

# 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」**

## 戦略推進会議

令和5年3月24日

プログラムディレクター

三好建正

(理化学研究所 計算科学研究センター チームリーダー)

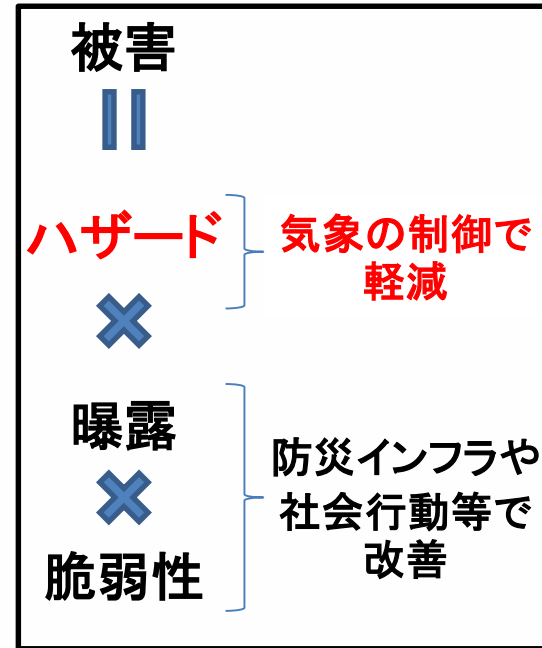
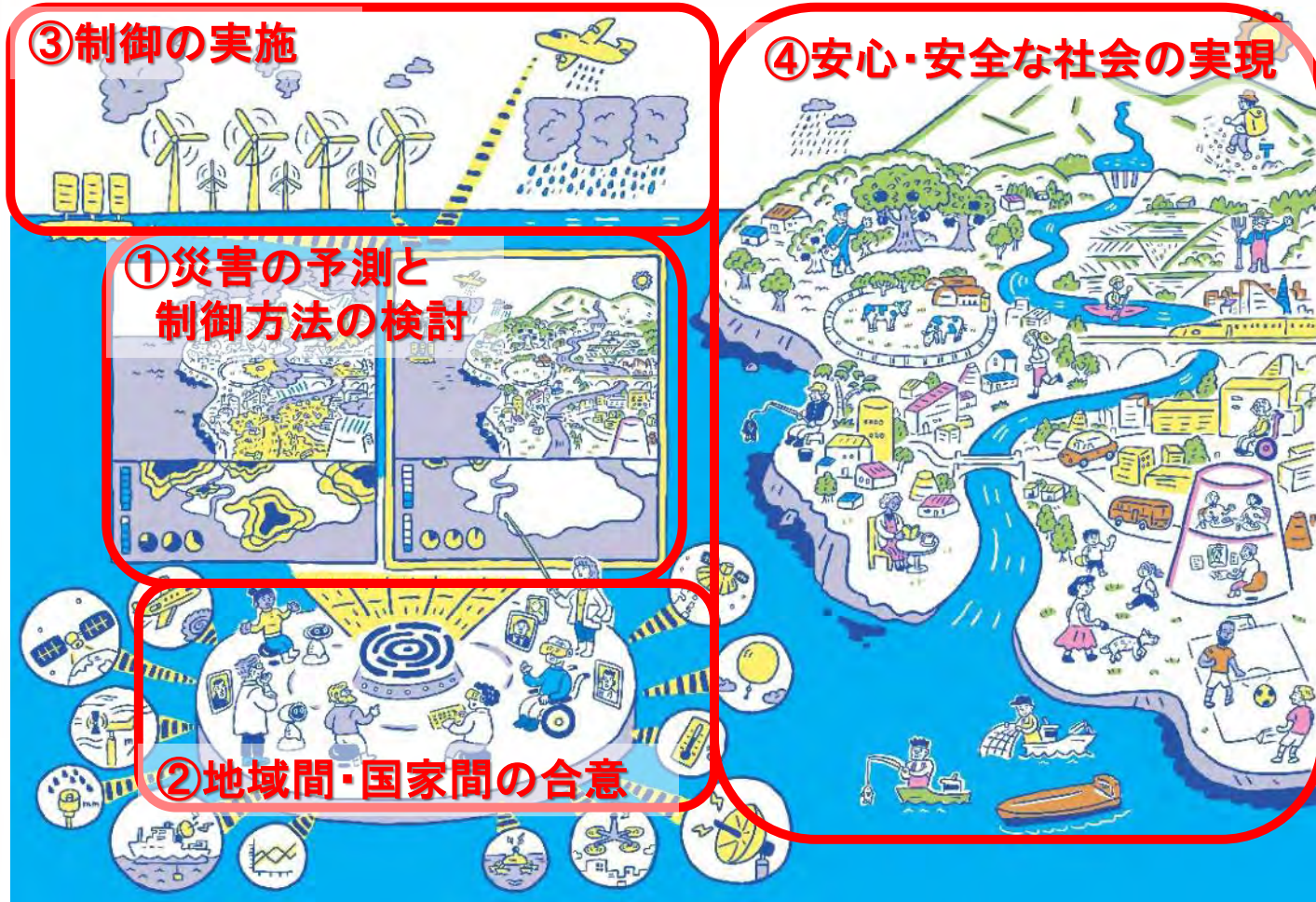
# 目次

---

1. 目指す社会像
2. 解決すべき課題
3. プログラムの構成
4. プログラムの進捗・成果
5. プログラムマネジメントの状況
6. 今後の方向性
7. 自己評価結果

# 1. 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

# 2. 解決すべき課題

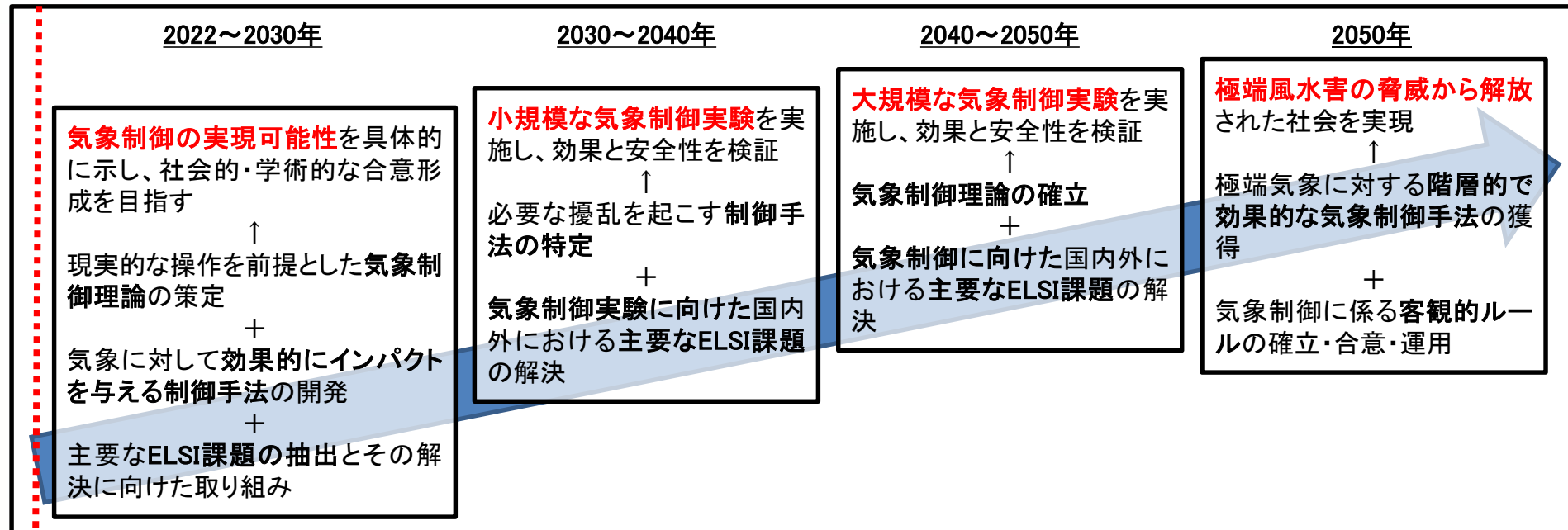
## 主な課題の例

- 小さな外力を加えることで大きな制御効果を得る理論
- 効率的な制御手法
- 予測・制御精度の向上
- 研究ルールの策定や社会合意への取り組み等のELSI対応 (RRIを含む)

本年度(2022年度)開始

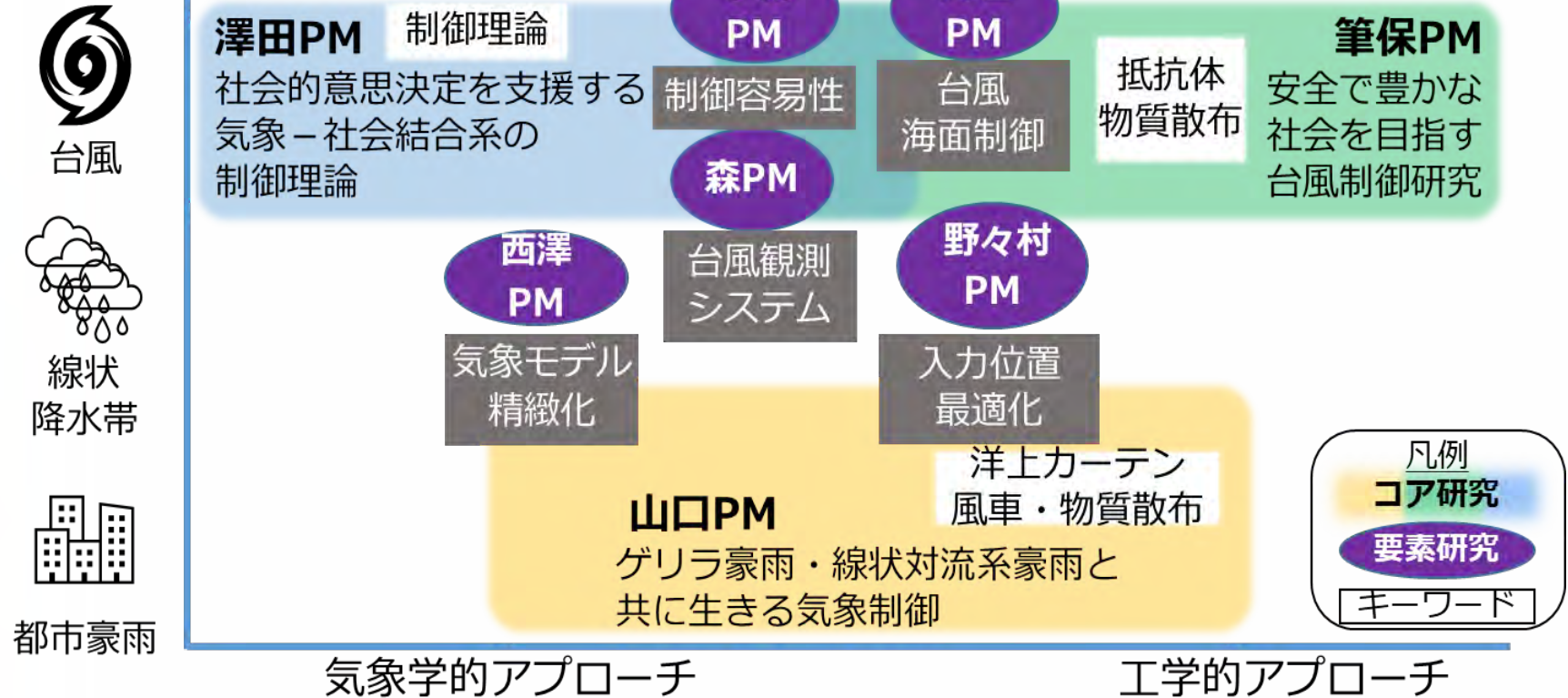
ELSI: Ethical, Legal and Social Issues

RRI: Responsible Research and Innovation



# 3. プログラムの構成

主な対象



- **3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
  - ✓ **澤田PM**: 小さな外力で気象制御が可能であることを、台風を例として示す
  - ✓ **山口PM**: 都市豪雨や線状対流系豪雨といった小さなスケールの気象制御を目指す
  - ✓ **筆保PM**: 有望な介入手法候補に基づき、台風の制御を目指す
- ボトルネック解決に向け、**5つの要素研究**が新奇なアイデアで挑戦

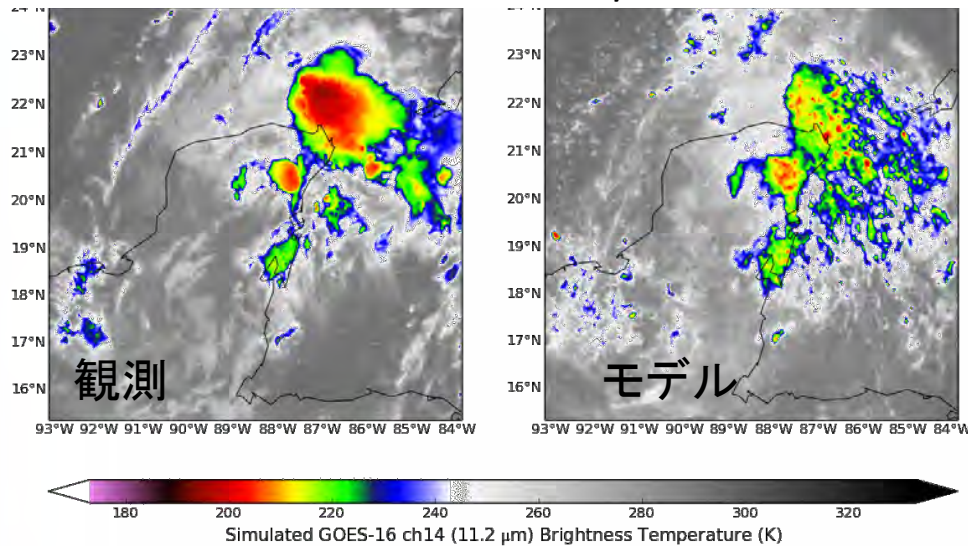
# 4. プログラムの進捗・成果(1)

## 技術開発の進捗

- 今年度(令和4年5月末)に研究開発を開始
- **気象制御の実現可能性を数値シミュレーション上で早期に示す**ため、制御を表現できるモデルや台風観測装置など、**基礎技術の開発**に注力

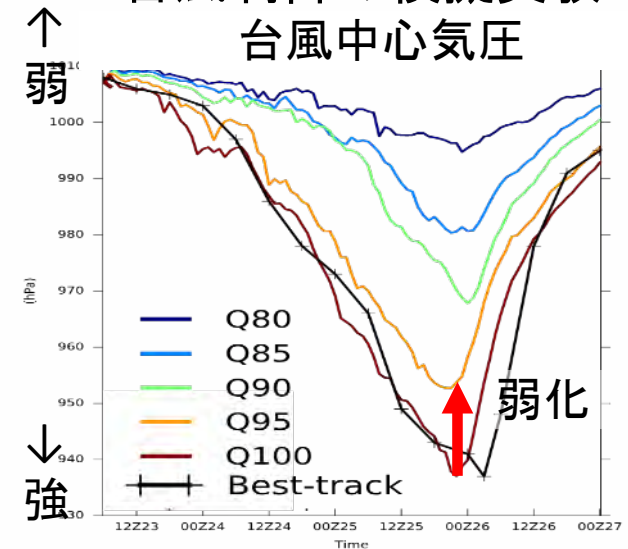
## 技術開発の代表例(1)

- 高精度なアンサンブル再解析/再予報データ生成



[2017-08-22\_12:00]

- 台風制御の模擬実験  
台風中心気圧



【成果】 水蒸気を減らす操作で台風の強度を有意に低下可能であることが示唆

【課題】 投入エネルギーが膨大 ⇒ 現実的なエネルギーで制御する手法開発が必要

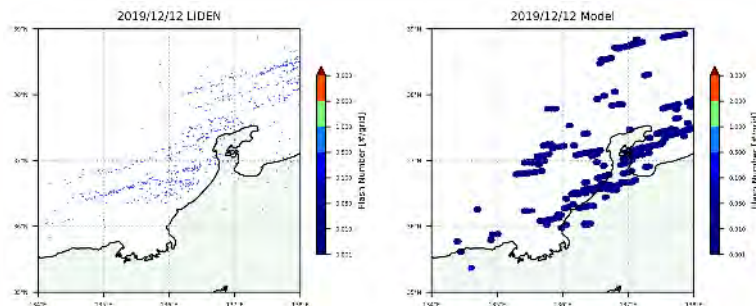
# 4. プログラムの進捗・成果(2)

## 技術開発の代表例(2)

- 帆船を用いて台風のエネルギーを吸収する技術の開発

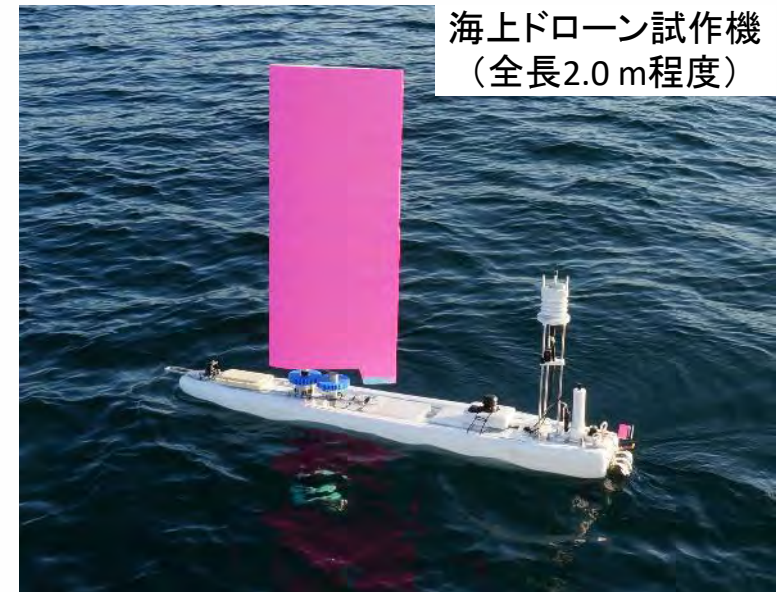
多数の帆船が大気に及ぼす力学的な効果を定量化し、具体的な介入手法に基づいて、台風の強度に有意に影響を及ぼすことができることを世界で初めて示す (Horinouchi and Mitsuyuki, *in press*)

- 極端気象の予測精度を高めるモデル開発  
冬期雷再現の様子



最先端のエアロゾル-雲降水-雷統合スキームや力学スキームなどを開発

- 台風下で観測する海上ドローンの開発



極端気象の予測・制御・制御効果の判定におけるネックとなっている現場観測を可能に  
R5年度にフィリピン東方沖での観測を予定

# 4. プログラムの進捗・成果(3)

## 研究開発プログラムを取り巻く状況

- **気象の制御を目的とした大規模プロジェクトは、現時点では他に見られない**
- 比較的狭い範囲の**人工降雨等**についての世界動向：
  - ✓ 約50カ国での、旱魃等への対策として降雨実験等(2018, WMO)
  - ✓ 欧米を中心とした積極的な商業化(ただし定量的な効果は示されていない)
  - ✓ 中国での、2025年までに国土の約半分で人工降雨・降雪を可能とする国家プロジェクト
- 地球温暖化抑制を目的とした**ジオエンジニアリング**についても、世界各国で検討が行われている。
- 本プログラムとしては、上記の取り組みの成果を積極的に取り入れるとともに、必要に応じて**連携等を模索**
- 本プログラムを取り巻く研究開発状況の詳細について、全PMと連携したレビューを継続的に実施



# 5. プログラムマネジメントの状況 (1/2)

## PDによるプログラムマネジメント

- 個々の気象に対してアプローチする各PMの活動に加え、**目標8全体として取り組むべき課題に対して**、PDを中心とした**横断的な取り組み**を実施。(ELSI、数理科学等・後述)
- 困難である気象制御の実現には、参加者全員が目的意識を共有しながら取り組むことが肝要であり、プログラム内の**コミュニケーションの仕組みを複数構築**(全体会議や月例会等)

## 国際連携

- **「気象制御」という概念やその可能性が国内外で認知されていない**  
⇒まずはアカデミア内での機運醸成を通じ、**気象制御研究の潮流**をつくることが喫緊の課題
  - ✓ 国際学術大会でのセッション等の設定・実施(AOGS2022)
  - ✓ 国際的会合の主催や国際アドバイザリーボードの設置の検討

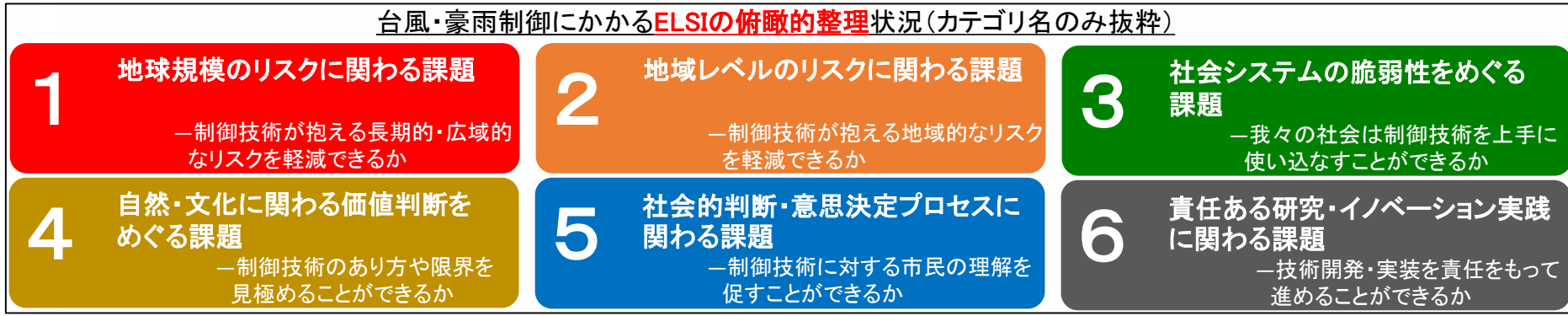
## 産業界との連携・橋渡し

- **産学連携**に向けた積極的な取り組みの推奨
  - ✓ 台風科学技術に関するコンソーシアムの立ち上げ
  - ✓ 損害保険会社との共同研究や資金獲得に向けた協議の開始
- **知的財産**の積極的な確保
  - ✓ 研究の進展に応じて開発される機器・システム類の知財を着実に確保するなど、オープン・クローズ戦略を機動的に推進

# 5. プログラムマネジメントの状況 (2/2)

## ELSI、数理科学等、横断的な取組

- ELSI
  - ✓ 社会実装に向けたELSIの検討・研究開発を当初から積極的に推進 (RRIを含む)
  - ✓ 各コア研究が行う個別の達成目標に応じた取組みに加え、気象制御の達成に向けた俯瞰的な**ELSIの整理と対応を目標全体として進めている**



- 数理科学
  - ✓ 気象制御の実現に向けて、**現状の技術進展の継続では達成できない問題を解決するための策の1つ**として数理科学を位置付け
  - ✓ プロジェクト個別・共通の課題抽出および、**数理研究者と気象・工学研究者のマッチングを行う**ため、数理が専門のサブPD・ADからなる検討チームを結成し、サイトビジット等を実施

## 広報・アウトリーチ活動

- 気象制御に対する不安や懸念を理解しつつ、それらの意見を積極的に取り入れた研究開発を推進するため、シンポジウム等に加えて、**市民対話等の双方向コミュニケーション活動を企画**中

# 6. 今後の方向性

台風や豪雨(線状降水帯によるものを含む)の**制御によって被害を軽減可能なことを早期に実証するとともに、広く社会との対話・協調**を図りつつ、気象制御の社会実装に向けた取り組みを行う。

## 目標達成に向けたR5年度の取り組み

- 気象制御の実現可能性を実証するための取り組みの加速
  - ✓ 数値シミュレーションを用いた理論的な検証を進めつつ、実証に力点を移していく
- プログラム全体を一つのチームとした目標達成への加速
  - ✓ 特に、数値モデルや数理に関する共通課題等についてプロジェクトの連携をさらに促進
- **研究開発ポートフォリオを補充するための公募を実施**
  - ✓ 豪雨(線状降水帯を含む)や強風の制御を目的としたPM
  - ✓ 操作手法のフィージビリティスタディに取り組む研究者
- 気象制御の研究と社会実装に必要なELSIへの対応
  - ✓ ELSI横断チームの取り組みをさらに推進し、アクションリストを作成
  - ✓ 屋外実験を実施するために必要なルールの検討と、関連するELSIへの対応を開始
- 国際連携・アウトリーチの強化
  - ✓ 国際学会でのセッション実施(JpGU2023, AOGS2023, ICIAM2023等)や、国際シンポジウムの開催(8月)を通じた国際的な機運の醸成
  - ✓ 国際アドバイザリーボードの設置準備
  - ✓ ELSI研究とも連携した草の根的なアウトリーチの実施

# 7. 自己評価結果 (1/3)

**総括：**  
マイルストーン（目標値）の達成あるいは達成への貢献が期待通り見込まれ、  
成果が得られている。

## 総合コメント

### MS目標達成に向けたポートフォリオの妥当性（評価項目①）

令和4年3月の採択以降、作りこみを経て全研究開発プロジェクトが開始されている。当該年度は研究開発体制の構築をマイルストーンとして掲げており、作りこみによる研究開発プロジェクトの精緻化のほか、気象制御の社会実装に向けたELSI検討のためのプロジェクト横断チームの設置によりELSIの具体的な抽出作業を進めた点は評価できる。また、研究開発の加速に向けた数理研究の検討の開始など、研究開発体制の構築が順調に進められた。

科学技術面では、特に数値シミュレーションに基づく気象学的アプローチを重視して、気象制御の原理的な可能性等の検証を行っている。介入手法の特定につながる具体的な成果も得られるなど、すでに一部のプロジェクトにおいては順調な進捗が見られている。一方で、ドライアイスなどの大量散布や、台風の力の一部を吸収する発電帆船による対応などの操作技術の候補については、技術と経済コストを含めた実現可能性も考慮する必要がある。そのため新たに探索される操作技術も含めて、その可能性を国内外で広く検討する必要があると考える。台風・豪雨などの極端風水害に対処するには、国内外の関連研究組織との連携も必要なので、独自の立ち位置を見極めながら、協力体制を築いていくことを期待する。これらの状況に対し、追加のプロジェクト公募も検討されており、多面的に介入に向けての取り組みもあることから、今後の進展が期待される。今後の研究により、種々の手法の有効性を費用対効果の観点も含めた上で明らかにし、研究計画の見直しも含めて、検討されることをPDに期待する。

制御に加え気象予測を含め目標を実現するために必要となる関連技術の全体像を描く中で、本プログラムがカバーする研究領域と他所が進めている研究領域を整理し、ポートフォリオマネジメントが行われることが望まれる。本目標で採択されたプロジェクトに限ることなく、目標を実現するための研究開発が総体として実現されるようプログラムマネジメントが行われることを期待する。

# 7. 自己評価結果 (2/3)

## (1) プログラムの目標に向けた研究開発進捗状況 (評価項目②)

<p>1-1. 大胆な挑戦的革新性 (評価項目⑦)</p>	<p>本年度のマイルストーンは、3年目に気象制御の実現可能性を示すことを目指し研究開発体制の構築を行うことであり、順調な進捗が得られている。PMの採択後、2ヶ月に渡りPD・SPDとPMが打ち合わせを繰り返し、コア研究については2050年からのバックキャストから、要素研究については3年間の研究開発期間終了後も気象制御に貢献できるよう、研究開発プロジェクトを作り込んだ。その後研究開発プロジェクトが順次開始し、気象制御可能性を示すために必要な過去の極端気象の数値シミュレーションが着実に実施されているほか、2030年の実証実験の実施に向けた気象モデルの高度化や観測装置の開発などが重点的に進められている。</p> <p>なお、11月までに全プロジェクトの研究開発が開始したが、総じて本格的な研究開発の進捗はこれからである。また、2050年における極端気象全般を制御するためには、台風以外を対象とした研究開発プロジェクトが不足している。ポートフォリオ拡充のため、翌年度内の追加公募を検討している。台風や豪雨を効率的に制御するためには、多様な介入手法を保持すること肝要である。各プロジェクトで介入手法の普段の検討を促すほか、プログラムとしても追加公募等により補充を適宜行う予定である。</p>
<p>1-2. プログラムの目標に向けた進捗 (評価項目③)</p>	<p>気象制御の社会実装に向けてはELSIの解決に向けた研究も必須と考えており、本年度新たにプロジェクト横断型のELSI検討チームを結成し、気象制御全般に関わるELSIの抽出作業を進めた。本年度中に俯瞰図の初版が作成される予定である。当初想定よりも進捗が早く、ELSIに関して3年目と5年目に設定したマイルストーンの前倒しもあり得る状況にある。作成したELSI俯瞰図は、今後のプログラムのアクションプラン策定に役立てる。数理研究による研究開発の加速に向けて、数理系サブPD、ADとコア研究プロジェクトのPMとの間の検討が開始され、各プロジェクトに潜在する数理課題の抽出が進められている。プロジェクトに共通する数理課題も明らかとなりつつあり、プログラムとして数理研究を推進する体制作りが進められている。</p> <p>なお、現在のポートフォリオでは、台風よりも小さなスケールでの極端気象、特に線状降水帯を含んだ豪雨や強風についての研究開発が十分でない。また、気象制御の実現に向けては複数の介入手法を組み合わせることが有効と考えるが、現状のプロジェクトにおける制御手法の数は十分ではない。翌年度中に、線状降水帯を含めた豪雨や強風を対象とした新たな研究開発プロジェクトや工学的手法の技術またはアイデアの公募を実施し、ポートフォリオの不足の早期補充に取り組む予定である。</p>
<p>1-3. その他</p>	<p>特になし</p>

# 7. 自己評価結果 (3/3)

## (2) PDのプログラムマネジメントの状況 (評価項目④)

<p>2-1. 研究資金の効果的・効率的な活用 (官民役割分担及びステージを含む) (評価項目⑧、評価項目⑤)</p>	<p>a. 産業界との連携・橋渡しの状況 (民間資金の獲得状況 (マッチング) スピンアウトを含む)</p> <p>b. その他</p>	<p>各プロジェクトが産業界との連携を模索し始めている状況である。産学連携を目指したコンソーシアムの立ち上げ、装置の量産化、社会実装に向けた外部民間企業との連携可能性の模索、外部民間企業との共同研究や資金獲得に向けた協議が開始された。また、筆保プロジェクトと小槻プロジェクトには民間企業から課題推進者が参画し、産学協働が進められている。</p> <p>なお、研究開発が始まって間もないため、どのプロジェクトも民間との協働については検討段階にとどまっている。今後研究開発を進め、民間企業との協働や外部資金獲得について検討を具体化し、必要に応じて実行に移す必要があると考える。</p> <p>研究資金を効果的・効率的に利用するため、最初は比較的少ない研究費を配賦し、想定したシナリオに沿って仮説が証明され、次ステップに移行することになったら増額する、という形で目標全体を運営しているとともに、次ステップへの移行判断はステージゲート時や年次評価時に限らず随時行っている。例えば、制御手法の開発には多額の資金が必要となるが、可能性がわかっていない現段階での重点投資は避け、対象とする現象の制御ができる見込みをシミュレーション上で証明してから小規模実験フェーズに移行し、それらの結果を再解析して上手く行けば中規模実験フェーズに、上手く行かなければシナリオを書き直す、といったような進め方を行っている。</p>
<p>2-2. 国際連携による効果的かつ効率的な推進 (評価項目⑥)</p>		<p>「気象制御」という概念が国内外で認知されていない中、まずアカデミア内での機運醸成や仲間作りが必須であり、国際学術大会へのセッション提案、著名な研究者を招待した独自の国際シンポジウム等を実施および実施予定である。</p> <p>なお、気象制御に向けて国際的な機運醸成を図るなかで、まずはアジアを中心として足場を固めている状況である。来年度以降は欧米地域に対してもアウトリーチの範囲を広げていく。またアウトリーチ活動のみならず、国際交流や国際共同研究、海外研究者のプログラムへの参画を具体的に形にする必要がある。気象制御の概念を海外に広げていく中で、海外の優れた技術の取り込みや、研究者の協力・参画を得るべく、継続した情報収集や具体的なアクションを取る必要がある。</p>
<p>2-3. 国民との科学・技術対話に関する取り組み (評価項目⑨)</p>		<p>プログラムのスタートに当たって、プログラムの概要、研究開発計画を広く国民に紹介すべく、キックオフ公開シンポジウムを開催した。質問にはPDやPMが丁寧に答え、一般の人が持つ気象制御に対する疑問や猜疑心などの払拭に努めた。プログラムの目指す社会像や研究開発への取り組みを紹介するため、イラストや動画、文章などのコンテンツを作成した。コンテンツはJSTのHPで公開する。加えて、各プロジェクト独自のホームページ作成も進められている。各プロジェクトがメディアからの取材を受け、「気象制御」に関する取り組みの認知度を高めるための取り組みを進めている。</p> <p>なお、キックオフシンポジウムは東京で行った。また、各プロジェクトの代表機関は大都市に所在する大学や研究所である。しかしながら、気象制御の実施には少なくとも国内全域の意識醸成が必須と考えており、特に豪雨や台風被害を強く受けている地方都市の人々にも、気象制御の考え方を知ってもらい、また、その方々が気象制御をどう考えるかを踏まえ、研究開発を推進する必要がある。今後は大都市からの一方的な情報発信だけでなく、地方も巻き込んだアウトリーチ活動も検討していく。</p>

●メタデータ件数：2件 (うち、研究データの公開1件、共有1件、非共有・非公開0件)