

研究開発テーマ名

研究開発テーマ 1 【数値計算に基づく工学的手法の開発】

2022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、上昇流を起こし、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。

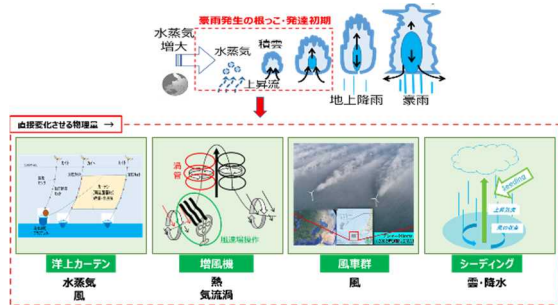


図1 豪雨の発達ステージと操作の狙い

2. 2022年度までの成果

① 都市部の排熱が大気不安性に及ぼす影響

建物の排熱は都市部のヒートアイランド現象の原因となっており、ヒートアイランドによって暖められた都市部は大気の状態が熱的に不安定になるため降水パターンに影響を与えています。都市部の排熱によって乱流が生成されること、または建物の密度や高さによって乱流が生成されることが熱輸送に与える影響を調べました。大阪駅周辺の建物と地表面からの排熱が建物の風下で激しい乱れを引き起こすことを明らかにしました。

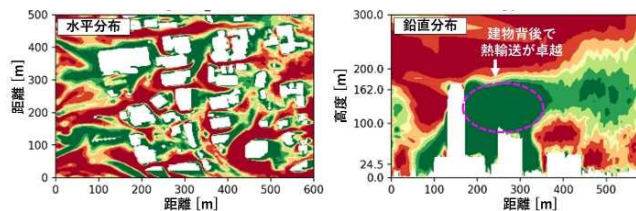


図2 大阪駅周辺における熱輸送の分布。
緑色は熱が上空へ運ばれているエリア。

② 風速場の改変によるゲリラ豪雨の強度の抑制効果

ゲリラ豪雨の発生の要因の一つである気流渦を抑制するために、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。

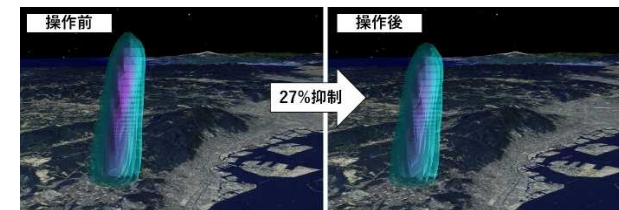


図3 豪雨の3次元分布. 風速場操作による抑制効果。

③ 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、線状対流系豪雨の抑制効果をシミュレーションしました。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。

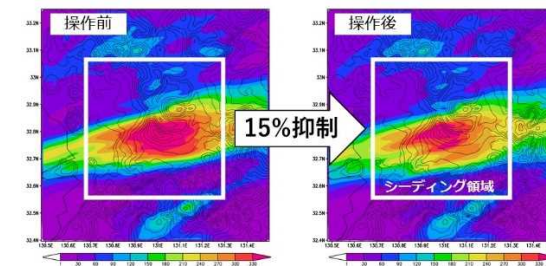


図4. 積算降水量. シーディング操作による抑制効果。

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。

研究開発テーマ名

研究開発テーマ 2 【制御システムの構築】

2022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. 2022年度までの成果

① 制御デバイス制作に関するロードマップ

本研究開発テーマ2では、テーマ1で開発される各操作手法に関する知見、テーマ3で評価される洪水・水資源さらには人間社会に及ぼす影響に関する評価の知見を取り込みつつ、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。

意思決定に関する非リアルタイム問題として、意思決定問題を豪雨現象が進行する前に最適化しておく問題があげられ、いかに豪雨が発生しやすい場所の近郊に制御デバイスを事前配置できるかが目的意識となることがわかりました。一方で、意思決定に関するリアルタイム問題として、意思決定問題を豪雨現象が進行している最中に随時最適化する問題があげられ、豪雨および前兆現象の観測にはいつでもどこに制御デバイスを展開するかなどの意思決定問題があげられます。そのため、どの時間、どの空間スケールを狙って制御するかが今後も意思決定問題の課題になるので、図のような制御デバイスのスケールに関するターゲットマップを作成していく方針を定めました。

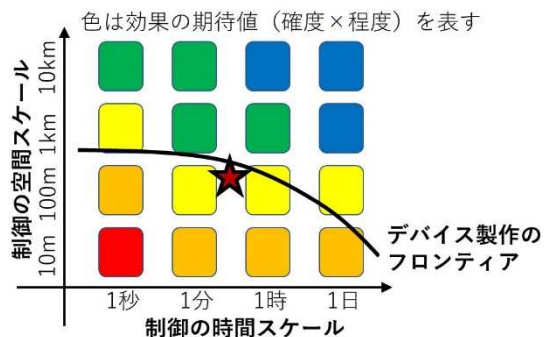


図2 制御デバイスのスケールに関するターゲットマップ

② 豪雨事例の過去の発生頻度マップとメカニズムの特徴

制御デバイスの事前配置や検証フィールドを決めるにあたって、過去の豪雨発生頻度を調べました。京阪神地方や九州地方をモデルとして検討していく方針を定めました。

豪雨の特徴として、梅雨前線のような前線付随型豪雨は空間スケールが大きく長時間持続する傾向がある一方で、前線から南に離れた場所で発生する孤立局所型豪雨は空間スケールが小さく降雨強度が非常に強い傾向がありました。孤立局所型豪雨は前線付随型豪雨と比較して、大きな大気不安定度や鉛直シア(上空と地表面近くの風速のずれ)を示すことがわかりました。そこで、このような理想的な環境場を崩すような介入手法のアプローチが求められると同時に、大きな外部強制力が存在しない中で自己組織的に発生・発達するため、前線付随型豪雨よりも小規模な介入で豪雨を抑制できる可能性があることが示唆されました。

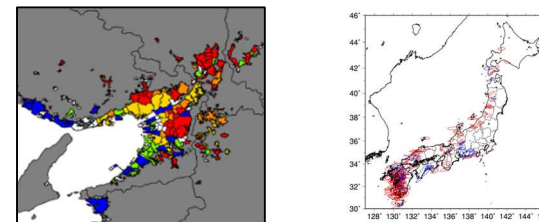


図3 過去に発生したゲリラ豪雨の発生頻度マップ(左)と線状対流系豪雨の発生頻度マップ(右)

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。

研究開発テーマ名

研究開発テーマ 3 【豪雨制御の影響評価と社会受容性の研究】

2022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。

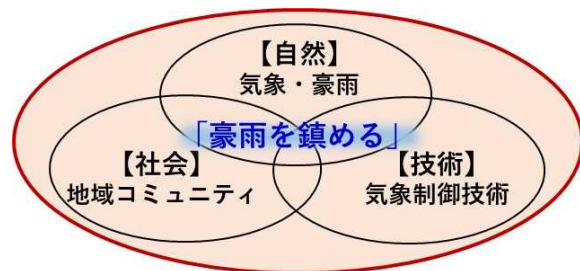


図1 「気象commons」の理念図

2. 2022年度までの成果

① 豪雨制御の洪水・水資源への影響評価

気象制御による浸水被害の変化をみるため、どこにどれくらい脆弱なエリアがあるか、過去の被災状況や土地利用計画との整合性を調べる必要があります。そのため、災害リスクに係る基礎情報について神戸市および九州北部を対象に行政保有のオープンデータや民間保有の市販データを過去10年分ほど収集・整理しました。

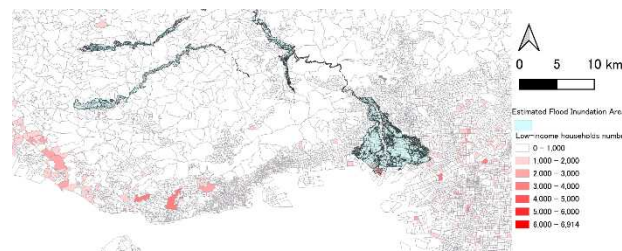


図2 洪水浸水想定区域および暴露世帯数（阪神地域）

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、住民の防災意識機構への影響など本研究の豪雨制御において考慮しなければならない課題になります。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の位置づけの検討

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“コモナー”としての主体性形成、気象・災害との

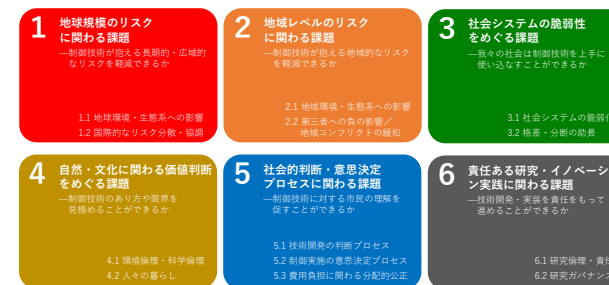


図3 ELSI 論点の俯瞰図
(3つあるコア研究の ELSI 横断検討チームによる成果)

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ました。

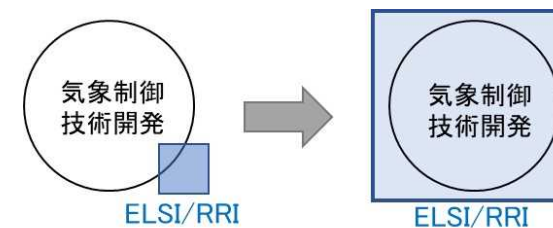


図4 気象制御に関する ELSI 研究の位置づけ模式図

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豪雨制御による洪水流制御効果を評価します。「気象commons」の成立要件を明確化します。その考え方に基づき 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。