

社会的意思決定を支援する気象－社会結合系の制御理論



澤田洋平¹

1: 東京大学

Special Thanks to:

南出将志, 橋本和宗, 鈴木健太郎, 山崎大, 田島芳満, 小谷仁務, 藤見俊夫, 松山桃世
and many others!

1.1.1. プロジェクトの目標(1)

Grand Vision:

民主的な社会的意思決定に基づく自然と社会の結合系の制御により極端風水害の恐怖から解放された社会

課題A: Meteorological Control Theory

制御でとりえる気象場のすべて
元々の軌道



(軌道は強度と読み替えてもよい)

制御外力

↑
制約(エネルギー)

→小さな力で大きな変化をもたらす
最も効率よい外力の入れ方を見つける

課題B: Impact-based forecasting

元々の軌道



社会的に意思決定可能な望ましい軌道
(とは何か?)

(軌道は強度と読み替えてもよい)

→地域社会の多様性やその移り変わりまでも考慮した上で、
極端気象がもたらす社会インパクトを余すところなく予測できる
能力が必要

1.1.2. プロジェクトの目標(2)

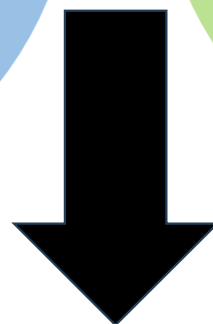
Grand Vision:

民主的な社会的意思決定に基づく自然と社会の結合系の制御により
極端風水害の恐怖から解放された社会

極端気象の未来を
安全に、効率的に
変化させる
気象学の新理論



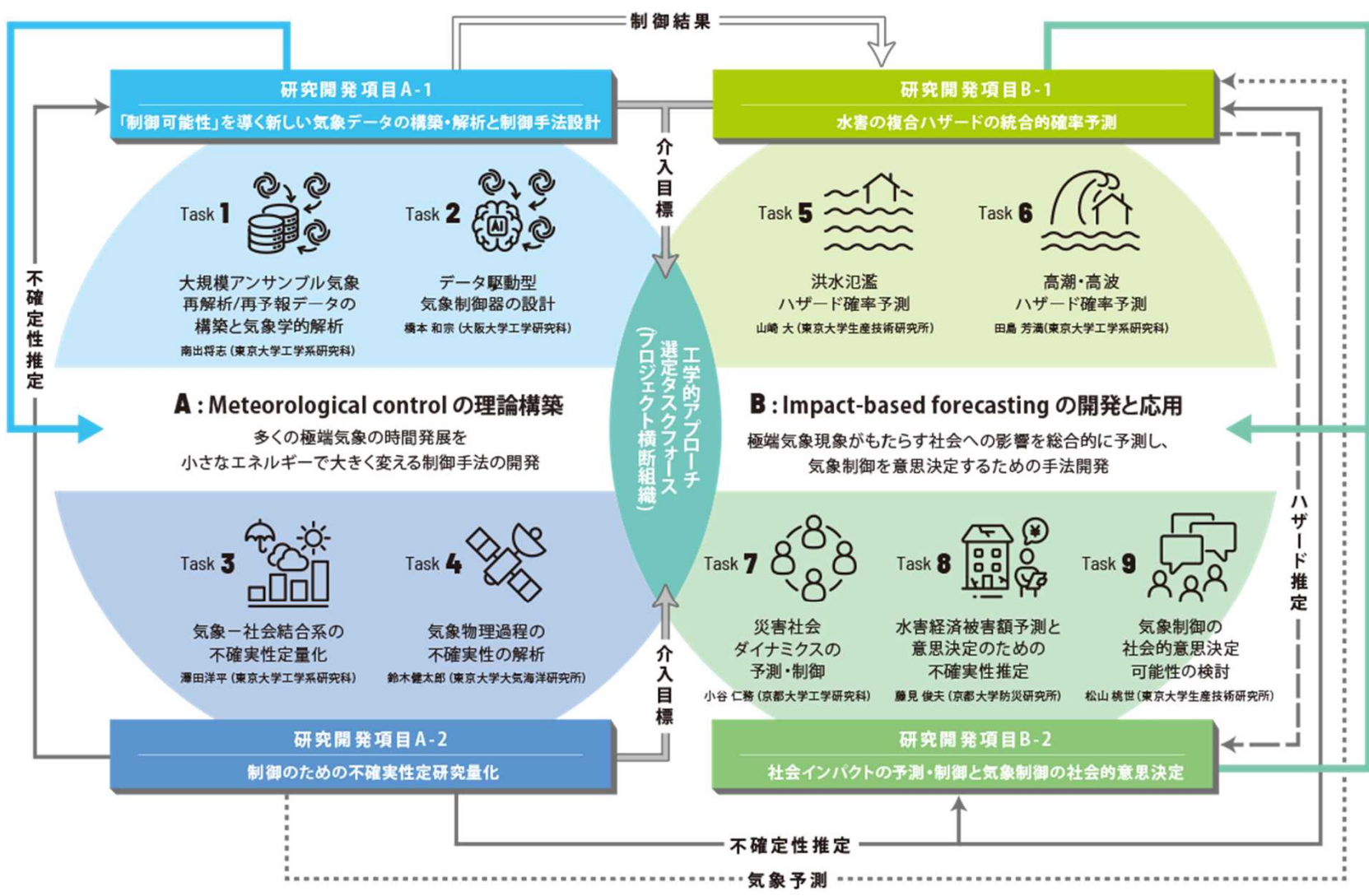
人間社会への
深い理解に基づき
気象制御をインフラ
として使いこなす
新しい工学



新しい防災研究を切り拓く！

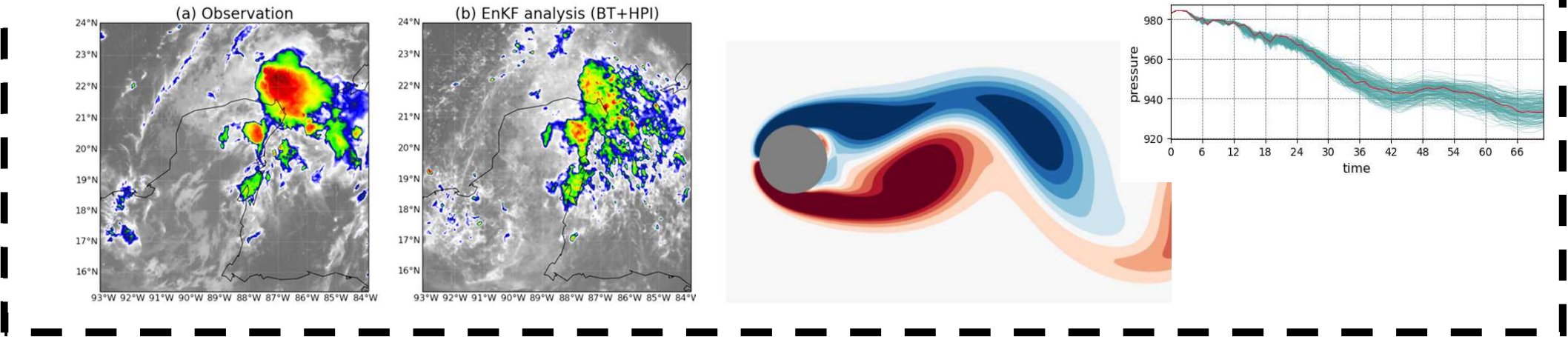
2023/10/29 ムーンショット型研究開発事業目標8 公開シンポジウム2023

1.2. プロジェクトの構成

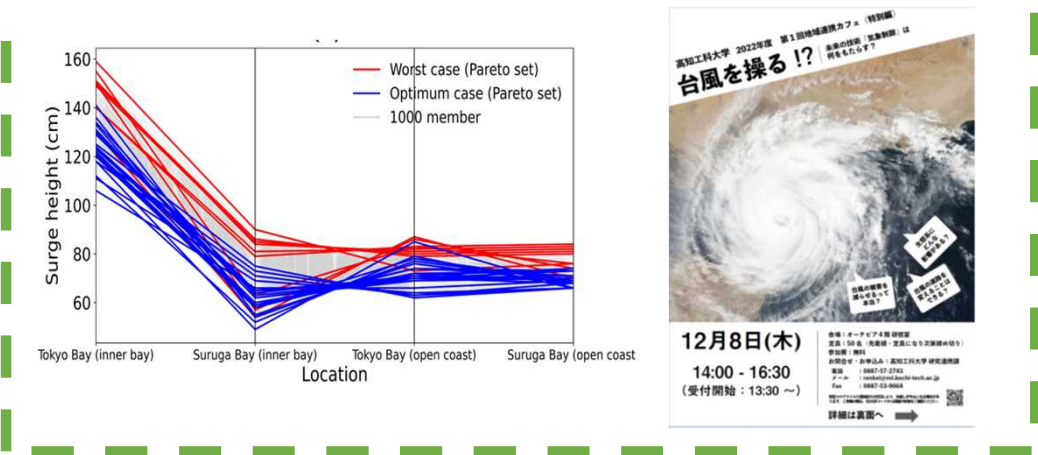


1.3. 本日の発表の内容

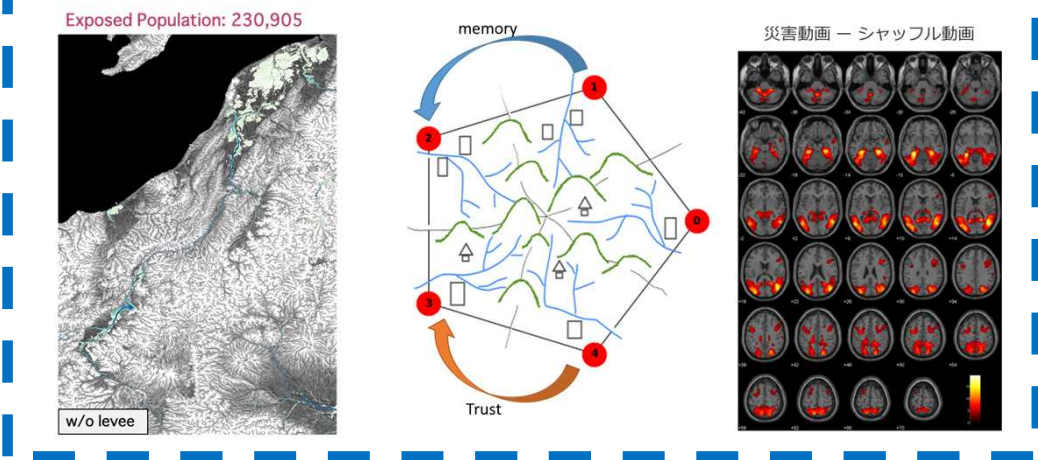
気象予測理論から気象制御理論への長く険しい道のり



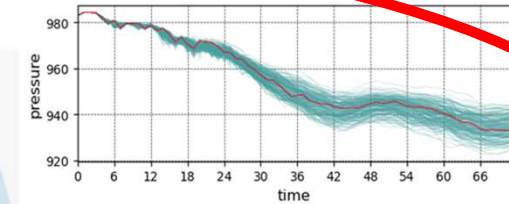
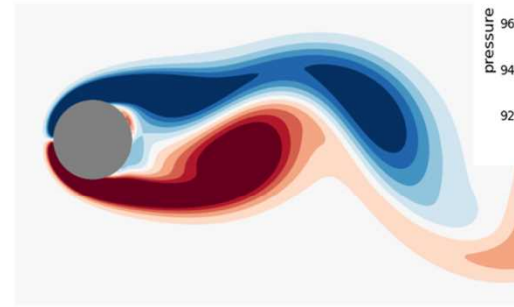
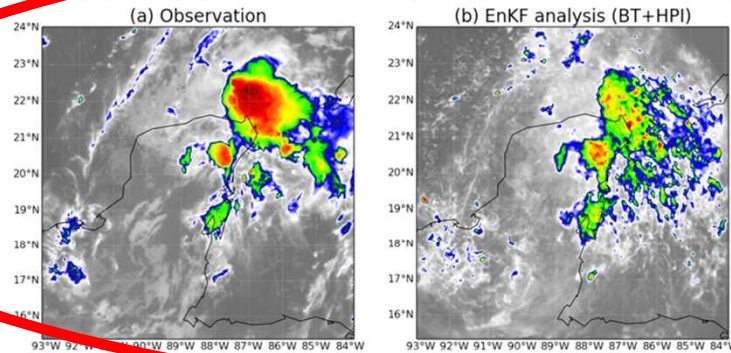
気象制御は社会的に合意できるか？



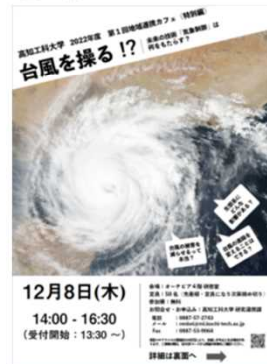
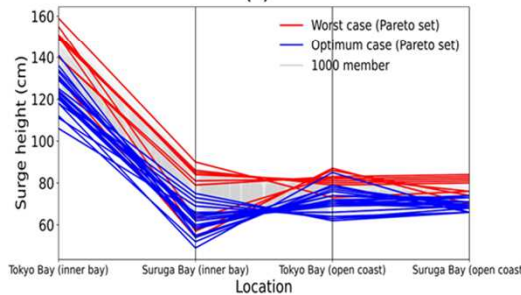
災害の社会インパクトを理解する



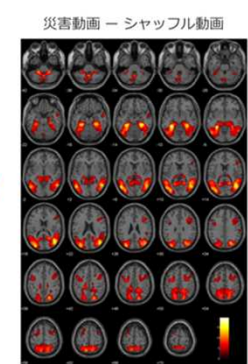
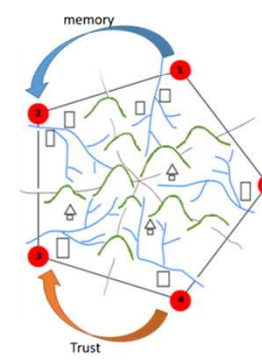
気象予測理論から気象制御理論への長く険しい道のり



気象制御は社会的に合意できるか？

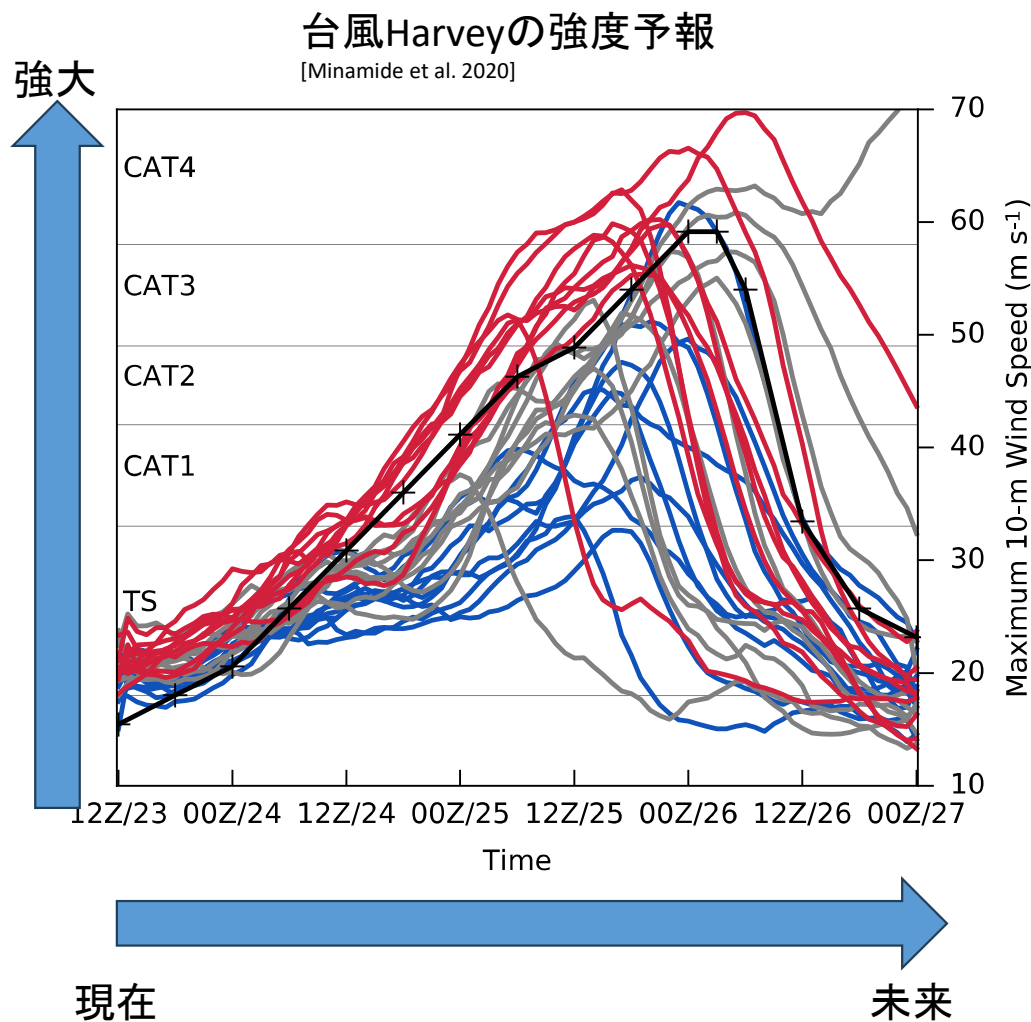


災害の社会インパクトを理解する



2. 気象予測理論から気象制御理論への長く険しい道のり

2.1. 気象制御の基本的なアイデア



予測のスタート地点を少しずつ変えて、たくさん予測を出す
= **アンサンブル予測**

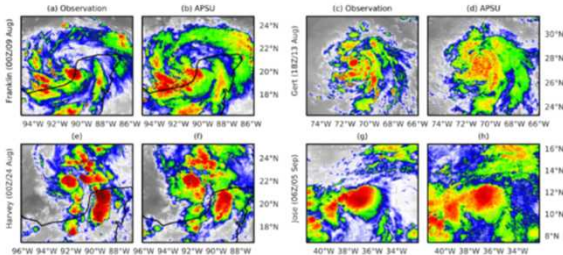
スタート地点での状態の違いはわずかでも、
台風の未来の予測強度はいろいろ

→ということはスタート地点での状態を人工的に僅かに動かすと、案外未来には大きな違いが得られるのではないか？

2.2. アイデアを実現するための気象制御理論研究

A-1 (課題1) 台風高分解能アンサンブル再解析/再予測データの構築

- 日本近海に接近する多数の台風の**アンサンブル予測**のデータをコンピュータシミュレーションと衛星観測の統合で整備



A-1 (課題1) 気象学的解析による制御可能性理解

- どのような量をどれだけ動かせば、大きく未来を変えることができるか？

PI: 南出将志

A-2 (課題3) 気象モデルの不確実性定量化

- コンピュータシミュレーションに基づく気象制御の結果はどれだけ信頼できるのか？

PI: 澤田洋平

A-1 (課題2) データ駆動型気象制御器の設計

- 人間の知識に寄らず、自動で学習する効率的な気象制御コントローラを作れるか？

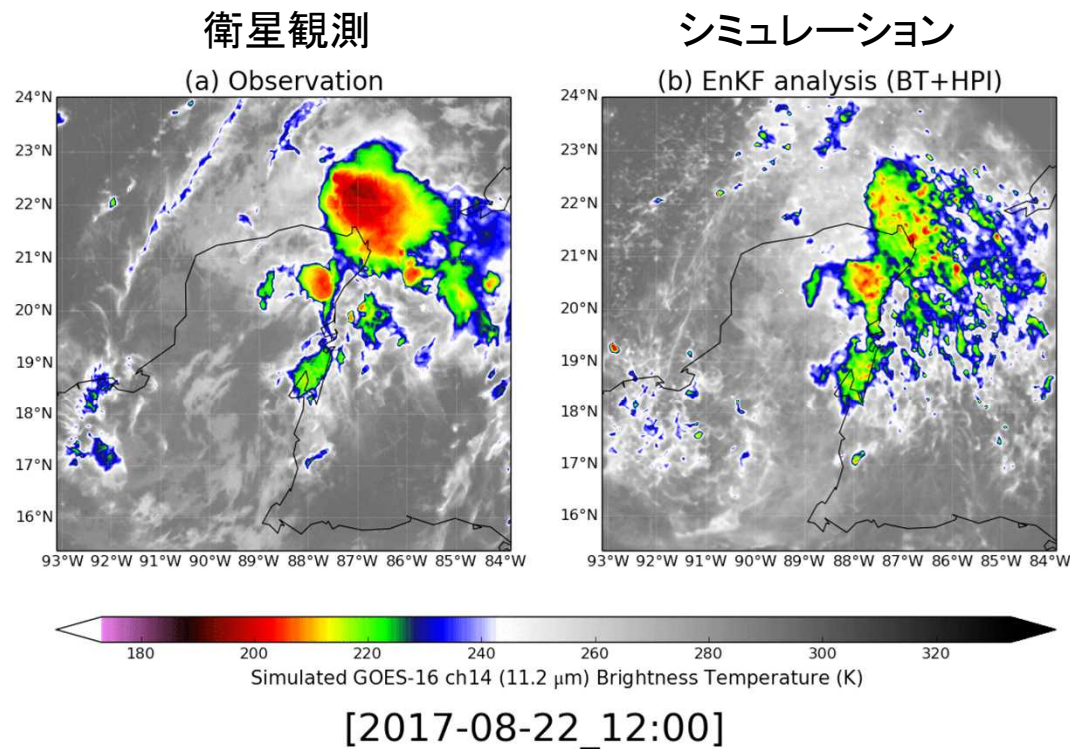
PI: 橋本和宗

A-2 (課題4) 気象物理過程の不確実性解析

- 現状のコンピュータシミュレーションの物理表現はどのくらい正確か？

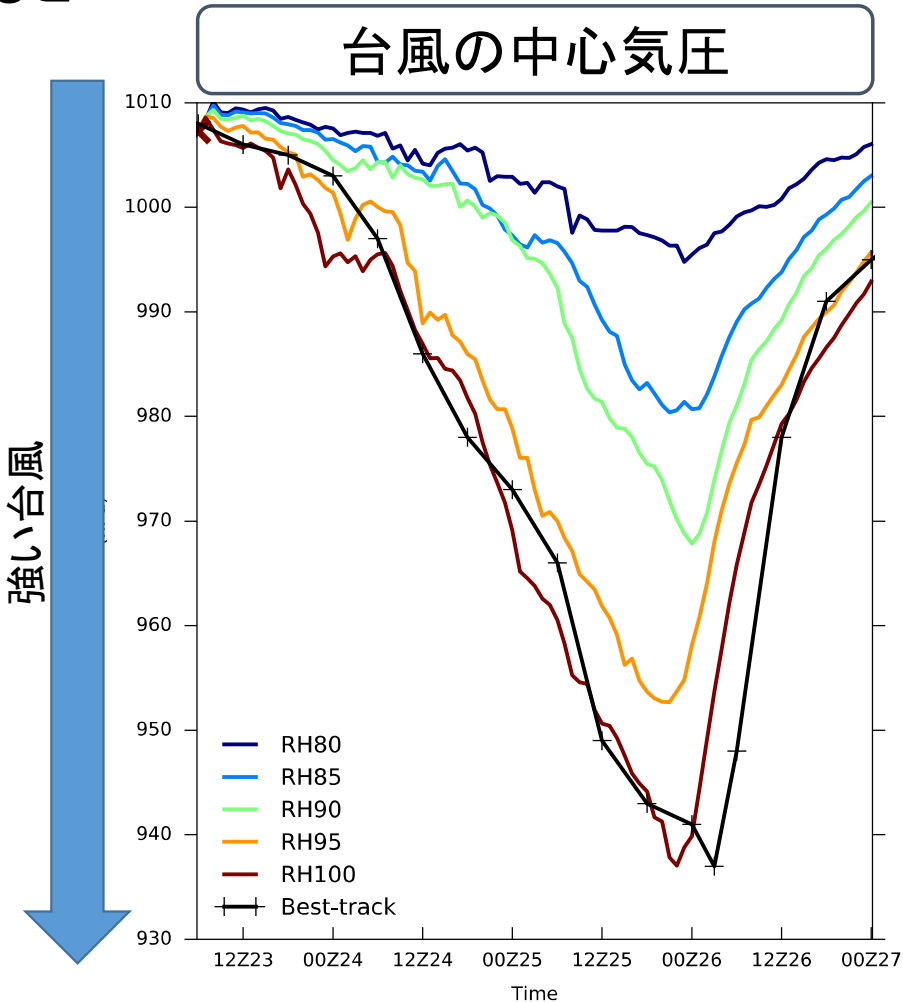
PI: 鈴木健太郎

2.3. 台風データの生成とその気象学的解析



→静止気象衛星のデータをフルに用いて、台風の内部構造を精緻に再現したデータセットを構築中。

このデータ上で台風付近の水蒸気を奪ってみると...

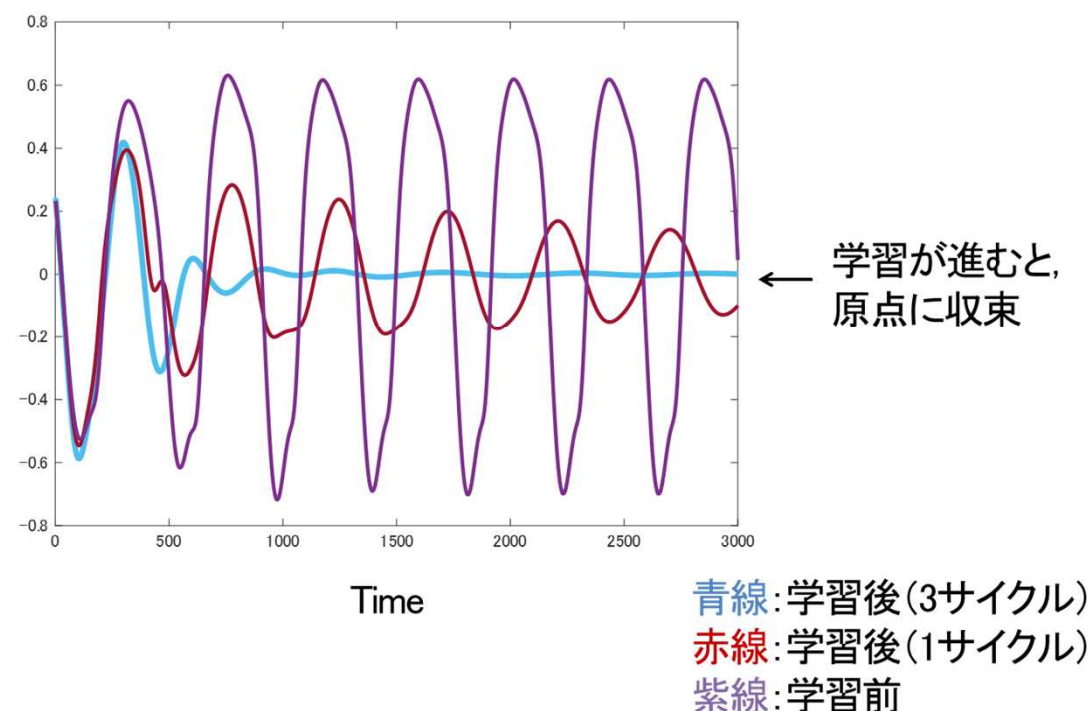
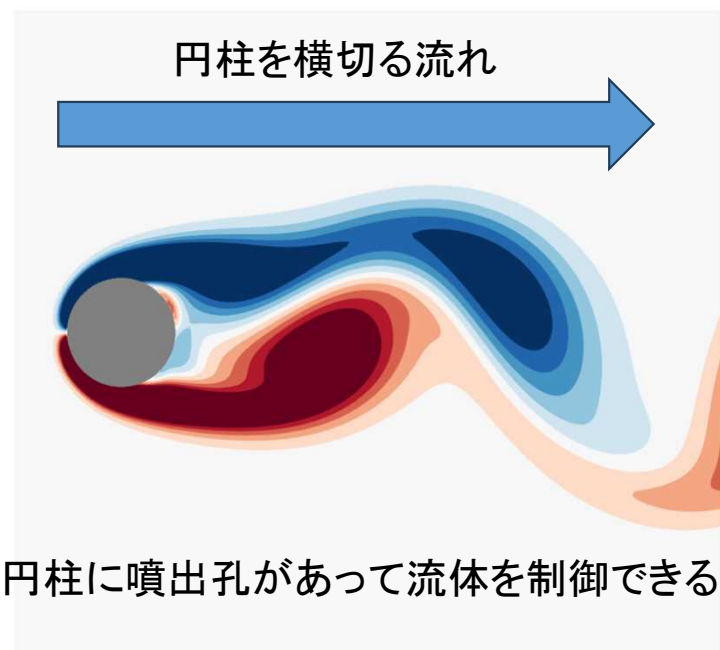


2.4. データ駆動型気象コントローラ

人間の事前の知識に寄らずにデータから機械が学習することで新しい気象制御の方法は導けないか？

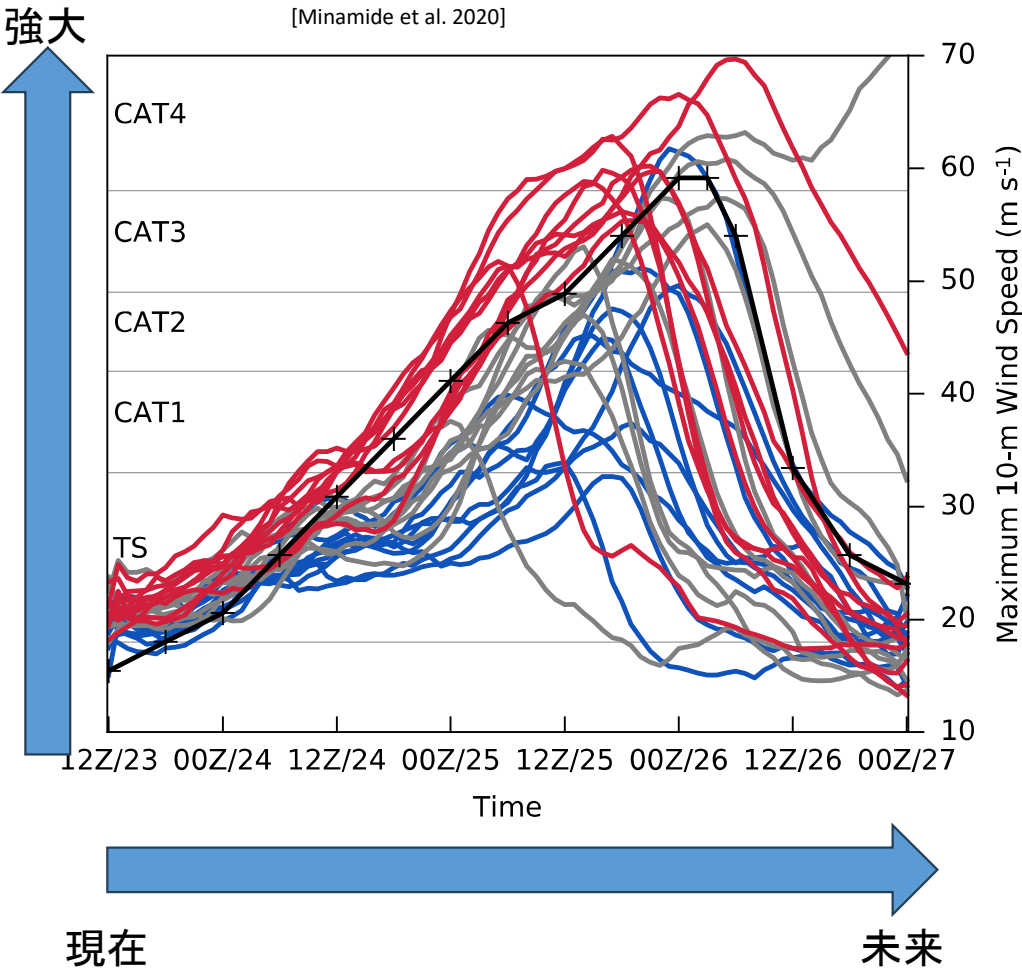
いきなり本物の気象で考えるのは難しいので、簡単な問題で理論を作っていく

制御問題: 位置[2,0]での縦方向の流速を0にする



2.5. そもそもシミュレーションの結果はどのくらい信じられる？

台風Harveyの強度予報
[Minamide et al. 2020]



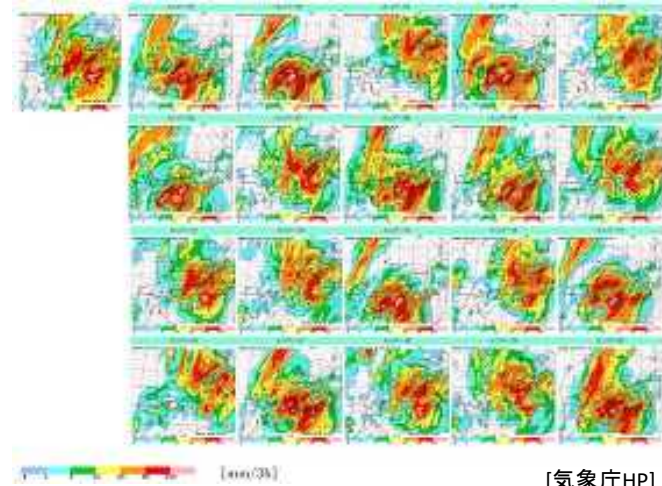
予測のスタート地点を少しずつ変えて、たくさん予測を出す
= **アンサンブル予測**
→ スタート地点の不確実性を見ている

でも使っているシミュレーション(=気象現象を表す方程式)
は1種類だけ

通常の天気予報でもシミュレーション内部の不確実性というのは
あまりちゃんと考えられていないのが現状

→ **これでは信頼性の高い制御にはつながらないのではないか？**

気象庁のアンサンブル予測

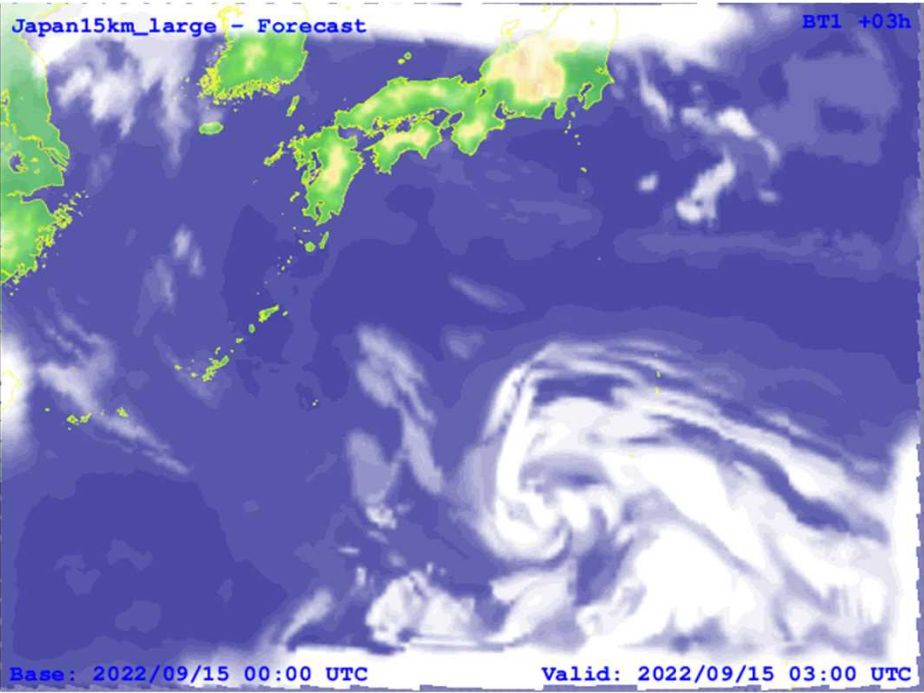


[気象庁HP]

2.6. 気象シミュレーションの不確実性定量化

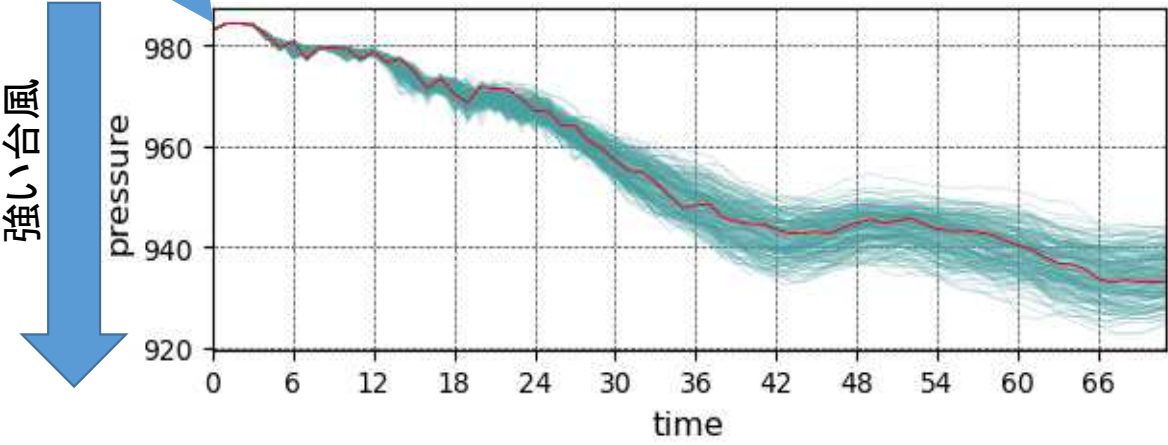
物理シミュレーションと機械学習の融合でコンピュータシミュレーションに内在する不確実性を正しく見積もる

2022年台風Nammadol事例



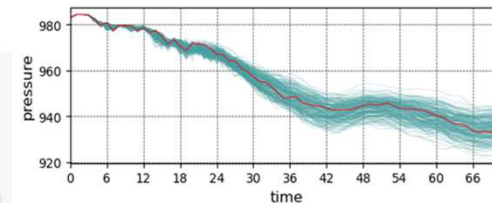
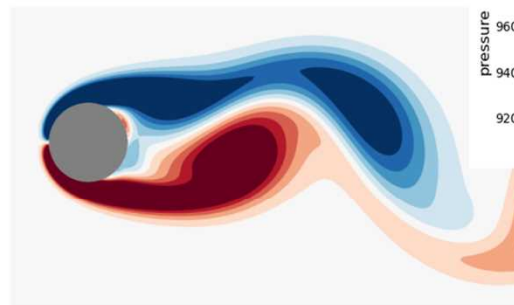
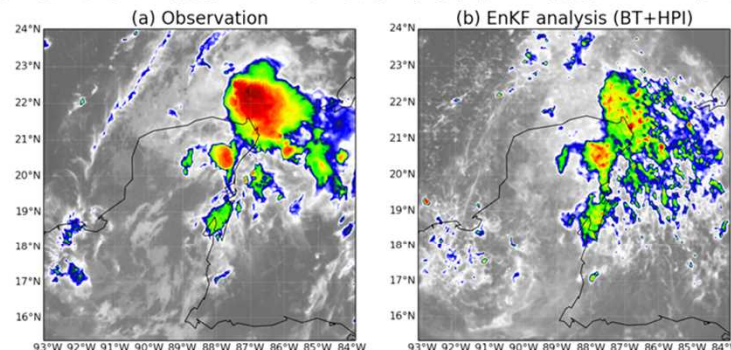
スタート地点は一緒！

アンサンブル強度予報

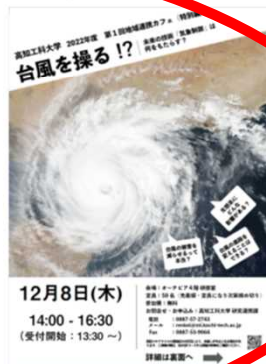
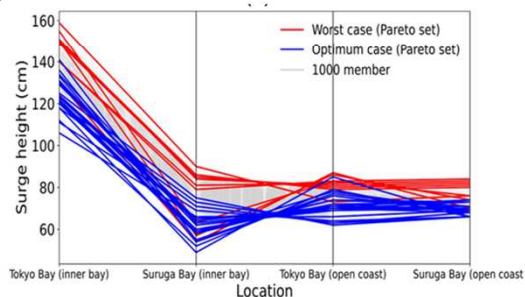


どうしてこのような不確実性が生じるか？
どうすれば不確実性を小さくできるか？
→制御シミュレーションの信頼性向上へ

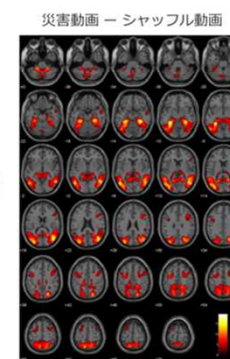
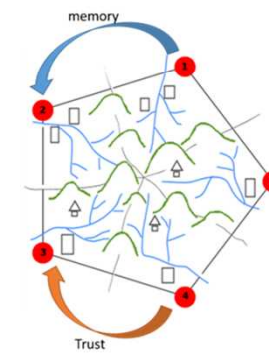
気象予測理論から気象制御理論への長く険しい道のり



気象制御は社会的に合意できるか？



災害の社会インパクトを理解する

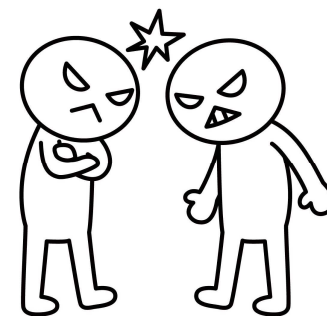


3. 気象制御は社会的に合意できるか？

3.1. 社会的に意思決定可能な気象制御とは？

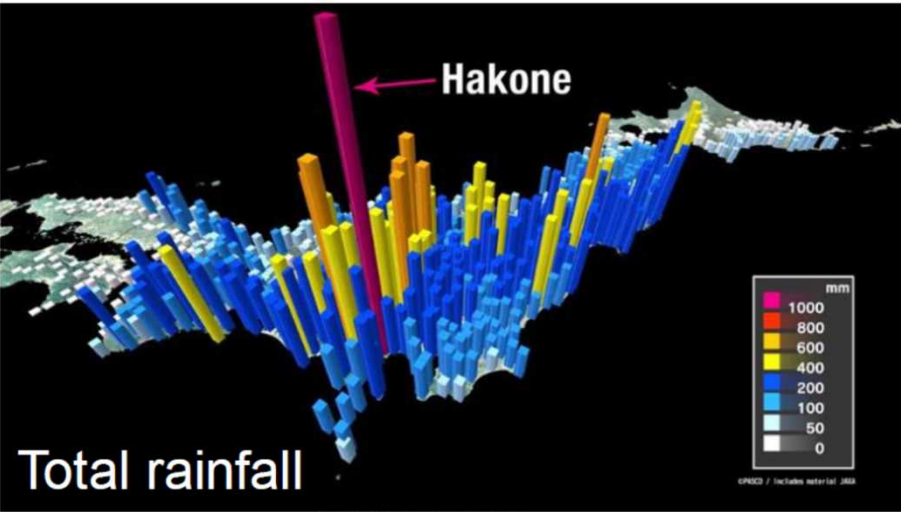
- 影響を受ける全ての人々の意思の集計結果として社会全体としてどのような気象制御を行うか/行わないかが決められるべき
- 具体的に問題になるのは、気象制御で全体としては減災になるが、一部の地域で(災害には至らないようなレベルでも)雨が制御で強くなってしまう、というような時にどうするか、ということ

→ そもそもそういうことはどのくらい起こりえるだろうか？ 仮想的なシミュレーションで見てみよう



3.2. アンサンブル予測を使って制御がもたらしうるトレードオフを探る

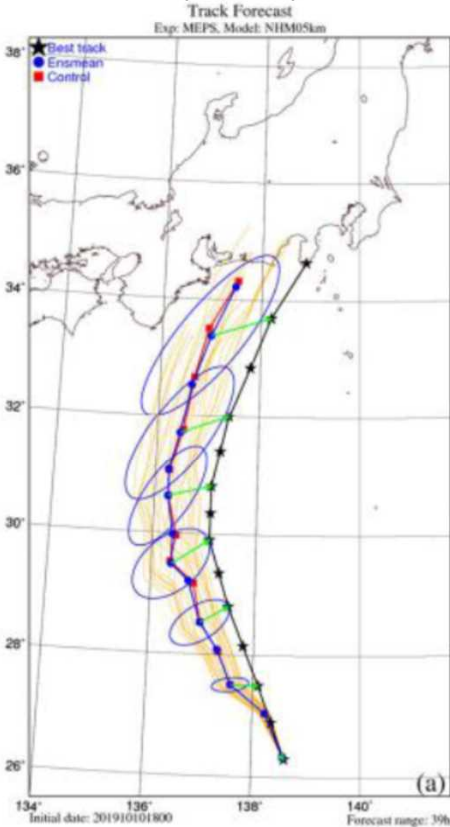
2019年東日本台風事例



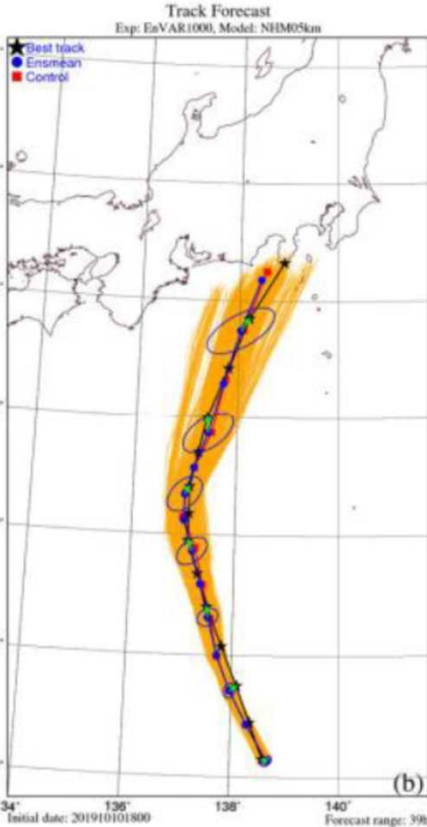
NHK 2019

1000個の予測が「制御で実現しうる未来」だと仮想的に見立てて、「誰しもにとって良い未来」が簡単に選べるかを見てみよう

気象庁メソアンサンブル
(MEPS)



本研究

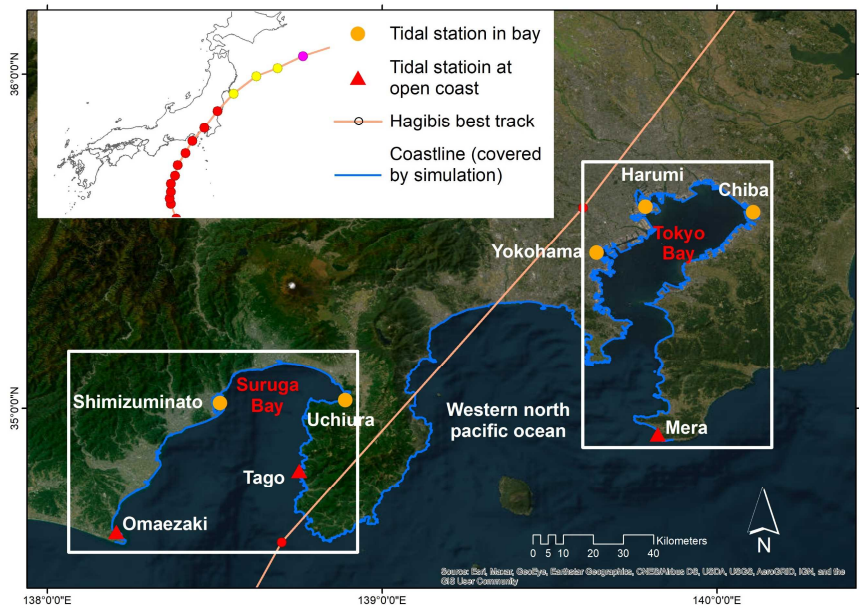


Trajectory forecasts

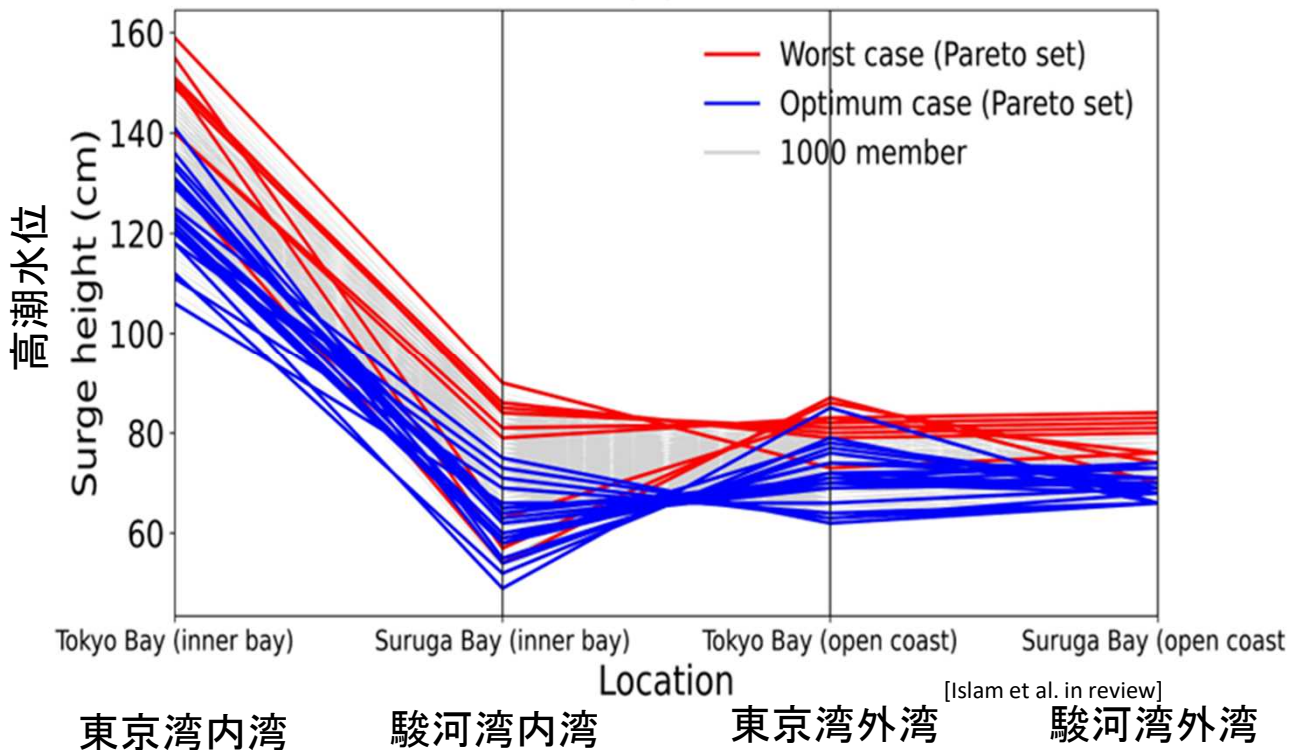
[Islam et al. in review]

3.3. アンサンブル予測から見えるトレードオフ

駿河・東京の内湾・外湾における高潮波高を推定する



東京・駿河湾全地点での平均潮位
赤: 潮位が全体として最大になる集合
青: 潮位が全体として最小になる集合



→ある場所で望ましいシナリオは、別の場所で大きな高潮ハザードをもたらす
どのシナリオに向かっていけば合意できるかは簡単ではない

3.4. 気象制御で生じるトレードオフにいかに対処するか→責任ある研究・イノベーションへ

- どんな気象制御が望まれるだろうか？
 - 誰一人損することなく災害リスクが低減する制御

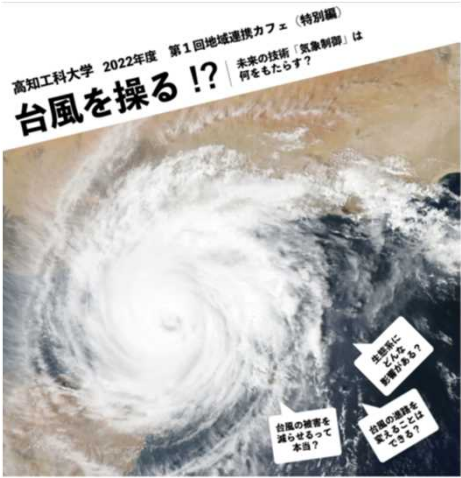
技術的な制約大

ELSI的な課題大

- トレードオフが生じるが、それを適切な「決め方」で利害調整可能な制御
→科学者だけでは研究の方向性を決められない(決めるべきでない)



市民参加型ワークショップで幅広い意見と取り入れながら研究を推進していく



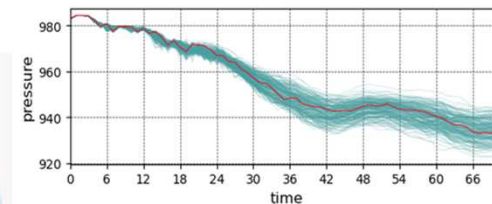
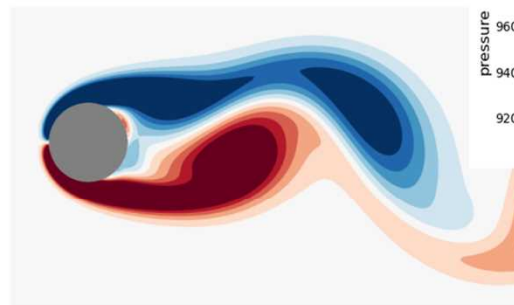
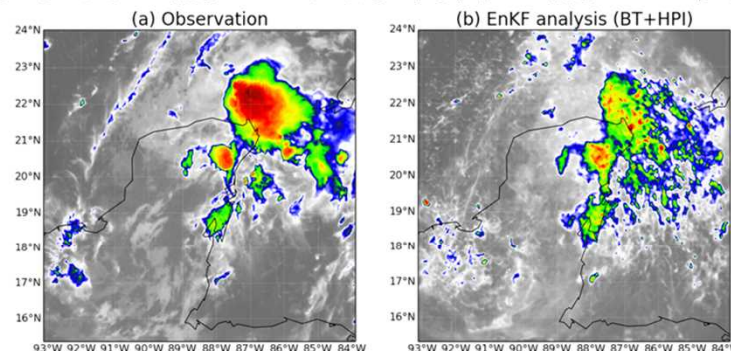
12月8日(木)
14:00 - 16:30
(受付開始: 13:30 ~)

会場: オートピア4階 研修室
定員: 50名 (先着順・定員になり次第締め切り)
参加費: 無料
お問合せ・お申込み: 高知工科大学 研究連携課
電話: 0887-57-2743
メール: renkai@ml.kochi-tech.ac.jp
Fax: 0887-53-9064
詳細は裏面へ

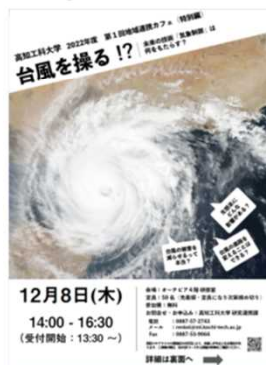
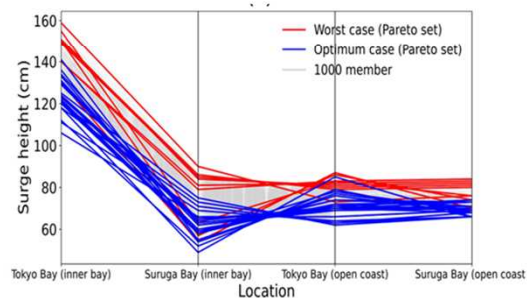
PI: 松山桃世



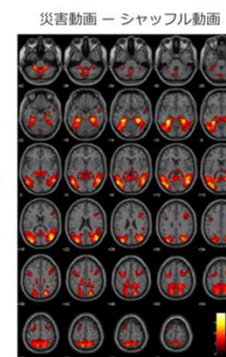
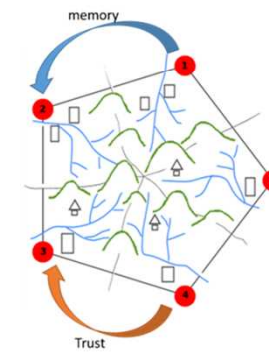
気象予測理論から気象制御理論への長く険しい道のり



気象制御は社会的に合意できるか？



災害の社会インパクトを理解する



4. 災害の社会インパクトを理解する

4.1. 気象災害の社会インパクトの理解と予測の重要性

制御が社会にもたらすインパクトを正確に理解する必要があるが、そもそも現状気象災害が社会をどのように変えるか、十分に理解できていないし、予測もできていない

災害のリスク = ハザード × 暴露 × 脆弱性
自然科学・社会科学協創で取り組む必要性大

PI: 山崎大

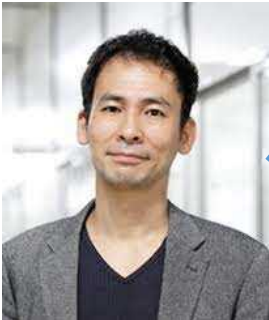


河川災害

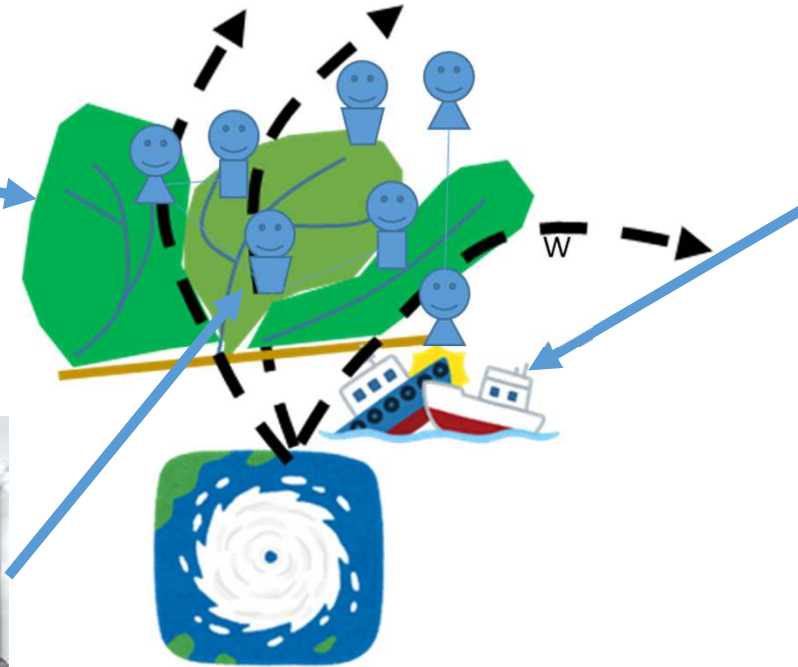
PI: 小谷仁務



PI: 藤見俊夫



個人と社会へのインパクト



PI: 田島芳満

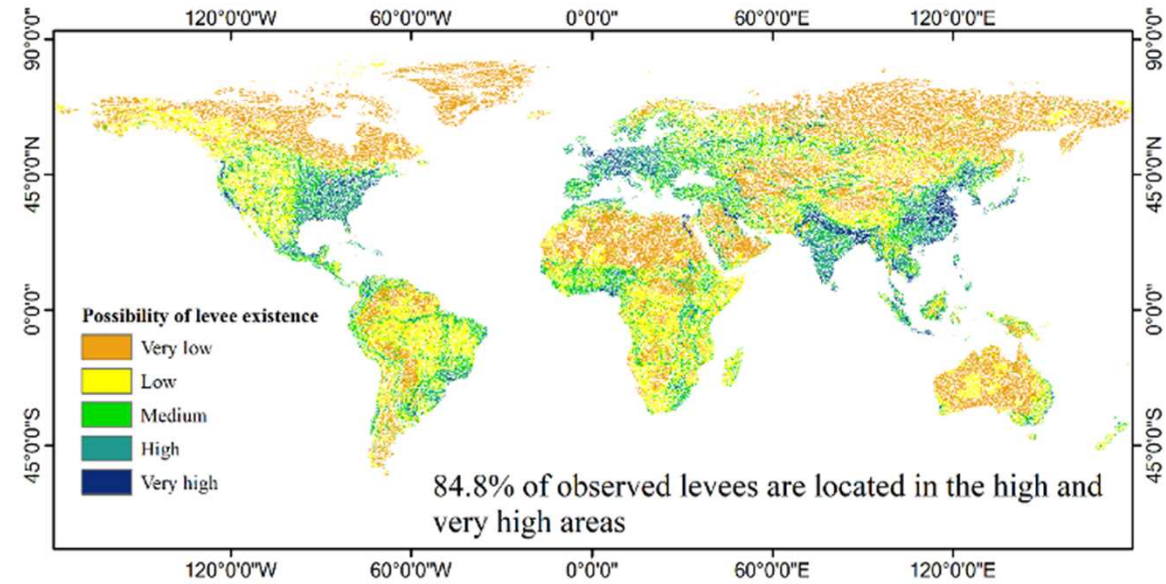


沿岸災害

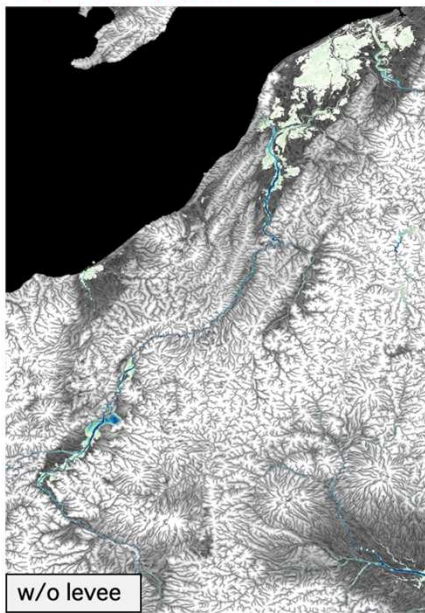
4.2. 洪水氾濫シミュレーションの高度化

河川シミュレーションの多くは堤防などの洪水防護施設の効果がきちんと考慮されていない
→ 全球河川モデルで防護施設の働きを精緻にシミュレーション

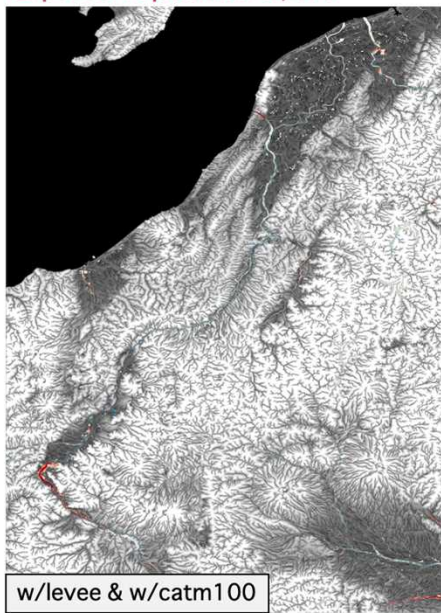
堤防の存在の有無を機械学習で推定
(青いところに堤防がある)



堤防なしの
洪水シミュレーション
Exposed Population: 230,905



堤防ありの
洪水シミュレーション
Exposed Population: 9,279



4.3. 災害情報(そして気象制御効果に関する情報)を人はどのように理解するか？

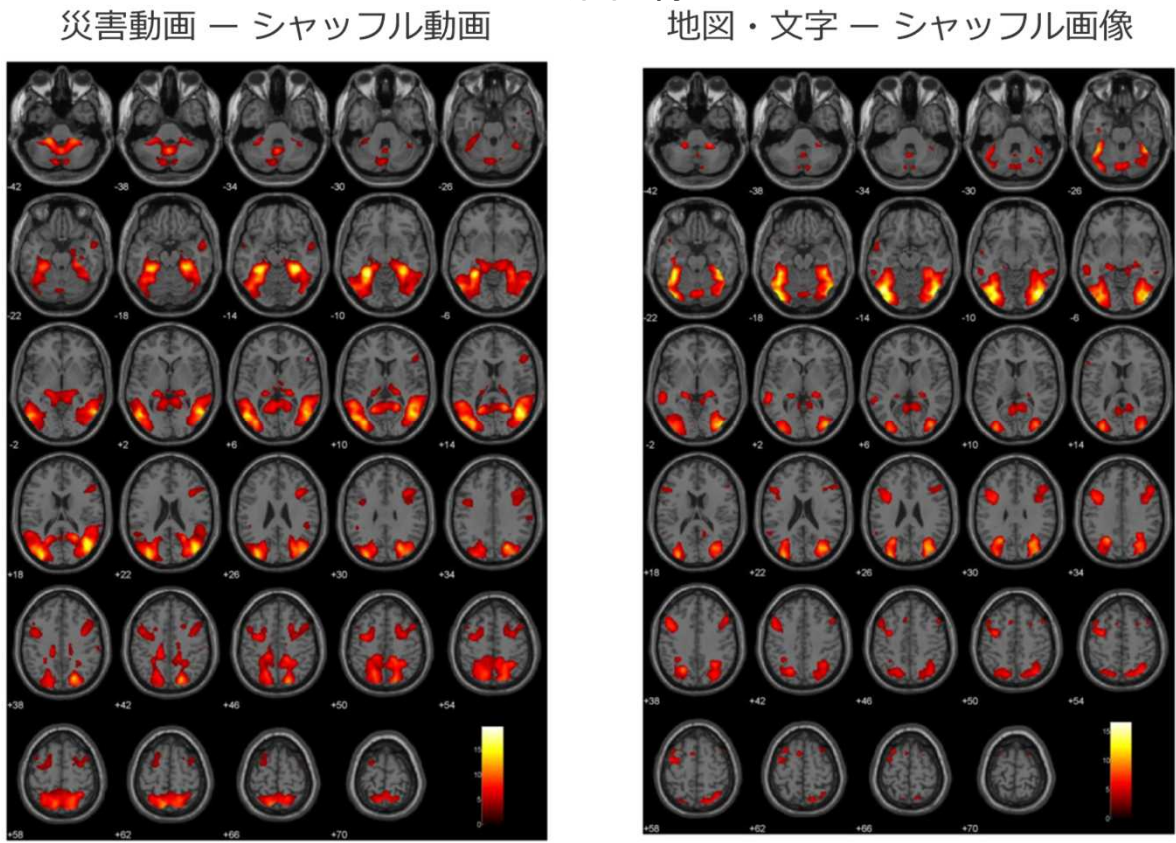
災害リスクを正確に伝達して、適切な行動を促すことはとても難しい。
例えばリスクは動画で示すべきか？地図で示すべきか？

刺激	a. 災害動画 	c. 地図・文字 
	b. シャッフル動画 	d. シャッフル画像 

VR動画の例

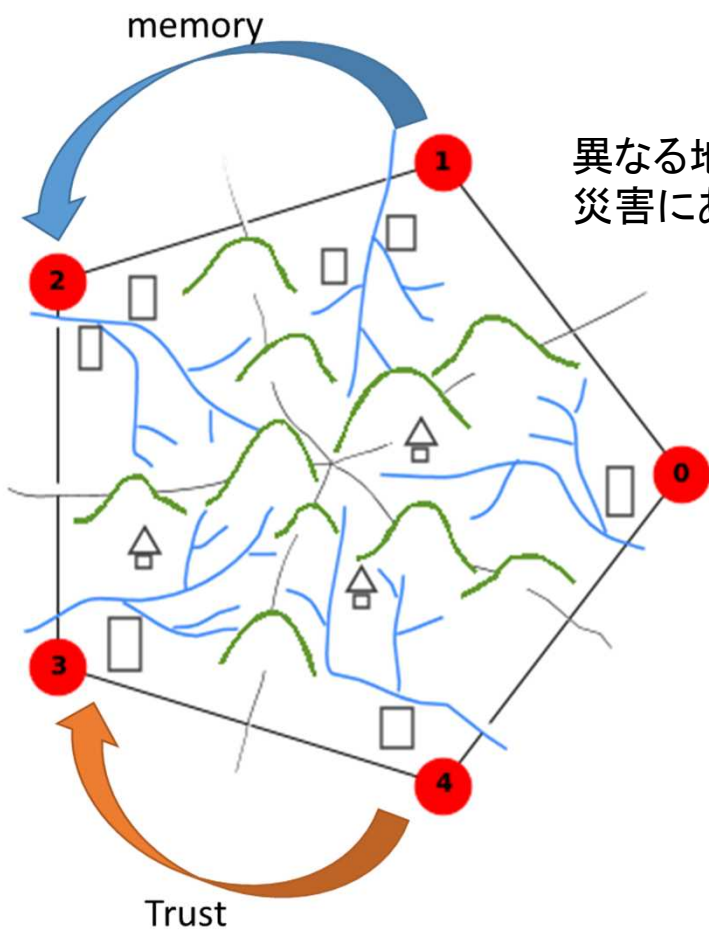


予備実験の結果
fMRIの脳画像

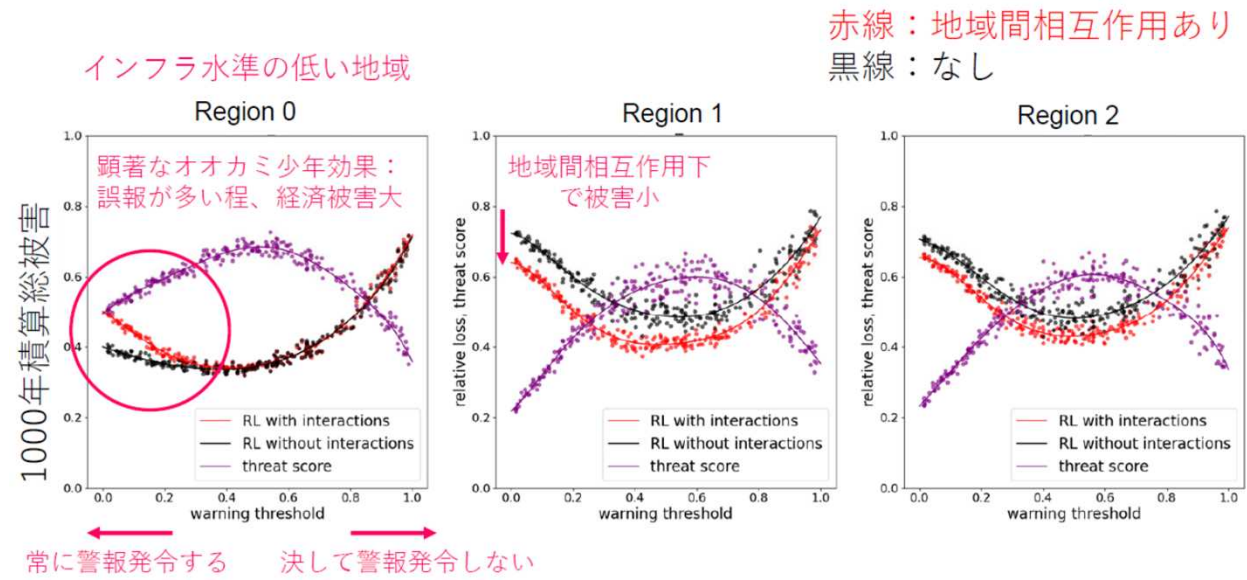


4.4. 災害情報(そして気象制御効果に関する情報)は社会をどのように伝搬するか？

個人が災害情報をどのように受け止めるかがわかったら、次はその情報がどのように社会を伝わっていくかを理解しなければ、気象災害について社会がどのように応答するかを理解することはできない。



異なる地域に住む人々のコミュニケーションと災害時の行動をシミュレーションする
災害にあっていない人たちは災害常襲地から何を学べるか？



5. まとめ

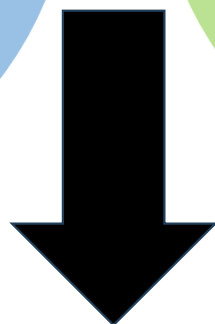
Grand Vision:

民主的な社会的意思決定に基づく自然と社会の結合系の制御により
極端風水害の恐怖から解放された社会

極端気象の未来を
安全に、効率的に
変化させる
気象学の新理論



人間社会への
深い理解に基づき
気象制御をインフラ
として使いこなす
新しい工学



新しい防災研究を切り拓く！

2023/10/29 ムーンショット型研究開発事業目標8 公開シンポジウム2023