

ムーンショット目標8 AMAGOIプロジェクト
「海上豪雨生成で実現する修通豪雨被害から解放される未来」
「雪雲制御に係る小規模実証実験」説明会議事録

1. 日 時： 2026年9月11日(金) 昼の部 15時～16時 / 夜の部 18:30～19:30
2. 場 所： 富山県民会館7階 705号室 および オンライン
3. 参加者： 昼の部 26名 / 夜の部 18名
4. 議 事：

- 1) はじめに
プロジェクトマネージャー： 小槻峻司（千葉大学 教授）

- 2) 実験内容の説明
屋外実験リーダー： 安永数明（富山大学 教授）
※ 説明資料： [「雪雲制御に係る小規模実証実験」説明会資料（PDF）](#)

- 3) 質疑応答

【昼の部】

- Q. 12月に行われる実験の場所（区域）について、より詳細な場所が分かっていたら教えてほしい。
- A. 地上観測は、2026年1月の予備実験同様、入善町の園家山キャンプ場で行う予定です。キャンプ場での地上観測以外に、観測には3か所のレーダーを使用します。
 - ・水橋レーダー：国土交通省所有・富山市水橋の防災センター
 - ・滑川レーダー：日本無線株式会社所有・滑川市
 - ・氷見レーダー：研究チームが氷見市の山合いに設置予定



シーディング実験地は、富山湾全体を対象としていますが、特に冬季に降水雲が発達しやすい「入善町から朝日町周辺の沿岸・上空」が主なターゲット（実験対象領域）になると考えています。

- Q. 2026年1月の予備実験の成果と、2026年12月以降の小規模実証実験に対する期待はなにか？

- A. 予備実験は、気象を変えること自体を目的としていたわけではなく、主に以下の3つが目的でした。この3点については成功だったと考えています。
- ①ロジスティクス（運用手順）の確立：飛行機をどのように飛ばし、狙った場所にどのようにシーディング物質（ドライアイス）を散布するかというロジスティクス（機材や人員の運用手順）を確認し確立すること。
 - ②地上観測体制の整備：地上の観測装置を準備し、計画通りに実験を行うための体制を整えること。
 - ③社会との合意形成・透明性の確保：社会と科学の関係の変化に応じ、透明性の高い説明を保ちながら実験を進めること。また、社会からの理解を得ながら進めるための準備をすること。

予備実験で得られた科学的な成果

- ①氷の核の形成実証：シーディング物質（ドライアイス）散布によって「氷の核（氷の粒のもと）」ができることを、実際に地上の観測装置のデータで実証しました。
- ②地上班（地上で観測を行うチーム）と飛行機班（飛行機からシーディングを行うチーム）の連携ノウハウ：雲で視界が悪い飛行機班に対し、地上班がコントロールセンターとなって膨大な気象データを解析し、「10分後に適した雲ができる場所」を予測して指示を出し、飛行機側はその情報を受け、10分後にその場所まで飛行してシーディングを行う連携ノウハウを構築できました。

今年度の小規模実証実験への期待

昨年度の予備実験ではシーディング物質を狙った場所に散布し、氷の核をつくることはできたものの、その現象を定量的に観測できる実験デザインではなかったため具体的に降水プロセスが変化したかどうかまでは観測できていませんでした。シーディングによる人工降雨では、氷の核をつくることでそれらが周囲の水と反応して成長し、氷として落ちるプロセスが起こるとされています。今年度は観測拠点の観測装置を強化し、シーディングを行うことによって、狙った雲の変化を起こすことができるか定量的に確認できることを期待しています。

予備実験との3つの違い

- ①実験回数の増加：雲の状況は毎回異なるため、回数を増やして統計的に評価できるようにします。
- ②シーディング物質散布場所の変更：より陸に近い場所で行うことで地上での観測装置により効果を直接捉えやすくします。
- ③観測技術の強化：昨年度と比べて新たに小型Xバンドレーダー（国土交通省などで使われるバンドと同じレーダー）を氷見に設置します。さらに、リモートセンシング（遠隔計測技術）の改善を図ります。

その他の期待：市民科学の取り組み

地域住民、高校教員、防災士などと連携し、一緒に雲を観測する「市民科学」の活動も進めています。富山湾近辺のどこで適した雲が発生するかは分からないため、さまざまな観測を組み合わせながら予測していくことになります。一方で、研究者の数にも限りがあるため、先にあげたようなさまざまな方々を巻き込みながら、一緒に研究を進めていこうとしています。そうした活動を通して、私たちの実験の狙いや難しさ、同時に気象現象の美しさなども共有しながら進めていきたいと考えています。

- Q. レーダー増設によって、より具体的にどのようなことが分かるようになったのか？
- A. シーディングを行う場所をピンポイントで重点観測できるようになり、雲が発生してから雨として落ちてくるまでの「初期の変化」を捉えられるようになります。
- ・氷見レーダーの役割：既存の水橋と滑川のレーダー（広域を三次元的に観測）に対し、新設する氷見のレーダーはプロジェクト専用として観測エリアを絞って重点観測できます。
 - ・超短波長レーダー（直上観測用）の設置：さらに波長が短い降雨観測用レーダーを地上に設置します。電波は波長が短いほど小さな物体を捉えられるため、「最初に雲粒ができ、成長して落下し始める最初の変化」を捉えることが可能になると考えています。
- Q. 今回の小規模実証実験では、陸上で雨を降らせる雲に対してドライアイスを散布することが、より実用に近い環境での実験になるという理解でよいのか？
- A. 実用に近づけることに加え、「多数の精密な観測装置を雲の真下付近（地上）に配置して精確に効果を測定するため」に陸上での観測装置の設置が必要となります。海上へ設置することも考えられますが、それを実現することは非常に困難なため、陸上で観測を行う体制をとっています。
- Q. 今回の小規模実証実験の結果は、いつ頃まとめ、どのような形で公表される予定なのか？
- A. 現時点では、速報的な成果報告会は2027年3月～4月頃に実施し、詳細な科学的裏付けに基づく論文・学会発表などは来年の夏以降を予定しています
- ・報告会：実験の実施状況や得られた初期データを報告します。
 - ・科学的判定・論文発表：「気象が変わったように見えたこと」と「科学的な証明」は別プロセスです。データを厳密に解析し、しっかりとした科学的裏付けを得た上で論文や学会発表を行う予定です。
- Q. シーディングについて、国内法、国際法、条約や各種規制との関係性はどのようなものか？
- A. 日本および国際的にも気象制御（気象改変）を直接規制または許可する法律はありませんが、ドライアイス散布量を1回30キロ以下に制限して安全に実施しています。一方で、一般論として、まずは透明性を高く保ちながら実験を進めていく必要があると考えています。東南アジアや世界気象機関（WMO）傘下の学会等で実験計画や結果を発表し、国際的な透明性を保持しています。また、2050年の実用化に向けて「どのような判断基準や合意形成（ルール・法律）のもとで気象制御を行うべきか」というガバナンスの構築も研究の一環として進めています。
- Q. 実験を進めるためのコミュニケーションについて、どのようなところに気を配り、注意しながら進めていきたいと考えているのか？

- A. 地域の方々（住民・自治体・漁協等）への丁寧な事前説明と、科学的限界も含めた徹底した情報公開（透明性の確保）を最優先に進めたいと考えています。
- ・現地での手続き：実験地である園家山キャンプ場の冬季閉鎖期間について、入善町から正規の許可を得て用地を借り受けています。
 - ・地域関係者への説明：安全に実験を実施していることについて、特に付近の住民の方々や周辺自治体の方々に十分にご理解いただく必要があります。そのため、自治体をはじめ、必要に応じて地域住民の方々、例えば海上で実験を行う場合には漁協などにも連絡し、必要に応じて説明会を開く対応を予定しています。
 - ・透明性について：ネット上の誤解や不安に対しては、科学者が誠実に説明を尽くすことが重要だと考えています。前回の実験報告書（約200ページの資料）の公開を予定しており、さらに成果報告会も継続する予定です。「何でも科学技術でできる」と見せるのではなく、現時点での「科学の限界や難しさ」も含めて等身大で伝える姿勢を大事にしたいと考えています。
- Q. 昨年度の予備実験を実施したことによる市民の理解の促進について、どのような効果があったか。市民の関心が高まっている、あるいは他の地域でも実験を進めやすくなるなどの効果はあったか？
- A. 昨年度の予備実験を通じて、社会的な関心が高まり、懸念よりも期待や応援の声を多くいただくようになったと認識しています。

昨年度は、実験前に地元を含めて数回説明を行い、実験終了後には成果報告会も実施しました。その中で寄せられた声は、懸念よりも、むしろ期待や応援、「気象災害を何とかしてほしい」といったものが多かったと認識しています。実際に予備実験を行ったことで社会的な注目を集めることができ、「これは本当に大事な研究だ」といった声もいただくようになってきました。できる限り丁寧なコミュニケーションを心がけてきたつもりで、現時点では、私たちの活動に対して大きな否定的な意見はいただいていないと認識しています。ただし、同じようなやり方が他の地域でもできるかどうかについては、地域ごとに背景が異なることもあるので、他の地域で進める際もその地域に合わせた対話が必要と考えています。少なくとも富山に関しては、これまでミスコミュニケーションは生じていないのではないかと考えています。

こうした社会的な関心や期待が高まっている背景には、近年の気象災害の状況もあると考えています。今年は千葉県や富山県、石川県、青森県、さらに先日は愛知県でも集中豪雨がありました。現在の報道でも「過去にない災害」といった言葉が聞かれるようになり、私たち自身もその脅威を肌で感じています。特に今年は集中豪雨による被害が多かったこともあり、「私たちの身近なところでも、このようなことが起こるのか」という感覚や、「これがさらに増えるのであれば、対策を取らなければならない」という感覚が、あくまで感覚的なものですが、高まってきているのではないかと考えています。

また、こうした社会からの期待や応援は、私たち自身が研究を進める上でのエネルギーにもなっています。実際に豪雨災害の被災地を回ることによって、私たち自身も研究の重要性をより実感するようになりました。大学の学生やスタッフからも、「これは大事な研究なので、何とかしましょう」といった声があり、この研究の重要性を改めて実感するようになりました。

このように、昨年度の予備実験を通じて社会的な関心が高まり、期待や応援の

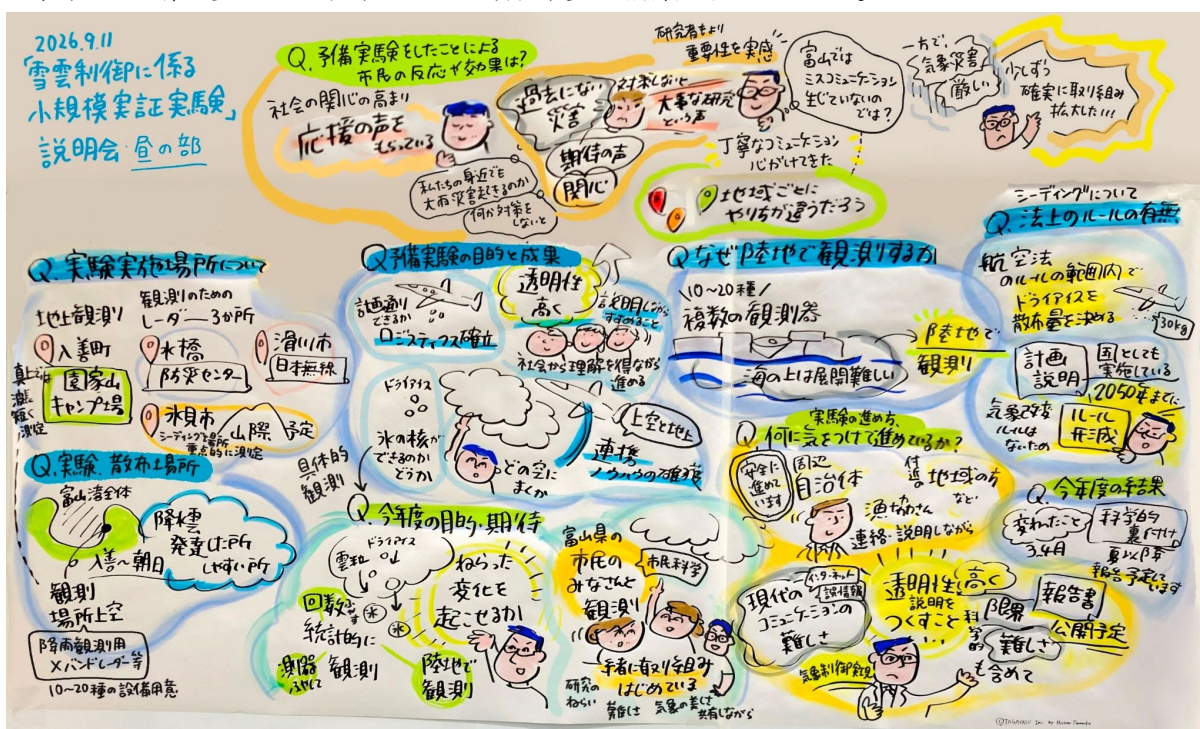
声をより多くいただくようになったことは、大変ありがたいことだと考えています。一方で、現在の気象災害を取り巻く状況は非常に厳しいので、今年も何とか実験を成功させ、少しずつ、確実に取り組みを拡大していきたいです。

(オンライン参加者より)

昨年の説明会に参加し、親子連れ、中学、高校の探究学習など一般的な市民の参加の可能性を感じています。

【昼の部：グラフィックレコーディング】

当日は、研究者と参加者間の発言をグラフィックレコーディングによって可視化し、相互理解と安心して発言できる対話環境の構築を図りました。



【夜の部】

Q. 2014年の広島豪雨の数値シミュレーション上のシーディングでは、実際どれくらいの量を散布したのか？

A. 局所的な大雨（3時間で約200～300ミリ）を抑える数値シミュレーションでは、約3トンという相当な量のドライアイス散布を数値シミュレーションしました。計算上は効果を出すために3トンが必要という結果になりましたが、今年度の小規模実証実験でこのような大規模・極端な散布を行う予定はありません。

※気象庁では、1時間雨量10～20ミリ未満を「やや強い雨（ザーザーと降る）」、80ミリ以上を「猛烈な雨（息苦しくなるような圧迫感がある）」としています。

出典：気象庁「雨の強さと降り方」 https://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownyougo_hp/amehyo.html?utm

Q. 実際、3トンのドライアイスを上空まで持っていくことは現実的ではないように思えるが、持って行けるものなのか？

- A. いくつかの可能性があります。現在使用している飛行機へ持込める重量には上限があり30キロですが、液体一酸化炭素など別の形態に変更すれば現在使用している飛行機でも100キロまで積載可能であり、複数台の飛行機を運用することで対応できる可能性があります。また将来的にUAV（無人航空機）技術の発達により、将来的に1機で100～200キロ、大型UAVを活用すれば3トンを超える搬送も技術的に見込まれています。
- Q. 数字だけ聞くと3トンのドライアイスはすごく多いと感じる。例えば触媒を使ってドライアイスの効果をさらに高めて量を減らすなど、将来的には可能なのか。
- A. 別の代替手段を考える必要があると考えています。世界的にはヨウ化銀がよく使われていますが、環境負荷への懸念があるため今回は使用していません。また、ドライアイスはすぐに落下の途中で昇華して気体になるが、シーディングの効果を高くするためには大気中に長く留まる物質が理想的です。最近では生物由来の物質（バイオマテリアル）にも雨を変える効果があることが分かってきており、シーディング物質自体の検討も並行して進めています。
- Q. 雲の予測を、風がある状態で行うことはとても難しいのではないかな？
- A. ①雲の予測可能性について：一つひとつの雲の発生場所を予測することは非常に難しいです。しかし、今回富山を選んだ理由として、冬季の富山（滑川から魚津、入善付近）では西高東低の冬型になると降水帯が停滞し、層積雲のような形で長く続くという特徴があります。これらは発生確率が高く、十分なリードタイム（猶予期間）を持った予測可能性が高いため、シーディングのターゲットとしての準備が可能と考えています。
②雲の制御について：全ての積乱雲を完全に意図通り制御することは極めて難しいと考えています。しかし、積乱雲の中に狙っている雲があることが大まかに分かれば、一つひとつの積乱雲を少しずつ弱めることで、集中豪雨全体を弱めることは可能であると捉えています。
- Q. シーディングの効果があってもすぐに水蒸気として上がってきて雲に変化するため、どんどんシーディングをしていかないと意味がなくなってしまうのではないかな？
- A. ①水蒸気の再蒸発について：雨として落としても、その水が再び蒸発はします。しかし、海からの再蒸発量（1日3～4ミリ程度）に比べ、豪雨をもたらす雲の帯には約70ミリ分（降水量換算）の水蒸気が含まれており、シーディングでその20～30%をあらかじめ雨にすることができれば、陸地に流入する水蒸気の総量を確実に減らすことができ、その後に多少の再蒸発が起きたとしても、陸域へ流入する水蒸気の総量を減らすことができます。
②連続制御について：シーディング後に雲を連続してコントロールしていく手法は「一歩先の技術」であり、今年度は「単回の散布で雲や雨がどう変化するか」という解像度を高めることを主な課題としています。
- Q. （研究者・参加者への質問）これからどのような形でどんな人たちと取り組んでいきたいか、実際に市民科学などの企画に参加された経緯や感想を含めてお伺いしたい。
- A. （研究者より）市民のみなさんと、実験に必要なデータ取得ができないか市民科学の取り組みを少しずつ始めています。この成果も発信しながら、一緒に実験やこの取り組みができる人の輪を広げていきたいです。

