

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」

令和8年9月10日

**サブプログラムディレクター（サブPD） 中澤 哲夫
（気象庁 気象研究所 台風研究部 元 部長）**

目次

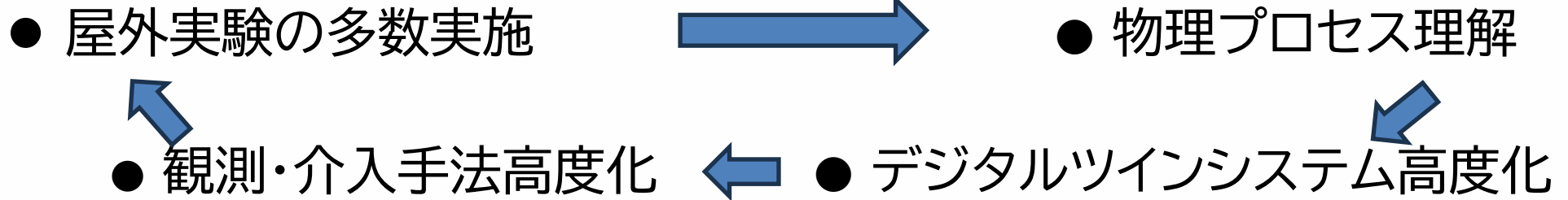
1. 台風制御のために解決すべき課題
2. 解決に向けたアプローチと検討状況
3. 後半5年の見通し

目次

1. 台風制御のために解決すべき課題
2. 解決に向けたアプローチと検討状況
3. 後半5年の見通し

1.1 気象制御のために解決すべき課題

研究開発サイクルの高速化



国際連携

- 安全保障の観点を留意しつつ、国際連携の下でのオープンサイエンスで研究開発
- 国際的なルールメイキング

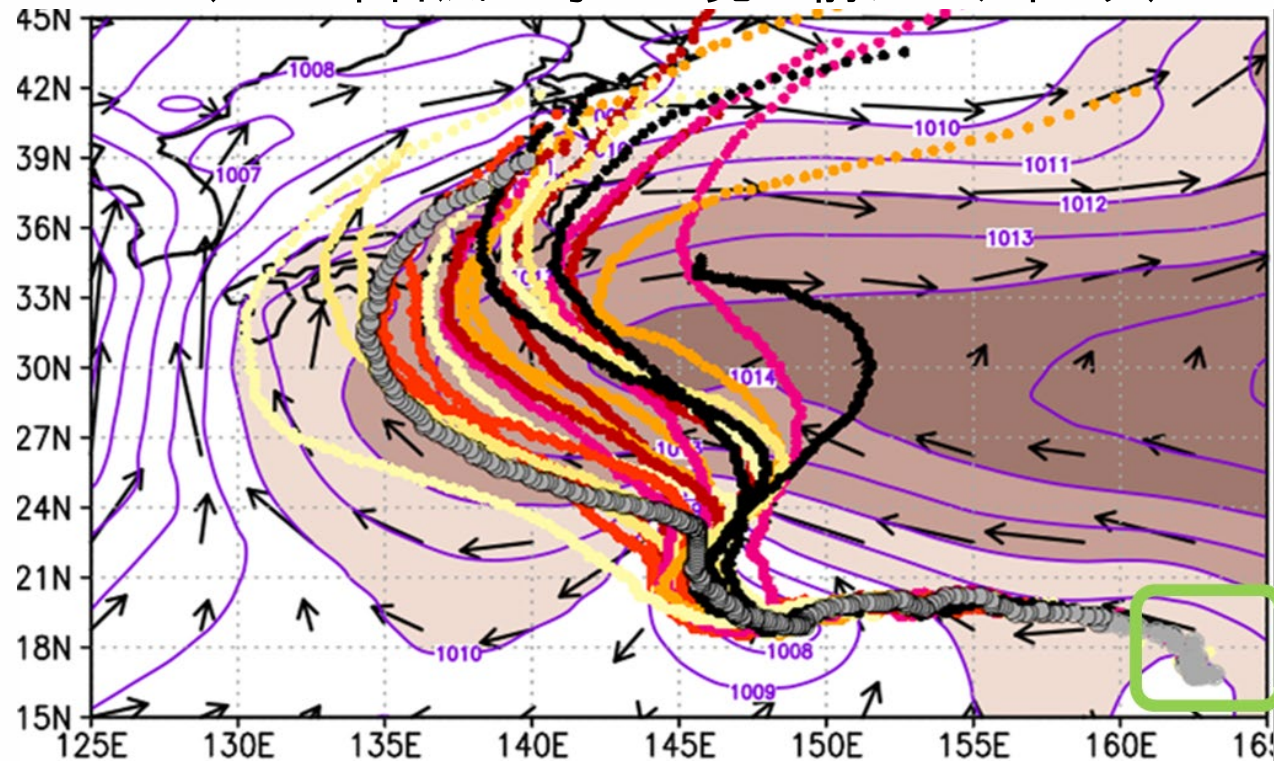
先端技術の導入

- 量子計算：将来のデータ同化高速化・高精緻化
- AI：気象予測高速化、介入対象の特定
- 無人機：気象観測・介入への活用

技術的課題（次スライド以降）

1.2 台風制御の進捗

台風変化のシミュレーションの例
(2018年台風21号への発生前シーディング)



- 台風が人為的な介入により、大きく変化させられる可能性を得た
- 望ましい状態へ誘導する「制御」が可能であることを、技術的な観点を中心に、早期に示していく必要がある

1.3 台風制御のために解決すべき技術的課題

⇒モデルと現実のスケールギャップ問題の解決が台風制御で特に重要

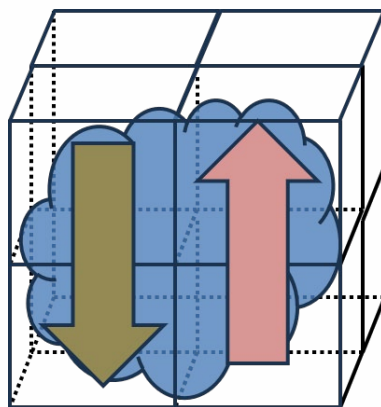
- 気象モデルは現象をグリッド単位で表現している
- 現実ではグリッドよりも小さい現象がある(サブグリッドスケールの現象)

介入<<モデルグリッド 雲の内部構造<<台風のモデルグリッド 雲<<台風

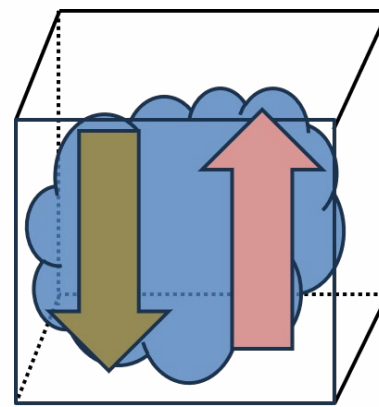


散布ノズル径 ~10cm

介入のスケール << 数cm~数m



豪雨モデルのグリッド 数百m~数km



台風モデルのグリッド 1km~十数km



台風のスケール 数百km~数千km

微小な擾乱や誤差に起因する予測可能性の限界という
気象学における最大の未解決問題とも密接に関係

Lorenz (1963, 1969)、Charney et al. (1966)など

目次

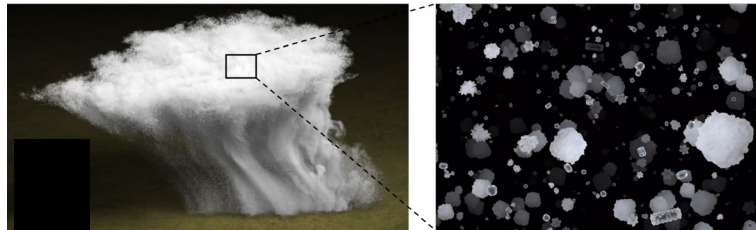
1. 台風制御のために解決すべき課題
2. 解決に向けたアプローチと検討状況
3. 後半5年の見通し

2.1 スケールギャップ問題へのアプローチ (1)

モデル

● 気象モデルの高度化

- プロセスを再現する物理的蓋然性の高いモデル開発
(特に雲微物理過程の精緻化)



超水滴法※による雲の再現の様子

- 高解像度モデルの開発
(100m格子の台風計算を予定)
- 介入表現を現実に近づけるモデル中の実装

現実

● 介入対象の特定と効果測定

- 実験サイトでの密な観測網
- 無人機への気象レーダー搭載
(Kプログラム連携)
- 無人機を用いた雲物質の直接サンプリング
- AIによる介入対象の特定

● 介入をグリッドスケールに近づける

- 複数無人機による散布
- 散布手法の効率化
- シーディング以外の手法検討

※ 粒子法にもとづく雲微物理過程の数値解法。多数の実粒子を超水滴で代表させることで粒子の衝突併合を計算し、雲粒が生成・成長する様子を粒子の形状を含めて再現し、さらにエアロゾルの効果やシーディングの作用等を陽に求めることができる。

2.1 スケールギャップ問題へのアプローチ (2)

数理学

● 介入の発達理論の開発

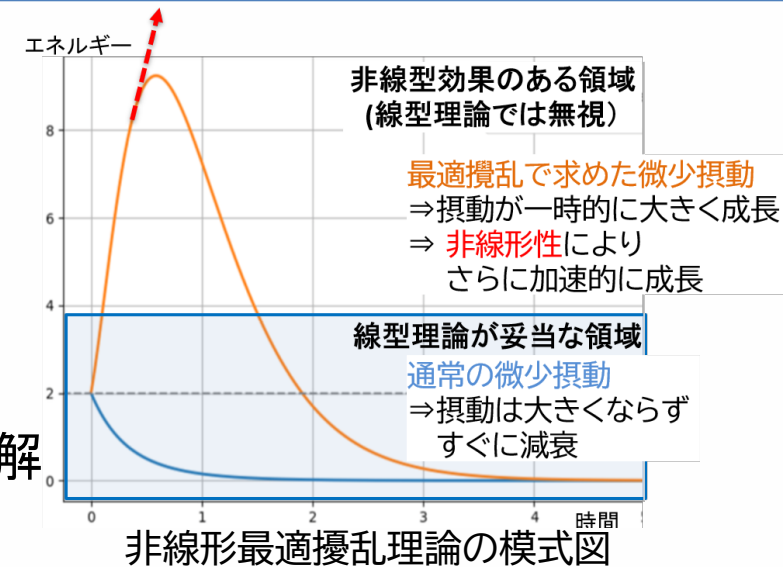
- 非線形最適擾乱理論の気象学への展開
「線形・無限小振幅の擾乱発達理論」から
「非線形・有限振幅の介入発達理論」へ

● 介入に対する気象のカオス的応答の理解

- 発災・非発災の分岐構造のフラクタル性の理解

● 制御に許容される誤差の調査

- 「予測の不確実性定量化」から「制御の不確実性定量化」へ



気象学

● 物理プロセスに注目した強力な介入の特定

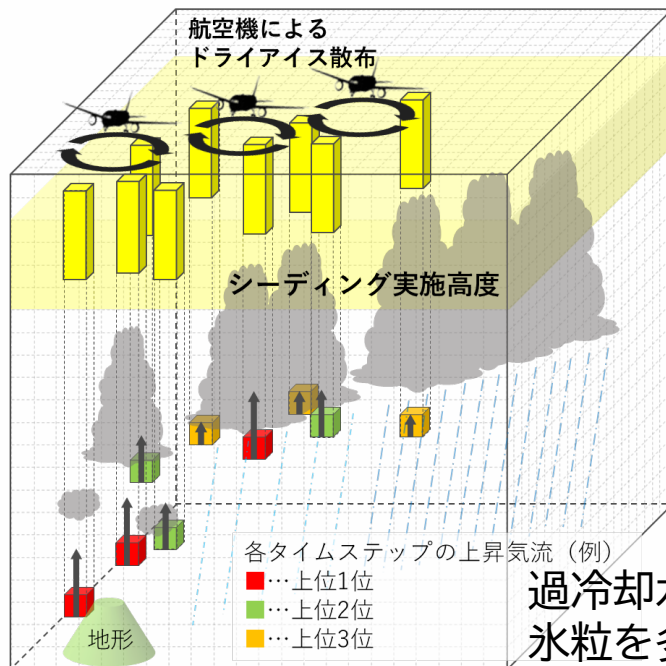
- 介入に対する応答の物理プロセスの解明 ⇒ 次スライド以降
(数理を活用したデータ駆動に基づくプロセス解明(因果推論)にも取組)

モデルと現実の対応を両輪として
理論面でもギャップの理解・縮小を目指す

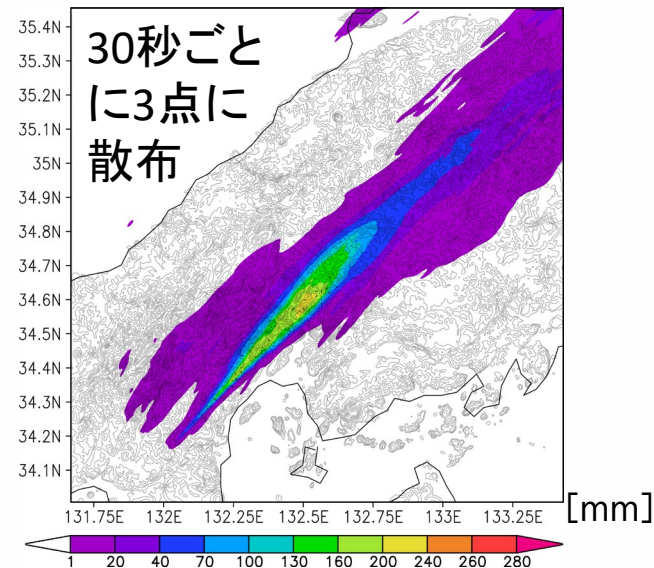
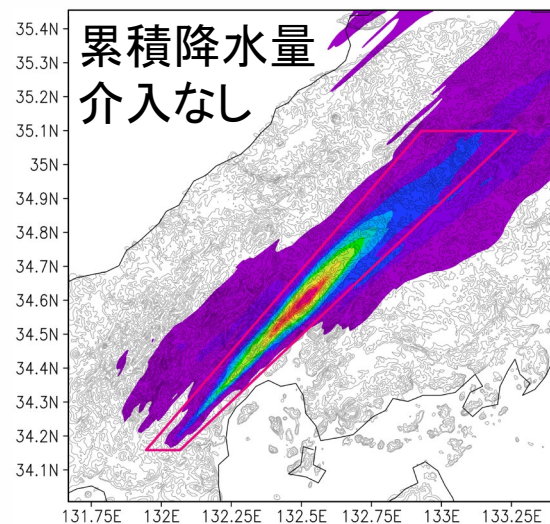
スケールの小さな豪雨で得た知見を発展させ台風に適用する

2.2 物理プロセスの検討状況（1）

2014年広島豪雨のシミュレーション(ピンポイントシーディング)



過冷却水滴を凍結させ、小さく軽い
氷粒を多数形成することで、地上へ
の落下(降水)を抑制

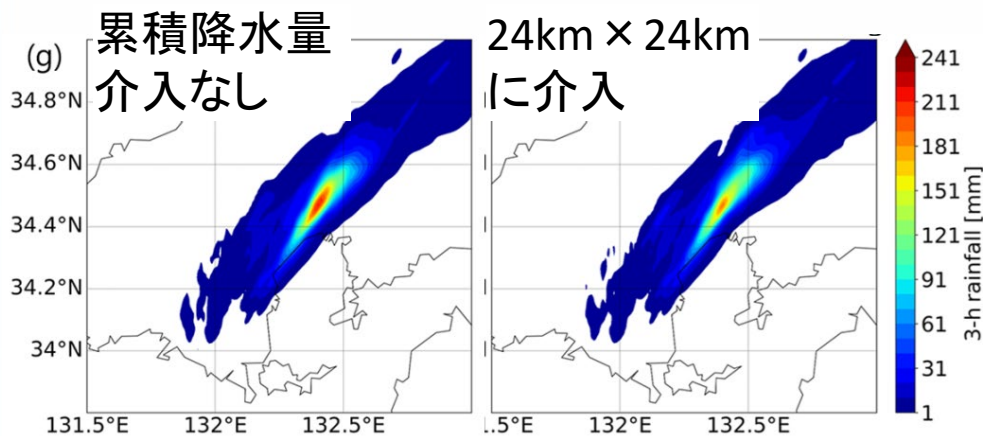


最大積算降水量 -28.7%
領域平均降水量 -9.4%

- 前回会合では、一定の領域で過冷却水滴を対象としたシーディングを一様に行うことで豪雨抑制が可能であることを中心に報告した
- 物理的に重要なのは領域全体へシーディングすることではなく、成長過程にある対流雲への介入と抑制であることを確認している
- 雲一つへの介入⇒複数の雲からなる降水系の制御⇒台風の制御へとつなげる

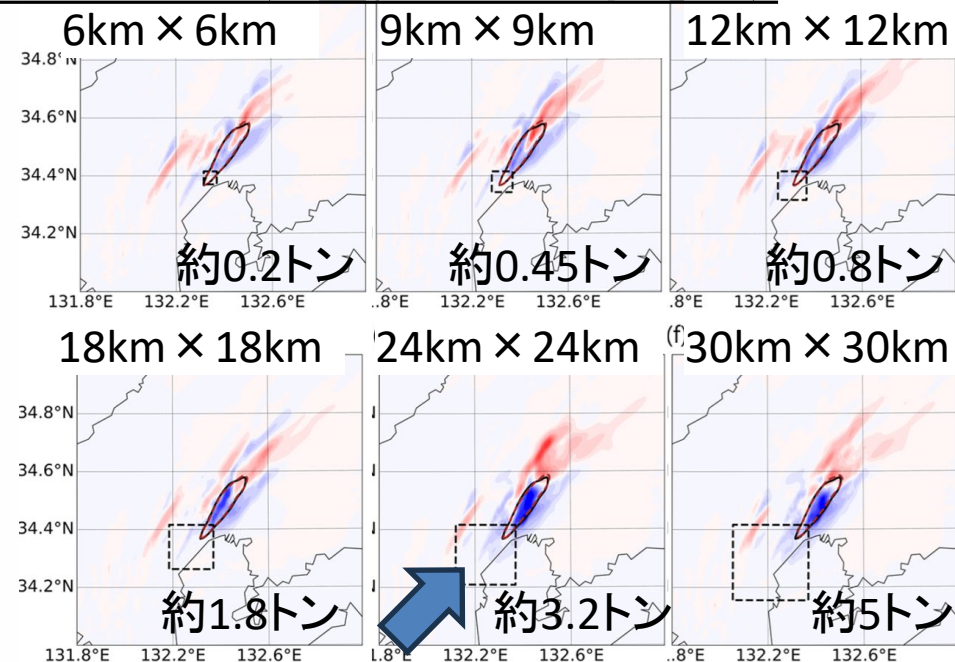
2.2 物理プロセスの検討状況（2）

2014年広島豪雨のシミュレーション(面的シーディング)



水蒸気の流入域へのシーディングで、介入量や面積を変えてもピーク域の降水が抑制される傾向を確認

- 前回会合で示した結果は、水蒸気の流入域で雲の種類を問わずシーディングを行った結果と解釈できる
- 水蒸気の流入域は予測や観測で比較的特定しやすく、予測や介入の精度に制約があっても、制御が可能であることを示唆している
 - 広範に散布する技術や、シーディング対象の雲を特定する技術を開発
- 台風についても、現実的な予測精度・介入精度の範囲で制御が可能となるような、大局的な構造の特定に向けた研究も実施



累積降水量の差分(青:減少、赤:増加、黒実線:ピーク域、黒点線:散布域)

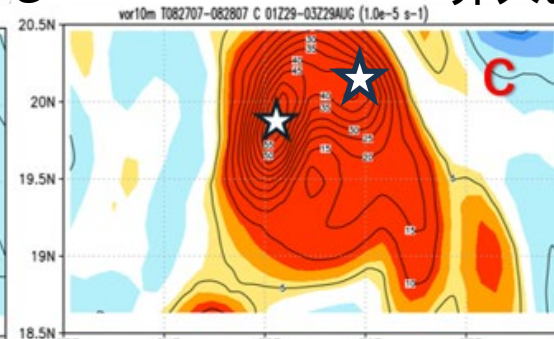
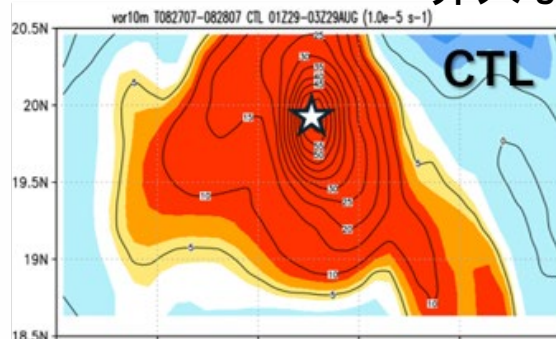
2.2 物理プロセスの検討状況（3）

2018年台風21号のシミュレーション

介入なし

介入あり

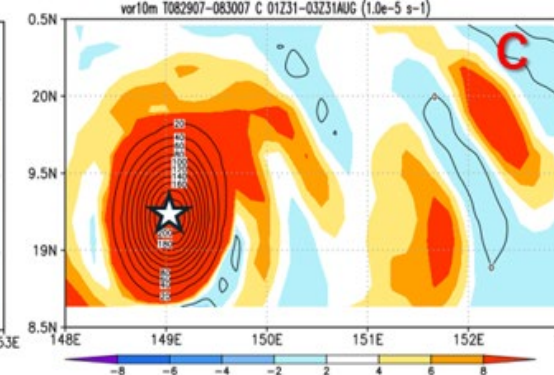
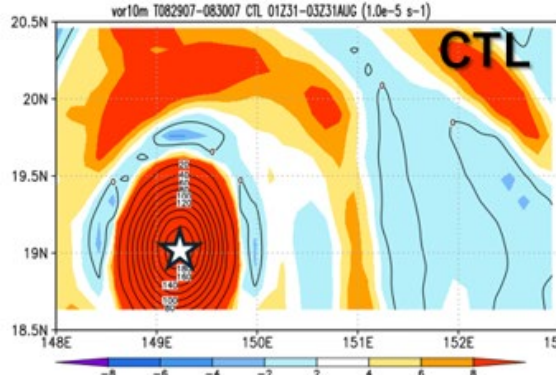
発生前



介入時点で軸対象構造が弱く、介入により気圧極小値が二つになるなど、さらに構造が崩れた

発生後

介入48時間後の
高度10-m風
鉛直渦度



介入時点で強固な構造を持っており、介入後も構造には変化がなかった

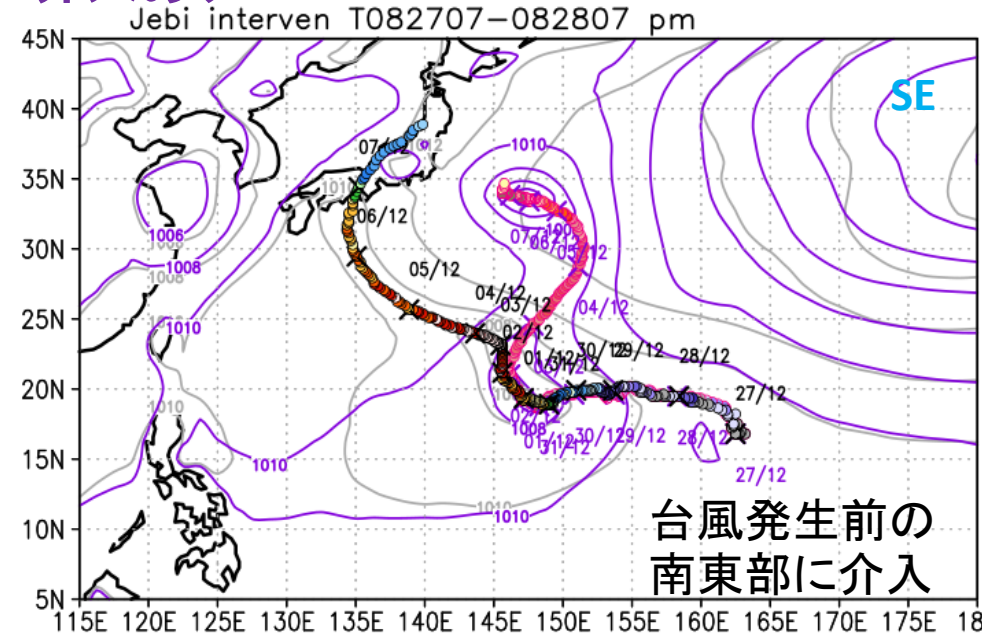
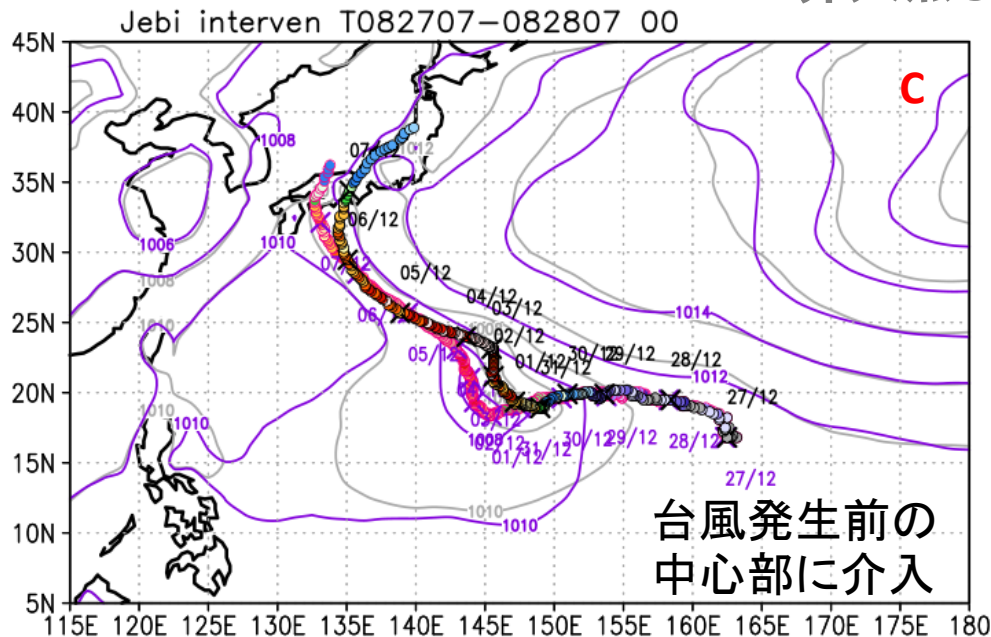
- 台風発生前のシーディングが、軸対象構造を一時的に崩した(＝弱化)事例を確認
- 別の実験では、台風の対流雲が集中している領域へのシーディングが軸対象構造の変化をもたらし、一時的に勢力を抑制できる事例を確認
- 軸対象構造を崩すような介入を逐次的に実施できれば、ロバストに制御できる可能性がある

2.2 物理プロセスの検討状況（4）

2018年台風21号のシミュレーション

等値線: 1週間平均の海面気圧

介入無し 介入あり



- 台風発生前に構成する雲に介入することで、台風の進路や強度に大きな変化が起きた事例を確認（介入により大規模場が変化したかどうかについて解析中）

目次

1. 台風制御のために解決すべき課題
2. 解決に向けたアプローチと検討状況
3. 後半5年の見通し

3.1 MS目標達成に向けたシナリオ

	主要なマイルストーン
2050	台風制御を社会実装 ←2050年目標を維持
2040's 後半	台風制御の技術を確立
2040's 前半	豪雨制御を社会実装 ←2050年目標から前倒し
2040 頃	豪雨制御の技術を確立
2030's 中頃	台風への介入実験に着手
2030's 前半	豪雨への介入実験に着手
2031 (10年目) 当初は屋外実験の 開始が目標	豪雨制御に向けて、気象デジタルツインを現実の降水抑制で実証 台風への介入手段の具体化に着手 台風の屋外実験に係る国際的なルールメイキングに貢献 気象制御の社会実装に向けた国内向けの政策提言
2029 (8年目)	気象デジタルツインの試用開始 台風制御の実現可能性をシミュレーションで示す ←ステージゲート

- MS後半期間において、台風制御については数値シミュレーション上での実現可能性検証に最も注力し、8年目中間評価のタイミングでその継続を判断する
- 8年目以降も検証の高度化を進める一方で、工学・ELSIを含めた屋外実験準備を重視

3.2 台風制御の実現可能性検証に係るマイルストーン案

8年目

- 数値シミュレーション上で、実現可能な規模の介入によりロバストな制御ができる台風事例を複数示す
 - ※ 豪雨制御の5年目の成果に相当

10年目

- 数値シミュレーション上で、長期的に経済合理性を伴って台風のロバストな制御が可能であることを示す
 - 制御可能な台風の発生頻度、制御の効果を示す
 - 将来気候におけるシミュレーションも実施する
 - 2030年代の屋外実験着手に向け介入手段の具体化にも着手