

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

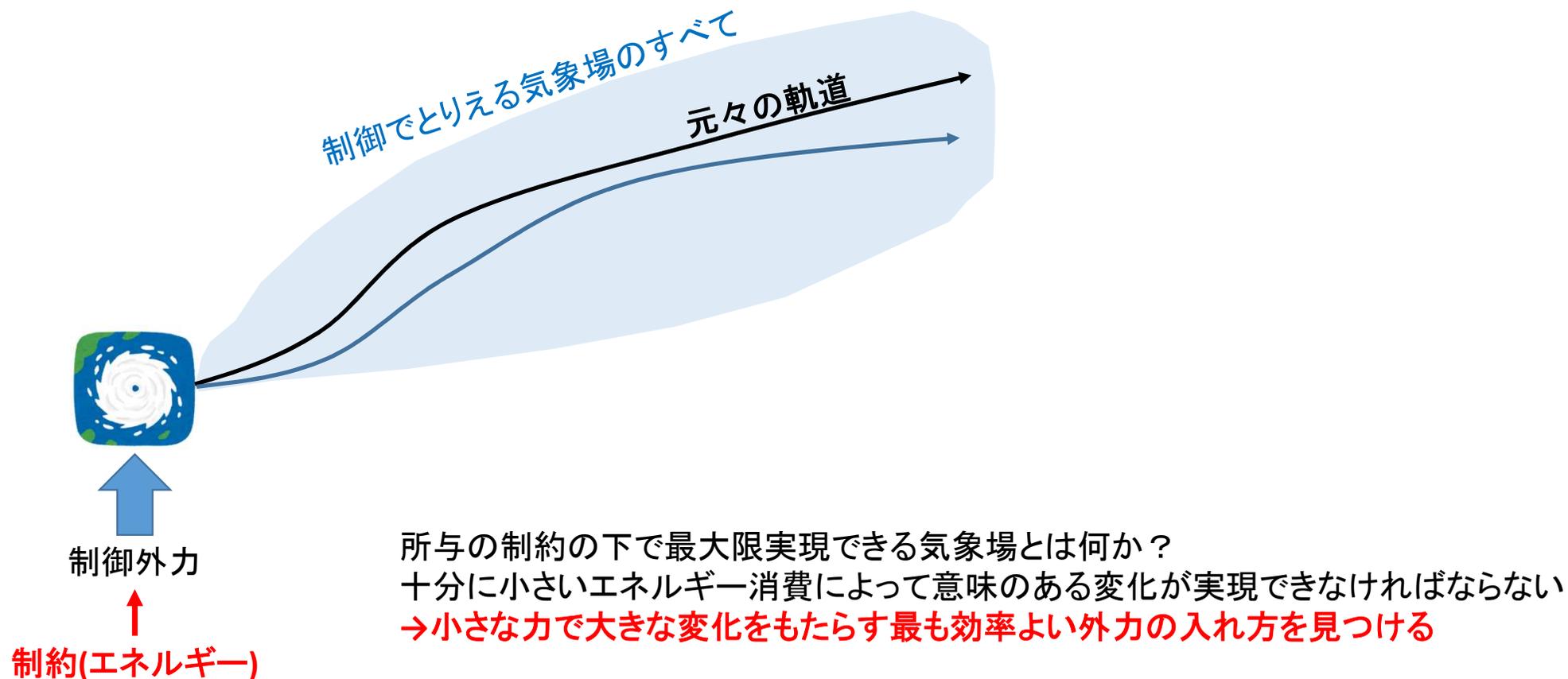
ムーンショット目標8 キックオフシンポジウム

1. 目指す社会像・技術像

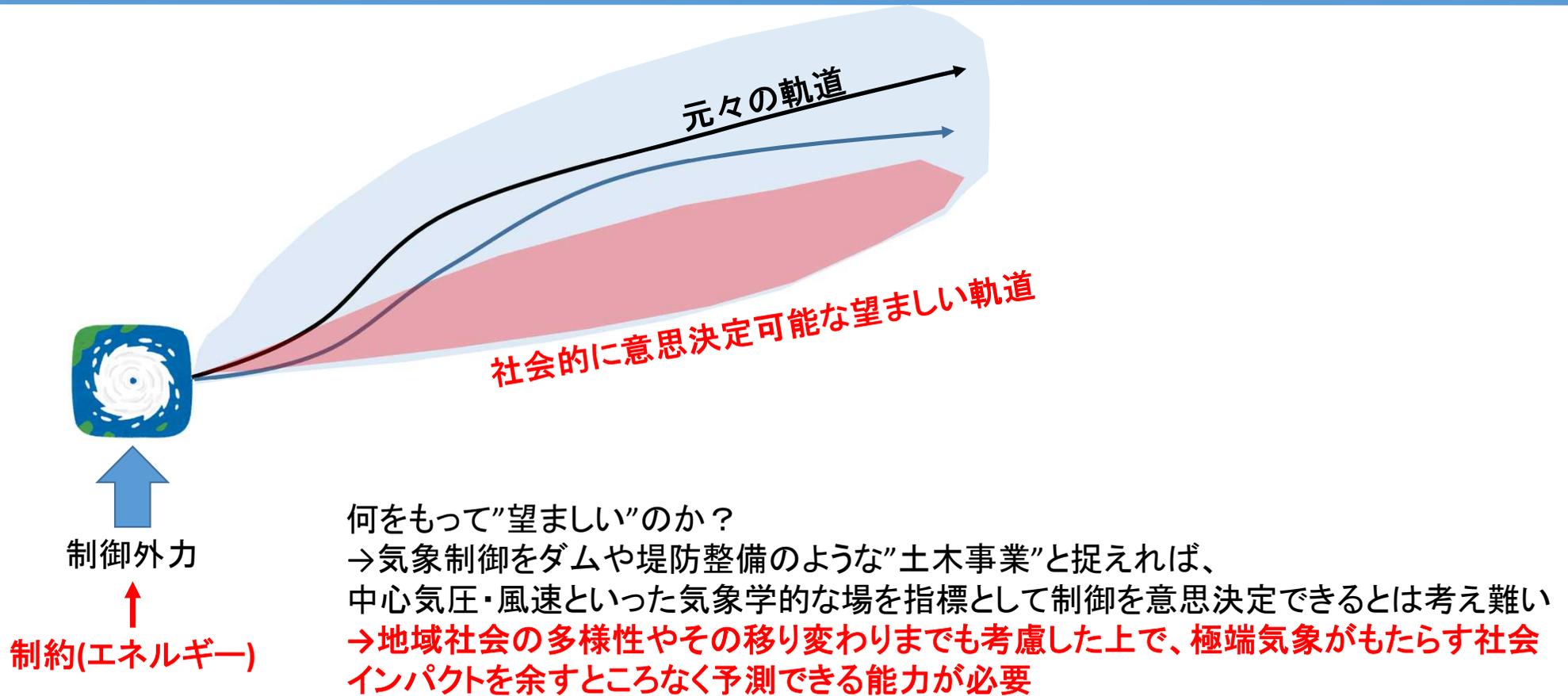
民主的な社会的意思決定に基づく自然と社会の結合系の制御により極端風水害の恐怖から解放された社会

- (台風の強度のような気象学的な量ではなく)極端気象が社会にもたらす負のインパクトそのものを小さくすることを直接の目標とした気象と社会空間の制御
- 安全でかつ安定して稼働する”信頼できる社会インフラ”の名を冠するにふさわしい制御介入手法
- 気象制御を社会に根付かせるための堅牢な社会制度とそれに基づく意思決定手法の確立

2.1. 研究課題(1) — 気象制御理論 —



2.2. 研究課題(2) —極端気象の社会インパクト予測—



2.3. 研究開発プロジェクトの全体像

Meteorological Control Theory

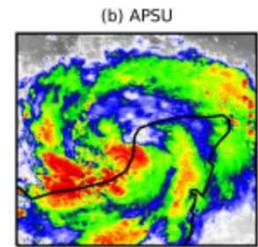
課題A: 多くの極端気象の時間発展を小さな介入で大きく変える気象制御理論・制御手法の開発

Impact forecasting

課題B: 社会インパクトを余すところなく予測する能力の獲得と、その予測に基づいた制御の意思決定手法の開発

研究開発項目A-3: 気象制御の工学的アプローチ

研究開発項目A-1: 「制御可能性」を導く新しい気象データの構築・解析と制御手法設計



Tube-based Robust Predictive control^[1]

Given : x_k (k は現時刻)

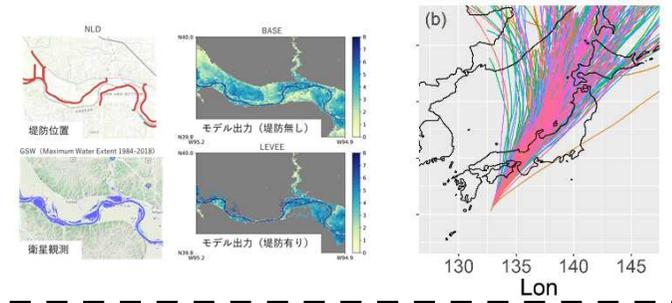
Find : $u_k, u_{k+1}, \dots, u_{k+H}$, such that

Minimize : $\sum_{j=0}^H (\hat{p}_{k+j} - p_{goal})^2 + w \cdot u_{k+j}^2$
 $u_k, u_{k+1}, \dots, u_{k+H}$ (w は重みパラメータ)

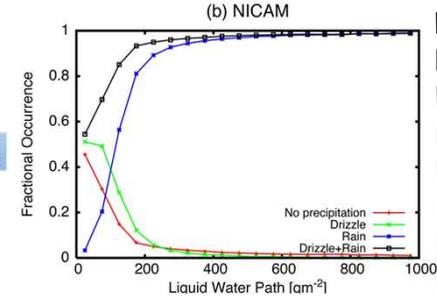
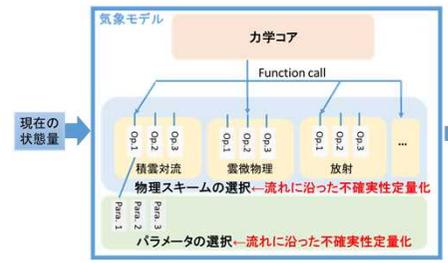
s.t. $\hat{x}_{k+j+1} = f(\hat{x}_{k+j}, u_{k+j}, 0), \forall j = 0, \dots, H-1$

$P_{k+j} \subset S$ (P_{k+j} は $k+j$ における台風の中心位置の不確かさの集合)

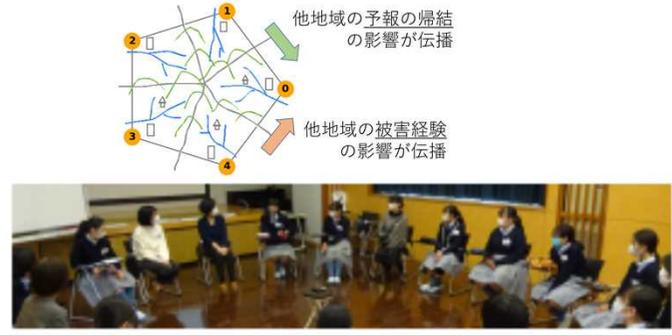
研究開発項目B-1: 水害の複合ハザードの統合的確率予測



研究開発項目A-2: 制御のための不確実性定量化



研究開発項目B-2: 社会インパクトの予測・制御と気象制御の社会的意思決定

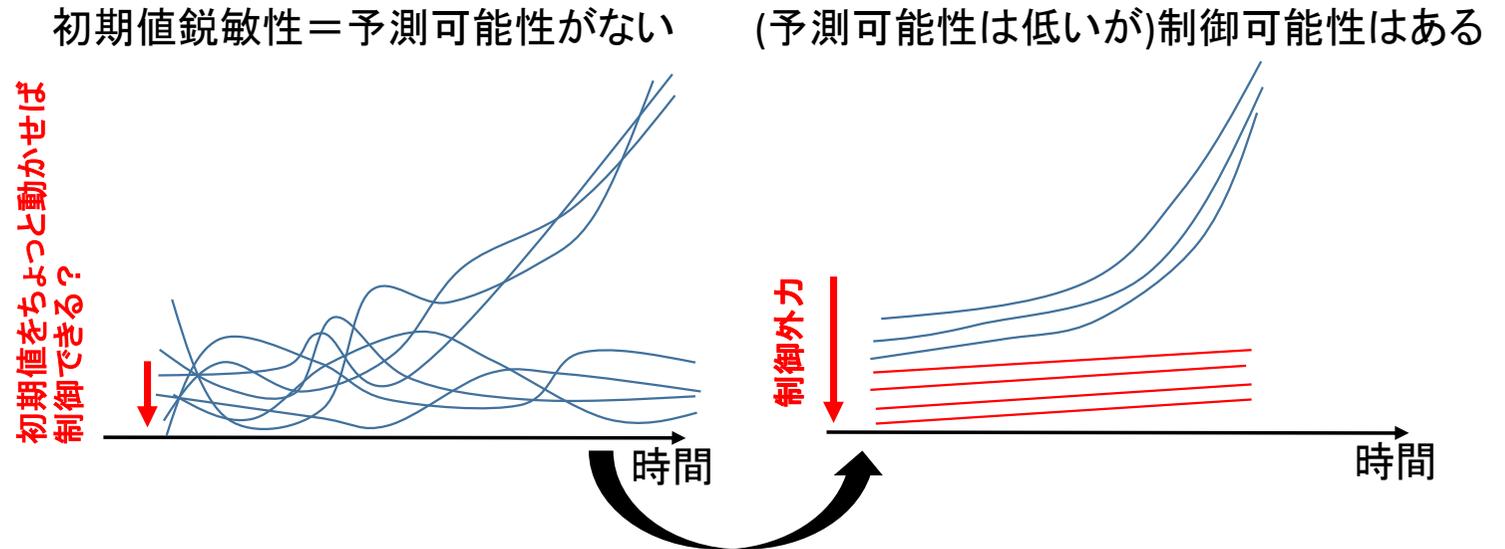
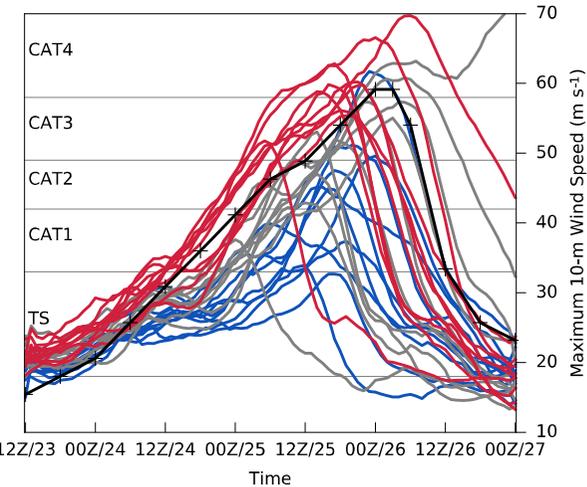


ジウム

3.1.1. 研究開発項目A-1「制御可能性」を導く新しい気象データの構築・解析と制御手法設計

ハリケーンHarveyの強度予報

[Minamide et al. 2020]



見方の変換、あるいは特定の場面で秩序を導けるか??

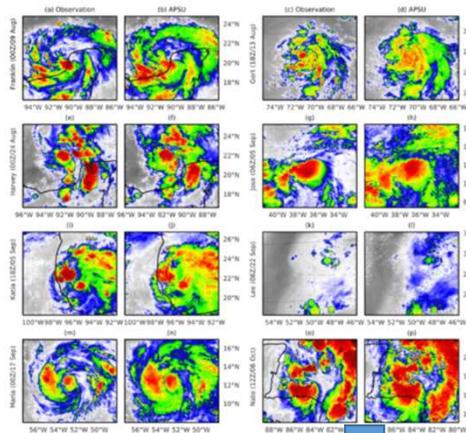
- 僅かな初期値の違いがその後の未来を大きく変える性質(=カオス性)が制御に利用できることはわかっている [Miyoshi and Sun 2022]
- **いつ、どこで、どんなように初期値を動かせば効率的に未来を制御できるだろうか?**
- **一見ランダムに見えるようなカオスの中に「制御可能性」を導く秩序はないか?**

3.1.2. 研究開発項目A-1「制御可能性」を導く新しい気象データの構築・解析と制御手法設計

課題1:大規模アンサンブル気象再解析/再予報データの構築と気象学的解析 by 南出将志(東大)

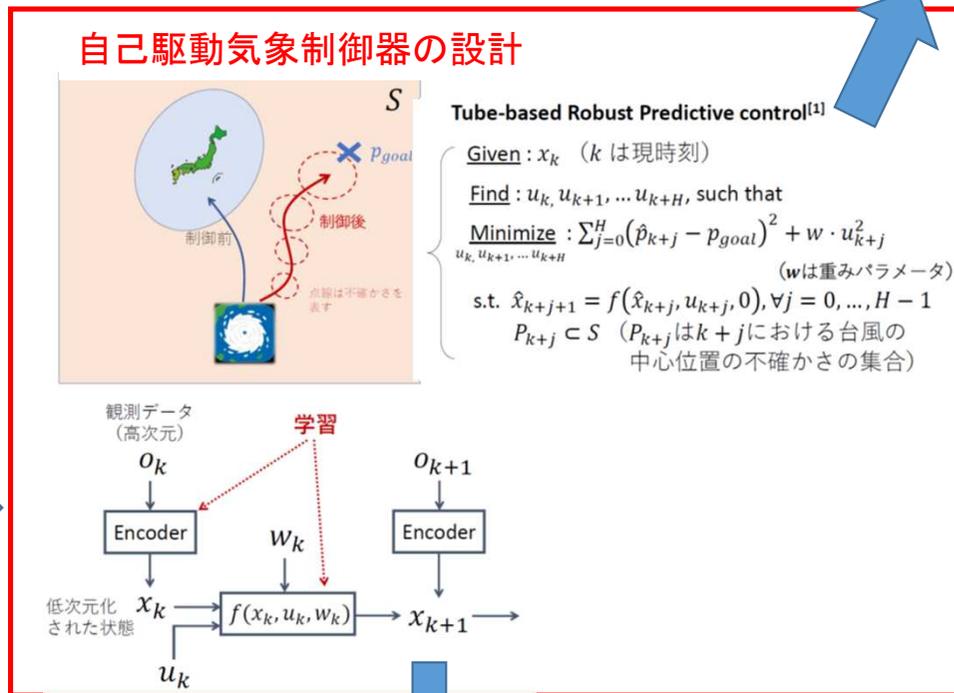
台風アンサンブル再解析/再予報データ

- 台風150個の再解析を60アンサンブル、空間解像度2kmで提供
- 全天候静止気象衛星同化で高品質を実現
- 台風以外の極端気象も視野に入れる
- 全世界の気象コミュニティに向けて共用予定



課題2:データ駆動型気象制御器の設計 by 橋本和宗(阪大)

A-3: 工学的な制御介入手法のデザイン

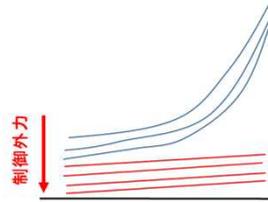
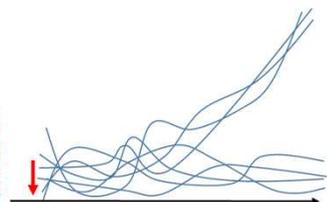


研究課題

初期値鋭敏性=予測可能性がない

(予測可能性は低い)が制御可能性はある

初期値をちよつと動かせば制御できる?



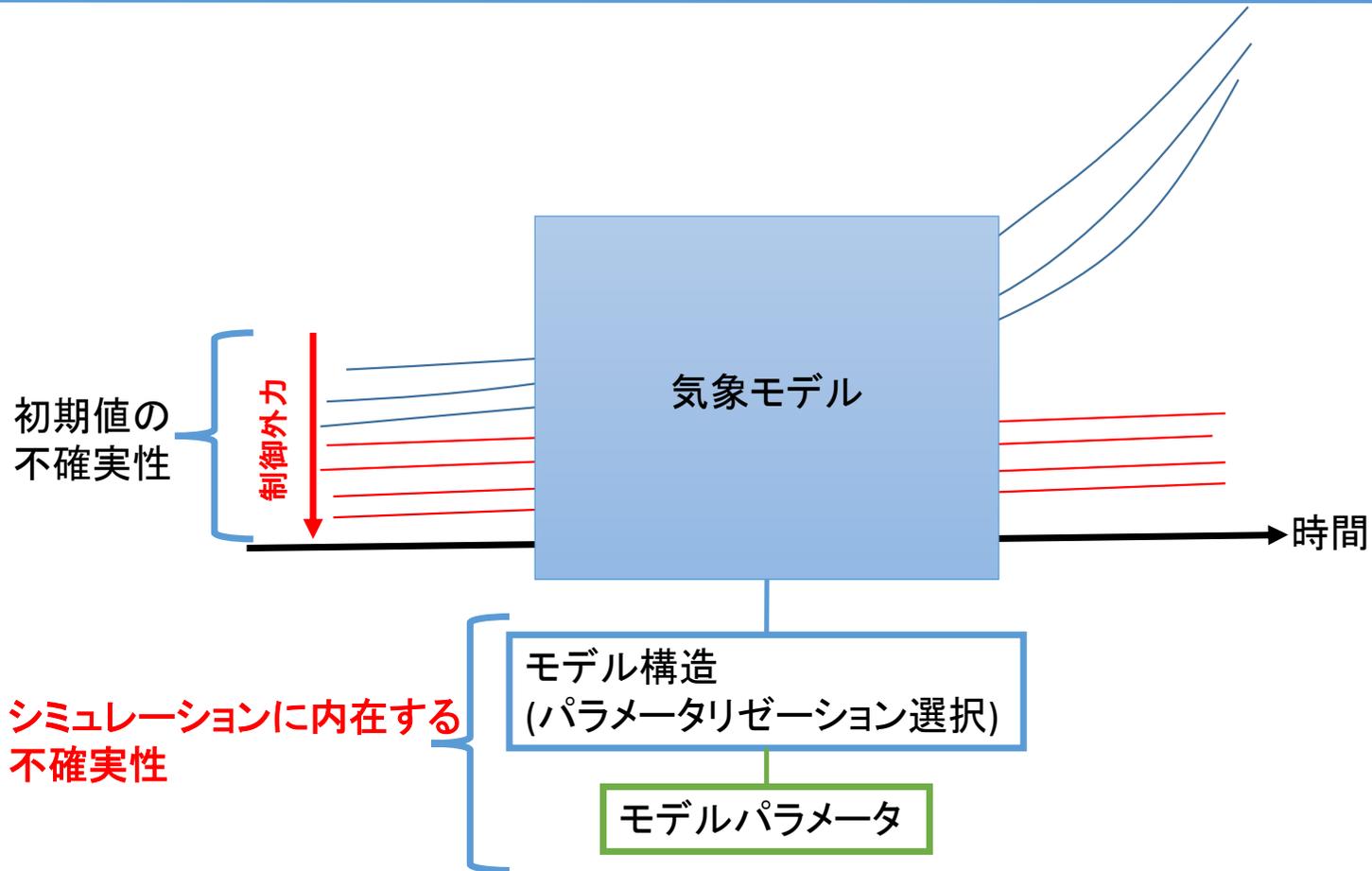
大気力学的解析
(プロセス駆動型アプローチの制御)

制御可能性を導く秩序の発見
効率的な気象制御器の開発

極端気象の低次元化
(データ駆動型アプローチの制御)



3.2.1. 研究開発項目A-2: 制御の為の不確実性定量化

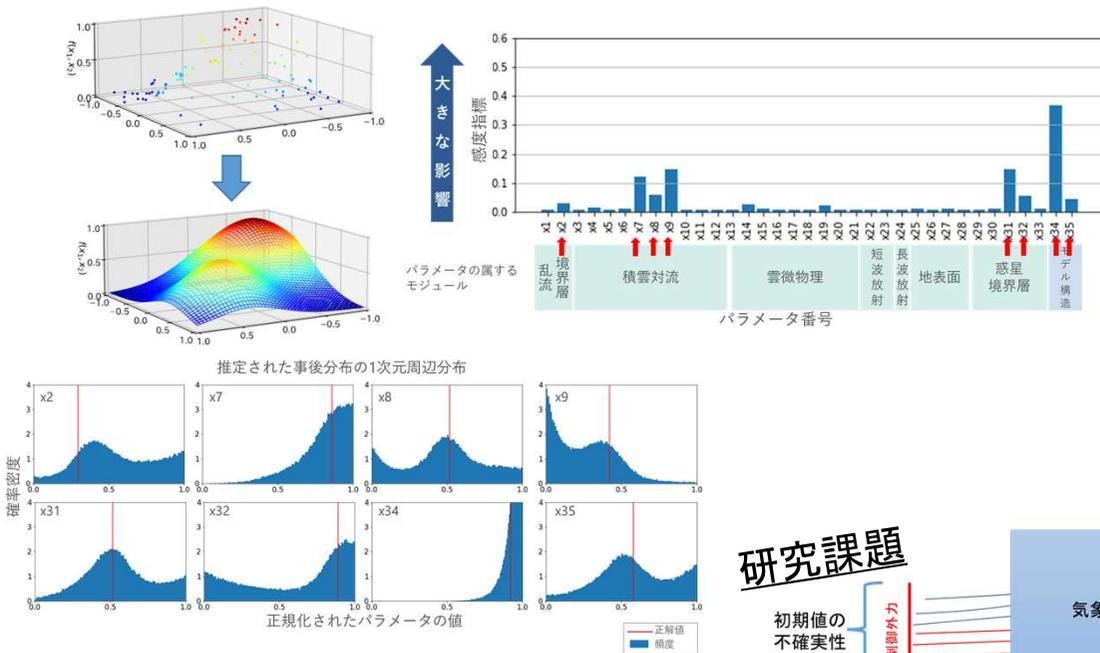


- 当面の間、気象制御研究はシミュレーション研究として進行するため気象シミュレーションの不確実性を知ることは重要
- 通常、気象予測の不確実性というのは初期値のみを相手にしていて、シミュレーションに内在する不確実性はあまり考慮されていない
- これでは信頼性の高い制御にはつながらない

3.2.2. 研究開発項目A-2: 制御の為の不確実性定量化

課題3: 気象-社会結合系の不確実性定量化
by 澤田洋平(東大)

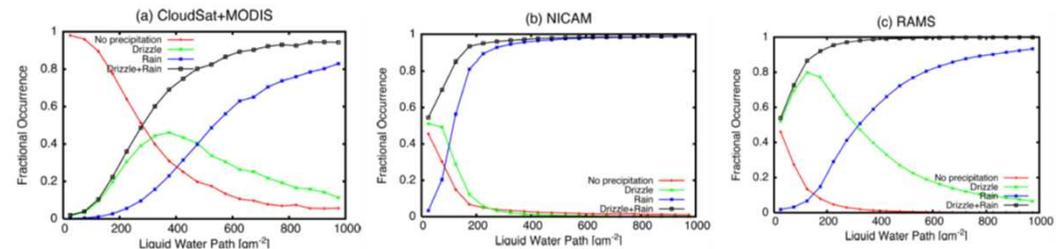
統計数理を駆使したデータ駆動型のアプローチで
シミュレーションに内在する不確実性を明らかにする



動的な不確実性推定と
それを考慮した制御

課題4: 気象物理過程の不確実性の解析
by 鈴木健太郎(東大)

気象学的なプロセス理解に基づいて、シミュレーションに内在する
不確実性を衛星観測で拘束する



研究課題



シミュレーションに内在する
不確実性

シミュレーションに内在する
不確実性を考慮した制御

不確実性の物理的解釈と
説明可能な制御

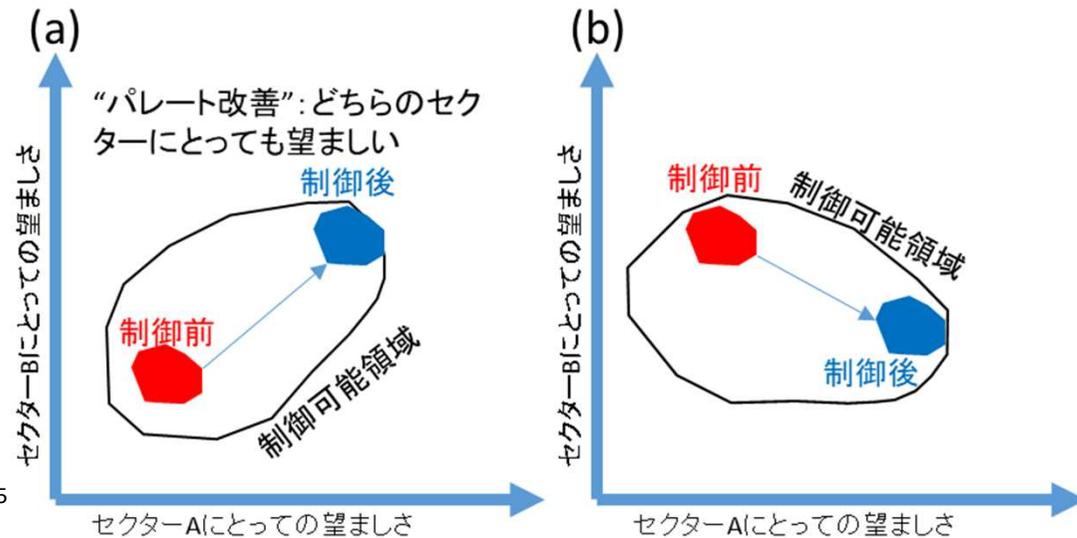


ムーンショット目標8キ

3.3.1. 研究開発項目B-1: 水害の複合ハザードの統合的確率予測



https://www.tokyo-np.co.jp/article_photo/list?article_id=54484&pid=123825



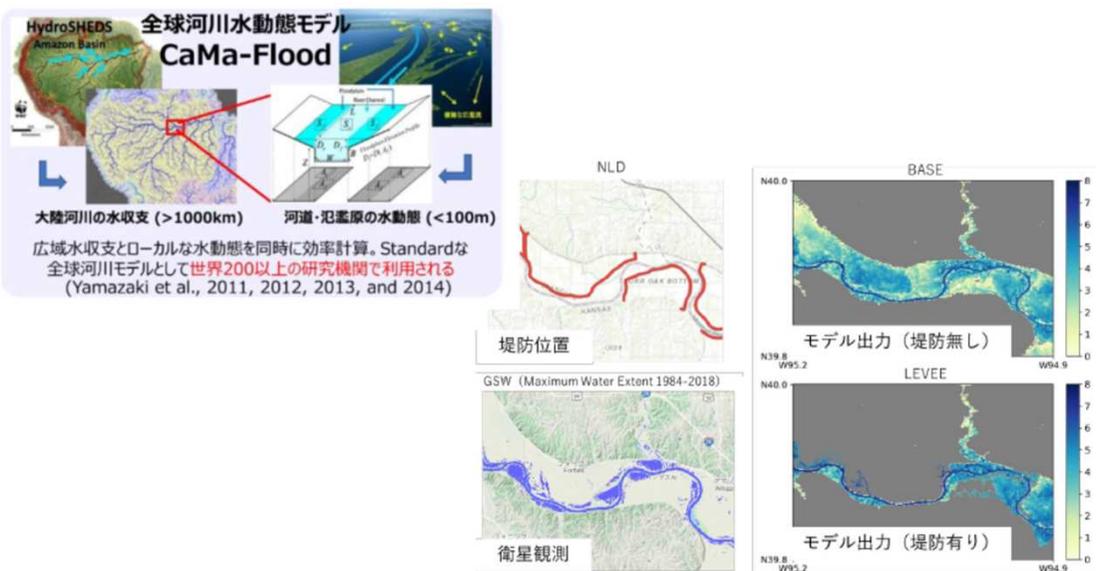
- 気象制御を精緻に行うのに不可欠な、“意思決定スケール”のリアルな水害の予測能力の開発はまだまだ途上
- 多様なセクターの複合的なハザードを網羅的に解析する技術がないと気象制御を意思決定できない。

3.3.2. 研究開発項目B-1: 水害の複合ハザードの統合的確率予測

課題5: 洪水氾濫ハザード確率予測

by 山崎大(東大)

地域ごとの洪水防護を考慮した洪水シミュレーションの実現を目指す
 全球汎用性がありながら地域の実情を考慮した精緻な氾濫予測



研究課題

洪水ハザード予測



意思決定スケールのハザード予測
 複合ハザードの確率的解析

↑ 望ましさ
 ↓ 望ましさ

↑ 望ましさ
 ↓ 望ましさ

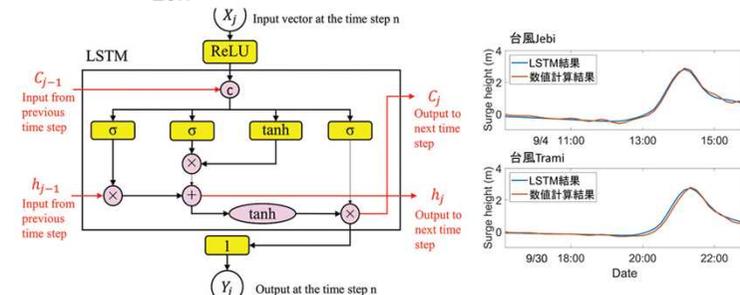
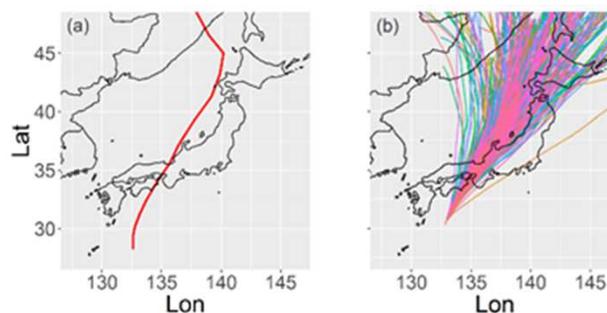
海岸ハザード予測

ムーンショット目標8 キ

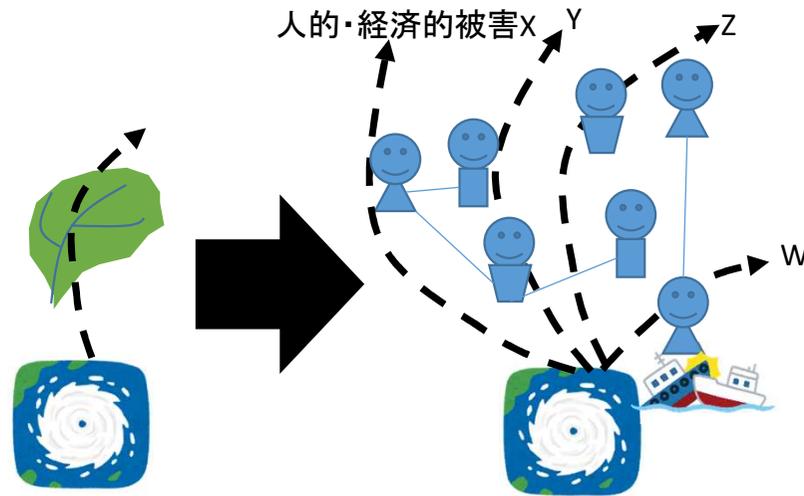
課題6: 高潮・高波ハザード確率予測

by 田島芳満(東大)

超大規模アンサンブル確率台風モデルによる高潮・高波計算
 機械学習を用いた高速・高精度なリアルタイム高潮・高波計算



3.4.1. 研究開発項目B-2: 社会インパクトの予測・制御と気象制御の社会的意思決定



- 極端気象がもたらす人的・経済的被害の全体を網羅的に予測する能力の獲得が必要
- 地域ごとの災害脆弱性の差や、その時間的変化が何に支配されているのかわからない
- 統合的な予測に基づいてどのように気象制御の社会的意思決定が可能かを探究する

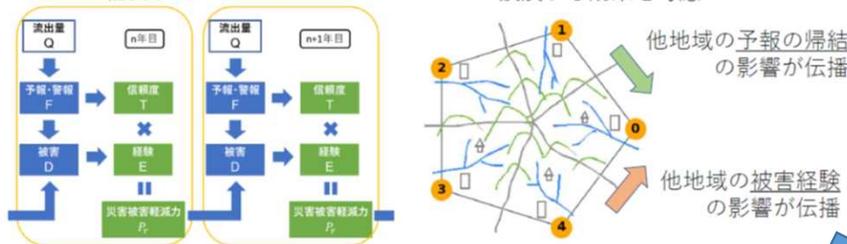
3.4.2. 研究開発項目B-2: 社会インパクトの予測・制御と気象制御の社会的意思決定

課題7: 災害社会ダイナミクスの予測・制御

by 小谷仁務(京大)

地域社会の気象災害に対する対応能力の高さのリアルタイム予測を実現する

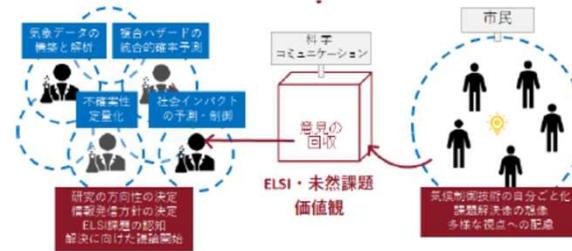
各地域の災害対応力の動学を表現する 予報の帰結や被害経験の影響が他地域へ波及する効果を考慮



課題9: 気象制御の社会的意思決定可能性の検討

by 松山桃世(東大)

気象制御を社会的受容性の高い技術とするための市民対話手法の開発をELSI研究として行う



東大オープンキャンパスでの基礎調査!

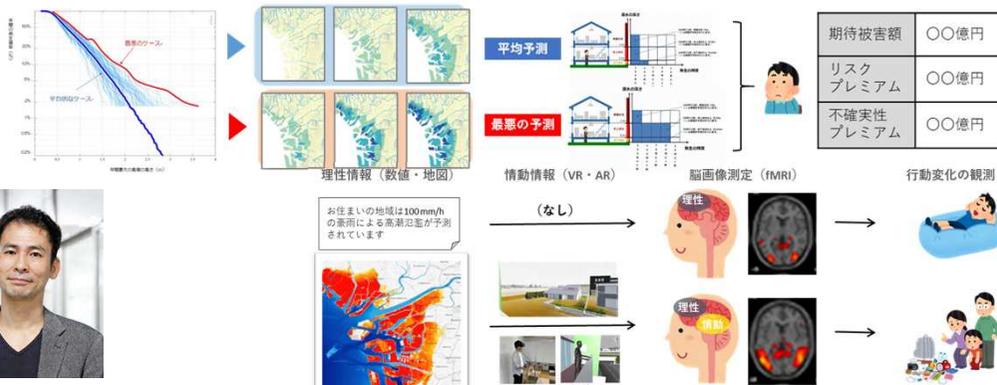


課題8: 水害経済被害額予測と意思決定のための不確実性推定

by 藤見俊夫(京大)

予測不確実性を考慮した経済損失評価と、メタバース技術を応用したリスクコミュニケーション手法の開発

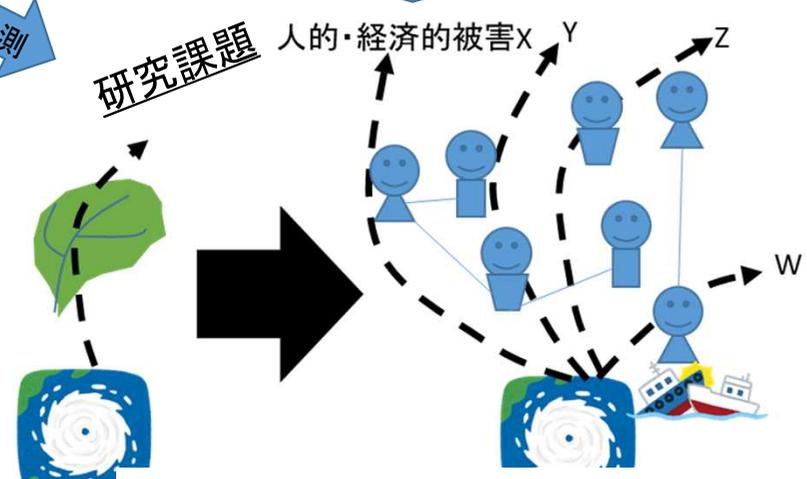
気象予測の不確実性 氾濫解析の不確実性 不確実性を考慮した経済損失評価



経済損失評価とその伝達手法

社会ダイナミクスの予測

気象制御の市民対話



動的な社会とその脆弱性の予測・制御
不確実性下の気象制御の社会的意思決定

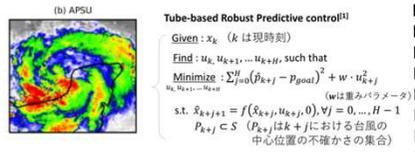
4. 2050年まで全力疾走で挑む気象制御と、防災研究の新しいパラダイム

Meteorological Control Theory

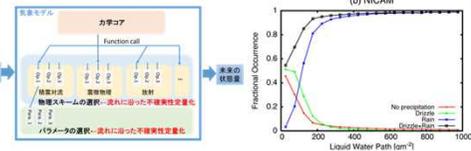
課題A: 多くの極端気象の時間発展を小さな介入で大きく変える気象制御理論・制御手法の開発

研究開発項目A-3: 気象制御の工学的アプローチ

研究開発項目A-1: 「制御可能性」を導く新しい気象データの構築・解析と制御手法設計



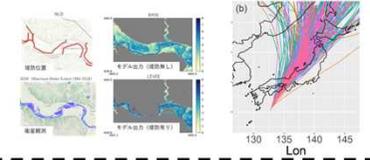
研究開発項目A-2: 制御のための不確実性定量化



Impact forecasting

課題B: 社会インパクトを余すところなく予測する能力の獲得と、その予測に基づいた制御の意思決定手法の開発

研究開発項目B-1: 水害の複合ハザードの統合的確率予測



研究開発項目B-2: 社会インパクトの予測・制御と気象制御の社会的意思決定



工学的手法の開発を通じた気象制御の実証研究
室内&屋外実験へ

良き社会を導く気象制御理論
社会インパクトを小さくすることを直接の目標とする気象制御手法

気象制御実装のための社会とのコミュニケーション
市民が参画する気象制御研究へ



- 極端気象が社会にもたらす負のインパクトそのものを小さくすることを直接の目標とした気象と社会空間の制御理論
 - "信頼できる社会インフラ"の名を冠するにふさわしい制御介入手法
 - 気象制御を社会に根付かせるための堅牢な社会制度とそれに基づく意思決定手法の確立
- ムーンショット目標達成へ!