

気候変動に対応した漁場整備方策に関する
ガイドライン

平成29年6月

水産庁漁港漁場整備部

目 次

1. はじめに	1
1.1 背景	1
1.2 基本的な方針	2
2. 気候変動が海洋に与える影響	4
2.1 海面水温	4
2.2 海面水位	7
2.3 酸性化	8
2.4 クロロフィル	9
2.5 台風・低気圧災害の激甚化	11
3. 気候変動が漁場に与える影響	13
3.1 水産生物への影響	13
3.2 藻場	14
(1) 現況	14
(2) 将来予測	30
3.3 干潟	33
(1) 現況	33
(2) 将来予測	33
3.4 サンゴ礁	36
(1) 現況	36
(2) 将来予測	42
3.5 魚類	44
(1) 現況	44
(2) 将来予測	56
4. 気候変動に対応した漁場整備	62
4.1 漁場整備の実施手順	62
4.2 適応計画作成の留意事項	65
(1) 対象海域の現況把握	65
(2) 気候変動の影響評価	66
(3) 目標設定と合意形成	67
4.3 対策（保全策・適応策）の検討	68
4.4 整備内容に応じた対応策	70
(1) 藻場	70
(2) 干潟	79
(3) サンゴ礁	83
(4) 沿岸・沖合域	88
① 浮魚礁	88
② 沈設魚礁	90
(5) ICT の活用	98
5. 参考資料	104

1. はじめに

1.1 背景

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書（2014）¹によれば、温室効果ガスの削減を進めても世界の平均気温が上昇すると予測されている。このため、気候変動の影響に対処するため、温室効果ガスの排出の抑制等を行う「緩和」だけでなく、すでに現れている影響や中長期的に避けられない影響に対して「適応」を進めることが求められている。

我が国においても、平成27年3月に中央環境審議会は気候変動影響評価報告書を取りまとめ（意見具申）^{2,3}我が国の気候変動の現状と将来予測を行っている。これを受けて、気候変動による様々な影響に対し、政府全体で整合のとれた取組を総合的かつ計画的に推進するため、「気候変動の影響への適応計画」⁴が平成27年11月に閣議決定された。

関係府省庁においては、これまで、気候変動に係る調査研究の結果を踏まえつつ、適応に関する検討を行っており、気候変動影響評価報告書等を踏まえて、政府の適応計画に反映するため、気候変動の影響が生じている又は生じるおそれがある主要な分野において適応に関するあり方を取りまとめた。農林水産省では、平成26年4月に農林水産省気候変動適応計画推進本部を設置し、平成27年8月に農林水産省気候変動適応計画⁵をとりまとめた。この中で、水産分野における影響評価では、①回遊性魚介類において日本周辺での分布域や産卵域が変化していることや、②増養殖等において水温上昇により、海面養殖が不適になる海域の増加や、③高潮・高波のリスク増加による被害の増大が挙げられている。また、これらの将来の影響予測を踏まえた適応計画の策定として、水産業では、①海面漁業、②海面養殖業、③内水面漁業・養殖業、④造成漁場、⑤漁港・漁村の適応計画を策定している。このうち造成漁場においては、海洋生物の分布域の変化に対応した漁場整備を推進することとしている。

本ガイドラインは、上記の背景を踏まえて、造成漁場において気候変動に対応した漁場整備方策に関する具体的な適応計画を整理してとりまとめるものである。

¹ IPCC 第5次評価報告書の概要―統合報告書―、環境省（2015）

² 日本における気候変動による影響に関する報告と今後の課題について、中央環境審議会 地球環境部会（2015.3）

³ 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・気候変動影響評価等小委員会（2015.3）

⁴ 気候変動の影響への適応計画（2015.11）

⁵ 農林水産省気候変動適応計画（2015.8）



図 1.1 緩和と適応の関係⁶

1.2 基本的な方針

十分に長い時間について平均した大気の状態（気温や降水量など）を気候といい、気候の、平均時間より長い時間スケールにおける変動や変化を気候変動とよぶ。気候変動の要因には自然的要因（大気自身に内在するもののほか海洋の変動、火山の噴火によるエアロゾルの増加、太陽活動の変化など）と人為的要因（人間活動に伴う二酸化炭素などの温室効果ガスの増加やエアロゾルの増加、森林破壊など）がある。気候変動が海洋生物に及ぼす影響は、自然的要因と人為的要因が重なり合って現れるため、これらの要因を切り分けて対策を講じることは困難である。本ガイドラインでは、自然的要因と人為的要因を包含して生じた様々な影響に対する方策を取り扱う。

気候変動に伴う海水温上昇等の海洋環境の変化は、我が国周辺海域の海洋生態系や水産業に対して大きな影響を与えることが懸念されている。こうした中で、これまで報告されている気候変動に起因した水産業への影響に対する捉え方は、「漁業被害」と「漁海況の変化」の二点に集約できる。

表 1.1 これまで報告されている環境変動と対策（適応計画）の分類

気候変動の水産業における捉え方	気候変動への対策の視点	事 例	対 策
漁業被害	これまで分布している種を守る	<ul style="list-style-type: none"> ウニ類やアイゴ・ブダイ等の植食性魚類の食害による藻場の衰退に対し、食害生物の除去や防除対策 藻場の構成種の変化に伴って、減少した種に着目し、高水温耐性種の作出による種の保全 	<保全策> 被害を軽減・最小化するための対策
漁海況の変化	新たに加える種を育てる	<ul style="list-style-type: none"> ウニ類やアイゴ・ブダイ等の植食性魚類の食害生物の利用対策 藻場の構成種の変化に伴って、増加した種に着目した増殖対策 	<適応策> 変化に対応した順応的な対策

⁶ 温暖化から日本を守る 適応への挑戦、環境省（2012）

前者は、これまで漁業対象種となっていた種を守る視点、後者は、新たに加える種を育てる視点を重視している。また、前者への対応は、被害を最小化するための方策と捉えることができ、本ビジョンでは、「保全策」と呼ぶ。一方、後者への対応は、変化を受け入れた対策と捉えることができ、本ビジョンでは「適応策」と呼ぶ。

本ガイドラインで取り扱う気候変動に対応した漁場整備方策は、両者の視点に立ち、互いに補完しながら各地域で生じている諸問題を整理し、今後取り得る適切かつ効果的な漁場整備に関する対策（適応計画）についてとりまとめるものである。

気候変動に伴う海域環境の変化について、既存資料をレビューした結果、①海水温上昇、②海面水位上昇、③海洋の酸性化、④クロロフィルの低下、⑤台風・低気圧災害の激甚化等の項目が挙げられた。このうち、本ガイドラインでは、漁場整備と関連する海域環境の変化として、海水温上昇や海面水位上昇、台風・低気圧災害の激甚化等の漁場整備と密接な関係のある項目に着目して、具体的な対策（適応計画）について検討を行うこととした。また、台風・低気圧災害の激甚化に伴う、浅海域の漁場施設の安定性等については、別途取り扱うものとする。

2. 気候変動が海洋に与える影響

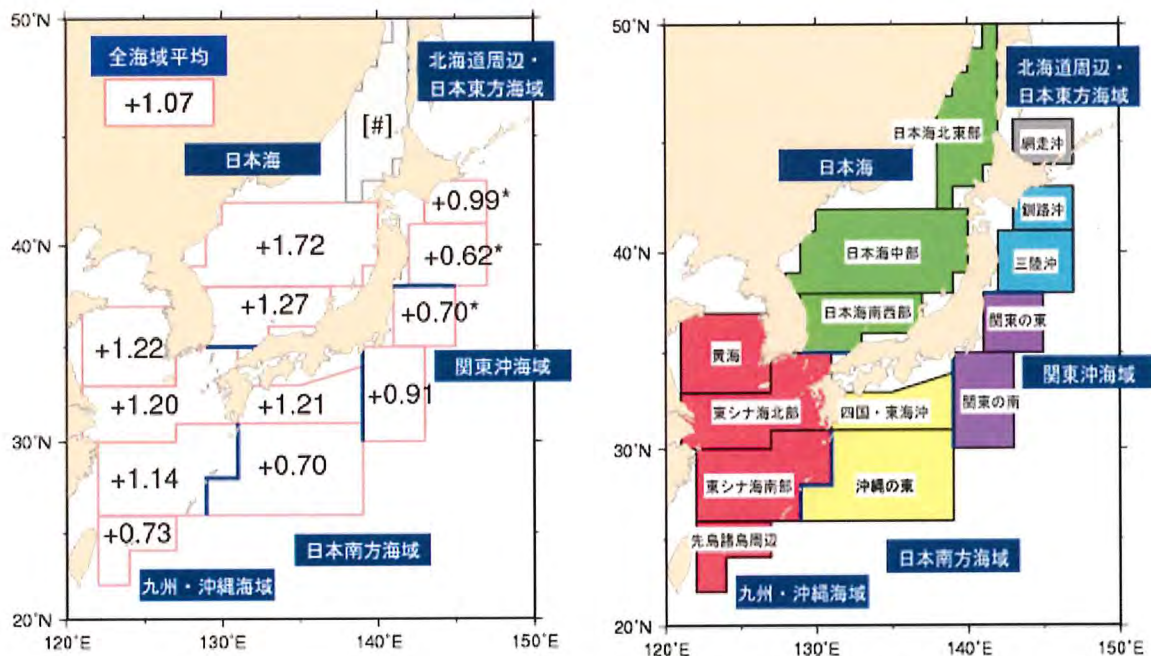
2.1 海面水温

- 日本近海では、2014年までのおよそ100年間に於いて年平均海面平均水温は1.07°C上昇した。
- 海域別には、日本海側で1.72°C/100年と最も高い。
- 季節別には、冬季の上昇幅が最も高く、次いで春、秋季であり、夏季の上昇率は最も低かった。
- 日本付近の海面水温の21世紀末までの長期変化傾向は、100年あたり、0.6~3.1°C程度の上昇との予測がある。

(1) 過去～現状

【解説】

日本近海における、2014年までのおよそ100年間にわたる海域平均海面水温（年平均）の上昇率は、+1.07°C/100年となっており、日本海側では日本海中部が+1.72°C/100年と最も高くなっている。また、季節別にみると夏季に比べ、春・秋・冬季で高い傾向にあり、特に、冬季の上昇幅が+0.77~+2.33°C/100年と4季の中で顕著であった。また、地域別にみると日本海中部が最も上昇率が高く、日本海北東部が低い傾向を示している⁷。



気象庁;海面水温の長期変化傾向(日本近海)より

図 2.1 日本近海の平均海面水温(年平均)の長期変化傾向(°C/100年)(左図)と海域区分(右図)

⁷ 異常気象レポート 2014、気象庁(2015.3)

表 2.1 2014 年までのおよそ 100 年間にわたる海面水温の上昇率(°C/100 年)

区域	年	冬	春	夏	秋
日本海北東部	#	+0.77±0.59	#	#	#
日本海中部	+1.72±0.35	+2.33±0.52	+1.80±0.44	+0.93*±0.62	+1.99±0.49
日本海南西部	+1.27±0.35	+1.55±0.52	+1.33±0.42	+0.73*±0.52	+1.61±0.36
東シナ海北部	+1.20±0.25	+1.53±0.43	+0.99±0.29	+0.71±0.33	+1.50±0.31

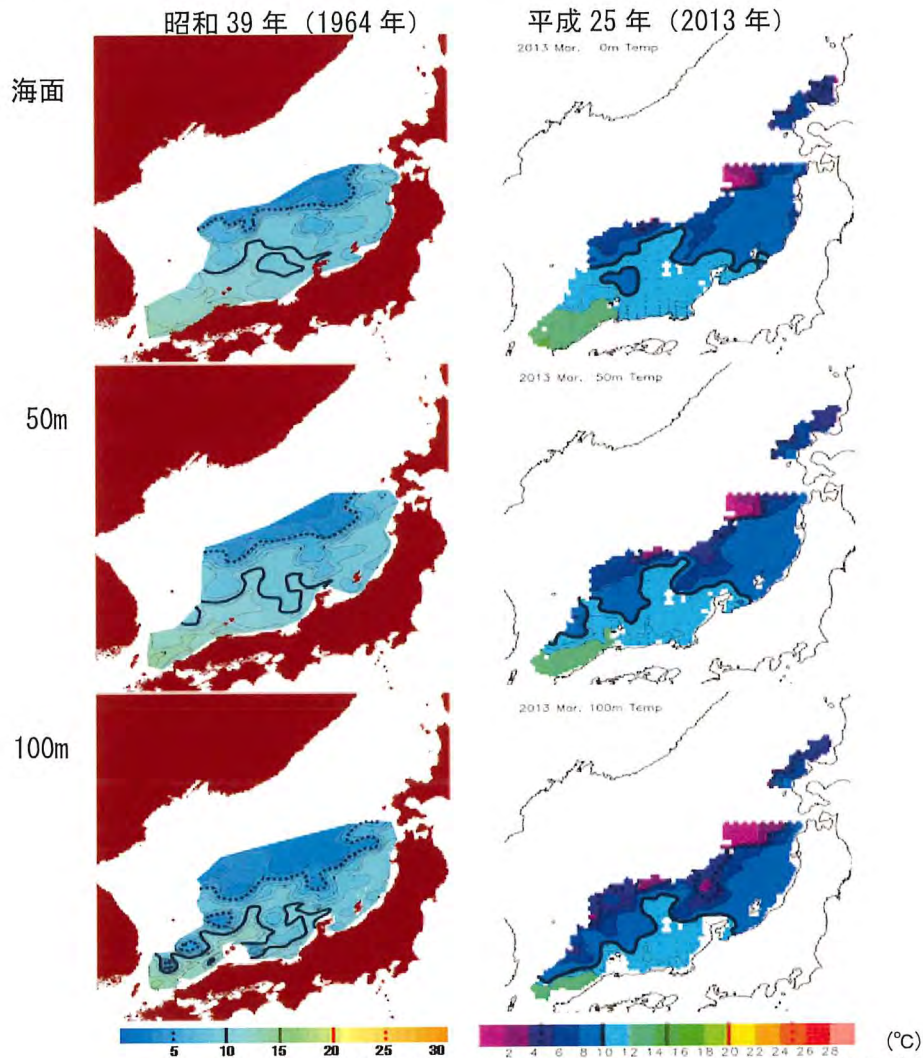
単位：°C/100 年

注 1 上昇率の有意水準は、無印 1%、*5%、**10%を示す。

注 2 #は、有意な長期変化傾向が見出せないことを示す。

気象庁；海面水温の長期変化傾向（日本近海）より

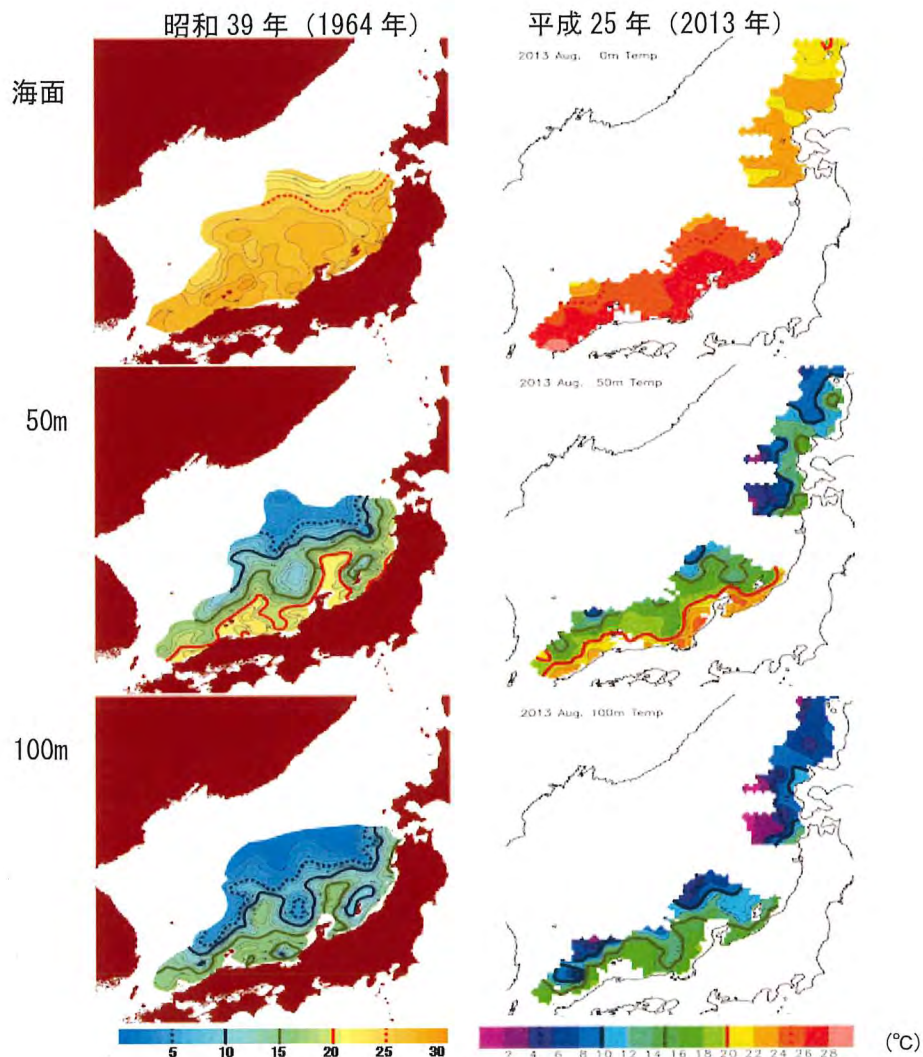
日本海側の昭和 39 年（1964 年）と平成 25 年（2013 年）の海水温分布について⁸、3 月をみると、平成 25 年（2013 年）は、昭和 39 年（1964 年）に比べ、海面では 10°C（黒太線）以上の範囲が能登半島より東の海域に広がる傾向にあり、水深 50m および水深 100m では 10°C 以下の範囲が能登半島から西側の海域に広がる傾向にある。



日本海区水産研究所；日本海水温データベース，日本海漁場海況速報より
図 2.2(1) 日本海における海水温の分布（3 月）

⁸ 日本海区水産研究所；日本海水温データベース，日本海漁場海況速報
<http://jsnfri.fra.affrc.go.jp/Physical/sokuho.html>

8月の海水温分布をみると、海面では25℃(赤点線)以上の範囲が、昭和39年(1964年)と平成25年(2013年)と同様に広くみられるが、水深50mの20℃(赤太線)以上、水深100mの15℃(緑太線)以上の範囲については、平成25年(2013年)は、昭和39年(1964年)に比べ、能登半島から西側の海域に広がる傾向にある。



日本海区水産研究所;日本海水温データベース,日本海漁場海況速報より
 図 2.2(2) 日本海における海水温の分布 (8月)

(2) 将来の予測

日本付近の海面水温は、長期的に上昇し、21世紀末までの長期変化傾向は、100年あたり、0.6~3.1℃程度の上昇との予測がある。また、日本南方海域よりも日本海で上昇幅が大きいとの予測がある⁷。

2.2 海面水位

- 1901～2010年までの期間で世界平均海面水位は0.19m上昇した。
- 世界の平均海面水位は21世紀中に上昇し、今世紀末には、0.26～0.82m上昇すると予測されている。
- 海面水位の上昇は、沿岸の藻場・干潟の分布に影響を及ぼすと考えられる。

【解説】

IPCCの第5次評価報告書による1901年から2010年までの期間で世界平均海面水位は0.19m上昇したと発表されている⁹。さらに、世界の平均海面水位は21世紀中に上昇し、今世紀末には1986～2005年と比較して、最小のシナリオで0.26m、最大のシナリオで0.82m上昇すると予測されている。日本沿岸の海面水位の変化は、1960～2010年の期間では明瞭な上昇傾向は見られないが、1971～2010年の期間では1年あたり1.1[0.6～1.6]mmの割合、1993～2010年の期間では1年あたり2.8[1.3～4.3]mmの割合で上昇しており、近年だけで見ると、日本沿岸の海面水位の上昇率は、世界平均の海面水位の上昇率と同程度になっている。また、1960～2016年までの海面水位の変化を海域別に見た場合、北陸～九州の東シナ海側の沿岸で他の海域に比べて大きな上昇傾向がみられる。

表 2.2 各海域の年あたりの海面水位の上昇率 (mm/年)

	I	II	III	IV	4海域の平均	世界平均 (IPCC第5次評価報告)
1960～2016年	1.2[0.9～1.4]	*	1.1[0.7～1.5]	2.4[2.1～2.7]	1.2[0.9～1.5]	
1971～2010年	1.4[1.0～1.9]	*	*	2.4[1.9～2.9]	1.1[0.6～1.6]	2.0[1.7～2.3]
1993～2010年	2.2[0.8～3.7]	3.5[1.2～5.7]	*	3.8[2.5～5.1]	2.8[1.3～4.3]	3.2[2.8～3.6]

注1 I:北海道・東北地方沿岸、II:関東・東海地方沿岸、III:近畿～九州地方の太平洋側沿岸、IV:北陸～九州地方の東シナ海側沿岸

注2 上1段は1960年～2016年までの期間で算出した上昇率、下2段はIPCC第5次評価報告書における世界平均の海面水位の上昇率と同じ期間で算出した上昇率。大括弧[]の範囲は90%の信頼区間、*は上昇率が有意でないことを示す。気象庁:日本周辺の1960年以降の海域ごとの海面水位変化より

海面水位の上昇が大規模に起こると海岸線の後退や島の水没などの要因となるが、そのような現象の前には干潟域の後退や消失が生じると考えられている¹⁰。実際、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、0.8m程度地盤が低下したことなどにより、震災前(2010年6月)の藻場面積250ha、干潟面積70haが、震災後(2011年5月)には藻場面積86ha、干潟面積0haと大きく減少した¹¹。我が国では30cmの海面上昇で56.6%、65cmでは81.7%、100cmでは90.3%の砂浜海岸が侵食されるとの予測がある²⁴。

⁹ IPCC;第5次評価報告書特設ページ <http://www.jccca.org/ipcc/ar5/wgl.html>

¹⁰ 水産総合研究センター;地球温暖化に関する研究情報(2014)<https://www.fra.affrc.go.jp/kseika/ondanka/>

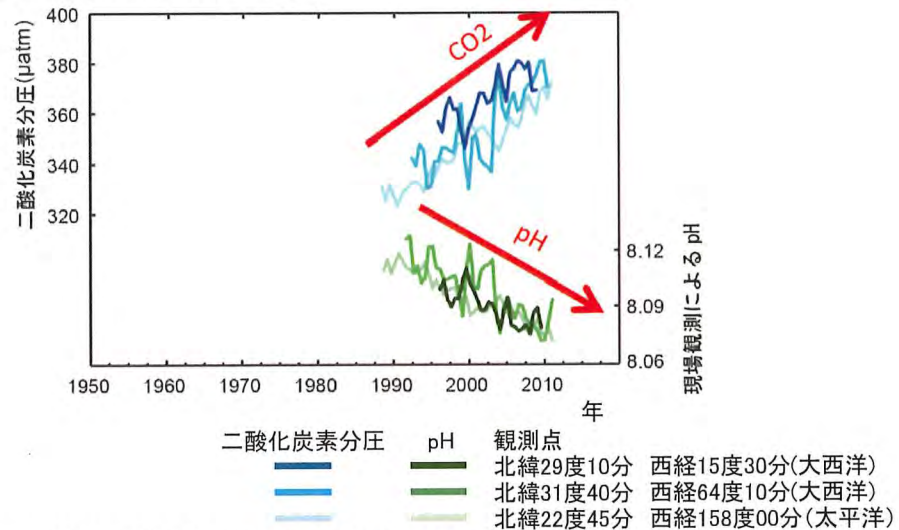
¹¹ 財団法人環日本海環境協力センター・東京大学大気海洋研究所;東北地方における漁業復興のためのリモートセンシングデータによる藻場被害及び復元支援マップの作成 2011年度上半期報告書(2012)

2.3 酸性化

- 海洋は人為起源の二酸化炭素の約 30%を吸収して、海洋酸性化を引き起こしている。海面付近の海水の pH は低下傾向にある。
- 海洋による炭素貯留の増加が、将来において酸性化を進めることがほぼ確実であるとされている。

【解説】

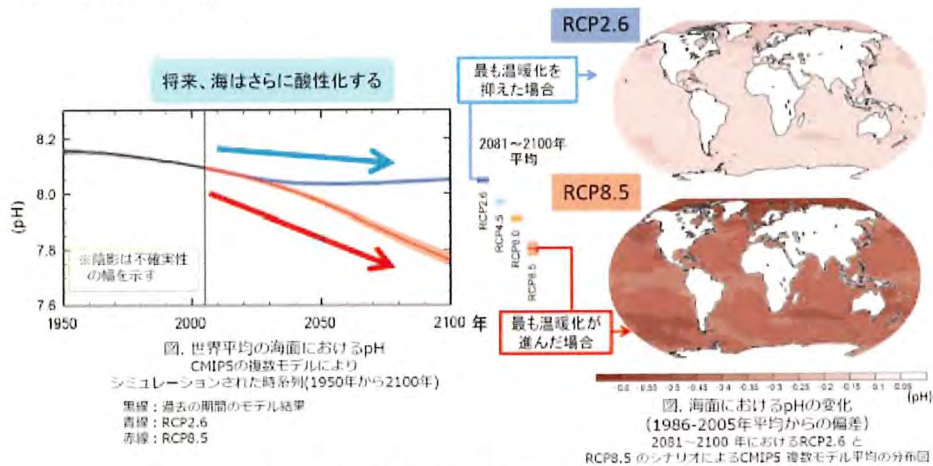
IPCC 第 5 次評価報告書の概要によると、海域では、水温上昇の他に、排出された人為起源の二酸化炭素の約 30%を吸収し、海洋酸性化(pH の低下)を引き起こしており、海面付近の海水の pH は低下傾向にある(図 2.3)。



※1: 二酸化炭素分圧: 大気と海洋の間でやり取りされる二酸化炭素の量を定量的に扱う場合には、二酸化炭素濃度の単位を圧力の単位で示し、これを二酸化炭素分圧と予備、 μatm (100 万分の 1 気圧)で表す。

図 2.3 海面の二酸化炭素と pH⁹

また、海洋による炭素貯留の増加が、将来において酸性化を進めることがほぼ確実であるとされている(図 2.4)。



2.4 クロロフィル

(1) 過去～現状

- ・クロロフィル濃度は、全海洋で濃度が低下している。原因としては、成層化による栄養塩供給の減少が指摘されている。
- ・日本周辺海域でもクロロフィル濃度の減少傾向を検出している。特に親潮域と混合水域において植物プランクトンの現存量と一次生産量の減少が始まっている可能性がある。
- ・クロロフィル濃度は、全海洋では、熱帯・亜熱帯海域で低下し、亜寒帯海域では増加すると予測され、日本周辺海域については、変化予測が困難な現状にある。

【解説】

中央環境審議会・地球環境部会・気候変動影響評価等小委員会(2015)の日本における気候変動による影響に関する評価報告書によると、海域のクロロフィルについては、次の指摘がされている³。

- ・全海洋でクロロフィル濃度が低下している。原因として成層化による栄養塩供給の減少が指摘されており、日本周辺海域でもクロロフィル濃度の減少傾向が検出されている。
- ・親潮域における純一次生産力の低下と春期クロロフィル現存量の低下が観測されている。
- ・ここ10年間では、日本周辺海域ではクロロフィル量、海洋一次生産に顕著な変動はみられない。
- ・親潮域・混合水域において、混合域では純一次生産力の低下に伴いメソ動物プランクトンが減少し、一方親潮域では、一次生産力の低下にも係わらず動物プランクトン現存量に変化がみられない。
- ・純一次生産力の低下と春期ブルームの早期化が検出されている。親潮域では純一次生産力の低下による成体期の餌料環境の悪化と、春期ブルームの早期化による幼少期の餌料環境の向上がほぼ相殺するため、一次生産力の低下にもかかわらずメソ動物プランクトンの現存量に大きな変化が見られなかった事を結論づけられている。

<用語解説>

クロロフィル：植物細胞に含まれる光合成色素。a～dの4種が知られている。海水中のクロロフィンを測定することにより、植物プランクトンの相対的な量を推定できる。

混合水域：2つの水塊にはさまれた海域に、両者の混合した水の存在する場所

メソ動物プランクトン：動物プランクトンのうち大きさが200μm～20mmにあるもので、カイアシ類、枝角類、オキアミ類、ヤムシ類、サルパ類、昆虫類、ヒドロ虫類等の分類群が含まれる。

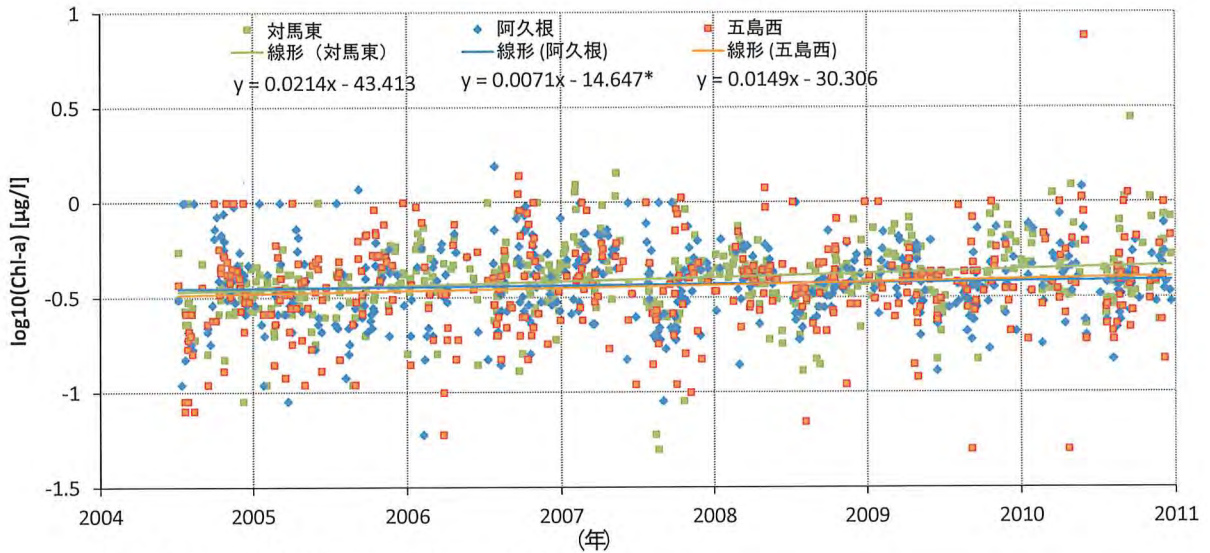
純一次生産力：植物が1年間に太陽エネルギーと水と二酸化炭素を使って光合成を行った有機物量総生産量から、植物自身の呼吸によって失われる有機物量を差し引いた値

一次生産力：単位時間に単位体積あるいは単位面積当たりで行われる一次生産

春季ブルーム：親潮黒潮混合海域において、冬季の大きな鉛直混合に伴う海洋下層からの栄養塩の供給により、海洋混合層が安定する春季に植物プランクトンの増殖が発生する現象

なお、日本海側に位置する長崎県対馬、東シナ海側に位置する長崎県五島西および鹿児島県阿久根沖のように、海面のクロロフィル a 濃度が増加傾向にある海域もみられている。

12



図中の近似式の有意水準は、無印 1%、*5%を示す。

<ul style="list-style-type: none"> ・ Aqua 衛星の MODIS1 (空中分解能撮像分光放射計) の 2004 年 (平成 16 年) 7 月から 2010 年 (平成 22 年) 12 月までの 1 日 1 シーンのデータから雲のない画像が選定され、7×7 画素 (およそ 7km 四方) の領域のクロロフィル a 濃度が抽出・解析されている。 ・ 広域にわたって長期的にクロロフィル a 濃度が変化する可能性があるため、湧昇マウンド礁の近くで、湧昇マウンド礁の影響を直接受けないと判断できる海域が対照区とされ、その結果が図に用いられている。 	
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

図 2.5 対馬・阿久根・五島西のクロロフィル a 濃度の経年変化

(2) 将来の予測

気候変動に伴い、植物プランクトンの現存量に変動が生じる可能性があり、全海洋では、熱帯・亜熱帯海域で低下し、亜寒帯海域では増加すると予測され、日本周辺海域については、変化予測が困難な現状にある。但し、水産資源の餌料生物として、植物プランクトンや (植物プランクトンを餌料とする) 動物プランクトンの現存量が低下することは、環境収容力の低下に繋がり、魚類の現存量への影響も重大であるとみられる³。

¹²平成 23 年度水産基盤整備調査委託事業 湧昇マウンド礁整備による漁業生産活動に及ぼす影響把握調査報告書、水産庁 (2012)

2.5 台風・低気圧災害の激甚化

- ・台風の発生数・接近数について長期的な変化はみられない。また、「強い」以上の台風発生数や発生割合についても同様に、長期的な変化はみられない。一方、将来的には強い熱帯低気圧の発生数、最大強度、最大強度時の降水強度は増加すると予測している。
- ・全国的に大雨（日降水量 100mm 以上）の年間回数が増加する傾向がみられている。日本の年降水量は 21 世紀末に概ね 5% 程度増加し、短い時間に降る大雨や強雨も増加する。

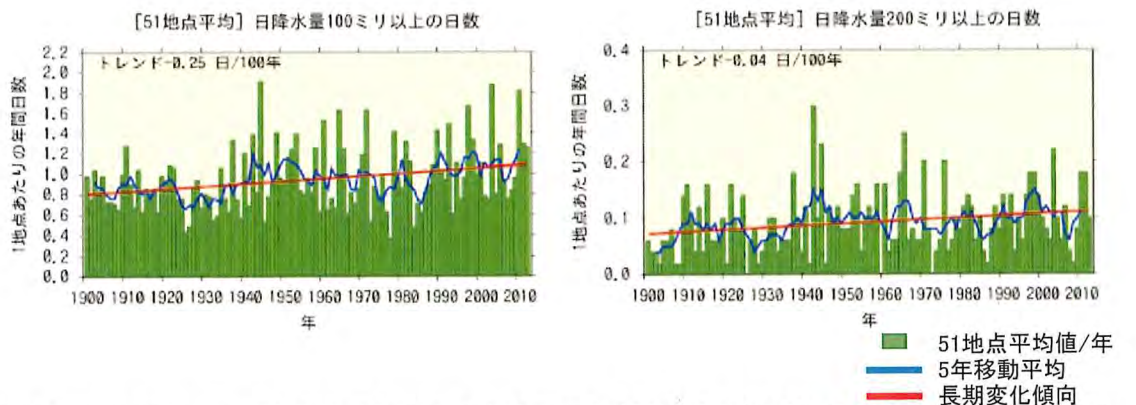
【解説】

(1) 過去～現況

台風：台風の発生数について 1951～2013 年の期間で長期変化傾向をみると、現時点で変化傾向はみられなかった。日本への接近数は、平年で 11.4 個となっているが、1960 年代、1990 年頃、2000 年代前半に比較的接近数が多くなっている。日本への接近数の長期的な変化傾向は、発生数と同様にみられなかった⁷。

気象庁は、気象衛星による観測が進展し、中心付近の最大風速データがそろっている 1977 年以降の台風について、10 分間の平均風速が 33m/s 以上を「強い」、44m/s 以上を「非常に強い」、54m/s 以上を「猛烈な」台風と分類している。「強い」以上の台風の発生数については、年による増減はみられるものの、長期的な変化傾向はみられない。また、「強い」以上の台風の発生割合も発生数と同様に長期的な変化傾向はみられない⁷。

大雨・強雨の発生頻度：1901～2013 年の 113 年間における日降水量 100mm 以上、日降水量 200mm 以上の年間日数の経年変化を図 2.6 に示す。日降水量 100mm 以上の日数は増加傾向が明瞭に現れており（信頼度水準 95% で統計的に有意）、日降水量 200mm 以上の日数についても増加傾向が明瞭に現れている（信頼度水準 95% で統計的に有意）。



51 地点：旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都、秋田、宮古、山形、石巻、福島、伏木、長野、宇都宮、福井、高山、松本、前橋、熊谷、水戸、敦賀、岐阜、名古屋、飯田、甲府、津、浜松、東京、横浜、境、浜田、京都、彦根、下関、呉、神戸、大阪、和歌山、福岡、大分、長崎、熊本、鹿児島、宮崎、松山、多度津、高知、徳島、名瀬、石垣島、那覇

気象庁；異常気象レポート 2014 より

図 2.6 日降水量が 100mm 以上、200mm 以上の年間日数の経年変化

アメダスで観測された1時間降水量が30mm以上（激しい雨）、50mm以上（非常に激しい雨）、80mm以上（猛烈な雨）、100mm以上（猛烈な雨）の短時間強雨の発生回数は、30mm以上の激しい雨、50mm以上の非常に激しい雨、及び80mm以上の猛烈な雨の頻度は増加傾向が明瞭に現れている（信頼度水準95%で統計的に有意）。また、100mm以上の猛烈な雨についても増加傾向が現れている（信頼度水準90%で統計的に有意）⁷。

(2) 将来予測

台風：強い台風の発生数、台風の最大強度、最大強度時の降水強度は現在と比較して増加する傾向があると予測され、長期的には西太平洋域における台風の発生数は多少減少すると予測されている。また、日本の南方海上では、非常に強い台風が現在と比較して増加する可能性があるとともに、そのような非常に強い台風が日本近海まで勢力を比較的維持したまま到達する可能性があるとの研究結果がある²。

高潮：気候変動により海面が上昇することにより、高潮のリスクが高まる。高波については、台風の強度の増加等による太平洋沿岸地域における高波のリスク増大の可能性、また、波高や高潮偏差の増大による港湾及び漁港防波堤等への被害等が予測されている。港湾・漁港、特に施設の設置水深が浅い港では、平均海面上昇やそれに伴う波高の増加により、施設の安全性が十分確保できなくなる箇所が多くなると予測されている²。

大雨・強雨の発生頻度：将来気候において、日本のほとんどの地域で、強雨による降水の強度や頻度の増加傾向が示されていることや、日降水量100mm以上、200mm以上の発生回数は、部分的に減少する傾向がみられているものの全国的に増加する傾向が示されていることから、地球温暖化による影響が現れていると考えられる。また、地球温暖化予測情報第8巻（気象庁）によると、日本の年降水量は21世紀末に概ね5%程度増加し、短い時間に降る大雨や強雨も増加すると予測されている⁷。



気象庁；地球温暖化予測情報 第8巻、2013より

図 2.7 地域別の短時間強雨の発生頻度の変化

3. 気候変動が漁場に与える影響

3.1 水産生物への影響

- 海水温上昇等により、沿岸域では、藻場・干潟・サンゴ礁の減少と沿岸生物分布の変化が予測されている。
- 魚類においては、産卵場・索餌場・回遊経路が変化等により漁場の形成場所や魚種、漁期の変化が予想される。

【解説】

海水温の上昇により、沖合・沿岸域では水産生物の産卵場・索餌場・回遊経路が変化して分布に直接影響を及ぼすことが考えられる。また、浅場では、藻場・干潟・サンゴ礁の分布域や構成種の減少等による生息環境の変化や、成層化や海流の変化等の海洋構造の変化により栄養塩やプランクトンの分布が変化し、餌料面から影響を及ぼすことが考えられる。これらの結果、魚種、漁場、漁期に変化が及ぶことが予想される。

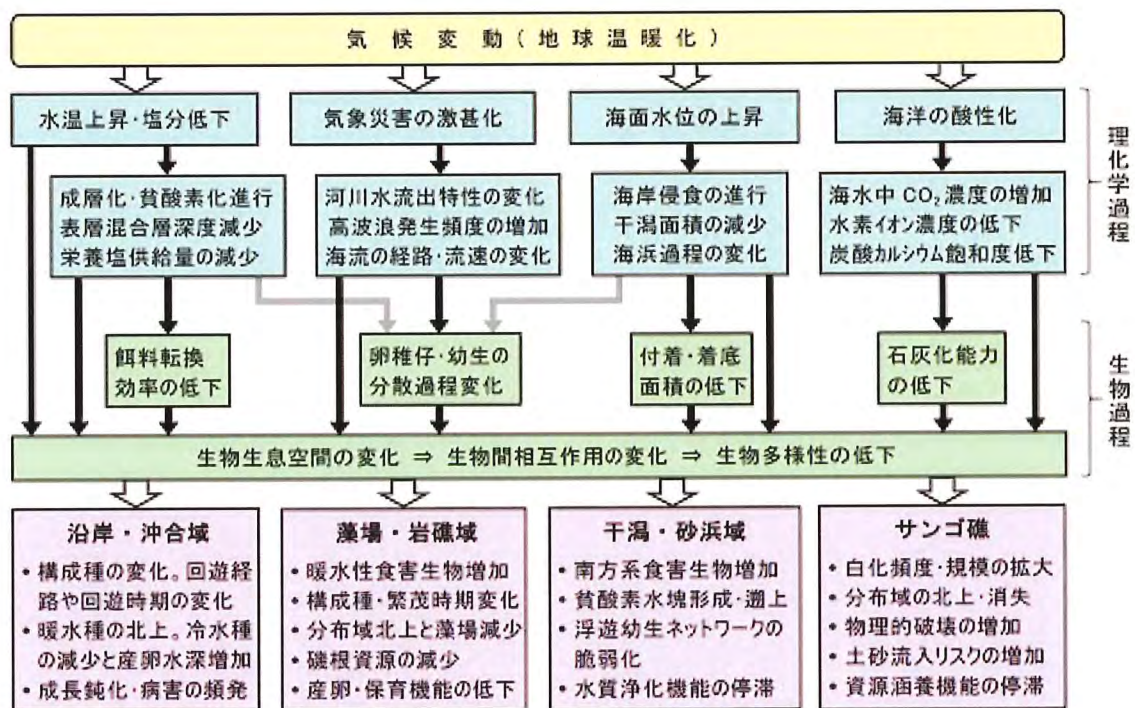


図 3.1 気候変動の水産生物への様々な影響

3.2 藻場

(1) 現況

<影響の内容>

- ・海水温上昇等により、①ウニやアイゴ・ブダイ等の藻食動物による食害の増加による藻場の衰退、②夏季の高水温による海藻草類の枯死、③藻場構成種の変化等の現象がみられる。

【解説】

藻場は、沿岸域における一次生産を支えるとともに、海藻等が水中の二酸化炭素を吸収して酸素を供給する機能や、生物多様性を維持する機能を有するとともに、水産生物の産卵場所や幼稚仔魚等の生息場所（ブリ稚魚のように流れ藻に付いて移動する場合も含む）やアワビ・サザエなどの海藻を食べる水産生物や海藻表面や藻体間の餌料生物を捕食する水産動物にとっての餌場となるなど、漁業資源の増殖に大きな役割を果たしている。

近年、海水温上昇等に起因して磯焼け等による藻場の衰退現象や、夏季の高水温による海藻草類の枯死、藻場構成種の変化等の現象がみられている。

(ア) 食害生物の増加

海藻を食べる動物には、巻貝、アメフラシ、ウニ、魚、ウミガメ、鳥などがあるが、磯焼けで問題となるのは捕食圧の大きいウニと植食性魚類である。磯焼けの実態を把握する目的で2013年に各都道府県でアンケート調査が行われている¹³。

ウニの食害に関して挙げられた種は、キタムラサキウニ、エゾバフンウニ、ムラサキウニ、バフンウニ、ガンガゼ、タワシウニ、ナガウニの7種であった。ウニの種や殻径サイズによって摂餌能力が異なるため、単純に比較はできないが、5~10個/m²以上のウニが分布していると磯焼けが継続しているようである¹⁴。高水温化により、分布域が北上することに加えて、活性が高くなり、摂餌量が増大することが懸念される。

一方、植食性魚類では、アイゴは、北海道を除く全国に分布し、外海、内湾どちらにも多く確認される（ただし東北太平洋側では稀）。ニザダイもほぼ同様の分布が知られている。この2種は年によっては対馬暖流の影響によってかなり北上する。ブダイは太平洋沿岸の千葉県以南、日本海沿岸の富山県以南で確認され、イスズミ類も、同様の分布パターンを示すが、やや南側に偏る。アイゴやブダイは外海にも内湾にも分布するが、イスズミ類やニザダイは外海に分布する傾向がある¹⁵。

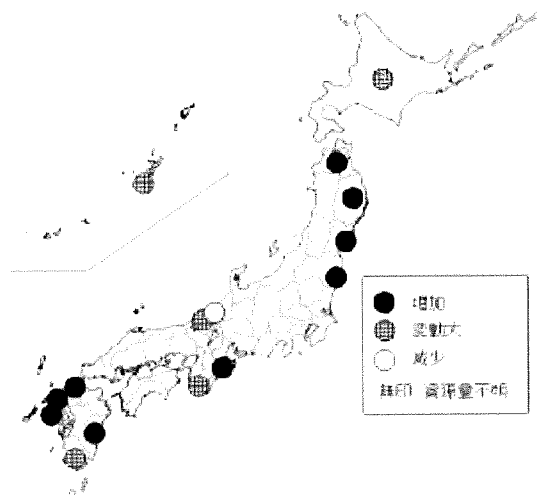
また、アイゴについては、大型褐藻類に対する採餌選択性が存在しており、多種混成のガラモ場では、単一種からなる藻場よりも被食が少ないことも明らかになっている¹⁵。

¹³ 水産庁;改訂磯焼け対策ガイドライン (2015)

¹⁴ 社団法人全国漁港漁場協会;磯焼け対策ガイドライン (2007)

¹⁵ 野田幹雄・大原啓史・村瀬昇・池田至・山元憲一;アイゴによるアラメおよび数種のホンダワラ類の被食過程と群落構造の関係日本水産学会誌 80(2):201-213 (2014)

高水温化によってウニ類と同様に、分布域の北上と活性が高くなることによる摂餌量の増大が懸念される。



水産庁;改訂磯焼け対策ガイドライン(2015)より

図 3.2 ウニ資源の動向



水産庁;改訂磯焼け対策ガイドライン(2015)より

図 3.3 植食性魚類の分布

(イ) 高水温による海藻草類の枯死

実海域における海藻草類の適水温範囲¹⁶は、アマモ、ウミトラノオ、アナアオサなどの冬季最低-2℃から夏季最高 28~29℃までの幅の広い種、フタエモク、ヒラネジモク、アントクメ等の冬季の最低水温が 13℃以上、チガイソ、ミツイシコンブ等の夏季の高水温が 21℃以下のように種によって生息域の水温範囲に違いがみられる。

上記については、実海域の生息水温を示しているが、高水温の影響を推定するためには、室内培養による試験結果が参考となる。

室内培養の試験結果について、海藻類の上限水温をみると、クロメ、アラメ、ヒロメ、ワカメといった暖海性コンブ類では、26~29℃であり、ジョロモク、アカモク、ヒジキ等のホンダワラ類では、27~34℃となっている。近年の夏季の高水温化で枯死が西日本において報告されている。アラメは茎と葉状部が枯死流失したのに対し、ノコギリモクとヤツマタモクは生残したことから、種による水温耐性の違いを反映したものと推定される（コラム 3.2 参照）。

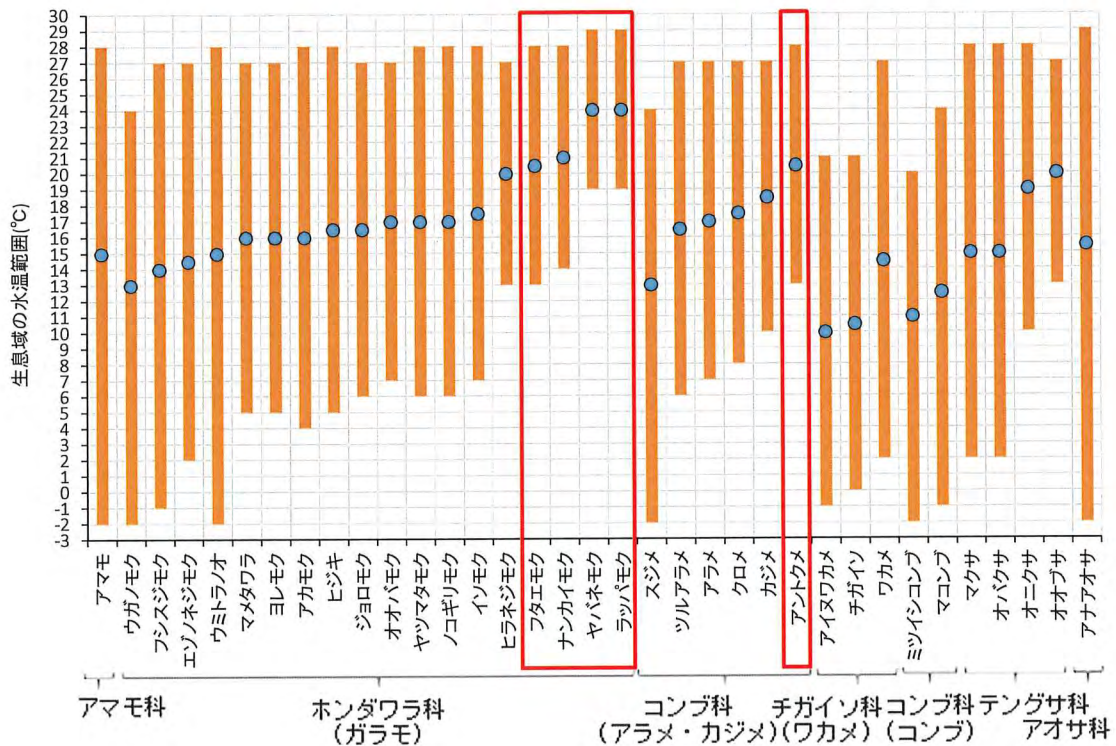
海藻については、一般に、成長速度は、水温が高くなるに従い速くなり、最適水温に達したあと急激に低下する。これは、藻場を構成する海藻の最適水温を越すとその藻場の生産力が急激に低下することを意味している。最適水温は、海藻の種類や季節によって異なることが知られている。また、生産力が低下した藻場は、アイゴなどの植食性魚類やウニの食害の影響を受けた際に衰退・減少しやすくなり、高水温（30℃前後）が持続すると、枯死する海藻もあらわれ、藻場の構成種は変化する¹⁷。

特に、アラメ・カジメ類やコンブ類が優占する海中林では、磯焼けが発生した後も、高水温・貧栄養の海況条件が持続すれば、磯焼けが持続しているという報告がある。この理由としては、高水温・貧栄養の条件下では、春~夏の成長期に栄養の蓄積が不十分となる一方、夏~秋の成熟期に栄養を大量に消費することで、深所から海中林が衰退するため、磯焼けが持続するとされている¹⁸。

¹⁶ 須藤俊造；海藻・海草相とその環境条件との関連をより詰めて求める試み、藻類 40：289-305（1992）

¹⁷ 水産庁；藻場資源消滅防止対策ガイドライン（2009）

¹⁸ 成田美智子・吾妻行雄・荒川久幸；海中林の形成に及ぼす環境の影響、磯焼けの科学と修復技術、恒星社厚生閣：34-48（2008）



須藤俊造 (1992) より
 ■: 水温範囲、●: 最高水温・最低水温の中央値
 □: 南方系種

図 3.4 海藻草類の適水温範囲

表 3.1 室内培養による海藻類の高温耐性の試験結果

分類群			生育上限温度(°C)										
			26	27	28	29	30	31	32	33	34		
ホンダワラ科	ジョロモク	発芽体						●					
		成体					●	●					
	アカモク	発芽体		●									
		成体											
	ヒジキ	発芽体								●			
	ホンダワラ	成体					●	●					
	ヤマタモク	発芽体							●		●		
		成体								●			
	マメタワラ	発芽体								●	●		
		成体						●		●	●		
	ヨレモク	発芽体								●			
		成体								●			
	オオバモク	発芽体								●			
		成体								●			
	ノギリモク	成体							●	●			
	トゲモク	成体		●					●				
ヒラネジモク	成体								●				
フシズモク	発芽体								●				
	成体								●				
ウミトラノオ	発芽体								●				
	成体								●			●	
コンブ目	クロメ	発芽体		●									
		成体				●							
	アラメ	発芽体											
		成体					●						
	ヒロメ	幼孢子体	●										
		配偶体			●								
ワカメ	幼孢子体		●										
	配偶体			●									

出典:
 ●: 馬場将輔: 新潟県産ホンダワラ類5種の成長と生残に及ぼす温度の影響、海生研報、第19号、53-61、2014
 ●: 原口展子ほか: 53、7-13、2005)
 ●: Murase, N. et al., Program & Abstracts, XIXth ISS, 175, 2007
 ●: Molita, T. et al., Phycol. Res., 51, 154-160, 2003
 ●: Molita, et al., Phycol. Res., 51, 266-270, 2003

【コラム 3.1】対馬暖流の長期変動がコンブ生産量に及ぼす影響の検討

北海道の日本海側では、対馬暖流の分岐に伴う北上が環境・資源変動に影響を及ぼすことが指摘されており、対馬暖流の北上流量の長期変動が北海道南西部のコンブ生産量に及ぼす影響について検討されている。

コンブの総生産量は、暖流量が20年平均値の80%に低下すると5.5倍、20年平均値の60%に低下すると、31.1倍増加するものと推定されている。

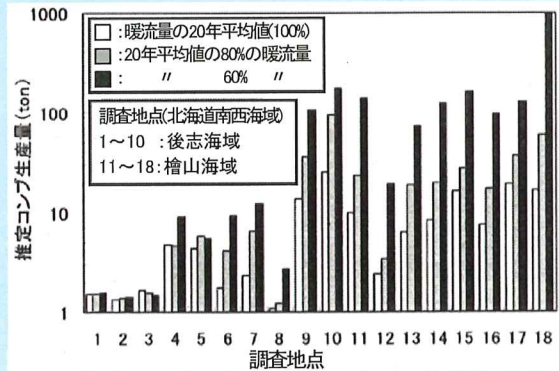


図 対馬暖流の流量別のコンブの年推定生産量

出典：瀬戸雅文・佐藤達明・山下克己；北海道における対馬暖流の長期変動がコンブ生産量に及ぼす影響。海洋開発論文集 22：619-623 (2006)

【コラム 3.2】九州・山口沿岸で発生したカジメ類の大量流出

2013年8月は日本海西部で水温が高く、一部では水温30℃以上の高水温環境が8日間連続した。この高水温と9月上旬の台風接近に伴う波浪によって大量のカジメ類(アラメ、カジメ、クロメ、ツルアラメ)が茎部の根元付近から脱落・流出し海岸に打ち上がった(八谷ら、2014)。被害水域は長崎県対馬・壱岐から福岡県沿岸を経て、山口県北部にまで及び、海岸線総延長距離は200kmを越えたと推定される。また、山口県下関市では、上記の条件下で、浅所(水深5m以浅)で生育するアラメ(生息上限温度29℃)は短期間で広範囲にわたり衰退しているが、同所に分布するノコギリモクやヤツマタモク(生息上限温度31℃)は生残している(村瀬、2014)。



水産庁：改訂磯焼け対策ガイドライン(2015)より

図1 海岸に打ち上がった大量の藻体

2013年5月



2013年10月



村瀬(2014)より

図2 山口県下関市川棚沿岸における2013年5月(左)と10月(右)の藻場構成種の状況
左：優占するアラメとノコギリモク、右：枯死したアラメと生残したノコギリモク・ヤツマタモク

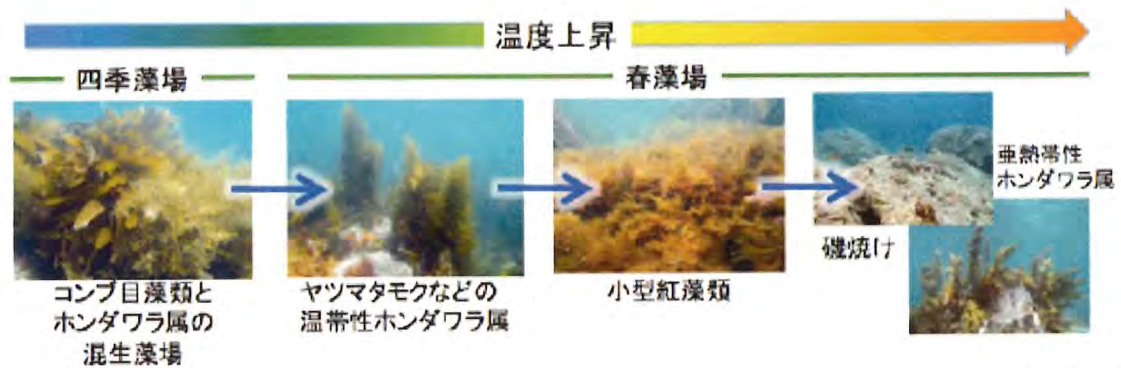
出典：村瀬昇；藻場が消えた?!～2013年、夏から秋にかけての山口県日本海沿岸の藻場の異変から。豊かな海 32：67-70 (2014)

八谷光介・清本節夫・吉村拓；長崎県壱岐市郷ノ浦地先におけるクロメ群落の現存量および生産量の季節変化。日本応用藻類学会誌 7(2)：79-94 (2014)

(ウ) 藻場構成種の変化

陸上植物と同じように、海藻にも一年生と多年生の種類がある。多年生海藻は一年生海藻と異なり、通常は一年中枝葉を茂らせる。一方、九州や四国南部の沿岸では、同じ多年生海藻がつくる藻場でありながら、枝葉の茂る期間が春を中心とする半年程に限られ、残りの期間はまるで磯焼けの様な景観を示す藻場となる。前者を四季藻場、後者を春藻場と呼び分けることが提案されている¹⁹。

また、水温上昇に伴う藻場植生の変化について、九州西岸や宇和海沿岸域における現地調査の結果では、温帯性の藻場は水温の上昇とともに、まずはクロメなどの温帯性コンブ目が消失し、ノコギリモクやヤツマタモクなどのホンダワラ類の藻場が形成される。その後さらに水温が上昇するとホンダワラ類も消失し、マクサなどの小型の紅藻類が優占する。さらに水温が上昇するとマクサも消失し、磯焼けとなることが示唆されている²⁰。

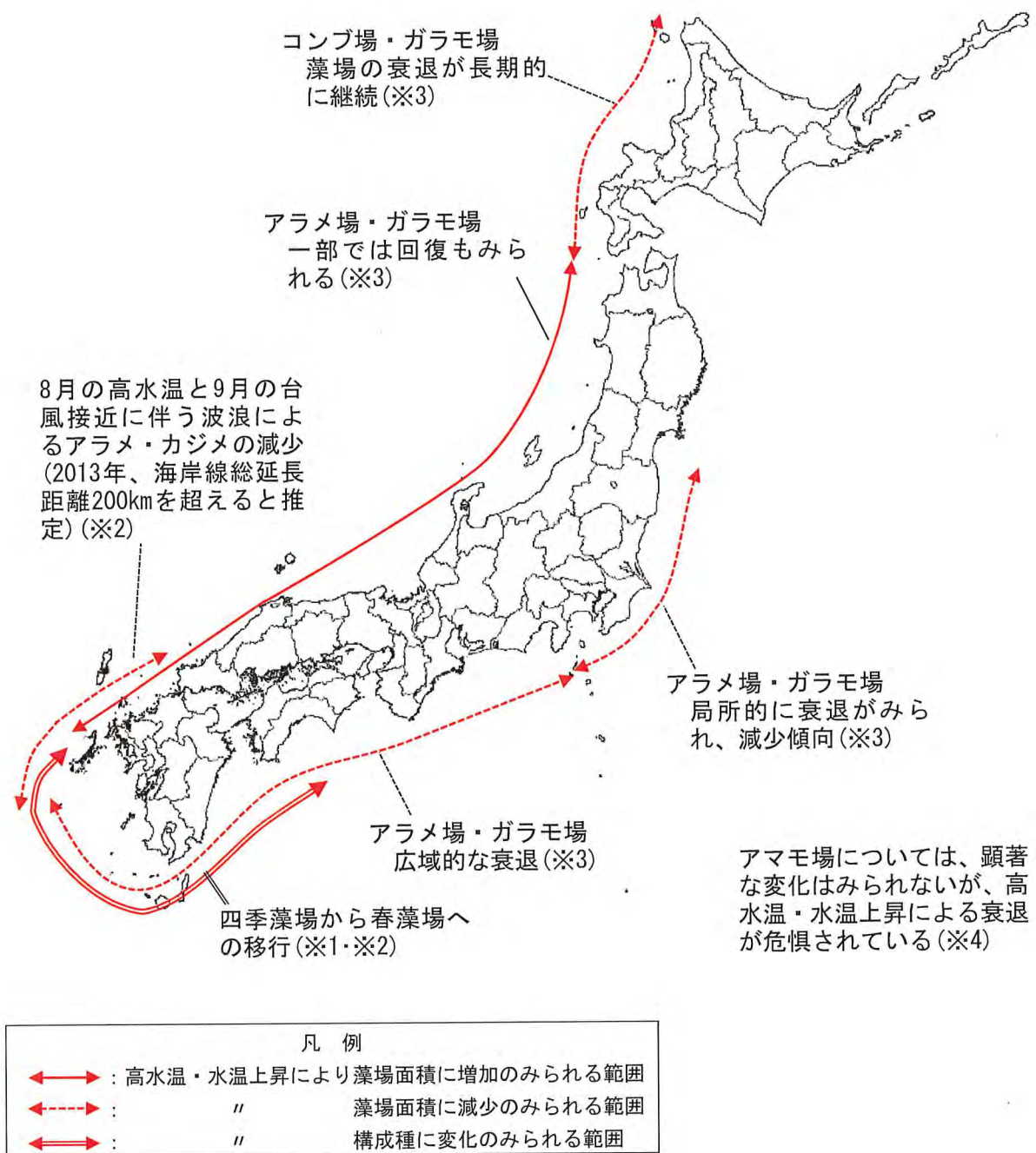


島袋寛盛(2015)より

図 3.5 水温上昇に伴う藻場植生の変化

¹⁹ 吉村拓・清本節夫・八谷光介・中嶋泰;長崎市沿岸に広がる”春藻場”とは?—その実態と今後の課題について—。月間海洋 41(11): 629-635 (2009)

²⁰ 島袋寛盛;西日本沿岸域における藻場の現状と変動。鳥取県藻場再生技術開発検討会(2015)



※1 水産総合研究センター;地球温暖化に関する研究情報(2014)、※2 水産庁;改訂 磯焼け対策ガイドライン(2015)、※3 海洋生物環境研究所;全国沿岸域に分布する藻場の長期的な変遷-2/2(2010)、※4 環境省;浅海域生態系調査(藻場調査)報告書(2008)より

図 3.6 近年の藻場の出現状況



アイゴ：大型海藻だけではなく、微細藻類や動物も食べる雑食性、ヒジキ・アマモ・海苔の食害も知られる。水温 15°C 前後で摂餌が停止する(※1)
20~25°C前後でよく摂食し、静岡県では夏~秋にカジメの食害が活発化する。



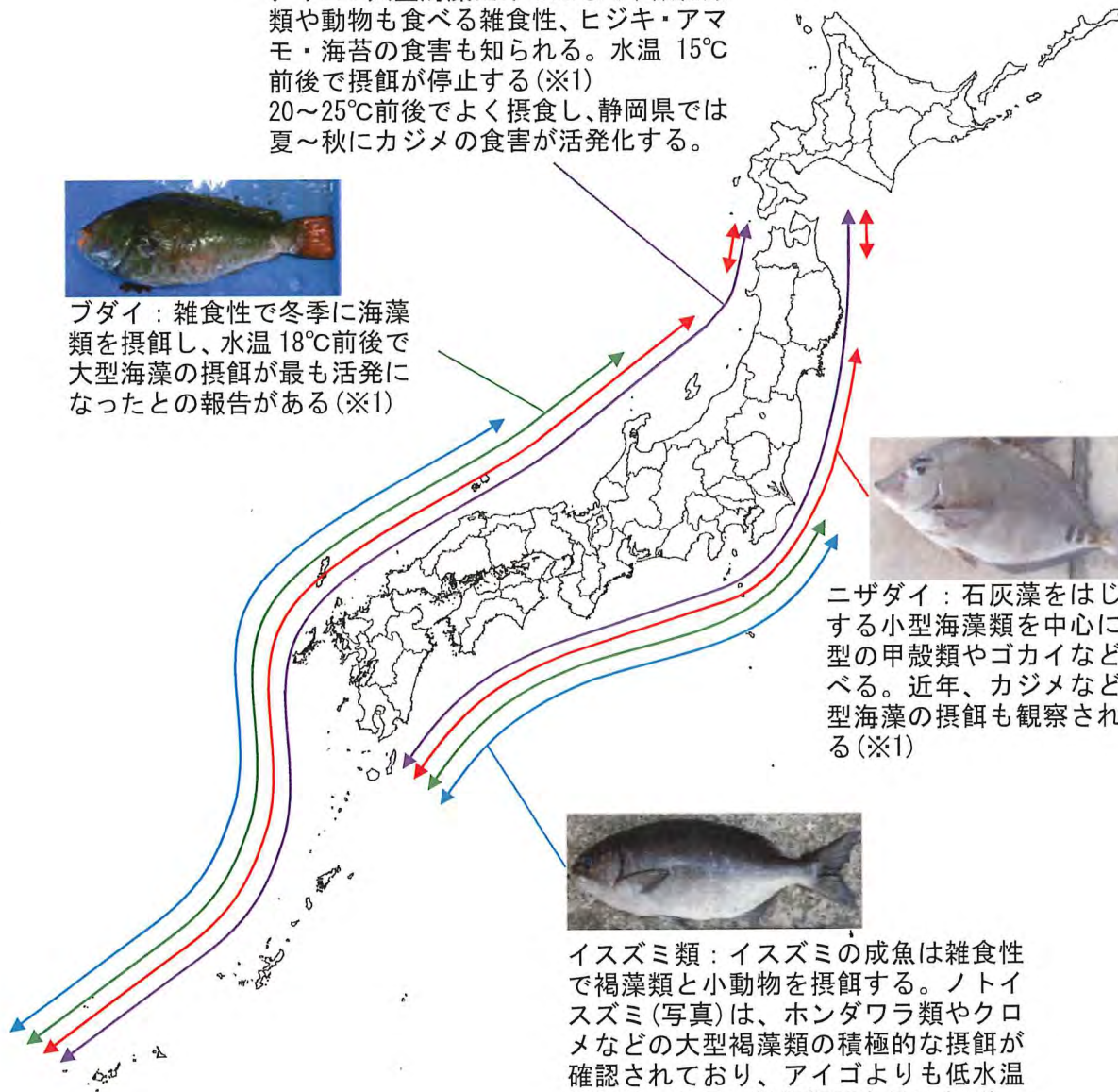
ブダイ：雑食性で冬季に海藻類を摂餌し、水温 18°C 前後で大型海藻の摂餌が最も活発になったとの報告がある(※1)



ニザダイ：石灰藻をはじめとする小型海藻類を中心に、小型の甲殻類やゴカイなども食べる。近年、カジメなどの大型海藻の摂餌も観察されている(※1)



イスズミ類：イスズミの成魚は雑食性で褐藻類と小動物を摂餌する。ノトイスズミ(写真)は、ホンダワラ類やクロメなどの大型褐藻類の積極的な摂餌が確認されており、アイゴよりも低水温に強く、冬季の摂餌期間も長い(※1)



凡例	
←→	分布範囲(アイゴ)
←→	分布範囲(ニザダイ)
←→	分布範囲(ブダイ)
←→	分布範囲(イスズミ類)

※1 水産庁;改訂磯焼け対策ガイドライン(2015)、※1以外 水産総合研究センター;地球温暖化に関する研究情報(2014)より

図 3.7 植食性魚類の出現状況

<藻場面積>

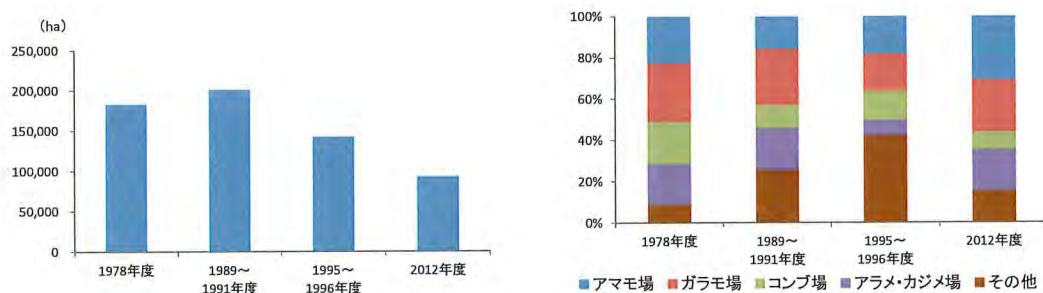
- 日本沿岸の藻場は衰退を続け、かつてなく厳しい状況におかれている。藻場の面積は長期的には減少傾向にある。
- 藻場タイプ別には、アマモ場・ガラモ場は日本全国に分布しており、コンブ場は北海道・東北に、アラメ・カジメ場は本州以南に分布する。
- 藻場の減少にともなって、藻場を生活史の一部または全部で利用する魚種の漁獲量も減少している。

【解説】

日本全国の藻場面積は、2012年の調査方法が異なるため、グラフの単純比較ができないものの、都道府県別の藻場衰退域の広がり等を加味すると、長期的には減少傾向にあるものと考えられる。

1995～1996年度の自然環境保全基礎調査および2012年度の日本沿岸藻場再生モニタリング調査の報告書には藻場の減少要因の記載がない。なお、1989～1991年度では、消失した藻場も6,403haが確認されており、消失した藻場の消滅原因として、全国的には埋立等直接改変28.1%、磯焼け14.7%、その他海況変化等16.2%、不明40.6%等とされている。

藻場タイプ別の組成は調査回によって組成が異なるが2012年の調査では、アマモ場が30.7%、ガラモ場が25.4%、アラメ・カジメ場が19.8%、コンブ場が8.6%の順であった。



注 1. 1996年度以前：自然環境保全基礎調査(環境省)、面積1ha以上、水深20m以浅について航空写真、現地調査、既存資料、聞き取り等により実施した結果を集計。2012年度：日本沿岸藻場再生モニタリング調査(水産庁他)、衛星画像、現地調査、聞き取り等により実施した結果を集計。(調査方法が実施時期により異なるため、面積の単純比較はできないが、いずれも日本全国で調査が行われている)

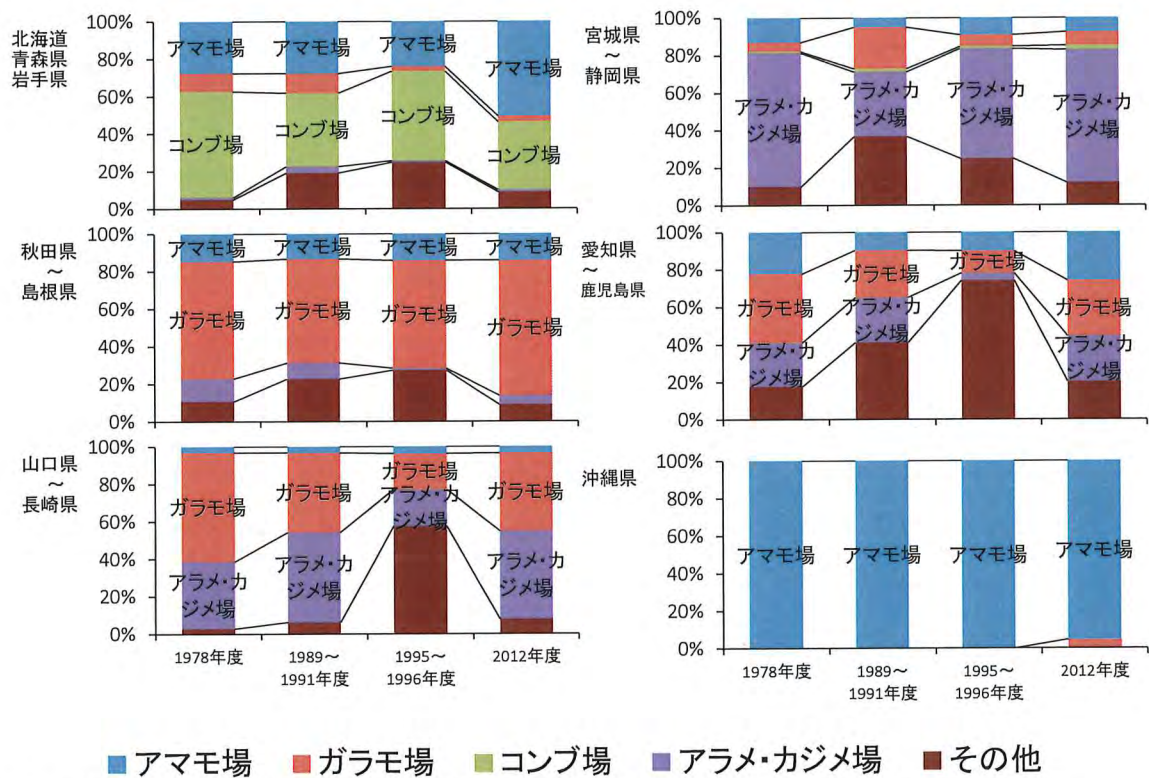
注 2. 1995～1996年度は兵庫県、徳島県の調査が行われていない

図 3.8 藻場面積 (左) 及び藻場タイプの推移 (右) <全国計>

地域別の藻場のタイプの推移をみると、北海道・青森県・岩手県ではコンブ場、アマモ場が主体となり、日本海側の秋田県～島根県ではガラモ場、山口県～長崎県ではアラメ・カジメ場、太平洋側の宮城県～静岡県ではアラメ・カジメ場、愛知県～鹿児島県ではガラモ場、アラメ・カジメ場、沖縄県ではアマモ場が主体となる傾向にある。

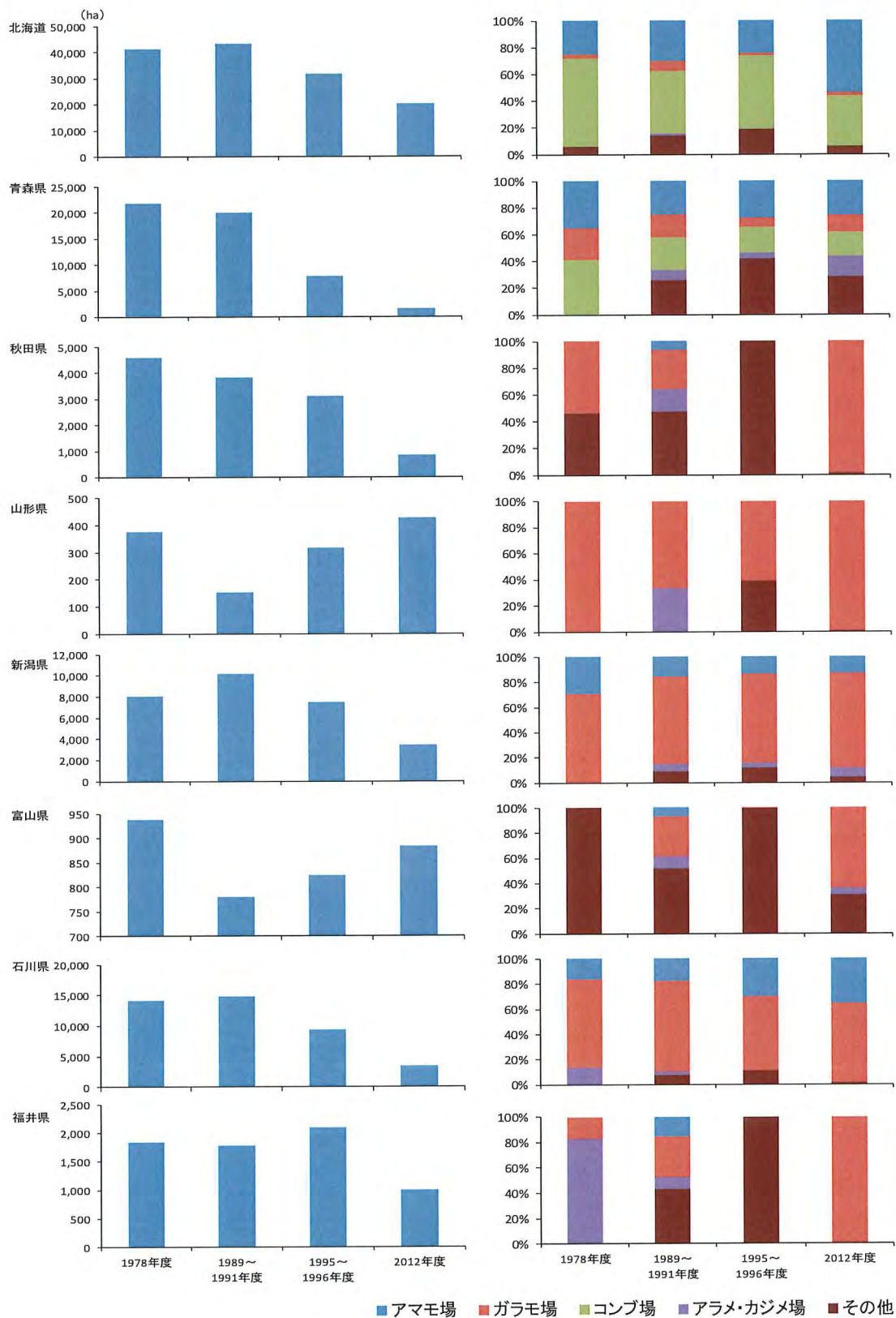


■藻場衰退域を抱える都道府県
水産庁;改訂磯焼け対策ガイドライン(2015)より
図 3.9 藻場衰退域を抱える都道府県の推移



注 1. 1996 年度以前：自然環境保全基礎調査(環境省)、2012 年度：日本沿岸藻場再生モニタリング調査(水産庁他)より
注 2. 1995～1996 年度は兵庫県、徳島県の調査が行われていない

図 3.10(1) 地域別藻場タイプの推移



注 1. 1996 年度以前：自然環境保全基礎調査(環境省)、2012 年度：日本沿岸藻場再生モニタリング調査(水産庁他)より
 図 3.10 (2) 藻場面積 (左) 及び藻場タイプの推移 (右) <日本海側に面した都道府県別>

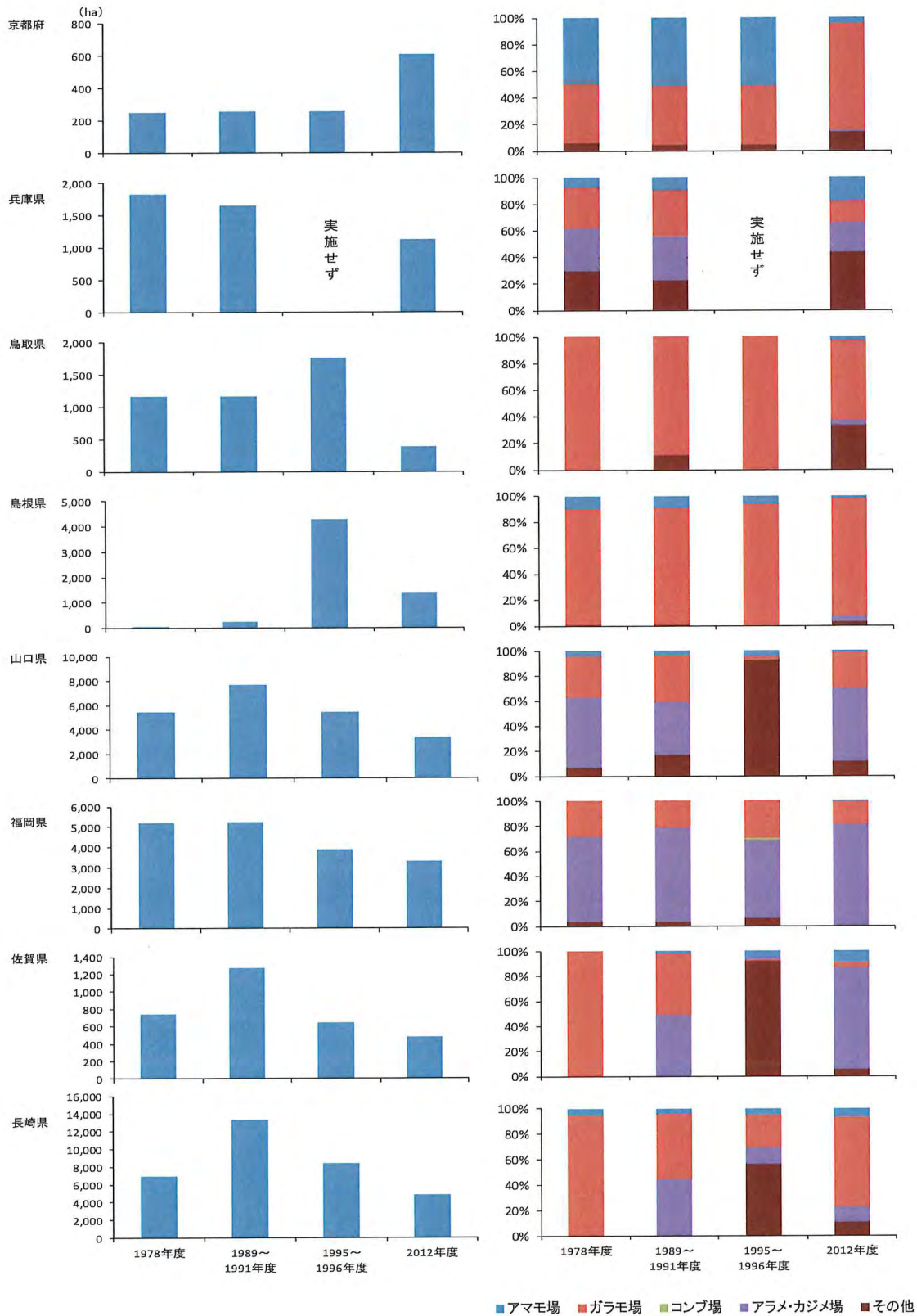
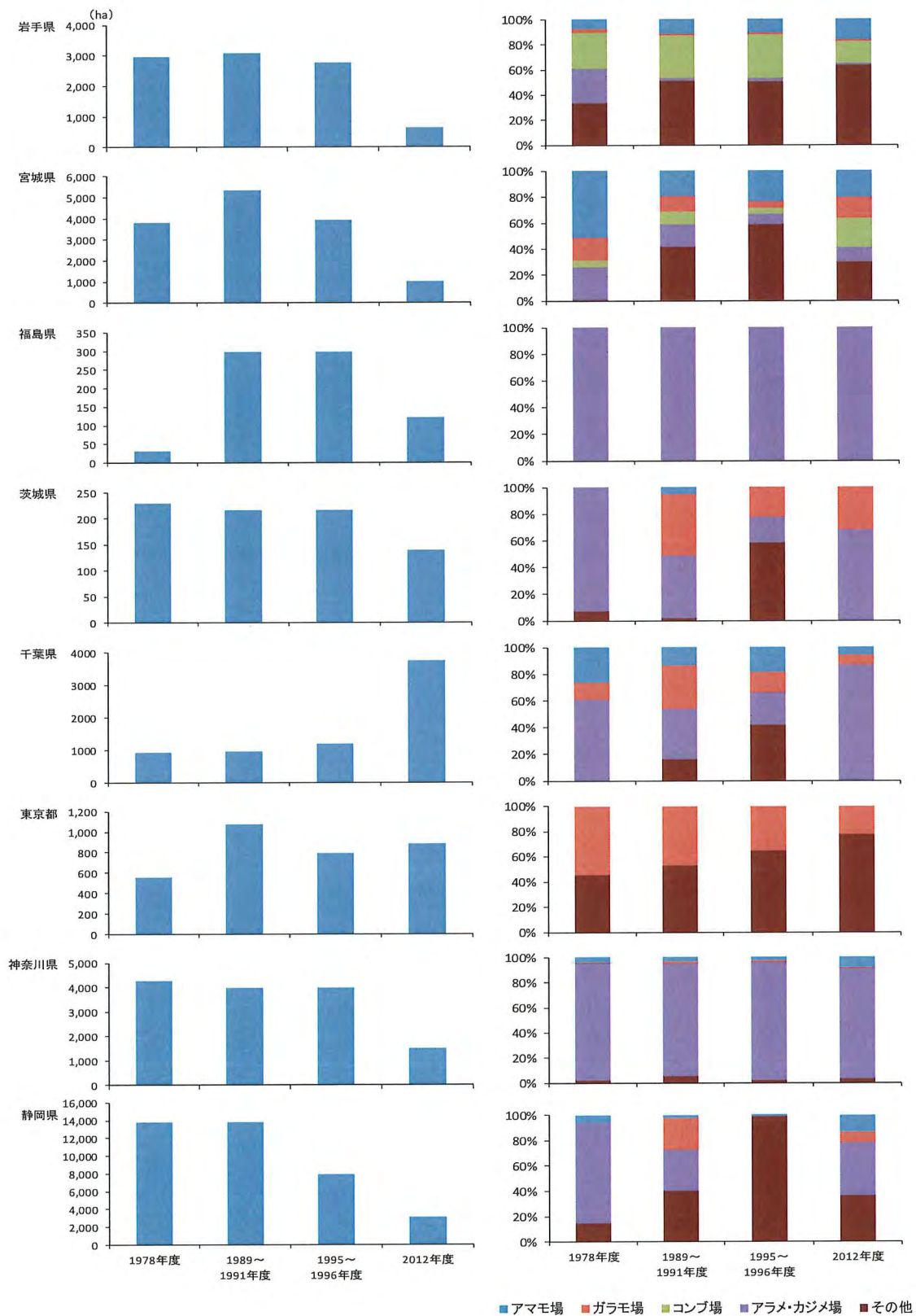
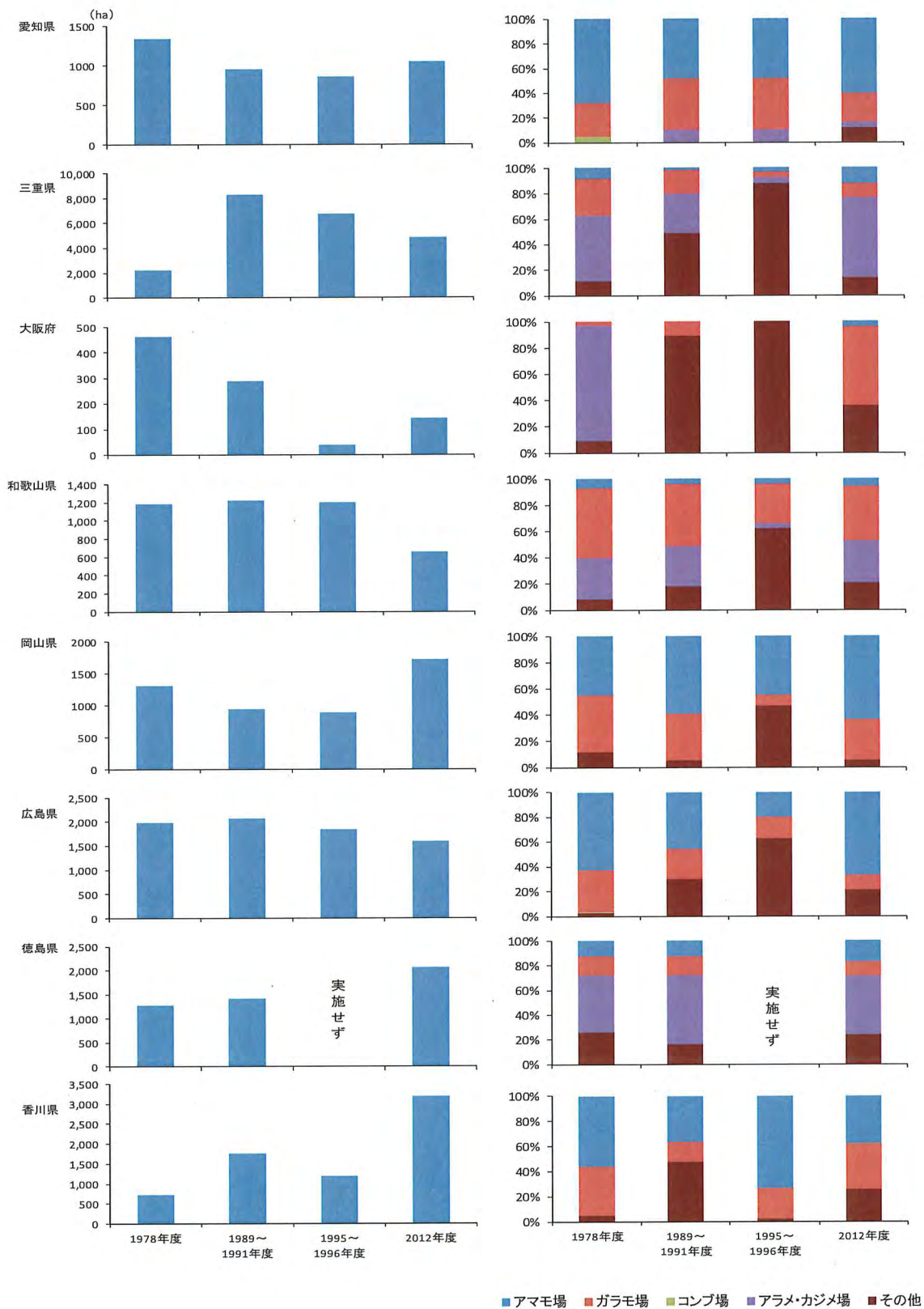


図 3.10(3) 藻場面積 (左) 及び藻場タイプの推移 (右) <日本海側に面した都道府県別>



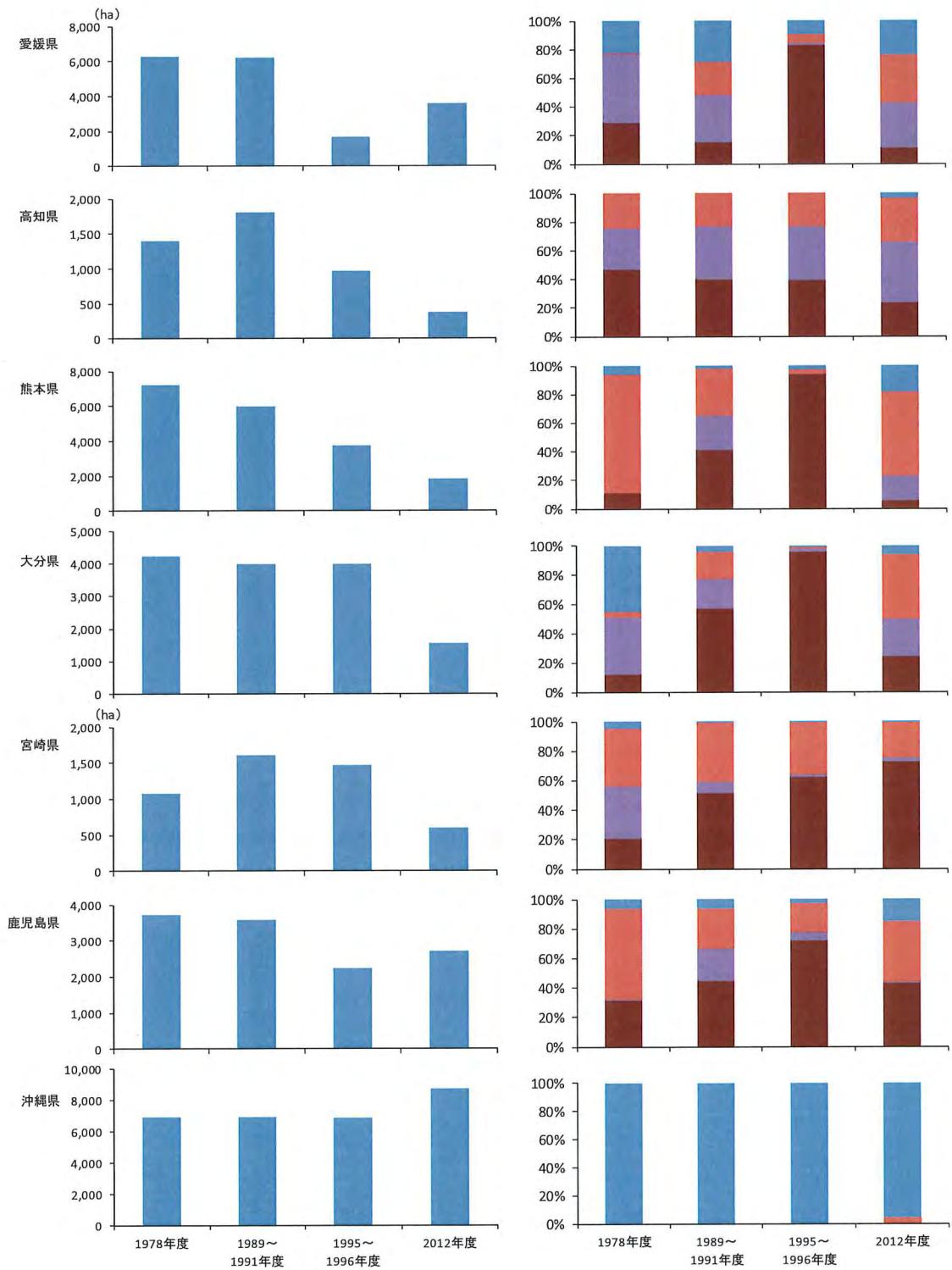
注 1. 1996 年度以前：自然環境保全基礎調査(環境省)、2012 年度：日本沿岸藻場再生モニタリング調査(水産庁他)より
 図 3.10(4) 藻場面積 (左) 及び藻場タイプの推移：右 (太平洋側に面した都道府県)



注 1. 1996 年度以前：自然環境保全基礎調査(環境省)、2012 年度：日本沿岸藻場再生モニタリング調査(水産庁他)より

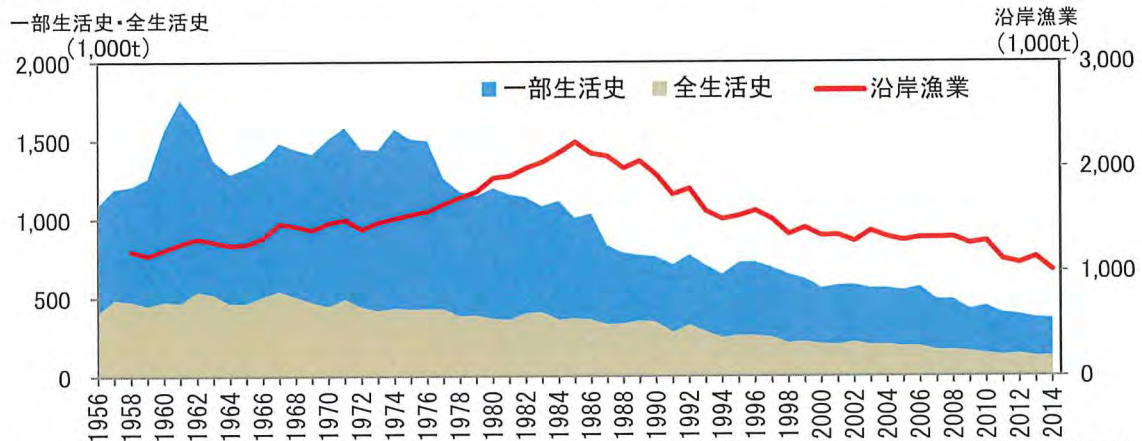
注 2. 1995～1996 年度は徳島県の調査が行われていない

2.18(5) 藻場面積 (左) 及び藻場タイプの推移 (右) <太平洋側に面した都道府県>



注1. 1993年度以前：自然環境保全基礎調査(環境省)、2012年度：日本沿岸藻場再生モニタリング調査(水産庁他)より
 図 3.10(6) 藻場面積(左)及び藻場タイプの推移(右) <太平洋側に面した都道府県別>

また、農林水産省の漁獲統計資料に記載のある魚種から、生活史の一部を藻場・干潟に依存する種類、生活史の全部を藻場・干潟に依存する種類を抽出した結果、全生活史を依存する種類は、徐々に減少傾向にあり、一部生活史を依存する種類は1960～1970年代から減少傾向にある。なお、沿岸漁業の漁獲量は、1980年代のピーク後、減少傾向にある。



注1. 一部生活史：コノシロ、ニシ、ヒラメ、カレイ類、ハタ、ニベ、ガサミ類、アゴ類、エイ類、タイ類、イサ、ヒメ、ウチ類、ホウ類、スズキ類、イカ、フグ類、他イビ、カマエビ、その他イビ類、ガザミ類、その他貝類、コウイ類、タコ類
 全生活史：アサギ類、ササエ、ハマグリ類、アサリ類、ウバガイ、カサウ、ウナギ類、アマコ類、海藻類
 農林水産省；海面漁業生産統計資料より

図 3.11 生活史の一部もしくは全部を藻場・干潟（アマモ場合む）に依存する魚類および沿岸漁業の漁獲量の推移

(2) 将来予測

- ・海水温の上昇等により、藻場の種構成が変化し、アワビ等の磯根資源に大きな影響を与える。
- ・将来予測（中期～長期）で増加が予想されているのは、北海道におけるアマモ場、太平洋北区におけるガラモ場、アラメ・カジメ場であり、それ以外は横ばい～減少を示している。

【解説】

水産工学研究所(2004)が実施した水温上昇の将来予測に基づいた魚種別の生産性の予測・評価では、影響評価に用いる海表面水温の水平分布が水温上昇のシナリオ（表 3.2、図 3.12）に基づき、現状及び、短期、中期、長期の予測が行われている²¹。

（ア） アマモ場

アマモ、オオアマモ、リュウキュウスガモの3種について予測が行われている。東シナ海区、太平洋南区では短期～長期ともに減少、瀬戸内海区、日本海北区、日本海西区、太平洋中区では、短期～中期には、横ばい～減少、長期では、いずれも減少とされている。太平洋北区では、短期～長期いずれも増加、北海道区では、短期～中期は横ばい、長期では増加の予測となっている。

（イ） ガラモ場

ウガノモク、ヤツマタモク、ノコギリモクの3種について、ウガノモクが北海道区で、ヤツマタモクとノコギリモクがそれ以外の海区で予測が行われている。太平洋北区を除いた全ての海区で短期～中期には横ばい～減少、長期では、減少とされている。太平洋北区では、短期～中期は横ばい、長期には、増加の予測となっている。

（ウ） アラメ・カジメ場

アラメ、カジメの2種について、アラメが北海道区、太平洋南区、日本海北区、日本海南区を除く海区で、カジメが北海道区を除く海区で予測が行われている。アラメが太平洋北区を除いて、分布のみられる太平洋中区、東シナ海区、瀬戸内海区で、短期～長期ともに減少とされ、カジメが太平洋南区、東シナ海区では、短期～長期ともに減少、太平洋中区、日本海北区、日本海西区、瀬戸内海区では、短期～中期では、上昇～横ばいであり、長期ではいずれも減少の予測となっている。

（エ） コンブ場

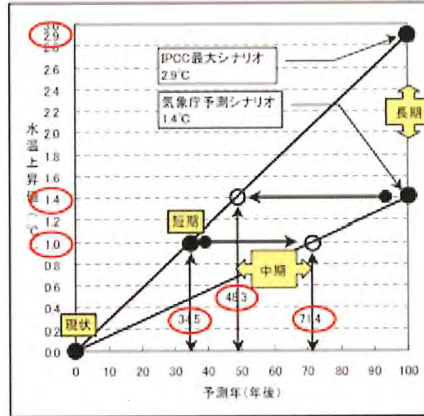
ミツイシコンブ、リシリコンブ、ナガコンブの3種について予測が行われている。太平洋北区、北海道区ともに短期では、横ばいであるが、中期から長期では横ばい～減少の予測となっている。

²¹ 水産工学研究所;平成 14-15 年度地球温暖化に対応した漁場、漁港漁村対策調査総合報告書(2004)

表 3.2 水温上昇のシナリオ

No	水温予測	解説	該当年
①	現状予測値（現状）	気象庁の現状予測結果	2003年
②	将来予測値（短期）	①の水温分布に一律1.0℃加算したもの	2037～2074年
③	将来予測値（中期）	気象庁の将来予測結果（気象庁100年後予測値）	2051～2103年
④	将来予測値（長期）	③の水温分布に一律1.5℃加算したもの（長期）	2103年～

水産工学研究所(2004)より



水産工学研究所(2004)より

図 3.12 水温上昇のシナリオ

表 3.3 藻場構成種の海域区分での予測・評価

海域区分	都道府県	ユニット種類 藻場構成種	アマモ			カジメ			ウガノモク			ヤツタタモク			ノコギリモク			ミツイシコンブ		
			短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期
北海道	北海道								→	→	→							→	→	→
太平洋北区	青森(太平洋側)、岩手、宮城、福島、茨城		→	→	→	→	→	→							→	→	→	→	→	→
太平洋中区	千葉、東京、神奈川、静岡、愛知、三重		→	→	→	→	→	→				→	→	→	→	→	→			
太平洋南区	和歌山、徳島、高知、宮崎					→	→	→				→	→	→	→	→	→			
東シナ海区	福岡、佐賀、長崎、熊本、鹿児島、沖縄		→	→	→	→	→	→				→	→	→	→	→	→			
日本海北区	青森(日本海側)、秋田、山形、新潟、富山、石川					→	→	→				→	→	→	→	→	→			
日本海西区	福井、京都、兵庫(日本海側)、鳥取、島根、山口(日本海側)					→	→	→				→	→	→	→	→	→			
瀬戸内海区	大阪、兵庫(瀬戸内海側)、岡山、広島、山口(瀬戸内海側)、香川、愛媛、大分		→	→	→	→	→	→				→	→	→	→	→	→			

海域区分	都道府県	ユニット種類 藻場構成種	リシリコンブ			ナガコンブ			アマモ			オオアマモ			リュウキュウスガモ		
			短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期
北海道	北海道		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→			
太平洋北区	青森(太平洋側)、岩手、宮城、福島、茨城		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→			
太平洋中区	千葉、東京、神奈川、静岡、愛知、三重								→	→	→						
太平洋南区	和歌山、徳島、高知、宮崎								→	→	→						
東シナ海区	福岡、佐賀、長崎、熊本、鹿児島、沖縄								→	→	→				→	→	→
日本海北区	青森(日本海側)、秋田、山形、新潟、富山、石川								→	→	→						
日本海西区	福井、京都、兵庫(日本海側)、鳥取、島根、山口(日本海側)								→	→	→						
瀬戸内海区	大阪、兵庫(瀬戸内海側)、岡山、広島、山口(瀬戸内海側)、香川、愛媛、大分								→	→	→						

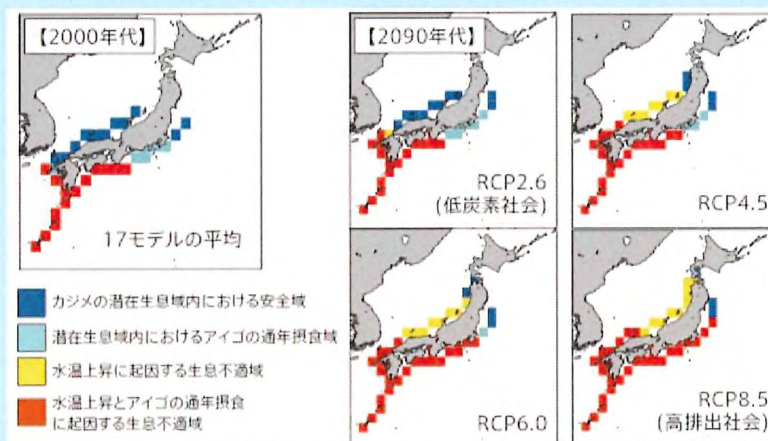
→ : 生産は増加の予想 → : 生産は横ばいの予想 → : 生産は減少の予想

※短期：現状予測に一律1.0℃加算したもの、中期：気象庁100年後予測値、長期：気象庁100年後予測に一律1.5℃加算したもの

水産工学研究所(2004)より

【コラム 3.3】水温上昇に伴うカジメの分布とアイゴの間接的な影響を考慮した将来予測研究

気候変動リスク情報創生プログラム 3 (2015) では、温暖化や沿岸生態系にもたらす影響について予測・分析が行われており、「どういう条件ならその生物がその海域に生息できるか」という評価指標を作成し、温暖化が進むと生物分布がどう変化するかをシミュレーションした結果、本州から九州沿岸のカジメでは、水温上昇によってカジメ自体が直接的なストレスを受けることと、カジメを摂餌するアイゴの捕食圧が強まること、その両方の影響を受けて生息不適域が拡大する可能性が示唆されている。



文部科学省; 気候変動リスク情報創生プログラム 3 (2015) より

図 温暖化シナリオの違いに伴う将来的な藻場分布の変化

表 1986~2005 年を基準とした 21 世紀末の世界平均地上気温の予測

シナリオ名称	温暖化対策	平均(°C)	可能性が高い予測幅(°C)
RCP8.5	なし	+3.7	+2.6~+4.8
RCP6.0	少	+2.2	+1.4~+3.1
RCP4.5	中	+1.8	+1.1~+2.6
RCP2.6	最大	+1.0	+0.3~+1.7

環境省; IPCC 第 5 次評価報告書の概要 (2014) より

3.3 干潟

(1) 現況

<影響の内容>

- ・海水温上昇に起因する干潟への影響として、夏季の成層化に伴う貧酸素水塊の拡大や長期化、ナルトビエイ等の食害生物の増加、台風の巨大化やゲリラ豪雨に伴う淡水化等、漁場環境の悪化や生息適地の不足が挙げられる。

【解説】

干潟は、二枚貝等砂泥中にすむ生物や幼仔稚魚の生息場となっているほか、生物多様性を維持する機能や海域の水質を浄化する機能等を有しており、陸域から流入する栄養塩濃度の急激な変動を抑える緩衝地帯としても重要な役割を果たしている。

しかし、日本国内の干潟面積は、埋め立て等により消失が進むとともに、近年では、南方系魚類であるナルトビエイの来遊による二枚貝の捕食や貧酸素水塊の発生、陸上からの砂の供給の低下や円滑な物質循環の滞り等により、干潟における二枚貝類の生産力が低下している²²。

(2) 将来予測

- ・海水温上昇に伴う、海面水位の上昇により、干潟の分布域が縮小・消滅する可能性がある。また、海水温上昇と干潟が縮小・消滅することにより、すみ場所の消失や水質・底質の変化などによる干潟域の生態系への影響が挙げられる。

【解説】

海面水位が上昇することにより、干潟域の後退や消失が生じると考えられ、広大な干潟域が自然の状態に残されていれば、海面水位が徐々に上昇したとしても、そこにすむ生物はすみ場所を少しずつ変えることによって適応可能であるが、埋め立てや堤防等の構築物によって狭められている場所等では、海面水位の上昇により、干潟に生息する生物のすみ場所の消失に直接的に結びつくことが予想されている²³。

海面水温の上昇に関して、日本全国の砂浜海岸では海面が30cm上昇すると108km²が、1m上昇すると173km²が侵食され、それぞれ、日本全国の56.6%、90.3%に相当する²⁴。また、平均勾配が1/300程度と非常に緩やかな干潟では、50cmの海面上昇で幅150mの面積が消失することになり²⁴、1995・1996年度の時点では、全国の干潟面積が49万ha(兵庫県・徳島県除く)²⁵であるが、海面上昇がこれらの干潟の減少に影響を及ぼすものとみられる。

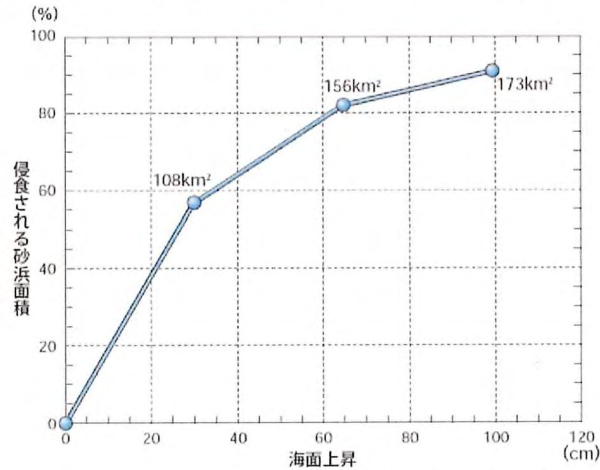
²² 水産庁；藻場・干潟ビジョン(2016)

²³ 水産総合研究センター；地球温暖化に関する研究情報(2014) <https://www.fra.affrc.go.jp/kseika/ondanka/>

²⁴ 総合科学技術会議環境担当議員・内閣府政策統括官；地球温暖化研究の最前線—環境の世紀の知と技術2002—(2003)

²⁵ 環境省；第5回自然環境保全基礎調査 海辺調査 総合報告書(1998)

また、生態系を構成する生物の消失により、干潟を餌場、生息場、稚仔の生育場として活用している生物の生活史サイクルが乱れ、生産性が低下することが懸念されている²³。

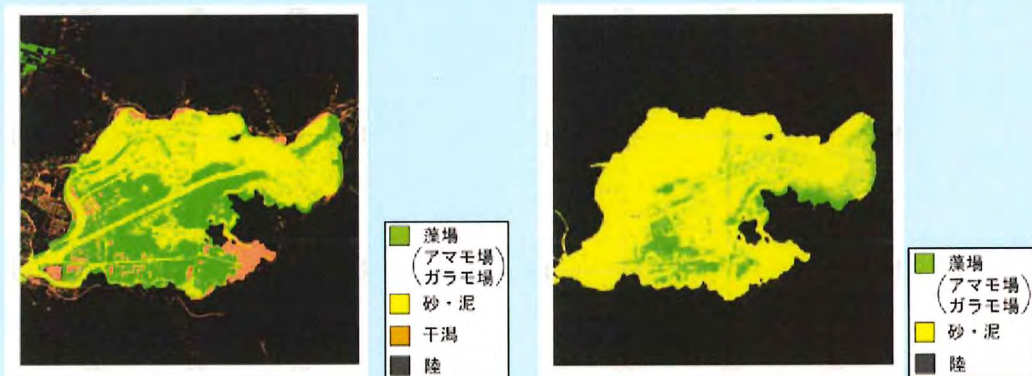


総合科学技術会議環境担当議員・内閣府政策統括官(2003)より

図 3.13 海面上昇による砂浜の侵食予測

【コラム 3.4】 海面水位の変化に伴う干潟消滅

浅海域では、海面水位が変化することにより、生物の生息に影響を及ぼす可能性がある。例えば、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、震災前(2010年6月)の藻場面積250ha、干潟面積70haが、震災後(2011年5月)には藻場面積86ha、干潟面積0haと大きく減少し、特に、干潟面積が0haとなったのは、地震による地盤低下により0.8m程度下がったことが原因とされている(財団法人環日本海環境協力センター・東京大学大気海洋研究所, 2012)。この地盤低下により、干潟域が全て水没し、最干潮でも干出することはほとんどなくなり、アサリ漁場も水没し、底生動物の生息域に影響を及ぼしている(宮城県, 2016)。



震災前(2010年6月)

震災後(2011年5月)

財団法人環日本海環境協力センター・東京大学大気海洋研究所(2012)より

図 1 震災前後の万石浦の藻場・干潟等の分布

出典：財団法人環日本海環境協力センター・東京大学大気海洋研究所；東北地方における漁業復興のためのリモートセンシングデータによる藻場被害及び復元支援マップの作成 2011年度上半期報告書(2012)
宮城県；宮城県レッドデータブック(2016)



カイヤドリウミグモ：アサリの貝殻内に寄生する。分布域は不明。東京湾・三河湾では異常発生が確認され、アサリの大量死が発生しているが、異常発生の原因は不明(※2)



ナルトビエイ：長崎県・和歌山県以南に分布し、1989年に長崎県五島灘周辺に出現、1990年代中頃から日本海での生息が知られる



左：サキグロタマツメタ
右：ツメタガイ

サキグロタマツメタ：1992年以降、ツメタガイ類による被害が日本各地で多発する。本州中部以南に分布し、近年、サキグロタマツメタによる食害が東北・関東等でも報告され、種苗放流として放流した国内産および外国産アサリに混入していたものが定着したためと考えられている(※1)



※1 水産庁;干潟生産力改善のためのガイドライン(2008)、※2 京都府立海洋センター;アサリの減耗要因と対策-アサリの資源回復と有効利用を目指して-(2009)、※1※2以外 水産総合研究センター;地球温暖化に関する研究情報(2014)より

図 3.14 干潟域における二枚貝の食害動物等の出現状況

3.4 サンゴ礁

(1) 現況

<影響の内容>

- ・サンゴ礁は、①地球温暖化による海水温の上昇、酸性化などの地球的規模で起こる要因と、②赤土の流入や海水の富栄養化などの地域的な要因が複合して作用するため、危機的状況にある。

【解説】

(ア) 気候変動

地球規模で起こる気候変動には、①海水温の上昇によるサンゴの白化、②台風の巨大化に伴う波浪の増大によるサンゴ礁の破壊、③海洋の酸性化によるサンゴの石灰化機能の低下などがある。これらは、地球温暖化の影響が大きく関与している²⁶。

【コラム 3.5】高水温によるサンゴの白化現象

地球温暖化の影響により、高水温の発生する頻度が高くなり、高い海水温が継続するとサンゴに共生している褐虫藻が体内から喪失する。その結果、サンゴ自体の骨格が透けて、白く見えるサンゴの白化現象が起こる。さらに、この状態が長く続くとサンゴは褐虫藻から栄養を受け取ることができず、やがて死滅する。

我が国では、1980年（昭和55年）に初めて大規模な白化現象が観察され、その後、各地で頻繁に白化現象が発生している。近年では、1997～1998年（平成9～10年）にかけて起きた世界的な海水温上昇に伴う大規模な白化現象が、サンゴ礁に大きな影響を及ぼしている（水産庁、2015）。2016年の夏季にも、沖縄県内のサンゴ



図1 サンゴの白化現象

礁で白化現象が報告され、石西礁湖内の35地点で行われた調査では、白化率は97%で、うち全体が死亡した群体は56.7%であり、同様に慶良間諸島国立公園内の36地点では、平均白化率が15.2%、うち全体が死亡した群体の割合は1.9%となっている（環境省那覇自然環境事務所、2016）。

出典：水産庁；サンゴ礁保全活動の手引き、69P。（2015）

環境省那覇自然環境事務所；報道発表資料（2016年11月9日）<http://kyushu.env.go.jp/naha/161109sango.pdf>

²⁶ 水産庁；サンゴ礁保全活動の手引き、69P。（2015）

(イ) 地域的な要因

地球規模の気候変動に対して、サンゴに対するストレスの地域的な要因としては、食害生物の増加、サンゴの加入量不足、海藻類の増加、瓦礫の移動によるサンゴ礁の破壊、透明度の低下と浮泥の堆積、赤土の流入、富栄養化、過剰な観光利用・乱獲、サンゴの病気が考えられる²⁶。これらは、必ずしも気候変動だけが要因ではなく、他の要因も絡んだ複合影響であることが推定される。

表 3.4 サンゴに対するストレスの地域的な要因

ストレス	概要
食害生物の増加	食害動物（オニヒトデやシロレイシガイダマシ類、フダイなど）の増加によりサンゴの成長が阻害されます。特に、オニヒトデの大発生は広い範囲でサンゴの死滅をもたらします。
サンゴの加入量不足	白化現象や食害により、親サンゴが広範囲に死滅すると、海域の総産卵量が減り、受精の機会が減ってしまうため、幼生が不足し、幼生の加入が難しくなります。
海藻類の増加	海中の富栄養化や植食動物（アイゴ、タカセガイなど）の減少が原因で、海藻や微細藻類が繁茂し、これらが基質を優占すると幼生の加入が阻害されます。
瓦礫の移動によるサンゴの破壊	波によりサンゴ瓦礫が大きく移動する海底では、サンゴ瓦礫が海底を摩耗するため、幼生の加入や成長を阻害したり、破壊したりします。
透明度の低下と浮泥の堆積	汚濁河川水の流入により、濁りが透明度を低下させ、長期にわたって光量不足が続くと成長が阻害されます。また、浮泥の堆積は、幼生の加入や成長を阻害します。
赤土の流入	赤土の流入は、濁りで透明度を低下させ、長期にわたって光量不足が続くと、サンゴの成長が阻害されます。また、赤土の堆積は、サンゴのへい死をもたらします。
富栄養化	農地からの肥料や畜産ふん尿、あるいは生活雑排水が流入し、富栄養化となった海中は、基質上には海藻類が繁茂し、幼生の加入や成長を阻害することがあります。また、植物プランクトンが増殖しやすくなり透明度が低下し、サンゴの成長が阻害されます。
過剰な観光利用・乱獲	海水浴やマリンスノーは、故意ではなくても踏みつけやフィンなどでサンゴを折損・破壊することがあります。また、乱獲による水産生物の減少は、サンゴ礁の生態系に影響を与え、例えば、藻食性魚類が乱獲によって減れば、海藻類が増えて、サンゴが減少することがあります。
サンゴの病気	近年、いろいろなストレスで弱ったサンゴにブラックバンドディゼース（黒帯病＝細菌による壊死）やホワイトシンドローム（サンゴの組織が帯状に白く壊死する病気）などの感染症や腫瘍（骨格形成異常）が広がっています。

水産庁；サンゴ礁保全活動の手引き（2015）より

<分布>

- サンゴの種類数は琉球列島から九州、四国、本州に沿って北へ行くほど減少する。
- サンゴが積み重なって作る地形であるサンゴ礁の北限は種子島であり、太平洋側では、館山湾、日本海側では金沢周辺海域まで造礁サンゴが確認されている。

【解説】

主なサンゴ礁は鹿児島県大隅諸島から沖縄県八重山列島、東京都小笠原諸島に分布し、主な高緯度サンゴ群集の北限は日本海側では新潟県佐渡島、太平洋側では千葉県房総半島までである²⁷。

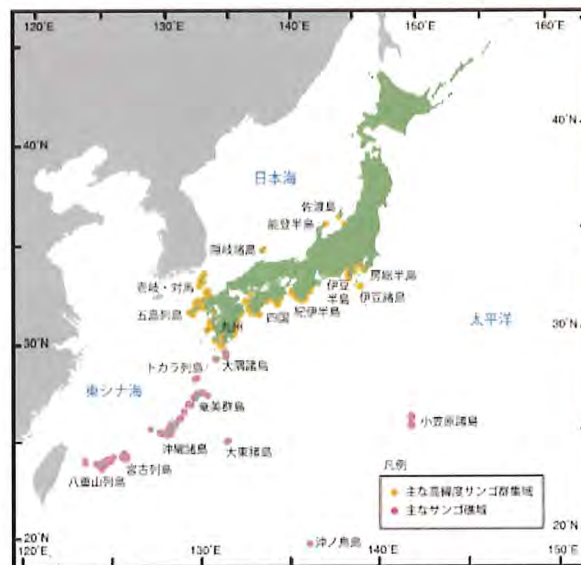
なお、最寒月の平均水温が18℃以上であると造礁サンゴによるサンゴ礁が形成され、鹿児島県種子島周辺を境に、それ以北では造礁サンゴは分布するが、サンゴ礁は形成されないとされている。また、造礁サンゴの成育可能範囲の水温は16～36℃、サンゴ礁が形成される条件は最低18℃以上となっている。

※造礁サンゴは、分類学上の名称ではなく、サンゴ礁を形成するサンゴ類の総称である。そのほとんどは、刺胞動物門花虫綱六放サンゴ亜綱イシサンゴ目に属しており、石灰質の硬い骨格を持ち、体内に褐虫藻と呼ばれる藻類を共生させ、褐虫藻の光合成による栄養をもらって成長する。サンゴ礁は、造礁サンゴなどによって造られた地形を示す。九州以北では、サンゴ礁を形成しない造礁サンゴの群集がみられ、こうした高緯度に分布する造礁サンゴの群集を高緯度サンゴ群集としている。

表 3.5 造礁サンゴおよびサンゴ礁と水温条件

	造礁サンゴの成育可能範囲	サンゴ礁が形成される条件
水温	16～36℃	最低 18℃以上(最寒月の平均水温)
水温(最適範囲)	25～28℃	—

環境省；サンゴ礁生態系保全行動計画 2016-2020(2014)、海の自然再生ワーキンググループ；海の自然再生ハンドブック第4巻サンゴ礁編(2003)



環境省；サンゴ礁生態系保全行動計画 2016-2020(2014)より

図 3.15 主なサンゴ礁と主な高緯度サンゴ群集の分布

²⁷ 環境省；サンゴ礁生態系保全行動計画 2016-2020(2014)

近年の造礁サンゴの出現状況を整理すると、九州西岸や本州太平洋側で造礁サンゴの分布域拡大や北上がみられ、一方、沖縄県では高水温による白化が生じている。なお、造礁サンゴの分布域の北上による拡大速度は14km/年に達するとされている²⁸。



注) ※1 水産総合研究センター;地球温暖化に関する研究情報(2014)、※2 山口県;平成25年版山口県環境白書(2013)、※3 日本サンゴ学会ホームページ;2007年夏の白化現象、※1※2※3以外国立環境研究所;サンゴ礁の過去・現在・未来 環境変化との関わりから保全へ(2014)より

図 3.16 近年の造礁サンゴの出現状況

²⁸ 国立環境研究所;サンゴ礁の過去・現在・未来 環境変化との関わりから保全へ(2014)

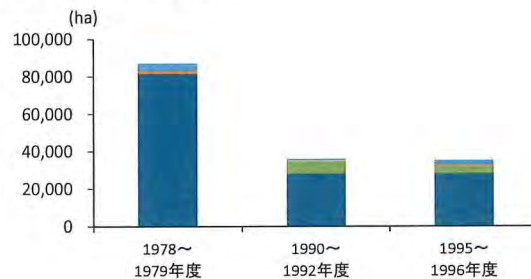
<面積>

- ・造礁サンゴの分布面積は1970年代の後半以降、減少している。1995～96年度では、ピーク時に比べて59%減少している。

【解説】

環境省が実施した自然環境保全基礎調査から造礁サンゴの面積の推移をみると、サンゴの面積は、1978～1979年度以降減少傾向にある。

1995～1996年度の自然環境保全基礎調査報告書には造礁サンゴの増減理由に関する記載がない。なお、1990～1992年度の自然環境保全基礎調査では、愛媛、高知、宮崎、鹿児島の高緯度サンゴ群集域での消滅原因として、水質悪化、工事、オニヒトデ、レイシガイダマシ、転倒、埋め立てが挙げられている。



■ 卓状 ■ 枝状 ■ 塊状 ■ 被覆状 ■ 葉状 ■ その他 ■ 区分不能

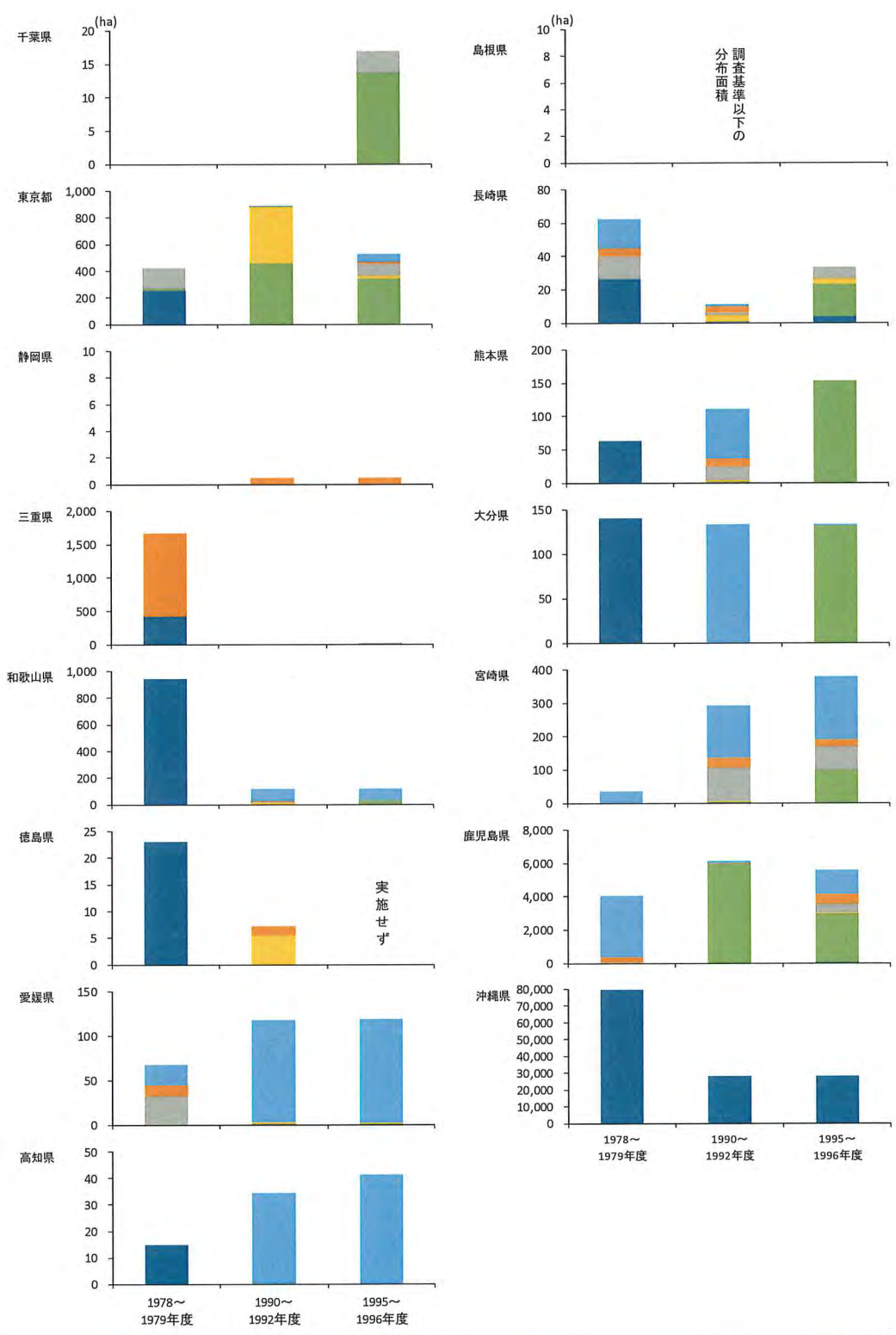
注1. 第2回、第4回、第5回自然環境保全基礎調査(環境省)より。

注2. 高緯度サンゴ群集域(0.1ha以上)・サンゴ礁域(1ha以上)の合計

注3. 集計都県：千葉県、東京都、静岡県、三重県、和歌山県、徳島県、愛媛県、高知県、島根県、長崎県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県

注4. 1995～1996年度は徳島県の調査が行われていない。

図 3.17(1) 造礁サンゴの形状別面積の推移(15都県)



■ 卓状 ■ 枝状 ■ 塊状 ■ 被覆状 ■ 葉状 ■ その他 ■ 区分不能

注1. 第2回、第4回、第5回自然環境保全基礎調査(環境省)より。
 注2. 高緯度サンゴ群集域(0.1ha以上)・サンゴ礁域(1ha以上)の合計
 注3. 1995~1996年度は徳島県の調査が行われていない。
 注4. ムツサンゴを対象とした石川県の結果は除外した。

図 3. 17(2) 造礁サンゴの形状別面積の推移(都県別)

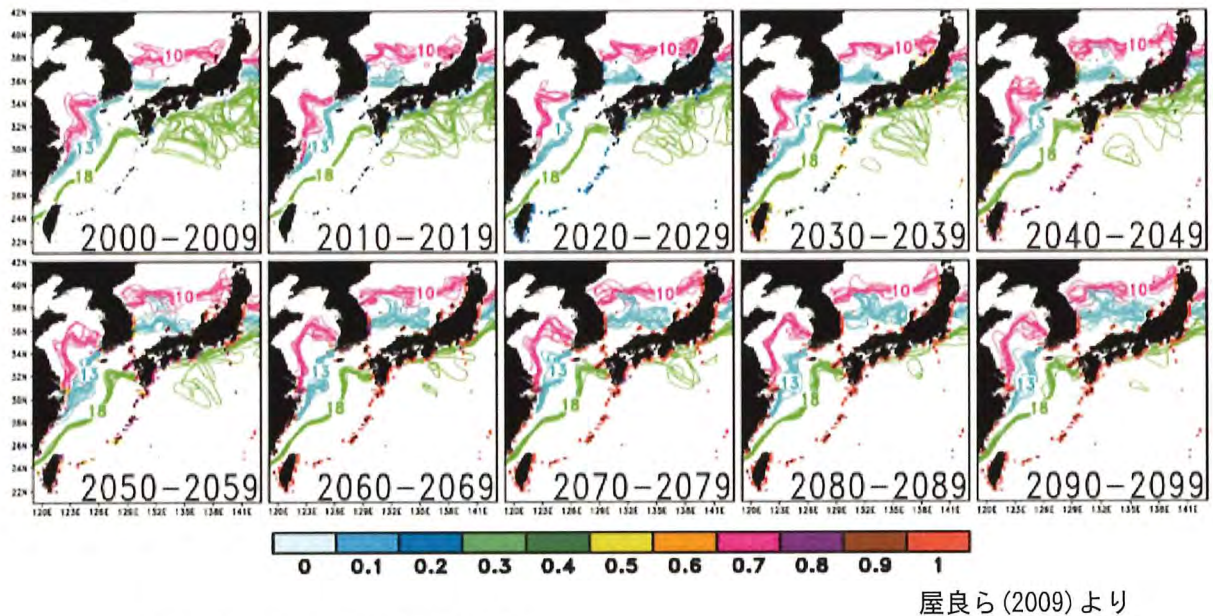
(2) 将来予測

・海水温上昇によりサンゴ分布の適水温海域は北上する一方で、白化現象の増加域と酸性化により、日本沿岸のサンゴ礁の分布に適する海域は、2020～30年代に半減、2030～40年代に消失と予測されている。

【解説】

海水温上昇と造礁サンゴの分布について、水温の上昇に伴う分布の変化と高水温による白化を気象予測シミュレーションにより検討した結果、サンゴの生息に関わる各温度帯の等温線の位置が北上していくことがわかり、また、大量死をもたらす深刻な白化を引き起こす可能性のある高水温が出現する確率も南側の海域から高くなることが示されている²⁹。

なお、ここでは、サンゴ礁形成北限として最寒月平均海面水温の18℃線(鹿児島県種子島・馬毛島におけるサンゴ礁地形)、大規模な高緯度サンゴ群集成立北限と高緯度サンゴ分布北限をそれぞれ最寒月平均海面水温13℃線(長崎県壱岐における大規模なサンゴ群集とサンゴ礁地形)、10℃線(新潟県佐渡島におけるキクメイシモドキ分布)と定義されている。



10℃(赤線)：高緯度サンゴの分布北限
 13℃(青線)：高緯度サンゴ群集成立北限
 18℃(緑線)：サンゴ礁形成北限

カラーバー：大量死をもたらす深刻な白化を引き起こす可能性のある高水温が出現する確率(頻度)、「1」毎年、「0.5」10年間に5年の頻度

図 3.18 10年毎の日本近海における造礁サンゴ生息域の北限位置と大量死をもたらす深刻な白化を引き起こす可能性のある高水温が出現する確率(頻度)

²⁹ 屋良由美子・藤井賢彦・山中康裕・岡田直資・山野博哉・大島和裕;地球温暖化に伴う海水温上昇が日本近海の造礁サンゴの分布と健全度に及ぼす影響評価. 日本サンゴ礁学会誌 11(1):131-140(2009).

海水温上昇と酸性化に関して、日本沿岸ではサンゴの分布に適する水温の海域が北上するものの、白化現象の増加域(図 3. 19(g) (j) の水温 30°Cを示す黒色線以南)とサンゴの形成に適さない酸性域(アラゴナイト飽和度 3.0 以下を示す赤～黄色のメッシュ)に挟まれる形になるとされ、日本沿岸のサンゴ礁の分布に適する海域は、2020 年～30 年代に半減、2030 年～40 年代に消失と予測されている²⁷。

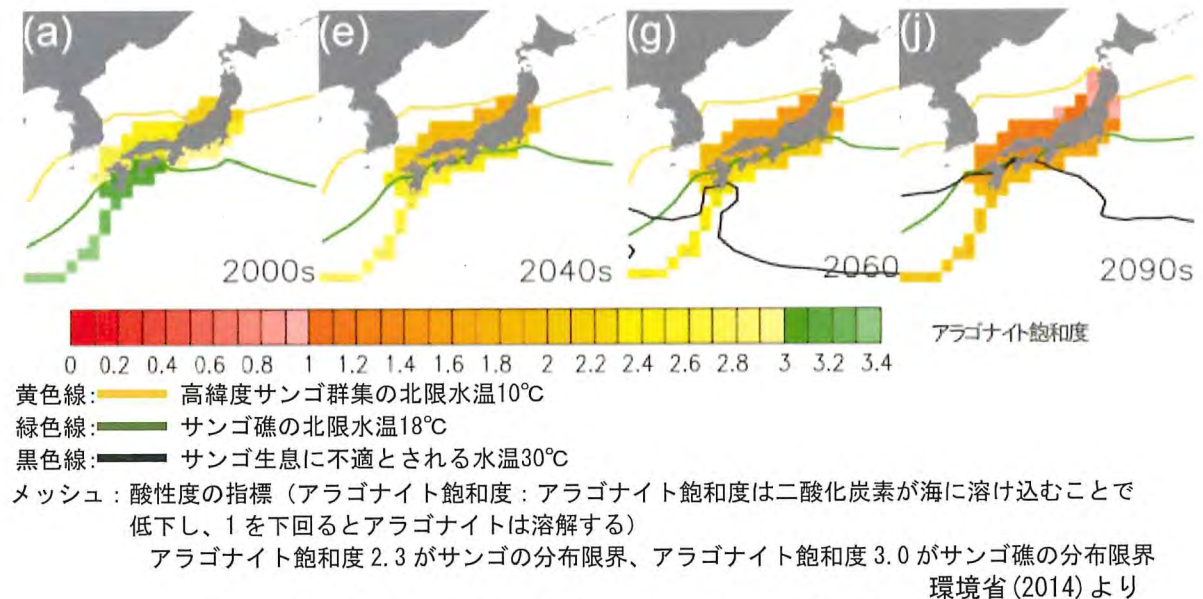


図 3. 19 現在(2000年)と将来(2040, 2060, 2090年代)におけるサンゴの分布に関わる水温と酸性域の変化

3.5 魚類

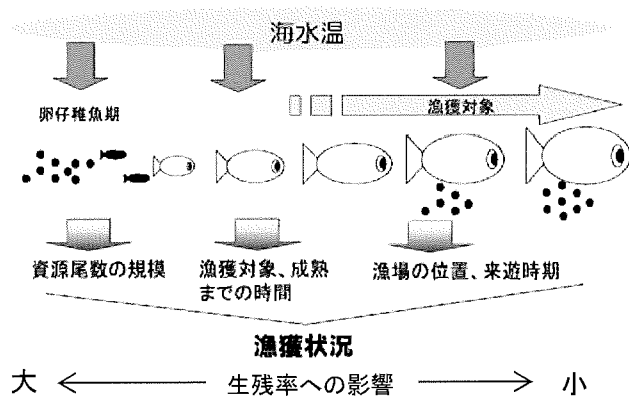
(1) 現況

<海水温と水産資源への影響>

- ・海水温上昇による魚類の生残率への影響度合いは、成長段階によって異なる。卵仔稚魚期は移動力に乏しいため、生息不適な水温帯では生残率が低下し、資源尾数の規模に影響する。仔稚魚期は成長・成熟に要する時間が変化する。未成魚～成魚期は生息に適した水温帯へ移動する。
- ・海水温上昇により水温分布が変化すると、魚類も適水温範囲に従って分布が変化し、漁場形成に影響を受けることになる。
- ・気候の変化が基礎生産に強い影響を及ぼすことが示唆されており、基礎生産の減少に伴う環境収容力の低下により、水産資源の自立更新性に変化が生じることが懸念される。

【解説】

海水温に対する水産資源の影響については、卵・仔稚魚期などの移動力に乏しい期間では、生存不適な水温にさらされると、逃げることができずに個体数が大きく減少する。また、水温は生物の代謝効率に大きく影響するため、特に仔稚魚期では個体成長の重要な因子となり、成長・成熟に要する時間が変化する。成長して移動力が得られると、生息に適した水温帯を選ぶようになり、水平方向・深淺方向に移動する。そのため、漁場の位置や来遊時期（漁場形成）などが年によって変わり、漁場形成は水温分布の影響を直接的に受けることになる³⁰。一方、多くの資源は、複数の年齢群で構成されているため、資源量の大きさは、各年齢群が成長過程で経験してきた、過去の水温作用の蓄積された結果になる。



星野(2009)より

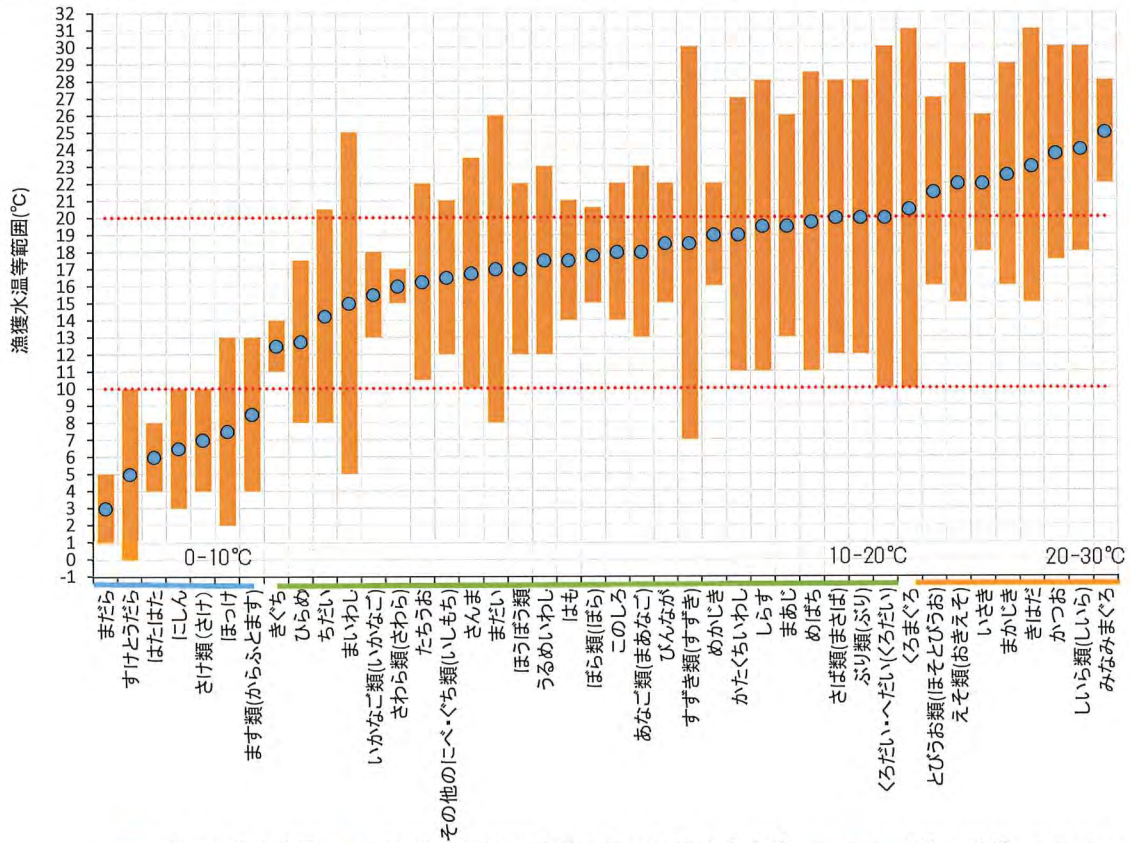
図 3.20 海水温がおよぼす水産資源への影響

漁獲統計に記載のある魚類に対する水温に関する知見を整理した結果を図 3.21、表 3.6、表 3.7 に、その他の魚介類として水産基盤整備に関連する魚介類に対する水温に関する知

³⁰ 星野昇；問い合わせが増えています！－南方系種、魚と水温のこと、etc.－（北水試だより）、（2009）を一部改変

見について整理した結果を図 3.22 に示す。

また、漁獲統計に記載のある魚種のうち、既往知見³¹による魚類の漁獲水温の範囲の中央値から 0-10℃、10-20℃、20-30℃の水温帯に魚種を区分し、各水温帯別に上限下限の温度差を整理した結果、0-10℃帯では、マダラ、スケトウダラ、ハタハタ等 7 種が、10-20℃帯では、ヒラメ、マイワシ、サワラ類、マダイ、マアジ、サバ類、ブリ類等 26 種が、20-30℃帯では、マグロ類、カツオ類、イサキ、シイラ類等 9 種が挙げられる。



注 1. 漁獲統計に記載されている魚種のうち、水産生物適水温図(1980)・水生生物生態資料(1981)・(続)水生生物生態資料(1983) (いずれも社団法人 日本水産資源保護協会)に漁獲水温等が示されている魚種を整理した。

図 3.21 魚類の漁獲水温等の範囲

表 3.6 魚類の漁獲水温等の範囲別の温度幅

漁獲水温帯 上限下限の差	0-10℃	10-20℃	20-30℃
5℃未満	まだら、はたはた	きぐち、さわら類(さわら)	—
5-15℃	すけとうだら、にしん、さけ類(さけ)、ほっけ、ます類(からふとます)	ひらめ、ちだい、しかなこ類(しかなこ)、たちうお、その他のこべ・ぐち類(いしもち)、さんま、ほうぼう類、うるめいわし、はも、ぼら類(ぼら)、このしろ、あなこ類(まあなこ)、びんなが、めかじき、まあじ	とびうお類(ほそとびうお)、えそ類(おきえそ)、いさぎ、まかじき、かつお、しいら類(しいら)、みなみまぐろ
15-25℃	—	まいわし、まだい、すずき類(すずき)、かたぐちいわし、しらす、めばち、さば類(まさば)、ぶり類(ぶり)、くろたいへつ(くろたい)	くろまぐろ、きはだ

注 1. 漁獲統計に記載されている魚種のうち、水産生物適水温図(1980)・水生生物生態資料(1981)・(続)水生生物生態資料(1983) (いずれも社団法人 日本水産資源保護協会)に漁獲水温等が示されている魚種を整理した。

³¹ 社団法人 日本水産資源保護協会；水産生物適水温図(1980)・水生生物生態資料(1981)・(続)水生生物生態資料(1983)

表 3.7 魚類の漁獲水温

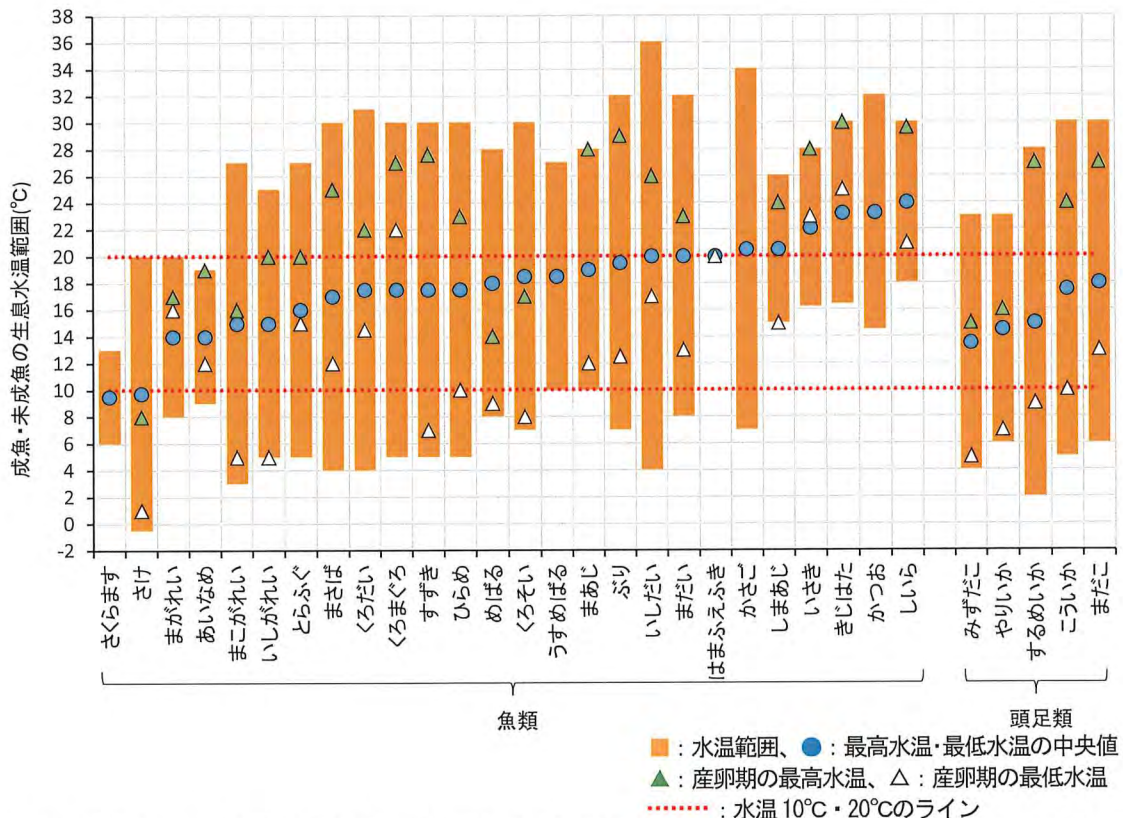
番号	種類	漁獲適水温範囲(°C)	漁獲水温範囲(°C)	備考	
1	まぐろ類	くろまぐろ	10-31		
2		みなみまぐろ	22-28		
3		びんなが	15-22	13-31	
4		めばち	11-28.5	18-31	
5		きはだ	15-31	10-31	
6		その他のまぐろ類			
7	かじき類	まかじき	16-29	20-27	
8		めかじき	16-22		
9		くろかじき類(くろかわ類)	22-26		
10		その他のかじき類			
11	かつお類	かつお	17.5-30	14.5-32	
12		そうだがつお類			
13	さめ類				
14	さけ・ます類	さけ類(さけ)	4-10	1.5-19.5	
15		ます類(からふとます)		4-13	
16	このしろ		14-22	出現水温	
17	にしん	3-10	0-20		
18	いわし類	まいわし	5-25	8-28	
19		うるめいわし		12-23	産卵期水温
20		かたくちいわし		11-27	
21		しらす		11-28	稚子魚漁獲水温
22	あじ類	まあじ		13-26	
23		むろあじ類			
24	さば類	(まさば)	12-28	7.5-24	
25	さんま	10-23.5	10-22.5		
26	ぶり類	(ぶり)	12-28	12-24	
27	ひらめ・かれい類	ひらめ		8-17.5	
28		かれい類			
29	たら類	まだら	1-5	▲1-11	
30		すけとうだら		0-10	
31	ほっけ		2-13		
32	めぬけ類				
33	きちじ				
34	はたはた	4-8	1-3		
35	にぎす類				
36	にべ・ぐち類	きぐち		11-14	産卵期水温
37		その他(いしもち)		12-21	
38	えそ類	(おきえそ)		15-29	出現水温
39	いぼだい				
40	あなご類	(まあなご)		13-23	
41	はも			14-21	
42	たちうお			10.5-22	
43	ほうぼう類	(ほうぼう)		12-22	出現水温
44	かながしら類				
45	えい類				
46	たい類	まだい		8-26	
47		ちだい		8-20.5	
48		きだい			
49		くろだい・へだい		10-30	生息水温
50	いさき			18-26	未成魚出現水温
51	さわら類	(さわら)		15-17	
52	しいら類	(しいら)		18-30	
53	とびうお類	(ほそとびうお)		16-27	
54	ぼら類	(ぼら)		15-20.6	
55	すずき類	(すずき)		7-30	生息水温
56	いかなご類	(いかなご)		13-18	
57	あまだい類	(あかあまだい)			
58	ふぐ類				
59	その他の魚類				

注1. ▲は「マイナス」を示す。

2. 都府県別魚種別漁獲量の漁獲統計に記載のある魚種のうち、水産生物適水温図(1980)・水生生物生態資料(1981)・(続)水生生物生態資料(1983)(いずれも社団法人 日本水産資源保護協会)に漁獲水温等が示されている魚種を整理した。

水産基盤整備に関連する魚類 26 種、頭足類 5 種の生息水温(上限・下限、中央値)および産卵期の水温について、既往知見^{32,33}を整理した結果、魚類では、0-10℃帯にサクラマス、サケの 2 種が、10-20℃帯にマガレイ、アイナメ等 18 種が、20-30℃帯にカサゴ、シマアジ等 7 種が挙げられ、頭足類は 5 種とも 10-20℃帯に挙げられる。

これらの魚介類の漁獲・生息に関わる水温条件に加えて、海水温の上昇に伴う日本周辺のクロロフィルや藻場面積の減少による基礎生産の低下による地先海域の環境収容力の低下と相まって、水産生物の自立更新性に影響を与えることが懸念される。



注 1. 水産基盤整備に関連する魚類について社団法人全国漁港漁場協会; 漁港・漁場の施設の設計の手引[下] (2003)、下茂繁・秋本泰・高浜洋(続)水生; 海生生物の温度影響に関する文献調査(2000)から生息水温等を整理した。

図 3.22 水産基盤整備に関連する魚類・頭足類の生息等水温

漁獲統計のある魚類では、0-10℃帯に 7 種、10-20℃帯に 26 種、20-30℃帯に 9 種が挙げられ、水産基盤整備に関連する魚介類では、0-10℃帯に 2 種、10-20℃帯に 23 種、20-30℃帯に 7 種が挙げられ、これらの合計では 10-20℃帯に 49 種と最も多く含まれ、海水温上昇に伴い、10-20℃帯の分布域の変化が多く魚介類に影響を及ぼすとみられる。

32 社団法人 全国漁港漁場協会; 漁港・漁場の施設の設計の手引 [下] (2003)

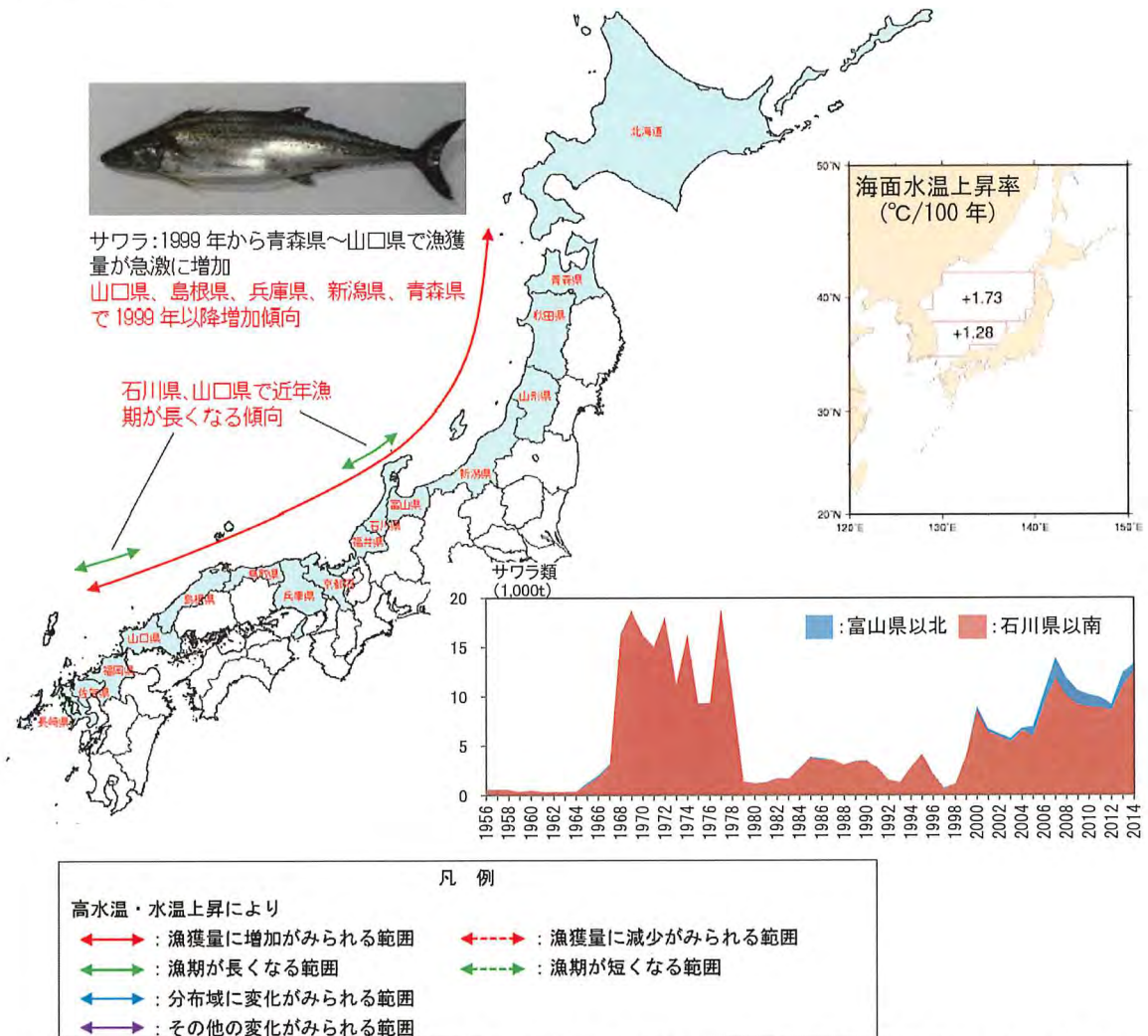
33 下茂繁・秋本泰・高浜洋(続)水生; 海生生物の温度影響に関する文献調査. 海洋生物環境研究所研究報告 2:1-351 (2000)

<海水温上昇に伴う魚介類の出現状況の変化>

- 魚介類の水温上昇等に伴う出現状況の変化として、①分布域の北上、②漁期の変化、③資源量の変化等が挙げられる。

【解説】

日本海側における近年の水産動物の出現状況を整理した結果、サワラ、マダイ、ブリが増加傾向に、スケトウダラが減少傾向にある。また、ホッコクアカエビは、能登半島以西で減少、新潟以北で増加傾向、ブリは兵庫県以西で減少、石川県以北で増加と、海域によって異なる。シイラが北海道まで北上、アイゴが青森県に出現するといった分布域の変化がみられている。



※1 高柳和史;地球温暖化の漁業および海洋生物への影響(2009)、※1以外 水産総合研究センター;地球温暖化に関する研究情報(2014)より

赤文字は定置網の漁獲データの整理結果より

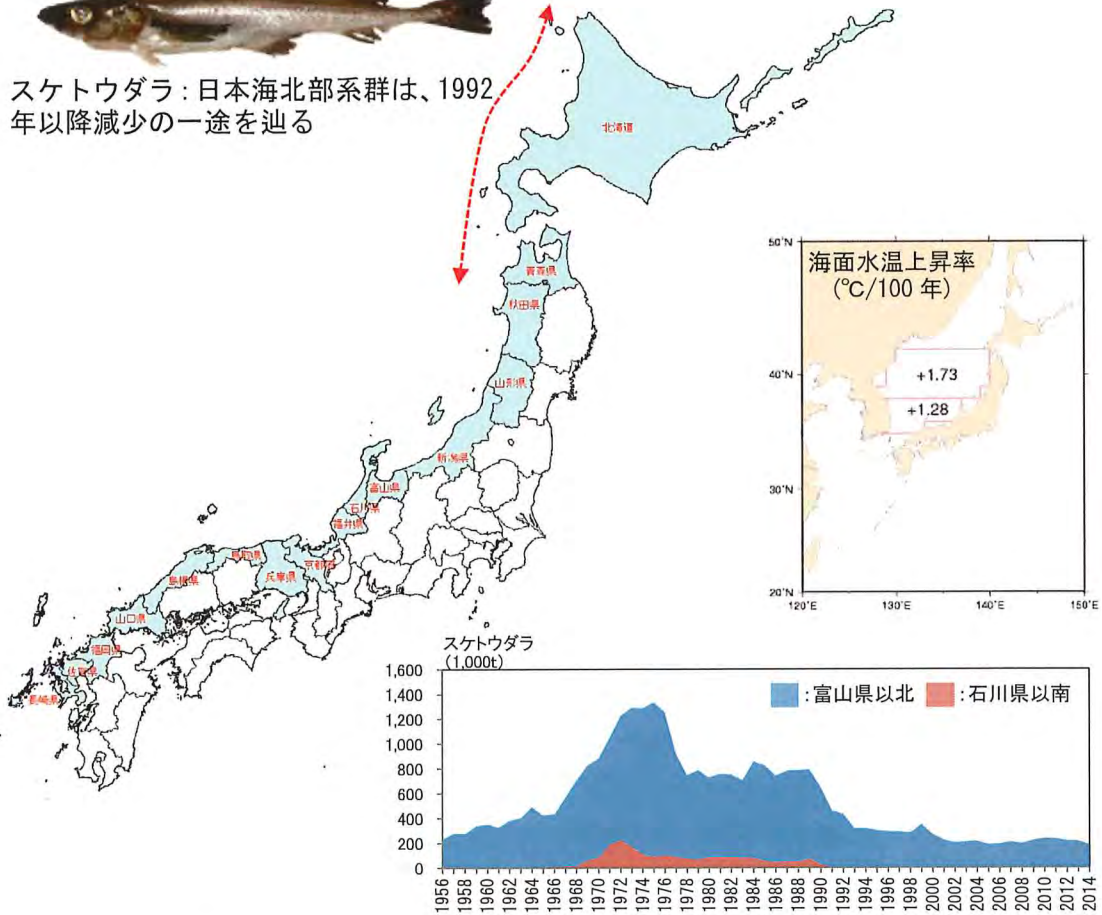
海面水温上昇率: 気象庁海面水温の長期変化傾向(日本近海)

漁獲量: 農林水産省海面漁業生産統計資料(昭和31年～平成25年)より

図 3.23 (1) 日本海側における近年の水産動物(魚介類)の出現状況(サワラ)



スケトウダラ：日本海北部系群は、1992年以降減少の一途を辿る



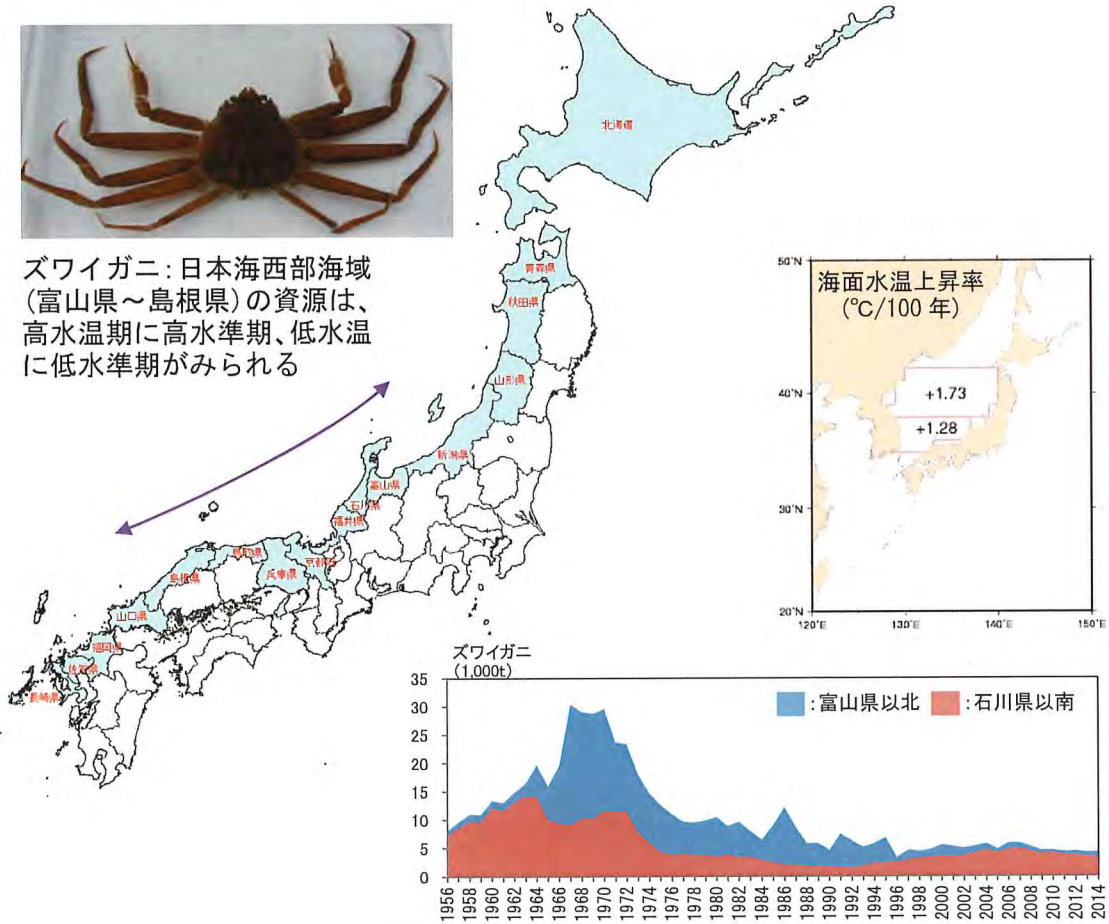
凡 例	
高水温・水温上昇により	
←→ (Red solid)	： 漁獲量に増加がみられる範囲
←→ (Red dashed)	： 漁獲量に減少がみられる範囲
←→ (Green solid)	： 漁期が長くなる範囲
←→ (Green dashed)	： 漁期が短くなる範囲
←→ (Blue solid)	： 分布域に変化がみられる範囲
←→ (Purple solid)	： その他の変化がみられる範囲

※1 高柳和史；地球温暖化の漁業および海洋生物への影響(2009)、※1以外 水産総合研究センター地球温暖化に関する研究情報(2014)より
 海面水温上昇率：気象庁海面水温の長期変化傾向(日本近海)
 漁獲量：農林水産省海面漁業生産統計資料(昭和31年～平成25年)より

図 3. 23(2) 日本海側における近年の水産動物(魚介類)の出現状況(スケトウダラ)



ズワイガニ：日本海西部海域（富山県～島根県）の資源は、高水温期に高水準期、低水温に低水準期がみられる



凡 例			
高水温・水温上昇により			
←→ (Red)	: 漁獲量に増加がみられる範囲	←→ (Red dashed)	: 漁獲量に減少がみられる範囲
←→ (Green)	: 漁期が長くなる範囲	←→ (Green dashed)	: 漁期が短くなる範囲
←→ (Blue)	: 分布域に変化がみられる範囲		
←→ (Purple)	: その他の変化がみられる範囲		

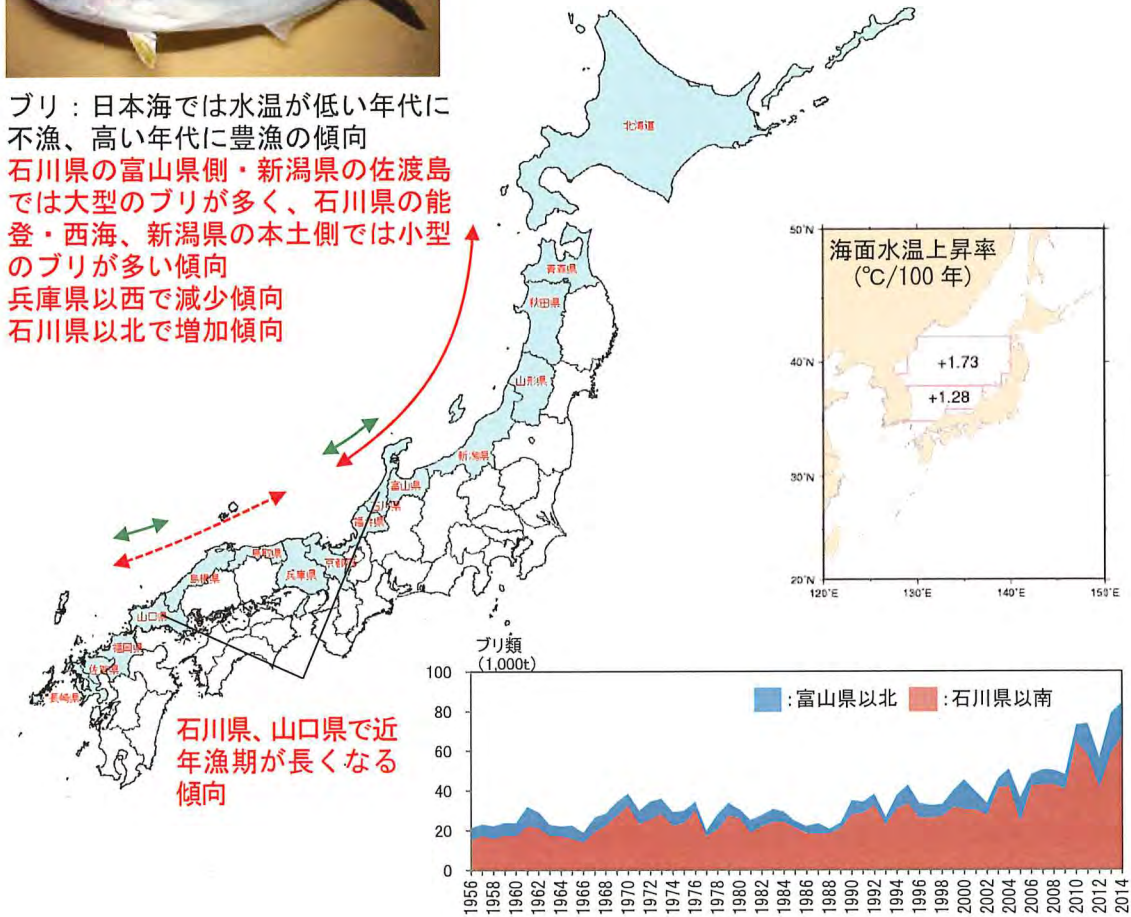
※1 高柳和史；地球温暖化の漁業および海洋生物への影響 (2009)、※1 以外水産総合研究センター；地球温暖化に関する研究情報 (2014)より
 海面水温上昇率：気象庁海面水温の長期変化傾向 (日本近海)
 漁獲量：農林水産省海面漁業生産統計資料 (昭和31年～平成25年)より

図 3.23 (3) 日本海側における近年の水産動物 (魚介類) の出現状況 (ズワイガニ)



ブリ：日本海では水温が低い年代に不漁、高い年代に豊漁の傾向

石川県の富山県側・新潟県の佐渡島では大型のブリが多く、石川県の能登・西海、新潟県の本土側では小型のブリが多い傾向
 兵庫県以西で減少傾向
 石川県以北で増加傾向



凡例

高水温・水温上昇により	←→ (赤実線) : 漁獲量に増加がみられる範囲	←→ (赤点線) : 漁獲量に減少がみられる範囲
	←→ (緑実線) : 漁期が長くなる範囲	←→ (緑点線) : 漁期が短くなる範囲
	←→ (青実線) : 分布域に変化がみられる範囲	
	←→ (紫実線) : その他の変化がみられる範囲	

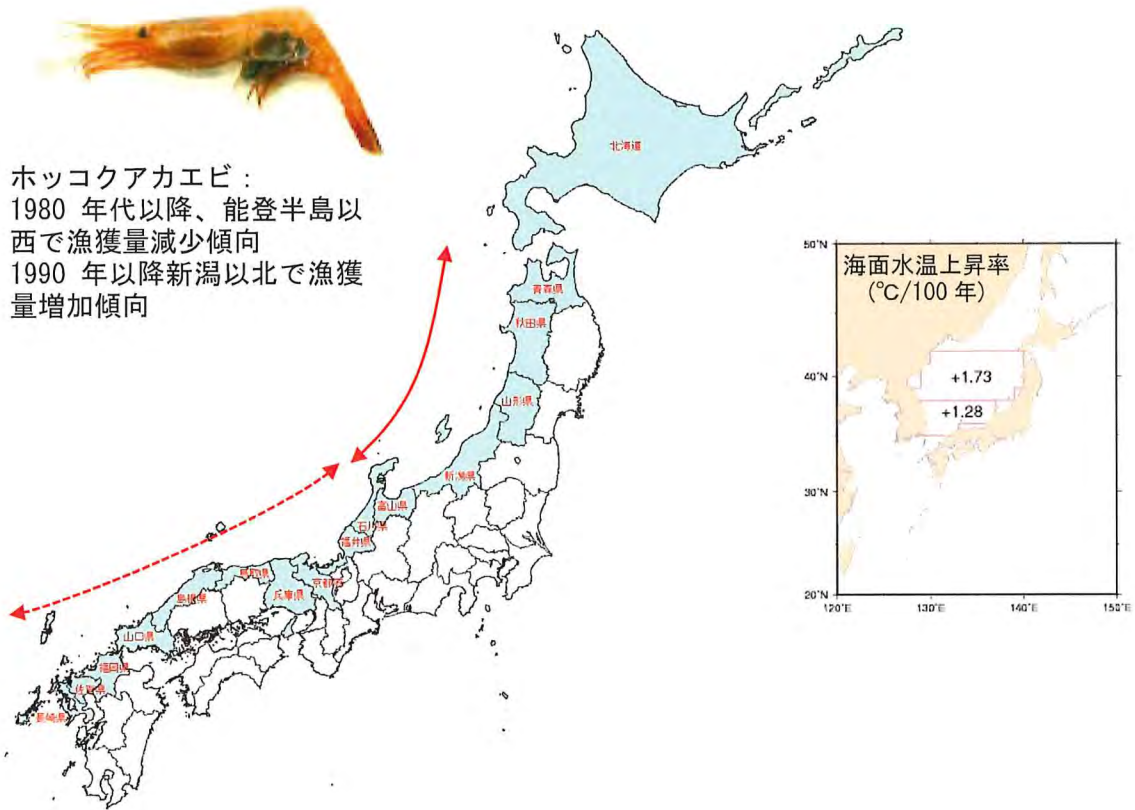
※1 高柳和史;地球温暖化の漁業および海洋生物への影響(2009)、※1 以外水産総合研究センター;地球温暖化に関する研究情報(2014)より

赤字は定置網の漁獲データの整理結果より

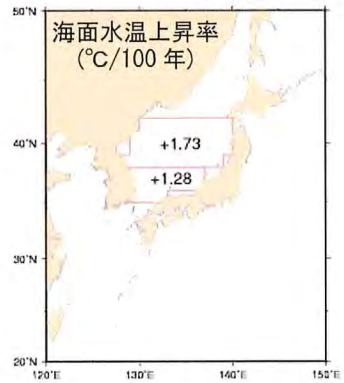
海面水温上昇率：気象庁海面水温の長期変化傾向(日本近海)

漁獲量：農林水産省海面漁業生産統計資料(昭和31年～平成25年)より

図 3. 23 (4) 日本海側における近年の水産動物(魚介類)の出現状況(ブリ)



ホッコクアカエビ：
 1980年代以降、能登半島以西で漁獲量減少傾向
 1990年代以降新潟以北で漁獲量増加傾向



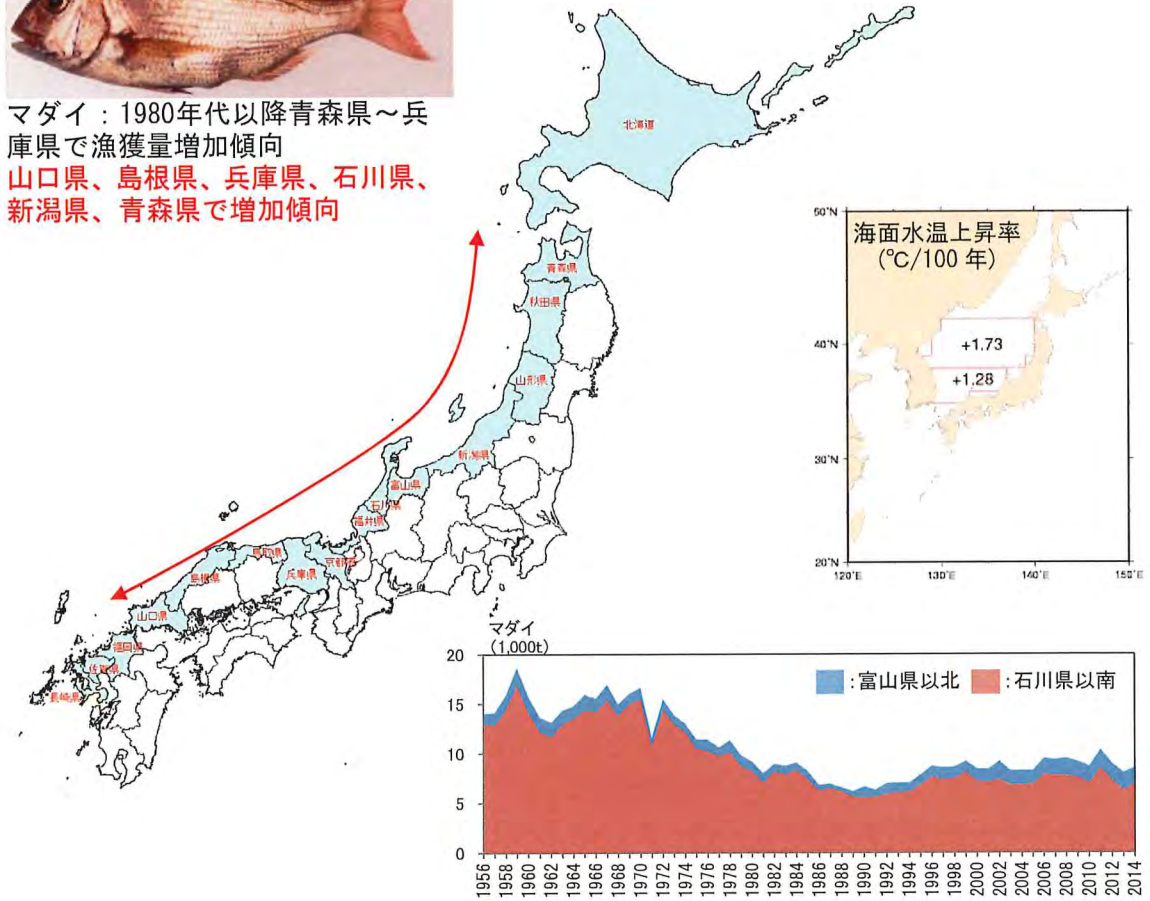
凡 例	
高水温・水温上昇により	
←→ (Red solid arrow)	： 漁獲量に増加がみられる範囲
←→ (Red dashed arrow)	： 漁獲量に減少がみられる範囲
←→ (Green solid arrow)	： 漁期が長くなる範囲
←→ (Green dashed arrow)	： 漁期が短くなる範囲
←→ (Blue solid arrow)	： 分布域に変化がみられる範囲
←→ (Purple solid arrow)	： その他の変化がみられる範囲

※1 高柳和史；地球温暖化の漁業および海洋生物への影響(2009)、※1以外 水産総合研究センター；地球温暖化に関する研究情報 (2014)より
 海面水温上昇率：気象庁海面水温の長期変化傾向(日本近海)より

図 3. 23(5) 日本海側における近年の水産動物(魚介類)の出現状況(ホッコクアカエビ)



マダイ：1980年代以降青森県～兵庫県で漁獲量増加傾向
 山口県、島根県、兵庫県、石川県、新潟県、青森県で増加傾向



凡例	
高水温・水温上昇により	
↔ (Red double-headed arrow): 漁獲量に増加がみられる範囲	↔ (Red dashed double-headed arrow): 漁獲量に減少がみられる範囲
↔ (Green double-headed arrow): 漁期が長くなる範囲	↔ (Green dashed double-headed arrow): 漁期が短くなる範囲
↔ (Blue double-headed arrow): 分布域に変化がみられる範囲	
↔ (Purple double-headed arrow): その他の変化がみられる範囲	

※1 高柳和史;地球温暖化の漁業および海洋生物への影響(2009)、※1以外 水産総合研究センター;地球温暖化に関する研究情報(2014)より

赤文字は定置網の漁獲データの整理結果より

海面水温上昇率: 気象庁海面水温の長期変化傾向(日本近海)

漁獲量: 農林水産省海面漁業生産統計資料(昭和31年~平成25年)より

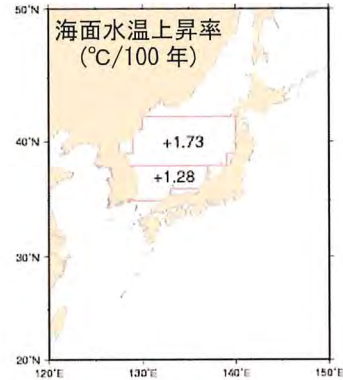
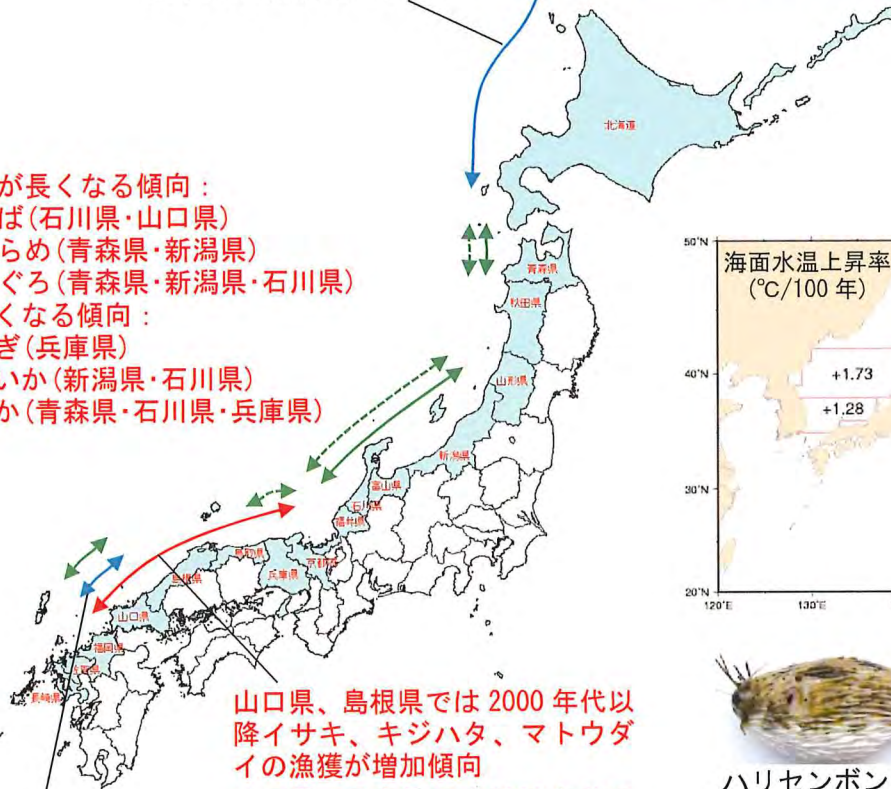
図 3.23(6) 日本海側における近年の水産動物(魚介類)の出現状況(マダイ)



シイラ：水温 20℃以上を好む。
夏季には北海道まで北上

日本海では1980年代後半に温暖レジームに変化し、カタクチイワシ、マアジ、スルメイカ等暖水性浮魚類が増加(※1)

- 漁期が長くなる傾向：
 さば(石川県・山口県)
 ひらめ(青森県・新潟県)
 まぐろ(青森県・新潟県・石川県)
- 漁期が短くなる傾向：
 かわはぎ(兵庫県)
 するめいか(新潟県・石川県)
 やりいか(青森県・石川県・兵庫県)



山口県、島根県では 2000 年代以降イサキ、キジハタ、マトウダイの漁獲が増加傾向
 山口県、兵庫県では 1980 年代以降にカンパチの漁獲

山口県では、南方性巻貝類のマガキガイの漁獲、コンゴウフグ、モヨウフグ、ハタタテダイ稚魚の来遊



ハリセンボン：日本海に死滅回遊、2006 年 12 月～2007 年 3 月に山形県、新潟県、京都府、兵庫県、島根県、山口県で大量出現

凡 例	
高水温・水温上昇により	
←→ (赤い実線) : 漁獲量に増加がみられる範囲	←---→ (赤い点線) : 漁獲量に減少がみられる範囲
←→ (緑い実線) : 漁期が長くなる範囲	←---→ (緑い点線) : 漁期が短くなる範囲
←→ (青い実線) : 分布域に変化がみられる範囲	
←→ (紫い実線) : その他の変化がみられる範囲	

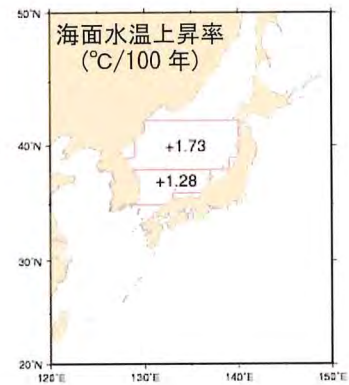
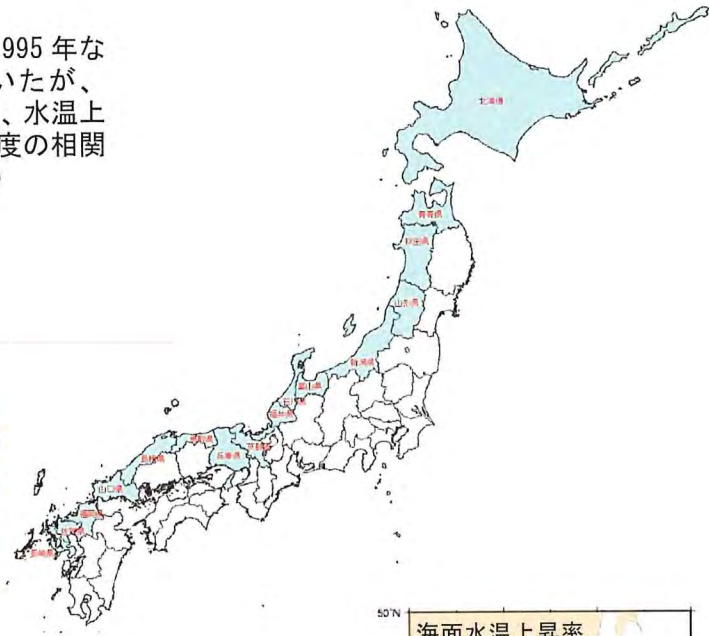
※1 高柳和史;地球温暖化の漁業および海洋生物への影響(2009)、※1以外 水産総合研究センター;地球温暖化に関する研究情報(2014)より

赤文字は定置網の漁獲データの整理結果より
 海面水温上昇率：気象庁海面水温の長期変化傾向(日本近海)

図 3. 23 (7) 日本海側における近年の水産動物(魚介類)の出現状況(その他)



エチゼンクラゲ：1958年、1995年など数十年おきに発生していたが、2002年以降はほぼ毎年発生、水温上昇と着底幼生の無性繁殖速度の相関が明らかになっている(※1)



※1：水産総合研究センター(2014)「地球温暖化に関する研究情報」より
海面水温上昇率：気象庁海面水温の長期変化傾向(日本近海)

図 3. 23(8) 日本海側における近年の水産動物(魚介類)の出現状況(漁業影響種等)

(2) 将来予測

- ・多獲性の浮魚については、一部の種で漁場の変化がみられるが、遊泳力が強く、水温応答が鋭敏であるため、漁獲量への影響は比較的軽微と予測。
- ・沿岸・固着性種は、北海道区や太平洋北区では、新規加入や漁獲増が期待できる一方で、太平洋南区、東シナ海区、瀬戸内海区では早い時期より漁獲減の影響が出ることが予想される。一方で、太平洋南区と東シナ海区では、南方系種の加入も期待される。
- ・日本海側の北区や西区では、水温上昇による新規魚種の加入の一方で、従来の漁獲量減少の影響は長期的に生じると予測。

【解説】

多獲性魚種、沿岸・固着性魚種、養殖種、藻場構成種について、各海域区分での対象種の生産性の予測・評価が、水温上昇のシナリオに基づき、短期・中期・長期について行われて、対象種は、生息環境から4ユニット（多獲性種、沿岸・固着種、養殖種、藻場構成種）に区分され、34種が挙げられている²³。海域区分は、漁業・養殖業生産統計年報（農林水産省統計情報部）の大海区・大海区別都道府県別区分図に従っている。

予測の結果は、以下の通りとなっている。

- ・日本海側では、西区で水温上昇による新規の種類が加入するなどプラス効果（ブリ養殖の期待）もあるが、日本海西区と北区ともに漁獲量減少等の影響は長期的に生じるものと予測され、それに伴った対策が必要とされている。
- ・太平洋北区や北海道区では、新規加入種の生息や漁獲量の増加が期待でき、これらの変化についての対応が必要となると予測されている。
- ・多獲性の浮魚については、一部の種類で漁場変化が生じ、漁業時期、操業時間及び漁獲量に若干の変化が生じることが考えられるが、多獲性の浮魚は総じて遊泳力が強く、水温への応答が鋭敏であるため、影響は比較的軽微であると予測されている。
- ・太平洋南区、東シナ海区では、沿岸・固着性種や養殖種を中心に短期より大きな影響が出ることが予測され、将来に向けての対応が急務とされる一方、南方系種の加入による新たな漁業の創出が期待されている。
- ・瀬戸内海区では、沿岸・固着性種や養殖種を中心に早い時期より、漁獲量・収穫量への影響が出始めると予測されている。

なお、「日本における気候変動による影響に関する評価報告書」に記載されている日本海側に関係する水産業、増養殖等、自然生態系の水温上昇に対する現在の状況と将来予測される影響について「4.1 参考資料」に示す。

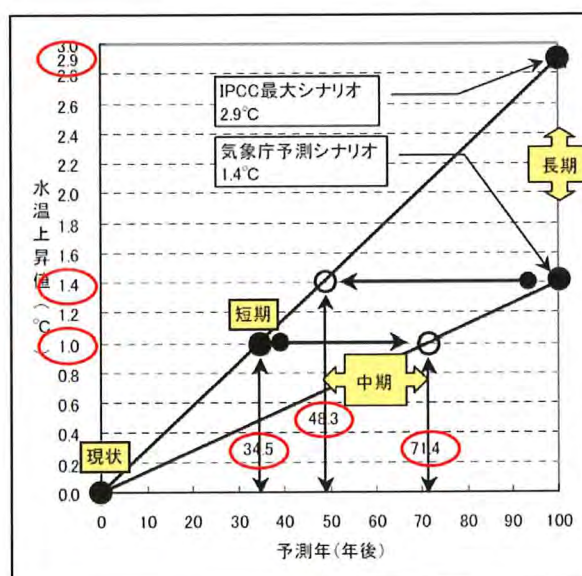
なお、水温上昇の将来予測に基づいた魚種別の生産性の予測・評価に際し、影響評価に用いる海表面水温の水平分布は、以下のとおり現状、短期、中期、長期の4種類が設定されている²³。

- ・現状予測値としては、気象庁の現状予測値とする。
- ・将来予測値（短期）としては、現状予測値から水温が一律1℃上昇した場合を想定する。なお、この水温設定は、IPCCの予測では約34.5年後（短期～中期）、気象庁の予測では約71.4年後（中期～長期）の水温上昇値に相当する。現状より1.4℃上昇する設定では、IPCCの予測の最大値で想定した場合、約48.3年後に相当する。
- ・将来予測値（中期）としては、気象庁の将来予測値（気象庁100年後予測値）とする。
- ・将来予測値（長期）としては、地球温暖化が最大となるIPCCの予測値を想定する。水温上昇値に関して、IPCCの最大値と最小値の差は1.5℃であることから、想定シナリオにおける21世紀末に相当する水温分布として、将来予測（中期）に1.5℃を一律に加算したものとする。

表 3.8 水温上昇のシナリオ

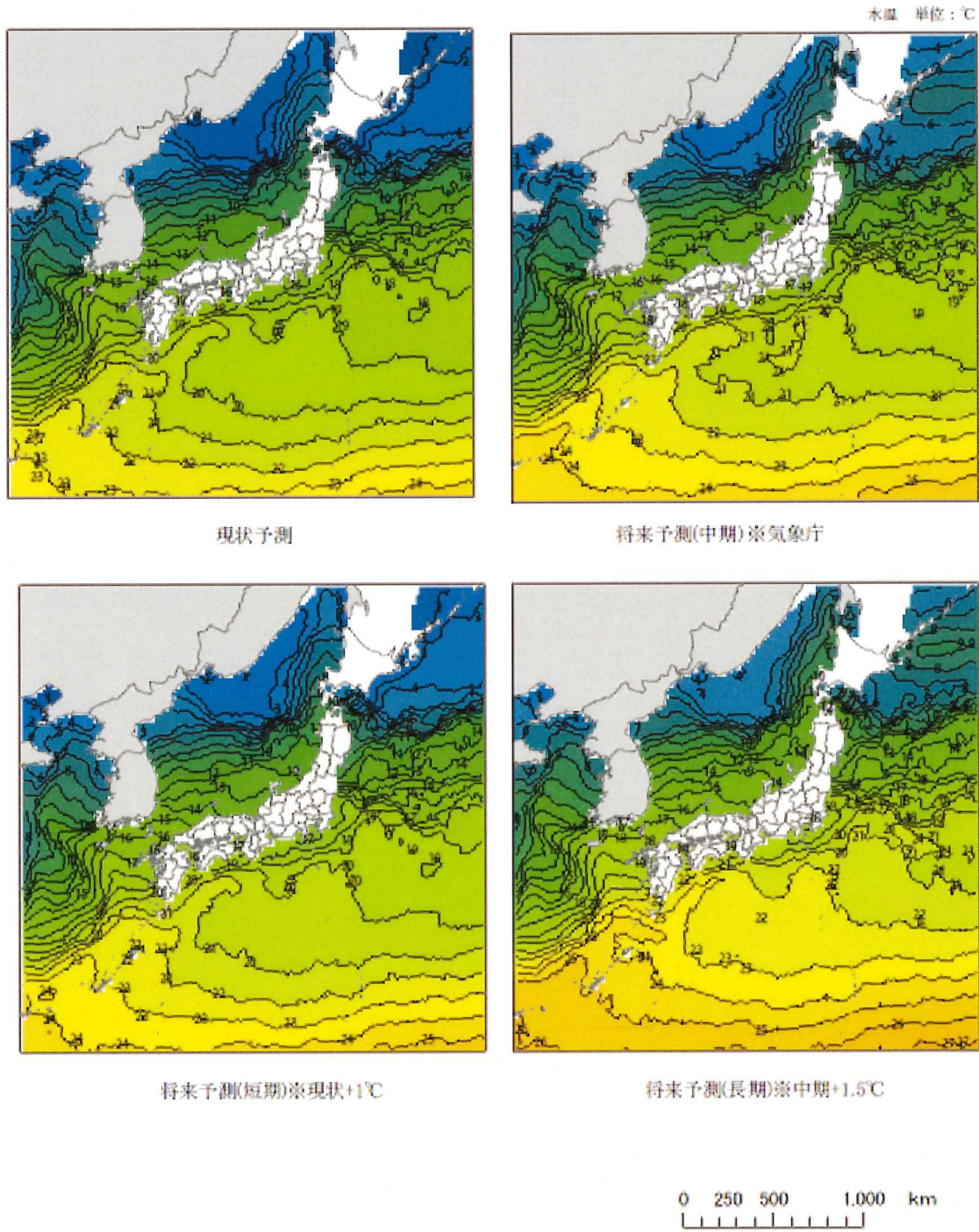
No	水温予測	解 説	該当年
①	現状予測値（現状）	気象庁の現状予測結果	2003年
②	将来予測値（短期）	①の水温分布に一律1.0℃加算したもの	2037～2074年
③	将来予測値（中期）	気象庁の将来予測結果（気象庁100年後予測値）	2051～2103年
④	将来予測値（長期）	③の水温分布に一律1.5℃加算したもの（長期）	2103年～

水産工学研究所(2004)より



水産工学研究所(2004)より

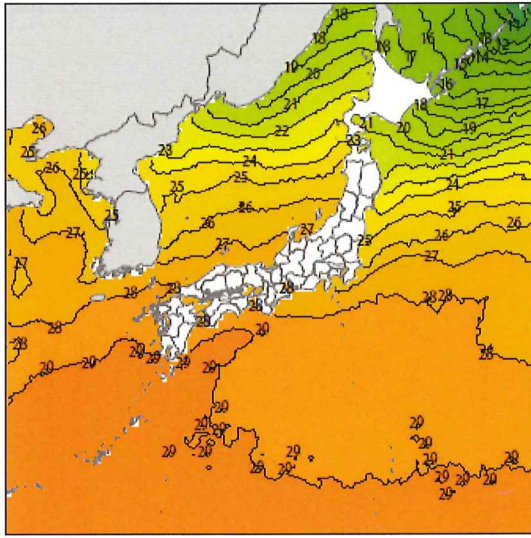
図 3.24 水温上昇のシナリオ



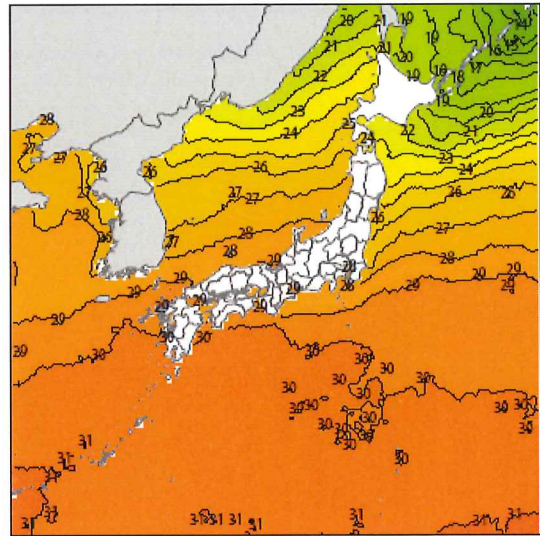
水産工学研究所(2004)より

図 3.25 (1) 日本周辺海域の海表面水温水平分布 (2月)

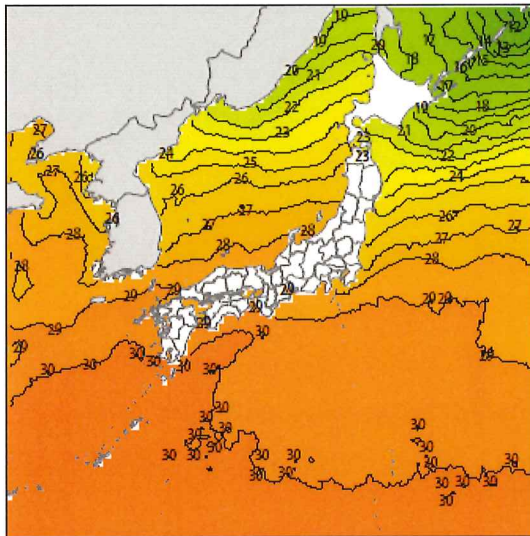
水温 単位：℃



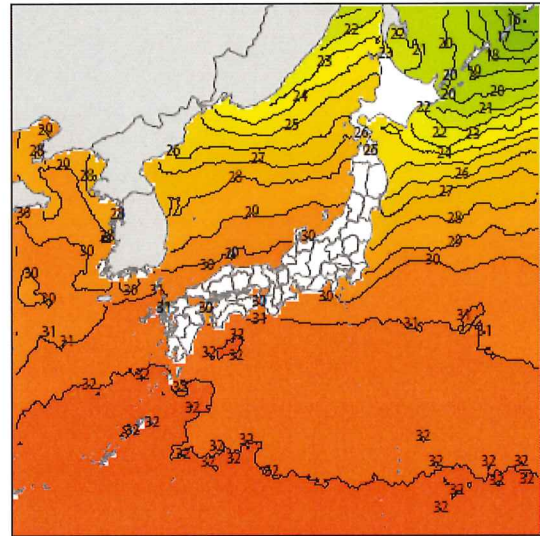
現状予測



将来予測(中期)※気象庁



将来予測(短期)※現状+1℃



将来予測(長期)※中期+1.5℃

0 250 500 1,000 km

水産工学研究所(2004)より

図 3.25(2) 日本周辺海域の海表面水温水平分布 (8月)

表 3.9 評価対象ユニットの区分と予測・評価対象種

生息環境	評価対象ユニット	包含対象種	種類の分け方	種類
移動性	多獲性種	沿岸・沖合漁場における対象種	温暖化により水温が上昇しても、生息場を移動することが出来る評価対象種として回遊性を持つ種類	マイワシ、マサバ、カツオ、サンマ、マアジ、シロザケ、スケトウダラ、ズワイガニ、スルメイカ
固着性	沿岸・固着種	底層、岩礁域、干潟・砂泥域における対象種	生息場から大きく移動できない評価対象種として、固着性が強い(着底後移動が少ない)貝類、ウニ類や魚類等	ヒラメ、マダイ、エゾアワビ、クロアワビ、キタムラサキウニ、マコンブ(コンブ類)、ウバガイ、アサリ
養殖	養殖種	養殖漁場における対象種	生簀や筏を垂下して飼育される魚類、貝類や網を張って飼育する海藻類等	ブリ、トラフグ、ホタテガイ、マガキ、スサビノリ、オキナワモズク
藻場	藻場構成種	海藻群落における対象種	岩礁や砂泥に生息する海藻草類	アラメ、カジメ、ウガノモク、ヤツマタモク、ノコギリモク、ミツイシコンブ、リシリコンブ、ナガコンブ、アマモ、オオアマモ、リュウキュウスガモ

水産工学研究所(2004)を一部改変

表 3.10(1) 多獲性種の海域区分での予測・評価

海域区分	都道府県	ユニット種類 予測時期	多獲性種														
			マイワシ			マサバ			カツオ(三陸沖漁場)			サンマ(三陸沖漁場)			マアジ		
			短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期
北海道	北海道		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
太平洋北区	青森(太平洋側)、岩手、宮城、福島、茨城		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
太平洋中区	千葉、東京、神奈川、静岡、愛知、三重		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
太平洋南区	和歌山、徳島、高知、宮崎		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
東シナ海区	福岡、佐賀、長崎、熊本、鹿児島、沖縄		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
日本海北区	青森(日本海側)、秋田、山形、新潟、富山、石川		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
日本海西区	福井、京都、兵庫(日本海側)、鳥取、島根、山口(日本海側)		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
瀬戸内海区	大阪、兵庫(瀬戸内海側)、岡山、広島、山口(瀬戸内海側)、香川、愛媛、大分		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

海域区分	都道府県	ユニット種類 予測時期	多獲性種											
			シロザケ			スケトウダラ			ズワイガニ			スルメイカ		
			短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期
北海道	北海道		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
太平洋北区	青森(太平洋側)、岩手、宮城、福島、茨城		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
太平洋中区	千葉、東京、神奈川、静岡、愛知、三重		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
太平洋南区	和歌山、徳島、高知、宮崎		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
東シナ海区	福岡、佐賀、長崎、熊本、鹿児島、沖縄		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
日本海北区	青森(日本海側)、秋田、山形、新潟、富山、石川		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
日本海西区	福井、京都、兵庫(日本海側)、鳥取、島根、山口(日本海側)		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
瀬戸内海区	大阪、兵庫(瀬戸内海側)、岡山、広島、山口(瀬戸内海側)、香川、愛媛、大分		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

→ : 生産は増加の予想 → : 生産は横ばいの予想 ↘ : 生産は減少の予想

※短期: 現状予測に一律1.0°C加算したもの、中期: 気象庁100年後予測値、長期: 気象庁100年後予測に一律1.5°C加算したもの
水産工学研究所(2004)より

表 3.10(2) 沿岸・固着性種の海域区分での予測・評価

海域区分	都道府県	ユニット 種類 予測時期	沿岸・固着性種											
			ヒラメ			マダイ			エゾアワビ			クロアワビ		
			短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期
北海道	北海道		→	→	→	→	→	→	→	→	→			
太平洋北区	青森(太平洋側)、岩手、宮城、福島、茨城		→	→	→	→	→	→	→	→	→			
太平洋中区	千葉、東京、神奈川、静岡、愛知、三重		→	→	→	→	→	→				→	→	→
太平洋南区	和歌山、徳島、高知、宮崎		→	→	→	→	→	→				→	→	→
東シナ海区	福岡、佐賀、長崎、熊本、鹿児島、沖縄		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
日本海北区	青森(日本海側)、秋田、山形、新潟、富山、石川		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
日本海西区	福井、京都、兵庫(日本海側)、鳥取、島根、山口(日本海側)		→	→	→	→	→	→				→	→	→
瀬戸内海区	大阪、兵庫(瀬戸内海側)、岡山、広島、山口(瀬戸内海側)、香川、愛媛、大分		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

海域区分	都道府県	ユニット 種類 予測時期	養殖種											
			キタムラサキウニ			マコング			ウバガイ			アサリ		
			短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期
北海道	北海道		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
太平洋北区	青森(太平洋側)、岩手、宮城、福島、茨城		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
太平洋中区	千葉、東京、神奈川、静岡、愛知、三重					→	→	→	→	→	→	→	→	→
太平洋南区	和歌山、徳島、高知、宮崎											→	→	→
東シナ海区	福岡、佐賀、長崎、熊本、鹿児島、沖縄											→	→	→
日本海北区	青森(日本海側)、秋田、山形、新潟、富山、石川		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
日本海西区	福井、京都、兵庫(日本海側)、鳥取、島根、山口(日本海側)											→	→	→
瀬戸内海区	大阪、兵庫(瀬戸内海側)、岡山、広島、山口(瀬戸内海側)、香川、愛媛、大分					→	→	→	→	→	→	→	→	→

: 生産は増加の予想
 : 生産は横ばいの予想
 : 生産は減少の予想
 ※短期：現状予測に一律1.0°C加算したもの、中期：気象庁100年後予測値、長期：気象庁100年後予測に一律1.5°C加算したもの
 水産工学研究所(2004)より

表 3.10(3) 養殖種の海域区分での予測・評価

海域区分	都道府県	ユニット 種類 予測時期	養殖種																	
			ブリ			トラフグ			ホタテガイ			マガキ			スサビノリ			オキナワモズク		
			短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期	短期	中期	長期
北海道	北海道								→	→	→	→	→	→	→	→	→			
太平洋北区	青森(太平洋側)、岩手、宮城、福島、茨城		→	→	→				→	→	→	→	→	→	→	→	→			
太平洋中区	千葉、東京、神奈川、静岡、愛知、三重		→	→	→	→	→	→				→	→	→	→	→	→			
太平洋南区	和歌山、徳島、高知、宮崎		→	→	→	→	→	→				→	→	→	→	→	→			
東シナ海区	福岡、佐賀、長崎、熊本、鹿児島、沖縄		→	→	→	→	→	→				→	→	→	→	→	→	→	→	→
日本海北区	青森(日本海側)、秋田、山形、新潟、富山、石川		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→			
日本海西区	福井、京都、兵庫(日本海側)、鳥取、島根、山口(日本海側)		→	→	→	→	→	→				→	→	→	→	→	→			
瀬戸内海区	大阪、兵庫(瀬戸内海側)、岡山、広島、山口(瀬戸内海側)、香川、愛媛、大分		→	→	→	→	→	→				→	→	→	→	→	→	→	→	→

: 生産は増加の予想
 : 生産は横ばいの予想
 : 生産は減少の予想
 ※短期：現状予測に一律1.0°C加算したもの、中期：気象庁100年後予測値、長期：気象庁100年後予測に一律1.5°C加算したもの
 水産工学研究所(2004)より

4. 気候変動に対応した漁場整備

4.1 漁場整備の実施手順

- ・漁場整備で対象とする施設は、増殖場および魚礁、対象海域としては、藻場・岩礁域、干潟・砂浜域、サンゴ礁、および沖合・沿岸域を想定する。
- ・気候変動に対応した漁場整備は、①対象海域の現況把握、②気候変動の影響評価、③目標設定と合意形成、④計画策定と効果予測、⑤気候変動に対応した漁場整備、⑥モニタリング調査、⑦達成度判定とフィードバックの実施手順を進める。

【解説】

気候変動に対応した漁場整備では、気候変動以外の不確定要因も絡み合い、着実な対策が見いだしにくい場合もある。さらに、過去の環境変化や資源動向より近未来の動向を予測する場合には、予測期間が長いと精度の低下が懸念される。このため、対象生物の世代時間や造成効果の発現時間を目安として、漁場施設の耐用年数なども加味しながら、漁場整備の効果に応じて事業の規模や進め方を改善できる順応的管理（PDCAサイクル）に従って対策を実施する。

漁場整備における順応的管理とは、事業実施前の調査結果や対象生物、対象海域等にかかわる既往知見をもとに、漁場整備における対策、予想される効果、および効果を検証するための方法（モニタリング等）までを包括した計画をもって、漁場整備を実施し、対策の評価を踏まえて計画の見直しや対策手法の改善を行うことによって、不確実性を伴う事象に対処しながら目標に向かって柔軟に適応を進めてゆくマネジメント手法である。

水産資源の自律更新性の向上に資する漁場整備は、自然システムから海の恵みを楽しむ水産業と、水産業から様々な恩恵を受ける社会システムの連環に、安全・安心で持続可能な互惠関係を生み出し、生物多様性の保全と温室効果ガスの低減に貢献できる。

気候変動に対応した漁場整備の実施手順を図 4.1 に示し、各項目の概要を以下に記す。

①対象海域の現況把握

漁場整備の実施対象海域、および対象生物の生活史をふまえた関連海域における、気候変動に関わる環境情報（海水温、水位、酸性化等）及び生物情報（出現種、被度、個体数、サイズ等）を収集・整理する。

②気候変動の影響評価

環境情報や生物情報の時系列データにおけるトレンド（長期的傾向）の有無や変動幅、対象生物の漁獲水温や適水温などの生態的特性をもとに、気候変動が対象生物の出現状況に及ぼす影響を判定する。判定が困難な場合には、簡易な現地試験や飼育試験等を実施する。影響の整理結果から、地域にとって優先度の高い項目を特定するため、既往知見や先行事例を参考に検討を行う。

③目標設定と合意形成

気候変動に伴う対象生物の増減や、新たに発生や加入が期待できる水産対象種を含めた水産資源の増産目標（個体数、被度、面積等）、および漁場の整備目標（漁場施設の種類や構造、造成水深や配置条件、漁場整備の推進体制等）を設定し、関係者間（漁業関係者、行政、試験研究機関、専門家等）で認識を共有する。

④計画策定と効果予測

対象生物の世代時間や造成効果の発現時間を目安に、PDCAサイクルの1周期に相当する期間で実施可能な漁場整備計画を策定する。さらに、計画に基づいて漁場整備が実施された場合の増産効果（個体数、被度、面積等）を計画段階で予測し、効果検証時（項目⑦）の評価対象として活用する。

⑤気候変動に対応した漁場整備

造成規模、工法、優先順位等を選定して、本ガイドラインの4.1(3)にもとづいて、気候変動に対応した保全策や適応策を実施する。

⑥モニタリング調査実施

計画段階（項目④）で予測した造成効果を検証するために必要不可欠な項目について、環境情報（海水温等の気候変動の状況を含む）および生物情報を調査する。モニタリング調査では、あらゆる項目を長期に亘って監視することは便益的に困難なため、造成前および造成漁場の供用開始時期と、その後の長期的な管理時期でモニタリングの内容や実施体制を差別化するなど、調査を継続できる体制づくりが求められる。

⑦達成度判定とフィードバック

モニタリング調査の結果が効果予測（項目④）を満たしているかについて、海水温等の気候変動の状況と、対象種、被度、個体数、面積等から判定する。目標が達成できない場合には、事業の進め方を再検討・改善し、実施計画にフィードバックする。

また、取組によって得られた成果や観測データ等の知見は、関係協議会、地方公共団体の関係部局、関係府省庁等を通じて、情報を発信し、漁場整備に取り組む他の主体と情報を共有・活用することが望まれる。PDCAサイクルを回しながら、漁場整備に関わる最新の情報を踏まえ、実施計画を最適化しながら、着実に目標設定値（項目③）に近づけてゆく取り組みが、気候変動に対応した漁場整備を進める上で最も重要なスタンスである。

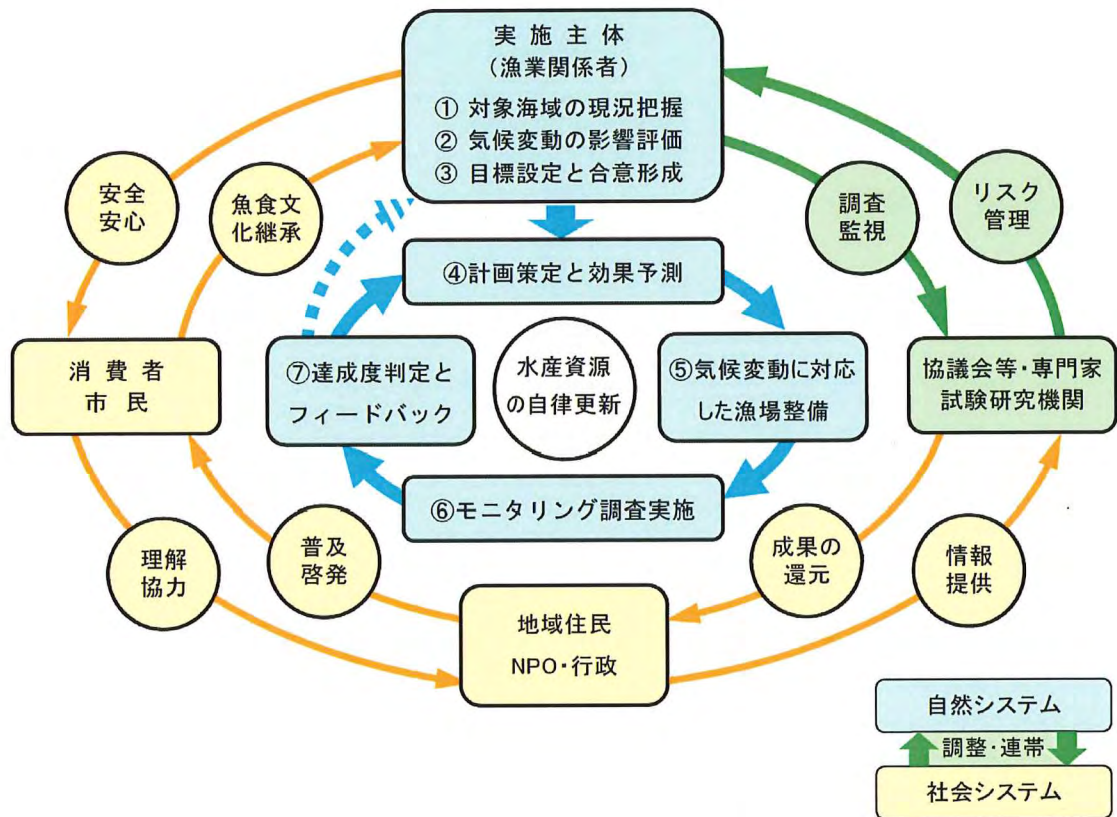


図 4.1 気候変動に対応した漁場整備の実施手順

4.2 適応計画策定の留意事項

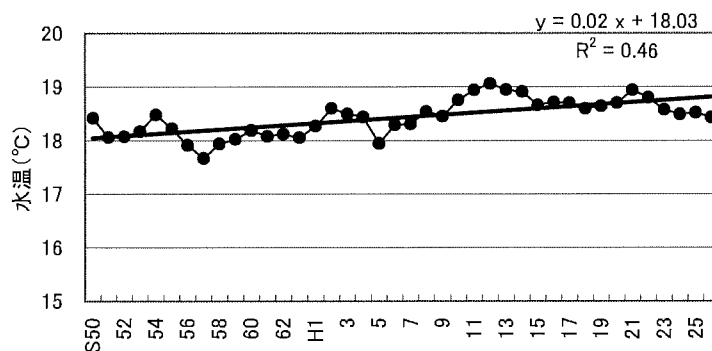
(1) 対象海域の現況把握

- ・気候変動に対応した漁場整備の対応策を検討するには、現在の気候変動と対象海域への影響について、どのような状況にあるかを知ることが重要になる。
- ・対象海域への影響については、気候変動との関係が明確でないものや定性的なものも含めて、関連する情報を集めて活用することが重要である。
- ・上記の観測情報を時系列に整理することや、気候変動の現況把握を目的とした現地調査を実施することも重要である。

【解説】

漁場整備の対象海域（藻場・岩礁域、干潟・砂浜域、サンゴ礁、沿岸・沖合域等）、及び対象生物の生活史をふまえた関連海域における環境情報（海水温、水位、酸性化等）及び生物情報（出現種、被度、個体数、サイズ等）を、観測・記録方法や資料の精度・代表性等の複合的な情報も含めて幅広く収集し、過去からの変遷について時系列データとして整理する。例えば、水温情報については、大学、国の機関（気象庁、海上保安庁、水産研究・教育機構）や都道府県の試験場等で観測情報を公開しているので、それらを活用する。既往知見で、対象海域における情報が収集できない場合には、周辺海域における情報を活用するとともに、現地調査を実施して対象生物の出現状況等を把握する。

長期にわたる観測の全期間に亘って平均値や変動の幅が事実上同じとみなせる場合、この時系列は定常であるといわれる。実際には、多くの時系列はトレンド（長期的傾向変化）、ジャンプ（急激な変化）、周期性を持ち、これらの変動が重なりあった非定常な時系列となる。時系列がトレンドを有するかどうかの判断には、Mann-Kendall 検定や新記録数検定等がある。ジャンプを有するかどうかの判断には、t-検定や Mann-Whitney 検定を用いることができる。周期性の有無は、標本自己相関係数を用いたコログラム（時系列相関図）で評価することができる。



資料提供：山口県水産研究センター

図 4.2 山口県長門市地先における年平均水温（表層）のトレンド解析例

(2) 気候変動の影響評価

- ・気候変動が対象生物の出現状況に及ぼす影響を判定する。また、気候変動の将来予測と生物分布への影響についても参考とする。
- ・地域にとって優先度の高い漁場整備の内容や気候変動の影響を特定するため、既往知見や先行事例を参考に検討を行う。
- ・対策の目標設定に向けて「保全策」を実施するか、「適応策」を実施するかの方向性を整理する。

【解説】

漁場整備に関わる環境情報および生物情報の時系列データをもとに、漁場整備後の将来動向を予測し、気候変動が対象生物の出現状況に及ぼす影響を判定する。時系列データに非定常性（トレンド、ジャンプ、周期性）が認められる場合には、一旦、定常な時系列データに変換し時系列モデルに当てはめて将来動向を予測後、逆の変換を施して非定常な時系列データにおける将来動向を予測する（時系列モデルの選択など、難解な操作を自動で実行可能なソフトウェアも普及し始めている）。

気候変動が対象生物の出現状況に及ぼす影響の判定では、環境情報および生物情報の動向予測より気候変動の内容を特定する必要がある。これまで挙げられている気候変動の内容としては、海水温の上昇・塩分低下、気象災害の激甚化、海面水位の上昇、海洋の酸性化がある。本ガイドラインの2～3章（p4～61）では、気候変動の現状とこれらの影響の将来予測にかかわる既往知見をとりまとめている。

地域にとって優先度の高い漁場整備の内容や気候変動の影響（例えば藻場であれば、食害生物の増加や磯根資源の減少等）を特定するために、気候変動と生物分布に関する既往知見（各県の水産試験場の報告や国や大学等の研究機関の論文等）や他海域における気候変動の影響評価に関する先行事例も参考となる。気候変動に関する知見を有する専門家にヒアリングを行い、その判断を活用することも有効である。

これまで分布している種を守る「保全策」を実施するか、新たに加入する種を育てる「適応策」を実施するのか、対策（適応計画）の立案に向けて関係者間（行政、試験場、漁業者、有識者等）で検討を行い、方向性を整理する。例えば、気候変動の内容が海水温上昇に起因する場合は、対象海域における現況や過去からの変化傾向を踏まえた将来の動向（本ガイドライン p4～6 参照）と、対象生物の適水温帯や漁獲水温との関連性（本ガイドライン p17、p45～47 参照）を基準として対策の立案に反映させることができる。海水温の変動範囲が対象種の生態特性（適水温帯や漁獲水温等）の範囲内に収まっている場合には、これまで分布している種を守る「保全策」に重点をおき、逸脱する場合には、新たに加入する種を育てる「適応策」へと転換することが考えられる。

(3) 目標設定と合意形成

- ・ 気候変動によって変化した海域の対象種と対象範囲を決めて、目標を設定する。
- ・ 対象種の増産目標および漁場の整備目標を設定し、関係者間で認識を共有する。
- ・ 目標を設定する際の時間スケールとしては、中長期的な目標と短期的な目標が考えられるが、現況把握・影響評価、対策の実施、目標達成の判定までは、数年を要することから、まずは短期目標の設定により取組を推進する。

【解説】

対象海域の現況把握及び気候変動による影響評価をふまえて目標を設定する。その際、水産資源の回復、生産力の向上を目指し、気候変動に伴う対象生物の増減や、新たに発生や加入が期待できる海域において対象種と対象範囲を設定する。

目標設定では、水産資源の増産目標（個体数、被度、面積等）および、漁場の整備目標（ハード対策：漁場施設の種類や構造、計画数量等、ソフト対策：保全活動等、漁場整備の推進体制等）について整理する。具体的な目標の設定方法は、気候変動の内容によっても異なるが、例えば、藻場・岩礁域であれば、藻場のタイプ、面積や磯根資源の増産量、干潟・砂浜域であれば、二枚貝の増産量、サンゴ礁であれば、分布面積や被度、沿岸・沖合域であれば、魚類の増産量、蛸集量等が考えられる。これらに対応した漁場整備目標として、漁場施設の種類や構造、計画数量、造成水深や配置条件等のハード対策や保全活動等の維持管理に関するソフト対策の内容と漁場整備の推進体制等を決定し、関係者間（行政、試験場、漁業者、有識者等）で計画段階から認識を共有しながら、最終的な合意の形成を図る。

また、目標を設定する際の時間スケールとしては、漁場施設の耐用年数が10～30年であることから、これを基準として短期的な目標（概ね10年以内）と中長期的な目標（中期的：概ね30年以内、長期的：概ね100年以内）に大別できる。気候変動に対応した漁場整備においては、時間スケールの延長により、漁場環境や対象生物の動向予測に及ぼす不確実性の幅が増加すること、現況把握・影響評価、対策の実施、目標達成の判定までに一定の年数を要することから、中長期的な展望を意識しつつ、短期的な目標に対する取組を優先して推進する（短期的な目標を積み上げながら中長期的な展望に近づける）ことを基本とする。

4.3 対策（保全策・適応策）の検討

- ・気候変動に対応した漁場整備は、これまで分布している種を守る視点からの「保全策」と、新たに加入する種を育てる視点からの「適応策」に大別される。
- ・気候変動に対応した対策の内容とその効果について情報を発信・集約し、適切な維持管理を行う。

【解説】

気候変動が海洋環境や水産生物に及ぼす影響と、これらに適応するために漁場造成で想定される対策について、藻場・岩礁域、干潟・砂浜域、サンゴ礁、沿岸・沖合域のそれぞれの海域について整理し、表 4.1 に示した。

表中の対策では、これまで分布している種を守る視点の「保全策」は青字、新たに加入する種を育てる視点の「適応策」は赤字で色分けして示している。これまでに整備された造成漁場において、「適応策」に該当する対策は、ほとんど講じられておらず、とりわけ魚礁については、「保全策」、「適応策」ともに既往事例が極めて少ない状況にある。このため、本ガイドラインでは、短期的な対策と中長期的な対策に分けて整理した。また、次章では、短期的な対策として、既往の造成事例や参考資料の中から、気候変動対策として活用が期待できるものを抽出した。なお、中長期的な対策については項目を示しているが、具体的な対応策については今後の課題とする。

新たな漁場整備のみならず、これまでに整備された造成漁場においても、表 4.1 中に示した造成事例や参考資料を活用しつつ、図 4.1 に示した順応的管理のプロセスに従ってモニタリング調査や現地試験等の知見の集積に努め、気候変動に対応した適切な対策を講じて行くことが大切である。対策の検討にあたっては、緊急性等をふまえ、優先して進める対策を特定することが、効率的に事業を進める上で重要である。さらに、「保全策」と「適応策」のどちらに力点を置くかについても、事業を進めながら環境変動や種組成の変化に応じて柔軟に調整・修正し、実施計画にフィードバックすることが重要である。

取組によって得られた成果や観測データ等の知見は、漁場整備に取り組む他の主体、とりわけ対象生物の生活史をふまえた関連海域で事業を実施する他の主体については、気候変動に関する情報を緊密に共有し、これらの時空間的な変化にも配慮しながら、事業の改善に活用することが望まれる。

表 4.1 気候変動に対応した漁場整備対策（保全策・適応策）一覧表

施設	対象	気候変動	影響	対策(保全策・適応策)		
				短期的		中長期的
				概ね10年以内	ガイドライン 関連頁	中期(概ね30年以内) ～長期(概ね100年以内)
藻場 岩礁域	水温上昇・塩分 低下	食害生物(ウニ類)の増 加・活性化	食害生物の除去 食害の防御(流動促進、フェンス等) 密度管理・種苗放流の抑制 食害生物の有効利用	70～76 70～73	多様な主体による管理体制の普及 簡易型磯焼け監視技術の普及	
			食害生物(魚類)の増加・ 活性化	食害生物の除去(漁獲) 食害の防御(混植等) 食害生物の有効利用	70～75 70,74～75	食害生物の効率的漁法の普及、高付 加価値化・販路拡大
			構成種の変化(高水温に よる衰退、藻場の遷移)	高水温耐性種の移植・基質確保 生物多様性(対象種の適水温の変化) に配慮した材質、構造形式の選定	70,77	藻場情報プラットフォームの活用 適種・適地選定造成技術の普及
		分布域の北上	局地的湧昇域等冷水域の保全強化		海況・生態系高度化モデルの活用	
		磯根資源(アワビ・イセエビ 等)の減少	餌料効率・着底に有利な藻場造成 水温変動を加味した適地選定			
		産卵・保育場機能の低下	藻場縁辺域の産卵・保育場創出 漁港外郭施設等の産卵・保育場創出		海洋・魚類動態(回遊・分布・資源量 等)予測モデルによる適地選定	
	気象災害の激甚 化	海藻草類の流失	播種・移植・基質確保 消波対策	70		
		磯根資源の成長阻害	寄り藻捕捉施設の整備			
	海面水位の上昇	分布水深帯の変化	嵩上げ・基質確保			
	海洋の酸性化	石灰化海藻の減少			簡易型磯焼け監視技術の普及	
		磯根資源(ウニ・アワビ等) の成長阻害			炭素循環モデルをふまえた耐性種の種 苗放流	
	増殖場	水温上昇・塩分 低下	食害生物(ナルトビイ等) の増加・活性化	食害生物の除去(刺網等) 食害の防護(被覆網、立て杭等)	79,81 79,81	食害生物の利用促進・販路拡大
				貧酸素水塊の形成・遡上	曝気、防除幕、地盤高調整 浚渫・耕耘・覆砂による形成緩和	79～80 79
			浮遊幼生ネットワーク脆弱 化	親貝の保護、作滞 覆砂材・基質等による着底促進		浮遊幼生ネットワークをふまえた幼生着 底促進技術の進展
		気象災害の激甚 化	出水による低塩分化、浮 泥堆積、底質細粒化	移植、耕耘、覆砂	79	
			出水流路変化・河口閉塞 高波浪による分散・打上げ	地盤高調整、作滞、移植放流 覆砂材による流出抑制、深所化	79	
		海面水位の上昇	構成種・分布域の変化	地盤高調整・移植	79	干潟再生・移植技術の進展
			食害の増加 水質浄化機能の停滞	食害生物の除去、食害の防護 生物多様性(対象種の適水温の変化) に配慮した材質、構造形式の選定		食害生物の利用促進・販路拡大 多様な主体による管理体制普及
海洋の酸性化		貝殻の溶解・脆弱化 成長阻害			炭素循環モデルをふまえた耐性種の種 苗放流	
		サンゴ 礁	水温上昇・塩分 低下	白化・適水温帯の北上	サンゴの移植・増殖	83～86
食害生物(オニヒトデ類) の増加・活性化				食害生物の除去、食害の防護	83,87	多様な主体による管理体制普及
気象災害の激甚 化	高波浪(瓦礫)による破壊 出水による赤土流入		瓦礫からの防御(蛇籠等) 水質保全対策	83～84		
海洋の酸性化	石灰化機能の低下			炭素循環モデルをふまえた耐性種移植		
沿岸・ 沖合域	水温上昇・塩分 低下	成層強化・混合層深度低 下による基礎生産の変化	人工湧昇流発生構造物、鉛直混合促 進構造物の設置	90,94～97	人工湧昇(基礎生産)域の創出に基 づく温暖化適応型漁場整備の進展	
		海洋の酸性化	円石藻等の生長阻害		炭素循環モデル、海況・生態系高度 化モデルによる温暖化影響評価	
魚礁	水温上昇・塩分 低下	構成種の変化	生物多様性(対象種の適水温の変化) に配慮した材質、構造形式の選定		魚礁情報プラットフォームの運用 新魚種の高付加価値化・販路拡大	
		回遊経路や回遊時期(漁 期)の変化	漁況変化に適応した漁場(水深、機 能)の分散配置と連携強化	88～93	海洋・魚類動態(回遊・分布・資源量 等)予測モデルの活用	
		暖水種の北上、冷水種の 減少、産卵水深の増加	大水深域における漁場整備の充実 高層魚礁等による適応水深帯の拡張		人工湧昇(冷水)域の創出に基づく温 暖化適応型漁場整備の進展	
	貧酸素水塊の発達・波及	低酸素抑制施設、鉛直混合促進構造 物の配置		貧酸素水塊挙動予測・警戒システム の各海域への普及		
気象災害の激甚 化	海底擾乱	気候変動による沿岸外力の変化をふ まえた施設安定性の確保				

注) 対策(保全策・対応策)の区分は右の通り。青字: 保全策に力点を置いた対策、赤字: 適応策に力点を置いた対策

4.4 整備内容に応じた対応策

(1) 藻場

- ・ウニ類や魚類の食害生物増加については、食害生物の除去、防除対策を実施する。あわせて、藻場造成（播種・移植・基質確保）により海藻草類を増やす対策を実施する。
- ・高水温による海藻草類の衰退、藻場構成種の変化や、分布域の北上への対応としては、高水温耐性種を作出し、播種・移植を行う。また、生物多様性に配慮した材質や構造形式の選定についても検討する。
- ・台風・低気圧災害の激甚化への対応としては、消波対策および藻場造成（播種・移植・基質確保）によって海藻草類を増やす対策を実施する。
- ・海面水位上昇については、嵩上げを検討する。

【解説】

近年、気候変動に伴う海水温上昇の影響等により、海藻類の繁茂状況や藻場構成種、食害生物の分布状況などが大きく変わっている。これまで実施されていた対策の多くは保全策（これまで分布している種を守る）であり、適応策（新たに加入する種を育てる）対策については事例が少ない状況である。

食害生物対策としては、水温、ウニ類の食害、魚類の食害が複合的に関与しており、各影響の程度により評価の考え方が異なる（参考 4.1）。ウニ類を減らす技術としては、ハード整備では、嵩上げによる波浪流速を上げる方法（事例 4.1）や、砂地に藻場礁を設置する事例が挙げられる（事例 4.2）。ソフト対策として、ウニの潜水除去等、フェンスの設置等が挙げられる。また、魚類を減らす技術としては、刺網による除去や、混植による捕食圧の軽減（事例 4.3）等が挙げられる。さらに海藻草類を増やす技術として、ハード整備としては、石材や藻場礁等の着定基質の設置と、母藻の移植やスポアバック、タネ糸の設置等の種苗供給による藻場形成の促進が考えられる。なお、気候変動が藻場・岩礁域に及ぼす影響と対策は、磯焼け対策と共通する点が多く、「磯焼け対策ガイドライン」（2007）¹⁴、「改訂磯焼け対策ガイドライン」（2015）¹⁵に示された各種手法や事例が参考になる。

高水温による海藻草類の枯死や種組成の変化・分布域の北上については、高水温耐性種の移植が挙げられる（事例 4.5）。また、適応策として、対象種を変更した対策（事例 4.6）も検討する。また、生物多様性（対象種の適水温の変化）に配慮した材質や構造形式の選定についても検討する。

さらに、台風・低気圧災害の激甚化への対応としては、消波対策および藻場造成（播種・移植・基質確保）の対策が実施されている。海面水位上昇に対応した事例は現段階では、ないが、将来的には嵩上げを検討する。

【参考 4.1】藻場形成の阻害要因に関する考え方

1. 背景・目的

近年、九州や四国地方南部の沿岸域の岩礁性藻場では、水温上昇によって、藻場の構成種が変化するという現象が報告され、具体的には、四季藻場（大型海藻藻場、小型海藻藻場）から、春藻場、一年生藻場と従来の藻場のタイプの変化が予想されている。また、水温上昇によって藻食性動物（ウニやアイゴやブダイ等の藻食性魚類）の活性が高まることや分布域が北上することにより、磯焼け海域が拡大する懸念がある。これらの水温・ウニ・食害の関係と阻害要因としての判断基準と評価の考え方が整理されている。

2. 概要

藻場形成の主な阻害要因は、アイゴ・ノトリスズミ・ブダイ等の植食性魚類の食害、ガンガゼ、ムラサキウニ等の食害および、水温の3つであると推測されている。これらの3つの要因のうち、複数が同時に作用している場合があり、藻場がおかれている現状を把握・理解するため、阻害要因の関係を単純化したものを図 3.3 に、藻場類型と藻場形成の阻害要因との関係を図 3.4 に、阻害要因の程度の判断基準と評価の考え方を表 3.3 に示す。それぞれの要因の強度によって形成される藻場の種類が変化することが示されている。また、それぞれの阻害要因の強度が強くなると、磯焼け状態となるが、魚の食害が強い場合でもウニの駆除を行うことによって、小型海藻藻場や春藻場が形成されることが示されている。

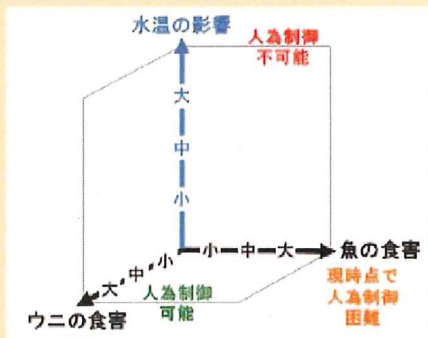


図1 藻場形成の阻害要因

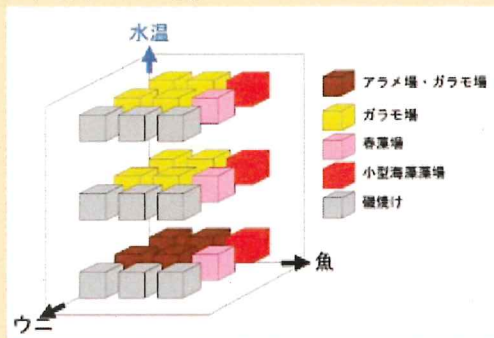


図2 藻場類型と藻場形成の阻害要因との関係

表 1 藻場形成の阻害要因の判断基準と評価の考え方の一例

藻場形成の阻害要因	程度	判断基準	評価の考え方
ウニの食害	大	小型海藻は、全て食害される。	全ての藻場の形成は困難である。
	中	小型海藻は、食害されるが、一部残る。	春藻場と一年藻場の形成の可能性がある。
	小	小型海藻は、ほとんど食害されない。	全ての藻場の形成は可能である。
魚の食害	大	大型海藻は、過度に食害される。	春藻場の形成の可能性がある。
	中	大型海藻は、食害されるが、一部残る。	ガラモ場等の形成の可能性がある。
	小	大型海藻は、ほとんど食害されない。	全ての藻場の形成は可能である。
水温の影響	大	ホンダワラ類は、一部を除き、生育しない。	特定種のガラモ場の形成は可能である。
	中	ホンダワラ類は生育するが、アラメ類は生育しない。	アラメ場の形成は困難である。
	小	アラメ類が生育する。	全ての藻場の形成は可能である。

出典：西海区水産研究所他；本邦南西水域の環境変化に対応した藻場の回復・拡大技術の高度化研究成果報告書（2010）

【事例 4.1】海水温上昇に伴うウニ類の増加に対応した嵩上げタイプの囲い礁の整備

1. 背景・目的

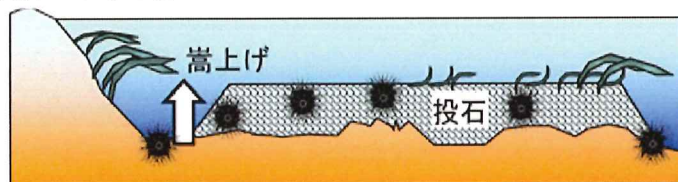
近年、北海道の日本海側では、磯焼けの進行により、ごく浅瀬以外ではウニの餌料となる海藻が繁茂し難い状況にあり、磯焼けの発生は、地球温暖化に伴う水温の上昇が引き金と考えられている。水温の上昇により、ウニの摂餌活動も活発化（14℃以上では摂餌活動は弱まる）し、ウニが広域に分布していることからウニの食害が海藻の被度が低い要因の一つと推察されている。また、天然漁場では、D.L. -1.5m 以浅に海藻類が着生、繁茂している状況にある。これらのことから、ウニ類の増加に対応した増殖場の整備を行うため、天然漁場と同様に施設の天端高を D.L. -1.5m に設定し、原地盤（およそ D.L. -2.5～-4.0m）の嵩上げが行われている。

2. 対策の内容

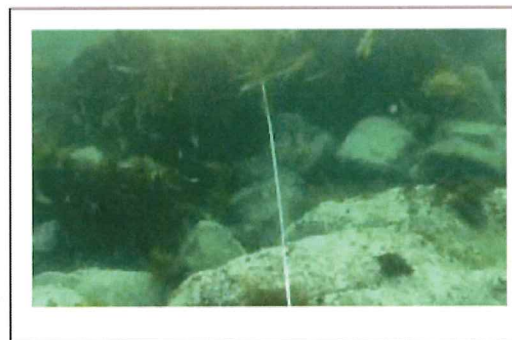
平成 24 年度造成神恵内地区の神恵内大森漁場（水産生産基盤整備事業）において、嵩上げタイプの囲い礁によるウニ増殖場が整備され、増殖場内では海藻が繁茂し、嵩上げにより増殖場内でウニの過剰な摂餌を制限する流速が発生し、ウニの摂餌が抑制されたことにより海藻が繁茂したと推察されている。嵩上げにより海藻の繁茂が確認されたことから、他地区において、ウニの過剰な摂餌を制限する流速が発生するよう施設の天端高を設定し、増殖場を造成中である。

調査施設：平成 24 年度神恵内地区（神恵内大森漁場）

調査年度：平成 25 年 6 月



嵩上礁上



施設外→嵩上礁

図 1 嵩上げタイプの囲い礁における海藻の繁茂状況

出典：北海道庁提供資料

【事例 4.2】海水温上昇に伴うウニ類の増加に対応した単体礁の整備

1. 背景・目的

徳島県では、海水温上昇等によりウニが増加し、新たに藻場を造る場合、従来のように石を積み重ねる方法では、石と石の隙間にウニがたくさん住みつき、食害により藻場ができない。そこで、ウニの食害の影響を軽減させるため、石を積み重ねるのではなく、単体での石の設置が行われている。

2. 対策の内容

石のサイズは1m角で、重さ2~3トンの自然石10個を石と石の間隔1.5~2mで、1つ1つ点在させて設置されている。石が完全に埋まってしまうことがないように、砂の深さが石の高さの半分程度の場所が選定された。単体でおいたこの石を「単体礁」と呼称している。2012年11月に単体礁を設置した結果、設置後2年半で、石の表面がみえないほど、カジメの藻場ができ、石の周囲にはウニが1匹も見つかっていない。また、単体礁を設置してから石の動きや波の大きさなどが調査され、台風に伴う大きな波が7度以上来襲するものの、大きな移動・転倒は生じていない。

このように、単体礁を砂地に設置することで、ウニの侵入を制御し、メンテナンスをしなくても自然に良好な藻場ができることが明らかになっている。また、単体礁の安定性については今のところ問題がない。今後、ウニの食害の影響が強い太平洋に面した県南部海域における新たな藻場造成工法としての実用化が目指されている。



図1 単体礁に用いた石材と配置



図2 単体礁の海藻の推移



図3 砂地の海底に点在する単体礁

■単体礁の藻場造成効果
砂がウニの侵入を抑制することによって、メンテナンスフリーで藻場が成立した。

■単体礁の安定性
設置後2年半の間、藻礁としての安定性は維持されている。

↓ <低コスト・効率的な手法>

ウニの食害の影響が強い南部海域における新たな藻場造成工法として各地に展開、実用化を目指す。

図4 単体礁による藻場造成技術のまとめ

出典: 徳島県農林水産総合支援センター提供資料

【事例 4.3】海水温上昇に伴う植食性魚類の増加に対応した混成藻場によるアラメ種苗の食害回避

1. 背景・目的

鳥取県では平成 25 年 8 月に 29℃以上の水温が 3 週間ほど続き、鳥取県西部における藻場の衰退や県内各地でのアラメ群落の枯死の原因が、この異常高水温により直接的に大きく影響したと考えられている。

また、アラメの苗がアイゴに食べられることやウニ類が大量に生息している状況が確認されており、間接的な影響として、今後、海水温上昇が進めば、植食性魚類やウニ類の食害が恒常的に発生する可能性が高いとされている。

植食性魚類のアイゴには嗜好性があり、アラメ単相藻場の場合はアラメを食べるが、アラメとホンダワラ類との混成の場合はホンダワラ類から食べ始め、ホンダワラ類を食べ尽くすとアラメを食べると言われている。

そこで、移植直後に食害生物の駆除を行い、移植したアラメの苗を食害から守るため、高水温耐性のあるホンダワラ類を積極的に増殖してアラメとホンダワラ類の混成藻場の造成が行われている。



図 1 アラメの生存限界水温と平成 25 年夏季の鳥取県沿岸の水温

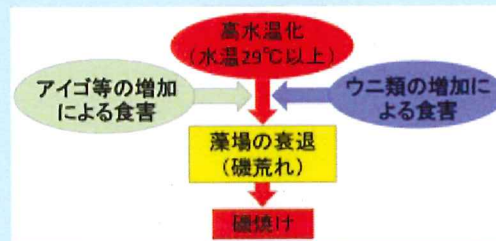


図 2 鳥取県沿岸における藻場減少の原因

2. 藻場造成の内容

アラメを主体とした藻場造成では、アラメの種苗生産、アラメ藻場造成、新技術開発と先行事例の導入が行われている。

アラメ種苗生産では、葉長 10 cmのアラメの苗をロープに装着（アラメ株縄）、或いはアラメプレート等に根付かせた状態で造成海域に設置されている。

アラメ藻場造成では、移植適地、移植方法の選定、現地指導、移植後の経過観察指導等を県が行い、これらの活動に漁業者やNPO等が要した経費を助成している。



アラメ



クロメ

新技術開発では、アラメの移植箇所を分散させてリスクを低減させるために安価な部材で大量に簡便に設置できる手法の開発が、先行事例の導入では、クロメ・ホンダワラ類のスポアバッグの導入による混成藻場の造成が行われている。

なお、温暖化などの環境変動に応じ、藻場の種多様性を高めた方がよいと判断される場合は、混成藻場の構成種に、アカモク・ホンダワラ・ノコギリモクに加えて、比較的高水温に強いヤツマタモク・マメタワラや、アラメ・クロメとの混生が可能で藻食性魚類の食圧を軽減できると考えられるヤナギモクなども適宜検討することとなっている。




混成藻場構成種	藻場造成手法(造成水深帯)
アカモク 	スポアバッグ(1~5m)
ホンダワラ 	スポアバッグ(3~5m)
ノコギリモク 	スポアバッグ(1~15m)

図3 混成藻場の構成種と造成手法

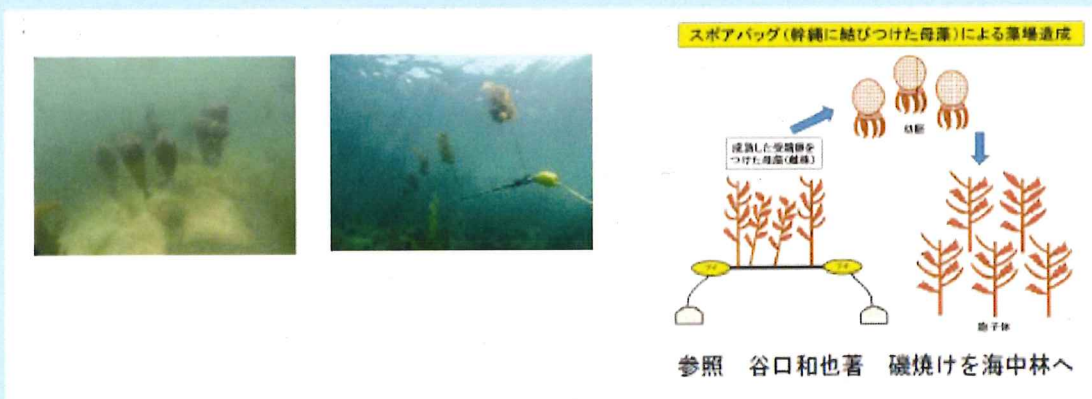


図4 スポアバック方式

出典：鳥取県農林水産部水産振興局水産課他；鳥取県藻場造成アクションプログラムⅡ(2016)

【事例 4.4】海水温上昇に伴う海藻の競合種であるウミアザミ(ソフトコーラル)の遮光シートによる駆除

1. 背景・目的

天草漁協五和支所裸潜組合の主な操業場所である通詞島周辺漁場では、海水温上昇等に起因して、平成20年ごろから、ソフトコーラルとも呼ばれる軟体サンゴの一種であるウミアザミが繁殖する一方、海藻やアワビ等が獲れる藻場が激減している。平成22年には全組合員で素潜りにより、計5トンのウミアザミを駆除したものの、ウミアザミの繁茂面積の拡大を防ぐことができなかった。ウミアザミは、共生している褐虫藻に栄養供給を依存している。そこで、天草広域本部水産課の開発した遮光シートを導入して褐虫藻の光合成を阻害し、ウミアザミを駆除するとともに、駆除後の藻場造成が行われている。



図1 現地場所



図2 ウミアザミの発生状況



図3 遮光シート



図4 遮光シートの設置状況

2. 対策の内容

平成25年6月に10m×10mの遮光シート1枚を、海底に設置し、1ヶ月間被覆したところ、範囲内の全てのウミアザミが駆除された。この結果から平成26~27年10月に規模を拡大して合計200枚のシートを設置して、ウミアザミを駆除し、駆除後の海底には、ワカメの種糸やカジメ、ホンダワラ類の母藻を投入し、藻場の再生が図られている。

ウミアザミの駆除後に藻場造成を実施した海域では、ウミアザミの再増殖はみられず、母藻に用いたホンダワラ類、クロメ、ワカメ、トサカノリを含め合計9種類の海藻の繁茂が確認されている。



図5 ウミアザミの駆除状況



図6 藻場造成の概要



図7 藻場の回復状況

出典：熊本県提供資料

【事例 4.5】海水温上昇に対応したカジメ類の高水温適性株の移植

1. 背景・目的

和歌山県における沿岸水温とカジメ群落の関係をみると、藻体の衰弱期にあたる10～12月の水温が平均水温よりも高く推移した年に、カジメ群落の大規模な衰退が認められている。このようなことから、磯焼け原因の一つになると考えられる海水温上昇に対処するため、和歌山県では平成25年度より3カ年間カジメ類の高水温適性株の作出に取り組みが行われている。

2. 対策の内容

県下各地（9カ所、図2参照）のカジメ類（カジメ・クロメ）の配偶体を用いて地域間で交雑し、温度別（15、20、25、27.5、30℃）に藻体の生長が調べられている。当初19通りの組み合わせが実施され、この中から串本を除く生長の優れていた8カ所9通りの組み合わせを選抜して、藻体の生長が調べられている。

その結果、25℃、27.5℃では比井崎クロメ♂×目津崎クロメ♀の生長率が最も高く、試験終了1ヶ月後にもほとんど藻体の枯死がみられず、高水温適性株として有望であると考えられている。なお、水温30℃の試験区では、すべての組み合わせについて、初期の段階で枯死している。

平成25～27年度において、交雑試験と高水温適株の作出が行われ、平成29年4月以降、現地実証試験が行われる予定である。



図1 交雑試験中のカジメ類



図2 カジメ配偶体の採取箇所

出典：和歌山県情報館 カジメ類の衰退（磯焼け）現象と高水温の関係
<http://kodomo123.ec-net.jp/biz/doi/kannkyou/ikimono/siryou/isoyake/kensuisi11.htm>
和歌山県農林水産部水産課提供資料

【事例 4.6】海水温上昇に伴うウニ類や植食性魚類の増加に対応した小型海藻藻場の造成

1. 背景・目的

長崎県では、水温の上昇、植食性魚類の食害、ウニの食害の三重苦により、磯焼け状態が進行し、アラメ、ガラモといった大型海藻からなる藻場が形成されない地域がある。そこで、高水温や魚類の食害に強いとされる小型海藻からなる藻場の造成を目的とした整備が行われている。

なお、小型海藻の機能、増殖方法は未解明な点があるが、ウニの漁場回復、イセエビ稚エビ生息場等といった水産増殖機能を有する等の報告がある。

2. 対策の内容

磯焼け状態が進行している状況の中、消失したウニ漁場を三重苦の要因の中で唯一、人為的にコントロールが可能なウニの密度管理が2008年以降実施されている。その結果、小型海藻藻場（アミジグサ等）が形成され、再生藻場でウニの身入りの改善、ウニ漁の活発化、ウニ密度の低下、藻場拡大、ウニ漁獲量増加の好循環によりウニ漁場が復活している。

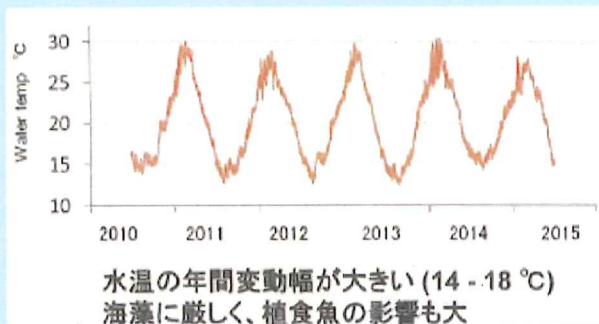


図1 現地水温の推移



図2 小型海藻藻場

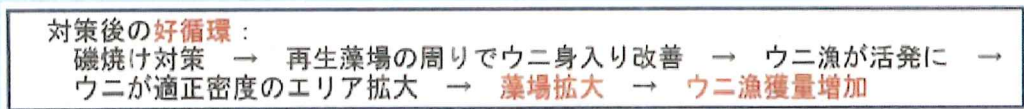


図3 対策後の小型海藻藻場の形成による好循環

出典：長崎県提供資料

(2) 干潟

- ・貧酸素水塊の発生・拡大・長期化への対策としては、藻場・干潟・浅場の造成や底質改善（浚渫・覆砂等）や曝気（エアレーション）、移殖放流を行う。
- ・食害生物の増加に対しては、食害生物の除去や防除を行う。
- ・出水による淡水化対策としては、移殖放流を行う。
- ・河口閉塞への対策としては、地盤高調整、作濬、移殖放流を行う。
- ・海面水位上昇への対策としては、嵩上げ等を行う。

【解説】

干潟においては、貧酸素水塊の発生、陸上からの砂の供給の低下や円滑な物質循環の滞り、南方系魚類であるナルトビエイの来遊による二枚貝の捕食等により、干潟における二枚貝類の生産力が低下している。これらは、必ずしも気候変動だけが要因ではなく、他の要因も絡んだ複合影響であることが推定される。

これまで、取り組まれている対策のうち、貧酸素水塊の発生・拡大・長期化への対策としては、藻場・干潟・浅場の造成による地盤高調整（嵩上げ）や、微細気泡装置によるエアレーション（事例 4.7）、貧酸素水塊が到達する前に影響を受けない他のエリアへアサリ稚貝の移殖放流が行われている。

食害生物対策として、ツメタガイ、ヒトデ類、ナルトビエイ、アカエイ等の食害生物の除去・防護等が行われている（事例 4.8）。

また、台風・低気圧災害の激甚化による事例として、出水による淡水化により、二枚貝が斃死や、河口閉塞及び底質細粒化により、稚貝の生息場の減少等が生じている。出水対策としては、移殖放流が行われている。また、河口閉塞対策としては、地盤高調整、作濬、移殖放流が行われている。

海面水位上昇に対策として、気候変動とは、直接関わりがないものの、東北地方において地盤沈下による干潟域の消失に対して、嵩上げによる干潟造成（参考 4.2）が挙げられる。また、二枚貝の垂下養殖も考えられる。

気候変動が干潟・砂浜域に及ぼす影響と対策は、干潟の生産力の改善策と共通する点が多く、「干潟生産力改善のためのガイドライン」³⁴に示された各種手法や事例が参考になる。

³⁴ 水産庁：干潟生産力改善のためのガイドライン（2008）

【事例 4.7】干潟域での微細気泡装置による貧酸素対策

1. 背景・目的

有明海西部の長崎県諫早市小長井地先では、泥干潟場に覆砂漁場を造成し、アサリ養殖が営まれている。しかし、夏季に貧酸素水塊が襲来することから、それによるアサリのへい死が問題となっている。アサリのへい死は、覆砂漁場だけではなく、近隣の地先や他県のアサリ養殖場においても発生している。貧酸素水塊のアサリへの影響は、水温やアサリ個体の生理状態によっても異なるが、一般的に溶存酸素濃度 1mg/L 以下の状態で、早ければ2日後からへい死が始まり、4日以上継続するとほぼ全ての個体がへい死するといわれている。この貧酸素水塊への対策として、アサリ漁場を防除幕で囲い、防除幕内を微細気泡装置で曝気する方法が開発されている。

2. 対策の内容

防除幕内を微細気泡装置で曝気する方法は、夏季の小潮期に溶存酸素濃度 1mg/L を下回る貧酸素水塊が発生し、アサリのへい死が生じる場所（生息密度 4.4kg/m²以上）にて効果を発揮する。また、初期費用が掛かることから、アサリの生息密度がある程度高い

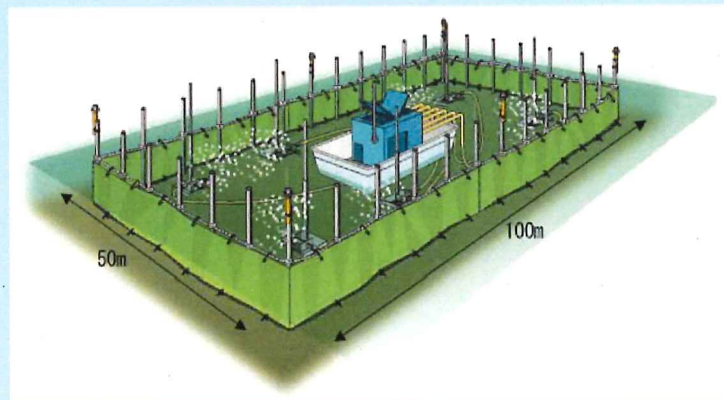


図1 防除幕と微細気泡装置を組み合わせた技術

ことも条件となる。この技術の摘要面積は最大で 50m×100m 以内であり、現地では微細気泡装置を載せる船が必要となり、幕内に船を入れるため、最干時に水深約 0.5m 以上であることも条件となる。

2008 年に行われた実験では、周辺漁場にて貧酸素水塊によるアサリのへい死が生じており、実験終了時のアサリの生残率は、対照区(何もしない区画)の 59%に対し、実験区(微細気泡装置による曝気区)が 91%と高い結果となっている。また、底質表面の状況では、対照区ではへい死したアサリの貝殻が数多くみられたのに対し、実験区ではそのような貝殻は極めて少ない状況にある。このように実験区ではアサリのへい死抑制効果のあることが確認されている。なお、50m×100m の範囲を想定して行われた実験における微細気泡装置(耐用年数 5 年)や防除幕など一式での導入費用は約 505 万円とされている。

出典：水産庁増殖推進部；有明海漁場造成技術開発事業 二枚貝漁場環境改善技術導入のためのガイドライン(2013)

【事例 4.8】食害生物（ナルトビエイ）の増加に対応した干潟域でのアサリ食害対策

1. 背景・目的

熊本県では、有明海や八代海に広大な干潟を有し、全国でも有数のアサリの産地である。漁獲量は昭和 52 年の 6.5 万トン进行ピークに減少し、平成 9 年には 1 千トンにまで減少した。アサリ資源を増大する上で、食害対策は欠かせない。

その中でも特に問題となるのは、ナルトビエイ、ツメタガイ類、キセワタガイである。ナルトビエイは、大型のエイ

で、春から秋にかけてアサリ漁場に来遊し、漁獲サイズのアサリを捕食し、被害をもたらしている。飼育実験では、体盤幅約 50cm、体重 2kg のナルトビエイ 1 尾が夏場に毎日 1kg のアサリを食べることがわかっている。



図 1 ナルトビエイ

2. 対策の内容

ナルトビエイによるアサリの食害対策として、熊本県では刺網等で直接駆除する方法の他に、①アサリの生息域に網を張ることや、②棒を乱立させることにより、ナルトビエイの来遊や捕食を妨害する方法が行われている。

①漁場を網で囲む方法(来遊防止)

ナルトビエイの来遊を防止するために、漁場全体又はアサリの生息が良好な範囲を網で囲む方法。網は、古くなった海苔網や草用のネットが再利用されている。手間と費用がかかるが、効果も絶大で、この対策を行っているからアサリが採れるとの声も多く聞かれる。



図 2 漁場を網で囲む例(熊本県横島漁協)

②漁場に棒を乱立させる方法(捕食防止)

ナルトビエイは、干潟表面においてアサリを食べるため、アサリを食べることが出来ないように漁場に棒を乱立させる方法。約 50cm 間隔に竹又は FRP 製の棒を設置する。限られた範囲に非常に良好なアサリが分布する場合に適し、覆砂漁場で実施されている。



図 3 漁場に棒を乱立させる例(熊本県荒尾漁協)

出典：熊本県；熊本県アサリ資源管理マニュアルⅡ－アサリを安定的に漁獲するために－(2006)

【参考 4.2】地盤沈下により消失した干潟における干潟造成

1. 背景・目的

干潟においては、気候変動に伴う海面水位上昇により干潟分布への影響が予測されている。そこで、気候変動とは直接関わりがないものの、海面水位上昇と同様の対策が実施された干潟造成の対策例について紹介する。

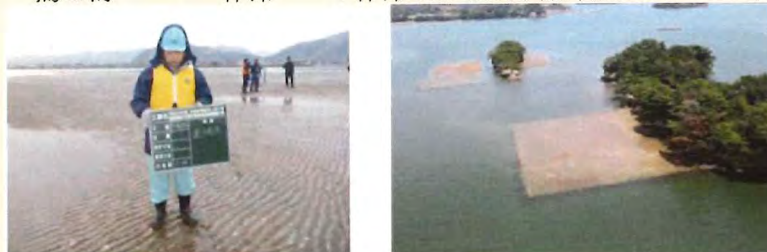
宮城県の万石浦、志津川湾、松島湾などの内湾域では、海域環境の改善や魚介類の産卵場・育成場の確保、アサリ漁場への利用を目的として、干潟の造成や海水交換を促進するための作濬などの漁場整備が行われてきた。しかし、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波や地盤沈下等の影響により、多くの干潟や濬が消失したため、漁場環境の悪化や漁場生産力の低下、アサリ漁業をはじめとした漁業生産への影響が懸念されている。このため、2013年度から国の「水産環境整備事業」を活用して、被災した干潟の復旧整備が行われている。

2. 対策の内容

干潟の整備にあたっては、震災以前と同様の地盤高を確保するとともに、干潟造成面の表層にはアサリ等を捕食するサキグロタマツメタの防除やアサリ等浮遊幼生の着底促進のための粉碎カキ殻が混入されている。その結果、干潟には新たなアサリ稚貝の生育が確認されている。また、造成した干潟周辺に繁茂しているアマモの根元には大きく成長したアサリの分布が確認されている。

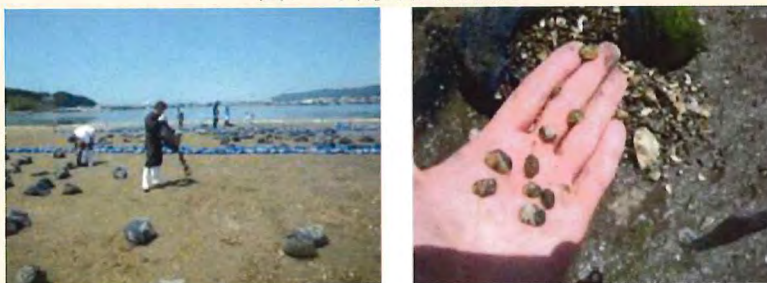
＜事業全体計画＞

万石浦	干潟造成	面積7.9ha(事業年度2013～2015)
志津川湾折立	"	1.5ha(")
松島湾	"	6.7ha(")
鳥の海	作濬	作濬工1.3km(事業年度2014～2015)



○万石浦干潟造成石巻湾工区施工状況 (平成25年度分完成) ○松島湾名籠工区施工状況(完成)

図1 干潟の造成状況



稚貝放流状況 アサリ稚貝

図2 アサリ稚貝の放流状況とアサリ稚貝

出典：宮城県；平成25年度宮城県の水産業の動向及び水産業の振興に関して講じた施策(2014)
宮城県；平成26年度宮城県の水産業の動向及び水産業の振興に関して講じた施策(2015)

(3) サンゴ礁

- サンゴ礁を増やす取り組みとしては、卵から稚サンゴを育てる有性生殖による手法と親サンゴの断片を用いた無性生殖による増殖・移植手法が挙げられる。
- 移植したサンゴの食害防止対策として、ブダイ等の魚類に対しては食害防止カゴ等を設置する。また、オニヒトデ対策としては、潜水による除去に加えて、大量発生の予測等を行う手法の開発も行われている。

【解説】

サンゴ礁は、沿岸域の環境基盤として、藻場や干潟と並んで保全・造成をしていくことが、水産環境整備の基本方針として示されている³⁵。これまでのサンゴ礁の増殖については、沖ノ鳥島や沖縄県において実施されてきた。また、食害防止策として、ブダイやオニヒトデの対策が行われている。

サンゴの増殖については、有性生殖による方法と無性生殖による方法が挙げられる。有性生殖としては陸上水槽において、卵を採集して、稚サンゴに育てて移植する方法や、卵の採集から幼生が基盤に着底するまでを全て海上で行う幼生収集装置による方法が行われている。無性生殖による方法としては、特別採捕許可を得て採取した親サンゴの断片を、海域において中間育成し、海底の岩盤へ植え付ける方法が挙げられる（事例 4.9～11）。

また、食害防止策としては、魚類とオニヒトデを対象とした対策が行われている。魚類では、ブダイ類等が稚サンゴを食べたり、傷つけたりすることを防止するために食害防止カゴを取り付けている事例が多い。また、オニヒトデ対策としては、潜水による駆除が沖縄県各地で、漁業者やダイビング事業者などが中心となって取り組まれているが、オニヒトデが大量発生してから対策をとるのでは遅いため、近年では幼生の発生予測技術の開発も行われているところである（事例 4.12）。

なお、気候変動がサンゴ礁に及ぼす影響と対策は、サンゴ礁の保全対策と共通する点が多く「サンゴ礁保全活動の手引き」²⁶に示された各種手法や事例が参考になる。

³⁵水産庁；水産環境整備の推進に向けて（2010）

【事例 4.9】台風・低気圧災害の激甚化に対応した沖ノ島でのサンゴ増殖

1. 背景・目的

わが国の最南端に位置する沖ノ島は、周囲にカツオ・マグロの好漁場である広大な排他的経済水域を有するサンゴ礁の無人島であるが、海面上昇や波浪による侵食によって、その存在が危ぶまれている。そこで、水産庁は沖ノ島においてサンゴ増殖技術の調査・開発を行うため、平成18年度から「生育環境が厳しい条件下における増殖技術開発調査事業」を実施しており、有性生殖によるサンゴの大量種苗生産・移植技術のほか、親のサンゴや移植したサンゴを保護する技術などが開発されている。

2. 対策の内容

①サンゴの増殖・移植

沖ノ島に生息するサンゴを用いて卵から稚サンゴに増やし育てる有性生殖による増殖方法が採用され、親となるサンゴを沖ノ島から沖縄県の阿嘉島・久米島に移送し、採卵して稚サンゴに育て、沖ノ島へ移植する、一連の技術が開発されている。また、卵の採集から幼生が基盤に着底するまでを、全て海上で実施する幼生収集装置についても開発・実証が行われている。

②海域に移植した稚サンゴの食害防止

稚サンゴを移植すると、ブダイ類やその他の植食性魚類が稚サンゴを食べたり傷つけたりすることがある。これを防止するため食害防止カゴを取り付け、保護している。

③幼生供給の核となる人工基盤の造成

海域に供給される幼生を確保するため、人工構造物内にサンゴ群集をつくり、幼生供給の核としている。

④瓦礫の移動によるサンゴの破壊防止

台風などで折損したサンゴが瓦礫となって集積し、それらが波や流れで移動することで、新たなサンゴ幼生の着底を阻害することや、生きているサンゴを傷つけることを防止するため、沖縄県伊江島で海底の嵩上げ試験が行われている。試験では、海底から高さを持たせた蛇籠型の礁を設置したところ、海底から0.5m以上の高さに移植されたサンゴの生残率が高いという結果が得られている。なお、他海域では嵩上げのほか海底の瓦礫を樹脂製ネットなどで固定する事例も報告されている。

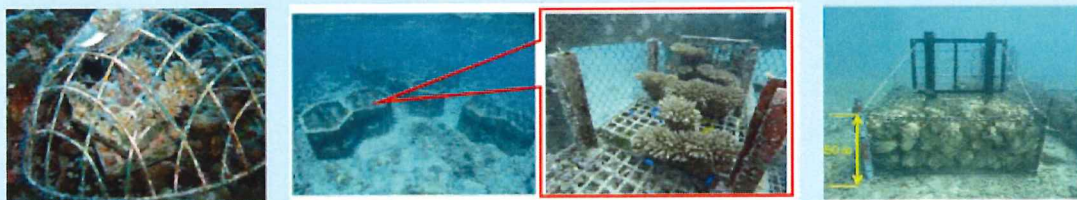


図1 魚類の食害防止カゴ(左)、人工構造物内のサンゴ群集(中)、瓦礫対策の蛇籠型礁(右)

出典：水産庁；有性生殖によるサンゴ増殖の手引き—生育環境が厳しい沖ノ島におけるサンゴ増殖—(2009)
水産庁；サンゴ礁保全活動の手引き(2015)

【事例 4.10】海水温上昇に対応した石西礁湖における枝状ミドリイシ群集の増殖

1. 背景・目的

日本最大の礁湖性サンゴ礁である沖縄県石垣島と西表島の上に位置する石西礁湖では、高水温による白化やオニヒトデによる食害などの攪乱により、造礁サンゴが衰退傾向にある。サンゴ礁に生息する魚類にとって餌場・生息場として重要な枝状ミドリイシ群集においても、高水温などによるダメージから回復が進んでおらず、その修復が急務となっている。そこで、西海区水研では、石西礁湖内に分布する枝状ミドリイシに特化して海域に幼生を大量供給する技術の開発・実証が行われている。

2. 対策の内容

①サンゴの増殖・移植

沖ノ鳥島で実証されている幼生収集装置により、卵の採集から幼生を基盤に着底させるまで、全て海上で実施することが可能としている。

②海域に移植した稚サンゴの食害防止

サンゴを移植すると、ブダイ類やその他の植食性魚類が稚サンゴを食べたり、傷つけたりすることがある。サンゴを着生させる格子状の基盤について、魚類の捕食を防ぐ格子間隔の基盤が研究・開発されている。

③幼生供給の核となる人工基盤の造成

幼生供給の核となるよう、枝状ミドリイシを着生させた産卵礁を開発し、海底に設置している。



図1 幼生収集装置



図2 設置15ヶ月後の枝状サンゴ産卵礁

出典：

鈴木ら；石西礁湖における枝状ミドリイシ群集の回復阻害要因の検討、日本サンゴ礁学会誌 第13巻，29-41 (2011)

Go Suzuki, et. al; Early uptake of specific symbionts enhances the post-settlement survival of Acropora corals, Mar Ecol Prog Ser Vol. 494:149-158 (2013)

鈴木豪；サンゴ幼生の収集・飼育・放流装置の開発、平成26年度水産工学会学術講演会学術講演論文集 (2014)

平成26年度厳しい環境条件下におけるサンゴ増殖技術開発実証委託事業報告書 (2015)

【事例 4.11】海水温上昇に対応した沖縄県恩納村海域におけるサンゴ増殖

1. 背景・目的

恩納村漁協では、モズクのひび建て養殖の技術を応用して養殖サンゴを育成し、それを断片にして海域に移植し、無性生殖による増殖方法が実施されている。最近では養殖サンゴから有性種苗を作成し、これらを再び養殖施設で育成する取組も実施されている。これまでは主にサンゴ移植ツアーの受入れ、沖縄県自然保護課によるサンゴ保全関連の事業などの実施場所としての自然再生活動の意味合いが大きかったが、今後は漁業や資源管理の一貫としてサンゴの養殖・移植活動に取り組んでいくこととしている。

2. 対策の内容

①サンゴの増殖・移植

特別採捕許可を得て採取した親サンゴを断片にし、海域に設置したサンゴ養殖棚で中間育成した後、海底の岩盤へ植え付ける。また中間育成後、ひび建て式養殖場で大きく成長させ、再びこれを親サンゴとして利用している。

②海域に移植したサンゴの食害防止

サンゴを移植すると、ブダイ類やその他の植食性魚類が稚サンゴを食べたり傷つけたりすることがある。これを防止するため小型の個体には食害防止カゴを取り付け、保護している。

③幼生供給の核となる人工基盤の造成

ひび建て養殖で養生中の約 2 万株のサンゴが産卵することで毎年卵を海域へ供給している。



図1 中間育成中のサンゴ



図2 ひび建て養殖で成長したサンゴ

写真：恩納村コープサンゴの森連絡会HPより

【事例 4.12】食害生物（オニヒトデ）の増加に対応したサンゴ域での対策

1. 背景・目的

サンゴの食害生物であるオニヒトデは、しばしば大発生が起こっているが、大発生の要因は明確にわかっていない。対策としてのオニヒトデの駆除は、沖縄県の各地で地元漁業者やダイビング事業者などが中心となって従前より取り組まれており、漁場整備においても実施実績がある。しかし、オニヒトデの異常発生からサンゴ礁を守ることができた事例が多くないことから、沖縄県ではオニヒトデ対策ガイドラインを策定し、過去の対策の反省を踏まえ、戦略的・効果的な対策の考え方を示している。

また、オニヒトデが大量発生してから対策をとるのでは遅いため、幼生の発生予測技術の開発が沖縄県のオニヒトデ総合対策事業によって進められているところである。

2. 対策の内容

①オニヒトデ駆除

オニヒトデの幼生の分散を防止するため、産卵前（沖縄県では5月前～6月）までに除去する。実施に当たっては広範囲でなくオニヒトデが進入しにくい保護エリアを決めて徹底的に除去することが重要である。

②オニヒトデの大量発生の予測

沖縄県下のモデル海域で稚ヒトデのモニタリングによる大量発生の予測実証試験が行われている。予測が可能となれば、大量発生前から対策に乗り出すことが可能となる。

また、並行して大量発生のメカニズムや効果的・効率的な除去方法についても、オーストラリア海洋研究所との研究協力のもと、研究や実証が進められている。



図1 オニヒトデ除去作業



図2 除去したオニヒトデ

出典：水産庁；有性生殖によるサンゴ増殖の手引き—生育環境が厳しい沖ノ鳥島におけるサンゴ増殖—（2009）

水産庁；サンゴ礁保全活動の手引き（2015）

沖縄県；オニヒトデ対策ガイドライン（2007）

(4) 沿岸・沖合域

① 浮魚礁

- ・ 継続的なモニタリングを行い、機能発揮状況を把握する。
- ・ 水温上昇によって漁場や漁期の変化が想定される。浮魚礁の耐用年数は 10 年と短い
ため、効用の低下した施設については、新たな場所への移動等を検討する等、施設の
更新時に合わせた運用を行う。

【解説】

水温上昇によって、カツオ、マグロ等の浮魚類の分布域の北上や、漁期の変化が想定される。また、浮魚礁の耐用年数は 10 年のため、新たな漁場への新設（参考 4.3）や、蛸集状況の低下した場所では、再設置を行わない等、環境の変化に合わせて、順応的に対応することが考えられる。

【参考 4.3】クロマグロの漁場形成要因の把握と漁獲技術の開発

1. 背景・目的

近年、日本海の海水温の上昇により、山形県沖でのクロマグロ漁獲量が増加している。そこで、将来にわたり安定してクロマグロを漁獲するため、モニタリングにより回遊・蟄集・滞留などの漁場形成要因を把握するとともに、より大型のクロマグロを漁獲する技術を開発する。

2. 対策の考え方

山形県沖のクロマグロの回遊経路や漁場の実態を把握するために、漁獲調査や漁業者情報の収集とともに、水温ブイの設置により、海水温のリアルタイムな観測等を行い、クロマグロの漁場が形成される要因（海水温、海底地形、餌生物の分布、時期等）を解析する。また、大型のクロマグロを漁獲するため、はえ縄漁法における針の大きさや浮きの間隔を検討し、山形県の実情にあった漁獲技術を開発する。さらには、浮き魚礁の導入によりクロマグロを滞留延長させる技術の開発を行う。

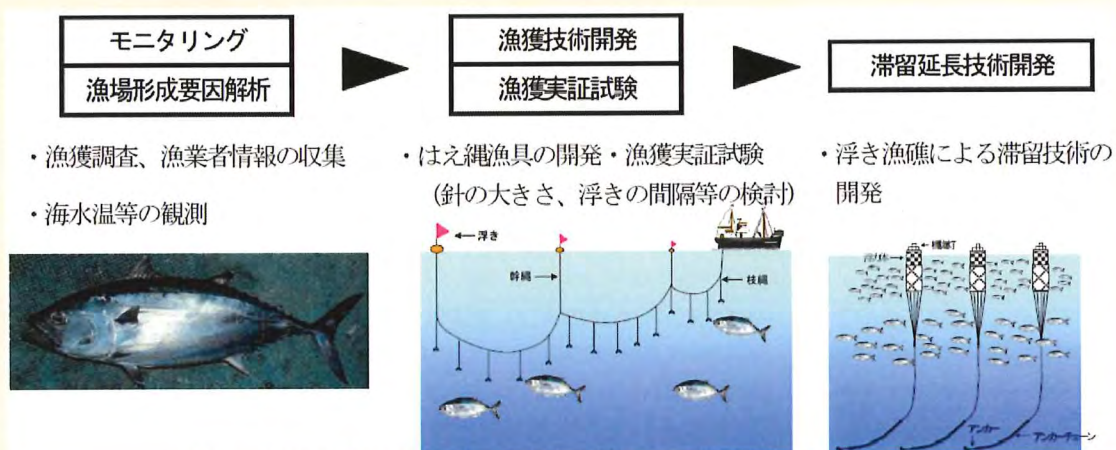


図1 クロマグロの漁場形成要因の把握と漁獲技術の開発の概要

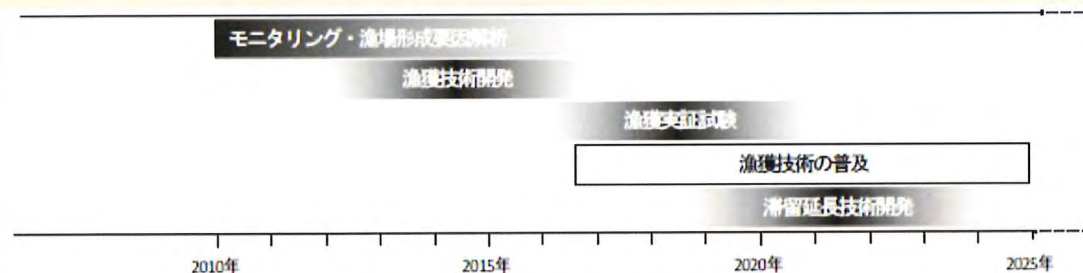


図2 漁獲技術の開発のスケジュール

出典：山形県農林水産部；地球温暖化に対応した農林水産研究開発ビジョン 改訂版(2015)

②沈設魚礁

- ・継続的なモニタリングを行い、機能発揮状況を把握する。
- ・魚礁を新設する際には、海水温上昇によって利用する魚種の変化を想定し、生物多様性に配慮した材質や構造形式の選定等、整備計画に反映する。
- ・回遊経路や回遊時期の変化への対応としては、漁海況に適応した漁場（水深、機能）の分散配置と連携強化を行う。
- ・魚礁の耐用年数は30年と長期に及ぶため、耐用年数に達するまでの間に海水温上昇等の気候変動により、対象魚種が変化することが想定される。既存施設が新たに加入した種にとって最適ではないことも考えられることから、現地調査を行い、適切な水深、配置、構造等となるよう、新たな魚礁の設置を検討する。
- ・貧酸素水塊の発生や高水温による夏季の成層化の対策としては、混合や上昇流を発生させる施設を設置する。
- ・台風や低気圧災害の激甚化に伴い、対象生物の生息環境の悪化や施設の安定性に影響することが考えられる。このような影響を回避するための対策も検討する。

【解説】

魚礁を新設する場合や耐用年数が経過した魚礁を更新する際には、水温上昇によって、将来的に増加傾向が見込まれる種、減少が見込まれる種を予測しつつ、漁場整備計画を立案する（事例4.13）。また、生物多様性（対象種の適水温の変化）に配慮した材質、構造形式を選定する。回遊経路や回遊時期の変化への対応としては、漁海況変化に適応した漁場（水深、機能）の分散配置と連携強化を行う。

魚礁が持つ機能として産卵場、餌場、隠れ場、休息場の4項目に整理することができるが、要求される機能は種によって異なる。水温上昇によって魚種組成が変化した場合、新たに加入した魚種が再び魚礁を利用することが想定されるため、施設の利用が行われなくなる場合は少ないものと考えられる。一方で、モニタリングにより、機能発揮状況について評価を行い、施設の構造や配置について最適な状態でないと判断される場合には、対象種の分布状況や生態にあわせて、水深、配置、構造の変更を行い、既設の魚礁に付加することにより機能強化する方向で検討を行うことも考えられる（参考4.4）。

また、貧酸素水塊の発生や高水温による夏季の成層化の対策としては、混合や上昇流を発生させる施設の設置を検討する。沿岸域や沖合域における夏季の成層化対策として、構造物設置による栄養塩供給等を目的とした攪拌ブロックやマウンド礁の事業も行われている（事例4.14、参考4.5）。

さらに、台風や低気圧災害の激甚化に伴い、高波浪の頻度や大きさが強大となり、対象生物の生息環境の悪化や施設の安定性に影響することも考えられる。このような影響を回避するための対策も必要となる。

【事例 4.13】海水温上昇によるキジハタ分布域の変化に対応した魚礁の整備

1. 背景・目的

暖海性魚類であるキジハタは、昨今の海水温上昇等により山口県や島根県等の日本海西部地区において来遊量が増加している。

山口県では、市場価値の高いキジハタの資源増大を図ろうと種苗生産や放流調査、生態に関する調査などが取り組まれており、キジハタ種苗の安定供給が可能となり、山口県の各地での放流事業が本格化している。

こうした背景をふまえ、キジハタ分布域の変化に対応すると同時に、放流効果を高めるため、成長段階に応じた魚礁の設置が行われている。

2. 対策の内容

山口県豊浦大津地区海域では、キジハタ漁場の整備のため、下関市と長門市の海域に幼稚魚保護礁 9 箇所、若成魚育成礁 9 箇所、成魚用の生産礁 4 箇所が設置されることとして、平成 24 年度から始まっている。

幼稚魚保護礁と若成魚保護礁は、間伐材、カキ・ホタテなどの貝殻、コンクリートのプレートなどを使用し、体長 30 cm 未満の小さなキジハタが外敵から身を守ることやエサを確保するための施設となっており、生産礁は、30 cm 以上に成長したキジハタが生息するための施設となっている。なお、魚礁の設置に加えて、さらなる保護策として、キジハタが 3 歳魚(全長 28cm 前後)で産卵できるようになることから、全長 30cm 未満のキジハタの採捕が禁止されている。

暖海性魚類であるキジハタの来遊

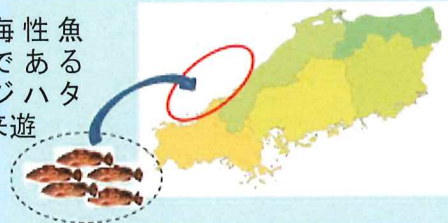


図 1 キジハタ分布域の変化



図 2 魚礁の設置場所



図 3 幼稚魚保護礁

出典：やまぐち経済月報 2014. 2

長門市 キジハタ魚礁を設置, 更新日, 2014 年 1 月 24 日

<https://www.city.nagato.yamaguchi.jp/wadaiback/wadai/n2640.html>

【参考 4.4】高水温化に対応したキジハタの成長段階別の施設整備の考え方

1. 背景・目的

暖水性魚種のキジハタは水温12℃以下で殆ど摂餌を停止するとされている。調査を行った山口県油谷湾では、冬季水温に関しては水深5mの浅場でも、12℃を下回る日数が2～3月に6日程度と少なく、また、摂餌が減退する水温15℃以下の日数は、12月下旬～4月上旬までの期間で、約100日を数えるが、将来的には減ってくると予想される。このことから温暖化による冬季水温の上昇は本種の栄養補給を活発にし、成長、生残面での向上が期待される。そこで、水温上昇に伴う油谷湾の漁場整備における課題を整理することを目的とした。

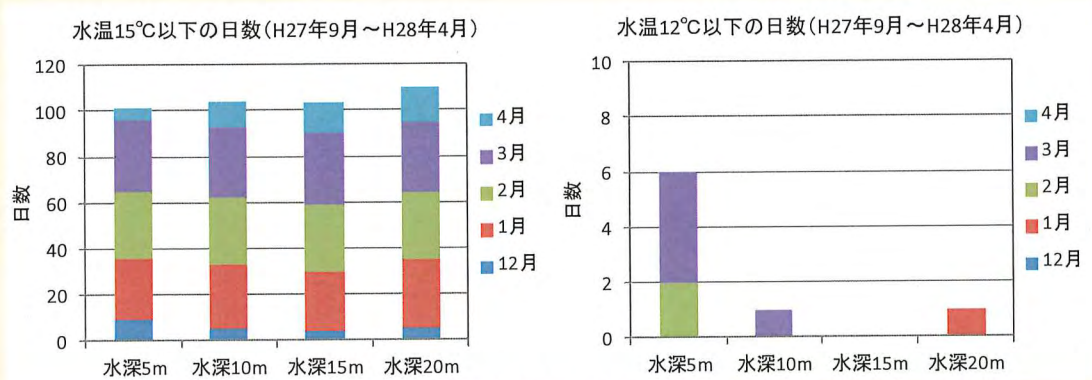


図1 キジハタの摂餌機能に影響を及ぼす低水温の日数

2. 対策の考え方

キジハタ幼稚魚及び若齢魚は、油谷湾で調査した結果、水深15m以浅の場所に主に生息し、2月の低水温期もほとんど動くことなく石の隙間に隠れ、越冬していると推測された。

今後、温暖化によって冬季水温が上昇すれば、越冬期間が短くなることから、より多くの餌が必要となる。これまでの漁場整備においては、冬季のキジハタ幼稚魚や若齢魚に対して、外敵から身を守る安全な場所を提供することが重要な課題であったが、こうした隠れ場に餌料培養機能を付加させ、飢餓の防止と成長の促進を図ることが、将来的に重要になると推察される。

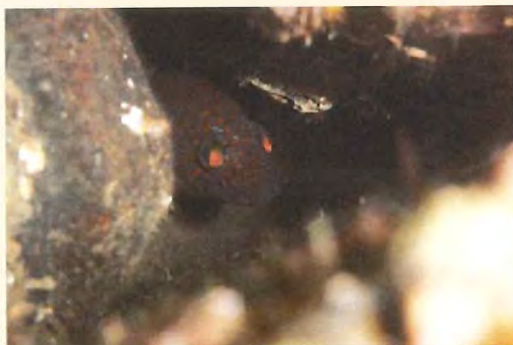


図2 転石帯に潜入するキジハタ幼魚(2月)



図3 餌料培養礁に潜入するキジハタ幼魚(2月)

キジハタ生活史への温暖化の影響の一つとして、ふ化に関する好適水温帯の場所の変化も挙げられる。

山口県油谷湾において採捕した産卵親魚と水温との関係性を整理した結果、24～25℃台の水温帯で親魚がやや多く採捕された。萱野・尾田(1991)が行ったふ化試験によれば、キジハタ受精卵のふ化率は25℃で最も高く、加えて奇形率も低いと報告され、調査結果とこの好適水温帯の間に因果関係が示唆された。

現在、油谷湾の夏季の高水温期にふ化の適温25℃前後が維持される水深帯は20～30mである。しかし、今後、温暖化により水温が上昇した場合は、好適な産卵場がより深い水深帯に移動する可能性がある。そのため、この好適な水深帯に、産卵親魚等が生活する岩礁帯や転石帯が形成されていない場合は、新たに産卵場や産卵親魚保護施設を造成する必要があると考える。

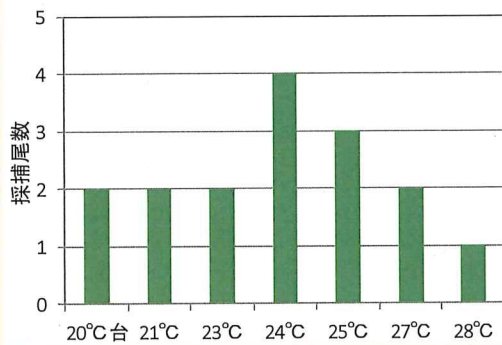


図4 産卵親魚と水温の関係

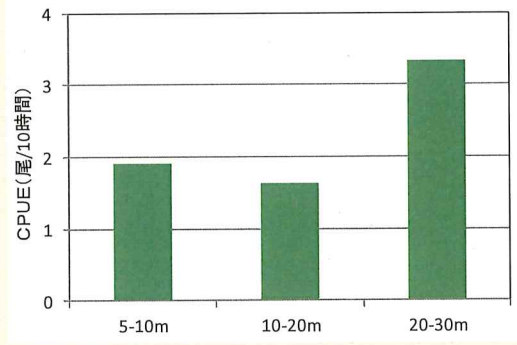


図5 産卵親魚と水深の関係

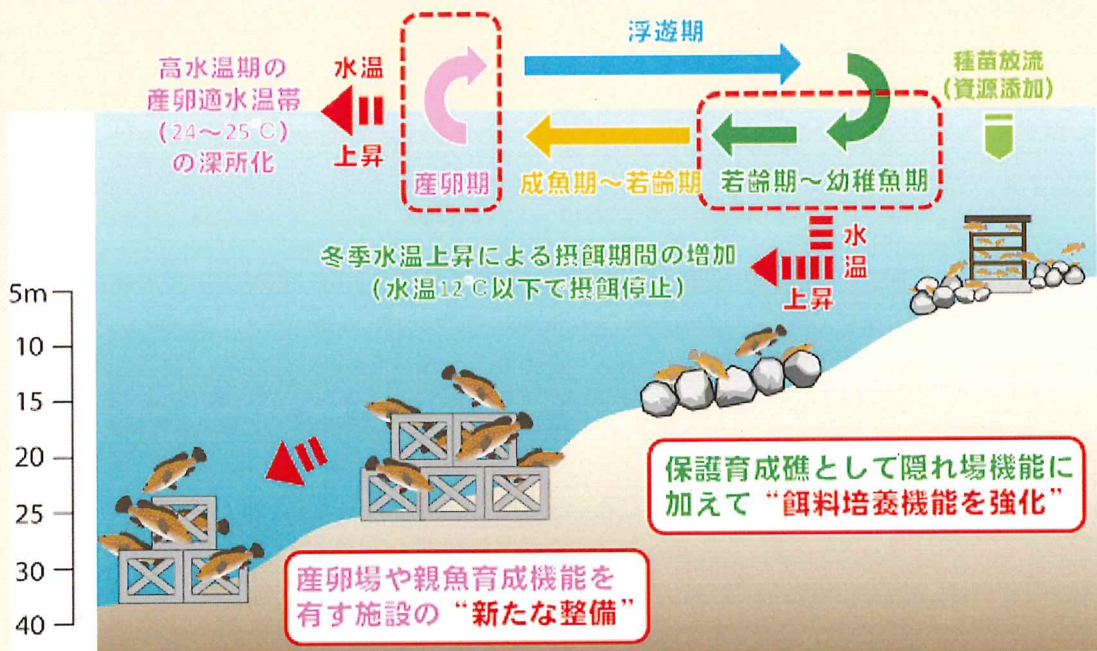


図5 水温上昇に伴う油谷湾の漁場整備における課題

【事例 4.14】夏季の成層化に対応した混合流及び上昇流発生のための攪拌ブロック礁の整備

1. 背景・目的

大阪湾では埋立や海底窪地により海水の流れが停滞する海域がみられ、また、夏季の成層化により、窒素・リン等の栄養塩が循環せず、水質の悪化がみられる。そこで、栄養塩が滞留している北・中部海域に攪拌ブロック等を設置し、底層から表層にかけて混合流や上昇流を発生させ、湾内の水質改善を行うとともに栄養塩を緩やかに南下させることを目的とし、大阪湾中・北部海域における混合流及び上昇流発生ブロック（攪拌ブロック礁）の設置が2014年度から実施されている。

2. 対策の内容

2015年9月及び10月に2014年に設置した攪拌ブロック礁の設置区域では、海水の濁りが多く観測され、海水がブロック礁で巻上げられていると考えられている。

攪拌ブロック礁は、流れを前面で受け、上方へ押し上げた速い流れにより発生した大きな渦と流れにより海水の上下混合を促すことで、底層に酸素を供給し、栄養塩を拡散させる機能を持つ。

効果としては、北・中部海域では、カレイ類等の稚魚等の生存率の向上が、南部海域では、ノリ、ワカメの品質向上、増殖場等の海藻の繁殖増、水産資源の増大が期待されている。



図1 攪拌ブロック礁

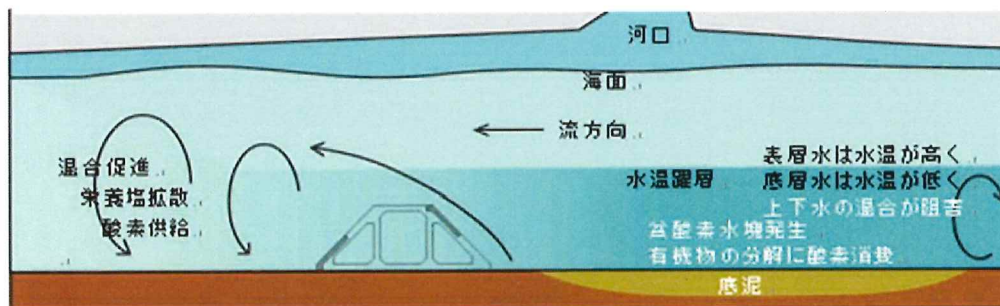
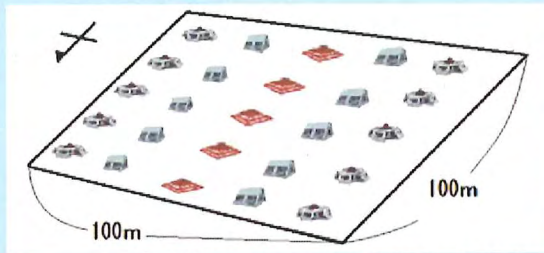


図2 潮流攪拌のイメージ



※攪拌ブロック礁を潮流に沿うように連続して配置

図3 攪拌ブロック礁の設置状況

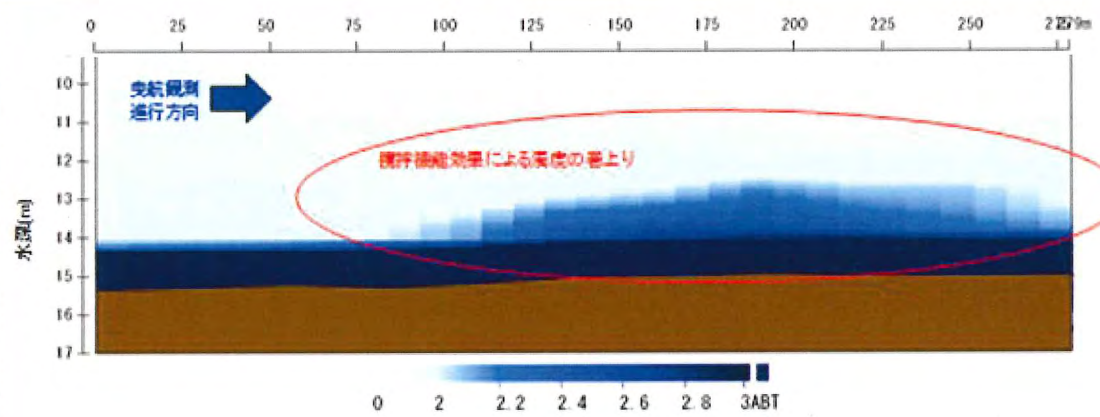


図4 濁りの巻上げの状況

出典：大阪府：攪拌ブロック礁に関するお知らせ 更新日、平成28年3月31日
<http://www.pref.osaka.lg.jp/suisan/kakuhan/index.html>

【参考 4.5】マウンド礁整備による湧昇効果の把握

1. 背景・目的

マウンド礁は、石材やブロックを海洋に投入して、山脈状に造成された施設である。それを海域流動場に整備することで、流動を乱して鉛直混合等を促進し、底層栄養塩の有光層への供給と、それによる一次生産量の上昇を通じて水産資源の増大を図るものである。また、夏季の成層化により、下層から上層への栄養塩が供給されにくくなる場合にも、マウンド礁によって鉛直混合の促進が期待される。

こうした背景をふまえ、マウンド礁の湧昇効果を実海域で把握することを目的に長崎県五島西方沖の水深155mの海底に整備されている高さ約30mの大深度マウンド礁を対象とした現地調査が行われている。

2. 方法及び結果

湧昇現象を解明するために、現地海域にて流動・水質の定点連続観測および流速断面分布観測を夏季に、干潮・上潮・満潮・下潮の潮汐1サイクル行った結果、干潮時は南方向、上潮時は転流し北方向、満潮時は北方向、下潮時は転流し、南方向への流れがみられ、満潮時にはマウンド礁の後流域にて鉛直上方向の流れが広範囲で発現していた。

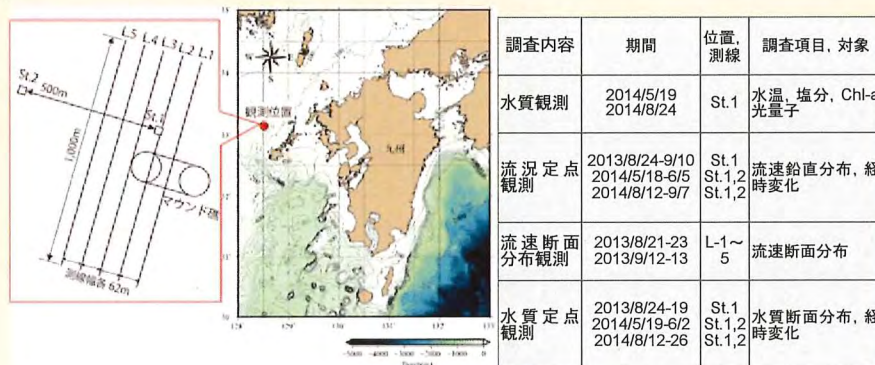


図1 観測位置

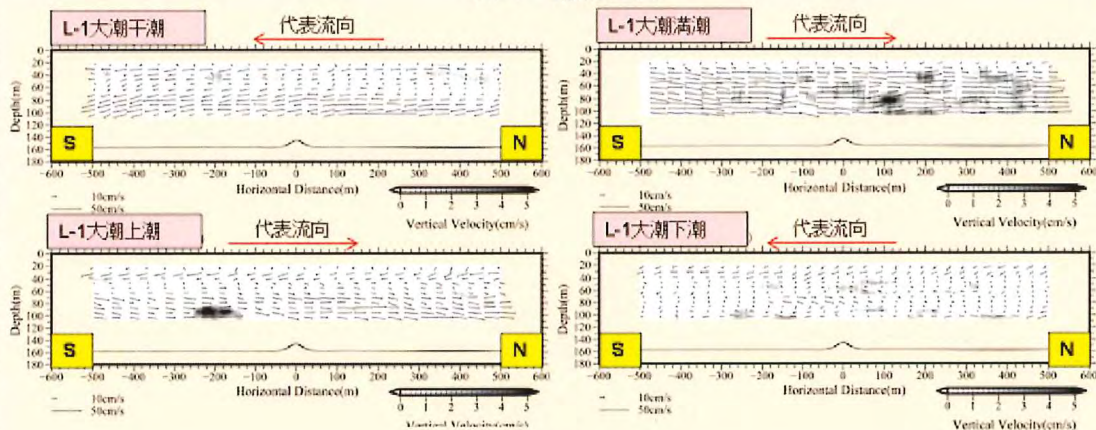


図2 流況の観測結果

3. 今後の課題等

春季は鉛直混合しやすい状況であることに加え、本来存在していた内部波がマウンド礁の効果により増大し、結果として鉛直混合促進につながる事が考えられる。

夏季は強い潮流がマウンド礁に衝突して発生した高周波の乱れと鉛直方向への乱れエネルギーの伝播に起因する乱流拡散を主な要因として鉛直混合につながり、栄養塩が上方へ供給されることが考えられる。ただし、その仕組みについては不明な点が多く、今後の課題として残される。

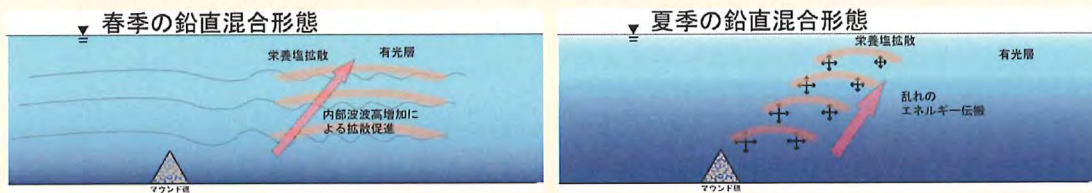


図3 マウンド礁における春季と夏季の鉛直混合形態

出典：吉野真史、伊藤靖、菅崇、八木宏、山本潤、中山哲巖; マウンド礁周辺における流動及び水塊構造に関する現地観測、土木学会論文集 B2(海岸工学) (2015)

(5) ICT の活用

- 気候変動に伴う海洋環境や水産資源の変化をリアルタイムで把握しながら、効果的な漁業生産に反映させるために有効なツールとして、ICT の積極的な活用を推進する。

【解説】

これまで、漁業者の経験や勘を頼りに行われていた漁業を、ICT を活用し、漁業経営の安定化を図る。そのため、漁業者参加型の海域観測網を整備するとともに、既存のリアルタイム観測データを合わせることで、漁場形成の鍵となる潮流や水温・塩分に関する情報を提供し、漁業者自身が漁場の選定や出漁の可否を適切に判断し、効率的な操業を行えるようにするためのツールを検討する（事例 4.15）。

また、人工衛星を利用した海面水温のリアルタイムデータの公開や、ドローン等を活用した、藻場分布図の作成など、新技術を活用したモニタリング手法の開発も進められている（事例 4.16～17、参考 4.6）。

※ICT:Information and Communication Technology(情報通信技術)

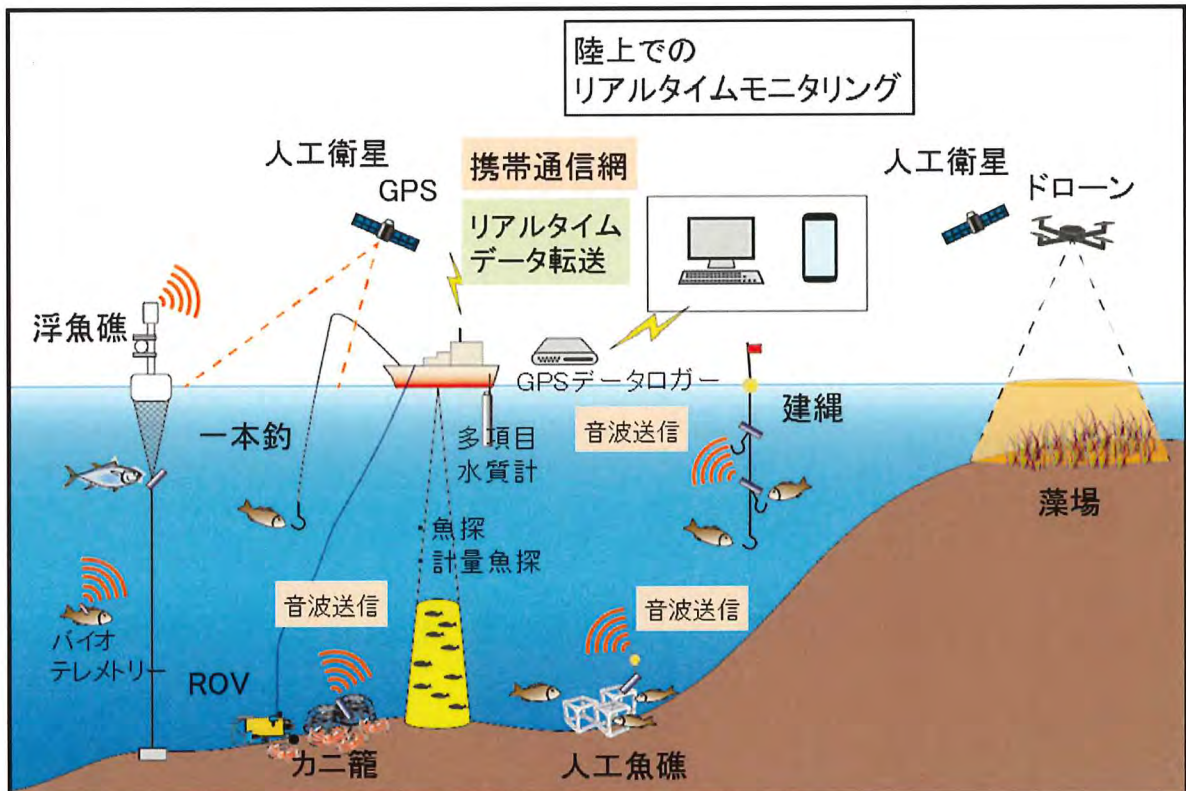


図 4.3 ICT を活用した漁場環境情報のモニタリングイメージ

【事例 4.15】 ICT を活用した水産振興の促進

1. 背景・目的

水産業全体として、魚獲量や漁獲金額の減少、餌代の高騰、漁価の低迷、漁業者の高齢化と後継者不足などさまざまな課題がある中で、愛媛県愛南町では、平成 22 年度に総務省の支援事業により「ICT を活用した愛南町次世代型水産業振興ネットワークシステム」が構築され、養殖業者でも簡単に取り入れられるシステムとし、①水産情報可視化システム、②魚健康カルテシステム、③水産業普及ネットワークシステムの 3 つのシステムから構成されている。



図1 システムの概要

2. 概要

①水産情報可視化システムは、町や漁協、愛媛大学が個々に行っていた水温、溶存酸素、塩分濃度、赤潮発生情報などの測定データを1つのポータルサイトにまとめて提供し、漁業者はいつでもパソコンや携帯電話から情報閲覧が出来るようになっている。②魚健康カルテシステムは、養殖業では魚に病気が発生することがあるが、今どのような病気が発生しているかを調べ、どういう対応をすればよいかなどを漁業者に指導する。③水産業普及ネットワークシステムは、誰でも見ることが出来るホームページを作成し、愛媛大学と連携をした人材育成とぎょしょく普及のための情報発信を行っている。

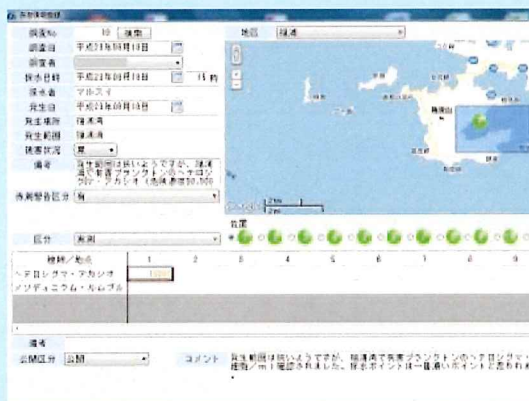


図2 赤潮入力画面



図3 携帯電話への情報提供

出典：総務省；ホームページ <http://www.soumu.go.jp/soutsu/shikoku/ict-jirei/suisan01-ainan.html> より

【事例 4.16】人工衛星を利用した海面水温観測

1. 背景・目的

人工衛星は、船舶などに比べて機動性に優れており、広域を繰り返し観測することが可能である。海面水温分布図は、海流や渦などの海洋構造や、漁場の形成についての判断材料となる。近年、各地の水産試験場等が海面水温のリアルタイムデータを公開しており、インターネットや携帯電話を通じて閲覧することが可能となっている。漁業者自身が漁場の選定や出漁の可否を判断するためのツールとして期待されている。

2. 概要

人工衛星による海面水温観測には、衛星に搭載されたセンサがとらえた海面からの「光」を利用する。「光」といっても、人間が見ることが出来る可視光ではなく、赤外線やマイクロ波帯の「光」を観測し、それを、物理法則等を利用して「海面水温」に換算する技術が、これまで開発されている。

1980年代より人工衛星による海面水温観測が開始されている。その代表的な衛星とセンサは、アメリカ海洋大気庁の極軌道衛星 NOAA シリーズとそれに搭載された AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) である。AVHRR は、赤外線を利用して、1~7kmの空間解像度で海面水温を観測した。2000年代からは、赤外線を利用した観測に加えて、マイクロ波を利用した観測が実用化されました。その代表的なセンサは日本が開発した AMSR (Advanced Microwave Scanning Radiometer) シリーズである。2011年以降は、日本の衛星「しずく (Global Change Observation Mission-Water, GCOM-W)」に搭載された AMSR2 に引き継がれている。

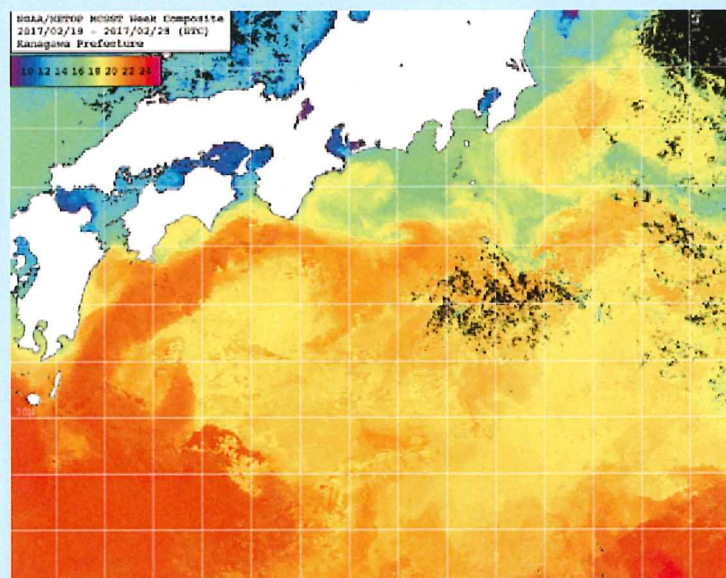


図1 NOAAによる人工衛星画像の出力例

出典：神奈川県水産技術センターホームページ <http://www.agri-kanagawa.jp/suisoken/noaa/noaa.asp>
東北大学；ホームページ <http://www.gp.tohoku.ac.jp/research/topics/20160201120000.html>

【事例 4.17】ドローンを活用した藻場のモニタリング手法

1. 背景・目的

藻場の分布を測定する方法としては、魚探・サイドスキャンソナー等の音響機器や水中カメラ、航空写真、衛星画像といった手法が用いられてきた。近年、ドローン（無人航空機）に搭載したカメラの空撮画像から、藻場の分布を用いた取組が広がっている。ドローンによるシステムは、従来の調査に比べて、少人数、低コストで行うことが可能であり、新技術の活用が期待されている。

2. 概要

ドローンによる空撮画像の編集フローは、以下の通りである。

さらに、ドローンの画像に加えて、魚探から得られる海底地形、藻場の繁茂状況や水中カメラから得られる藻場の種類や被度の情報をGISソフトに集約することにより、藻場分布図の作成が可能となる。

- ①ドローンに搭載した画像の取り込み
- ②画像の合成
- ③画像の色彩補正
- ④地理情報システム（GIS）による歪み補正と座標付け



図1 ドローン



図2 ドローンによる空撮画像（高度100m）

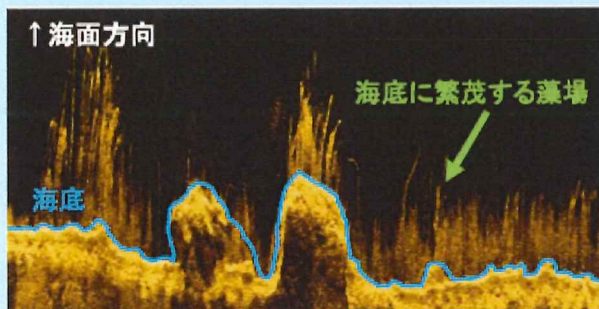


図3 魚群探知機の画像（垂直方法の断面図）

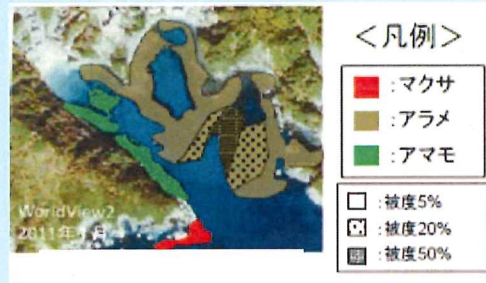


図4 藻場分布図のイメージ

出典：島根県ホームページ

http://www.pref.shimane.lg.jp/industry/suisan/shinkou/umi_sakana/tobics/index.data/tobics077.pdf

鳥取県ホームページ http://www.pref.tottori.lg.jp/secure/1061376/annual_report_56_1_1.pdf

【参考 4.6】浮魚礁システムの高度化

1. 背景・目的

表層型浮魚礁には、潮流計がついており、その情報は漁場の形成や操業の可否の判断に利用されているが、現状では次の問題を抱えており、漁業者からさらなる機能の向上が求められている。

- ・潮流計での観測は浮魚礁の直下の地点の流速と流向に限られる。
- ・波高は観測できない。
- ・海象状況により欠測が発生する。
- ・観測機器の不具合に対するメンテナンスに時間を要する。
- ・中層型浮魚礁には、観測機能がない。

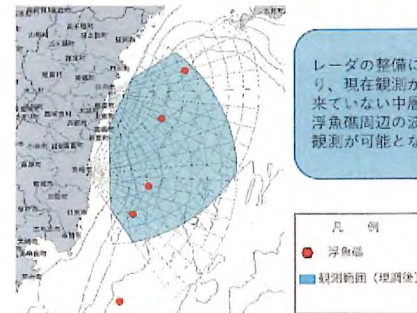
表層型浮魚礁

浮魚礁に設置した水温・流向流速データ
(1時間毎)の観測(点の情報)

中層型浮魚礁

観測データ無し

海洋短波レーダの流況、波浪情報(面的な情報)が加わることでより広く情報を提供



レーダの整備により、現在観測ができていない中層型浮魚礁周辺の波浪観測が可能となる。

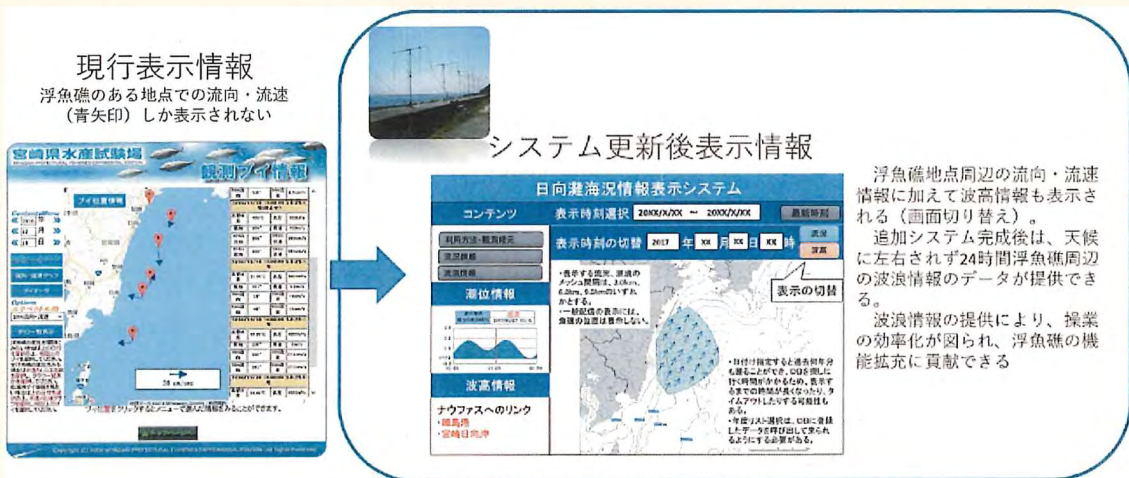
凡例
● 浮魚礁
■ 観測範囲(現調後)

図1 現状に対する補完と機能向上

2. 概要

現状の問題点を改善するには、浮魚礁周辺および航行海域の潮流・波浪データの観測する必要がある。そこで、海洋短波レーダを整備することにより、次のように現状の機能を向上させることができる。

- ・浮魚礁周辺の潮流・波高・波向が点ではなく、面で観測でき、効率的な浮魚礁の利用ができる。
- ・陸上からの観測のため、不具合に対して迅速な復旧が可能となる。
- ・中層型浮魚礁周辺の観測も可能となる。

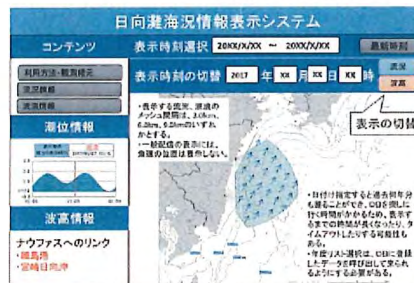


現行表示情報

浮魚礁のある地点での流向・流速
(青矢印)しか表示されない



システム更新後表示情報



浮魚礁地点周辺の流向・流速情報に加えて波高情報も表示される(画面切り替え)。

追加システム完成後は、天候に左右されず24時間浮魚礁周辺の波浪情報のデータが提供できる。

波浪情報の提供により、操業の効率化が図られ、浮魚礁の機能拡充に貢献できる

図2 公開情報の向上

また、魚礁者への情報提供として、燃費の節約や操業の効率化のための情報が考えられている。

- ・リアルタイムでの広域の流況・波浪情報と目的地までの最適ルートのナビゲーション情報(燃費の節約)
- ・網入れ、出港判断等に係る海象情報(操業の効率化)

✓ リアルタイムに広域の流況、波浪情報を得られるから目的地までの最適ルートをナビゲーションする情報が提供することが考えられます。

- ①流れ、波浪、風等の影響が無ければ、最短距離の航路を船が航行すればよいが、現実的には、そのようなことは無い。
- ②船は、海流の影響をベクトル的に作用する。
⇒逆流中は、対地速度は減少する。
- ③船は、波浪における船の速力が低下し、動揺が増加する。
⇒波、風により船速が低下するほどエンジン出力は増加し、燃費悪化する。

条件

航海時間 燃費消費量

最小化

主な最適航路のアルゴリズム

- ・変分法
- ・動的計画法
- ・等時間曲線法
- ・多目的遺伝的アルゴリズム

最適航路の選定

漁船最適航行アルゴリズム

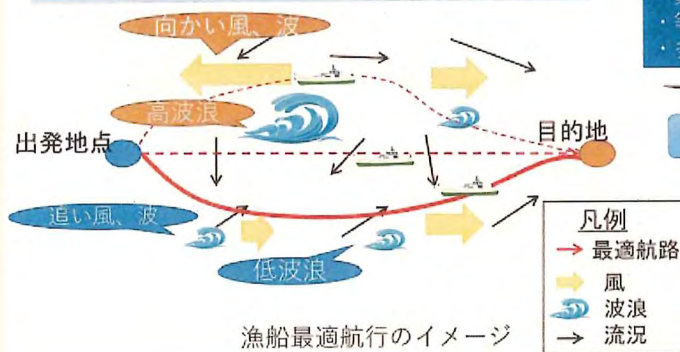


図3 漁港の最適航路の情報提供

重要な漁場（カツオ、マグロ等）

浮魚礁（うみさち）が沿岸から距離50km程度、水深（約700m）に5箇所設置されている。

✓ 浮魚礁周辺はカツオ、マグロの好漁場になっている。

漁業者の無駄な時間、燃料を消費せずに効率的な操業を支援している。

✓ さらに水試日報から毎日情報提供（水温、流向・流速、黒潮等）

水温
情報量豊富

流況
情報量少ない

操業時の縄や網の状況確認や操業効率化（網入れ）において漁業者が必要としている情報は水温以外にも流況情報が重要とされています。

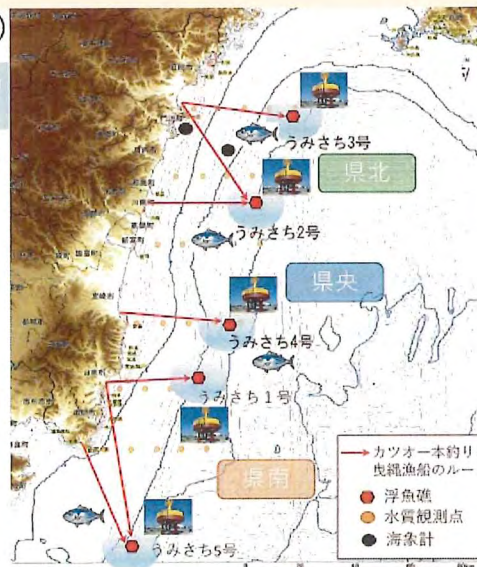


図4 網入れ、出港判断等に係る海象情報提供

出典：宮崎県

5. 参考資料

<分布域の北上の一例>

魚類の分布には適水温帯があることから、海水温の上昇に伴って、長期的には、分布域が変化していくことが予想される。日本海沿岸の道府県別の概ね 10 年毎におけるサワラ類の漁獲量とブリの成長段階別の漁獲量の推移を整理した。

漁獲水温の幅が 2℃と狭いサワラでは、1980 年代までは、長崎県～兵庫県で漁獲されていたが、90 年代以降、漁獲範囲が北上し 2010 年代では、青森県まで漁獲が記録されている。

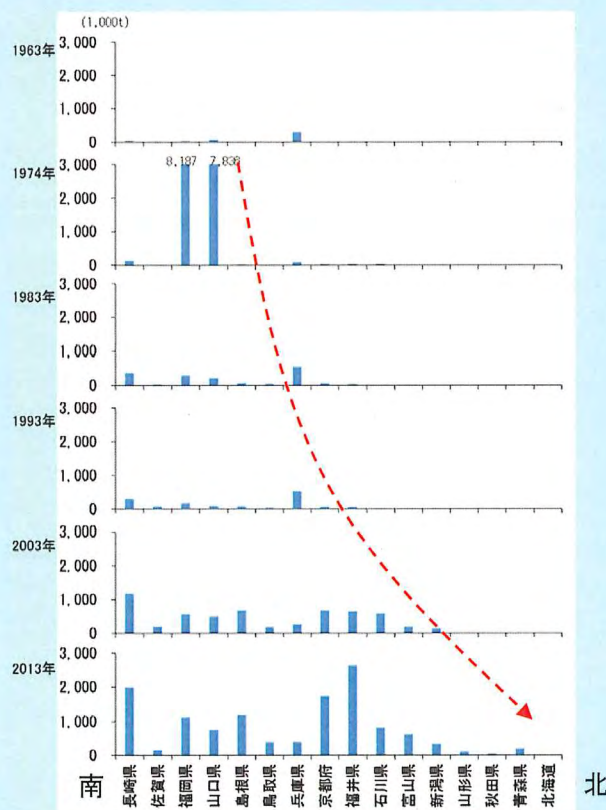
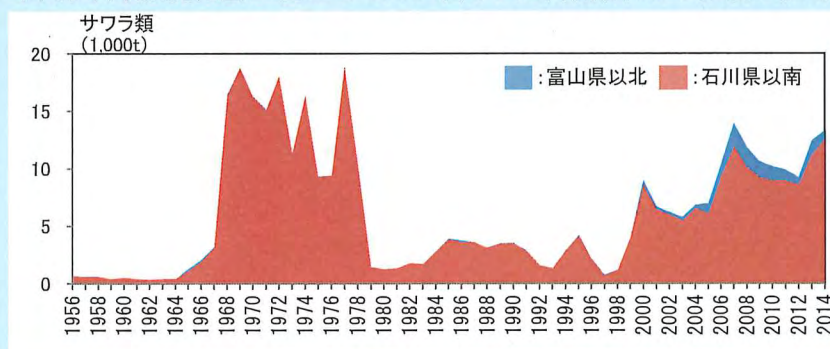
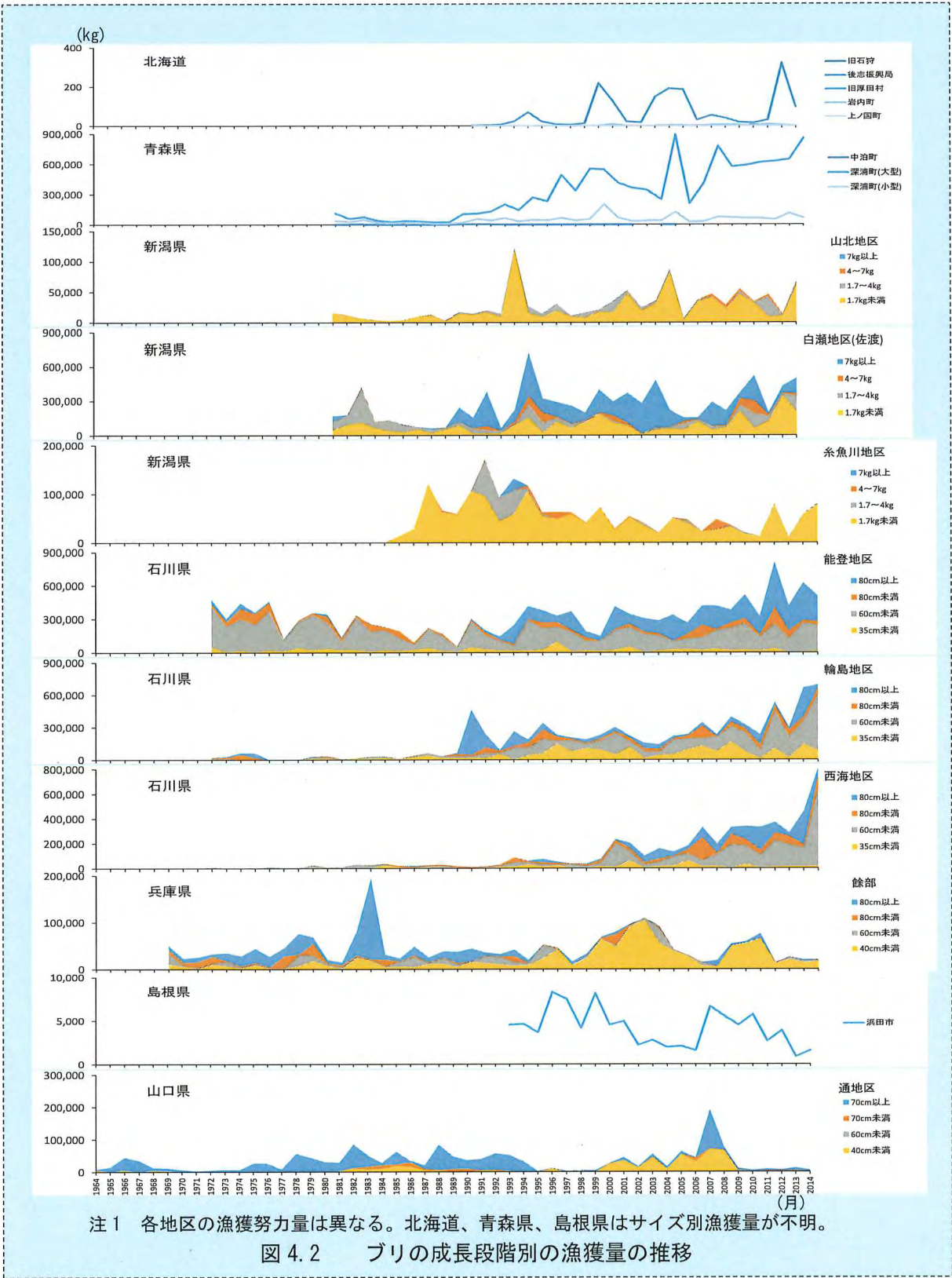


図 4.1 サワラ類の概ね 10 年毎における道府県別の漁獲量の推移



<漁期の変化の一例>

定置網の月別漁獲記録から漁獲量の多い時期に変化のみられた魚種と地区を整理した。さば、さわら、ひらめ、ぶり、まぐろは漁獲量の多い時期が主に長くなる傾向に、かわはぎ、するめいか、やりいかは短くなる傾向であり、それぞれ漁獲時期も変化する傾向がみられた。また、あじ、すずきでは漁獲量の多い時期が変化する傾向がみられた。

さば

地区	年代	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
石川県輪島	1970年代						■						
	1980年代						■						
	1990年代						■	■	■	■	■	■	■
	2000年代						■	■	■	■	■	■	■
	2010年代						■	■	■	■	■	■	■
石川県西海	1970年代						■						
	1980年代						■						
	1990年代						■	■	■	■	■	■	■
	2000年代						■	■	■	■	■	■	■
	2010年代						■	■	■	■	■	■	■
山口県長門市	1970年代						■						
	1980年代						■						
	1990年代	■	■										
	2000年代	■	■										
	2010年代	■	■										

さわら

地区	年代	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
兵庫県餘部	1970年代								■	■			
	1980年代								■	■			
	1990年代								■	■	■	■	■
	2000年代								■	■	■	■	■
	2010年代								■	■	■	■	■
山口県長門市	1970年代											■	■
	1980年代											■	■
	1990年代											■	■
	2000年代											■	■
	2010年代											■	■

ひらめ

地区	年代	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
青森県深浦町	1980年代						■						
	1990年代						■						
	2000年代						■	■	■	■	■	■	■
	2010年代						■	■	■	■	■	■	■
	新潟県糸魚川	1980年代											■
1990年代												■	■
2000年代												■	■
2010年代												■	■

ぶり

地区	年代	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
石川県能登	1970年代											■	■
	1980年代											■	■
	1990年代											■	■
	2000年代											■	■
	2010年代											■	■
石川県輪島	1970年代												
	1980年代												
	1990年代												
	2000年代												
	2010年代												
山口県長門市	1970年代												
	1980年代												
	1990年代												
	2000年代												
	2010年代												

□ : 漁獲が概ねみられた月 ■ : 漁獲量が多い時期

図 4.3(1) 日本海側の定置網における漁獲量の多い時期が長くなる傾向にあった魚種

まぐろ

地区	年代	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
青森県深浦町	1980年代	○					■						
	1990年代	○					■						
	2000年代	○			○	■	■	■	■	■	■	○	
	2010年代	○			○	■	■	■	■	■	■	○	
新潟県白瀬	1980年代												■
	1990年代	■	■	○			■			○			■
	2000年代	■	○				■			○			■
	2010年代	■	○				■			○			■
新潟県山北	1980年代												
	1990年代				○		■						
	2000年代				○		■						
	2010年代				○		■						
石川県能登	1970年代						■						
	1980年代						■						
	1990年代				○		■						■
	2000年代	■	■		○		■						■
石川県西海	1970年代						■						
	1980年代						■						
	1990年代						■						
	2000年代						■						
山口県長門市	1970年代	■	○				■						■
	1980年代	■	○				■						■
	1990年代	■	○				■						■
	2000年代	■	○				■						■
2010年代	■	○				■						■	

○: 漁獲が概ねみられた月 ■: 漁獲量が多い時期

図 4.3(2) 日本海側の定置網における漁獲量の多い時期が長くなる傾向にあった魚種
かわはぎ

地区	年代	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
兵庫県餘部	1970年代							■		■	■	■	
	1980年代							■		■	■	■	
	1990年代							■		■	■	■	
	2000年代							■		■	■	■	
	2010年代							■		■	■	■	

するめいか

地区	年代	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
新潟県糸魚川	1980年代						■		■	■	■	■	
	1990年代						■		■	■	■	■	
	2000年代						■		■	■	■	■	
	2010年代						■		■	■	■	■	
石川県能登	1970年代		■										
	1980年代		■										
	1990年代		■										
	2000年代		■										
2010年代		■											

やりいか

地区	年代	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
青森県深浦町	1980年代	■			■								■
	1990年代	■			■								■
	2000年代	■			■								■
	2010年代	■			■								■
石川県能登	1970年代	■	■										■
	1980年代	■	■										■
	1990年代	■	■										■
	2000年代	■	■										■
2010年代	■	■										■	
兵庫県餘部	1970年代	■	■	■									■
	1980年代	■	■	■									■
	1990年代	■	■	■									■
	2000年代	■	■	■									■
2010年代	■	■	■									■	

○: 漁獲が概ねみられた月 ■: 漁獲量が多い時期

図 4.3(3) 日本海側の定置網における漁獲量の多い時期が短くなる傾向にあった魚種

<③資源量の変化の一例>

浮魚類についてみるとア) 0-10℃の魚類では、さけ類が増加、ます類、にしんが減少傾向にある。イ) 10-20℃の魚類では、まいわし、まあじ、さば類といった魚種による資源の変動がみられる。ウ) 20-30℃の魚類では、かつおが増加傾向にある。

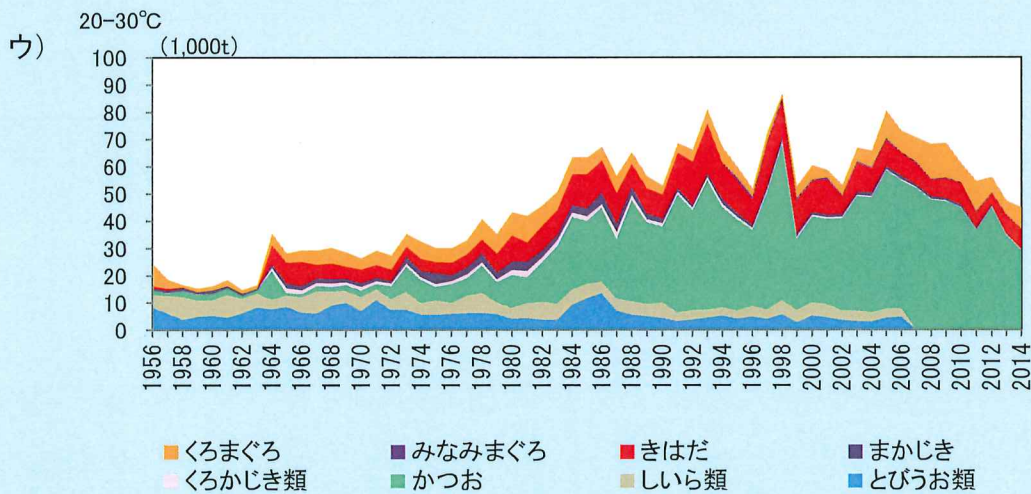
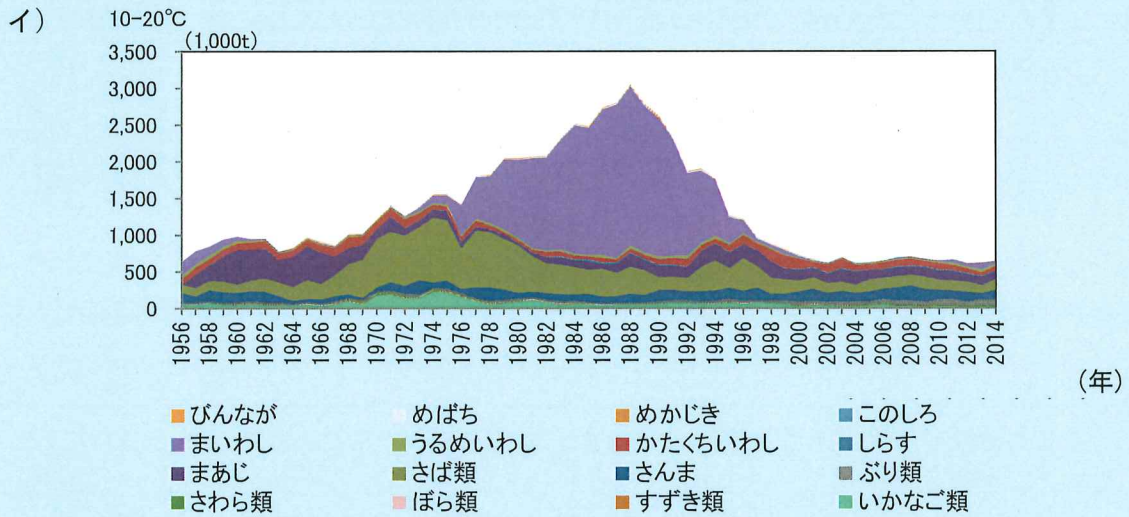
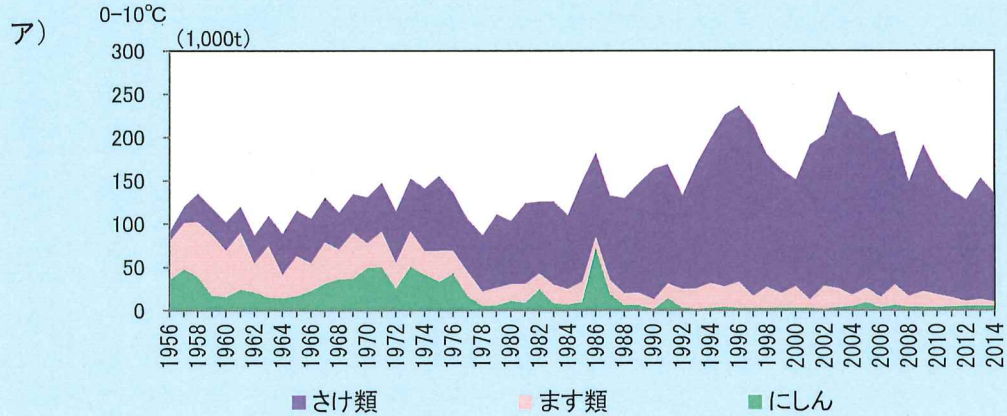
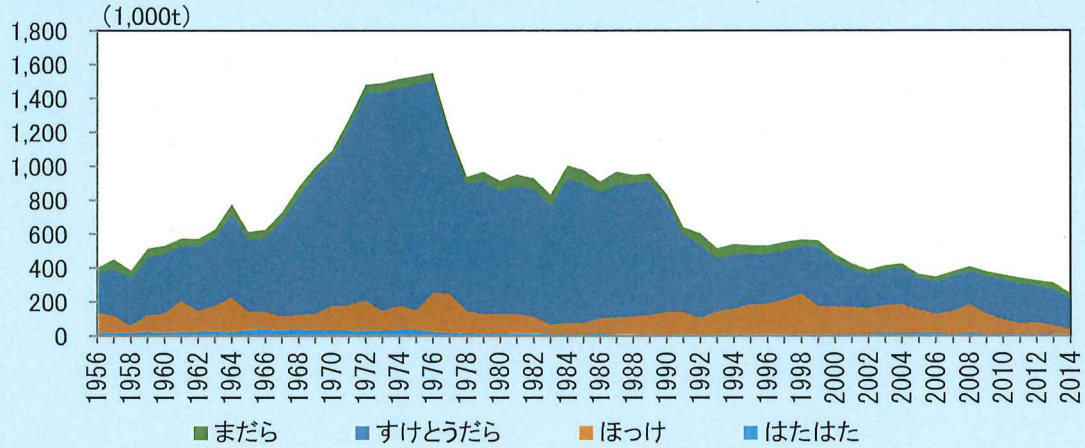


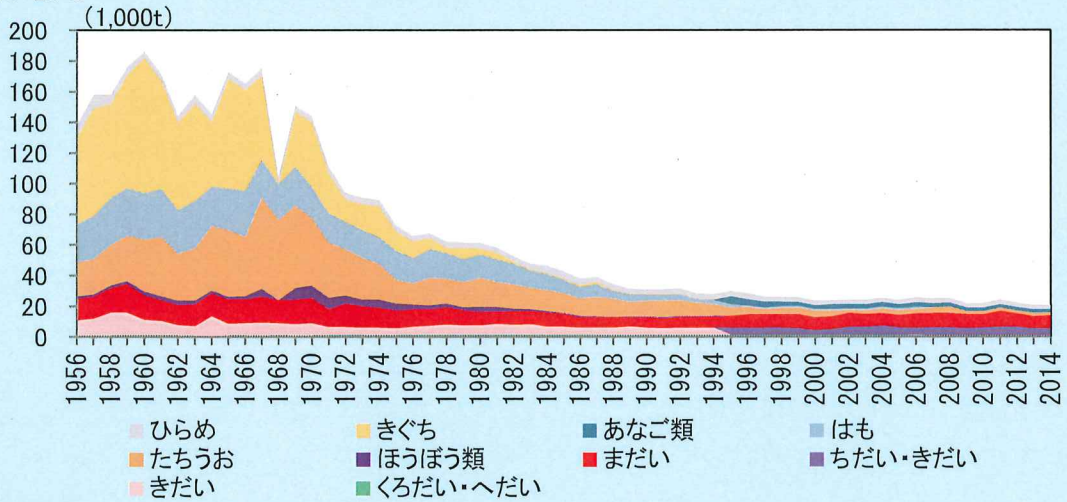
図 4.4 日本海側における適水温帯に区分した漁獲量の推移 (浮魚類、種類別)

底魚類についてみるとア) 0-10℃の魚類では、1970年代にすけとうだらが多く、イ) 10-20℃の魚類では、多くの魚種で減少傾向にある。ウ) 20-30℃の魚類では、えそ類が減少し、いさきが増加傾向にある。

ア) 0-10℃



イ) 10-20℃



ウ) 20-30℃

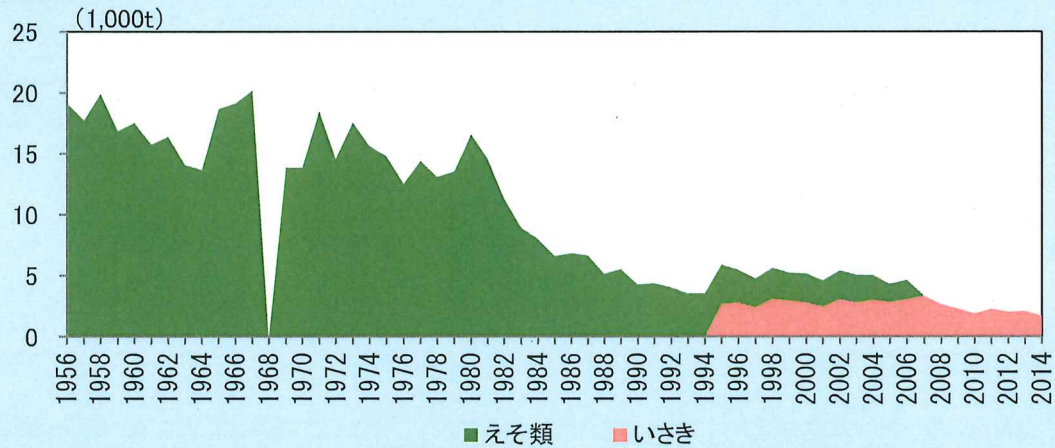


図 4.5 日本海側における適水温帯に区分した漁獲量の推移 (底魚類、種類別)

表 5.1(1) 水温上昇に対する現在の状況と将来予測される影響(水産業)

種類	地域	現在の状況	将来予測される影響
水産業	—	<ul style="list-style-type: none"> 海水温の変化に伴う海洋生物の分布域の変化が世界中で報告されている。 回遊性魚介類は適水温域を回遊する特性があるため、海水温の上昇によって分布回遊域が変化すると、地域によって漁獲量が増減することになる。 海洋生態系は、地球温暖化による影響の他、10～数十年スケールの周期的な海水温の変化による影響もあり、温暖化の影響のみを分離するのは難しい。 	<ul style="list-style-type: none"> 漁獲量の変化及び地域産業への影響に関しては、資源管理方策等の地球温暖化以外の要因も関連することから不確実性が高く、精度の高い予測結果は得られていない。 回遊性魚介類については、分布回遊範囲および体サイズの変化に関する影響予測が数多く報告されている。しかし、漁獲量の変化および地域産業への影響に関しては、資源管理方策等の地球温暖化以外の要因も関連することから不確実性が高く、精度の高い予測結果は得られていない。
サワラ	日本海	<ul style="list-style-type: none"> 暖海性種で、主に東シナ海や瀬戸内海で漁獲されてきたが、日本海の夏～秋季の水温が上昇した1990年代後半以降は、日本海での漁獲量が急増し、2006年以降では、若狭湾沿岸域の京都府または福井県の漁獲量が日本で最も多くなっている。 	—
スルメイカ	日本海	<ul style="list-style-type: none"> 秋季発生系群は、資源水準が高水準を維持しているものの、日本海の水温上昇による分布の北偏化とともに、水温の高い夏～秋季に本州沿岸域では漁場が形成されにくくなった。その結果、夏～秋季の本州日本海沿岸域では、1990年代後半以降、漁獲量が大きく減少(95%以上)した地域も見られる。 	<ul style="list-style-type: none"> 2050年には本州北部沿岸域、2100年には北海道沿岸域の分布密度が低い海域が拡大する。日本沿岸域ばかりでなく、亜寒帯冷水域にあたる日本海の中央部でも分布密度が夏季に低下する。 日本海の沿岸域および沖合域とも大きさが小さくなる。 主産卵期は、現在10月から2月であるが、2050年には11月から4月まで、2100年には12月から5月までとなることが予想される。いずれは、秋生まれから春生まれの区別がなくなり産卵場が東シナ海に限られるようになると推察。
ブリ	日本海	—	<ul style="list-style-type: none"> 10月の水深100m、水温7℃以上の範囲を予測した結果、2025年までは面積がほとんど変化しないが、それ以降は拡大し、2100年には日本海のほぼ全域に拡大すると予測。これにより、栄養段階の高いブリの分布範囲の拡大を示唆。佐渡や富山では品質が低下することを懸念。 将来の地球温暖化により、冬季の分布域の北への拡大、越冬域の変化がおり、南方の回遊経路、産卵場にも影響を与えると推測されている。
サンマ等の多獲性浮魚類	全国	—	<ul style="list-style-type: none"> 海水温の上昇によってサンマをはじめ、多獲性浮魚類の分布・漁場が北上する。 餌料環境の悪化から成長が鈍化するものの、回遊範囲の変化によって産卵期では餌料環境が好転し、産卵量が増加する場合もある。
スケトウダラ等	全国	—	<ul style="list-style-type: none"> すでに減少傾向にある三陸沖、ならびに日本海北部では2050年には資源が激減する。そして2100年には北海道太平洋ならびにオホーツク海側の資源以外は絶滅する可能性が高いことが予想される。 スケトウダラやズワイガニなど底魚類については、水深100m以深の水温上昇は僅かなため、影響は現れない。

中央環境審議会・地球環境部会・気候変動影響評価等小委員会(2015)より

表 5.1 (2) 水温上昇に対する現在の状況と将来予測される影響(増養殖等)

種類	地域	現在の状況	将来予測される影響
増養殖業	—	<ul style="list-style-type: none"> 各地で南方系魚種数の増加や北方系魚種数の減少、藻食性魚類による藻場減少、藻場減少に藻食性動物の漁獲量の減少が報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 生態系モデルと気候予測シナリオを用いた影響評価は行われていないものの、多くの漁獲対象種の分布域が北上すると予測されている。 海水温の上昇による藻類の種構成や現存量の変化によって、磯根資源の漁獲量が減少すると予想されている。 養殖魚類の産地については、夏季の水温上昇により不適になる海域が出ると予想されている。 海水温の上昇に関する赤潮発生による二枚貝等のへい死リスクの上昇等が予想されている。 IPCCの報告では、海洋酸性化による貝類養殖への影響が懸念されている。
藻場	長崎県/全国	<ul style="list-style-type: none"> 藻食性魚類(ノトリスズミなど)の摂食行動の活発化と分布域の拡大により藻場が減少し、藻類を餌として利用するイセエビやアワビの漁獲量の減少が報告されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 海水温の上昇によって藻場の種組成が変化し、アワビ等の磯根資源に大きな影響を与える。
ハタ類	長崎県	<ul style="list-style-type: none"> 五島列島では、近年、九州北部で産卵しない南方性ハタ科魚類の水揚げ量が数倍以上に増加。特にアカハタは2008年に比較し、2013年は10倍以上に増加。高水温化と南方から移送される卵あるいは仔稚魚の生残率・定着率の上昇との関係が考えられる。 	—
魚類相	長崎県	<ul style="list-style-type: none"> 野母崎沿岸では、1973年に採集された魚種に比較して、2006年から2008年にかけての調査で新たに確認された19種のうち、17種は南方系種だった。また、採集された全魚種数のうち、温帯系種と広域分布種の割合が減少したのに対し、南方系種の増加が認められた。 	—
	北九州(筑前海)	<ul style="list-style-type: none"> 2004年と10年前、50年前の魚類相を比較した結果、2004年では南方系種が2倍近くに増加していることを示した。 	—
	京都府	<ul style="list-style-type: none"> 出現魚種数を2002~2006年と1970~1972年の間で比較し、南方系種の増加と北方系種の減少を報告。冬期水温の上昇に関係すると考察。 	—

中央環境審議会・地球環境部会・気候変動影響評価等小委員会(2015)より

表 5.1(3) 水温上昇に対する現在の状況と将来予測される影響(自然生態系)

種類	地域	現在の状況	将来予測される影響
自然生態系	—	<ul style="list-style-type: none"> 日本沿岸の各所において、海水温の上昇に伴い、低温性の種から高温性の種への遷移が進行していることが確認されている。 既に起こっている海洋生態系の変化を、海洋酸性化の影響として原因特定することは、現時点では難しいとされている。 	<ul style="list-style-type: none"> 海水温の上昇に伴い、エゾバフンウニからキタムラサキウニへとといった高温性の種への移行が想定され、それに伴い生態系全体に影響が及ぶ可能性がある。 海洋酸性化による影響については、中～高位の二酸化炭素排出シナリオの場合、特に極域の生態系やサンゴ礁といった脆弱性の高い海洋生態系に相当のリスクをもたらすと考えられる。炭酸カルシウム骨格・殻を有する軟体動物、棘皮動物、造礁サンゴに影響を受けやすい種が多く、その結果、水産資源となる種に悪影響がおよぶ可能性がある。また、水温上昇や低酸素化のような同時に起こる要因と相互に作用するために複雑であるが、影響は増幅される可能性がある。 沿岸域の生態系の変化は沿岸水産資源となる種に影響を与えるおそれがある。また漁村集落は藻場等の沿岸性の自然景観や漁獲対象種等に依存した地域文化を形成している事が多く、地域文化への影響も想定される。 海面上昇による海岸域の塩性湿地等への影響が想定される。
魚類相	福岡県	<ul style="list-style-type: none"> 筑前海沿岸の魚類相を調査し、50年前、10年前、現在の魚類相を比較した結果、南方系種の割合が増加傾向にあることを明らかにするとともに、これは海水温の上昇による影響と推察した。 	—
	若狭湾	<ul style="list-style-type: none"> 若狭湾では、現在の研究と1970～1972年の研究を比較した結果、水温上昇に伴い南方系魚種が増加している一方で、北方系魚種が減少していることが明らかとなった。 	—
ウニ類	北海道(日本海側)	<ul style="list-style-type: none"> 1990年代始めに、バフンウニの分布域が日本海側の北海道南部から北部へと拡大している。これは1989～91年の急激な増加によるもので、幼生期間(3月から5月)の高水温に起因すると考えられている。1993年には、1989年に観測されていなかったトマリで2.3個体/m²の密度のバフンウニが観測されている。忍路湾では1990年にはバフンウニが急激に増加し、1992年には5.3個体/m²にまで達し、2個体/m²以上の密度が1998年まで続き、その後は春季の海水温の低下により、目立った増殖はみられず、2005年には0.1個体/m²にまで減少している。 	<ul style="list-style-type: none"> 北方種であるエゾバフンウニは夏期水温が高い年には斑点病が発生して大量斃死が起こり、25℃近い高水温の期間が長くなると、卵の成熟、幼生の発育が異常となり、付着数が極端に低下することが知られている。また、8月の水温が高いほど当歳稚仔の減少率が高くなることが報告されている。 キタムラサキウニは産卵期から着底期の水温が高いほど卓越発生の頻度が高くなり、加入量が増加することで資源の維持・増大が図られた。

中央環境審議会・地球環境部会・気候変動影響評価等小委員会(2015)より