

研究開発テーマ名

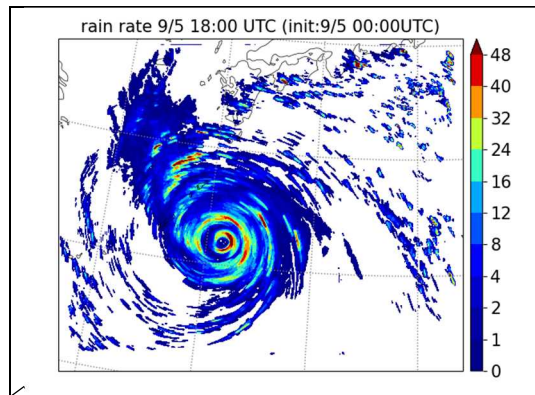
気象学的アプローチ

2022年度までの進捗状況

1. 概要

台風の内部構造を詳細に表現する高精度数値予測モデルを開発し、それを利用して有効な台風制御が可能な手法を数値的に提示します。具体的には、シーディング、海面水温を低下させての台風制御方法、海上に障壁や風車において海上風を弱めたり風向を変化させたりする方法、などが考えられますが、小さい外力で台風強度に大きな変化を生む手法や、持続的な弱い介入によって台風に変化を与える手法を定量的に解明する。航空機からのシーディングを想定し、対流雲における雲物理の詳細を調べる室内実験を実施します。

また、台風制御の実施にあたっては、災害をもたらす可能性がある事例を事前に予測して選択し、人為的な介入の影響の効果を判定できる程度にまで予測精度を高めます。このため、高解像度モデルによるデータ同化システムに航空機・船舶観測データを同化し、台風の進路・強度・内部構造の高精度な再現と予測の改善を行います。

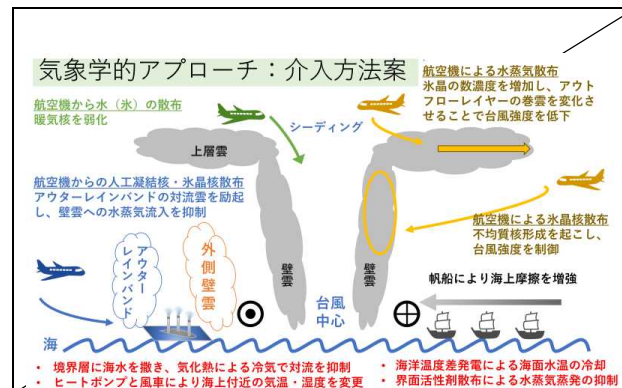


1km メッシュモデルでの令和2年台風第10号 Haishen の予測実験例。九州南方において北上する台風の二重壁雲の内部構造が再現されています。

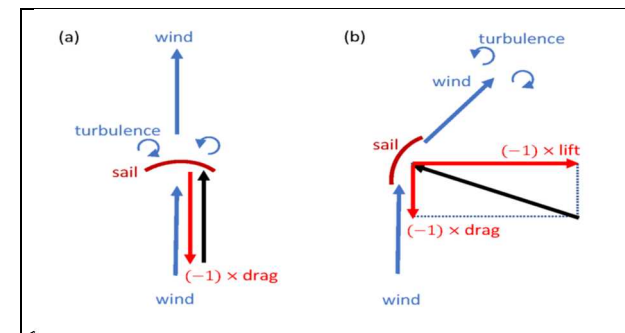
2. 2022年度までの成果

2022年度は、台風制御方法の検討、台風を詳細に表現する高精度数値予測モデル開発、対流雲における雲物理実験研究、高解像度モデルを基礎とするデータ同化システム開発、航空機データを利用した台風の高精度な再現と予測の改善に取り組みました。

プロジェクト初年度において、可能な台風の強度に影響を与える可能な制御方法を検討し、候補の手法を下記の図のようにまとめました。主として航空機からのシーディングにより対流雲に変化を与える方法、海面水温の低下や海面からの蒸発を抑制する方法、無人船等で1km以下の境界層の風速・温度・湿度に変化を与える方法が提示されました。



台風の断面図の模式図と可能な制御方法です。図の中央が台風中心で、その両側から斜めに情報に伸びる灰色領域は台風の壁雲および上層雲です。壁雲付近の下層で半時計周りの最大強風があり、台風制御により強風の弱화를図ります。



具体的制御方法の理論的検討例：Horinouchi and Mitsuyuki (2023)。台風の強風下の海上に多数の帆船を設置することで台風強度を変化させます。風(wind)の向きに対する帆船(sail)の向きにより、抵抗(drag)の強度・方向が定まります。帆船が大気に及ぼす効果を定量的に評価すると、100 km 四方の海域に大型硬帆船を400隻展開すると台風の最大潜在強度(MPI)で約10%の低下が期待できることを示しました。現実的な数値シミュレーションで有効性を確認すること、さらに効率的な手法を検討することが課題です。

3. 今後の展開

今後、理論的・数値的な検討を加え、具体的な台風を念頭においた数値シミュレーションを実施し、外部強制の強度と台風強度へのインパクトとの関係を系統的に調査します。人為的に介入が可能な強制力に対して、有意な台風強度の変化(最大風で5m/s程度)を得るための手法を検討します。数値予報モデルにおける台風予測精度向上の課題を明らかにし、数値予報モデルの開発改良を進めます。台風の強度変化をもたらす台風内部構造の変化メカニズム、壁雲交換、レインバンド等のメカニズム解明を進める。小さい外力で大きな効果を生むような数値的研究を進めます。

研究開発テーマ名

台風制御の影響評価

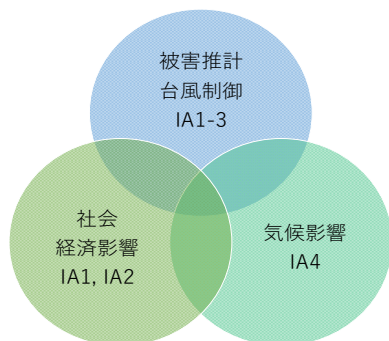
2022年度までの進捗状況

1. 概要

台風制御により気候学的影響が生じる可能性がある一方、被害軽減効果が期待できます。総合的な社会受容性を評価するためには、両者の影響を計量化する必要があります。

気候学的影響については、台風制御を行うことによる環境場（北西太平洋域）への副次効果を見積もる必要があります。また、主な台風被害には、人的被害だけでなく経済的被害（直接被害・間接被害）があります。台風制御による経済的被害の軽減効果の推計は、被害額の推計とほぼ同義ですが、風速や降雨量等の気象外力を被害額に変換することができる精緻な評価手法を構築する必要があります。

台風制御の影響評価グループでは、これら気候環境場と台風に関連する風水害である強風、内水氾濫、外水（河川）氾濫、沿岸浸水（以下、風水害）についての被害を総合的に評価可能な統合的風水害被害評価モデルを開発し、台風制御による経済被害を推計しています。また、台風制御が企業活動や避難行動や中長期的な社会経済活動へもたらす影響の分析も実施しています。

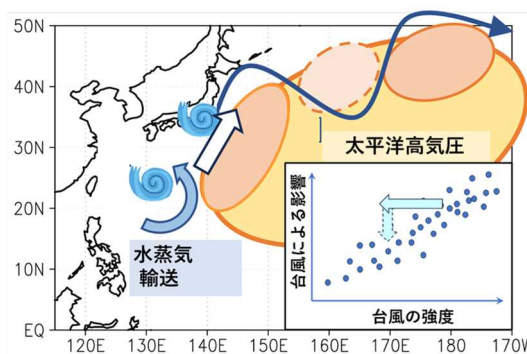


影響評価グループの構成

2. 2022年度までの成果

北太平洋域への台風の強度変化による影響を見積もるため、2019年台風第15号を対象とした大アンサンブルシミュレーションデータの解析を行いました。台風の東京付近通過に伴い、太平洋高気圧の強さや水蒸気の分布が台風の強弱によって異なることを確認し、台風制御による微小な強度変化の及ぼす影響範囲をさらに詳しく調べています。

被害推計については、河川洪水によって引き起こされる冠水・氾濫と被害額が推計できるモデルの開発を行いました。2019年台風19号を対象に洪水の再現計算及び浸水域のダウンスケーリングを実施し、浸水被害が出た341市町村のうち、99%の捕捉率で浸水を再現しています。また、強風被害の評価モデルに必要な都市の建物データ取得のために、大阪を対象にドローン及び航空機による測量を行い、建物特徴を推定し幾何学的形状を再現するための3次元都市・建物データを作成しました。さらに、都道府県単位で強風被害を推計可能なマクロモデルの構築に向け、過去の台風被害データを収集しました。沿岸被害評価についても開発を進め、市街地の高潮氾濫を計算可能なモデルの開発



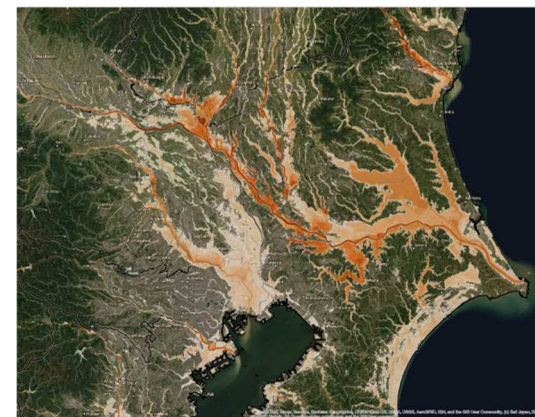
台風制御により想定される環境場への影響の模式図

を行っています。これらの風水害3要素それぞれを統合する統合的風水害被害評価モデル開発に着手し、各モデルを統合するためのインターフェースを検討しています。

この他、社会経済活動影響評価に関して、災害研究者間で論点を整理し、想定される主要な影響範囲を検討しました。さらに、過去の顕著台風に関する新聞記事や景況調査等を収集し、社会経済への影響を多面的に調査しました。

3. 今後の展開

全球大気モデルを用いて台風制御による気候的影響の評価を進めるとともに、被害推計のための各種風水害モデルの開発と統合化を進める予定です。風水害推計モデルを元に、過去事例の浸水面積および浸水深の再現および被害額推定を行い、さらに制御効果の定量化に向かう予定です。また、中長期的な社会経済活動（企業活動等）へもたらす影響を分析するため、ヒアリング、アンケート等による調査を行い、広範囲に及ぶ社会影響の把握を行います。



台風水災害影響評価モデル開発の一例：2019年台風第19号浸水域のダウンスケーリング

研究開発テーマ名

台風制御に関わる ELSI の分析と検討

2022年度までの進捗状況

1. 概要

台風制御技術には、実際の台風の勢力を弱めることで、防災・減災等の社会的に意義のある結果をもたらすことが期待されます（これを「社会実装」といいます）。伊勢湾台風を契機に制定された災害対策基本法（昭和36年法223号）にも、台風に対する人為的調節の防災分野での活用可能性が明記されています（8条2項9号）。

その一方で、台風制御を含む気象変化技術の多くは、これによって利益を享受する者（受益者）以外の第三者に負の影響（損失）をもたらす可能性があります。たとえば、雨量を調節することで河川Aの氾濫を防ぐことができたとしても、別の地域Bに雨が降り、結果として土砂災害が発生することが予測される時、台風制御技術を発動することは、倫理的に許されるのでしょうか。また、制御を行おうとした結果、予測を超えて第三者に負の影響が生じた場合（すなわち「制御」に失敗した場合）、この損失は誰がどのように負担すべきなのでしょう。



図1 本研究開発グループの活動体制

本研究開発グループは、台風制御技術の社会実装がもた

らす倫理的（Ethical）・法的（Legal）・社会的（Social）な諸課題（Issues）について、人文・社会科学系研究者を中心に多角的な観点から研究するグループです。また、目標8およびコア研究全体のハブとして各グループ間の情報共有、用語法などの統一、課題の共有等の役割も担っています。2022年度は、ELSIに関わる個別論点の研究のほか、連携のための体制作り（図1）にも取り組みました。

2. 2022年度までの成果

本研究開発プロジェクトでは、台風制御技術のELSIとして次の3つのカテゴリーを想定し、研究を進めています。

まずは、(1)環境正義・環境倫理に関わる課題です。自然現象である台風に人為的に介入することは、ありのままの自然を保存する自然の権利という発想に抵触する可能性があります。また、台風は各地に水資源をもたらす恵みでもあるため、減災 vs 被害だけではなく、減災 vs 渇水といった対立関係が生まれます。本研究開発グループでは、倫理学者と法哲学者を中心として、正義論の観点（災害や台風制御をめぐる正義／不正義とは）から問題を整理しました。

次に取り組んでいるのが、(2)法制度面の課題です。これにはさらに3つのレベルがあります（図2）。

工学的手法の法的許容性	<ul style="list-style-type: none"> 無人航空機または無操縦者航空機の飛行の可否 機関部を含めた完全無人船の運航の可否 	<ul style="list-style-type: none"> 耐久証明取得、各種ガイドライン作成に向けた論点整理
台風制御の運用フェーズにおける課題	<ul style="list-style-type: none"> 制御の発動要件・基準（中心気圧、最大風速、最大雨量、被害予測など） どの機関が制御システムを運用するのか（制御主体） 補償問題①：予測される第三者影響に対する事前の補償 補償問題②：予測を超える第三者損害の事後的補償（無過失責任、強制保険、政府補償制度導入の可否） 	<ul style="list-style-type: none"> 安全工学の観点からリスク評価 類似の活動（宇宙活動、原子炉の運転、船舶の運航）との比較
国際的な協関係等のガバナンス	<ul style="list-style-type: none"> 水資源の分配に関わる地域間・国家間の合意形成 制御活動そのものに関する国際的な協力関係 武器使用を抑制する仕組み 	<ul style="list-style-type: none"> 現行の国際法の枠組みに関する論点整理

図2 法制度面の課題と検討の状況

最後に、本研究開発グループでは、(3)歴史研究、比較法等の基礎研究も進めています。まず、1960年代のアメリカにおけるハリケーン制御実験（Stormfury計画）や、これを受けた日本の気象調節研究に関する歴史分析を行いました（図3）。また、台風制御と共通点を有する活動である、人工降雨（気象改変）および気候工学（太陽放射を改変する、CO₂を吸収するといった手法がある）について、各国の法規制や自主的な規制の実態等を調査し、基礎資料を提供しました。

日本での台風制御研究・気象調節研究の流れ

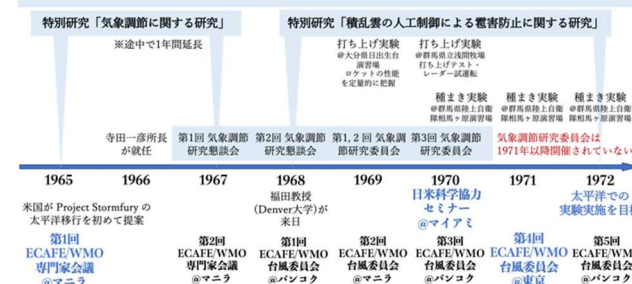


図3 日本における気象調節研究の歴史

3. 今後の展開

ELSIの分析と検討には、学問領域を超えた幅広いネットワークが必要となります。今後は、他の研究開発プロジェクトにおけるELSI研究グループとの連携だけではなく、伝統的な人文・社会科学領域（法学、政治学、倫理学、社会学など）の学会でも研究発表を行うなどして、研究ネットワークの拡大に繋げていきます。また、台風関連技術の社会的な普及をめざす活動（TRC コンソーシアムなど）と協力して、台風・防災に関わるビジネス展開についても研究の対象とすることを計画しています。