

平成29年度 委託プロジェクト研究  
「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」  
最終年度報告書

13405684

漁業・養殖業に係る気候変動の影響評価

研究実施期間	平成25年度～平成29年度（5年間）
代表機関	国立研究開発法人 水産研究・教育機構
研究開発責任者	木所 英昭
共同研究機関	国立大学法人 東京大学
	国立大学法人 愛媛大学 沿岸環境センター
	愛媛県
	（一般社団法人）漁業情報サービスセンター
普及・実用化支援 組織	
研究開発責任者 連絡先	TEL : 022-365-9931 FAX : 022-367-1250 E-mail : kidokoro@fra.affrc.go.jp

様式3. 最終年度報告書

1頁～ 38頁

<別紙様式3. 平成29年度の最終年度報告書>

I-1. 年次計画

研究課題	研究年度					担当研究機関・研究室	
	25	26	27	28	29	機関	研究室
(1) 沖合域の生物生産および漁業への高精度影響評価 82110 黒潮から親潮域における低次生態系モニタリングと小型浮魚類漁業への温暖化影響評価(東北区水産研究所)							
黒潮域および親潮・混合水域における定線観測	海洋環境のモニタリング					水産研究・教育機構 中央水産研究所	モニタリンググループ
黒潮周辺域の物理・化学・生物過程の海域特性の解析	栄養塩動態解析					水産研究・教育機構 中央水産研究所	モニタリンググループ
黒潮周辺域における長期変動解析およびデータに基づく温暖化影響予測	生物生産過程の解明					水産研究・教育機構 中央水産研究所	モニタリンググループ
親潮・混合水域における長期トレンドの把握	海洋環境のモニタリング					水産研究・教育機構 東北区水産研究所	生態系動態グループ
親潮・混合水域における寒冷年・温暖年の特性把握と温暖化影響評価	海洋環境の定性的予測					水産研究・教育機構 北海道区水産研究所	生産変動グループ
生態系モデルの再現性の評価と精度向上	モデルの検証・精度向上					愛媛大学沿岸環境 科学研究センター	環境動態解析部門
高解像度物理-低次生態系結合モデルを用いた温暖化実験の実施	水温・餌環境予測					水産研究・教育機構 中央水産研究所	モニタリンググループ
魚類成長モデルを用いた温暖化影響評価	サンマの回遊・成長予測					東京大学・大学院新 領域創成科学研究科	自然環境学専攻
漁場予測モデルを用いた温暖化影響評価	主要浮魚3種の漁期・漁場予測					漁業情報サービス センター	

82120東シナ海域における低次生態系モニタリングとカタクチイワシ資源への温暖化影響評価(西海区水産研究所)							
東シナ海における低次生態系モニタリング	←	海洋環境のモニタリング	→	水産研究・教育機構 西海区水産研究所	海洋環境グループ		
カタクチイワシ生産モデルの構築	←	環境と産卵数の関係解析	→	水産研究・教育機構 西海区水産研究所	生態系変動グループ		
東シナ海におけるカタクチイワシ資源の温暖化影響評価	←	シラスの漁期・漁場予測	→	東京大学・大学院新領域創成科学研究科	自然環境学専攻		
82130日本海におけるスルメイカ漁業への温暖化影響評価(日本海区水産研究所)							
日本海における物理環境および餌料環境予測	←	物理・餌環境の温暖化予測	→	水産研究・教育機構 日本海区水産研究所	海洋動態グループ		
スルメイカの温度と生理特性の関係解析	←	飼育実験による生物特性把握	→	水産研究・教育機構 日本海区水産研究所	沿岸資源グループ		
温暖化による日本海のスルメイカ漁業への影響評価	←	スルメイカの漁期・漁場・成長予測	→	水産研究・教育機構 日本海区水産研究所	資源管理グループ		
(2) 沿岸域の生物生産および漁業への高精度影響評価							
82210 西日本沿岸域の藻場生態系への温暖化の影響評価と高精度予測技術の開発							
藻場低次生産・生態系のモニタリングと環境変動の影響機構の解明	←	環境と藻場生態系の関係解析	→	水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所	藻場生産グループ		
藻場低次生産・生態系のモニタリングと環境変動の影響機構の解明(九州沿岸域)	←	環境と藻場生態系の関係解析	→	水産研究・教育機構 西海区水産研究所	藻類・沿岸資源管理グループ		
環境変動域の生物と環境のモニタリング	←	沿岸域のモニタリング	→	愛媛県農林水産研究所水産研究センター	環境資源室		

藻場生態系の鍵種の生理生態特性の解明と生物パラメータ取得	飼育実験による特性把握	水産研究・教育機構 水産大学校 生物生産学科	生物環境学講座
藻場生態系モデルの改良と適用	環境と生態系のモデル化	愛媛大学 沿岸環境科学研究センター	環境動態解析部門
数値シミュレーションによる沿岸域の水温変動機構解明と長期予測	瀬戸内海の水温予測	愛媛大学 沿岸環境科学研究センター	環境動態解析部門
温暖化による藻場生態系の変動の高精度予測とその地理空間情報化	藻場生態系の予測	水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所	藻場生産グループ

I-2. 実施体制

研究項目	担当研究機関・研究室		研究担当者	
	機関	研究室		
研究開発責任者	水産研究・教育機構 東北区水産研究所	浮魚いか資源グループ	◎ 木所英昭	
1. 黒潮から親潮域における低次生態系モニタリングと小型浮魚類漁業への温暖化影響評価  (1) 黒潮域の低次生態系モニタリングと影響評価	水産研究・教育機構 東北区水産研究所	浮魚いか資源グループ	○ 木所英昭 前任者 伊藤進一 (～2015.3) 小埜恒夫 (～2016.3)	
	水産研究・教育機構 中央水産研究	モニタリンググループ	△ 日高清隆 瀬籐 聡 西本 篤史 前任者 小埜恒夫 (～2016.3)	
		資源環境グループ	寒川清佳  清水勇吾 廣江 豊 日下 彰 山崎恵市	
		生態系モデルグループ	亀田卓彦 広田祐一	
		水産研究・教育機構 西海区水産研究所	海洋環境グループ	種子田雄
	(2) 親潮・混合域の低次生態系モニタリングと影響評価	水産研究・教育機構 東北区水産研究所	生態系動態グループ	△ 田所和明
		水産研究・教育機構 北海道区水産研究所	生産変動グループ	東屋知範 葛西広海 黒田 寛 谷内由貴子
		水産研究・教育機構 東北区水産研究所	海洋動態グループ	奥西 武 筧茂 穂 長谷川大介 金子 仁 田中 雄大
			生態系動態グループ	桑田 晃 岡崎雄二 渡辺 剛
			浮魚・いか資源グループ	宮本洋臣
水産研究・教育機構 中央水産研究所 水産研究・教育機構 国際水産資源研究所		資源環境グループ 国際資源環境グループ	清水勇吾  小埜恒夫	

<p>(3) 海洋生態系モデルを用いた餌料環境と小型浮魚類の温暖化影響評価モデルの開発</p>	水産研究・教育機構 東北水産研究所	海洋動態グループ	△ 奥西 武 前任者 伊藤進一 (~2014.6)	
	水産研究・教育機構 中央水産研究所	モニタリンググループ	金子 仁 瀬藤 聡	
		生態系モデルグループ	亀田卓彦	
		資源生態グループ	高須賀明典、 入路光雄 亘 真吾	
		海洋動態グループ	金子 仁	
	愛媛大学・沿岸環境 科学研究センター	環境動態解析部門	吉江直樹	
	東京大学・大学院新 領域創成科学研究科	自然環境学専攻	小松幸生 伊藤進一	
	一般社団法人漁業情 報サービスセンター		渡邊一功	
	2. 東シナ海域における 低次生態系モニタリ ングとカタクチイワシ資 源への温暖化影響評価	水産研究・教育機構 西海区水産研究所	海洋環境グループ	○ 長谷川徹 山田東也 清本容子 種子田雄 (2017.4~)
		水産研究・教育機構 中央水産研究所	生態系変動グループ	西内 耕 (2017.4~) 北島 聡
浮魚資源グループ			高橋素光 林 晃 (2017.4~) 鈴木 圭 (2017.4~)	
モニタリンググループ			瀬藤 聡	
水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究 所		資源増殖グループ	米田道夫	
東京大学・大学院新 領域創成科学研究科	自然環境学専攻	伊藤進一		

3. 日本海におけるスルメイカ漁業への温暖化影響評価	水産研究・教育機構 日本海区水産研究所	資源管理グループ	○ 久保田洋 前任者 木所英昭 (~2016.3)
		海洋動態グループ	井桁庸介 和川 拓
		生物生産グループ	森本晴之 児玉武稔 (~2017.1)
		沿岸資源グループ	高原英生 (~2017.1)
4. 西日本沿岸域の藻場生態系への温暖化の影響評価と高精度予測技術の開発	水産研究・教育機構 東北区水産研究所	浮魚いか資源グループ	木所英昭
	水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所	藻場生産グループ	○ 吉田吾郎 堀 正和 島袋寛盛
		藻類・沿岸資源管理グループ	清本節夫 前任者 八谷光介 (~2015.3) 後任者 門田 立 (2014.4~) 邵花梅 (2017.4~)
	水産研究・教育機構 西海区水産研	海洋環境グループ	種子田雄
		亜熱帯生態系グループ	吉村 拓 鈴木 豪
	水産研究・教育機構 水産大学校 生物生産学科	生物環境学講座	村瀬 昇 野田幹雄
	愛媛大学 沿岸環境 科学研究センター	環境動態解析部門	郭 新宇 吉江直樹 前任者 堤英輔 (~2014.3) 後任者 于 晓杰 (2014.4~)・董 孟洪 (2017.4~)
	愛媛県農林水産研究 所水産研究センター	環境資源室	前任者 田村稔治 (~2015.3) 河野芳巳 (~2017.3) 後任者 竹中彰一 (2017.4~)

(注1) 研究開発責任者には◎、小課題責任者には○、実行課題責任者には△を付すこと。

委託プロジェクト研究課題番号	13405684	研究期間	平成25～29年度
委託プロジェクト研究名	農林水産分野における気候変動対応のための研究開発		
契約課題名	漁業・養殖業における気候変動の影響評価		
代表機関・研究開発責任者名	国立研究開発法人水産研究・教育機構 東北区水産研究所 資源管理部 浮魚・いか資源グループ長 木所 英昭		

### I-1. 研究目的

気候変動による影響は海域および漁業種類によって異なることが予測される。そのため、日本周辺海域（黒潮・親潮域、東シナ海、日本海および西日本沿岸域）における物理環境の変化、生物生産構造の変化を明らかにすると共に主要漁業資源への影響を評価する。さらに各海域における影響評価結果を統合・相互比較し、日本周辺海域における漁業・養殖業に係る気候変動の影響を高精度に評価することを目的とする。

このため、本研究では、

1. 黒潮から親潮域における低次生態系モニタリングと小型浮魚類漁業への温暖化影響評価
2. 東シナ海における低次生態系モニタリングとカタクチイワシ資源への温暖化影響評価
3. 日本海におけるスルメイカ漁業への温暖化影響評価
4. 西日本沿岸域の藻場生態系への温暖化の影響評価と高精度予測技術の開発

により、各海域でモニタリングを行い、温暖化の進行に伴う物理環境や生物生産・餌環境の変化を把握する。さらに、各海域の主要漁業資源の分布・回遊および成長モデルを開発し、物理環境および生物生産の予測モデルと合わせて気候変動による物理環境と餌環境の変化を予測し、主要漁業資源への影響、及び養殖業に及ぼす気候変動の影響を評価する。

その結果、

1. 黒潮から親潮域における小型浮魚類（サンマ、マイワシ、マサバ）を対象とした漁業への温暖化の影響を評価することができ、常磐・三陸～北海道沿岸域にわたる国・地方レベルでの効果的な適応策の策定に貢献することが期待される。
2. 東シナ海におけるカタクチイワシ資源の影響を評価することができ、九州沿岸域のシラス漁業に対する効果的な適応策の策定に貢献することが期待される。
3. すでに気候変動の影響が指摘される日本海のスルメイカ漁業への今後の変化を予測することができ、現在から将来を含めた効果的な適応策の策定に貢献することが期待される。
4. 西日本沿岸域の気候変動による藻場生態系と地先漁場の変化を地理空間情報システム（GIS）によって高解像度に示すことで、市町村単位での適応策の策定に貢献することが期待される。



## I-2. 研究結果

黒潮域の表面水温は、黒潮内側域、強流帯、外側域のどの海域の年平均値にも昇温傾向がみられ、100年あたりでそれぞれ 0.78, 2.54, 0.90 °C 昇温していた。季節別には、2月と3月、10月に昇温幅が大きく、5月は逆に低温化傾向を示した。流速は、平均して100年あたり0.16m/s の増加となっていた。黒潮周辺海域の冬季の成層状態と栄養塩供給との関係を基にした解析した結果、冬季の混合層深度は浅くなると予測され、温暖化の進行によって100年後の基礎生産量が減少すると予想された。

親潮域の6月～9月の流量は1993年～2014年の間、有意な負のトレンドが見られており、近年の道東域では暖水渦が滞留することで、親潮が南下しにくい状況となっている可能性が示された。さらに、2002年以降のデータからクロロフィル濃度も低下トレンドが示され、サンマを餌の面から支えている低次生態系も変化していることが明らかとなった。

サンマ、マイワシ、マサバの産卵場への影響を予測したところ、RCP8.5シナリオによる2090年代には温暖化の影響が顕著に現れ、マサバは房総半島周辺、マイワシは常磐沖周辺、サンマは現在よりも沖合域が産卵場に好適な環境となった。しかし、予測された産卵場から、マサバ、マイワシの仔魚輸送の温暖化実験を行ったところ、産卵場の移動に伴い、孵化した仔魚は温暖化気候下においても現在の気候と同様な水温、餌料環境を経験できると推定され、仔魚期の成長には大きな影響を受けない可能性もあると考えられた。

気候変動によるサンマ、マイワシ、マサバを対象とした漁業への影響を評価した結果、RCP8.5シナリオでは、マイワシの北上時期が20日～40日早くなるのに対し、南下時期は20日～60日遅くなった。また、マサバの北上時期もマイワシ同様、20日～40日早くなり、南下時期は20日～40日遅くなった。サンマについては、生鮮で出荷することが多い体長29cm以上のサイズに注目すると、2051～2060年の各漁場への来遊尾数は現在気候よりも多くなるものの、2091～2100年になると、成長の低下によってこのサイズの来遊尾数は著しく減少すると予測された。

東シナ海におけるカタクチイワシへの気候変動による影響として、産卵場が水温上昇に伴って北に移動することが示唆された。また、鹿児島県吹上浜におけるシラス加入量の変化を予測したところ、現在気候では5月生まれが加入の主体となっていたが、RCP8.5では、100年後の加入量は2月に増加、4～6月に減少することによって、加入量のピークが2月、3月になると予想された。

日本海沖合におけるスルメイカの漁期・漁場の変化として、RCP8.5シナリオによる100年後の予測結果では、現在の日本のスルメイカの主要漁場の一つである大和堆では、漁期を通じてCPUE(釣り機1台1時間あたりの漁獲尾数)が低調となるのに対し、北朝鮮やロシア沿岸域の海域では比較的高いCPUEが維持されることが示された。

西日本沿岸域の藻場生態系への影響として、RCP8.5のシナリオのもとでは、瀬戸内海の冬季水温は現在(1993～2014年)と比較して、2050年代には2～3°Cの上昇、2090年代ではほぼ全域で3°C以上の上昇となった。夏季水温についても、アラメ・カジメ類の致死温度である水温29°Cのエリアは、現在は局所的な出現にとどまっているものの、2050年代には周防灘・燧灘・播磨灘、2090年代にはほぼ瀬戸内海全域に拡大した。そのため、アラメ・カジメ類の藻場は2050年代までは伊予灘と備後・芸予瀬戸に残存するが、2090年代までにはほぼ全域にわたり消失すると予測された。しかし、RCP2.6のシナリオのもとでは、2090年代までの平均的な水温上昇が1～3°C程度に抑えられ、これらの藻場が広域に残存すると予測された。

ノリ等藻類養殖への影響については、RCP8.5シナリオ下の2050年代では、ノリ養殖を開始する目安となる水温23°Cに降下する時期が11月中旬、ノリ網の本張りが開始される目安の水温

18℃への低下が12月になり、ノリの年内生産は極めて厳しい状況になると予測された。

### I-3. 今後の課題

海洋では自律的な約20年スケールの周期的な変動も卓越するため、線型の変動である温暖化と区分することが重要となる。これまでのモニタリングで30年のモニタリングデータベースを構築したが、両者を区分し温暖化の影響を精度良く調べていくためにはさらに長い時間スケールのデータが必要である。よって、これからもさらにモニタリングを継続し、データを蓄積していくことが課題である。

温暖化シナリオを基に50年後、90年後の平均的な海洋環境の予測と、それに伴う浮魚類の産卵場、漁場分布、資源変動への影響予測が実施できた。しかし、数十年規模の気候変動（自然変動）を加味した影響については評価できなかった。今後は、温暖化への影響と数十年規模の気候変動も考慮した評価が重要である。

瀬戸内海の藻場として重要であるアマモ（海草）場についても、より閉鎖性が強く水深の浅い砂泥域に形成されるという特性からより局所的な環境を考慮する必要がある。本研究期間において将来予測の対象とするのは困難であった。また、海藻の生育・藻場の形成に影響を与える水温以外の要因（海水流動や河川流入、栄養塩濃度等）についてもその重要性を調査・実験を通じて評価し、藻場の変化予測のパラメータとして組み込むことが、今後、将来予測の精緻化を進めるうえで必要である。

藻類養殖への影響評価についても、本研究機関において達成したのはノリ養殖開始可能時期の予想などの最低限の目標であり、今後は、温暖化による養殖適地の変化予測や、新たな対象種の導入等の適応的な研究にも本プロジェクトの成果を活用し、施策に貢献すべく研究を発展させていく必要がある。

委託プロジェクト研究課題番号(e-Radシステム課題 ID8 桁)	A8:13405684	研究期間	平成25～29年度
小課題番号(桁数は任意)	81100	研究期間	平成25～29年度
契約課題名	漁業・養殖業に係る気候変動の影響評価		
中課題名			
小課題名	黒潮から親潮域における低次生態系モニタリングと小型浮魚類漁業への温暖化影響評価		
小課題責任者名・研究機関	国立研究開発法人水産研究・教育機構 東北区水産研究所 資源管理部 浮魚・いか資源グループ 木所 英昭		

## 1) 研究目的

日本の太平洋側に位置する親潮・黒潮域は生産性に非常に富んだ海域であり、世界的な好漁場となっている。これらの海域では、サンマ、マイワシ、マサバ等の小型浮魚類が沖合漁業の主要な漁獲対象となっている。しかし、これら小型浮魚類の分布回遊・成長は海洋環境の変化を大きく受ける特性があることから、今後の地球温暖化による気候変動の影響を受けることが予想される。そのため、気候変動による黒潮・親潮域の小型浮魚類の影響を高精度で予測し、的確に影響評価することが、温暖化に対する沖合漁業の対応方針を探る上での重要な要素となっている。そこで、本課題では黒潮から親潮域における小型浮魚類漁業への温暖化影響評価を実施する。

## 2) 研究成果

### <黒潮域の海洋環境の変化>

表面水温は、黒潮内側域、強流帯、外側域のどの海域の年平均値にも昇温傾向がみられ、100年あたりでそれぞれ 0.78, 2.54, 0.90 °C 昇温していた (図1)。季節別には、2-3月、10月に昇温幅が大きく、5月は低温化傾向を示した (図2)。流速は、平均して100年あたり0.16m/s の増加となっていた。経度10度ごとに見ると東側で増加が著しく、1世紀あたり0.3m/s 以上の増速を示した海域もあった (図3)。塩分は、2002年～2012年の観測を通じて水深0m、50m、100m、200mの全ての深度で塩分が低下しており、直線回帰で求めた塩分の低下速度は、それぞれ-2.2, -2.0, -1.4, -0.4 (PSU/100年) であった (図4)。

黒潮域の海洋観測定線 (O-line) 上のN:P 比は16以下、N:Si 比も1 以下であったことから、窒素が潜在的な制限栄養塩であることが確認された。混合層深度はいずれの海域でも冬季に最も深く、混合層内の栄養塩濃度が最も高かった。混合層内の栄養塩濃度は、硝酸塩+亜硝酸塩濃度は黒潮の内側で高く、外側にかけて低くなった (図5)。

冬季における栄養塩濃度の増加は混合層深度と栄養塩躍層深度に関係する (図6)。黒潮内側域の栄養塩躍層の指標とするZN15(硝酸塩+亜硝酸塩の濃度 (N+N) が15Mとなる深度)と海水の密度の関係を調べたところ、 $25.955 \pm 0.08$ と、深度差にして10m前後の比較的狭い範囲に対応していた。そこで、この密度となる深度 $D[\rho N15]$ を栄養塩躍層の指標と

して黒潮内側域における栄養塩躍層の経年変化の解析を行った。その結果、北側（沿岸より）の海域では、 $D[\rho N15]$ に9年前後の周期で振動していることと、全体としては栄養塩躍層の深度が浅くなってきている結果が得られた（図7）。

なお、気候モデルMRI-CGCM3によるCMIP5-RCP85実験の複数の大気外力（RCPシナリオ2.6, 4.5, 6.0, 8.5）とFRA-ROMS-eNEMUROを用いた実験結果でも2010、2050、2090年代の冬季の混合層深度は、現在から80年後にかけて、平均10m程度浅くなることが示されており（図7）、観測結果を基にした予測と同様の結果となっていた。

以上のように、黒潮周辺海域の冬季の成層状態と栄養塩供給との関係を基にした解析、およびFRA-ROMS-eNEMUROによる予測結果でも冬季の混合層深度は浅くなることが予測された。また、冬季栄養塩濃度と3月の表層クロロフィル濃度（図8）、及び3月の表層クロロフィル濃度と5月のカイアシ類分布量には正の相関がある（図9）ことから、温暖化の進行によって黒潮域の動物プランクトン量が減少するものと予想される。

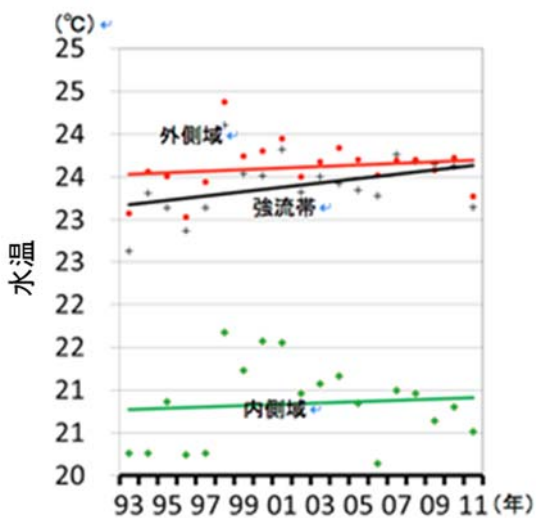


図1. 黒潮流軸表面水温年平均値の経年変動

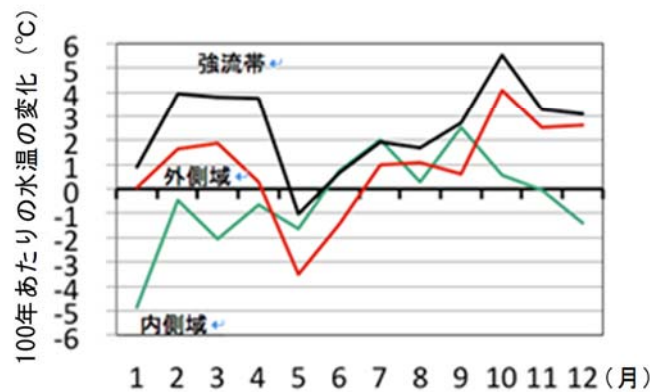


図2. 黒潮流軸域における表面水温の100年あたりの変化（月別）

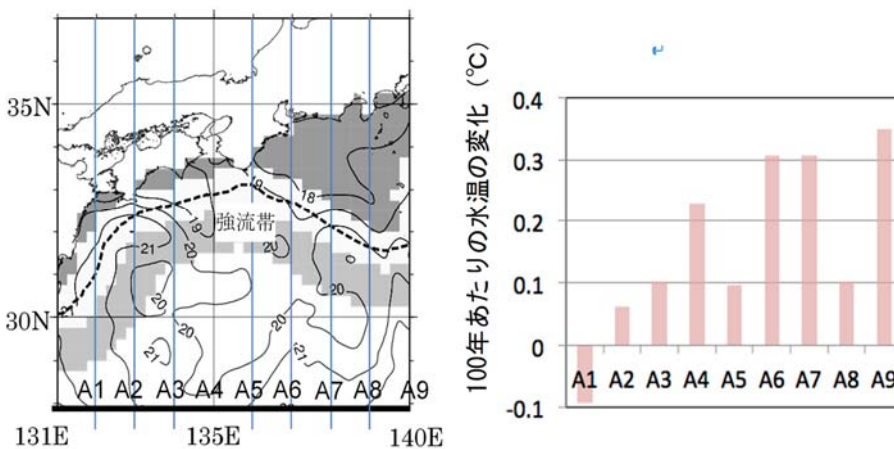


図3. 黒潮流軸域における表面水温の100年あたりの変化（経度別）  
左図は海域区分（経度）を示す

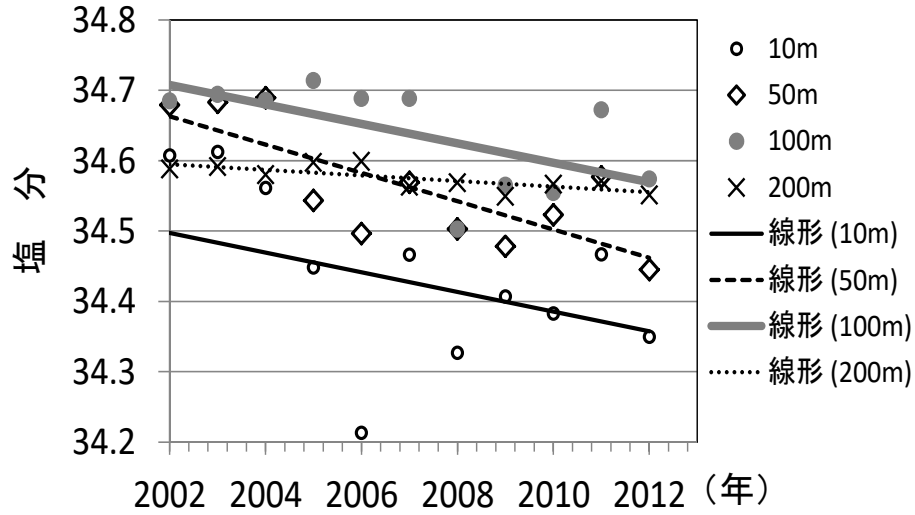


図4. O-line黒潮流軸各層の塩分の経年変化

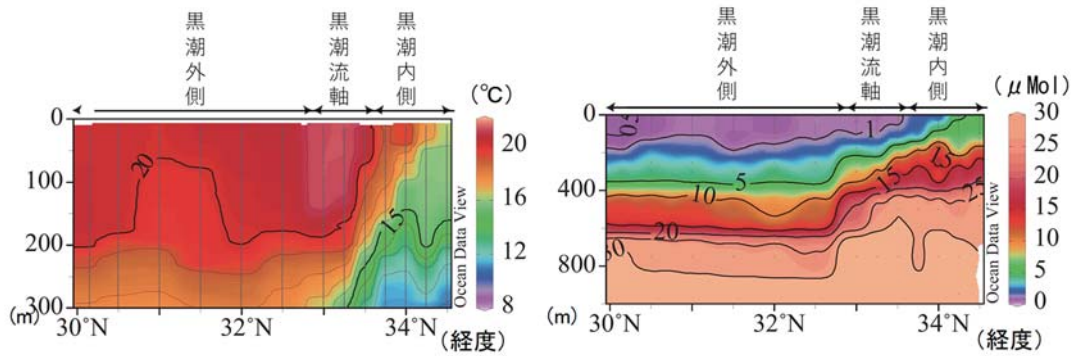


図5. 2012年冬季における御前崎沖定線上の水温(左)および硝酸塩+亜硝酸塩濃度(右)の鉛直断面

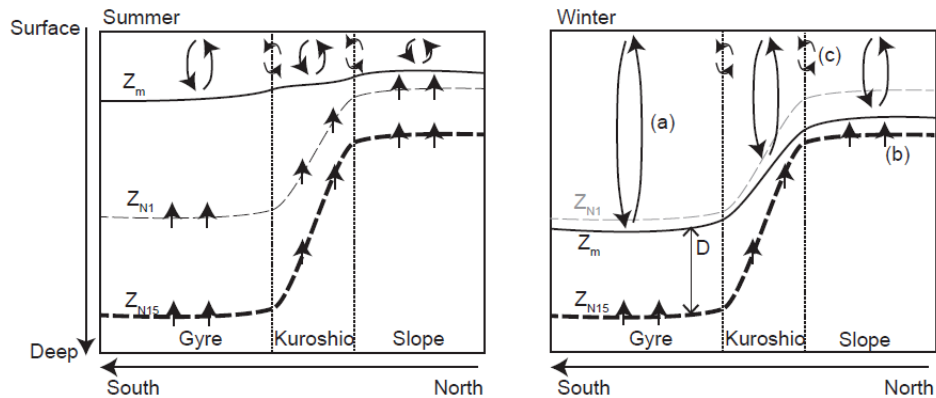


図6. 冬季混合層内の成層と混合による栄養塩供給の模式図

$Z_m$ : 混合層深度、 $Z_{N1}$ : 夏期の硝酸塩+亜硝酸塩濃度 ( $N+N$ ) が  $1 \mu \text{mol/L}$  となる等濃度線、 $Z_{N15}$ :  $N+N$  が  $15 \mu \text{mol/L}$  となる等濃度線。(a)は鉛直混合、(b)は上向きの拡散、(c)は水平方向の移流を示す。

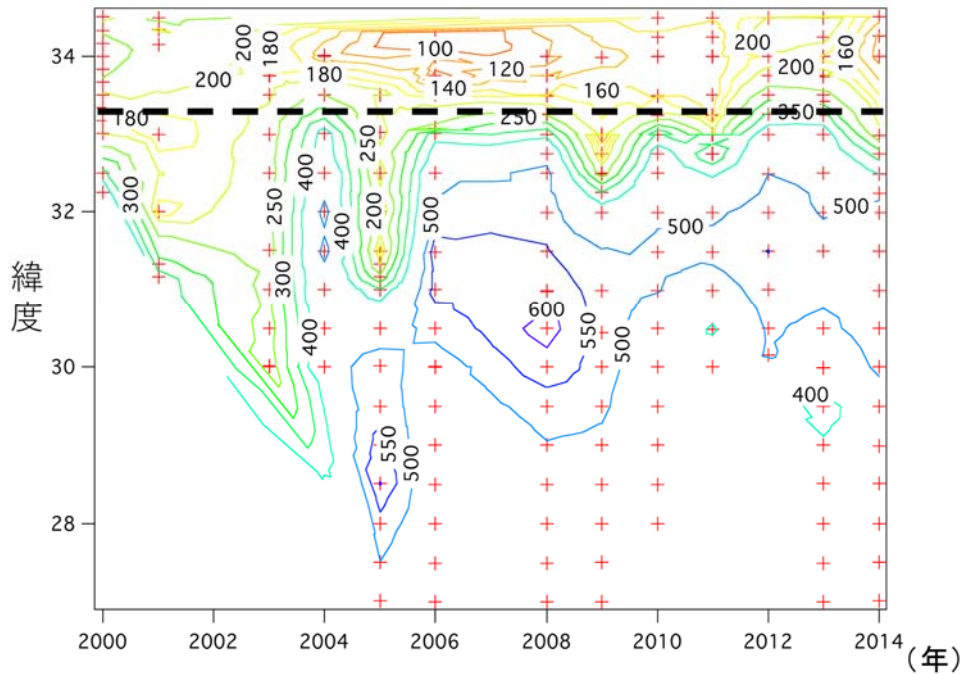


図7. 冬季における御前崎沖定線上・黒潮内側域のD[[ρN15]]の経年変動  
点線は北緯33.5度。

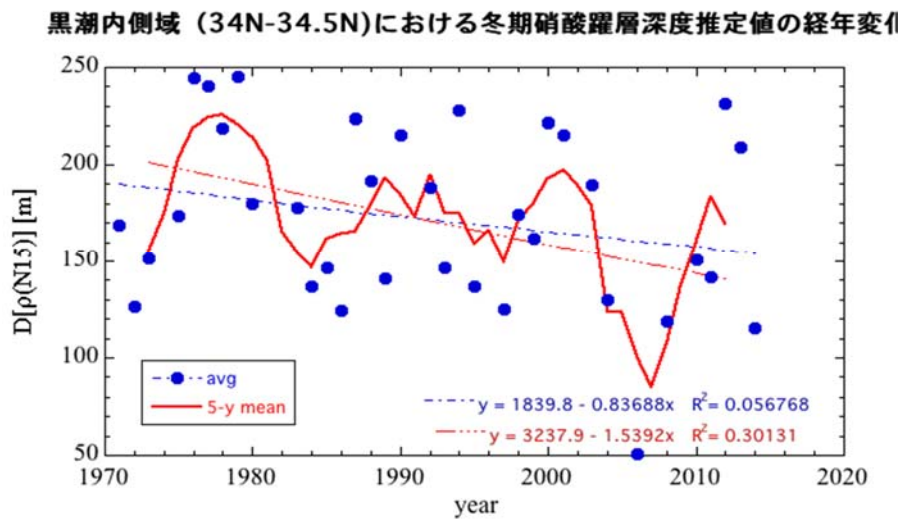


図8. JODCデータベースによる冬季における黒潮内側域 (33.50N以北,  
137.75 - 138.25E) のD[ρN15]の経年変動

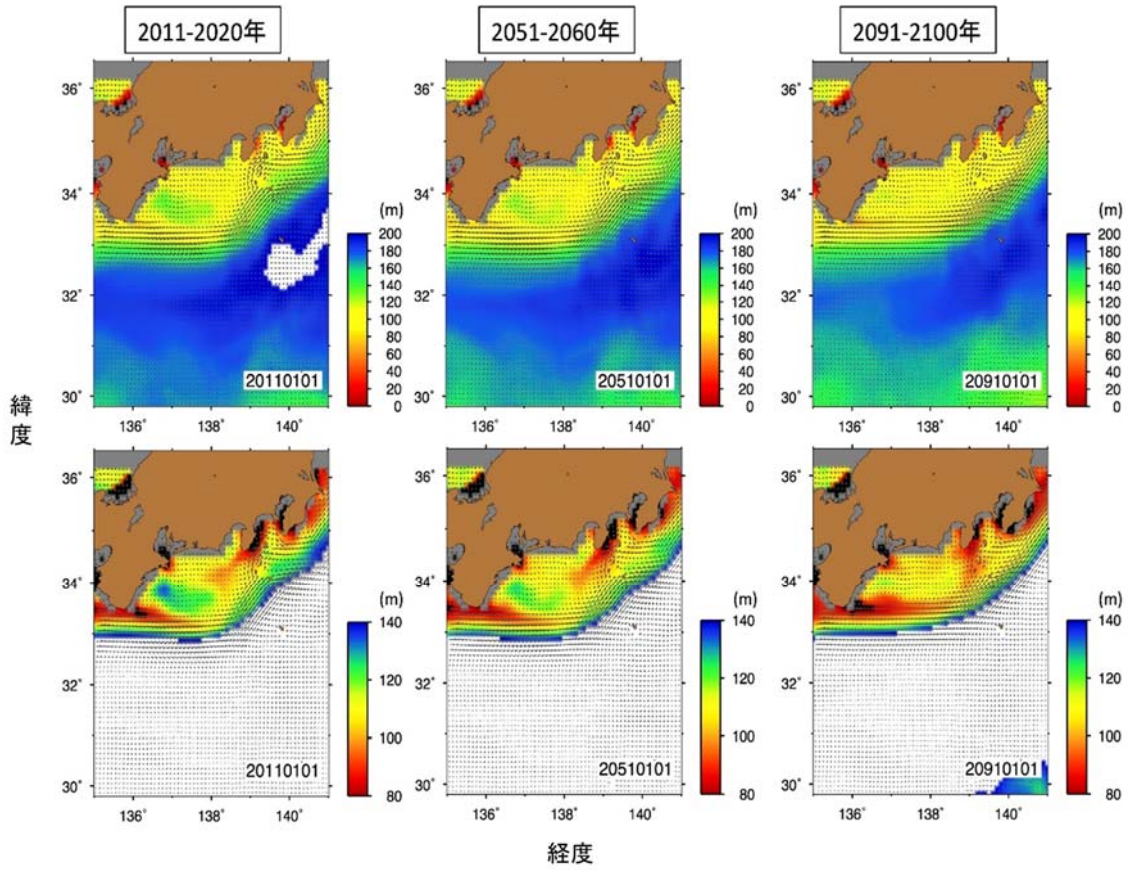


図9. 温暖化実験 (RCP8.5) による混合層深度の変化 (1月)

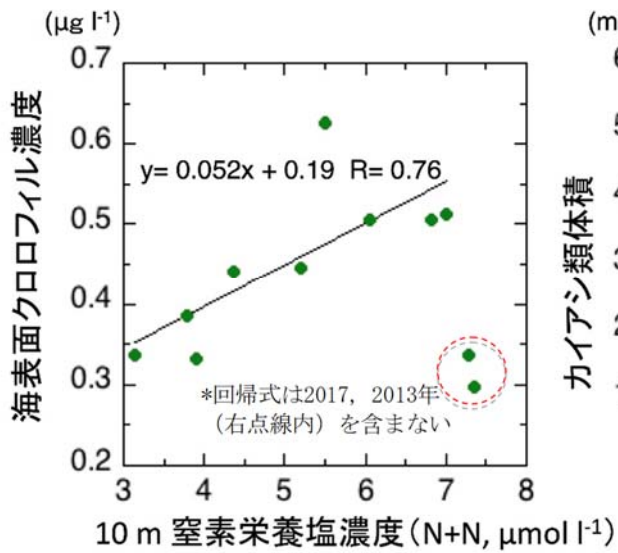


図10. 冬季栄養塩濃度と3月の表層クロロフィル濃度の関係

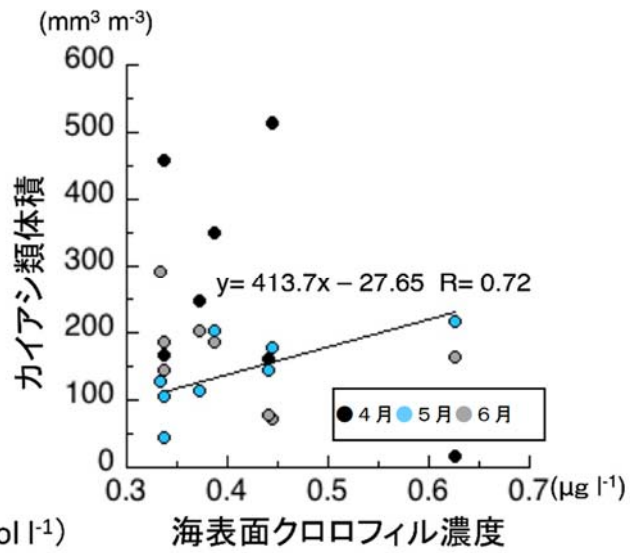


図11. 3月の表層クロロフィル濃度とカイアシ類の分布量の関係

<親潮域の海洋環境の変化>

親潮域の「海洋観測ラインであるA-lineの1987年から2017年10月のデータベースを完成させ、CTDデータに関しては1987年～2014年まで、栄養塩等の分析データに関しては2012年までウェブで公開した。

サンマの来遊量と海洋環境の関係について、道東域における水温・クロロフィル等を用いて解析した。その結果、サンマの適水温である表面水温12℃～18℃の出現頻度は減少傾向にあることが明らかとなった（図12）。さらにサンマの適水温域の出現頻度が特に釧路沖で低下していた（図13）。これらのことから、近年のサンマの来遊量の減少には、資源量の低下に加え、サンマの適水温域の出現頻度の低下が関与していることが示された。

なお、1993年以降、海面高度に正のトレンドが見られ（図14b）、暖水渦の出現頻度に正のトレンドが見られたのに対し（図14d）、冷水渦は負のトレンドが見られた（図14e）。これらのことから、道東域では暖水渦の出現頻度が上がることで海面高度と水温が上昇し、その結果サンマの適水温域の出現頻度が低下していると推測された。一方、6月～9月の親潮の流量は1993年～2014年の間、有意な負のトレンドが見られており（図15）、道東域に暖水渦が滞留することで、親潮が南下しにくい状況となっている可能性も考えられた。さらに、2002年以降のデータからクロロフィル濃度も低下トレンドがあることが明らかとなり（図14c）、サンマを餌の面から支えている低次生態系も変化していることが明らかとなった。なお、サンマの餌料として重要な*Neocalanus*属カイアシ類の分布予測を、GAM（一般化加法モデル）を用いて、現在の環境データ（World Ocean Atlasデータ）、及びMIROCモデルのRCP8.5シナリオに基づいた2095年の値（2090年～2100年の平均値）をもとに行った。その結果、西部北太平洋（北緯30～50度、東経130度～160度のエリア）における*Neocalanus*3種の積算バイオマスは、亜寒帯と移行域で何れも2095年に減少する予測となっており（図16）、気候変動によるサンマへの影響が示唆された。

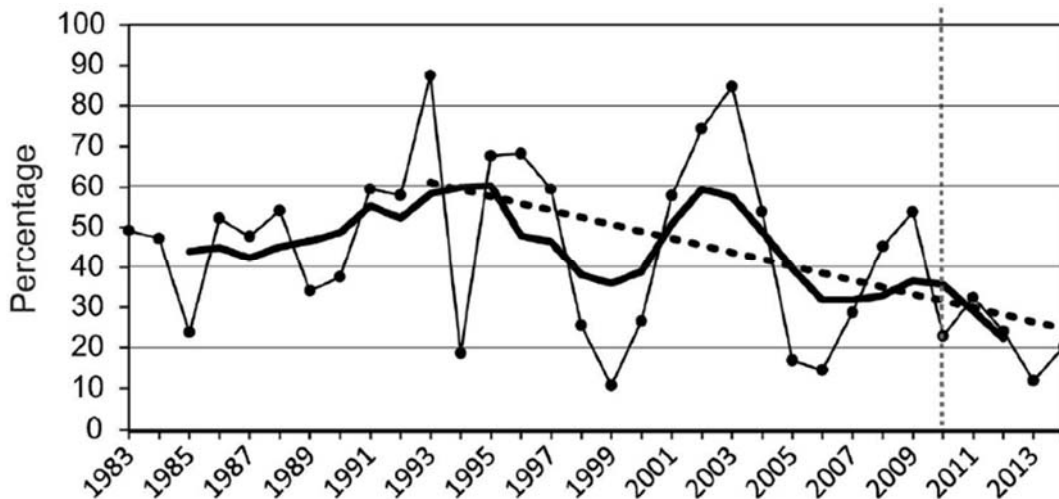


図12. 道東域におけるサンマの適水温域の出現頻度の経年変動



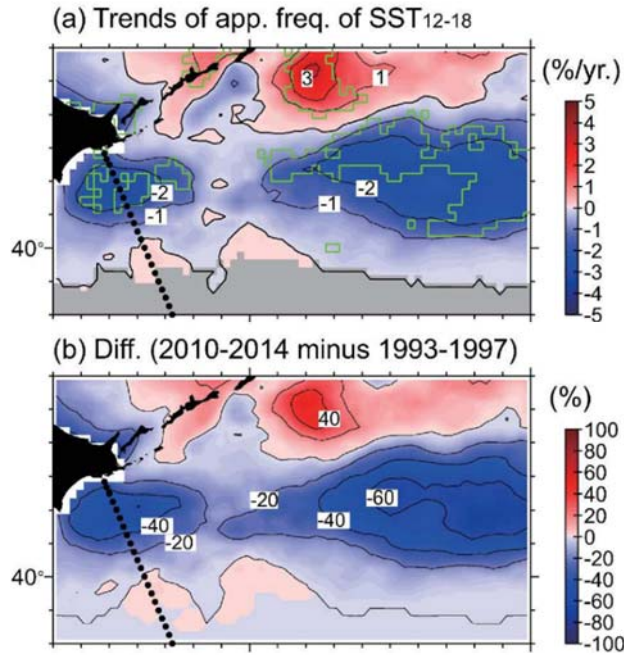


図13. 適水温域の経年変動の地理的な差異  
 (a) 適水温域の出現頻度のトレンドの地理的差異  
 (b) 年代間の適水温域の出現頻度の差異

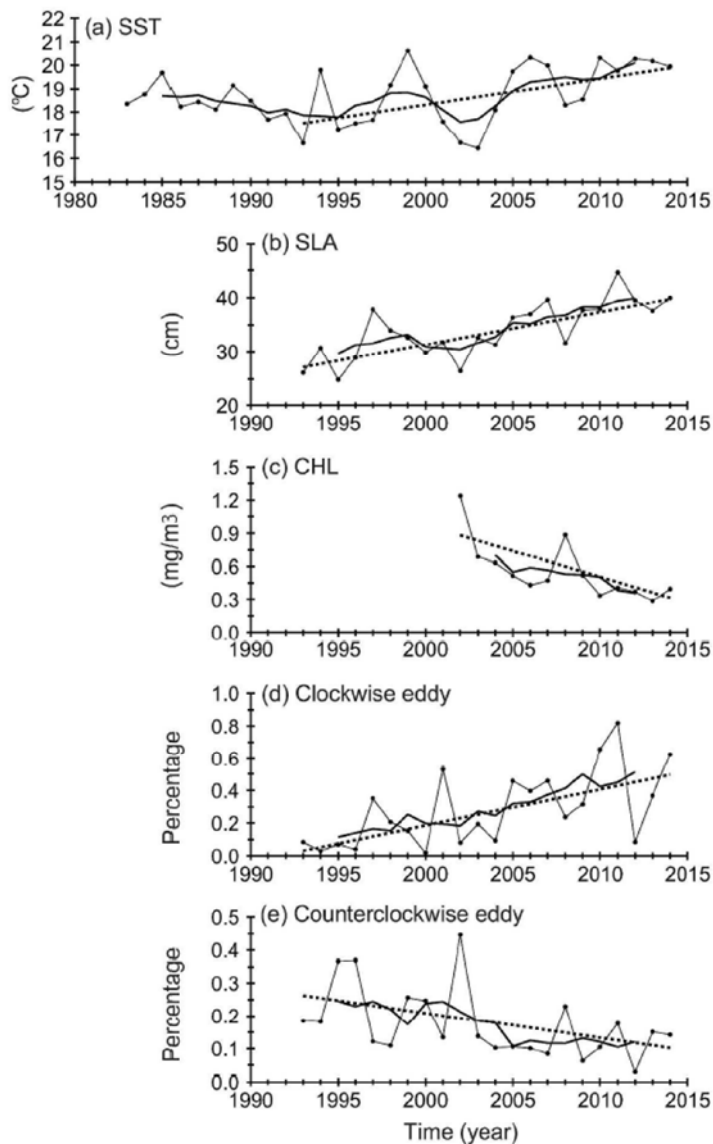


図14. 道東沖の各種海洋環境パラメータのトレンド  
 (a) 水温、  
 (b) 海面高度、  
 (c) クロロフィル濃度  
 (d) 暖水渦の出現頻度、  
 (e) 冷水渦の出現頻度

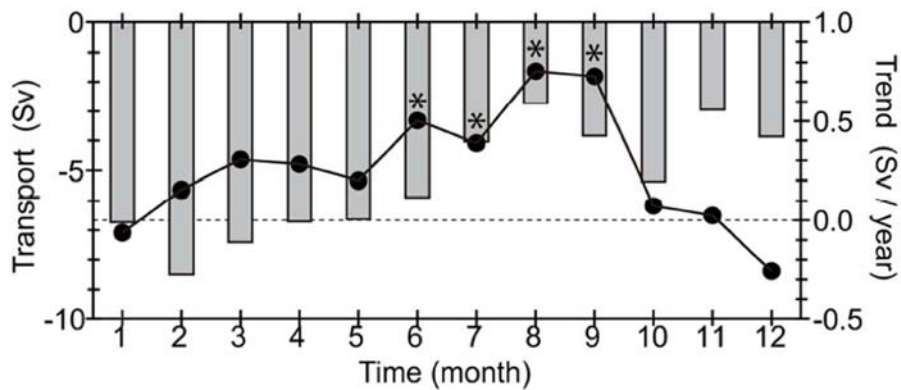


図15. A-lineデータから推測した道東沖の親潮の月平均流量およびトレンド値が低いほど南向きの流れ（親潮）が強い。

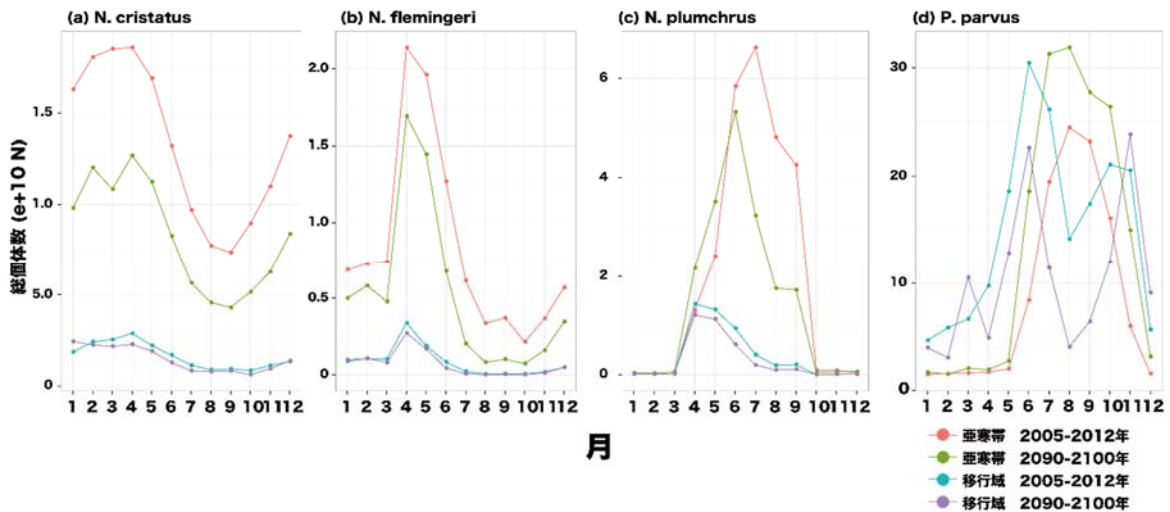


図16. 各海域で積算したカイアシ類4種の現在と将来の総個体数の比較

<小型浮魚類の変化と漁業への影響評価>

気候モデルMRI-CGCM3によるCMIP5-RCP85実験の複数の大気外力（RCPシナリオ2.6, 4.5, 6.0, 8.5）を用いて、FRA-ROMS-eNEMUROを駆動し、2010、2050、2090年代の気候値・温暖化（RCPシナリオ）実験を行った。そして、温暖化実験の出力結果を用いて、マイワシ、マサバ、サンマの産卵場を予測するとともに、マサバ、マイワシの仔魚輸送の実験を行い、経験水温から温暖化による影響を評価した。その結果、RCP8.5シナリオでは、2090年代に温暖化の影響が顕著に現れ、マサバは房総半島周辺、マイワシは常磐沖周辺、サンマは現代より沖合が産卵場に好適な環境となった（図17～19）。しかし、産卵場の移動に伴い孵化した仔魚も現在と同様な水温、餌料環境を経験すると推定され、仔魚期の成長には大きな影響を受けないと考えられた。

一方、サンマについては、成長-回遊モデルを用いた数値実験（2月生まれのサンマを想定）を実施し、千島海域（149～160°E, 40～50°N）に来遊するサンマの温暖化に伴う現存

量変化を予測した（図20）。その結果、千島海域におけるサンマの現存量および現存尾数は温暖化が顕著なほど増加する傾向となった（図20）。ただし、RCP4.5シナリオの2091-2100年だけ異なる傾向を示した。なお、温暖化の進行とともに来遊ピークは遅れ、体長モードは小型化する傾向が示された（図20）。

気候変動による小型浮魚類の漁期・漁場への影響として、過去の漁場位置および漁獲量を使用して魚種別に漁場予測モデルを構築し、RCPシナリオによる漁場変動の温暖化予測実験を行った。なお、マイワシ、マサバの初期資源量は過去の平均的な水準値を仮定し、サンマの初期資源量は成長-回遊モデルを用いた数値実験結果を用いた。その結果、RCP8.5シナリオでは、マイワシの北上時期が20日～40日早くなるのに対し、南下時期は20日～60日遅くなった（図21）。また、マサバの北上時期もマイワシ同様、20日～40日早くなり、南下時期は20日～40日遅くなった（図22）。一方、サンマについては、生鮮で出荷することが多い体長29cm以上のサイズに注目すると、2051～2060年の各漁場への来遊尾数は現在気候よりも多くなるものの、2091～2100年になると、成長の低下によってこのサイズの来遊尾数は著しく減少すると予測された（図23）。

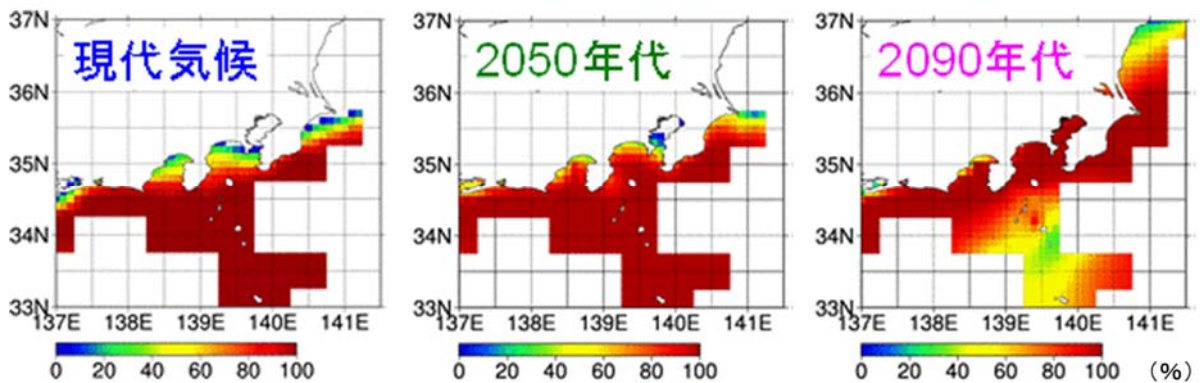


図17. 3～4月の水温がマサバの産卵適水温（15.9～21.6℃）になる確率（水深250m以浅）

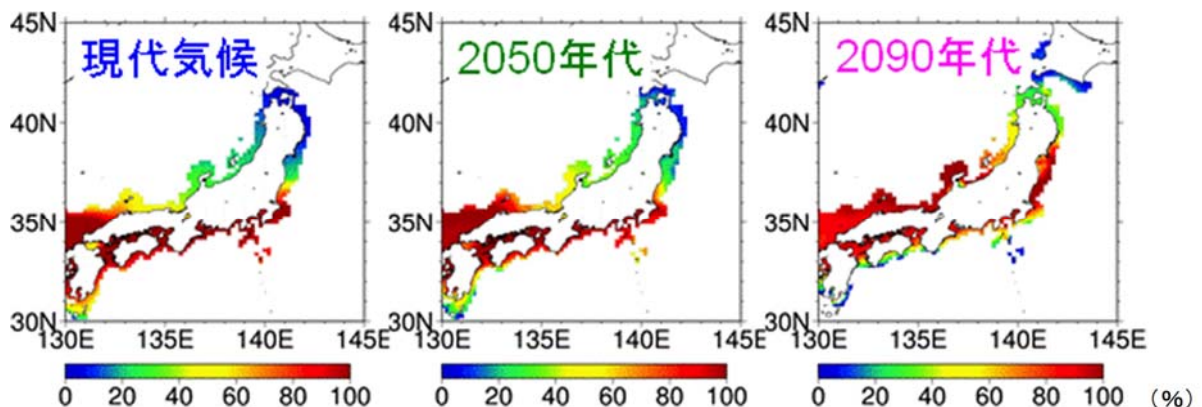


図18. 3～4月の水温がマサバの産卵適水温（15.9～21.6℃）になる確率（水深250m以浅）

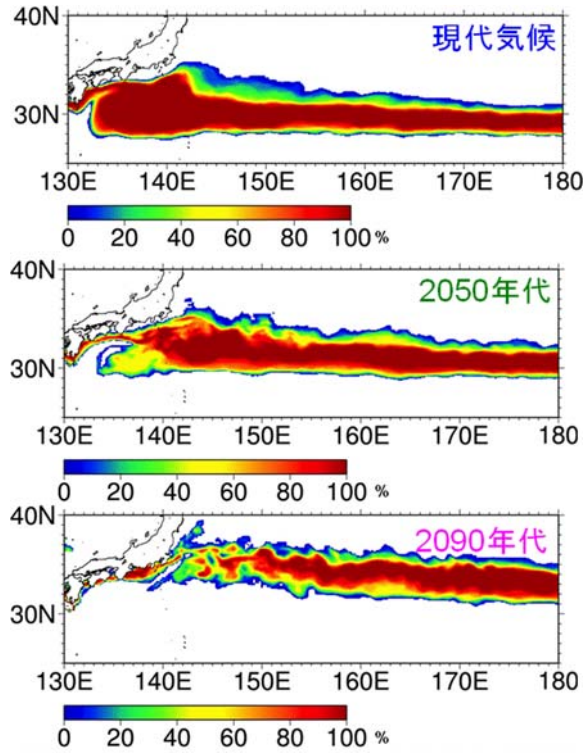
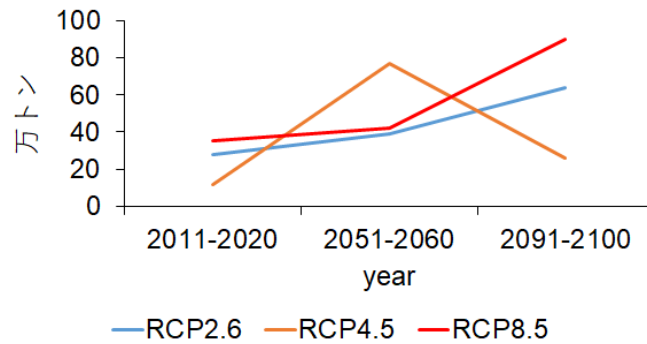


図19. 2～3月の水温がサンマの産卵適水温（18.6～20.6℃）になる確率

a) 千島海域現存量（2月生まれ）



b) 千島海域体長モード（2月生まれ）

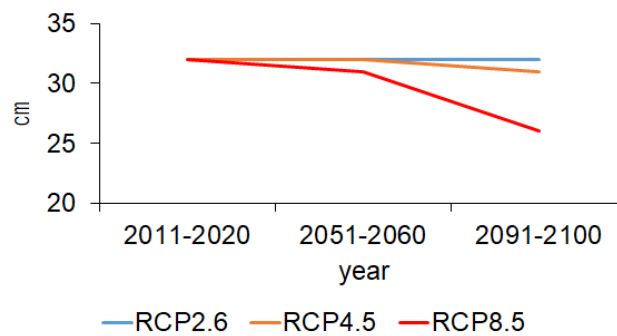


図20. サンマ成長一回遊モデルを用いた温暖化実験によって得られる千島海域（149～160°E, 40～50°N）のa) 積算現存量, b)体長モード。

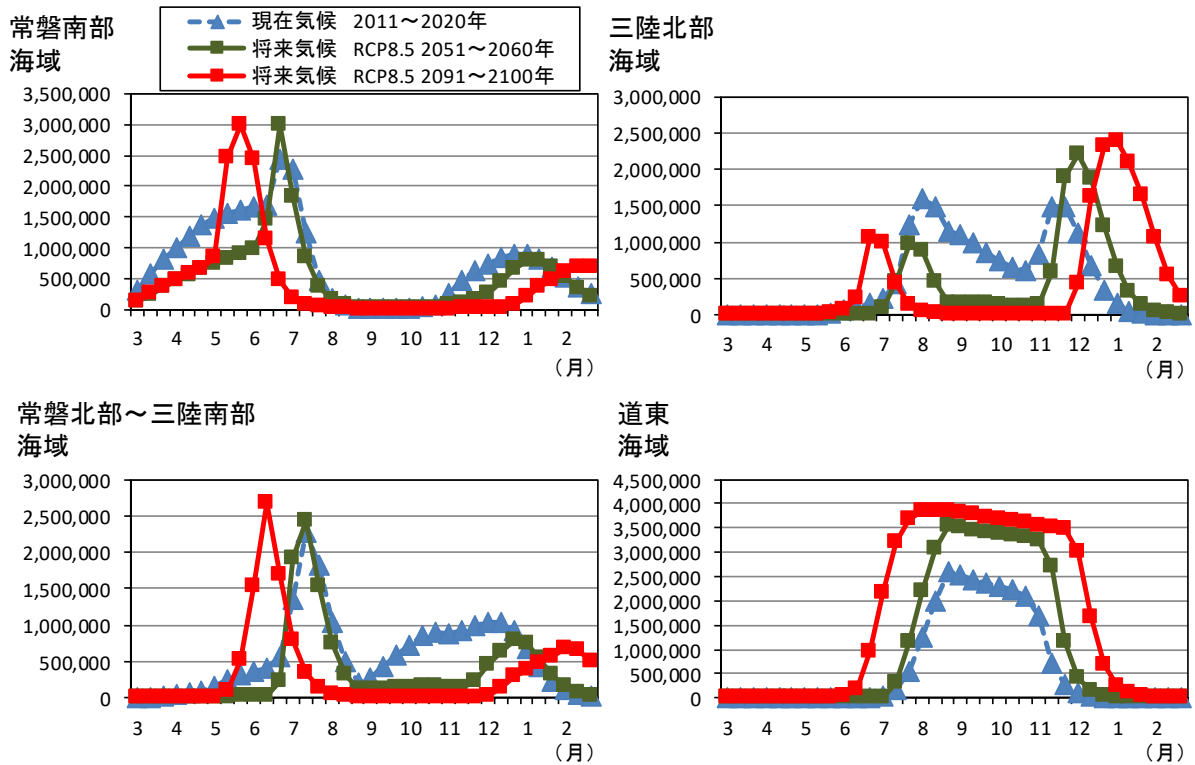


図21 マイワシ低～中位水準期における気候変動実験結果 (RCP8.5シナリオ)  
資源量は各海域へのマイワシの来遊量 (トン)

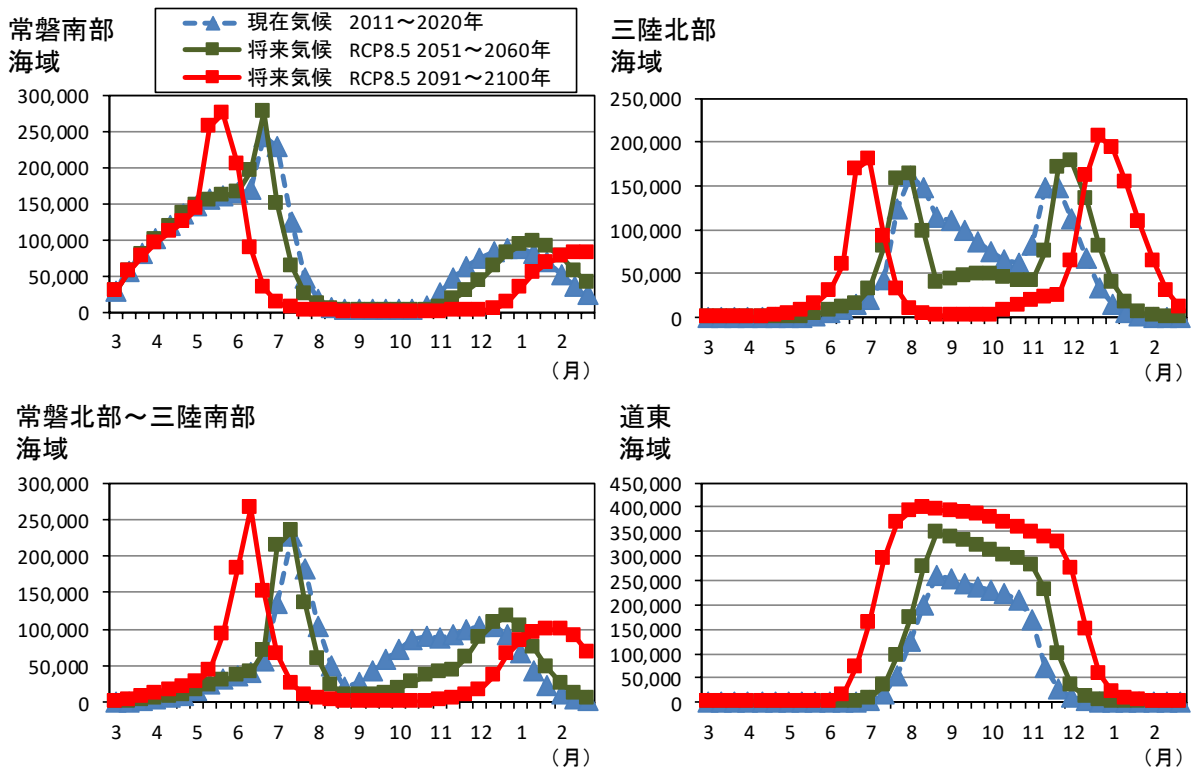


図22. マサバ気候変動実験結果 (RCP8.5シナリオ)  
資源量は各海域へのマイワシの来遊量 (トン)

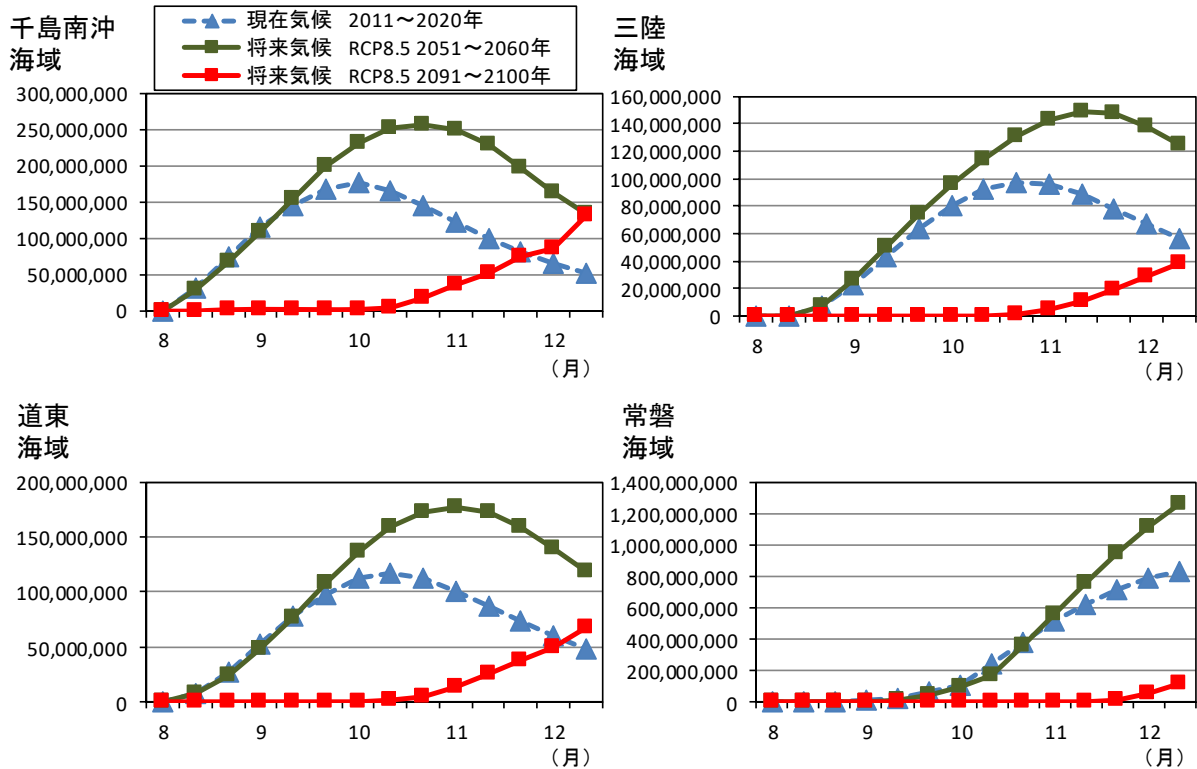


図23 サンマ気候変動実験結果：体長29cm以上（RCP8.5シナリオ）  
各海域への来遊尾数（尾）の変化として示した。

#### 4) 今後の課題

餌料生産に至る各過程の調査を行い、物理環境から栄養塩供給、植物プランクトン生産までの関係の知見を得たが、環境要因と動物プランクトンの関係については部分的な理解に留まった。今後、より多くのデータを体系的に蓄積するとともに適切な解析を行う必要がある。また、気候変動の影響については、黒潮の流動場の変化の効果と混合層の変化の効果それぞれの予測が統合されておらず、これらを統合した予測を行う必要がある。

海洋では自律的な約20年スケールの周期的な変動も卓越するため、線型の変動である温暖化と区分することが重要となる。これまでのモニタリングで30年のモニタリングデータベースを構築したが、両者を区分し温暖化の影響を精度良く調べていくためにはさらに長い時間スケールのデータが必要である。よって、これからもさらにモニタリングを継続し、データを蓄積していくことが課題である。

観測結果・モデル予測を基に餌料環境は悪化する可能性があるかと判断できたのに対し、モデル結果では仔稚魚期への影響は小さいと判断された。モデルの結果は、将来予測の小さいシグナルを議論できる精度ではないため、今後のモニタリングにより、温暖化影響による餌料環境の変化を捉えるような観測の継続が重要になってくる。

温暖化シナリオを基に50年後、90年後の平均的な海洋環境の予測と、それに伴う浮魚類の産卵場、漁場分布、資源変動への影響予測が実施できた。しかし、数十年規模の気候変動（自然変動）を加味した影響については評価できなかった。今後は、温暖化への影響と数十年規模の気候変動も考慮した評価が重要である。

委託プロジェクト研究課題番号	A8:13405684	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	81200	研究期間	平成25～29年度
契約課題名	漁業・養殖業に係る気候変動の影響評価		
中課題名			
小課題名	東シナ海域における低次生態系モニタリングとカタクチイワシ資源への温暖化影響評価		
小課題責任者名・研究機関	(研) 水産研究・教育機構 西海区水産研究所 海洋環境グループ 長谷川徹		

## 1) 研究目的

カタクチイワシは東シナ海域における重要な漁業対象資源であることに加え、ブリやサワラ等の主要な餌生物としても重要である。そのため、気候変動によるカタクチイワシの変化は、直接および間接的に我が国の漁業・増養殖業に影響を与えることが予測される。そこで本課題では、東シナ海域の低次生態系およびカタクチイワシ資源への影響評価モデルを構築し、温暖化による東シナ海のカタクチイワシ資源への影響を評価することを目的とする。

## 2) 研究成果

東シナ海域の海洋環境及び低次生態系のモニタリングを年に5～6回ずつ実施し、モニタリングデータをデータベース化した。また、カタクチイワシ卵の分布と環境要因との関連について解析し、水温と日長(日出～日の入)を用いた産卵密度の予測モデルを作成した。そして、現在気候(2011-2020年)と2051-2060年(50年後)及び2091-2100年(100年後)の予測値を用いて産卵可能海域を推定し、気候変動がカタクチイワシの産卵場形成に与える影響を評価した。気候モデルにはMRI-CGCM3、温暖化シナリオとしてはIPCCのRCP2.6、4.5、8.5シナリオを用いた。さらに、東シナ海のカタクチイワシ漁業への温暖化影響評価を行うために全国有数のカタクチシラス漁場である鹿児島県吹上浜(図1)へのシラス加入量予測を行った。加入量の予測には、日本周辺高解像度物理-低次生態系結合モデル(FRA-ROMS-eNEMURO)にカタクチイワシの生産モデルを結合して行った。

東シナ海における5月の表面水温は、RCP8.5シナリオを用いた場合、100年後に2～5℃程度、上昇することが予想され(図2)、産卵場も水温上昇に伴って現在気候値(図3)よりも北に移動すると予測された。吹上浜におけるカタクチイワシの加入量は、現在気候では5月生まれが加入の主体となっていたが、RCP2.6シナリオの場合、50年後では4月に減少、100年後には4月に増加することが予想された(図4.)。RCP4.5シナリオの場合では、50年後では3、4月に増加、5月に減少、100年後には3月に増加、4～5月に低下することが予想された。なお、RCP8.5シナリオでは、50年後の加入量は5、6月に低下、100年後には加入のピークは2、3月に認められ、加入量は2月に増加、4～6月に減少することが予想さ

れた（図4.）。

吹上浜に加入するシラスの体長は、RCP2.6と4.5シナリオでは体長モードの最大値は3月に認められた（図5.）。また、現在気候と比較して50年後、100年後の体長モードに顕著な変化は認められなかった。しかし、RCP8.5では50年後の体長モードが3月と4月に増加、100年後の体長モードは2月と4月に増加したものの、6月に減少した。また、体長モードの最大値は100年後には3月から2月へ早期化することが認められた（図5.）。

### 3) 成果活用における留意点

東シナ海におけるカタクチイワシ親魚の分布・回遊に関する知見が十分でないため本課題ではカタクチイワシの全生活史を通じた温暖化影響評価が出来ていない点に留意する必要がある。

### 4) 今後の課題

カタクチイワシの温暖化影響評価をより確度の高いものにしていくためには親魚を含めたカタクチイワシの全生活史に関する知見の収集が必要になる。しかし、カタクチイワシ漁業は沿岸域に偏るため、漁獲データから知見を収集することが困難であり、調査船による調査を検討する必要がある。

今回の研究では、カタクチイワシ卵の分布密度と環境との関連について調査を行い、東シナ海におけるカタクチイワシの推定産卵場についてのデータが得られた。しかし、カタクチイワシ漁業が沿岸域に偏る事情により、カタクチイワシ親魚を含めたモデル化が達成されず、課題として残された。今後、調査船による沖合域でのカタクチイワシ分布調査を行う必要がある。

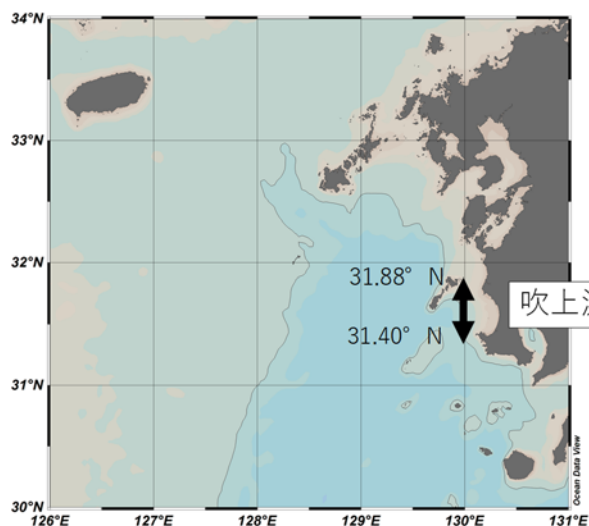


図1. カタクチイワシシラスの加入量予測を行った吹上浜の領域

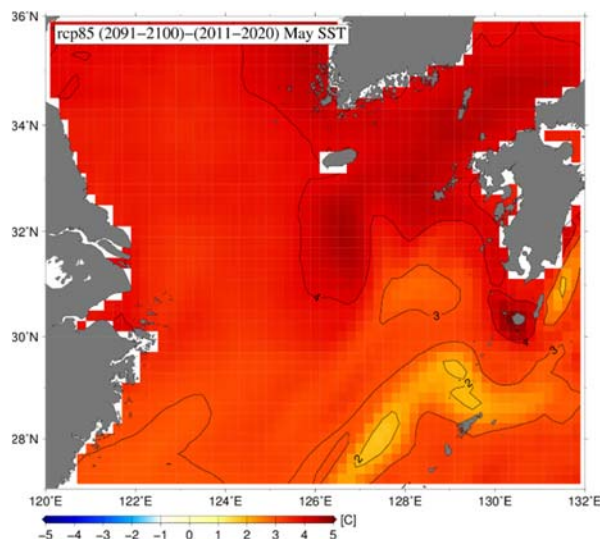


図2. 現在と100年後の5月の東シナ海の表面水温の温度差  
正の値は将来、水温が上昇することを示す。



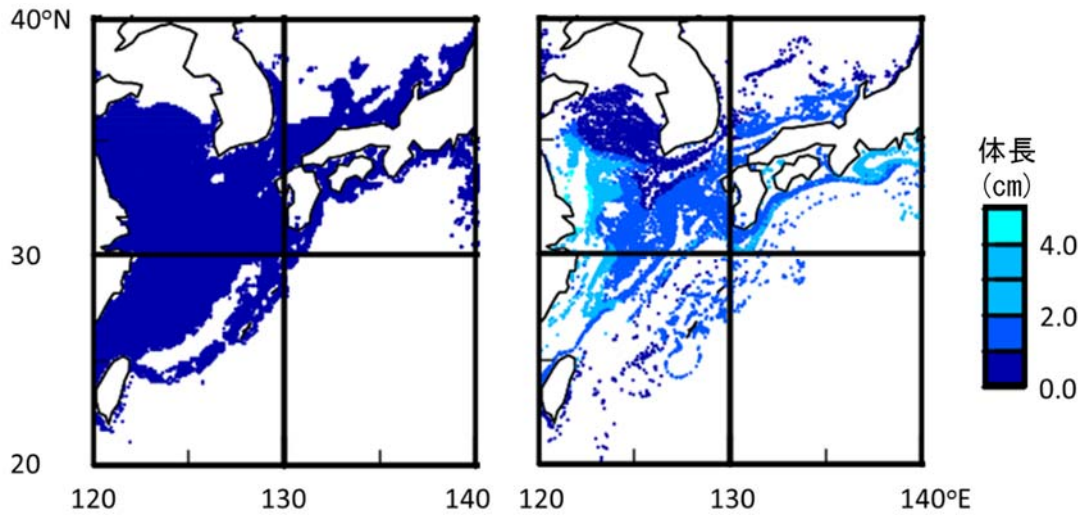


図3. 現在気候条件での5月のカタクチイワシの推定産卵場（左）  
 および産卵から30日後の分布予想図（右）  
 左図は卵の分布を示し、右図のカラーバーは体長を示す。

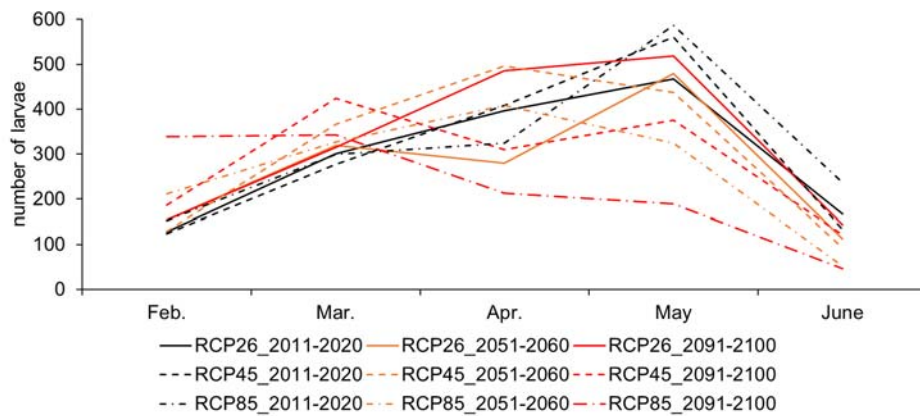


図4. 産卵から30日後の吹上浜へのカタクチイワシシラス来遊量指数の予測値

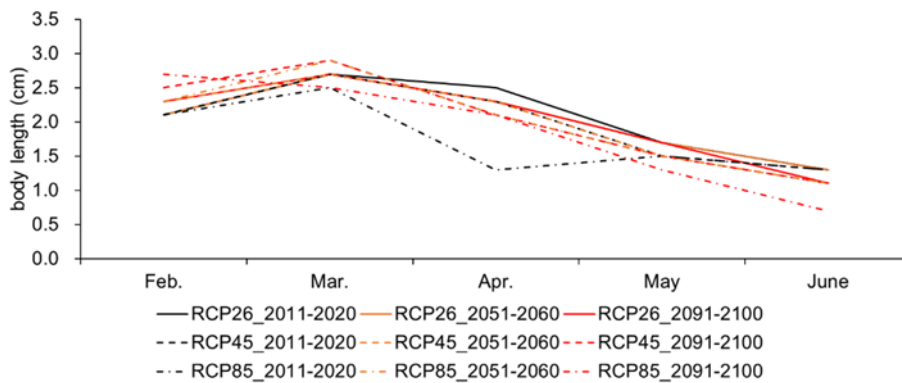


図5. 産卵から30日後に吹上浜へ来遊するカタクチイワシシラスの体長モード

委託プロジェクト研究課題番号	A8:13405684	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	81300	研究期間	平成25～29年度
契約課題名	漁業・養殖業に係る気候変動の影響評価		
中課題名			
小課題名	日本海におけるスルメイカ漁業への温暖化影響評価		
小課題責任者名・研究機関	(研) 水産研究・教育機構 日本海区水産研究所 資源管理部 資源管理グループ 久保田洋		

## 1) 研究目的

日本海は過去100年間において最も水温が上昇した海域の一つであり、IPCCの第4次評価報告書でも高い水温の上昇が予測されている。本課題では地球温暖化による日本海物理環境および低次生態系の変化予測結果を基に、日本海沖合の主要漁業資源であるスルメイカの成長、漁場位置・時期の変化を予測するとともに、日本海の沖合域の漁業への影響を評価することを目的とする。

## 2) 研究成果

気象研地球温暖化モデルMRI-CGCM3を境界条件（解像度約1°）とし、日本海渦解像度海洋モデル（解像度1/12°）を用いて、RCP4.5、6.0、8.5の3種類のシナリオにおける2007～2100年の予測計算を行った。さらに、日本海海洋環境予測結果を海洋モデルと同じ水平解像度を持つ生態系モデルNEMUROに適用し、2000、2050、2100年代の植物プランクトンの分布等を予測した。

予測結果では、温暖化の進行に伴い、日本海全域で水温が上昇し（図1）、植物プランクトンが減少して小型化が進む（図2）という結果が日本海北部で特に顕著に見られた。また、北朝鮮沖を中心とした日本海北部海域での昇温が大きいことから（図1）、日本海水温の南北差を弱めて、日本海極前線が弱まるという結果も得られた。その結果、韓国東岸沿岸～沖合の植物プランクトンや栄養塩の日本海東部への輸送が弱まり、日本海北部沿岸域の低次生産力が温暖化の進行と共に弱まると予測された（図3）。なお、2012年7月～2017年5月の各月の動物プランクトンのモニタリング結果と生態系モデルによって得られた計算結果を比較し、現在気候の計算値が妥当であることを確認した（図4）。

一方、温暖化がスルメイカの漁期・漁場の変化に与える影響を把握するため、既存の調査船調査結果で得られたデータを基に、表面水温と水深50m水温からスルメイカの分布密度の指標値（CPUE：釣り機1台1時間あたりの採集尾数）を予測するモデルを一般化加法モデル（GAM）で作成した。そして、RCP8.5シナリオで予測した日本海の表面水温と水深50m水温を基にスルメイカの分布密度を予測するとともに、想定される主漁場の分布密度の変化を予測し、日本海におけるスルメイカ漁業への影響を評価した。その結果、1) 全

体に漁期が現在よりも早期化すること、2) 100年後には大和堆では春～夏のCPUE上昇が見られなくなり漁期を通じて低調な漁況となること、3) 日本海の北寄りの海域では100年後も比較的高いCPUEであること、4) 総じて、スルメイカの主分布域が我が国EEZ内に止まる期間が短くなる傾向があること、が予測された(図5)。

さらに気候変動によるスルメイカの成長および漁獲されるスルメイカへの影響を予測した。スルメイカの成長は、体重と水温による摂餌率、代謝率、および成長率の変化を定式化し(図6)、想定したスルメイカの回遊経路における各温暖化シナリオの実験結果による経験水温を与えて推定した。その結果、1) 現状気候での成長の推定結果は実際よりもやや小さいが、妥当な範囲内と評価された。2) 温暖化による成長変化は小さく、やや大きくなる程度の変化であると推定された(図7)。ただし、今回の予測結果には、餌環境の変化は考慮されていないため、成熟や餌条件に伴う成長の変化を取り込んだ予測が可能となるよう改善する必要がある。

なお、本課題では、スルメイカの飼育実験に適した閉鎖循環システムを構築し、丹後半島周辺海域の定置網に入網した若齢スルメイカを用いて、13℃、17℃、20℃、23℃による飼育実験を行い、各実験区での摂餌量、成長、成熟状況を記録した。その結果、1) 日間摂餌量は水温の高い実験区ほど多いこと、2) 成長率は20℃区で最も高いこと、3) 全ての実験区で成熟が確認され、成熟は天然個体より小型で、早期に始まっていること、4) 高水温の実験区ほど成熟がより小型で早期であり、23℃では交接行動も確認されたこと、等が明らかとなった(図8、図9)。

### 3) 成果活用における留意点

本成果は、スルメイカの生活史のうち、産卵場・産卵期や回遊範囲の変化については評価していないことに留意する必要がある、この点に関しては今後のモデル開発等が必要である。

### 4) 今後の課題

モニタリングを継続し、20年間の動物プランクトン現存量データを得たが、水温の周期的な変動との関係性は見いだせず、生態系モデルの現況と予測の妥当性の検討が今後の課題として残された。今後、日本海の生態系に適したモデルに修正するなどの検討が必要である。

スルメイカの飼育実験結果を活用し、水温による成長率の変化を推定したが、同じ水温でも摂餌率により成長率が変化することには言及できなかった。今後は、異なるサイズ、餌料条件等による実験例を増やすこと、および環境中の餌密度と成長または摂餌量の関係について検討することが必要である。

現状のスルメイカ成長モデルは、温暖化に伴い低次生産が減少することの影響や、高水温に伴い小型で早期に成熟することの影響が反映されていない。これらの影響がスルメイカの成長や生活環にどのような影響を及ぼすかについては今後の課題として残された。

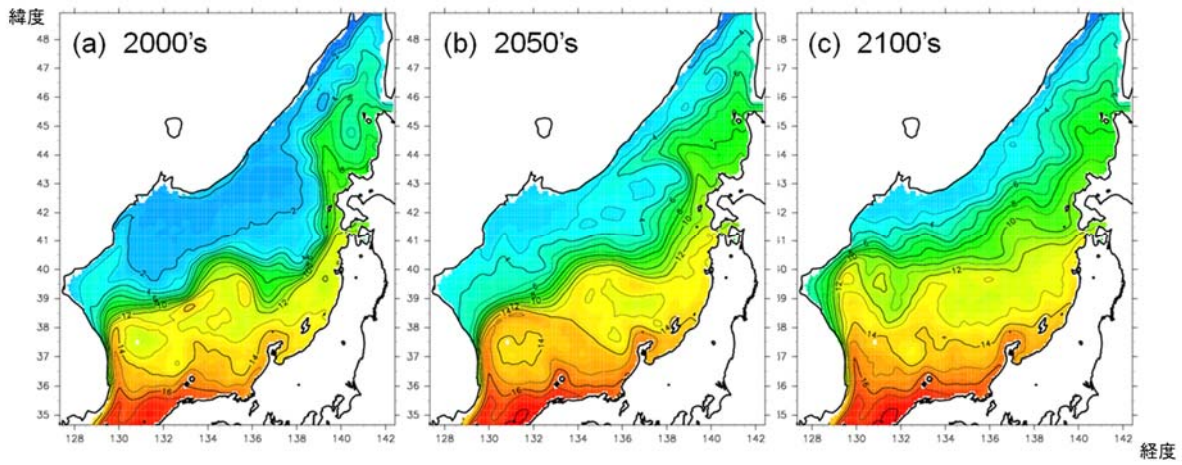


図1. 各年代の42.5m深水温の水平分布

RCP4.5シナリオの予測結果。2000年代は2007～2009年、2050年代は2049～2051年、2100年代は2098～2100年の各3ヶ年の平均とした。

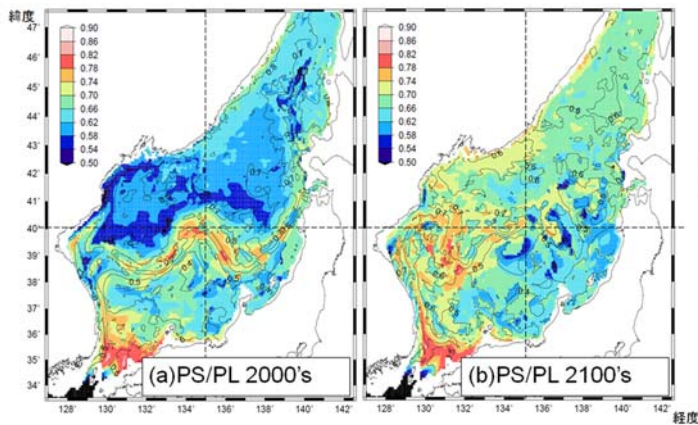


図2. 各年代の大型植物プランクトン量に対する小型植物プランクトン量の比

RCP4.5シナリオの予測結果。各年代の期間は図1と同じ。

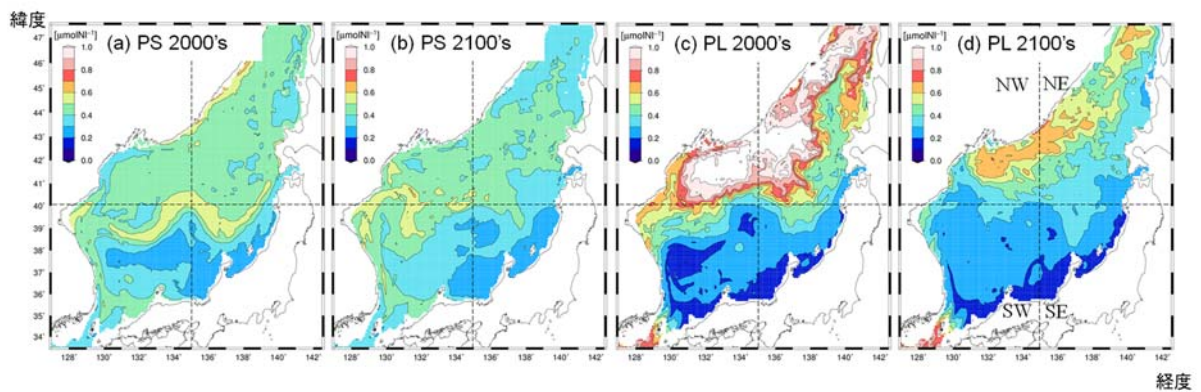


図3. 各年代における鉛直積分した小型植物プランクトン量 ((a)、(b)) と大型植物プランクトン量((c)、(d))の水平分布

RCP4.5シナリオの予測結果。各年代の期間は図1と同じ。

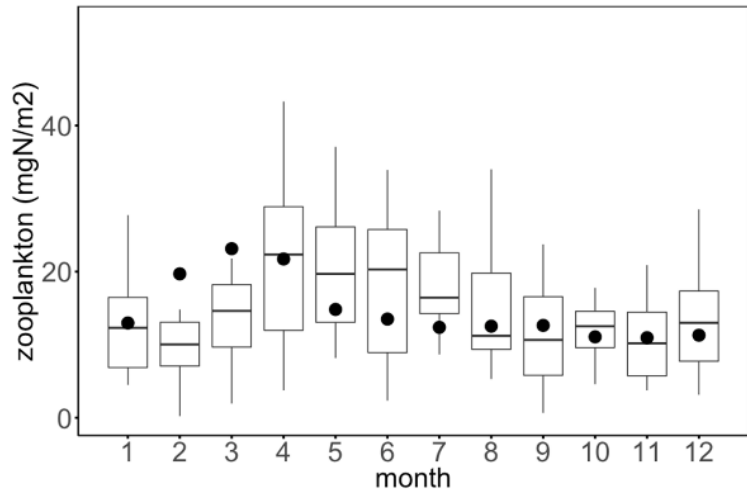


図4. 低次生態系モデル（NEMURO、黒点）と動物プランクトンの観測結果（北緯41度 東経140度、箱ひげ図）の比較

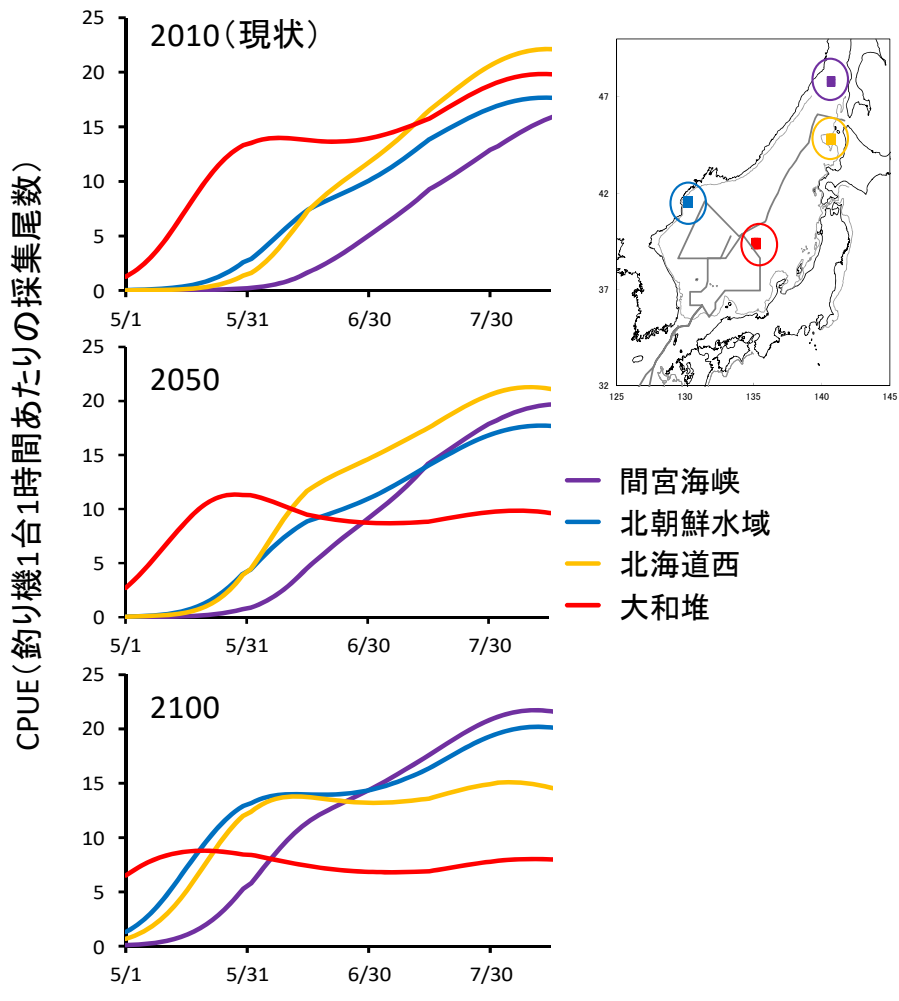


図5. 想定漁場におけるスルメイカの分布密度  
 CPUE（釣りが機1台1時間あたりの採集尾数で指標）の日別変化。  
 RCP8.5シナリオによる予測結果

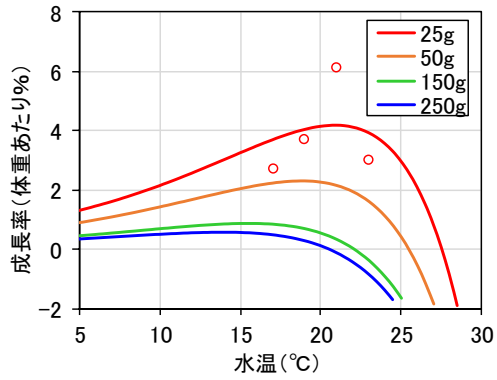
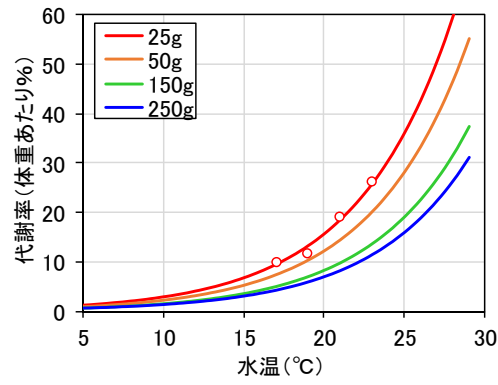
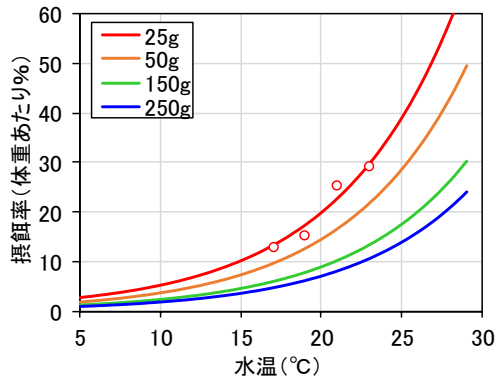


図6. 本事業および既往の飼育実験から推定したスルメイカの摂餌率（左上）、代謝率（右上）および成長率（左下）の水温による変化。○は本事業により得た実測値。

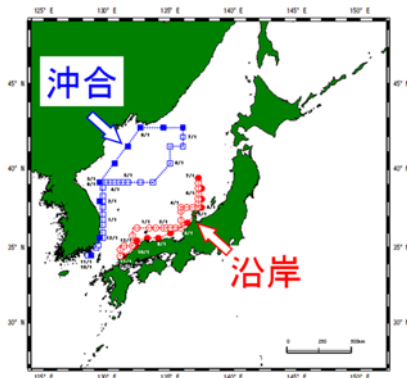
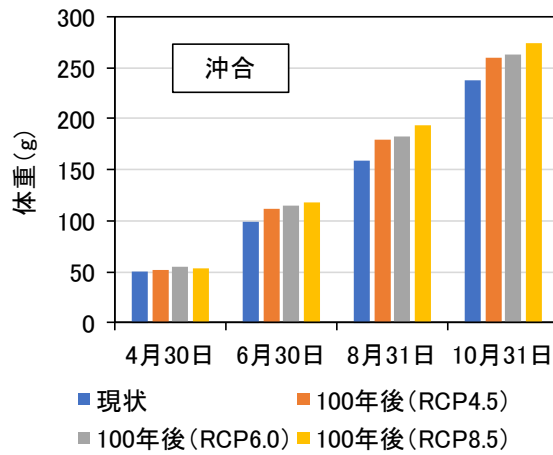
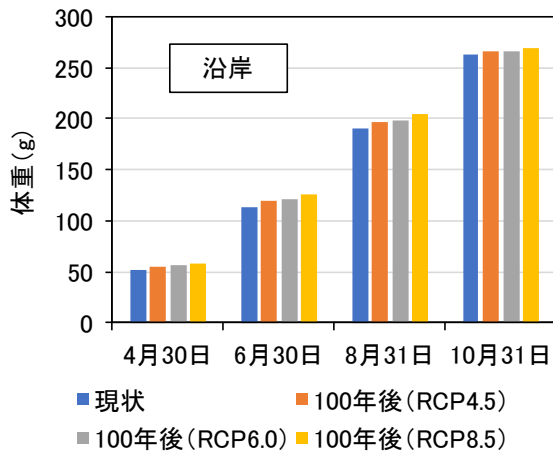


図7. 想定した2つの回遊経路（下左図）における海洋モデルの水温、および成長式（図-3）により推定した現在気候と100年後のスルメイカの成長（上図）。上図では、3月1日（体重25g）を起点として10月31日まで計算した際の偶数月末の推定体重を示した。

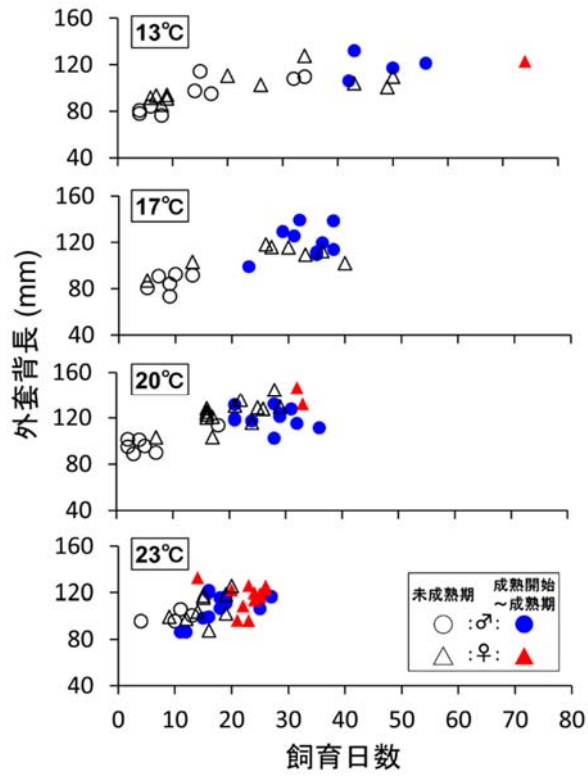


図8. 各水温実験区における飼育日数に対する成長（外套背長）と成熟度の推移

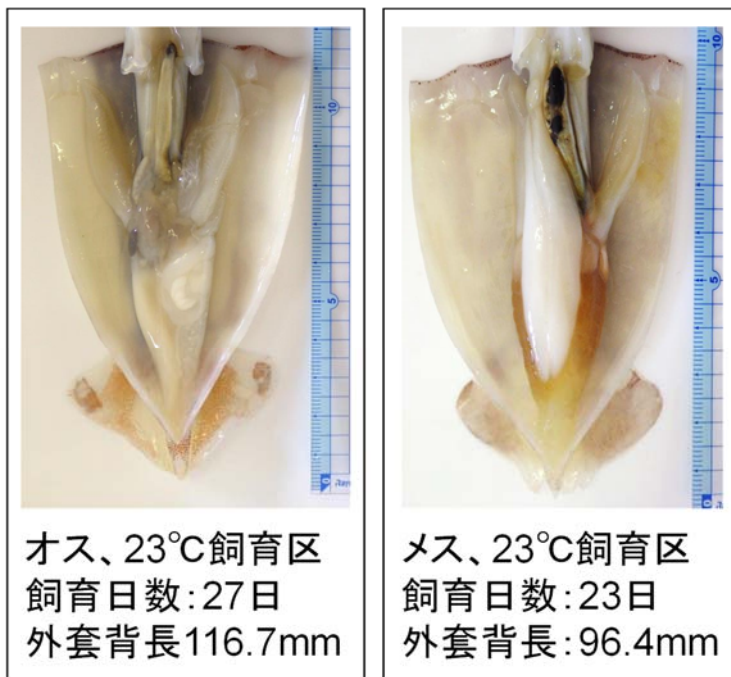


図9. 小型で早期に成熟した個体の例。日齢解析の結果、孵化後約5ヶ月と推定される。

委託プロジェクト研究課題番号	A8:13405684	研究期間	平成25～29年度
小課題番号	82100	研究期間	平成25～29年度
契約課題名	漁業・養殖業に係る気候変動の影響評価		
中課題名			
小課題名	西日本沿岸域の藻場生態系への温暖化の影響評価と高精度予測技術の開発		
小課題責任者名・研究機関	(研) 水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所 生産環境部 藻場生産グループ 吉田吾郎		

## 1) 研究目的

近年、西日本沿岸域（特に暖流沿岸域）では水温の上昇とともに、磯焼けに特徴づけられる藻場生態系の変化が地理的に拡大し、漁業生産にすでに大きな影響が生じている。そのため、磯焼け対策等の適切な適応策を講ずることに加え、温暖化による藻場生態系への長期的な変動予測を行うことが重要となっている。また、近年不調が続くノリ等の藻類養殖業においても水温上昇の影響が示唆されており、今後の温暖化の進行によるさらなる影響について、予測に基づいた対策が求められている。これらの藻場や養殖場の存在する沿岸域において、温暖化の影響予測を行うためには、そのスケールや環境の多様性に応じた高解像度の解析が必要である。そこで本課題では、水温上昇が藻場生態系や藻類養殖へ及ぼす影響の機構を解明するとともに、高解像度の長期水温変動予測を基に、藻場生態系の変化および藻類（ノリ）養殖への温暖化の影響を予測することを目的とする。

## 2) 研究成果

＜モニタリングと実験による気候変動による藻場の変化の機構解明＞

藻場の変化の実態把握と水温環境との関係を明らかにするため、九州西北岸（長崎県沿岸）と瀬戸内海～豊後水道東部（宇和海）で重点的な藻場の調査・モニタリングを行った。長崎県沿岸では主に魚類の食害により、日本温帯域の主要な岩礁性藻場であるアラメ・カジメ類（温帯性コンブ類）の藻場とホンダワラ類（ガラモ）の衰退・消失が進んでいた。また、近年頻発する夏季の異常高水温がアラメ・カジメ類の大規模流失をもたらし、藻場の変化に拍車をかけていた（図1）。長崎半島では、アラメ・カジメ類の消失後、残存したホンダワラ類の藻場も構成種数の減少後に消失し、小型海藻中心の藻場に変化していた。また南方系ホンダワラ類やサンゴの分布拡大もみられた。

瀬戸内海～宇和海では、両海域間に存在する地理的な水温勾配に沿って多数の調査定点を設定した。瀬戸内海から宇和海北部ではカジメ類の1種クロメと温帯性ホンダワラ類による藻場が分布していたが、宇和海中部の藻場ではクロメが欠落し、温帯性ホンダワラ類を中心に構成される藻場や、マクサ等小型海藻の藻場へと移行した。さらに宇和海南部では海藻群落が極めて貧しくなり、海底は無節石灰藻に覆われた磯焼け状態を呈した場所が

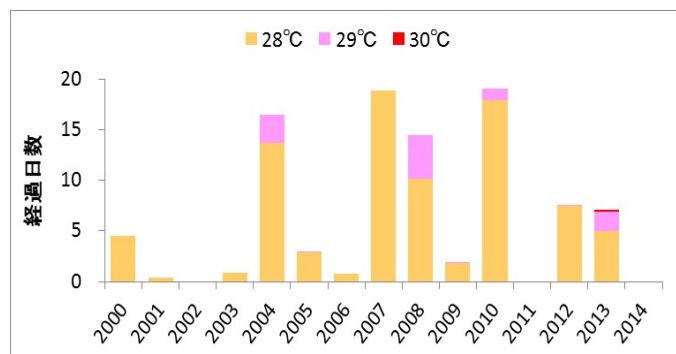


多くなった。このような場所の一部では、サンゴ群落や、浅所に熱帯性ホンダワラ類のヒイラギモクの群落が認められた。

瀬戸内海から宇和海における地理的な水温勾配に沿って観察された藻場の変化、すなわち、I. 温帯性コンブ目藻類(アラメ・カジメ類) + 温帯性ホンダワラ類による藻場 → II. 温帯性ホンダワラ類の藻場 → III. 小型海藻類の藻場 → IV. 磯焼け(一部に熱帯性ホンダワラ類の藻場)は、長崎で観察された藻場の衰退過程における時間的な変化と類似していた(図2)。このことから、近年の西日本沿岸の藻場の変化(磯焼けの拡大)には水温環境の変化の影響が強く示唆されるとともに、植生構造の変化に規則性があると考えられた。

藻場の変化の生態学的な機構を明らかにするため、藻場生態系の鍵種について、1)藻場の海藻の高温に対する脆弱性、2)植食性魚類の採食活動へ及ぼす水温等諸要因の影響を実験的に検討した。ホンダワラ類の主要種ノコギリモクの光合成活性は30°C下でも維持されるのに対し、アラメ・カジメ類の主要種であるクロメの光合成活性は短時間に大きく低下した。また、温帯性のホンダワラ類の生育上限温度が30~32°Cであるのに対し、アラメ・カジメ類は28~29°Cであり、クロメは29°C下では6日で枯死した(図3)。このように、コンブの仲間であるアラメ・カジメ類は夏季の高水温に対し、より脆弱と判断された。ホンダワラ類は高温に対して比較的耐性があるものの、西日本で分布を拡大しつつある熱帯性のヒイラギモクの生育上限温度は33°Cであり、温帯性種よりも高かった。

西日本の主要な植食性魚類であるアイゴの採食行動に関し、水温や群れのサイズの影響、並びに海藻の嗜好性等について室内実験を行った。その結果、アイゴは水温が高いほど採食量が大きく、さらに群れサイズが大きくなると「食い散らかし」による海藻の藻体脱落量が大きくなって藻場への影響が多くなること、アラメ・カジメ類やノコギリモク等の極相種はアイゴの嗜好性が比較的低い反面、純群落を形成するために食圧が分散しにくく、さらに藻体の再生力が低いために捕食の影響を受けやすいことが明らかになった。



	1998	~2003	2004	2005	~2007	2008	~2011	2012	2013
クロメ	魚の被害で大規模に衰退	一進一退を繰り返す	高水温と食害でOTで激減	OTで消滅	KTで一進一退を繰り返す	高水温と食害でKTで激減	一年生的に(食われては再生の繰り返し)	ノコギリモクの衰退後に被食圧増大	わずかに残った幼体も食害で消滅
ガラモ	種数が次第に減少し、ノコギリモクの優占度上昇 魚類の採食圧増大によってノコギリモクの生産力は次第に低下							台風と食害で激減	わずかな芽生え

図1. 長崎半島でのモニタリング結果

左図・下図：長崎半島でのモニタリングによる藻場の状況

右図：水温環境 (年間における高水温域の日数)



図2. 瀬戸内海～豊後水道（宇和海）の地理的な水温勾配と、九州西岸の藻場の時間的な変化から推定される水温上昇にともなう藻場生態系の変化過程

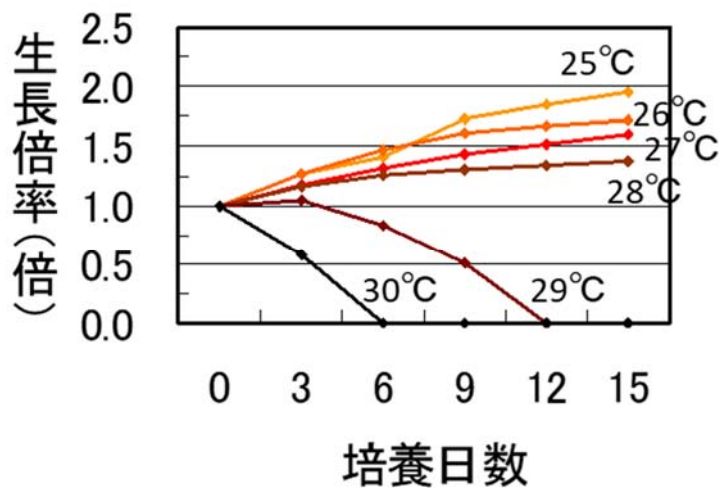


図3. 室内培養におけるクロメの成長と温度（高温域）との関係. 29°C以下では枯死

<物理モデルの構築による過去の水温環境の再現と藻場分布との照合～現状の理解と将来予測のプラットフォーム～>

瀬戸内海とそれに接続する黒潮沿岸域を対象として、既存の瀬戸内海モデルを改良した新たな黒潮—瀬戸内海流動モデルを構築した。このモデルの目的は、瀬戸内海の水温等の物理的環境を精緻に再現することである。特徴として、計算領域を黒潮流域に拡大し瀬戸内海への外海の影響を評価できること、沿岸域の藻場分布等小さな地理的スケールに対応するため高解像度（1km）であること、風や熱フラックス、外洋側諸条件に加え、河川流入や潮汐の影響等特に沿岸域の環境に大きな影響を及ぼすパラメータを組み込んだこと、等である。同モデルは、気候変動シナリオに基づいた該当海域の水温の将来予測を行うた

めのプラットフォームでもある。

一方、瀬戸内海から黒潮沿岸域の過去の藻場分布（第4回自然環境保全基礎調査；環境庁自然保護局 1994）と現状の藻場分布のGISマップを作製した。現状の藻場分布は1990年代以降に実施された水産庁や各県の水産試験場による調査等の既往知見と、本プロ研等で実施した調査結果に基づいてマッピングした。

マップにした該当海域における現状の藻場分布と、上述したモデルで再現した1993年～2014年の水温環境とを照合し、両者の関係を検討した。前述のとおり、1990年代初頭と比較して豊後水道や紀伊水道ではアラメ・カジメ類藻場の南限が後退したが、その主要な分布は表層水温15℃以下の年間日数が70日以上続く海域内にみられた（図4）。また、より温暖な海域でも局所的なアラメ・カジメ類の藻場の分布がみられたが（例：四万十川河口付近）、該当箇所における局所的な低水温環境をモデルによっても再現できた。15℃はアイゴ等植食性魚類の採食行動が完全に停止する水温であると報告されており（海生研 2012）、15℃もしくはそれ以下に水温が低下する時期にアラメ・カジメ類の藻体生産は最も活発となる（八谷ら 2014）。冬季に2カ月程度食害を受けず、藻体が成長できることがアラメ・カジメ類の藻場の存続に必要な条件と思われた。なお、四国・九州沿岸で分布を拡大している熱帯性ホンダワラ類ヒイラギモクは、表層水温が13℃以下に下らない場所に分布しており、冬季水温が生育の制限要因になっていると考えられた。

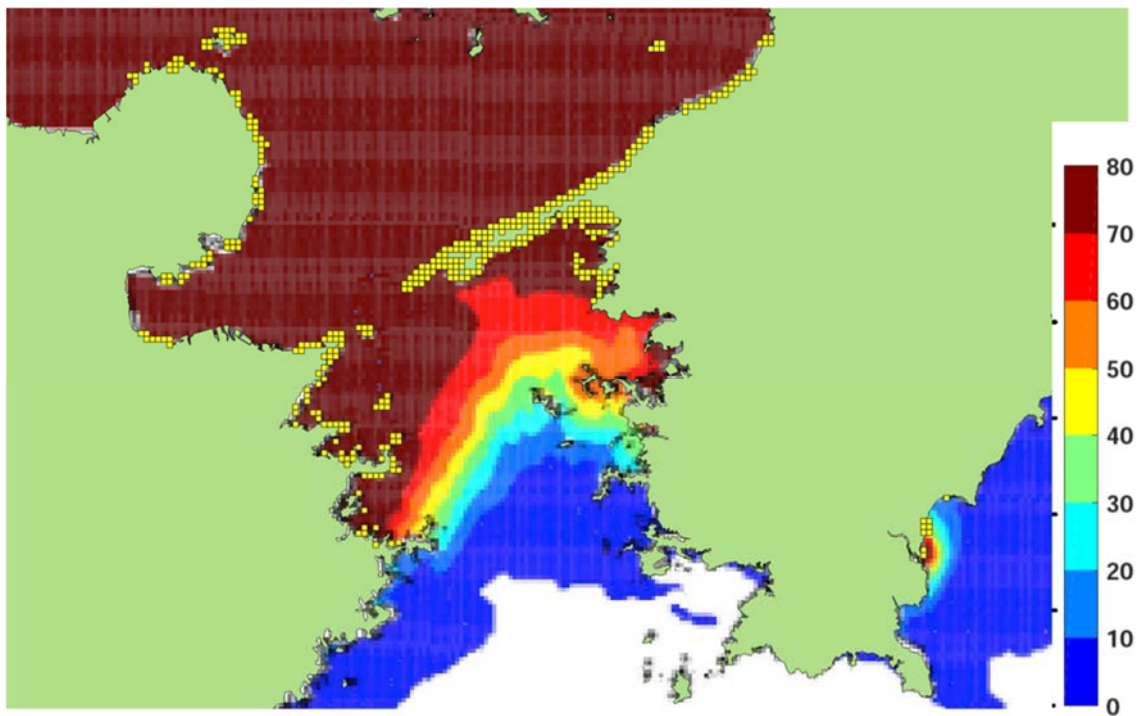


図4. 物理モデルで再現した1993～2014年の西部瀬戸内海～豊後水道部の水温環境（日平均水温15℃以下の平均年間日数：色分け）と、モニタリングによるアラメ・カジメ類の藻場分布（）。

#### <気候変動シナリオに基づいた瀬戸内海の水温と藻場分布の将来予測>

構築した新たな黒潮—瀬戸内海流動モデルを用いて、IPCCAR5の気候変動シナリオ（RCP2.6、RCP8.5）に基づいて、現在（2010年代）、2050年代、2090年代の該当海域の水温環境と藻場分布の予測を行った。モデルの境界条件には、AR5対応の大気海洋結合モデルMIROC5の出力を用いて、中央水産研究所が開発した日本近海高解像度モデルの計算結果を使用した。藻場については、実験結果と現在の藻場分布と水温環境の照合結果に基づき、コンブ目藻類（アラメ・カジメ類）の藻場については、I. 日平均水温29°Cが年間6日間（連続）未満、II. 日平均水温15°C以下の日が年間70日以上、の双方の条件を満たす場所に残存するとし、熱帯性ホンダワラ類については、I. 同じく34°C以上が0日、II. 13°C以下が0日、の双方の条件を満たす場所に分布拡大の可能性があると、とした。

RCP8.5のシナリオでは、瀬戸内海の水温は現状（1993～2014年）と比較して2050年代に2～3°C上昇し、2090年代ではほぼ海域全体で4～5°C以上の上昇がみられた。夏季水温についても、2010年代にはアラメ・カジメ類の致死温度である水温29°Cのエリアが局所的な出現にとどまっていたのに対し、2050年代には周防灘・燧灘・播磨灘に、2090年代にはほぼ瀬戸内海全域に拡大した（図5）。

RCP8.5のシナリオの予測結果に基づいて、アラメ・カジメ類の藻場が存続する条件を、夏季水温：29°C以上が年間6日未満、冬季水温：15°C以下が年間70日以上、の双方を満たす海域に設定すると、藻場は2050年代までは伊予灘と備後・芸予瀬戸に残存するものの（図6）、2090年代までにはほぼ全域にわたって消失することが予測された。その一方で、冬季水温が大幅に上昇することから、熱帯性ホンダワラ類がアラメ・カジメ類や温帯性ホンダワラ類に代わって瀬戸内海全域に分布を広げる可能性も示唆された。

一方、RCP2.6のシナリオに基づいた予測結果では、2050年代までに瀬戸内海域では夏季、冬季のいずれにおいても広域にわたって水温が1～3°C上昇すると予測されたが、その後、2090年代まで大幅な水温上昇は抑えられる結果となった（図5）。また、アラメ・カジメ類の藻場も将来にわたり比較的広域に残ることが示唆された（図6）。これらの結果から、瀬戸内海において在来の藻場を保全し、また藻場に依拠する漁業を持続するためには、徹底的な温暖化対策を行い、将来にわたる水温の上昇を最小限に抑える必要があることが明らかになった。

#### <藻類養殖への気候変動の影響>

瀬戸内海ではノリ（アマノリ類）・ワカメ等の海藻養殖が重要な地域産業であり、藻場と同様、海藻養殖においても水温環境が極めて重要となる。ノリもワカメもその種苗は夏季の間糸状体（ノリ）、あるいは配偶体（ワカメ）といった微小世代として水槽等で管理され、秋季に一定の水温まで低下した海域で育苗が行われる。この育苗開始の目安として、ノリもワカメも水温23°Cが目安となっている。しかし、秋季の水温はここ数十年上昇傾向にあり、ノリの育苗開始は10～20日遅れ、生産期間が短くなっている。本課題による過去の水温環境のシミュレーションにおいても、主産地の播磨灘では、水温が秋季に23°Cに降下する時期が1980年代の10月上中旬から近年は10月下旬まで1～2週間遅くなっていた。またモデルによる将来予測では、シナリオRCP8.5下の2050年代では、23°Cに降下する時期が11月中旬、またノリ網の本張りが開始される目安の18°Cまでの低下が12月になり、ノリの年内生産は極めて厳しい状況になることが予測された。

現在、冷温性のノリ、ワカメとも育苗期の高水温による生理障害が目立ち、特にワカメ

では、2000年代以降の生産量が激減する等、極めて深刻な状況にある（棚田 2015）。今後、より水温上昇が進めば、養殖可能期間の短縮に加えて、生理的な不調、病害等も顕著になり、産業として危機的な状況になることが懸念された。

一方、暖海性の海藻であり、養殖対象種として有望なヒジキ、トサカノリについても瀬戸内海～宇和海の水温勾配に沿って設定した試験地での養殖実験を行った。特にヒジキ、トサカノリは冬季温暖な宇和海で成長が大きく、冬季水温の上昇は必ずしも潜在的な海藻の生産力にマイナスではないと考えられた。しかし、2月の平均水温が15℃前後の宇和海南部ではワカメ、ヒジキとも激しい食害を受け、収穫はできなかった（図7）。一方、トサカノリは、現在の瀬戸内海の低水温では育たなかったが、カゴに入れて養殖するために食害を受けず、温暖化進行後の有望な養殖対象種であると考えられた。海藻養殖は温暖化進行後も重要な産業として残る可能性があり、対象種によっては食害対策が不可欠になると考えられた。

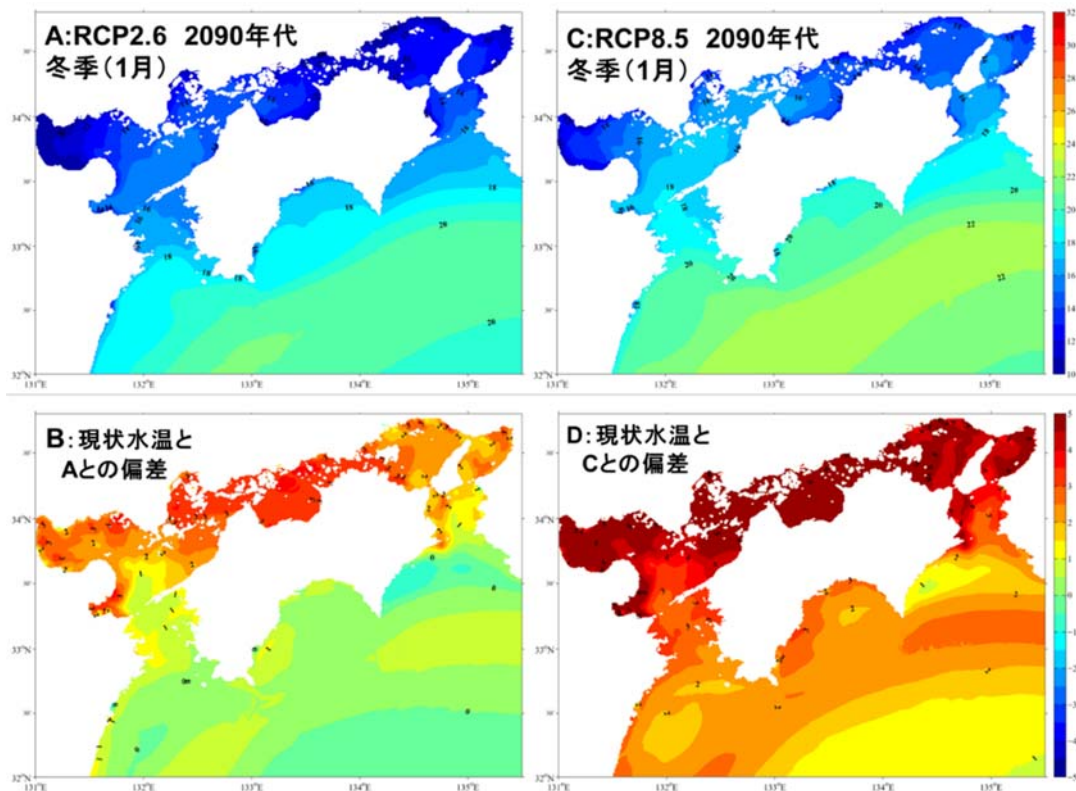


図5. 高解像度物理モデルによる瀬戸内海～黒潮沿岸域の冬季（1月）の水温上昇予測（RCP8.5）2050年代の平均（A）と2013年との偏差（B）、および2090年代の平均（C）と2013年との偏差（D）。

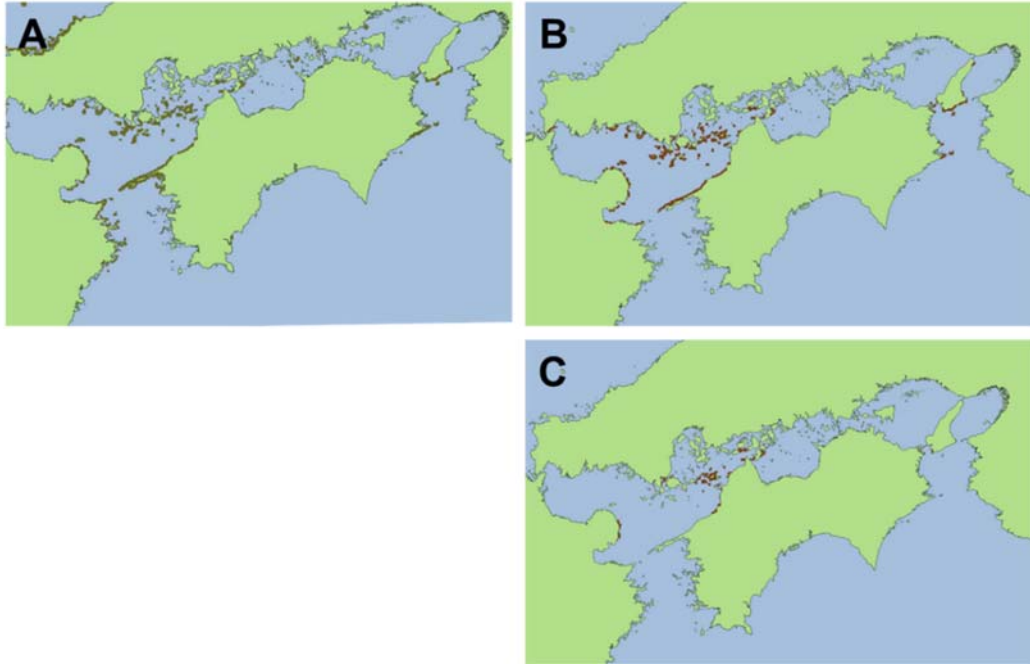


図6. 瀬戸内海～黒潮沿岸域のアラメ・カジメ類の藻場の現在の分布 (A) と、シナリオRCP2.6 (B) および8.5 (C) で予測された2050年代の分布。  
 ■: 現在の藻場分布 (A) 、 ■: 予測された藻場分布 (B、C)

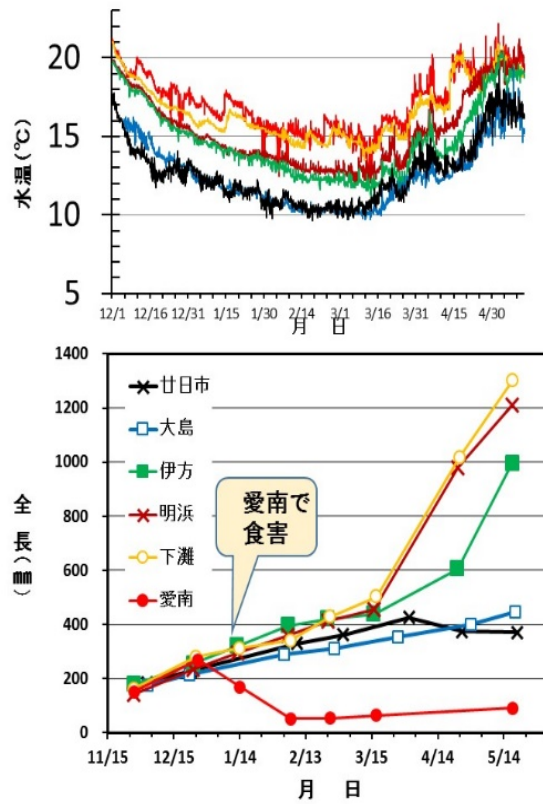


図7. 瀬戸内海～豊後水道（宇和海）の6地点で育成したヒジキの成長（下グラフ）とその間の水温変化（上グラフ）。

### 3) 成果活用における留意点

本研究では、藻場の分布予測における不確実性を十分評価することはできなかった。したがって本成果の活用にあたっては、(1)今後の温暖化の沿岸生態系への影響への社会的な関心や注意を喚起すること、(2)不確実性を前提に今後の対応・適応へ向けた施策的なオプションの準備に限定する必要がある。

### 4) 今後の課題

アラメ・カジメ類とともに岩礁性藻場の重要な構成種である温帯性ホンダワラ類については、極めて多様な種が含まれ、生態的特性も多様なことから、本研究期間内でその藻場の分布予測と図示化を行うことは困難であった。瀬戸内海の藻場として重要であるアマモ（海草）場については、閉鎖性が強く、水深の浅い砂泥域に形成されるという特性から、局所的な環境を考慮する必要がある。そのため、本研究期間において将来予測の対象とするのは困難であった。今後は、ホンダワラ類各種とアマモの生育環境を精査し、ホンダワラ類はその生理生態的特性の類型化、アマモは物理モデルをより高解像度化することで生育環境特性を反映させ、将来予測を高度化することが望まれる。海藻の生育と藻場の形成に影響を与える水温以外の要因（海水流動や河川流入、栄養塩濃度等）についても重要性を評価し、藻場の変化予測のパラメータとして組み込むことが将来予測の精緻化を進めるうえで必要である。藻類養殖への影響評価についても、本研究期間において達成したのはノリ養殖開始可能時期の予測のみであった。今後は、温暖化による養殖適地の変化予測や、新たな対象種の導入等の適応的な研究も必要となる。

成果等の集計数

課題番号	学術論文		学会等発表(口頭またはポスター)		出版図書	国内特許権等		国際特許権等		報道件数	普及しうる成果	発表会の主催(シンポジウム・セミナー等)	アウトリーチ活動
	和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得				
13405684	23	29	51	19	0	0	0	0	0	0	0	2	0

注1)学術論文数は直接本事業の成果を掲載したものに限定してカウントすること。

(1)学術論文

区分: ①原著論文、②その他論文

整理番号	区分	機関名	タイトル	著者	掲載誌	巻(号)	掲載ページ	発行年	発行月
1	①	水産研究・教育機構	Seasonal population dynamics of <i>Sargassum fusiforme</i> (Fucales, Phaeophyta), Suo-Oshima Is., Seto Inland Sea, Japan – Development processes of a stand characterized by high density and productivity	Yoshida G., Shimabukuro,H.	Journal of Applied Phycology	29	639-648	2017	9
2	①	愛媛大学	2段階のアクティブラーニングを用いた地域社会と連携した海洋教育	吉江直樹	沿岸海洋研究	55(1)	11-15	2017	8
3	②	愛媛大学	瀬戸内海西部における赤潮の変遷	吉江直樹	日本海洋学会編, 海の温暖化-変わりゆく海と人間活動の影響-, 朝倉書店	154	129-132	2017	7
4	①	水産研究・教育機構	Dynamics of growth-based survival mechanisms in Japanese anchovy ( <i>Engraulis japonicus</i> ) larvae	Takasuka, A., Sakai, A., Aoki, I.	Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences	74	812-823	2017	6
5	①	水産大学校	長崎県見崎町沿岸におけるキレバモク群落の生産力	村瀬 昇、野田幹雄、阿部真比古、吉村 拓、清本節夫、樽谷賢治、吉田吾郎、島袋寛盛、八谷光介	水産大学校研究報告	65(4)	239-244	2017	3
6	①	水産研究・教育機構	蛍光法によるクロロフィルa濃度測定の研究所間比較	児玉武稔、小埜恒夫、葛西広海、清本容子、桑田 晃	水産技術	9(2)	77-81	2017	3
7	①	水産研究・教育機構	High temperatures may halve the lifespan of the Japanese flying squid, <i>Todarodes pacificus</i>	Hideo Takahara, Hideaki Kidokoro and Yasunori Sakurai	Journal of Natural History	51	2607-2614	2017	
8	①	東京大学	Collection of spawning-condition eels of <i>Ariosoma meeki</i> in the Kuroshio Current in the East China Sea	Watanabe S, Hagihara S, Miller MJ, Machida M, Komatsu K, Nishida S, Tsukamoto K	Journal of the Marine Biological Association of the UK	96(8)	1701-1707	2016	12
9	②	水産研究・教育機構	日本産南方系ホンダワラ属【24】亜熱帯域に分布するウミトラノオ	島袋寛盛	海洋と生物	224	564-569	2016	10
10	②	水産研究・教育機構	瀬戸内海の藻場・干潟～近年の変化と今後の保全に向けて～	吉田吾郎	瀬戸内海	72	8-11	2016	10
11	①	水産研究・教育機構	Long-term decrease in phosphate concentrations in the surface layer of the southern Japan Sea	Taketoshi Kodama, Igeta Y., Kuga M. and Abe S,	Journal of Geophysical Research-Oceans	121	7845-7856	2016	10



12	①	水産研究・教育機構	Understanding the invasion success of <i>Sargassum muticum</i> : herbivore preferences for native and invasive <i>Sargassum</i> spp.	Schwartz, N., Rohde S, Shimabukuro, H.	Marine Biology (Online), <a href="https://doi.org/10.1007/s00227-016-2953-4">https://doi.org/10.1007/s00227-016-2953-4</a>	163	181	2016	9
13	②	水産研究・教育機構	日本産南方系ホンダワラ属【23】南日本沿岸域に分布するヒジキ	島袋寛盛	海洋と生物	225	444-449	2016	8
14	②	東京大学	海洋低次栄養段階生態系モデルの歴史とNEMURO	伊藤進一	月刊海洋	548	291-301	2016	7
15	①	水産研究・教育機構	Growth variability of Pacific saury <i>Cololabis saira</i> larvae under contrasting environments across the Kuroshio axis: survival potential of minority versus majority.	Takasuka A., K. Nishikawa, H. Kuroda, T. Okunishi, Y. Shimizu, H. Sakaji, S. Ito, T. Tokai and Y. Oozeki	Fisheries Oceanography	25(4)	390-406	2016	7
16	②	東京大学	海洋低次栄養段階生態系モデルの歴史とNEMURO	伊藤進一	月刊海洋	548	291-301	2016	7
17	①	愛媛大学	Climatology and linear trends of seasonal water temperature and heat budget in a semi-enclosed sea connected to the Kuroshio region	Tsutsumi, E., and Guo, X.	Journal of Geophysical Research-Oceans	121	4649-4669	2016	6
18	①	東京大学	Subsurface hydrographic structures and the temporal variations of Aleutian eddies	Saito R, Yasuda I, Komatsu K, Ishiyama H, Ueno H, Onishi H, Setou T, Shimizu M	Ocean Dynamics	66	605-621	2016	5
19	②	水産研究・教育機構	気候変動と魚種交替をつなぐ生物学的メカニズム	高須賀明典	JATAFFジャーナル	4 (4)	42897	2016	4
20	①	水産研究・教育機構	飼育下におけるノトイズミの日間採餌量の見積と採餌日周性の検討	野田幹雄, 川野正弘, 岡本訓明, 村瀬 昇	水産大学校研究報告	64(4)	219-224	2016	3
21	②	水産研究・教育機構	日本周辺海域の海洋環境の特徴	亀田卓彦	水産海洋研究	80 (1)	57-58	2016	2
22	①	水産研究・教育機構	Water temperature characteristics and the maintenance of <i>Sargassum piluliferum</i> (Fucales, Phaeophyceae) in Namako Lake, KamiKoshikishima Island, Kagoshima Prefecture	Shimabukuro H., Yoshida G., Kubo M., Wada M	Algal Resources	8	147-154	2016	
23	①	水産研究・教育機構	Effect of temperature on the shoot growth of <i>Sargassum muticum</i> under laboratory culture conditions	Yoshida G., Shimabukuro H., Sakanishi Y.	Algal Resources	8	121-128	2016	
24	①	愛媛大学	Fortnightly variation in the bottom thermal front and associated circulation in a semienclosed sea	Yu, X., Guo, X., and Takeoka, H.	Journal of Physical Oceanography	46	159-177	2016	
25	①	東京大学	Geographic variation in Pacific herring growth in response to regime shifts in the North Pacific Ocean	Ito S., K. A. Rose, B. Megrey, J. Schweigert, D. Hay, F. E. Werner, M. Noguchi Aita	Progress in Oceanography	138	331-347	2015	11
26	①	東京大学	Demonstration of a fully-coupled end-to-end model for small pelagic fish using sardine and anchovy in the California Current	Rose, K.A., J. Fiechter, E. N. Curchitser, K. Hedstrom, M. Bernal, S. Creekmor, A. Haynie, S. Ito, S. Lluch-Cota, B. A. Megrey, C. Edwards, D. Checkley, T. Koslow, S. McClatchie, F. Werner, A. MacCall	Progress in Oceanography	138	348-380	2015	11
27	②	東京大学	Combining modeling and observations to better understand marine ecosystem dynamics	Curchitser E. N., K. A. Rose, S. Ito, M. A. Peck, M. J. Kishi	Progress in Oceanography	138	327-330	2015	11
28	②	水産研究・教育機構	リモートセンシングによるクロマグロ産卵場の環境モニタリング	亀田卓彦, 増島雅親, 鈴木伸明	水産海洋研究	79 (3)	152-153	2015	8
29	①	水産研究・教育機構	Ichikawa, S, Kakehi, T, Kameda, S, Kitajima, H, Miyamoto, H, Sugisaki, and K. Tadokoro. (2015) Identification of important marine areas around the Japanese Archipelago : Establishment of protocol for evaluating a broad are ausing ecologically and biologically significant areas selection criteria	Yamakita T., K. Yamamoto, M. Nakaoka, H. Yamano, K. Fujikura, K. Hidaka, Y. Hirota, T.	Marine Policy	51	136-147	2015	

30	①	水産研究・教育機構	Variability in transport processes of Pacific saury <i>Cololabis saira</i> larvae leading to their broad dispersal: implications for their ecological role in the western North Pacific	Oozeki Y., T. Okunishi, A. Takasuka, D Ambe	Progress in Oceanography	138	448-458	2015	
31	①	水産研究・教育機構	広島湾廿日市丸石地先における石積み護岸上の海藻植生とその変遷	島袋寛盛、吉田吾郎、三浦俊一、寺脇利	藻類	63	1-9	2015	
32	①	水産研究・教育機構	Interdecadal decrease of the Oyashio transport on the continental slope off the southeastern coast of Hokkaido, Japan,	Kuroda, H., T. Wagawa, Y. Shimizu, S. Ito, S. Kakehi, T. Okunishi, S. Ohno, and A. Kusaka	Journal of Geophysical Research	120	2504-2522	2015	
33	①	水産研究・教育機構	A metagenetic approach for revealing community structure of marine planktonic copepods, Molecular Ecology Resources	J. Hirai, M. Kuriyama, T. Ichikawa, K. Hidaka, and A. Tsuda	Molecular Ecology Resources	15(1)	68-80	2014	7
34	①	水産研究・教育機構	Regional variability of factors controlling the onset timing and magnitude of spring algal blooms in the northwestern North Pacific	Shiozaki, T., S.-I. Ito, K. Takahashi, H. Saito, T. Nagata, and K. Furuy	J. Geophys. Res. Oceans	119	doi:10.1002/2013JC009187	2014	
35	①	水産研究・教育機構	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	野田幹雄、大原啓史、村瀬昇、池田至、山元憲一	日本水産学会誌	80(2)	201-213	2014	
36	①	水産研究・教育機構	Currents associated with the quasi-stationary jet separated from the Kuroshio Extension	Wagawa T., S. Ito, Y. Shimizu, S. Kakehi. D. Anbe	Journal of Physical Oceanography	44	1636-1653	2014	
37	①	水産研究・教育機構	Occurrence and density of Pacific saury <i>Cololabis saira</i> larvae and juveniles in relation to environmental factors during the winter spawning season in the Kuroshio Current system	Takasuka, A., H. Kuroda, T. Okunishi, Y. Shimizu, Y. Hirota, H. Kubota, R. Kimura, S. Ito, and Y. Oozeki	Fisheries Oceanography	23	304-321	2014	
38	②	水産研究・教育機構	温暖化による海洋生物への影響	伊藤進一、田所和明	生物と科学: 遺伝	68	368-372	2014	
39	②	水産研究・教育機構	地球温暖化の水産業への影響と適応	木所英昭・中田薫	生物と科学: 遺伝	68		2014	
40	①	愛媛大学	Sonterannual variations of Kuroshio transport in the East China Sea and its relation to Pacific Decadal Oscillation and mesoscale eddy	Soeyanto, E., Guo, X., Ono, J., and Miyazawa, Y.	Journal of Geophysical Research-Oceans	119	3595-3616	2014	
41	①	水産研究・教育機構	長崎県壱岐市郷ノ浦町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	八谷光介、清本節夫、吉村拓	Algal Resources	7(2)	97-78	2014	
42	①	水産研究・教育機構	2013年に発生した長崎県壱岐市郷ノ浦町地先におけるアラメ・カジメ場の衰退過程について -夏季の高水温による発生と秋季の食害による拡大-	八谷光介、桐山隆成、清本節夫、種子田雄、吉村拓	Algal Resources	7(2)	79-94	2014	
43	②	水産研究・教育機構	瀬戸内海西部の屋代島、平郡島における海藻藻場の特性 -特にホンダワラ類とクロメの垂直分布について-	吉田吾郎、島袋寛盛、森口朗彦、堀正和、濱岡秀樹、高田茂弘、田井中剛、加藤垂記	広島大学生物圏科学研究科紀要	53	1-22	2014	
44	①	水産研究・教育機構	北海道南東沖Aライン上における春季の毎日CTD観測に基づく1か月より短い水温・塩分の変化と年変化との比較	佐藤政俊、河野時廣、清水勇吾、	海の研究	22(3)	71-84	2013	
45	①	水産研究・教育機構	Monthly variations of hydrographic structures and water mass distribution off the Doto area	Kusaka A., T. Azumaya, and Y. Kawasaki	Journal of Oceanography	69(3)	295-312	2013	
46	①	水産研究・教育機構	Modelling ecological responses of Pacific saury ( <i>Cololabis saira</i> ) to future climate change and its uncertainty.	Ito S., T. Okunishi, M. J. Kishi and M. Wang	ICES Journal of Marine Science	70	980-990	2013	
47	①	水産研究・教育機構	Climate forcing and the Kuroshio/Oyashio ecosystem	Yatsu A., S. Chiba, Y. Yamanaka, S. Ito, Y. Shimizu, M. Kaeriyama, and Y. Watanabe	ICES Journal of Marine Science	70	922-933	2013	
48	①	水産研究・教育機構	Projected impacts of climate change on marine fish and fisheries	Hollowed A. B., M. Barange, R. Beamish, K. Brander, K. Cochrane, K. Drinkwater, M. Foreman, J. Hare, J. Holt, S. Ito, S. Kim, J. King, H. Loeng, B. MacKenzie, F. Mueter, T. Okey, M. A. Peck, V. Radchenko, J. Rice, M. Schirripa, A. Yatsu, and Y. Yamanaka	ICES Journal of Marine Science	70	1023-1037	2013	

49	②	水産研究・教育機構	黒潮・親潮混合水域の環境変動のメカニズムと魚類資源に及ぼす影響に関する研究.	伊藤進一	水産海洋研究	77	167-173	2013	
50	①	水産研究・教育機構	Transport and survival of Japanese sardine ( <i>Sardinops melanostictus</i> ) eggs and larvae via particle tracking experiments.	Nishikawa, H., I. Yasuda, S. Itoh, K. Komatsu, H. Sasaki, Y. Sasai and Y. Oozeki	Fisheries Oceanography	22	509-522	2013	
51	①	水産研究・教育機構	Decrease of Abalone Resources with Disappearance of Macroalgal Beds around the Ojika Islands, Nagasaki, Southwestern Japan	Setuo Kiyomoto, Masanori Tagawa, Yoshiyuki Nakamura, Toyomitsu Horii, Shouichi Watanabe, Takashi Tozawa, Kousuke Yatsuya, Taku Yoshimura and Akio Tamaki	Journal of Shellfish Research	32(1)	51-58	2013	
52	①	水産研究・教育機構	愛媛県沿岸におけるアマモの群落および形態の特性とその多様性	吉田吾郎・谷本照己・平田伸治・山下亜純・梶田 淳・水谷 浩・大本茂之・斉藤憲治・堀 正和・浜口昌巳・寺脇利信	Algal Resources	6	81-96	2013	

注1)和文、欧文の順で記載。発行年は発行年月(西暦年以下同じ)とする。

注2)区分①の原著論文(受理されたものに限る)は、謝辞等に本事業予算の支援を受けたことが明記されていること。また、論文は直接本事業の成果を掲載したものに限定して記載すること。

注3)機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

(2)学会等発表(口頭またはポスター)

整理番号	タイトル	発表者名	機関名	学会等名	発行年	発行月
1	クロマグロ産卵期の琉球列島周辺海域における栄養塩・クロロフィル分布	亀田卓彦	西海区水産研究所	水産海洋学会	2013	11
2	日本周辺の海面クロロフィルa濃度の変動傾向	亀田卓彦	西海区水産研究所	日本リモートセンシング学会	2013	11
3	親潮域における年間基礎生産量の変化	亀田卓彦	西海区水産研究所	日本海洋学会	2014	9
4	日本周辺海域の海洋環境の特徴	亀田卓彦	西海区水産研究所	水産海洋学会	2014	11
5	黒潮統流域の植物プランクトン現存量の季節変動	亀田卓彦	西海区水産研究所	水産海洋学会	2014	11
6	仔魚分布と海洋環境－南西諸島と日本海の比較－	亀田卓彦	西海区水産研究所	水産海洋学会	2014	11
7	リモートセンシングによるクロマグロ産卵場の環境モニタリング	亀田卓彦	西海区水産研究所	九州沖縄地区合同シンポジウム	2014	12
8	2011～2013年の南西諸島周辺海域におけるクロマグロ仔魚の餌料環境	亀田卓彦	西海区水産研究所	水産海洋学会	2015	10
9	リモートセンシングデータへの適用に向けた日本周辺海域におけるクロロフィルa濃度分布のモデル化	亀田卓彦	西海区水産研究所	日本リモートセンシング学会	2015	11
10	A challenge to evaluate effect of climate change on Japanese anchovy ( <i>Engraulis japonicus</i> ) in the East China Sea II	Shin-ichi Ito	東京大学	JpGU 2015年大会	2016	5
11	Pelagic fishes in the western North Pacific	Shin-ichi Ito	東京大学	NIPPON FOUNDATION NEREUS PROGRAM 2016 Annual meeting	2016	6
12	北太平洋のレジームシフトと太平洋ニシンの成長	伊藤進一	東京大学	日本海洋学会2016年度秋季大会	2016	9
13	数値実験による東シナ海カタクチイワシの温暖化影響評価	伊藤進一	東京大学	日本海洋学会2016年度秋季大会	2016	9
14	Updated plan for modeling effects of climate change on fish and fisheries in the western North Pacific Ocean.	Shin-ichi Ito	東京大学	PICES-2016	2016	11
15	Our challenges for full food web modelling and future projections	Shin-ichi Ito	東京大学	Benguela Symposium	2016	11

16	レジームシフトと魚類成長	伊藤進一	東京大学	2016年度水産海洋学会研究発表大会	2016	11
17	重みづけIAU法による予測精度向上の試み	瀬藤 聡	中央水産研究所	日本海洋学会	2016	9
18	FRA-ROMS再解析値に対する観測データの感度	瀬藤 聡	中央水産研究所	日本海洋学会	2016	9
19	日本南方域における卵稚仔輸送実験	瀬藤 聡	中央水産研究所	水産海洋学会	2016	11
20	小型浮魚類の産卵と初期成長・生残	高須賀明典・黒田寛・奥西武・米田道夫・大関芳沖	水産研究・教育機構 中央水産研究所、北海道区水産研究所、東北区水産研究所、瀬戸内海区水産研究所、本部	東京大学大気海洋研究所共同利用シンポジウム「変動期に入った日本周辺海域の漁業資源」	2016	11
21	小型浮魚類における魚種交替の生物学的メカニズムと魚類の初期生活史における成長-生残パラダイム	高須賀明典	水産研究・教育機構 中央水産研究所	第19回マグロ研究会「浮魚類の資源変動機構の解明に向けた生残戦略の最新知見の紹介」	2016	5
22	Decadal changes in abundance and distribution of early life stages of fish in the Kuroshio Current system	Takasuka, A., Kuroda, H., Okunishi, T., Yoneda, M., Sassa, C., Takahashi, M., Ayón, P., Ozeki, Y.	水産研究・教育機構 中央水産研究所、北海道区水産研究所、東北区水産研究所、瀬戸内海区水産研究所、西海区水産研究所、本部 他	North Pacific Marine Science Organization 2016 Annual Meeting	2016	11
23	三陸～道東海域における近年のマイワシ漁況と海況	渡邊一功	一般社団法人漁業情報サービスセンター	水産海洋学会	2016	11
24	黒潮統流南縁における低気圧性渦周辺の硝酸塩供給機構	奥西 武	東北区水産研究所	日本海洋学会	2016	9
25	豊後水道におけるカレンシア赤潮の時空間分布について	吉江直樹、眞部良輔、郭新宇	愛媛大学	2016年度豊後水道研究会	2016	8
26	西部瀬戸内海における栄養塩濃度変動とメカニズム	吉江直樹	愛媛大学	2016年度瀬戸内海研究フォーラム	2016	9
27	愛媛大学の地域と連携した海洋教育について	吉江直樹	愛媛大学	2016年度日本海洋学会秋季大会沿岸海洋シンポジウム	2016	9
28	トカラ列島周辺海域における硝酸塩鉛直拡散フラックスの直接観測	長谷川大介、堤英輔、松野健、千手智晴、中村啓彦、仁科文子、吉江直樹、郭新宇	東北水研	2016年度日本海洋学会秋季大会	2016	9
29	黒潮統流南縁における低気圧性渦周辺の硝酸塩供給機構	奥西武、金子仁、伊藤幸彦、額綱慎也、瀬藤聡、黒田寛、吉江直樹	東北水研	2016年度日本海洋学会秋季大会	2016	9
30	船舶データを用いた瀬戸内海西部における海色衛星データの精度評価	中川美和、郭新宇、吉江直樹	愛媛大学	2016年度日本海洋学会秋季大会	2016	9
31	秋季のトカラ海峡周辺における低次生態系の時空間分布	吉江直樹、中川美和、武藤玲央、小針統、郭新宇	愛媛大学	2016年度日本海洋学会秋季大会	2016	9

32	数値実験による東シナ海カタクチイワシの温暖化影響評価	伊藤進一、小松幸生、北島聡、高須賀明典、吉江直樹、奥西武、高橋素光、長谷川統、瀬藤聡、米田道夫	東京大学	2016年度日本海洋学会秋季大会	2016	9
33	豊後水道におけるカレンシア赤潮の時空間分布に関する研究	吉江直樹、眞部良輔、中川美和、郭新宇	愛媛大学	第6回LaMer共同利用研究集会「赤潮の予測に向けた観測とモデリング」	2016	11
34	これまでの海洋生態系モデルを用いた研究と今後の展望	吉江直樹	愛媛大学	ワークショップ「海洋物質循環・生態系モデリングの発展性の探索」	2016	11
35	愛媛大学による2016年度の沿岸観測について	吉江直樹	愛媛大学	第69回西日本海洋調査技術連絡会議	2016	12
36	トカラ海峡周辺海域における低次生態系の時空間分布	吉江直樹、中川美和、武藤玲央、小針統、郭新宇	愛媛大学	2016年度九州沖縄地区合同シンポジウム「九州沖縄地区における現場海洋観測とその連携研究」	2016	12
37	豊後水道における異常水温発生と黒潮との関係	山田彩加・郭新宇	愛媛大学	日本海洋学会2016年春季大会	2016	3
38	FORA-WNP30から見た豊後水道における異常水温の発生	山田彩加・郭新宇	愛媛大学	日本海洋学会2016年秋季大会	2016	9
39	モデル再現水温から推測する過去30年における藻場植生の変化の要因と時期	島袋寛盛 他	瀬戸内海区水産研究所 他	日本藻類学会第41回大会	2017	3
40	温暖化の藻場への影響とその機構に関する1考察-地理的な環境勾配に沿った実験から-	吉田吾郎 他	瀬戸内海区水産研究所 他	日本藻類学会第41回大会	2017	3
41	温暖化による水温上昇は藻場の生産力に影響するか？(予報)	吉田吾郎 他	瀬戸内海区水産研究所 他	日本応用藻類学会第15回大会	2016	5
42	愛媛大学による海洋観測について	吉江直樹	愛媛大学	第2回沿岸生態系の評価・予測に関するワークショップ	2016	12
43	A challenge to evaluate effect of climate change on Japanese anchovy ( <i>Engraulis japonicus</i> ) in the East China Sea II	Shin-ichi Ito, Kosei Komatsu, Satoshi Kitajima, Akinori Takasuka, Naoki Yoshie, Takeshi Okunishi, Motomitsu Takahashi, Toru Hasegawa, Takashi Setou, Michio Yoneda	東京大学・西海区水産研究所・中央水産研究所・愛媛大学・東北水産研究所・瀬戸内海区水産研究所	JpGU	2016	5
44	数値実験による東シナ海カタクチイワシの温暖化影響評価	伊藤進一・小松幸生・北島聡・高須賀明典・吉江直樹・奥西武・高橋素光・長谷川徹・瀬藤聡・米田道夫	東京大学・西海区水産研究所・中央水産研究所・愛媛大学・東北水産研究所・瀬戸内海区水産研究所	日本海洋学会	2016	9
45	東シナ海におけるカタクチイワシの卵分布と環境要因	北島聡・長谷川徹・伊藤進一・米田道夫・林晃・高橋素光・清本容子・山田東也・西内耕	西海区水産研究所・東京大学・瀬戸内海区水産研究所	水産海洋学会	2016	11

46	生息水温履歴がもたらす若齢期スルメイカの成長の違い	高原英生, 木所英昭, 桜井泰憲	日本海区水産研究所	日本水産学会	2016	9
47	日本海における春季ブルームの位相差について	伊藤雅・児玉武稔・和川拓・井桁庸介	日本海区水産研究所	日本海洋学会	2016	9
48	能登・佐渡沿岸域と沖合域の流れ場の変動とその成因	和川拓・井桁庸介・池田怜・三寺史夫・阿部祥子・福留研一	日本海区水産研究所, 新潟水産海洋研究所, 北海道大学, 富山高等専門学校	日本海洋学会	2016	9
49	Interannual variation in phytoplankton blooms and its biological impacts in the Sea of Japan	Taketoshi Kodama ら	日本海区水産研究所	PICES 25th annual meeting	2016	11
50	日本海における春季植物プランクトン現存量の時空間変化とその要因	伊藤雅・児玉武稔・和川拓・井桁庸介	日本海区水産研究所	日本海及び日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会	2016	12
51	日本海の前線近傍における水中グライダー観測	和川拓・井桁庸介・本多直人	日本海区水産研究所	日本海及び日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会	2016	12
52	Reaching consensus on the growth-survival paradigm in early life stages of fish	Takasuka, A., Robert, D., Shoji, J., Sirois, P., Fortier, L., Oozeki, Y., Pepin, P., Folkvord, A., Peck, M. A., Catalán, I. A., García, A. G., Brodeur, R. D., Sponaugle, S., D' Alessandro, E. K., Ludsins, S. A., Huebert, K. B., Hufnagl, M., Dower, J. F., Plaza, G., Ayón, P. M., Tojo, N., Joh, M., Ito, S., Tanaka, Y., Takahashi, M., Juanes, F., Campbell, E. Y., Reglero, P., Yasue,	水産研究・教育機構 中央水産研究所 他	International Symposium on "Drivers of dynamics of small pelagic fish resources"	2017	3
53	Progress in studies on the growth-survival paradigm in early life stages of fish: constructing collaboration frameworks	Takasuka, A.	水産研究・教育機構 中央水産研究所	Seminar of Pontificia Universidad Católica de Valparaíso	2017	3
54	Our challenges for full marine food web modelling and future projections	Ito S., C. Moloney and E. Curchitser	東京大学	JpGU-AGU 2017	2017	5
55	Numerical analysis of the ecosystem responses to the changes of nutrient supply in the Western Seto Inland Sea, Japan	Yoshie, N., H. Mizuguchi, M. Nakagawa, and X. Guo	Ehime University	Japan Geoscience Union Meeting 2017	2017	5
56	Seasonal and interannual variations in the nutrient concentrations in the Bungo Channnel, Japan	M. Nakagawa, X. Guo, and N. Yoshie	Ehime University	Japan Geoscience Union Meeting 2017	2017	5

57	Effects of high frequency internal waves on the formation of moon jellyfish aggregations, Japan	T. Mano, X. Guo, N. Fujii, N. Yoshie, and H. Takeoka	Ehime University	Japan Geoscience Union Meeting 2017	2017	5
58	Mechanisms of species alternations between anchovy and sardine in response to climate variability: perspectives from interspecific and intersystem comparisons	Takasuka, A., Kuroda, H., Okunishi, T., Oozeki, Y., Ayón, P.	水産研究・教育機構 中央水産研究所、北海道区水産研究所、東北区水産研究所、本部 他	The JSFS 85th Anniversary-Commemorative International Symposium on "Fisheries Science for Future Generations"	2017	9
59	豊後水道における栄養塩・低次生態系・モデリング	吉江直樹	愛媛大学	2017年度豊後水道研究集会	2017	9
60	Coastal ocean observing systems in Japan	Yoshie, N.	Ehime University	PICES2017 annual meeting	2017	9
61	伊予灘潮汐フロント域における低次生態系の高解像度時空間分布	吉江直樹、中川美和、秋山英毅、堤英輔、郭新宇	愛媛大学、九州大学	2017年度日本海洋学会秋季大会	2017	10
62	衛星データから推定した日本周辺海域における基礎生産量	亀田卓彦	水産研究・教育機構 中央水産研究所	1日本リモートセンシング学会第63回(平成29年度秋季)学術講演会論文集	2017	10
63	西部瀬戸内海における栄養塩と低次生態系	吉江直樹	愛媛大学	第3回沿岸生態系の評価・予測に関するワークショップ	2017	11
64	愛媛大学による西部瀬戸内海観測の概要	吉江直樹	愛媛大学	第70回西日本海洋調査技術連絡会議	2017	11
65	Biological mechanisms behind climate impacts on species alternations of small pelagic fish: perspectives from interspecific and intersystem comparisons	Takasuka, A., Kuroda, H., Okunishi, T., Oozeki, Y.	水産研究・教育機構 中央水産研究所、北海道区水産研究所、東北区水産研究所、本部	Workshop on comparative trophic ECOlogy of Larvae of Atlantic Bluefin TUNA (Thunnus thynnus) from NW Mediterranean and Gulf of Mexico spawning areas (the second ECOLATUN meeting)	2017	11
66	西部瀬戸内海の栄養塩供給変化に対する生態系応答の解析	吉江直樹、水口隼人、中川美和、郭新宇	愛媛大学	第3回海洋環境研究集会	2017	12
67	豊後水道におけるカレニア赤潮と環境要因について	吉江直樹、眞部良輔、高倉翼、郭新宇	愛媛大学	第12回LaMer共同利用研究集会「赤潮の予測に向けた観測とモデリング」	2018	1
68	Seasonal and interannual variations in the nutrient concentrations in the Bungo Channge, Japan	M. Nakagawa, X. Guo, and N. Yoshie	Ehime University	Ocean Sciences Meeting 2018	2018	2
69	Effects of high frequency internal waves on the formation of moon jellyfish aggregations, Japan	T. Mano, X. Guo, N. Fujii, N. Yoshie, and H. Takeoka	Ehime University	Ocean Sciences Meeting 2018	2018	2
70	Effects of strong turbulent mixing on phytoplankton around the Tokara strait	Yoshie, N., M. Nakagawa, H. Mizuguchi, T. Kanda, L. Mutou, E. Tsutsumi, T. Kobari, and X. Guo	Ehime University	Ocean Sciences Meeting 2018	2018	2