

2-4 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第2期「国家レジリエンス (防災・減災) の強化」V. 線状降水帯の早期発生及び発達予測情報の高度化と利活用に関する研究

2-4 *Sophistication and Utilization of Early Detection Information of Torrential Downpours Attributed to Linear Rainbands under the “Enhancement of societal resiliency against natural disasters” of SIP2*

中川勝広 花土 弘 川村誠治 岩井宏徳 バロンフィリップ 佐藤晋介

Katsuhiko NAKAGAWA, Hiroshi HANADO, Seiji KAWAMURA, Hironori IWAI, Baron PHILIPPE, and Shinsuke SATOH

戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第2期「国家レジリエンス (防災・減災) の強化」のテーマの1つとして採択され、平成30年10月より開始した『V. 線状降水帯の早期発生及び発達予測情報の高度化と利活用に関する研究』に関するプロジェクトに我々リモートセンシング研究室のメンバーが参画している。本稿では、プロジェクトの概要及び目的、実施計画、我々の具体的な取組について紹介する。

This paper overviews a project on the “Sophistication and utilization of early detection information of torrential downpours attributed to linear rainbands” under the “Enhancement of societal resiliency against natural disasters” which is one of 12 themes of the SIP2 (Second generation Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program under Council for Science, Technology and Innovation, Cabinet office, Government of Japan).

1 まえがき

近年、数十分から1時間程度の短時間で内水氾濫を引き起こし、都市機能を麻痺させる都市部で多発する集中豪雨 (いわゆるゲリラ豪雨) や強い雨が数時間以上継続し、河川氾濫や土砂災害等の深刻な被害を引き起こす線状降水帯による集中豪雨の発生が多発している。こうした線状降水帯による災害を深刻化させている主な理由は、(1) 既存の気象予測技術では、十分な避難に要する時間、すなわち半日程度前に、線状降水帯の発生する位置や時刻を正確に予測することが困難であること、(2) 予報雨量だけでは具体的な災害規模を連想できず危機意識に直結しないことが挙げられる。

このような状況を解決するために、まずは線状降水帯が発生しやすい状況 (環境場) を可能な限り早期にとらえて、的確な予測や避難準備に結び付けることが必要である。さらに線状降水帯の発生をいち早くとらえ、数時間後までの発達予測を行い、同時に過去の雨量統計情報を参照することで、数十年に一度の大雨が発生し得るかを深刻な災害が発生する前に診断する必要がある。さらに、自治体が過去の雨量と災害を結び付ける情報をリアルタイムで活用し、現況と予測雨量

から想定される最大災害規模を特定することで正しい危機意識を喚起させる必要がある。

こうした防災情報のイノベーションを通して、的確な避難エリアの指定や避難勧告・指示のタイミングの判断等を支援することにより、線状降水帯による被害の防止・最小化を図ることを目標としている。

2 プロジェクト概要

大規模水害等の深刻な被害が多発している線状降水帯による被害低減のために、プロジェクトでは、3つのサブテーマに分けて実施している。具体的には、サブテーマ1 (発生予測) として線状降水帯の早期発生予測の精度向上、サブテーマ2 (被害推定) として雨量と災害を結び付けるデータベース構築によるリアルタイム被害推定技術の開発、サブテーマ3 (発達予測) として線状降水帯の雨量現況把握と数時間先までの発達予測技術の開発を実施し、これらの結果 (情報) を自治体向けに配信するリアルタイム情報提供システムを開発することが本プロジェクトの目的である。図1に本プロジェクトの全体概要と各サブテーマの関係を示す。図2に参画する各機関と実施体制を示す。

サブテーマ1：発生予測

近年、対流圏下層の水蒸気に特化した様々な水蒸気観測手法が提案されていることから、下層の水蒸気量の予測改善による、数値予測の改善と線状降水帯の発生可能性指標(以降、線状降水帯インデックス)の高度化を行う。具体的には、従来のゾンデや地上設置型GNSS観測に対して、対流圏下層の水蒸気観測に効果的な新しい観測手法が提案されている。鉛直分布を高時間分解能で測定する水蒸気ライダー、低コストで水平分布を測定する地上デジタル放送波を用いた水蒸気量観測(以下、地デジ水蒸気観測)[1]、高度1 km以下の水蒸気を極めて高い時間分解能で推定する地上設置型マイクロ波放射計がある。こうした地上設置型水蒸気観測網を線状降水帯が頻繁に発生する九州に設置し、福岡大学、防災科学技術研究所(以下、防災科研)、情報通信研究機構(以下、NICT)及び日本気象協会が、気象庁気象研究所(以下、気象研)の協力を受けて、連続観測を実施する計画である。水蒸気観測データを「線状降水帯インデックスの予測精度検証」を行う研究グループ(日本気象協会)に提供し、線状降水帯インデックスの高度化を図る。また、リアルタイムで取得した観測データを、線状降水帯発達予測技術開発を行っている防災科研が受け取り、線状降水帯の発達予測精度向上を図る。

こうした地上設置型水蒸気観測測器の現業機関での実装を検討するための測器間の精度及び運用コストの比較を行う。地上設置型の水蒸気観測は数時間前からの線状降水帯発達予測に大きく貢献する一方、半日前における線状降水帯発生予測への貢献は限定的だと考えられる。十分なリードタイムを確保するためにも、海上の水蒸気量をとらえることが可能な航空機観測が必須である。線状降水帯の予測を12時間前から行うことを目標として、海洋上の水蒸気、気温、気圧、風向・風速を航空機からのドロップゾンデ観測を可能とする航空機観測システムを名古屋大学が開発する。

サブテーマ2：被害推定

線状降水帯等による甚大な水災害に対する注意喚起は、過去の災害と雨量により算出している指数との対比を通じて定めた基準に基づく、大雨警報等の防災気象情報の発表によって行われている。気象庁は1991年以降の格子解像度5 kmの雨量データを解析し、3時間と48時間の積算雨量に対して、「50年に一度の雨量」を市町村ごとに資料発表している。この統計情報をデジタル化し地図情報と重ね、リアルタイムで現況と予測雨量から「50年に一度の雨量」に達するまでの雨量余裕度を動的に示すと同時に雨量に関連付けられた過去の水災害情報を提供する。こうした情報は、災害発生までの猶予時間だけでなく、日没時刻、避難

所開設や避難行動等に要する時間を考慮した「日中避難限界時刻」までの猶予時間とともに提供することで、自治体に切迫感をもった情報として提供することを可能にする。具体的には、1991年から2005年までの気象庁解析雨量は、現在の格子解像度1 kmの分解能よりも粗い空間分解(5 kmや2.5 km)で配信されており、統計的ダウンスケール法を用いた高詳細化技術を日本気象協会が開発し、格子解像度1 kmのメッシュデータを作成する。作成された数十年間の降雨情報を用いて線状降水帯を自動的に検出及び追跡する技術を防災科研が開発し、線状降水帯に関する雨量とその環境場の統計情報を作成する。また、防災科研が整備した「水害統計GISデータ全国版」を用いて1961年から2009年までの全国市町村ごとの水害情報と降雨統計情報に関連付けた線状降水帯データベースを構築し、現在の降雨情報から類似した過去の雨量情報を検索し、過去の災害情報を抽出する機能を付加する。

サブテーマ3：発達予測

線状降水帯の学術的定義は確立していないが、我が国で初めて行われた線状降水帯の統計的調査では、3時間積算雨量の線状分布を解析対象としている。このことから少なくとも数時間程度大雨が継続することが大規模水害の発生の必要条件と考えられる。そのため、線状降水帯の現況を監視しながら、線状降水帯の形成期から数時間先までの発達予測技術を確認することで、その予測情報を有効的に活用する方法について自治体や防災関連事業者とともに実証実験の中で検討する計画である。具体的には、NICTが中心となり、SIP第1期の「豪雨・竜巻予測技術開発」で開発したマルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダー(MP-PAWR)[2]、フェーズドアレイ気象レーダー(PAWR)[3]や、NICTがこれまで開発した各種地上レーダーなど首都圏最新気象観測ネットワークを用いた、急激に発達する積乱雲の現況監視技術と1時間先までの予測技術を活用した、線状降水帯等の発達予測を可能とする、数時間先までの短時間予測技術の高度化を図る。

3 NICTの役割

NICTは、サブテーマ3：発達予測を中心に、サブテーマ1：発生予測の九州地方で計画している地上設置型水蒸気観測網の地デジ観測に関して実施する。ここでは、主にサブテーマ3として実施する(1)最新気象データを用いた発達予測技術開発、(2)発達予測技術の首都圏実証実験について述べる。

3.1 最新気象データを用いた発達予測技術開発

MP-PAWR等の首都圏最新気象観測ネットワーク

2 地上レーダーによる気象現象の観測

は、地上デジタル放送波を用いた水蒸気量観測（地デジ水蒸気観測）、ドップラーライダー、雲レーダー、MP-PAWRで構成され、積乱雲等の降水システムの一生をシームレスに観測することが可能である（図3）。線状降水帯等の発達予測を可能とする、数時間先までの短時間予測技術の高度化としては、2つの開発項目がある。1つは最新水蒸気観測データを用いたデータ同化手法に基づく予測技術の開発である。こちらについては、NICTが開発整備した首都圏における地デジ水蒸気観測ネットワークを中心に開発を進め、数時間先までの発達予測の実現を目指す。

もう1つは、NICTが所有するフェーズドアレイ気象レーダー（MP-PAWR及びPAWR）の観測データを利用した機械学習に基づく短時間予測技術の開発である。MP-PAWRは積乱雲の高精度3次元観測が可能であるが、首都圏以外に技術移転できない問題がある。そこで本研究では、MP-PAWR及びPAWRの高空間分解能な観測データを教師データとし、現業気象レーダーで取得される従来データとの4次元関係（空間の3次元+時間の1次元を加えた4次元）を機械学習することで、従来型レーダーの4次元情報から線状降水帯等の積乱雲群の発達を低コストに予測する手法を開発する（図4）。

2020年以降は首都圏に設置した観測測器の一部を

九州に移設し、さらに新たに設置する水蒸気ライダー、地デジ水蒸気観測網を加えることで、首都圏と同様の観測体制を整備し、首都圏で高度化した予測システムを九州地方に適用する。この予測システムの情報を日本気象協会が開発するリアルタイム線状降水帯情報提供システムと連動させ、社会実験の中でその精度を検証する。SIP終了後には、開発した短時間予測技術の技術移転による、民間気象サービスの事業化を検討する。

3.2 発達予測技術の首都圏実証実験

発達予測技術としては、NICTが開発した大阪と神戸に設置されているフェーズドアレイ気象レーダー（PAWR）を用いた渦管による局地的豪雨探知手法 [4] を埼玉大学に設置・観測を行っているマルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダーに適用し、首都圏における線状降水帯等の積乱雲群の発達予測技術の実証実験を自治体や関係機関と協力し実施する。この実証実験において、数時間先までの予測技術の精度検証やSIP終了後の民間気象サービス事業化への隘路を把握する。また、内閣府のオリパラタスクフォース（正式名称：2020年オリンピック・パラリンピック東京大会に向けた科学技術・イノベーションの取組に関するタスクフォース事業）「プロジェクト6ゲリラ豪雨・



図3 首都圏最新気象観測ネットワークの概念図

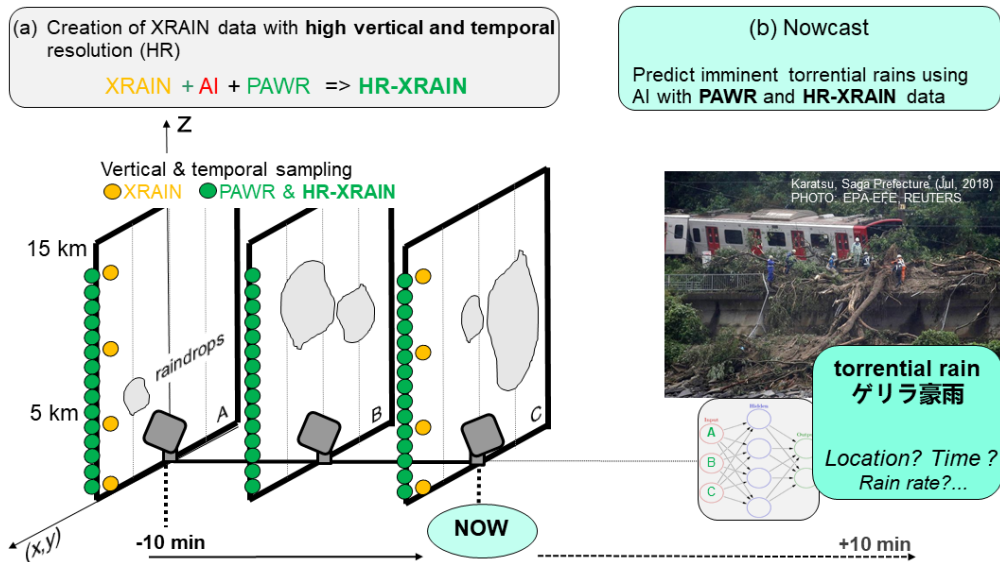


図4 フェーズドアレイ気象レーダーの高時空間分解能データを教師データとした深層学習による豪雨予測システムの概念図

竜巻事前予測」[5]と連携し、組織委員会との協議、実証実験を行い、予測技術の大規模イベント等への利活用を目指す。

度化と利活用に関する研究」によってサポートされている。

4 まとめ

SIP(第2期)は、平成30年10月に始動し、平成31年度より実施体制を強固にするとともに加速していく。差し迫った目標は、2020年オリンピック・パラリンピック東京大会を大きな実証実験として位置付け、首都圏における線状降水帯等の積乱雲群の発達予測技術の実証実験をプレ実験期間として実施して行く予定である。3年目に本プロジェクトの継続実施の可否の中間評価が実施されることになっているが、当初期間の5年間実施継続できるように、本プロジェクト参画機関とともに積極的に実施する予定である。今後の本プロジェクトの実施状況等については、内閣府の科学技術・イノベーションのホームページ(<https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>)で確認いただきたい。

謝辞

本プロジェクトは、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」『V. 線状降水帯の早期発生及び発達予測情報の高度化と利活用に関する研究』によってサポートされています。また、MP-PAWRの開発は、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第1期「レジリエントな防災・減災機能の強化」(2)豪雨・竜巻予測技術の研究開発「マルチパラメータフェーズドアレイレーダ等の開発・活用による豪雨・竜巻予測情報の高

【参考文献】

- 1 S. Kawamura, et al., "Water vapor estimation using digital terrestrial broadcasting waves," Radio Sci., 52, 2017. doi:10.1002/2016RS006191.
- 2 N. Takahashi, et al., "Development of Multi-Parameter Phased Array Weather Radar (MP-PAWR) and Early Detection of Torrential Rainfall and Tornado Risk," JDR, vol.14 no.2, pp.235-247, 2019.
- 3 F. Mizutani, et al., "Fast-Scanning Phased-Array Weather Radar with Angular Imaging Technique," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol.56, no.5, pp.2664-2673, 2018.
- 4 中川勝広、片山勝之、増田有俊、是津耕司、中北英一「渦管を用いた局地的豪雨探知手法に関する研究」, 土木学会論文集B1(水工学)、vol.74,no.5, pp.1_265-1_270, 2018.
- 5 <https://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/olyparatf/index.html>



中川勝広 (なかがわ かつひろ)
 電磁波研究所
 リモートセンシング研究室
 室長
 博士(工学)
 レーダー水文学



花土弘 (はなだ ひろし)
 電磁波研究所
 リモートセンシング研究室
 研究マネージャー
 理学修士
 マイクロ波リモートセンシング

2 地上レーダーによる気象現象の観測



川村誠治 (かわむら せいじ)

電磁波研究所
リモートセンシング研究室
主任研究員
博士(情報学)
レーダーリモートセンシング



岩井宏徳 (いわい ひろのり)

電磁波研究所
リモートセンシング研究室
主任研究員
博士(理学)
電波・光リモートセンシング、
メソスケール気象



Philippe Baron

Senior Researcher,
Remote Sensing Laboratory,
Applied Electromagnetic Research Institute
Ph.D
Atmospheric remote sensing,
Radiative transfer, Data scientist



佐藤晋介 (さとう しんすけ)

電磁波研究所
リモートセンシング研究室
研究マネージャー
博士(理学)
レーダー気象学