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

2023 年度版

安全で豊かな社会を目指す

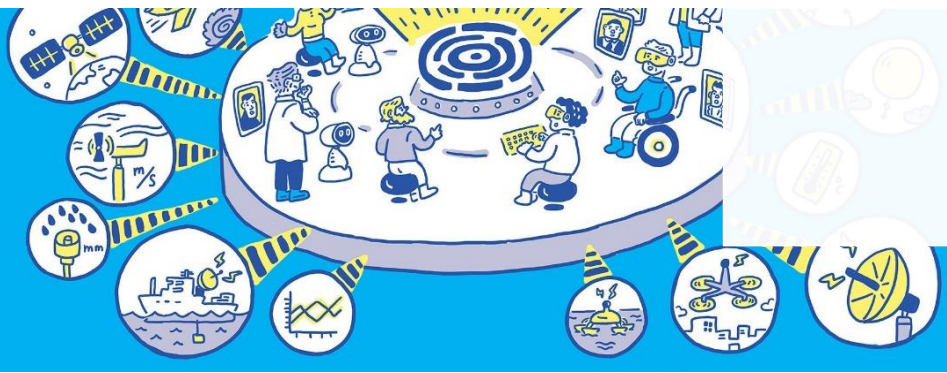
台風制御研究

筆保 弘徳

横浜国立大学 総合学術高等研究院

台風科学技術研究センター

MOONSHOT
RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM



１．当該年度における研究開発プロジェクトの実施概要

（1） 研究開発プロジェクトの概要

台風制御のための介入の有効性を明らかにするため、数値シミュレーション実験に基づき、複数の手法について、介入強度に対する変化量および変化量に対するベネフィットやコスト等についての評価グラフの作成を行う。今年度のマイルストーンに向けて 、各課題の結果を待つシリアルな進め方ではなく、各課題が介入強度に対する変化量、変化量に対するベネフィットやコストといった統一した評価グラフの作成など、コンカレントに研究を進めた。

（2） 研究開発プロジェクトの実施状況

研究開発項目1「気象学的アプローチ」の達成目標は、対象とする台風に対し、種々な介入手法においてその介入強度に対する風速、気圧等の変化量を評価することである。現状では台風シミュレーションに関してベストのモデルを選ぶことはできないため、適正に応じたモデルを選び、研究を進めている。 具体的には、様々な介入方法を想定して、数値シミュレーションを行っている。

台風予測の高精度化のための物理過程モデル等の開発による 1km 格子間隔モデルの改良を実施するとともに、現実の事例・理想実験等の複数の台風事例研究・アンサンブル手法により、台風の内部構造の変化機構を解析している。また、高解像度数値モデルを利用し、人為的制御法を想定した外力実験を系統的に実施し、外力の強度と台風強度変化との関係を解析している。

台風中心付近の運動エネルギーに対し、影響の大きな領域・物理量を感度解析により明らかにする研究については順調に進捗しており、他の研究開発課題にも有益な情報を提供している。強非線形性のために、高解像度化が困難な問題となっていることが理解できた。また、アウターモデル 1km メッシュを用いたデータ同化実験により降水分布の表現がより精緻にできたこと、1980 年代の航空機観測の再検討により台風強度解析の精度を 20%以上高めたこと、など重要な成果が得られている。

研究開発項目2「工学的アプローチ」は今年度から開始した。今年度は、解析のための実在実験でコスト見積もりとデザインをするための研究課題を開始している。また、上記変化量を得るためのコストについても見積りを行っている。具体的には、横浜国立大学大型実験水槽を用いて台風付近を模擬した環境下における船舶の安全性評価に関する水槽実験を実施した。また、過去の台風の発生場所と進路履歴をもとに、1つの台風介入船を想定した台風への介入量とコストの関係を概算している。

研究開発項目3「影響評価」の達成目標は、台風の人為的介入によってもたらされる気象学的・社会的・経済的な評価を行うことであるが、令和５年度は上記変化量に対するベネフィットの見積もりを行い、ベネフィットから上記コストを差し引いた値が最大になる介入手法を探っている。 具体的には、台風特性変化に対するマクロ的沿岸部被害軽減推計のプロトタイプ作成と沿岸部および強風災害についての詳細モデル開発を進めている。

研究開発項目4「倫理的・法的・社会的課題（ELSI）」の達成目標は、 先端技術の研究開発プロセスにおける ELSI 研究の機能と意義について整理することであるが、令和 5 年度は、各 PI へのインタビュー調査、具体的な制御手法を前提としたシナリオ研究、制御実施海域に応じた国際関係の整理といった作業を通じて、当該シナリオにおいて想定

される具体的な ELSI をリストアップすることができている。さらに、コア研究内部のコミュニケーションハブとして、円滑な情報有に寄与している。

（3）プロジェクトマネジメントの実施状況

① 研究開発プロジェクトのガバナンス

春の課題推進者会議では、プロジェクトの全課題推進者が集まり、それぞれのマイルストーン及び介入強度に対する変化量を確認し、これらの変化に基づくベネフィットとコストの評価グラフの作成について合意形成を得て、年間の活動をスタートした。その後、プロジェクトの進行状況を管理し、透明性を保つために月例のチーム運営会議を単なる連絡事項シェア会でなく課題推進者の研究開発状況を報告する会とした。秋の課題推進者会議では、プロジェクトの成果を集約し、自己評価を行う重要な場とした。この会議では、各メンバーが自身の成果を発表し、他のメンバーと共に成果物の質や影響を評価するための議論を深めた。また、開発成果物の提出件数に基づいて、年度全体のパフォーマンス評価が行われ、次年度の改善点や新たな目標設定のための基盤を築くことができた。

② 研究成果の展開

研究成果である、講演/著書/寄稿、論文/学会発表、メディア、公開講座/セミナー情報の公開サイトを TRC ホームページ上に立ち上げ、誰でもリファレンス可能とした。また、インターナルサイトで課題推進者/研究者全員が研究成果を効率的に登録できる仕組みを構築した。

③ 広報、アウトリーチ

2023 年度は、台風制御に関する TV や新聞の報道効果により、気象・防災以外の媒体からも取材が多く寄せられた。積極的に対応することで、新たな層にアプローチが可能となり、子供向け科学雑誌を含む様々なメディアでムーンショット目標やタイフーンショットプロジェクトの解説が行われ、成果を上げることができた。さらに、台風科学技術研究センター主催の市民講座では、プロジェクトの内容とムーンショット目標の紹介を行い、多くの人々にリーチすることに成功した。また、「ぼうさいこくたい 2023＆防災 KOKUDAI」イベントでは、研究センターの展示企画やオープンセッションを通じて、多方面からの関心を集め、アウトリーチ活動を展開した。この期間には、プロジェクトの詳細を解説したパンフレットも制作し、11 月には国際会議向けに英語版を作成して海外の研究者にもアプローチを行った。

④ データマネジメントに関する取り組み

月例のチーム運営会議にて全課題推進者に対し、データマネジメント登録の重要性を説明し、理解させることにより、令和4年度の登録ゼロ件であったが、令和5年度は全課題推進者より合計で 150 件のデータが登録された。

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：（気象学的アプローチ）

研究開発課題1：（領域数値実験による台風への介入模擬実験）

当該年度実施内容： 本課題では、雲解像モデル CReSS を用いて台風制御実験を行い、均質核形成やエアロゾルが台風強度に与える影響を調査した。

まず、均質核形成プロセスの温度調整により台風の強度を制御する実験を実施し、実台風T1821、T1915、T1919に対する介入模擬実験を行った。 結果、均質核形成の温度が高いほど台風強度が弱まることが確認され、例えばスーパー台風 Tip では、温度を−40℃から−30℃に変更すると最大 20hPa 以上中心気圧が上昇した。 次に、巻雲粒子の落下速度を変更して台風の強度に及ぼす影響を調べた結果、粒子の落下速度が小さいほど台風が弱まる傾向が確認された。

これは巻雲高度が台風強度に大きな影響を与えることを示している。

さらに、エアロゾルの初期値を変えた実験では、硫酸塩エアロゾルの混合比と数濃度を異なるオーダーで設定し、2018 年台風第 18 号(Jebi)を対象に実験を行った。 その結果、エアロゾル量が多いほど台風の中心気圧が高くなり、勢力が弱まることが示された。

インパクト物質散布プロセスを用いた実験では、台風中心周辺にエアロゾルを散布することで台風の強度を弱める効果が確認された。

散布実験では中心気圧が最大 10hPa 上昇し、台風の勢力が弱まる結果が得られた。

このように、本研究は均質核形成、巻雲高度、エアロゾル散布が台風強度制御に有効であることを示している。

課題推進者: 坪木和久(国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学)

研究開発課題2:(高精度予測モデルの開発と効率的な人為制御法のメカニズム解析)

当該年度実施内容: 本課題では、高解像度モデルを用いた台風予測の精度向上、台風内部構造の力学解析、および台風人為制御手法のメカニズム解明を目指す。

(1)高解像度モデルによる台風予測の高精度化:

数値予報モデルの技術開発により、台風内部構造を詳細に表現し、暴風雨の分布予測を可能にした。令和 5 年度には、1km 格子間隔モデルを改良し、物理過程モデルの開発を進めた。気象庁のメソモデル(MSM)と局地モデル(LFM)の予測誤差を比較したところ、LFMはMSMよりも解像度が高いにもかかわらず、中心気圧・最大風速予測誤差が大きいことが判明した。この結果から、単に解像度を上げるだけでなく、物理過程の改良が重要であることが示された。さらに、実際の台風(2020年台風第 10 号 Haishen)の多重壁雲構造を再現し、水平解像度が高いほど再現性が向上することを確認した。今後は、1km 以下の解像度で多重壁雲構造の再現性を検証し、境界層スキームの改良を行う。

(2)台風の内部構造の力学解析:

台風内部構造のメカニズムを理解し、初期値や境界条件の摂動に対する台風強度の変化依存性を解明した。数値モデル asuca を用い、異なる初期値設定で 2020 年台風第 10 号(Haishen)の再現実験を行い、初期値依存性を調査した。実験結果から、境界層の流れ場の時間変化

が台風構造の再現に影響することが示された。特に、初期値に依存するインフロー境界層の厚さや非傾度風の極大半径が、台風の最大風速半径に影響を与えることが分かった。今後は、壁雲形成半径に対する境界層スキームの感度を追加の数値実験で調べる予定。

(3)台風人為制御手法のメカニズム解明:

台風強度に変化を与えるための人為的制御手段を研究した。具体的には「コールドプールを生成する装置」を考案し、台風中心付近の対流を抑制することで台風の強度を効率よく弱化させる手法を探った。 海洋上や沿岸域に設置された装置が海水を散布し、冷却層(コールドプール)を形成することで対流の発生を抑制し、台風の勢力を弱める。2019 年台風第 19 号(Hagibis)を対象とした実験では、冷却率に応じた台風中心気圧の変化が確認された。今後は、より現実的な雨粒子の強制実験や、台風の移動に応じて強制位置を動的に変更する実験を行い、最も効果的な制御手法を探求する。

以上の研究は、台風予測の精度向上や制御手法の実現に向けた重要な一歩を示しており、さらなるモデル改良と実験が期待できる。

課題推進者: 佐藤 正樹(国立大学法人 東京大学)

研究開発課題3:(数値シミュレーションを用いた人為的な台風制御方法の定量的検証)

当該年度実施内容:本課題では、以下の4項目を検証した。

(1)海面水温の低下による台風制御方法の検証

前年度に引き続き、海洋温度差発電(Ocean Thermal Energy Conversion;OTEC)を想定した海面水温低下と、それを境界値とした台風 Faxai の介入シミュレーションを行った。トラックは CTL と比べてほとんど変わらなかった。しかし、最大風速は時間平均で 1.0m/s 低下しているなど、顕著な減勢に繋がる結果は見られなかった。本年度は更に海面水温と台風強度の関係を解析するための感度実験を領域モデル WRF によって行った。台風が通過する特定の領域の海面水温を任意の値に変更した初期値・境界値を作成し、台風 Faxai への介入実験を行った。その結果、海面水温を 5℃低下させた場合に、最大風速が 4ms-1 減少する結果が得られた。

(2)海上の障壁や風車による台風制御方法の検証

多数の大型帆船(障壁)を想定して、NHM-LES を用いて一定の理想的な強風化の中で抵抗体を複数設置したシミュレーションを行っている。主に縦 100m×横 100m×高さ 200m の抵抗体を 2km ごとに設置した場合のシミュレーションを進めており、台風 Hagibis の台風強度までの発達の再現実験との比較を行った。抵抗体を設置した箇所で風速が小さくなっている結果が得られた。また、多数の大型帆船を想定した介入は同じだが、SCALE を用いて台風 Faxai を対象に摩擦係数を変化させた実験を継続して行った。前年度は計算領域全ての摩擦係数を変更した実

験が主であったが、今年度は改良し、台風付近かつ円領域の摩擦係数のみを変更する実験を行った。摩擦係数を大きくするほど最大風速が弱くなる結果が引き続き得られた。半径 50km 以上の摩擦係数を大きくしても、最大風速に顕著な差が出ない上限を得ることが出来た。

(3) 界面活性剤による台風制御方法の検証

SCALE モデルを用いて、台風 Faxai を対象に台風付近かつ円領域の海面水蒸気フラックスを変更した実験を行った。水蒸気フラックスを小さくするほど最大風速が弱くなる結果が得られた。半径 150km 以上の水蒸気フラックスを小さくしても、最大風速に大きな変化が見られない。また、理想台風を対象とした数値シミュレーションも開始を始めた。初期結果をみると、現実台風とほぼ同様の結果が得られている。次年度は、実際の介入を考慮した変更領域の最小化を進める。

(4) 東京湾口に抵抗体設置を想定した高潮低減方法の検証

数値モデル WRF を用いて、東京湾口に抵抗体設置を想定し、該当グリッドの摩擦係数を変更した大気シミュレーションを行った。その結果、湾上の海上風が 10m/s 程度低下した。その海上風低下をした大気シミュレーション結果を用いた高潮モデル JAGURS による高潮シミュレーションを行い、東京湾の各都市の高潮偏差を解析した。その結果、抵抗体設置をした場合、東京湾全域に高潮軽減が見られ、特に湾奥の東京で約 25%高潮が軽減される結果が得られた。

課題推進者: 筆保 弘徳(国立大学法人 横浜国立大学)

研究開発課題4:(室内実験による Microphysics スキームの精緻化)

当該年度実施内容:

「高温・高湿条件下における実験を実現するための雲生成チャンバーの改造」では、加湿装置の増強やバルブの変更、配管調整などを行い、チャンバーの温度と湿度を段階的に上げる方法で高温・多湿条件を達成した。次年度はさらに高温・多湿条件を目指して調整を進める。

「雲生成チャンバーおよびその周辺機器・測定装置の整備・調整・校正」も達成し、HEPA フィルターの交換やエアドライヤーの調整を実施した。

「室内実験の可用性向上を目的とした実験初期化の自動化」は事務手続きの検討が必要となり、当該年度は中止したが、次年度以降の実施を計画する。

「台風環境下を想定した室内実験」では、25℃の高温と露点温度 19℃の多湿条件で成功し、海塩粒子や硫酸アンモニウムを使用して 10 回以上の実験を実施した。硫酸アンモニウムが雲粒数を増加させる効果を確認し、シーディング手法の可能性を後押しする結果となる。

「CCN/INP として働くエアロゾルを陽に扱うパーセルモデルの実行環境準備と実施」では、パーセルモデルの構築に成功し、海塩粒子と吸湿性フレアを用いたシミュレーションで、吸湿性フレアの効果を確認しまし

た。この結果は室内実験と一致し、シーディング効果の信頼性を高めた。シーディング実験の結果は論文として公表した。

当該年度実施内容：

「エアロゾルパラメタリゼーションを用いた数値実験の実行可能性を確認」については、SCALE-SPRINTARS モデルの実行可能性を確認し、CReSS-4ICE-AEROSOL モデルの実装も完了した。現在、CReSS-4ICE-CCN モデルを用いた事例選定を進めており、次年度の早い段階でシミュレーションを成功させたいと考えている。 また、2022 年台風 Nanmadol 事例を対象に、CReSS-4ICE-CCN モデルを用いて数値シミュレーションを行った結果、シーディングなしの場合に比べて降雨域が縮小することがわかった。 今後、シーディングに対する感度が高い場所や、降雨分布変化時の台風の強度を調べ、より精緻な台風制御技術の開発を目指す。SCALE-SPRINTARS モデルでは、2019 年台風 Faxai を対象に、海塩粒子をシーディングする実験を実施した。 仮想シーディング実験の結果、シーディングを行った場合の積算降水量が少なくなり、今後の硫酸塩散布実験やシーディング場所の選択実験を進め、台風弱化のメカニズム理解を目指す。

「室内実験になるべく近い形でパーセル持ち上げ理想数値実験の実行」は、介入手法の検討に注力するために当該年度は中止した。

「SCALE 上のエアロゾルパラメタリゼーションの実装」については、理化学研究所の西澤氏、北海道大学の佐藤氏、九州大学の竹村教授、気象研の安井博士の協力で実現した。これにより、SCALE-SPRINTARSを用いた現実台風のエアロゾル-雲相互作用込みの数値シミュレーションが可能となった。 MIROC-SPRINTARS データを初期値・境界条件に使用し、特定のエアロゾル種を指定時間、指定場所で増加させることで、シーディング効果を取り扱うことができる。 SCALE-SPRINTARS については、現在論文を準備中。

さらに、雲微物理スキームの雲粒生成過程の性能を観測と比較する研究も行い、ダブルモーメントスキームが雲粒の凝結数を過大評価し、粒径の小さい雲粒を作りすぎる傾向があることがわかった。 この研究結果は、現在論文として投稿中である。

課題推進者：吉田 龍二（国立大学法人 横浜国立大学）

研究開発課題5：（衛星観測データを用いた台風の物理的診断法の開発）

当該年度実施内容： 今年度は、静止気象衛星ひまわり 8/9 号の 30 秒間隔の赤外画像を用いた大気追跡風（AMV）導出手法を開発した。前年度の可視画像による手法と比較し、赤外画像は昼夜問わず使用できる利点があり、分解能の違いを考慮してテンプレートサイズを調整することで、上層雲の動きから台風上空の風速を広く推定できることが確認された。

データ同化に関しては、風速データを使用するための予備的な検討

を経て、今年度より本格的に開始した。観測演算子の設定において、可視光・赤外で同じ設定が妥当であることが示唆された。 また、2.5 分間隔のデータの利用法を開拓するために、30 秒観測データと比較し、回転を考慮した新しい雲追跡手法を考案し、その妥当性を検証した。さらに、前年度の研究を論文化し、出版した。Arakane & Horinouchi (2023) では、ドボラック法による最大風速と最低気圧の関係を航空機観測で検証し、強度推定向上の指針を得た。Tsujino et al. (2024) では、単一のドップラーレーダーによる視線方向風速から水平2次元風を推定する新しい手法を開発し、従来法よりも精度が高い成果を得た。この手法は、今後衛星データとの比較に強力なツールとなる。

当該年度実施内容:

観測システムシミュレーション実験(OSSE)

台風の強度推定と予報の改善、台風への介入による変化の制御には、データ同化による客観解析が必要である。本課題では、局所アンサンブル変換カルマンフィルター(LETKF)を用いた基礎研究を行う。SCALE LETKF システムを使い、Tsukada and Horinouchi (2020)の方位角平均接線風を観測演算子とする観測システムシミュレーション実験(OSSE)を実施した。コントロールランと同化システムで同じ設定の完全モデル実験では改善が見られ、異なる設定の不完全モデル実験でも改善が確認された。この成果は、台風の強度予測の改善に向けた重要な第一歩である。

実データの利用による進路改善

2022 年に九州に上陸した台風 14 号 Nanmadol を対象に、ひまわり 30 秒観測から得られた高分解能雲追跡風を用いて、気象庁非静力学モデルを基にした変分法データ同化システムを使った実験を行った。コントロール実験では台風の進路が西に外れたが、AMV を同化することで進路が正しく修正され、九州に上陸するようになった。この実験では、上層の風を広く同化することで指向流が改善されたと推察される。この結果は、高頻度高分解能 AMV によって予報が改善する可能性を示す具体的な証拠であり、研究のマイルストーンを超える成果である。

課題推進者:堀之内 武(国立大学法人 北海道大学)

研究開発課題6:(データ同化システムを用いた航空機・船舶による改変影響の最適化と評価)

当該年度実施内容:

(1) データ同化システムを用いた数理的感度解析

京都大学大型計算機システム B(Laurel)上にメソ気象モデル WRF とそれを基礎とするデータ同化システム WRFDA を実装したのち、それを基礎とするアジョイントベースの感度解析システムを構築した。そして、台風中心付近の運動エネルギーの総和を評価関数とする感度解析を実行した。対象としては、過去の台風のうち、日本に大きな災害をもたらし

た筆保プロジェクトの共通事例 2018 年台風第 21 号(Jebi)、2019 年台風第 15 号(Faxai)・第 19 号(Hagibis)に、急発達が航空機により撮られた 2022 年台風第 14 号(Nanmadol)を加えた 4 つとし、それぞれの台風の発生・発達・成熟・上陸時を対象とした。計画では、5km を下回る格子点間隔のモデルを用いた高解像度感度解析を実施する予定であったが、強非線形性が卓越し、1 時間を超える時間スケールでの感度場の追跡が困難であったことから、格子点間隔を 20km とした。結果として、成熟期の台風に関しては、眼の領域の下層水蒸気に少なくとも半日程度の持続性を持つ感度があることがわかった。実際にこの領域の水蒸気を 10%低減させる数値実験を格子点間隔 2.5km の高解像度モデルで行ったところ、実際に台風の中心気圧が 3hPa 程度上昇し、その効果が 1 日以上にわたって持続することが確認された。また、発達期の台風に関しては、700hPa 付近の高度において、壁雲の内側に水蒸気に対する高い感度が現れていた。これは、角運動量の内向き輸送に関連する可能性がある。興味深いことに、この感度場は他の領域に比べて湿った領域に現れており、非対称性を弱めるように元々湿っている箇所を乾かすことで台風が弱くなることが示唆された。ここで得た感度解析結果は、他チームにも共有し、他の PI の依頼に応じてデータの切り出し・提供作業を行った。

(2) 航空機・船舶観測データを用いた解析・予測精度向上

2023 年度は気象庁メソデータ同化システムを用いてアウターモデル(イノベーションを計算する際の基礎となる第一推定値を計算するとともに、出力を高解像度モデルとする)の高解像度化を行った。大きな違いが見られなかった 2022 年度のインナーモデル(誤差の最小化を図りインクリメントを生成する)の高解像度化とは異なり、精細な構造が表現され、現実の降水量に近づくことが明らかとなった。これはアウターモデルの高解像度化が台風構造の正確な表現に重要であることを意味している。 また、1980 年代の航空機観測を詳細に検討することを通じた台風強度解析の高度化にも取り組んだ。現在、洋上の台風強度の推定には 1980 年代の航空機観測と衛星観測の比較を基礎とするドボラック法の呼ばれる手法が使われている。しかし、本研究により気象庁で現在使われているドボラック法をいくつかの点で改善できることが明らかとなった。主な改善点は以下の 4 点である:(1)解析時刻の前後3時間に航空機が無いデータが約 40%含まれていたため、このようなデータを除外した(2)気象庁にご提供いただいた最新の解析手法に基づいて決められた台風構造の指標(CI 数)を利用した(3)飛行高度から中心気圧に変換する式に存在したバイアスを除去した(4)台風サイズ・外部気圧・緯度依存性を考慮した。これらの取り組みの結果、台風中心気圧の解析精度は 20%以上改善した。この研究について、Journal of Meteorological Society of Japan に論文を出版した。

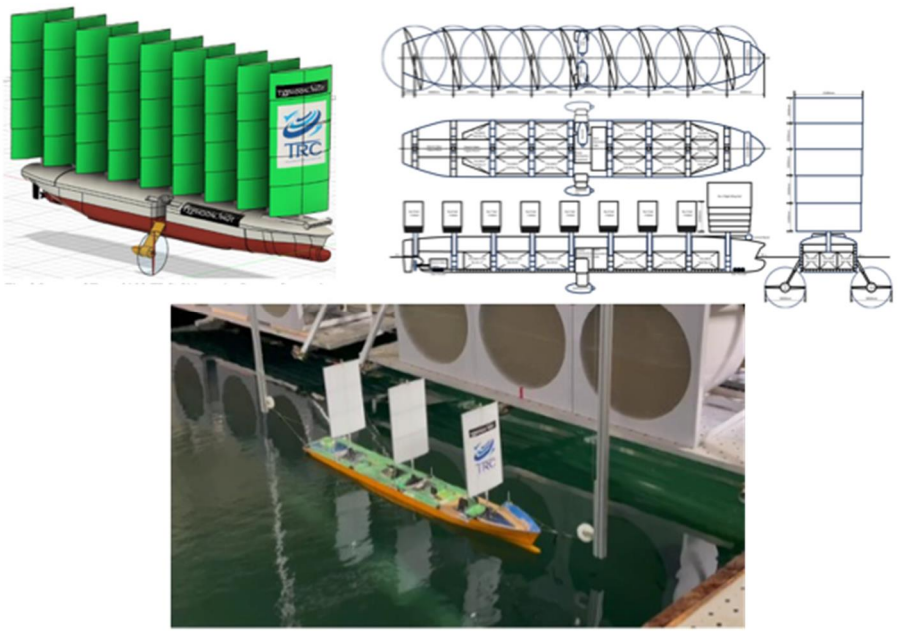
課題推進者： 伊藤 耕介（国立大学法人 京都大学）

（2） 研究開発項目２：（工学的アプローチ）

研究開発課題2：（船舶を利用した台風介入手段の開発）

当該年度実施内容：今年度の終了までに台風の環境下を模擬した水槽試験を実施するための準備として、図１に示すような 3D プリンタを活用した台風発電船の模型作成環境の構築と実用性検証、大型実験水槽における送風機の設置、現状の設備で台風環境下を可能な限り再現した風・波を想定した台風発電船のオペレーションが実施可能かどうかの運動試験などを実施した。結果として、現時点で想定している台風発電船は台風環境下である程度安定的にオペレーションできることの見込みが立った。

図 1. 台風発電船の模型作成と台風環境下の風・波を想定した水槽実験



過去の台風の発生場所と進路履歴をもとに、硬翼帆船を想定してどの程度台風に介入できそうかを見積もった。硬翼帆船での台風への介入は帆を抵抗体として台風に影響を与えることを想定しているため、どの程度の時間台風に追従できるかが重要なファクターとなる。今年度は、項翼帆から得られた推進力によって船を動かし、水中のタービンを回転させて発電・蓄電を行う台風発電船の簡易的な数値モデルを作成し、過去の台風の進路履歴に対してどの程度台風に追従できるかを評価するシミュレータの開発を行った。また、開発したシミュレータを用いて、台風発電船の簡易的な数値モデルをベースとした台風発電船の基本設計に相当する適切な基本スペックの検討を実施した。これにより、台風へ介入した上で発電もする台風発電船の試設計を実施することができた。また、台風への介入量とそれ

に必要なコストの関係図の作成については、すでに報告されている The Sailing Hydrogen Generator のコンセプト(Ouchi (2017))と同等の台風介入船を想定し、評価グラフにおける横軸として硬翼帆の面積を採用した。なお、台風介入船については 16 枚/隻で 25,600m2 の帆を持つものとした。また、 210（台風+強風で発電(210 日間発電)）、D090（台風でのみ発電(90 日間発電)）、D000（発電蓄電機能を搭載しない）の3パターンの台風介入船スペックを想定して費用を試算した。このグラフをもとに気象学的アプローチの研究者と議論し、硬翼帆船が台風に与える影響を見積もった論文（Horinouchi & Mitsuyuki(2023)）で想定した介入を実施する際にどの程度のコストが必要になるのかを見積もることが出来た。

課題推進者： 満行 泰河（国立大学法人 横浜国立大学）

研究開発課題3：（海洋構造物を利用した台風制御研究）

当該年度実施内容：20kW級軸流送風機をベンチマークとして、船舶甲板上に送風機を設置した場合の風量、風速、制圧、全圧空気動力、軸動力、効率の見積もりを行った。また、後述の冷却・加熱を想定し、船舶甲板に熱源を設けて送風を行った場合の温度分布を Solidworks Flow Simulation による数値熱流体解析により明らかにした。

当該年度実施内容：表層混合層より下層の低温の海水を利用し、熱交換装置を備えたヒートポンプを熱源とした冷却装置の研究を行った。船舶甲板上に設置可能なサイズの熱交換装置を想定し、1MW 級ヒートポンプ熱サイクルシステムについて MATLAB/Simulink/Simscape を用いて数値解析を行った。これを基本ユニットとして船舶甲板上に複数設置することで、1隻あたりの可能な冷却パワー、圧縮機の必要動力などを明らかにした。

当該年度実施内容：本研究の発電装置は、従来のものよりも広範囲の回転数で運転することが想定されるため、高速回転領域への対応、および、力行運転への対応について、発電機および増速機の構造の研究を行った。26MW 級発電機の基本構成について JMAG Designer による電磁界解析により検討を行った。

当該年度実施内容：超急速充放電可能な Na イオン電池用電極材料の開発を行った。従来負極材料のハードカーボンは炭素の細孔にナトリウムイオンを取り込むことから、急速充電が困難であるが、新たにチタン系負極材料を開発した。開発したチタン系材料は 2560 mA h g−1 という電流密度で 8 割程度急速充電可能である。これは、時間に換算すると 3 分程度の時間で 8 割程度充電可能ということに対応している。

当該年度実施内容：冷却・加熱に必要な電源容量と実現に必要な装置のコストの見積もりを行い、下図の結果を得た。10km 四方に 10 隻を展開した場合、冷却ヒートポンプ装置のコストは約 2000 億円、加熱ヒートポンプ装置のコストは約 440 億円となった。

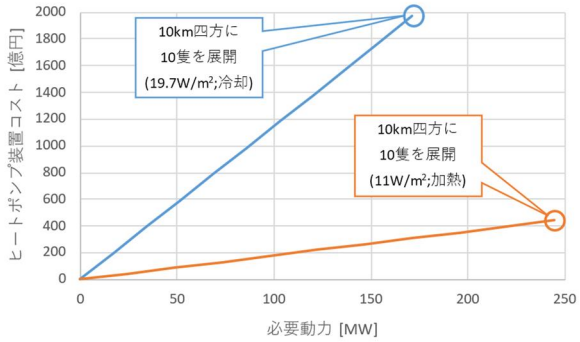


図:必要動力と装置コスト

課題推進者: 藤本 康孝(国立大学法人 横浜国立大学)

研究開発課題4:(台風・豪雨等の極端気象を抑制する海面からの蒸発抑制技術の開発)

当該年度実施内容:

(1) テフロン製のシャーレに超純水を満たし、蒸発速度を評価するために 3 つの方法を検討した。第一の方法では湿度計を使用し、第二の方法では開放系での質量変化、第三の方法では精密電子天秤を用いた質量変化測定を実施した。第三の方法が最も再現性が高く適切であることが判明した。界面活性剤の蒸発抑制効果を評価するため、ポリオキシエチレン(5)ドコシルエーテルとセタノールの 2 種類を検討し、セタノールが 30-50%の蒸発抑制効果を示した。さらにセタノールの密度を変化させた実験では、蒸発抑制効果が密度に依存することが明らかとなり、最終的に約 20%まで低減することがわかった。これにより、蒸発速度の評価方法を確立し、蒸発抑制率が高い条件のスクリーニングを行うことができたことからマイルストーンを達成した。

(2) テフロン製水槽に下相水として超純水で満たし、温度制御下、(1)の実験により蒸発抑制剤として有力な候補となったセタノール溶液を水面に展開させ、水槽の表面積を変化させるバリアを移動させながら表面圧を測定することで、一分子が占める面積(分子占有面積)A と表面圧 π の関係のプロット π-A 等温線を得た。また、海洋水条件において π-A 等温線が得られるように、Langmuir トラフおよび表面圧計を整備した。以上より、マイルストーンを達成することができた。

(3) 秒速 30 mの強風下を再現できる回流型の大型風洞を用いた蒸発抑制効果測定実験を念頭において、テフロンシャーレ内の水が飛散することのなく蒸発抑制効果の測定が行える風速の範囲の検討を行った。その結果、秒速約 5 m を超えると水面が波立、水が飛散する可能性があることがわかった。

課題推進者: 生方俊(国立大学法人 横浜国立大学)

（3） 研究開発項目3:（影響評価）

研究開発課題1:（台風制御による被害軽減の推計）

当該年度実施内容:

（1）統合的風水害被害評価モデル開発

過去被害データの整備

強風・高潮高波・洪水ハザードモデルで利用する地形、曝露データ、過去被害データの共通化を関係課題間（加藤課題、芳村課題）で協議した。また、強風・高潮高波・洪水ハザードモデル統合化に向けて、前年度から行っているインターフェース統合に関する協議を継続して行った。

（2）強風被害評価モデル開発および沿岸浸水被害評価モデル開発

建物特徴および地表面幾何学的形状のデジタル化手法の開発完了

航空機・ドローンで撮影した空撮写真をもとに作成したオルソ画像の色情報と 3 次元点群データの高さ情報を組み合わせて、建物輪郭をポリゴン情報として抽出する手法の開発を完了した。次に、識別された建物の輪郭ポリゴンを用いて当該ポリゴンに含まれる 3 次元点群（3 次元点群を地表面に射影したときにポリゴン内に含まれる点群）情報から建物高さ及び屋根形状を推定する手法を開発した。建物高さおよび屋根形状の種類（切妻、寄棟等）について半自動的に推定できるようになった。風洞実験で必要となる屋根の幾何学的形状に関する情報について、複雑な形状については点群データを用いて手作業で生成する必要があるものの、単純な屋根形状について半自動的に推定できるようになった。

また、地表面事物の幾何学的特徴から風圧力を略算的に推定する方法を開発するため、大阪府南部の一部地域に対して、上記の通り開発した建物の特徴をデジタル化する手法によって構築されたエクスポージャーデータを用いて風洞実験模型を製作し、縮尺模型実験を実施することで建物に作用する風圧力の精度検証を実施した。

高潮の大規模浸水による被害額を推計可能とするため、津波浸水計算モデルの高度化を行った。前年度の成果を発展させ、高潮による浸水計算の精度向上のために移流項に非線形項を追加したコード改良を行い、理想化条件で水位等の計算精度の確認を行った。ついで、家屋についての直接被害額を推計するためのフレームワークを大阪を対象に構築した。家屋被害推計では、家屋の平均床面積、計算メッシュ毎の家屋数、平米当たりの資産単価、浸水深毎の被害率の基礎的データを収集し定式化した。以上の検討をもとに、2018 年台風 21 号 Jebi を対象に再現計算を行い、直接被害額を推計の精度検証を実施した。以上およびこれまでに開発してきた航空写真に基づく屋根ふき材の種類を合わせて、当該年度の本項目を達成した。

(3)一般アンケートによる懸念事項のとりまとめ

多ジャンルの防災研究者によるキックオフミーティングを開催した。台風制御による防災対策や経済影響について議論を行い、取りまとめを行うと共に、次年度に実施する専門家へのリアリング内容およびヒアリング対象者を決定した。前年度の検討にもとづき、鉄道、高速道路、空港の大規模運輸関係の危機管理担当者を対象に防災情報、防災計画、防災教育等の研究者へのヒアリングを実施した。これにより台風制御によって生じる可能性がある「法体系、産業および行政へ影響」に関する実情についての現状把握を行った。

課題推進者: 森 信人(国立大学法人 京都大学)

研究開発課題2:(台風水災害影響評価モデルの開発)

当該年度実施内容:

(1) 台風水災害影響評価モデルの開発

TE-Japan の洪水氾濫面積率から浸水地域での被害額の推計を行うアルゴリズムを開発し、その検証を進めた。具体的には、台風水災害影響評価モデルを用いて、台風 Hagibisについてのシミュレーションを行い、浸水域及び浸水深を 30m 解像度にダウンスケールした結果に、被災した建物数と被害額を推計するアルゴリズムを適用した。その結果を長野県長野市を流れる千曲川について検証した。本課題(洪水)だけでなく、強風・高潮高波モデルで利用する地形、曝露データ、被害データの共通化を関係課題間(森課題、加藤課題)と協議し、推進した。同様に、3 年度以降の強風・高潮高波・洪水ハザードモデル統合化に向けた協議を進めた。

(2) 気象水文被害連成予測システムの開発

特定の台風に対して人為介入を行った場合の洪水被害額推計を実施した。その際、気象学的アプローチで行われる人為介入シミュレーション結果、もしくは関連影響評価課題(森課題・加藤課題)で共通化した人為介入シナリオを大気フォーシングに加味することを計画していたが、単純に大気フォーシングに含まれる降水量を一定倍率で現状させていくこととした。台風Hagibis について、人為介入を行った場合の洪水被害額推計を実施した結果、千曲川全域での被害額は降水量が 50%になるとゼロになることがわかった。ただし、堤防の影響などを考慮していない初期的な結果であることには注意が必要である。

(3) 被害最小化をもたらす人為介入の逆推計

最終的な目的である被害が最小となる人為介入メニューを逆推計するため、(2) の気象水文被害連成予測システムを用いた順計算を様々なパラメタにて複数回実施する必要がある。その計算時間削減のため、陸面での降雨流出過程に関する代理モデル(エミュレータ)の作成に取り掛かり、そのプロトタイプを作成した(Olson et al., 2024)。このエミュレ

ータは、降水量や気温、湿度などを入力として、積雪量、土壌水分量、流出量などを出力とする。全球 1 度解像度で、20 世紀の日変動について性能を検証したところ、物理的な計算結果の性能は保ちつつ、計算速度を劇的（20 分以上から 1 秒以下）に向上させることに成功した。

課題推進者：芳村 圭（国立大学法人　東京大学）

研究開発課題3：（被害軽減効果の社会的影響の分析）

当該年度実施内容：

(1)風災被害評価に向けた広域リスク評価モデルの構築

台風制御による風速の変化が建物罹災棟数や被害額に与える影響を定量的に評価するため、令和 4 年度に整備した台風被害に関する諸データをもとに、風災マクロモデルを構築した。風災マクロモデルは、ハザードモデルと脆弱性モデルから構成される。まず、ハザードモデルである工学的台風モデル（経験的台風モデル）を構築し、外力である既往台風の最大瞬間風速を計算した。次に、外力に対して建物罹災棟数を推定する被害関数である脆弱性モデルを構築した。具体的には、昨年度整備した台風被害に関する諸データから、都道府県別の罹災棟数情報（消防庁「災害統計」）と、ハザードモデルから計算された最大瞬間風速を紐づけ、回帰分析によって被害関数を構築した。構築した被害関数は、消防庁「災害統計」ベースの建物罹災棟数を推定するものであるが、本データは網羅性が十分でないと考えられる。このため、一般社団法人日本損害保険協会が統計情報として公表している台風別の支払保険金データ（件数および金額）をベースに、「災害統計による被害情報」と「支払保険金の情報」を紐づけ、さらに火災保険付保率を考慮することで、実際の建物罹災棟数と被害額を推定した。 なお、1台風当たりの被害情報データには、風災と水災による被害が混在している。一方で、風災マクロモデルにおける脆弱性モデルは風災のみが対象であるため、過去の被害情報から風災と水災を分離し、風災の被害情報のみを抽出した。具体的には、一般社団法人日本損害保険協会が公表している「そんぽ風水害データベース」に掲載されている風災と水災の損害保険金の支払件数と支払額をもとに、風災と水災を切り分けた。

最終的な目的である、台風制御による風速の変化が建物罹災棟数や被害額に与える影響の定量的評価のため、構築した風災マクロモデルを用いて 2018 年台風 21 号（JEBI）および 2019 年台風 15 号（FAXAI）を対象に再現計算を行い、風速を 5%、10%増加/減少させたときの建物罹災棟数と被害額への影響を確認した。その結果、わずか 5%風速を増加/減少させることで、建物罹災棟数と被害額が概ね 2 倍/半分となることを確認した（図）。検証のため、同様の分析を既往モデル（MS&AD インターリスク総研株式会社開発）により実施した結果、10%の風速の増加/減少によって、建物罹災棟数と被害額が概ね 2 倍/半分になることを

確認した。本研究開発プロジェクトで構築したモデルと既往モデルでは、風速変化に対する被害額の感度は異なるものの、5～10%程度の風速の変化によって、建物罹災棟数と被害額が大きく増減することを確認した。この結果から、気候変動による地球温暖化によって風速が増大した場合に建物罹災棟数や被害額が大幅に増加する一方で、台風制御によってわずかに風速を減少させることで、大きな効果を得られる可能性があることを示唆している。

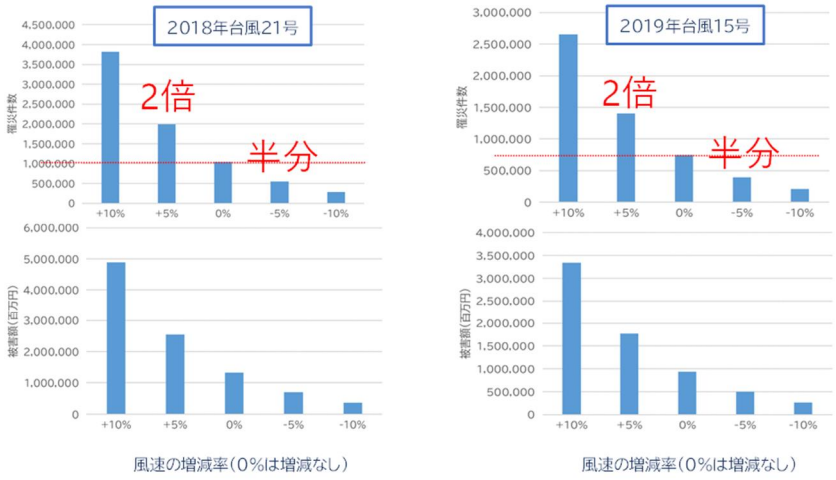


図　構築した風災マクロモデルを用いた，台風制御による風速変化が建物罹災棟数と被害額に与える影響．左が 2018 年台風 21 号，右が 2019 年台風 15 号を対象としたもの．

(2) 台風外力が家計・企業・農林水産業に与える影響の分析

台風制御の社会受容性を高めるために必要な納得感のある説明を実現するために、大規模な社会調査を実施した。現在、台風が社会にもたらしている影響によって、国民がどの程度困難や不安に直面しているかを把握することができれば、台風制御によって具体的にどのような困難や不安を解消できるのかを訴求することができる。そこで、過去の顕著台風である、2018 年台風第 21 号、2019 年台風第 15 号、2019 年台風第 19 号をはじめ、2018 年以降に日本に上陸または接近した台風によって、日常生活や仕事に何らかの影響を受けた国民 12,024 名を対象に、質問紙による社会調査を行った。以下のカテゴリーについて合計 114 の項目を作成し、各項目について、困難度と不安度を問うた。項目の作成にあたっては、網羅性を確保するため、既往の調査や文献に加え、令和 4 年度に取集した上記 3 台風に関する新聞記事（全国紙、地方紙、業界紙）21,212 件、内閣府や政府系金融機関等が公表する景況調査から抽出したコメント 4,142 件、有価証券報告書から抽出したコメント 458 件をテキストマイニングで分析した結果を参照した。

人的被害の状況、自宅の状況、自宅のライフラインの状況、自宅の生活インフラの状況、労働時間・収入への影響、医療・介護への影響（同居の家族を含む）、通信・物流への影響、移動への影響、学校への影響、買い物への影響、旅行やレジャーへの影響、事業・業務・仕事の継

続への影響、売上・繁忙度への影響

調査の結果、特にライフラインの停止による不安度や困難度が大きいことを確認した。その中でも特に停電に対する不安度や困難度が大きく、日常生活や仕事への影響の大きさが伺える。台風制御の訴求に際しては、制御によってライフラインの停止による不安や困難を免れることができることを強調することが効果的であることが示唆される。一方で、収入や事業継続への影響といった、最も深刻度が高いと考えられる影響について、他の項目と比較して不安度や困難度にそれほど顕著な差が確認できなかった。2018 年以降に日本に上陸または接近した台風は、各地で深刻な被害を及ぼしたものの、わが国全体にとってみれば甚大な社会不安をもたらしたとまでは言えない。このため、台風制御の訴求のためには、将来的に発生が危惧されている大都市圏での甚大な風水害の被害を軽減できることを訴求する必要もあると考えられるため、令和 6 年度には首都圏大規模水害対象とする意識調査を実施する計画である。

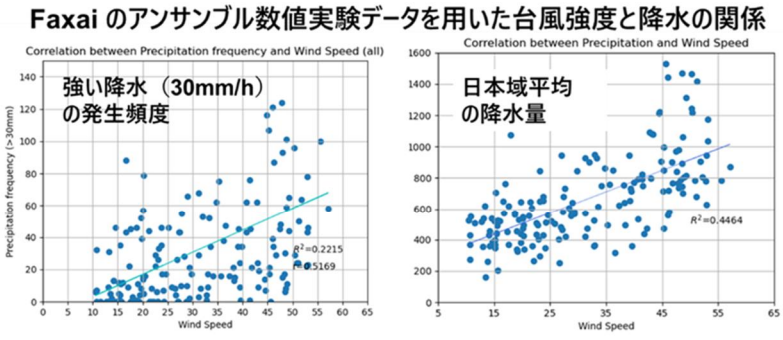
課題推進者：加藤　大輔（株式会社東京海上研究所）

研究開発課題4：（数値実験データを用いた台風変化の地球規模の影響を診断する手法の開発）

当該年度実施内容：

(1) 数値実験データを用いた台風による影響の定量化

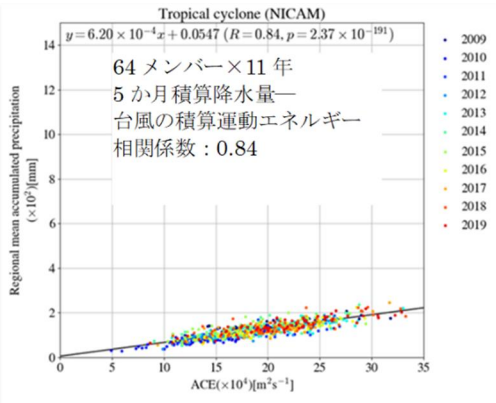
まず、2019 年台風 15 号（Faxai）を対象とする 1600 メンバーアンサンブル数値実験データ（Yamada et al. 2023）を用いて、降水等の被害評価に直接関連する物理量と台風強度との関係を定量的に調べた。前年度に開発した手法により、シミュレートされた多数の台風の中から経路の類似するものを抽出し、日本付近での台風強度と日本域の積算降水量の関係を算出した。その結果、両者の間に有意な正の相関があることが示された（図）。また、両者の関係は完全に線形ではなく、台風強度が強い場合（最大風速 40 ms-1 以上）には、特に降水量の大きいサンプル群が見られた。これらの結果から、介入等により台風の強度を弱めた場合、降水量や強い降水イベントの出現確率が減り、その影響は台風が強いほど大きいことが示唆された。



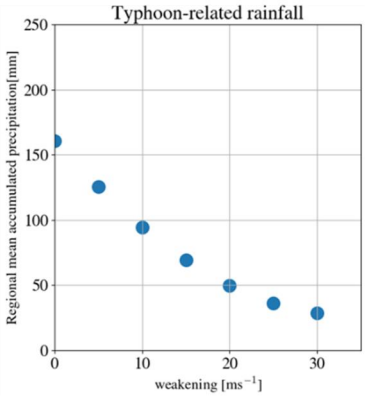
図：2019 年台風第 15 号の数値実験における日本付近通過時の台風強度（横軸）と（左）強い降水イベントの発生頻度（右）日本域での台風通過後 2 日間の積算降水量（横軸）の散布図。

この関係の一般性を確認するため、夏季（6－10 月）多年実験

(2009-2019 年)のアンサンブル数値実験データ(4 年目以降の計画で利用予定)を用いて、日本に接近する台風の活動度(積算運動エネルギー)と台風に伴う積算降水量の関係を定量的に評価した(右下図)。両者の間には高い正の相関がみられ(R=0.84)、上図の結果と整合する。この基本的な関係が、介入により台風強度が変化した場合にも成り立つと仮定し、シミュレートされたすべての台風が一定幅弱くなった場合の降水量の変化量を見積もった(左下図)。この結果は、台風への介入を継続的に行った場合の台風に伴う降水量の減少幅の推定に利用することができる。以上の結果を影響評価グループおよびプロジェクト内で共有した。



図：2009-2019 年の夏季（6－10 月）シミュレーションにおける台風強度（横軸，積算運動エネルギー）と台風周辺域（最大風速）半径の 2 倍以内）の降水量（横軸）の散布図。台風が日本に接近した期間のみを 5 か月積算。



図：台風の最大風速の減少（横軸）に対する台風周辺域の積算降水量（縦軸）の評価グラフ。すべての台風を介入により弱めた場合を想定。

次に、広域環境場(西太平洋域)における影響を推定するため、前年度に行った調査に基づき、力学的要素(太平洋高気圧や上空の風速・気圧等)に注目した解析を行った。台風の日本付近通過時を基点とする合成解析では、台風の発達に伴って波列状の気圧応答が現れ、これにより台風の北東の太平洋高気圧北西部で高気圧偏差の強化が見られた(図略)。ラグ相関解析を導入し、この気圧応答と台風強度の前後関係を評価したところ、一貫性のある有意な相関は見られなかった。台風第 15 号の特徴として、小型かつ先行台風が存在していたことから、その強度変化が太平洋高気圧等の広域力学場に及ぼす影響が他の擾乱の影響に比べて有意でなかったことが示唆される。一方で、水蒸気場については有意な変化がみられた。次年度以降の研究開発において、水蒸気場への影響評価や他の事例との比較を行い知見を拡充する。

(2) インパクト調査実験による検証・推定手法の構築

得られた知見を検証するためのインパクト調査実験に着手し、プロジェクト共通の対象である4つの台風事例のそれぞれについて、標準実験(現実再現実験)を完了した。また、経路が類似し強度が異なる

台風について比較を行うため、breeding 法を応用して標準実験に摂動を加えた実験（20 メンバー）も行った。これらにより、対象台風事例について、強度のわずかに異なる複数のシミュレーションデータが得られた。インパクト調査実験として、台風中心部に雨水を付加し、降水の蒸発冷却により勢力を弱めることを想定した数値実験を試行した（2019 年台風 15 号と 19 号）。台風発生期に雨水を投与すると変化の傾向が系統的でなく、台風の成熟期に投与すると 300000 トン（理論的見積りでは約 5 hPa の中心気圧上昇に相当）を与えても殆ど勢力が弱まらなかった。次に、台風の構造の平滑化により台風強度を減ずる方法を考案し、実験準備を行った。実験設定や実験結果について、プロジェクト全体会議等で報告し、気象学的アプローチの課題参加者と情報共有しつつ進めた。

以上により、当該年度のマイルストーンを充分に達成すると共に、次年度以降のマイルストーンを一部達成した。

課題推進者：那須野 智江（国立研究開発法人 海洋研究開発機構）

（4） 研究開発項目４：（ELSI）

研究開発課題1：（台風制御に関わる ELSI の分析と検討）

当該年度実施内容：

（1） 本研究では、(a)台風制御の手法や実装シナリオを限定しない段階で抽出される ELSI/RRI 検討項目と、(b)具体的手法（無人船舶、無人航空機など）や実行場所を前提として抽出される具体的 ELSI/RRI 検討項目とに分けてリストアップすることを実践している。(a)に関しては、令和 4 年度に ELSI 横断検討において作成した俯瞰図（「ELSI 論点の洗い出し・体系化」）に列挙された項目のうちの倫理的課題をさらに精緻化する方向で研究を進めた。まず、台風制御による環境改変と、植林や里山再生といった自然再生活動（作られた自然）の是非に関わる議論との接合を試みた。さらに、第三者に対するリスクの押し付け（imposing risks）に関する正義論や災害倫理学分野での議論をまとめ、台風制御をリスク分担（risk sharing）の枠組みで把握する方向性について、その可否を検討した。

具体的な ELSI/RRI 検討項目に関しては、まず、令和5年度前半時点での代表的な手法（(a)航空機を用いたクラウドシーディング、(b)船舶からのフォーシングによる介入、(c)OTEC を用いた介入）について、とりわけ法制度面での課題を列挙した（図1、図 2）。

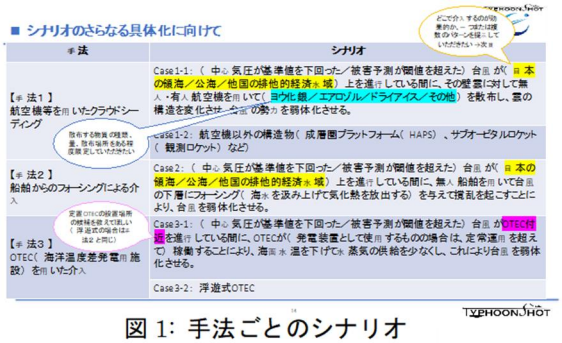


図 1: 手法ごとのシナリオ

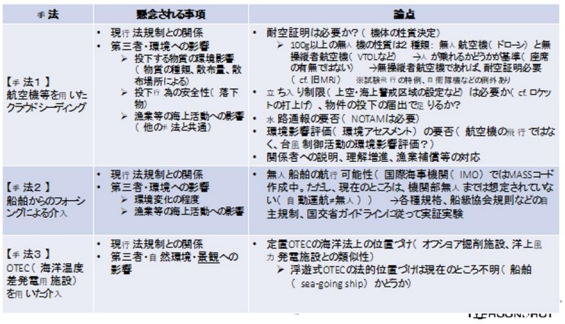


図 2: 法制度面での課題

さらに、どの海域または空域で制御が行われるかによって国際的な影響が異なることから、令和元年台風 15 号（Faxai）、19 号（Hagibis）、2018 年台風 21 号（Jebi）、2022 年台風 14 号（Nanmadol）を対象に、台風の進路データを海域（領海、接続水域、排他的経済水域、公海）または飛行情報区（FIR）のデータにプロットし、制御実施によって想定される国際的課題を分析した（図 3）。

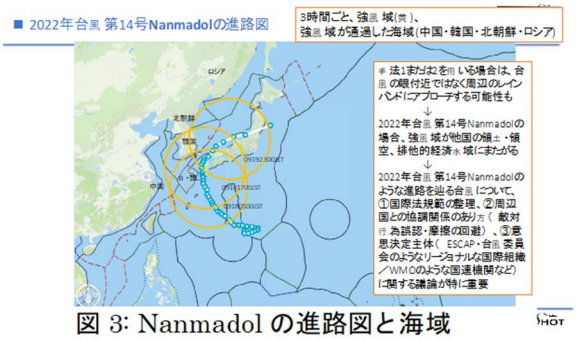


図 3: Nanmadol の進路図と海域

(2) 現在の台風制御技術はまだ萌芽の段階にあり、その活動のリスクを具体的に特定するための情報が確定していない（Collingridge のジレンマ状態）。そこで、まずは新興科学技術の社会実装までのプロセスに関する方法論を確定した（図 4）。その上で、(a)技術と地域を特定しないニュートラルな社会実装シナリオを作成し、その分析を通じて、社会実装段階におけるリスクへの対処（安全規制、影響評価、責任・補償）のあり方について検討した。加えて、(b)アメリカの Stormfury 計画および気象調節（人工降雨）に関して設けられた実証実験の実施基準（WMO のガイドラインや国内法など）、および気候工学（ジオエンジニアリング）に関する議論（Oxford Principles (2009), Tollgate Principles (2018)など）を参考に、①研究開発における倫理指針、②実証すべき技術基準、③実証実験段階のリスクに対応した安全規制の各項目について、検討すべき事項を列挙した。R6 年度は、少な

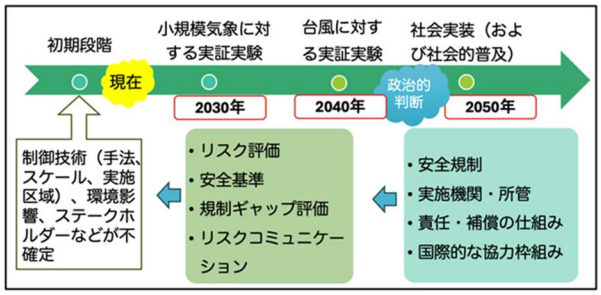


図 4: 社会実装までのプロセスと ELSI 研究の進め方

くとも①の指針を完成させた上で、他のグループの研究開発の状況と同期しながら、段階的に②および③の基準作りを行う予定である。

(3) 令和5年度は、台風や既存の防災に対する意識調査を実施した。とりわけ、気候変動影響によって気象災害が激甚化したとしても、その意識は変容しないのかどうかを把握することを目指した。まず、(a)28 の自治体の防災担当者にインタビューを実施し、現在の防災対策、地域特有の台風文化、 災害行政の状況、台風が強大化した場合の防災対応や意識変化の見込みなどを調査した。次に、(b) 一般市民 4,741 人を対象にインターネットアンケートを実施した。いずれの調査においても、環境の変化にかかわらず現状の対策を強化し続けるべきという意見が多く、すぐに人工的な介入を支持する意見が増えるわけではなかった。さらに調査結果についての分析を進め、今後の社会実装のあり方を構想する際の参照資料とする。

課題推進者: 笹岡 愛美(国立大学法人 横浜国立大学)

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

代表機関である横浜国立大学内の総合学術高等研究院(以下 IMS)に、PM 支援体制を構築する。主たる支援メンバーとして、PM 補佐(全体管理担当の研究戦略企画マネージャー、外部連携担当、アウトリーチ担当、事務職員及び事務補佐員が、代表機関内外に所属する課題推進者の研究開発の進捗管理や研究開発機関間の連携等の様々な PM 活動を支援する。特に PM 補佐(全体管理担当)は、本プロジェクトに関わる総合的な渉外窓口として、プロジェクトの進捗把握や成果管理の面で PM の活動を補佐する。また、PM 補佐(外部連携担当)は、本プロジェクトの成果を社会実装する上での事業化戦略策定、その実行手段としての産学官連携活動の面から PM を補佐する他、知財権利化や知財戦略策定に主体的な役割を果たす。さらに PM 補佐(アウトリーチ担当)は、公開シンポジウムやセミナー等、気象関連の専門家のみならず、一般市民に向けて本プロジェクトの活動内容や成果を分かりやすく発信し、本プロジェクトへの関心、理解を深める活動を主導し、PM の活動を補佐する。また、IMS では高等研究院長を学長が兼任し、トップダウン型のガバナンス体制が整備されており、学内の研究環境整備や IMS と学内組織との協働を軸として、代表機関全体を巻き込む動きによって PM 活動を支援する。

○ 重要事項の連絡・調整(運営会議の実施等)

PM を議長とするチーム運営会議を月 1 回の頻度で開催し、同会議にて本プロジェクトの重要事項の連絡・調整・議論等を行う。運営会議の事務局は台

Q10 台風から生ずる風水害や土砂災害に対するあなたの感覚に近いものを教えてください。

	n	自然災害なので、現在の防災手段で十分でなかった場合は、被災しても仕方がない(その土地に住む以上は、災害リスクを受け容れるべきである)	個人や家庭、地域・コミュニティは、これまでの防災手段をさらに強化すべきである	災害リスクを低減させるため、行政は、インフラの整備や地域な区域での開発制限をこれまで以上に進めるべきである	災害リスクを低減させるため、行政は、科学技術により台風そのものの勢力を減退させるような介入を行うべきである	その他
総数	4741	1693	2053	2137	831	47
(%)	100.0%	35.7%	43.3%	45.1%	17.5%	1.0%

Q11 気候変動の影響により、今後、強い勢力の台風の襲来が増えるとの研究もあります。仮に現在よりも強大化した台風が襲来するとして、これから生ずる風水害や土砂災害に対するあなたの感覚に近いものを教えてください。

	n	自然災害なので、既存の防災手段で十分でなかった場合は、被災しても仕方がない(その土地に住む以上は、いかなる災害リスクでも受け容れるべきである)	個人や家庭、地域・コミュニティは、これまでの防災手段をさらに強化すべきである	災害リスクを低減させるため、行政は、インフラの整備や地域な区域での開発制限をこれまで以上に進めるべきである	災害リスクを低減させるため、行政は、科学技術により台風そのものの勢力を減退させるような介入を行うべきである	気候変動対策をさらに強化すべきである	その他
総数	4741	1400	2115	2312	880	1173	41
(%)	100.0%	29.5%	44.6%	48.8%	18.6%	24.7%	0.9%

図 5: 台風に関するアンケート
(実施期間：2024 年 3 月 12-14 日、対象：15 歳以上の市民 n=4, 741)

風科学技術研究センター内に置き、会議メンバーは議長である PM の他に PM 補佐、課題推進者で構成される。

○ 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）

今年度より、月度のチーム運営会議を重要事項の連絡だけでなく課題推進者が開発研究状況を持ち回りで報告・議論する場とした。また、従来から運用している課題推進者会議は、4/25 に横浜国立大学にて開催し、年度の計画およびマイルストーンの合意、9/12 に京都大学防災研の開催で、マイルストーン達成見込みとプロジェクト中間報告にむけた各項目−課題の活動のコミットメントを行った。サイトビジットに関しては、6/12 につくば気象研で行い、気象学的アプローチ/室内実験による Microphysics スキームの精緻化の研究状況を雲生成チェンバーのデモを交えてMS8プログラムメンバーに共有し議論した。

(2) 研究開発プロジェクトの展開

本研究開発プロジェクトでは、令和4年度、令和5年度から引き続き、複数の研究開発機関の研究者を構成メンバーとする研究開発課題ごとに研究を推進し、互いに連携及び協働することでプロジェクト全体のマイルストーン達成を目指して活動した。PM は各研究開発課題の成果報告書や課題推進者会議等により把握した研究成果及び進捗状況に基づき各研究開発課題を評価し、研究資金の配分・執行状況も鑑みながら、運営会議での議論を経て、柔軟に研究開発課題の研究内容やメンバーの再編を行う。また、目標8の達成を目指す他のプロジェクトとも積極的に情報交換や連携を行いながら、自らのプロジェクトで担当する研究課題の成果獲得を目指す。

○世界中から研究者の英知を結集するための国際連携に関する取組みについて

プロジェクト推進の組織母体である横浜国立大学台風科学技術研究センター（以下、TRC と呼ぶ）では、日本で初めて 11 月中旬に台風科学の国際ワークショップ：International Workshop of Typhoon Research and Technology Center (IWTRC)を開催し、台風研究で世界的権威である Kerry A. Emanuel 教授（マサチューセッツ工科大学)、Yuqing Wang 教授(ハワイ大学)、Chun−Chieh Wu 教授(国立台湾大学)を招へいし、世界 15 カ国から集まった台風研究者や研究者を目指す学生との最新の台風研究の交流を実現した。同時期に台風制御に特化した国際ワークショップ：International Workshop of “Typhoon−Shot”も開催した。台風研究の世界的権威の研究者3名と筆保プロジェクトの課題推進者および研究員の情報交換、議論の場として、研究員の新たな気づき、次年度の研究のヒントを得る場となった。また、TRC は、台風科学の国際ネットワークハブとして、台湾・英国・バングラディッシュ、フィリピン、ベトナムの 9 機関（国立台湾大学2部局、インペリアル・カレッジ・ロンドン、梨花女子大学2部局、マニラ観測所、フィリピン大学、アテネオ大学、ハノイ科学技術大学）との国際連携協定を締結することができ、今後、さらに国際連携協定を拡大し、台風科学および台風制御の英知を結集する場となる。 研究課題においては、佐藤 PI は、数値シミュレーションの手法により人為的強制が台風に与える効果を調べる研究に従事している海外の研究者を採用し、芳村 PI は世界気象機関（WMO）が統括する「観測と予測」の中で2023年9月に発足したET−OHPS（Expert Team on Operational Hydrological Prediction Systems）に参画開始した。

○研究開発の加速や社会実装に向けた ELSI/数理科学等に関する取組みについて

今年度から数理科学の取り組みを強化するために、坂上SPDなどとともに検討を繰り返した。今後の数理研究導入の方向性としては、台風予測精度の向上と台風制御技術の開発、ELSIの解決が主な焦点となる。これらの課題は、精密な数値モデリング、デー

タ同化技術の進化、最適化と制御理論の応用を通じて解決される見込みである。特に、膨大な気象データを活用し、機械学習を組み込んだ予測モデルの開発や、台風のエネルギーを増幅させる可能性を探る研究が期待される。また、ELSI の観点からも、台風制御技術がもたらす影響についての評価や、ステークホルダー間でのメリットの配分を考慮する必要があり、これもまた数理研究によって支援されるべきとなった。 伊藤 PI や堀之内 PI をはじめとする研究チームによる予測モデルの検証とデータ同化技術の改善に集中し、セミナーを通じた知識の共有を推進してきた。2025 年から 2026 年の間では、数理最適化技術を用いた制御戦略の具体化を目指し、2027 年から 2031 年にかけてはこれらの技術を台風制御に実際に適用するための最終調整を行うこととした。一方で、ELSI の課題に対しては、坂上SPDをはじめとする専門家からの推薦者とともに、社会的合意形成と問題解決のための数理的アプローチの開発に力を入れていく予定である。

(3) 広報、アウトリーチ

昨年度、TV や新聞で台風制御に関して多く取り上げられたことから、2023 年度は、その波及効果も大きく、幅広い媒体より取材申し込みがあった。その中でも特に気象・防災以外の専門誌からの依頼に関しては、今までにリーチできなかった層により深く訴求できるというチャンスでもあるため、積極的に対応を行った。昨年に引き続き、ムーンショット目標とタイフーンショット(台風科学技術研究センターが行うプロジェクトの総称)に関しても丁寧に説明をすることを心がけた結果、子供向け科学雑誌でも誌面を割きながらムーンショット型研究開発制度を取り上げ、解説が行われるなど、成果を上げることができた。

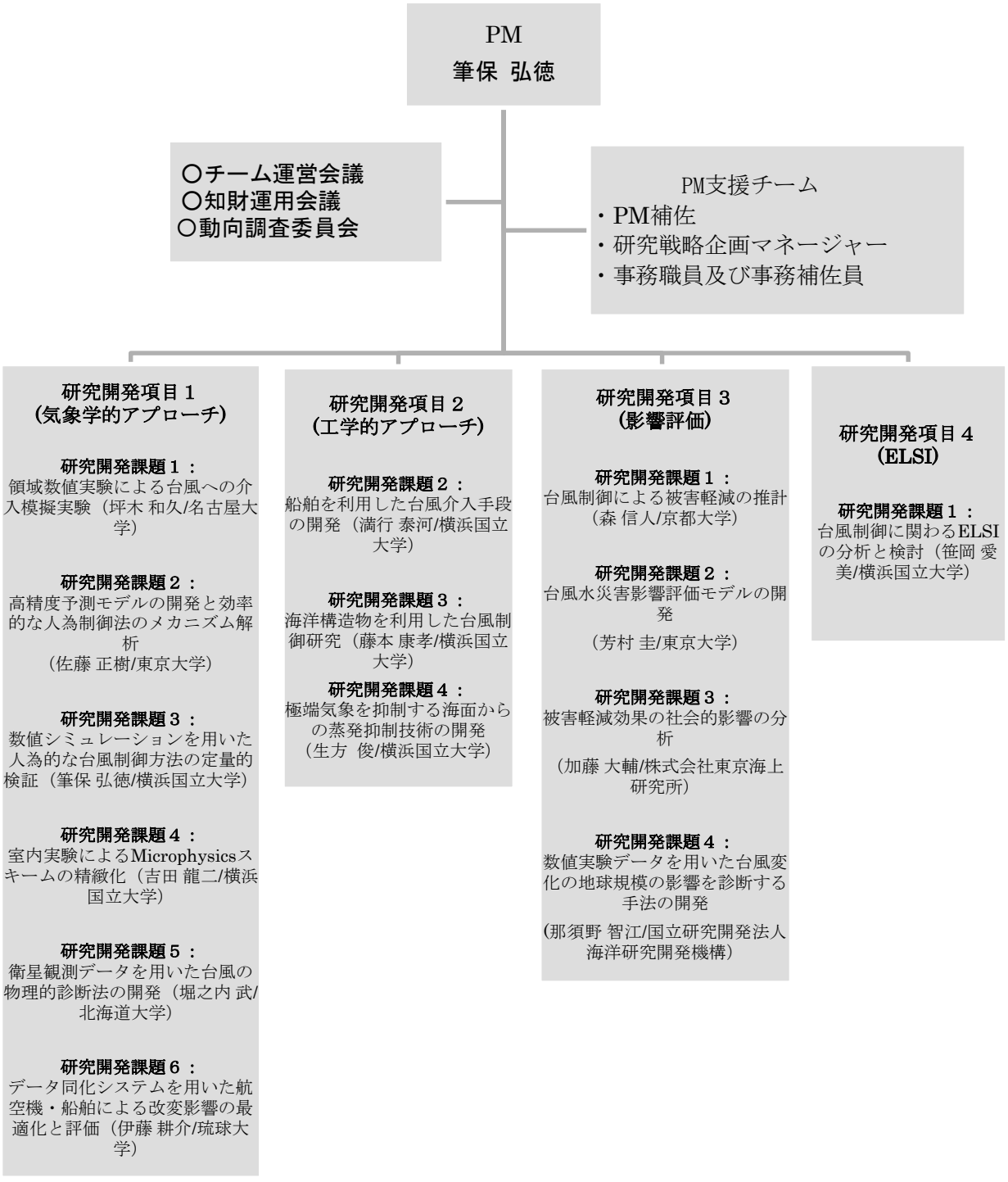
イベントに関しては、台風科学技術研究センターが持つ SNS のチャンネルなどを活用しつつ、市民講座の中で筆保 PM のプロジェクト内容説明とムーンショット目標の紹介を行った。 その結果、2023 年度分のみの実績で 1,750 名(2023 年 4 月～10 月)に対してリーチを行うことができた。 内閣府主催の「ぼうさいこくたい 2023＆防災 KOKUDAI」(来場者数延べ 16,000 名)においても、台風科学技術研究センターの展示企画として、MS 目標8全てのコア・要素研究の掲示物を作成して掲示を行なった。また、メイン会場では「台風防災の過去・今・未来」と題して筆保 PM のメンバー【(筆保 PM、坪木 PI、満行 PI、笹岡 PI、多嘉良(加藤 PI)】でオープンセッションを行った。 セッションに先立ち、菅義偉前内閣総理大臣からのビデオメッセージ、梅原出横浜国立大学学長挨拶があり、90 分にわたって講演とパネルディスカッションを行うなど、様々なステークホルダーと関わりつつ、アウトリーチ活動に繋げることができた。3/31 には JST 主催の未来館イベントのサブイベントとして、TRC スペシャル4を開催し、PM/PI/研究員から台風科学、台風制御を子供目線で紹介する機会を得た。

その他には、イベントや配信以外の紙媒体でのアピールとして、プロジェクトの概要／体制とアウトプットに関しても解説した8ページのパンフレットを作成した。さらに英語版パンフレットも作成し、11 月の IWTRC で海外からの参加者にMS8活動をアピールした。

(4) データマネジメントに関する取り組み

昨年度、登録ゼロ件であったが毎月開催されるチーム運営会議、課題推進者会議で全 PI へデータ登録の必要性を説明し、今年度は、150 件/14PI の研究データが保存、登録することができた。

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

【構成機関】

・PM（議長）、PM 補佐所属研究代表機関

・PI 所属機関（個別案件の権利化等に関わる協議の場合は案件に関わる PI の機関のみ議論に参加）

・必要に応じて、研究代表組織や課題推進者組織の知財部門からの参加を要請する。

【実施内容】

プロジェクトに参画する複数研究機関間における知的財産の基本的な取り扱いに関する協議を行い、必要に応じ合意書締結等を進める。さらに上記知的財産支援室の支援のもと、必要に応じて当該合意書の中で、外部機関との秘密保持契約に関する条項を設け、プロジェクト外部の機関との関連も定義し、管理を行う。

チーム運営会議　実施内容

・同会議にて本プロジェクトの重要事項の連絡・調整・議論等を行う。チーム運営会議の事務局は横浜国立大学総合学術高等研究院台風科学技術研究センター内に置き、会議メンバーは議長である PM の他に PM 補佐、課題推進者、研究参加者等で構成される。

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	1	0	0	0
登録件数	0	0	0	0
合計(出願件数)	1	0	0	0

会議発表数			
	国内	国際	総数
招待講演	3	3	6
口頭発表	32	30	62
ポスター発表	12	13	25
合計	47	46	93

原著論文数(※proceedings を含む)			
	国内	国際	総数
件数	4	14	18
(うち、査読有)	4	14	18

その他著作物数(総説、書籍など)			
	国内	国際	総数
総説	3	0	3
書籍	0	0	0
その他	1	0	1
合計	4	0	4

受賞件数		
国内	国際	総数
3	0	3

プレスリリース件数
0

報道件数
27

ワークショップ等、アウトリーチ件数
23