

海水温上昇に対応した 藻場保全・造成手法（暫定版）

令和 6 年 4 月

水産庁漁港漁場整備部

目 次

はじめに	1
（１）背景	1
（２）本書の使い方	2
1 章 海水温上昇と藻場の関係	4
（１）海藻の生育上限温度	4
（２）海水温上昇による藻場分布の変化	5
2 章 海水温上昇に対応した藻場保全・造成手法	10
（１）検討フロー	10
（２）現状把握	12
（３）海藻種の検討（従来種での対策を優先するかの検討）	18
（４）従来種を採用した場合の適地の探索	18
（５）海藻種の選定と入手	19
（６）食害対策	22
（７）その他の検討項目	24
3 章 海水温上昇に対応した藻場保全・造成手法の事例	26
おわりに	31

参考資料

（１）南方系（亜熱帯性）海藻の紹介	32
（２）将来的な分布予想	34
引用文献	54

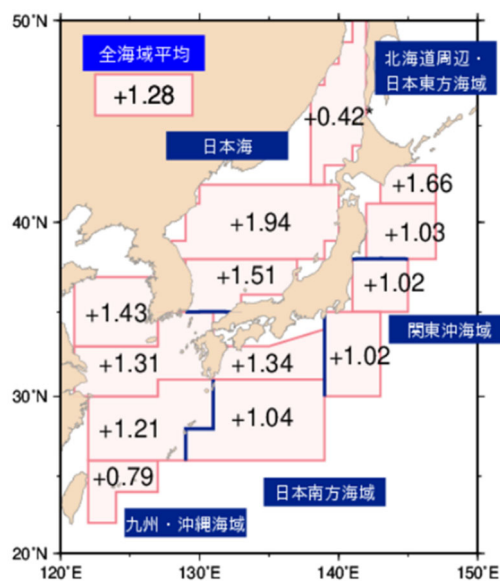
はじめに

(1) 背景

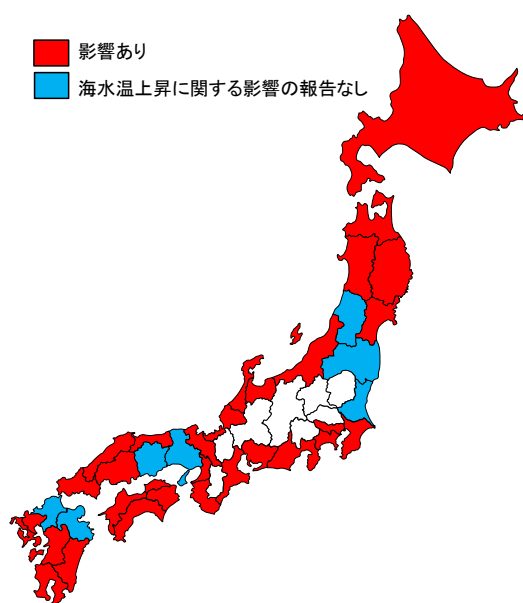
藻場は、重要な漁場であるだけでなく、水産生物の産卵、幼稚仔魚の成育などの資源生産の場としての機能や、窒素やリンといった栄養塩の取込みによる水質の浄化などの様々な機能を有している。また、2050年のカーボンニュートラルを目指す我が国では、藻場の二酸化炭素吸収源としての貢献に対する期待も大きくなっている。しかしながら、長く藻場の減少傾向が継続している状況にある。

水産庁では、磯焼けや藻場に関する直近の状況や新たな磯焼け対策技術が盛り込まれた「磯焼け対策ガイドライン」(平成19年策定、令和3年改訂)(以下、ガイドラインという)を公表し、藻場回復への取組みを後押ししている。これまでに多くの海域で、ガイドラインを活用した磯焼け対策(海藻のタネ不足、ウニによる食圧、栄養塩の不足等への対策)が行われてきた。

一方で、近年注目されている海水温上昇の傾向は長く継続しており、世界ではこの100年間で平均して 0.61°C 海水温が上昇したとされている。中でも日本近海では同様の海水温上昇が 1.28°C と世界平均を大きく上回っている(図A)。そんな中、ガイドラインでも海水温上昇による藻場への影響について触れられているが、有効な対策は少ないのが現状である。令和4年度に実施した都道府県向けのアンケート結果では、約80%の都道府県で海水温上昇による藻場への影響が出現していると認識されている(図B)。既に海水温の上昇による藻場への影響事例も多く見られているが、さらに、海水温上昇の傾向は今後も数十年から百年単位で続くと考えられている。このような状況においては、「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・持続要因が増大することが懸念されている(図C)。



図A 日本近海の海水温上昇 ($^{\circ}\text{C}/100$ 年)
(気象庁)



図B 海水温上昇の影響の認識状況

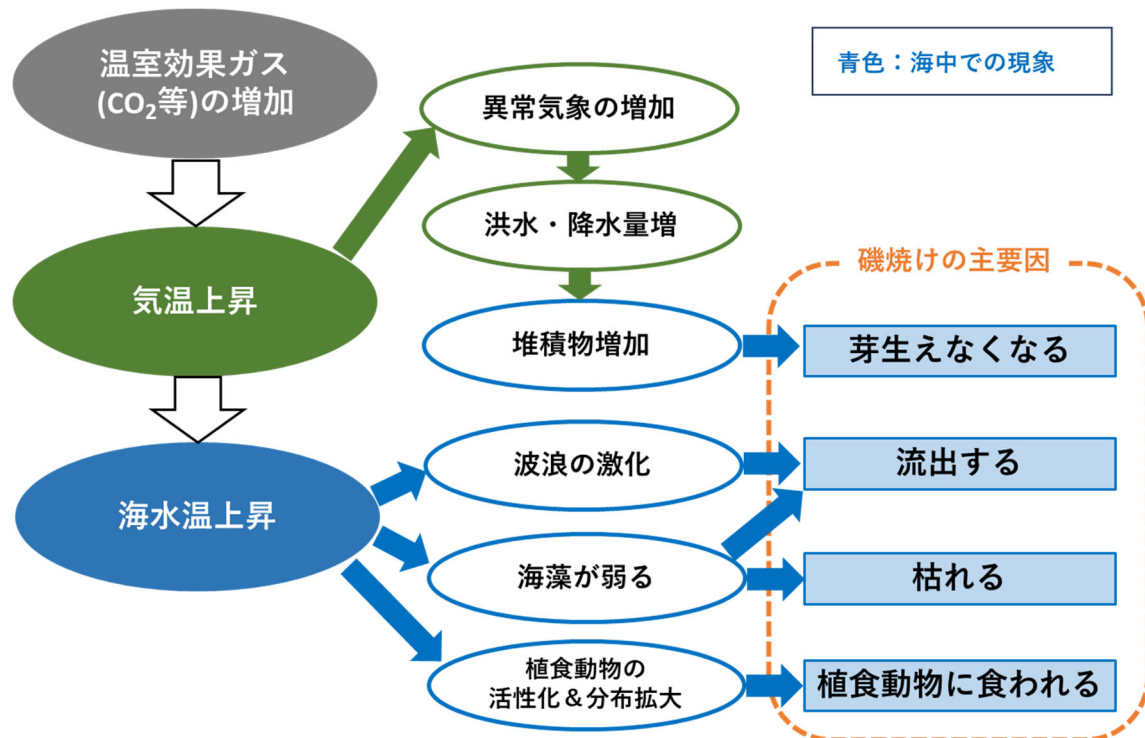


図 C 温暖化や海水温上昇が藻場に及ぼす主な影響（藤田 (2015) を改変）

（２）本書の使い方

海水温上昇の藻場への影響は西日本を中心に、植食性魚類による摂食活動の活性化(図 D)や大量の海藻流出(図 E)、藻場構成種の南方系種(亜熱帯性海藻種)への置き換え(図 F)等、既に顕在化している。今後も海水温上昇の傾向は数十年から百年単位で続くと考えられており、これから磯焼け対策や藻場造成を考えていくうえでは、海水温上昇の影響を考慮した対策が必要となる。そのような状況の中で今回とりまとめた「海水温上昇に対応した藻場保全・造成手法」(以下、本手法という)では前述した4つの磯焼けの要因のうち、「枯れる」(＝高水温自体の影響)、「植食動物に食われる」(＝高水温により高まる食圧)への対応に焦点を当てている。

本手法はガイドラインを補完するものとしてとりまとめており、ガイドラインと併用しながら、現時点での海水温上昇や今後の更なる海水温上昇への対策の一助とされたい。ただし、本手法の活用を検討するにあたっては、海水温や植食性魚類の影響、将来的な海藻分布等の多様な要因を考慮しなければならない場合や、漁業者には馴染みのない機器を活用すべき場合がある。そのため、活用の際には、漁業者のみならず、専門的な知識や機器を有する専門家や研究者等と連携した体制を構築し検討・実施することが望ましい。



図D アイゴの摂食活動



図E 大量の打ち上げ藻体
(壱岐市)



図F 南方系種であるヒイラ
ギモク藻場 (宿毛湾)

1 章 海水温上昇と藻場の関係

(1) 海藻の生育上限温度

海藻が枯死せず生育できる上限の温度を生育上限温度という。主な藻場構成種である大型褐藻の生育上限温度は亜熱帯性ホンダワラ類で最も高く、次いで温帯性ホンダワラ類、温帯性カジメ類の順である。生育上限温度が高いほど海水温上昇へ対応できる可能性がある。

【解説】

実海域における海水温上昇の影響は前述の通り多岐に渡るが、海藻の地理的分布を制限する要因としては海水温が大きいと考えられる。実海域では高水温に耐えられなくなった海藻は枯れてしまう（立ち枯れ）ことが報告されている（藤田，2002）。

既往の知見に加えて、令和4年度および5年度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」（以下、調査委託事業という）における培養実験結果から海藻種による生育上限温度をとりまとめた（表1-1）。実験では1℃間隔で水温を調整した複数の水槽で、最長15日間海藻片を培養してその変化を観察することで、生育上限温度を決定した。例えば図1-1のマメタワラにおいては、32℃での培養ではわずかに生長が見られ、33℃での培養で藻体が黒化・崩壊したことから、32℃を生育上限温度としている。同種の海藻でも採取地によって生育上限温度が異なる可能性や、室内実験条件が実海域の環境と異なる点に留意する必要があるが、生育上限温度は亜熱帯性ホンダワラ類で最も高く、次いで温帯性ホンダワラ類、温帯性カジメ類の順で高いことが分かる。生育上限温度の情報は、海水温上昇に対応した磯焼け対策において対象種を選定する際に参考とすることができる。

表1-1 主な海藻の生育上限温度（村瀬 2022）に調査委託事業の結果を追加
（赤字は亜熱帯性種、他は温帯性種）

	生育上限温度（℃）						
	26	27	28	29	30	31	32
種名 (部位)	ワカメ幼体 (養殖株) ^{*1}	アカモク ^{*2} ワカメ幼体 (天然株) ^{*1}	クロメ (成体) ^{*3} クロメ (幼体) ^{*5}	アラメ (成体) ^{*3}	マメタワラ ^{*2} ホンダワラ ^{*2} ジョロモク ^{*2} ノコギリモク (基部) ^{*5}	ヤツマタモク ^{*2} ノコギリモク ^{*2,5} ジョロモク ^{*2} ヨレモク ^{*5} ヨレモク (基部) ^{*5}	ヒジキ ^{*4} マメタワラ ^{*5} クレバモク^{*5} マジリモク^{*5}

注1：特に部位の記載がないものは主枝

注2：本表におけるクロメは日本海側の個体で、Akita *et al.* (2020) ではツルアラメとされる

文献 *1, 村瀬ら (2021), *2, 原口ら (2005), *3, 村瀬・野田 (2018), *4, 村瀬ら (2015)

*5, 調査委託事業の結果



図 1-1 マメタワラにおける室内実験の結果
 (上段左 31°C・培養 15 日目、上段右 32°C・培養 15 日目、下段 33°C・培養 3 日目)
 33°Cでは藻体が黒化し崩壊している

(2) 海水温上昇による藻場分布の変化

現状の分布や海水温上昇を考慮し、我が国沿岸の主な藻場構成種 34 種について、予測される将来的分布を示したハビタットマップを作成した。海水温変化の勾配が急な北日本沿岸では海水温上昇による海藻分布の地理的变化が小さい予測となる。一方で、関東以西が現在の主要な分布域となっている温帯性ホンダワラ類や、カジメ類において、分布域の狭小化や北上が顕著な予測となる。南方系種（亜熱帯性ホンダワラ類等）においては、西日本を中心に分布を拡大するという予測となる。種や地域で傾向は異なるが、海水温上昇に伴い、海藻の分布域が変化すると考えられる。

【解説】

全国の各海域で、藻場の保全・創造対策を推進するための基本的な考え方を取りまとめた藻場ビジョンが策定されている。その藻場ビジョンの整理や関係者へのヒアリングを踏まえて我が国沿岸に分布する主な海藻種 34 種の将来的なハビタットマップを作成した（巻末に「参考資料」として掲載）。

主な傾向として、北日本沿岸では海水温の変化の海岸線に沿って急であるため、海水温上昇に伴う海藻分布域の地理的变化が小さくなる（コンブ類等）。一方、関東以南では海水温変化が緩やかであり、海水温の上昇が海藻の地理的分布域に大きく反映される傾向にあり、温帯性ホンダワラ類やカジメ類で分布が狭まる種が多い。亜熱帯ホンダワラ類は南日本中

心の現状分布が北に広がる傾向がある。

なお、将来的なハビタットマップの予測は、海面水温が一律に上昇すると仮定して実施している。その予測方法と留意点を下に示す。

予測方法

- 1991 年～2020 年の日本沿岸における海面水温平均値（月別）のうち 8 月と 2 月のデータ（図 1-2）をそれぞれ、現行（2020 年）の最高水温と最低水温としている
- IPCC シナリオの RCP2.6（2℃上昇）と RCP8.5（4℃上昇）の両シナリオにおける 2100 年時点の予測水温まで、現行水温から直線的に上昇すると仮定した（図 1-3）
- 上記に沿って 10 年後（2030 年）と 30 年後（2050 年）海水温を予測している
- 例えば 2℃上昇シナリオでは 2020 年比で 10 年後に 0.3℃上昇、30 年後に 0.6℃上昇として予測している（図 1-3）
- 8 月と 2 月の海面水温平均値（図 1-2）それぞれにおいて、現状分布における北限と南限の海水温を、海水温上昇の幅だけ北上させる
- 海水温上昇による分布域の変化を考慮した 8 月と 2 月の海面水温平均値の図を重ね合わせ、重なる部分を将来的な分布域としている

留意点

- 海水温以外の要素や局所的な環境等は考慮していない
- 海水温のコンタ図から目測で将来水温を予測している

将来的なハビタットマップの予測結果の例として、温帯性カジメ類であるアラメと亜熱帯性ホンダワラ類であるキレバモクの例を図 1-4 と図 1-5 に示している。赤線が現状の分布を、水色線が 10 年後（2030 年）の分布を、青色線が 30 年後（2050 年）の分布を示す。アラメでは分布が大きく北上する予測となり、西日本での分布が限定的になると考えられる。キレバモクでは、西日本の大部分または関東まで広く分布が拡大する予測である。

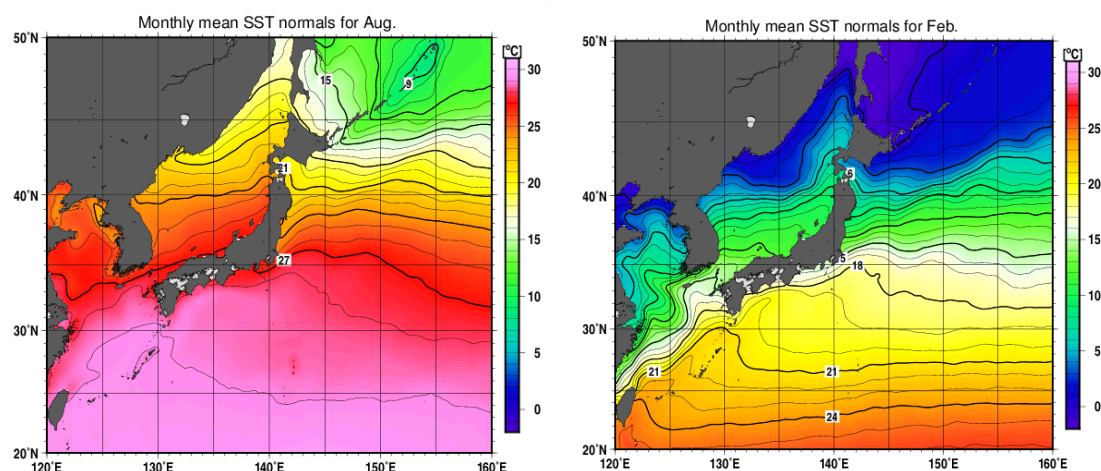
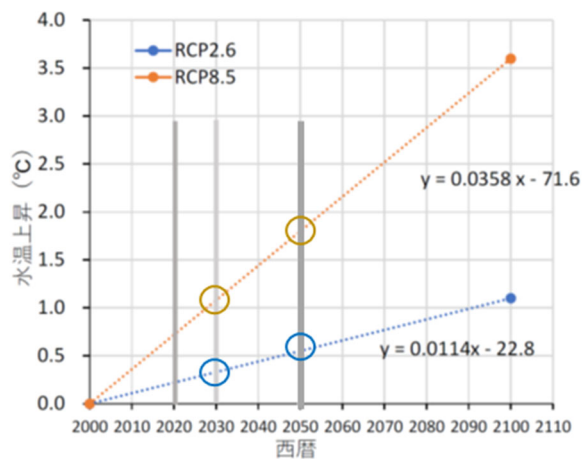


図 1-2 高水温期（右：8 月）と低水温期（左：2 月）の海面水温平均値



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

図 1-3 両シナリオにおける 2030 年と 2050 年の予測水温上昇 (°C, 2020 年比)

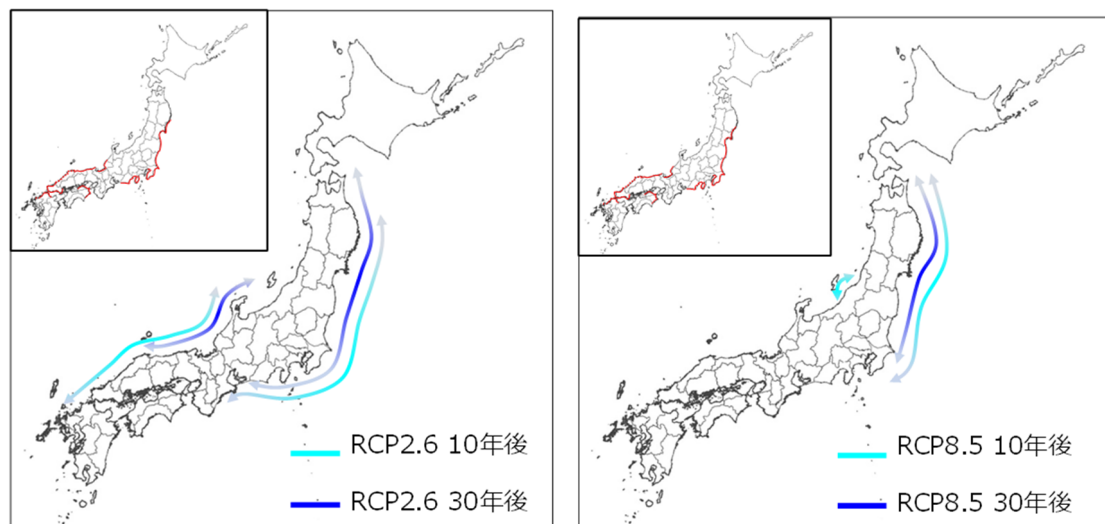


図 1-4 将来的分布予測の例 (アラメ) (左 : 2°C上昇シナリオ、右 : 4°C上昇シナリオ)

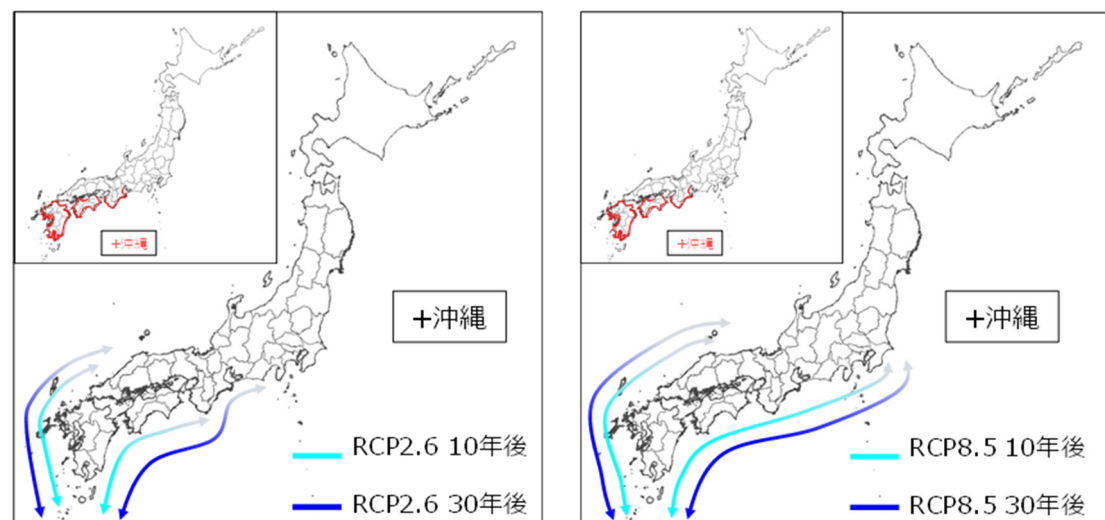


図 1-5 将来的分布予測の例 (キレバモク) (左 : 2°C上昇シナリオ、右 : 4°C上昇シナリオ)

参考情報：海水温上昇による植食性魚類の生息分布の変化

海水温の上昇により、藻場の形成・維持に影響を与える植食動物（ウニ、魚類、巻貝）の分布も変動すると考えられる。中でも、アイゴやイスズミ類、ブダイといった植食性魚類による食害報告が近年増えており、既に西日本や中部太平洋岸では磯焼け発生や継続要因となっている場合がある。そのため、藻場構成種のみでなく植食性魚類（アイゴ、イスズミ類、ブダイ）も対象に将来的なハビタットマップを作成した。

予測方法は海藻と基本的に同様だが、現在の分布を把握する際に、一時的な分布か年間を通した分布かを考慮しておらず、高水温期にわずかに確認されただけでも分布しているとみなしている。したがって、北日本においては分布域となったからといって食害が直ちに強まるとは限らない点に留意が必要である。

予測された将来的なハビタットマップ（参考資料（2）将来的な分布予想）では既に東北地方にまで分布するとされるアイゴとイスズミ類に対して、ブダイの分布拡大が目立つ。ただし、分布域自体はさほど拡大しない予測であるアイゴやイスズミ類においても、海水温上昇による摂食行動の活発化や個体数の増加によって、食圧が高まることが懸念される。

海水温の上昇と植食動物による食害への影響を模式的に示した図 1-6 を見ると、海水温が上昇することで、10℃程度が致死水温とされるアイゴ等の南方系植食動物の冬期の生き残りが助長されることが分かる。更に植食動物の摂食が活発となる 20℃以上の水温期間が長くなるとともに、食害期間も長期化する。これに高水温による海藻の生長低下が加わることで磯焼けが拡大する、と推測される（（財）海洋生物環境研究所，2012）。

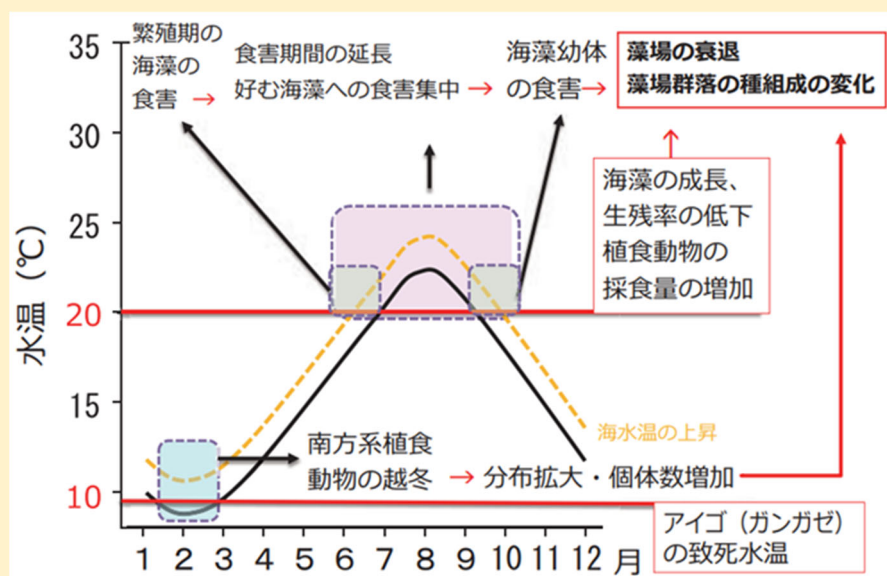


図 1-6 予想される海水温上昇が海藻と植食動物に及ぼす影響
（海生研ニュース No. 138, 2018）

前述の藻場構成海藻種の分布と同様に、主要な植食性魚類の分布を予測した例としてアイゴの結果を図 1-7 に示す。前述のとおり、大幅には分布域は広がらない予測であるが、食

圧は増加していくと考えられる。

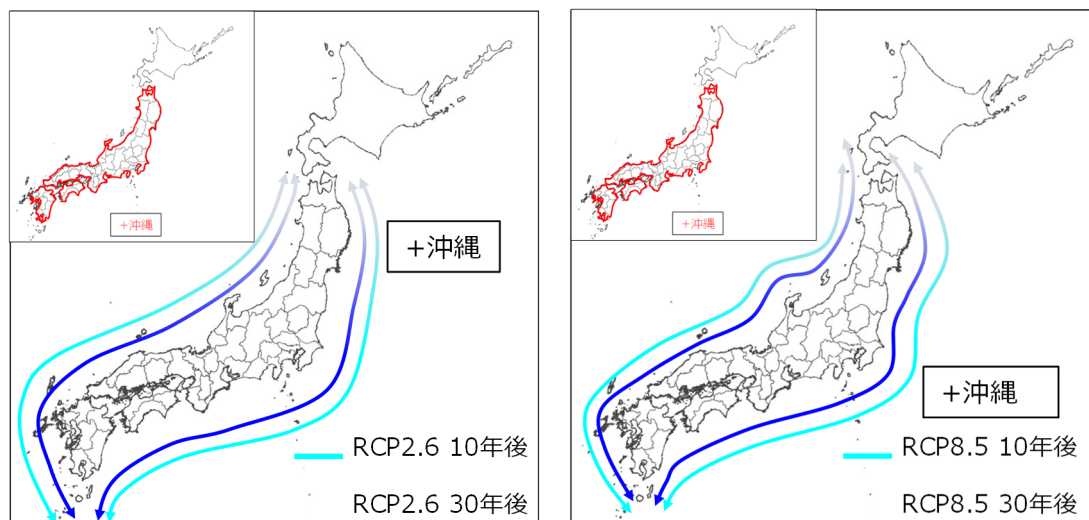


図 1-7 アイゴの分布予測 (左 : 2°C上昇シナリオ、右 : 4°C上昇シナリオ)

2章 海水温上昇に対応した藻場保全・造成手法

(1) 検討フロー

高水温が直接藻体に与える影響を踏まえて、この環境に対応するためには、「高水温下でも生育可能な海藻種を用いる方法」と「海水温上昇が抑えられている場所を活用する方法」の2つが考えられる。これらに必要なに応じて、高水温により高まる食圧への対策を加えることとなる。

【解説】

既存の磯焼け対策手法と同様に、本手法を実施する場合においても、ガイドラインに記載のPDCAサイクルに沿って、個別の技術・手法を実施することが基本となる。

本手法における対策を検討する際には図 2-2 の検討フローを参考にできる。検討フローは、「高水温自体の影響への対策検討」と「高水温により高まる食圧への対策検討」の大きく2つの段階に分かれている。

「高水温自体の影響への対策検討」においては、まず、海水温等の現状把握を実施する。高水温自体が海藻の生育の阻害要因であると判断された場合は、「高水温下でも生育可能な海藻種を用いる方法」もしくは「海水温上昇が抑えられている場所を活用する方法」の実施を検討する。また、高水温自体が藻場回復の阻害要因でないと判断された場合は、ガイドライン等を参考にして従来手法による対策を検討することになる。高水温自体が要因であると考えられた場合は、以前から対象海域に分布している（または分布していた）従来種を用いるか、より高水温耐性の高い（生育上限温度が高い）種を用いるか、をフロー図に沿って検討することになる。

従来種を用いる場合にポイントとなるのは、従来種にとっての藻場形成適地（生育可能な環境）があるかどうかである。従来種は生育上限温度が比較的低いものが多いため、夏期の海水温上昇を抑えられる場所を見つける必要がある。これらのポイントをクリアできる場合は「海水温上昇が抑えられている場所を活用する方法」を採用できる。

高水温耐性の高い種を用いるには、対象とする海藻種が当該海域やその周辺で既に見られるか、加えてその母藻や種苗を対策が実施できるだけ入手できるか、がポイントとなる。周辺海域を含めて全く見られない海藻種を人為的に持ち込むのは生態系保全の観点から望ましくない。また、対象海域に分布していない海藻種を用いる場合には、必要量の母藻や種苗の入手に十分な準備が必要となることが多い。これらのポイントをクリアできる場合には「高水温下でも生育可能な海藻種を用いる方法」を採用できる。

これらの検討に加えて、ウニ・魚類等による食害が現状把握で確認されれば、高水温により高まる食圧への対策を検討することとなる。様々な植食動物の除去方法や、基質の形状を工夫して防御する方法（図 2-1）がガイドラインで紹介されているので参考にしていきたい。

以下に、検討フローのポイントごとに解説する。



図 2-1 基質の形状を工夫した食害防御の例（ガイドラインより）

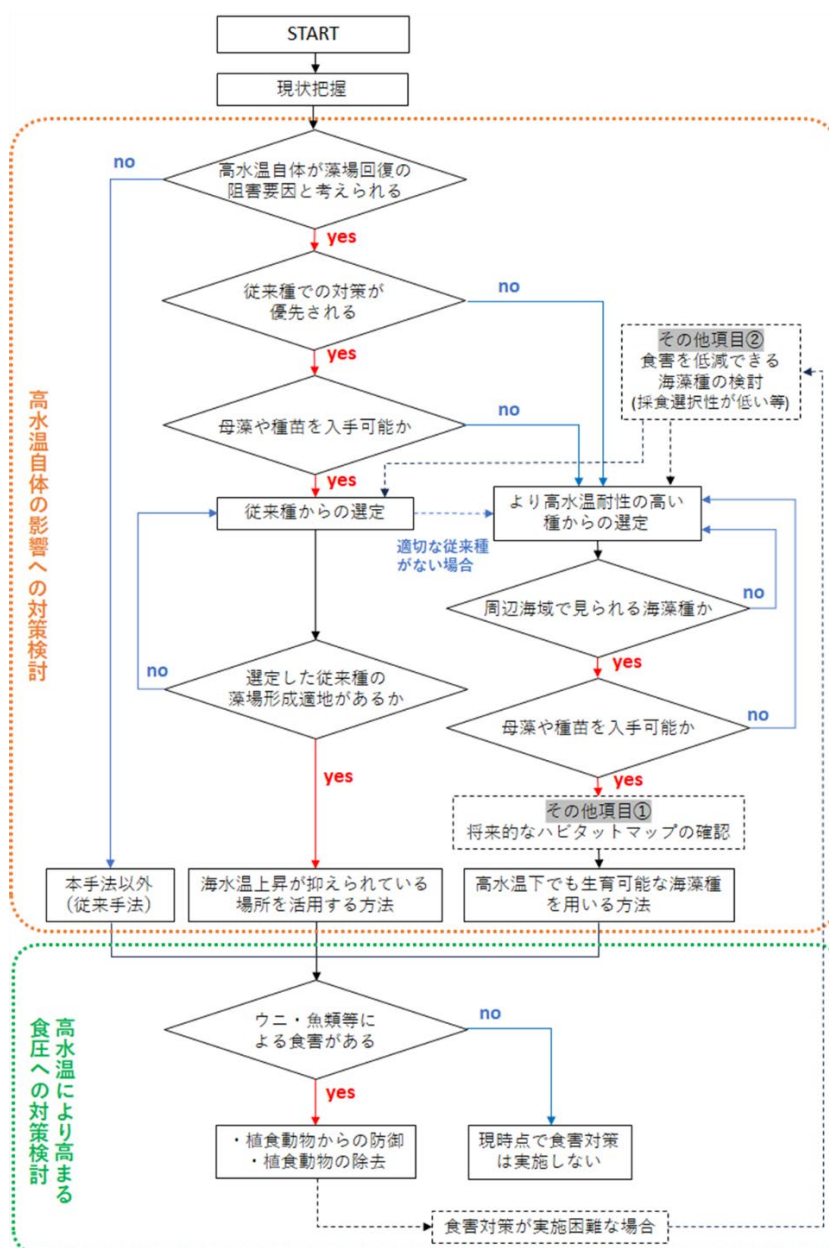


図 2-2 本手法を検討する際のフロー

(2) 現状把握

磯焼けの発生・継続の要因として、高水温自体の影響や食害が疑われる場合には、海水温情報の取得、藻体の異常の確認、植食動物の有無の確認等によって、海水温上昇に関連する影響を確認することができる。その結果は対策適地を選定する際に活用することが望ましい。

【解説】

海水温自体の影響を把握するには、「海水温情報の取得」や「藻体の異常の確認」が有効であり、加えて「植食動物の有無の確認」によって海水温上昇に関連する影響の現状を把握できる。「植食動物の有無」においては、潜水目視や設置式のカメラによるウニ・植食性魚類の把握と植食性魚類による食痕の確認が有効である。加えて、近年活用域が広がっている、環境 DNA による植食性魚類の分布把握も参考にできる。

これらの結果は、藻場保全・造成の適地の選定に活用できるだけでなく、植食性魚類の分布や食害が確認された場合には植食性魚類除去の適地選定にも活用できる。

①海水温情報の取得

海水温自体の影響による磯焼けの発生・継続を把握する手段の中でも、海水温情報の取得は直接的かつ定量的で確度が高いデータである。継続的に海水温（特に高水温期）データを蓄積することで、その変化から海水温変動の傾向を把握することが出来る。新たに海水温データを収集する場合には、独自に水温計を設置する方法と他の機関が取得した海水温データを利用する方法が考えられる。

i) 水温計を設置する

独自に水温計を設置する場合には、自分たちが知りたい場所・水深でのピンポイント情報が取れる点にメリットがあるが、水温計の購入（またはリース）や設置に相応の費用が掛かる。

近年、主流な水温計としてはペンダントロガータイプ（表 2-1、左）があげられる。小型で一定時間毎の水温データを数カ月～2 年程度（記録頻度による）記録する事が可能であるが、最大で 0.2～0.5℃程度の誤差が生じる可能性を考慮する必要がある。安い物ならば 1 個当たり 1 万数千円から購入できる。

ブイタイプの観測機器も選択できる。性能は製品により異なるが、表 2-1 に示す Spotter Buoy であれば標準で水温・波浪情報が取得でき、機能拡張により水温のみならず水質や流速等の観測も可能となる。また、ソーラーパネルによる給電と遠隔でのリアルタイム情報の収集が可能であるが、1 基で 150 万円程度の購入費用が掛かる（リースも可能）。

水温計を設置する際には年間を通して設置することが望ましく、難しい場合は高水温期（7～9 月）の水温だけでも把握したい。海水温上昇の傾向を把握するという観点では複数年に渡って継続的に設置できれば更に良い。また、1 日の水温変化が大きい場合もあ

るので、例えば1時間毎といった間隔で水温データを取得することが望ましい。

ペンダントロガータイプを設置する際には、潮流や波浪でも移動しないような人工物や天然基質に結束バンドや水中ボンド等で固定する。

ブイタイプの観測機器は水面に常在するので、漁業者らの関係者と調整を行う。届け出や申請が必要な場合があるので、関係機関に確認すること。

表 2-1 水温観測機器の一例

製品名	HOBO ペンダントロガー MX2202 (Onset 社)	Spotter Buoy (Sofar Ocean Technologies 社)
外観		
価格	1 万数千円～	約 150 万円
サイズ	W 33 × D16 × H 56 mm	W 420×H 310mm
計測項目	水温、照度	水温、波高等

ii) 他機関による海水温データを利用する

対象海域や近隣の海域において海水温データが継続的に取得されている場合は当該水温データが利用できる。基本的には「同海域である」「同水深帯である」「地形的に（岬や小湾によって）明確に隔てられていない」「直線距離で数キロ以内」といった条件を満たせば利用できるデータである可能性が高まる。ただし、上記の条件を満たしていても対象海域と同様の水温傾向とならないこともある。特に、河川水等の流入によって局所的に水温差が現れる場合もある。

周辺海域の利用可能な海水温データとしては、研究機関や水産試験場が記録・公開しているデータが良い。他にも定置網や養殖施設で記録している水温データを利用することも可能である。

表 2-2 海水温データの一例

名称	リアルタイム海洋情報収集解析システム	気象庁海面水温データ
発信機関	国立研究開発法人 水産研究・教育機構	気象庁
URL	https://buoy.nrifs.affrc.go.jp/top.php	https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/kaikyo/daily/sst_HQ.html
備考	取得データは水産資源調査・評価推進事業による	—

②藻体の異常の確認

高水温に晒された際には、ホンダワラ類では藻体が黒化する、カジメ等のコンブ科海藻においては藻体が溶けるように凋落する、同じくカジメ類において付着器付近の茎状部が弱くなり倒れる・流出する、といった状態が見られることがある（図 2-2）。

上記の異常を確認する場合は、高水温期に実施することが望ましい。また、生育上限温度の比較的低い海藻種（温帯性カジメ類等）が分布する場所の方が、藻体の異常を把握しやすいと考えられる。

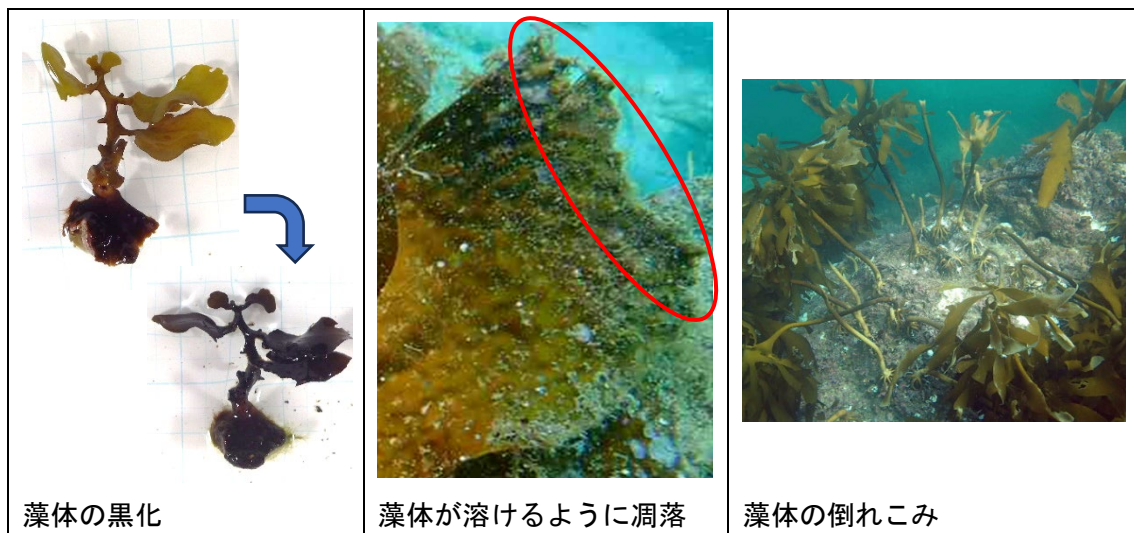


図 2-2 高水温による藻体の異常

③植食動物の有無の確認

高水温による高まる食圧の影響を把握するには植食動物の有無を確認する必要がある。その方法としては、最も一般的な潜水目視による確認、設置式カメラによる確認、植食性魚類の食痕による確認、があげられる。また、近年では環境 DNA を活用して植食性魚類を把握する技術も開発が進んでいる。

i) 潜水目視で確認する

最も一般的に実施されるスキューバ潜水による方法である。コドラート枠による調査やベルトトランセクト調査によって、ウニ密度を把握することが出来る。植食性魚類においてはダイバーから目視できた範囲内での確認となり、その分布や数を把握することは簡単ではなく、ダイバーの手間や熟練が必要となる。

ii) カメラを設置して確認する

海中に一定期間カメラを設置することで、植食性魚類の有無や出現頻度を把握し、種を特定することが可能である。ビデオカメラであれば動画を撮影することも可能であるが、数時間程度の撮影となることに留意が必要である。一方、タイムラプスカメラ

(図 2-3) では任意の間隔で静止画を撮影することが可能で、撮影間隔によっては1か月以上のデータが得られる。植食性魚類の摂餌傾向が時間帯によって異なる可能性を考慮すると、植食性魚類の有無や出現状況を把握するにはタイムラプスカメラが有効と考えられる。タイムラプスカメラの前に人為的に藻体を設置してより確実に確認することもできる。活用法についてはガイドライン第7章B項に更に詳しく記載されている。



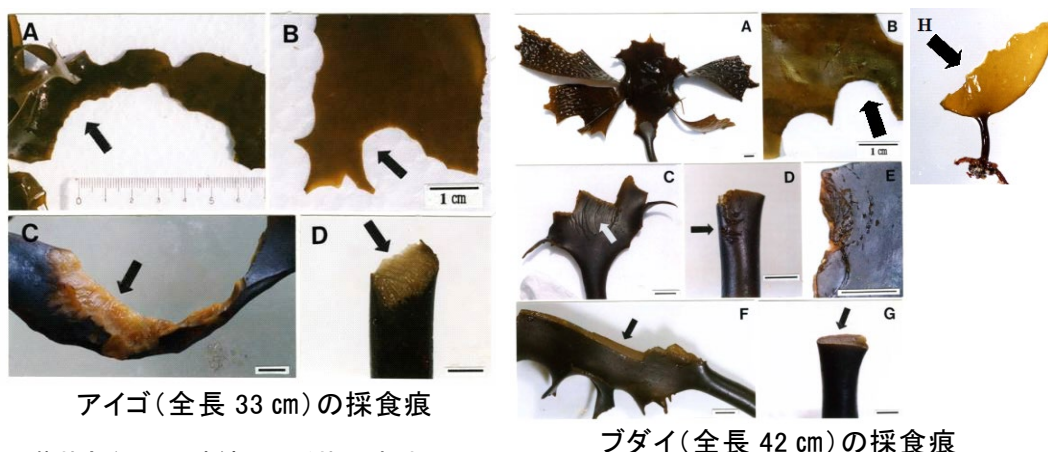
図 2-3 タイムラプスカメラの例
(ガイドラインより)

iii) 植食性魚類の食痕を確認する

海水温上昇によって、アイゴ、イスズミ類やブダイといった植食性魚類の個体数が増加すると予測され、分布域が広がる(北上する)可能性があるため、植食性魚類の食痕(図 2-4)が多数見られるようになった場合も海水温の上昇を示唆している。

植食性魚類の食痕を調査する場合は、ホンダワラ類よりもカジメ類やコンブ類の方が葉部を平面的に確認しやすい。また、水温変化や魚の成熟時期によって、食痕を確認しやすい時期があることにも留意が必要である。アイゴ、イスズミ類、ブダイともに低水温期を除く春～秋は恒常的に摂食活動を行っているが、成熟時期を過ぎた秋季に特に食圧が高まるため、食痕を確認しやすい。

また、海域で天然藻体の食痕を観察する方法以外に、採取した藻体を海域に設置し、引き上げてから食痕を確認する方法もあり、任意の場所とタイミングで食痕を確認することができる。



アイゴ(全長 33 cm)の採食痕
 A: 葉状部縁辺の連続した弧状の痕跡
 B: 葉状部縁辺の尖頭の弧
 C,D: 中央葉と茎に見られた筋状の痕跡
 ※矢印は主な採食痕
 スケールはいずれも 1 cm

ブダイ(全長 42 cm)の採食痕
 A: 側葉と中央葉を採食されたクロメ
 B: 深く湾入した楕円弧
 C,D: 葉・茎状部表面の筋状の痕跡
 E: 葉状部表面の菌形
 F,G: 中央葉の直線的な痕跡
 H: 葉状部縁辺の不規則な凹凸
 ※矢印は主な採食痕
 スケールはいずれも 1 cm

図 2-4 クロメの採食痕 (ガイドラインより)

参考情報：環境 DNA による植食性魚類の分布把握

植食性魚類の確認方法としては、一般的に食痕やカメラで確認する方法が選択されることが多いが、広範囲や多地点を調査するには時間がかかり、温帯域において透明度が低い夏季には魚類の観察自体が難しいこともある。

近年、水域生物のモニタリング技術として、淡水や海水を採水・ろ過し、その中に含まれる DNA を分析することで生物の在/不在や生物量を推定する環境 DNA 技術が開発・利用されている (図 2-5)。五島市崎山地区で植食性魚類のノトリスズミを対象とした環境 DNA 調査を実施したところ、ノトリスズミの消波ブロックへの蟄集とその出現時期を把握することができた (図 2-6)。

この技術は水中に残った対象生物 (植食性魚類) の DNA を PCR によって増幅することで、植食性魚類の在/不在や生物量を推定する手法であり、特定の機器や技術を要する。そのため、専門家・研究機関の協力体制を考慮したうえで、実施方針を決めることが望ましい。例えば、漁業者は採水とろ過までを実施し、検体を専門機関に送り解析を依頼することが考えられる (図 2-7)。

なお、環境 DNA による調査・解析を実施する際には、一般社団法人環境 DNA 学会が公表している「環境 DNA 調査・実験マニュアル」を参考にできる。

https://ednasociety.org/wp-content/uploads/2022/06/eDNA_manual_ver2_2.pdf



図 2-5 環境 DNA 分析のための 採水（左）と ろ過（右）の様子

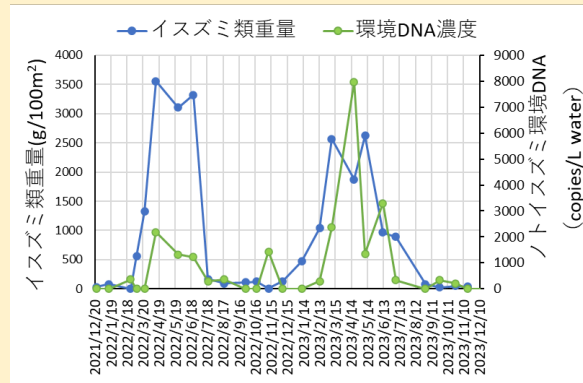
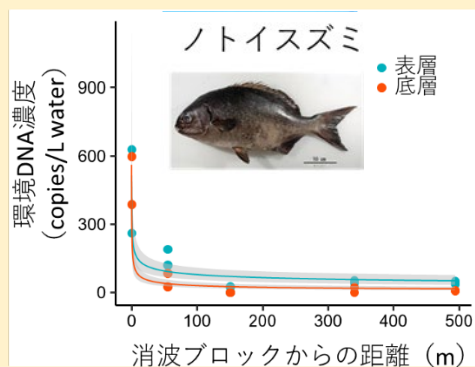


図 2-6 消波ブロックからの距離とノトリスズミの環境 DNA 濃度の関係（左）と消波ブロック周辺でのイスズミ類重量とノトリスズミの環境 DNA 濃度の時系列変化（右）

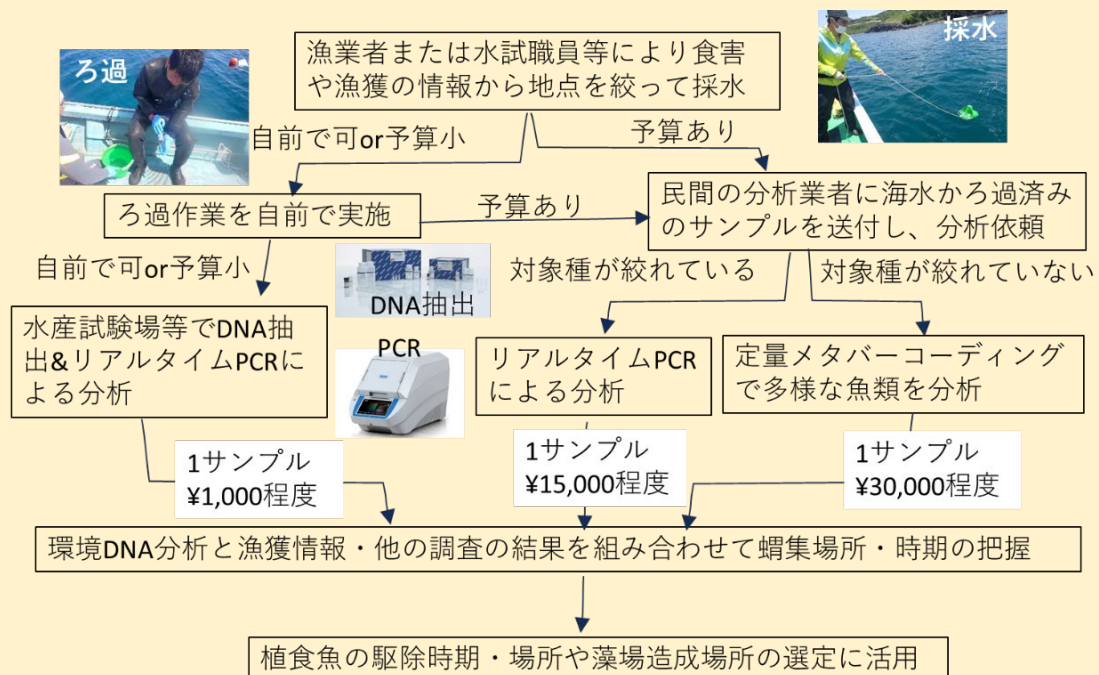


図 2-7 植食魚の分布把握のための環境 DNA 活用のフロー

(3) 海藻種の検討（従来種での対策を優先するかの検討）

海水温等の現状把握を実施した上で、海藻種の検討の際には漁業関係者等の意見を踏まえて、調整することが基本である。温帯性カジメ類に代表される従来種での対策を念頭に置く場合は、対策による効果が見込まれるか、藻場保全・造成にかかる負担等を考慮した上で検討する。

【解説】

従来種での対策を優先するかどうかは、藻場保全の活動主体や水産業への影響を踏まえて漁業関係者等から意見を聞き取り藻場保全・造成の目的を考えたいうで調整する。これまでであった藻場が海水温上昇により衰退している場合は、従来種での対策を優先するためには、海水温が低く抑えられている適地の探索・確保が必要になる。一般的には、有用水産資源の餌料効果が高い温帯性カジメ類が望まれることが多く、ホンダワラ類の場合でも、年間を通して藻場を形成できる種が多い温帯性ホンダワラ類が望まれやすい。ただし、こうした海藻が対象海域にほとんど残っていない、または既に見られない場合は、対策による効果が期待できるか、また継続的な藻場保全・造成対策を実施することによる負担等にも留意すること。

一方で、生育上限温度を踏まえ、高水温下でも生育可能な海藻種を利用する場合は、周辺で当該種が見られるかなど生態系への配慮と母藻・種苗の確保について合わせて検討する必要がある。

(4) 従来種を採用した場合の適地の探索

高水温自体が藻場回復の阻害要因と考えられる状況で、従来種を対象に対策を実施する場合、高水温期の海水温が抑えられる適地を探索する必要がある。そのような場所としては、深場や河口周辺の沿岸域、湧昇流による低温域が考えられる。

【解説】

温帯性海藻種などの従来種を採用した場合には、南方系種等に比べ生育上限温度の低いことが想定され、従来種が生育できる場所を探索する必要がある。すなわち、高水温期の海水温が抑えられる場所を見つける必要があるが、海水温の上昇が抑えられる可能性のある場所としては以下が考えられる。

- ① 深場
- ② 河口周辺の沿岸域
- ③ 湧昇流による低温域

①深場

一般的に水深が深いほど水温が低くなるので、高水温期の海水温を抑制できる深場を利用する。実際の活動やモニタリングを考慮して最大でも水深 15m 程度までの深さとするのが望ましい。ただし、場所によっては深場であっても浅場と海水温差がほとんどない場合もあるので、事前に海水温が抑制されるか水温データを取得する必要がある。第 3 章①の事例を参考にできる。

②河口周辺の沿岸域

河口から近い沿岸域では河川水や湧水によって水温が抑制されることがあり、実際に河口周辺の沿岸域で従来種が生残・増殖された知見（第 3 章②を参照）がある。

ただし河口周辺の沿岸域を利用する場合には海水温だけでなく、海藻の生育に影響を及ぼす可能性のある塩分濃度も事前に把握しておくが良い。

③湧昇流による低温域

過去の調査から、湧昇流によって深場の冷たい海水が沿岸域に運ばれ、海水温が抑制される場所があることが示されている（水産庁，2013）。このような場所も従来種を用いる場合に活用できる可能性がある。

（５）海藻種の選定と入手

高水温下でも生育可能な海藻種を利用するにあたっては、対象種の生育上限温度や将来的な分布予測を考慮した「海藻種の選定」や、タネの供給源となる「母藻または種苗を入手」する方法を事前に検討する。

【解説】

磯焼け対策において、対策の対象となる海藻種を適切に選定することが重要である。海水温などのその海域環境を踏まえた適切な種を選定するとともに、効率的に藻場を保全・造成するためには、「海藻のタネの供給」は重要で効果の高い技術であることから、その母藻や種苗を入手できるかどうかをよく検討する必要がある。実施するにあたって検討すべき以下の３点について解説する。

- ①海藻種の選定
- ②母藻の入手
- ③種苗の入手

①海藻種の選定

本手法において対象とする海藻種を選定する際は、対象海域の海水温において生育可能な海藻種を選定する点に留意する。第 1 章で示した海藻種毎の生育上限温度を参考にして、

高水温期の対象海域における水温よりも生育上限温度が高い海藻種を選定することが基本となる。例えば、高水温期に頻繁に 30℃に達することがあるような海域であるのならば、生育上限温度が 28～29℃とされている温帯性カジメ類による藻場の回復を計画することは適当ではない。また、生態系保全の観点から周辺海域に見られる種を利用することが望ましい。

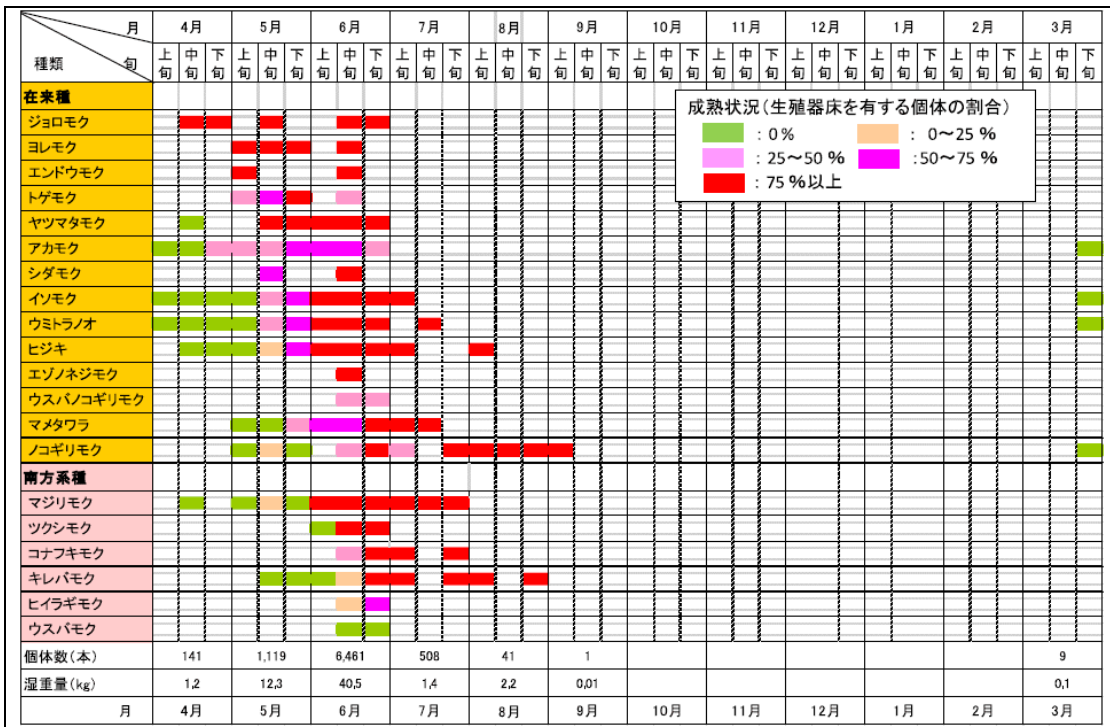
②母藻の入手

母藻利用によって海藻のタネを供給する場合には天然に繁茂する海藻や、流れ藻（基質から離れ海面を漂うホンダワラ類等）、寄り藻（基質から離れ海底を漂うカジメ類等）を活用することができる。この場合は対象海域や近隣海域において、一定量以上の母藻の入手が期待できる海藻種を対象として検討することになる。母藻の取得時期の例として表 2-3 に新長崎漁港内で採取された流れ藻の成熟状況を示す。

※母藻の採取に届け出や申請が必要な場合があるので行政の担当部署に確認すること

表 2-3 流れ藻獲得時期の一例：新長崎漁港内で採取した流れ藻の成熟状況

（長崎県における磯焼け対策ガイドライン 平成 30 年度改訂版 より）



③種苗の入手

種苗を入手する方法としては、天然採苗と栽培漁業振興公社等（以下、栽培公社）や民間企業からの購入がある。しかし、磯焼けが深刻な海域では天然採苗による大量の海藻種苗の入手が困難となっている。また、栽培公社や民間企業から購入する場合も、受注生産となり

生産規模も小さいため、地域性のある種や希望する種を、必ず入手できるとは限らない。

長崎県では、水産環境整備事業で扱う藻場礁に使用する種苗を、事前に県内の栽培公社等へ生産を依頼し、着定基質の据付時に間に合うように準備している。また、鳥取県栽培漁業協会では、水産多面的機能発揮対策事業の活動組織が必要とする移植用の種苗を、事前に生産して提供している（図 2-8）。



長崎県（壱岐栽培センター）



鳥取県（鳥取県栽培漁業協会）

図 2-8 県で行われている種苗生産

参考情報：海藻バンクプロジェクト

海藻種苗の供給体制の構築に関連して、漁港を利活用して大量かつ安定的に海藻を育成する「海藻バンクプロジェクト」の技術開発が始まっている（図 2-9）。このプロジェクトでは、地球温暖化に伴う海水温の上昇による海藻の育成環境の悪化に対処するため、漁港に簡易な種苗生産施設を設置し、そこで海藻類の大量種苗生産が行われる。海藻カートリッジに種苗を着生させた後は、漁港の泊地で海藻カートリッジを中間育成し、一定程度まで成長した海藻付きカートリッジを漁港周辺の天然岩礁、既設・新設の防波堤、消波・根固めブロックへ移植することで、藻場を拡大させてブルーカーボン生態系の拡大に貢献することを目指している。



図 2-9 海藻バンクシステム

※資料提供（海藻バンクコンソーシアム）

(6) 食害対策

対策の実施海域において、食害の影響が見られる場合は、合わせて対策を実施する必要がある。対策方針としては、植食動物からの防御と植食動物の除去が基本となる。防御・除去の手法・技術はガイドラインで詳しく紹介されているので、参考にできる。

【解説】

①植食動物からの防御

本手法を実施の際には、植食動物対策が重要となる。ユニフェンス、簡易型藻場礁、仕切網等の食害防御技術など（図 2-10）がガイドラインに記載されている。

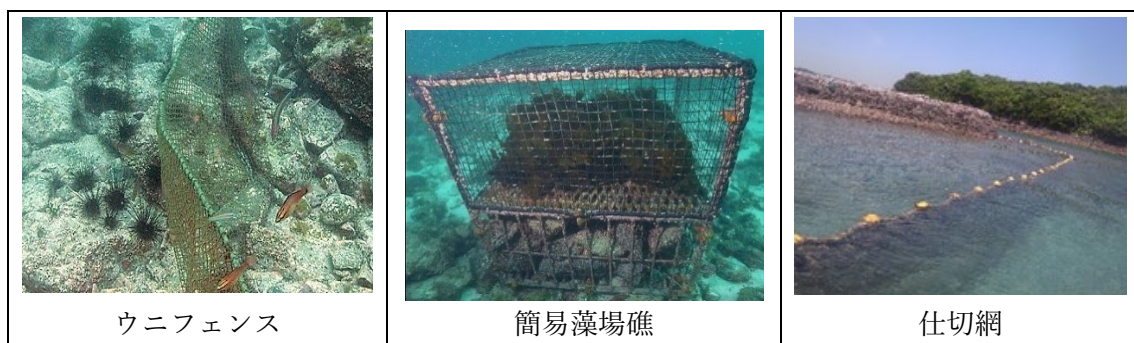


図 2-10 食害防御対策の例（ガイドラインより）

植食性魚類対策として、比較的容易に作成設置が可能で植食性魚類からの食害抑制に効果のある簡易食害防止ネットを加えて紹介する。

簡易食害防止ネット（図 2-11）は漁業者等によって作成・設置が可能で簡易な構造である点が特徴で、設置による食害防止効果が確認されている（図 2-12）。特に植食性魚類からの防御対策の一つとして利用が期待される。作成・設置におけるポイントは次の通りである。

- サイズは幅・奥行・高さとも約 1.5m で、上部ほどやや狭くなる台形型
- 浮ロープやブイを用いることで、水中で形状が安定する
- 高さ 50cm 程の塩ビ管の骨組みを入れることで、植食性魚類がネットを押し付けて内部の海藻を摂食することを防ぐ

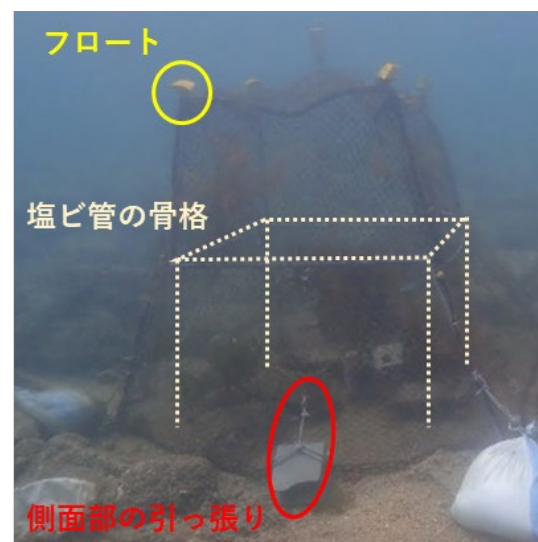


図 2-11 簡易食害防止ネット

- さらにネット側面部をロープと重石で張ることで、植食性魚類からの防御能力を高める
- 設置前にネットをシリコン液に浸漬してコーティングすることで、付着物（生物を含む）を低減している
- 底面縁辺は鋼製チェーンが重しとなっており、海底地形に沿ってウニ等が侵入する隙間が出来にくい
- 設置時はネットの形状が安定するよう、フロートや引っ張りを調整する。設置にかかる時間は、ダイバー2名で1基あたり1時間弱



図 2-12 クロメ移植 6 か月後の様子（左：ネット有り、右：ネット無し）

②植食動物の除去

本手法において、植食動物からの防御と同様に重要になるのが植食動物の除去である。ガイドラインにおいても、潜水によるウニ除去、刺し網や延縄やトラップによる植食性魚類の除去が紹介されている（図 2-13）。ウニは移動範囲が狭く対策の効果がある程度持続するため、ウニ除去によって藻場が回復した事例が多数報告されているのに対し、植食性魚類は移動範囲が広く、ウニ除去に比べて機器や人手が必要となることも多いため、地域一体となって取り組むことが重要である。なお、継続的かつ大規模な除去を実施して藻場が回復した壱岐市のような好事例（第 3 章③）もある。

海水温上昇によって植食性魚類による食圧がさらに高まることが予測される現状では、植食性魚類の除去技術の高度化が求められている。



図 2-13 植食動物除去の例（ガイドラインより）

（7）その他の検討項目

本手法を検討する上では、将来的なハビタットマップを海藻種選定における参考とすることが出来る。また、食害対策の実施が困難な場合には食害を低減できる海藻種を検討することで食害を軽減できる場合もある。

【解説】

①将来的なハビタットマップの確認

海水温上昇に対応できる海藻種を用いる場合には、現状だけでなく今後の海水温の上昇も加味することで、より中・長期的に有効な藻場保全・造成ができる可能性が高まる。その際には第1章で紹介した海藻種毎に予測した将来的なハビタットマップを参考にできる。ただし、ハビタットマップは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ることで予測しており、海水温以外の要素や局所的な海水温変化を考慮していない点に留意が必要である。そのため、高水温期の水温が抑制される環境（例えば深場や河口周辺の沿岸海域）を利用して磯焼け対策に取り組むことが基本的な方向性となる「海水温上昇が抑えられている場所を活用する方法」においては、実際の海水温情報を判断基準とすることが望ましい。

②食害を低減できる海藻種の検討

本手法を検討する際には、食害対策が必要と判断されることが多いと思われるが、人手不足や高齢化によって十分な対策が実施できないことも考えられる。特に植食性魚類対策には労力を要することが多い。そういった場合には、海藻種によって植食動物からの食べられやすさ（採食選択性）に差があることから、採食選択性を参考に海藻種を選定する考え方もある。調査委託事業で使用した海藻種において、実証結果から推定された採食選択性を例として表2-4に示している。ただし、採食選択性が低くても、周辺に採用種以外の海藻が少ない、海藻自体が少ない場合にはその効果は薄れることに留意が必要である。

表 2-4 海藻種による採食選択性の違い（高いほど食べられやすい）

区分	海藻種	採食選択性
温帯性カジメ類	クロメ	高い
温帯性ホンダワラ類	ヨレモク	低い
	ノコギリモク	やや低い
	マメタワラ	高い
亜熱帯性ホンダワラ類	キレバモク	やや高い
	マジリモク	やや低い

3 章 海水温上昇に対応した磯焼け対策の事例

海水温上昇に対応した藻場保全・造成の参考となる関連する 4 つの事例を紹介する。
本手法を活用した対策を検討する際に参考とされたい。

【解説】

海水温の上昇に対応した磯焼け対策が実施された事例は現状では少なく、今後各地で取り組まれることで知見が集まることが期待される。ここでは、海水温上昇が抑えられている場所を活用する事例（①と②）、植食性魚類を徹底して除去した事例（③）、食われても再生できる海藻に関する知見（④）を紹介する。

- ① 海水温が抑制される深場を活用したクロメ生育の実証試験
- ② 土佐湾におけるカジメ群落の分布と造成
- ③ 壱岐市における徹底したイスズミ除去
- ④ 早熟性カジメの磯焼け対策への活用可能性

①海水温が抑制される深場を活用したクロメ生育の実証試験

調査委託事業の中で、壱岐海域（長崎県壱岐市）にて、クロメを用いた実証試験を実施した。この実証では深場において夏期の水温上昇が抑制されることに期待して、生育上限温度の低いクロメ（28℃）の生育可能性を検討した。なおここでは、生育上限温度より 1℃高い 29℃をクロメの枯死水温としている。

結果、水深 5m 区画と 15m 区画では夏期に約 1.5℃の水温差が確認された。水深 5m 区画で

は令和 4 年（2022 年）に 2 週間以上に渡って水温 29 度を超えているが、翌年は 29℃を超えたのは 1 日のみであった点が特徴的である（図 3-1）。

移植したクロメの生長結果を図 3-2 に示している。まず左半分の令和 4 年を見ると、夏に水深 5m 区画で海水温が 17 日連続で 29℃を超えていたためか、秋以降も回復・生長が遅れた。一方で、水温が抑えられた水深 15m 区画では台風による砂への埋没というアクシデントに見舞われたものの、以降に急激に回復・生長している。また、翌年の令和 5 年（図の右半分）を見ると、夏期水温が前年程上がらず（枯死水温に到達したのは水深 5m 区画で 1 日

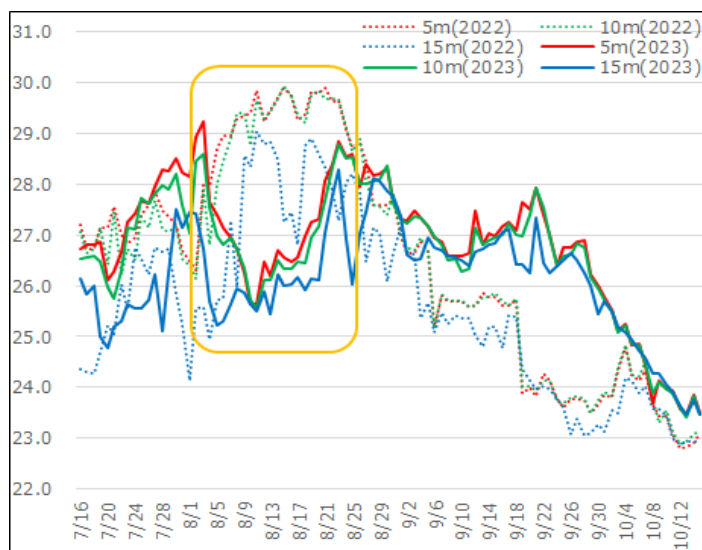


図 3-1 壱岐海域実証区の夏期水温（令和 4—5 年）

のみ) 秋以降に各水深の区画で順調に生長が見られた。

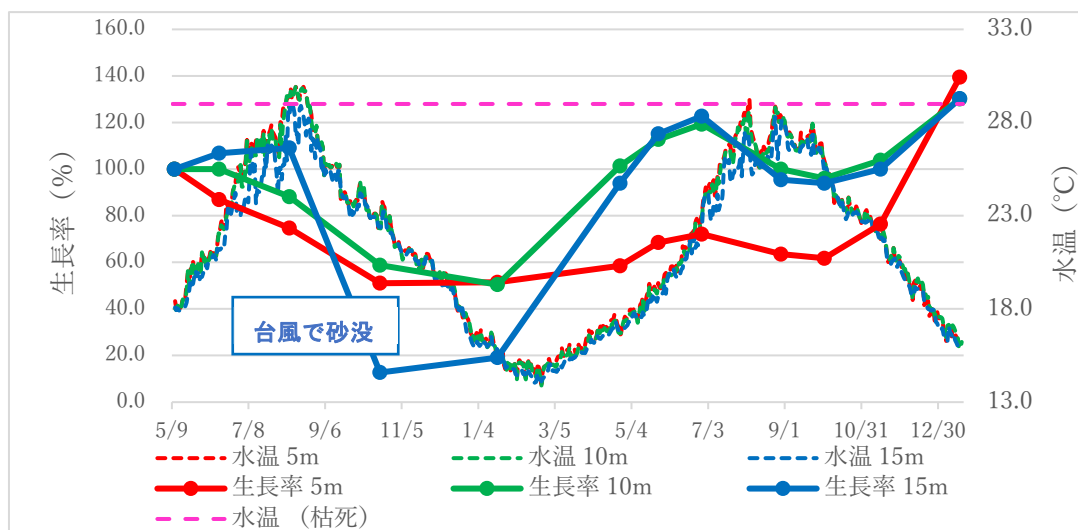


図 3-2 クロメの生育結果 (令和 4 年 5 月～令和 6 年 1 月)

この結果から、クロメの生育には夏期水温の抑制が重要な要素であり、一定期間枯死水温を超える水温に晒されると、枯死しないまでも藻体へのダメージが残り、秋以降の生長に影響を及ぼすことが示唆された。よって、ホンダワラ類に比べ枯死水温の低いクロメにおいては、「海水温上昇が抑えられている場所を活用する方法」として、夏期の水温上昇が抑制される深場での対策が有効であると言える。

ただし、壱岐海域の九州本土側の対岸である鎮西海域 (佐賀県唐津市) では水深 5m 区画と水深 15m 区画の夏期の水温差は 0.5°C 程度しかなく、水深の違いによって十分な水温差が必ず得られる訳

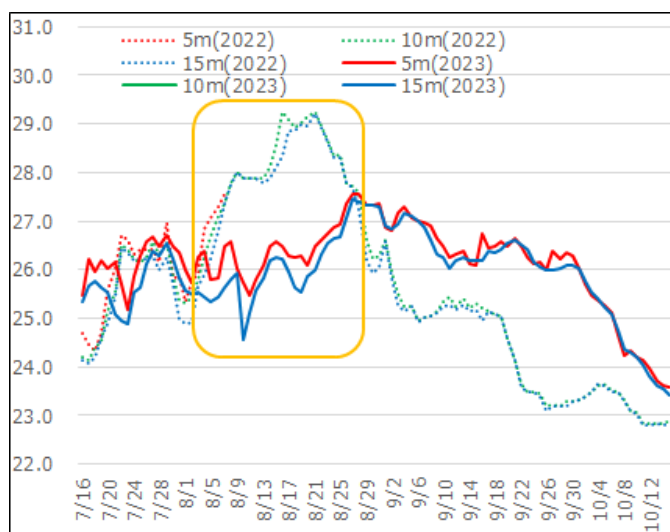


図 3-3 鎮西海域実証区の夏期水温 (令和 4-5 年)

ではなかった。この方法においては、夏期水温が十分に抑制できる場所を事前に探しておくことが重要である。なお、水温以外の要因も考慮して考察していない点に留意が必要である。

②土佐湾におけるカジメ群落の分布と造成

高知県土佐湾においては海水温の上昇とともにカジメが減少し、現在カジメ群落が確認されるのは田ノ浦地先 (黒潮町) と宇佐漁港南部 (土佐市) のみである。そのうち、宇佐漁

港南部のカジメ群落は 2003 年に造成された核藻場から拡大したものである（芹澤ら, 2007）。このカジメ群落を造成できた要因はウニからの食害を防ぐべく支柱上のロープにカジメ種苗を設置したことが大きな要因ではあるが、河川の流入によると考えられる 0.5-1.0℃程度周辺より低い海水温も要因の一つとして挙げられている。

土佐湾沿岸の 2 つのカジメ群落ともに近くに河川が流入しており、田ノ浦周辺では約 6km 南方の四万十川（一級河川）と約 1km 北方の蛸瀬川が、宇佐漁港周辺では約 2km 北東側の仁淀川（一級河川）が土佐湾に流入している（河野ら, 2018）。

よって、河口周辺の沿岸海域は夏期の水温上昇を抑制できる環境として「海水温上昇が抑えられている場所を活用する方法」の適地になりうると考えられる。

③ 壱岐市における徹底したイスズミ除去

壱岐市の沿岸海域では、以前は磯根資源であるアワビ・サザエの餌となる藻場が形成されていたが、近年の気候変動等の影響に伴う水温上昇により、植食性魚類（イスズミ等）の摂食活動が長期化及び活性化し、食害による磯焼けが拡大した。藻場の衰退傾向が続き、平成 30 年～令和元年度には深刻な磯焼け状態となった。そこで壱岐市は令和元年度よりイスズミの買い取り制度をスタートさせ、漁業者によって多くのイスズミが捕獲されており、令和 1～4 年度の 4 年間では 26,000 尾以上のイスズミが除去された。その結果、集中的に除去が行われた郷ノ浦地区では、令和 5 年度には約 276ha の大規模なヨレモク藻場が回復した。

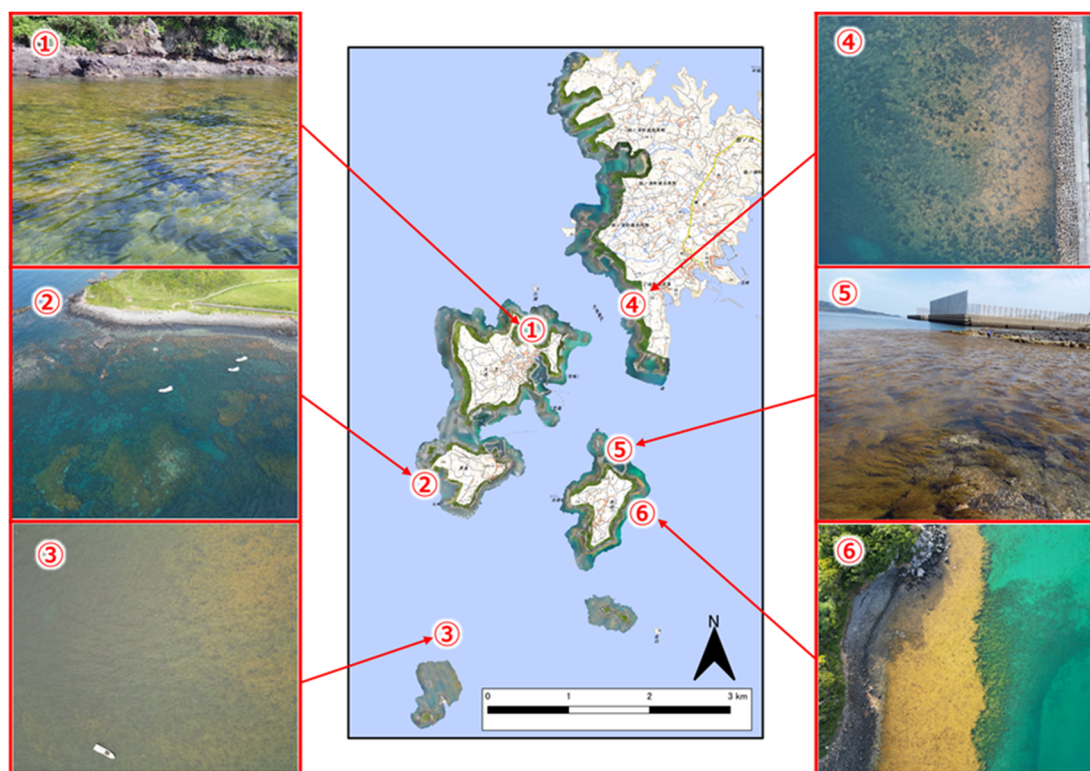


図 3-4 郷ノ浦地区における藻場の繁茂状況（令和 5 年 6 月）

④早熟性カジメの磯焼け対策への活用可能性

植食性魚類による食害対策は通常、摂食圧を抑制して藻場を回復するという観点で検討されるが、早熟性カジメの磯焼け対策への活用は「食われても再生する藻場」を形成するという観点での取り組みとなる。

神奈川県三浦半島西岸ではかつてカジメが高密度で分布していたが、2010 年頃からアイゴやウニによる食害が主要因と考えられる磯焼けが発生し深刻な状況である。通常、カジメは成熟までに 1 年以上を要するが、カジメやクロメでは 1 年以内に成熟する早熟性の藻体が存在することが分かっている。早熟性の藻体はアイゴ等の植食性魚類の食圧が高まる夏～秋までに成熟し遊走子を放出することが可能なため、次世代を残せていると考えられる。三浦半島西岸のある海域では、カジメ群落が毎年消失し周辺に遊走子の供給源も見当たらないにもかかわらず、毎年群落が再生していた（図 3-5）。神奈川県水産技術センター等の長年の調査により、早熟性カジメの存在とそれによる群落の維持再生が確認された（図 3-6）。

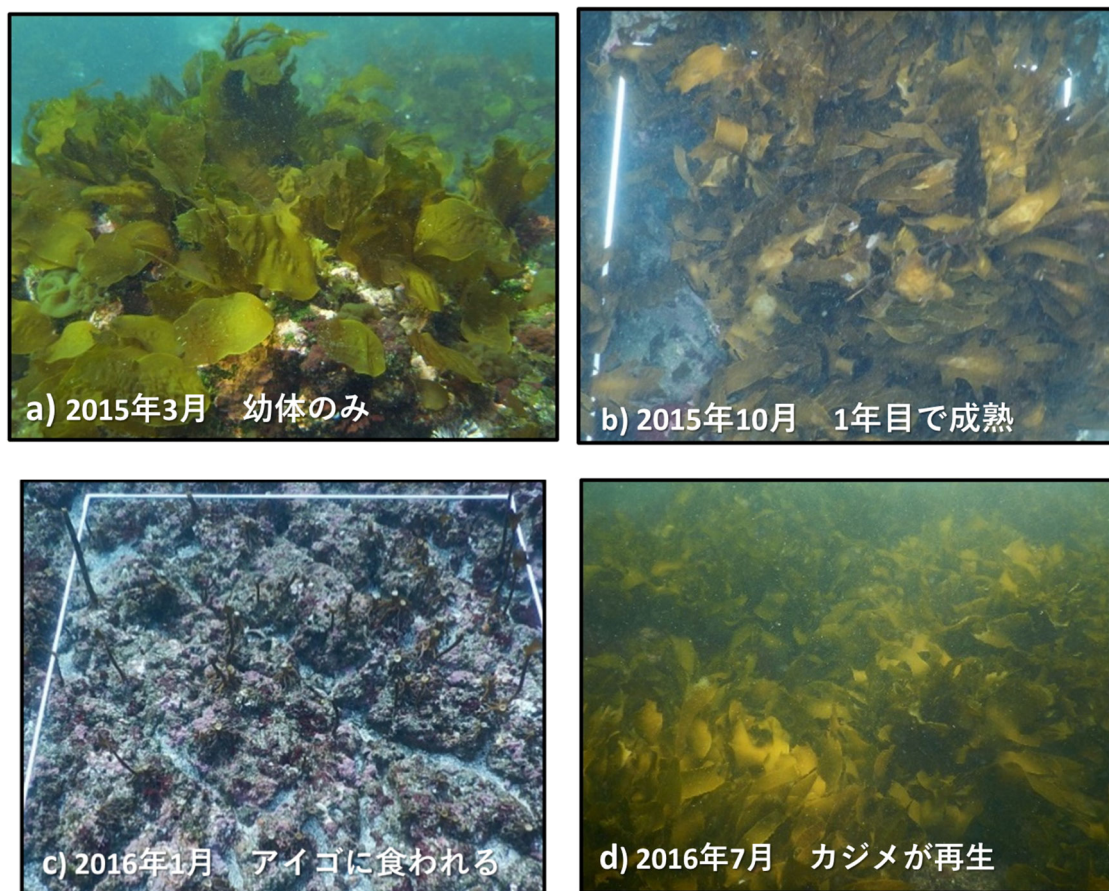


図 3-5 早熟性カジメの消長状況（木下ら，2023）

このような早熟性カジメ類は日本のいくつかの海域で確認されているが、三浦半島西岸海域では天然の早熟性カジメの再生力だけでは群落の維持に限界があることも判明している。そこで、木下ら（2024）は早熟性カジメの遊走子由来のフリー配偶体からカジメの人工

種苗（孢子体）を作製し、陸上水槽や海域にて育成試験を行った結果、早熟性を確認しており、今後の藻場再生への活用が期待できる。

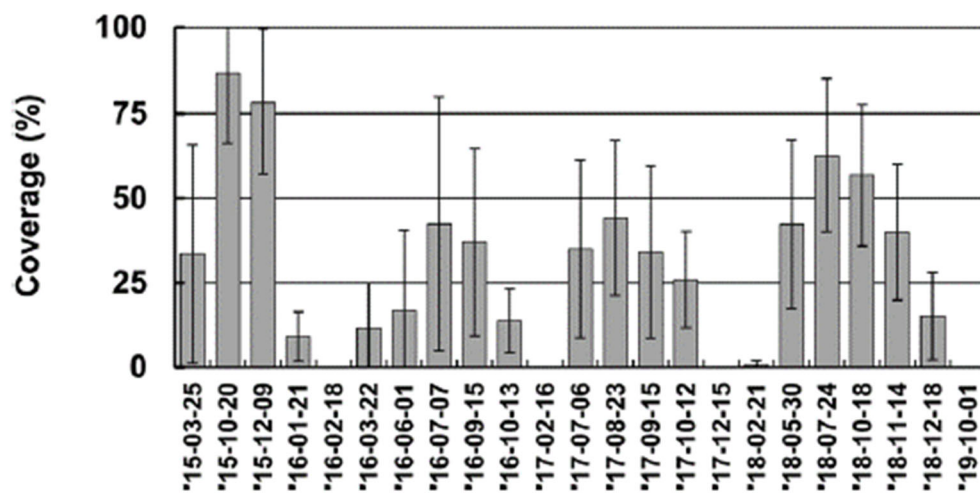


図 3-6 早熟性カジメの経年の消長（木下ら，2023）

なお、本知見は海水温の上昇自体に対応することを主眼に置く「海水温上昇に対応できる海藻種を用いる方法」とは異なり、植食性魚類による食圧に対応できる藻場造成の可能性を示唆している。

おわりに

本書は、海水温が上昇することによる藻場への影響が顕在化している中で、「海水温自体の影響」と「高水温により高まる食圧」に焦点を当てて、その対策手法についての考え方を取りまとめており、今後の藻場の保全・造成にあたっての参考にしてもらいたい。

海水温自体の影響への対策においては、大きく二つの方法、「高水温下でも生育可能な海藻種を用いる方法」と「海水温上昇が抑えられている場所を活用する方法」を紹介している。いずれの場合でも、基本的な磯焼け対策を検討する場合と同様に、現状をよく把握した上で、藻場が衰退、消失した要因を踏まえた対策をしていくことが重要であるとともに、対策実施後のモニタリングによる効果の把握を行い、取組を継続しつつ、その手法の改善を繰り返していくことが必要である。さらに、海水温の上昇が今後も続くことを想定すると生育可能な海藻種も変化していくことが予想される。今回、簡易的な推計方法を用いた将来的なハビタットマップを参考に掲載したが、こういった今後の変化も見据えた対策手法の検討を合わせて行うことが望ましい。今後、実際に各海域で対策が実施されることが期待されるが、それらの効果など更なる知見を収集した上で、継続的に本書を改善していきたい。

参考資料

(1) 南方系（亜熱帯性）海藻の紹介

以下、「宮崎県海藻（ホンダワラ科海藻）」「長崎県海藻（西海市）」（いずれも西日本オーシャンリサーチ、JF 全漁連）を改変して掲載している。

宮崎県海藻（ホンダワラ科海藻） <https://hitoumi.jp/library/zukan-miyazaki.pdf>

長崎県海藻（西海市） <https://hitoumi.jp/library/zukan-saikaisi.pdf>

和名		マジリモク
学名		<i>Sargassum carpophyllum</i>
生物学的特徴	分布	沖縄県、九州、四国、瀬戸内海西部、静岡県
	大きさ	1～3m、最大 7.4m（名護）
	水温	上限 32℃
	その他	内湾的環境で生育、潮間帯上部から水深 15m、砂や泥がかかった深所に局所的に生育することが多い、6 月下旬～8 月上旬に成熟卵放出（長崎）。



写真提供：西日本オーシャンリサーチ

和名		キレバモク	
学名		<i>Sargassum alternato-pinnatum</i>	
生物学的特徴	分布	沖縄県、九州、四国、紀伊半島	
	大きさ	1～1.5m	
	水温	上限 32℃	
	その他	潮間帯下部から水深 5m、6 月下旬～8 月上旬に成熟卵放出（長崎）、卵数が多い、成熟後藻体は流出し、翌春に越冬して根部から主枝が伸長する多年生。	

写真提供：西日本オーシャンリサーチ

和名		ヒイラギモク	
学名		<i>Sargassum ilicifolium</i>	
生物学的特徴	分布	沖縄県、九州西岸、九州南部～房総半島までの太平洋沿岸	
	大きさ	1～1.5m	
	水温	25～30℃（生長適温）	
	その他	水深1～5mの岩礁域・サンゴ礁上、6月下旬～8月上旬に成熟卵放出（長崎）、6～7月（高知）	

写真提供：西日本オーシャンリサーチ

和名		ツクシモク	
学名		<i>Sargassum assimile</i>	
生物学的特徴	分布	沖縄県、九州、高知県、和歌山県	
	大きさ	30～50 cm、静穏域では稀に100cm	
	水温	不明	
	その他	水深2～5m、岩や転石上、6月下旬～8月上旬に成熟卵放出（長崎）	

写真提供：西日本オーシャンリサーチ

和名		コナフキモク	
学名		<i>Sargassum glaucescens</i>	
生物学的特徴	分布	沖縄県、九州、高知県	
	大きさ	50～80 cm、稀に1m超	
	水温	15.2～28.8℃（鹿児島湾実測値）	
	その他	乾燥標本に白い粉が現れる。内湾的な水深2m前後（鹿児島湾）、6月下旬～8月上旬に成熟卵放出（長崎）、多年生。	

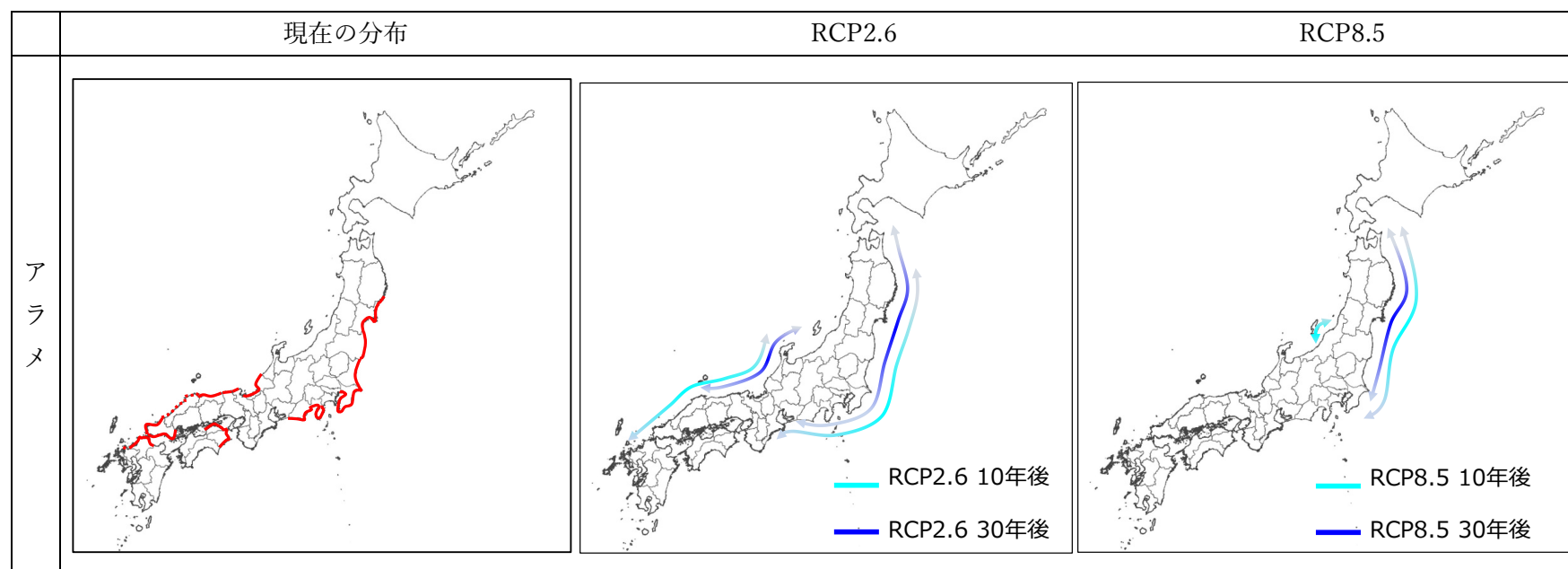
写真提供：西日本オーシャンリサーチ

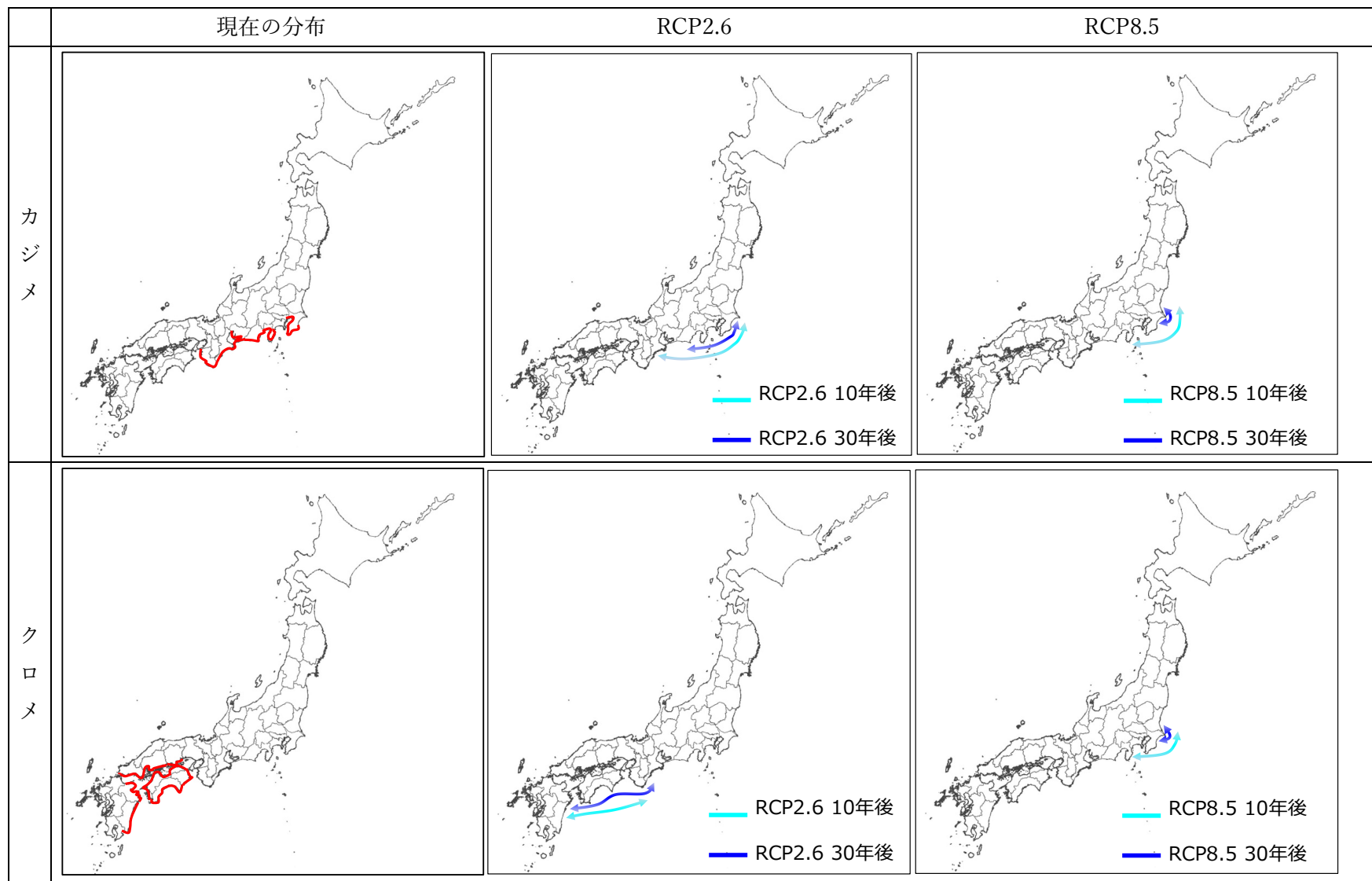
(2) 将来的な分布予測

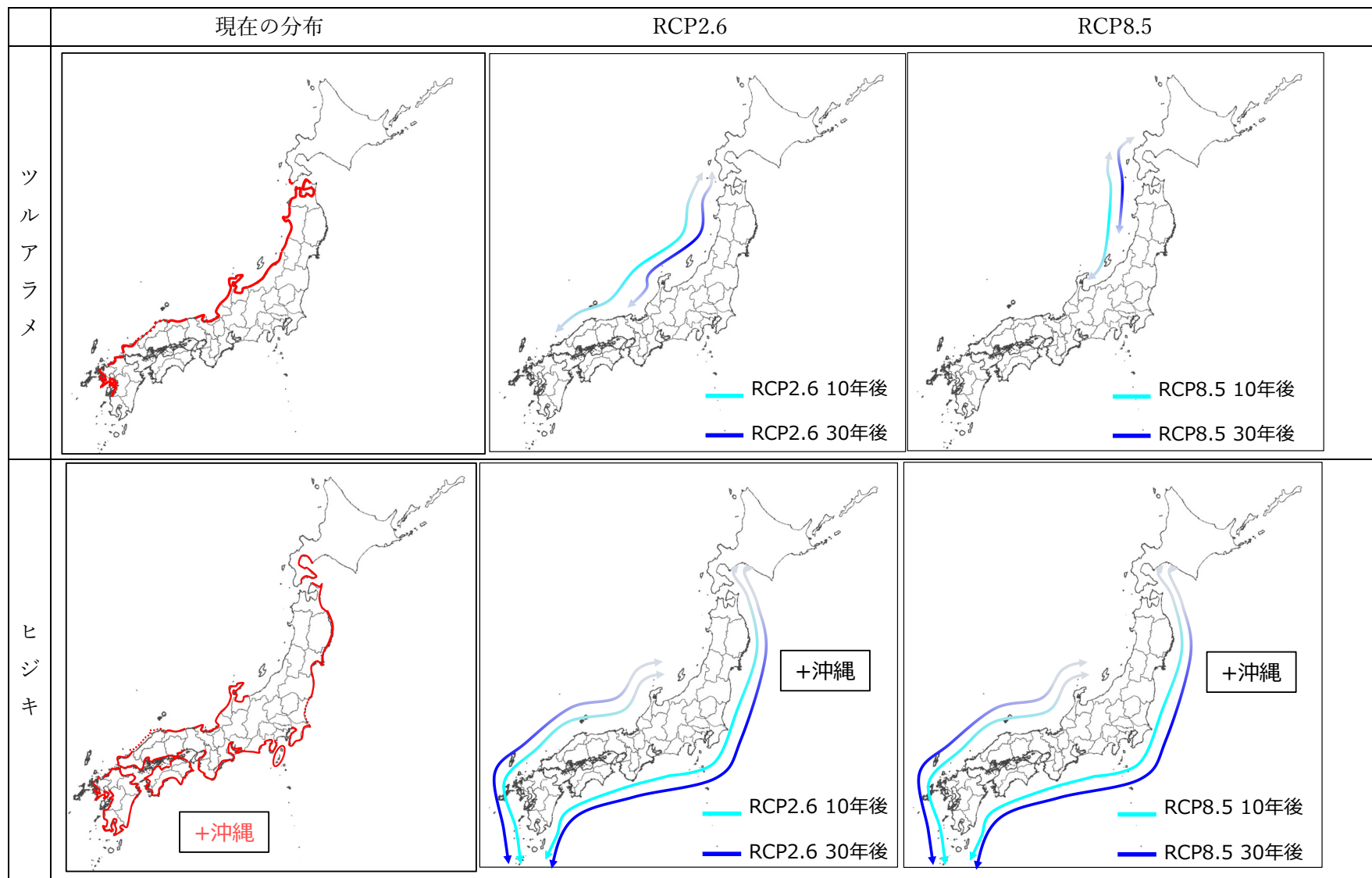
第一章に記載の方法で予測した、藻場構成種と植食性魚類についての将来的なハビタットマップを下に紹介する。紹介されている各海藻種において、現在の分布を左図（赤線）で示したうえで、RCP2.6（2℃上昇シナリオ）と RCP8.5（4℃上昇シナリオ）の両シナリオにおける 10 年後（2030 年）と 30 年後（2050 年）の分布予測結果を示している。2030 年・2050 年の海水温は 2100 年時点の予測上昇水温まで直線的に上昇していくと仮定して予測されており、海水温以外の要素や局所的な環境等を考慮していない点に留意が必要である。

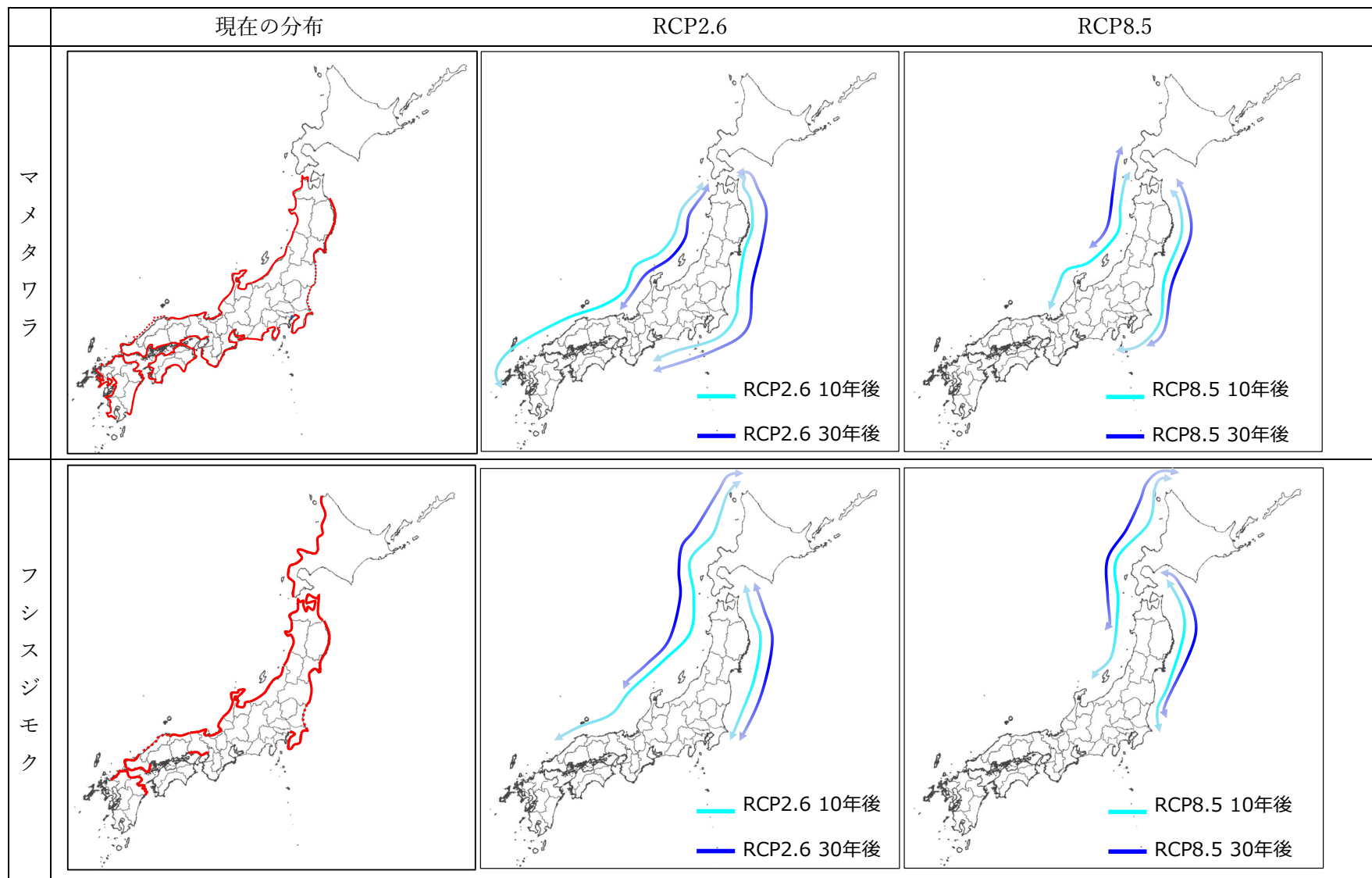
なお、カジメ類（カジメ、クロメ、ツルアラメ）の分類においては、日本海側の青森から九州に分布するものをツルアラメ、房総半島から紀伊半島に分布するものをカジメ、太平洋側の四国九州に分布するものをクロメとしている（Akita *et al.* 2020）。

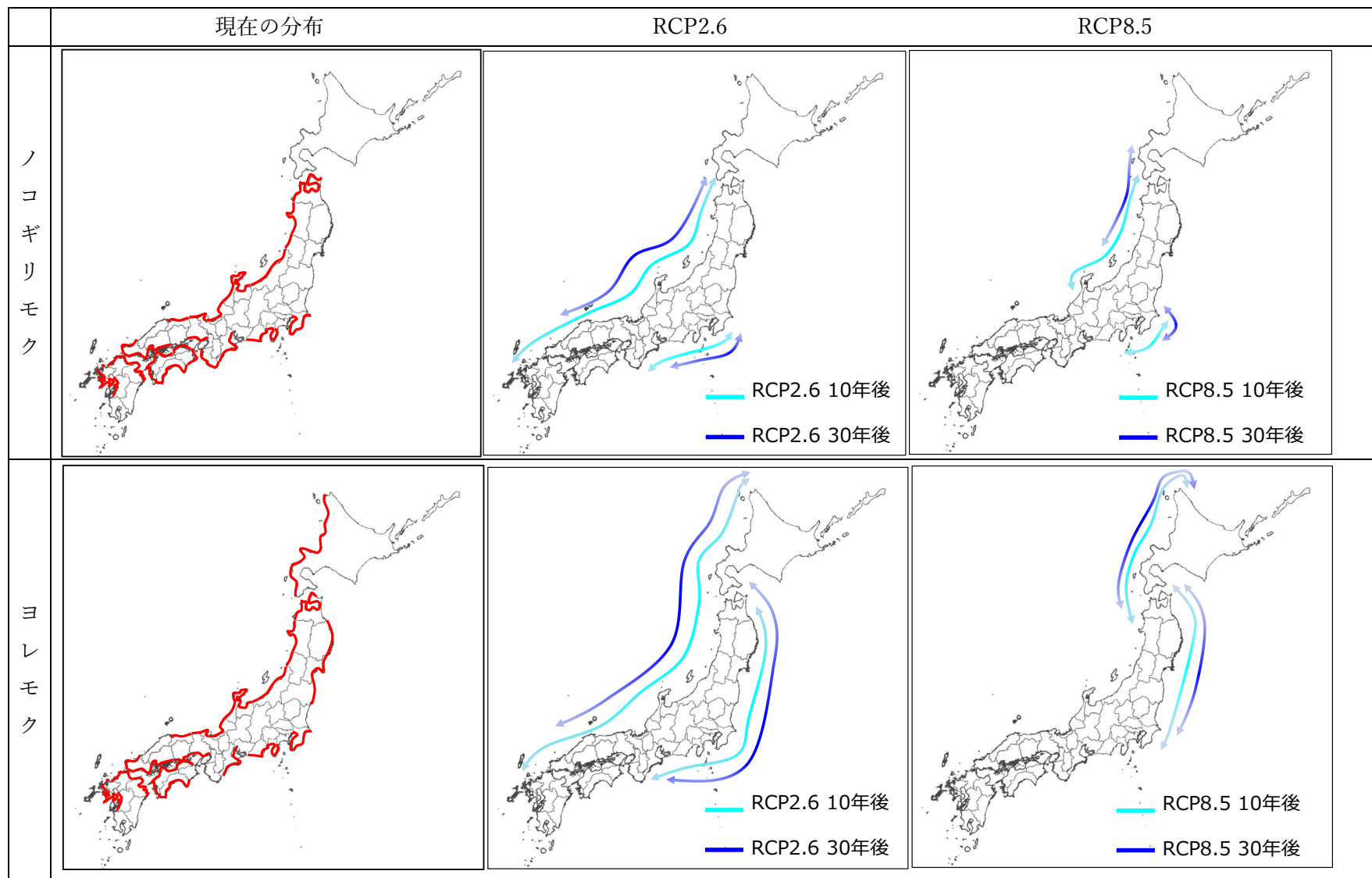
また、植食性魚類においては現在の分布を把握する際に、一時的な分布か経年的な分布かを考慮していないため、北日本においては過大な評価となっている可能性があり、参考扱いとしている。

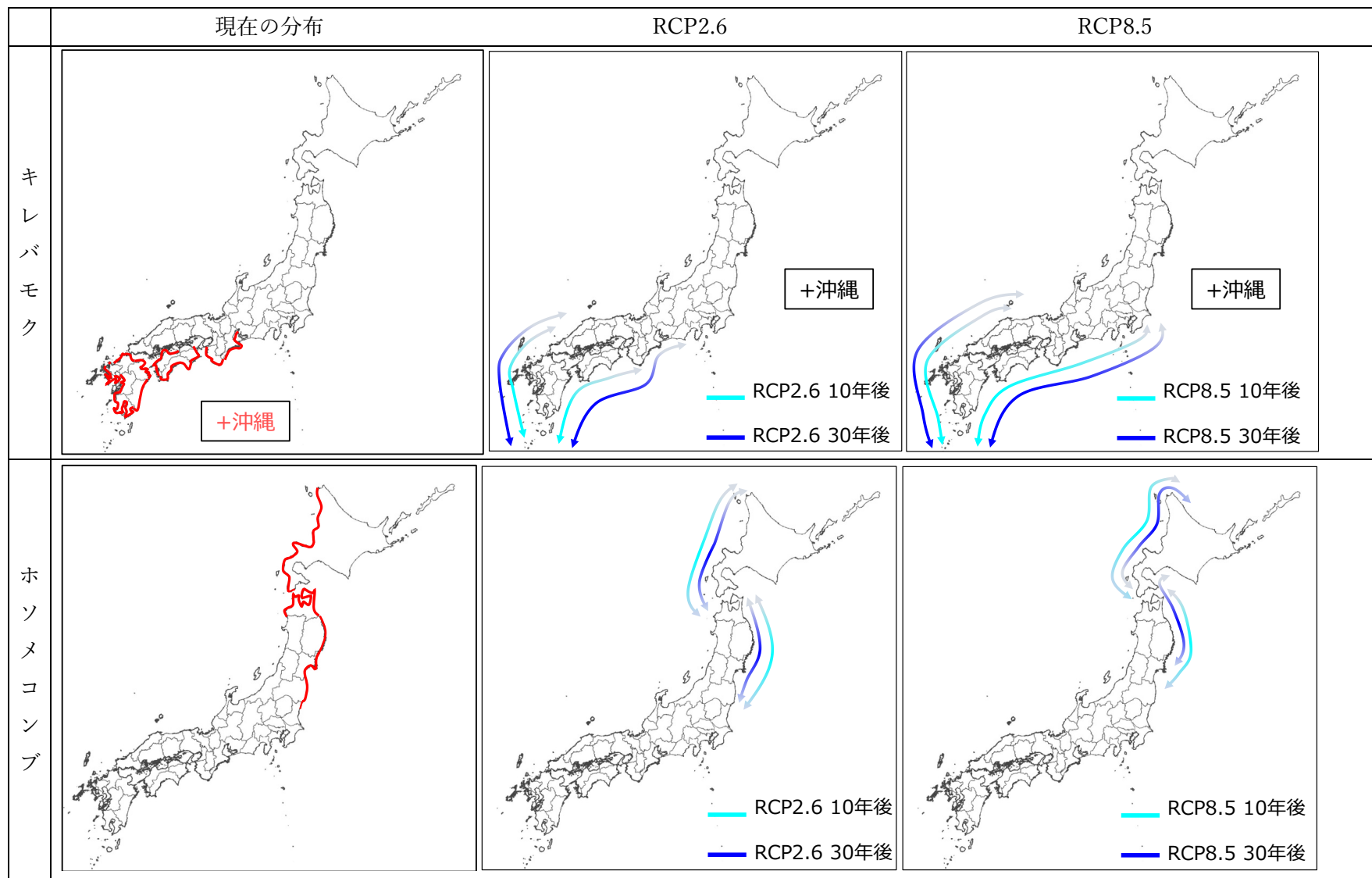


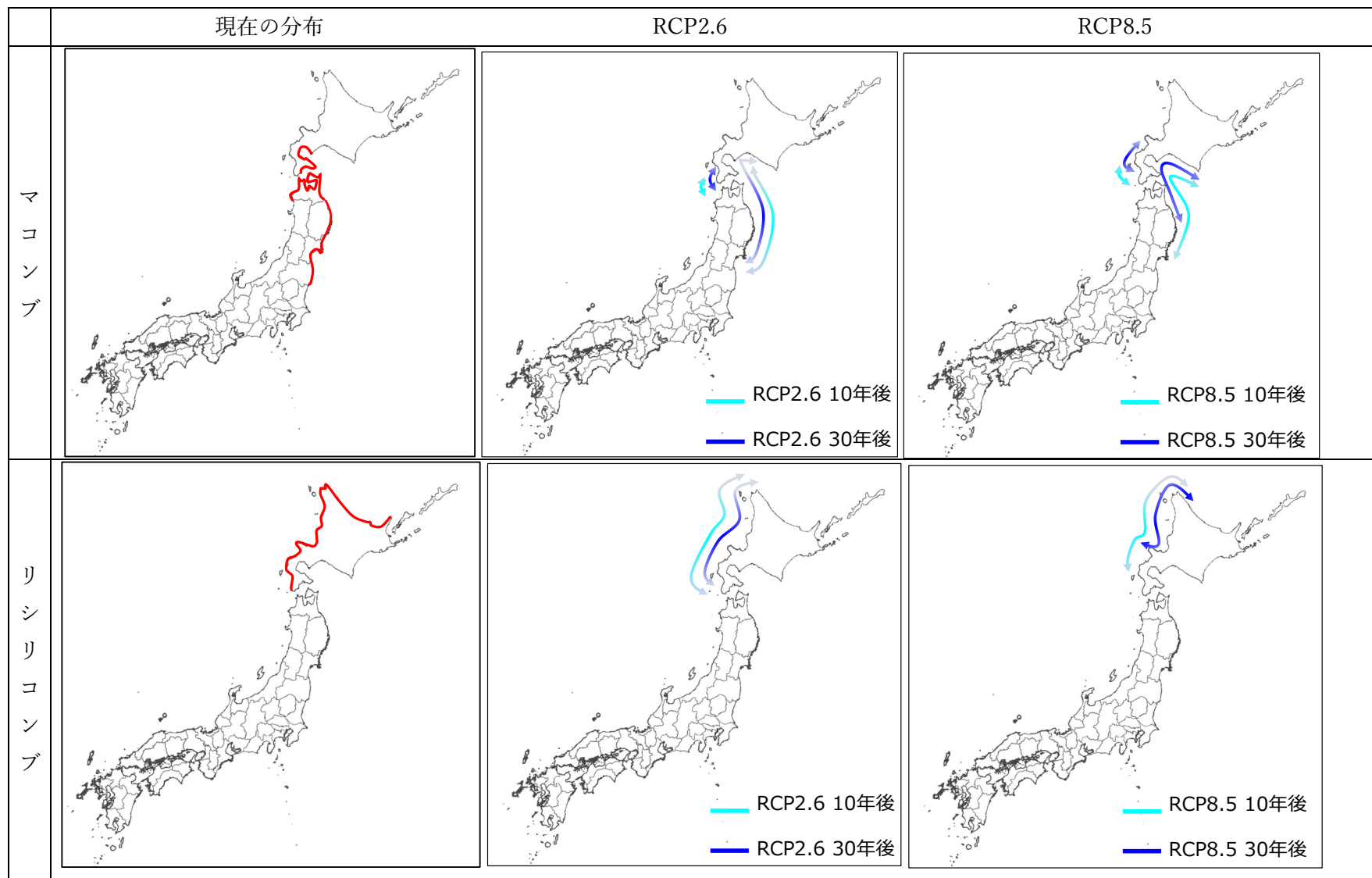


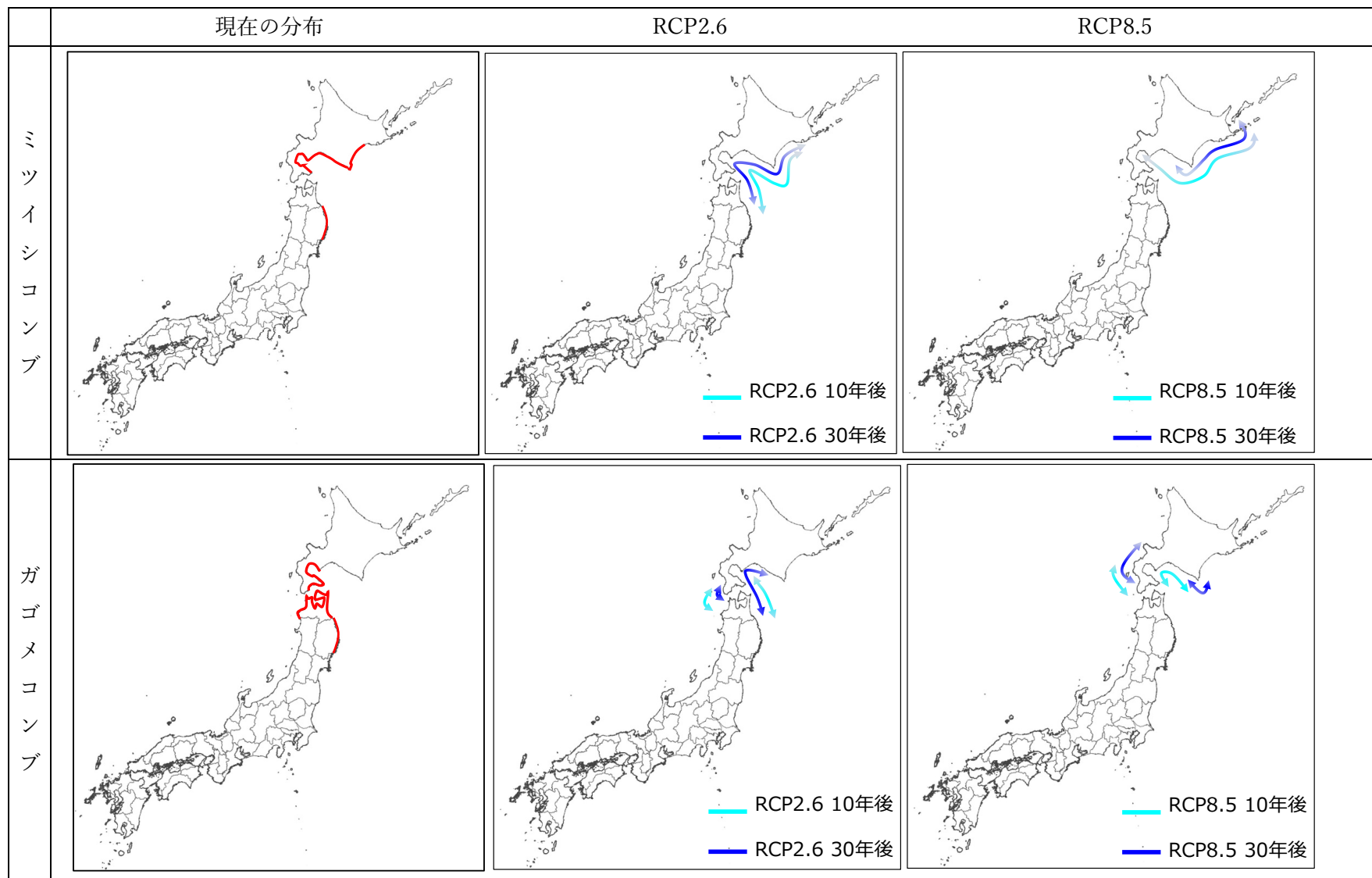


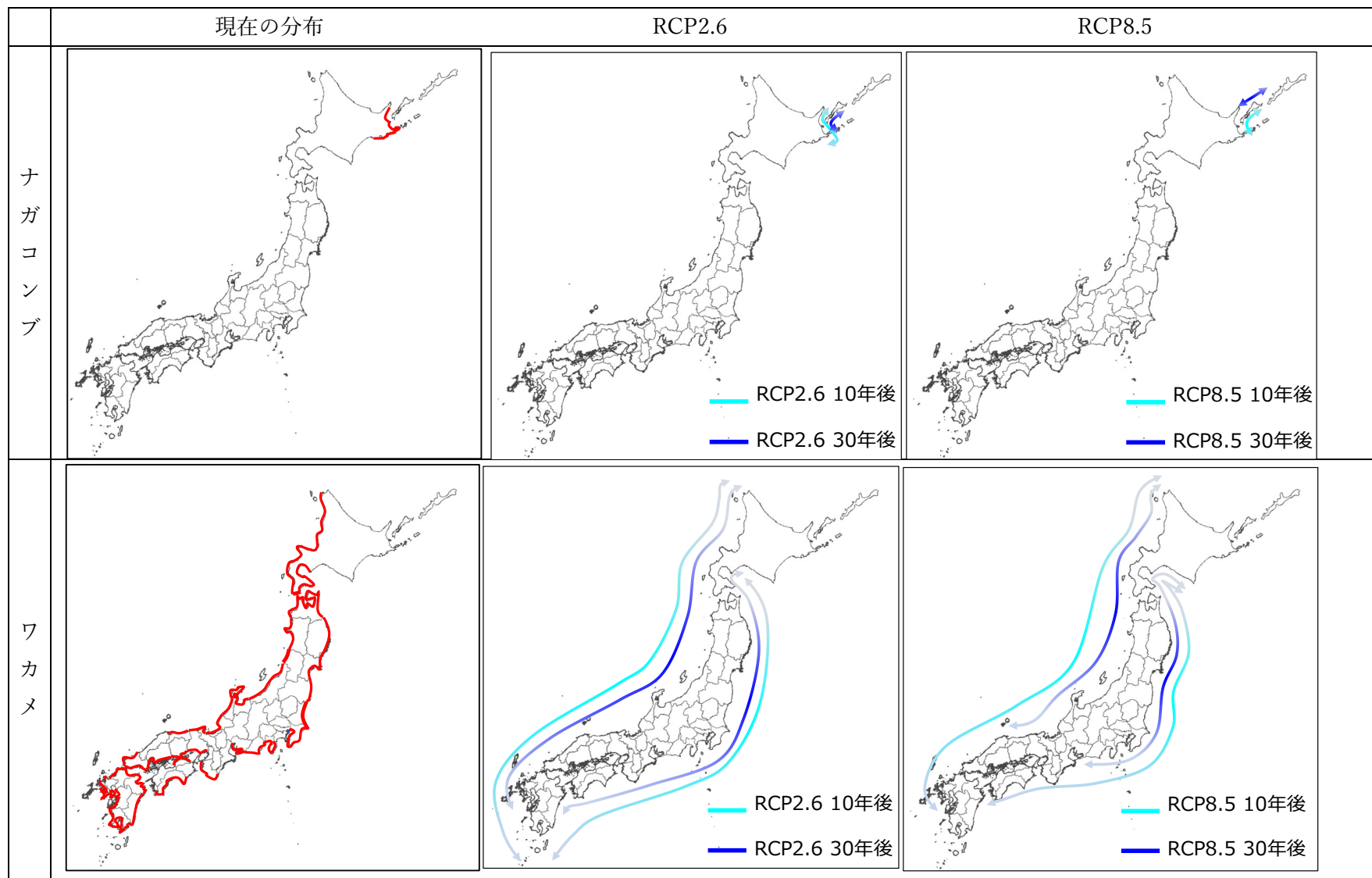


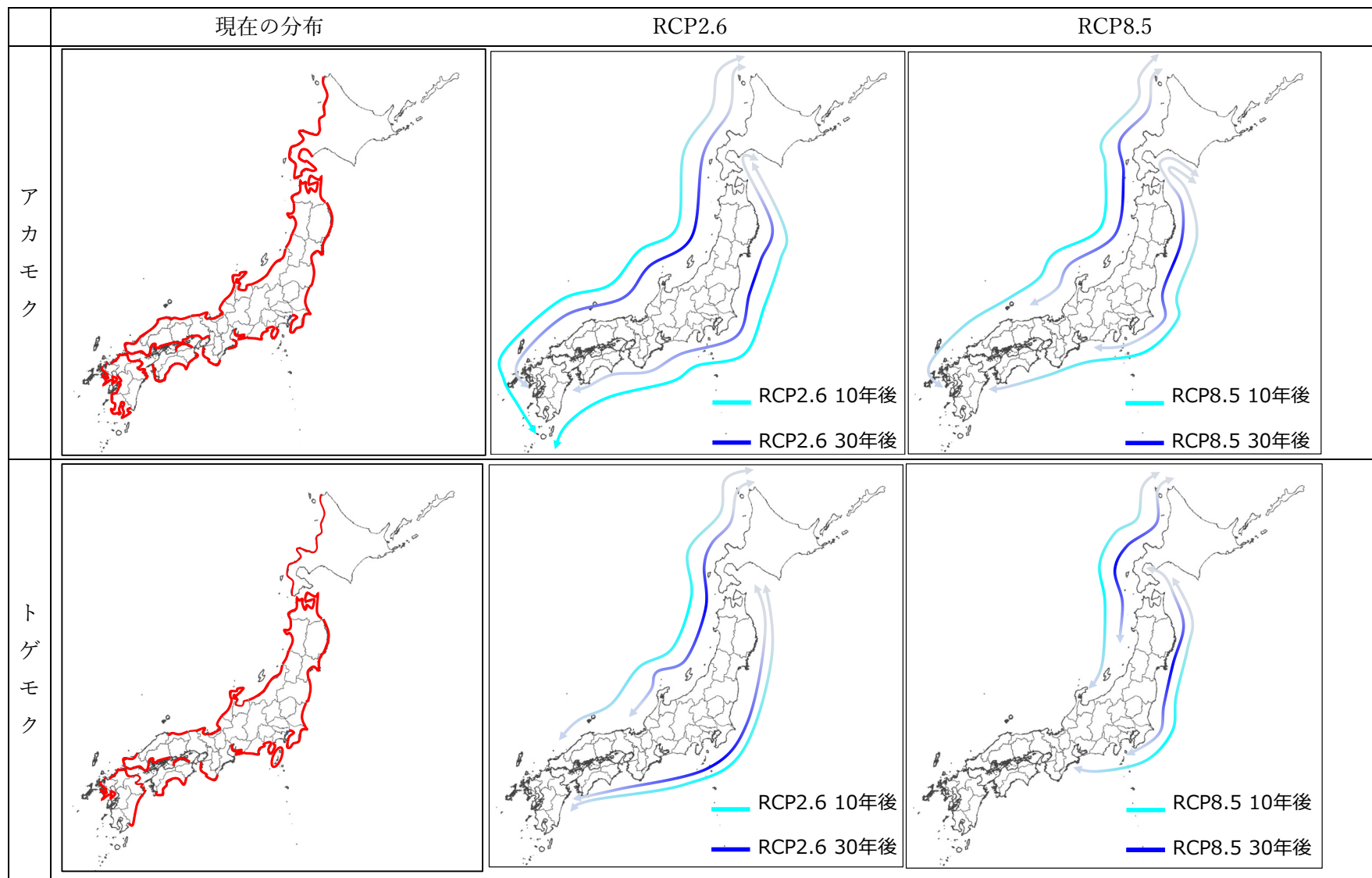


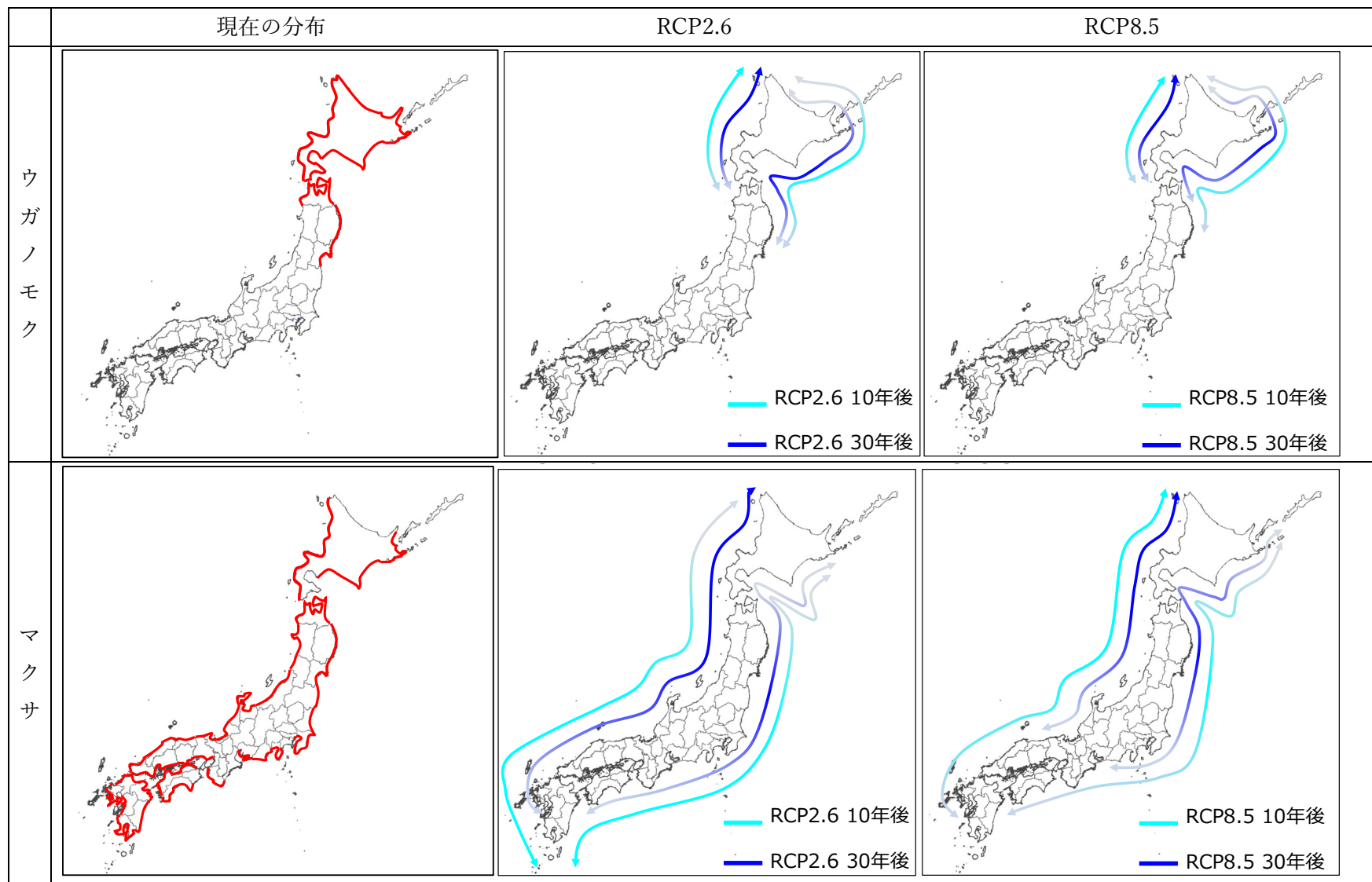


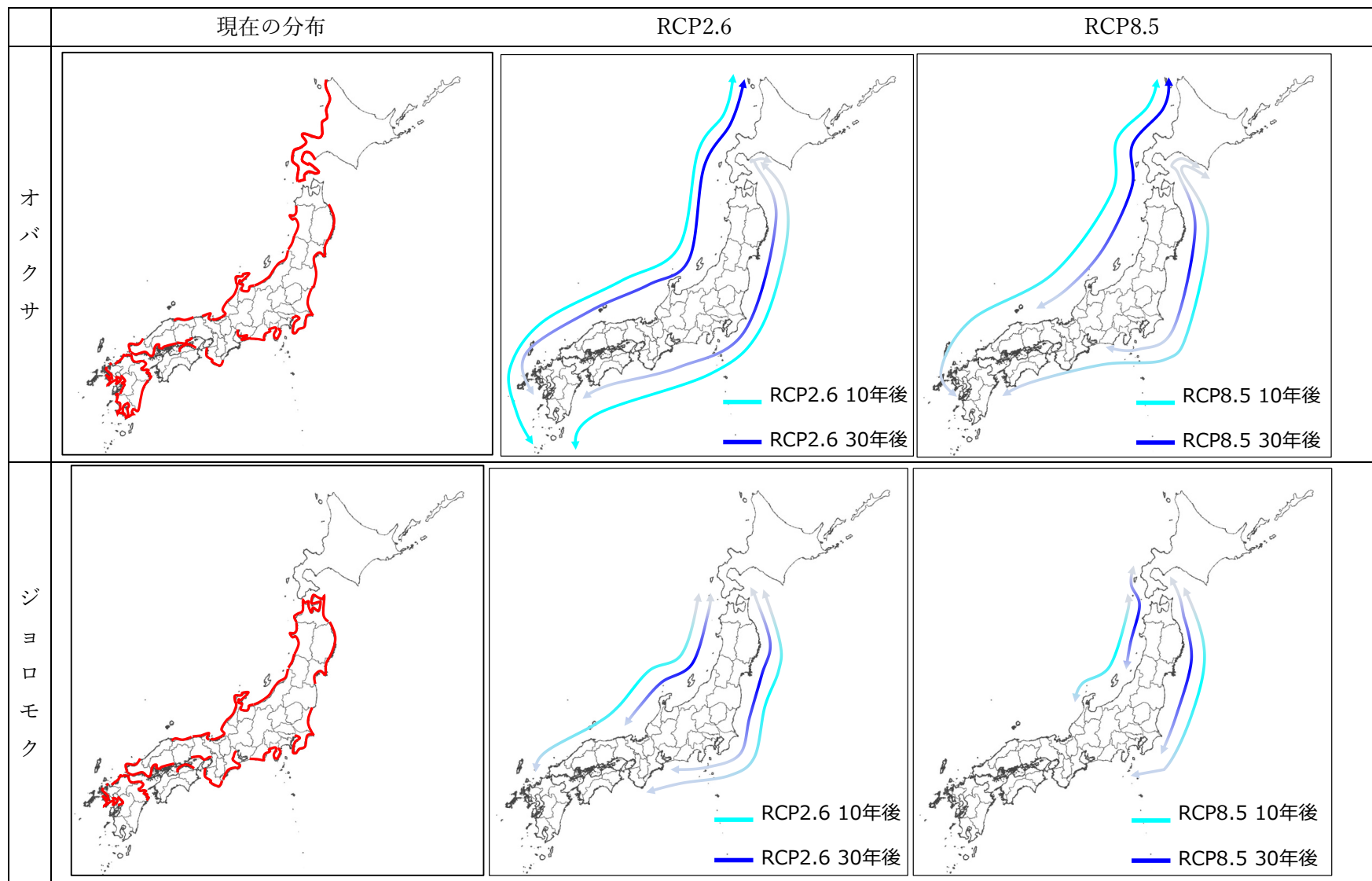


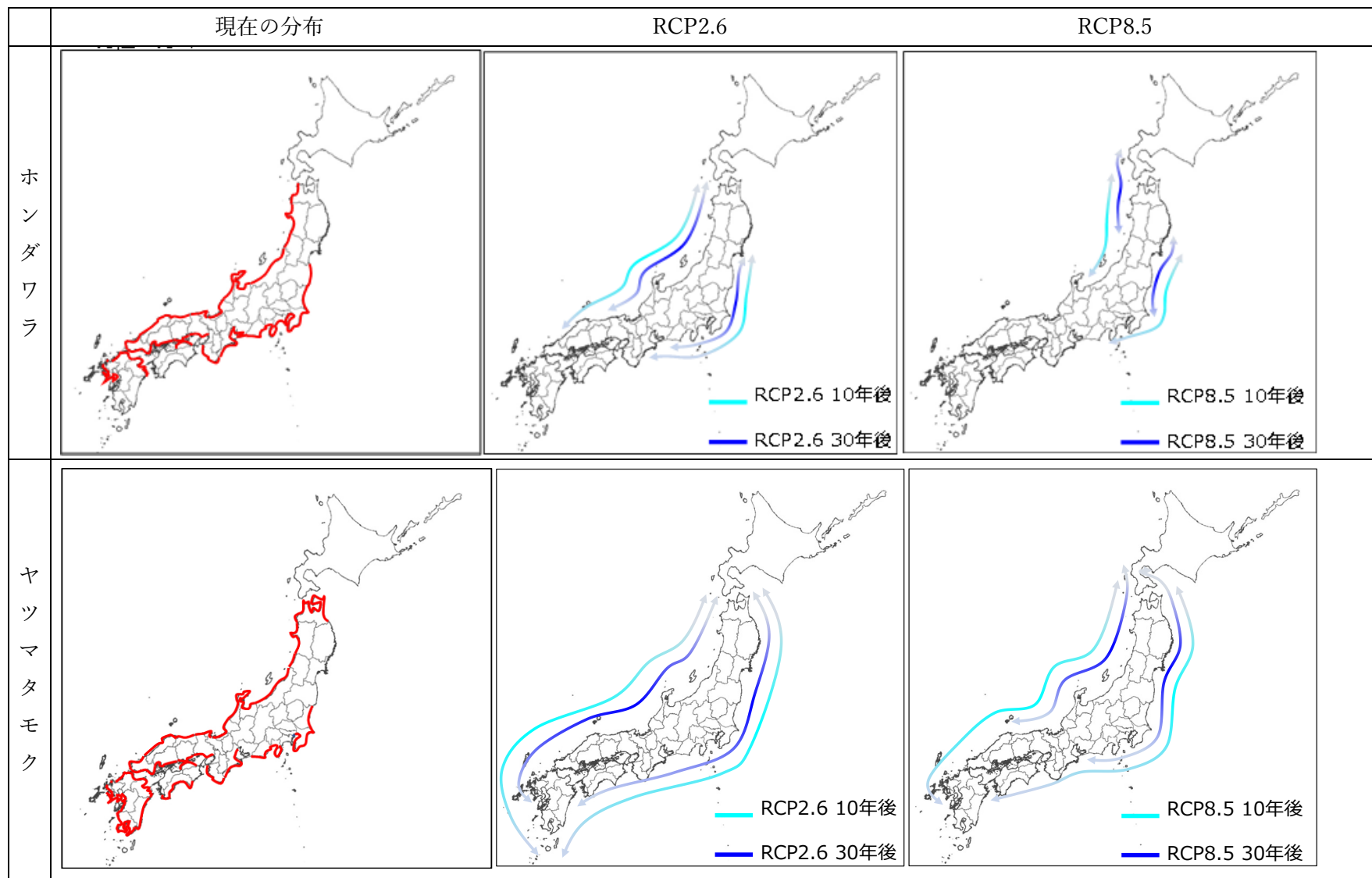


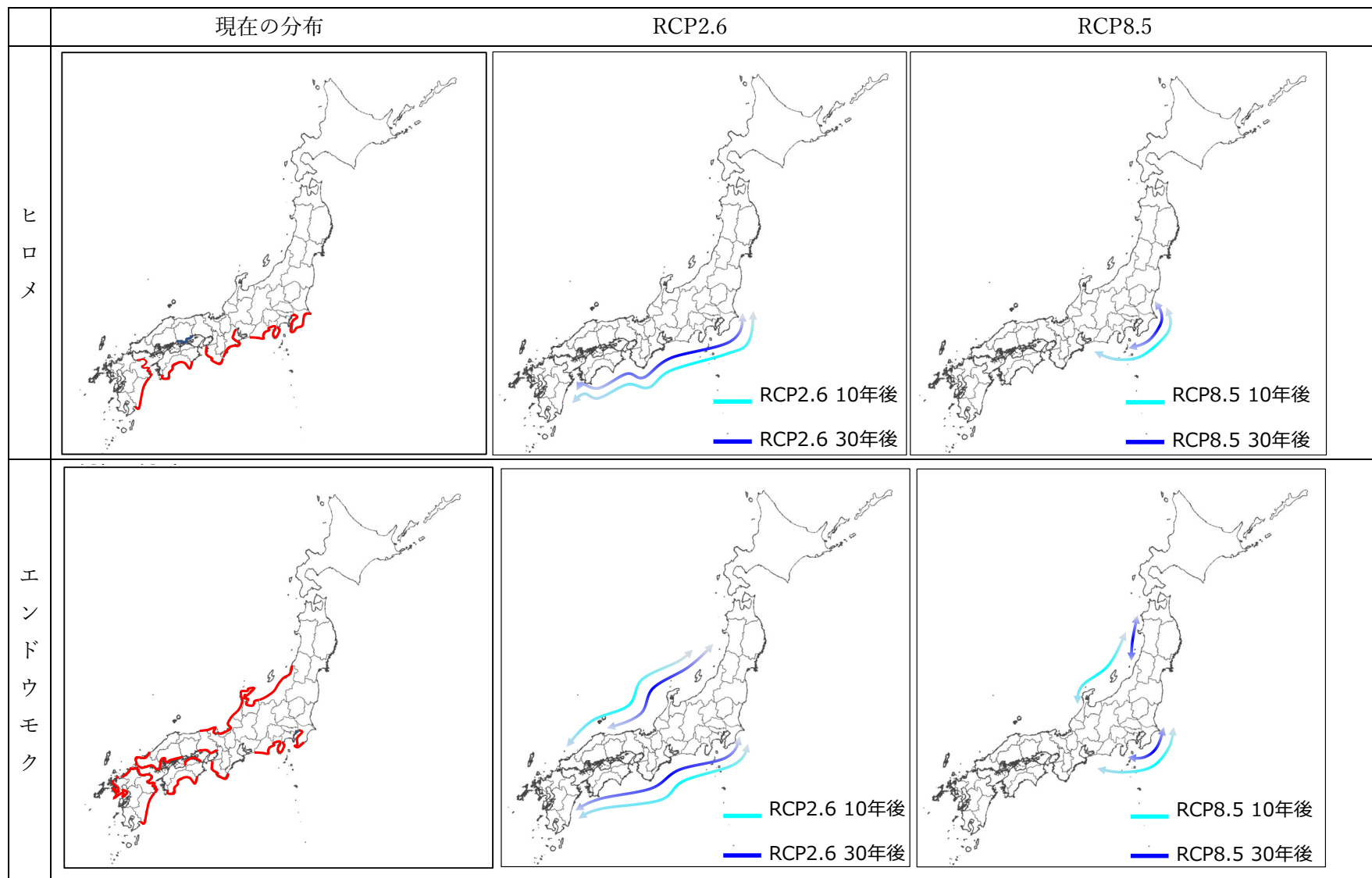


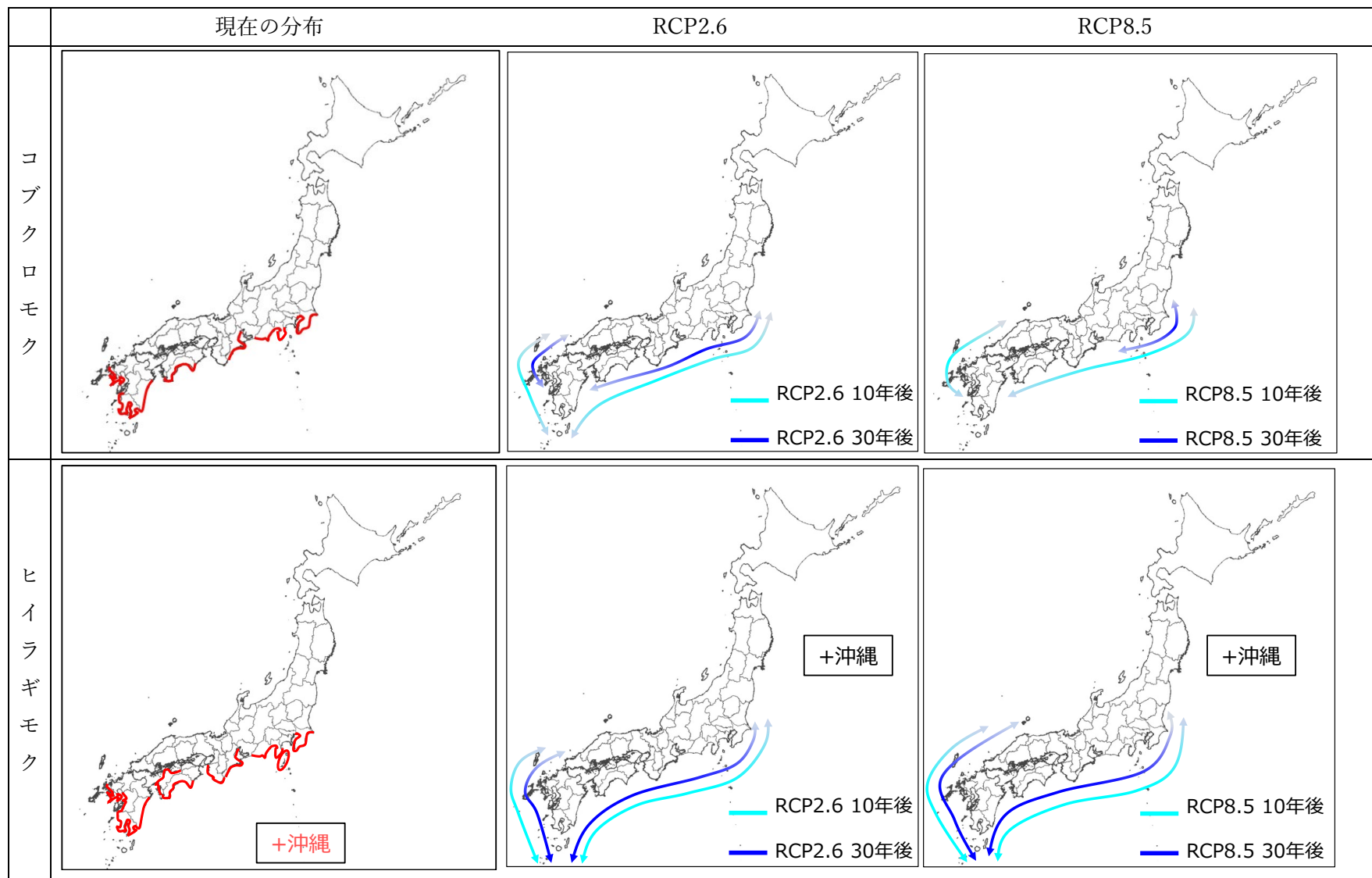


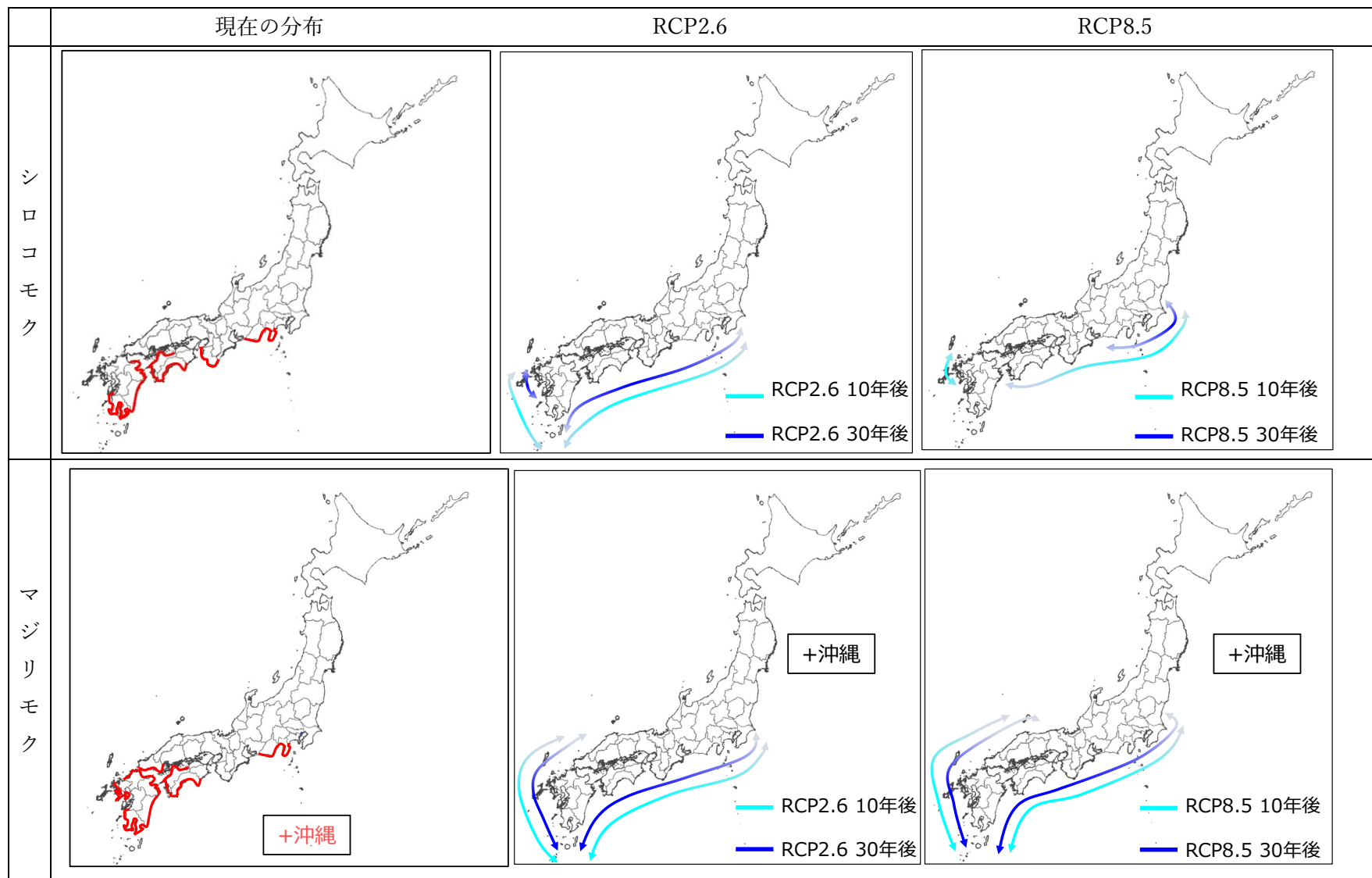


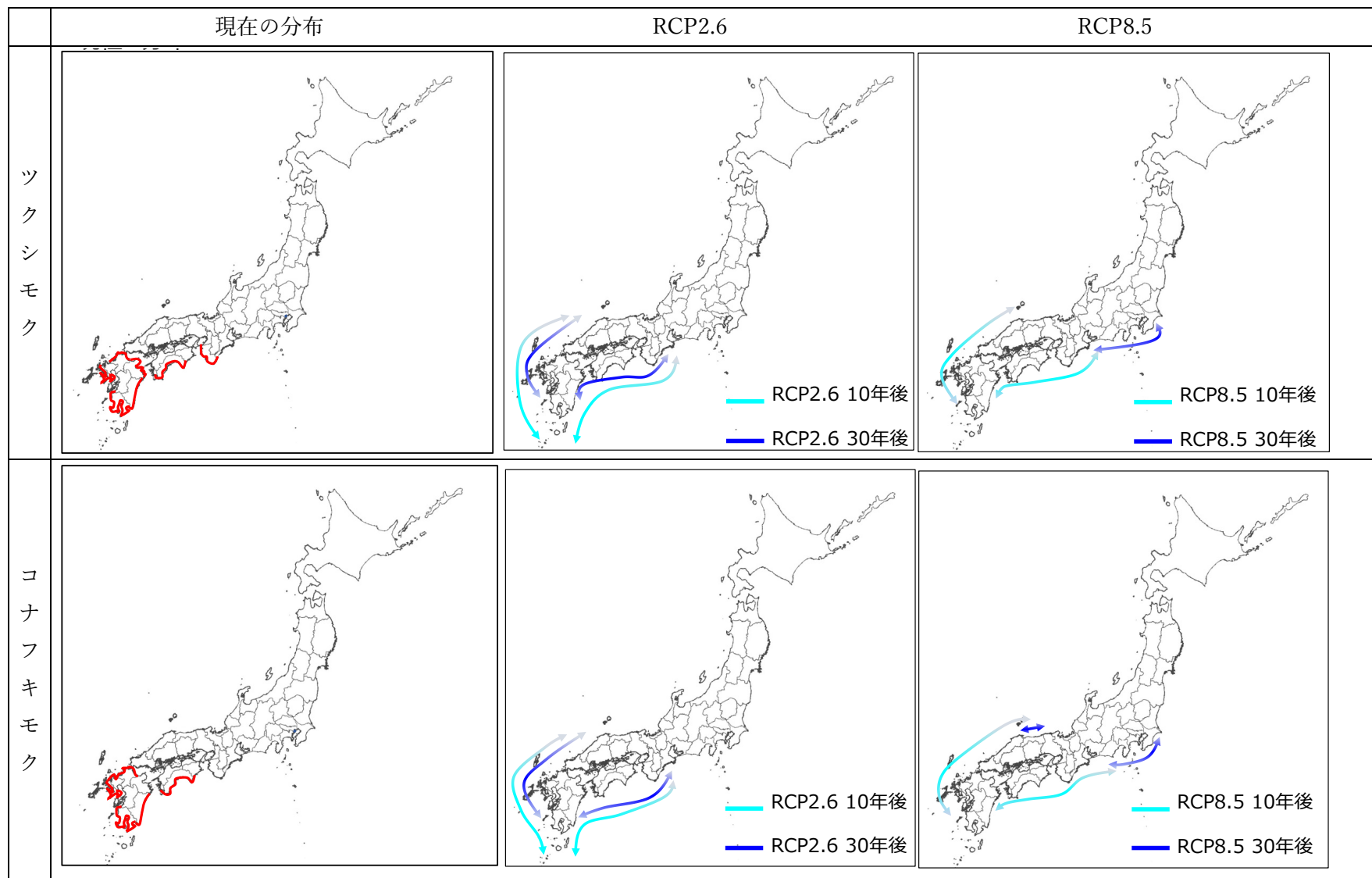


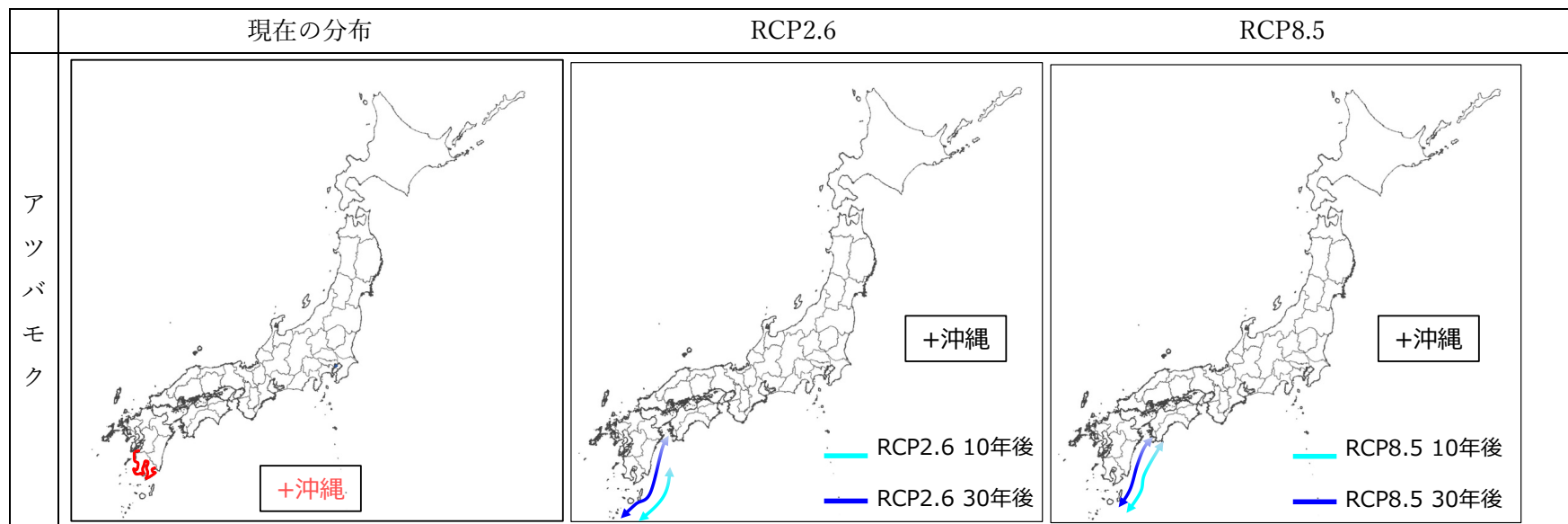


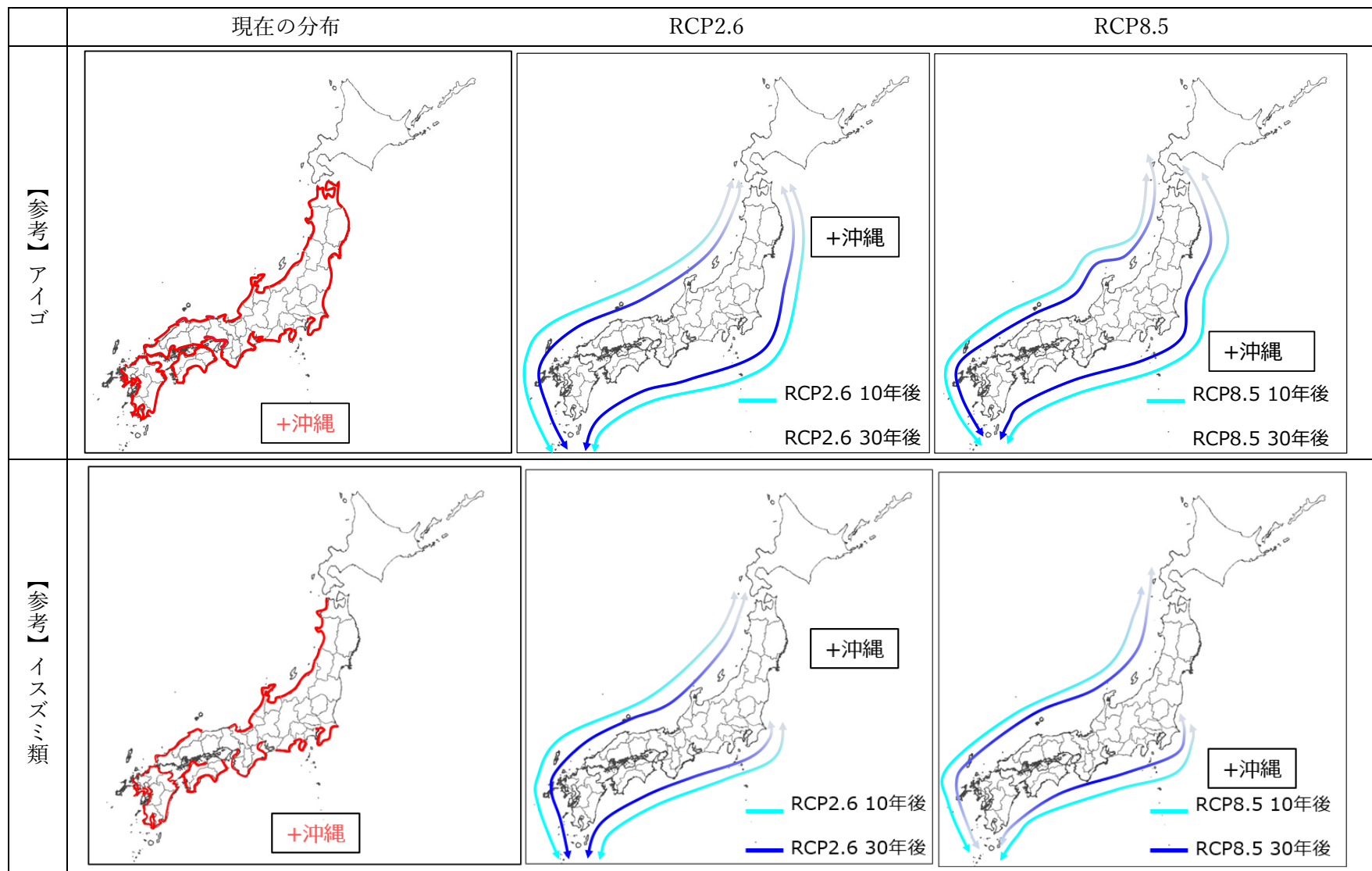


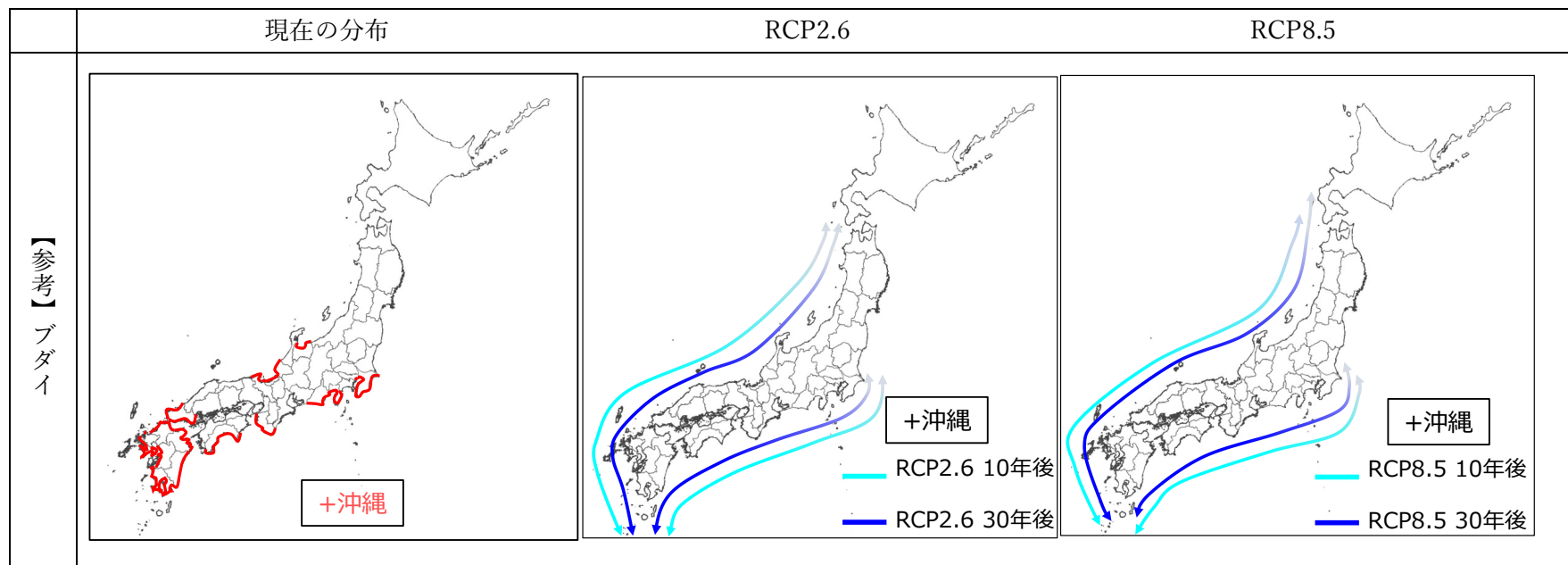












引用文献

- 水産庁 (2021) : 第 3 版 磯焼け対策ガイドライン
- 藤田(2002) : 磯焼け, 21 世紀初頭の藻学の現況(堀ら編著), 日本藻類学会, 102-105.
- 村瀬 昇, 棚田教生, 多田篤司, 島袋寛盛, 吉田吾郎, 阿部真比古, 野田幹雄 (2021) : 徳島県鳴門産ワカメ養殖品種と椿町産暖海性天然ワカメの交雑種苗の高温下での生長特性. 水産大学校研究報告, 69, 81-88
- 原口展子, 村瀬昇, 水上譲, 野田幹雄, 吉田吾郎, 寺脇利信 (2005) : 山口県沿岸のホンダワラ類の生育適温と生育上限温度. 藻類, 53, 7-13
- 村瀬 昇, 野田幹雄 (2018) : 水温の変動が藻場構成種および植食魚に与える影響. 海洋と生物, 40, 226-232
- 村瀬昇, 阿部真比古, 野田幹雄, 杉浦義正 (2015) : 山口県沿岸のヒジキの生育適温と生育上限温度. 水産大学校研究報告, 63, 238-243
- (財) 海洋生物環境研究所 (2012) 平成 23 年度 火力・原子力関係環境審査調査 (温排水生物群集影響調査) 報告書
- 水産庁 (2013) : 人工湧昇流による磯焼け改善手法確立調査報告書
- 長崎県水産部 (2018) : 長崎県における磯焼け対策ガイドライン (平成 30 年度改訂版)
- 芹澤如比古, 井本善次, 井本義己, 芹澤和世 (2007) : 土佐湾宇佐地先に設置した種苗付き人口礁の周囲に出現したカジメの密度と生長. 水産増殖, 55, 47-53
- 河野まどか, 井本善次, 中村洋平 (2018) : 高知県沿岸の造成海中林および天然海中林におけるカジメの生育状況と魚類の群衆構造. 日本水産学会, 84, 796-808
- 木下淳司, 片山俊之, 本間功一 (2023) : 早熟性カジメ群落の動態. 水産工学, 60(2), 53-61
- 木下淳司, 蓑宮敦, 相川英明, 春山出穂 (2024) : 早熟性カジメ由来人工種苗の 1 年目成熟率. 水産工学, 60(3), 125-130
- Akita S., Hashimoto K., Hanyuda T. and Kawai H. (2020): Molecular phylogeny and biogeography of *Ecklonia* spp. (Laminariales, Phaeophyceae) in Japan revealed taxonomic revision of *E. kurome* and *E. stolonifera*, Phycologia, DOI:10.1080/00318884.2020.1756123