大規模アンサンブル気候予測データベース (d4PDF)の台風を対象としたバイアス補正手法 とその将来変化予測

有村 盾一1・邱 中睿1・岡安 徹也1・秩父 宏太郎2・渡邊 国広3 森 信人4

¹正会員 一般財団法人 国土技術研究センター 河川政策G(〒105-0001 東京都港区虎ノ門三丁目12-1) E-mail:j.arimura@jice.or.jp (Corresponding Author)

²正会員 国土交通省水管理・国土保全局海岸室(〒100-8918 東京都千代田区霞が関二丁目1-3) ³正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 海岸研究室(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地) ⁴正会員 京都大学教授 防災研究所(〒611-1192 京都府宇治市五ヶ庄)

本研究では、d4PDFを活用する場合の高潮外力を効率的かつ一定精度で定量評価する手法の確立を目指し、パラメトリック台風モデルによる高潮推算等を想定したd4PDF(MRI-AGCM3.2H)台風トラックデータの中心気圧へのバイアス補正手法の適用と検証を行い、日本の太平洋沿岸を通過する台風の中心気圧と再現期間の将来変化を推定した。2.5緯度区分毎の中心気圧にクオンタイルマッピング型のバイアス補正手法を適用することで、モデルバイアスを良好に補正できること、将来実験から再現期間10年よりも低頻度で台風強度が強まること、また、SSTの将来変化の違いによる最大20hPa程度の予測不確実性の幅を明らかにした。

Key Words: bias correction, typhoon, climate change, return period, d4PDF

1. はじめに

近年、地球温暖化の影響による気候変動により台風等の極端事象が強大化することで、日本沿岸に来襲する高潮や波浪の極値が増大することが報告されている「\\\^2\\^3). このような中、「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方」提言(令和2年7月)を踏まえ、海岸保全を、過去のデータに基づきつつ気候変動による影響を明示的に考慮した対策へ転換するために、令和2年11月20日に海岸保全基本方針が変更された. この基本方針の変更に基づき、各沿岸において海岸保全基本計画の変更を順次行っていく必要がある.

一方,大規模アンサンブル気候予測データベース (d4PDF) 4,5,60を活用した高潮の将来変化の研究が増えている. 先行研究 7,8,9,10,11)によると,気候変動の影響による将来変化について定量評価を行うためには,d4PDFのモデルバイアスの把握とその補正の必要性が指摘されている.

安田ら^つは、水平解像度5km領域気候モデルRCM5を正値とみなした水平解像度20km全球気候モデルGCM20と

水平解像度60km全球気候モデルGCM60間の間に生じる モデル間の出力の平均値と標準偏差を用いたパラメトリ ック型バイアス補正手法を開発し、強い台風の出現頻度 を高めてしまうといった改善の余地は残るがGCM60を 用いた高潮アンサンブル将来予測結果(16メンバ)を報 告している。また、井出ら8は、気象庁ベストトラック データとMRI-AGCM3.2Sの緯度5度毎に分割した台風中 心気圧データを対象としたモデルバイアスの補正手法と して、平均値の比または差、パラメトリック型バイアス 補正、頻度分布マッピング型バイアス補正等様々な補正 手法を比較し、頻度分布マッピング(クオンタイルマッ ピング)型バイアス補正を精度の良い補正手法として報 告している. 山本ら⁹は、安田ら⁷の研究が平均値に対 する補正であることから、過去の観測台風データセット (IBTrACS) をもとに、GCMで計算される最発達時にお ける最大風速と中心気圧について累積確率分布を一致さ せ,経験的台風モデルを使用して台風場全体に対する補 正を行うことで台風の構造を維持しつつ、極端台風に対 するバイアスを補正する手法を開発した. 梅田ら ¹⁰は, d4PDFには概ね緯度30度よりも低緯度の地域で中心気圧 が過大、高緯度では過少に計算されているといった固有のモデルバイアスの存在を指摘し、井出ら⁸を参考にIBTrACSを校正データとしたパラメトリック型バイアス補正を緯度帯、海域別に3度格子単位で適用している.

本研究では、d4PDFを活用する場合の高潮外力を効率的かつ一定精度で定量評価する手法の確立を目指し、台風に対するバイアス補正手法として、井出ら⁸⁰の成果を踏まえたクオンタイルマッピング型バイアス補正、梅田ら¹⁰⁰の成果を踏まえた緯度帯別のバイアス補正を採用した。そのうえで、山本ら⁹⁰で課題とされたサンプル数の不足を解消し、設計に用いる際に必要な信頼性を確保するため、全アンサンブル台風トラックデータの中心気圧を対象としたバイアス補正手法の適用と検証を行った。さらに、日本の太平洋沿岸を通過する台風を対象に、過去実験と将来実験の台風中心気圧の極値分布から再現期間の将来変化を推定した。なお、将来変化予測の信頼性や不確実性の理解に対する実務者への分かり易さを念頭に、超過確率や再現期間により解析結果を表示した。

2. d4PDFの台風特性の把握

台風の解析に用いるデータは、表-1に示すようにd4PDF水平解像度約60kmの気象研究所全球大気気候モデルMRI-AGCM3.2Hから過去気候実験とIPCC第5時評価報告書のRCP8.5シナリオに対応する全球平均気温4℃上昇相当の将来気候実験から台風を抽出したd4PDF台風トラックデータ(全球)¹²⁾、バイアス補正の教師・観測データとして過去60年間の気象庁台風ベストトラックデータ¹³⁾を使用した.

表-1 台風解析に使用したデータ一覧

データ名	期間	メンバ数	年数
(i)気象庁ベストト	1951年~	1	60年
ラックデータ	2010年		
(ii)過去気候実験	1951年~	100	6,000年
	2010年		
(iii)将来気候実験	2051年~	90	5,400年
	2110年		

過去気候実験は、温暖化トレンドを考慮した過去60年の時間変動について観測不確実性を表す100摂動のそれぞれ異なる初期値から計算した結果である。4度上昇の将来気候実験は、温暖化トレンドを除いた過去60年の時間変動について6種のSSTの将来変化の空間パターンに観測不確実性を表す15摂動を与えた90メンバの初期値から計算した結果である。なお、将来気候実験は、産業革命時を想定した非温暖化実験に計算期間を通じて温暖化の状態が時間変化しない全球平均気温が定常に4度上昇

した条件を与えた計算結果である。d4PDF台風トラック データ(全球)は、d4PDFデータベースから、Webbら ¹⁴ の手法で熱帯低気圧の位置、強度、台風半径などのデー タを抽出した公開データセット¹²である。

気象庁ベストトラックデータ(気象庁BT)は、中心位置、中心気圧、最大風速等の台風属性を6時間毎の資料として作成されたものであり、以降の解析に当たり、全てのトラックデータについて1時間ピッチの線形内挿値を作成した。

図-1に気象庁ベストトラックデータ(気象庁BT)と d4PDF台風トラックデータ(全球)の台風経路の重ね合 せ(上段) と2.5°×2.5°格子内年間通過数(下段)の 比較を示す. 台風経路は赤道~北緯70度, 東経100~180 度,格子内通過数は日本近海領域として北緯20度~北緯 50度、東経120~155度を抽出範囲とした、格子内通過数 から台風の年間発生数と日本への年間上陸数を比較した ものが表-2である.ここで、上陸数は気象庁の定義であ る台風中心が北海道, 本州, 四国, 九州の海岸線に達し た場合とした. 具体的には国土地理院の地球地図日本か ら沖縄県を除いたポリゴンデータを作成し、その範囲内 に含まれるものを上陸数として集計した. なお、括弧内 は衛星画像解析を開始した1978年以降の値である. 気象 庁BTと比べて過去実験の年間発生数は1.3(0.6)個/年少な く、相対誤差は約8(4)%であった。また、年間上陸数は 衛星画像開始以降で0.2個/年減少し、相対誤差は約7%で あった. 次に過去実験と比べて将来実験の年間発生数は 4.7個/年(30.1%)減少し、年間上陸数は1.1個/年(37.9%) 減少となり、先行研究 10と同様に将来に発生個数が減少 する傾向を示した.一方で、図-1下段の格子内通過数を みると、気象庁BTと過去実験の台風通過数の濃淡分布 形状は一致度が良いが、全体的に気象庁BTの領域通過 数が多く、北海道周辺や本州南部以南の海域で局所的に 濃淡分布が異なっていることから、d4PDFの活用に当た ってはこのような分布特性に留意しておく必要がある.

表-2 台風の年間発生数と日本への年間上陸数の比較

対象	年間発生数(個/年)	年間上陸数(個/年)
(i) 気象庁BT	16.6 (15.9)	2.9 (2.7)
(ii) 過去実験	15.3	2.9
(iii) 将来実験	10.6	1.8

()内は衛星画像解析を開始した 1978 年以降の値

3. バイアス補正手法の適用と検証

(1) バイアス補正手法

パラメトリック台風モデルを用いた大規模アンサンブ

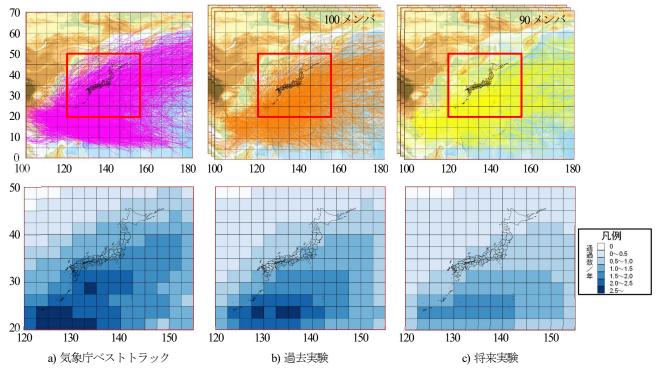


図-1 気象庁台風ベストトラックデータとd4PDF台風トラックデータ(全球)の台風経路の重ね合せ(上段)と 2.5° × 2.5° 格子内 年間通過数(下段)の比較 15

ルによる高潮推算や波浪推算を想定し、台風トラックデ ータの中心気圧をバイアス補正の対象とした. 先行研究 (山本ら9, 梅田ら10) を参考に、中心気圧の抽出範囲 を緯度方向に2.5度毎に分割し、各区分を通過する個々 の台風の最低中心気圧の順序統計量に対して頻度分布 (分位数や累積確率等) が一致する値を同一とみなすク オンタイルマッピング型のバイアス補正手法を適用した. 具体的に,前出の2.5°×2.5°格子内の台風経路別の最 低中心気圧について、過去実験は、緯度2.5度区分毎の 気象庁BTと同クオンタイルの中心気圧を一致させる補 正比率から便宜的に最大6次の多項近似式を作成し, 個々の台風中心気圧のバイアスを補正した. なお, 近似 式作成にあたり、各緯度区分の気象庁BT中心気圧の最 小値に対応する超過確率と同値の過去実験中心気圧の組 み合わせをデータセットとして適用した. 気象庁BTが 存在しない低頻度領域はこの近似式の外挿値として推定 した. 将来実験データのバイアス補正は、この補正比率 を将来実験の中心気圧に適用する手法、同クオンタイル の中心気圧差分Apをバイアス補正後の過去実験の中心 気圧に加える手法の2手法を比較した. 前者は、将来変 化率にもバイアス補正がかかるので極端な値が出にくい といったメリットがあるが、過去実験に対するバイアス 補正率が将来気候条件に適応できる保証はない. また, 後者はΔpが必ずしも将来変化の真値とは限らない等の 課題はあるが、本研究ではバイアス補正後の低頻度側の 分布形状に着目し、その妥当性を検証した.

(2) 過去実験と将来実験のバイアス補正結果

図-2に過去実験と将来実験の緯度2.5度区分毎のバイア ス補正結果を示す. 図中には気象庁ベストトラック,過 去実験の将来実験のバイアス補正前後のWeibullプロット による超過確率分布を示している. 同図から緯度30度付 近を境に低緯度側は気象庁ベストラックの最低中心気圧 が低く、一方で高緯度側は過去実験の最低中心気圧が高 くなっており、緯度30度~40度付近で観測値と過去実験 値の中心気圧差のバイアスが正負逆転する固有の特徴が 確認された. この傾向は梅田ら 10 によるd4PDFモデルバ イアスの指摘とも一致する. 気象庁ベストトラックと過 去実験の比率に基づくバイアス補正後の分布形状をみる と,極端事象まで比較的自然な補正形状になっており, 将来実験における2手法の差も北緯37.5度以上の極端事 象の一部を除いて数hPa以下の差となっている. 図-3に 示す気象庁BTとd4PDFの二乗平均平方根誤差(RMSE)の 分布によると、過去実験の補正後のRMSEが全緯度区分 で2hPa以下に抑えられていること、将来実験の緯度区分 毎のRMSEの分布形状から補正手法の選択による有意な 差がみられなかったことから、低頻度側で中心気圧が低 く補正される補正比率を用いた手法を以降の解析に適用 した.

次に,バイアス補正前後の緯度方向の特性を把握するため,図-4に(a)(b)バイアス補正前後の中心気圧の緯度方向分布(緯度2.5度区分),(c)バイアス補正後の過去実験と将来実験の差分を示す。(a)バイアス補正前によ

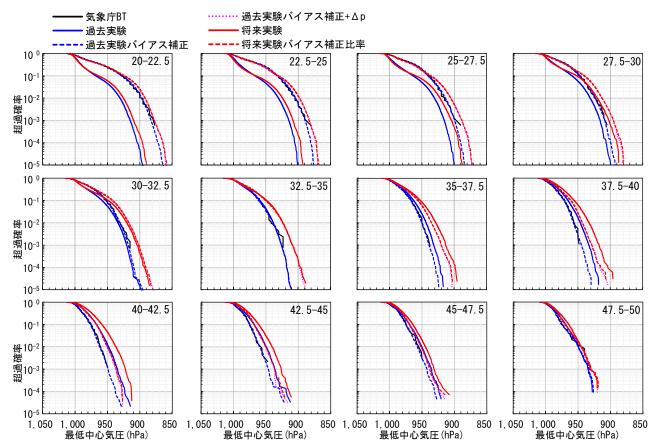
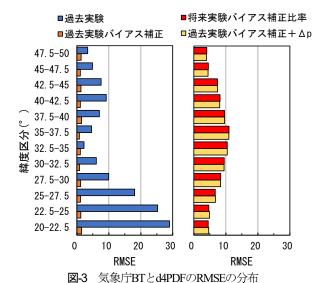


図-2 d4PDF過去実験と将来実験のバイアス補正結果(黒:観測,青:現在気候,赤:将来気候)

ると緯度30度から緯度40度の間で気象庁ベストトラックとd4PDFの中心気圧分布が交差しているが、(b)バイアス補正後では気象庁ベストトラックを良く再現している. このことから、本研究の手法により適切なバイアス補正がなされているものと判断した. 図-4(c)に示す中心気圧の将来変化に着目すると、低緯度側から高緯度側に向かって徐々に強度の将来変化が増加(中心気圧が低下)し、日本の太平洋沿岸に位置する緯度30~40度付近で約



(左:過去実験のバイアス補正前後,右:将来実験のバイア ス補正後)

20hPa (最低値同士) の将来変化をピークに,高緯度側に向かって再び減少する傾向があることを確認した.

4. 台風中心気圧の再現期間の将来変化の推定

(1) 推定手法

日本の太平洋沿岸を矩形の代表8領域(図-5)に分割し、台風中心気圧の再現期間の将来変化の推定を行った. 具体的に、個々の領域内を通過する過去実験と将来実験の台風トラックデータの中心気圧について年最大値資料(中心気圧が最低)を抽出し、Weibullプロットで求めた超過確率から再現期間を推定した。これら領域毎に台風トラックデータの通過数を整理したものが表-3である。領域通過数の将来変化は、領域3以北で0.3~0.4個/年減少、領域4以南で0.4~0.5個/年減少する傾向となった。

(2) 中心気圧と再現期間の将来変化の推定結果

解析結果の一例として、領域5における中心気圧と再 現期間の違いを比較したものが図-6である。図中には過 去実験(合計6,000年)と将来実験(合計5,400年)およ び将来実験を構成する6種のSST条件(各900年)をプロ ットしている。なお、SSTプロットの凡例はCMIP5モデ ルの実験名称の略記である。領域5では、再現期間10年

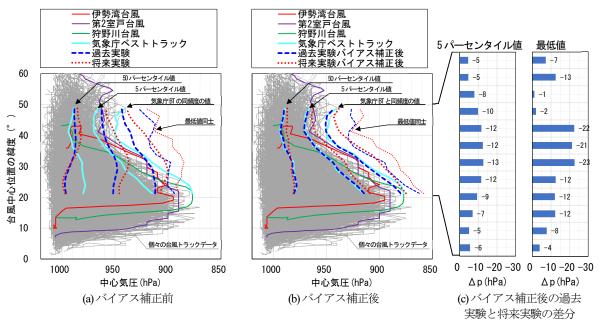


図4 バイアス補正前後の中心気圧の緯度方向分布(緯度25度区分毎)(左)、過去実験と将来実験のバイアス補正後の差分(右)

よりも低頻度では将来実験の再現期間が短くなり、台風強度が将来的に強まる傾向がある。再現期間が短くなる特徴は、森ら²による再現期間が7~8年を超えると将来実験が過去実験の潮位偏差を上回るといった報告とも整合する。また、図は割愛するが、領域3以北は相対的に中心気圧の差が小さくなる傾向があることがわかった。将来実験のSST間の予測幅に着目すると、再現期間100

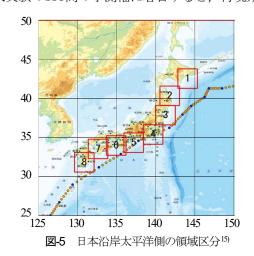


表-3 d4PDF台風トラックデータの領域通過数

領域	代表地点	過去実験 個/年	将来実験 個/年
1	釧路	0.7	0.4
2	八戸	0.8	0.5
3	魚占川	1.0	0.6
4	東京	1.3	0.8
5	名古屋	1.2	0.7
6	大阪	1.1	0.7
7	呉	1.1	0.7
8	鹿児島	1.1	0.7

年程度まではCCを除いて10hPa程度の予測幅であるが、 再現期間300年以降は予測幅が20hPa程度まで広がること を確認した.海岸保全施設の設計外力は、再現期間(確 率年)で30年、50年、100年といった100年以下のオーダ 一で設定されている場合が多く、設計外力相当の再現期 間の範囲では、気候変動の影響により台風強度が徐々に 強まる結果となった.

5 結論

本研究では、気候変動による台風属性の将来変化について、d4PDFを活用する場合の効率的かつ一定精度で定量評価する手法の確立を目指し、パラメトリック台風モデルを用いた高潮推算や波浪推算を想定した、d4PDF台

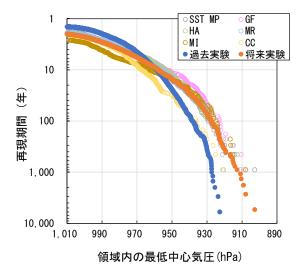


図-6 中心気圧と再現期間の関係(領域5) (青:現在気候,橙:将来気候,○:各SST毎)

風トラックデータの中心気圧へのバイアス補正手法の適用と検証,日本の太平洋沿岸を通過する台風を対象とした台風中心気圧と再現期間の将来変化を推定した.以下に主な結論を記す.

(1) d4PDF将来実験の年間上陸数が1.1個/年(37.9%)減少する傾向を確認した. (2) 2.5緯度区分毎のd4PDF台風トラックデータ中心気圧にクオンタイルマッピング型のバイアス補正手法を適用することで、d4PDF固有のモデルバイアスを良好に補正できることを明らかにした. (3) 再現期間10年よりも低頻度では将来的に台風強度が強まる傾向、将来実験SSTの違いによる最大20hPa程度の予測不確実性の幅を明らかにした. バイアス補正された台風トラック等を用いて高潮・波浪推算を効率的かつ精度よく実施する方法の検討が今後の課題である.

謝辞:本研究は、「気候変動を踏まえた海岸保全のあり 方検討委員会」(国土交通省水管理・国土保全局事務局) による成果の一部である.

参考文献

- 安田誠宏,安藤圭,森信人,間瀬肇:地球温暖化予測に基づく将来台風変化予測とその確率モデリング, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp.1281-1285, 2009.
- 2) 森 信人, 志村智也, 吉田康平, 水田 亮, 岡田靖子, Khujanazarov Temur, 石井正好, 木本昌秀, 高薮 出, 中北英一: 全球 60kmAGCM を用いた大規模アンサンブル気候予測実験とこれを用いた高潮長期評価, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.72, No.2, pp.I_1471-I 1476, 2016.
- 3) 森信人,福井信気,志村智也:気候変動を考慮した我が国の三大湾の高潮最大潮位偏差についての研究レビュー,土木学会論文集B2(海岸工学),Vol.76,No.1,1-6,2020.
- d4PDF:地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予 測データベース, https://www.miroc-gcm.jp/ pub/d4PDF, 2016,参照 2020-02-13.
- 5) Mizuta, R., et al.: Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional at-

- mospheric models, The Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS), July, pp.1383-1398, 2017.
- 6) Ishii, M., Mori, N. d4PDF: large-ensemble and high-resolution climate simulations for global warming risk assessment. Prog Earth Planet Sci 7, 58 (2020). https://doi.org/10.1186/s40645-020-00367-7
- 7) 安田誠宏,山本耀介,森信人,間瀬 肇: MRI-AGCM3.2H アンサンブル実験を用いた高潮の将来変化予測に関する研究,土木学会論文集 B2(海岸工学),Vol.72, No.2, pp.I_1477-I_1482, 2016.
- 8) 井手喜彦,一色勇志,児玉充由,橋本典明,山城賢: 将来気候データにおける台風中心気圧のバイアス補 正手法に関する検討,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.73, No.2, pp.I_1417-I_1422, 2017.
- 9) 山本耀介,森信人,Marc KJERLAND:全球気候モデル台風の最発達強度に着目したバイアス補正手法の開発と解適合格子モデルを用いた高潮の将来変化予測,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.74, No.2, pp.I 607-I 612, 2018.
- 10) 梅田尋慈, 中條壮大, 森信人: 大規模アンサンブル気候予測データ(d4PDF)を用いた全球確率台風モデルの開発, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.75, No.2, pp.I 1195-I 1200, 2019.
- 11) Watanabe, S., Yamada, M., Abe, S., and Hatono, M.: Bias correction of d4PDF using a moving window meth-od and their uncertainty analysis in estimation and pro-jection of design rainfall depth, Hydrological Research Letters, 14(3), pp.117-122, 2020.
- 12) 京都大学防災研究所:「気候変動予測・影響評価に関するデータ」(文部科学省 気候変動リスク情報創生 プログラム), http://www.coast.dpri.kyoto-u.ac.jp/japanese/?page_id=5004, 2019, 参照 2020-02-13.
- 13) 気象庁 RSMC Tokyo-Typhoon Center: RSMC Best Track Data(http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/besttrack.html), 参照 2020-02-25.
- 14) Webb, A., T. Shimura, N. Mori: Global Tropical Cyclone Track Detection and Analysis of the d4PDF Mega-ensemble Projection, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.75, No.2, pp.I 1207-I 1212, 2019.
- 15) 標準地図タイル及び地球地図データ (国土地理院) (https://www.gsi.go.jp/gis.html, 参照 2020-02-28.)を背景 に作成

(Received March 17, 2021) (Accepted July 22, 2021)

BIAS CORRECTION METHOD FOR d4PDF TYPHOON TRACK DATASET AND FUTURE CHANGES IN TYPHOON CENTRAL PRESSURE

Junichi ARIMURA, Zhongrui QIU, Tetsuya OKAYASU, Koutarou CHICHIBU, Kunihiro WATANABE and Nobuhito MORI

In this study, we verified a bias correction method for the central pressure of the d4PDF (MRI-AGCM3.2H) typhoon track data assuming the storm surge estimation by the parametric typhoon model. Then, the future changes in the central pressure and return period of typhoons passing through the Pacific coast of Japan are estimated. The results showed that the model bias can be corrected well by applying the quantile mapping method to a low central pressure for each 2.5 latitude division, the typhoon central pressure tends to decrease for a longer return period than 10 years from future experiments, and the range of the SST model prediction uncertainty was up to 20hPa due to differences in future changes of the SST patterns.