

研究開発テーマ名

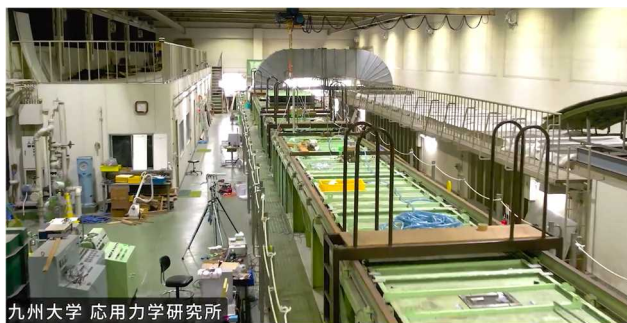
高風速時の温度勾配および水面波を伴う気液乱流場の作製・制御

2022年度までの進捗状況

1. 概要

近年、台風進路の予測精度は向上していますが、その強度の予測精度は向上していません。原因のひとつには、高風速で荒れ狂う台風下の海表面における運動量や熱の輸送機構が複雑で、台風強度の予測に必要な輸送量（フラックス）のモデル化が非常に難しいことが挙げられます。台風下の海表面では、大気と海面の摩擦抵抗や、温められた海面から大気への熱の輸送など、エネルギーの輸送が台風の強度や進路に大きな影響を及ぼすと考えられます。

4つの開発テーマから構成される本プロジェクトでは、世界でも最大規模の台風シミュレーション水槽を用いて、台風に匹敵する高風速の条件下で、大気と水面の間でやり取りされる熱や運動量の輸送量を正確に見積もるモデル式をつくり、さらに海水面状態を変化させることで台風の制御（弱体化）が可能であるかどうかを計算機シミュレーションによって示すことを目標にしています。



九州大学 応用力学研究所

図1：台風シミュレーション水槽

本研究開発テーマは、台風の計算機シミュレーションに必要な情報を得るための実験基盤を構築する役割を担っています。過去に実施された研究では、風洞内の吹送距離が6.5mと短い距離での実験を対象としていました。しかし、海洋においては、風は非常に広い空間で発生していることから、より長い吹送距離での実験が期待されています。この台風シミュレーション水槽（図1）では、吹送距離30mまでの実験が可能であり、実際の台風に近い条件で運動量や熱の輸送を調べることができます。これにより信頼性の高い輸送量の計測が可能となります。また、本テーマでは、この実験基盤等の提供を通して他の研究開発テーマと連携するとともに、水面状態を人工的に変化させることにより新しい台風制御のための方策を模索いたします。

2. 2022年度までの成果

① 風波乱流場の作製

台風シミュレーション水槽を用いて、風速40m/sまでかつ吹送距離30mまでの状態における風波乱流場を作製しました。高風速の下では、水面は砕波を伴い液滴が飛散します（図2）。そして、飛散液滴が風速を測定するピトー管に衝突することにより測定困難となることから、目詰まりが起りにくいウェスタンピトー管を使用しました。このような工夫によって、非常に高い精度で風速を測定することができるようになりました。

② 風波の特性量の測定

台風シミュレーション水槽の中に発生した風波乱流場の状態を調査しました。既往研究によって、波の高さや周波数から、運動量の輸送量に関わる抗力係数が推定できることが分かっています。そこで、水槽に電極式波高計（図3）を設置し、様々な風速条件で波の高さや周波数を調べたところ、非常に精度よく測定できることがわかりました。



図2：実験的に発生させた風波による水面の様子

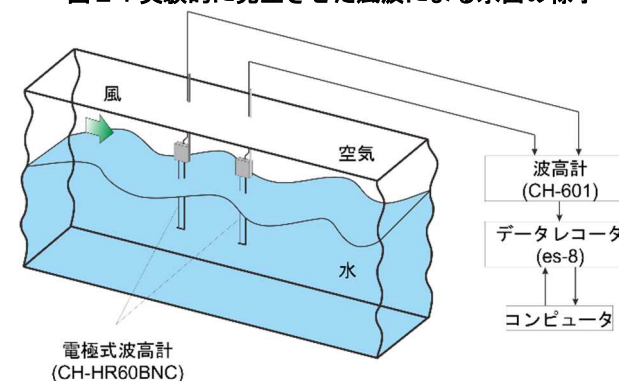


図3：電極式波高計を使用した波高測定の様子

3. 今後の展開

本研究開発テーマでは、人工的に水面状態を変化させた場合の風波乱流場の計測を実施します。水面の状態が運動量や熱のフラックスに大きな影響を与える場合、これまでにない台風制御の方法を見出せる可能性があります。

さらに、より高度な水面状態の操作により運動量や熱フラックスを制御することが可能かどうかを確認し、可能な場合、その結果を計算機シミュレーションのグループに引き渡していきます。

研究開発テーマ名

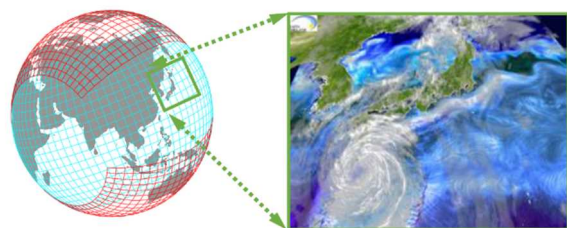
新規のフラックスモデルを使用した台風シミュレーションの実施と台風制御法の提案

2022年度までの進捗状況

1. 概要

この 40 年程度の間で、台風進路の予測精度は大きく向上した一方で、その台風強度の予測精度は十分には向上していません。原因のひとつには、海表面での運動量や熱の輸送が台風のエネルギを左右するにもかかわらず、高風速で荒れ狂う台風下での運動量や熱の輸送については、台風の高精度な数値シミュレーションに必要な定式化が困難であったことが挙げられます。

本研究開発テーマでは、台風シミュレーション水槽を用いた実験結果から得られた詳細なパラメータ（抗力係数、熱輸送係数）を用いて、より精度の高い台風の数値シミュレーションの実現を目指します。台風の数値シミュレーションには、海洋研究開発機構で開発された数値モデル MSSG（Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment）と、スーパーコンピュータである地球シミュレータを用います（図 1）。このような数値シミュレーションにおいて、海水面状態の変化を反映させることにより、台風制御（弱体化）の可能性を示すことを目標にしています。



Global scale 解像度 ~ 10 km
Mesoscale 解像度 ~ 100 m)– ~ 1 km)

図 1：マルチスケール数値モデル MSSG の概要

2. 2022年度までの成果

① 台風強度予測計算

海洋研究開発機構で開発された MSSG には海表面と大気との間での運動量や熱の輸送量の計算式が組み込まれています。そこで、PM らが 2018 年までに実施した実験結果に基づく輸送量の計算式 (Komori et al., *J. Phys. Oceanogr.*, 2018) を MSSG に新たに導入し、台風の進路や強度をどの程度正しく予想できるかについて検討しました。再現シミュレーションの対象事例としては、台風 T1330 (Haiyan) を選定しました。この台風は、2013 年 11 月 4 日にトラック諸島近くの洋上にて発生したスーパー台風です。

図 2 に再現シミュレーションによる T1330 の進路を、図 3 に風速分布を示します。この台風 T1330 のデータは MSSG を用いて、地球シミュレータを使用して計算したものです。これらの結果により、台風が適切に再現されていることが確認され、プロジェクト内で実施されている他の研究開発テーマから提供される実験式を導入するための準備が整いました。

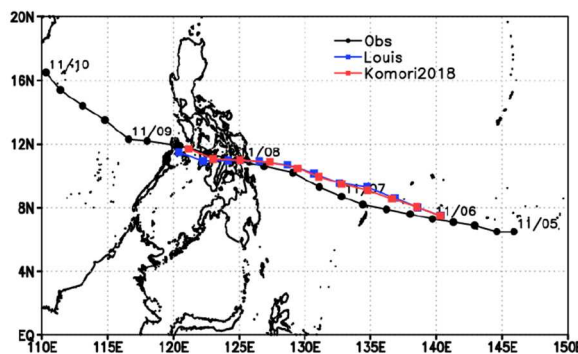


図 2：再現シミュレーションによる T1330 の進路

② 碎波/風波制御による台風制御法提案

数値モデルの中で、海表面での運動量と熱の輸送量の計算に関わるパラメータである輸送係数を調整し、台風のシミュレーションを実行しました。得られた最低気圧と最大風速の結果から、海表面でのエネルギー輸送を変化させることで、台風に影響を与えることができる可能性が示唆されました。

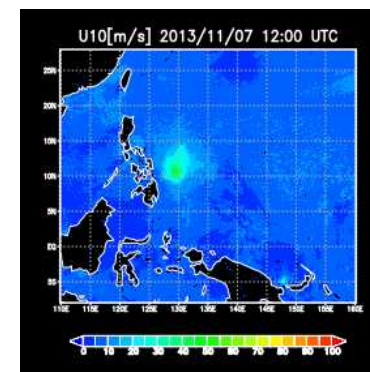


図 3：再現シミュレーションによる T1330 の風速

3. 今後の展開

本研究開発テーマでは、他の研究開発テーマから提供される最新の知見を数値モデルに組み込むことにより、台風下の激しく乱れた海表面状態まで考慮したより高精度な台風の数値シミュレーションを実現します。また、海水面の人工的制御による運動量と熱の輸送量の変化を示す実験結果が他の研究開発テーマから提供される場合に備えて、海表面にどのような変化をもたらすことで、どの程度の台風制御が可能であるのかを提示することにより、ムーンショット目標の達成に向けて貢献していきます。

研究開発テーマ名

高風速時の海面を通しての運動量輸送機構の解明

2022年度までの進捗状況

1. 概要

近年、台風進路の予測精度は向上していますが、その強度の予測精度は向上していません。その主な原因の一つとして、高風速で荒れ狂う台風下の海表面における運動量や熱の輸送機構が複雑で、台風強度の予測に必要な輸送量(フラックス)のモデル化が非常に難しいことが挙げられます。

台風下の海表面では、大気と海面の間に摩擦が発生し、台風がもつ運動エネルギーは海面に輸送(台風からみれば損失)されます(図1)。この摩擦によるエネルギーの輸送は、台風の強度や進路に大きな影響を及ぼす可能性があります。

そこで、本研究開発テーマでは、九州大学応用力学研究所に設置されている世界でも最大規模の台風シミュレーション水槽を用いて、高風速の条件下で、大気と水面の間に発生する運動量の輸送量(フラックス)を正確に見積もるための測定方法を見出し、高風速条件での運動量フラックスの定式化および運動量輸送機構の解明を目指します。

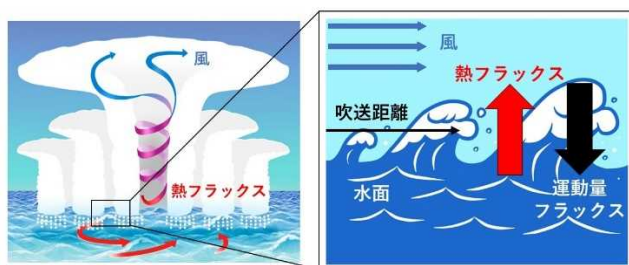


図1：台風下の海面を通しての運動量輸送

運動量フラックスの検討は、これまでも行われてきましたが、過去の研究では、使用された海洋シミュレーション水槽が小さく吹送距離が6.5 mと短かったため、実際の海洋での運動量フラックスを正確には反映できていない可能性があります。そこで本研究開発テーマでは、上記の大型台風シミュレーション水槽を用い、風速40 m/sまでかつ吹送距離30 mまでの状態における前例のない大規模での計測にチャレンジしています。

2. 2022年度までの成果

2022年度には、上記の台風シミュレーション水槽において、運動量収支法(図2)およびプロファイル法を使用し吹送距離20 mでの風速に対する抗力係数 C_D を推算しました。運動量収支法には、本PIらが開発した4連水位計(図3)を用い、水位の変動のみから、大気と水面の摩擦状態を明らかにすることができる実験系を構築しました。

抗力係数 C_D を計測したところ、 C_D は増加する低風速域では測定誤差が見られたものの、高風速域では測定誤差も僅かで C_D は一定値をとりました。その値は過去の研究と概ね一致していたことから、運動量フラックスは異なる水槽での吹送距離の相違に依存しない可能性が示されました。

3. 今後の展開

本研究開発テーマでは、吹送距離30 mでの実験を目指し、より精度の高い運動量フラックスの定式化および運動量輸送機構の解明に向け研究を加速させていきます。そして運動量フラックスの観点から計算機シミュレーションによる予測精度の向上に寄与することで、ムーンショットプロジェクトの達成に向けて貢献していきます。

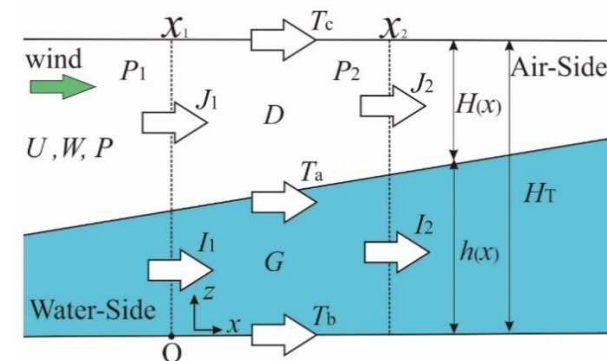
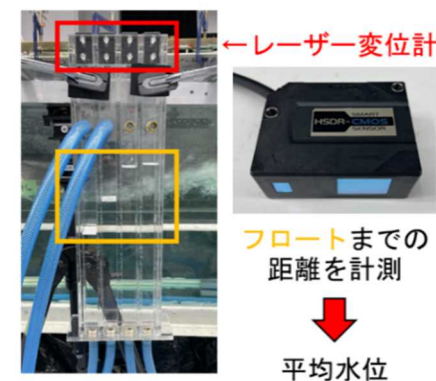


図2：台風シミュレーション水槽内の流動場における運動量収支の概要。図中の流動場の複数の運動量フラックス(図中の $I_1, I_2, J_1, J_2, T_b, T_c$)を測定することにより間接的に海面を通しての運動量フラックス T_a を推定。



水位測定のみで摩擦速度を算出

図3：運動量収支法で使用される4連水位計

研究開発テーマ名

高風速時の海面を通しての熱輸送機構の解明

2022年度までの進捗状況

1. 概要

近年、台風の進路の予測精度は向上していますが、強度の予測精度は向上していません。この原因として、高風速で荒れ狂う台風下の海表面における運動量や熱の輸送機構が複雑で、台風強度の予測に必要なモデル化が非常に難しいことが挙げられますが、熱輸送モデルについては、特に開発が遅れています。

台風下の海表面では、温かい海面から大気に向かって熱のエネルギーが輸送(台風からみれば増加)されます(図1)。この熱エネルギーの輸送は、台風の強度や進路に大きな影響を及ぼします。

そこで、本研究開発テーマでは、九州大学応用力学研究所に設置されている世界でも最大規模の台風シミュレーション水槽を用いて、高風速の条件下で、大気と水面の間でやり取りされる熱の輸送量(熱フラックス)を正確に見積もる評価式をつくり、高風速条件下での風波と水面の間での熱輸送の定式化をめざします。

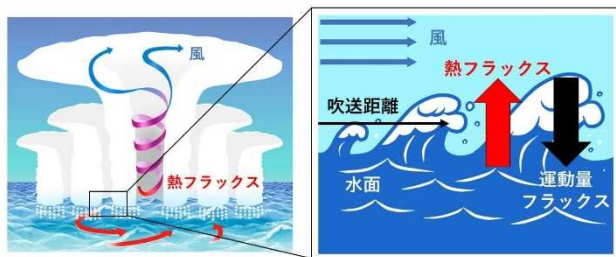


図1：台風下の海面を通しての熱輸送

熱の輸送モデルの検討はこれまでも行われてきましたが、これまでの研究では風洞の吹送距離(風の吹く距離)が短かったため、実際の海洋でおこる熱の輸送を正確には再現できていない可能性があります。そこで本研究開発テーマでは、熱収支法を用い、風速40m/sまでかつ吹送距離30mまでの高風速・長吹送距離における熱の輸送係数の測定にチャレンジしています。熱輸送機構を解明し、熱流体工学の観点から、実際の海洋に適用可能な輸送モデルを開発することを目標にしています。

2. 2022年度までの成果

① 熱フラックスの測定と熱フラックス実験式の作成

本テーマでは、台風シミュレーション水槽を用いて伝熱実験が可能な環境を構築しました。水槽実験で使用する熱電対の校正により、水温場の正確な計測が可能になりました。水槽での伝熱実験では、まず水槽内の水を加熱し、その後送風し温度変化を追跡します。水槽内の温度を測定したところ、ポンプにより水を循環させているにも関わらず、加熱により成層(水深方向への温度差)が発生することが分かりました。この温度差は送風により減少していきますが、より正確な熱フラックスの測定には、より強力な水循環システムが必要になることが明らかになりました。

② 破波強度特性量の測定

破波を伴う海面では、水滴の飛散や気泡の巻き込みが多く発生する(図2)ことから、より複雑な水面状況を想定した破波強度特性量を把握しておく必要があります。そこで、破波強度の特性量である液滴飛散量および気泡量を測定するために、ハイスピードカメラを用いて、粒子のサイズと数密度を検出することができるシャドウサイジングシステムを構築しました(図3)。これにより、水面における熱輸送をより正確に見積もる準備が整いました。



図2：飛散する液滴と水中に巻き込まれる気泡の様子

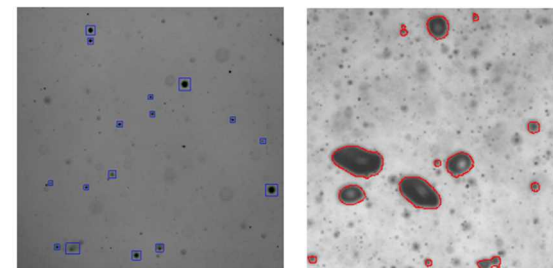


図3：シャドウサイジングシステムによる粒子検出、左：飛散液滴、右：巻き込み気泡。

3. 今後の展開

より強力な水循環システム導入により、水温の一様化を目指し、精度の高い熱フラックス計測を実現します。同時に、構築したシャドウサイジングシステムを活用し、高風速下でのより正確な熱フラックスの見積もりを目指します。

本テーマでは、熱輸送係数の高精度な測定により計算機シミュレーションの精度向上に寄与することで、これまでにない新しい台風制御の可能性を模索していきます。