

気候変動を踏まえた海岸保全のあり方(参考資料)

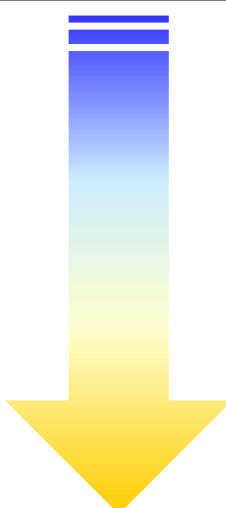
令和2年6月23日

I 海岸保全に影響する気候変動の現状と予測

「気候変動を踏まえた海岸保全の方策」の検討

海岸分野に係る気候変動影響のこれまでの検討

平成20年6月	社会資本整備審議会河川分科会 水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について(答申)
平成21年3月	交通政策審議会港湾分科会 地球温暖化に起因する気候変動に対する港湾政策のあり方(答申)
平成23年6月	海岸における地球温暖化適応戦略検討委員会 海岸保全施設の更新等に合わせた地球温暖化適応策検討マニュアル(案)
平成27年7月	沿岸部(海岸)における気候変動の影響及び適応の方向性検討委員会 沿岸部(海岸)における気候変動の影響及び適応の方向性

- 
- ・ 外力の設定方法
 - ・ 海岸保全への考慮方法
- などを踏まえ、これまでに提案されている施策をベースにしつつ、その後の新たな知見等を基にした施策などを加え、直ちにに取り組むもの、将来的に取り組むもの等に整理

気候変動を踏まえた海岸保全のあり方

ハード対策

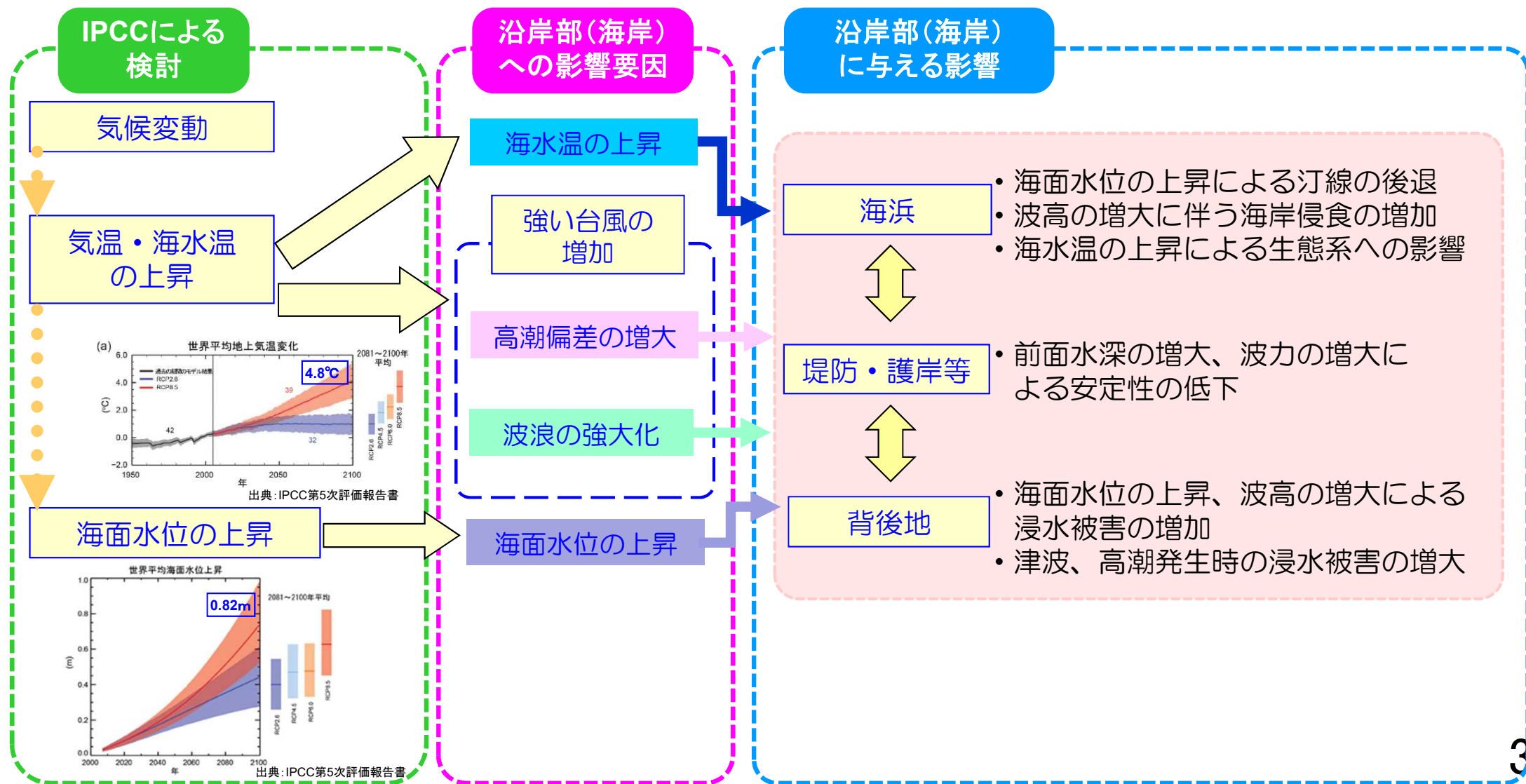
ソフト対策

技術開発

気候変動に伴う沿岸部(海岸)への影響要因とその影響

出典: 沿岸部(海岸)における気候変動の影響及び適応の方向性_概要(H27.7)

- IPCC第5次評価報告書によれば、気候変動により「気温・海水温の上昇」、「海面水位の上昇」が予測されている。沿岸部(海岸)においては、それぞれ「強い台風の増加」(すなわち「高潮偏差の増加」、「波浪の増大」)及び「海面水位の上昇」等の影響要因が懸念される。



沿岸部（海岸）における適応の基本的な方向性

出典：沿岸部（海岸）における気候変動の影響及び適応の方向性_概要（H27.7）

- 気候変動とその変化に関する知見、両答申を踏まえつつ、適応策の目標及び基本的な方向性を設定。

適応策の目標

- 沿岸部（海岸）において、気候変動に伴う「強い台風の増加等による高潮偏差・波浪の増大」及び「中長期的な海面水位の上昇」により、深刻な影響が懸念される。
- このため、海象のモニタリングを行いながら気候変動による影響の兆候を的確に捉え、背後地の社会経済活動及び土地利用の中長期的な動向を勘案して、ハード・ソフトの施策を最適な組み合わせ（ベストミックス）で戦略的かつ順応的に進めることで、「高潮等の災害リスク増大の抑制」及び「海岸における国土の保全」を図る。

基本的な方向性

○災害リスクの評価と災害リスクに応じた対策

- ・一連の防護ラインの中で災害リスクの高い箇所の把握

○防護水準等を超えた超過外力への対応

- ・背後地の状況等を考慮しつつ粘り強い構造の堤防等の整備を推進
- ・高潮等に対する適切な避難のための迅速な情報伝達等ソフト面の対策

○増大する外力に対する施策の戦略的展開

- ・海象のモニタリング結果の定期的な評価 ・ハード・ソフト施策の最適な組合せ
- ・順応的な嵩上げを可能にする技術等、適応に関する技術開発

○進行する海岸侵食への対応の強化

- ・河川の上流から海岸までの流砂系における総合的な土砂管理対策とも連携する等、関係機関との連携の下に広域的・総合的な対策を推進

○他分野の施策や関係者との連携等

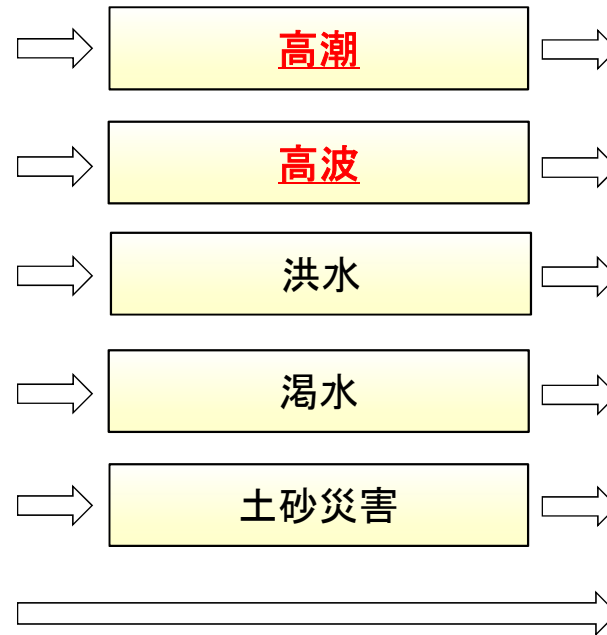
- ・各種制度・計画に適応の観点を組み込むことによる効果的な適応の実施（適応の主流化）等

気候変動を踏まえた海岸保全に向けた論点

＜自然現象の変化＞

- 氷床・氷河の融解
 - ・ 平均海面水位の上昇
- 海水温の上昇
 - ・ 平均海面水位の上昇
- 海流の変化
 - ・ 急潮の変化
 - ・ 異常潮位の変化
- 台風・低気圧等の強大化
 - ・ 高潮偏差の増大
 - ・ 極端波浪(波高、周期、波向)の変化
 - ・ 常時波浪(波高、周期、波向)の変化
 - ・ 降水量・降水パターンの変化
 - ・ 流出土砂量の変化
 - ・ 融雪量の変化

＜社会に影響を及ぼす現象＞



＜社会への影響＞

- 沿岸域への影響
 - ・ 浸水リスクの増加
 - ✓ 外力の変動
 - ✓ 砂浜の機能低下
 - ・ 砂浜、干潟、低湿地の消失
 - ・ 生態系の変化
- 社会インフラへの影響
 - ・ 港湾・漁港施設の機能低下
 - ・ 河川取水施設の機能低下

国土の
減少

人的
被害

経済
被害

○論点1: 気候変動予測

＜外力の設定方法＞

- ①温室効果ガスの排出抑制シナリオの選択の考え方
(RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5)
- ②気候変動により予測される将来の外力変化量の算定方法

○論点2: 海岸保全の目標設定

＜海岸保全での考慮方法・量＞

- ①平均海面水位の上昇
 - ②潮位偏差の変動
 - ③波浪の変動
- ・ 空間
 - ・ 時間
 - ・ 確率評価

○論点3: 海岸保全のあり方

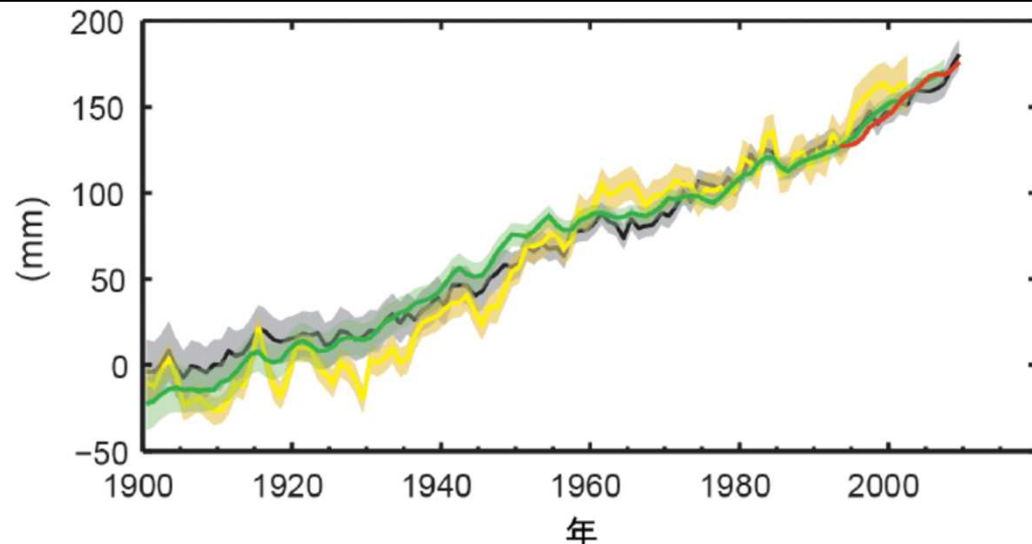
＜海岸保全の方策＞

- ①ハード対策
面的防護、線的防護 等
- ②ソフト対策
モニタリング、土地利用、タイムライン 等
- ③技術開発
モニタリング技術、高潮予測 等

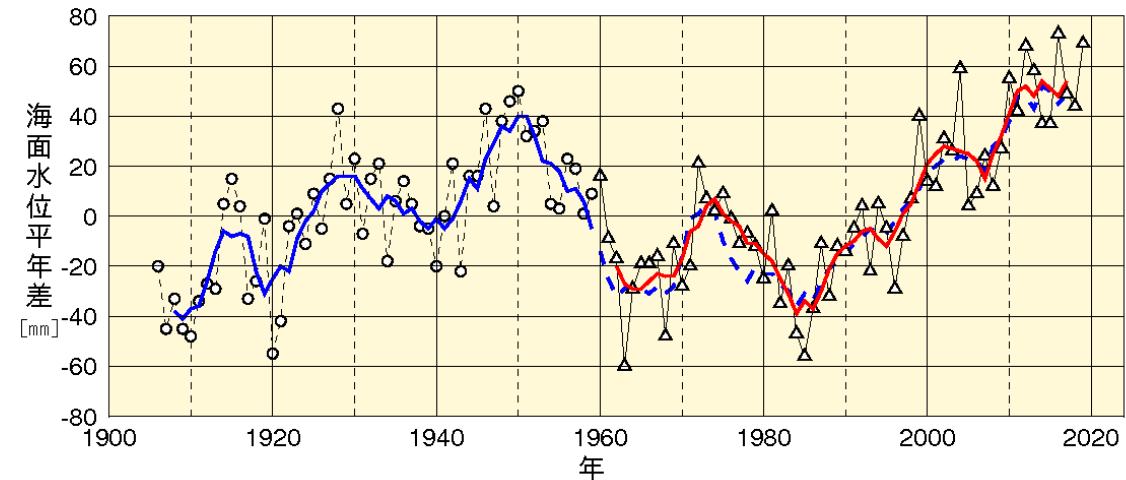
海岸保全基本方針等への反映

近年の海面水位の変動について

- 世界平均の海面水位は、明瞭な上昇傾向がある。
- 日本沿岸の海面水位は、1906～2019年の期間では上昇傾向は見られないものの、1980年代以降、上昇傾向が見られる。
- 1970～2015年の期間で1年あたり1.4[0.9～1.9]mm の割合で上昇し、1993～2015年の期間で1年あたり2.8 [1.7～4.0] mm の割合で上昇した。近年だけで見ると、日本沿岸の海面水位の上昇率は、世界平均の海面水位の上昇率と同程度になっている。
- 日本沿岸の海面水位は、1906～2019年の期間を通して、10年から20年周期の変動がある。



世界平均海面水位の経年変化



日本沿岸の年平均海面水位の経年変化(1906～2019年)

各海域の年あたりの上昇率(mm/年)

最も長期間連続するデータセットの1900～1905年平均を基準とした世界平均海面水位(全データは、衛星高度計データの初めの年である1993年で同じ値になるようにあわせてある。)

	I	II	III	IV	4海域の平均	世界平均 (IPCC海洋・雪氷圏特別報告)
1960～2019年	1.1[0.9～1.4]	0.6[0.0～1.2]	1.1[0.6～1.6]	2.4[2.1～2.8]	1.3[1.0～1.7]	
1970～2015年	1.4[1.0～1.8]	0.8[0.0～1.5]	1.0[0.2～1.7]	2.6[2.1～3.1]	1.4[0.9～1.9]	2.06[1.77～2.34]
1993～2015年	1.7[0.6～2.8]	3.7[1.8～5.6]	2.2[0.5～3.9]	3.7[2.6～4.8]	2.8[1.7～4.0]	3.16[2.79～3.53]

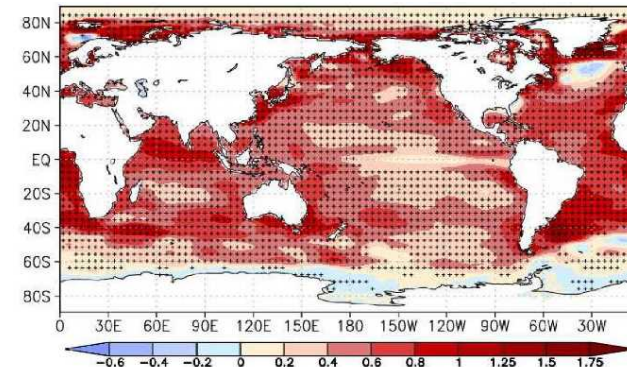
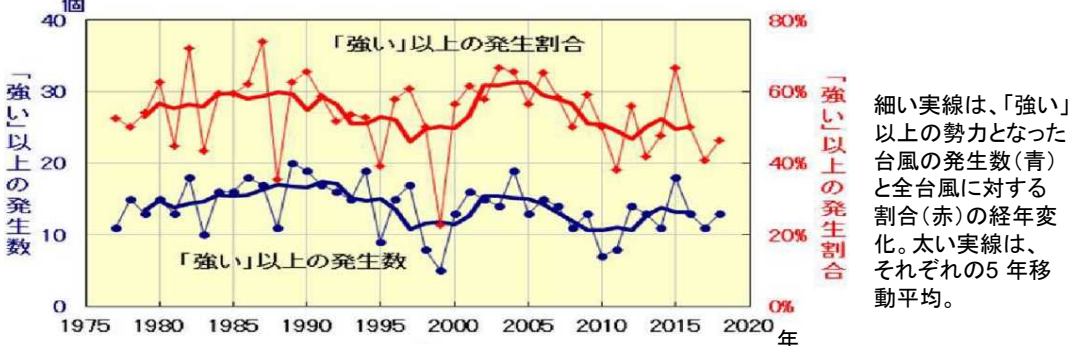
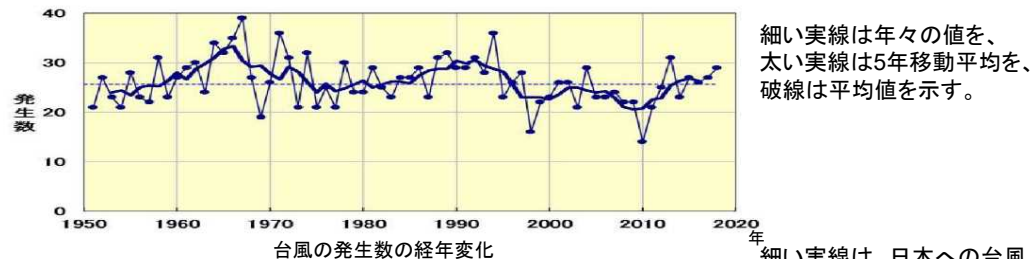
I～IVの海域、4海域平均および世界平均の年平均海面水位の上昇率。

上1段は1960年～2019年までの期間で算出した上昇率、下2段はIPCC海洋・雪氷圏特別報告書における世界平均の海面水位の上昇率と同じ期間で算出した上昇率を示します。

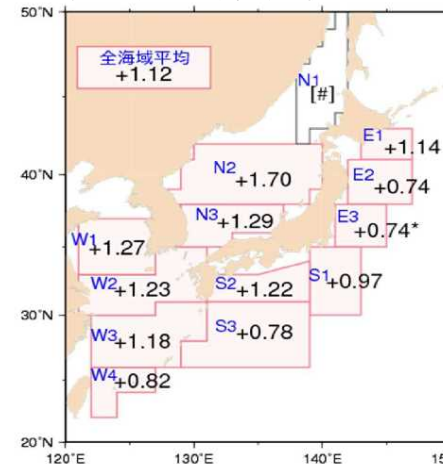
大括弧[]の範囲は95%の信頼区間を示します。

近年の台風について

- これまでの台風の発生状況から、発生数、日本への接近数、上陸数ともに長期的に明瞭な変化は見られない。
- 平成16年は本土上陸台風が10個に達し、高潮・高波による被災は、神戸港、関西国際空港、高知県室戸市、香川県高松市と広範囲に及んだ。また、平成21年には台風第18号により三河湾、平成30年には台風第21号により大阪湾において顕著な高潮災害、さらに、令和元年は台風第15号により東京湾において顕著な高波災害が発生した。
- 近年の日本近海の海水温は上昇傾向にあり、台風の発達に影響を及ぼすことが予想される。



出典: 気象庁 気候変動監視レポート2018



出典: 気象庁 気候変動監視レポート2018

IPCC第5次評価報告書の概要

- 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第40回総会が2014年10月27日～31日にデンマーク・コペンハーゲンにおいて開催され、IPCC第5次評価報告書統合報告書が承認・公表された。
- 統合報告書では、①観測された変化及びその要因、②将来の気候変動、リスク、影響、③適応、緩和、持続可能な開発に向けた将来経路、④適応及び緩和の4つの主題のもと、第1～第3作業部会の内容を横断的にとりまとめている。

●SPM 1.1 気候システムの観測された変化

気候システムの温暖化には疑う余地がなく、また1950年代以降、観測された変化の多くは数十年から数千年にわたり前例のないものである。大気と海洋は温暖化し、雪氷の量は減少し、海面水位は上昇している。世界の平均気温は、1880年から2012年の間に0.85℃上昇した。また、世界の平均海面は1901年から2010年の間に0.19m上昇した。

●SPM 2.2 気候システムにおいて予測される変化

地上気温は、評価された全てのシナリオにおいて21世紀にわたって上昇すると予想される。海洋では温暖化と酸性化、世界平均海面水位の上昇が続くと考えられる。

今世紀末の気温上昇は0.3～4.8℃になる可能性が高い。世界平均海面水位は、RCP2.6シナリオで0.26から0.55m、RCP8.5シナリオで0.45から0.82mの上昇が見込まれる。

●SPM 3.2 緩和及び適応によって低減される気候変動リスク

現行を上回る追加的な緩和努力がないと、たとえ適応があったとしても、21世紀末までの温暖化は、深刻で広範にわたる不可逆的な世界規模の影響に至るリスクが、高いレベルから非常に高いレベルに達する。

●SPM 3.3 適応経路の特徴

適応は気候変動影響のリスクを低減できるが、特に気候変動の程度がより大きく、速度がより速い場合には、その有効性には限界がある。

●SPM 4.2 適応のための対応の選択肢

適応の選択肢は全ての分野に存在するが、実施の状況や気候関連のリスクを低減する潜在性は分野や地域で異なる。

○沿岸システム及び低平地：沿岸適応オプションは、統合沿岸管理、地域社会参加エコシステムの取組、災害リスク削減に基づく適応策をますます含み、妥当な戦略や管理計画に取り込まれる。

参考：IPCC第5次評価報告書統合報告書(CLIMATE CHANGE 2014, SYNTHESIS REPORT)、経済産業省和訳資料

< RCPシナリオの概要 >¹⁾

略称	シナリオ (予測) のタイプ
 RCP 2.6	低位安定化シナリオ (世紀末の放射強制力 2.6W/m ²) 将来の気温上昇を2℃以下に抑えるという目標のもとに開発された排出量の最も低いシナリオ
 RCP 4.5	中位安定化シナリオ (世紀末の放射強制力 4.5W/m ²)
 RCP 6.0	高位安定化シナリオ (世紀末の放射強制力 6.0W/m ²)
 RCP 8.5	高位参照シナリオ (世紀末の放射強制力 8.5W/m ²) 2100年における温室効果ガス排出量の最大排出量に相当するシナリオ

< 将来予測 >²⁾

世界平均地上気温 (可能性が高い予測幅)	世界平均海面水位 (可能性が高い予測幅)
+0.3~1.7℃	+0.26~ 0.55m
+1.1~2.6℃	+0.32~ 0.63m
+1.4~3.1℃	+0.33~ 0.63m
+2.6~4.8℃	+0.45~ 0.82m

※RCPシナリオ：代表濃度経路シナリオ (Representative Concentration Pathways)

※放射強制力：何らかの要因(例えばCO₂濃度の変化、エアロゾル濃度の変化、雲分布の変化等)により地球気候系に変化が起こったときに、その要因が引き起こす放射エネルギーの収支(放射収支)の変化量(Wm⁻²)。正のときに温暖化の傾向となる。

※世界平均地上気温と世界平均海面水位は、1986～2005年の平均に対する2081～2100年の偏差

※出典：1)JCCCA,IPCC第5次評価報告書特設ページ,2014,<http://www.jccca.org/ipcc/ar5/rcp.html>

2)文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省,IPCC第5次評価報告書 第1次作業部会報告書

(自然科学的根拠)の公表について,2013.9, <http://www.env.go.jp/press/files/jp/23096.pdf>

IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書 (SROCC※)

※SROCC: Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate

- IPCC第51回総会(令和元年9月20日～24日)において、「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関するIPCC特別報告書(海洋・雪氷圏特別報告書)」の政策決定者向け要約が承認されるとともに、報告書本編が受諾された。
- 2100年までの平均海面水位の予測上昇範囲は、RCP2.6では0.29-0.59m、RCP8.5では0.61-1.10mと第5次評価報告書から上方修正された。

概要

海洋・雪氷圏に関する過去・現在・将来の変化、並びに高山地域、極域、沿岸域、低平な島嶼及び外洋における影響(海面水位の上昇、極端現象及び急激な現象等)に関する新たな科学的文献を評価することを目的としている。

各報告書の構成

- ・ 海洋・雪氷圏特別報告書(SROCC)
 - 第1章: 報告書の構成と背景
 - 第2章: 高山地域
 - 第3章: 極域
 - 第4章: 海面水位上昇並びに低海拔の島嶼、沿岸域及びコミュニティへの影響**
 - 第5章: 海洋、海洋生態系及び依存するコミュニティの変化
 - 第6章: 極端現象、急激な変化及びリスク管理
- ・ 政策決定者向け要約(SPM)
 - はじめに
 - セクションA: 観測された変化及び影響
 - セクションB: 予測される変化及びリスク**
 - セクションC: 海洋及び雪氷圏の変化に対する対応の実施

シナリオ	1986～2005年に対する2100年における平均海面水位の予測上昇量範囲(m)	
	第5次評価報告書	SROCC
RCP2.6	0.26-0.55	0.29-0.59
RCP8.5	0.45-0.82	0.61-1.10

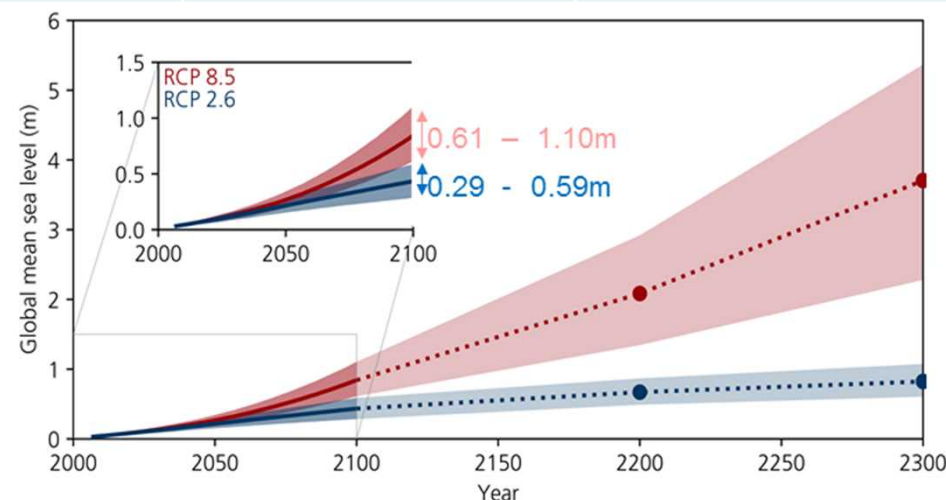
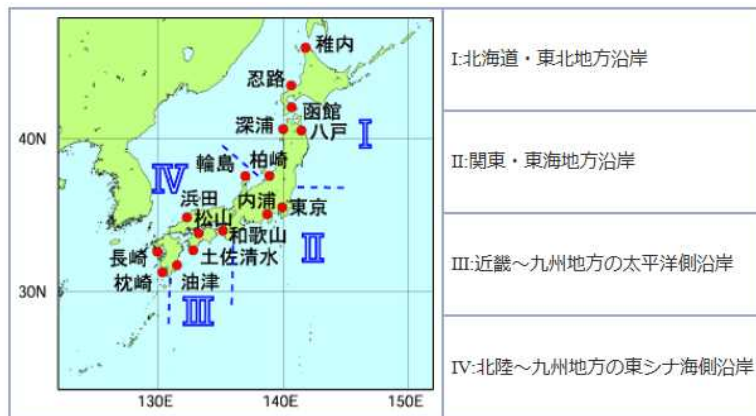


図: 1986～2005年に対する2300年までの予測される海面上昇(確信度: 低)
(挿入図は、RCP2.6及びRCP8.5の2100までの予測範囲の評価を示す 確信度: 中)

海面水位上昇率と朔望満潮位上昇率の傾向比較

- 第3回委員会では、日本沿岸の気象庁検潮所(離島を除く計81地点)から地殻変動等の影響が大きい8地点を除いた計73地点を選定し、データ解析を実施。
- 解析した朔望満潮位の上昇率は4海域平均で4.7mm/年(1993～2010年)(速報値)。

■ 日本周辺の1960年以降の海域ごとの海面水位上昇率(気象庁解析結果)



解析に用いた、地殻変動の影響が小さい16地点の検潮所と海域

東京は1968年以降のデータを使用している。
平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の影響を受けた函館、深浦、柏崎、東京、八戸は、2011年以降のデータを使用していない。

各海域の年あたりの上昇率(mm/年)

	I	II	III	IV	4海域の平均	世界平均 (IPCC第5次評価報告)
1960～2018年	1.2[0.9～1.4]	*	1.1[0.7～1.5]	2.4[2.1～2.7]	1.3[1.0～1.6]	
1971～2010年	1.4[1.0～1.9]	*	*	2.4[1.9～2.9]	1.1[0.6～1.6]	2.0[1.7～2.3]
1993～2010年	2.2[0.8～3.7]	3.5[1.2～5.7]	*	3.8[2.5～5.1]	2.8[1.3～4.3]	3.2[2.8～3.6]

I～IVの海域、4海域平均および世界平均の年平均海面水位の上昇率。

上1段は1960年～2018年までの期間で算出した上昇率、下2段はIPCC第5次評価報告書における世界平均の海面水位の上昇率と同じ期間で算出した上昇率を示す。

大括弧[]の範囲は90%の信頼区間を示す。*は上昇率が有意でないことを示す。

■ 朔望満潮位の上昇率

単位: mm/年

	I	II	III	IV	4海域の平均
1960～2017年※	-1.1	-1.8	1.5	2.9	0.7
1971～2010年	0	-3.7	2.2	4.4	0.7
1993～2010年	1.1	0	6.2	9.5	4.7

※最終年は気象庁解析期間と異なり2017年

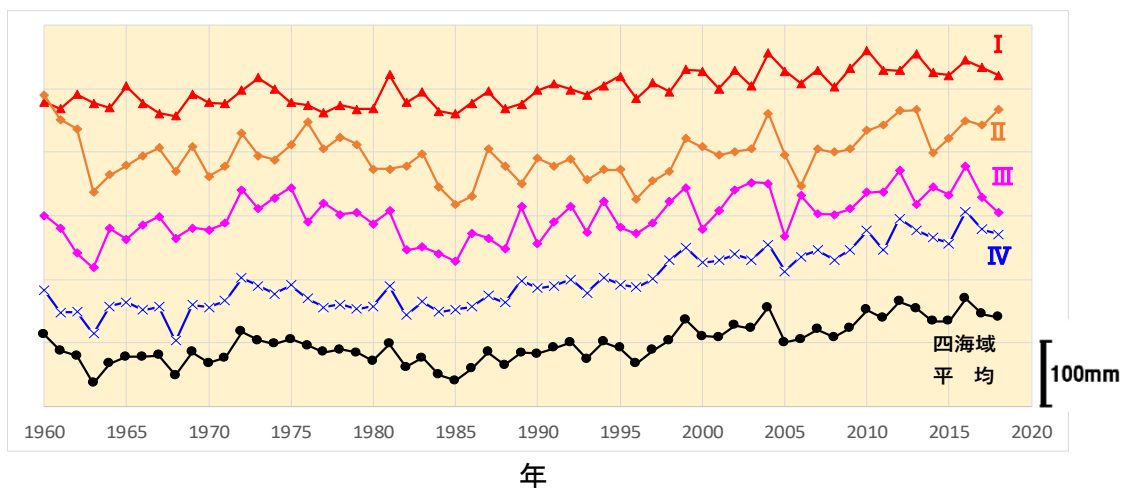
(解析に用いた検潮所)

気象庁が歴史的潮位資料として整理した90地点の観測所から、離島9地点、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の影響を受けた8地点を除外した73地点のデータを用いて、同じ海域区分で解析した。

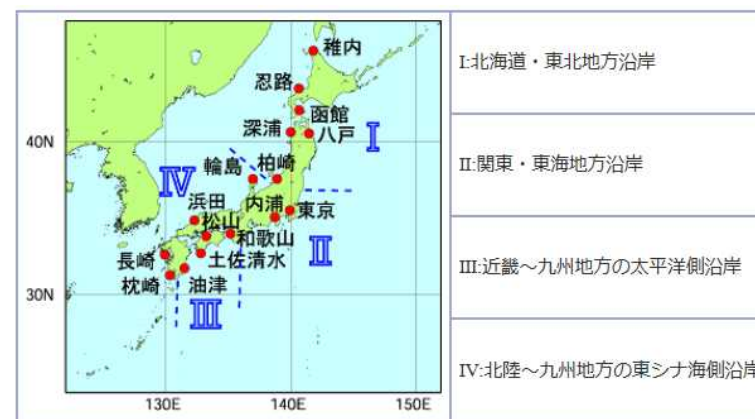
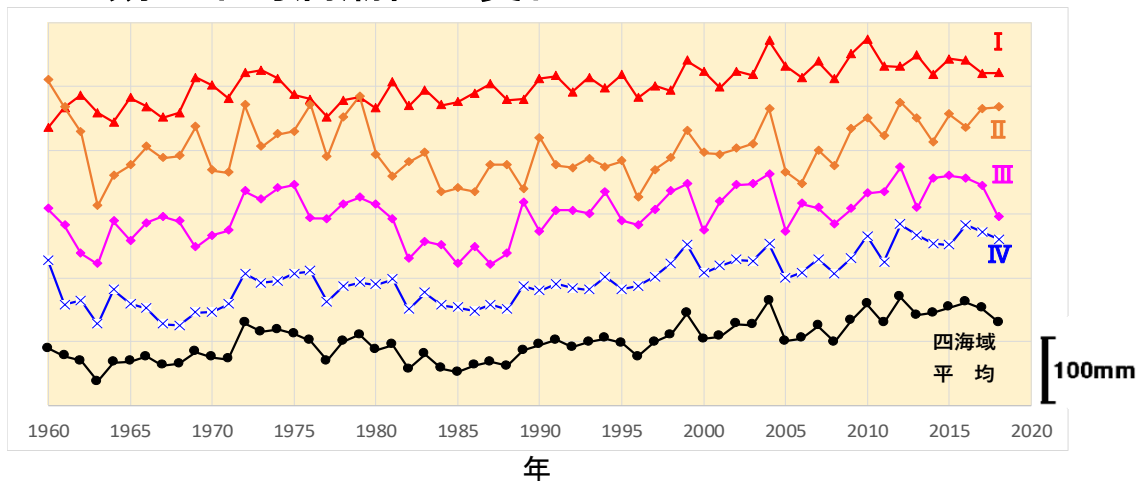
日本周辺の海面水位及び朔望平均満潮位の変化

- 気象庁の海面水位の上昇率の解析手法と同様の手法で、朔望平均満潮位の平均上昇率を解析した結果、海面水位の上昇率(4海域平均) 1.3~2.8mm/年に対して、朔望平均満潮位の上昇率は1.0~2.2mm/年となった。
- 海域や分析期間が異なる条件でも概ね同様の値となった。

■ 海面水位の変化(気象庁解析結果)



■ 朔望平均満潮位の変化



解析に用いた、地盤変動の影響が小さい16地点の検潮所と海域

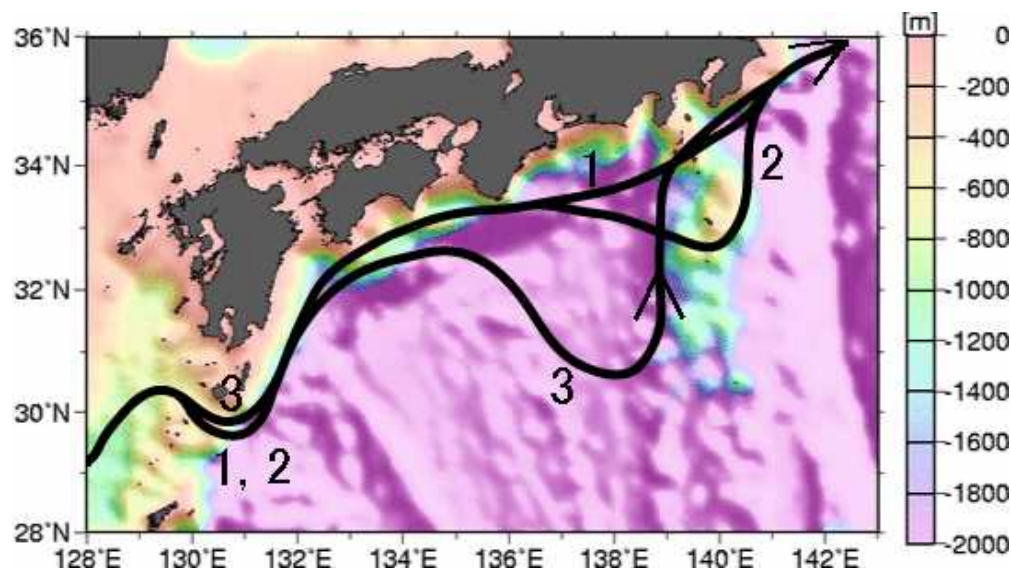
東京は1968年以降のデータを使用しています。
平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の影響を受けた函館、深浦、柏崎、東京八戸は、2011年以降のデータを使用していません

上:海面水位 下:朔望平均満潮位	I	II	III	IV	4海域 平均
1960～2018年	1.2 1.3	* 0.3	1.1 1.1	2.4 1.8	1.3 1.3
1971～2010年	1.4 1.5	* 0.4	* 0.6	2.4 1.6	1.1 1.0
1993～2010年	2.2 3.0	3.5 2.6	* 1.6	3.8 2.7	2.8 2.2

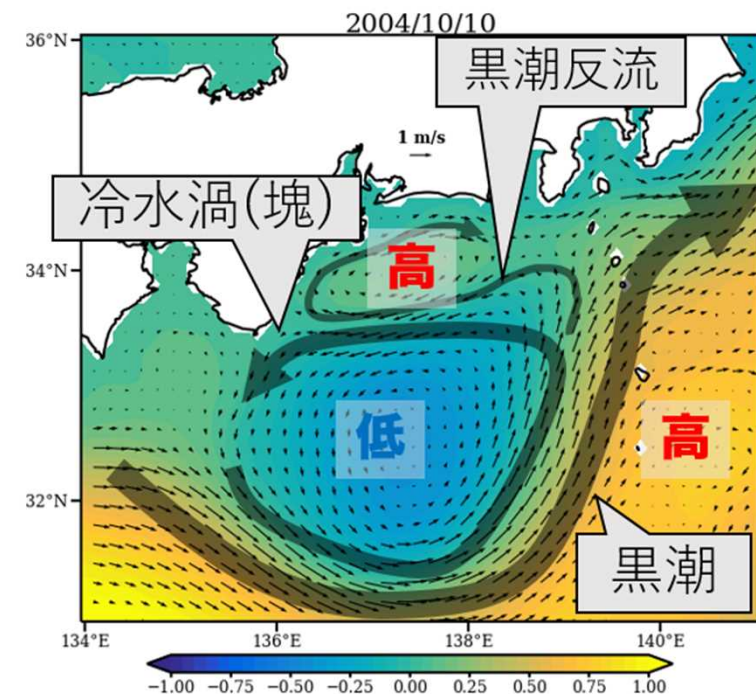
I～IVの海域、4海域平均および世界平均の年平均海面水位の上昇率(mm/年)。
上1段は1960年～2018年までの期間で算出した上昇率、下2段はIPCC第5次評価報告書における世界平均の海面水位の上昇率と同じ期間で算出した上昇率を示す。

黒潮流路変動と潮位変動に関する一般的知見

- 黒潮は、太平洋沿岸を東向きに流れる強い海流で、流速は毎秒2m、幅は100km、流量は毎秒5,000万m³の規模。
- 黒潮の流れに向かって右側(沖側)は、水位が1mほど高くなっており、黒潮が岸に接して流れると沿岸の潮位が高くなる。
- 黒潮流路は、1. 非大蛇行接岸流路、2. 非大蛇行離岸流路、3. 大蛇行流路に大別される。
- 黒潮大蛇行が始まると、短くても1年、長いと数年続くことがある。
- 東経136～140度海域では、通常黒潮は北緯33度付近を通るが、大蛇行時には北緯32度以南まで大きく蛇行する。
- 黒潮が蛇行して、黒潮と沿岸の間に冷水塊が発生し、東から西に向かう黒潮反流が発生すると、紀伊半島から伊豆半島にかけての沿岸で海面が高くなる。



(気象庁: <https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/knowledge/tide/ijochoi.html>)

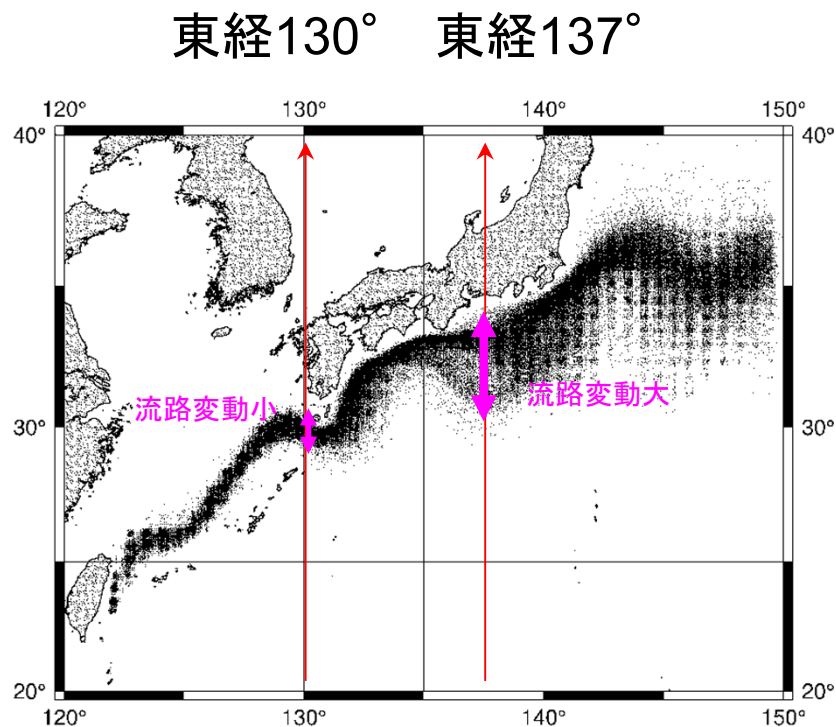


出典: 海洋研究開発機構

<http://www.jamstec.go.jp/aplinfo/kowatch/?p=5686>

黒潮流路変動の傾向

- 1955～2018年※¹の黒潮流路データをもとに、黒潮流路の変動が大きい領域として東経130度～140度を分析対象範囲とした。
- 黒潮大蛇行期※²とされている期間と整合する解析結果を得た。
- 2017年から再び大蛇行期に入っている。

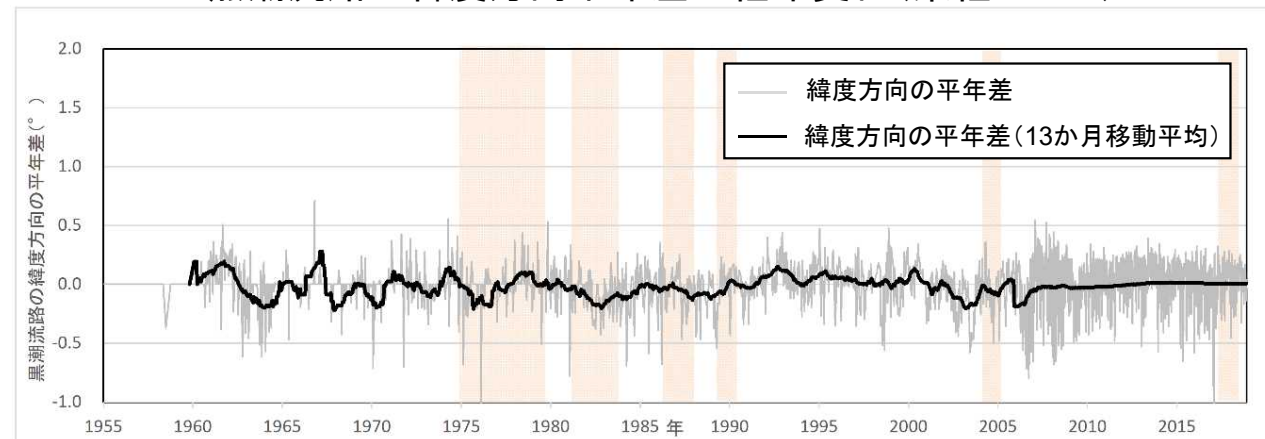


黒潮流路変動履歴

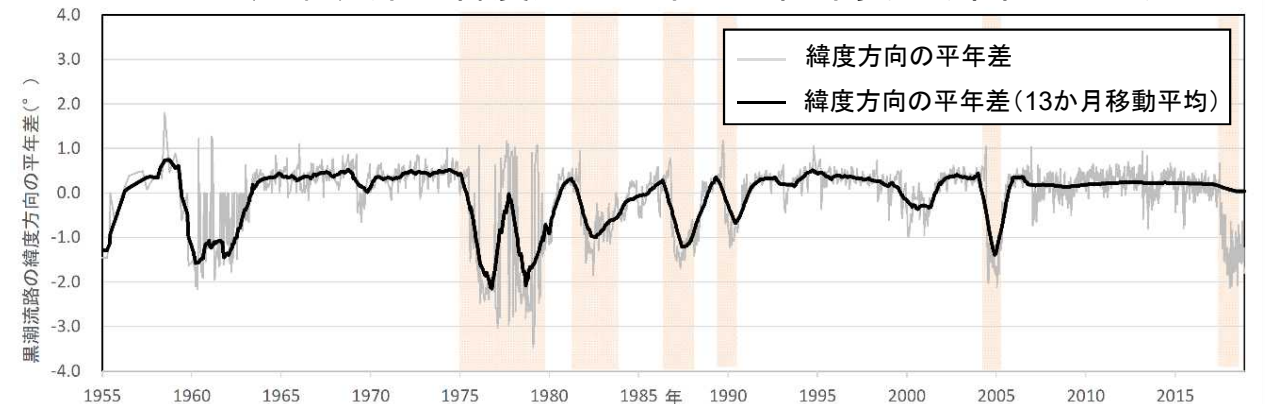
(一財)日本水路協会発行データより作成

※¹ 1955年から2018年までの黒潮流路データを用いた。
ただし、1955年～1959年については、東経130度地点の観測データが限られており、緯度方向の
平年差(13か月移動平均)は表示していない。

黒潮流路の緯度方向平年差の経年変化(東経130°)



黒潮流路の緯度方向平年差の経年変化(東経137°)



※黒潮流路の変動を経緯線と黒潮流路の交点位置の緯度方向の平年差で示した。交点が複数の場合は北限の値とした。

※² 黒潮大蛇行期

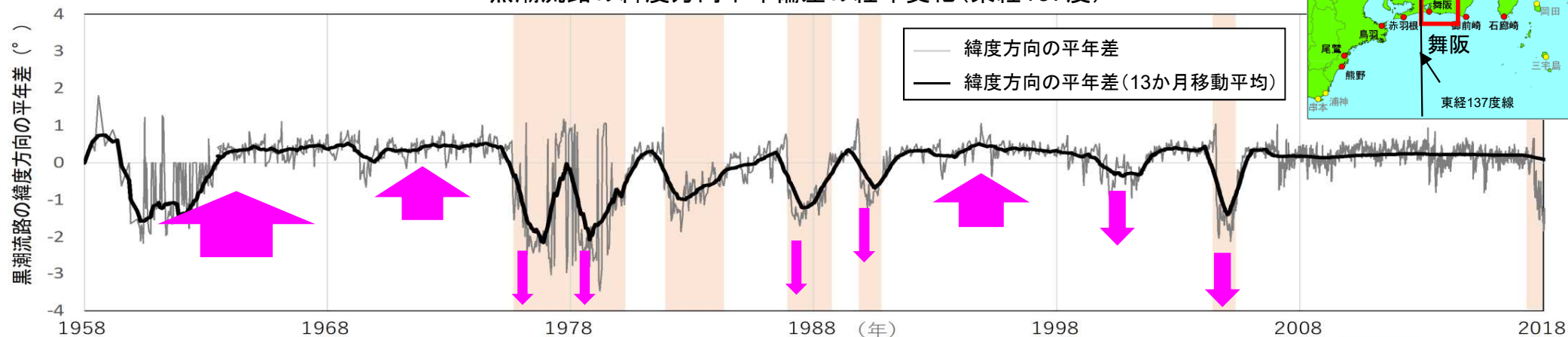
※² 黒潮大蛇行期は、衛星による海面水温画像、水温・海流データから決定した黒潮の流路、及び串本と浦神の潮位差をもとに判定。

出典: 海洋研究開発機構 <http://www.jamstec.go.jp/aplinfo/kowatch/?p=5686>

黒潮蛇行変動の傾向と潮位変動の傾向の関係性

- 蛇行の影響が顕著な東経137度の黒潮流路と、直近の舞阪（静岡県）の潮位を比較すると、黒潮流路が蛇行（南下）すると、潮位偏差が大きくなる傾向がみられる。

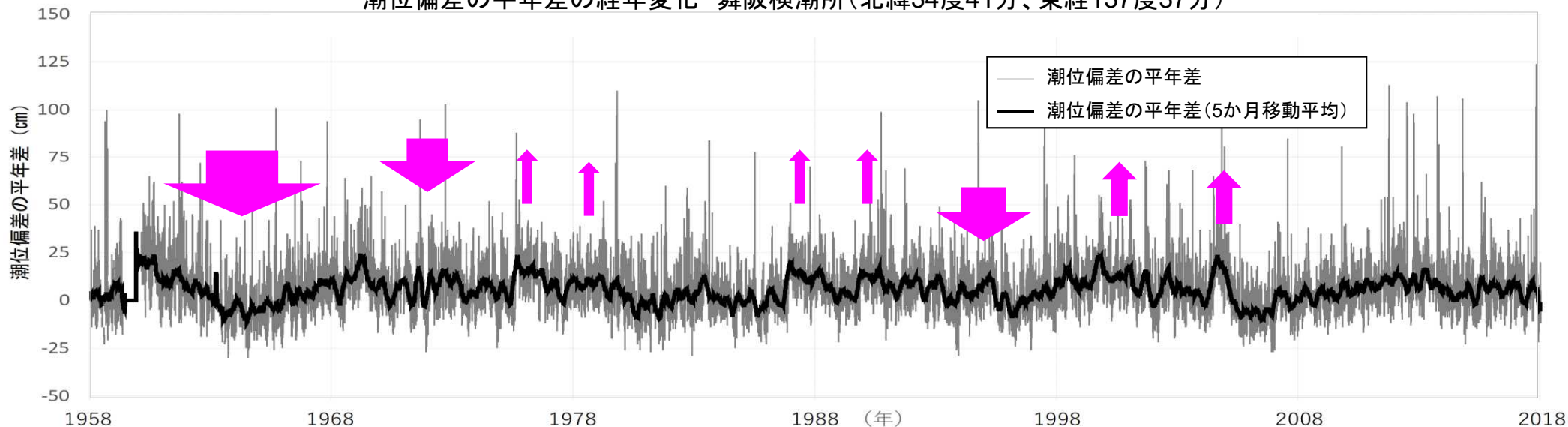
黒潮流路の緯度方向平年偏差の経年変化（東経137度）



※黒潮流路の変動を経度線と黒潮流路の交点位置の緯度方向の平年差で示した。交点が複数の場合は北限の値とした。

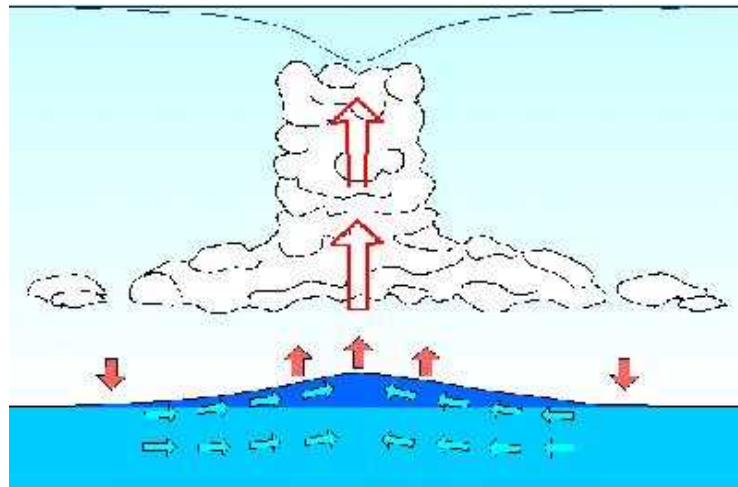
黒潮大蛇行期

潮位偏差の平年差の経年変化 舞阪検潮所（北緯34度41分、東経137度37分）

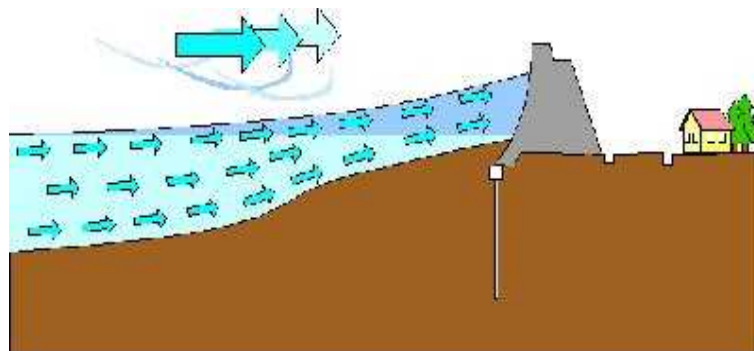


高潮の特徴

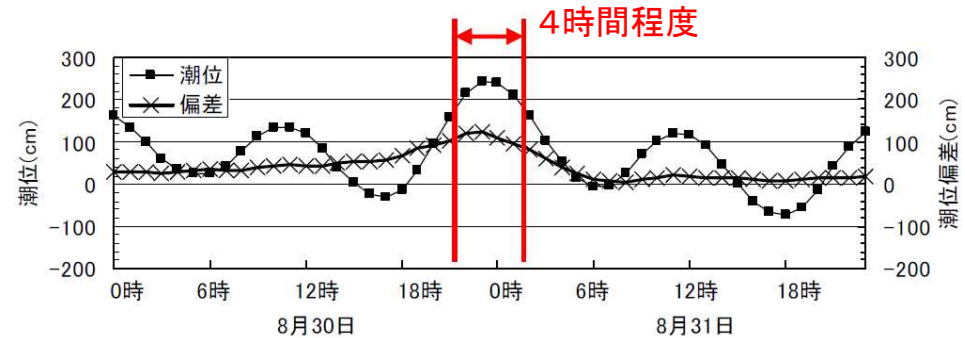
- 高潮は、主に気圧低下による海面の吸い上げや風による吹き寄せにより発生する。
- 地震による津波と異なり、潮位の高い状態が数時間にわたり発生する。



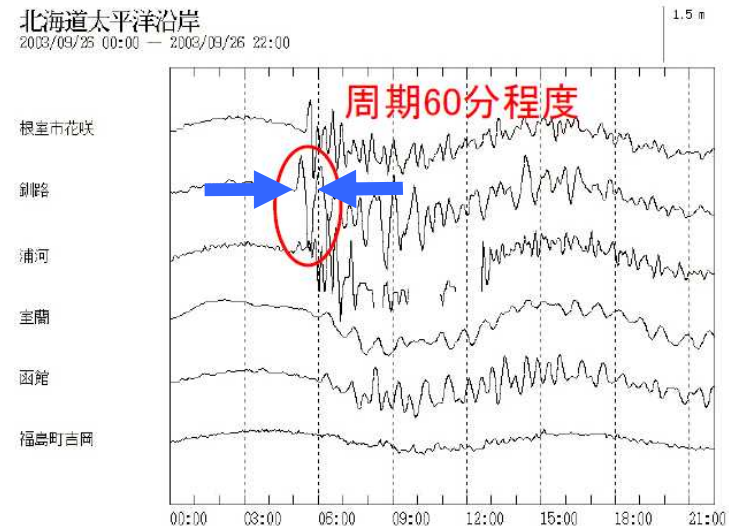
気圧低下による吸い上げ効果のイメージ



風による吹き寄せ効果のイメージ



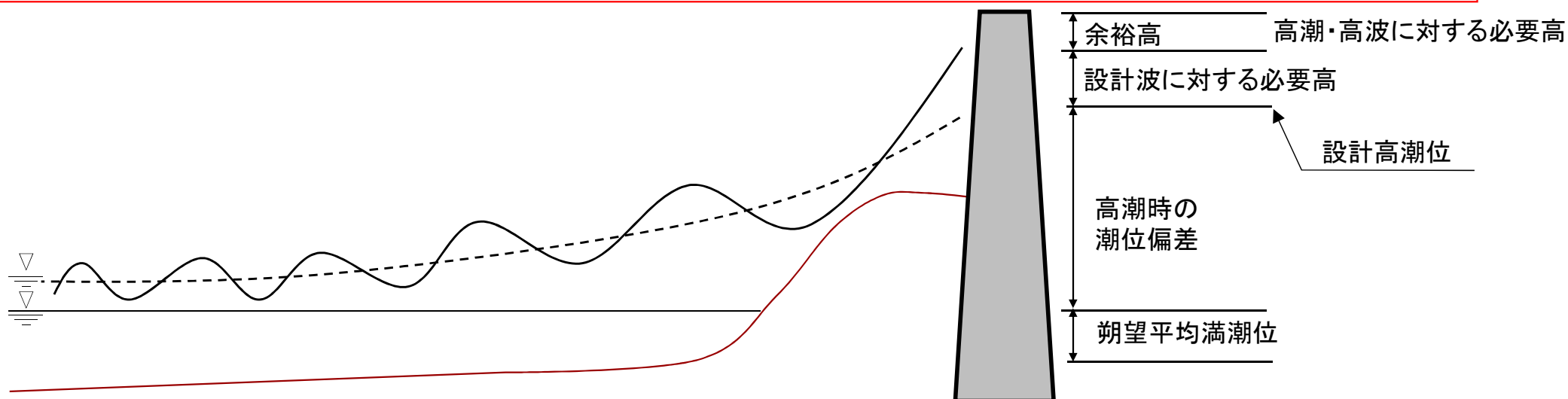
高潮による潮位記録(平成16年 高松高潮災害)



津波による潮位記録(平成15年 十勝沖地震)

海岸堤防(高潮)の設計等の考え方

＜基本的な考え方＞ 過去の潮位実績(伊勢湾台風規模等)等に基づいて設計



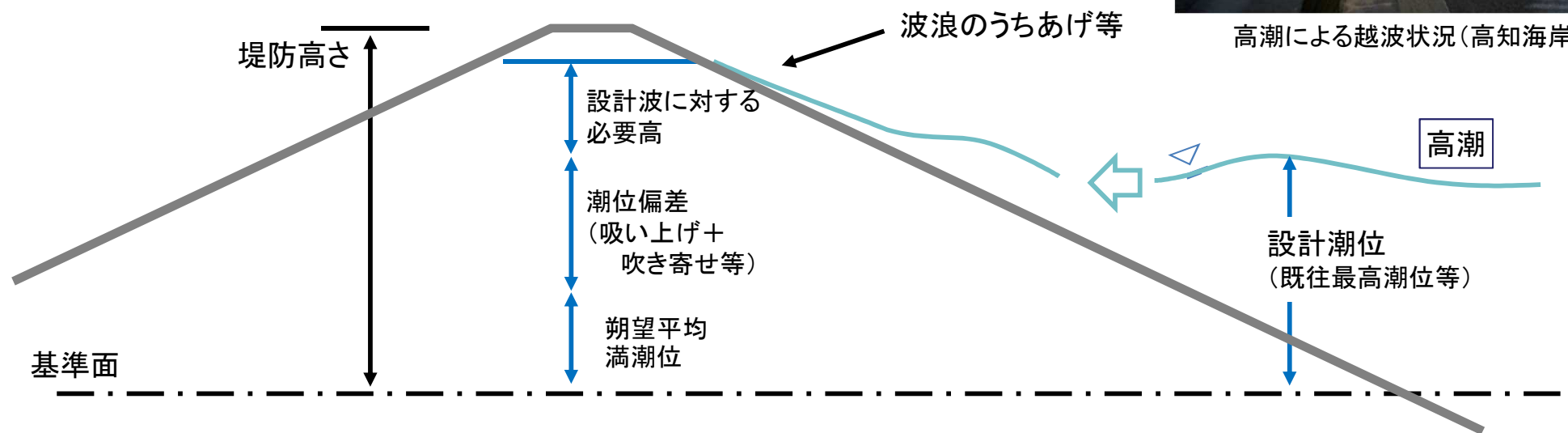
設計高潮位	設計波
1. 既往最高潮位	30～50年確率波高 既往最大波高 等
2. 朔望平均満潮位＋既往の潮位偏差の最大値	
3. 朔望平均満潮位＋推算の潮位偏差の最大値	

(参考) 想定最大規模の高潮(水防法に基づく高潮浸水想定)

台風の規模(中心気圧)	既往最大規模の室戸台風を基本
台風の風速半径・移動速度	伊勢湾台風を基本
台風の経路	潮位偏差が最大となる台風経路
潮位	朔望平均満潮位に過去に生じた異常潮位(黒潮の蛇行等)を考慮
洪水	基本高水流量(現況施設考慮)

海岸堤防(高潮)等の設計について

- 堤防高については、「設計潮位(朔望平均満潮位+吸い上げ+吹き寄せ)+設計波に対する必要高+余裕高」により設定されている。
- 設計潮位については、既往最高潮位等により設定されている。
- 設計波に対する必要高は、海底勾配、堤防の利用条件、越波許容限度等を考慮して設定される。
- うちあげ高については、有義波高の概念を採用し、うちあげ時のしぶきや波の不規則性による多少の越波を許容することとし、30～50年に一度程度の計画波高により設定されている。
- 多少の越波を許容することから、裏法をコンクリート被覆する三面張り構造を基本としている。



高潮対策の基本的な考え方

三大湾における高潮堤防の高さに関する設計の考え方

	東京湾	伊勢湾	大阪湾
計画外力	伊勢湾台風(S34.9)	伊勢湾台風(S34.9)	伊勢湾台風(S34.9)
計画高潮位	T.P.+4.0m	T.P.+4.5m	T.P.+3.9m
高潮偏差	3.0m	3.5m	3.0m
朔望平均満潮位	T.P.+1.0m	T.P.+1.0m	T.P.+0.9m
台風経路	伊勢湾台風、キティ台風他の平行経路を比較し、最悪のコースを設定	伊勢湾台風実績コース	室戸台風、ジェーン台風を比較し、被害が大きくなる室戸台風コースを設定
高潮区間の考え方 (河川堤防)	(荒川) 計画高潮位＋うちあげ高が 計画高水位と一致するところまで	(木曽川) 伊勢湾台風で実際に高潮被害が あった区間まで (河口～JR関西本線まで)	(淀川) 計画高潮位が計画高水位と 一致するところまで

想定最大規模の高潮(水防法に基づく高潮浸水想定)

台風の規模(中心気圧)	既往最大規模の室戸台風を基本、既往実績に応じて経度を考慮して中心気圧を増減
台風の風速半径・移動速度	伊勢湾台風を基本(風速旋衡半径75km、移動速度73km/h(一定))
台風の経路	当該地域で大きな潮位偏差を生じさせた、進入角度が異なる複数の台風経路を平行移動させ、潮位偏差が最大となる台風経路を設定
潮位	朔望平均満潮位 ※当該海岸で過去に異常潮位(黒潮の蛇行等)が生じた場合は、各々の最大偏差の平均値を加える

過去台風の疑似温暖化実験等の調査・研究、技術の進歩に伴う地形測量や水理解析の精度向上等を踏まえ、本手引きで定めた手法以外で高潮浸水想定区域図を作成することが適切な場合は、これにより作成することができる。

出典: 高潮浸水想定区域図作成の手引き

面的防護方式による海岸整備

直立堤や消波工等は侵食防止効果をほとんど有さない

→ 侵食による前浜の消失

→ 波のうちあげ高や越波量の増大、堤防高さの不足

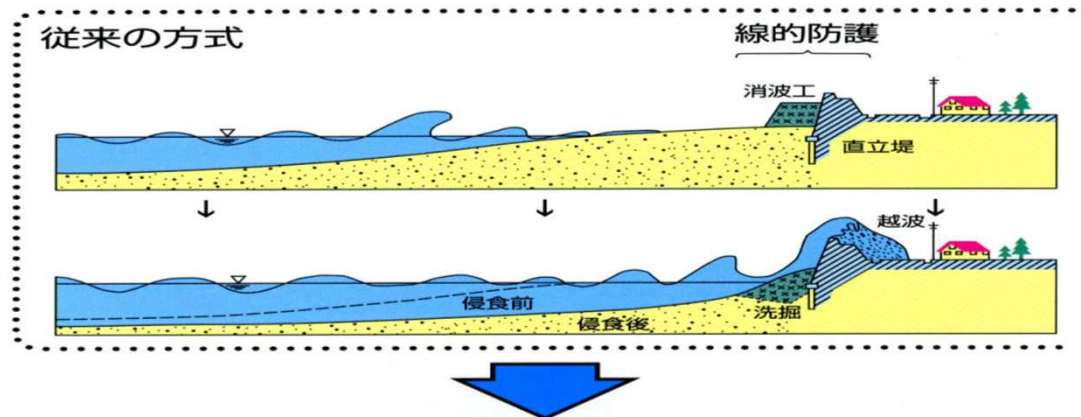
(従来の直立堤や消波工に加え、)

離岸堤、潜堤・人工リーフ等の沖合施設や緩傾斜堤、人工海浜等

→ 施設の耐久性及び防災効果の向上

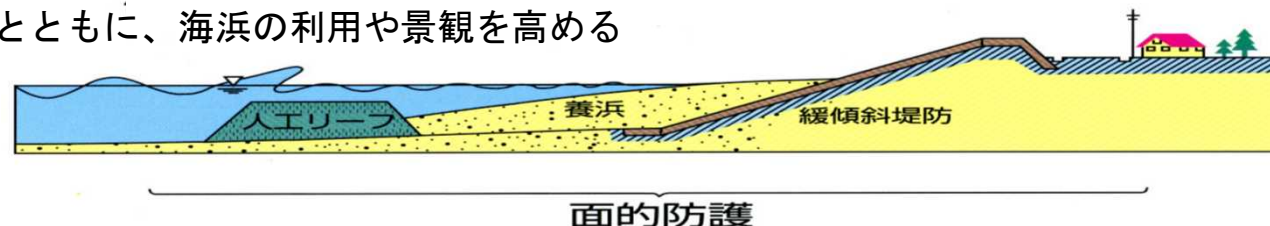
→ 海岸侵食の抑制

→ 景観や海岸環境、利用環境の向上



(面的防護方式)

施設の耐久性を高め、侵食対策も含めた質の高い
海岸保全を図るとともに、海浜の利用や景観を高める



平成27年水防法改正による高潮に関する水防強化

- 災害対応状況下において、高潮災害の危機に対する切迫した状況を市町村長へ伝える情報提供が必要。
- 東日本大震災を踏まえた最大クラスの津波に対する津波防災まちづくり、新たなステージに対応した防災・減災を踏まえ、最大クラスの高潮に対する危機管理と避難警戒体制が必要。

高潮に関する水防強化の制度概要

1. 高潮浸水想定区域の指定

都道府県知事が、想定し得る最大規模の高潮により浸水が想定される区域を指定し、関係市町村長は、これに基づきハザードマップの作成などの必要な措置を講じることとする。

2. 高潮に係る水位情報の通知及び周知

都道府県知事が、高潮により相当な損害を生ずるおそれがあるものとして指定した海岸（河川を遡上する区間も含む）について、高潮特別警戒水位を定め、当該海岸の水位が高潮特別警戒水位に達したときは、避難勧告等の判断に資するため関係市町村長に通知するとともに、一般に周知することとする。

高潮浸水想定区域の指定等

- 平成27年に改正された水防法に基づき、都道府県が高潮浸水想定区域の指定等に向けて検討中。
- 東京湾、伊勢湾、大阪湾、瀬戸内海、有明海、八代海については概ね5年程度(令和2年度目途)での指定を目指す。
- 平成30年6月に福岡県、平成31年4月に神奈川県、令和2年4月に東京都が高潮浸水想定区域を指定済。

○ 水防法(平成27年5月改正)

高潮特別警戒水位の設定(第13条の3)

都道府県知事は、当該都道府県の区域内に存する海岸で高潮により相当な損害を生ずるおそれがあるものとして指定したものについて、高潮特別警戒水位（警戒水位を超える水位であつて高潮による災害の発生を特に警戒すべき水位をいう。）を定め、当該海岸の水位がこれに達したときは、その旨を当該海岸の水位を示して直ちに当該都道府県の水防計画で定める水防管理者及び量水標管理者に通知するとともに、必要に応じ報道機関の協力を求めて、これを一般に周知させなければならない。

高潮浸水想定区域の指定(第14条の3)

都道府県知事は、第十三条の三の規定により指定した海岸について、高潮時の円滑かつ迅速な避難を確保し、又は浸水を防止することにより、水災による被害の軽減を図るため、国土交通省令で定めるところにより、想定し得る最大規模の高潮であつて国土交通大臣が定める基準に該当するものにより当該海岸について高潮による氾濫が発生した場合に浸水が想定される区域を高潮浸水想定区域として指定するものとする。

○ マニュアル等

- ・高潮浸水想定区域図作成の手引き(平成27年7月)
- ・高潮特別警戒水位の設定要領(平成27年7月)

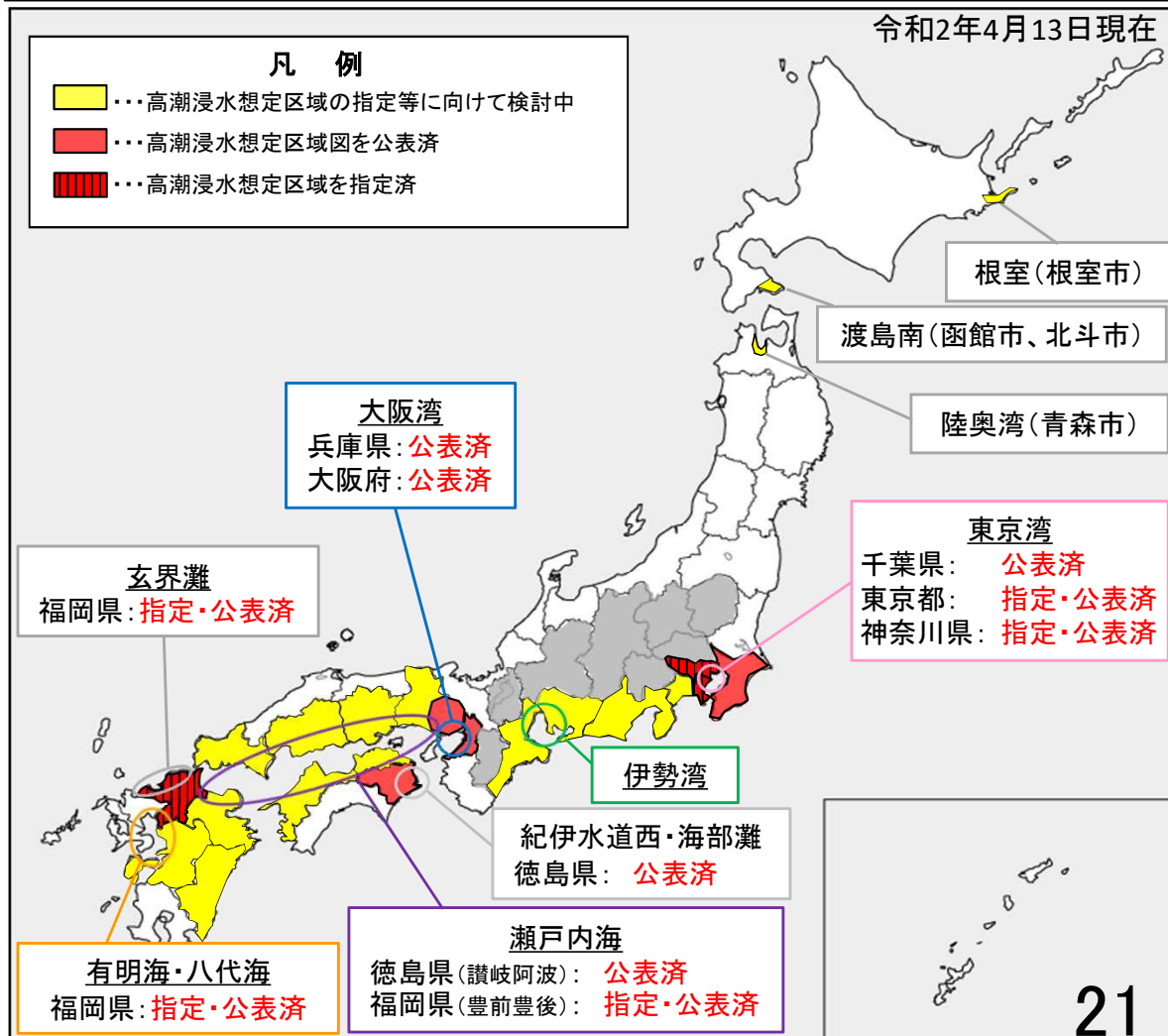
○ 財政上の支援

社会資本整備総合交付金

津波・高潮危機管理対策緊急事業の基幹事業の「津波・高潮ハザードマップの作成支援」を活用すれば、事業計画の総事業費の概ね2割を上限としてその内数として計上できる。

「水防法等の一部を改正する法律の一部施行等について」
平成27年7月21日国水政第24号・国水下企第30号(抄)

高潮により大きな被害が発生するおそれの高い東京湾、伊勢湾、大阪湾、瀬戸内海若しくは有明海等に存する海岸については、円滑かつ迅速な避難等のための措置を講じること等が特に必要であることから、これらに係る高潮浸水想定区域を、早期に指定するよう努められたい。なお、当該指定の実施目標は、概ね5年程度を想定している。



東日本大震災を踏まえた津波防災対策の基本的考え方

- 東日本大震災では、これまでの想定をはるかに超えた巨大な地震・津波により甚大な被害を受けたことから、最大クラスの津波(L2)に対してはハード整備とソフト対策を組み合わせた多重防御により被害を最小化させるとした減災の考え方が新たに示された
- 比較的発生頻度の高い津波(L1)に対しては、人命、資産等を守り、国土を保全する観点から、引き続き、海岸堤防の整備を進めていくこととされた

最大クラスの津波(L2)

- **最大クラスの津波**に対して、ハード対策とまちづくりや警戒避難体制の確立などを組み合わせた「**多重防御**」により、人命への被害を極力生じさせないことを目指す

最大クラスの津波(L2)

2011年 東北地方太平洋沖地震の津波高さ

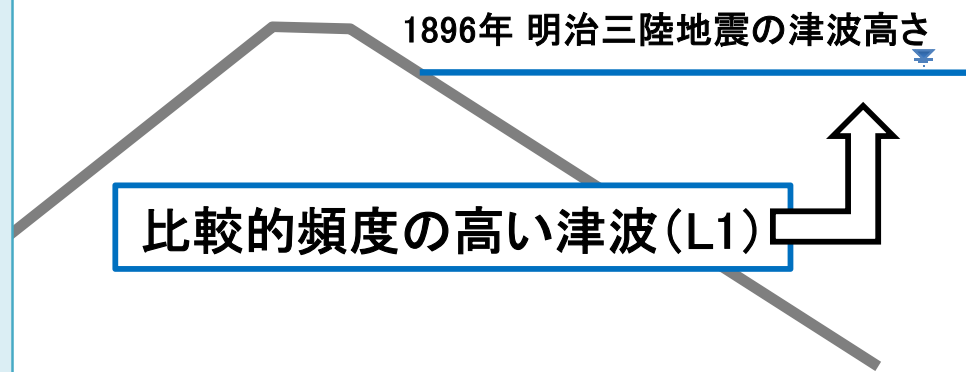


比較的頻度の高い津波(L1)

- **比較的発生頻度の高い津波(数十年から百数十年に一度程度)**に対して、**海岸保全施設の整備による対応を基本**として、人命、資産、国土(海岸線)等を確実に守ることを目指す
- また、設計対象の津波高を超えた場合でも施設の効果が**粘り強く発揮できるような**構造物の技術開発・整備を実施

1896年 明治三陸地震の津波高さ

比較的頻度の高い津波(L1)

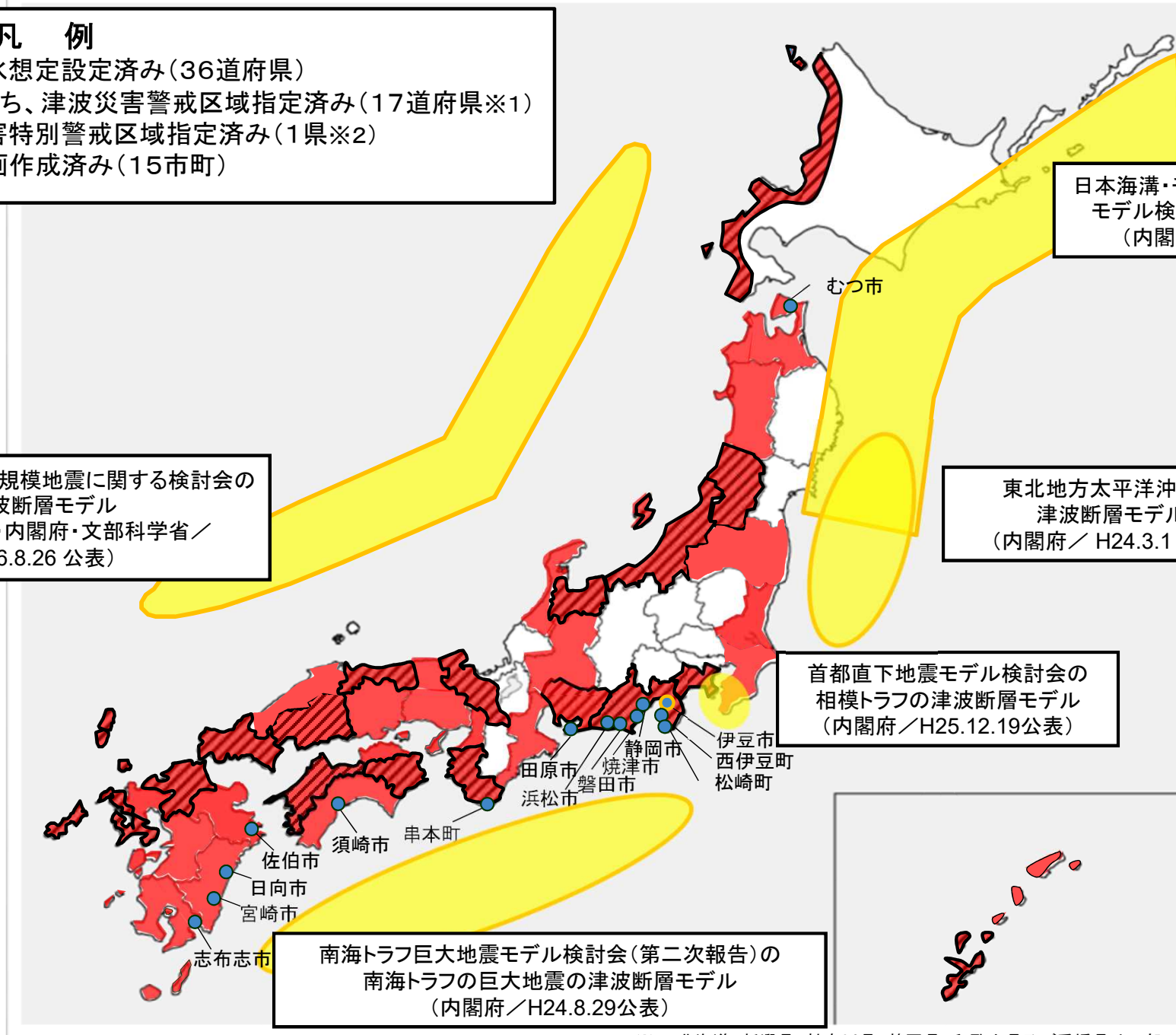


津波浸水想定の設定、津波災害警戒区域の指定及び推進計画の作成状況

令和2年6月1日現在

凡 例

- …津波浸水想定設定済み(36道府県)
- …上記のうち、津波災害警戒区域指定済み(17道府県※1)
- …津波災害特別警戒区域指定済み(1県※2)
- …推進計画作成済み(15市町)



日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震
モデル検討会の津波断層モデル
(内閣府／R2.4.21 公表)

日本海における大規模地震に関する検討会の
津波断層モデル
(国土交通省・内閣府・文部科学省／
H26.8.26 公表)

東北地方太平洋沖地震
津波断層モデル
(内閣府／H24.3.1 公表)

首都直下地震モデル検討会の
相模トラフの津波断層モデル
(内閣府／H25.12.19 公表)

南海トラフ巨大地震モデル検討会(第二次報告)の
南海トラフの巨大地震の津波断層モデル
(内閣府／H24.8.29 公表)

※1 北海道、新潟県、神奈川県、静岡県、和歌山県及び愛媛県は一部の市町村において指定

※2 静岡県伊豆市の1市にて指定

粘り強い構造の海岸堤防

- 計画規模を超える津波に対する減災対策として、堤防が破壊、倒壊するまでの時間を少しでも長く稼ぐ工夫により、堤防が全壊（完全に流出した状態）に至る可能性を低減。
- 粘り強い構造の海岸堤防の1つとして堤防と一体的な盛土や植生を配置した「緑の防潮堤」を整備。

<海岸堤防の被災状況>



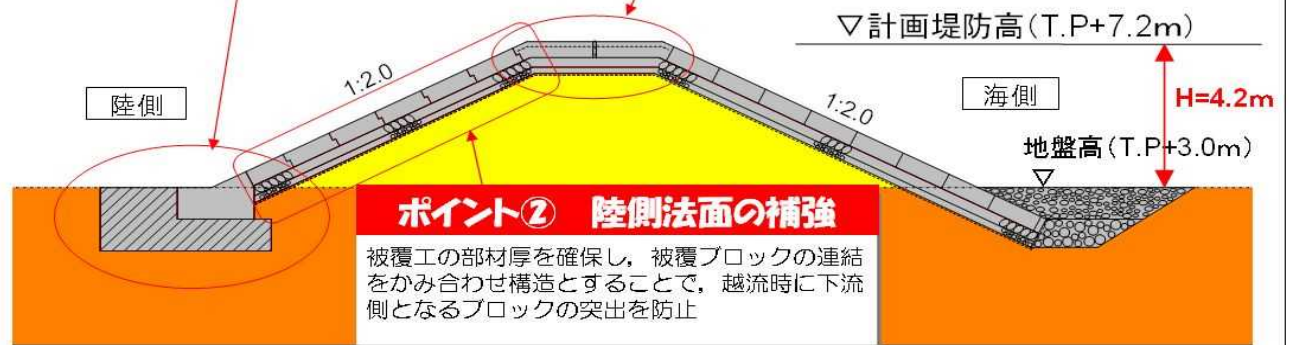
陸側の法面が崩れ落ちている堤防が多かった

<粘り強い海岸堤防のポイント>

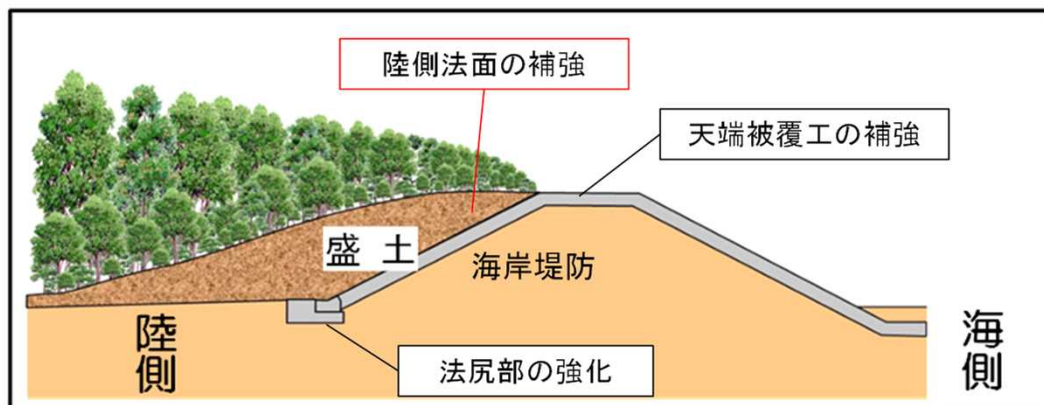
ポイント① 法尻部の強化
越流水の方向を変え、裏法尻の洗掘を堤防本体から遠ざける。また、基礎処理により、洗掘への抵抗性を向上。

ポイント③ 天端被覆工の補強

天端被覆工の部材厚を確保。また、空気抜き孔を設け、越流時に堤防内の有害な空気圧を抜く。



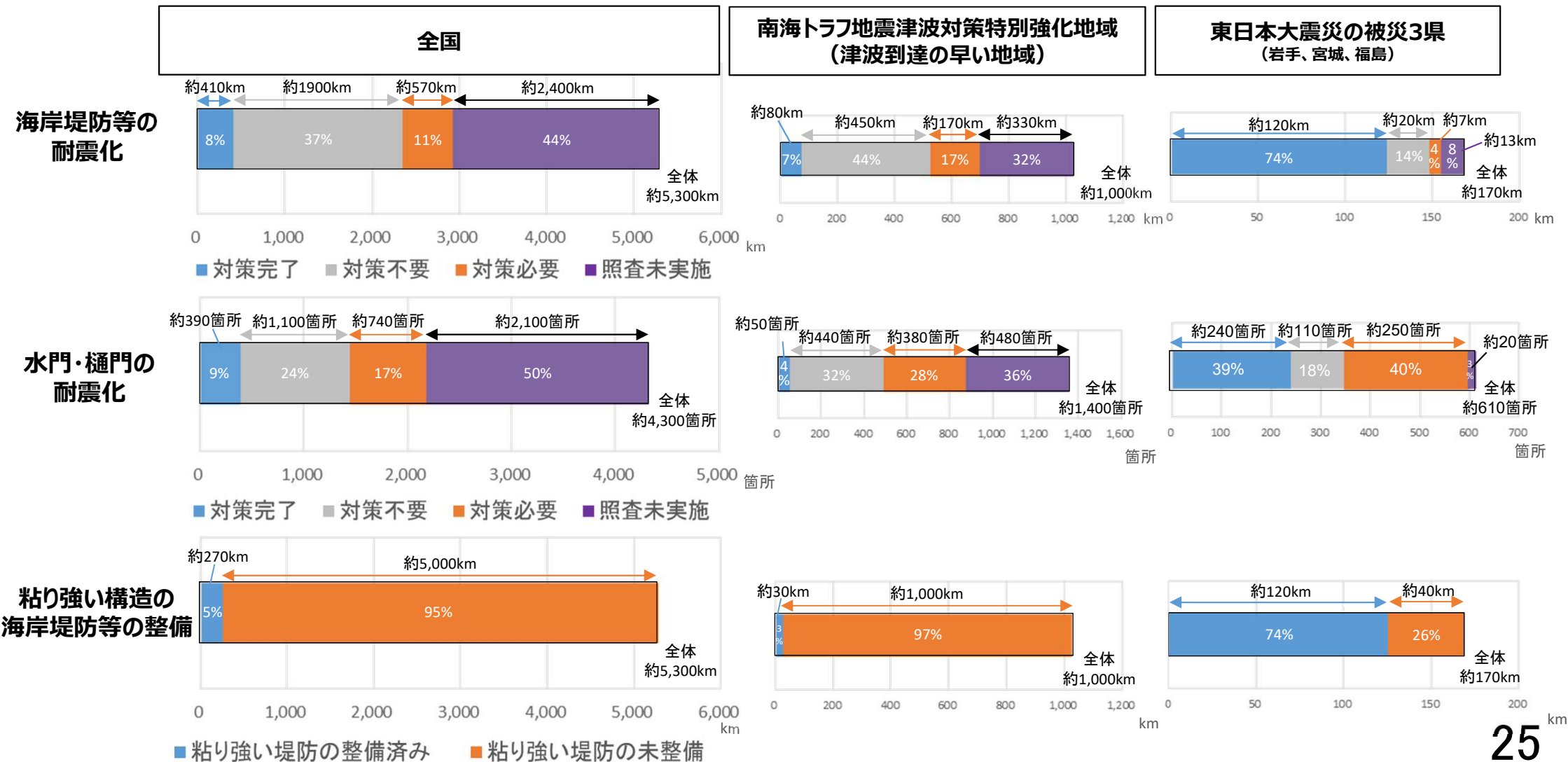
緑の防潮堤の構造イメージ



H25.6.30 国土交通省、宮城県、岩沼市等による植樹式

海岸堤防や水門・樋門等の耐震化、粘り強い構造

- 必要な高さの確保とあわせ、地震が発生しても必要な防護機能を確保するための耐震化を推進。
- 計画上必要な高さ確保した海岸のうち、耐震化が完了している堤防等の割合は約5割。
復旧・復興事業の進捗により、東日本大震災の被災3県では約9割まで進展。
- 水門・樋門の耐震化の完了は全国で約3割、東日本大震災の被災3県では約6割。
- 粘り強い構造の海岸堤防等の整備率は、全国では1割以下にとどまるが、被災3県では約7割まで整備。



水門・陸閘等の安全かつ確実な閉鎖

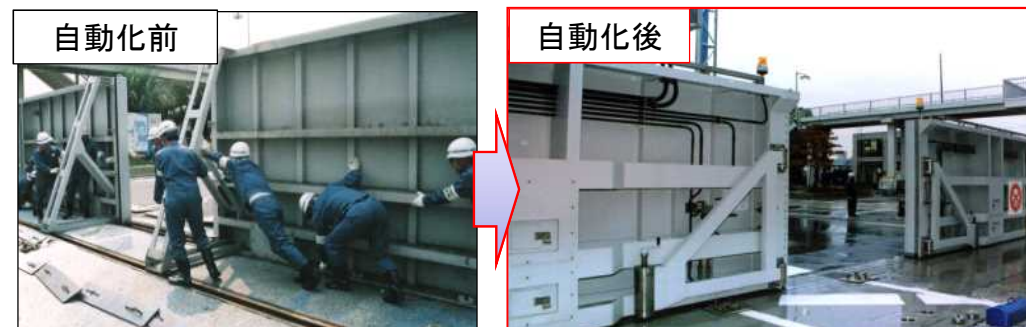
- 津波が発生した際に、津波の到達前に水門、陸閘等を確実に閉鎖することが重要。
- 東日本大震災において、水門・陸閘等の操作に従事した方が多数犠牲になったことから、水門・陸閘等の現場操作員の安全確保が必要。
- 被害を最小限にとどめるため、水門、陸閘等の統廃合、常時閉鎖、自動化、遠隔操作化を推進。

【統廃合の例(和歌山下津港海岸:和歌山県)】



陸閘を廃止し、近接した場所に階段を設け、利便性を確保

【陸閘の自動化の例(名古屋港海岸:愛知県)】



【常時閉鎖の例(高知港海岸:高知県)】



利用度の低い陸閘を常時閉鎖

【操作員の安全確保を最優先とした管理運用体制の構築】

海岸管理者等がより安全かつ適切に水門・陸閘等を管理運用していくための参考となる指針を策定することを目的として、平成28年4月に「津波・高潮対策における水門・陸閘等管理システムガイドライン」を改訂し、操作員の安全確保を最優先とした管理運用体制の構築を推進。



現場操作員による陸閘閉鎖(大阪府)

水門・陸閘等の安全な閉鎖の確保

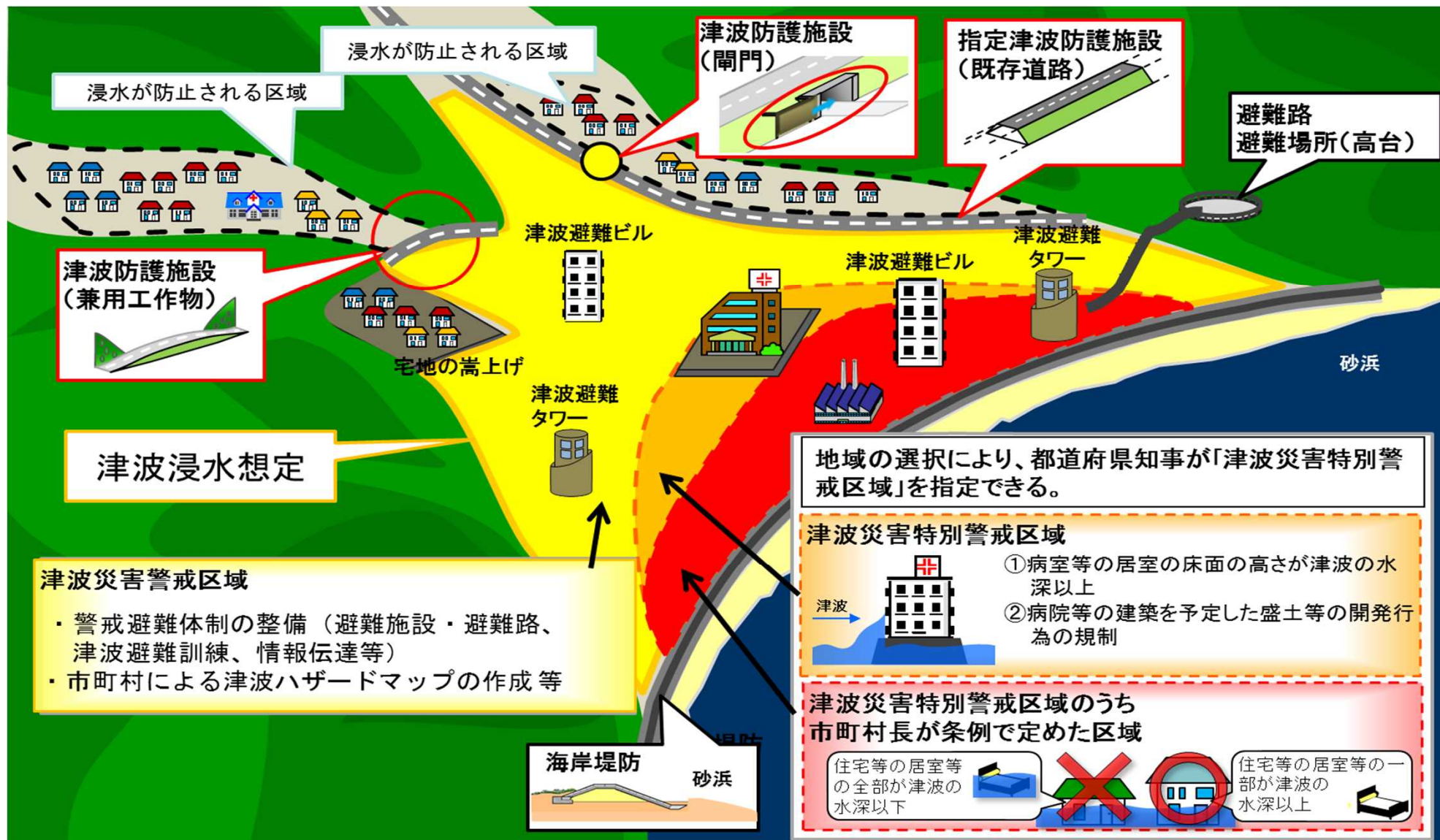
- 施設の統廃合により、平成23年度末と比較して30年度末までに全国で約1割の閉鎖施設（開口部）を削減。
- さらに、残りの施設について自動化・遠隔操作化を推進。
全国では約2割、東日本大震災の被災3県では約4割について、自動化・遠隔操作化済み。



津波防災地域づくりのイメージ

※平成23年12月14日「津波防災地域づくり法」公布、平成24年6月13日全部施行

- 東日本大震災の様な大規模な津波災害が発生した場合でも、なんとしても人命を守るという考えに基づき、ハード・ソフト施策の適切な組み合わせにより、減災のための施策を実施。

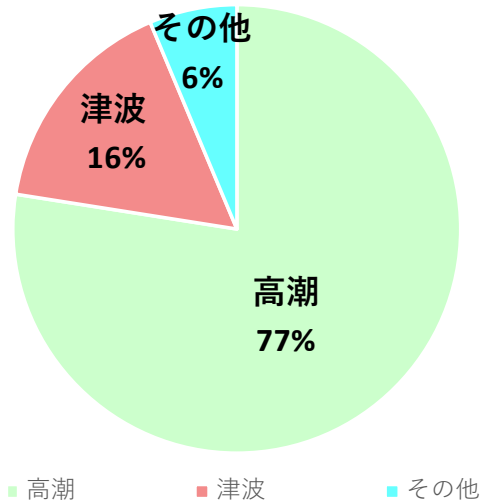


海岸堤防の設計について

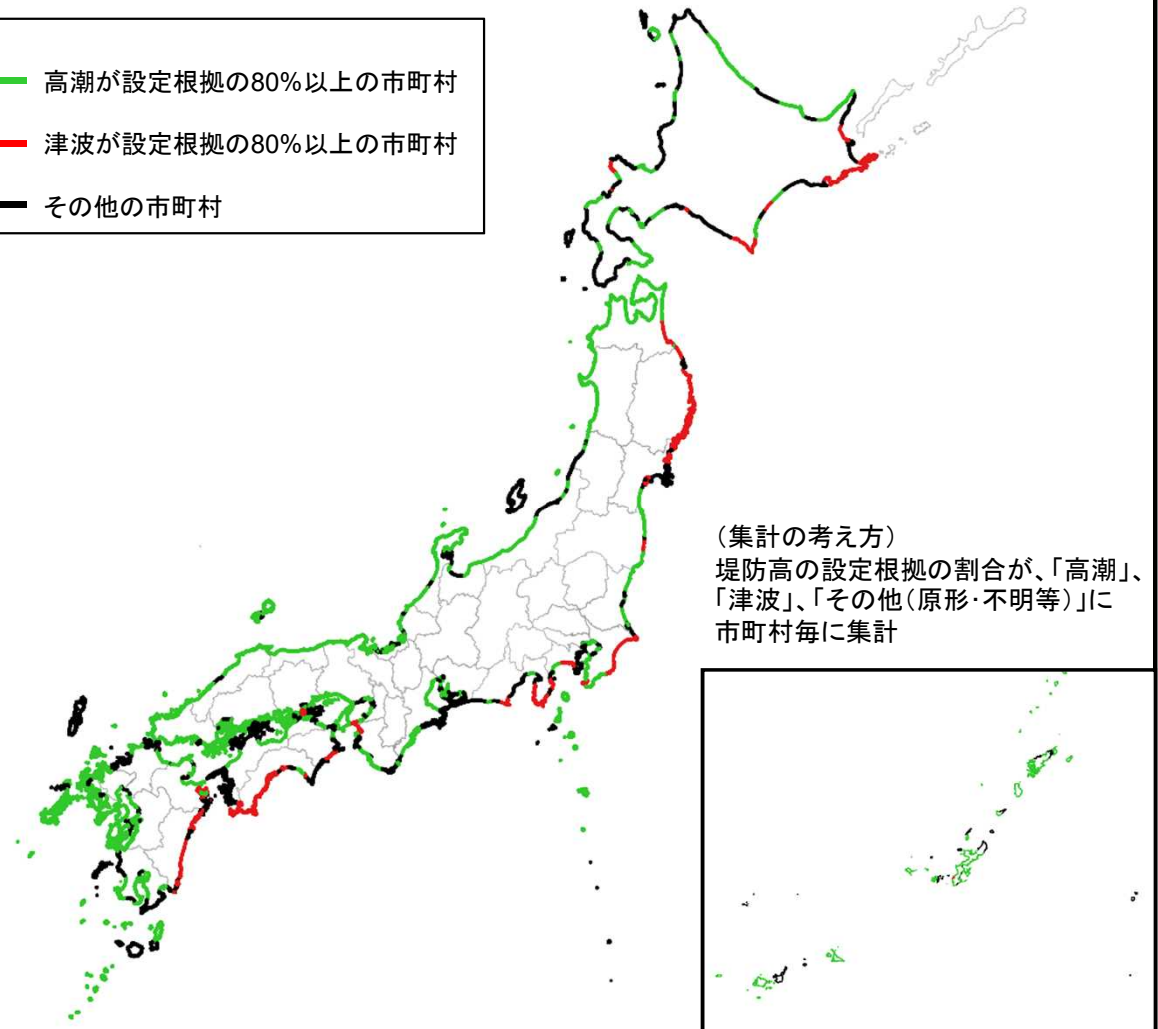
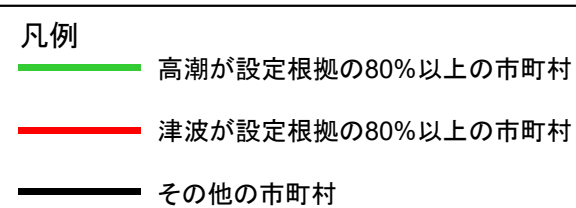
- 我が国の海岸堤防の高さは、津波に対する必要高（設計津波の水位）と高潮に対する必要高（設計潮位＋設計波に対する必要高）を考慮して決定される。
- 全国の海岸堤防の77%は、高潮を基に整備されている。

○ 高潮・津波外力別の堤防高設定状況
（農林水産省・国土交通省調べ）
（令和元年9月）

外力の設定状況

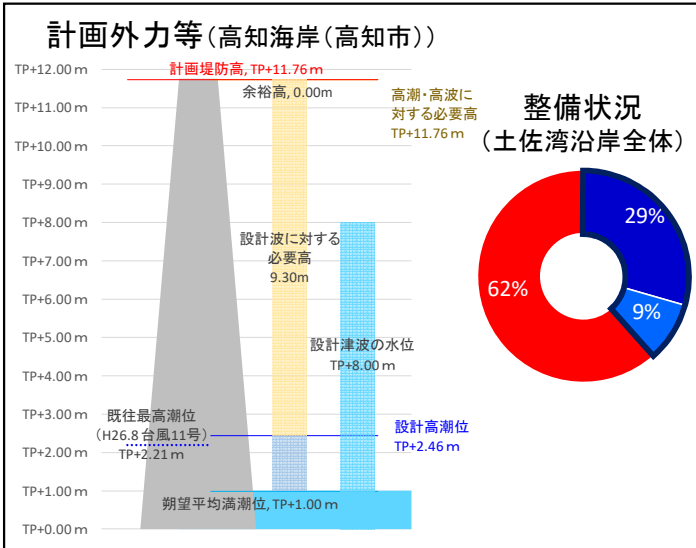
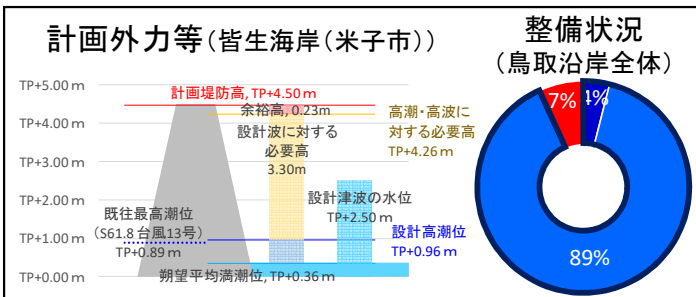
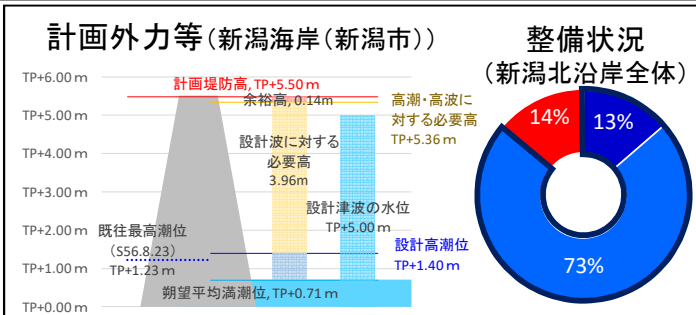


高潮により海岸堤防が設定されている
海岸が77%



主な海岸における設計外力と堤防整備状況（外洋に面した海岸）

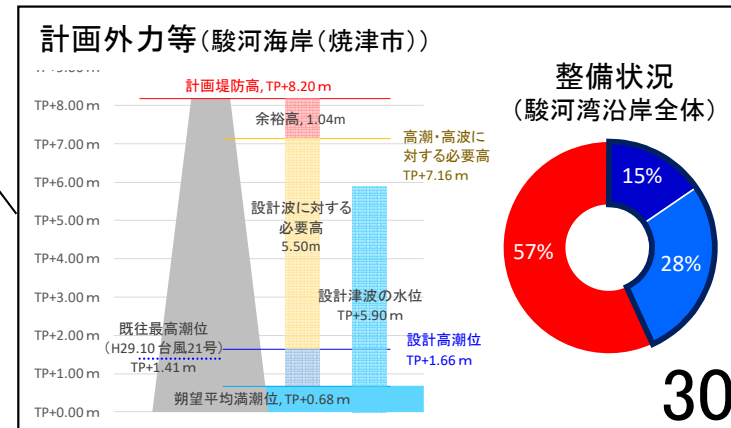
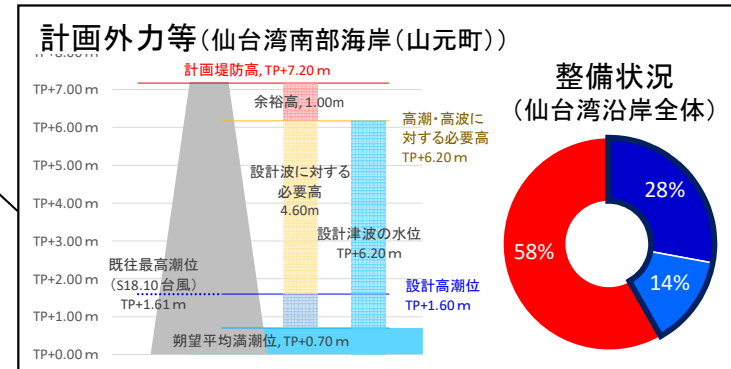
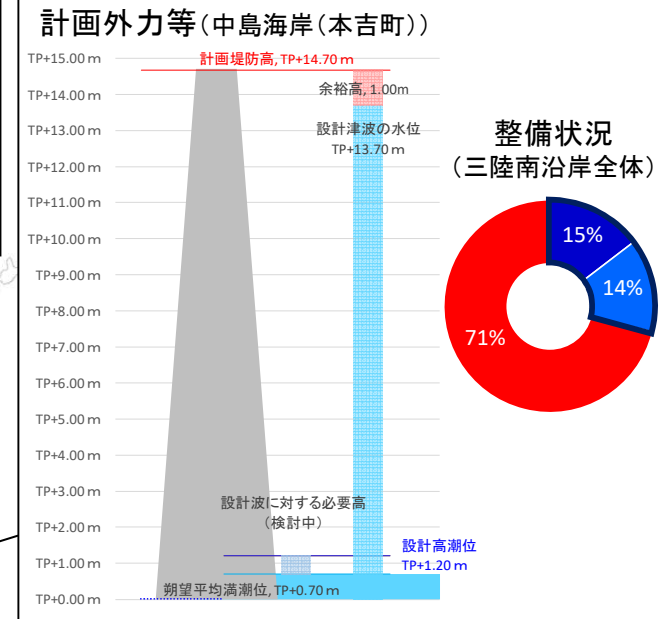
- 外洋に面した海岸では、一般的に波浪の影響が潮位（朔望平均満潮位、潮位偏差）の影響よりも卓越。
- 三陸などの一部の海岸では、地形の影響から設計津波の水位が高く、計画堤防高の決定要因が津波となっている。
- 沿岸や海岸ごとに堤防等の整備状況も異なる。



凡例（整備状況（円グラフ））：
 ■ 計画高確保済み（面的整備も完了）
 ■ 計画高確保済み
 ■ 堤防高不足

凡例（日本地図）：
 ■ 高潮が設定根拠の80%以上の市町村
 ■ 津波が設定根拠の80%以上の市町村
 ■ その他の市町村

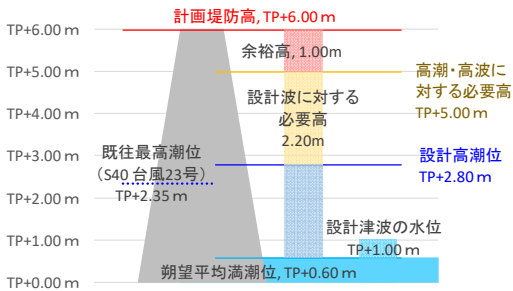
（集計の考え方）
 堤防高の設定根拠の割合が、「高潮」、「津波」、「その他（原形・不明等）」について市町村毎に集計



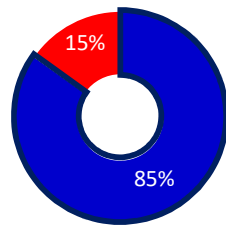
主な海岸における設計外力と堤防整備状況(内湾等の海岸)

- 内湾等に面した海岸では、一般的に潮位(朔望平均満潮位、潮位偏差)の影響の方が波浪の影響よりも卓越。
- 有明海の一部など、朔望平均満潮位が特に高い箇所も存在。
- 沿岸や海岸ごとに堤防等の整備状況も異なる。

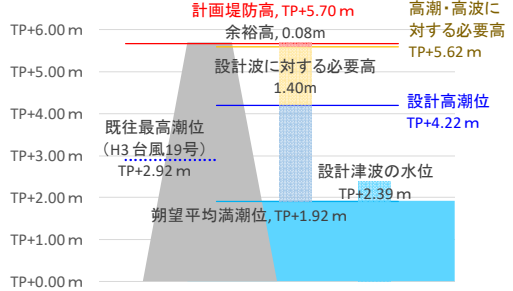
計画外力等(東播海岸(明石市))



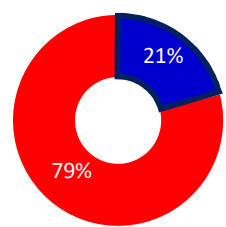
整備状況
(播磨沿岸全体)



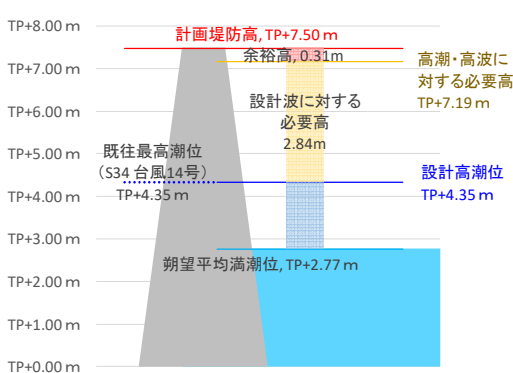
計画外力等(草津漁港(広島市))



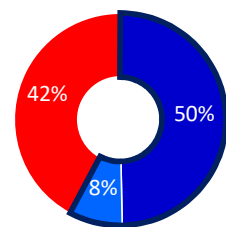
整備状況
(広島沿岸全体)



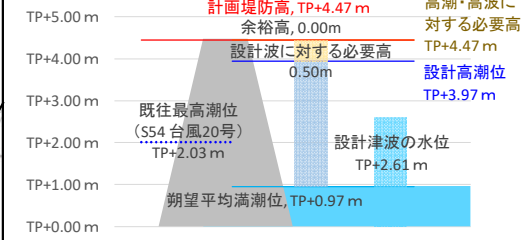
計画外力等(有明海東部(昭代海岸 柳川市))



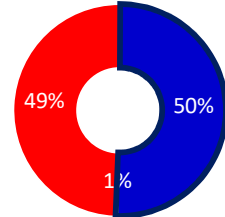
整備状況
(有明海沿岸全体)



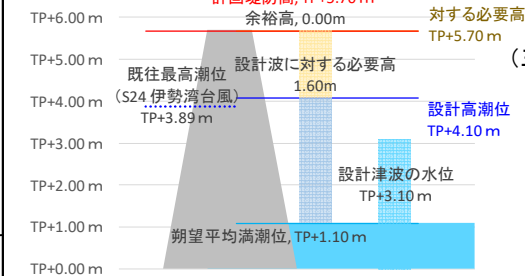
計画外力等(東京港)



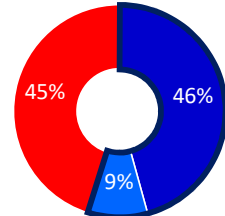
整備状況
(東京湾沿岸全体)



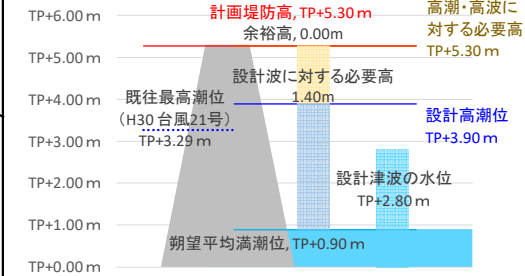
計画外力等(四日市港)



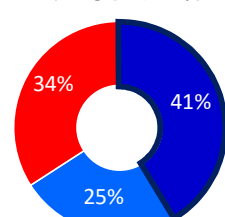
整備状況
(三河湾・伊勢湾沿岸全体)



計画外力等(大阪港)



整備状況
(大阪湾沿岸全体)



凡例(整備状況(円グラフ)):
 ■ 計画高確保済み(面的整備も完了)
 ■ 計画高確保済み
 ■ 堤防高不足

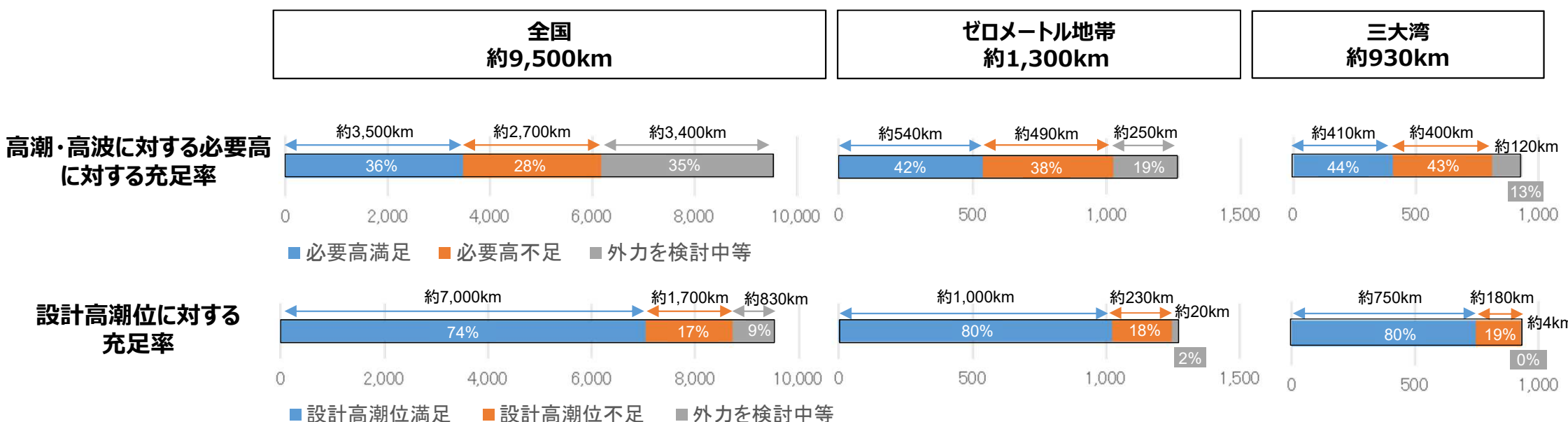
凡例(日本地図):
 ■ 高潮が設定根拠の80%以上の市町村
 ■ 津波が設定根拠の80%以上の市町村
 ■ その他の市町村

(集計の考え方)
 堤防高の設定根拠の割合が、「高潮」、「津波」、「その他(原形・不明等)」について市町村毎に集計

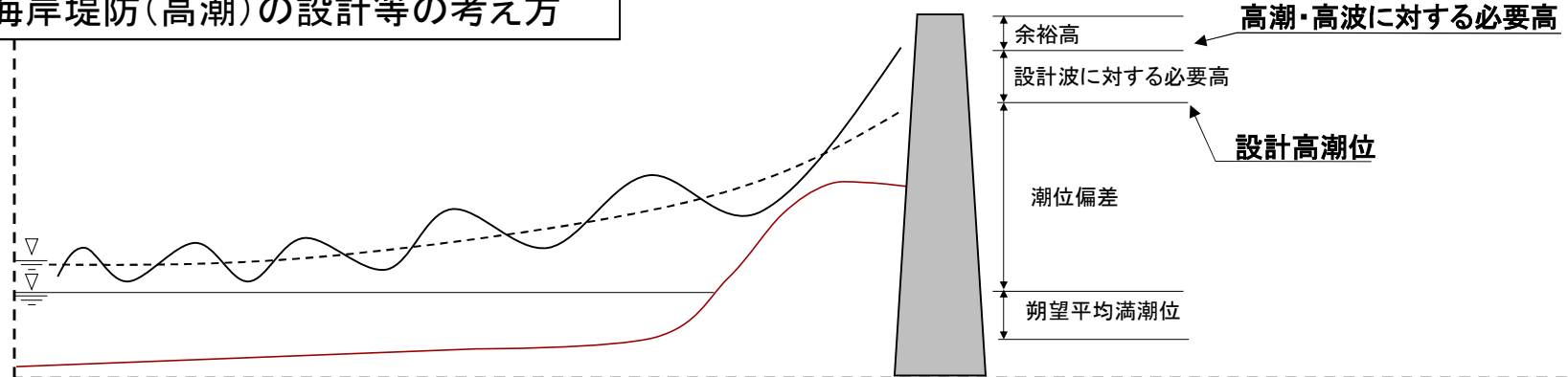
「高潮」に対する海岸堤防等の整備率

- 全国の海岸堤防について、計画上必要な高さを確保した延長は約4割、設計高潮位を確保した延長は約7割。
- 浸水した場合に甚大な被害が想定されるいわゆる「ゼロメートル地帯」**や「三大湾」*においてもほぼ同等の割合となっている。

* ゼロメートル地帯：海岸背後の地盤が朔望平均満潮位以下の土地を含む地域
 ** 三大湾：東京湾、伊勢湾、大阪湾



海岸堤防(高潮)の設計等の考え方



侵食対策

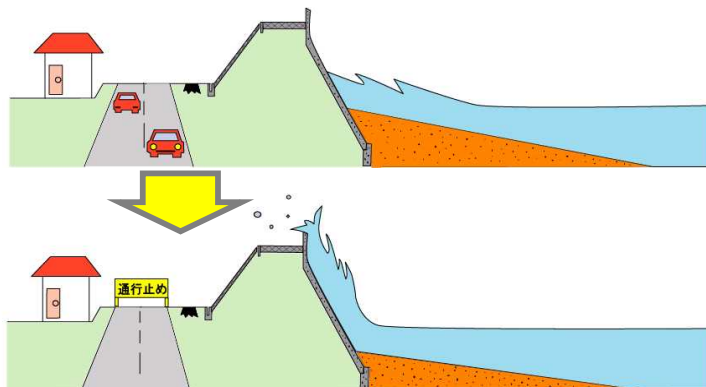
- 海岸侵食による被害を防ぎ、防護、環境、利用の調和を図りつつ海岸を保全するため、離岸堤、突堤等の海岸保全施設の新設、改良や養浜等の対策を推進
- 今後は、侵食被害が深刻化してから事後的に対策するのではなく、予測を重視した順応的な砂浜管理を実施していく
- 順応的管理にむけて、まず直轄事業で整備した砂浜を対象に、海岸法に基づき砂浜を海岸保全施設として指定し、順応的な砂浜管理を実践するとともに、モニタリング手法の開発を進める

被災の状況



神奈川県二宮海岸

砂浜の機能



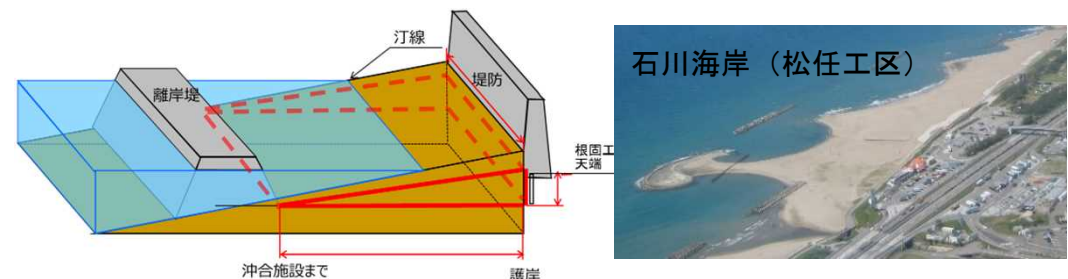
消波機能を有する砂浜の侵食により、
海岸防護の機能が損なわれる

対策事業



砂浜の保全等により、防護、景観、環境、利用の調和した海岸が形成される

今後の砂浜の保全

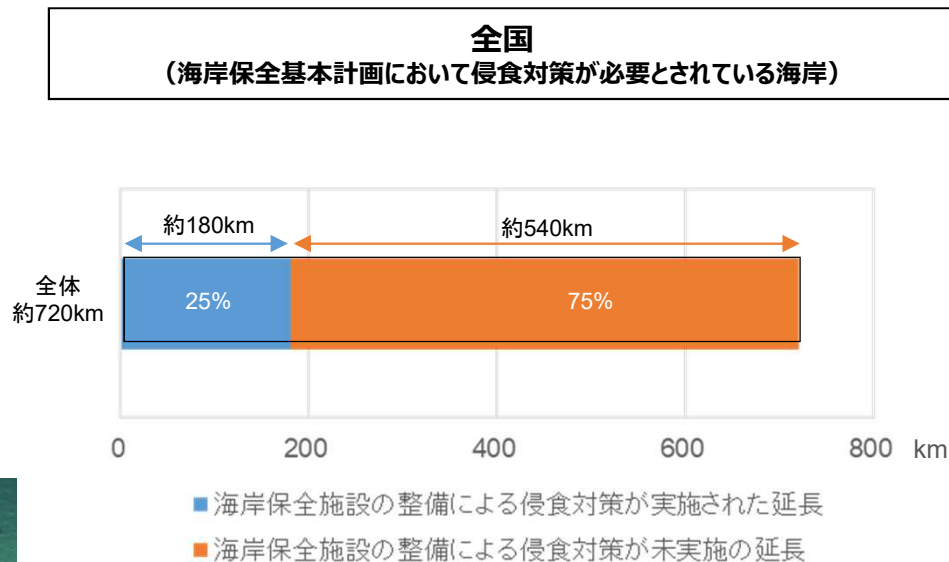


今後は、最新のモニタリング技術を活用し、砂浜の状態を定期的に確認することで、継続的に変化を把握し、必要な砂浜幅の確保ができないおそれが事前に検知された時点で対策に着手する「予測を重視した順応的砂浜管理」を展開。

侵食対策の実施状況

- 侵食による被害を受けるおそれが高い地域において、護岸、突堤、離岸堤等の海岸保全施設の整備やそれによる砂浜回復等の侵食対策を推進。
- 全国で、海岸保全基本計画に基づき侵食対策が必要とされている海岸について、約4割で海岸保全施設による対策を実施。
- 一方、砂浜の変化等モニタリング結果等により対策の必要性が今後変わることも想定され、順応的な対応が必要。

海岸保全施設による侵食対策が
実施された海岸

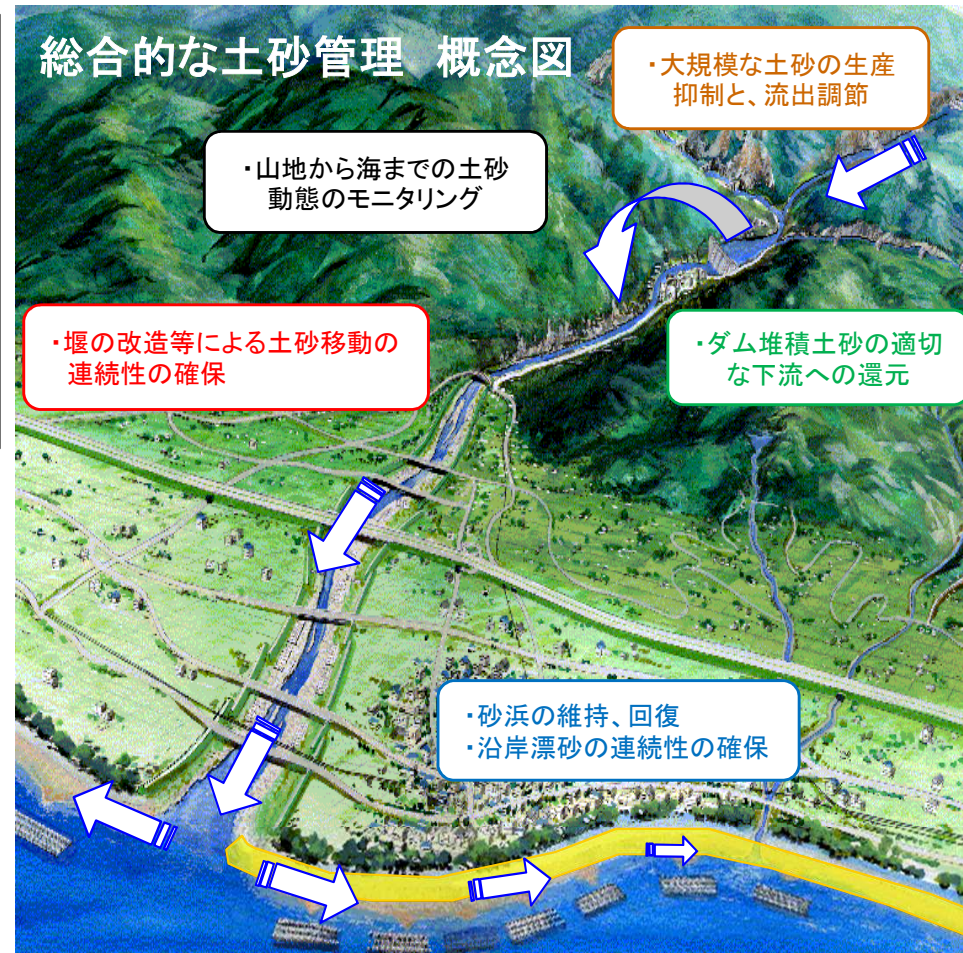


総合的な土砂管理の取組

- 総合土砂管理とは、山地から海岸まで土砂が移動する場合全体を「流砂系」という概念で捉え、流砂系一貫として、総合的に土砂移動を把握し、土砂移動に関する問題に対して、必要な対策を講じること。

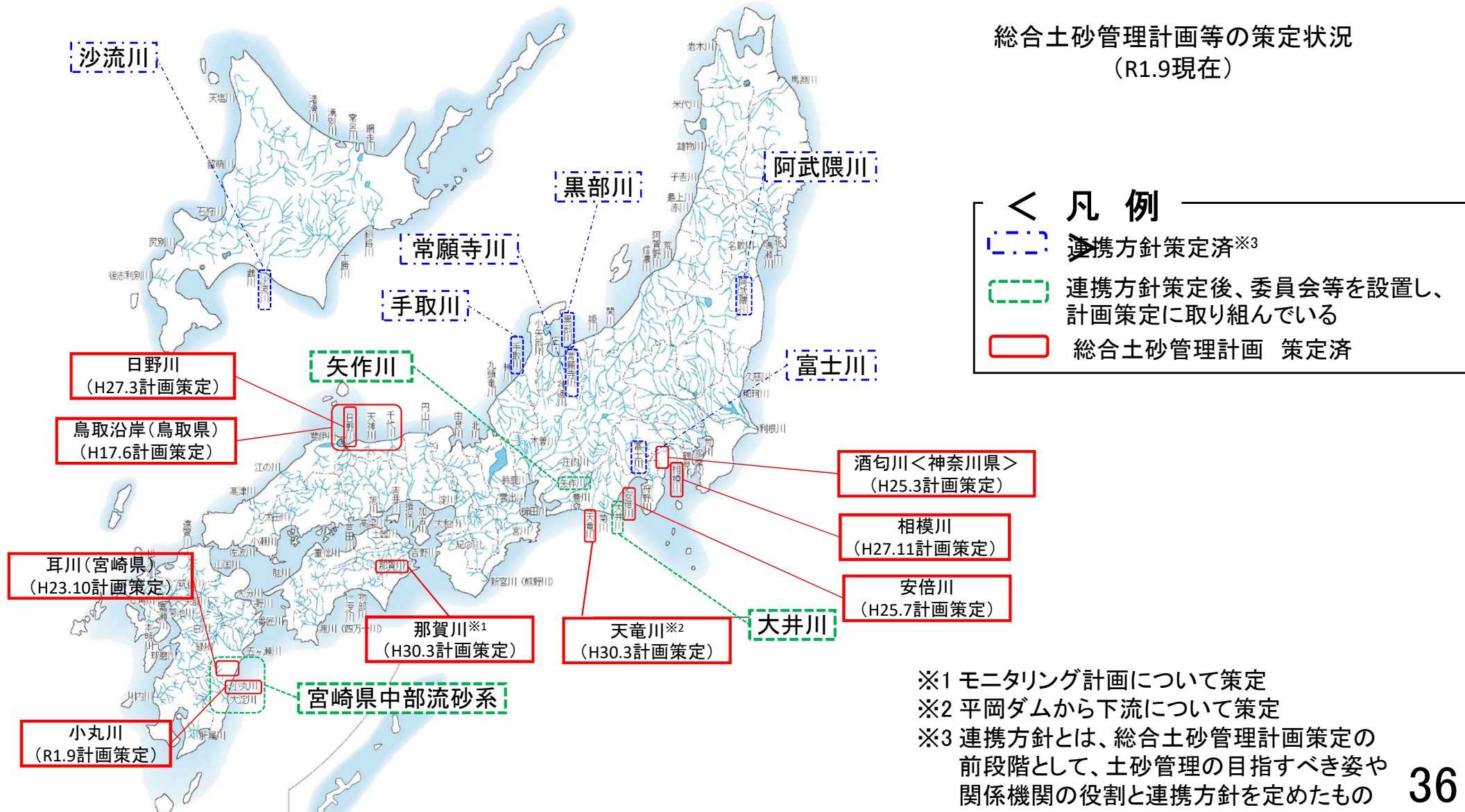
＜土砂移動に関わる課題の例＞

ダム貯水池の堆砂による機能低下、海岸侵食、河床材料の粗粒化による環境への影響、河床低下による河川構造物への影響 など



総合土砂管理計画の策定状況

- 総合土砂管理計画とは、土砂移動による災害を防止し、河川等の環境を保全し、適正に利活用するために関係機関が集まり、実施する対策やその役割分担などを定めた計画。
- 全国では、総合土砂管理計画等が9計画策定されている（下図に実線枠で表示）。



主な海岸保全施設の計画規模までの整備の進捗と完了に要する期間の推定

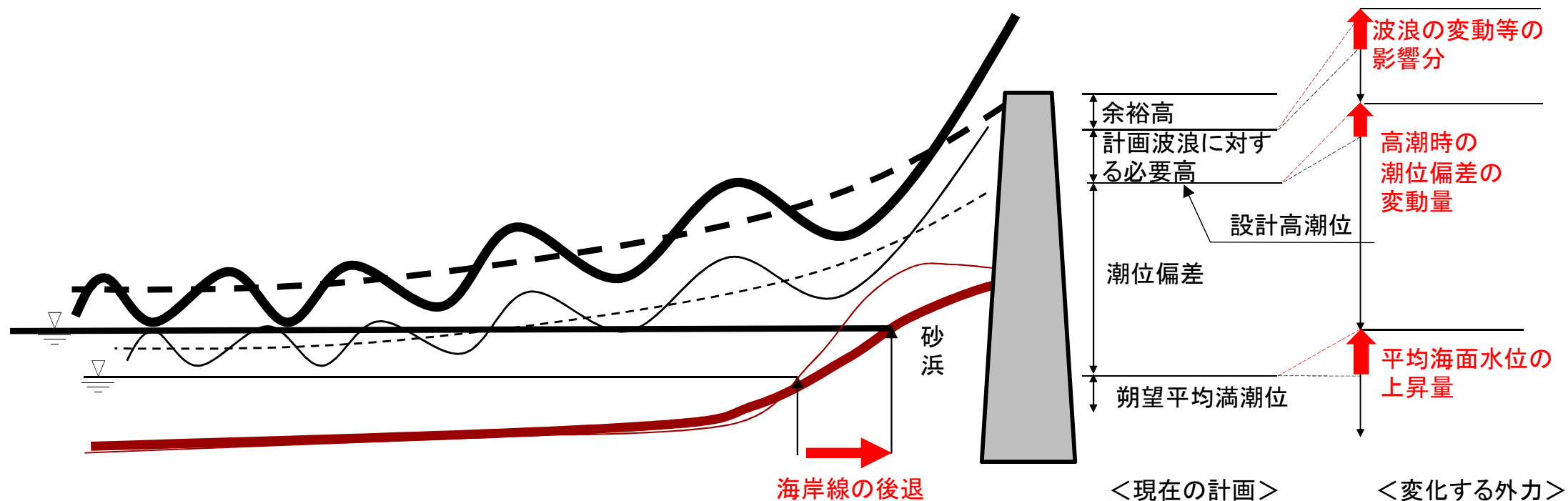
- 現状の海岸防護の計画に対して、高さ等が不足する海岸保全施設については、引き続き整備が必要。
- 海岸堤防等の高さの確保や耐震対策等について、現状の予算規模が継続した場合を仮定して、計画上必要な水準までの整備が完了するまでに要する期間を推定すると、数十年から百数十年程度。

整備種別	整備の進捗状況	近年の実績等から推定される整備単価	現状の予算規模が継続した場合に計画上必要な整備が完了するまでにかかる期間(推定)※
海岸堤防等の高さの確保	高さが確保された延長約5,300km 全国の海岸堤防延長 約9,500km = 約55%	堤防等: 10億円/km ※構造形式や、嵩上げ高さ等の差等は考慮せず、平均したもの	約160年
海岸堤防等の耐震対策	耐震対策済み延長 約2,300km 全国の海岸堤防延長 約5,300km = 約44%	堤防等: 10億円/km ※構造形式や、嵩上げ高さ等の差等は考慮せず、平均したもの	約80年
水門・樋門等の耐震対策	完了基数 約1,300基 対象基数 約4,200基 = 約32%	水門等: 2億円/基	約30年

※計画上必要な整備が完了するまでにかかる期間(推定):

現状の予算規模が継続したと仮定して、当面、整備種別にどの程度の整備を実施する予定かを海岸管理者からききとり、その実施ペースと残延長等の関係から完了までに要する期間を推定したもの(当面10年の整備種別ごとの実施ペースがその後も継続すると仮定して試算)

海岸保全に影響する気候変動の将来予測と対応方針

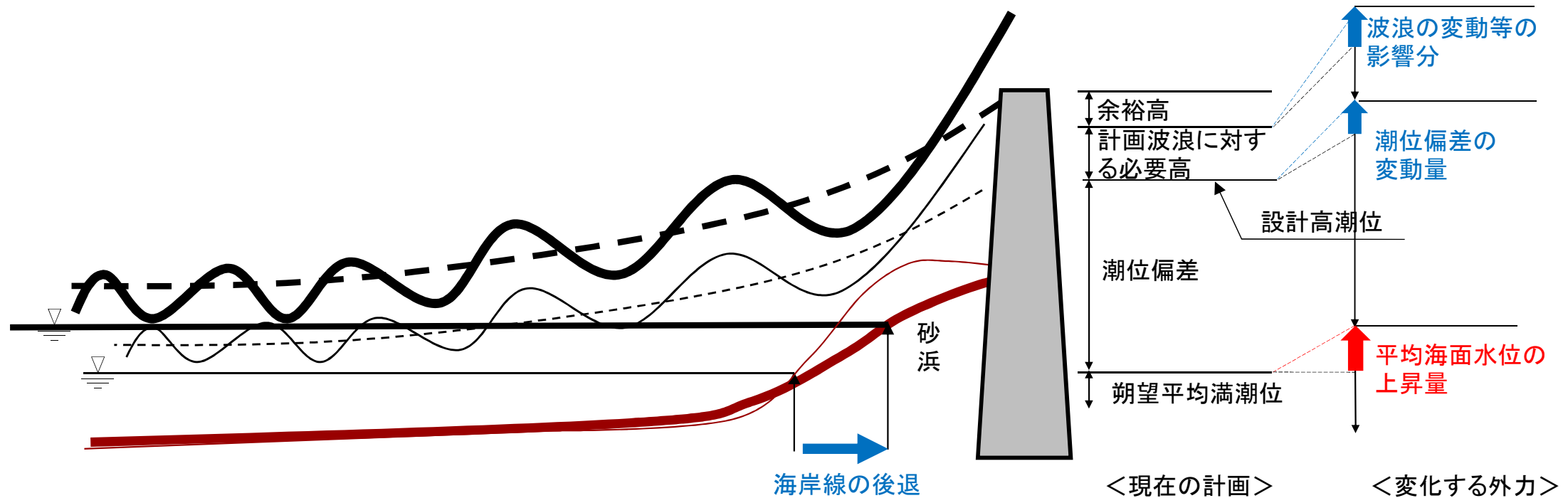


計画高潮位	計画波浪
1. 既往最高潮位	30～50年確率波 既往最大波浪 等
2. 朔望平均満潮位 + 既往の潮位偏差の最大値	
3. 朔望平均満潮位 + 推算の潮位偏差の最大値	

＜現在の考え方＞
過去の潮位実績等に基づき計画する

＜これからの考え方(案)＞
過去の潮位実績等に加え
将来予測を見込んで計画する

計画外力を設定する際に見込むべき海面上昇量の考え方①



計画高潮位	計画波浪
1. 既往最高潮位	30～50年確率波 既往最大波浪 等
2. 朔望平均満潮位 + 既往の潮位偏差の最大値	
3. 朔望平均満潮位 + 推算の潮位偏差の最大値	

<現在の考え方>
過去の潮位実績等に基づき計画する

<これからの考え方(案)>
過去の潮位実績等に加え
将来予測を見込んで計画する

計画外力を設定する際に見込むべき海面上昇量の考え方②

- これから起こりうる気候変動による「平均海面水位の上昇量」に対し、海岸防護の目標をどう考えるか。

<前提条件>

1. 施設で防ぎきれる高さには限界があり、ハード・ソフト施策を組み合わせ、災害を防止・軽減する
2. 現行計画の作成当時と比べ、すでに気候変動の影響による外力増大が顕在化している可能性がある
3. 予測の不確実性は一定程度は残る

計画外力を設定する際に見込むべき海面上昇量の考え方③

- これから起こりうる気候変動による「平均海面水位の上昇量」に対し、海岸防護の目標をどう考えるか。

＜科学的に予測される「平均海面水位の上昇量」の見込み方(案)＞

1. 今後整備・更新していく海岸保全施設(堤防、護岸、離岸堤等)については、整備・更新時点における最新の朔望平均満潮位に、将来的に予測される平均海面水位の上昇量を加え、設計等を行うことを基本としてはどうか。
2. 1. の場合、個別施設の整備・更新に当たっては、少なくとも当該施設の更新時期までに予測される上昇量を見込むことを原則とすることとしてはどうか。

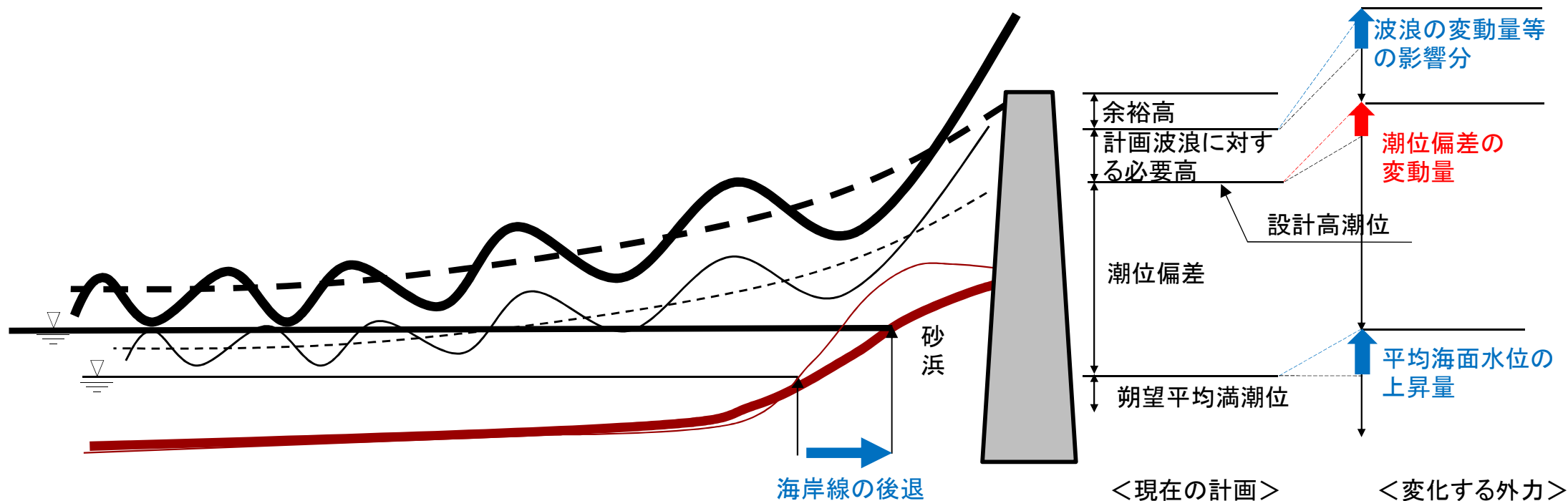
計画外力を設定する際に見込むべき海面上昇量の考え方③

- これから起こりうる気候変動による「平均海面水位の上昇量」に対し、海岸防護の目標をどう考えるか。

<適用範囲の目安としての海面上昇量>

3. 当面の防護目標を継ぎ足して防護方針とするのではなく、長期的な将来の防護方針を定めた上でそれを超えない範囲で、ハード対策の整備、ハード対策とソフト対策の組み合わせ、まちづくりなど海岸行政以外の分野との連携等を長期的な視点で効果的に進めていくためには、適用範囲の目安としての海面上昇量を設定すべきではないか。

計画外力を設定する際に見込むべき潮位偏差の変動の考え方①



※2～4の朔望平均満潮位には、将来的に予測される平均海面水位の上昇分を含む。

計画高潮位	計画波浪
1. 既往最高潮位	30～50年確率波 既往最大波浪 等
2. 朔望平均満潮位＋既往の潮位偏差の最大値	
3. 朔望平均満潮位＋推算の潮位偏差の最大値	
4. 朔望平均満潮位＋将来予測を踏まえた潮位偏差の最大値	

＜現在の考え方＞
過去の潮位実績等に基づき計画する

＜これからの考え方(案)＞
過去の潮位実績等に加え
将来予測を見込んで計画する

計画外力を設定する際に見込むべき潮位偏差の変動の考え方②

- これから起こりうる気候変動による「潮位偏差の変動」に対し、海岸防護の目標をどう考えるか。

<前提条件>

1. 潮位偏差は地域や地形等によって大きく異なる。
2. 計画外力は、台風に基づき推算している地域と低気圧に基づき推算している地域とがある。
3. 気候変動影響に基づく将来予測の定量化に係る研究が一定程度進められている。
4. 現行計画の作成当時と比べ、すでに気候変動の影響による変動量が含まれている可能性がある
5. 現時点では、潮位偏差の変動量の予測や定量化は、海面上昇量に比べて、不確実性が高い。

等

計画外力を設定する際に見込むべき潮位偏差の変動の考え方③

- これから起こりうる気候変動による「潮位偏差の変動」に対し、海岸防護の目標をどう考えるか。

＜「潮位偏差の変動量」の見込み方(案)＞

1. 今後整備・更新していく海岸保全施設(堤防、護岸、離岸堤等)については、将来的に予測される潮位偏差の変動量を推算し、設計等に見込むことを基本としてはどうか。
2. 将来の潮位偏差の変動量を推算する際には、少なくとも現在見込んでいる水準を下回らないことを原則とすることとしてはどうか。
3. 現行の設計高潮位と将来的に予測される潮位偏差を見込んだ設計高潮位とを比較し、より安全側の設計高潮位とすることとしてはどうか。

計画外力を設定する際に見込むべき潮位偏差の変動の考え方④

- 第4回検討委員会では、d4PDFのデータを活用し、気候変動の影響による潮位偏差の将来変化に関して、定性的な傾向の分析を行った。
- 第5回検討委員会では、全国の複数の海岸における現在の設計条件について、確率評価を様々な手法で試算した。
- 今後、海岸保全施設の設計に気候変動の影響を考慮するため、各海岸の自然的・社会的な状況等も踏まえ、気候変動影響の適切な定量評価手法を選択することも重要。
- 引き続き、気候変動影響の定量化に向けた検討を進めていく。

※潮位偏差等の気候変動影響の評価方法には様々な方法がある。
d4PDFを活用した方法としても【手法1】や【手法2】がある。

【手法1】 現在気候及び将来気候での潮位偏差の生起確率分布を示す方法

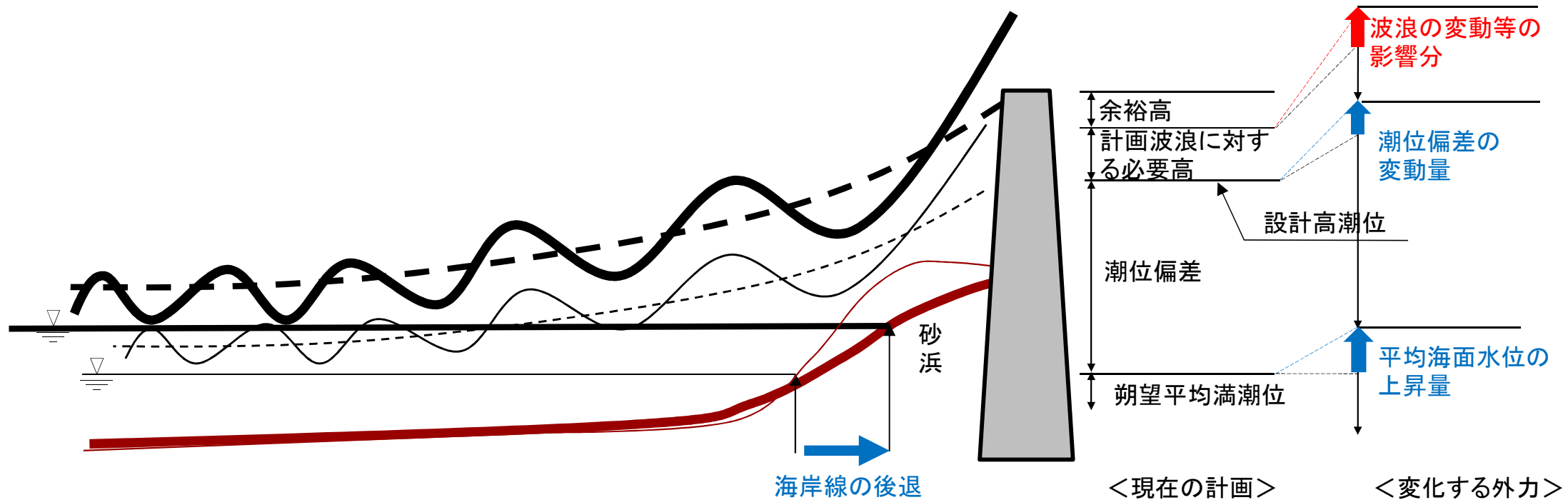
- ・ 現在の設計高潮位に含まれる潮位偏差の生起確率と同じ生起確率を有する将来気候での潮位偏差を求め、それに将来気候での朔望平均満潮位を加えた値を将来気候での設計高潮位とするもの。

【手法2】 現在気候及び将来気候での中心気圧の生起確率分布を示す方法

- ・ 伊勢湾台風等の既往台風が最悪の経路で来襲した場合の潮位偏差を推算し、それを朔望平均満潮位に加えて設計高潮位としている海岸では、既往台風の中心気圧の生起確率と同じ生起確率を有する将来気候での中心気圧を用いて潮位偏差を推算する。

【手法3】 上記以外の方法

計画外力を設定する際に見込むべき波浪の変動の考え方①



※2～4の朔望平均満潮位には、将来的に予測される平均海面水位の上昇分を含む。

計画高潮位	計画波浪
1. 既往最高潮位	30～50年確率波 既往最大波浪 等
2. 朔望平均満潮位＋既往の潮位偏差の最大値	
3. 朔望平均満潮位＋推算の潮位偏差の最大値	
4. 朔望平均満潮位＋将来予測を踏まえた潮位偏差の最大値	

＜現在の考え方＞

過去の潮位実績等に基づき計画する

＜これからの考え方(案)＞

過去の潮位実績等に加え

将来予測を見込んで計画する

計画外力を設定する際に見込むべき波浪の変動の考え方②

- これから起こりうる気候変動による「波浪の変動」等に対し、海岸防護の目標をどう考えるか。

＜前提条件＞

1. 波浪は地域や地形等によって大きく異なる。
2. 計画外力は、台風に基づき推算している地域と低気圧に基づき推算している地域とがある。
3. 現行計画の作成当時と比べ、すでに気候変動の影響による外力変化が含まれている可能性がある。
4. 現時点では、波浪の変動（沖合での波高の増加及び周期や波高の変化等）の予測や定量化は、海面上昇量に比べて、不確実性が高い。

計画外力を設定する際に見込むべき波浪の変動の考え方③

- これから起こりうる気候変動による「波浪の変動」等に対し、海岸防護の目標をどう考えるか。

<「気候変動による波浪の影響」の見込み方(案)>

1. 既に顕在化している気候変動の影響を考慮するため、できるだけ長期間の観測データ(観測開始から整備・更新時期まで)に基づいた統計解析によって設計波を決定することを基本としてはどうか。
2. 今後、研究成果の蓄積を踏まえ、次の手法等により、将来的に予測される波浪の影響を推算し設計等に見込むこととしてはどうか。

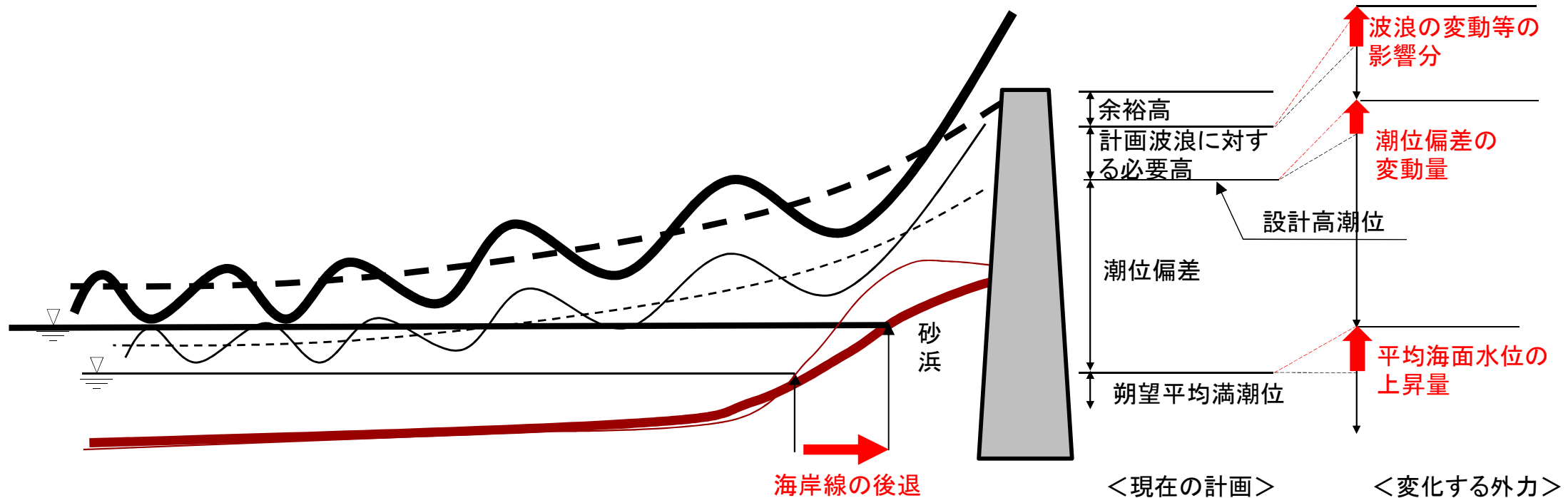
【手法1】

- ・ d4PDFのデータを活用して現在気候及び将来気候での波浪推算を行い、現在の設計波と同じ生起確率を有する将来気候の波高を設計波の波高とすることとする。

【手法2】

- ・ d4PDFのデータを活用して現在気候及び将来気候での波浪推算を行い、現在の設計波と同じ生起確率における現在気候の波高と将来気候の波高比を求め、その比を現在の設計波の波高に掛けた値を設計波の波高とすることとする。

計画外力を設定する際に見込むべき気候変動影響の考え方①



※2～4の朔望平均満潮位には、将来的に予測される平均海面水位の上昇分を含む。

計画高潮位	計画波浪
1. 既往最高潮位	30～50年確率波 既往最大波浪 等
2. 朔望平均満潮位 + 既往の潮位偏差の最大値	
3. 朔望平均満潮位 + 推算の潮位偏差の最大値	
4. 朔望平均満潮位 + 将来予測を踏まえた潮位偏差の最大値	

＜現在の考え方＞

過去の潮位実績等に基づき計画する

＜これからの考え方(案)＞

過去の潮位実績等に加え

将来予測を見込んで計画する

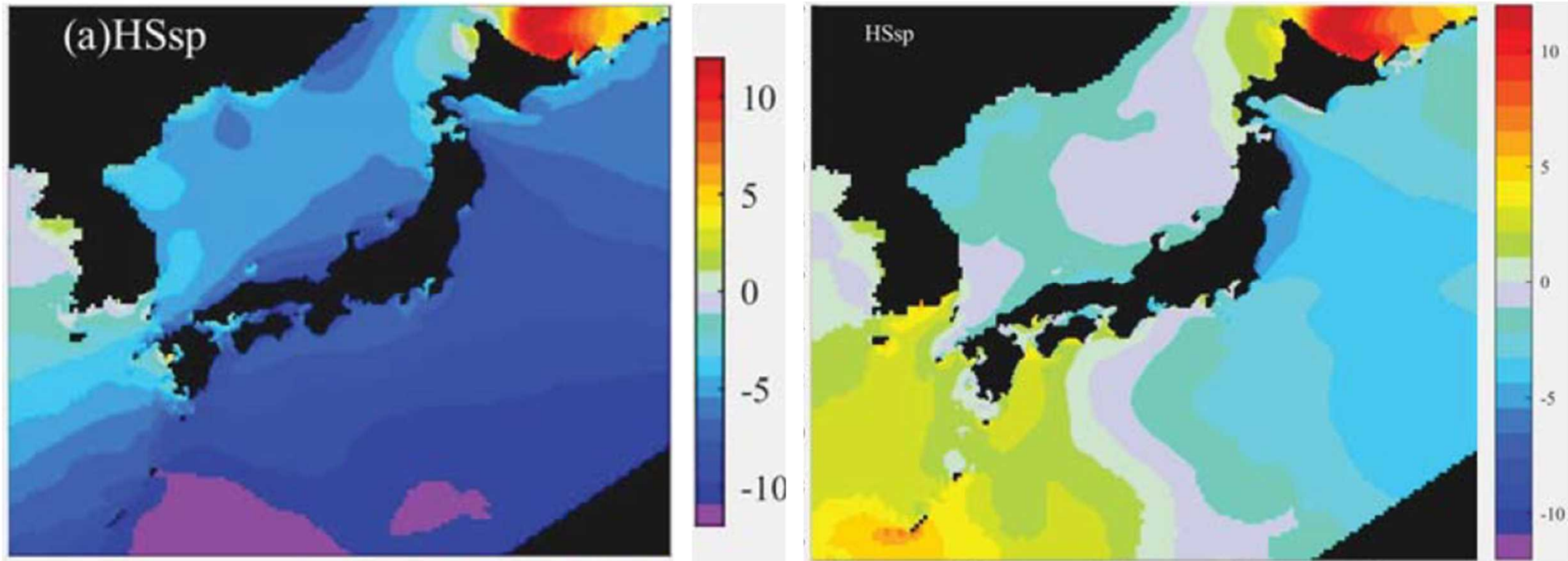
計画外力を設定する際に見込むべき気候変動影響の考え方②

	気候変動影響		
	平均海面水位の上昇量	潮位偏差の変動量	波浪の変動等の影響分
前提条件	1. 施設で防ぎきれぬ高さには限界があり、ハード・ソフト施策を組み合わせ、災害を防止・軽減する 2. 現行計画の作成当時と比べ、すでに気候変動の影響による外力増大が顕在化している可能性がある 3. 予測の不確実性は一定程度は残る	1. 潮位偏差は地域や地形等によって大きく異なる。 2. 現行計画の計画外力は、台風に基づき推算している地域と低気圧に基づき推算している地域とがある。 3. 気候変動影響に基づく将来予測の定量化に係る研究が一定程度進められている。 4. 現行計画の作成当時と比べ、近年の観測結果にはすでに気候変動の影響による変動量が含まれている可能性がある 5. 現時点では、潮位偏差の変動量の予測や定量化は、海面上昇量に比べて、不確実性が高い。	1. 波浪は地域や地形等によって大きく異なる。 2. 現行計画の計画外力は、台風に基づき推算している地域と低気圧に基づき推算している地域とがある。 3. 現行計画の作成当時と比べ、近年の観測結果にはすでに気候変動の影響による変動量が含まれている可能性がある。 4. 現時点では、波浪の変動（沖合での波高の増加及び周期や波高の変化等）の予測や定量化は、海面上昇量に比べて、不確実性が高い。
見込み方	1. 今後整備・更新していく海岸保全施設（堤防、護岸、離岸堤等）については、整備・更新時点における最新の期望平均満潮位に、将来的に予測される平均海面水位の上昇量を加え、設計等を行うことを基本としてはどうか。 2. 1. の場合、個別施設の整備・更新に当たっては、少なくとも当該施設の更新時期までに予測される上昇量を見込むことを原則とすることとしてはどうか。	1. 今後整備・更新していく海岸保全施設（堤防、護岸、離岸堤等）については、将来的に予測される潮位偏差の変動量を推算し、設計等に見込むことを基本としてはどうか。 2. 将来の潮位偏差の変動量を推算する際には、少なくとも現在見込んでいる水準を下回らないことを原則とすることとしてはどうか。 3. 現行の設計高潮位と将来的に予測される潮位偏差を見込んだ設計高潮位とを比較し、より安全側の設計高潮位とすることとしてはどうか。	1. 既に顕在化している気候変動の影響を考慮するため、できるだけ長期間の観測データ（観測開始から整備・更新時期まで）に基づいた統計解析によって設計波を決定することを基本としてはどうか。 2. 今後、研究成果の蓄積を踏まえ、将来的に予測される波浪の影響を推算し設計等に見込むこととしてはどうか。

気候変動に伴う常時波浪の将来変化予測の例

○ 全球気候モデル（MRI-AGCM3.2H）の気候変動予測実験による日本沿岸の波浪予測（志村、森（2019））では、以下のような結果となっている。IPCC SROCC掲載アンサンブル波浪予測結果のDS結果

- ・ RCP8.5において、平均有義波高が10%減少。
- ・ RCP2.6ではRCP8.5のケースに比べ減少量は少ない。
- ・ いずれも、平均有義波高が増加する地域も見られる。
- ・ 平均波向きの変化も予測され、地域によって変化する向きや度合いは異なる



平均有義波高の将来変化率の予測結果

RCP8.5

RCP2.6

※計算期間は、過去条件が1979～2003年、RCP8.5,RCP2.6はいずれも2075～2099年

過去の日本の砂浜幅変化(沿岸区分別)

1900年

全国平均 70 m
572.06 km²

1950年

全国平均 63 m
473.98 km²

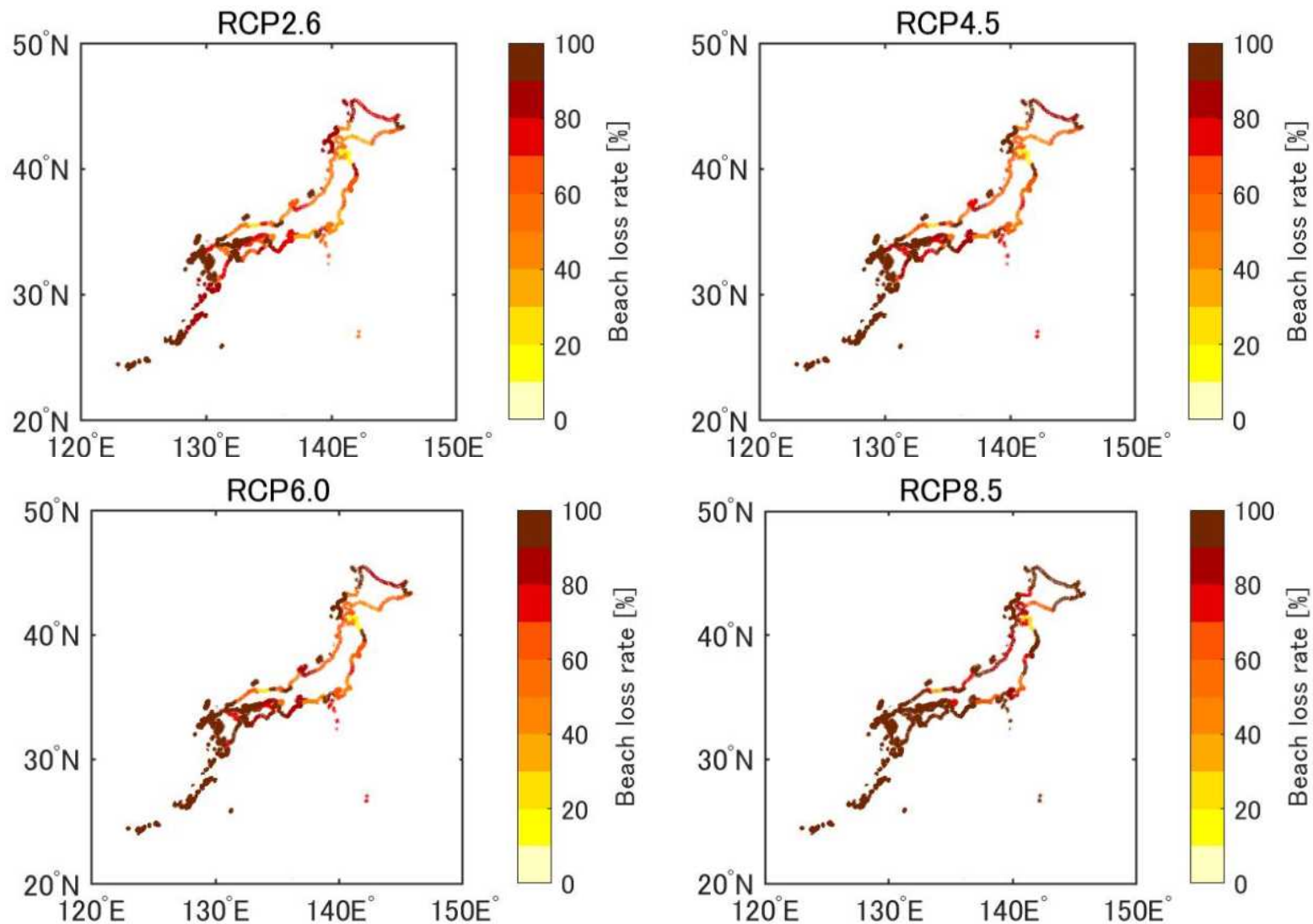
1990年

全国平均 43 m
277.87 km²



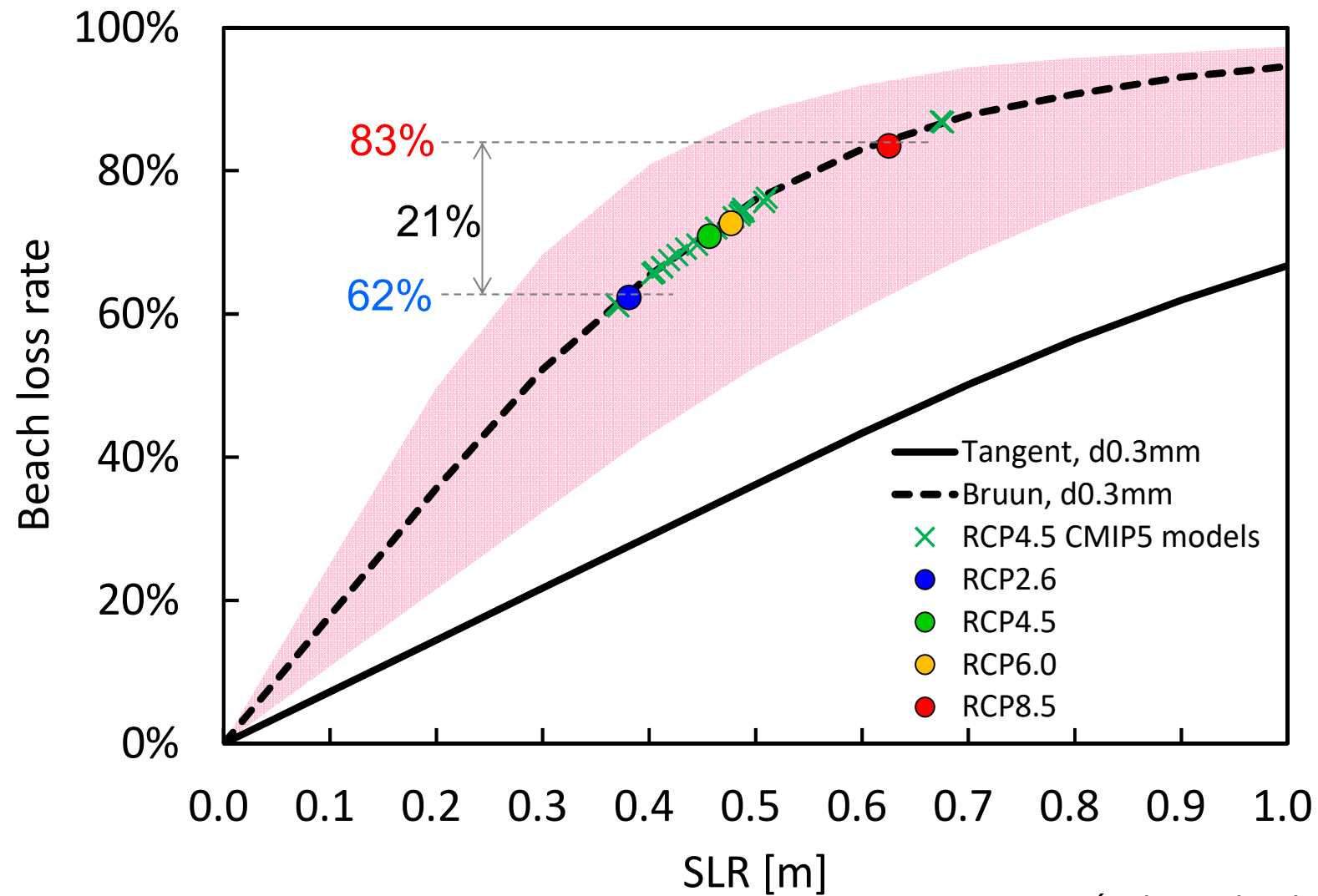
(Udo and Takeda, 2017)

全国の砂浜消失の将来予測結果



(Udo and Takeda, 2017)

海面上昇量に対する砂浜消失率



(Udo and Takeda, 2017)

気候変動影響を踏まえた海岸侵食への対応方針①

- 常時波浪の影響を大きく受ける侵食対策について、気候変動の影響と対策のあり方をどう考えるか。

＜前提条件＞

1. 海岸侵食は、波高だけでなく波向きにも影響を受ける。
2. (沖波の条件が与えられれば)沿岸波浪変形の数値モデルは精度が高い。
3. 常時波浪の将来変化については、日本沿岸の多くで、有義波高及び平均周期が減少し、波向きも変化するといった研究成果がある。沿岸漂砂による平面的な地形変化の予測は、岸沖漂砂による断面地形変化より精度が高い。
4. 波浪の極値の予測よりは、平均値の予測の方が、統計的な変動は小さい。

気候変動影響を踏まえた海岸侵食への対応方針②

- 常時波浪の影響を大きく受ける侵食対策について、気候変動の影響と防護のあり方をどう考えるか。

＜侵食対策のあり方(案)＞

- 影響を受ける外力の気候変動影響の定量的な評価が現時点で難しい一方、海岸侵食は海面上昇の影響等を確実に受けることが想定されることから、一歩先を見据えた「予測を重視した順応的砂浜管理」を実施していくべきではないか。

【予測を重視した順応的砂浜管理】

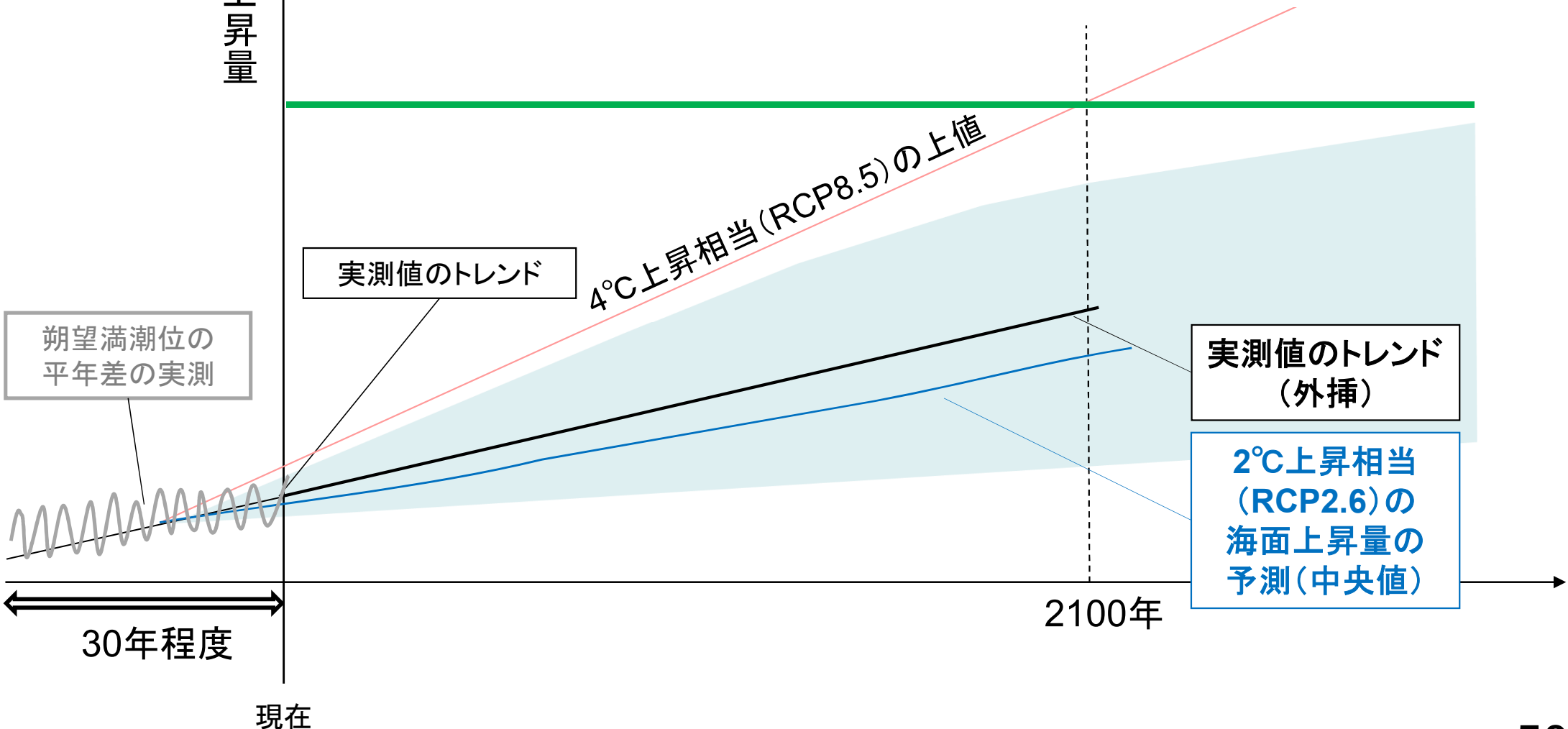
モニタリングにより、将来的な気候変動や人為的改変による影響等も考慮したうえで、流砂系全体や地先の砂浜の変動傾向を把握し、侵食メカニズムを設定し、将来の変化を予測、その予測に基づき対策を実施する、更に、その効果をモニタリングで確認し、次の対策を検討する。

(参考) 平均海面水位と長期的視点からの適応イメージ

現在

海岸保全の目標は、**2℃上昇相当(RCP2.6)**を前提としつつ、
広域的・総合的な視点からの取組は、**平均海面水位が
2100年に1m程度上昇する予測(4℃上昇相当(RCP8.5))**も考慮し、
長期的視点から関連する分野とも連携

(m)
海面上昇量



(参考) 平均海面水位と長期的視点からの適応イメージ

X0年後の現在

(m)
海面上昇量

海岸保全の前提とする平均海面水位の上昇量予測が2100年以降に1m程度を超えることとなった場合には、改めて、その時点における社会経済情勢等を考慮し、多様な選択肢を含めて長期的視点から適応を検討

実測値のトレンド

朔望満潮位の
平年差の実測

4°C上昇相当(RCP8.5)の上値

X0年後において
海岸保全の前提とする
平均海面水位の上昇量予測

2100年

21X0年

現在

X0年後の現在

Ⅱ 海岸保全に影響する外力の将来変動予測

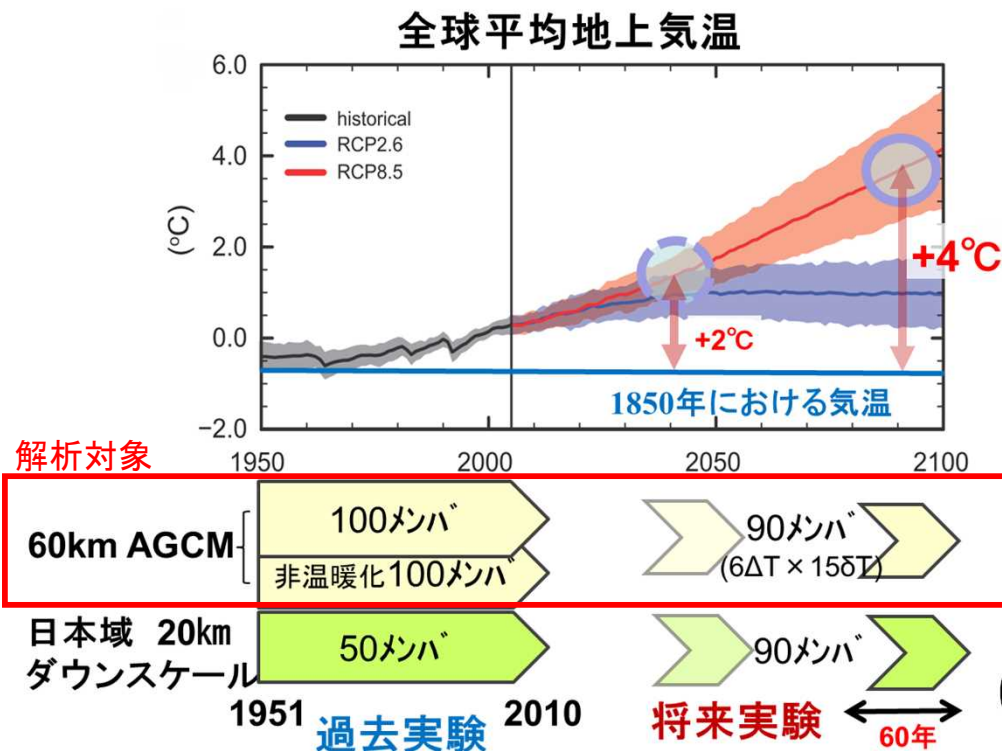
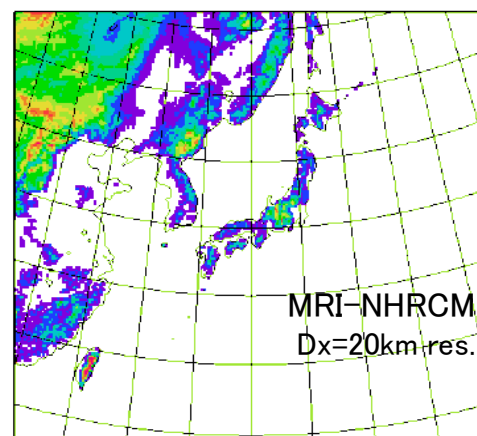
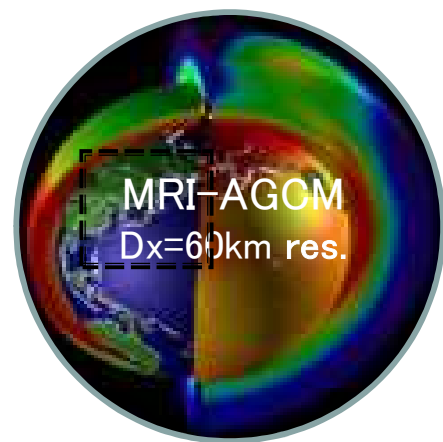
地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)

- d4PDFとは、分野間で整合した地球温暖化緩和・適応策の検討に利用できるように整備されたアンサンブル気候予測計算結果のデータベース(database for Policy Decision making for Future climate change)
- 高解像度の気候モデルによる多数のアンサンブル計算を行った結果を整理したもので、その活用により、顕著な大気現象について統計的に信頼性の高い将来予測情報が得られることが期待される。

特徴

- 世界に類例の無い大規模アンサンブル・高解像度気候シミュレーションプロダクト。総実験データ量は約 2ペタバイト(文科省DIAS サーバーで配信)。
- 過去気候変化の再現性が高い。気象庁現業モデルを基にした気候モデル採用。
- 異常高温、集中豪雨、台風等の顕著現象の発現頻度や強度の将来変化を抽出。

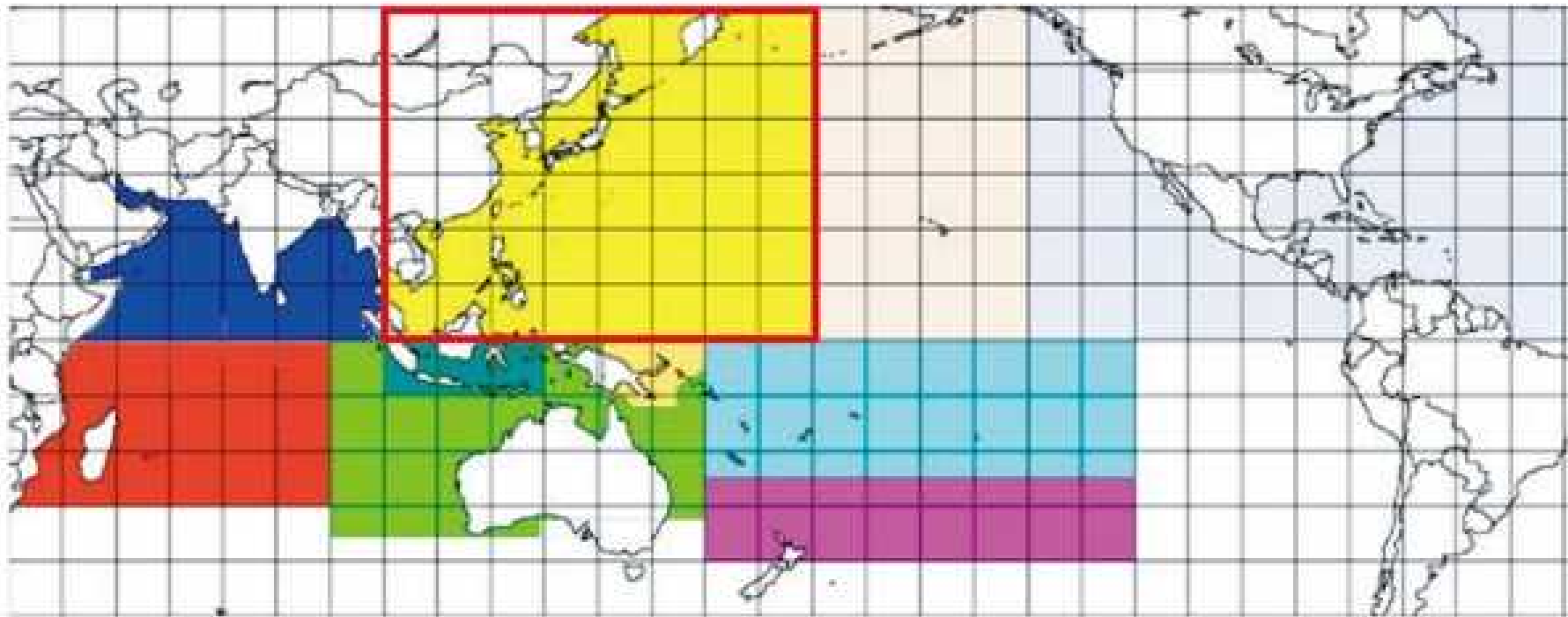
- ・過去実験(6000年) = 温暖化トレンドを入れた過去60年の時間変動 × 観測不確実性を表す100摂動
- ・将来実験(5400年) = 温暖化トレンドを除いた過去60年の時間変動 × 6種のCMIP5 温暖化パターン × 観測不確実性を表す15摂動



気象庁ベストトラックデータ

- 気象庁が、北西太平洋域の熱帯低気圧に関する地区特別気象センター(RSMC東京)として、責任領域内の熱帯低気圧について、6時間毎に中心位置、中心気圧、最大風速等の情報をとりまとめたもの
- 1978年以降は静止気象衛星ひまわりの本格的な観測が開始。観測精度が向上。

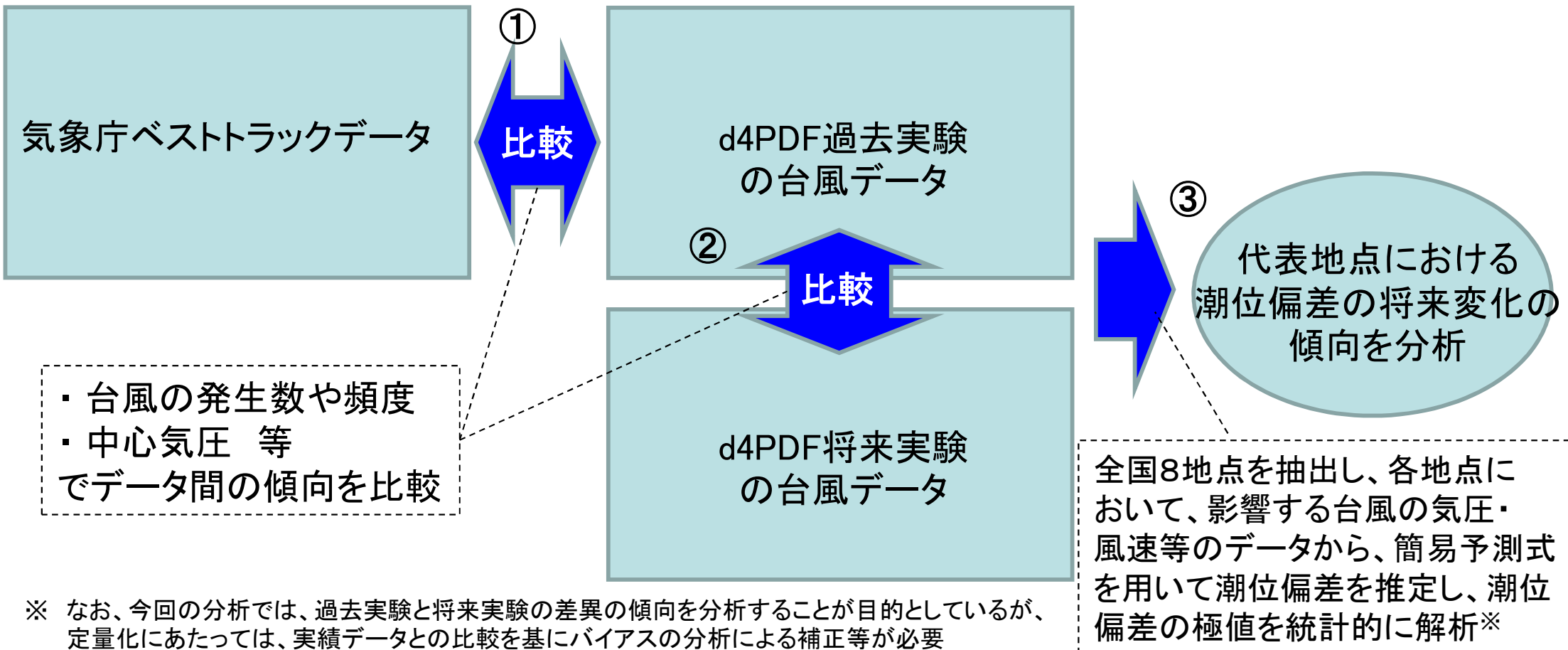
熱帯低気圧 RSMC 東京の責任領域



赤枠内（赤道～北緯60度、東経100～180度）が熱帯低気圧RSMC東京の責任領域。
この領域内の熱帯低気圧に関する解析・予報等の情報を周辺各国へ提供します。

d4PDFデータの分析(台風)

- 気象庁ベストトラックデータとd4PDF過去実験、将来実験の台風データを用いて次の手順でデータを分析した。
- ① 気象庁ベストトラックとd4PDF過去実験の台風データについて、台風の発生数や頻度、中心気圧の極値等を比較し、観測結果を再現しているかどうかを把握
 - ② 同じ要素でd4PDFの過去実験と将来実験の台風データを比較し、将来変化の傾向を把握
 - ③ 全国の代表的な地点において、過去実験と将来実験の台風データから高潮経験式を用いて潮位偏差の極値を推定し、極値統計解析を行い、潮位偏差の生起確率の変化傾向を分析



出典：京都大学防災研究所「気候変動予測・影響評価に関するデータ」(文部科学省 統合的気候モデル高度化研究プログラム)

http://www.coast.dpri.kyoto-u.ac.jp/japanese/?page_id=5004

爆弾低気圧とは

○ 爆弾低気圧とは、中心気圧が24時間で $24\text{hPa} \times \sin(\phi) / \sin(60^\circ)$ 以上低下する
温帯低気圧(ϕ は緯度)のことをいう。例えば北緯 40° なら $17.8\text{hPa}/24\text{h}$ が基準となる。

(出典: 気象庁「気圧配置 気圧・高気圧・低気圧に関する用語」、気象科学事典等)

d4PDFと爆弾低気圧情報データベースとの比較

		d4PDF※1	爆弾低気圧情報データベース※2
低気圧抽出	対象範囲	北緯 20° から北緯 50° 東経 110° から東経 160°	北緯 20° から北緯 60° 東経 110° から東経 180°
	低気圧の抽出	周囲のSLP - 中心のSLP ≥ 1 (hPa)	周囲のSLP - 中心のSLP ≥ 0.5 (hPa)
トラッキング	N+1ステップの抽出範囲	東西に各 9.0° 、南北に各 6.0° の範囲	東西に各 9.0° 、南北に各 6.0° の範囲
	トラッキング継続時間	24時間以上	24時間以上
爆弾低気圧判定		最大発達率 $\varepsilon = 1$ 以上 時間: 24時間 緯度: 60° $\varepsilon = \frac{p(t-12) - p(t+12)}{24} \times \frac{\sin 60^\circ}{\sin \phi(t)}$	最大発達率 $\varepsilon = 1$ 以上 時間: 12時間 緯度: 45° $\varepsilon = \left[\frac{p(t-6) - p(t+6)}{12} \right] \frac{\sin 45^\circ}{\sin \phi}$

※1 京都大学防災研究所「気候変動予測・影響評価に関するデータ」(文部科学省 統合的気候モデル高度化研究プログラム)

http://www.coast.dpri.kyoto-u.ac.jp/japanese/?page_id=5004

※2 九州大学 大学院 理学研究院 爆弾低気圧情報データベース http://fujin.geo.kyushu-u.ac.jp/meteorol_bomb/

d4PDFデータの分析(爆弾低気圧)

- d4PDF過去実験、将来実験の爆弾低気圧データを用いて次の手順でデータを分析した。
- ① d4PDFの過去実験と将来実験の爆弾低気圧データについて、爆弾低気圧の発生数や頻度、中心気圧の極値等を比較し、将来変化の傾向を把握
 - ② 根室において、過去実験と将来実験の爆弾低気圧データから高潮経験式を用いて潮位偏差の極値を推定し、極値統計解析を行い、潮位偏差の生起確率の変化傾向を分析
- ※ 参考として、爆弾低気圧情報データベースとd4PDF過去実験の爆弾低気圧データについて、爆弾低気圧の発生数や頻度、中心気圧の極値等を比較し、観測結果を再現しているかどうかを把握

爆弾低気圧情報
データベース

参考

d4PDF過去実験
の爆弾低気圧データ

①

比較

d4PDF将来実験
の爆弾低気圧データ

・爆弾低気圧の発生数や
頻度・中心気圧等で
データ間の傾向を比較

②

根室における
潮位偏差の将来変化の
傾向を分析

高潮経験予測式の係数が確認
できた根室において、影響する
爆弾低気圧の気圧・風速等の
データから、簡易予測式を用いて
潮位偏差を推定し、潮位偏差の
極値を統計的に解析※

※ なお、今回の分析では、過去実験と将来実験の差異の傾向を分析することが目的としているが、定量化にあたっては、実績データとの比較を基にバイアスの分析による補正等が必要

d4PDFの活用による気候変動の影響評価（試行結果のまとめ）

- d4PDFのデータと観測データとのバイアス補正を複数の方法で試行した結果、5%タイル付近ではバイアス補正手法の選択による差は軽微であるが、最低値に近い極端事象では中心気圧の分布形状にばらつき(10hPa未満)が生じた。
- d4PDF爆弾低気圧トラックデータを分析したところ、過去実験と将来実験を比較すると、北緯30～40度付近では極端事象に向かうほど将来実験の最低中心気圧が相対的に低下する傾向となった。
- d4PDF爆弾低気圧トラックデータから簡易式を用いて潮位偏差の将来変化の推定を試行(根室地点のみ)したところ、台風と比べると過去実験と将来実験の差異が小さく、最低値に近い極端な領域を除いて、両者は同程度となった。

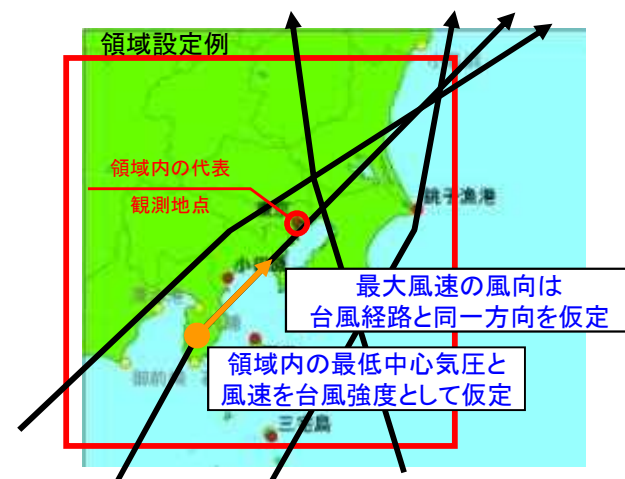
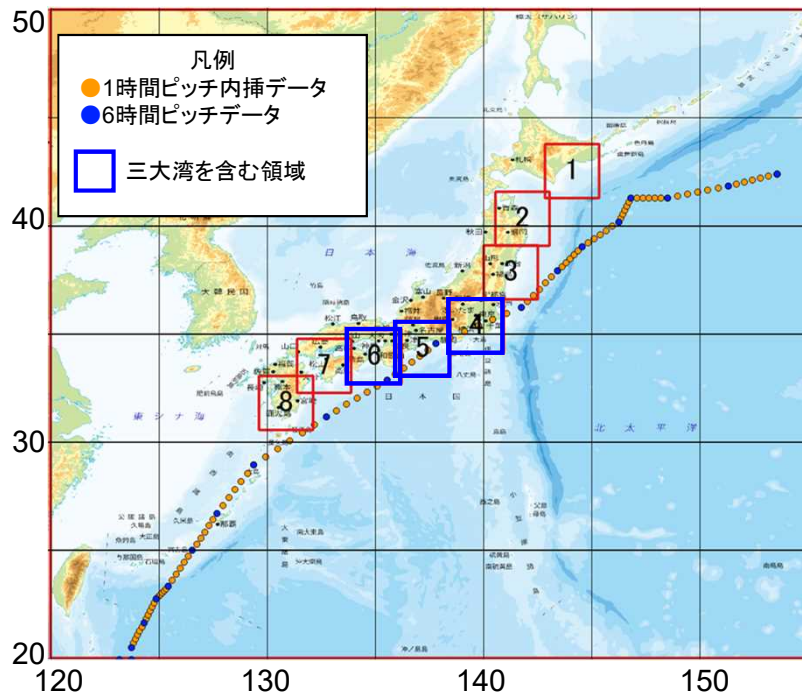
分析項目		気象庁 台風ベストトラックデータ × d4PDF過去実験 台風トラックデータ	d4PDF過去実験 台風トラックデータ × d4PDF将来実験 台風トラックデータ	d4PDF過去実験 爆弾低気圧トラックデータ × d4PDF将来実験 爆弾低気圧トラックデータ
トラックデータの 傾向把握	発生数	同程度	将来実験の方が少ない	同程度
	上陸数	同程度	将来実験の方が少ない	同程度
	日本近海の 通過数	d4PDF過去実験の方が少ない	将来実験の方が少ない	日本海側では将来実験の方が多い
	太平洋沿岸 8領域の発生数	d4PDF過去実験の方が少ない	将来実験の方が少ない	—
	最低中心気圧 の緯度、 経度方向分布	北緯20度付近はd4PDFの最低中心 気圧が高い傾向にある一方で、北緯 40度付近ではd4PDFの最低中心気圧 が低い傾向	北緯30度から北緯40度付近にかけて 将来実験の最低中心気圧が低くなる 傾向	将来実験の最低中心気圧が低くなる 傾向にある
代表地点における 極端現象の 生起確率の 将来変化 (簡易推定式を 用いた分析)	最低中心気圧	—	極端事象は将来実験の最低中心気圧 が低下傾向	最低値に近い極端な領域を除いて、 両者は同程度
	潮位偏差	—	極端事象は将来実験の方が相対的に 上昇	最低値に近い極端な領域を除いて、 両者は同程度

潮位偏差や波浪の変動量の定量化に向けて

- 今後の海岸保全のため、潮位偏差や波浪に対する気候変動影響の定量化を進めていく必要があり、d4PDFのデータを用いて台風による潮位偏差の気候変動による将来変化の傾向を定性的に分析したところ(第4回委員会 資料4)。
- 将来変化の傾向を定量的に評価するには、d4PDFの台風データに関する最低中心気圧のバイアス等について補正が必要であるため、本資料では、その補正方法について検討した。
 - 引き続き適切なバイアス補正方法を含めた将来変化の定量化の検討を進める必要。
- また、北日本や日本海側など、台風ではなく急速に発達する低気圧(いわゆる「爆弾低気圧」)(以降、本資料では「爆弾低気圧」と表記)が計画決定外力となる地域もあるため、今後各地域において外力の将来変化を推定するには、爆弾低気圧による潮位偏差等の変化傾向も議論していく必要がある。
- このため、台風と同様にd4PDFから抽出した爆弾低気圧のデータを活用して、過去実験と将来実験の差異の傾向を分析するなどした。
 - 爆弾低気圧についても台風と同様の傾向分析はできたが、潮位偏差の簡易推定を試行した地点・範囲では、設計に関わるレベルでは過去実験と将来実験に明瞭な差異は認められず、引き続き他の地点における試行等を含め、定量化に向けた検討を行っていく必要。

d4PDFによる気候変動に伴う将来変化の影響評価【試算結果】

○ 三大湾(東京湾・伊勢湾・大阪湾)を対象に、d4PDFの過去実験と将来実験のバイアス補正後の中心気圧から高潮経験予測式を適用した潮位偏差を算出し、気候変動に伴う将来変化の傾向を分析した。



領域内を通過する台風の最低中心気圧と風速の定義

検討フロー※

超過確率によるバイアス補正

第4回委員会提示資料

緯度区分別の
年平均通過数の整理

年平均通過数を考慮した
再現期間の推定

バイアス補正後の中心気圧の
分布形状の確認

領域別バイアス補正後の中心気圧に
高潮経験予測式を適用し潮位偏差を推定

代表的な再現期間における
中心気圧及び潮位偏差の変化率の整理

※算定方法及び変化率等の具体は参考資料を参照

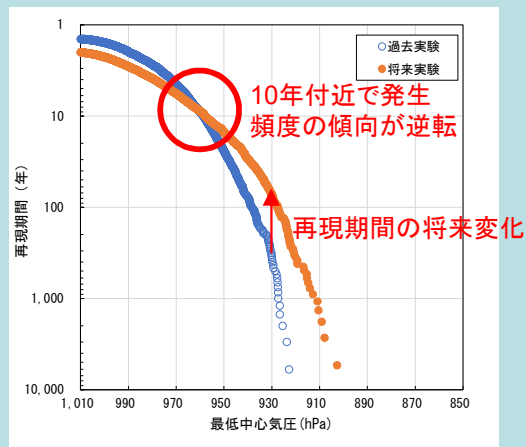
今回試行

d4PDFによる気候変動に伴う将来変化の影響評価【試算結果】

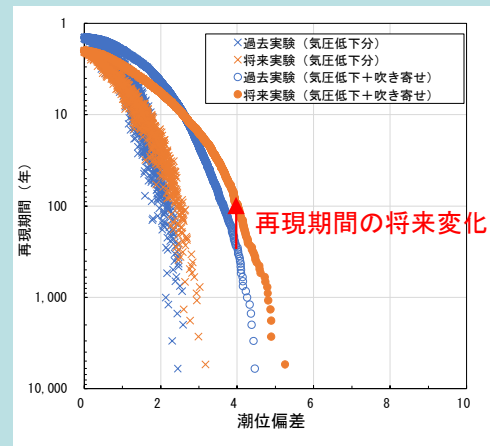
- 海岸防護の目標規模となる再現期間30年～100年、想定最大クラスとなる再現期間300年～1000年について、現在気候(d4PDF過去実験)と将来気候(d4PDF将来実験)の再現期間の変化傾向を分析した。
- 中心気圧と潮位偏差の再現期間の将来変化についてそれぞれ50年→約20年、50年→約30年まで短くなる。また、それぞれ1000年→200年以下、1000年→500年以下まで短くなる。

■再現期間の将来変化算出方法 ■再現期間の将来変化の整理

バイアス補正後の中心気圧算定例

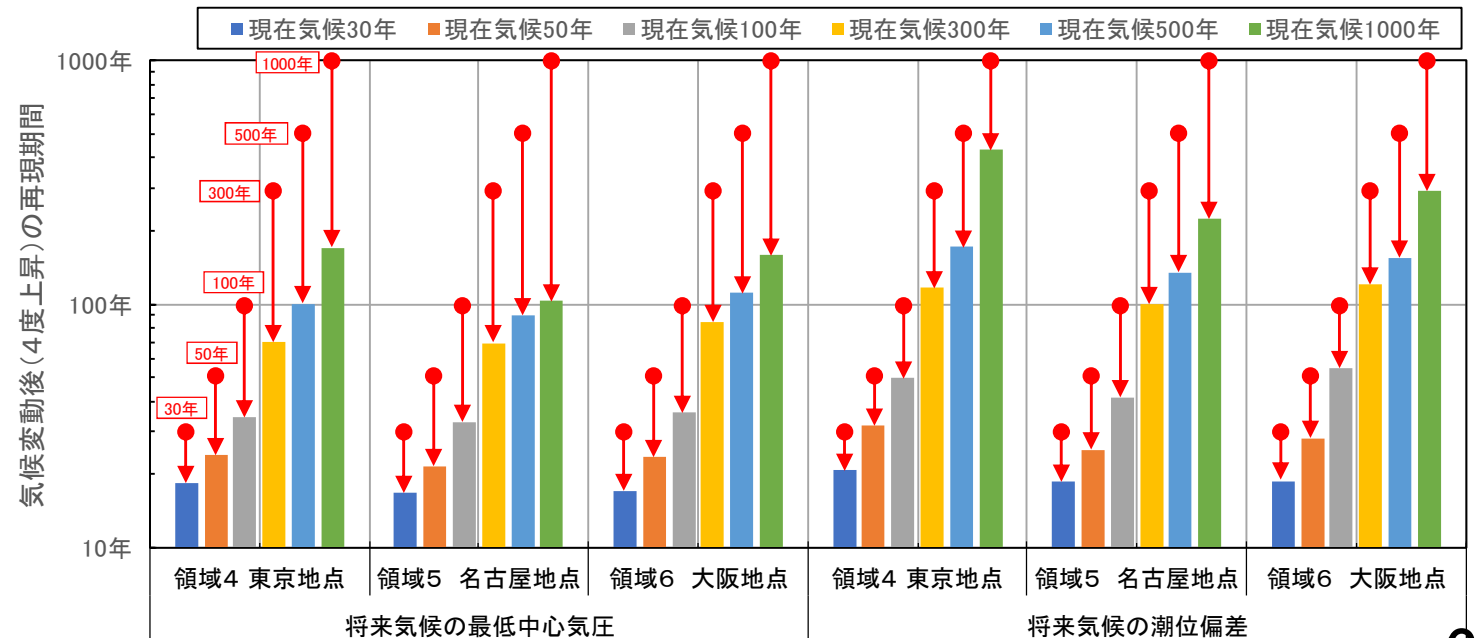


高潮経験予測式による潮位偏差算定例



再現期間	将来気候の最低中心気圧			将来気候の潮位偏差		
	領域4 東京地点	領域5 名古屋地点	領域6 大阪地点	領域4 東京地点	領域5 名古屋地点	領域6 大阪地点
現在気候30年	18年	17年	17年	21年	19年	19年
現在気候50年	24年	21年	24年	32年	25年	28年
現在気候100年	34年	33年	36年	50年	41年	55年
現在気候300年	70年	69年	84年	117年	100年	121年
現在気候500年	100年	90年	113年	173年	135年	156年
現在気候1000年	169年	104年	159年	433年	225年	295年

■現在気候と将来気候の再現期間の変化傾向



d4PDFによる気候変動に伴う将来変化の影響評価結果のまとめ

d4PDFに基づき、最低中心気圧と潮位偏差(診断値)の極値分布及び気候変動の影響を分析した結果、以下の知見が得られた。

- d4PDFによる中心気圧と潮位偏差の再現期間の将来変化について、**海岸防護の目標規模に着目するとそれぞれ50年→約20年、50年→約30年まで短くなる。想定最大クラスではそれぞれ1000年→200年以下、1000年→500年以下まで短くなる。**
- 今回の分析結果と既往研究との比較を行った結果、①伊勢湾台風級の極端台風を想定した擬似温暖化実験とd4PDFの比較から、中心気圧と最大風速の両方とも比較的一致度が良いことがわかった。
- ②観測値最大の再現期間100年程度がd4PDFの過去実験では100年～500年に相当し、室戸台風級(910hPa)は、外挿となる500年～5000年相当に対して、d4PDFの過去実験では1万年以上に相当し、より低頻度の評価となった。
- ③再現期間の将来変化の特徴として、**短期的(<10年)な潮位偏差は減少、長期的な潮位偏差は増加**することがわかった。
- 今回の潮位偏差の試算は、高潮経験予測式による推定値であり、既往研究と比べて、④潮位偏差の絶対値が過大評価傾向であること、⑤文献アンサンブルと比べてd4PDFの将来変化量の幅が狭いことから、**力学モデルによる検証等、定量的な評価が今後の課題**である。

Ⅲ 今後の海岸保全対策

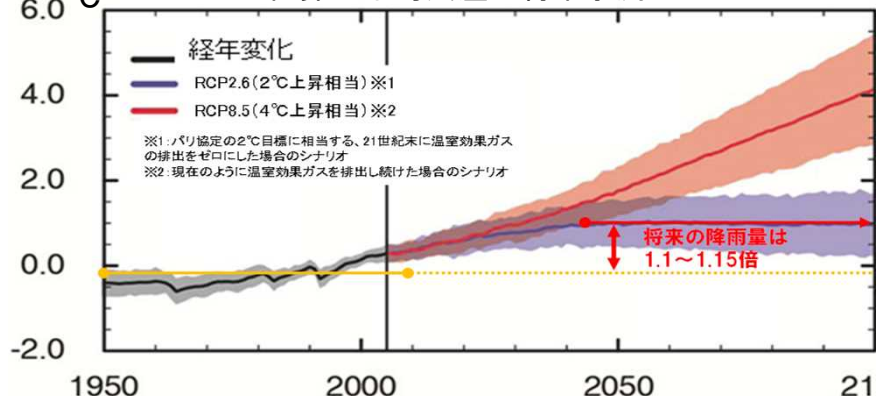
気候変動を踏まえた海岸保全への転換

- 気候変動の影響による平均海面水位の上昇や台風の強大化等を踏まえ、海岸保全施設等の計画外力の設定に必要な技術基準などを見直し、ハード対策やソフト対策を組み合わせ、気候変動適応策を具体化する。
- なお、基準の見直しにあたっては、気候変動により2℃上昇した場合を基本とする。

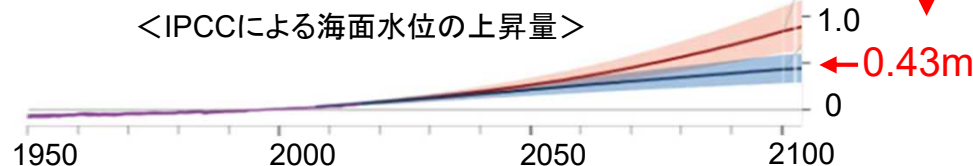
■IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書(SROCC)(令和元年9月)

1986～2005年に対する2100年までの平均海面水位の上昇範囲は、RCP2.6では0.29-0.59mと予測。

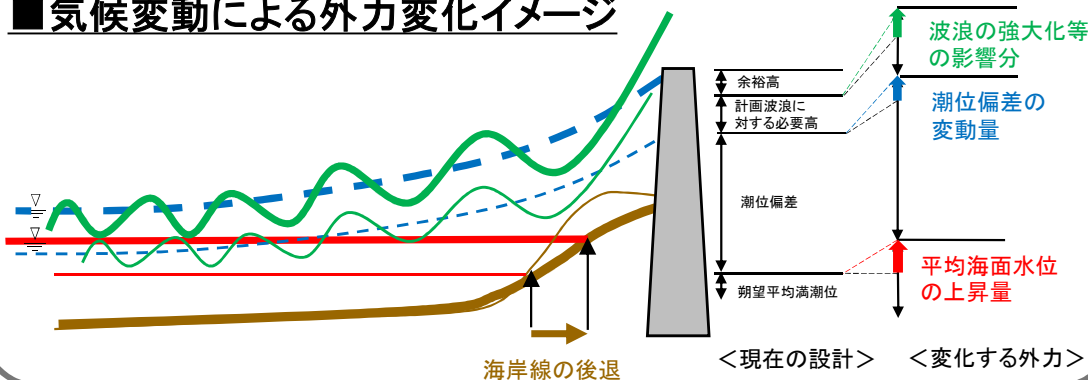
＜世界の平均気温の将来予測＞



＜IPCCによる海面水位の上昇量＞



■気候変動による外力変化イメージ



ハード対策

面的防護

- ・砂浜保全
- ・沖合施設

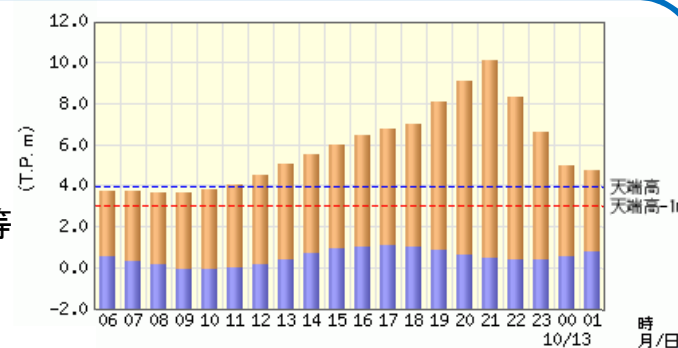
線的防護

- ・越流防止
- ・越波抑制



ソフト対策

- ・高潮の予測
- ・技術の高度化
- ・浸水予測
- ・タイムライン 等



ハード・ソフトを組み合わせた地域づくり

- ・浸水想定区域の指定
- ・リスクに応じた土地利用 等



取り得る適応策(案)

気候変動の沿岸部(海岸)に与える影響に対して取り得る適応策を例示。個々の場所の特性や気候変動の影響の発現動向に応じ適切な施策を適切なタイミングで講じていくことが肝要。

主な項目	影響	適応策(△:ソフト対策、□:ハード対策)
砂浜・国土保全への影響	○海岸保全施設前面の汀線の後退による防護機能の低下 ○砂浜を有する景観の変化・悪化 ○海水浴場の減少などレジャーへの影響など、観光資源としての価値の減少	△総合土砂管理計画の作成 □総合土砂管理計画に基づく対策の実施 □養浜・侵食対策の実施 △海岸侵食対策にかかる新技術の開発等 △防護ラインのセットバックや都市機能の移転・集約の機会等を捉えた土地利用の適正化
生態系への影響	○砂浜植生の減少・消滅の危険性 ○藻場の磯焼け、二枚貝などの生息環境の変化 ○干潟の減少・消滅の危険性	△環境に配慮した整備や新工法等に関する調査研究 □環境に配慮した整備の実施
堤防・護岸等への影響	○堤体の滑動、転倒、倒壊 ○被覆工、上部工の被災 ○越波、越流に伴う洗掘による堤体の被災、破堤 ○汀線の後退による防護機能の低下	△海象のモニタリング △最新の予測技術に基づいた設計外力の定期的な見直し △施設の健全度評価 △超過外力が作用する場合の海岸保全施設への影響の把握 □粘り強い構造の堤防等の整備 △ライフサイクルコストを考慮した最適な更新等の考え方の検討 □養浜・侵食対策の実施
背後地への影響	○越波・越流による浸水被害の増加 ○破堤による海水の流入に伴う浸水被害の増加	△海岸保全施設の防護機能の把握 △ライフサイクルコストを考慮した最適な更新等の考え方の検討 □被災リスクの高い箇所及び更新時期を踏まえた海岸保全施設の戦略的な整備 △海象のモニタリング □関係機関と連携した排水機能の確保 □高潮位時の逆流防止対策 △市町村によるハザードマップ作成の支援 △避難判断に資する情報の分析・提供 △避難計画策定・訓練実施の促進(操作規則との整合確保を含む) △防護ラインのセットバックや都市機能の移転・集約の機会等を捉えた土地利用の適正化

※「沿岸部(海岸)における気候変動の影響及び適応の方向性(平成27年7月)」を基に海岸室作成

適応策の評価（案）

凡例：
 海岸行政で対応可能な事項
 他分野との連携が必要な事項

		直接効果が 大きい	効果が 持続する	対策に要する 期間が短い	費用が小さい		温暖化に 追従しやすい	技術的 難易度が低い	社会的な 合意が容易
					(初期投資)	(管理)			
砂浜・国土保全への影響	総合土砂管理計画の作成		○	◎	◎	◎	◎		
	総合土砂管理計画に基づく対策の実施	○	○				○	○	
	養浜・侵食対策の実施	○	○				○	○	○
	海岸侵食対策にかかる新技術の開発等		○	○	◎	◎	◎		◎
	防護ラインのセットバックや都市機能の移転・集約の機会等を捉えた土地利用の適正化	◎	◎			○	○	○	
	生態系への影響	環境に配慮した整備や新工法等に関する調査研究		○	◎	◎	◎		◎
		環境に配慮した整備の実施		○					○
堤防・護岸等への影響	海象のモニタリング				○	○	◎	○	◎
	最新の予測技術に基づいた設計外力の定期的な見直し				◎	◎	◎		◎
	施設の健全度評価				◎	◎	◎		◎
	超過外力が作用する場合の海岸保全施設への影響の把握		○		◎	◎	◎		◎
	粘り強い構造の堤防等の整備	◎	◎	○			○		○
	ライフサイクルコストを考慮した最適な更新等の考え方の検討		○	◎	◎	◎	◎		◎
	養浜・侵食対策の実施	○	○				○	○	○
背後地への影響	海岸保全施設の防護機能の把握			◎	◎	◎	◎		◎
	ライフサイクルコストを考慮した最適な更新等の考え方の検討		○	◎	◎	◎	◎		◎
	被災リスクの高い箇所及び更新時期を踏まえた海岸保全施設の戦略的な整備	◎	◎				○		○
	海象のモニタリング				○	○	◎	○	◎
	関係機関と連携した排水機能の確保	○	○	○			○	○	◎
	高潮位時の逆流防止対策	◎	◎	○		○	○	○	◎
	市町村によるハザードマップ作成の支援		○	◎	◎	◎	○	○	◎
	避難判断に資する情報の分析・提供		○	◎	◎	◎	○		○
	避難計画策定・訓練実施の促進（操作規則との整合確保を含む）		○	◎	◎	◎	○	○	
	防護ラインのセットバックや都市機能の移転・集約の機会等を捉えた土地利用の適正化	◎	◎			○	○	○	

順応的な砂浜管理①

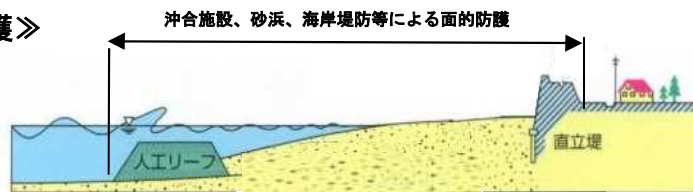
- 今後の砂浜の侵食対策においては、これまでのように侵食被害が深刻化してから事後的に対策するのではなく、予測を重視した順応的な砂浜管理を実施すべき（砂浜保全に関する中間とりまとめ）。
- 順応的管理にむけて、まず直轄事業で整備した砂浜を対象に、海岸法に基づき砂浜を海岸保全施設として指定し、順応的な砂浜管理を実践するとともに、モニタリング手法の開発を進める。

砂浜保全に関する中間とりまとめ（ポイント抜粋）

◆砂浜の機能

砂浜は波を減衰させ、背後に集中する人命や財産を高潮や津波等の災害から守るという重要な役割を担っている。

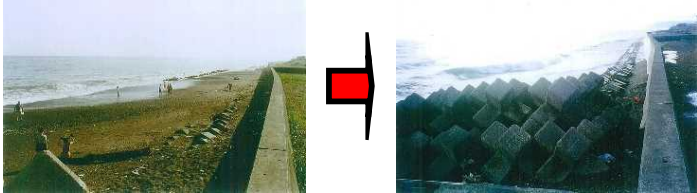
《面的防護》



◆砂浜保全の課題

これまで、砂浜の管理手法が明確になっていないこと、財政的な制約等から、海岸侵食の進行に対策が追いつかず、後追いの対応が行われてきた。

《砂浜が消失するなど、深刻化した箇所で対策を実施》



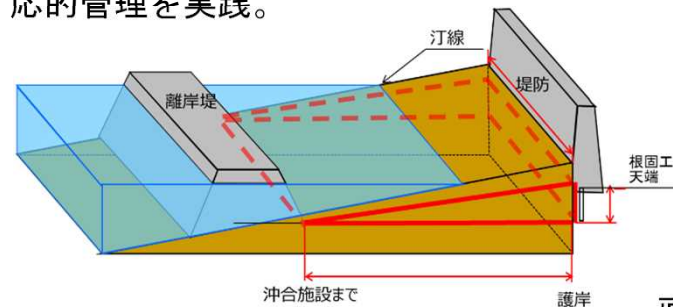
◆砂浜管理の基本方針

今後は、最新のモニタリング技術を活用し、砂浜の状態を定期的に確認することで、継続的に変化を把握し、必要な砂浜幅の確保ができないおそれが事前に検知された時点で対策に着手する「予測を重視した順応的な砂浜管理」を展開。

「予測を重視した順応的な砂浜管理」の実施

◆砂浜を海岸保全施設として指定・管理

砂浜を、堤防等と同じく海岸を防護する施設として管理すべき対象であるという認識のもと、海岸法に基づく海岸保全施設として指定・管理し、現場において順応的管理を実践。



海岸保全施設として指定する
砂浜の範囲のイメージ（太枠の範囲）

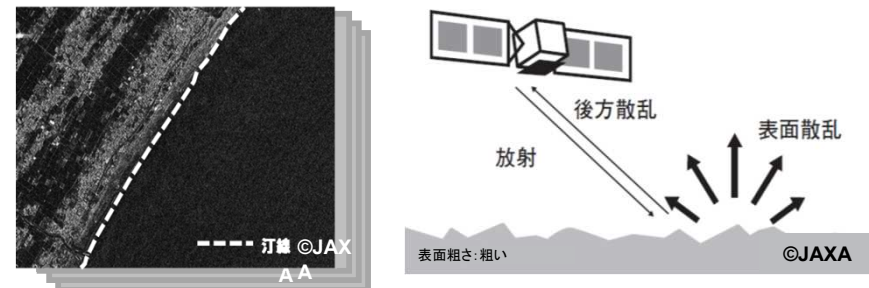


石川海岸（松任工区）

直轄事業で侵食対策として整備した、石川海岸（松任工区）の砂浜を海岸保全施設として指定。
（海岸法に基づく指定としては初の事例）

◆最新技術を活用した砂浜のモニタリング手法の構築

衛星画像の解析技術が進展したことを踏まえ、その最新技術を活用し日本全国の砂浜の侵食の兆候を把握するモニタリングを開発していく。



衛星SAR（合成開口レーダ）画像を活用し、汀線の位置を継続的に把握し、海岸線をモニタリングする技術

順応的な砂浜管理②(砂浜の健康診断)

砂浜の分類

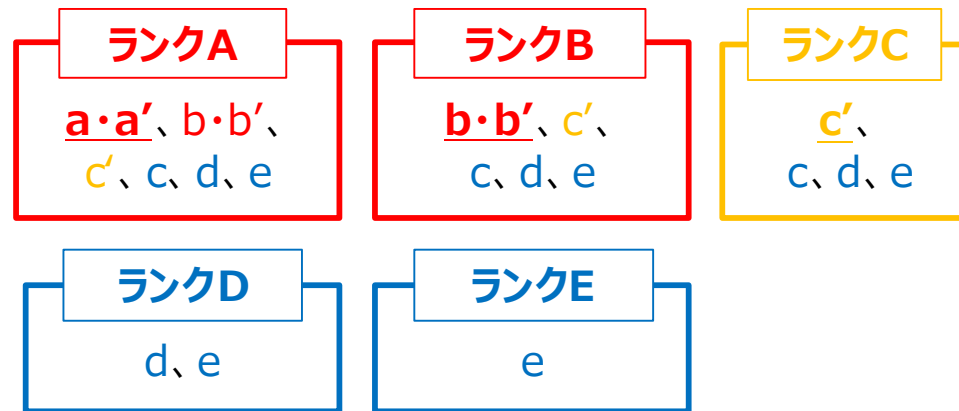
砂浜の分類

- ・ランクa：防護機能が損なわれるほど侵食が進行している砂浜
- ・ランクb：防護機能は保持しているが、侵食が進行しており、
侵食対策を行わないと防護機能が損なわれると想定される砂浜
- ・ランクc：一定程度の砂浜幅で安定しており、防護機能は保持している砂浜
- ・ランクd：背後地の重要度が低いため、保全の優先度の低い砂浜
- ・ランクe：広大な幅で安定している砂浜

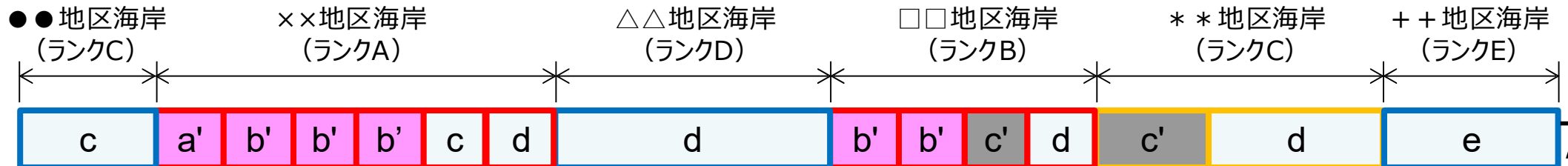
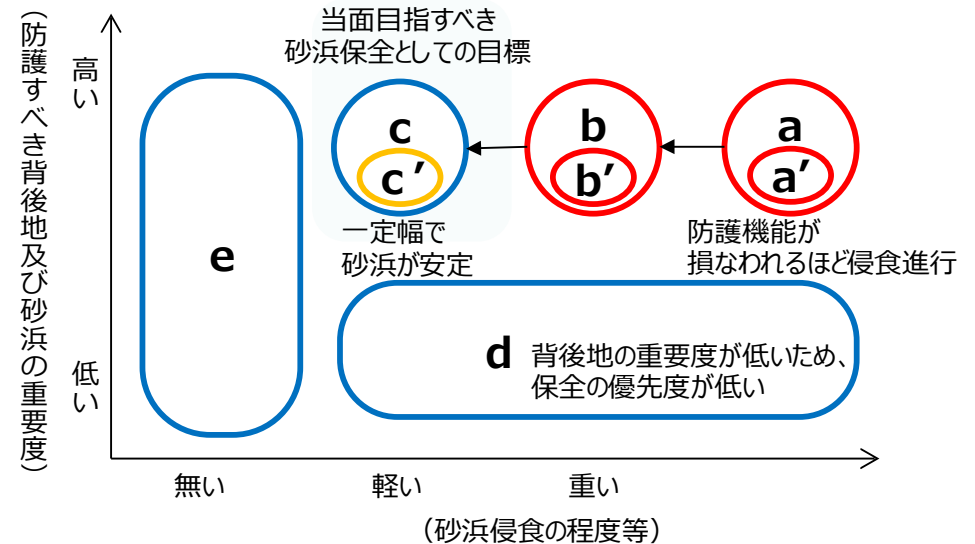
※ 侵食対策事業などの事業や継続的な管理を行っている砂浜には「'」（ダッシュ）をつける。
例えば、**ランクc'**：侵食対策事業完了後、継続して養浜等を実施、又は安定確認中のランクcの砂浜

地区海岸の分類

※ 最も侵食の程度等が大きい砂浜の分類により
地区海岸を分類



イメージ図のため枠線で表現しているが、明確な閾値があるわけではない

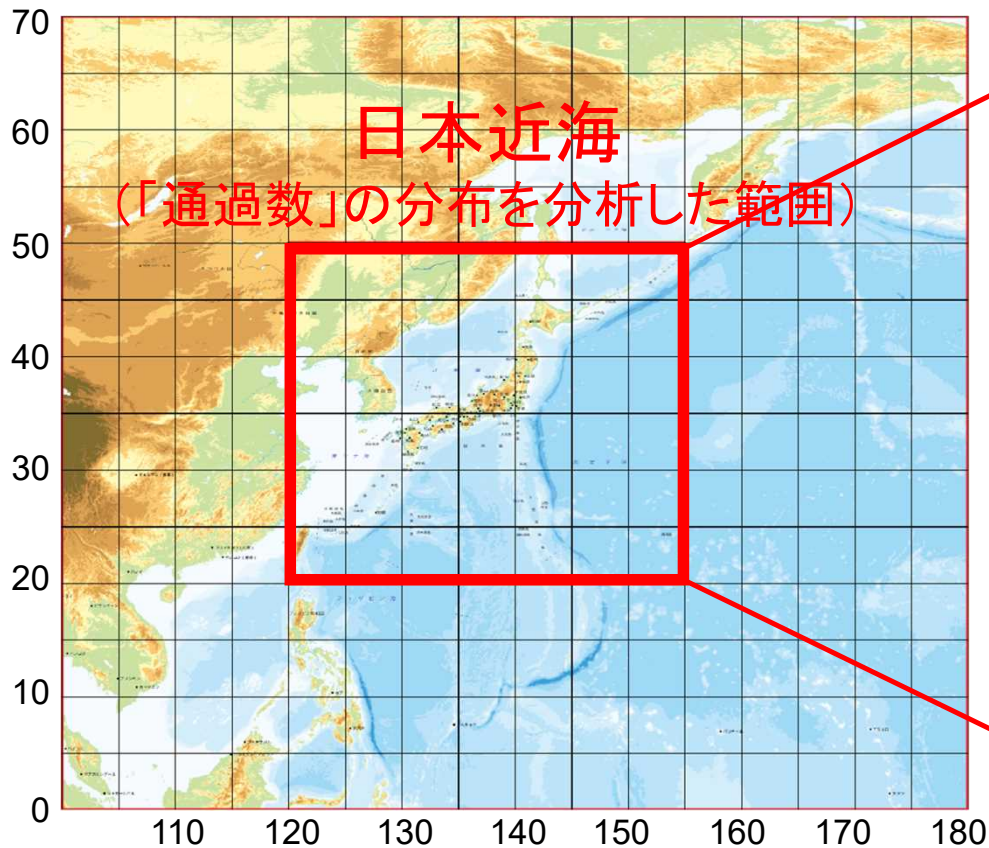


Ⅱ 将来外力の定量化に向けた検討(参考資料)

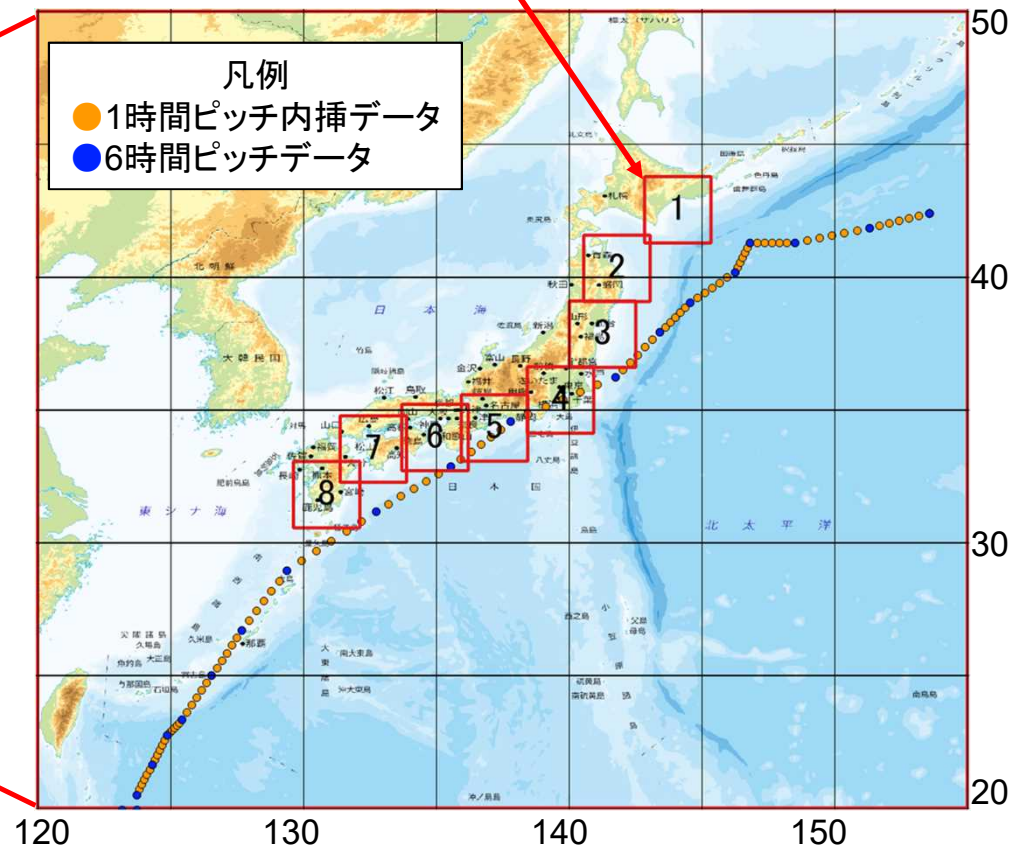
d4PDF（台風トラックデータ）の抽出範囲等

○ d4PDF(全球 60km AGCM)から台風を抽出し、さらに日本近海のデータを1時間ピッチ内挿データを作成した。

台風トラックデータの抽出範囲 (「発生数」をカウントした範囲)



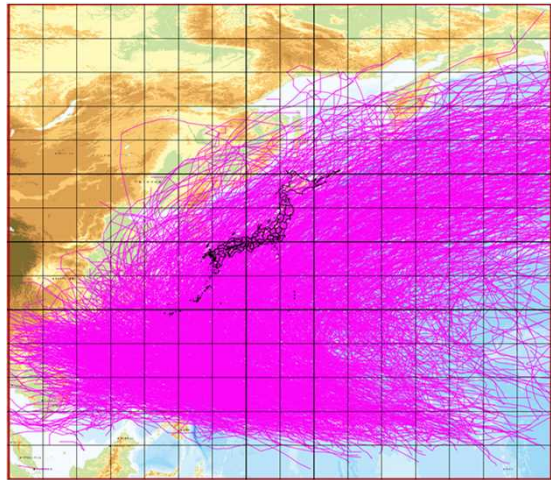
潮位偏差の対象領域(高潮経験予測式の係数が公表されている観測地点を含む太平洋沿岸8領域を設定)



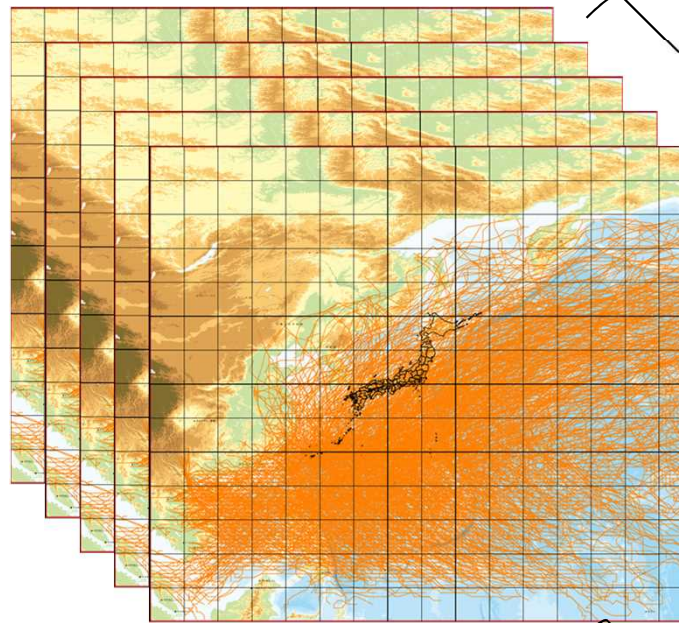
※上陸とは、台風が中心が北海道、本州、四国、九州の海岸線に達した場合をいう(気象庁)。本資料では国土地理院の地球地図日本のポリゴンデータから沖縄県を除いたポリゴンデータを作成し、その範囲内に含まれるものを上陸数として集計した。

d4PDF（台風トラックデータ）の抽出結果

- d4PDFから抽出した台風トラックデータは、過去実験と将来実験の全メンバーを合計すると、台風の個数にして約28万個となる。

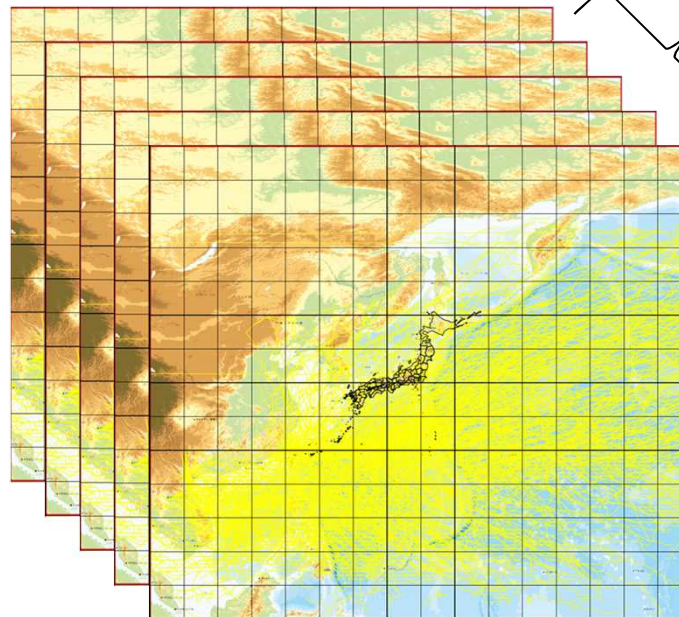


気象庁ベストトラック
1951年～2010年 全台風



100メンバー
→ $60 \times 100 = 6000$ 年分の
台風データ

d4PDF 過去実験
(1メンバーあたり)



90メンバー
→ $60 \times 90 = 5400$ 年分の
台風データ

d4PDF 将来実験
(1メンバーあたり)

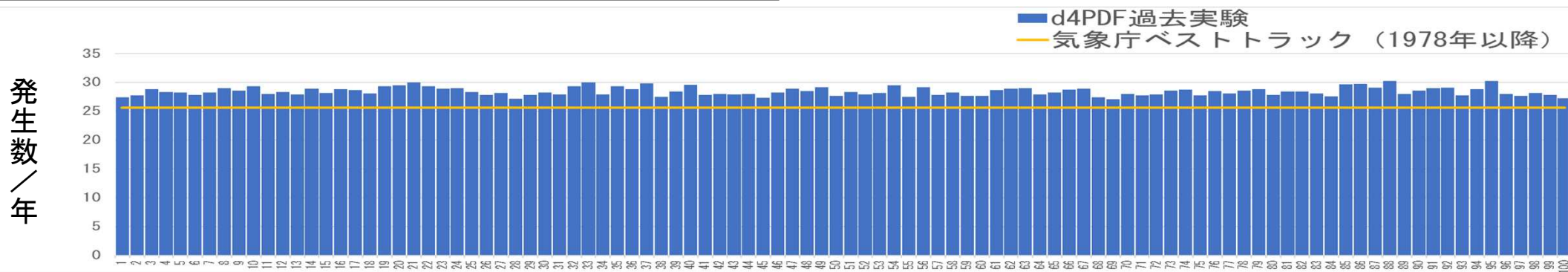
台風の発生数の比較

- 気象庁ベストトラックと過去実験の台風の発生数は、同程度である。
- 過去実験と比べて、将来実験の台風の発生数は少ない。

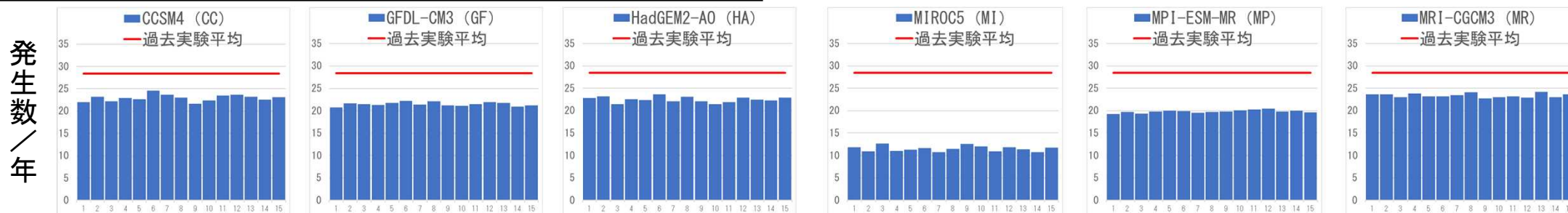
台風の発生数

- ・気象庁ベストトラック(1951年～2010年) : 26.2個／年 25.6個／年(1978年以降)
- ・d4PDF過去実験(全メンバーの平均) : 28.4個／年
- ・d4PDF将来実験(全メンバーの平均) : 20.3個／年

d4PDF 過去実験における発生数の分布



d4PDF 将来実験における発生数の分布



台風の日本への上陸数の比較

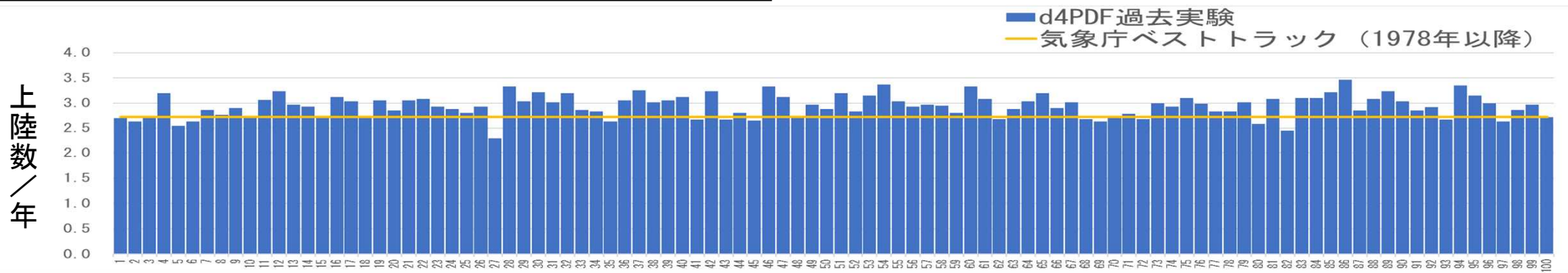
- 気象庁ベストトラックと過去実験の台風の上陸数は、同程度である。
- 過去実験と比べて、将来実験の台風の上陸数は少ない。

※ 上陸とは、台風の中心が北海道、本州、四国、九州の海岸線に達した場合をいう(気象庁)。本資料では国土地理院の地球地図日本のポリゴンデータから沖縄県を除いたポリゴンデータを作成し、その範囲内に含まれるものを上陸数として集計した。

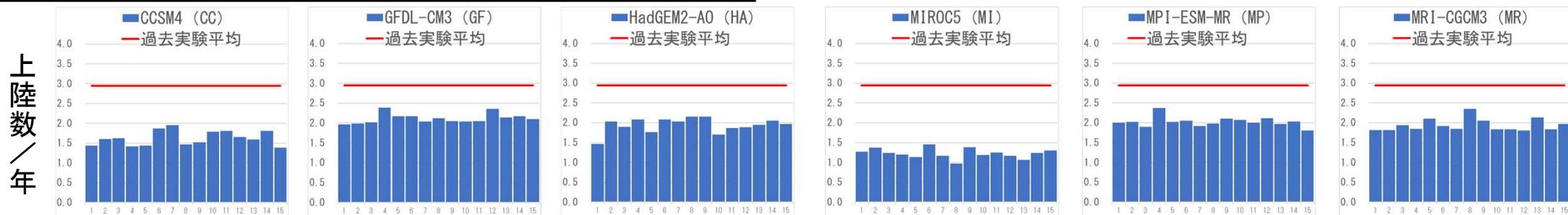
台風の上陸数

- ・気象庁ベストトラック(1951年～2010年) : 2.9個／年 2.7個／年(1978年以降)
- ・d4PDF過去実験(全メンバーの平均) : 2.9個／年
- ・d4PDF将来実験(全メンバーの平均) : 1.8個／年

d4PDF 過去実験における上陸数の分布



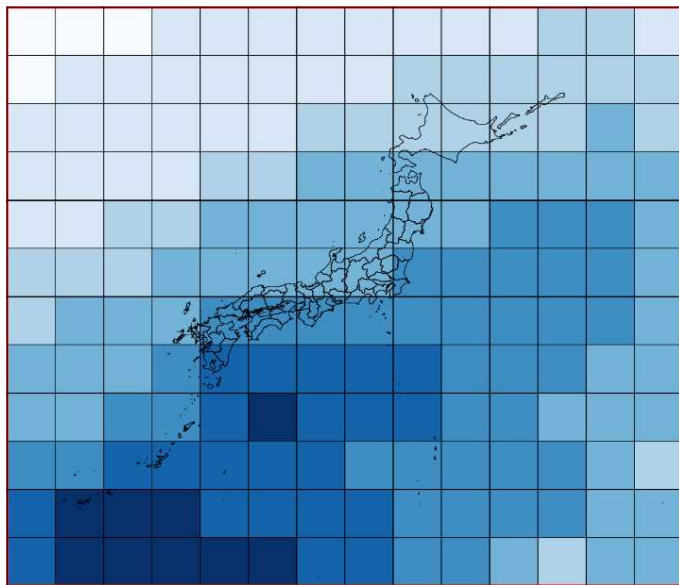
d4PDF 将来実験における上陸数の分布



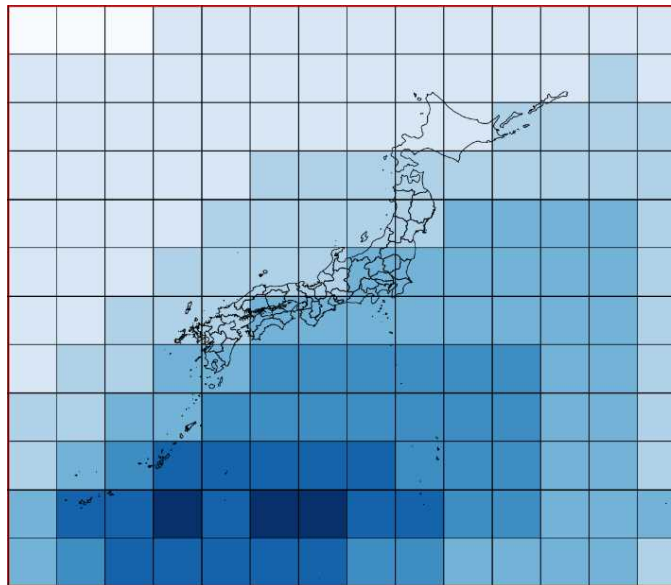
日本近海の台風通過数の比較

- 気象庁ベストトラックと比べると、過去実験では、台風通過数が少ない結果となっている。
- 過去実験と比べて、将来実験の日本近海の台風通過数※は少ない。

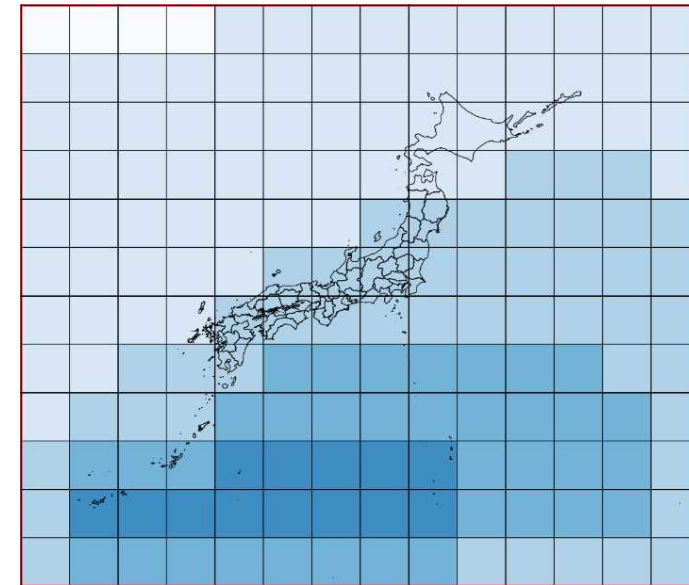
※2.5度メッシュ内を通過する台風の個数をカウント



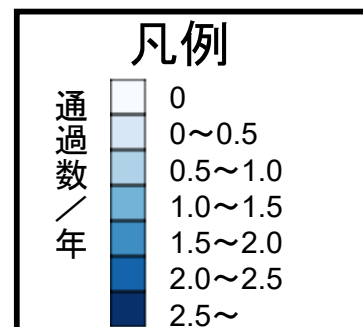
気象庁ベストトラックデータ



d4PDF過去実験
(全メンバー)



d4PDF将来実験
(全メンバー)



太平洋沿岸8領域の台風の最低中心気圧※の分布状況の分析

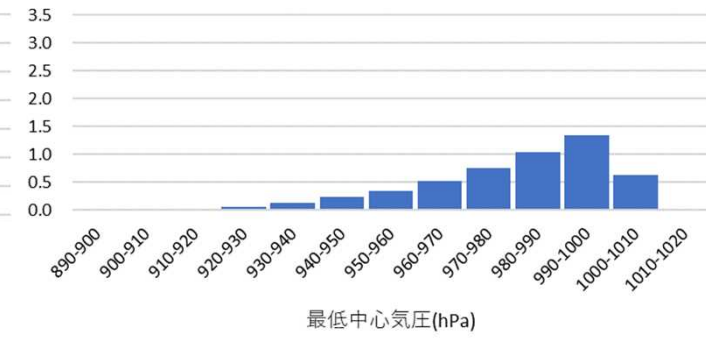
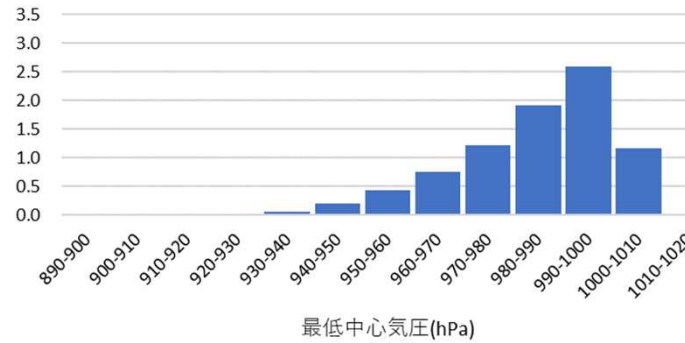
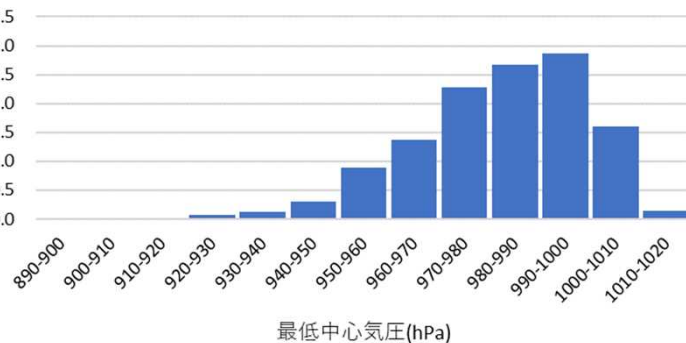
○ 気象庁ベストトラックやd4PDFの過去実験と比べて、d4PDFの将来実験は台風の総数が少ないが、極端に低い気圧の領域で最低中心気圧の発生頻度を比較すると、将来実験の方が発生頻度が高い。

最低中心気圧の度数分布

最低中心気圧の度数分布

最低中心気圧の度数分布

台風発生数／年

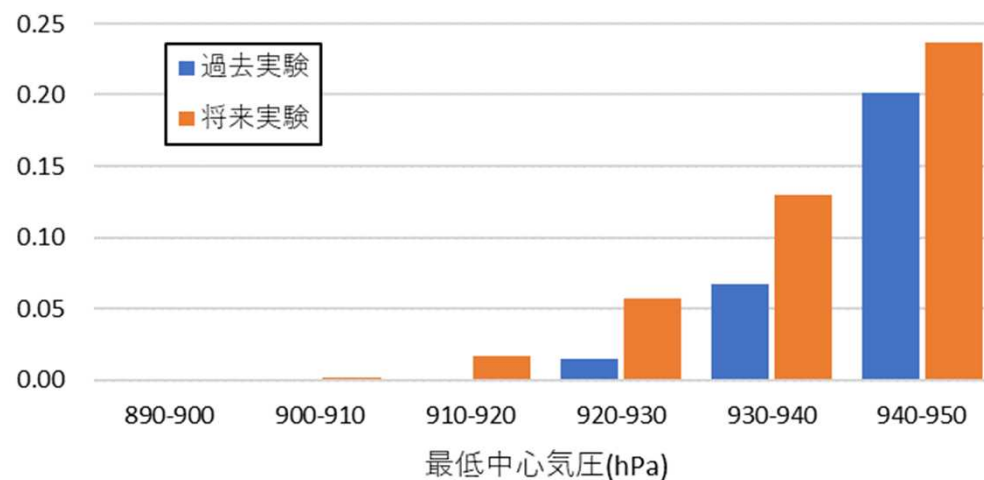


気象庁ベストトラックデータ

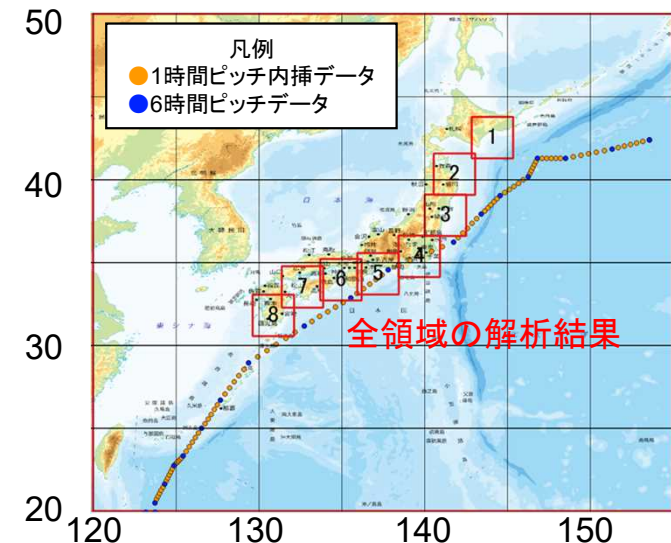
d4PDF過去実験(全メンバー)

d4PDF将来実験(全メンバー)

過去実験と将来実験の比較 (950hPa以下)

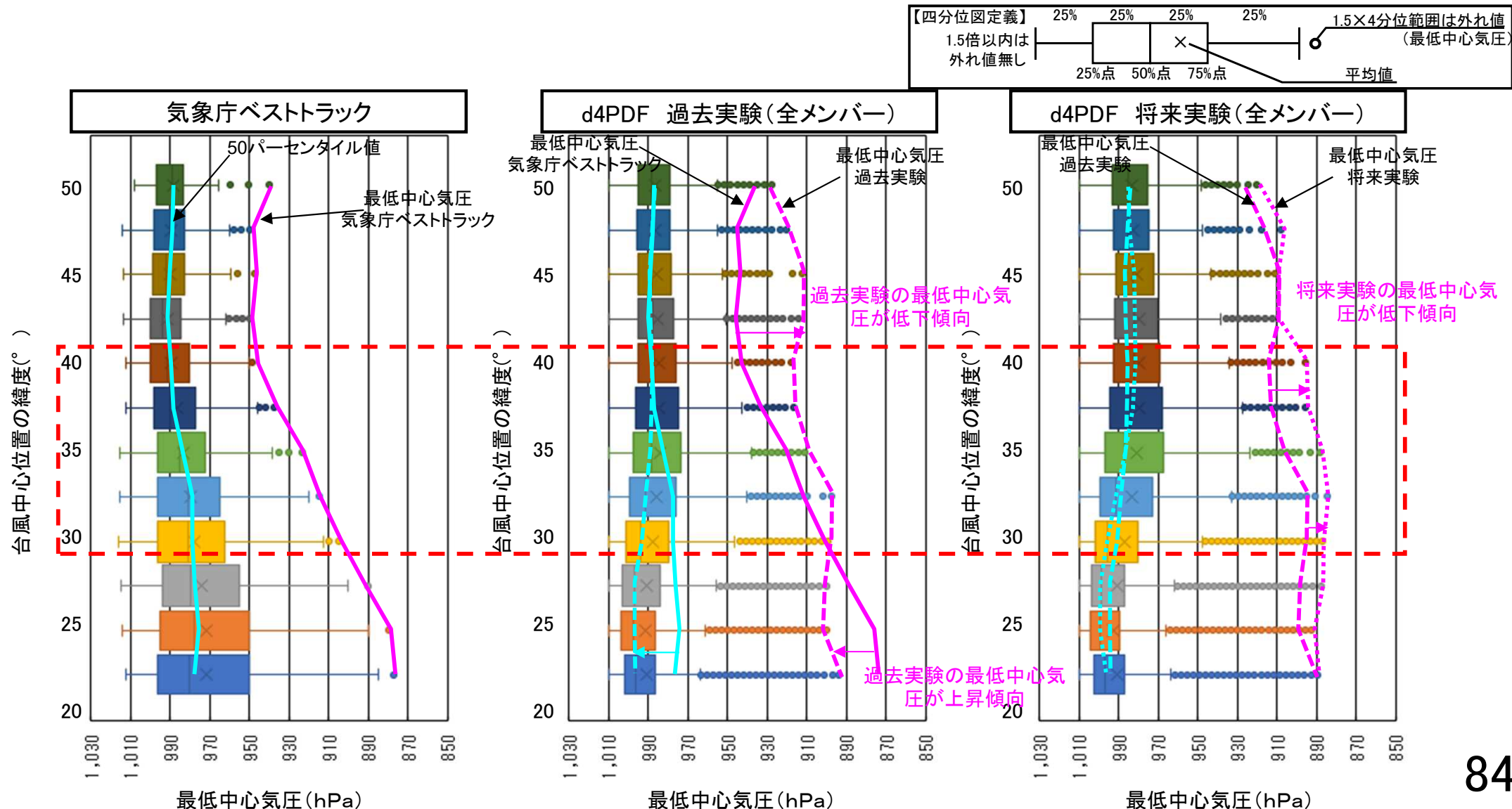


※ 太平洋沿岸8領域内の1台風毎の最低中心気圧を抽出し、合計した標本で作成



日本近海の最低中心気圧の分布状況の分析

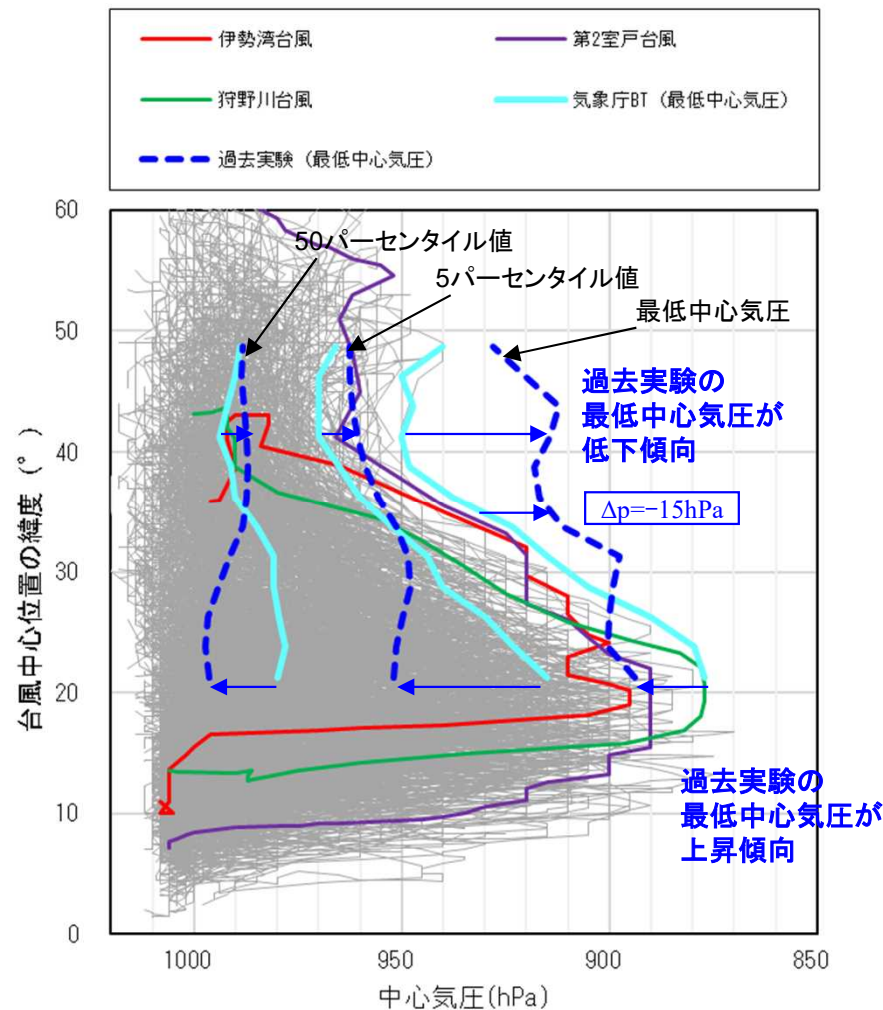
- 気象庁ベストトラックとd4PDF過去実験の最低中心気圧を比較すると、北緯20度付近はd4PDFの最低中心気圧が高い傾向にある一方で、北緯40度付近ではd4PDFの最低中心気圧が低い傾向にある。
- d4PDFの過去実験と将来実験を比較すると、北緯30度から北緯40度付近にかけて将来実験の最低中心気圧が低くなる傾向にある。



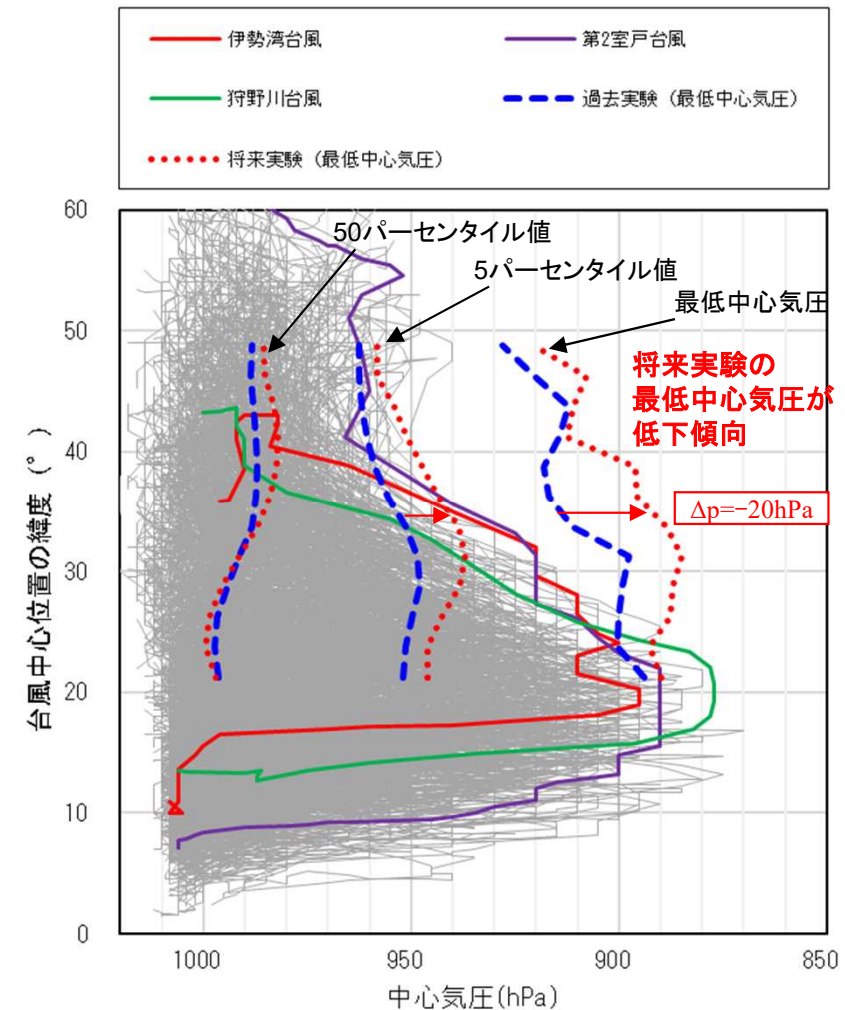
日本近海の最低中心気圧の分布状況の分析

- 気象庁ベストトラックとd4PDF過去実験の最低中心気圧を比較すると、北緯20度付近はd4PDFの最低中心気圧が高い傾向にある一方で、北緯40度付近ではd4PDFの最低中心気圧が低い傾向にある。
- d4PDFの過去実験と将来実験を比較すると、北緯30度から北緯40度付近にかけて将来実験の最低中心気圧が低くなる傾向にある。

気象庁ベストトラックとd4PDF過去実験(全メンバー)の比較



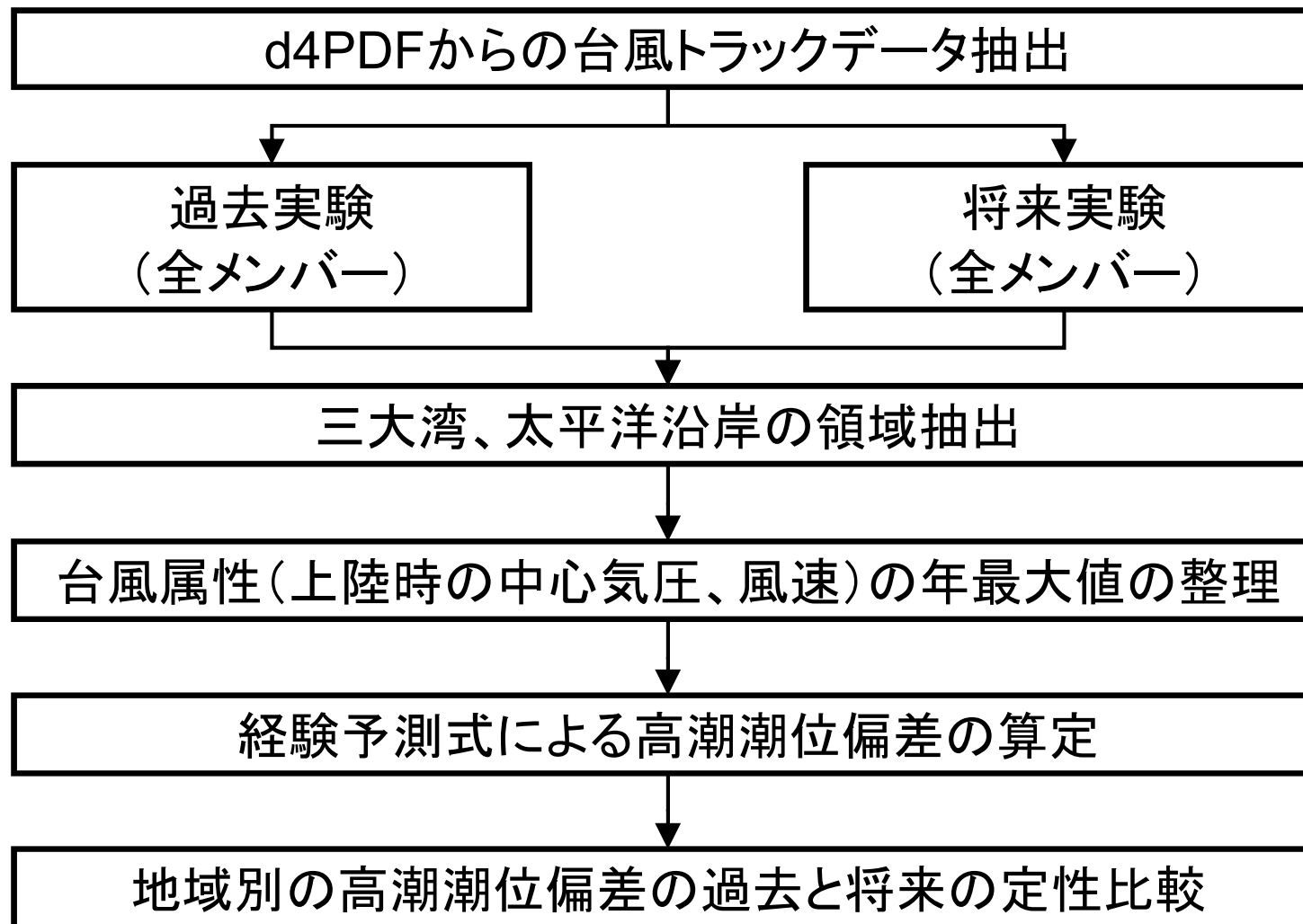
d4PDF過去実験とd4PDF将来実験の比較(全メンバー)



※気象庁ベストトラック及びd4PDFのトラックデータを1時間ピッチのデータに内挿補間し、2.5度刻みの範囲で1台風ごとに最低中心気圧を抽出し図化した。

d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)①

- d4PDFの過去実験と将来実験のアンサンブルメンバーから気象庁の経験予測式を用いて高潮潮位偏差を算出し、沿岸地域別の過去と将来の高潮リスク定性比較を行う。



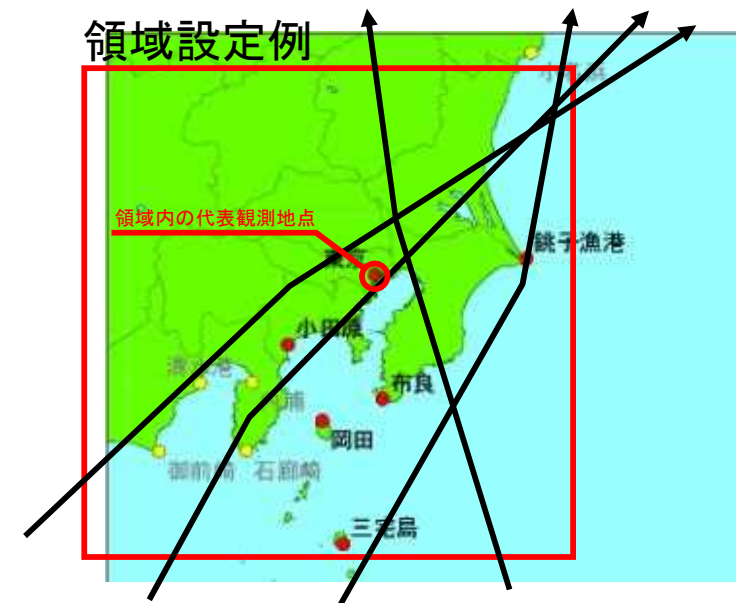
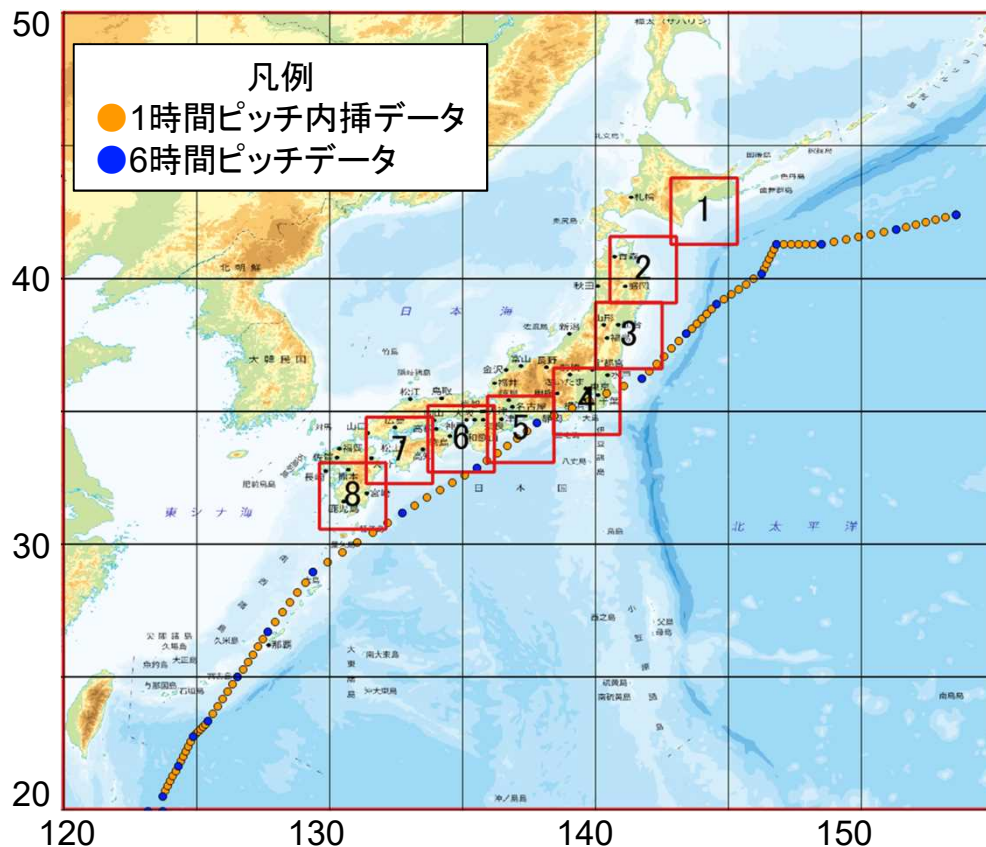
※ なお、今回の分析では、過去実験と将来実験の差異の傾向を分析することが目的であるため、定量化にあたっては、実績データとのバイアスを分析し補正することなどを検討する必要がある

d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)②

- 日本沿岸域における過去気候と将来気候の高潮の定性的な傾向把握を目的とし、高潮経験予測式による潮位偏差を算出する。

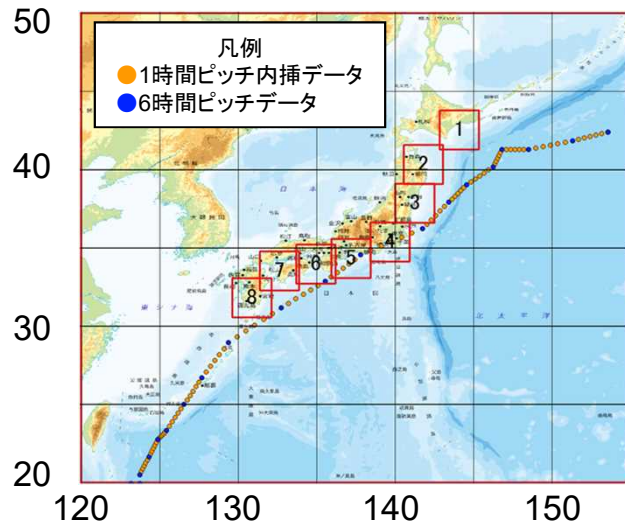
【前提条件】

- 高潮経験予測式の係数が公表されている観測地点を含む太平洋沿岸8領域を設定する。
- 潮位偏差の定量評価ではなく、過去と将来の相対比較が目的であるため、領域内を通過する台風の最低中心気圧と風速を予測式に適用する台風強度として仮定する。
- 主方向となす最大風速のなす角度については台風経路と同一方向を風向と仮定して求める。
- 波浪の碎波によるウェイブセットアップの影響は考慮しない。



d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)③

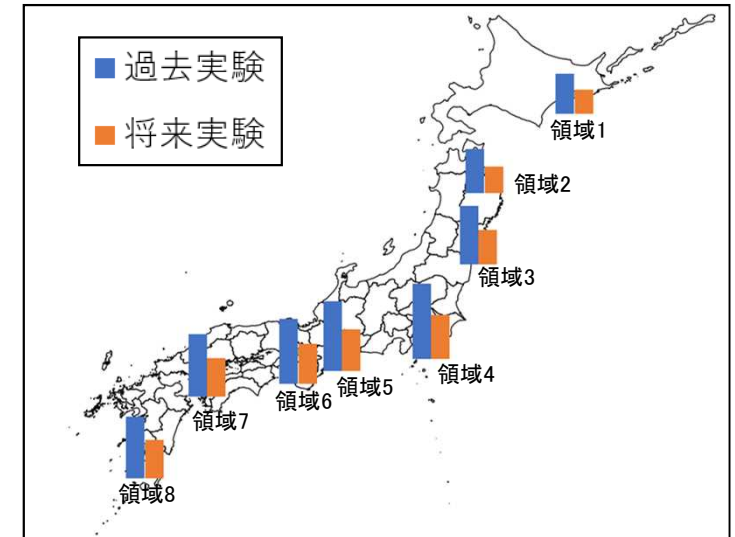
- 過去実験と比べて、将来実験の高潮偏差を算出した領域内の台風通過数は少ない。
- 過去実験と比べて、将来実験の方が最低中心気圧が低い。



領域通過数／年

解析領域	高潮偏差算出地点※	過去実験	将来実験
領域1	釧路	0.7	0.4
領域2	八戸	0.8	0.5
領域3	鮎川	1.0	0.6
領域4	東京	1.3	0.8
領域5	名古屋	1.2	0.7
領域6	大阪	1.1	0.7
領域7	呉	1.1	0.7
領域8	鹿児島	1.1	0.7

※高潮経験予測式の係数が公表されている気象庁観測地点名



最低中心気圧(全メンバー)

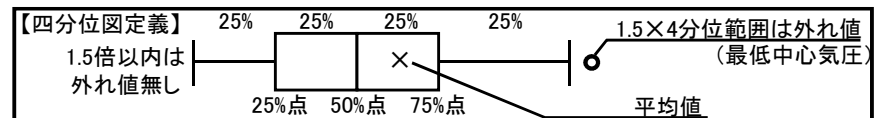
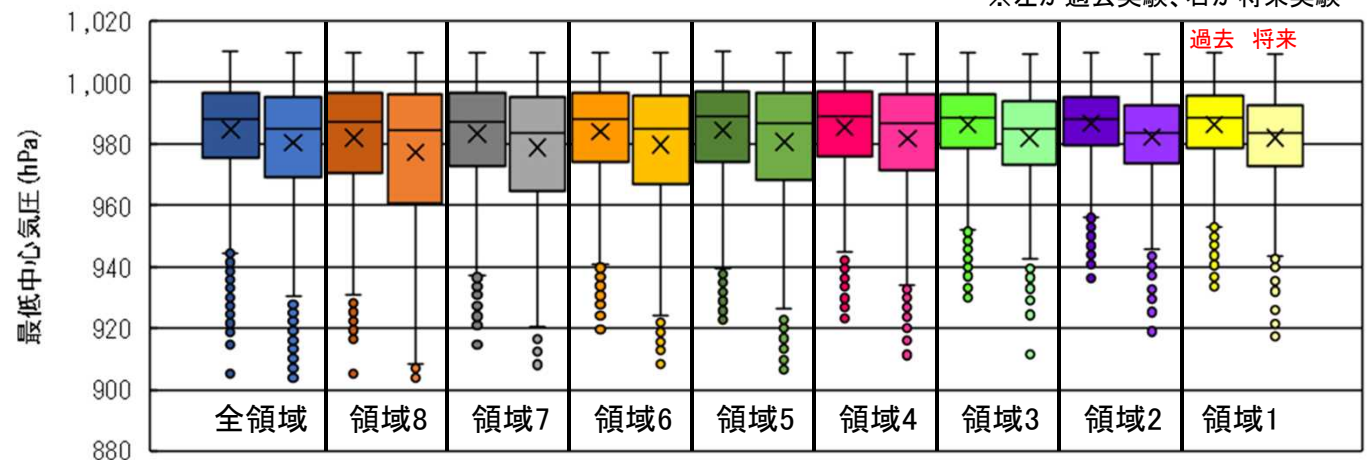
凡例



※「'」がついているものは将来実験を表す

過去実験と将来実験の比較

※左が過去実験、右が将来実験

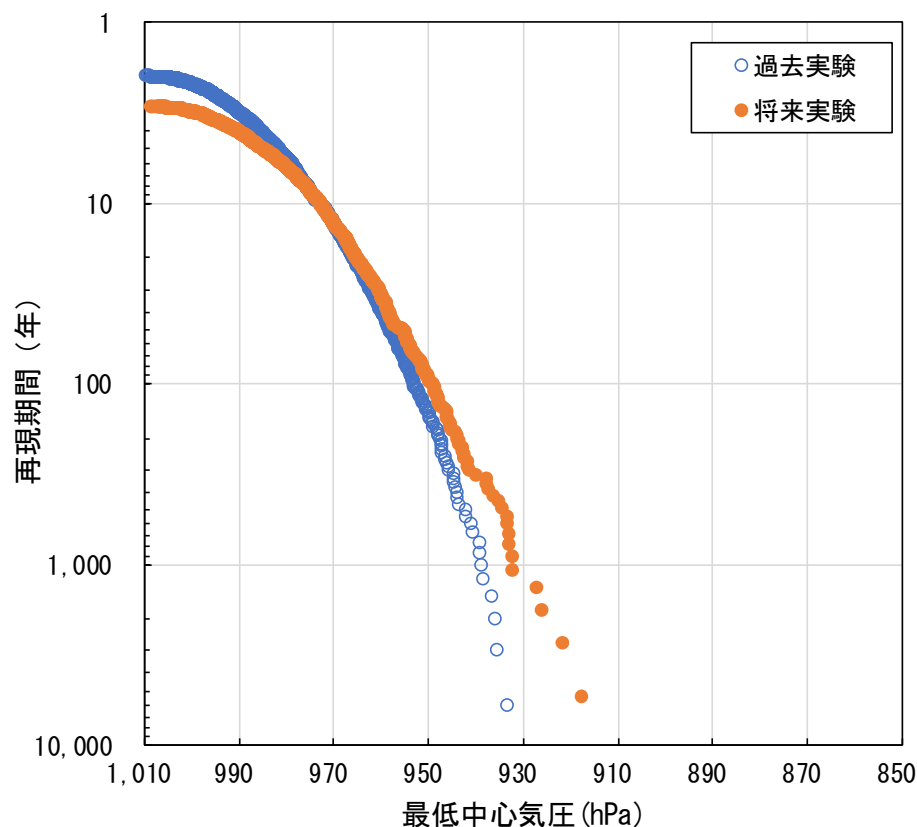


d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)【結果】

- 予測に用いた最低中心気圧については、極端に低い気圧の領域で、将来実験の方が発生頻度が高くなる。
- 潮位偏差の予測結果についても、極端に大きな偏差の領域で、将来実験の方が発生頻度が上昇する傾向となったが、上昇度合いは東京以北では相対的に小さかった。

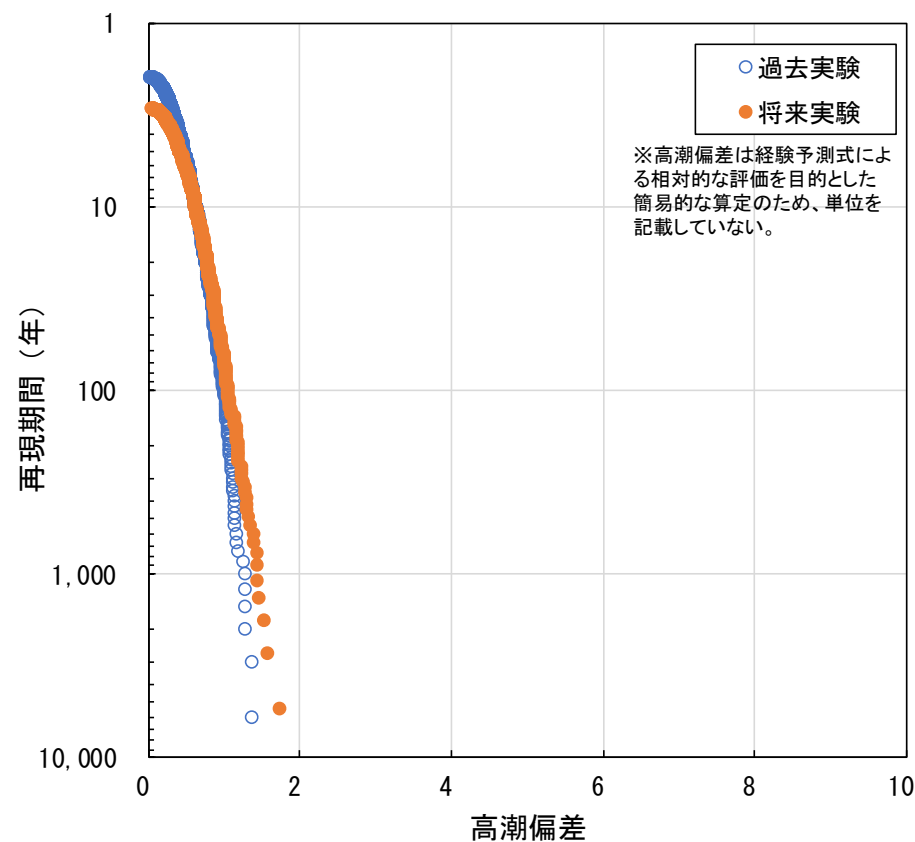
最低中心気圧(全メンバー)

釧路地点(領域1)



高潮偏差(全メンバー)

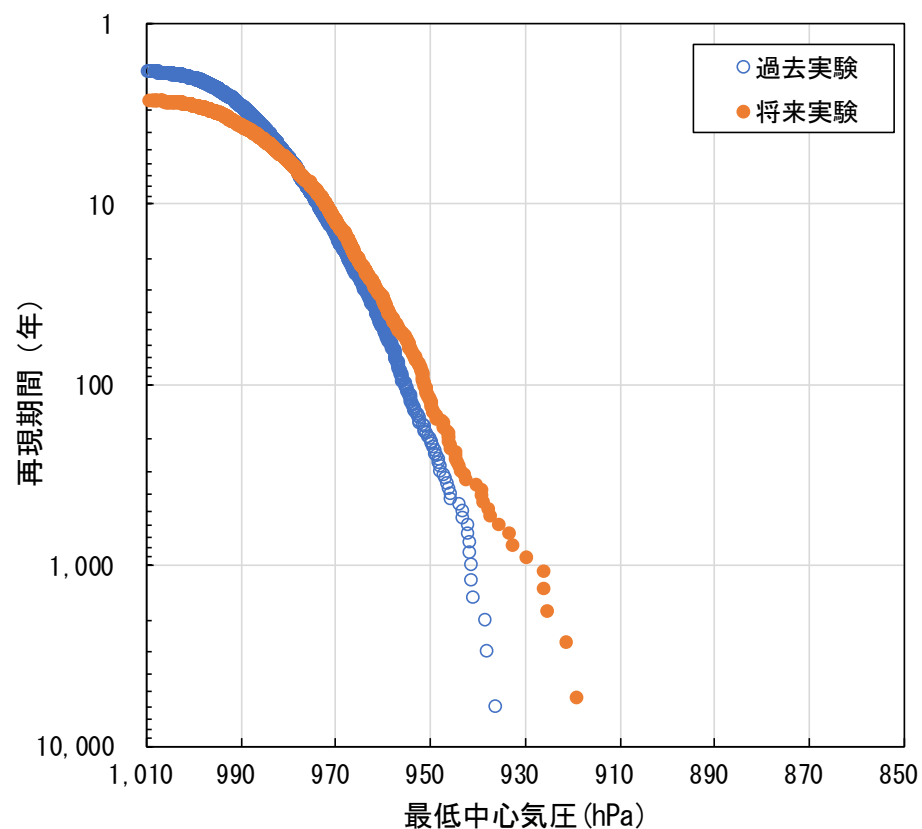
釧路地点(領域1)



d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)【結果】

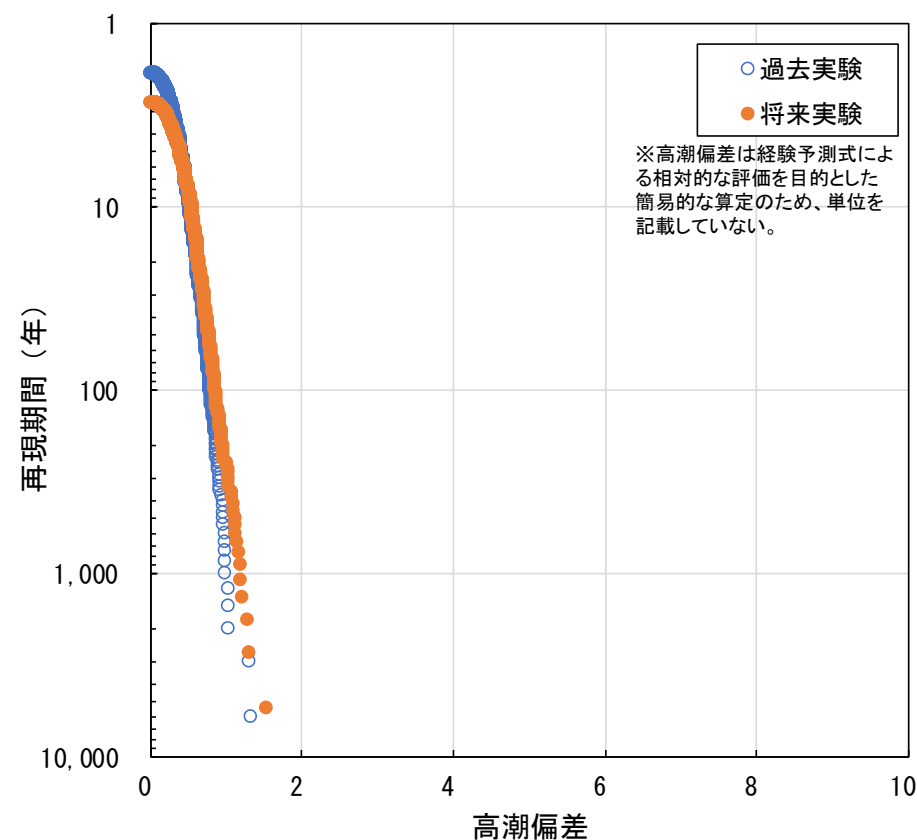
最低中心気圧(全メンバー)

八戸地点(領域2)



高潮偏差(全メンバー)

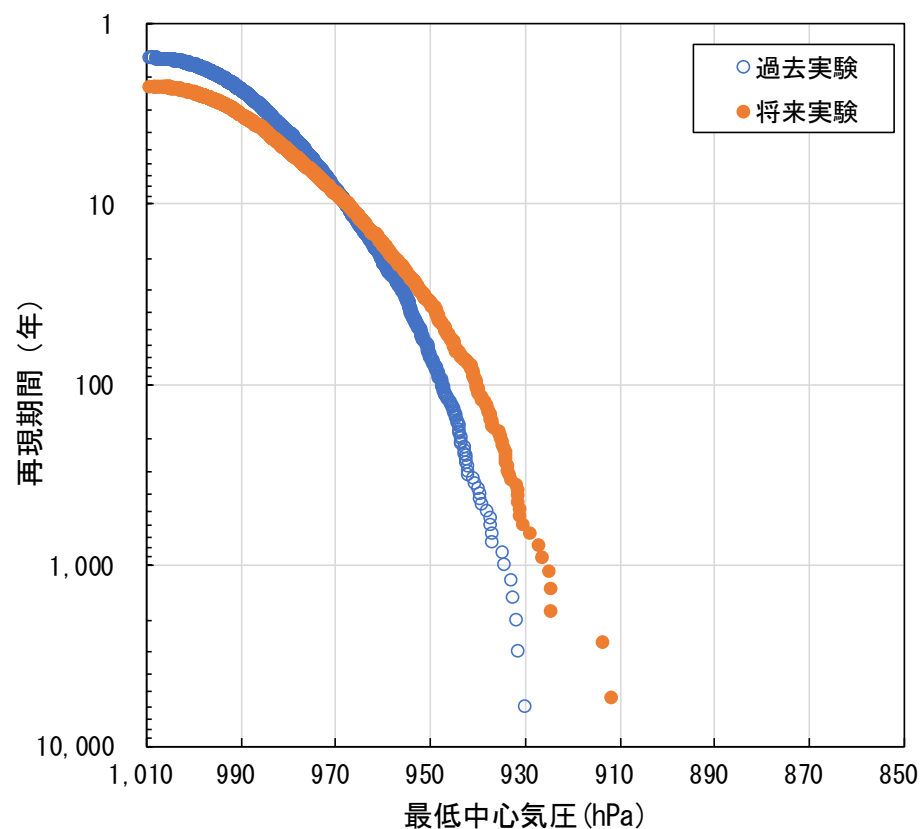
八戸地点(領域2)



d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)【結果】

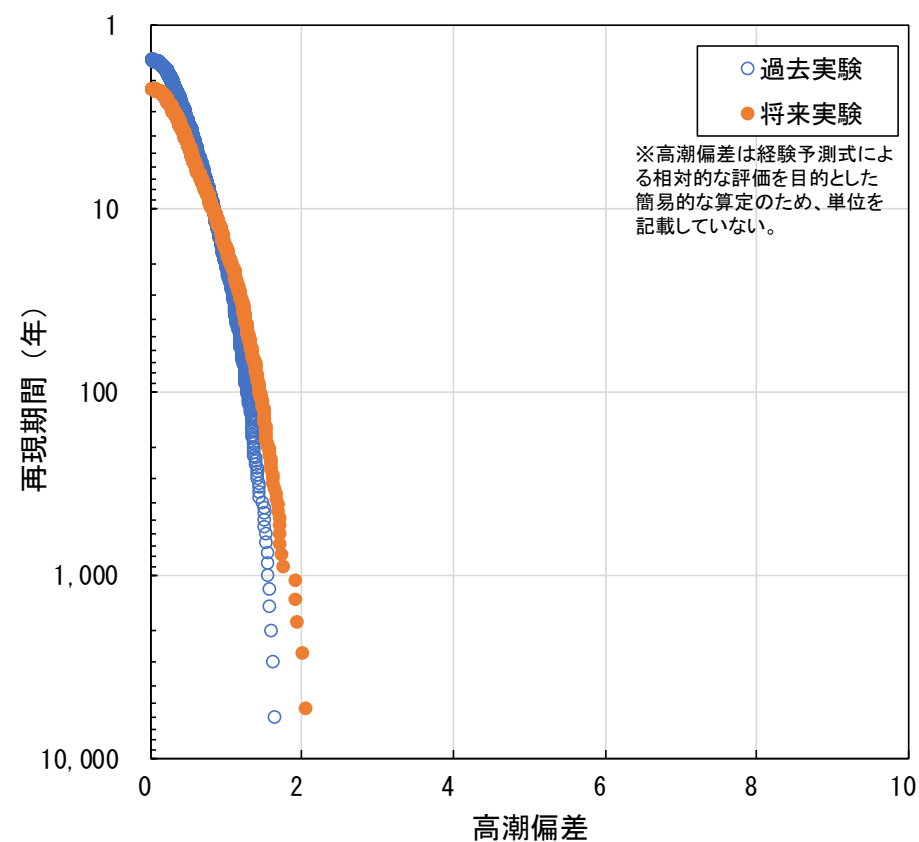
最低中心気圧(全メンバー)

鮎川地点(領域3)



高潮偏差(全メンバー)

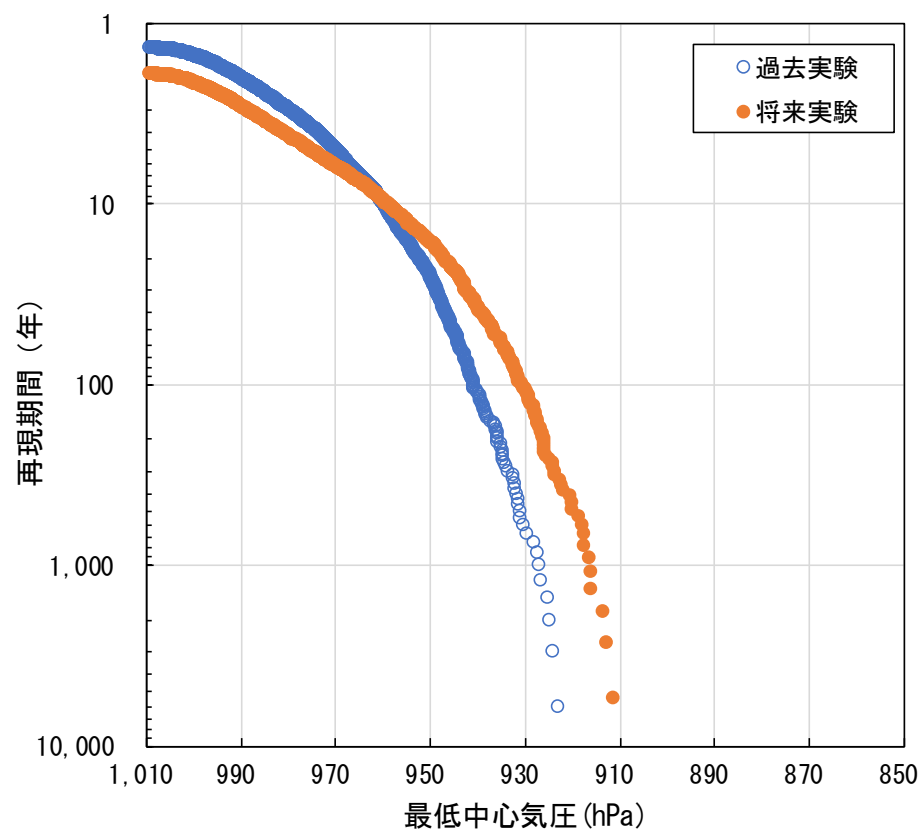
鮎川地点(領域3)



d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)【結果】

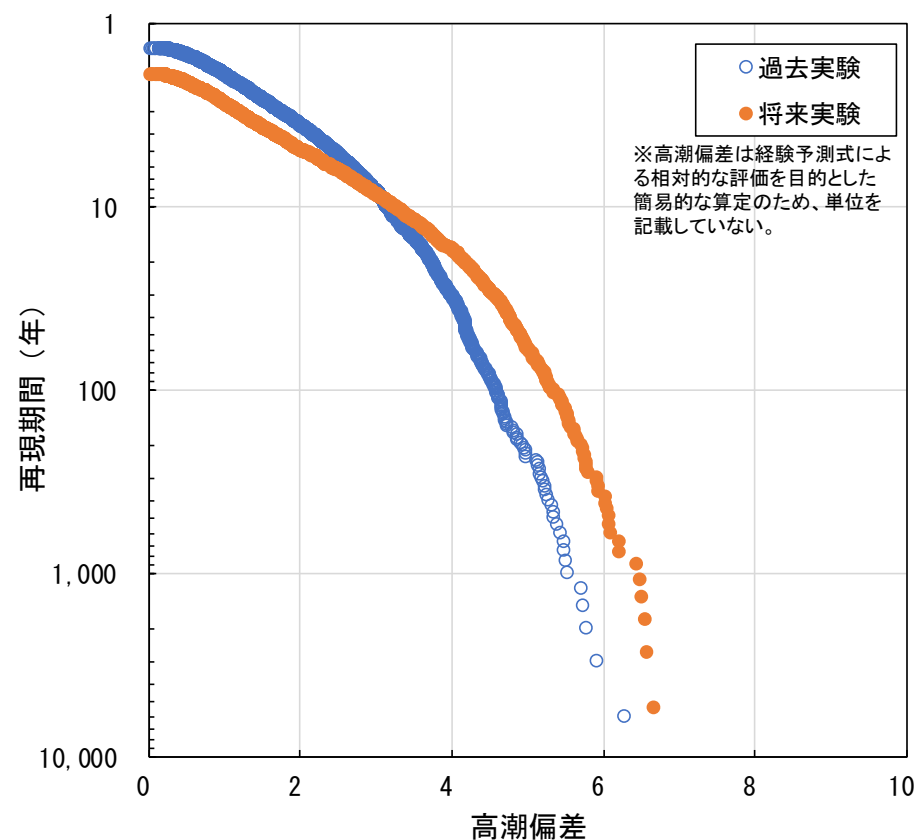
最低中心気圧(全メンバー)

東京地点(領域4)



高潮偏差(全メンバー)

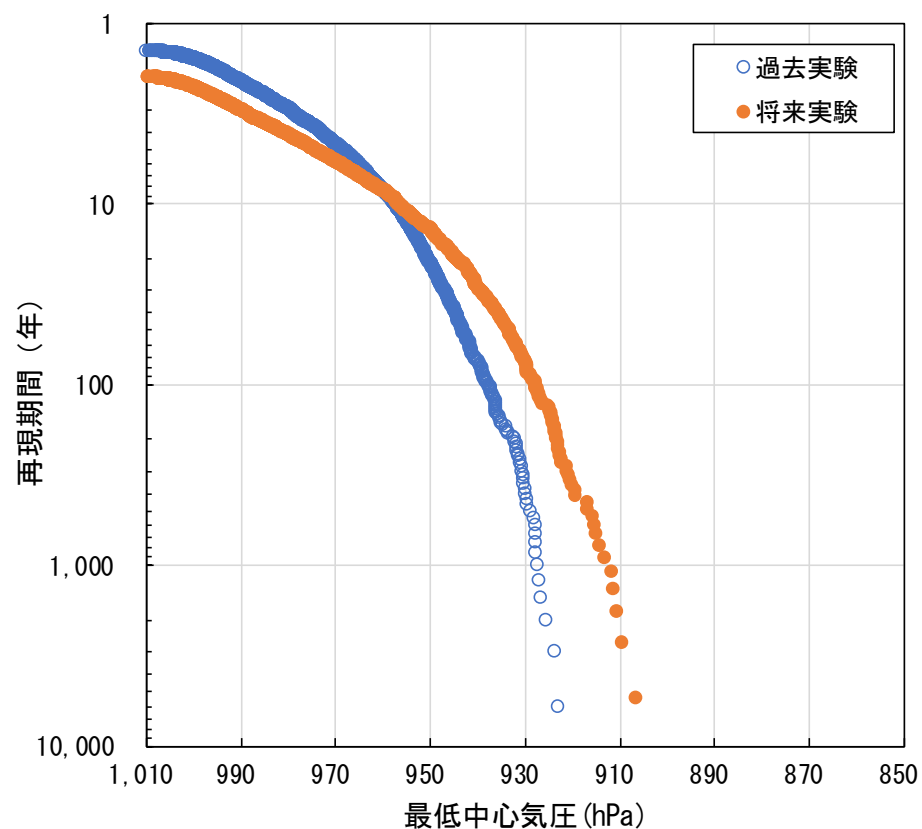
東京地点(領域4)



d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)【結果】

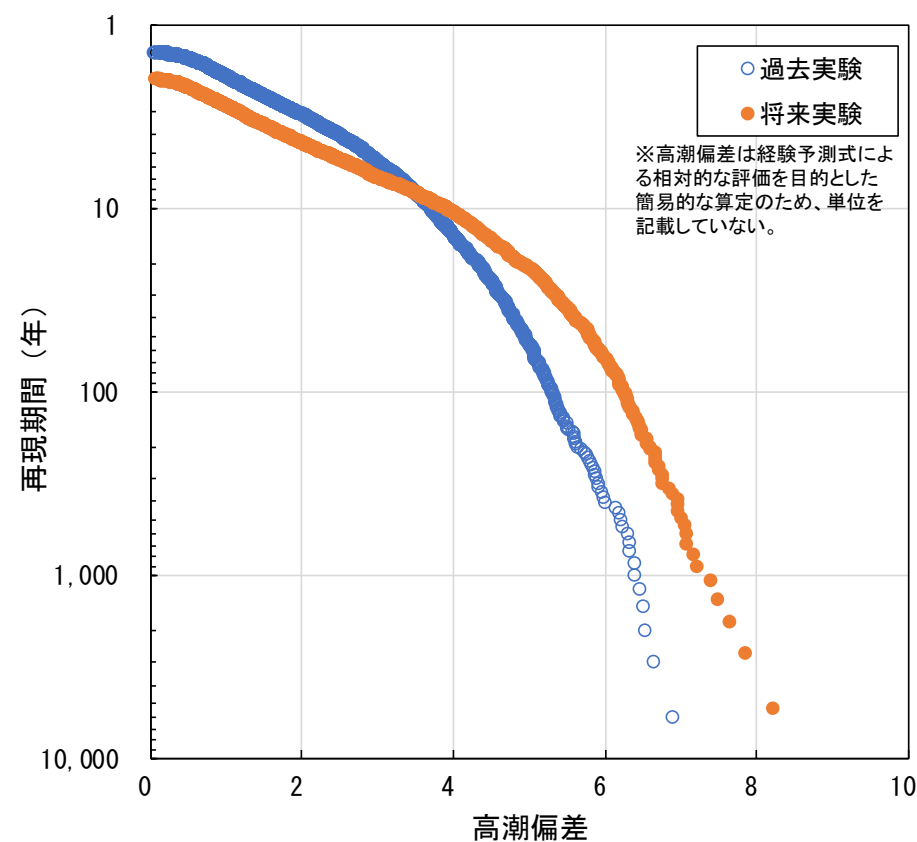
最低中心気圧(全メンバー)

名古屋地点(領域5)



高潮偏差(全メンバー)

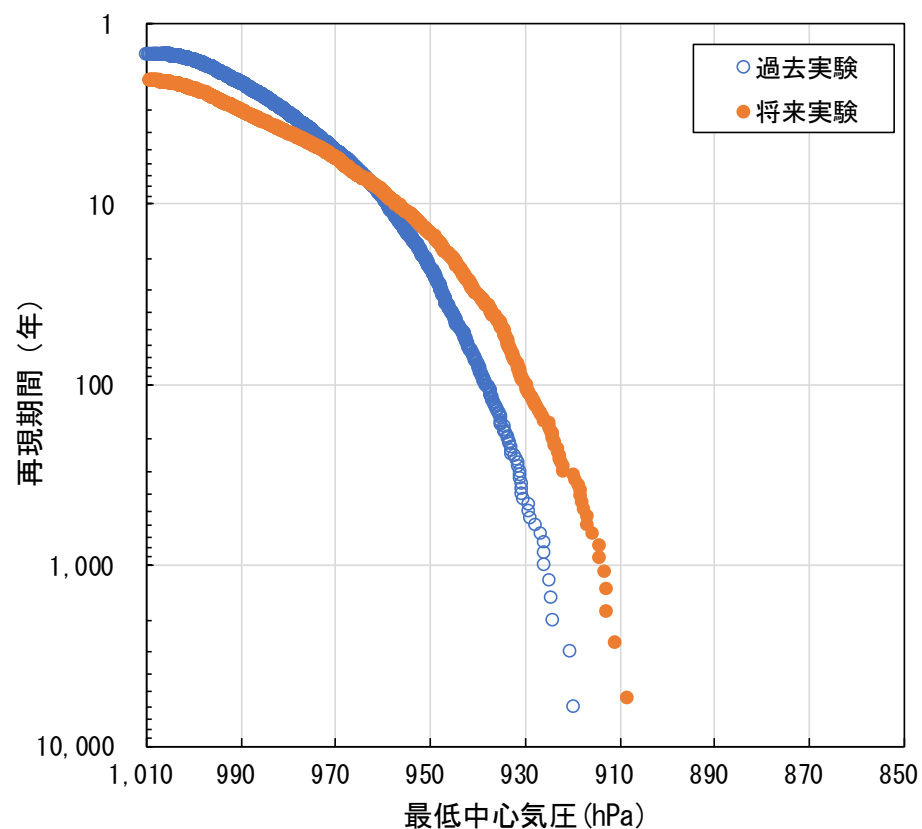
名古屋地点(領域5)



d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)【結果】

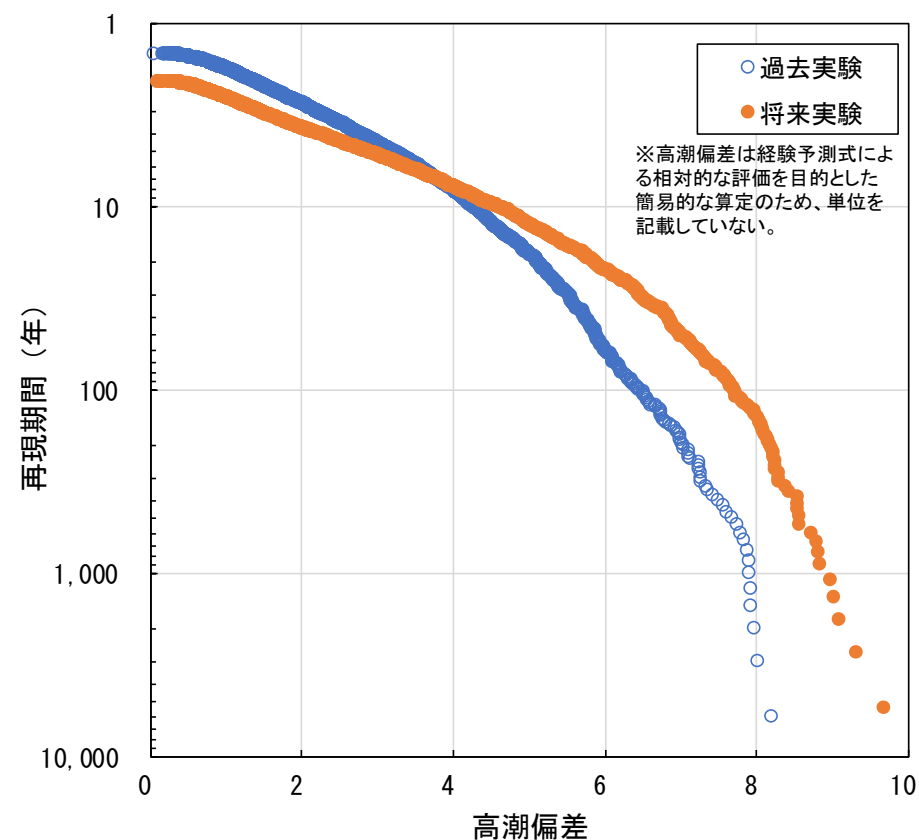
最低中心気圧(全メンバー)

大阪地点(領域6)



高潮偏差(全メンバー)

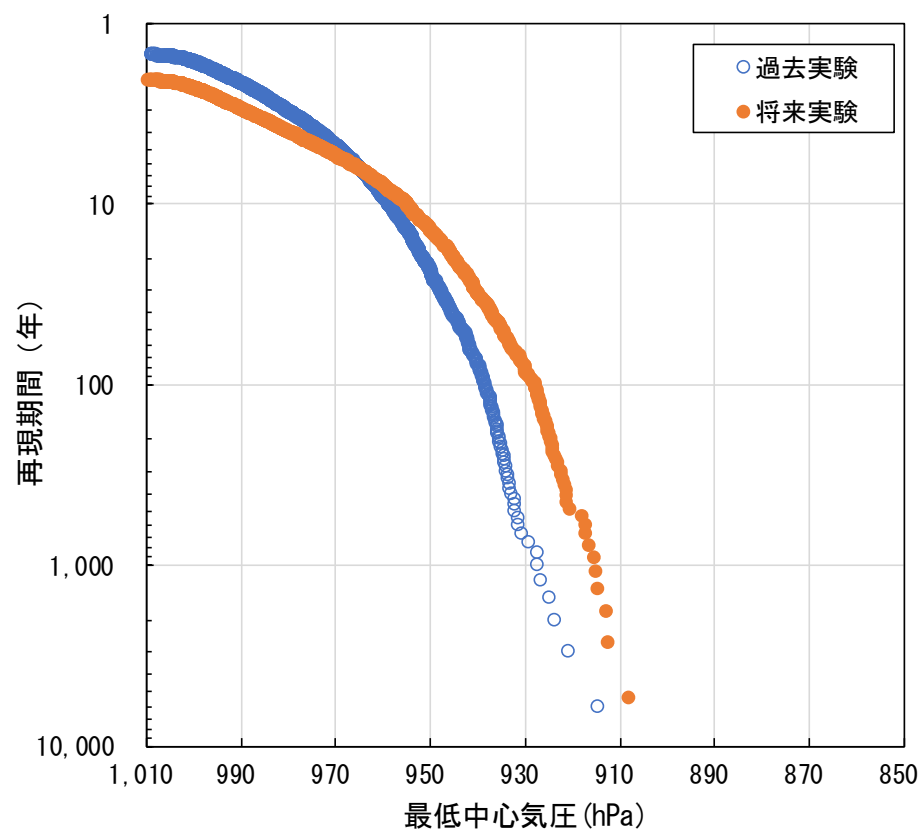
大阪地点(領域6)



d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)【結果】

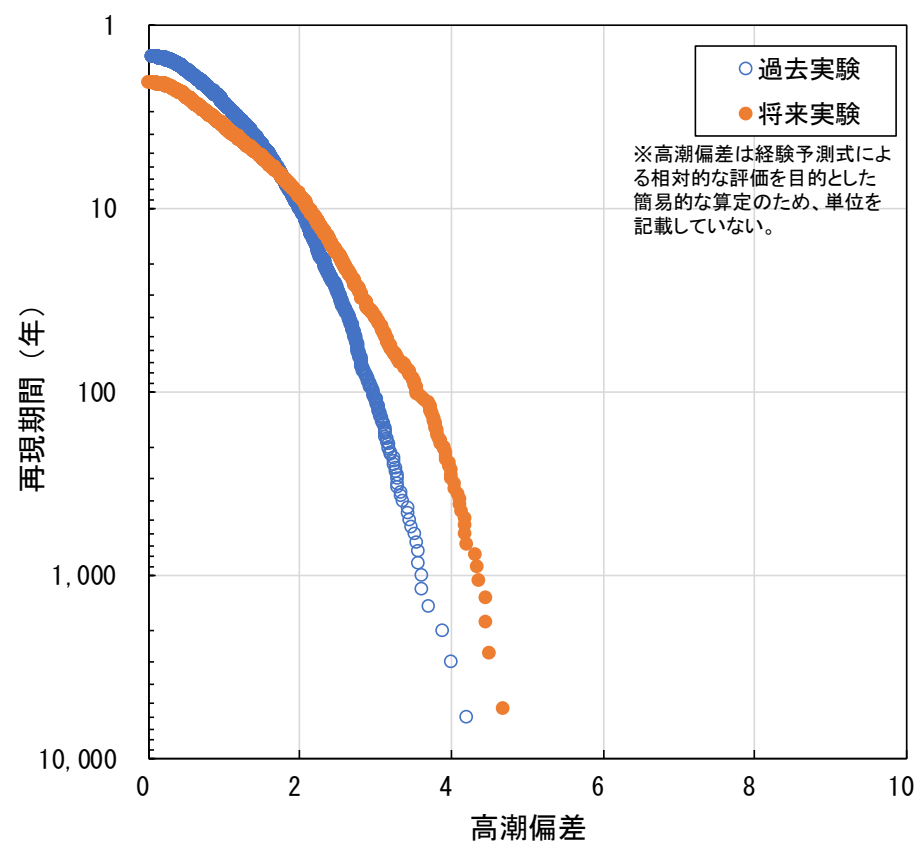
最低中心気圧(全メンバー)

呉地点(領域7)



高潮偏差(全メンバー)

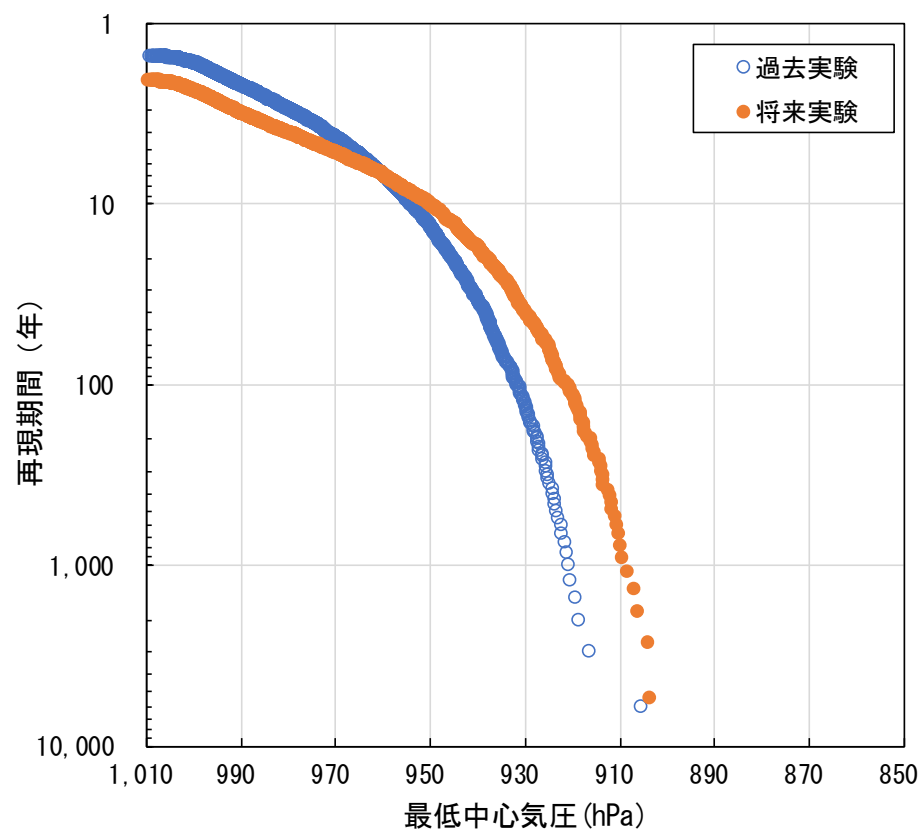
呉地点(領域7)



d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)【結果】

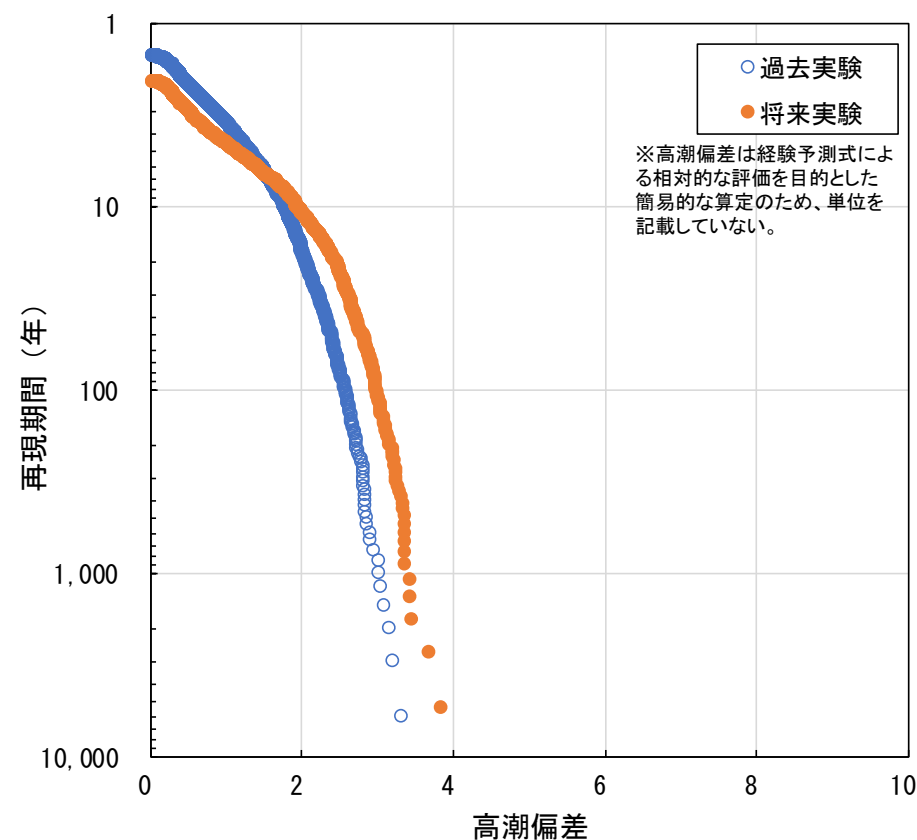
最低中心気圧(全メンバー)

鹿児島地点(領域8)



高潮偏差(全メンバー)

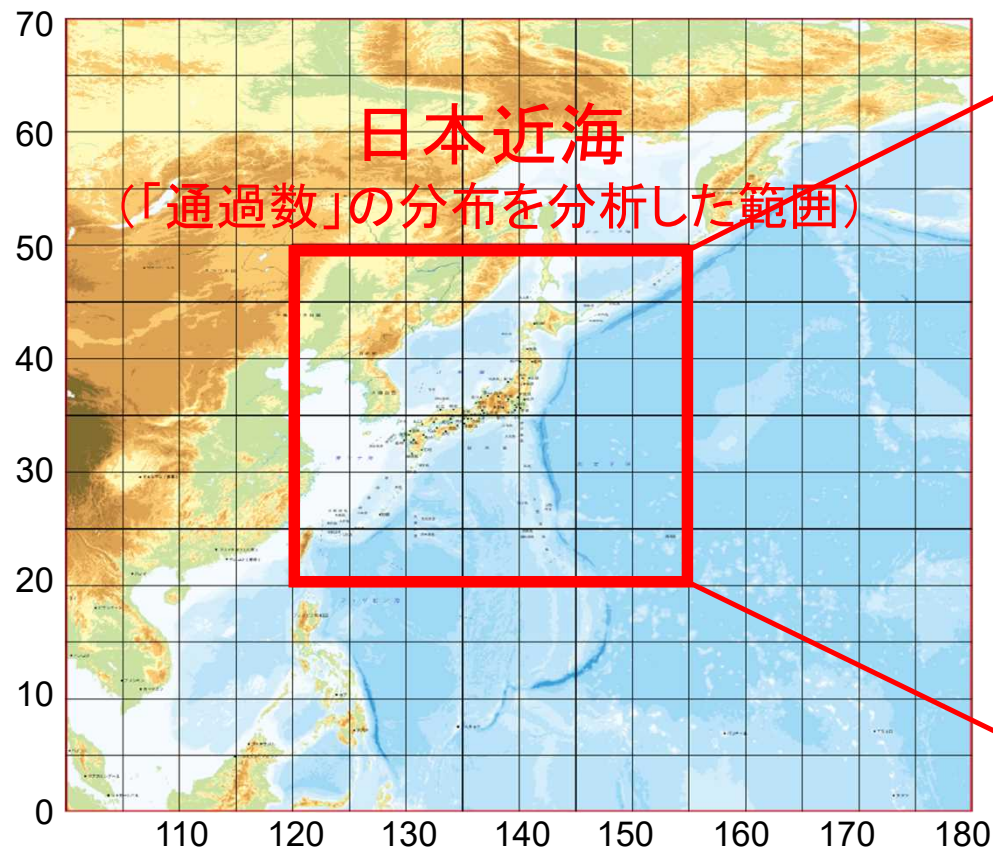
鹿児島地点(領域8)



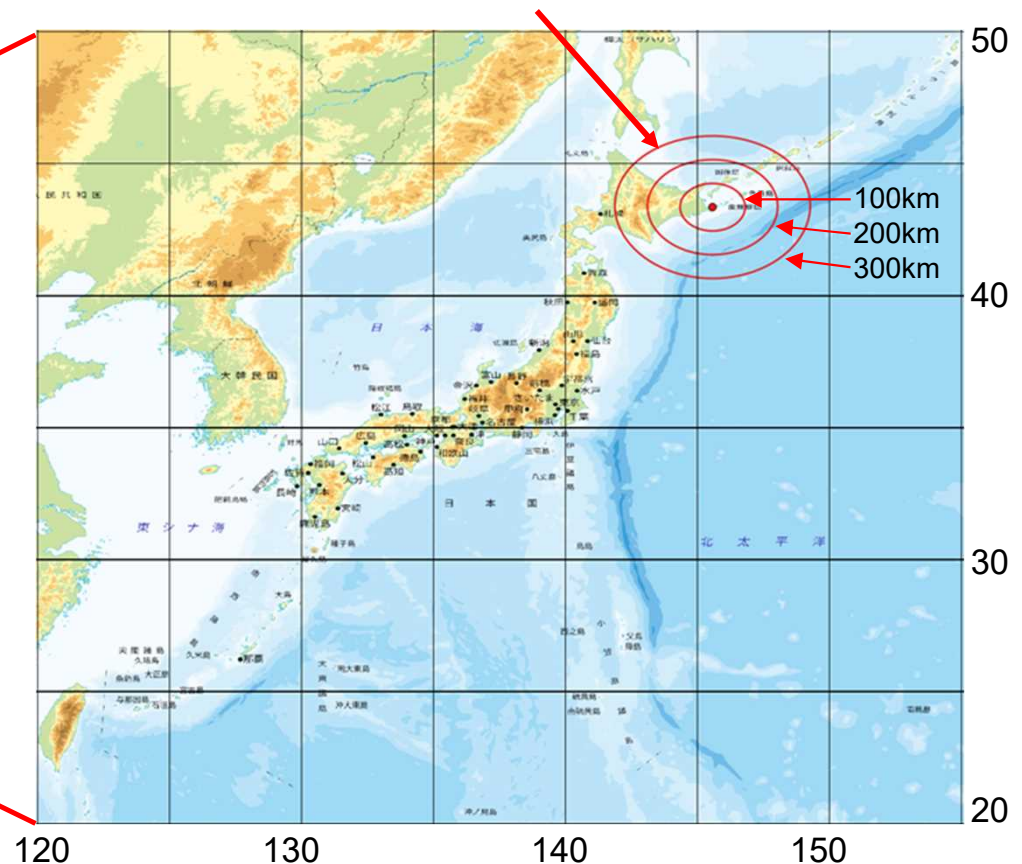
d4PDF（爆弾低気圧トラックデータ）の抽出範囲等

- d4PDF（日本域20kmダウンスケール）から爆弾低気圧を抽出した。
- 過去実験50メンバー、将来実験90メンバーのデータを使用。

爆弾低気圧トラックデータの抽出範囲 （「発生数」をカウントした範囲）



高潮経験予測式の係数が確認できた根室を対象として、領域を設定した。



※上陸とは、台風が中心が北海道、本州、四国、九州の海岸線に達した場合をいう（気象庁）。本資料では国土地理院の地球地図日本のポリゴンデータから沖縄県を除いたポリゴンデータを作成し、その範囲内に含まれるものを上陸数として集計した。

爆弾低気圧の発生数の比較

○ 過去実験と将来実験の爆弾低気圧の発生数は同程度である。

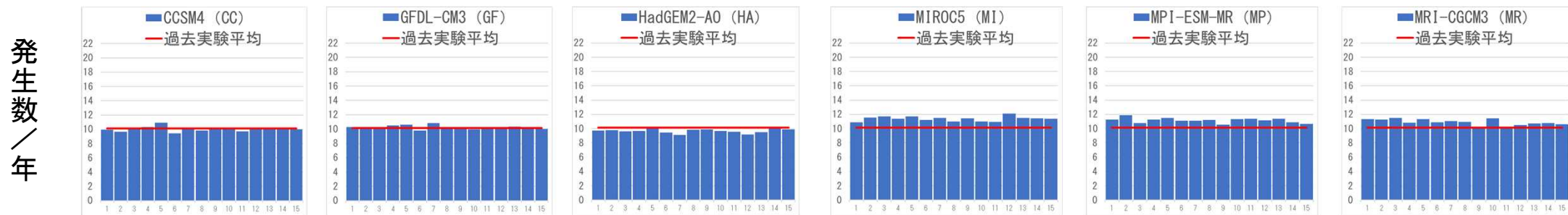
爆弾低気圧の発生数

- ・d4PDF過去実験(全メンバーの平均) : 10.1個／年
- ・d4PDF将来実験(全メンバーの平均) : 10.6個／年
- ・爆弾低気圧情報データベース(1996年～2019年) : 19.8個／年(参考)

d4PDF 過去実験における発生数の分布



d4PDF 将来実験における発生数の分布



爆弾低気圧の日本への上陸数の比較

○ 過去実験と将来実験の爆弾低気圧の上陸数は同程度である。

※ 上陸とは、台風が中心が北海道、本州、四国、九州の海岸線に達した場合をいう(気象庁)。本資料では国土地理院の地球地図日本のポリゴンデータから沖縄県を除いたポリゴンデータを作成し、その範囲内に含まれるものを上陸数として集計した。

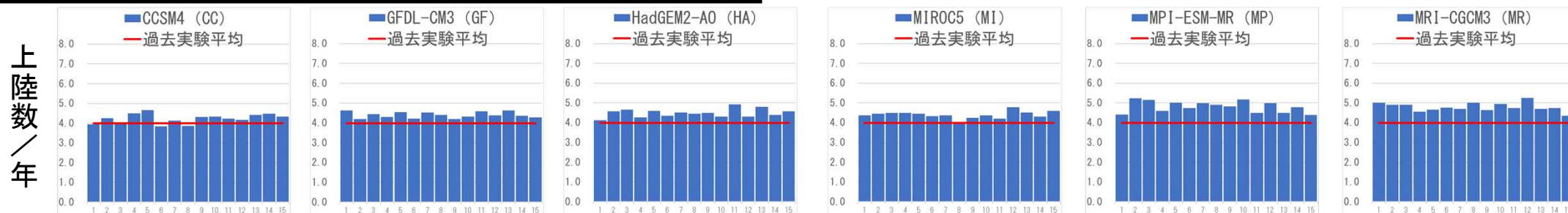
爆弾低気圧の上陸数

- ・d4PDF過去実験(全メンバーの平均) : 4.0個/年
- ・d4PDF将来実験(全メンバーの平均) : 4.5個/年
- ・爆弾低気圧情報データベース(1996年～2019年) : 7.3個/年(参考)

d4PDF 過去実験における上陸数の分布



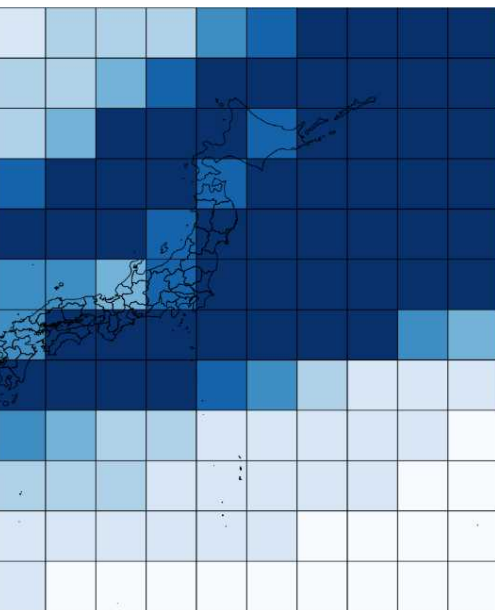
d4PDF 将来実験における上陸数の分布



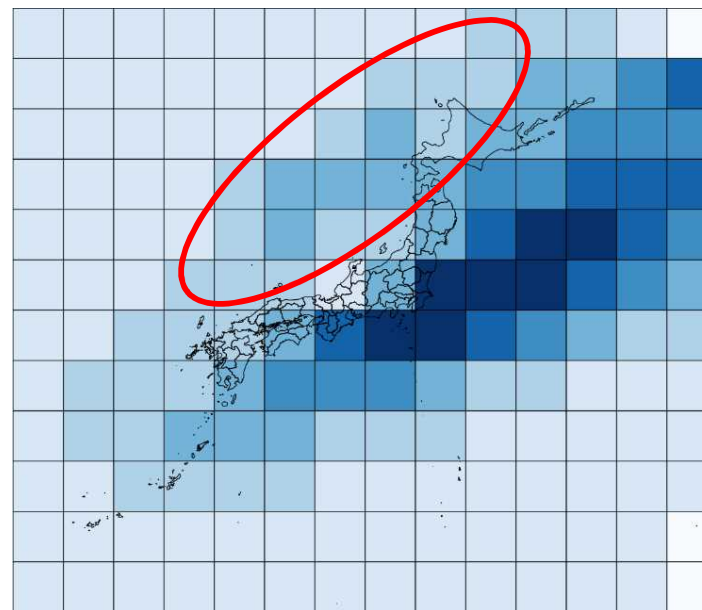
日本近海の爆弾低気圧通過数の比較

○日本海側の爆弾低気圧通過数は過去実験と比べて、将来実験の方が多い。

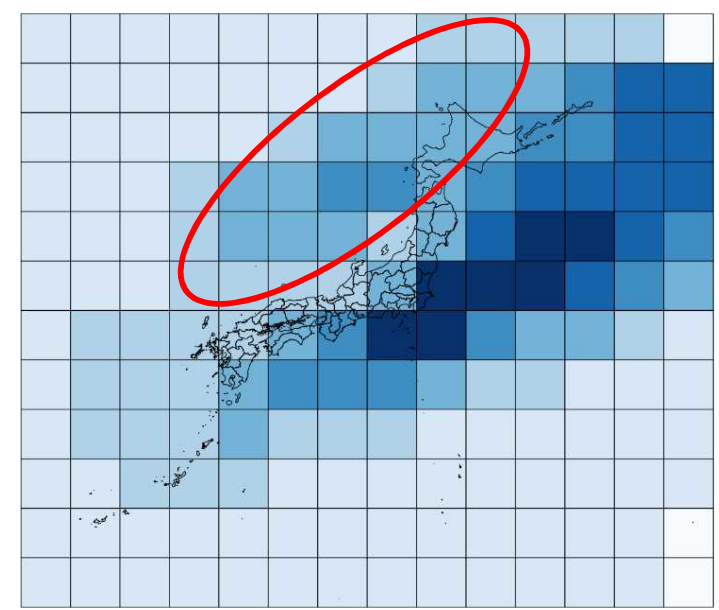
※2.5度メッシュ内を通過する爆弾低気圧の個数をカウント



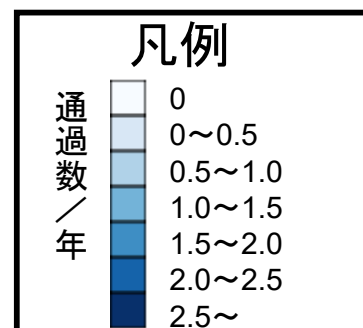
爆弾低気圧情報データベース
(参考)



d4PDF過去実験
(全メンバー)



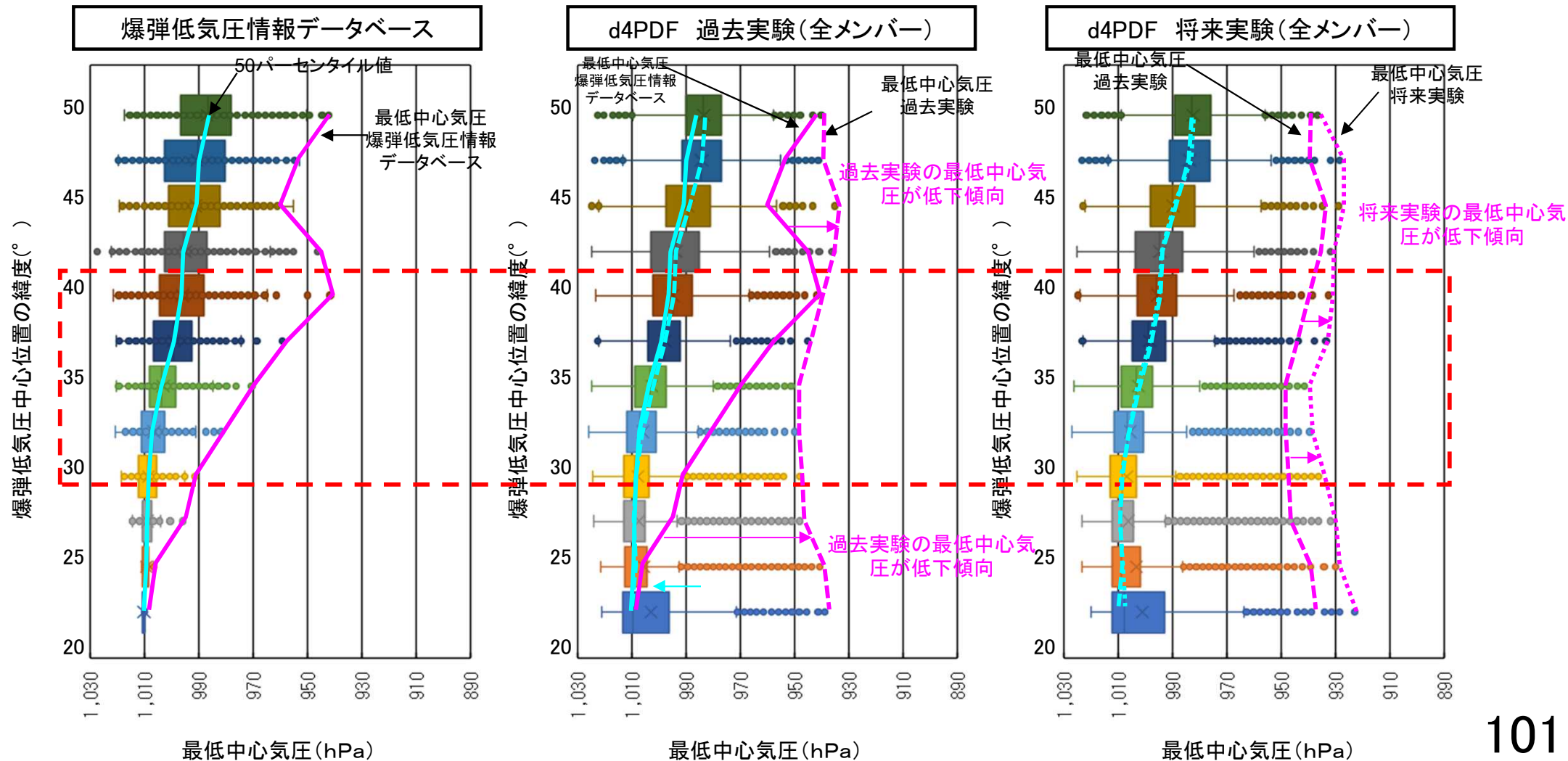
d4PDF将来実験
(全メンバー)



日本近海の最低中心気圧の分布状況の分析(爆弾低気圧)

○d4PDFの過去実験と将来実験を比較すると、将来実験の最低中心気圧が低くなる傾向にある。

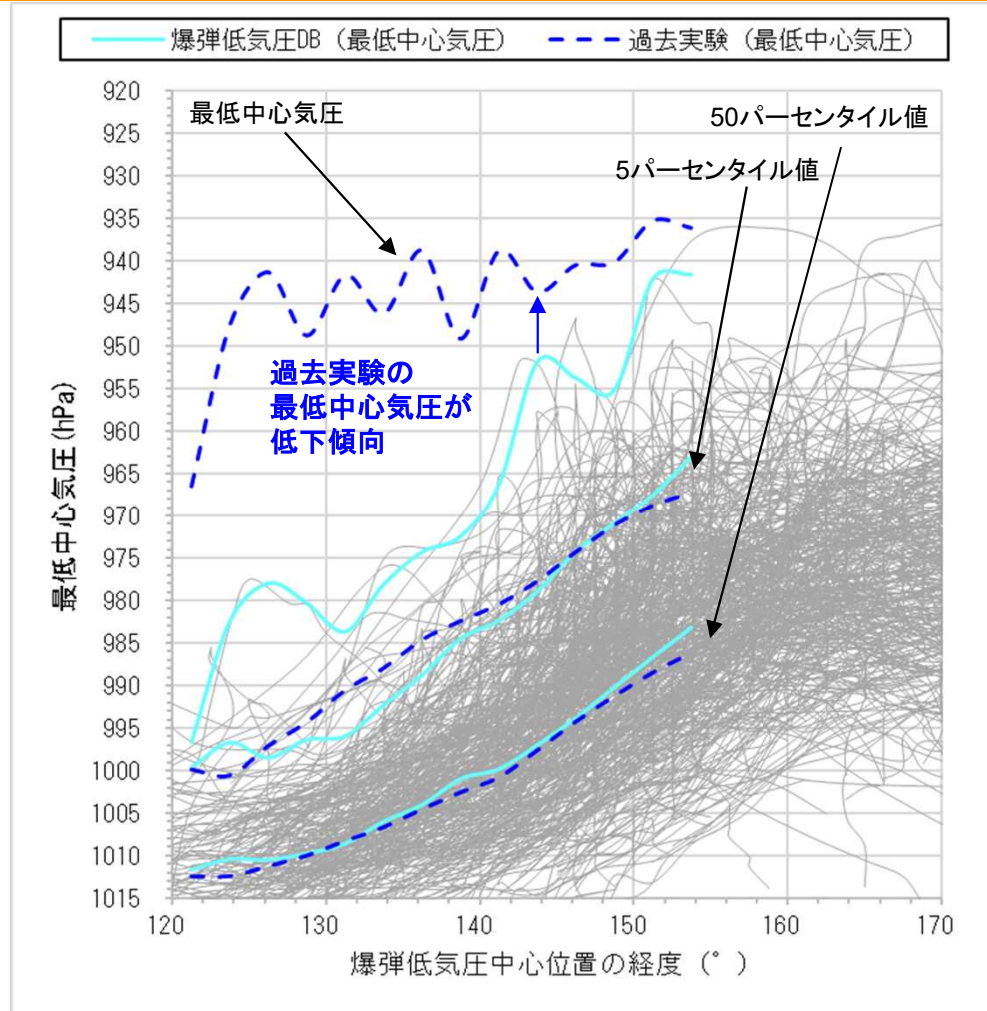
(参考)



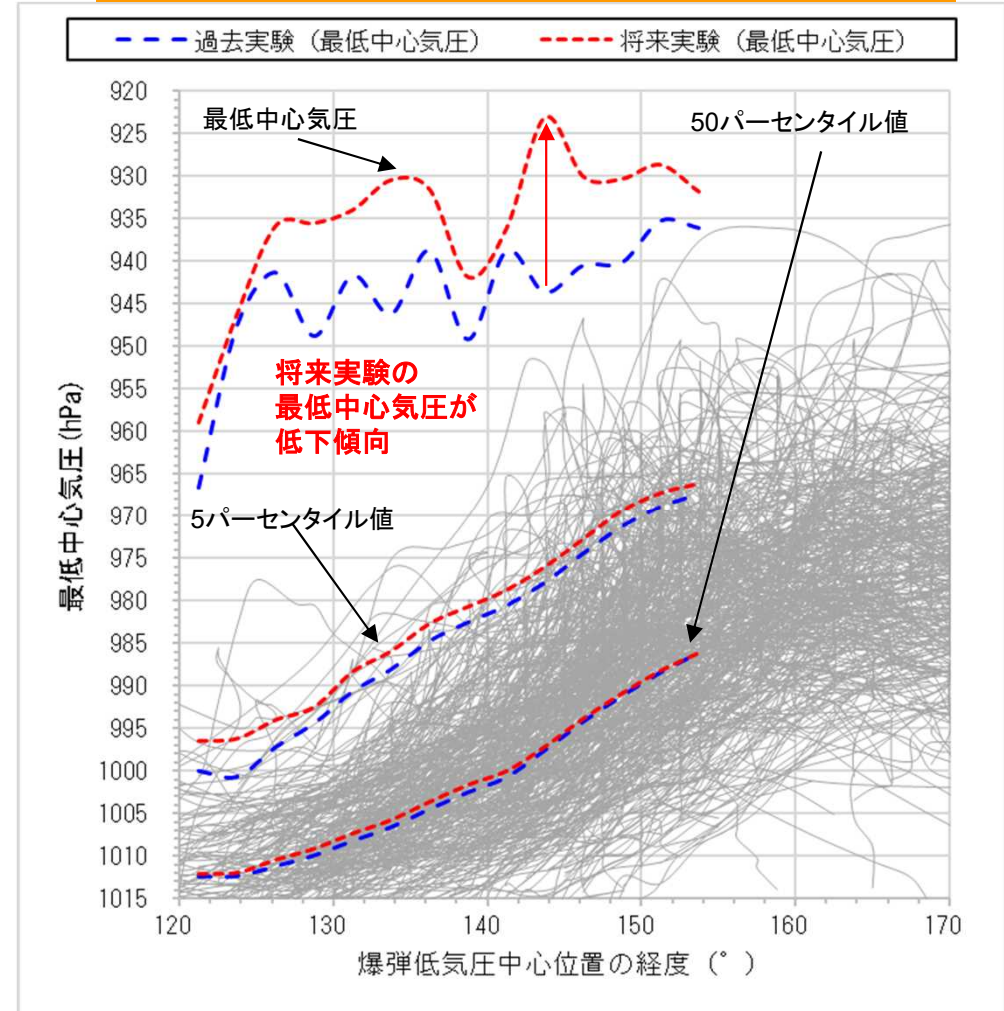
日本近海の最低中心気圧の分布状況の分析(爆弾低気圧)

○d4PDFの過去実験と将来実験を比較すると、将来実験の最低中心気圧が低くなる傾向にある。

爆弾低気圧情報データベースとd4PDF過去実験(全メンバー)の比較(参考)

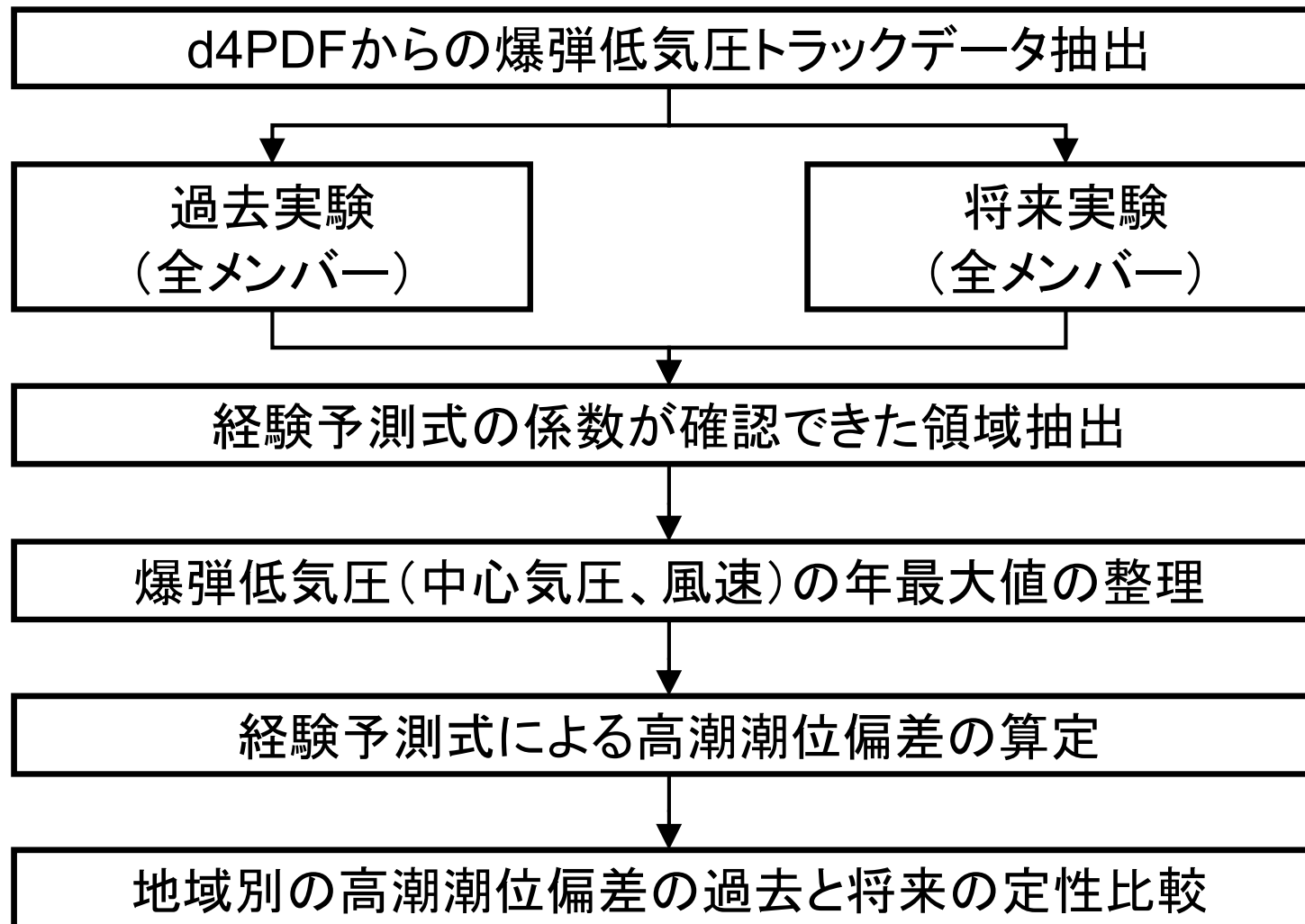


d4PDF過去実験とd4PDF将来実験の比較(全メンバー)



d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)①

○d4PDFの過去実験と将来実験のアンサンブルメンバーから経験予測式を用いて高潮潮位偏差を算出し、対象領域別の過去と将来の高潮リスク定性比較を行う。



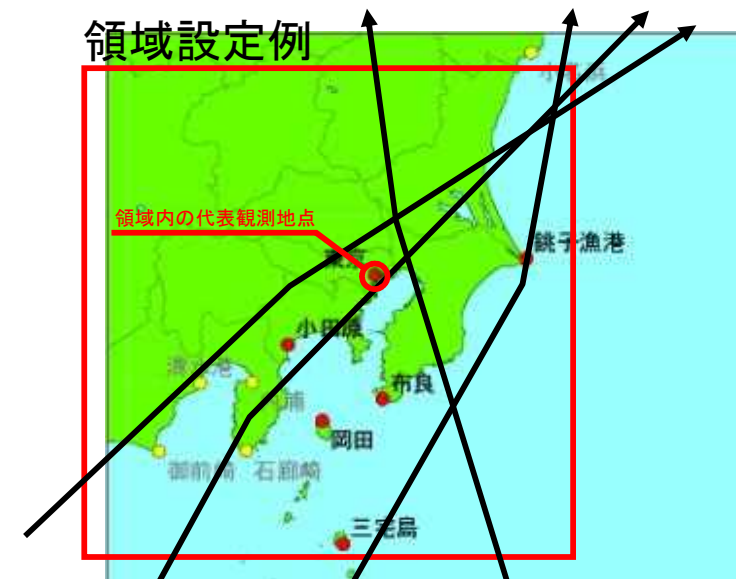
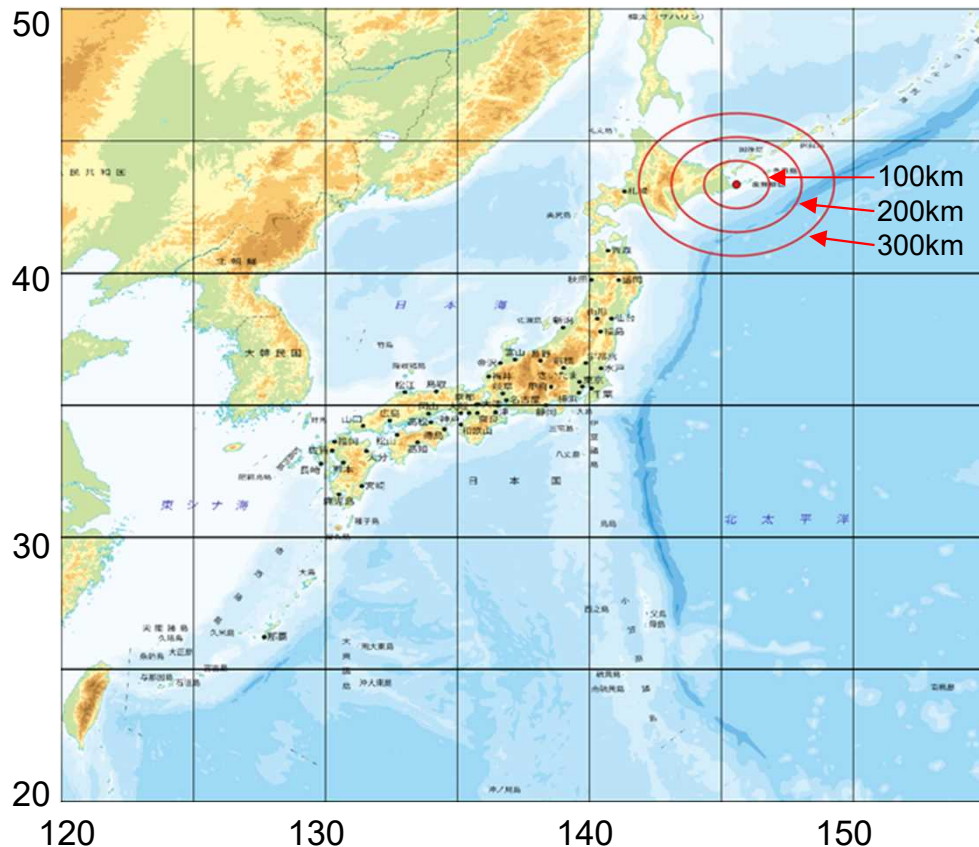
※ なお、今回の分析では、過去実験と将来実験の差異の傾向を分析することが目的であるため、定量化にあたっては、実績データとのバイアスを分析し補正することなどを検討する必要がある。

d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)②

- 日本沿岸域における過去気候と将来気候の高潮の定性的な傾向把握を目的とし、高潮経験予測式による潮位偏差を算出する。

【前提条件】

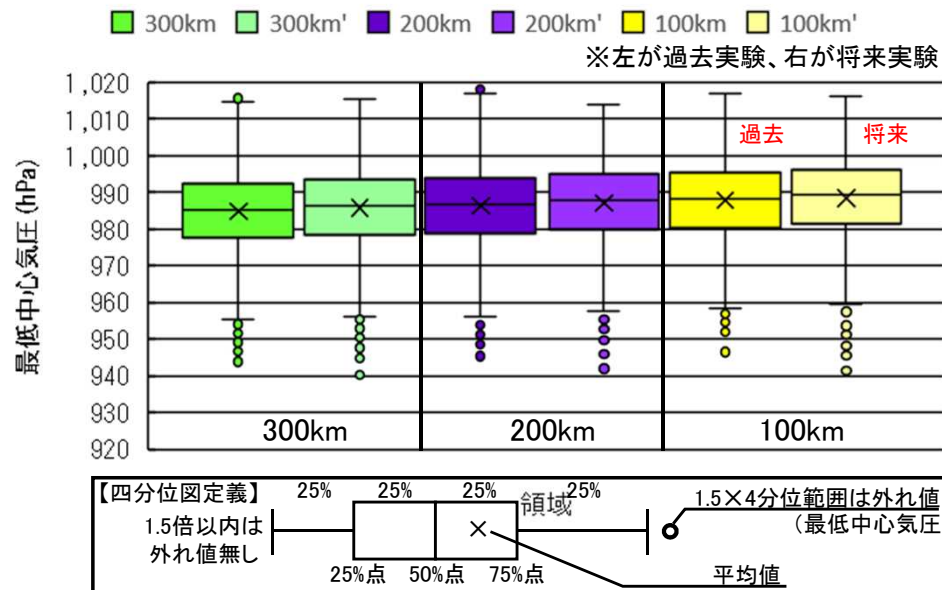
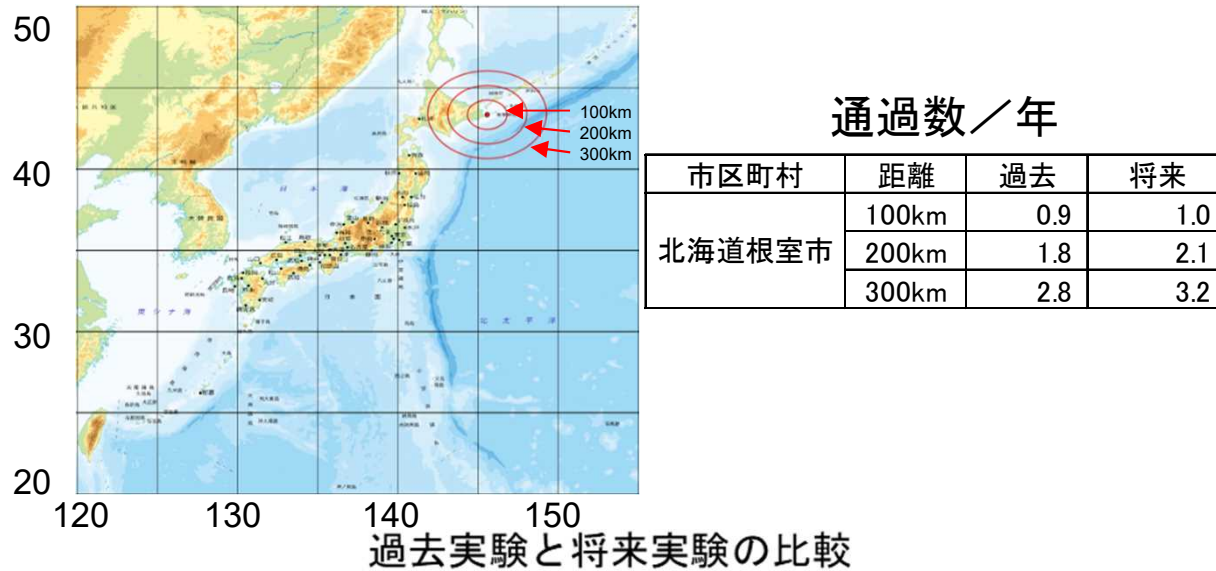
- 高潮経験予測式の係数が確認できた根室を対象として、領域を設定した。
- 潮位偏差の定量評価ではなく、過去と将来の相対比較が目的であるため、領域内を通過する爆弾低気圧の最低中心気圧と風速を予測式に適用する爆弾低気圧強度として仮定する。
- 主方向となす最大風速のなす角度については爆弾低気圧経路と同一方向を風向と仮定して求める。
- 波浪の碎波によるウェーブセットアップの影響は考慮しない。



領域内を通過する爆弾低気圧の最低中心気圧と風速

d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)③

- 過去実験と将来実験の高潮偏差を算出した領域内の爆弾低気圧通過数は同程度である。
- 過去実験と将来実験の高潮偏差を算出した領域内の最低中心気圧は最低値に近い極端な領域を除いて、両者は同程度である。



【高潮計算方法】

d4PDFにおける爆弾低気圧の高潮の将来変化予測を下記高潮簡易推定式を用いて算定

$$h = a(1010 - SLP) + bW^2 \cos(\theta_0 - \theta) \quad (1)$$

係数a,bは過去の観測資料から求められる各地点の係数である。

表-2 高潮簡易推定式における係数の算定結果と推定精度

	観測値ベース	数値モデルベース
係数 a	2.020	2.008
係数 b	0.087	0.079
RMSE	0.154	0.066
相関係数	0.778	0.900

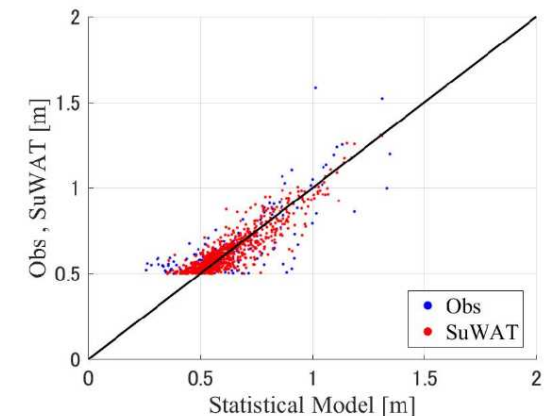


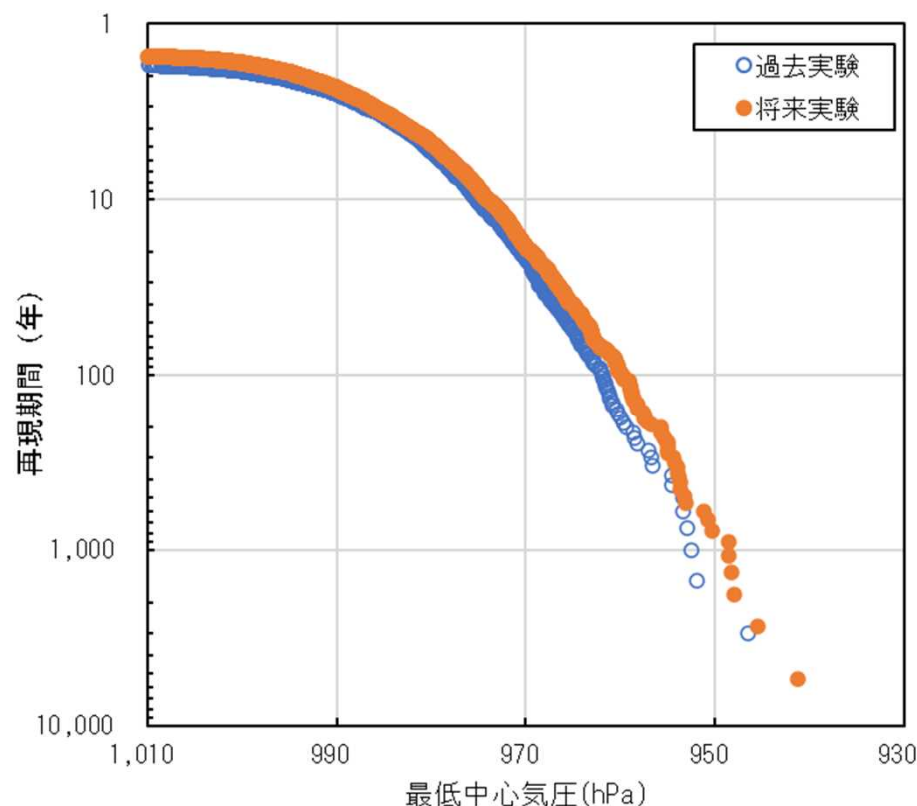
図-5 表-2の係数に基づいた高潮簡易推定式によって推定された高潮偏差の値と観測値、計算値の関係

d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)【結果】

- 最低中心気圧については、最低値に近い極端に低い気圧の領域で、将来実験の方が発生頻度が高くなる。
- 潮位偏差の予測結果についても、極端に大きな偏差の領域で、将来実験の方が発生頻度が上昇する傾向となった。
- 対象領域を変えて検討したが傾向は同じだった。

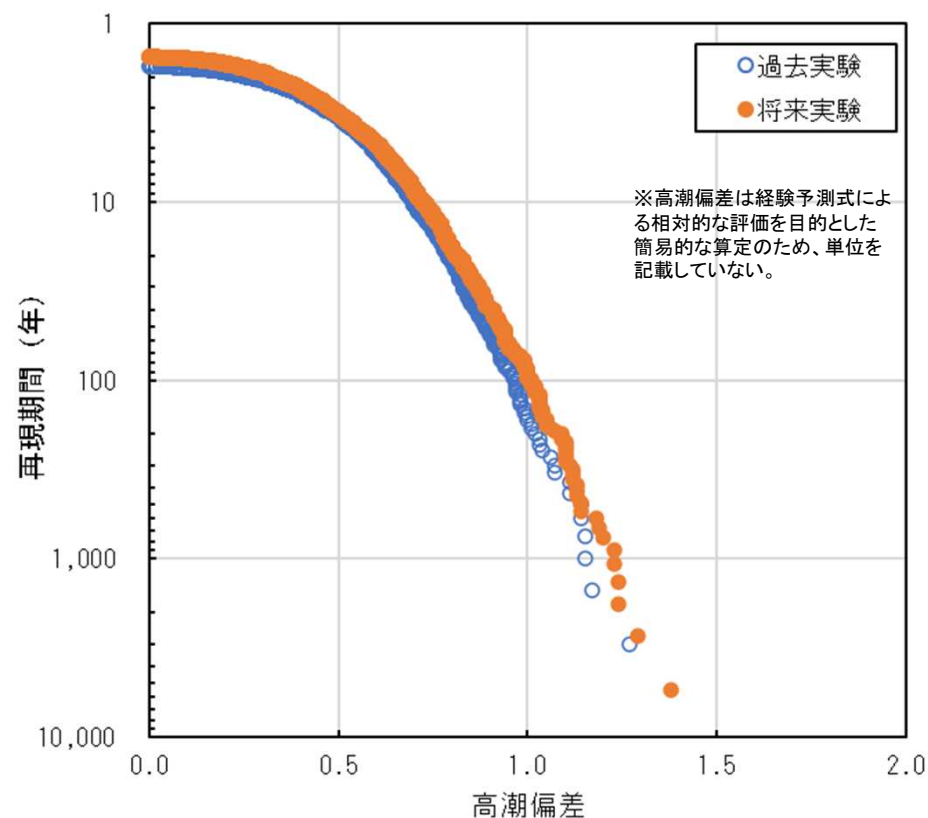
最低中心気圧(全メンバー)

根室地点(100km)



高潮偏差(全メンバー)

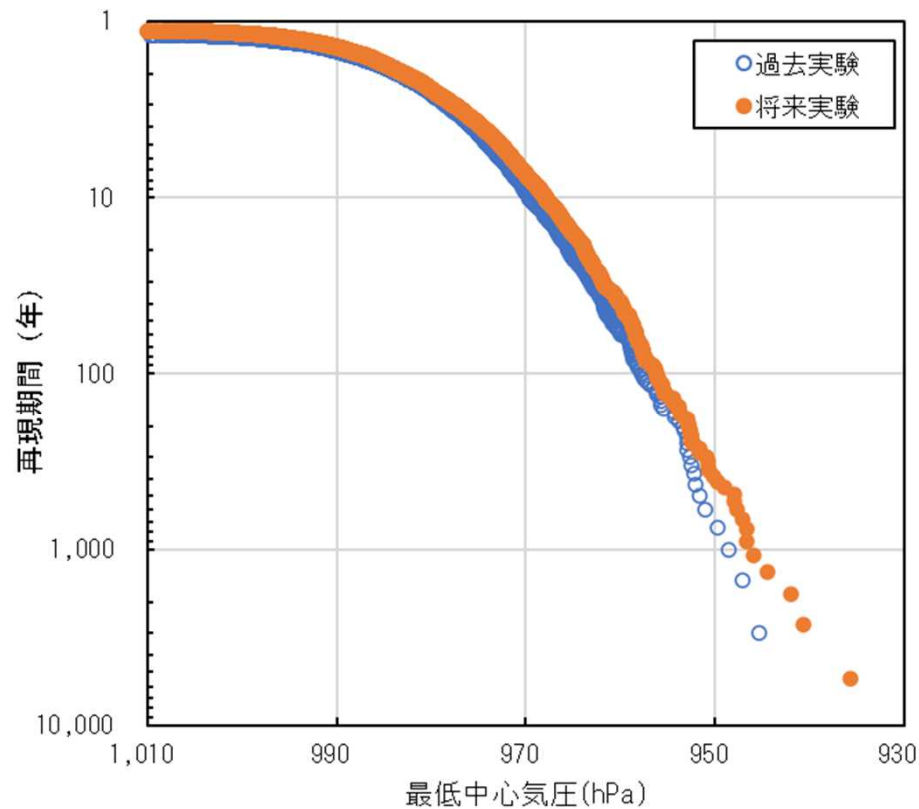
根室地点(100km)



d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)【結果】

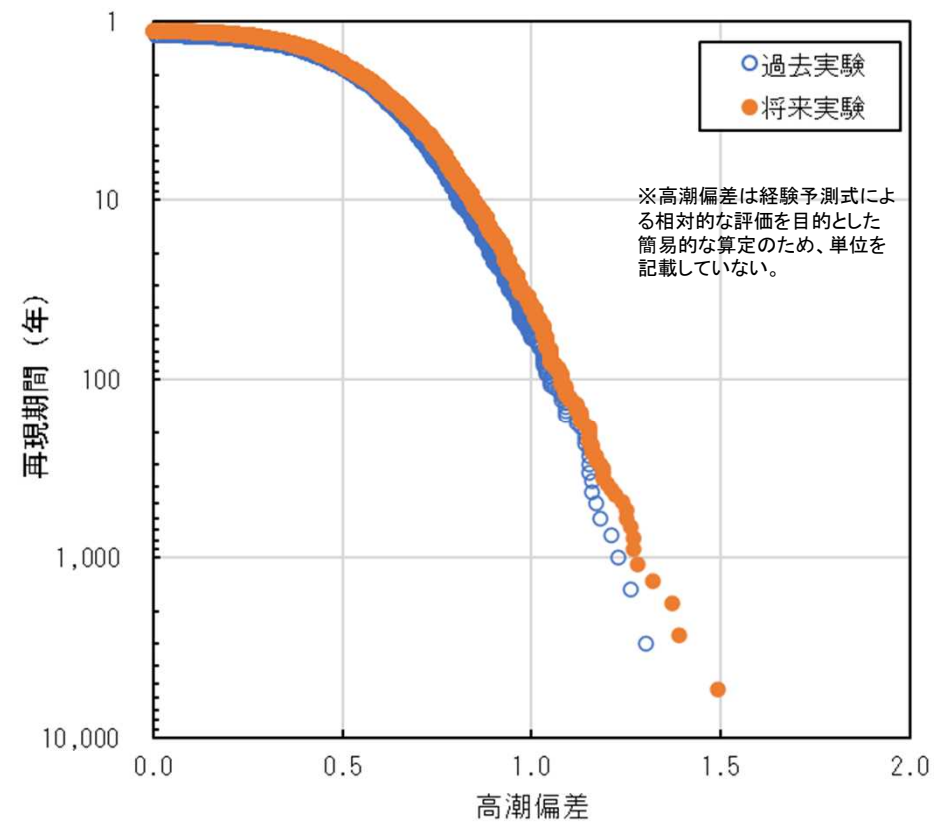
最低中心気圧(全メンバー)

根室地点(200km)



高潮偏差(全メンバー)

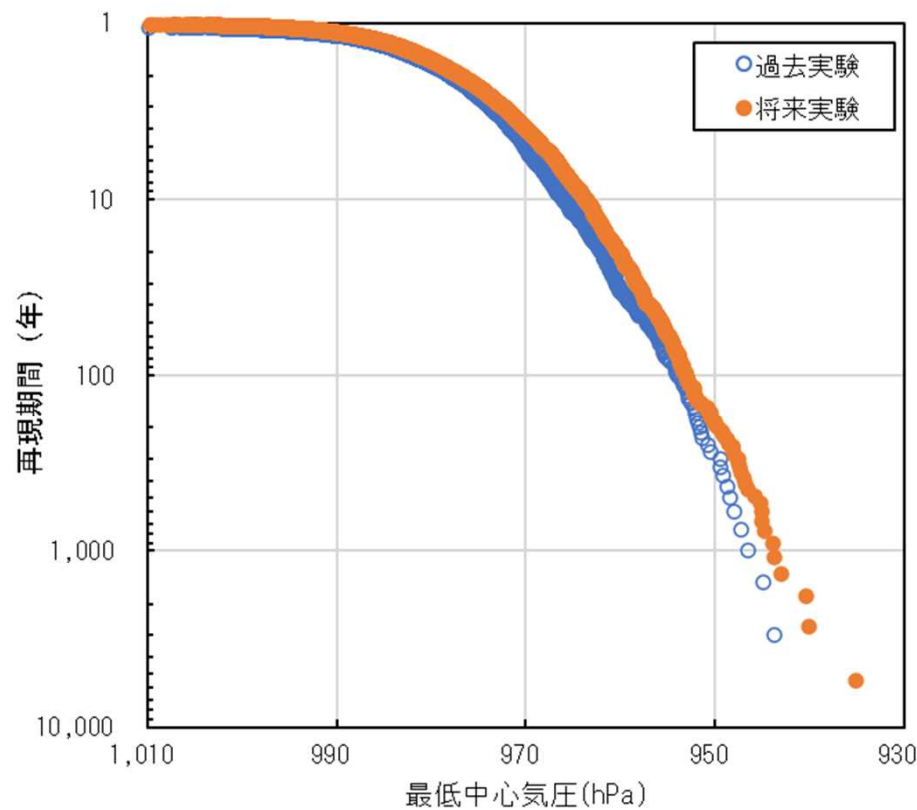
根室地点(200km)



d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)【結果】

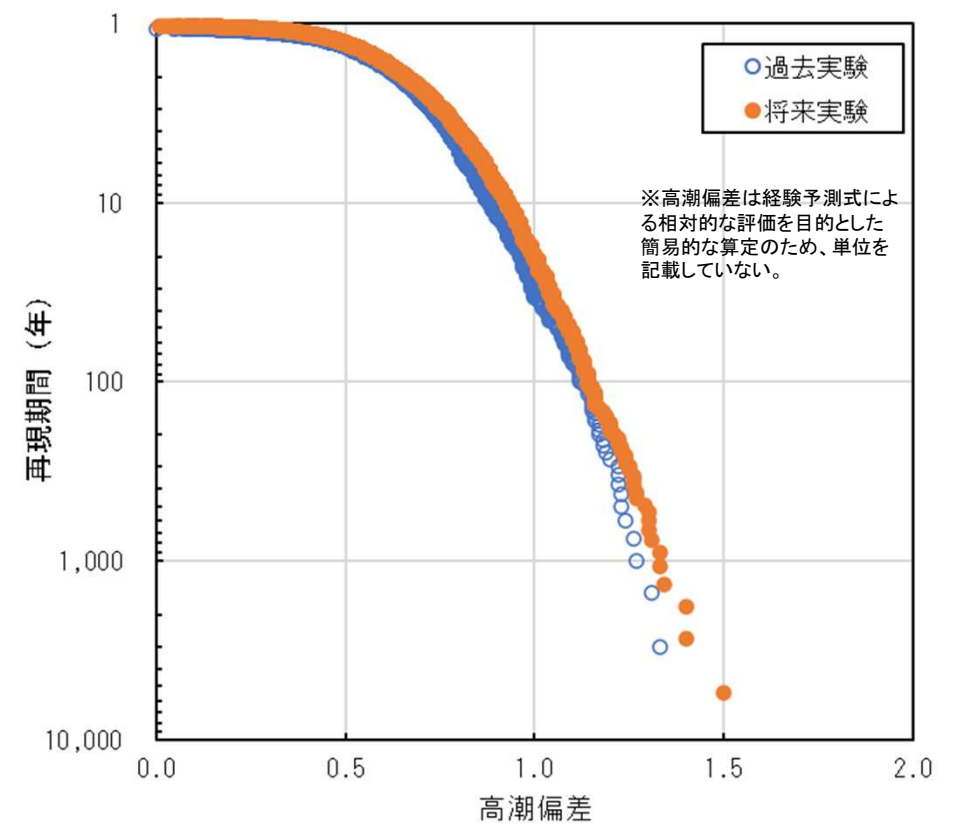
最低中心気圧(全メンバー)

根室地点(300km)



高潮偏差(全メンバー)

根室地点(300km)



Ⅱ 将来外力の定量化に向けた検討(参考資料)

d4PDF中心気圧のバイアス補正と
高潮経験予測式による潮位偏差及び再現期間の推定

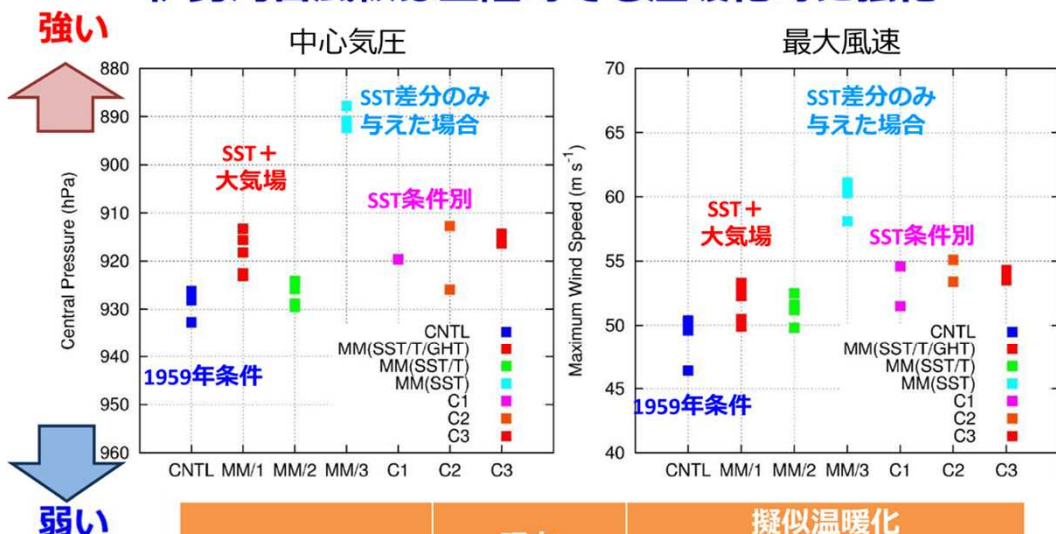
既往研究結果との比較①

- 伊勢湾台風級(中心気圧926～933hPa)の極端台風を想定した擬似温暖化時の中心気圧に対応するd4PDF将来実験の中心気圧及び傾度風速を比較した結果、中心気圧と最大風速の両方とも比較的一致度が良い。

d4PDFの最低中心気圧と傾度風速

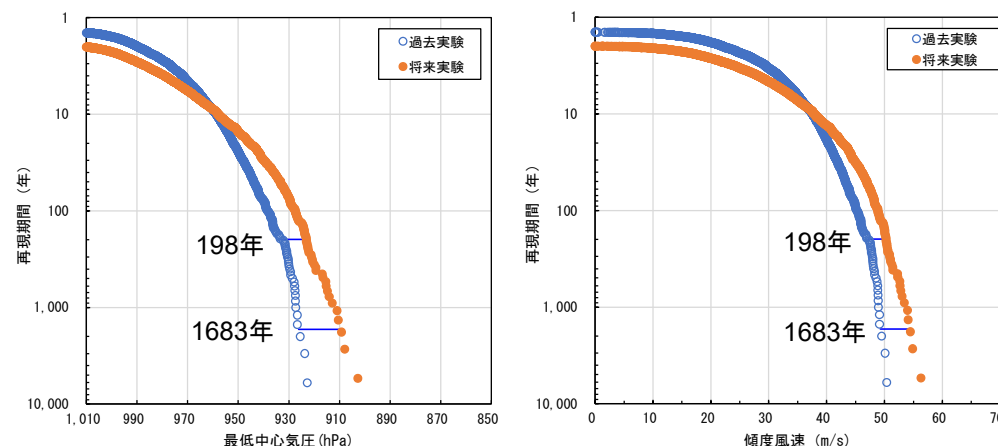
名古屋地点(領域5)

伊勢湾台風級は上陸時でも温暖化時に強化



	現在	擬似温暖化	
		SST + 3D atm	SST
中心気圧 (hPa)	926.2 – 932.7	912.7 – 929.5	887.8 – 892.4
最大風速 (m/s)	46.4 – 50.4	49.8 – 55.1	58.1 – 61.1

※北緯33度線を越えた最初の時刻の強度



	d4PDF 過去実験	d4PDF 将来実験 (4度上昇)
中心気圧(hPa)	926 – 933	910 – 923
傾度風速(m/s) (台風半径 $r=r_0$)	47 – 49	50 – 54

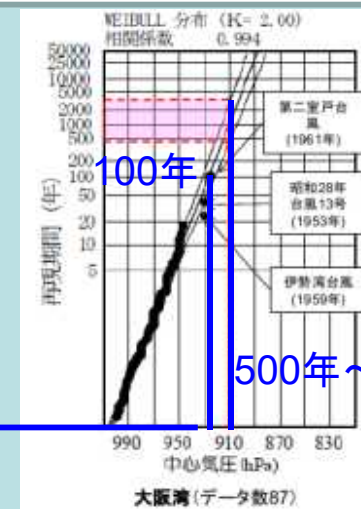
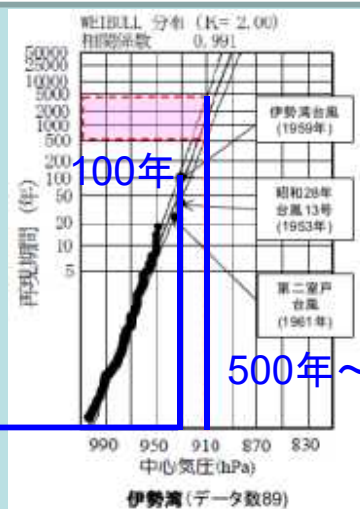
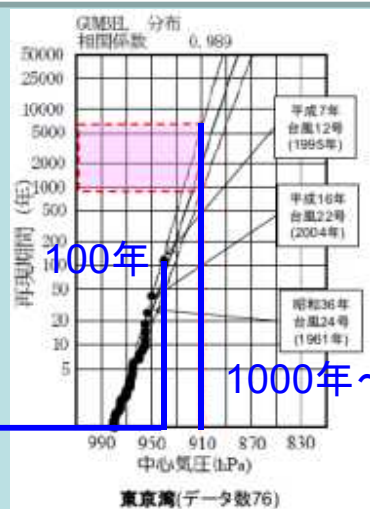
比較的一致度が良い※

※対象領域はバイアス補正量が相対的に小さい緯度区分に位置している。

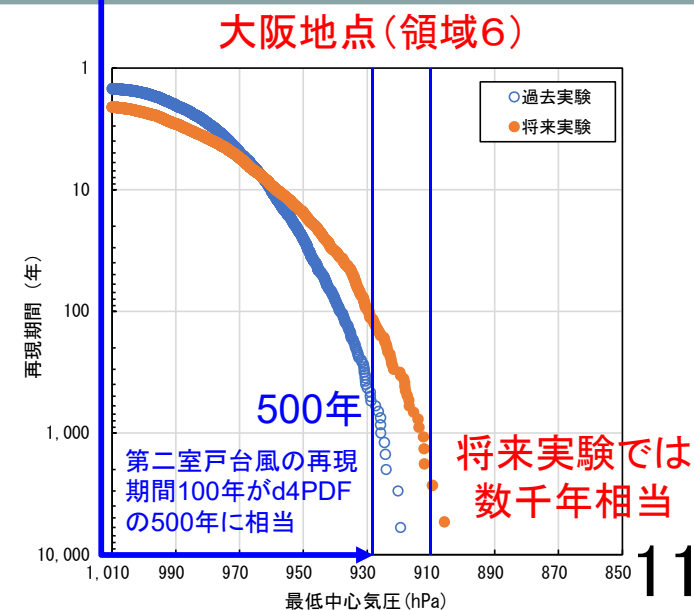
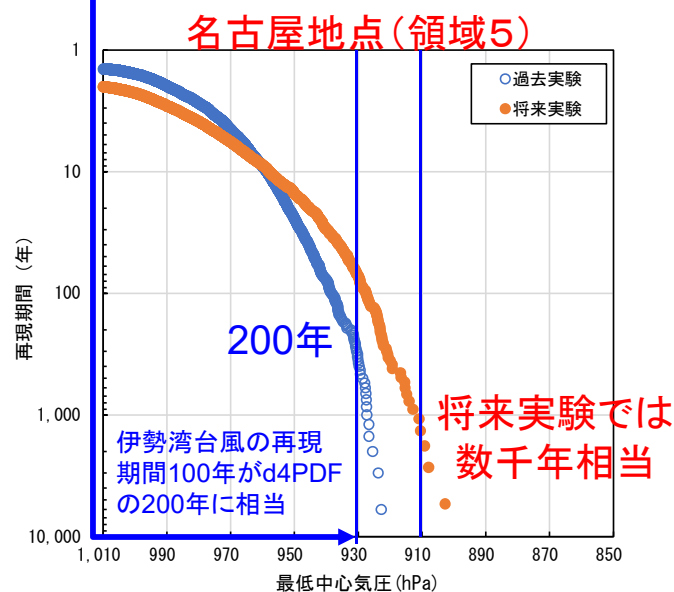
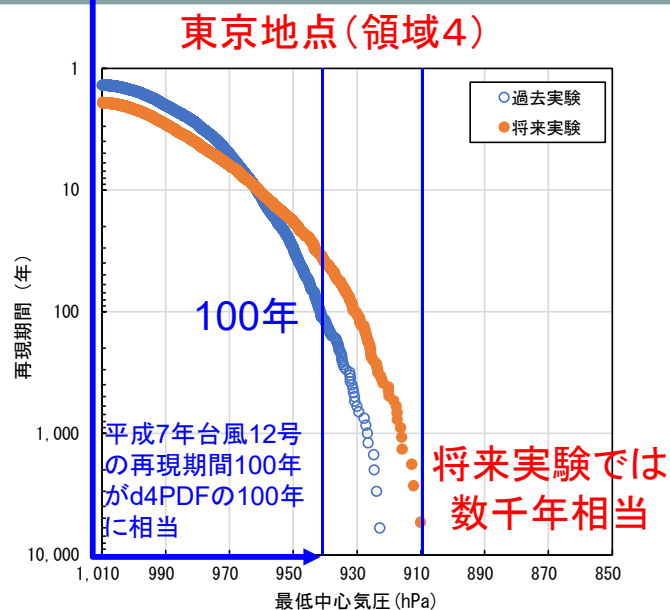
図 伊勢湾台風級の極端台風が温暖化時にどこまで強化するか(出典1)

既往研究結果との比較②

- 既往三大湾の確率評価(中心気圧)とd4PDFの過去実験及び将来実験の中心気圧(バイアス補正後)を比較した結果、観測値最大の再現期間100年程度がd4PDFの過去実験で100年～500年に相当。
- 室戸台風級(910hPa)は、外挿となる500年～5000年相当に対して、d4PDFの過去実験では1万年以上に相当し、より低頻度の評価となった。なお、将来実験でみると数千年に相当する。



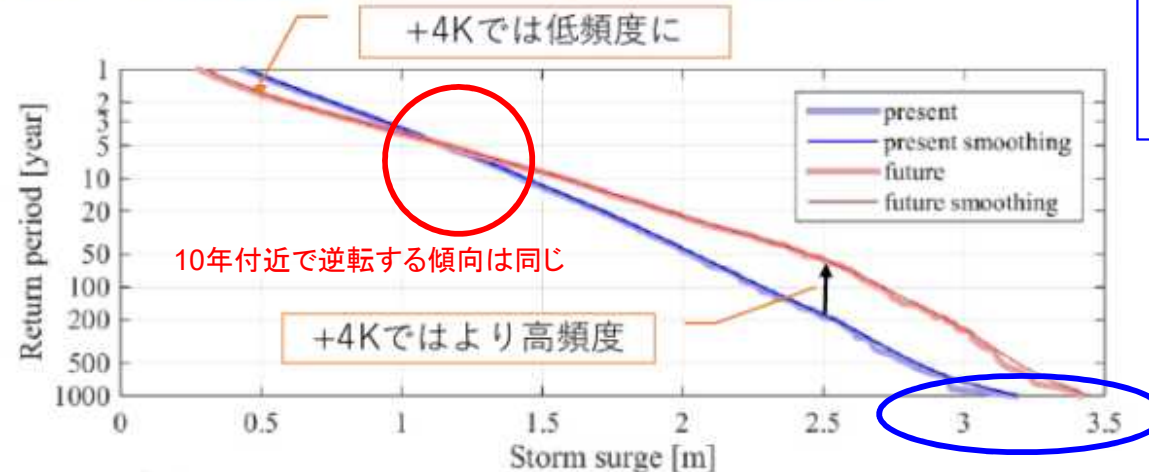
出典：高潮浸水想定区域図作成の手引きVer.1.10, 平成27年7月, p7.



既往研究結果との比較③

- 大阪湾における高潮の将来変化予測とd4PDFの過去実験及び将来実験の高潮予測変化(中心気圧バイアス補正後)を比較した結果、**再現期間10年付近を境に短期的には潮位偏差が減少, 長期的には増加する傾向が一致**した。一方、統計モデルと比べて経験予測式による潮位偏差は、低頻度の領域で約1.4倍となった。

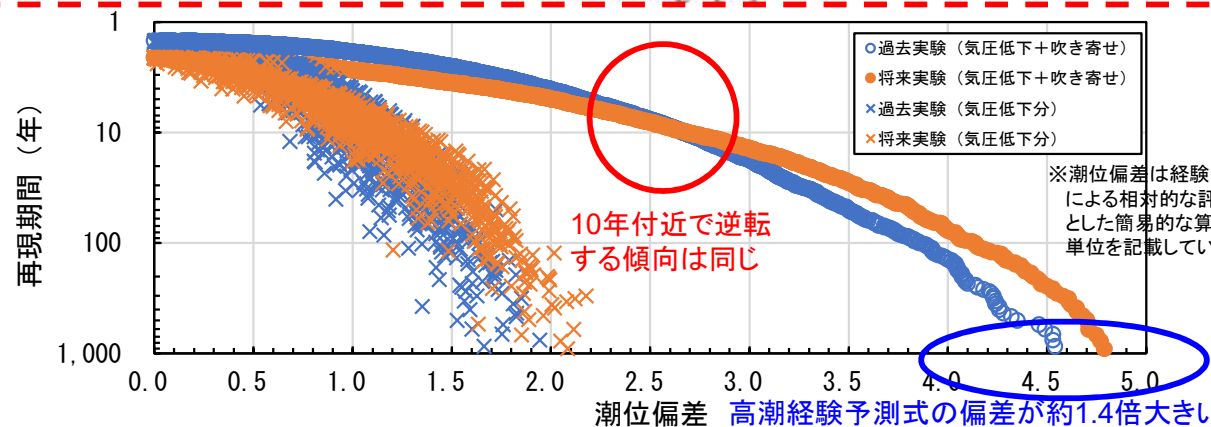
高潮の将来変化予測 d4PDF+統計モデル：大阪湾



【統計モデル】

力学モデルによる潮位偏差の計算結果を教師データとした統計モデルを湾毎に最適化したものであり、比較的定量的な議論が可能

d4PDF(バイアス補正後)
による大阪地点(領域6)
の推定結果

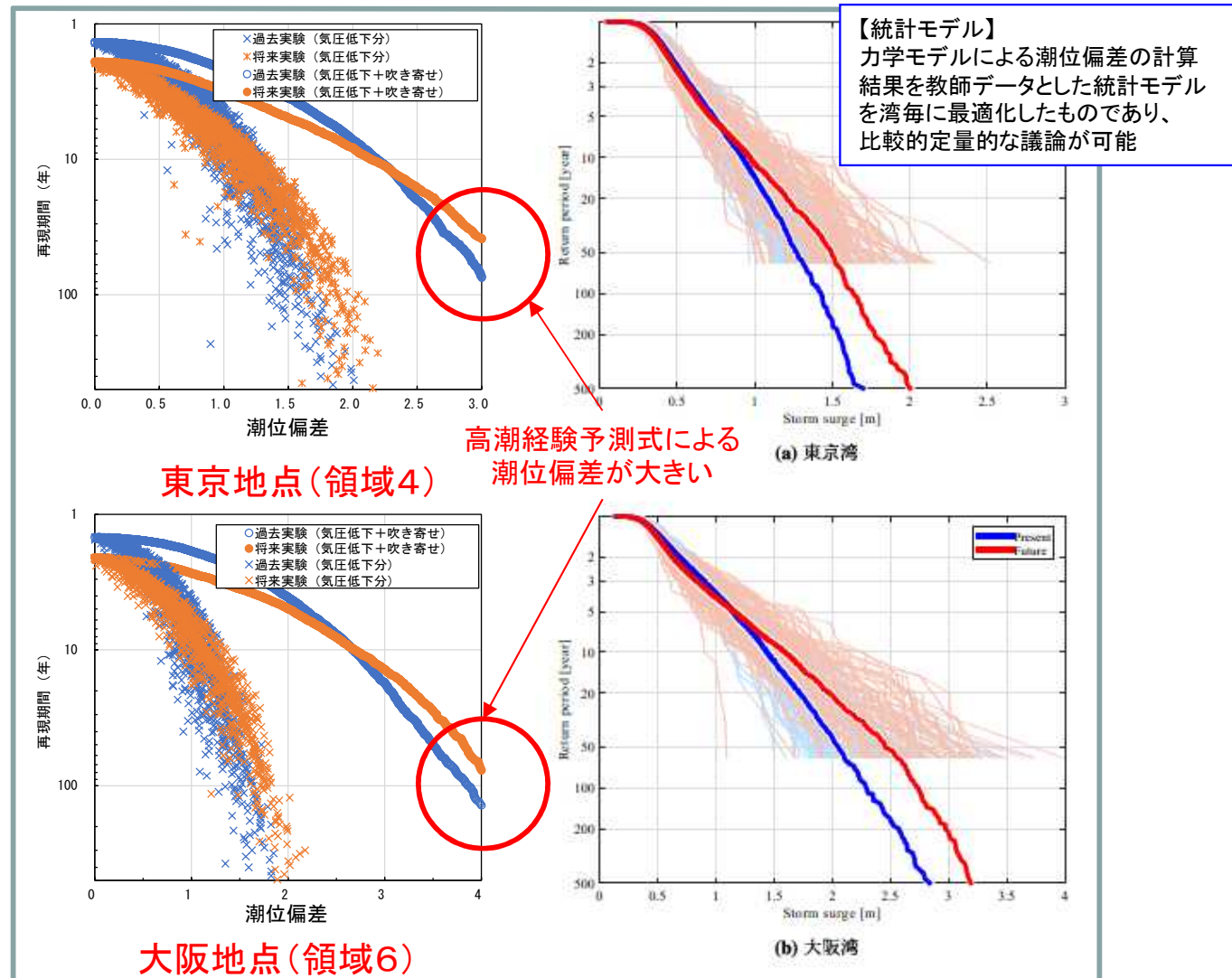
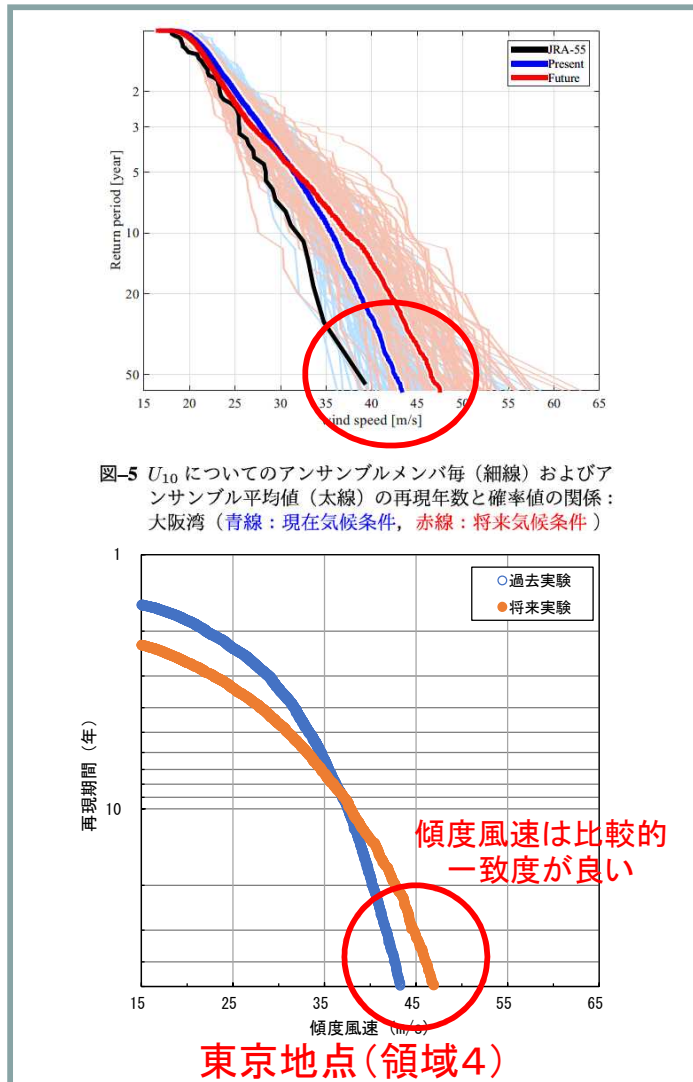


Mori et al. (2019) CEJ



既往研究結果との比較④

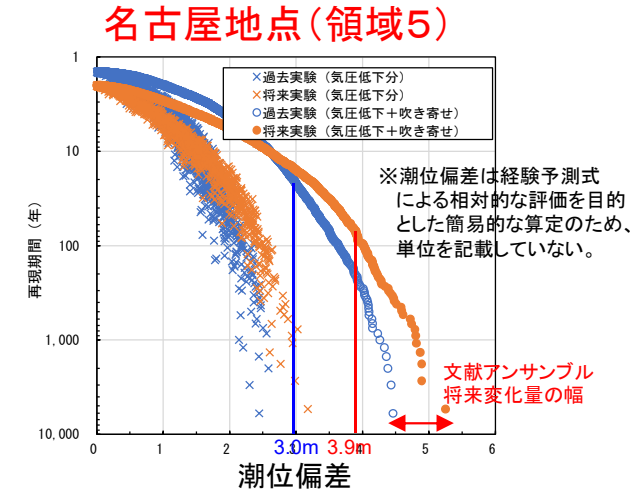
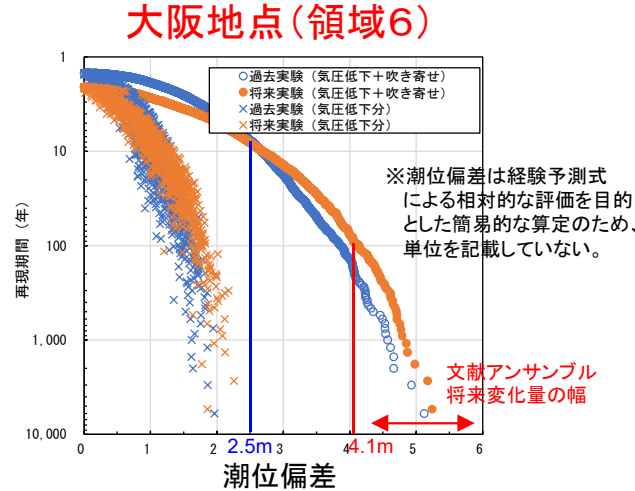
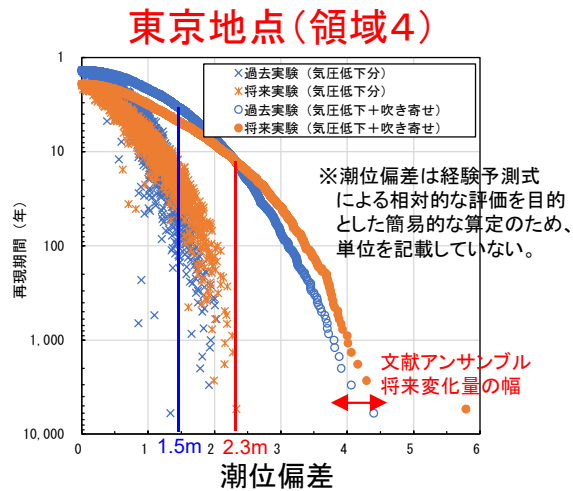
- 全球60kmAGCMを用いた大規模アンサンブル気候予測実験(バイアス補正無し)とd4PDFの過去実験及び将来実験の中心気圧(バイアス補正有り)を比較した結果、海上風速 U_{10} と傾度風速の一致度は比較的良いが、潮位偏差については、統計モデルと比べて高潮経験予測式によるd4PDFの結果が過大評価となった。



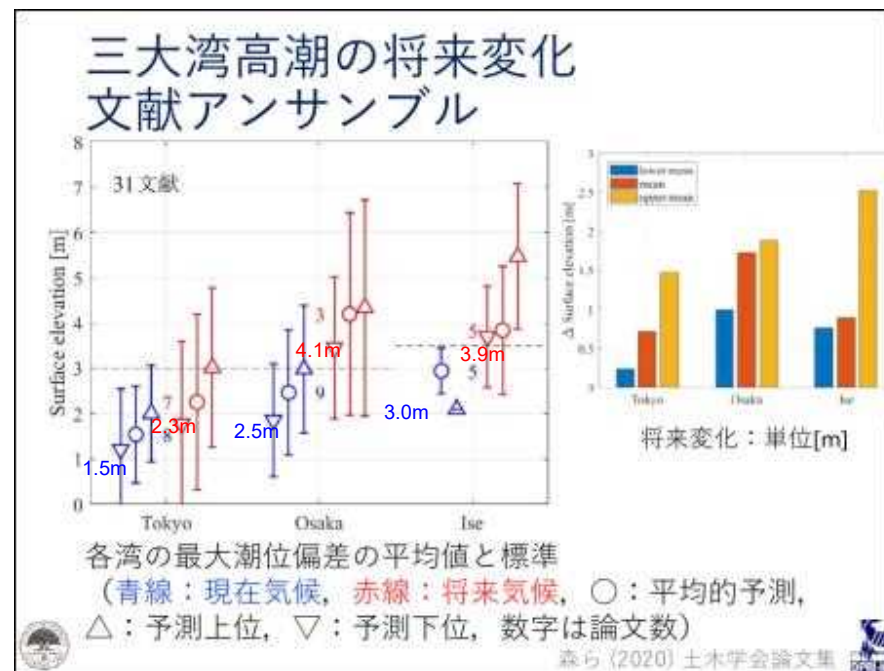
東京湾と大阪湾の出典: 森ら(2016): 全球60kmAGCMを用いた大規模アンサンブル気候予測実験とこれを用いた高潮長期予測, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.72, No.2, I_1471-I_1476.

既往研究結果との比較⑤

○ 三大湾高潮の将来変化文献アンサンブルとd4PDFの過去実験及び将来実験の潮位偏差(経験予測式)を比較した結果、**文献アンサンブル平均値の将来変化量に対して、d4PDFの将来変化量の幅が狭いことがわかった。**



文献アンサンブル平均値の将来変化量に対して、d4PDFの将来変化量の幅が狭い



台風中心気圧の再現期間の推定

<委員からの御意見>

- 資料3(設計外力の確率評価)を踏まえ、海岸防護のターゲットである確率年(再現期間)の幅に着目し、ある確率年(再現期間)ごとに解析値が増えるのか増えないのか、可能ならば物理量で、難しい場合は比率でも良いので、まとめて示してはどうか。最終的なとりまとめまでに50年、100年、500年等の再現期間でそれぞれどうなるかを整理すると、L1、L2等の条件を考える上で参考になる。

検討フロー

超過確率によるバイアス補正

第4回委員会提示資料

緯度区別の
年平均通過数の整理

年平均通過数を考慮した
再現期間の推定

バイアス補正後の中心気圧の
分布形状の確認

領域別バイアス補正後の中心気圧に
高潮経験予測式を適用し潮位偏差を推定

代表的な再現期間における
中心気圧及び潮位偏差の変化率の整理

今回
試行

台風中心気圧の再現期間の推定

- 緯度区別の年平均通過数を整理した結果、緯度が高くなるにつれて年平均通過数が減少。
- 超過確率から年平均通過数を考慮した再現期間を推定。

○緯度区別の年平均通過数の整理

解析対象：全台風トラックデータ(非毎年資料)

緯度区分 (°)	気象庁ベストトラック		d4PDF過去実験		d4PDF将来実験	
	年数	60年	年数	6000年	年数	5400年
	通過数N	年平均通過数 μ	通過数N	年平均通過数 μ	通過数N	年平均通過数 μ
47.5-50	238	4.0	10,626	1.8	7,008	1.3
45-47.5	350	5.8	21,544	3.6	14,164	2.6
42.5-45	460	7.7	29,988	5.0	18,000	3.3
40-42.5	784	13.1	45,885	7.6	25,950	4.8
37.5-40	890	14.8	58,580	9.8	32,970	6.1
35-37.5	1,103	18.4	73,520	12.3	41,597	7.7
32.5-35	1,274	21.2	85,995	14.3	50,449	9.3
30-32.5	1,387	23.1	105,152	17.5	64,606	12.0
27.5-30	1,556	25.9	119,927	20.0	77,295	14.3
25-27.5	1,634	27.2	144,438	24.1	97,530	18.1
22.5-25	1,754	29.2	168,137	28.0	108,883	20.2
20-22.5	1,622	27.0	139,499	23.2	76,079	14.1

○年平均通過数を考慮した再現期間の推定

超過確率に年平均通過数を考慮し、次式により再現期間を推定

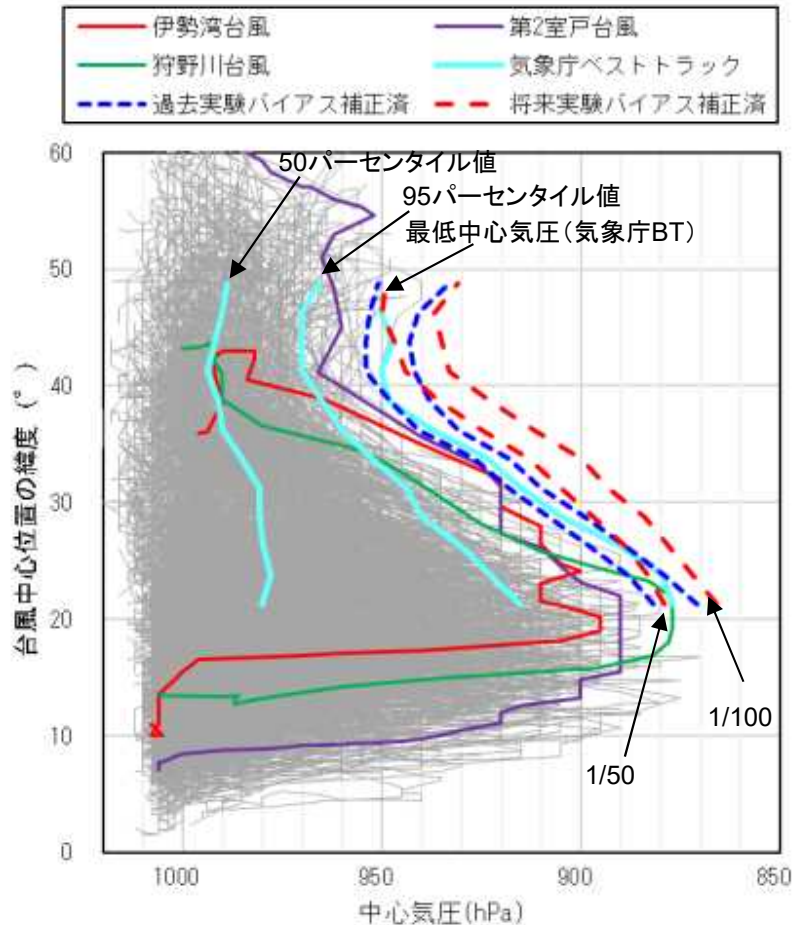
$$\text{再現期間 } T = \frac{1}{\mu p}$$

μ : 年平均通過数(年最大値資料の場合、 $\mu=1$)
 p : 超過確率

台風中心気圧の再現期間の推定

- d4PDF過去実験と将来実験に気象庁BT／過去実験の比率を用いたバイアス補正を適用し、年平均通過数を考慮した再現期間を推定。
- 海岸防護のターゲットとなる再現期間毎の過去実験と将来実験の中心気圧を抽出し、変化率を算定。

d4PDF過去実験と将来実験の比較
(バイアス補正後の中心気圧分布形状の確認)



※気象庁ベストトラック及びd4PDF(全球 60km AGCM)のトラックデータを1時間ピッチのデータに内挿補間し、緯度経度2.5度刻みの範囲で最低中心気圧を抽出し、緯度区分毎に図化した。

Od4PDF過去実験と将来実験の中心気圧の変化量(バイアス補正済)

単位:hPa

再現期間		緯度区分(°)											
		20-22.5	22.5-25	25-27.5	27.5-30	30-32.5	32.5-35	35-37.5	37.5-40	40-42.5	42.5-45	45-47.5	47.5-50
30年	過去実験	885	890	901	911	921	930	943	951	957	957	957	955
	将来実験	882	886	892	901	907	916	929	939	948	950	953	955
	差分ΔP	-3	-4	-9	-10	-14	-14	-14	-12	-9	-7	-4	0
50年	過去実験	882	888	898	908	918	927	941	948	954	954	953	951
	将来実験	879	883	889	897	905	913	925	936	944	947	950	949
	差分ΔP	-3	-5	-9	-11	-13	-14	-16	-12	-10	-7	-3	-2
100年	過去実験	879	885	896	906	916	924	938	945	950	950	949	945
	将来実験	876	880	885	893	900	909	921	932	940	943	945	942
	差分ΔP	-3	-5	-11	-13	-16	-15	-17	-13	-10	-7	-4	-3
300年	過去実験	874	881	892	903	912	919	932	940	945	945	942	936
	将来実験	868	874	879	888	895	903	916	925	936	936	939	935
	差分ΔP	-6	-7	-13	-15	-17	-16	-16	-15	-9	-9	-3	-1
500年	過去実験	871	879	889	899	910	918	931	938	942	943	941	933
	将来実験	866	872	878	884	893	900	912	923	933	935	937	931
	差分ΔP	-5	-7	-11	-15	-17	-18	-19	-15	-9	-8	-4	-2
1000年	過去実験	868	878	888	897	907	916	929	935	938	939	935	930
	将来実験	864	871	876	882	889	897	906	920	928	930	933	926
	差分ΔP	-4	-7	-12	-15	-18	-19	-23	-15	-10	-9	-2	-4

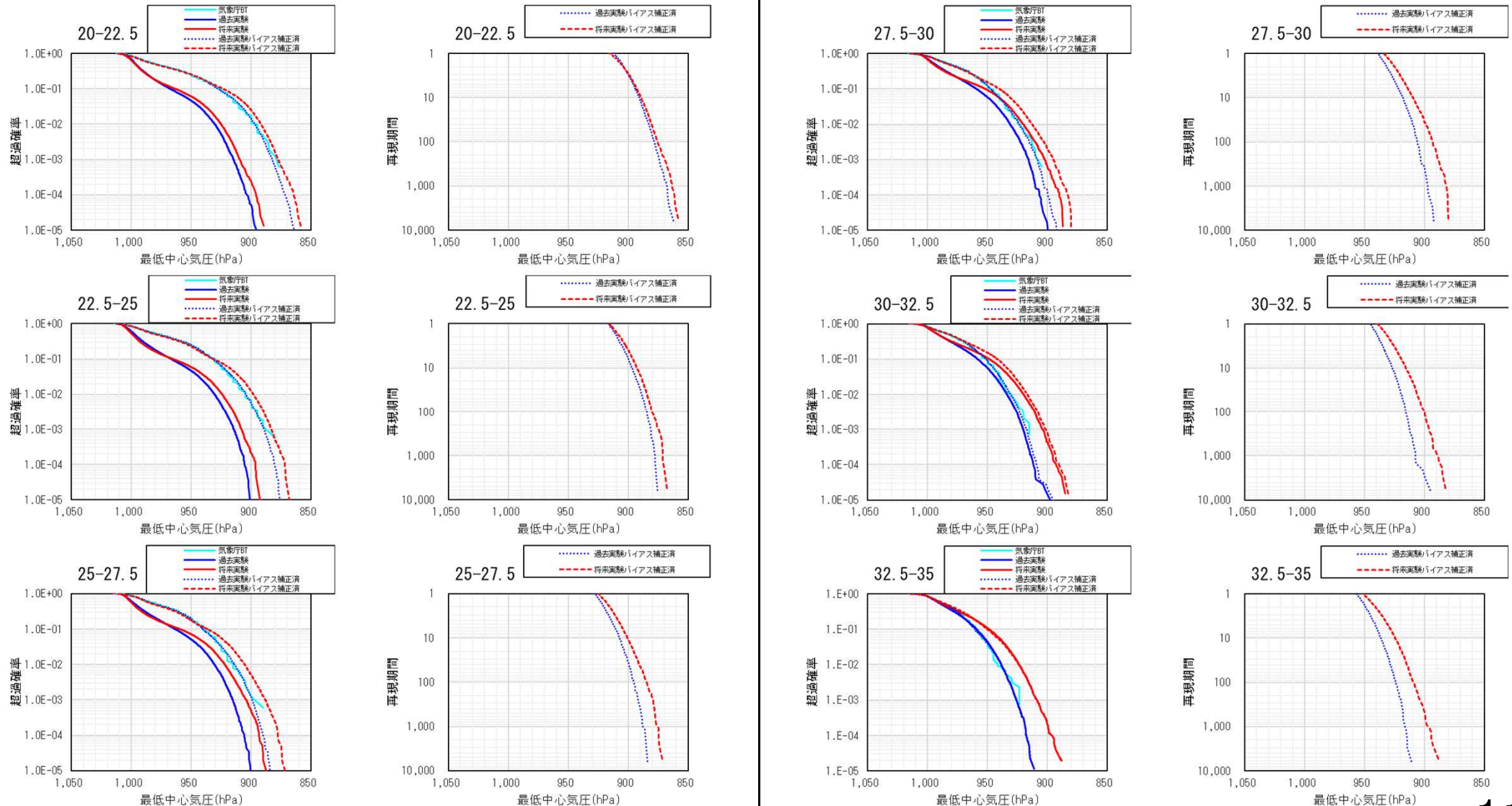
Od4PDF過去実験と将来実験の中心気圧の変化率(バイアス補正済)

再現期間		緯度区分(°)											
		20-22.5	22.5-25	25-27.5	27.5-30	30-32.5	32.5-35	35-37.5	37.5-40	40-42.5	42.5-45	45-47.5	47.5-50
30年	全気圧比	-0.3%	-0.4%	-1.0%	-1.1%	-1.5%	-1.5%	-1.5%	-1.3%	-0.9%	-0.7%	-0.4%	0.0%
	ΔP*の比率	-2.3%	-3.3%	-8.0%	-9.8%	-15.2%	-16.9%	-20.0%	-19.4%	-16.1%	-12.5%	-7.1%	0.0%
50年	全気圧比	-0.3%	-0.6%	-1.0%	-1.2%	-1.4%	-1.5%	-1.7%	-1.3%	-1.0%	-0.7%	-0.3%	-0.2%
	ΔP*の比率	-2.3%	-4.0%	-7.8%	-10.5%	-13.7%	-16.3%	-22.2%	-18.5%	-16.9%	-11.9%	-5.0%	-3.2%
100年	全気圧比	-0.3%	-0.6%	-1.2%	-1.4%	-1.7%	-1.6%	-1.8%	-1.4%	-1.1%	-0.7%	-0.4%	-0.3%
	ΔP*の比率	-2.2%	-3.9%	-9.4%	-12.1%	-16.5%	-16.9%	-22.7%	-19.1%	-15.9%	-11.1%	-6.3%	-4.4%
300年	全気圧比	-0.7%	-0.8%	-1.5%	-1.7%	-1.9%	-1.7%	-1.7%	-1.6%	-1.0%	-1.0%	-0.3%	-0.1%
	ΔP*の比率	-4.3%	-5.3%	-10.7%	-13.6%	-16.8%	-17.0%	-19.8%	-20.5%	-13.2%	-13.2%	-4.2%	-1.3%
500年	全気圧比	-0.6%	-0.8%	-1.2%	-1.7%	-1.9%	-2.0%	-2.0%	-1.6%	-1.0%	-0.8%	-0.4%	-0.2%
	ΔP*の比率	-3.5%	-5.2%	-8.9%	-13.2%	-16.5%	-18.9%	-23.2%	-20.0%	-12.7%	-11.4%	-5.6%	-2.5%
1000年	全気圧比	-0.5%	-0.8%	-1.4%	-1.7%	-2.0%	-2.1%	-2.5%	-1.6%	-1.1%	-1.0%	-0.2%	-0.4%
	ΔP*の比率	-2.8%	-5.2%	-9.6%	-12.9%	-17.0%	-19.6%	-27.4%	-19.2%	-13.3%	-12.2%	-2.6%	-4.8%

※定義 将来実験と過去実験の気圧変化量ΔPを1気圧に相当する1013hPaから過去実験の全気圧を差し引いた量で割った変化率ΔP/(1013-P過去)

台風中心気圧の再現期間の推定

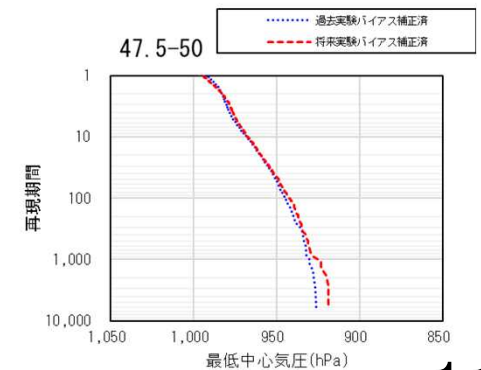
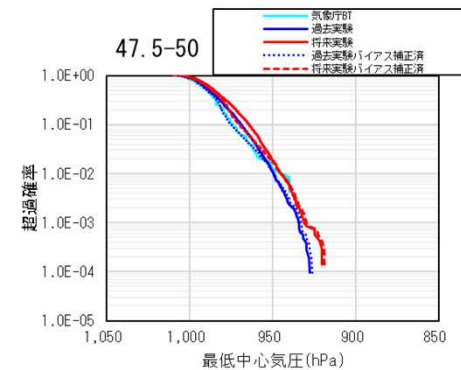
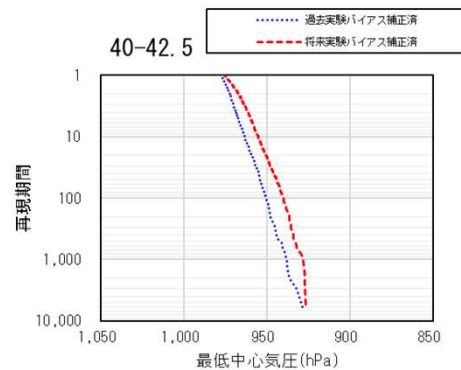
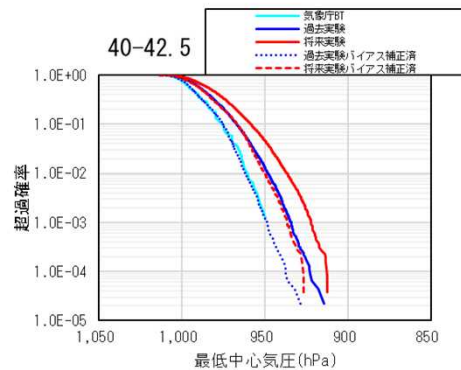
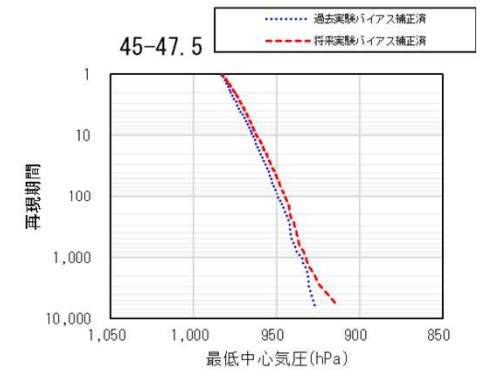
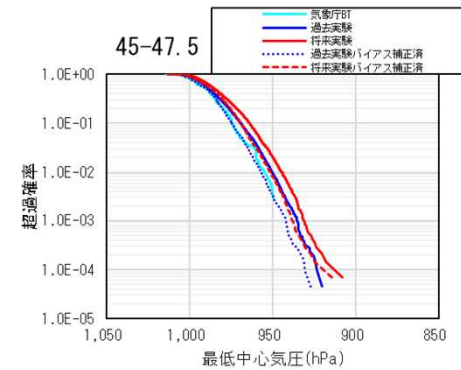
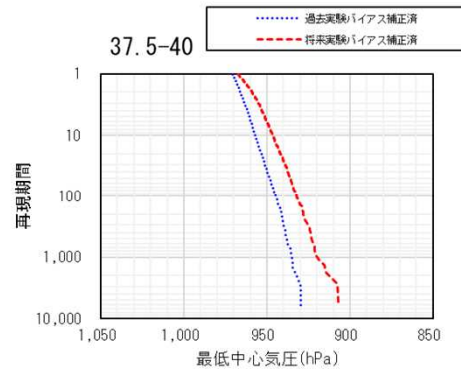
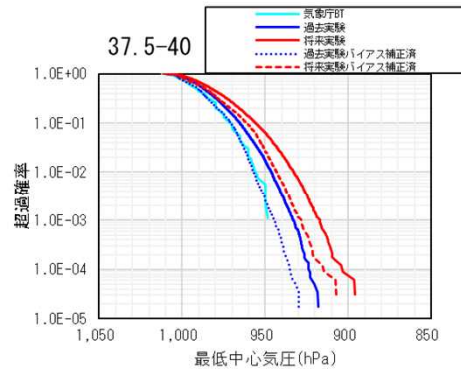
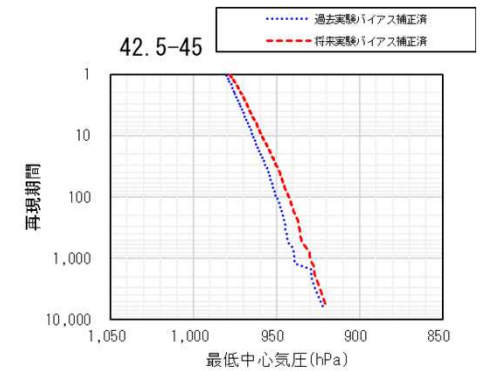
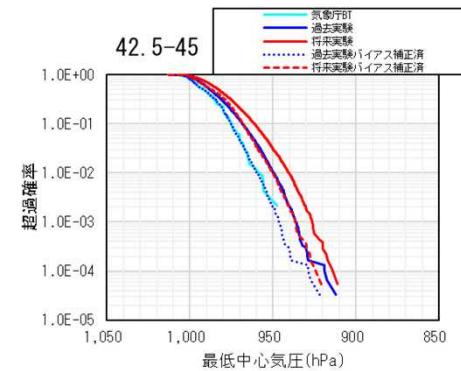
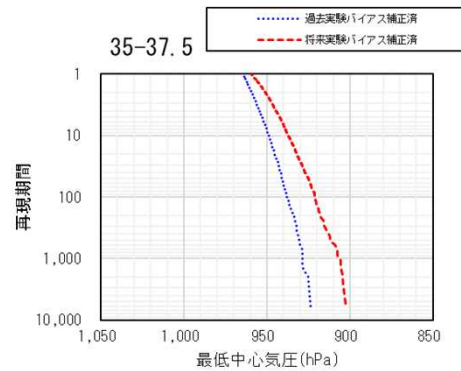
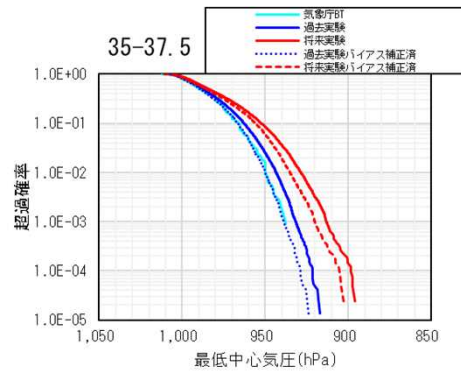
- 各緯度区分における過去実験及び将来実験の中心気圧(バイアス補正済)と再現期間の整理結果。
- バイアス補正量がほぼゼロとなる緯度区分32.5-35度より低緯度の中心気圧は負のバイアス補正となる。



バイアス補正量がほぼゼロ

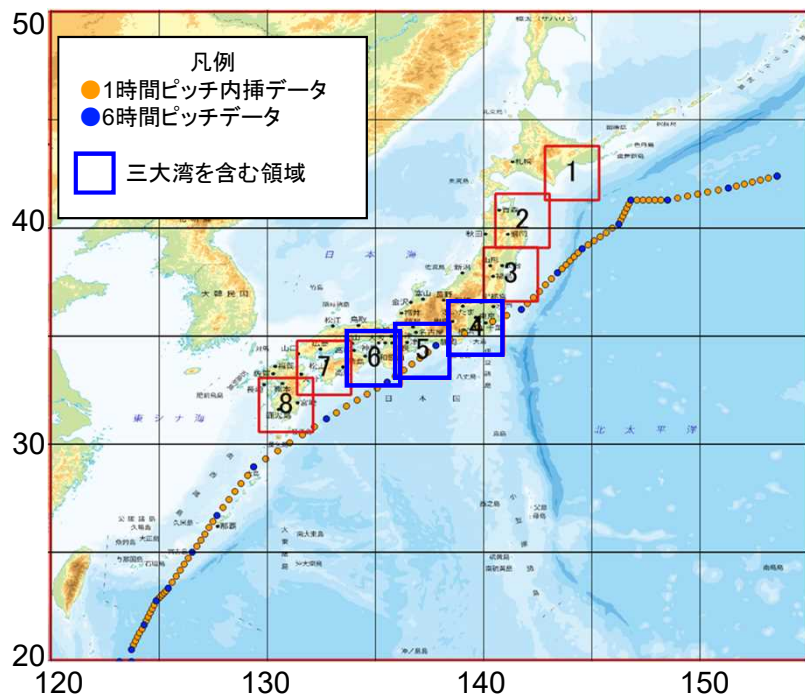
台風中心気圧の再現期間の推定

- 各緯度区分における過去実験及び将来実験の中心気圧(バイアス補正済)と再現期間の整理結果。
- 緯度区分32.5-35度より高緯度の中心気圧は正のバイアス補正となる。



d4PDFによる気候変動に伴う将来変化の影響評価【試算結果】

- 三大湾(東京湾・伊勢湾・大阪湾)を対象に、d4PDFの過去実験と将来実験のバイアス補正前後の中心気圧から高潮経験予測式を適用した潮位偏差を算出し、気候変動に伴う将来変化の傾向を分析した。



【算定方法】

- 高潮経験予測式の係数が公表されている観測地点を含む太平洋沿岸8領域の内、**3大湾を含む領域4～6を対象とした。**
- 潮位偏差の定量評価ではなく、過去と将来の相对比较が目的であるため、領域内を通過する台風の最低中心気圧と風速を予測式に適用する台風強度として仮定した。

$$\text{高潮経験予測式 } \eta = a(P_0 - P) + bU_{10}^2 \cos\theta + c$$

ここに、 η : 潮位偏差(cm)
 P_0 : 基準気圧(=1010hPa)
 P : 最低気圧(hPa)
 U_{10} : 10分間平均風速の最大値(m/s)
 θ : 主風向と最大風速 U_{10} のなす角
 a, b, c : 各地点ごとに既往の観測結果から求めた定数

表 気象庁による経験予測式の定数

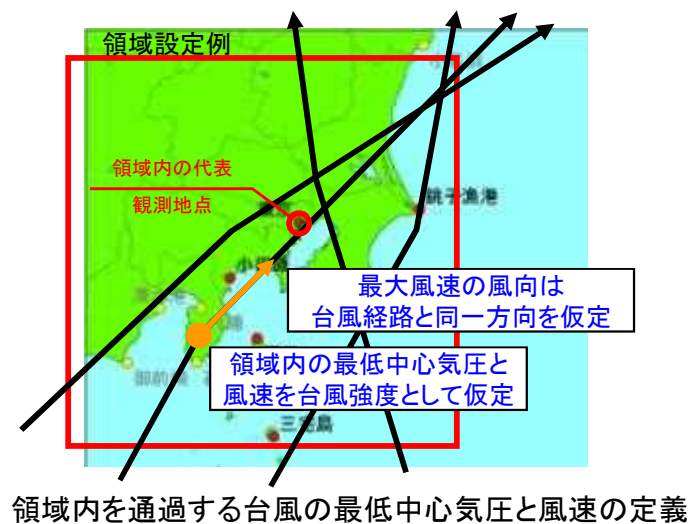
地 点	a	b	主風向	統計期間	資料個数
東 京	2.332	0.112	S29° W	1917~87	22
名古屋	2.961	0.119	S33° E	1950~87	29
大 阪	2.167	0.181	S6.3° E	1929~53	28

- 主風向と最大風速のなす角度は台風経路と同一方向を最大風速の風向と仮定して求めた。なお、データ抽出の制約上、台風移動方向を設定できないものは主風向を仮定した。
- 波浪の碎波によるウェーブセットアップの影響は考慮しない。
- バイアス補正前の最大風速はd4PDFからの抽出データを用い、バイアス補正後の最大風速は、中心気圧(バイアス補正後)を経験的台風モデルの風場の推算モデル※1に適用し、傾度風速(C1=0.7)と台風移動速度(C2=0.7)をベクトル合成(吹き込み角30°)して算出した。
- 領域内で台風移動速度を定義できないトラックデータは、平均値を仮定した。
- 中心気圧に対応する台風半径(最大旋衡風速半径)は、最大風速半径の確率評価式※2を用いて仮定し、最大風速半径 r_0 と同半径 $r=r_0$ の風速を算出した。

【出典】

※1 高潮浸水想定区域図作成の手引きVer.1.10, 平成27年7月, p.27.

※2 本多和彦・鯨島和範(2018) 台風の中心気圧と最大風速半径の関係式の確率評価, 国土技術政策総合研究所資料, No.1040, p.3.



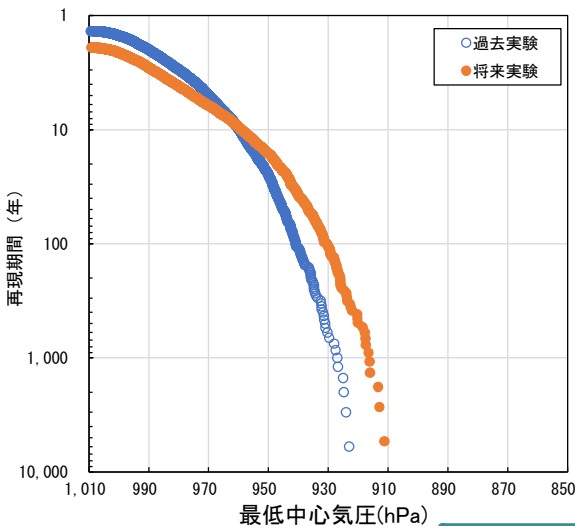
領域内を通過する台風の最低中心気圧と風速の定義

d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)【結果】

○ 東京地点(領域4)における過去実験及び将来実験の中心気圧(バイアス補正済)と再現期間の整理結果。

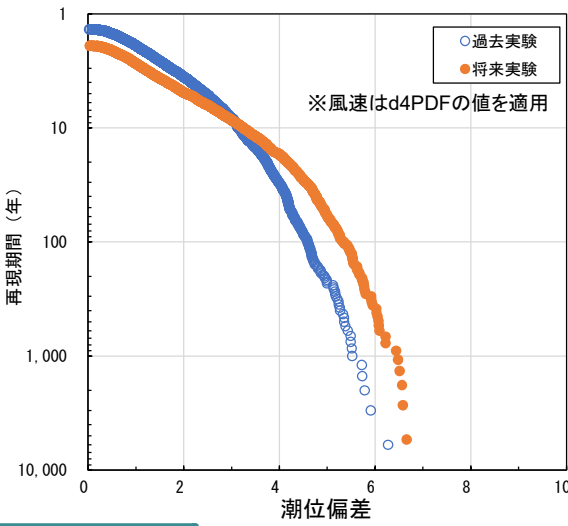
最低中心気圧(全メンバー)

東京地点(領域4)



潮位偏差(全メンバー)

東京地点(領域4)



○過去実験と将来実験の中心気圧の変化量(バイアス補正済)

再現期間	領域4	
	最低中心気圧 (hPa)	潮位偏差
30年	過去実験	950
	将来実験	943
	差分 ΔP	-7
50年	過去実験	946
	将来実験	937
	差分 ΔP	-9
100年	過去実験	942
	将来実験	931
	差分 ΔP	-11
300年	過去実験	933
	将来実験	924
	差分 ΔP	-9
500年	過去実験	931
	将来実験	920
	差分 ΔP	-11
1000年	過去実験	927
	将来実験	916
	差分 ΔP	-11

○中心気圧の将来変化率(バイアス補正済)

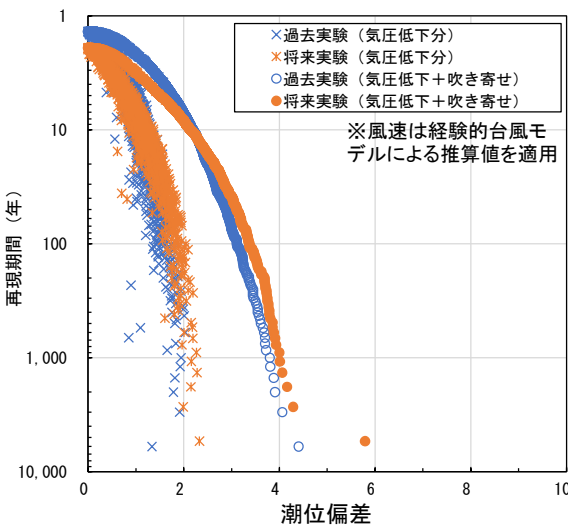
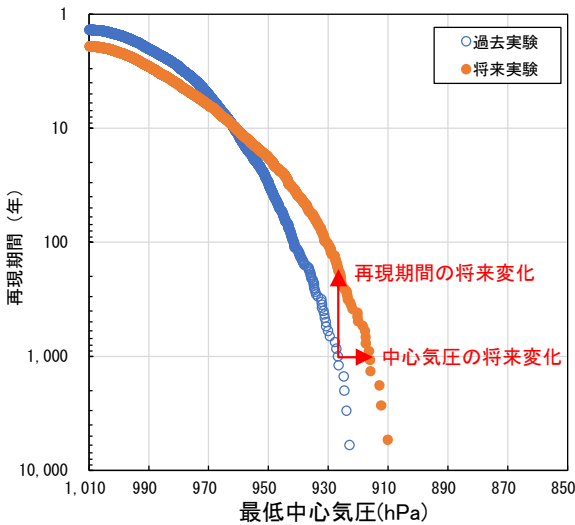
再現期間	最低中心気圧		潮位偏差
	全気圧	$\Delta P / (1013 - P_{過去})$	
30年	-0.7%	-11.1%	7.5%
50年	-1.0%	-13.4%	7.6%
100年	-1.2%	-15.5%	8.4%
300年	-1.0%	-11.3%	8.4%
500年	-1.2%	-13.4%	6.9%
1000年	-1.2%	-12.8%	5.5%

○再現期間の将来変化

再現期間	最低中心気圧	潮位偏差
30年	18年	21年
50年	24年	32年
100年	34年	50年
300年	70年	117年
500年	100年	173年
1000年	169年	433年

バイアス補正前

バイアス補正後

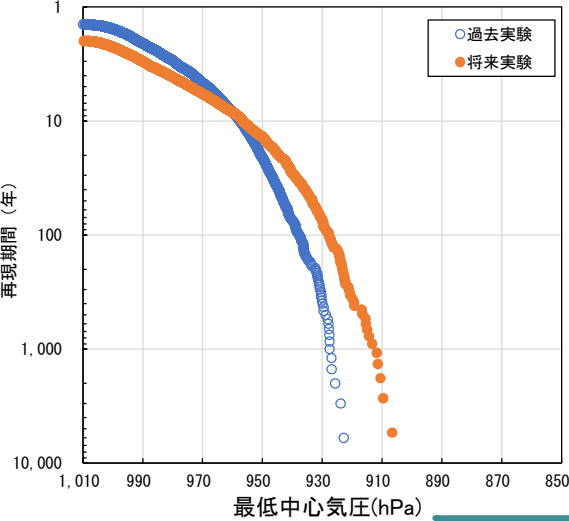


※潮位偏差は経験予測式による相対的な評価を目的とした簡易的な算定のため、単位を非表示とした。

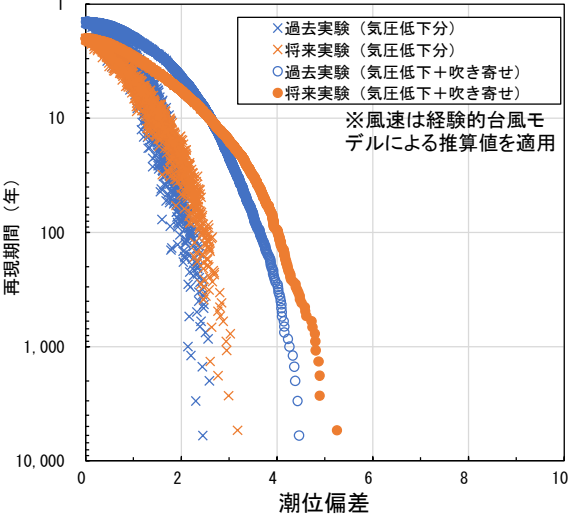
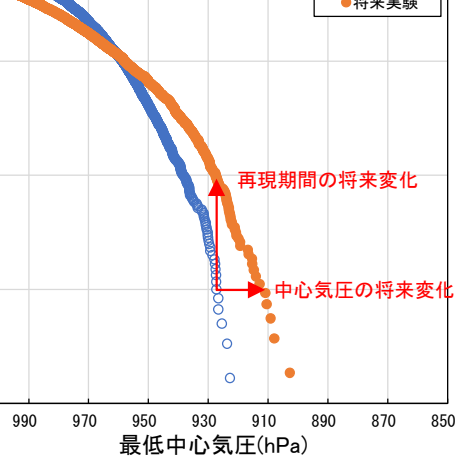
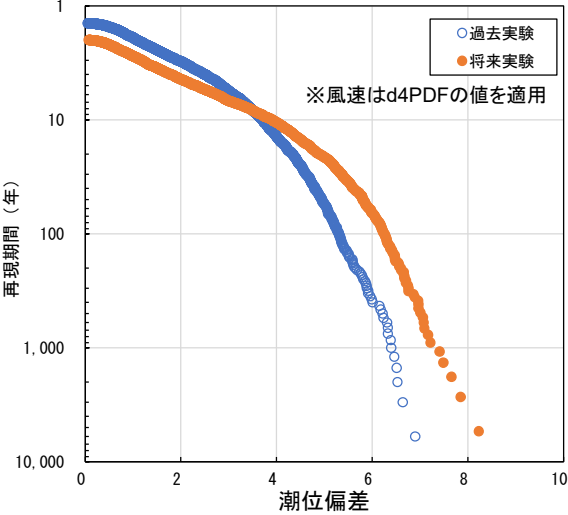
d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)【結果】

○ 名古屋地点(領域5)における過去実験及び将来実験の中心気圧(バイアス補正済)と再現期間の整理結果。

最低中心気圧(全メンバー)
名古屋地点(領域5)



潮位偏差(全メンバー)
名古屋地点(領域5)



※潮位偏差は経験予測式による相対的な評価を目的とした簡易的な算定のため、単位を非表示とした。

○過去実験と将来実験の中心気圧の変化量(バイアス補正済)

再現期間		領域5	
		最低中心気圧 (hPa)	潮位偏差
30年	過去実験	948	314
	将来実験	940	346
	差分 ΔP	<	

○中心気圧の将来変化率(バイアス補正済)

再現期間	最低中心気圧		潮位偏差
	全気圧	$\Delta P / (1013 - P_{過去})$	
30年	-0.8%	-12.3%	10.2%
50年	-1.2%	-15.9%	11.3%
100年	-1.1%	-13.3%	10.4%
300年	-1.1%	-12.2%	9.2%
500年	-1.4%	-15.5%	12.0%
1000年	-1.6%	-17.4%	12.9%

○再現期間の将来変化

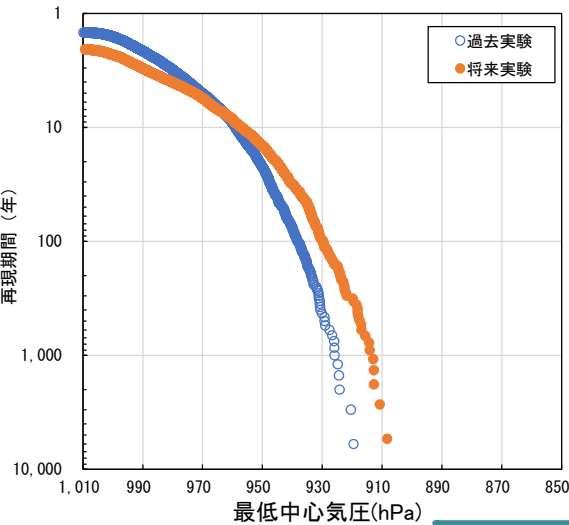
再現期間	最低中心気圧	潮位偏差
30年	17年	19年
50年	21年	25年
100年	33年	41年
300年	69年	100年
500年	90年	135年
1000年	104年	225年

d4PDFと高潮経験予測式による潮位偏差への影響評価(試行)【結果】

○ 大阪地点(領域6)における過去実験及び将来実験の中心気圧(バイアス補正済)と再現期間の整理結果。

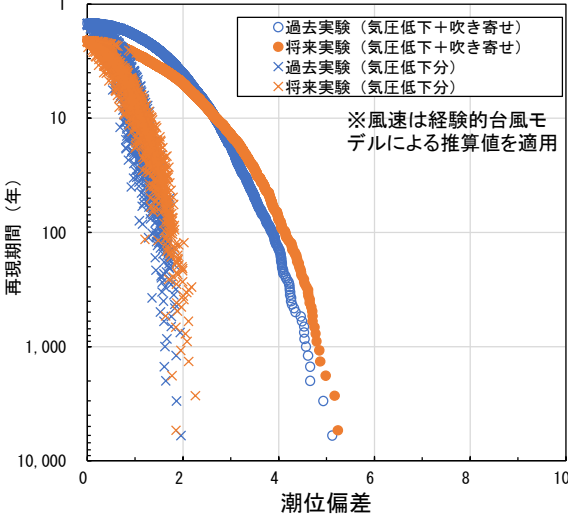
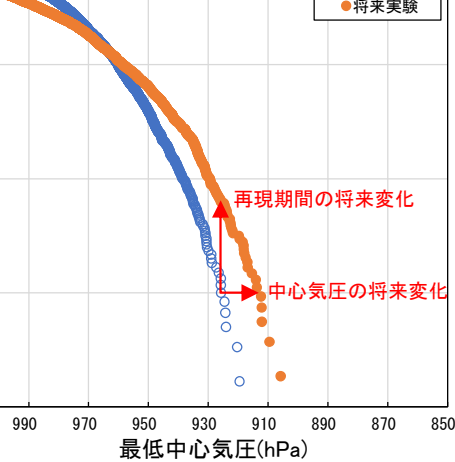
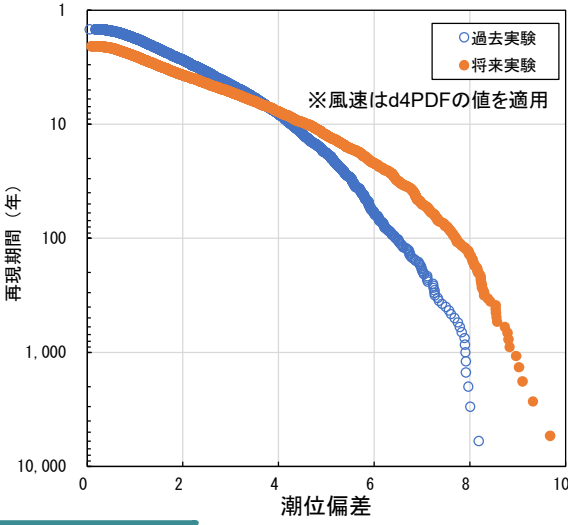
最低中心気圧(全メンバー)

大阪地点(領域6)



潮位偏差(全メンバー)

大阪地点(領域6)



○過去実験と将来実験の中心気圧の変化量(バイアス補正済)

再現期間		領域6	
		最低中心気圧 (hPa)	潮位偏差
30年	過去実験	949	324
	将来実験	941	354
	差分ΔP	<	

○中心気圧の将来変化率(バイアス補正済)

再現期間	最低中心気圧		潮位偏差
	全気圧	$\Delta P / (1013 - P_{過去})$	
30年	-0.8%	-12.5%	9.3%
50年	-1.1%	-14.5%	9.1%
100年	-0.9%	-10.7%	7.3%
300年	-1.0%	-11.0%	8.3%
500年	-1.3%	-14.3%	8.0%
1000年	-1.4%	-14.9%	5.5%

○再現期間の将来変化

再現期間	最低中心気圧	潮位偏差
30年	17年	19年
50年	24年	28年
100年	36年	55年
300年	84年	121年
500年	113年	156年
1000年	159年	295年

※潮位偏差は経験予測式による相対的な評価を目的とした簡易的な算定のため、単位を非表示とした。