

研究開発項目

1. 数値計算に基づく工学的手法の開発

2023年度までの進捗状況

1. 概要

豪雨を発生から表現可能な数値気象モデルを開発することによって、数値気象モデル・現地観測・室内実験を併用した気象学的アプローチにより豪雨を抑制するための介入手法について検討します。この検討に基づいて、ゲリラ豪雨と線状対流系豪雨のスケールを意識しながら、フィジブルな複数の工学的手法を開発します。また、ゲリラ豪雨と線状対流系豪雨は発達するまでの時間が短いため豪雨発生の根っこ・発達初期に着目し、その際における発達要因となる現象を操作することで最終的には豪雨の強さや頻度を抑制します。

豪雨発生の根っこ・発達初期には水蒸気が増大し、上昇流を起し、積乱雲として発達します。その過程で段階的に操作できる物理量として、初めは洋上カーテンを用いて水蒸気を減らし、次に増風機によって熱や気流渦を拡散させます。さらに風車群により風の収束を弱めて、最後にシーディング操作で雲・降水粒子の形成過程を変化させる多段階操作手法を構築していきます。



図1 将来の気象制御イメージ図

2. これまでの主な成果

① 風車を用いたゲリラ豪雨の抑制効果

ゲリラ豪雨に吹き込む風を弱めるために風車を抵抗体として用いることで、豪雨の抑制効果を検討しました。

まず、風車の風下側で気流が弱まる現象(ウエイク現象)の理解を深めるための高解像度シミュレーションを行いました。風向の変化や気流の乱れ等がウエイク形成に与える影響について感度実験を行った上で、仮想的な大規模洋上ウィンドファームの計算を実施し、クラスターウエイク現象の視覚化を行いました。

さらに、仮想的に地上付近の風を弱める人工的な操作を行うことで豪雨がどのように変化するかをシミュレーションしました。2008年度神戸市都賀川のゲリラ豪雨事例を対象とした実験の結果、雨の強さが27%ほど弱まることがわかりました。その理由として、気流渦がもたらしていた上昇流が弱まったこと、また、上昇流の中心部に吹き込んでいた豊富な水蒸気を持つ風の収束が弱まったことが明らかとなりました。

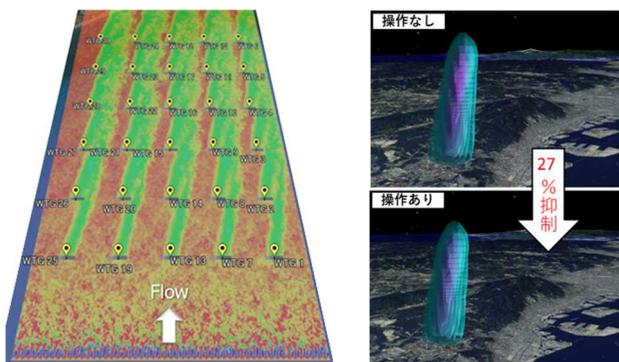


図2 風車群周辺の風の抑制シミュレーション(左)と風速場操作によるゲリラ豪雨抑制シミュレーション(右)

② ドライアイス散布による線状対流系豪雨の抑制効果

雲にドライイースを散布すること(クラウドシーディング)によって雲形成を制御することに着目しました。仮想的にドライアイス散布による氷晶核形成を増加させる操作を行うことで、令和2年7月豪雨を対象に実験した結果、24時間積算最大降水量を15%抑制することができました。

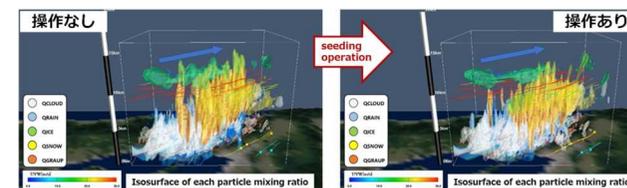


図3 ドライアイス散布による豪雨抑制シミュレーション

③ 洋上カーテンを用いた線状対流系豪雨の抑制効果

海からの豊富な水蒸気流入を抑制することで豪雨の抑制効果を検討しました。2017年九州北部豪雨の線状対流系豪雨を対象に1kmサイズの洋上カーテンを想定した数値シミュレーションを行い、3時間雨量が34%抑制されることを示しました。

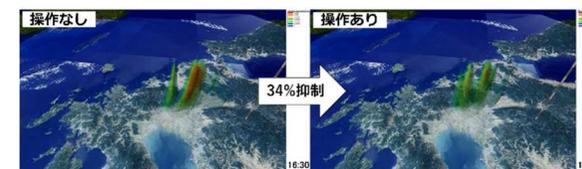


図4 洋上カーテンによる豪雨抑制シミュレーション

3. 今後の展開

ゲリラ豪雨と線状対流系豪雨の制御効果を評価するための数値気象モデルのさらなる継続開発を行うだけでなく、感度実験等を行い、いかに小規模な介入で豪雨の発達を大きく抑制できるのかを示すことを目標にします。

研究開発項目

2. 制御システムの構築

2023年度までの進捗状況

1. 概要

複数の工学的手法を多時点・多段階に実施することによって、効果的に豪雨を抑制するための観測・予測・意思決定が三位一体となった制御システムを構築します。また、多段階的にリアルタイムで介入を行うことで、制御中に仮に想定外のブレが発生したときにでも、軌道修正が可能な制御システムを構築します。さらに、一つの介入手法を大規模に行うというよりも、小規模な複数種類の介入手法を多段階的に実施して、制御効果を高めることを目標としています。具体的には、(I) 豪雨現象に関わる時間発展モデルの簡素化(代理モデルの構築)およびアンサンブル予測手法の構築、(II) 制御に必要なモニタリング手法の構築、(III) ELSI/RRI 研究のアウトプットに基づいた適切な目的関数の設定、(IV) アルゴリズムの最適化によって、リアルタイムに複数の制御手法を組み合わせた最適解を導出できる意思決定支援システムを構築します。

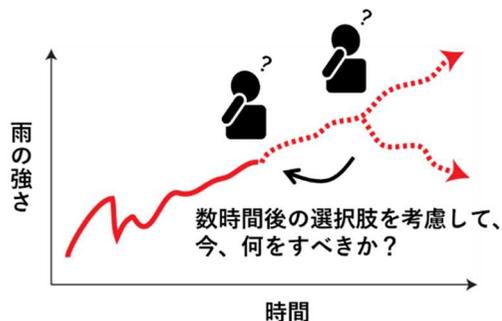


図1 多時点多段階で判断することを表した模式図

2. これまでの主な成果

① 豪雨制御の意思決定問題の定式化

研究開発テーマ2では、各操作手法に関する知見(テーマ1)と、洪水・水資源や人間社会に及ぼす影響評価の知見(テーマ3)を取り込み、実時間で操作に関する最適解を導出するシステムを開発することを目標としています。

意思決定問題の定式化に必要な4要素(目的関数、制約条件、取り得る手段、意思決定に関するランダム現象)について、1, 3のテーマと意見交換を行い、意思決定問題を定式化しました。現時点で候補にある工学的手法であるシーディング、洋上カーテン、洋上風車について、豪雨に関わる気象現象への空間的インパクトと制御発動から効果が得られるまでの時間スケールを考慮して定式化しました。

また、豪雨制御による影響を目的関数に含める項目と制

約条件に含める項目に分類する方針を定めました。なお、意思決定問題は、制約条件を満たす範囲内で目的関数を最大化するように工学的手段のタイミングと程度を最適化するものです。どの項目を目的関数あるいは制約条件に含めるかは十分に検討の余地がありますが、暫定的に人的損失と経済的損失は前者に、水資源、生態系、地球環境への影響は後者に含めて具体的な検討を進めています。

② 制御のための豪雨メカニズム解明

内陸で発生しやすい孤立局所型の線状対流系豪雨に対してどのような経路・条件で水蒸気が供給されやすいのかを明らかにするために、数値シミュレーションによって感度実験を行いました。結果、大気の安定度が高いほど地形と地形の間に水蒸気が収束し、内陸へ輸送される水蒸気量が多くなる傾向にあることが明らかになりました。

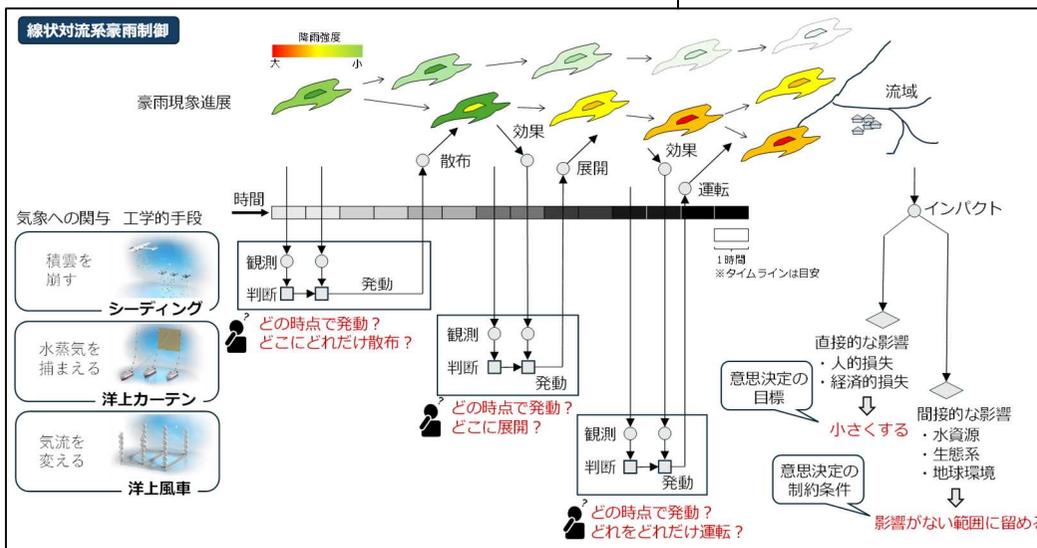


図2 線状対流系豪雨に関する意思決定問題の概念図

3. 今後の展開

制御手法の特徴(特に、実施判断のよりどころとする現象、その観測方法、判断から実施までに要する時間、効果を見極める現象、その観測方法)、制御によって生じる影響(豪雨に直接的に関連する影響と社会的な影響)の連関、意思決定問題で対象とする範囲に基づいて、意思決定グラフを作成することを目標とします。

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

2023年度までの進捗状況

1. 概要

豪雨制御を実施した際における自然への影響を推定する第一歩として、豪雨制御シナリオをたてて豪雨制御による洪水流制御効果を評価します。豪雨制御することによって雨域が移動し、他の流域で洪水や濁水が発生してしまうといったリスクを考慮しなければなりません。水文社会が受ける影響を推定し、住民の行動変化を考慮した水文社会がどのように変化するかを評価します。

さらに、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commons」として捉える概念モデルを構築すると共に、その成立要件を明確化します。その考え方に基づき ELSI/RRI 課題に対する社会的・制度的対応シナリオを構築します。

そして自然への畏敬や自然との共存などといった「自然の懐に住む」という意識が国民に浸透し、「自然の懐を借りて人が生きる」という範囲の中で、豪雨制御の適用範囲を決めていきます。

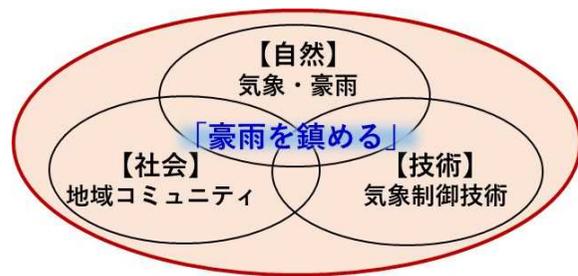


図1 「気象commons」の理念図

2. これまでの主な成果

① 豪雨制御による洪水・氾濫抑制への効果

2008年の神戸市都賀川のゲリラ豪雨、および、2017年九州北部豪雨を対象に豪雨制御によって降水量が減少したと想定した場合の氾濫浸水深・ダム貯水量への影響を評価しました。当該水害が河川敷内の水難事故によるものであったことから、降雨強度の減少割合と避難を左右する流体力指標である単位幅比力との関係を整理してゲリラ豪雨による水難事故を防ぐために必要な豪雨制御を検討しました。

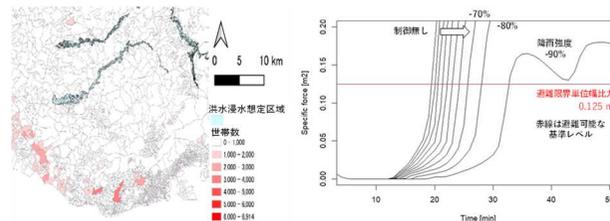


図2 阪神地域の洪水浸水想定区域および暴露世帯数(左)と強度減少割合と河川内の単位幅比力の計算結果(右)。

② ELSI課題の課題解決に向けた戦略検討

ELSIとは倫理的、法的、社会的課題であり、自然という不確実性、環境への影響、住民の防災意識への影響などを考慮することが大切です。3つあるコア研究の ELSI 横断検討チームにより、台風・豪雨制御の ELSI 課題を整理して、図3のような6つの課題に分類しました。

③ 気象commonsの理論的検討

技術開発を前提に ELSI を考えるのではなく、社会像中心で技術開発を考えることをプロジェクト全体で意識共有しました。commonsの資源管理に関する既存知見を踏まえて、気象commonsのガバナンス問題として、地域住民・関係者の“comoner”としての主体性形成、気象・災害との



図3 ELSI論点の俯瞰図

(3つあるコア研究の ELSI 横断検討チームによる成果)

共生的な関係性の構築、地域コミュニティ実践に基づく非規範的倫理の形成、技術開発における市民参加をはじめとした検討課題を整理しました。また、「気象制御」という表現に関して、気象commonsの考え方(伝統的な自然観や社会受容性)に基づく言葉を検討し、「豪雨を鎮める」という表現を提唱し、気象commonsの理論的検討を行いました。

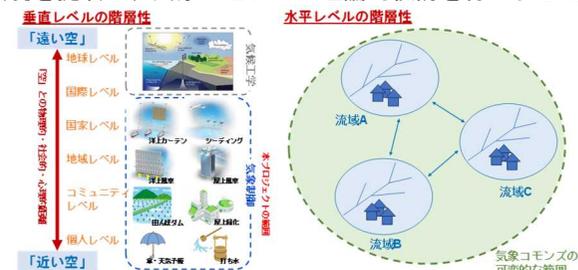


図4 気象commonsにおける階層性

3. 今後の展開

豪雨制御の程度を変えた複数シナリオをたてて洪水流制御効果を評価します。気象commonsの形成に向けた自立共生的な制御技術の評価手法を確立します。ELSI課題に対する社会的・制度的対応シナリオを構築します。