



令和6年度 第3回 気候変動適応セミナー
「港湾における気候変動適応策」

日時：令和6年11月15日（金）13時00分～15時00分
場所：オンライン(zoomウェビナー)

港湾における 気候変動の影響評価と適応策

国土交通省 国土技術政策総合研究所

港湾・沿岸海洋研究部

港湾・沿岸防災研究室長 本多 和彦

◆ 気候変動による外力への影響評価

- 外力設定の考え方
- 国総研の方法

◆ 気候変動による影響の港湾施設設計への反映

- 作用の設定方法

● 3 潮位

◆ 3. 1 天文潮

□ (4) 天文潮への気候変動の影響(追加)

……。なお、この気候変動に伴う平均海面水位上昇量の予測値は、本章3.5平均海面水位の長期変動(1)平均海面水位の変動を参照することができる。

⇒参照先に記載されている「日本の気候変動2020」による平均海面水位上昇量の予測値を参考に設定。

日本沿岸における20世紀末(1986～2005年)
と比較した21世紀末(2081～2100年)の
平均海面水位上昇量

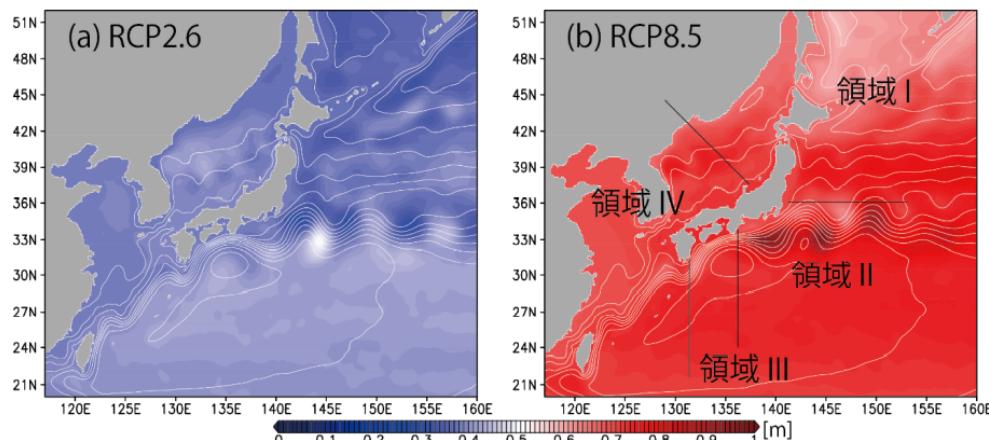
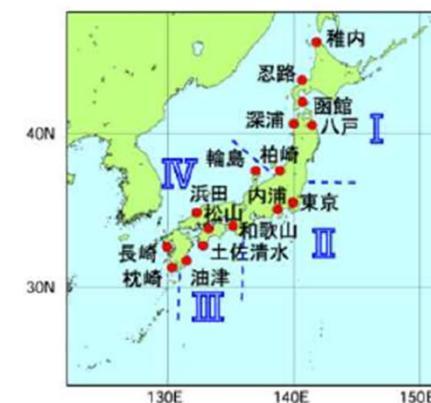


図 10.2.3 SI-CAT 海洋モデルによる

21世紀末における日本近海の海面水位（年平均）の20世紀末からの上昇幅（m）

(a) は2°C上昇シナリオ (RCP2.6)、(b) は4°C上昇シナリオ (RCP8.5) による見積り。等値線はそれぞれの将

来気候における海面水位分布を示す。気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)による
海洋将来予測データセットの結果に基づく。

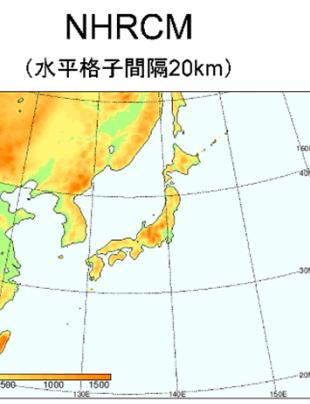
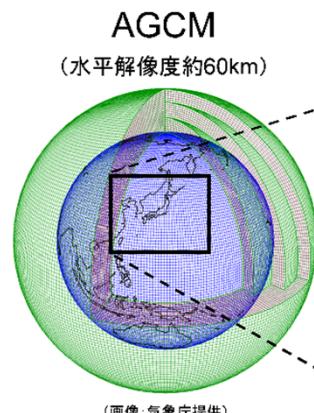


領域	平均海面上昇量 (2°C上昇シナリオ)
全体	0.39m (0.22~0.55m)
領域 I	0.38m (0.22~0.55m)
領域 II	0.38m (0.21~0.55m)
領域 III	0.39m (0.22~0.56m)
領域 IV	0.39m (0.23~0.56m)

【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)】

- 気候変動リスク情報創生プログラム(文科省)にて作成した『気候予測データベース』
- CMIP5(IPCC AR5に利用)のモデル実験結果を基に設定した全球実験(60km解像度)から、日本を対象にダウンスケーリングした領域実験(20km解像度)。
- 現在気候の『過去実験』と、将来気候の将来実験(『2°C上昇実験』・『4°C上昇実験』)
- 将来実験では、6種類の海面水温(SST)の将来変化の空間パターンを用いている。

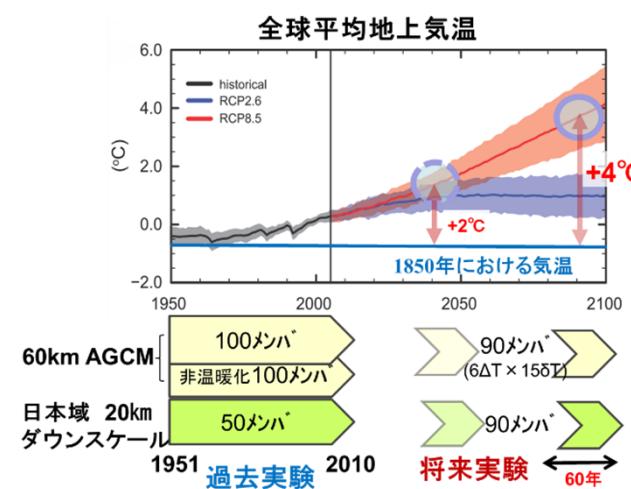
気候実験 (領域モデル)	1メンバの期間	メンバ数
過去実験	61年間(1950.9~2011.8)	50メンバ
2°C上昇実験 (RCP8.5の2040年)	61年間(2030.9~2091.8)	54メンバ(=6SST × 9擾動)
4°C上昇実験 (RCP8.5の2090年)	61年間(2050.9~2111.8)	90メンバ(=6SST × 15擾動)



【出典】

d4PDFのホームページ(実験デザイン・利用の手引き)から抜粋

<https://climate.mri-jma.go.jp/d4PDF/index.html>



外力設定の考え方（潮位・波浪）

【将来気候における高潮・波浪の評価方法】

- d4PDF^(*1)の台風トラックデータ^(*2)を用いて、気候変動を考慮した高潮・波浪を解析。

(参考: Mizutal (2017), Webb (2019), Shimuratal (2016)) (*1) <https://www.miroc-gcm.jp/d4PDF/index.html>

(*2) 気候予測データセット(DS2022) (<https://diasjp.net/ds2022/>)

対象台風	考え方	地球温暖化の影響	適用性
A. 想定台風	伊勢湾台風や室戸台風等の規模を想定した特定事例		
A-1. パラメトリック台風モデル	例えば、Myers モデル等経験的台風モデル	・d2PDF、d4PDF等の計算結果に基づく中心気圧の低下量で簡易的に考慮	・従来、想定台風で外力を設定してきた沿岸で適用性がある。 ・B-1の多数アンサンブルデータセットと組み合わせることで確率評価が可能。
A-2. 領域気象モデルを用いた力学的計算	WRF等の領域気象モデル	・d2PDF、d4PDF等の計算結果から将来変化を現在の気候場に上乗せして仮想的に考慮(擬似温暖化手法)	・従来、想定台風で外力を設定してきた沿岸では適用性があるが、同一条件であっても過去の高潮推算とは異なる結果になることに留意が必要。
B. 不特定多数の台風	数多くのサンプルを確保できれば確率評価が可能		
B-1. 全球気候モデル台風 領域気候モデル台風	d2PDF、d4PDF等全域もしくはダウンスケール領域気候モデルで気候計算される台風を利用	・d2PDF、d4PDF等に温暖化の影響は含まれているが、バイアス補正が必要	・多数のサンプルが確保可能であり、外力が発生確率で設定されている沿岸で適用性がある。
B-2. 気候学的アプローチ	台風の熱力学的最大発達強度(MPI)を考慮し、環境場から最大クラスの台風を推定	・MPIの理論を応用して、d2PDF、d4PDF等の気候値から気候的最大高潮偏差をシームレスに推定する手法等	・従来、想定台風で外力を設定してきた沿岸で適用性がある。
B-3. 確率台風モデル	台風属性の統計的特性をもとにモンテカルロシミュレーションにより人工的に台風を発生させる統計的手法	・d4PDF台風トラックデータ(バイアス補正)を用いた確率台風モデルの作成事例あり	・多数のサンプルが確保可能であり、外力が確率年で設定されている沿岸で適用性がある。

- 3 潮位

- ◆ 3. 6 設計潮位条件

- (6) 高潮への気候変動の影響(追加)

気候変動の影響により、確信度は中程度ではあるものの、日本付近の台風の強度は将来強まると予測されているとともに、東京湾、伊勢湾及び大阪湾における高潮による潮位偏差は将来増大すると予測されている²⁶⁾。

気象の将来の見通しとして気候変動の高潮への影響を勘案する際には、気候変動に伴う高潮の予測に関する研究成果又は調査結果を参考に、将来における高潮による潮位偏差を適切に設定するものとする。

⇒(一般論として、最新の)研究成果等を用いて、気候変動の影響を適切に設定することを明記.

高潮の将来変化予測の代表的なものとして次の3つの方法があり、これらの方針を参考にすることができる。

- ①現在設定しているモデル高潮を生じさせる想定台風に対して、……
- ②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……
- ③気象庁が公表している台風のベストトラックデータ³⁴⁻⁵⁾を用いて……

⇒(今までの既往検討事例である)代表的な3事例を参考にできることを明記.

- ①東京都
- ②北開局
- ③国総研

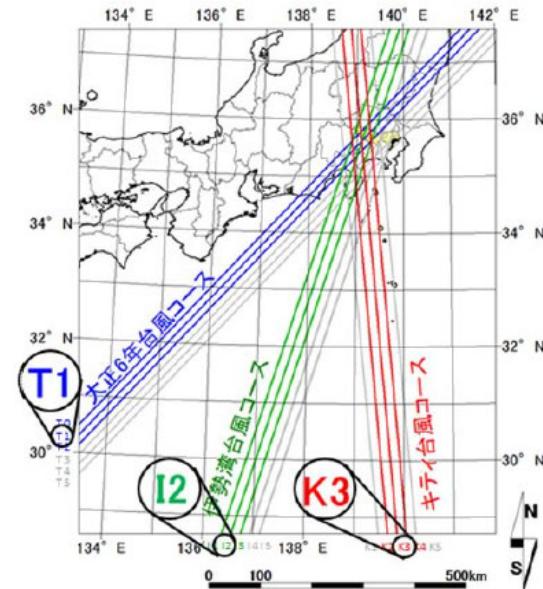
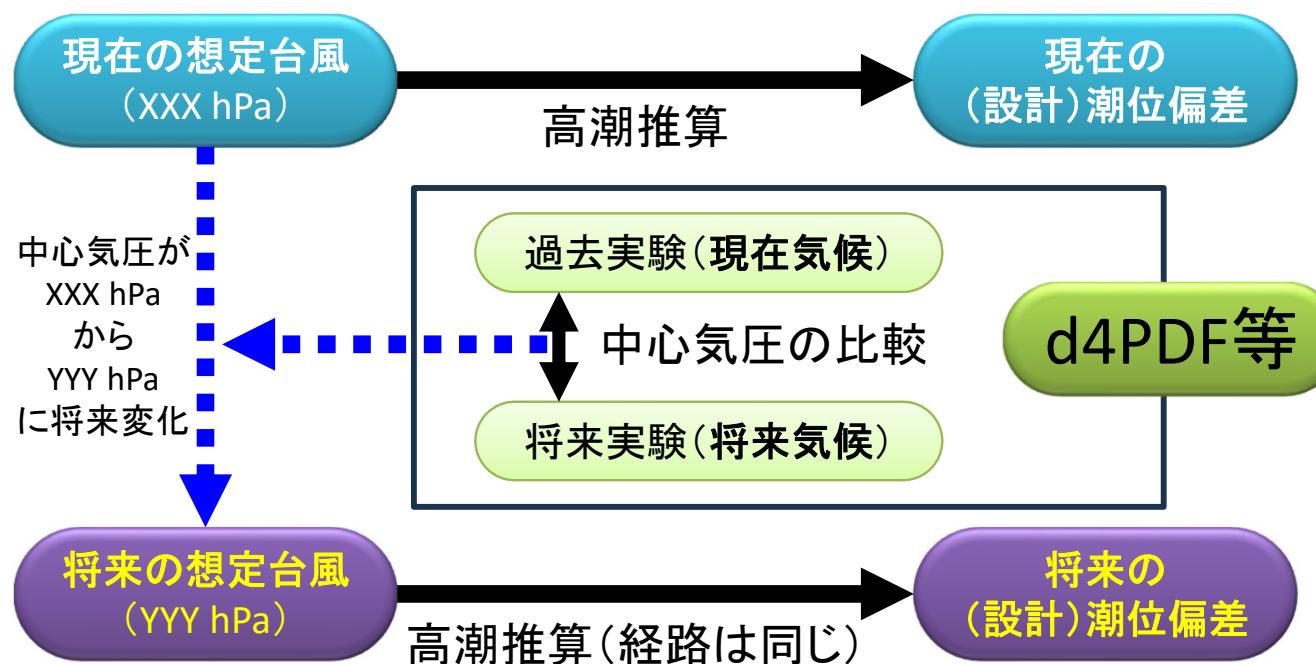
● 3 潮位

◆ 3. 6 設計潮位条件

□ (6) 高潮への気候変動の影響(追加)(続き)

【東京都の方法】

①現在設定しているモデル高潮を生じさせる想定台風に対して、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)等³⁴⁻¹⁾の現在気候及び将来気候の大規模アンサンブル数値実験結果³⁴⁻²⁾を用いて、台風強度の将来変化として中心気圧の低下量を評価するとともに、評価した低下量を反映させた中心気圧を有する想定台風を用いて、高潮推算により将来の高潮による潮位偏差を評価する方法である³⁴⁻³⁾。ただし、台風の経路及び通過頻度の将来変化を考慮できないといった問題があるが、現在想定台風を用いてモデル高潮を設定している場合には、高潮の将来変化の評価が容易である。



(出典:東京湾沿岸海岸保全基本計画[東京都区間])

● 3 潮位

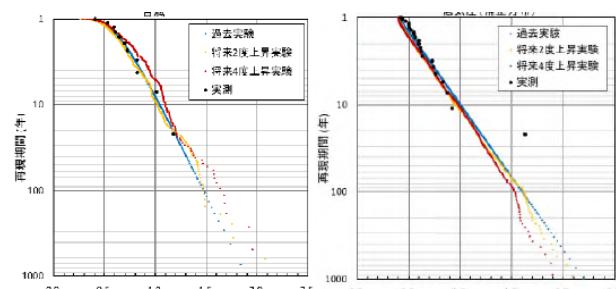
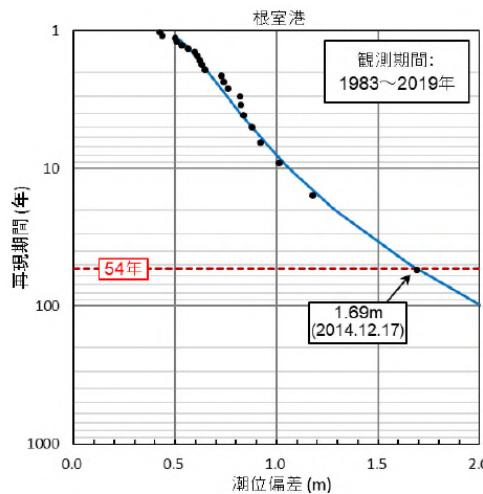
◆ 3. 6 設計潮位条件

□ (6) 高潮への気候変動の影響(追加)(続き)

【北開局の方法】

②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、現在気候及び将来気候の大規模アンサンブル数値実験結果を用いた高潮推算の極値統計の比較から、現在想定している潮位偏差の再現期間に対応する現在気候に対する将来気候の潮位偏差の変化比を評価し、この将来変化比を用いて将来の高潮による潮位偏差を評価する方法である³⁴⁻⁴⁾。ただし、現在想定している潮位偏差が既往最大潮位偏差である場合には、統計誤差が大きくなるといったことに注意が必要であるとともに、十分に長い期間を対象とした高潮推算を実施する必要があることに注意が必要である。

①既往最大潮位偏差の再現期間の観測値を用いた推定



②高潮推算モデルの精度検証と高潮偏差の補正係数の算出

【台風】

③d4PDFの気圧・海上風データを用いた高潮推算

【温帯低気圧】

④過去実験の高潮偏差の実測値によるバイアス補正

⑥台風と温帯低気圧の高潮偏差の再現期間の分布の合成

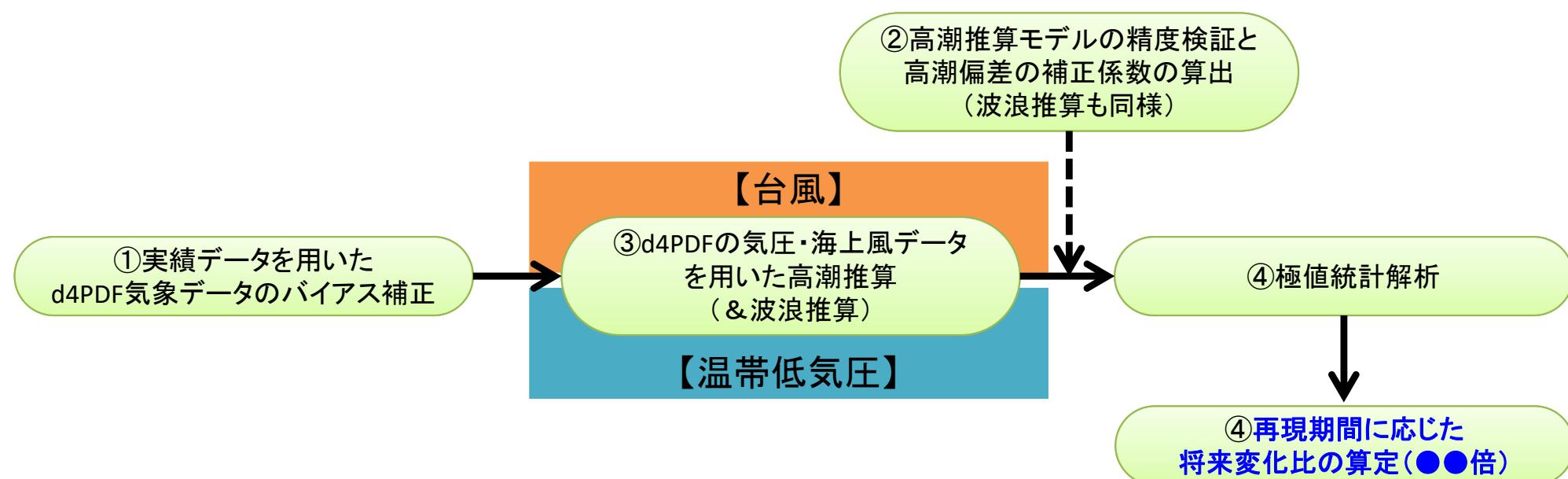
⑤将来実験の高潮偏差の補正值を用いたバイアス補正

⑦既往最大潮位偏差の再現期間に応じた将来変化比(●●倍)

- 3 潮位
 - ◆ 3. 6 設計潮位条件
 - (6) 高潮への気候変動の影響(追加)(続き)

【国総研の方法】

③気象庁が公表している台風のベストトラックデータ³⁴⁻⁵⁾を用いて台風の中心気圧をバイアス補正した現在気候及び将来気候の大規模アンサンブル数値実験結果を用いた高潮推算の極値統計結果の比較から、高潮による潮位偏差の現在の設計値と同等の防護水準となる現在気候に対する将来気候の潮位偏差の変化比を評価し、この将来変化比を用いて将来の高潮による潮位偏差を評価する方法である³⁴⁻⁶⁾。また、これと同様の方法で、台風以外の気象擾乱も含めた将来の高潮による潮位偏差を評価する方法もある³⁴⁻⁷⁾。ただし、十分に長い期間を対象とした高潮推算を実施する必要があることに注意が必要である。

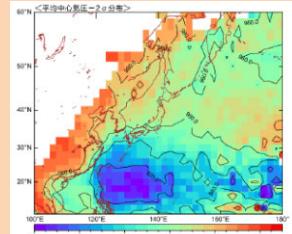


(検討概要は後述)

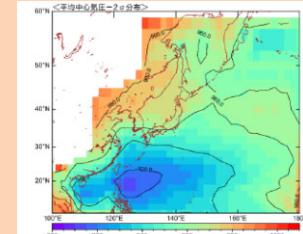
【気象データ】(3大湾:東京湾・伊勢湾・大阪湾)

- d4PDFの台風トラックデータを用いて、海面水温(SST)モデル毎に549年分(2°C上昇), 900年分(4°C上昇), 1,020年分(過去実験)の台風(980hPa以下)を、海域毎に抽出。
- 将来気候(2°C上昇:6SST, 4°C上昇:6SST), 現在気候(過去実験)を対象。
- 観測値と過去実験を比較し、クオンタイルマッピング法にて中心気圧を補正。

現在気候

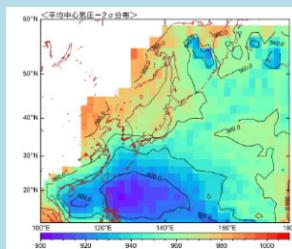


【ベストトラック】(参考)

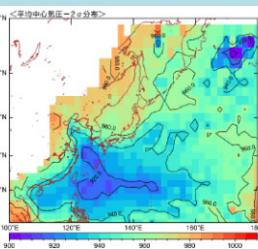


【過去実験】

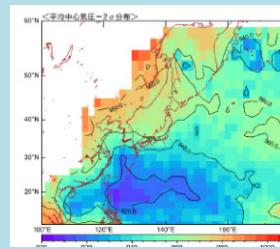
将来気候(2度上昇)



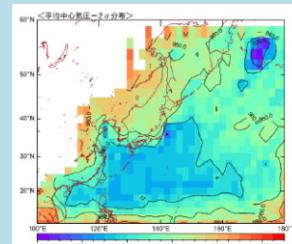
【CC】



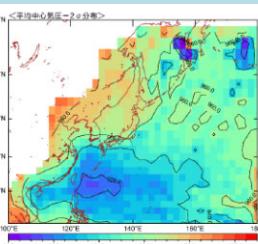
【GF】



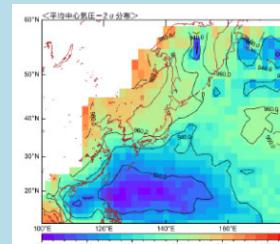
【HA】



【MI】

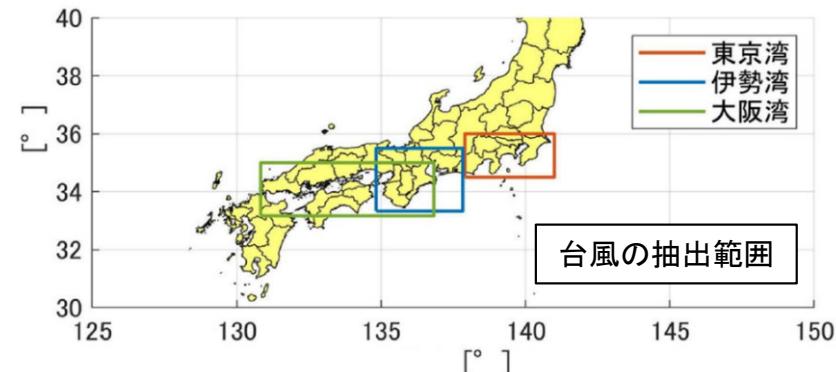


【MP】



【MR】

台風の中心気圧(中心気圧のバイアス補正後)
「平均値」-「 $2 \times \sigma$ (標準偏差)」(約98%)の平面分布



台風の抽出範囲

1年あたり の抽出数 980hPa以下	ベスト トラック	~ 1020年 分	2度上昇(各549年分)						4度上昇(各900年分)					
			CC	GF	HA	MI	MP	MR	CC	GF	HA	MI	MP	MR
東京湾	0.78	0.38	0.36	0.35	0.36	0.27	0.35	0.39	0.23	0.30	0.36	0.18	0.34	0.33
伊勢湾	0.92	0.51	0.49	0.40	0.41	0.33	0.42	0.53	0.31	0.39	0.37	0.20	0.42	0.40
大阪湾	1.35	0.77	0.74	0.64	0.72	0.55	0.73	0.88	0.49	0.70	0.58	0.30	0.67	0.67

確率評価で補正必要

台風の抽出数
ベストトラックは、過去実験と同じ1951年～2010年を対象

【CC】大気研究センター(米国)

【HA】気象ハドレーセンター(英国)

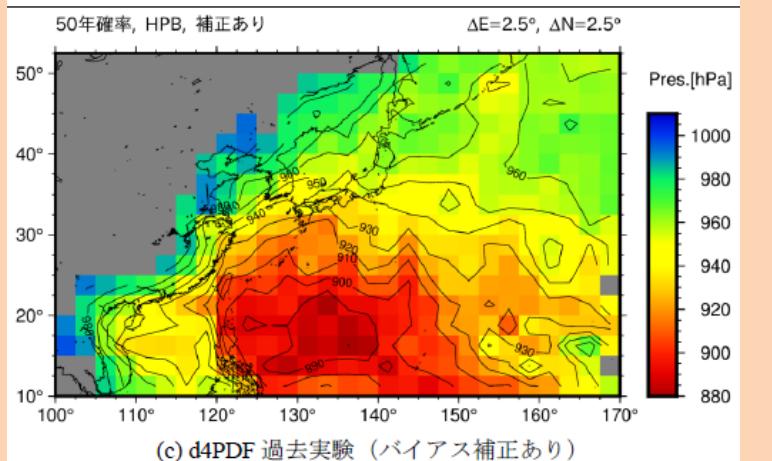
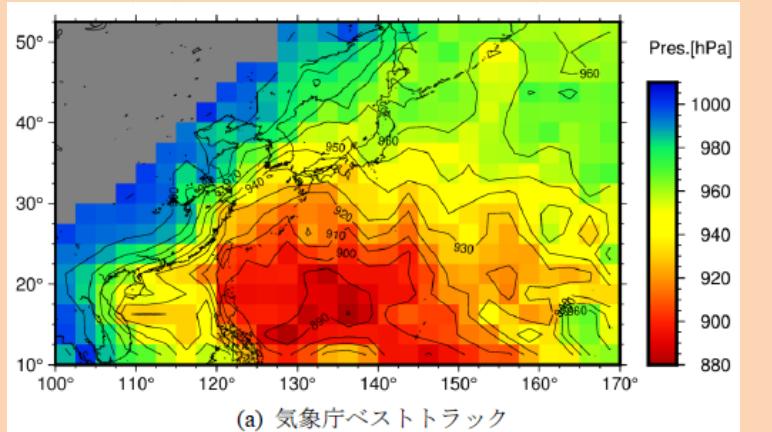
【MI】東大大気海洋研究所・国立環境研究所・海洋研究開発機構(日本)

【MP】マックスプランク気象研究所(ドイツ) 【MR】気象庁気象研究所(日本)

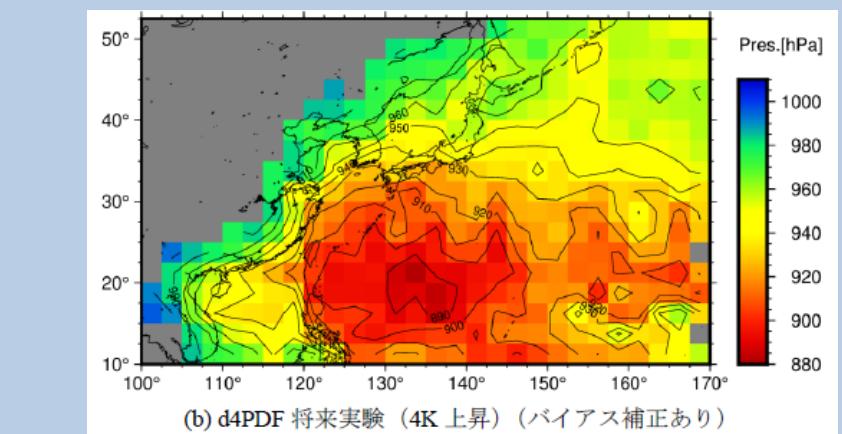
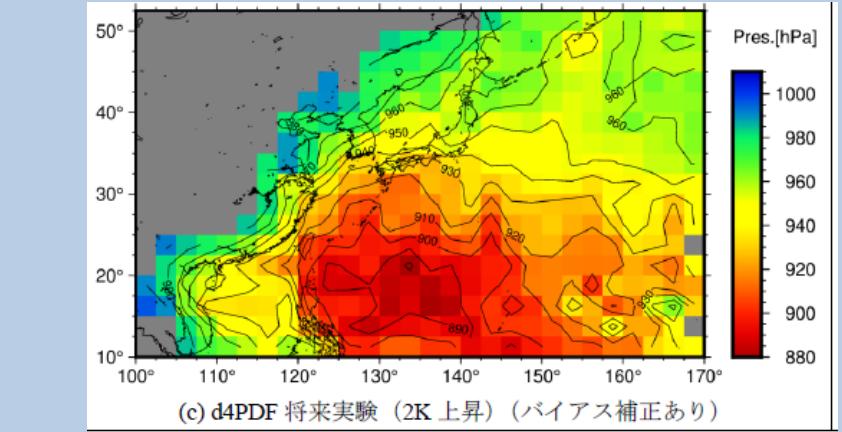
【気象データ】(北海道と3大湾以外)

- d4PDFの台風トラックデータ・RCMを用いて、海面水温(SST)モデル毎に約540年分(2°C上昇)、約3,000年分(過去実験)の台風・温帯低気圧を、海域毎に抽出。
- 将来気候(2°C上昇:6SST)、現在気候(過去実験)を対象。
- 観測値と過去実験を比較し、クオンタイルマッピング法にて気圧(&風速)を補正。

現在気候



将来気候

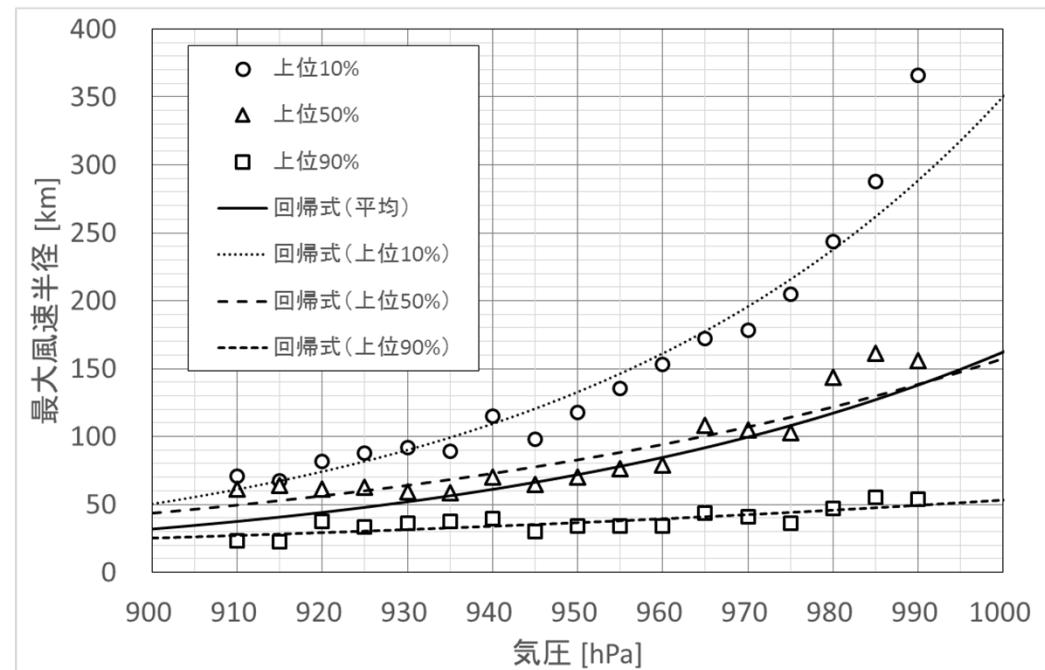
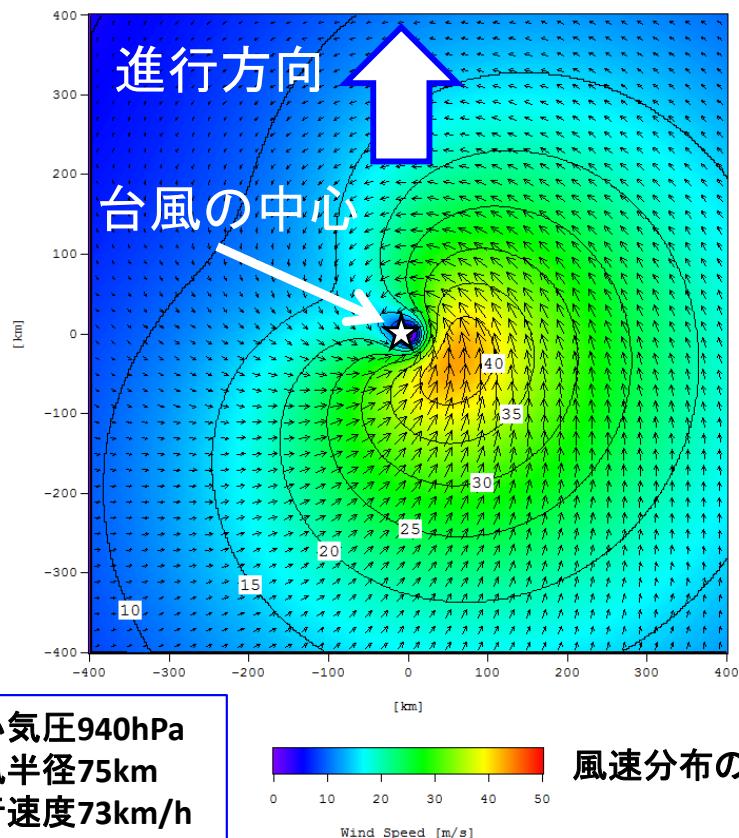


【気圧・風速・風向の平面分布】

- 移動座標系における力の釣り合いを考慮した経験的台風モデルにより、気圧と風速・風向の平面分布を算出。
- 最大旋回風速半径は、実績から求めた河合ら(2005)による平均値を採用。

$$U_G = \frac{1}{2} \left[-(fr - V_T \sin \beta) + \sqrt{(fr - V_T \sin \beta)^2 + 4 \frac{r}{\rho_a} \frac{\partial p}{\partial r}} \right]$$

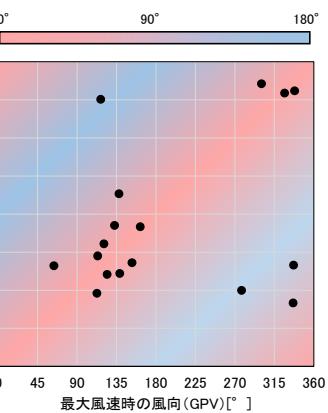
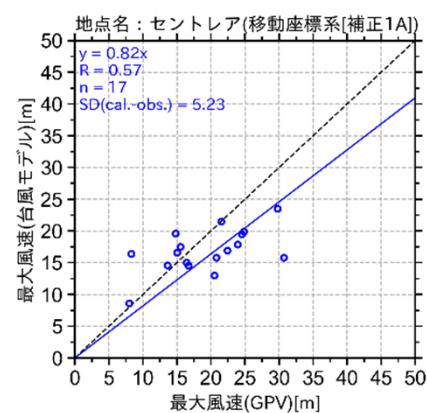
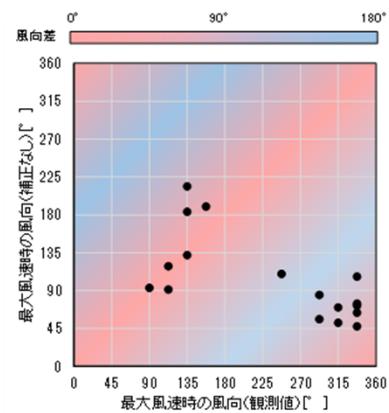
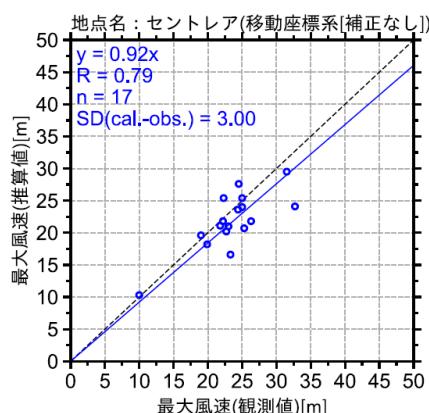
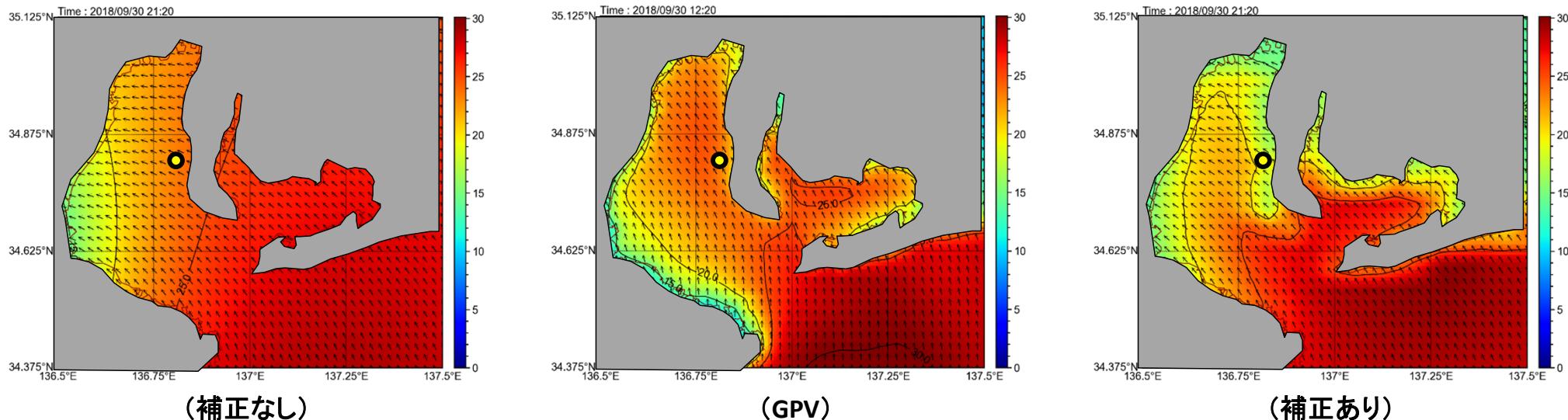
$$r_0 = 94.89 \exp \left(\frac{p - 967.0}{61.50} \right)$$



河合ら(2005, 港空研資料No.1103)による
既往台風の最大風速半径と中心気圧の関係

【気圧&風速・風向の平面分布】

- 経験的台風モデルでは、地形等による風速・風向の平面分布への影響を考慮できない。
- 気象庁の再解析GPVデータを用いて、井手ら(2017)の補正方法に倣い、風速ランク別・風向別に風向・風速を補正。
- 風向は8方位、風速ランクは6段階(0~4, 4~8, 8~10, 10~12, 12~16, 16~m/s)。



(補正なし vs 観測値)

風向・風速の補正結果の一例

(補正あり vs GPV)

【高潮解析】

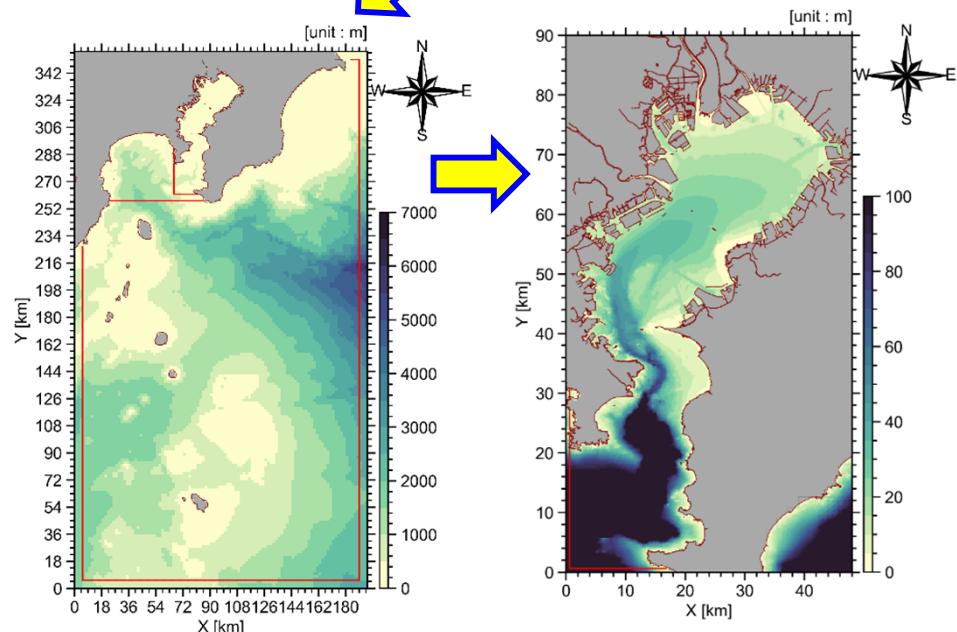
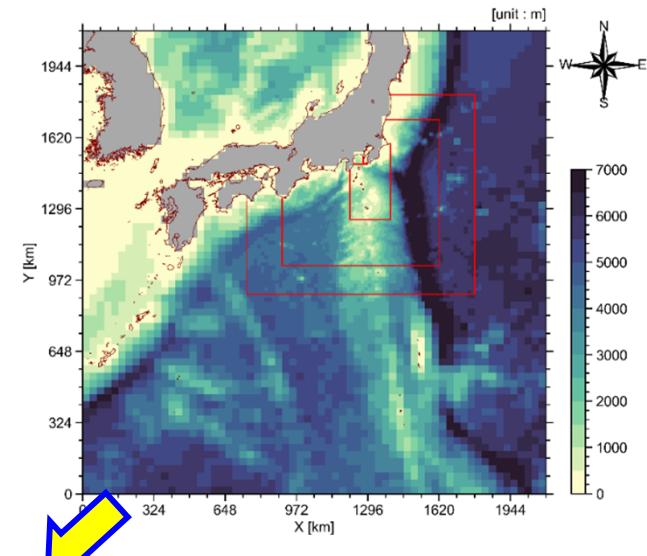
- 計算モデルの基礎式は、実務で一般的に用いられている单層の非線形長波方程式。

	東京湾	伊勢湾	大阪湾
格子領域	32,400m~200m格子領域をネスティング(Two-way)		
座標系	平面直角座標系 IX系	平面直角座標系 VII系	平面直角座標系 VI系
計算時間間隔	1.2s	3.0s	3.0s
海面抵抗係数	本多・光易(1980)モデル (風速45m/s以上は海面抵抗係数を一定とする)		
ラディエーション ストレス	考慮なし		
海底摩擦	$n = 0.025$		
沖側境界条件	他領域と水位・流量を結合(第1領域は自由透過)		
陸側境界条件	完全反射		

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) \\ = fN - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{D}{\rho} \frac{\partial \rho_0}{\partial x} + \frac{1}{\rho} (\tau_{sx} - \tau_{bx}) + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \end{aligned}$$

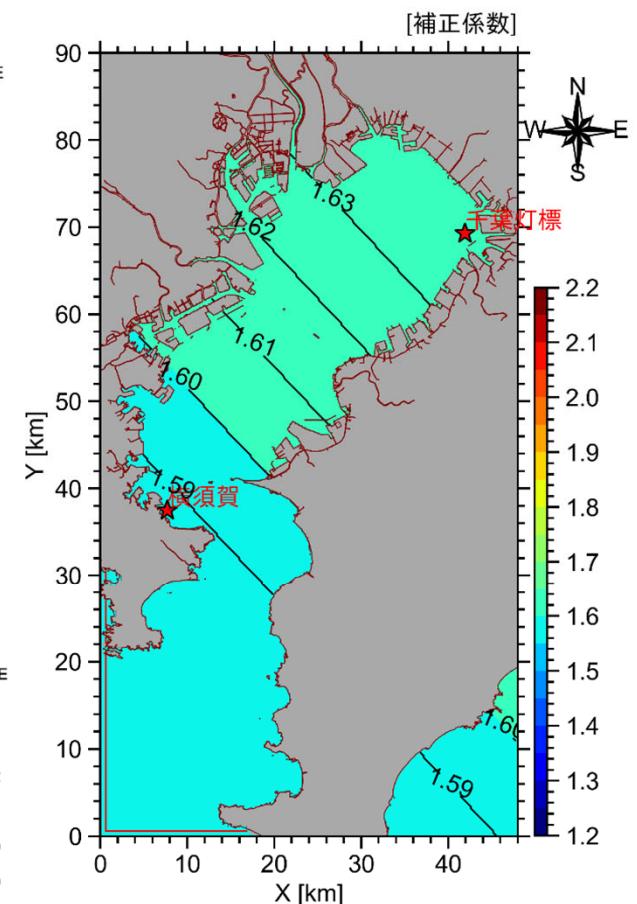
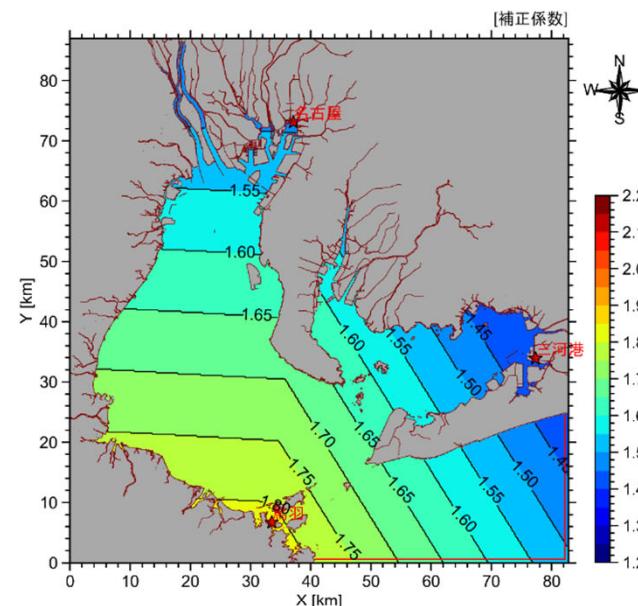
$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) \\ = -fM - gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{D}{\rho} \frac{\partial \rho_0}{\partial y} + \frac{1}{\rho} (\tau_{sy} - \tau_{by}) + A_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \end{aligned}$$



計算領域設定の一例(東京湾)

【高潮解析】

- 高潮解析モデルによる結果にバイアスがあるため、回帰係数の逆数を用いて平面的にバイアスを補正。

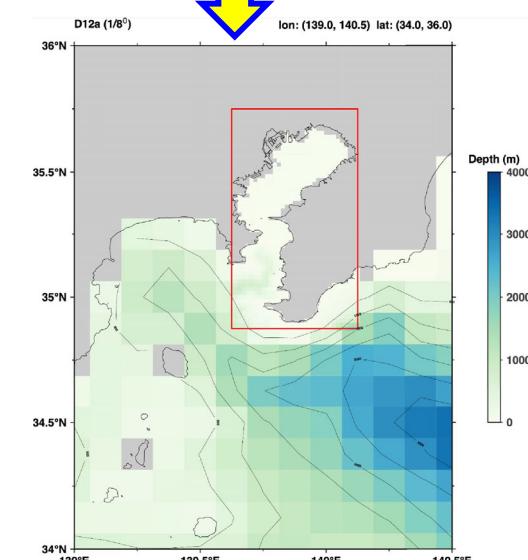
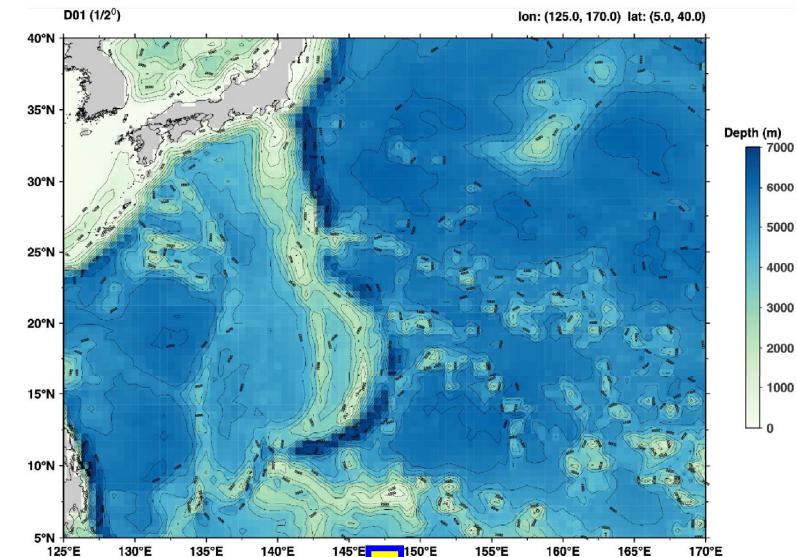


高潮偏差の平面的な補正值

【波浪解析】

- 計算モデルは、実務でも用いられているWAVE WATCH III (Ver. 5.16)。

項目	内 容
座標系	緯度経度の球面座標系
格子間隔	1/2° ~ 1/64° の格子領域をネスティング(One-way)
計算時間間隔	720~60s
方向分割数	36($Dq = 10^\circ$)
周波数分割数	35(周波数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)
地形性碎波	あり(Battjes-Janssen)
底面摩擦	あり(JONSWAP)
反射	なし



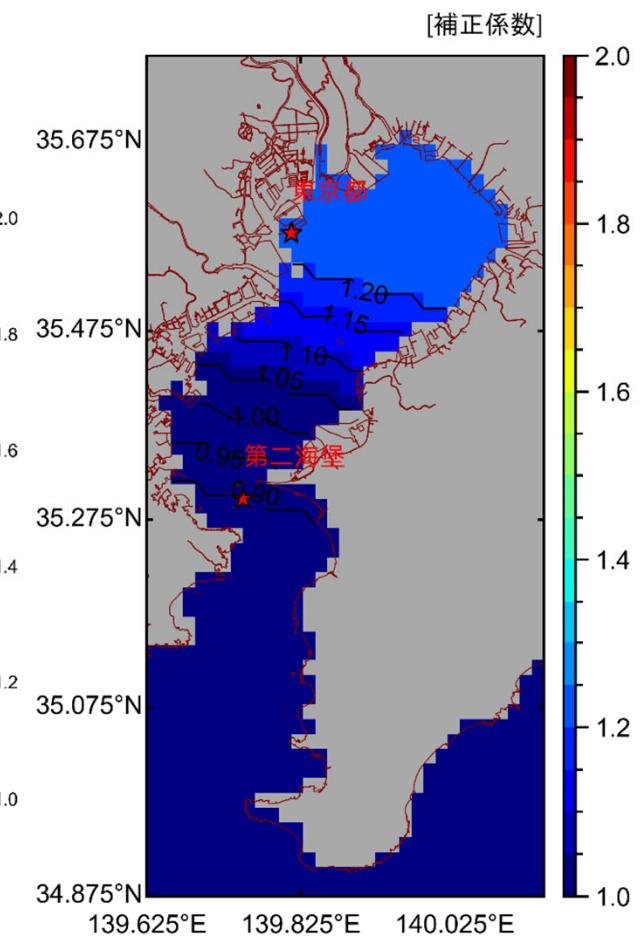
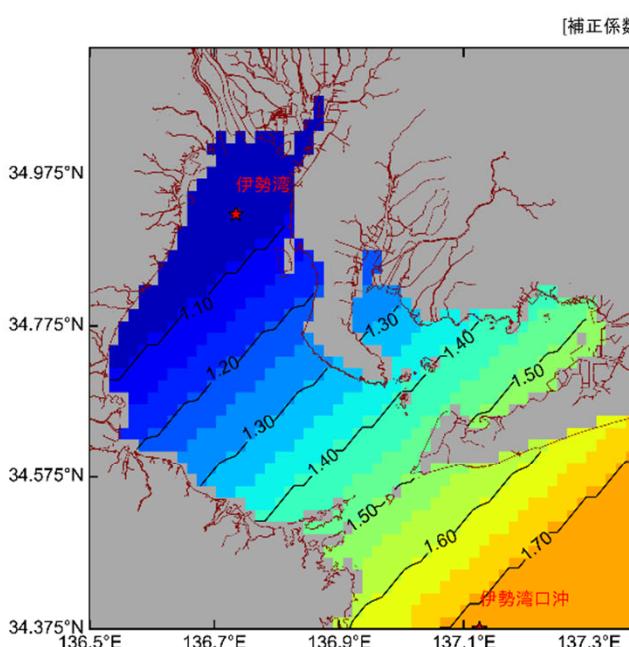
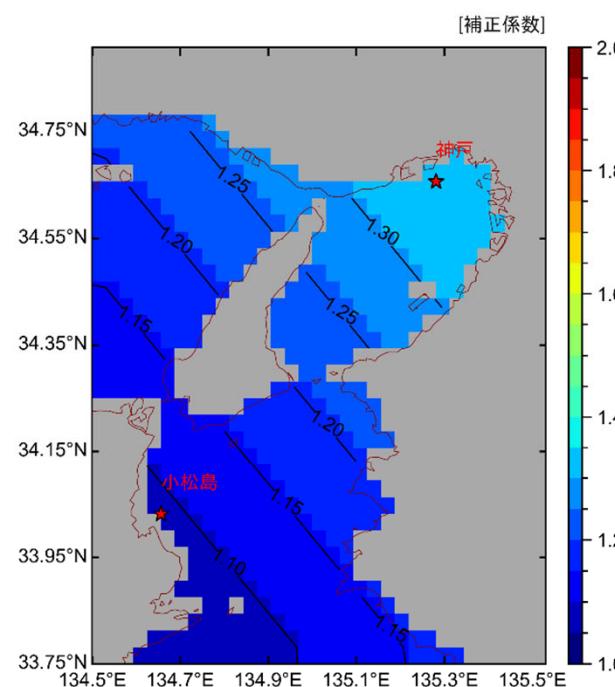
$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_x \cdot \dot{x}N \frac{\partial}{\partial k} k \dot{N} + \frac{\partial}{\partial \theta} \dot{\theta} N = \frac{S}{\theta}$$

$$\dot{x} = C_g + \mathbf{U}$$

$$\dot{\theta} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial ds} + k \cdot \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial m} \right]$$

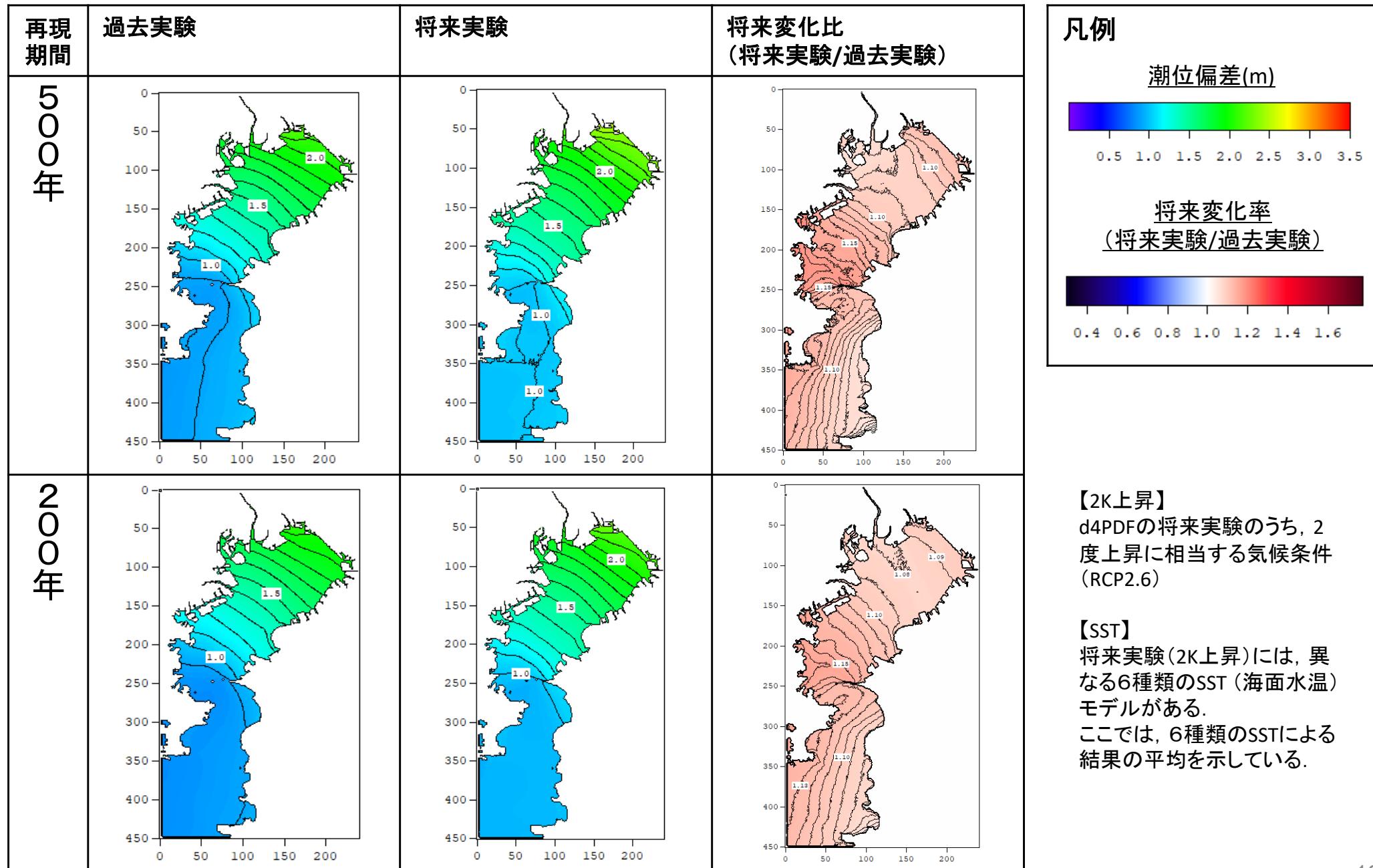
【波浪解析】

- 波浪解析モデルによる結果にもバイアスがあるため、「波高」について、高潮偏差の補正と同様に、回帰係数の逆数を用いて平面的にバイアスを補正。

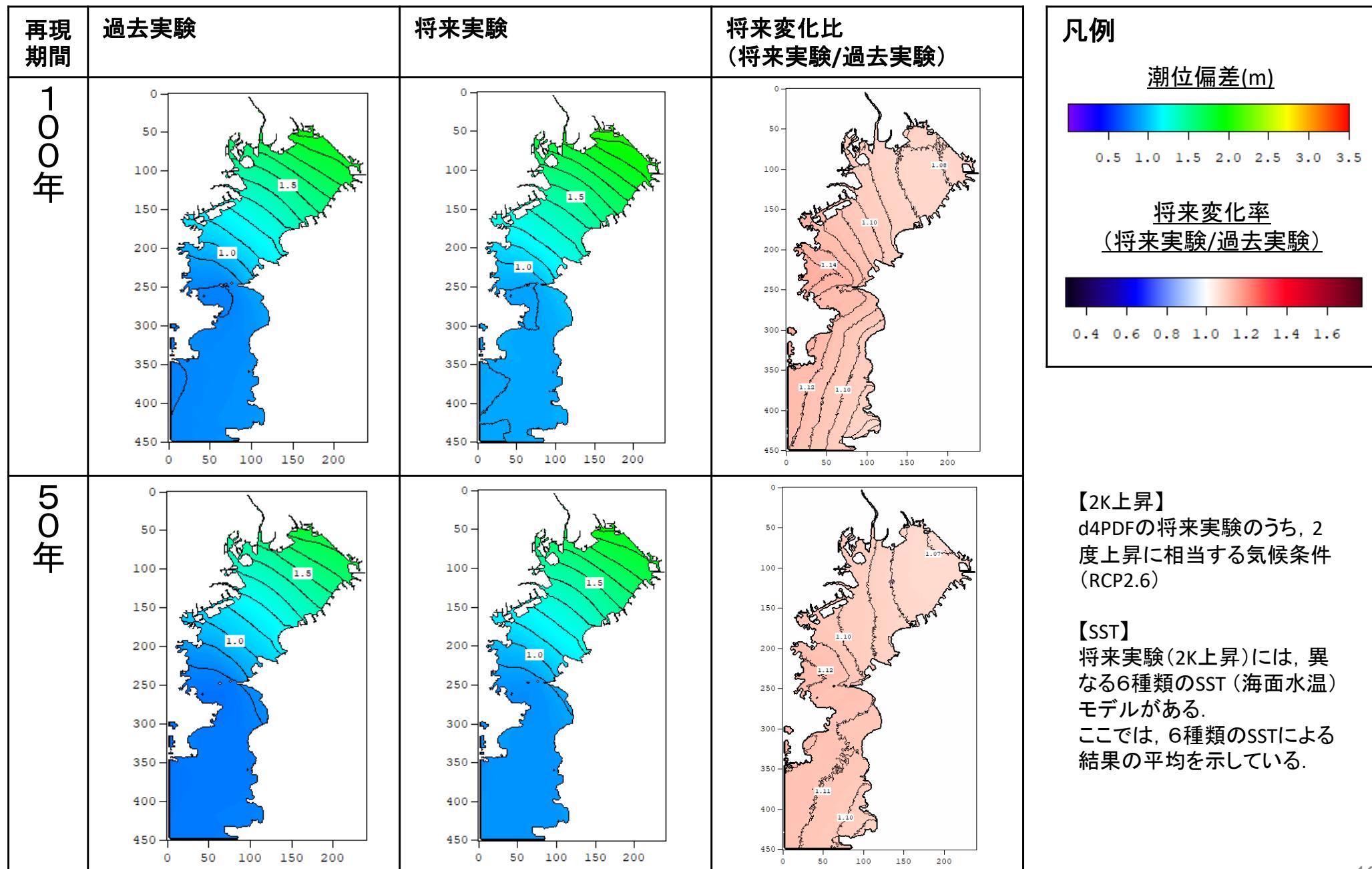


波高の平面的な補正值

【東京湾(2K上昇・SST平均)】確率潮位偏差

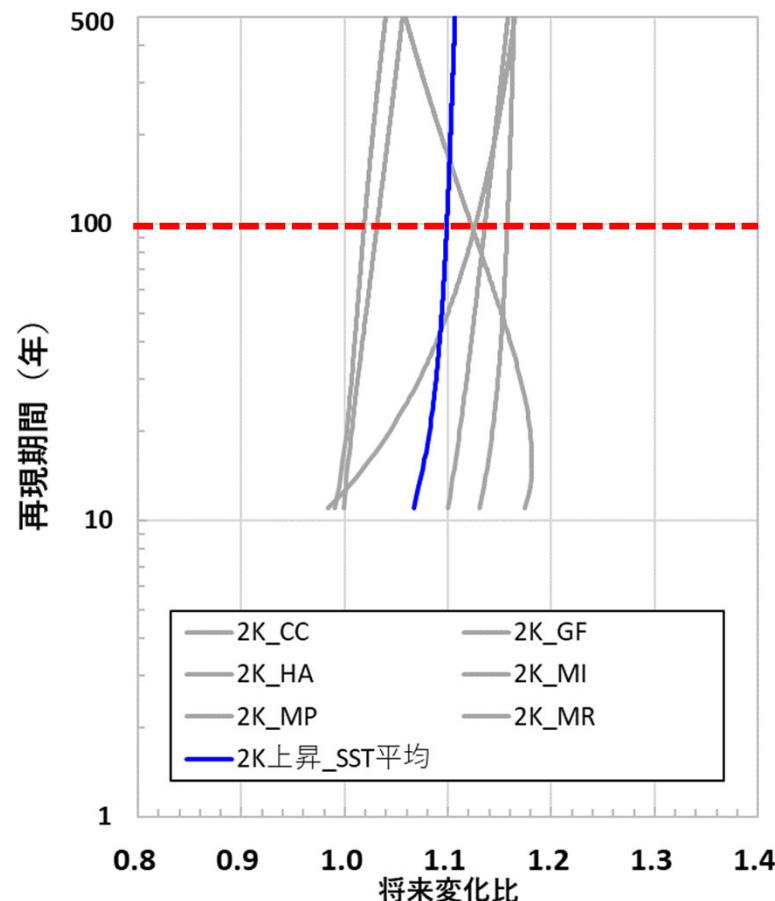


【東京湾(2K上昇・SST平均)】確率潮位偏差

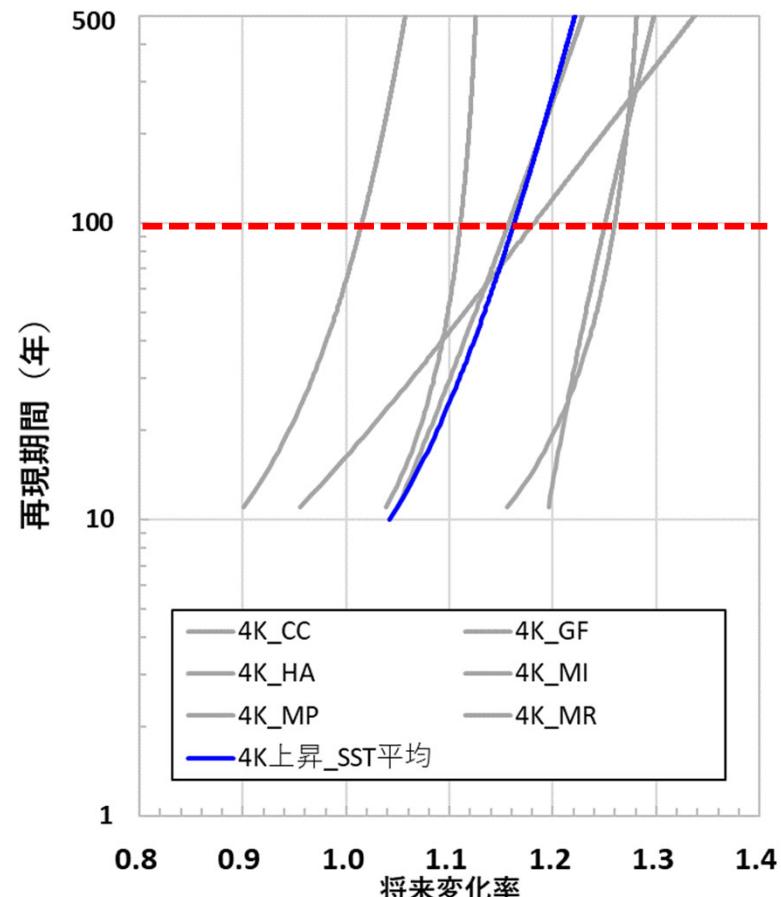


【東京湾(2K上昇)】※確率潮位偏差の空間平均(全メッシュの平均)より算出

【2K上昇】



(参考)【4K上昇】

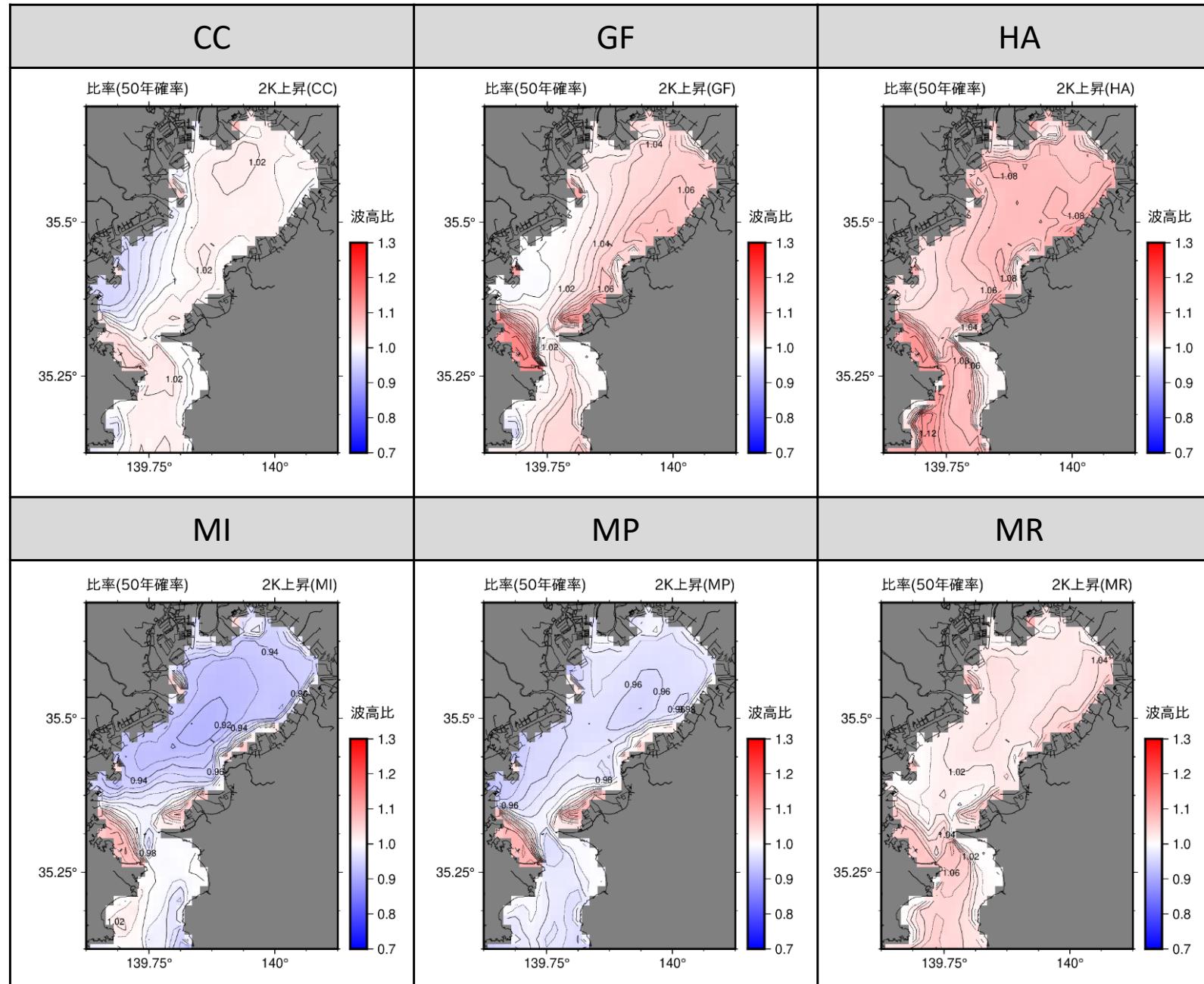


2K上昇の6ケースのSSTの将来変化比(再現期間100年)

平均: 1.10 (1.03 ~ 1.15). (ただし、括弧内は、6SSTの結果に対する10~90パーセンタイルの範囲)

(*)1ケースのSSTの対象期間は549年分であることから、統計的安定性を踏まえて、再現期間100年にて整理。

【東京湾(2K上昇)】※SST毎の50年確率波高の将来変化比

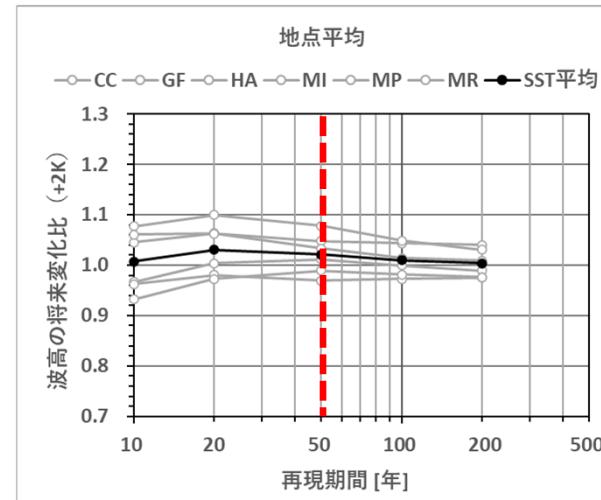
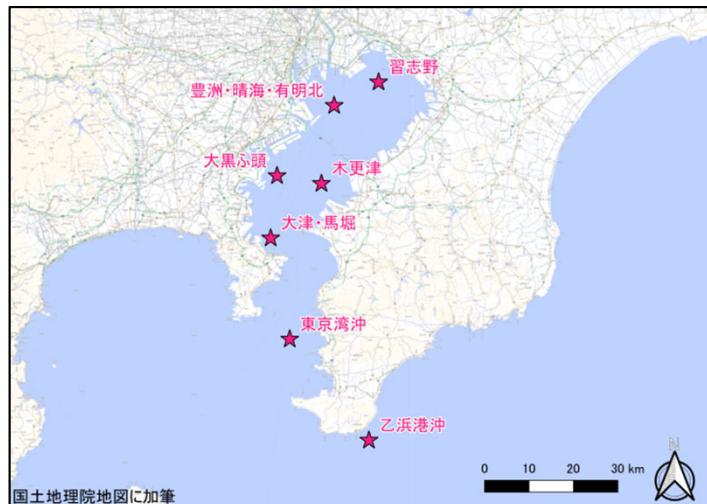


【2K上昇】
 d4PDFの将来実験のうち、2度上昇に相当する気候条件(RCP2.6)

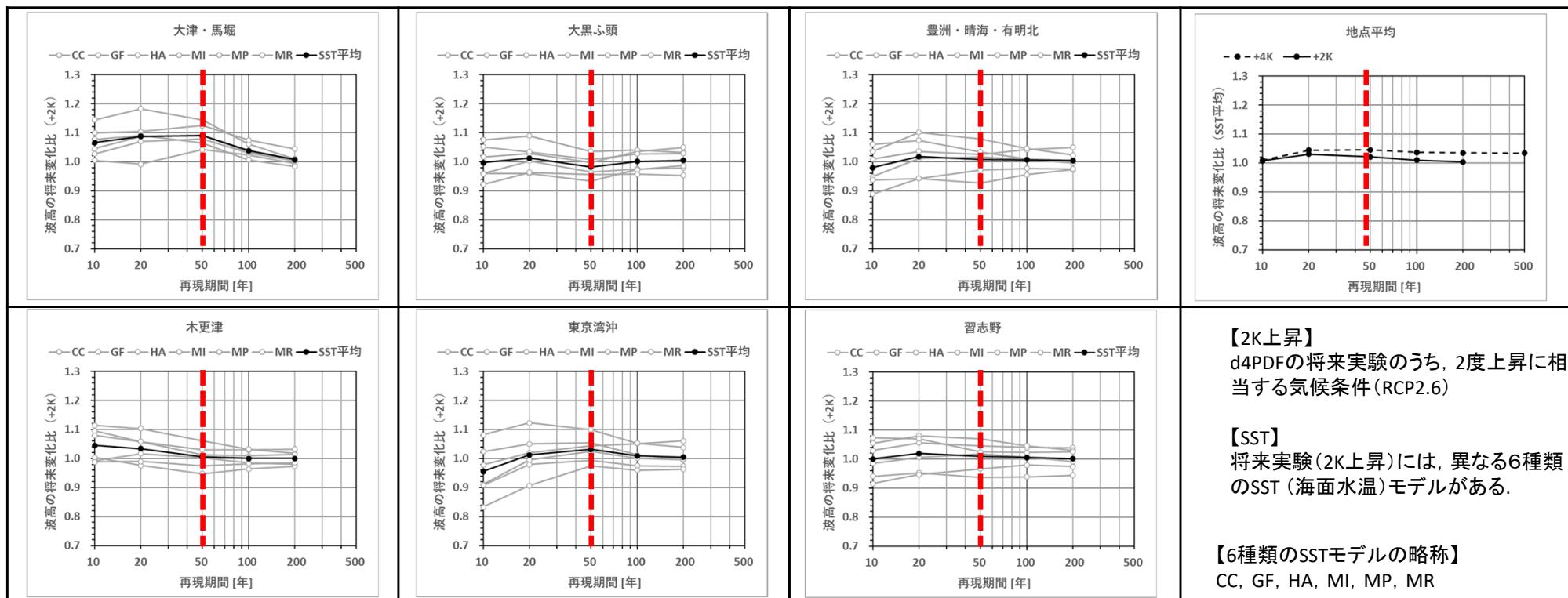
【SST】
 将来実験(2K上昇)には、異なる6種類のSST(海面水温)モデルがある。

【6種類のSSTモデルの略称】
 CC, GF, HA, MI, MP, MR

【東京湾(2K上昇)】※確率波高のSST平均



2K上昇の6ケースのSSTの
50年確率波高の将来変化比
平均: 1.02 (0.98~1.06).
(ただし、括弧内は、6SSTの結果に対する10~90パーセンタイルの範囲)



海域	将来変化比				【3大湾】 国総研資料No.1266(既発表)	
	潮位偏差		波高			
	再現期間 100年	(参考) 再現期間 50年	再現期間 50年	平均 (10%tile ~ 90%tile)		
①陸奥湾					青森港	
②a東北太平洋側（北側）					むつ小川原港・八戸港・久慈港・宮古港	
②b東北太平洋側（南側）					釜石港・大船渡港・仙台塩釜港・相馬港・小名浜港	
③北関東					茨城港・鹿島港	
【A】東京湾	1.10	(1.03 ~ 1.15)	1.09	1.02 (0.98 ~ 1.06)	木更津港・千葉港・東京港・川崎港・横浜港・横須賀港	
④駿河湾					御前崎港・田子の浦港・清水港	
【B】伊勢湾	1.07	(1.03 ~ 1.10)	1.03	1.00 (0.98 ~ 1.03)	三河港・衣浦港・名古屋港・四日市港・津松阪港	
⑤紀伊半島					尾鷲港・日高港・和歌山下津港	
【C】大阪湾	1.06	(0.99 ~ 1.13)	1.05	1.04 (0.97 ~ 1.08)	阪南港・堺泉北港・大阪港・尼崎西宮芦屋港・神戸港	
⑥四国太平洋側					徳島小松島港・橋港・高知港・須崎港・宿毛湾港・宇和島港	
⑦a瀬戸内海 (東部：播磨灘・燧灘)					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	
⑦b瀬戸内海 (西部：伊予灘・周防灘)					吳港・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	
⑧九州南東側					細島港・宮崎港・油津港・志布志港・佐伯港・津久見港	
⑨薩南					鹿児島港・西之表港	
⑩琉球諸島					名瀬港・運天港・金武湾港・中城湾港・那霸港・平良港・石垣港	
⑪九州西側					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	
⑫九州北側					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）	
⑬山陰地方					三隅港・浜田港・西郷港・境港・鳥取港	
⑭若狭湾					舞鶴港・敦賀港・金沢港	
⑮富山湾					七尾港・伏木富山港・直江津港・小木港・両津港・新潟港	
⑯東北日本海側					能代港・秋田港・船川港・酒田港	

3大湾以外は
今後公表予定

【将来変化比の平均値】

高潮偏差：単純平均1.05程度(最大1.10, 最小1.01)

波高：単純平均1.02程度(最大1.08, 最小0.99)

【10%tile～90%tileの範囲】

高潮偏差：平均値から±4%程度(最大で10%)

波高：平均値から±3%程度(最大で7%)

◆ 気候変動による外力への影響評価

- 外力設定の考え方
- 国総研の方法

◆ 気候変動による影響の港湾施設設計への反映

- 作用の設定方法

作用の設定方法

【気候変動に伴う作用の経年変化予測】

- 参考とする予測結果が、どの時点で発現すると見込まれるかを把握する必要がある。
- 高潮・波浪の予測に用いているd4PDFの将来予測は、**タイムスライス実験(ある時点の気候場を対象)**。
- 平均海面水位上昇の予測は、**シームレス実験(経年的な気候変動の影響を考慮)**。

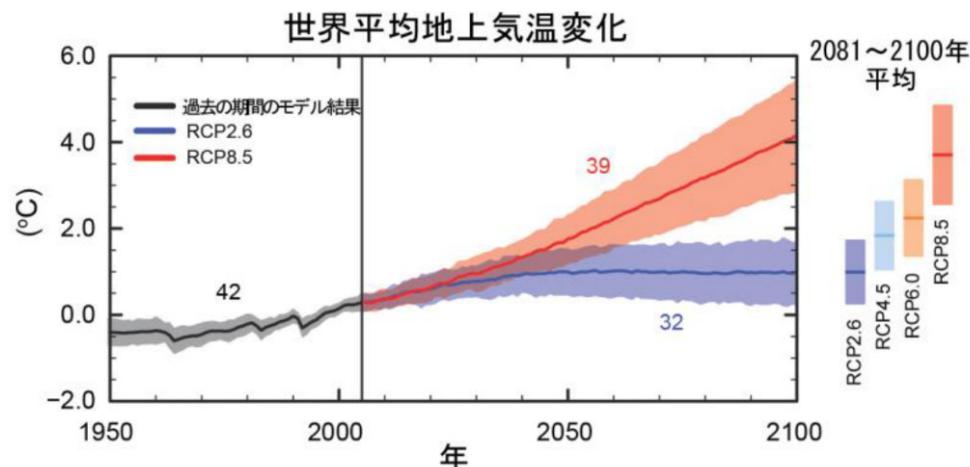


図 10.2.1 世界平均海面水位の変化予測

【出典】「日本の気候変動2020」から抜粋

【2°C上昇シナリオ(RCP2.6)】

- 気温上昇 : 2040年から横ばい
- 台風強度 : 2040年から横ばい
- 平均海面 : 2040年以降も上昇

→ 高潮・波高:2040年も横ばいとなると推定

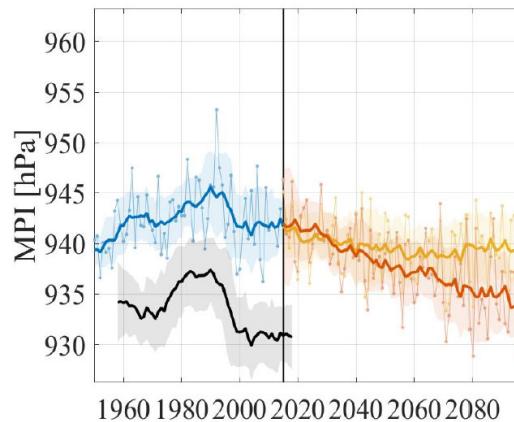


図5 150年ランによる台風月海城内平均 MPI の将来変化
(青色:HPD実験4メンバ平均MPI, 黄色:HFD実験RCP2.6, 橙色:HFD実験RCP8.5, 黒色:JRA-55再解析値, 細線:1年, 太線:10年移動平均値, 網掛け:10年移動分散値, 単位:hPa)

(註)
MPI:台風の可能最大強度

【出典】
「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」
(森ら, 2021)から抜粋

作用の設定方法

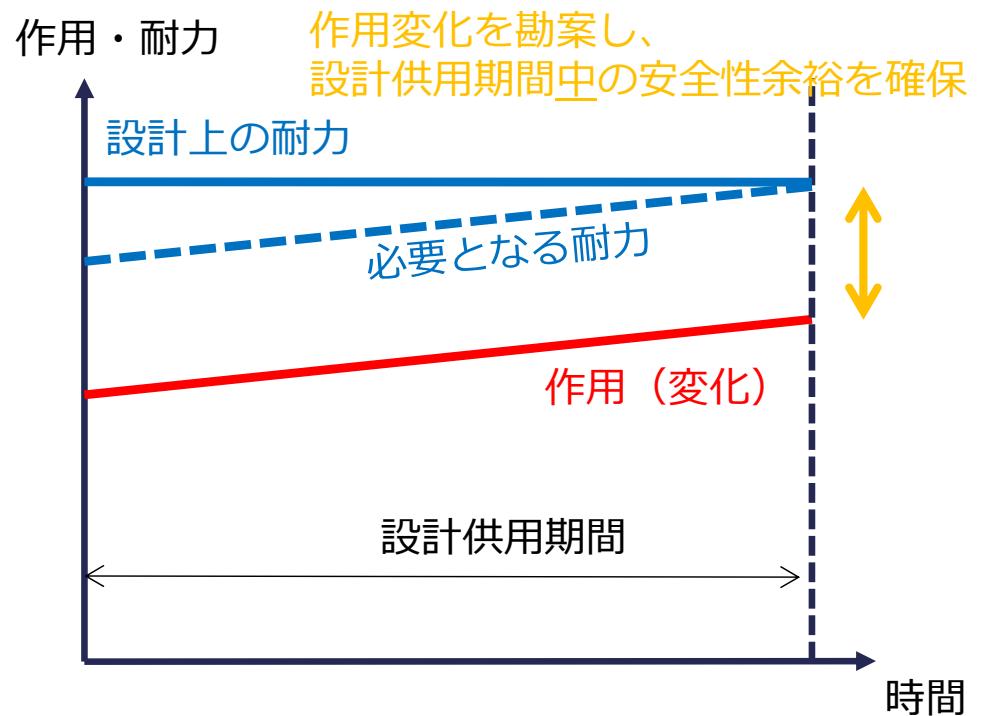
【要求性能の確保の考え方】

- 「技術基準対象施設の設計に用いる潮位、波浪等は、**設計供用期間中の変化を勘案**した上で、当該期間中にわたって技術基準対象施設の要求性能を確保する必要がある」旨を明記。

従来の考え方



設計供用期間中の作用変化を考慮



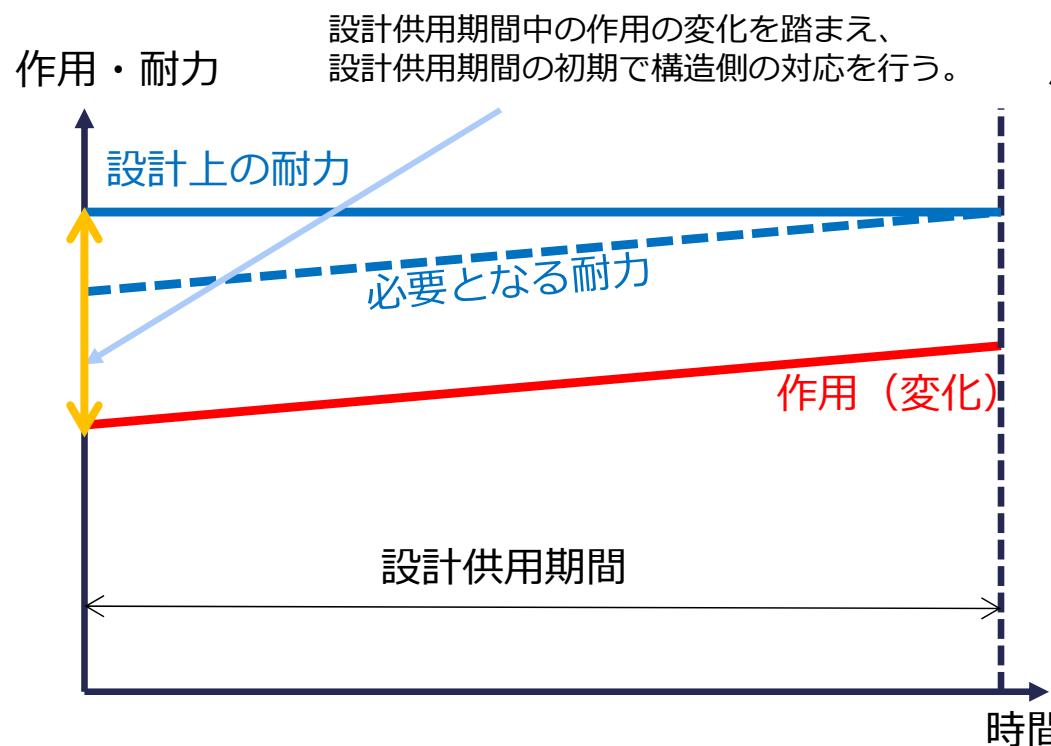
※耐力は劣化や被災により経時的に低下する可能性があるが、ここでは一定として模式図化。

作用の設定方法

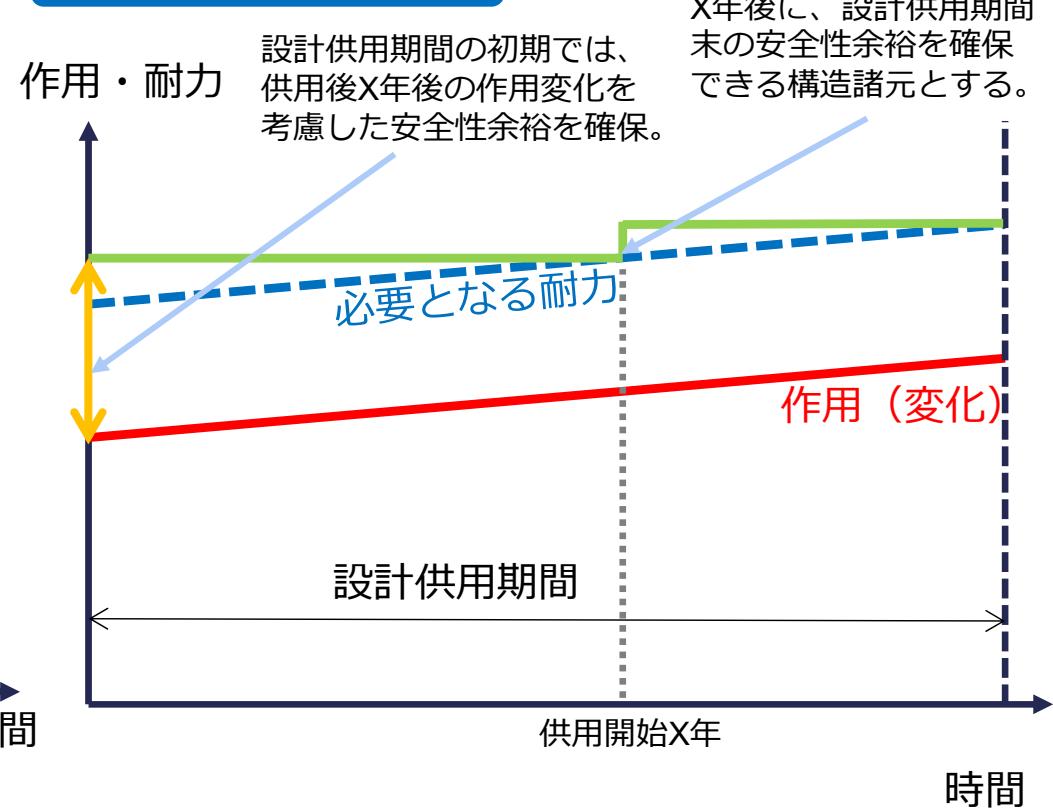
【要求性能の確保方法としての適応策】

- 『設計供用期間内に想定される作用変化に対し、施設の要求性能を確保する方策として、
 ①設計供用期間の初期段階で対応する「事前適応策」と、②段階的に対応する「順応的適応策」の2種類の適応策が考えられる。』旨を追記

事前適応策



順応的適応策

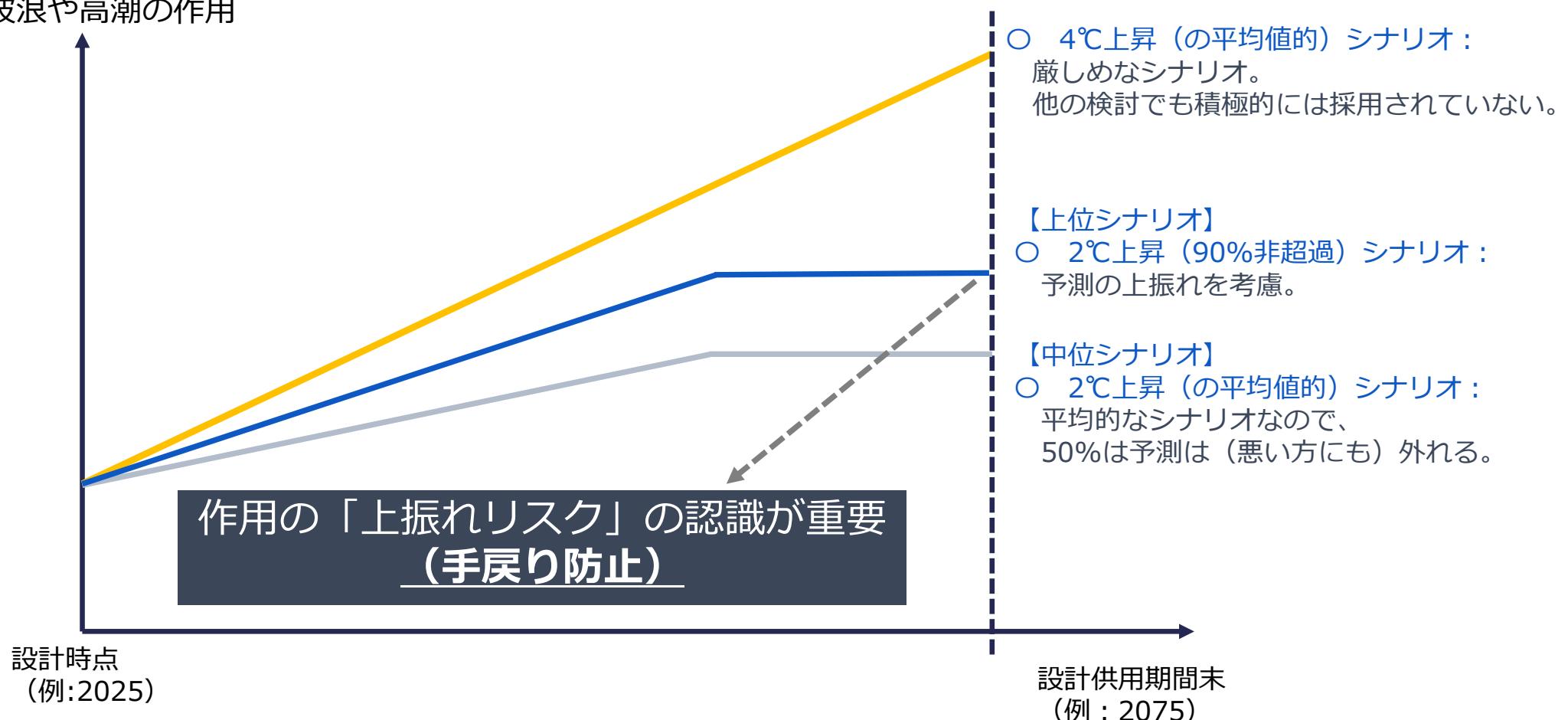


作用の設定方法

【設計供用期間末における作用の設定の考え方(一例)】

- 「事前適応策」でも「順応的適応策」でも、設計供用期間末における作用として、 2°C 上昇の90%非超過のシナリオ(上位シナリオ)に相当する作用を設定。かつ、それに対応する断面等を検討。
- 両適応策において、設計供用期間末における設計断面は変わらないことに注意。

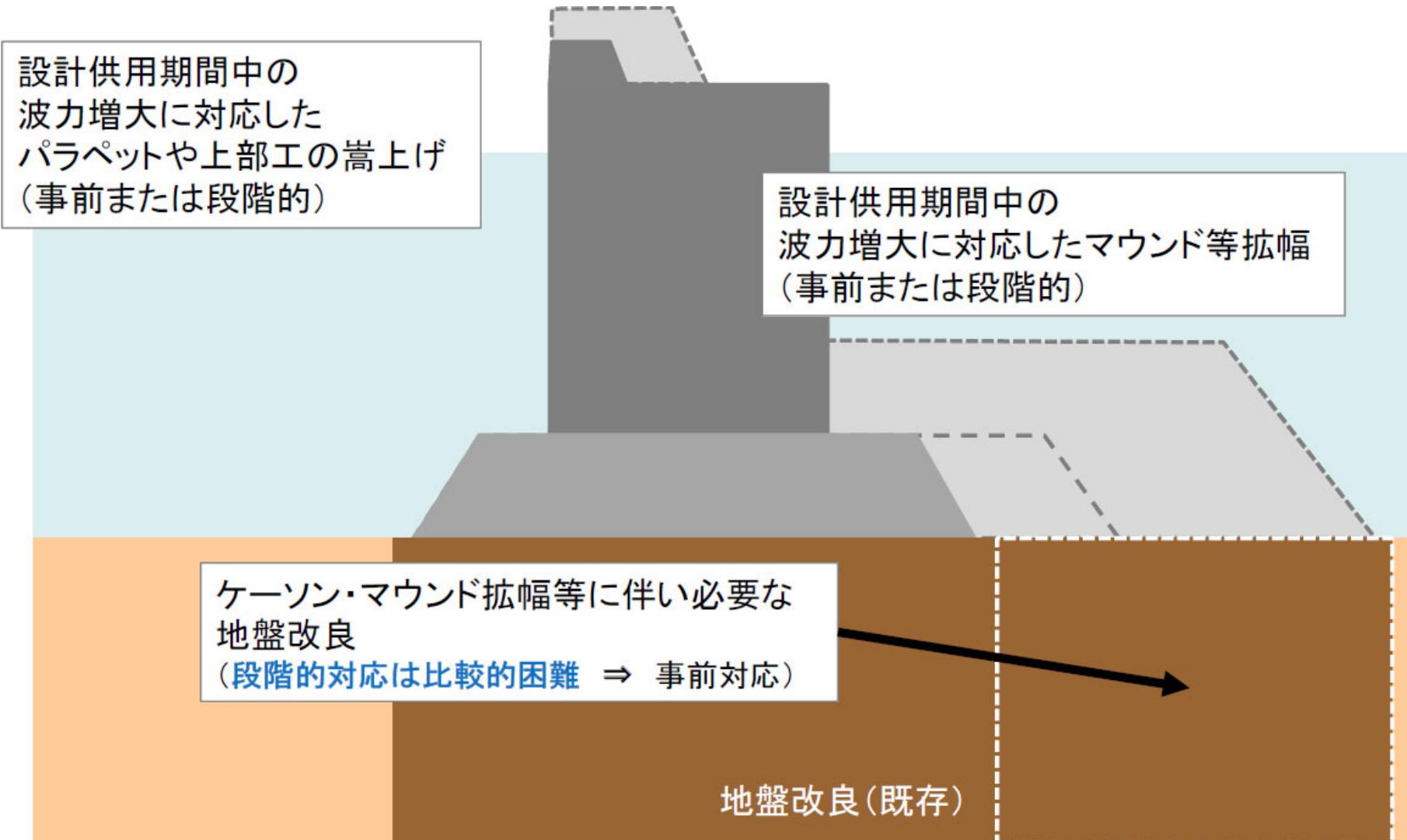
波浪や高潮の作用



作用の設定方法

【手戻り防止(上振れリスク対応)のイメージ】

- 途中段階での対応(段階的対応)が困難・費用が高額な工種に関しては、「事前」に対応する。

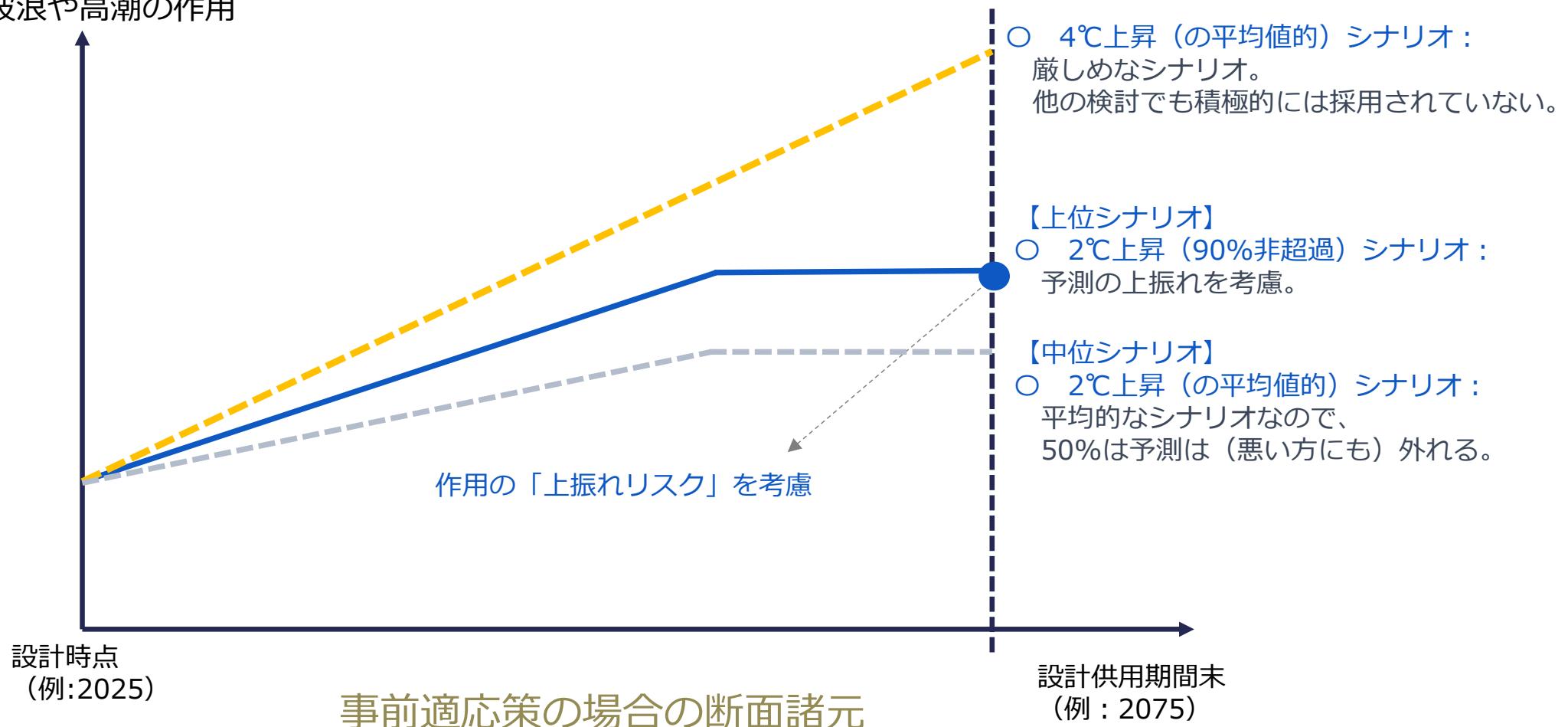


作用の設定方法

【事前適応策(一例)】

- 2°C上昇の90%非超過のシナリオ(上位シナリオ)に相当する作用を設定し、それに対する断面設計を行って整備。

波浪や高潮の作用



設計時点
(例:2025)

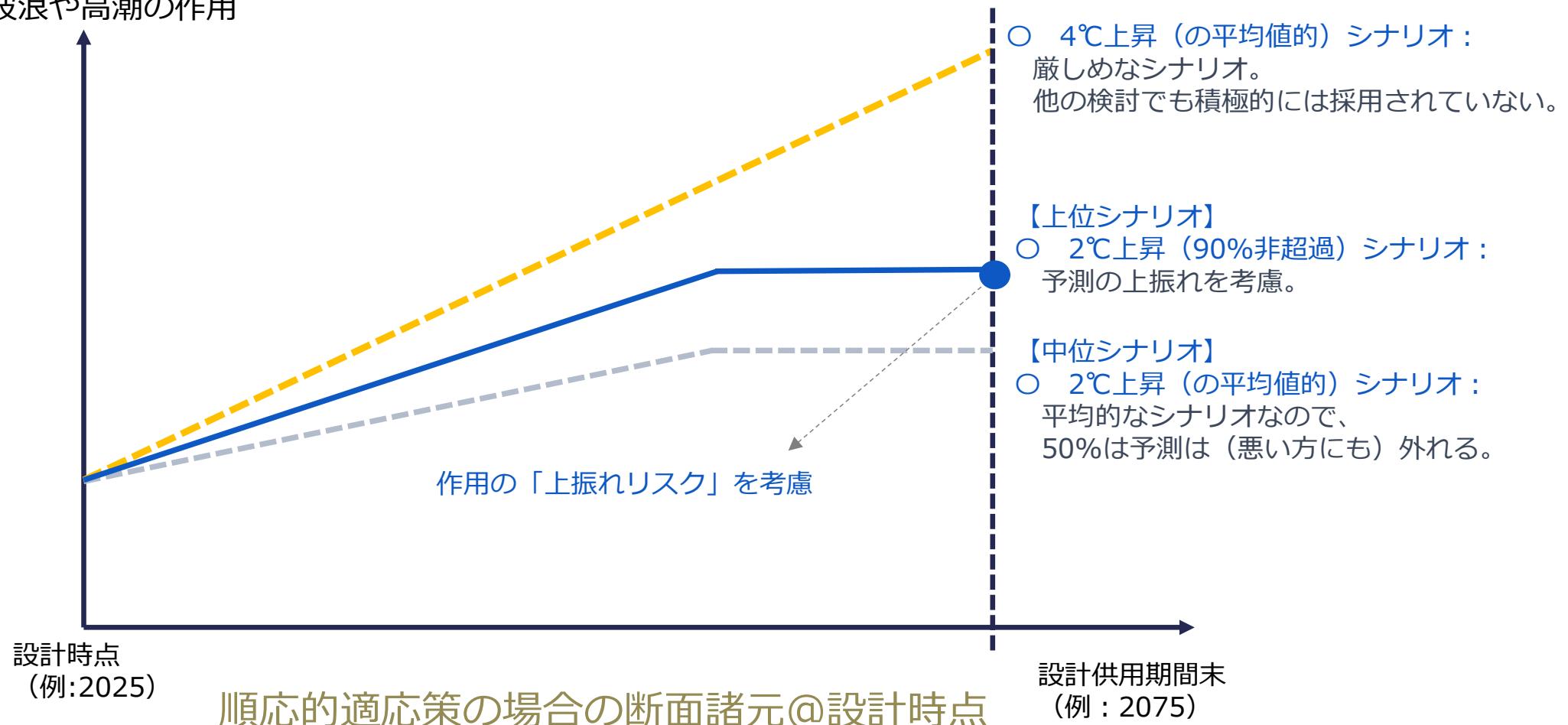
設計供用期間末
(例: 2075)

作用の設定方法

【順応的適応策(一例) : STEP1】

- 2°C上昇の90%非超過のシナリオ(上位シナリオ)に相当する作用を設定し、それに対する断面設計を行っておく。
- 最終断面としては、事前適応策の断面設計と同じ。

波浪や高潮の作用

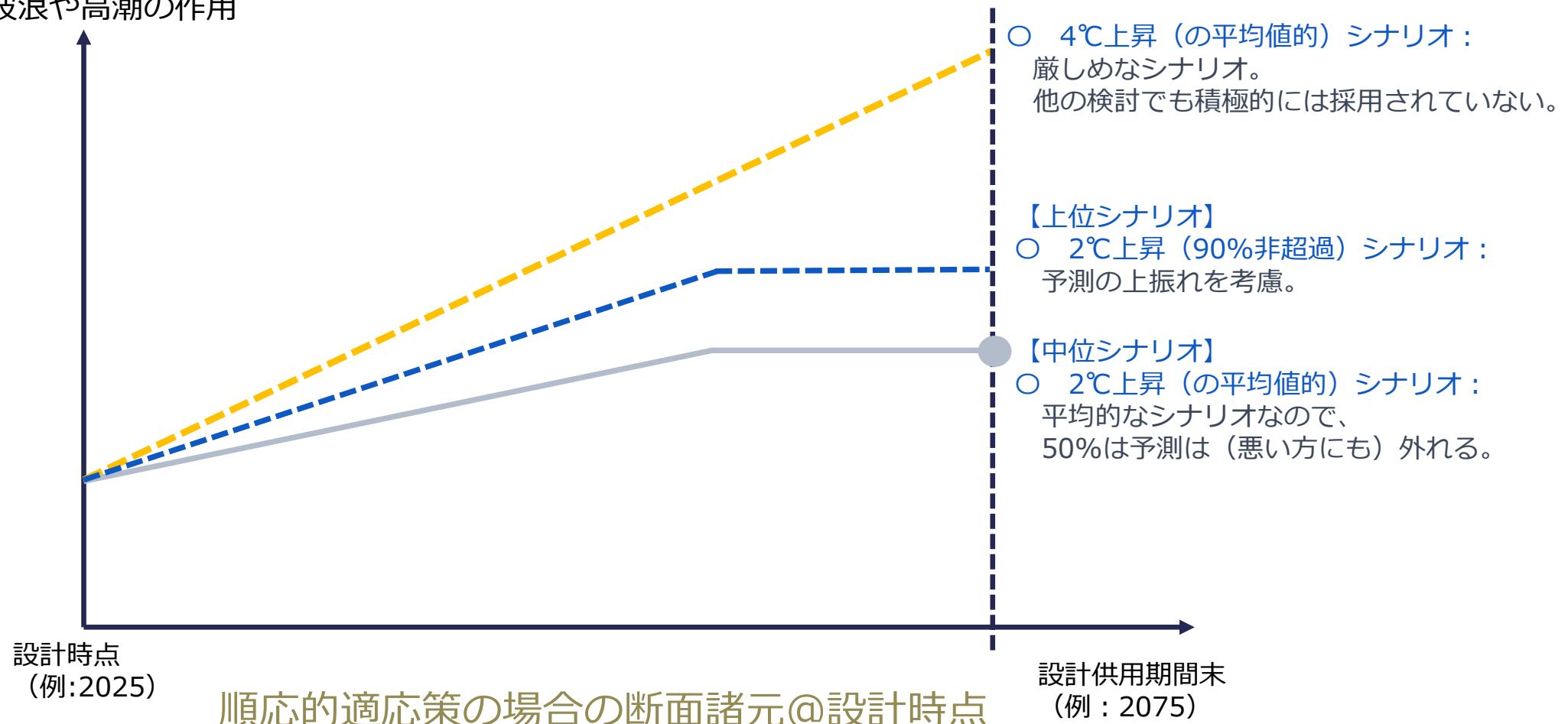


作用の設定方法

【順応的適応策(一例) : STEP2】

- 予測どおりに作用が増大するかは不明。
- まずは、**中位シナリオ(2°C上昇の平均値的)**で暫定的に断面整備。
- ただし、上振れしたときを念頭に、STEP1(上位シナリオ対応)への断面更新が可能となることに留意。(←順応的な対策)

波浪や高潮の作用



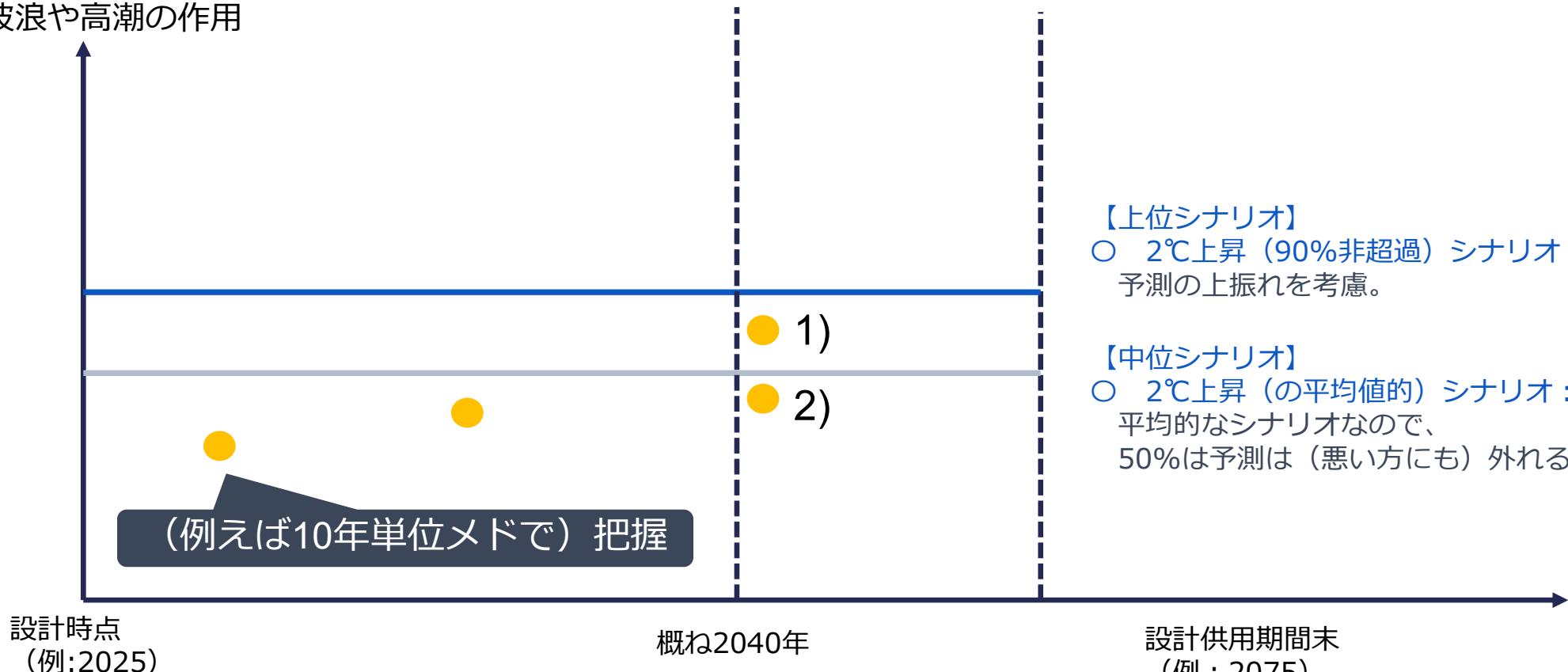
設計時点
(例:2025)

設計供用期間末
(例: 2075)

【モニタリング】

- 実際の気候変動の影響が、予測の範囲内であるか確認。
- 順応的適応策における供用後の断面更新の必要性の判断。

波浪や高潮の作用

設計時点
(例:2025)

概ね2040年

設計供用期間末
(例：2075)

- 1) 供用開始後、作用が より大きい（※）と判断した場合 \Rightarrow 設計時に想定した に対応する断面を整備
 2) 供用開始後、作用が よりも小さいと判断した場合 \Rightarrow 当面そのまま

- ※ この判断は、現時点で確たる手法はないが、定期的（10年単位？）にd4PDFの解析等を行う枠組みが必要。
- ※ 設計時点での想定範囲内であれば、これは改良には該当しない

◆ 気候変動への対応

- 緩和策 : 強力なCO₂排出削減が必要
- 適応策 : 排出ゼロを達成しても、影響は明らか
- 異常時だけではなく、常時も対象とする必要性
→ 常時波浪などが影響する静穏度など

◆ 気候変動を踏まえた外力評価

- d4PDF等を活用した将来気候の外力評価
- 高潮・波高の将来変化比を算出

◆ 順応的な適応策

- モニタリング結果や将来予測の更新等に対応
- 上振れリスク・下振れリスクへの対応