令和4年度　港湾空港技術講演会
　～港湾技術研究所設立60周年記念～
令和4年10月13日（木）10:00～17:00
ホテルアジュール竹芝

気候変動の最新の予測と沿岸海洋・防災研究部での適応策に関する取り組み

国土技術政策総合研究所
沿岸海洋・防災研究部
沿岸防災研究室長
本多和彦

発表内容

- 気候変動の最新の予測
  - IPCC AR6（WG1）政策決定者向け要約（SPM）
- 気候変動の影響（高潮・高波）
  - 背景・目的
  - 将来気候のシナリオ設定
  - 将来気候における高潮・高波の試算結果
- 港湾施設における適応策
  - 背景・目的
  - 順応的な適応策
  - 潮位・波高増大に応じた適応策の単価の試算
- まとめ

気候変動の最新の予測

【IPCC AR6（WG1）SPM】
- 人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない。

1850～1900 年を基準とした世界平均気温の変化

a）世界平均気温（10 年平均）の変化
復元値（1～2000 年）及び **観測値**（1850～2020 年）

b）世界平均気温（年平均）の変化
観測値並びに**人為・自然起源両方の要因を考慮した推定値** 及び **自然起源の要因のみを考慮した推定値**（いずれも 1850～2020 年）

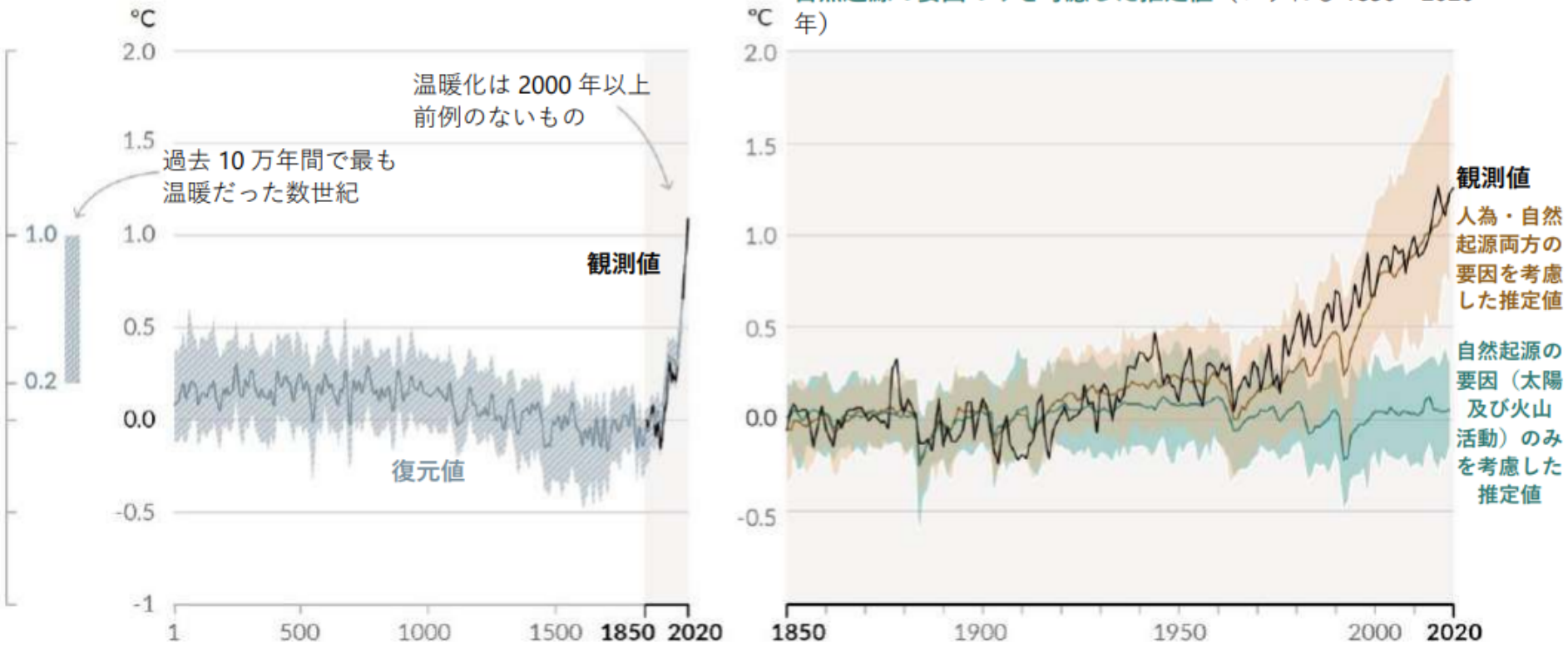
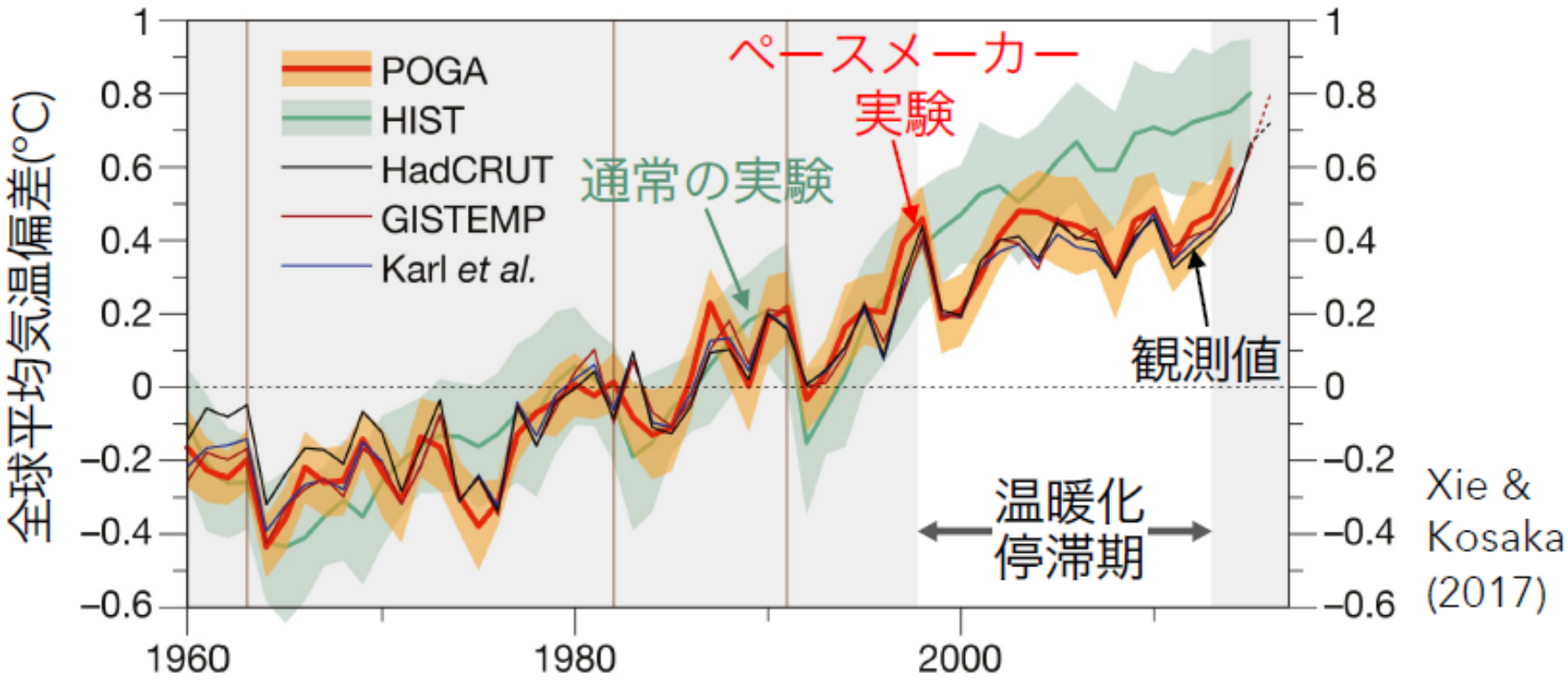


図 SPM.1： 世界の気温変化の歴史と近年の昇温の原因

【出典】IPCC AR6（WG1）（SPM）暫定訳からの抜粋　https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/

気候変動の最新の予測

【ハイエイタス】
- 1990年代末から2000年代初めまで，気温上昇が鈍化.
- 太平洋十年規模変動が正から負位相に遷移し，人為起源の温暖化を一部相殺.
- 傾向としては，気温の上昇は確実に生じている.



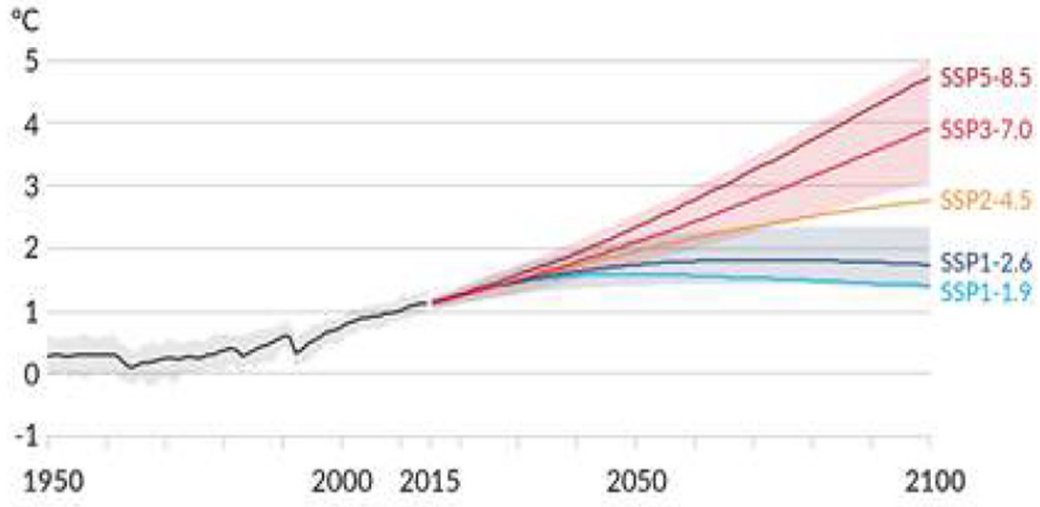
東京大学先端科学技術研究センター　小坂優 准教授の発表資料

【出典】
統合的気候モデル高度化研究プログラム
公開シンポジウムの発表資料からの抜粋
http://www.jamstec.go.jp/tougou/event/sympo/2021/index.html

気候変動の最新の予測

【第6次報告でのシナリオ】
- 第5次報告でのシナリオは，温暖化の指標（放射強制力）の大きさで分類（RCPx）.
- 第6次報告書でのシナリオは，温暖化の指標と社会経済シナリオで分類（SSPx-y）.
- 強力に温室効果ガスの排出削減を進めない限り，温暖化は+1.5℃～2℃を超える.

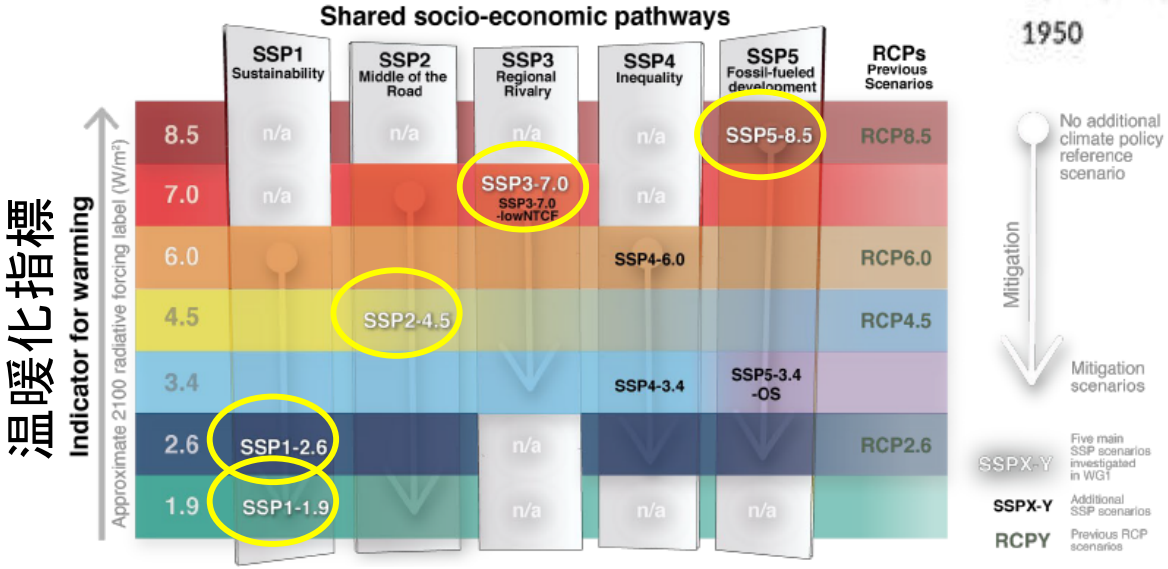
a) 1850～1900年を基準とした世界平均気温の変化



【出典】IPCC AR6（WG1）
Cross-Chapter Box 1.4, Figure 1を加工

WG1では，下図の黄色で示す5つのシナリオを対象

社会経済シナリオ



【出典】図 SPM.8
IPCC AR6（WG1）（SPM）暫定訳からの抜粋
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/

気候変動の最新の予測

【IPCC AR6（WG1）SPM】
● 現時点で年超過確率1/100の海面水位が，毎年 生じる可能性.

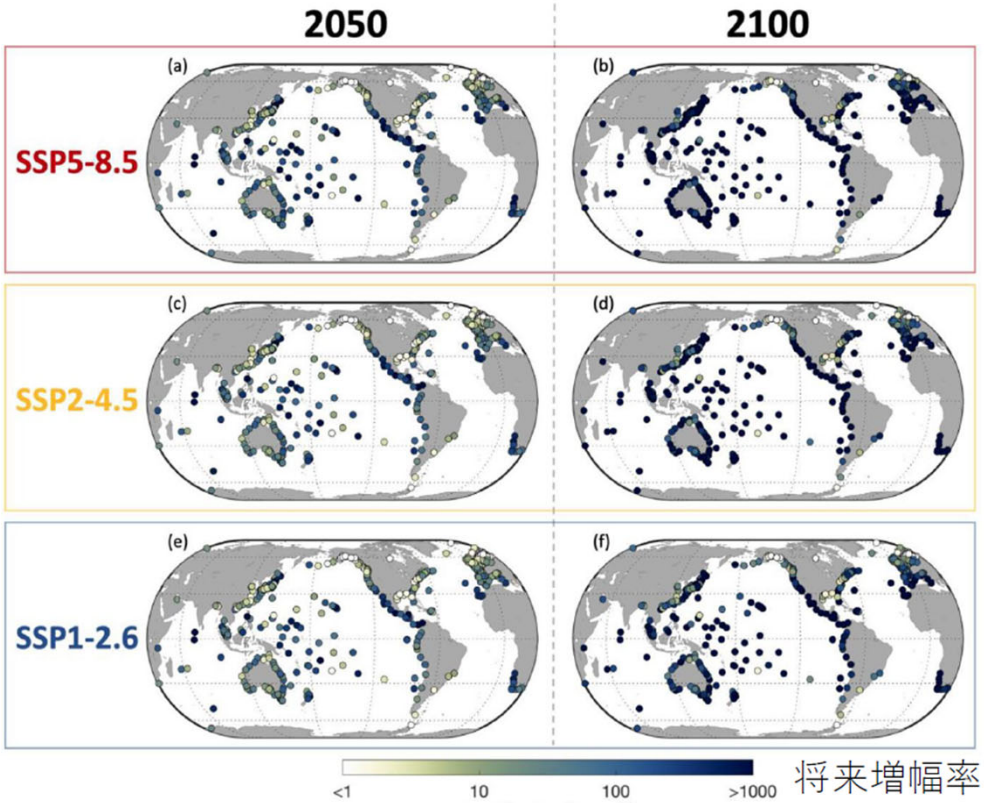


Figure 9.32
年超過確率1/100の極端海水位の将来増幅率．観測された極端海面水位に海面上昇量の予測値を加えて解析

■極端海面水位
- ●海面上昇＋高潮＋天文潮位

■年超過確率1/100等の極端な海面水位は，世紀末になると大幅に頻度が増加

■年超過確率1/100→1
- ●SSP1-2.6 50%の地点
- ●SSP2-4.5 71%の地点
- ●SSP5-8.5 82%の地点

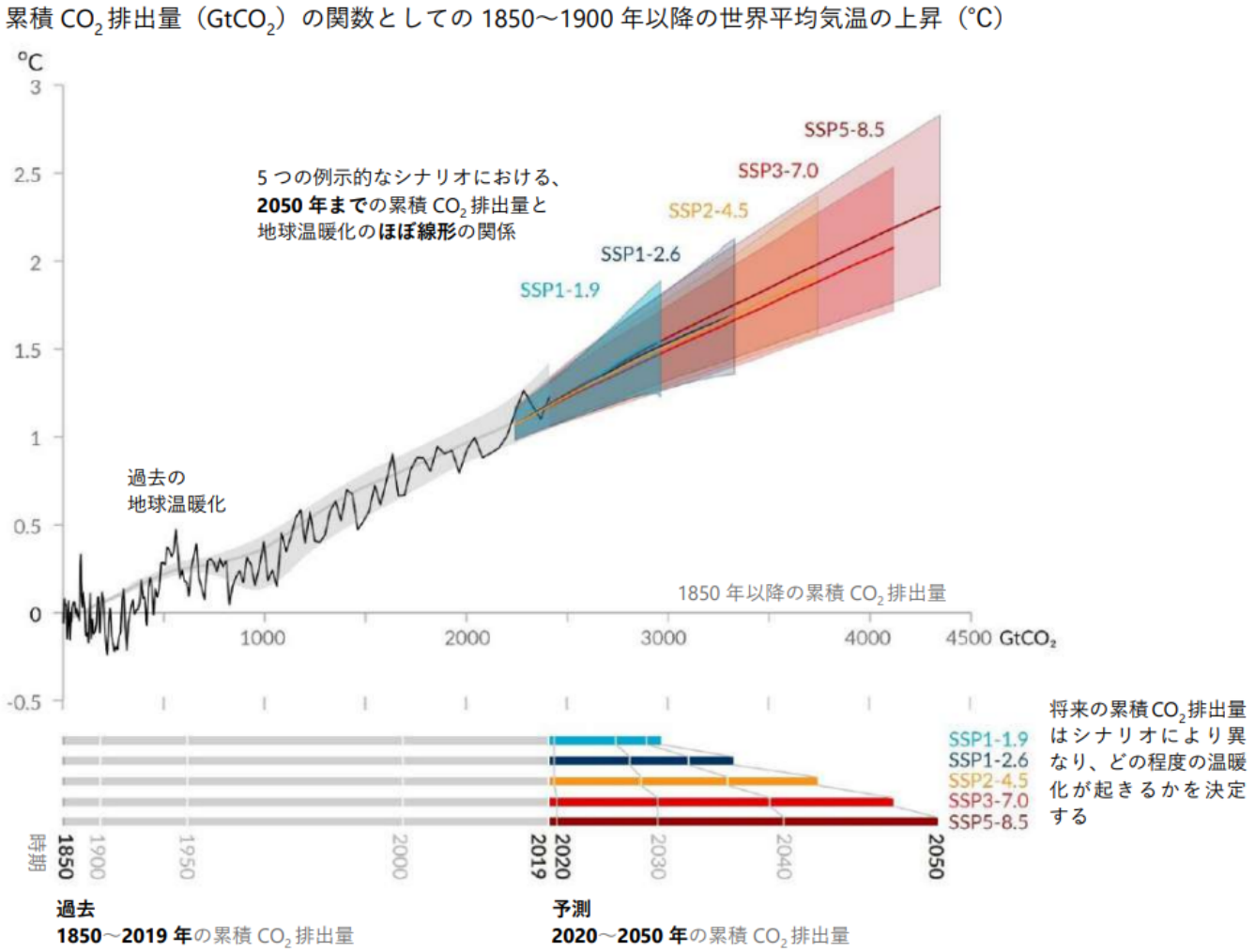
AR6で極端海面水位が初めて議論．
100年に一度のイベントが毎年のイベントになる可能性が示された

【出典】
統合的気候モデル高度化研究プログラム
公開シンポジウムの発表資料からの抜粋
http://www.jamstec.go.jp/tougou/event/sympo/2021/index.html

京都大学防災研究所　副所長　森信人 教授の発表資料

気候変動の最新の予測

【カーボンバジェット】
- 5つのシナリオにおける二酸化炭素の累積排出量と気温の上昇は，ほぼ線形.
- 累積排出量を抑制するだけでは不十分.
- 排出量をゼロにすることが必要（カーボンニュートラル）.

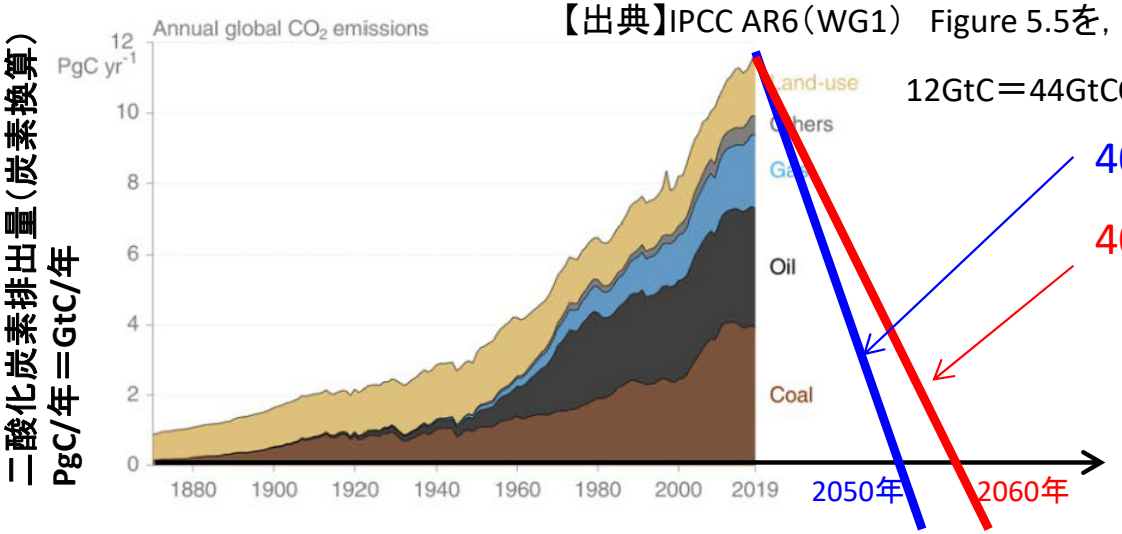


【出典】図 SPM.10　IPCC AR6（WG1）（SPM）暫定訳からの抜粋　https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/

気候変動の最新の予測

【二酸化炭素排出量の目標】
- 米国・EU・日本 ： 2050年に実質ゼロ， 中国 ： 2060年に実質ゼロ

【出典】IPCC AR6（WG1） Figure 5.5を，Table 5.8を参考に加工．



12GtC＝44GtCO_2 → 11GtC≒40GtCO_2

40×30÷2＝600 GtCO_2

40×40÷2＝800 GtCO_2
→ 1.9℃上昇に抑制できる可能性は83%

1850～1900 年から 2010～2019 年にかけての地球温暖化（℃）	1850～2019 年にかけての過去の累積 CO_2 排出量（GtCO_2）
1.07（*可能性が高い範囲：0.8～1.3*）	2390（*可能性が高い範囲：± 240*）

1850～1900 年を基準とする気温上限までのおおよその地球温暖化（℃）*(1)	2010～2019 年を基準とする気温上限までの追加的な地球温暖化（℃）	2020 年初頭からの残余カーボンバジェット推定値（GtCO_2）*気温上限までで地球温暖化を抑制できる可能性*(2)					非 CO_2［温室効果ガス］排出削減量のばらつき*(3)
		17%	33%	50%	67%	83%	
1.5	0.43	900	650	500	400	300	非 CO2［温室効果ガス］排出削減量の増減により、左記の値は 220 GtCO_2 以上増減しうる
1.7	0.63	1450	1050	850	700	550	
2.0	0.93	2300	1700	1350	1150	900	

- 全世界での二酸化炭素排出量を実質ゼロとなるタイミングは，現時点では不透明．
- 実質ゼロを達成できても，それまでの排出による温暖化は生じる．
- 防災を考える場合，何%の可能性を目標とするのか？

【緩和策】と【適応策】の両輪での対策が必要

【出典】表 SPM.2 IPCC AR6（WG1）（SPM）暫定訳からの抜粋 https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/

発表内容

- 気候変動の最新の予測
  - IPCC AR6（WG1）政策決定者向け要約（SPM）
- 気候変動の影響（高潮・高波）
  - 背景・目的
  - 将来気候のシナリオ設定
  - 将来気候における高潮・高波の試算結果
- 港湾施設における適応策
  - 背景・目的
  - 順応的な適応策
  - 潮位・波高増大に応じた適応策の単価の試算
- まとめ

気候変動の影響（高潮・高波）

背　景

気候変動について指摘されていることは・・・

- 平均海面水位が上昇
- 日本に来襲する台風の個数は減少
- 海面水温が上昇し，強い勢力を保ったままの台風が日本に来襲

↓

将来の・・・

- 港湾施設の設計外力のレベル（50年確率波）の変化が不明
- 高潮・高波による浸水等のリスクの変化が不明

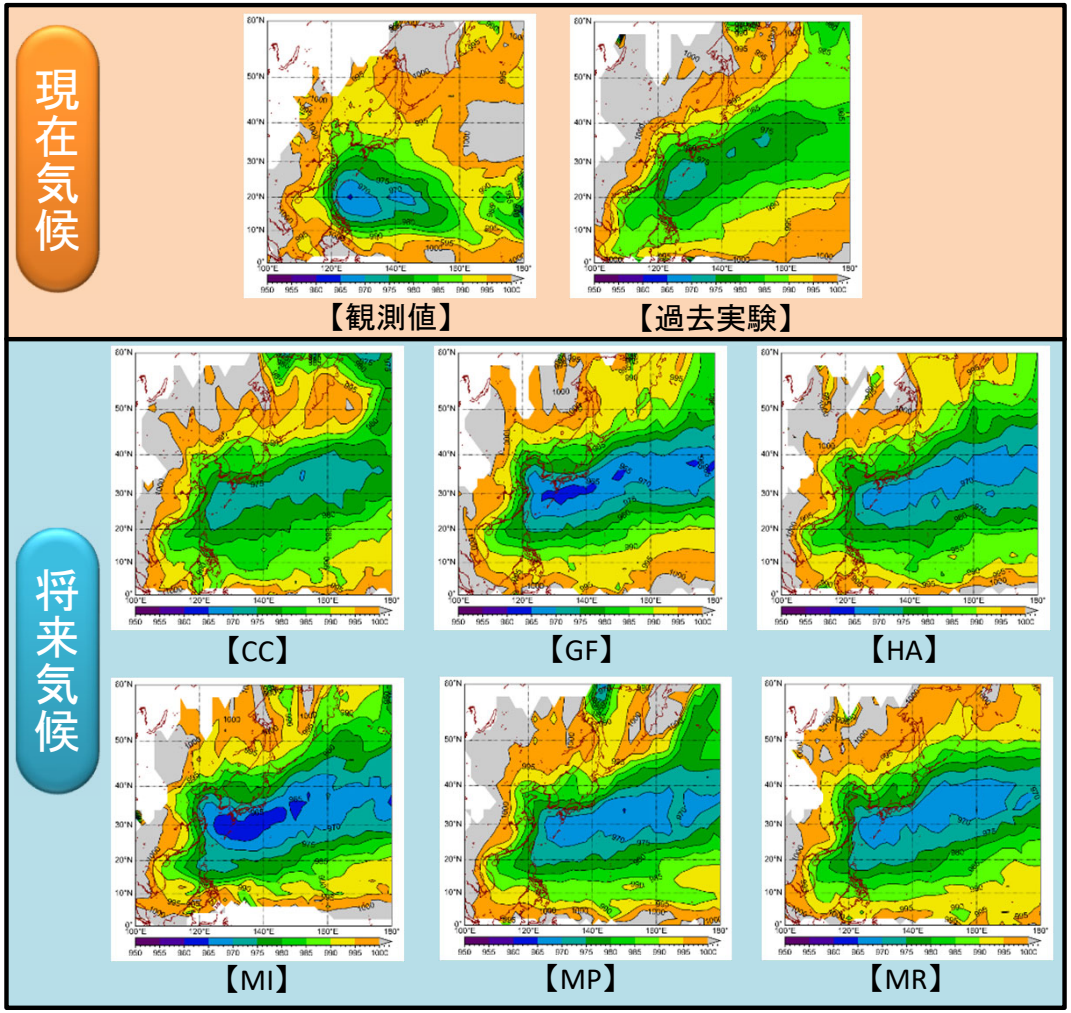
目　的

- 大規模アンサンブル気候予測データセット（d4PDF）を用いて，将来気候（4度上昇シナリオ）での確率台風モデルを構築.
- 確率台風モデルを用いた高潮推算・波浪推算により，将来気候における確率潮位偏差・確率波高を評価.

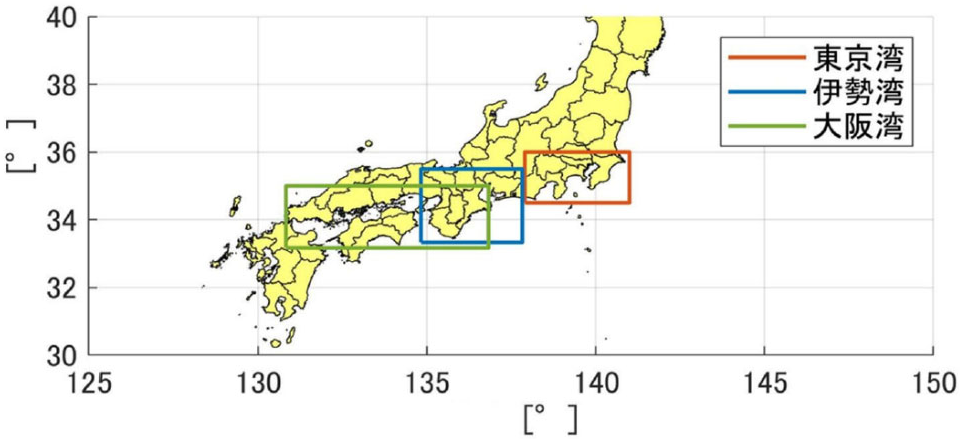
気候変動の影響（高潮・高波）

【確率台風モデル】

- 大規模アンサンブル気候予測データセットd4PDFの結果を用いて，モデル毎に構築した1,000年分の確率台風モデル（*） →湾毎に影響する台風を抽出（中心気圧980hPa以下）.
- 現時点では，RCP8.5（4度上昇）の将来気候6モデル，現在気候2モデル（過去実験＆観測値）を対象.



確率台風モデルの中心気圧の中央値の平面分布



確率台風モデルの抽出範囲

	現在気候		将来気候					
	観測値	d4PDF（過去実験）	d4PDF（MI）	d4PDF（HA）	d4PDF（CC）	d4PDF（GF）	d4PDF（MP）	d4PDF（MR）
東京湾	231	622	390	519	431	547	307	356
伊勢湾	373	696	420	599	545	596	525	434
大阪湾	711	1311	689	1052	1046	1094	1148	857
三大湾合計	1315	2629	1499	2170	2022	2237	1980	1647
年平均	1.3	2.6	1.5	2.2	2.0	2.2	2.0	1.6

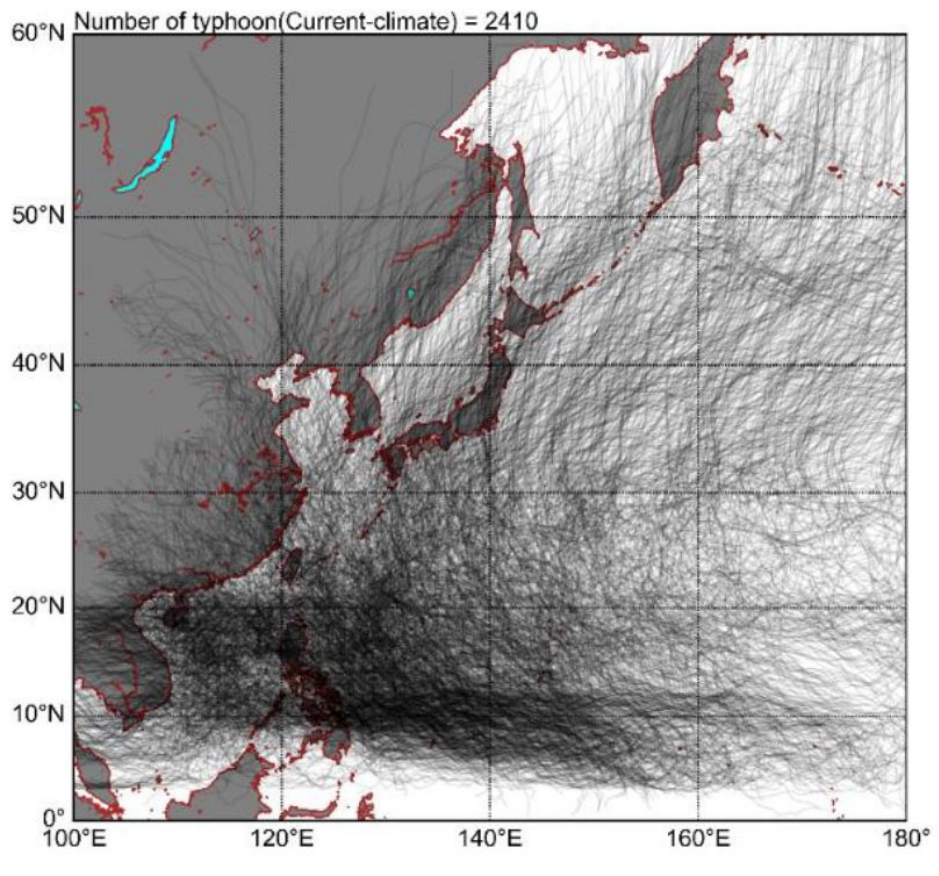
確率台風モデルの抽出数

【CC】大気科学研究所　【GF】地球物流流体研究所
【HA】気象ハードレーセンター　【MI】海洋研究開発機構
【MP】マックスプランク研究所　【MR】気象庁気象研究所

気候変動の影響（高潮・高波）

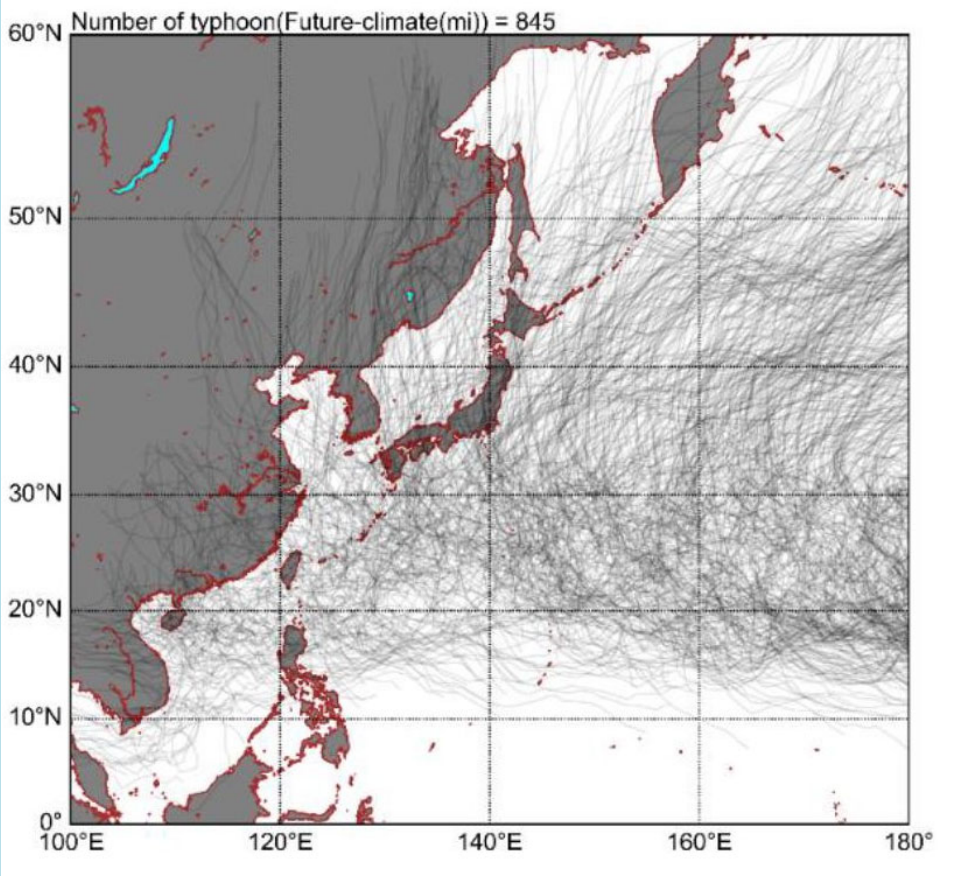
【確率台風モデルの例】

現在気候



【過去実験】

将来気候



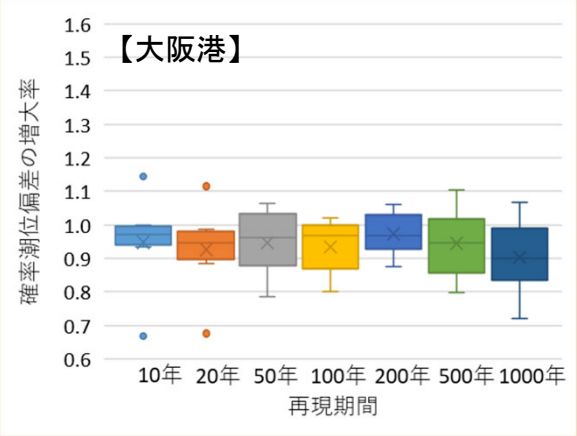
【MI】

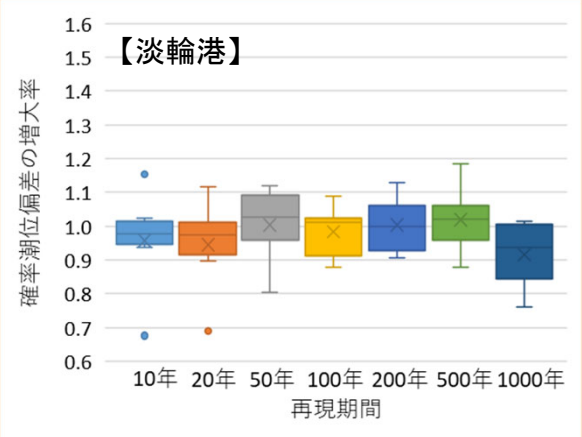
気候変動の影響（高潮・高波）

【高潮推算結果】**（取扱注意：暫定結果であるため，今後更新予定）**

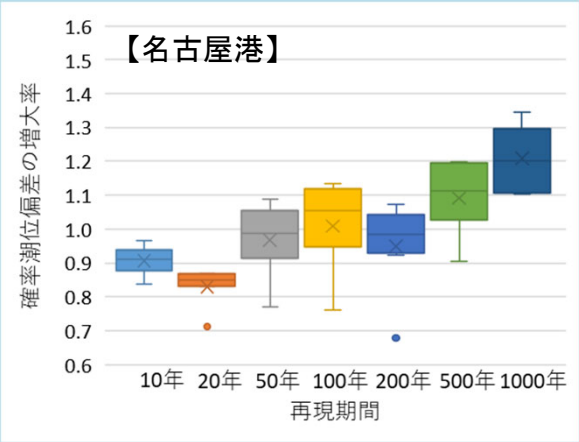
- 将来気候の確率潮位偏差は，現在気候（過去実験）と比較して大きいとは限らない．
- 将来気候6モデルの解析結果は，モデルの違いにより予測結果に幅がある．

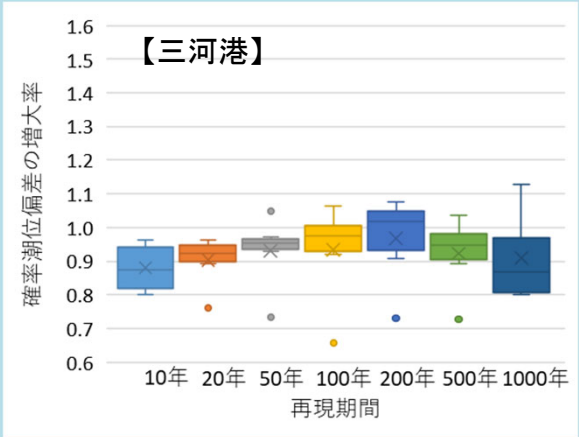
大阪湾



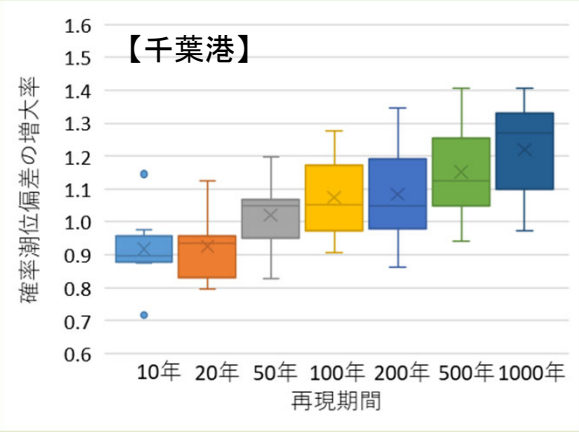


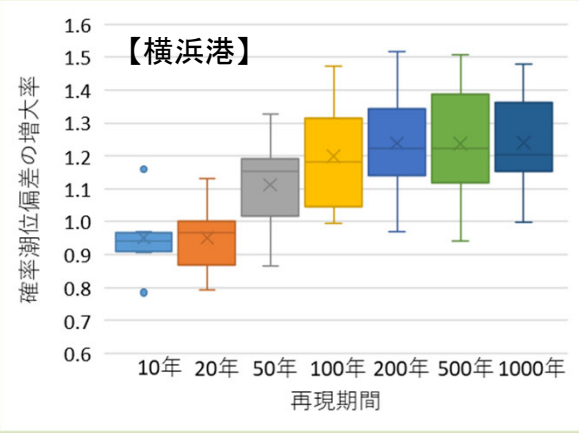
伊勢湾





東京湾





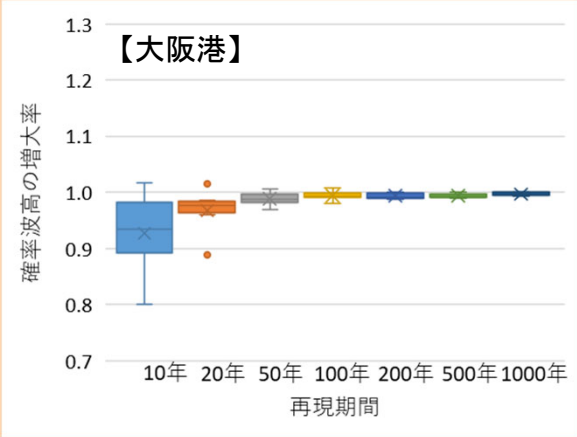
確率潮位偏差の増大率（基準：現在気候（過去実験））

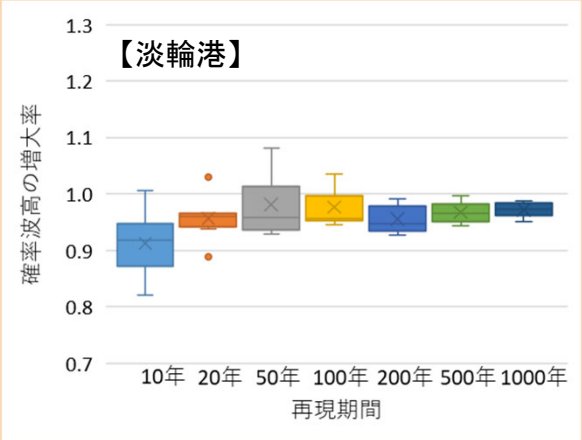
気候変動の影響（高潮・高波）

【波浪推算結果】**（取扱注意：暫定結果であるため，今後更新予定）**

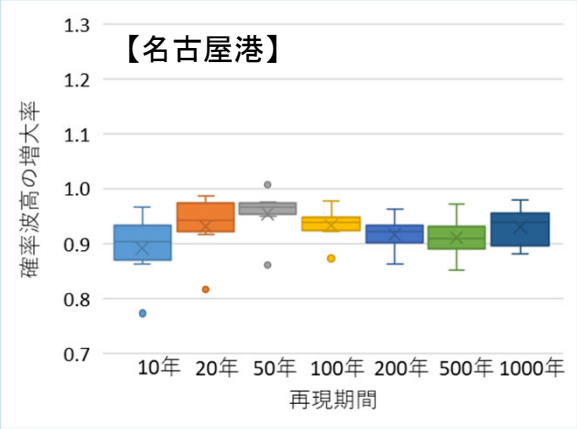
- 再現期間が長くなっても，波高が増加しないケースがある（波浪の発達の頭打ち）．
- 将来気候の確率波高は，現在気候（過去実験）と比較して減少する場合が多い．

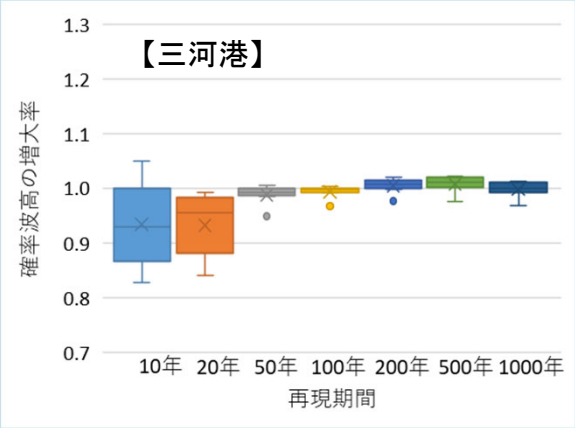
大阪湾



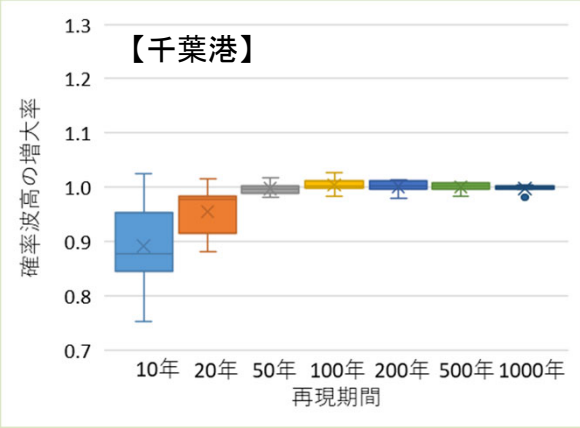


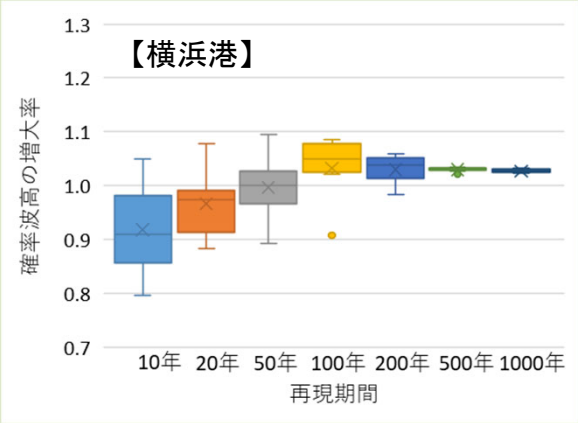
伊勢湾





東京湾





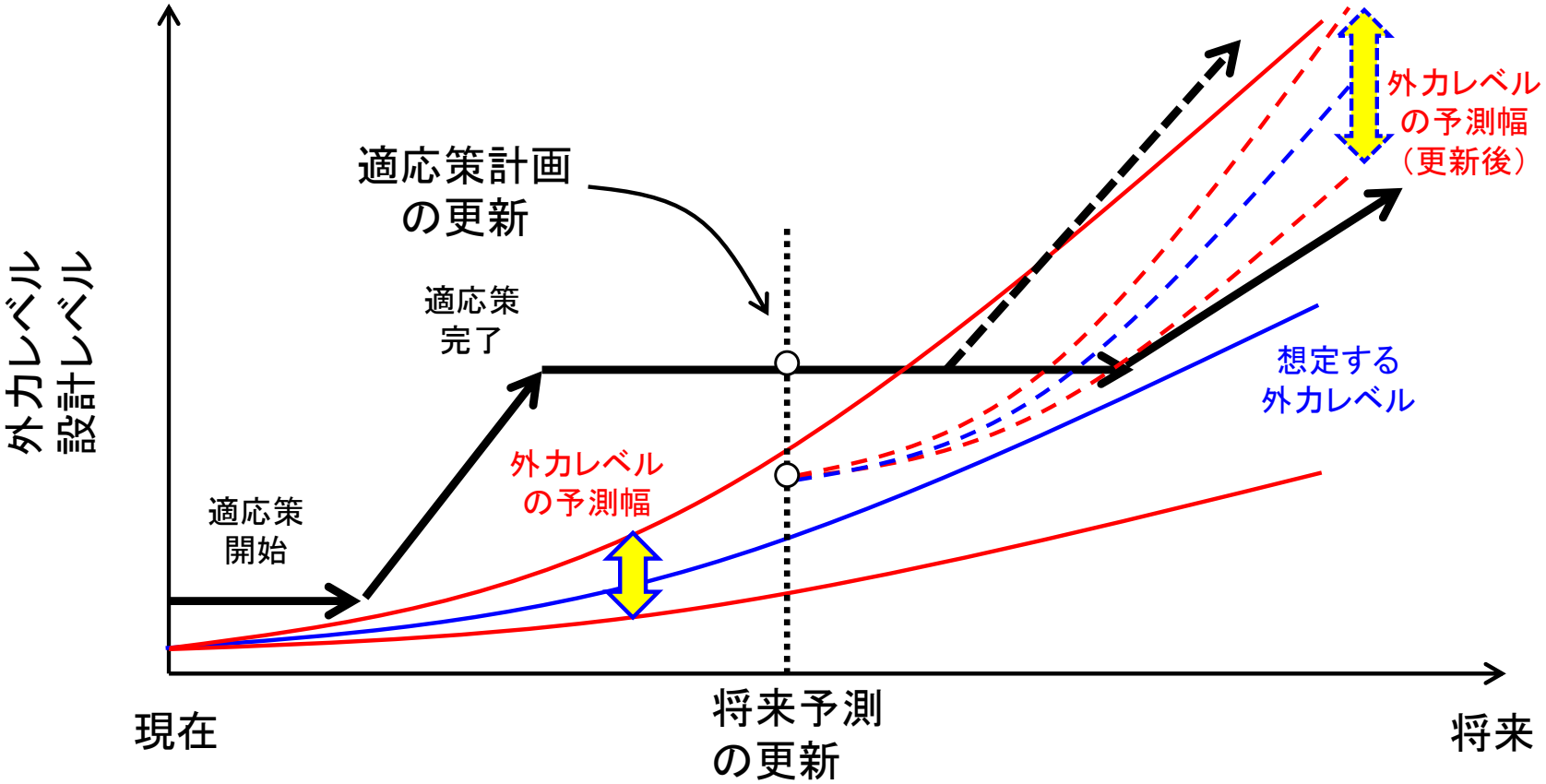
確率波高の増大率（基準：現在気候（過去実験））

発表内容

- 気候変動の最新の予測
  - IPCC AR6（WG1）政策決定者向け要約（SPM）
- 気候変動の影響（高潮・高波）
  - 背景・目的
  - 将来気候のシナリオ設定
  - 将来気候における高潮・高波の試算結果
- 港湾施設における適応策
  - 背景・目的
  - 順応的な適応策
  - 潮位・波高増大に応じた適応策の単価の試算
- まとめ

港湾施設における適応策

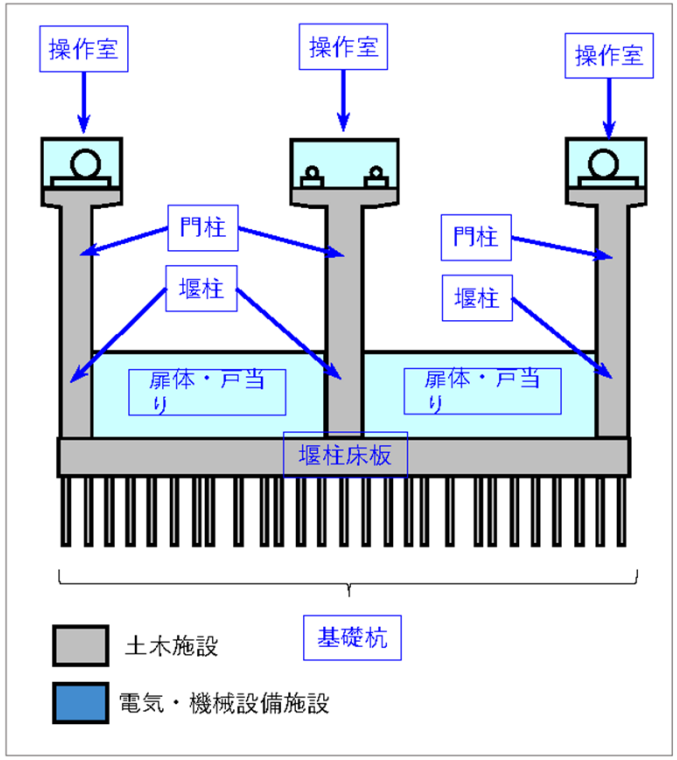
【順応的な適応策の概要】
- 気候変動の影響が生じてからの対策では，潜在的な災害リスクが増大
- 施設の供用期間，LCC，予測結果の不確実性等を踏まえた段階的な事前対策が必要
- 順応的対策（段階的な事前対策）を考慮した新規断面・改修方法の検討
- 将来気候の予測は，モデルの差異，予測誤差，温暖化シナリオの差異があり，予測結果は不確実　→　将来予測の更新により，適応策計画・LCMの更新

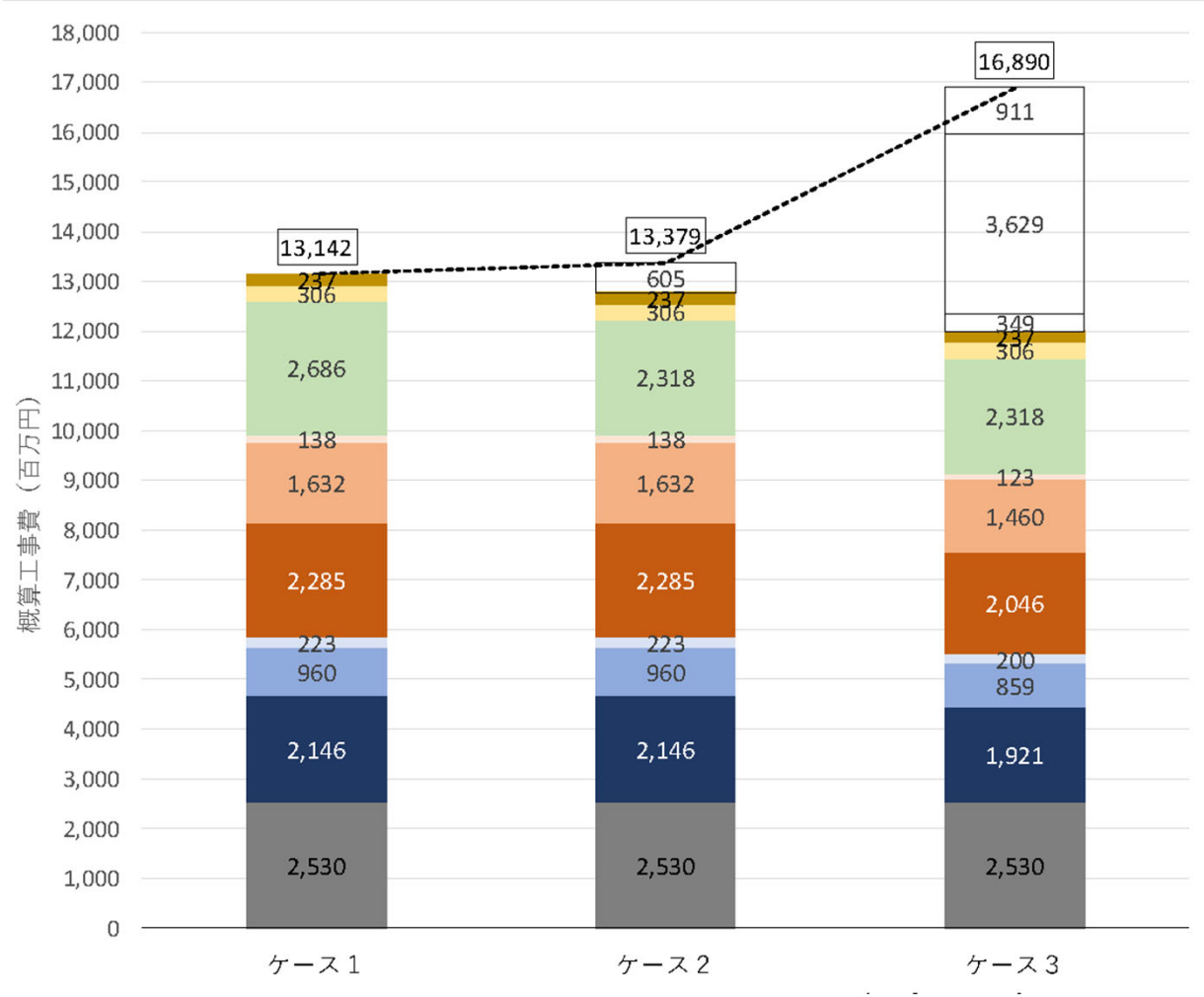


港湾施設における適応策

【他施設（水門）での検討事例】

- 将来気候が予測どおり推移した場合，当初から将来予測結果に対応した施設を整備するケースと比較して，基礎等の土木施設のみ当初から対応するケースの工事費は大きく変わらないが，基礎等の土木施設を途中から対応させるケースは工事費が増大する．





ケース1　：　当初から将来予測結果に対応

ケース2　：　土木施設のみ当初から将来予測結果に対応

ケース3　：　当初は将来予測結果への対応なし

【出典】大阪府河川構造物等審議会資料

港湾施設における適応策

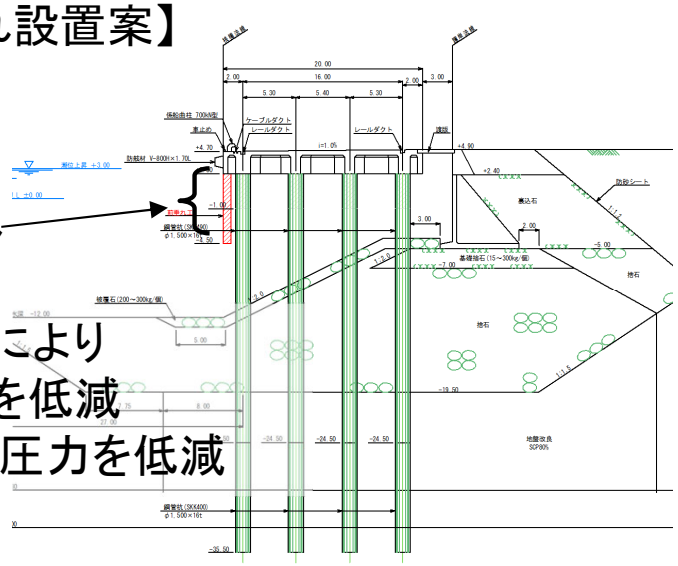
【現在の検討状況】
- 施設種別毎・構造形式毎に対策（順応的な適応策）を検討.
- 気候変動に伴う影響要因毎に複数の対策メニューを設定.

			構造形式	施設への影響要因	対策案
波浪増大及び潮位上昇	施設の耐力（安定性）	防波堤	重力式	・堤体に作用する波力の増大により安定性が低下する。 ・堤体に作用する浮力の増大により安定性が低下する。 ・波高増大による消波ブロック、被覆ブロックの重量が不足する。	【堤体重量増大】 ・堤体の腹付け ・コンクリートによる嵩上げ ・ブロックの重量化 【波圧低減】 ・消波ブロックの増設等 【ケーソン補強】 ・中詰材固化（中詰土圧低減） 【地盤支持、すべり、洗掘防止等】 ・堤体幅拡幅に伴うマウンド延長 ・堤体幅拡幅に伴う地盤改良 ・腹付石
		岸壁	重力式	・堤体に作用する浮力の増大により安定性が低下する。 ・残留水圧の増大により安定性が低下する。 ・地震時動水圧の増大により安定性が低下する。 ・水位上昇により堤体に作用する土圧が低下する。	【土圧軽減】 ・背後地盤材料の置換え ・軽量砕石 ・軽量混合処理土 ・セメント固化 【控え工増設】 ・タイロッド、タイワイヤー+控え杭 ・グラウンドアンカー
			矢板式	・残留水圧の増大により安定性が低下する。 ・地震時動水圧の増大により安定性が低下する。 ・水位上昇により矢板に作用する土圧が低下する。	【土圧軽減】 ・重力式と同様 【控え工増設】 ・重力式と同様 【上載荷重低減による土圧低減】 ・棚式構造に改造 ・背後地への杭基礎の構築
			桟橋式	・上部工に作用する揚圧力の増大により安定性が低下する。	【上部工補強】 ・上部工の補強、打ち替え 【構造変更；荷重分担変更】 ・増杭　等
		護岸・堤防	重力式	・岸壁と同様 ・波高増大による消波ブロック、被覆ブロックの重量が不足する。	・岸壁と同様 ・ブロックの重量化
			矢板式	同上	同上

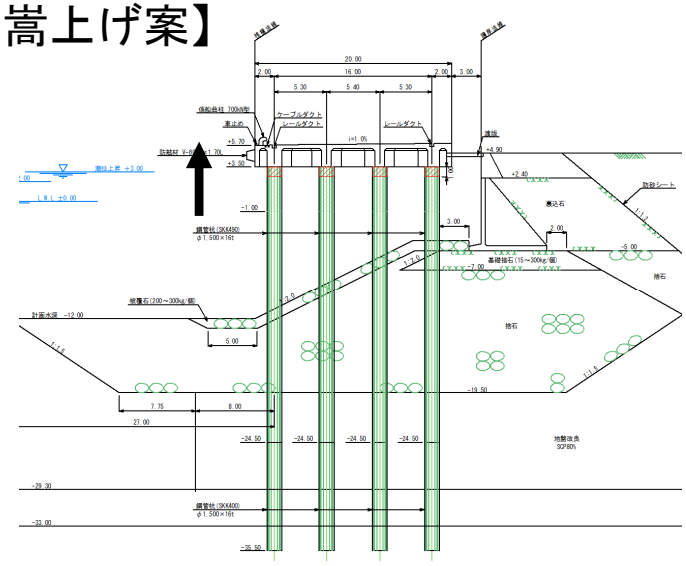
港湾施設における適応策

	天端高（越波・浸水）	防波堤	・天端高の不足により防波堤背後への越波量が増加する。 ・消波構造の反射率が増大する。	【越波対策】 ・上部工コンクリートの嵩上げ ・消波ブロックの嵩上げ　等
		岸壁・荷捌地	・天端高不足によりエプロンや荷捌き施設への越波量が増加する。 ・雨水・排水の水面勾配の低下により流下能力が低下する。	【越波・浸水・漂流物防止】 ・エプロン背後への防潮堤の設置 ・〃フェンスの設置 ・岸壁天端高の嵩上 ・排水工の強化、フラップゲートの設置 【ソフト対策】 ・仮設防潮堤（土嚢の備蓄） ・排水設備（排水車等）の用意 ・車両の退避場所への移動 ・コンテナの固縛の強化、コンテナの段数下げ ・重量の重いコンテナの軽いコンテナ上への移動
		護岸・堤防	・天端高不足により荷捌き施設や工場等の背後施設への越波量が増加する。	【越波防止】 ・上部工パラペットの嵩上 ・消波ブロックの嵩上、幅員増大　等
		付帯施設	・天端高不足により付帯施設（建屋、電源設備、照明設備、鉄塔、フェンス等）への越波量が増加する。	【越波・浸水防止】 ・建屋の補強、電源設備の嵩上　等 ・フェンスの補強

【前垂れ設置案】



【上部工嵩上げ案】

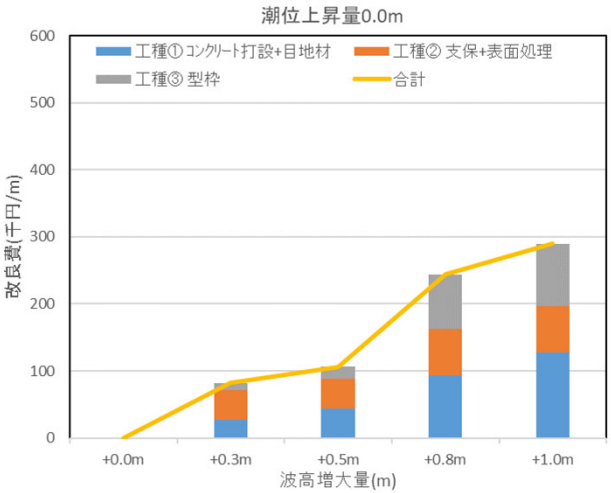


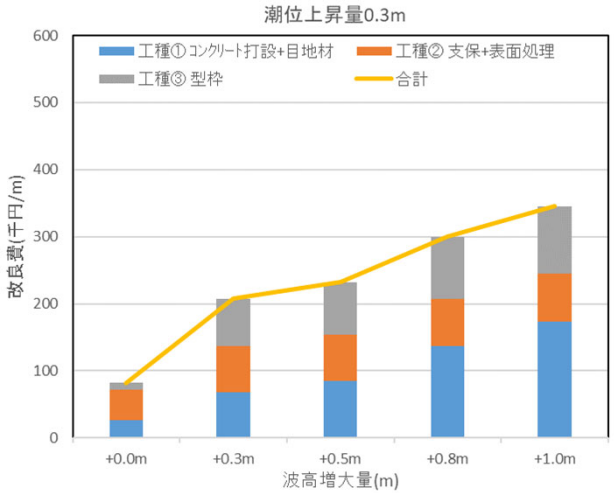
直杭式横桟橋係船岸の一例

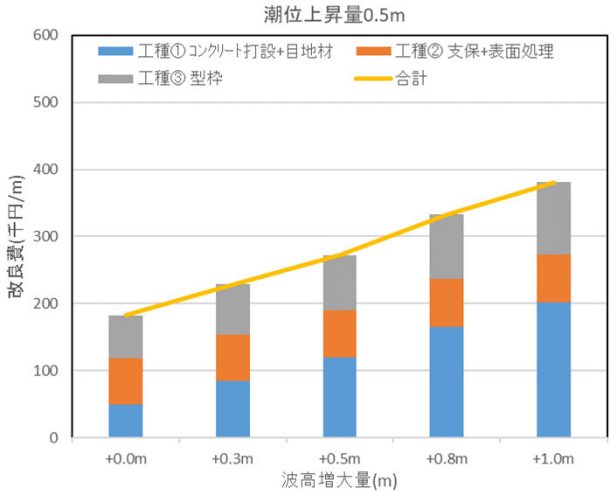
港湾施設における適応策

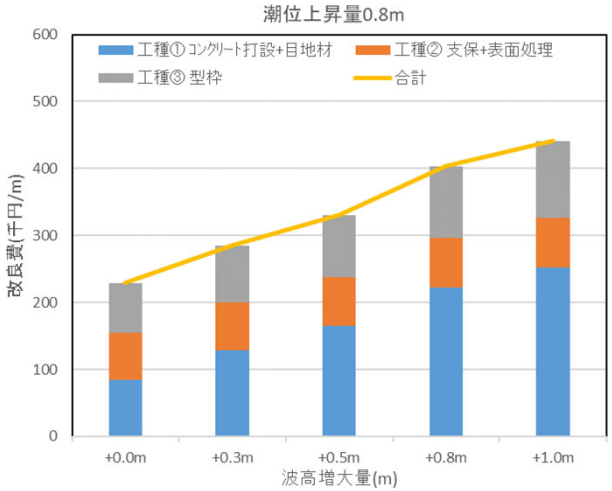
【適応策の単価の試算】**（取扱注意：暫定結果であるため，今後更新予定）**

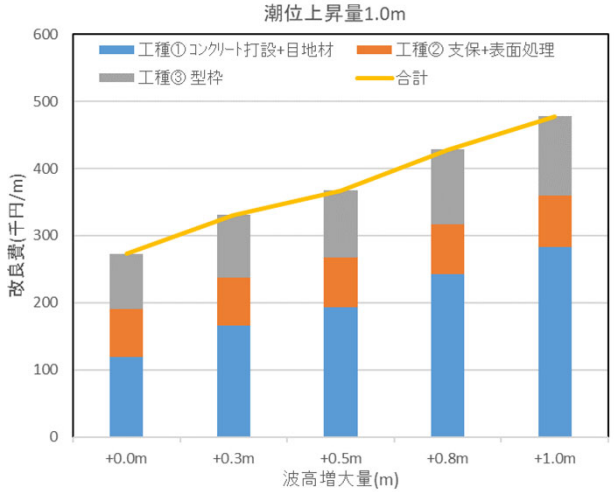
- 設計事例集などを参考に，代表施設の基本断面を設定．
- まずは，事前対策・事後対策を組み合わせた順応的な適応策ではなく，簡易な適応策．
- 基本断面に対して，潮位（天文潮位＋海面水位上昇量＋高潮偏差）・波高の増大量に応じた単価を試算．　→　今後は，他の施設に適用可能な算定式を検討予定．



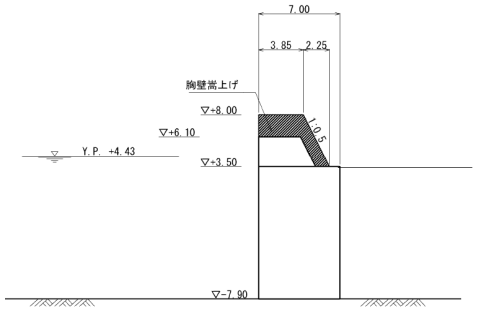








【護岸の一例】嵩上げ＋腹付け



まとめ

- 評価気候変動の最新の予測
  - IPCC AR6（WG1）政策決定者向け要約（SPM）の紹介
  - 緩和策だけではなく，適応策も実施する必要性
- 気候変動の影響（高潮・高波）
  - d4PDFと確率台風モデルを用いた高潮・波浪推算
  - 将来気候における高潮・高波の試算
  - 課題　：　＊将来予測の不確実性の評価（モデルによる差異）
    ＊将来予測の下振れ・上振れリスク
- 港湾施設における適応策
  - 順応的な適応策の概要紹介
  - 施設毎の単純な適応策について，潮位・波高増大に応じた単価の試算
  - 課題　：　＊単価の概算額の算定式の検討
    ＊潮位・波高増大に応じた順応的な適応策の検討
    ＊施設毎・構造形式毎を対象に，より具体的な検討