

過去からのトレンド分析及び 気候モデル等を用いた将来予測について

令和4年11月4日
国土交通省 港湾局
海岸・防災課

今後の検討事項

全国の代表的な港湾を例に、

- ①海面水位
- ②波浪(波高・周期・波向)
- ③潮位偏差

について、

A) 過去からのトレンド分析

B) 気候モデル等を用いた将来予測

を実施し、設計等に使用する外力の考え方を整理。

風について気候モデル等を用いた将来予測について文献等を確認。

- ①気候変動を考慮した技術基準体系のあり方
- ②長期的な視点からのマスタープランの必要性等について、検討を進める。

検討における留意点

A) 過去からのトレンド分析

- トrend分析の対象とする指標
- 観測期間の長さの妥当性
- 対象となる観測点
- IPCCや気象庁予測との整合性
 - 部分的に整合していない場合の理由

B) 気候モデル等を用いた将来予測

- d4PDF等による予測手法の妥当性
- IPCCや気象庁予測との整合性
 - 部分的に整合していない場合の理由

海面水位、波浪及び潮位偏差について

- 現行の技術基準での考え方の整理
- 「日本の気候変動2020」での整理
- 既往研究成果のレビュー

平均海面水位について

平均海面水位に係る現行の技術基準

【港湾の施設の技術上の基準を定める省令】(自然状況等の設定に関し必要な事項)

第六条 技術基準対象施設の設計、施工又は維持における、自然状況、利用状況その他の当該施設が置かれる諸条件の設定に関し必要な事項は、告示で定める。

【港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示】(潮位)

第七条 潮位は、実測値又は推算値をもとに、天文潮及び気象潮、波浪による水位上昇並びに津波等による異常潮位を考慮して、統計的解析等により、港湾管理用基準面からの水位を適切に設定するものとする。

(解釈)

7. 自然状況等の設定

(2) 潮位に関する事項(基準省令第6条、基準告示第7条関係の解釈)

① 潮位

潮位の設定に当たっては、技術基準対象施設の性能照査において、潮位が波浪及び水圧の作用の程度に影響を与えることを適切に考慮する。また、技術基準対象施設の性能照査において潮位と波浪を組み合わせる場合には、波浪と同時生起性の高い潮位のうち、当該施設の性能照査の観点から最も不利となる潮位を設定することを標準とする。

② 天文潮

潮位の設定において考慮する天文潮は、1年以上の実測値をもとに、最低水面、平均水面、朔望平均満潮面及び朔望平均干潮面の各高さとして設定することを標準とする。

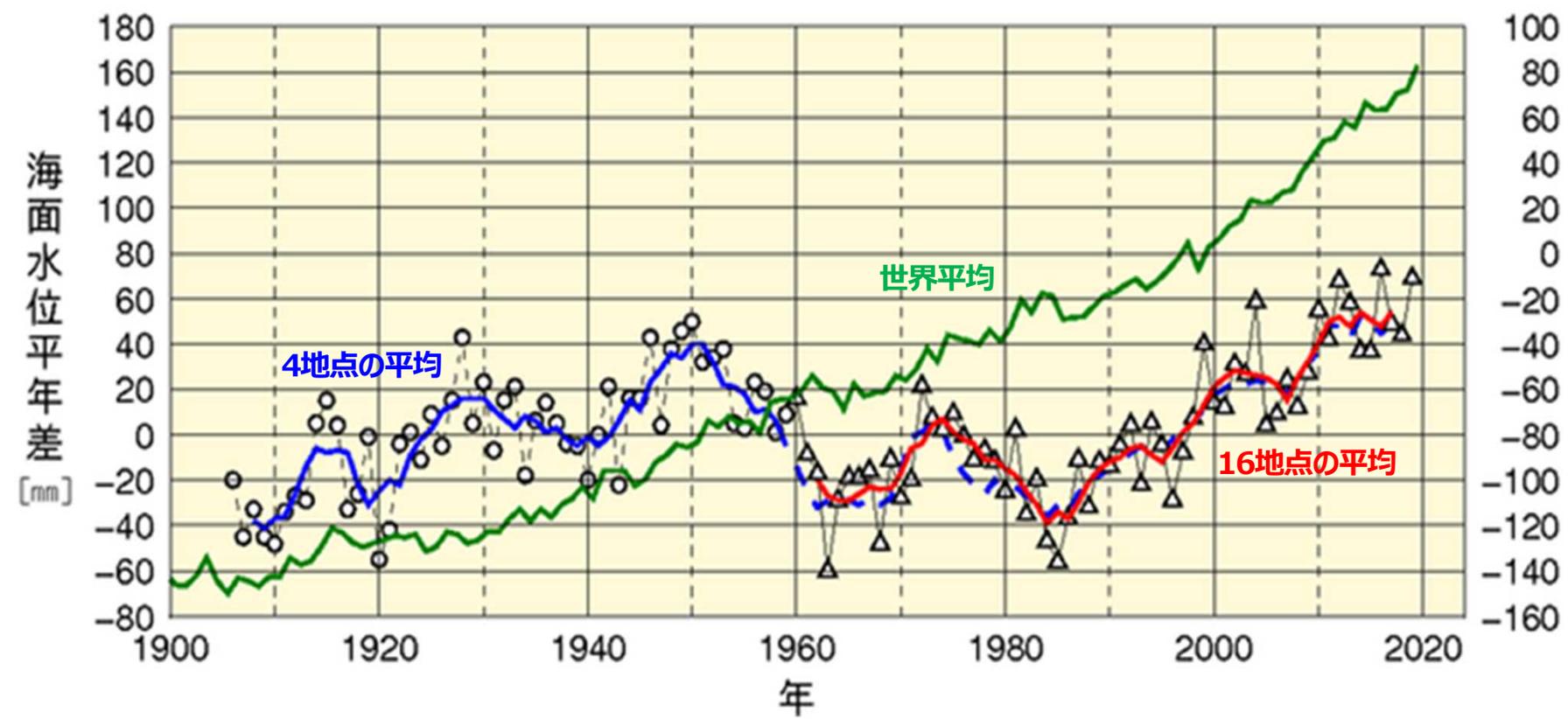
③ 高潮

潮位の設定において考慮する高潮は、30年以上の実測値、既往最大級以上の台風や低気圧による高潮の推算値、既往の災害時の記録等によって設定することを標準とする。高潮の推算に当たっては、必要に応じて海岸近くでの碎波に伴う水位上昇を適切に考慮する。

出典：文部科学省及び気象庁「日本の気候変動2020」

観測事実

- 日本沿岸の平均海面水位(4地点又は16地点の平均)には、10年から20年の周期を持つ変動と50年を超えるような長周期の変動が卓越しており、世界平均海面水位に見られるような観測期間を通して一貫した上昇傾向は認められない。
- 1980年以降は上昇傾向が明瞭となっており、2006年から2015年の期間では1年当たり4.1mm(0.1~8.2mm)の上昇率となっている。これは、世界平均海面水位の上昇率と同程度である。



日本沿岸の海面水位変化 (1906~2019年)

(文部科学省及び気象庁「日本の気候変動2020」)に加筆

将来予測

- 21世紀末の日本沿岸の平均海面水位は上昇する(確信度が高い)。この海面水位上昇量は、世界平均と同程度である。
- 日本沿岸の平均海面水位は、21世紀末(2081~2100年平均)には、20世紀末(1986~2005年平均)と比べて、4°C上昇シナリオ(RCP8.5)では0.71 m(0.46~0.97m)、2°C上昇シナリオ(RCP2.6)では0.39 m(0.22~0.55 m)と予測される。
- モデルの不確実性の大きさを考慮すれば、平均日本沿岸の海面水位の予測される上昇量に顕著な地域差は確認できない。

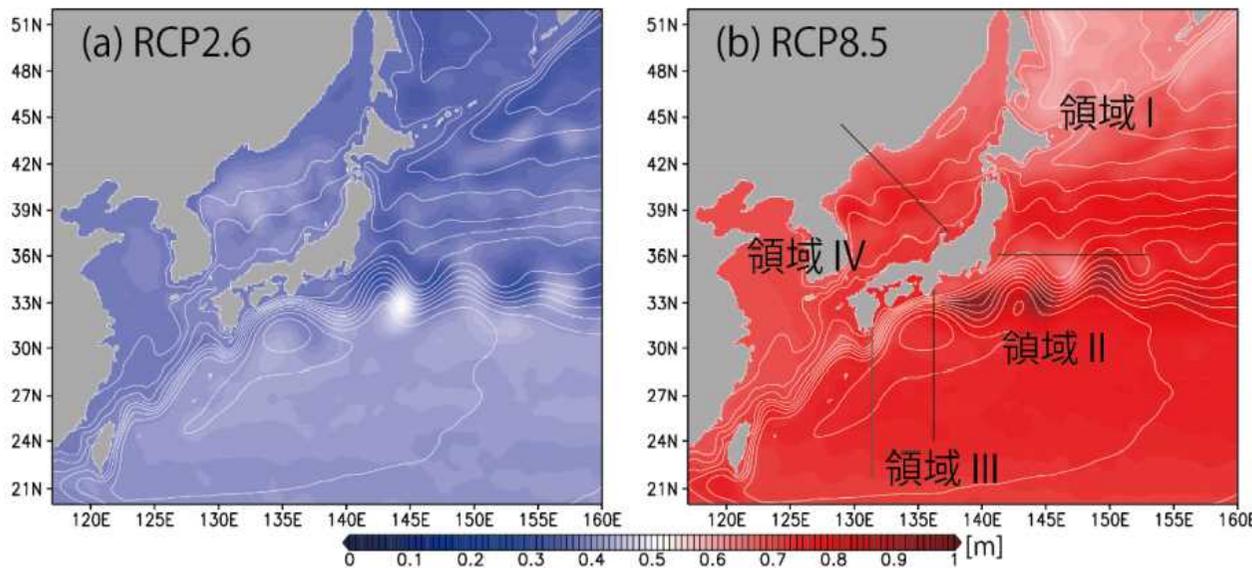


図 10.2.3 SI-CAT 海洋モデルによる

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。

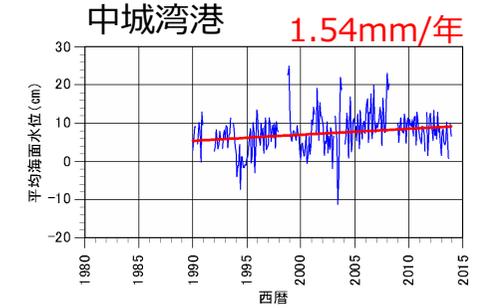
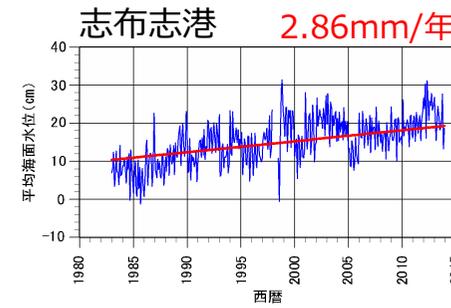
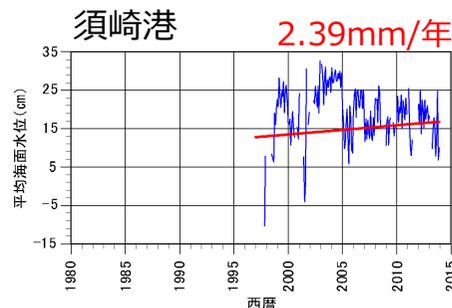
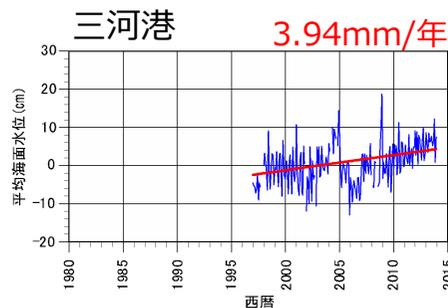
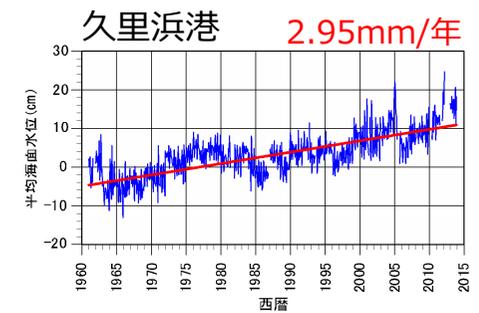
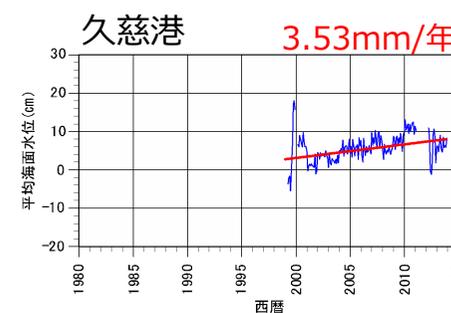
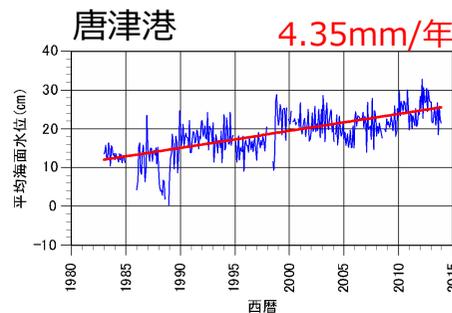
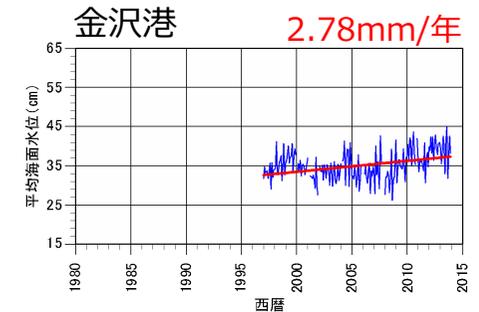
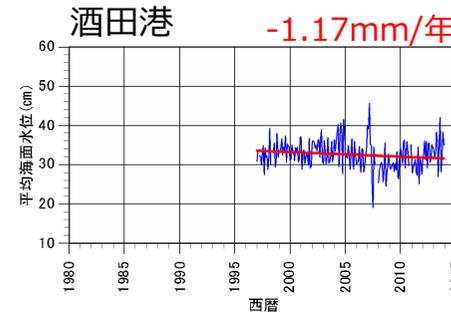
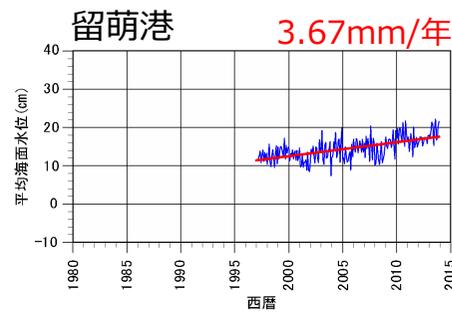
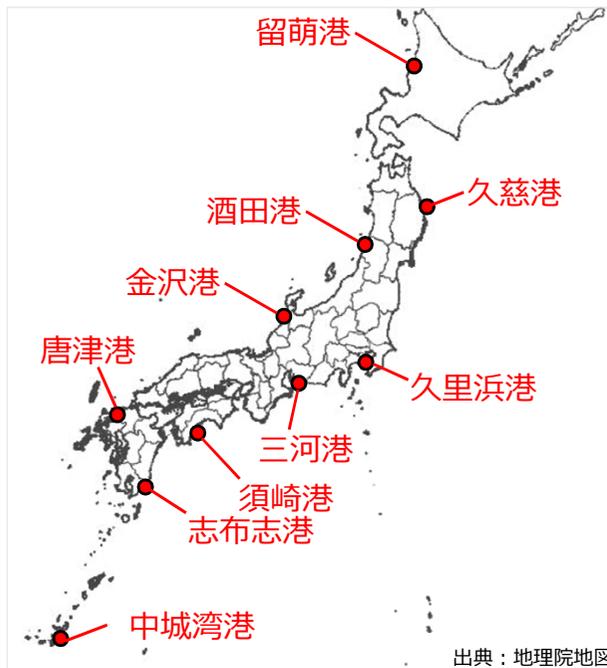
日本沿岸の平均海面水位の上昇量は、2°C上昇シナリオ(RCP2.6)では、領域Iで0.38 m(0.22~0.55 m)、領域IIで0.38 m(0.21~0.55 m)、領域IIIで0.39 m(0.22~0.56 m)、領域IVで0.39 m(0.23~0.56 m)と予測される。

4°C上昇シナリオ(RCP8.5)では、領域Iで0.70 m(0.45~0.95 m)、領域IIで0.70 m(0.45~0.95 m)、領域IIIで0.74 m(0.47~1.00 m)、領域IVで0.73 m(0.47~0.98 m)と予測される。

既往研究レビュー①【平均海面水位に係る過去トレンド分析】

出典：港湾の長期検潮記録から地盤変動を除去した平均海面水位の推定とその変動特性(内藤※ら,2015)(国土技術政策総合研究所資料)

- 長期検潮記録から、長期的な海面変動に影響を及ぼすさまざまな要因(ノイズ成分(気圧、潮汐、地盤変動))の影響を除去し、平均海面水位を推定する手法の考え方と手順を示した。
- 対象とした10港湾のうち、酒田港、須崎港及び中城湾港以外においては、海水水位が明瞭な上昇傾向を示すことを確認した。



※内藤 了二(国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部)

既往研究レビュー③【平均海面水位に係る過去トレンド分析】

出典：近隣検潮所間における平均海面水位のトレンド比較と変動特性(内藤※ら,2018)(土木学会論文集B2(海岸工学))

- 気圧、潮汐、地盤変動による補正を行った平均海面水位トレンドの推定により、平均海面水位のトレンドは、統計的に有意であると判定された地点においてはいずれも上昇傾向であった。また、近隣検潮所間でも平均海面水位のトレンドの傾向が異なる場合があることを示した。
- 平均海面水位のトレンドと水温上昇トレンドの比較により、水温上昇に対する水位上昇率に地域差があることを示し、近隣検潮所間でも平均海面水位のトレンドの傾向が異なる要因の一つと指摘した。

表-1 港湾域と近隣検潮所の平均海面水位トレンド推定結果

海域	対象港湾	地点	データ期間	データ数	トレンド	標準誤差 mm/年	95%下限	95%上限	p値	有効自由度法による判定
日本海・瀬戸内海	留萌	留萌港	1997-2016	20	3.36	0.59	2.13	4.59	<0.001	○
		稚内	1997-2016	20	-2.93	1.05	-5.12	-0.73	0.012	×
		忍路	1997-2016	20	1.47	0.85	-0.32	3.25	0.101	×
	酒田	酒田港	1997-2016	20	-0.88	0.76	-2.48	0.72	0.263	×
		男鹿	1997-2016	20	7.22	0.78	5.57	8.87	<0.001	○
		鼠ヶ関	1997-2016	19	-0.58	0.73	-2.13	0.96	0.436	×
		金沢	1997-2016	20	2.59	0.90	0.69	4.48	0.010	○
	金沢	輪島	1997-2016	20	-1.33	0.87	-3.15	0.50	0.143	×
		三国	1997-2016	20	1.81	1.12	-0.53	4.15	0.121	×
		宇部	2005-2016	12	5.89	2.94	-0.65	12.43	0.073	×
宇部	広島	2005-2016	12	8.02	1.98	3.61	12.42	0.002	○	
	徳山	2005-2016	12	9.83	1.72	5.99	13.66	<0.001	○	
	唐津	1983-2016	32	4.11	0.52	3.06	5.16	<0.001	○	
	須佐	1983-2016	34	6.43	0.36	5.70	7.16	<0.001	○	
唐津	博多	1983-2016	34	7.87	0.46	6.94	8.79	<0.001	○	
	飯屋	1983-2016	34	9.06	0.59	7.87	10.26	<0.001	○	
	太平洋	久慈	1999-2016	17	2.06	1.00	-0.06	4.19	0.057	×
		宮古	1999-2016	14	-1.44	1.30	-4.27	1.39	0.290	×
釜石		1999-2016	18	-5.89	1.81	-9.77	-2.01	0.006	×	
久里浜	久里浜湾	1961-2016	54	3.04	0.25	2.54	3.54	<0.001	○	
	横須賀	1961-2016	56	2.76	0.24	2.27	3.24	<0.001	○	
	油壺	1961-2016	56	2.33	0.19	1.95	2.71	<0.001	○	
三河	三河港	1997-2016	20	4.59	1.19	2.09	7.09	<0.001	○	
	名古屋	1997-2016	20	4.31	1.31	1.56	7.06	0.004	○	
	鬼崎	1997-2016	20	5.96	1.33	3.17	8.75	<0.001	○	
	鳥羽	1997-2016	20	5.06	1.33	2.26	7.85	0.001	○	
志布志	志布志港	1983-2016	33	4.29	0.50	3.28	5.31	<0.001	○	
	細島	1983-2016	34	11.43	0.83	9.74	13.12	<0.001	○	
	油津	1983-2016	34	7.72	0.49	6.72	8.72	<0.001	○	
中城湾	中城湾港	1990-2016	24	2.59	0.76	1.01	4.16	0.003	○	
	沖縄	1990-2016	27	1.91	0.59	0.70	3.12	0.003	○	
	那覇	1990-2016	27	1.70	0.62	0.44	2.97	0.011	○	

表-2 水温のトレンドと水温による水位上昇トレンドの推定結果

海域	対象港湾	水温のトレンド (°C/100年)			1°Cあたりの水位上昇量 (mm/°C)			水温による水位上昇 トレンド(mm/年)
		トレンド	標準誤差	判定	係数	標準誤差	判定	
日本海・瀬戸内海	留萌港	1.35	1.04	×	10.22	10.64	×	0.14
	酒田港	2.95	0.84	○	32.07	9.11	○	0.95
	金沢港	3.35	0.87	○	17.87	12.14	×	0.60
	宇部港	3.00	1.20	○	-11.01	20.40	×	-0.33
	唐津港	1.86	0.66	○	58.01	18.85	○	1.08
太平洋	久慈港	2.10	1.08	×	23.44	10.86	○	0.49
	久里浜湾	2.53	0.65	○	55.23	16.32	○	1.40
	三河港	1.00	0.84	×	45.31	19.31	○	0.45
	志布志港	3.03	0.78	○	74.90	11.12	○	2.27
	中城湾港	2.01	0.68	○	68.69	13.21	○	1.38

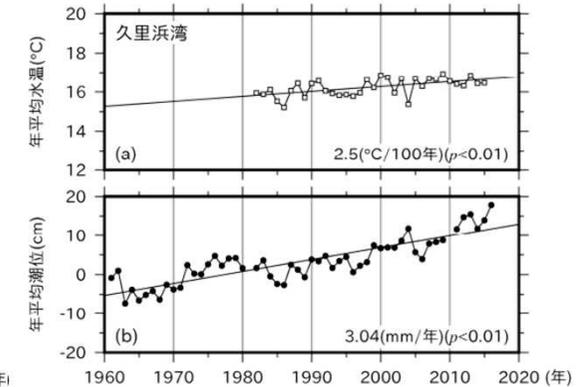
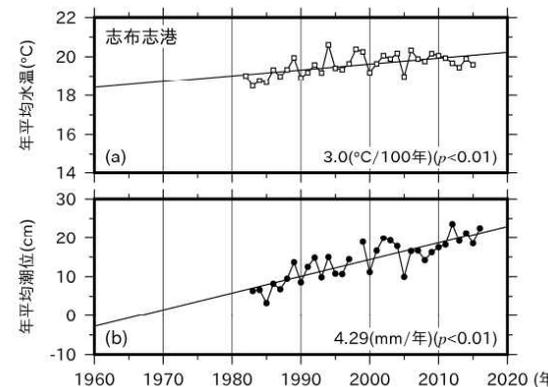
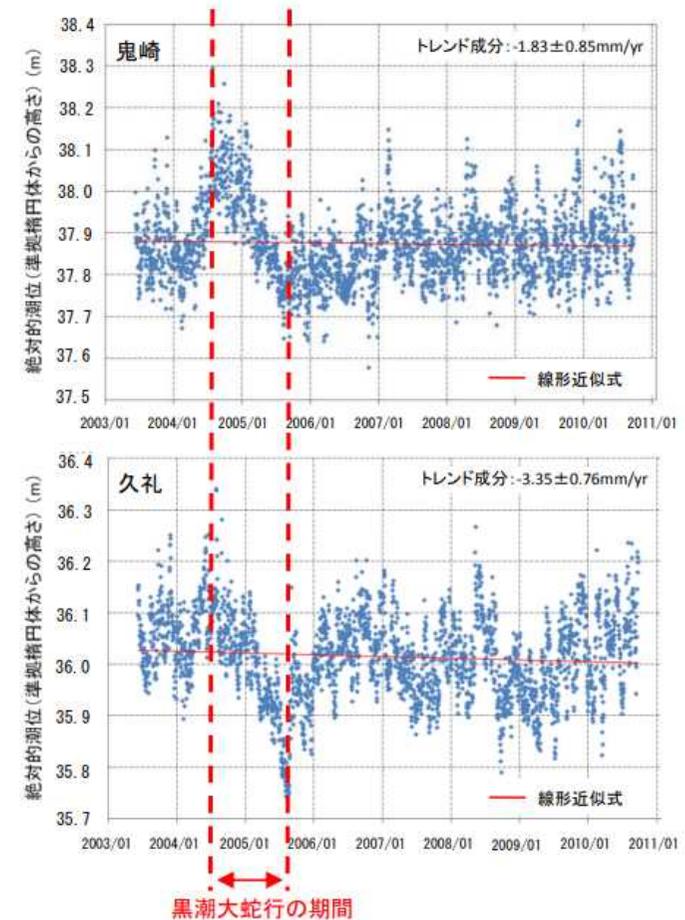
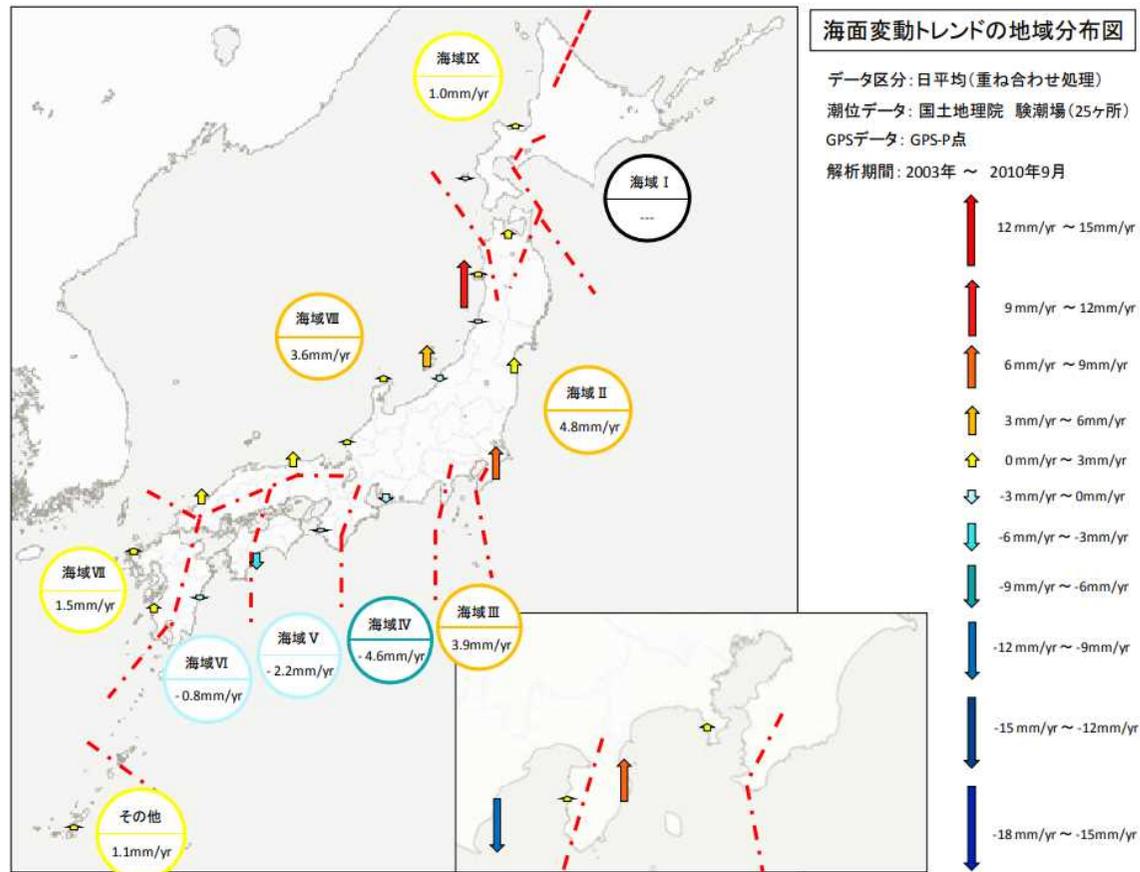


図-8 志布志港での年平均の潮位と海水温のトレンド 図-7 久里浜湾での年平均の潮位と海水温のトレンド
※内藤 了二(国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部)

既往研究レビュー④【平均海面水位に係る過去トレンド分析】

出典：験潮所のGPS連続観測点を用いた潮位データ解析手法の検討(三浦※ら,2013)(国土地理院時報)

- GPS-P点(験潮所に取り付けられたGPS連続観測点)を用いた験潮所の地盤変動の除去及び気圧・潮汐補正を行った潮位データを用いた日本の海面変動トレンドは、全験潮所平均で1.1mm/yearであった。
- 各験潮所の海面変動トレンドには地域分布が見られ、日本海側及び北太平洋側では海面上昇の傾向が見られるが、静岡県西部から四国にかけての太平洋側は海面下降の傾向が見られ、これらの海面変動トレンドの地域分布には黒潮の影響が大きい。



平均海面水位に関する考察

- 個別の観測地点で見ると、傾向にバラつきがあるが、概ね多くの地点での海面水位の年上昇量は、IPCC予測(2°C上昇)と整合的である。(論文①、論文②、論文③)
- 観測データに基づく過去トレンドを参考にできるが、地殻変動や気圧、潮汐の影響を除去する必要がある。
- 観測データには、10年～20年周期の変動が含まれており、短期間の観測データでのトレンド分析はバイアスが生じる恐れがある。
- また、予測が困難な黒潮蛇行により、観測地点に影響を受ける場合がある。(論文④)

波浪について

波浪に係る現行の技術基準

【告示】(波浪)

- 第八条 波浪については、性能規定及び性能照査で考慮する一の作用又は二以上の作用の組合せの状態に応じて、次の各号に定める方法により設定するものとする。
- 一 施設の安定性、構造部材の断面の破壊(疲労によるものを除く。)等の照査に用いる波浪については、長期間の実測値又は推算値をもとに、統計的解析等により再現期間に対応した波浪の波高、周期及び波向を適切に設定するものとする。
 - 二 構造部材に関する施設の機能の確保及び疲労による断面の破壊の照査に用いる波浪については、長期間の実測値又は推算値をもとに、統計的解析により設計供用期間中に高頻度で発生する波浪の波高、周期、波向等を適切に設定するものとする。
 - 三 静穏度の照査に用いる波浪については、長期間の実測値又は推算値をもとに、一定期間の波浪の波高、周期及び波向の相関頻度分布を適切に設定するものとする。

(解釈)

7.自然条件等の設定

(3)波に関する事項(基準省令第6条、基準告示第8、9条関係の解釈)

一の作用又は二以上の作用の組み合わせの状態とは、設計状態のことであり、波浪については、性能規定及び性能照査で考慮する設計状態に応じて、以下の規定により適切に設定する。

①施設の安定性の照査及び構造部材の断面の破壊の照査等に用いる波浪

イ)変動波浪の再現期間

主たる作用が変動波浪の変動状態に対する使用性の照査において考慮する波浪の設定に当たっては、当該施設の目的や要求性能を満足するとともに、当該施設の設計供用期間及び重要度、並びに当該地点の自然状況等を適切に考慮して、波浪の再現期間を適切に設定する。

ロ)偶発波浪の再現期間等

主たる作用が偶発波浪の偶発状態に対する照査において考慮する波浪の設定に当たっては、該当海域で発生しうる波の中で施設に最も不利となる波浪を適切に設定する。

ハ)実測値又は推算値の期間

長期間の実測値又は推算値とは、30年以上を標準とする。

②構造部材に関する施設の機能の確保及び疲労による断面の破壊の照査に用いる波浪

イ)～ハ) (略)

③静穏度の照査に用いる波浪

長期間の実測値又は推算値とは、5年程度以上を標準とする。また、静穏度の照査において考慮する波浪の設定に当たっては、必要に応じて、長周期波を適切に考慮する。

港湾の設計に用いる波浪の外力について

設計に用いる高波浪について

H30基準・同解説P123より引用

- 変動波浪条件の設定において、港湾の施設の安定性及び構造部材の安全性(断面破壊)の照査に用いる波浪は、一般に、設計供用期間が50年の施設に対しては、再現期間50年の確率波とすることができる。
- 施設の安定性等の検討に用いられる異常時の波浪特性は、極大波について統計処理を行い、確率波高として表すことが望ましい。設計の対象となる異常時の波浪に対する波高は、一般に、長期間(30年以上を標準とする)のデータから、極大波について再現期間に対する確率波高として表す。
- 確率波高の推定資料である極大波とは、ある一つの気象擾乱において波が発達し、減衰する過程において波高が最大となる時の波(一般に有義波)をいう。
- 確率波高の推定に当たっては、対象期間中において極大波高がある設定値以上のデータを使う場合と、各年で極大波高の最大値を求めておいて、この毎年最大波のデータを使う場合がある。

「日本の気候変動2020」での波浪に係る整理

出典：文部科学省及び気象庁「日本の気候変動2020」

観測事実

- 日本沿岸では、国土交通省による全国港湾海洋波浪情報網(NOWPHAS)が1970年から運用されており、これを用いた長期波浪特性変化の解析が行われ、地点により高波の有意な変化があることが報告されている(関ほか, 2011)。

将来予測

- 日本周辺の高波は、台風のような強い気象じょう乱により作られるものが多い。そのような高波の将来変化は、台風の強度、頻度及び経路の変化特性に複合的に依存する。
- 地球温暖化条件下で日本付近の台風の強度が強まるという予測の確度は高まってきている(Yoshida et al., 2017; 確信度が中程度)。
- Shimura et al. (2015) は日本周辺の台風による高波の変化を解析し、10年に1回の確率で発生する波高においては、多くの海域で高くなるが、台風の経路変化の影響を受けて場所により±30%程度の変化があることを予測した。
- しかし、台風経路の予測の不確実性の高さから、場所ごとの高波の変化に関しては予測の確信度は低い。

既往研究レビュー⑤【波浪に係る過去トレンド分析】

出典：日本沿岸における最大有義波高の経年変化と設計沖波への影響に関する考察(加藤^{※1}ら,2019)(土木学会論文集B2(海岸工学))

- 日本沿岸における波浪観測データの分析^{※2}により、年最大有義波高は全国的に上昇傾向で、特に日本海側に比べ、太平洋側で年あたりの上昇量が大きい。
- 長期的な全観測期間における年最大有義波高の上昇量よりも、近年10年間の短期的な年最大有義波高の上昇量の方が大きい地点が多い。

※2 抽出された最大有義波高のデータはナウファスの機器や位置の変化や欠測などの影響については考慮していない。

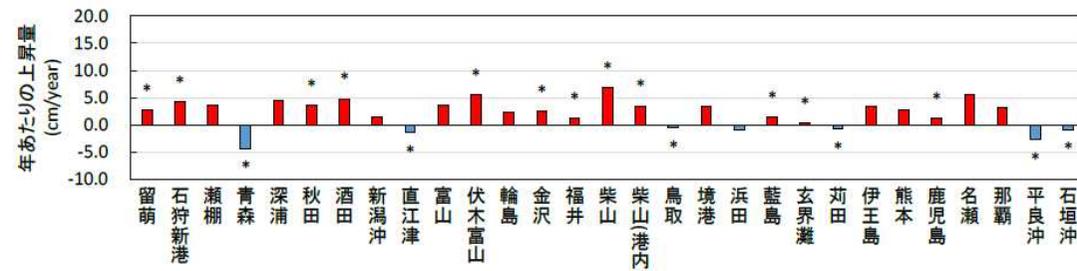
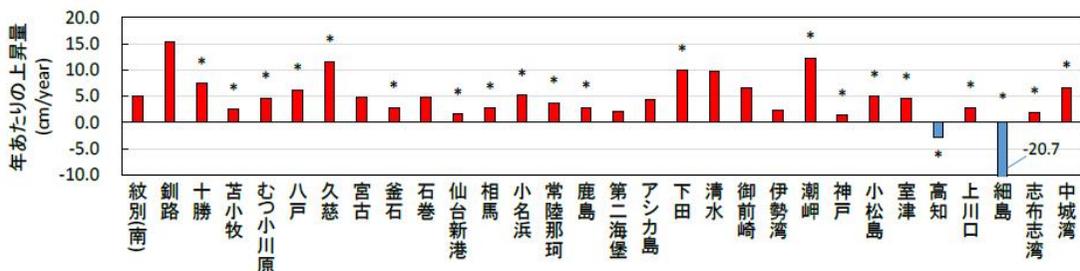


図-2 年最大有義波高の変化傾向 (*印: p<0.05)



図-3 年最大有義波高の変化傾向 (地域別)

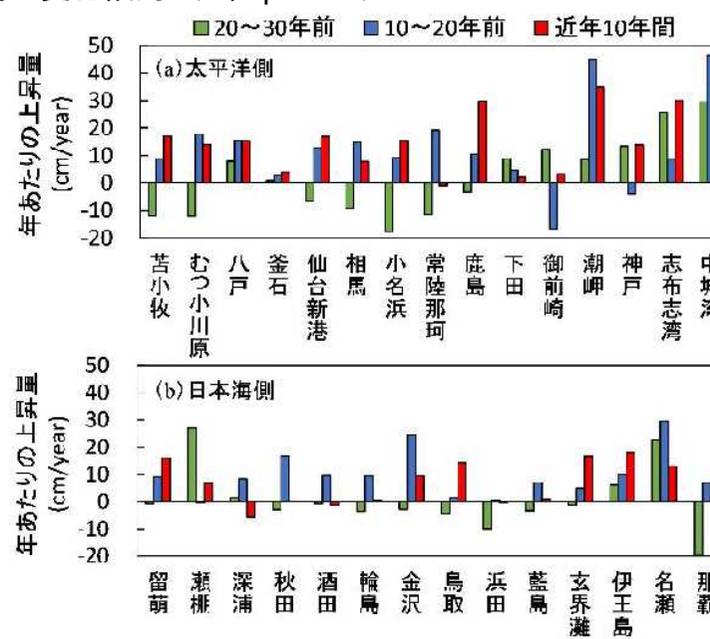


図-4 年最大有義波高の10年ごとの変化傾向

※1 加藤 広之((一財)漁港漁場漁村総合研究所)

既往研究レビュー⑥【波浪に係る過去トレンド分析】

出典：東北地方を事例とした波浪推算による確率沖波算定手法の高度化および高波浪の経年変化の検討(田中※ら,2021)(土木学会論文集B3(海洋開発))

- 高波浪の経年的変化傾向を検討するため、極値統計解析期間を20年間として、その期間を10年毎にずらした確率沖波の経年変化を算出し、**東北地方での50年確率波高が増大傾向にあることを示した。**
- 船川港における統計期間の異なる50年確率波の算定により、**最近30年間(1990～2019年)と68年間(1952～2019年)の波高は、主要波向で1.5m程度の差が生じることが確認され、確率沖波算定の際にはトレンドおよび統計期間に対する検討が必要であることを示した。**

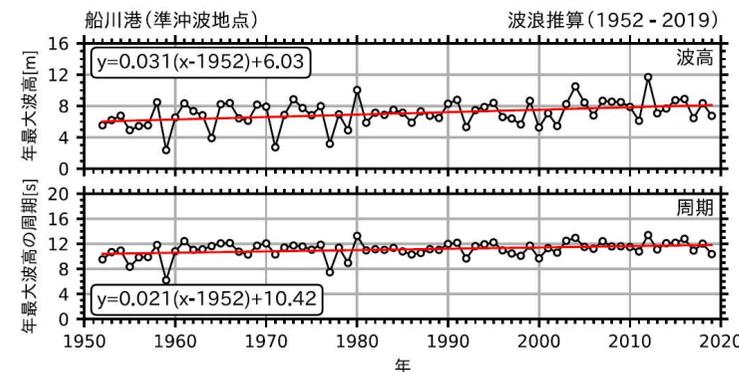


図-6 船川港の年最大波高(推算値)の経年変化

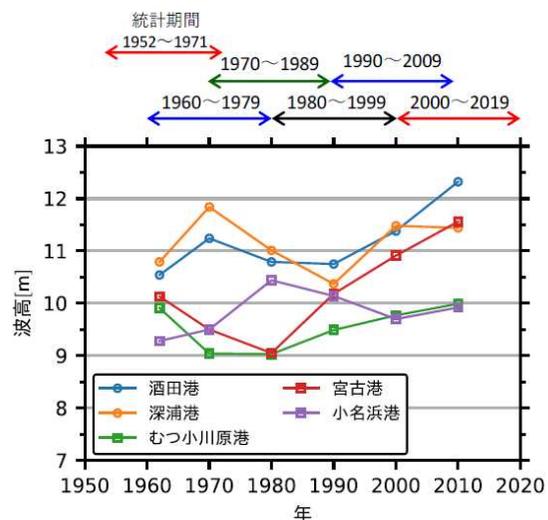


図-7 50年確率沖波の経年変化(各統計期間(20年間)は図上に示す)

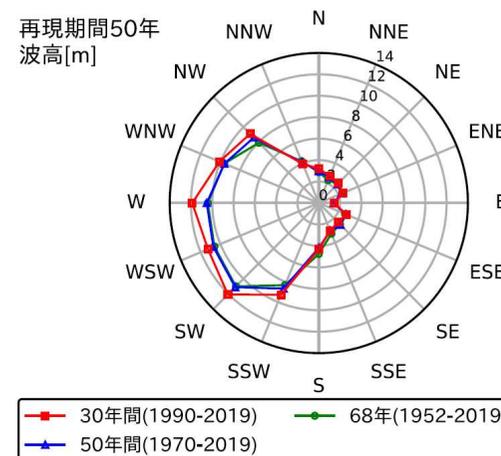


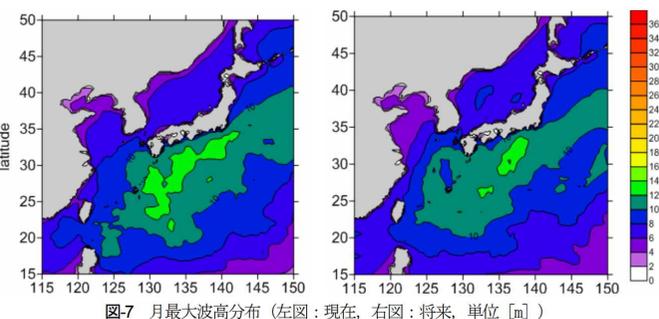
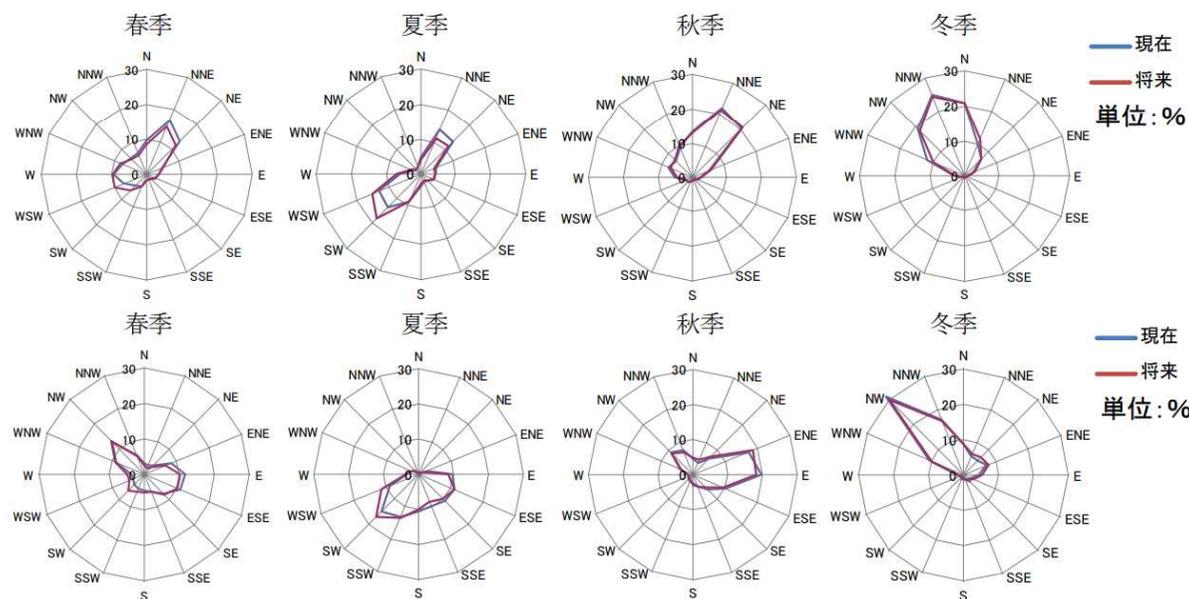
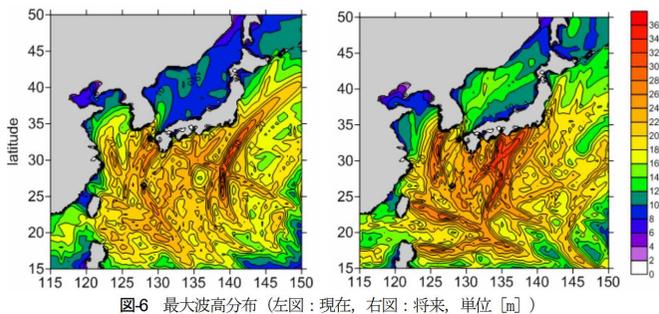
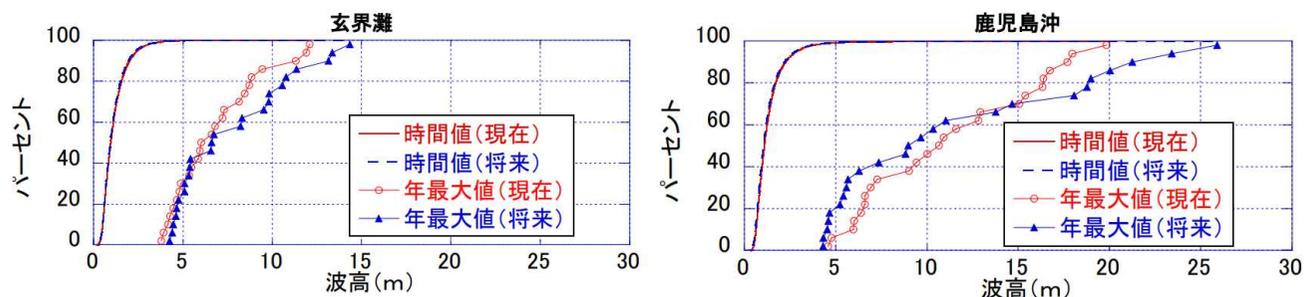
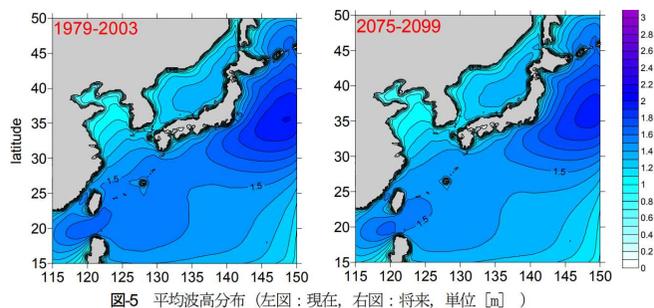
図-8 統計期間の違いによる50年確率波高の変化(船川港)

※田中 陽二((株)エコー)

既往研究レビュー⑦【波浪に係る将来予測】

出典：気候変動予測値に基づく九州沿岸における災害外力の変動特性に関する検討(横田※ら,2012)(土木学会論文集B3(海洋開発))

- 将来の気候予測値(MRI-AGCM3.2S)(2.8°C 上昇相当)より、日本に接近する台風の数は減少するものの、強大な台風の個数は増加することが確認された。
- MRI-AGCM3.2Sの風データを基にした波浪推算結果より、九州沿岸では気候変動前後で常時波浪の波高・波向に差は見られず、年最大波高の平均値・中央値も同程度であった。
- 一方、年最大波高の最大値と最小値の差が大きくなり、発生しうる最大波高は増大する傾向が見られた。



※横田 雅紀(九州大学)

波浪に関する考察

- 波浪観測データの過去トレンド分析によると、全国的に、年最大有義波高が上昇傾向にある。(論文⑤)
- 極値統計解析期間を20年間とした確率沖波の経年比較によると、東北地方沿岸において、50年確率波高が上昇傾向にある。(論文⑥)
- 気候モデル等により、確率波高の将来予測を行うことが可能であり、多くの海域で10年確率波高が将来増大することが示されている。
- 一方、IPCCによると、台風経路の予測の不確実性の高さから、場所ごとの高波の変化に関しては予測の確信度は低いとされている。

潮位偏差について

潮位偏差に係る現行の技術基準

【港湾の施設の技術上の基準を定める省令】(自然状況等の設定に関し必要な事項)

第六条 技術基準対象施設の設計、施工又は維持における、自然状況、利用状況その他の当該施設が置かれる諸条件の設定に関し必要な事項は、告示で定める。

【港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示】(潮位)

第七条 潮位は、実測値又は推算値をもとに、天文潮及び気象潮、波浪による水位上昇並びに津波等による異常潮位を考慮して、統計的解析等により、港湾管理用基準面からの水位を適切に設定するものとする。

(解釈)

7. 自然状況等の設定

(2) 潮位に関する事項(基準省令第6条、基準告示第7条関係の解釈)

① 潮位

潮位の設定に当たっては、技術基準対象施設の性能照査において、潮位が波浪及び水圧の作用の程度に影響を与えることを適切に考慮する。また、技術基準対象施設の性能照査において潮位と波浪を組み合わせる場合には、波浪と同時生起性の高い潮位のうち、当該施設の性能照査の観点から最も不利となる潮位を設定することを標準とする。

② 天文潮

潮位の設定において考慮する天文潮は、1年以上の実測値をもとに、最低水面、平均水面、朔望平均満潮面及び朔望平均干潮面の各高さとして設定することを標準とする。

③ 高潮

潮位の設定において考慮する高潮は、30年以上の実測値、既往最大級以上の台風や低気圧による高潮の推算値、既往の災害時の記録等によって設定することを標準とする。高潮の推算に当たっては、必要に応じて海岸近くでの砕波に伴う水位上昇を適切に考慮する。

高潮対策施設に用いる設計高潮位について

H30基準・同解説P118～P119より引用

- 高潮対策施設に対しては、高潮の発生も考慮した設計高潮位を定める。その決め方には次の4つの方法がある。
 - ① 既往最高潮面、あるいはこれに若干の余裕を見込んだ潮位を用いる。
 - ② 朔望平均満潮面に既往の最大潮位偏差、あるいはモデル高潮により推算された潮位偏差を加算した潮位を用いる。
 - ③ 既往の異常高潮位の生起確率曲線を求め、ある再現期間の間にそれより高い潮位の発生回数が1以下であるような潮位を用いる。
 - ④ 異常高潮位の生起確率と各潮位に対する背後地の被害額及び高潮対策施設の建設費を勘案して経済的に決定する。
- ①の方法には、最も簡明であるが相当長期間の資料を必要とし、また既往最高潮面以上の異常な高潮位が起こらない保証がない。②の方法は、高潮の主特性である潮位偏差に着目している点で優れているが、将来の保証のない点では①の方法と同じである。
- 現在広く採用されている方法は、①及び②である。

港湾の設計に用いる設計高潮位について

既往最高潮位偏差について

H30基準・同解説P111より引用

- 既往最大の潮位偏差は、1959年の伊勢湾台風によって名古屋港で生じた3.5mである。

表-3.2.1 1900～2016年間に観測された瞬間最大偏差2m以上の主要な高潮（気象庁³⁾に加筆）

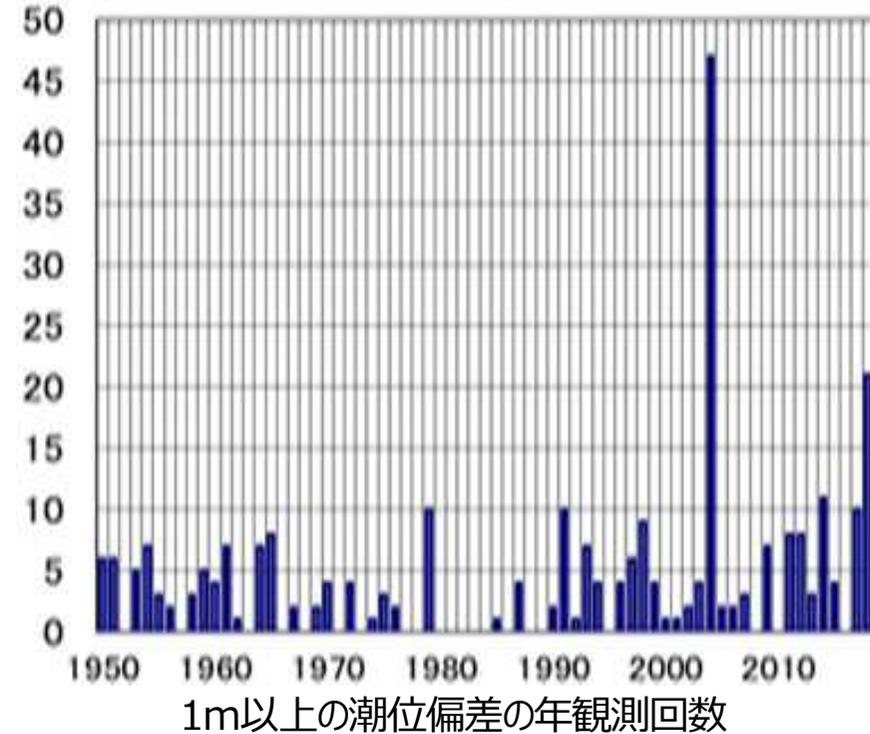
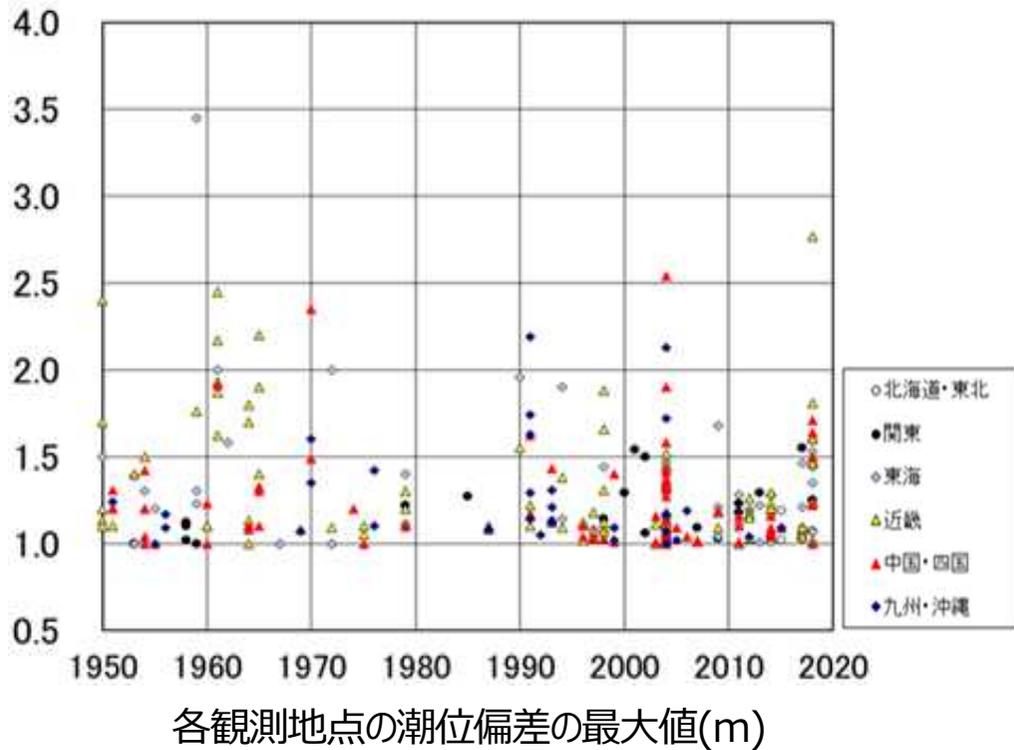
年月日	発生域	最大偏差 (m)	原因	年月日	発生域	最大偏差 (m)	原因
1917.10.1	東京湾	2.1外	台風	1972.9.16	伊勢湾	2.0	台風7220号
1930.7.18	有明海	2.5外	台風	1991.9.27	有明海	2.7	台風9119号
1934.9.21	大阪湾	3.1外	室戸台風	1995.9.17	八丈島	3.4	台風9512号
1938.9.1	東京湾	2.2外	台風	1996.9.22	八丈島	2.9	台風9617号
1950.9.3	大阪湾	2.4	ジェーン台風	1999.9.24	周防灘	2.1外	台風9918号
1956.8.17	有明海	2.4外	台風5609号	2000.7.8	八丈島	2.5	台風0003号
1959.9.26	伊勢湾	3.5	伊勢湾台風	2002.10.1	八丈島	2.4	台風0221号
1961.9.21	大阪湾	2.5	第2室戸台風	2004.9.7	有明海	2.1	台風0418号
1964.9.25	大阪湾	2.1外	台風6420号	”	瀬戸内海西部	2.1	”
1965.9.10	瀬戸内海東部	2.2	台風6523号	2004.10.20	土佐湾	2.5	台風0423号
1970.8.21	土佐湾	2.4推	台風7010号				

無印：気象庁管轄検潮所の資料、推：推定値、外：気象庁管轄外検潮所の資料による

出典：文部科学省及び気象庁「日本の気候変動2020」

観測事実

- 高潮の発生頻度や潮位偏差は、台風の上陸数や強度などに強く影響を受けているが、年ごとの変動も大きく、有意な長期変化傾向は見られない。

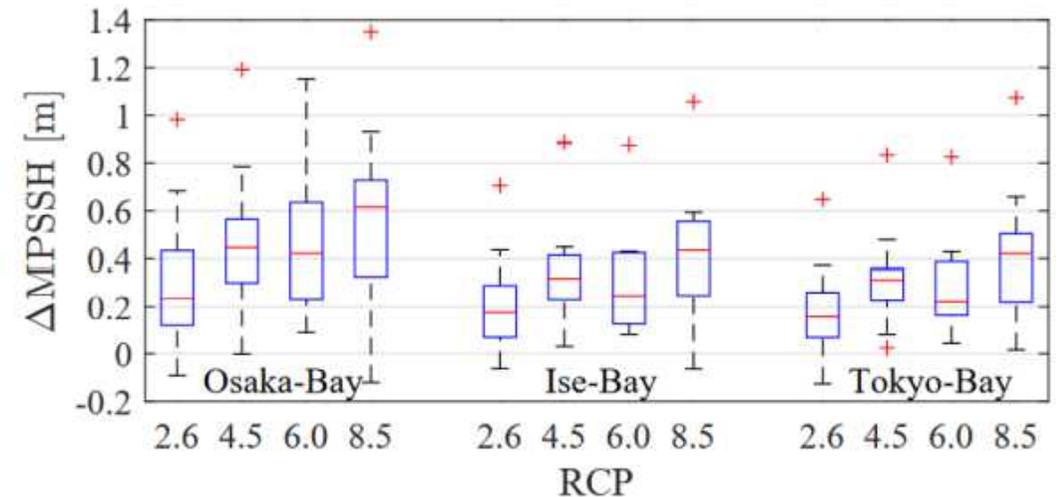
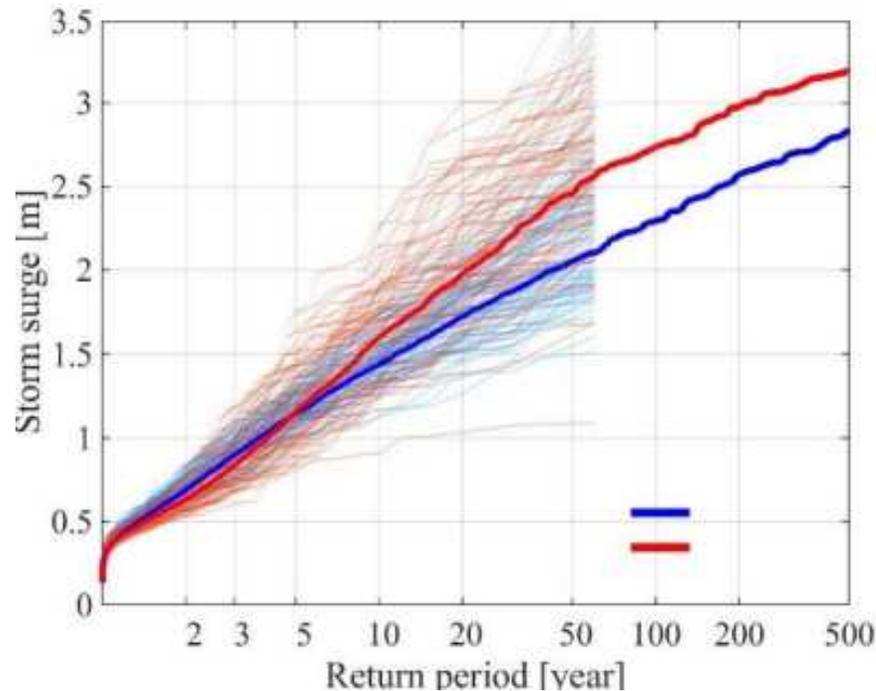


「日本の気候変動2020」での高潮に係る整理

出典：文部科学省及び気象庁「日本の気候変動2020」

将来予測

- 複数の将来予測の結果、多くのケースで将来の台風が強くなり、東京湾、大阪湾、伊勢湾の高潮（潮位偏差）が増大するとの事例研究が報告されている（確信度は中程度）。
- d4PDF を基にした推定では、小規模な高潮の発生数は減少するものの、よりまれで大規模な高潮の発生頻度は増加するとの結果が得られている（確信度は低い）。



可能最大高潮モデルによる最大水位の将来変化量

図 d4PDF をもとに算出した極端な潮位偏差の将来変化(大阪湾)

横軸は再現期間、縦軸は潮位偏差を表す。青線は現在気候(1951～2011年)、赤線は4℃上昇の場合の将来気候、太線はd4PDF全アンサンブル、細線はd4PDF各メンバーの計算結果。(Mori et al. (2019) をもとにリプロット)

既往研究レビュー⑧【潮位偏差に係る将来予測】

出典：気候変動を考慮した我が国の三大湾の高潮最大潮位偏差についての研究レビュー（森^{※1}ら,2020）（土木学会論文集B2（海岸工学））

- 1990年以降の論文^{※2}レビューにより、三大湾の潮位偏差の既往研究結果のアンサンブル平均値は、現在気候では現状の海岸保全施設設計の最大潮位偏差と同等もしくは若干小さいことを確認した。
- 一方、気候変動後の世紀末では、現状の防災計画の最大潮位偏差を上回る高潮が生じると予測されている。

※2 殆どの論文でSRES A1B(2.8°C上昇)もしくはRCP8.5(4°C上昇)シナリオが採用されている

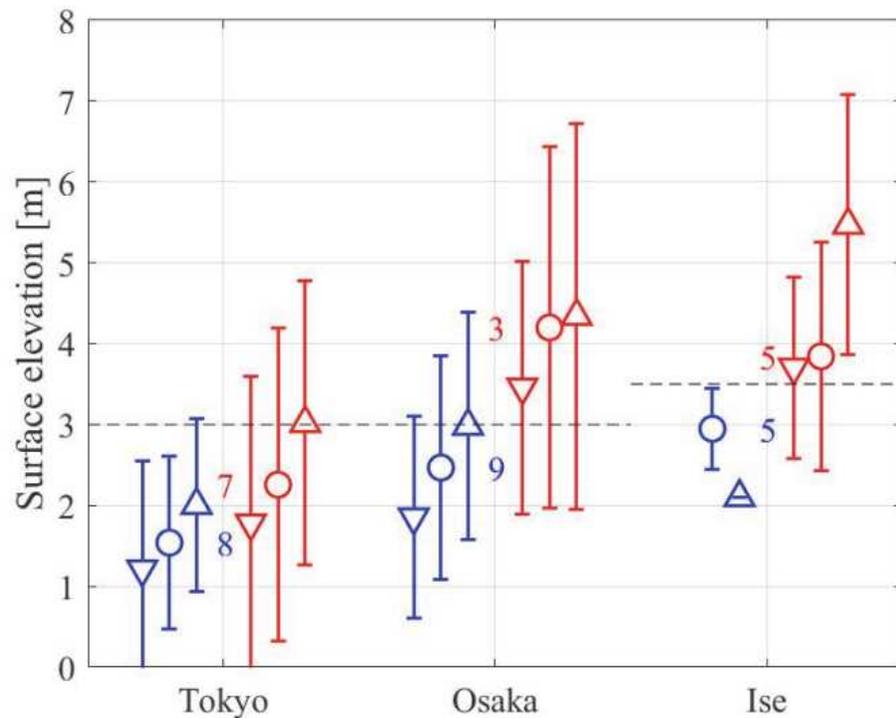


図-1 既往文献にもとづく各湾の最大潮位偏差の平均値 μ と標準偏差 $\mu \pm \sigma$ （青線：現在気候，赤線：将来気候，○：平均的予測，△：予測上位，▽：予測下位，数字は論文数）

注）点線：海岸保全施設設計の最大潮位偏差

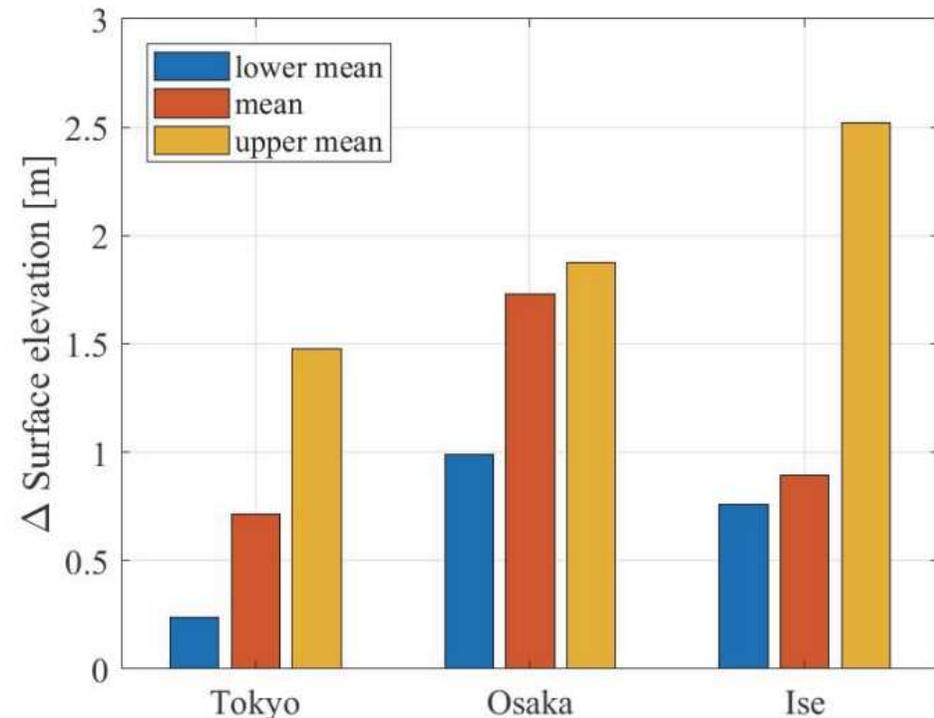


図-2 既往文献にもとづく各湾の最大潮位偏差の将来変化（赤：平均的予測，橙：予測上位，青：予測下位）

既往研究レビュー⑨【潮位偏差に係る将来予測】

出典：気候変動に伴う最大クラスの台風経路と高潮偏差および再現期間の推定-伊勢湾における検討(澁谷※ら,2015)(土木学会論文集B2(海岸工学))

- 経験的台風モデルを用いた高潮推算により、伊勢湾台風が最悪コースを通過した場合は名古屋港の潮位偏差が約0.7m増大し、約2.8°C上昇(SRES A1Bシナリオ)の気候変動による気圧低下を考慮した伊勢湾台風が最悪コースを通過した場合は名古屋港の潮位偏差が約1.5m増大することを示した。

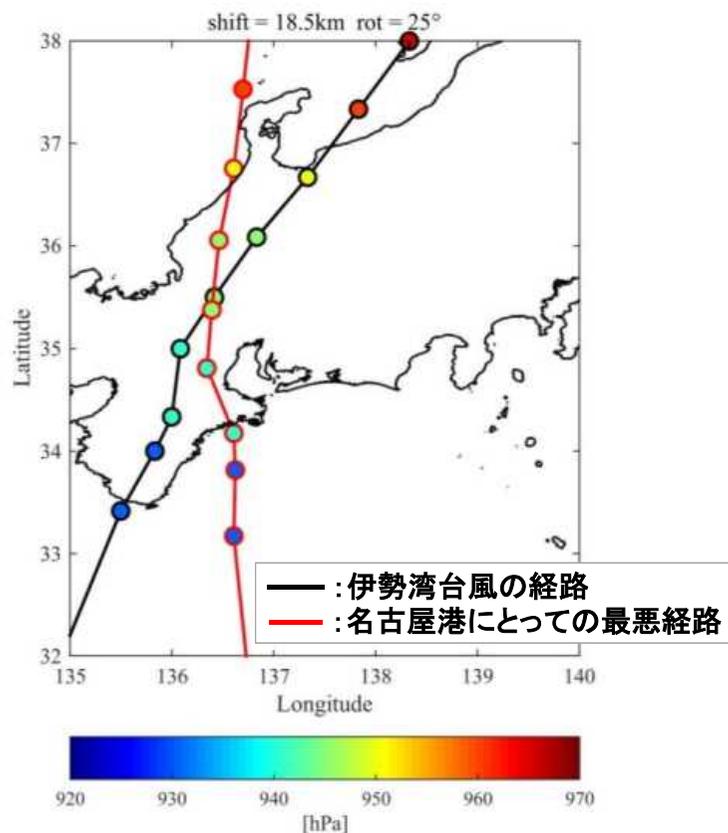


図-6 伊勢湾台風の経路と名古屋港にとっての最悪経路

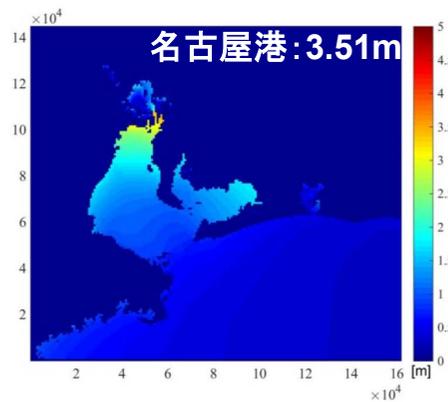


図-2 伊勢湾台風再現時の最大潮位偏差

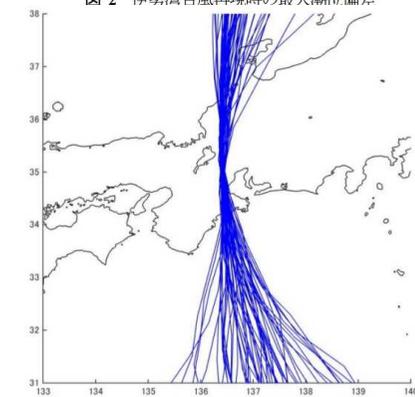


図-12 確率台風モデル25,000年の計算より得られた最大クラスの高潮を引き起こす台風経路

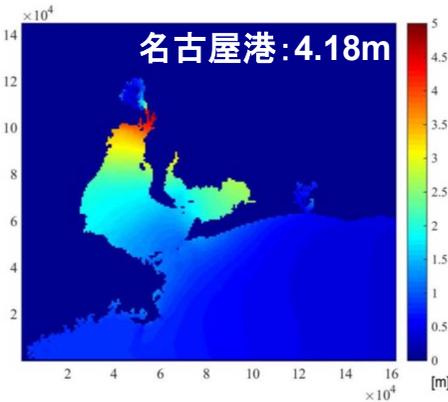


図-7 最悪経路を通った場合の最大潮位偏差

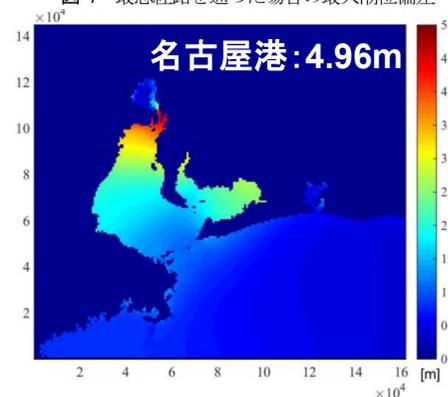


図-11 将来気候条件下において最悪経路を通った場合の最大潮位偏差

既往研究レビュー⑩【潮位偏差に係る将来予測】

出典: 北西太平洋の台風の最大潜在強度を用いた3大湾における高潮偏差の将来変化予測(有吉^{*}ら,2018)(土木学会論文集B2(海岸工学))

- 台風の最大潜在強度(MPI)の理論に基づく気候的最大高潮偏差(MPSSH)の将来変化予測より、**高位のRCPシナリオほど海面水温(SST)上昇量に対するMPI強度増加量が小さく、また、台風シーズンの三大湾のSST変化に対するMPSSH変化の感度は平均で約0.12m/°Cであった。**
- 気候変動により**MPSSHは平均および分散ともに大きく増加し、特に9月に大きくなる。**また、その変化はRCPシナリオが高位になるほど大きくなる。
- 9月の大阪湾において、**100年に1度の出現頻度で生起する環境場におけるMPSSHは、現在気候に対して4°C上昇シナリオの将来気候は1.5m程度上昇する。**

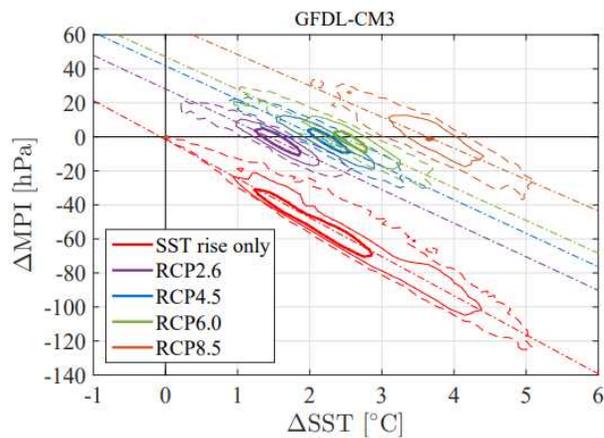
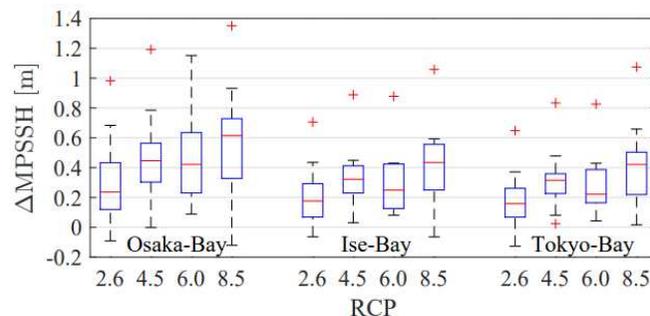
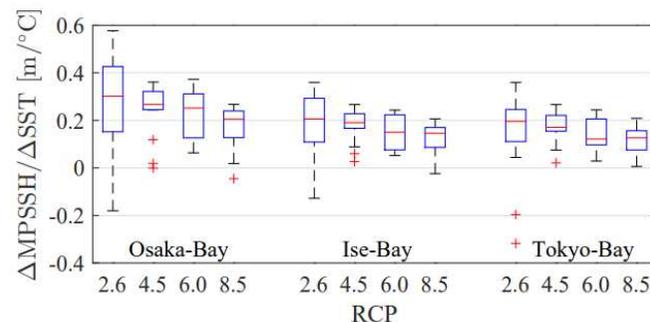


図-5 RCPシナリオごとのSSTとMPIの将来変化量の関係: GFDL-CM3の例(個数密度の破線:10個,実線:100個,太実線:500個,一点鎖線:線形近似直線)

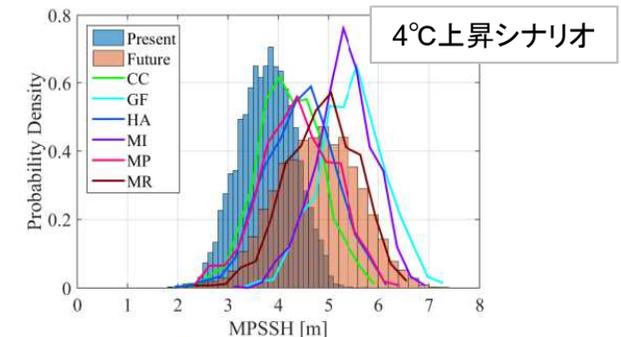


(a) MPSSHの将来変化量



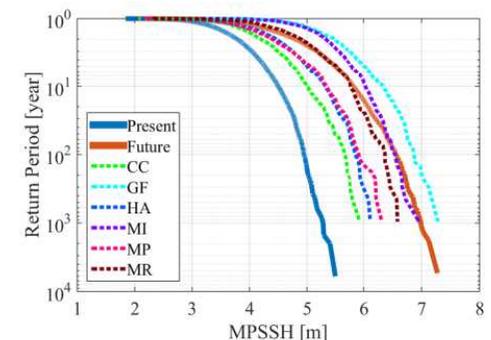
(b) MPSSHのSSTに対する感度(ΔMPSSH/ΔSST)

図-8 9月の三大湾における(a)気候的最大高潮偏差(MPSSH)の将来変化量と(b)MPSSHのSSTに対する感度(赤線:中央値,箱:第一および第三四分位数,ひげ:最大値および最小値,+ :外れ値)



(a) MPSSHの確率密度分布

(バー:全データ,線:将来の各SSTアンサンブル)



(b) MPSSHの出現確率

(実線:全データ,点線:将来の各SSTアンサンブル)

図-9 9月の大阪湾におけるMPSSHの確率評価結果

※有吉 望(京都大学)

既往研究レビュー⑪【潮位偏差に係る将来予測】

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)(土木学会論文集B2(海岸工学))

- 台風の可能最大強度(MPI)の理論に基づいた気候的可能最大高潮(MPS)モデルを用いた評価により、北西太平洋海域でのMPIは昇温に応じて連続的に変化し、2015年から2099年においてRCP2.6シナリオで-3.5hPa、RCP8.5で-8.9hPaであることを確認した。
- また、過去に大きな高潮が発生した湾(東京湾、大阪湾、伊勢湾、有明海)のMPSは将来変化量が大きいことを確認した。

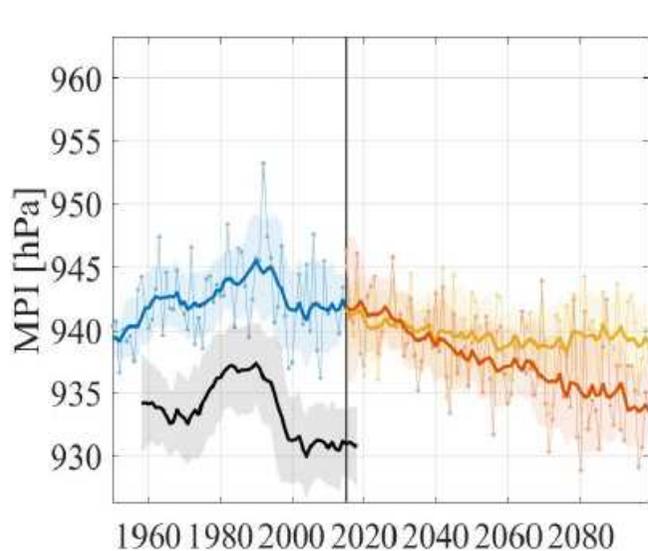


図-5 150年ランによる台風月海域内平均MPIの将来変化
(青色：HPD実験4メンバ平均MPI, 黄色：HFD実験RCP2.6, 橙色：HFD実験RCP8.5, 黒色：JRA-55再解析値, 細線：1年, 太線：10年移動平均値, 網掛け：10年移動分散値, 単位：hPa)

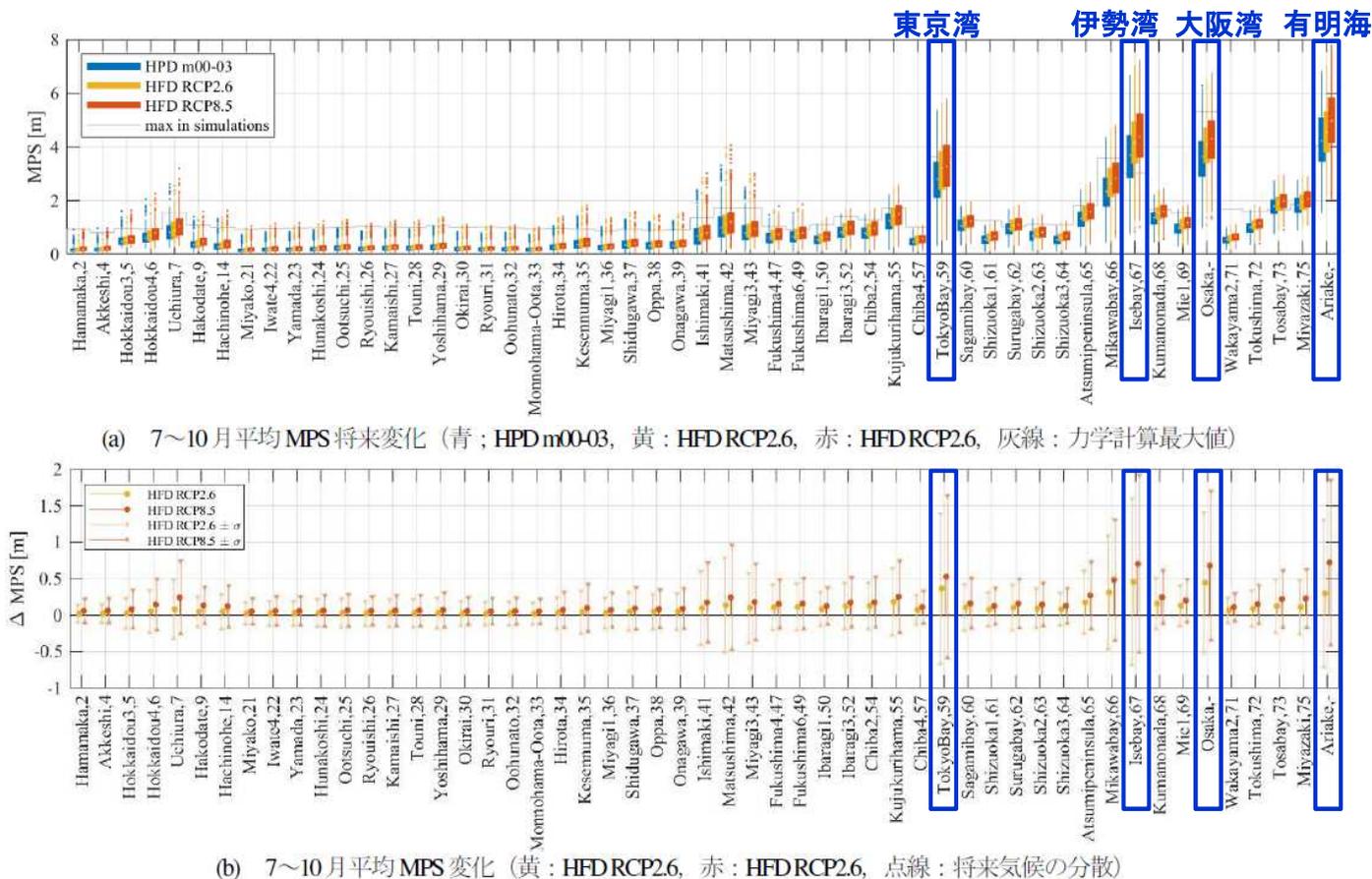


図-6 台風月MPS将来変化

(横軸は湾名, 左から右が北から南に対応, 数字は図-2に対応)

※森 壮太郎(中国電力(株))

潮位偏差に関する考察

- 既往最大潮位偏差は1959年伊勢湾台風時の名古屋港における3.5mである。
- 潮位偏差は台風の上陸数や強度に強く影響を受けるため、これまでの観測データに、有意な長期変化傾向は見られないが、大きな高潮は1960年代に比較的多く発生し、その後は少なかったが、1990年代から再び頻発するようになった。
- 気候モデル等により、設計に用いる将来の潮位偏差を確率的に求めることができる。
- 三大湾等では、気候変動による台風強大化により、現行の設計高潮位より高い潮位が発生する恐れがある。(論文⑧)
- 気候変動による潮位偏差の予測上昇量は、湾・海域ごとに異なる。(論文⑪)
- 過去に大きな高潮が発生した湾(東京湾、大阪湾、伊勢湾、有明海)における気候的可能最大高潮の将来変化量は大きい。(論文⑪)