

2022年度までの進捗状況

1. 概要

背景：気象制御研究は制御介入手法の安全性が厳格に確認されるまでは、コンピュータシミュレーションを使った評価を行うことが大前提です。しかし、気象シミュレーションには多くの不確実性が存在しており、計算結果をそのまま信頼することは難しいのが現状です。

目的：気象シミュレーションのあらゆる不確実性の原因を列挙し、観測を用いてその不確実性を最小化するとともに、なお残る不確実性を正確に評価してシミュレーションによる制御介入効果の正確な見積もりを実現します。

手法：異なる設定の大量のシミュレーションと観測データを、機械学習を用いて解析しモデル開発者にもとらえられていなかったシミュレーションの不確実性を定量化します(データ駆動型アプローチ)。一方で、高性能な人工衛星観測とシミュレーション結果を丁寧に突き合わせることで、不確実性が生じるメカニズムを明らかにし、気象学的知見を得ます(プロセス駆動型アプローチ)。(図1)

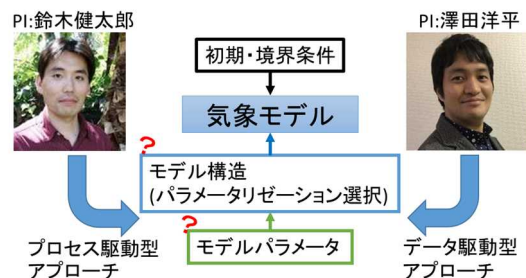


図1. 研究開発テーマの全体像。気象モデルのモデル構造やモデルパラメータの選択の恣意性から生まれる不確実性の定量化に挑みます。

2. 2022年度までの成果

- ① [データ駆動型アプローチ]従前では極めて大きな計算量が必要で実現が難しかったシミュレーションの不確実性定量化を可能にする新しいアルゴリズムを開発しました。この手法の一部を実際の気象モデルに適用しました。2022年のスーパー台風 Nammadori において静止気象衛星を使って台風予測モデルのパラメータ最適化をすると同時に、静止気象衛星の情報のみでは台風の発達シミュレーションに大きな不確実性が残ることを示しました(図2)。
- ② [プロセス駆動型アプローチ]衛星観測と気象シミュレーションを丁寧に比べて気象シミュレーションにおいて降水が生じる過程の再現性がどのような要因に左右されるのかを解析しました(図3)。2023年度以降、データ駆動型アプローチによる不確実性解析の結果を気象学的な観点から解釈・説明するための技術基盤を整備しました。

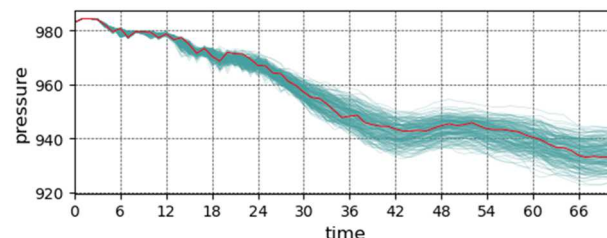
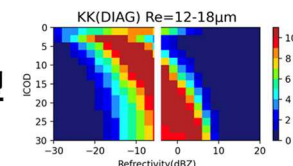
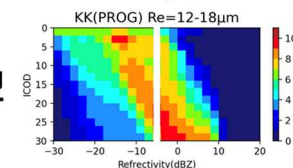


図2. 台風 Nammadori の中心気圧予測。赤が正解値で青が静止気象衛星ひまわりの観測データを用いて気象モデルのパラメータを最適化した結果。観測を説明できる同様に確からしいパラメータの組は多くあるため、そのようなパラメータの組をサンプリングして大量にシミュレーションしています。全く同じ初期値から始めているにもかかわらず、中心気圧予測は大きくばらついており、ひまわりの観測だけでは十分に不確実性を減らせていません。

降水診断型



降水予報型



衛星観測

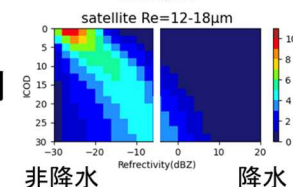


図3. 横軸に反射強度、縦軸に高度をとった2次元ヒストグラム。二つの異なる物理スキームの結果と衛星観測を比較している。図は全球気候モデル MIROC によるものだが、今後よりスケールの小さい台風予測モデル等の解析に挑む。

3. 今後の展開

プロジェクトの初年度にあたる 2022 年度においてデータ駆動型アプローチによる不確実性定量化のアルゴリズム開発はすでに終了し、簡易なモデルでの検証は済んでいます。しかしながら実際の超大規模気象シミュレーションに適用するためには様々な工夫が必要です。今後も開発を続け、気象シミュレーションに内在するあらゆる不確実性を発見・定量化・最小化することを目指します。

加えて、そのような気象シミュレーションの不確実性、ひいては制御効果の不確実性をプロセス駆動型アプローチで解析し気象学的に理解することで「説明可能性のある気象制御」を目指していきます。