

令和6年度 最終評価様式

積乱雲危険度予測情報の研究開発と社会実装モデルの展開

令和7年5月
文部科学省

- 実施する重点課題（特に該当するものには◎、そのほかで該当するものには○（複数可）を記載）

業務プロセス転換・ 政策転換に向けた取組	次期SIP/FSより 抽出された取組	SIP成果の社会実装 に向けた取組	スタートアップの事業創出 に向けた取組	若手人材の育成 に向けた取組	研究者や研究活動が 不足解消の取組	国際標準戦略の促進 に向けた取組
		○	○			

- 関連するSIP課題（該当するものには○を記載）

持続可能な フードチェーン	ヘルスケア	包摂的 コミュニティ	学び方・ 働き方	海洋 安全保障	スマート エネルギー	サーキュラー エコノミー	防災ネット ワーク	インフラ マネジメント	モビリティ プラットフォーム	人協調型 ロボティクス	バーチャル エコノミー	先進的量子 技術基盤	マテリアル 事業化・ 育成エコ
							○						

1. 社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰の中での成果（進捗の説明）

① 全体概要

【解決すべき社会課題】

- 近年、**積乱雲マルチハザード**（線状降水帯も含め積乱雲によってもたらされる豪雨や落雷等の様々なハザードを指す）が頻発し、人的被害や年2,000億円以上とされる経済被害が発生するなど甚大な被害をもたらしている。
- **国民の生命を守るとともに、企業活動による経済被害の低減への対策もレジリエント社会の実現のために重要**。具体的な例として、半導体工場等の運用事業者では、瞬停（瞬低）リスク対応として、雷予測は半日前から直前までのシームレスな予測が有効との声があり、**時間とともに危険範囲を絞り込んでいく落雷予測情報やそれに基づく事業継続の判断に資する総合的情報（積乱雲危険度予測情報）が必要**。
- SIP第2期において線状降水帯予測のために開発した**積乱雲群の予測及びデータ同化技術は豪雨予測のみならず、積乱雲マルチハザード予測の基盤技術となり得る**。一方で、**積乱雲危険度予測情報を社会実装するためには、多様な企業で有効性を検証しながら、多様なニーズに対応可能な、積乱雲予測技術のさらなる高度化が必要**。

【施策内容】

- 防災科研が開発した三次元雷放電経路観測（LMA）を用いた**落雷予測技術**と、SIP第2期で開発した線状降水帯予測技術を基盤とした**積乱雲の直前から半日先までの予測を統合・活用し、減災行動に結び付ける積乱雲危険度予測情報として提供するために必要な研究開発・実証**に取り組んだ。また、**九州経済連合会や工場運営事業者と連携し、実証実験及びヒアリング調査を実施した**。

【成果の社会実装】

- 工場への事後ヒアリングにおいて、**現在の予測情報を上回る高精度な1時間以内の直前予測に高い有効性が確認**できた。
- 課題となった「空振り予測の低減」及び「瞬停・瞬低の可能性予測」を推進することで、**2年後を目処に社会実装をめざす**。
- 本研究成果は、**瞬停・瞬低リスクへのハード対策が不十分な様々な分野の業種（特に中小規模）において、災害発生前の生産ライン制御や発生後の迅速な復旧対応を可能とし、新しい価値（生産機会損出の最小化と休業保証等の保険）を創造する基盤技術となることを確認した**。

1. 社会実装に向けた施策・取組等の全体俯瞰の中での成果（進捗の説明）

② 全体俯瞰図

SIP第2期（線状降水帯予測）で研究開発した積乱雲群予測と、防災科研が開発した落雷・突風等予測を統合し、減災行動に結び付ける積乱雲危険度予測情報（半日先までの予測）として提供するために必要な研究開発・実証に取り組む。

内閣府:SIP第2期（防災）

豪雨等予測技術（2時間先と半日先予測）

水蒸気観測に基づく、線状降水帯を構成する豪雨等の2時間先から半日先予測

文部科学省:防災科研運営費交付金事業

落雷・突風等予測技術（1時間先まで）

落雷前に雲内放電を常時観測

三次元雷放電経路観測(LMA)

積乱雲の予報円は国内初！

激しい積乱雲から雷が発生

現況 移動予測

LMAやレーダ同化技術に基づく落雷・突風の予測技術

LMAやレーダ観測に基づく、落雷・突風等の1時間先までを予測する技術開発

BRIDGE（R5-R6年度）

積乱雲危険度予測情報の研究開発

- 積乱雲ハザード予測技術の高度化
 - 豪雨・落雷・突風・降雹の現況や予測の統合により、**産業界からのニーズを踏まえ、企業の事業継続や住民の安全確保に資するため、拠点等にピンポイントで半日先までの積乱雲ハザード予測情報を開発**
- 積乱雲確率危険度予測情報の研究開発
 - 予測時点毎に**不確実性を抽出**し、ニーズに応じて時系列的にハザード情報を**リスク情報へ高度化**
 - 企業等における実証に基づく改善を図り、**予測情報の有効性を評価**

あらゆる積乱雲ハザードを観測

既存観測機器
降水・風観測（レーダ観測）
●国交省XRAIN
水蒸気観測網
●マイクロ波放射計
●地デジ水蒸気観測

LMA
落雷判定機能強化

積乱雲危険度予測情報のイメージ

稼働再開
稼働停止継続
積乱雲危険度
危険
警戒
通常
まもなく稼働再開
2時間先まで予報円
半日先まで危険範囲
稼働停止継続

積乱雲の危険度が高い場合にアラートを送信及びGISで可視化

災害情報の瞬時把握（気象センシング情報）

内閣府：SIP第3期（防災）サブ課題A 災害情報の広域かつ瞬時把握・共有

2. 研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

テーマ 減災行動に結び付ける積乱雲危険度予測情報の研究開発

① 研究成果及び達成状況(全体概要)

【積乱雲ハザード予測手法の高精度化】

- 積乱雲毎の確率論的移動予測法に基づく「**積乱雲の予報円情報**」のリアルタイム提供を可能とし、さらに発雷の可能性がある危険な積乱雲を判定する手法も開発した。この新手法は、**1時間先の捕捉率を、現業の気象庁雷ナウキャスト(1時間先予測)に対し適中率を同程度に保ちながら、捕捉率を20%向上させ、「発雷の見逃しが少ない予測」を実現した。**
- SIP第2期で開発した積乱雲群の2時間先予測等を用いて、降雨のみならず、2時間先までの落雷及び強風などの積乱雲ハザードを予測する手法を開発した。さらに位置ズレ補正技術を発雷予測に導入し、1時間先から3時間先までの「予報の空白」を埋めるような高精度な予測情報の提供をリアルタイムで可能とした。**この新手法においては、1時間先の気象庁の雷ナウキャストの予測精度を維持しながら、2時間先まで予測することができることを実証した。**
- 現業予測として、3時間以降から39時間先までの降雨及び発雷確率情報が気象庁から提供されているが、事前ヒアリングにおいて、半日程度先までの予測情報が工場職員の通勤管理において重要であるという意見があった。そのため、**見逃しと空振りが共に少ない半日先程度までの予測情報プロダクトを気象庁メソアンサンプルガイダンスから作成し、関東及び九州地方において2023年と2024年において精度検証を実施し、その適中率は25%であり、職員の注意喚起としての利用する十分な精度があると判断した。**半日先予測情報を実証実験内でリアルタイムで提供した。

【事業継続支援システムの研究開発】

- 本研究で開発した「積乱雲の予報円」を用いた“1時間先予測”、SIP第2期での予測技術を拡張した“2時間先予測”、気象庁メソアンサンプルガイダンスをベースとする“半日先予測”を統合した、**リアルタイム可視化機能、自動アラート送信機能、自動ポップアップ通知機能を有した「積乱雲危険度表示システム」を開発した。**
- 「積乱雲危険度表示システム」をリアルタイム運用し、**顧客毎にカスタマイズされた通知ルールに基づき、6社への実証実験を実施した。**3つの予測情報の中で、特に工場現場では、**1時間先までの高精度予測へのニーズが高く、「もう落雷はない」という安心情報・解除情報も含めた時系列情報に高い有効性を確認した。**

② 出口戦略・研究成果の波及

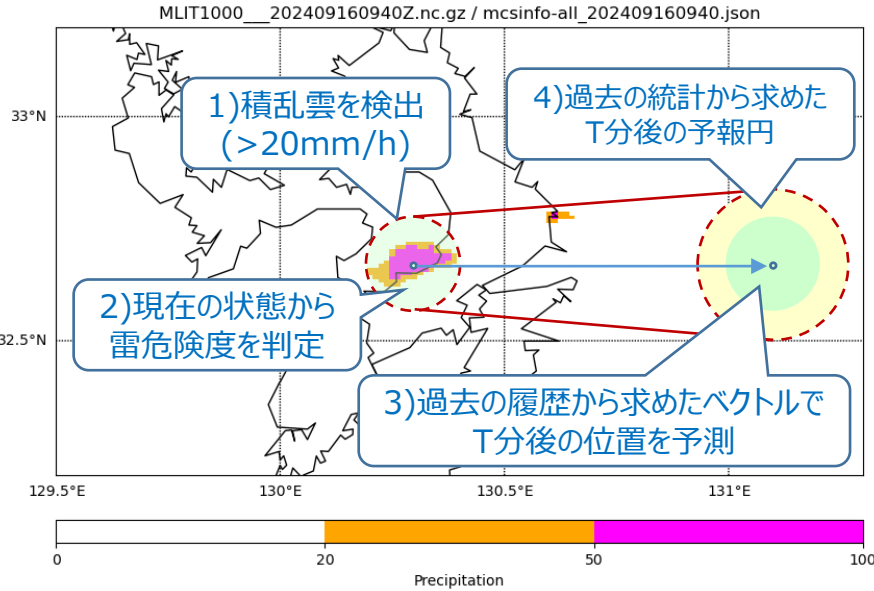
事業の担い手（実装先）としてスタートアップを想定。さらに、スタートアップが防災企業によるコンソーシアムと連携することにより、多様な新サービスの創出を想定している。サービスの顧客として発電事業者、鉄道事業者、半導体関連企業、ITメーカー、民間気象会社、イベント会社、自動車製造事業者、住宅機器製造事業者、建設業者、農業、林業、損害保険会社等を想定している。**内閣府の「BRIDGEのスタートアップの事業創出に係る支援業務」の一環として、PwCコンサルティングによる本研究のスタートアップ支援において、顧客のニーズに合わせて行動指針までカスタマイズして提供する類似事業は見られないことから、新規参入余地があると評価された。**

③ 目標達成状況等の特記事項

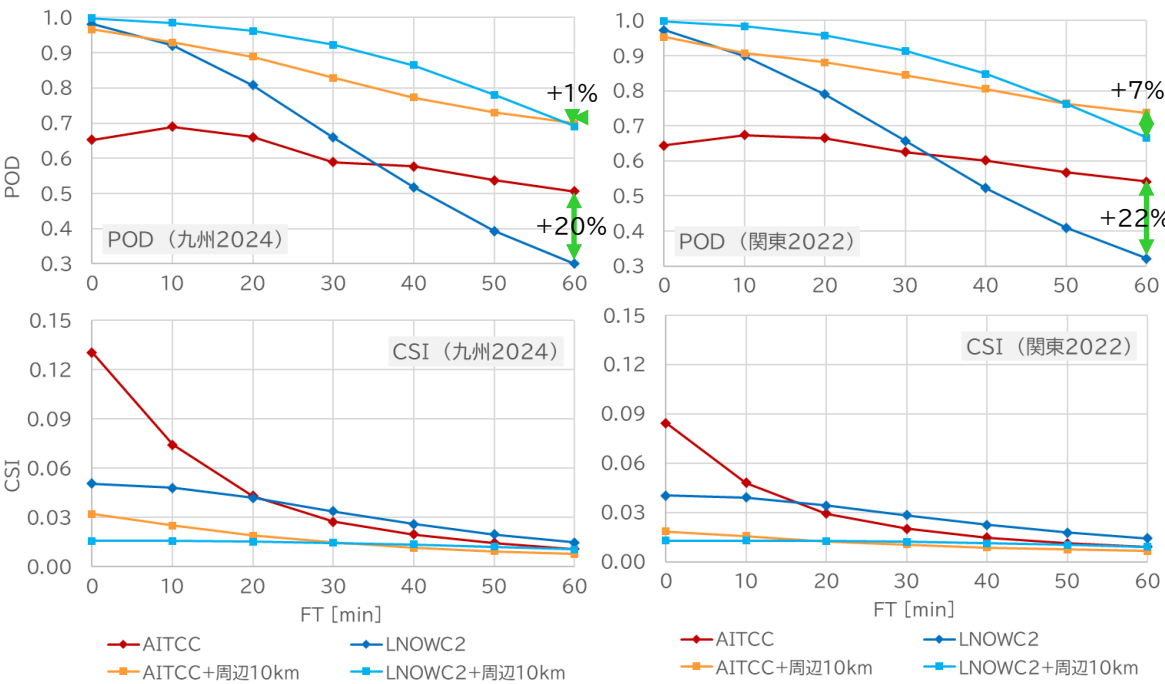
特に無し

2. 研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

テーマ 減災行動に結び付ける積乱雲危険度予測情報の研究開発



- 1) 積乱雲毎の予測手法（AITCC）の概要
- ・ T分後の積乱雲の範囲（予報円）は、現在の積乱雲の範囲にT分後の予測誤差を加えた範囲とした。
 - ・ 現在の積乱雲の範囲内に落雷または雲間雷が観測されている場合を「雷危険度あり」とした



- 2) 気象庁雷ナウキャスト(活動度2以上)とのスコア比較
- FT±5分の間に、予測された積乱雲及びその周辺10km以内に観測された落雷を捕捉した雷とした

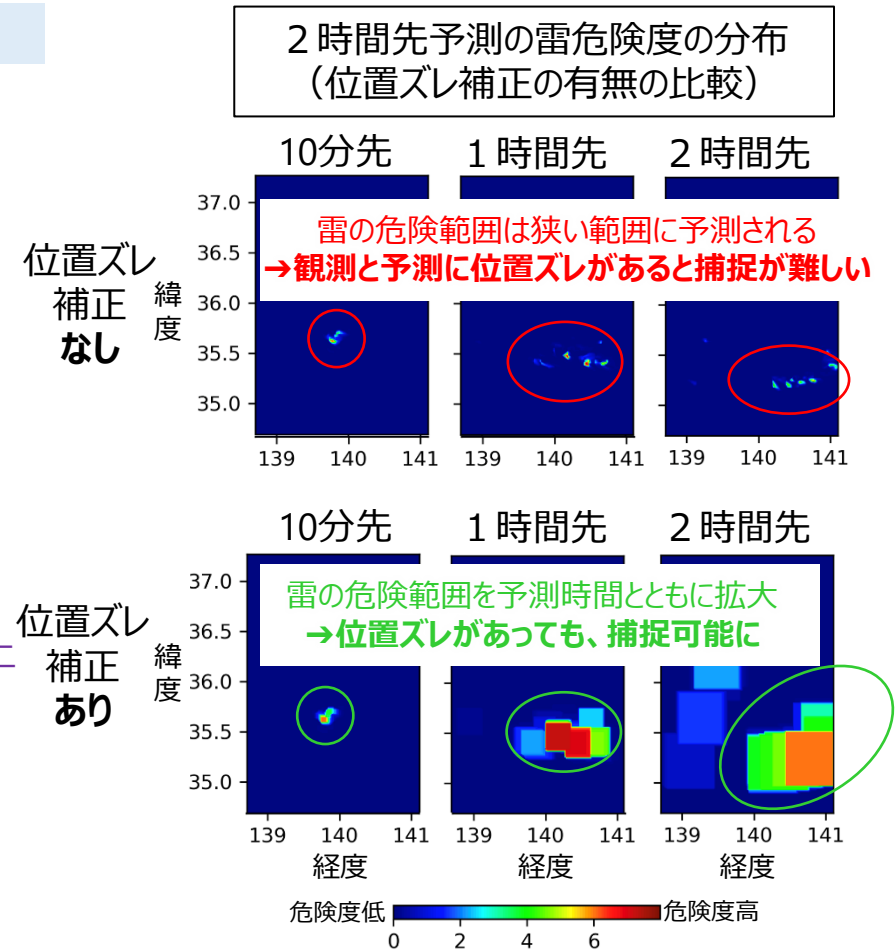
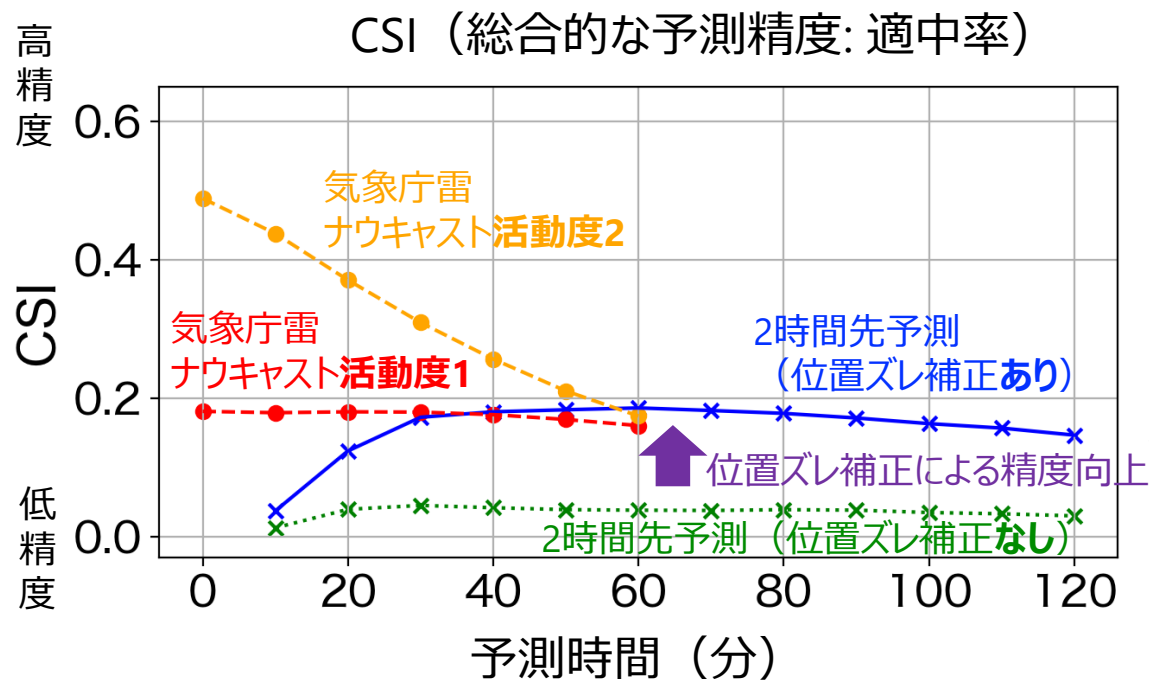
積乱雲毎の確率論的移動予測法に基づく「積乱雲の予報円情報」のリアルタイム提供を可能とし、さらに発雷の可能性がある危険な積乱雲を判定する手法も開発した。この新手法は、1時間先の捕捉率（POD）を、**現業の気象庁雷ナウキャスト(1時間先予測)**に対し**適中率は同程度に保ちながら、捕捉率を20%向上させ、「発雷の見逃しが少ない予測」を実現した。**

2. 研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

テーマ

減災行動に結び付ける積乱雲危険度予測情報の研究開発

2時間先までの予測の精度検証



SIP第2期で開発した積乱雲群の2時間先予測等を用いて、降雨のみならず、2時間先までの落雷及び強風などの積乱雲ハザードを予測する手法を開発した。

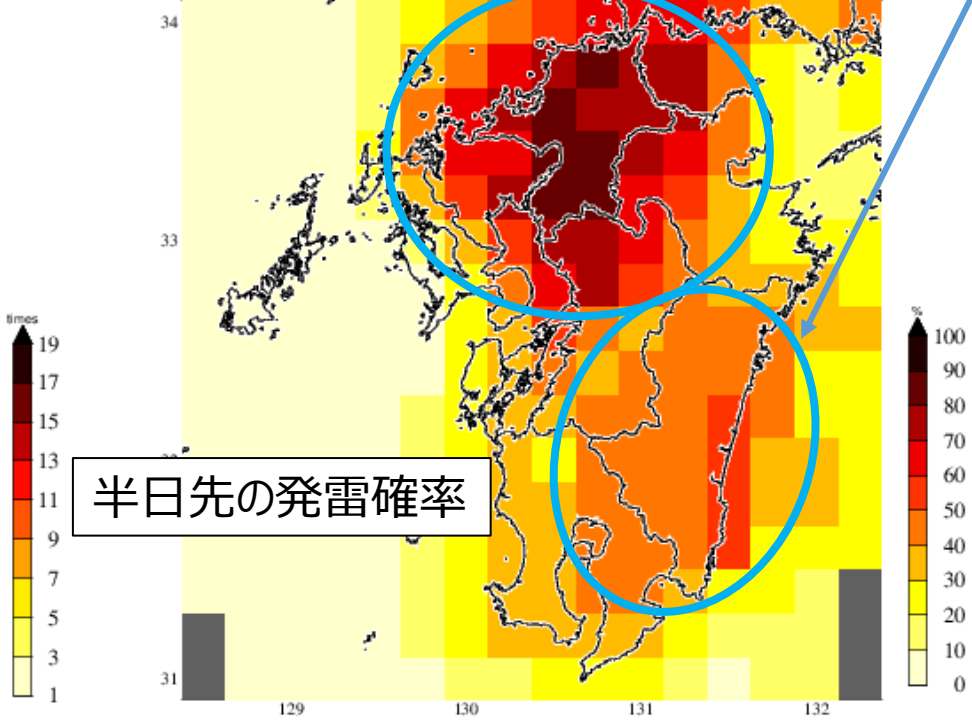
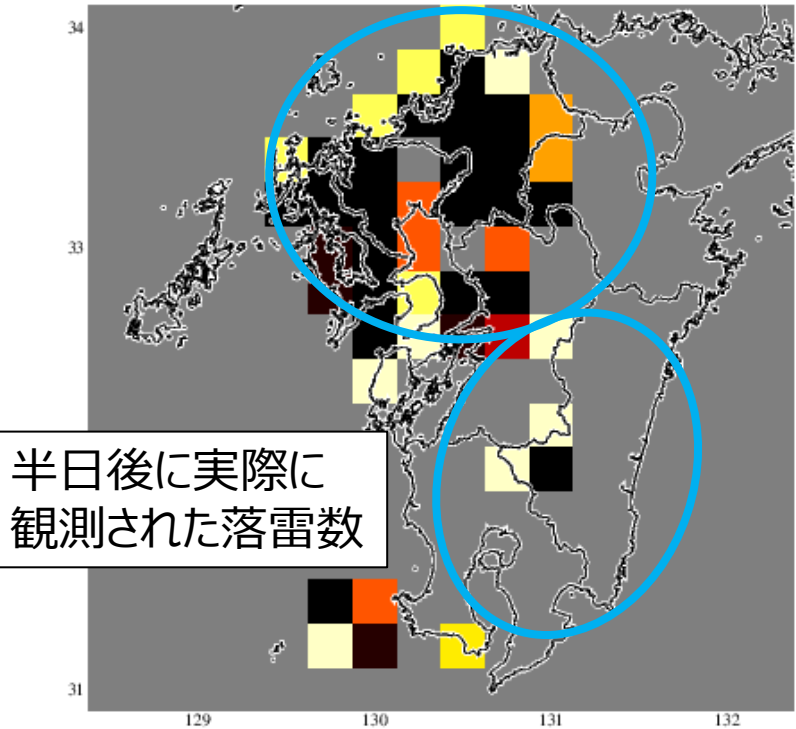
さらに位置ズレ補正技術を発雷予測に導入し、1時間先から3時間先までの「予報の空白」を埋めるような高精度な予測情報の提供をリアルタイムで可能とした。

この新手法においては、**1時間先の気象庁の雷ナウキャストの予測精度を維持しながら、2時間先まで予測することができることを実証した。**

2. 研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

テーマ 減災行動に結び付ける積乱雲危険度予測情報の研究開発

半日先までの予測の制度検証



気象庁メソアンサンブルガイダンスの発雷確率情報をアンサンブル平均操作し、その確率が40%を超えた場合に発雷があると予測(右上図の2つの青円)。実際の落雷があった地域（左上図）を半日前に大まかに特定することができた。2023年と2024年において精度検証を実施し、その適中率は25%であった。

工場付近や特定の送電網等への落雷を予測するには、空間分解能や落雷位置予測精度が足りないことから、職員の「気づき」や「心の準備」として利用することを想定し、アラートのトリガーには利用しなかった。アラート解除において、積乱雲通過後の落雷の再発生の危険が無いかどうかの判断に利用した。

2. 研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

テーマ 減災行動に結び付ける積乱雲危険度予測情報の研究開発

工場との実証実験に向けた積乱雲危険度表示システムの開発（事業継続支援システムの研究開発）

① 実証実験前のニーズ調査で半導体工場から頂いた意見

- 落雷(瞬低)予測情報だけでなく、**もう落雷(瞬低)はないという安心情報・解除情報**も必要
- 工場周辺だけでなく、**送電網への落雷の情報**も必要
- **1時間先までの予測の精度**が上がると役立つ
- 長い時間止めると機会損失による被害が大きくなる(なるべく止める時間を少なくしたい)
- **自動判断できる情報(ポップアップ通知)**なども必要

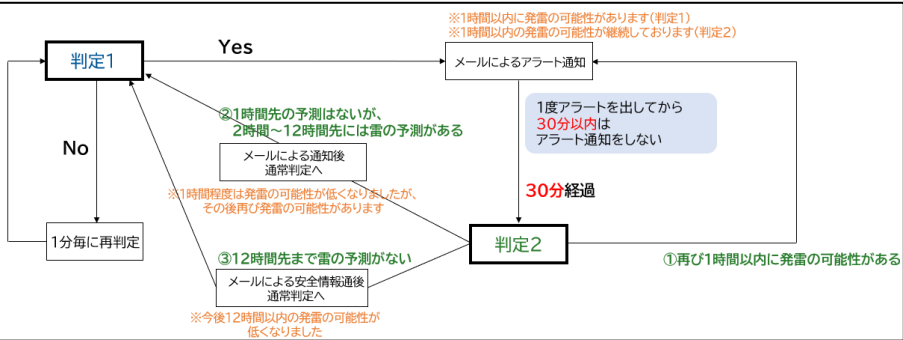


② ニーズに基づきシステムを開発

積乱雲危険度表示システムの特徴

- 複数のリードタイムをもつ発雷予測(1, 2, 12時間先)情報を提供
- 地図情報と時系列によるweb表示
- メールによるアラート通知

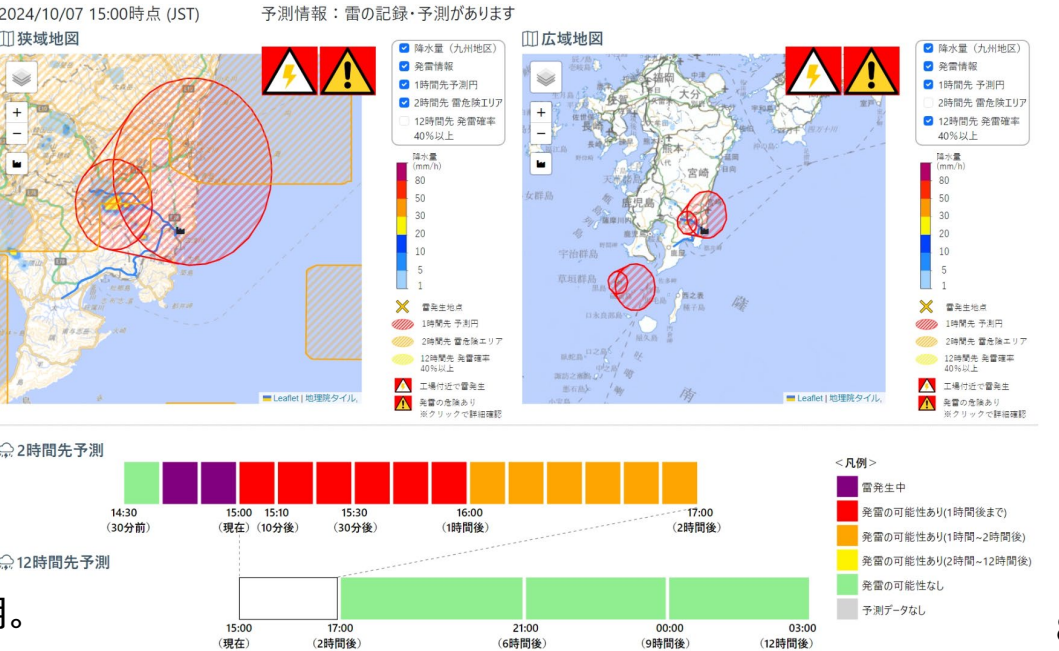
✓ アラートメール通知ロジック



アラートのトリガーには1時間先予測を利用。
アラート解除(安心情報)において、2時間先と半日先予測を利用。

本研究で開発した「積乱雲の予報円」を用いた“1時間先予測”、SIP第2期での予測技術を拡張した“2時間先予測”、気象庁メソアンサンブルガイダンスをベースとする“半日先予測”を統合した、リアルタイム可視化機能、自動アラート送信機能、自動ポップアップ通知機能を有した「積乱雲危険度表示システム」を開発した。

✓ Web画面



2. 研究成果及び出口戦略、達成状況（取組全期間）

テーマ 減災行動に結び付ける積乱雲危険度予測情報の研究開発

工場との実証実験に向けた積乱雲危険度表示システムの開発（事業継続支援システムの研究開発）

③ 実証実験及びヒアリングの実施

開発した「積乱雲危険度表示システム」をリアルタイムで運用し、
顧客毎にカスタマイズされた通知ルールに基づき、九州の4社6工場への実証実験を実施した。

- 4社6工場にて、webサイトの提供とアラートメール通知による実証実験を実施
- 実施期間：2024年8月下旬～10月下旬
- 工場へのヒアリング調査を通じて、以下の項目を検証（事前に記入シートを配布）

	検証項目
予測精度	■ 本予測情報の空振りや見逃しの状況 ■ 他の予測情報や瞬低通知サービスとの比較
アラートの通知方法、 タイミング	■ 本システムのユーザーインターフェースやエクスペリエンス ■ アラートの通知数やタイミング
アラートを踏まえた 対策の実施可能性	■ アラート通知後の対応内容について ■ アラート通知（12時間先、2時間先、1時間先）を踏まえた、瞬停・瞬低リスク回避に向けた対策内容 ■ 他社からの瞬低お知らせメールや瞬低発生時における実際の対応内容 ※可能な範囲で



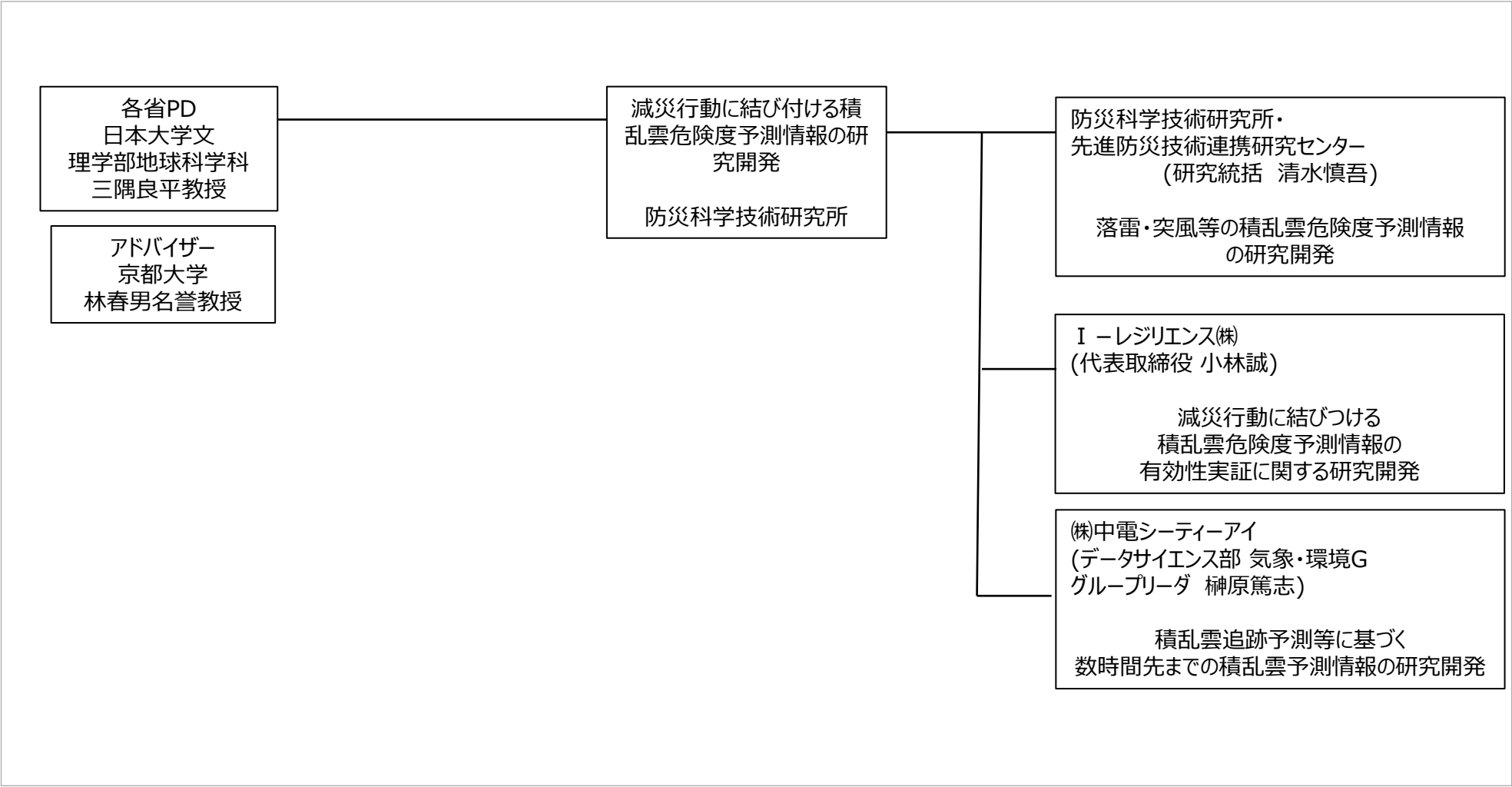
④ 有効性の確認

提供した3つの予測情報の中で、特に工場現場では、1時間先までの高精度予測へのニーズが高く、「もう落雷はない」という安心情報・解除情報も含めた時系列情報に高い有効性を確認した。
また、発雷予測のみでなく総合気象情報としてのニーズや、リスク情報のニーズも確認でき、今後の示唆を得られた。

3. 到達目標（KPI）に対する実績

テーマ名	実施内容の概要と到達目標（KPI）	到達目標（KPI）に対する実績	最終年度（単年度）の実施内容と実績
減災行動に結び付ける積乱雲危険度予測情報の研究開発	積乱雲危険度予測手法の高度化と精度向上を進め、積乱雲危険度予測情報の精度評価を完了させる。積乱雲危険度予測情報に基づく必要なリードタイムを確定させ、サービスに必要な予測精度の要件を定義する。積乱雲危険度予測情報の有効性を検証するためのヒアリング調査を実施する。 1年目には、 ・TRL5【想定使用環境でのテストの実現】を到達目標とした。 ・BRL4【顧客の定義】を到達目標とし、積乱雲をリスクとする想定される顧客にニーズ調査を実施。実証実験として配信すべき予測情報を確定し、その配信方法を検討する。 2年目には、 ・TRL6【有効性の実証】を到達目標に設定し、実証システムのリアルタイム運用による予測情報の配信を実現する。 ・BRL5【顧客とのアンケート調査などから仮説の検証】を到達目標とし、予測精度検証結果を顧客と共有しながら、予測精度に応じた活用方法を顧客とともに検討し、社会実装の方向性を定める。	● 積乱雲毎の確率論的移動予測法に基づく「積乱雲の予報円情報」のリアルタイム提供を可能とし、さらに発雷の可能性がある危険な積乱雲を判定する手法も開発。この新手法は、1時間先の捕捉率を、現業の気象庁雷ナウキャスト(1時間先予測)に対し適中率を同程度に保ちながら、捕捉率を20%向上させ、「発雷の見逃しが少ない予測」を実現した。 ● SIP第2期で開発した積乱雲群の2時間先予測等を用いて、降雨のみならず、2時間先までの落雷及び強風などの積乱雲ハザードを予測する手法を開発。1時間先の気象庁の雷ナウキャストの予測精度を維持しながら、2時間先まで予測することができることを実証した。 ● リアルタイム可視化機能、自動アラート送信機能、自動ポップアップ通知機能を有した「積乱雲危険度表示システム」を開発、リアルタイムでの運用を実現。 ● 顧客毎にカスタマイズされた通知ルールに基づき、6社への実証実験を実施した。「もう落雷はない」という安心情報・解除情報も含めた時系列情報に高い有効性を確認した。	● 工場への事後ヒアリングにおいて、現業を上回る高精度な1時間以内の直前予測に高い有効性が確認できた。 【TRL 6（実証システムの確立）の実現】 ● 本課題で高度化した予測技術を実実に社会実装させるためには、顧客ニーズに応じた情報提供のあり方（社会実装モデル）の検討が必要である。事前ヒアリングで、半導体工場毎に、前工程か後工程か、またハード対策状況に応じて、落雷対策が大きく異なることが分かった。必要とされる予測精度とリードタイムを把握した上で、顧客毎にカスタマイズされた通知ルールに基づいたアラート配信方法を実装し、実証実験後に一定の評価を得た。最適な情報提供方法の検討においては、当初計画どおり【BRL 5(顧客ヒアリングを通じた仮説検証)の実現】を達成できたと考える。 ● 一方、課題として、「空振り予測の低減」及び「瞬停・瞬低の可能性予測」を克服する必要があり、2年程度の研究開発後の社会実装の方向性が定まった。 ● 本成果は、瞬停・瞬低リスクへのハード対策が不十分な様々な業種において、災害発生前の生産ライン制御や発生後の迅速な復旧対応を可能とし、新しい価値（生産機会損出の最小化と休業保証等の保険）を創造する基盤技術（横展開）となることが期待できる。

4. 実施体制及び実施者の役割分担



5. 民間研究開発投資誘発効果及びマッチングファンド

① 民間研究開発投資誘発効果（財政支出の効率化）

- 製造事業者において、1回の瞬停・瞬低事故による損害は数億円から数100億円に及び、また再稼働にも時間がかかり、被害が拡大する傾向があるため、2系統からの送電や大規模UPS導入等のハード対策が進められているが、2022年7月5日の熊本の半導体工場における瞬停・瞬低事故の原因は落雷によるものがあり（電気新聞 2024年6月7日記事 [URL1](#)）、本課題で開発された積乱雲危険度予測情報の社会実装が実現すれば、落雷による被害（約1週間の稼働停止 [URL2](#)）の低減が期待される。米国サイエンスの論文の報告では、地球温暖化に伴い、稲妻の発生回数が50%増加すると予測され（[URL3](#)）、今後、本研究開発成果を活用した投資が見込まれる。
- 様々な気象ハザードによる生産機会損出の低減にむけ、本研究成果は、製造分野のみならず、小売分野、農業分野、レジャー・観光業などの幅広い、産業の利活用が期待される。実際に、予報業務許可事業者の売上に基づく、気象データ活用サービスの市場規模は、2022年度に453億円となり、その後も年6.8%で増加している（[URL4](#)）。このように市場として今後も成長が見込まれるため、スタートアップ企業の参入も増加している（降雨関係（[URL5](#)）、突風関係（[URL6](#)））。しかし、雷を含むようなスタートアップのサービスは無く、同時に危険度情報を顧客のニーズに合わせて行動指針までカスタマイズして提供する類似事業は見られないことから、本研究成果に基づくスタートアップは参入余地があると考えられる（PwCコンサルティング、BRIDGEのスタートアップの事業創出に係る支援業務における評価）。

② 民間からの貢献度（マッチングファンド）

- 精度検証に協力した6工場の担当職員、及びその参画の調整にあたり、九州経済連合会や防災コンソーシアムCOREのメンバーの担当職員は、本BRIDGEに関わる研究項目としての精度検証の一環で行われた実証実験及び社会実装に向けた取組に無償で参加した。これを自己負担額として人件費40,000千円をマッチングファンドとして計上する。
- 1ーレジリエンスは、一部のサーバーの購入費や実証実験のためのネットワーク通信費を自己負担しており、その金額は2,000千円となった。
- 以上により、合計で42,000千円のマッチングファンド額に達し、予算配分額の25.2%となった。