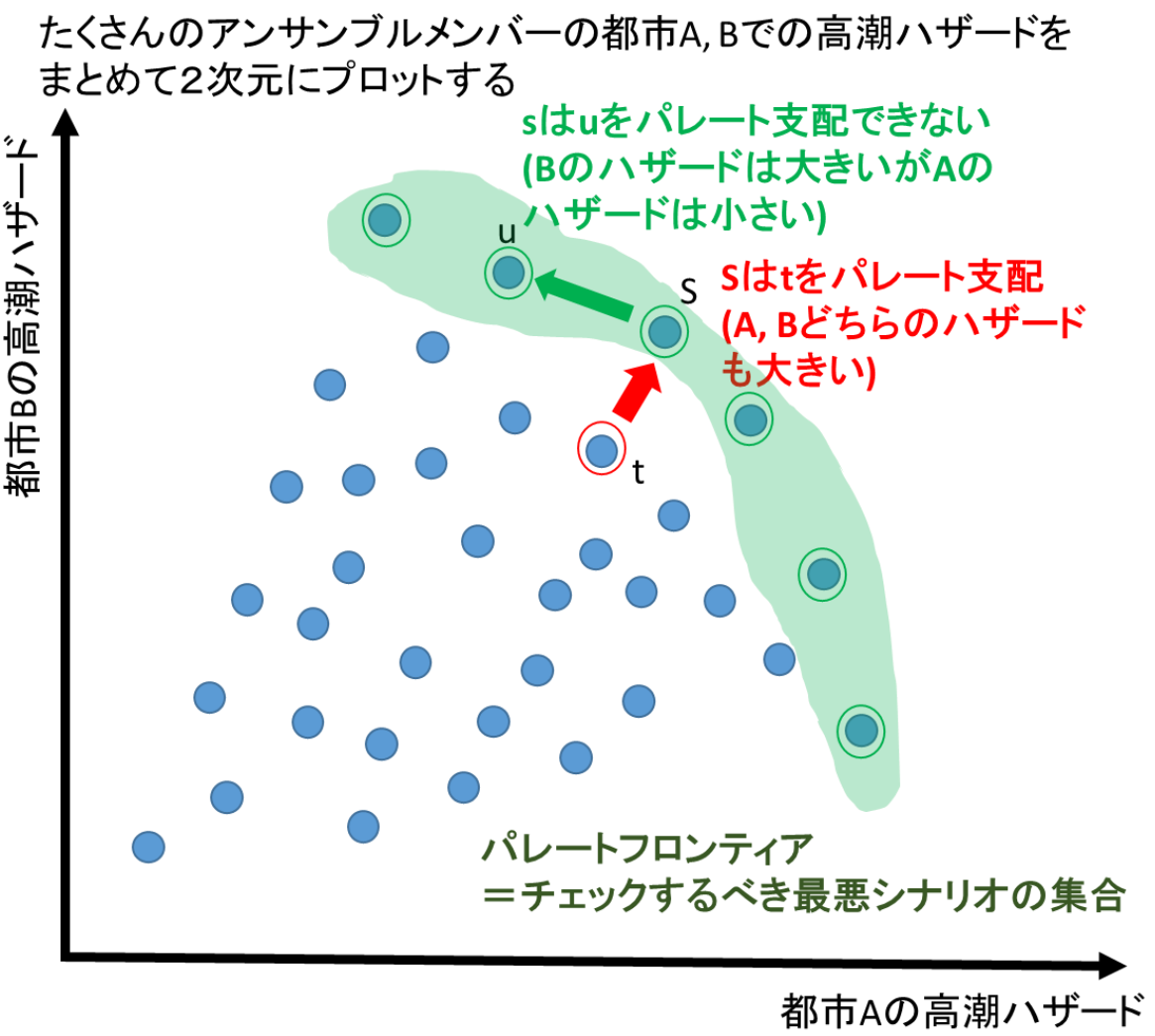
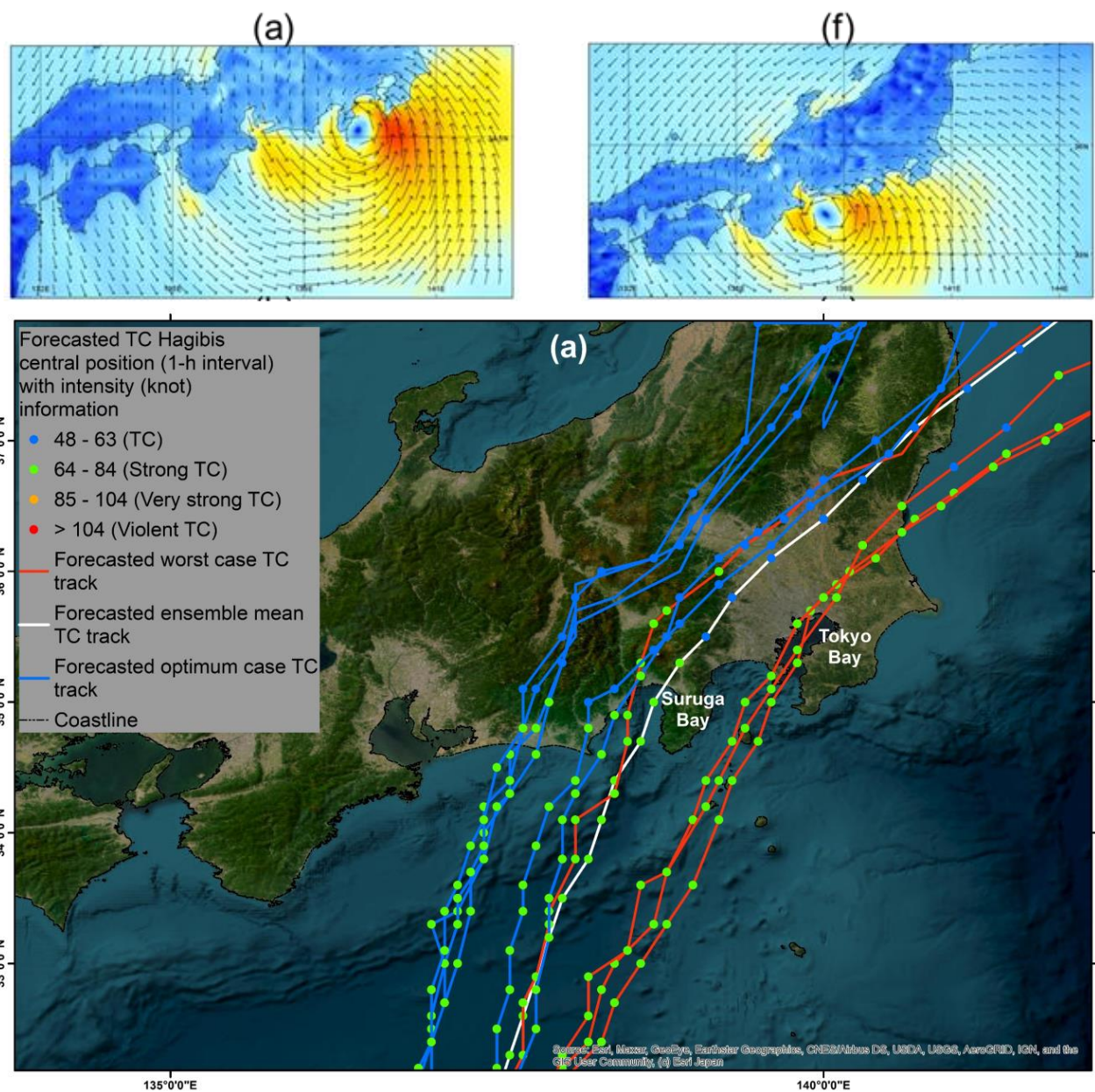


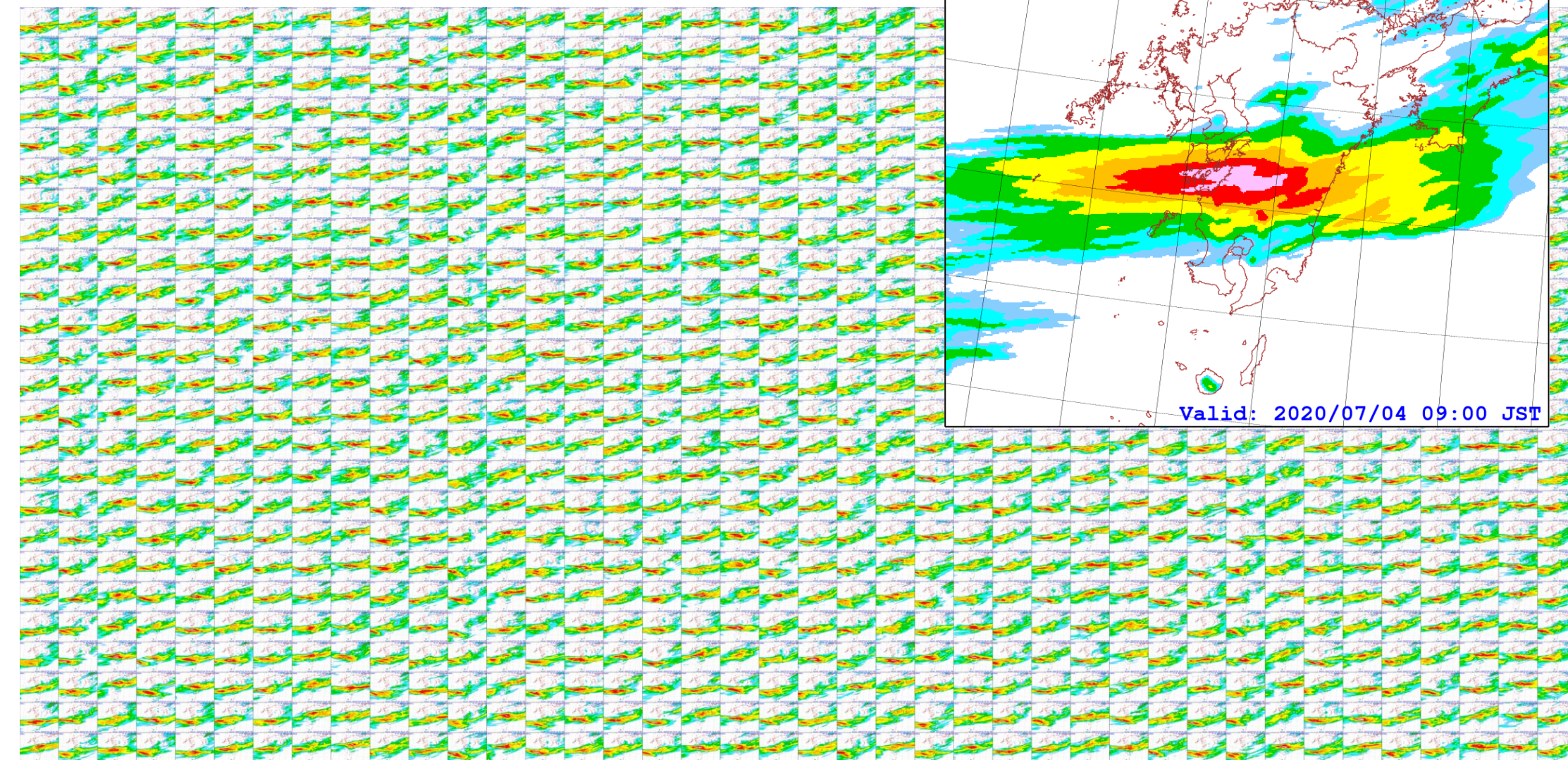
巨大アンサンブル気象予測を活用した広域高潮リスクマネジメント



1. Introduction

1.1. 世は巨大アンサンブルの時代

「富岳」の利用で巨大アンサンブル気象予測はさらに身近に



巨大アンサンブルで何が嬉しいのか？

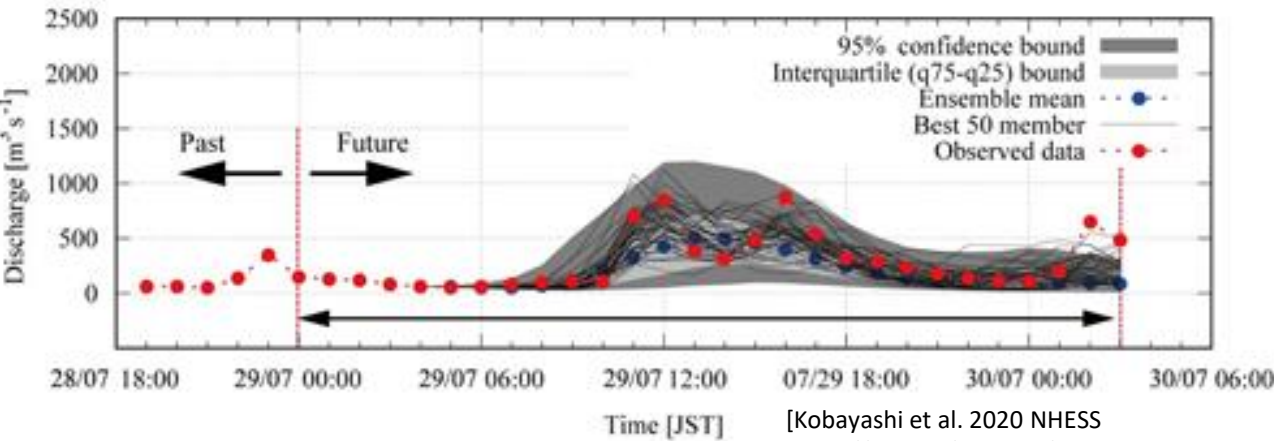
- 予測の不確実性を正しくとらえることが、より精度の高い予測につながる
- **予測の不確実性を理解することで高度な意思決定につながる**

[Duc et al. 2021 SOLA <https://doi.org/10.2151/sola.2021-007>]

1.2. 災害ハザードに対するアンサンブル予測の利用はあまり進んでいない

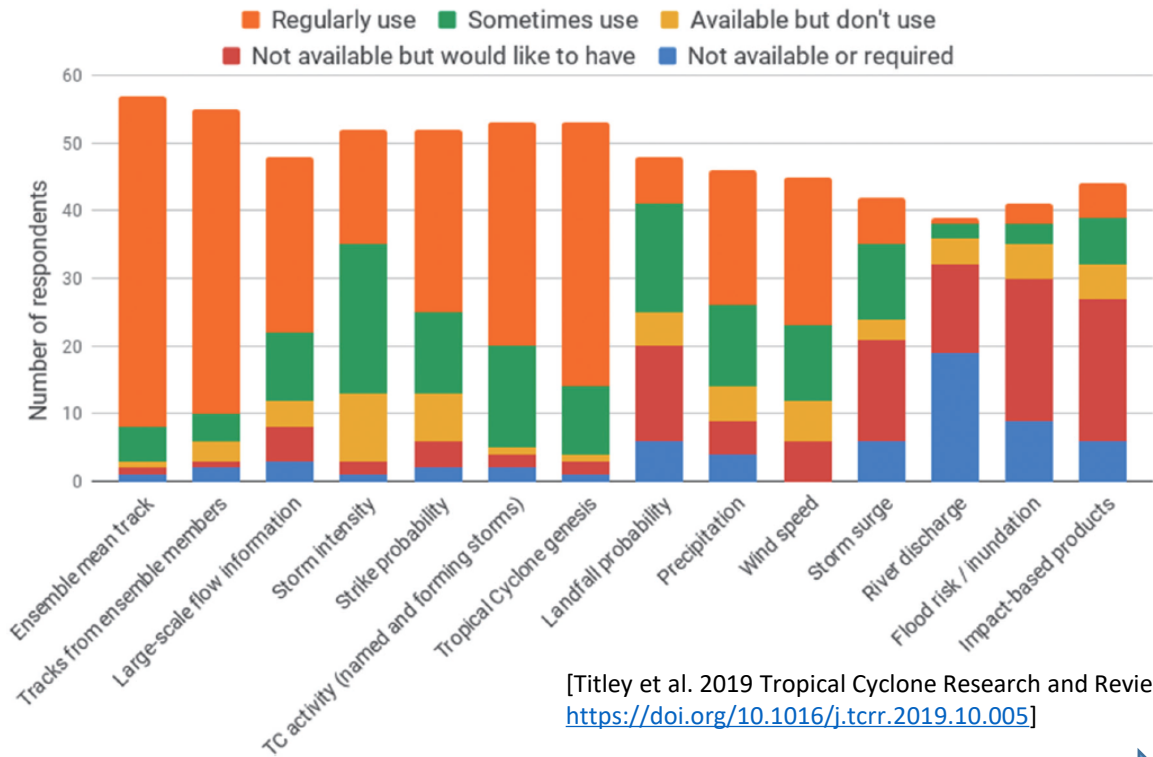
災害ハザード：河川水位、氾濫面積などの災害被害に密接にかかわる物理量

1600メンバの気象予測を用いた
河川流量アンサンブル予測



→ 巨大アンサンブル気象予測を境界条件として様々なモデルで災害ハザードのアンサンブル予測をすることは可能だが...

各予測項目に対して、
アンサンブルデータを現業利用していますか？
オレンジ：普段から使っている、
赤：利用できないが欲しいと思っている
青：利用できないもしくは必要ない



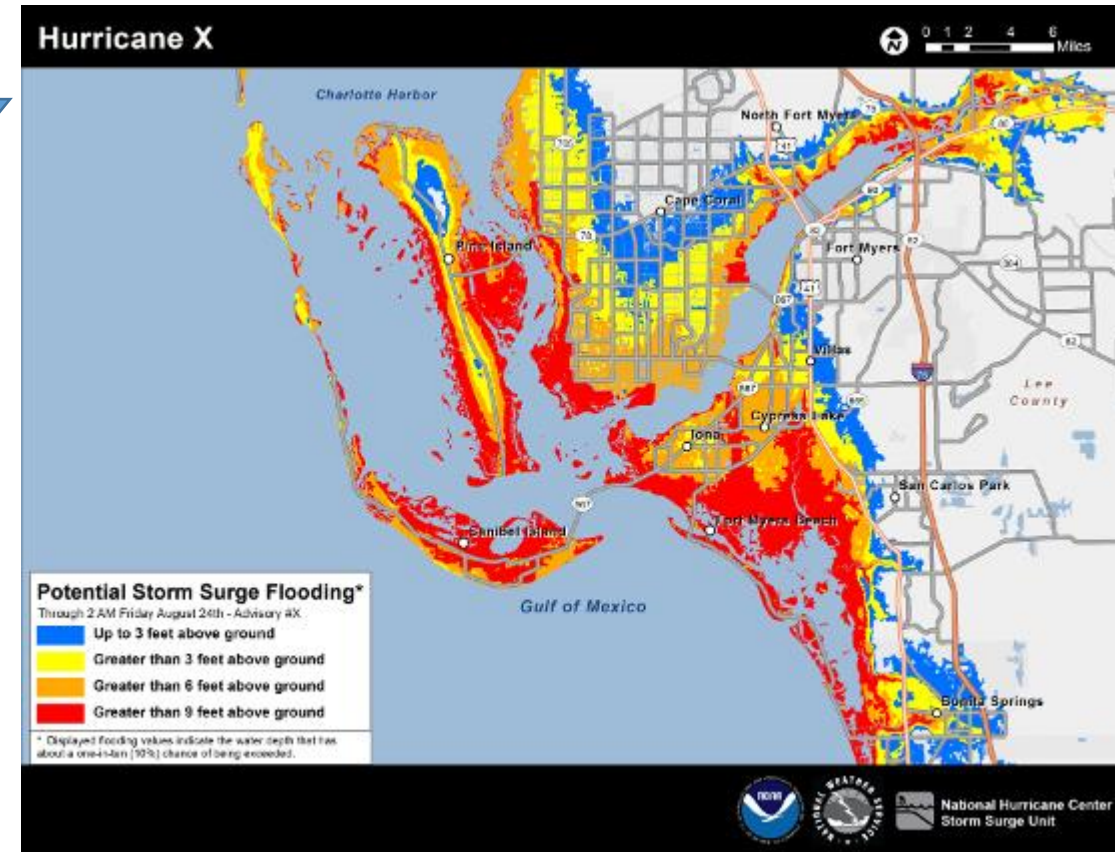
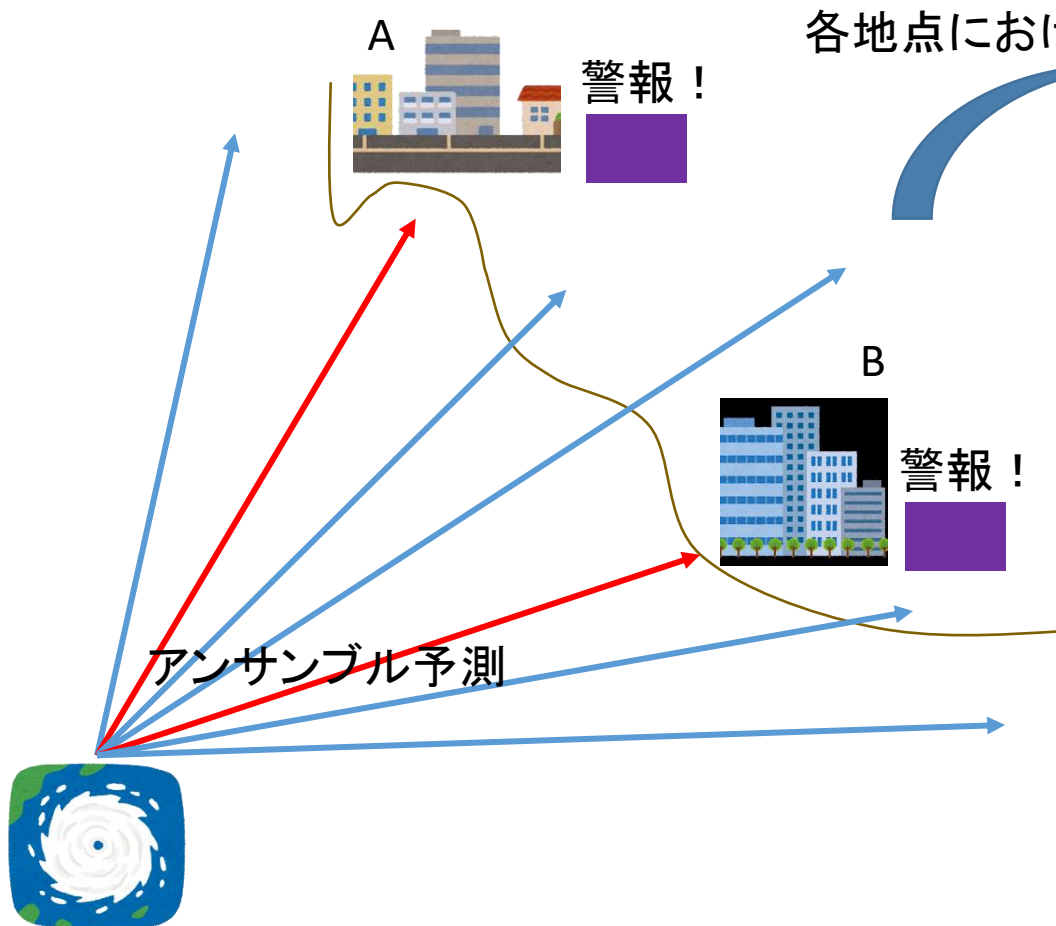
[Titley et al. 2019 Tropical Cyclone Research and Review
<https://doi.org/10.1016/j.tccr.2019.10.005>]

災害ハザードに近い

→ 巨大アンサンブル気象予測を「無用の長物」とさせないために、災害ハザードに対する利用法の開発が重要！

1.3. 最悪シナリオが欲しいという声は多いが...

二つの港湾都市A, Bがあるとして...



[NOAA NHC <https://www.nhc.noaa.gov/experimental/inundation/>]

- 各地点の最悪シナリオを合成したシナリオというのは**実際には起こりえない**
→ 上げすぎてオオカミ少年効果 [Sawada et al. 2022 HESS <https://doi.org/10.5194/hess-26-4265-2022>] を誘発する？
- **広域避難や各自治体の領域を超えた支援**を考えるともう少し現実的なシナリオ分析が必要

- 広域な高潮災害のリスクマネジメントに資する巨大アンサンブル気象予測の利用法を開発する

個々の地点における最悪シナリオを分析する単目的最適化



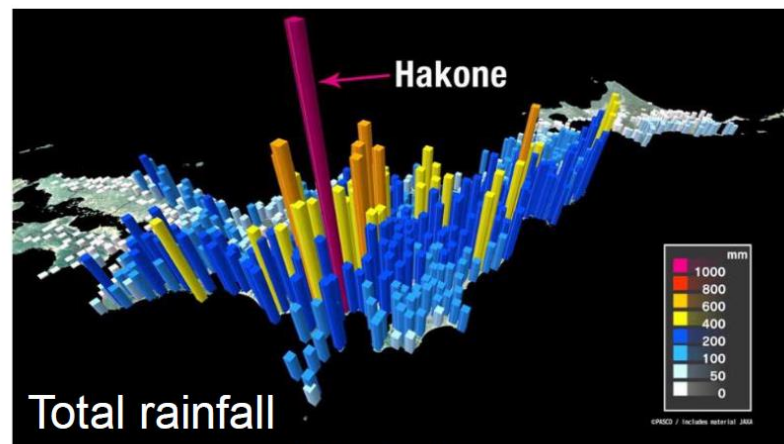
広域的な多地点間での最悪シナリオを分析する多目的最適化

2. Method

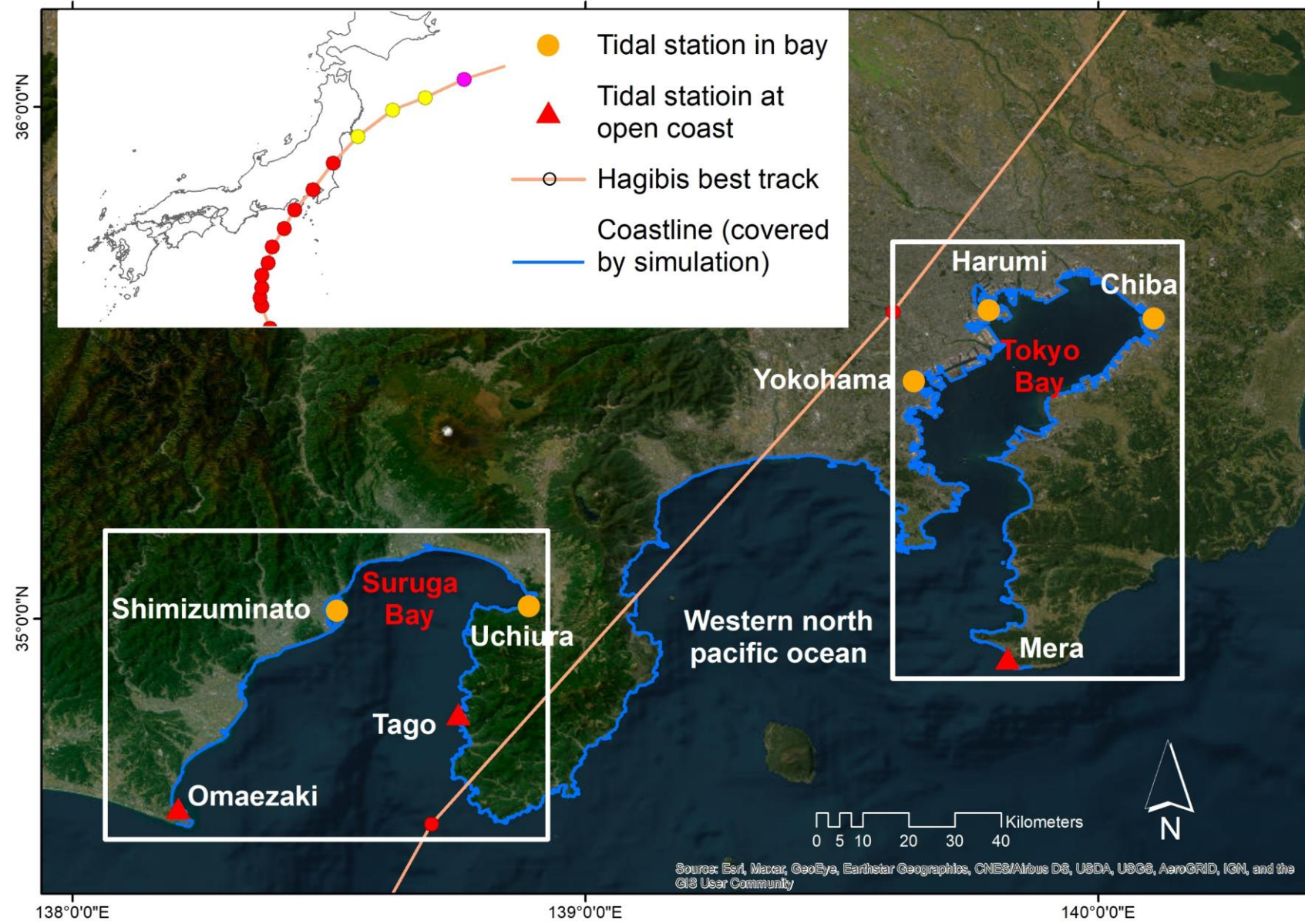
2.1. 対象事例

2019年東日本台風

気象モデルと高潮モデルの組み合わせで下記8地点の最大高潮波高を解く



NHK 2019

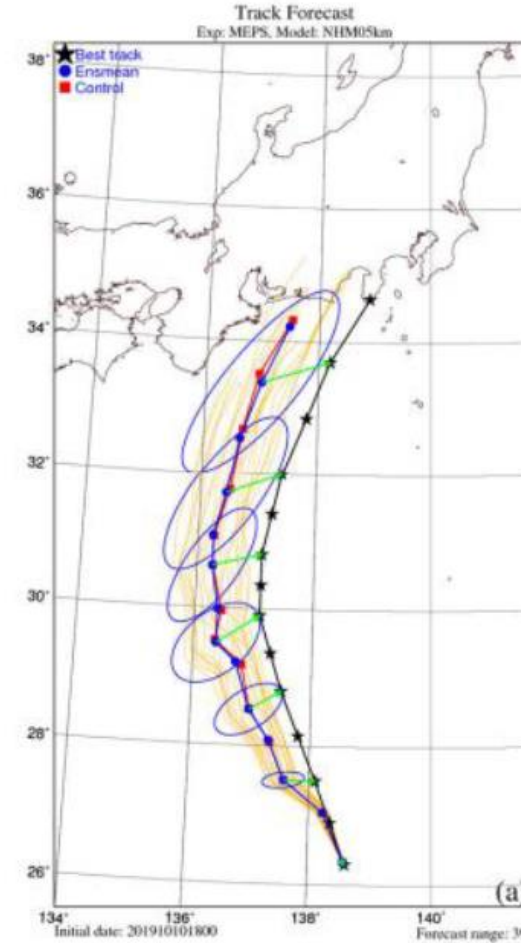


2.2. 巨大アンサンブル気象予測

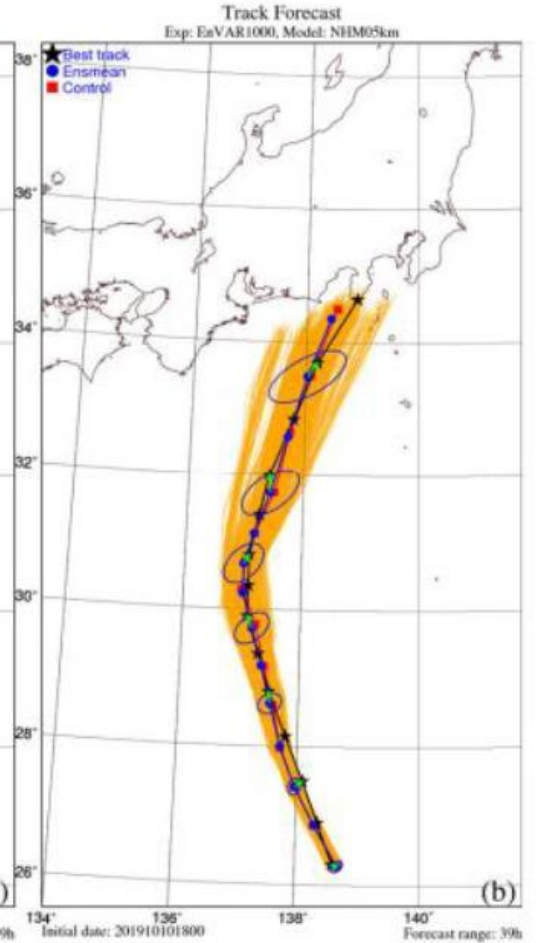
1000メンバの気象予測

- アンサンブル生成手法はEnVAR
- 気象モデルは気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)
- 20191011 03JSTからの39時間予測(おおむね日本近海の台風が上陸するところまで)
- 進路および強度(not shown)が気象庁メソアンサンブルに比べて改善傾向

気象庁メソアンサンブル (MEPS)



本研究

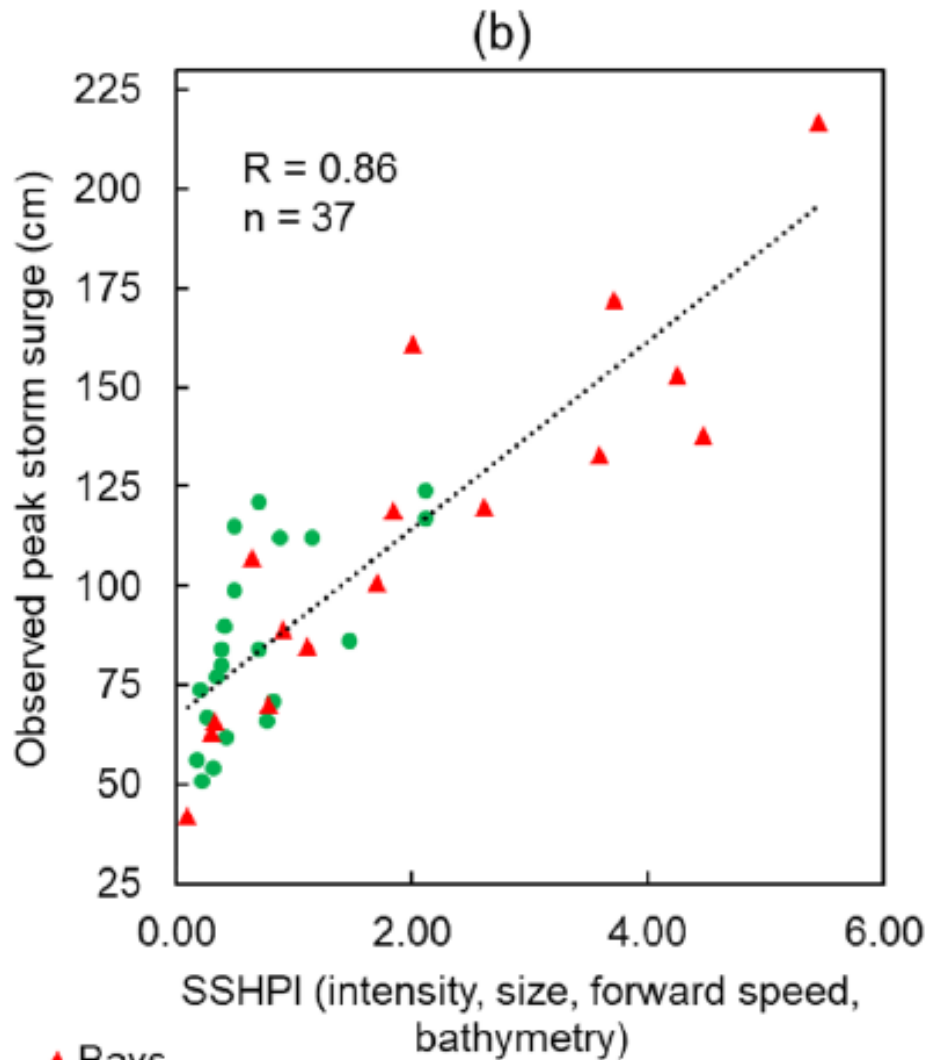
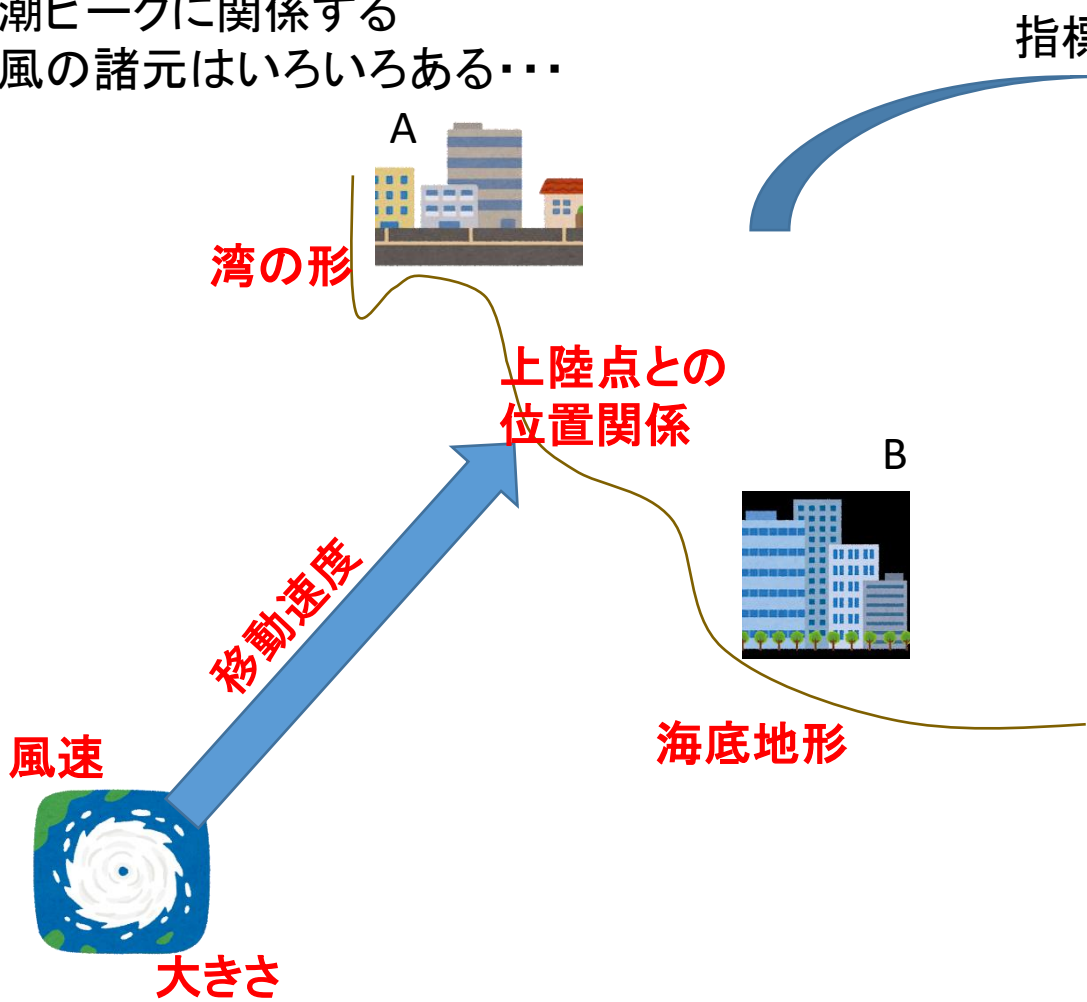


Trajectory forecasts

2.3. 高潮モデル

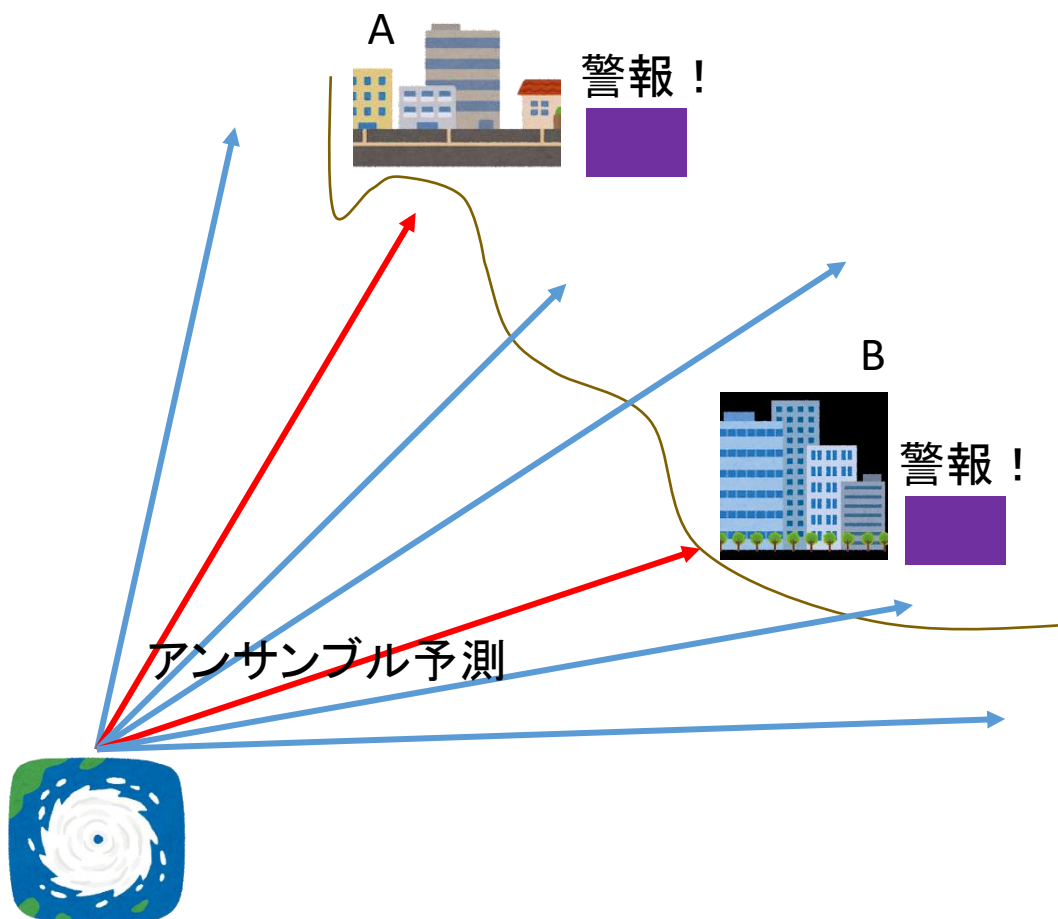
Storm Surge Hazard Potential Index (SSHPI): イベント中の最高水位を予測する半経験式

高潮ピークに関する
台風の諸元はいろいろある...



[Islam et al. 2021 Sci. Rep. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95825-7>]

2.4.1. パレートフロンティア解析 (1)



定義: パレートフロンティアに属するアンサンブルメンバ

二つのメンバ s, t があり、これらにおける都市A, Bの高潮ハザードの組を $(s_A, s_B), (t_A, t_B)$ とする。

この時、

$$s_A \geq t_A \text{ かつ } s_B \geq t_B$$

ならば s は t をパレート支配(Pareto dominant)するメンバーであるとする。

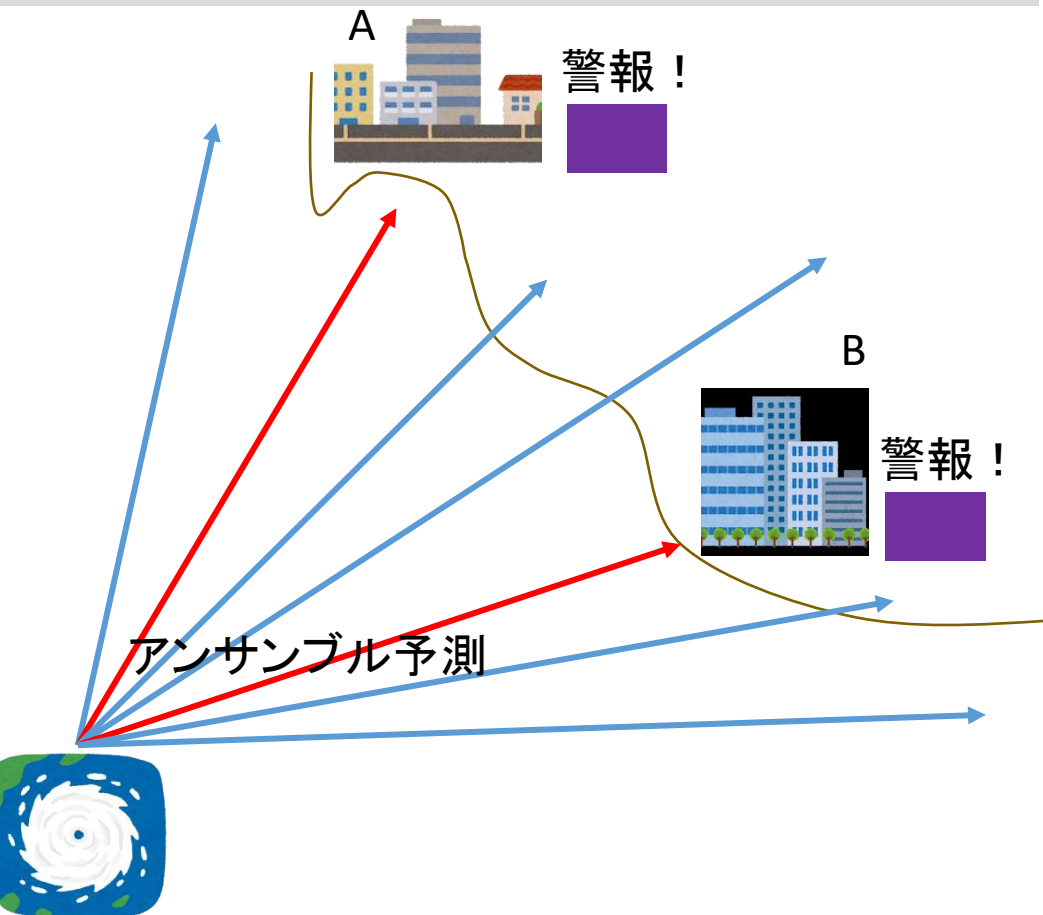
他のどのメンバーからもパレート支配されないアンサンブルメンバーをパレート最適なメンバーとし、パレート最適なメンバーの集合をパレートフロンティアと呼ぶ

2.4.2. パレートフロンティア解析(2)

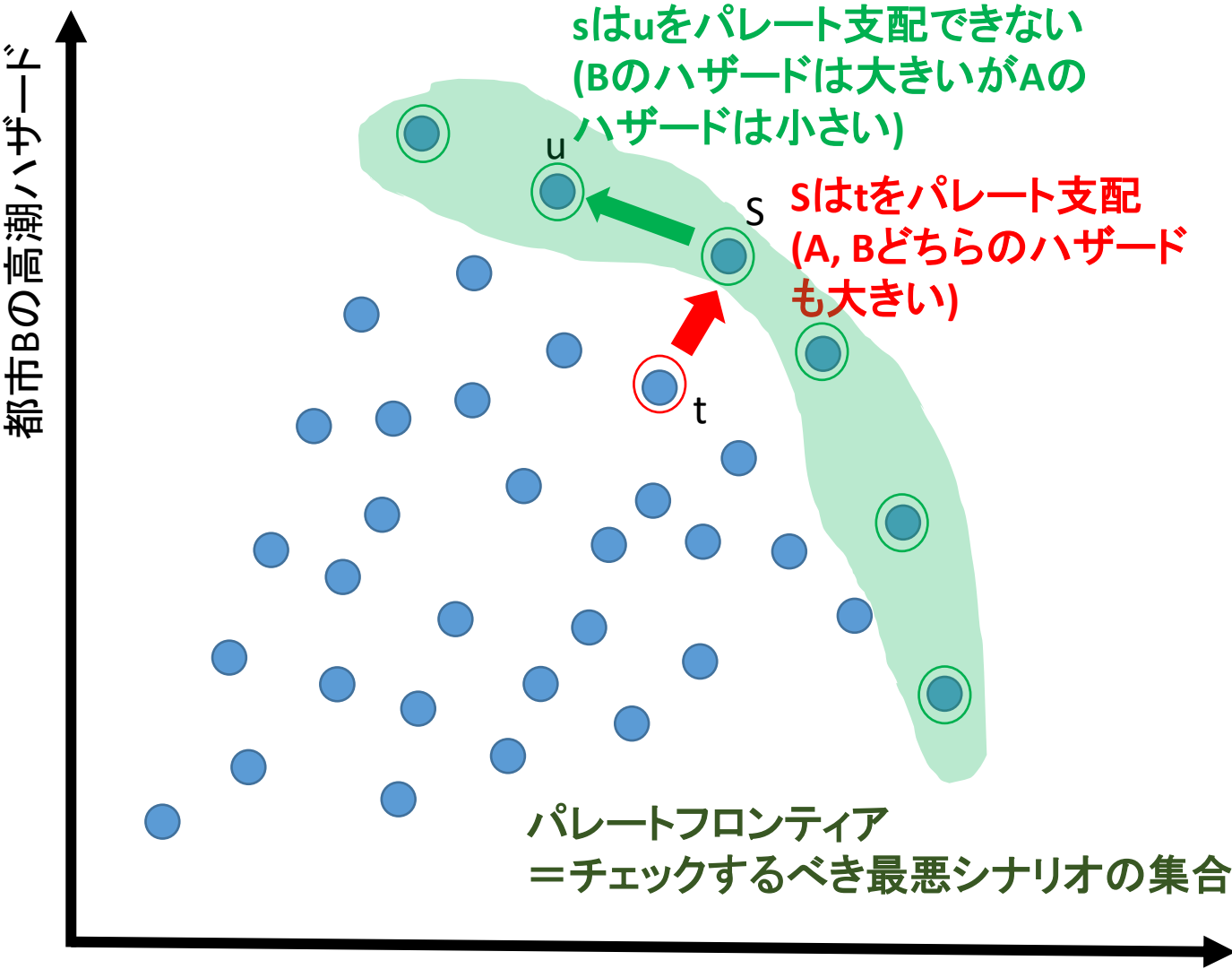
定義: パレートフロンティアに属するアンサブルメンバー
二つのアンサブル s, t があり、これらにおける都市A, Bの高潮ハザードの組を $(s_A, s_B), (t_A, t_B)$ とする。
この時、

$s_A \geq t_A$ かつ $s_B \geq t_B$
ならば s は t をパレート支配(Pareto dominant)するメンバーであるとする。

他のどのメンバーからもパレート支配されないアンサブルメンバーをパレート最適なメンバーとし、パレート最適なメンバーの集合をパレートフロンティアと呼ぶ



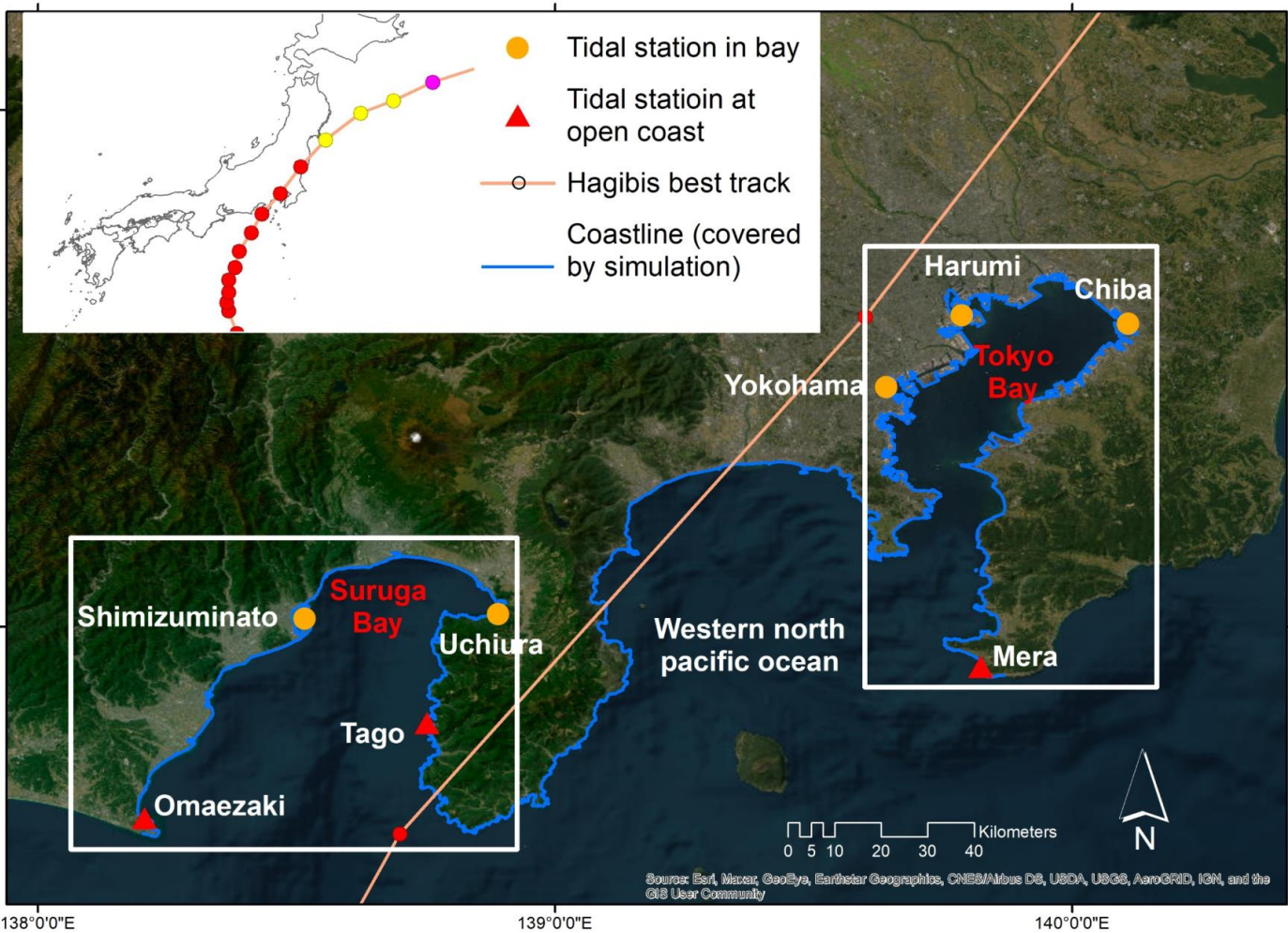
たくさんのアンサブルメンバーの都市A, Bでの高潮ハザードをまとめて2次元にプロットする



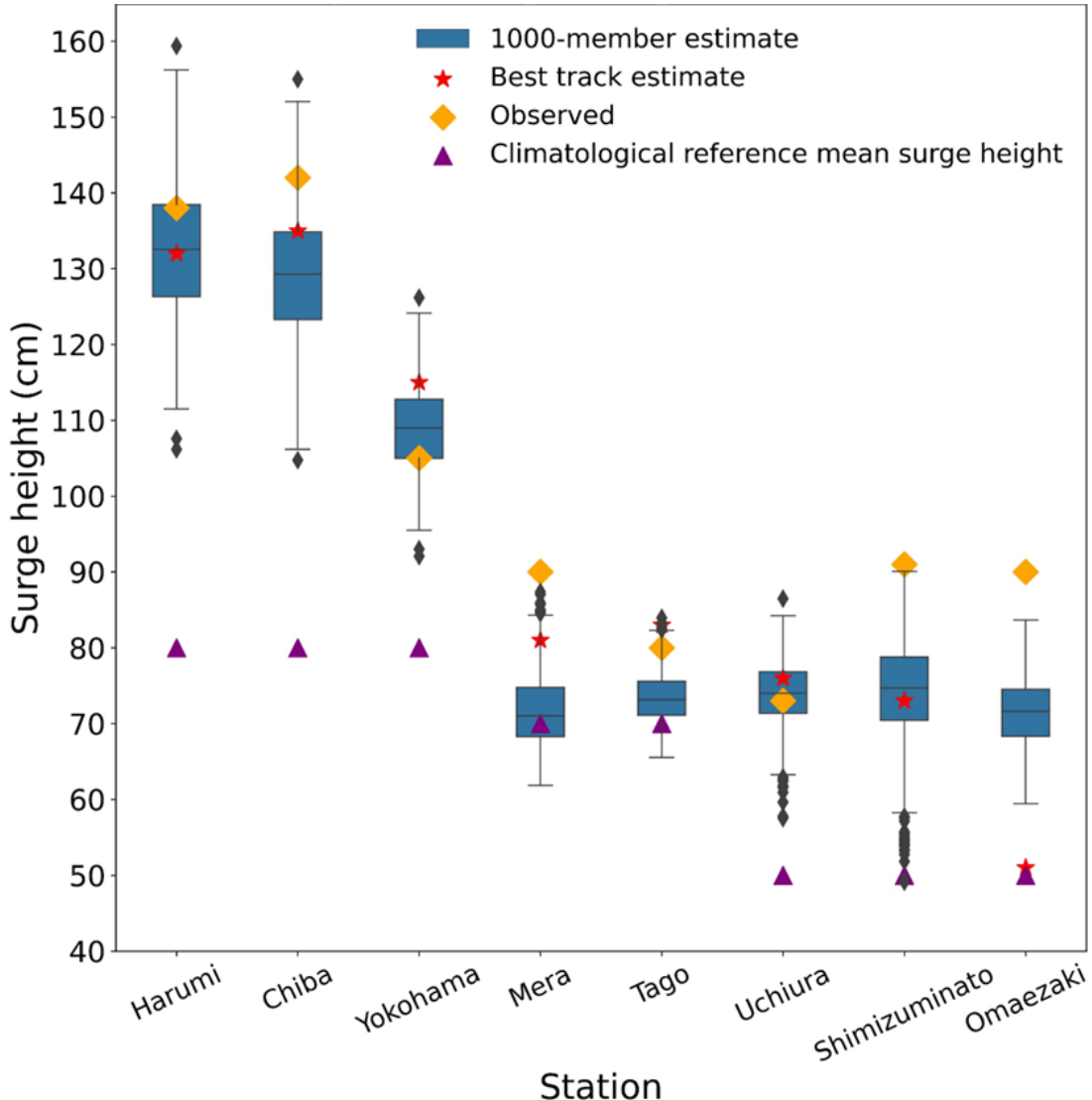
3. Results

3.1. 現象の再現性

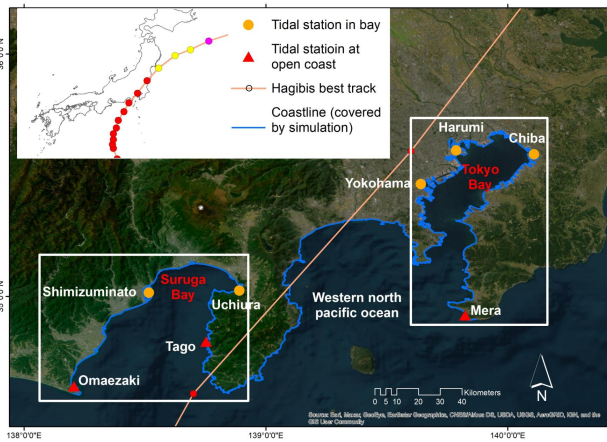
8地点での高潮ピークの再現性はおおむね良好



青箱ひげ: 1000メンバーの高潮水位
赤星: 気象庁ベストトラックを入力とした高潮モデル
黄色ダイヤ: 観測潮位 (a)



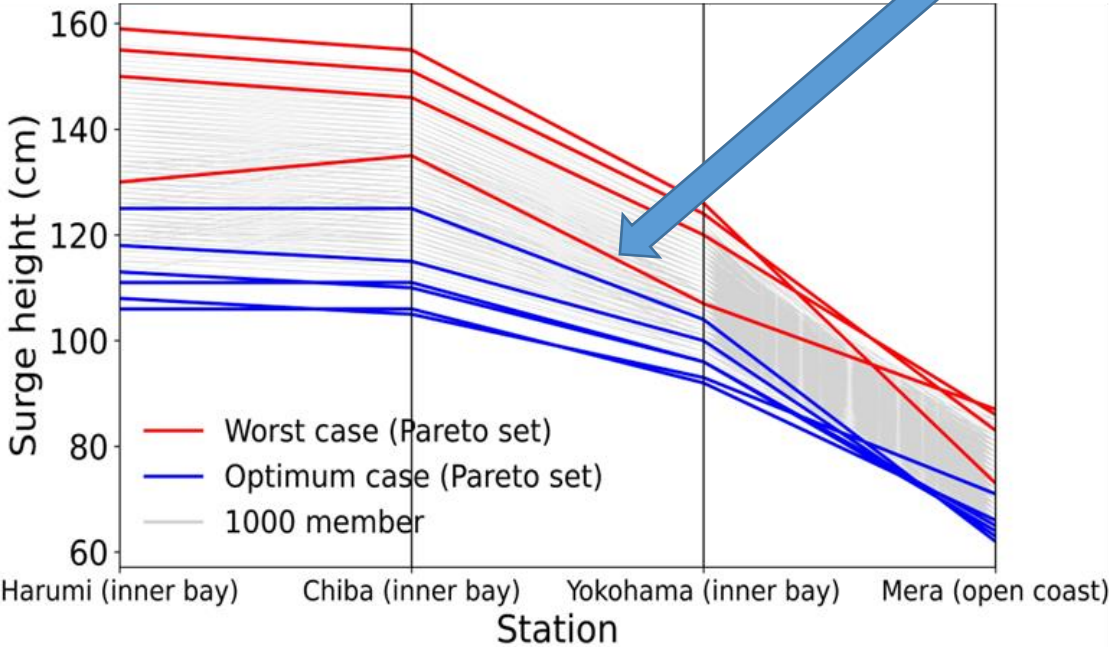
3.2. 東京湾でのパレートフロンティア解析



東京湾4地点での潮位

赤: 潮位最大のパレートフロンティア
青: 潮位最小のパレートフロンティア

トレードオフが存在

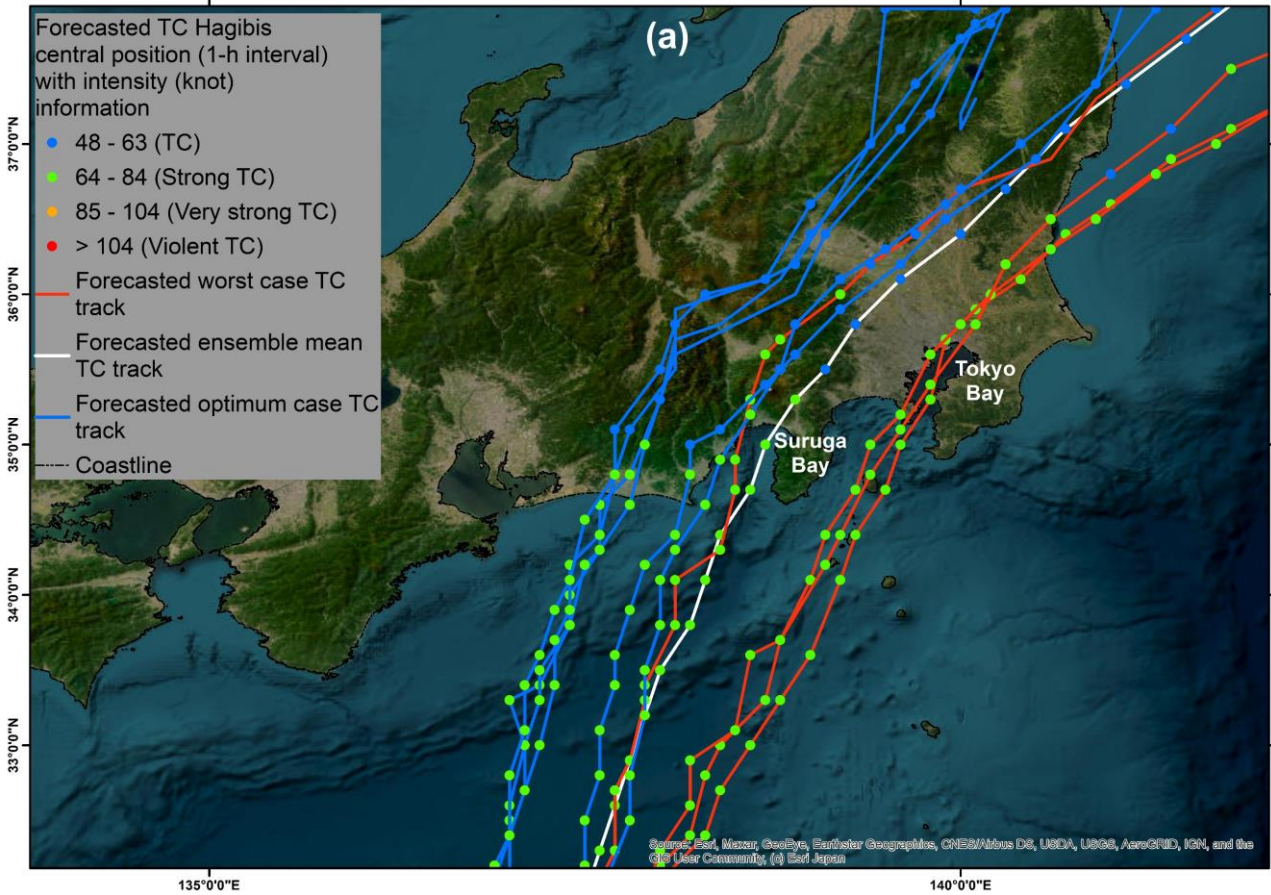


台風のトラック

白: アンサンブル平均

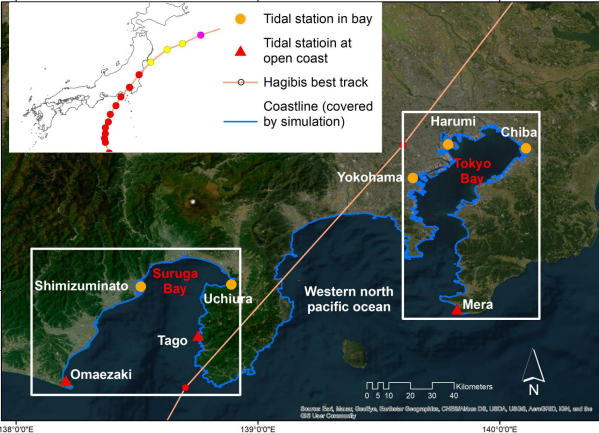
赤: 潮位最大のパレートフロンティア

青: 潮位最小のパレートフロンティア



→1000メンバーから見るべき最悪シナリオを4つに絞り込めた

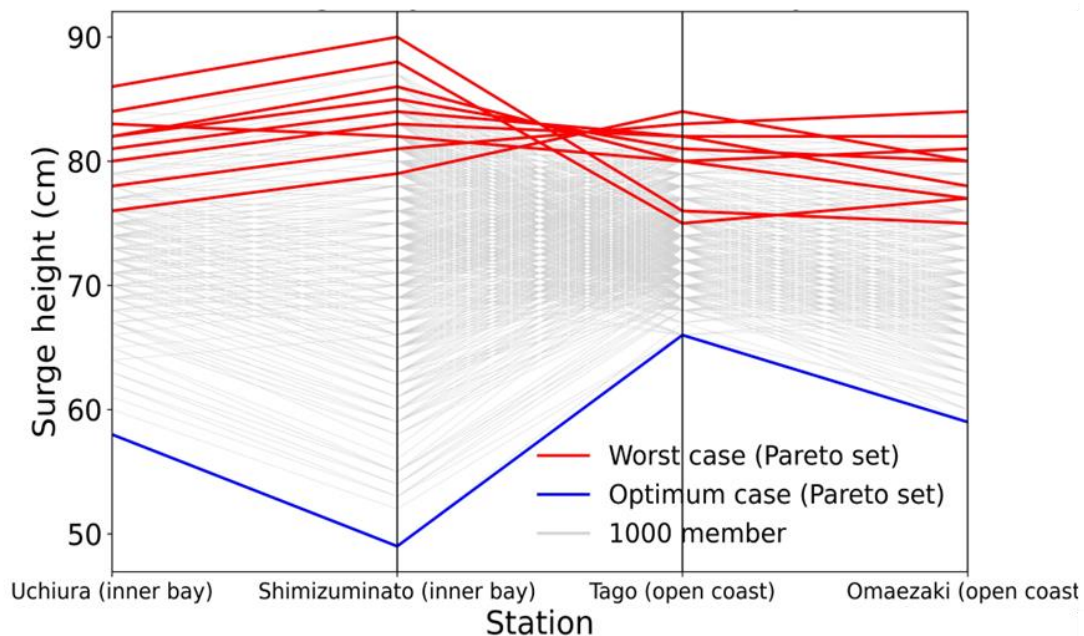
3.3. 駿河湾でのパレートフロンティア解析



駿河湾4地点での潮位

赤:潮位最大のパレートフロンティア

青: 潮位最小のパレートフロンティア

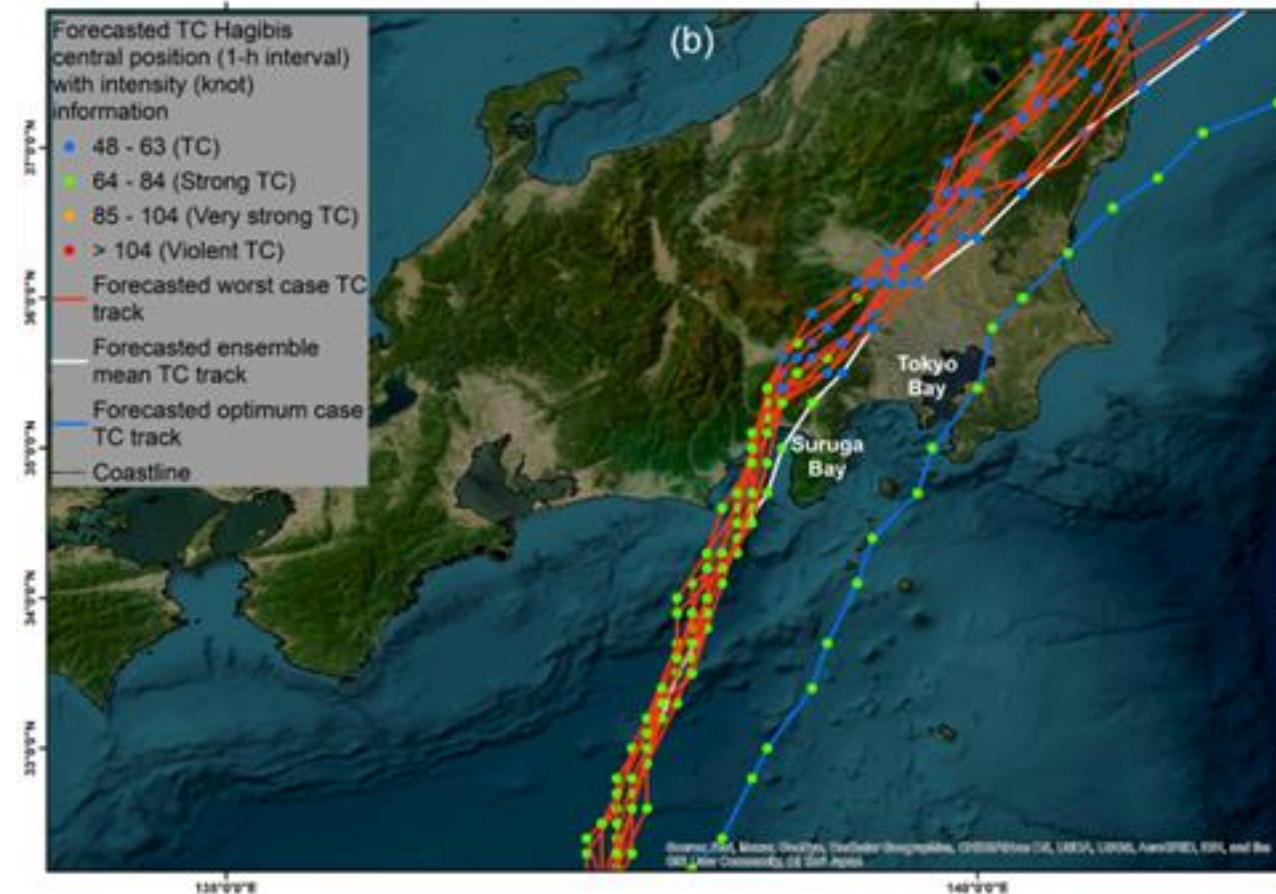


台風トラック

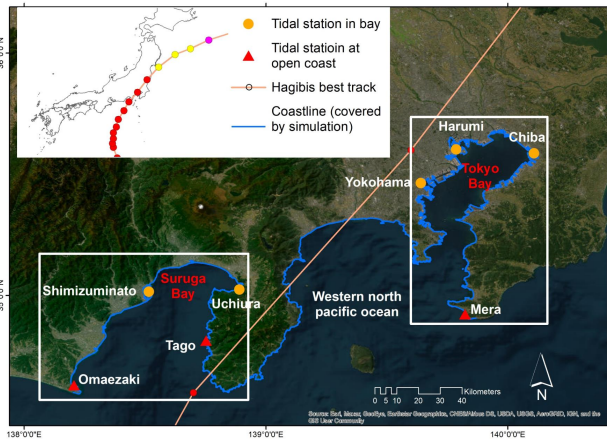
白:アンサンブル平均

赤:潮位最大のパレートフロンティア

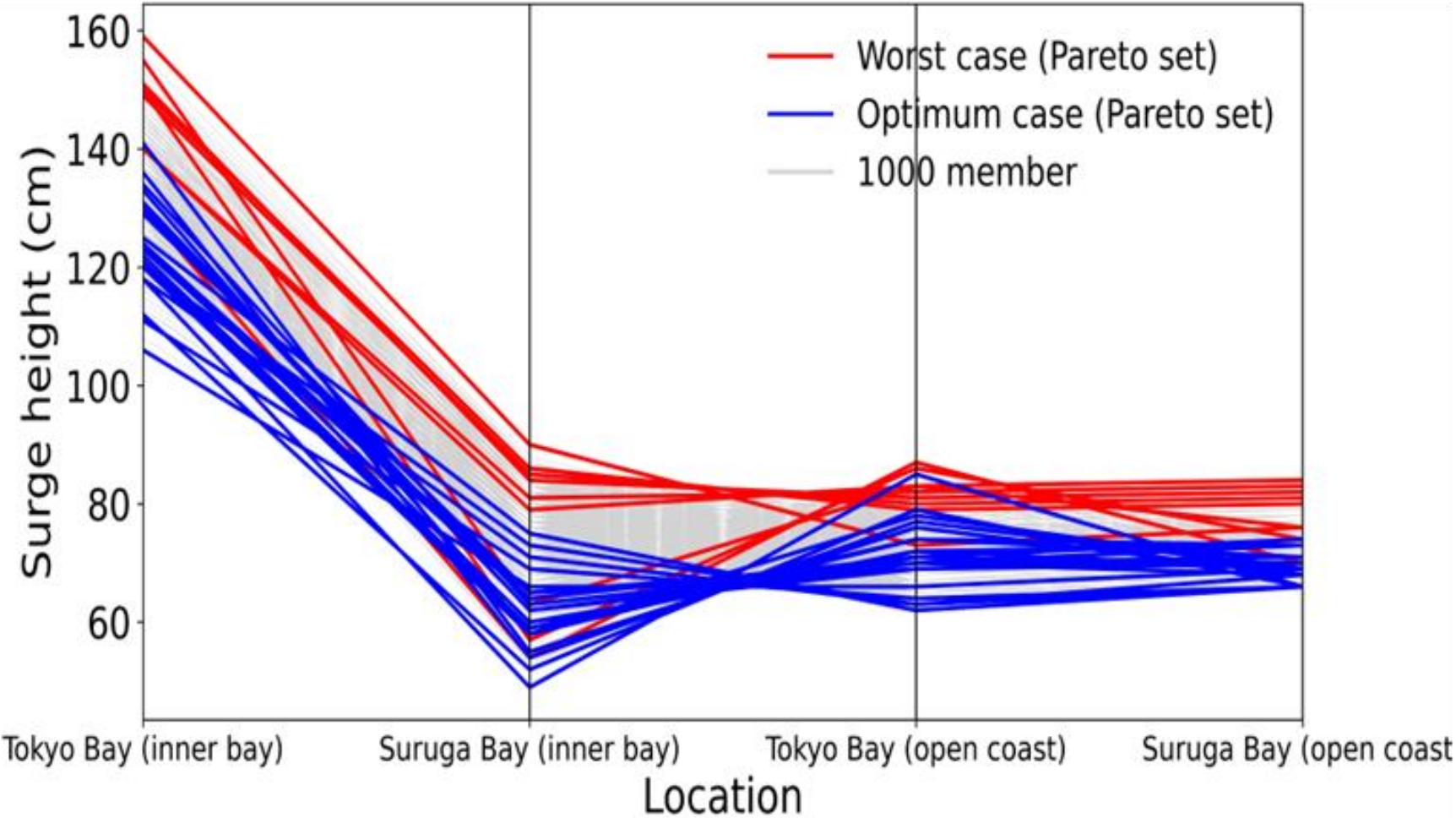
青:潮位最小のパレートフロンティア



3.4. 広域になればそれだけプレートフロンティアは複雑になり、巨大アンサンブルが活きる



東京・駿河湾全地点での平均潮位
赤: 潮位最大のプレートフロンティア
青: 潮位最小のプレートフロンティア



→ある場所で望ましいシナリオは、別の場所で大きなハザードをもたらす

3.5. パレートフロンティアのコンポジット解析で気象学的な解釈も

風速場

左: 東京湾潮位最大のパレートフロンティア

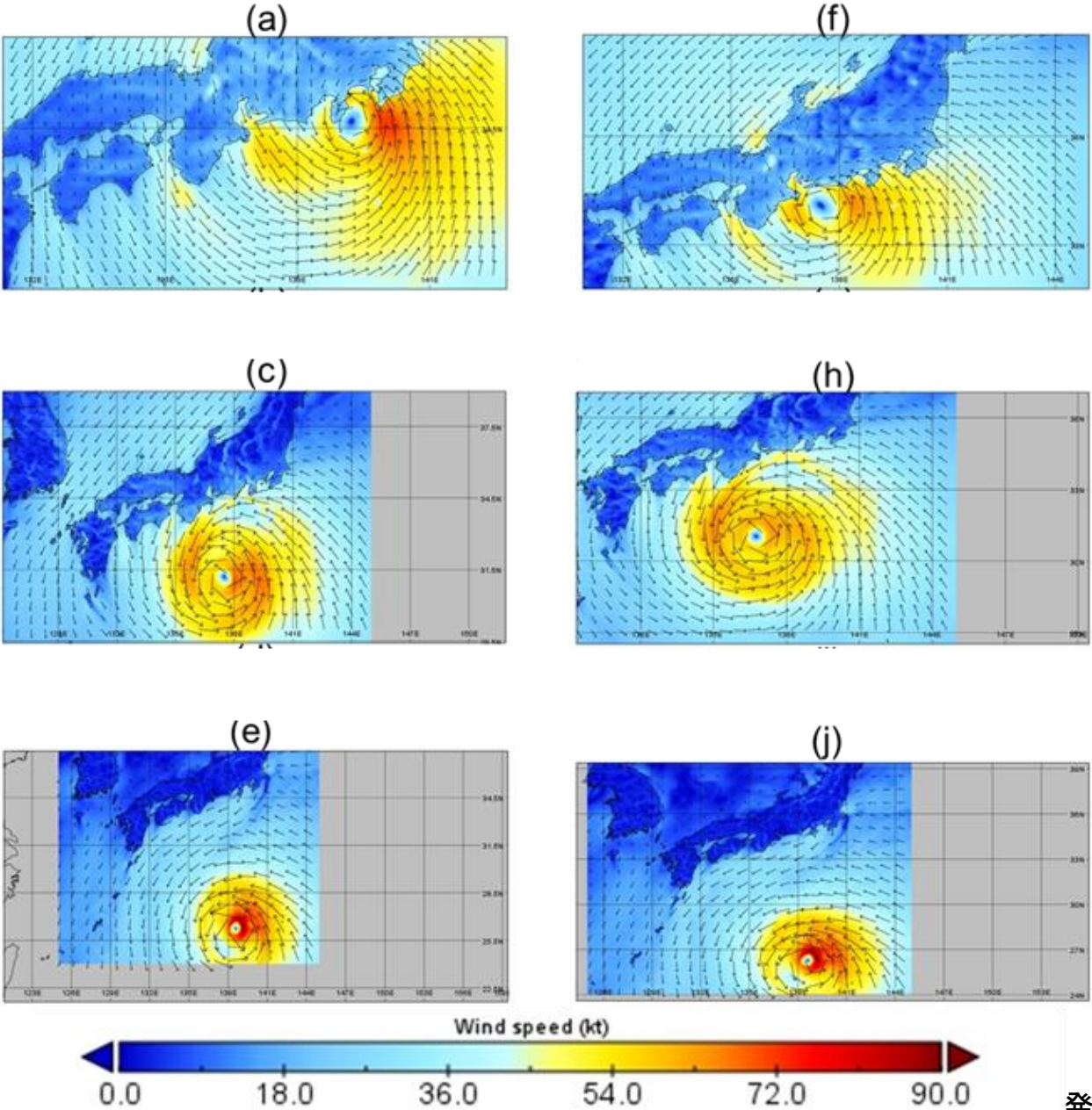
右: 東京湾潮位最小のパレートフロンティア

landfall

-12h

-24h

1000メンバーの中からパレートフロンティアに含まれるメンバーでコンポジットを取ることで、何が最悪シナリオをもたらすかを気象場から理解できる



4. まとめとこれから

- 広域な高潮災害のリスクマネジメントに資する巨大アンサンブル気象予測の利用法を提案
 - 実際には起こりえない各地点での最悪シナリオの合成では広域災害のシナリオ分析としては不十分であるとの問題意識
 - パレートフロンティア解析を通じて、1000アンサンブルから無差別な高々数十程度の最悪シナリオを抽出することを提案
 - 現実的な最悪シナリオの分析を少数のアンサンブルのみの解析で実現
 - ハザードを分析する地点が増えるほど多次元の最適化になり巨大アンサンブルが活きる
 - コンポジット解析などを通じて通常の気象学的解釈も可能
- 今後はこれを陸域での洪水・浸水などにも拡張し、災害のタイプを超えたシナリオ分析を行うことが課題
 - アンサンブルはいくつあれば足りるのか？