



豪雨制御

ゲリラ豪雨・線状対流系豪雨と
共に生きる気象制御

ゲリラ豪雨・線状対流系豪雨と 共に生きる気象制御

豪雨を鎮める

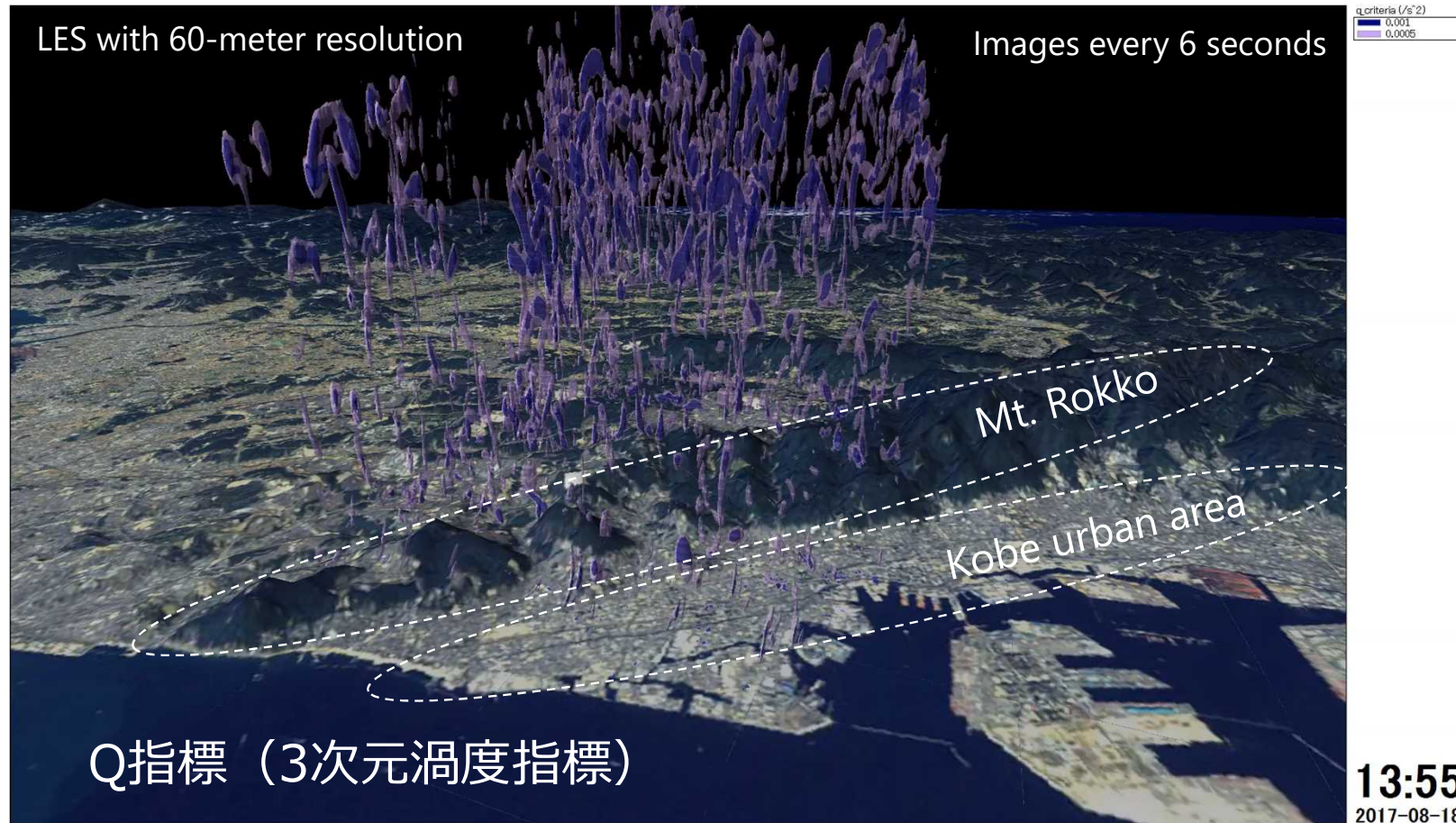
プロジェクトマネージャー
京都大学防災研究所
山口弘誠



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

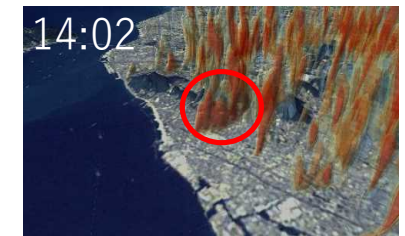
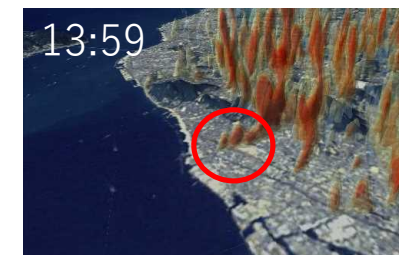
動機： 積雲のLESシミュレーション

山口ら(2017)



$$Q = W_{ij}W_{ij} - S_{ij}S_{ij} \\ = \frac{\nabla^2 p}{2\rho_0}$$

熱的上昇流の併合

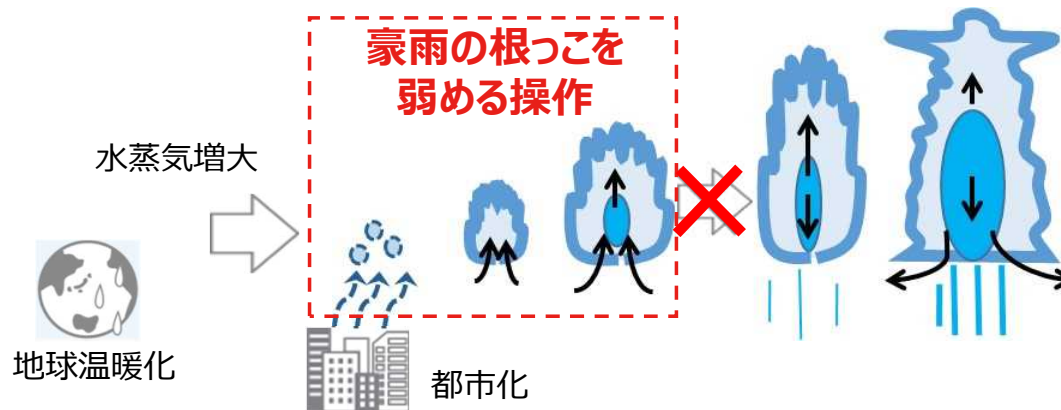


いくつかの渦管は地表面から生成
⇒ その渦管を操作(削除)すれば、豪雨を抑制できるのではないか？

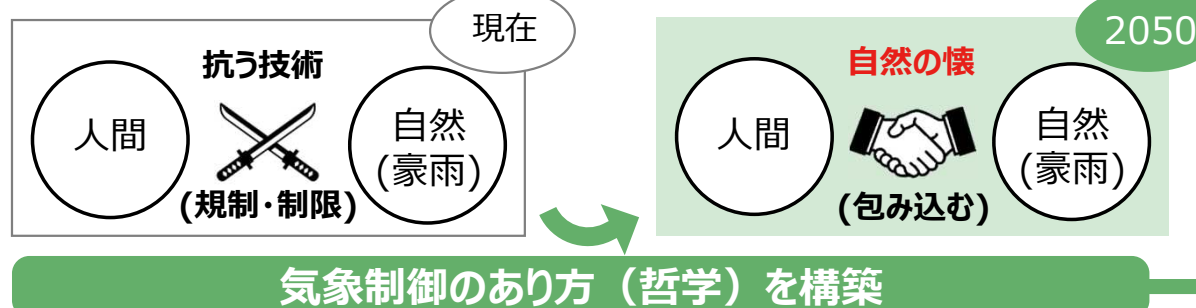
本研究の狙い

制御技術研究

豪雨の発生数や強度を抑制

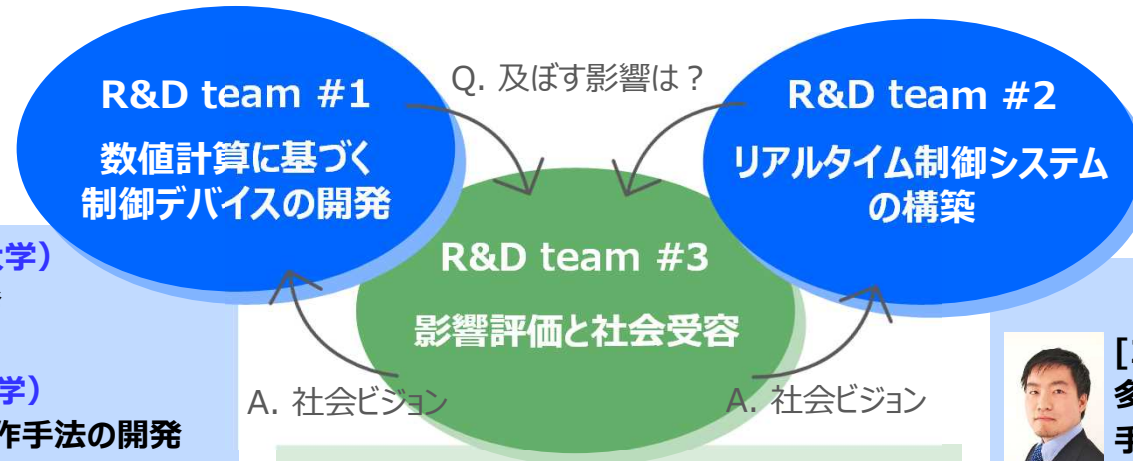


ELSI/RRI 研究



豪雨と共に生きる
気象制御

研究開発内容と研究課題代表者



[1-1] 竹見哲也 (京都大学)
熱に対する操作手法の開発



[1-2] 山口弘誠 (京都大学)
気流渦・水蒸気に対する操作手法の開発



[1-3] 西嶋一欽 (京都大学)
室内実験による工学的手法に対する要求性能の特定



[1-4] 板倉英二 (Toyota) from 2025
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



[1-5] 内田孝紀 (九州大学)
気流収束に対する操作手法の開発(風車群)



[1-6] 鈴木善晴 (法政大学)
雲粒子形成に対する操作手法の開発(シーディング)



[3-1] 萬和明 (京都大学)
流出・水資源への短期的・長期的影響評価



[3-2] 田中智大 (京都大学)
豪雨制御による浸水リスク変化の水文社会経済分析



[3-3] 羽鳥剛史 (愛媛大学)
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



[2-1] 西嶋一欽 (京都大学)
多時点・多段階操作による意思決定支援手法の開発



[2-2] 大東忠保 (防災科学技術研究所)
制御効果モニタリング手法の構築

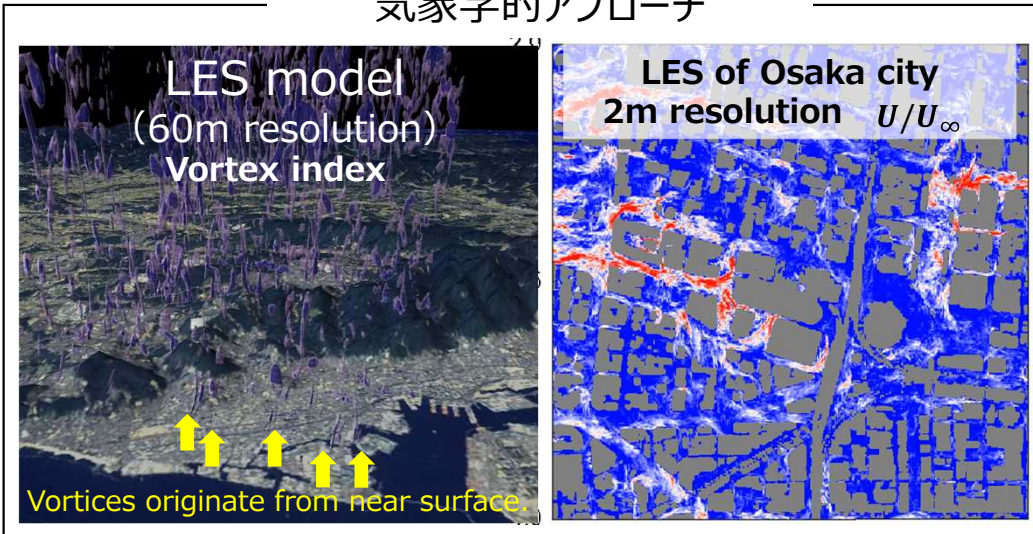


[2-3] 仲ゆかり (京都大学)
偶然性・必然性概念の制御システムへの利用

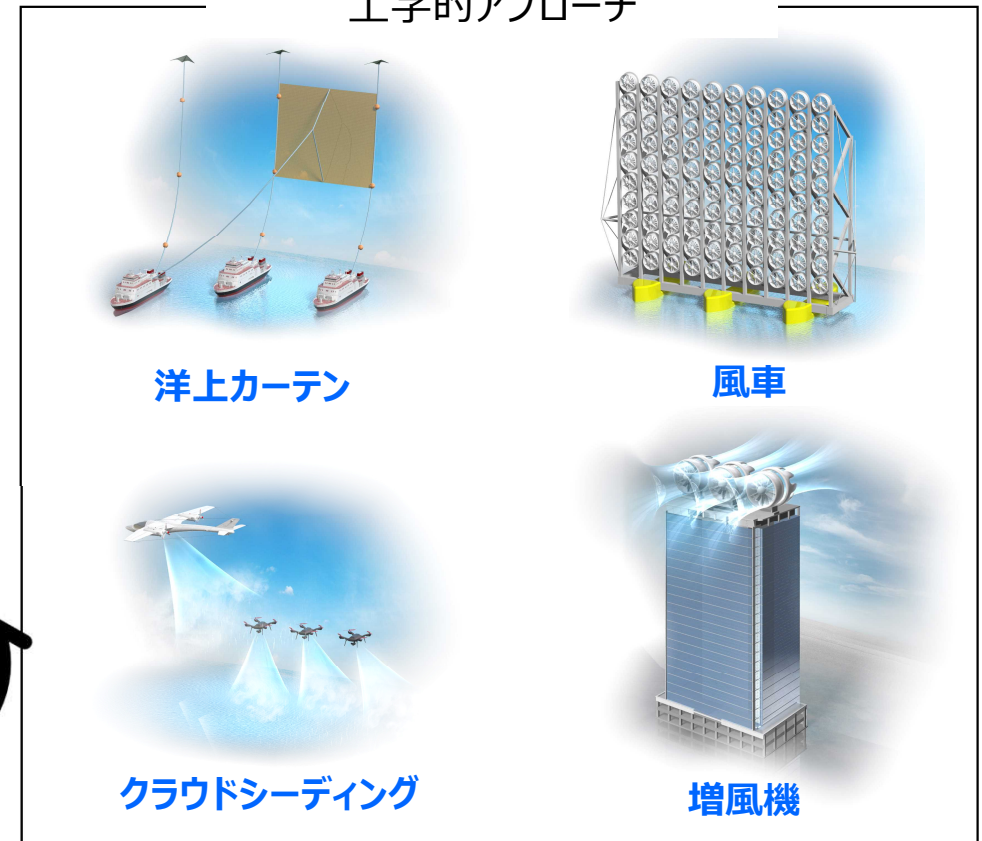
Team #1 数値計算に基づく制御デバイスの開発

豪雨の根っこ（きっかけ）をもたらす現象を操作するための制御デバイスを開発する。
e.g.) vortex tube, heat, water vapor, wind convergence, cloud-formation.

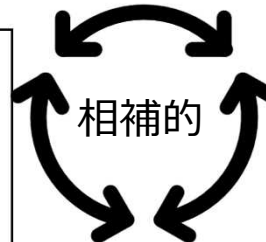
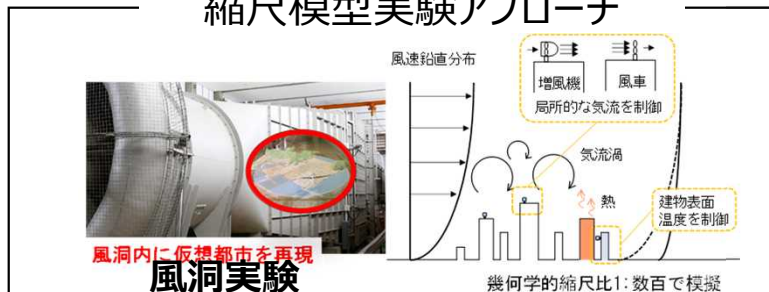
気象学的アプローチ



工学的アプローチ

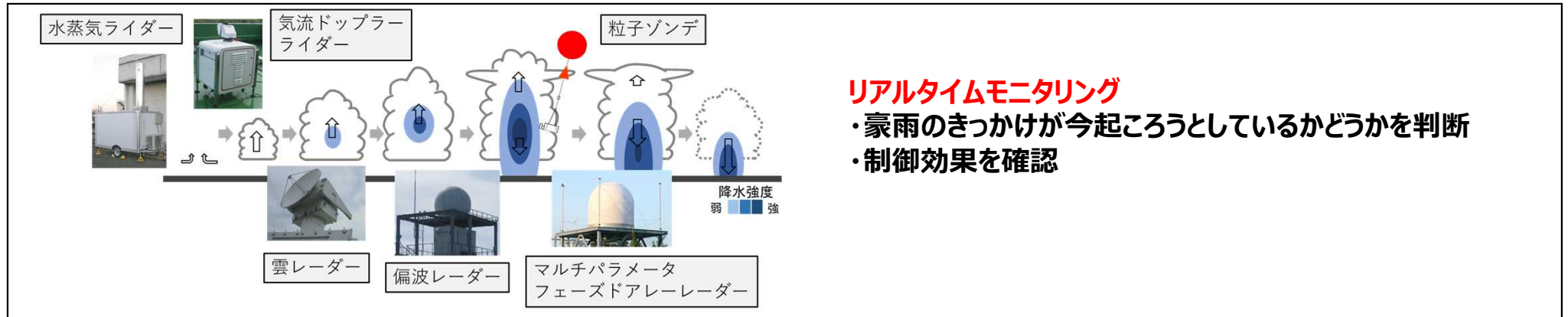


縮尺模型実験アプローチ

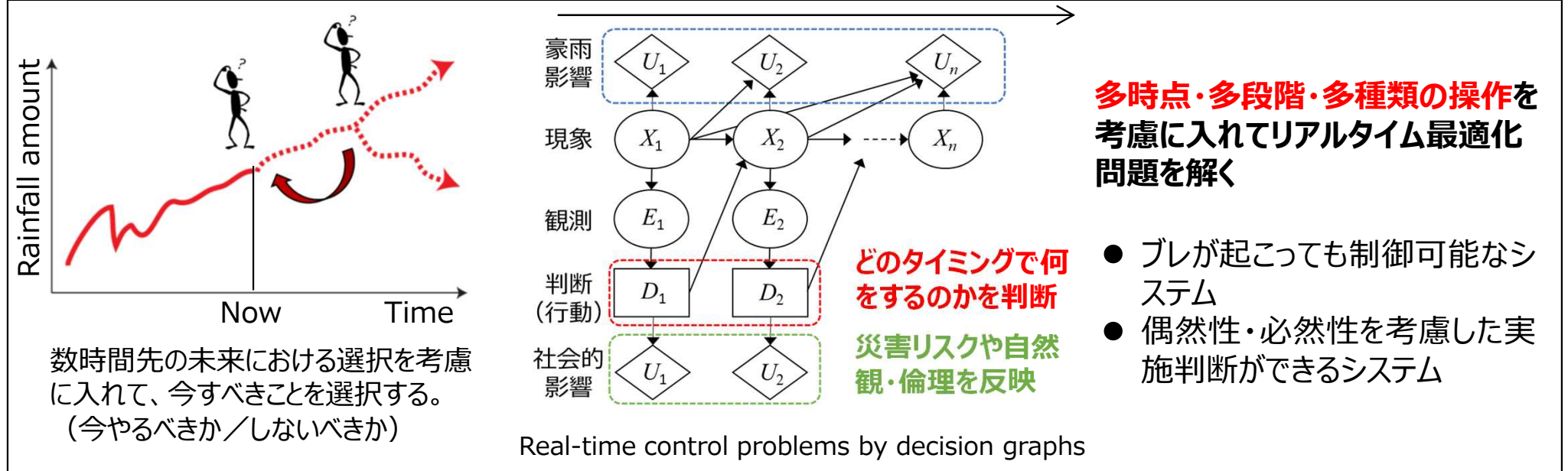


Team #2 リアルタイム制御システムの開発

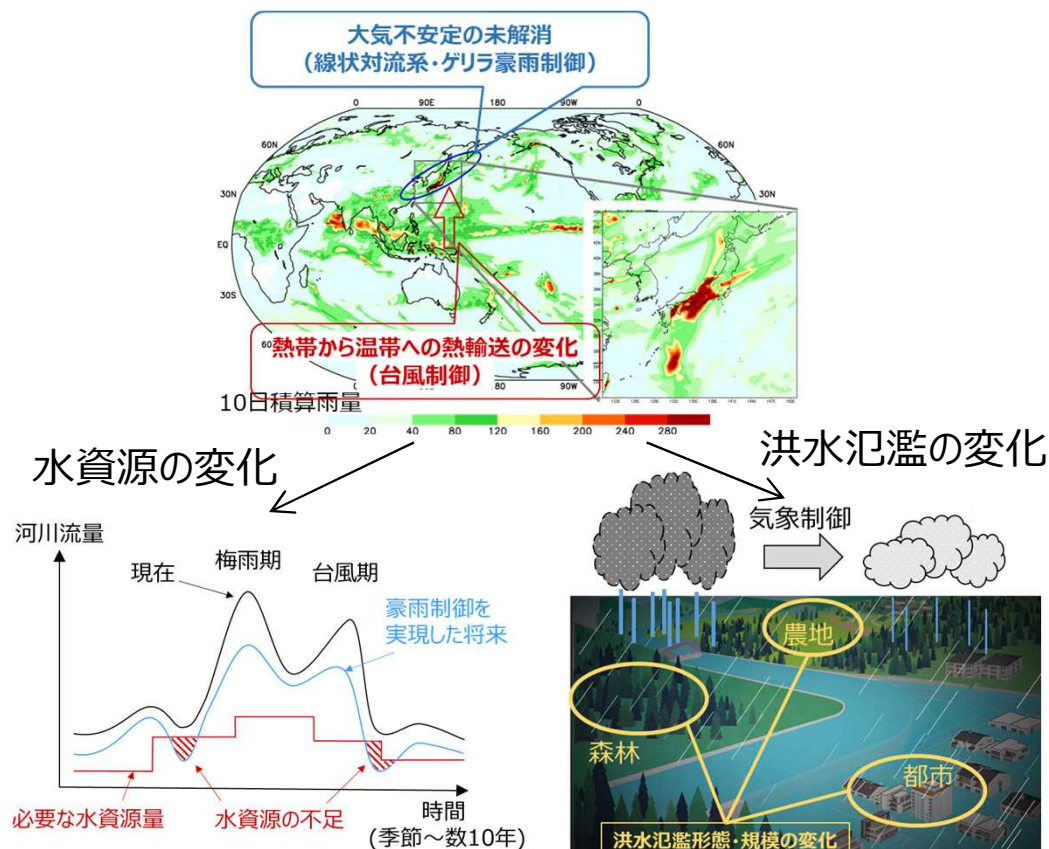
モニタリング



リアルタイム制御システム

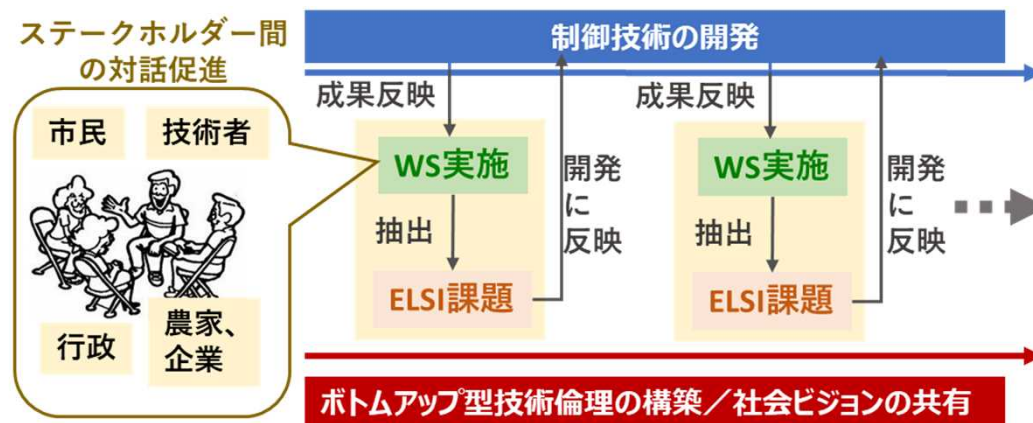


影響評価



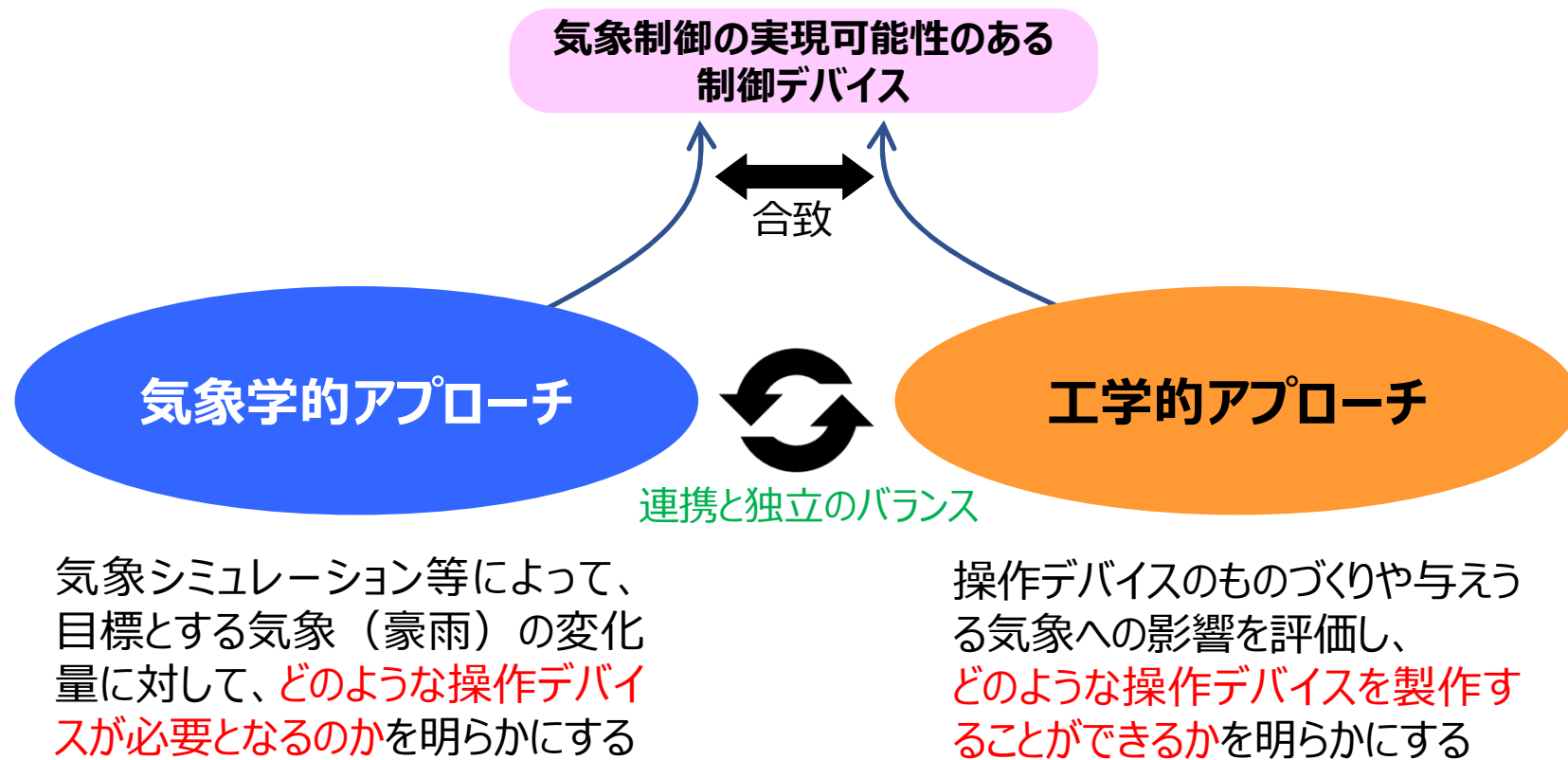
短期・中長期の影響評価。

社会受容性の構築



地域住民が新しい制御技術を通して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協働のしくみを「気象コモンズ(羽鳥, 2022)」として捉える概念モデルを構築する。
気象制御の必要性について考究。

気象学的アプローチと工学的アプローチ



操作デバイス： 増風機、洋上カーテン、風車、シーディング、etc

1. 気象学的アプローチ

- 風車等の風の抵抗体を想定した豪雨制御シミュレーション
- クラウドシーディング(種まき)を想定した豪雨制御シミュレーション

風速操作シミュレーション結果 2008年神戸都賀川のゲリラ豪雨

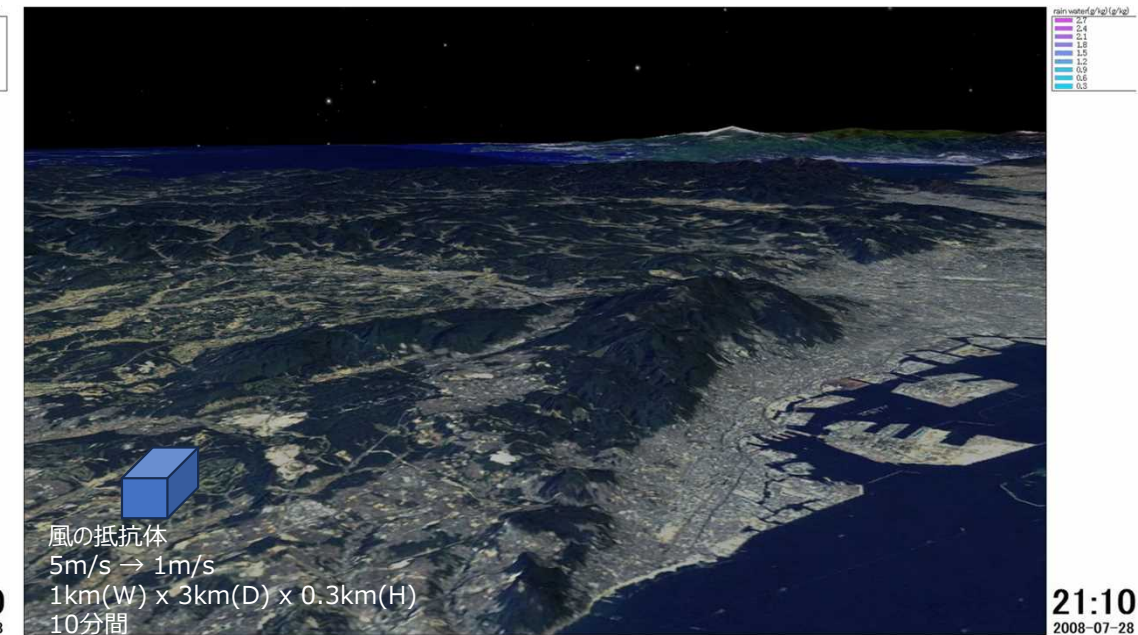
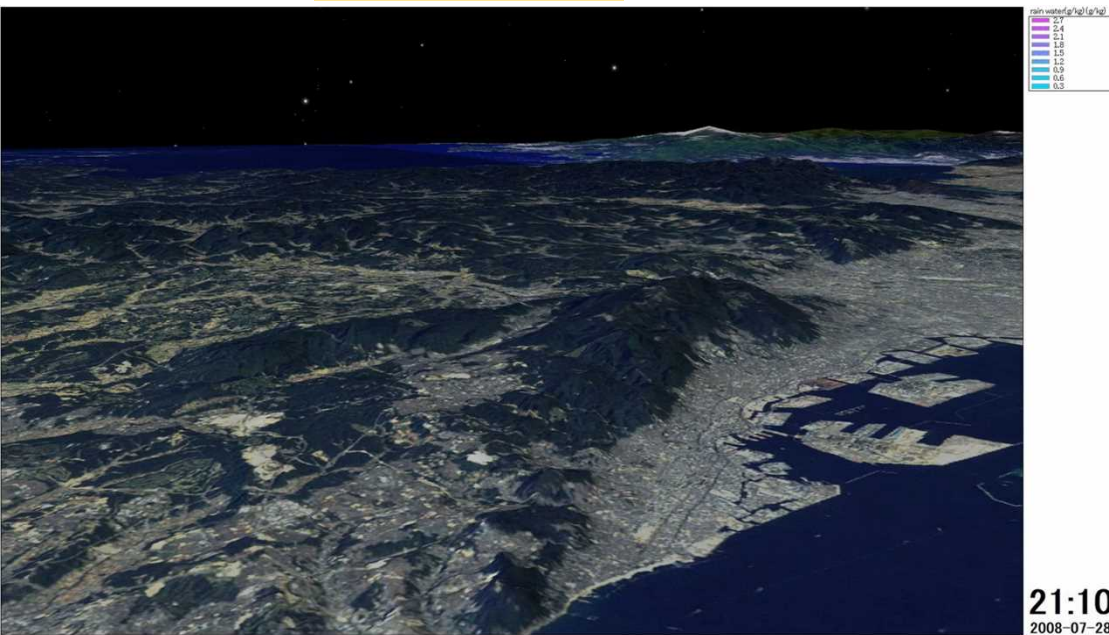
山口ら(2023) 豪雨制御



操作なし

雨水量の3次元分布

操作あり



雨水混合比[gkg⁻¹]

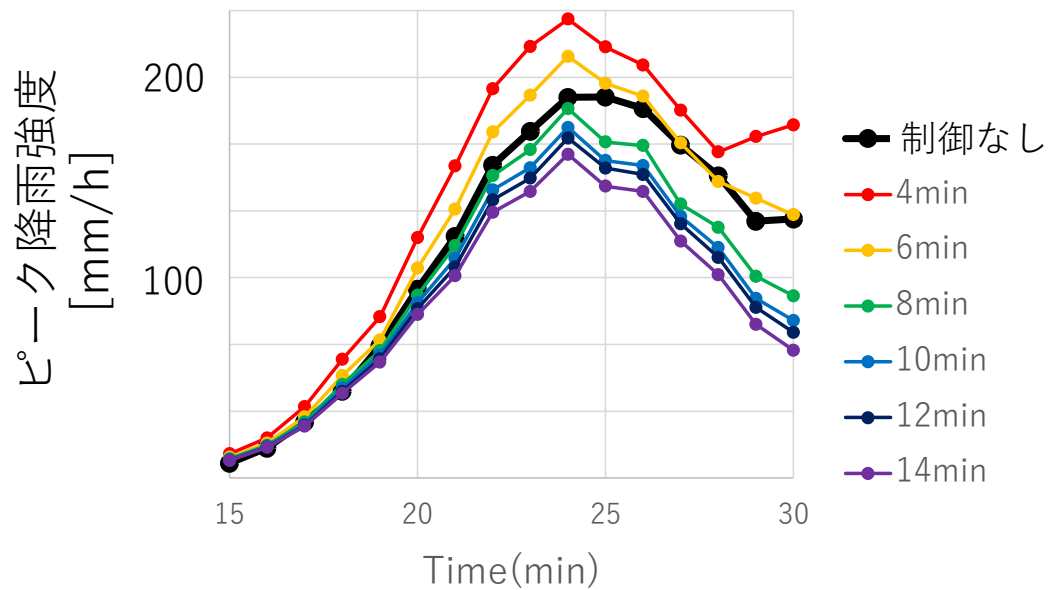
190 mm/h

ピーク降雨強度が
27%抑制

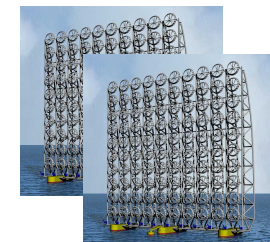
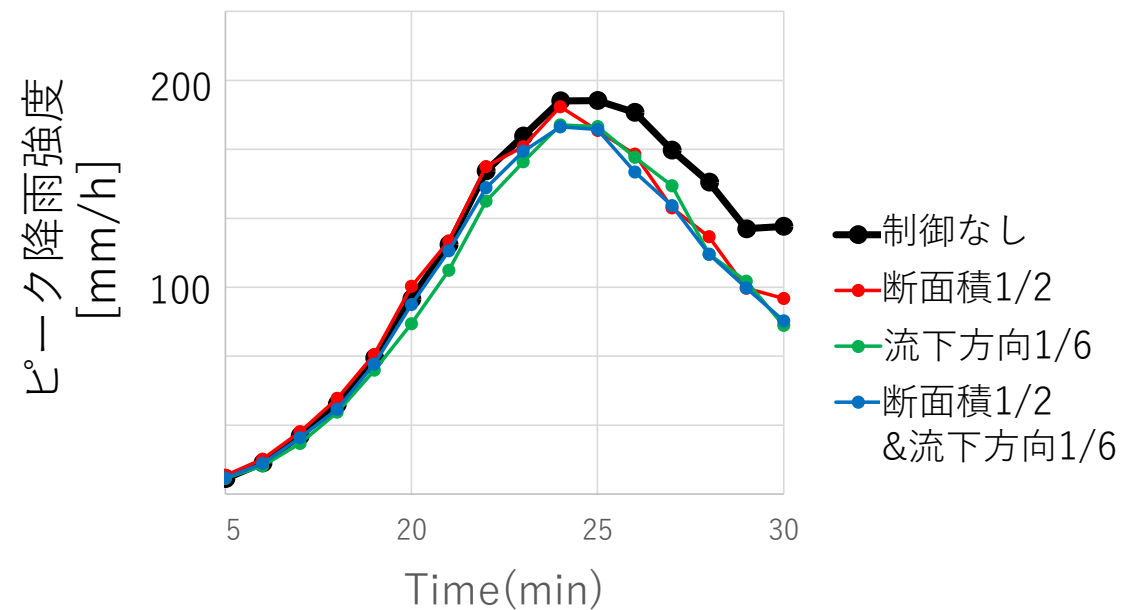
140 mm/h

風速場操作の感度実験

操作時間の感度



操作エリアサイズの感度

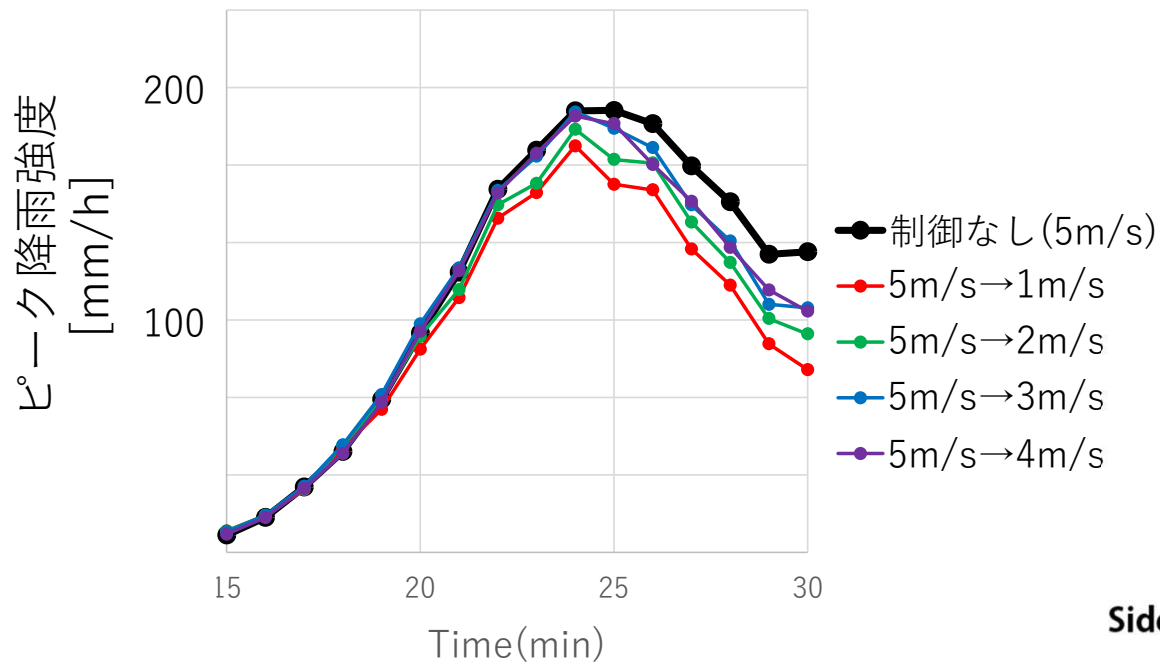


風速場操作の感度実験



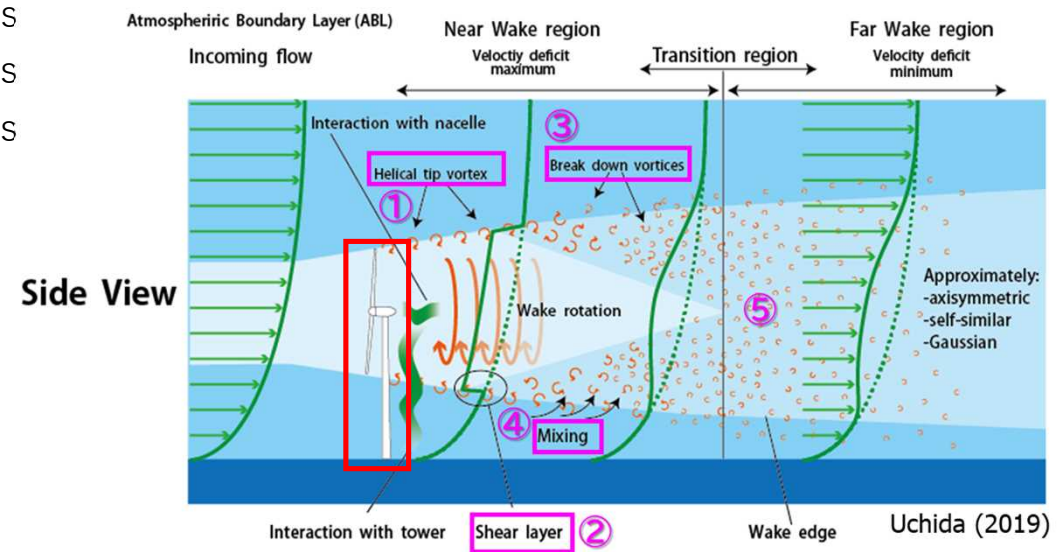
山口ら(in preparation) 豪雨制御

風速の抑制程度 of 感度



操作時間、操作サイズ、風速の抑制程度のいずれも感度が大きい

今後、風速分布について、実際の風車を想定した変化を与えた実験を行う。



クラウドシーディング（種まき）

鈴木ら(in preparation)

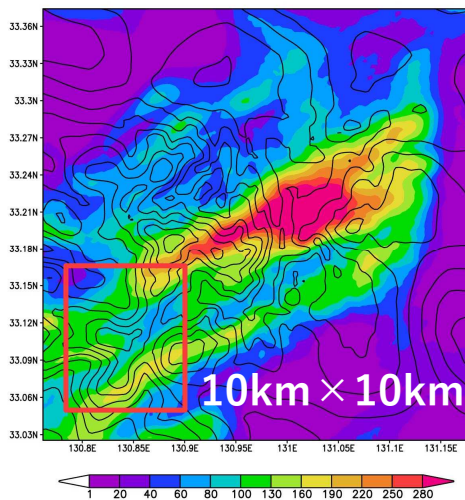


シーディングの表現方法

氷晶核の数濃度に操作倍率をかけることで間接的に表現
→ 先行研究を参考に 10^5 倍、 10^9 倍の2パターン

シーディング実施領域

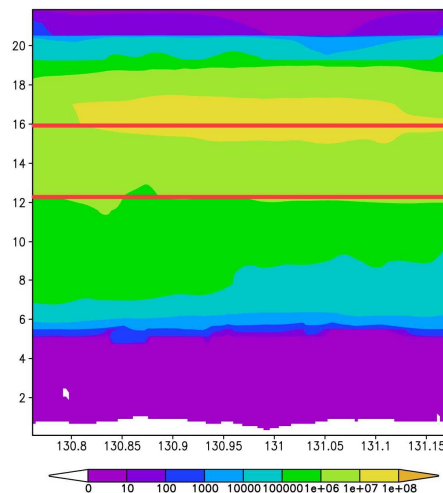
降水量が多い領域の風上側



21時間積算降水量 (mm)

シーディング実施高度

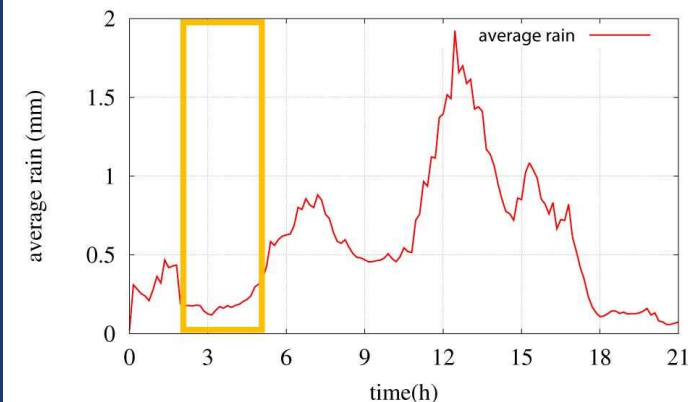
氷晶数濃度が大きい高度



氷晶の数濃度 (num/kg)

シーディング実施時間

降水量が増加する直前の180分間



領域平均時間降水量

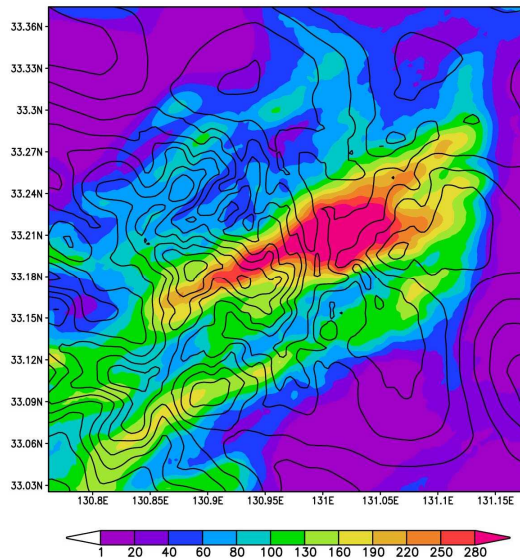
クラウドシーディング（種まき）の結果

鈴木ら(in preparation)



21時間積算降水量(mm)の比較

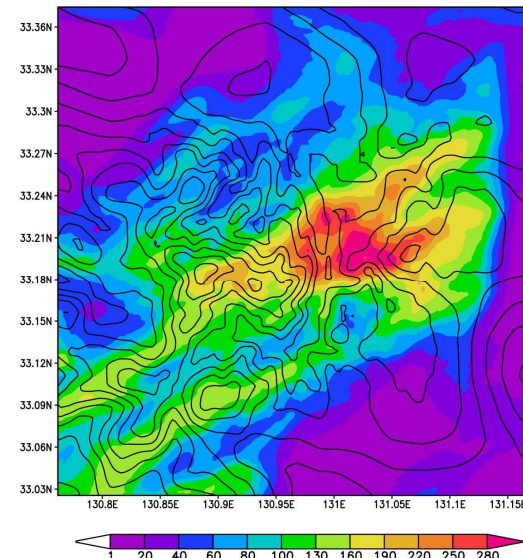
操作無し



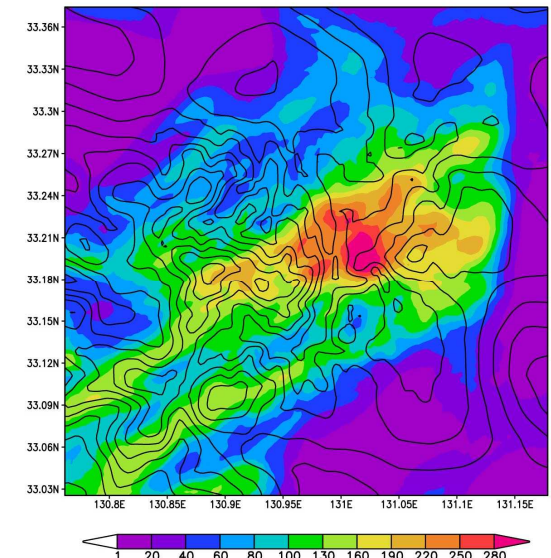
シーディング
操作



氷晶核数 10^5 倍



氷晶核数 10^9 倍



時間積算降水量が190mm以上の領域（オレンジ色以上）が減少

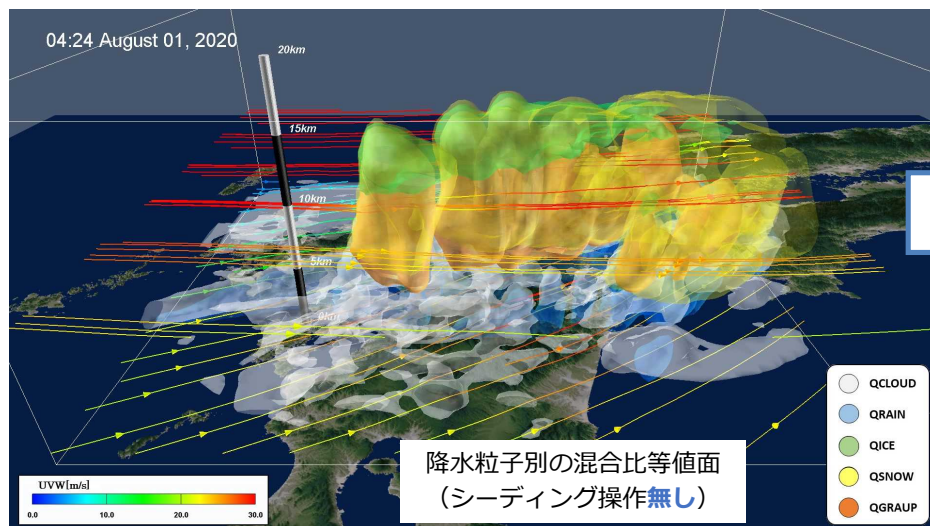
- 場所によって6～18%の抑制効果。
- 領域積分するとほぼ変化無し。

⇒空間的な分散

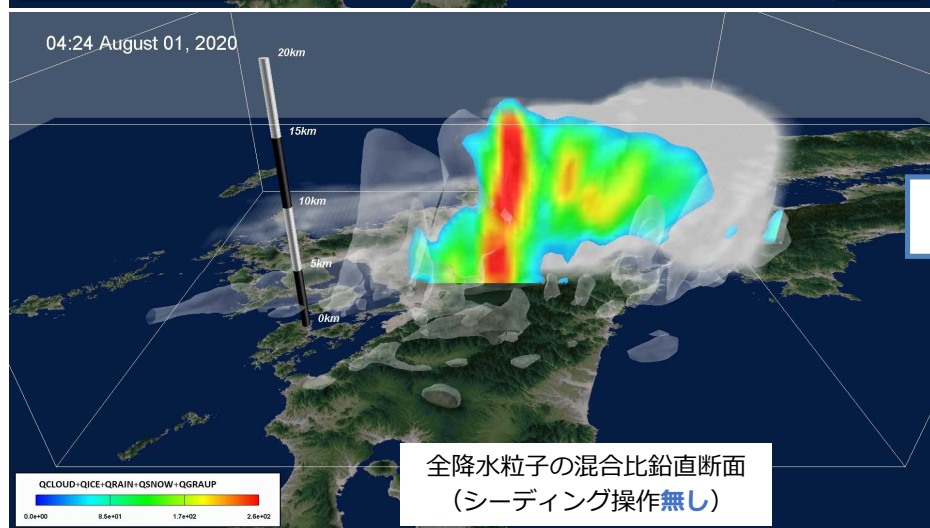
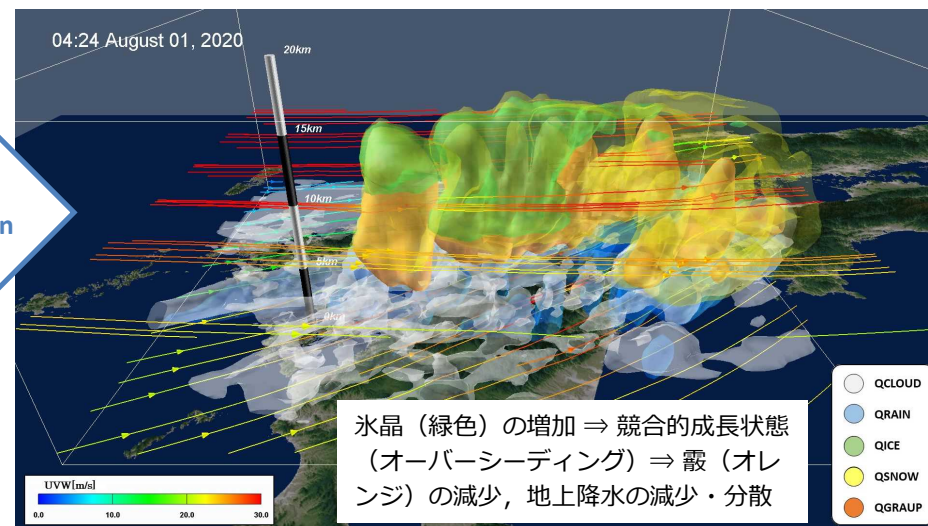
霰粒子が早期に成長して落下し、次の雲を生み出す上昇流とぶつかった。

クラウドシーディングの豪雨抑制メカニズム② ※別の実験結果です（操作領域を拡大）

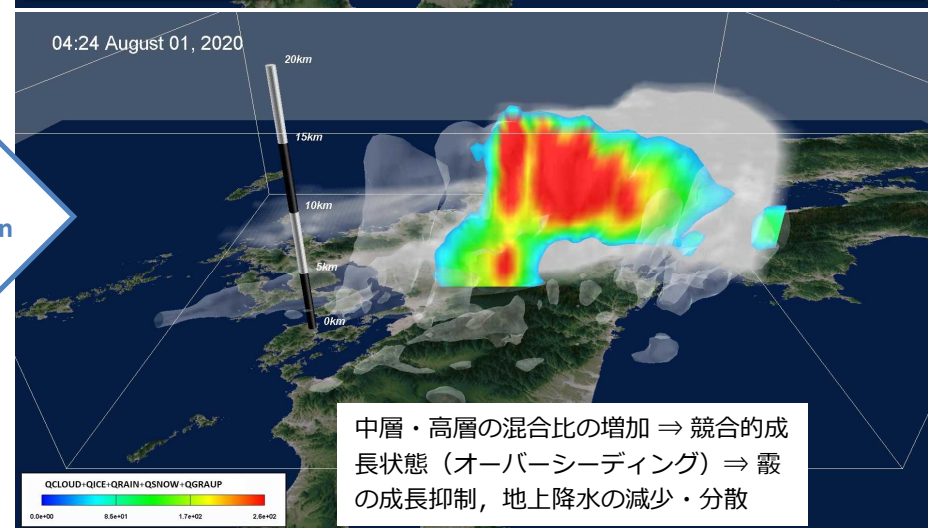
鈴木ら(in preparation)



seeding operation



seeding operation

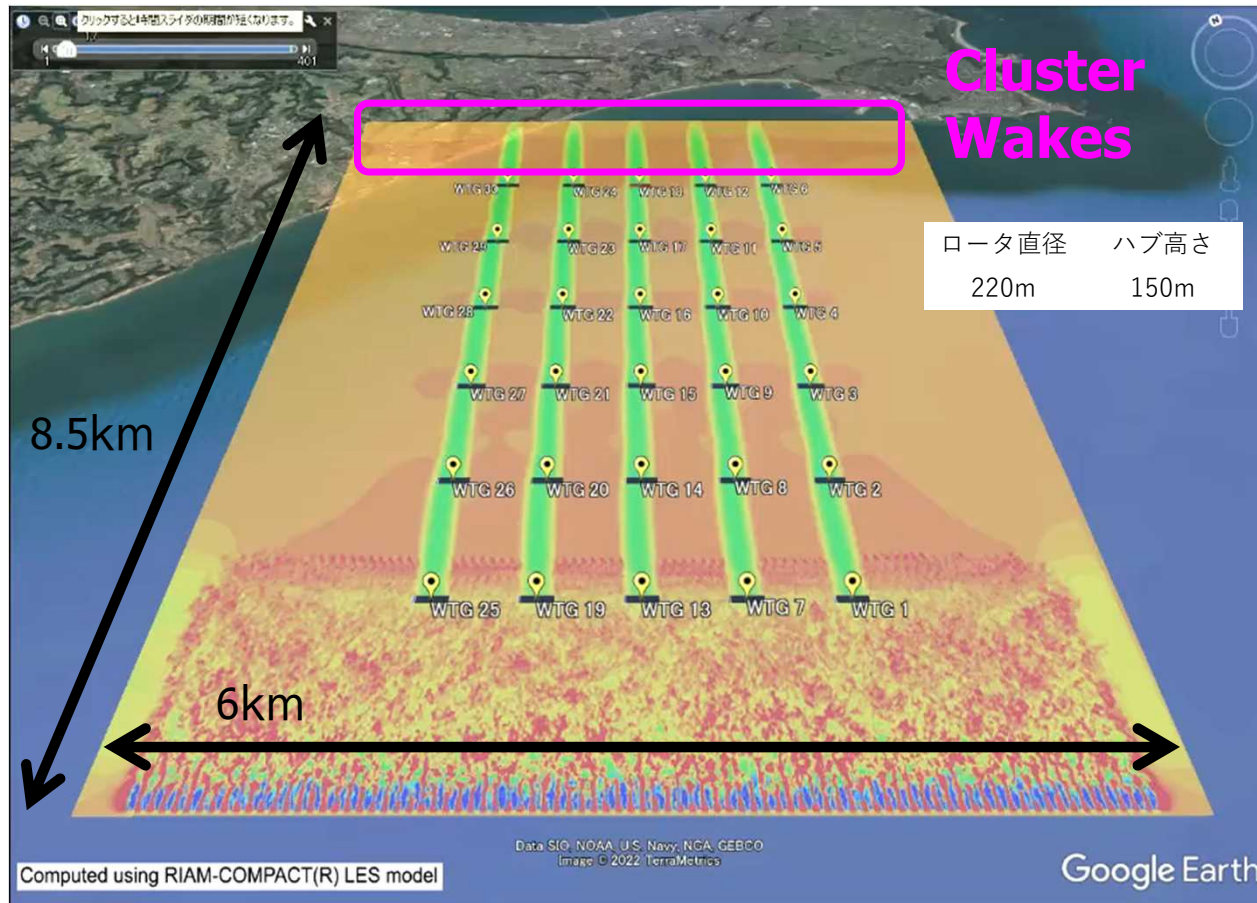


2. 工学的アプローチ

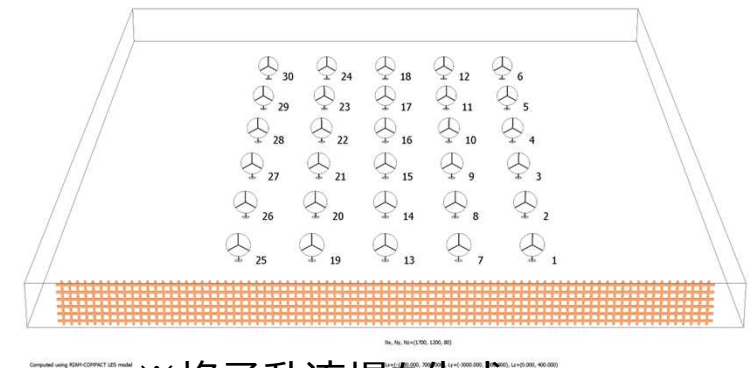
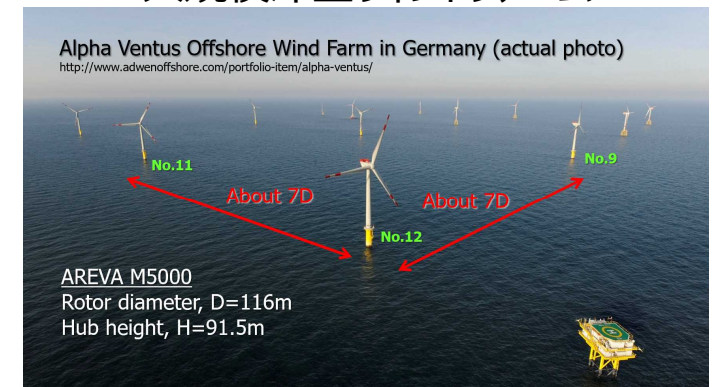
- 風車の後流のシミュレーション
- 都市の乱流による熱輸送シミュレーション
- 制御デバイスの縮尺模型実験（まずは増風機）

風車による風速の減衰域のシミュレーション

内田ら(in preparation) 豪雨制御



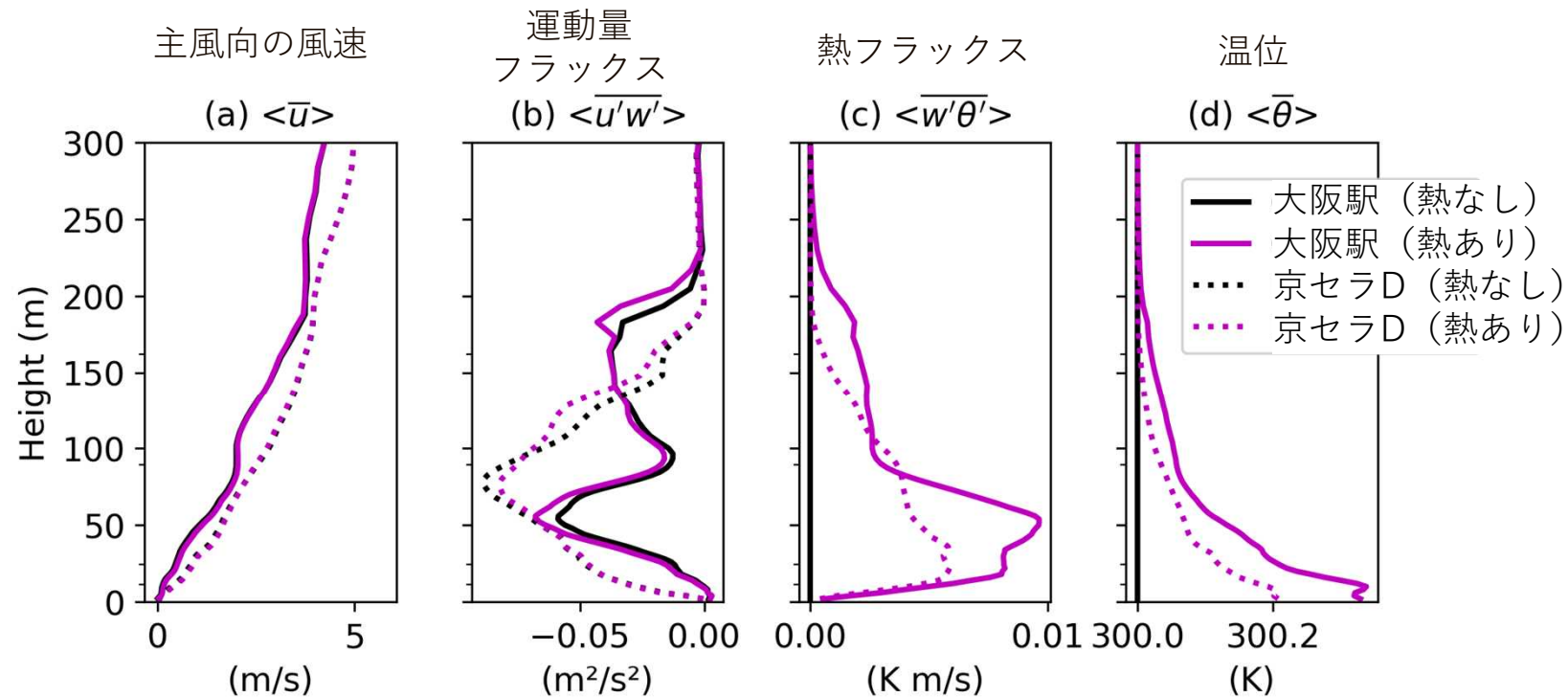
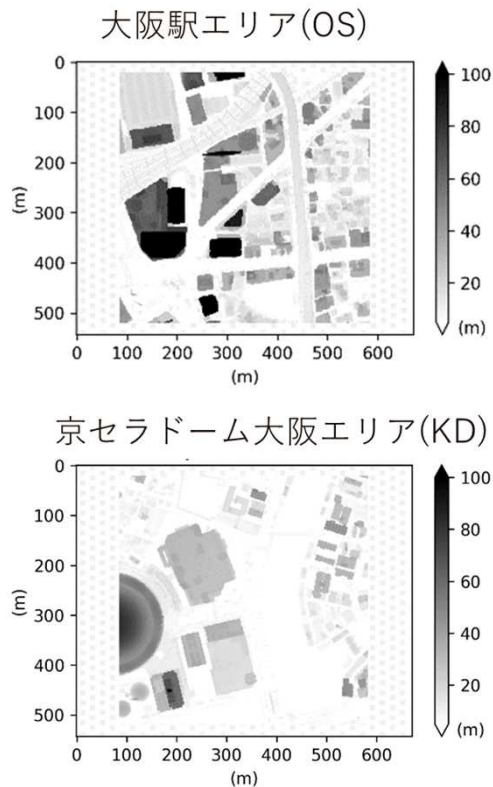
大規模洋上windファーム



※格子乱流場を生成
※水平断面内の風向変化を考慮

都市の乱流による熱輸送シミュレーション

竹見ら(in preparation)



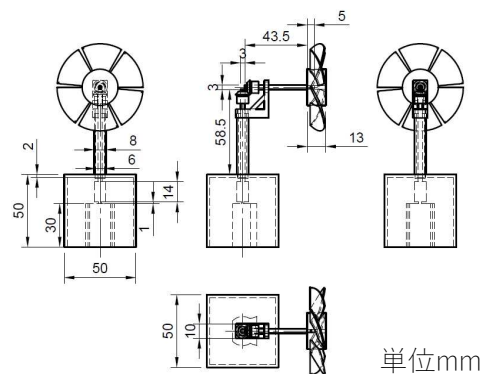
- 大阪駅のほうが熱フラックスが大きい、ピーク高度が高い
- 両実験において不安定成層が形成される。大阪駅で上空まで高温化
⇒ 高い建物の有無や建物密集度が上空の温位上昇に重要

増風機の縮尺模型実験に向けて

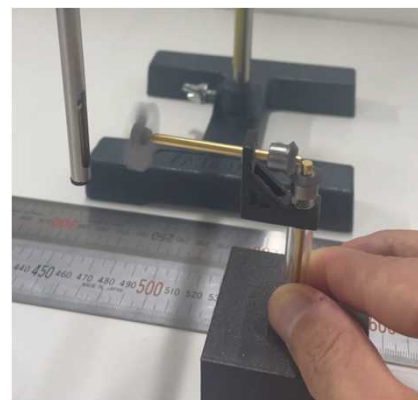
西嶋ら(in preparation)



建物模型後流の流れの可視化

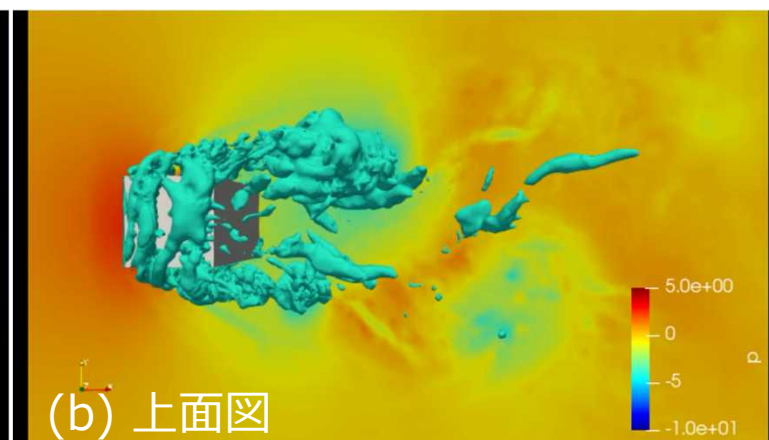
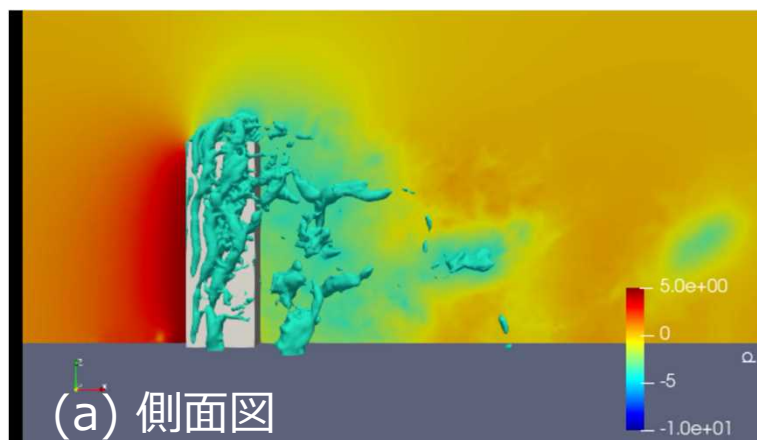


増風機模型の製作



デバイスからの距離 mm	風速 m/s
10	1.2
20	1.2
30	0.8
40	0.6

建物の後流シミュレーション(圧力の可視化)

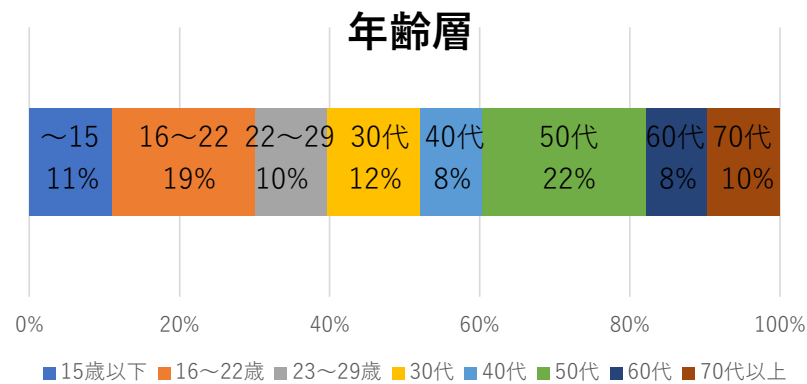




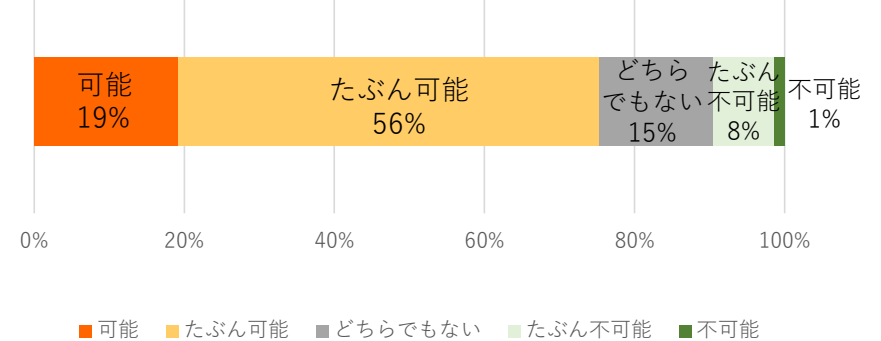
“共に生きる”気象制御

豪雨制御に関するアンケート

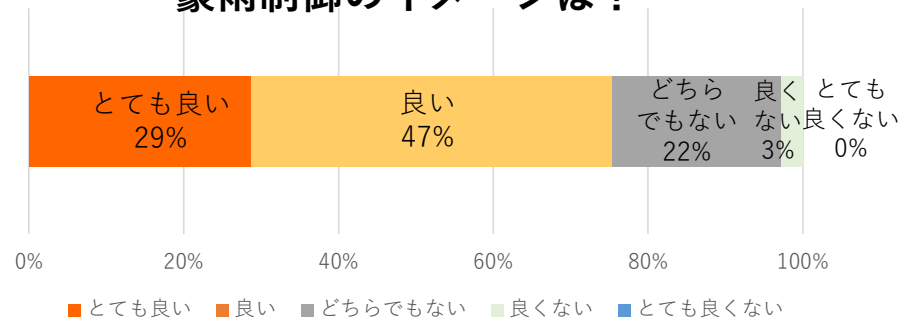
市民対話イベントの来場者を対象。豪雨制御の説明後にアンケートを実施、サンプル数:73



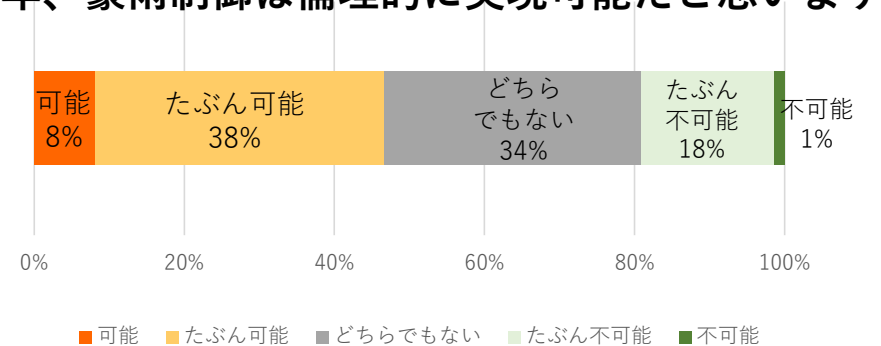
2050年、豪雨制御は技術的に実現可能だと思いますか？



豪雨制御のイメージは？



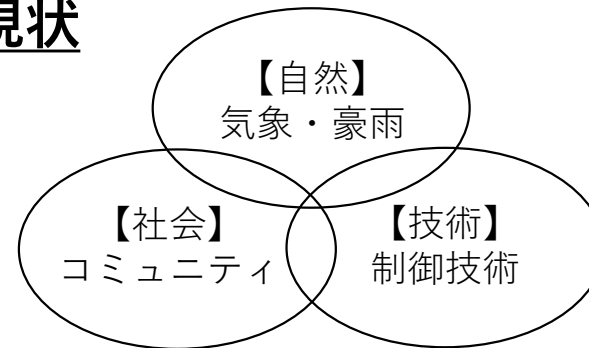
2050年、豪雨制御は倫理的に実現可能だと思いますか？



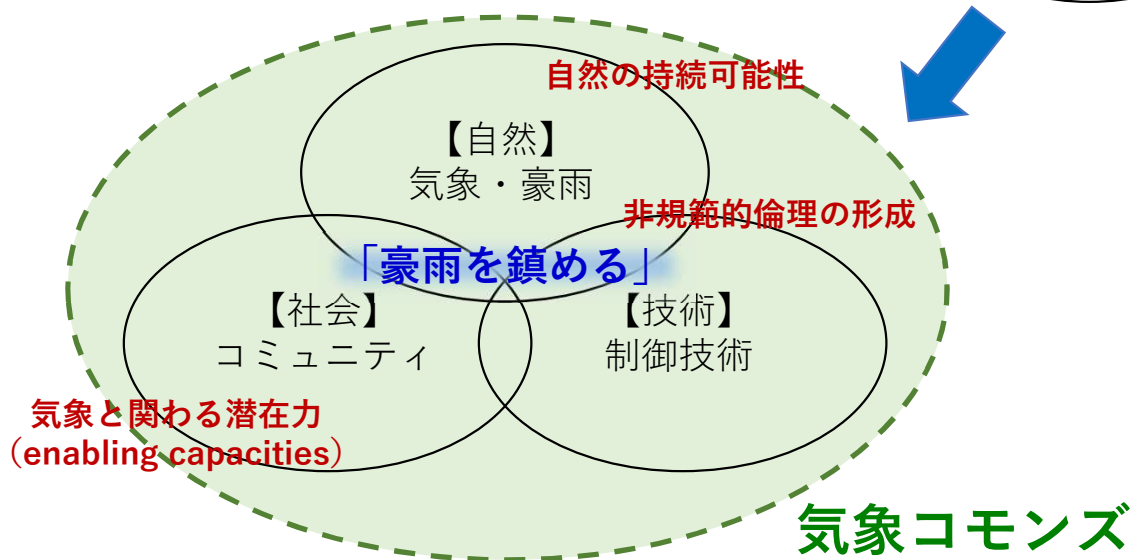
制御技術の必要性・価値

- **基本理念**：災害への人為的影響（近代化、都市開発）の軽減
「人間がやりすぎてきたことは自然の懐の範囲で人間が治療・修復すべき」
- **近年の状況変化**：
 - 地球温暖化による激甚災害の頻発（地域の脆弱性の増大）
 - 我が国の国力の減退、人口減少社会、流域治水、伝統的な治水技術の衰退→これまでの**防災対策（ハード整備・ソフト対策）の限界**
- **制御技術の位置づけ**：
人命を守るための「最後の一手」
（「第3の防災対策」「多様な防災メニューの中の1つのオプション」「究極の奥義」）
→「**豪雨制御したからといって避難しなくてよいとはならない（既存の防災対策が必要
ないとはならない、水害脆弱エリアで都市開発を進めてよいわけではない）**」
- **従来技術（ダム・河川整備など）と比べた気象制御の優位性**：
Adaptiveなシステム（影響が大きすぎるならば止めるという選択肢をもつ）、低コスト

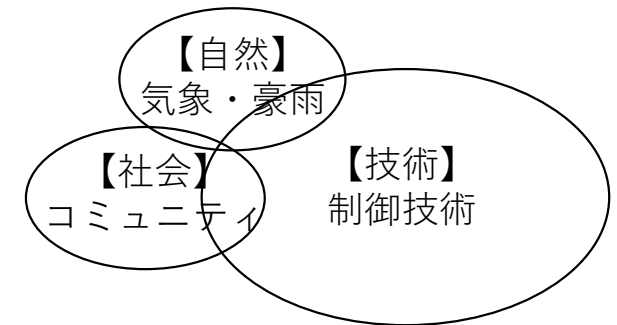
現状



自立共生社会



技術主義社会



大 ← → 小
制御技術のコンヴィヴィアリティ (自立共生性) (Illich, 1973)



Heavy Rainfall Control

Heavy Rainfall Control for Living Together with
Isolated-Convective Rainstorm and Line-Shaped Rainbands

toward 2050



futocoron2050
#豪雨制御
#ふところん



ふところん

撮影：増田有俊氏