

2019 年度 温暖化・海洋酸性化の研究と対策

報告書

公益財団法人 笹川平和財団

海洋政策研究所

目 次

第1章 事業の概要.....	2
1 背景・経緯.....	2
2 実施内容	3
第2章 情報基盤の評価	4
1 評価項目の検討.....	4
2 アンケートの結果	10
3 考察	23
第3章 まとめに代えて.....	25
添付資料	37

第1章 事業の概要

1 背景・経緯

国連海洋法条約等の国際約束や海洋の持続可能な開発および利用を実現するための国際的取組を受けて、地球表面の7割を占める海洋の総合的管理と持続可能な利用に向けた各国の取組が進んでいる。笹川平和財団海洋政策研究所は、その前身である海洋政策研究財団の時代より、「人類と海洋の共生」を目指し、海洋の総合的な管理や、海洋教育・人材育成、海洋環境・生物多様性の保全などに関する調査研究を実施してきた。その成果は、国際社会による海洋の持続可能な発展の実現に資する提言として取りまとめてきている。そして、これらの調査研究の一環として、2012年6月の「リオ+20」で国際的行動計画に初めて取り上げられた地球的な課題である「海洋酸性化」の問題についても、その重要性にかんがみ、2015年の合併による新財団スタートを飾る海洋の重点研究のひとつとして取り上げることにした。

地球規模での二酸化炭素の排出増加がもたらす問題としては、温室効果による地球温暖化が広く知られている。しかし、大気中の二酸化炭素増加がもたらす問題は、それだけではなく、大気中の二酸化炭素が増加すれば、海に吸収される二酸化炭素量もまた増加し、それによって海水の酸性化が進む。この「海洋酸性化」の問題は、2015年9月に採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」が掲げる「持続可能な開発目標（SDGs）」において、SDG14（海洋）のターゲットのひとつとして取り上げられたこともあり、わが国でも広く海洋の課題として知られるようになってきた。

そこで、海洋政策研究所では、2015年度に行った予察的な調査結果を踏まえ、わが国周辺に広がる北西太平洋に焦点を当てて、2016年度から4年間の「温暖化・海洋酸性化の研究と対策」を立ち上げ、この問題に対する調査研究を開始し、あわせて、情報発信・共有の基盤となる「海洋危機ウォッチ」の構築を進めた。1年目の2016年度には、「温暖化・海洋酸性化の影響と対策に関する国際会議～西太平洋におけるネットワーク構築に向けて」（2017年1月19日、20日）を約140名の参加のもとで開催し、研究成果の発信を行うとともに、課題と対策について議論を深めた。そして、国際会議の結果などを受けて2年目には政策提言「次期海洋基本計画に向けた海洋酸性化に関する提言」をとりまとめた。提言内容の多くは2018年5月に閣議決定された第3期海洋基本計画にも含まれた。なお、提言書では海洋酸性化問題についてのファクトシートをあわせて提示することとし、海洋酸性化問題の認知度の向上にも貢献した。

3年目の2018年度には、海洋酸性化とセットとなって生じる海洋貧酸素化の問題にも対象を広げ、課題解決に向けた調査研究を行った。また、政策提言のフォローアップとしての「温暖化・海洋酸性化の研究と対策に関する国際シンポジウム～科学と政策の接点」（2018年10月28日）の開催などを通じて、海域モニタリングなどの対策について検討を行った。これら3年間の国際会議の開催や政策提言の作成などにより、概ね当初予定した調査研究を終えることができ、2018年度の段階で取りまとめを行った。また、調査研

究と並行して温暖化・海洋酸性化問題の情報基盤として構築を進めた「海洋危機ウォッチ」についても 2018 年度にプロトタイプシステムを完成させ、一般に公開をした。

2 実施内容

以上の背景・経緯を踏まえ最終年度である 2019 年度は、2018 年度に取りまとめを行った調査研究の成果を踏まえて、論文化を含めた対外発信を行うことと、情報基盤として構築した「海洋危機ウォッチ」の評価を行うことの 2 点に注力し、事業を実施した。そこで、以下では、主に海洋危機ウォッチの評価について示すとともに、まとめに代えて、4 年間の事業を振り返り今後の課題について考察する。なお、今年度に行った対外発信は次の通りである。

<対外発表>

[1]第 4 回 GOA-ON International Workshop (4 月、中国・杭州)

プレナリセッションでの口頭発表 (角田主任研究員) 「Dialogues between scientists and stakeholders on making ocean acidification a policy focus in Japan」

[2]国際会議 “OceanObs2019” (9 月、ホノルル)

ポスター発表 (角田主任研究員) 「Dialogues between scientists and stakeholders on making ocean acidification a policy focus in Japan」

<論文発表>

[1]Marine Lebrech, Stephanie Stefanski, Ruth Gates, Sevil Acar, Yimmang Golbuu, Astrid Claudel-Rusin, Haruko Kurihara, Katrin Rehdanz, Delphine Paugam-Baudoin, Tomohiko Tsunoda, Peter W. Swarzenski, “Ocean acidification impacts in select Pacific Basin coral reef ecosystems”, Regional Studies in Marine Science, Volume 28, 2019

[2] Sastri A.R, Christian J.R, Achterberg E.P, Atamanchuk D., Buck J.JH, Bresnahan P., Duke P.J, Evans W., Gonski S.F, Johnson B., Juniper S.K, Mihaly S., Miller L.A, Morley M., Murphy D., Nakaoka S., Ono T., Parker G., Simpson K., Tsunoda T., “Perspectives on in situ sensors for ocean acidification research”, Frontiers in Marine Science, vol.6, 2019

[3] Ishizu, M.; Miyazawa, Y.; Tsunoda, T.; Guo, X. “Development of a biogeochemical and carbon model related to ocean acidification indices with an operational ocean model product in the North Western Pacific”, Sustainability, 2019

[4] Ishizu, M.; Miyazawa, Y.; Tsunoda, Ono, T.”Long-term trends in pH in Japanese coastal seawater”, Biogeoscience, 2019

[5]Nakamura, N. and Watanabe, A. A Better World Vol.6 Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development. 3908-B; Monitoring of the ocean acidification crisis, and intervention to combat climate change through adaptation of coral reefs.

※本報告書に添付する次の 2 つの資料についてもあわせて参照されたい。

「情報基盤における科学データの収集・整理・解析と予測システムの構築に係る報告書」

「情報基盤構築に係る報告書」

第2章 情報基盤の評価

1 評価項目の検討

笹川平和財団海洋政策研究所では「温暖化・海洋酸性化の研究と対策」事業の一環として、これらの課題に関する情報提供の場として情報基盤である「海洋危機ウォッチ」の構築を進め、2018年度から公開している。訪問数とPV数の推移は下図の通りであり、Webサイトが認知され内容が充実するにつれて訪問数、プレビュー数ともに増加してきた様子が分かる。特に2018年10月の海洋政策研究所主催の国際シンポジウムのようなイベント開催時にPRした効果で閲覧数が上昇するケースが数回あった。

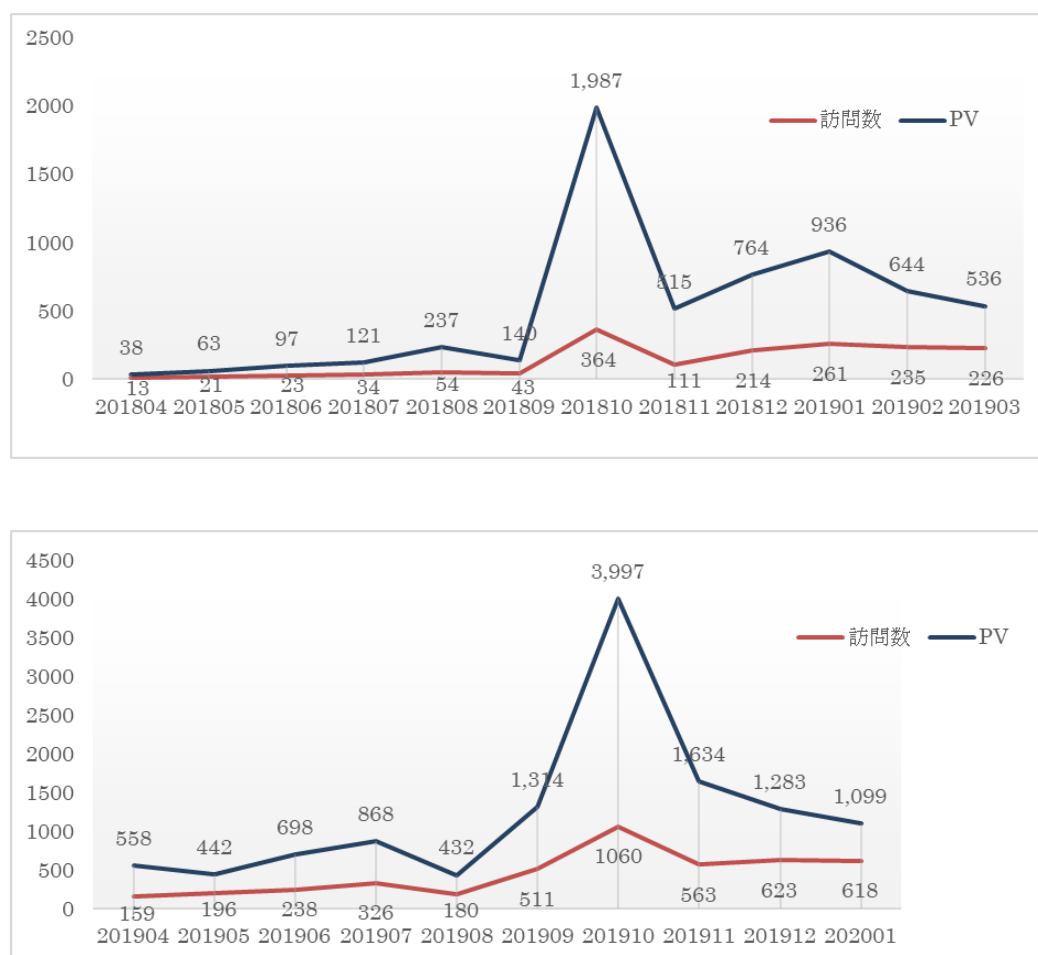


図1 PV・訪問数の推移（上：2018年度、下：2019年度）

※訪問数：1ヶ月間のアクセス総数。同日であっても60分以上置いて同じIPアドレスから2回アクセス数があれば、2としてカウントされる。

※PV：表示されたページ数。サイト内のページが何回表示されたかを表す。

提供しているコンテンツには、海洋の温暖化・酸性化の解説や日本国内で行われている観測情報、予測モデル（海洋研究開発機構の開発によるシミュレーションモデル JCOPE および CMIP5）による温暖化・酸性化の予測シミュレーション結果である予測情報、関連ニュースおよび学習コーナーがある。

観測情報には気象庁や海洋研究開発機構（JAMSTEC）で実施している北西太平洋での長期定点 pH 観測データ、大学研究機関での沿岸域の観測データなどを含む。予測情報では 2 種類（JCOPE、CMIP）の予測シミュレーション結果が表示され、日本周辺の外洋での pH 予測などを確認することができる。ニュース記事は概ね月毎の、海洋酸性化や関連の科学研究論文からレビューした内容を紹介し、学習コーナーではクレイアニメーション「もう一つの CO2 問題」（神奈川県立海洋科学高校の吹替版を含む）や用語解説を掲載してきた。

情報基盤（Web サイト）の評価として、その利用閲覧状況（アクセスログ）を把握し、今後の運用・コンテンツ充実の指針とする目的でアンケート調査を実施することとし、評価項目の検討を行った。検討にあたっては、以下のような内容を考慮して進めた。

- ・回答数は 100 程度を想定、専門家だけではなく、教育関連なども対象とする。
専門家の例：日本海洋学会、日本サンゴ礁学会、日本水産学会、日本海洋政策学会
教育／学校の例：水族館、水産高校校長会、パイオニアスクール事業参加校
- ・Web サイトで回答できる内容とする
質問項目数は 10-20 とし、10 分～15 分程度で終わられる内容とする。
- ・評価項目には、「海洋危機ウォッチ」の HP 全体としての評価や、サイトが役立つかどうかに加え、今後の検討に資する内容（「海洋の危機」と聞いて何をイメージするか）等も含める。

作成したアンケート案と依頼状は次の通りである。

「海洋危機ウォッチ」 アンケート案(ver5)

笹川平和財団海洋政策研究所では、海洋の温暖化や酸性化をはじめとした海洋に係わる様々な問題に対する理解・関心を高めて頂くため、広く情報の発信と共有を目的とし、情報基盤「海洋危機ウォッチ」を構築し公開してきました。本アンケートは、「海洋危機ウォッチ」の閲覧利用状況の把握と今後の方針を探るために実施するものです。

アンケートの回答には10分ほど要します。皆さまの率直なご意見、ご感想を頂けますと幸いです。なお、本アンケートには個人情報に関する設問がございますが、統計処理し個人が特定できないように使用します。

サイト利用に関して

1 ご自身（ご所属）について教えてください

大学・研究機関（大気海洋、地球科学、水産、教育系）学部・院生を含む
小中高校教職員、その他教育関係
企業、民間団体、国・地方公共団体、マスコミ報道機関
小中高校 児童・生徒、一般

2 サイトを何で知りましたか（複数回答可）

笹川平和財団海洋政策研究所 HP、インターネット検索、学会やシンポジウム、知り合い、その他（下記に記入ください）

3 サイト利用目的は何ですか（複数回答可）

☐ 海洋の課題に関心があったため ☐ 海洋環境に関する情報収集のため
☐ 研究・業務での参考とするため ☐ 学習で活用するため
☐ 解説・ニュース記事を見るため ☐ 予測情報・観測情報を見るため
☐ その他（下記に記入ください）

4 ご自身の仕事や生活において関わる海がありましたら、教えて下さい
（例を参考にして記入ください）

（例：〇〇灘、〇〇湾、東シナ海、日本海、太平洋...）

現在公表中の「海洋危機ウォッチ」について

サイト全体の見やすさ、デザインの印象について 4段階で評価ください

サイトの見やすさ	良い	やや良い	やや悪い	悪い
サイトの使いやすさ	良い	やや良い	やや悪い	悪い
情報の探しやすさ	良い	やや良い	やや悪い	悪い
内容の理解しやすさ	良い	やや良い	やや悪い	悪い

その他ご意見ありましたらご自由に記入ください

各コンテンツ（ページ）を利用しますか

利用する場合は コンテンツに対する満足度を 4 段階で評価ください

ページ	コンテンツ	閲覧の有無	満足度			
			高い	やや高い	やや低い	低い
海の温暖化・酸性化の解説		○×				
海の予測情報	JCOPE					
	CMIP					
観測の情報						
ニュース						
学習コーナー	映像「もう一つの CO2 問題」					
	用語説明					

その他ご意見ありましたらご自由に記入ください

「海洋の危機」について

以下の海洋の課題を知っていますか

またこれらの項目に対し、ご自身では問題や危機をどの程度認識しますか

4 段階で回答ください

海洋の危機項目	認識有無(○×)	危機の度合			
		存在しない	少々問題	やや問題	大いに問題
1. 海洋温暖化					
2. 海面上昇					
3. 海氷の融解					
4. 海洋酸性化					
5. 貧酸素化					
6. 漁業資源劣化					
7. サンゴ白化					
8. 磯焼け					
9. 富栄養化					
10. 海洋ゴミ※					
11. 高潮					

※海洋プラスチック、マイクロプラスチックの問題を含む

その他の海洋の課題についてご自由に記入ください

--

今後の「海洋危機ウォッチ」について

1 「海洋危機ウォッチ」には役立つ情報がありましたか、今後も利用したいと思いますか、全体の印象を教えてください

--

2 今後 追加充実して欲しい情報、コンテンツがありましたらご記入ください

--

問合せ先：

笹川平和財団海洋政策研究所 角田智彦， 中村修子

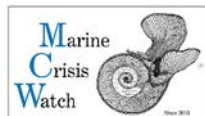
お問い合わせは[こちら](#)

※海洋危機ウォッチの詳細については、添付資料2を参照されたい。

アンケート協力依頼文：

海洋温暖化・酸性化に関するウェブサイト「海洋危機ウォッチ」

ウェブページアンケートへの協力の御願い



<https://www.marinecrisiswatch.jp>

笹川平和財団海洋政策研究所では気候変動/海洋温暖化・酸性化事業の一環として、これらの課題に関する情報提供の場として、Web サイト「海洋危機ウォッチ」構築を進め、2018 年 12 月から公開しています。

<https://www.marinecrisiswatch.jp/mcwatch/>

現在提供しているコンテンツには、海洋温暖化・酸性化の解説、日本国内で行われている「観測の情報」、予測モデル（海洋研究開発機構の開発モデル JCOPE および CMIP5）による温暖化・酸性化シミュレーション結果「海の予測情報」、関連ニュースおよび学習コーナーがあります。

観測情報には気象庁や JAMSTEC の実施している北西太平洋での長期定点 pH 観測データ、大学研究機関で実施される沿岸域の観測データ、あるいは国際酸性化観測ネットワーク(GOAOON)の一部を担う日本国内沿岸での観測データを含みます。

将来予測は 2 種類 (JCOPE, CMIP) のモデルシミュレーション結果が表示され、日本周辺の外洋での pH 予測を見ることができます。

ニュース記事は概ね月毎の、酸性化や関連の科学研究論文からレビューした内容を紹介し、学習コーナーではクレイアニメーション「もう一つの CO2 問題」(神奈川県立海洋科学高校の吹替版も)や用語解説を掲載、充実させています。

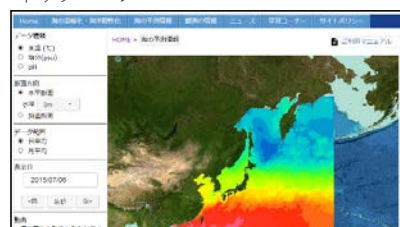
この度、Web サイトの利用閲覧状況を把握し、今後の運用・コンテンツ充実の指針とする目的でアンケート調査を実施する運びとなりました。アンケートは 10 分程度で終わられる内容になっておりますので、ぜひご協力をお願い致します。

※アンケート回答方法

海洋危機ウォッチのトップページからアンケートサイトにアクセスのうえ、設問に沿って回答ください。



トップページ



将来予測のページ



学習コーナー



こちらをクリック
して下さい



海洋危機ウォッチの
QR コード

問合せ先：笹川平和財団海洋政策研究所 角田・中村 (03-5157-5210)

2 アンケートの結果

以上の検討を踏まえて、海洋危機ウォッチサイトにアンケートを実装し、日本海洋学会などに調査への協力依頼を行った。また、87件の回答を得て、その結果を整理した。実施概要と回答等を以下に示す。

(1) 実施概要

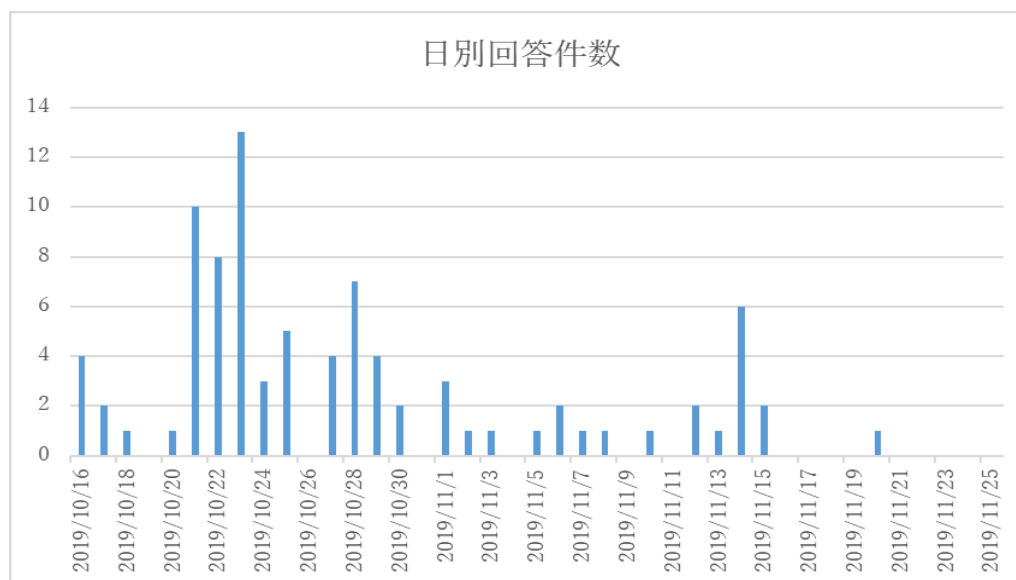
アンケート設置サイト：海洋危機ウォッチ プロトタイプ版

(<https://www.marinecrisiswatch.jp/mcwatch/>)

設問数：13

実施期間：2019年10月16日～2019年11月25日 41日間

回答件数：87件

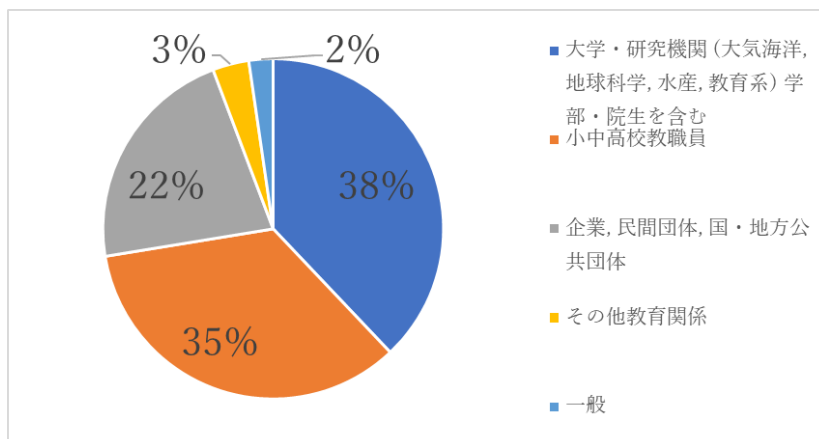


(2) 設問及び回答

■ サイト利用に関して

(a) ご自身（ご所属）について教えてください

回答	件数
大学・研究機関 (大気海洋, 地球科学, 水産, 教育系) 学部・院生を含む	33 件
小中高校教職員	30 件
企業, 民間団体, 国・地方公共団体	19 件
その他教育関係	3 件
一般	2 件



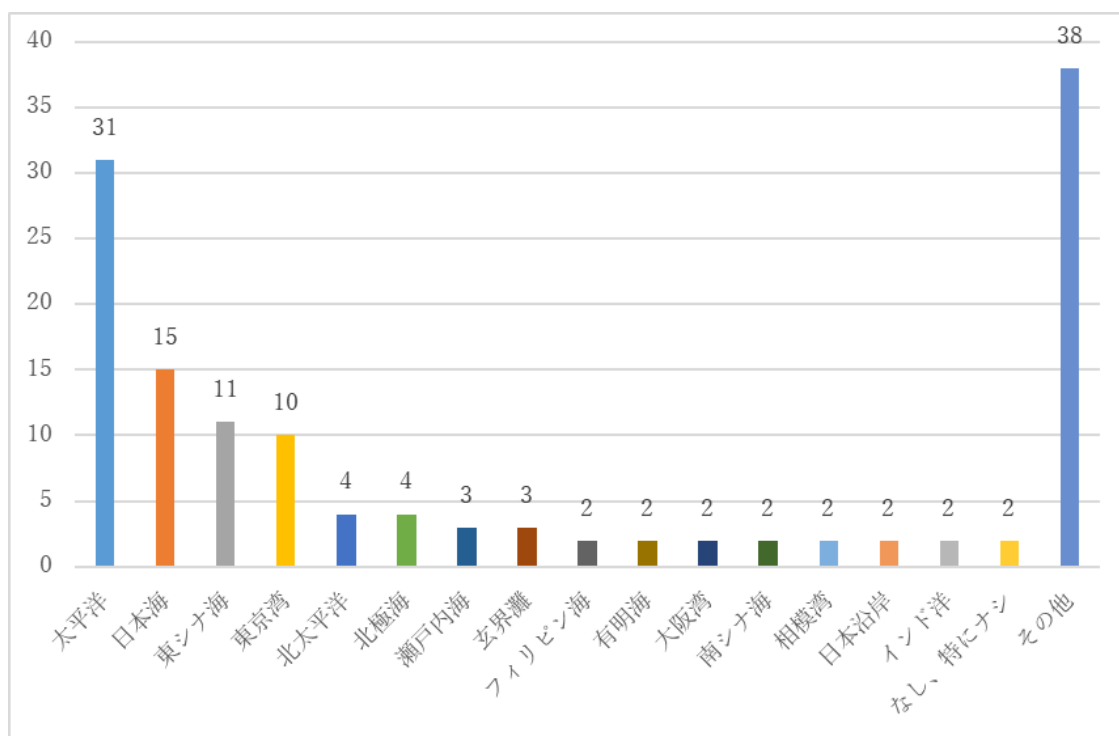
(b)サイトを何で知りましたか（複数回答可）

回答	件数
知り合いからの紹介	29 件
笹川平和財団海洋政策研究所 ホームページ	27 件
学会やシンポジウム	22 件
インターネット検索	7 件
その他	18 件
<<以下、その他内訳>>	
OPRI からのメール	10 件
海洋教育パイオニアスクールプログラム	3 件
教育委員会からの通知	2 件
通知文書により	1 件
温暖化、酸性化の会議にて	1 件
同僚からの紹介	1 件

(c)サイトの利用目的は何ですか（複数回答可）

海洋環境に関する情報収集のため	47 件
研究・業務での参考とするため	44 件
海洋の課題に関心があったため	35 件
学習で活用するため	26 件
予測情報・観測情報を見るため	10 件
解説・ニュース記事を見るため	9 件
その他 ※アンケートに回答するため	4 件

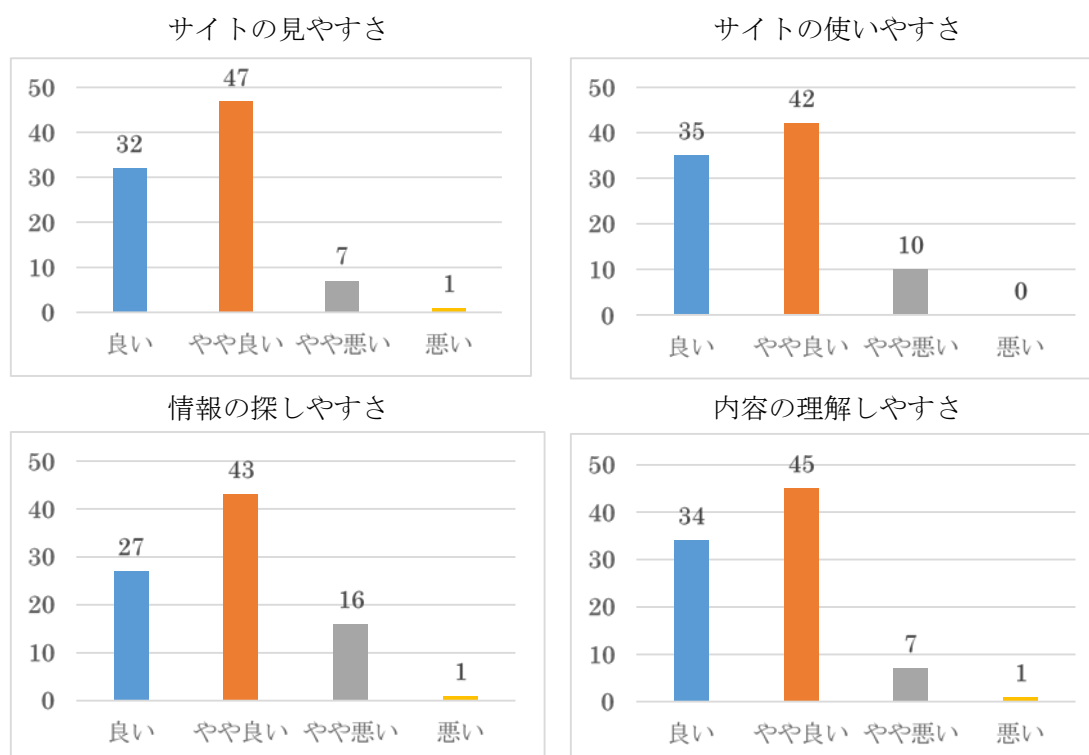
(d) ご自身の仕事や生活において、関わる海はどこですか (例 :○○灘,○○湾, 東シナ海, 日本海, 太平洋...)



■現在公開中の「海洋危機ウォッチ」について

(a) サイト全体の見やすさ、デザインの印象について 4 段階で評価ください

	良い	やや良い	やや悪い	悪い
サイトの見やすさ	32 件	47 件	7 件	1 件
サイトの使いやすさ	35 件	42 件	10 件	0 件
情報の探しやすさ	27 件	43 件	16 件	1 件
内容の理解しやすさ	34 件	45 件	7 件	1 件



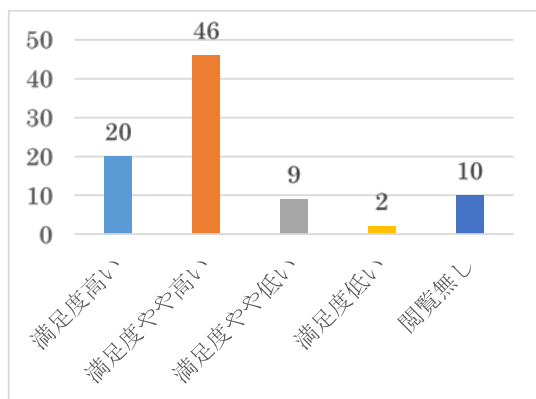
<自由記述>

- タブで各情報に飛んでも、内容が畳み込まれており、リスト化された表題だけでは、書いてある内容が推測できないので、情報の検索性・一覧性が低いと感じました。内容が豊富なだけにもったいないと思います。例えば、学習コーナーに飛んでも、「映像紹介」のリンクを開かないと、魅力的なタコ動画があることに気づきません。
- 今後、内容を充実できればよいと思います。
- マップだけでなく、マップをクリックすると数値や時系列データが見られると便利
- 文字情報は非常に判りやすいと思うのですが、各記事に内容を象徴するような写真、図表等があるとなお良いと思います。
- 海洋環境に関わる授業では活用しやすいと思いました。
- 酸性化・温暖化に限った情報発信であれば、サイトのタイトルもそのように示していただくとうわかりやすいと思います。
- 全体的に文字が多く、見るというよりは読むといった印象です
- 図の解像度が低い

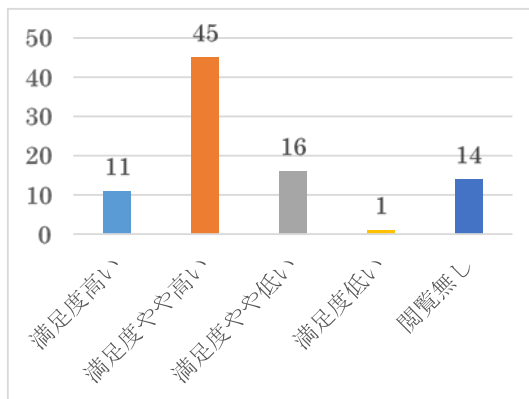
(b) 各コンテンツ（ページ）を利用しますか。利用する場合は コンテンツに対する満足度を4段階で評価ください

	満足度 高い	満足度 やや高い	満足度 やや低い	満足度 低い	閲覧無し
海の温暖化・酸性化の解説	20 件	46 件	9 件	2 件	10 件
海の予測情報	－	－	－	－	－
JCOPE	11 件	45 件	16 件	1 件	14 件
CMIP	11 件	43 件	16 件	2 件	15 件
観測の情報	10 件	45 件	17 件	0 件	15 件
ニュース	13 件	52 件	12 件	0 件	10 件
学習コーナー	－	－	－	－	－
映像「もう一つのCO2問題」	15 件	49 件	9 件	2 件	12 件
用語説明	15 件	46 件	11 件	3 件	12 件

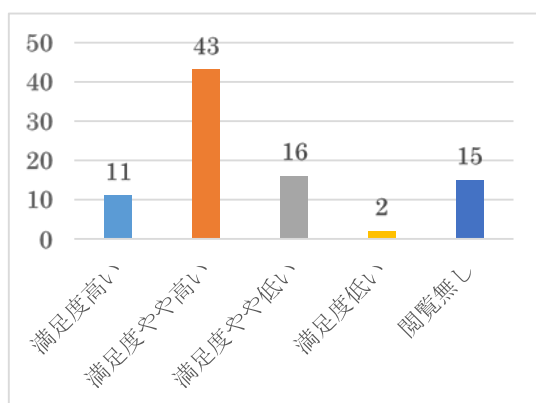
海の温暖化・酸性化の解説



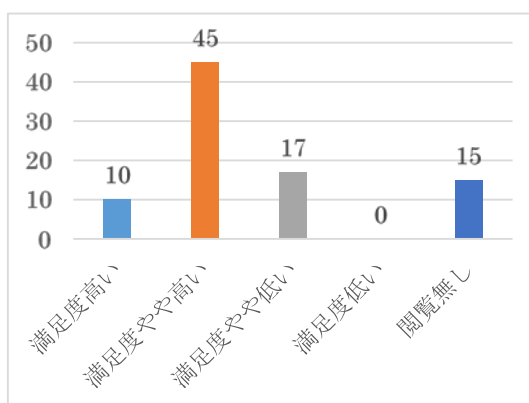
海の予測情報 JCOPE



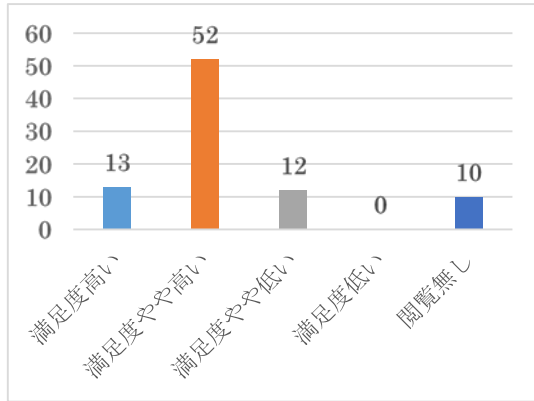
海の予測情報 CMIP



観測の情報

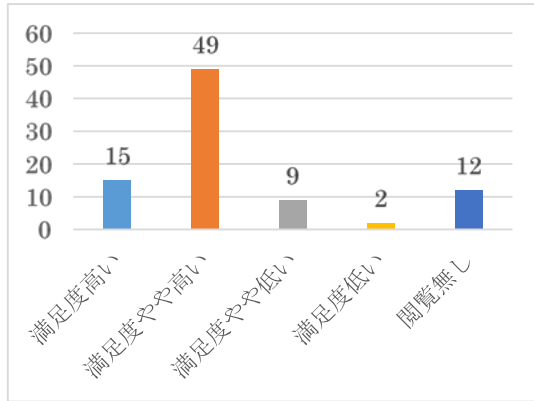


ニュース

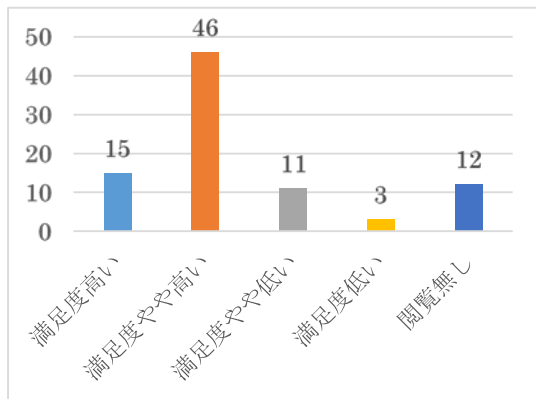


学習コーナー

映像「もう一つの CO2 問題」



学習コーナー 用語解説



学習コーナー映像

「もう一つの CO2 問題」

<自由記述>

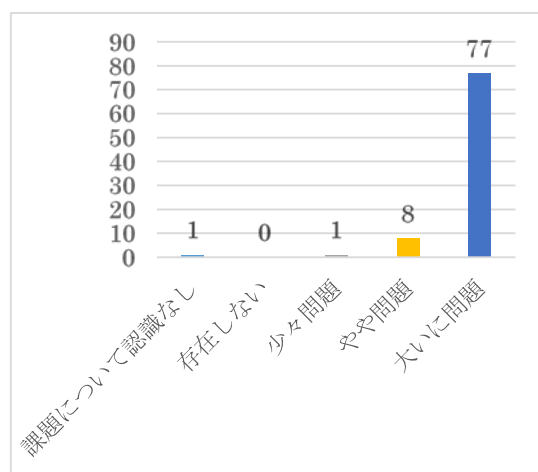
- 項目名は、"CMIP"よりも"MIROC-ESM"の方がよいのでは
- 小学生にもわかるくらいやさしい解説があるとよい。カラートーンだけの図だと温暖化による経年変化がわかりにくいので等高線を加えてほしい。
- 今年の PAMS meeting（台湾の高雄市）で、このサイト（pH の予測）を紹介したところ、中国とか台湾の研究者の反応が大きかったです。
- 沿岸付近のスケールまで見たいが、カラーバーが全球のカラーバーと同じで、カラーバーを細かくしてほしい。同時にコンターを入れて欲しい。
- CMI5 の表層以深の領域は、値自体はありませすが、値が信頼性に乏しいので削除した方がよいと思います。
- CMIP は水平だけでなく任意の場所の時系列のデータを得られるととても有益です

■「海洋の危機」について

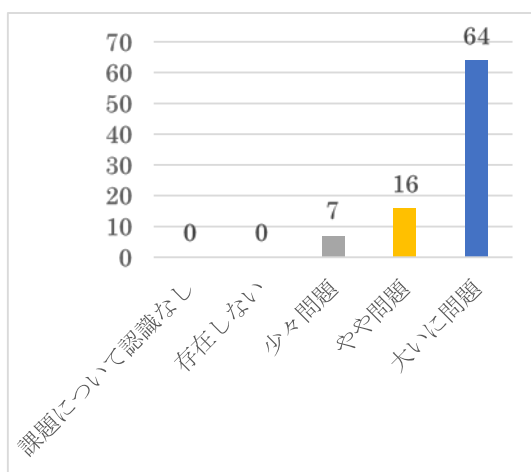
(a) 以下の海洋の課題を知っていますか。また、これらの項目に対し、ご自身では問題や危機をどの程度認識しますか

	課題について認識なし	存在しない	少々問題	やや問題	大いに問題
海洋温暖化	1 件	0 件	1 件	8 件	77 件
海面上昇	0 件	0 件	7 件	16 件	64 件
海水の融解	0 件	0 件	4 件	18 件	65 件
海洋酸性化	3 件	0 件	9 件	28 件	47 件
貧酸素化	3 件	0 件	11 件	37 件	36 件
漁業資源劣化	1 件	0 件	1 件	26 件	59 件
サンゴ白化	2 件	0 件	2 件	34 件	49 件
磯焼け	3 件	0 件	5 件	32 件	47 件
富栄養化	4 件	0 件	16 件	37 件	30 件
海洋ゴミ	0 件	0 件	10 件	22 件	55 件
高潮	4 件	0 件	10 件	42 件	31 件
海中雑音	18 件	0 件	28 件	34 件	7 件

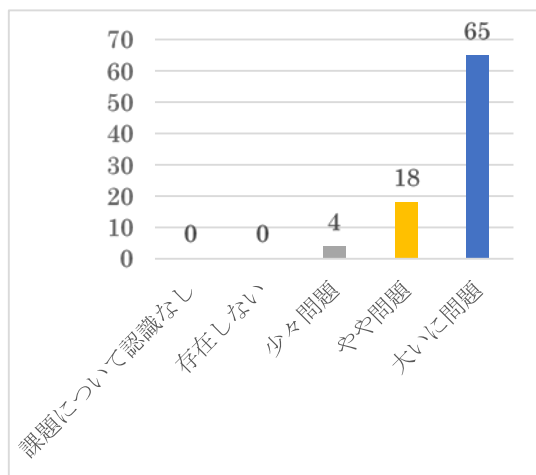
海洋温暖化



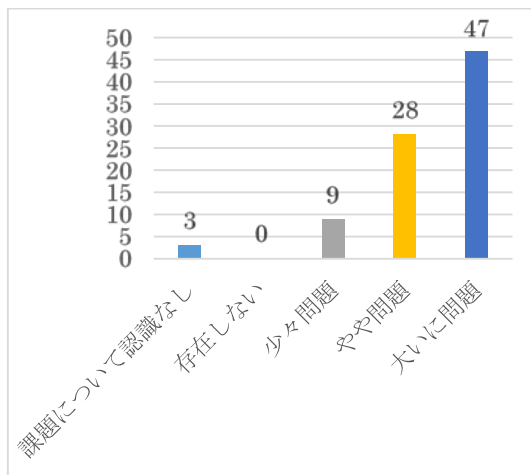
海面上昇



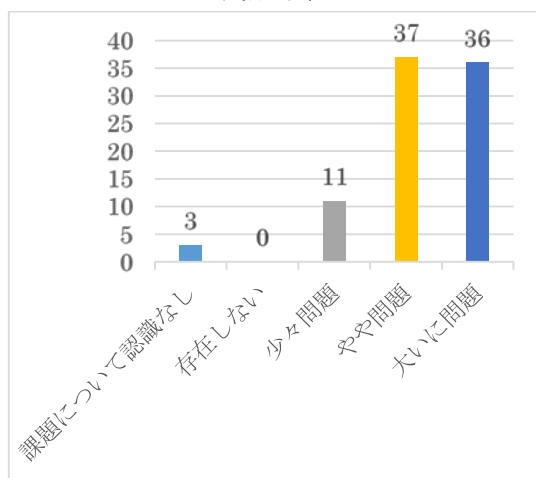
海氷の融解



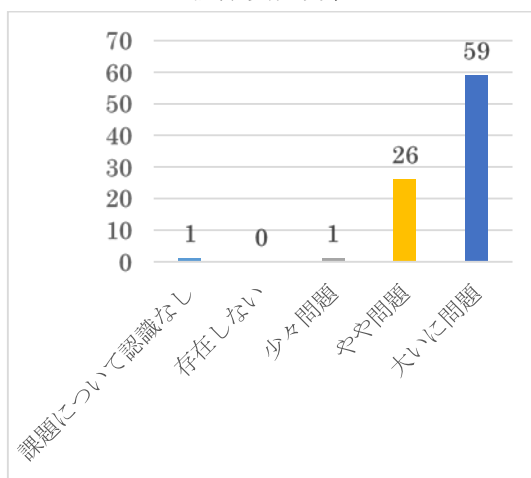
海洋酸性化



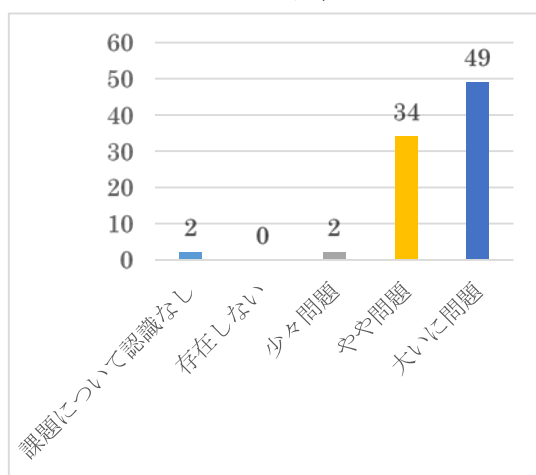
貧酸素化



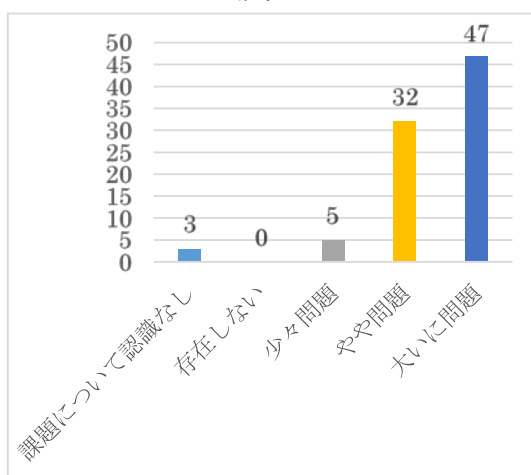
漁業資源劣化

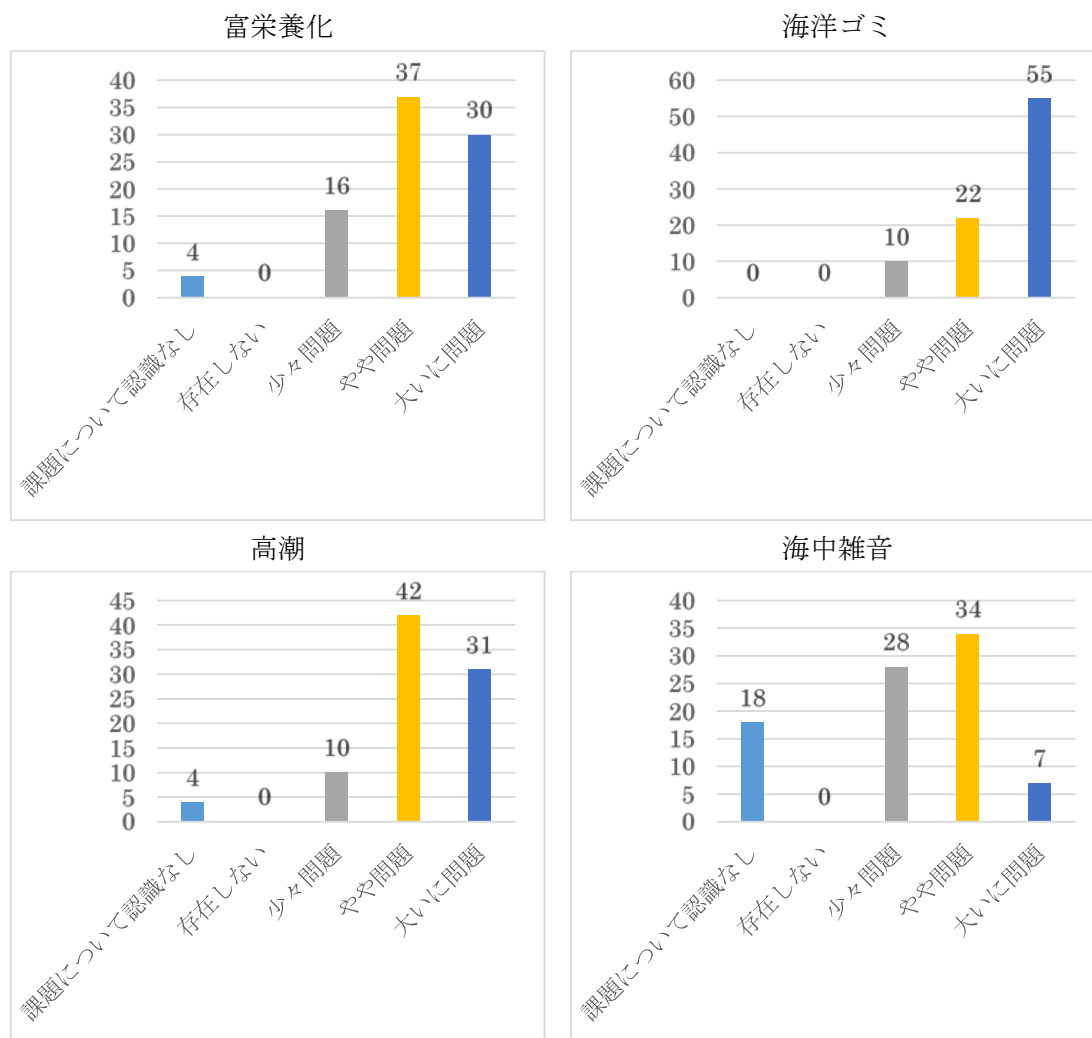


サンゴ白化



磯焼け





<自由記述>

- 海洋環境の変化が漁業生産に及ぼす影響について
- 海洋に関する伝統知、地域地を継承すること
- 両極の氷の融解
- 富栄養化とは正反対に、最近は貧栄養化で困っている沿岸域も多そうです。
- 台風の強化や巨大化、強風/高波、魚種の交代、生物多様性の損失、生態系大変動
- 赤潮、青潮は質問項目にすら入っていませんが、海洋政策研究所としてはこれらは富栄養化、貧酸素化のそれぞれ一端であって、分けて取り扱うべき問題ではないという御認識なのでしょうか？
- 漁獲量変化と海洋環境変化の関連
- 海底資源開発に伴う環境影響
- 砂浜の砂が無くなっていくこと。
- 漁獲量の変化
- 洋上風力発電等の新しい海洋開発の必要性が高まっている中で、より総合的な観点からの海洋利用の合意形成ルールの確立が、喫緊の課題となっていると思っています。
- 潮流変化、海洋深層水管理、深海底ゴミ
- 現在、生徒と海洋ゴミについて研究中です。

■今後の「海洋危機ウォッチ」について

(a)「海洋危機ウォッチ」には役立つ情報がありましたか、今後も利用したいと思いますか、全体の印象を教えてください

<自由記述>

- 定期的な記事更新があれば今後も利用したい
- 海洋温度、海洋 PH 表示など常時見ておきたい。
- まだわからないが、利用してみたい。
- 解説記事が分かりやすく参考になる。今後も利用したいと思う。
- 海洋酸性化は pH だけ測ってもだめです。
- pH 予測図を掲載するのは、(少々ネガティブな意味で) 非常にチャレンジングだと思った。
- とても役立つ。今後も利用したいと思う。
- 大変良いサイトだと思います。もう少し内容のアピールがあると、より良いかと思いました。
- 網羅的海洋を捉えるのに良いと思う。
- 海洋危機と謳っているけれど、そのうちの 2 つだけを扱うのでは不十分。サイト右上のロゴマークははっきりしないし意味不明、適当ではない。観測・予測情報はデータとして利用されるよう整備して欲しい。
- 海洋の危機度を総括的に把握できる
- 予測だけではなく実際はどうだったのか、現状がわかると予測と比較ができる。
- 今後も利用したいので、内容を充実してほしい。
- 利用しやすいと思いました。
- 見やすくできている
- 大変有用なデータで満ちているので、より広く広報すべきなのでは。
- まだ十分利用していないので何とも言えません
- 利用したい
- 大いに役立っております。
- 情報が増えてくるとなおよいと思います。
- これからどんどんコンテンツを充実してください。オンリーワンなサイトを期待します。
- 既知情報の最確認
- 広く世界の関心事を知るためには役に立つので利用したい
- 重要な海洋問題が一か所で俯瞰できることが有益。
- 高校生が吹き替えを担当したもう一つの二酸化炭素問題が良かった。
- 大いに役立つと思います。もっと多くの人に知らせる努力が必要。
- 利用したいと思う。
- なし
- 利用したい。多くの人に周知できればと思う。
- 利用したいと考えている。
- 全体的に動作も軽快で見やすいです。(「海しる」とは大違い・・・)
- 積極的に利用したいと思います。
- 図の表示が速いので、良いと思いますが、関連する他のデータを調べるために他とのリンクが豊富、もしくはカタログ検索ができると良いかと思います。
- 今後の充実に期待します。
- "海洋危機ウィッチは定期的に最新のニュースを提供してくださっていたと思いますが、最新の科学・政治的なニュースはあまり一般の方は興味ないと思うので子供を対象とした見やすくカッコいいサイトを作ってみては？と思いました。

<https://www.pmel.noaa.gov/co2/story/Ocean+Acidification>

<https://www.whoi.edu/know-your-ocean/ocean-topics/ocean-chemistry/ocean-acidification/>

<https://datainthe classroom.noaa.gov/content/ocean-acidification>

上記に挙げた海外のサイトなど参考になればと挙げさせていただきました。"

- 利用したい
- "各地域の海洋環境や海の保全に関するホームページはそれなりの数存在しますが、地球温暖化レベルの広域的な環境破壊が、日本の海洋に及ぼす影響についての情報をまとめた民間のデータポータルは、WWF ジャパンとこの危機ウォッチサイト以外には存在しないのではないかと思います。非常に貴重なサイトだと思うので、ぜひ頑張って頂きたいです。ただ、WWF のサイトと危機ウォッチを比較した時、一般人がどちらにより親しみを感じられるかと言えばやはり WWF ジャパンの方になってしまうのではないかと思います。実際、ウェブ上で「海、環境」という検索ワードで検索を行うと WWF ジャパンのサイトがトップヒットしますが、危機ウォッチはかすりもしません。危機ウォッチの方がより情報量が多いと思いますし、更新頻度も高いと思うのですが、表示される内容や記述が、危機ウォッチの方がはるかに専門的だと感じます。これは専門的な知識を得たいと思っている一部のコアな層には大きく訴えかけられると思いますが、その手前の層にとっては却って敷居を高くする結果になっているのではないかと思います。そして、専門的な知識を得たいと思っている層にとっては、直接気象庁や環境省のサイトに言ってしまう方がより詳しい情報を得られたりもします。危機ウォッチは専門サイトと WWF ジャパンレベルの情報で満足する層の間を埋める存在だと思うのですが、現在はその中間というよりは、かなり専門サイトそのものに寄ってしまっているように見えます。変な言い方になりますが、もう少し科学的な正確さを捨てて情緒的な文章にした方が、より中間に近くなるのではないかと思います。より手軽な方法としては、写真等の画像情報をもっと増やすのが一番手っ取り早い手段なのではないかと思います。
- 仕事に使う訳ではないため、見れば役立ちますが一度見ると二度目はなかなか来ない。利用したいと思うので、例えば黒潮蛇行や台風による海洋情報変化などのウォッチして欲しい場合に ML でお知らせをいただければ、今後の利用を忘れなくて済むと思う。
- 海洋情報部「海しる」とは連携してもよいのではないかな？
- 利用したい
- 役立つと考えるが、なかなか活用できていない。
- 今後も利用したいです。
- 研究者向けの印象を受けました。当サイトの豊富な情報を利用して、知識や情報の習得だけでなく、生徒が自ら考え、生徒どうしで協議できるような題材（進行・展開）例等があれば、教育関係者の当サイトの利用が広がるのではないかと考えます。
- まだウェブサイトとしては、未整理で文字情報が前面にありすぎて、でも、必要な情報にたどり着きにくいと言う印象です。内容的には良いと考えます。
- 高学年を担当したら活用したい
- 利用したいと思う
- 今後も有効に利用したいと考えます
- 海洋のあらゆる危機が網羅されており大変勉強になります。
- 海洋に関する危機が網羅されており大変役に立ちます。
- 温暖化
- 今後も利用したい
- 機会があれば
- 専門用語を含む文章が多く、読みづらい印象。イラスト等をもっと用いて視覚的な解説の

充実が望まれる。

- 利用したい
- 利用したいと思う
- 政策財団レベルのデータ公表であればこの程度で良いと思う。まあまあかな。
- サンゴ学習をしているので、白化の内容は役立ちました。今後も資料として使いたい。
- 「北海道の環境」など、地域ごとの最新の情報についても知りたい
- たくさんの情報があり、今後も海洋危機に関する記事を掲載してほしい。
- 今後も活用させていただきます
- がんばっていると思います
- それほどは思いませんでした。
- 大変参考になった。今後も利用したい。
- 日本近海の pH や水温情報
- 学習コーナーは園児に気付かせるための教師の学習にも役立つ情報がたくさんある・
- 映像によって（特にアニメーション）海洋の危機的な状況を説明しているところが分かり易く、子ども達に伝えるために活用したい。
- 勉強になりました
- 学習動画が非常に良かった。文章は地学教育を受けた人向けだと感じた。
- 中学生には、難しい内容が多く授業で使用するためには、情報を簡易化・簡素化する必要があると思いました。
- 高学年の海洋教育については、とても有効であると感じた。低学年でどのように活用できるかは、考えていきたい。
- 最新の情報が見やすいため、今後も利用したいと感じた。
- 多くの情報があり、その中から必要な情報を探すのに役立ちました。
- 役立つ情報はあった。取り上げる情報に興味を持つことがあれば利用したい。
- 意識向上に役立つと思います
- 是非利用したいと思います
- 様々なデータが集まっていた
- 利用したい。
- pH という視点。以後も利用したい。
- 今後の情報内容のより一層の充実に期待しています。
- 役立つ情報もあったので、今後も利用したい。
- 児童生徒が知りたいことを自分で調べるために本コンテンツを紹介できるようにしたい
- 使い始めなのでまだよくわからない
- youtube の動画
- 現在、情報は溢れていいです。しかし、ただし情報か否かを判断することは、学生には難しく感じます。信頼できる情報であると生徒に伝え、研究授業に役立てたいと思いました。今後の授業に役立てたいです。
- 数ある情報サイトの中の一つであるため、必要に応じて利用したい。
- はい、海洋酸性化について認識していなかったもので、新しい情報がわかるので利用したい。

(b)今後、追加充実してほしい情報、コンテンツがありましたらご記入ください

<自由記述>

- 海洋学習のポータルサイトとしてリンク集を作してほしい。
- 海域地震発生分布に基づく津波発生想定分布図
- マイクロプラスチックや海上ゴミの情報を集約するのもおもしろいかとおもいました。
- 海洋表層生態系との関係で海色データや可能であればその予測も示せるとよいのでは。
- 現象や影響だけでなく対策に関する情報をお願いします。
- 南極大陸周辺の海洋変動
- 一般向けのより視覚的にわかりやすいページ作りに期待します。
- 海洋危機に関する最先端研究結果の総説的記事
- 中国沿岸で pH が高い傾向がありそうですが、シミュレーションの信頼性がどの程度か、ユーザーに分かりやすく(±? pH とか?) 明示しておいた方がよいかと思いました。
- 3D 等によるより面白い表現可視化
- 全球規模の地球温暖化や酸性化などが分かるインタラクティブなコンテンツ
- 項目として、赤潮、青潮、磯場の生物多様性の減少等の、より地域的な情報が得られるようになると、今よりも多くの層の引きつけられるのではないかと思います。
- 危機の状況を具体的に「見て分かる」写真や動画、特に日本近海の情報が充実すれば、非日常的な現象を身近に感じ易いのではないかと思います。
- 小学生にもわかりやすいコンテンツ
- 小学生向けのややかみ砕いた学習コンテンツ
- 海洋プラスチックゴミ、マイクロプラスチック
- SDG
- 海洋危機について、私たちの生活にどのようにつながってくるのかという身近な具体例や想像できる範囲でのシナリオ等、インパクトのある内容がもっと欲しい。
- 気候変動
- 学習コーナー
- 海洋危機だけでなく、海洋に関わる良い面の情報があれば掲載してほしい
- 海洋プラスチック問題
- 最新の研究紹介
- 子供も少しは読めるように、難しい漢字にはフリガナをしてほしい。
- 子供向けをもっともっと充実してほしい。
- サンゴが白化している地域の年次変化とか、海洋ごみの多い地域図など
- すぐには思い当たらない。
- 小中学生でも課題を理解しやすいような視聴覚教材があると嬉しい
- 各年代向けの説明や動画あるといいと思います。
- 実際に講義などで使用できる素材へのリンクなど、追加してもらえるとありがたい
- 各地の取り組みの紹介
- SI-CAT データ
- 物理情報との融合。雑音の視点
- 津波・高潮・高波観測情報となる沿岸波浪・潮位観測情報など
- 児童生徒目線のコンテンツ
- 海洋ゴミ等の情報や画像

3 考察

閲覧利用について

2018 年度から 2020 年初頭までのアクセス解析を追うと、Web サイトが認知され内容が充実するにつれて訪問数、プレビュー数ともに増加してきた様子が分かる。特に 2018 年 10 月の海洋政策研究所主催の国際シンポジウムのようなイベント開催時に大きく PR した効果で閲覧数が上昇するケースが数回あった。

アクセス元を辿ると主には国内からであるが、海外の大学研究機関からの閲覧もあった。国内の内訳は、国（官公庁）、地方公共団体など行政関係、大学等教育研究機関、中等教育関係、報道関係、企業、金融、NPO など様々である。国内でのアクセス数が突出して多かったのは、海洋開発研究機構（JAMSTEC）、気象庁、東京大学などであり、一般に比べ海洋の専門家の閲覧が圧倒的に多い。また少数であるが、中学高校の生徒、教員による利用も見られた。「海洋酸性化」に特化した WEB サイトが他になく、学校での調べ学習や教員の授業準備に利用される可能性を伺える。

利用者による Web サイト全体の印象、要望

全体の印象として、解説やニュース記事が参考になる、有用であり更新があれば今後も利用したい、広く世界の関心事を知れる、重要な海洋問題を一カ所で俯瞰するのに有益だ等が多数意見としてあり、概ね肯定的に捉えられていた。専門家の視点からも、役立つ情報がある、利用したい、継続を希望するコメントが多かった。一方の教育関係者の視点では、解説や用語などが一般や子どもには難しいという印象が強く、映像や写真（視聴覚に訴えるもの）を増やして海洋教育のポータルサイトとしてリンク集をつくってほしい、といった要望もあった。

Web サイト構築に関する課題および今後の展望

アンケート結果および事業を通して見えた課題 (1)～(3) を挙げる。

(1) ターゲット

Web サイトを「誰が閲覧するのか」という設定においては、当初から一般への普及啓発目的の情報と学術性の高い専門家向け情報(データ)との両方を扱う方針であった。国内で海洋酸性化に関する情報基盤が他に無い状態で、実際には中学高校の生徒、大学生、学校教育関係者から海洋の専門家まで含む幅広い層に閲覧されている。年齢、所属、バックグラウンドの異なる閲覧者それぞれの興味関心や観点は多様であり、全ての閲覧者を満足させる内容構築と充実は非常に難しい。海洋危機ウォッチの設置により「海洋酸性化問題の顕在」を広く一般に普及啓発する目的は達成した一方、教育コンテンツと専門的な情報提供の範囲や内容については整理と再設定が必要となる。

(2) 海洋酸性化の問題設定

「海洋酸性化問題」は本来、グローバルな気候変動・温暖化(CO₂上昇)と、ローカルな人為汚染・富栄養化に起因する。沿岸域での酸性化問題では両者の影響を分離することは難しい。当事業テーマ「温暖化・酸性化」はグローバルな地球温暖化由来の海洋酸性化問題を主体として情報基盤構築を進めたが、一般には外洋よりも身近な沿岸域・里海に注意関心が集まりやすく、温暖化よりも養殖や汚染など人為活動の影響を反映している。普及啓発していく上で、発信側からこういった科学的背景や要因、リンケージを正確に説明する姿勢と努力が不足してしまうと、一般の方に誤った認識を広める危険がある。2016-17年度に実施された神奈川海洋科学高校での出張講義とフィールド調査のデザイン設定には当初この課題があったが、軌道修正とフォローアップで対処した。

(3) 海洋酸性化予測

事業では外部委託による酸性化予測のモデル開発と情報可視化を行った。予測シミュレーションは外洋での海流予測モデルを基としているが、沿岸域・近海での個々の生態系情報を組み込むシミュレーションモデルの構築は困難であり、沿岸域での予測には至らない。またこれらの表示や説明が曖昧であると、大きな誤解を招く要因となる。予測情報とマップ表示に関してのアンケート結果では、専門家から信頼性や予測の意味を問うコメントがあり、全体的にも他の項目と比べて満足度の低い結果となった。また酸性化指標として pH 予測に留まり、サンゴや貝など生物への酸性化影響として重要なパラメータの炭酸飽和度に関しては、予測精度に課題が残り公表を見送った。今回の予測モデル開発は基礎研究として大切であるが、シミュレーションによる予測可能性と限界については科学レビューの段階で想定が可能である。委託契約前に、より綿密な研究計画を検討する必要があった。温暖化・酸性化の科学研究はフィールドでのモニタリングとモデル・データサイエンスの協働で推進する。事業実施側としてもバランスのとれた視点で俯瞰し監修することが重要である。

「海洋危機ウォッチ」の継続は多数の外部利用者からも望まれる。ニュースや解説、情報提供を中心に再編し、教育コンテンツの充実を図ることは望ましい。ターゲット層を分けて興味やレベルに合う情報やサイトにリンクさせる工夫も必要となろう。

海洋の危機については「温暖化・酸性化」に限定せず、高潮などの防災面や海洋ゴミ、資源問題についても含ませるか、将来に向けての検討が必要となる。

第3章 まとめに代えて

地球規模での二酸化炭素の排出増加がもたらす問題としては、温室効果による地球温暖化が広く知られている。しかし、大気中の二酸化炭素増加がもたらす問題は、それだけではなく、大気中の二酸化炭素が増加すれば、海に吸収される二酸化炭素量もまた増加し、それによって海水の酸性化が進む（下図）。海洋酸性化は、一般的に弱アルカリ性（pH=約8.1）である海洋に、二酸化炭素が多く溶け込むことで水素イオン濃度が高まり、海水中のpHが下がって酸性化する現象のことであり、海洋酸性化が進むと、造礁サンゴや有孔虫、貝類など炭酸カルシウムの骨格を持つ生物が骨格を作りにくくなる。

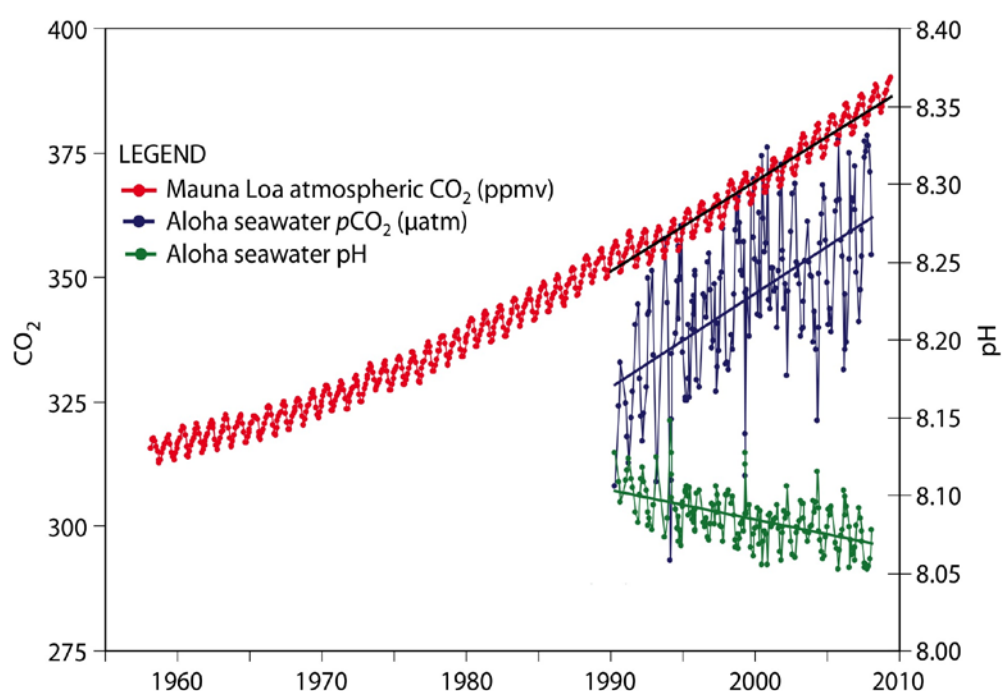


図 2 ハワイのマウナロア観測所で計測された大気中の二酸化炭素濃度（赤）とハワイ周辺海域（ALOHA 定点；北緯 22 度 45 分、西経 158 度）で測定された二酸化炭素分圧（青、pCO₂）及び pH（緑）の推移（出典：Feely et al.(2009), *Oceanography*, 22)

海洋酸性化は、従来は、このような大気中の二酸化炭素濃度上昇に起因するものとして主に捉えられてきたが、近年では、沿岸湧昇に伴うもの、富栄養化に伴うものなども含めて示されている。沿岸湧昇の問題は海洋循環の物理的な特性から大陸西海岸で生じやすく、予測により影響軽減が可能な側面がある。また、富栄養化は閉鎖性海域などで生じやすく、陸域からの負荷低減により対策が可能でもある。いずれも海洋貧酸素化を伴うという特徴を有する。

そのため、従来からの二酸化炭素濃度上昇に起因する海洋酸性化については、極域が主な対象になると考えられる。二酸化炭素は温度の低い海水により多く溶けるという性質を持っており、モニタリングや予測計算のいずれにおいても極域における海洋酸性化の進行が懸念されている。日本周辺海域については、本調査研究事業では中長期的な課題として「造礁サンゴは、南からの海水温上昇により生息域が北上しつつあるが、低水温海域から進行する海洋酸性化が次第に南下するため、海水温上昇と海洋酸性化の挟み撃ちにあって30～40年後には生息適地がなくなるとも言われている」ことを紹介してきている。一方で、短期的なサンゴの影響については、海洋の温暖化に伴う白化現象などが懸念される。

ここでは、以上のような様々な海洋酸性化の形態にも触れつつ、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)での記載内容や、国連での議論の動向、欧米での研究動向などを振り返るとともに、まとめて代えて、今後に向けた考察を行う。

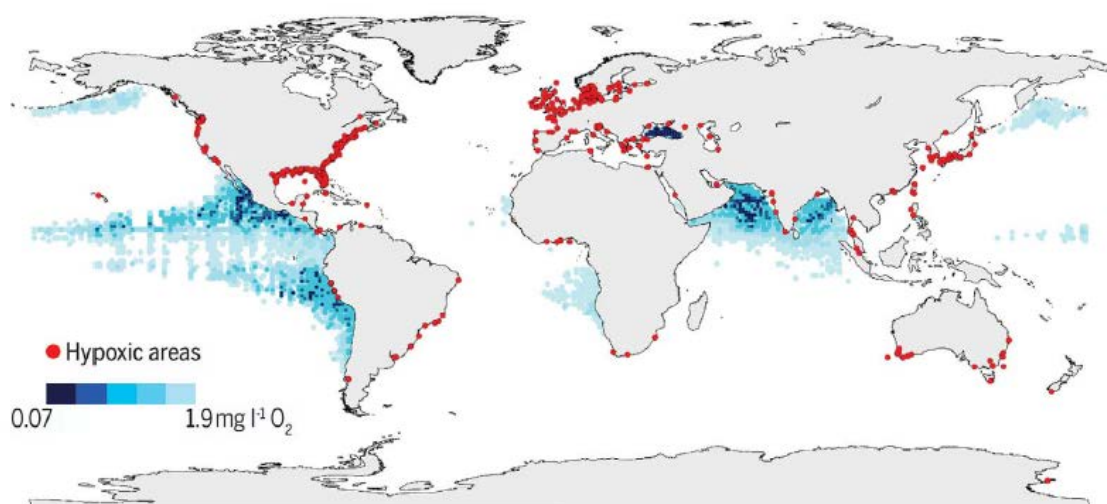


図 3 貧酸素水塊の分布（青色は主に湧昇に伴うもので大陸の西海岸に分布、赤が富栄養化に伴うもので沿岸域に分布する）（出典；Breitbart et al., 2018）

2.1 IPCC の議論の進展

(1) 第 5 次評価報告書まで

IPCC の報告書に海洋酸性化が初めて具体的に示されたのは 2007 年に公表された IPCC 第 4 次評価報告書である。そこには「人為起源の二酸化炭素の吸収により、産業化以前とくらべて海洋の pH は平均で 0.1 減少し（酸性化し）、21 世紀のうちに更に 0.14～0.35 減少する」と記されている。また、造礁サンゴなどの海洋生物に影響する可能性について示されている。しかしながら、当時の海洋酸性化に係る記述は限定的であった。

これに対して、2013 年から 2014 年にかけて承認された第 5 次評価報告書では、科学的

根拠を示す第 1 作業部会報告書において、海洋は人為起源の二酸化炭素の約 30%を吸収し、海洋酸性化を引き起こしていることや、海面付近の海水の pH は産業化以降 0.1 低下していることを高い確信度で記すなど、海洋酸性化に係る記述が大幅に増えている。また、海洋に吸収される二酸化炭素の増加が、将来、酸性化を進めることがほぼ確実であることが政策決定者向け要約版に示されている。影響・適応・脆弱性について示す第 2 作業部会報告書においても、海洋酸性化は、植物プランクトンから動物までの個々の種の生理学的、行動学的及び個体数変動学的な影響に伴い、特に軟体動物 (Mollusks) や造礁サンゴ (Warm-water corals) に相当のリスクをもたらす可能性が示されている (下図)。

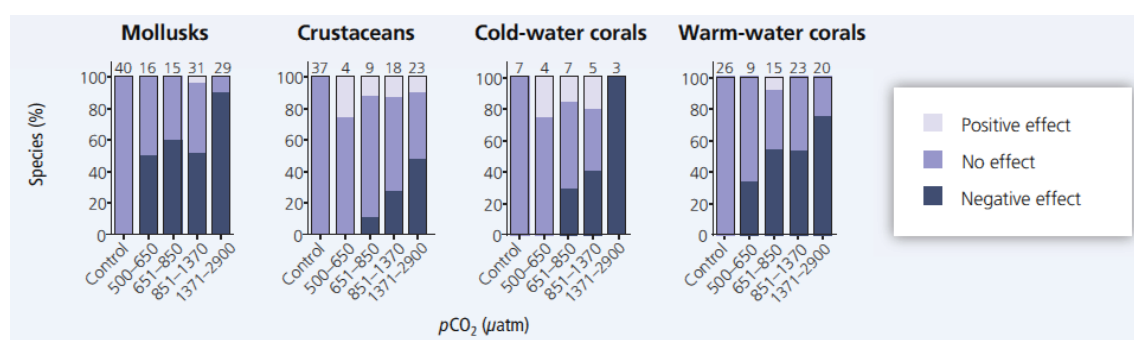


図 4 IPCC 第 5 次報告書の第 2 作業部会報告書の政策決定者向け要約版で紹介されている、各二酸化炭素分圧における生物への影響

二酸化炭素分圧は 2100 年の RCP4.5 シナリオ (500~650 μatm)、RCP6.0 シナリオ (651~850 μatm)、RCP8.5 シナリオ (851~1370 μatm)、2150 年の RCP8.5 シナリオ (1371~2900 μatm) に相当。なお、Control は 370 μatm を示す。

(出所：IPCC 第 5 次評価報告書 第 2 作業部会報告書 (IPCC, 2014))

このように、IPCC 第 5 次評価報告書では、世界のモニタリングデータを評価し、海洋酸性化が実際に生じていることを明らかにした。また、予測シミュレーション結果から将来も海洋酸性化が進行する懸念を示すとともに、大気中の二酸化炭素濃度の増加を抑制した低位安定シナリオ (RCP2.6) の結果から、仮に二酸化炭素の排出量を大幅に削減できた場合には海洋酸性化の進行も抑制できることも示している。

(2) 第 5 次評価報告書以降

IPCC は現在、2021~2022 年に公表が予定されている第 6 次評価報告書 (AR6) の作成期間に入っている。このプロセスのなかで幾つかの特別報告書が 2018 年~2019 年に公表されている。2018 年に公表された IPCC 特別報告書「1.5℃の地球温暖化」は、パリ協定で設定された長期目標の一つ「世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて 2℃より十分

低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求すること」に関して、2℃と1.5℃で生じる差異を科学的に評価したものである。その政策決定者向け要約（SPM）では、(A)1.5℃の地球温暖化の理解、(B)予測される気候変動、潜在的な影響及び関連するリスク、(C)1.5℃の地球温暖化に整合する排出経路とシステムの移行、(D)持続可能な開発及び貧困撲滅への努力の文脈における世界全体による対応の強化、の4つのセクションで構成されている。セクションBの4番目の海洋に関する記述では、2℃から1.5℃に抑えることで、海洋の温暖化と同様に海洋酸性化の強化や海洋の貧酸素化が抑えられることが、高い確信度とともに示されている。また、報告書本編では、これまでの研究成果をもとに、海洋生態系や水産養殖・漁業に海洋酸性化・貧酸素化がおよぼす影響がまとめられている。特に貧酸素化については、海洋温暖化・酸性化と合わさることにより広範な影響が予想されるとして、1.5℃および2℃の地球温暖化におけるリスクに対する理解は不十分としながらも、1.5℃の温暖化に伴う影響は2℃の場合よりも減少するとの予測が示されている。しかしながら、このままだと2040年頃には1.5℃の上昇が予測されるため、人間社会全体に、これまでにない排出削減に向けた対応が求められている。

続いて、2019年には「海洋と雪氷圏に関する特別報告書」(Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, SROCC)が公表されている。SROCCは、IPCCにとって初となる、気候変動と海洋・雪氷圏(極域・高山)に特化した報告書である。SROCCの発するメッセージは明瞭である。既に海洋生態系システムでは「転換点(ティッピングポイント)」を越えたと考えられる現象が起き始めており、海洋、ひいては地球全体が危機的な状況にあるとし、「今選ぶ行動で未来が決まる」と警鐘を鳴らしている。SROCCでは、海面水位上昇の予測値が大幅に上方修正されたことなどに注目が集まることが多いが、海洋酸性化については、「海洋がより多くのCO₂を吸収することによって、海面(表面海水)の酸性化が進行している(ほぼ確実)。海面から水深1000mまで酸素の損失が起きている(確信度が中程度)」ことや、「沿岸域の生態系は、海洋熱波の強化、酸性化、酸素の喪失、塩水侵入及び海面水位の上昇を含む海洋の温暖化の影響を受けるとともに、人為的な活動によって海洋及び陸上にもたらす不利益な結果(作用)の影響を受ける(確信度が高い)」ことが示されている。また、「対応の実施」のセクションにおいて「汚染及びその他のストレス要因の削減」などにも言及するなど、温室効果ガスの排出削減以外の対応策について触れている点も注目される。

IPCCの一連の議論において海洋酸性化は、海面水位上昇や、海洋貧酸素化、海洋熱波などの課題と同様、引き続き重要な課題であることが示されている。また、富栄養化(汚染)への対策なども示されている。

2.2 国連での議論の動向

IPCC などの科学者の検討を受けて、国連をはじめとする国際的な会議の間でも海洋酸性化に係る議論が進み、2010 年頃から各種政策文書のなかで明記されるようになってきた。代表的なものを以下に示す。

(1) 生物多様性条約

生物多様性条約は 1992 年のリオ地球サミットにて調印式が行われた条約で、個別生物種等に限らず、全球規模で生物多様性を考えてその保全を目指す国際条約である。2010 年に愛知で開催された同条約第 10 回締約国会議 (COP10) で採択された愛知目標では、20 の個別目標のなかの「目標 10」として、海洋酸性化についてサンゴ礁等への影響を踏まえ、次の記載が行われている。

「2015 年までに、気候変動又は海洋酸性化により影響を受けるサンゴ礁その他の脆弱な生態系について、その生態系を悪化させる複合的な人為的圧力が最小化され、その健全性と機能が維持される」。

また、2019 年に公表された IPBES (生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学-政策プラットフォーム) の地球規模評価において、「サンゴ礁はとりわけ気候変動に脆弱で、1.5℃の気温上昇では元の状態の 10-30%の被覆率、2℃の気温上昇では 1%未満の被覆率となる」との IPCC と同様の予測結果が示されているが、そのなかで、「海水温上昇と海洋酸性化が他の要因と相互作用し更にこうした要因を増幅させる」ことにも言及している。

(2) 国連持続可能な開発会議と SDGs

2012 年の国連持続可能な開発会議 (リオ+20) では、その合意文書「The Future We Want」において次のように海洋酸性化について取り組みの必要性を示している。

「私たちは、海洋酸性化と気候変動が海洋・沿岸の生態系と資源に与える影響について取り組むイニシアチブへの支援を求める。この点について、国際的な協力の強化も含め、私たちは次のことを繰り返し強調する。海洋酸性化を阻止し、海洋生態系とそれに依存する生物群の回復力を高めるために統合的に取り組むこと。また、海洋科学研究を支援し、海洋酸性化と特に脆弱な生態系への影響を監視・観測する必要性があること」。

「持続可能な開発目標 (SDGs)」は、2001 年に策定されたミレニアム開発目標 (MDGs) の後継として国連で定められた、2016 年から 2030 年までの国際目標である。リオ+20 で明確に示された将来の持続可能な開発のあり方を受けて、2015 年 9 月に国連で開催された「持続可能な開発サミット」において採択された。この SDGs の目標 14 (SDG14) の項目 3 にて「あらゆるレベルでの科学的協力の促進などを通じて、海洋酸性化の影響を最小限化し、対処する」ことが示されている。表 1 に示す 10 項目からなる SDG14 の一つに、海洋汚染や違法漁業などとともに位置づけられていることから、当時の国際社会における、この問題への注目が伺える。

表 1 SDG14 の各ターゲット及び指標¹

ターゲット	指標
14.1 2025 年までに、海洋ごみや富栄養化を含む、特に陸上活動による汚染など、あらゆる種類の海洋汚染を防止し、大幅に削減する。	14.1.1 沿岸富栄養化指数 (ICEP) 及び浮遊プラスチックごみの密度
14.2 2020 年までに、海洋及び沿岸の生態系に関する重大な悪影響を回避するため、強靱性（レジリエンス）の強化などによる持続的な管理と保護を行い、健全で生産的な海洋を実現するため、海洋及び沿岸の生態系の回復のための取組を行う。	14.2.1 生態系ベースにアプローチを用いた管理が行われている国内の排他的経済水域の割合
14.3 あらゆるレベルでの科学的協力の促進などを通じて、海洋酸性化の影響を最小限化し、対処する。	14.3.1 承認された代表標本抽出地点で測定された海洋酸性度(PH の平均値)
14.4 水産資源を、実現可能な最短期間で少なくとも各資源の生物学的特性によって定められる最大持続生産量のレベルまで回復させるため、2020 年までに、漁獲を効果的に規制し、過剰漁業や違法・無報告・無規制 (IUU) 漁業及び破壊的な漁業慣行を終了し、科学的な管理計画を実施する。	14.4.1 生物学的に持続可能なレベルの水産資源の割合
14.5 2020 年までに、国内法及び国際法に則り、最大限入手可能な科学情報に基づいて、少なくとも沿岸域及び海域の 10%を保護する。	14.5.1 海域に関する保護領域の範囲
14.6 開発途上国及び後発開発途上国に対する適切かつ効果的な、特別かつ異なる待遇が、世界貿易機関 (WTO) 漁業補助金交渉の不可分の要素であるべきことを認識した上で、2020 年までに、過剰漁獲能力や過剰漁獲につながる漁業補助金を禁止し、違法・無報告・無規制 (IUU) 漁業につながる補助金を撤廃し、同様の新たな補助金の導入を抑制する。	14.6.1 IUU 漁業と対峙することを目指すとしている国際的な手段を実施する中における各国の進捗状況
14.7 2030 年までに、漁業、水産養殖及び観光の持続可能な管理などを通じ、小島嶼開発途上国及び後発開発途上国の海洋資源の持続可能な利用による便益を増大させる。	14.7.1 小島嶼開発途上国、後発開発途上国及びすべての国々の GDP に占める持続可能な漁業の割合
14.a 海洋の健全性の改善と、開発途上国、特に小島嶼開発途上国および後発開発途上国の開発における海洋生物多様性の寄与向上のために、海洋技術の移転に関するユネスコ政府間海洋学委員会の基準・ガイドラインを勘案しつつ、科学的知識の増進、研究能力の向上、及び海洋技術の移転を行う。	14.a.1 総研究予算額に占める、海洋技術分野に割り当てられた研究予算の割合
14.b 小規模・沿岸零細漁業者に対し、海洋資源及び市場へのアクセスを提供する。	14.b.1 小規模・零細漁業のためのアクセス権を認識して保護する法的/規制/政策/期間の枠組みの適用についての各国の進捗
14.c 「我々の求める未来」のパラ 158 において想起されるとおり、海洋及び海洋資源の保全及び持続可能な利用のための法的枠組みを規定する海洋法に関する国際連合条約 (UNCLOS) に反映されている国際法を実施することにより、海洋及び海洋資源の保全及び持続可能な利用を強化する。	14.c.1 海洋及び海洋資源の保全と持続可能な利用のために UNCLOS に反映されているとおり、国際法を実施する海洋関係の手段を、法、政策、機能的枠組みを通して、批准、導入、実施を推進している国の数

このように、2010 年頃から海洋環境に関連する国際会議の成果文書に軒並み海洋酸性化に係る記述が見られるようになった。しかし、SDG14 の他の項目が目標年次（ターゲット年次）とともに示されているのに対して、海洋酸性化の項目のみ目標年次が示されておらず、科学的知見の充実が求められる状況にあった。

¹ 総務省政策統括官ウェブサイト「指標仮訳（最終更新日：2017 年 8 月 8 日）」
http://www.soumu.go.jp/main_content/000470374.pdf を加工（SDG14 日本語訳部分のみ抜粋）

その後、SDG14の推進のため2017年6月に開催された国連海洋会議の成果文書「call for action」において海洋酸性化は、海水温上昇・貧酸素化・海面上昇・海水減少などの気候変動に係る諸課題と並列されるようになっている。SDG14の単独項目となり注目された海洋酸性化が、SDG14のための国連海洋会議において「one of them」として示されている点に留意が必要である。SDG14のなかで気候変動と海洋の課題に関連する目標はSDG14.3のみであり、そのなかで他の重要な課題もあわせて議論される傾向にある。2020年6月に開催が予定されている第2回国連海洋会議においても、SDG14.3に相当するセッションでは同様に、海洋酸性化は気候変動と海洋の課題とあわせて議論される見通しである。

2.3 欧米における議論の展開

次に、2010年頃から国際会議において海洋酸性化の課題が取り上げられてきた背景を、欧米の研究動向から見てみたい。

(1) 米国

米国では、2005年から4年間、西海岸のオレゴン州およびワシントン州において養殖されているカキ幼生の大量死が生じたことにより、海洋酸性化に関連する課題が顕在化した。このカキ幼生の大量死の原因は、深層のpHの低い海水の湧昇によって生じたものとされ、将来の大気中の二酸化炭素濃度が上昇した海洋において類似の現象が生じうることを示す事例となった。

このカキ幼生の大量死を受けて、米国では「連邦海洋酸性化研究・モニタリング法(FOARAM Act)」が2009年に議会により可決された。この法律に基づき、米国NOAA(海洋大気局)において、2011年からOcean Acidification Programが開始され、米国における幅広い研究において中心的な役割を果たした。

また、影響が顕在化したワシントン州においては、科学者と養殖業者等の地域産業界による提言書を踏まえて、2013年にワシントン海洋酸性化センター(WOAC)が設立され、地域の海洋酸性化に関する戦略策定や関係者の連携促進を行ってきている。このような取り組みのもとで、モニタリングと予測の研究が進んでいる。湧昇発生に伴う海洋酸性化や海洋貧酸素化を数値シミュレーションにより予測できれば、カキ幼生の被害に対して、時期をずらすなどの一定の対策ができる模様である。

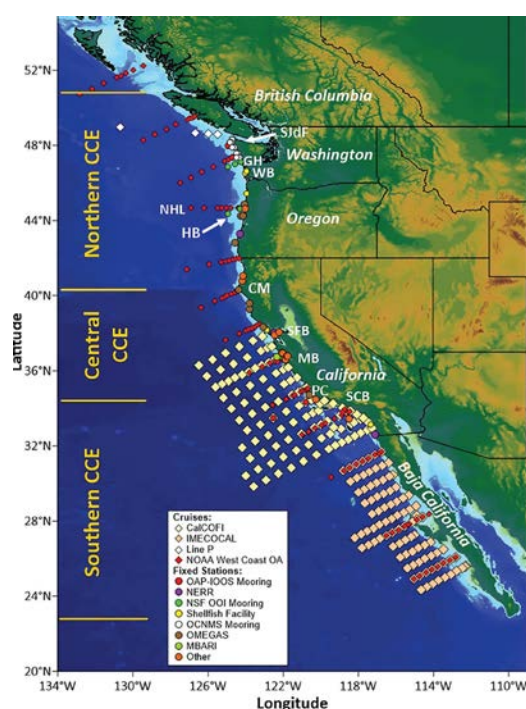


図 5 米国西海岸における海洋酸性化に関するモニタリングの状況
(出典：PICES Special Publication 5²)

(2) 欧州

欧州における海洋酸性化の研究は、2005 年～2009 年に行われた、欧州の研究開発を担う第 6 次フレームワーク計画 (FP6) のプロジェクト CARBOOCEAN が主な基点となっている。このプロジェクトは、炭素収支に関する評価を行う統合プロジェクトであるが、地球温暖化防止の手段である二酸化炭素回収・貯留 (CCS) にも着目したものであった。貯留に際しての二酸化炭素の漏洩は、海中での酸性化に直結する課題となる。

このプロジェクトにおいて海洋酸性化が海洋生物に与える影響に関する独立プロジェクトの必要性が示され、欧州第 7 次フレームワーク計画 (FP7) でのプロジェクトや各国のプロジェクトが 2000 年代後半から展開された。各概要を以下に示す。

－EPOCA (European Project on Ocean Acidification)

CABOOCEAN から派生した欧州 FP7 のプロジェクトである。期間は 2008 年から 2012 年の 4 年間で、10 カ国 32 機関の参加のもとで、海洋酸性化の影響について社会経済評価も含めた検討が行われた。

このプロジェクトで特徴的なことは、研究活動の支援・広報活動を担うユーザグループが設置され、各国のプロジェクトも含めた研究者の連携を積極的行ったことである。このユーザグループでは、政策決定者を喚起するための資料が数多く発信されている。

² <https://meetings.pices.int/publications/special-publications>

－UKOA (UK Ocean Acidification Research Programme)

英国の海洋酸性化に係る 2010 年開始のプロジェクトで、期間は 5 年間である。商用魚種への影響や古気候に係る研究等も実施。23 の大学・研究機関が参加。

－BIOACID (Biological Impacts Of Ocean Acidification)

独国の海洋酸性化に係るプロジェクトで、2009 年開始の第 1 期に続いて、2012 年に第 2 期（3 年間）が実施された（15 の大学・研究機関が参画）。生物影響研究のほか、社会経済への影響やステークホルダーの関与についても検討。

このように欧州全体での大型プロジェクトである CARBOOCEAN や EPOCA が中心的な役割を担い、各国の研究が促進され、研究者のネットワークが構築された。また、政策決定者への発信なども精力的に行われた。

また、このようななか、アルバート 2 世モナコ大公の指導力のもとで、海洋酸性化問題への対策などを提案した「モナコ宣言」をモナコ公国が 2009 年に発行している。更に、国際的な海洋酸性化の拠点である海洋酸性化国際協力センター（OA-ICC）が、2012 年 7 月にモナコに所在する国際原子力機関（IAEA）の環境研究所に設立された。このセンターは実質的に EPOCA の研究者のネットワークを引き継いでおり、米国政府からの支援も受けて国際拠点としての地位を確立した。そして、OA-ICC の連携のもと海洋酸性化の全球観測ネットワーク（Global Ocean Acidification Observing Network（GOA-ON））などの取り組みが進展している。なお、モナコでは海洋酸性化の社会影響に着目したワークショップを定期的で開催しており、2010 年の第 1 回（社会影響）以降のテーマは、2012 年（第 2 回、魚・養殖）と 2015 年（第 3 回、沿岸域）、2017 年（第 4 回、サンゴ）となっている。

GOA-ON は 2012 年以降、海洋酸性化のモニタリングについて具体的に議論するワークショップなどを通じて着実に参加者を拡大させており、2016 年に豪州タスマニアで行われた第 3 回ワークショップでは、45 ヶ国から約 140 名の専門家の参加のもと、海洋酸性化の地域観測ネットワークの構築の推進に向けた議論が行われている。一方、2019 年 4 月に中国の杭州で開催された第 4 回 GOA-ON International Workshop では、従来の二酸化炭素濃度の増加に伴う海洋酸性化に留まらず、湧昇や富栄養化に関係した海洋酸性化の問題が、海洋貧酸素化の課題も絡めつつ議論された。

このように、西海岸における養殖カキ幼生の大量死という明確な課題が起点となって、米国における検討が大きく進展した。また、欧州での科学者からの積極的な発信や、アルバート 2 世モナコ大公の関与などが、海洋酸性化の国際的な議論と並行して行われた。この流れの中で、科学的知見の充実をはかるための GOA-ON のような観測ネットワークの構築が進められたことや、科学者のワークショップが開催されてきたことは、科学と政策の連携の好事例と考えられる。

一方で、2015 年の SDGs 採択以降の海洋酸性化問題への注目は、欧州の科学研究プロジェクトが終了していくなか、国際社会ではむしろ低調となっている。実際、2017 年 6 月の国連海洋会議の成果文書「call for action」において海洋酸性化は、海水温上昇・貧酸素化・海面上昇・海氷減少などの気候変動に係る諸課題と並列されるようになっている。また、2020 年 6 月に開催が予定されている第 2 回国連海洋会議においても、SDG14.3 に相当するセッションでは海洋酸性化以外の気候変動と海洋の課題も議論される見通しである。

同様の傾向は、“Our Ocean Conference”という 2014 年にジョン・ケリー国務長官（当時）のホストのもとで開始された各国閣僚級が参加する国際会議などにおいても見られる。すなわち、2014 年の第 1 回会合では 3 つの主要テーマ「海洋汚染」、「海洋酸性化」、「持続可能な漁業」のひとつであったが、2017 年の第 4 回会議以降は、概ね気候変動問題のなかの 1 課題として扱われている。海洋酸性化の課題は、引き続き海洋環境に係る重要な課題であるが、科学研究が成熟するにしたがって、海洋熱波や貧酸素化などの他の海洋環境の課題ともバランスのとれた形で「one of them」として位置づけられるようになってきている。

2.4 今後に向けた考察

海洋酸性化の問題は、2000 年頃から関連する研究が増え、2005 年からの米国西海岸での養殖カキ幼生の大量死などが契機となり国際社会でも注目を集める海洋環境問題のテーマとなった。一方で、近年の国連海洋会議などの国際会議での海洋酸性化問題への関心は低下傾向にある。ここでは、その傾向について科学研究の成熟の観点から考察したい。

まず、海洋酸性化への世間の関心を海洋プラスチック問題と比較分析した論文 (Tiller et al., 2019) のデータをもとに作成したグラフを下図に示す。左図がメディア掲載件数の推移の図で、これを見ると、海洋酸性化への世の中の関心は 2014 年がピークで、国際社会における注目と同様の傾向であることが分かる。一方で、右図の論文数を見ると 2014 年以降も件数が大きく伸びている様子が見らる。

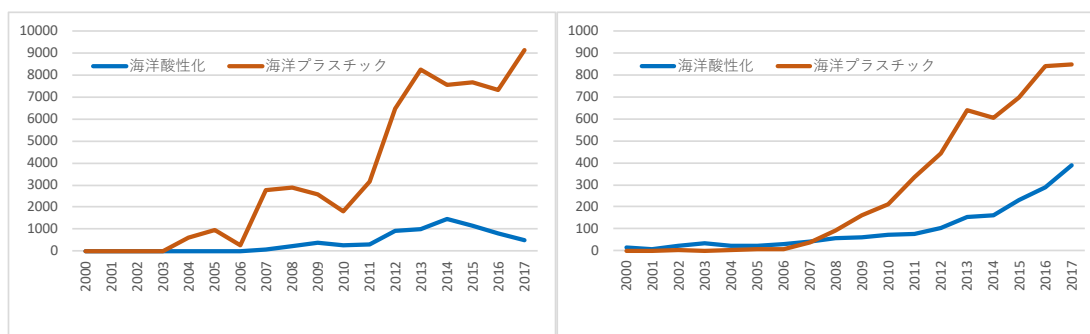


図 6 海洋酸性化と海洋プラスチックのメディア掲載件数の推移（左）と論文数（右）
(Tiller et al., 2019 のデータより作成)

研究は盛んであるのにメディア掲載件数が減るというギャップはどこから来るのか、その原因のひとつを、2015年に Science 誌に掲載された Gattuso et al.(2015)³の論文に見ることが出来る。この論文は、「海洋酸性化の研究では単要素だけではなく複数要素を調べる必要がある」ことなどを示している。それ以前に多く見られた「CO₂濃度が○ppmに上昇すれば、○という種の生存率が○%減少する」といった研究ではなく、例えばサンゴの白化ならば、水温上昇と海洋酸性化の両方の複合影響を調べることを促している。また、単種のみではなく生態系全体への影響を調べることの重要性も示している。これにより、科学者の興味は更に広がっていく一方で、メディアにとって海洋酸性化問題は複雑で分かりにくいものになったのではないかと考えられる。

更に、海洋酸性化の要因も、その複雑さに拍車をかけている。広く知られている大気中の二酸化炭素濃度上昇という要因のほか、沿岸域の富栄養化や淡水流入、沿岸湧昇なども要因となり海洋酸性化は生じるためである。

従来より海洋酸性化の問題は「大気中の二酸化炭素濃度が増加すると、海水中に溶ける二酸化炭素も増加し、海洋が酸性化する」「海水が酸性化すると炭酸カルシウムの殻をもつ生物の殻が溶ける」と概ね理解されてきた。海洋酸性化と海洋生物への影響に線形関係があるため、理解がしやすい。一方で、日本周辺海域を含む多くの海域では、上述のように様々な要因により海洋酸性化が発生し、海洋貧酸素化などの要素と複合的に関連しつつ、海洋生物に影響を与える。地域特性に応じて影響要素が異なり、一つの要因の増減で説明できない関係のため、メディアをはじめとした一般向けとして、分かりにくい課題になったと考えられる。

以上の考察を踏まえ、モニタリングと情報基盤の観点から今後の課題を示す。

(1) 予防原則とモニタリングネットワークの構築

海洋酸性化問題に限らず、多くの海の問題は非線形で複雑な一面を持つ。一般向けに分かりやすく示そうとすると、科学的な正確性が崩れる懸念もあり、研究・情報発信のバランスを保つことが重要となる。その際に重要な視点として予防原則と影響予測の精度向上を挙げることが出来る。

国連気候変動枠組条約では、費用対効果への考慮に言及しつつも、その第3条において予防原則について「締約国は、気候変動の原因を予測し、防止し又は最小限にするための予防措置をとるとともに、気候変動の悪影響を緩和すべきである。深刻な又は回復不可能な損害のおそれがある場合には、科学的な確実性が十分でないことをもって、このような予防措置をとることを延期する理由とすべきではない」と示している。

³ Gattuso J.-P. et al. (2015), Contrasting Futures for Ocean and Society from Different Anthropogenic CO₂ Emissions Scenarios. Science, 349 (6243).

海洋酸性化の問題は、このままのペースで大気中の CO2 濃度が増加し続けるならば必ず顕在化する中長期的な海洋環境の重要な課題であり、引き続き、予防原則も踏まえて対応していくことが求められる。そして、より確度をもって対応策を検討するためにも、将来の影響予測の精度向上が求められており、全世界のモニタリングデータを継続的に計測・共有していく仕組みづくりが欠かせない。下図のように空白になっている北太平洋域でのモニタリングネットワークの構築などに日本が率先して貢献していけるよう、引き続き取り組んで行く必要がある。

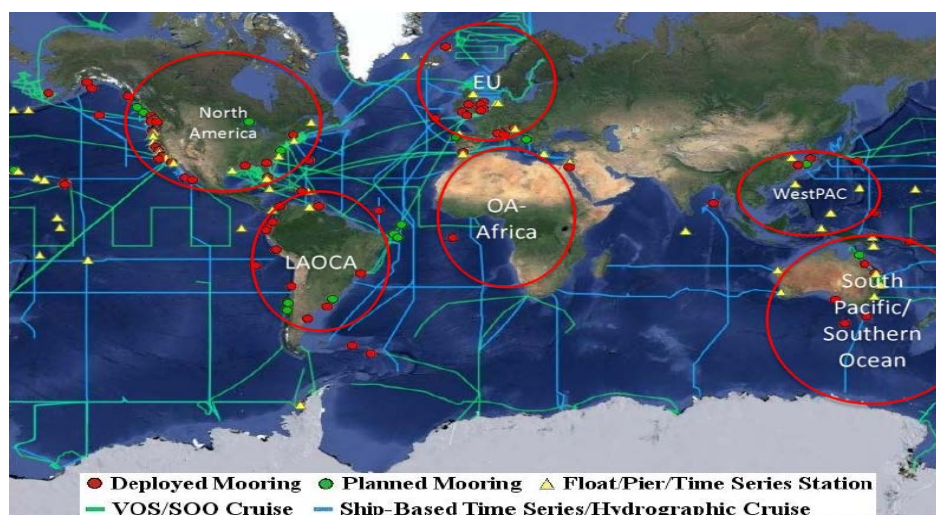


図 7 GOA-ON によるモニタリングネットワークの状況
(北太平洋域のネットワークが空白であることが分かる)

(2) 情報基盤の改修

第 2 章で示したように、今年度、様々な方に協力をいただき、主に海洋酸性化をテーマにして情報発信を試行的に行う情報基盤「海洋危機ウォッチ」のウェブサイトに対するアンケート調査を行い、今後に繋がる多くの意見・コメントを頂戴した。次年度からは、これら評価を受けて、海洋酸性化に限らず、海洋熱波や海洋プラスチック問題などにもテーマを広げて、より包括的なウェブサイトとして改修・発展させていくことを目指す。

目次

要約	38
1. 背景および目的	38
2. 実施内容	39
3. 海洋環境予測システムの構築.....	41
モデル内で再現されている炭素循環のメカニズムを理解するため、DIC の時間変化項 に対して影響しているそれぞれの物理、生物プロセスの寄与バランスを（ 7 ）式か ら考えた。	48
4. 科学データの収集・整理・解析・加工.....	58
5. まとめと今後の課題	62
会議等への参加・発表の報告	63
参考文献	66

要約

情報基盤「海洋危機ウォッチ」へ海洋環境現況予測モデルのモデルプロダクトを提供し、予測更新を行った。前年度に開発を実施した気候値緩和モデルに引き続き、気候値緩和のないモデルについても開発を行った。気候値緩和のないモデルでは、海洋酸性化につながる日本縁辺海の炭素循環について、海洋の物理的な循環と生物プロセスの両面からメカニズムを明らかにした。さらに、酸性化の長期予測として、過去 25 年間（1993 年から 2018 年まで）に対する過去再現実験を実施した。それらの結果から、海洋表層では一般に酸性化が進行し、亜熱帯域の方が酸性化の進行速度が速いことが示された。日本近海の北の領域で、温暖化により光合成が活発に生じ DIC が減る事で、アルカリ化が生じている可能性も示された。オホーツク海起源の北太平洋中層水が広がる 100m 以深の深層部でも同様にアルカリ化傾向が示された。

前年度から進めていた「公共用水で計測された現場 pH」のデータ解析では、データの信頼性およびトレンドの有意性について検証し、得られた解析結果から、日本沿岸域は確実に外洋域と同程度で全体的に酸性化していることを示した。

1. 背景および目的

笹川平和財団海洋政策研究所では、海洋における地球温暖化や海洋酸性化について国内外の状況を共有・発信し、現状と課題に係る理解を深めるため、また、我が国において取り組むべき事項（研究基盤構築、国内外の研究連携、社会・経済面の影響把握等）を検討するとともに、今後必要となる対応策等について提案することを目指して、温暖化・海洋酸性化の研究と対策に係る事業を実施している。

本事業においては、日本周辺を含む北西太平洋海域に主眼を置き、温暖化・海洋酸性化の影響に係る監視情報を集約し、その進行予測や社会影響を検討するとともに、そうした情報を共有し、同時に対応策（適応策と緩和策）について国際社会を含めた議論を行うことができる情報基盤「海洋危機ウォッチ」の構築を目指している。また、今後これら情報基盤を、研究活動及び研究の連携の推進や国内外の政策を牽引する提言に活用することを目指している。地球温暖化や海洋酸性化に係る情報には、海洋科学分野に特化した数値データ等も多く、それら情報の特性を踏まえて、一般社会に向けて分かりやすく伝える必要がある。

本業務では、必要となる情報基盤のコンテンツのうち、主に海洋科学分野の専門的知見を必要とする科学データについて収集・整理・解析を行うこと、そうした科学データを一般社会に向けて分かりやすく伝える方法（科学データの加工）を検討すること、その一環として利用する海洋酸性化に係る予測モデルの開発を行うことを目的とする。

外洋における海流予測については数値モデルに観測データ等を同化することで気候値を作成し、1-2 か月先までの海流変動予測を更新する枠組みが、現在国内外のいくつかの研究機関において確立し一般に公開されている（例：海洋研究開発機構：JCOPE2）。これらの数値モデルを活用して生物化学モデルを導入し、海

洋環境（全炭酸、アルカリ度、pH、 pCO_2 を含む）の現況予測を実現することは、きわめて有意義であると考えられる。

今後の海洋酸性化の状況について、Climate Model Intercomparison Project（CMIP）などの国際的な取り組みを通じ、海流や渦を解像しない粗い格子のモデルで100年程度先までの見通しが示されている。例えば Yara et al. (2012) は、これらのシミュレーション結果を使い日本周辺で大まかな酸性化の見通しを示している。ただし、見通しの結果は海流や渦の影響を十分に取り入れたものではなく、海洋学的に不明な点が多い。今回の取り組みにより、現在の日本周辺海域での酸性化状況がこうした見通しと比べてどのような状況であるかを詳しく把握することは、見通しの検証や、直近の対策の検討に資するものである。また、現況予測モデルを用いて過去数十年の再解析データを作成し、これまで海洋酸性化がどのように進行してきたかについてより詳しく理解することも重要である。

2. 実施内容

本業務では、概ね4年間の期間において、次のことを実施し、情報基盤のコンテンツに資する観測データおよびモデルデータを整備するとともに、その成果を世界に発信していく計画であった。4年間で実施した業務は次の通りである。

<2016 年度>

海洋環境現況予測システムのプロトタイプを開発した。

観測データの収集と加工を行った。

<2017 年度>

海洋環境現況予測システムのプロトタイプを検証し、改良した。

観測データの収集と解析を行った。

<2018 年度>

海洋環境現況予測システムの仮運用を開始し、再解析も含め結果を検証した。

科学データの収集と解析、コンテンツ化を実施した。

(a) 予測モデルの開発

2017年度に開発したモデルの予測精度の検証等を踏まえ、モデル改良を引き続き行った。検証に利用する科学データを新たに入手した。モデル結果と観測データとの比較からモデルの不具合修正や全炭酸の初期値の改善、低次生態系モデルのパラメータチューニングを進め、現況予測システムに使用しているモデル(JCOPE_EC)が酸性化の現況予測として利用しても問題ない程度の精度を伴っていることを示した。過去にさかのぼった実験では、2014年から2016年にわたる3年間の予備過去再現実験を行い、表層での二酸化炭素の溶け込みの影響が冬季のサブダクションと循環により深層に及んでいる可能性を示した。

現況予測モデルの改良に加え、100年スケールの長期気候予測モデル(JAMSTEC開発のMIROC_ESM)のデータをもとに、海洋酸性化を表すpHおよびアルゴナイト飽和度の見通し値を計算した。結果の一部を「海洋危機ウォッチ」のコンテンツ記事

で取り上げた。観測値と MIROC_ESM、JCOPE_EC の出力値を比較し、JCOPE_EC は MIROC_ESM に比べ、よりよい精度をもって酸性化予測ができていることを示した。

(b) 科学データを用いた解析

公共用水で計測された pH の解析については、データの信頼性についての検討を進め、英文科学誌に再投稿した。

<2019 年度>

海洋環境現況予測システムの運用と検証を継続し、再解析結果を検証した。

科学データの収集と解析、コンテンツ化を継続した。

(a) 予測モデルの運用

2018 年度に開発を行った気候値緩和をしないモデルによって、海洋環境現況予測システムの予測更新を月 1 回毎、計 12 回実施した。2016 年度から開発してきた日本近海における概要的な炭酸系変動を表現する海洋環境現況予測システムについて、気候値緩和モデルに関するものを論文にまとめ、英文科学誌 (Sustainability) に受理された (2019 年 5 月 10 日に掲載)。気候値緩和のないモデル開発に対して、低次生態系モデル部分のパラメータチューニングを新たにを行った。これらの結果から、海洋酸性化に関する炭素循環について、季節変動のメカニズムを明らかにした。本内容に結果をまとめ、英文科学雑誌に投稿した (投稿中)。気候値緩和のないモデル及び緩和モデルでは、JCOPE2M の 1993 年から 2018 年までの再解析データを海洋場とした過去再現実験から長期現況予測の検討を行った。

(b) 科学データを用いた解析

日本沿岸域で初めて確認した数十年での酸性化傾向についての論文改訂を進めた。2019 年 11 月 5 日に科学雑誌 (Biogeoscience) に論文受理の通知をうけ、論文の掲載日と同日にプレスリリース (2019 年 12 月 17 日) も行った。その他、海洋環境現況予測システムの検証に必要な物理量 (水温、塩分)、化学量 (pH、DIC、アルカリ等) の現場観測データを気象庁ホームページ (https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/vessel_obs/data-report/html/ship/ship.php)、GLODAP, GLODAP2 (<https://www.glodap.info/index.php/merged-and-adjusted-data-product/>), PACIFICA (<https://www.pmel.noaa.gov/co2/story/PACIFICA>), NCEI (https://www.nodc.noaa.gov/oads/stewardship/data_portal.html) から収集し、モデル結果と比較するためのデータ選択を行った。

以上の結果について、成果の対外発表を行った。

- ・ GOA-ON 2019 (2019/04/14-18, 杭州, 中国)
- ・ OceanObs'19 (2019/09/15-20, Honolulu, USA)
- ・ Ocean Science Meeting 2020 (2020/02/16-21, San Diego, USA)

(4) その他

「海洋危機ウォッチ」に、月 1 回の現況予測のモデルプロダクトの提供を行った。

3. 海洋環境予測システムの構築

2016 年度は日本近海における概要的な炭酸系変動を表現する海洋環境現況予測システム（NPZDC モデル）を物理予測システム JCOPE2（Miyazawa et al. 2009）を基盤として構築した。2017 年度は海洋環境現況予測システムの解析と検証を進めるとともに、観測データの収集と解析を行った。2018 年度は、海洋危機ウォッチ上で公開するため、海洋環境予測システムの予測更新を計 12 回実施し、2017 年度に収集した科学データと比較してモデル結果を検証した。モデルの不具合および修正、低次生態系モデル部分のパラメータ調整を進めながら検証を進め、酸性化の現況予測システムとして利用しても問題ない程度の精度であることを示した。2018 年度は予測精度の検証等を踏まえて予測モデルの改良を継続し、精度向上に努めた。現況予測モデルで出力される変数の再現性について、2015 年の気象庁観測データ（過去データ）を利用して、季節変動も含め観測値との比較から精度について評価した。

2019 年度も引き続き海洋環境予測システムの予測更新を計 12 回実施した（表 3-1）。並行して気候値緩和のないモデルでの現況予測システムの開発を行った。気候値緩和のないモデルと同様に結果をまとめ、日本縁辺海での炭素循環に関する検討を加えて論文にまとめた（英文科学誌に投稿中）。JCOPE2M の 1993 年から 2018 年までのモデルプロダクトを使い、酸性化の長期予測も実施、そのメカニズムについても検討した。

表 3-1 海洋環境現況予測システムの予測情報 更新日、予測対象期間、海洋危機ウォッチへの提供要素および備考

更新日	予測対象期間	提供要素	備考
2019 年 4 月 4 日	2019 年 4 月分	水温, 塩分, 現場 pH, アラゴナイト飽和度	
2019 年 5 月 3 日	2019 年 5 月分	水温, 塩分, 現場 pH, アラゴナイト飽和度	
2019 年 6 月 3 日	2019 年 6 月分	水温, 塩分, 現場 pH, アラゴナイト飽和度	
2019 年 7 月 2 日	2019 年 7 月分	水温, 塩分, 現場 pH, アラゴナイト飽和度	
2019 年 8 月 2 日	2019 年 8 月分	水温, 塩分, 現場 pH, アラゴナイト飽和度	
2019 年 8 月 30 日	2019 年 9 月分	水温, 塩分, 現場 pH, アラゴナイト飽和度	
2019 年 9 月 30 日	2019 年 10 月分	水温, 塩分, 現場 pH, アラゴナイト飽和度	
2019 年 10 月 30 日	2019 年 11 月分	水温, 塩分, 現場 pH, アラゴナイト飽和度	
2019 年 11 月 28 日	2019 年 12 月分	水温, 塩分, 現場 pH, アラゴナイト飽和度	
2019 年 12 月 25 日	2020 年 1 月分	水温, 塩分, 現場 pH, アラゴナイト飽和度	
2020 年 1 月 29 日	2020 年 2 月分	水温, 塩分, 現場 pH, アラゴナイト飽和度	
2020 年 2 月 25 日	2020 年 3 月分	水温, 塩分, 現場 pH, アラゴナイト飽和度	

① 気候値緩和なしの現況予測モデル開発

気候値緩和のないモデルに対し、新たにパラメータチューニングを 2015 年の観測データと比較する最適化によって実施した（表 3-2）。また、亜寒帯と亜熱帯域において、生物化学パラメータのうち、 $V_{\max}$, M_p , R , M_z , V_{PN} , I_{opt} が変化するように感度実験を行った。最終的に、 $V_{\max}$, M_p , R , M_z , V_{PN} , I_{opt} のパラメータは（1-6）式の緯度変化がある形で設定している。その他の初期条件、境界条件等は、2018 年度に報告したものと同一である（Ishizu et al., 2019）。また本モデルの開発の際、気候値緩和のあるモデル（Ishizu et al., 2019）では、亜寒帯域で Particle Organic Carbon（POC）から炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）の夏季に生成される影響の結果、アルカリ度が観測値に比べ大きく減少する欠点があった。気候値緩和のないモデルでは、夏季のアルカリ度の減少を最大限小さくするため、炭酸カルシウムの生成をできる限る抑える設定（ $R_{\text{CaCO}_3:\text{POC}} = 0.00035$ ）に改良した。

$$V_{\max} = 0.5V_{\max}^0 (\tanh((\text{Lat} - \text{Lat}_{\text{bnd.vmax}}) / \text{Lat}_{\text{slp}}) + 1) + V_{\max}^1, \quad (1)$$

$$M_p = 0.5M_p^0 (\tanh((\text{Lat} - \text{Lat}_{\text{bnd}}) / \text{Lat}_{\text{slp}}) + 1) + M_p^1 \quad (2)$$

$$R = 0.5R^0 (\tanh((\text{Lat} - \text{Lat}_{\text{bnd}}) / \text{Lat}_{\text{slp}}) + 1) + R^1, \quad (3)$$

$$M_z = 0.5M_z^0 (\tanh((\text{Lat} - \text{Lat}_{\text{bnd}}) / \text{Lat}_{\text{slp}}) + 1) + M_z^1, \quad (4)$$

$$V_{PN} = 0.5V_{PN}^0 (\tanh(-(\text{Lat} - \text{Lat}_{\text{bnd}}) / \text{Lat}_{\text{slp}}) + 1) + V_{PN}^1, \quad (5)$$

$$I_{opt} = 0.5I_{opt}^0 (\tanh(-(\text{Lat} - \text{Lat}_{\text{bnd}}) / \text{Lat}_{\text{slp}}) + 1) + I_{opt}^1, \quad (6)$$

表 3 - 2 JCOPE_EC の気候値緩和のないモデルに対する各生物パラメータの値。***マークは (1-6) 式の緯度変化をするパラメータを示す。

Symbol	Definition	Value	Units	Referenced values Ishizu et al. 2019
Ecosystem model				
For phytoplankton				
V_{max}	Growth rate for phytoplankton	* 0.28 – 0.97	day ⁻¹	0.0492
V_{opt}^0		0.690		
V_{opt}^1		0.625		
$lat_{bnd,ymax}$	Boundary for latitudinal differences in growth rate for phytoplankton	40.0		
A	Affinity coefficient of basic cellular physiology	6.75	mmolN ⁻¹ m ⁻¹ day ⁻¹	
M_P	Phytoplankton mortality rate at 0°C	* 0.054 – 0.155	(mmolNm ⁻¹) m ³ day ⁻¹	0.04
P_{min}	Threshold of phytoplankton mortality	0.0587	(mmolNm ⁻¹) m ³	
R	Phytoplankton respiration rate at 0°C	* 0.0011 – 0.00256	day ⁻¹	0.0317
R_{opt}^0		0.00147		
R_{opt}^1		0.00185		
C_T^P	Temperature coefficient for photosynthesis	0.0392	°C ⁻¹	
C_T^{RP}	Temperature coefficient for phytoplankton respiration	0.0519	°C ⁻¹	
C_T^{MP}	Temperature coefficient for phytoplankton mortality	0.0693	°C ⁻¹	
I_{opt}	Optimum light intensity for phytoplankton	* 20 – 120	W m ⁻²	* 20 – 120
I_{opt}^0		100.0		
I_{opt}^1		70.0		
lat_{bnd}	Boundary for latitudinal differences	45.0		
lat_{slp}	Slope for latitudinal differences	4.0		
c_{dom}	Light dissipation coefficient of sea water	0.015	m ⁻¹	* 0.015 – 0.045
$Lat_{slp,dom}$	Slope for latitudinal differences for c_{dom}	1.5		
For zooplankton				
G_Z	Maximum grazing rate of zooplakton at 0°C	0.423	day ⁻¹	
λ	Ivlev constant	1.4	(mmolN m ⁻³) ⁻¹	
M_Z	Zooplankton mortality rate at 0°C	* 0.044 – 0.12	°C ⁻¹	0.05
M_Z^0		0.0760		
M_Z^1		0.0825		
β_z	Growth efficiency of zooplankton	0.3		
α_z	Assimilation efficiency of zooplankton	0.7		
P^*	Zooplankton threshold value for grazing on phytoplankton	0.0430	(mmolNm ⁻¹) m ³	
C_T^{GZ}	Temperature coefficient for zooplankton grazing	0.0390	°C ⁻¹	
C_T^{MP}	Temperature coefficient for zooplankton mortality	0.0693	°C ⁻¹	
For diatoms				
W_D	Sinking velocity of detritus	6.7	m day ⁻¹	
V_{PN}	Decomposition rate at 0°C (DET→DIN)	* 0.0954 – 0.28	day ⁻¹	0.05
V_{PN}^0		0.1853		
V_{PN}^1		0.1876		
C_T^{iD}	Temperature coefficient for decomposition	0.0693	°C ⁻¹	
Carbon Cycle Model				
$R_{P:N}$	Stoichiometry of nitrogen to phosphorus	16.0		
$R_{C:P}$	Molar elemental ratios	112.0		
$R_{CaCO_3:POC}$	CaCO ₃ over nonphotosynthetical POC production ratio	0.00035		0.035
$R_{ALK:N}$	Alkalinity over nonphotosynthetical N production ratio	0.001		
D_{CaCO_3}	CaCO ₃ remineralization e-folding depth	3500.0	m	

② クロロフィル、DIN、DIC、アルカリ度の再現性について

図 3 - 1～図 3 - 5 はクロロフィル、DIN、DIC、アルカリ度の観測値（気候値）とモデル値の表層水平分布と時系列図を示す。クロロフィルの水平分布

(図 3-1) では、観測値とモデル値で季節変動の観点から言えば、特に北緯 30 度より南の領域では類似性が認められる。時系列でみると亜寒帯域の値がやや大きく再現されており、春と秋のダブルピークはない。夏季にもモデル値はやや値が大きい。モデル値は、植物プランクトンの値を $C : Chla = 30:1$ の比を使ってクロロフィル値に変換している。この $C : Chla$ は、場所によって比が異なるという報告もある (Li et al. 2010; Stelmakh and Gorbunova, 2018) ため、変換値を領域ごとに適切な値を使用すれば、より観測値に近づく可能性がある。さらに、亜寒帯域でクロロフィルの春と秋のダブルピークが再現されていないのは、モデルの生物過程に鉄制限のプロセスが入っていないことが原因と考えられる (Tsuda et al. 2003)。

DIN と DIC は、気候値緩和のあるモデルと同様、定性的に季節変動が再現されていると考えられる (図 3-3、図 3-4)。時系列 (図 3-2 (c-f)) からみても、北緯 40 度の DIN と DIC は夏季の値が気候値に比べやや大きい、実際には経年変動もあるため、気候値緩和のあるモデルに比べ、確からしく再現されていると考えられる。アルカリ度に関しては、観測値の季節変動から炭酸カルシウムの生成による影響が限りなく少なくなるようパラメータ調整を行ったため、どの季節でもほぼ一定値が再現されるよう改善された (図 3-2g、図 3-5)。

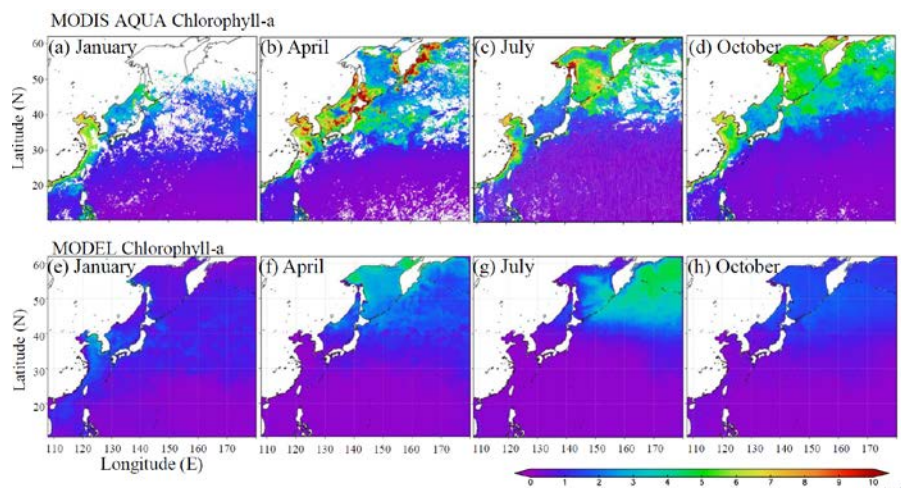


図 3-1 衛星データにより取得されたクロロフィル (上図) とモデル出力のクロロフィルの表層水平分布 (下図)。1 月、4 月、7 月、10 月の月平均値を示す。

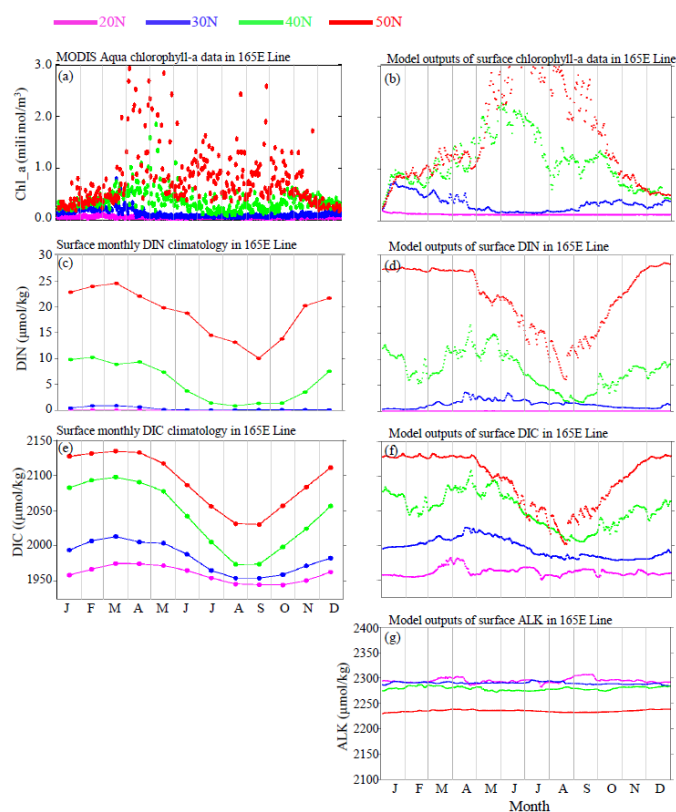


図3-2 東経165度線におけるクロロフィル、DIN、DIC、DINの各緯度帯の時系列を示す。aは衛星クロロフィルデータ、c、dは、気候値。b、d、e、fは、モデル値。各線の色は緯度に対応し、北緯20度はピンク、30度は青、40度は黄緑、50度は赤で示す。

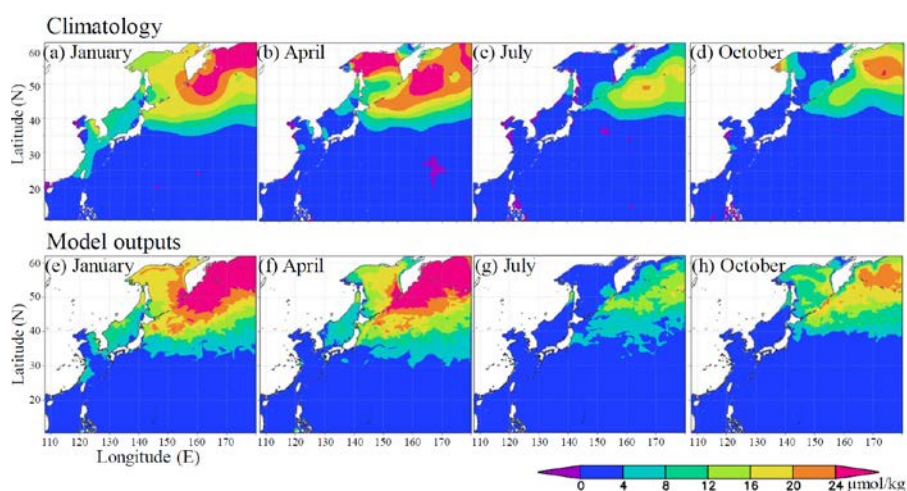


図3-3 DINの気候値（上）とモデル出力の表層水平分布図（下図）。1月、4月、7月、10月の月平均値を示す。

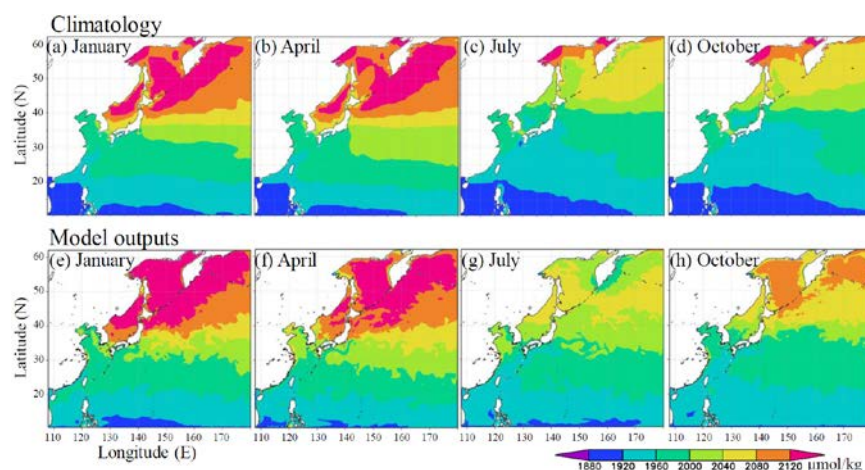


図 3-4 DIC の気候値（上）とモデル出力の表層水平分布図（下図）。1 月、4 月、7 月、10 月の月平均値を示す。

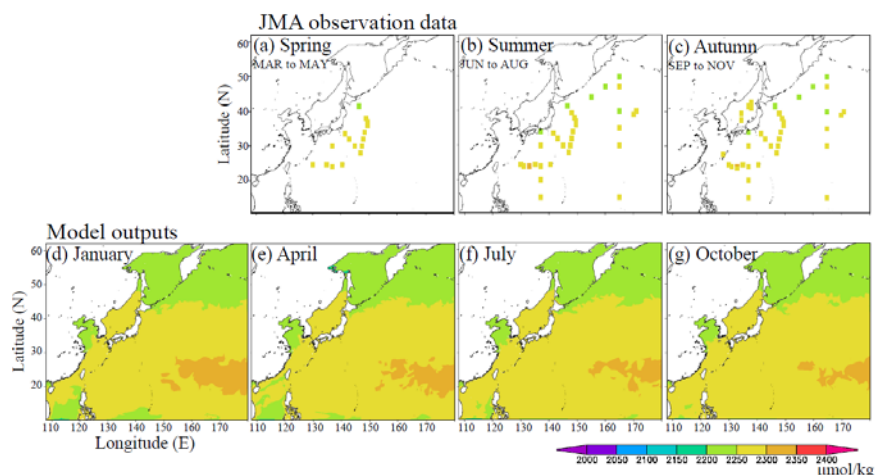


図 3-5 ALK の気候値（上）とモデル出力の表層水平分布図（下図）。1 月、4 月、7 月、10 月の月平均値を示す。

③ pH (現場 pH, pH_{25}) とアラゴナイト飽和度の再現性について

気候値緩和のないモデルと同様に、JCOPE2M の水温、塩分と JCOPE_EC で計算された DIC, ALK を使って pH とアラゴナイト飽和度の計算を行った。図 3-6、図 3-7 から、現場 pH は 1 年中絶えず変化し、緯度方向に一様な変化ではない一方で、 pH_{25} とアラゴナイト飽和度は冬季に最も小さく、夏季に最も大きい値がどの緯度帯でも見られる、その傾向は北の亜寒帯域ほど強い、といった傾向が示された。

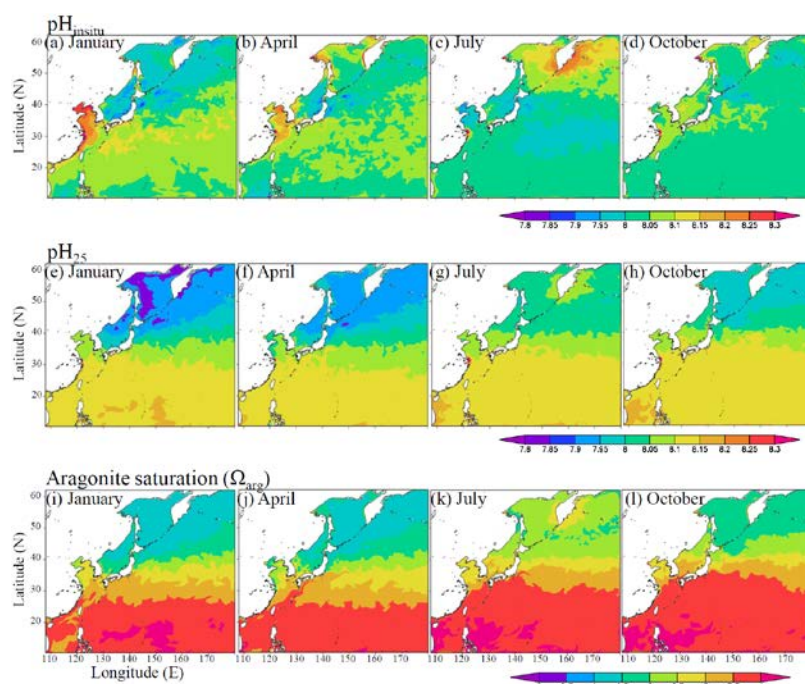


図 3 - 6 モデル出力の水温、塩分、DIC およびアルカリ度の値から計算された現場 pH (a - d) , pH_{25} (e - h) , アラゴナイト飽和度 (i - l) の表層水平分布図。図は、1 月、4 月、7 月、10 月の月平均値を示す。

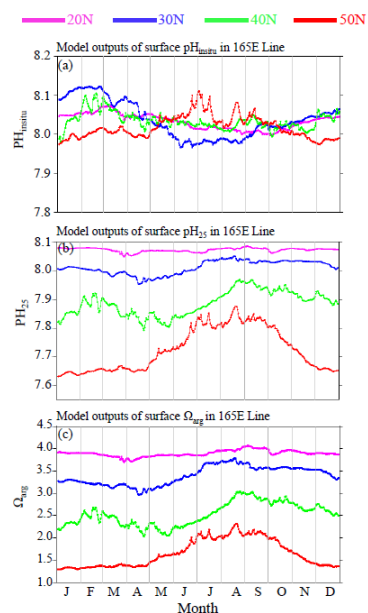


図 3 - 7 東経 165 度線における各緯度帯における現場 pH (a) , pH_{25} (b) , アラゴナイト飽和度 (c) の時系列。各線の色は緯度に対応し、北緯 20 度はピンク、30 度は青、40 度は黄緑、50 度は赤で示す。

③ 各出力変数における観測値とモデル値の相関係数

各出力変数（クロロフィル、DIN、DIC、ALK、pH₂₅、アラゴナイト飽和度）において、気象庁の観測データと相関をとると、相関係数は、気候値緩和のあるモデルに比べ、クロロフィル、DIN、DIC は概ね再現性が落ちていることが分かった（表 3-3）。一方、炭酸カルシウム（CaCO₃）の生成に伴って生じるアルカリ度は本モデルでは夏季の減少を抑えられたため、亜寒帯、黒潮続流域、日本海域で再現性が上がっている。（日本海の相関値がマイナスなのは、当海域のアルカリ度が表層から深い箇所までほぼ同じ値を示す分布が広がっているためである。）DIC の再現性は気候値緩和のモデルに比べ悪くなっているが、本モデルの pH₂₅、アラゴナイト飽和度の再現性は、pH₂₅ では相関係数 0.8 以上、アラゴナイト飽和度は 0.97 以上の高い値を示しているため、現況予測として比較的高い精度を持っていることを意味している。

表 3-3 各変数における気象庁の観測値とモデル値の相関係数。カッコ内の数字は有意水準 0.05 の相関係数検定値。

Parameter	Subtropical region	Subarctic region	Kuroshio extension	Japan Sea
Chlorophyll-a	0.65 (0.07)	0.84 (0.07)	0.80 (0.12)	0.90 (0.15)
DIN	0.68 (0.04)	0.82 (0.12)	0.72 (0.1)	0.89 (0.11)
DIC	0.72 (0.09)	0.83 (0.20)	0.72 (0.17)	0.95 (0.26)
Alkalinity	0.48 (0.09)	0.79 (0.20)	0.69 (0.17)	-0.49 (0.26)
pH ₂₅	0.83 (0.09)	0.82 (0.20)	0.81 (0.17)	0.93 (0.26)
Ω _{arg}	0.99 (0.09)	0.97 (0.20)	0.97 (0.17)	0.99 (0.26)

④ 北大西洋における炭素循環のメカニズムに関する検討

モデル内で再現されている炭素循環のメカニズムを理解するため、DIC の時間変化項に対して影響しているそれぞれの物理、生物プロセスの寄与バランスを（7）式から考えた。

$$\frac{\partial [DIC]}{\partial t} = \left[\frac{\partial [DIC]}{\partial t} \right]_A + \left[\frac{\partial [DIC]}{\partial t} \right]_{xy_dif} + \left[\frac{\partial [DIC]}{\partial t} \right]_{z_dif} + \left[\frac{\partial [DIC]}{\partial t} \right]_{Bio} + \left[\frac{\partial [DIC]}{\partial t} \right]_{air-sea} \quad (7)$$

ここで、添字の下付き文字 A, xy_dif, z_dif, Bio, air-sea は、移流、水平拡散（＝水平混合）、鉛直混合、生物プロセス、大気と海洋の二酸化炭素の交換（正が大気から海洋への CO₂ の輸送を意味）による DIC の時間変化項を示す。

これらの各項の値を調べると、緯度方向に特徴が大きく変化していることが分かる（図略）。代表例として、東経 165 度線における各緯度帯（北緯 20 度、30 度、40 度、50 度）における DIC の時間変化に対する各項の月平均寄与バランスを図 3-8 に示す。表層では季節的に亜熱帯域と亜寒帯域で正負が逆になるが、基

本的には大気と海洋の二酸化炭素の交換による項と鉛直混合の項がバランスしている。また亜寒帯域では、二次的に光合成による寄与を示す生物プロセスの項の卓越が見られる。50m, 100m, 200m 深と深いところをみると、卓越深度は 50m 深では北緯 40 度および 50 度（図 3-8 g-h）、100m 深では北緯 30 度および 40 度（図 3-8 j-k）、200m 深では北緯 30 度（図 3-8 m）となっており、生物プロセスによる項の寄与は緯度的、深度的に変化している。

$$\text{Relative contribution} = \frac{\Delta DIC_{\text{Bio}}}{|\Delta DIC_A| + |\Delta DIC_{xy_dif}| + |\Delta DIC_{z_dif}| + |\Delta DIC_{\text{Bio}}| + |\Delta DIC_{\text{air-sea}}|} \times 100\% \quad (8)$$

図 3-9 は東経 165 度における全 DIC 寄与成分のうち生物プロセスの相対的な寄与率を示している（（8）式）が、どの季節でも負の生物プロセスの寄与が亜寒帯では表層に見られる。南に向かってこの寄与は徐々に深度が深くなり、亜熱帯では 150m 以深に広がりを見せる。この生物プロセスの緯度的な変化は、植物プランクトンが最も多く分布している箇所が亜寒帯では表層であるのに対し、亜熱帯では 150m 深と深くなり、緯度的に変化する影響を示している（Stelmakh and Gorbunova, 2018）（図 3-10b）。DIC の時間に関して年平均（図 3-10a）をとると、クロロフィル極大値の深度と重なっており（図 3-10b）、このような植物プランクトンの緯度的な変化が海洋での炭素循環の分布構造、長期変化にも大きく影響することがこれらの図から示唆される。

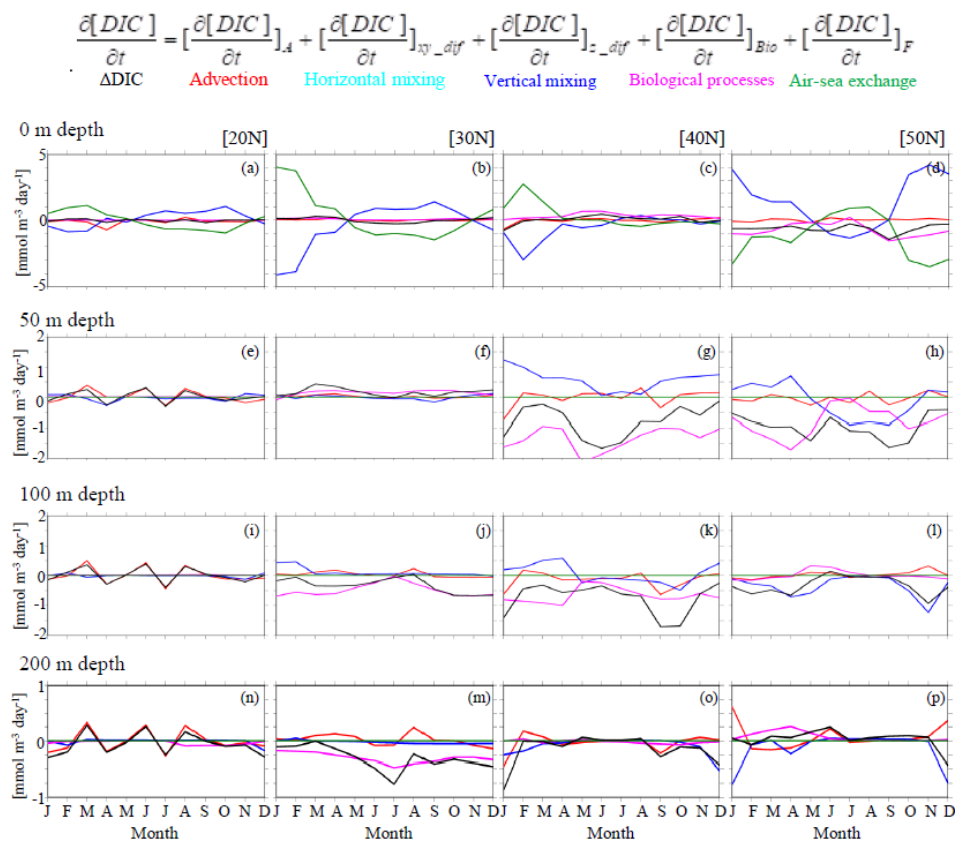


図 3-8 東経 165 度線における各緯度帯（北緯 20 度, 30 度, 40 度, 50 度）における DIC の時間変化に対する各項の月平均寄与バランスを示す。寄与成分として、移流、水平混合、鉛直混合、生物寄与、大気と海洋の交換（表層のみ; a - d）による寄与を考慮。正（負）の値は DIC の増加（減少）分。

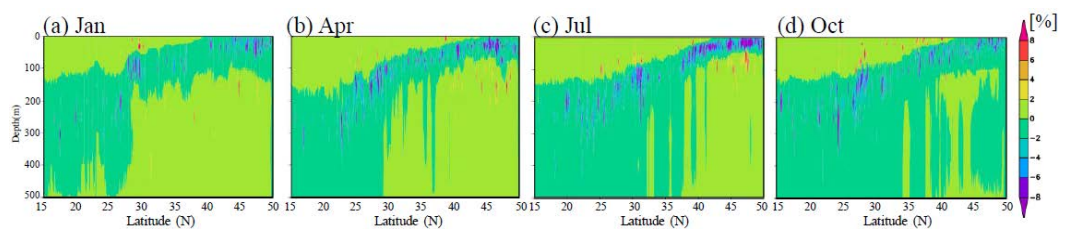


図 3-9 東経 165 度線における全 DIC 寄与成分のうちの生物プロセスの相対的な寄与率（（7）式）。正（負）は DIC 生成（消費）を示す。図は、1 月、4 月、7 月、10 月の月平均値を示す。

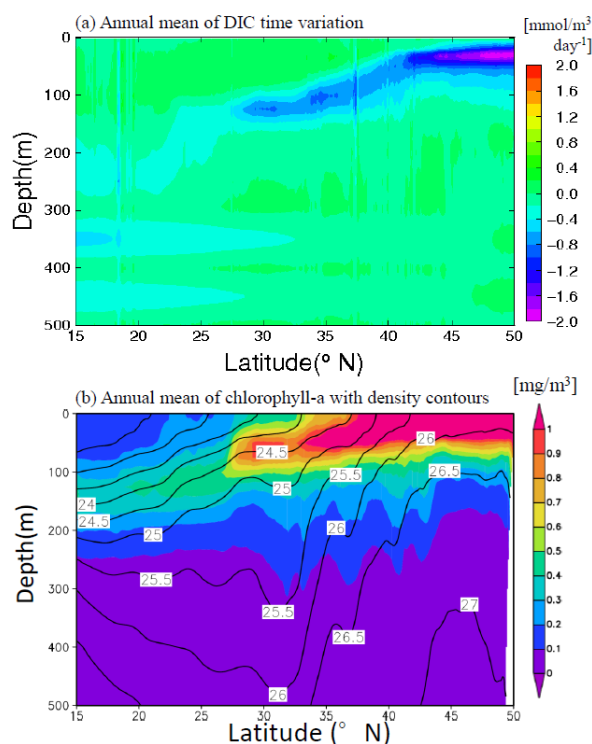


図 3-10 JCOEP_EC で再現された東経 165 度線における DIC の時間変化 (a) とクロロフィル (b) の年平均値における断面図。b はポテンシャル密度の等値線分布も重ねている。a : 正 (負) の値は DIC の増加 (減少) 分。

⑤ 大気と海洋の CO_2 交換フラックス

図 3-8 (a-d) の東経 165 度線での例のように、亜寒帯では北緯 35 度以北では冬季には大気から CO_2 を吸収し、夏季には北緯 45 度以北で大気から CO_2 を吸収する。北緯 35 度以南の亜熱帯域では逆のパターンで冬季には放出、夏季に吸収の季節変動がある。黒潮続流域の南では冬季に強い吸収領域が示され、40 度以南の夏季では弱い放出があった (図略)。Takahashi et al. (2002) や Yasunaka et al. (2013) の月別気候値の大気海洋 CO_2 交換フラックスのパターンと比較すると、我々のモデルは、季節変動のパターンも彼らの月別気候値のパターンとよい一致を示すが、月別気候値に比べ交換フラックスのコントラストの強弱を伴うより細かい時空間変動を再現していることが分かる。しかしながら、大気海洋の CO_2 交換フラックスの年平均を計算 (図 3-10) すると、モデルの平均値では、黒潮続流域の吸収量が小さく、気候値よりも年平均に関してはフラックスの大きさを小さく見積もっていることが分かった。例えば、Yasunaka et al. (2013) は北緯 30 度と 40 度の間の領域には $6 \text{ mmol/m}^2 \text{ day}^{-1}$ の広い吸収領域を示しているが、我々のモデルでは図 3-10 のように -5 から $5 \text{ mmol/m}^2 \text{ day}^{-1}$ の範囲内で吸収と放出域を示している。海洋の DIC の季節変動や大気の pCO_2 の値はうまく再現しているのにも関わらず大気海洋の CO_2 交換フラックスのモデル値と気候値で違いが生じてしまうかについて原因は、現在推奨されているモデル内での pCO_2 の計算方法に問

題があるためということが明らかとなった（図略）。

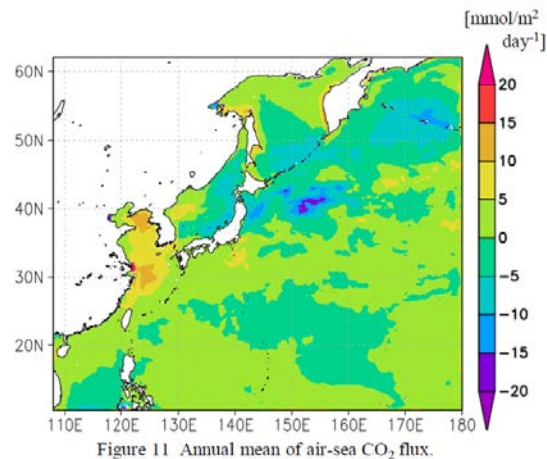


図 3-11 大気海洋 CO₂ 交換フラックスの年平均値。
正（負）の値は DIC の増加（減少）分

⑥ 北西太平洋における主な季節変動に関する炭素循環過程

図 3-10a に東経 165 度線に沿った DIC の時間変動の年平均における断面図を示したが、これを水平的にみると図 3-12 のように描ける。このモデルでは、表層では、主に、大気と海洋の CO₂ 交換と鉛直混合のバランスに加え、光合成による生物プロセスの効果によって、表層では全体的に DIC は減る傾向にある。そして、深くなるにつれ、DIC が減る領域は 100m 深くらいから始まり、200m 深で亜寒帯域全域に広がる（図 3-12）。300–500m 深では、黒潮続流域を筆頭に DIC の増加傾向がみられる。300m 以深になると、光合成などによる生物プロセスの寄与は限りなく小さくなっており、図 3-8n のように移流による DIC の分配がこのような分布を形成している。北西太平洋における水塊形成や循環との関係は、Oka and Qui et al. (2012) によれば、図 3-10b の等密度線分布に示されるように 26.0–26.5 kg/m³ の密度帯の水塊は、亜寒帯域で沈み込み、水平的な循環とともに、北から南へと等密度線に沿って亜熱帯域へ移流する。つまり本研究で調べた北西太平洋の炭素循環においては、物理的なメカニズムは Oka and Qui et al. (2012)（図 3-13）でまとめられたものによるが、それに加え、大気と海洋の CO₂ 交換プロセスと植物プランクトンの光合成による二酸化炭素の取り込みプロセスが主に働いている。また植物プランクトンの寄与がない箇所においては、表層でのプロセスを経た DIC を含む水塊が移流によって亜寒帯域や黒潮続流域から運ばれ、亜熱帯域へ影響を及ぼされるということになる。図 3-12 の 300m, 400m, 500m 深での DIC の増減はこのようなプロセスにより深度ごとにまばらに分布しているといえる。本モデル結果で生じている炭素循環の季節変動に関して分かりやすく示すため、図 3-14 のような模式的図を作成した。

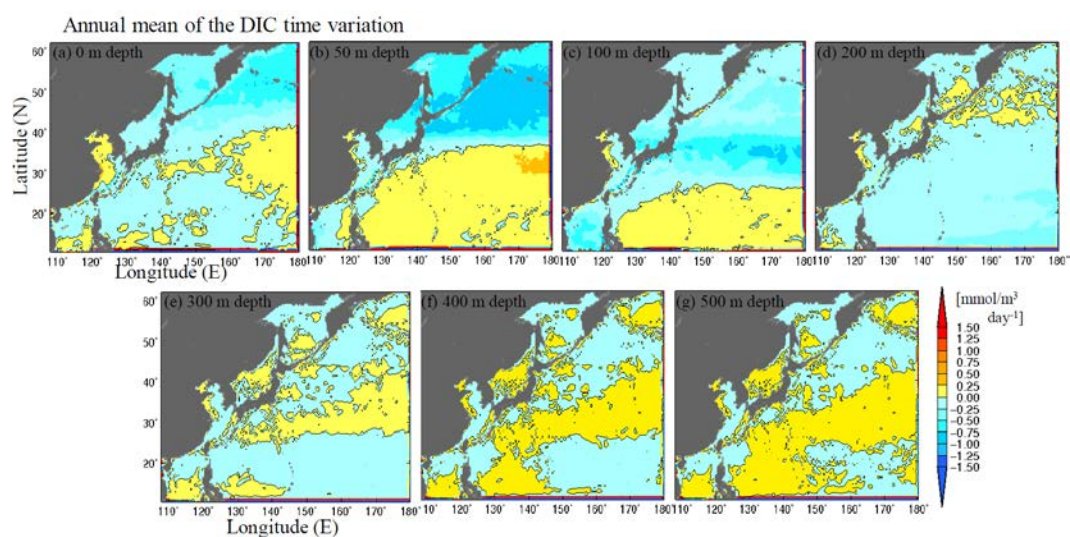


図 3 - 12 各深度にける DIC 時間変化の年平均の水平分布。図は 0m, 50m, 100, 200m, 300m, 400m, 500m 深の水平分布を示す。正（負）の値は DIC の増加（減少）分。

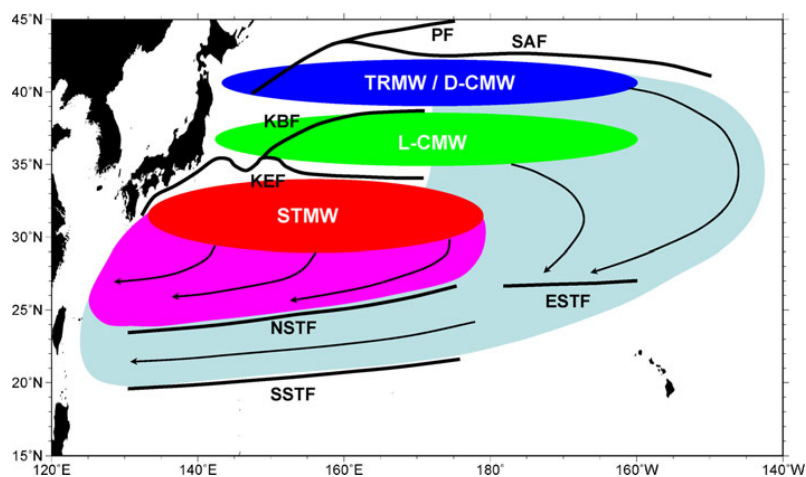


図 3 - 13 Oka and Qui (2012) で使用された水塊形成域と水平的な循環を示した模式図。CMW、STMW がそれぞれ北太平洋中央モード水、亜熱帯モード水を示す。

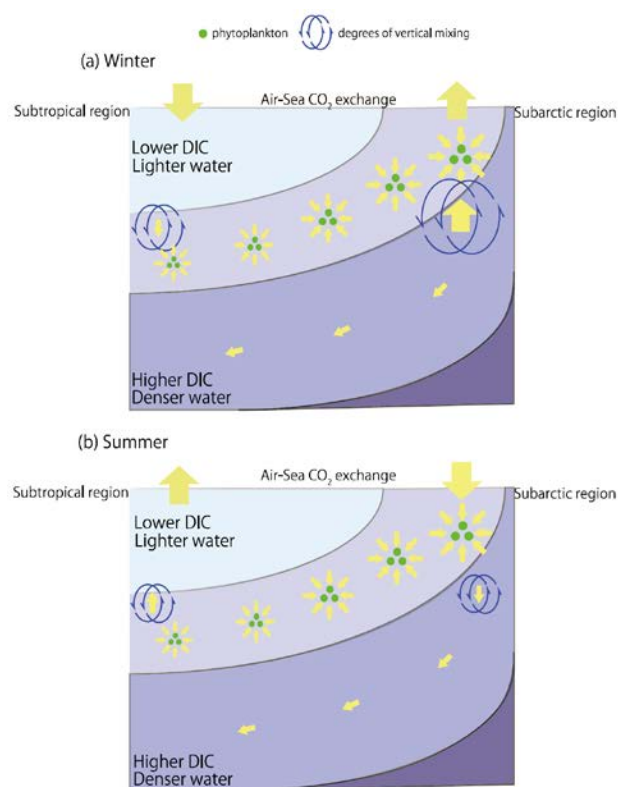


図 3 - 14 モデルにより考えられる北西太平洋の緯度線に沿った主な炭素循環の模式図。
(a) は冬、(b)は夏の循環を示す。矢印は、大気と海洋の交換、鉛直混合、植物プランクトンの消費による炭素の移動方向を示す。

⑩ 過去にさかのぼった再解析の実施

JCOPE2M によって再解析データが入手できる 1993 年から 2018 年にかけての再現実験を実施した。実験は、気候値緩和なしとある場合のモデルでそれぞれ行った。気候値緩和のある場合には、月ごとに気候値に合うよう補正されるため、特に酸性化/アルカリ化を示す傾向は見られなかった（図略）。一方、気候値緩和のないモデルでは、酸性化の指標を表す現場 pH, pH₂₅, アラゴナイト飽和度のそれぞれで、同様の特徴をもったパターンが示された。また、表層では酸性化領域が大部分であったが、局所的にはアルカリ化の領域も示された（図 3-15）。

過去の酸性化の報告と比較すると、Midorikawa et al. (2010) では、亜熱帯域に相当する東経 137 度線表層の年平均値として $0.002 \pm 0.0007 \text{ yr}^{-1}$ の酸性化傾向を見積もっている。我々のモデル結果（図 3-15a）でも亜熱帯域では大きいところで -0.003 yr^{-1} を示す領域があるが、一般には 0.002 yr^{-1} 程度の値が見積もられているため、現実的な酸性化の値が再現されていると考えられる。Wakita et al. (2013) の亜寒帯域に位置する K2（北緯 47 度、東経 160 度）と KNOT（北緯 44 度、東経 155 度）における酸性化パラメータの解析では、冬季の混合層内で 0.0011 yr^{-1} という他の領域よりもやや低い値を見積もっている。我々の結果は、K2, KNOT に相当する領域の表層では 0.001 yr^{-1} の亜熱帯域に比べ、やや弱い酸性化傾向が再

現されており、亜寒帯域でも観測値との類似性を示す。しかしながら、表層より深い 100m 以深に注目すると、Wakita et al. (2013) では、200–300m 深で表層よりも酸性化の傾向が大きいという傾向 ($-0.005 \pm 0.0010 \text{ yr}^{-1}$) を報告しており、本モデルの示す弱いアルカリ化傾向には一致しない (図 3-15 (c–d))。同様に、Arthur Chen et al. (2017) の日本海のウィンク一法によって計測された信頼できる溶存酸素データを用いて DIC や ALK を計算し現場 pH を見積もった結果でも日本海の深い領域では一般的な酸性化トレンドよりも 2 倍程度早い進行速度の可能性を示しているが、我々のモデル結果では、日本海は非常に強いアルカリ化 (図 3-15 (c–d)) が示されている。

酸性化パラメータは、比較的最近になって国際観測基準で観測されるなどの背景があり、各機関、過去の酸性化パラメータ (pH_{25}) などはスケール変化による国際基準への統一が進められてきた (例えば気象庁の pH_{25} は 2009 年以前は NBS スケールで計測されていたが、2010 年から sea water スケールで計測)。そのため、従来の観測データの酸性化について調べるための解析では、緯度方向に縦断する断面においての解析は行われず、手に入るある点での時系列データに対してある密度帯、深度での線形トレンドの推定などが試みられている。そのため、三次元的な把握のためのデータ解析はなされてこなかった。一方、pH の増減に最も大きく寄与すると考えられる DIC に関しては、観測データが比較的長期に入手することができ、国際的な標準観測ラインの東経 165 度線においては過去 10 年以上空いた観測データの比較が可能であった。図 3-16 は、東経 165 線における同じスケールで観測された DIC の 2018 年の観測値から 1992 年、2000 年、2006 年の観測値をひいた差を示す鉛直断面図であるが、北緯 35 度以南では DIC の上昇が示されている一方、北緯 35 度以北では DIC の上昇も分布するが、減少傾向もあり、明らかに亜熱帯域と亜寒帯域では様相が異なる事を示している。10 年以上の差がある年を選んでこのような断面図を描いたが、同じ pH スケールで観測された 2007 年と 2018 年の DIC の増減と pH の正負 (つまり、酸性化とアルカリ化) の分布は一致がみられ (略図)、亜寒帯域の表層 100m 以深 (図 3-16) では、科学論文としての報告はまだないが、アルカリ化が実際に生じている可能性が考えられた。実際にモデル値で、東経 165 度線での DIC と pH_{25} の変化を観測値の場合 (図 3-16) と同様に書いてみると、表層 100m 以浅では酸性化を示すものの、100m 以深では亜熱帯域ではアルカリ化、亜寒帯域では酸性化が示されている (図 3-17)。

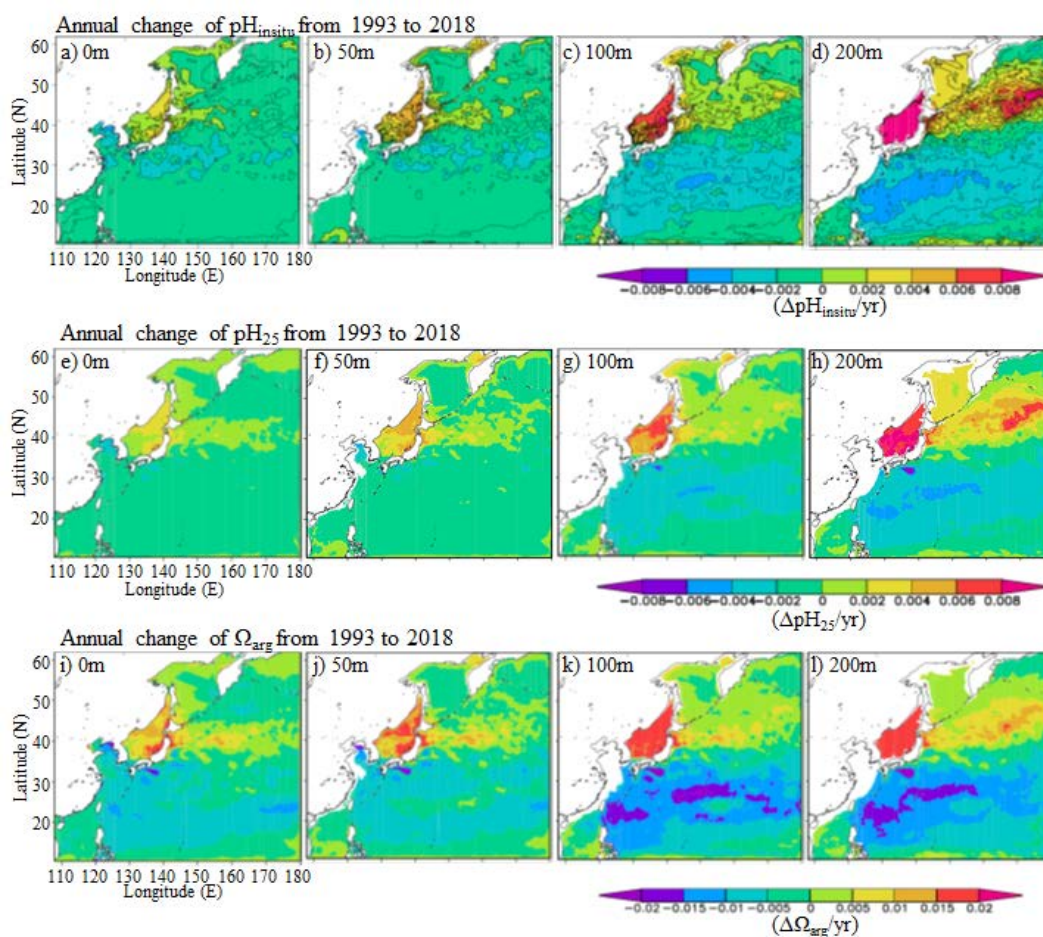


図 3 - 15 2018 年から 1993 年の各深度における酸性化パラメータの年間平均水平分布。図は現場 pH, pH₂₅, アラゴナイト飽和度における 0m, 50m, 100m, 200m 深の水平分布を示す。2018 年の値から 1993 年の値を引いて年間平均を計算。負（正）の値が酸性化（アルカリ化）を示す。

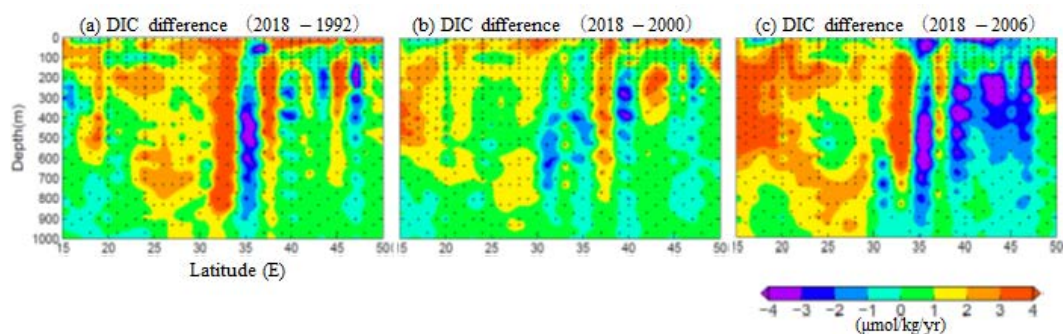


図 3 - 16 東経 165 度線における 2018 年の観測値から 1992 年 (a), 2000 年 (b), 2006 年 (c) の観測値をひいた DIC の鉛直断面図。図は年間の誤差 ($\mu\text{mol/kg/yr}$)。正（負）の値は DIC の増加（減少）分。

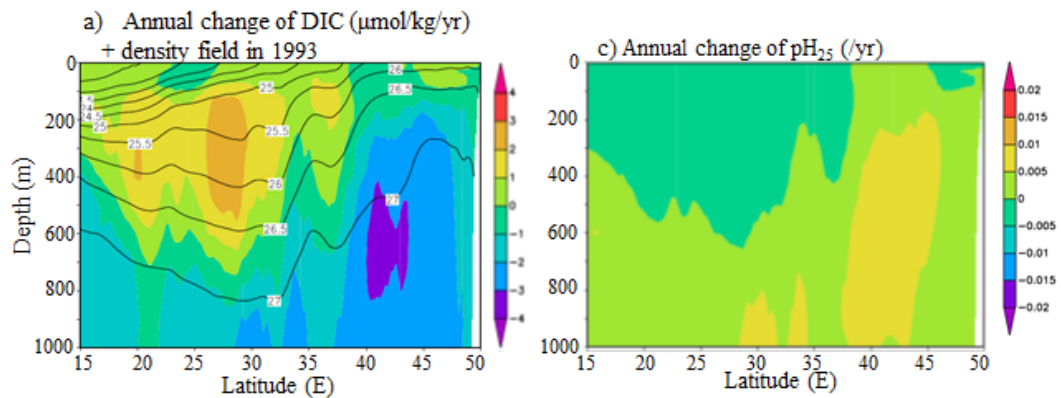


図 3-17 モデル値における東経 165 度線での 2018 年の年間平均値から 1993 年の年間平均値をひいた DIC (a) と pH_{25} (b) の値を示す。図は年間の誤差 ($\mu\text{mol/kg/yr}$)。正 (負) の値は DIC の増加 (減少) 分。

海洋物理的な水塊起源から考えると、北太平洋の 100m–900m 深はポテンシャル密度が $26.8\sigma_\theta$ である北太平洋中層水 (NPIW; Talley, 1993; Yasuda, 2004) が広がり、この水塊起源はオホーツク海域 (Nakanowatari et al. 2007) と考えられている。クロロフィル分布を調べると、1993 年から 2018 年までのクロロフィルの増減は、オホーツク海表層ではクロロフィル濃度が上がっていることが明らかとなった (図 3-18)。クロロフィル濃度の上昇は植物プランクトンの光合成が活発になったということを示しており、植物プランクトンの光合成は温暖化による表層での水温上昇 (図略) によって生じたと考えられる。植物プランクトンによる光合成の活発化は炭素をより体内に取り込むことになるため、オホーツク海での水塊は DIC の量を減らし、その結果、北太平洋の 100m 以深でのアルカリ化が進むというプロセスが考えられる。

さらに、図 3-18 はクロロフィル濃度が亜熱帯域でも深度と場所を変えて増加傾向を示し、とくに図 3-15a は 100m 以深、北緯 25–30 度付近に周りよりも DIC の増加が大きい様子を示す。これらのことも循環と昇温による植物プランクトンの光合成の活性化によって説明ができる。まず、北緯 25–30 度付近にある 200–500m 深での密度帯 ($25\text{--}26\sigma_\theta$) では、中央モード水と呼ばれる水塊が (Qu et al. 2002; Oka and Qui, 2012)、亜寒帯域の東経 130–170 度、北緯 35–40 度付近の冬季のベンチレーションによって沈み込む。その際、大気の大気二酸化炭素を取り込みつつ亜熱帯域に運ばれるが、クロロフィル極大層が亜熱帯域に向かって深くなることと温暖化に伴い植物プランクトンの光合成が活発になることにより、このような亜熱帯域での DIC 増減のグラデーションができると考えられる。

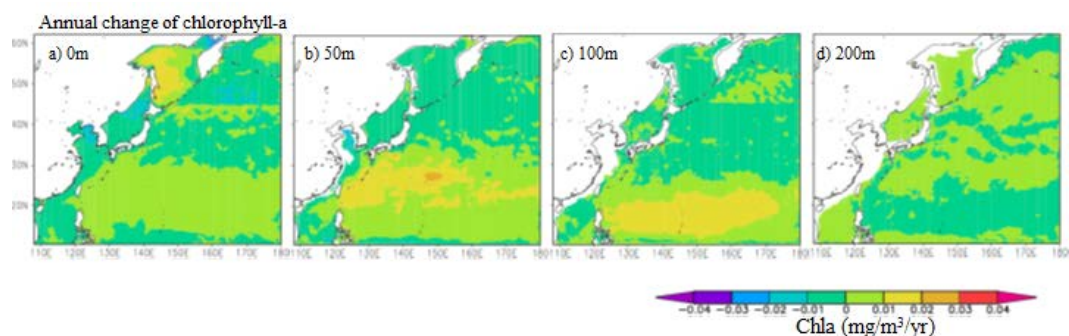


図 3-18 モデル値における 2018 年の年間平均値から 1993 年の年間平均値をひいたクロロフィル量の差。年率の変化 ($\text{mg/m}^3/\text{yr}$) を示す。正 (負) の値はクロロフィルの増加 (減少) 分。

4. 科学データの収集・整理・解析・加工

4.1 公共用水データ

2016、2017、2018 年度と公共用水域の水質汚濁に関わる調査の一環として収集された 1978 年から 2009 年までの現場 pH データの年間平均値を解析し、把握が難しいとされていた日本沿岸域の海洋酸性化の状況について調べてきた。2019 年度は、英文科学雑誌に投稿の際の査読者の指摘に従って解析方法、図の改良を検討し、考察を深めた。2019 年 11 月 5 日に受理通知を受け、2019 年 12 月 16 日に「Biogeosciences」に掲載された。論文の掲載日と同時にプレスリリースも行った。

① 公共用水のデータの信頼性についての検討

2018 年に公共用水のデータの信頼性についての検討を行い、論文を改訂する過程で、信頼性の高いデータを選択する各段階でのヒストグラムを作成した。図 4-1 にあるように、どの段階でも極大値、極小値に対するヒストグラムは正規分布を示し、また正規分布の中央は、酸性化の方向によっていることが分かった。現場 pH の極小値のトレンドは $\Delta\text{pH} = 0.0002 \sim 0.0014 \text{ yr}^{-1}$ の現場 pH の極大値のトレンド $\Delta\text{pH} = 0.0023 \sim 0.0024 \text{ yr}^{-1}$ に比べ、やや小さかった。最も信頼性の高いデータに対してこれまでの解析を進め、現場 pH の極小値に対する平均値、 $\Delta\text{pH} = 0.0014 \text{ yr}^{-1}$ 、現場 pH の極小値に対する平均値 $\Delta\text{pH} = 0.0024 \text{ yr}^{-1}$ 。また、最も信頼性の高いデータに対するトレンドを各モニタリングポイント毎に酸性化アルカリ化の強さとともに、図 4-2 に表すと、必ずしも酸性化、アルカリ化領域がまとまって分布しているわけではなく、酸性化とアルカリ化の場所が近傍領域でも混在して分布していることも分かる。極小値と極大値に対するトレンド分布(図 4-2 上段,下段)でも同じような分布を示している。この事は、データ選択の信頼性を示している。図 4-3 に県毎にデータを分け、それぞれ平均値と標準偏差を算出した。平均モニタリング数 (17 個) 以上ある箇所注目すると、和歌山と岡山はアルカリ化を示すのに対し、そのほかの県 (宮城、兵庫、山口、香川、愛媛、長崎) では酸性化が示された。

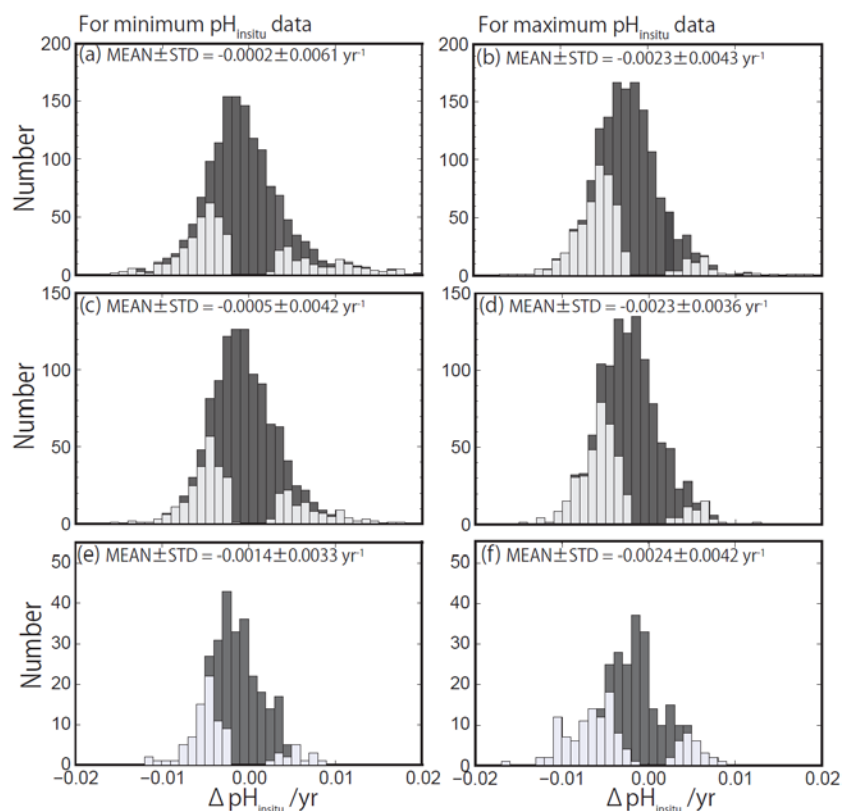


図 4-1 現場 pH トレンドのヒストグラム。(a, b), (c, d), (e, f) は、それぞれ 1481 点、1127 点、298 点に対しての値、右が現場 pH の極小値に対して、左が現場 pH の極大値に対しての値を示す。図中の数字は各ヒストグラム（濃いグレー）の平均値と標準偏差。薄いグレーの棒グラフは、有意なトレンド数を示す。

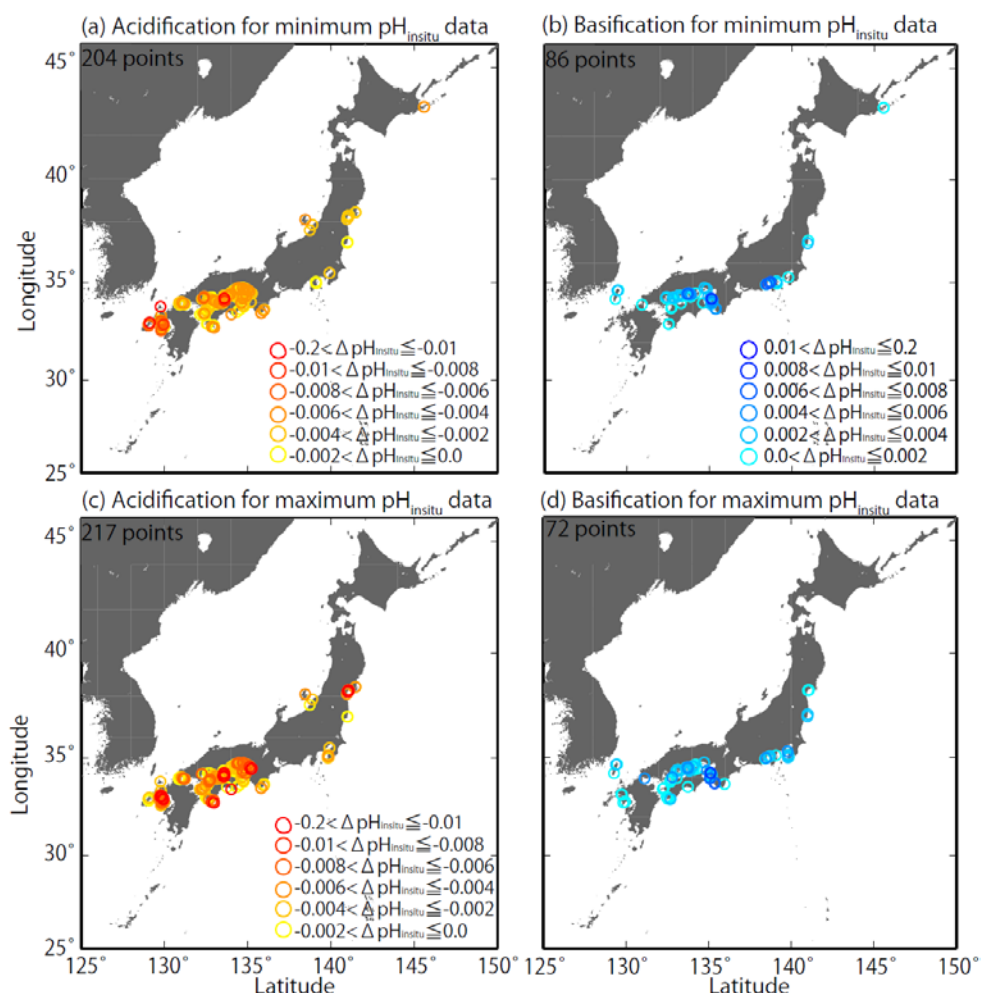


図 4-2 289 点のモニタリングポイントに対する現場 pH のトレンドの水平分布。左が酸性化傾向 (a,c)、右側がアルカリ化傾向 (b,d) の場所を示す。上段が現場 pH の極小値に対する分布、下段が極大値に対する分布を示す。

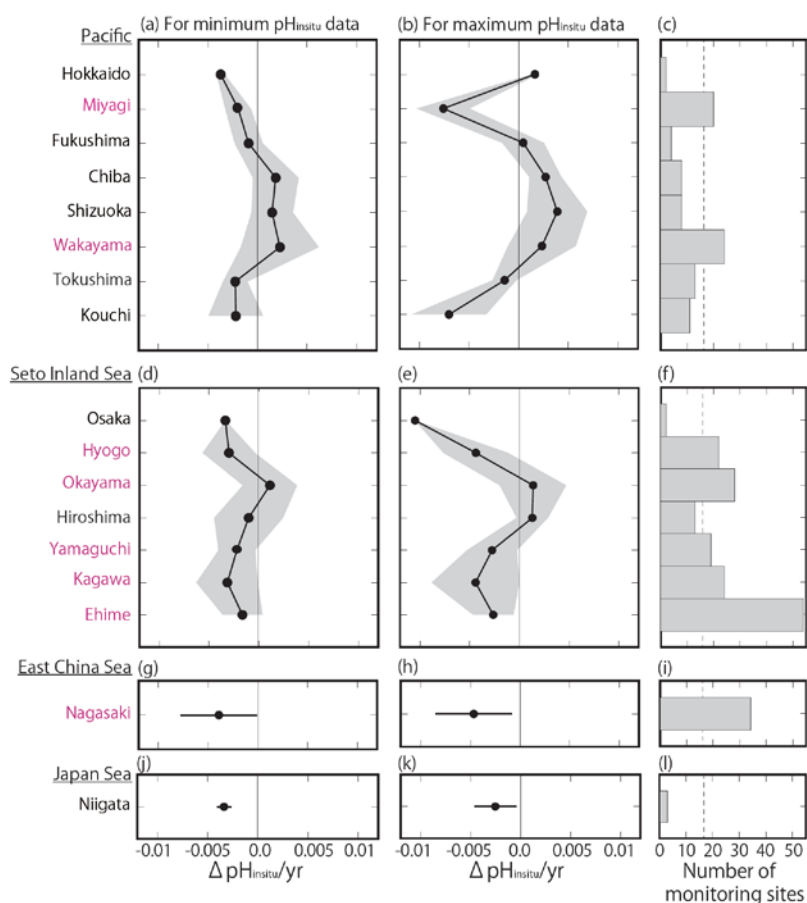


図 4-3 現場 pH の極小値 (a)、極大値 (b) に対する県別の現場 pH トレンドの平均値と標準偏差。(c) はモニタリング数を示す。

② 統計的な有意性の検討

得られた現場 pH のトレンドの平均値に対し、酸性化の方向にでるトレンド平均値が測定エラーで生じたものか否かについての検討を以下の式 (e.g., Luenberger, 1969) により行った。

$$\sigma_{\beta} = \{ \sigma_y^2 / \Sigma(x_i - [x])^2 \}^{1/2} \quad (8)$$

ここでの σ_y^2 は測定エラーによって生じる pH の理論的な分散 (現在の場合、 $0.1^2 = 0.01$)。 x_i と $[x]$ は測点における全てのデータに対する年と平均の年を示す。この公共用水は 32 個のデータ (1978 年から 2009 年) が各々のモニタリングポイントに対し、データがあるため、 $\Sigma(x_i - [x])^2$ は 2728、 σ_{β} は 0.0020 yr^{-1} となる。 σ_{β} は 0.002 となるため、現場 pH の極大値については有意な値と結論付けられた。現場 pH のうち、北太平洋中緯度での極小値は夏季に計測され、極大値は冬季に計測されるという傾向があることから、現場 pH の極小値に対するトレンドが有意でないことは、光合成などの生物活動が活発であり、それが pH の値を上げ、トレンドを弱める可能性が考えられた。またそれぞれの pH トレンドに対して、独立で起こっているかどうかのウェルチの t 検定及び対応ある t 検定も行った。ウ

エルチの t 検定では、有意水準 5% において帰無仮説「2 群の平均値が同じである」が却下された。つまり、現場 pH の極小値、極大値トレンドの 2 群の平均値が異なると判断された。対応ある t 検定でも、有意水準 5% において帰無仮説「現場 pH の極小値データと極大値データには差がない」が却下され、データに差があるという結果になった

③ 計測深度による影響についての検討

公共用水の現場 pH の極大値、極小値の公開データは、必ずしも全て同じ深度で計測された値が掲載されているわけではない。表層（0.5–2 m）で計測されたものと 10m 深の亜表層で計測されたものが混在している可能性がある。公共用水のうち、水温データは深度情報とともに掲載されているため、その情報をもとに現場 pH データには何%、10m 深で計測されているかについての検討を行った。その結果、13~15% 程度は、亜表層で計測されたものが含まれているという結果になった。しかしながら、pH データは基本的に表層よりも亜表層の方が低いいため、現場 pH の極大値については、ほとんど 10m 深のデータは含まれていないと考えられる。対照的に、現場 pH の極小値には、10m 深のデータがいくつか含まれていると考えられ、それが pH トレンドの平均値にも影響を及ぼしている可能性が考えられた。

④ 沿岸における現場 pH トレンドに影響をあたえる要因の検討

本研究で明らかになったように、酸性化の報告のみである外洋域に対して、沿岸では酸性化だけでなくアルカリ化のトレンドもあることが分かった。そこで、本研究では、Sunda and Cai (2012) や Duarte et al. (2013) の沿岸での酸性化、アルカリ化を起こす可能性のある影響について概念モデルによって議論した。

$$PH_{\text{insitu}} = \text{Function} (D(T), DIC(\text{Air CO}_2(T), B(T, N)), \text{Alk}(S)), \quad (9)$$

$D(T)$ は季節変動、年変動、数十年変動を伴う水温の変動効果、 $DIC(\text{Air CO}_2(T), B(T, N))$ は DIC の変動効果でその中に、温暖化による二酸化炭素の影響によるものと生物的な変動によるもの、 $\text{Alk}(S)$ はアルカリ度の変動によるものを示す。 $DIC(B(T, N))$ に関しては、従属栄養（heterotrophic）と独立栄養（autotrophic）な環境で対称的な反応を示す（Ishizu et al., 2019）。ここでは詳細は割愛するが、pH に影響を生じる要因について可能性のある（9）式のパラメータの作用について論文では詳細に議論している（Ishizu et al., 2019）。

5. まとめと今後の課題

本研究は、概ね 4 年間の期間において、情報基盤のコンテンツに資する観測データおよびモデルデータを整備し、成果を発信してきた。モデルデータは、渦解像度のデータ同化予測システムで予測された海洋場を背景に海洋酸性化に係る生態系モデルの開発を行い、2017 年から「海洋危機ウォッチ」で情報コンテンツとして一般社会に向けて情報発信を行った。また現況予測モデルの運用とともに、

日本縁辺海での酸性化のプロセスを検証し、過去再現実験により長期予測を行い時空間的な酸性化の見通しについて調べた。観測データを用いた解析では、海洋汚染防止のための水質のモニタリング目的であり本来海洋酸性化の評価をするには難しいとされていたが、公共用水データに対し、適切な統計解析をすることで日本沿岸での酸性化の現状を明らかにした。

公共用水の観測データ、モデル結果ともに、日本沿岸、縁辺海では外洋の海洋酸性化把握のためモニタリングされている点と同程度で確実に酸性化が進行していることが示された。一方、モデル結果では、日本の北側一部と北太平洋西部の亜寒帯域（北緯 40 度以北）の 100m 深でアルカリ化が進んでいる可能性も示唆された。海洋酸性化が問題視されたのが比較的最近であったため、全球のあらゆる領域に対しての海洋酸性化の傾向を調べられた例はなく、これまでの観測事実としてアルカリ化の傾向を報告している研究例はない。これは、過去 10 年以上より前は、国際統一基準で酸性化パラメータが観測されてこなかったことや人的にも資金的にも観測からカバーできる範囲に限界があったためである可能性もある。観測データで検証された DIC のデータでは確かにここ十数年で減る傾向が示されている海域も見られ、信憑性が高いと考える。近年、海洋酸性化パラメータの観測に関する国際基準の統一化がすすめられ、データも収集し、公開される仕組みが進められつつある（NCEI）。海洋酸性化のモニタリングの整備が進み、データが蓄積されることで、亜寒帯域でのアルカリ化傾向の報告が出てくる可能性がある。一方、モデル結果では、亜熱帯域表層 600m 以浅では深刻な酸性化が進んでいるということが示された。酸性化の最も大きいと考えられるコア領域が亜熱帯循環の 150m-600m 深に存在するが、それらが再循環により表層に上がってくるプロセスも予想される。表層に上がってきた際には表層でさらに早いペースで酸性化が進む恐れがある。我々のモデル結果では、日本近海では、北緯 35 度以南の特に、日本の西側において酸性化傾向が進んでいることが示された。これらの領域での水産資源に対する影響は深刻化していく可能性がある。現況予測、長期予測から示された状況を把握したうえで、直近の対策の検討を考えていく必要がある。

今回、解析した公共用水データは、沿岸域の海洋汚染を監視する目的のために日本沿岸域をカバーする、環境省が事業として進める観測網であるが、今後、海洋汚染だけでなく、海洋酸性化の調査としても展開する事業への転換の方向性が考えられる。

会議等への参加・発表の報告

1) 第 4 回 Global Ocean Acidification Observation Network 国際ワークショップ（GOA-ON 2019）

【日程】2019 年 4 月 14 日から 4 月 18 日 4 日間

【場所】中国 杭州 DEEFLY ZHEJIANG HOTEL

【発表タイトル】

Nowcast/forecast system of ocean acidification indices by using a marine carbon and

biogeochemical model with an operational ocean model product in the North Western Pacific

【発表者】 Ishizu Miho, Miyazawa Yasumasa, Tsunoda Tomohiko, Xinyu Guo

【会議および発表の概要】

2019 年 4 月 16 日に開催されたパネルセッション「Regional and global modeling on physical-biogeochemical coupling process related to ocean acidification and associated ecosystem responses」において、これまで開発してきた現況予測システムについて、主にモデルの再現性と海洋酸性化の指標となる pH やアラゴナイト飽和度の季節変動に係る要因パラメータについて口頭発表を行った。モデルは、データ同化手法を使った JCOPE2M を物理場とし、海洋酸性化に係る生態系パラメータについては月別の気候緩和を行っているため、季節変動や渦解像度の現象が再現できていることについて言及した。日本縁辺海を対象としている観測側の研究者に興味を持ってもらえたようで、実現できるかはまだわからないが、何人かの研究者から、共同研究の可能性についての話が聞けた。インドの海洋酸性化モデルを開発している研究者（Chakraborty 氏）とは、我々の生態系モデルの仕組みや酸素に関する再現についての質問を受けた。インド側の生態系モデルの状況についても聞くことができた。今後、国際的な共同研究が実現できればと考えている。

2) OceanObs'19

【日程】 2019 年 9 月 15 日から 9 月 20 日 5 日間

【場所】 米国 ハワイ コンベンションセンター

【発表タイトル】

Nowcast/forecast system of ocean acidification indices by using a marine carbon and biogeochemical model with an operational ocean model product in the North Western Pacific

【発表者】 Ishizu Miho, Miyazawa Yasumasa, Tsunoda Tomohiko, Xinyu Guo

【会議および発表の概要】

2019 年 9 月 16–20 日に開催された OceanObs'19 において、プロジェクトで開発した生態系モデル（JCOPE_EC）のモデル再現性と海洋酸性化の指標となる pH やアラゴナイト飽和度の季節変動に係るパラメータ要因について、Ishizu et al.(2019)に基づいてポスター発表を行った。具体的には、栄養塩、DIC、アルカリ度についての信頼度の高い気候値の作成により、本モデルでは気候値緩和の条件はつけているが、従来のモデルに比べ、高い信頼性の酸性化パラメータ値を季節変動レベルで北太平洋北西部において把握することができるようになったことや高解像度のモデルのため、渦解像度レベルで値が再現されていることを紹介した。

本会議では、今後 10 年の観測分野の国際社会がどの方向に向かうべきかについて各セッションが設定されていた。個人的な興味としていくつかのセッションを拝聴し情報収集を行った。今後の 10 年間で、「バイオロギングデータや生物関連のデータ共有システムの構築が進められる事」、「DEEP ARGO が今後の展開として期待されていること」、「グライダーのデータ共有システムが構築されている事」、「中国のデータマ

ネジメントの現状」などについて興味深く拝聴した。国連関係者が発表を行うブレイクアウトセッション「UN Sustainable Development Goals (SDG) and ocean observing」では、IOC-UNESCOO の Kirsten Isensee 氏により、SDG14 のうちの 10 項目に挙げられているもののうち、海洋酸性化についての IOC-UNESCOO の取り組みの例が紹介され、海洋酸性化は改めて地球温暖化の一つとして、海洋において重要視されている項目であることが確認できた。

OceanObs は、1999 年から始まり、10 年に 1 回の開催で、今回で 3 回目の開催となる。参加者も、最初の 300 人から 1500 人と増えており、観測関連の研究者だけでなく、観測データセンターの関係者、利用者や、データ管理方法の決定する関係者、政府関係者の参加も多く見られた。また、観測に主体が置かれた会議ではあるが、観測データを扱うモデル関係者の出席も目立ち、モデル関連のセッションも盛況だった。

3) Ocean Science Meeting 2020

【日程】2020 年 2 月 16 日から 2 月 21 日 6 日間

【場所】米国 サンディエゴ

【発表タイトル】

Mechanisms of seasonal variability of carbon cycle in the North Western Pacific: a biogeochemical and carbon modeling study coupled with an operational ocean model product

【発表者】Ishizu Miho, Miyazawa Yasumasa, Tsunoda Tomohiko, Xinyu Guo

【会議および発表の概要】

2020 年 2 月 21 日に開催されたセッション「Seasonal Cycles of Ocean Biogeochemistry and Ecosystems Under a Changing Climate I」で、主にモデルの再現性と海洋酸性化の指標となる pH やアラゴナイト飽和度の再現性とモデルから再現される酸性化の影響を及ぼす季節変動の炭素循環について口頭発表を行った。発表日以外は、温暖化、海洋酸性化や炭素循環に係る研究発表を聞いてまわった。過去の Ocean Science Meeting 以上に地球の環境問題に係るセッションが多く開催されている印象を受けた。今年の Redfield lifetime Achievement Award, Raymond Linderman Award, TOS Marry Sears Medal は、プラスチックごみが海洋中の DIC を減らす作用をもたらす可能性を示した論文の執筆者である Cristina Romero-Castillo 氏と極域での温暖化の将来予測を行っている Jane Lubchenco 氏が受賞した。現在の潮流として地球環境の影響と解決策に焦点を当てた研究が評価されているようだった。温暖化、海洋酸性化、炭素循環のセッションはどれも盛況であったが、特にグローバルカーボンの循環評価のセッションは立ち見が出るほどだった。我々が今年度のプロジェクト内で実施した過去数十年の再解析の物理場を背景に研究発表を実施している内容もあった。Galen McKinley 氏の講演では、全球での過去再現実験データから過去数十年の変動要因を調べており、本プロジェクトの研究で行った長期過去再現実験の結果と比較検討ができる可能性が考えられた。

参考文献

1. Arther Chen, C-T.; Lui H-K.; Hsieh, C-H.; Yanagi, T.; Kosugi, N.; Ishii, M.; Gong, G-C. Deep oceans may acidify faster than anticipated due to global warming, *Nature communication*, **2017**, 890–895, <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0003-y>.
2. Duarte, C. M.; Hendriks, I. E; Moore, T. S.; Olsen, Y. S.; Steckbauer, A.; Ramojo, L.; Carstense, J.; Trotter, J. A.; McCullouch, M.; Is ocean acidification an open ocean syndrome? Understanding anthropogenic impacts in seawater pH, *Estuaries and Coasts*, **2013**, 36, 221–236, doi:10.1007/s12237-013-9594-3.
3. Ishizu, M.; Miyazawa, Y.; Tsunoda, T.; Guo, X.; Development of a biogeochemical and carbon model related to ocean acidification indices with an operational ocean model product in the North Western Pacific, *Sustainability*, **2019**, 11, 2677, doi:10.3390/su11092677.
4. Ishizu, M.; Miyazawa, Y.; Tsunoda, Ono, T.; Long-term trends in pH in Japanese coastal seawater, *Biogeoscience*, **2019**, 16, 4747–4763, <https://doi.org/10.5194/bg-16-4747-2019>.
5. Li, P. Q.; Franks, J. S. P.; Landry, R. M.; Goericke, R.; Taylor G. A.; Modeling phytoplankton growth rates and chlorophyll to carbon ratios in California coastal and pelagic ecosystems, *J. Geophys. Res.* **2010**, 115, G04003, doi:10.1029/2009JG001111.
6. Midorikawa, T.; Ishii, M., Saito, S.; Sasano, D., Kosugi, N, Motoi, T., Kamiya, H., Nkdate, A., Nemoto, K, Inoue, H. Decreasing pH trend estimated from 25-yr time series of carbonate parameters in the western North Pacific, *Tellus*, **2010**, 62B, 649–659.
7. Nakano, T.; Ohshima, I, K.; Wakamatsu, M.; Warming and oxygen decrease of intermediate water in the northwestern North Pacific, originating from the Sea of Okhotsk, 1955–2004, *Geophysical Research Letters*, **2007**, 34, L04602, doi:10.1029/2006GL028243.
8. Oka, E.; Qui, B.: Progress of North Pacific mode water research in the past decade, *J. Oceanogr.* **2012**, 68:5–20, doi 10.1007/s10872-011-0032-5.
9. Qu, T., Xie, S-P, Mitsudera, H., Ishida, A.: Subduction of the North Pacific Mode Waters in a global high-resolution GCM. *Journal of Physical Oceanography*, **2002**, 32, 746–763.
10. Takahashi, T.; Sutherland, C. S.; Sweeney, C.; Poisson, A.; Metzl N.; Tilbrook, B.; Bates, N.; Wanninkhof, R.; Feely, A. R.; Sabin, C.; Olafsson J.; Nojiri, Y. Global sea-air CO₂ flux based on climatological surface ocean pCO₂, and seasonal biological and temperature effects. *Deep-Sea Research II*, **2002**, 49, 1601–1622.
11. Stelmakh, L.; Gorbunova I. T.: Carbon-to-chlorophyll-a ratio in the phytoplankton of the Black Sea surface layer: variability and regulatory factors, *Ecologica Montenegro*, **2018**, 17, 60–73.
12. Sunda, W. G., Cai, W. J. : Eutrophication induced CO₂-acidification of subsurface coastal waters: interactive effects of temperature, salinity, and atmospheric pCO₂, *Environ. Sci. Technol.*, **2012**, 46, 10651–10659.
13. Talley, L. D. Distribution and formation of North Pacific Intermediate Water, *J. Phys. Oceanogr.*, **1993**, 23, 517–537, doi: 10.1175/1520-0485.
14. Tsuda, A.; Takeda, S.; Saito, H.; Nishioka, J.; Nojiri, Y.; Kudo, I.; Kiyosawa, H.; Imai, K.; Ono, T.; Shimamoto, A.; Tsumune, D.; Yoshimura, T.; Aono, T.; Hinuma, A.; Kinugasa, M.; Suzuki, K.; T. A mesoscale iron enrichment in the western subarctic Pacific induces large centric diatom bloom. *Science*, **2003**, 958–961. doi: 10.1126/science.1082000.
15. Yasuda, I.; North Pacific Intermediate Water: Progress in SAGE (SubArctic Gyre Experiment) and related projects, *J. Oceanogr.*, **2004**, 60, 385–395, doi:10.1023/B:JOCE.0000038344.25081.42.
16. Yasunaka, S.; Nojiri, Y.; Nakaoka, S.; Ono, T.; Mukai, H.; Usui, N. Monthly maps of sea surface dissolved inorganic carbon in the North Pacific: Basin-wide distribution and seasonal variation. *J. Geophys. Res. Oceans*, **2013**, 118, 3843–3850, doi:10.1002/jgrc.20279.
17. Wakita, M.; Watanabe, S., Honda, M.; Nagano, A.; Kimoto, K.; Matsumoto, K.; Kitamura, M.; Sasaki, K.; Kawakami, H.; Fujiki, T.; Sasaoka, K.; Nakano, Y.; Murata, A. Ocean acidification from 1997 to 2011 in the subarctic western North Pacific Ocean. *Biogeosciences*, **2013**, 10, 7817–7827.

目次

1. 実施内容.....	68
1.1. 情報基盤となる「海洋危機ウォッチ」の構築	68
(1) 温暖化・酸性化予測データ表示.....	69
(2) 海の温暖化・海洋酸性化についての情報表示	80
(3) モニタリング（観測の情報）の表示.....	81
(4) 海の温暖化・海洋酸性化に関する最新情報提供	84
(5) 教育コンテンツ提供	89
1.2. Web サーバーの維持・管理.....	92
(1) JCOPE_EC を用いた pH 等の予測プロダクトの自動更新	92
(2) アラゴナイト飽和度の公開開始.....	92
(3) Web サーバーの空き容量確保	93
(4) Web サイトアクセス解析	94
(5) サーバーの保守及び監視	96
(6) コンテンツの追加作業.....	97
1.3. 機能試験.....	97
2. 補足資料「海洋危機ウォッチ システム利用マニュアル」	98

1. 実施内容

海の温暖化・海洋酸性化について、一般向けに分かりやすく、かつ専門家にも活用可能な情報基盤（ホームページ）の作成を目指す計画の最終ステップとして、2017年度からインターネットでの公開を開始した情報基盤サイト「海洋危機ウォッチ（以下、本サイト）」の管理／運用を過年度より引き続き実施し、情報提供を行ってきた。

以下、管理／運用で実施した内容を示す。

1.1. 情報基盤となる「海洋危機ウォッチ」の構築

情報基盤として構築した「海洋危機ウォッチ」のトップページは図 1 のとおりであり、以下に概要を示す。なお、URL は「<https://www.marinecrisiswatch.jp/mcwatch/>」である。

The screenshot shows the homepage of the Marine Crisis Watch website. At the top, there is a header with the site logo on the left, the title '海洋危機ウォッチ プロトタイプ版' in the center, and the logo of the 'Sakai Heiwa Kaikan' (笹川平和財団) and 'Marine Policy Research Institute' on the right. Below the header is a navigation bar with tabs: Home, 海の温暖化・海洋酸性化, 海の予測情報, 観測の情報, ニュース, 学習コーナー, and サイトポリシー. A 'HOME' button is also present. On the right side of the navigation bar, there are links for 'ご利用マニュアル' and 'English'. The main content area is divided into three sections. The left section, titled '最近のニュース', contains a list of recent news items with dates and titles. The middle section, titled '海洋危機ウォッチとは', contains a paragraph explaining the site's purpose and a link to the 'Site Policy'. The right section, titled '今日の予測情報', contains two maps showing predicted sea surface temperature and pH for the date 2020/02/28. A link to 'サイトポリシー' is visible at the bottom right of the page.

図 1 海洋危機ウォッチのサイトトップページ

本サイトでは「海の温暖化・海洋酸性化」、「海の予測情報」、「観測の状況」、「ニュース」及び「学習コーナー」からなり、海の温暖化や海洋酸性化に係る解説、水温・pH等の予測結果、最新のニュース、海洋酸性化に係る動画などの情報を提供している。

なお、本サイトのロゴタイトル（図 2）は、海洋酸性化の影響が懸念される翼足類（ミジンウキマイマイ）のイラストであり、このデザインは神奈川県立海洋科学高等学校の生徒が行っている。

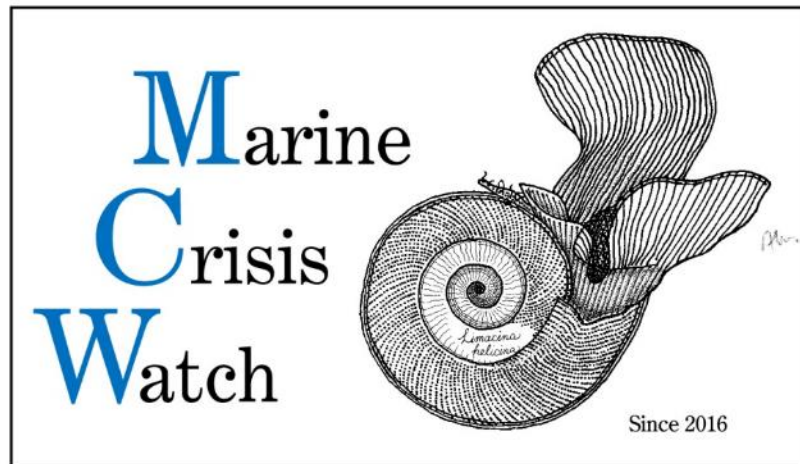


図 2 海洋危機ウォッチ サイトロゴ

(1) 温暖化・酸性化予測データ表示

「海の予測情報」のページに表示する、水温や pH といった「温暖化・酸性化予想データ表示」を行う機能として、予測結果データの加工からデータ取込、保存、表示までを一連が行える機能をシステムとして、過年度から構築してきた。

以下にその詳細を示す。

1) システム製品構成

システム製品構成は、運用段階において高額なライセンス料金が発生せず、ユーザ側にウェブブラウザ以外のインストールを必要としないソフトウェア構成とした。

2) 数値データ加工処理の構築

数値データを加工しシステムへ取込む機能の実装方法を検討し構築した。なお、数値データは JCOPE_EC としている。

数値データの情報を以下に示す。

- データ：JCOPE_EC(NetCDF 形式)
- データ種類：水温(℃)、塩分、pH、アラゴナイト飽和度(Ω)

数値データ加工処理は、JCOPE_EC から、面的表示用の画像、アニメーション用の画像、月平均データの生成を行い、JCOPE_EC データと共に所定のフォルダへ格納している。

なお JCOPE2 の数値データは、2016 年度までは FORTRAN バイナリ形式であったが、2017 年度からは NetCDF 形式の JCOPE_EC に変更している。2018 年度には、データ種類にアラゴナイト飽和度(Ω)を加える作業を行った。しかしアラゴナイト飽和度 (Ω) は数値データの精度に問題があり、本年度でも公開を見送っている。

数値データ加工処理の出力データを表 1 に示す。

表 1 数値データ加工処理の出力データ

出力データ	出力データ詳細情報
面的表示用画像	● 水温(0,10,25,50,100,150,200,300,400,500m) ● 塩分(0,10,25,50,100,150,200,300,400,500m) ● pH(0,10,25,50,100,150,200,300,400,500m) ● アラゴナイト飽和度※精度に問題があり非公開 (0,10,25,50,100,150,200,300,400,500m) 上記画像を日次、月次で作成 ファイルフォーマット PNG、サイズ(1000px×1000px)
アニメーション用画像	● 水温(0,10,25,50,100,150,200,300,400,500m) ● 塩分(0,10,25,50,100,150,200,300,400,500m) ● pH(0,10,25,50,100,150,200,300,400,500m) ● アラゴナイト飽和度 (0,10,25,50,100,150,200,300,400,500m) 上記画像を日次、月次で作成 ファイルフォーマット PNG、サイズ(625px×600px)
月平均データ	水温、塩分、pH の月平均値データ NETCDF4 データモデル、ファイルフォーマット HDF5

JCOPE_EC ファイルが新たに提供された場合は、翌朝までには本サイトへの反映が行われるように自動化している。自動化を実現するために数値データの提供元と取り交わしたインタフェース仕様を表 2 に示す。

なお、数値データの自動反映は、毎日深夜 1 時に実行している。

表 2 数値データインタフェース仕様

項目	内容
プロトコル	HTTP
認証	BASIC 認証
URL	http://www.jamstec.go.jp/jcope/distribution/new_data/
更新情報ファイル	ファイル名：Readme.yyyymmdd.txt ※yyyymmdd は更新日付 更新及び追加のあった予測プロダクトのファイル名リスト
予測プロダクトファイル名	ファイル名：net80.nc2.yyyymmdd.nc ※yyyymmdd は対象日付

3) 数値データ表示機能の構築 (JCOPE_EC)

“数値データ表示機能の構築”作業は、2016 年度に本サイトのプロトタイプを試作し、それを基に検討を進めてきた。本サイトの “海の予測情報” - “JCOPE” から利用できる。

● 画面デザイン・レイアウト

プロトタイプの作成に先立ち、分かりやすさと統一レイアウトを考慮した画面デザインとするために、画面デザイン・レイアウトを設計し、パーツの配置や配色、フォントサイズ等を検討した。画面デザイン・レイアウトの設計は、他の情報発信機能を含めて検討し統一感を重視している。

● 面的表示機能

リクエストに即応答する面的表示機能として実装している。面的表示機能は、主にウェブ GIS サーバソフトウェアの “MapServer” と、ウェブ GIS ライブラリの “OpenLayers” を利用している。応答性を高めるために地図上に重ね表示する数値データ画像は、リクエスト発生時にリアルタイムでの生成を行わず、事前に作成することとしている。これによりインターネットで利用できる一般的な地図サイトと同様の操作方法で、地図上に面的表示した数値データを表示することを可能とした (図 3)。なお、背景地図は、GEBCO(<http://www.gebco.net>)を利用している。

2018 年度では、新たにアラゴナイト飽和度 (Ω) の表示機能を作成した。しかし、アラゴナイト飽和度 (Ω) の表示機能構築は完成したが、JCOPE_EC のデータ精度について妥当性を検討する必要があると判断したため機能の公開を見送っている。

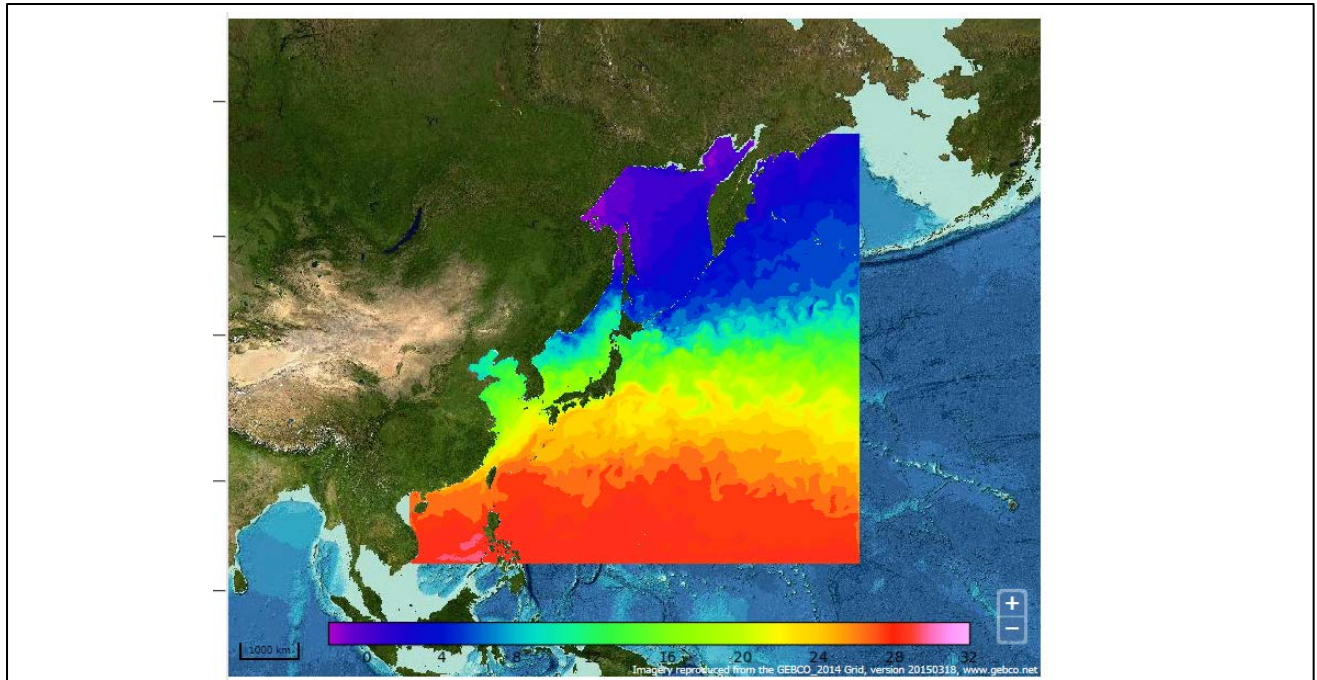


図 3 面的表示機能

- 拡大縮小機能

面的表示機能の実現と同様に、“MapServer” および “OpenLayers” の機能を用いて、地図および数値データ画像の、拡大／縮小機能を実装している。地図上に配置された拡大縮小用のパーツで操作するか、マウスのホイール操作で行える。また、現在の拡大／縮小情報を地図上のスケールバーで確認できるようにしている（図 4）。

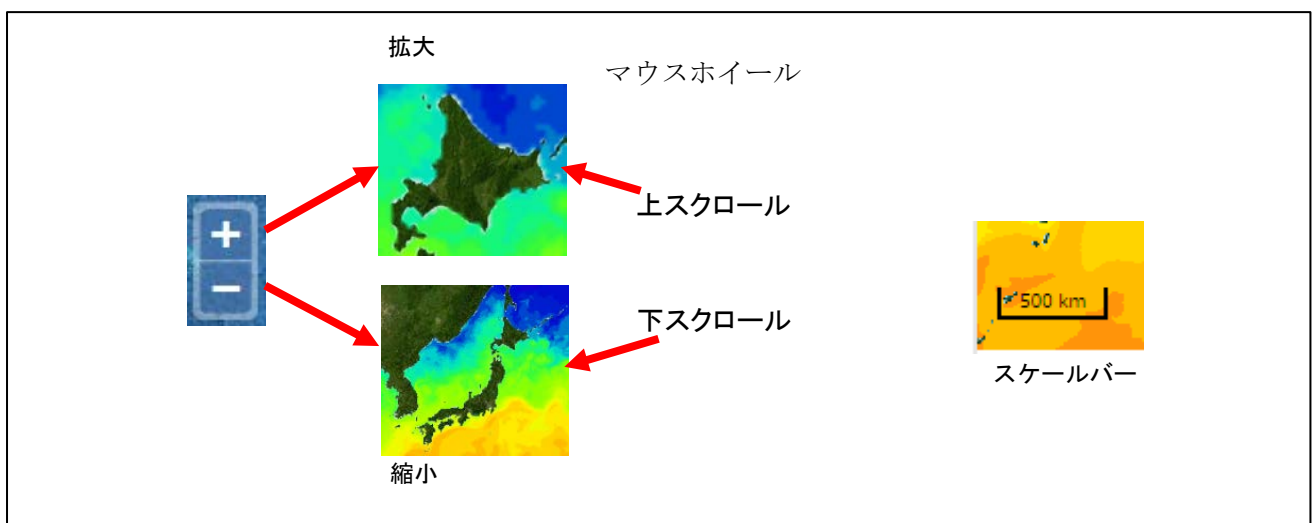


図 4 拡大縮小機能

● データ選択・表示機能

データ種類などの選択は、サイドバーから任意の条件指定が行えるようにした（表 3 参照）。選択条件が変更された際は、地図上の数値データ画像を即座に該当するデータへ切替わる。

表 3 データの選択条件

データの選択条件			画面初期表示時
データ種類	水温(°C)	いずれかを選択	デフォルト選択
	塩分		
	pH		
	アラゴナイト飽和度(Ω) [※]		
断面方向	水平断面	水平断面を選択することで、水深を選択することが可能になる。 水深は以下から選択可能 0m,10m,25m,50m,100m,150m,200m,300m,400,500m	デフォルト選択
	水深		0m
データ範囲	日平均	いずれかを選択	デフォルト選択
	月平均		
表示日	日付	データ範囲の日平均が選ばれた場合に入力可能	本日の日付 本日までのデータが取り込まれていない場合は、最終日の日付
	年月	データ範囲の月平均が選ばれた場合に選択可能	

※アラゴナイト飽和度は 2018 年度に追加したデータである。しかし公開サイトでは非表示としている。

- 鉛直断面コンター図表示機能

2点を指定することで鉛直断面コンター図を表示する機能を作成した。2点の指定は地図上の数値データ画像(JCOPE_EC)のエリア内で行え、緯線または経線に平行とのみに限定している。

鉛直断面コンター図に付随する情報として、“緯度または経度”、“2点間の距離”、“選択した月日”及び“データ種別”を表示する領域も設けた(図5)。

2018年度では、データ種類としてアラゴナイト飽和度(Ω)の追加を行った。DOについても追加も計画していたが、JCOPE_ECにDO要素が含まれないこととなったため対象外としている。また、アラゴナイト飽和度(Ω)は2019年2月1日以降のデータのみに存在するため、それ以前の表示日は選択が出来ないようにする制御も行った。ただし、面的表示機能と同じ理由で機能の公開は見送っている。

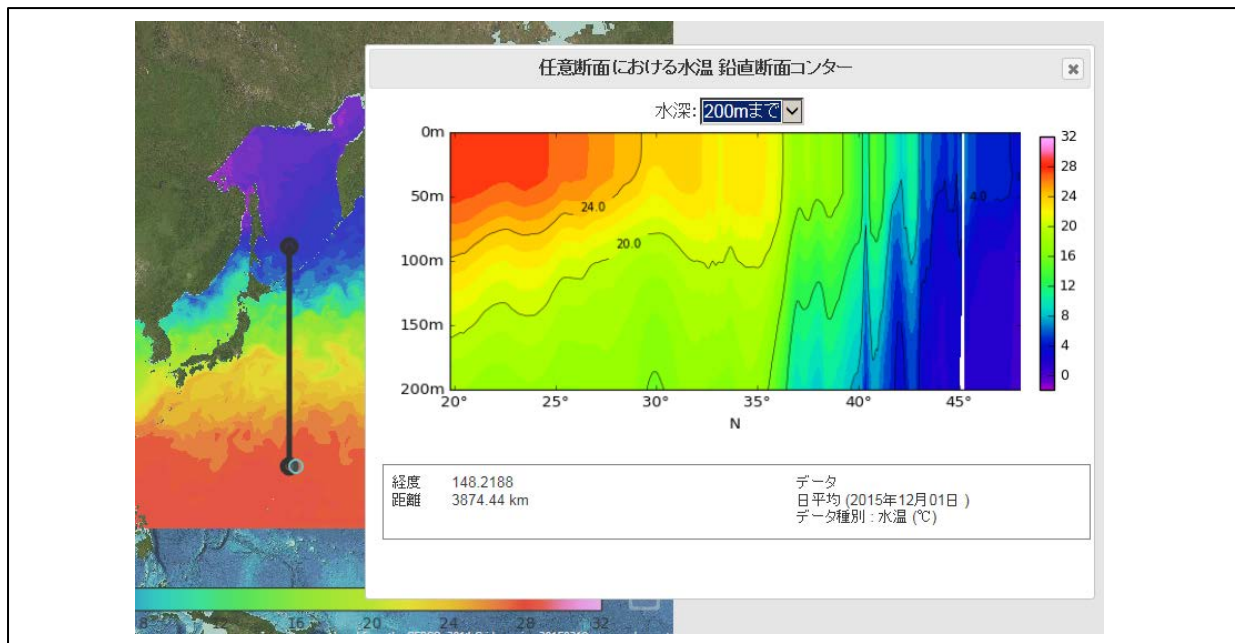


図 5 鉛直断面コンター図表示機能画面

- 動画機能

動画は、データ範囲が日平均の場合は表示日から 30 日間を再生することを基本とし、数値データの取り込みがこの期間に満たない場合は、最新の取込日から 30 日遡った範囲を再生する。データ範囲が月次範囲の場合は年月から 12 か月間を再生することを基本とし、数値データの取り込みがこの期間に満たない場合は、最新の取込月から 12 か月遡った範囲を再生する。

動画再生画面は、ポップアップ表示とし、再生、逆再生、一時停止がボタン操作で行える（図 6）。

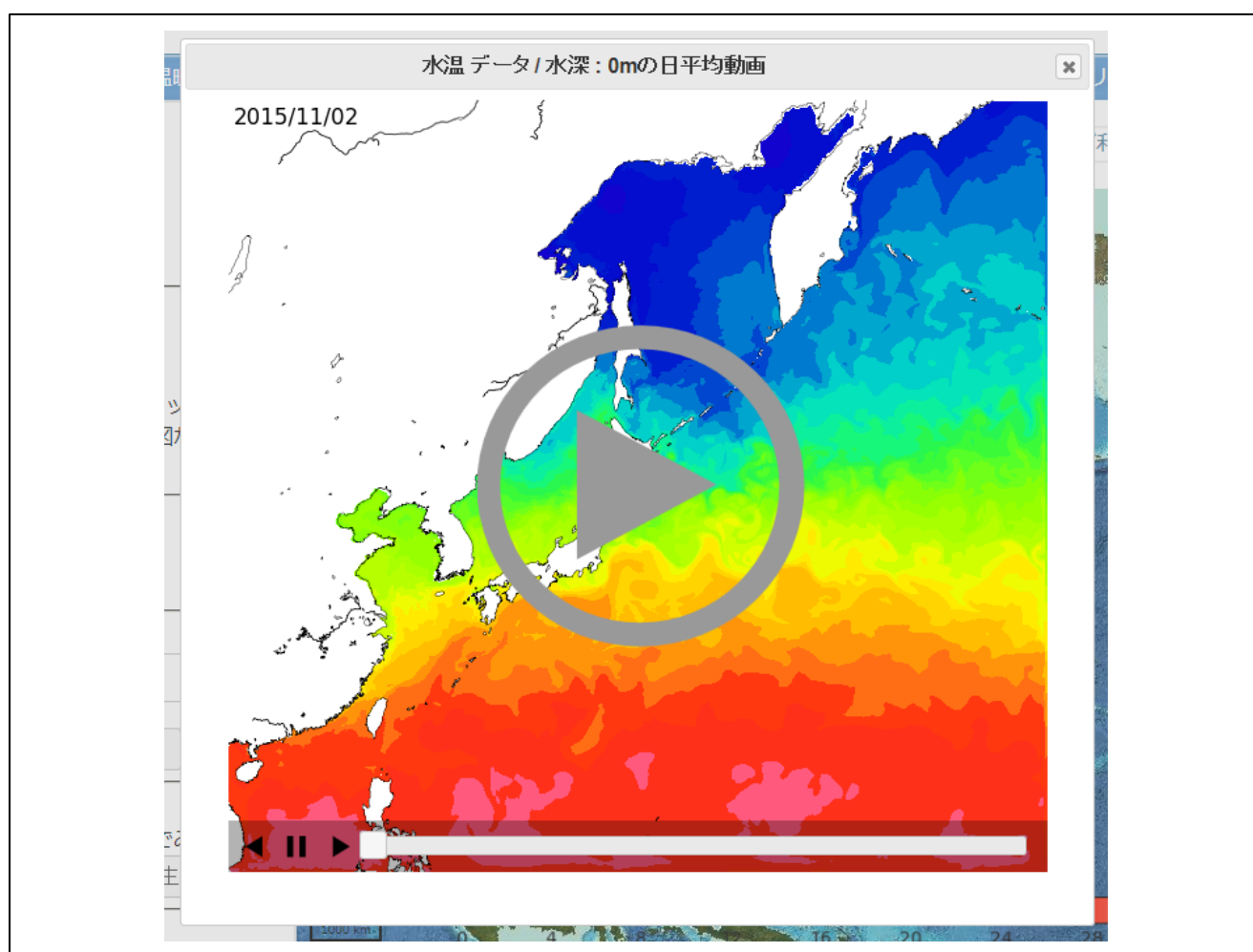


図 6 動画機能画面

4) 数値データ表示機能の構築（CMIP）

2018 年度には、数値データ表示の新機能として“CMIP（Coupled Model Intercomparison Project）の情報表示”を行う機能を追加した。本サイトの“海の予測情報” - “CMIP” から利用できる。

本機能は、2017 年度までに構築した“JCOPE_EC 情報の表示”機能の操作性を踏襲し、初めて使用する利用者でも直感的に操作が行えるようにしている。CMIP データは定期更新ではなく、月別で約 100 年分のデータ 4 シナリオ分を初期整備時に作成、ウェブサイトに登録し 2018 年 12 月から公開を開始した。

4 つのシナリオは、代表濃度経路シナリオ（Representative Concentration Pathways）に基づくものであり、RPC2.6（低位安定シナリオ；排出量が最も低いシナリオ）、RCP4.5（中位安定化シナリオ）、RCP6.0（高位安定シナリオ）及び RPC8.5（高位参照シナリオ；最大排出量に相当するシナリオ）である。図 7 に RPC2.6 と RPC8.5 における 2100 年のアラゴナイト飽和度の例を示す。

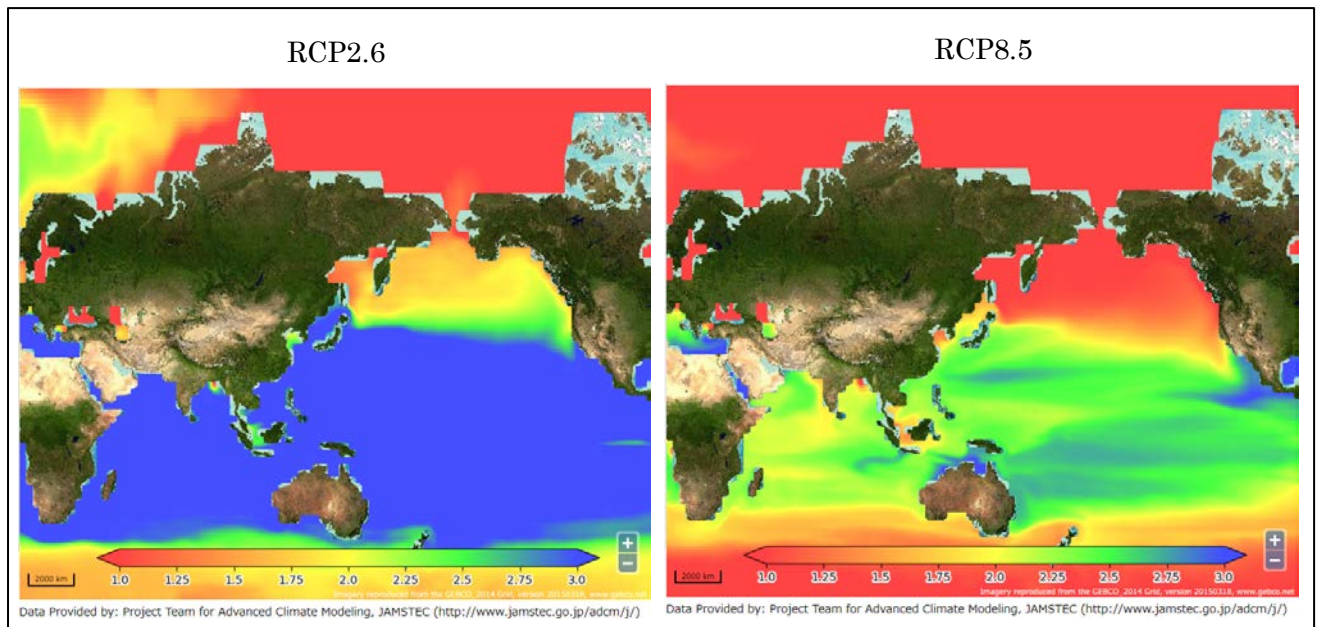


図 7 2100 年 12 月の RCP2.6 と RCP8.5 のアラゴナイト飽和度

- 基本機能

画面デザイン・レイアウト、面的表示機能、拡大縮小機能といった基本機能は、JCOPE_EC 版の“数値データ表示機能”を踏襲し、同一技術を用いて同様の操作性を実現している。

● データ選択・表示機能

データの選択は、サイドバーから表 4 に示す任意の条件で表示できるようにしている。データの選択条件が変更された際は、地図上の数値データ画像が即座に該当するデータへ切り替わるようにした。

表 4 データの選択条件

データの選択条件			画面初期表示時
データ種類	水温(°C)	いずれかを選択	デフォルト選択
	塩分		
	pH		
	アラゴナイト飽和度(Ω)		
断面方向	水平断面	水平断面を選択することで、水深を選択することが可能になる。 水深は以下から選択可能 0m,50m,100m,200m,500m,1000m,2000m,3000m※	デフォルト選択 0m
RCP シナリオ	RCP2.6	いずれかを選択	デフォルト選択
	RCP4.5		
	RCP6.0		
	RCP8.5		
表示年月	年月	2006/01～2100/12 の範囲内で選択	本日の年月

※水深は、わかりやすさのため、区切りの良い数字としているが、正確な水深はそれぞれ 2.5m、50m、110m、185m、550m、975m、2025m、3025m である。

- 動画機能

動画再生は、サイドバーの“表示年月”で指定した年月から再生が行われる。また、再生時に年月を順次切り替えるモードの他に、月を固定し再生するモードも用意した。JCOPE_EC 版と同様に一時停止、逆再生も行えるようにしている（図 8）。

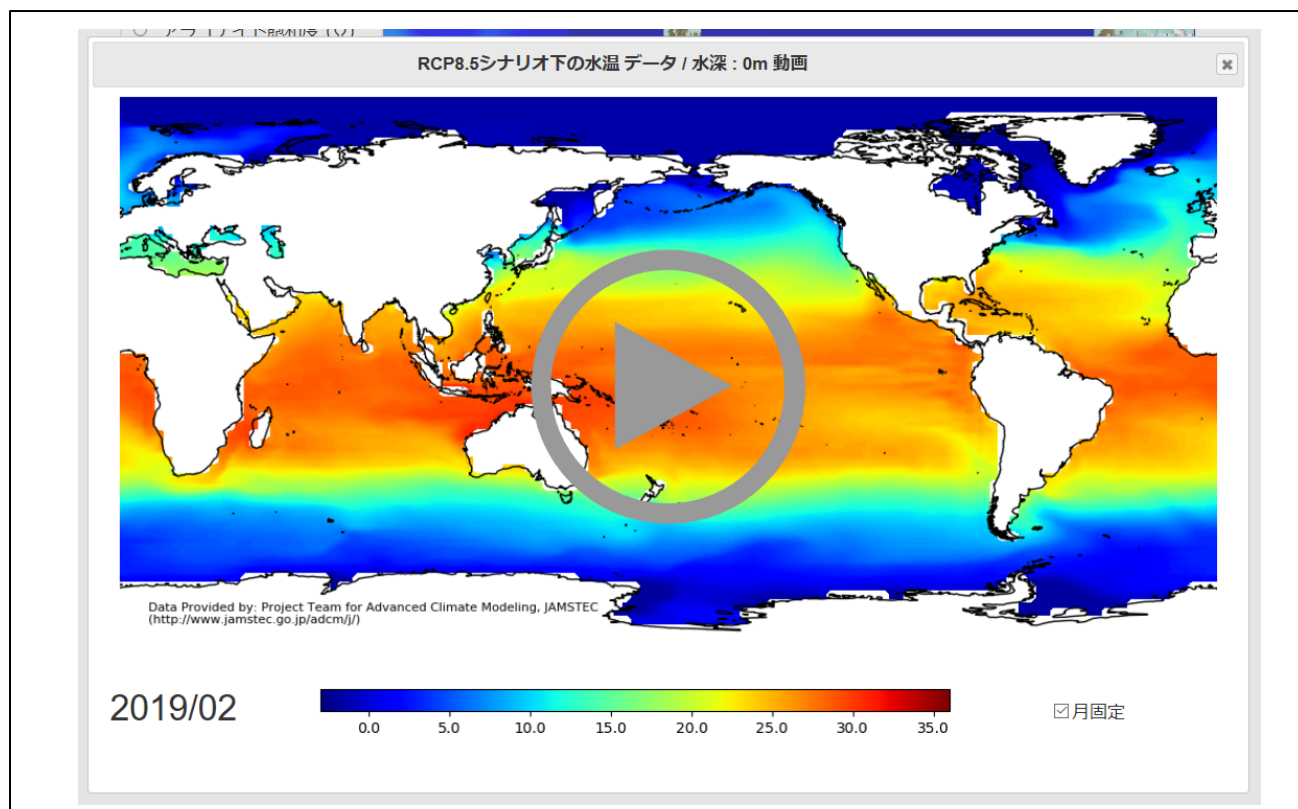


図 8 CMIP 情報表示の動画機能

5) HP の一部英語化

2018 年度に数値データ表示機能（JCOPE_EC 及び CMIP のコンテンツ）及び Home、サイトポリシーの英語化を行った。日本語、英語への切り替えは各サイトの“切り替えボタン”を押下することで行う。英語へ切り替えた場合は、英語化されていないコンテンツへの移動が出来ないようにメニューの制御を行っている（図 9、図 10）。

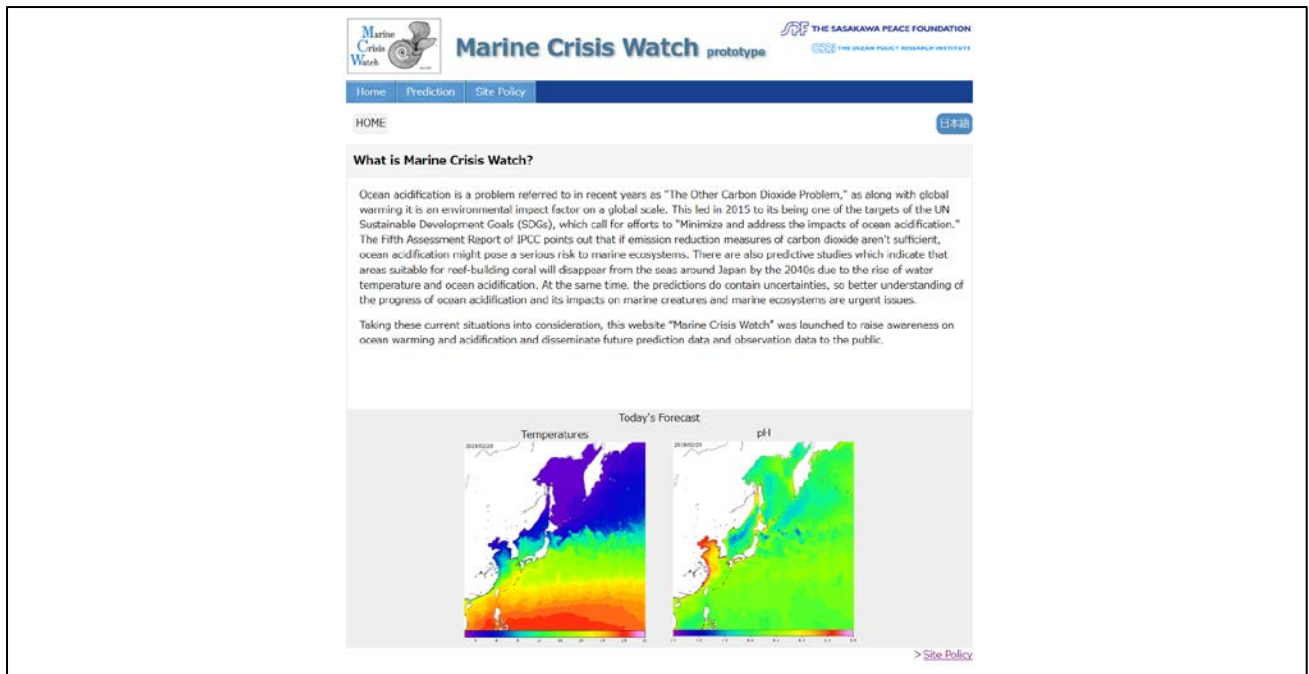


図 9 英語版トップサイト

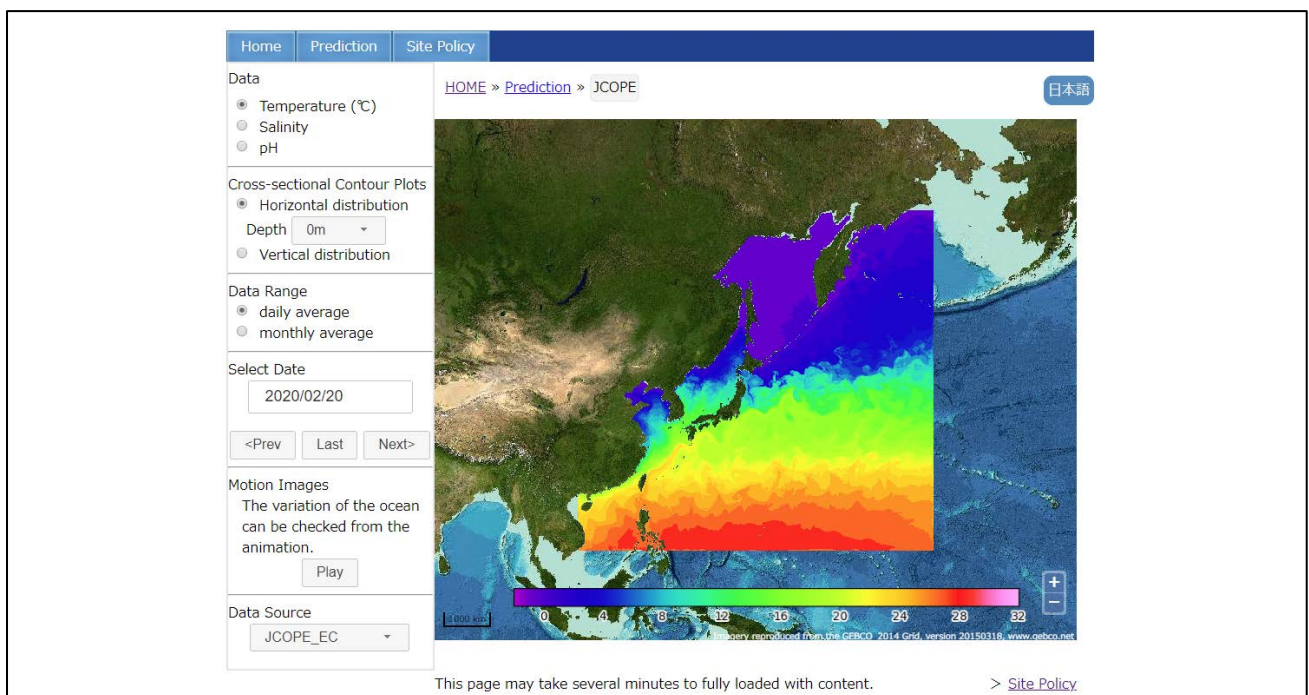


図 10 英語版海の予測画面

(2) 海の温暖化・海洋酸性化についての情報表示

「海の温暖化・海洋酸性化」及び「ニュース」のページは、統一レイアウトのもとでコンテンツ部分のみを容易に追加できることが重要であると考え、コンテンツマネジメントシステム(以下、CMS)を利用している。

一般的な CMS は製品自体にセキュリティホール問題が発生することが多々あり、CMS 製品自体が提供元によって今後もメンテナンスされることと、常に最新化作業を行うことが重要になる。CMS の多くはサイト利用者が操作する都度 HTML を動的に生成しており、そこにセキュリティホールが入り込む隙がある。

さらに、CMS を使ったサイト運用では、サイトへの攻撃を受けて改ざんが行われるなどの被害が発生した場合に備え、改ざんの早期に検知し、サイト停止などの処置を施して影響を最小限にとどめる必要がある。そのためには、定期的なシステム監視などの多くの労力が必要となる。

上記の様なセキュリティ等の問題に対応するため、CMS 製品の中から“Movable Type Open Source (以下、MTOS)”を採用している。“MTOS”の持つ機能の中で、高性能な HTML エディター、およびコンテンツ管理リポジトリとしてのみ利用することで、セキュリティホールが派生する危険性を低減化している。また、“MTOS”は利用者が操作する都度、動的に HTML を生成するのではなく、予め HTML を生成しておくことができる。生成した HTML 等をウェブサーバへ複製することでサイトが構築できるため、前述のセキュリティホールが入り込む隙を作らないウェブサイトの構築が可能である。

なお、「ニュース」のページの配信機能の構築では、既存の原稿をもとにコンテンツを作成し、ウェブサイトに登録している。また、「海の温暖化・海洋酸性化」のページでは、「学習コーナー」の「用語解説」のページに記載した用語とクロスリファレンスを行い、理解が進みやすいように工夫した。

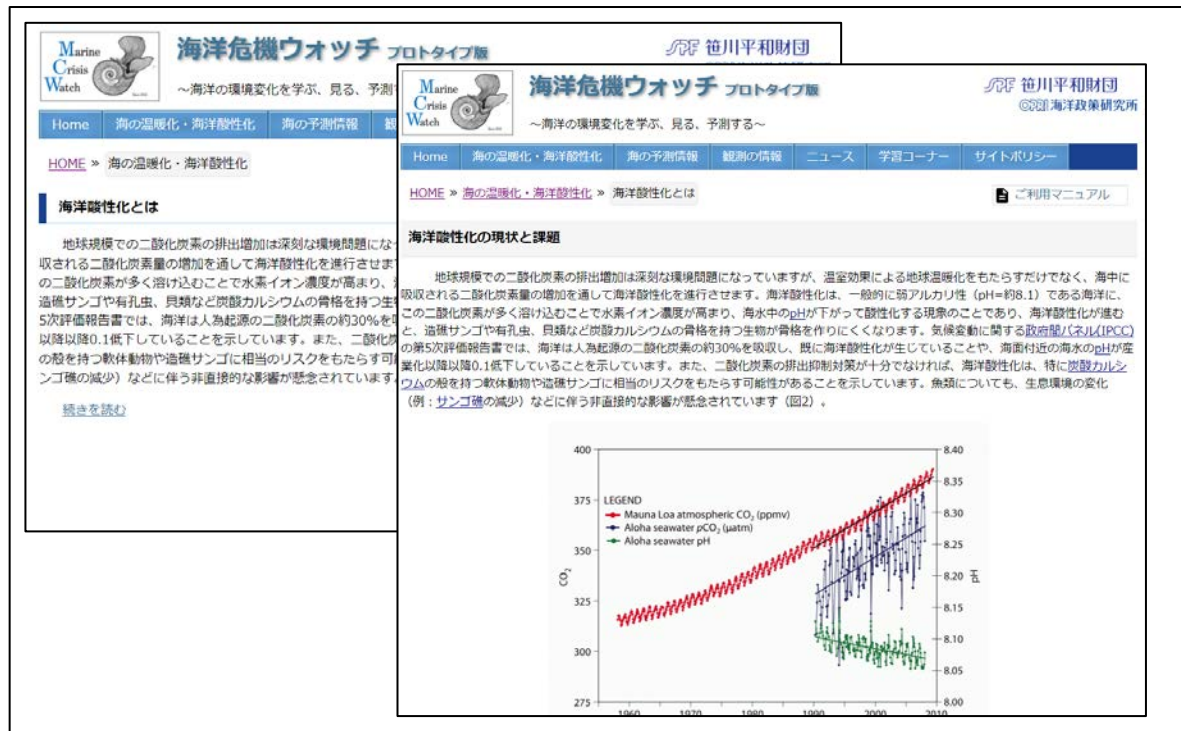


図 11 海の温暖化・海洋酸性化についての情報表示

(3) モニタリング（観測の情報）の表示

「観測の情報」のページの作成に当たっては、「海の温暖化・海洋酸性化」のページと同じく、MTOS を利用している。過年度は以下の既存の原稿をもとにコンテンツを作成し、本サイトへ登録している。

- ✓ 気象庁：表面海水中の pH の長期変化傾向(北西太平洋) (図 12)
- ✓ JAMSTEC：西部北太平洋亜寒帯域における pH の定点観測 (図 13)
- ✓ 筑波大学：【研究紹介】 日本国内の海洋酸性化研究（その 1） 一式根島の CO2 シープー (図 14)
- ✓ JAMSTEC：【研究紹介】 日本国内の海洋酸性化研究（その 2） 一津軽海峡にみる海洋酸性化— (図 15)

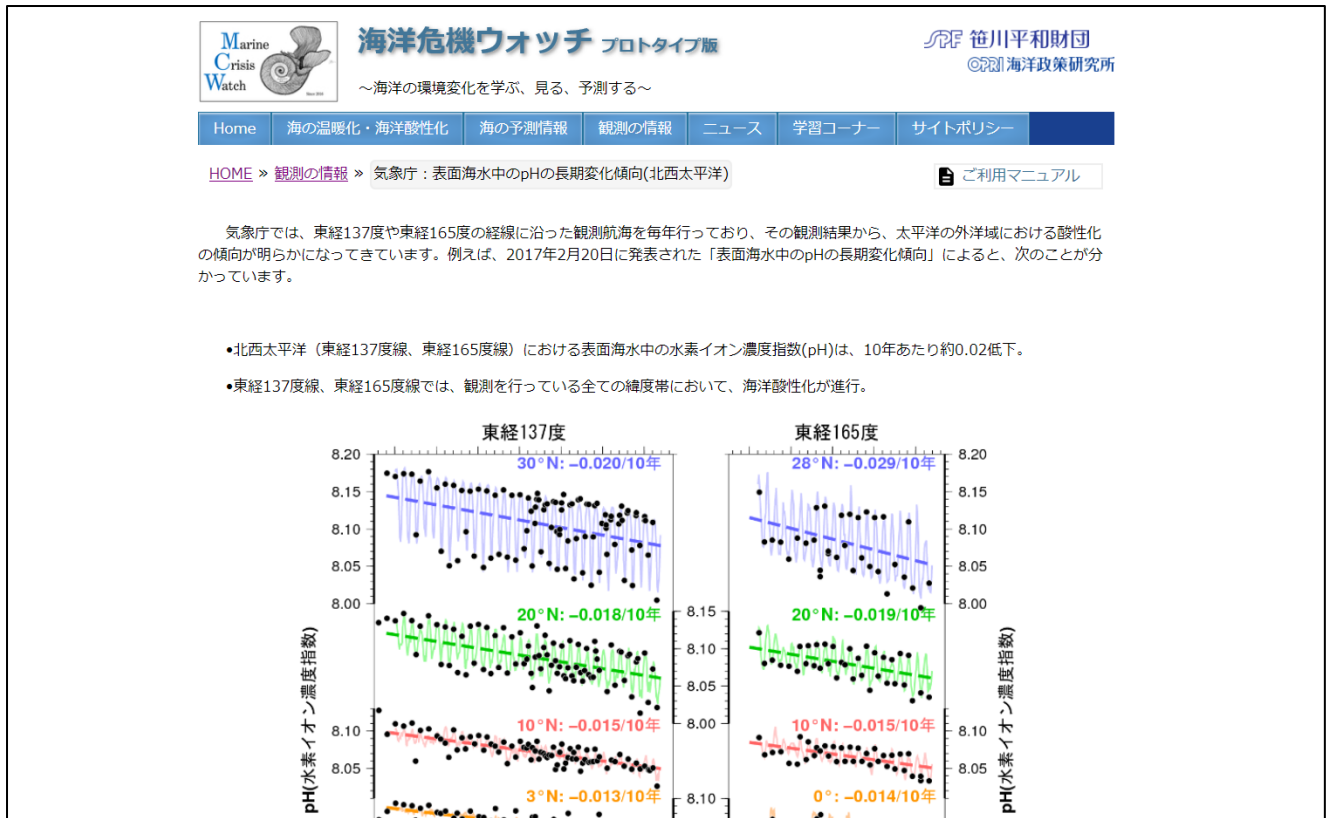


図 12 気象庁：表面海水中の pH の長期変化傾向(北西太平洋)

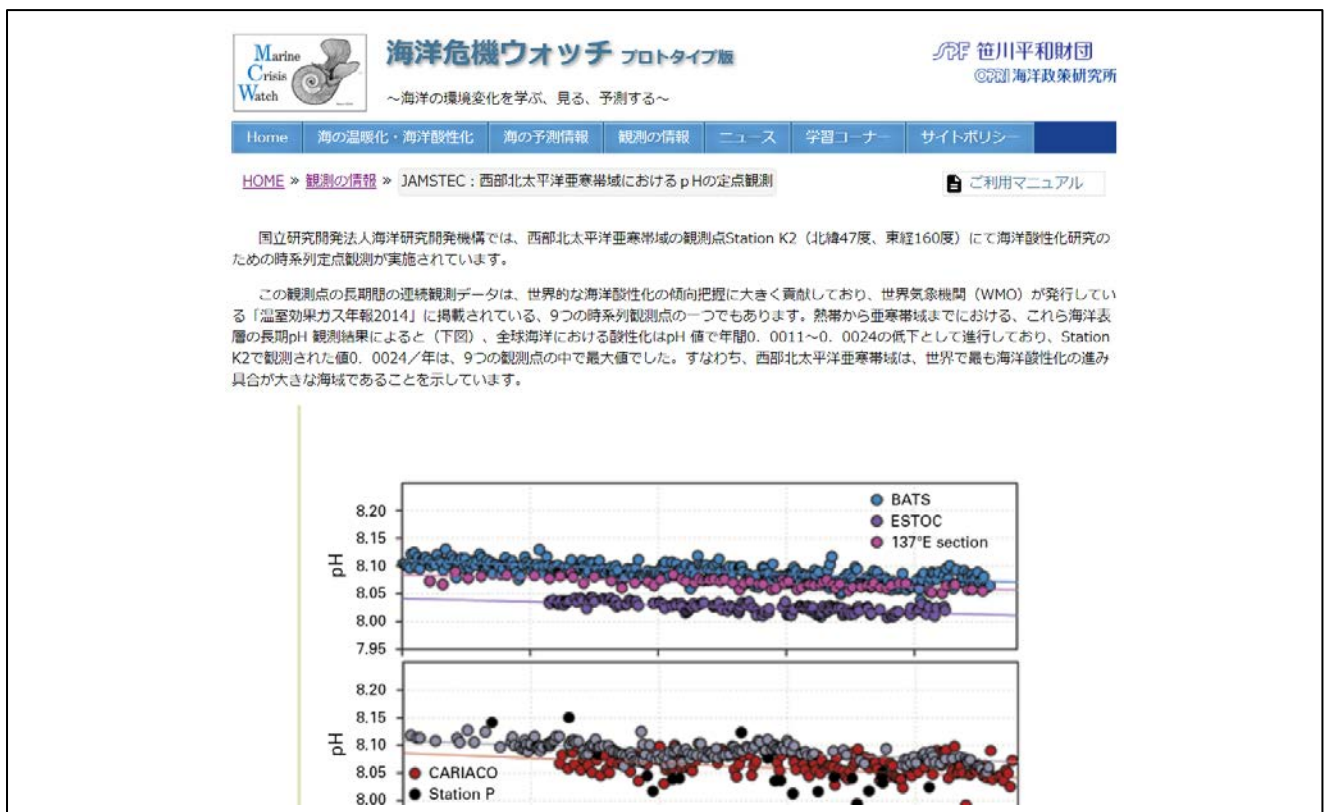


図 13 JAMSTEC：西部北太平洋亜寒帯域における pH の定点観測

The screenshot shows the homepage of 'Marine Crisis Watch' (海洋危機ウォッチ) with a navigation bar including Home, Marine Warming/Acidification, Marine Prediction Information, Observation Information, News, Learning Corner, and Site Policy. The 'News' section is active, displaying a list of recent news items on the left and a detailed article on the right. The article, dated April 20, 2018, is titled '【研究紹介】 日本国内の海洋酸性化研究（その1） 一式根島のCO2シープー' (Research Introduction: Japan's Marine Acidification Research (Part 1) - Iki Island CO2 Seep). The text describes the GOA-ON network and the experimental setup at Iki Island, where CO2 is released into the sea to study its effects on marine life. It mentions the use of pH sensors and the observation of biological responses. The article is attributed to Agostini et al. (2015) and Agostini et al. (2017).

図 14 筑波大学：【研究紹介】 日本国内の海洋酸性化研究（その1） 一式根島の CO2 シープー

The screenshot shows the same website with the 'News' section displaying a different article titled '【研究紹介】 日本国内の海洋酸性化研究（その2） 一津軽海峡にみる海洋酸性化―' (Research Introduction: Japan's Marine Acidification Research (Part 2) - Tsushima Strait Marine Acidification). Dated June 18, 2018, the article discusses the GOA-ON* network's goal to understand the progression of marine acidification. It focuses on the Tsushima Strait, where the Kuroshio Current meets the Tsushima Current. The text describes the installation of observation equipment (CTD and pH sensors) and the resulting data showing a significant decrease in pH over time. It also mentions the impact of CO2 emissions from the surrounding land and the need for continuous monitoring. The article is attributed to Agostini et al. (2015) and Agostini et al. (2017).

図 15 JAMSTEC：【研究紹介】 日本国内の海洋酸性化研究（その2）
一津軽海峡にみる海洋酸性化―

また、上記のコンテンツは“観測の情報”サイトの“観測データマップ機能”との連携を行っている。観測データマップ機能は、観測地点を地図上にポイントまたはラインで表し、マウスクリックで観測地点と連携した記事のリンクをポップアップ表示する（図 16）。観測データマップ機能への観測地点の追加は、サーバー側のデータファイルに追加するだけで簡単に行える仕組みとしている。

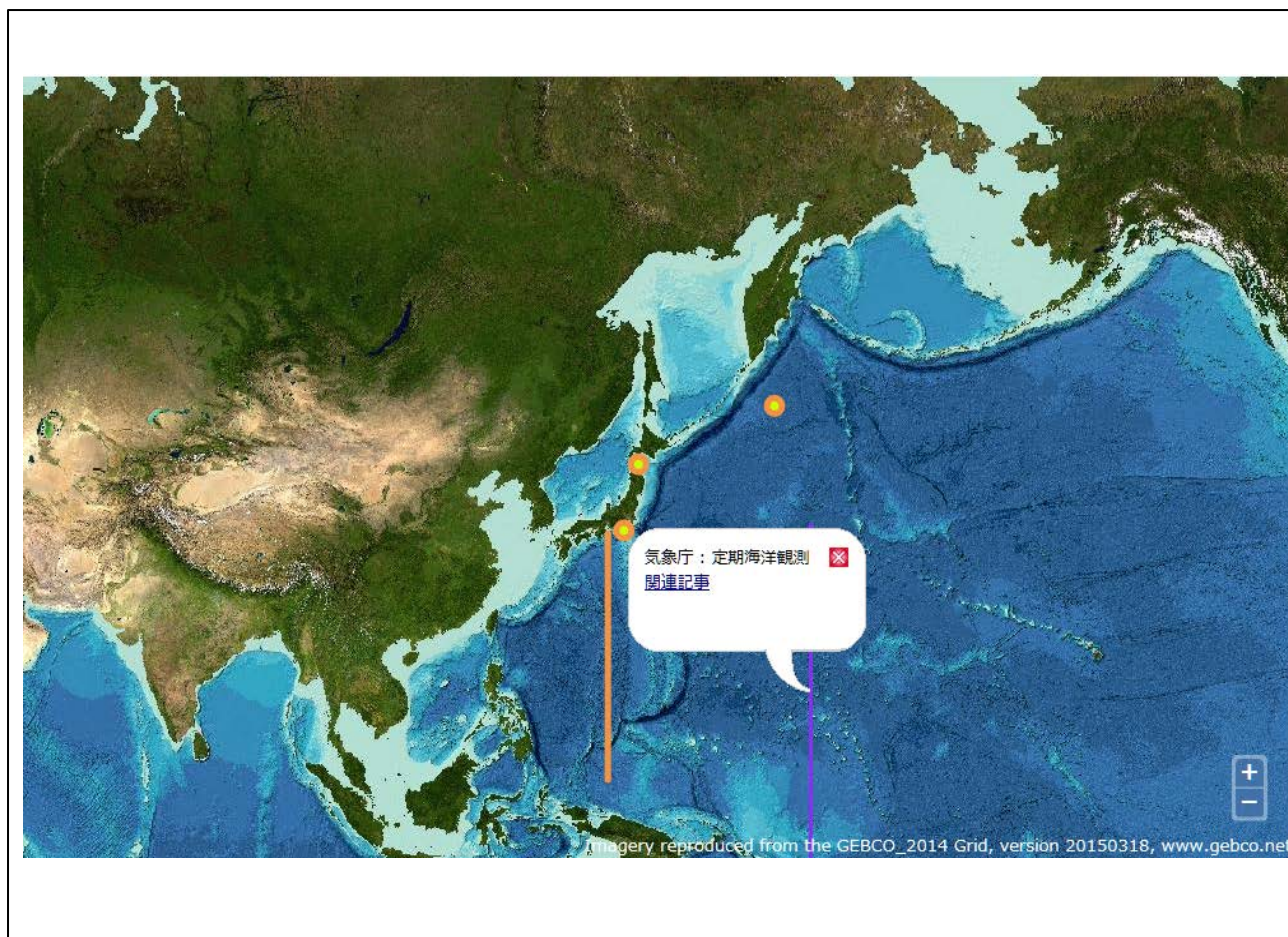


図 16 観測データマップ画面

(4) 海の温暖化・海洋酸性化に関する最新情報提供

海の温暖化・海洋酸性化に関する最新情報を提供する「ニュース」のページについても「海の温暖化・海洋酸性化」と同じく MTOS を利用して作成している。「ニュース」のページに掲載している海の温暖化・海洋酸性化に関する最新情報提供画面は図 17 のとおりである。

The screenshot shows the 'Marine Crisis Watch' website interface. The top navigation bar includes links for Home, 海の温暖化・海洋酸性化 (Ocean Warming and Acidification), 海の予測情報 (Ocean Forecasting), 観測の情報 (Observation Information), ニュース (News), 学習コーナー (Learning Corner), and サイトポリシー (Site Policy). The main content area is divided into two columns. The left column lists recent news items, including updates on IPCC reports and marine heat waves. The right column features a detailed article titled '【研究紹介】 海洋熱波 - marine heat waves -' dated September 6, 2019. The article discusses the impact of marine heat waves on marine ecosystems and includes references to scientific studies. The website also features a search bar and a 'ご利用マニュアル' (User Manual) link.

図 17 海の温暖化・海洋酸性化に関する最新情報提供画面

2017 年度では、海の温暖化・海洋酸性化に関する情報を配信するため、海外論文（Nature 等）から海の温暖化・酸性化に係るコンテンツ（表 5）を翻訳し、論文の概要原稿を作成した。また 2017 年度から 2018 年度にかけてトピック的なニュース記事（表 6）のコンテンツ配信を行ってきた。

表 5 海外論文

	タイトル	出典
1	Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification	O. Hoegh-Guldberg et al. Science 14 Dec 2007: Vol. 318, Issue 5857, pp. 1737-1742 DOI: 10.1126/science.1152509
2	Projecting Coral Reef Futures Under Global Warming and Ocean Acidification	John M. Pandolfi et al. Science 22 Jul 2011: Vol. 333, Issue 6041, pp. 418-422 DOI: 10.1126/science.1204794
3	Coral reefs in the Anthropocene	Terry P. Hughes et al. Nature 1 June 2017: Vol. 546, pp. 82-90 DOI:10.1038
4	Benthic coral reef calcium carbonate dissolution in an acidifying ocean	Bradley D. Eyre et al. Nature Climate Change 29 Oct 2014: Vol. 4, pp.969-976 DOI: 10.1038
5	Integrating the Effects of Ocean Acidification across Functional Scales on Tropical Coral Reefs	Peter J. Edmunds et al. BioScience May 2016: Vol. 66 No. 5, pp.350-362 DOI:10.1093/biosci/biw023
6	Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification	Jason M. Hall-Spencer et al. Nature 3 July 2008: Vol.454, pp.96-99 DOI: 10.1038/nature07051

表 6 キュレーター原稿

No.	タイトル	提出日	掲載日
1	【ニュース】国際シンポジウム「海洋における温暖化と酸性化～現状と今後の対応策～」開催	2017.08.09	2016.02.18
2	【ニュース】国連海洋会議開催		2017.06.12
3	【ニュース】国連海洋会議詳報—海洋酸性化に関連して	2017.08.25	2017.06.13
4	【研究紹介】地球の日傘が薄れる…？		2015.10.01
5	【ニュース】日本地球惑星科学連合大会	2017.09.08	2017.05.26
6	【イベント紹介】蘭越町貝の館 企画展『クリオネと海洋酸性化』開催		2017.04.21
7	【ニュース】日本海洋学会秋季大会	2017.09.22	2016.09.16
8	【イベント紹介】蘭越町貝の館 特別企画展示『もし海がなかったら』 および 特別講演会『海の温暖化と酸性化』		2017.09.08
9	【研究紹介】欧米の海洋酸性化教育事情	2017.10.06	2016.06.03
10	【イベント紹介】神奈川県立海洋科学高等学校 出張講義		2016.10.20
11	【イベント紹介】Our Ocean 2016 『Our Ocean, One Future』	2017.10.24	2016.09.23
12	【ニュース】日本海洋学会 2017 年度秋季大会開催		2017.10.20
13	【イベント紹介】第3回 JAMBIO 国際シンポジウム開催	2017.11.08	2016.09.26
14	【研究紹介】海洋酸性化の過去と現在を知る		2016.10.17
15	【イベント紹介】PICES-2017 Annual Meeting 開催	2017.11.22	2017.10.06
16	【研究紹介】極域に顕在化する海洋酸性化		2017.04.10
17	【イベント紹介】第3回 GOA-ON Science Workshop 開催	2017.12.08	2016.05.13
18	【研究紹介】海生生物への海洋酸性化の影響		2017.12.01
19	【事業紹介】海洋白書 2016	2017.12.22	2016.04.19
20	【イベント紹介】サイエンスカフェで海洋酸性化を知る		2016.04.06
21	【コラム】海洋酸性化を教える	2018.01.12	2017.06.02
22	【イベント紹介】海洋酸性化の観測モニタリング・トレーニングワークショップ		2017.12.22
23	【開催報告】「温暖化・海洋酸性化の影響と対策に関する国際会議～西太平洋におけるネットワーク構築に向けて～」開催	2018.01.24	2017.01.31
24	【イベント紹介】PICES-2016 Annual Meeting 開催		2016.12.09
25	【事業紹介】IPCC 評価報告書と海洋酸性化	2018.02.09	2018.02.08
26	【研究紹介】海洋酸性化と人工的海洋アルカリ化		2018.01.06
27	【事業紹介】モナコの海洋酸性化への取組み	-	2017.11.10
28	【イベント紹介】サンゴ礁生態系への海洋酸性化の影響に関する研究およびモニタリングに関する WESTPAC トレーニングワークショップ	2018.05.23	2018.02.08

No.	タイトル	提出日	掲載日
29	【研究紹介】 水産有用種に対する海洋酸性化の影響		2018.02.22
30	【事業紹介】 第3期海洋基本計画が決定	-	2018.05.17
31	【研究紹介】 外洋と沿岸域の海洋の貧酸素化	2018.06.19	2018.03.15
32	【研究紹介】 日本国内の海洋酸性化研究（その2） —津軽海峡にみる海洋酸性化—		2018.06.18
33	【事業紹介】 IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書		2018.06.04
34	【研究紹介】 世界の貧酸素化問題（1）沿岸域の富栄養化	2018.07.23	2018.04.05
35	【研究紹介】 日本海の貧酸素化		2018.05.28
36	【イベント紹介】 第4回国際シンポジウム「The Effects of Climate Change on the World's Oceans」開催		2018.07.06
37	【研究紹介】 世界の貧酸素化問題（2）沿岸域の温暖化と貧酸素化	2018.08.20	2018.06.28
38	【研究紹介】 今世紀における海洋酸性化の季節周期の変化		2018.07.13
39	【研究紹介】 南大洋の海洋酸性化		2018.07.25
40	【研究紹介】 身近な海に見る海洋酸性化の将来	-	2018.08.31
41	【研究紹介】 海中の音と海洋酸性化	<9月分>	2018.08.10
42	【研究紹介】 世界の貧酸素化問題（3）数値モデルと観測モニタリング		2018.08.20
43	【事業紹介】 海洋貧酸素化に向けた新たな政策のために	-	2018.09.07
44	【事業紹介】 波乗りで海洋モニタリング	<10月分>	2018.10.10
45	【研究紹介】 海洋酸性化のナチュラアナログ		2018.09.21
46	【事業紹介】 1.5℃の地球温暖化	2018.11.26	2018.11.09
47	【事業紹介】 海洋貧酸素化に対するキール宣言		2018.10.19
48	【ニュース】 日本海洋学会 2018 年度秋季大会開催		2018.10.30
49	【ニュース】 第156回海洋フォーラム「地球温暖化と海洋の貧酸素化—研究の最前線」開催	2018.12.21	2018.11.05
50	【事業紹介】 クレイアニメーション「もう一つの CO2 問題」日本語吹替版公開		2018.11.28
51	【ニュース】 PICES Annual Meeting 2018 開催		2018.11.22
52	「温暖化・海洋酸性化の研究と対策に関する国際シンポジウム —科学と政策の接点—」開催	2018.12.21	2018.11.15
53	【研究紹介】 プラネタリー・バウンダリー	2018.01.25	2018.12.13
54	【研究紹介】 海洋温暖化・酸性化と海洋生物		2018.12.26
55	【事業紹介】 北極の海洋酸性化—AMAP Assessment Report 2018		2019.01.11

(5) 教育コンテンツ提供

A) コンテンツ提供機能

「学習コーナー」についても、「海の温暖化・海洋酸性化」と同じく MTOS を利用して作成している。

配信機能の構築では、“キャロル・ターレー博士 インタビュー動画”と“もうひとつのCO2 問題”を登録している。2018 年度では新たに日本語吹き替え版を配信開始した（図 18）。

The screenshot displays the 'Marine Crisis Watch' website. The header includes the logo 'Marine Crisis Watch' and the title '海洋危機ウォッチ プロトタイプ版'. A navigation bar contains links: Home, 海の温暖化・海洋酸性化, 海の予測情報, 観測の情報, ニュース, 学習コーナー, and サイトポリシー. The '学習コーナー' (Learning Corner) link is active, leading to a page titled 'HOME >> 学習コーナー >> 映像紹介'. Below this, there is a section for 'Youtube動画' (YouTube Videos) with links to 'もうひとつのCO2問題' and its Japanese dub. The main content area features a video player for 'クレイアニメーション「もうひとつのCO2問題」日本語吹替版公開'. The video thumbnail shows a red octopus character with a green bow tie and a speech bubble that says '再生可能エネルギーを使って化石燃料をやめるんです！' (Let's stop using fossil fuels and use renewable energy!).

図 18 教育コンテンツ提供画面

B) 専門用語についての解説サイト作成

海の温暖化・酸性化に関する専門用語をピックアップし、解説サイトを作成している（図 19）。



Marine Crisis Watch

海洋危機ウォッチ プロトタイプ版

～海洋の環境変化を学ぶ、見る、予測する～

SPF 笹川平和財団
海洋政策研究所

Home 海の温暖化・海洋酸性化 海の予測情報 観測の情報 ニュース 学習コーナー サイトポリシー

HOME > 学習コーナー > 用語解説

ご利用マニュアル

用語解説目次

五十音順

あ行

- アラゴナイト飽和度 (Ω)
- アルカリ度
- アルゴフロート

か行

- 海洋酸性化
- 緩和策
- 国連気候変動枠組み条約締約国会議 (COP)

さ行

- サンゴ礁
- 生物多様性条約
- 石灰化



Marine Crisis Watch

海洋危機ウォッチ プロトタイプ版

～海洋の環境変化を学ぶ、見る、予測する～

SPF 笹川平和財団
海洋政策研究所

Home 海の温暖化・海洋酸性化 海の予測情報 観測の情報 ニュース 学習コーナー サイトポリシー

HOME > 学習コーナー > 用語解説 > アラゴナイト飽和度 (Ω)

ご利用マニュアル

アラゴナイト飽和度 (Ω)

炭酸カルシウムのうち、比較的溶けやすい結晶型であるアラゴナイトについて、化学平衡論ではアラゴナイト飽和度が1を下回ると溶解するとしています。アラゴナイト飽和度の低下は、骨格を形成する石灰化能力の低下・阻害を引き起こすことが知られています。

出典

1. 国立環境研究所ウェブサイト <https://www.nies.go.jp/whatsnew/2013/20130109/20130109.html>

> サイトポリシー

図 19 専門用語解説画面

以上を踏まえた、HP の構成と HP のデザインを図 20、図 21 に示す。

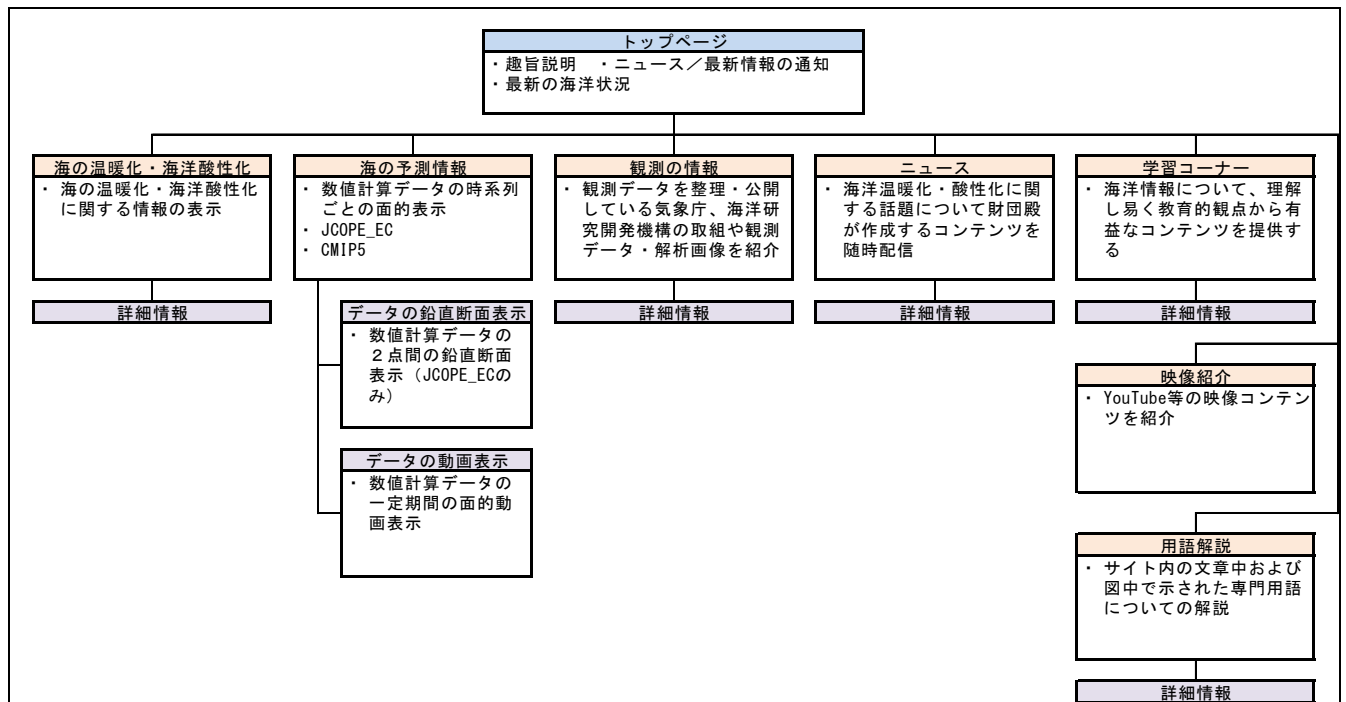


図 20 海洋危機ウォッチ HP のツリー構成

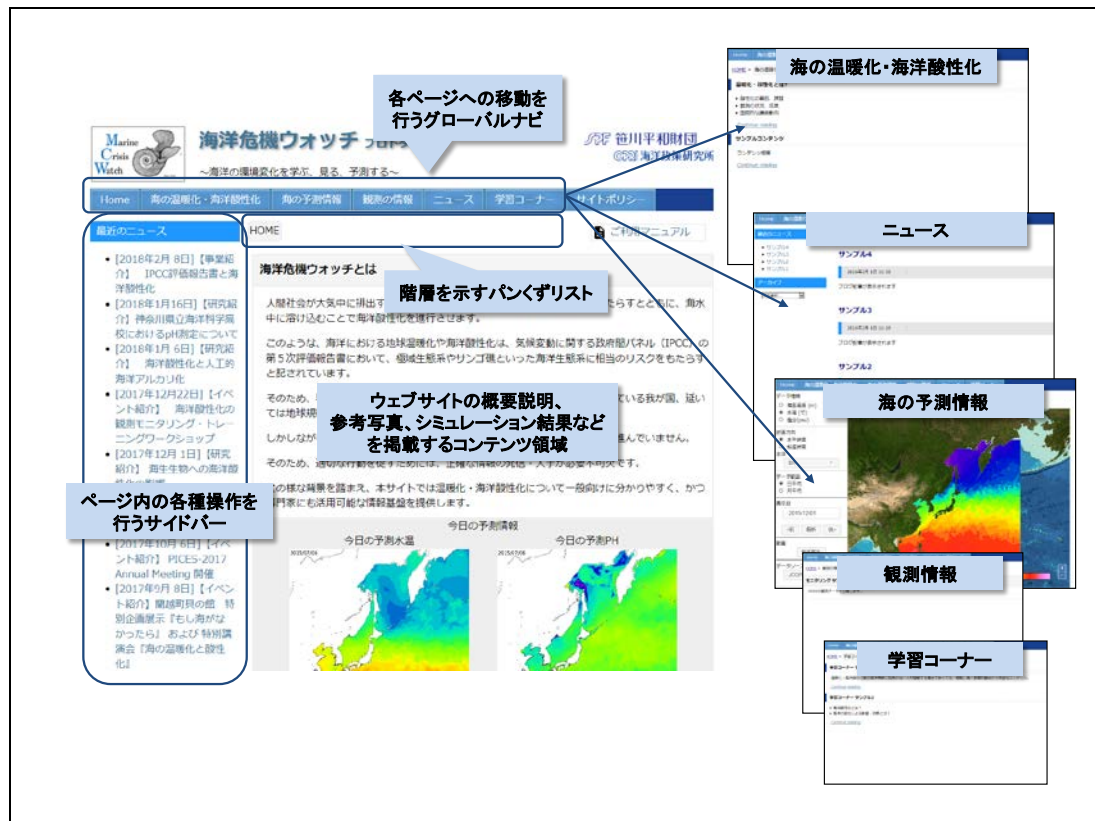


図 21 海洋危機ウォッチ HP のデザイン

1.2. Web サーバーの維持・管理

(1) JCOPE_EC を用いた pH 等の予測プロダクトの自動更新

本サイトでは、毎月1度、JAMSTEC の JCOPE_EC データ提供サーバーより、自動処理でのデータ取り込みを行っている。管理／運用では、この取り込み結果の確認及び取込処理のログを確認し異常が見つかった場合は即座に対応が行えるようにしている。2019 年度に行った結果確認の記録を表 7 に示す。

表 7 自動取り込み結果記録

取込実行日	確認完了日	結果	備考
5/4	5/7	問題無し	2019 年 5 月分
6/4	6/4	問題無し	2019 年 6 月分
7/2	7/4	問題無し	2019 年 7 月分
8/3	8/5	問題無し	2019 年 8 月分
8/30	9/2	問題無し	2019 年 9 月分
10/1	10/2	問題無し	2019 年 10 月分
10/31	11/1	問題無し	2019 年 11 月分
11/29	12/2	問題無し	2019 年 12 月分
12/26	12/27	問題無し	2020 年 1 月分
1/30	1/31	問題無し	2020 年 2 月分

(2) アラゴナイト飽和度の公開開始

昨年度の本サイト構築作業で実施したアラゴナイト飽和度のデータ公開は、精度の問題から本年度に先送りされていた。本年度改めてアラゴナイト飽和度の精度を確認した結果を図 22、図 23 に示す。同月の CMIP と JCOPE_EC の予測結果を比べてみると、特に日本海側で隔たりがある。そのため、本年度においてもアラゴナイト飽和度の公開を見送ることとした。

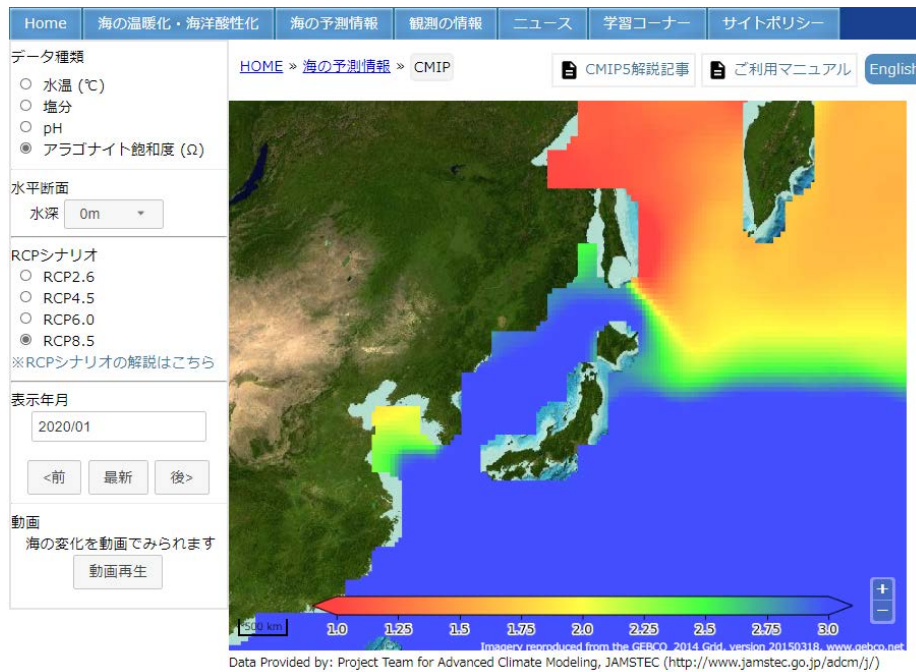


図 22 CMIP RCP8.5 シナリオ アラゴナイト飽和度

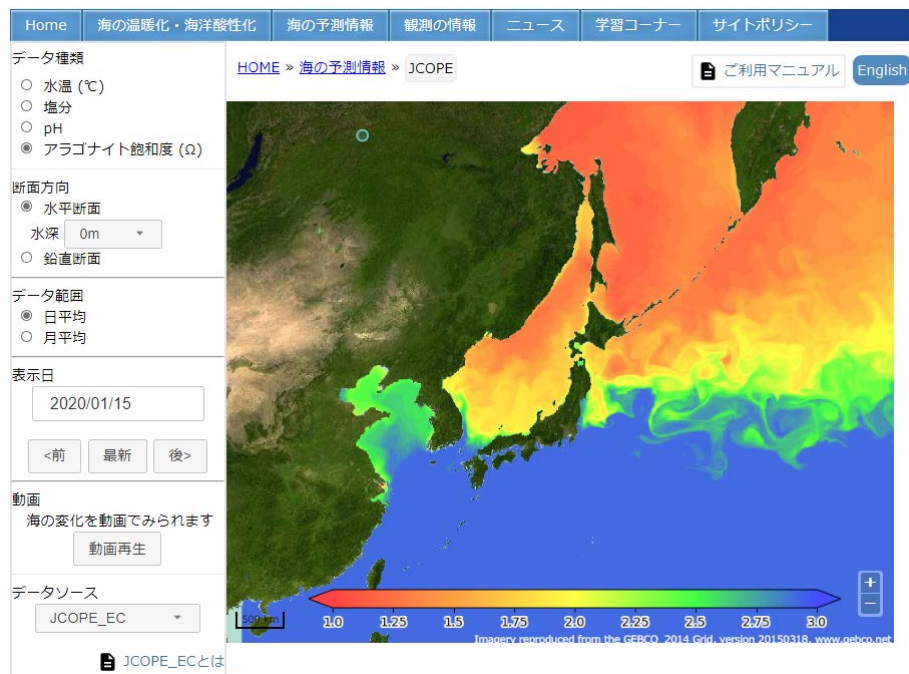


図 23 JCOPE_EC アラゴナイト飽和度

(3) Web サーバーの空き容量確保

本サイトでは、膨大な数値データからリアルタイムにデータを加工し、可視化データを生成、表示する機能を有する。そのためのサービスを稼働させるサーバー計算機も高性能かつ大容量のデータ保存領域が必要となる。本サイト運用開始時には 3 年間の運用に必要最小限となるスペックのサーバー計算機を用意していたが、CMIP などその後の機能追加により本年度中に保存領域の

不足することを予測していた。そのため、2015 年の JCOPE データをサーバー計算機から削除することで、この問題を回避する計画としていた。

データ削除作業は 6 月に実施し、保存領域が 200GB(空き容量 33.3%)とすることが出来た。その結果、本年度中に保存領域が不足する問題は回避することが出来た。

(4) Web サイトアクセス解析

本サイトで記録しているアクセスログを使ってアクセス解析を実施した。アクセス解析は、2018 年度分、2019 年度前半（2019 年 4 月～2019 年 9 月）、2019 年度後半（2019 年 10 月～2019 年 1 月）の計 3 回実施している。

年月別の訪問数及び PV を表 8、図 24、図 25 に示す。2018 年、2019 年共に 10 月の訪問数、PV が大きく伸びている。これは毎年実施しているシンポジウムへの参加者向けに本サイトを紹介していることが大きな要因だと考えられる。

※訪問数：1 ヶ月間のアクセス総数。同日であっても 60 分以上置いて同じ IP アドレスから 2 回アクセス数があれば、2 としてカウントされる。

※PV：表示されたページ数。サイト内のページが何回表示されたかを表す。

表 8 対象年月毎の訪問数、PV

年	月	訪問数	PV	年	月	訪問数	PV
2018 年	4 月	13	38	2019 年	4 月	159	558
	5 月	21	63		5 月	196	442
	6 月	23	97		6 月	238	698
	7 月	34	121		7 月	326	868
	8 月	54	237		8 月	180	432
	9 月	43	140		9 月	511	1,314
	10 月	364	1,987		10 月	1,060	3,997
	11 月	111	515		11 月	563	1,634
	12 月	214	764		12 月	623	1,283
2019 年	1 月	261	936	2020 年	1 月	618	1,099
	2 月	235	644				
	3 月	226	536				

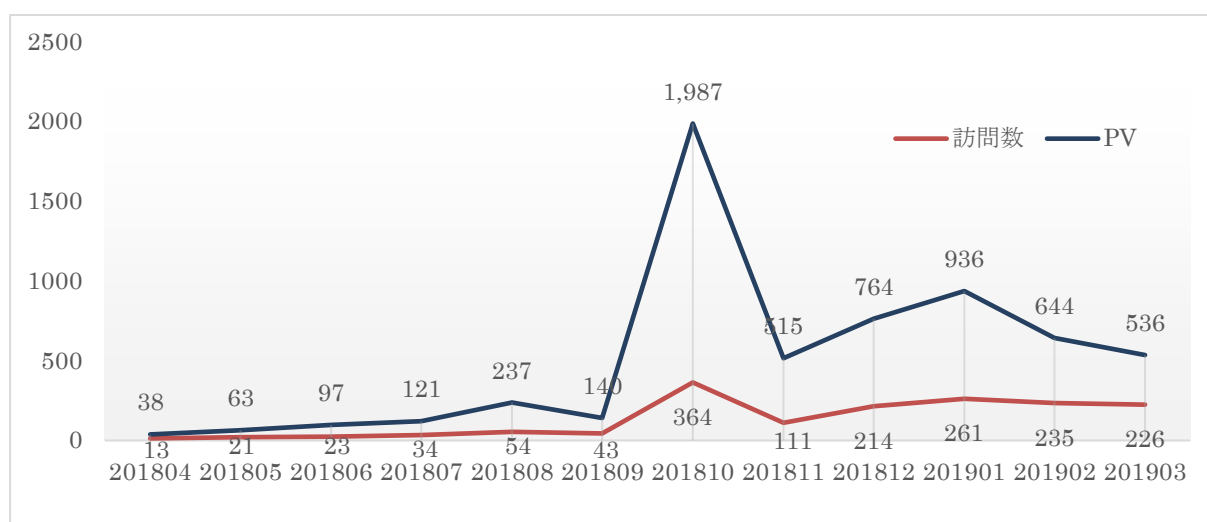


図 24 2018 年度 PV・訪問数の推移

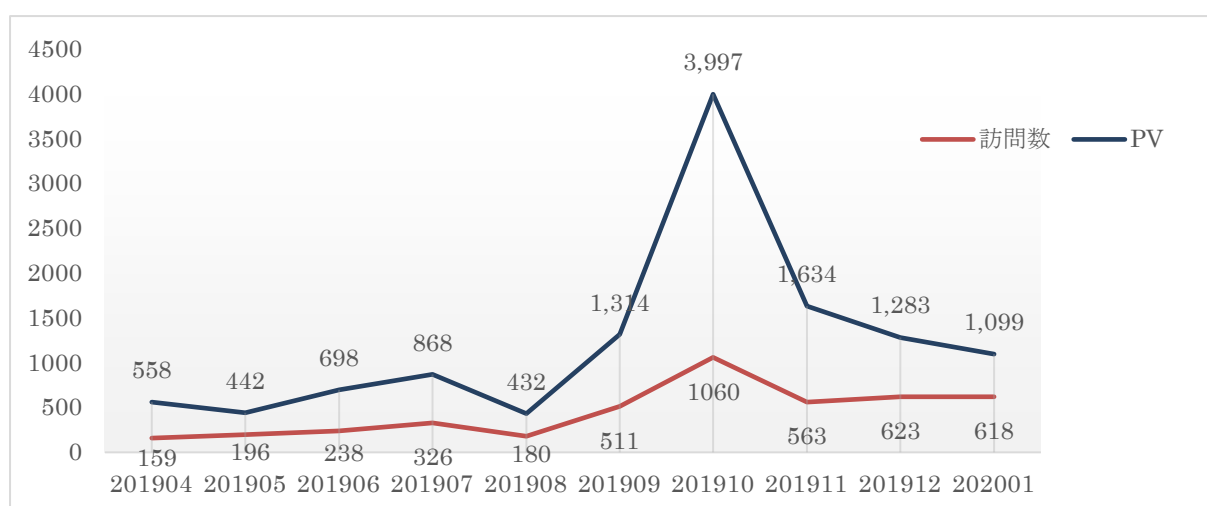


図 25 2019 年度 PV・訪問数の推移

また、階層別の PV をカウントした表 9 に示す。PV 件数からニュースに人気が集まっている傾向がうかがえる。逆に温暖化・酸性化予測データをわかりやすく可視化した「海の予測情報」は PV が伸びていない傾向がわかった。

表 9 2018、2019 年度階層別 PV 件数

ファイルパス	PV 件数	備考
/	858	HOME (リダイレクト元)
/mcwatch/	3,918	HOME
/mcwatch/archives/	262	ニュース
/mcwatch/archives/2015/	8	ニュース
/mcwatch/archives/2016/	5	ニュース
/mcwatch/archives/2017/	167	ニュース

/mcwatch/archives/2018/	2,100	ニュース
/mcwatch/archives/2019/	887	ニュース
/mcwatch/archives/assets_c/	162	
/mcwatch/assets_c/2018/	83	
/mcwatch/assets_c/2019/	27	
/mcwatch/learn-about/	172	学習コーナー
/mcwatch/learn-about/terminology/	468	学習コーナー>>用語解説
/mcwatch/learn-about/youtube/	182	学習コーナー>>映像紹介
/mcwatch/monitoring/	674	観測の情報
/mcwatch/OceanAcidification/	1,481	海の温暖化・海洋酸性化
/mcwatch/policy/	143	サイトポリシー
/mcwatch/prediction/	735	海の予測情報
/mcwatch/prediction/cmip/	177	海の予測情報>>CMIP
/mcwatch/prediction/jcope/	370	海の予測情報>>JCOPE
/mcwatch/webapi/contour/	105	
/mcwatch/webapi/date_range/	1,049	
/mcwatch/webapi/month_list/	1,056	
/mcwatch/webapi/today_img/	3,198	

その他、アクセス元のホスト名そのものやドメインをたどり分類すると、国の機関や大学からのアクセスが多くみられた。特に 2019 年後半に東京大学からのアクセスが多くみられる。2019 年 7 月頃に東京大学へサイト紹介を行ったことの影響があったものと思われる。

(5) サーバーの保守及び監視

情報提供を安定的に実施するには、様々なトラブルを未然に防ぐことが重要であり、その為の作業が本サイト及びサーバー計算機の保守及び監視である。本年度では、定期的に保守及び監視作業を実施しトラブルなく運用を行ってきた。

表 10 に保守及び監視作業の記録を示す。

表 10 保守及び監視作業記録

対象月	実施日	ディスク 空き容量 (%)	ウィルス対 策ログ	不正アクセ ス	結果
4 月	2019. 04. 11	19. 5%	OK	OK	空き容量 NG
5 月	2019. 05. 15	16. 7%	OK	OK	空き容量 NG
6 月	2019. 06. 12	14. 5%	OK	OK	空き容量 NG

対象月	実施日	ディスク 空き容量 (%)	ウィルス対 策ログ	不正アクセ ス	結果
7 月	2019. 07. 16	29. 3%	OK	OK	
8 月	2019. 08. 14	28. 0%	OK	OK	
9 月	2019. 09. 12	25. 5%	OK	OK	
10 月	2019. 10. 10	23. 0%	OK	OK	
11 月	2019. 11. 14	22. 0%	OK	OK	
12 月	2019. 12. 12	17. 0%	OK	OK	空き容量 NG
1 月	2020. 01. 15	15. 4%	OK	OK	空き容量 NG
2 月	2020. 02. 12	11. 6%	OK	OK	空き容量 NG

(6) コンテンツの追加作業

2017 年度から 2018 年度にかけてトピック的なニュース記事は表 6 に示したとおり 55 本の記事の配信を行ってきた。本年度はさらに 3 件のニュース記事の配信を行い、計 58 本のニュース記事が配信されている（表 11）。

表 11 本年度配信したキュレーター原稿

No.	タイトル	掲載日
56	【ニュース】 国連気候変動枠組条約第 50 回補助機関会合 (SB50) におけるサイドイベント開催	7/30
57	【用語解説】「IPCC 第 5 次評価報告書の将来予測に使用される RCP シナリオ」	8/20
58	【研究紹介】 海洋熱波 —marine heat waves—	9/6

1.3. 機能試験

本年度は機能改修や不具合の発生が無く、機能試験の実施が必要無かった。

2. 補足資料「海洋危機ウォッチ システム利用マニュアル」

1. はじめに

海洋危機ウォッチをご利用いただきまして、ありがとうございます。本サイトでは、温暖化・海洋酸性化について一般向けに分かりやすく、かつ専門家にも活用可能な情報発信を目指して構築しております。

2. 全体構成

本サイトの全体構成は、以下に分かれます。

- Home
- 海の温暖化・海洋酸性化
- 海の予測情報
- 観測の情報
- ニュース
- 学習コーナー

トップサイト URL

(<https://www.marinecrisiswatch.jp/>) にアクセスすると“Home”ページが表示されます。



各ページには、グローバルナビから選ぶことで移動できます。



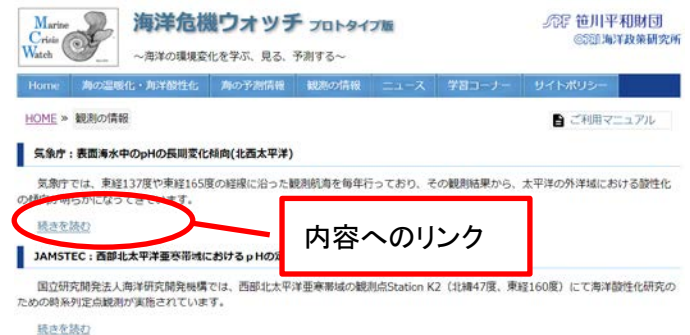
3. Home

“Home”ページは、本サイトのトップページとなります。“サイト概要の説明”と、“最新のニュースタイトル一覧”、“今日の予想情報”を表示します。

4. 海の温暖化・海洋酸性化

海の温暖化・酸性化情報を随時発信するページです。最初にそれぞれの記事のタイトルと概要が表示されます。

記事の内容を表示するには、“続きを読む”から辿ります。



5. 海の予測情報

“海の予測情報”ページでは、予測情報の詳細を地図上で確認できます。

JCOPE_EC または、CMIP5 による予測情報をそれぞれのページで確認することが出来ます。

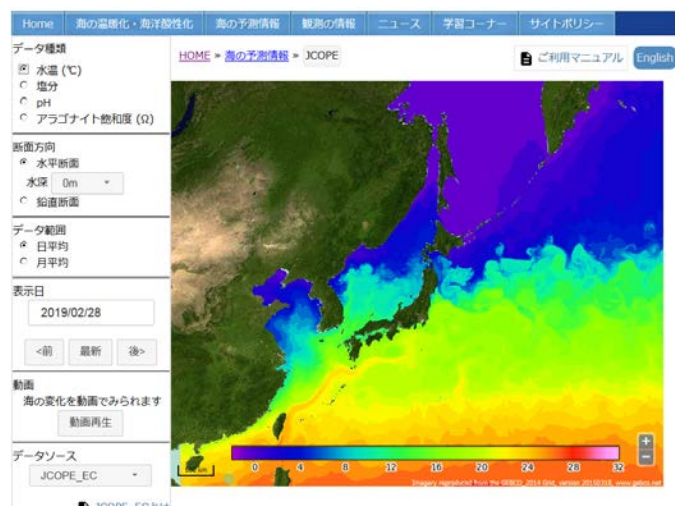
グローバルナビ または、 海の予測情報ページからそれぞれの予測情報ページへ移動できます。

海洋危機ウォッチ プロトタイプ版

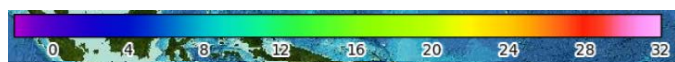
～海洋の環境変化を学ぶ、見る、予測する～



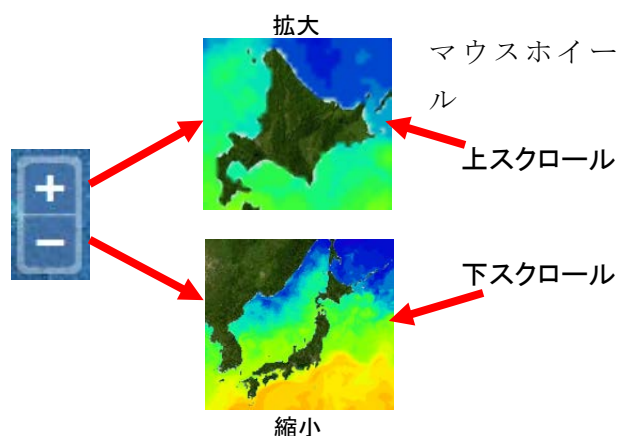
5.1. JCOPE_EC・CMIP ページで共通の機能



予測情報は地図上にレベルごとに色分けされて表示されます。色がどのレベルになるかは、カラーバーで確認できます。



地図の拡大縮小は、画面上の“＋”ボタンで操作するか、マウスホイールで行う事が出来ます。



地図のスケールは、スケールバーで確認できます。



5.2. JCOPE_EC ページの機能

予測情報の切り替えは、サイドバーを操作して行います。サイドバーの操作で即座に地図上のデータが切り替わります。

“データ種類”では、“水温(℃)”、“塩分”、“pH”、“アラゴナイト飽和度(Ω)”を切り替えることが出来ます。

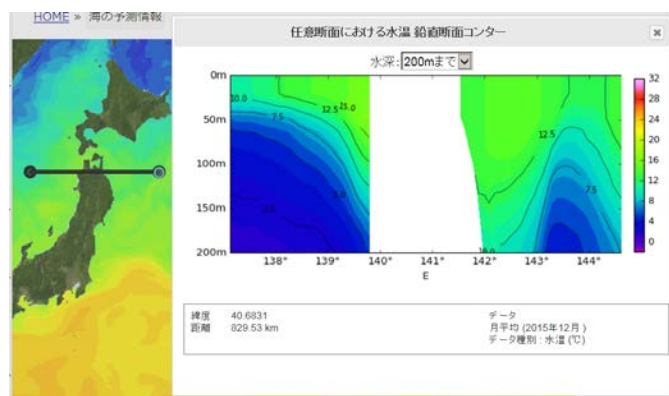
“断面方向”では、“水平断面”を選んだ場合に、“水深”を選択できます。

“データ範囲”では“日平均”と“月平均”が選べます。

“表示日”は“データ範囲”が“日平均”の場合は日付を、“月平均”の場合は、年月を選択できます。

“データソース”は“JCOPE_EC”のみとなります。

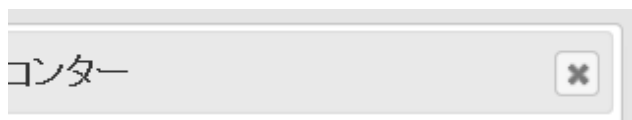
“断面方向”で“鉛直断面”を選んだ場合は、地図上の2点を選ぶことで、鉛直断面コンターを表示する事が出来ます。



鉛直断面コンターはポップアップ画面で表示され、画面内で水深を切り替える事が出来ます。

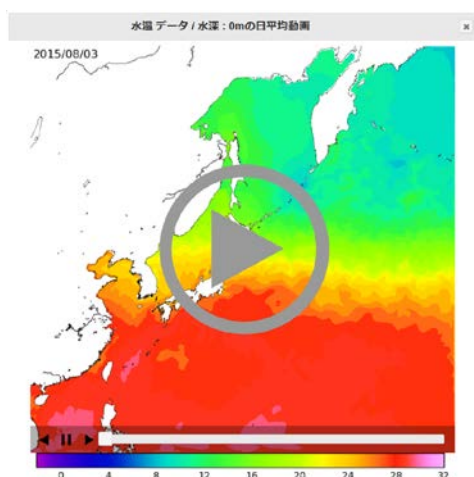
ポップアップ画面は、右上の“×”ボタンを押すと、

元の画面に戻れます。



“動画再生” ボタンを押すと、日平均や月平均の予測データの移り変りをアニメーションで見ることができます。

ポップアップ画面で表示され、画面下部のボタンを使い“再生”、“逆再生”、“停止”を行う事が出来ます。また、スクロールバーを操作して任意の日付、年月に移動する事ができます。



“動画再生” は日平均の場合は30日、月平均の場合は12か月のデータが再生されます。

5.3. CMIP ページの機能

予測情報の切り替えは、サイドバーを操作して行います。サイドバーの操作で即座に地図上のデータが切り替わります。

データ種類	
☒	水温 (°C)
☐	塩分
☐	pH
☐	アラゴナイト飽和度 (Ω)
水平断面	
水深	0m
RCPシナリオ	
☐	RCP2.6
☐	RCP4.5
☐	RCP6.0
☒	RCP8.5
表示年月	
2018/12	
<前 最新 後>	
動画	
海の変化を動画でみられます	
動画再生	

“データ種類” では、“水温(°C)”、“塩分”、“pH”、“アラゴナイト飽和度(Ω)” を切り替えることができます。

“水平断面” では、地図に水平断面で表示されているデータの水深を切り替えることができます。水深は、0m、50m、100m、200m、500m、1000m、2000m、3000m から選択できます。これらの水深はわかりやすさのため、区切りのよい数字としていますが、正確な水深はそれぞれ 2.5m、50m、110m、185m、550m、975m、2025m、3025m となっています。

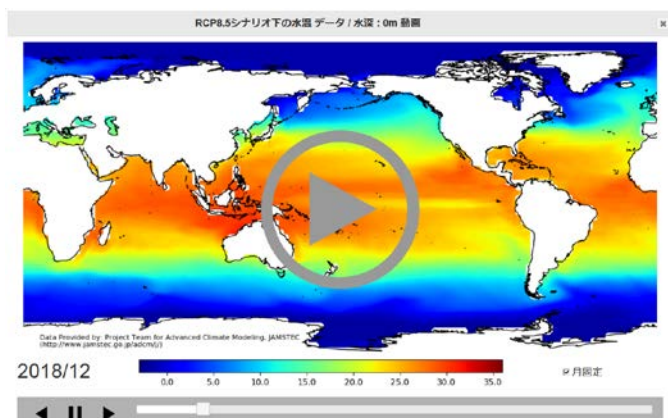
“RCP シナリオ” では、温室効果ガスの濃度変化の異なる 4 つのシナリオを選ぶことができます。

“表示日” は表示するデータの年月を選択できます。

“動画再生” ボタンを押すと、予測データの移り変りをアニメーションで見ることができます。

ポップアップ画面で表示され、画面下部のボタンを使い“再生”、“逆再生”、“停止”を行う事が出来ます。また、スクロールバーを操作して任意の日付、年月に移動する事ができます。

“月固定” のチェックボックスにチェックを入れると、季節を固定した状態で、年ごとの変化を確認できます。



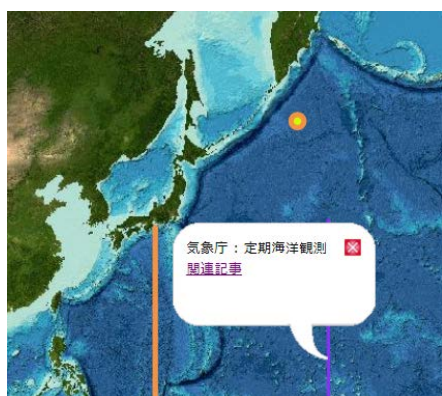
“動画再生”は2006年1月から2100年12月までのデータを全て再生します。

6. 観測の情報

観測データを整理・公開している気象庁および海洋研究開発機構の取組や観測データ・解析画像を紹介するページです。



地図上に表示した調査地点から、関連記事への移動が出来ます。



7. ニュース

最新の主要雑誌の論文や UNFCCC/COP21 等の国際会議で挙げられた温暖化・海洋酸性化に関する話題について発信するページです。

直近のニュースは、サイドバー上部“最新のニュース”にタイトルが一覧表示されます。

それ以前のニュースには、サイドバーの“アーカイブ”から年月を選択することで辿れます。



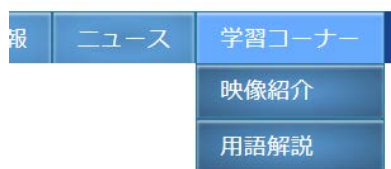
“ニュース”ページを表示した直後は、ニュース記事のタイトルと、記事の先頭部分が一覧表示されます。ニュース記事のタイトルから、記事本文へ辿ることが出来ます。



8. 学習コーナー

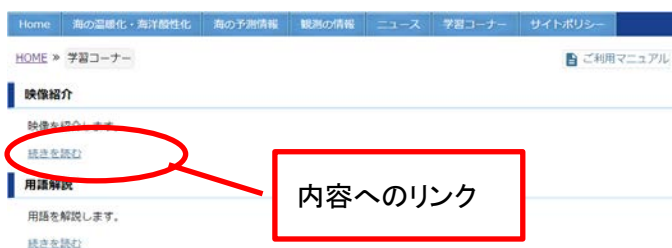
“学習コーナー”ページでは、温暖化・海洋酸性化等の海洋情報に知見のない人が閲覧する場合であっても、理解し易く教育的観点から有益なコンテンツを提供するページです。

“学習コーナー” ページの他に、サブカテゴリーとして“映像紹介”と“用語解説”を設けております。



“学習コーナー” ページでは、最初にそれぞれの記事のタイトルと概要が表示されます。

記事の内容を表示するには、“続きを読む”から辿ります。



“映像紹介” ページでは、笹川平和財団が作成した動画を紹介します。



“用語解説” ページでは、本サイト内の文章中および図中で示された専門用語について解説します。



9. サイトポリシー

サイトポリシーは以下のリンクからご覧いただけます。

<https://www.marinecrisiswatch.jp/mcwatch/policy/index.html>

2019 年度 温暖化・海洋酸性化の研究と対策 報告書

2020年 3 月発行

発行 公益財団法人笹川平和財団 海洋政策研究所

〒105-8524 東京都港区虎ノ門 1-15-16 笹川平和財団ビル

TEL 03-5157-5210 FAX 03-5157-5230

https://www.spf.org/_opri/

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。

海洋政策研究所は、日本財団の支援を受けて活動をしています