

第2回 和歌山県海岸保全基本計画 技術検討委員会 －参考資料－

令和7年3月18日(火)
和歌山県



1. 将来の外力変化量の検討方針

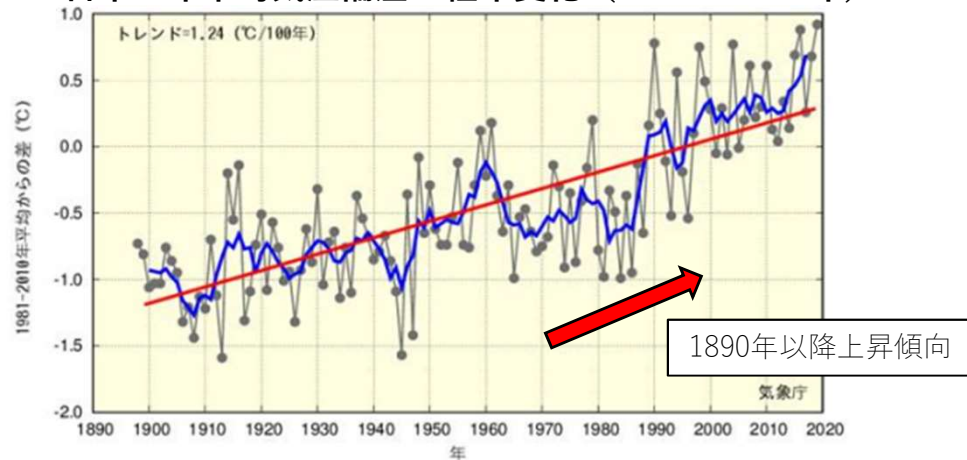


1-1. 気候変動のシナリオの設定について

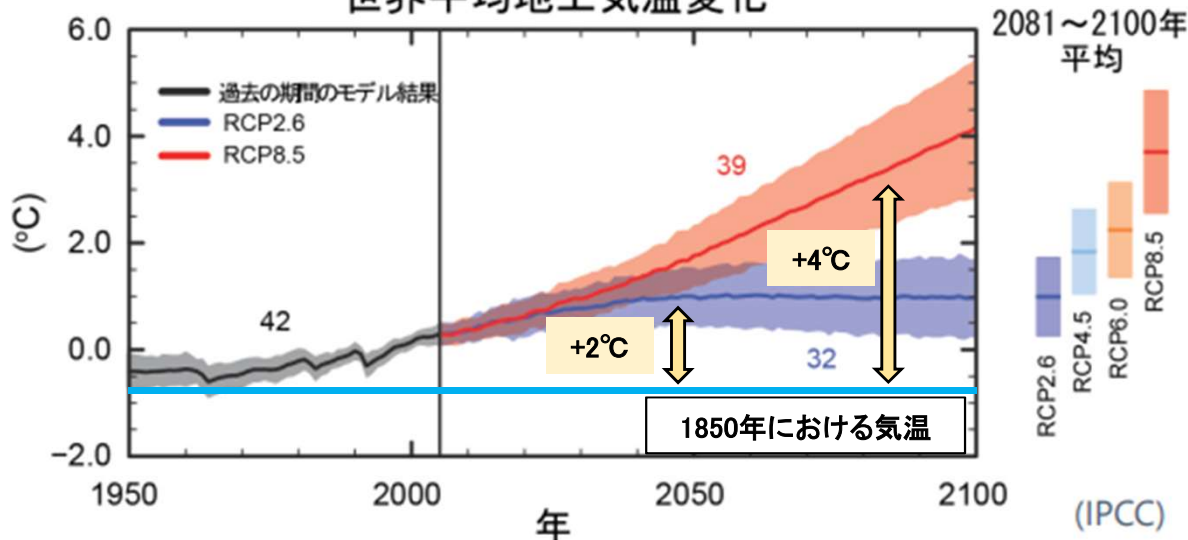


- 対象とする外力の将来予測は、「気候変動の影響を踏まえた海岸保全施設の計画外力の設定方法等について(海岸4省庁)」を踏まえ、IPCC第5次評価のRCP2.6シナリオ(2°C上昇相当)における将来予測の平均的な値を前提とすることを基本とする。

日本の年平均気温偏差の経年変化 (1898~2019年)



世界平均地上気温変化



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

- 規定する設計高潮位及び設計波を今後、設定及び見直しをするに当たっては、気候変動の影響による平均海面水位の上昇、台風の強化等を考慮する必要がある。
- 対象とする外力の将来予測は、「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、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)シナリオのうち、RCP2.6シナリオ(2°C上昇相当)における将来予測の平均的な値を前提とすることを基本とする。

出典: 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(海岸4省庁通知、令和3年8月)

1-2. 気候変動に伴う将来の外力変化の考え方



- 気候変動に伴う将来の外力変化の考え方については、 2°C 上昇シナリオについては、下記に示すように2通りの方法で検討を行う。
- 一つは、**21世紀末における平均海面水位の上昇量、潮位偏差及び波高の増加分を考慮して将来の外力を設定(図1)する。**もう一つは、**平均海面水位は2100年まで増加を考慮し、潮位偏差及び波高については2040年まで増加を考慮して、それ以降の増加は見込まないものとして将来の外力を設定(図2)する。**

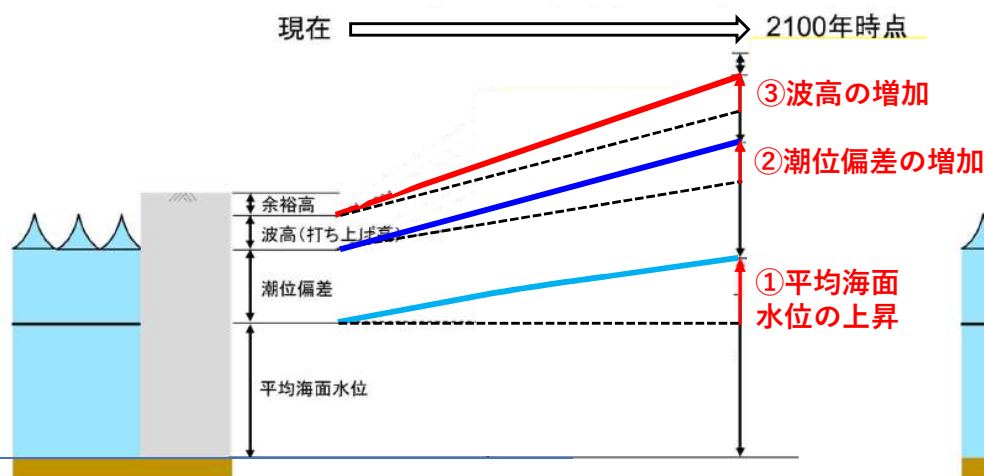


図1

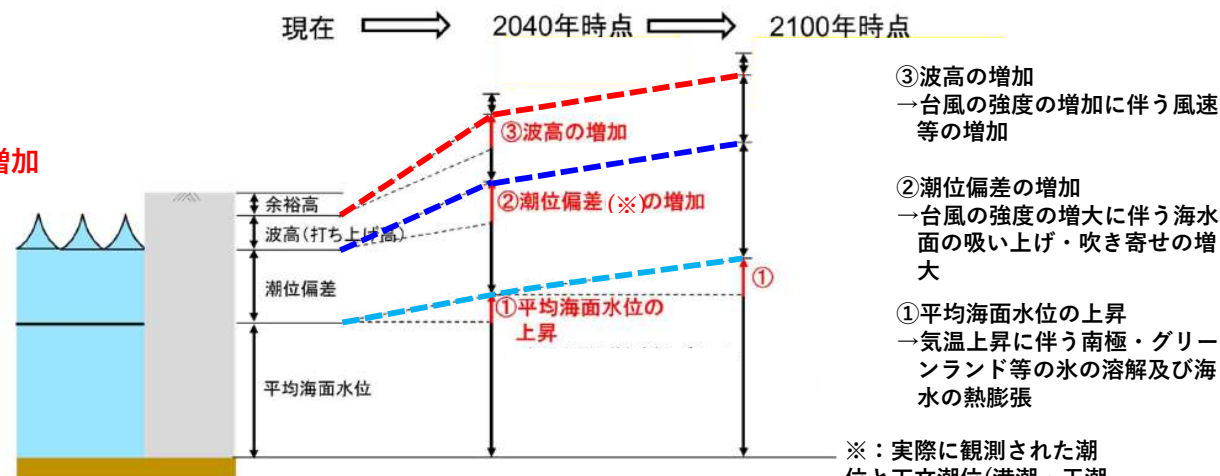


図2

※：実際に観測された潮位と天文潮位(満潮・干潮のように、月や太陽の起潮力によっておこる潮位)との差

■ 気候変動に伴う外力変化のイメージ

出典:「港湾における気候変動適応策の実装方針(2024年3月)」、p12、図5、加筆・追記

1-3. 将来の潮位偏差・波高増大量の算出方法



台風強大化の予測手法

- 国による「あり方検討委員会」によって提案された下表の手法Aは想定台風(モデル台風)を対象にした方法、手法Bは多くのサンプルを確保した確率評価による手法である。

対象台風	考え方	地球温暖化の影響	適用性	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			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		
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	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
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(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	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

出典: 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に関する参考資料等について(都道府県宛事務連絡、令和3年8月)



1-4. 海域別の潮位偏差・波浪の将来変化比

海域別の潮位偏差・波浪の将来変化比

- 国土交通省(港湾局)の気候変動予測によると、将来変化比は、和歌山県の港湾における潮位偏差(再現期間100年)は 1.03倍、波高(50年確率波高)は 1.00倍と予測されており、**和歌山県沿岸の外力(潮位偏差)は気候変動により増大する可能性**が示唆される。
- 上記の予測はd4PDFの成果を用いて算定された値であり、本検討においても同様にd4PDFの成果を用いて、和歌山県沿岸の**潮位偏差・波高の将来変化を予測**する。

※港湾における気候変動適応策の実装方針(国土交通省港湾局、令和6年3月)

【海域別の潮位偏差・波浪の将来変化比】

(20世紀末での値と比較した2℃上昇シナリオでの21世紀末での値の変化比)

海域	将来変化比		対象港湾(重要港湾以上)
	潮位偏差	波高	
伊勢湾	1.07	1.00	名古屋港・衣浦港・三河港・四日市港・津松坂港
紀伊半島	1.03	1.00	尾鷲港・日高港・和歌山下津港
大阪湾	1.06	1.04	大阪港・堺泉北港・阪南港・神戸港・尼崎西宮芦屋港
四国太平洋側	1.07	1.02	徳島小松島港・橘港・高知港・須崎港・宿毛湾港・宇和島港
瀬戸内海 (東部:播磨灘・燧灘)	1.02	1.02	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

※潮位偏差の将来変化比は、標準的な値として、再現期間 100 年の場合を示す。
※波高の将来変化比は、再現期間 50 年の場合(50 年確率波高)を示す。
※将来変化比が「1」未満の場合は、現況と同じ波高を用いるため「1」とする。
※潮位偏差と波高の将来変化比が北海道から九州に向かって増加している要因は、台風等による海面気圧の低下量や風速の将来変化比が北海道から九州に向かって増大しているためと考えられる。また、潮位偏差と波高の将来変化比に差が生じている要因は、海域の形状といった特性と高潮と波浪の発達・伝播特性の違いであると考えられる。

出典:「港湾における気候変動適応策の実装方針(国土交通省港湾局 令和6年3月)」

1-5. d4PDF/d2PDFを用いた外力変化量の推定



d4PDF (database for Policy Decision making for Future climate change)

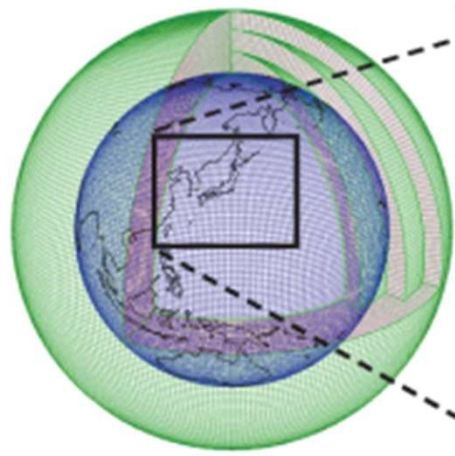
- d4PDFは全球(60km格子)および日本周辺領域(20km格子)高解像度大気モデルを使用した数値実験結果である。

【d4PDFの計算領域イメージ】

(全球)

AGCM

(水平解像度約60km)

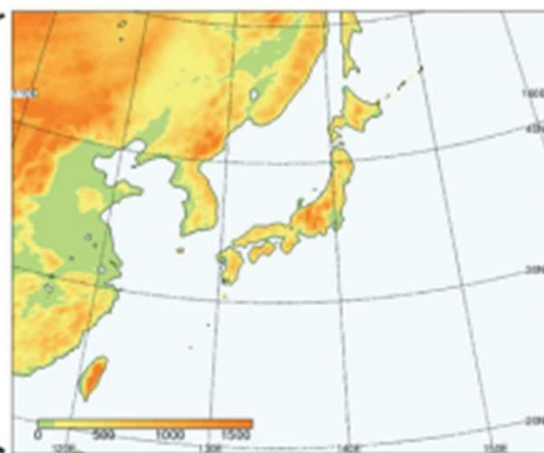


(画像:気象庁提供)

(日本周辺)

NHRCM

(水平格子間隔20km)



※NHRCM(日本周辺)

d4PDFには現在気候に相当する過去実験と将来気候に相当する将来実験(4°C上昇・2°C上昇)がある。

◎過去実験:6000年

= 60年(1951~2010年) × 100メンバ

◎将来実験2°C上昇:3240年

= 60年 × 54メンバ(6SST × 9メンバ)

◎将来実験4°C上昇:5400年

= 60年 × 90メンバ(6SST × 15メンバ)

※ 将来実験は6種類のSST(海水温)の将来変化パターンを考慮し、気候変動の変動幅を表現している。

※ 各実験は、それぞれ異なる初期値から計算を始め、海氷と海面水温に摂動(変動)を与えるアンサンブル予測をしているため、メンバ毎に結果が異なる。

1-6. d4PDF/d2PDFを用いた外力変化量の推定

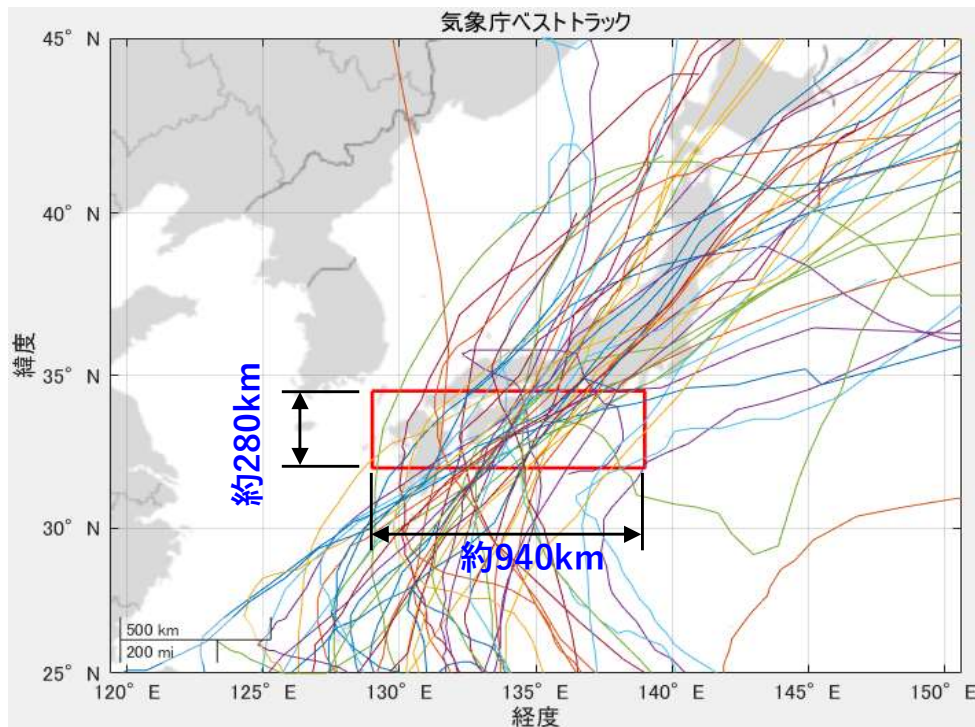


台風抽出範囲の検討

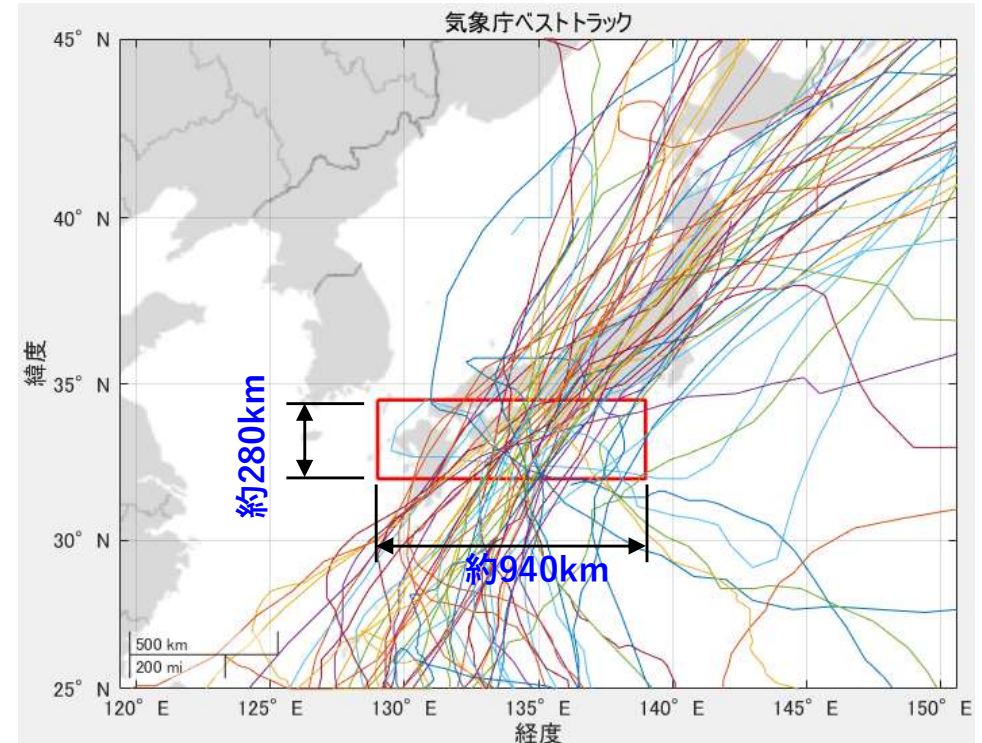
- 和歌山県沿岸部に顕著な外力を生じうる台風経路を抽出し、範囲を設定することとする。
- 波浪については、潮岬において概ね年最大波高程度である6m以上の波高を記録した台風を抽出した。また、潮位偏差については、各検潮所における上位30位若しくは50cm以上の顕著な高潮を記録した台風を抽出した。
- 今後のd4PDF/d2PDFのトラックデータの抽出範囲は、実績台風の最大包絡とし、以下のように設定する。

東経 129.0° ~ 139.0° 北緯 32.0° ~ 34.5°

【高波浪を記録した台風経路】



【顕著な高潮を発生させた台風経路】



2. 将来の設計外力(想定台風解析)

2-1. 将来の潮位偏差の設定

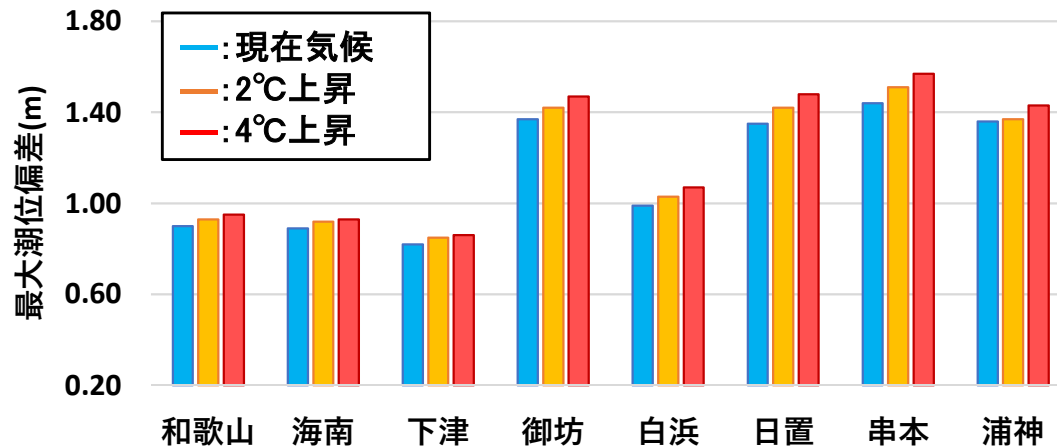


2-1-1. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果(潮位偏差)



TY5915(伊勢湾台風)

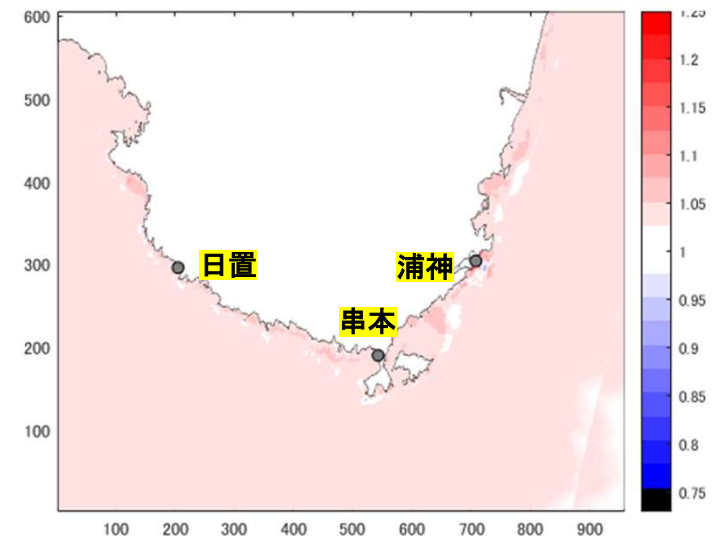
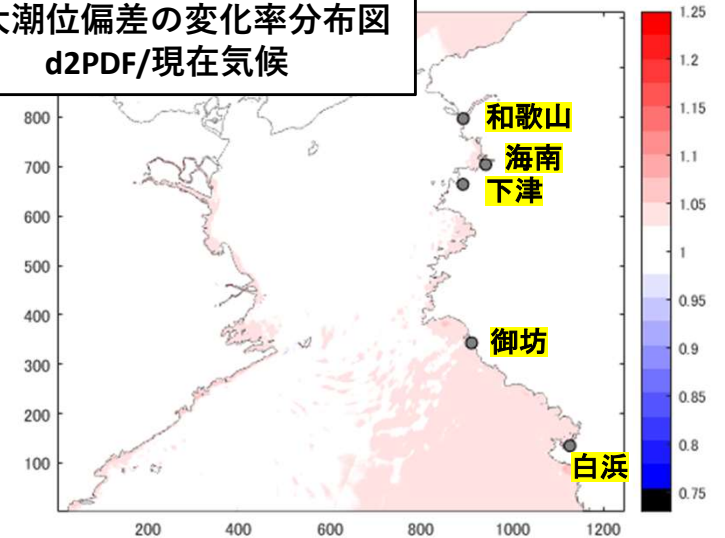
- d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮し、高潮推算を実施した結果、最大潮位偏差の倍率は2℃上昇シナリオでは1.01～1.05倍、4℃上昇シナリオでは1.04～1.10倍となった。



【TY5915 各地点での将来変化比】

地点	推算値			変化率	
	①現在	②2℃上昇	③4℃上昇	=②/①	=③/①
和歌山	0.90	0.93	0.95	1.03	1.06
海南	0.89	0.92	0.93	1.03	1.04
下津	0.82	0.85	0.86	1.04	1.05
御坊	1.37	1.42	1.47	1.04	1.07
白浜	0.99	1.03	1.07	1.04	1.08
日置	1.35	1.42	1.48	1.05	1.10
串本	1.44	1.51	1.57	1.05	1.09
浦神	1.64	1.66	1.74	1.01	1.06

最大潮位偏差の変化率分布図
d2PDF/現在気候

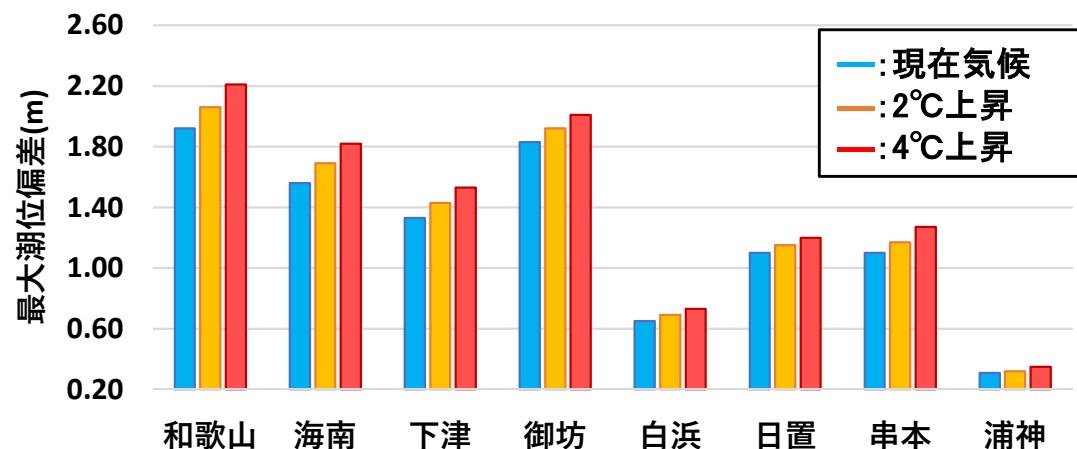


2-1-2. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果(潮位偏差)



TY6118(第二室戸台風)

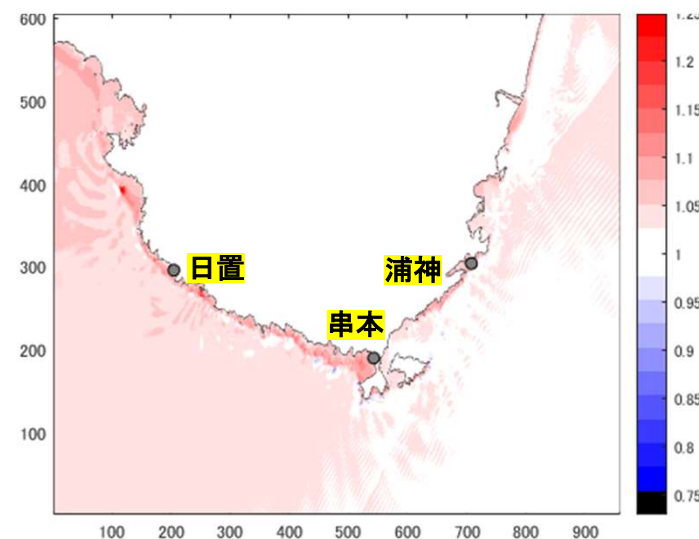
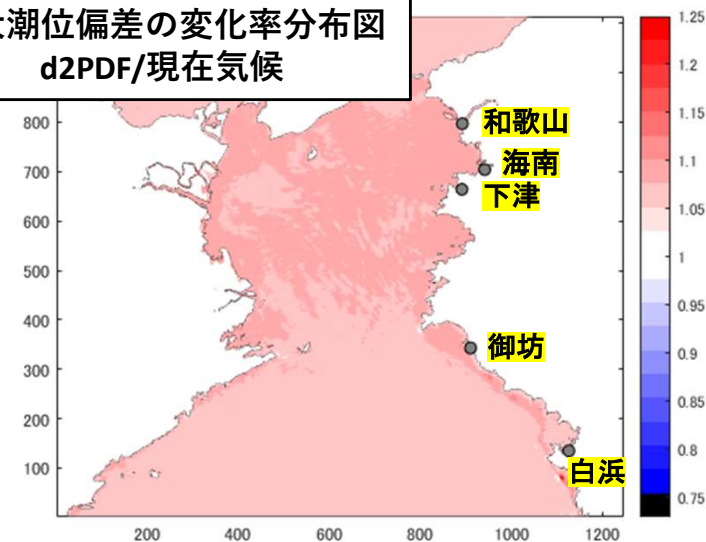
- d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮し、高潮推算を実施した結果、最大潮位偏差の倍率は2℃上昇シナリオでは1.03～1.08倍、4℃上昇シナリオでは1.09～1.17倍となった。



【TY6118 各地点での将来変化比】

地点	推算値			変化率	
	①現在	②2℃上昇	③4℃上昇	=②/①	=③/①
和歌山	1.92m	2.06m	2.21m	1.07	1.15
海南	1.56m	1.69m	1.82m	1.08	1.17
下津	1.33m	1.43m	1.53m	1.08	1.15
御坊	1.83m	1.92m	2.01m	1.05	1.10
白浜	0.65m	0.69m	0.73m	1.06	1.12
日置	1.10m	1.15m	1.20m	1.05	1.09
串本	1.10m	1.17m	1.27m	1.06	1.15
浦神	0.31m	0.32m	0.35m	1.03	1.13

最大潮位偏差の変化率分布図
d2PDF/現在気候

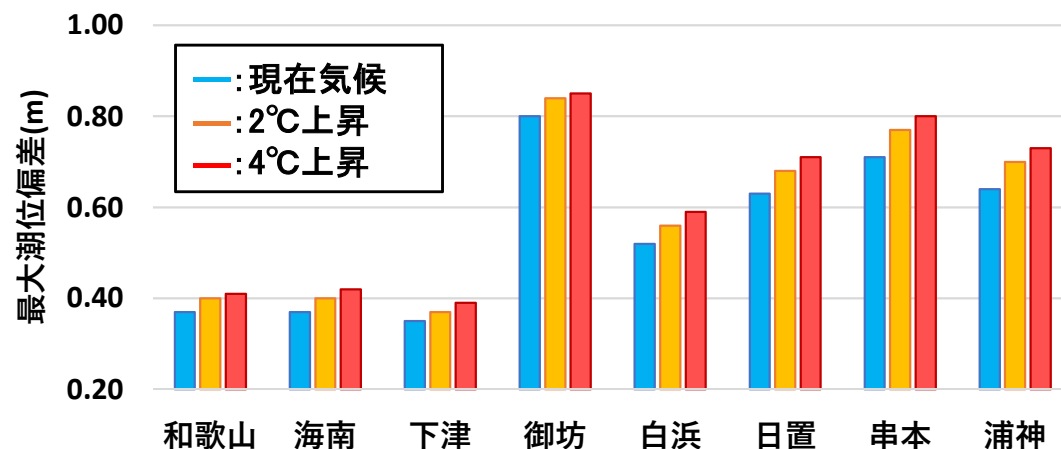


2-1-3. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果(潮位偏差)



TY7220

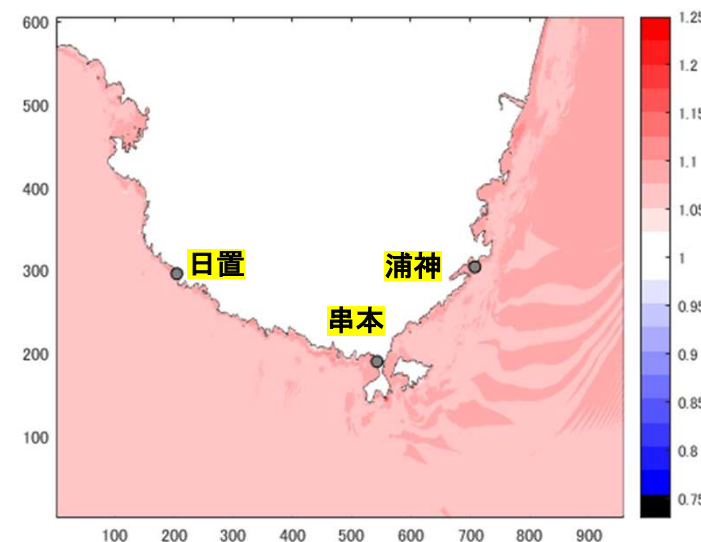
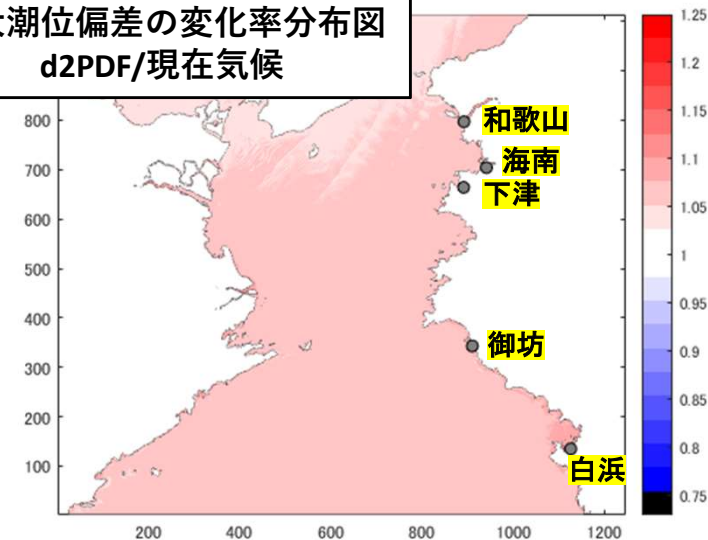
- d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮し、高潮推算を実施した結果、最大潮位偏差の倍率は2℃上昇シナリオでは1.05～1.09倍、4℃上昇シナリオでは1.06～1.14倍となった。



【TY7220 各地点での将来変化比】

地点	推算値			変化率	
	①現在	②2℃上昇	③4℃上昇	=②/①	=③/①
和歌山	0.37m	0.40m	0.41m	1.08	1.11
海南	0.37m	0.40m	0.42m	1.08	1.14
下津	0.35m	0.37m	0.39m	1.06	1.11
御坊	0.80m	0.84m	0.85m	1.05	1.06
白浜	0.52m	0.56m	0.59m	1.08	1.13
日置	0.63m	0.68m	0.71m	1.08	1.13
串本	0.71m	0.77m	0.80m	1.08	1.13
浦神	0.64m	0.70m	0.73m	1.09	1.14

最大潮位偏差の変化率分布図
d2PDF/現在気候

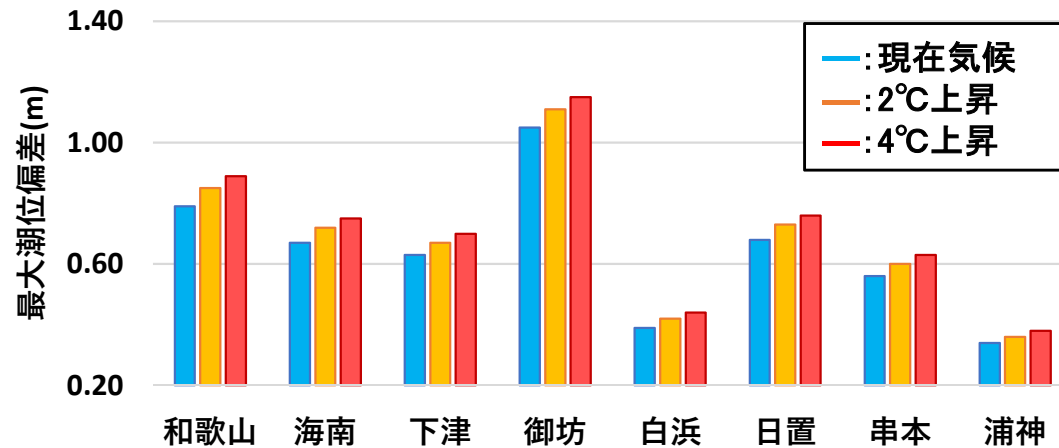


2-1-4. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果(潮位偏差)



TY7506

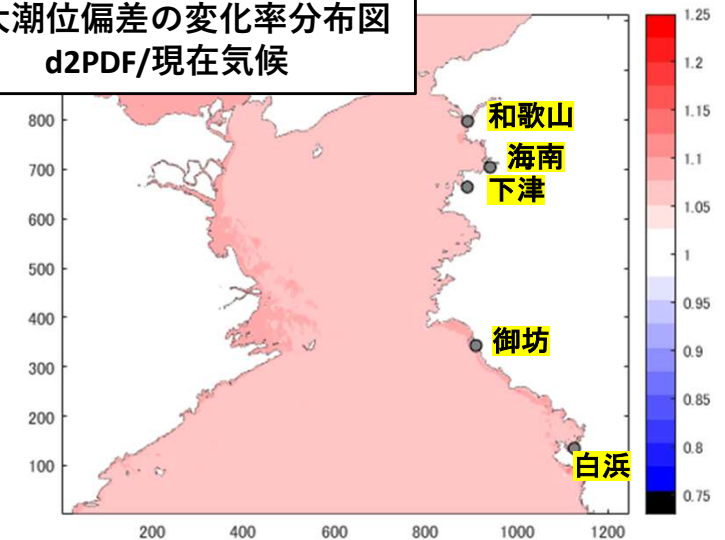
- d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮し、高潮推算を実施した結果、最大潮位偏差の倍率は2℃上昇シナリオでは1.06～1.08倍、4℃上昇シナリオでは1.10～1.13倍となった。



【TY7506 各地点での将来変化比】

地点	推算値			変化率	
	①現在	②2℃上昇	③4℃上昇	=②/①	=③/①
和歌山	0.79m	0.85m	0.89m	1.08	1.13
海南	0.67m	0.72m	0.75m	1.07	1.12
下津	0.63m	0.67m	0.70m	1.06	1.11
御坊	1.05m	1.11m	1.15m	1.06	1.10
白浜	0.39m	0.42m	0.44m	1.08	1.13
日置	0.68m	0.73m	0.76m	1.07	1.12
串本	0.56m	0.60m	0.63m	1.07	1.13
浦神	0.34m	0.36m	0.38m	1.06	1.12

最大潮位偏差の変化率分布図
d2PDF/現在気候

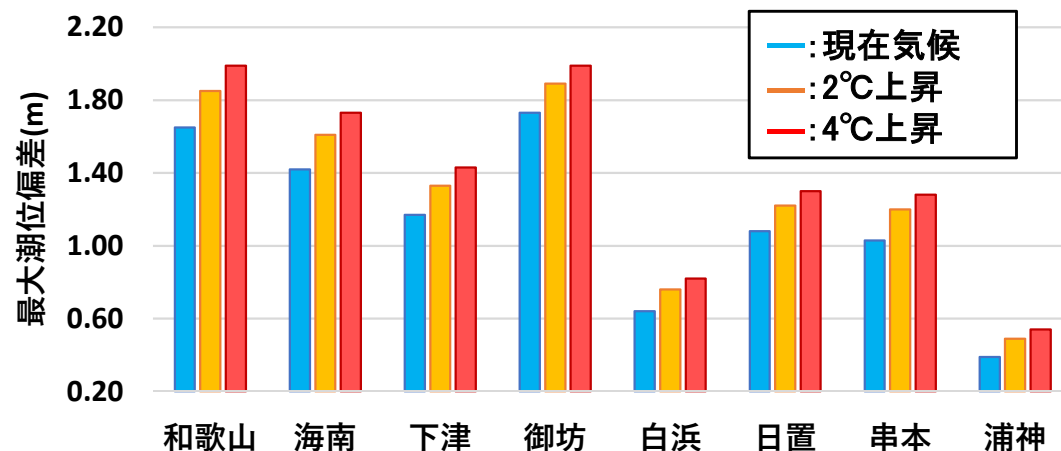


2-1-5. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果(潮位偏差)



TY1821

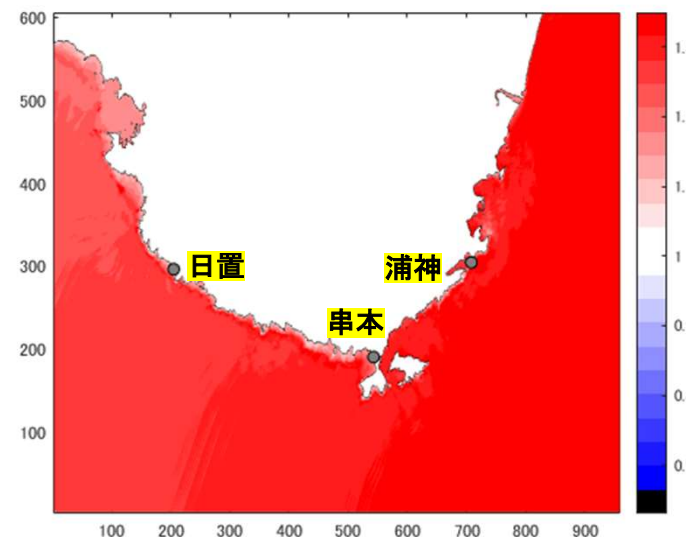
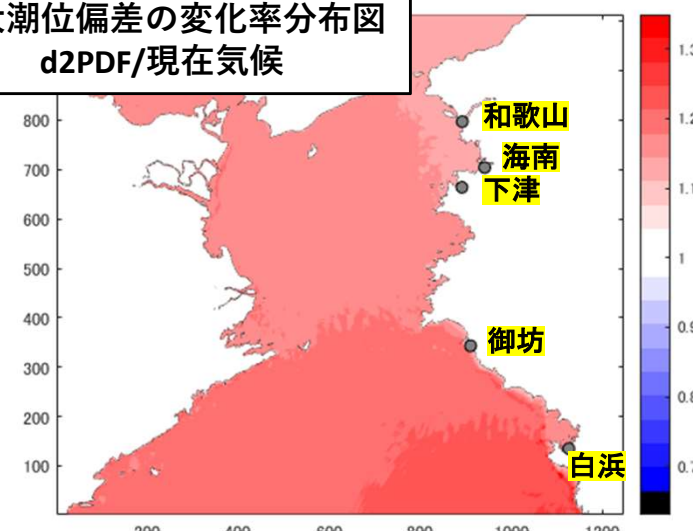
- d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮し、高潮推算を実施した結果、最大潮位偏差の倍率は2℃上昇シナリオでは1.09～1.26倍、4℃上昇シナリオでは1.15～1.38倍となった。



【TY1821 各地点での将来変化比】

地点	推算値			変化率	
	①現在	②2℃上昇	③4℃上昇	=②/①	=③/①
和歌山	1.65m	1.85m	1.99m	1.12	1.21
海南	1.42m	1.61m	1.73m	1.13	1.22
下津	1.17m	1.33m	1.43m	1.14	1.22
御坊	1.73m	1.89m	1.99m	1.09	1.15
白浜	0.64m	0.76m	0.82m	1.19	1.28
日置	1.08m	1.22m	1.30m	1.13	1.20
串本	1.03m	1.20m	1.28m	1.17	1.24
浦神	0.39m	0.49m	0.54m	1.26	1.38

最大潮位偏差の変化率分布図
d2PDF/現在気候

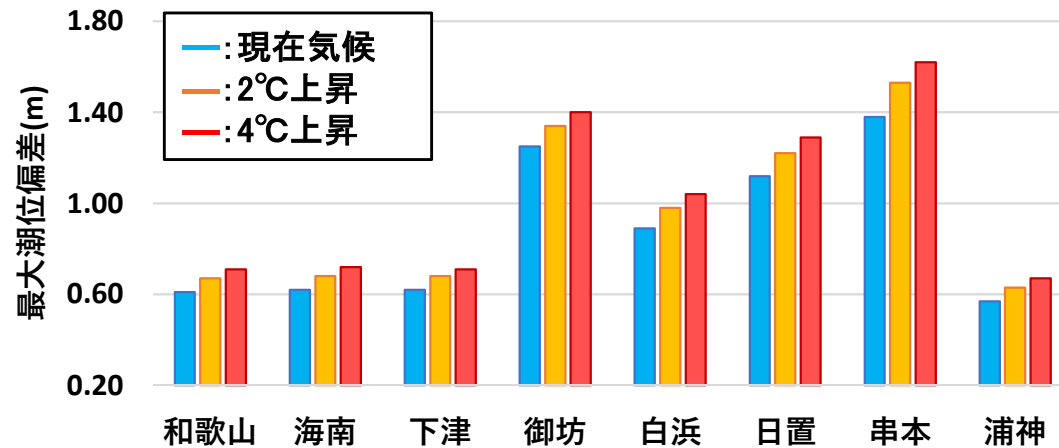


2-1-6. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果(潮位偏差)



TY1824

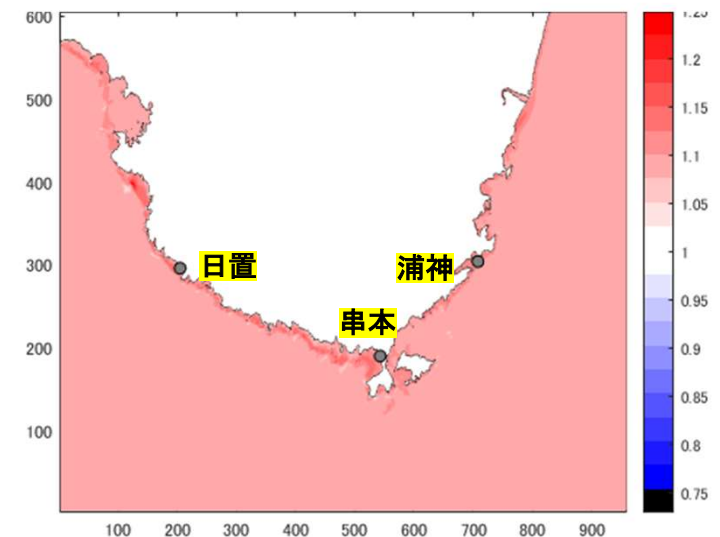
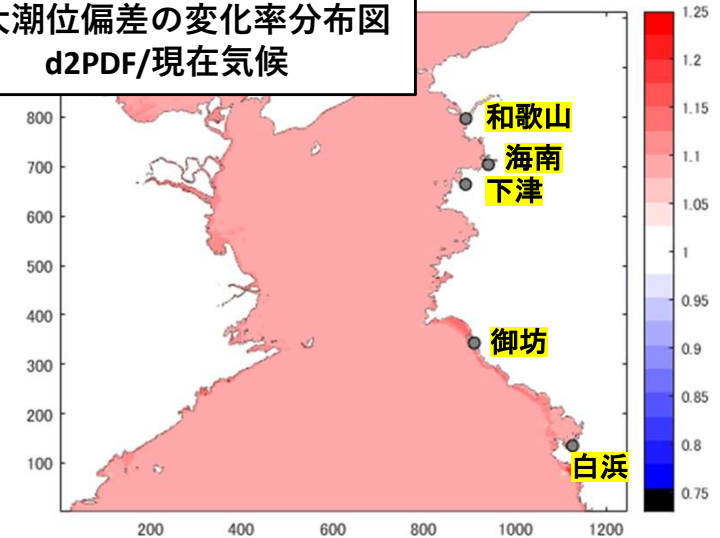
- d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮し、高潮推算を実施した結果、最大潮位偏差の倍率は2℃上昇シナリオでは1.07～1.11倍、4℃上昇シナリオでは1.12～1.18倍となった。



【TY1824 各地点での将来変化比】

地点	推算値			変化率	
	①現在	②2℃上昇	③4℃上昇	=②/①	=③/①
和歌山	0.61m	0.67m	0.71m	1.10	1.16
海南	0.62m	0.68m	0.72m	1.10	1.16
下津	0.62m	0.68m	0.71m	1.10	1.15
御坊	1.25m	1.34m	1.40m	1.07	1.12
白浜	0.89m	0.98m	1.04m	1.10	1.17
日置	1.12m	1.22m	1.29m	1.09	1.15
串本	1.38m	1.53m	1.62m	1.11	1.17
浦神	0.57m	0.63m	0.67m	1.11	1.18

最大潮位偏差の変化率分布図
d2PDF/現在気候



2. 将来の設計外力(想定台風解析)

2-2. 将来の設計高潮位の設定



2-2-1. 潮位偏差の増加を2040年までとする設定(2℃上昇シナリオ)

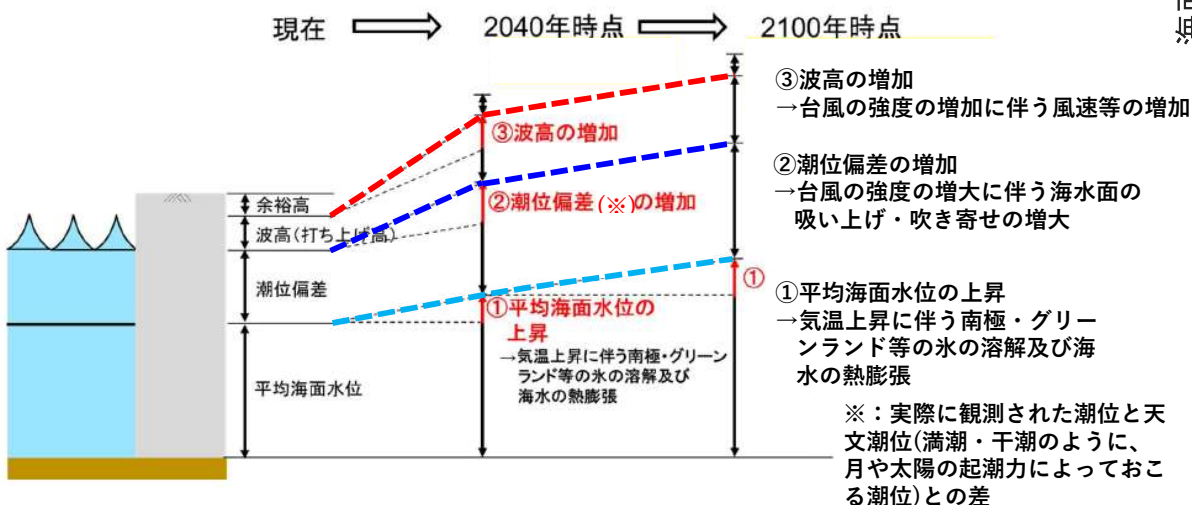


潮位偏差の増加を2040年までとする設定の考え方(2℃上昇シナリオ)

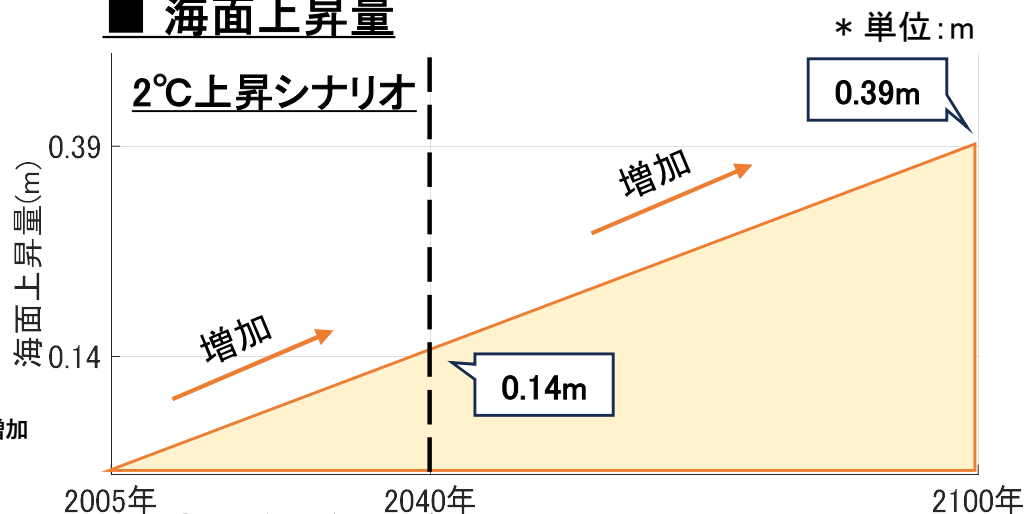
- 気候変動に伴う外力変化として、**平均海面水位は2100年まで増加を考慮し、潮位偏差については2040年まで増加を考慮**して、それ以降の増加は見込まないものとして将来の設計高潮位の設定を行う。
- 和歌山県沿岸の属する領域Ⅲの2℃上昇シナリオでは、**海面上昇量は+0.39m(+4.1mm/year)**と設定されている。

■ 気候変動に伴う外力変化のイメージ

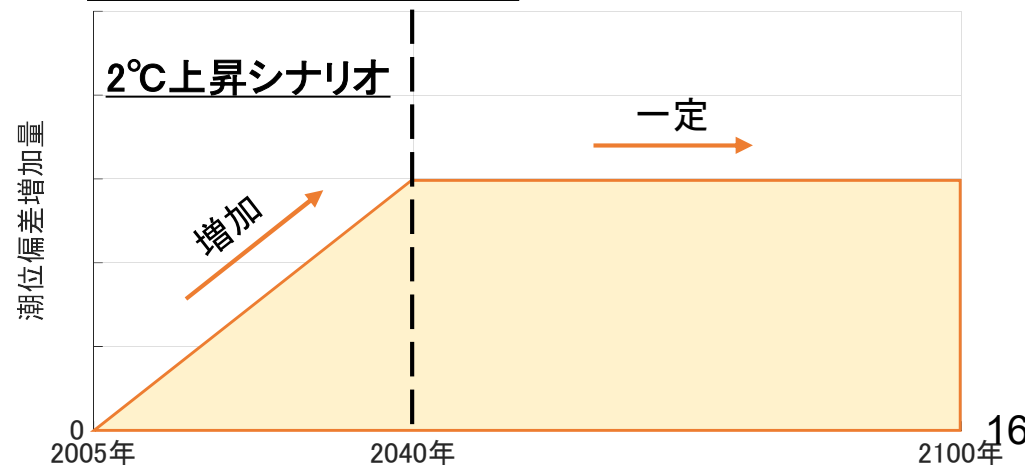
出典:「港湾における気候変動適応策の実装方針(2024年3月)」
p12、図5、加筆・追記



■ 海面上昇量



■ 潮位偏差の増加量



2-2-2. 手法(1)を用いた将来の設計高潮位

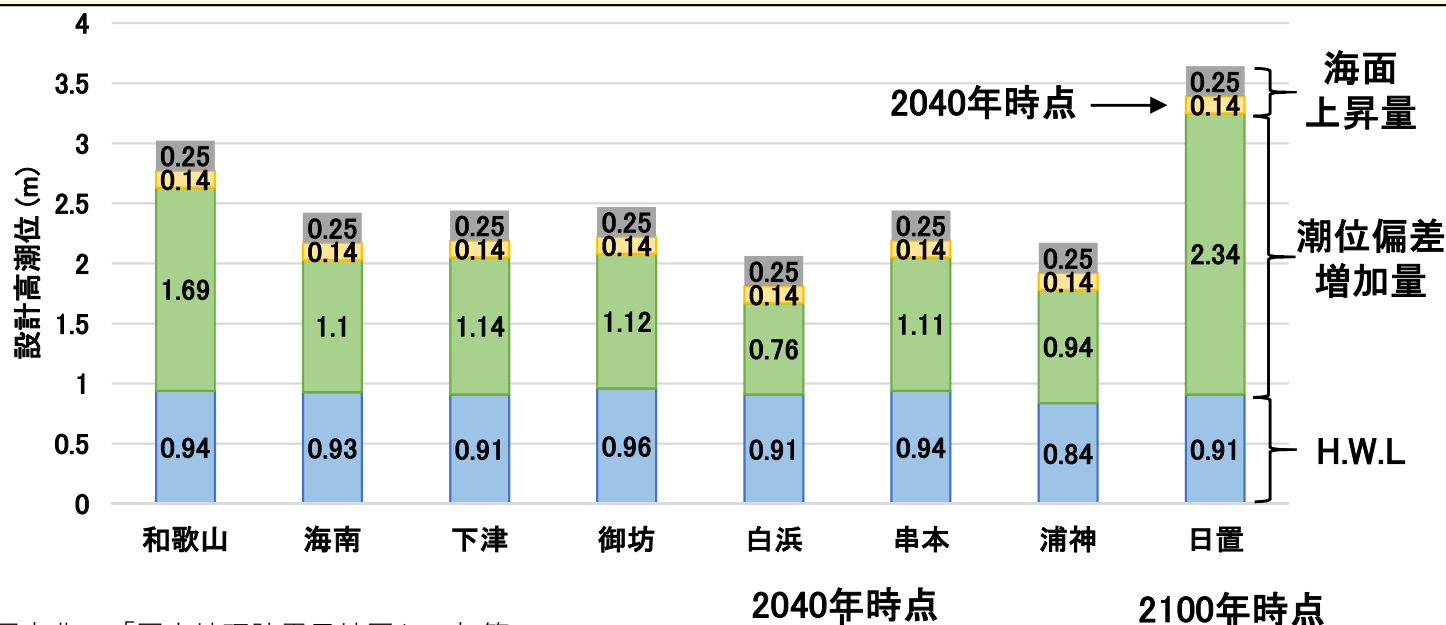
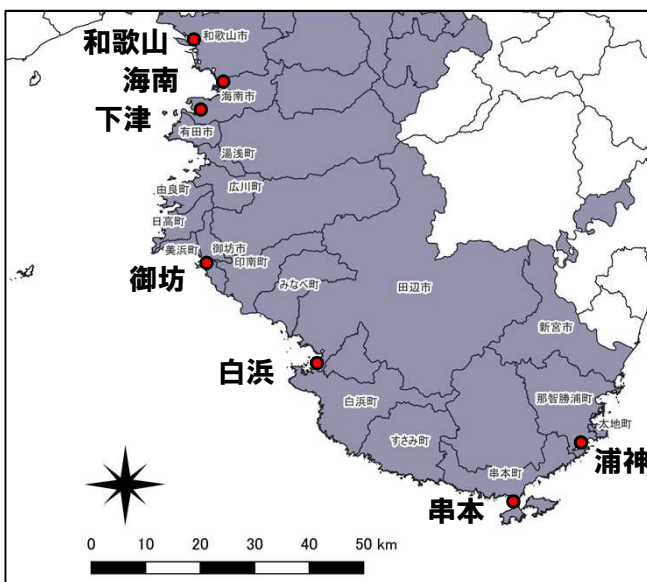


手法(1)を用いた将来設計高潮位(潮位偏差の増加は2040年までとし、それ以降一定)

・ d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮した、将来の設計高潮位を以下に示す。

⇒既往最高潮位から朔望平均満潮位を差し引いた値を気候変動前の潮位偏差とし、その潮位偏差に気候変動の影響を見込む

■ 将来設計高潮位の算出



地図出典：「国土地理院電子地図」に加筆

	既往最高潮位	起因台風	HWL	潮位偏差		変化率	将来設計高潮位			
	①			①-②	再現期間(年)		海面上昇	将来設計高潮位	海面上昇	将来設計高潮位
			②			2℃	2℃	2℃	2℃	2℃
和歌山	2.52	第二室戸台風	0.94	1.58	76	1.07	0.14	2.77	0.39	3.02
海南	1.95	第二室戸台風	0.93	1.02	37	1.08	0.14	2.17	0.39	2.42
下津	1.97	第二室戸台風	0.91	1.06	—	1.08	0.14	2.19	0.39	2.44
御坊	2.01	台風201824号	0.96	1.05	—	1.07	0.14	2.22	0.39	2.47
白浜	1.60	台風201824号	0.91	0.69	15	1.10	0.14	1.81	0.39	2.06
串本	1.94	台風201824号	0.94	1.00	38	1.11	0.14	2.19	0.39	2.44
浦神	1.77	伊勢湾台風	0.84	0.93	20	1.01	0.14	1.92	0.39	2.17
日置	3.10	台風197506号	0.91	2.19	—	1.07	0.14	3.39	0.39	3.64

* 日置のHWLは白浜の値を採用



2-2-3. 手法(2)を用いた将来の設計高潮位

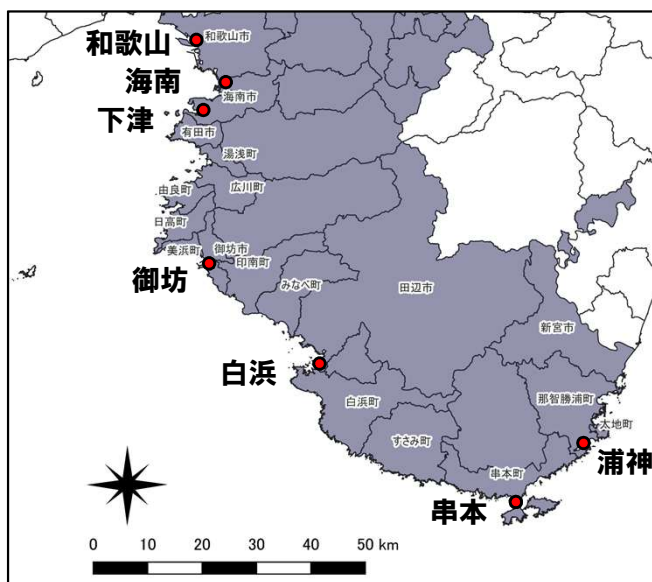
手法(2)を用いた将来設計高潮位(潮位偏差の増加は2040年までとし、それ以降一定)

• d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮した、将来の設計高潮位を以下に示す。

⇒既往最高潮位を記録した台風通過時において発生した最大潮位偏差を気候変動前の潮位偏差とし、その潮位偏差に気候変動による影響を見込む。

■ 将来設計高潮位の算出

	最大潮位偏差		起因台風	確率規模別潮位偏差		HWL	変化率	海面上昇	
	潮位偏差	再現期間(年)		50年確率	80年確率			2040年時点	2100年時点
								2℃	
和歌山	2.17	203.00	第二室戸台風	1.39	1.61	0.94	1.07	0.14	0.39
海南	1.63	204.00	第二室戸台風	1.10	1.24	0.93	1.08	0.14	0.39
下津	1.58	—	第二室戸台風	1.10	1.24	0.91	1.08	0.14	0.39
御坊	1.44	—	台風201821号	1.10	1.24	0.96	1.09	0.14	0.39
白浜	0.85	87.00	台風197220号	0.80	0.84	0.91	1.08	0.14	0.39
串本	1.44	183.00	伊勢湾台風	1.06	1.18	0.94	1.05	0.14	0.39
浦神	1.76	211.00	伊勢湾台風	1.17	1.33	0.84	1.01	0.14	0.39



	将来設計高潮位(2040年時点)			将来設計高潮位(2100年時点)		
	case1	case2	case3	case1	case2	case3
	最大潮位偏差	50年確率	80年確率	最大潮位偏差	50年確率	80年確率
	2℃	2℃	2℃	2℃	2℃	2℃
和歌山	3.40	2.57	2.80	3.65	2.82	3.05
海南	2.83	2.26	2.41	3.08	2.51	2.66
下津	2.76	2.24	2.39	3.01	2.49	2.64
御坊	2.67	2.30	2.45	2.92	2.55	2.7
白浜	1.97	1.91	1.96	2.22	2.16	2.21
串本	2.59	2.19	2.32	2.84	2.44	2.57
浦神	2.76	2.16	2.32	3.01	2.41	2.57

地図出典：「国土地理院電子地図」に加筆

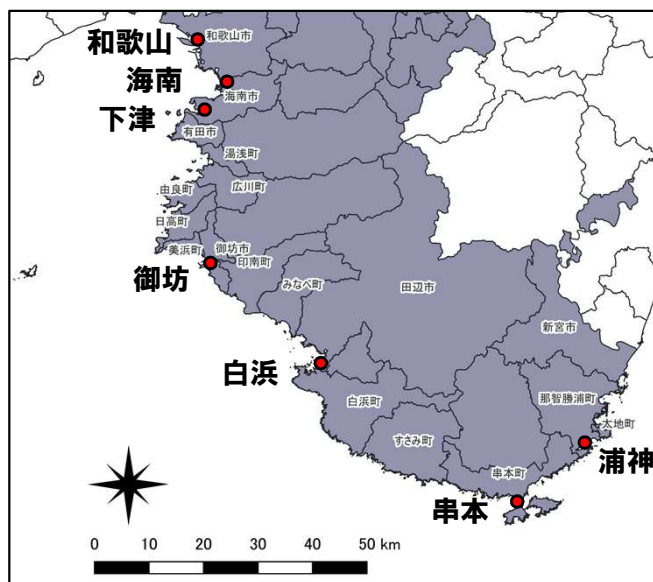
2-2-4. 手法(2)を用いた将来の設計高潮位



手法(2)を用いた将来設計高潮位(潮位偏差の増加は2040年までとし、それ以降一定)

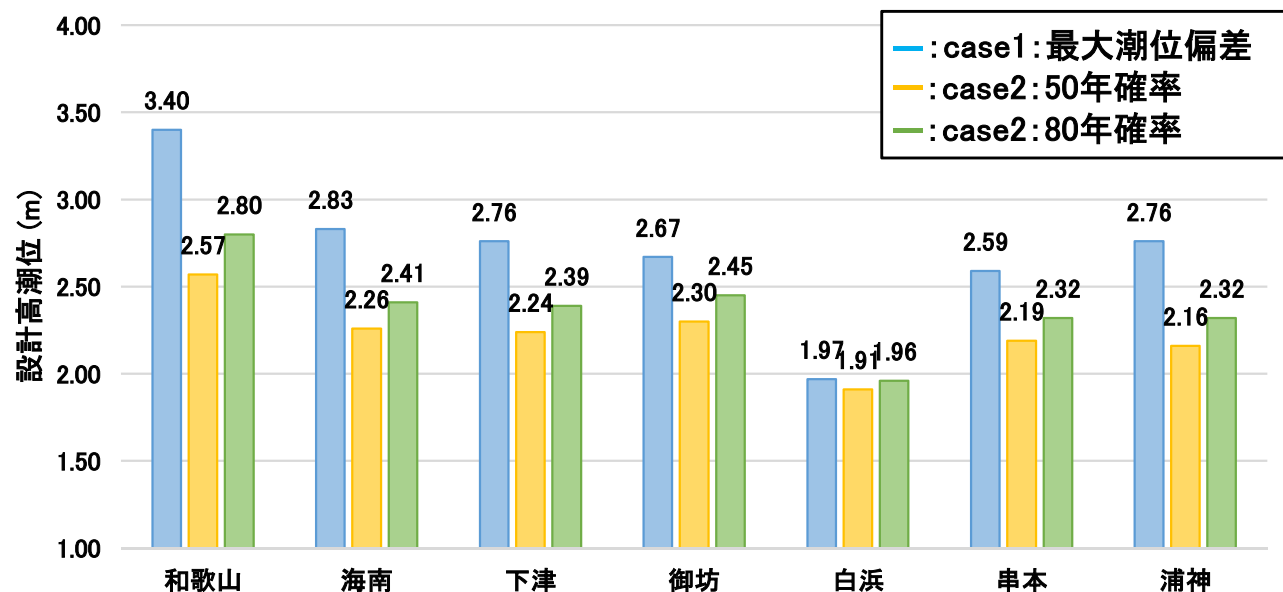
- d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮した、将来の設計高潮位を以下に示す。

将来設計高潮位の算出



地図出典：「国土地理院電子地図」に加筆

2040年時点の将来設計高潮位



	最大潮位偏差	確率規模別潮位偏差		HWL	変化率	海面上昇		将来設計高潮位 (2040年時点)			将来設計高潮位 (2100年時点)		
						2040年時点	2100年時点	case1	case2	case3	case1	case2	case3
	潮位偏差	50年確率	80年確率			2℃		最大潮位偏差	50年確率	80年確率	最大潮位偏差	50年確率	80年確率
和歌山	2.17	1.39	1.61	0.94	1.07	0.14	0.39	3.40	2.57	2.80	3.65	2.82	3.05
海南	1.63	1.10	1.24	0.93	1.08	0.14	0.39	2.83	2.26	2.41	3.08	2.51	2.66
下津	1.58	1.10	1.24	0.91	1.08	0.14	0.39	2.76	2.24	2.39	3.01	2.49	2.64
御坊	1.44	1.10	1.24	0.96	1.09	0.14	0.39	2.67	2.30	2.45	2.92	2.55	2.7
白浜	0.85	0.80	0.84	0.91	1.08	0.14	0.39	1.97	1.91	1.96	2.22	2.16	2.21
串本	1.44	1.06	1.18	0.94	1.05	0.14	0.39	2.59	2.19	2.32	2.84	2.44	2.57
浦神	1.76	1.17	1.33	0.84	1.01	0.14	0.39	2.76	2.16	2.32	3.01	2.41	2.57



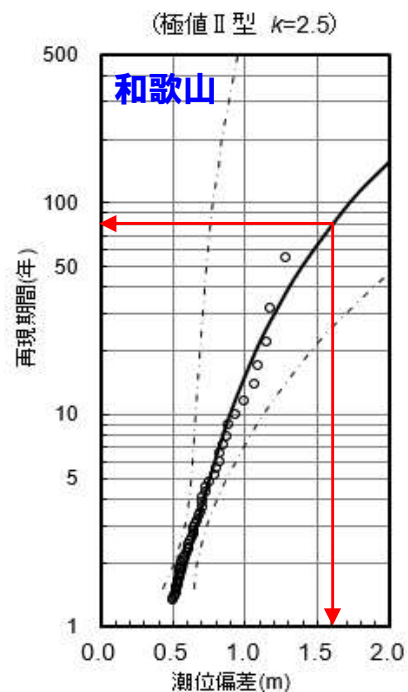
2-2-5. 潮位偏差の確率評価

■ 再現期間期間毎の潮位偏差

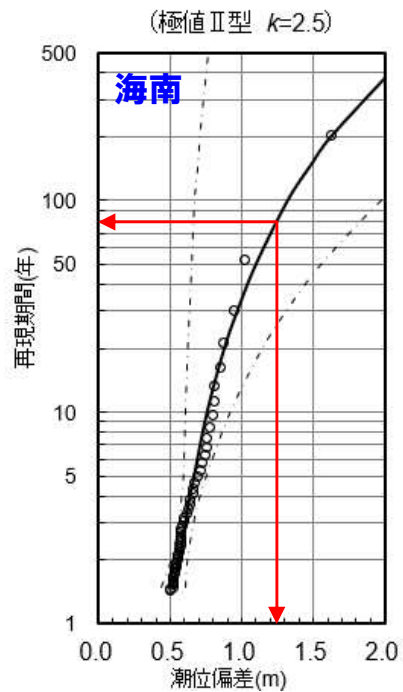
	和歌山	海南	白浜	串本	浦神
50年確率	1.39m	1.10m	0.80m	1.06m	1.17m
80年確率	1.61m	1.24m	0.84m	1.18m	1.33m
既往最大潮位偏差	2.17m	1.63m	0.85m	1.44m	1.76m
既往最大再現期間	203年	204年	87年	183年	211年

注：海南以外の潮位偏差は気象庁HP「歴史的潮位資料（平滑値）」より作成。海南については観測潮位と天文潮位の差から潮位偏差を算出。なお、和歌山、海南の第二室戸台風の最大潮位偏差については「大阪管区異常気象調査報告第9巻、第3号、p.49、1962年3月」を引用、串本については伊勢湾台風の再現計算値を使用。

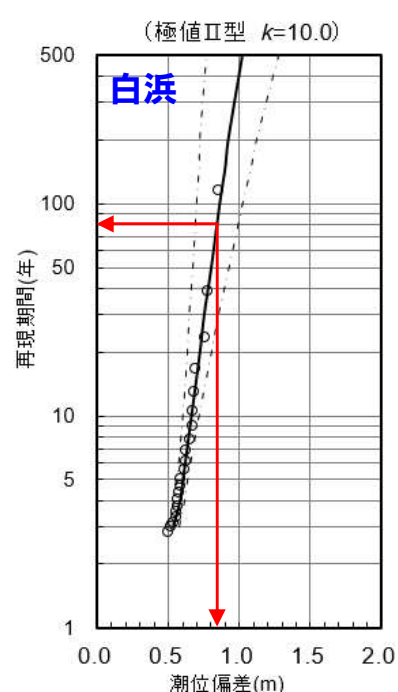
REC: ○下向DOL: ○上向DOL: ○
MIR: 0.187 相関係数: 0.992



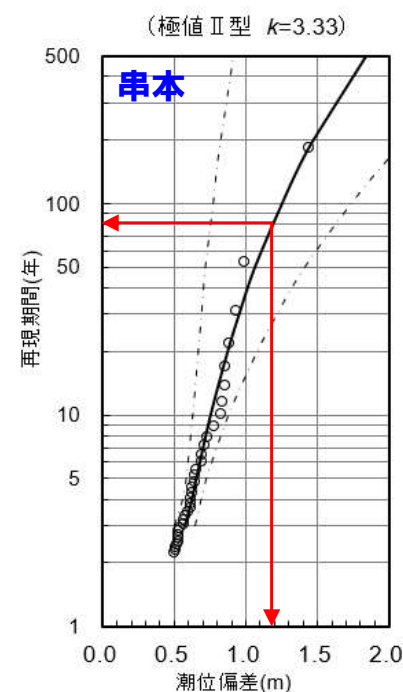
REC: ○下向DOL: ○上向DOL: ○
MIR: 0.183 相関係数: 0.992



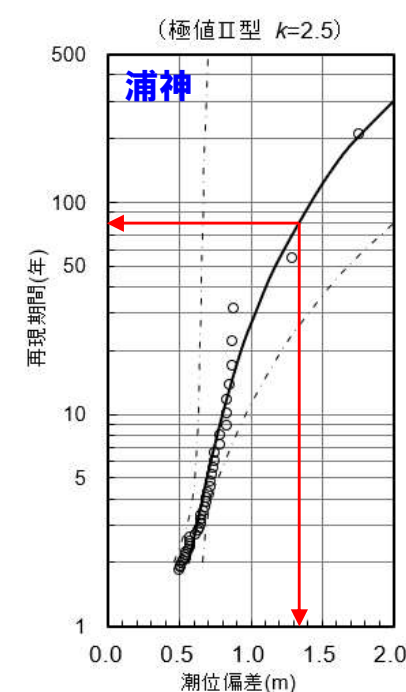
REC: ○下向DOL: ○上向DOL: ○
MIR: 0.258 相関係数: 0.992



REC: ○下向DOL: ○上向DOL: ○
MIR: 0.303 相関係数: 0.988



REC: ○下向DOL: ○上向DOL: ○
MIR: 0.372 相関係数: 0.982



■ 潮位偏差のプロットイング分布図

2. 将来の設計外力(想定台風解析)

2-3. 将来の設計波浪の設定



2-3-1. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果（波浪）



TY5915（伊勢湾台風）

- d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮し、波浪推算を実施した結果、最大波高の差分は2℃上昇シナリオでは最大0.39m、4℃上昇シナリオでは最大0.87mとなった。

【有義波高】

※単位：メートル

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
現在気候	6.70	7.39	7.78	7.58	10.30	10.67	10.81	12.88	15.72	17.50	15.64	15.87
2℃上昇	6.88	7.61	8.01	7.80	10.64	10.97	11.06	13.14	16.04	17.89	15.94	16.21
4℃上昇	7.11	7.88	8.30	8.09	11.08	11.33	11.37	13.44	16.42	18.37	16.31	16.62

【有義波高の変化量（差分）】

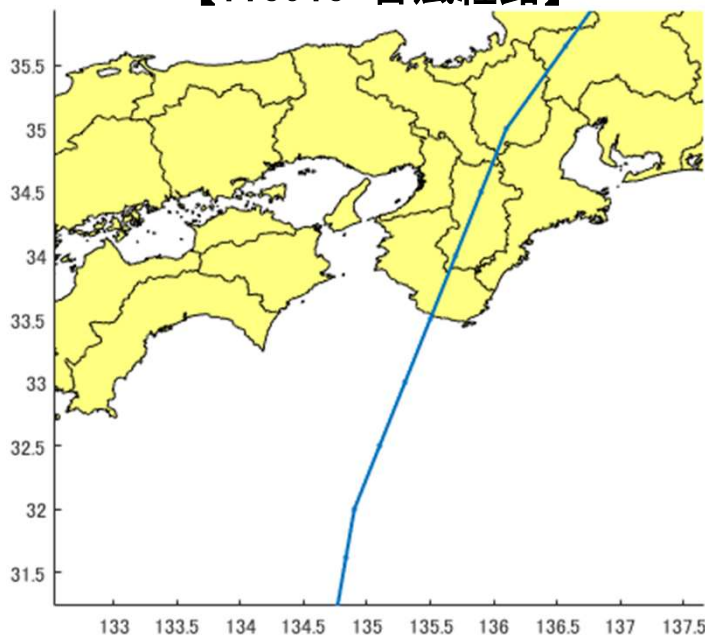
※単位：メートル

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
(2℃上昇)-(現在気候)	0.18	0.22	0.23	0.22	0.34	0.3	0.25	0.26	0.32	0.39	0.3	0.34
(4℃上昇)-(現在気候)	0.41	0.49	0.52	0.51	0.78	0.66	0.56	0.56	0.7	0.87	0.67	0.75

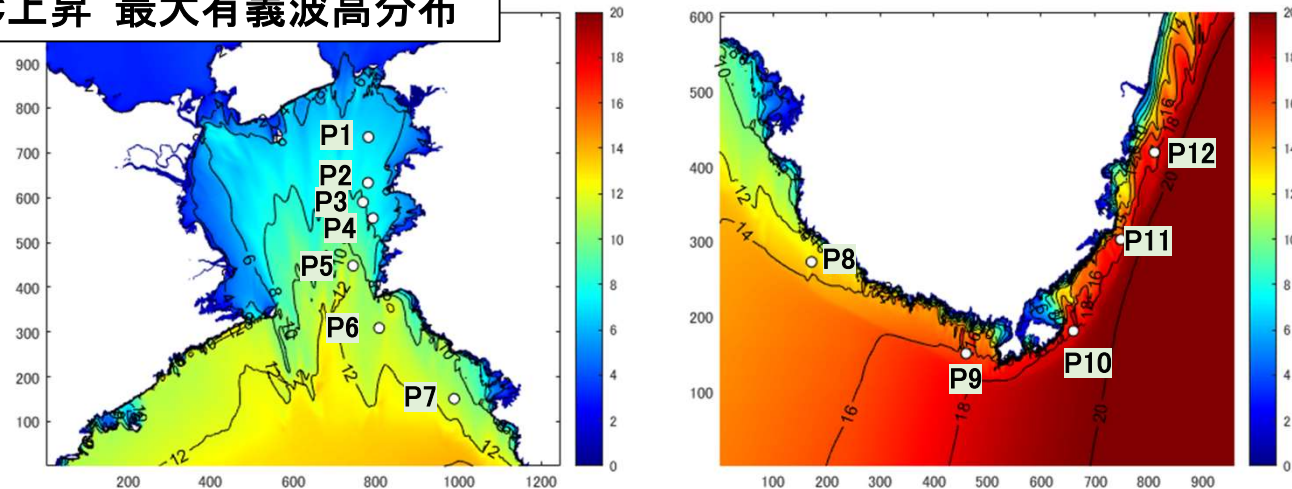
【有義波高の変化率（倍率）】

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
(2℃上昇)/(現在気候)	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
(4℃上昇)/(現在気候)	1.06	1.07	1.07	1.07	1.08	1.06	1.05	1.04	1.04	1.05	1.04	1.05

【TY5915 台風経路】



2℃上昇 最大有義波高分布



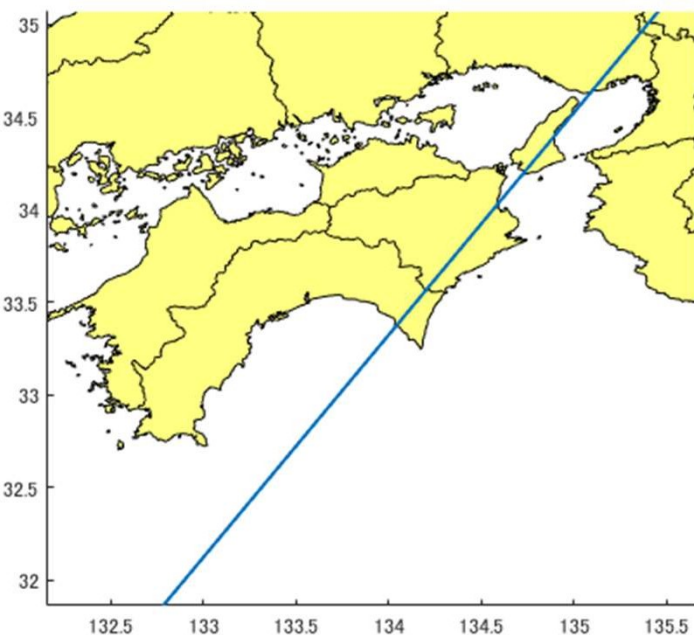
2-3-2. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果（波浪）



TY6118(第二室戸台風)

- d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮し、波浪推算を実施した結果、最大波高の差分は2℃上昇シナリオでは最大0.53m、4℃上昇シナリオでは最大1.13mとなった。

【TY6118 台風経路】



【有義波高】

※単位：メートル

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
現在気候	10.43	10.86	11.10	10.76	13.32	16.01	16.13	15.82	15.02	11.59	9.00	8.19
2℃上昇	10.64	11.08	11.31	10.95	13.61	16.47	16.59	16.32	15.55	12.06	9.39	8.55
4℃上昇	10.86	11.29	11.53	11.14	13.92	17.00	17.09	16.85	16.15	12.61	9.82	8.96

【有義波高の変化量（差分）】

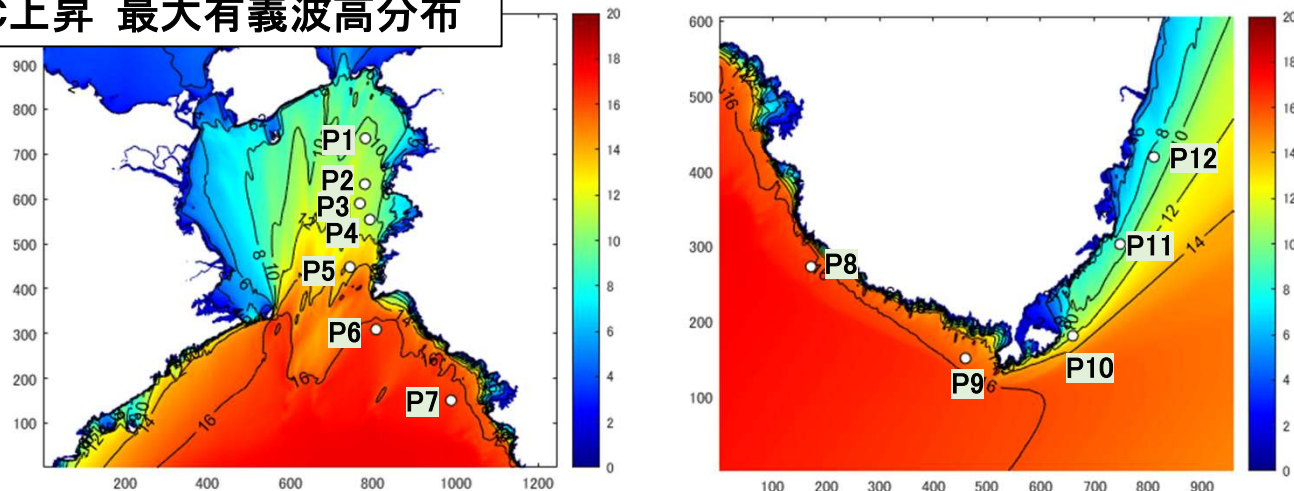
※単位：メートル

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
(2℃上昇)-(現在気候)	0.21	0.22	0.21	0.19	0.29	0.46	0.46	0.5	0.53	0.47	0.39	0.36
(4℃上昇)-(現在気候)	0.43	0.43	0.43	0.38	0.6	0.99	0.96	1.03	1.13	1.02	0.82	0.77

【有義波高の変化率（倍率）】

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
(2℃上昇)/(現在気候)	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04
(4℃上昇)/(現在気候)	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05	1.06	1.06	1.07	1.08	1.09	1.09	1.09

2℃上昇 最大有義波高分布



2-3-3. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果（波浪）

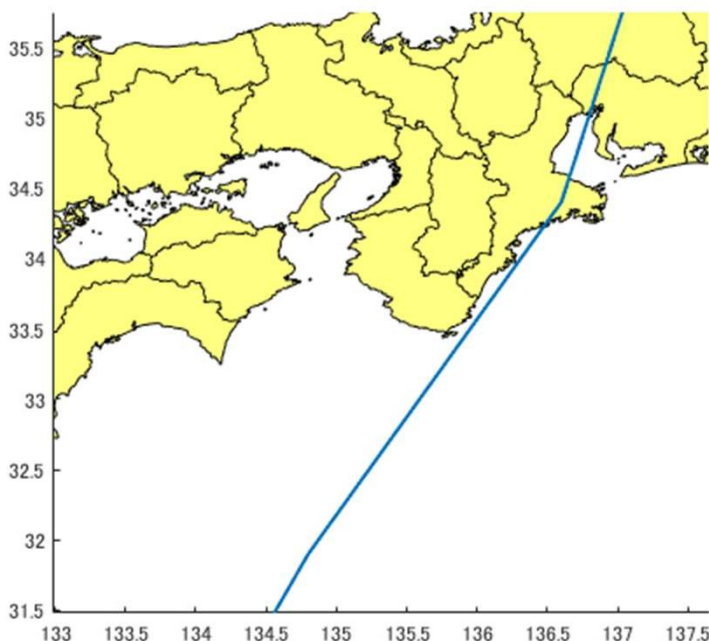


TY7220

- d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮し、波浪推算を実施した結果、最大波高の差分は2℃上昇シナリオでは最大0.33m、4℃上昇シナリオでは最大0.43mとなった。

【2℃上昇 最大有義波高分布】

【TY7220 台風経路】



【有義波高】

※単位：メートル

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
現在気候	5.06	5.78	6.20	6.05	7.99	8.04	8.57	9.05	10.15	10.73	9.61	9.29
2℃上昇	5.23	5.99	6.42	6.28	8.28	8.29	8.82	9.31	10.44	11.06	9.86	9.55
4℃上昇	5.31	6.07	6.50	6.35	8.32	8.34	8.89	9.42	10.52	11.16	9.97	9.67

【有義波高の変化量（差分）】

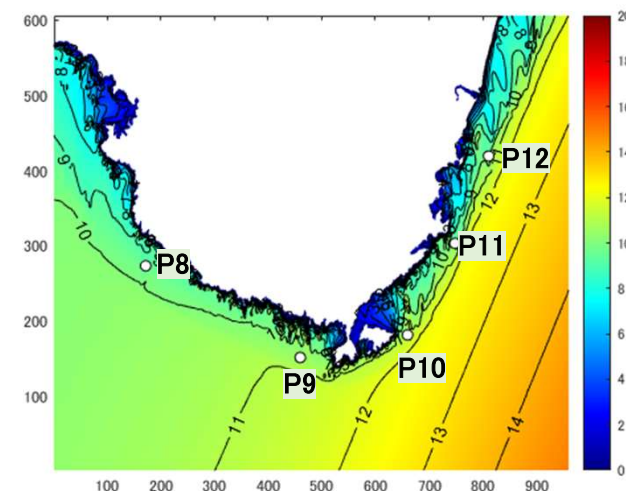
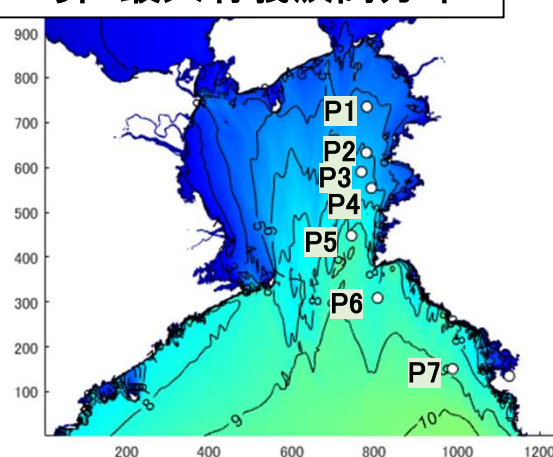
※単位：メートル

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
(2℃上昇)-(現在気候)	0.17	0.21	0.22	0.23	0.29	0.25	0.25	0.26	0.29	0.33	0.25	0.26
(4℃上昇)-(現在気候)	0.25	0.29	0.30	0.30	0.33	0.30	0.32	0.37	0.37	0.43	0.36	0.38

【有義波高の変化率（倍率）】

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
(2℃上昇)/(現在気候)	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
(4℃上昇)/(現在気候)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04

2℃上昇 最大有義波高分布



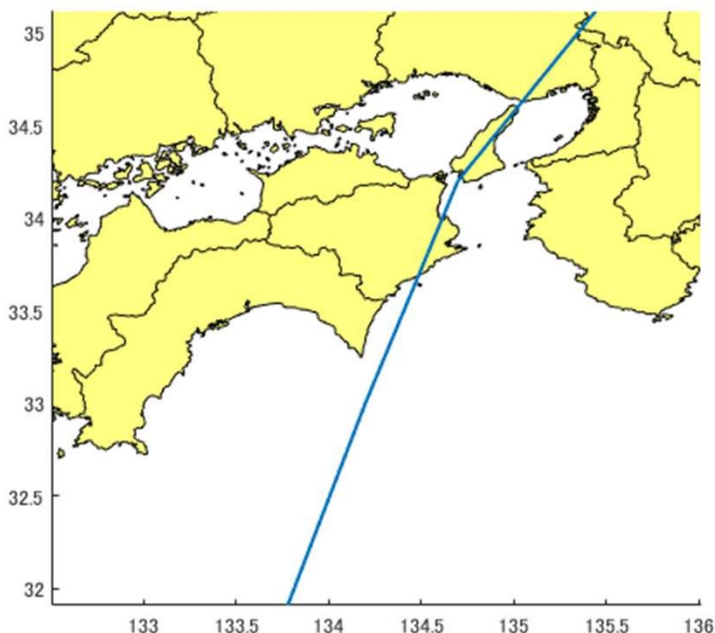
2-3-4. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果（波浪）



TY7506

- d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮し、波浪推算を実施した結果、最大波高の差分は2℃上昇シナリオでは最大0.45m、4℃上昇シナリオでは最大0.76mとなった。

【TY7506 台風経路】



【有義波高】

※単位：メートル

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
現在気候	6.09	6.50	6.80	6.65	8.03	8.68	8.94	10.03	9.75	8.96	7.97	7.55
2℃上昇	6.29	6.73	7.05	6.89	8.37	9.06	9.32	10.45	10.20	9.37	8.33	7.90
4℃上昇	6.43	6.89	7.22	7.06	8.62	9.34	9.59	10.74	10.51	9.65	8.58	8.13

【有義波高の変化量（差分）】

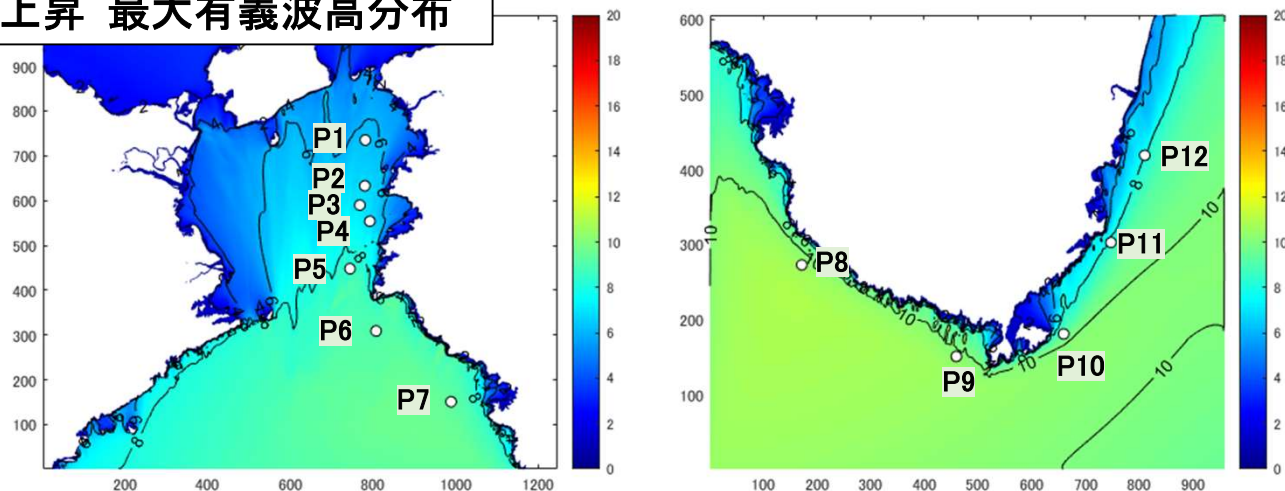
※単位：メートル

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
(2℃上昇)-(現在気候)	0.20	0.23	0.25	0.24	0.34	0.38	0.38	0.42	0.45	0.41	0.36	0.35
(4℃上昇)-(現在気候)	0.34	0.39	0.42	0.41	0.59	0.66	0.65	0.71	0.76	0.69	0.61	0.58

【有義波高の変化率（倍率）】

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
(2℃上昇)/(現在気候)	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05	1.05	1.05
(4℃上昇)/(現在気候)	1.06	1.06	1.06	1.06	1.07	1.08	1.07	1.07	1.08	1.08	1.08	1.08

2℃上昇 最大有義波高分布



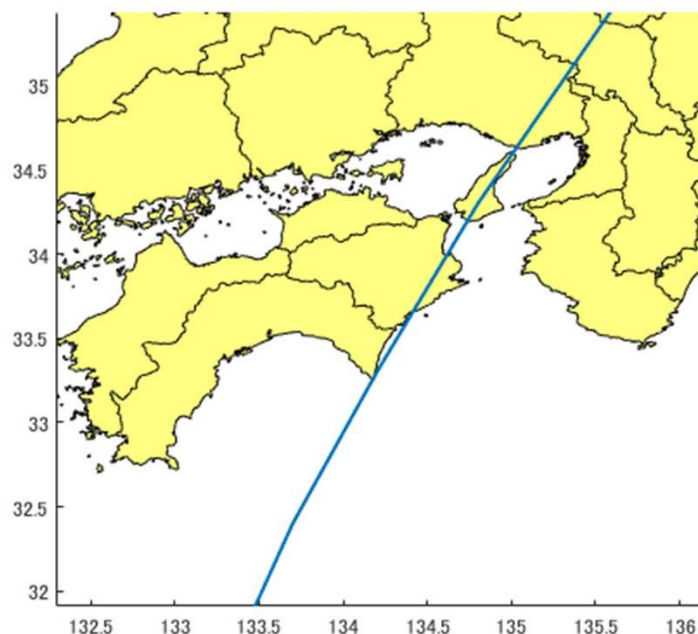
2-3-5. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果（波浪）



TY1821

- d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮し、波浪推算を実施した結果、最大波高の差分は2℃上昇シナリオでは最大0.51m、4℃上昇シナリオでは最大0.61mとなった。

【TY1821 台風経路】



【有義波高】

※単位：メートル

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
現在気候	9.68	10.34	10.81	10.41	13.30	15.40	15.82	15.84	15.54	13.46	11.06	10.08
2℃上昇	9.93	10.63	11.12	10.70	13.78	16.01	16.36	16.39	16.15	14.04	11.51	10.53
4℃上昇	10.12	10.86	11.37	10.93	14.18	16.47	16.80	16.84	16.66	14.52	11.90	10.92

【有義波高の変化量（差分）】

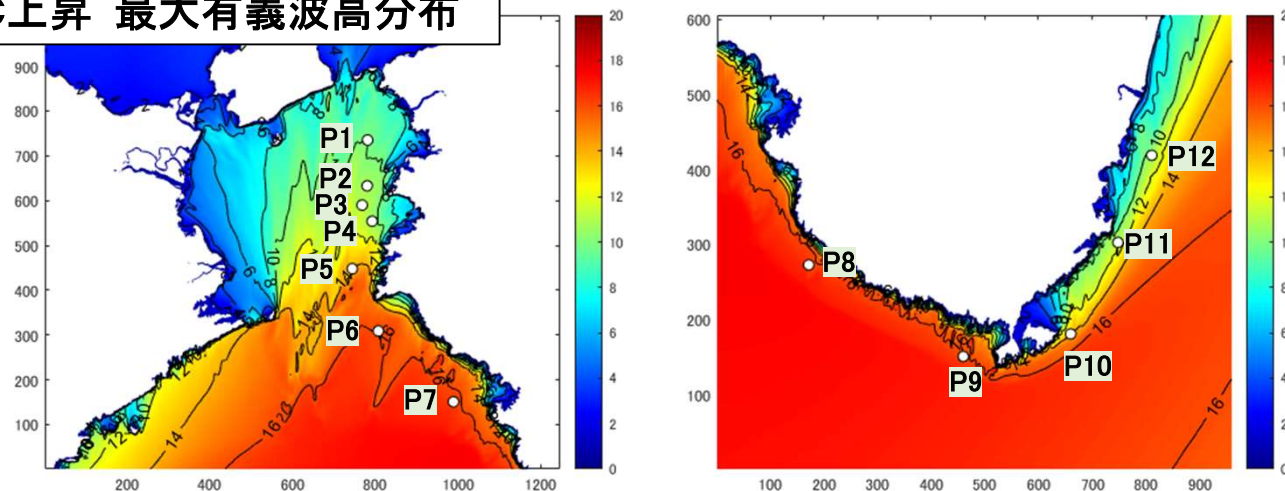
※単位：メートル

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
(2℃上昇)-(現在気候)	0.19	0.23	0.25	0.23	0.4	0.46	0.44	0.45	0.51	0.48	0.39	0.39
(4℃上昇)-(現在気候)	0.25	0.29	0.31	0.29	0.48	0.61	0.54	0.55	0.61	0.58	0.45	0.45

【有義波高の変化率（倍率）】

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
(2℃上昇)/(現在気候)	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04
(4℃上昇)/(現在気候)	1.05	1.05	1.05	1.05	1.07	1.07	1.06	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08

2℃上昇 最大有義波高分布



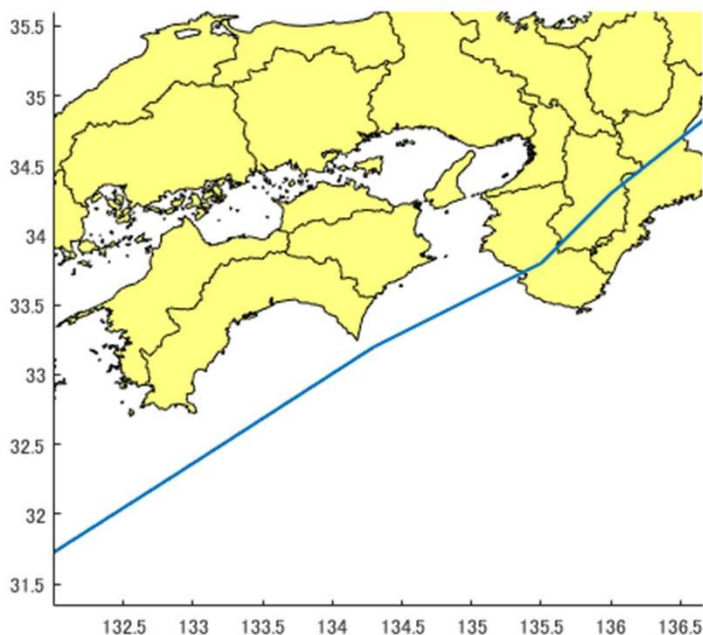
2-3-6. 気候変動を踏まえた計画外力の検討結果（波浪）



TY1824

- d4PDFを用いた将来の台風の気圧低下を考慮し、波浪推算を実施した結果、最大波高の差分は2℃上昇シナリオでは最大0.63m、4℃上昇シナリオでは最大1.14mとなった。

【TY1824 台風経路】



【有義波高】

※単位：メートル

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
現在気候	5.63	6.23	6.51	6.61	8.11	10.72	12.27	14.10	15.57	12.28	9.29	8.36
2℃上昇	5.80	6.42	6.71	6.82	8.37	11.16	12.71	14.65	16.20	12.78	9.64	8.68
4℃上昇	5.95	6.59	6.87	7.00	8.58	11.55	13.08	15.10	16.71	13.18	9.92	8.94

【有義波高の変化量（差分）】

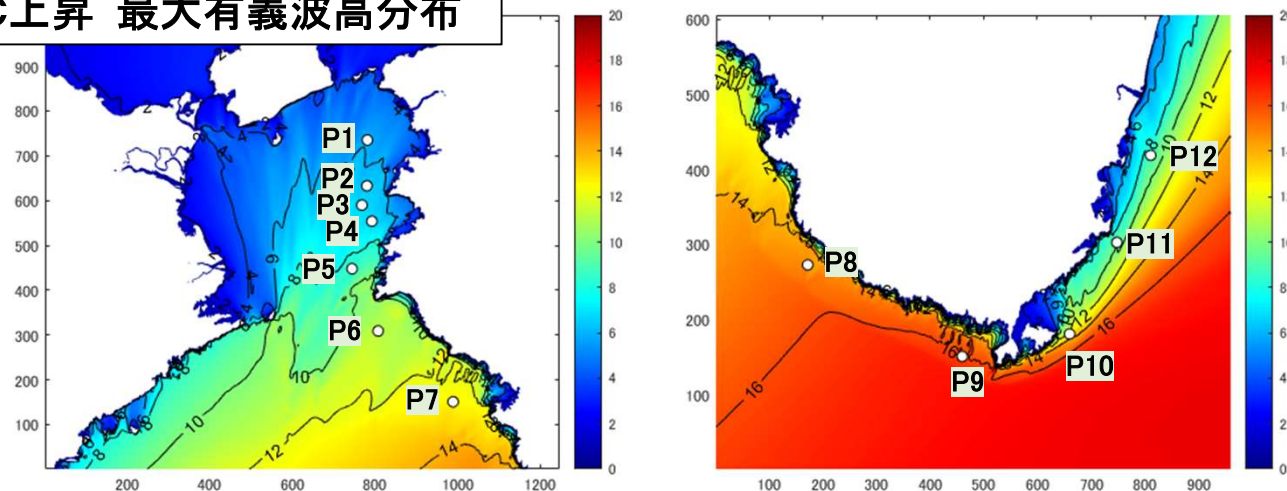
※単位：メートル

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
(2℃上昇)-(現在気候)	0.17	0.19	0.2	0.21	0.26	0.44	0.44	0.55	0.63	0.5	0.35	0.32
(4℃上昇)-(現在気候)	0.32	0.36	0.36	0.39	0.47	0.83	0.81	1	1.14	0.9	0.63	0.58

【有義波高の変化率（倍率）】

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
(2℃上昇)/(現在気候)	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
(4℃上昇)/(現在気候)	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.08	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07

2℃上昇 最大有義波高分布



3. 将来の設計外力(不特定多数の台風解析)

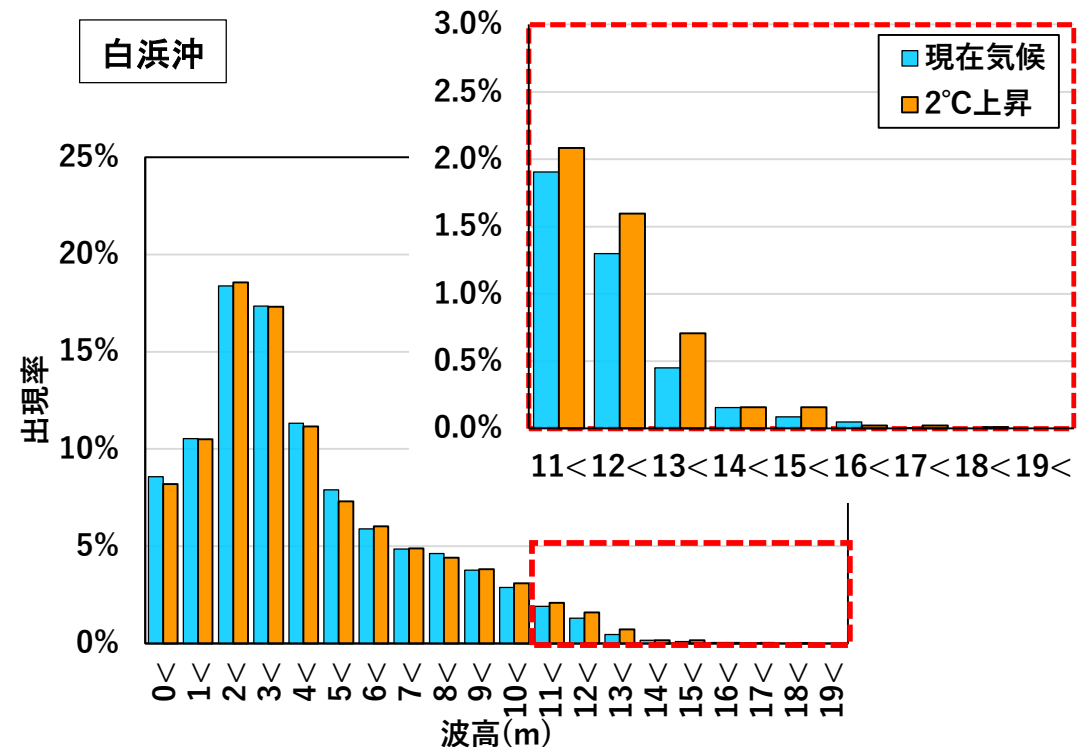
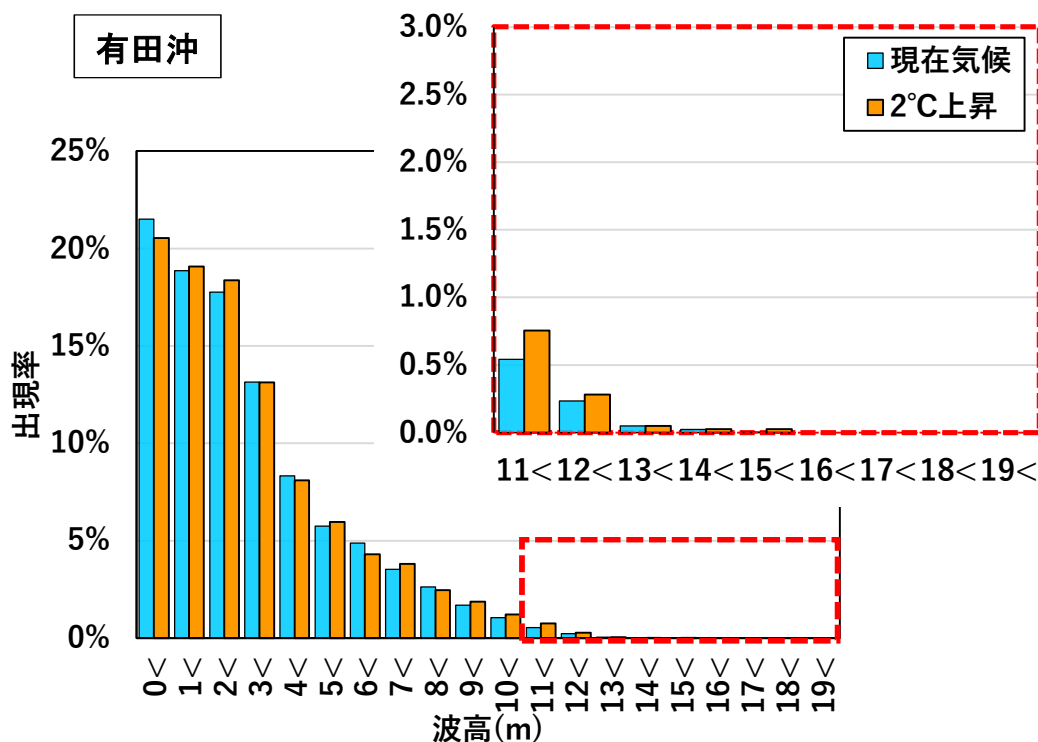


3-1. パラメータ波浪推算モデルによる推算結果



波高別出現頻度分布

- 現在気候、2℃上昇シナリオ別の波高出現頻度分布を下記に示す。有田沖での最大波高は現在気候、2℃上昇シナリオとも15m台となっており、白浜沖の2℃上昇シナリオでは18m台が出現している。
- いずれの地点においても高波浪の出現率は、現在気候に比べて2℃上昇シナリオの方が若干高くなっていることが伺える。



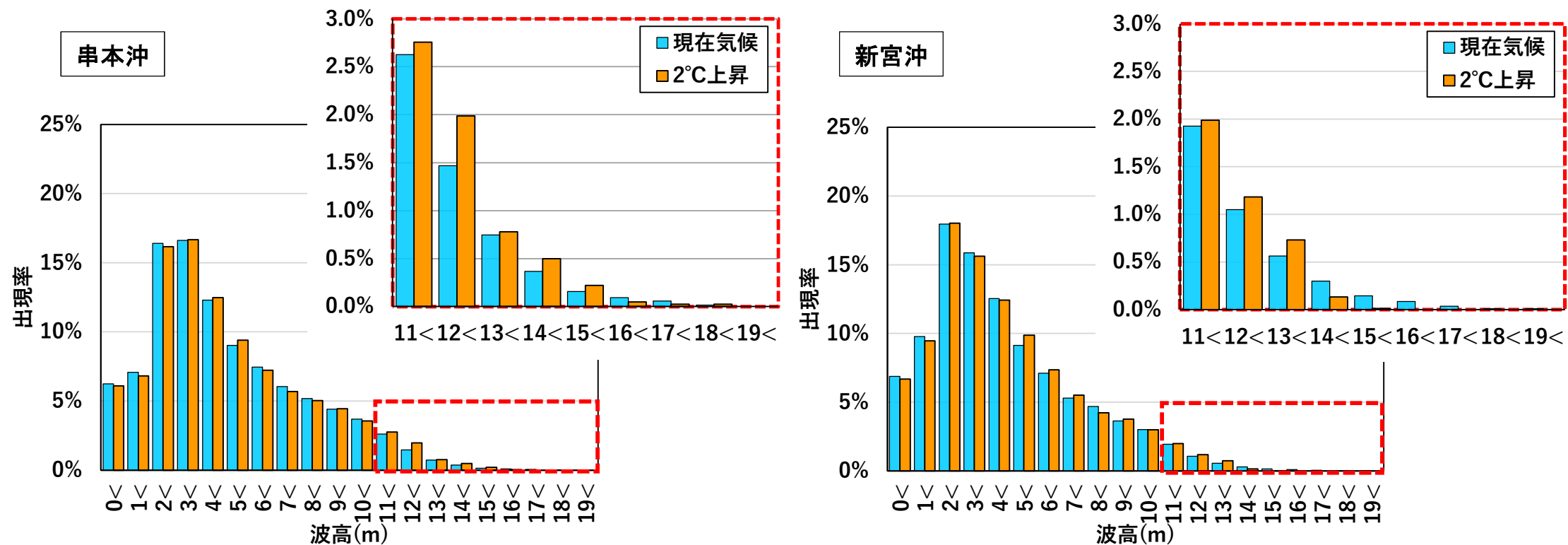
■ パラメータ波浪推算モデルによる波高別出現頻度分布

3-2. パラメータ波浪推算モデルによる推算結果



波高別出現頻度分布

- 現在気候、2℃上昇シナリオ別の波高出現頻度分布を下記に示す。串本沖、新宮沖での最大波高は現在気候、2℃上昇シナリオとも18mを超える波高が出現している。
- いずれの地点においても高波浪の出現率は、現在気候に比べて2℃上昇シナリオの方が若干高くなっていることが伺える。



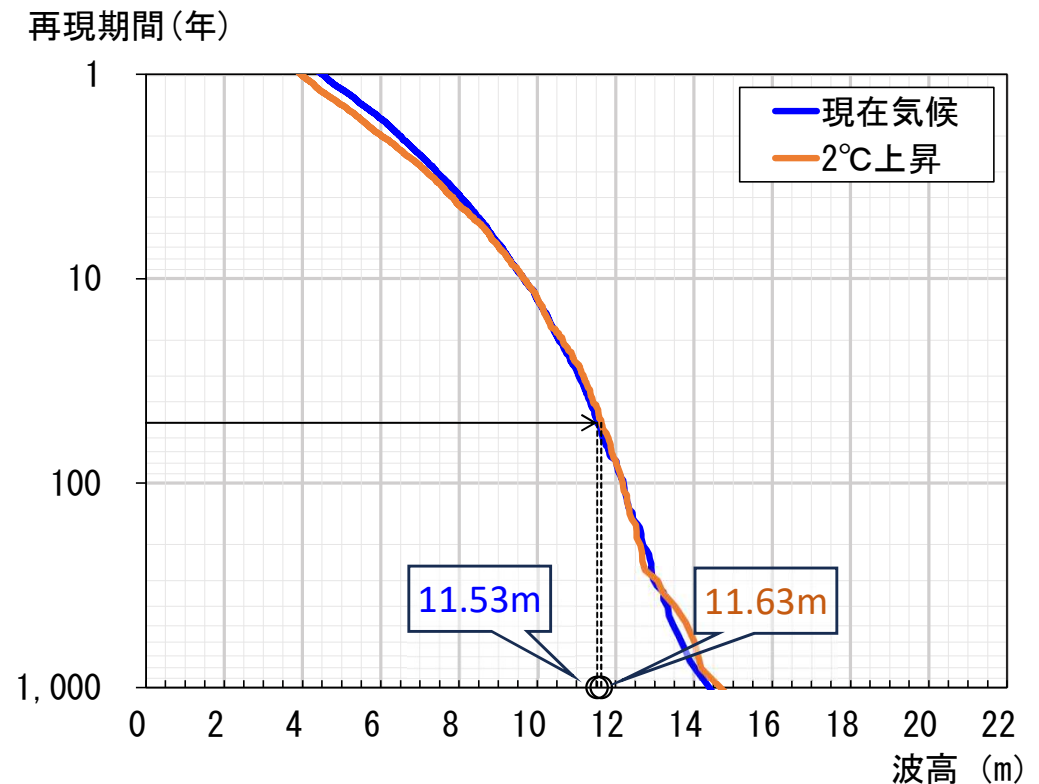
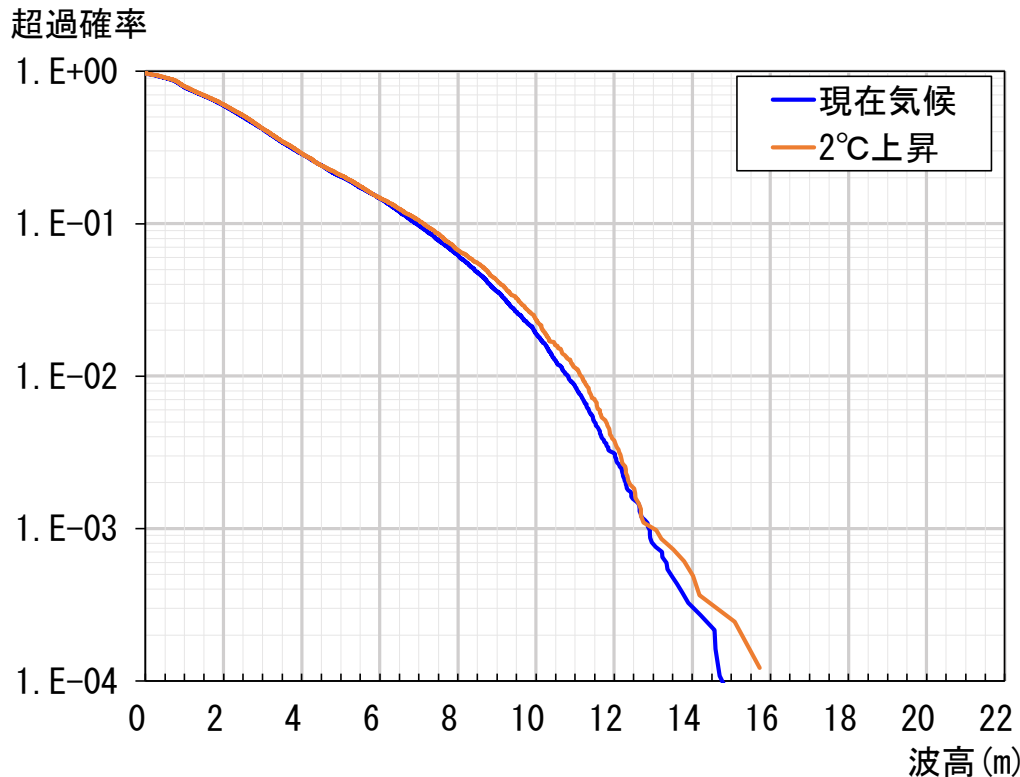
■ パラメータ波浪推算モデルによる波高別出現頻度分布

3-3. 極値統計計算による確率波高の計算結果



確率波高の計算結果(有田沖)

- 全トラックデータを対象とした波高の推算結果を用い、超過確率および再現期間を求めた。その結果を下記に示す。
- 50年確率波高は**現在気候は11.53m**、**2°C上昇シナリオは11.63m**となった(変化率1.01)。なお、気象庁ベストトラックとd4PDF過去実験の台風トラックデータでは、抽出範囲内を通過する年平均個数に差異があることから、確率統計量を求める際には年発生個数 λ にバイアス補正として α (=気象庁ベストトラック通過個数:4.15/ d4PDF過去実験通過個数:3.08=1.35)を乗じている。



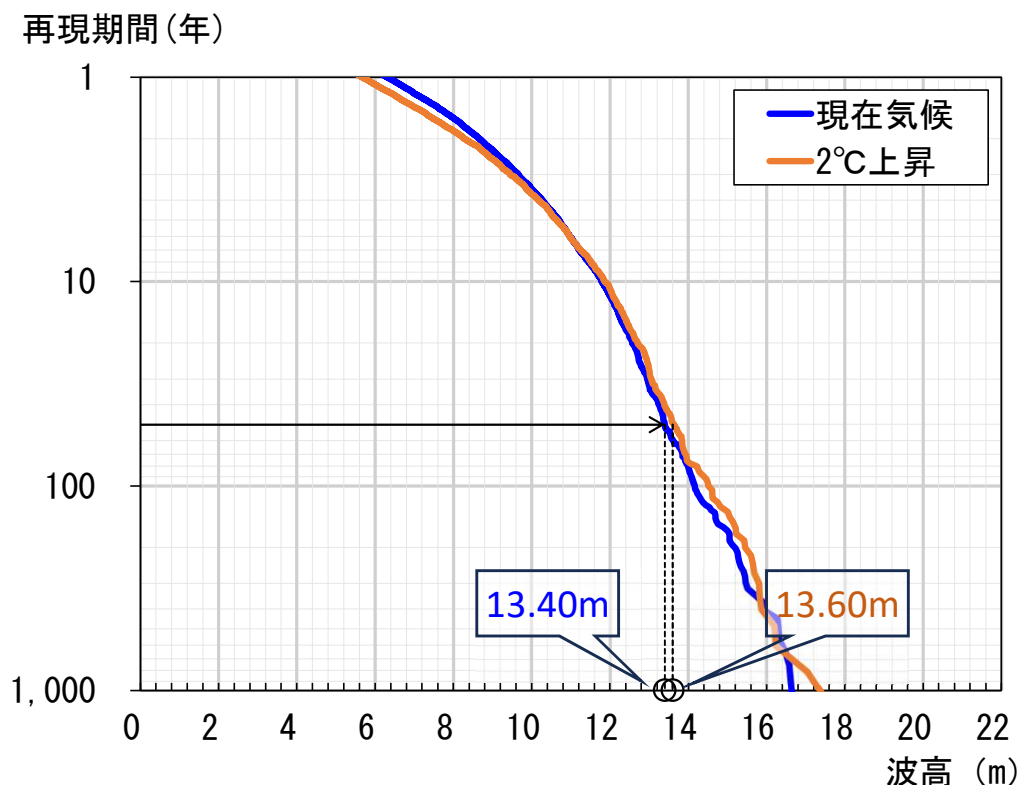
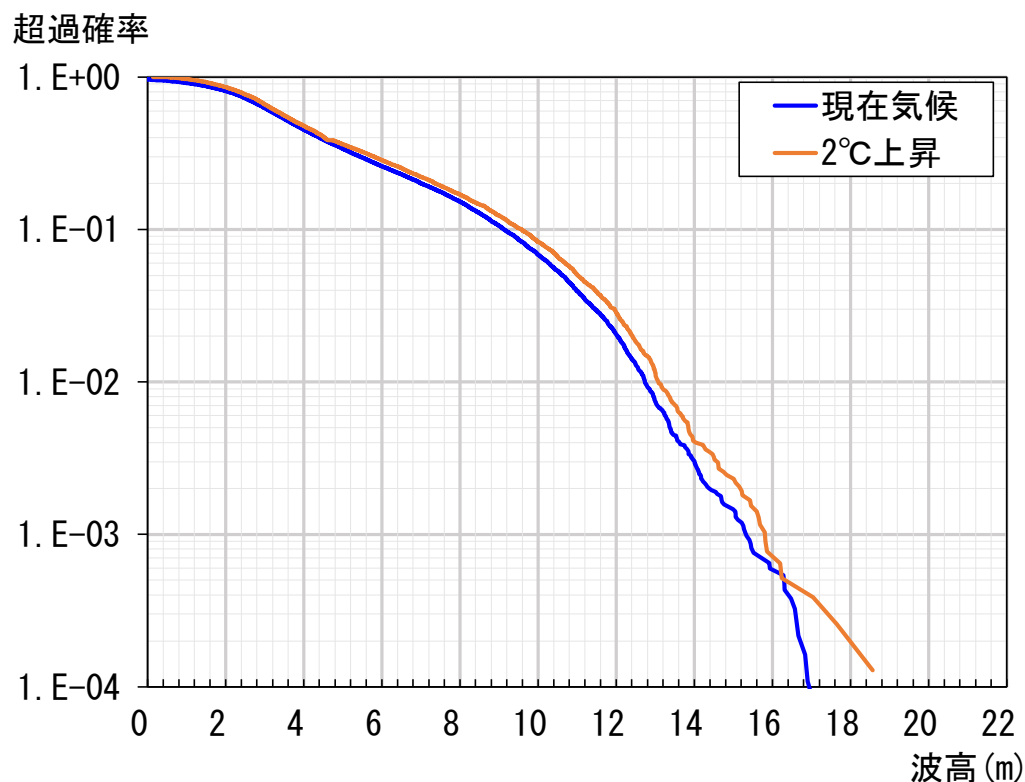
■ 超過確率および再現期間の分布図(有田沖)

3-4. 極値統計計算による確率波高の計算結果



確率波高の計算結果(白浜沖)

- 全トラックデータを対象とした波高の推算結果を用い、超過確率および再現期間を求めた。その結果を下記に示す。
- 50年確率波高は**現在気候は13.40m**、**2°C上昇シナリオは13.60m**となった(変化率1.01)。



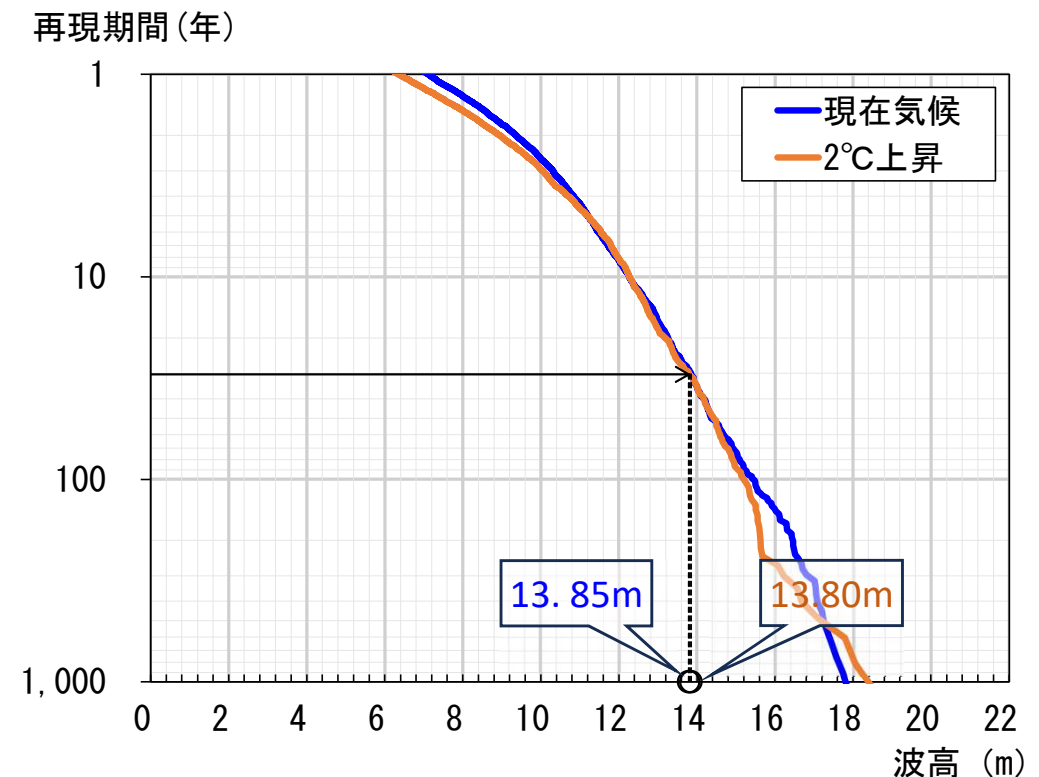
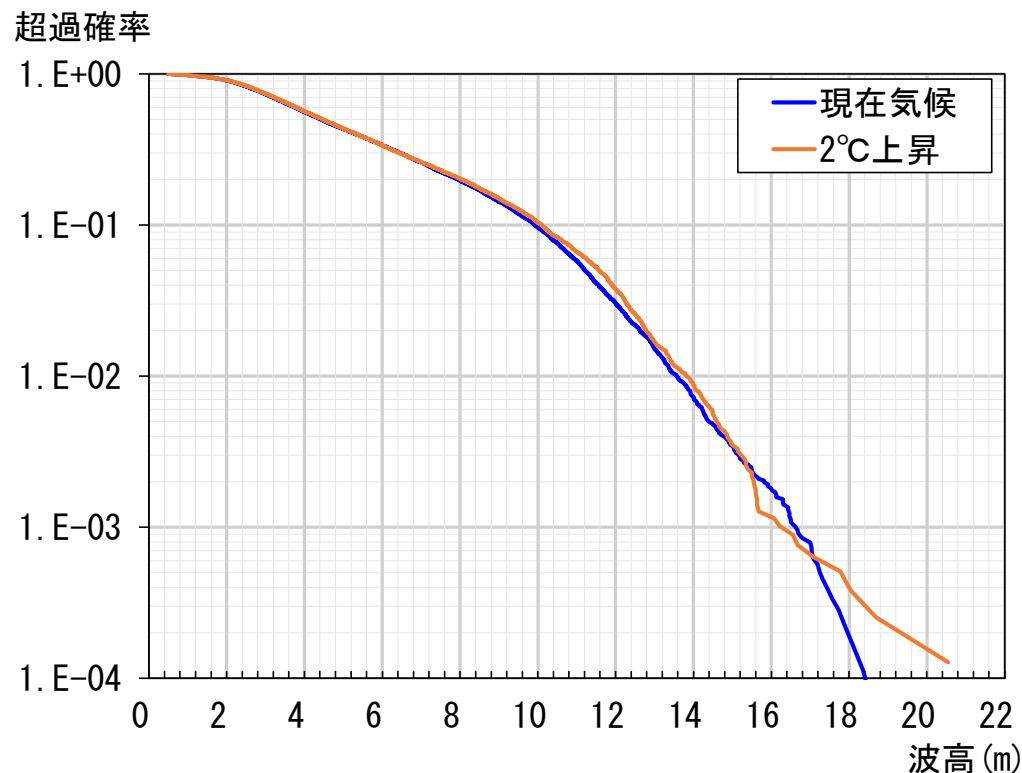
■ 超過確率および再現期間の分布図(白浜沖)

3-5. 極値統計計算による確率波高の計算結果



確率波高の計算結果(串本沖)

- 全トラックデータを対象とした波高の推算結果を用い、超過確率および再現期間を求めた。その結果を下記に示す。
- 50年確率波高は**現在気候は13.85m**、**2°C上昇シナリオは13.80m**となった(変化率1.00)。



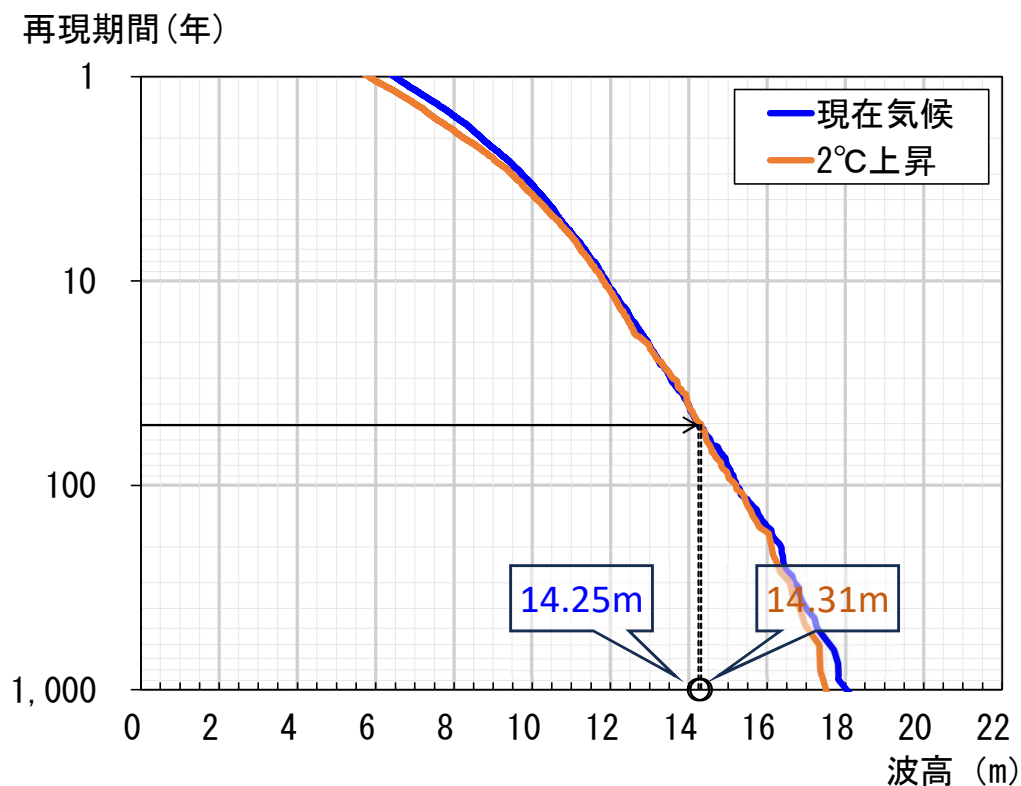
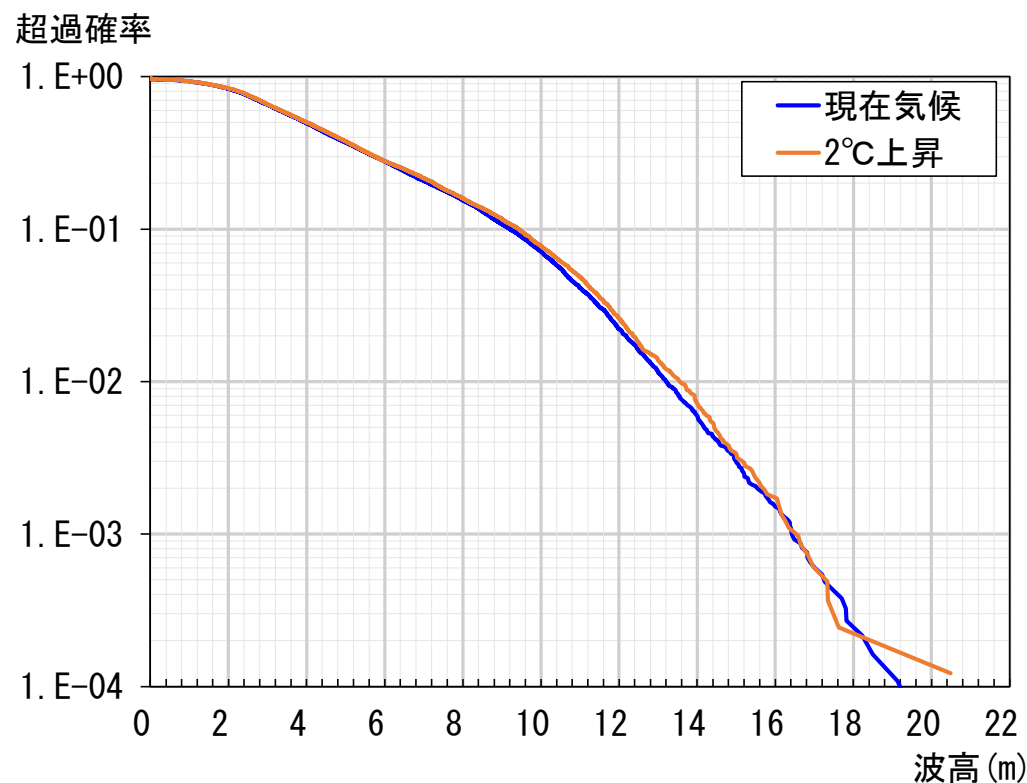
■ 超過確率および再現期間の分布図(串本沖)

3-6. 極値統計計算による確率波高の計算結果



確率波高の計算結果(新宮沖)

- 全トラックデータを対象とした波高の推算結果を用い、超過確率および再現期間を求めた。その結果を下記に示す。
- 50年確率波高は**現在気候は14.25m**、**2°C上昇シナリオは14.31m**となった(変化率1.00)。



■ 超過確率および再現期間の分布図(新宮沖)

4. 防護水準の検討



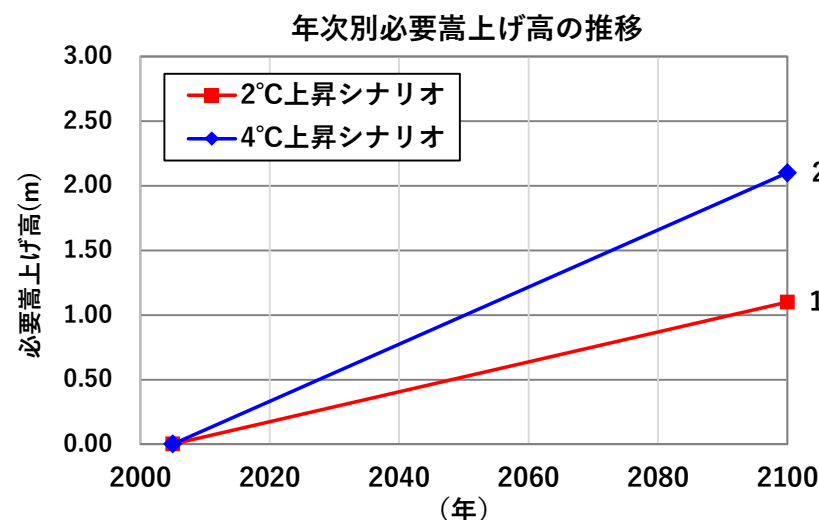
4-1. 余裕高の設定について



- 堤防、護岸等において、天端高の決定は施設の機能を満足するように設定することが求められており、基本的な考え方として次のように示されている。また、**必要に応じて余裕高を考慮すること**が「海岸保全施設の技術上の基準・同解説, p3-30, (以下、技術上の基準)」に示されている。

高潮に対する必要高 = 設計潮位 + 設計波に対する必要高

- 余裕高の設定については、「必要高の決定に際して考慮すべき事項」において、下記のように示されている(技術上の基準, p3-31,32)。
 - 天端高の決定にあたっては、合理的な方法で求められたとしても、若干の不確実性を伴う。そのため、**若干の不確実性を考慮して余裕高を設定する**。
 - 一方で、余裕高を大きくとれば工費の増大を招き、不経済となることから、**背後地の社会的、経済的重要度を一つの目安として余裕高を決定することが妥当な方法である**。
 - すなわち、背後地に市街地又は重要な公共施設等が存在して、**高度の安全性を要する場合には、最大1.0m程度を限度として余裕高を適宜決定**されることが多い。



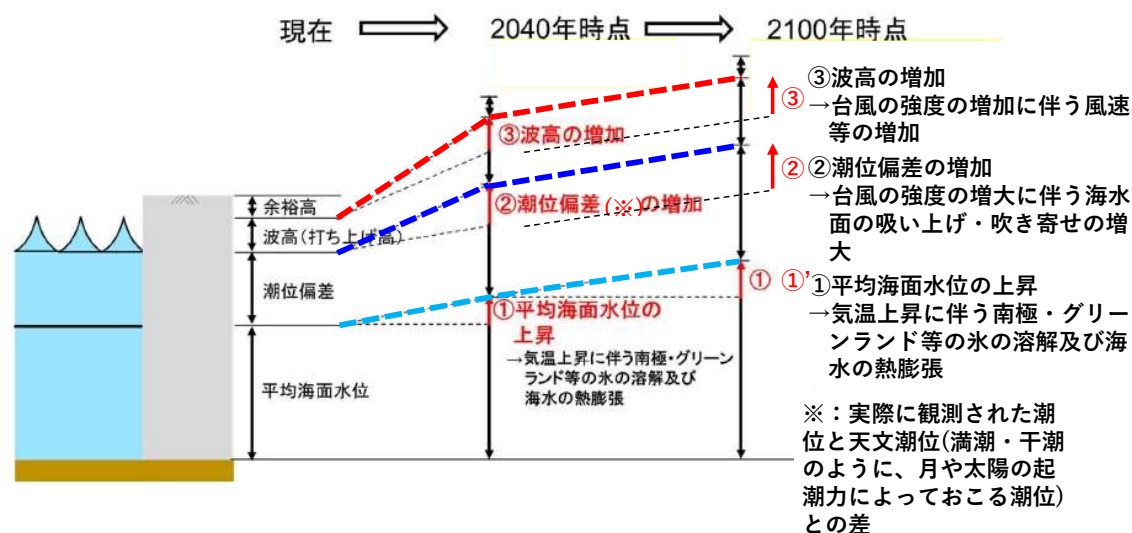
4°C上昇シナリオのリスクへの対応については、2°C上昇シナリオに基づいて設定された天端高に対して余裕高を適切に見込んで対応

■ 4°C上昇シナリオのリスクへの対応

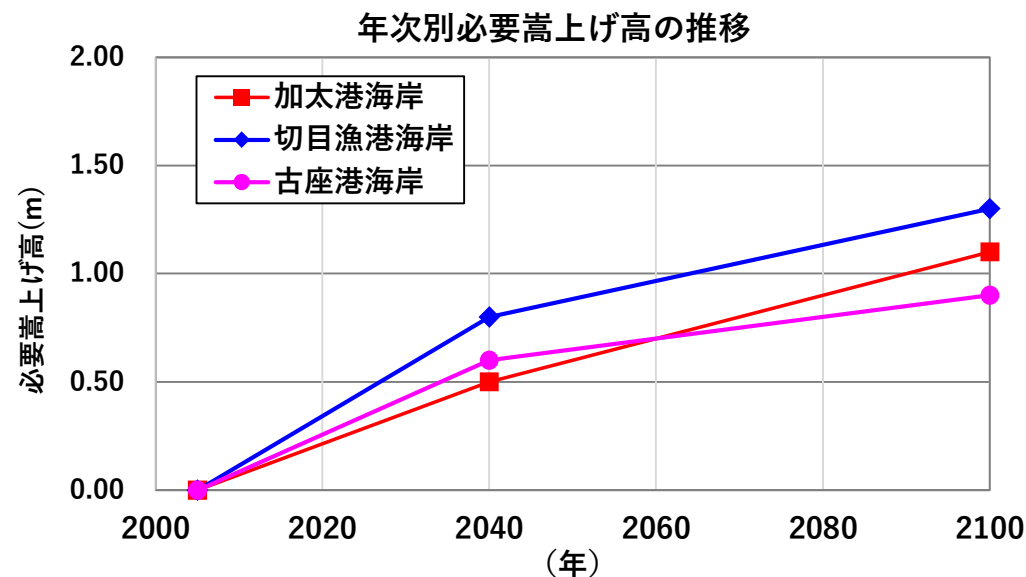
4-2. 2040年時点での外力変化を考慮した検討



- 気候変動に伴う将来の外力変化の考え方として、平均海面水位の上昇量、潮位偏差及び波高の増加を2100年まで一定として設定する方法とは別に、 2°C 上昇シナリオでは潮位偏差及び波高の増加は2040年までとし、それ以降の増加を見込まない考え方が示されている。
- 2040年時点での外力(海面上昇量は2040年時点の増加分、潮位偏差および波浪は2100年時点での変化率を使用)を用いた場合の代表海岸での必要天端高を求め、必要嵩上げ高の推移を整理した。なお、試算に用いた設計高潮位は手法2の80年確率潮位偏差のケースとした。
- 紀中の切目漁港海岸、紀南の古座港海岸では2040年時点では嵩上げ高は0.6~0.8mになるのに対し、2040年から2100年までは0.3~0.5mとなり、2040年までの嵩上げ高が大きくなっている。一方、紀北の加太港海岸では2040年時点では0.5mの嵩上げに対して、2040年以降も0.6mの嵩上げが必要となり、紀中、紀南とは傾向が異なることが確認できた。



■ 気候変動に伴う外力変化のイメージ



■ 年次別必要嵩上げ高の推移(試算)

5. 将来の設計外力(津波)



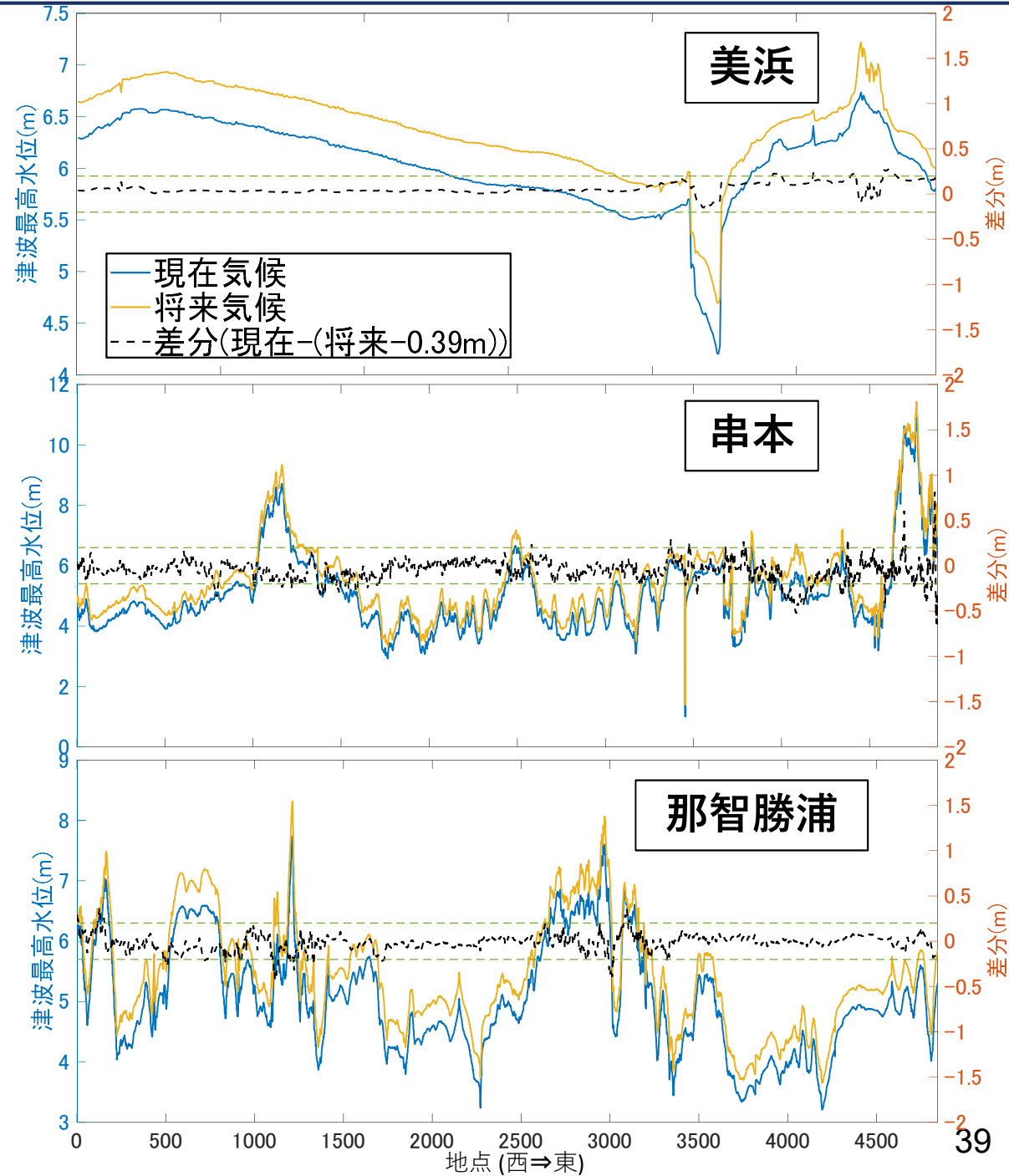
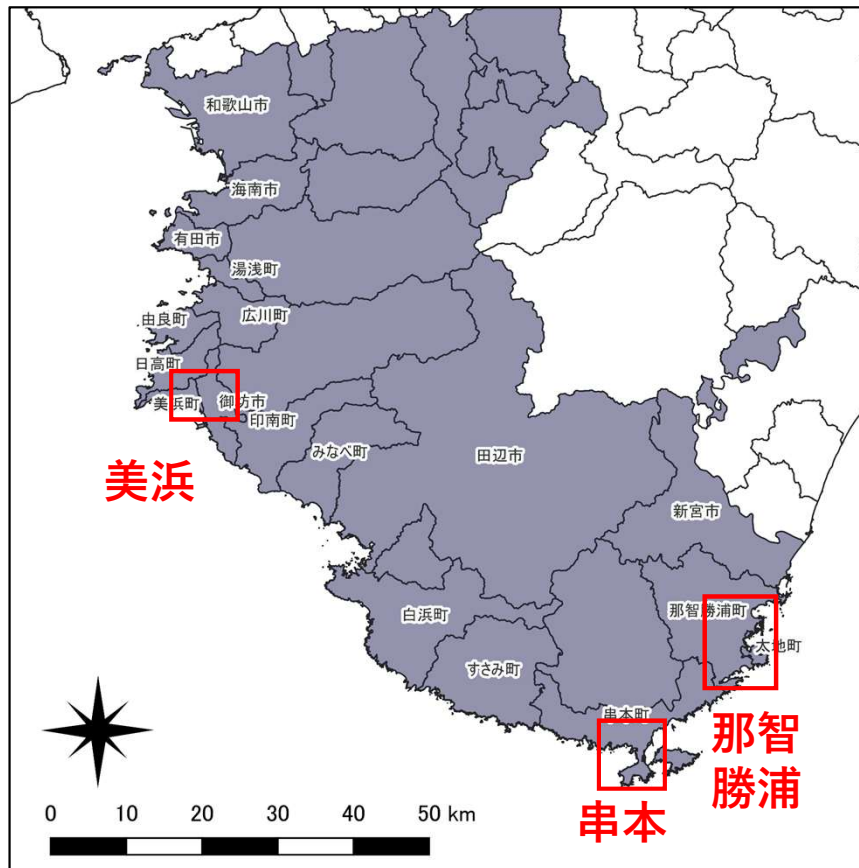
5-1. 気候変動を考慮した最大津波水位の算出結果



気候変動を考慮した最大津波水位の算出

- ・ 朔望平均満潮位に気候変動による海面上昇量を加味した潮位条件で、津波計算を実施した。

地図出典：「国土地理院電子地図」に加筆



5-2. 気候変動を考慮した最大津波水位の算出結果

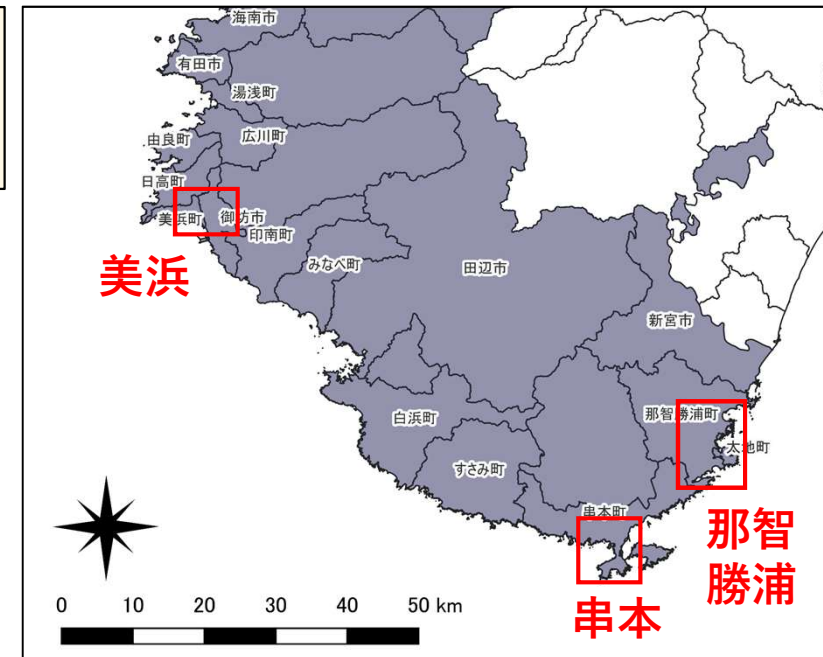


気候変動を考慮した最大津波水位の算出

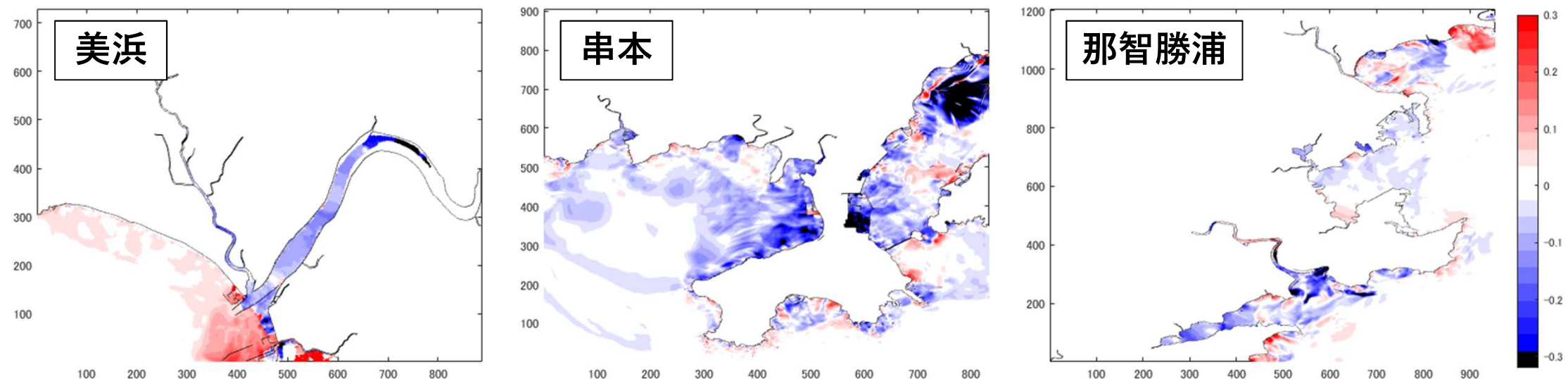
- 気候変動前と後の最大津波水位の差分分布図を以下に示す。

■ 抽出点の最大津波水位の差分 現在気候 - (将来気候 - 39cm)

領域	最大	最小	平均
美浜	0.372m	-0.435m	-0.018m
串本	0.814m	-0.642m	-0.056m
那智勝浦	0.275m	-0.150m	0.062m



■ 最大津波水位の差分図 現在気候 - (将来気候 - 39cm)



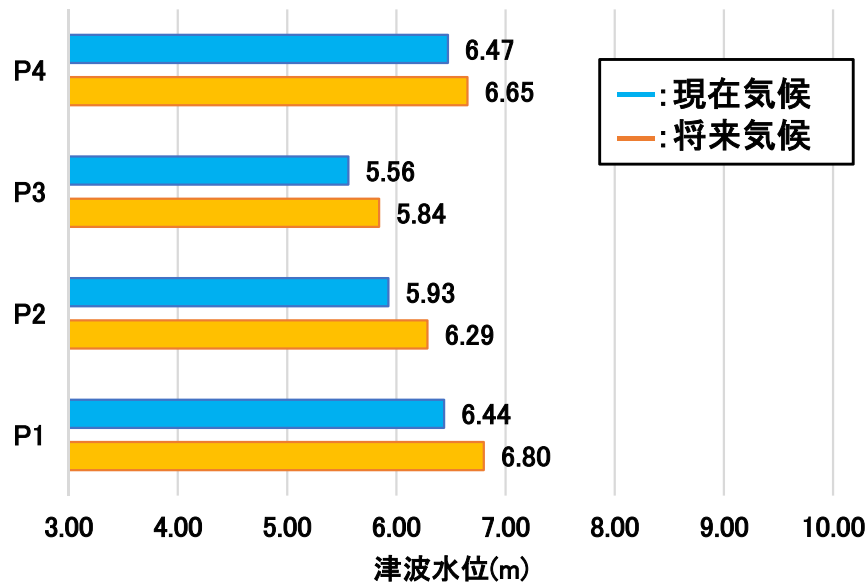
5-3. 気候変動を考慮した最大津波水位の算出結果



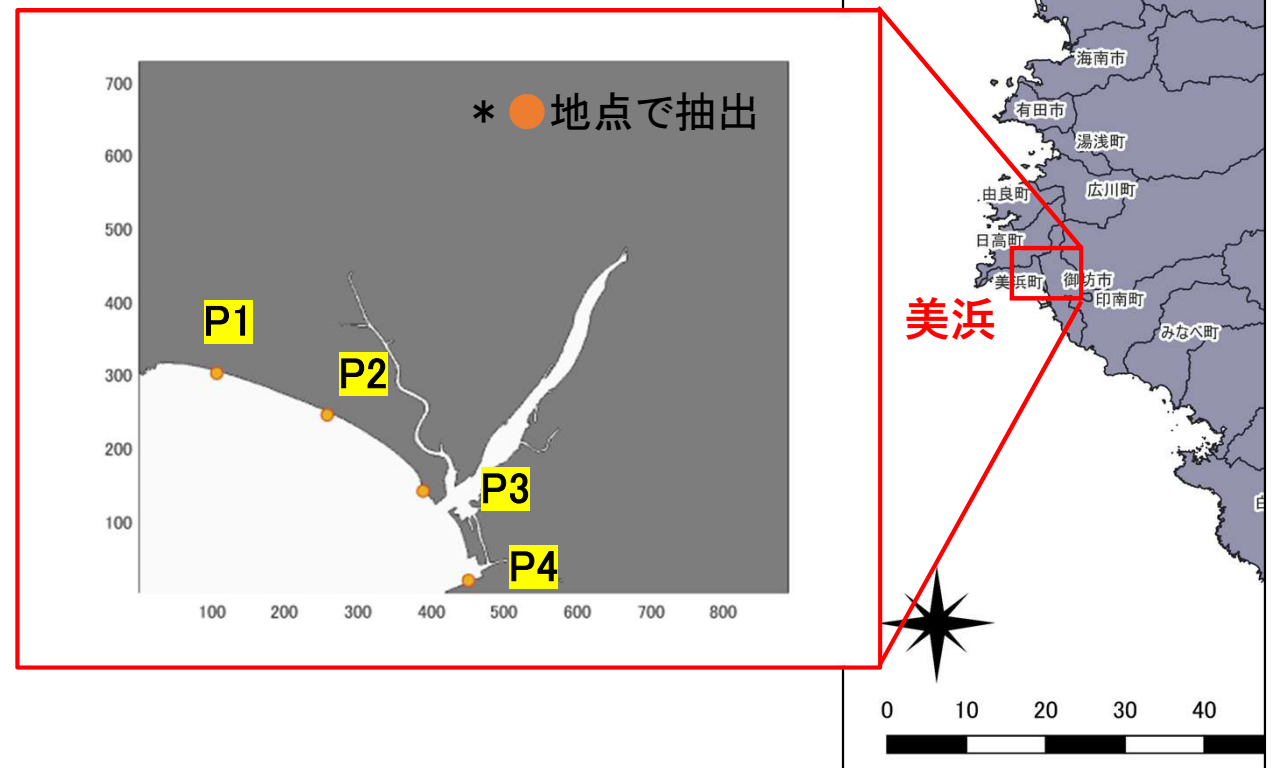
気候変動を考慮した最大津波水位の算出

- 美浜領域を対象に、現在気候と将来気候の最大津波水位を比較した結果は、将来気候から現在気候の差を取ると、**最大で0.36m**となっている。

■ 最大津波水位



■ 美浜領域の抽出点



地図出典：「国土地理院電子地図」に加筆

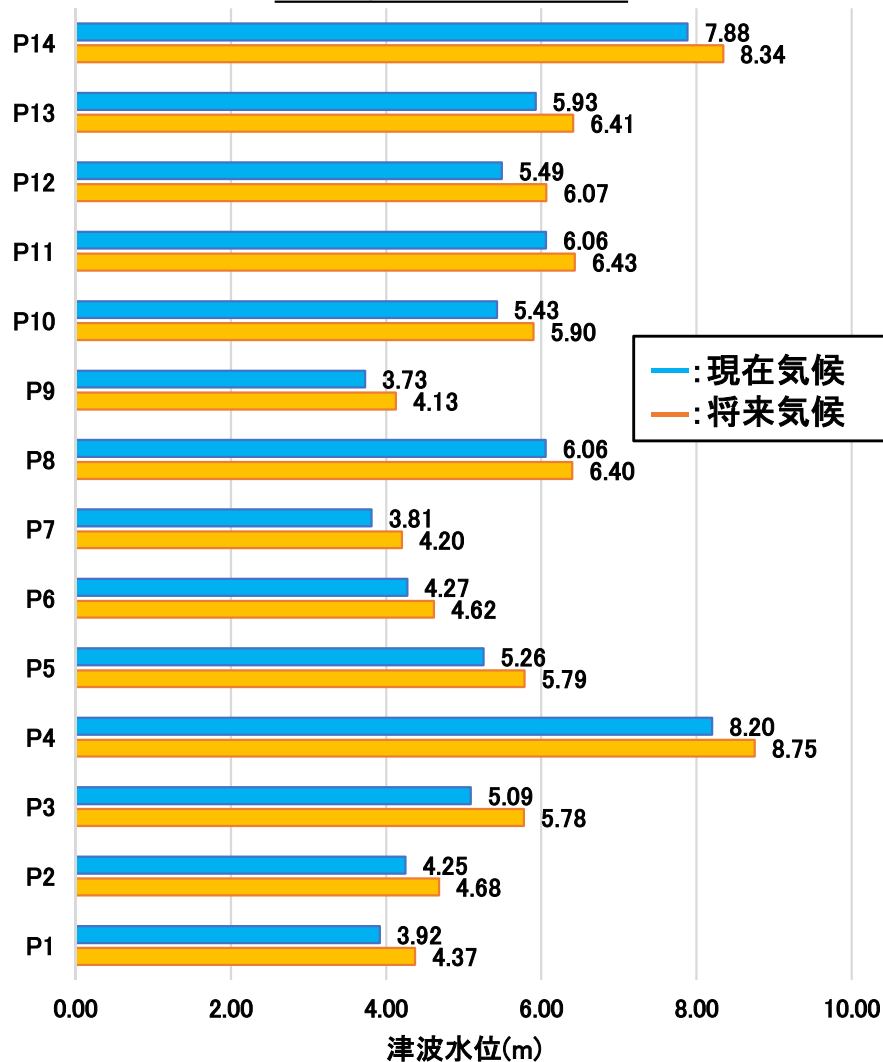
5-4. 気候変動を考慮した最大津波水位の算出結果



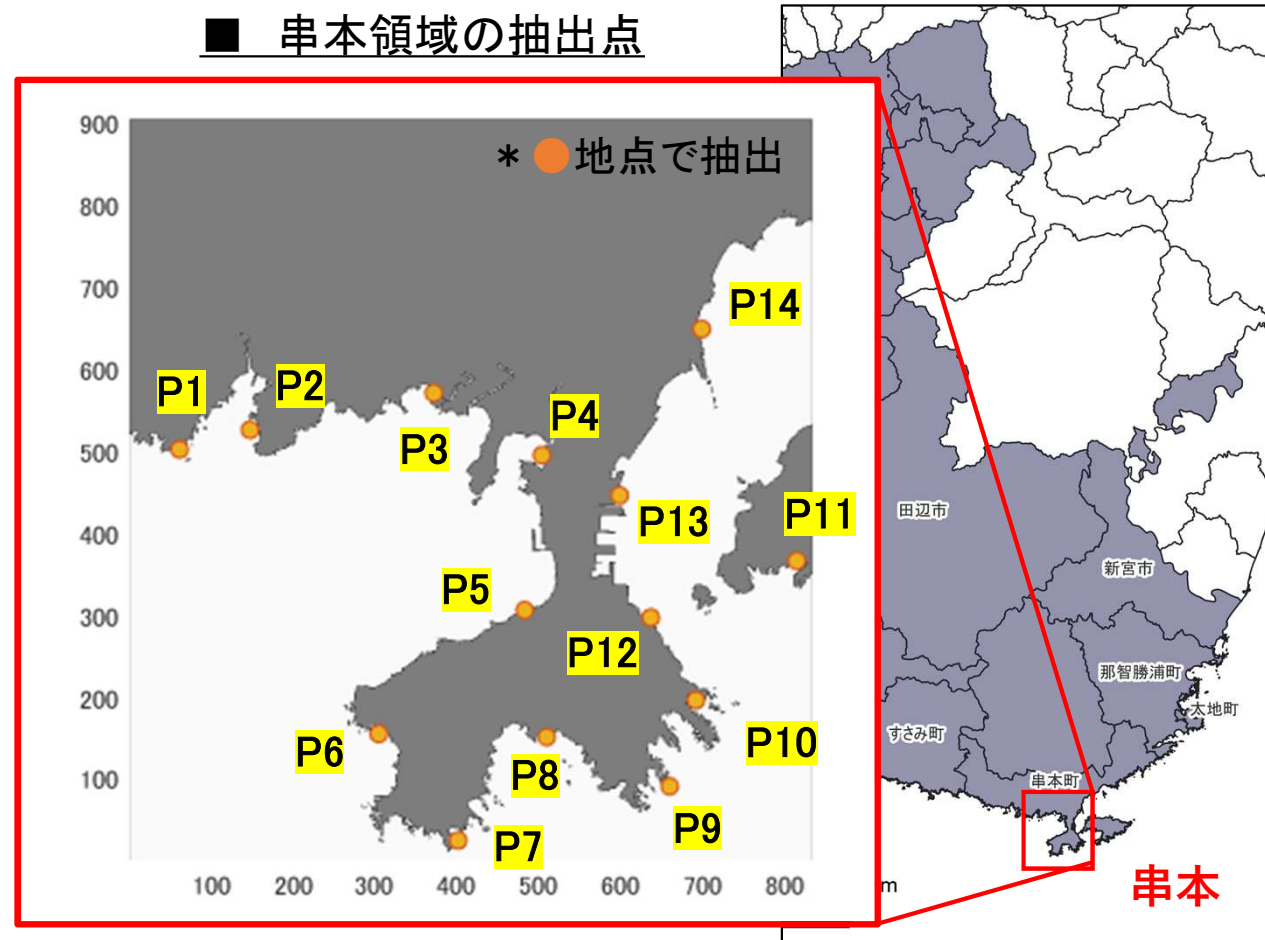
気候変動を考慮した最大津波水位の算出

- 串本領域を対象に、現在気候と将来気候の最大津波水位を比較した結果は、将来気候から現在気候の差を取ると、**最大で0.68m**となっている。

■ 最大津波水位



■ 串本領域の抽出点



地図出典：「国土地理院電子地図」に加筆

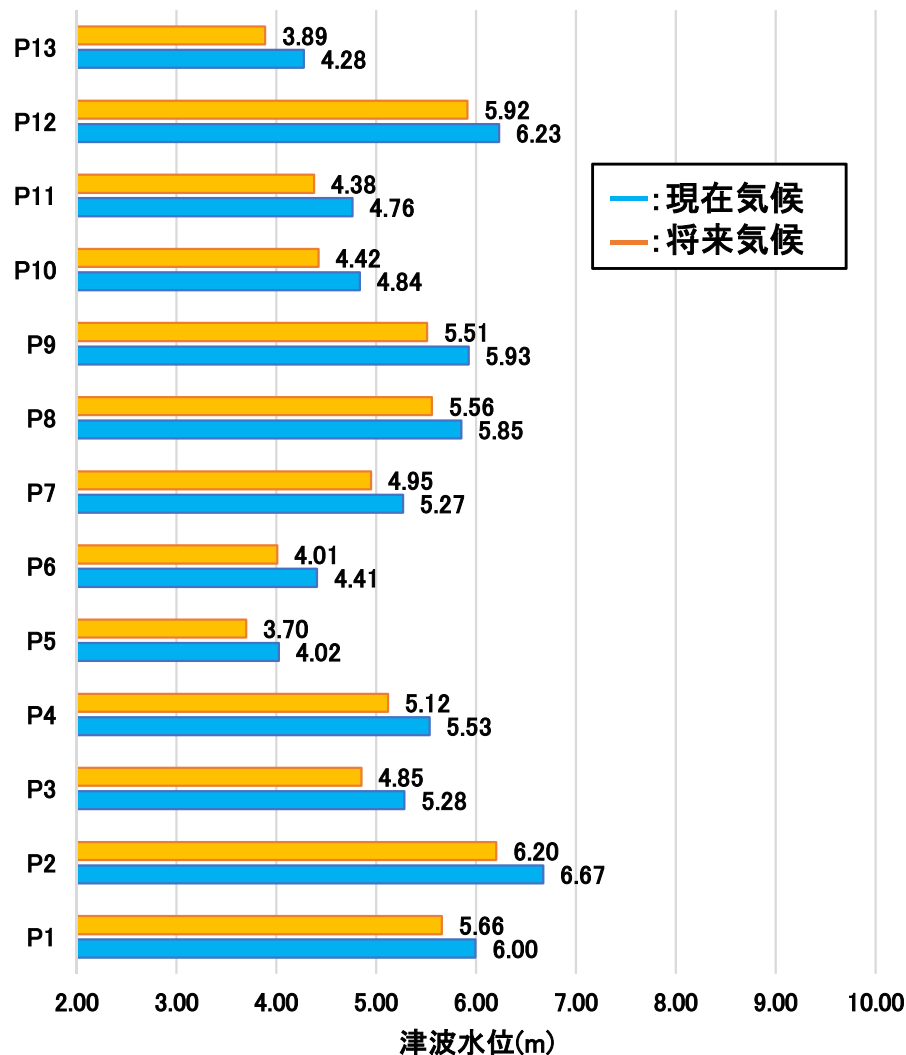
5-5. 気候変動を考慮した最大津波水位の算出結果



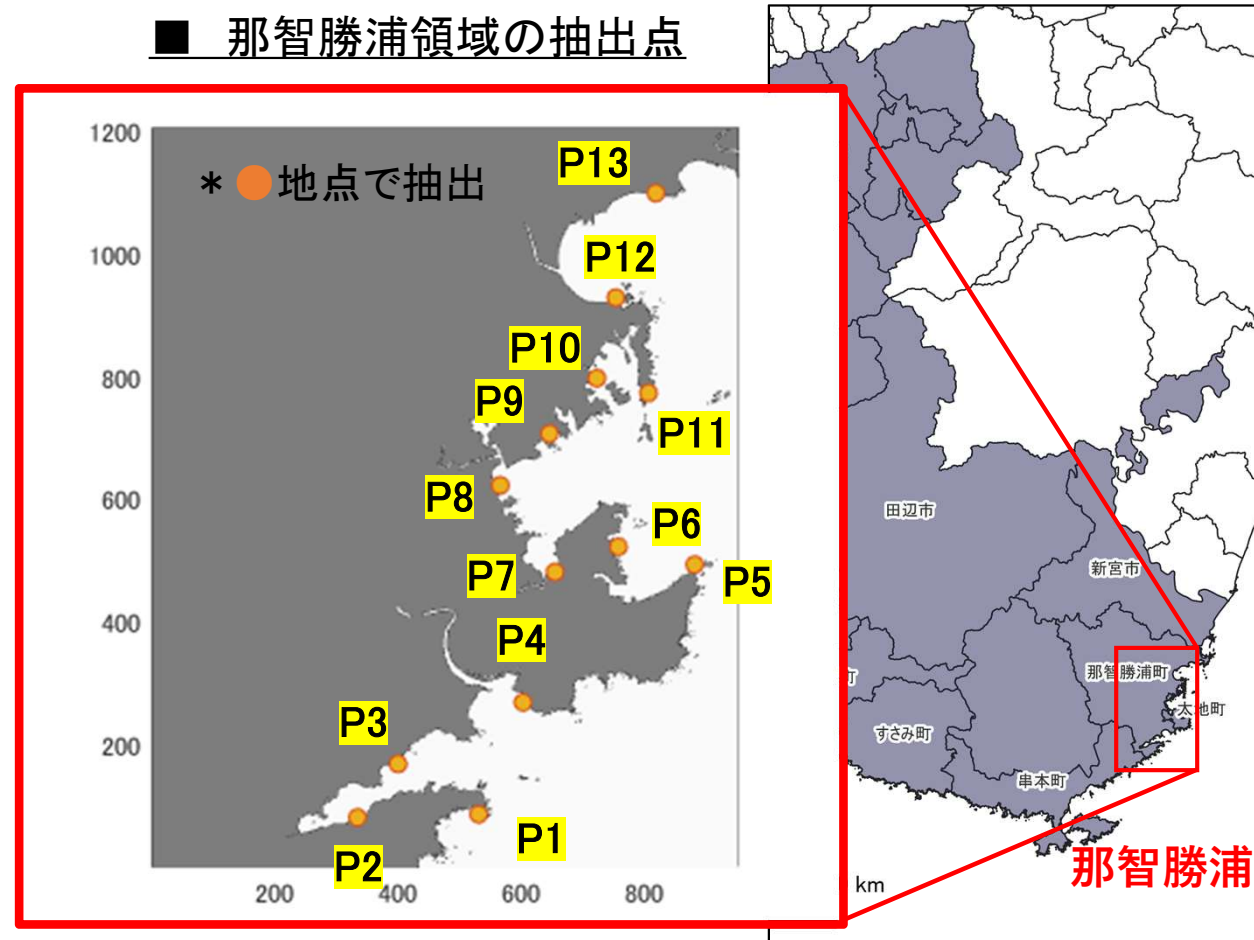
気候変動を考慮した最大津波水位の算出

- 那智勝浦領域を対象に、現在気候と将来気候の最大津波水位を比較した結果は、将来気候から現在気候の差を取ると、**最大で0.47m**となっている。

■ 最大津波水位



■ 那智勝浦領域の抽出点



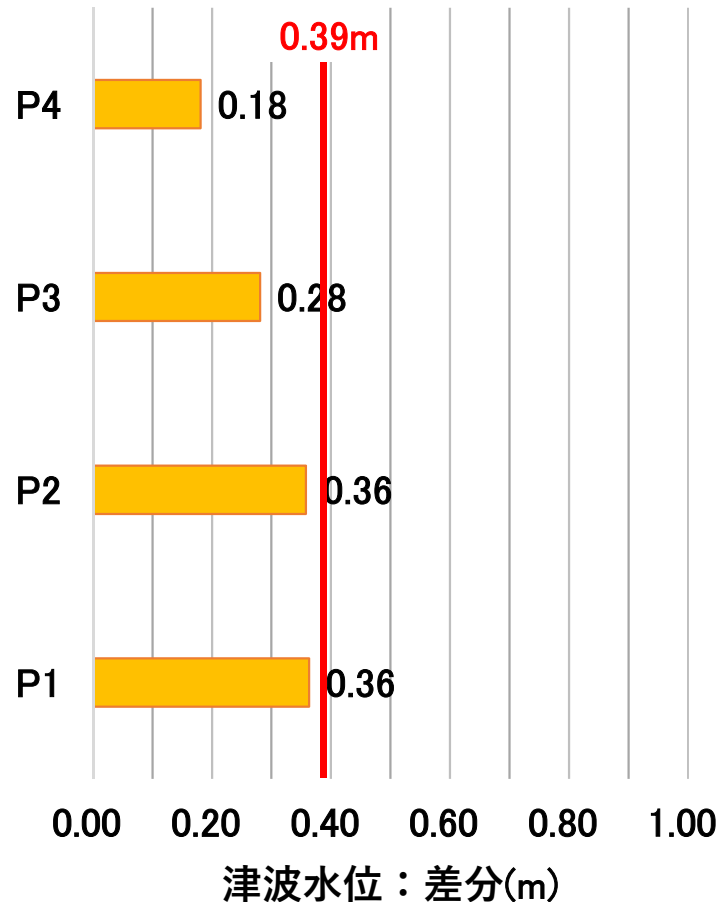
地図出典：「国土地理院電子地図」に加筆

5-6. 現在気候と気候変動を考慮した最大津波水位の比較

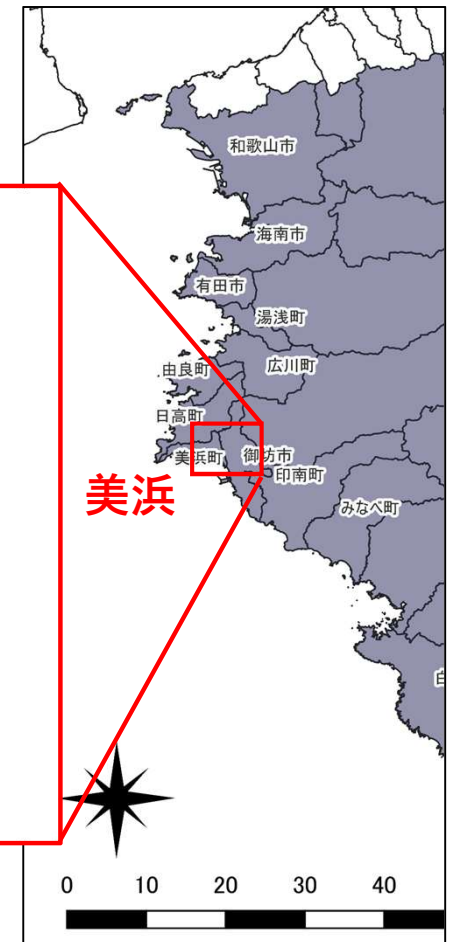
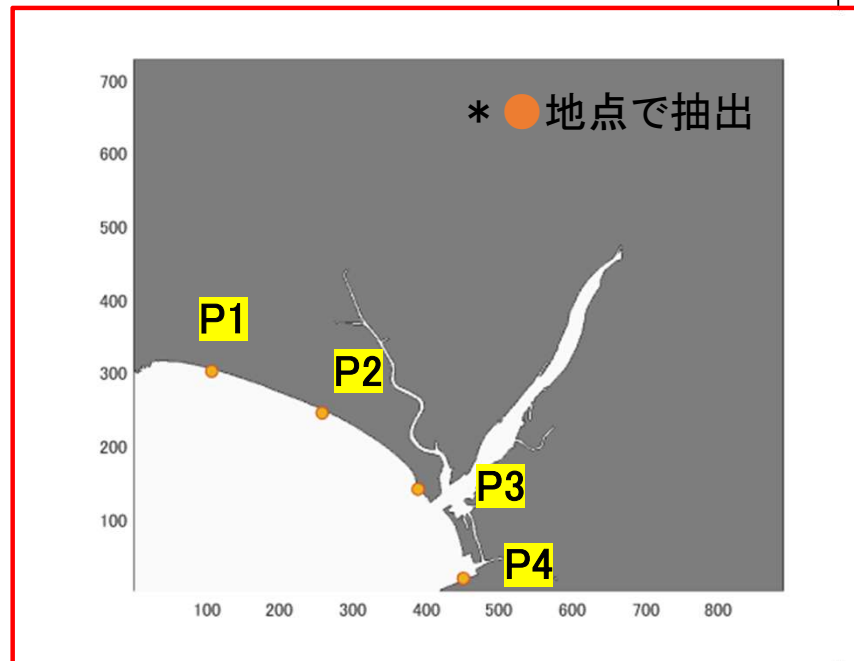


現在気候と気候変動を考慮した最大津波水位の比較

- 美浜領域を対象に、現在気候と将来気候の**最大津波水位**について比較を行った。和歌山沿岸の海岸線は非常に複雑な形状をしていることから、津波の挙動もそれに応じて複雑となっている。海面上昇量の39cmを考慮した津波水位（初期潮位を現在気候よりも39cm上側に設定して計算）と現在気候の津波水位の差分をみると、いずれの地点においても海面上昇量の39cmよりも若干小さくなっている。



美浜領域の抽出点



■ (将来気候－現在気候) 津波最大水位の差分

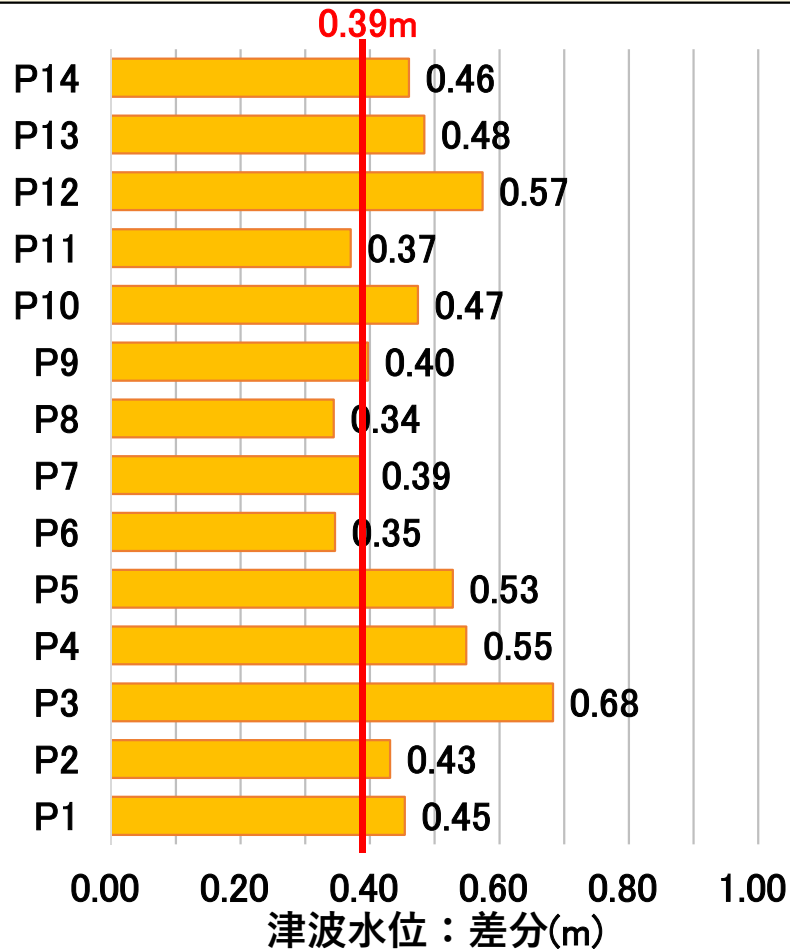
地図出典：「国土地理院電子地図」に加筆

5-7. 現在気候と気候変動を考慮した最大津波水位の比較

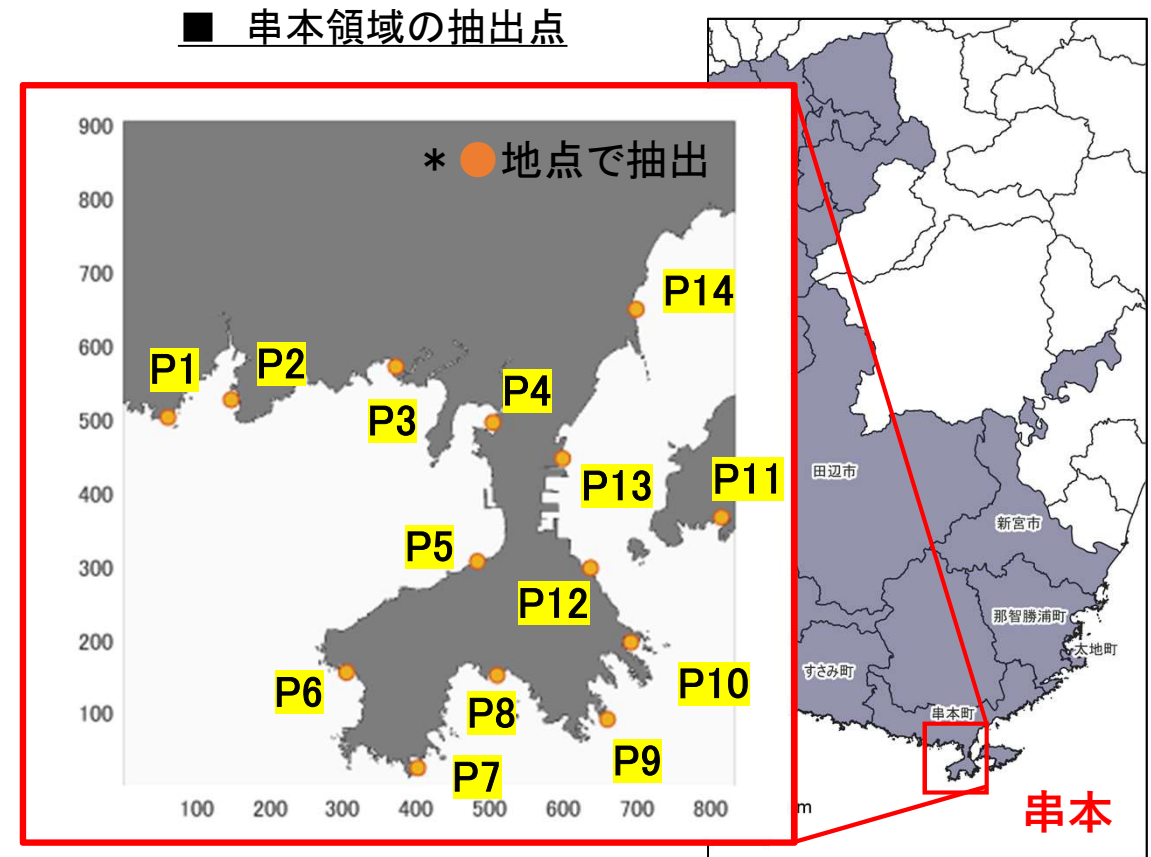


現在気候と気候変動を考慮した最大津波水位の比較

- 串本領域を対象に、現在気候と将来気候の**最大津波水位**について比較を行った。和歌山沿岸の海岸線は非常に複雑な形状をしていることから、津波の挙動もそれに応じて複雑となっている。海面上昇量の39cmを考慮した津波水位（初期潮位を現在気候よりも39cm上側に設定して計算）と現在気候の津波水位の差分をみると、海面上昇量の39cmよりも大きくなっている地点があることから、**将来気候の津波水位は現在気候の津波水位に対して39cmを足し合わせて設定することができないことが分かった。**



■ (将来気候－現在気候) 津波最大水位の差分



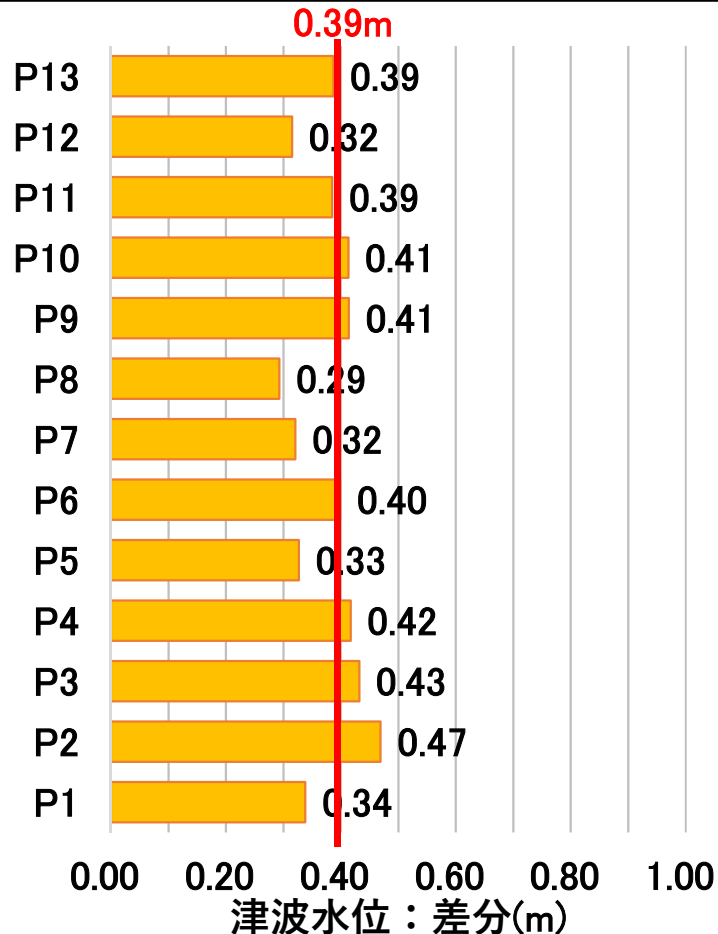
地図出典：「国土地理院電子地図」に加筆

5-8. 現在気候と気候変動を考慮した最大津波水位の比較



現在気候と気候変動を考慮した最大津波水位の比較

- 那智勝浦領域を対象に、現在気候と将来気候の**最大津波水位**について比較を行った。和歌山沿岸の海岸線は非常に複雑な形状をしていることから、津波の挙動もそれに応じて複雑となっている。海面上昇量の39cmを考慮した津波水位（初期潮位を現在気候よりも39cm上側に設定して計算）と現在気候の津波水位の差分をみると、海面上昇量の39cmよりも大きくなっている地点があることから、**将来気候の津波水位は現在気候の津波水位に対して39cmを足し合わせて設定することができないことが分かった。**



■ (将来気候－現在気候) 津波最大水位の差分

■ 那智勝浦領域の抽出点

