

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

実施状況報告書

2022 年度版

ゲリラ豪雨・線状対流系豪雨と共に生きる

気象制御

山口 弘誠

京都大学 防災研究所

 **MOONSHOT**
RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM



研究開発プロジェクト概要

本プロジェクトでは、ゲリラ豪雨と線状対流系豪雨に対して、強度や頻度を抑制するための研究開発に取り組みます。数値気象モデル・現地観測・室内実験をベースとして、豪雨発生の根っこを弱めるための複数種類の工学的手法を開発します。さらに、それらを多時点・多段階的に実行し、かつ、豪雨制御による影響評価と社会受容性を考慮したリアルタイム制御システムを構築します。2050年には、人が自然の懐に住んでいるという意識が浸透し、豪雨制御技術が自然と親和する未来社会の形成に貢献することを目指します。

https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal8/83_yamaguchi.html

課題推進者一覧

課題推進者	所属	役職
竹見 哲也	京都大学 防災研究所	教授
山口 弘誠	京都大学 防災研究所	准教授
西嶋 一欽	京都大学 防災研究所	准教授
内田 孝紀	九州大学 応用力学研究所	准教授
鈴木 善晴	法政大学 デザイン工学部	教授
大東 忠保	防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門	主幹研究員
仲 ゆかり	京都大学 防災研究所	助教
萬 和明	京都大学 工学研究科	講師
田中 智大	京都大学 工学研究科	助教
羽鳥 剛史	愛媛大学 社会共創学部	准教授

1. 当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

プロジェクト初年度目である本年度において、いずれの研究開発項目においても次年度以降につなげるための土台となる数値モデルの開発やロードマップの構築に取り組んだ。そして、現在想定している研究を推し進めたことは言うまでもないが、足りない研究項目を洗い出し、本コア研究全体として次年度以降、目指すべき像について方向性を打ち出した。

(1) 研究開発プロジェクトの概要

本プロジェクトでは、ゲリラ豪雨と線状対流系豪雨の強度を抑制するための研究開発に取り組む。数値気象モデル・現地観測・室内実験をベースとして、効果的にインパクトを与える工学的手法を複数開発する。それらを多時点・多段階に実行し、かつ、豪雨制御による影響評価と社会受容性を考慮した制御システムを構築する。それにより、2050年には、豪雨制御技術が自然と緩和する未来社会の形成に貢献する。

(2) 研究開発プロジェクトの実施状況

研究開発項目 1: 数値計算に基づく工学的手法の開発

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開発を行った。LES モデルやメソ気象モデルをベースとして、雲微物理過程の高度化や様々な環境場における数値実験を実施した。観測データ等を用いた検証を行い、現在想定している複数種類の豪雨制御手法を評価するための数値気象モデルを開発した。

研究開発項目 2: 制御システムの構築

豪雨現象の影響評価と工学的制御に関する意思決定最適化に向けた豪雨現象の特徴を抽出し、気象予測の簡素化・定式化の方針を明確にした。また、ゲリラ豪雨、線状対流系豪雨それぞれの制御に対して、多時点・多段階操作手法に関する意思決定問題を構成する要素を抽出し、それらの因果関係・論理関係を明確化することで、実現性の高いロードマップを作成した。

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

様々な程度の豪雨制御を実施した際における自然への短期的・長期的影響を推定するために、水文社会への影響を評価するための水文モデル(洪水、氾濫、水資源のモデル)を開発した。豪雨制御に関する ELSI 課題の抽出・体系化を図るとともに、気象コモンズのガバナンス問題を明確化した。

(3) プロジェクトマネジメントの実施状況

本年度は初動として本プロジェクトのマネジメント業務が効率的、効果的に実施できるよう3名の人材を雇用した。加えて、京都大学産官学連携本部知財部1名を知財関連の担当者とした。

プロジェクトの推進に関する重要事項(新たな課題推進者/研究開発機関の参加、第三機関の参加、実施規約の改定等)について、PM および課題推進者が参加する運営会議

を必要に応じて設置する予定であったが、本年度は必要性がなかったため設置していない。

また、研究プロジェクトメンバー全体向けの研究連絡会を年 3 回実施した。PM-PI 面談（オンライン会議を含む）を数ヶ月に 1 度の頻度で行い、進捗状況を把握した。PM が各研究開発項目・研究開発課題の実施サイトへのサイトビジットも実施した。PD らのサイトビジット、数理モデル関連のサイトビジットを開催し、研究の進め方について助言をいただいた。

2. 当該年度の研究開発プロジェクトの実施内容

(1) 研究開発項目1:数値計算に基づく工学的手法の開発

研究開発課題1:【ゲリラ豪雨の改変】熱に対する操作手法の開発

当該年度実施内容:様々な気象条件において形成される多様な安定度の条件において計算可能な建物解像 LES モデルを開発した。都市を模した粗度要素を配置した理想化した状況の場合を考え、本 LES モデルの妥当性を風洞実験結果と照合し、モデルの再現性が良好であることを示した。また、実在都市の建物データを配置した場合を考慮し、安定度を様々な変化させた感度実験を実施した。さらに、様々な幾何学的特徴を有する複数の街区における物質輸送場の特徴を解析し、市街地内での物質熱輸送の形態は、街区の幾何学的特徴に強く依存していることを示した。

課題推進者:竹見哲也(京都大学防災研究所)

研究開発課題2:【ゲリラ豪雨の改変】気流渦・水蒸気に対する操作手法の開発

当該年度実施内容:ゲリラ豪雨を表現する建物～対流圏シームレス LES モデルの開発のために、本年度は雲微物理モデルの高度化を行った。具体的には、雲解像モデル CReSS で用いられている雲微物理スキームを導入した。豪雨シミュレーションを行い、妥当な結果であることを確認した。また、次年度以降の大規模計算を行うための、計算機環境を整える予定であったが、納期がやや遅れることが判明した。ただし、次年度の計画遂行にほとんど支障のない範囲の遅れである。実際、2023年4月時点で納品済みであり、2023年5月現時点において計算を実行開始している。さらに、過去の豪雨事例を統計解析し、観測機器を設置すべき候補地として、京阪神都市域エリアや九州エリアが適当であることが分かった。

課題推進者:山口弘誠(京都大学防災研究所)

研究開発課題3:【ゲリラ豪雨の改変】室内実験による工学的手法に対する要求性能の特定

当該年度実施内容:「制御デバイスの効果の定量化」に関して、気象改変可能性検証のための数値実験およびリアルタイム気象制御時における数値シミュレーシ

オンに用いるデバイス制御とその効果の関係(デバイスの運転により局所的に改変される気象場)を定量化するための縮尺模型実験で用いる模型の製作手段を構築した。

課題推進者:西嶋一欽(京都大学防災研究所)

研究開発課題5:【線状対流系豪雨の改変】気流収束に対する操作手法の開発(風車群)

当該年度実施内容:一連のウエイク現象の制御に基づいて気流収束に対する操作手法の開発を行うため、本年度は風車ウエイクモデルの高度化、および、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パラメータスタディを実施した。大規模計算を行うための計算プログラムのチューニングを行った。さらに、風車ウエイクの風洞実験の事前準備に着手した。

課題推進者:内田孝紀(九州大学応用力学研究所)

研究開発課題6:【線状対流系豪雨の改変】雲粒子形成に対する操作手法の開発(シーディング)

当該年度実施内容:雲解像モデル WRF-ARW に詳細な2つの雲微物理スキーム「精緻化されたバルク法」「ビン法の簡易モデル」を導入するための準備作業として、初めにモデルの最新バージョン(V4.4.1)のインストールや計算機環境の整備を行った。各種物理過程の計算スキームやドメイン設定等のモデルオプションの調整を行ったうえで、「精緻化されたバルク法」及び「ビン法の簡易モデル」を用いた豪雨事例(線状対流系豪雨や線状降水帯)に関する試験的なシミュレーションを行うとともに、主に前者のスキームについて事例再現性の検証やシーディング操作の導入等を目的とした初期段階の作業を実施した。また、領域気象モデル SCALE-RM についても同様に、モデルの最新バージョン(V5.4.5)のインストールやモデルオプションの調整を行うとともに、「バルク法」及び「ビン法」を用いた試験的なシミュレーション、前者のスキームへのシーディング操作の導入、事例再現性の確認作業等を実施した。

課題推進者:鈴木善晴(法政大学デザイン工学部)

(2) 研究開発項目2:制御システムの構築

研究開発課題1:多時点・多段階操作による意思決定支援手法の開発

当該年度実施内容:本年度は、「意思決定最適化に必要な十分な解像度で豪雨現象を模擬する数値解析モデルの開発」に関して、豪雨現象のモデル簡素化、最適解導出に要する計算量の観点から、実現性の高いロードマップを作成した。「多時点・多段階で操作手法の最適解を導出する手法の開発」に関しては、現時点で想定される工学的制御手法の特徴を整理した。さらに、工学的制御手法によって生じる影響の連関と意思決定問題

で対象とする範囲について検討を行ったが、明確な範囲を決定するには至っていないため、継続して検討する。

課題推進者: 西嶋一欽(京都大学防災研究所)

研究開発課題2: 制御効果モニタリング手法の構築

当該年度実施内容: 当該年度においては、豪雨形成に重要と思われる気流、水蒸気、雲・降水など、検証することが必要と思われる観測要素を抽出し、検証観測を実施する場所、使用する観測機器とその設置の検討を行い、検証観測体制の計画を完了した。

課題推進者: 大東忠保(防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門)

研究開発課題3: 偶然性・必然性概念の制御システムへの利用

当該年度実施内容: 本研究開発項目の基礎となるデータベースとして、過去に発生した線状対流系事例を収集した。また、時空間スケールに着目して線状対流系事例の分類を行い、それぞれの線状対流系発生時の環境場条件の分析を行った。前線付随型豪雨と孤立局所型豪雨というそれぞれの線状対流系豪雨の発生に対して、CAPE と鉛直シアの条件を示した。

課題推進者: 仲ゆかり(京都大学防災研究所)

(3) 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

研究開発課題1: 流出・水資源への短期的・長期的影響評価

当該年度実施内容: 過去の顕著洪水を抽出しそれらを再現しうる流出・水資源評価モデルの構築を行った。構築モデルは、陸面過程モデル SiBUC と河道流追跡モデル 1K-FRM を組み合わせて流出・水資源評価モデルを開発し、年最大日流量の再現精度が極めて良好であることを検証した。また、影響評価を実施するため、豪雨制御が実現した場合の豪雨制御シナリオデータの作成を行った。簡易的に過去の降水量データとして解析雨量に対して、時間雨量および日雨量それぞれについて30%の抑制を実現した場合を想定した仮想的な降水量データを作成した。

課題推進者: 萬和明(京都大学防災研究所)

研究開発課題2: 豪雨制御による浸水リスク変化の水文社会経済分析

当該年度実施内容: 気象制御による洪水外力変化の分析の初年度として、現地測量データの洪水氾濫解析モデルへの取り組みを行った。加えて、標高データを用いて河道断面を自動抽出するプログラムを開発した。また、災害リスクに係る基礎情報の整理ならびに災害暴露人口とその特性の解明の初年度として、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・整理した。

課題推進者: 田中智大(京都大学大学院工学研究科)

研究開発課題3: 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

当該年度実施内容: 気象制御の国外事例を調査すると共に、開発技術の社会実装に向けたボトルネックとして、どのような ELSI 課題が存在するかについて、文献調査や関係者協議を通して網羅的・総合的に検討し、次年度以降の検討課題を体系的に整理した。加えて、コモンズの資源管理に関する既存事例に関する情報収集を行い、気象コモンズ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た。

課題推進者: 羽鳥剛史(愛媛大学社会共創学部)

詳細は別途各課題推進者が提出する【様式 505】実施状況報告書(成果)に記載。

3. 当該年度のプロジェクトマネジメント実施内容

(1) 研究開発プロジェクトのガバナンス

進捗状況の把握

○ 代表機関の PM 支援体制チームについて

本プロジェクトのマネジメント業務が効率的、効果的に実施できるよう下記の人材を雇用した。

- ・PMの補佐として非常勤研究員 1 名(R4 年度の 5 月の 1 か月間)
- ・主にプロジェクトの経費管理や各種会議開催のために事務補佐員 1 名
- ・主に広報活動担当する技術補佐員 1 名
- ・プロジェクトで雇用したわけではないが、大学の知財部から本プロジェクト担当 1 名

○ 重要事項の連絡・調整(運営会議の実施等)について

プロジェクトの推進に関する重要事項について、PM および課題推進者が参加する運営会議を設置することを計画していたが、本年度においては開催の必要性がなかったため、運営会議は実施していない。

○ 研究開発機関における研究の進捗状況の把握(サイトビジット、課題推進者会議等)について

研究プロジェクトメンバー全体向けの研究連絡会を年 3 回実施した。PM-PI 面談(オンライン会議を含む)を数ヶ月に 1 度の頻度で行い、進捗状況を把握した。PM が各研究開発項目・研究開発課題の実施サイトへのサイトビジットも実施した。PD らのサイトビジット、数理モデル関連のサイトビジットを開催し、研究の進め方について助言をいただいた。

研究開発プロジェクトの展開

本年度は 1 年目であり、研究連絡会や運営会議を通して、互いの進捗状況を共有する上で議論の時間を多く取り、特に互いの考え方を把握することを重要視した。また、本プロジェクトの根底にある哲学として「人と自然(豪雨)をつなぐ制御技術」をメンバー全員が共有

しながら研究開発を進めるため、今年度は特に制御技術開発側が ELSI 研究について理解を深めるための議論を行った。本プロジェクトで目指すゴールは「豪雨を鎮める」ということであると認識した。

さらに、研究を進めていく上で、現時点で足りない研究要素が何であるかを洗い出した。主要なものを下記のリストに示す。今後優先度を検討し、優先度の高いものについてはできるだけ早期に研究開発内容に取り入れることを検討する。

- ゲリラ豪雨について、工学的手法を複数提案（現状は増風機）
- ゲリラ豪雨について、熱観測が効果的
- ゲリラ豪雨の範疇：都市起因で発生する豪雨を想定していたが、山地で発生し都市に災害をもたらすタイプも対象になりうる。
- 線状対流系豪雨の範疇：自己組織化を伴うメソ対流系を想定していたが、もう少しラージスケールの線状対流系も対象になりうる。
- ゲリラ豪雨と線状対流系豪雨のそれぞれの操作手法の相互利用
- 多時点・多段階操作の意思決定に関するシステム構築
- 豪雨制御の感度（偶然・必然の概念、モデルエラー・観測エラー・操作エラー）
- ELSI/RRI 課題の問題解決
- 豪雨制御のリアルタイム防災情報

また、国際連携に関する取りくみとして、台湾やフィリピンの気象や防災の研究者や実務担当者に本プロジェクトを紹介し、将来的な連携の可能性について議論した。

ELSI/RRI について、3つあるコア研究プロジェクトの ELSI 横断チームにおいて、MS8 全体の ELSI/RRI 課題について取りまとめの旗振り役を担い、視覚的にわかりやすい整理を行った。

(2) 研究成果の展開

初年度であり知財の算出の期待は高くなかったため、知財については将来的な体制づくりに向けた検討を PM と大学の知財部で協議した。具体的には、「4. 知財運用会議構成機関と実施内容」に記載している。

また、豪雨とその災害に関するメカニズム解明や予測技術の向上に関する研究成果が期待できるため、学術的な発表を行うことはもちろんのこと、工学的手法の製作ではトヨタ自動車、防災情報の構築では日本気象協会と協議を開始し、将来的な連携について検討した。

(3) 広報、アウトリーチ

ホームページを作成し公開した。<https://rain-c.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

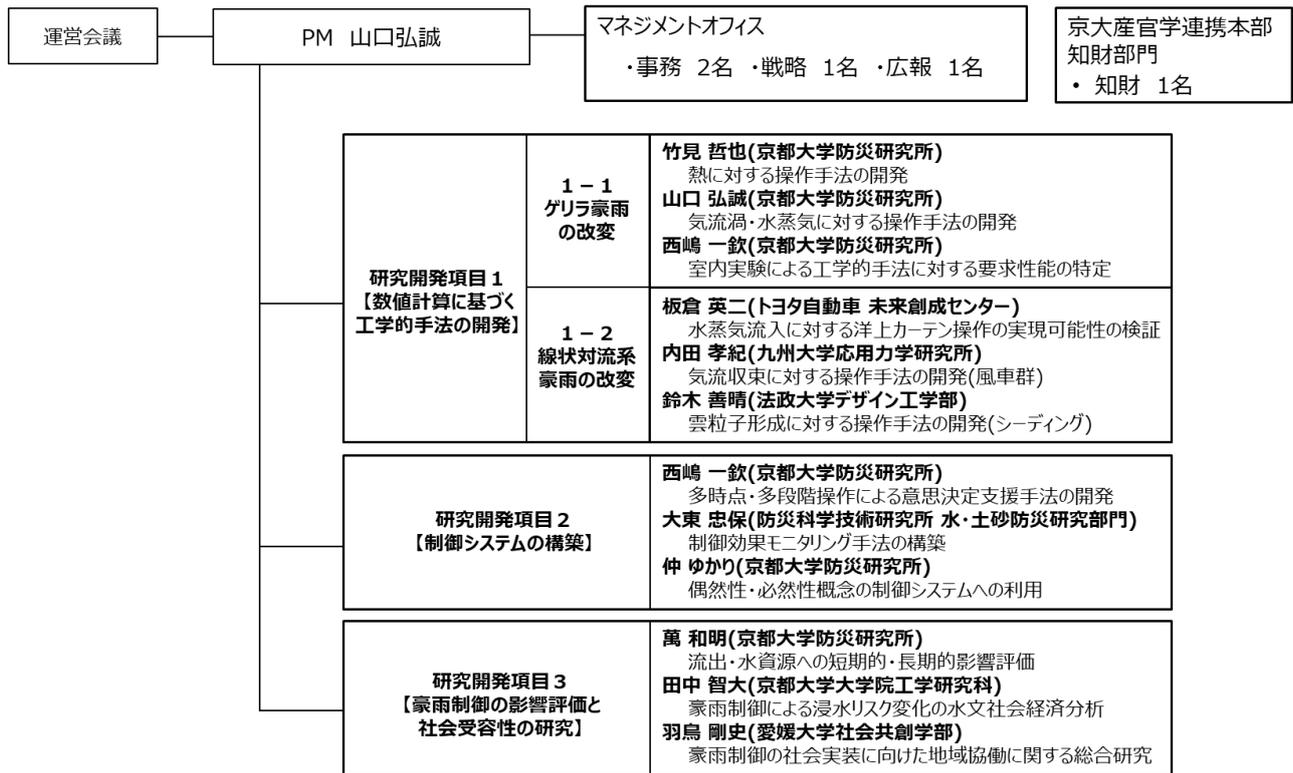
今後、ホームページにて研究の進捗をアップデートする。その他、SNS 等を用いた発信を予定している。なお、公開シンポジウムの開催を検討している。

昨年 12 月にはトヨタのマザーシッププロジェクトの現地視察を日本たばこ産業株式会社東海工場グラウンドにて実施した。30 名の参加者と共にカイト見学を行った。

(4) データマネジメントに関する取り組み

PM もしくは課題推進者が主体的に研究データの保存と管理を行った。研究創成期であり成果発表ができていないものがほとんどを占めるため、基本的には非公開とした。ただし、研究プロジェクト内での情報共有を推奨し、一部データのやり取りをおこなった。

4. 当該年度の研究開発プロジェクト推進体制図



知財運用会議 構成機関と実施内容

今年度は将来の知財運用に向けて、次年度以降の体制づくりも含めて、PM が大学との協議を開始した。プロジェクトの研究成果の社会での活用について、4つに整理した。1. 学術的価値のある成果全体、数値モデルについては、学術発表により普及。2. 社会での新しい指針、ビジョン、価値観となる成果については、一般チャネル（一般媒体）、ワークショップ、初等中等出前授業を通して普及活動とする。必要に応じてロゴマーク（商標）などを検討する。3. シミュレーションプログラム、データベースは著作権として、企業が社内研究や商業利用するときは原則有償使用など、研究機関の学術研究や教育は無償使用とする。4. 目標達成するための具体的な対象：物として販売できうる成果、企業が事業で使う成果については、特許（カーテン、風車、シーディングの産業的やり方など）とする。発表も行う場合は発表前に特許出願完了する。学術機関同士の成果は企業へ有償許諾、学術機関と企業の共同成果は企業の有償実施、学術機関の学術研究や教育には無償使用とする。今年度は以上のことを協議した。

5. 当該年度の成果データ集計

知的財産権件数				
	特許		その他産業財産権	
	国内	国際(PCT含む)	国内	国際
未登録件数	0	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	0	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	1	2	3
口頭発表	5	0	5
ポスター発表	1	0	1
合計	7	2	9

原著論文数(※proceedingsを含む)			
	国内	国際	総数
件数	0	1	1
(うち、査読有)	0	1	1

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	0	0	0
書籍	0	0	0
その他	0	0	0
合計	0	0	0

受賞件数		
国内	国際	総数
1	0	1

プレスリリース件数
0

報道件数
0

ワークショップ等、アウトリーチ件数
1