

ムーンショット目標8 公開シンポジウム2023  
2050年の極端風水害の低減に向けて  
-社会とともに歩む気象制御-

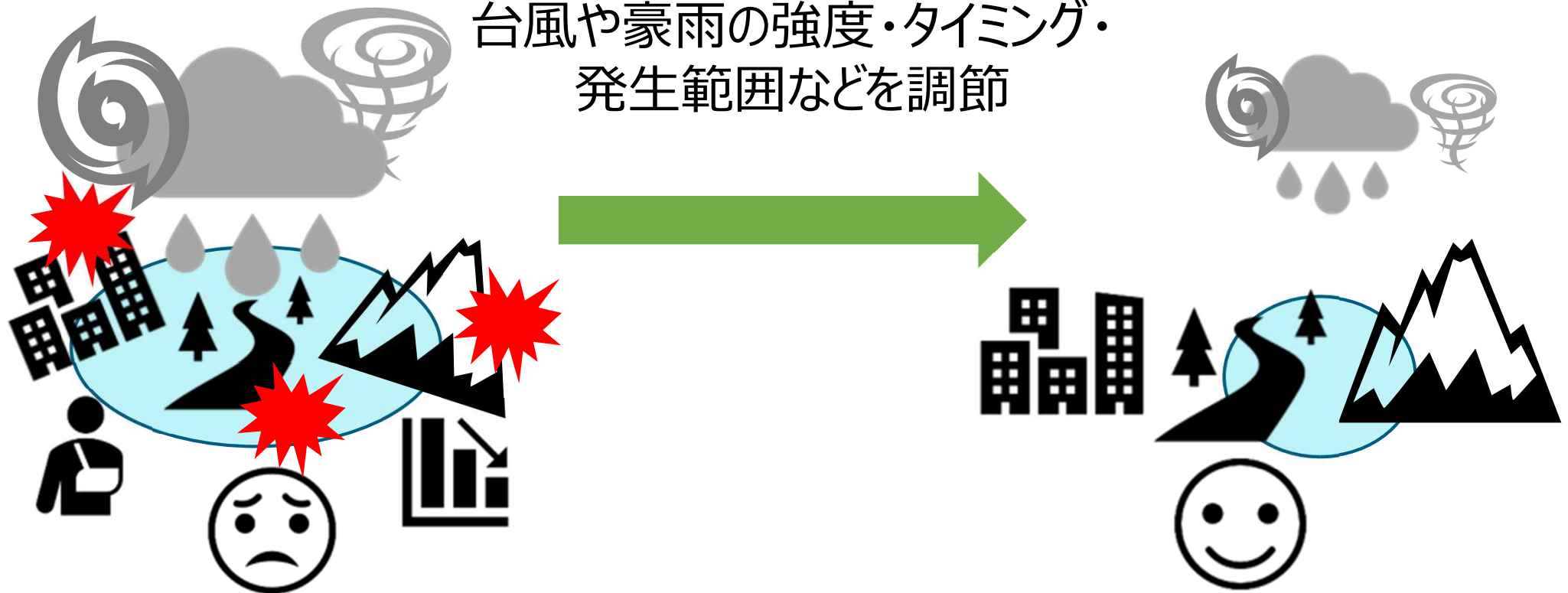


**ムーンショット目標8**  
**「2050年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し  
極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現」  
概要のご紹介**

2023年10月29日  
プログラムディレクター  
**三好 建正**  
(理化学研究所・チームリーダー)

# 私たちの目標 / 気象制御とは

台風や豪雨の強度・タイミング・発生範囲などを調節



高精度な気象予測に基づき、気象制御・社会行動・防災インフラ等の対応を、最適な組み合わせで行うことにより、極端風水害の被害を最小化する

$$\text{被害} = \text{ハザード} \times \text{曝露} \times \text{脆弱性}$$

↑ **気象の制御で軽減**                      ↑ **防災インフラや社会行動等で改善**

# 過去の気象制御に関連した取り組みの例

## ハリケーンの改変：Project Stormfury（1962～83）

アメリカの実験プロジェクト。航空機でハリケーン中にヨウ化銀を散布することで、風が10～30%弱まったケースがあった。

しかし当時の技術では、**人間の介入が有効だったのか、単にハリケーンの自然な振る舞いだったのか、**区別できなかった。



## 人工降雨

約50カ国で旱魃等への対策としての降雨実験等（2018, WMO）が行われ、欧米を中心として商業化が進みつつある。

その場に雨を降らせることは可能だが、**台風や豪雨等の大規模な降水システムを望むように変化させることは想定していない。**

# 気象制御実現に向けた課題(1)

## 課題：気象予測・制御の精度



観測の高度化と、数値シミュレーション技術の向上  
これらを結びつけるデータ同化技術の発達

計算能力の劇的な向上

科学技術の発達により気象予測の精度が高まり、台風や豪雨等に対する**制御の効果を区別し、議論できる**ような状況となった。

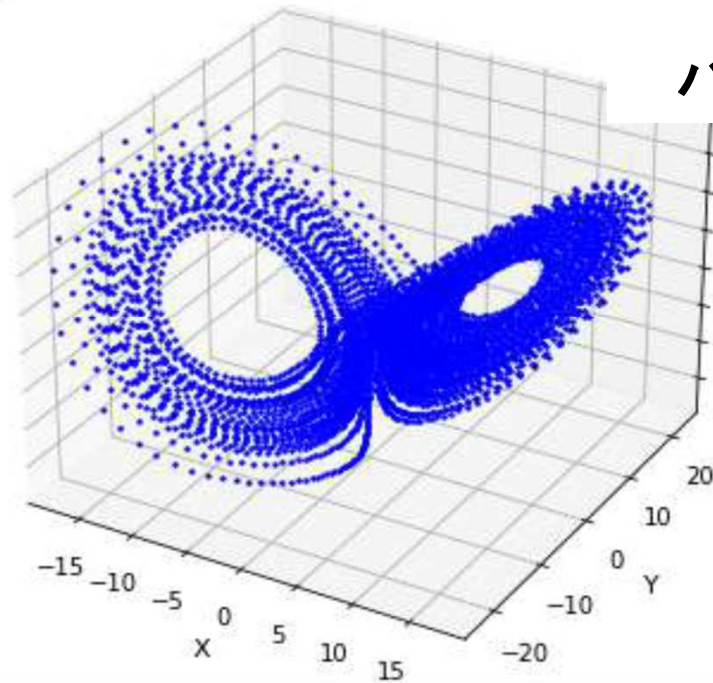
今後、気象制御の社会実装にむけ、**制御に資する予測精度のさらなる向上**に取り組んでいく。

# 気象制御実現に向けた課題(2)

課題：人間が扱える技術・エネルギーで気象を制御する

Lorenz-63 モデル

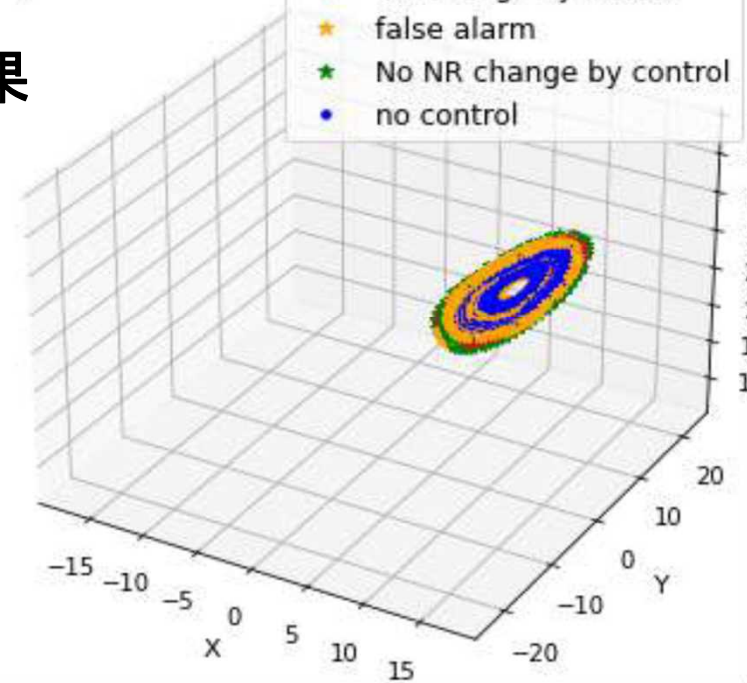
(a) No control



バタフライ効果



(b) Under control



Miyoshi & Sun (2022, NPG)

気象は、わずかな誤差が時間とともに指数関数的に増大

予測が困難  
(予測可能性の限界)

小さな力で大きな変化を引き起こせるのでは？

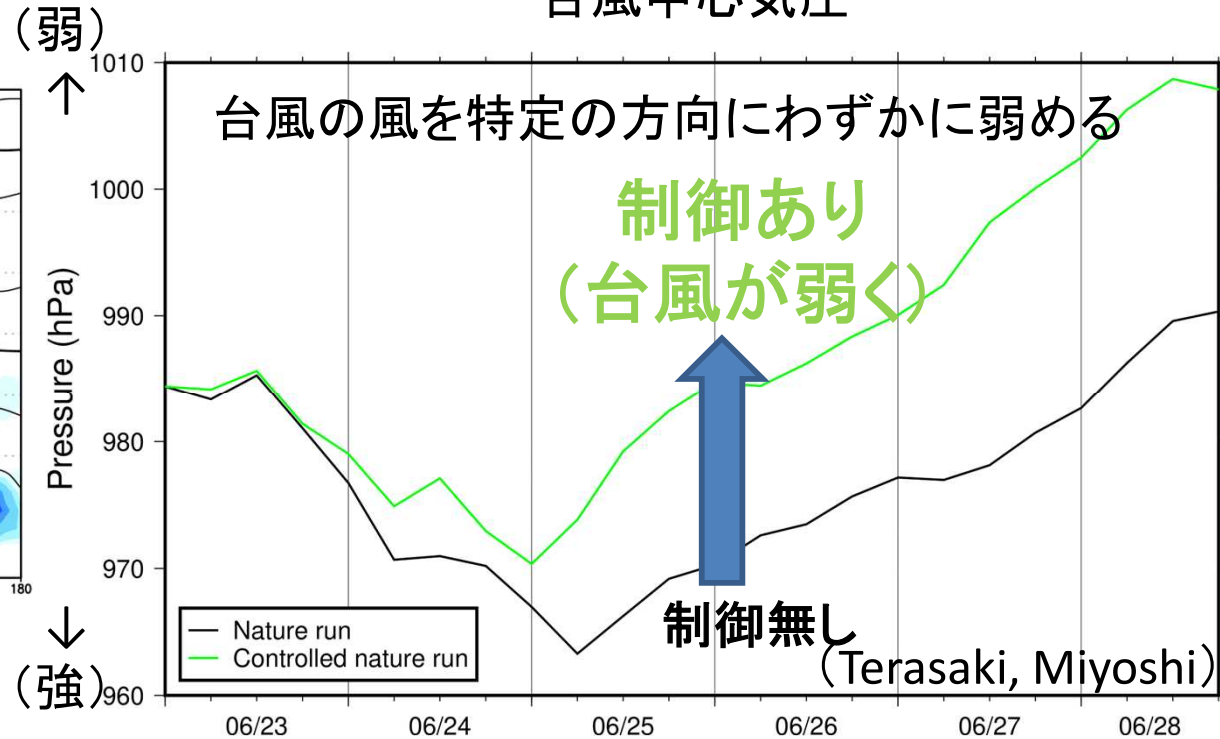
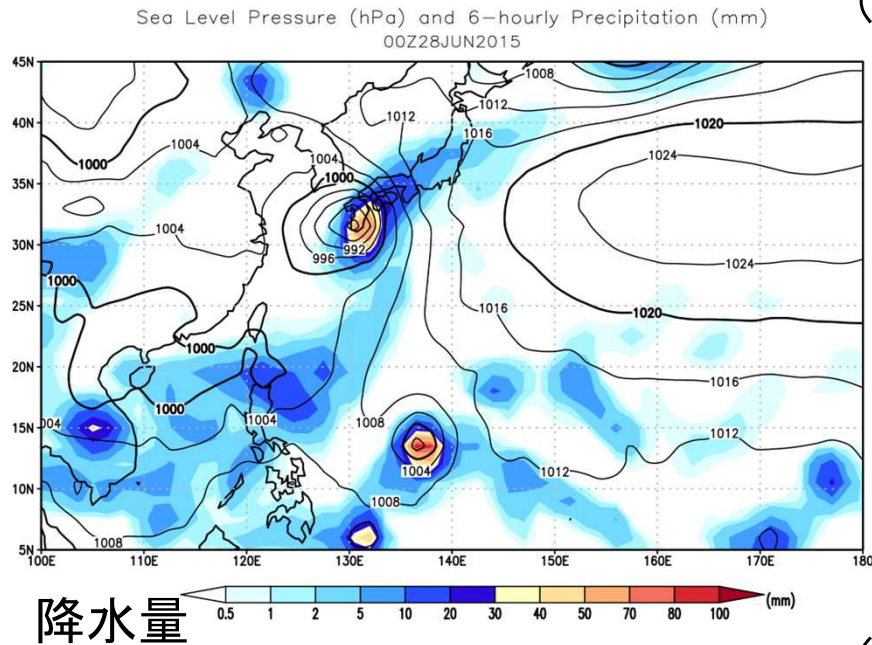
小さな力で  
気象制御の可能性

# 気象制御実現に向けた課題(2)

課題：人間が扱える技術・エネルギーで気象を制御する

2015年台風9号の事例

台風中心気圧



数値シミュレーション中では気象を制御できる可能性

現実で制御をするために必要な研究開発の例

- 最適な介入の位置・時間・変数を最適化する理論の研究
- 大気に実際に介入を行う工学的な手法の開発

# 気象制御実現に向けた課題(3)

## 課題：倫理的・法的・社会的課題（ELSI）への対応

- 科学技術的に可能でも、実際に行ってよいかは自明でない
- 目標8において、**ELSI (Ethical, Legal, Social Issues)** への対応は科学技術研究開発と両輪
- コア研究ではELSI対応を必須の要素として、初期段階から重点的に取り組む
- さらに目標全体として横断的なELSIへ対応

台風・豪雨制御にかかるELSIの俯瞰的整理状況(カテゴリ名のみ抜粋)

### 1 地球規模のリスクに関わる課題

—制御技術が抱える長期的・広域的なリスクを軽減できるか

### 2 地域レベルのリスクに関わる課題

—制御技術が抱える地域的なリスクを軽減できるか

### 3 社会システムの脆弱性をめぐる課題

—我々の社会は制御技術を上手に使い込ませることができるか

### 4 自然・文化に関わる価値判断をめぐる課題

—制御技術のあり方や限界を見極めることができるか

### 5 社会的判断・意思決定プロセスに関わる課題

—制御技術に対する市民の理解を促すことができるか

### 6 責任ある研究・イノベーション実践に関わる課題

—技術開発・実装を責任をもって進めることができるか

# 気象制御実現のためのシナリオ

2022~2030年

**気象制御の実現可能性**を具体的に示し、社会的・学術的な合意形成を目指す



現実的な操作を前提とした**気象制御理論**の策定



気象に対して**効果的にインパクトを与える制御手法**の開発



主要な**ELSI課題**の抽出とその解決に向けた取り組み

2030~2040年

**小規模な気象制御実験**を実施し、効果と安全性を検証



必要な擾乱を起こす**制御手法の特定**



**気象制御実験に向けた国内外における主要なELSI課題**の解決

2040~2050年

**大規模な気象制御実験**を実施し、効果と安全性を検証



**気象制御理論の確立**



**気象制御に向けた国内外における主要なELSI課題**の解決

2050年

**極端風水害の脅威から解放**された社会を実現



極端気象に対する**階層的で効果的な気象制御手法**の獲得

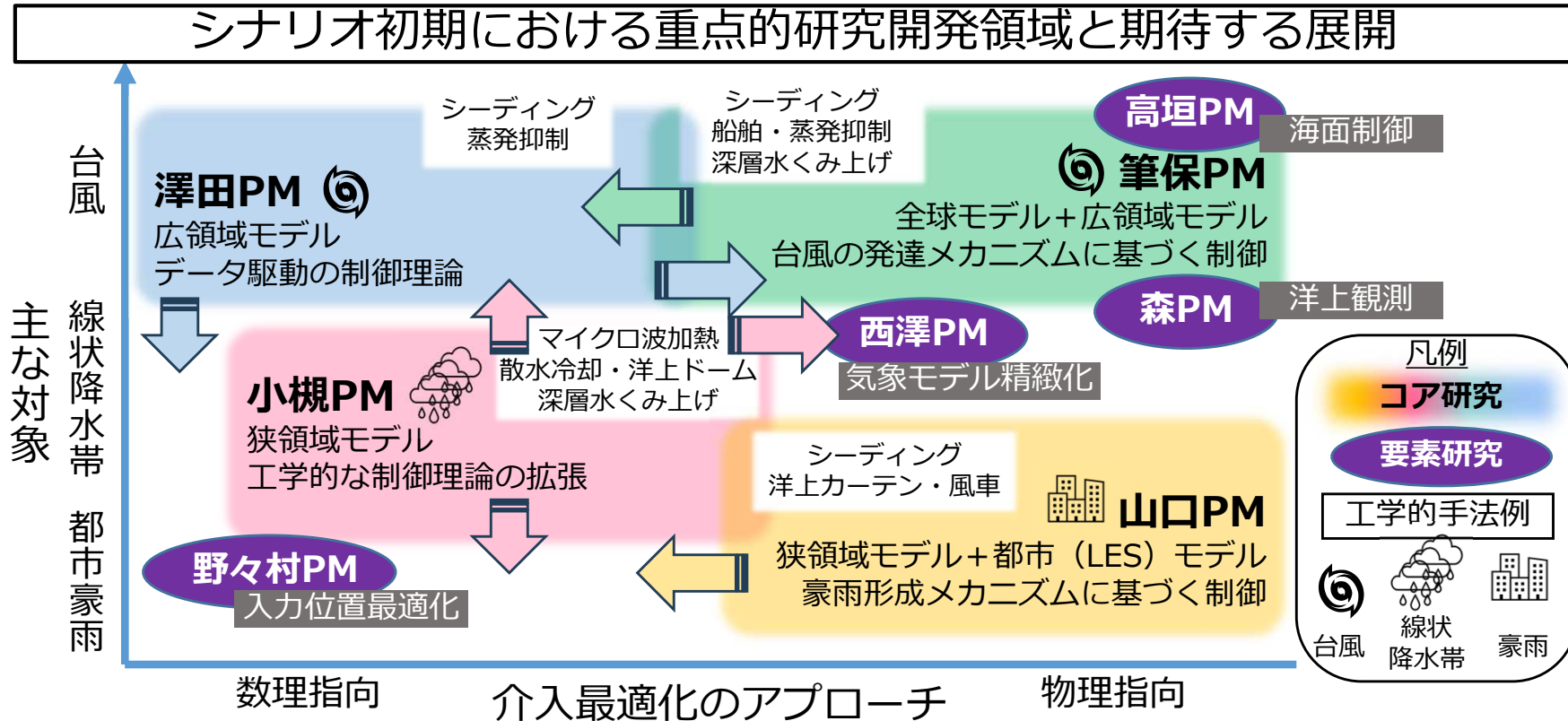


気象制御に係る**客観的ルール**の確立・合意・運用

-社会とともに歩む気象制御-

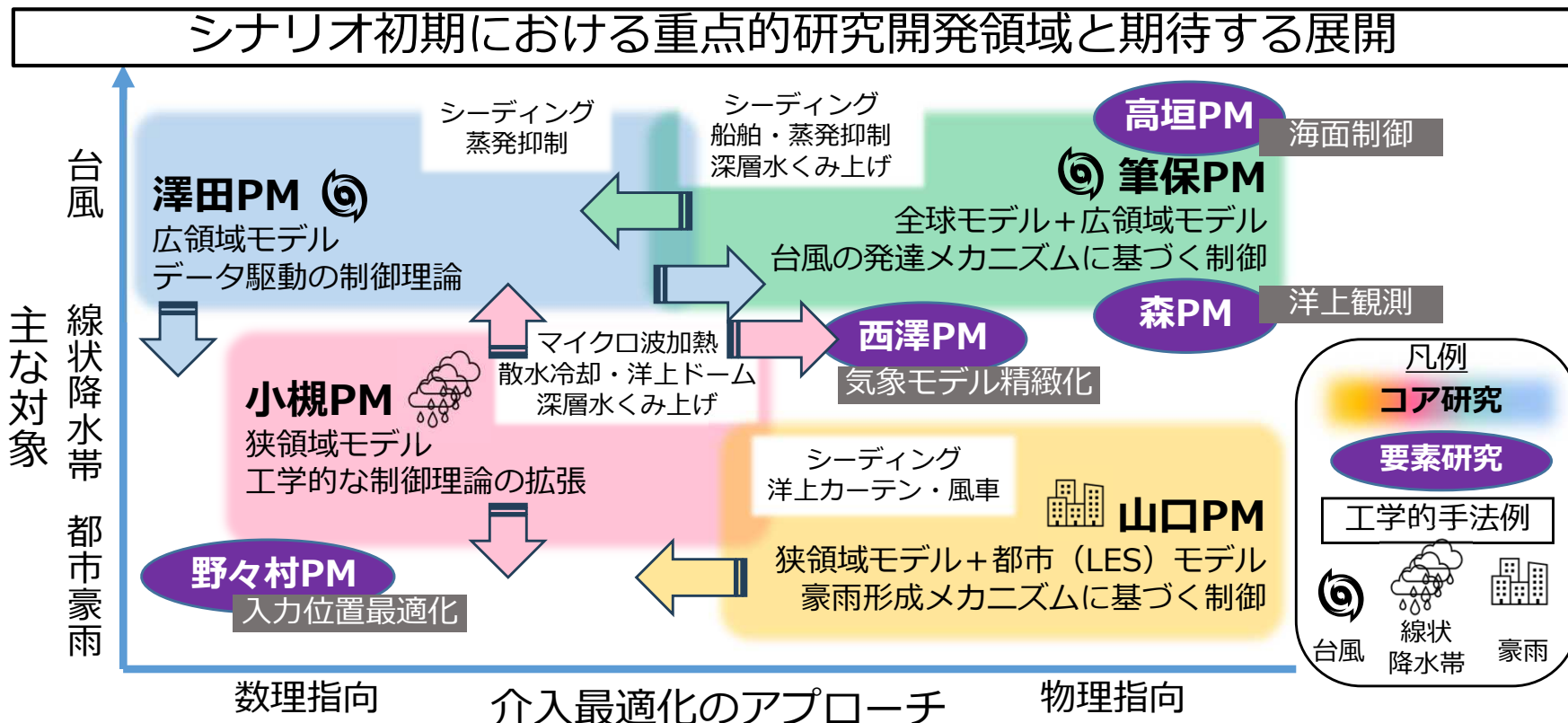


# 研究開発の進め方



- **4つのコア研究**が異なるアプローチで気象制御を目指すとともに、相補的に研究開発を推進
- ボトルネック解決に向け、**4つの要素研究**が新奇なアイデアで挑戦
- **ELSI**について、**プロジェクト横断のチーム**を結成し、俯瞰作業等を実施
- **数理**について、**プログラム主導の支援チーム**を結成し、横断的に支援

# 研究開発の進め方

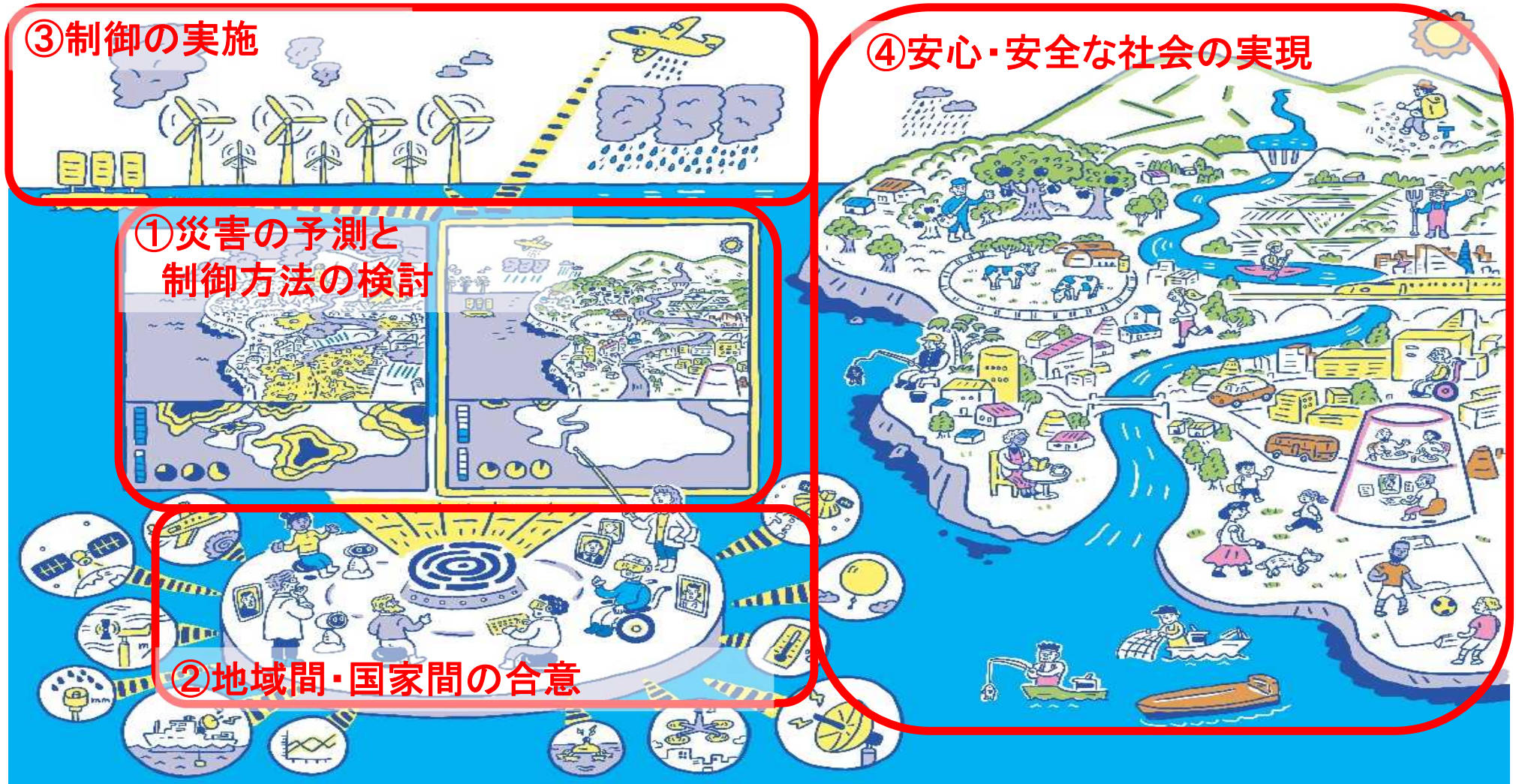


## 【今後補充・拡大が特に必要なテーマ】

- 工学的な介入手法の多様なアイデアの獲得
  - 2023年8月の公募によって2人の課題推進者を追加
  - 公募期間外の提案も歓迎
- 目標達成に資する数値モデルの開発と、シミュレーション上で制御効果の確認を行う、**モデル基盤チーム**の構築
  - 今後、公募の実施も含めて検討

# 2050年に目指す社会像

極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会



2050年には、高精度な気象予測に基づき、周辺の地域・国家との合意のもと、防災・減災の一つのツールとして、台風や豪雨等の極端気象を制御できるようになる