

北海道周辺沿岸海域における海面水温の近未来予測値 (資料)

品田晃良

北海道立総合研究機構中央水産試験場

Near-future predictions of sea surface temperature in the coastal areas around Hokkaido, Japan (Note)

AKIYOSHI SHINADA

Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido, 046-8555, Japan

キーワード：海面水温，将来予測，地球温暖化，データベース，北海道周辺沿岸海域

海洋は，地球温暖化によって地球全体に蓄積された9割以上の熱エネルギーを吸収しているため，温暖化が進行している（気象庁，https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki_ondanka/p10.html，2020年9月28日閲覧）。近年，北海道周辺海域でも地球温暖化の影響と考えられる海面水温の上昇が報告されている。田中（2008）は，宗谷岬から松前までの北海道西岸9定点における表面水温の経年変化から，北海道日本海沿岸では100年で0.68℃上昇していることを示した。また，気象庁は海面水温の長期変化傾向（日本近海）を公表しており，釧路沖の年平均海面水温が100年あたり1.18℃上昇していることを報告している（気象庁，https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/index_gw.html，2020年9月28日閲覧）。

海面水温の上昇は，魚介類や藻類などの成長，行動および分布などを変化させたり，上下混合の阻害，海流の変化，pHの低下などを引き起こすので，水産業に様々な影響を与えると考えられている（高柳，2009）。近年，北海道の水産業でも海面水温の上昇が原因と考えられる現象がいくつか報告されている。宮腰（2013）は，秋の海面水温が高い年にサケの漁獲時期が遅れ，河川遡上量が増加してブナの漁獲割合が上昇することを示した。星野（2017）は，北海道でブリの漁獲量が2011年以降急増していることを示し，その要因として資源量の増大と北上回遊期における海面水温の上昇が関わっていると考察している。赤池（2017）は，1970年以降における北海道のコンブ生産量の推移から，1998年以降に減少傾向が顕著になっていることを示し，この要因の一つとして近年の水温上昇が，寒冷的な気候を好むコンブの発生や生き残りに

好ましくない影響を与えている可能性を指摘している。

地球温暖化に関する科学的知見の評価は「気候変動に関する政府間パネル（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change）」によって国際社会に提供されている。IPCCが2019年に発表した「海洋・雪氷圏特別報告書」では，温室効果ガスの排出量を低く抑えた場合でも，21世紀にわたって海洋は水温の上昇を続けると予測している（環境省，<https://www.env.go.jp/press/files/jp/112419.pdf>，2020年9月28日閲覧）。そのため，水温上昇が北海道の水産業に与える様々な影響を評価し，リスクを可能な限り低減する必要がある。水温上昇への対処方法を前もって検討するためには，海面水温の将来予測値が基礎的資料として必須となる。

気候変動に関する科学研究から得られた最新の知見は，IPCCが5～6年毎に評価報告書を作成している。この中で世界中の研究機関が行った気候モデルによる気温，降水量および海面水位などの予測値が公表されている。しかし，北海道周辺海域における季節別の海面水温など北海道の水産業の影響評価に役立つ形式ではまとめられていない。そこで，IPCCが2013年に公表した第5次評価報告書に引用されている気候モデルの海面水温の出力結果を利用して，北海道水産業の影響評価のために近未来の将来予測値（30年後まで）を利用し易い形式で再編してデータベース化することを目的とした。

試料及び方法

気候変動による地球環境の将来予測は，物理法則に従っ

て大気や海洋の動きを計算するプログラムである気候モデルで計算される。地球温暖化の程度を仮定した気候モデルから将来予測値が計算されるが、IPCCの第5次評価報告書では、2100年における温室効果ガスの濃度レベルとそれに至るまでの温暖化対策を4つ仮定して計算を行っている。その仮定は、代表的濃度経路(RCP: Representative Concentration Pathways)シナリオと呼ばれ、RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0およびRCP8.5の4種類がありRCPに続く数値が大きいくほど今世紀末の地球温暖化を引き起こす効果が高いことを意味している。本研究では、気候モデルの中から北海道周辺海域のデータが十分存在する気象庁気象研究所が開発した気候モデル(MRI-CGCM3: Yukimoto et al., 2012)で計算された海面水温を用いた。MRI-CGCM3は、全球大気・海洋結合モデルで海水の効果も計算されているのが特徴である。

データベース作成のためにMRI-CGCM3の東経139~147度、北緯41.5~46度の格子から海面水温の月平均値を抽出した(図1)。本モデルでは北海道が8個の格子で表現されるので、その格子に隣接する18格子を北海道沿岸海域と仮定した。次に、その18格子の今世紀末までの経時変化をクラスター解析(結合方法: ウォード法)により、類似する変動を示す格子を分類した。最後に、2021~2100年の各海域における海面水温の月平均値を10年毎に平均

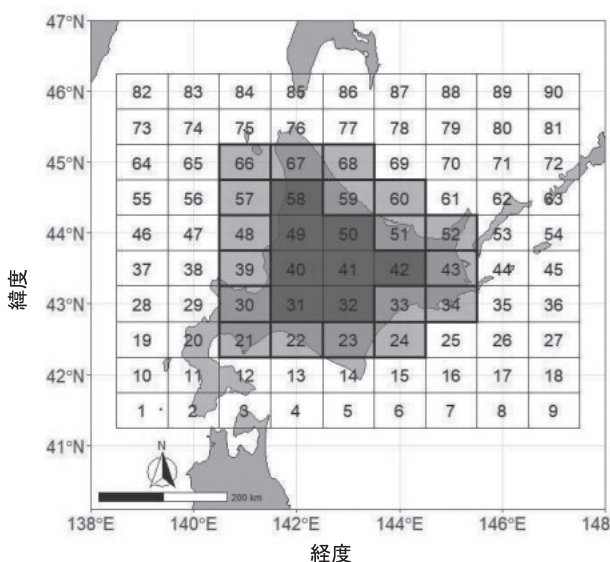


図1 気象庁気象研究所の気候モデルより本研究で使用するために抽出した格子と北海道周辺海域の位置関係。格子中央の数字は本研究で独自に設定した識別番号。濃いグレーで示した8格子(31, 32, 40, 41, 42, 49, 50, 58)は気候モデル上での北海道(陸地)を示す。また、本研究では薄いグレーで示した18格子(21, 22, 23, 24, 30, 33, 34, 39, 43, 48, 51, 52, 57, 59, 60, 66, 67, 68)を北海道周辺沿岸海域と設定した。

化して2006~2015年の月平均値からの偏差を計算した。

結果と考察

シナリオによる上昇傾向の違い 北海道周辺沿岸海域(18格子)における年平均海面水温の将来予測値(偏差)を10年毎にグラフに示した(図2)。将来の気温上昇を2℃以下に抑えるという目標のもとに開発された温室効果ガス排出量の最も低いシナリオであるRCP2.6では2006~2015年の平均値に比べ30年後(2041~2050年)まで偏差がマイナスとなった、それ以降も急激な昇温傾向は認められず今世紀末でも約0.6℃程度の上昇にとどまった。一方、RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5では40年後の2051~2060年まで昇温傾向にシナリオによる明確な差は無く約1.3~1.5℃の上昇が予測されていた。50年後の2061~2070年以降はRCP4.5とRCP6.0では緩やかに昇温して今世紀末には約2.2~2.6℃の上昇となった。最も気温上昇が高いシナリオであるRCP8.5では50年後2061~2070年以降に急激な上昇が発生して今世紀末には約4.5℃の昇温となった。一般に気候モデルは、その特性として温室効果ガスをモデルに与えた直後はシナリオによる差が小さく、温室効果ガスをモデルに与える前に発生しているエルニーニョ・ラニーニャ現象や太平洋十年規模変動のような内部変動の不確実性の影響を受けると考えられているが、今回の結果もそれを反映したのかもしれない(渡部, 2018)。

海域分類 クラスター解析の結果、18格子の北海道周辺沿岸海域は日本海海域、道南太平洋、オホーツク海、道東太平洋および根室海峡の5つの集団に分類することができた(図3)。日本海海域についてさらに詳しくみると格子番号30と39, 格子番号48, 57および66の2つの集団に細分化可能であり、地図上でもそれぞれ日本海海域の南部と北部に該当することから、日本海海域はこれらの2つの海域に分けて分析に用いることが妥当と考えられた。

クラスター解析により分類された6海域の月平均海面水温の季節変化についてRCP4.5, RCP6.0およびRCP8.5の結果を図4にそれぞれ示す。

日本海北部海域の10年後(2021~2030年)は1~12月通年で見ると0.5℃程度上昇したが、5~7月にやや高くなる特徴がみられRCP4.5では1.1~1.4℃上昇した。20年後(2031~2040年)は1~10月まで1℃程度、11~12月は0.7℃程度上昇した。ただし、RCP4.5の5~8月では1.5~1.9℃の上昇がみられている。30年後(2041~2050年)は5~8月に1.2~1.3℃上昇した以外は20年後とほぼ同様な季節変化傾向がみられた。また、RCP4.5の5~8月およびRCP8.5の8~9月で1.5℃を超える上昇を示した。

日本海南部海域の10年後は1~12月まで0.3~0.5℃程度

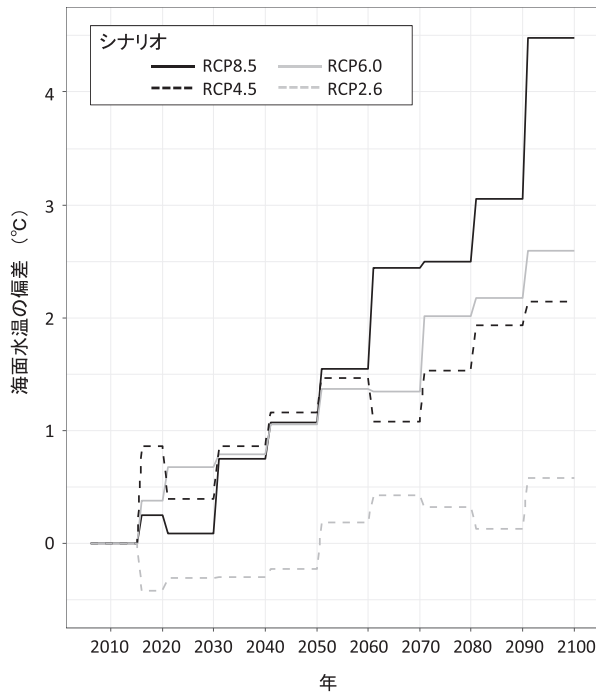


図2 北海道周辺沿岸海域における年平均海面水温の将来予測値を2006～2015年の年平均海面水温からの偏差で示したグラフ。2016～2020年については5年平均海面水温の偏差，それ以降は10年平均海面水温の偏差を示している。将来予測値は今世紀末までの温室効果ガス濃度変化について4つのシナリオを仮定して計算されており，RCPに続く数値が大きいほど今世紀末の地球温暖化を引き起こす効果が高いことを示している。

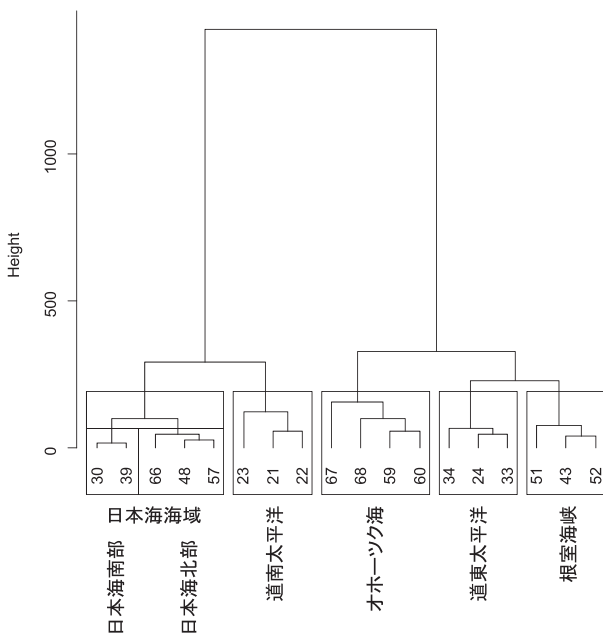


図3 北海道周辺沿岸海域における年平均海面水温の将来予測値についてクラスター解析を供したデンドログラム。根室海峡，道東太平洋，オホーツク海，道南太平洋および日本海海域に分類された。日本海海域については北部と南部に細分化した。

上昇したが，RCP4.5の4～8月およびRCP8.5の9～10月で0.7～1.5℃の上昇が認められた。20年後は1月の0.7℃から8月の1.0℃まで上昇した後，12月の0.5℃まで緩やかに低下した。ただし，RCP4.5の5～8月では1.3～1.9℃上昇した。30年後は20年後とほぼ同様な季節変化傾向を示した。ただし，RCP4.5の6～8月，RCP8.5の6月と8～9月では1.5～1.7℃上昇した。日本海海域では，北部・南部ともすべての期間で上昇しており，初夏（5～7月）の上昇がやや大きいのが特徴であった。海域別には，10年後については北部海域のほうが南部海域よりも上昇幅が大きいが，20年後以降ではその違いが小さくなった。

道東太平洋海域の10年後は1～12月まで0.5℃程度上昇したが，RCP6.0の1～2月では1.3～1.6℃の上昇であった。3月以降もRCP4.5やRCP6.0で0.6～1.0℃の上昇を示す場合が見られた。20年後は0.6～0.8℃程度上昇したが，RCP6.0の1～2月には1.5℃の上昇が認められた。また，RCP4.5の5～6月と8月，RCP6.0の5月およびRCP8.5の8月で1.0～1.2℃上昇した。30年後は1月に1.5℃程度上昇を示した後，2～12月は0.8～1.2℃の範囲で推移した。ただし，RCP6.0の1～2月に2.0～2.1℃の上昇，RCP4.5の8月に1.9℃の上昇が見られた。

道南太平洋海域の10年後は1～7月まで0.5℃程度上昇，8月以降は0℃からマイナスの値を示す場合もあった。RCP6.0の1～3月には1.6～2.0℃の上昇，RCP4.5の5～7月およびRCP6.0の4～5月には0.9～1.2℃の上昇を示した。20年後は1～3月に0.9℃程度上昇した後，緩やかに下降して10～12月はほぼ0℃となった。RCP6.0の1～3月には1.2～1.7℃上昇して，8月まではRCP4.5やRCP6.0で1.0～1.3℃上昇する場合があった。30年後は1月の1.5℃から12月の0.8℃まで緩やかに低下した。RCP4.5の2月と6月，RCP6.0の2～3月には2.0～2.1℃の上昇，RCP4.5の3～5月と7～8月，RCP6.0の1月およびRCP8.5の9月に1.6～1.9℃の上昇をそれぞれ示した。道東・道南太平洋では10年後にシナリオによる予測結果の差が大きかったが，20～30年後ではこの差は小さくなった。特徴としては，1～2月の上昇が大きくなる予測が見られた。

オホーツク海海域の10年後は1～3月まで0℃で4～8月にかけて0.8℃まで上昇した後，12月の0.5℃まで緩やかに低下した。RCP4.5の5～8月およびRCP6.0の11～12月には1.0～1.6℃上昇した。20年後は1～3月の0.2℃から8月の1.6℃まで上昇した後，12月の0.7℃まで低下した。RCP4.5の8月には2.7℃，RCP4.5の9～10月，RCP6.0の7～12月およびRCP8.5の7～11月には1.0～1.6℃まで上昇した。30年後は1～3月の0.5℃程度から7～8月の2℃程度まで上昇した後，12月の1℃程度まで低下した。RCP4.5の6～8月，RCP6.0の7月およびRCP8.5の8月には2.1～

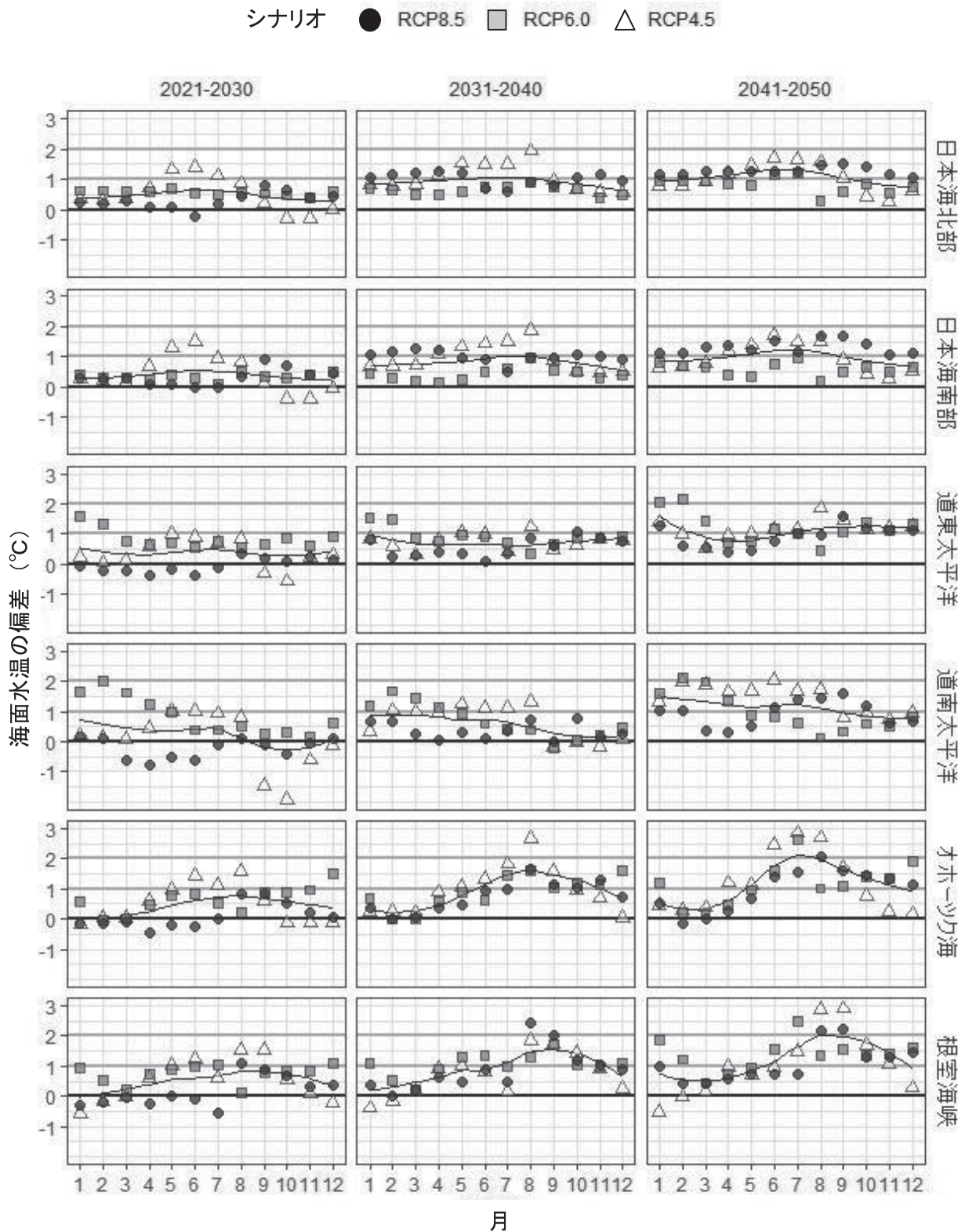


図4 各海域における近未来（10，20，30年後）の月別海面水温の偏差（2006～2015年を基準）。温室効果ガスの削減を積極的に行わないRCP4.5，6.0，8.5についての結果。曲線はスプライン曲線を示す。

2.9℃まで上昇した。

根室海峡海域の10年後は1~2月まで0℃で8~9月の0.9℃まで緩やかに上昇した後、12月の0.5℃まで低下した。RCP4.5の5~6月と8~9月、RCP6.0の7月と12月およびRCP8.5の8月で1.0~1.6℃の上昇を示した。20年後は1月の0.2℃から9月の1.5℃まで上昇した後、12月の0.7℃まで低下した。RCP8.5の8~9月には2.0~2.4℃の上昇を示した。30年後は1月の0.8℃から2~4月に0.5℃程度まで低下した後、8~9月に2℃程度まで上昇して、12月には1℃程度に低下した。RCP4.5の8~9月、RCP6.0の7月およびRCP8.5の8~9月には2.2~2.9℃の上昇が見られた。オホーツク海や根室海峡海域では、1~3月の上昇幅が小さく、7~9月に上昇がピークを示すことが特徴であった。また、30年後のピークはオホーツク海では7~8月であったが、根室海峡では8~9月と1ヶ月程度の違いがあった。

北海道の水産業への影響評価と今後の課題 日本周辺海域は南から高温の海水を運ぶ暖流である黒潮および黒潮続流の強化により、将来の水温上昇が北太平洋の中でも大きい海域である（東京大学、<https://ccsr.aori.u-tokyo.ac.jp/~hasumi/work/subject/warming/kuroshio.html>, 2020年9月28日閲覧）。黒潮を起源とする対馬暖流の影響を受ける日本海北部・南部海域で見られた通年の水温上昇、対馬暖流からオホーツク海に流入する宗谷暖流の勢力下であるオホーツク海や根室海峡海域における上昇のピークが夏季であること、および黒潮続流から派生する暖水の影響を受ける道東・道南太平洋で特徴的だった冬季の水温上昇など（図4）、暖流の強化の観点から発生するこれらの海域別の特徴を考慮することで、北海道沿岸海域で行われている様々な漁業の気候変動の影響評価を進めていく予定である。現在、道東海域のコンブ漁獲量、全道のサケ放流適期および漁獲時期の影響評価について研究が進められている。今後の課題として地まきホタテガイ漁業のように海底付近を利用したり、サンマ・スルメイカのように外洋域を利用したりする漁業に対する気候変動の影響についても明らかにする必要がある。また、本研究では海面水温に着目したが、海面水位、海洋酸性化、鉛直混合の弱化および海水の減少などの将来予測値とその変化による影響評価も今後重要になると考えられる。

謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、データの取り扱い方法など貴重なご意見をいただいた札幌管区気象台の小司晶子気候変動・海洋情報調整官、上澤大作地球温暖化情報官ならびに服部博和地球温暖化情報官に深く感謝申し

上げます。

引用文献

- 赤池章一. 海が変わってきた? ~コンブ漁業と海洋環境の変化~. 北水試だより2017; 95: 9-12.
- 星野昇. 北海道におけるブリの来遊状況. 北水試だより2017; 94: 1-4.
- 宮腰靖之. 秋の沿岸での高水温がサケの来遊時期に与える影響. 北水試だより2013; 87: 5-8.
- 高柳和史. 地球温暖化の漁業および海洋生物への影響. 地球環境2009; 14: 223-230.
- 田中伊織. 北海道西岸の沿岸水温は100年で0.7℃上昇. 水産試験研究最新成果集2008; 7: 23-24. <http://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/att/23suion-jousyou.pdf>, 2020年9月28日閲覧.
- 渡部雅浩. 「絵でわかる地球温暖化」 講談社, 東京. 2018
- Yukimoto S, Adachi Y, Hosaka M, Sakami T, Yoshimura H, Hirabara M, Tanaka TY, Shindo E, Tsujino H, Deushi M, Mizuta R, Yabu S, Obata A, Nakano H, Koshiro T, Ose T, Kitoh A. A new global climate model of the meteorological research institute; MRI-CGCM3 -Model Description and Basic Performance-. Journal of the Meteorological Society of Japan 2012; 90 A: 23-64.