鎮西）が生育上限温度32℃→海水温上昇時の候補株
- ◆ 温帯性ホンダワラ類の基部の高温耐性：ヨレモク > ノコギリモク
- ◆ キレバモク，マジリモク，マメタワラ，ヨレモクは高水温環境に適する

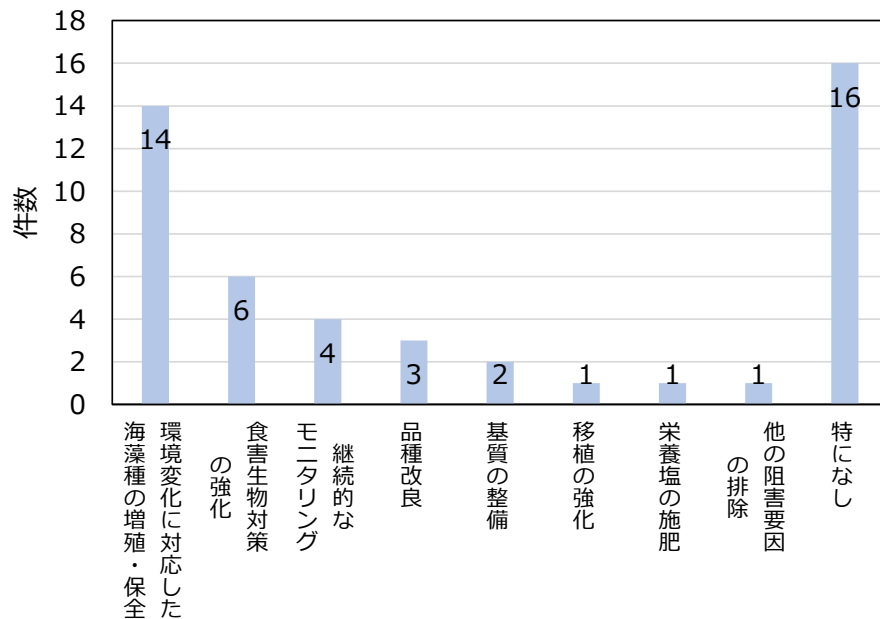
B 海水温上昇を考慮した海藻種の将来的なハビタットマップ作成

まず、39都道府県の水産担当者及び研究機関にアンケート調査を実施し、海水温上昇の影響の発現状況を把握
(38/39を集計)

海水温上昇の影響の報告状況



海水温上昇を意識した対策の実施状況

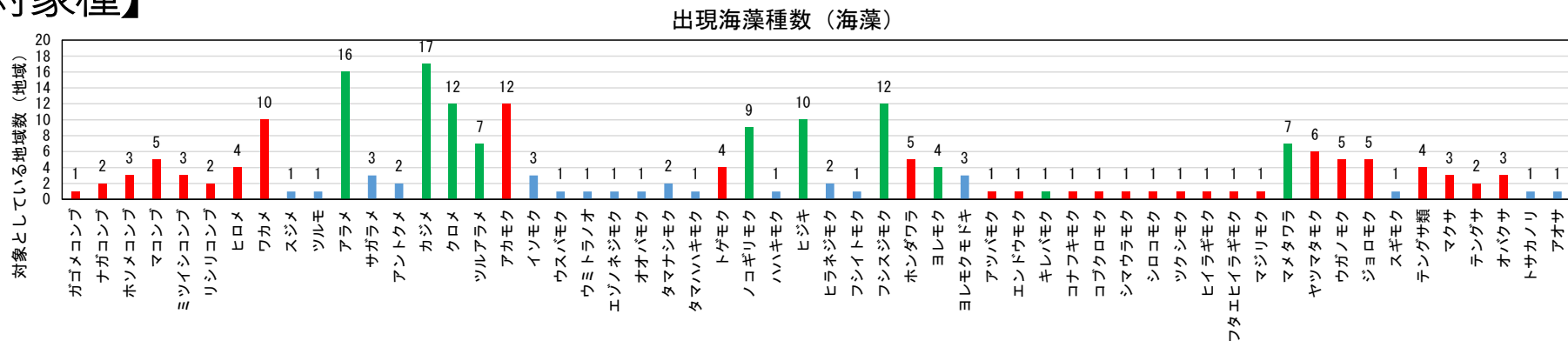


アンケート結果のまとめ

- 海水温上昇によると考えられる藻場への影響は**31/38(約81%)**の地域で認識されている。
- 海水温上昇に伴う藻場の変化は、**藻場消失と藻場構成種の変化、生育への影響**が指摘された。
- 植食動物の影響では、**ムラサキウニ、植食性魚類の影響が増大傾向、キタムラサキウニは資源が減少傾向**との報告があった。
- **海水温上昇を意識した対策を実施している自治体もあるが、8割は未実施。**
- 今後に必要な技術は**環境変化に対応した海藻種の増殖・保全、植食動物対策の強化**が指摘された。

B 海水温上昇を考慮した海藻種の将来的なハビタットマップ作成

【対象種】

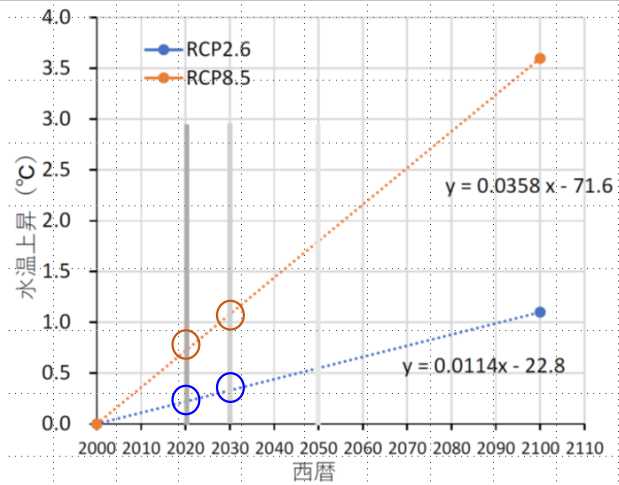


対象は全国の藻場ビジョンで頻出の海藻種、重要度が増すと予測される南方系種が中心

【予測の方法】

- ★海藻種毎の現状の分布域を前述のアンケートやヒアリングによって把握する
- ★IPCCのRCP2.6(2°C上昇)、RCP8.5(4°C上昇)シナリオ、の各シナリオから上昇水温を予測
- ★現状分布境界の高水温期（8月）、低水温期（2月）の表面水温から各シナリオから予測される水温上昇分だけ分布を北上させる

※注：あくまで表面海水温が一律に上昇すると仮定し、現状の分布を北上させている予測である



経過年数	10 年後	30 年後
西暦	2030	2050
RCP2.6	0.3	0.6
RCP8.5	1.1	1.8

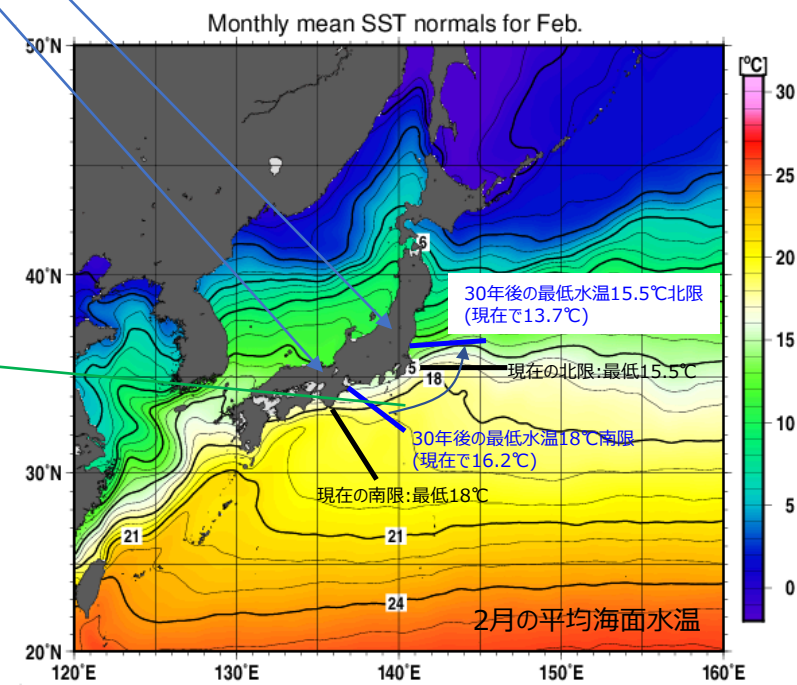
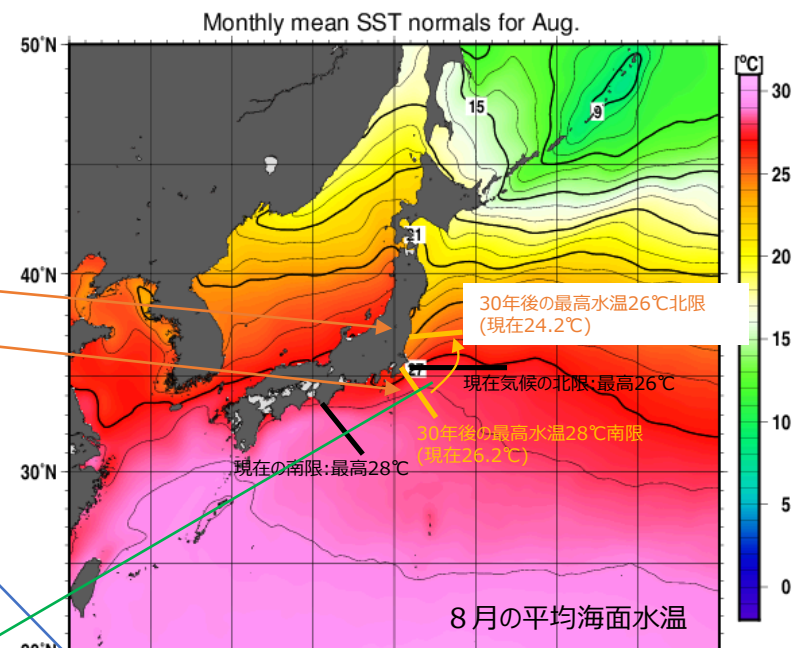
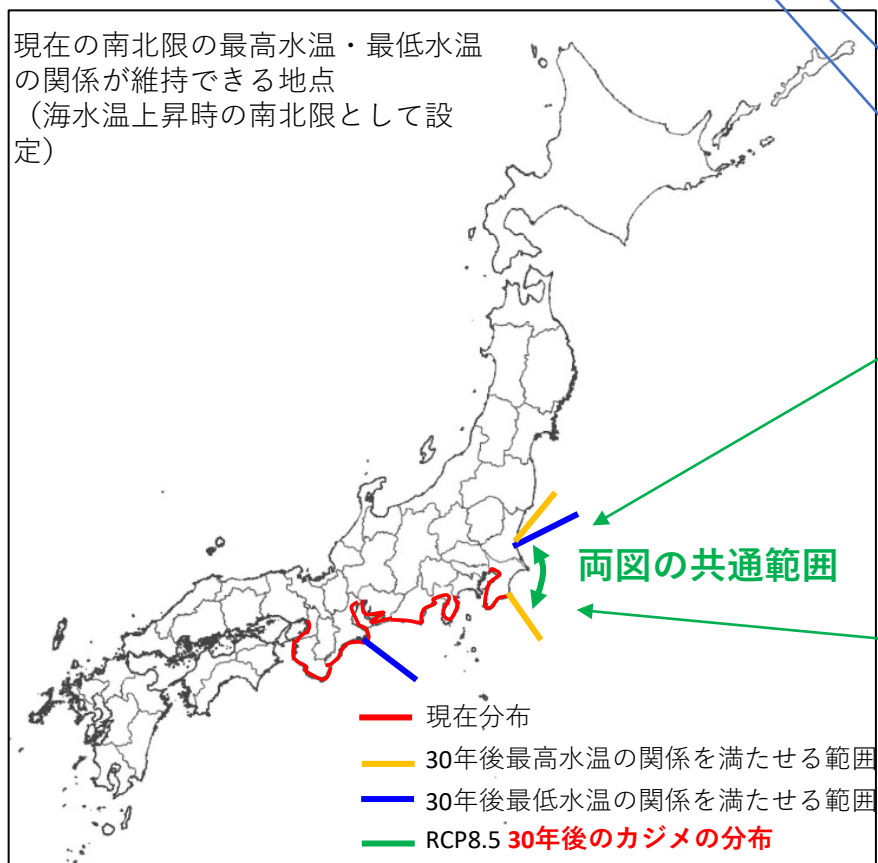
B 海水温上昇を考慮した海藻種の将来的なハビタットマップ作成

例：4°C上昇シナリオ(RCP8.5)30年後における対象海藻の分布予測

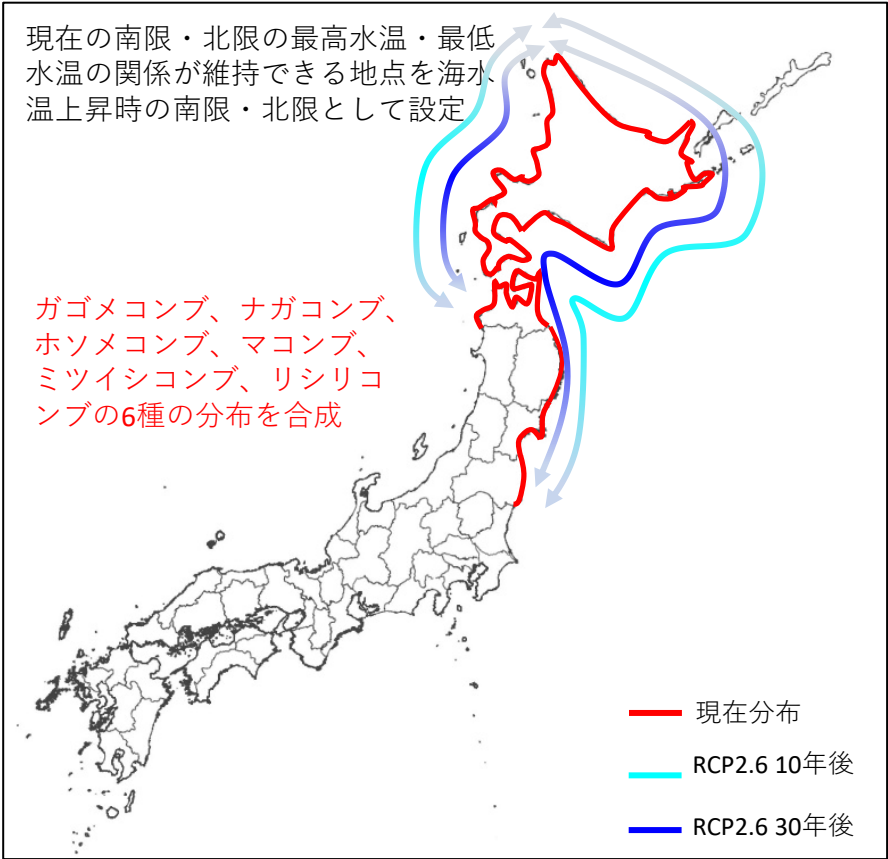
4°C上昇シナリオ(RCP8.5)における海藻が分布可能な等温線位置

区分	現 在		30年後(+1.8°C)	
	最高	最低	最高	最低
北限	26.0°C	15.5°C	24.2°C	13.7°C
南限	28.0°C	18.0°C	26.2°C	16.2°C

現在の南北限の最高水温・最低水温
の関係が維持できる地点
(海水温上昇時の南北限として設
定)



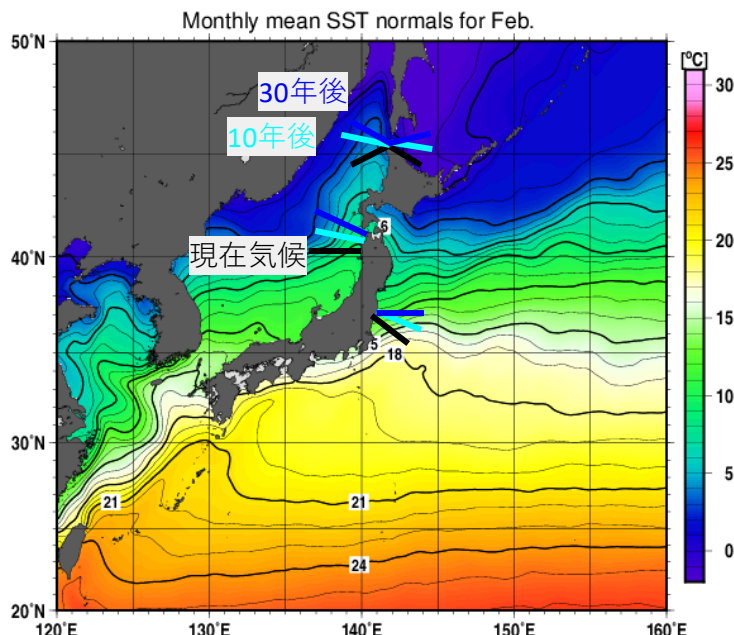
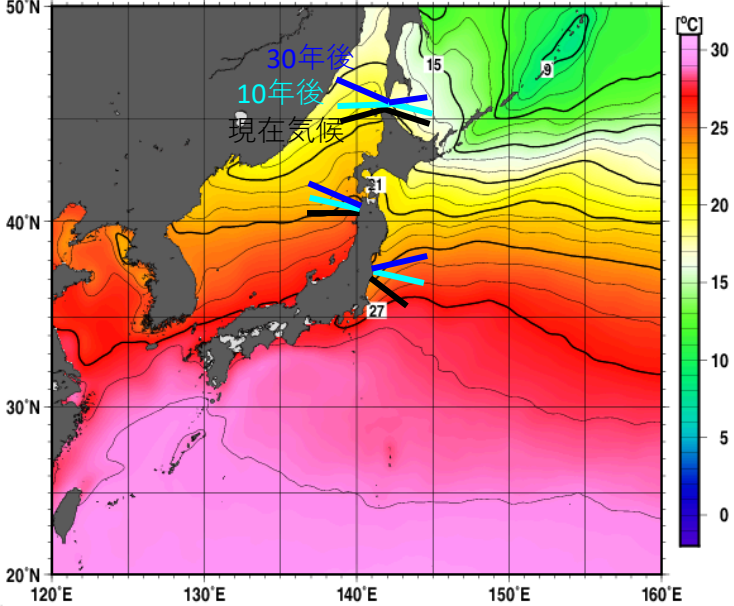
2℃上昇シナリオ(RCP2.6)におけるコンブの分布予測



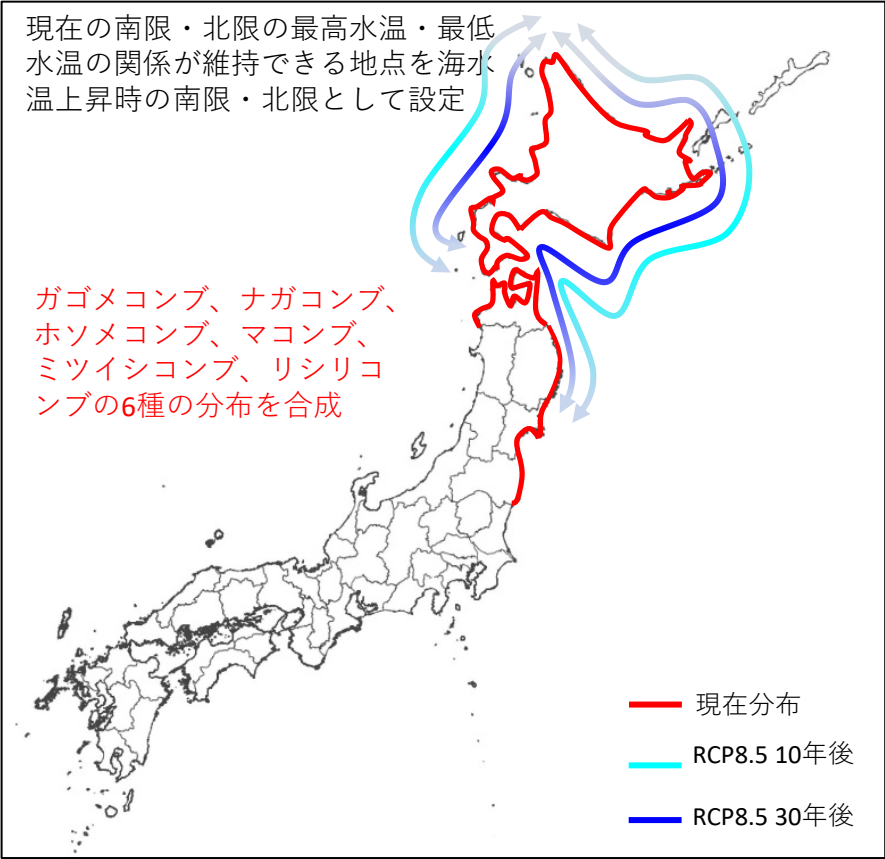
2℃上昇シナリオ(RCP2.6)におけるカジメが分布可能な等温線位置

		現況		10年後 (+0.3℃)		30年後 (+0.6℃)	
		最高	最低	最高	最低	最高	最低
太平洋側	南限	24.0℃	12.2℃	23.7℃	11.9℃	23.4℃	11.6℃
	北限	19.0℃	2.0℃	18.7℃	1.7℃	18.4℃	1.4℃
日本海側	南限	25.3℃	9.0℃	25.0℃	8.7℃	24.7℃	8.4℃
	北限	19.0℃	2.0℃	18.7℃	1.7℃	18.4℃	1.4℃

※表面海水温のみからの予測である点に留意のこと
Monthly mean SST normals for Aug.



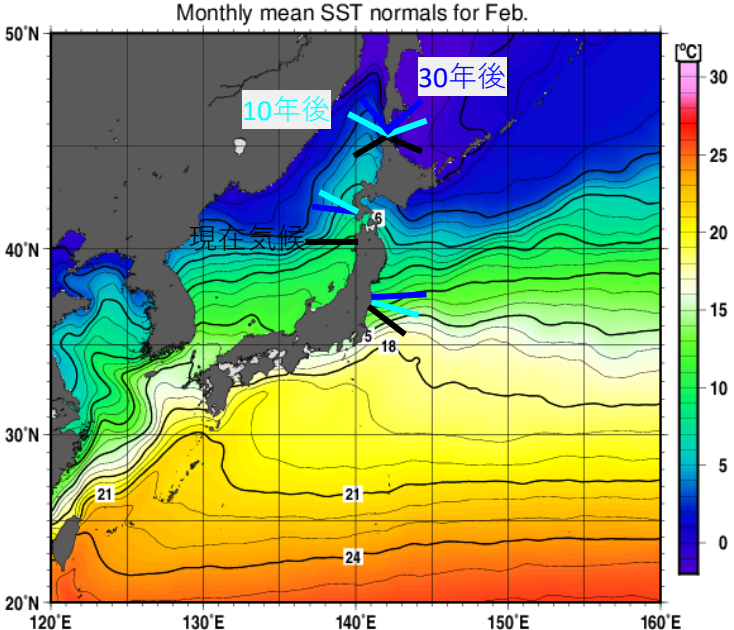
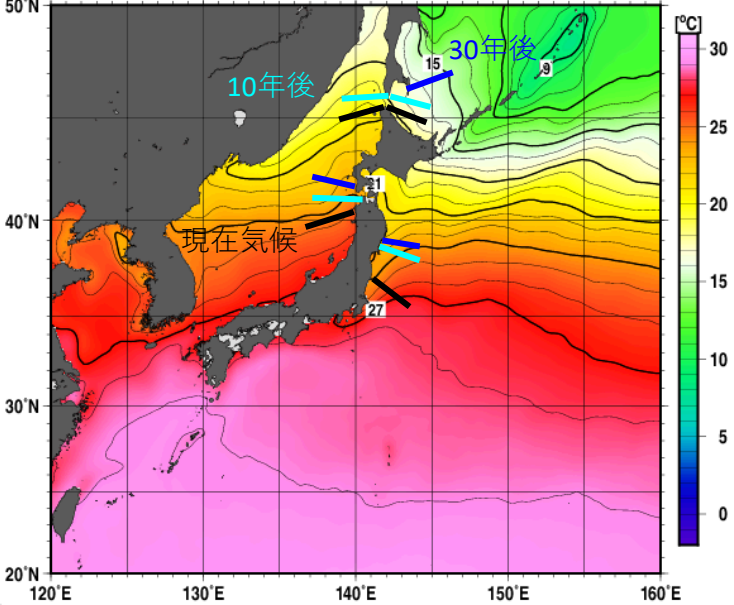
4℃上昇シナリオ(RCP8.5)におけるコンブの分布予測



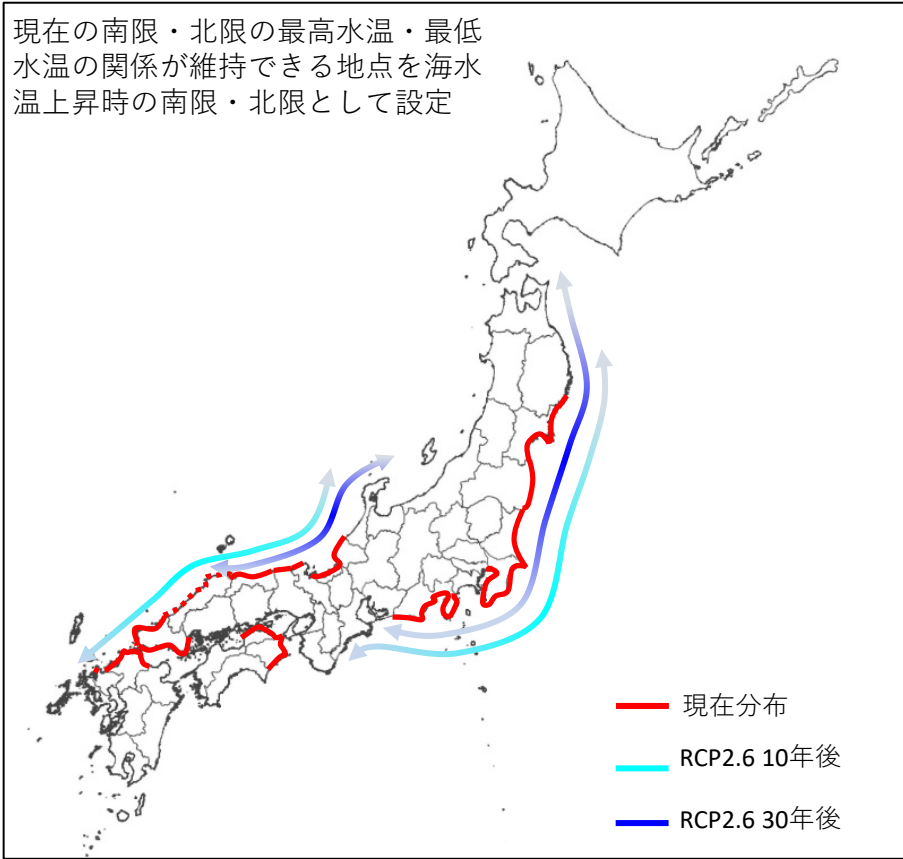
4℃上昇シナリオ(RCP8.5)におけるカジメが分布可能な等温線位置

		現況		10年後 (+1.1℃)		30年後 (+1.8℃)	
		最高	最低	最高	最低	最高	最低
太平洋側	南限	24.0℃	12.2℃	22.9℃	11.1℃	22.2℃	10.4℃
	北限	19.0℃	2.0℃	17.9℃	0.9℃	17.2℃	0.2℃
日本海側	南限	25.3℃	9.0℃	24.2℃	7.9℃	23.5℃	7.2℃
	北限	19.0℃	2.0℃	17.9℃	0.9℃	17.2℃	0.2℃

※表面海水温のみからの予測である点に留意のこと
Monthly mean SST normals for Aug.



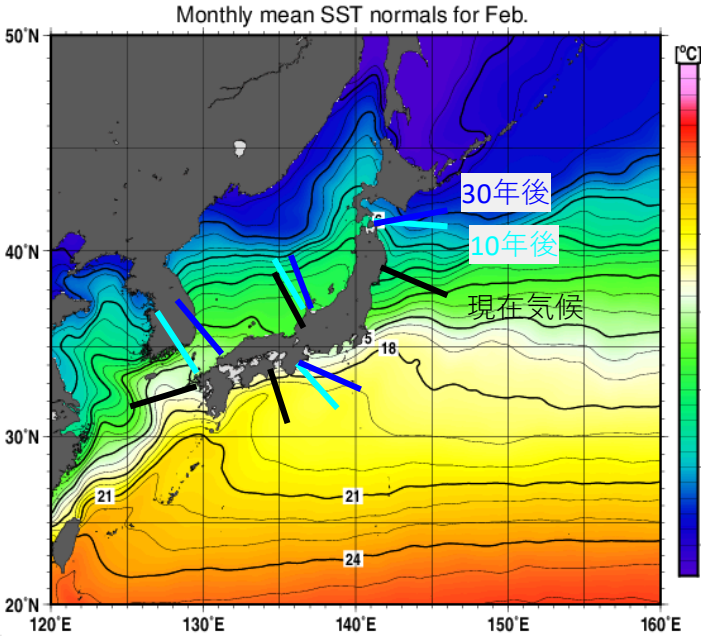
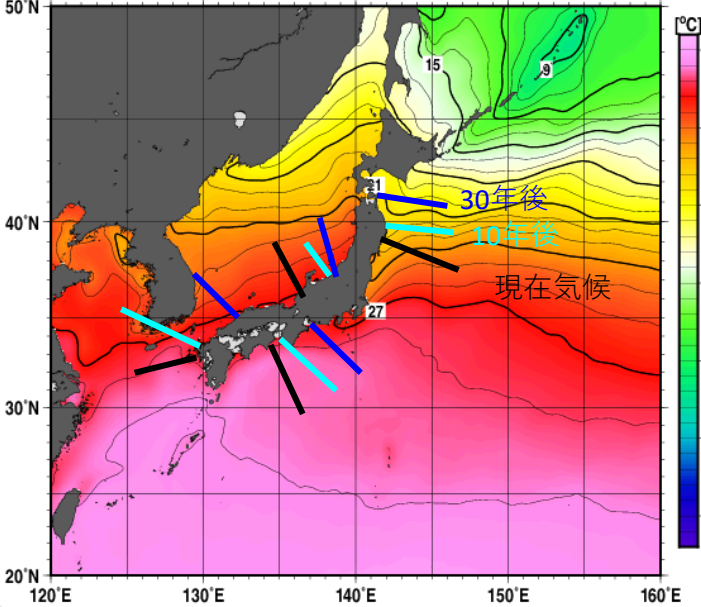
2℃上昇シナリオ(RCP2.6)におけるアラメの分布予測



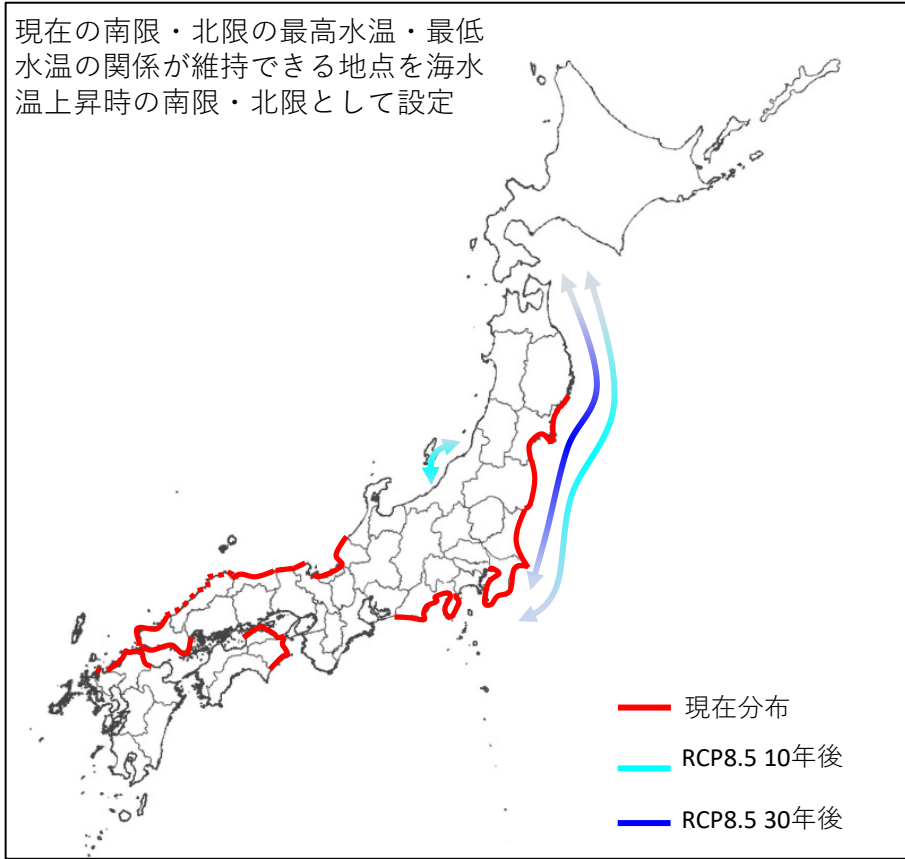
2℃上昇シナリオ(RCP2.6)におけるアラメが分布可能な等温線位置

		現況		10年後 (+0.3℃)		30年後 (+0.6℃)	
		最高	最低	最高	最低	最高	最低
太平洋側	南限	28.0℃	17.0℃	27.7℃	16.7℃	27.4℃	16.4℃
	北限	22.0℃	8.0℃	21.7℃	7.7℃	21.4℃	7.4℃
日本海側	南限	27.7℃	15.0℃	27.4℃	14.7℃	27.1℃	14.4℃
	北限	27.0℃	11.5℃	26.7℃	11.2℃	26.4℃	10.9℃

※表面海水温のみからの予測である点に留意のこと
Monthly mean SST normals for Aug.



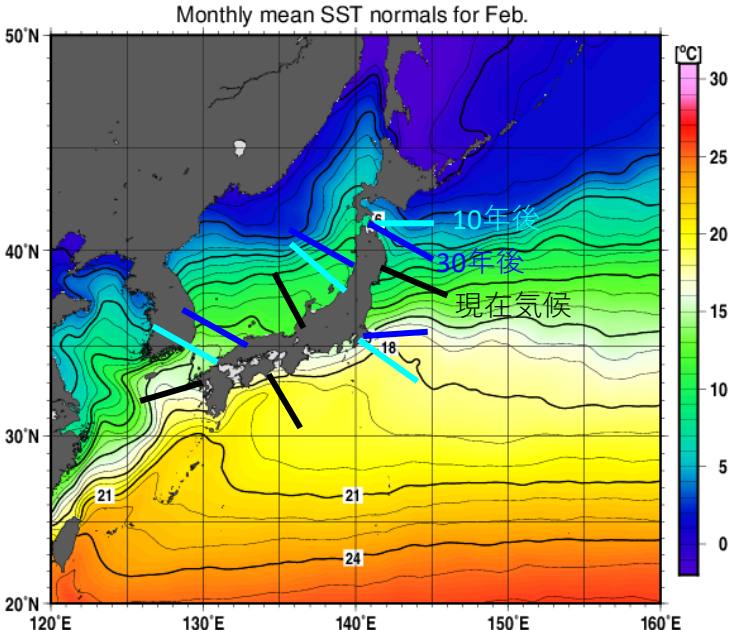
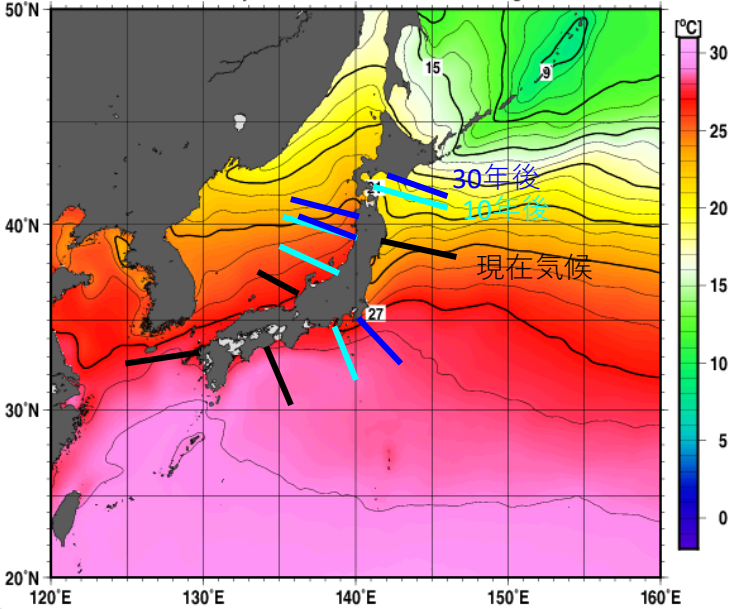
4℃上昇シナリオ(RCP8.5)におけるアラメの分布予測



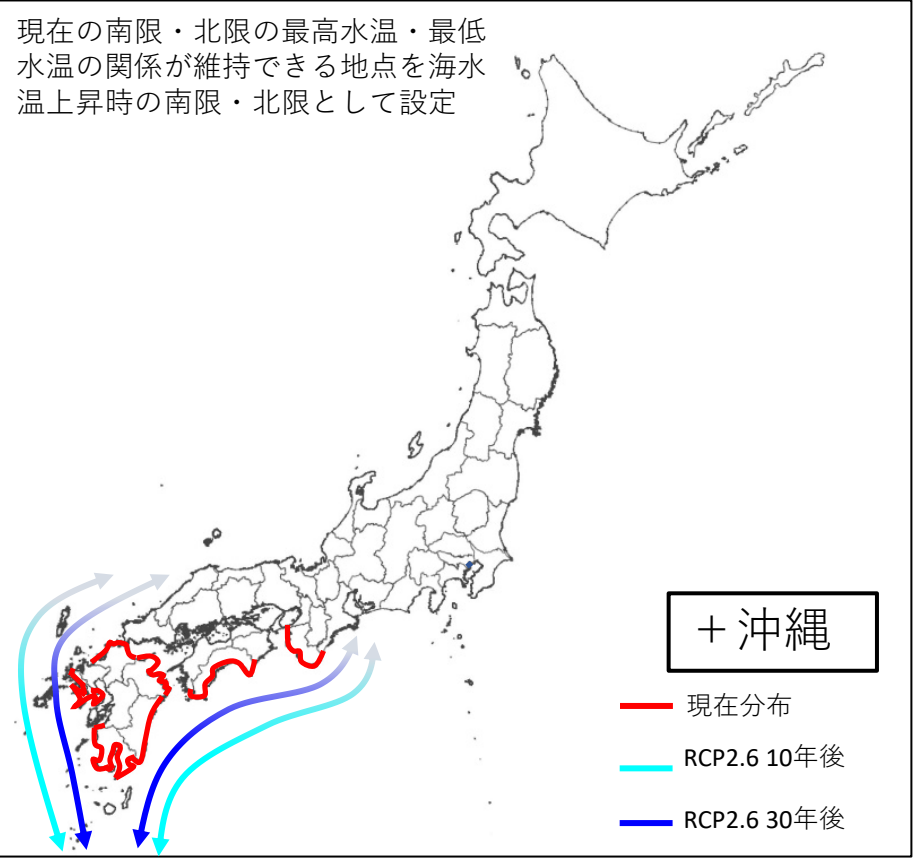
4℃上昇シナリオ(RCP8.5)におけるアラメが分布可能な等温線位置

		現況		10年後 (+1.1℃)		30年後 (+1.8℃)	
		最高	最低	最高	最低	最高	最低
太平洋側	南限	28.0℃	17.0℃	26.9℃	15.9℃	26.2℃	15.2℃
	北限	22.0℃	8.0℃	20.9℃	6.9℃	20.2℃	6.2℃
日本海側	南限	27.7℃	15.0℃	26.6℃	13.9℃	25.9℃	13.2℃
	北限	27.0℃	11.5℃	25.9℃	10.4℃	25.2℃	9.7℃

※表面海水温のみからの予測である点に留意のこと
Monthly mean SST normals for Aug.



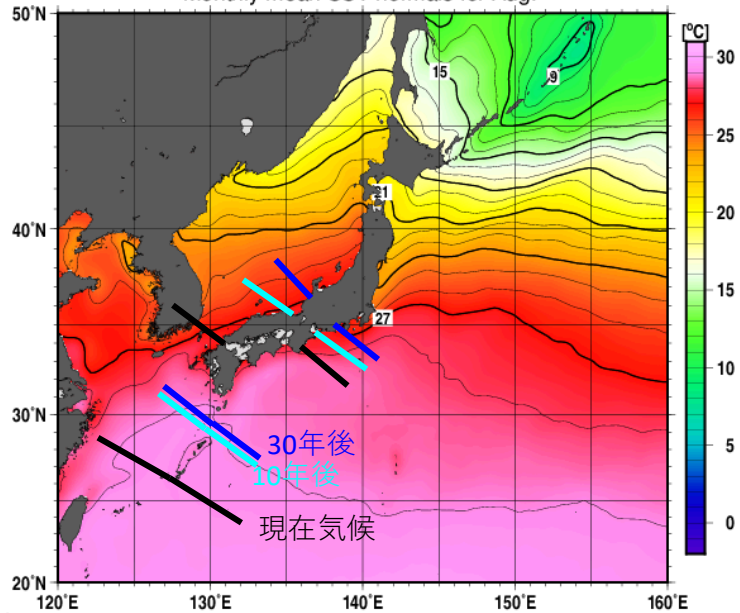
2℃上昇シナリオ(RCP2.6)におけるツクシモクの分布予測



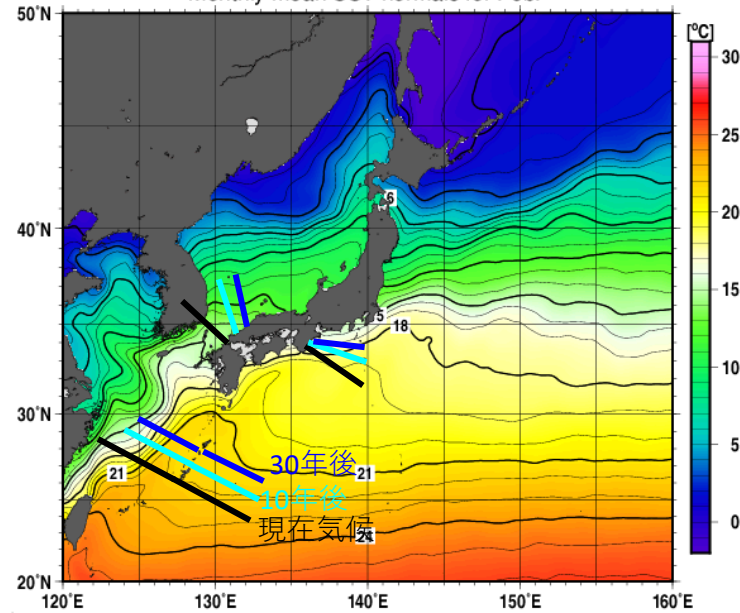
2℃上昇シナリオ(RCP2.6)におけるカジメが分布可能な等温線位置

		現況		10年後 (+0.3℃)		30年後 (+0.6℃)	
		最高	最低	最高	最低	最高	最低
太平洋側	南限	30.0℃	22.0℃	29.7℃	21.7℃	29.4℃	21.4℃
	北限	27.8℃	17.0℃	27.5℃	16.7℃	27.2℃	16.4℃
日本海側	南限	30.0℃	22.0℃	29.7℃	21.7℃	29.4℃	21.4℃
	北限	27.5℃	14.2℃	27.2℃	13.9℃	26.9℃	13.6℃

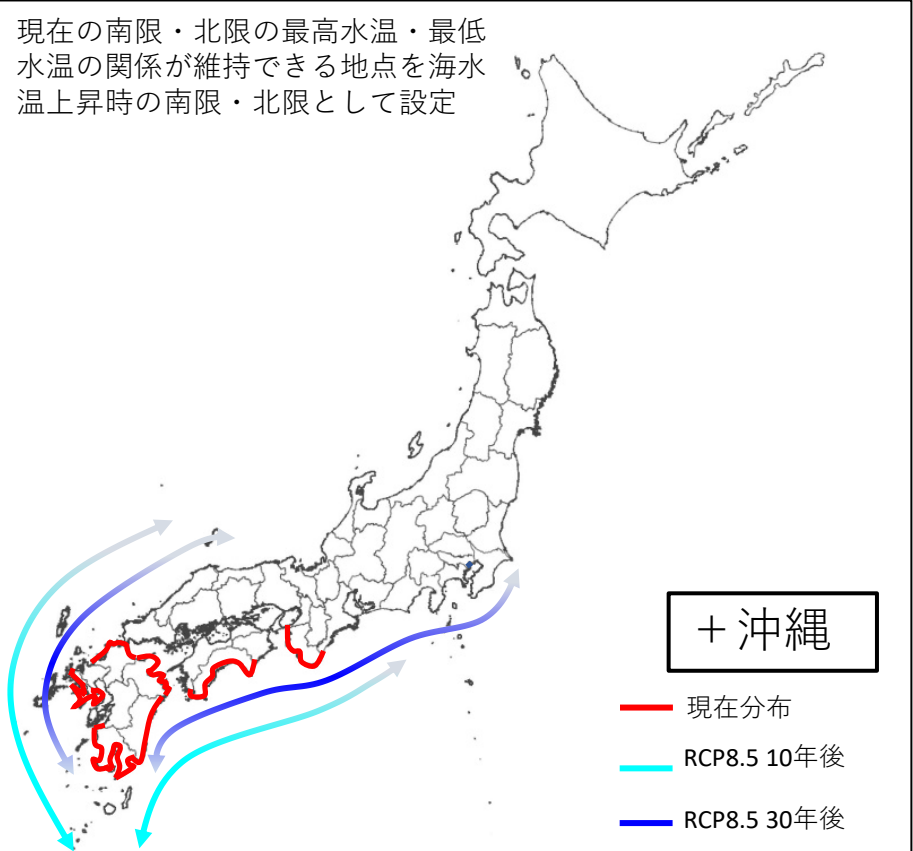
※表面海水温のみからの予測である点に留意のこと
Monthly mean SST normals for Aug.



Monthly mean SST normals for Feb.



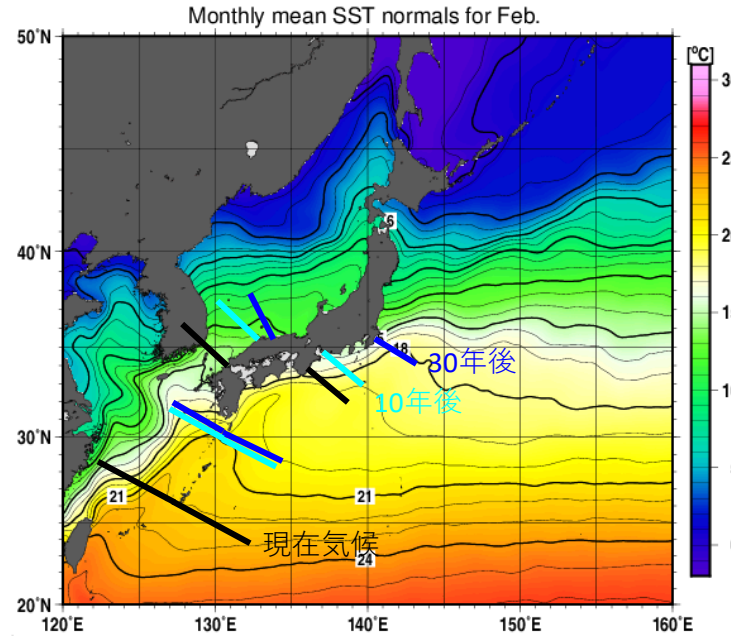
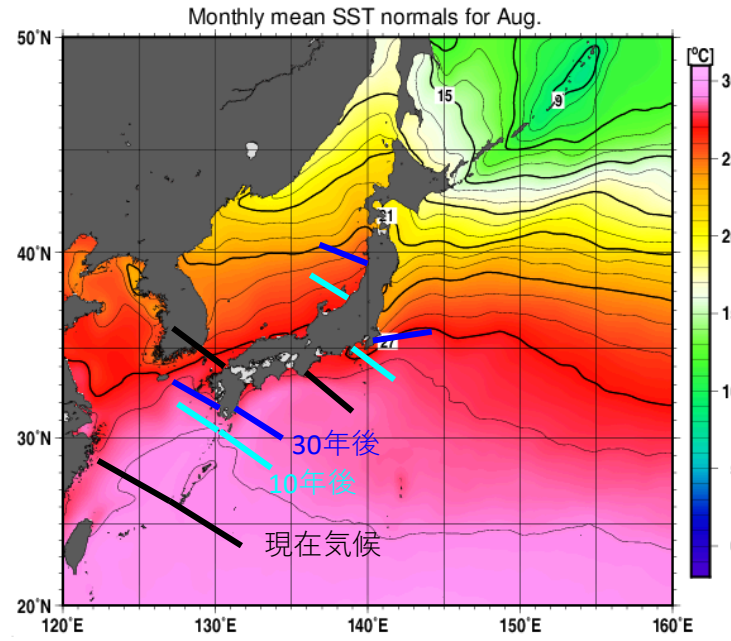
4℃上昇シナリオ(RCP8.5)におけるツクシモクの分布予測



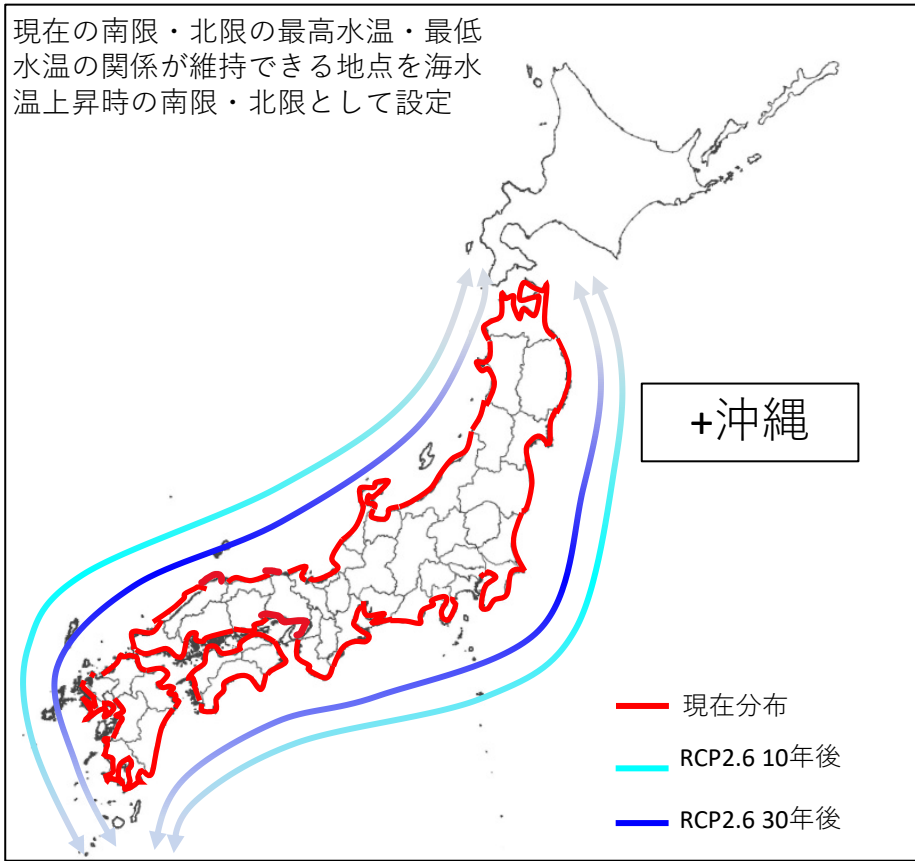
4℃上昇シナリオ(RCP8.5)におけるカジメが分布可能な等温線位置

		現況		10年後 (+1.1℃)		30年後 (+1.8℃)	
		最高	最低	最高	最低	最高	最低
太平洋側	南限	30.0℃	22.0℃	28.9℃	20.9℃	28.2℃	20.2℃
	北限	27.8℃	17.0℃	26.7℃	15.9℃	26.0℃	15.2℃
日本海側	南限	30.0℃	22.0℃	28.9℃	20.9℃	28.2℃	20.2℃
	北限	27.5℃	14.2℃	26.4℃	13.1℃	25.7℃	12.4℃

※表面海水温のみからの予測である点に留意のこと



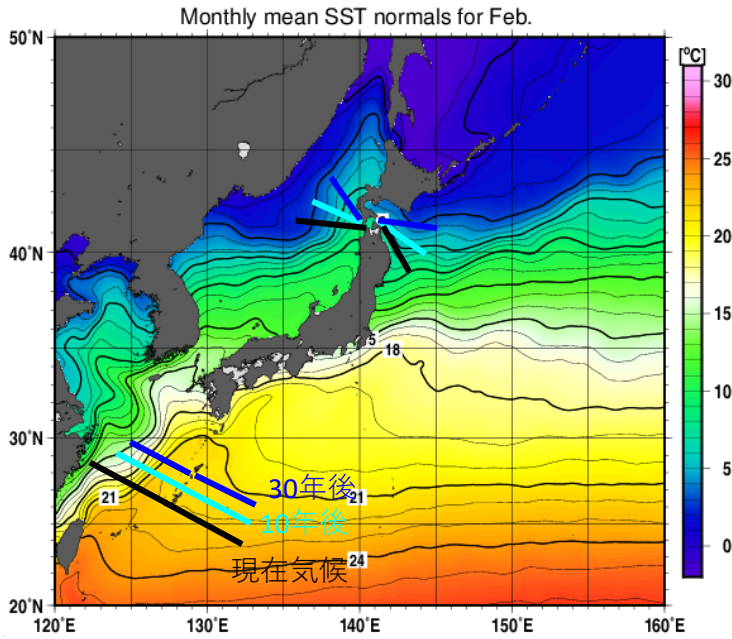
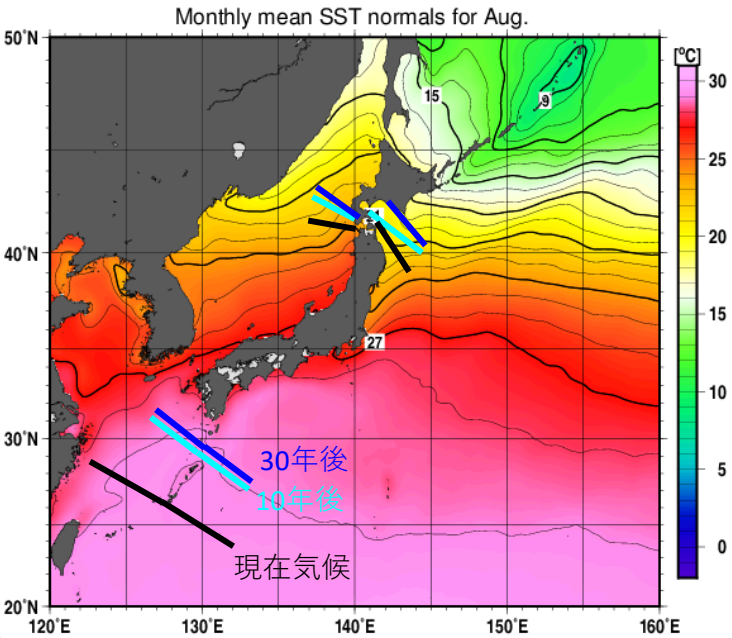
2℃上昇シナリオ(RCP2.6)におけるアイゴの分布予測



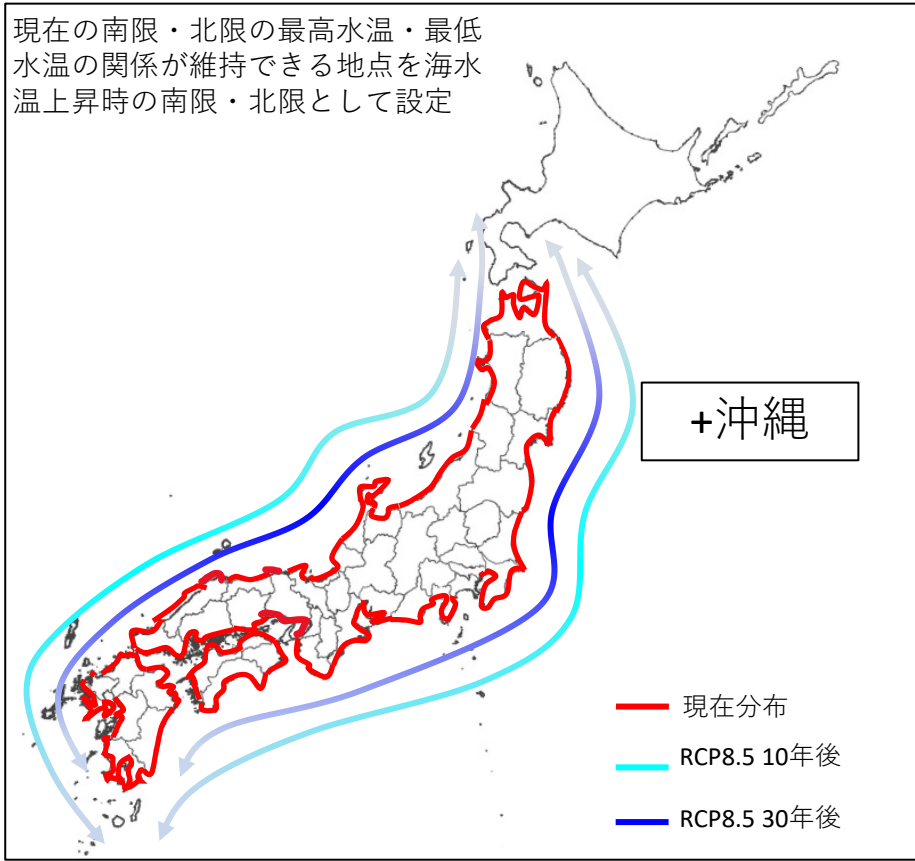
2℃上昇シナリオ(RCP2.6)におけるアイゴが分布可能な等温線位置

		現況		10年後 (+0.3℃)		30年後 (+0.6℃)	
		最高	最低	最高	最低	最高	最低
太平洋側	南限	30.0℃	22.0℃	29.7℃	21.7℃	29.4℃	21.4℃
	北限	21.0℃	6.0℃	20.7℃	5.7℃	20.4℃	5.4℃
日本海側	南限	30.0℃	22.0℃	29.7℃	21.7℃	29.4℃	21.4℃
	北限	24.0℃	8.5℃	23.7℃	8.2℃	23.4℃	7.9℃

※表面海水温のみからの予測である点に留意のこと



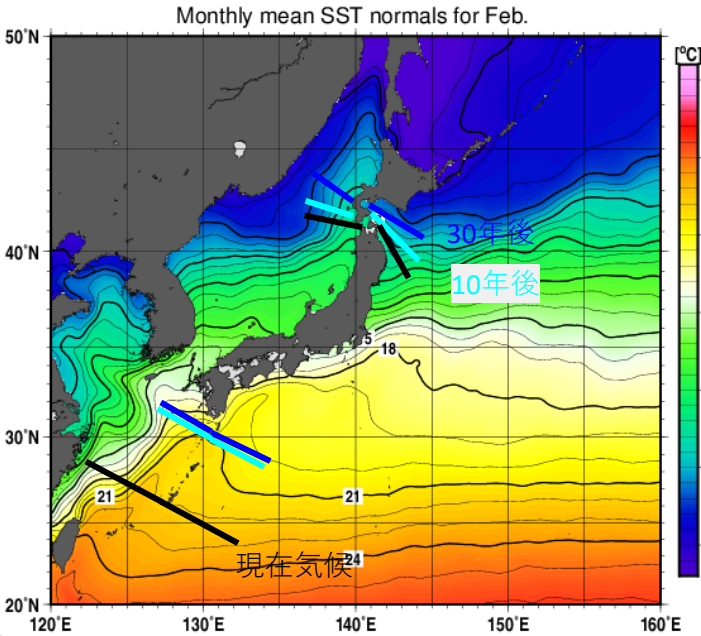
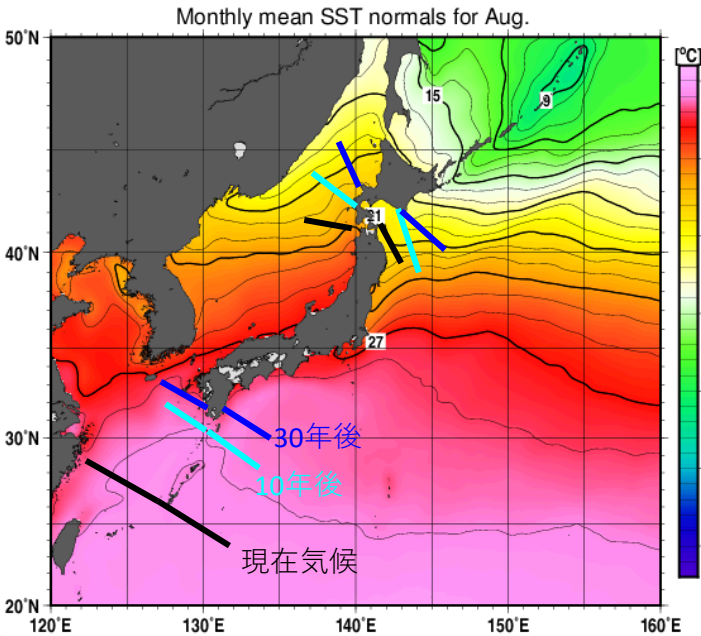
4℃上昇シナリオ(RCP8.5)におけるアイゴの分布予測



4℃上昇シナリオ(RCP8.5)におけるアイゴが分布可能な等温線位置

		現況		10年後 (+1.1℃)		30年後 (+1.8℃)	
		最高	最低	最高	最低	最高	最低
太平洋側	南限	30.0℃	22.0℃	28.9℃	20.9℃	28.2℃	20.2℃
	北限	21.0℃	6.0℃	19.9℃	4.9℃	19.2℃	4.2℃
日本海側	南限	30.0℃	22.0℃	28.9℃	20.9℃	28.2℃	20.2℃
	北限	24.0℃	8.5℃	22.9℃	7.4℃	22.2℃	6.7℃

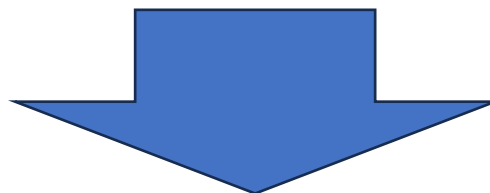
※表面海水温のみからの予測である点に留意のこと



※表面海水温のみからの予測である点に留意のこと

【ハビタットマップの全体的な特徴】

1. 東北地方以北では海水温コンタの間隔が狭いので、海水温上昇の影響は小さい。そのため、藻場構成種の大きな変化はない。
2. 関東地方以南では南下するほど海水温コンタの間隔が広いため、海水温の上昇により、種によっては南北限が北に移動する。特に、アラメ、カジメ等への影響が強く、すでに藻場の変化が出てきている。
3. 四国から九州にかけては南方系のホンダワラ類へ変化するが、4°C上昇シナリオではキレバモク等のホンダワラ類も将来は消失する可能性がある。



将来的な海水温上昇も考慮した磯焼け対策・藻場造成の検討にあたり、対策効果が期待できる対象種の選定や、丁寧な適地選定などのために、ハビタットマップを参考にされたい

※ハビタットマップのみを材料とせず、海域環境の多様な要素からの判断も必要

【想定】

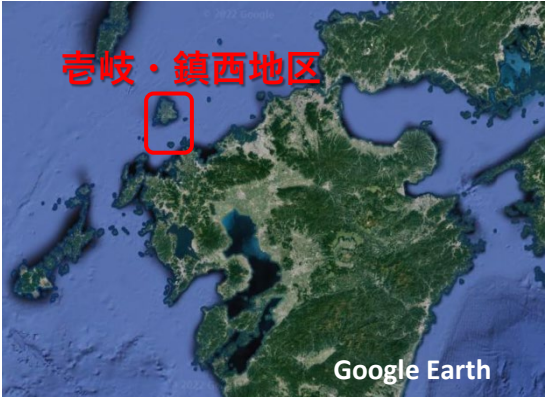
海水温の上昇に対応した磯焼け対策手法として大きく2つのパターンを考えた

- 海水温の上昇に耐える海藻種を用いる場合（順応的手法）
- 生育可能な環境で在来種を用いる場合（保全的手法）

【実証の概要】

- 壱岐・鎮西地区における実証試験で、海藻の種類と生長・水温等の関係性を把握する

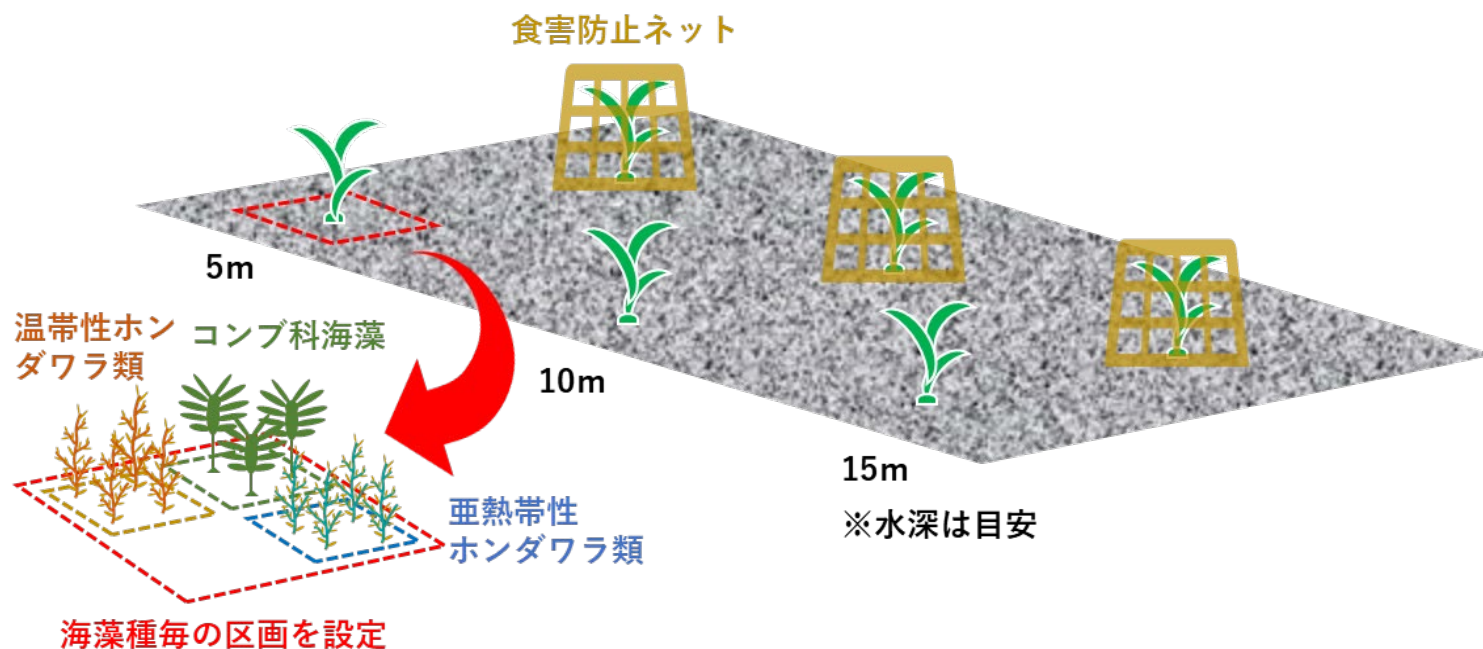
各種条件等		壱岐・鎮西地区	
		壱岐海域	鎮西海域
移植海藻	コンブ科海藻	クロメ（種苗）	クロメ（種苗）
	温帯性ホンダワラ類	ヨレモク（天然）※	ノコギリモク（天然）
		マメタワラ（天然）	マメタワラ（天然）
	亜熱帯性ホンダワラ類	キレバモク（天然）	マジリモク（天然）



※注：海域ではヨレモクとされているが、近縁の他種である可能性がある

【実証のイメージ】

- 水深を変えることで、深場で高水温期の水温が抑制されることを想定
- 食害防止ネットを使い、植食動物（主に魚類）の影響有無による差を把握
- 異なる環境に複数海藻を移植し、海藻種毎に適正な環境を把握する



イメージ図

【海域の特徴】

●壱岐海域

- ウニはほとんど見られない（密度：0～0.1個体/m²）
- 他種の植食魚が頻繁に見られる（アイゴ、イスズミ、ニザダイ）
- 広くヨレモクが繁茂している



広くヨレモクが繁茂（水深5m区画周辺）

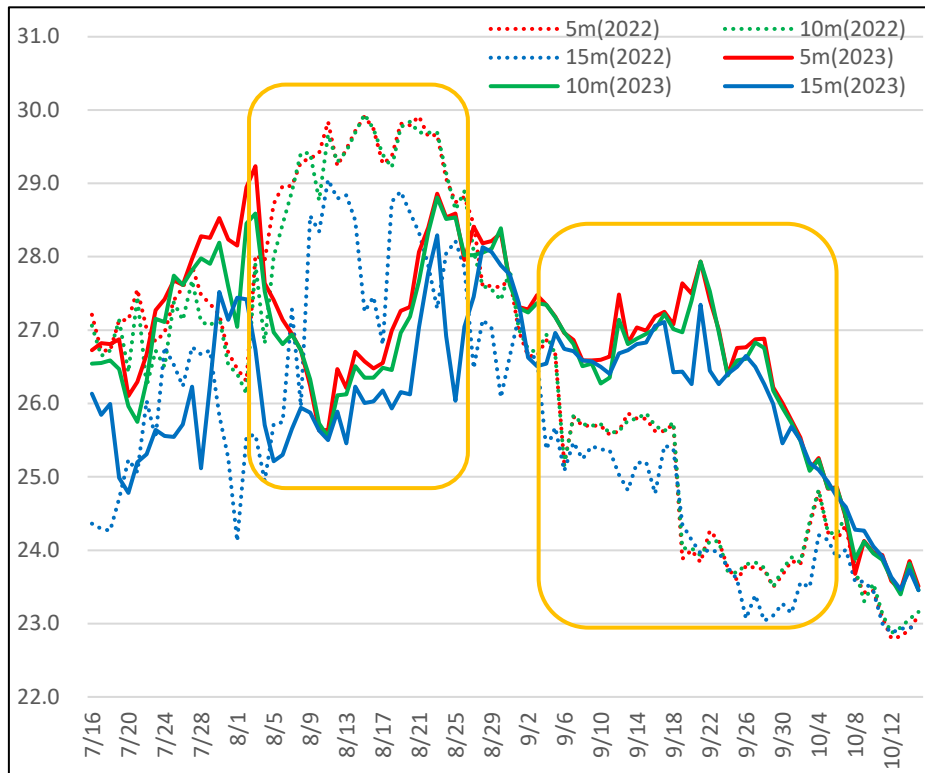
●鎮西海域

- ガンガゼが多い（密度：3～5個体/m²）
- 植食魚（アイゴ）が頻繁に見られる
- 丸焼け状態である

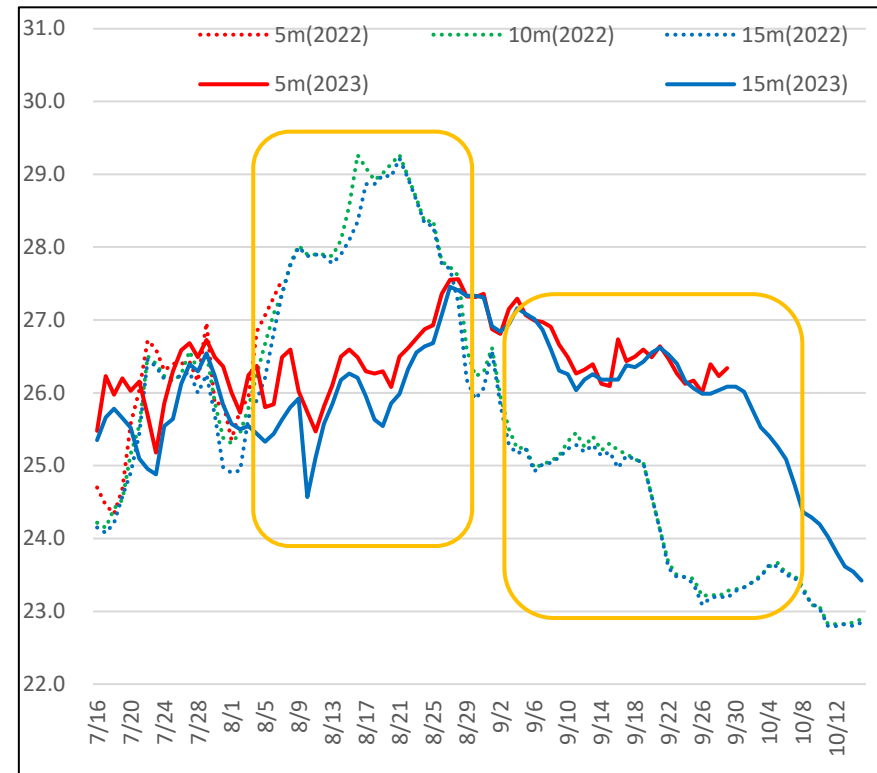


丸焼け状態（水深5m区画周辺）

【水温（高水温期）】



壱岐海域



鎮西海域

壱岐海域

水深による水温差が大きい（5-15m間で約1.5℃）

2022年は水深5mでは水温29℃を約2週間連続超過

2023年は水温29℃を超えたのは1日のみ

鎮西海域

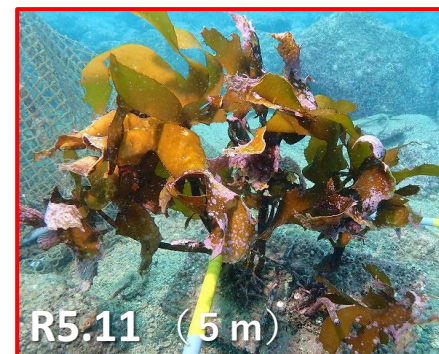
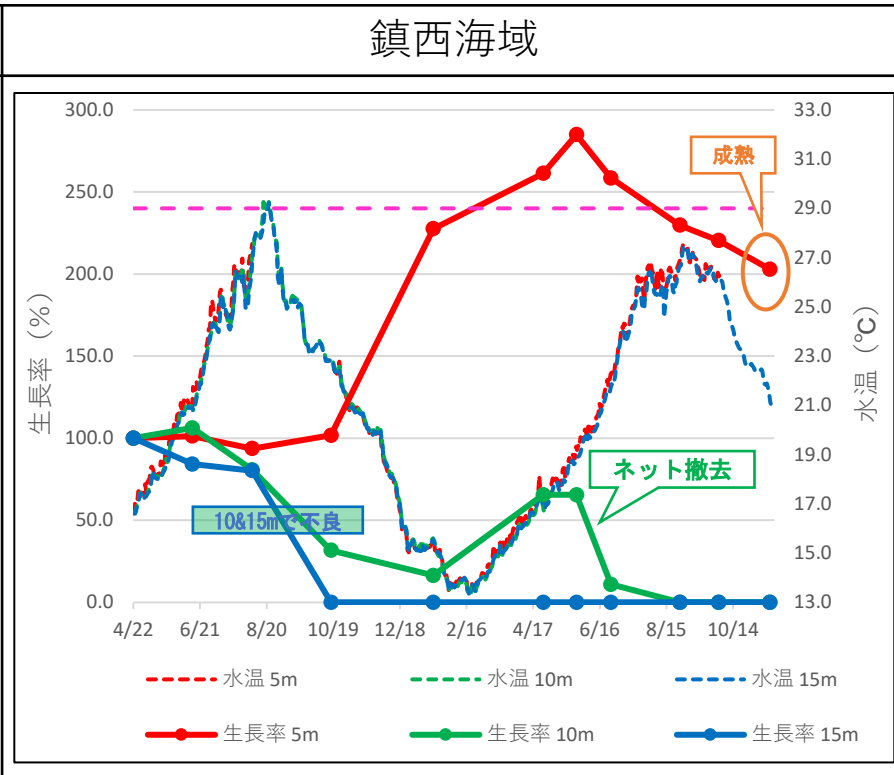
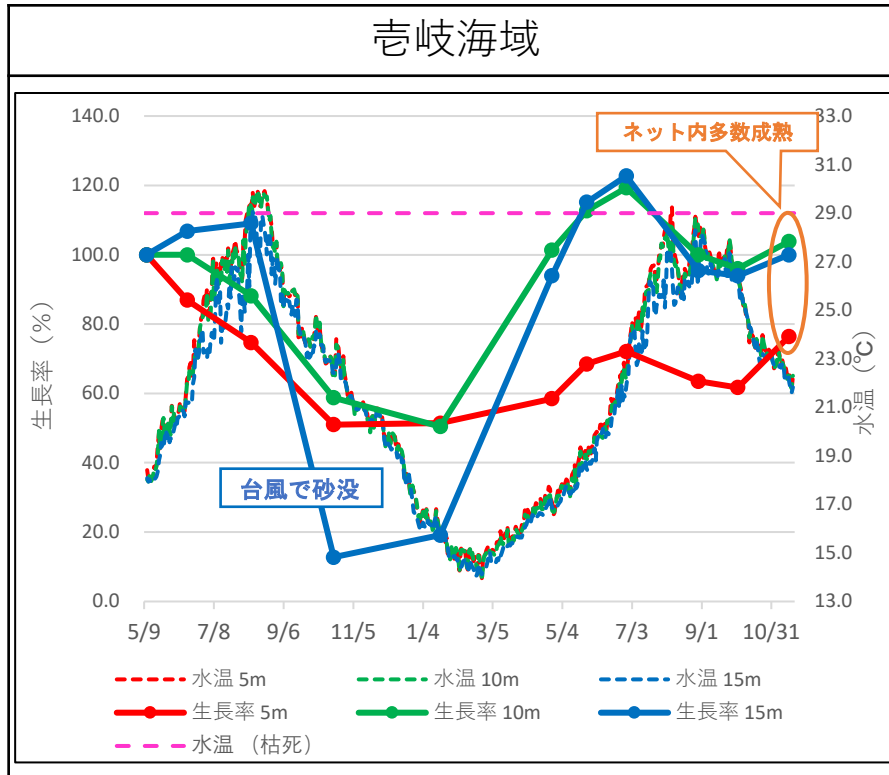
水深の違いで水温差が小さい（5-15m間で0.5℃程度）

壱岐海域に比べ水温が1℃程度低い

2022年に29℃を数日超えたのみ

【結果（例：クロメ）】

※食害対策有りの区画のデータ

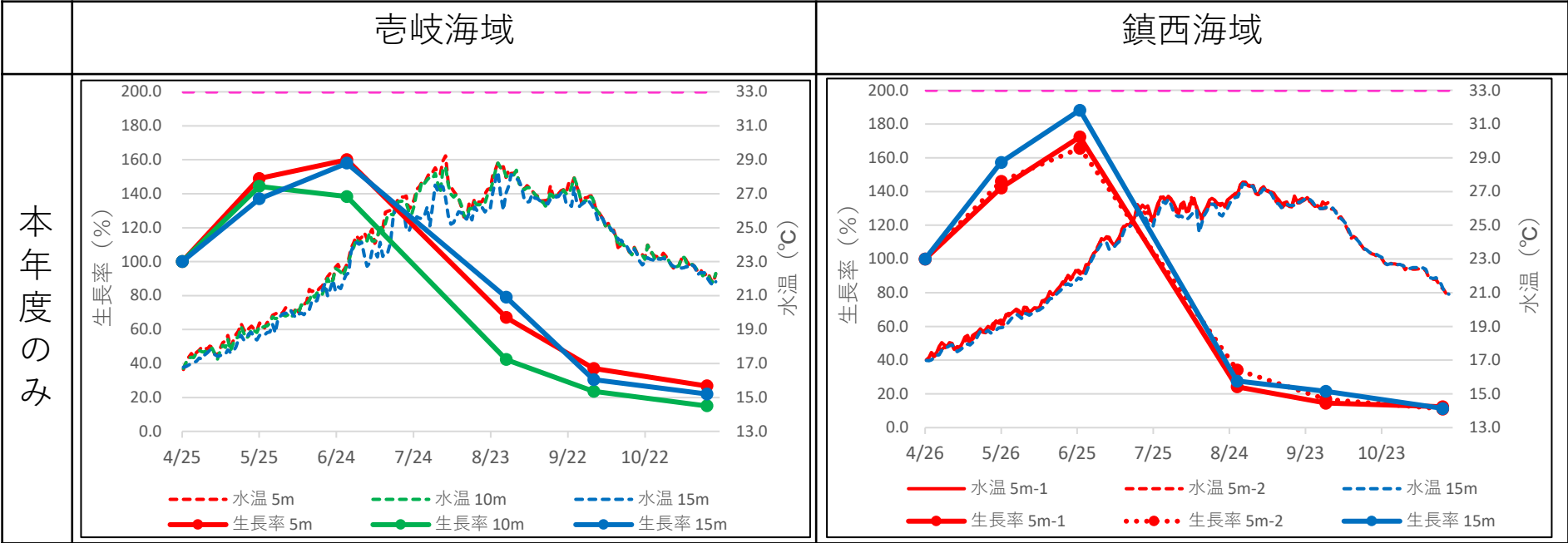


→ 高水温となった際は深場での生育が浅場に比べ良好になる
 → 逆に浅場では高水温のダメージがその後の成長に影響

→ 水温が比較的低く水深による差もない鎮西では
 水深の違いが生育に及ぼす影響は小さい

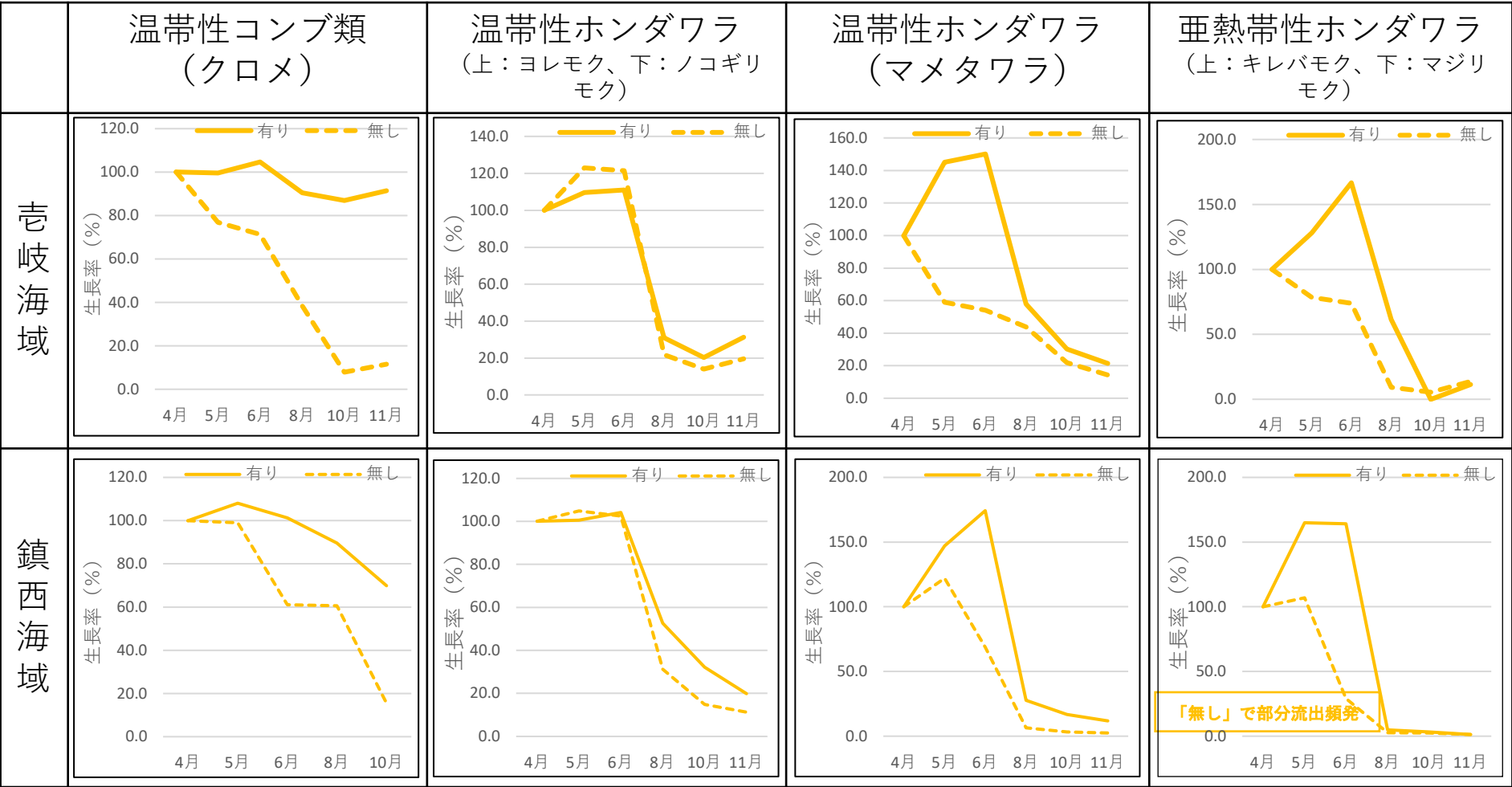
【結果（例：マメタワラ）】

※食害対策有りの区画のデータ



- 繁茂期（6月）以降は一樣に季節的に凋落している
- 対象としたホンダワラ類は温帯性・亜熱帯性を問わず枯死水温が高いため、水深の差（主に水温の差）による明確な傾向は見えづらい
- ただし、水温の影響が小さい場合は、それ以外の影響（光環境等）が生育に大きく関係する可能性が示唆された

【結果（食害防止ネット有無による食害の傾向）】



食害されやすさ（採食選択性）の傾向

- ⇒ 壱岐海域：クロメ ≡ マメタワラ > キレバモク >> ヨレモク
- ⇒ 鎮西海域：クロメ ≡ マメタワラ > ノコギリモク ≡ マジリモク

【結果（全体）】

移植海藻種/海域/年度					移植区画（対策有り）				採食 選択性	光要求	特筆事項
					5m-1	5m-2	10m	15m			
従来種	コンブ類	クロメ	壱岐	R4	△		○	○ 台風被害	◎	低い	◆29℃超の高水温の継続が 秋以降の生育に悪影響 ◆高水温でない場合は水深 による違いは見られず ◆採食選択性が特に高い
				R5	○		○	○			
			鎮西	R4	◎		△ 食害有り	× 食害有り			
				R5	△	△		× 原因不明			
	ホンダワラ類	ヨレモク※	壱岐	R4	△		△	△	×	高い	◆採食選択性が特に低い
				R5	○		○	△			
		ノコギリモク	鎮西	R4	○		△	△	△	不明	◆採食選択性がやや低い
				R5	△	○		△			
		マメタワラ	壱岐	R4					◎	低い	◆採食選択性が特に高い ◆水深による差は見られない
				R5	○		○	○			
			鎮西	R4							
				R5	○	○		○			
南方系	ホンダワラ類	キレバモク	壱岐	R4	—		—	—	○	低い	
				R5	○		◎	◎			
		マジリモク	鎮西	R4	◎		◎	◎	△	不明	◆採食選択性がやや低い
				R5	○	◎		○			

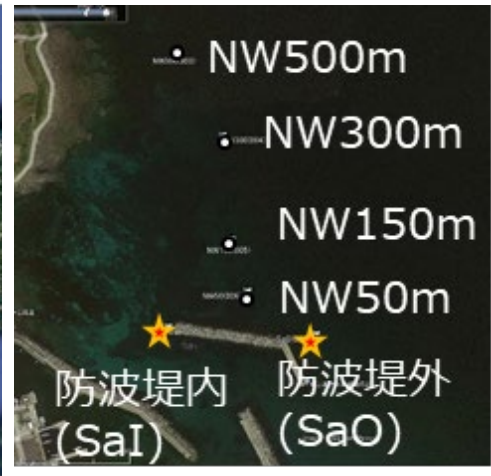
- 海水温の上昇に耐えうる海藻種を用いる場合
ホンダワラ類の生長に大きく影響する高水温にならなかった ⇒ 枯死水温の高い多くのホンダワラ類に活用の可能性

- 生育可能な環境で在来種を用いる場合
実証海域ではクロメにおいて高水温期の水温抑制効果が見られた ⇒ クロメ等のカジメ類での活用が想定される

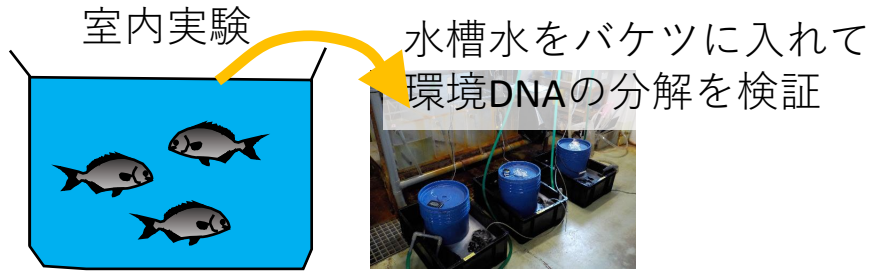
※ 植食魚等の食害対策は基本的に実施を検討するべき

【目的】

- ①. 定量PCR分析系により環境DNAを調べ、その空間分布と繁殖時期を把握できるか検証
- ②. ノトリスズミの環境DNAの分解時間を実験により検証
- ③. 環境DNA技術の植食魚対策への活用方向性について

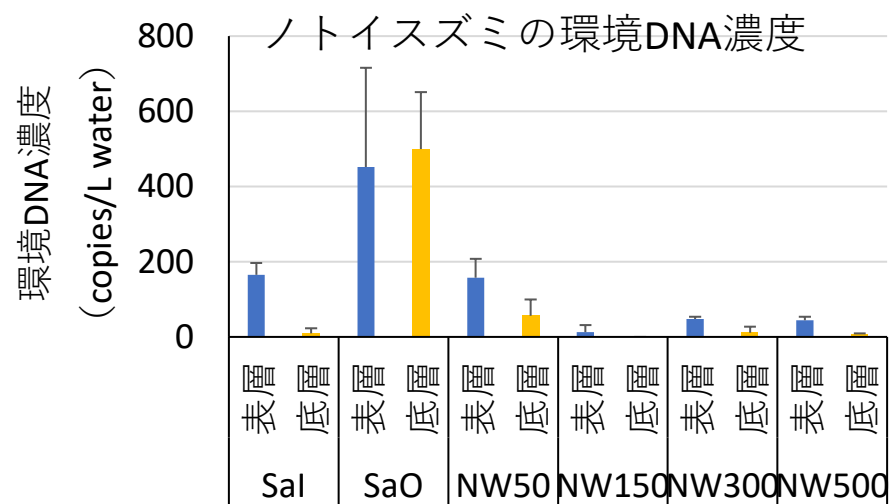
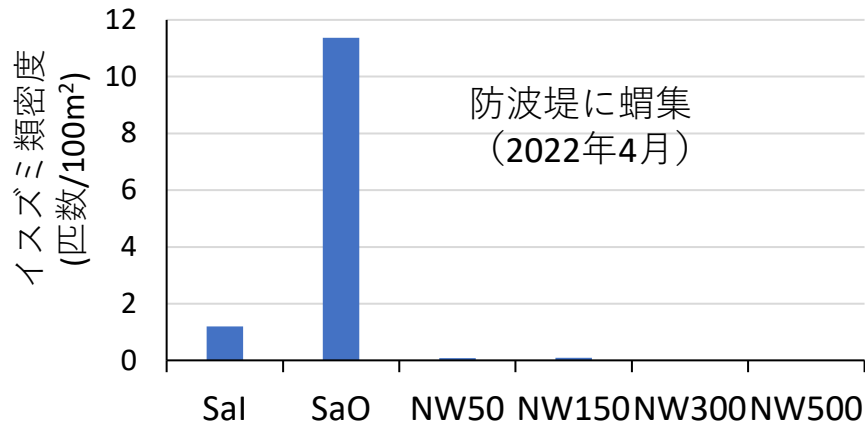


五島市崎山地区
潜水観察 環境DNA採水 食害調査



D 環境DNAを用いた植食魚の分布把握

潜水観察

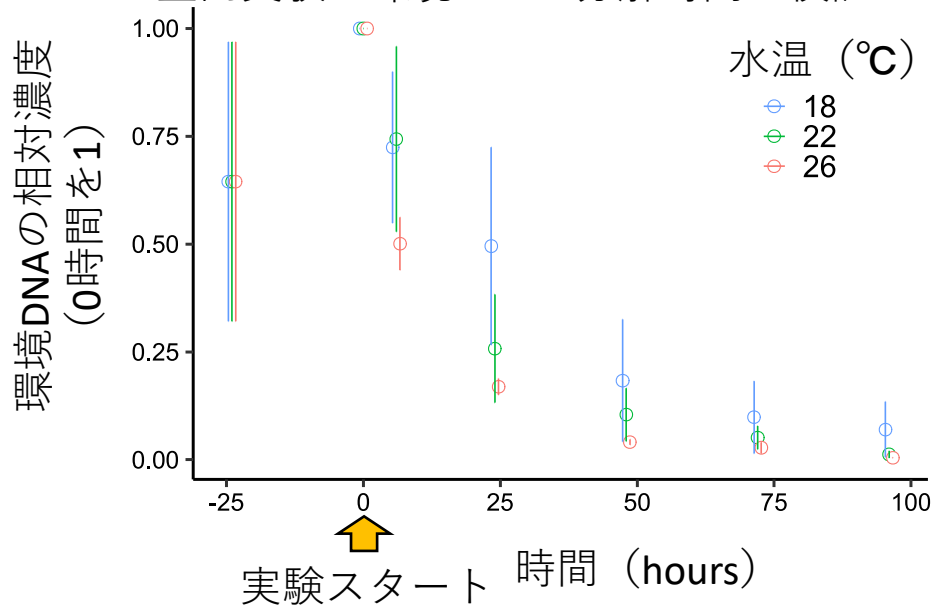


Q1. (調査1) 環境DNA技術により植食魚の空間分布と蛸集時期をどのくらいの精度で把握できるか？

A1. 環境DNAの採水により、ノトイスズミの分布は100mくらいの精度で把握可能.

環境DNA濃度からノトイスズミ群れの在・不在は8割程度の精度で予測可能.

室内実験で環境DNAの分解時間を検証

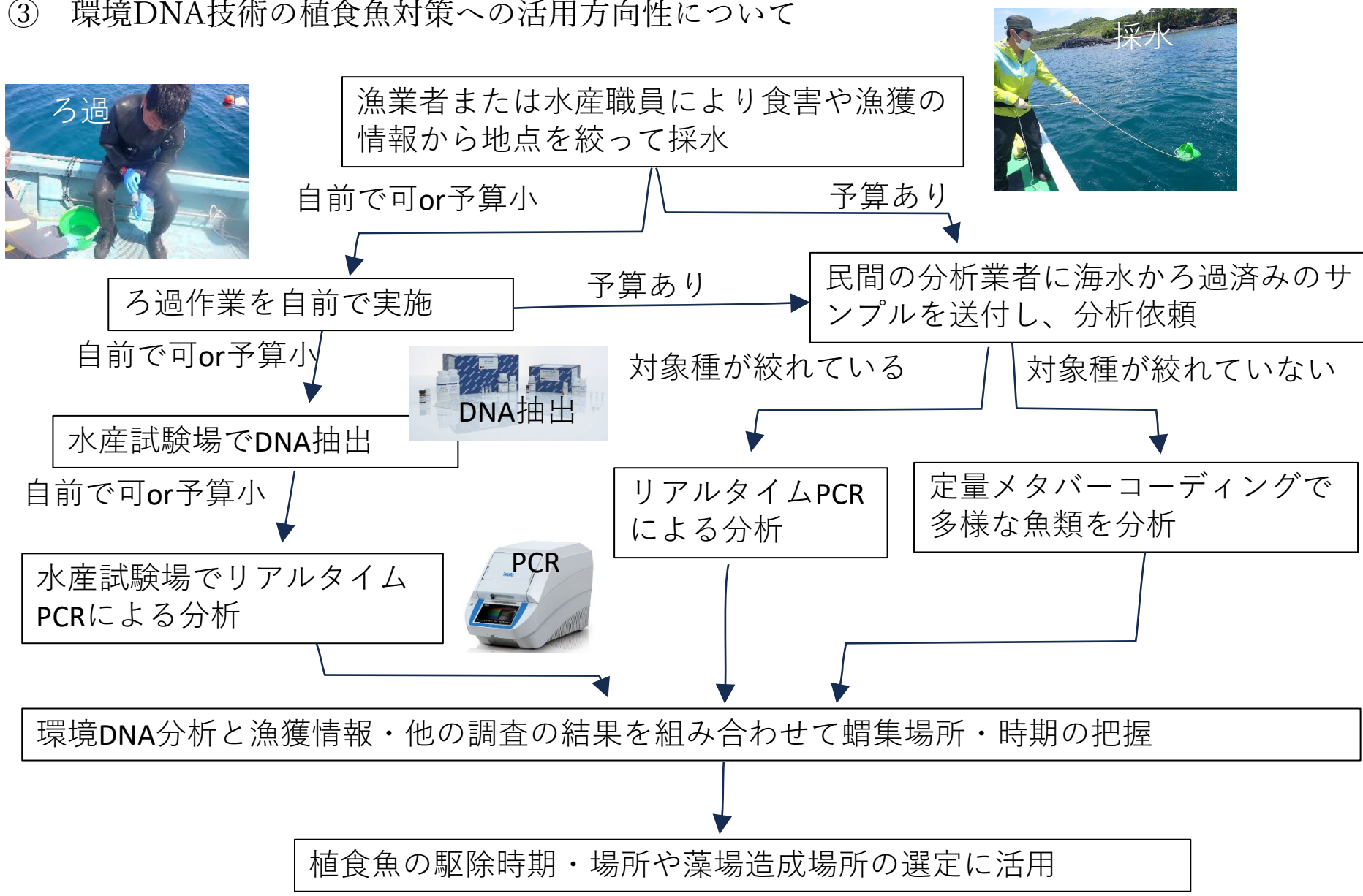


Q2. (調査2) 環境DNAの分解時間はどれくらいか？環境DNAの検出はどれくらい前まで群れがいたことを意味するか？

A2. ノトイスズミの環境DNAは24時間で元濃度の半分以下 (18°Cは1/2、22°Cは1/4、26°Cは1/5) に分解.

さらに水中では環境DNAが拡散するため、実際には環境DNAの検出は数時間前までのノトイスズミの分布を意味すると考えられる.

③ 環境DNA技術の植食魚対策への活用方向性について



海水温上昇に対応した磯焼け対策（仮）としてとりまとめる方針

目 次

1 章 背景・目的 1

(1) 背景

(2) 本マニュアルの目的

2 章 基本的な考え方

(1) 海水温上昇による藻場回復阻害要因

(2) 海水温上昇に対応した磯焼け対策について

3 章 対策手法

(1) 共通事項

(2) ソフト対策でのポイント

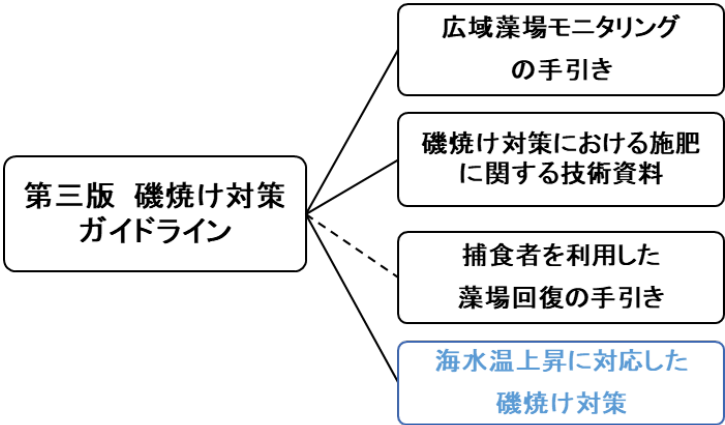
(3) ハード対策でのポイント

参考資料

ハビタットマップによる主要海藻種の将来的分布の紹介

ハビタットマップによる主要植食性魚類の将来的分布の紹介

南方系海藻の紹介



「第三版 磯焼け対策ガイドライン」を補完する内容であり
漁業者や専門家等が連携して実施することを想定

	高水温自体	植食動物 (特に魚類)
ソフト対策	● 海水温上昇に対応できる海藻種を用いる場合 ● 生育可能な環境で在来種を用いる場合	● ガイドラインに記載されている既存の対策 ● 簡易な食害防止ネット
ハード対策	● 海水温上昇に対応できる海藻種に適した増殖基盤	● ガイドラインに記載の既存の基質等 ● 既存漁港施設等への植食性魚類の蛸集対策 ● 植食性魚類の棲み処とならない増殖基盤の設計基準等

「枯れる」「植食動物に食われる」に着目し
ハード・ソフトそれぞれで有効と思われる対策
に焦点を当てる