ムーンショット目標８
2050 年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し
極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現
PD 三好建正

ゲリラ豪雨・線状対流系豪雨と共に生きる気象制御

～　豪雨に抗うことなく、豪雨と人の豊かな絆を繋ぐ　～

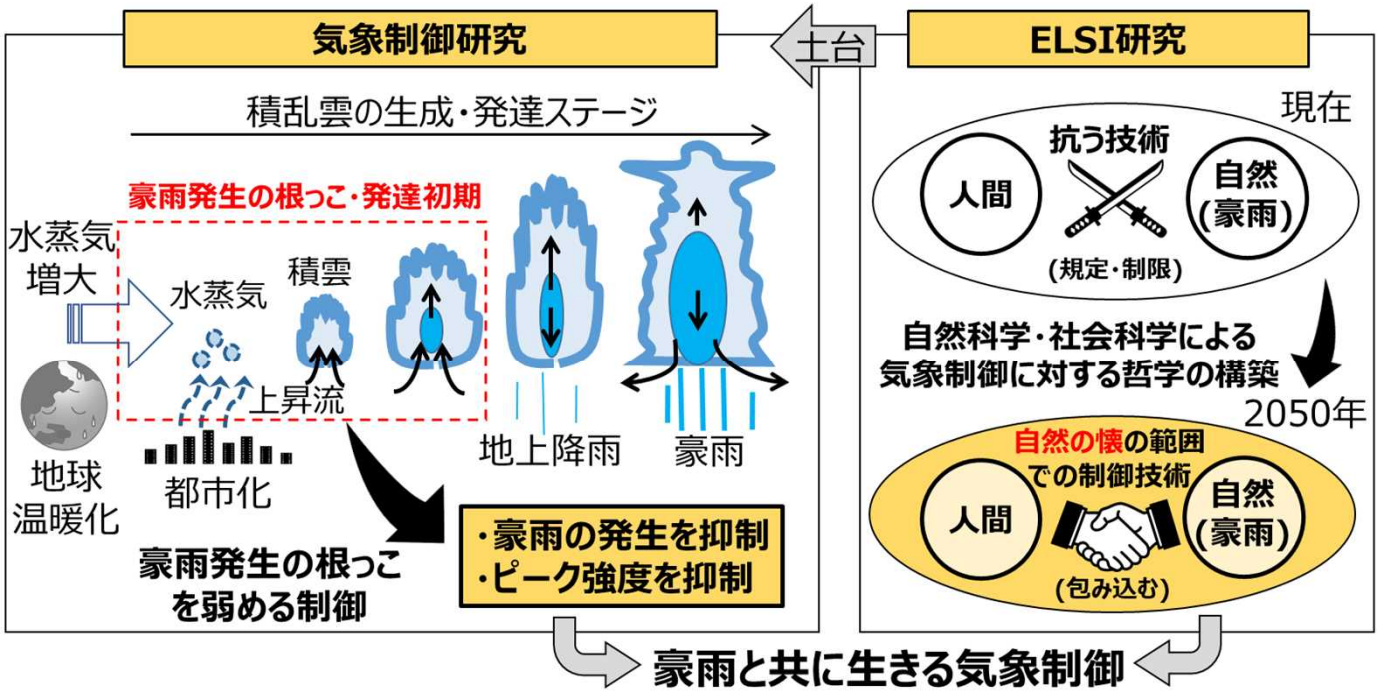
PM　山口弘誠（京都大学防災研究所）

2050年に実現を目指す社会像

- 「人は自然の懐を借りて豪雨と共に生きている」という認識が浸透。
- 局地的な複雑な現象をも予測可能な気象モデル、豪雨発生前を捉える高解像度観測、観測とモデルをマージする技術　→豪雨予測精度が飛躍的に向上。
- 個人にカスタマイズされた災害予測情報がデジタルツインとしてそばにある。気象災害予測情報がベースとなる産業が発展。
- 豪雨災害が起こることを前提としたまちづくり。同時に、そもそも豪雨災害が発生しにくいまちづくり。
- 気候変動への適応策としての実時間豪雨制御が始まり、人命・財産を守るため適用範囲の拡大が進む。

本プロジェクトの狙いと社会像との関わり

- **ゲリラ豪雨**と**線状降水帯（特に線状対流系豪雨）**の**「発生・発達のきっかけ（気流渦・熱貯留、水蒸気流入・収束・雲微物理形成）」を操作**することで、豪雨の発生とピーク強度を抑制
- **豪雨制御に対するものの考え方（豪雨制御のあり方）を、豪雨制御による自然と社会の応答を通して構築**し、人と豪雨が共に生きるための豪雨制御手法の開発にフィードバック



実現までのシナリオ（バックキャスト）

2050年 **“自然の懐”の範囲が明らかにされ、気温2℃上昇世界において豪雨制御時代が幕開け**

2040年（約20年後）

- 豪雨予測精度が向上。豪雨制御の**大規模な社会実証実験（社会受容性検証を含む）が始まる**。
- 制御手法の種類・程度・頻度を選択できるような拡張性を持たせることで、**想定外のブレが起こったときにも対応できる制御システムが構築**される。
- 豪雨制御のあり方が社会からのボトムアップにより確立され、**この考え方に基づいて制御手法がブラッシュアップ**される。

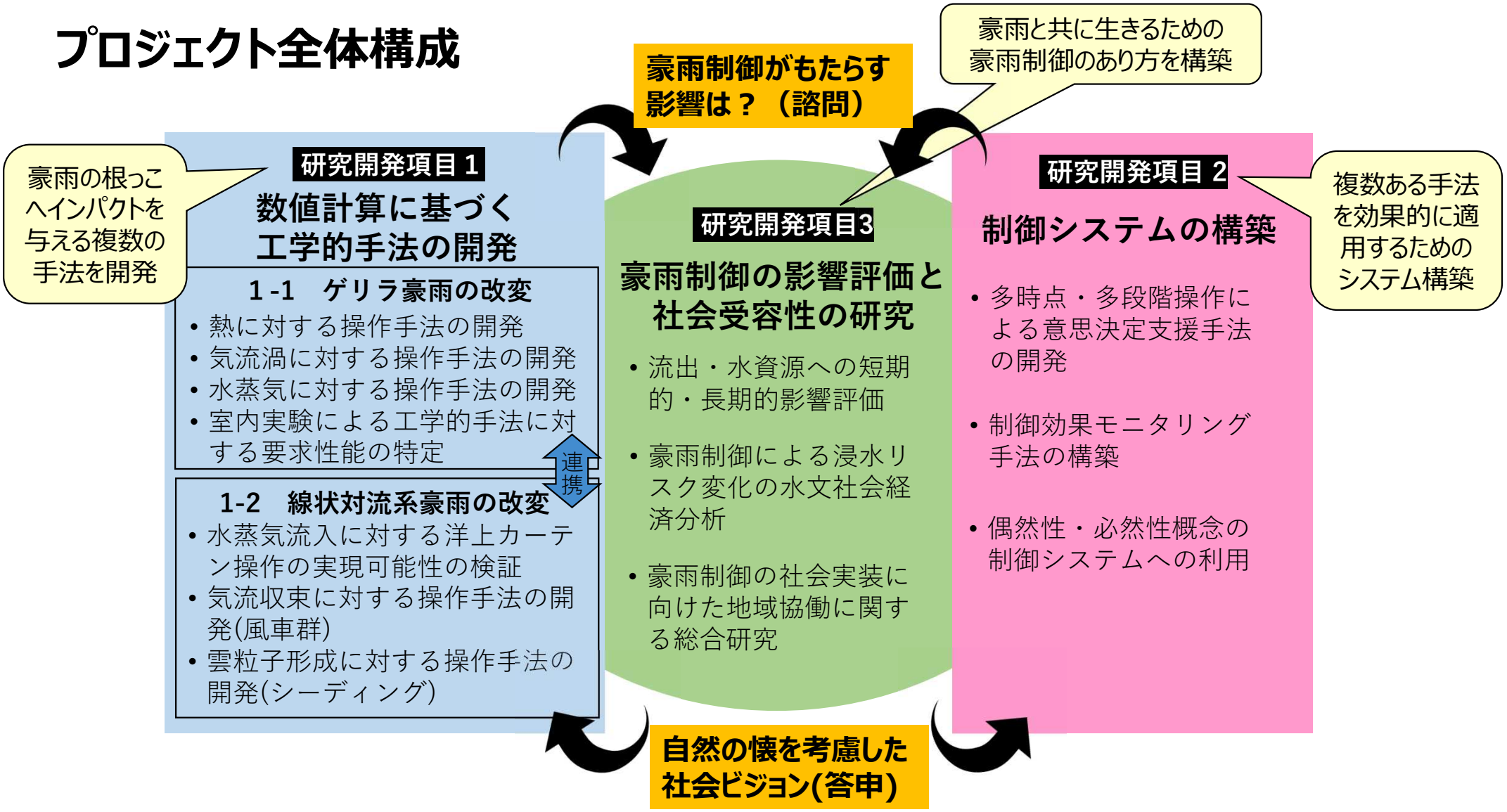
2031年（10年後）

- 複数の工学的手法（制御用デバイス）が製作され、社会的影響度の極めて少ない**小規模な屋外実証実験が始まる**。
- 豪雨制御がもたらす自然の変化と社会の応答が提示され、豪雨制御の適用範囲に関する議論が社会と一緒に進められることにより、**その考えが考慮された制御システムが構築される**。

2026年（5年後）

- **豪雨制御に資するための数値気象モデルが開発**されることにより、豪雨を抑制するために必要となる工学的手法(制御用デバイス)の要件が提示され、**パーツデバイスの開発による室内実験が開始される**。
- **豪雨制御がもたらす自然の変化と社会の応答を評価**するための洪水氾濫モデル・水資源モデル・社会影響モデル等が開発され、豪雨制御に対する社会受容性が議論される。

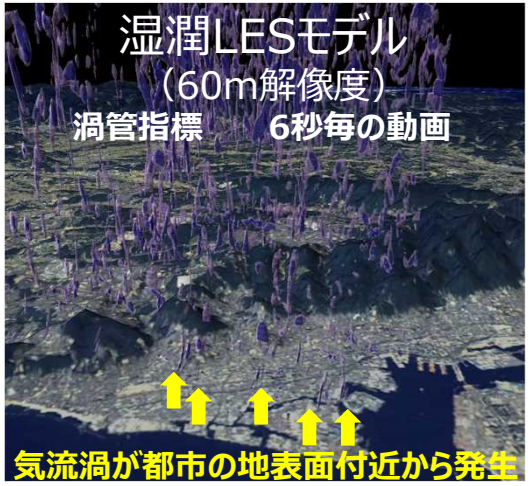
プロジェクト全体構成


豪雨制御がもたらす影響は？（諮問）
豪雨と共に生きるための豪雨制御のあり方を構築
豪雨の根っこへインパクトを与える複数の手法を開発
研究開発項目１
数値計算に基づく工学的手法の開発
1-1　ゲリラ豪雨の改変
• 熱に対する操作手法の開発
• 気流渦に対する操作手法の開発
• 水蒸気に対する操作手法の開発
• 室内実験による工学的手法に対する要求性能の特定
連携
1-2　線状対流系豪雨の改変
• 水蒸気流入に対する洋上カーテン操作の実現可能性の検証
• 気流収束に対する操作手法の開発(風車群)
• 雲粒子形成に対する操作手法の開発(シーディング)
研究開発項目3
豪雨制御の影響評価と社会受容性の研究
• 流出・水資源への短期的・長期的影響評価
• 豪雨制御による浸水リスク変化の水文社会経済分析
• 豪雨制御の社会実装に向けた地域協働に関する総合研究
研究開発項目２
制御システムの構築
• 多時点・多段階操作による意思決定支援手法の開発
• 制御効果モニタリング手法の構築
• 偶然性・必然性概念の制御システムへの利用
複数ある手法を効果的に適用するためのシステム構築
自然の懐を考慮した社会ビジョン(答申)

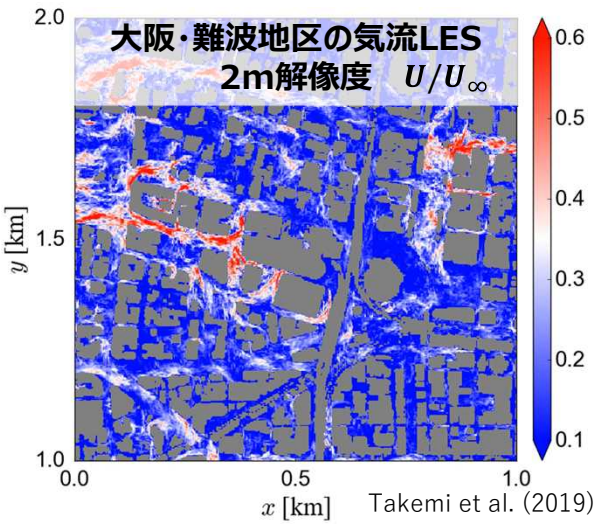
研究開発項目１-１ 【数値計算に基づく工学的手法の開発（ゲリラ豪雨）】

気流渦、熱、水蒸気を操作することによって、豪雨発生・発達のきっかけを抑制する手法を開発

気象シミュレーション

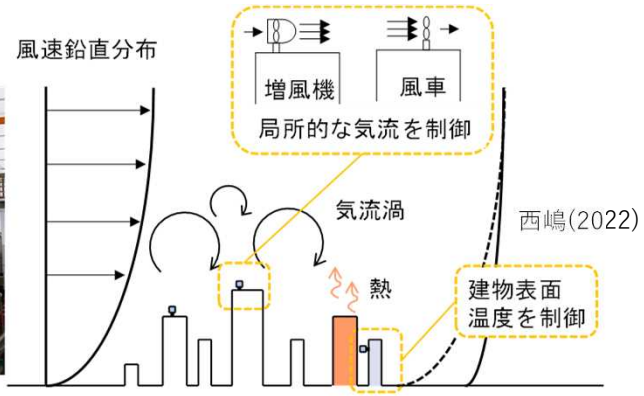


山口ら(2018)

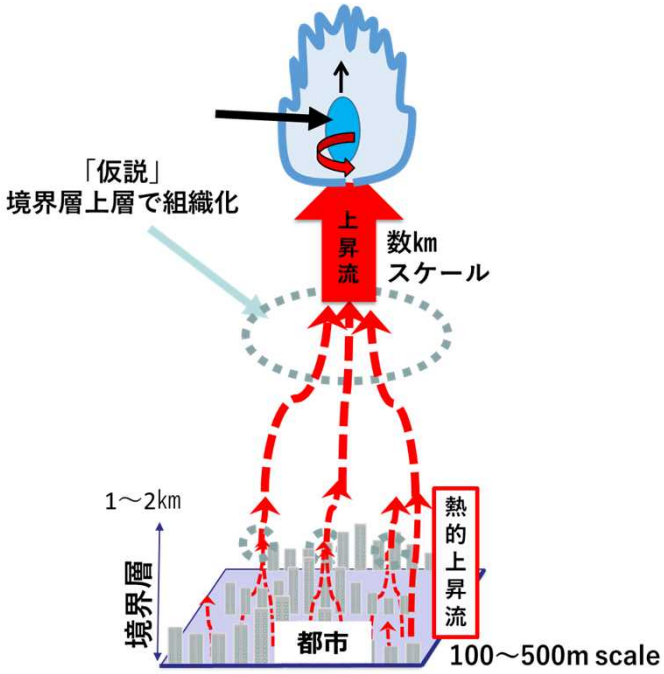


Takemi et al. (2019)

縮尺模型実験



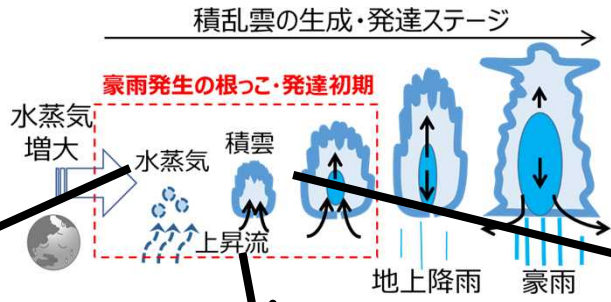
幾何学的縮尺比1：数百で模擬



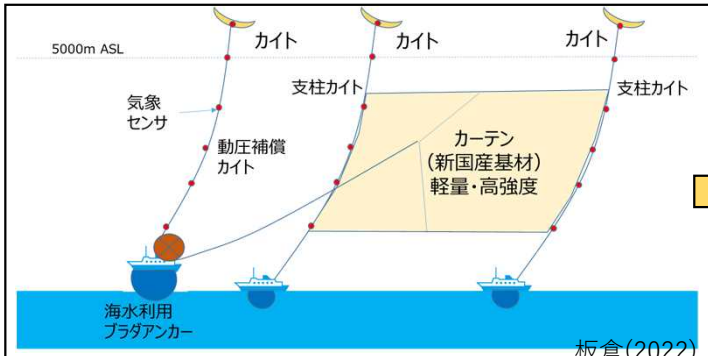
- **渦管の組織化、熱的上昇流の立ち上がり、水蒸気の鉛直輸送をコントールすることによって、豪雨をどの程度抑制できるのかを調べる。**
- 気流渦と熱貯留を解消する工学的手法を開発。（例えば、増風機等）

研究開発項目１-２ 【数値計算に基づく工学的手法の開発（線状対流系豪雨）】

水蒸気流入、収束、雲形成過程を操作することによって、豪雨発生・発達のきっかけを抑制する手法を開発



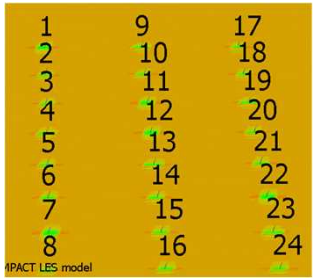
洋上カーテン



板倉(2022)

マザーシップを活用し、水蒸気の流入を抑制

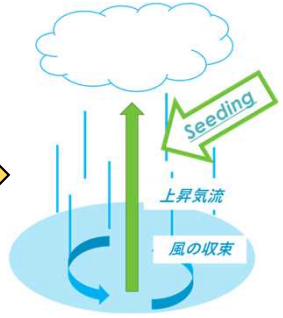
風車群

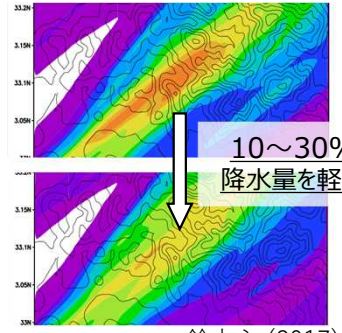


Uchida et al. (2021)

風車抵抗により、強風域の軽減と収束を抑制

シーディング





鈴木ら (2017)

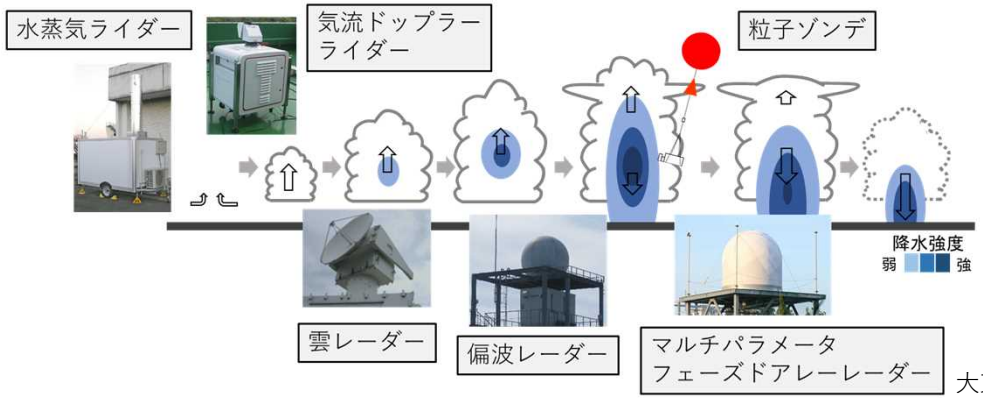
ドライアイス散布により、雲形成を制御

- **洋上カーテン、風車群、シーディングを模擬した数値気象モデルを開発し、豪雨をどの程度抑制できるのかを調べる。**
- **工学的手法のスペック（展開速度、位置制御機能、強度等）を考慮し、フィージビリティの高いものを優先的に開発していく。**

研究開発項目２ 【制御システムの構築】

豪雨、モニタリング、制御システムを一体的に体感できる「仮想空間シミュレーター」を構築

モニタリング実時間制御効果

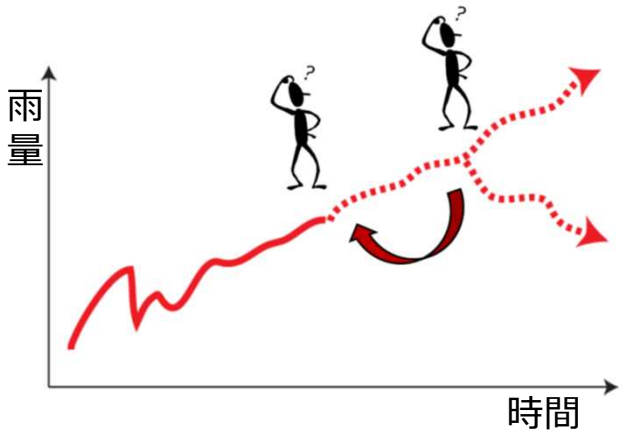


大東(2022)

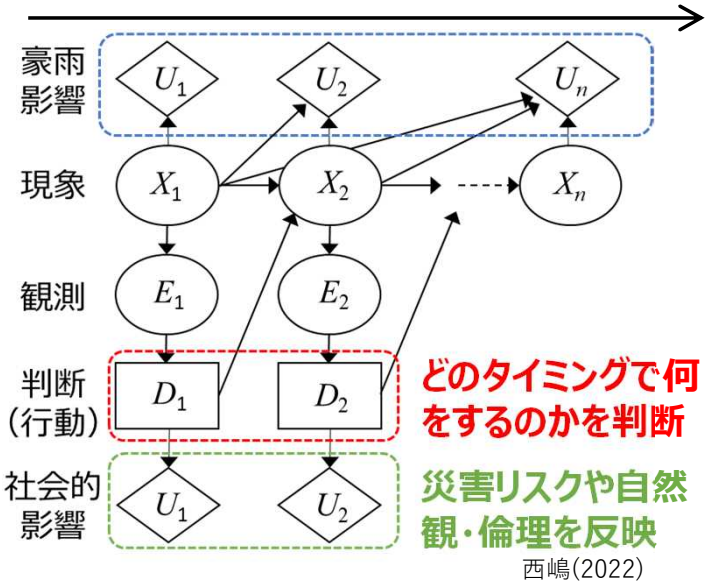
操作により変化する物理量（特に発生のきっかけのステージ）を的確に実時間モニタリングできる手法を構築する

- 機器の最適な配置とオペレーションの工夫
- 数値モデルの検証にも活用

実時間制御手法



将来時点の判断の可能性を考慮して、今の判断を！
（今やるべき？待つべき？）



西嶋(2022)

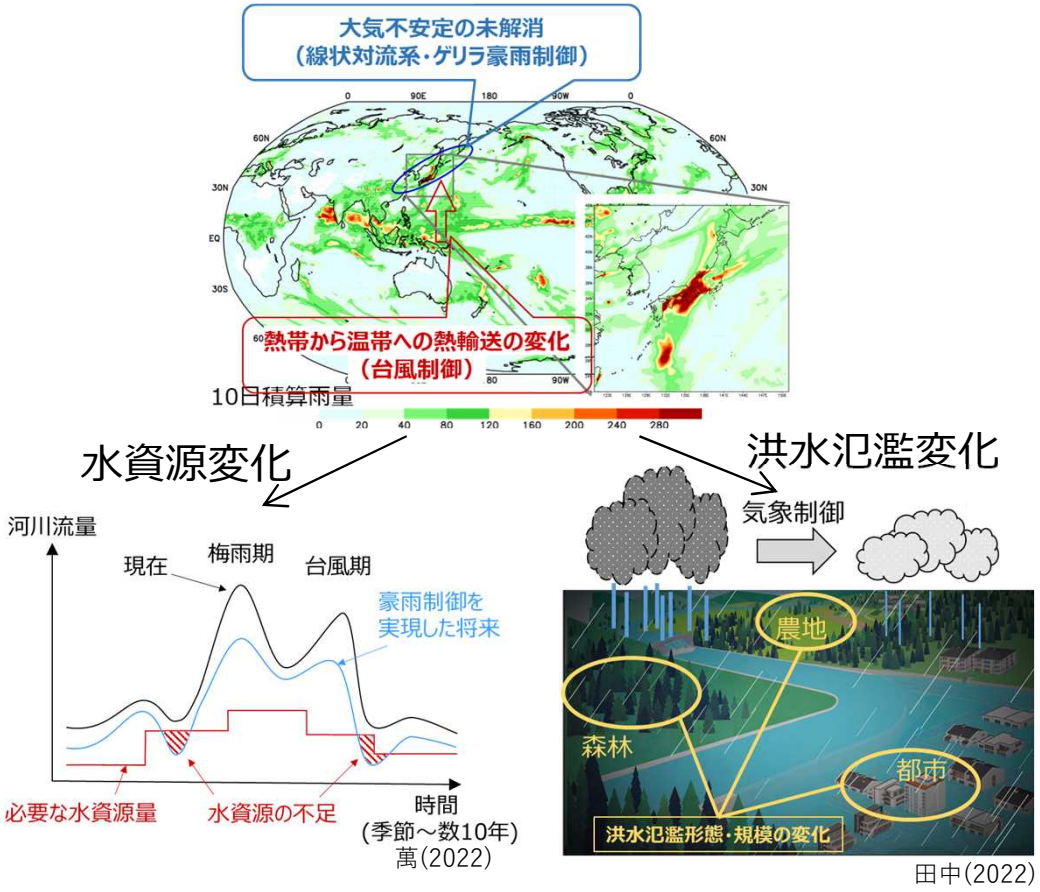
意思決定グラフによる実時間制御問題の表現

多時点・多段階操作を考慮した実時間制御システムを構築する

- 複数の操作手法を最も効果的に適用するための意思決定支援
- 想定外のブレが起きたときにも制御することができてこそ、本当の意味の“制御”
- 豪雨制御実施の判断基準のための偶然性評価

研究開発項目３ 【豪雨制御の影響評価と社会受容性の研究】

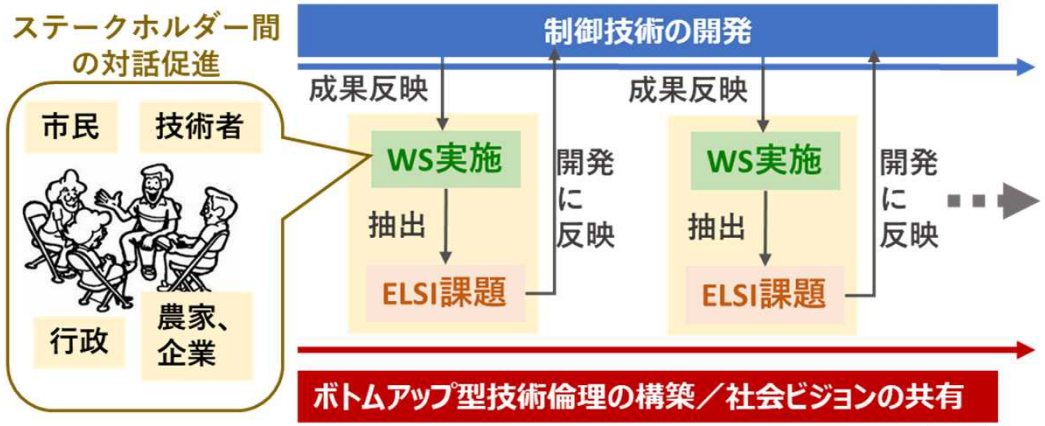
自然環境への影響評価



萬(2022)　田中(2022)

- 豪雨制御の短期的・長期的な影響評価
- 制御の程度を変えたマルチシナリオを出力

社会受容性の構築



羽鳥(2022)

豪雨制御という新しい技術により、人々が気象資源を主体的に活用・保全しながら、豪雨と共に暮らしていくための地域協働のしくみを総称して「気象コモンズ」と捉え（羽鳥,2022）、ELSIの視点を考慮しながら、気象コモンズの形成に向けた地域協働の実践的方法論を構築する。

⇒ 豪雨制御のあり方を構築

ゲリラ豪雨・線状対流系豪雨と共に生きる気象制御 toward 2050