

# 気候変動予測モデルに関する補足説明

# 気候変動予測モデルに関する補足説明

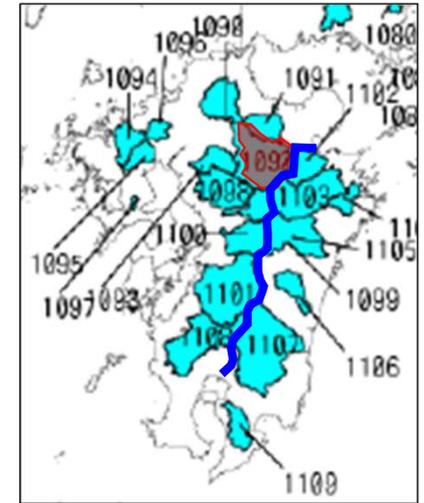
説明項目	第6回検討会における指摘事項	検討内容
九州北西部における擾乱タイプについて	d4PDFによる九州北西部の降雨量変化倍率が高くなる傾向は、将来気候での梅雨豪雨の増加が要因として考えられる。そのため、 <u>d2PDFによる九州北西部の倍率を検討する際には、降雨の気象擾乱に梅雨豪雨が考慮されているか確認した方が</u> 良い。	機械分類および目視判定により、過去実験・将来実験の擾乱タイプを比較
東シナ海における将来の海面水温について	九州北西部の倍率が下がることについて、もう少し検討が必要と思われる。 <u>東シナ海は陸棚で水深が浅いのでSSTの感度が非常に高い。全球モデルは沿海を解像出来ていないと思うので、沿海の将来環境の変化については注意する必要がある。</u> 情報収集をした方がよい。	高解像度の海洋モデルにおいて得られた海面水温分布とd2PDF・d4PDFにおいて使用している海面水温分布について比較

# 九州北西部における擾乱タイプについて

# 九州北西部・筑後川流域の年最大雨量をもたらす降雨イベントの擾乱タイプ

**【目的】九州北西部の降雨量変化倍率の算出根拠としているd4PDF(5km,SI-CAT)において、「前線」の影響を十分に考慮できているか確認する。**

**【手法】九州北西部・筑後川流域(治水基準点(荒瀬)上流域)を対象として、d4PDF(5km、SI-CAT)及び実績データによる年最大雨域(流域)平均雨量をもたらす降雨イベントの擾乱タイプを整理した。対象データ等は下記の通り。**



## 対象データ・解析条件

対象地域	九州北西部 (右上図青線の北西側)	筑後川流域 (治水基準点(荒瀬)上流域) (右上図1092番(赤着色の領域))	筑後川流域 (治水基準点(荒瀬)上流域) (右上図1092番(赤着色の領域))
対象データ	d4PDF(5km,SI-CAT) 過去実験 : 360年 2°C上昇実験: 360年 4°C上昇実験: 360年	d4PDF(5km,SI-CAT) 過去実験 : 上位20年※ 4°C上昇実験: 上位20年※ ※年最大流域平均雨量による	実績降雨 1943～2019: 77年
雨域(流域)面積、 降雨継続時間	400km <sup>2</sup> 、12時間 (DAD解析)	約1,440km <sup>2</sup> 、48時間	約1,440km <sup>2</sup> 、48時間
分類手法	機械分類	目視	目視
分類種数	3種類 (台風、前線、その他)	8種類 (台風、台風と停滞前線、台風と移動性低気圧、停滞前線、停滞前線(台風の影響あり)、停滞前線と移動性低気圧、移動性低気圧、暖湿気流)	3種類 (台風、前線、低気圧)

# 【d4PDF・機械分類】擾乱タイプの分類方法

○機械分類による擾乱タイプの分類は、内海ら(2016)による手法※のパラメータを一部変更した手法を用いた。

手順	内海ら(2016)による手法の一部変更 (変更部分は赤字、論文で明確でなく今回設定した部分は青字で示す。)
①気象擾乱の抽出判定 (台風)	(1) 1° 格子に再配置 (地上気圧、850hPa相対渦度・水平風・温度、500hPa水平風・温度、300hPa水平風・温度) (2) 地上気圧極小値の格子点を低気圧中心として抽出※ 格子点が(3)-(7)を満たせば台風 ※ 7° 四方のエリア内で地上気圧最小をとる格子点にフラグをたてる。フラグをたてた格子が隣接していれば同一エリアとする。各エリアで地上気圧最小の格子点を抽出する。 (3) 850hPa相対渦度がしきい値(1.0×10 <sup>-4</sup> )を超える (4) 9° 四方の平均風速が、850hPaで300hPaの80%より大きい (5) 850, 500, 300hPa各高度における中心の温度と9° 四方の平均温度の差を算出、3高度の差の総和がしきい値(0°C)を超える (6) 同一の低気圧※が連続する48時間以上存在 ※ (2)-(5)を満たす低気圧中心を、15日移動平均した500hPa水平風×0.5で移流する。移流先の500km以内に次の時刻の低気圧中心があれば、同一の低気圧とする。前時刻の低気圧中心が複数ある場合、移流先と現時刻の低気圧中心が最も近く、かつ500km以内であれば同一とする。 (7) 低気圧中心が日本付近の領域で初めて検出された場所・時刻の月平均海面温度がしきい値以上(25°C)
②気象擾乱の抽出判定 (前線)	(1) 1° 格子に再配置 (2) 700hPa相当温位・850hPa比湿の水平勾配を算出 (3) 水平勾配の大きさがしきい値を超える格子点に前線が存在するとする※ ※ 局所的に勾配が大きくなっている領域を除くため、隣接した格子点の数が20未満のものを除く
③気象擾乱と 降雨発生域の紐づけ	(1) 降雨継続時間の総雨量で重みづけした位置を特定 (2) (1)の位置と擾乱の距離により気象擾乱を紐づける ① 台風中心から1,000km以内: 台風 ② ①を満たしておらず、前線から600km以内: 前線 ③ ①・②を満たしていない: その他

※Utsumi, N., H. Kim, S. Kanae, and T. Oki (2016), Which weather systems are projected to cause future changes in mean and extreme precipitation in CMIP5 simulations?, J. Geophys. Res. Atmos., 121(18), 2016JD024939, doi:10.1002/2016JD024939.

## 【d4PDF・機械分類】擾乱タイプの分類方法の精度検証

- 精度検証用の100降雨イベントに対して目視判定による真値を付与し、機械分類による結果と比較を行った。
- 100降雨イベントは、地域に偏りが生じないように十勝川・利根川・筑後川水系から、それぞれの過去実験または4℃上昇実験における豪雨上位20事例から、過去/将来実験に偏りが生じないように選定した。
- 選定した100事例は、台風37, 前線55, その他8の擾乱タイプを、過去実験51, 将来実験49を含む。
- 真値どおり分類できたイベントは77/100であり、77%の的中率であった。**

### 目視判定による判断基準

擾乱タイプ	判断基準
台風	① 地上気圧で極小域の周囲の等圧線が同心円状 ② 700hPa相当温位図で地上気圧極小域の上空に暖気核があり、かつ500hPaで地上気圧極小域の上空が高度の極小となっており、寒気が入り込んでいない ③ 降水域の分布で対象流域の降雨が台風の周囲でもたらされる降雨に含まれる
前線	① 850 / 700hPa 等相当温位線の間隔が狭く、風向きが不連続 ② ①付近で、地上気圧の谷や地上降水域の分布から前線の位置を決定 ③ 降水域の分布で対象流域の降雨が前線付近でもたらされる降雨に含まれる
その他	台風及び前線に分類されないもの

### 目視判定による真値と機械分類による結果の比較

		真値(目視判定)			計
		台風	前線	その他	
機械分類結果	台風	30	2	0	32
	前線	6	43	4	53
	その他	1	10	4	15
計		37	55	8	100

真値通り分類できた事例

## 【d4PDF・機械分類,目視】擾乱タイプの分類結果

- 機械分類・目視の両手法において、過去実験、将来実験に共通して「前線」が主要な気象擾乱タイプであった。  
また、機械分類において、上位1/10の豪雨事例に対象を絞っても、その傾向は同じであった。
- 機械分類によると、過去実験に比べ、2°C上昇実験、4°C上昇実験で段階的に「前線」の割合が増加し、「その他」の割合が減少していた。 将来気候において顕著な前線が増加している可能性がある。

機械分類による擾乱タイプの分類数と割合(全事例)

擾乱タイプ	過去実験	2°C上昇実験	4°C上昇実験
台風	49(14%)	37(10%)	34(9%)
前線	219(61%)	260(72%)	291(81%)
その他	92(26%)	63(18%)	35(10%)
合計	360(100%)	360(100%)	360(100%)

機械分類による擾乱タイプの分類数と割合(上位1/10:36年)

擾乱タイプ	過去実験	2°C上昇実験	4°C上昇実験
台風	2(6%)	5(14%)	1(3%)
前線	18(50%)	23(64%)	34(94%)
その他	16(44%)	8(22%)	1(3%)
合計	36(100%)	36(100%)	36(100%)

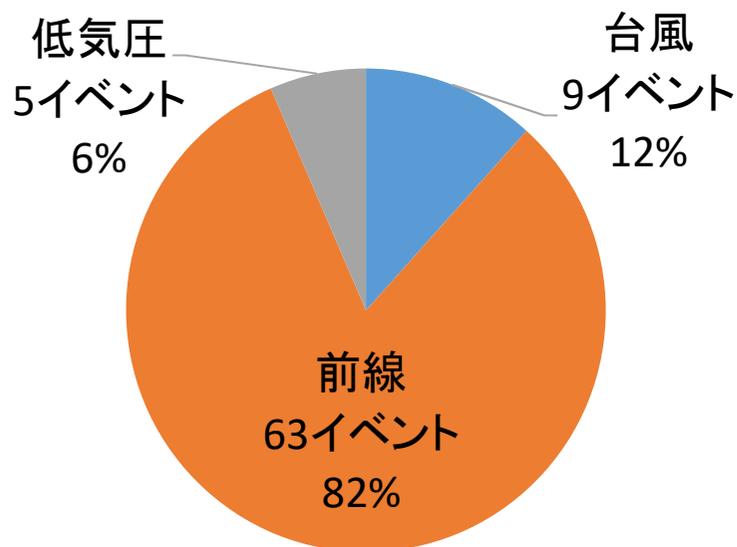
目視による擾乱タイプの分類数と割合(上位20年)

擾乱タイプ	過去実験	4°C上昇実験
台風		2(10%)
台風と停滞前線	1(5%)	2(10%)
台風と移動性低気圧		
停滞前線	16(80%)	11(55%)
停滞前線(台風の影響あり)	1(5%)	1(5%)
停滞前線と移動性低気圧		
移動性低気圧	2(10%)	3(15%)
暖湿気流		1(5%)
合計	20(100%)	20(100%)

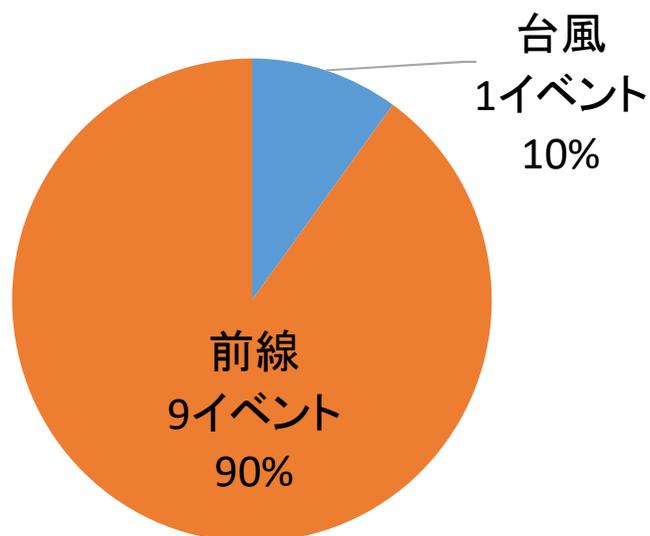
## 【参考】【実績・目視】筑後川流域における年最大雨量をもたらした降雨イベントの擾乱タイプ

- 実績データを用いて、筑後川流域(治水基準点(荒瀬)上流域)において、年最大雨量をもたらした気象擾乱について整理した。1943年～2019年の計77イベントに対して、台風(9イベント、12%)、前線(63イベント、82%)、低気圧(5イベント、6%)であり、実績データにおいても「前線」が主要な気象擾乱タイプであった。
- 雨量上位10イベントや方針対象洪水5イベントといった豪雨に限定しても、「前線」が主要な気象擾乱タイプであるという傾向は同様であった。

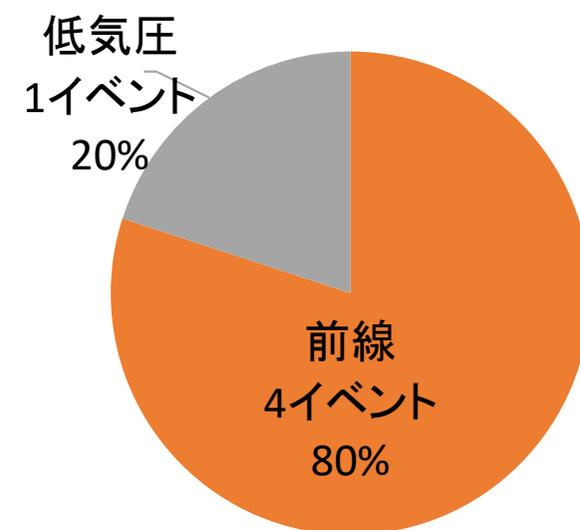
### 全データ(77イベント)



### 雨量上位(10イベント)



### 方針対象洪水(5イベント)



※台風、前線、低気圧の分類は目視による

# 結論

- d4PDF(5km, SI-CAT)に対して、機械分類・目視の両手法において、過去実験、将来実験に共通して、九州北西部・筑後川流域では「前線」が主要な気象擾乱タイプであった。
- なお、気候モデルだけではなく、実績データにおいても、判定手法が異なるものの筑後川流域では「前線」が主要な気象擾乱タイプであったことを確認した。
- 以上の結果から、九州北西部の降雨量変化倍率の算出根拠としているd4PDF(5km, SI-CAT)において、「前線」の影響を十分に考慮できていると考えられる。

## 対象データ・解析条件(再掲)

対象地域	九州北西部 (右上図青線の北西側)	筑後川流域 (治水基準点(荒瀬)上流域) (右上図1092番(赤着色の領域))	筑後川流域 (治水基準点(荒瀬)上流域) (右上図1092番(赤着色の領域))
対象データ	d4PDF(5km, SI-CAT) 過去実験 : 360年 2°C上昇実験 : 360年 4°C上昇実験 : 360年	d4PDF(5km, SI-CAT) 過去実験 : 上位20年※ 4°C上昇実験 : 上位20年※ ※年最大流域平均雨量による	実績降雨 1943～2019 : 77年
流域(雨域)面積、 降雨継続時間	400km <sup>2</sup> 、12時間 (DAD解析)	約1,440km <sup>2</sup> 、48時間	約1,440km <sup>2</sup> 、48時間
分類手法	機械分類	目視	目視
分類種数	3種類 (台風、前線、その他)	8種類 (台風、台風と停滞前線、台風と移動性低気圧、停滞前線、停滞前線(台風の影響あり)、停滞前線と移動性低気圧、移動性低気圧、暖湿気流)	3種類 (台風、前線、低気圧)

# 東シナ海における将来の海面水温について

# d4PDFにおける海面水温設定について

○d4PDFの将来予測における海面水温の設定では、観測された海面水温からトレンド成分を除いたものに、CMIP5の主要6モデルに基づく将来の海面水温変化パターンを加えた値が、海面水温の境界値として与えられている。

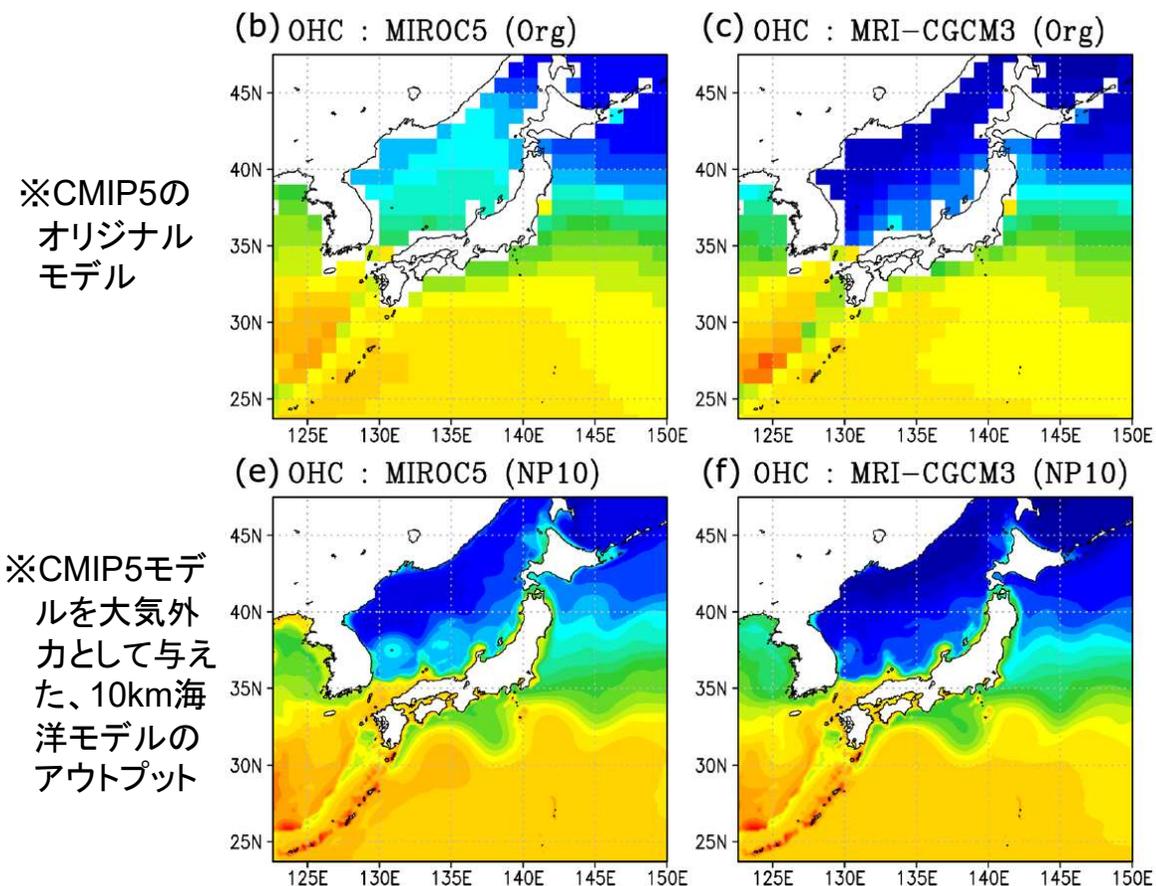
○しかしながら、解像度が100~200km程度であるCMIP5のモデルでは、大部分が水深200m以浅の大陸棚に占められ、気候変動の影響を受けやすいと考えられる東シナ海の海面水温変化を十分に捉えられていない可能性があるため、より高解像度(約10km)の海洋モデルを用いて検証を行うこととした。

表 d4PDFの海面水温設定に用いられているCMIP5の6モデルの水平解像度(海洋)

CMIP5モデル	水平解像度(海洋)
CCSM4	Nominal1° (1.125° in longitude, 0.27-0.64° variable in latitude)
GFDL-CM3	1° tripolar360 × 200L50
HadGEM2-AO	1.875° in longitude by 1.25° in latitude N96
MIROC5	1.4° (zonally) × 0.5-1.4° (meridionally)
MPI-ESM-MR	Approx.0.4° TP04
MRI-CGCM3	1 × 0.5

IPCC WG1AR5 Chapter09より

図 海洋表層水温(海面から水深700mの平均)の10年平均(1996-2005)



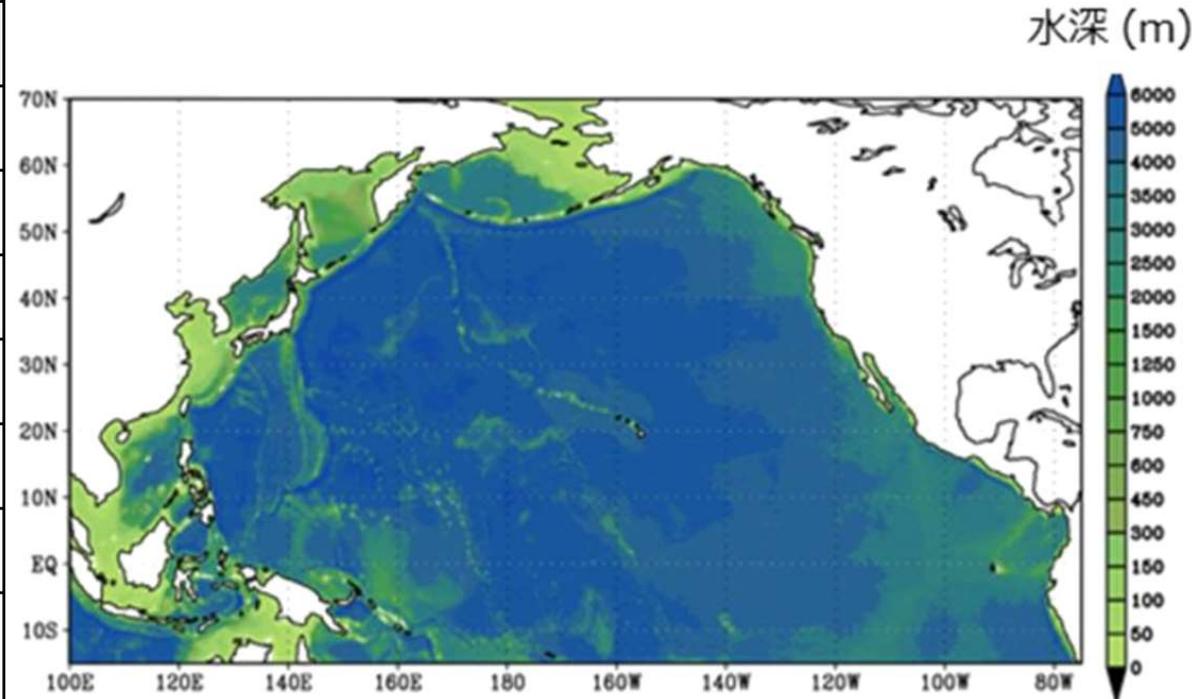
西川ら(2021)に※注釈を加えたもの

# 北太平洋海域10km将来予測データ FORP-NP10 version2

○FORP (Future Ocean Regional Projection data set) は、CMIP5の複数の気候モデル/シナリオによる大気データを外力として、高解像度の領域海洋モデルシミュレーションにより作成された将来予測データセットで、SI-CATのもと海洋研究開発機構により作成された。領域海洋モデルとして、気象庁気象研究所で開発されたMRI.COMv4 (T sujino et al. 2017) が用いられている。

○FORP-NP10は、水平解像度約10kmの北太平洋海域モデルによる1981年から2100年までの連続計算を行うことにより作成された、北太平洋海域の海洋将来予測データセットである。Version2データ(FORP-NP10 version2)では、外力に使用するCMIP5のモデル/シナリオとして、4つのモデル(MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR)それぞれについてHistorical (1981~2005年), RCP8.5 (2006~2100年), RCP2.6(2006~2100年)シナリオを採用することで、合計860年のアンサンブル将来予測データセットがある。

	FORP-NP10
領域	100°E - 75°W , 15°S - 70°N(右図)
モデル	MRI.COM(T sujino et al., 2017)
水平解像度	1/10° × 1/10° (約10km)
鉛直解像度	1m(表層) - 600m(海底)
格子点数	水平1852 × 852、鉛直54層
地形データ	JTOPO2
その他	海氷あり。河川流入、潮汐、熱膨張、大気圧力効果は無し。

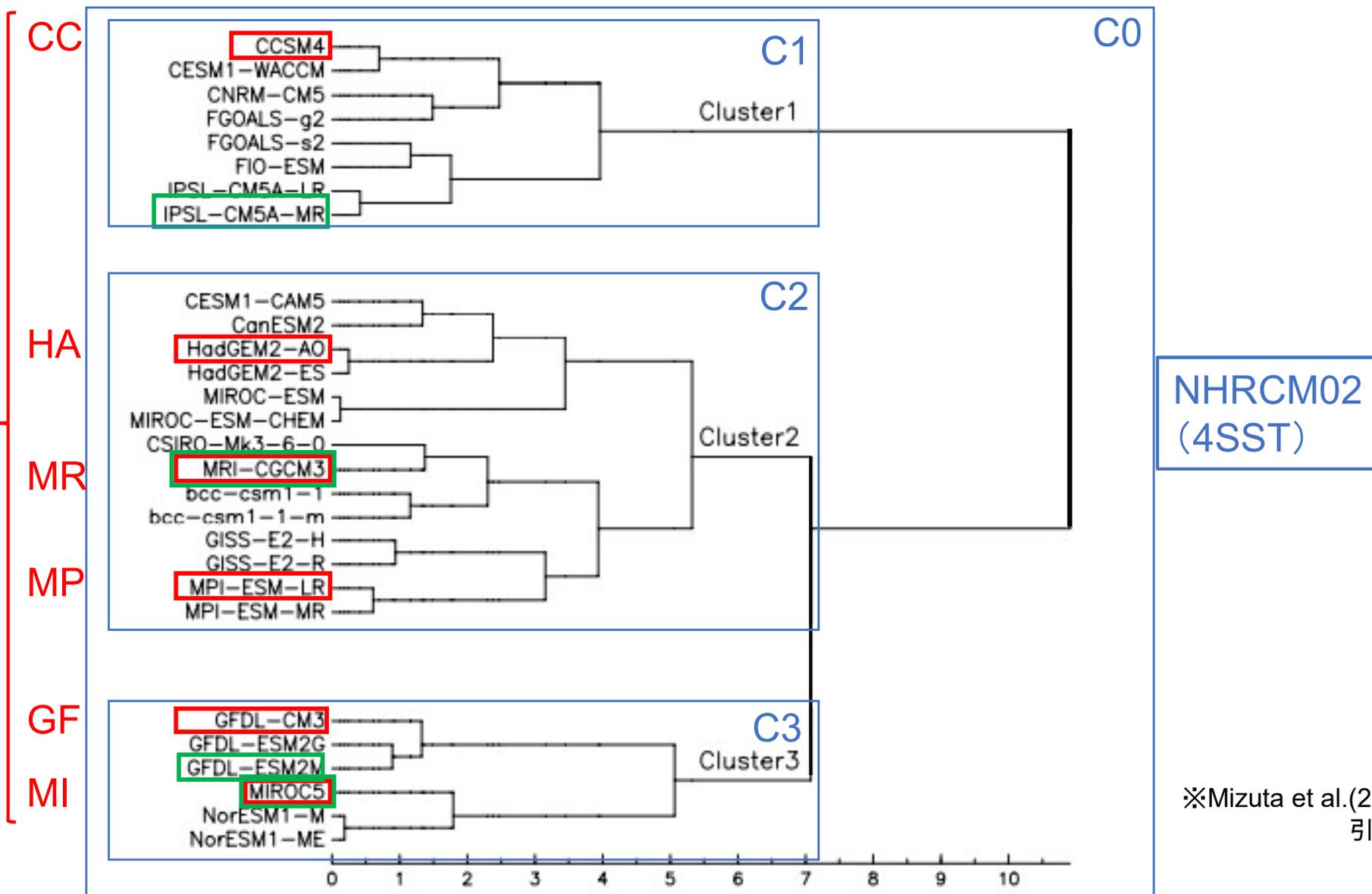


# FORP-NP10の大気外力について

○FORP-NP10で大気外力として用いられた、CMIP5の4モデル(MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-MR)は、海面水温図から判断した黒潮パターンの代表性や、大気外力として必要なパラメータの利用可能性の観点から選ばれている。

○これらは、NHRCM02のSSTと比較しても、C1、C2、C3のクラスターに偏りなく含まれることが確認できる。

d4PDF・  
d2PDF  
(6SST)



※Mizuta et al.(2014)より  
引用・加筆

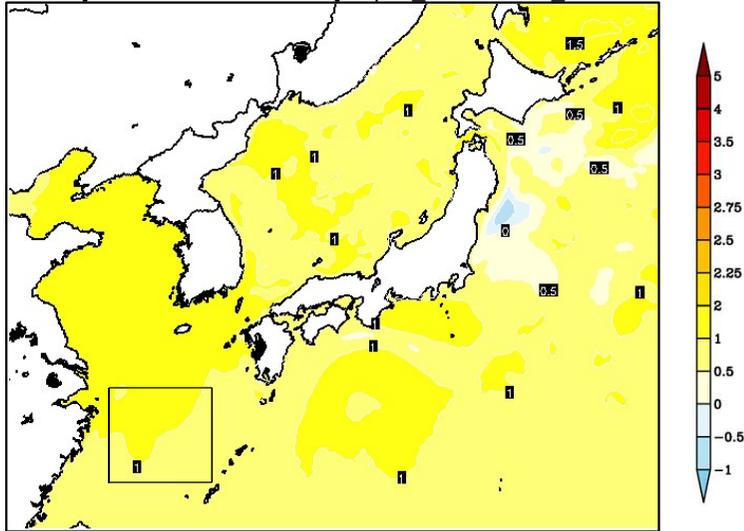
# RCP2.6実験における夏季の海面水温の変化 (FORP-NP10)

○FORP-NP10: 過去実験(1986年~2005年の平均)とRCP2.6実験(2081年~2100年の平均)の夏季(6~8月平均)海面水温の差

○4つの大気外力モデルともに、北海道周辺は海面水温の上昇が大きくなる傾向にある。

GFDL-ESM2M

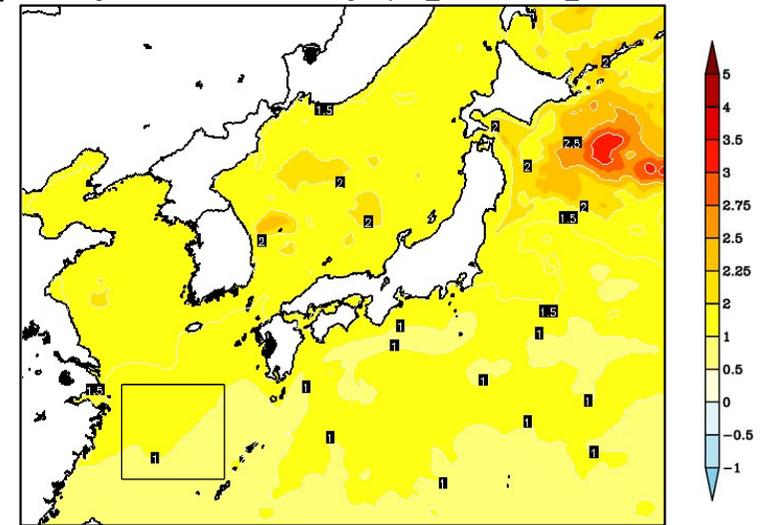
Sea Surface Temperature [Summer] rcp26\_GF  
[2081-2100 - 1986-2005] rcp26\_ver2.3 - hist\_ver2



※2 (※1の領域における温度上昇) 約0.5~1.5°C上昇

IPSL-CM5A-MR

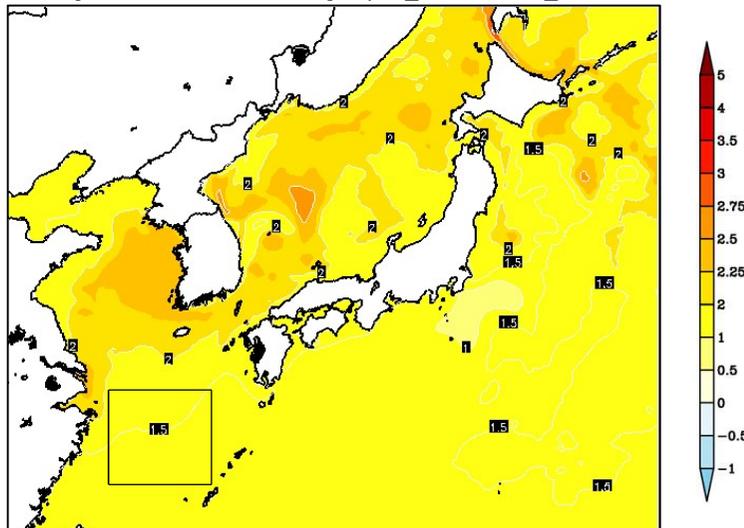
Sea Surface Temperature [Summer] rcp26\_IP  
[2081-2100 - 1986-2005] rcp26\_ver2.3 - hist\_ver2



※2 約0.5~1.5°C上昇

MIROC5

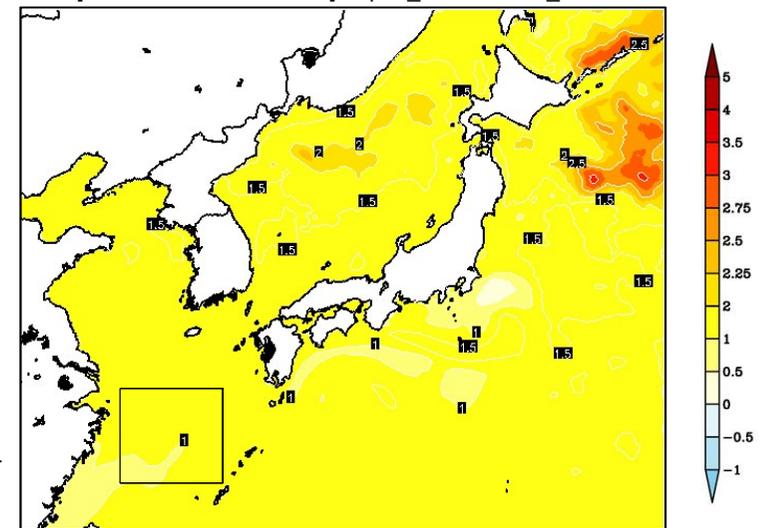
Sea Surface Temperature [Summer] rcp26\_MI  
[2081-2100 - 1986-2005] rcp26\_ver2.3 - hist\_ver2



※2 約1.0~2.0°C上昇

MRI-CGCM3

Sea Surface Temperature [Summer] rcp26\_MR  
[2081-2100 - 1986-2005] rcp26\_ver2.3 - hist\_ver2



※2 約0.5~1.5°C上昇

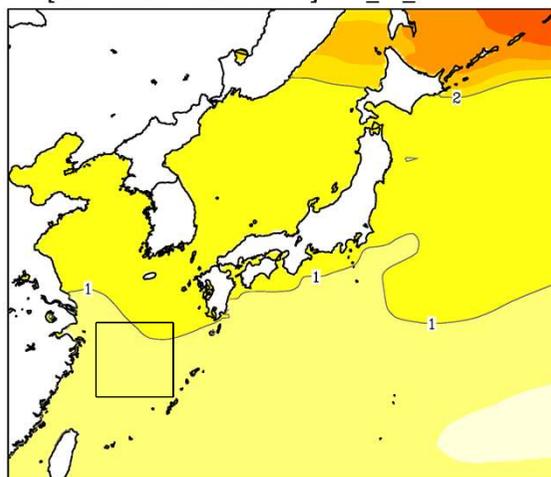
※1 図中の四角は、東シナ海南西部(27°N-31°N,123°E-128°E)を示す。(万田ら(2014)の実験条件を引用。本領域の6~7月にかけての季節的な海面水温上昇が九州の集中豪雨発生に寄与すると指摘されている。) 万田ら(東京大学・長崎大学), 2014, 記者発表「東シナ海の水温上昇が 梅雨期に九州で起こる集中豪雨の発生に影響—2012年「九州北部豪雨」の事例と今後の水温暖上昇に伴う将来の見通し—」

# 【参考】2°C上昇実験における海面水温の変化(d2PDF)

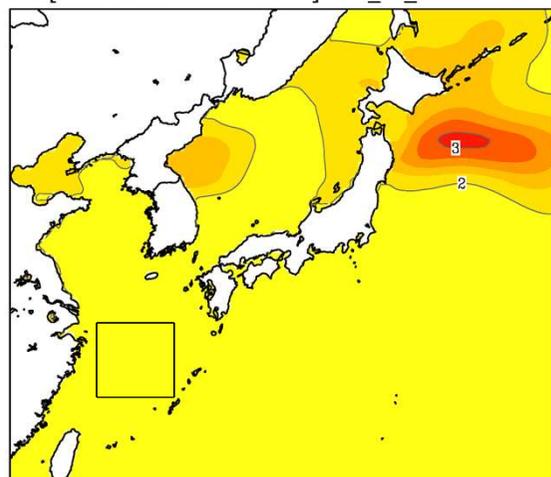
○d2PDF(20km): 過去実験(1991年~2010年の平均)と2°C上昇実験(2071年~2090年:定常)の夏季(6~8月平均)海面水温の差

○SSTの6モデルともに、北海道周辺は海面水温の上昇が大きくなる傾向にある。

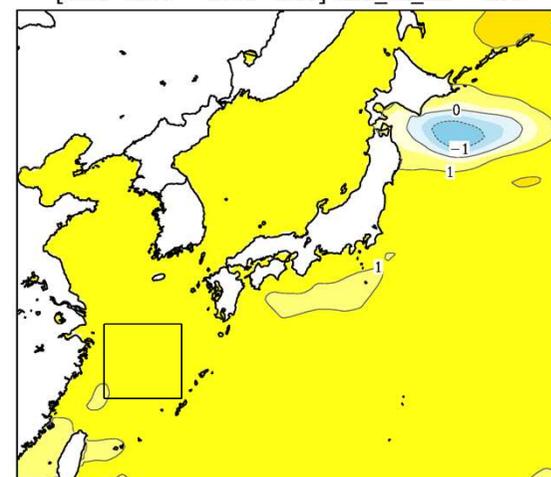
CC Sea Surface Temperature [Summer] 2K\_CC  
[2071-2090 - 1991-2010] HFB\_2K\_CC - HPB



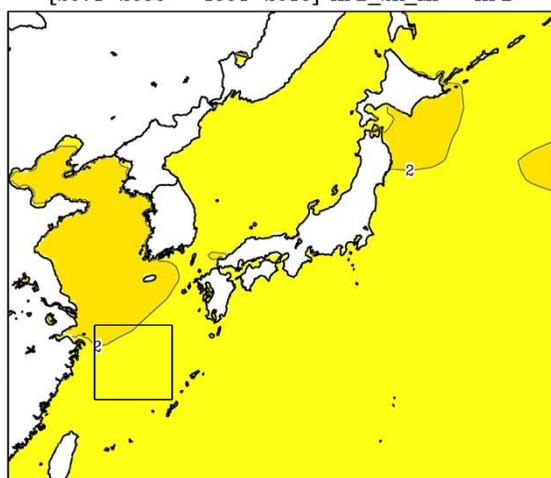
GF Sea Surface Temperature [Summer] 2K\_GF  
[2071-2090 - 1991-2010] HFB\_2K\_GF - HPB



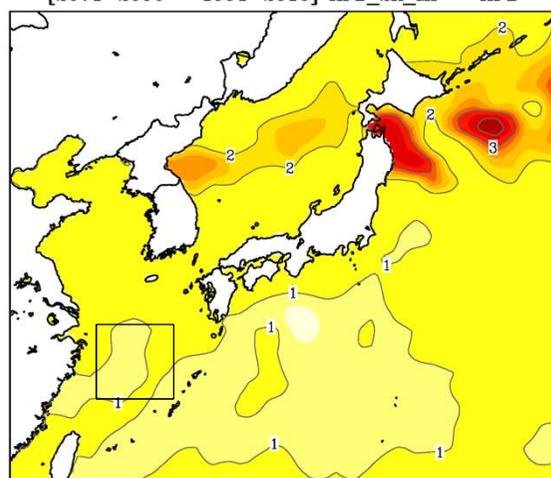
HA Sea Surface Temperature [Summer] 2K\_HA  
[2071-2090 - 1991-2010] HFB\_2K\_HA - HPB



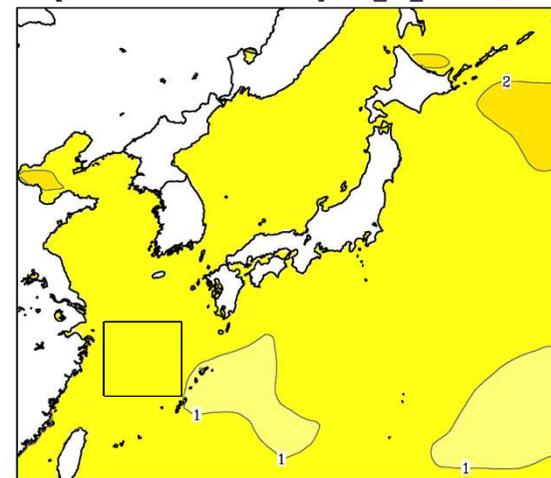
MI Sea Surface Temperature [Summer] 2K\_MI  
[2071-2090 - 1991-2010] HFB\_2K\_MI - HPB



MP Sea Surface Temperature [Summer] 2K\_MP  
[2071-2090 - 1991-2010] HFB\_2K\_MP - HPB



MR Sea Surface Temperature [Summer] 2K\_MR  
[2071-2090 - 1991-2010] HFB\_2K\_MR - HPB



※1 図中の四角は、東シナ海南西部(27°N-31°N,123°E-128°E)を示す。(万田ら(2014)の実験条件を引用)

※2 ※1領域における温度上昇

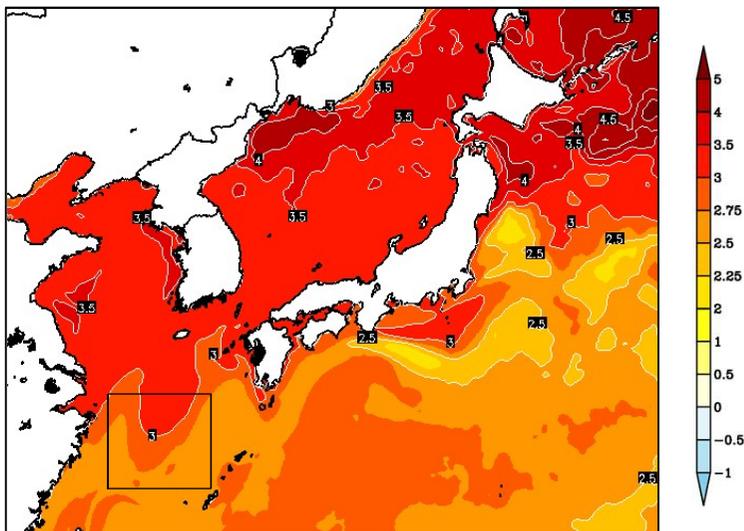
# RCP8.5実験における夏季の海面水温の変化 (FORP-NP10)

○FORP-NP10: 過去実験(1986年~2005年の平均)とRCP8.5実験(2081年~2100年の平均)の夏季(6~8月平均)海面水温の差

○4つの大気外力モデルともに、北海道周辺と九州北西部周辺は海面水温の上昇が大きくなる傾向にある。

**GFDL-ESM2M**

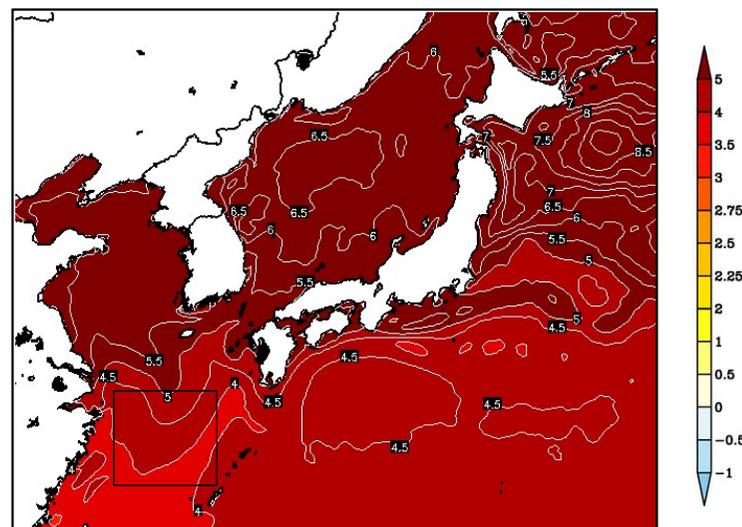
Sea Surface Temperature [Summer] rcp85\_GF  
[2081-2100 - 1986-2005] rcp85\_ver2.3 - hist\_ver2



※2  
約2.5~3.5°C上昇

**IPSL-CM5A-MR**

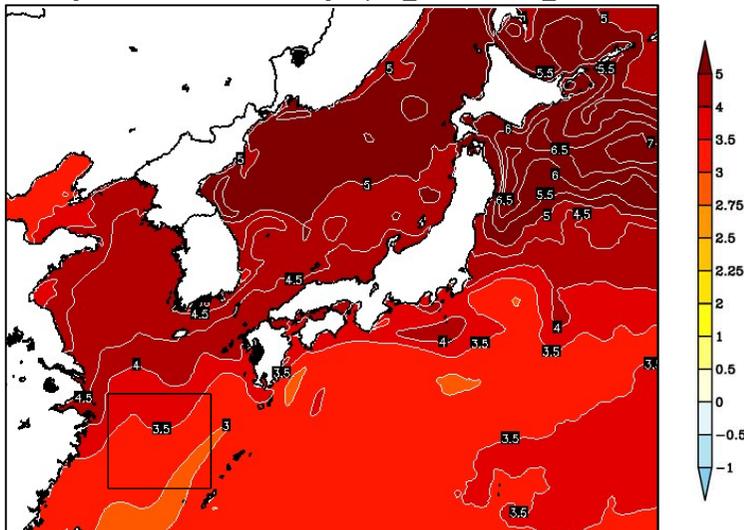
Sea Surface Temperature [Summer] rcp85\_IP  
[2081-2100 - 1986-2005] rcp85\_ver2.3 - hist\_ver2



※2  
約3.5~5.0°C上昇

**MIROC5**

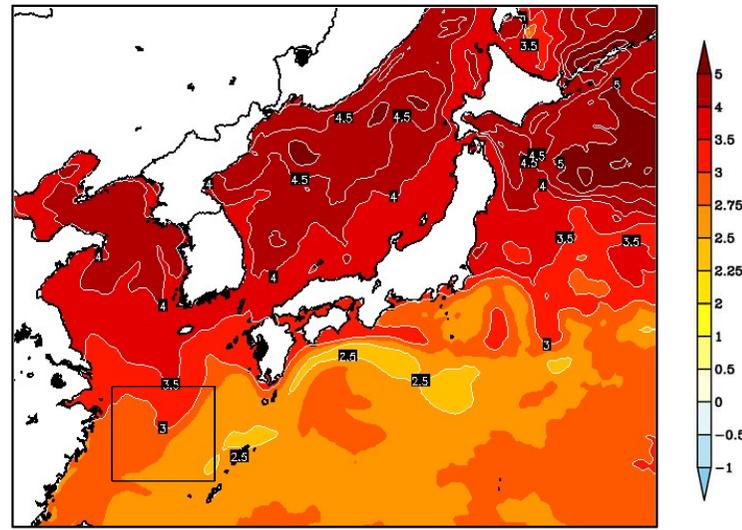
Sea Surface Temperature [Summer] rcp85\_MI  
[2081-2100 - 1986-2005] rcp85\_ver2.3 - hist\_ver2



※2  
約2.75~4.0°C上昇

**MRI-CGCM3**

Sea Surface Temperature [Summer] rcp85\_MR  
[2081-2100 - 1986-2005] rcp85\_ver2.3 - hist\_ver2



※2  
約2.25~3.5°C上昇

※1 図中の四角は、東シナ海南西部(27°N-31°N,123°E-128°E)を示す。(万田ら(2014)の実験条件を引用)

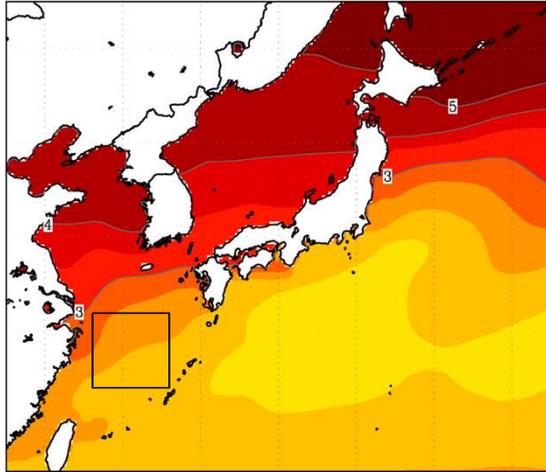
※2 ※1領域における温度上昇

# 【参考】4°C上昇実験における夏季の海面水温の変化(d4PDF)

Od4PDF(20km): 過去実験(1991年~2010年の平均)と4°C上昇実験(2091年~2110年:定常)の夏季(6~8月平均)海面水温の差

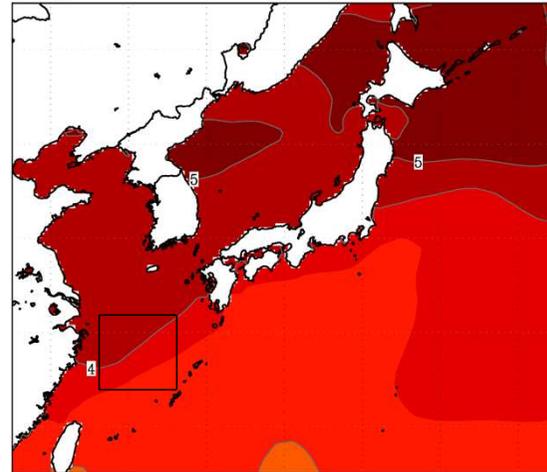
OSSTの6モデルともに、北海道周辺と九州北西部周辺は海面水温の上昇が大きくなる傾向にある。

CC Sea Surface Temperature [Summer] 4K\_CC  
[2091-2110 - 1991-2010 HFB\_4K\_CC - HPB]



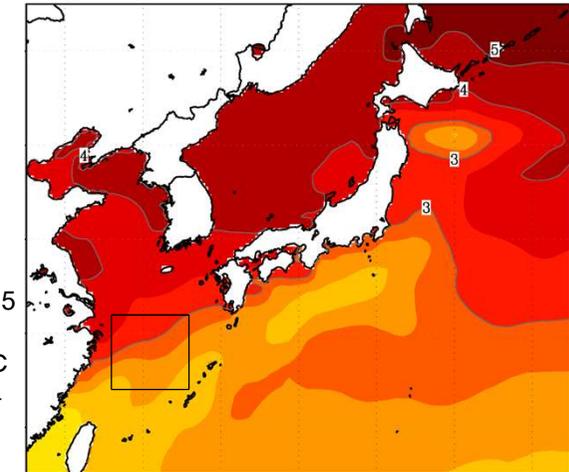
※2  
約2.25  
~  
3.0°C  
上昇

GF Sea Surface Temperature [Summer] 4K\_GF  
[2091-2110 - 1991-2010 HFB\_4K\_GF - HPB]



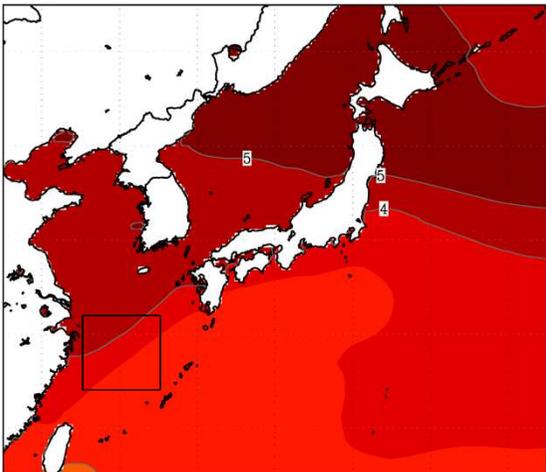
※2  
約3.0  
~  
5.0°C  
上昇

HA Sea Surface Temperature [Summer] 4K\_HA  
[2091-2110 - 1991-2010 HFB\_4K\_HA - HPB]



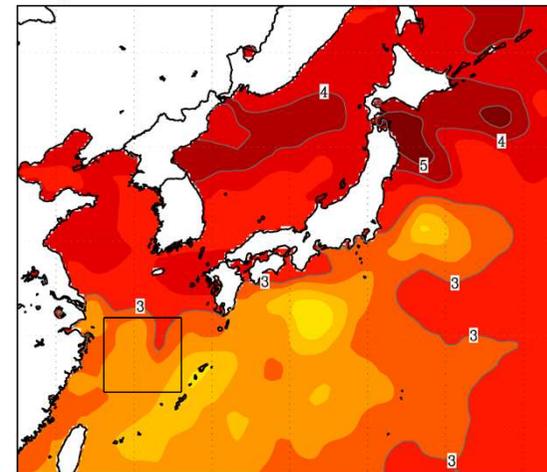
※2  
約2.25  
~  
4.0°C  
上昇

MI Sea Surface Temperature [Summer] 4K\_MI  
[2091-2110 - 1991-2010 HFB\_4K\_MI - HPB]



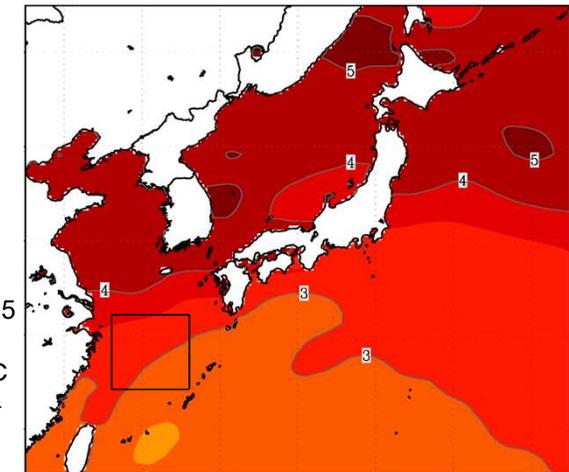
※2  
約3.0  
~  
5.0°C  
上昇

MP Sea Surface Temperature [Summer] 4K\_MP  
[2091-2110 - 1991-2010 HFB\_4K\_MP - HPB]



※2  
約2.25  
~  
3.5°C  
上昇

MR Sea Surface Temperature [Summer] 4K\_MR  
[2091-2110 - 1991-2010 HFB\_4K\_MR - HPB]



※2  
約2.75  
~  
4.0°C  
上昇

※1 図中の四角は、東シナ海南西部(27°N-31°N,123°E-128°E)を示す。(万田ら(2014)の実験条件を引用)

※2 ※1領域における温度上昇  
気象庁気象研究所提供資料をもとに作成

# 結論

- 将来の東シナ海の海面水温上昇は、d2PDF・d4PDFで使用されている空間解像度100～200km程度のCMIP5モデルに基づく海面水温上昇は、2°C上昇実験では0.5 °C ～2.25°C上昇程度、4°C上昇実験では2.25 °C ～5.0 °C上昇程度である。
- 同領域について、空間解像度10kmの海洋モデルを用いても、RCP2.6実験では0.5 °C ～2.0°C上昇程度、RCP8.5実験では2.25 °C ～5.0 °C上昇程度であり、大きな違いは見られなかった。
- この結果は、d2PDF・d4PDFの東シナ海における海面水温設定の妥当性を支持すると考えられる。

## 各モデルによる東シナ海の海面水温上昇量

d4PDF/d2PDF	2°C上昇	4°C上昇
CCSM4	0.5～2.0°C	2.25～3.0°C
GFDL-CM3	1.0～2.0°C	3.0～5.0°C
HadGEM2-AO	0.5～2.0°C	2.25～4.0°C
MIROC5	1.0～2.25°C	3.0～5.0°C
MPI-ESM-MR	0.5～2.0°C	2.25～3.5°C
MRI-CGCM3	1.0～2.0°C	2.75～4.0°C
最小～最大	0.5～2.25°C	2.25～5.0°C

FORP-NP10	RCP2.6	RCP8.5
GFDL-ESM2M	0.5～1.5°C	2.5～3.5°C
IPSL-CM5A-MR	0.5～1.5°C	3.5～5.0°C
MIROC5	1.0～2.0°C	2.75～4.0°C
MRI-CGCM3	0.5～1.5°C	2.25～3.5°C
最小～最大	0.5～2.0°C	2.25～5.0°C