ISSN 1346-7328
国総研資料 第1302号
令 和 7 年 1 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 1302 January 2025

日本沿岸の主要港湾における
高潮・波浪への気候変動の影響評価

本多和彦・成田裕也・平山克也・髙川智博・森 信人・千田 優

Future Projections of Storm Surges and Wave Heights at Major Ports along the Coasts of Japan Considering Climate Change

HONDA Kazuhiko, NARITA Yuuya, HIRAYAMA Katsuya
TAKAGAWA Tomohiro, MORI Nobuhito, CHIDA Yu

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

国土技術政策総合研究所資料
No. 1302　　2025 年 1 月
(YSK-N-505)

日本沿岸の主要港湾における高潮・波浪への気候変動の影響評価

本多和彦[1)]・成田裕也[2)]・平山克也[3)]・髙川智博[4)]・森　信人[5)]・千田　優[6)]

要　旨

気候変動を考慮した将来気候条件における高潮や高波のリスクを評価し，港湾地域での気候変動適応策を実施することや港湾施設を適切に設計することは重要である．これらの将来気候におけるリスク評価や港湾施設の設計には，ウェーブ・セットアップ（Wave-Setup）の影響を含めた潮位偏差および波高の極値について，それらの将来変化を評価する必要がある．

本検討では，日本沿岸の主要港湾における将来の潮位偏差および波高について，大きな不確実性の要因である将来気候の海水面温度パターンの違いも考慮し，再現期間に応じた将来変化比を算出した．また，本検討による潮位偏差および波高の将来変化比について，将来の港湾施設を設計する際に参考とする値を示すとともに，留意点についても示した．

キーワード：気候変動，潮位偏差，波高，ウェーブ・セットアップ，主要港湾，港湾施設設計

---

1) 港湾・沿岸海洋研究部　港湾・沿岸防災研究室　室長
2) 港湾・沿岸海洋研究部　港湾・沿岸防災研究室　交流研究員（パシフィックコンサルタンツ株式会社）
3) 港湾空港技術研究所　沿岸水工研究領域　領域長
4) 港湾空港技術研究所　沿岸水工研究領域　津波高潮研究グループ　グループ長
5) 京都大学　防災研究所　／　横浜国立大学　教授
6) 港湾・沿岸海洋研究部　港湾・沿岸防災研究室　主任研究官

〒239-0826　横須賀市長瀬3-1-1　国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5019　Fax：046−842−9265　e−mail：ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

Technical Note of NILIM
No. 1302 January 2025
(YSK-N-505)

Future Projections of Storm Surges and Wave Heights at Major Ports along the Coasts of Japan Considering Climate Change

HONDA Kazuhiko[1)]
NARITA Yuuya[2)]
HIRAYAMA Katsuya[3)]
TAKAGAWA Tomohiro[4)]
MORI Nobuhito[5)]
CHIDA Yu[6)]

Synopsis

It is important to evaluate the risks of storm surges and high waves under future climate conditions, to implement climate change adaptation measures in port areas and to design port facilities appropriate for the future climate. To evaluate these risks and design port facilities for future climate conditions, it is necessary to estimate the future changes in the extreme values of storm surge deviations considering the effects of wave-setup and high waves.

In this study, we evaluated the future change ratio of storm surge deviations and wave heights according to the return period in major ports along the coasts of Japan, considering the effects of six different sea surface temperature models. In addition, we proposed the future change ratio of storm surge deviations and wave heights for reference when designing port facilities.

Key words: climate change, storm surge deviations, wave heights, wave-setup, major ports of Japan, design of port facilities

1) Head of Port and Coastal Disaster Prevention Division, Port, Coastal and Marine Department
2) Visiting Researcher, Port and Coastal Disaster Prevention Division, Port, Coastal and Marine Department (Pacific Consultants Co., Ltd.)
3) Director of Coastal Hydraulic Engineering Department, Port and Airport Research Institute
4) Head of Tsunami and Storm Surge Group, Coastal Hydraulic Engineering Department, Port and Airport Research Institute
5) Professor, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University / Yokohama National University
6) Senior Researcher, Port and Coastal Disaster Prevention Division, Port, Coastal and Marine Department

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone: +81-46-844-5019 Fax: +81-46-842-9265 e-mail: ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

目　次

1. まえがき ····· 1

2. 将来変化比の算定手法 ····· 3
2.1 対象港湾および使用データ ····· 3
2.2 気圧場・風場の解析 ····· 4
2.3 高潮解析 ····· 13
2.4 波浪解析 ····· 15
2.5 Wave-Setup を考慮した潮位偏差の算定 ····· 17
2.6 現在気候および将来気候の気象擾乱データ ····· 20
2.7 極値統計解析 ····· 33

3. 潮位偏差の将来変化予測 ····· 36

4. 波高の将来変化予測 ····· 38

5. まとめ ····· 39

6. あとがき ····· 42

謝辞 ····· 42
参考文献 ····· 43

付録 A 対象港湾と検証等に用いた観測地点 ····· 46
付録 B 対象港湾の沖波・準沖波の設定地点 ····· 49
付録 C 対象海域の高潮解析における解析領域 ····· 60
付録 D 対象海域の波浪解析における解析領域 ····· 76
付録 E 潮位偏差の港湾毎の将来変化予測の詳細結果 ····· 87
付録 F 波高の港湾毎の将来変化予測の詳細結果 ····· 90
付録 G 潮位偏差の代表地点毎の極値統計解析結果 ····· 96
付録 H 潮位偏差の将来変化予測の平面分布 ····· 214
付録 I 波高の将来変化予測の平面分布 ····· 571

1. まえがき

気候変動による高潮および高波の将来変化を予測することは，日本における港湾等といった沿岸地域の持続可能な開発において，非常に大きな課題である．日本沿岸においては，地球温暖化に伴う海水面温度の上昇による平均海面水位上昇の影響のほかに，台風（熱帯低気圧）の強大化によって，高潮および高波の規模が増大する可能性が示唆されている（文部科学省・気象庁，2020）．港湾において，このような高潮および高波の増大は，異常時における施設の安定性ならびに堤外地および背後域の安全性に影響を及ぼす．そのため，将来の高潮および高波の変化を定量的に評価し，それらに基づいて港湾地域における気候変動適応策を実施することが今後の重要な課題である．

そこで，本検討では，気候変動の影響を踏まえた港湾施設の設計に資するため，日本沿岸の港湾のうち，重要港湾以上の港湾を対象に，高潮および高波の変化を定量評価するための潮位偏差および波高の将来変化比を算出することを目的とする．

日本沿岸における潮位偏差および波高の将来変化の定量的な評価については，様々な研究の取り組みが行われている．たとえば，有吉ら（2018）および森ら（2021）は，台風の潜在的最大強度の理論に基づき，対象とする気候下における可能最大高潮偏差を推定する手法（森ら，2016）を用いて，将来における日本沿岸の海域毎の高潮偏差について，その将来気候下で当該海域の地形を考慮して発達しうる最大の値を評価した．しかし，日本の港湾施設の設計で用いている潮位偏差は，気候的可能最大高潮偏差ではなく，既往最大潮位偏差等といった値であるため，その評価に参考となる値として，例えば，再現期間に応じた潮位偏差を算出する必要がある．

Shimuraら（2021）は，産業革命以前と比べて2,100年に約4度上昇（放射強制力で8.5W/m^{2}上昇）する将来気候シナリオであるIPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書（2013）にあるRCP8.5シナリオをもとに気象研究所全球大気モデルMRI-AGCM3.2Sを用いた気候予測結果を対象に，日本沿岸における高潮偏差および再現期間50年の波高の将来変化を評価した．しかし，気候変動に関する国際的枠組みであるパリ協定においては，「世界の平均気温上昇を産業革命以前と比べて2℃未満に抑え，1.5℃までに抑える努力をする」との目標を掲げ，日本を含め世界各国において温室効果ガスの排出抑制を進める緩和策が取られている．このため，港湾施設の設計に気候変動の影響を考慮する際には，産業革命以降に2度上昇する将来気候を基本とすることが想定される．また，将来予測には，数値計算モデルや計算条件による予測モデル誤差が含まれることが想定されることから，将来予測の範囲も把握する必要がある．

気候変動による台風などの極端気象場の将来変化を予測するためには，十分なイベント数が必要となる．このため，我が国では，積分年数5000年を超える気候変動予測データである「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」（d4PDF．Mizutaら，2017）が開発され，気候変動を考慮した河川基本計画等の様々な分野で応用されている（石井ら，2022）．d4PDFは，現在気候を表す過去実験，ならびに，将来気候を表す将来実験があるが，将来実験には，2度上昇（+2K）および4度上昇（+4K）の2種類があり，それぞれ，Mizutaら（2014）が多数モデルによるシナリオ実験CMIP5の主要な気候モデルの中からクラスター分析により選定した6つの異なる海面水温パターン（SST）を対象としたケースがあるため，予測モデル誤差の評価も可能である．

岡本ら（2023b）は，d4PDFおよび梅田ら（2019）が構築した確率台風モデルを用いて，将来の高潮偏差および波高を推定した．しかし，確率台風モデルの再現精度や高潮偏差および波高のバイアス補正についての信頼性の確認が十分でない．

そこで，野村ら（2022）は，気候変動の影響を踏まえた港湾施設の設計に資するため，北海道沿岸の港湾を対象に，d4PDFの過去実験および将来実験結果を用いて，台風および温帯低気圧を対象擾乱とした波浪推算の極値統計結果から，50年確率波高の将来変化比を算出した．また，惠平ら（2024）は，北海道沿岸の港湾および漁港を対象に，観測された年最大潮位偏差の極値分布に適合する極値関数から現在想定している潮位偏差の再現期間を推定するとともに、d4PDFの過去実験および将来実験結果を用いて，台風および温帯低気圧を対象擾乱とした高潮推算の極値統計結果の比較から、現在想定している潮位偏差の再現期間に対応する潮位偏差の将来変化比を算出した．

一方，本多ら（2024）は，気候変動の影響を踏まえた港湾施設の設計に資するため，３大湾（東京湾・伊勢湾・大阪湾）内の港湾を対象に，確率台風モデルではなく，d4PDFをもとにShimuraら（2016）の手法によって台風を抽出し作成したWebbら（2019）により提供された台風トラックデータを直接用いて，将来実験（+2Kおよび+4K）における再現期間に応じた高潮偏差および波高の将来変化比について，6つの異なるSST毎に算出した．

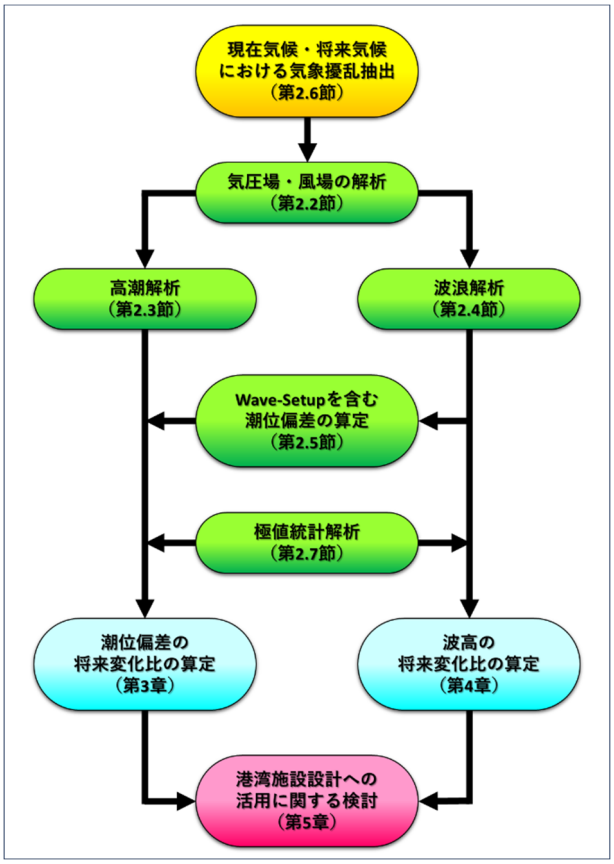
以上のことから，本検討では，日本沿岸の港湾のうち，

野村ら（2022）および惠平ら（2024）が対象とした北海道沿岸，および，本多ら（2024）が対象とした３大湾を除く重要港湾以上の港湾を対象に，d4PDFの過去実験および将来実験（+2K）を用いて，将来における再現期間に応じた潮位偏差および波高の将来変化比について，6つのSST毎に算出することとした．

本検討は，図−1. 1に示す検討フローのとおり，まず，現在気候および将来気候における台風および温帯低気圧の気象擾乱の条件等を設定するとともに，解析対象とする気象擾乱を抽出し（第2.6節），台風および温帯低気圧による気圧場および風場を解析する（第2.2節）．次に，この気圧場および風場の解析結果を用いて，高潮解析（第2.3節）および波浪解析（第2.4節）を実施し，対象とする気象擾乱毎の高潮偏差および波高を算出する．そして，気象擾乱毎の波高から算定した砕波に伴う水位上昇の Wave-Setup を高潮偏差に加えて潮位偏差を評価し（第2.5節），この潮位偏差および波高の算出結果に対して極値統計解析を実施し（第2.7節），潮位偏差の将来変化比（第3章）および波高の将来変化比（第4章）を算定する．

本稿の構成は，まず，第2章において，本検討に用いた数値解析手法や解析条件を詳述する．次に，第3章および第4章に，それぞれ潮位偏差および波高に関する将来変化比の算定結果を示す．さらに，第5章の「まとめ」では，実際の港湾施設の設計に気候変動の影響を考慮する際に推奨する値および留意点を示す．

なお，本稿において，とくに断りがない場合には，「高潮偏差」とは，海面気圧低下に伴い潮位が上昇する「吸上げ効果」および風により沿岸に海水が吹き寄せられて潮位が上昇する「吹寄せ効果」によるものとし（第2.3節で詳述），この高潮偏差に砕波に伴う水位上昇の Wave-Setup （第2.5節で詳述）を加えたものを「潮位偏差」と呼ぶことに注意されたい．



図−1. 1　本検討フロー

2. 将来変化比の算定手法

2.1 対象港湾および使用データ

本検討では，日本沿岸の港湾のうち，野村ら（2022）および惠平ら(2024)が対象とした北海道沿岸，および，本多ら（2024）が対象とした３大湾を除く海域における重要港湾以上の97港湾を対象に，潮位偏差および波高の将来変化比を算定することを目的としている．なお，下関港および北九州港については，両港湾ともに周防灘および響灘に跨るため，高潮や波浪の特性が異なる海域に位置している．そのため，下関港および北九州港については，周防灘および響灘に分けて取り扱うこととした．これら2港湾を海域別に分けることによる重複を含めると，本検討では99港湾を対象とすることになる．この重複を含めた対象港湾のリストを付録Aに示す．

本検討における潮位偏差の将来変化比の算出地点は，各対象港湾の近隣の潮位観測地点を設定した（付録A）．一方，波高の将来変化比の算出地点の位置については，各対象港湾の港湾施設の設計実務における沖波の設定地点を参考に設定した．なお，設計実務における沖波の設定地点が不明な場合には新規に設定した．それらの位置および水深について付録Bに示す．これら対象港湾毎の算出地点は，十分な水深を有して沖波と定義できる対象港湾もあるが，対象港湾によっては，近隣に十分な水深となる地点がないことから準沖波（平山ら，2021）となることもあることに注意されたい．

対象港湾における高潮解析・波浪解析の結果における再現性を向上させるための高潮解析・波浪解析の結果の補正を検討するためには，既往の台風および温帯低気圧といった気象擾乱を対象に，潮位，波浪および風の観測値との比較が必要となる．これらに用いた観測値について，**表-2.1～表-2.3**に示す．参照した潮位，波浪および風の観測地点は，各対象港湾の近隣の観測地点とし，それらのリストを付録Aに示す．

潮位観測データについては，気象庁のように，本検討の対象である潮位偏差を公開しているものもあるが，他の管理主体による潮位観測データは，潮位偏差の他に天文潮を含んだ潮位データのみとなっている．そのため，この潮位データから天文潮を除いた潮位偏差を算出する必要がある．そこで，本検討では，潮位データから各年で調和分解を実施し，潮位データから調和分解から求めた天文潮位を減じて，潮位偏差を算出した．

本検討における高潮解析・波浪解析に用いた水深データについては，日本周辺領域および外洋領域に応じた水深データを用いた．それらについて，**表-2.4**および**表-2.5**に示す．

表-2.1 潮位観測データの諸元

管理者	観測データ	備考
気象庁	潮位偏差(ピーク時)	顕著な高潮のみ(偏差 0.5m 以上)
港湾局	潮位(0.5 秒間隔) 調和定数	異常値等も含む生データ
国土地理院	潮位(1 時間間隔)	JODC 公開データ
海上保安庁	潮位(1 時間間隔)	JODC 公開データ
兵庫県	潮位(1 時間間隔)	兵庫県 海の防災情報

表-2.2 波浪観測データの諸元

管理者	観測データ	備考
港湾局	波浪データ(20 分または 2 時間間隔)	ナウファス公開データ
気象庁	波浪データ (1 時間間隔)	気象庁公開データ
水管理・国土保全局	波浪データ (1 時間間隔)	水管理・国土保全局からの提供

表-2.3 風観測データの諸元

管理者	観測データ	備考
気象庁	気象データ (1 時間間隔)	気象庁公開データ

表-2.4 高潮解析に用いた水深データ

範囲	使用データ
日本周辺	・日本水路協会　海底地形デジタルデータ（M7000 シリーズ） ・内閣府　南海トラフの巨大地震モデル検討会地形データ（最小 10m 格子） ・内閣府　日本海溝・千島海講沿いの巨大地震モデル検討会　地形データ（最小 10m 格子）
外洋	・NOAA（アメリカ海洋大気庁）　ETOPO2022

表-2.5 波浪解析に用いた水深データ

範囲	使用データ
日本周辺	・日本水路協会　海底地形デジタルデータ（M7000 シリーズ）
外洋	・NOAA（アメリカ海洋大気庁）　ETOPO2022

2.2　気圧場・風場の解析

本多ら（2024）は，３大湾（東京湾・伊勢湾・大阪湾）内の港湾を対象に，台風による気象擾乱のみによる高潮偏差および波高の将来変化比を算出した．これは，３大湾内の港湾における設計潮位および設計波高の設定に影響する主要な気象擾乱は台風であるためである．しかし，本検討の対象港湾は，３大湾および北海道を除く日本沿岸に位置するため，それらの港湾の設計潮位および設計波高の設定に影響する気象擾乱には，台風のみではなく急速に発達した温帯低気圧も含まれることがある．そのため，本検討では，高潮および波浪を解析するにあたって，台風および温帯低気圧による気象擾乱に伴う気圧場および風場を外力条件とする必要がある．

台風を対象に高潮偏差および波高の将来変化比を算出した本多ら（2024）は，台風による気圧場および風場については，経験的台風モデル（本節第(1)項）を用いて算出した．しかし，本検討では，太平洋沿岸の北側や日本海側といったように，中心気圧低下量が減少して比較的勢力を落として台風が来襲する海域に位置する港湾も対象としている．一般的に，中心気圧低下量が減少した台風では，経験的台風モデルによって算定された気圧場および風場の分布形状から崩れることがある．そのため，台風を気象擾乱とした高潮偏差および波高の解析では，全海域で一律に経験的台風モデルを用いるのではなく，温帯低気圧を対象に用いる領域気候モデル（RCM）（本節第(2)項）を用いて気圧場および風場を算定する方が再現性の向上が期待と考えられる．そこで，台風を対象とした気圧場および風場の算定において，台風が勢力を保って来襲する太平洋沿岸の南側の海域では経験的台風モデルを選択し，それ以外の海域ではRCMを選択することとした（本節第(3)項）．

一般的に，経験的台風モデルによる風場には，陸域の地形の影響を考慮することができない．そこで，３大湾を対象とした本多ら（2024）は，陸域の地形の影響を考慮するため，経験的台風モデルによって算出した風場に対して，井手ら（2017b）を参考に風速および風向を補正した．一方，本検討で参考にするRCMについても，その解像度は20kmであることから，海域によっては風場に対する陸域の地形の影響を十分に考慮できないことが考えられる．そのため，本検討では，井手ら（2017b）を参考に，経験的台風モデルだけではなく，RCMについても風場の補正を実施することとした（本節第(4)項）．なお，風場の補正については，本検討の全ての対象海域ではなく，陸域の地形の影響が大きいと推察される一部の海域に限っていることに注意されたい．

なお，本検討において参考としたd4PDF（Mizutaら，2017）の台風トラックデータおよび気圧・風速のデータには，解析モデルによるバイアスが含まれている．それらのバイアス補正については，第2.6節にて詳述する．

(1) 経験的台風モデル

本検討では，本多ら（2024）と同様に，台風の移動に伴う移動座標系における自由大気の力の釣り合いを考慮した経験的台風モデルを用いた．

経験的台風モデルの気圧分布は、Myersの分布を仮定して次式により算出した．

$$p = p_c + \Delta p \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) \tag{2.1}$$

ここに，p は台風の中心から距離 r だけ離れた点の気圧，p_c は台風中心の気圧，Δp は気圧深度，r_0 は最大旋衡風速半径である．最大旋衡風速半径は，河合ら（2005）により提案された以下の式を用いて算出した．

$$r_0 = 94.89 \exp\left(\frac{p_c - 967}{61.5}\right) \tag{2.2}$$

海上における風場の計算に当たって，まず自由大気における傾度風速を，台風の移動に伴う移動座標系における力の釣り合いを考慮した以下の式で求めた（藤井ら，1986）．

$$V_{gr} = -\frac{fr - V_T \sin\gamma}{2} + \sqrt{\left(\frac{fr - V_T \sin\gamma}{2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p}{\rho_a}\right)\cdot\left(\frac{r_0}{r}\right)\cdot \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right)} \tag{2.3}$$

ここに，V_{gr} は台風の移動の効果を取り込んだ傾度風速，f はコリオリ係数（$= 2\omega \sin\theta$，ω：地球自転の角速度 $=7.29\times10^{-5}$ rad/s，θ：緯度），V_T は台風の移動速度，γ は台風の進行方向と等圧線の曲率半径 r の時計回りの角度，ρ_a は大気の密度である．傾度風速から海上風速への補正は，以下の式を用いて行った．

$$V_1 = C_1 V_{gr} \tag{2.4}$$

ここに，V_1 は海上風速，C_1 は傾度風速から海上風速へ

の補正係数である．この C_1 は，対象海域毎に精度検証により設定することが一般的である．しかし，本検討では，３大湾および北海道を除く日本沿岸に位置する港湾を網羅的に対象にするため，隣接する海域や港湾と可能な限り整合することを優先し，本多ら（2024）と同様に一律に C_1 を0.70に設定した．また，経度風から海上風への風向の補正についても，傾度風の風向から台風中心に向かって30°偏向するものとして一律に設定した．

(2)領域気候モデル（RCM）

本検討では，温帯低気圧および気圧低下量が減少して経験的台風モデルでは再現できない台風について，「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（d4PDF）（日本域ダウンスケーリング：NHRCM，空間解像度20km）」を参考に設定した領域気候モデル（RCM）を用いて，気圧場および風場の時空間分布を算出した．

(3)台風の気圧場・風場に用いるモデル選択

一般的に，中心気圧低下量が大きい勢力の強い台風では，式(2.2)から分かるように，最大旋衡風速半径が小さくなり台風の大きさはコンパクトとなる傾向があることから，台風の中心近くの気圧や風の空間分布の変化量は大きくなる．そのため，本検討で用いるRCMが参考とするd4PDFの日本域ダウンスケーリングのデータの空間解像度20kmでは，台風の中心近くの気圧および風の空間分布の再現性は期待できない．そこで，台風が勢力を維持しながら来襲することが多い太平洋沿岸の南側に位置する海域については，台風の中心近くの気圧場および風場の空間分布の変化の再現性が期待できる経験的台風モデルを選択する．

一方，台風が勢力を減衰させて中心気圧低下量が減少すると，経験的台風モデルによって算定された気圧場および風場の分布形状から大きく異なる傾向がある．このとき，気圧や風の空間分布の変化量は比較的小さく，本検討で用いるRCMが参考とするd4PDFの空間解像度20kmであっても，台風中心近くの気圧場や風場の空間分布の再現に十分な解像度である．そのため，勢力を減衰させて台風が来襲することが多い太平洋沿岸の北側や日本海側に位置する海域については，台風による気圧場および風場の算定において，経験的台風モデルではなく，RCMを用いることとした．

台風による気圧場および風場の算定について，経験的台風モデルを用いる海域とRCMを用いる海域の境界を設定するため，既往の気象擾乱を対象に波高の再現性を確認した．太平洋沿岸については陸奥湾から駿河湾を対象とし，日本海側については九州西側から東北日本海側を対象とした．対象とする気象擾乱は，各海域に含まれる全対象港湾における波高の上位を含むものとし，各海域で合計20擾乱程度となるように抽出した．経験的台風モデルで用いる中心気圧および台風経路は，気象庁による台風ベストトラックデータによるものとし，最大旋衡風速半径は式(2.2)により算出した．RCMについては，第2.6節にて詳述するRCMで参考とするd4PDFの日本域ダウンスケーリングのデータのバイアス補正に利用したERA5（欧州中期予報センターの気象再解析データ）を用いて算出した．なお，波浪の解析に用いたモデルは，第2.4節にて詳述するモデルを用いた．

各海域における既往の気象擾乱による波高の実測値と，台風による気圧場および風場の算出に経験的台風モデルを用いた結果およびRCMを用いた結果との比較として，それぞれの実測値との相関係数を**表-2.6**に示す．なお，表中の相関係数の数値のうち，下線がある数値は，相関係数が高い方を表している．ここで，本検討は，波高の将来変化比を算出することを目的としているため，将来変化比に影響すると考えられる相関係数を比較対象として，将来変化比への影響が小さい回帰係数は比較対象から除外している．

表-2.6　経験的台風モデルと RCM による再現性比較

海域	相関係数（海域平均）波高	
	経験的台風モデル	RCM
陸奥湾	0.29	<u>0.79</u>
東北太平洋側	0.44	<u>0.56</u>
北関東	0.16	<u>0.50</u>
駿河湾	0.02	<u>0.31</u>
駿河湾（高潮偏差）	<u>0.59</u>	0.07
九州西側	0.74	0.74
九州北側	0.33	<u>0.46</u>
山陰地方	0.40	<u>0.88</u>
若狭湾	0.48	<u>0.51</u>
富山湾	0.41	<u>0.85</u>
東北日本海側	0.83	0.83

太平洋沿岸の北側の海域について，陸奥湾から北関東まで，経験的台風モデルよりもRCMの方が高い相関係数となっている．駿河湾についても，経験的台風モデルよ

りもRCMの方が高い相関係数となっているが，これは，駿河湾内にある波高の検証地点の清水港および御前崎港のうち，御前崎港における相関係数が非常に小さいことに起因している．そこで，駿河湾については，高潮偏差についても相関係数の比較を行った．その結果，RCMよりも経験的台風モデルの方が高い相関係数を示した．駿河湾における波高および高潮偏差の相関係数の比較から，駿河湾については，RCMによる波高の相関係数よりも経験的台風モデルによる高潮偏差の相関係数の方が大きいことを踏まえて，経験的台風モデルを選択するものとした．

日本海沿岸の海域について，九州北側から東北日本海側まで，経験的台風モデルよりもRCMの方が高い相関係数となっている．九州西側については，いずれも同等の相関係数になっている．しかし，九州西側は，八代海および有明海といった比較的狭く閉鎖的な湾を有しており，台風の中心近くの気圧場および風場の空間分布の影響が大きくなることを踏まえて，経験的台風モデルを選択するものとした．

表-2.7　台風に使用するモデルと風場の補正

海域	台風に使用するモデル	風場の補正
①陸奥湾	RCM	
②東北太平洋側	RCM	
③北関東	RCM	
④駿河湾	経験的台風モデル	○
⑤紀伊半島	経験的台風モデル	
⑥四国太平洋側	経験的台風モデル	
⑦瀬戸内海	経験的台風モデル	○
⑧九州南東側	経験的台風モデル	
⑨薩南諸島	経験的台風モデル	
⑩琉球諸島	経験的台風モデル	
⑪九州西側	経験的台風モデル	○
⑫九州北側	RCM	
⑬山陰地方	RCM	
⑭若狭湾	RCM	○
⑮富山湾	RCM	○
⑯東北日本海側	RCM	

以上のことから，台風の気圧場および風場の算定について，陸奥湾から北関東および九州西側から東北日本海側の海域については，RCMを用いるものとし，それ以外の海域については，経験的台風モデルを用いるものとした．これらを整理したものを**表-2.7**に示す．

(4) 風場の補正

経験的台風モデルにて参考とするd4PDFの台風トラックデータ（Webbら，2019）の中心気圧にはモデルバイアスが含まれている．また，RCMにて参考とするd4PDFの日本域ダウンスケーリングのデータについても，気圧および風速にモデルバイアスが含まれている．それらのバイアス補正については，第2.6節にて詳述する．ここでは，第2.6節にてバイアスを補正した気圧場および風場を対象とした，陸域の地形の影響を考慮するための風場の補正について述べる．

一般的に，経験的台風モデルによる風場には，陸域の地形の影響を考慮することができない．そこで，３大湾を対象とした本多ら（2024）の検討に倣い，陸域の地形の影響を考慮するため，経験的台風モデルによって算出した風場に対して，井手ら（2017b）を参考に風速および風向を補正した．

一方，本検討で参考にするRCMについては，陸域の影響は考慮しているものの，その解像度は20kmであることから，海域によっては風場に対する陸域の地形の影響を十分に考慮できないことが考えられる．そこで，RCMについても，経験的台風モデルと同様に風場の補正を実施することとした．

なお，海上風の風場の補正については，風速および風向の分布に対する地形の影響は現在と比較して将来も変化しないものと考え，第2.6節において詳述する現在気候および将来気候を表す，それぞれ過去実験および将来実験の両方に対して同様に補正を実施した．

また，この風場の補正については，解析コストの制約から，本検討の全ての対象海域ではなく，陸域の地形の影響が大きいと推察される比較的閉鎖性がある海域に絞り，具体的には，**表-2.7**に示す5海域とした．なお，九州西側の海域における風場の補正については，地形の影響が大きいと見込まれる有明海・八代海の湾内のみとした．

本検討における風場に対する地形の影響を考慮するための海上風の風場の補正は，井手ら（2017b）の検討を参考に，風速別・風向別に算出した補正係数から逆距離荷重法により海上風の補正を行った．なお，台風について経験的台風モデルを用いる駿河湾，瀬戸内海および九州西側の3海域については，既往の台風を対象に経験的台風モデルの風場を補正するとともに，既往の温帯低気圧を対象にRCMの風場を補正する．これに対し，台風についてRCMを用いる若狭湾および富山湾については，既

往の台風および温帯低気圧を合わせた気象擾乱を対象に，RCMの風場を補正する．

補正方法は，まず，台風および温帯低気圧の既往の気象擾乱を対象の5海域毎に抽出し，それぞれの気象擾乱について，第2.6節にてバイアスを補正した経験的台風モデルまたはRCMによって算出される風場と，地形の影響が考慮されている局地数値予報モデルGPVであるDSJRA-55（1958年～2012年）およびLFM（2014年～2022年）の風場を比較検証することによって実施する．ただし，経験的台風モデルよる既往の台風の風場については，気象庁による台風ベストトラックの中心気圧と位置の情報を用いた．また，RCMによる既往の気象擾乱の風場については，d4PDFと同様な解像度を有するERA5を参考に設定した．

次に，経験的台風モデルまたはRCMとGPVの風速および風向について，地点（風場推算の際の計算格子）毎に風速ランク別・風向別に比較することで，それぞれの風速ランク別・風向別の平面的な補正値を算出する．本検討では，本多ら（2024）の検討に倣い，風速の補正係数として相関解析による回帰係数を採用し，風向の補正値として風向差の平均値を採用した．なお，風速ランクは，6ランク（0-4m/s，4-8m/s，8-10m/s，10-12m/s，12-16m/s，16m/s以上）とした．

風速・風向の平面的な風速・風向の比較結果の一例について，経験的台風モデルについては**図-2.1～図-2.4**に，RCMについては**図-2.5～図-2.10**に示す．経験的台風モデルまたはRCMから直接算出される風速・風向（補正なし）は，地形の影響による複雑な変化を示すことがなく，単調な分布となっていることが分かる．一方，経験的台風モデルまたはRCMによる結果を井手ら（2017b）を参考に補正した風速・風向（補正あり）は，単調な分布となっている「補正なし」の結果と比較して， GPVの結果を再現した分布となっている．

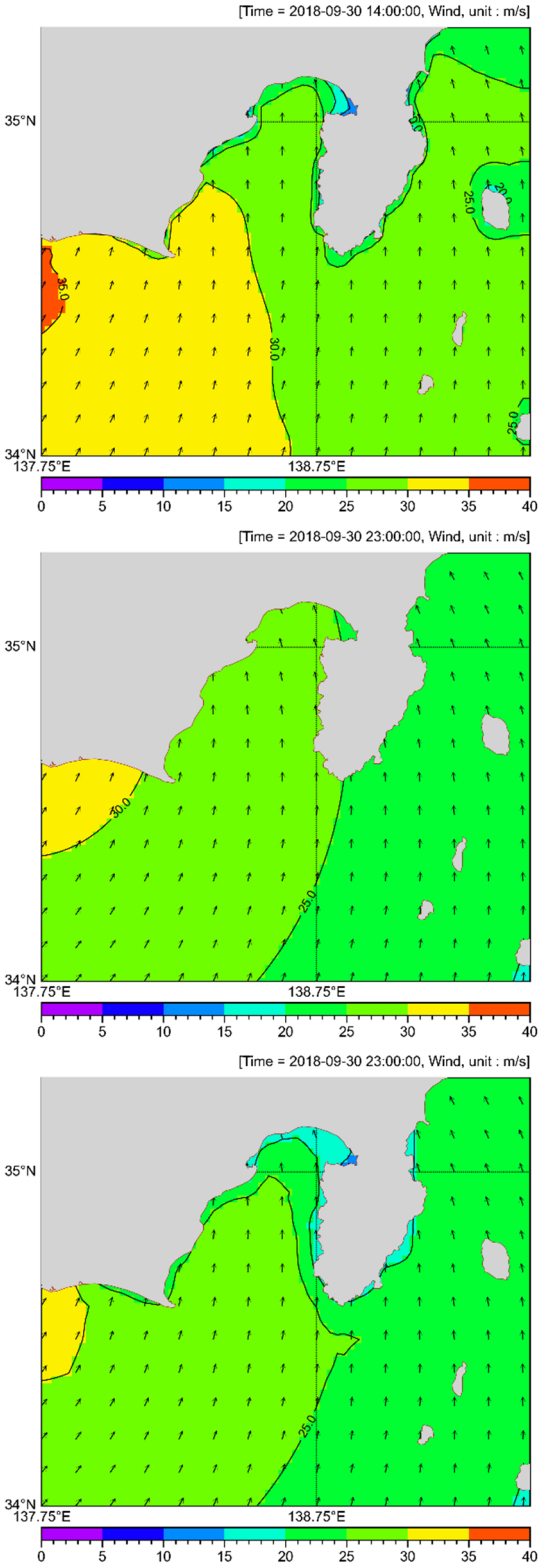


図-2.1　風場の補正結果の一例（駿河湾）
（経験的台風モデル）
（上段：GPV，中段：補正なし，下段：補正あり）

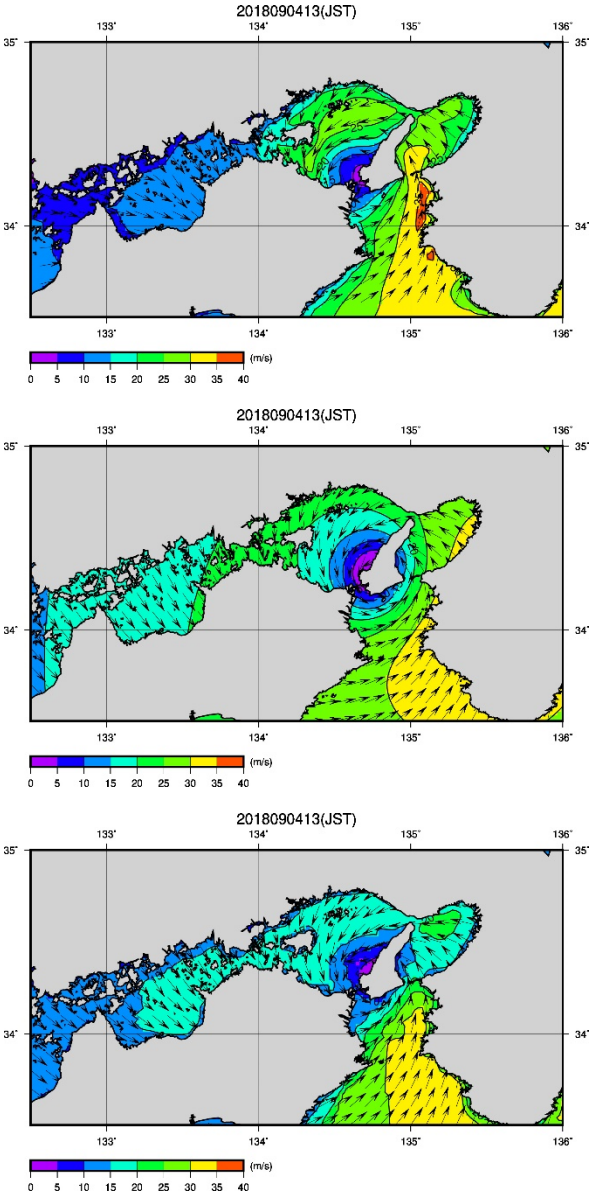


図-2.2　風場の補正結果の一例（瀬戸内海東側）
（経験的台風モデル）
（上段：GPV，中段：補正なし，下段：補正あり）

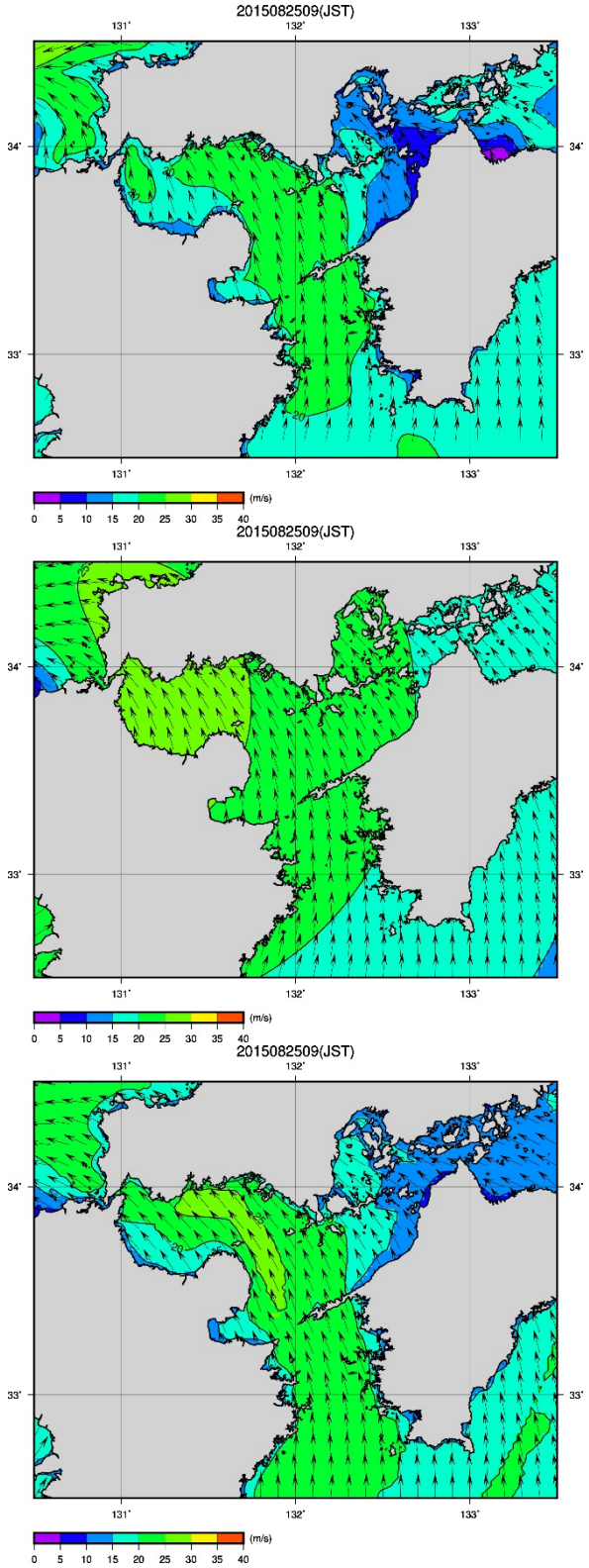


図-2.3　風場の補正結果の一例（瀬戸内海西側）
（経験的台風モデル）
（上段：GPV，中段：補正なし，下段：補正あり）

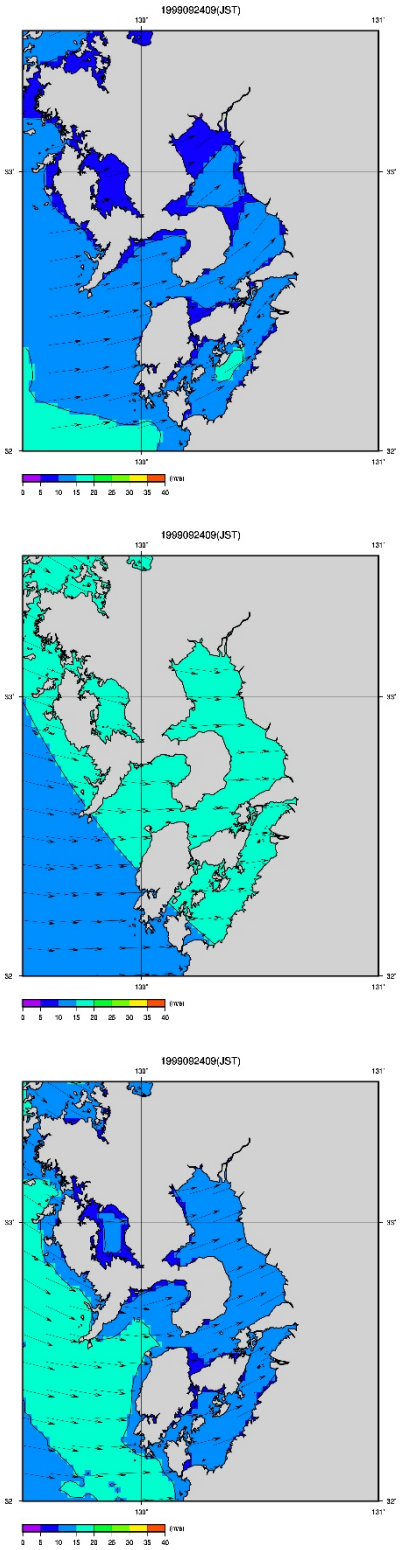


図-2.4　風場の補正結果の一例（九州西側）
（経験的台風モデル）
（上段：GPV，中段：補正なし，下段：補正あり）

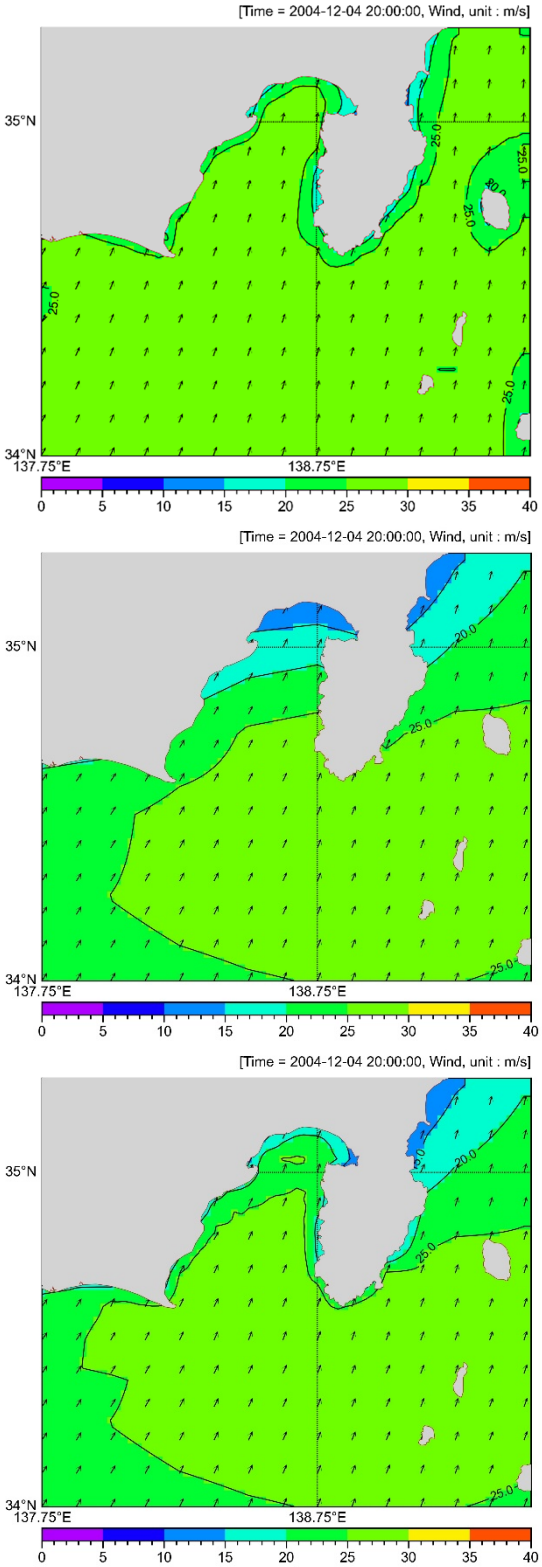


図-2.5　風場の補正結果の一例（駿河湾）
（RCM）
（上段：GPV，中段：補正なし，下段：補正あり）

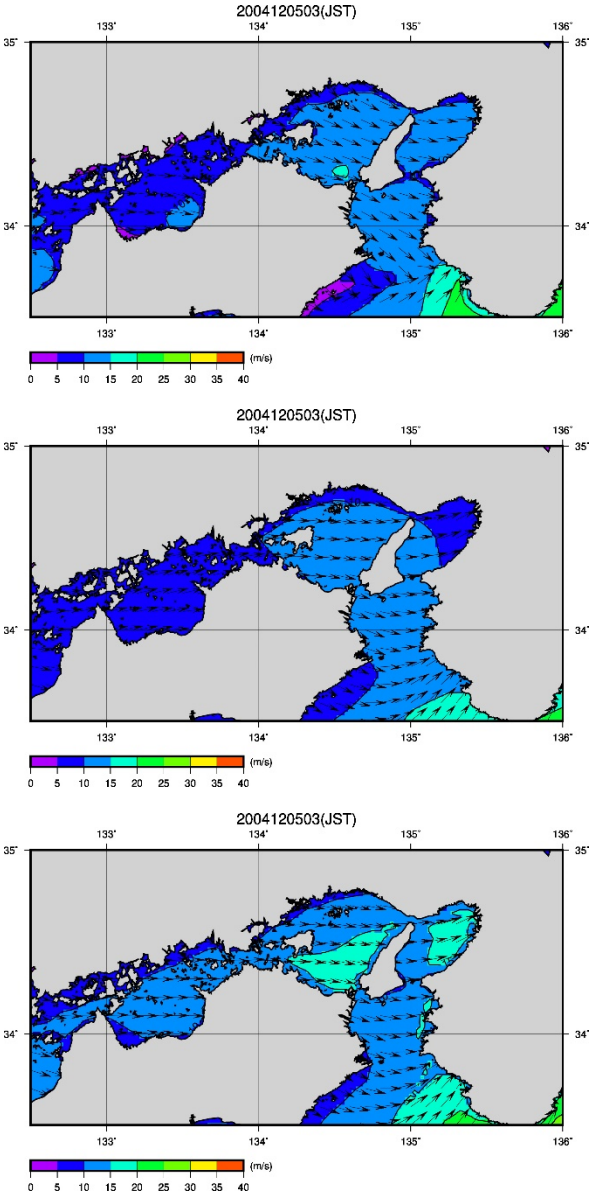


図-2.6　風場の補正結果の一例（瀬戸内海東側）（RCM）

（上段：GPV，中段：補正なし，下段：補正あり）

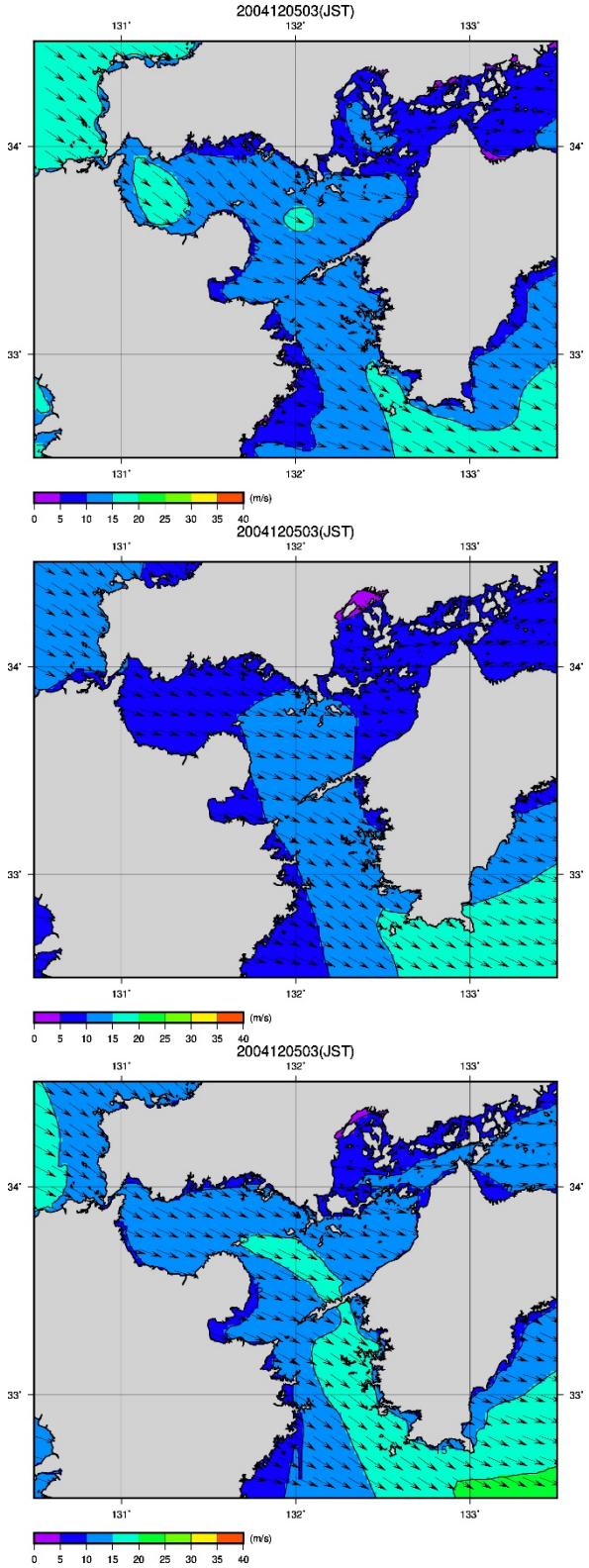


図-2.7　風場の補正結果の一例（瀬戸内海西側）（RCM）

（上段：GPV，中段：補正なし，下段：補正あり）

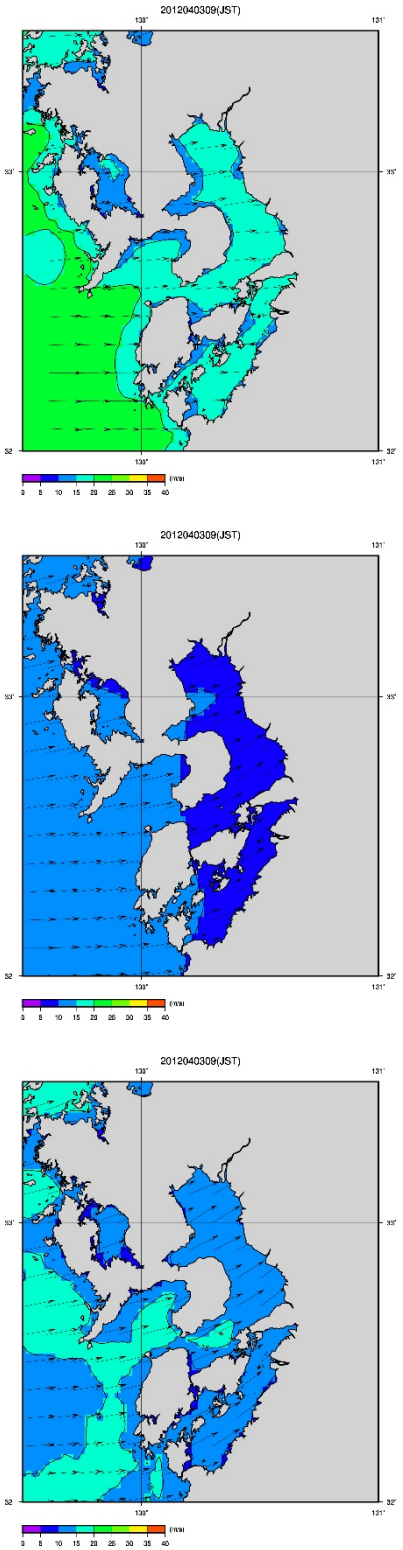


図-2.8　風場の補正結果の一例（九州西側）
（RCM）
（上段：GPV，中段：補正なし，下段：補正あり）

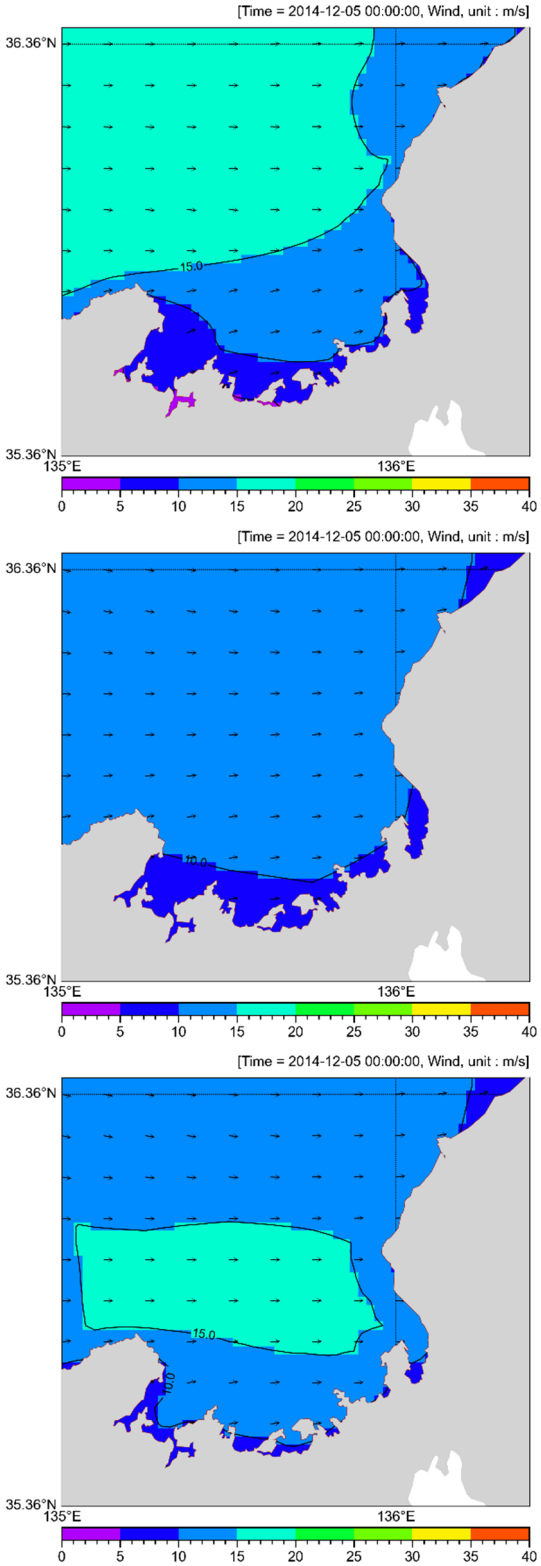


図-2.9　風場の補正結果の一例（若狭湾）
（RCM）
（上段：GPV，中段：補正なし，下段：補正あり）

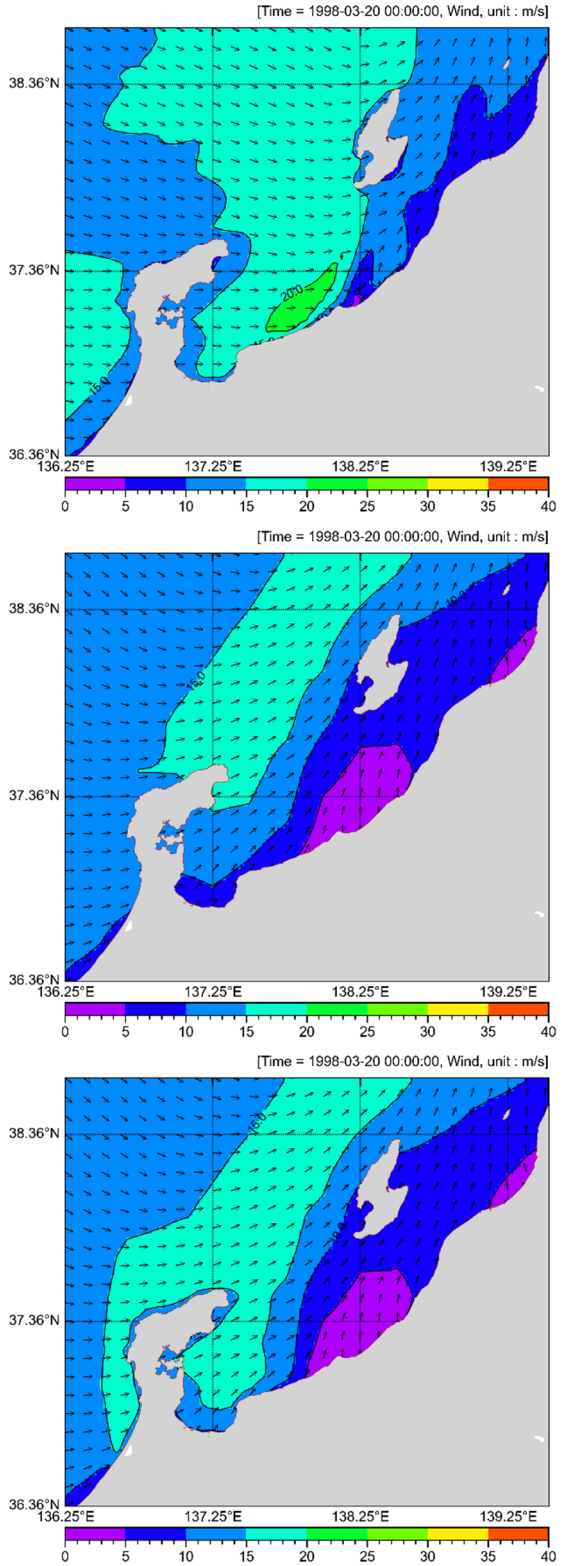


図-2.10　風場の補正結果の一例（富山湾）

（RCM）

（上段：GPV，中段：補正なし，下段：補正あり）

2.3 高潮解析

(1)解析方法

第2.2節で算出した気圧場および風場を入力条件として高潮解析を実施する．なお，本検討では，非常に多くの台風ケースを対象とすることから，解析コストの低減を図るため，高潮解析と波浪解析を独立して実施するものとした．そのため，地形性砕波に伴う Wave-Setup を考慮することができない．一方で，本検討の対象港湾には，大きな Wave-Setup が生じることがある外洋に面した港湾も数多く存在する．そこで，第2.5節にて詳述するとおり，Wave-Setup の簡易推定式を算出し，高潮解析による結果である高潮偏差に，簡易推定式による Wave-Setup の算定結果を加えることで，潮位偏差を算出することとした．

高潮解析には，単層の線形長波方程式に基づく数値計算モデルを使用した．基礎方程式を以下に示す．

$$\frac{d\eta}{dt}+\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{\partial N}{\partial y}=0 \tag{2.5}$$

$$\frac{\partial M}{\partial t}=fN-gD\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{D}{\rho_w}\frac{\partial p_0}{\partial x}+\frac{\tau_{sx}-\tau_{bx}}{\rho_w}+A_h\left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 M}{\partial y^2}\right) \tag{2.6}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t}=-fM-gD\frac{\partial \eta}{\partial y}-\frac{D}{\rho_w}\frac{\partial p_0}{\partial y}+\frac{\tau_{sy}-\tau_{by}}{\rho_w}+A_h\left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 N}{\partial y^2}\right) \tag{2.7}$$

ここに，t は時刻，M および N は，それぞれx および y 方向の流量フラックス，g は重力加速度，D は全水深（=静水深 h + 高潮偏差 η），ρ_w は海水の密度，p_0 は海面気圧，A_h は水平渦動粘性係数である．また，τ_{sx} および τ_{sy} は，それぞれ，x および y 方向の海面せん断応力，τ_{bx} および τ_{by} は，それぞれ，x および y 方向の底面せん断応力であり，以下のように与えられる．

$$\tau_{sx}=\rho_a C_D W_x\sqrt{{W_x}^2+{W_y}^2} \tag{2.8}$$

$$\tau_{sy}=\rho_a C_D W_y\sqrt{{W_x}^2+{W_y}^2} \tag{2.9}$$

$$\tau_{bx}=\frac{\rho_w g n^2}{D^{7/3}}M\sqrt{M^2+N^2} \tag{2.10}$$

$$\tau_{by}=\frac{\rho_w g n^2}{D^{7/3}}N\sqrt{M^2+N^2} \tag{2.11}$$

ここに，W_x および W_y は，それぞれ，海上風速 W の x および y 方向成分，n はマニングの粗度係数である．C_D は海面抵抗係数であり，本多・光易（1980）による式を用いた．なお，この C_D は，「高潮浸水想定区域図作成の手引き（Ver.2.11）」（2023）を参考に，45m/s以上は一定とした．

$$C_D=\begin{cases}(1.290-0.024W)/10^3 & : \ (W<8)\\ (0.581+0.063W)/10^3 & : \ (W\geq 8)\end{cases} \tag{2.12}$$

対象海域の海域番号を**表-2.8**に示すとともに，高潮解析における解析条件を**表-2.9**に示す．高潮解析では，直交座標系を適用し，格子間隔比1/3もしくは1/2で解析領域のネスティングを行った．

(2)解析領域設定

高潮解析におけるネスティングの解析領域の格子間隔を**表-2.10**および**表-2.11**に示す．本多ら（2024）の３大湾を対象とした際の高潮解析の領域も含めて，本検討の対象の全16海域の高潮解析の領域を纏めたものを**図-2.11**に示す．なお，対象の全16海域の高潮解析における解析領域の詳細については，付録Cに示している．参考までに，対象海域の各港湾の高潮解析における解析領域の一例を**図-2.12**に示す．

表-2.8 対象海域の海域番号

海域 No.	対象海域
1	陸奥湾
2	東北太平洋側
3	北関東
4	駿河湾
5	紀伊半島
6	四国太平洋側
7	瀬戸内海
8	九州南東側
9	薩南諸島
10	琉球諸島
11	九州西側
12	九州北側
13	山陰地方
14	若狭湾
15	富山湾
16	東北日本海側

表-2.9　高潮解析の条件

項　目	設定値
計算時間間隔	CFL 条件を満たすように設定
沖側境界条件	他領域と水位・流量を結合 ※領域 1 のみ自由透過
陸側境界条件	完全反射
海底摩擦係数 n	0.025
海水密度 ρ_w	1026 kg/m^3
大気密度 ρ_a	1.22 kg/m^3

表-2.10　高潮解析の格子間隔（海域 1～6，14～16）

領域	格子間隔［m］	範囲
第 1 ドメイン	32,400	日本全域
第 2 ドメイン	16,200	東日本など
第 3 ドメイン	5,400	
第 4 ドメイン	1,800	
第 5 ドメイン	600	
第 6 ドメイン	200	対象海域

表-2.11　高潮解析の格子間隔（海域 7～13）

領域	格子間隔［m］	範囲
第 0 ドメイン	7,290	日本海（山陰地方）
第 1 ドメイン	2,430	瀬戸内海，九州など
第 2 ドメイン	810	
第 3 ドメイン	270	対象海域

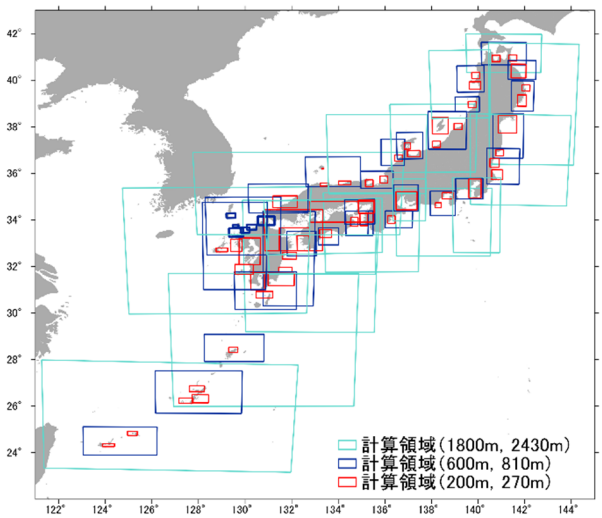
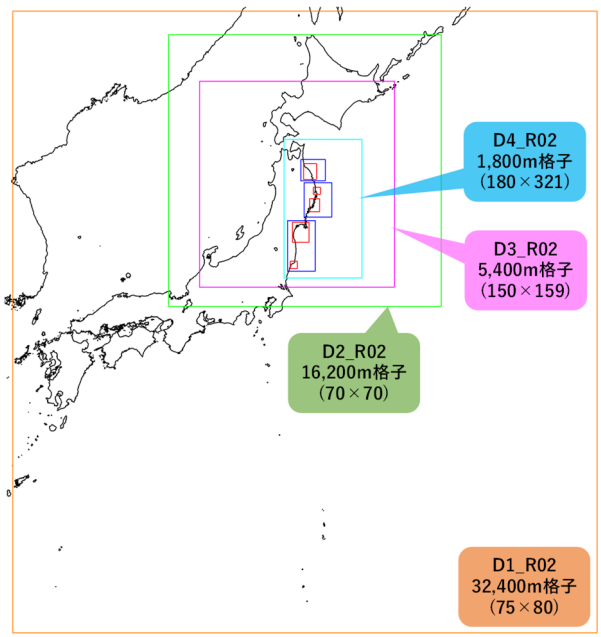


図-2.11　高潮解析における解析領域（全海域）



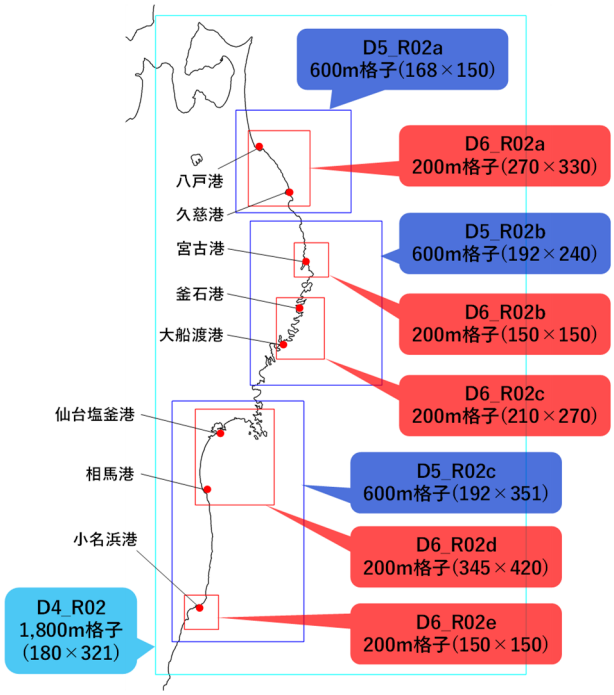


図-2.12　高潮解析における解析領域の一例
（第 2 海域：東北太平洋側）

2.4 波浪解析

(1)解析方法

第2.2節で算出した気圧場および風場を入力条件として波浪解析を実施する．

波浪解析には，第3世代波浪モデルWAVEWA TCHⅢ ver.6.07（ST4パッケージ）を用いた（以下，WW3）．WW3では，球面座標系で波作用量平衡方程式を解くことによって，海面上の波の発生，発達および散逸を計算する．

$$\frac{\partial N_w}{\partial t}+\frac{1}{\cos\varphi}\frac{\partial}{\partial\varphi}\dot{\varphi}N_w\cos\theta+\frac{\partial}{\partial\lambda}\dot{\lambda}N_w+\frac{\partial}{\partial k}\dot{k}N_w+\frac{\partial}{\partial\theta}\dot{\theta}_g N_w=\frac{S}{\sigma} \tag{2.13}$$

ここに，N_w は波作用量，k は波数，θ は波向，φ は緯度，λ は経度，σ は相対角周波数，S はソース項である．

波浪解析では，緯度経度座標の球面座標系を適用し，格子間隔比1/8もしくは1/4で計算領域のネスティングを行った．波浪解析における解析条件を**表-2.12**に示す．

(2)解析領域設定

波浪解析の格子間隔を**表-2.13**に示す．閉鎖性が高い海域である瀬戸内海，鹿児島湾および八代海・有明海については，第4ドメインまでのネスティングをし，それ以外の海域については，第3ドメインまでのネスティングとした．なお，瀬戸内海については，解析コストの低減を図るため，第2ドメインから第4ドメインにネスティングすることとし，他の海域のように第3ドメインを経由しないこととした．

本検討の対象の全16海域の波浪解析の領域を纏めたものを**図-2.13**に示す．なお，対象の全16海域の波浪解析における解析領域の詳細については，付録Dに示している．参考までに，対象海域の各港湾の波浪解析における解析領域の一例を**図-2.14**に示す．

表-2.12 波浪解析の条件

項　目	設定値
座標系	緯度経度の球面座標系
格子間隔	1/2°～1/32°（1/64°）の格子領域をネスティング
計算時間間隔	720～60s
方向分割数	36 ($\Delta\theta$ =10°)
周波数分割数	35（0.04118～1.0520Hz）（周期 24.3～0.95s）
生成項	ST4（Ardhuin et al.(2010)）
移流スキーム	UQ（Third-order propagation scheme）
非線形相互作用	あり（DIA）
地形性砕波	なし
底面摩擦	あり（JONSWAP）
反射	なし

表-2.13 波浪解析の格子間隔

領域	格子間隔	範囲
第 1 ドメイン	1/2°（約 55.5 km）	日本全域
第 2 ドメイン	1/8°（約 13.8 km）	東日本など
第 3 ドメイン	1/32°（約 3.1 km）	対象海域
第 4 ドメイン	1/64°（約 1.6 km）	対象海域（瀬戸内海等）

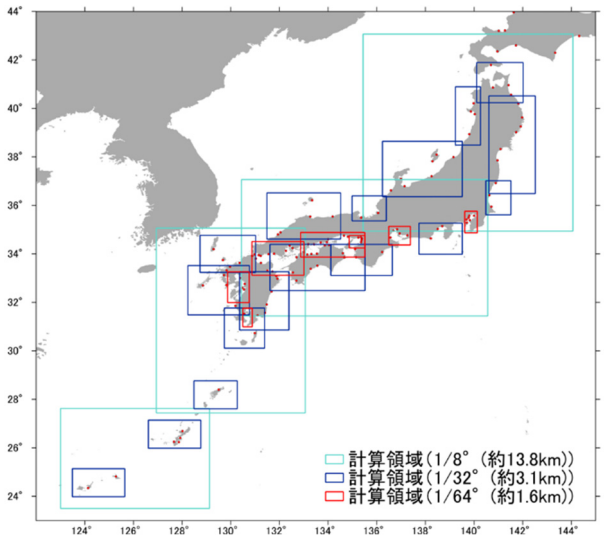


図-2.13 波浪解析における解析領域（全海域）

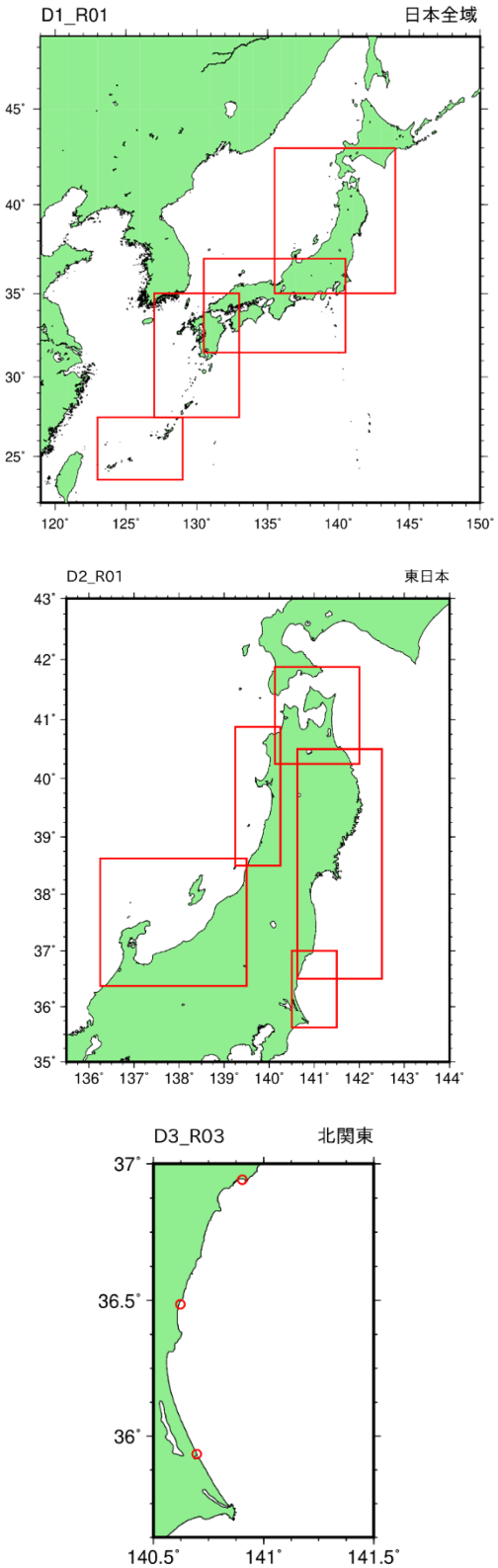


図-2.14　波浪解析における解析領域の一例
（第 3 海域：北関東）

2.5 Wave-Setupを考慮した潮位偏差の算定

第2.3節で述べたように，本検討では，非常に多くの台風ケースを対象とすることから，解析コストの低減を図るため，高潮解析と波浪解析を独立して実施するものとした．そのため，高潮解析では，地形性砕波に伴う Wave-Setup を考慮することができない．一方で，本検討の対象港湾には，大きな Wave-Setup が生じることがある外洋に面した港湾も数多く存在する．そこで，波浪解析によって得られる波高の結果を用いて Wave-Setup を求める簡易推定式を算出し，高潮解析によって得られる高潮偏差に，簡易推定式による Wave-Setup の算定結果を加えることで，潮位偏差を算出することとした．

(1)詳細計算による Wave-Setup の算出

本来発生し得る地形性砕波による Wave-Setup の水位上昇量を把握するため，代表的な気象擾乱を対象に，SWAN を用いて Wave-Setup の原因となる Radiation Stress を求め，それを高潮解析の運動方程式に追加した Radiation Stress の項に代入して，Wave-Setup を考慮した潮位偏差を算定した．

対象とする代表的な気象擾乱の抽出については，第4章の波浪解析における過去実験の結果を用いて，対象の海域毎に波高代表値を設定し，海域毎の過去実験の全ケースに対して，波高代表値が10，20，30，40，50，60，70，80，90および100%tileとなる気象擾乱を海域毎に抽出した（全10擾乱）．この波高代表値とは，各海域の最小解析領域における最大有義波高の領域平均値とした．

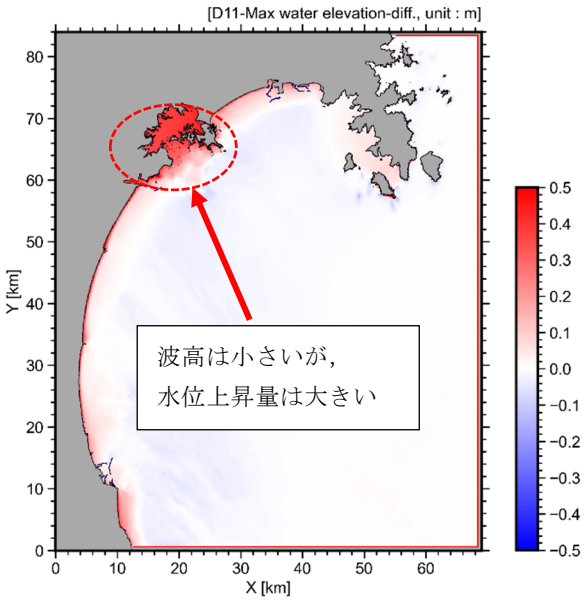


図-2.15 Wave-Setup による水位変化の一例
（東北太平洋側（相馬港周辺））

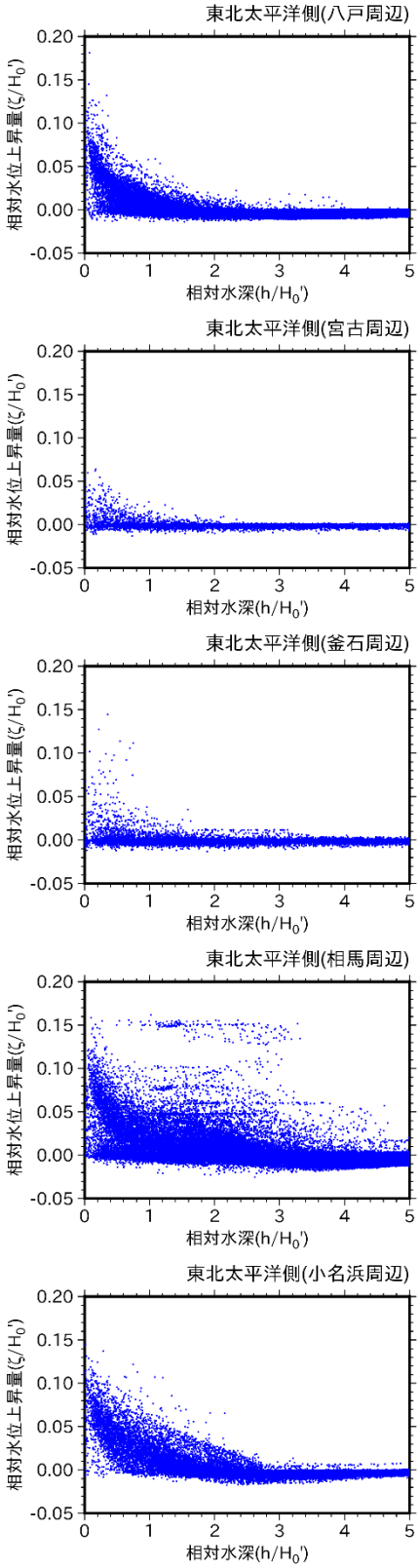


図-2.16 相対水深と相対水位上昇量の関係の一例
（東北太平洋側）

これら抽出した気象擾乱に対して，各海域を対象に，Wave-Setup の考慮の有無が異なる高潮解析の結果を比較した．**図-2.15**に Wave-Setup による水位変化の一例を示す．この図は，Wave-Setup を考慮した高潮解析結果から，Wave-Setup を考慮していない高潮解析結果を減じたものとして示している．

このようにして得られた結果を用いて，各海域における相対水深と相対水位上昇量の関係を整理した（**図-2.16**）．なお，相対水深は，水深を換算沖波波高で除したものであり，相対水位上昇量は，水位上昇量を換算沖波波高で除したものである．また，換算沖波波高は，波浪解析で得らえた最大有義波高から首藤（1974）の有限振幅波理論による浅水係数を用いて換算したものである．

(2)Wave-Setup の簡易推定式の算出

図-2.15にあるように，相対水深が大きい箇所で相対水位上昇量が大きくなっているような相馬港周辺などを除いて，全ての海域における相対水深と相対水位上昇量との関係を用いて簡易推定式を算定する．

ここに，相対水深と相対水位上昇量との関係について，合田（1975）による計算例を**図-2.17**に示すとともに，本検討における全ての海域における結果を波形勾配別に整理したものを**図-2.18**および**図-2.19**に示す．本検討結果も，合田による検討と同様に，波形勾配が増加するにつれて相対水位上昇量が低下しており，定性的に一致している．

実際の海底地形は平面的に複雑に分布することから，海底勾配を適切に評価することが困難であるため，簡易推定式では，海底勾配は考慮せず，相対水深と波形勾配のみを考慮することとし，平均的な相対水位上昇量を推定するものとした．**図-2.18**および**図-2.19**における平均的な値を通る曲線として，次式で表せる簡易推定式を提案する．

$$\frac{\zeta}{H_0{}'} = \left(0.09 - 0.5\frac{H_0{}'}{L_0}\right)\exp\left\{-\left(37\frac{H_0{}'}{L_0} + 0.4\right)\frac{h}{H_0'}\right\} \quad (2.14)$$

ここで，ζ は Wave-Setup による水位上昇量，h は水深，$H_0{}'$ は換算沖波波高，L_0 は沖波波長である．

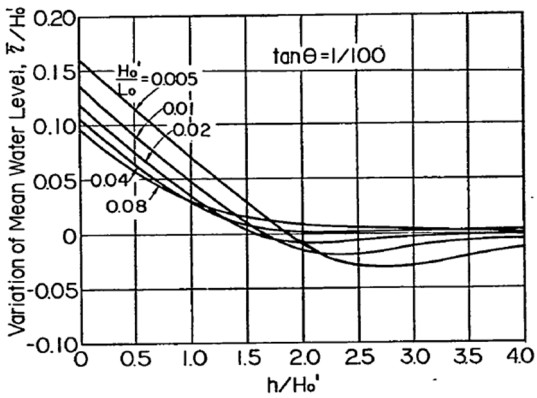


図-2.17　相対水深に対する相対水位上昇量の計算例（合田，1975）

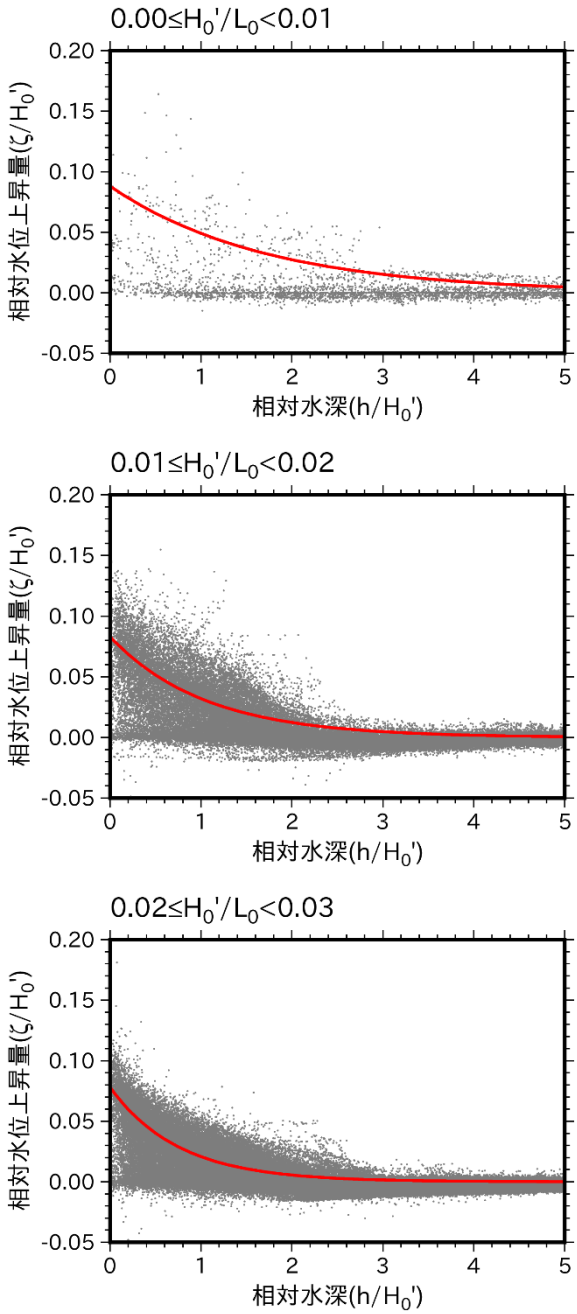


図-2.18　相対水位上昇量に対する波形勾配の影響（その１）（赤の実線は簡易推定式）

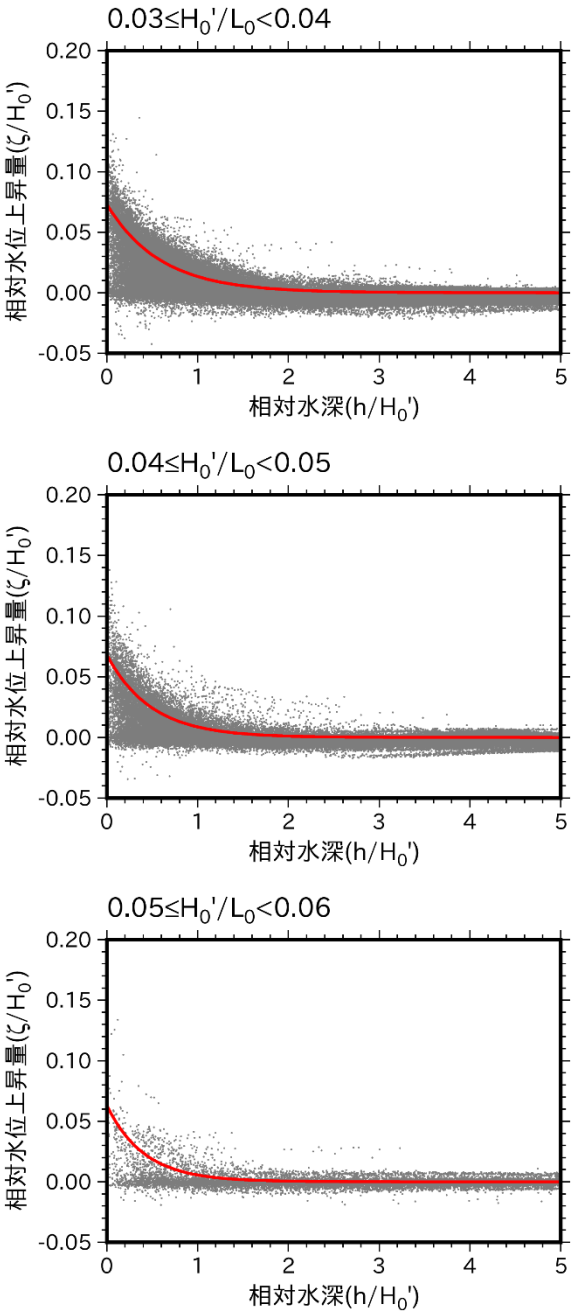


図-2.19　相対水位上昇量に対する波形勾配の影響
（その２）（赤の実線は簡易推定式）

2.6　現在気候および将来気候の気象擾乱データ

本検討での気圧場および風場の算定において，経験的台風モデルを用いる場合は，Webbら（2019）により提供された台風トラックデータを参考に設定するものとした．この台風トラックデータについて，台風の中心気圧をバイアス補正し，対象海域毎に影響を与える台風を抽出する．その後，抽出した台風を対象に，対象海域毎に経験的台風モデルを用いて高潮解析および波浪解析を実施する．

一方，RCMを用いる場合は，d4PDFの日本域ダウンスケーリングしたデータ（NHRCM，空間解像度20km）を参考に設定するものとした．このNHRCMについて，気圧および風速をバイアス補正し，対象海域毎に影響を与える気象擾乱を抽出する．その後，抽出した気象擾乱を対象に，RCMを用いて高潮解析および波浪解析を実施する．

(1)使用する気象擾乱データの概要

本検討で用いるd4PDFには，現在までの気候下における数値計算結果である過去実験と，将来気候下における数値計算結果である将来実験がある．また，将来実験には，全球の平均気温が産業革命以降に2度上昇した「2度上昇実験」(以降，図中等で「+2K」や「2K」と表記する）や4度上昇した「4度上昇実験」（以降，図中等で「+4K」や「4K」と表記する）等がある．また，これらの将来実験には，それぞれ，**表-2.14**に示す6種類の異なる海面水温（SST）の将来変化の空間パターンが用意されている．なお，これらは，IPCCの第5次報告書に貢献した代表的なプロジェクトのCMIP5に参加したものである．

さらに，d4PDFは，極端現象の検討に用いることができるように多数のアンサンブル実験を行ったものである．**表-2.15**に示すように，過去実験では，異なる初期値と摂動を与えた100メンバが含まれている．また，将来実験（+2K）および将来実験（+4K）では，それぞれ，前述の6種類のSST毎に，異なる摂動を9メンバおよび15メンバを与えたものが含まれている．将来実験（+4K）は，IPCC第5次報告書のRCP8.5シナリオの2,090年時点の温室効果ガス濃度等の外部強制因子を与えたものであり，将来実験（+2K）は，RCP2.6シナリオの2,090年時点ではなく，RCP8.5シナリオの2,040年時点の外部強制因子を与えたものである（文部科学省ほか，2022）．これは，RCP2.6シナリオでは，2,040年時点まではRCP8.5シナリオと同様の温暖化の状況であり，その後の温暖化の状況は概ね変化しないためである．そのため，将来実験（+2K）における本検討の結果は，2,040年時点と想定され，その後は概ね変化しないものと考えられる．

表-2.14　d4PDF 将来実験に用いられている SST モデル

CMIP5 モデル	実験名略称	機関名（国名）
CCSM4	CC	National Center for Atmospheric Research（米国）
GFDL-CM3	GF	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory（米国）
HadGEM2-AO	HA	Met Office Hadley Centre（英国）
MIROC5	MI	東京大学大気海洋研究所、国立環境研究所、海洋研究開発機構（日本）
MPI-ESM-MR	MP	Max Planck Institute for Meteorology（独国）
MRI-CGCM3	MR	気象庁気象研究所（日本）

表-2.15　d4PDF の実験概要

実験	期間およびアンサンブル数
過去実験	1951～2010 年（1 メンバ 60 年間）×100 メンバ
将来実験（+2K）	2031～2091 年（1 メンバ 61 年間）×6SST×9 メンバ
将来実験（+4K）	2051～2110 年（1 メンバ 60 年間）×6SST×15 メンバ

本検討で用いるd4PDFのNHRCMの過去実験のデータは，100メンバではなく50メンバであるため，d4PDFの台風トラックデータについても，それに合わせて50メンバとした．また，本稿では，将来気候として将来実験（+2K）を想定することとした．また，NHRCMの将来実験（+2K）のデータは2091年8月まで存在するが，8月までとすると台風が途中で途切れる恐れもあるため，2031年から2090年までの60年間とした．

これらd4PDFの過去実験および将来実験は数値実験であるため，数値計算に用いたモデル等による誤差といったモデルバイアスが含まれていることが指摘されている．そのため，本検討で用いる1951年から2010年の60年間を対象とした全50アンサンブルメンバによるd4PDFの過去実験について，気象庁による台風ベストトラックといった実績データや温帯低気圧の再解析データ（ERA5）と比較することにより，台風の中心気圧および通過頻度のバイアス，および，温帯低気圧による気圧および風速の空間分布を把握するとともに，それらのバイアスを補正する必要がある．

気象庁が公表している台風のベストトラックデータ（1951年～2010年）と，本検討で用いるd4PDF過去実験の台風トラックデータについて，年平均通過個数および台風の中心気圧の50年確率値を比較したものを，それぞれ，**図-2.20**および**図-2.21**に示す．

台風の通過頻度（年平均通過個数）について，台風の発生域である低緯度帯において，d4PDFの過去実験は台風の実績である気象庁ベストトラックよりも小さい結果となっている．また，本検討の対象である日本沿岸における台風の通過頻度についても，d4PDFの過去実験は，台風の実績よりも小さい結果となっている．この台風の通過頻度は，高潮偏差および波高の再現確率の評価に影響するものであるため，d4PDFの台風トラックデータを用いる場合は，この台風の通過頻度のバイアスを補正する必要がある．

次に，通過する台風の中心気圧について，その50年確率値についても，台風の発生域のみならず，日本の関東から九州にかけての太平洋沿岸の近傍においても，d4PDFの過去実験は，台風の実績よりも気圧値が大きく，勢力が弱い結果となっている．そのため，d4PDFの台風トラックデータを用いる場合は，この台風の中心気圧が大きいといったバイアスを補正する必要がある．

温帯低気圧について，過去の再解析データであるERA5と，本検討で用いるd4PDF過去実験のNHRCMデータについて，海面気圧および風速の50年確率値を比較したものを，それぞれ，**図-2.22**および**図-2.23**に示す．

海面気圧の50年確率値について，低緯度帯および日本の南東沖において，d4PDFの過去実験はERA5による実績よりも大きい結果となっている．また，本検討の対象である日本沿岸についても，d4PDFの過去実験は，実績よりも大きい結果となっている．そのため，d4PDFのNHRCMデータを用いる場合は，海面気圧が大きいといったバイアスを補正する必要がある．

次に，風速の50年確率値についても，低緯度帯および日本の南東沖のみならず，日本の関東から九州にかけての太平洋沿岸の近傍においても，d4PDFの過去実験は，ERA5の実績よりも風速が小さい．そのため，d4PDFのNHRCMデータを用いる場合は，風速が小さいといったバイアスを補正する必要がある．

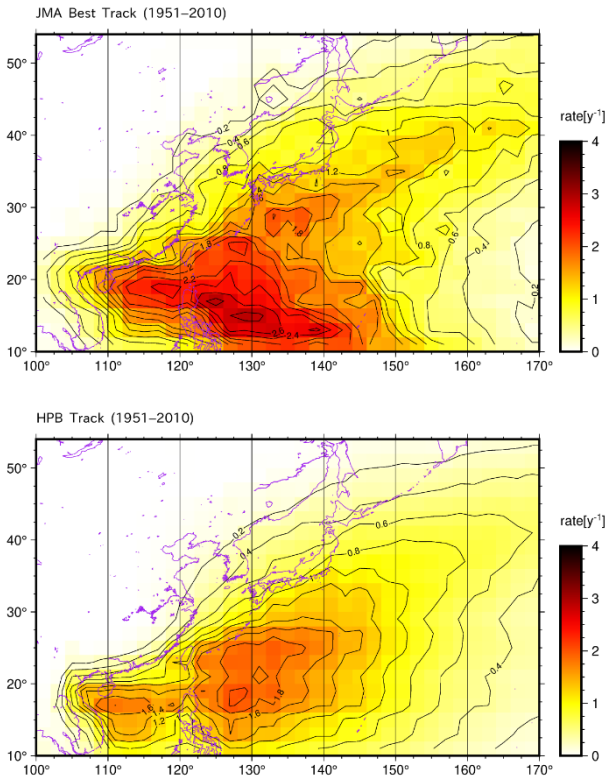


図-2.20　台風中心の年平均通過個数（上段：気象庁ベストトラック，下段：d4PDF 過去実験）

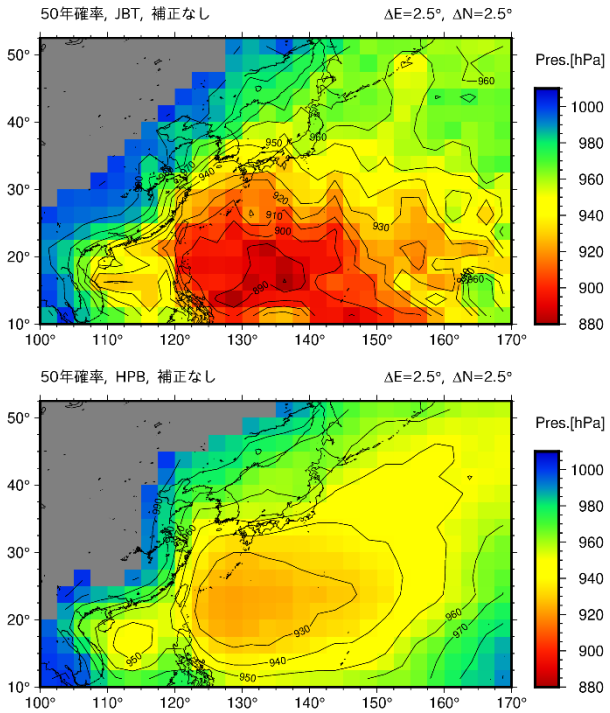


図-2.21　台風の 50 年確率の中心気圧（上段：気象庁ベストトラック，下段：d4PDF 過去実験）

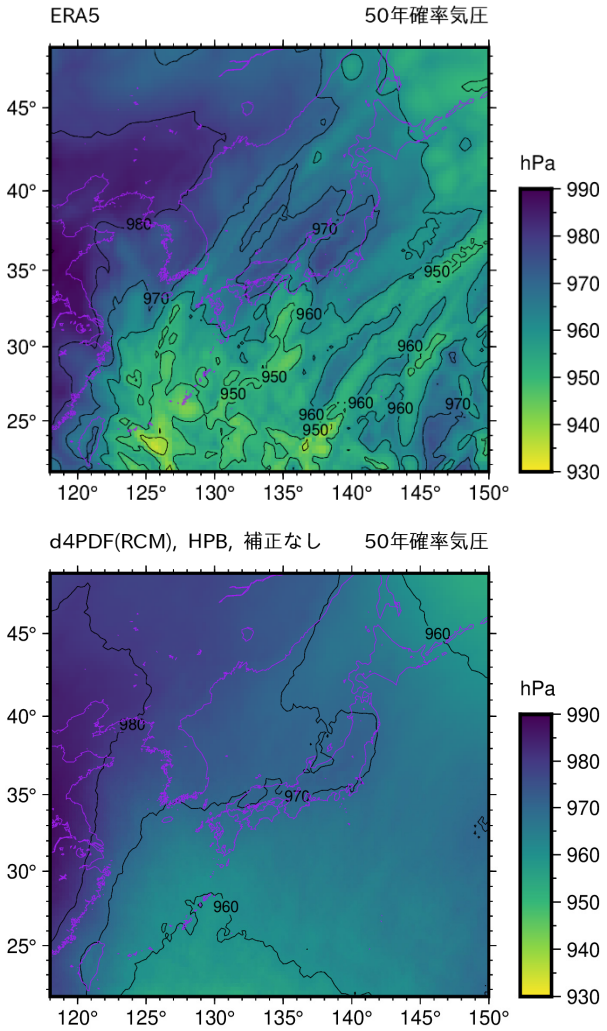


図-2.22　気象擾乱の 50 年確率の海面気圧（上段：ERA5，下段：d4PDF 過去実験）

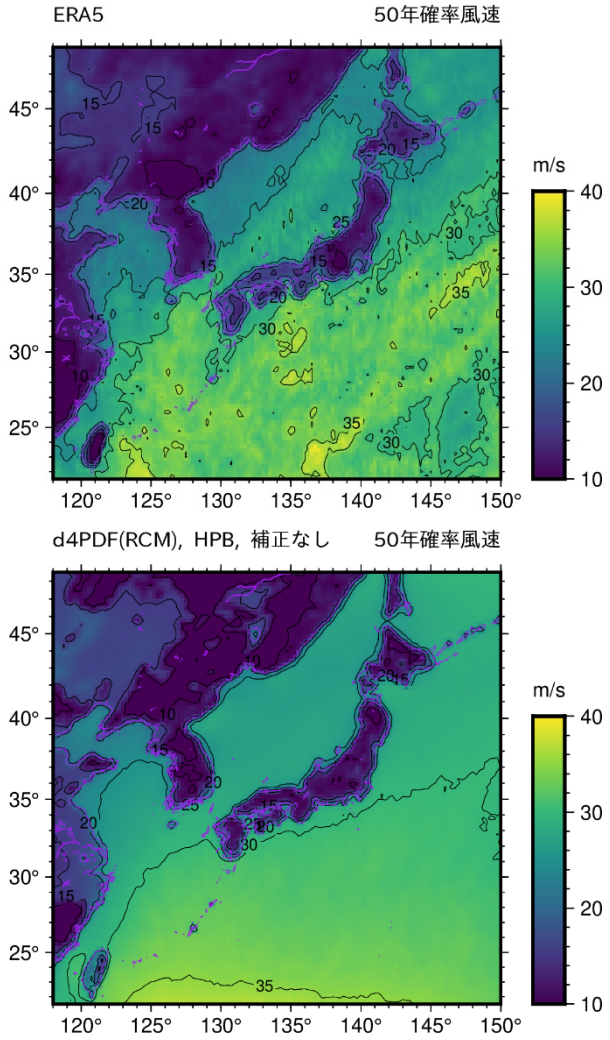


図-2.23　気象擾乱の 50 年確率の風速（上段：ERA5，下段：d4PDF 過去実験）

(2) 経験的台風モデルを対象とした台風の中心気圧のバイアス補正

前項のとおり，d4PDFの過去実験における台風トラックデータは，気象庁ベストトラックの実績と比較して，台風の勢力が弱い傾向があり，中心気圧が大きいといったバイアスが含まれている．そのため，井手ら（2017a）を参考に，d4PDFの過去実験の台風トラックデータと気象庁のベストトラックデータとの比較によりバイアス補正量を算出し，d4PDFの過去実験と将来実験の台風トラックデータの中心気圧のバイアス補正を実施する．

３大湾を対象とした本多ら（2024）の検討では，中心気圧のバイアス補正量は，d4PDFの過去実験と気象庁ベストトラックについて，中心気圧の「累積分布」を整理し，同じ累積分布となる中心気圧どうしを比較しバイアス補正を評価するクオンタイルマッピング法にて算出した．このとき，累積分布の整理およびバイアス補正量

の算出は，北緯10°～50°の範囲を2.5°毎に分割し，それぞれ分割した緯度帯毎に実施した．しかし，この中心気圧のバイアスは，図-2.21にあるように，緯度方向のみではなく，経度方向にも分布している．

また，本多ら（2024）の検討における台風の通過頻度のバイアス補正は，対象海域における高潮偏差および波高の再現確率を評価する際に実施している．しかし，この方法では，対象海域における通過頻度のバイアスのみを対象としており，外洋での台風の通過頻度のバイアスを考慮できない．

そこで，本検討では，北緯10°～52.5°の範囲および東経100°～170°の範囲を，それぞれ2.5°毎に分割し，分割した緯度・経度帯毎に実施した．また，中心気圧のバイアス補正量は，d4PDFの過去実験と気象庁ベストトラックを対象に，それぞれ台風の通過頻度 λ を考慮した中心気圧の「再現期間」を整理し，同じ再現期間となる中心気圧どうしを比較しバイアス補正を評価することで，中心気圧の累積分布のバイアスと頻度のバイアスを同時に補正することとした．

具体的には，次式で示すように，d4PDFの過去実験と気象庁ベストトラックを対象に，中心気圧の確率分布を2重対数変換の多項式近似で推定し，それらの多項式近似を比較することで，同じ再現期間の中心気圧の差分からバイアス補正量を設定する．

$$\Delta p = F_{JBT}^{-1}\left(1-\frac{1}{\lambda_{JBT}R}\right) - F_{HPB}^{-1}\left(1-\frac{1}{\lambda_{HPB}R}\right) \qquad (2.15)$$

ここで，Δp は中心気圧のバイアス補正量[hPa]，$F^{-1}(P)$ は未超過確率 P に対応する中心気圧，λ_{JBT} および λ_{HPB} は，それぞれ実績とd4PDF過去実験の台風の通過頻度，R は再現期間[年]を表す．

一方，d4PDFの過去実験は3,000年分であり，気象庁ベストトラックと比較して，非常に長い期間を再現した数値実験である．そのことから，気象庁ベストトラックにおける中心気圧の下限値を下回る範囲には実績が無いため，その外挿範囲における多項式近似の精度を確認することができない．そのため，気象庁ベストトラックの実績がある範囲における中心気圧のバイアス補正量は，近似した多項式の比較から算出するものとし，気象庁ベストトラックの実績が無い範囲については，気象庁ベストトラックの下限値におけるバイアス補正量と同等であると仮定し，その値を外挿するものとした．

以上により算出した緯度・経度帯毎の台風の中心気圧のバイアス補正量について，その一例を図-2.24に示す．

台風の中心気圧の50年確率値について，実績とバイアス補正の有無を比較したものを，図-2.25に示す．本検討における台風の中心気圧のバイアス補正により，d4PDF過去実験の再現性が向上したことが認められる．

この台風の中心気圧のバイアス補正後の過去実験および将来実験（+2K）を比較したものを，図-2.26に示す．台風の中心気圧の50年確率値の将来変化は，日本沿岸において低下（勢力が増大）しており，とくに，九州から北関東にかけての太平洋沿岸での低下量が大きくなっている．

以上のように，台風の中心気圧のバイアス補正量を緯度・経度帯別に算出した．これをもとに，台風の移動に伴って変化する中心位置に応じたバイアス補正量を設定する必要がある．

このとき，台風の中心が位置する緯度・経度帯におけるバイアス補正量を設定する方法（最近傍法）とすると，緯度・経度帯の境界を跨って移動する際に，不連続となることがある．そこで，本検討では，台風の中心の周囲4つの緯度・経度帯のバイアス補正量を用いて，2次元的に線形内挿する方法（バイリニア補間）を採用した．これらを比較したものを，図-2.27に示す．この比較結果から，本検討のバイリニア補間の方が，台風の移動に伴う中心気圧の変化が比較的連続的となることが分かる．

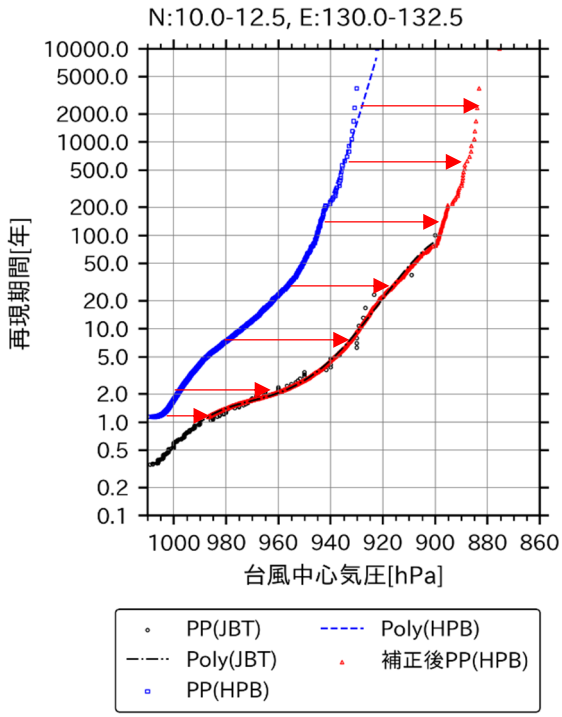


図-2.24　中心気圧のバイアス補正方法
（北緯 10.0°～12.5°，東経 130.0°～132.5°）

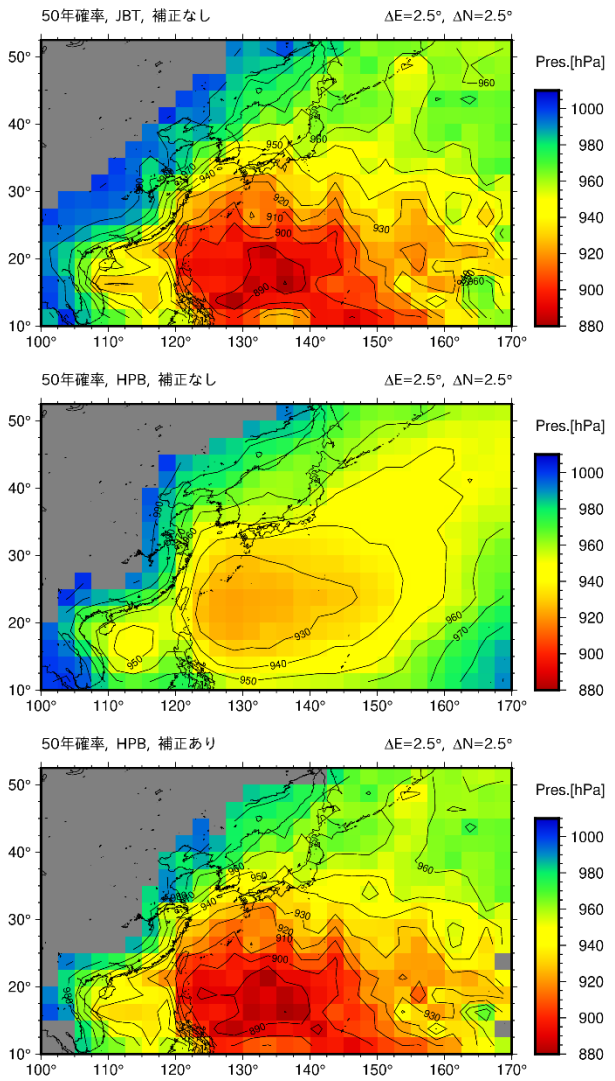


図-2.25　台風の 50 年確率の中心気圧（上段：気象庁ベストトラック，中段：d4PDF 過去実験，下段：バイアス補正後の d4PDF 過去実験）

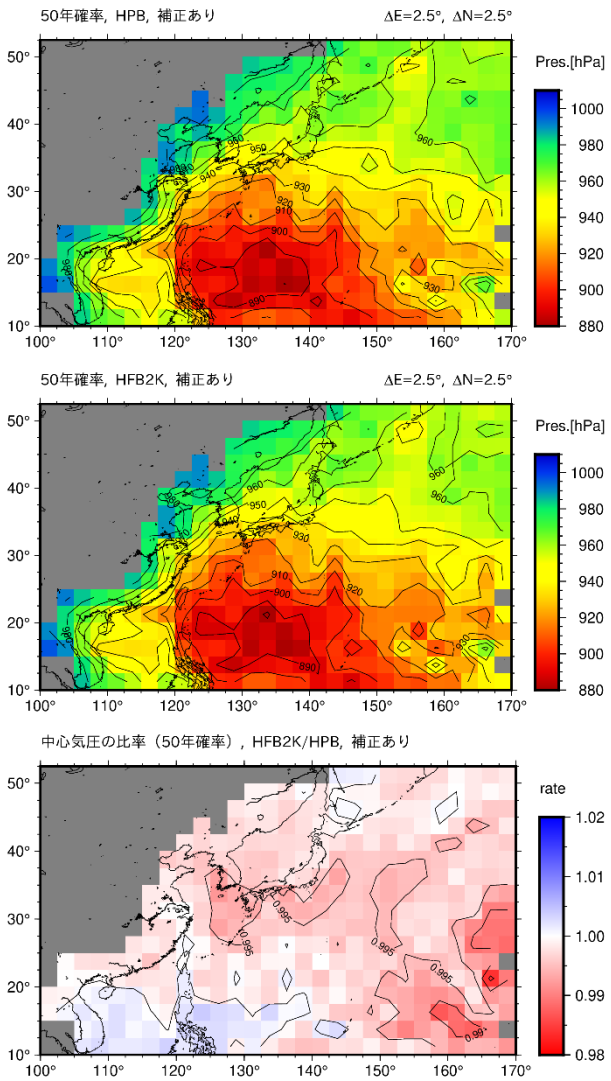


図-2.26　台風の 50 年確率のバイアス補正後の中心気圧（上段：d4PDF 過去実験，中段：d4PDF 将来実験（+2K），下段：将来変化比）

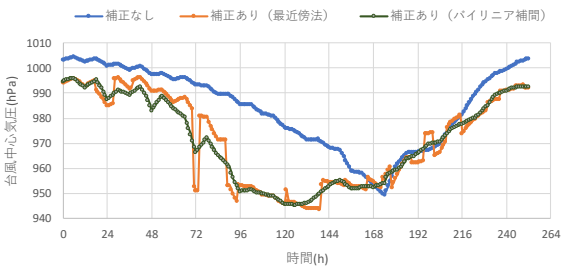


図-2.27　台風中心気圧の時間変化の一例

(3)RCMを対象とした海面気圧および風速のバイアス補正

d4PDFの過去実験におけるNHRCMについても同様に，ERA5の実績と比較して，海面気圧が大きいといったバイアスおよび風速が小さいといったバイアスが含まれている．そのため前項と同様に，RCMを対象とした海面気圧および風速についてもバイアス補正量を緯度・経度帯別に算出し，d4PDFの過去実験と将来実験（+2K）のNHRCMの海面気圧および風速のバイアス補正を実施した．

これにより補正した海面気圧および風速の50年確率値について，実績とバイアス補正の有無を比較したものを，それぞれ**図-2.28**および**図-2.29**に示す．本検討における海面気圧および風速のバイアス補正により，d4PDF過去実験の再現性が向上したことが認められる．

この海面気圧および風速のバイアス補正後の過去実験および将来実験（+2K）を比較したものを，**図-2.30**および**図-2.31**に示す．将来変化量は，日本沿岸において海面気圧は低下しており，また，風速は増加している．

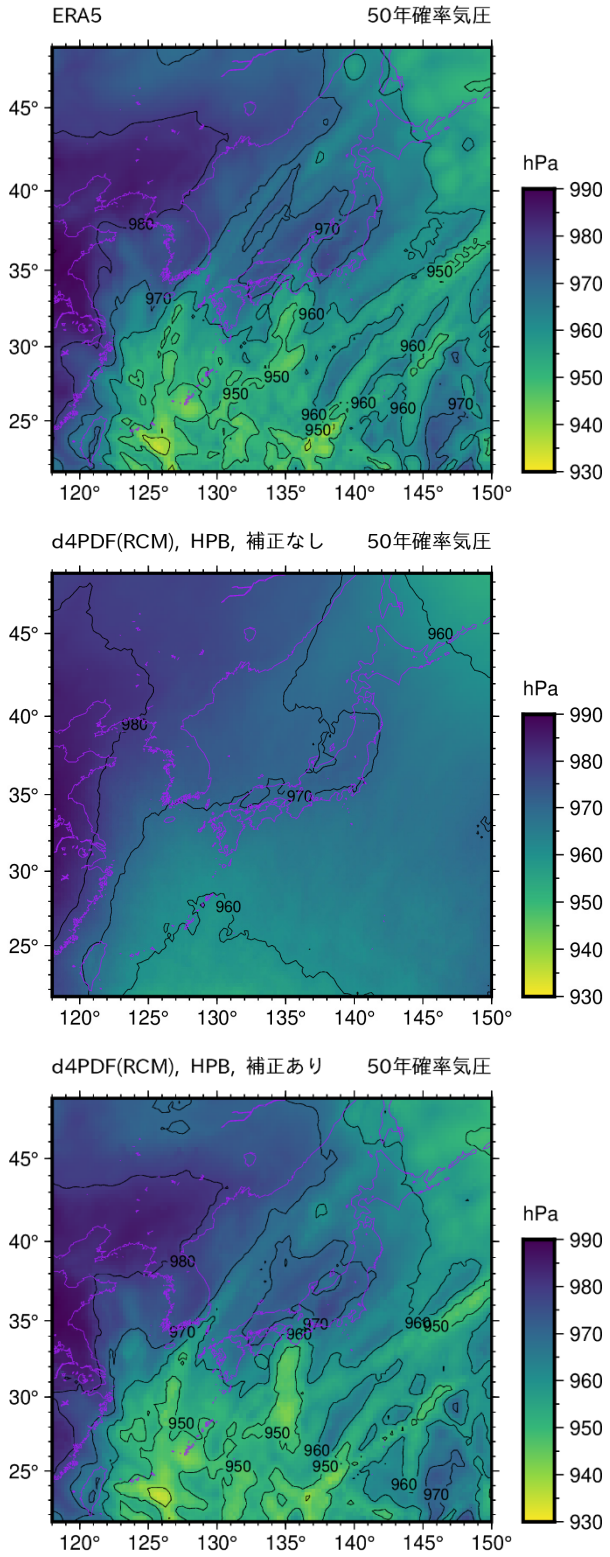


図-2.28 気象擾乱の 50 年確率の海面気圧（上段：ERA5，中段：d4PDF 過去実験，下段：バイアス補正後の d4PDF 過去実験）

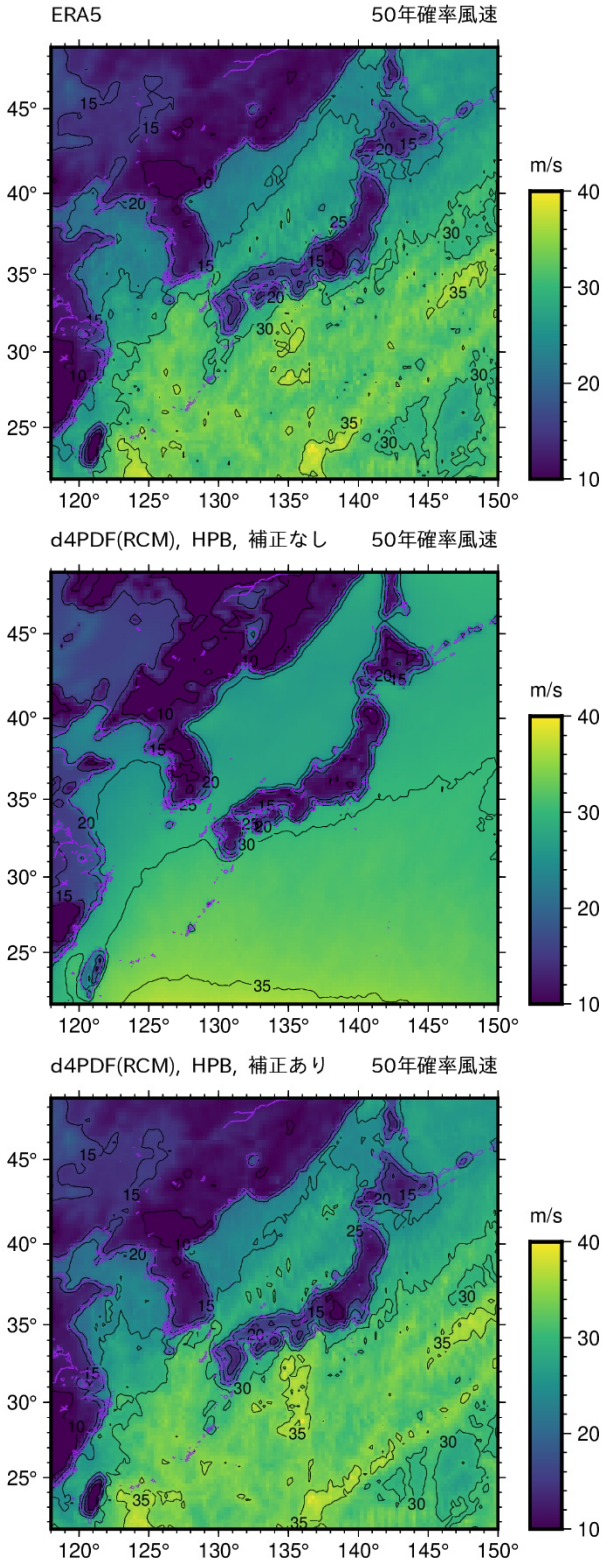


図-2.29　気象擾乱の 50 年確率の風速（上段：ERA5，中段：d4PDF 過去実験，下段：バイアス補正後の d4PDF 過去実験）

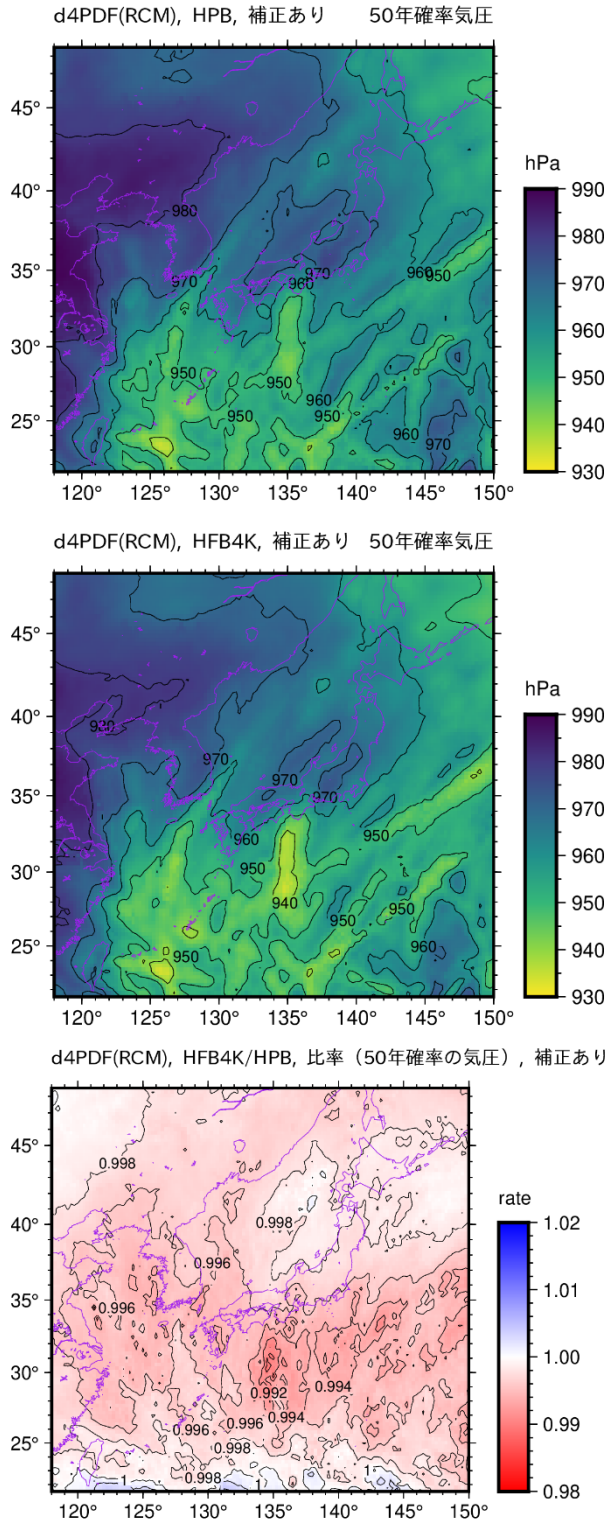


図-2.30　気象擾乱の 50 年確率のバイアス補正後の海面気圧（上段：d4PDF 過去実験，中段：d4PDF 将来実験（+2K），下段：将来変化比）

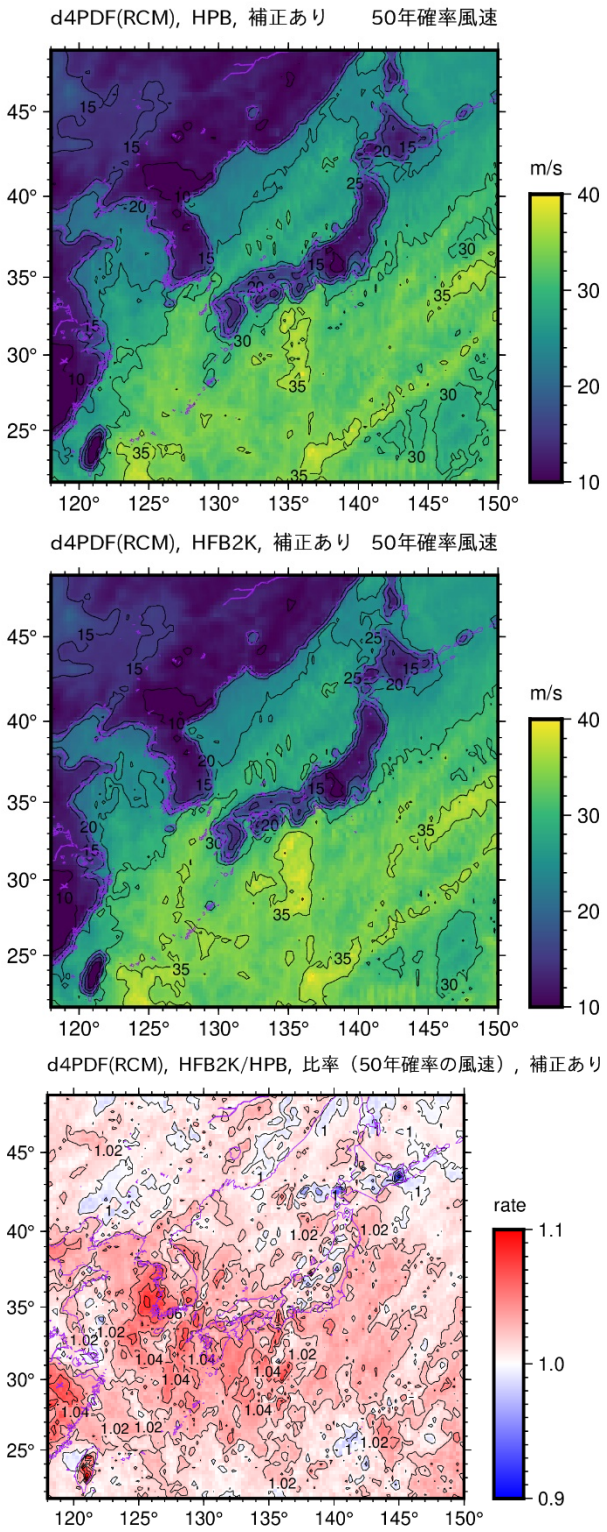


図-2.31　気象擾乱の 50 年確率のバイアス補正後の風速（上段：d4PDF 過去実験，中段：d4PDF 将来実験（+2K），下段：将来変化比）

(4)解析対象の台風の抽出

本検討では，d4PDFの過去実験および将来実験の台風トラックデータおよびNHRCMデータについて，それぞれ，中心気圧および海上気圧・風速のバイアス補正を実施し，それらを用いて経験的台風モデルまたはRCMにより気圧場および風場の分布の時系列データを算出し，高潮偏差および波浪を計算する．しかし，全ての気象擾乱に対して，本検討で対象とする全ての海域における高潮および波浪を計算するには，非常に多くのコスト・時間を要する．そこで，対象とする各海域の高潮および波浪に影響する気象擾乱を抽出することで，計算コストの低減を図る．気象擾乱の抽出フローを，図-2.32に示す．

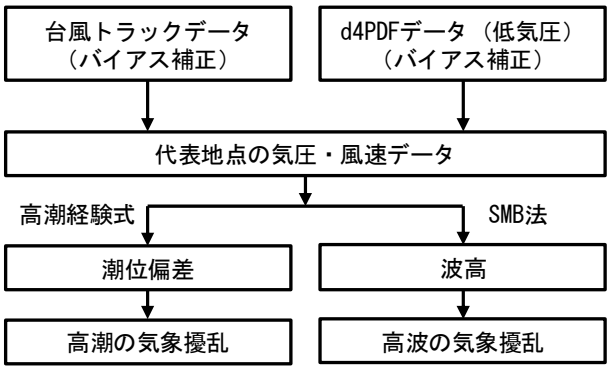


図-2.32　気象擾乱の抽出手順フロー

経験的台風モデルを用いる場合の台風による気象擾乱を抽出する具体的な方法は次のとおりである．まず，対象の海域毎に台風抽出範囲（図-2.33～図-2.48）を設定し，d4PDFの台風トラックデータのうち，その範囲を通過した台風を選定する（1次抽出）．次に，選定した台風を対象に，バイアス補正後のd4PDFの台風トラックデータから経験的台風モデルにより求めた気圧場および風場を用いて，既往の気象擾乱から対象港湾毎に算定した次式に示す経験的な高潮偏差簡易推定式およびSMB法により高潮偏差および波高を算出する．

$$H = a(1010 - P) + b\,W^2\cos\theta + c \tag{2.16}$$

$$H_s = \frac{0.30W^2}{g}\left[1 - \left\{1 + 0.004\left(gFW^{-2}\right)^{\frac{1}{2}}\right\}^{-2}\right] \tag{2.17}$$

ここで，H：高潮偏差[cm]，P：気圧[hPa]，W：風速[m/s]，θ：主風向と最大風速 W のなす角，a，b，c：各地点の定数，H_s：波高[m]，F：推定吹送距離[m]である．定数 a，b，c については，既往の気象擾乱における潮位偏差の観測値と，ERA5 による風速および気圧の再解析値を用いて，

重回帰分析により推定した．また，推定吹吹距離 F については，既往の気象擾乱における波高の観測値と，ERA5による風速の再解析値を用いて，風向別に推定した．

RCMを用いる対象の気象擾乱についても同様に，バイアス補正後のd4PDFのNHRCMデータの気圧場および風場を用いて，経験的な高潮偏差簡易推定式およびSMB法により高潮偏差および波高を算出する．次に，高潮偏差では0.5m未満，かつ，波高ではナウファス高波基準値未満となる気象擾乱を除外する（1次抽出）．

各海域で，台風トラックデータによる1次抽出結果と，NHRCMによる1次抽出結果に重複する気象擾乱があれば，当該気象擾乱をNHRCMの結果から除外し，海域毎に高潮偏差および波高を降順に並べる．次に，各海域で，上位X個を採用し，高潮偏差または波高のいずれかで選定されたものを抽出する（2次抽出）．このとき，各海域における高潮偏差および波高の再現期間について，全て2～3年程度以上は算出可能とするため，年平均抽出数が0.3[個／年]（最低でも0.2[個／年]）となるようにXを設定する．このXは，過去実験（3000年）では900個（最低600個），将来実験（+2K）では各SST（540年）で162個（最低108個）に相当する．

これにより海域毎に抽出した気象擾乱の数は，**表-2.16**のとおりである．

抽出した気象擾乱について，過去実験および将来実験（+2K）における台風の割合を求めたものを，**図-2.49**および**図-2.50**に示す．駿河湾から九州西側にかけての太平洋沿岸については，過去実験も将来実験（+2K）も同様に，抽出された気象擾乱のほぼ全てが台風擾乱であった．それ以外の海域においては，北側に位置する海域ほど，将来実験（+2K）の方の台風擾乱の割合が増加した．

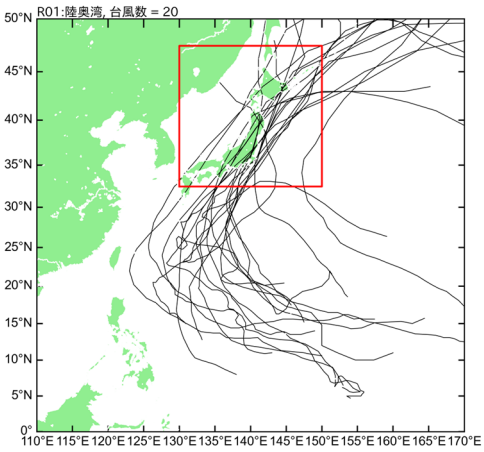


図-2.33　海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路（陸奥湾）

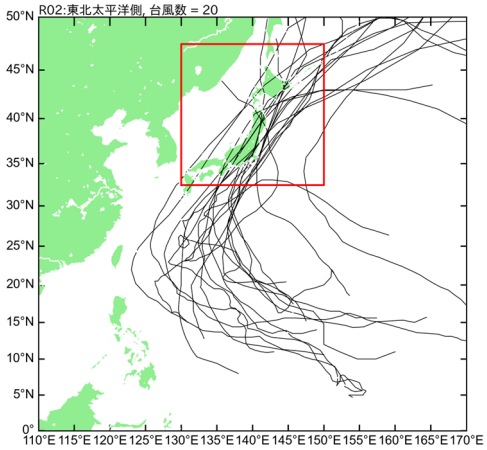


図-2.34　海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路（東北太平洋側）

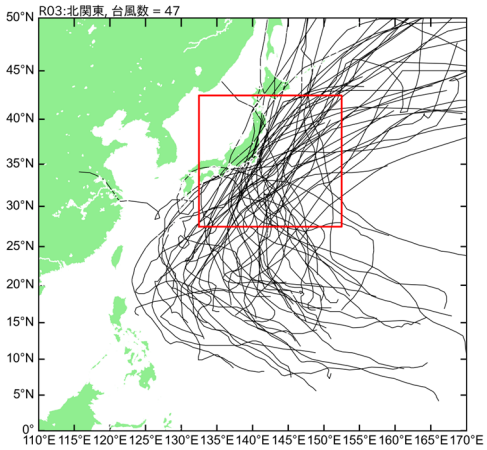


図-2.35　海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路（北関東）

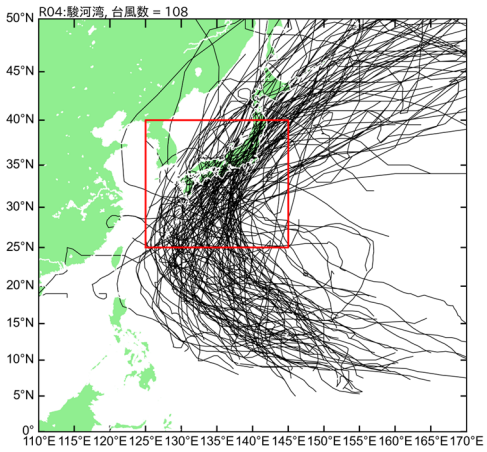


図-2.36　海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路（駿河湾）

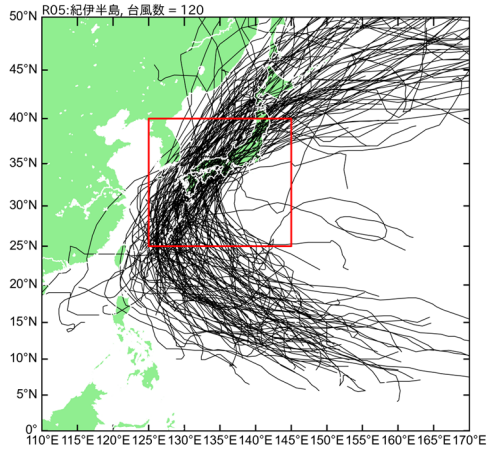


図-2.37 海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路
（紀伊半島）

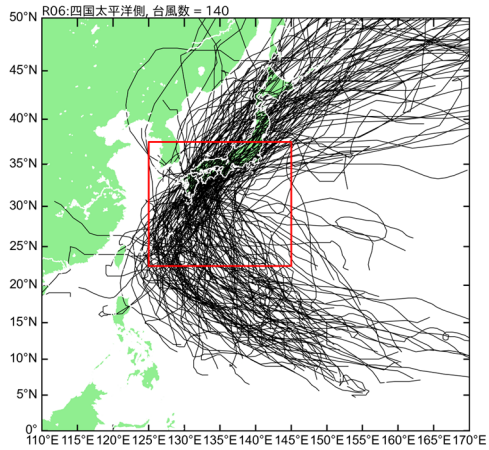


図-2.38 海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路
（四国太平洋側）

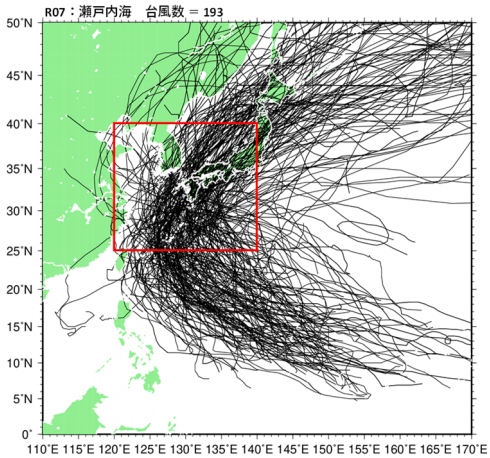


図-2.39 海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路
（瀬戸内海）

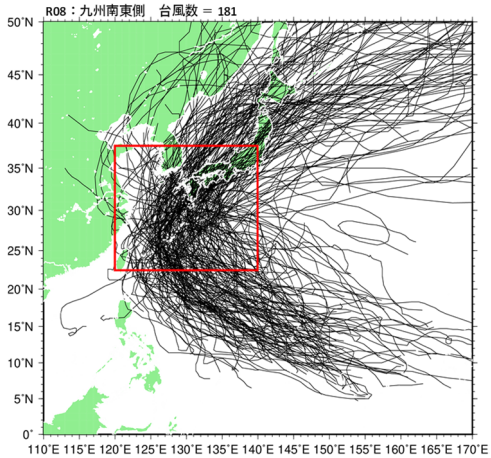


図-2.40 海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路
（九州南東側）

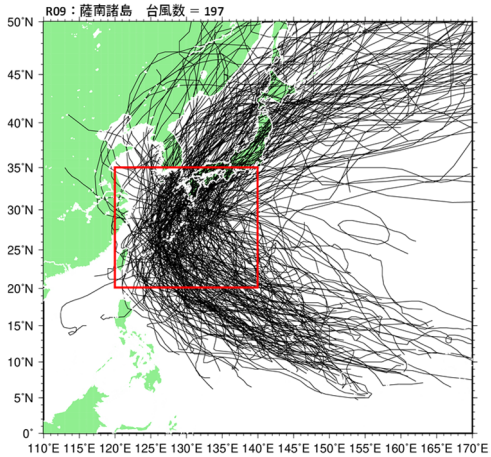


図-2.41 海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路
（薩南諸島）

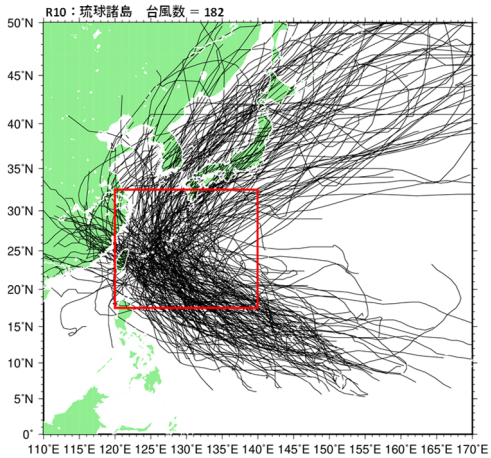


図-2.42 海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路
（琉球諸島）

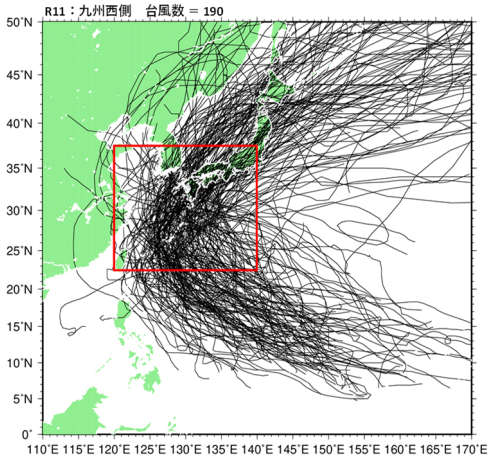


図-2.43　海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路
（九州西側）

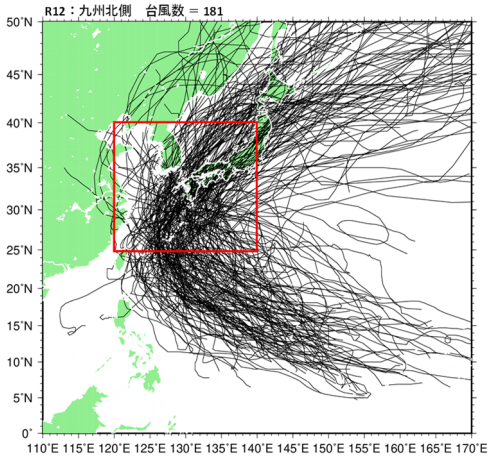


図-2.44　海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路
（九州北側）

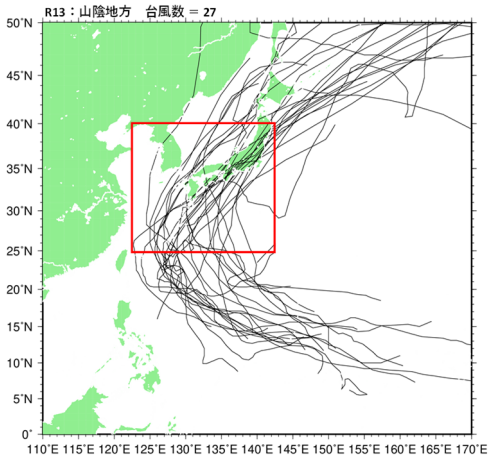


図-2.45　海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路
（山陰地方）

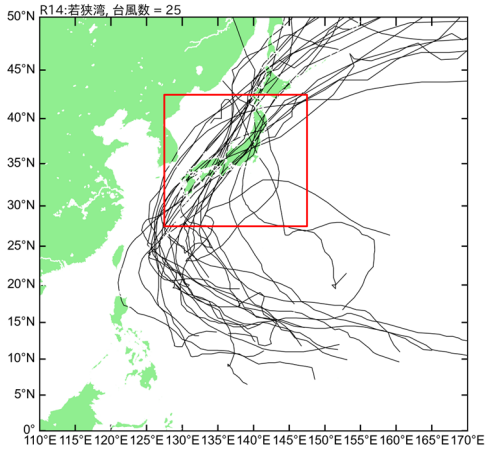


図-2.46　海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路
（若狭湾）

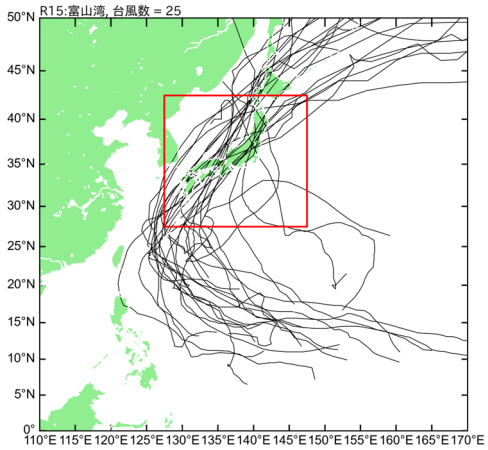


図-2.47　海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路
（富山湾）

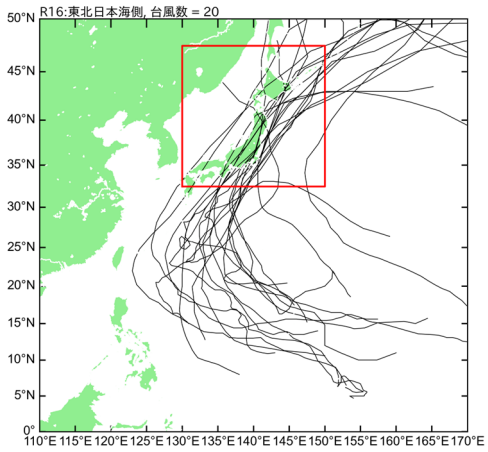


図-2.48　海域毎の台風抽出範囲と実績台風経路
（東北日本海側）

表-2.16　湾毎の台風の抽出数

海域	過去実験		将来実験（+2K）													
			CC		GF		HA		MI		MP		MR		計	
	数	率	数	率	数	率	数	率	数	率	数	率	数	率	数	率
陸奥湾	888	0.30	165	0.31	164	0.30	162	0.30	166	0.31	163	0.30	164	0.30	984	0.30
東北太平洋側	889	0.30	167	0.31	166	0.31	166	0.31	164	0.30	160	0.30	163	0.30	986	0.30
北関東	888	0.30	165	0.31	164	0.30	164	0.30	165	0.31	165	0.31	166	0.31	989	0.31
駿河湾	901	0.30	163	0.30	165	0.31	165	0.31	164	0.30	162	0.30	160	0.30	979	0.30
紀伊半島	900	0.30	165	0.31	164	0.30	162	0.30	162	0.30	162	0.30	162	0.30	977	0.30
四国太平洋側	901	0.30	165	0.31	163	0.30	162	0.30	160	0.30	159	0.29	163	0.30	972	0.30
瀬戸内海	940	0.31	185	0.34	176	0.33	169	0.31	156	0.29	180	0.33	180	0.33	1046	0.32
九州南東側	931	0.31	185	0.34	176	0.33	158	0.29	148	0.27	169	0.31	175	0.32	1011	0.31
薩南諸島	913	0.30	173	0.32	160	0.30	152	0.28	154	0.29	158	0.29	169	0.31	966	0.30
琉球諸島	897	0.30	185	0.34	186	0.34	175	0.32	172	0.32	185	0.34	190	0.35	1093	0.34
九州西側	904	0.30	202	0.37	174	0.32	187	0.35	160	0.30	181	0.34	179	0.33	1083	0.33
九州北側	910	0.30	174	0.32	165	0.31	179	0.33	159	0.29	173	0.32	181	0.34	1031	0.32
山陰地方	908	0.30	186	0.34	166	0.31	173	0.32	175	0.32	183	0.34	190	0.35	1073	0.33
若狭湾	894	0.30	164	0.30	165	0.31	164	0.30	163	0.30	164	0.30	165	0.31	985	0.30
富山湾	887	0.30	164	0.30	165	0.31	164	0.30	163	0.30	165	0.31	162	0.30	983	0.30
東北日本海側	890	0.30	164	0.30	164	0.30	165	0.31	163	0.30	164	0.30	165	0.31	985	0.30

表中の「数」は抽出した擾乱数[個]を表し，「率」は年平均抽出率[個／年]を表す．

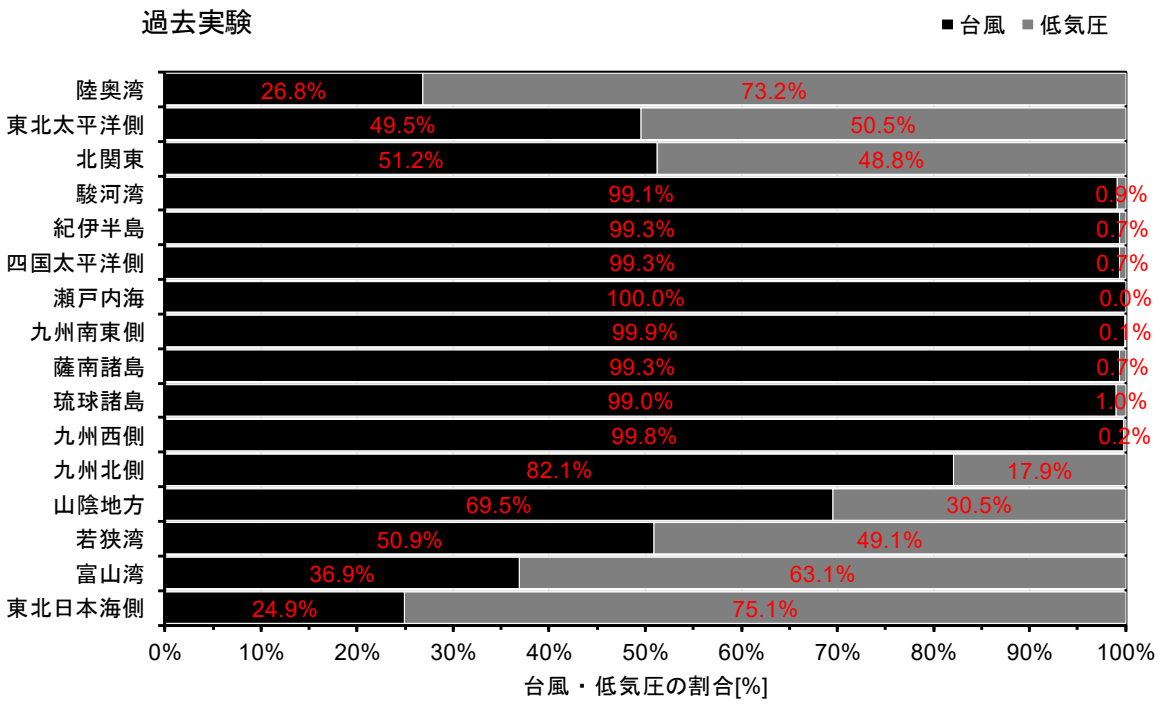


図-2.49　各海域における選定擾乱の台風と低気圧の割合（過去実験）

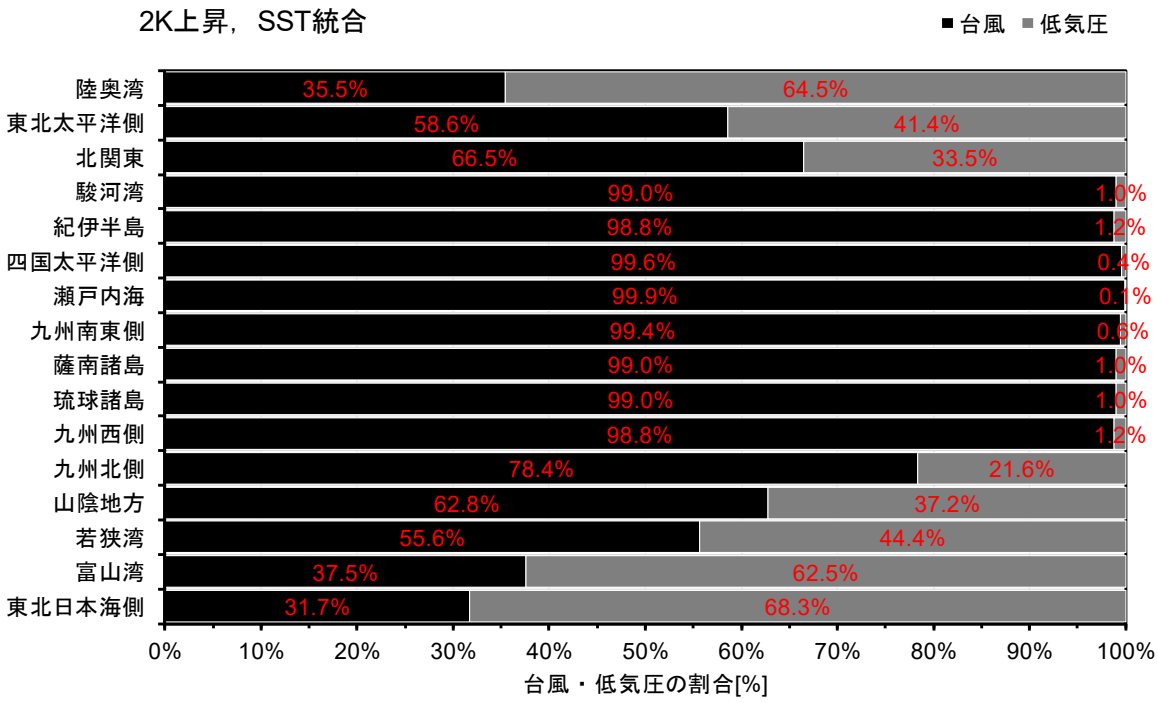


図-2.50　各海域における選定擾乱の台風と低気圧の割合（将来実験（+2K）：6SST の合計）

2.7 極値統計解析

港湾施設，海岸保全施設等の設計に用いられる高潮，波浪諸元は，長期間の観測値あるいは推算値によって得られる極値データについて統計処理を行い，再現期間毎の確率潮位偏差および確率波高として表すことが望ましい．本検討においては，前述の高潮解析結果および波浪解析結果による気象擾乱毎の最大値（最小領域の各メッシュの値）を極値データとして扱うこととする．

(1) 解析方法（潮位偏差）

潮位偏差の極値データから確率潮位偏差を推定するに当たっては，本多ら（2024）に倣い，Hosking（1990）の提案したL-モーメント法を用いた極値統計解析を実施することとする．潮位偏差の極値統計解析の概要を**図-2.51**に示すとともに，解析方法の詳細を後述する．

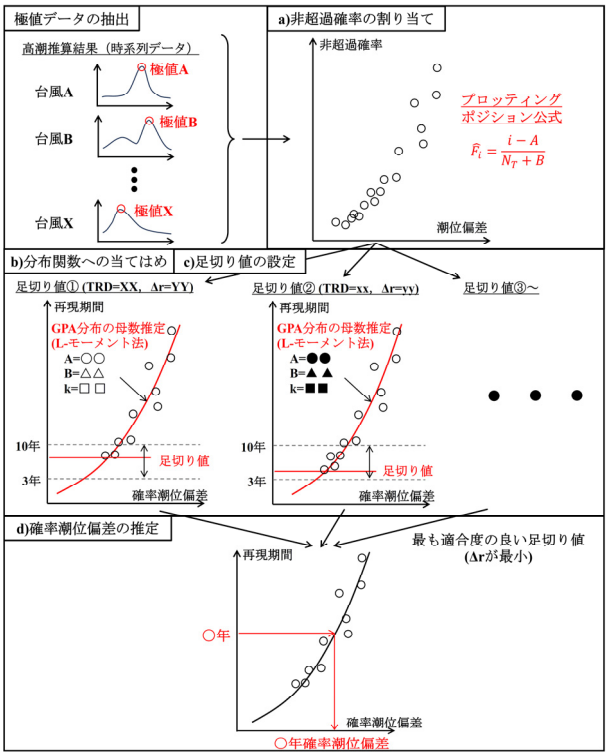


図-2.51 極値統計解析（潮位偏差）の概要

a) 非超過確率の割り当て

まず，各地点の極値データを潮位偏差の小さい順に並べ替え，プロッティングポジション公式を用いて，各潮位偏差値に対する非超過確率を計算する．プロッティングポジション公式は，次式で表される．

$$\hat{F}_i = \frac{i-A}{N_T+B} \tag{2.18}$$

ここに，$\hat{F}_i$ は非超過確率，i は極値データを昇順で並べた時の順位，N_T は極値データの個数，A およびB はモデル定数である．なお，モデル定数については，合田（2010）の数値実験に基づき，L-モーメント法による推定の偏りが小さいとされる提案式（$A = 0.45$，$B = 0$）を用いる．

b) 分布関数への当てはめ（L-モーメント法）

高潮，波浪の極値統計では，確率潮位偏差，確率波高の母分布関数が不明であるため，複数の分布関数を標本に当てはめ，最も適合する分布関数を母分布関数とみなす方法が一般的である．

本検討では，ある閾値（足切り値）を超える潮位偏差の極値データを対象とすることから，閾値超過データの漸近分布として導かれる一般化パレート分布（以下，GPA分布）を当てはめる確率分布として取り上げる．GPA分布の分布関数 $F(x)$ および確率統計量 x は，次式で表される．

$$F(x) = \begin{cases} \exp\left[-\{1-k(x-B)/A\}^{1/k}\right] & (k \neq 0) \\ \exp\left[-\exp\{-(x-B)/A\}\right] & (k = 0) \end{cases} \tag{2.19}$$

$$x = \begin{cases} B + A\{1-(1-F(x))^k\}/k & (k \neq 0) \\ B - A\ln(1-F(x)) & (k = 0) \end{cases} \tag{2.20}$$

ここに，A, B および k は分布関数のパラメータであり，それぞれ尺度母数，位置母数および形状母数である．なお，GPA分布は $k > 0$ のとき，上限値（$= B + Ak$）を持つことに留意が必要である．

標本に適合する分布関数の母数の推定方法としては，L-モーメント法を用いる．L-モーメント法では，地点毎の極値データについて，1～3次の標本L-モーメント l_1～l_3 と標本L-モーメント比 $t_3(= l_3/l_2)$ を計算することで，GPA分布の尺度母数，位置母数，形状母数を次式より推定できる．

$$A = (1+k)(2+k)l_2 \tag{2.21}$$

$$B = l_1 - (2+k)l_2 \tag{2.22}$$

$$k = (1-3t_3)/(1+t_3) \tag{2.23}$$

なお，L-モーメント法の具体的な内容は，Hosking・Wallis（1997）あるいは合田・久高（2009）を参照されたい．

c) 足切り値の設定

標本の足切りを行う閾値によって，当てはめる分布関数への適合度は変化するため，足切り値を変化させて比較検討を行い，最も適合度の良い値を設定する．

足切り値の検討における適合度の判定指標として，本多ら（2024）に倣い，合田・久高（2009）が提案した，極値データの上位20個の二乗平均偏差TUD（Twenty-Up Deviation）を参考として，次式で表される指標TRD（Top Return period Deviation）を用いる．

$$TRD = \sqrt{\frac{1}{n_{TRD}} \sum_{m=1}^{n_{TRD}} {E_m}^2} \tag{2.24}$$

$$E_m = \left(\frac{x_{pred,m} - x_{obs,m}}{x_{obs,m}} \right) \times 100 \tag{2.25}$$

ここに，$x_{obs,m}$ は極値データを大きい順に並べたときの上から第 m 番目の順序統計量，$x_{pred,m}$ は第m番目の確率統計量，n_{TRD} は50年確率値以上の極値データの個数である．なお，n_{TRD} を算出するための50年確率値は式(2.18)を用いて求める．合田・久高（2009）の TUD と異なる点として，本検討では対象とする海域毎や将来気候条件によってデータ数が異なるため，一定の個数のデータではなく，再現期間の大きい（発生頻度の低い）確率統計量に着目し，50年確率値以上の極値データを対象とする．

また，もう一つの適合度の判定指標として，合田（2010）を参考に，次式で表される相関係数残差 Δr も用いる．

$$\Delta r = 1 - r \tag{2.26}$$

ここに，r は極値標本データと分布関数による推計値との相関係数である．r の上限値である1 からの残差 Δr が小さいほど，分布関数の適合度は良いと考えられる．

本検討では，将来気候条件や台風経路等により，各地点における潮位偏差値の幅が異なるため，足切り値は一定値ではなく，3年確率値から10年確率値の間で複数設定し，TRD と Δr を比較することとする．まず，海域毎に TRD と Δr の空間平均値（最小領域の全メッシュの平均値）を算出し，TRD の小さい3つの足切り値に絞り込む．その中で Δr が最も小さくなる足切り値を，最も適合度の良い値として設定する．なお，隣接地点との確率潮位偏差に不整合が生じることを避けるため，海域毎に海域全体で一律の足切り値を設定することとする．

最小計算領域毎に設定した足切り値を，**表-2.14**および**表-2.18**に示す．なお，過去実験と将来実験で設定する足切り値は統一することとし，過去実験と将来実験で相関係数残差が最小となる足切り値が異なる場合には，TRD が最小となる足切り値を設定する．

d) 確率潮位偏差の推定

足切りを行った標本に対して，当てはめた分布関数の母数が推定されると，所定の再現期間 R に対する確率潮位偏差 x は，式(2.20)を用いて推定できる．その際の非超過確率 $\hat{F}_i(= F(x))$ は次式で与えられる．

$$\hat{F}_i = 1 - \frac{1}{\lambda R} \tag{2.27}$$

ここに，λ は極値データを発生させた台風の年平均通過個数である．

表-2.17　各海域で採用した足切り値（その１）

海域	最小計算領域	足切り値（年）
陸奥湾	青森周辺	10
	むつ小川原周辺	10
東北太平洋側	八戸周辺	7
	宮古周辺	10
	釜石周辺	10
	相馬周辺	10
	小名浜周辺	10
北関東	茨城周辺	5
	鹿島周辺	5
駿河湾	御前崎周辺	8
	清水周辺	8
紀伊半島	尾鷲周辺	10
	日高周辺	8
四国太平洋側	高知周辺	10
	宿毛湾周辺	10
	橘周辺	5
瀬戸内海	東部海域	4
	西部海域	5
九州南東側	津久見・佐伯港周辺	4
	細島港周辺	4
	宮崎港周辺	4
	油津・志布志港	4

表-2.18　各海域で採用した足切り値（その２）

海域	最小計算領域	足切り値（年）
薩南諸島	鹿児島港周辺	7
	西之表港周辺	7
	名瀬港周辺	8
琉球諸島	運天港周辺	10
	金武湾・中城湾	8
	那覇港周辺	10
	平良港周辺	8
	石垣港周辺	5
九州西側	川内港周辺	5
	有明海・八代海	4
	長崎・佐世保周辺	4
	下五島周辺	4
九州北側	対馬周辺	4
	壱岐周辺	4
	伊万里港周辺	4
	唐津湾	4
	博多湾	4
	響灘	4
山陰地方	浜田港・三隅港	5
	西郷港	4
	境港周辺	4
	鳥取港周辺	4
若狭湾	舞鶴周辺	8
	敦賀周辺	7
	金沢周辺	7
富山湾	七尾周辺	10
	伏木富山周辺	10
	直江津周辺	5
	小木周辺	5
	新潟周辺	10
東北日本海側	能代周辺	10
	秋田周辺	10
	酒田周辺	7

(2)解析方法（波高）

波高の極値データから確率波高を推定するに当たっては，本多ら（2024）に倣い，寶（2006）によるノンパラメトリック法（以下，寶法）を用いる．ここで，本検討で用いる標本データは，統計期間が500年以上と標本サイズが大きく，施設設計に必要となる再現期間50年までの確率波高の統計的安定性は大きいと考えられる．従って，確率分布への当てはめの必要がなく，比較的簡易に確率波高を推定できる寶法を用いることとした．本検討における，波高の極値統計解析の概要を図-2.52 に示すとともに，解析方法の詳細を後述する．

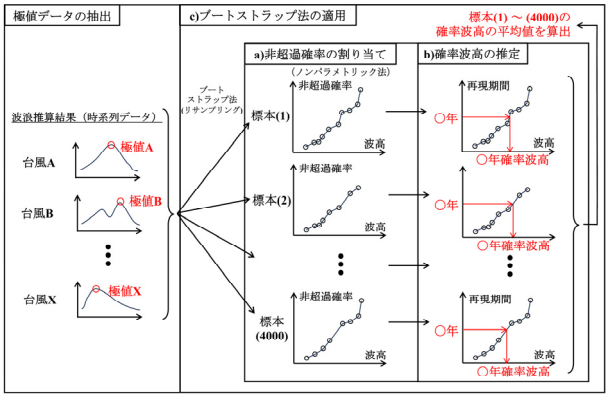


図-2.52　極値統計解析（波高）の概要

a)非超過確率の割り当て

確率潮位偏差の場合と同様に，極値データを波高の小さい順に並べ替え，式(2.18)を用いて，各波高値に対する非超過確率を計算する．ただし，モデル定数については，寶（2006）と同様に，近年よく用いられるカナン公式（$A = 0.4$，$B = 0.2$）を用いる．なお，寶法では確率波高が足切り値に関わらず推定されるため，標本の足切りは行わないこととする．

b)確率波高の推定

所定の再現期間 R に対する非超過確率を，式(2.18)を用いて，割り当てた非超過確率を線形補間することにより求め，確率潮位偏差の場合と同様に，式(2.27)より，その非超過確率に対する確率波高を推定する．

c)ブートストラップ法の適用

ノンパラメトリック法を，ある1組の標本に対してのみ適用すると，例えば，標本の第1位と第2位の波高が近い値となる場合等において，偏りのある確率波高が推定される可能性があるため，ブートストラップ法を適用することで偏りを抑えることとする．各地点の標本データに対して，ブートストラップ法による4000回のリサンプリングを行い，各標本から得られる確率波高の平均値を算出する．なお，ブートストラップ法の具体的な内容については，岡本ら（2023b）を参照されたい．

3. 潮位偏差の将来変化予測

第2章に示したように，抽出した気象擾乱を対象に，気圧場・風場および高潮の数値解析手法を用いて算出した高潮偏差の解析結果に，第4章による波浪解析結果を用いて算出した Wave-Setup を加えることで，潮位偏差を算出した．

本検討に用いた高潮解析および波浪解析の数値解析モデルおよび解析条件についても，モデルバイアスが含まれていることが想定される．そのため，既往の擾乱を対象に，第2.2節で算出した気圧場および風場を用いて高潮解析および波浪解析を実施し，さらに，第2.5節によって算出した Wave Setup も考慮し，潮位偏差の解析値と観測値を比較することにより，そのバイアスを把握した．この潮位偏差の解析値を補正するために乗じる補正係数について，本多ら（2024）に倣い，観測地点における解析値と観測値から得られる回帰係数を用いて，その逆数を当該観測地点での補正係数として設定し，それらの補正係数から平面的に線形に補間して設定することで，平面的に算出した．

この潮位偏差の算出結果を用いて，極値統計解析を実施した．この潮位偏差の極値統計解析の一例を，**図-3.1**に示す．なお，他の全ての代表地点毎の詳細な極値統計解析結果を，付録Gに示す．ほぼ全ての代表地点において，過去実験および将来実験（+2K）の全てのSSTに対して，再現期間100年以下の潮位偏差について，当てはめた確率分布関数との整合性が非常に高い．一方，再現期間100年以上の潮位偏差については，一部の代表地点において，確率分布関数との整合性が低くなっている．このことから，本検討による潮位偏差の解析結果について，再現期間100年以下であれば，統計的な安定性が十分であると考えられる．

将来実験（+2K）における潮位偏差を，同じ再現確率である過去実験における潮位偏差で除して将来変化比を算出した．この潮位偏差の将来変化比の平面分布の一例を，**図-3.2**に示す．なお，他の全ての海域の詳細な再現期間毎の潮位偏差の将来変化比の空間分布を，付録Hに示す．全ての対象海域において，将来実験（+2K）のSSTモデルの違いにより，潮位偏差の将来変化比の空間分布の傾向は異なる．これは，潮位偏差が台風等の経路に大きく影響されることが原因と推察される．そのため，この将来変化比の分布を施設毎の設計等に用いるには，慎重に扱う必要があることに注意されたい．

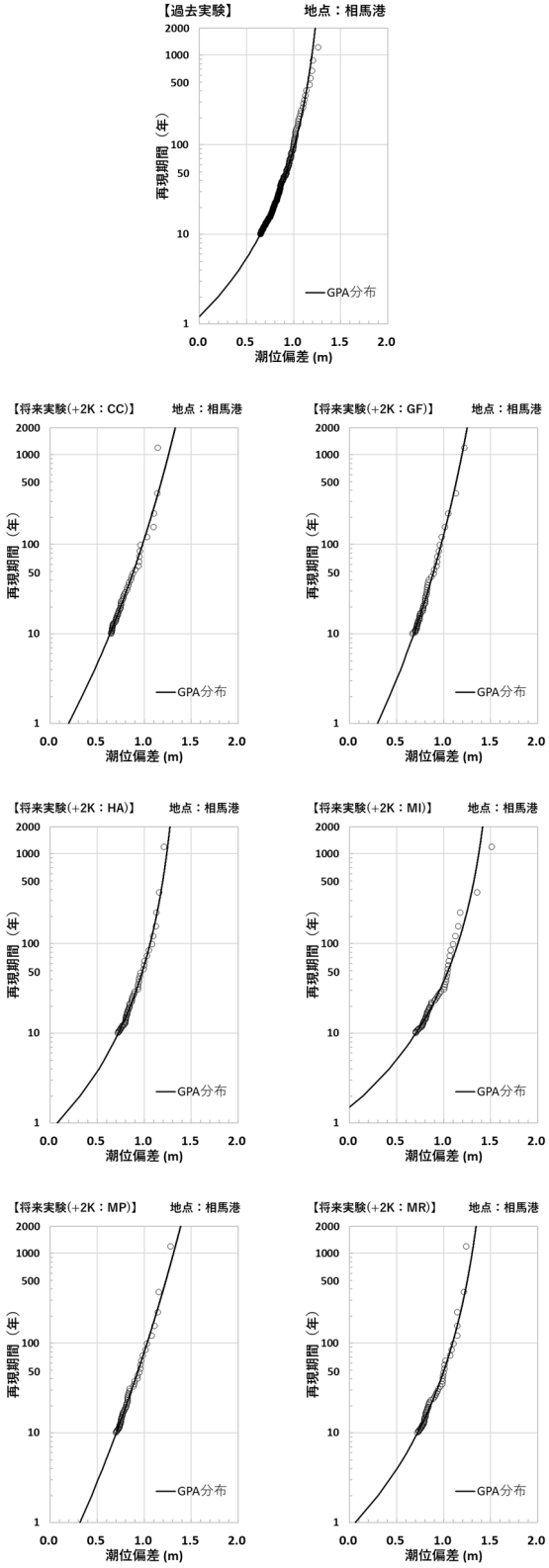


図-3.1　潮位偏差の極値統計結果（相馬港）

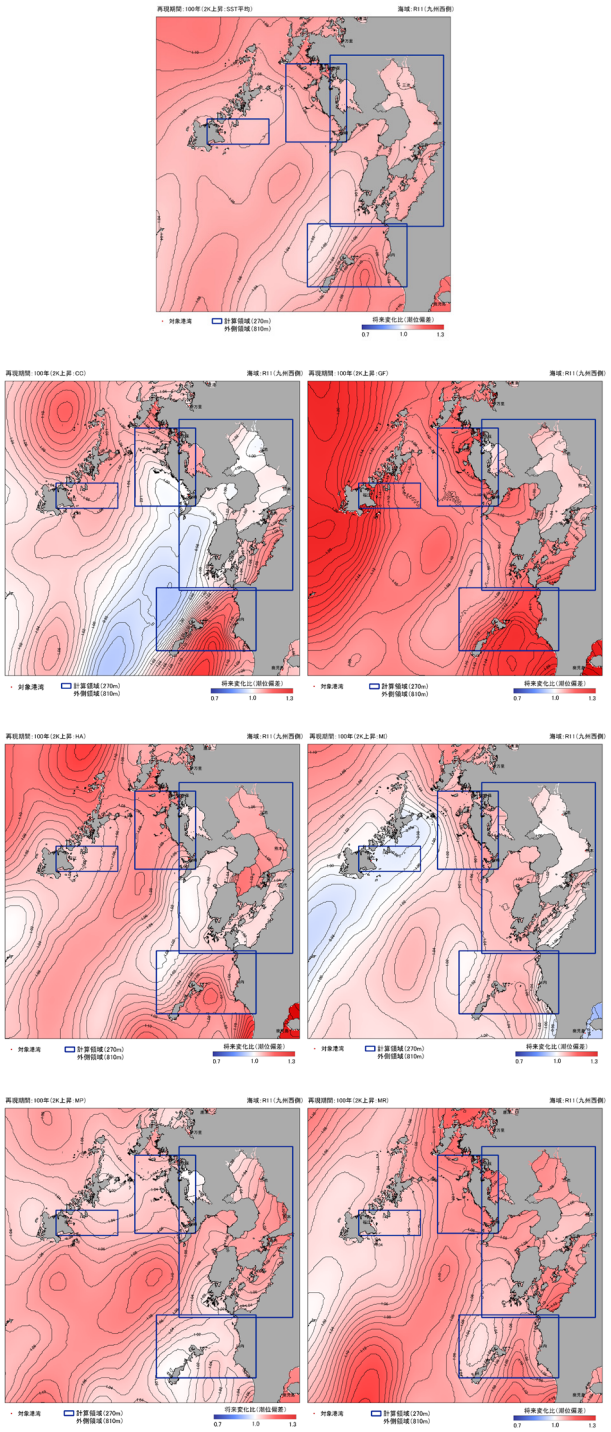


図-3.2　再現期間 100 年の潮位偏差の将来変化比の平面分布の一例（九州西側）

図-3.2に示すように，潮位偏差の将来変化比について，同じ地点であっても，SSTモデルの違いにより，評価値に幅があることが分かる．そこで，港湾毎の将来変化比の評価値の幅の一例を，表-3.1に示す．なお，他の全ての港湾における潮位偏差の将来変化比の結果を，付録Eに示す．本検討における全ての対象港湾の100年確率の潮位偏差の将来変化比について，単純平均を求めると，平均値で4%増，10%tileで1%減，90%tileで9%増となっている．100年確率の潮位偏差の将来変化比の幅については，90%tileと平均値との差および平均値と10%tileとの差として評価すると，最大で13%程度であり，単純平均で4%程度となる．

表-3.1　100 年確率の潮位偏差の将来変化比の一例（四国太平洋側）

港湾	将来変化比（+2K）		
	平均値	10%tile	90%tile
高知港	1.00	0.97	1.06
須崎港	1.05	1.00	1.11
宿毛湾港	1.08	1.03	1.12
宇和島港	1.09	1.03	1.13
徳島小松島港	1.10	0.98	1.22
橘港	1.10	0.97	1.23

4. 波高の将来変化予測

第2章に示したように，抽出した対象の気象擾乱を対象に，気圧場・風場および波浪の数値解析手法を用いて，対象海域毎に波高を算出した．

本検討に用いた波浪解析についても同様に，数値解析モデルおよび解析条件について，モデルバイアスが含まれていることが想定される．そのため，既往の擾乱を対象に，第2.2節で算出した気圧場および風場を用いて波浪解析を実施し，解析値と観測値を比較することにより，そのバイアスを把握した．この波高の解析値を補正するために乗じる補正係数についても，潮位偏差と同様に，本多ら（2024）に倣い，観測地点における解析値と観測値から得られる回帰係数を用いて，その逆数を当該観測地点での補正係数として設定し，それらの補正係数から平面的に線形に補間して設定することで，平面的に算出した．

将来実験（+2K）における波高を，同じ再現確率である過去実験における波高で除して将来変化比を算出した．この波高の将来変化比の平面分布の一例を，**図-4.1**に示す．なお，他の全て海域の詳細な再現期間毎の波高の将来変化比の空間分布を，付録Iに示す．潮位偏差の将来変化比の空間分布と同様に，全ての対象海域において，将来実験（+2K）のSSTモデルの違いにより，波高の将来変化比の空間分布の傾向は異なる．そのため，波高の将来変化比の分布についても，施設毎の設計等に用いるには，慎重に扱う必要があることに注意されたい．

図-4.1に示すように，波高の将来変化比についても同様に，同じ地点であっても，SSTモデルの違いにより，評価値に幅があることが分かる．そこで，港湾毎の将来変化比の評価値の幅の一例を，**表-4.1**に示す．なお，他の全ての港湾における波高の将来変化比の結果を，付録Fに示す．本検討における全ての対象港湾の50年確率波高の将来変化比について，単純平均を求めると，平均値で2%増，10%tileで1%減，90%tileで6%増となっている．50年確率波高の将来変化比の幅については，90%tileと平均値との差および平均値と10%tileとの差として評価すると，最大で12%程度であるものの，単純平均では3%程度となる．なお，波高の将来変化比については，潮位偏差の将来変化比ほど大きくない．これは，波浪と高潮の発達過程が異なることが原因であると考えられる．

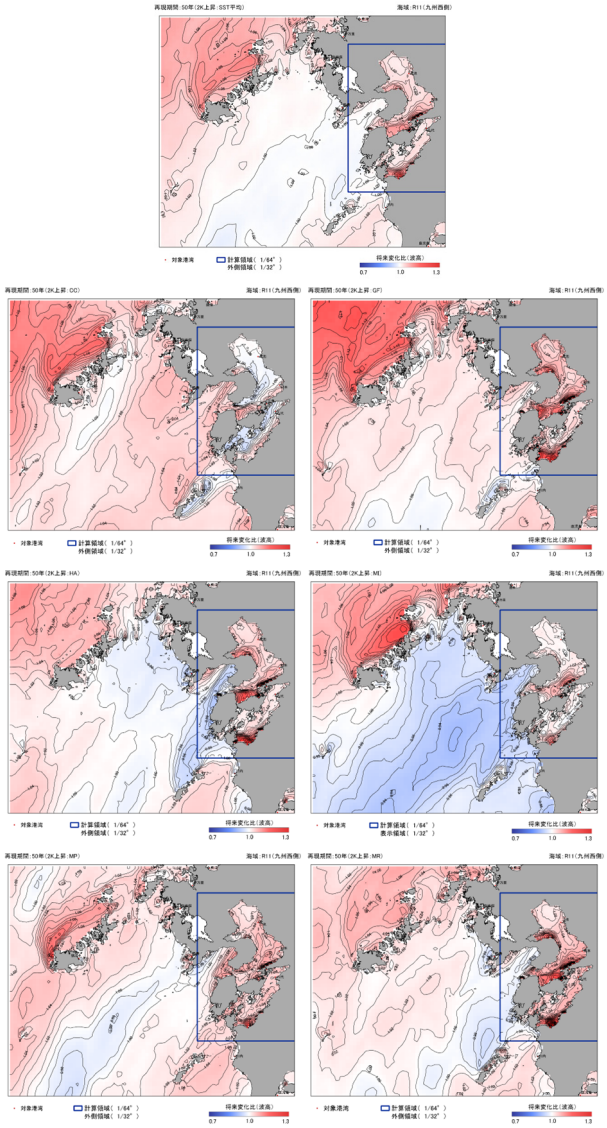


図-4.1　再現期間 50 年の波高の将来変化比の平面分布の一例（九州西側）

表-4.1　50 年確率波高の将来変化比の一例（四国太平洋側）

港湾	将来変化比（+2K）		
	平均値	10%tile	90%tile
高知港	1.02	0.98	1.05
須崎港	1.03	1.01	1.06
宿毛湾港	1.00	0.98	1.04
宇和島港	1.04	1.03	1.05
徳島小松島港	1.01	0.97	1.06
橘港	1.02	0.97	1.07

5. まとめ

本検討では，第2章に示したように，d4PDFの過去実験および+2K昇温の将来実験（+2K）の気象擾乱を抽出し，それらの気象擾乱に対し，気圧場・風場，高潮および波浪の数値解析手法，ならびに，Wave-Setup の簡易推定式を用いて，３大湾および北海道を除く日本沿岸に位置する主要港湾の潮位偏差および波高を算出した．この潮位偏差および波高の算出結果を対象に極値統計解析を実施し，それらの結果とともに，将来実験（+2K）における潮位偏差および波高の将来変化比の評価結果を第3章および第4章に示した．

気候変動に関する国際的枠組みであるパリ協定においては，「世界の平均気温上昇を産業革命以前と比べて2℃未満に抑え，1.5℃までに抑える努力をする」との目標を掲げており，日本を含め世界各国においては，＋2度目標を掲げ温室効果ガスの排出抑制が進められている．そのため，港湾施設の設計に気候変動の影響を考慮する際には，本検討において対象とした将来実験（+2K）を基本とすることが妥当であると考えられる．しかし，2℃以上の世界の平均気温の上昇も否定できないことから，将来予測の上振れリスクの考慮も必要である．また，+2Kの条件では，気候変動の影響と比較して気候システムが持つ自然変動の影響が大きくなることも想定されることから，気候変動の影響が明確に現れる+4Kの条件による評価も重要である．

そこで，本章では，本検討の結果を用いて実際の港湾施設の設計に気候変動の影響を考慮する際について，将来実験（+2K）において参考とする値や留意点を述べる．

将来実験（+2K）による将来変化比の空間分布について，付録Hおよび付録Iに示すように，潮位偏差および波高の将来変化比は，全ての対象海域において，将来実験（+2K）のSSTモデルの違いにより，それら将来変化比の空間分布の傾向は異なる．これは，潮位偏差が台風等の経路に大きく影響されることが原因の一つであると考えられる．このことから，この台風経路の傾向などを確認せず，本検討における将来変化比の分布を参考に，港湾施設毎にその将来変化比の分布における当該施設の値をそのまま設計に用いることは適切ではない．

しかし，本検討の結果は，各海域における将来変化比の分布についての台風経路の傾向などの確認が必要であるものの，各海域の日本全体としての将来変化比の変化傾向は評価できているものと考えられる．そこで，潮位偏差および波高について，海域毎の将来変化比の代表地点に対する平均を算出した．港湾施設の設計に気候変動の影響を考慮する際において，各海域内における将来変化比の空間分布についての原因が確認できない場合には，これらの海域毎の将来変化比の代表地点に対する平均を，当該海域における代表値として用いることが考えられる．

再現期間100年以上の潮位偏差については，一部の代表地点において，確率分布関数との整合性が低くなっているものの，ほぼ全ての代表地点において，過去実験および将来実験（+2K）の全てのSSTに対して，再現期間100年以下の潮位偏差では，当てはめた確率分布関数との整合性が非常に高い．このことから，本検討による潮位偏差の解析結果について，再現期間100年以下であれば，統計的な安定性が十分であると考えられる．そのため，本検討の潮位偏差の将来変化比の結果を参考にする際には，再現期間100年以下を対象とすることが妥当である．一方，確率台風モデルを用いて高潮偏差を確率評価した河合（2010）によると，日本の主要な閉鎖性海域内の代表港湾における潮位偏差の設計値の再現期間は，伊勢湾および大阪湾では100年程度で，東京湾では余裕高が含まれていることから1,000年程度であると推定されている．これらのことから，現在の設計で用いられている潮位偏差の再現期間を把握している港湾施設等は少ないため，これらの施設については，将来変化比として，再現期間100年の評価値を参考にできると考えられる．

一般的に，港湾施設の設計に用いる波高の再現期間は50年であり，また，海岸保全施設の設計に用いる波高の再現期間は30年または50年が多い．これらの再現期間における波高の将来変化比は，十分なサンプル数となる再現期間の範囲における結果であり，前述の潮位偏差の将来変化比における統計的安定性を踏まえると，信頼性は高い結果であることから，本検討の結果を参考にできると考えられる．

以上のことを踏まえて，将来変化比について，潮位偏差では再現期間100年，波高では一般的に設計に用いられている再現期間50年および30年に着目する．

付録Eおよび付録Fを確認すると，再現期間100年の潮位偏差についても，再現期間50年および30年の波高についても，将来実験（+2K）の6つのSST毎の結果に差異が生じている．一般的に，不確実性には2種類あり，サイコロの目のような偶然的不確実性と，予測モデルの差異といったような認識論的不確実性がある．この6つのSST毎の結果の差異は認識論的不確実性であり，これらSSTの設定によって，本検討による潮位偏差および波高の将来変化比について予測に系統的なばらつきが生じている．

表-5.1　海域毎の将来変化比の代表値

海域	潮位偏差			波高						対象港湾
	100 年確率			50 年確率			30 年確率			
	平均	10%	90%	平均	10%	90%	平均	10%	90%	
陸奥湾	1.02	0.99	1.05	1.04	0.98	1.09	1.04	0.99	1.10	青森港
東北太平洋側（北側）	1.05	0.94	1.14	1.02	0.95	1.09	1.02	0.96	1.08	むつ小川原港・八戸港・久慈港・宮古港
東北太平洋側（南側）	1.06	0.97	1.13	1.06	1.02	1.11	1.04	1.00	1.09	釜石港・大船渡港・仙台塩釜港・相馬港・小名浜港
北関東	1.06	1.03	1.10	1.08	1.04	1.12	1.06	1.02	1.12	茨城港・鹿島港
東京湾	1.10	1.03	1.15	1.02	0.98	1.06	1.03	0.98	1.08	木更津港・千葉港・東京港・川崎港・横浜港・横須賀港
駿河湾	1.02	0.96	1.09	1.01	0.98	1.06	0.99	0.96	1.04	御前崎港・田子の浦港・清水港
伊勢湾	1.07	1.03	1.10	1.00	0.98	1.03	1.01	0.98	1.05	三河港・衣浦港・名古屋港・四日市港・津松阪港
紀伊半島	1.03	0.99	1.06	1.00	0.98	1.02	1.00	0.98	1.02	尾鷲港・日高港・和歌山下津港
大阪湾	1.06	0.99	1.13	1.04	0.97	1.08	1.04	0.98	1.08	阪南港・堺泉北港・大阪港・尼崎西宮芦屋港・神戸港
四国太平洋側	1.07	1.02	1.10	1.02	1.01	1.03	1.02	1.00	1.03	徳島小松島港・橘港・高知港・須崎港・宿毛湾港・宇和島港
瀬戸内海（東部：播磨灘・燧灘）	1.02	1.00	1.05	1.02	1.00	1.04	1.02	1.00	1.05	東播磨港・姫路港・岡山港・宇野港・水島港・福山港・尾道糸崎港・今治港・東予港・新居浜港・三島川之江港・坂出港・高松港
瀬戸内海（西部：伊予灘・周防灘）	1.01	0.98	1.05	1.02	1.00	1.03	1.02	1.00	1.03	呉港・広島港・岩国港・徳山下松港・三田尻中関港・宇部港・小野田港・下関港（周防灘）・北九州港（周防灘）・苅田港・中津港・別府港・大分港・松山港
九州南東側	1.04	1.01	1.07	0.99	0.96	1.02	0.99	0.97	1.02	細島港・宮崎港・油津港・志布志港・佐伯港・津久見港
薩南	1.06	1.03	1.10	1.02	0.99	1.05	1.01	0.98	1.04	鹿児島港・西之表港
琉球諸島	1.01	0.98	1.04	1.01	1.00	1.02	1.01	1.00	1.02	名瀬港・運天港・金武湾港・中城湾港・那覇港・平良港・石垣港
九州西側	1.06	1.04	1.08	1.02	1.00	1.03	1.02	1.00	1.04	川内港・八代港・三角港・熊本港・三池港・長崎港・佐世保港・福江港
九州北側	1.07	1.03	1.11	1.06	1.01	1.11	1.06	1.01	1.11	厳原港・郷ノ浦港・伊万里港・唐津港・博多港・北九州港（響灘）・下関港（響灘）
山陰地方	1.06	1.03	1.09	1.02	0.99	1.06	1.02	0.99	1.06	三隅港・浜田港・西郷港・境港・鳥取港
若狭湾	1.05	1.01	1.09	1.02	0.98	1.06	1.03	0.99	1.08	舞鶴港・敦賀港・金沢港
富山湾	1.04	1.01	1.08	1.01	0.98	1.06	1.02	0.98	1.07	七尾港・伏木富山港・直江津港・小木港・両津港・新潟港
東北日本海側	1.01	0.98	1.04	1.02	1.00	1.04	1.01	0.99	1.04	能代港・秋田港・船川港・酒田港

なお，偶然的不確実性は，潮位偏差および波高の極値として反映されており，本検討では極値統計によって考慮している．港湾施設の設計によっては，予測が上振れするリスクを考慮する必要があることから，将来の潮位偏差および波高の予測範囲も評価する必要がある．

そのため，6つのSSTによる潮位偏差および波高の将来変化比について，それらの平均値のみならず，予測の上振れリスクに対応するために，予測範囲の指標として10%tileおよび90%tileについても算出した．具体的には，再現期間100年の潮位偏差および再現期間50年および30年の波高の将来変化比について，それぞれの最大値を100%tile，最小値を0%tileとし，6つのSSTによる結果を用いて10%tileおよび90%tileを算出した．

本検討の対象海域内の将来実験（+2K）における将来変化比の代表値として，再現期間100年の潮位偏差および再現期間50年・30年の波高の代表地点平均を算出した結果を**表-5.1**に示す．参考までに，本多ら（2024）による３大湾を対象とした検討結果も併せて記載している．実際の港湾施設の設計に気候変動の影響を考慮する際には，この表に示す値を参考とされたい．潮位偏差と波高の将来変化比が東北から九州に向かって増加する傾向を有している要因は，**図-2.26**，**図-2.30**および**図-2.31**に示したとおり，東北から九州に向かって，台風の中心気圧および気象擾乱の海面気圧については減少するとともに，風速については増大しているためと考えられる．また，潮位偏差と波高の将来変化比に差が生じている要因は，海域の形状といった特性と高潮と波浪の発達・伝播特性の違いであると考えられる．

なお，本検討における潮位偏差および波高の計算に用いた計算モデル等にはモデルバイアスが含まれていることが否定できないため，過去実験の結果に対する将来実験の結果の比を用いることで，このモデルバイアスを極力低減することが期待できる．そのため，現在の港湾施設等の設計値に対して，潮位偏差および波高の将来変化比を乗じて将来気候下における設計値を評価することを推奨する．

将来実験（+4K）は，IPCC第5次報告書のRCP8.5シナリオの2,090年に相当するものであり，一方，将来実験（+2K）は，気候感度に依存するが，RCP8.5シナリオの2,040年に相当する温室効果ガス等の外部強制因子を与えたものである（文部科学省ほか，2022）．これは，RCP2.6シナリオでは，2,040年時点まではRCP8.5シナリオと同様の温暖化の状況であり，その後の温暖化の状況は概ね変化しないためである．そのため，将来実験（+2K）における本検討の結果は，2,040年に顕在化する将来予測に相当すると想定され，その後は概ね変化しないものと考えられることに留意が必要である．

6. あとがき

本検討では，実際の港湾施設の設計に気候変動の影響を考慮する際に参考となることを目的とし，３大湾および北海道を除く日本沿岸における潮位偏差および波高の将来変化比を算出した．その概要を以下に示す．

台風および温帯低気圧を含む気象擾乱を対象に，高潮および波浪への作用である風場・気圧場について，経験的台風モデルまたは領域気候モデルの解析結果を用いて算出した．一部の海域において，風速・風向に対する地形の影響を考慮するため，過去の気象擾乱を対象に，風速・風向の実績値と解析値を比較し，風速ランク別の風速・風向について逆距離荷重法により，海上風の風速・風向の補正係数を算出し，この補正係数を用いて風場を算出した．

経験的台風モデルまたは領域気候モデルの解析結果を用いて算出した風場・気圧場により，一般的に実務で用いられている単層の線形長波方程式に基づく数値計算モデルおよび第3世代波浪モデルWAVE WATCH III（Ver.6.07）により，さらに，Wave-Setup の簡易算定式も用いて，潮位偏差および波高を算出した．これらの潮位偏差および波高には，本検討で用いた数値計算モデルが潜在的に有しているモデルバイアスが含まれていることが想定されるため，過去の観測実績と本検討で用いた数値計算モデルによる結果を比較し，平面的に補正係数を設定し，数値計算モデルによって算出される潮位偏差および波高を補正するものとした．

対象とする気象擾乱データについては，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（d4PDF. Mizutaら（2017））をもとに，Shimuraら（2016）の手法によって台風を抽出し作成したWebbら（2019）により提供された台風トラックデータ等を基本とした．なお，現在気候としては，d4PDFの過去実験を対象とし，将来気候としては, d4PDFの将来実験（+2K）を対象とした. なお, d4PDFにおける過去実験では，台風の実績と比較して中心気圧が大きい傾向を示すバイアスが含まれているため，台風実績と過去実験とを比較することにより，再現確率毎の中心気圧に対してクオンタイルマッピング法を用いて緯度・経度帯毎に中心気圧のバイアス補正量を算出し，このバイアス補正量を用いてd4PDFによる過去実験および将来実験の台風の中心気圧のバイアスを補正した．領域気候モデルによる海面気圧および風速についても，同様の手法によりバイアス補正を実施した．

バイアスを補正した気圧場および風速場のデータを用いて，高潮・波浪の数値計算モデルおよび Wave-Setup の簡易算定式により算出し補正した潮位偏差および波高に対して，極値統計解析を実施し，対象海域における潮位偏差および波高の再現期間毎の将来変化比を算出した．なお，将来予測の上振れリスクを評価するために，これらの将来変化比については，将来実験（+2K）の予測で考慮された6つのSSTといったモデル別に算出した．

将来実験（+2K）による潮位偏差および波高の将来変化比の空間分布は，SSTモデルの違いにより差異が認められた．この要因については，過去実験および将来実験（+2K）における気象擾乱毎の湾内の高潮・波浪の発達，ならびに，湾内における高潮・波浪の一般的な発達特性を踏まえた更なる検討が必要であり，今後の課題として挙げられる．

対象海域内の将来実験（+2K）における代表値として，再現期間100年の高潮偏差および再現期間50年・30年の波高の代表地点平均を算出した．これらの結果は，6つのSSTによって差異が生じていることから，これら6つの平均値のみならず，予測の上振れリスクに対応する検討に資するため，90%tileについても示した．実際の港湾施設等の設計に気候変動の影響を考慮する際には，これらの値を参考とすることを推奨する．

本検討では，実際の港湾施設等の設計に気候変動の影響を考慮する際に参考となることを目的としたが，本検討で提示した結果は，潮位偏差および波高の将来変化であり，港湾施設の設計に必要な波浪の周期および波向の将来変化を示していない．そのため，これら波浪の周期および波向の将来変化については，今後の課題としたい．

（2024 年 11 月 25 日受付）

謝辞

本検討では，文部科学省・気象庁の「気候予測データセット2022」に収録されているd4PDF熱帯低気圧トラックデータ（Webbら（2019））を利用した．また，文部科学省による複数の学術研究プログラム（「創生」，「統合」，SI-CAT、DIAS）間連携および地球シミュレータにより作成された d4PDF を使用した．なお，これらのデータセットは，文部科学省の補助事業により開発・運用されているデータ統合解析システム(DIAS)の下で，収集・提供されたものである．

参考文献

有吉　望・森　信人（2018）: 北西太平洋の台風の最大潜在強度を用いた３大湾における高潮偏差の将来変化予測，土木学会論文集 B2(海岸工学)，74(2)，pp.I_619-I_624.

石井正好・森　信人（2022）: 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の開発と気候変動リスク評価研究成果の社会実装，気象学会，天気，69 巻 8 号, pp.413-430.

井手喜彦・一色勇志・児玉充由・橋本典明・山城賢 (2017a) : 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.

井手喜彦・山上澪・山城賢・橋本典明 (2017b) : 経験的台風モデルにより推算された風場の補正法の構築，土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.73, No.2, pp. I_144-I_149.

梅田尋慈・中條壮大・森信人（2019）: 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，I_1195-1200.

惠平寿輝・船橋雄大・佐藤典之（2024）: d4PDF を用いた潮位偏差の将来変化予測手法の提案，第 67 回(2023 年度)北海道開発技術研究発表会論文，5p.

岡本侃大・本多和彦・百海郁弥(2023a) : ブートストラップ法を用いた高潮・高波の偶然的不確実性の評価，国土技術政策総合研究所研究報告，No.71，22p.

岡本侃大・百海郁弥・本多和彦 (2023b) : 将来気候における高潮・高波の不確実性の評価，国土技術政策総合研究所資料，No.1248，51p.

河合弘泰・本多和彦・富田孝史・柿沼太郎 (2005) : 2004 年に発生した台風の特徴と高潮の予測・再現計算，港湾空港技術研究所資料，No.1103，34p.

河合弘泰(2010) : 高潮数値計算技術の高精度化と気候変動に備えた防災への適用，港湾空港技術研究所資料，No.1210，97p.

河合弘泰・合田良実・久高将信・仲井圭二（2010）: 地域頻度解析手法による我が国沿岸の高潮偏差の極値統計解析，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.66，No.1，pp. 121-125.

気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会（2020）: 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），20p.

気候予測データセット（DS2022）: https://diasjp.net/ds2022/（閲覧日：2023 年 5 月 31 日）

気象庁：沿岸波浪計観測値，https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/wave/obsdata/past/usw.php（閲覧日：2024 年 5 月 31 日）

気象庁：各年の潮汐，https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/gaikyo/nenindex.php（閲覧日：2024 年 5 月 31 日）

気象庁：過去の気象データ検索，https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php（閲覧日：2024 年 5 月 31 日）

北野利一・間瀬 肇・喜岡 渉・矢野陽一郎（2002）: 一般化パレート分布による極値波浪解析－拡張形状母数の推定－, 海岸工学論文集, 第 49 巻，pp. 161-165.

局地数値予報モデル GPV（LFM）: http://www.jmbsc.or.jp/jp/online/file/f-online10300.html（閲覧日：2023 年 5 月 31 日）

合田良実（1975）: 浅海域における波浪の砕波変形，港湾技術研究所報告, Vol.14, No.3, pp.59-106.

合田良実・久高将信（2009）: 高波の極値統計解析に対する L-moments 法の適用と分布関数の選択について，ECOH/YG 技術論文，No. 10，12p.

合田良実・久高将信・河合弘泰（2009）: L-moments 法を用いた波浪の極値統計解析について，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.65，No.1，pp. 161-165.

合田良実・久高将信（2010）: L-モーメント法による日本海沿岸の高波の地域頻度解析について，ECOH/YG 技術論文，No. 12，13p.

合田良実（2010）: L-モーメント法を用いた高波の極値統計解析におけるプロッティングポジション公式の選択と各種統計量の信頼区間，ECOH/YG 技術論文 No. 13，29p.

合田良実・久高将信（2011）: L-モーメント法による日本海沿岸の高波の地域頻度解析について（その 2），ECOH/YG 技術論文，No. 15，17p.

国土交通省港湾局：全国港湾海洋波浪情報網，https://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/（閲覧日：2024 年 5 月 31 日）

首藤伸夫（1974）: 非線型長波の変形－水路幅，水深の変化する場合－, 第 21 回海岸工学講演会論文集, pp.57-63.

寶馨（2006）: 大標本時代の水文頻度解析手法 —リターンピリオドを超えるようなサイズの標本に対する極値データ解析—，京都大学防災研究所年報，第49号B，pp.7-12.

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（d4PDF）:

https://www.miroc-gcm.jp/d4PDF/index.html（閲覧日：2023 年 5 月 31 日）

日本海洋データセンター：https://www.jodc.go.jp/jodcweb/index_j.html（閲覧日：2024 年 5 月 31 日）

農林水産省・国土交通省（2023）：高潮浸水想定区域図作成の手引き（Ver.2.11），84p.

野村明弘・佐藤典之・石川浩希・早川哲也・岩﨑慎介・大塚淳一・森 信人・渡部 靖憲（2022）：d4PDF を用いた設計波高の将来変化の効率的な推定手法，土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.78, No.2, I_937-I_942.

兵庫県：海の防災情報，https://micos-sc.jwa.or.jp/hyogo-kouwan/（閲覧日：2024 年 5 月 31 日）

平山克也・川口浩二・田中陽二・樋口直人・田所篤博・金子大介・伊藤裕哉・佐々木誠（2021）：浅海域で設定する新しい沖波（準沖波）の提案，土木学会論文集 B3(海洋開発)，77(2)，pp.I_727-I_732.

藤井健・光田寧 (1986)：台風の確率モデルの作成とそれによる強風のシミュレイション，京都大学防災研究所年報，第 29 号，B-1，pp.229-239.

本多和彦・成田裕也・岡本侃大・百海郁弥・平山克也・髙川智博・森　信人(2024)：３大湾内の港湾における高潮・波浪への気候変動の影響評価，国土技術政策総合研究所資料，No.1266，132p.

森壮太郎・森　信人・志村智也・宮下卓也（2021）：気候変動による日本主要湾における可能最大クラス高潮の長期変化, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 77(2), pp.I_937-I_942.

森　信人・有吉　望・安田誠宏・間瀬　肇（2016）：台風の最大潜在強度にもとづく高潮偏差の長期変動評価，土木学会論文集 B2(海岸工学)，72(2)，pp.I_1489-I_1494.

文部科学省・気象庁気象研究所・東京大学大気海洋研究所・京都大学防災研究所・国立環境研究所・筑波大学・海洋研究開発機構（2023）：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 database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF) 利用手引き（抜粋）2022 年 10 月 21 日版，https://www.miroc-gcm.jp/d4PDF/index.html（閲覧日：2023 年 5 月 31 日）

Holthuijsen L. H., Powell, M. D. and Pietrzak, J. D.（2012）：Wind and waves in extreme hurricanes, Journal of Geophysical Research, vol.117, C09003, doi: 10.1029/2012JC007983

Hosking，J．R．M．（1990）：L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics，J. Roy. Statistical Soc.，Series B，52，pp.105-124.

Hosking，J．R．M．　and J．R．Wallis（1997）：Regional Frequency Analysis，Cambridge Univ. Press，224p.

IPCC-AR5 WG1 (2013) : The physical science basis. Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1535.

JRA-55 領域ダウンスケーリング（DSJRA-55）：https://jra.kishou.go.jp/DSJRA-55/index_ja.html（閲覧日：2023 年 5 月 31 日）

Mizuta, R, Arakawa, O, Ose, T, Kusunoki, S, Endo, H, and Kitoh A (2014)：Classification of CMIP5 future climate responses by the tropical sea surface temperature changes, *SOLA*, Vol.10, 167-171.

Mizuta, R., A. Murata, M. Ishii, H. Shiogama, K. Hibino, N. Mori, O. Arakawa, Y. Imada, K. Yoshida, T. Aoyagi, H. Kawase, M. Mori, Y. Okada, T. Shimura, T. Nagatomo, M. Ikeda, H. Endo, M. Nosaka, M. Arai, C. Takahashi, K. Tanaka, T. Takemi, Y. Tachikawa, K. Temur, Y. Kamae, M. Watanabe, H. Sasaki, A. Kitoh, I. Takayabu, E. Nakakita, M. Kimoto (2017) ：Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models, The Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS), July, pp.1383-1398.

Mori, N., Shimura, T., Yoshida, K., Miauta, R., Okada, Y., Fujita, M., Khujanazarov, T., and Nakakita, E. (2019). “Future changes in extreme storm surges based on mega-ensemble projection using 60-km resolution atmospheric global circulation model,” Coastal Eng. J, 61, 3, 295-307.

Okamoto, K, Doukai, F, and Honda, K (2023a)：Uncertainty of extreme value of storm urges and high waves due to tropical cyclones in the future climate, *Proc. the 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference*, Otawa, Canada, ISOPE, pp.2731-2736.

Okamoto, K, Honda, K and Doukai, F (2023b)：Storm surges and high wave due to typhoons in three major bays of Japan in the future climate, *Proc. the 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference*, Otawa, Canada, ISOPE, pp.2737-2744.

Powell, M. D.（2008）： High wind drag coefficient and sea surface roughness in shallow water, Final Report to the Joint Hurricane Testbed, NOAA HRD-AOML

Shimura, T., N. Mori and M. A. Hemer（2016）：Projection of

tropical cyclone-generated extreme wave climate based on CMIP5 multi-model ensemble in the Western North Pacific, Climate Dynamics, Vol.49(4), pp.1449-1462.

Shimura, T., W. J. Pringle, N. Mori, T. Miyashita, K. Yoshida （2022）: Seamless projections of global storm surge and ocean waves under a warming climate, Geophysical Research Letters, 49, e2021GL097427.

Taylor, K. E., Stouffer, R. J., and Meehl, G. A. (2012) : An overview of CMIP5 and the experiment design,” Bulletin of the American Meteorological Society, 93, 4, 485‑498.

WW3DG (2016) : User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 5.16, The WAVEWATCH III Development Group. Tech. Note 329. NOAA/NWS/NCEP/MMAB.

Webb, A., T. Shimura, N. Mori （2019）: Global Tropical Cyclone Track Detection and Analysis of the d4PDF Mega-ensemble Projection, Vol.75/2, p. I_1207-I_1212

付録A　対象港湾と検証等に用いた観測地点

表-A.1　対象港湾毎の検証等に用いた観測地点（その１）

港湾 No.	計算海域 No.	海域名	港湾名	検潮所（潮位観測地点）	波浪観測地点	気象観測地点	備考
1	1	陸奥湾	青森港	青森港	青森	青森	
2	1	陸奥湾	むつ小川原港	むつ小川原港	むつ小川原	むつ	
3	2	東北太平洋側	八戸港	八戸	八戸	八戸	
4	2	東北太平洋側	久慈港	久慈港	久慈	八戸	
5	2	東北太平洋側	宮古港	宮古	宮古	宮古	
6	2	東北太平洋側	釜石港	釜石	釜石	大船渡	
7	2	東北太平洋側	大船渡港	大船渡	宮城北部沖	大船渡	
8	2	東北太平洋側	仙台塩釜港	鮎川	仙台新港	仙台	
9	2	東北太平洋側	相馬港	相馬	相馬	福島	
10	2	東北太平洋側	小名浜港	小名浜	小名浜	小名浜	
11	3	北関東	茨城港	鹿島港	常陸那珂	水戸	
12	3	北関東	鹿島港	鹿島港	鹿島	銚子	
13	4	駿河湾	田子の浦港	清水港	清水	三島	
14	4	駿河湾	清水港	清水港	清水	静岡	
15	4	駿河湾	御前崎港	御前崎	御前崎	御前崎	
16	5	紀伊半島	尾鷲港	尾鷲	三重尾鷲沖	尾鷲	
17	5	紀伊半島	日高港	御坊	和歌山南西沖	和歌山	
18	5	紀伊半島	和歌山下津港	和歌山	和歌山南西沖	和歌山	
19	6	四国太平洋側	徳島小松島港	小松島	小松島	徳島	
20	6	四国太平洋側	橘港	小松島	小松島	徳島	
21	6	四国太平洋側	高知港	高知	高知	高知	
22	6	四国太平洋側	須崎港	久礼	高知	高知	
23	6	四国太平洋側	宿毛湾港	土佐清水	高知西部沖	宿毛	
24	6	四国太平洋側	宇和島港	宇和島	高知西部沖	宇和島	
25	7	瀬戸内海	東播磨港	東二見	江井ヶ島（水局）	明石	
26	7	瀬戸内海	姫路港	姫路／飾磨		姫路	
27	7	瀬戸内海	岡山港	宇野		岡山	
28	7	瀬戸内海	宇野港	宇野		玉野	
29	7	瀬戸内海	水島港	宇野		倉敷	
30	7	瀬戸内海	福山港	宇野		福山	
31	7	瀬戸内海	尾道糸崎港	来島航路		竹原	
32	7	瀬戸内海	呉港	呉		呉	
33	7	瀬戸内海	広島港	広島		広島	
34	7	瀬戸内海	岩国港	広島		岩国	
35	7	瀬戸内海	徳山下松港	徳山		下松	

（註：近隣に観測地点が無い場合には空欄としている）

表-A.2　対象港湾毎の検証等に用いた観測地点（その２）

港湾No.	計算海域No.	海域名	港湾名	検潮所（潮位観測地点）	波浪観測地点	気象観測地点	備考
36	7	瀬戸内海	三田尻中関港	徳山		防府	
37	7	瀬戸内海	宇部港	宇部港		下関	
38	7	瀬戸内海	小野田港	宇部港		下関	
39	7	瀬戸内海	下関港（周防灘	下関港弟子待		下関	九州北側も該当
40	7	瀬戸内海	北九州港（周防灘）	北九州港青浜		下関	九州北側も該当
41	7	瀬戸内海	苅田港	苅田港	苅田	空港北町	
42	7	瀬戸内海	中津港	苅田港		中津	
43	7	瀬戸内海	別府港	別府港		大分	
44	7	瀬戸内海	大分港	大分		大分	
45	7	瀬戸内海	松山港	松山		松山	
46	7	瀬戸内海	今治港	来島航路		今治	
47	7	瀬戸内海	東予港	来島航路		西条	
48	7	瀬戸内海	新居浜港	来島航路		新居浜	
49	7	瀬戸内海	三島川之江港	来島航路		四国中央	
50	7	瀬戸内海	坂出港	与島港		高松	
51	7	瀬戸内海	高松港	高松		高松	
52	8	九州南東側	津久見港	佐伯		佐伯	
53	8	九州南東側	佐伯港	佐伯		佐伯	
54	8	九州南東側	細島港	細島	細島	日向	
55	8	九州南東側	宮崎港	宮崎港	宮崎	宮崎	
56	8	九州南東側	油津港	油津	油津	油津	
57	8	九州南東側	志布志港	志布志港	志布志	志布志	
58	9	薩南諸島	鹿児島港	鹿児島	鹿児島	鹿児島	
59	9	薩南諸島	西之表港	西之表	屋久島（気象庁）	種子島	
60	9	薩南諸島	名瀬港	名瀬	名瀬	名瀬	
61	10	琉球諸島	運天港	那覇	那覇	伊是名	
62	10	琉球諸島	金武湾港	中城湾港	中城湾	金武	
63	10	琉球諸島	中城湾港	中城湾港	中城湾	糸数	
64	10	琉球諸島	那覇港	那覇	那覇	那覇	
65	10	琉球諸島	平良港	平良港	平良	宮古島	
66	10	琉球諸島	石垣港	石垣	石垣	石垣島	
67	11	九州西側	川内港	阿久根		川内	
68	11	九州西側	八代港	八代港		八代	

（註：近隣に観測地点が無い場合には空欄としている）

表-A.3　対象港湾毎の検証等に用いた観測地点（その３）

港湾 No.	計算海域 No.	海域名	港湾名	検潮所（潮位観測地点）	波浪観測地点	気象観測地点	備考
69	11	九州西側	三角港	口之津	熊本	三角	
70	11	九州西側	熊本港	熊本港	熊本	熊本	
71	11	九州西側	三池港	大浦	熊本	大牟田	
72	11	九州西側	長崎港	長崎港皇后	福江島（気象庁）	長崎	
73	11	九州西側	佐世保港	佐世保	福江島（気象庁）	佐世保	
74	11	九州西側	福江港	福江	福江島（気象庁）	福江	
75	12	九州北側	厳原港	厳原	生月島（気象庁）	厳原	
76	12	九州北側	郷ノ浦港	郷ノ浦港	生月島（気象庁）	芦辺	
77	12	九州北側	伊万里港	仮屋	玄界灘	伊万里	
78	12	九州北側	唐津港	唐津港	玄界灘	唐津	
79	12	九州北側	博多港	博多	玄界灘	福岡	
80	12	九州北側	北九州港（響灘）	北九州港日明	藍島	下関	瀬戸内海側も該当
81	12	九州北側	下関港（響灘）	南風泊港	藍島	下関	瀬戸内海側も該当
82	13	山陰地方	三隅港	須佐	浜田	益田	
83	13	山陰地方	浜田港	浜田	浜田	浜田	
84	13	山陰地方	西郷港	西郷	境港	西郷	
85	13	山陰地方	境港	境	境港	境	
86	13	山陰地方	鳥取港	田後	鳥取	鳥取	
87	14	若狭湾	舞鶴港	舞鶴	敦賀	舞鶴	
88	14	若狭湾	敦賀港	敦賀港	敦賀	敦賀	
89	14	若狭湾	金沢港	金沢港	金沢	金沢	
90	15	富山湾	七尾港	七尾港	伏木富山	伏木	
91	15	富山湾	伏木富山港	富山	伏木富山	伏木	
92	15	富山湾	直江津港	柏崎	直江津	高田	
93	15	富山湾	小木港	小木	直江津	相川	
94	15	富山湾	両津港	佐渡	新潟沖	相川	
95	15	富山湾	新潟港	新潟港西	新潟沖	新潟	
96	16	東北日本海側	酒田港	酒田港	酒田	酒田	
97	16	東北日本海側	秋田港	秋田港	秋田	秋田	
98	16	東北日本海側	船川港	秋田港	秋田	秋田	
99	16	東北日本海側	能代港	深浦	能代	深浦	

（註：近隣に観測地点が無い場合には空欄としている）

付録B　対象港湾の沖波・準沖波の設定地点

表-B.1　対象港湾の沖波・準沖波の設定地点（その１）

港湾No.	港湾名	緯度 [度]	経度 [度]	水深 [m]	備考
1	青森港	40.8515625	140.7421875	25.5	
2	むつ小川原港	40.9375000	141.4375000	60	
3	八戸港	40.5937500	141.5937500	52	
4	久慈港	40.2187500	141.9062500	77	
5	宮古港	39.6875000	142.0312500	87	
6	釜石港	39.2812500	142.0000000	103	
7	大船渡港	38.9375000	141.8125000	122	
8	仙台塩釜港	38.0312500	141.2187500	41	
9	相馬港	37.8437500	141.2187500	41	
10	小名浜港	36.8750000	140.9375000	44	
11	茨城港	36.5388889	140.9722222	170.6	
12	鹿島港	36.1750000	141.0444444	523.8	
13	田子の浦港	35.0859375	138.7031250	743	
14	清水港	34.9531250	138.5703125	710	
15	御前崎港	34.5468750	138.3203125	56	
16	尾鷲港	34.0000000	136.3750000	288.4	新規沖波地点
17	日高港	33.8320313	135.1132813	44	
18	和歌山下津港	34.1914063	135.0859375	42	
19	徳島小松島港	34.0468800	134.7031300	34	
20	橘港	33.8906300	134.7031300	17.7	
21	高知港	33.4843800	133.6093800	25	
22	須崎港	33.3281300	133.2968800	44.8	
23	宿毛湾港	32.7031300	132.2968800	301.4	
24	宇和島港	33.2656300	132.5468800	10m以下	
25	東播磨港	34.6640600	134.8242200	16	
26	姫路港	34.7343800	134.6406300	16	
27	岡山港	34.5312500	134.1093800	15	新規沖波地点
28	宇野港	34.4416700	133.9500000	34	
29	水島港	34.4000000	133.7000000	34	
30	福山港	34.3833300	133.4666700	34	
31	尾道糸崎港	34.2812500	133.2968800	15	新規沖波地点
32	呉港	34.1406300	132.6250000	30	新規沖波地点
33	広島港	34.3083300	132.3916700	34	
34	岩国港	34.1562500	132.2968800	22	新規沖波地点
35	徳山下松港	33.8916700	131.8166700	33	

表-B.2　対象港湾の沖波・準沖波の設定地点（その２）

港湾No.	港湾名	緯度 [度]	経度 [度]	水深 [m]	備考
36	三田尻中関港	33.9333300	131.5500000	33	
37	宇部港	33.8666700	131.2416700	33	
38	小野田港	33.9218800	131.1093800	10	新規沖波地点
39	下関港（周防灘）	33.9750000	131.0416700	11	
40	北九州港(周防灘)	33.8750000	131.1166700	10	
41	苅田港	33.7916700	131.1166700	10	
42	中津港	33.7812500	131.3437500	22	新規沖波地点
43	別府港	33.3083300	131.5833300	52	
44	大分港	33.2750000	131.7500000	40	
45	松山港	33.8515600	132.6640600	33	
46	今治港	34.0703100	133.0546900	33	
47	東予港	33.9609400	133.1484400	9	
48	新居浜港	34.0078100	133.2890600	21	
49	三島川之江港	34.0234400	133.5390600	20	
50	坂出港	34.3671900	133.8671900	12	
51	高松港	34.4140600	134.0859400	17	
52	津久見港	33.1562500	132.0312500	100	新規沖波地点
53	佐伯港	32.9916700	131.9916700	45	
54	細島港	32.4000000	131.8500000	200	
55	宮崎港	31.8000000	131.7500000	200	
56	油津港	31.4687500	131.5937500	200	新規沖波地点
57	志布志港	31.1500000	131.4500000	200	
58	鹿児島港	31.4666700	130.5833300	100	
59	西之表港	30.8000000	130.7500000	150	
60	名瀬港	28.6000000	129.4000000	681	
61	運天港	26.8333300	128.0750000	200	（運天港沖（北東））
		26.7500000	127.9583300	200	（運天港沖（北西））
62	金武湾港	26.2812500	128.0625000	250	新規沖波地点
63	中城湾港	26.1500000	128.0000000	250	
64	那覇港	26.3416700	127.6000000	250	（那覇港沖）
		26.0500000	127.4583300	200	（那覇港沖（南））
65	平良港	24.9333300	125.1666700	250	（平良港沖）
		24.6166700	125.1666700	250	（平良港沖（南））
66	石垣港	24.4666700	124.0000000	200	（石垣港沖）
		24.2166700	124.0833300	250	（石垣港沖（南））
67	川内港	31.8750000	130.0625000	60	新規沖波地点
68	八代港	32.5166700	130.5083300	5	
69	三角港	32.6562500	130.4062500	40	新規沖波地点

表-B.3　対象港湾の沖波・準沖波の設定地点（その３）

港湾No.	港湾名	緯度 [度]	経度 [度]	水深 [m]	備考
70	熊本港	32.7583300	130.5333300	10	
71	三池港	32.9843800	130.3437500	20	新規沖波地点
72	長崎港	32.7000000	129.3500000	130	
73	佐世保港	33.0312500	129.4687500	50	新規沖波地点
74	福江港	32.6000000	129.0500000	160	
75	厳原港	34.2000000	129.4000000	100	
76	郷ノ浦港	33.6500000	129.2500000	110	
77	伊万里港	33.6500000	129.5500000	70	
78	唐津港	34.1000000	129.9500000	90	
79	博多港	33.9500000	130.0500000	70	
80	北九州港（響灘）	34.3000000	130.6000000	100	
81	下関港（響灘）	34.3000000	130.6000000	100	
82	三隅港	34.9030600	131.7975000	34	
83	浜田港	35.0030600	131.8975000	35	
84	西郷港	36.1030600	133.3972200	160	
85	境港	35.7030600	133.6972200	35	
86	鳥取港	35.8030600	134.0972200	35	
87	舞鶴港	35.6562500	135.3438000	69.2	新規沖波地点
88	敦賀港	35.8203125	135.9843750	82.5	
89	金沢港	36.6875000	136.5156250	61.3	
90	七尾港	37.1250000	137.1562000	594.7	新規沖波地点
91	伏木富山港	36.8593750	137.1093750	634.1	
92	直江津港	37.2890625	138.2109375	101.8	
93	小木港	37.7812500	138.2500000	66.2	
94	両津港	38.1250000	138.4843750	278.5	
95	新潟港	38.0546875	139.0625000	92.8	
96	酒田港	39.0000000	139.7812500	44	
97	秋田港	39.7187500	139.9375000	53	
98	船川港	39.7812500	139.8437500	67	
99	能代港	40.2187500	139.9375000	43	

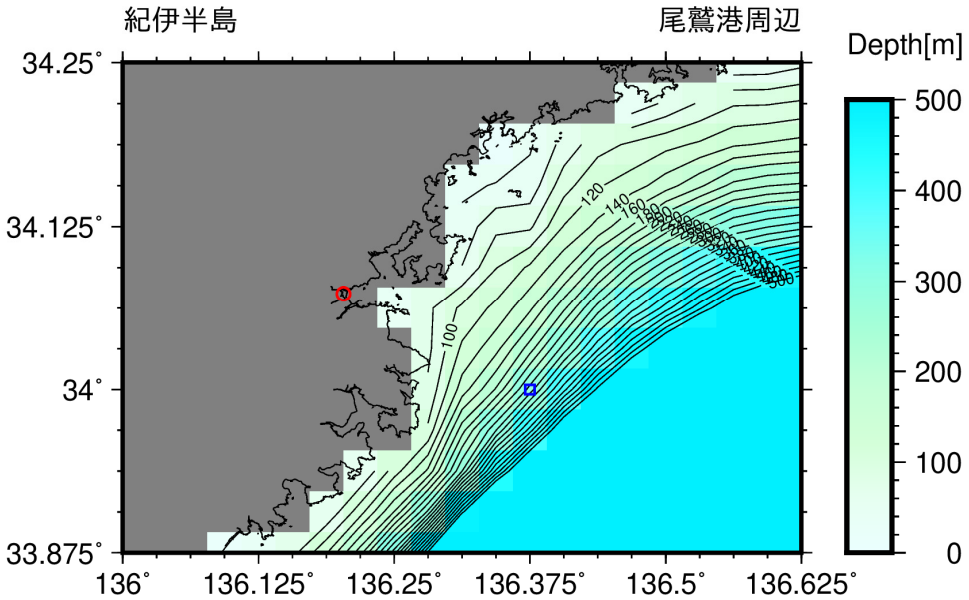


図-B.1　尾鷲港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

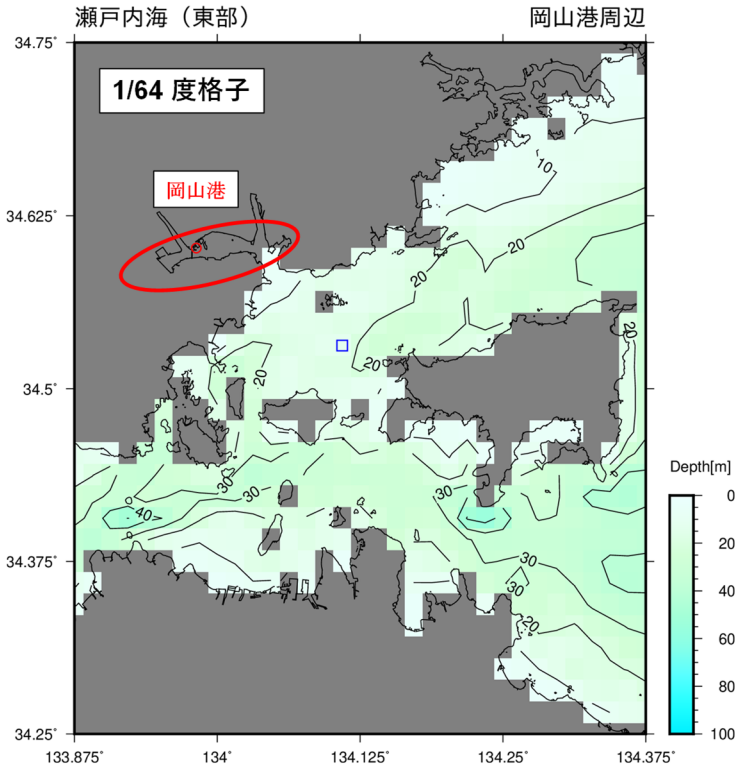


図-B.2　岡山港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

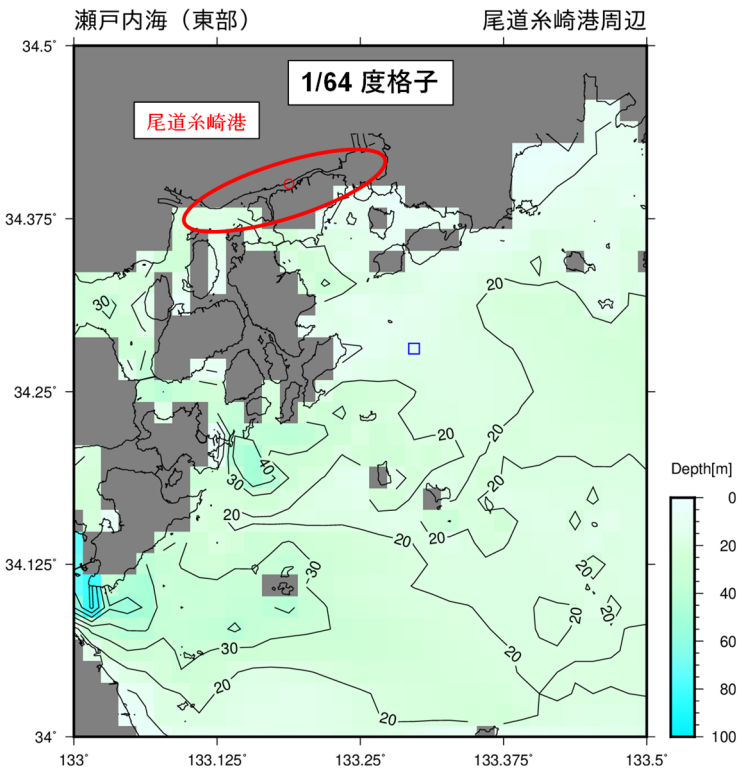


図-B.3　尾道糸崎港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

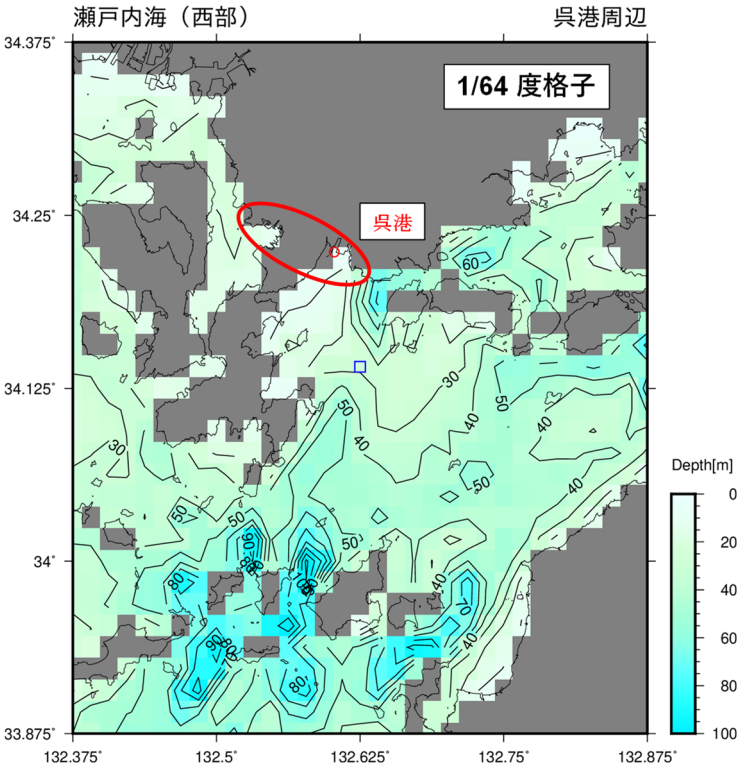


図-B.4　呉港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

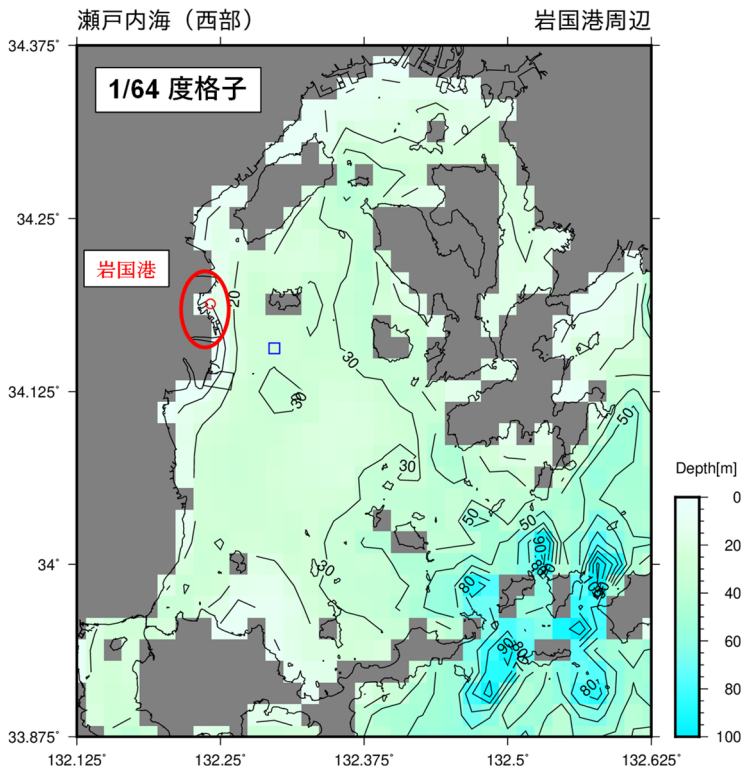


図-B.5　岩国港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

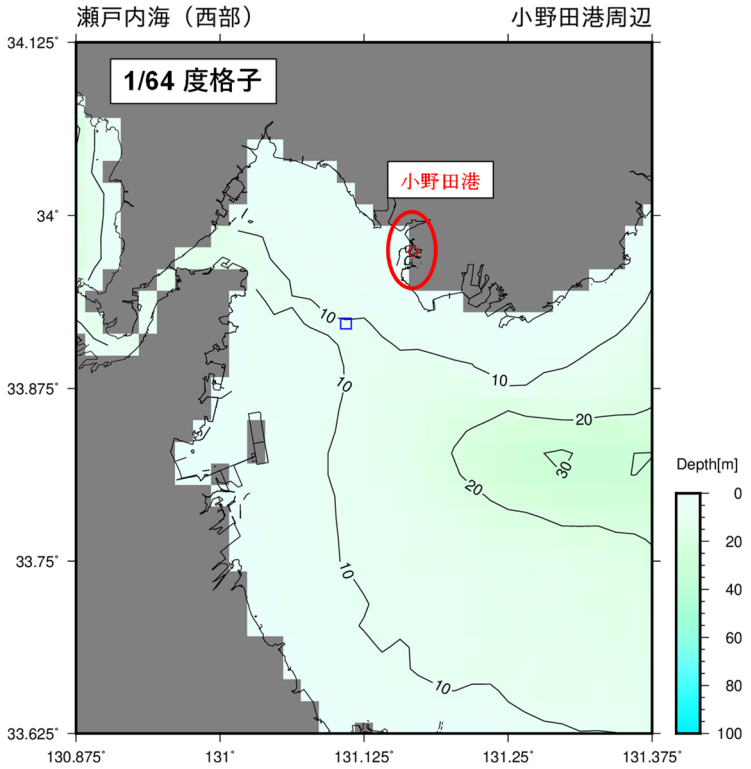


図-B.6　小野田港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

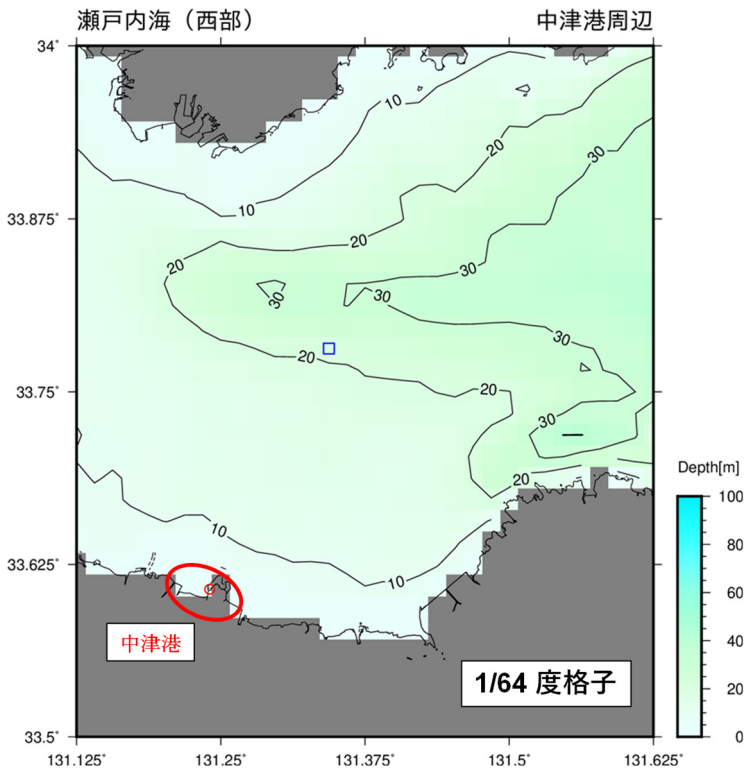


図-B.7　中津港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

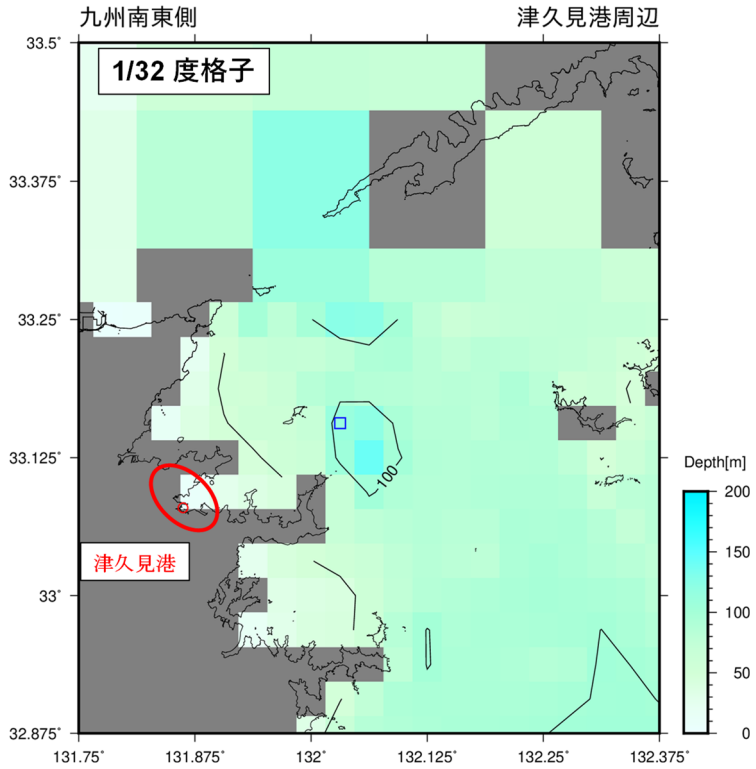


図-B.8　津久見港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

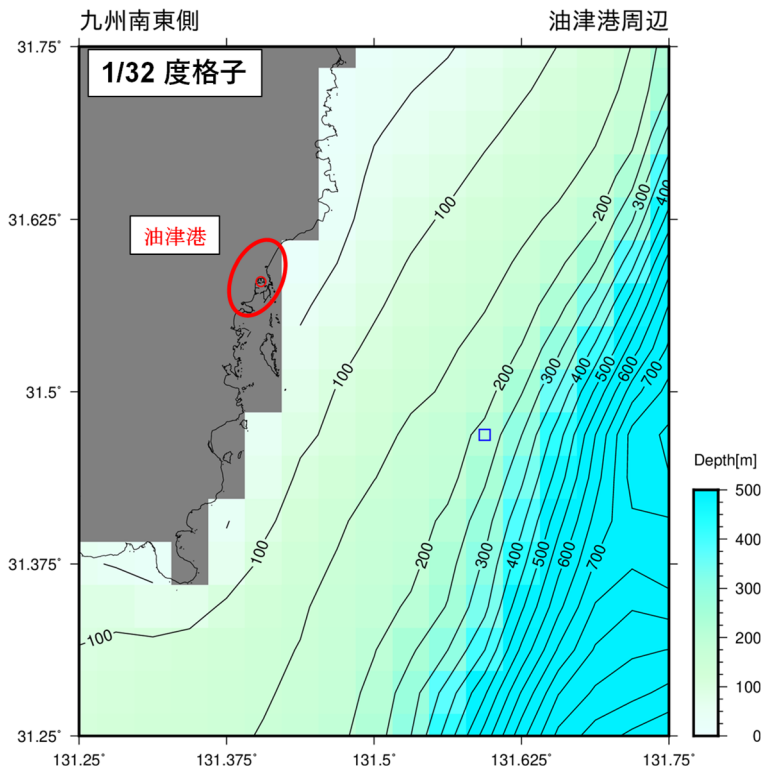


図-B.9　油津港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

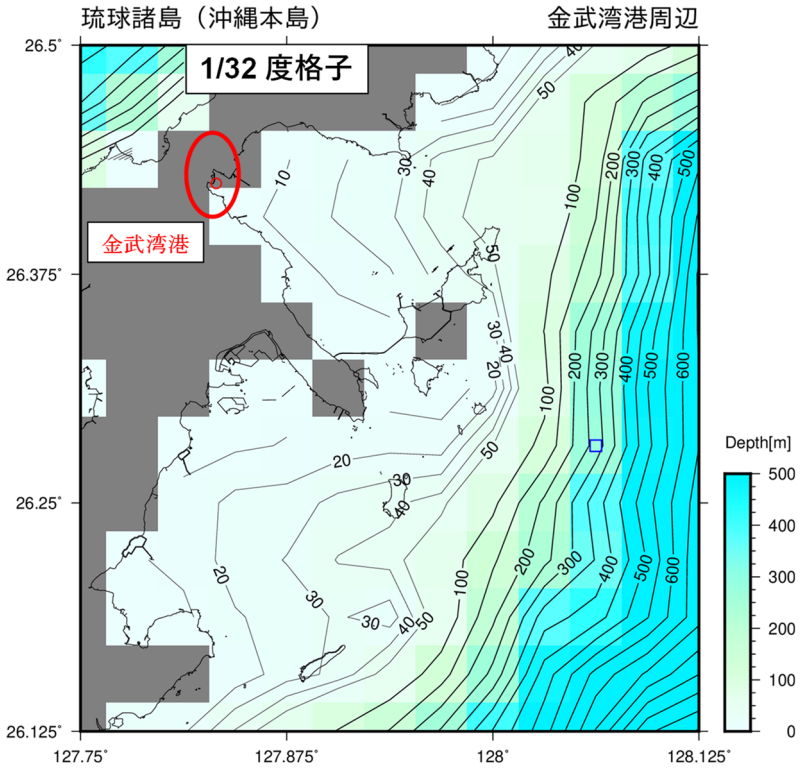


図-B.10　金武湾港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

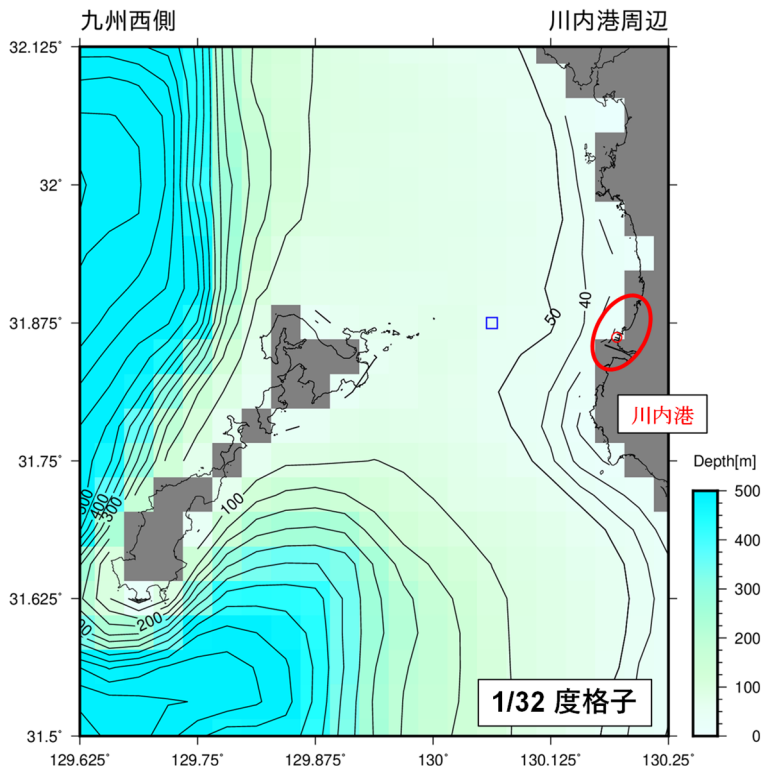


図-B.11　川内港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

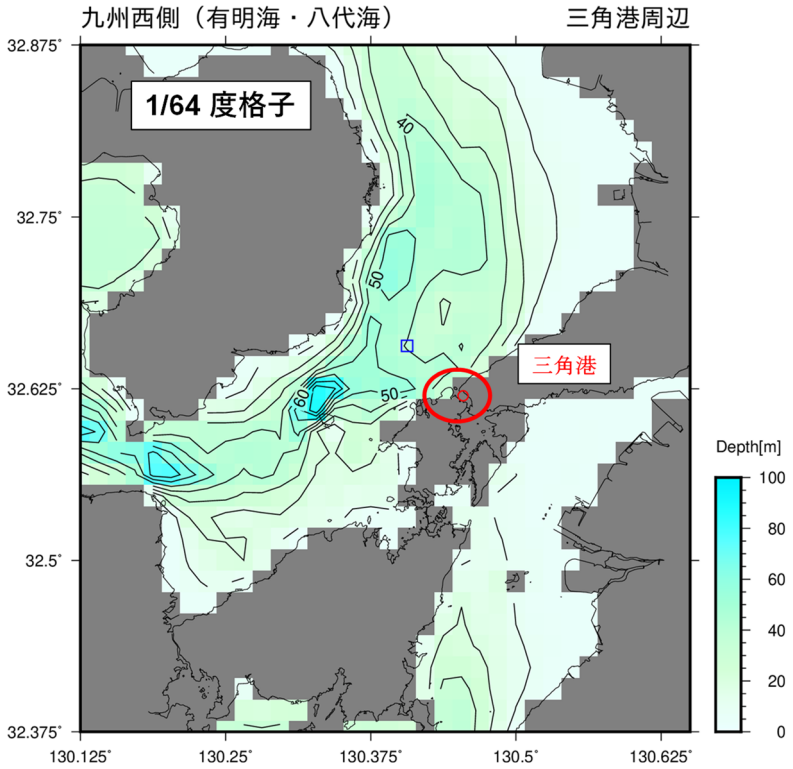


図-B.12　三角港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

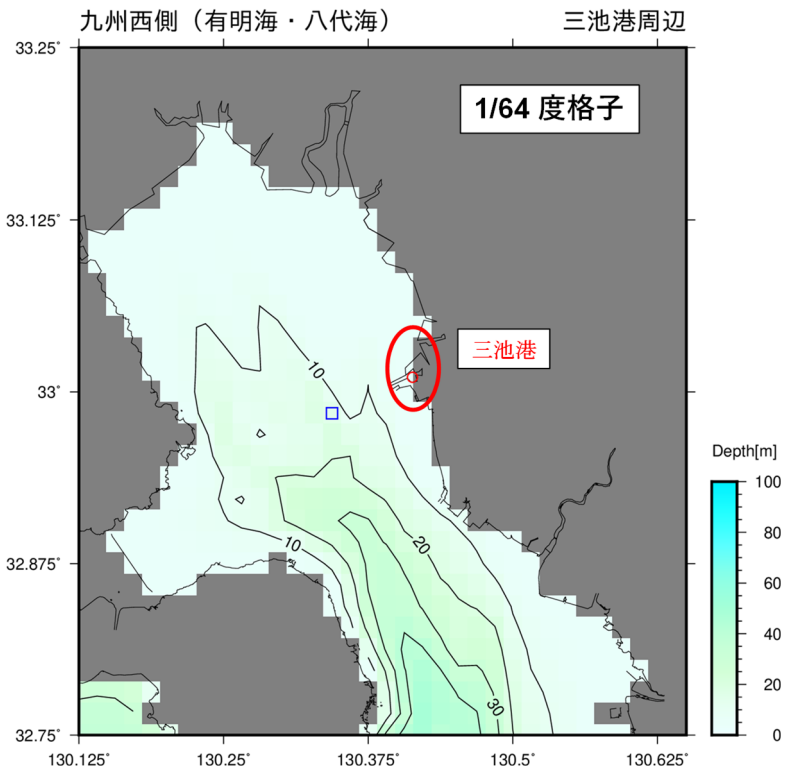


図-B. 13　三池港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

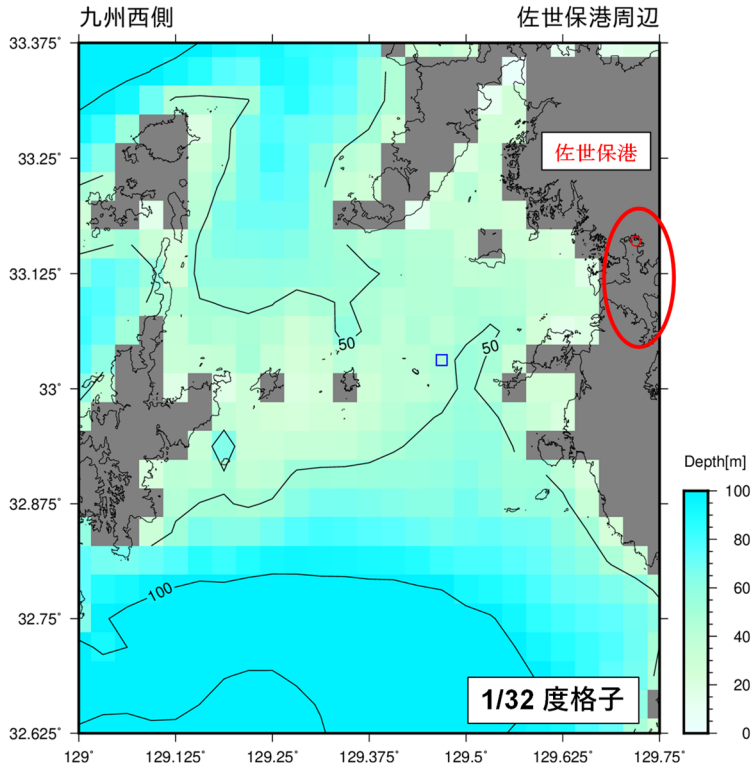


図-B. 14　佐世保港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

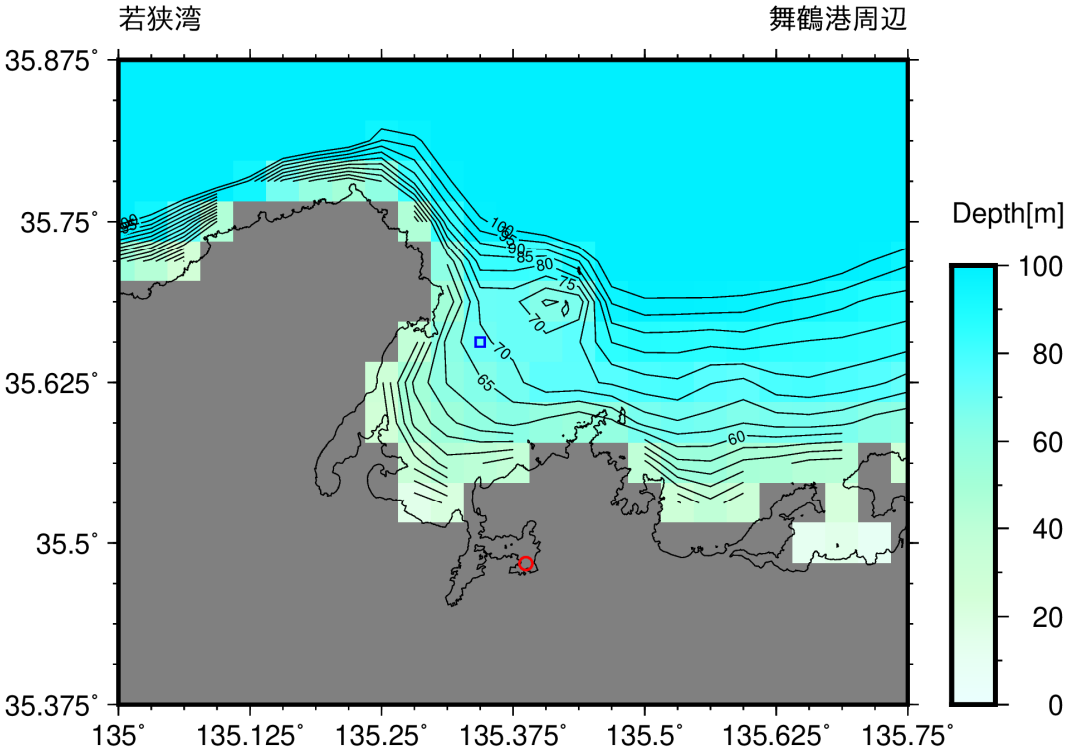


図-B. 15　舞鶴港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

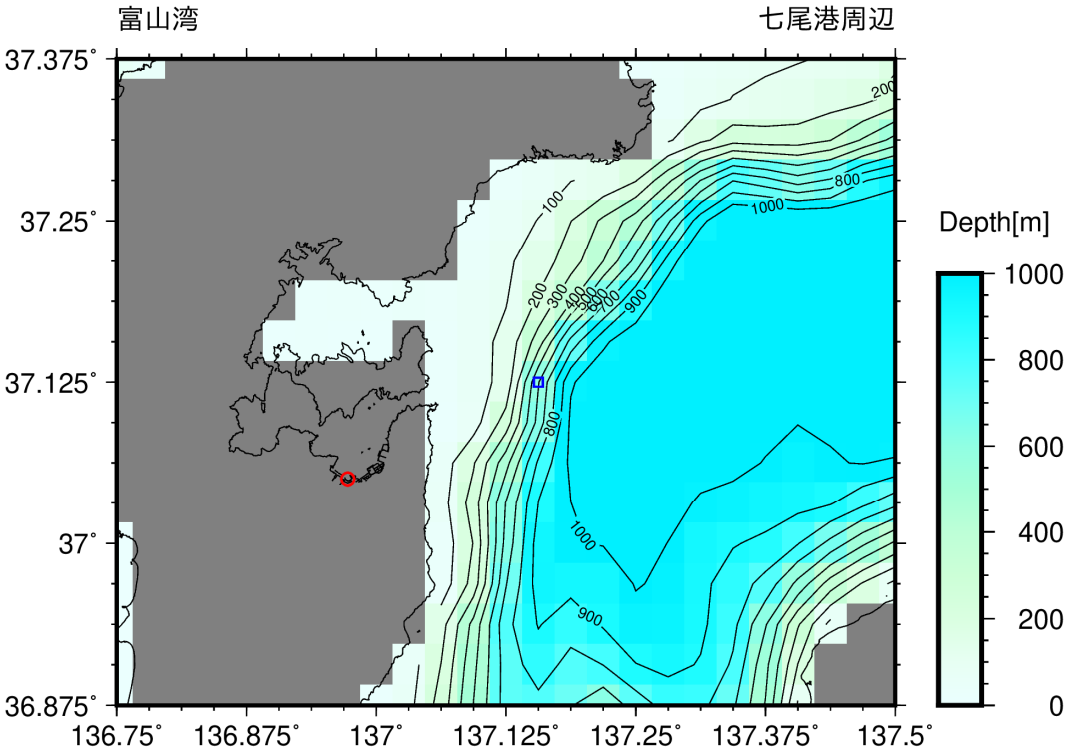


図-B. 16　七尾港の（準）沖波の新規設定地点（○：対象港湾，□：設定地点）

付録C　対象海域の高潮解析における解析領域

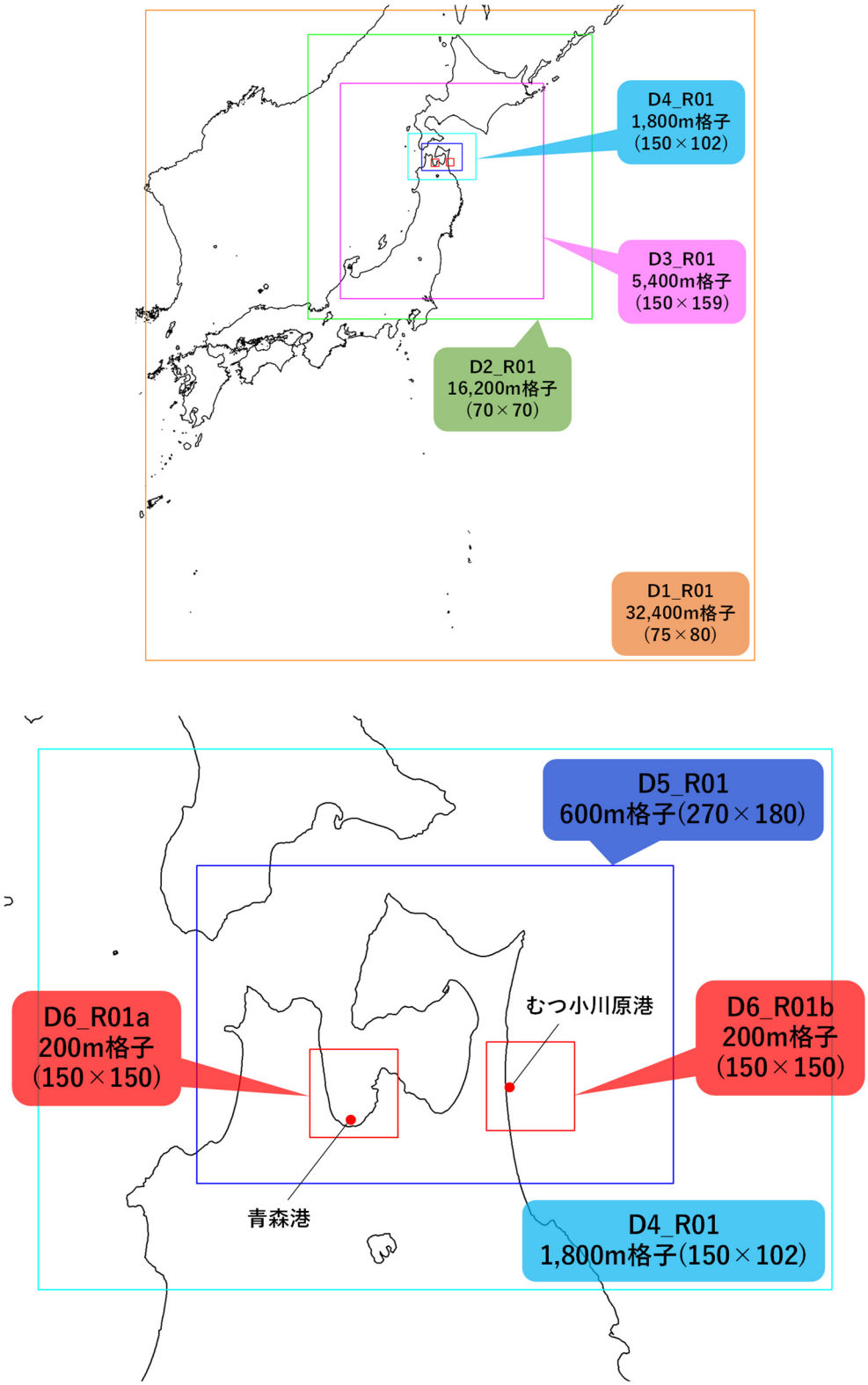
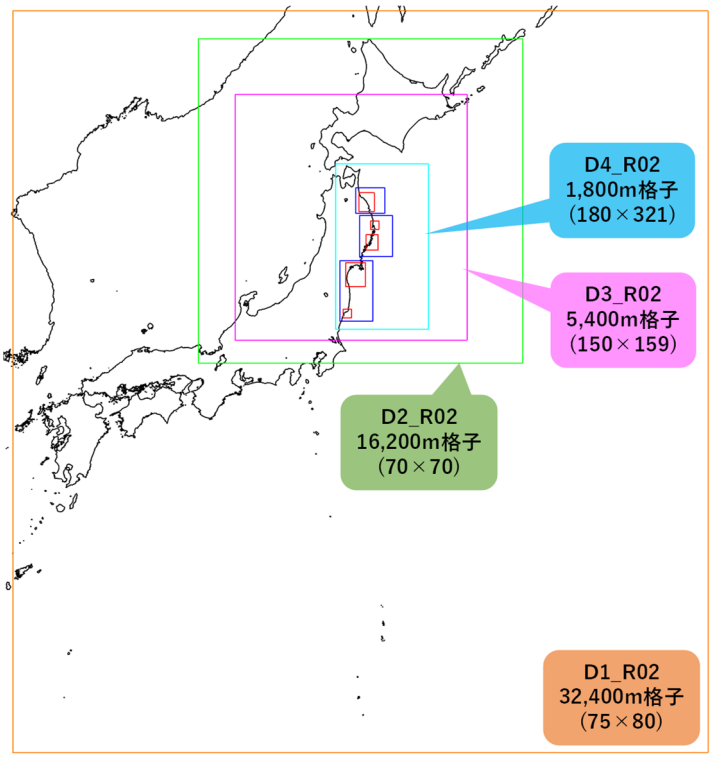


図-C.1　高潮解析における解析領域（第 1 海域：陸奥湾）



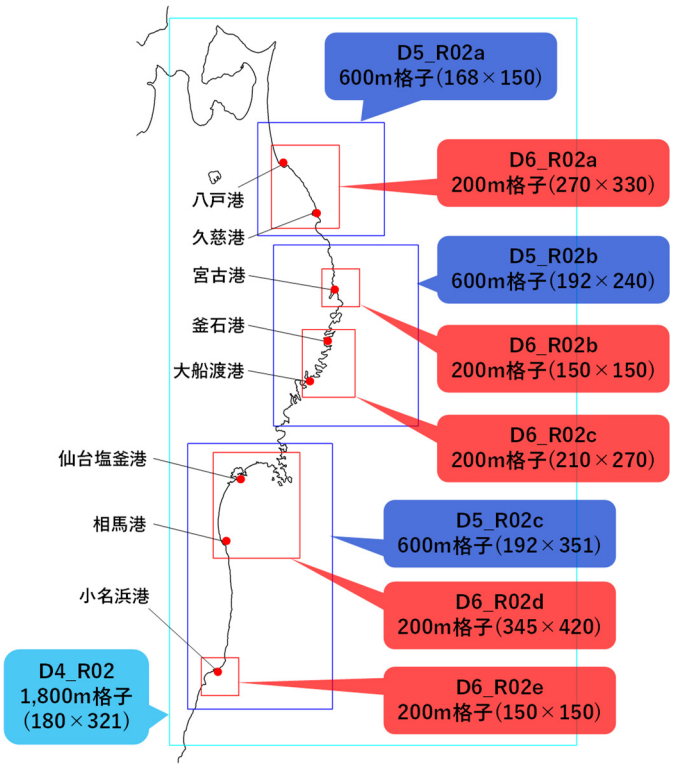
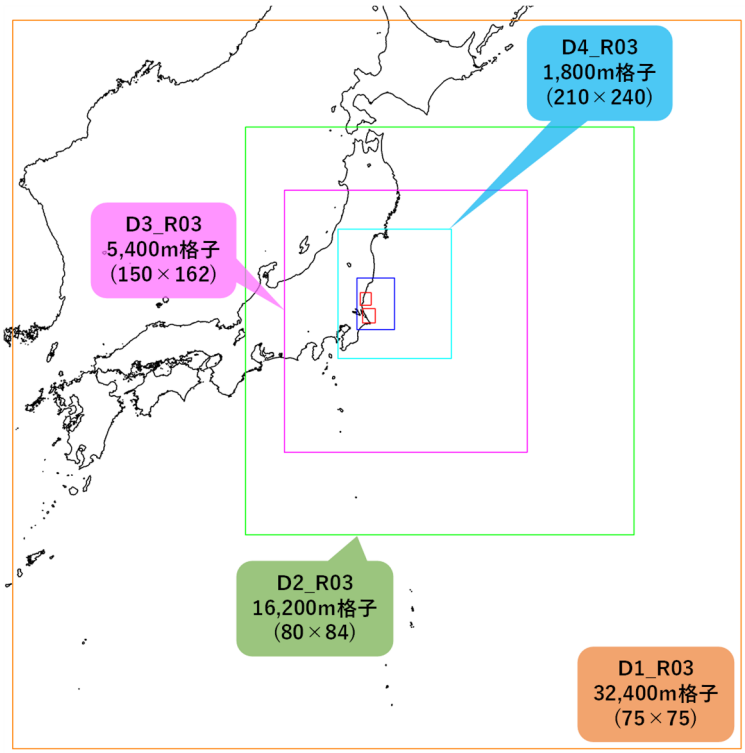


図-C.2　高潮解析における解析領域（第 2 海域：東北太平洋側）



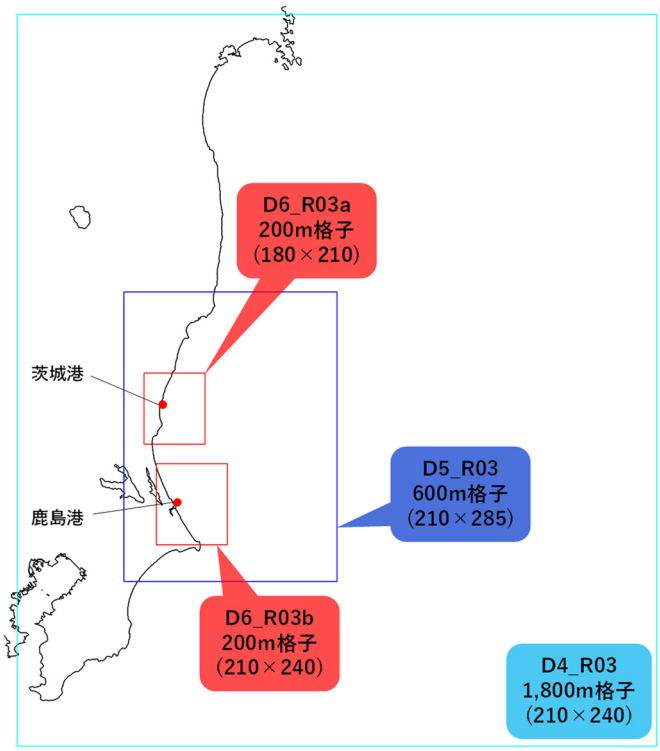


図-C.3　高潮解析における解析領域（第 3 海域：北関東）

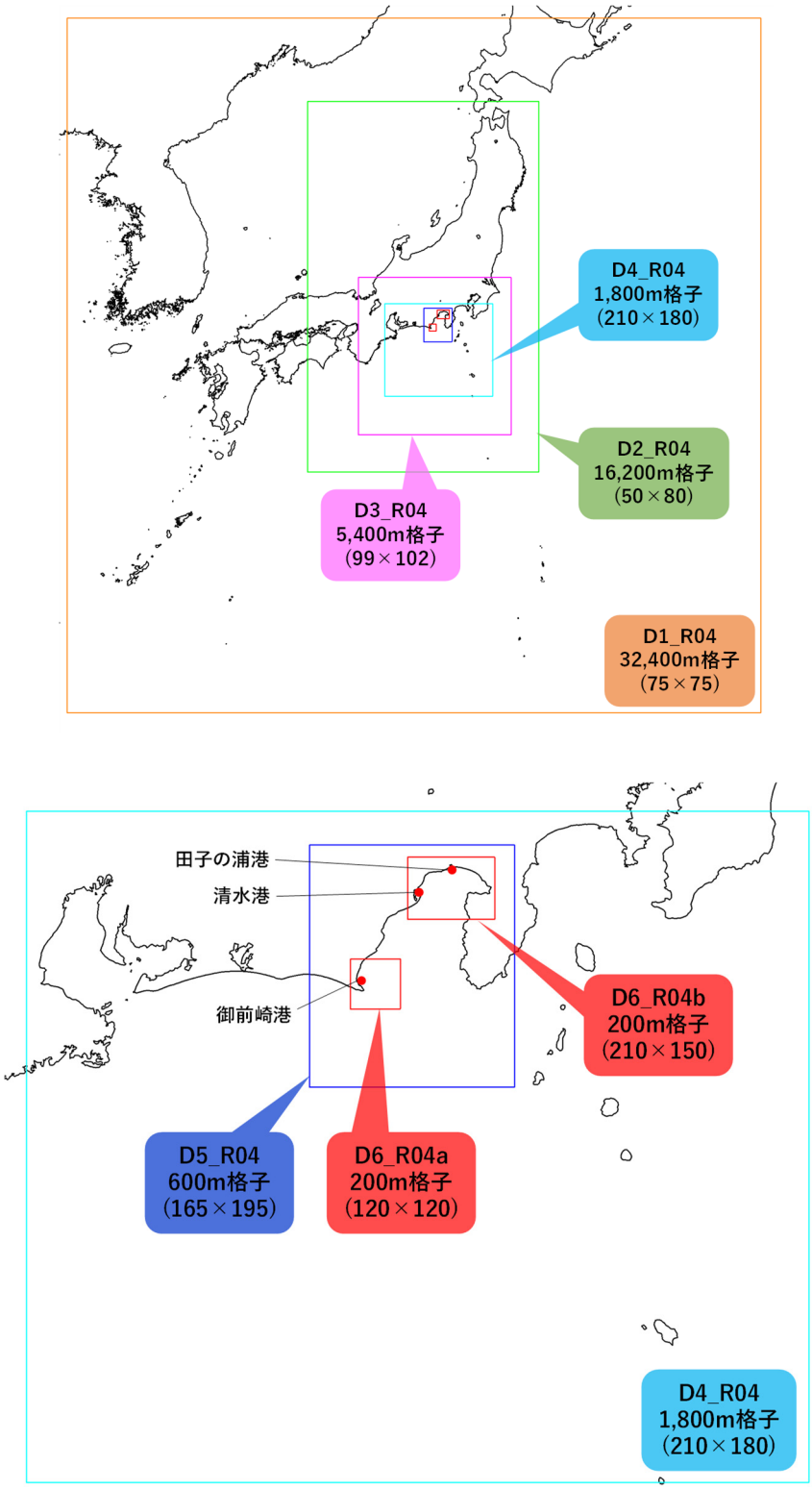


図-C.4　高潮解析における解析領域（第 4 海域：駿河湾）

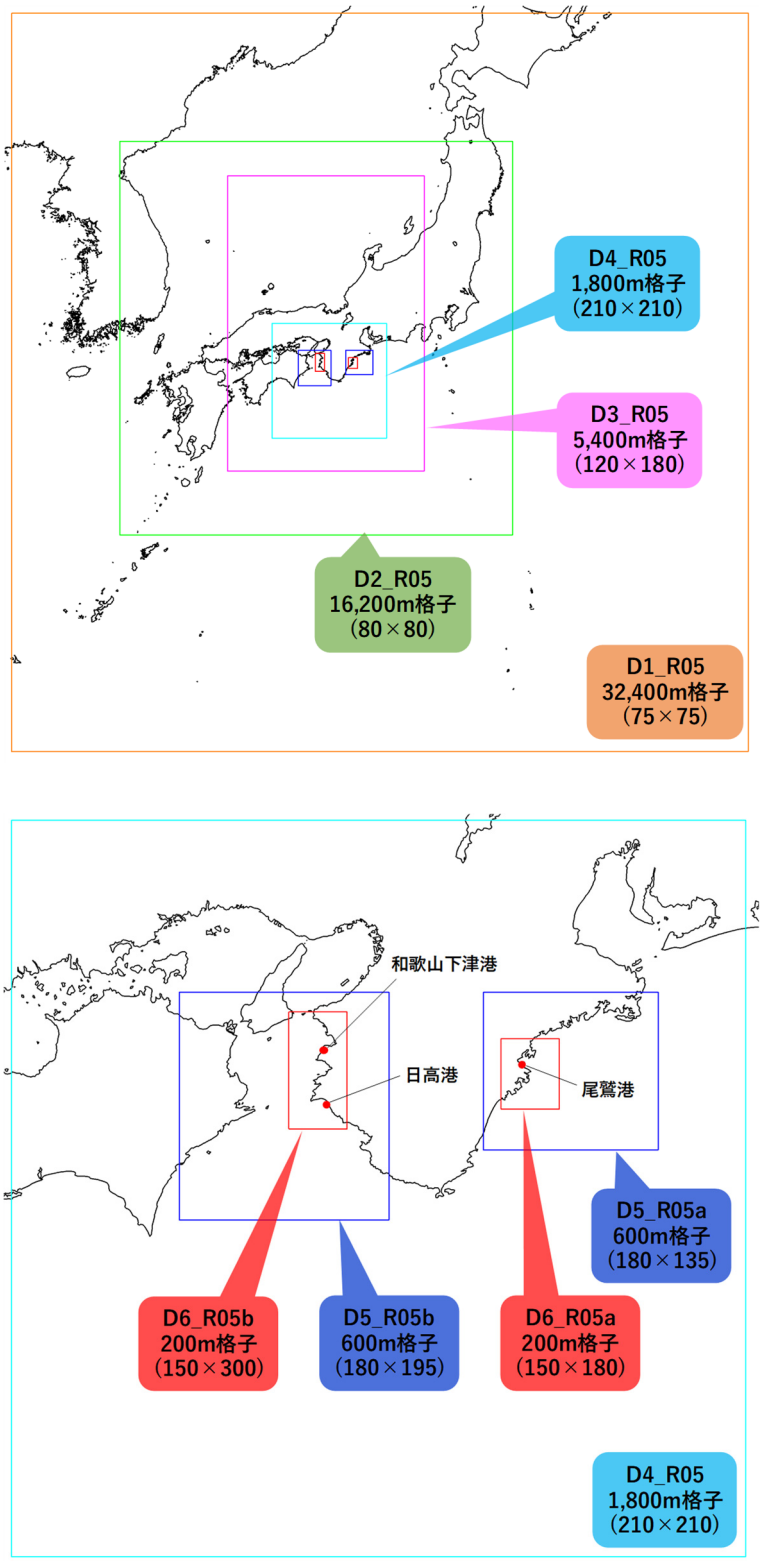


図-C.5　高潮解析における解析領域（第 5 海域：紀伊半島）

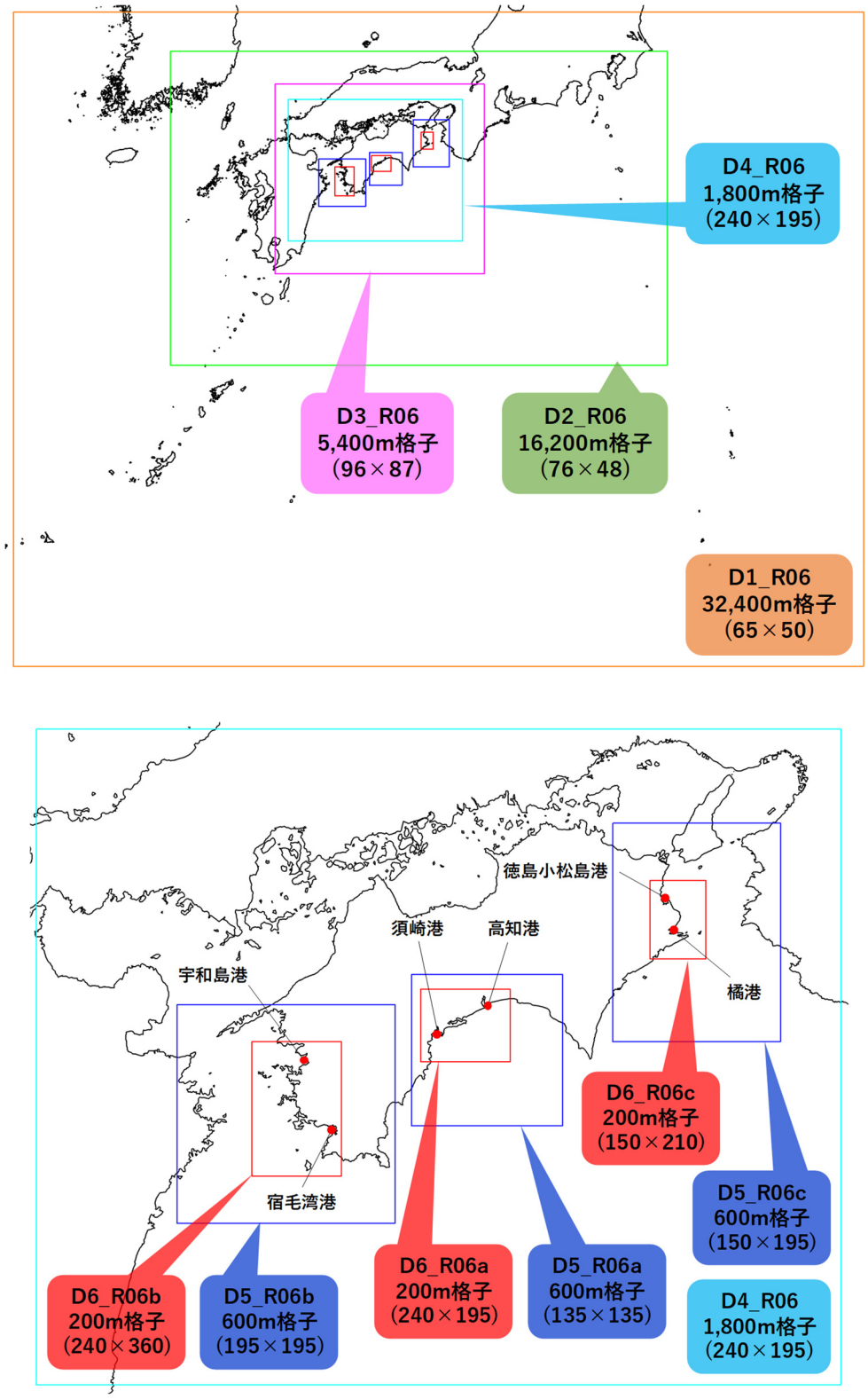
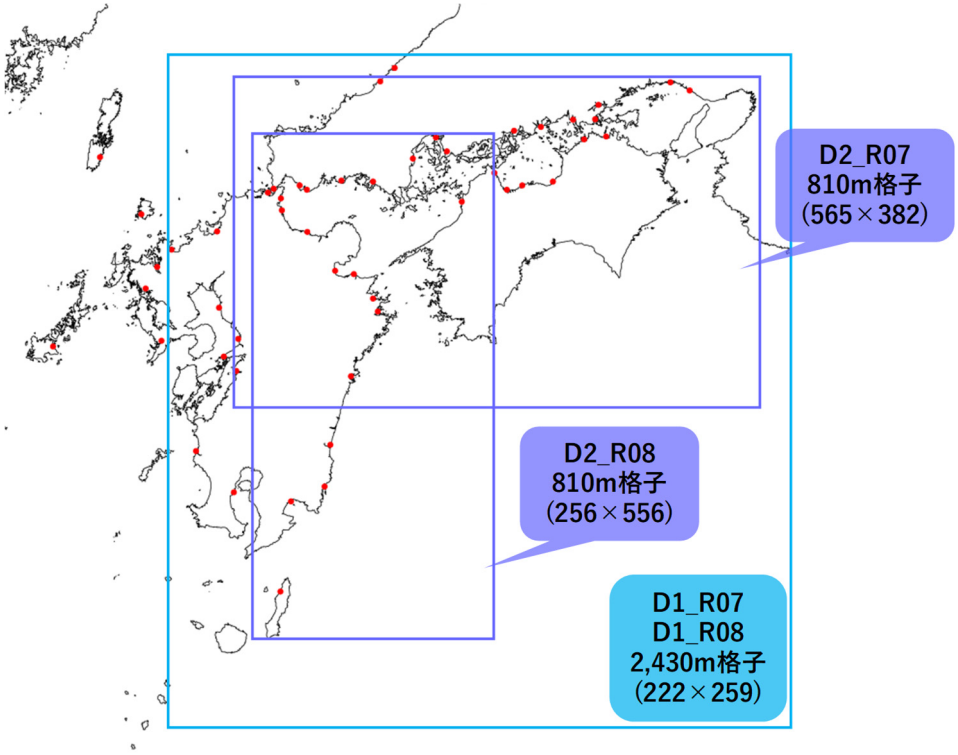


図-C.6　高潮解析における解析領域（第 6 海域：四国太平洋側）



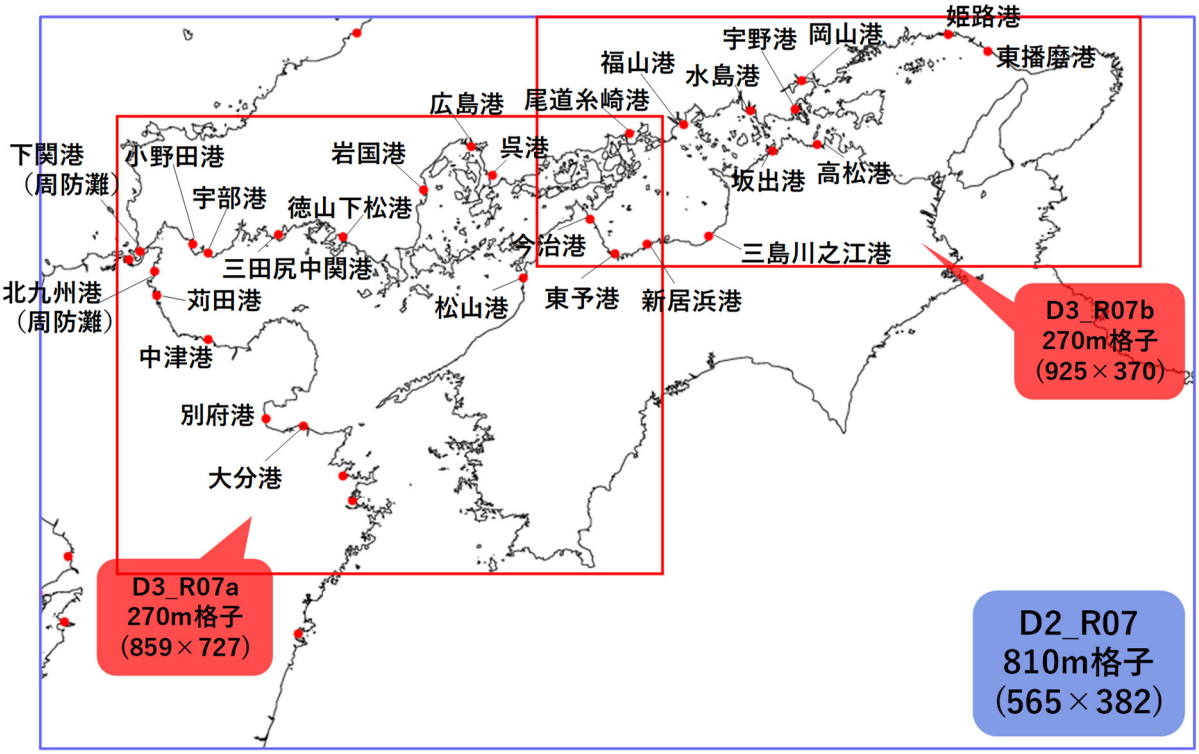


図-C.7　高潮解析における解析領域（第 7 海域：瀬戸内海）

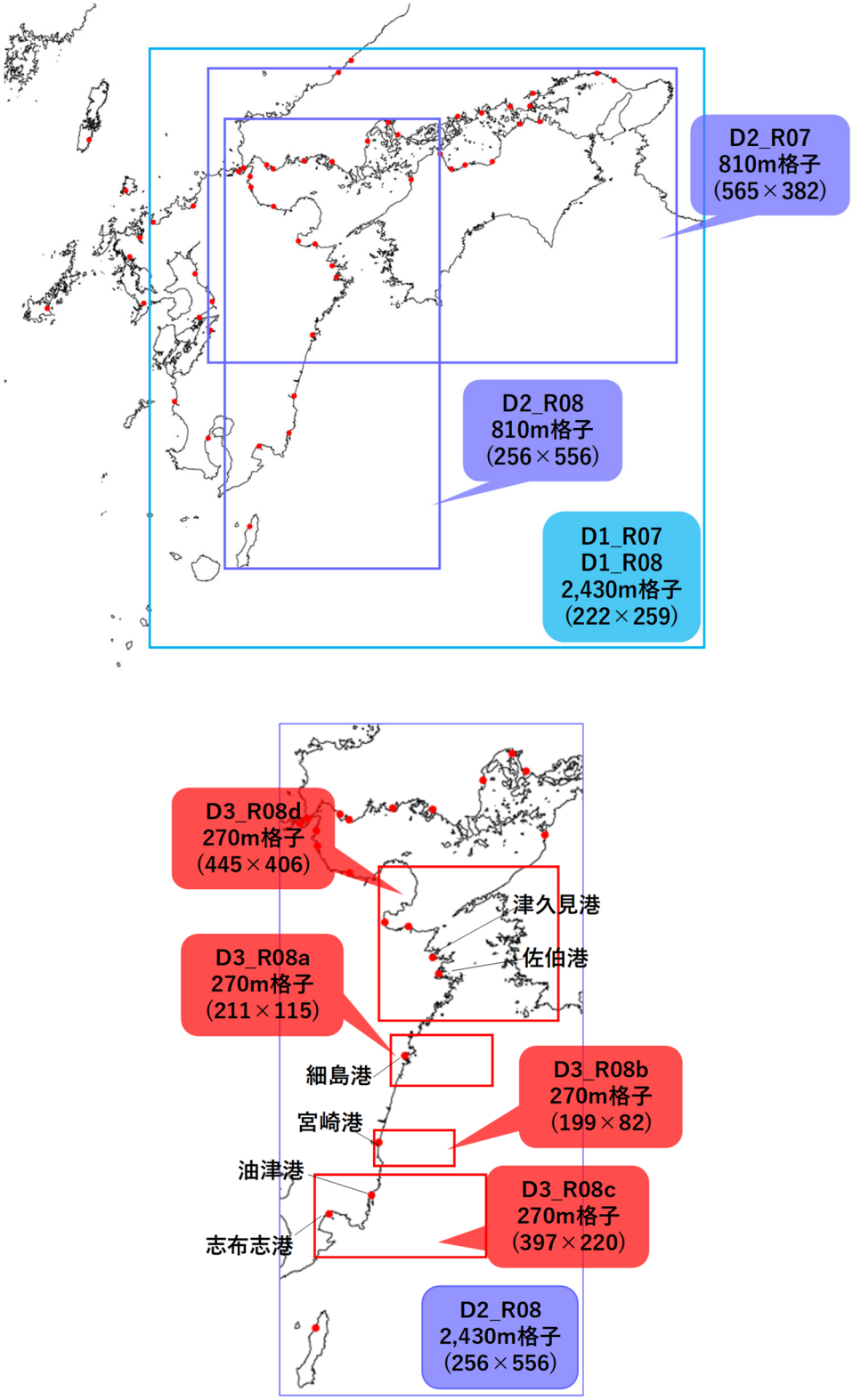


図-C.8　高潮解析における解析領域（第 8 海域：九州南東側）

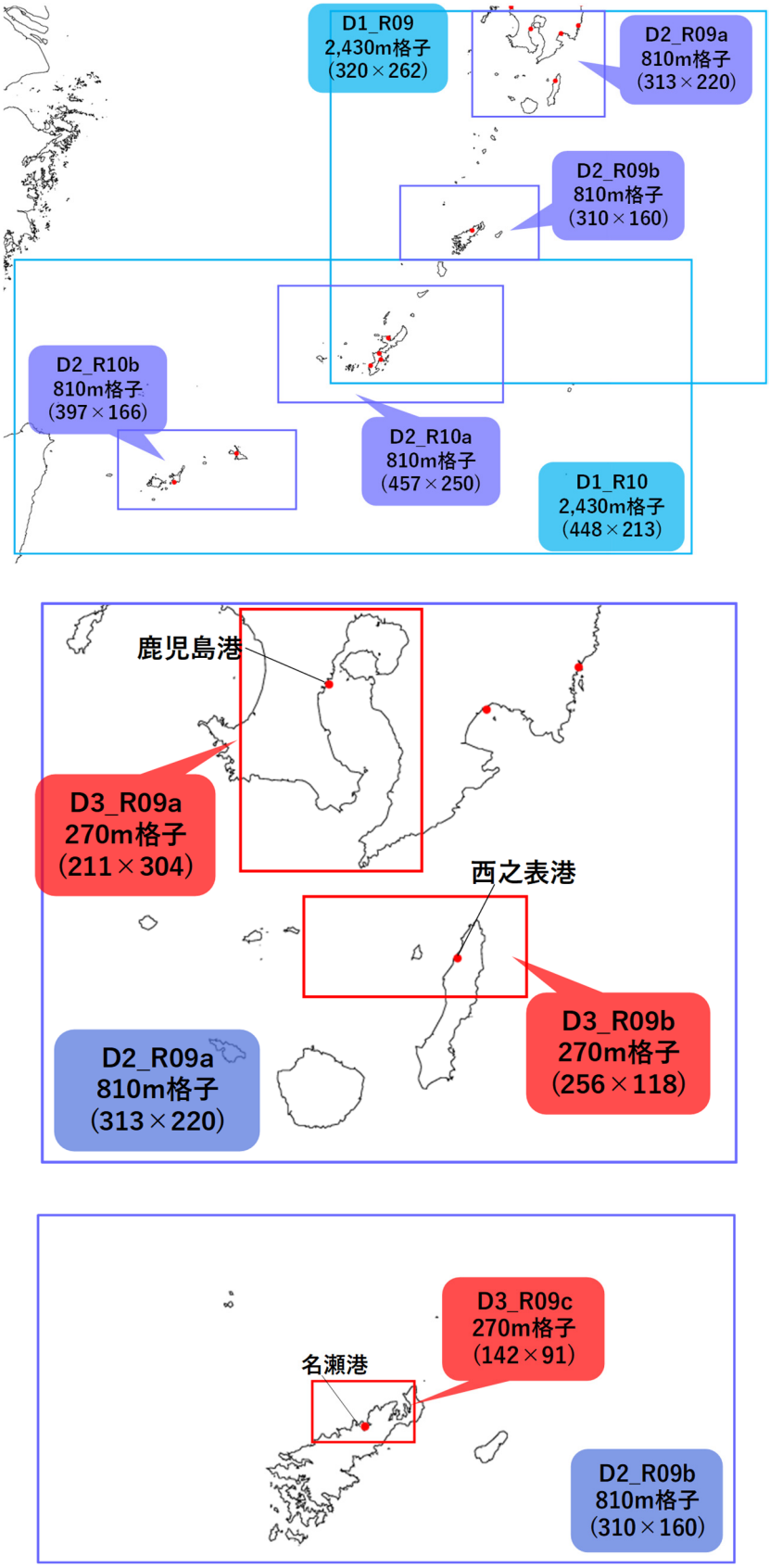


図-C.9　高潮解析における解析領域（第 9 海域：薩南諸島）

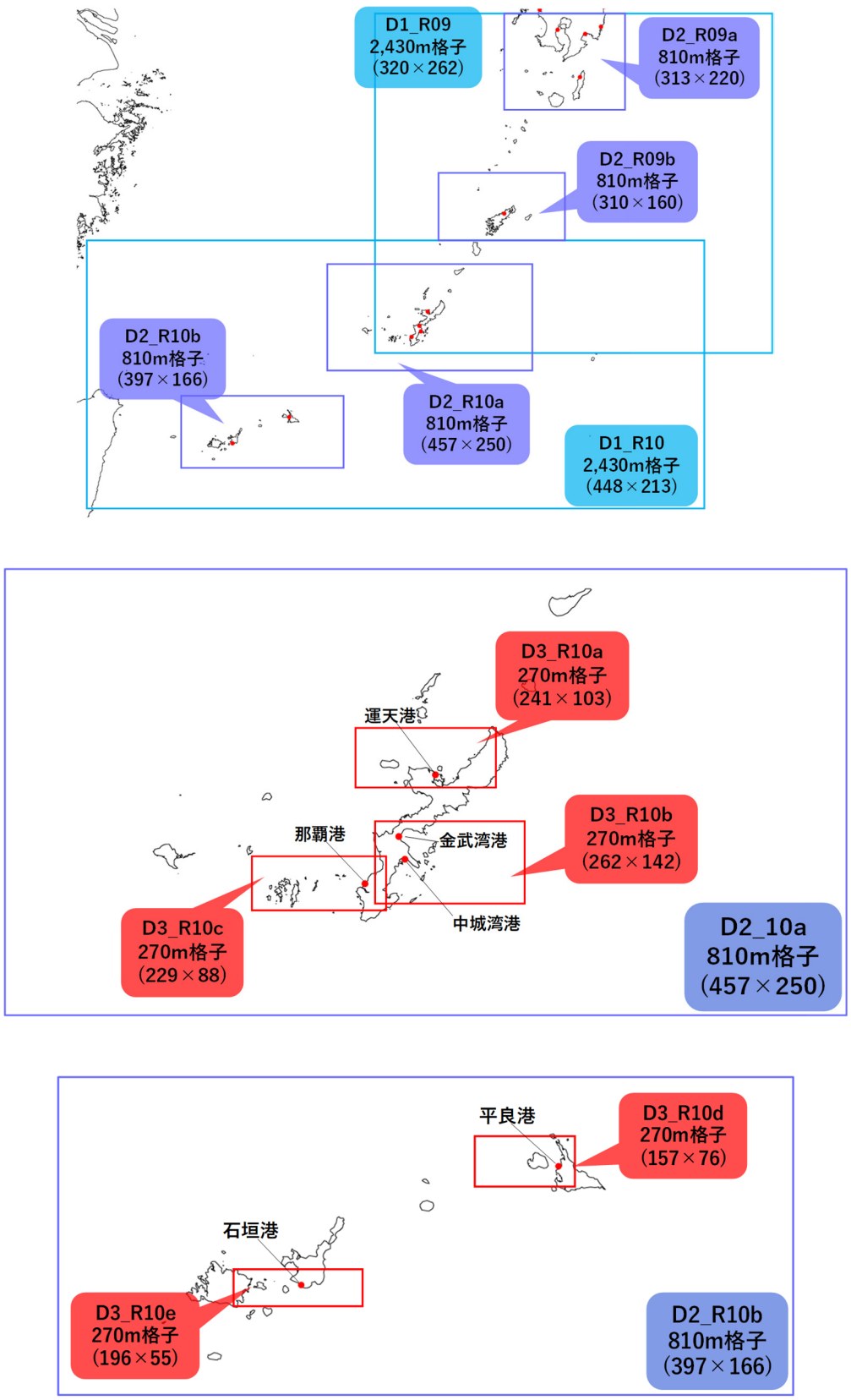
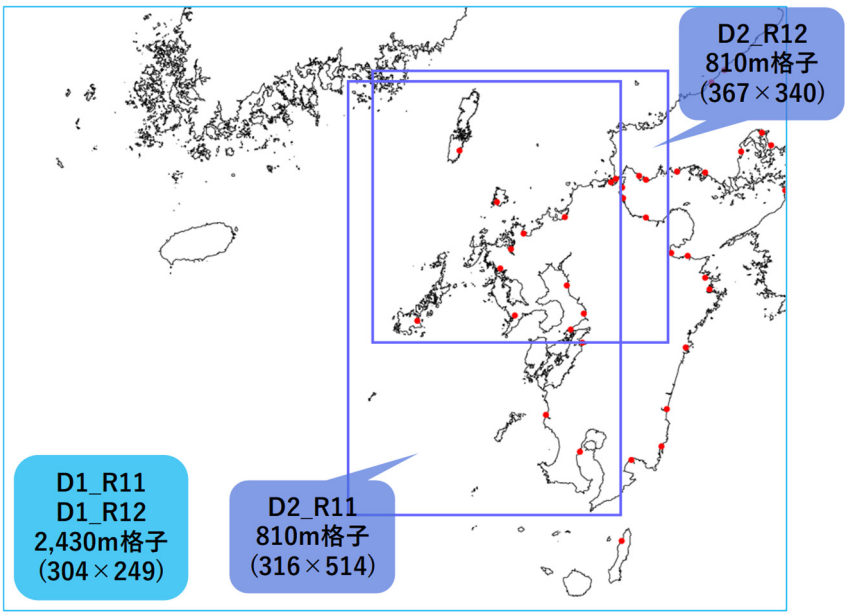


図-C.10　高潮解析における解析領域（第 10 海域：琉球諸島）



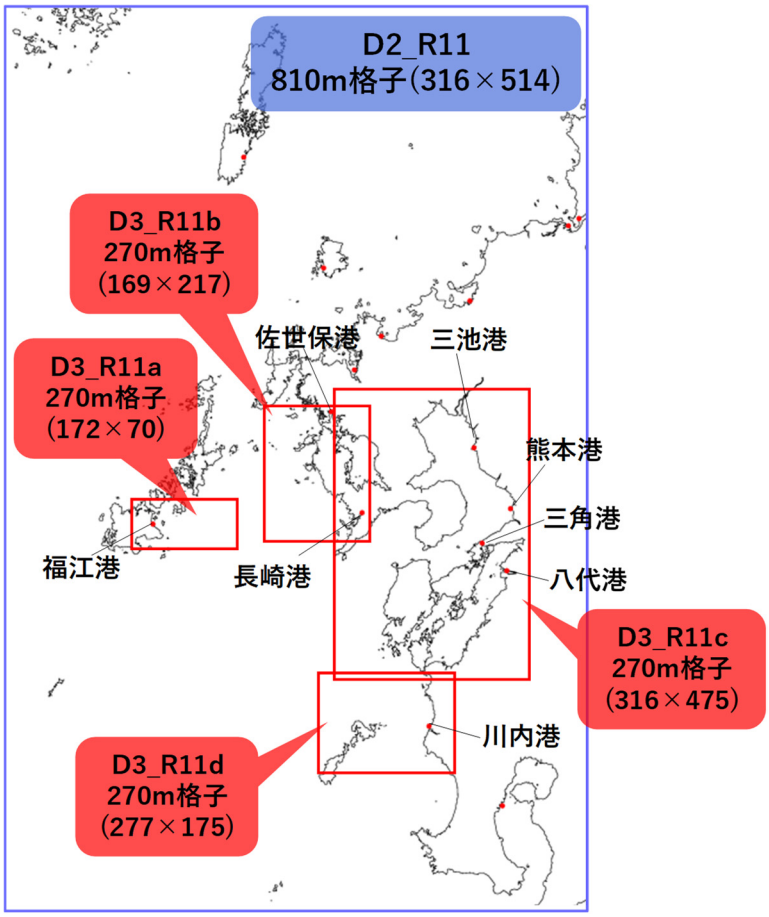


図-C.11　高潮解析における解析領域（第 11 海域：九州西側）

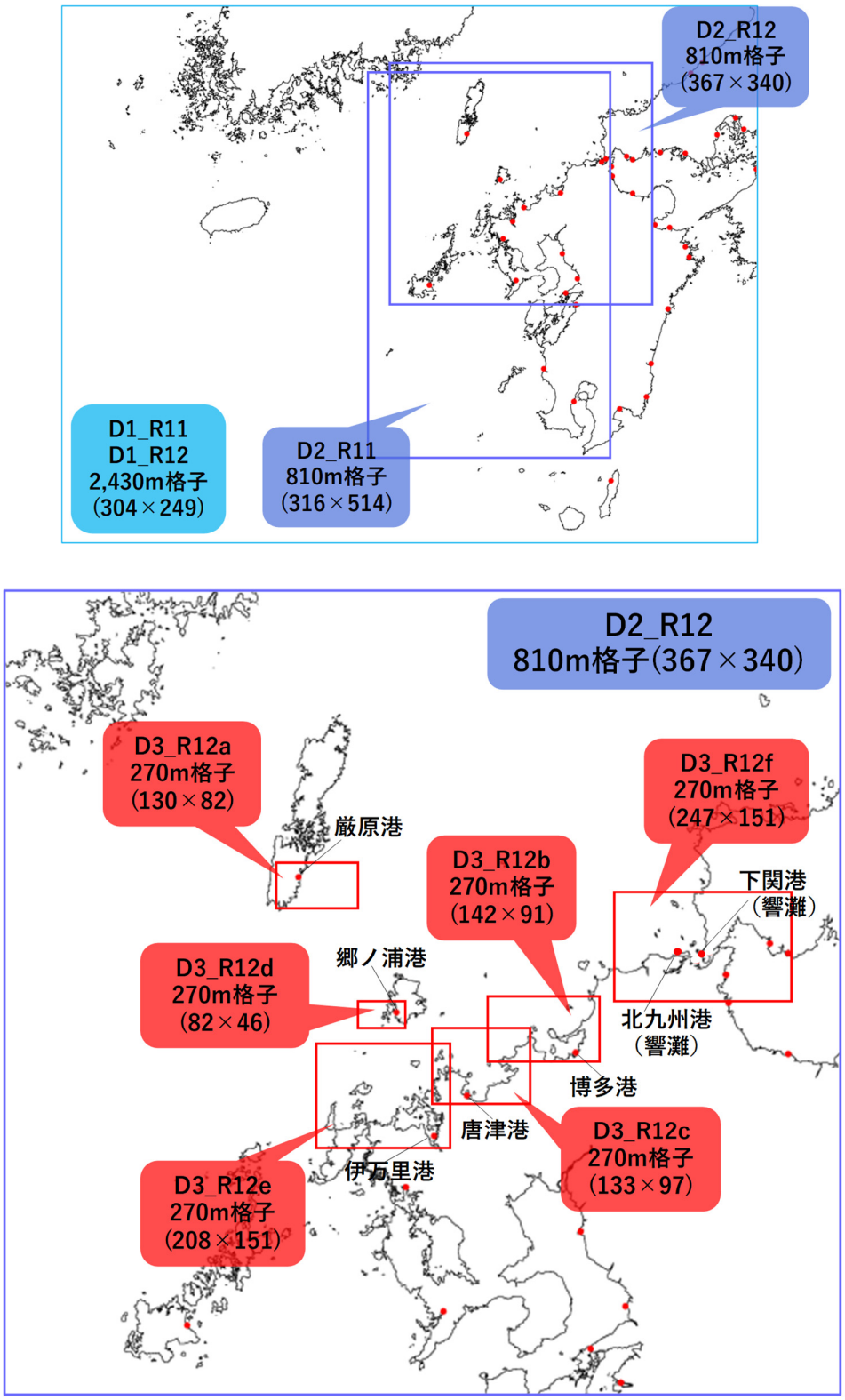


図-C.12　高潮解析における解析領域（第 12 海域：九州北側）

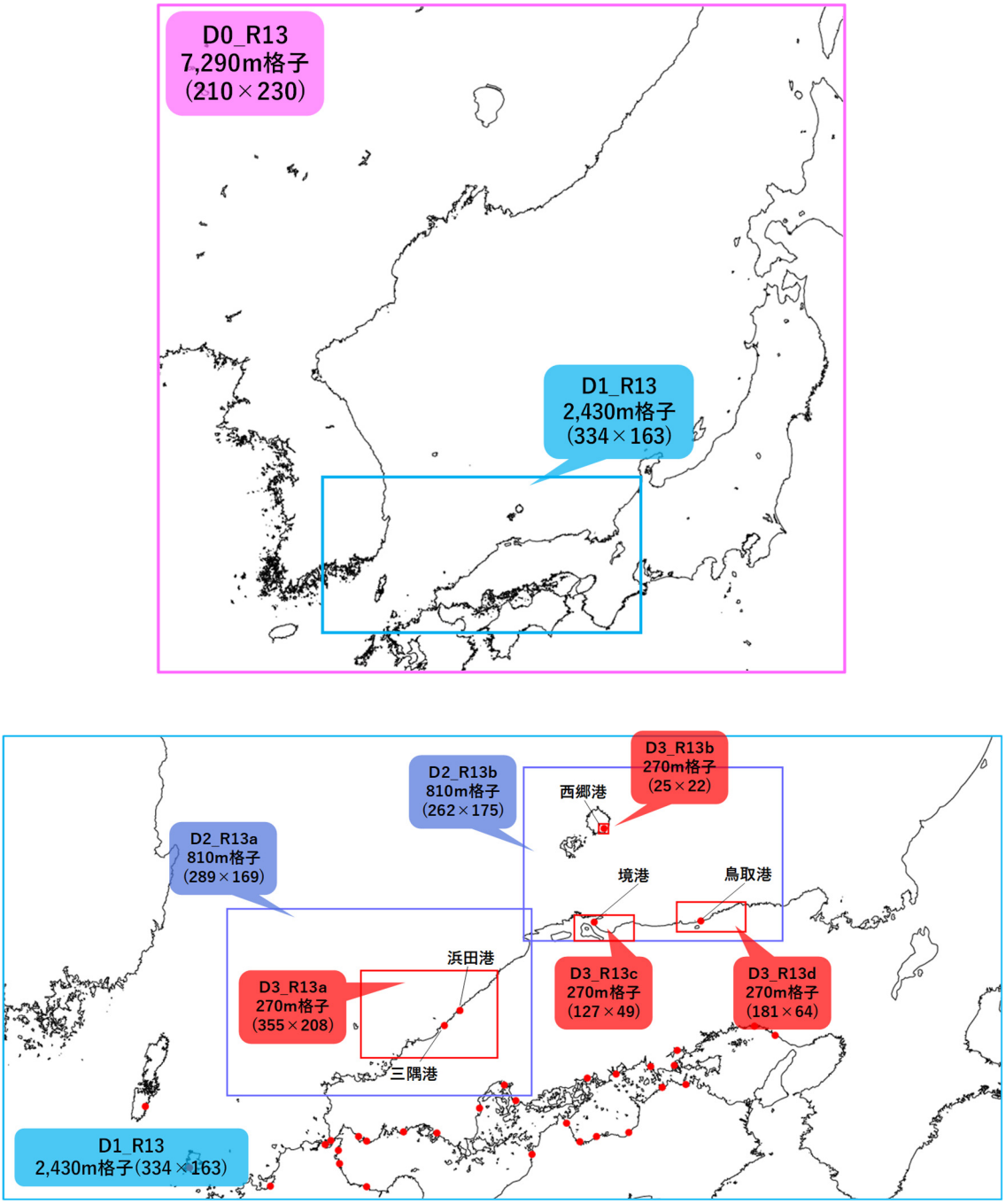


図-C.13　高潮解析における解析領域（第 13 海域：山陰地方）

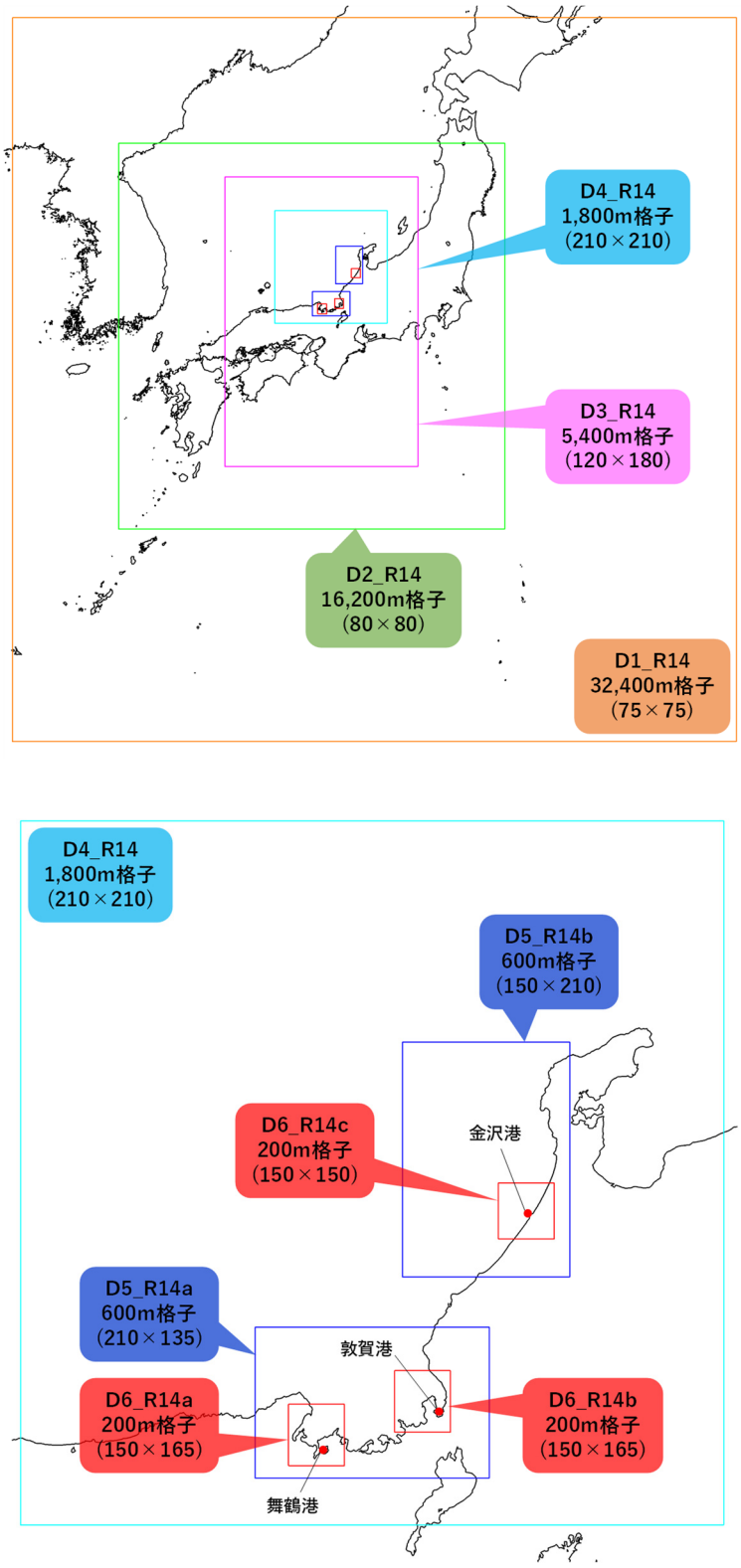


図-C.14　高潮解析における解析領域（第 14 海域：若狭湾）

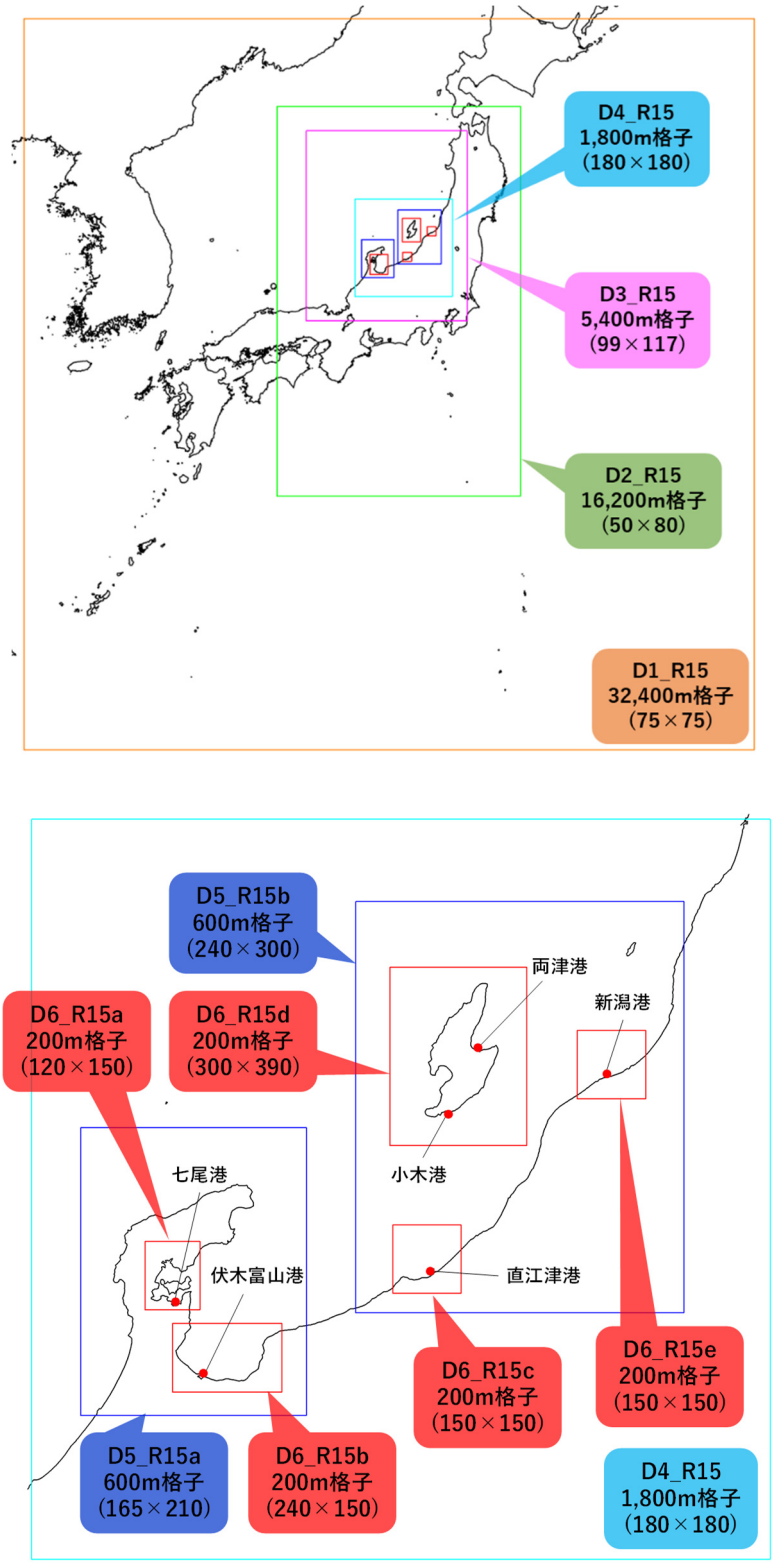


図-C.15　高潮解析における解析領域（第 15 海域：富山湾）

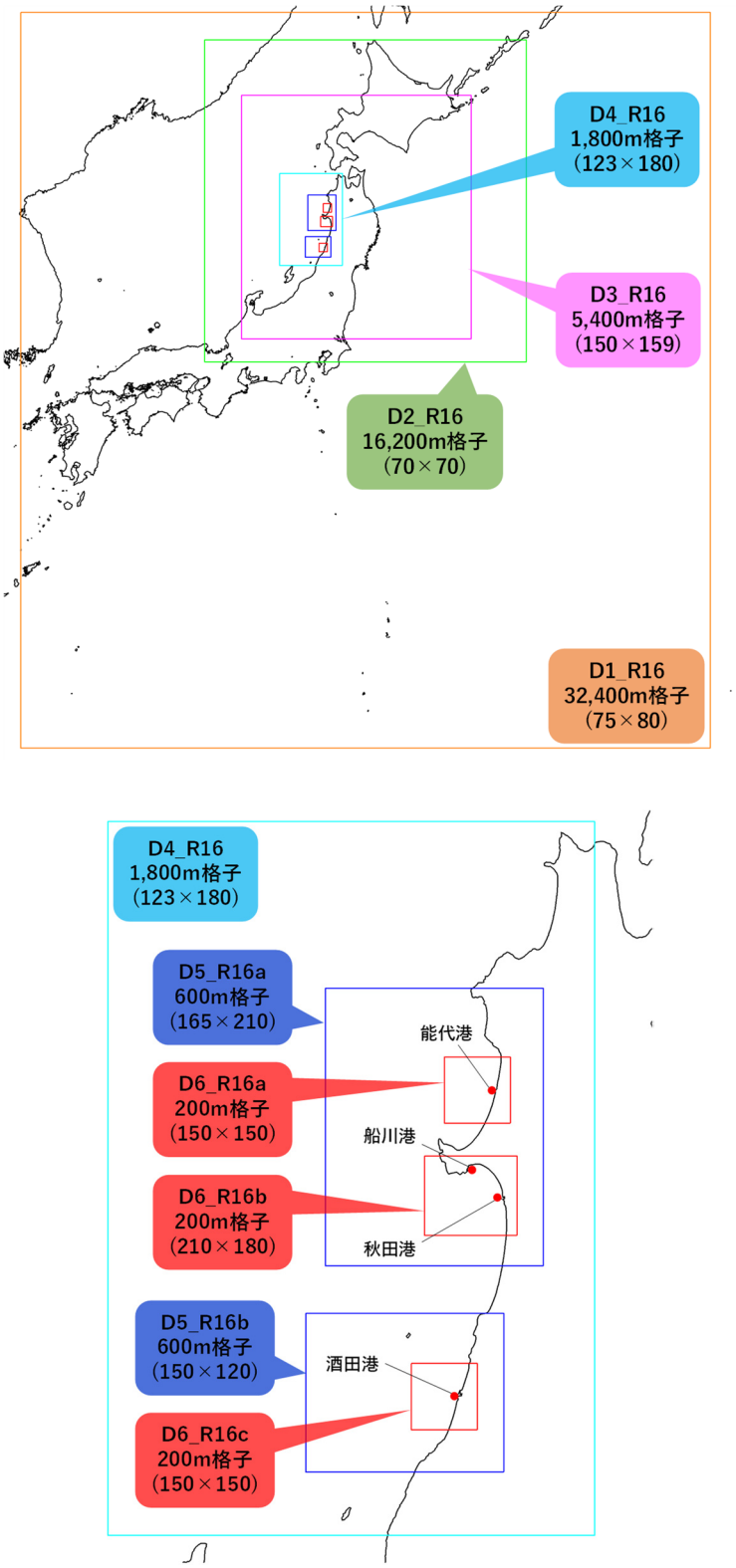


図-C.16　高潮解析における解析領域（第 16 海域：東北日本海側）

付録D　対象海域の波浪解析における解析領域

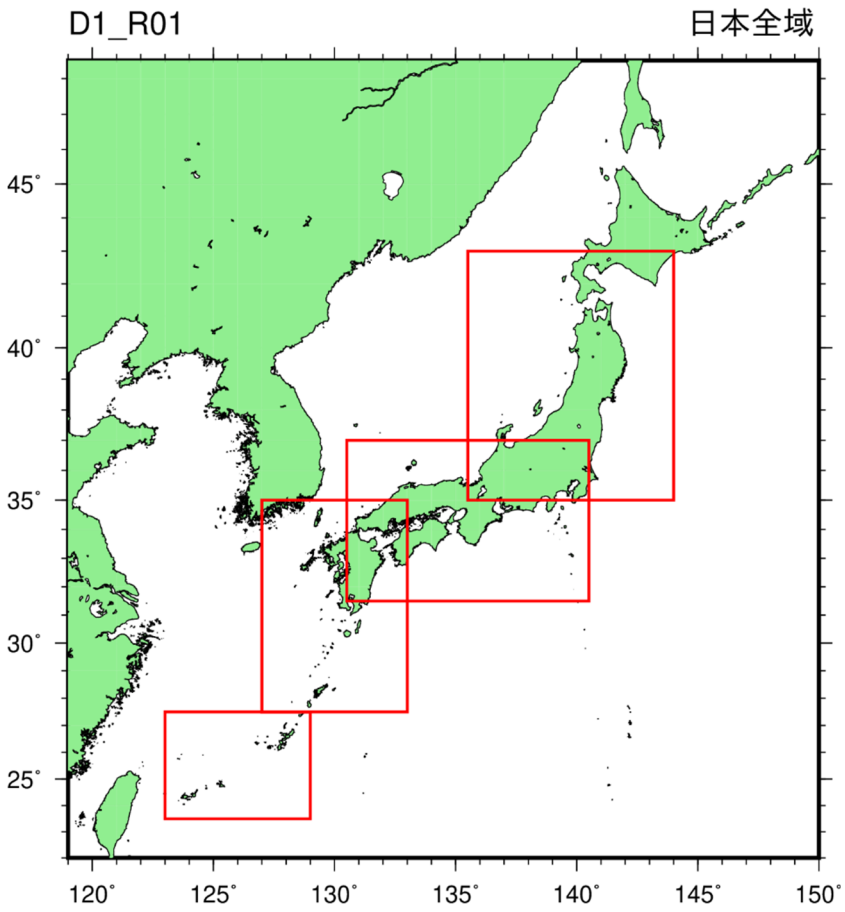


図-D.1　波浪解析における解析領域（第 1 ドメイン：日本全域）

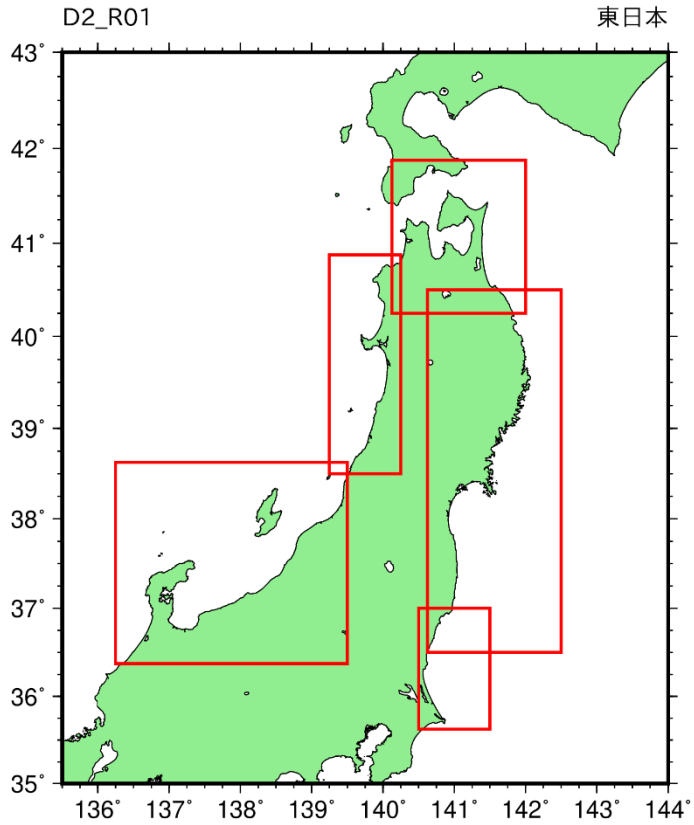


図-D.2　波浪解析における解析領域（第 2 ドメイン：東日本）

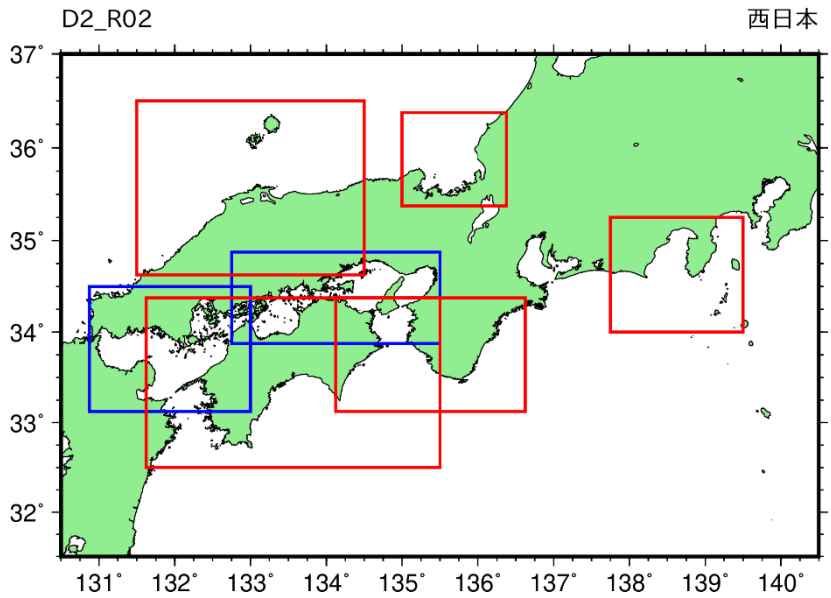


図-D.3　波浪解析における解析領域（第 2 ドメイン：西日本）

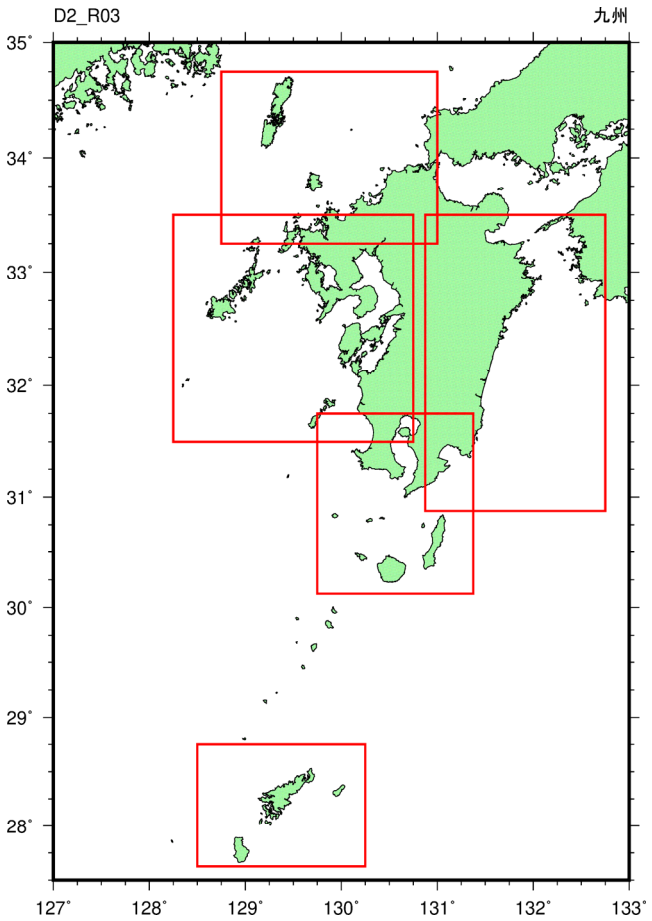


図-D.4　波浪解析における解析領域（第 2 ドメイン：九州）

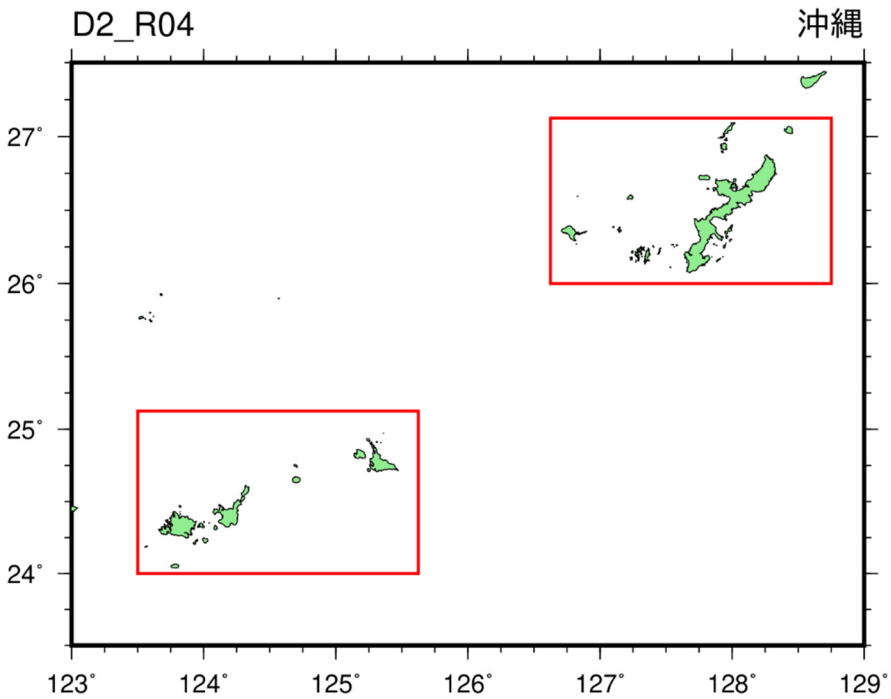


図-D.5　波浪解析における解析領域（第 2 ドメイン：沖縄）

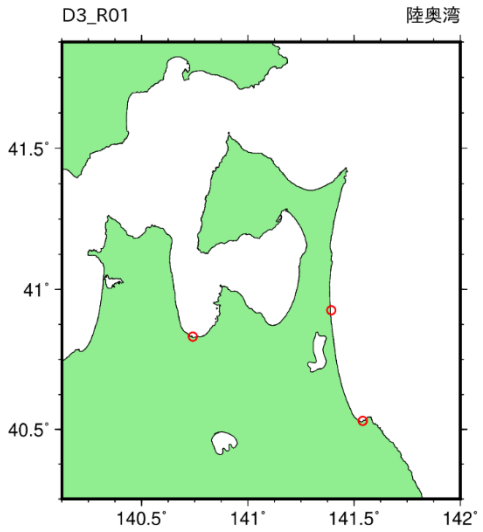


図-D.6　波浪解析における解析領域（第 3 ドメイン：陸奥湾）（○は対象港湾）

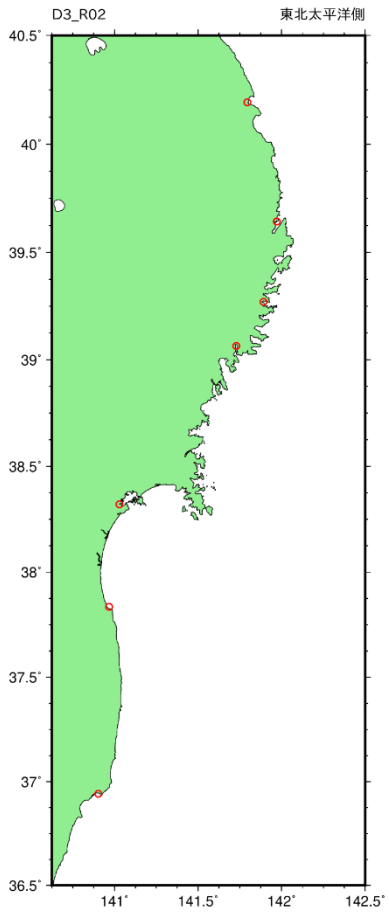


図-D.7　波浪解析における解析領域（第 3 ドメイン：東北太平洋側）（○は対象港湾）

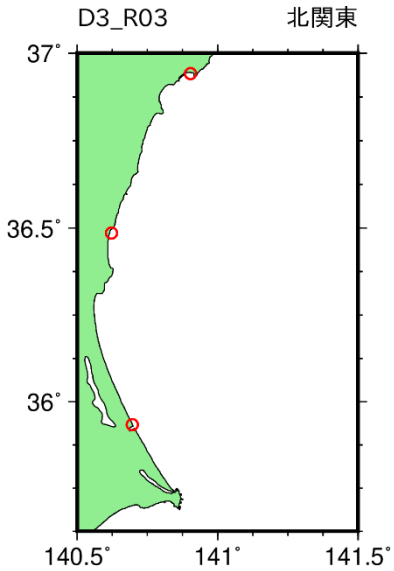


図-D.8　波浪解析における解析領域（第 3 ドメイン：北関東）（○は対象港湾）

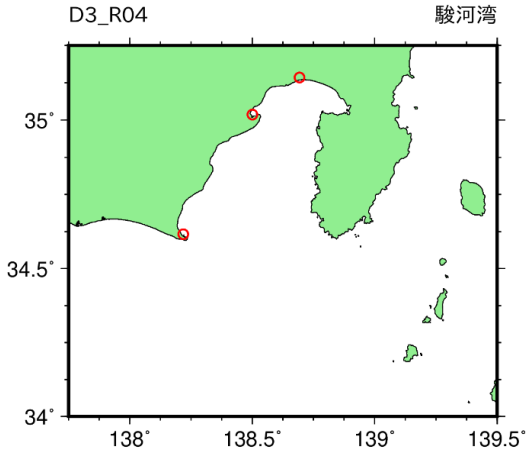


図-D.9　波浪解析における解析領域（第 3 ドメイン：駿河湾）（○は対象港湾）

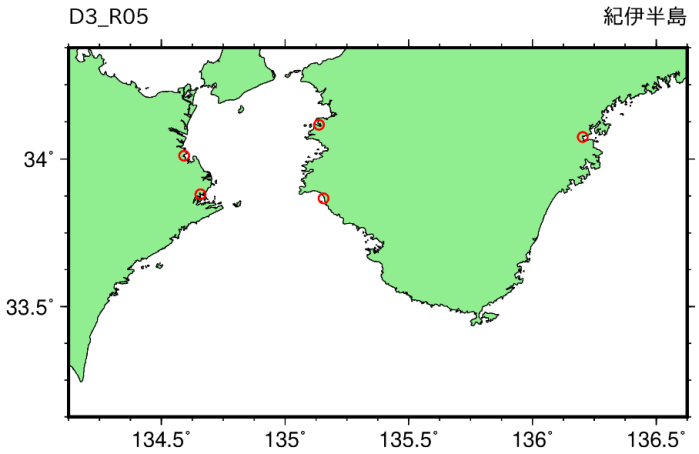


図-D.10　波浪解析における解析領域（第 3 ドメイン：紀伊半島）（○は対象港湾）

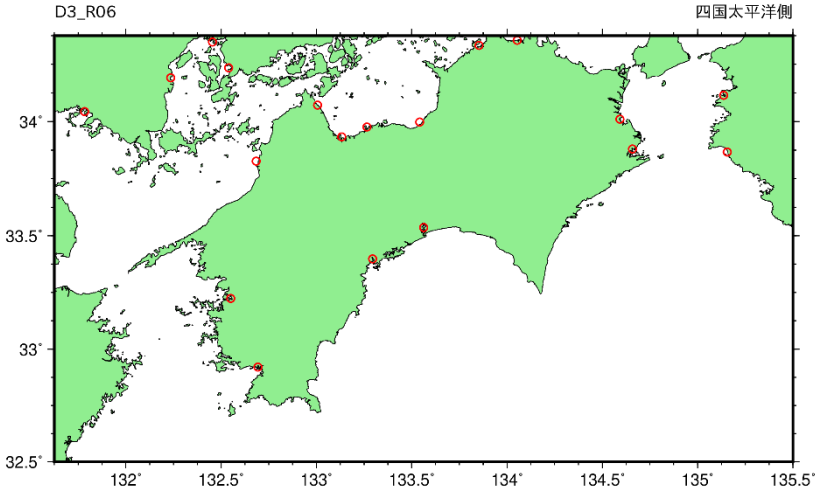


図-D.11　波浪解析における解析領域（第 3 ドメイン：四国太平洋側）（○は対象港湾）

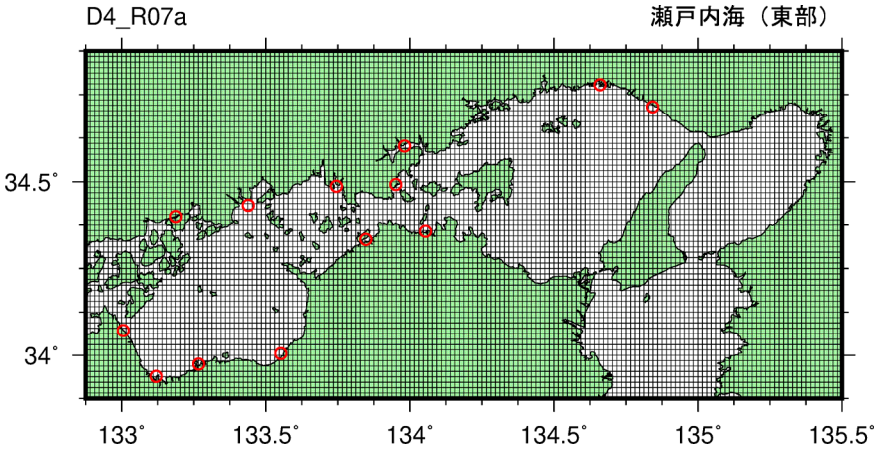


図-D.12　波浪解析における解析領域（第 4 ドメイン：瀬戸内海（東部））（○は対象港湾）

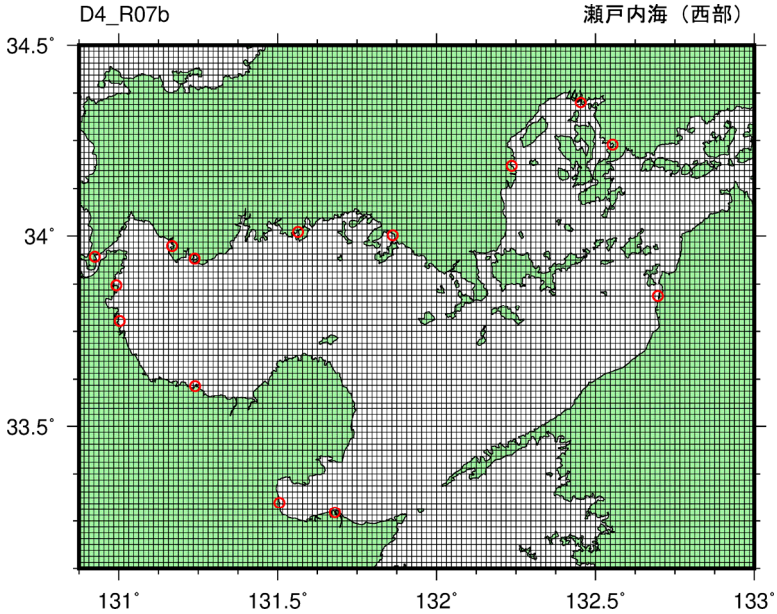


図-D.13　波浪解析における解析領域（第 4 ドメイン：瀬戸内海（西部））（○は対象港湾）

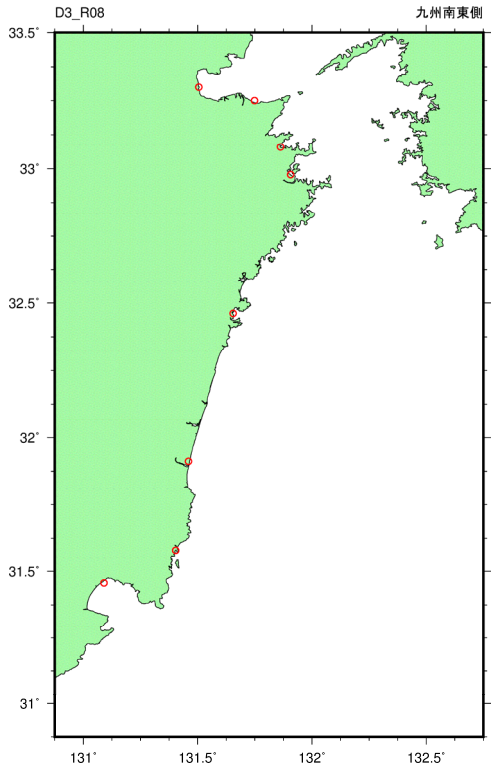


図-D.14　波浪解析における解析領域（第 3 ドメイン：九州南東部）（○は対象港湾）

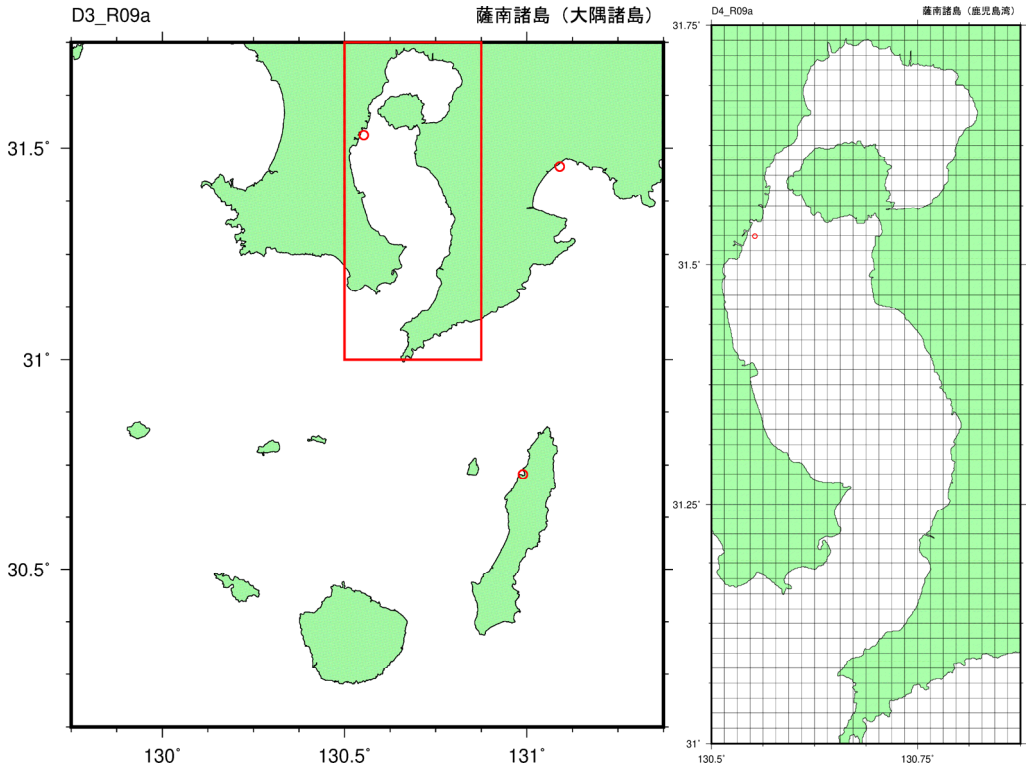


図-D.15　波浪解析における解析領域（第 3・4 ドメイン：薩南諸島（大隅半島））（○は対象港湾）

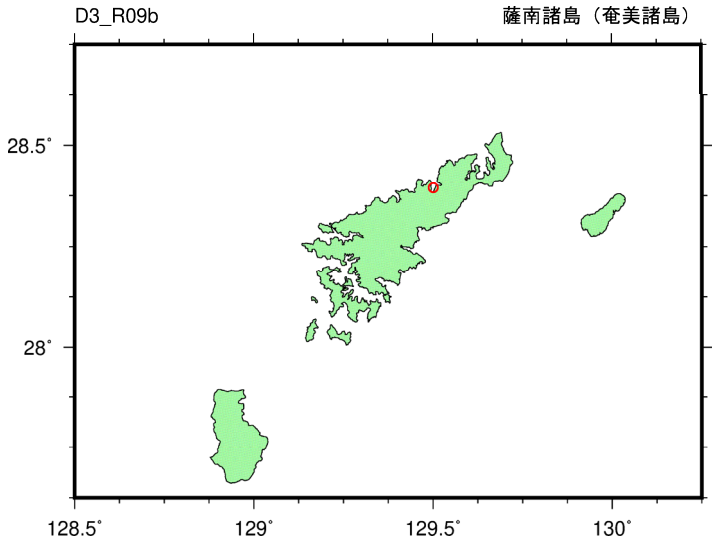


図-D.16　波浪解析における解析領域（第 3 ドメイン：薩南諸島（奄美諸島））（○は対象港湾）

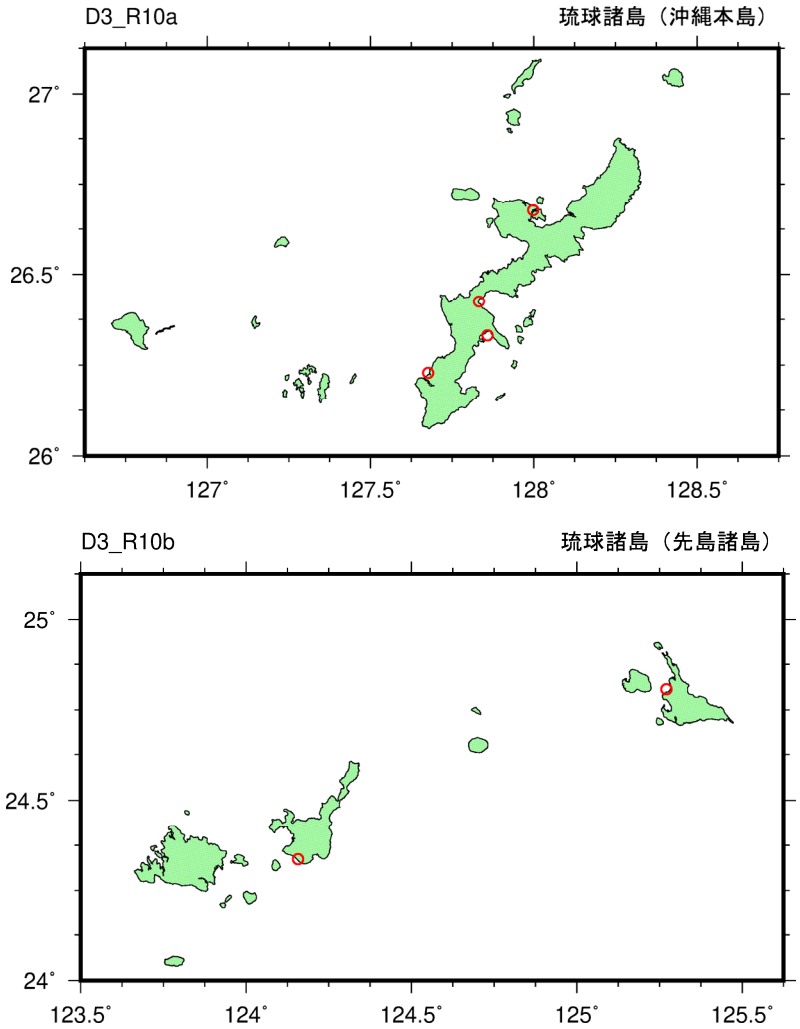


図-D.17　波浪解析における解析領域（第 3 ドメイン：琉球諸島）（○は対象港湾）

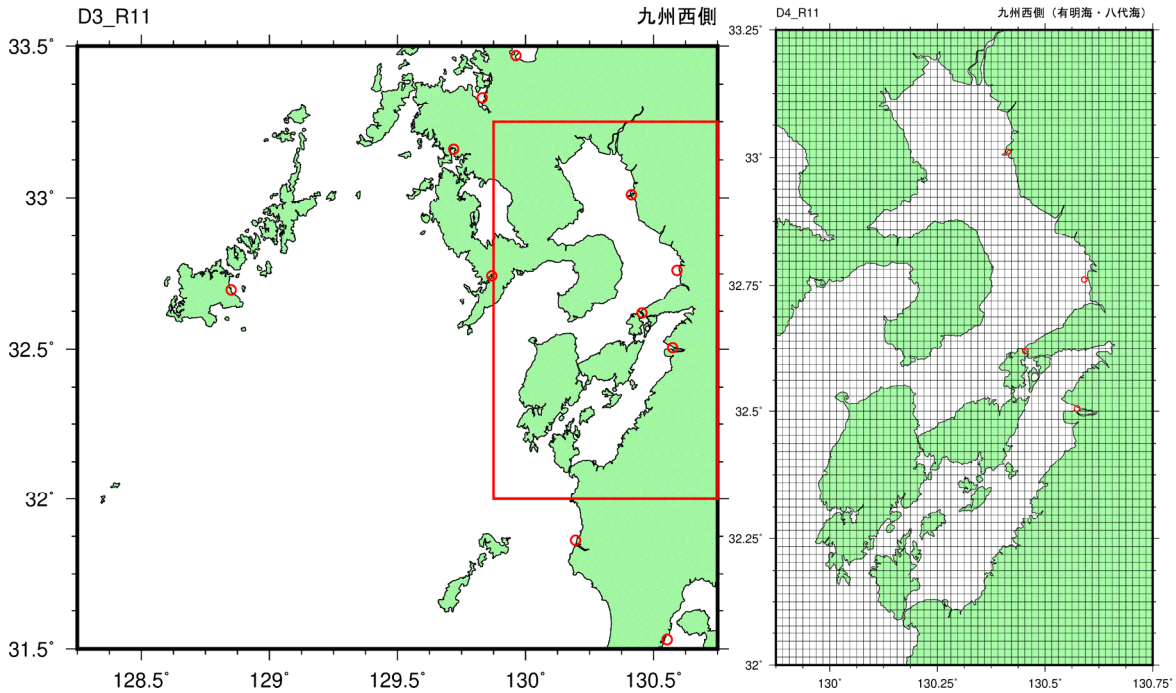


図-D.18　波浪解析における解析領域（第 3・4 ドメイン：九州西側）（○は対象港湾）

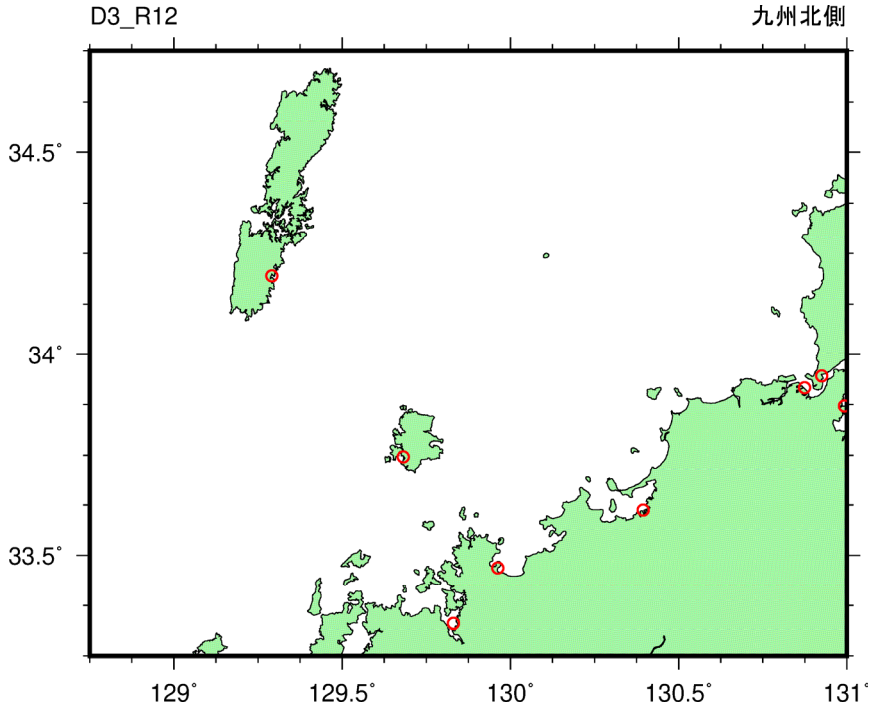


図-D.19　波浪解析における解析領域（第 3 ドメイン：九州北側）（○は対象港湾）

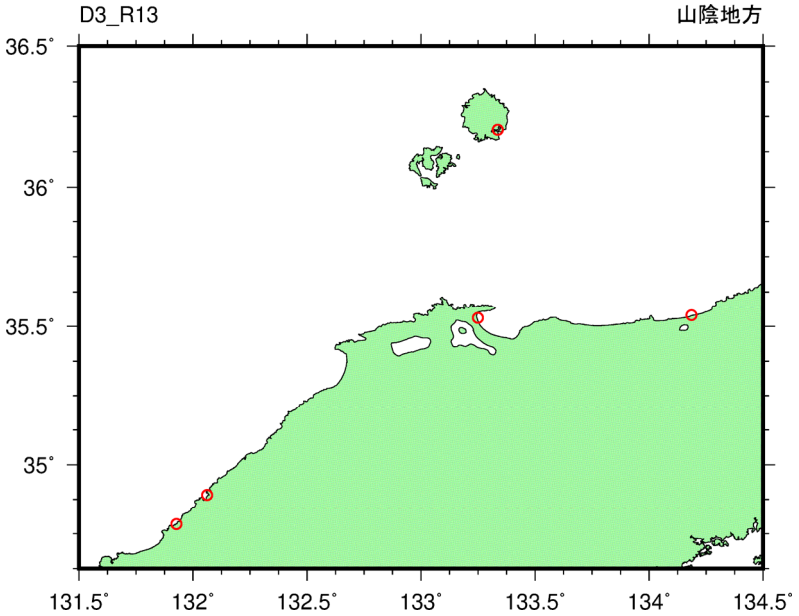


図-D.20　波浪解析における解析領域（第 3 ドメイン：山陰地方）（○は対象港湾）

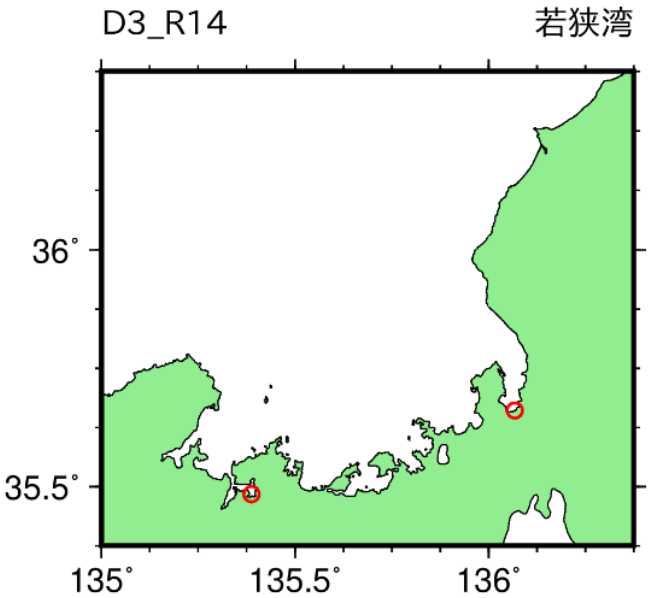


図-D.21　波浪解析における解析領域（第 3 ドメイン：若狭湾）（○は対象港湾）

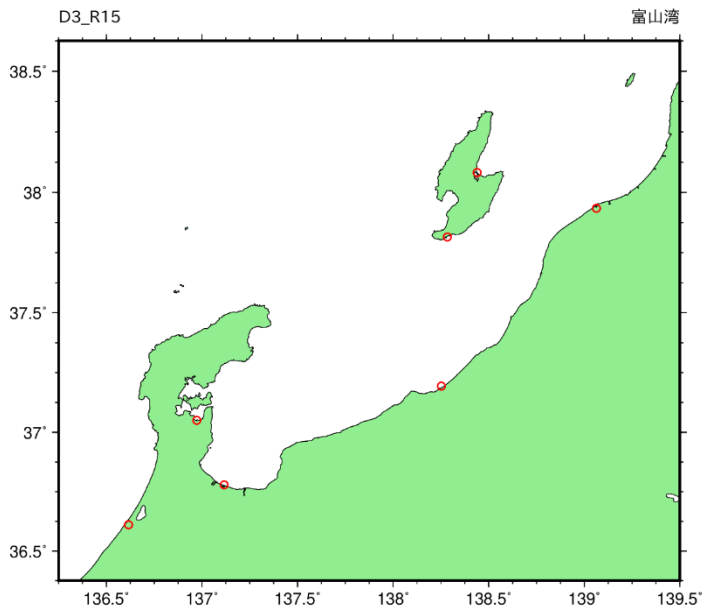


図-D.22　波浪解析における解析領域（第 3 ドメイン：富山湾）（○は対象港湾）

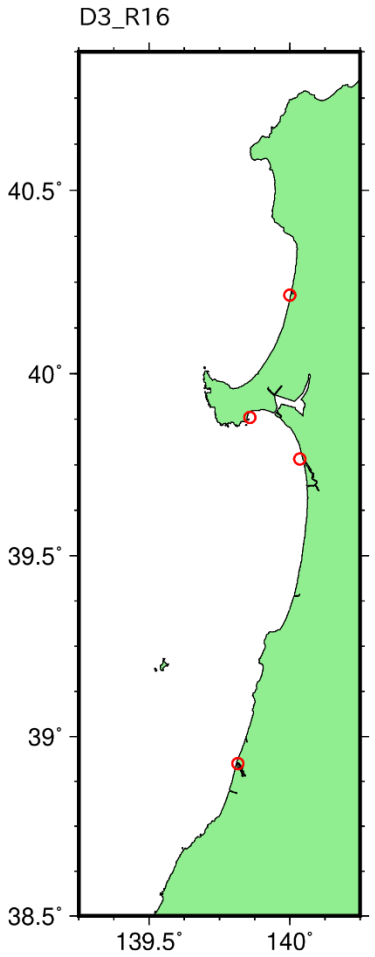


図-D.23　波浪解析における解析領域（第 3 ドメイン：東北日本海側）（○は対象港湾）

付録E　潮位偏差の港湾毎の将来変化予測の詳細結果

表-E.1　対象港湾毎の潮位偏差（100 年確率）の将来変化比（その１）

海域	港湾	将来変化比（潮位偏差：100 年確率）								
		平均	10%tile	90%tile	CC	GF	HA	MI	MP	MR
陸奥湾	青森港	1.02	0.99	1.05	0.99	1.02	1.03	1.05	1.04	0.99
東北太平洋側（北側）	むつ小川原港	1.02	0.95	1.11	0.94	0.95	1.00	1.15	1.03	1.07
東北太平洋側（北側）	八戸港	1.05	0.94	1.15	0.93	0.96	1.05	1.19	1.08	1.10
東北太平洋側（北側）	久慈港	1.06	0.93	1.17	0.91	0.94	1.06	1.22	1.10	1.11
東北太平洋側（北側）	宮古港	1.06	0.94	1.15	0.93	0.94	1.09	1.17	1.09	1.12
東北太平洋側（南側）	釜石港	1.05	0.96	1.12	0.96	0.95	1.08	1.13	1.08	1.11
東北太平洋側（南側）	大船渡港	1.08	0.94	1.18	0.93	0.96	1.08	1.23	1.13	1.13
東北太平洋側（南側）	仙台塩釜港	1.07	0.97	1.14	0.96	0.99	1.08	1.15	1.10	1.12
東北太平洋側（南側）	相馬港	1.04	0.97	1.11	0.97	0.96	1.05	1.14	1.02	1.08
東北太平洋側（南側）	小名浜港	1.05	0.99	1.10	0.98	1.00	1.08	1.09	1.07	1.10
北関東	茨城港	1.05	1.00	1.08	0.99	1.01	1.07	1.09	1.05	1.07
北関東	鹿島港	1.08	1.03	1.12	1.04	1.09	1.08	1.14	1.03	1.11
駿河湾	御前崎港	1.01	0.97	1.07	0.98	1.07	1.07	0.97	0.97	1.00
駿河湾	田子の浦港	1.04	0.97	1.13	0.94	1.09	1.18	0.99	1.00	1.05
駿河湾	清水港	1.00	0.93	1.08	0.92	1.05	1.10	0.94	0.96	1.01
紀伊半島	尾鷲港	1.03	1.00	1.06	1.01	1.02	1.04	1.04	0.99	1.07
紀伊半島	日高港	1.03	0.99	1.06	1.02	1.06	1.06	1.05	0.97	1.00
紀伊半島	和歌山下津港	1.03	0.97	1.08	1.01	1.07	1.08	1.07	0.93	1.03
四国太平洋側	高知港	1.00	0.97	1.06	0.96	0.98	1.09	0.97	1.00	1.03
四国太平洋側	須崎港	1.05	1.00	1.11	1.02	0.98	1.11	1.04	1.05	1.11
四国太平洋側	宿毛湾港	1.08	1.03	1.12	1.04	1.14	1.07	1.03	1.11	1.09
四国太平洋側	宇和島港	1.09	1.03	1.13	1.11	1.12	1.10	0.99	1.08	1.15
四国太平洋側	徳島小松島港	1.10	0.98	1.22	0.96	1.15	1.08	1.30	0.99	1.11
四国太平洋側	橘港	1.10	0.97	1.23	0.96	1.16	1.09	1.31	0.99	1.12
瀬戸内海（東部）	東播磨港	1.06	1.02	1.09	1.00	1.07	1.09	1.10	1.05	1.07
瀬戸内海（東部）	姫路港	1.06	1.02	1.10	0.97	1.07	1.07	1.11	1.07	1.08
瀬戸内海（東部）	岡山港	1.03	0.98	1.08	0.95	1.09	1.05	1.04	1.01	1.07
瀬戸内海（東部）	宇野港	1.03	1.00	1.05	0.99	1.05	1.04	1.01	1.02	1.05
瀬戸内海（東部）	水島港	1.00	0.97	1.04	1.00	1.03	1.03	0.95	0.98	1.04
瀬戸内海（東部）	福山港	0.99	0.97	1.03	0.98	1.00	0.98	0.97	0.98	1.05
瀬戸内海（東部）	尾道糸崎港	1.00	0.98	1.03	0.99	1.00	0.97	0.99	1.00	1.06
瀬戸内海（東部）	今治港	1.02	0.99	1.05	0.98	1.04	1.00	1.02	1.03	1.06
瀬戸内海（東部）	東予港	1.01	0.99	1.04	0.97	1.03	1.01	1.00	1.02	1.05
瀬戸内海（東部）	新居浜港	1.01	0.98	1.04	0.97	1.03	0.99	0.99	1.01	1.05
瀬戸内海（東部）	三島川之江港	0.99	0.97	1.02	0.99	1.00	0.99	0.96	0.98	1.04
瀬戸内海（東部）	坂出港	1.02	0.98	1.05	1.01	1.04	1.05	0.96	1.00	1.05
瀬戸内海（東部）	高松港	1.03	1.00	1.06	0.99	1.05	1.04	1.04	1.01	1.06

表-E.2　対象港湾毎の潮位偏差（100 年確率）の将来変化比（その２）

海域	港湾	将来変化比（潮位偏差：100 年確率）								
		平均	10%tile	90%tile	CC	GF	HA	MI	MP	MR
瀬戸内海（西部）	呉港	0.99	0.94	1.04	0.99	0.99	1.01	0.91	0.97	1.07
瀬戸内海（西部）	広島港	1.00	0.95	1.04	1.00	1.00	1.01	0.93	0.97	1.07
瀬戸内海（西部）	岩国港	1.02	0.98	1.07	0.98	1.03	1.03	0.98	1.06	1.08
瀬戸内海（西部）	徳山下松港	1.02	0.98	1.06	0.97	1.03	1.00	0.98	1.02	1.09
瀬戸内海（西部）	三田尻中関港	1.02	0.98	1.06	0.98	1.03	1.03	0.99	1.01	1.09
瀬戸内海（西部）	宇部港	1.00	0.96	1.05	0.97	1.01	1.06	0.95	0.98	1.04
瀬戸内海（西部）	小野田港	0.99	0.95	1.05	0.97	0.99	1.09	0.92	0.97	1.02
瀬戸内海（西部）	下関港（周防灘）	1.01	0.96	1.08	0.98	0.99	1.14	0.94	0.99	1.02
瀬戸内海（西部）	北九州港（周防灘）	1.01	0.96	1.06	0.98	1.01	1.10	0.95	0.98	1.02
瀬戸内海（西部）	苅田港	1.01	0.97	1.06	0.99	1.02	1.09	0.97	0.98	1.02
瀬戸内海（西部）	中津港	1.02	0.99	1.04	0.98	1.03	1.04	1.00	0.99	1.05
瀬戸内海（西部）	別府港	1.04	1.01	1.07	1.02	1.04	1.08	1.03	1.00	1.06
瀬戸内海（西部）	大分港	1.05	1.02	1.08	1.03	1.06	1.10	1.04	1.01	1.05
瀬戸内海（西部）	松山港	1.00	0.97	1.03	0.98	1.00	1.01	0.96	1.02	1.04
九州南東側	津久見港	1.04	1.01	1.07	1.07	1.04	1.06	1.04	0.99	1.04
九州南東側	佐伯港	1.04	1.01	1.07	1.07	1.04	1.04	1.07	0.99	1.05
九州南東側	細島港	1.04	0.98	1.09	1.06	1.00	1.03	1.10	0.97	1.08
九州南東側	宮崎港	1.05	1.01	1.09	1.03	1.02	1.07	1.06	1.00	1.11
九州南東側	油津港	1.05	1.02	1.10	1.03	1.03	1.09	1.05	1.01	1.12
九州南東側	志布志港	1.04	0.99	1.09	0.98	1.05	1.08	1.00	1.03	1.09
薩南諸島	鹿児島港	1.08	1.00	1.18	1.01	1.20	1.17	1.00	1.04	1.07
薩南諸島	西之表港	1.05	0.98	1.10	1.10	0.92	1.08	1.07	1.03	1.10
琉球諸島	名瀬港	1.02	0.95	1.08	0.88	1.11	1.03	1.01	1.01	1.06
琉球諸島	運天港	1.01	0.94	1.05	0.99	1.05	1.04	0.90	1.03	1.04
琉球諸島	金武湾港	1.01	0.97	1.06	1.01	1.02	1.11	0.96	0.99	0.99
琉球諸島	中城湾港	1.03	0.99	1.08	1.05	1.01	1.11	1.00	1.05	0.98
琉球諸島	那覇港	0.98	0.94	1.03	1.02	1.01	1.03	0.95	0.94	0.93
琉球諸島	平良港	1.02	0.97	1.06	1.05	1.02	1.03	0.94	1.00	1.06
琉球諸島	石垣港	1.00	0.96	1.05	1.02	1.00	1.00	0.93	1.00	1.08

表-E.3　対象港湾毎の潮位偏差（100 年確率）の将来変化比（その３）

海域	港湾	将来変化比（潮位偏差：100 年確率）								
		平均	10%tile	90%tile	CC	GF	HA	MI	MP	MR
九州西側	川内港	1.06	1.02	1.11	1.08	1.14	1.06	1.01	1.03	1.05
九州西側	八代港	1.06	1.03	1.08	1.06	1.06	1.03	1.03	1.08	1.07
九州西側	三角港	1.06	1.05	1.09	1.05	1.06	1.06	1.05	1.10	1.08
九州西側	熊本港	1.05	1.01	1.08	1.01	1.04	1.07	1.02	1.10	1.05
九州西側	三池港	1.04	1.00	1.07	1.00	1.03	1.06	1.01	1.06	1.07
九州西側	長崎港	1.06	1.02	1.11	0.99	1.11	1.06	1.07	1.05	1.10
九州西側	佐世保港	1.09	1.05	1.12	1.12	1.12	1.09	1.04	1.07	1.13
九州西側	福江港	1.05	1.01	1.11	1.05	1.17	1.03	0.98	1.06	1.03
九州北側	厳原港	1.11	1.06	1.17	1.06	1.17	1.17	1.09	1.08	1.06
九州北側	郷ノ浦港	1.11	1.07	1.14	1.14	1.13	1.14	1.06	1.08	1.09
九州北側	伊万里港	1.09	1.03	1.13	1.13	1.12	1.11	0.98	1.07	1.13
九州北側	唐津港	1.07	1.00	1.13	1.12	1.10	1.06	0.95	1.06	1.15
九州北側	博多港	1.05	0.98	1.10	1.07	1.08	1.03	0.94	1.06	1.12
九州北側	北九州港（響灘）	1.05	1.00	1.09	1.06	1.07	1.04	0.95	1.08	1.10
九州北側	下関港（響灘）	1.04	0.99	1.08	1.05	1.08	1.03	0.95	1.08	1.08
山陰地方	三隅港	1.06	1.03	1.10	1.04	1.15	1.05	1.01	1.04	1.06
山陰地方	浜田港	1.06	1.03	1.10	1.03	1.15	1.05	1.02	1.05	1.06
山陰地方	西郷港	1.03	1.00	1.08	1.01	1.05	1.06	0.99	1.02	1.09
山陰地方	境港	1.10	1.05	1.14	1.04	1.16	1.07	1.12	1.06	1.13
山陰地方	鳥取港	1.04	1.01	1.07	1.01	1.02	1.04	1.05	1.02	1.09
若狭湾	舞鶴港	1.07	0.99	1.15	1.12	1.01	1.08	1.18	0.97	1.08
若狭湾	敦賀港	1.05	1.00	1.08	1.08	1.08	1.00	1.08	1.00	1.04
若狭湾	金沢港	1.02	0.98	1.06	1.03	1.03	0.96	1.05	1.06	0.99
富山湾	七尾港	1.03	0.94	1.15	0.98	1.04	1.01	1.25	0.90	1.00
富山湾	伏木富山港	1.04	0.99	1.11	1.02	1.00	1.08	1.13	0.98	1.03
富山湾	直江津港	1.04	0.99	1.09	1.04	1.05	1.11	1.03	0.94	1.06
富山湾	小木港	1.04	0.99	1.08	1.02	1.04	1.07	0.97	1.08	1.09
富山湾	両津港	1.03	1.00	1.06	1.05	1.01	1.08	1.03	0.99	1.01
富山湾	新潟港	1.05	1.02	1.08	1.06	1.01	1.09	1.08	1.05	1.03
東北日本海側	能代港	1.00	0.97	1.04	0.98	1.01	0.99	0.97	1.06	1.01
東北日本海側	秋田港	1.01	0.97	1.05	0.99	1.01	0.98	0.97	1.07	1.03
東北日本海側	船川港	1.02	0.98	1.07	0.99	0.99	1.00	0.98	1.07	1.06
東北日本海側	酒田港	1.01	0.99	1.04	1.00	1.01	1.02	0.99	1.06	0.98

付録F　波高の港湾毎の将来変化予測の詳細結果

表-F.1　対象港湾毎の波高（50 年確率）の将来変化比（その１）

海域	港湾	将来変化比（波高：50 年確率）								
		平均	10%tile	90%tile	CC	GF	HA	MI	MP	MR
陸奥湾	青森港	1.04	0.98	1.09	1.02	0.99	1.05	1.12	0.98	1.07
東北太平洋側（北側）	むつ小川原港	1.01	0.94	1.07	0.91	0.98	1.01	1.11	1.02	1.04
東北太平洋側（北側）	八戸港	1.01	0.95	1.08	0.93	0.96	1.00	1.11	1.02	1.06
東北太平洋側（北側）	久慈港	1.03	0.96	1.09	0.95	0.97	1.02	1.13	1.03	1.06
東北太平洋側（北側）	宮古港	1.03	0.97	1.09	0.97	0.97	1.02	1.13	1.02	1.06
東北太平洋側（南側）	釜石港	1.06	1.01	1.10	1.00	1.01	1.07	1.14	1.06	1.07
東北太平洋側（南側）	大船渡港	1.05	1.01	1.10	1.00	1.02	1.07	1.12	1.05	1.05
東北太平洋側（南側）	仙台塩釜港	1.07	1.03	1.12	1.02	1.03	1.11	1.13	1.08	1.08
東北太平洋側（南側）	相馬港	1.07	1.02	1.12	1.02	1.03	1.10	1.13	1.06	1.08
東北太平洋側（南側）	小名浜港	1.07	1.03	1.11	1.00	1.06	1.11	1.10	1.07	1.07
北関東	茨城港	1.08	1.04	1.12	1.02	1.09	1.15	1.10	1.06	1.07
北関東	鹿島港	1.09	1.05	1.13	1.04	1.11	1.15	1.10	1.05	1.07
駿河湾	御前崎港	1.01	0.99	1.03	1.01	1.01	1.02	1.00	0.98	1.04
駿河湾	田子の浦港	1.02	0.97	1.07	0.99	1.08	0.97	1.03	0.97	1.07
駿河湾	清水港	1.02	0.98	1.07	0.97	1.07	0.98	1.02	0.98	1.07
紀伊半島	尾鷲港	1.01	0.99	1.03	1.02	1.01	0.98	1.03	1.00	1.02
紀伊半島	日高港	0.99	0.97	1.01	0.96	1.00	0.98	1.00	0.98	1.01
紀伊半島	和歌山下津港	1.00	0.96	1.03	0.97	0.99	1.01	1.02	0.95	1.04
四国太平洋側	高知港	1.02	0.98	1.05	1.04	0.99	1.06	0.98	1.01	1.02
四国太平洋側	須崎港	1.03	1.01	1.06	1.04	1.01	1.05	1.00	1.04	1.06
四国太平洋側	宿毛湾港	1.00	0.98	1.04	1.02	0.99	0.98	0.98	0.98	1.06
四国太平洋側	宇和島港	1.04	1.03	1.05	1.03	1.05	1.04	1.03	1.05	1.05
四国太平洋側	徳島小松島港	1.01	0.97	1.06	0.95	1.03	1.02	1.09	0.99	1.02
四国太平洋側	橘港	1.02	0.97	1.07	0.95	1.04	1.02	1.10	0.99	1.02
瀬戸内海（東部）	東播磨港	1.01	0.97	1.03	0.96	1.03	1.04	1.02	0.98	1.03
瀬戸内海（東部）	姫路港	1.01	0.99	1.03	0.97	1.01	1.03	1.02	1.00	1.03
瀬戸内海（東部）	岡山港	1.00	0.98	1.03	0.98	1.00	1.02	1.00	0.99	1.03
瀬戸内海（東部）	宇野港	1.00	0.98	1.02	0.98	1.01	1.02	0.98	1.00	1.01
瀬戸内海（東部）	水島港	1.01	0.99	1.02	0.98	1.02	1.02	1.00	1.00	1.02
瀬戸内海（東部）	福山港	1.02	0.98	1.05	0.99	1.05	1.01	0.98	1.03	1.05
瀬戸内海（東部）	尾道糸崎港	1.03	1.02	1.04	1.04	1.03	1.04	1.02	1.01	1.04
瀬戸内海（東部）	今治港	1.04	1.03	1.06	1.04	1.03	1.06	1.02	1.04	1.05
瀬戸内海（東部）	東予港	1.02	1.00	1.04	1.00	1.03	1.06	0.99	1.02	1.03
瀬戸内海（東部）	新居浜港	1.01	0.99	1.04	0.99	1.01	1.05	0.98	1.01	1.02
瀬戸内海（東部）	三島川之江港	1.05	1.00	1.09	0.98	1.09	1.06	1.10	1.02	1.06
瀬戸内海（東部）	坂出港	1.04	1.00	1.07	0.99	1.07	1.04	1.06	1.01	1.07
瀬戸内海（東部）	高松港	1.05	1.00	1.08	0.98	1.07	1.06	1.10	1.01	1.07

表-F.2　対象港湾毎の波高（50 年確率）の将来変化比（その２）

海域	港湾	将来変化比（波高：50 年確率）								
		平均	10%tile	90%tile	CC	GF	HA	MI	MP	MR
瀬戸内海（西部）	呉港	1.00	0.99	1.02	0.99	1.01	0.99	0.99	1.01	1.03
瀬戸内海（西部）	広島港	1.01	0.97	1.04	1.01	1.04	0.99	0.95	1.02	1.04
瀬戸内海（西部）	岩国港	1.02	1.00	1.04	1.00	1.04	1.01	1.00	1.03	1.03
瀬戸内海（西部）	徳山下松港	1.02	1.00	1.04	1.00	1.05	1.04	1.01	1.02	1.03
瀬戸内海（西部）	三田尻中関港	1.03	1.01	1.06	1.01	1.06	1.06	1.01	1.04	1.03
瀬戸内海（西部）	宇部港	1.02	1.00	1.03	1.01	1.02	1.03	1.00	1.02	1.03
瀬戸内海（西部）	小野田港	1.01	1.00	1.03	1.00	1.01	1.03	1.00	1.01	1.03
瀬戸内海（西部）	下関港（周防灘）	1.01	1.00	1.02	1.00	1.00	1.03	1.00	1.02	1.02
瀬戸内海（西部）	北九州港（周防灘）	1.01	1.00	1.03	1.00	1.01	1.03	1.00	1.01	1.03
瀬戸内海（西部）	苅田港	1.01	1.00	1.02	1.01	1.00	1.02	1.00	1.01	1.02
瀬戸内海（西部）	中津港	1.01	1.00	1.02	1.00	1.02	1.03	1.01	0.99	1.02
瀬戸内海（西部）	別府港	1.00	0.98	1.01	0.98	1.00	1.01	0.99	0.99	1.02
瀬戸内海（西部）	大分港	1.06	1.04	1.08	1.04	1.05	1.05	1.08	1.07	1.07
瀬戸内海（西部）	松山港	1.02	1.00	1.05	0.99	1.03	1.04	1.01	1.01	1.05
九州南東側	津久見港	0.99	0.96	1.02	1.01	0.98	0.99	0.94	1.00	1.04
九州南東側	佐伯港	1.00	0.99	1.03	1.02	0.99	0.99	0.99	1.00	1.03
九州南東側	細島港	0.98	0.95	1.02	0.99	0.97	0.99	0.95	0.96	1.05
九州南東側	宮崎港	0.99	0.95	1.03	1.01	0.96	1.02	0.93	0.96	1.04
九州南東側	油津港	0.99	0.95	1.02	1.00	0.96	1.01	0.93	0.98	1.03
九州南東側	志布志港	0.99	0.95	1.02	1.01	0.97	1.02	0.93	0.98	1.03
薩南諸島	鹿児島港	1.02	1.00	1.04	1.02	1.03	1.00	1.00	1.00	1.05
薩南諸島	西之表港	1.02	0.98	1.06	1.02	1.03	1.04	0.97	0.98	1.07
琉球諸島	名瀬港	1.02	1.00	1.05	1.07	1.01	1.00	1.00	1.04	1.02
琉球諸島	運天港（北東沖）	1.01	0.98	1.05	1.07	1.00	0.98	1.03	0.98	0.99
琉球諸島	運天港（北西沖）	1.00	0.98	1.01	1.01	0.99	0.98	1.01	0.98	1.00
琉球諸島	金武湾港	1.00	0.99	1.02	1.01	1.00	1.03	0.98	1.00	1.00
琉球諸島	中城湾港	1.01	1.00	1.02	1.03	1.01	1.00	0.99	1.00	1.01
琉球諸島	那覇港（沖）	1.01	0.99	1.03	1.00	0.99	1.03	1.04	1.01	1.03
琉球諸島	那覇港（南沖）	1.03	1.00	1.05	1.00	1.03	1.06	1.05	1.00	1.05
琉球諸島	平良港（沖）	1.01	0.99	1.01	1.01	1.00	1.01	0.99	1.01	1.01
琉球諸島	平良港（南沖）	1.01	0.98	1.02	1.01	1.01	1.01	0.97	1.00	1.03
琉球諸島	石垣港（沖）	1.00	0.97	1.02	1.02	1.02	1.00	0.95	1.02	1.01
琉球諸島	石垣港（南沖）	1.00	0.98	1.02	1.03	1.00	1.01	1.01	0.99	0.97

表-F.3　対象港湾毎の波高（50 年確率）の将来変化比（その３）

海域	港湾	将来変化比（波高：50 年確率）								
		平均	10%tile	90%tile	CC	GF	HA	MI	MP	MR
九州西側	川内港	1.01	0.99	1.03	1.01	1.01	1.03	0.98	1.04	1.02
九州西側	八代港	1.02	1.00	1.04	0.99	1.02	1.01	1.01	1.03	1.04
九州西側	三角港	1.06	1.03	1.08	1.01	1.07	1.05	1.07	1.06	1.09
九州西側	熊本港	1.04	1.01	1.05	1.00	1.05	1.04	1.02	1.05	1.06
九州西側	三池港	1.02	1.00	1.04	0.99	1.04	1.03	1.01	1.04	1.03
九州西側	長崎港	1.01	0.97	1.03	1.03	1.03	0.99	0.96	1.02	1.01
九州西側	佐世保港	1.00	0.97	1.03	1.03	1.02	0.98	0.96	1.02	1.02
九州西側	福江港	1.01	0.99	1.02	1.00	1.02	1.00	0.98	1.03	1.01
九州北側	厳原港	1.08	1.04	1.12	1.09	1.15	1.07	1.01	1.08	1.07
九州北側	郷ノ浦港	1.08	1.03	1.13	1.06	1.19	1.06	1.00	1.07	1.06
九州北側	伊万里港	1.08	1.03	1.14	1.09	1.17	1.08	1.01	1.04	1.11
九州北側	唐津港	1.05	0.99	1.10	1.08	1.09	1.03	1.00	0.98	1.11
九州北側	博多港	1.04	0.99	1.10	1.07	1.10	1.01	1.00	0.98	1.09
九州北側	北九州港（響灘）	1.04	1.00	1.09	1.04	1.11	1.01	1.01	0.99	1.07
九州北側	下関港（響灘）	1.04	1.00	1.09	1.04	1.11	1.01	1.01	0.99	1.07
山陰地方	三隅港	1.02	0.99	1.06	0.98	1.10	1.01	0.99	1.02	1.02
山陰地方	浜田港	1.02	0.99	1.06	0.99	1.09	1.01	1.00	1.02	1.02
山陰地方	西郷港	1.02	0.98	1.07	1.01	1.01	1.00	1.02	0.97	1.12
山陰地方	境港	1.02	0.97	1.06	1.00	1.03	0.98	1.03	0.97	1.09
山陰地方	鳥取港	1.01	0.97	1.05	1.00	1.02	0.94	1.02	0.99	1.08
若狭湾	舞鶴港	1.05	0.97	1.14	1.09	0.97	0.98	1.17	0.98	1.11
若狭湾	敦賀港	1.01	0.98	1.04	1.01	1.04	0.95	1.03	1.04	1.00
若狭湾	金沢港	1.01	0.95	1.05	0.95	1.01	0.96	1.04	1.06	1.02
富山湾	七尾港	0.99	0.91	1.10	0.96	0.95	0.95	1.16	0.88	1.03
富山湾	伏木富山港	1.00	0.87	1.11	1.01	0.94	1.02	1.18	0.81	1.04
富山湾	直江津港	1.03	1.00	1.06	1.02	1.08	1.03	1.04	1.04	0.99
富山湾	小木港	1.01	0.96	1.05	0.98	1.02	0.94	1.01	1.05	1.04
富山湾	両津港	1.04	0.97	1.15	1.01	0.95	1.28	1.00	1.01	1.00
富山湾	新潟港	1.03	1.00	1.05	1.05	1.03	1.06	1.03	1.00	1.01
東北日本海側	能代港	1.01	0.99	1.03	0.99	1.01	1.01	0.99	1.04	1.01
東北日本海側	秋田港	1.02	0.99	1.05	1.01	1.05	0.99	1.00	1.06	1.03
東北日本海側	船川港	1.02	0.99	1.05	1.01	1.04	0.99	1.00	1.06	1.03
東北日本海側	酒田港	1.01	0.99	1.03	1.01	1.02	1.00	1.00	1.05	0.99

表-F.4　対象港湾毎の波高（30 年確率）の将来変化比（その１）

海域	港湾	将来変化比（波高：30 年確率）								
		平均	10%tile	90%tile	CC	GF	HA	MI	MP	MR
陸奥湾	青森港	1.03	0.99	1.10	1.01	0.98	1.02	1.13	0.99	1.08
東北太平洋側（北側）	むつ小川原港	1.00	0.95	1.05	0.91	0.99	1.00	1.07	1.02	1.02
東北太平洋側（北側）	八戸港	1.01	0.95	1.07	0.93	0.98	1.01	1.07	1.00	1.06
東北太平洋側（北側）	久慈港	1.04	0.98	1.11	0.97	0.99	1.05	1.12	1.04	1.09
東北太平洋側（北側）	宮古港	1.04	0.98	1.09	0.96	0.99	1.04	1.12	1.05	1.07
東北太平洋側（南側）	釜石港	1.03	0.99	1.07	1.00	0.99	1.04	1.09	1.03	1.05
東北太平洋側（南側）	大船渡港	1.04	1.00	1.08	0.99	1.01	1.06	1.09	1.03	1.04
東北太平洋側（南側）	仙台塩釜港	1.05	1.00	1.10	0.99	1.00	1.09	1.10	1.04	1.05
東北太平洋側（南側）	相馬港	1.04	1.00	1.09	0.99	1.00	1.08	1.09	1.02	1.05
東北太平洋側（南側）	小名浜港	1.06	1.01	1.11	0.99	1.03	1.12	1.09	1.05	1.07
北関東	茨城港	1.06	1.01	1.12	1.00	1.07	1.14	1.11	1.02	1.04
北関東	鹿島港	1.07	1.02	1.12	1.01	1.08	1.13	1.11	1.03	1.03
駿河湾	御前崎港	0.99	0.96	1.01	0.98	0.99	0.97	0.99	0.96	1.04
駿河湾	田子の浦港	0.99	0.95	1.04	0.95	1.04	0.95	1.01	0.95	1.05
駿河湾	清水港	1.00	0.96	1.05	0.94	1.05	0.97	1.01	0.97	1.05
紀伊半島	尾鷲港	1.01	0.99	1.02	1.00	1.02	0.99	1.03	1.00	1.02
紀伊半島	日高港	0.99	0.97	1.02	0.97	1.00	0.98	1.01	0.98	1.03
紀伊半島	和歌山下津港	1.00	0.96	1.03	0.95	1.00	1.01	1.02	0.98	1.05
四国太平洋側	高知港	1.01	0.97	1.05	1.03	0.99	1.07	0.95	1.02	1.03
四国太平洋側	須崎港	1.02	0.99	1.05	1.03	1.00	1.03	0.98	1.04	1.05
四国太平洋側	宿毛湾港	1.01	0.99	1.04	0.99	1.02	1.00	0.99	0.99	1.07
四国太平洋側	宇和島港	1.04	1.03	1.06	1.03	1.05	1.06	1.04	1.03	1.06
四国太平洋側	徳島小松島港	1.00	0.95	1.05	0.94	1.03	1.00	1.06	0.97	1.00
四国太平洋側	橘港	1.02	0.97	1.08	0.96	1.07	1.03	1.09	0.98	1.02
瀬戸内海（東部）	東播磨港	1.01	0.96	1.04	0.94	1.01	1.03	1.02	0.98	1.05
瀬戸内海（東部）	姫路港	1.00	0.98	1.03	0.97	1.00	1.03	0.99	1.00	1.04
瀬戸内海（東部）	岡山港	1.00	0.99	1.02	0.98	1.01	1.01	1.00	0.99	1.02
瀬戸内海（東部）	宇野港	1.00	0.98	1.01	0.98	1.01	1.02	0.97	0.99	1.01
瀬戸内海（東部）	水島港	1.01	0.99	1.03	0.98	1.01	1.02	1.00	1.00	1.03
瀬戸内海（東部）	福山港	1.03	0.99	1.06	1.01	1.06	1.03	0.98	1.02	1.07
瀬戸内海（東部）	尾道糸崎港	1.02	1.00	1.04	1.03	1.01	1.03	1.00	1.02	1.05
瀬戸内海（東部）	今治港	1.03	1.00	1.06	1.04	1.01	1.06	1.00	1.04	1.06
瀬戸内海（東部）	東予港	1.04	1.01	1.07	1.02	1.03	1.09	1.01	1.02	1.05
瀬戸内海（東部）	新居浜港	1.02	1.00	1.06	1.00	1.02	1.09	1.01	0.99	1.03
瀬戸内海（東部）	三島川之江港	1.06	1.01	1.10	0.99	1.09	1.09	1.11	1.03	1.07
瀬戸内海（東部）	坂出港	1.04	1.00	1.07	0.98	1.05	1.06	1.03	1.02	1.08
瀬戸内海（東部）	高松港	1.04	0.99	1.08	0.98	1.06	1.07	1.08	1.00	1.07

表-F.5　対象港湾毎の波高（30 年確率）の将来変化比（その２）

海域	港湾	将来変化比（波高：30 年確率）								
		平均	10%tile	90%tile	CC	GF	HA	MI	MP	MR
瀬戸内海（西部）	呉港	1.00	0.98	1.02	0.98	1.00	0.99	0.99	1.01	1.04
瀬戸内海（西部）	広島港	1.02	0.97	1.07	1.01	1.07	0.98	0.95	1.03	1.08
瀬戸内海（西部）	岩国港	1.02	1.00	1.04	1.00	1.04	1.00	0.99	1.03	1.03
瀬戸内海（西部）	徳山下松港	1.03	1.01	1.05	1.02	1.06	1.05	1.01	1.04	1.04
瀬戸内海（西部）	三田尻中関港	1.04	1.02	1.06	1.02	1.06	1.07	1.02	1.06	1.03
瀬戸内海（西部）	宇部港	1.01	0.99	1.02	1.00	1.01	1.02	0.98	1.01	1.02
瀬戸内海（西部）	小野田港	1.01	0.99	1.02	0.99	1.01	1.03	1.00	1.01	1.02
瀬戸内海（西部）	下関港（周防灘）	1.01	1.00	1.03	0.99	1.01	1.03	1.00	1.02	1.02
瀬戸内海（西部）	北九州港（周防灘）	1.01	0.99	1.02	1.00	1.01	1.02	0.99	1.01	1.02
瀬戸内海（西部）	苅田港	1.00	0.99	1.01	1.00	1.00	1.02	0.98	0.99	1.01
瀬戸内海（西部）	中津港	1.02	1.00	1.03	1.02	1.04	1.03	0.99	1.01	1.02
瀬戸内海（西部）	別府港	1.00	0.97	1.02	0.99	1.02	1.02	0.96	0.99	1.02
瀬戸内海（西部）	大分港	1.05	1.03	1.07	1.05	1.02	1.03	1.07	1.06	1.06
瀬戸内海（西部）	松山港	1.03	1.00	1.05	1.00	1.04	1.04	1.02	1.01	1.06
九州南東側	津久見港	0.99	0.97	1.02	1.00	0.99	0.98	0.95	0.99	1.03
九州南東側	佐伯港	1.00	0.98	1.02	1.00	0.98	0.99	1.00	1.01	1.04
九州南東側	細島港	0.98	0.95	1.01	0.99	0.99	0.98	0.95	0.95	1.04
九州南東側	宮崎港	0.99	0.94	1.02	1.01	0.98	1.01	0.94	0.95	1.04
九州南東側	油津港	0.99	0.96	1.02	1.01	0.99	1.02	0.95	0.97	1.03
九州南東側	志布志港	0.99	0.97	1.02	1.02	0.98	1.01	0.95	0.99	1.01
薩南諸島	鹿児島港	1.01	0.99	1.03	1.02	1.01	1.01	0.98	1.00	1.05
薩南諸島	西之表港	1.00	0.96	1.04	1.02	1.00	1.01	0.95	0.98	1.06
琉球諸島	名瀬港	1.03	1.01	1.05	1.06	1.02	1.01	1.01	1.03	1.03
琉球諸島	運天港（北東沖）	1.01	0.99	1.03	1.05	0.99	1.00	1.01	0.99	1.00
琉球諸島	運天港（北西沖）	1.01	1.00	1.03	1.03	1.01	1.00	1.02	1.00	1.03
琉球諸島	金武湾港	1.00	0.98	1.02	1.01	1.01	1.02	0.97	0.99	1.02
琉球諸島	中城湾港	1.00	0.99	1.02	1.02	1.00	1.00	0.99	0.99	1.02
琉球諸島	那覇港（沖）	1.01	0.99	1.04	0.99	1.00	1.02	1.04	0.99	1.04
琉球諸島	那覇港（南沖）	1.04	1.02	1.06	1.02	1.04	1.04	1.06	1.02	1.06
琉球諸島	平良港（沖）	1.01	0.99	1.02	1.01	0.99	1.01	0.99	1.01	1.03
琉球諸島	平良港（南沖）	1.00	0.98	1.02	1.00	1.02	1.02	0.96	1.00	1.02
琉球諸島	石垣港（沖）	0.99	0.97	1.01	1.00	1.00	0.99	0.95	1.01	1.00
琉球諸島	石垣港（南沖）	1.00	0.98	1.03	1.04	0.98	1.01	1.01	0.99	0.97

表-F.6　対象港湾毎の波高（30 年確率）の将来変化比（その３）

海域	港湾	将来変化比（波高：30 年確率）								
		平均	10%tile	90%tile	CC	GF	HA	MI	MP	MR
九州西側	川内港	1.01	0.99	1.03	1.01	1.02	1.02	0.97	1.04	1.02
九州西側	八代港	1.02	1.00	1.04	0.99	1.03	1.03	1.01	1.04	1.05
九州西側	三角港	1.05	1.02	1.08	1.00	1.07	1.05	1.05	1.06	1.09
九州西側	熊本港	1.04	1.01	1.06	1.01	1.05	1.06	1.00	1.05	1.05
九州西側	三池港	1.03	1.00	1.06	1.00	1.06	1.03	1.00	1.05	1.04
九州西側	長崎港	0.99	0.95	1.02	1.02	1.02	0.96	0.95	1.00	1.00
九州西側	佐世保港	0.99	0.96	1.02	1.02	1.03	0.96	0.96	0.99	1.01
九州西側	福江港	1.01	0.98	1.03	1.03	1.03	0.98	0.98	1.02	1.01
九州北側	厳原港	1.10	1.07	1.16	1.09	1.19	1.08	1.05	1.10	1.12
九州北側	郷ノ浦港	1.10	1.05	1.16	1.08	1.21	1.10	1.02	1.08	1.10
九州北側	伊万里港	1.09	1.04	1.13	1.11	1.14	1.10	1.02	1.07	1.11
九州北側	唐津港	1.06	1.00	1.11	1.08	1.10	1.06	1.02	0.98	1.12
九州北側	博多港	1.03	0.97	1.08	1.06	1.07	1.01	1.00	0.95	1.10
九州北側	北九州港（響灘）	1.02	0.97	1.07	1.02	1.08	1.02	1.00	0.95	1.06
九州北側	下関港（響灘）	1.02	0.97	1.07	1.02	1.08	1.02	1.00	0.95	1.06
山陰地方	三隅港	1.02	1.00	1.06	1.00	1.10	1.02	1.00	1.01	1.02
山陰地方	浜田港	1.02	1.00	1.06	1.00	1.09	1.02	1.00	1.01	1.03
山陰地方	西郷港	1.03	0.98	1.09	1.01	1.04	0.99	1.05	0.97	1.12
山陰地方	境港	1.02	0.97	1.06	0.99	1.04	0.98	1.05	0.97	1.07
山陰地方	鳥取港	1.02	0.98	1.06	1.02	1.03	0.94	1.04	1.01	1.07
若狭湾	舞鶴港	1.05	0.96	1.16	1.08	0.99	0.95	1.19	0.97	1.13
若狭湾	敦賀港	1.02	0.98	1.05	1.01	1.04	0.95	1.04	1.05	1.02
若狭湾	金沢港	1.02	0.97	1.06	0.98	1.03	0.96	1.06	1.06	1.04
富山湾	七尾港	1.00	0.88	1.12	0.94	1.02	0.97	1.18	0.81	1.07
富山湾	伏木富山港	1.02	0.90	1.15	0.97	1.02	1.02	1.26	0.84	1.05
富山湾	直江津港	1.03	1.01	1.06	1.02	1.06	1.02	1.05	1.06	1.00
富山湾	小木港	1.01	0.98	1.03	1.01	1.03	0.95	1.01	1.03	1.04
富山湾	両津港	1.02	0.98	1.07	1.00	1.00	1.08	1.06	0.97	0.99
富山湾	新潟港	1.04	1.02	1.05	1.04	1.05	1.03	1.05	1.04	1.02
東北日本海側	能代港	1.01	0.99	1.03	0.99	1.02	1.00	1.01	1.03	1.01
東北日本海側	秋田港	1.01	0.98	1.04	1.00	1.04	0.98	0.99	1.05	1.01
東北日本海側	船川港	1.02	0.99	1.05	1.00	1.04	0.97	1.00	1.06	1.01
東北日本海側	酒田港	1.02	1.00	1.04	1.02	1.05	1.01	1.00	1.04	1.01

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of ＮＩＬＩＭ

No. 1302　　January 2025

編集・発行　©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課　電話：046-844-5019
E-mail:ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

国土技術政策総合研究所資料　No.1302

日本沿岸の主要港湾における高潮・波浪への気候変動の影響評価

January 2025