



第1回

気候変動を考慮した愛媛県沿岸の 海岸保全施設の計画外力検討専門部会

- 日時： 令和5年6月1日 14時20分～
- 場所： 愛媛県 中予地方局 第1会議室



海岸保全基本方針・海岸保全基本計画

平成11年の海岸法改正により、主務大臣である農林水産大臣及び国土交通大臣は、「海岸保全区域等に係る海岸の保全に関する基本的な方針（以下「海岸保全基本方針」という。）」を定めることが義務づけられました（海岸法第2条の2）。

都道府県知事は、海岸保全基本方針に基づき、「海岸保全区域等に係る海岸の保全に関する基本計画（以下「海岸保全基本計画」という。）」を定めることが義務づけられています（海岸法第2条の3）。

主務大臣による海岸保全基本方針は、平成12年5月16日に初めて作成され、平成26年の海岸法改正を踏まえ、平成27年2月に一度変更しています。

今般、「**気候変動を踏まえた海岸保全のあり方**」提言（令和2年7月）を踏まえ、海岸保全を、過去のデータに基づきつつ気候変動による影響を明示的に考慮した対策へ転換するために、令和2年11月20日に海岸保全基本方針を変更、令和3年7月30日に「海岸保全施設の技術上の基準を定める省令」を一部改正・施行しました。また令和3年8月2日に「**気候変動の影響を踏まえた海岸保全施設の計画外力の設定方法等について**」を都道府県等に通知しました。

新たな海岸保全基本方針に基づき、各沿岸において海岸保全基本計画の変更が順次行われる予定です。

（国土交通省ホームページ）

平成11年 海岸法改正



平成26年 海岸法改正



令和2年7月
「気候変動を踏まえた
海岸保全のあり方」提言

令和3年8月
「気候変動の影響を踏まえた
海岸保全施設の計画外力の
設定方法等について」
通知



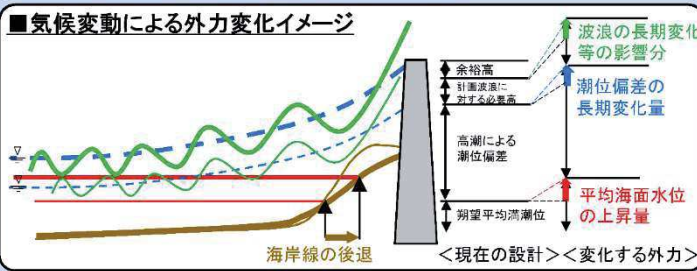
気候変動を踏まえた海岸保全のあり方

気候変動を踏まえた海岸保全のあり方 提言【概要】

- 海岸保全を、過去のデータに基づきつつ気候変動による影響を明示的に考慮した対策へ転換。
 - パリ協定の目標と整合するRCP2.6(2℃上昇に相当)を前提に、影響予測を海岸保全の方針や計画に反映し、整備等を推進。
 - 平均海面水位が2100年に1m程度上昇する悲観的予測(RCP8.5(4℃上昇に相当))も考慮し、これに適応できる海岸保全技術の開発を推進、社会全体で取り組む体制を構築。

I 海岸保全に影響する気候変動の現状と予測

- ・ IPCCのレポートでは「気候システムの温暖化には疑う余地はない」とされ、SROCCIによれば、2100年までの平均海面水位の予測上昇範囲は、RCP2.6(2℃上昇に相当)で0.29-0.59m、RCP8.5(4℃上昇に相当)で0.61-1.10m。



<気候変動影響の将来予測>

	将来予測
平均海面水位	・ 上昇する
高潮時の潮位偏差	・ 極値は上がる
波浪	・ 波高の平均は下がるが極値は上がる ・ 波向きが変わる
海岸侵食	・ 砂浜の6割～8割が消失

II 海岸保全に影響する外力の将来変化予測

- ・ 潮位偏差や波浪の長期変化量の定量化に向けて、気候変動の影響を考慮した大規模アンサンブル気候予測データベース(d4PDF)の台風データ及び爆弾低気圧データを対象にした現在気候と将来気候の比較を実施。
- ・ d4PDFが活用できることを確認。

<現在気候と将来気候の比較>

	台風トラックデータ	爆弾低気圧トラックデータ
最低中心気圧	極端事象は将来気候の最低中心気圧が低下傾向	再現期間100年以上を除いて現在気候と将来気候は同程度
高潮時の潮位偏差	極端事象は将来気候の方が相対的に上昇	再現期間100年以上を除いて現在気候と将来気候は同程度

<今後の課題>

- ・ 適切なバイアス補正方法を含めた将来変化の定量化
- ・ 日本各地の海岸の将来変化の定量化
- ・ 波浪の長期変化量の定量化

III 今後の海岸保全対策

- ・ 気候変動の影響を踏まえれば、将来的に現行と同じ安全度を確保するためには、必要となる防護水準が上がるのが想定される。
 - ・ 高潮と洪水氾濫の同時生起など新たな形態の大規模災害の発生も懸念される。
 - ・ 悲観的シナリオでの海面上昇量では、沿岸地域のみならず、社会構造全体に深刻な影響をもたらす可能性がある。
- ⇒ 海岸保全を、過去のデータに基づきつつ気候変動による影響を明示的に考慮した対策へ転換

III-1 高潮対策・津波対策

- ・ 平均海面水位は徐々に上昇し、その影響は継続して作用し、高潮にも津波にも影響。ハード対策とソフト対策を適切に組み合わせ、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、施設の耐用年数の間に将来的に予測される平均海面水位の上昇量を加味する。
- ・ 潮位偏差や波浪は、平均海面水位の予測より不確実性が大きいものの、極値が上がると予測される。最新の研究成果やd4PDF等による分析を活用し、将来的に予測される潮位偏差や波浪を適切に推算し対策を検討する。

<海岸保全における対策>

- ・ 地域の実情や背後地の土地利用や環境にも配慮しつつ、将来の外力変化の予測に応じた堤防等のかさ上げや面的防護方式による整備の推進
- ・ 堤防の粘り強い構造や排水対策等の被害軽減策の促進
- ・ 将来的な外力変化とライフサイクルコストをともに考慮した最適な更新及び戦略的な維持管理
- ・ 海象や地形、海岸環境のモニタリングの強化及び海岸保全施設の健全度評価の強化

<他分野との連携が必要な対策>

- ・ 高潮浸水想定区域の指定促進等、リスク情報や避難判断に資する情報提供の強化
- ・ 高潮と洪水の同時生起も想定し、堤防等のハード整備の充実を目指すとともに、水害リスクを考慮した土地利用やまちづくりと一体となった対策の推進
- ・ 沿岸地域における水害にも配慮したBCPの作成

III-2 侵食対策

- ・ 海浜地形の予測はさらに不確実性が大きいため、**モニタリングを充実**するとともに**予測モデルの信頼度**を高める。
- ・ 沿岸漂砂による長期的な地形変化に対しては、全国的な**気候変動の影響予測を実施**する。
- ・ 高波時に問題となる岸沖漂砂による急激な侵食については、**機動的なモニタリングを充実**する。
- ・ 30～50年先を見据えた「**予測を重視した順応的砂浜管理**」を実施する。防護だけでなく環境・利用上の砂浜の機能も評価する。
- ・ **総合土砂管理計画の作成**及び河川管理者やダム管理者等とも協力した対策の実施など、流域との連携を強化する。

IV 今後5～10年の間に着手・実施すべき事項

- ・ 海象や海岸地形等のモニタリングやその将来予測、さらに影響評価、適応といった、海岸保全における気候変動の予測・影響評価・適応サイクルを確立し、継続的・定期的に対応を見直す仕組み・体制を構築。
- ・ 地域のリスクの将来変化について、防護だけでなく環境や利用の観点も含め、定量的かつわかりやすく地域に情報提供するとともに、地域住民やまちづくり関係者等とも連携して取り組む体制を構築。



気候変動に関する政府間パネルによる気候変動

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

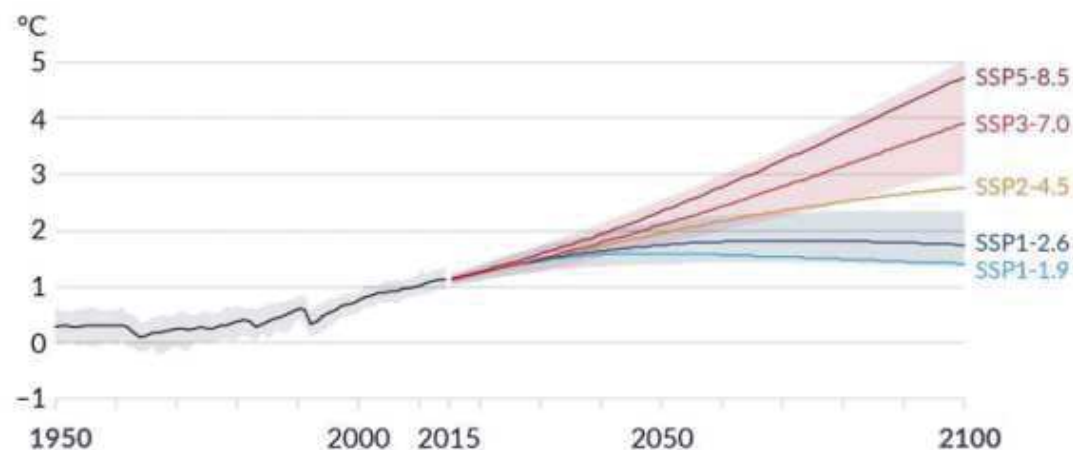
- 2100年までの平均海面水位の予測上昇範囲:

	RCP 2.6 シナリオ (2度上昇)	RCP8.5 シナリオ (4度上昇)
IPCC (第5次)	0.26~0.53m (平均0.39m)	0.51~0.92m (平均0.71m)
SROCC	0.29~0.59m (平均0.44m)	0.61~1.10m (平均0.85m)

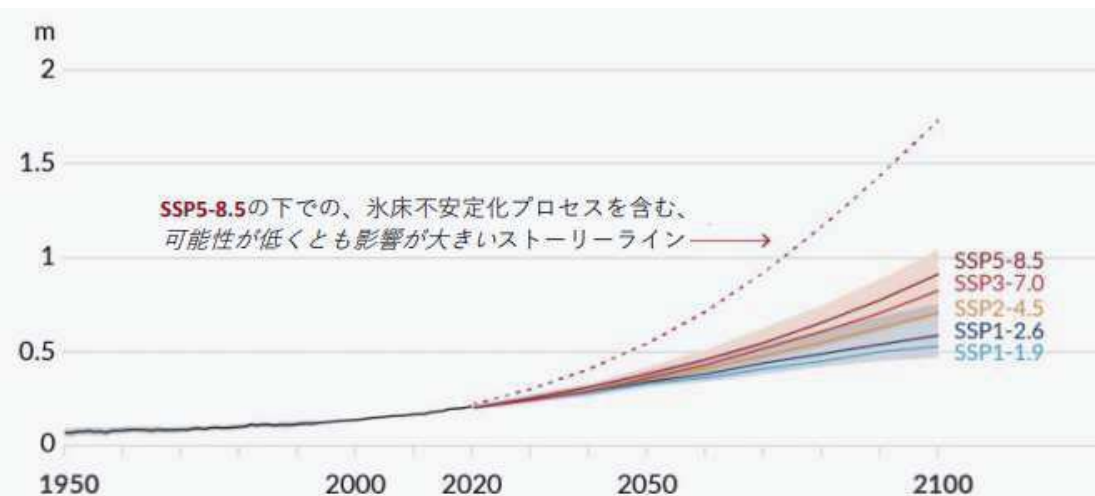
SROCC: 気候変動における海洋と寒冷圏に関する特別報告書

- 気候変動は不確定性がある。
- 地域性も大きい。

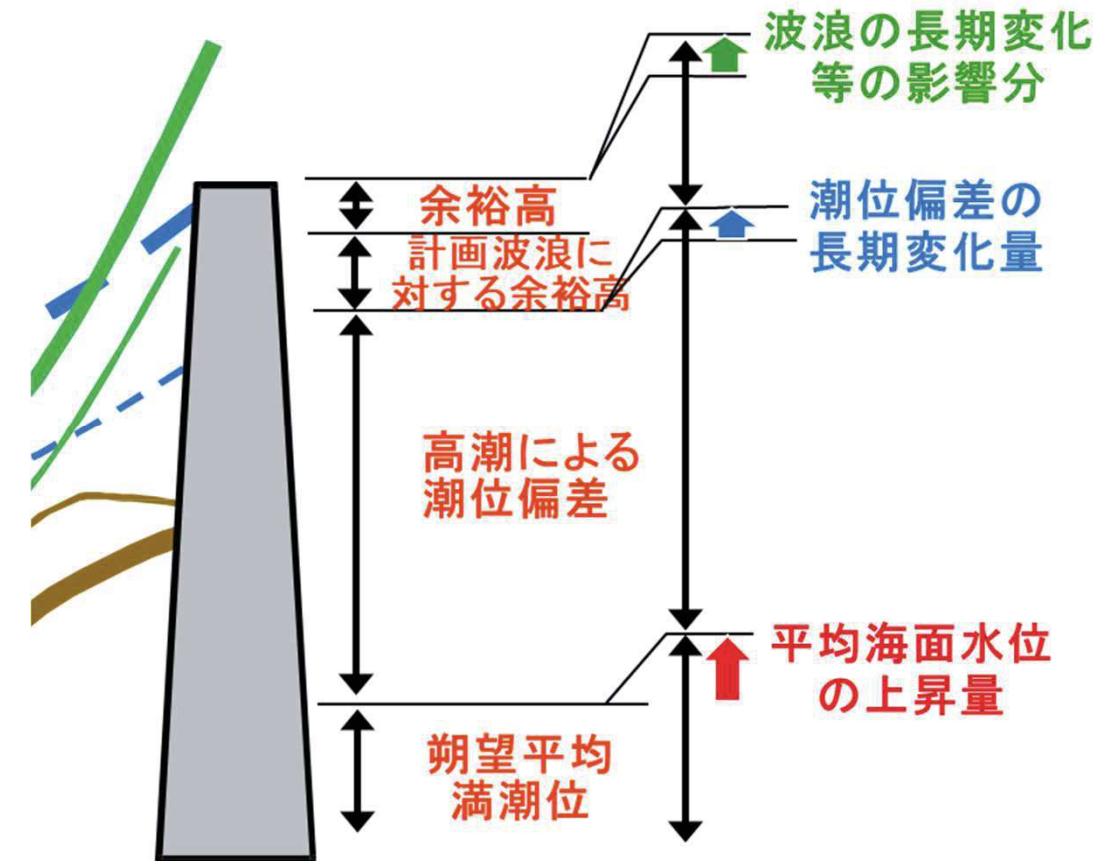
1850~1900年を基準とした世界平均気温の変化



1900年を基準とした世界平均海面水位の変化



海岸保全施設の計画外力の考え方



気象庁の高潮偏差の経験式

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

h : 最大標準偏差、 P : 現地の最低気圧(hPa)、 W は最大風速(m/s)

θ : 最大風速の風向、 θ_0 : 湾軸の方向

平均海面水位

平均海面水位は徐々に上昇し、その影響は継続して作用し、高潮にも津波にも影響。ハード対策とソフト対策を適切に組み合わせ、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、施設の耐用年数の間に将来的に予測される平均海面水位の上昇量を加味する。

潮位偏差や波浪

潮位偏差や波浪は、平均海面水位の予測より不確実性が大きいものの、極値が上がると予測される。最新の研究成果やd4PDF等による分析を活用し、将来的に予測される潮位偏差や波浪を適切に推算し対策を検討する。

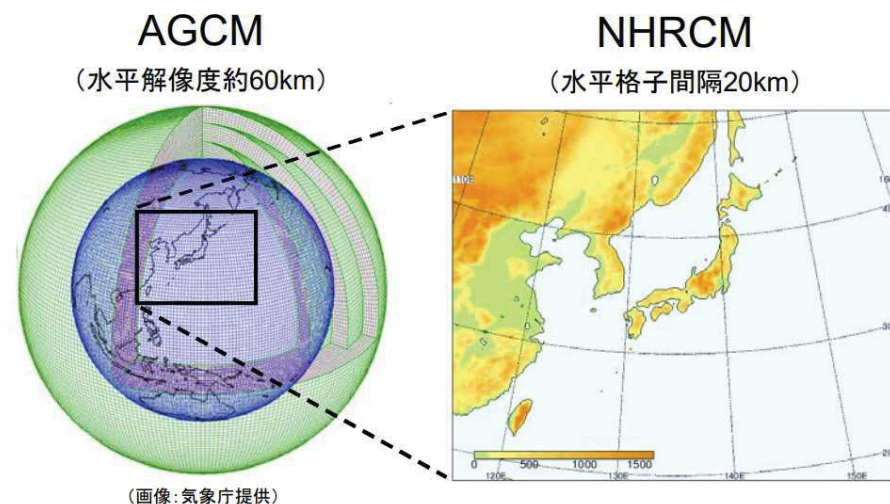


d2PDF/d4PDFの概要と整理

- 気候変動による将来の台風特性の変化傾向を把握するた「地球温暖化対策に資する気候予測データベース(d2PDF/d4PDF)」の台風トラックデータを用いた整理・分析を行った。
- d4PDF/d4PDFには、海面水温等に応じた多数の数値実験結果(気圧・風速等)が含まれており、過去実験(6000ケース)、2℃上昇実験(3240ケース)、4℃上昇実験(5400ケース)が存在する。

- ・全球実験(AGCM):水平解像度約60km
(AGCM: Atmospheric General Circulation Model)
- ・領域実験(NHRCM): // 20km
(Nonhydrostatic Regional Climate Model)

- ・全球実験(AGCM)
 - 過去実験 6000ケース
=60年(1951~2010年)×100摂動
 - 2℃上昇 3240ケース
=60年(2031~2090年)×6モデル×9摂動
 - 4℃上昇 5400ケース
=60年(2051~2110年)×6モデル×15摂動



モデル:CCSM4、GFDL-CM3、HadGEM2-AO、MICROC5、MPI-ESM-MR、MRI-CGCM3(将来実験で使用されている主要6モデル)
摂動:海面水温解析の推定誤差と同等の振幅を持つ海面水温摂動であり、2℃上昇実験では任意に選んだ9個、4℃上昇実験は15個が使用されている。



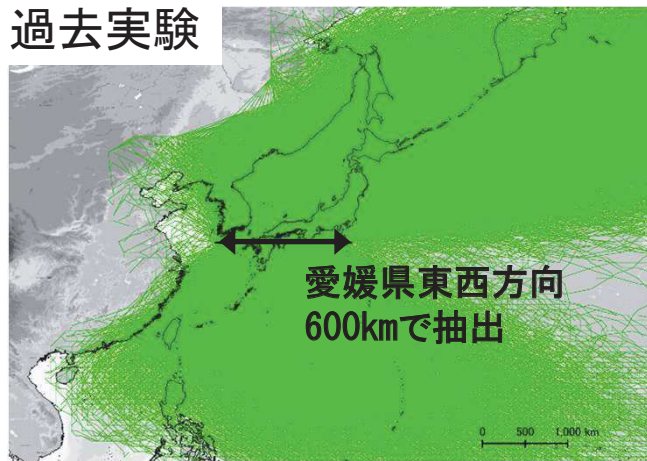
d2PDF/d4pdfの分析(台風発生状況の変化)

■ d2PDF/d4PDFの台風トラックデータより、
設定した対象範囲を通過する台風を抽出する。

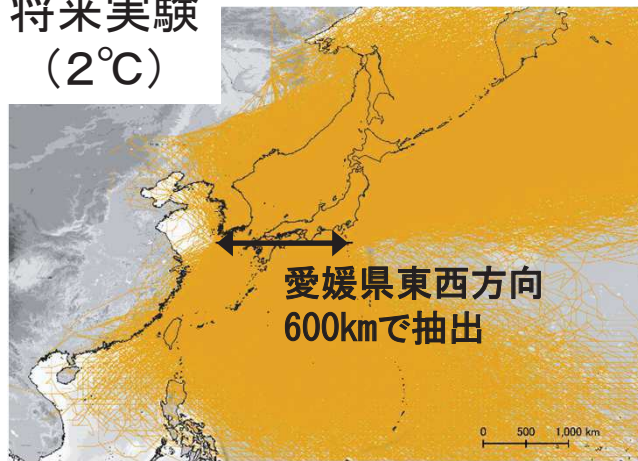
◆ 愛媛県全域を取り囲む四角い枠から東西600kmの
範囲(下図)を通過する台風データを抽出



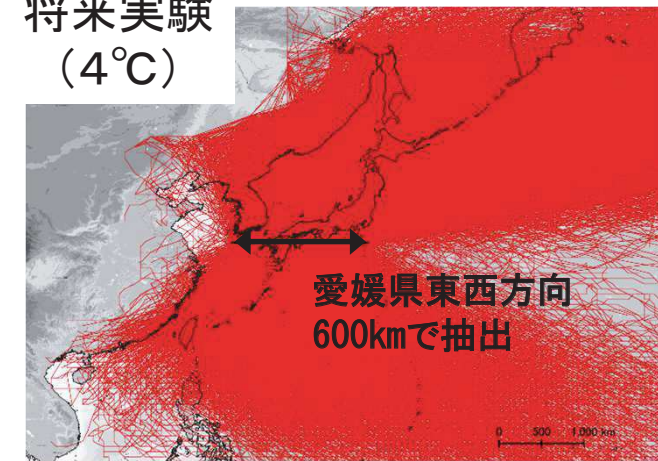
過去実験



将来実験
(2°C)



将来実験
(4°C)



条件	年数	抽出台風数	年間発生個数
過去実験 (1951~2010年)	6000年 =100メンバ(100摂動)×60年	18,137個	3.02個/年
将来実験(2°C) (2031~2090)	3240年 =54メンバ(6モデル×9摂動)×60年	8,822個	2.72個/年
将来実験(4°C) (2051~2110)	5400年 90メンバ(6モデル×15摂動)×60年	10,810個	2.00個/年

※1 将来実験において使用している主要6モデル (CCSM4、GFDL-CM3、HadGEM2-AO、MIROC5、MPI-ESM-MR、MRI-CGCM3)

※2 海面水温解析の推定誤差と同等の振幅をもつ海面水温摂動であり、2°C上昇実験は任意に選んだ9個、4°C上昇実験は15個が使用されている

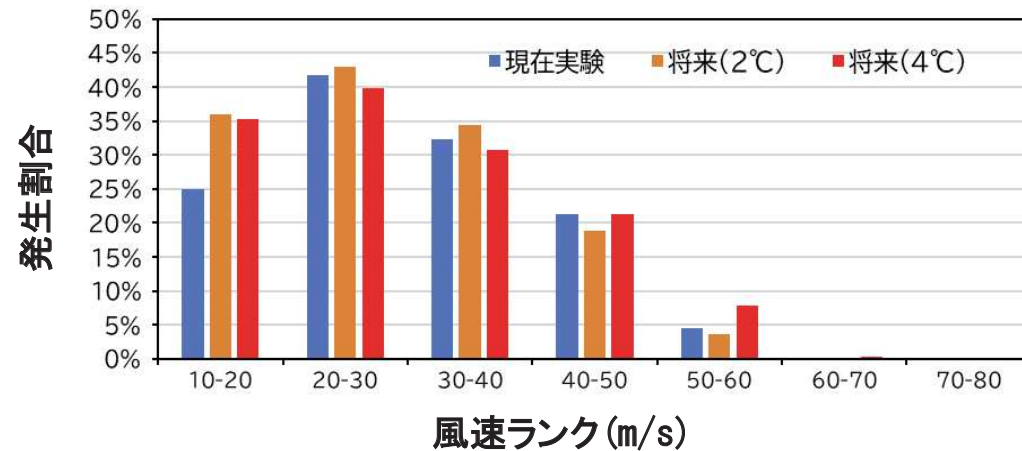
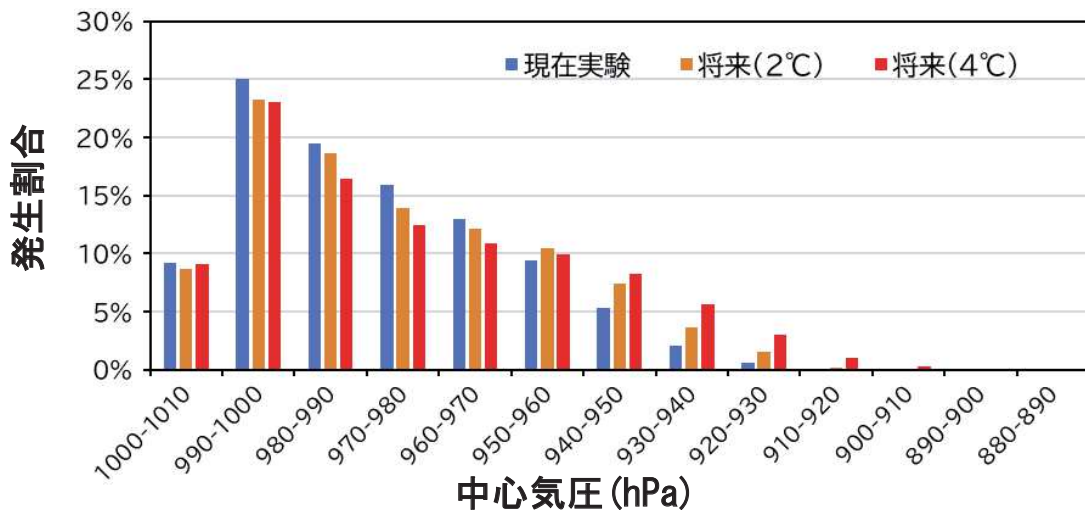
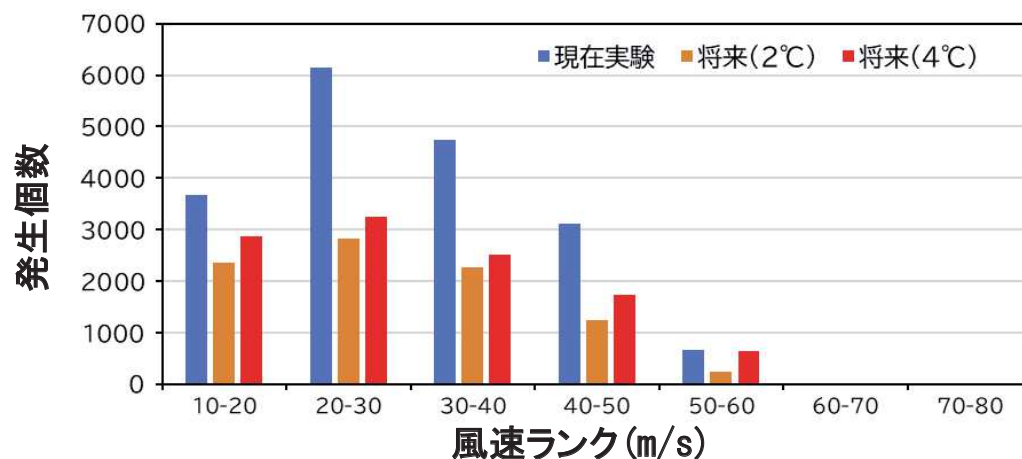
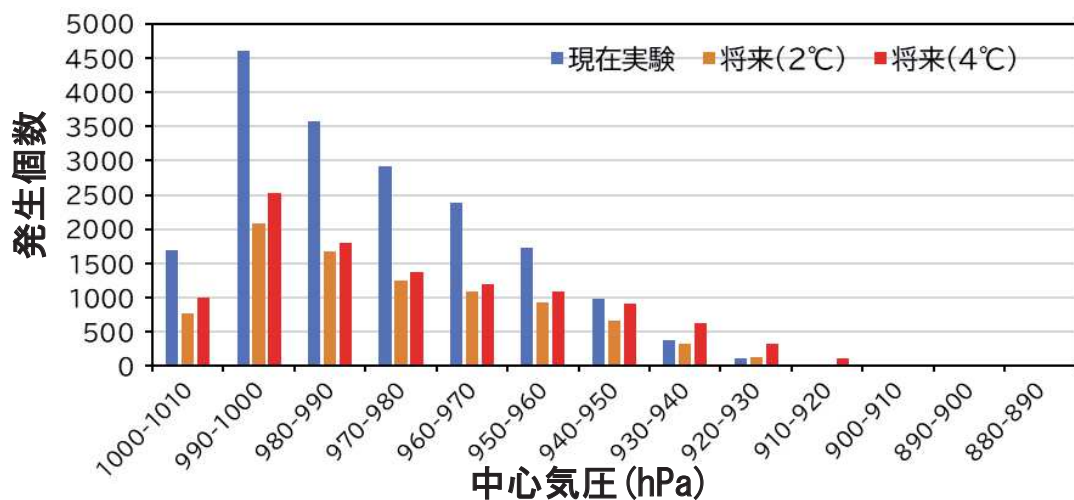
※3 気象庁ベストトラックデータ(実績台風資料)を基に対象範囲を通過した実績台風より整理した結果(312個/71年間)

実績台風の年間発生個数は過去実験の1.28倍であり、以降の気候変動後の外力検討において年間発生個数のバイアスを考慮した



気候変動による台風特性の変化

- 抽出した台風データを用いて、愛媛県の緯度を通過するときの中心気圧および風速をランク分けした。台風の発生個数と割合を求め、棒グラフを作成した。
- 気圧および風速では、気圧が低い台風および風速が大きい発生個数・割合が過去実験に比べ将来実験で増加しており、(年平均の台風個数は少なくなるものの)勢力の強い台風は増加する傾向になることを示唆する結果となっている。





海岸保全施設の計画外力の算出方法

- 潮位偏差・波浪は、「気候変動を踏まえた海岸保全のあり方 提言」に基づき、現行計画の水準（安全度）を下回らないことを基本とし、気候変動を考慮したd2PDF、d4PDFを活用して、高潮・波浪シミュレーションを行い、将来的に予測される変動量（差分値、変化率）を推算する。
- d2PDFやd4PDFはデータ量が膨大であり、全ての台風を対象としたシミュレーションは現実的ではないことから、d2PDFとd4PDFの一部のケースでシミュレーションを実施し、構築した潮位・波浪の推定式（下表の「B-1 全球気候モデル台風を活用する方法」）を用いた検討が近年多い。

【参考】土佐湾（高知県）ではB-1を基本手法としA-1を補足手法として検討。
徳島県では潮位偏差にはA-1を、波浪にはB-1を採用している。

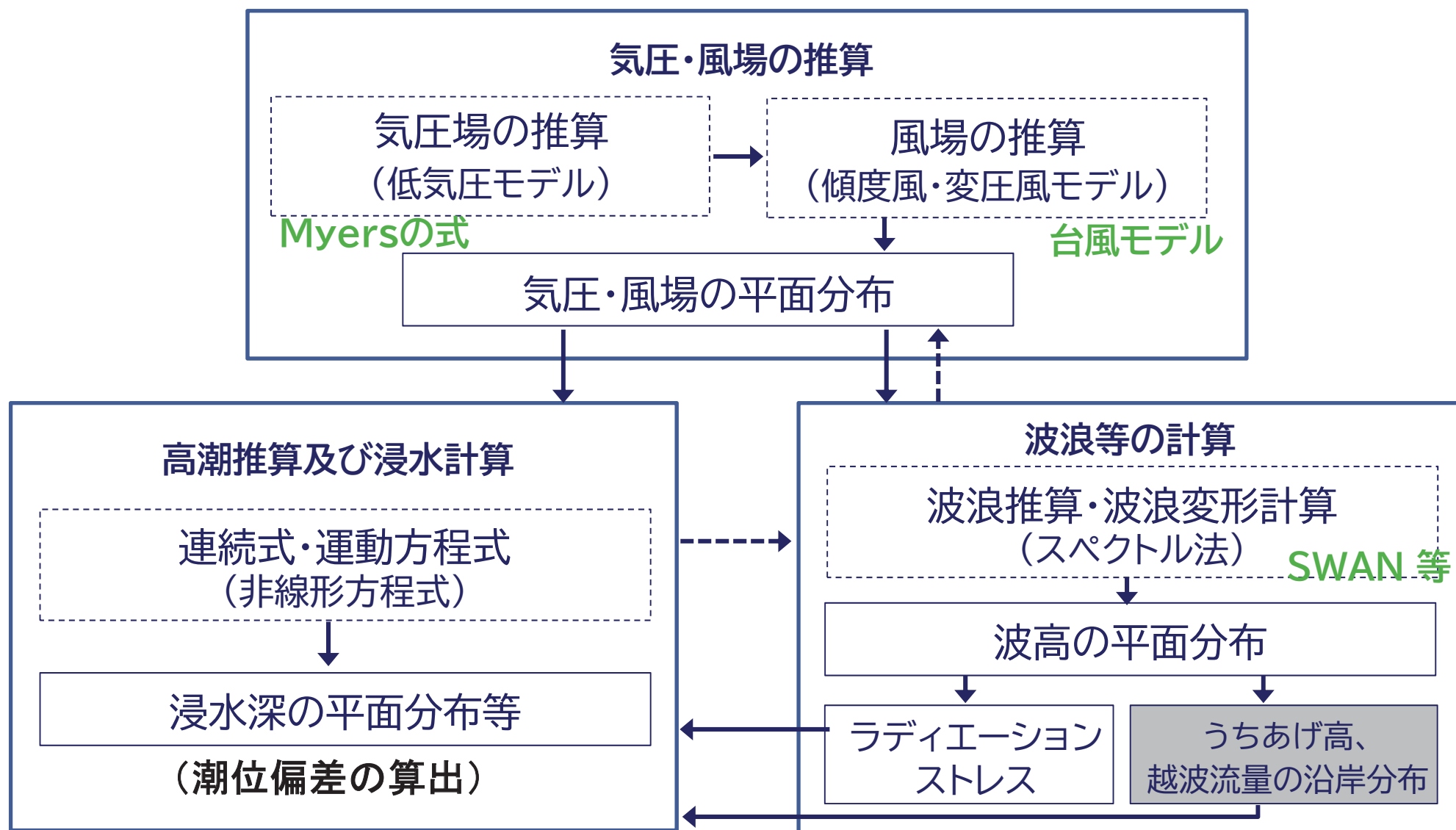
対象台風	考え方	地球温暖化の影響	適用性
A. 想定台風	伊勢湾台風や室戸台風等の規模を想定した特定事例		
A-1. パラメトリック台風モデル	例えば、Myersモデル等経験的台風モデル	・ d2PDF、d4PDF等の計算結果に基づく中心気圧の低下量で簡易的に考慮	・ 従来、想定台風で外力を設定してきた沿岸で適用性がある。 ・ B-1の多数アンサンプルデータセットと組み合わせることで確率評価が可能。
A-2. 領域気象モデルを用いた力学的計算	WRF等の領域気象モデル	・ d2PDF、d4PDF等の計算結果から将来変化を現在の気候場に上乘せして仮想的に考慮（疑似温暖化手法）	・ 従来、想定台風で外力を想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。

対象台風	考え方	地球温暖化の影響	適用性
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。



高潮・波浪シミュレーションモデル

- 高潮・波浪シミュレーションにより、計画外力(高潮偏差、波浪)を求め、防護水準を検討する。





全球気候モデル台風を活用する方法

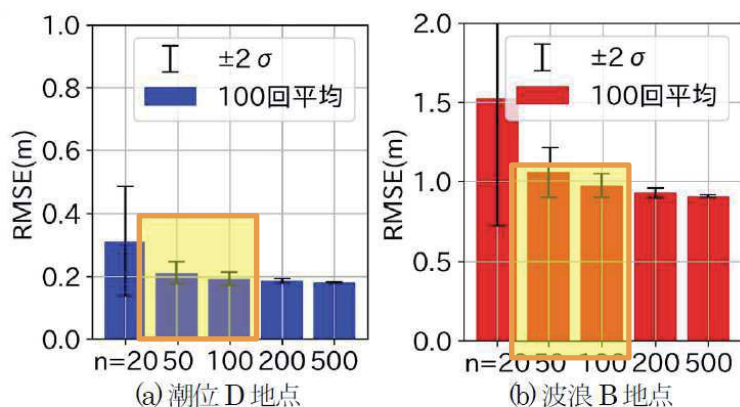
事例: 土佐湾沿岸での検討

大規模アンサンブル気候予測データベース(d2PDF/d4PDF)

①台風の抽出

d2PDF/d4PDFから対象範囲を通過する台風を抽出

- 対象範囲の設定
- 潮位偏差・波浪の簡易方程式の構築には様々な条件(気圧、風速、経路、移動速度)の台風を抽出する必要があるため、過去、2℃上昇、4℃上昇実験の全データを使用



五十嵐ら(2022)
50~100
ケースで
ほぼ収束

図-6 手法2の重回帰式の感度分析結果

②高潮・波浪シミュレーションの実施

気圧、風速、経路、移動速度に偏りが生じないように台風100ケースを抽出

台風の中心気圧のバイアス補正を実施

バイアス補正後の100ケースの台風について、高潮・波浪シミュレーションを実施

③簡易推定式の構築

②の100ケースのシミュレーション結果に基づき、潮位偏差や波浪を推定できる簡易推定式を構築(簡易推定式の精度検証は必須)

④確率評価の実施

①で抽出した過去実験と2℃上昇実験の台風を対象に、③の簡易推定式を用いて対象地点の潮位偏差・波浪を推算

推算した潮位偏差・波浪の確率評価を実施

⑤気候変動後の潮位偏差・波浪の推算

現行計画と同確率となる気候変動後の潮位偏差・波浪(差分値又は変化率)を推算

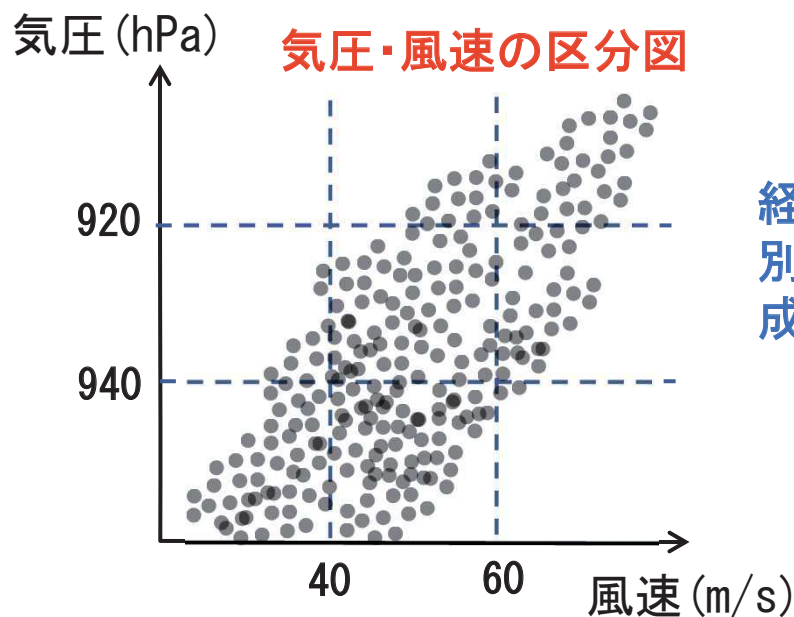


高潮・波浪シミュレーションに用いる台風ケースの抽出方法

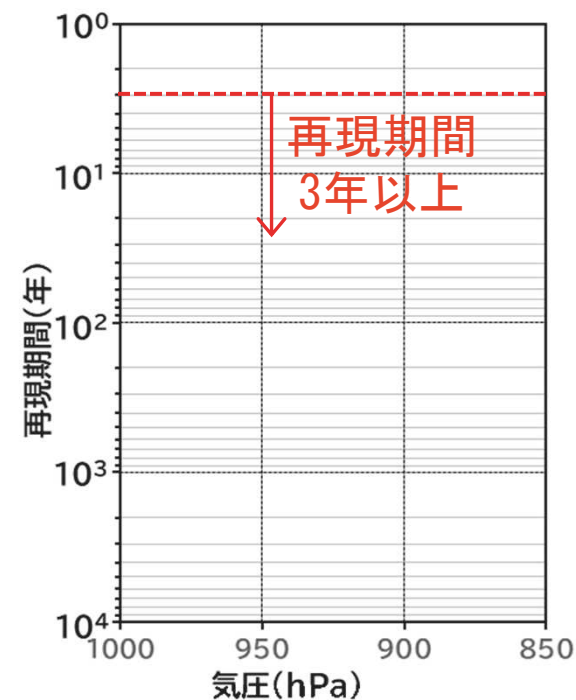
- 簡易推定式構築のために実施する高潮・波浪シミュレーションに用いる台風ケースの抽出

－ 1次抽出: 全ケースから、**中心気圧が3年確率より小さい台風**を抽出

－ 2次抽出: 気圧・風速の区分毎に経路・移動速度を考慮して網羅的に抽出



経路や移動速度
別で区分図を作
成し抽出



全球気候モデル台風を活用する方法

土佐湾(高知県)
五十嵐ら(2022)



- 抽出した台風100ケースを対象に、中心気圧のバイアス補正を行った上で、高潮・波浪シミュレーションを実施し、検討事例を基に重回帰分析による観測点毎の簡易推定式を構築する。

説明変数:

台風諸元(中心気圧、最大風速、移動速度、台風半径等)

η_{max} or H_{max}

$$= aP_{cmin} + bP_{cmin}$$

$$+ c_0W_{max} + c_1W_{max}^2 + c_2W_{max,x} + c_3W_{max,y}$$

目的変数

潮位偏差 η_{max}

波高 H_{max}

$$+ d_0V_t + d_1V_t^2 + d_2V_{t,x} + e\left(\frac{R_{min}}{R_0}\right) + f$$

偏重回帰係数 $a\sim e$, y 切片 f
: 重回帰分析より設定

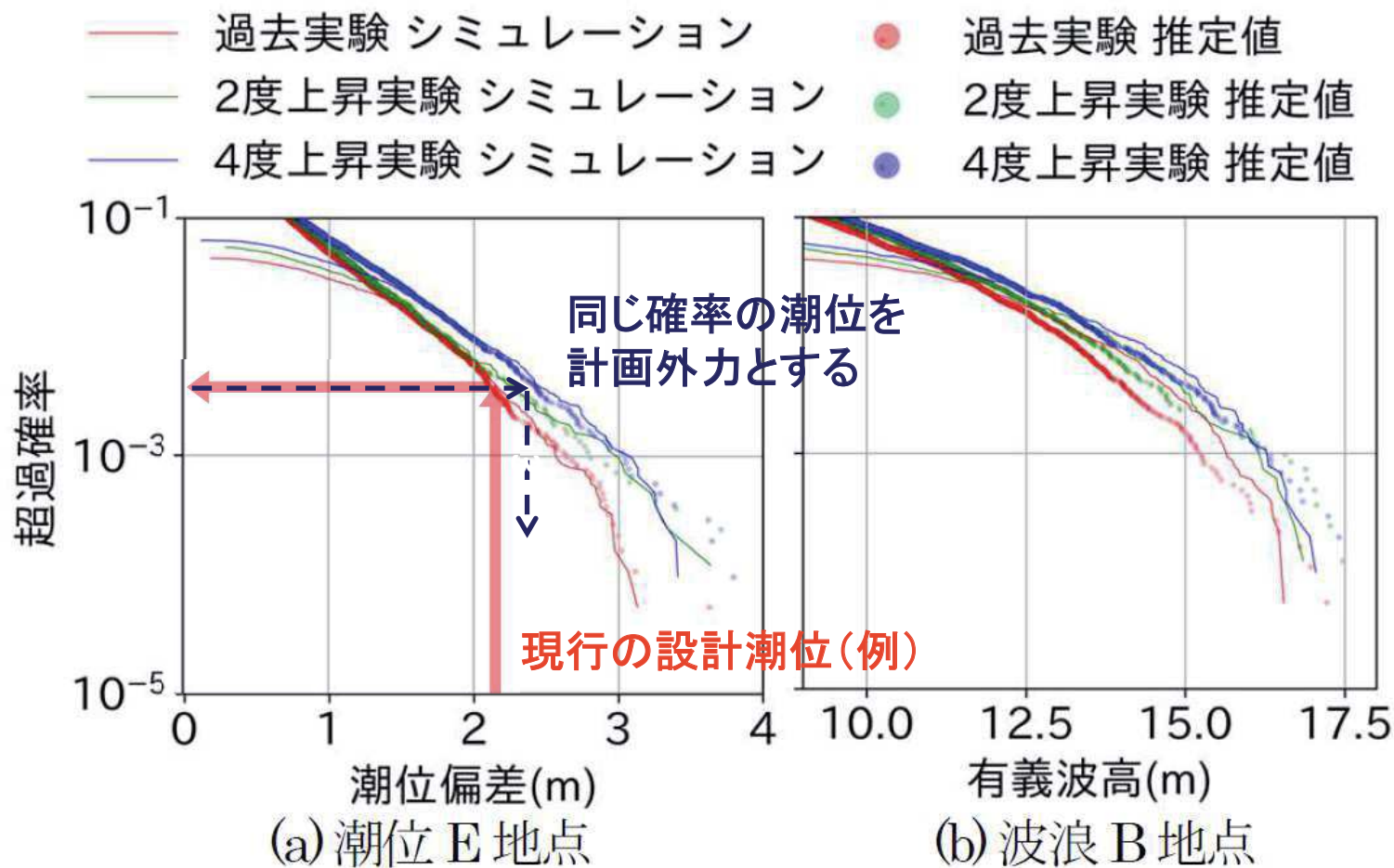
説明変数		設定理由・根拠	潮位偏差	波高
P_{min}	最低気圧 (対象地点)	気圧低下による吸い上げ ⇒ 気圧・風場の推算結果より設定	● 吸い上げ	— 非考慮
P_{cmin}	最低中心気圧 (対象地点接近時)	気圧低下による吸い上げ ⇒ 気圧・風場の推算結果より設定	● 吸い上げ	— 非考慮
W_{max}	最大風速 (対象地点)	風による吹き寄せを考慮 ⇒ 気圧・風場の推算結果より設定 風による波の発達を考慮(x,y:波向)	● 吹き寄せ	●
V_t	移動速度 (対象地点接近時)	台風の移動速度による風速への影響を考慮 ⇒ d2PDF/d4PDFの台風トラックデータより設定	● 吹き寄せ	●
R_{min}/R_0	台風からの距離 ／台風半径 (対象地点接近時)	傾度風(等圧線が曲線状の場合、気圧傾度力、コリオリ係数、遠心力が釣り合って、等圧線に沿って吹く定常な風)を考慮 ⇒ 距離: d2PDF/d4PDFの台風トラックデータより設定 ⇒ 半径: 本田・鮫島(2018)の経験式より設定	● 吹き寄せ	●

気候変動後の潮位偏差、確率評価

五十嵐ら(2022)



- 簡易推定式の構築に用いた台風100ケースを対象に、各観測地点の潮位偏差・波高について、簡易推定式により推算した値と高潮・波浪シミュレーション結果を比較し、精度検証を行う。
- 過去実験と将来実験の台風を対象に、構築した感に推定式を用いて観測地点の潮位偏差を推算し、潮位偏差や波高の確率評価を行う。
- 過去実験結果と現在の計画外力を比較し、将来実験における同じ超過確率の計画外力を求め、今後の海岸保全施設の計画に用いる。そうすることにより、**現在の安全度を維持**する。



五十嵐ら(2022)
 大規模アンサンブル気候予測データベース(d4PDF)を用いた高潮・波浪に対する気候変動の影響評価の効率化手法の検討

に、「現在と同じ超過確率の計画外力を設定」のイメージを追記。

長期的視点に立った対応策



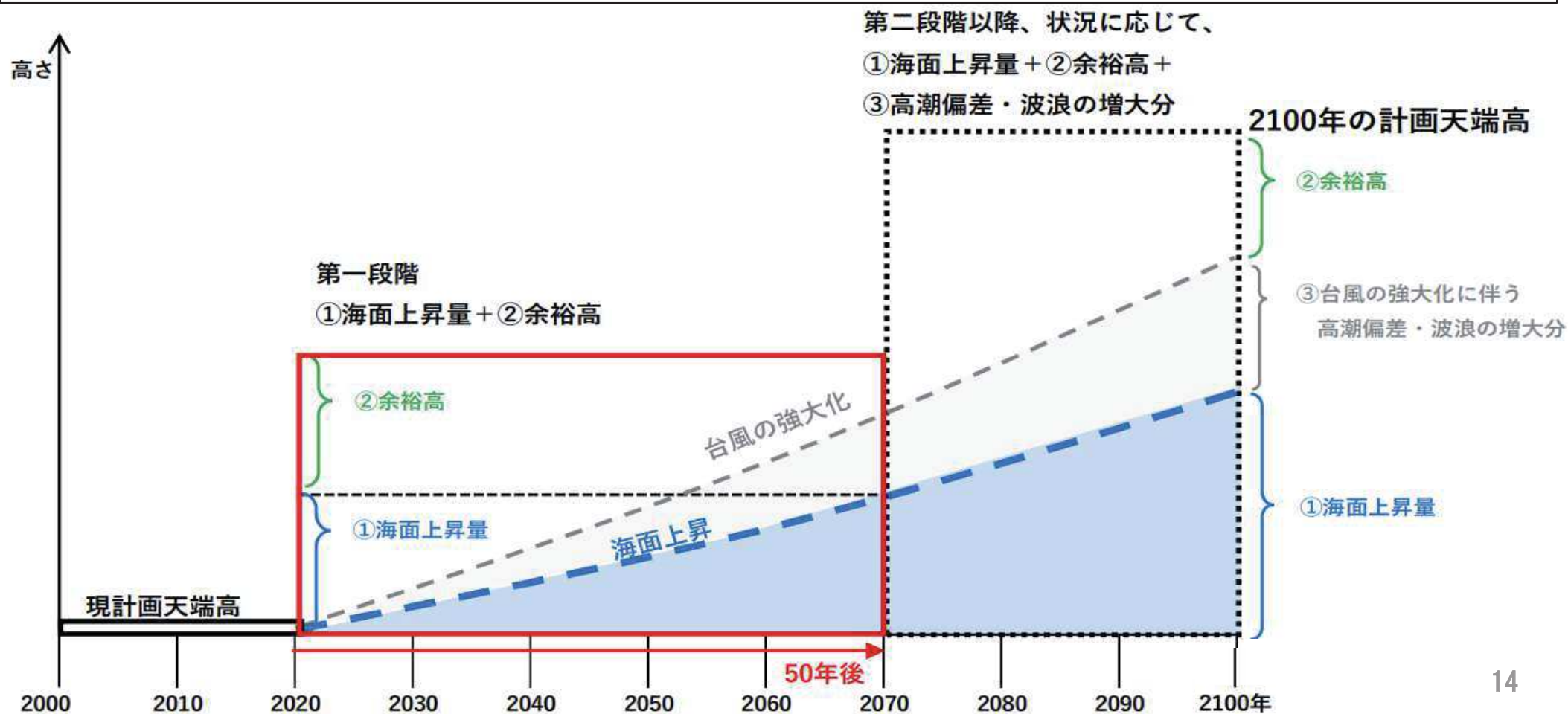
東京湾沿岸海岸保全基本計画[東京都区間](案) (東京都、令和4年)

防潮堤の嵩上げについて下記のとおり実施する旨の記載がある。

気候変動の不確実性を考慮し、段階的な整備を行う。

2100年の計画天端高を目指し、まず、第一段階では、**施設の耐用年数50年後の海面上昇予測分に、余裕高を考慮し整備する。**

今後、将来の知見やモニタリング結果により、外力の長期変化を定期的に確認し、必要に応じ適宜計画天端高を見直し等をする。





ハード・ソフトを組み合わせた対策、海岸の環境と利用への配慮

ハードとソフトを組み合わせた対策

ハード対策

面的防護

- ・砂浜保全
- ・沖合施設

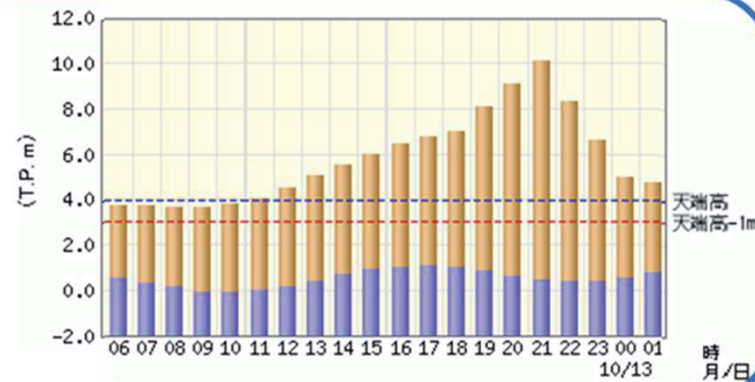
線的防護

- ・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



海岸の環境・利用に配慮した対策

まちづくりとの連携

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規制等



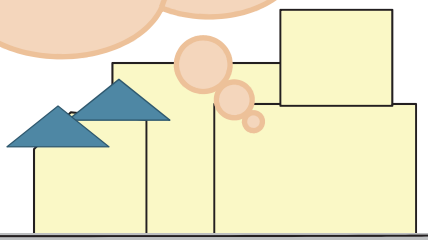
気候変動を踏まえた海岸保全のあり方検討委員会 資料



海岸保全の課題と本専門部会の位置付け

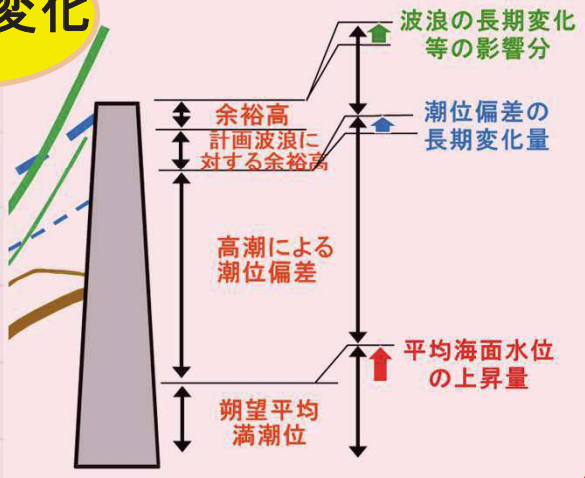
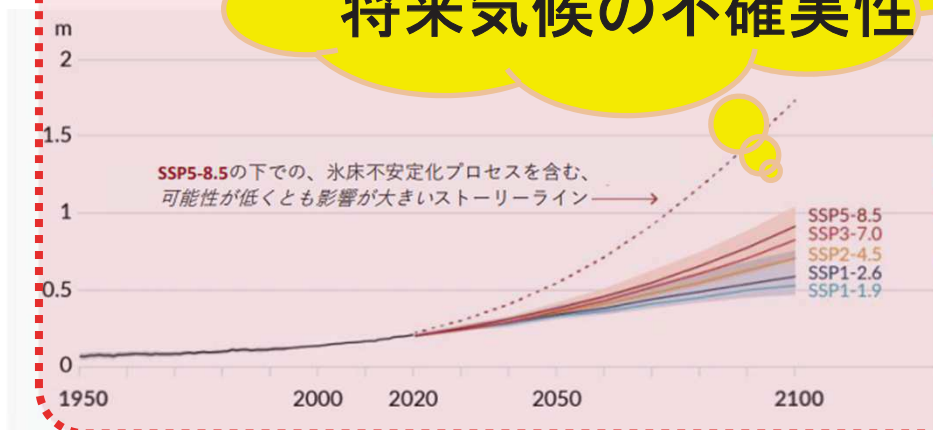
海岸環境や景観
砂浜の保全

背後域の利用
(人口変化、重要施設の分布)



施設の維持管理
補修・保全

気候変動の影響
(平均海面、潮位偏差、波浪の変化)
将来気候の不確実性



本専門部会
の主たる対象

今後の検討課題



■ 計画外力の予測

- ・ 瀬戸内海の地形的特徴と高潮・高波
- ・ 予測に用いる台風の抽出条件
- ・ 簡易推定式(パラメータ)

■ 将来の計画外力

- ・ 現行の整備状況
- ・ 現行の計画外力との比較
- ・ モニタリング、外力の見直し

■ 気候変動への対応

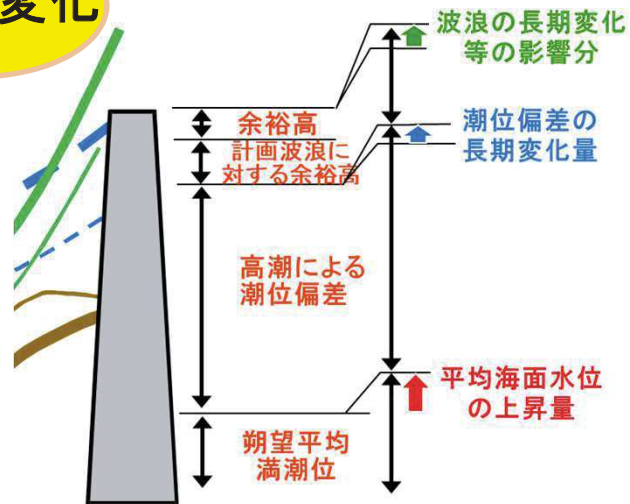
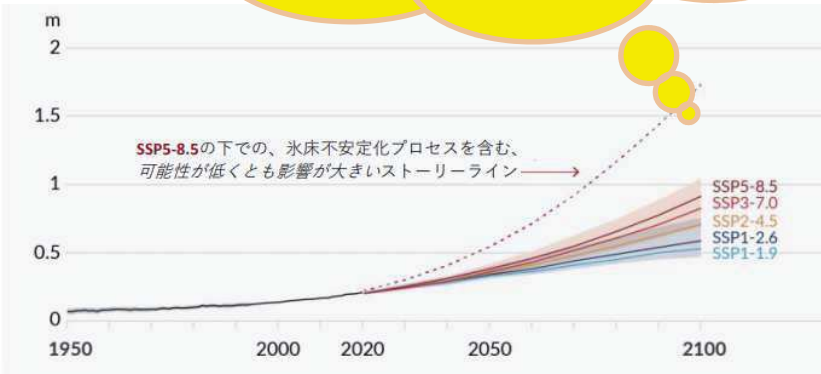
- ・ ハードとソフトによる防災・減災対策
- ・ 環境と利用の考慮、評価指標
- ・ 現在および将来の海岸状況、対応の時間軸

検討委員会への
円滑な引継ぎ

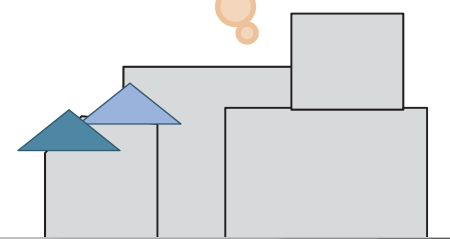
海岸保全の課題



気候変動の影響
(平均海面、潮位偏差、波浪の変化)
将来気候の不確実性



背後域の利用
(人口変化、重要施設の分布)



施設の維持管理
補修・保全

海岸環境や景観
砂浜の保全