

海面水位・高潮・高波の観測事実と将来予測 ～「日本の気候変動2020」から～

気象庁大気海洋部気象リスク対策課

白石昇司

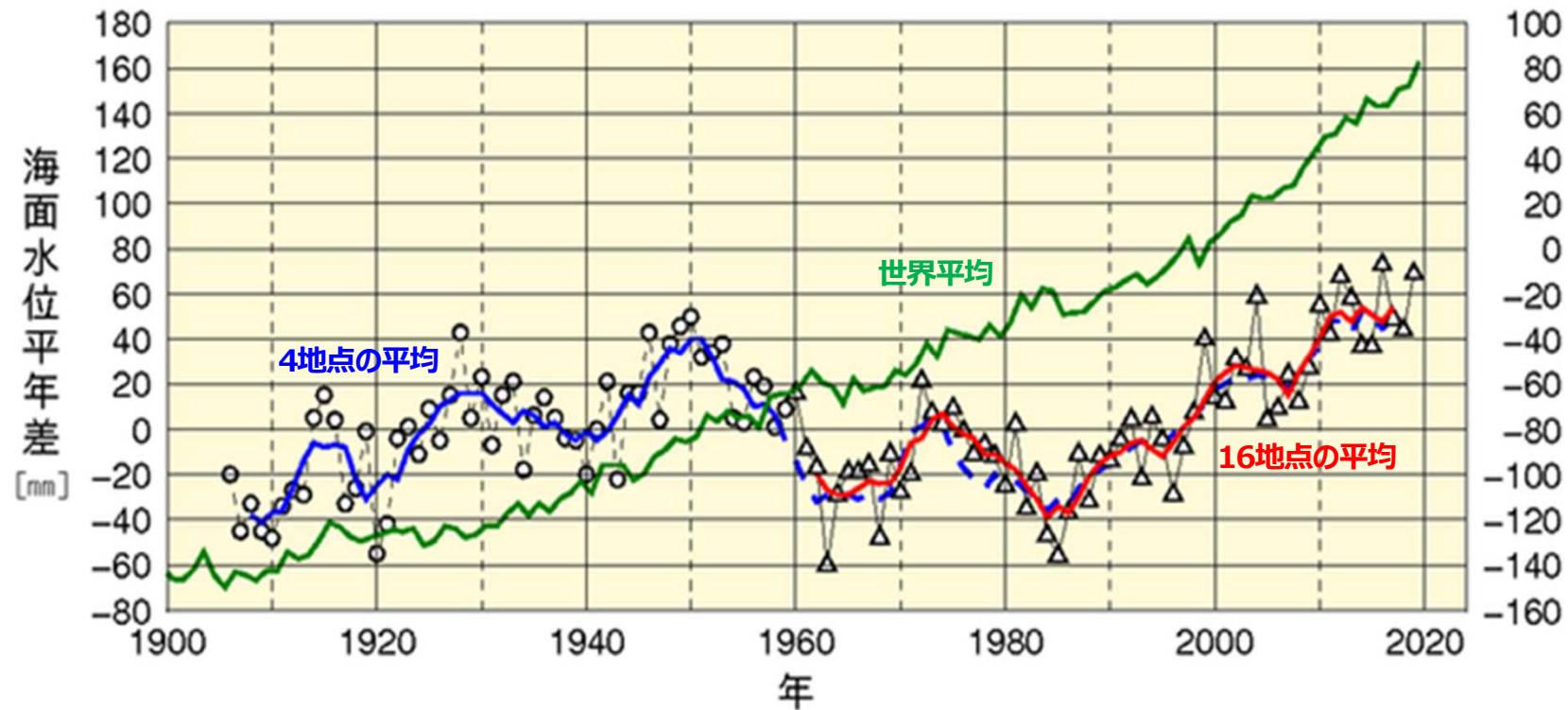
「日本の気候変動2020」

- 文部科学省及び気象庁が、「気候変動に関する懇談会」の有識者の助言を受けて、今回初めて作成。
- 大気中の温室効果ガスの状況や、気候システムを構成する諸要素（気温や海面水位など）の**日本及びその周辺における観測事実と将来予測をまとめている**。
 - ⇒ 観測事実から現在の日本の気候変動を確認し、
パリ協定の2°C目標が達成された世界と
現時点を超える追加的な緩和策を取らなかった世界
 に相当する将来予測を対比させ、気温、海面水位等の要素ごとにまとめた。
 - ⇒ **日本における、「いま」と「将来」の気候変動を概観できる資料**



日本の海面水位に関する観測事実

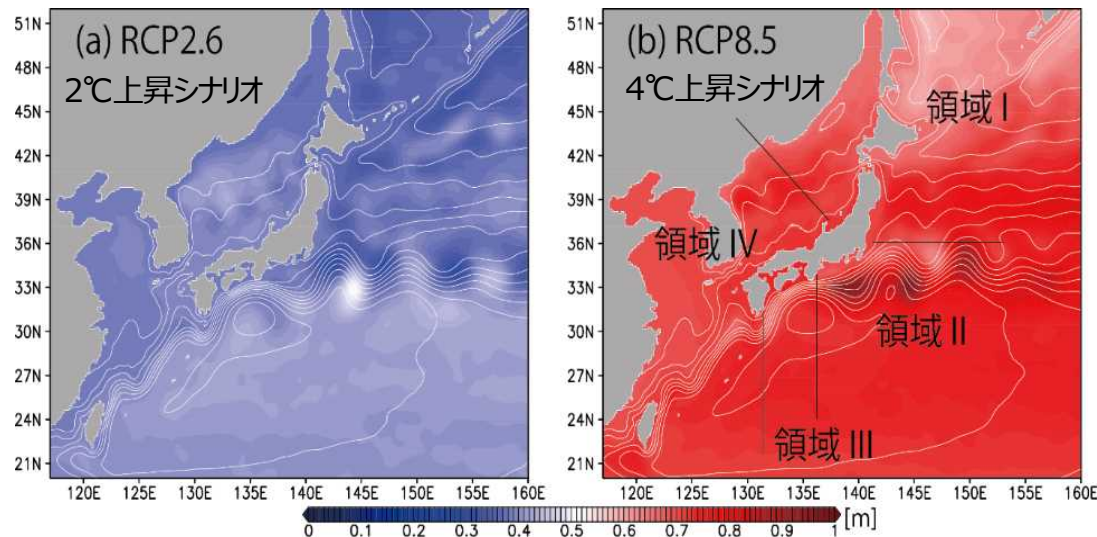
- 一貫した上昇傾向はなく、10年から20年の周期と50年を超える周期の変動が卓越。
- 1980年以降は世界平均海面水位と同程度の上昇傾向
- 長周期変動は自然変動が要因
- 近年の上昇について、自然変動と地球温暖化、それぞれの寄与の定量的評価は未了



日本沿岸の海面水位変化（1906～2019年）

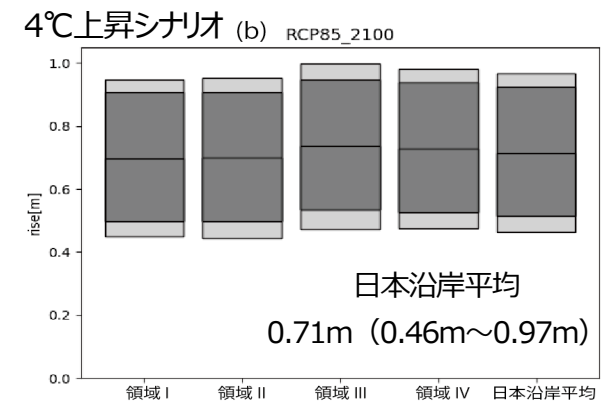
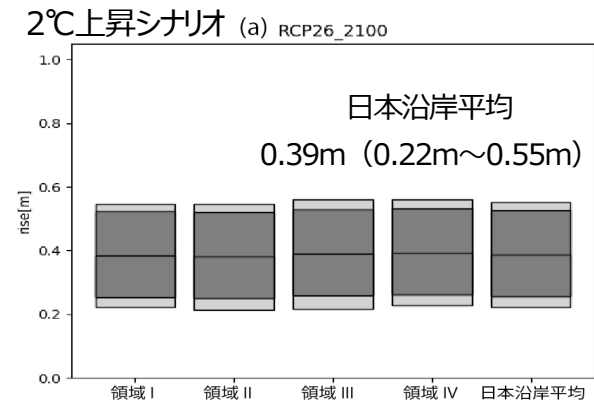
日本の海面水位の将来予測

- 日本の海面水位は21世紀中に上昇
- 20世紀末を基準とした21世紀末の上昇量は4℃上昇シナリオでは0.71m、2℃上昇シナリオでは0.39m（世界平均とほぼ同じ）
- 沖合では上昇量に地域差があるが、沿岸では大きな地域差はない



21世紀末における日本沖合の20世紀末からの海面水位上昇量（m）の分布

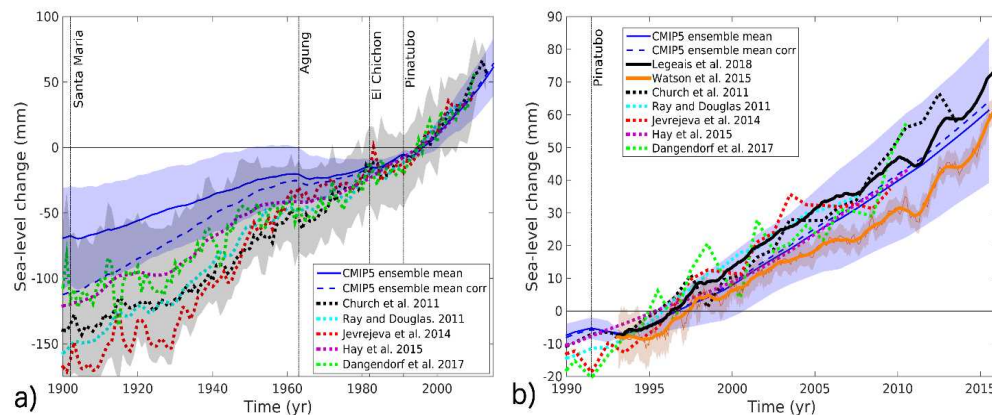
20世紀末：1986年から2005年の平均
近未来：2031年から2050年の平均
21世紀末：2081年から2100年の平均
2℃上昇シナリオ：温室効果ガス排出シナリオとしてRCP2.6を採用
4℃上昇シナリオ：温室効果ガス排出シナリオとしてRCP8.5を採用



21世紀末における日本沿岸の20世紀末からの海面水位の上昇量（m）

世界の海面水位（観測事実と将来予測）

- 世界平均海面水位は最近数十年加速して上昇
- これまでの上昇は世界的に一樣ではなく地域により異なる
- 21世紀も上昇する可能性が非常に高い
- 21世紀中も上昇は全球で一樣でない可能性が高い

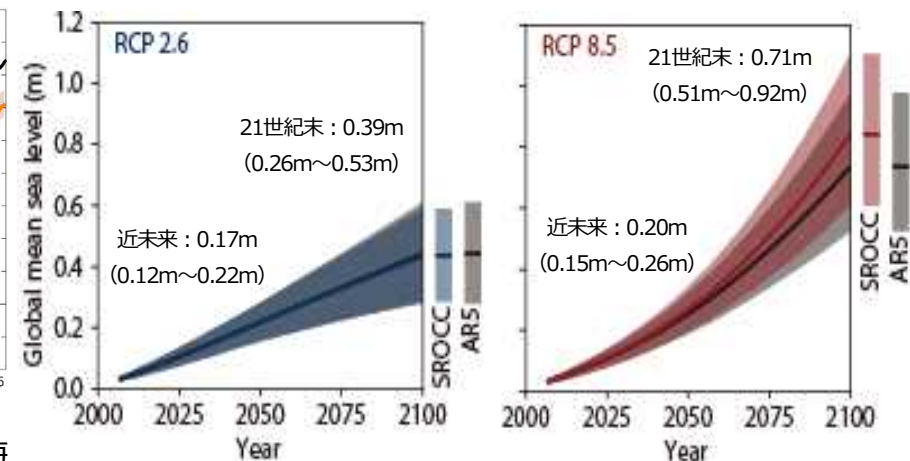


数値シミュレーション（気候モデル+氷床氷河モデル）と観測（潮位計+衛星海面高度計）による世界平均海面水位の比較

陰影部は95%信頼期間

青は数値シミュレーション

灰色は観測の信頼区間。



世界平均海面水位の変化予測

値は20世紀末（1986～2005年の平均）からの偏差

陰影は「可能性が高い」の範囲（灰色の陰影はIPCC AR5の範囲）

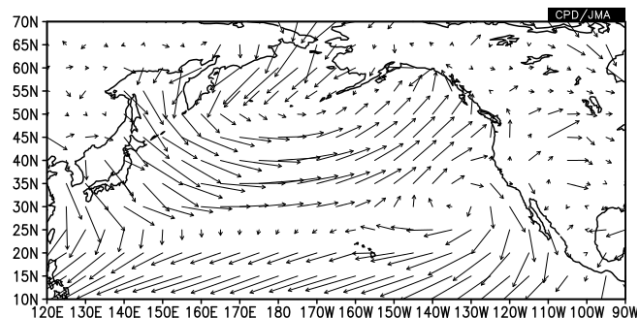
日本の海面水位変動の背景要因

沖合の海面水位

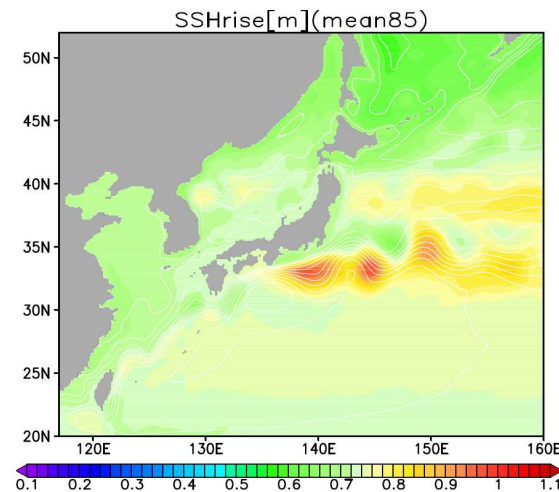
- 長周期の変動は、偏西風の強弱・位置やアリューシャン低気圧の強弱といった自然変動が要因
- 上昇量には地域的な差があり、風系の変化により亜熱帯循環が北上傾向となることなどが要因

沿岸の海面水位

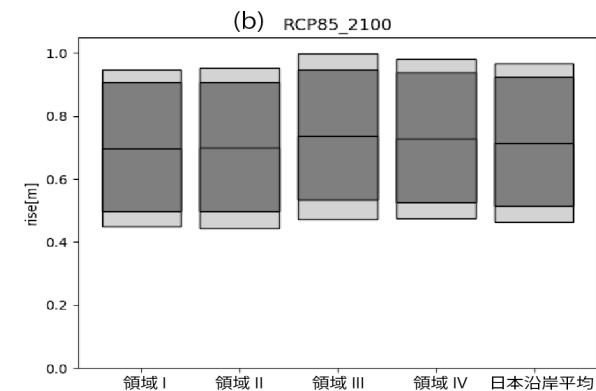
- 将来予測に世界平均との大きな差はないが、自然変動の影響が大きく、予測幅は世界平均と比べ大きい
- 沿岸捕捉波の効果により一定に調整されるため、地域的に大きな差は生じない



北太平洋における冬季の風の分布（JRA-55の気候値）



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)



21世紀末における日本沿岸の海面水位の20世紀末からの上昇幅(m)

沖合は地域差大（→沿岸捕捉波による調整→） 沿岸は地域差小

海洋モデルによる海面水位予測

・日本沿岸の水位

氷床・氷河の融解、淡水の流入出 + 熱膨張 + 風系等の変化による質量移動 + (地殻変動等)
← 局所的な分布 →

・領域モデルを用いたダウンスケーリング：SI-CATプロジェクト

海洋モデル : 気象研共用海洋大循環モデル (MRI.COM ver.4)

領域 : 北太平洋 (100°E-285°E, 15°S-70°N)

解像度 : 水平10km、鉛直54層 → **水平解像度10kmは過去に例がない
黒潮の再現性が飛躍的に改善 (水位にインパクト大)**

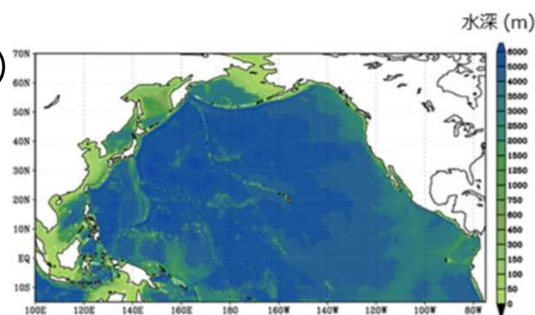
実験設定

- 大気外力 : CMIP5中の4モデル (MRI-CGCM3, MIROC5, GFDL, IPSL)

- シナリオ : RCP2.6, RCP8.5

- 積分期間 : 1960-2100年

計算要素 : 水温・塩分・海氷・海流・力学的な海面水位など



・予測値の算出

領域モデルと全球モデル(CMIP)のオフセットをもとに熱膨張成分、淡水変化分を調整、さらに氷床・氷河の融解予測量を足し込む

・不確実性の評価

4つのアンサンブル実験の結果を用いて評価

モデルの不確実性、年々変動による不確実性、データ数に起因する不確実性をもとに全体の不確実性を評価

・CMIP5：第5期結合モデル相互比較計画

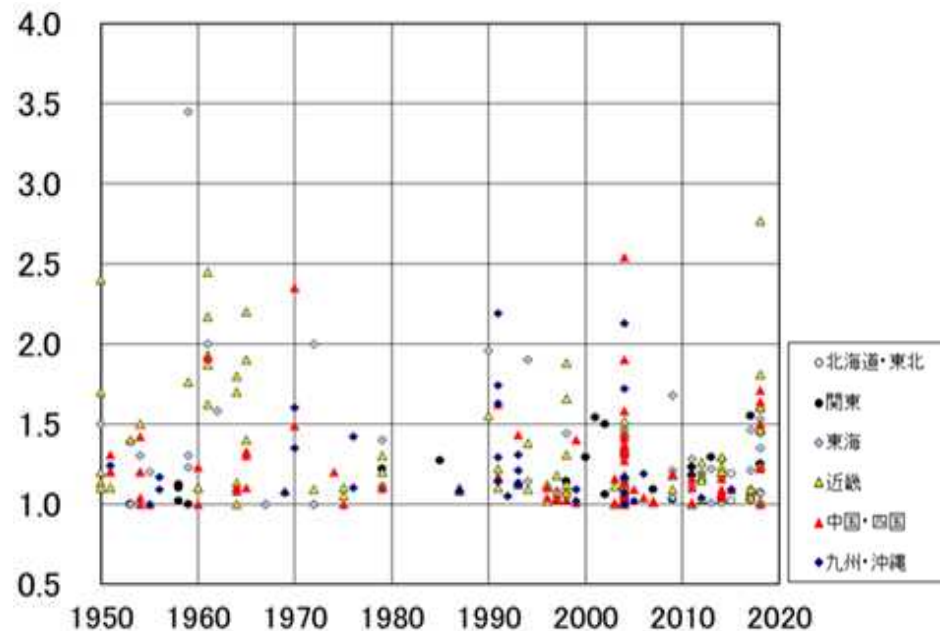
各機関の全球大気海洋結合モデルによる将来予測結果を相互に比較することで、予測の不確実性を把握する取り組み。

・SI-CAT(気候変動適応社会実装プログラム)海洋プロダクト

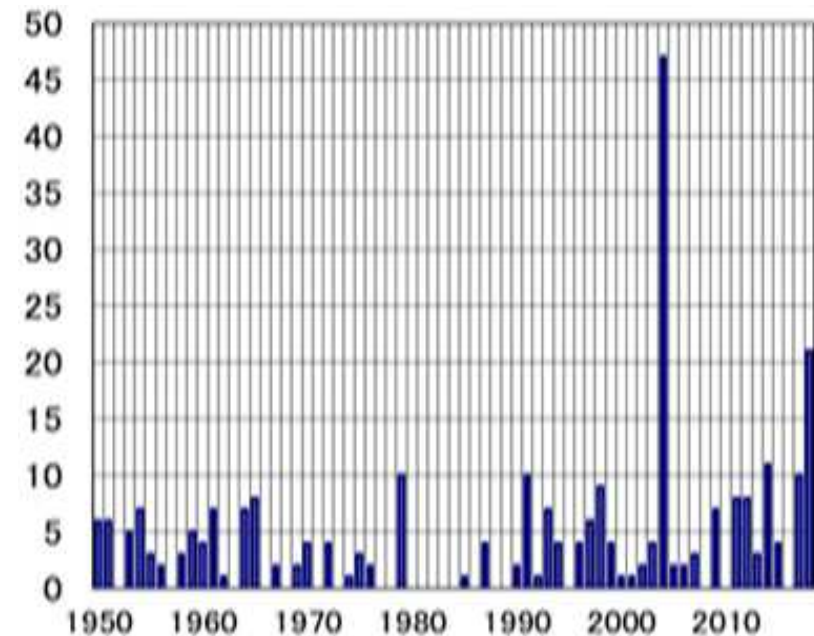
データ統合・解析システムDIASにおいて公開

高潮に関する観測事実

- 日本における高潮の発生数や大きさには有意な長期変化傾向はない
- 人的な被害は減りつつあるが依然として災害リスクは高い。



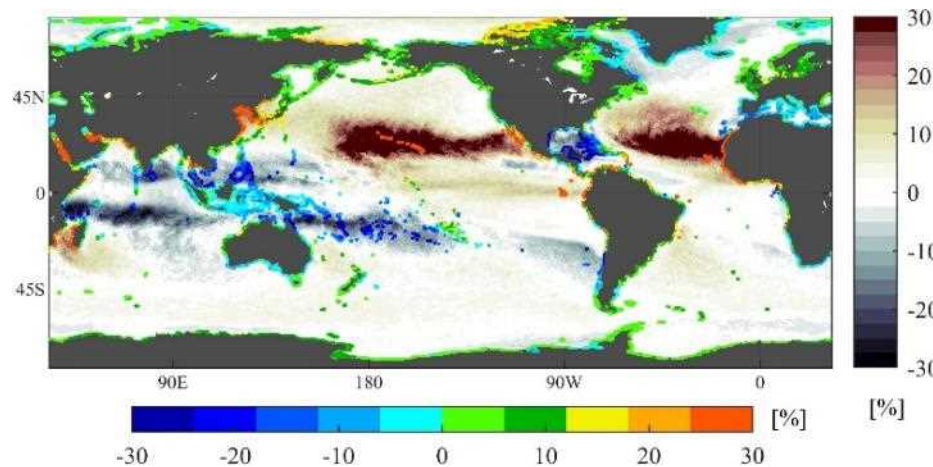
各観測地点の潮位偏差の最大値(m)



1m以上の潮位偏差の年観測回数

高潮の将来予測

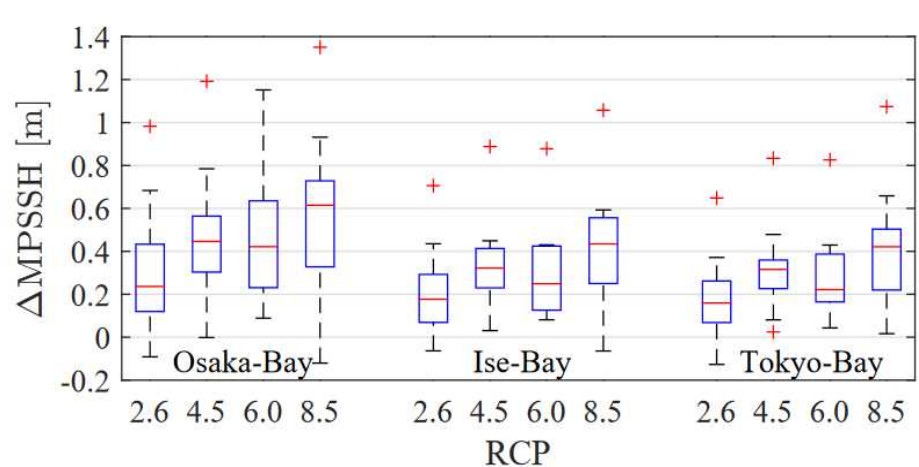
- 高潮の将来予測は熱帯低気圧の将来予測に強く依存
- 三大湾などで最大潮位偏差（実際の潮位と天文潮位の差）が増大
- 将来予測には不確実性が大きく、確信度は中程度以下



強風と潮位偏差の100年確率値の将来変化

海域の濃淡：強風の将来変化率（縦のカラーバー）

海岸線の色：潮位偏差の将来変化率（横のカラーバー）

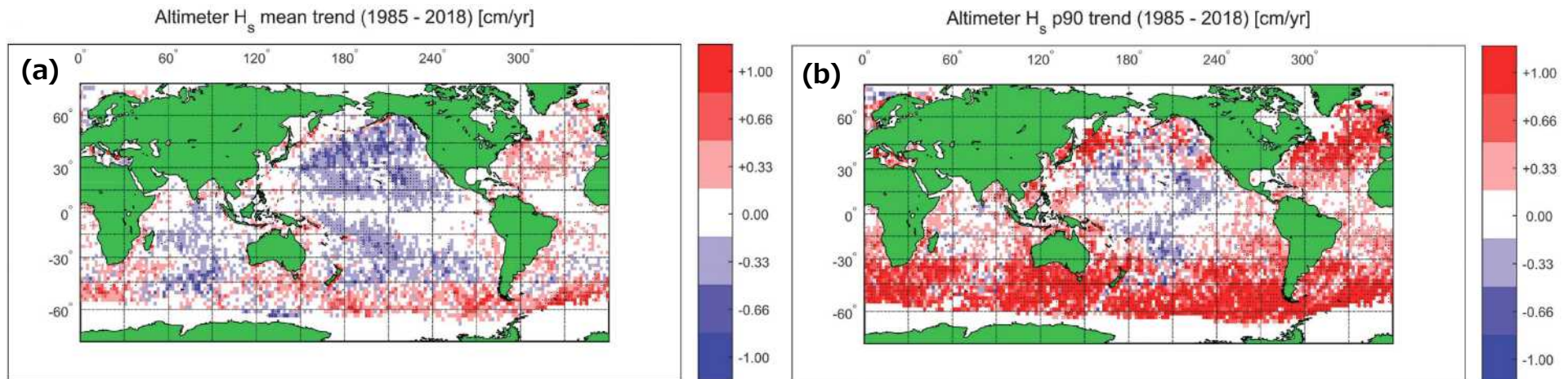


最大水位の将来変化量

$\Delta MPSSH$ ：気候的 maximum 潮位偏差（可能最大強度を持つ台風が最悪経路で湾を通過した場合の潮位偏差）

高波に関する観測事実

- 気候変動に伴う台風・低気圧特性の変化により、波浪特性も変化
- 世界的には高波が広い範囲で増加する傾向
- 日本では太平洋側を中心に高波が増加する傾向
- 増加の要因について、一致した見解はない



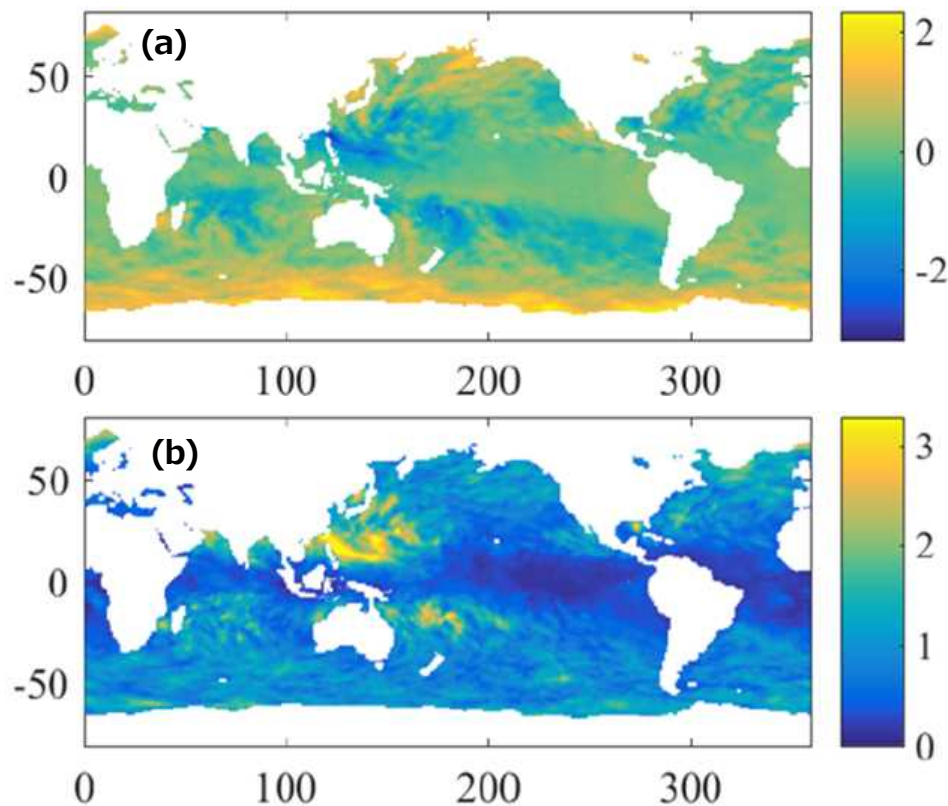
衛星により観測された1985年～2018年の波の高さの長期変化傾向 (cm/年)

(a) 平均有義波高

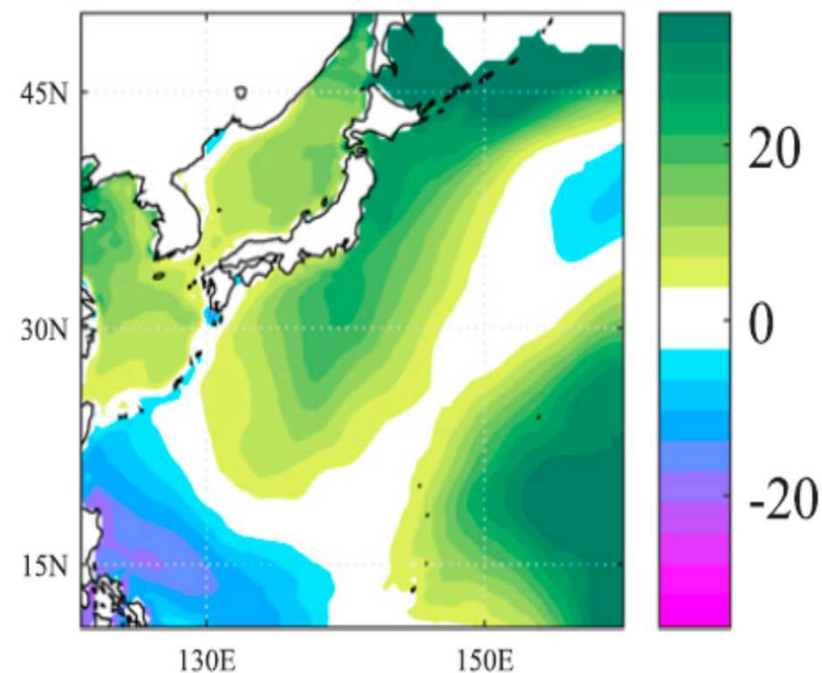
(b) 年間の上位10%に相当する有義波高

高波の将来予測

- 高波の波高が高まる海域がある（確信度は低い）
- 日本では平均波高は低くなる（確信度は中程度）が極端な波高は高くなる（確信度は低い）



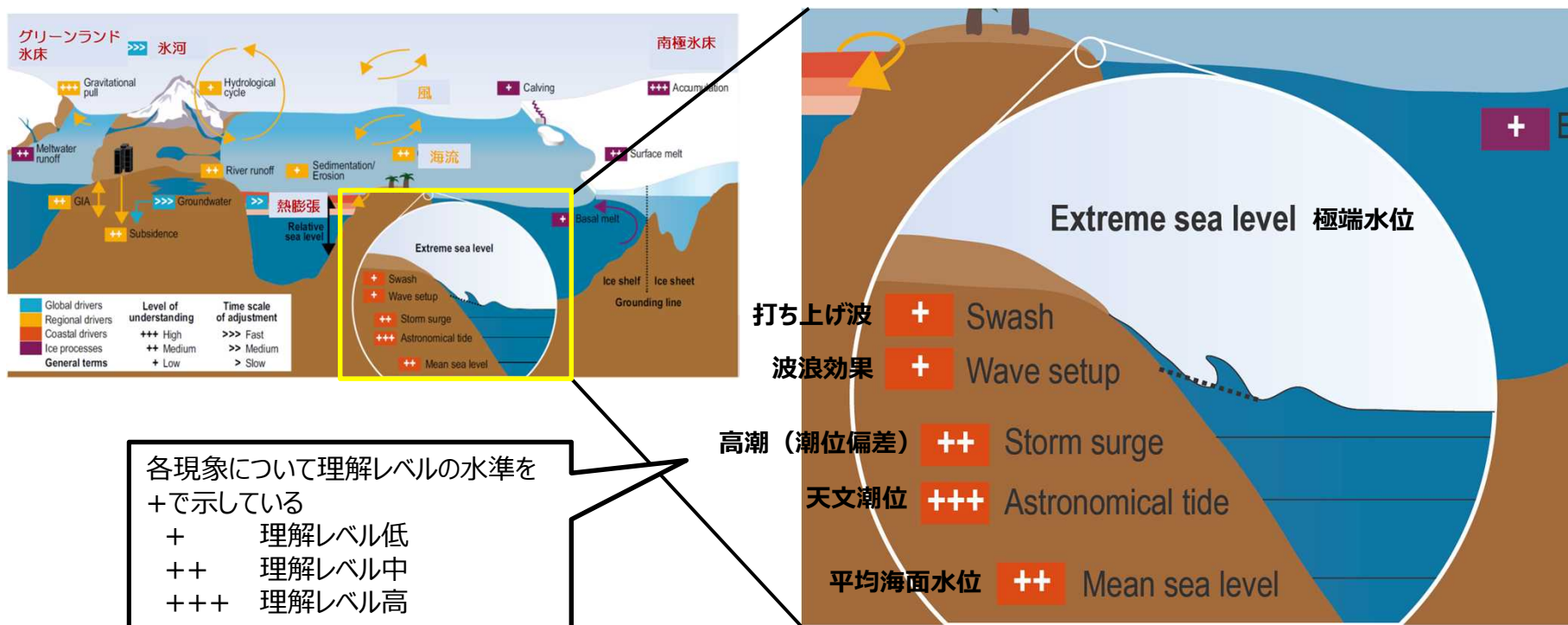
極端な波高（10年確率値）の将来変化（m）
(a)将来変化量のアンサンブル予測間の平均値
(b)アンサンブル予測間の標準偏差。



日本周辺の台風による極端な波高（10年確率値）の将来変化（%）

極端水位の将来変化

- 潮位偏差の増大や海面水位の上昇により極端水位の大きさや頻度が増加
- 高波の増加も波浪効果を通じて極端水位の増加に寄与

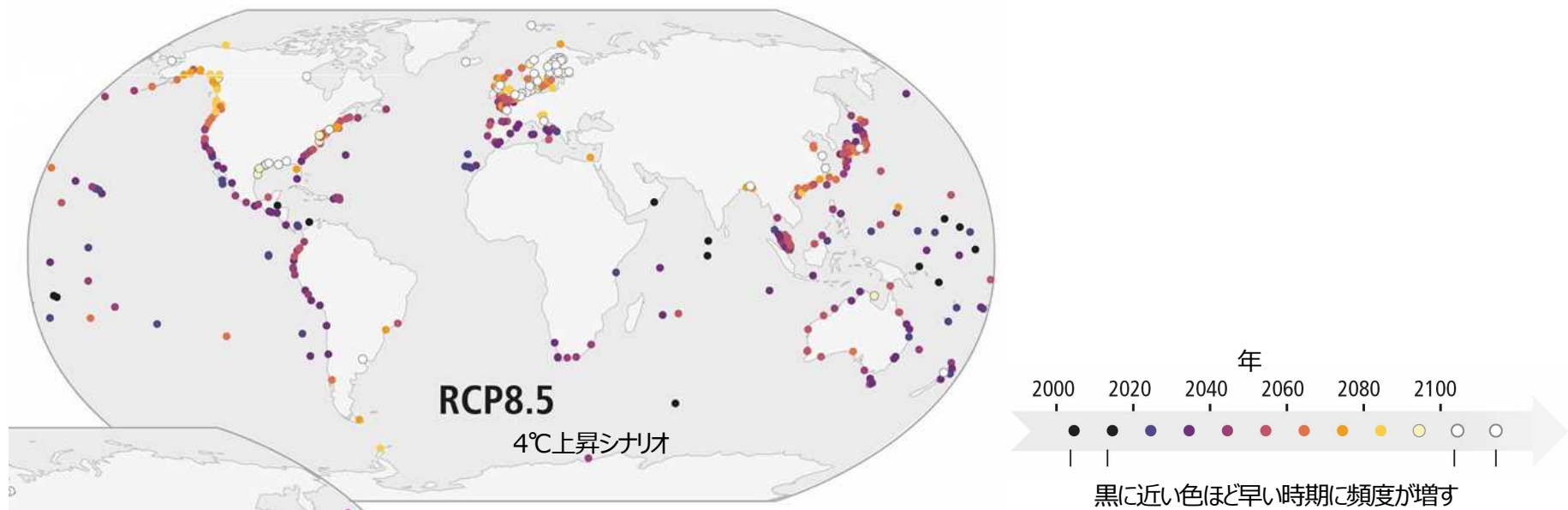


海面水位の変動に関する模式図 IPCC海洋・雪氷圏特別報告書（2019）より

極端水位：顕著な潮位偏差、高波とそれに伴う波浪効果が重なって極端に上昇した水位。
将来的にはこれに平均海面水位の上昇も加わる。

極端水位の将来変化による影響

- 世界的には100年に1度レベルの極端水位が今世紀末にはより頻繁に発生
 - 高潮の特性が大きく変わらなくても、平均海面水位が上昇することで頻度が増す
- 極端水位の増加は沿岸域の災害リスクの増大につながる
- 日本沿岸の極端水位の評価は未実施、地盤変動の影響を軽減することが課題



海面水位上昇による極端水位の頻度の変化 IPCC海洋・雪氷圏特別報告書（2019）より

まとめ

➤ 海面水位

- 日本沿岸の海面水位は長周期の変動が卓越し、20世紀初頭から見ると一貫した上昇傾向はない。
- 1980年以降は世界平均海面水位と同程度の上昇傾向にある。
- 将来予測では日本周辺の海面水位は21世紀末にかけて上昇するとみられる。
- その上昇量は沖合では海域によって差があるが、沿岸では大きな地域差はない。

➤ 高潮

- 顕著な潮位偏差の発生数や大きさに有意な長期変化傾向はない。
- 将来は最大潮位偏差が増大することが見込まれるが、不確実性が大きい。

➤ 高波

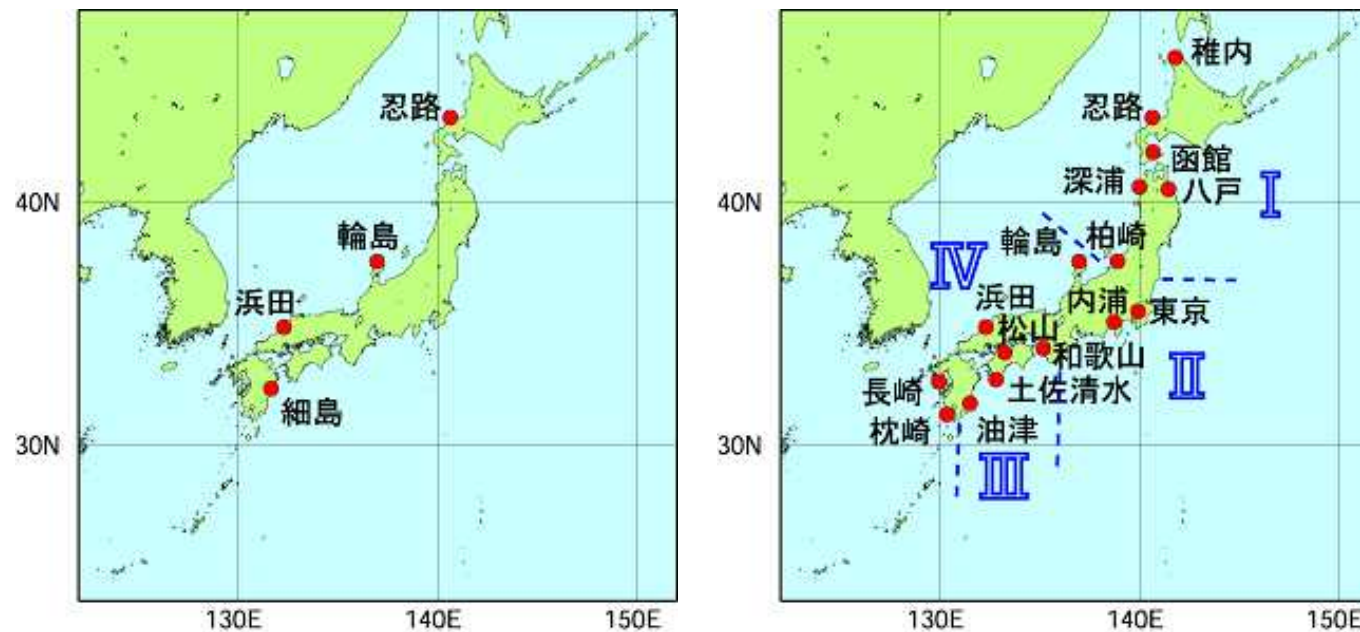
- 日本の沿岸では太平洋の沿岸を中心に高波や波エネルギーの増加傾向が報告されている。
- 熱帯低気圧の将来変化に伴って、平均波高は低くなり、高波の波高は高くなると予測されるが、不確実性が大きい。

➤ 極端水位

- 将来、海面水位の上昇に、高潮（潮位偏差）の増大や高波による波浪効果の増大が加わることで、極端水位の大きさや頻度が増えると考えられる。
- 極端水位の増加は、沿岸域における災害のリスクを高める。
- 日本沿岸の極端水位の評価を精緻に実施することが今後の課題である。

補足資料

日本沿岸の平均海面水位の算出に用いた地点



左：1906年から1959年の4地点

右：1960年から2019年の16地点

日本沿岸における21世紀末の海面水位上昇量

21世紀末	領域I	領域II	領域III	領域IV	沿岸平均
2℃上昇 シナリオ	0.38 (0.22～ 0.55)	0.38 (0.21～ 0.55)	0.39 (0.22～ 0.56)	0.39 (0.23～ 0.56)	0.39 (0.22～ 0.55)
4℃上昇 シナリオ	0.70 (0.45～ 0.95)	0.70 (0.45～ 0.95)	0.74 (0.47～ 1.00)	0.73 (0.47～ 0.98)	0.71 (0.46～ 0.97)
近未来	領域I	領域II	領域III	領域IV	沿岸平均
2℃上昇 シナリオ	0.16 (0.10～ 0.23)	0.16 (0.08～ 0.23)	0.17 (0.08～ 0.26)	0.17 (0.10～ 0.25)	0.17 (0.10～ 0.24)
4℃上昇 シナリオ	0.19 (0.11～ 0.26)	0.19 (0.10～ 0.28)	0.19 (0.08～ 0.30)	0.19 (0.11～ 0.28)	0.19 (0.11～ 0.27)

日本沿岸の海面水位の20世紀末からの上昇量 (m)

上表：21世紀末

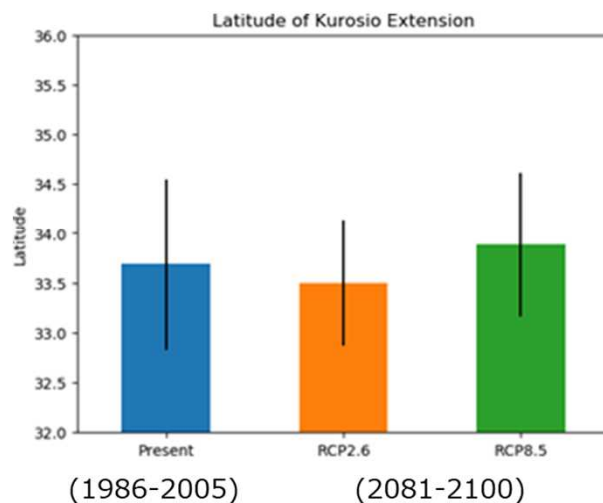
下表：近未来

(括弧内は95%信頼区間)

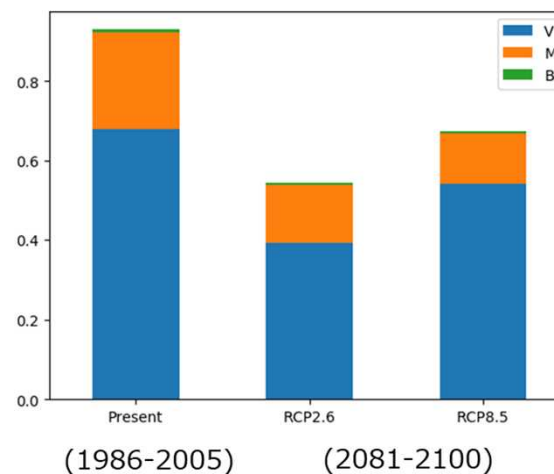
将来予測の不確実性の評価

- 20世紀末に対する21世紀末の不確実性を、4つのアンサンブル実験の結果を用いて評価
- モデルの不確実性（**M**）、年々変動による不確実性（**V**）、データ数に起因する不確実性（**B**）から、全体の不確実性を評価
- 日本の周辺では年々変動の不確実性に起因した不確実性が大きい

黒潮続流の緯度の将来変化



黒潮続流の緯度予測の不確実性の内訳

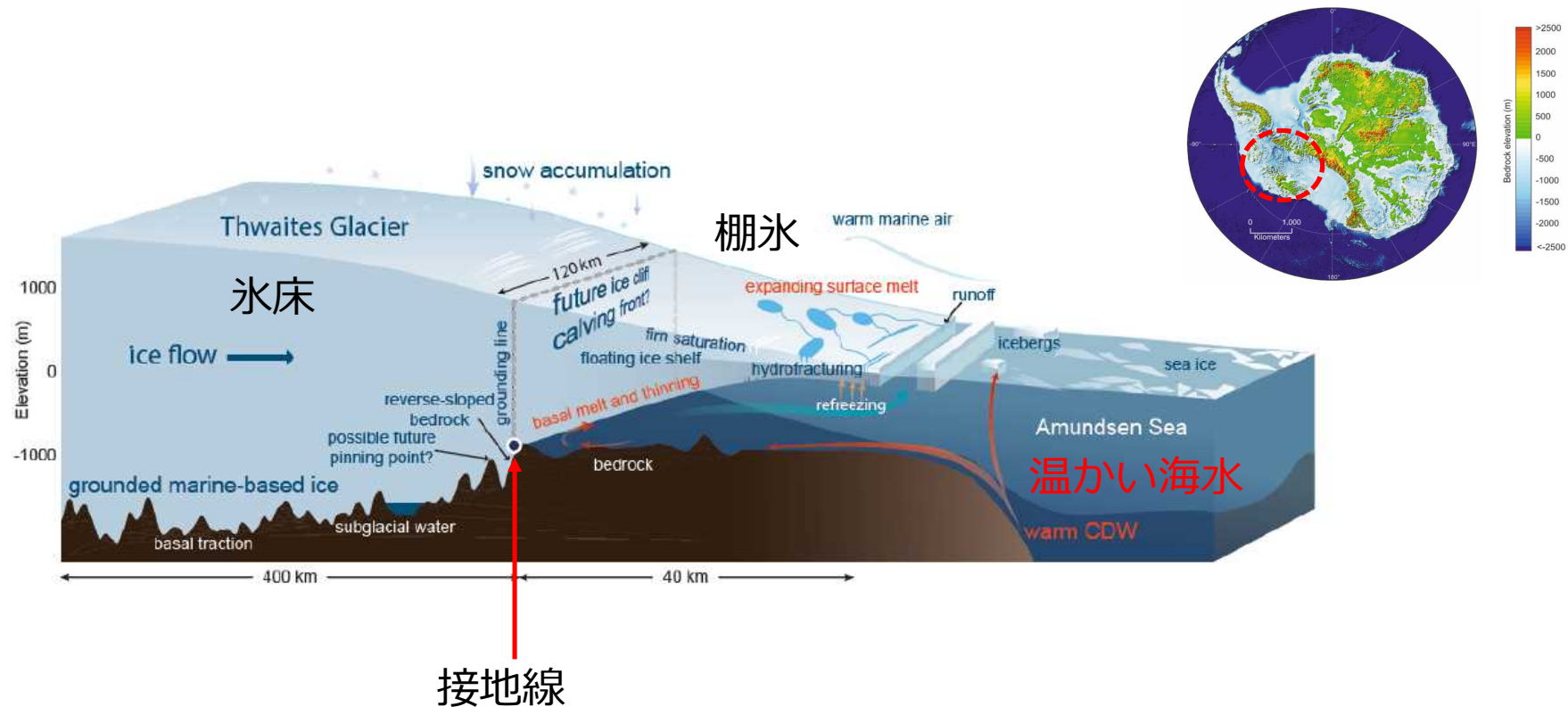


V : 年々変動
M : モデル
B : サンプル数

不確実性の評価の例(黒潮続流の位置に関する将来予測)

海洋性氷床不安定 (Marine Ice Sheet Instability: MISI)

海面より低い岩盤上にある南極氷床の大部分は、海洋変動や大気変動がきっかけとなる接地線の自立的な後退という、**海洋性氷床不安定 (MISI)** の影響を受けやすい可能性が指摘されている。



海洋性氷床不安定の模式図 IPCC海洋・雪氷圏特別報告書 (2019) より