

NICT NEWS

国立研究開発法人
情報通信研究機構

No.2

2022

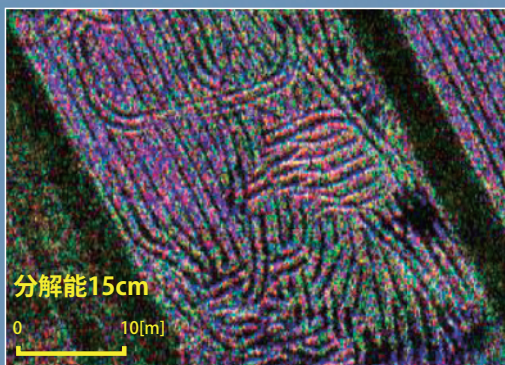
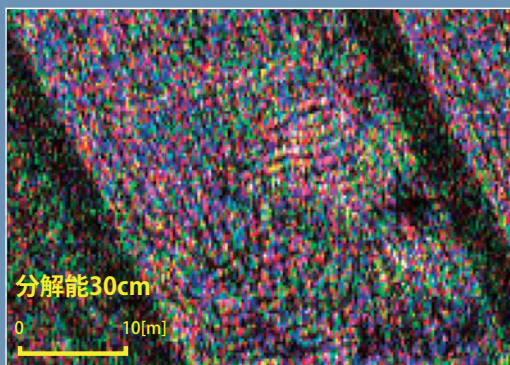
通巻 492

FEATURE

リモートセンシング 技術特集

Interview

精緻な観測で環境を捉える
リモートセンシング技術



FEATURE

リモートセンシング技術特集

Interview



- 1 **精緻な観測で環境を捉えるリモートセンシング技術**
石井 守／川村 誠治
- 4 **高精細航空機搭載合成開口レーダー (Pi-SAR X3) の開発とその実証実験**
世界最高分解能15 cmの映像レーダーが拓く次世代の地表計測技術
児島 正一郎
- 6 **レーザ光で風と水蒸気を測る**
マルチパラメータライダーの開発
岩井 宏徳／青木 誠
- 8 **宇宙からの全球雲・降水観測技術の研究開発**
衛星搭載雲・降水レーダーのこれまでとこれから
金丸 佳矢
- 10 **MP-PAWRによるAI短時間予測**
Philippe Baron

TOPICS

- 12 **ウィンドプロファイラのISO規格策定**
風を測るレーダーの標準化に向けた取組
山本 真之／川村 誠治
- 13 **NICTのチャレンジャー File 20** 牛腸 正則
航空機搭載合成開口レーダーによる地表観測と情報抽出

INFORMATION

- 14 「Highly Cited Researcher 2021」に当機構研究者が選出されました
- 14 パーマネント研究職・総合職 採用2023
- 14 NICTオープンハウス 2022 ハイブリッド開催のお知らせ

表紙写真：

世界最高レベル15 cm分解能を有する高精細航空機搭載合成開口レーダー (Pi-SAR X3) を搭載した航空機。アンテナを格納したレドームは胴体下部前方に設置されています。Pi-SAR X3は、昼夜・天候に左右されずに地表面の環境モニタリングや災害モニタリングを実施することができます。
表紙左下の図はPi-SAR X3で観測された輪島市近郊の田んぼの画像です。従来機相当の30 cm分解能 (左) ではよく見えなかったトラクターの轍が、15 cm分解能 (右) では鮮明に観測できています。

左上写真：機構製の波長2μm帯・単一波長の種レーザー

マルチパラメータライダー観測では送信機であるパルスレーザーの発振波長を制御するために、高度に波長制御された複数台の種レーザーが必要になります。従来の種レーザーと比べて一桁程度安価な種レーザーの開発に成功したことにより、マルチパラメータライダーの実用化の見通しが得られました。



Interview

精緻な観測で環境を捉える リモートセンシング技術

いわゆる「ゲリラ豪雨」や、それによってもたらされる洪水や土砂崩れなど、近年の気象災害の増加は、「異常気象が常態化している」と言われるまでになってきている。

そうした中、地上や上空から地球環境を観測・解析するリモートセンシング技術へのニーズは、ますます高まりつつある。その研究体制や今後の展望について、電磁波伝搬研究センターの石井守センター長及び同センターのリモートセンシング研究室 川村誠治室長に話を聞いた。

■ NICTにおけるリモートセンシングの研究体制

—まずは、情報通信研究機構 (NICT) の中での、リモートセンシング研究の位置づけと組織について教えていただけますか。

石井 現在、NICTはICTという大きなくくりの中で、音声翻訳やサイバーセキュリティなど広い分野の研究を行っています。その中で最も歴史が古く、かつ現在

でも必要性の高いテーマとして、「電波の伝わり方」を扱っているのが電磁波研究所です。

電波の伝わり方は自然の状況に大きく影響されます。もちろん、通信という用途に限れば、これらの影響は邪魔ものですが、逆に言えば、その影響を測れば自然の変化がわかる。それが、リモートセンシングが電磁波研究所において研究されている理由です。

現在、電磁波研究所には、電磁波標準研究センター、電磁波先進研究センター、



石井 守 (いしいまもる) <左>

電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター 研究センター長

1993年大学院修了後、日本学術振興会特別研究員を経て1994年通信総合研究所 (現 NICT) 入所。超高層物理学、大気光学・電波観測などに関する研究に従事。総務省情報通信審議会専門委員。ISES 副議長、UN/COUPOS・ICAO・WDS-SC・SCOSTEP・URSI・ITU-R 専門委員。地球電磁気・地球惑星圏学会評議員。博士 (理学)。

川村 誠治 (かわむらせいじ) <右>

電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター リモートセンシング研究室 室長

2003年大学院修了後、日本学術振興会特別研究員を経て2006年NICT入所。レーザーリモートセンシングの研究に従事。博士 (情報学)。

電磁波伝搬研究センターの三つのセンターがあります。このうち、私たちの電磁波伝搬研究センターは、様々な自然条件が電波の伝わり方に与える影響を研究しています。この中に、川村室長が指揮を執っているリモートセンシング研究室、そして宇宙環境研究室の二つの研究室が置かれています。前者が主に気象、地表を計測する技術開発を行っており、後者は太陽活動の影響など、いわゆる「宇宙天気」を研究対象としています。

精緻な観測で環境を捉えるリモートセンシング技術

川村 リモートセンシング研究室が担っている、NICTにおけるリモートセンシング研究は、現状、気象や環境計測がメインとなっています。

気象においては雨、風、雲、水蒸気などいろいろな要素がありますが、そういったものを電波や光を使ってしっかり計測する。特に最近では「線状降水帯」という言葉が日常のニュースでもよく登場するようになりました。突発的な大雨などにもいち早く対応できるよう、精度とリードタイムを上げていくための取組を行っています。

一方では、合成開口レーダ（SAR: Synthetic Aperture Radar）を使用し、火山や土砂災害、地震など、地表の変化については飛行機に搭載した合成開口レーダで対応します。

いずれにしても、こうしたセンシングの技術は、日常をしっかりと捉えることができている、初めて災害時のような非日常でも役立つものです。我々としては、リモートセンシング技術の先端を拓きつつ、日常から非日常までシームレスに使うことができるものを実現しようということを意識しながら研究を行っています。

■地球と地表の動きを捉える新技術

——リモートセンシング研究室の、現在の主な研究テーマについて伺えますか。

川村 まずは、航空機SARによる地表面の計測があります。主な用途として、例えば火山噴火前後の噴火口周辺の観測や、地震の際の地形変化などを捉えることなどに使われています。これに関しては、2代目のPi-SAR2から3代目Pi-SAR X3への代替わりを迎えており、令和3年12月15・16日に能登半島においてPi-

SAR X3が最初のフライトを実施、機能検証を開始しています。

Pi-SAR X3は分解能15 cmと、Pi-SAR2の30 cmから高分解能化が図られています。ほかにもいろいろ新しい要素を付加し、高さ方向の精度も向上しています。今までの30 cm分解能でも性能としては高いものだったのですが、それが大幅に向上することで、どのようなデータが取れるようになるのか、私も非常に期待しています。

もう一つの大きなテーマが、気象関係です。フェーズドアレイ気象レーダは非常に高速で空間の把握ができるところに特徴があります。現在、我々は全国で4基を運用していますが、特に埼玉大学に設置されているものが最先端で、既存のフェーズドアレイ気象レーダの高速立体観測の機能に加えて高精度降水観測の機能も併せ持つ、世界初の実用型「マルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダ（MP-PAWR）」となっています。

衛星から雲を測る「EarthCARE」というプロジェクトもあり、これは2023年に衛星が打ち上がる予定になっています。これに関しては、JAXAと協力し、世界初のドップラー計測機能を持つ雲レーダの開発を担当しています。同じく衛星関係で、雨を測るプロジェクトの「GPM（全球降水観測計画）」はすでに衛星が打ち上がっていますが、その後継ミッションも研究開発が進められています。

雨雲になる前の水蒸気を地デジ放送波の伝搬遅延によって観測する技術も、現在力を入れているテーマです。基本、レーダでは、空気中の水分は“粒”にならなければ観測できないのですが、前段階である水蒸気量を測ることができれば、より早期の気象予測に役立てることがで

きます。そのため、水蒸気の計測は気象分野において非常にホットなテーマで、多くの研究チームが様々なアプローチを試みています。その中でも我々の地デジ放送波を使った計測は、伝搬遅延量をピコ秒（1兆分の1秒）の精度で計測でき、しかも突発的な豪雨の発生などとの関連性が高い、地表面に近くの水蒸気量を水平方向の積算で見ることができるところで、NICT独自の非常にユニークなものです。

特にこれに関しては、他機関とも協力し、内閣府の「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）」第2期の一環として、線状降水帯の発生頻度の高い九州に展開。線状降水帯への水蒸気の供給量についてモニタリングしつつ、技術の検証を行っています。

また、レーザー光を用いたライダー（Lidar: Light Detection and Ranging）で風・水蒸気やCO₂などを測ろうという技術開発も行っています。レーザー光は直進性が高く、測りたい方向をシャープに指向できるのが大きなメリットで、現在はそのマルチパラメータ化などを大きなテーマとして研究を進めています。一方で、コストの高さが課題ではあるのですが、これに関しては、コストダウンのための技術開発も行っています。

風については、観測地点上の風向・風速を測るウィンドプロファイラという技術があり、これは気象庁が「WINDAS（ウィンドラス）」として全国33地点に展開していますが、我々はその次世代技術の開発も進めています。

特にこれに関しては、地表近くの余計な事物からの反射（クラッタ）をどのように抑圧し、ノイズの少ないデータを得るかが課題です。我々の新しいシステムでは、メインのアンテナの周辺に、クラッ

衛星搭載雲レーダー

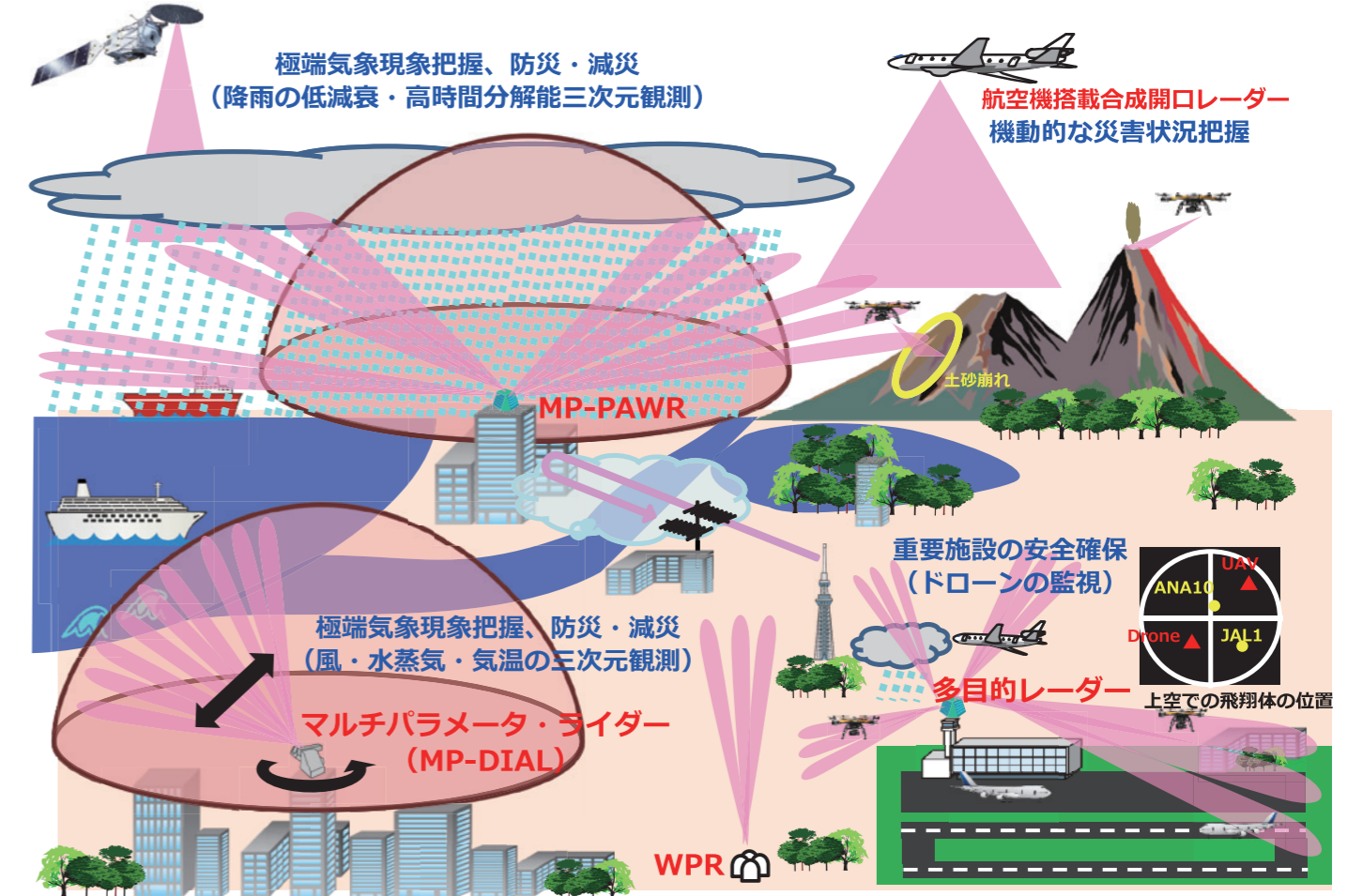


図 リモートセンシング技術が拓く「より快適な生活で質の高い安心・安全な社会」

タ専門で信号を受けるサブアンテナを配置し、これを利用して信号処理的にクラッタを打ち消す手法を開発しています。

また、ISOにおけるウィンドプロファイラの規格作りにおいても、NICTは国際的な議論の取りまとめに積極的な貢献をしています。

■ICTの先端技術と相互に関連しながら進化する

——今後の抱負について教えてください。

川村 ICTにおける昨今の流れでは、「Beyond 5G」や「量子ICT」などが大きなキーワードになっています。我々の分野においても、「古くからやっているから、いつまでもその延長でいい」ということではなく、そうした流れに乗り遅れてはならないと思っています。例えばライダーなどは、比較的量子との関連性が大きく、「量子センシング」などといった分野についても視野に入れた検討を始め

ています。

あるいは「デジタルツイン」など、現実世界をデジタルで再構築するなどの研究も盛んですが、その意味では、我々が行っているセンシングは、まさに現実世界のデータを取り込む入り口です。そうしたところうまくはまれば、我々の研究もまた、Beyond 5Gに大きく貢献できると考えています。

リモートセンシング自体においても、Pi-SARにしる、フェーズドアレイ気象レーダにしる、昔に比べれば扱うデータの量は桁違いに大きくなっています。そのようなデータをいかに早く、必要としているユーザに届けるかも重要な課題で、来年度からそのための研究開発も本格的に開始する計画です。そうした点でもICT全体の技術進化とは密接に関わっています。

石井 私自身、NICTの前身であるCRL（旧・通信総合研究所）に入所した時に

はリモートセンシングの研究者でした。

その後長く別部署にいて、今年度になってしばらくぶりにリモートセンシングに関連する部署に戻ってきました。そして久しぶりにこの分野に触れると、川村室長もそうですが、技術に関し非常に“熱い”研究者が多く、それは非常に素晴らしいことだと感じています。私としては、その素晴らしさを民間企業という営業部門的なかたちでサポートし、外に押し広げていく力になればと考えています。

川村室長の話の中にもありましたが、センシングはまさにリアルとサイバーの結節点にあります。コロナ禍を経験したことで、今後、ドローンや自動運転など「人の手を介さない」技術の重要性はますます上がっていくことになると思いますが、こうしたものにおいてもセンシングは不可欠です。そうした方面への応用もあると思います。

——本日はありがとうございました。

高精細航空機搭載合成開口レーダー (Pi-SAR X3) の開発とその実証実験

世界最高分解能15 cmの映像レーダーが拓く次世代の地表面計測技術



児島 正一郎

(こじま しょういちろう)

電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター
リモートセンシング研究室
研究マネージャー

大学院博士課程修了後、運輸省港湾研究所（現独立行政法人港湾空港技術研究所）の特別研究員を経て、2002年、独立行政法人通信総合研究所（現NICT）入所。海洋レーダー、航空機搭載合成開口レーダー（Pi-SAR X2）等の研究に従事。現在は、主にPi-SAR X2の後継機であるPi-SAR X3を研究開発に従事。博士（工学）。

航 空機搭載合成開口レーダー（以後、「航空機SAR」と呼ぶ）は、航空機の進行方向に対して直角方向の斜め下方向の地表面に電波を照射し、散乱されて戻ってくる電波を受信して解析処理することで地表面を画像化する映像レーダーです。航空機SARは昼夜・天候に左右されることなく地表面を計測できます。今回紹介する高精細航空機搭載合成開口レーダー（以後、「Pi-SAR X3」と呼ぶ）は、これまでNICTで開発した航空機SAR（Pi-SAR2）の機能・性能を向上させ、世界最高である15 cm分解能で地表面の観測を可能にしました。本技術は、図1に示す地表面の環境・災害モニタリング分野での活用が期待されており、今後は観測技術及び解析技術の研究開発を進め、社会実装への取組を推進していく予定です。

■航空機SARの高分解能化の課題

合成開口レーダー（以後、「SAR」と呼ぶ）は、高い空間分解能を得るために合成開口処理とパルス圧縮処理を行っています。合成開口処理は、飛行方向の分解能を向上させる処理です。一方、パルス圧縮処理は、飛行方向と直角方向（以後、「レンジ方向」と呼ぶ）の分解能を向上させる処理です。

合成開口処理は、SARを搭載した飛行体を直線に飛行させることで、仮想的に上空に大きなアレイアンテナを形成させることで、あたかも指向性の高い大きなアンテナで観測した時と同じ高い分解能で地表面を映像化する処理技術です。一方、パルス圧縮処理は、送信する電波の周波数を線形変調させながら送信し、受

信した電波を解析処理することで電力レベルの大きな単パルス波で観測した時と同じ高い分解能で地表面を映像化する処理技術です。パルス圧縮処理によるレンジ方向の分解能向上は、送受信する電波の帯域幅に比例します。つまり、帯域幅が広ければ広いほど、レンジ方向の分解能を高めることができます。Pi-SAR X3では、9.2 GHzから10.2 GHzの電波（帯域幅：1 GHz）を使用しています。この帯域幅は、Pi-SAR2に対して2倍の帯域幅で、広帯域に対応したアンテナと送受信機の開発が技術課題でした。また、広帯域化（高分解能化）に伴うデータ量の増加に対応した高速・大容量の観測データ記録装置の開発も技術課題でした。

■Pi-SAR X3の開発

Pi-SAR X3の研究開発では、世界最高水準の分解能15 cmを達成するために1 GHz帯域に対応した送受信機とアンテナを新たに開発しました。また、膨大な受信信号を遅滞無く記録するための高速・大容量の観測データ記録装置（書き込み速度：4 GB/s、容量：128 TB）を新たに開発しました。Pi-SAR X3の機器は図1のような形態で航空機に搭載されています。なお、膨大な観測データを機上において画像化する処理装置も開発しました。これにより、観測画像を確認しながら観測を行うことができ、さらに、衛星通信等を利用して観測画像を地上に伝送するための準備ができています。

■Pi-SAR X3の技術実証試験

令和3年12月にPi-SAR X3の技術実証試験を実施し、Pi-SAR X3の分解能が設計値の15 cm分解能を満足していることを確



図1 Pi-SAR X3の観測ターゲット

認しました。図2は本試験で得られた画像（石川県輪島市近郊の1 km四方の画像）と白桦内（田んぼ）の拡大図（拡大左図：30 cm分解能（Pi-SAR2相当）、拡大右図：15 cm分解能）を示しています。30 cm分解能の画像は、Pi-SAR X3の30 cm分解能モードで観測したもので、15 cm分解能の画像と時間差は約23分です。Pi-SAR X3では、Pi-SAR2では計測することが困難であった田んぼ内の轍を鮮明に観測することに成功しており、地震や火山噴火等で発生する地表面の変化をこれまで以上に詳細に観測できるようになりました。本技術により、自然災害時における被災状況をより詳細に把握でき、円滑かつ効果的な救助活動や復旧作業への貢献が期待できます。

■今後の展望

令和4年度からは新機能の実証実験及び各種試験観測を行い、試験観測で得られたデータを用いた分析技術の高度化を進める予定です。分析技術の高度化では、地震、津波、洪水、平時の火山等の自然災害のモニタリングや土地利用、森林破壊、海洋油汚染、海洋波浪等の環境のモ

ニタリングの高度化を進めます。また、本技術は船舶や漂流物等の海面監視への

応用を検討し、社会実装への取組を推進していく予定です。

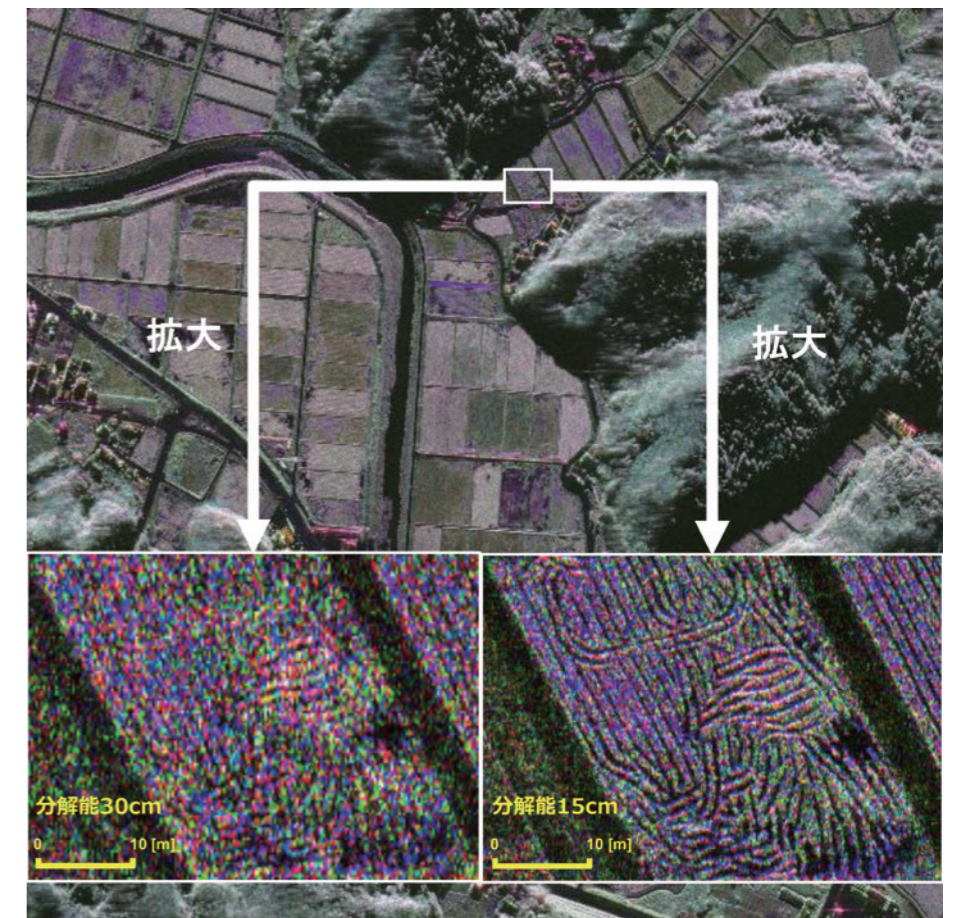
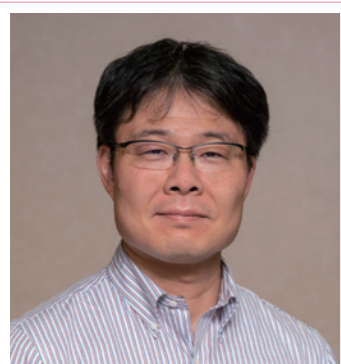


図2 実証試験で得られたSAR画像

レーザ光で風と水蒸気を測る マルチパラメータライダーの開発



岩井 宏徳
(いわいひろのり)
電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター
リモートセンシング研究室
主任研究員

大学院修了後、2001年に通信総合研究所（現NICT）入所。電波及び光を用いた大気環境のリモートセンシングに関する研究開発に従事。博士（理学）。



青木 誠
(あおきまこと)
電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター
リモートセンシング研究室
研究員

大学院修了後、静岡大学工学研究科学術研究員を経て、2014年にNICT入所。固体レーザーと光リモートセンシングの研究開発に従事。博士（工学）。

今、 気象の分野では水蒸気が注目を集めています。近年毎年のように、ゲリラ豪雨や竜巻などの突発的で局所的な大気現象や、よりスケールの大きな線状降水帯が日本各地で発生し、甚大な災害が発生しています。現状では、これらの大気現象の信頼性の高い事前予測は困難です。その要因のひとつに大気中の正確な水蒸気量とその流れが分かっていない、つまり、風と水蒸気の観測データが不足していることが挙げられます。私たちは、その課題を解決するため大気中の風と水蒸気を計測することができる水蒸気差分吸収ライダーの開発を進めています。

■背景

気象衛星や気象レーダー等の気象観測装置と数値予報モデルの高度化により、台風や前線等の日本列島スケールの気象現象の予測は飛躍的に改善され、それにより人的被害も減少しています。一方、より局所的な大気現象の信頼性の高い事前予測は困難であるのが現状です。これらの大気現象は、ひとつまたは複数の積乱雲の発達に伴って発生することが分かっています。図1は豪雨をもたらす積乱雲の発生前から雨が降るまでを示した模式図になります。まず、地面付近の水蒸気を含んだ湿った空気塊が風によって集められ、上昇気流によって上空に持ち上げられて雲が発生します。強い上昇気流によりその空気塊が更に上空に持ち上げられると、上空で多くの雨粒が作られ、最後に上昇気流で支え切れなくなった雨粒が地面に向かって落ちてくることにより、豪雨が発生します。したがって、豪

雨発生の事前予測のためには雨が降る前の大気中の水蒸気量とその流れを観測することが重要です。

しかし現在、水蒸気を観測する方法は、観測点に設置されたセンサーによるその場観測が主流で、面的に水蒸気を観測することが困難です。このように、水蒸気の分布やその流れを観測できる手法がないため、それを実現できる観測手法が求められている、というのが現状です。私たちは風と水蒸気の空間分布を計測することができるレーザ光を用いたリモートセンシング技術である差分吸収ライダー（DIAL: Differential absorption lidar）の研究開発を行っています。

■レーザ光で風と水蒸気を測る

図2は差分吸収ライダーによる風と水蒸気の計測方法の原理を示しています。私たちは眼に対する安全性が高く、水蒸気の観測に適した波長2 μm帯の赤外線レーザ光を用いています。水蒸気に吸収されにくい波長と水蒸気に吸収されやすい波長の2つの波長のパルス状のレーザ光（送信光）を大気中に照射します。大気中のエアロゾルによって散乱されたレーザ光（散乱光）が戻ってくるまでの時間から距離を計測します。そして、散乱光の周波数のずれ（ドップラー効果）を利用して、視線方向の風速を計測することができます。また、散乱光が差分吸収ライダーに戻ってくるまでの間に水蒸気により吸収される強さが2つの波長で異なる、つまり、散乱光の強さの差を利用して水蒸気量を計測します。

図3に差分吸収ライダーの構成図を示します。2019年から、これまでに開発を行ってきた波長2 μm帯のコヒーレン

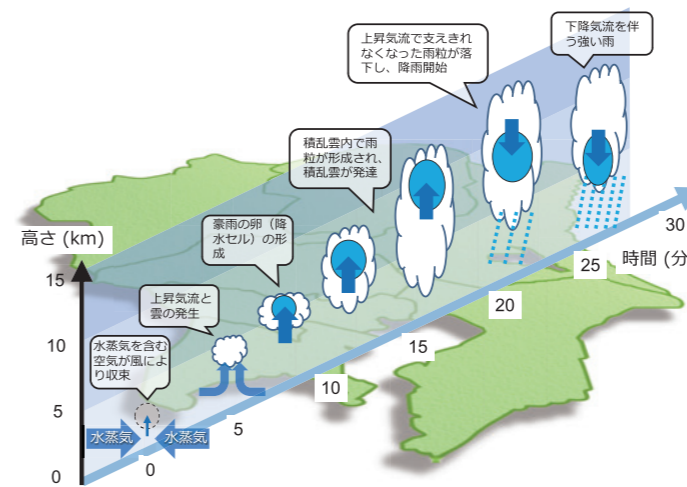


図1 積乱雲の発生前から雨が降るまでを示した模式図

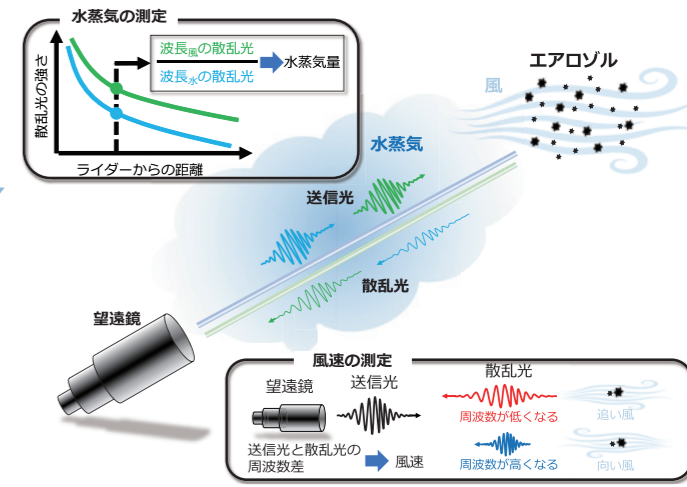


図2 差分吸収ライダーによる風と水蒸気の計測方法の原理

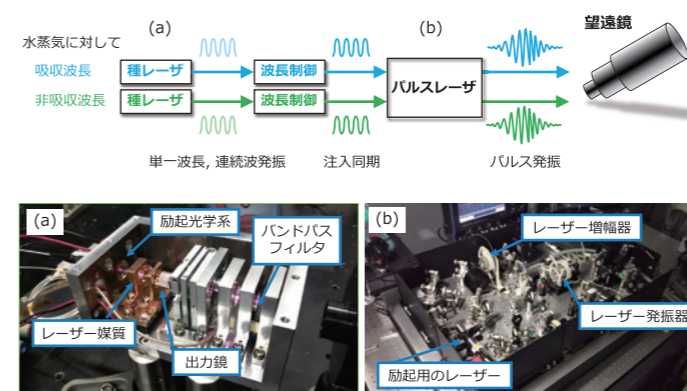


図3 差分吸収ライダーの構成（図上）と試作した(a)種レーザーと(b)パルスレーザー

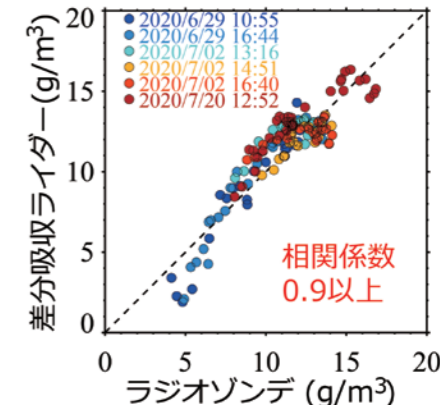


図4 差分吸収ライダーとラジオゾンデにより観測された水蒸気量の比較

トドップラーライダーと二酸化炭素差分吸収ライダーの基盤技術を生かして、コヒーレント方式の水蒸気差分吸収ライダーの開発を開始しました。水蒸気差分吸収ライダーは、主に波長2 μm帯の単一波長の連続波を発振させる種レーザー、種レーザーの波長を観測に適した波長に制御する波長制御装置、波長制御した種レーザーを光注入同期光源とする高出力パルスレーザーから構成されます。

水蒸気量を高精度に計測するためには、水蒸気に吸収されやすい波長（吸収波長）と吸収されにくい波長（非吸収波長）のそれぞれを、水蒸気観測に最適な波長として選択することが重要です。また、その波長を高精度かつ長時間に渡って安定化させる波長制御技術が必要になります。水蒸気の測定誤差が湿度±10%以下になるようにするためには、レーザ光の波長を1 pm、つまり1兆分の1 mの

範囲で制御する必要があります。私たちは、2020年にこれまでの技術では制御することができなかった波長範囲も制御可能な画期的な波長制御技術を開発し、レーザ光の波長を長期間にわたって0.5 pmの範囲で制御できることを示しました。図4は上空の水蒸気量を計測することができるラジオゾンデと差分吸収ライダーから求めた水蒸気量の比較結果です。この図から相関係数で0.9以上と、非常に良い一致を示していることがわかります。

■社会実装に向けて

今後、差分吸収ライダーを社会実装するためには、誰にでも使える差分吸収ライダーを開発する必要があります。そのためには、図3に示す差分吸収ライダーの各構成要素の安定化と低価格化が必須になります。私たちは2020年から種

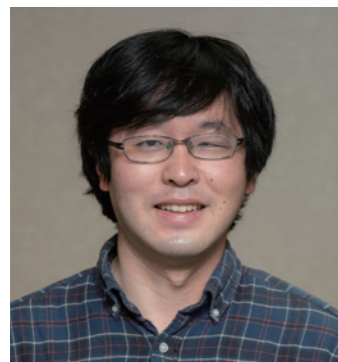
レーザとパルスレーザーの試作を開始しました。シンプルな設計でありながら、高精度に波長を制御できる種レーザーを試作し、動作試験を実施中です（図3(a)）。パルスレーザーは、入手性の高いツリウムファイバーレーザーを励起光源とした常温動作型の高出力パルスレーザーを採用しました（図3(b)）。

■今後の展望

風と水蒸気に加えて、豪雨発生の重要な要素である気温も測ることができるマルチパラメータライダーの開発も計画しています。マルチパラメータライダーにより風・水蒸気・気温の空間分布と時間変動を観測できるようになれば、豪雨の予測精度向上に大きく貢献できると考えています。

宇宙からの全球雲・降水観測技術の研究開発

衛星搭載雲・降水レーダーのこれまでとこれから



金丸 佳矢

(かねまる かや)

電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター
リモートセンシング研究室
研究員

大学院博士後期課程修了後、宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、東京大学を経て、2019年にNICTに入所。人工衛星から電波を発射し、降水の強度分布を観測する衛星搭載降水レーダーの解析研究に従事する。博士 (理学)。

雨 を宇宙から測ることは可能なのでしょうか？答えはYesです。空飛ぶ雨量計こと衛星搭載降雨レーダーの登場によって、様々な場所で降る雨の特徴を把握し、地球規模の雨分布を正確に測ることが可能になりました。また、衛星搭載雲レーダーによる雲の鉛直速度の観測が近日始まるように、宇宙からの全球雲・降水観測技術はより高度化しています。ここでは、NICTが実現のために長年携わってきた衛星搭載雲・降水レーダーを簡単に触れつつ、その最新動向について現場から報告します。

■なぜ宇宙から観測が必要なのか？

世界の各地で豪雨や干ばつなどの異常気象が多発し、日本でも数十年に一度起きるとされる大雨や持続的猛暑が毎年のように起きています。最新の研究では、豪雨災害をもたらすような大雨の発生確率が地球温暖化に影響されていると報告されています。豪雨は地球温暖化のような地球規模の広域的な変化に影響される一方で、降水（降雨と降雪をあわせたものを指します）そのものは水蒸気が凝結し雲粒が雨粒や雪片に成長して落下する局所的な現象です。そのため、降水を監視するには局所性と広域性を兼ね備えた観測方法が必要になります。

地上雨量計や気象レーダーによる降水の観測網が実現されているのは先進国に限られます。国境をまたぐ国際河川では遠く離れた上流で降る雨を把握し水害に備えることが必要ですが、自然環境や紛争地域などによって観測が難しい場所もあります。地球規模で降水分布を把握するとすると、地球表面を均一に繰り返し

観測することができる宇宙からの観測がほぼ唯一の観測手段になります。

■NICTにおける衛星搭載雲・降水レーダーの開発研究

NICTは、前身の電波研究所、通信総合研究所時代を通じ1970年代から宇宙からの降雨観測の実現に向けた研究開発を開始し、1990年代からは雨粒に成長する前の小さな雲粒を観測可能な宇宙からの雲レーダー観測の実現に向けた研究開発も行っています。これら研究開発の成果のひとつは、日米共同ミッションの熱帯降雨観測計画 (TRMM) の衛星に搭載された降雨レーダー (PR) で1997年から2015年までの長期間にわたり、宇宙からの降雨観測を実現しました。引き続きNICTは宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と協力して日米主導で国際的な協力体制で進められている全球降水観測計画 (GPM) の主衛星に搭載された二周波降水レーダー (DPR) を開発し、DPRは2014年の運用開始以降、本稿執筆に至る今日まで順調に観測を続けています。

PRとDPRは降水の立体構造の観測が可能で、その情報から地上降水量を高精度に観測できます。図1と図2は、PRとDPRがそれぞれ観測した地上降水量の空間分布になります。PRは緯度35度付近までを観測範囲として約17年の降水観測が行われました。DPRは緯度65度付近の中緯度までを観測範囲としています。緯度が高くなると弱い降雨や降雪が多くなるので、DPRはPRよりも高感度にすることで弱い降雨や降雪の検出を実現させました。また、DPRは2つの周波数の電波を用い、それら観測値の違いを

TRMM KuNS precipRateNearSurface (1997/12–2015/03)

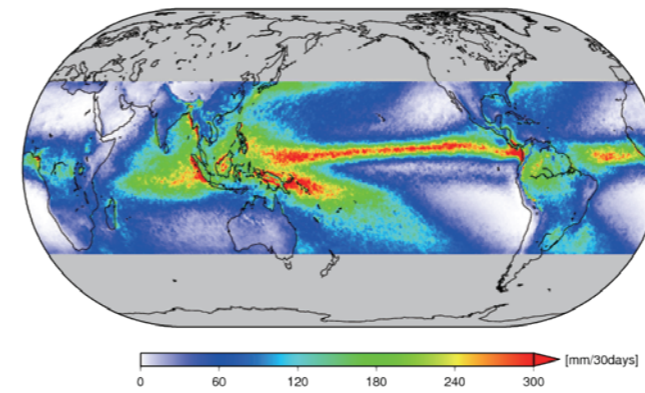


図1 TRMM衛星に搭載されたPRが17年間(1997年12月から2015年3月まで)に観測した世界の降水量分布。単位は30日当たりの地表面降水量(mm)

GPMCore DPR precipRateNearSurface (2014/03–2021/11)

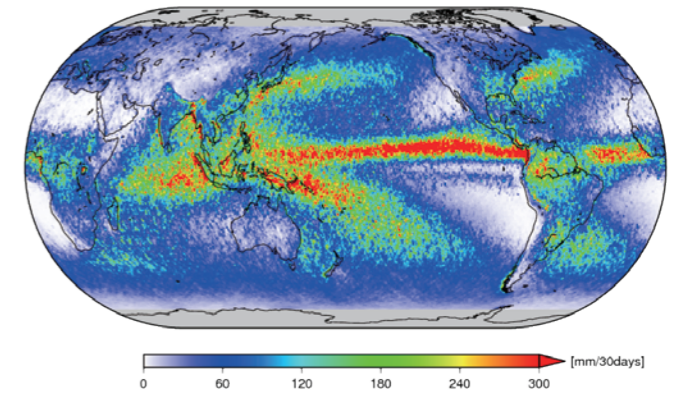


図2 GPM主衛星に搭載されたDPRが7年間(2014年3月から2021年11月まで)に観測した世界の降水量分布。単位は30日当たりの地表面降水量(mm)

基に降雨と降雪の識別や雨粒の大きさと数の関係を求めることで、降水の強さをより精度よく求めることが可能です。

また、NICTはJAXAと協力して日欧共同で進めている雲エアロゾル放射ミッション (EarthCARE) の衛星に搭載される雲プロファイリングレーダー (CPR) の開発も行ってきました。EarthCARE衛星の開発は現在、最終段階に入り、2023年度に打ち上げられる予定です。CPRはミリ波という高い周波数の電波を使用することでDPRでは検出できないような雲や非常に弱い降雨や降雪を測ることが可能です。また、CPRはドップラー速度計測機能があり、雲や雨の鉛直速度を測定することが可能です。落下速度の違いから両者を識別し、雲粒の大きさや雨量などの推定にも役立つことが期待されています。そして、同時に搭載される他のセンサーのデータと合わせて解析することで、地球温暖化の予測精度向上につながることも期待されています。

■将来の衛星搭載降水レーダーは航空機SARとのコラボレーション!?

冒頭で触れたような豪雨災害を軽減するためには、大雨をもたらすような降水雲の発生・発達・衰弱する仕組みをより深く理解し、数日先の天気予報や数十年先の気候予測のための気象・気候の数値シミュレーションで使われる雲や降水の表現をより正確にする必要があります。

現在、議論が進められている次期衛星搭載降水レーダーでは、地球上の様々な降水雲の中の動きを観測してその仕組み

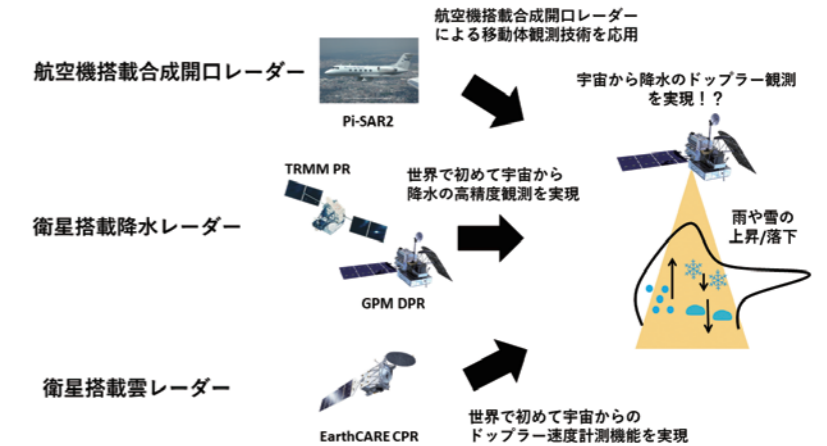


図3 NICTがこれまで関わってきたレーダー観測技術の研究開発とそれらを組み合わせることで実現が期待される将来の衛星搭載降水レーダー(仮)。衛星外観図はJAXAから提供されたものです。Pi-SAR2はNICTが開発運用した航空機搭載SARの名称です。

を解き明せるように、降水のドップラー速度計測機能が検討されています。なんと、その機能は航空機搭載合成開口レーダー (SAR) による移動体観測技術が応用されそうなのです。NICTでは航空機搭載SARを運用した研究開発が1990年代から続いており、空間解像度が非常に高い地表面状態の観測が可能です。航空機SARの移動体観測技術を応用して人工衛星からの降水のドップラー観測はまだ実証されていないので、航空機SARの研究者と協力しその実現に向けた議論を今まさに進行中です。図3にあるようにNICTで長年取り組んできた様々なレーダー観測技術が次期衛星搭載降水レーダーで結集するのです。

■今後の展望

NICTが長年培ってきたリモートセンシング技術を基に防災減災につながる情報を地球規模で共有し安全・安心な社会

を実現する、そのために必要な雲や降水の情報を宇宙から取得するためにはJAXAを含めた外部機関の研究者たちとこれまで以上の連携が不可欠です。私たちはその実現に向けた研究をすすめていきたいと思っています。

今回は、TRMM/GPM/EarthCARE/航空機SARの目的や得られた(期待される)成果は割愛いたしました。この記事を通してそれらに興味を持った方は詳細な解説記事が数多くありますので、そちらもご覧ください。私もその一人で、気づいたらNICTでお仕事をさせていただいています。もしよかったら、宇宙からの雲・降水観測の将来を一緒に考えてみませんか!?

本記事をまとめるにあたり、JAXA降水観測ミッション(PMM)分科会 後継ミッション検討グループ報告書「将来の降水観測ミッションへの提案」を参考にしました。衛星外観の写真はJAXAデジタルアーカイブス (<https://jda.jaxa.jp/>) から利用させて頂きました。また、PRとDPRの降水量データはJAXA地球観測衛星データ提供システム (<https://gportal.jaxa.jp/gpr/>) から入手できます。

MP-PAWRによるAI短時間予測



Philippe Baron
(フィリップ・バロン)

電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター
リモートセンシング研究室
研究員

1970年フランス生まれ。1999年大学院博士課程修了後、ストックホルム大学（スウェーデン）での研究員、ノベルティス社（仏トゥールーズ）での研究員を経て、2007年にNICT入所。電磁波を用いた大気センシングの研究に従事。博士（物理学）。

よ り安全な社会の構築にとって局地的集中豪雨のリアルタイム予測技術の開発は重要な課題です。しかしながら、暴風雨のノウキャスト（暴風雨を、それが発生し得る数十分前に、数百メートルの空間分解能で予測する技術）は、従来の観測及び予測方法をベースとした場合、10分という予測時間の壁を超えることができていません。NICTは、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）の下、これまでにない高い時空間分解能で降水観測を実施可能なマルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダー（MP-PAWR）を開発しました。我々は、そのMP-PAWRによる降水観測データを活用し、ノウキャストの性能向上を目的とした人工知能（AI）ベースの予測技術の研究を進めています。

背景

約5 km四方の小さなエリアにおいて数十分程度で急激に発達する局地的集中豪雨は、社会インフラの損傷や死亡事故を伴う深刻な水害の原因となり、その頻度は、気候変動によって増加すると予想されています。効率的な豪雨警報システムを開発するためには、豪雨の発生を高空間分解能で、かつ少なくとも発生数十分前に予測する必要があります。このような非常に短時間での気象予測はノウキャストと呼ばれています。局地的集中豪雨は突発的かつ狭い範囲で発生するため、従来の観測及び予測方法を用いて暴風雨ノウキャストを実現するのは極めて困難です。例えば、現存する最高性能のノウキャスト技術でも、局地的集中豪雨は、発生前10分以内の予測しか行うこ

とができていません。

2017年、NICT、東芝及び大阪大学は、SIPプログラムの下でMP-PAWRを開発しました。このレーダーは、2018年から埼玉大学で運用されています。MP-PAWRは、機械的な水平走査と電子的な垂直走査とを組み合わせ、半径60 km以内の大気を、30秒ごとに高い空間分解能でスキャンすることができます。したがって、豪雨の発達について、高度3 kmより上空で見られる初期段階から詳細に観測することができます。この情報は、豪雨のノウキャストモデルの入力として非常に有効です。

教師付AIの一つであるディープニューラルネットワーク（DNN）は、高性能なノウキャストを達成するための有望な手段です。DNNは、データ中の特徴を認識することができ、高次元かつ非線形な問題に対しても、モデルの入力データから適切な出力を得ることができます。比較的小型のコンピューターでも、ノウキャストはリアルタイムで実行することができます。一方、モデルの訓練は、大量の観測データセットを用いるため、負荷の高い計算が必要となります。この訓練によりモデルのパラメータを最適化し、モデル出力値と観測値との差を縮めます。

開発計画

我々は、手始めに各場所における降雨強度の予測を行う決定論的なノウキャストモデルを開発する計画です。この研究は、以下の三つのタスクに分けることができます。

第一のタスクは、モデル訓練用とモデル検証用のデータベースを別々に構築することです。ここでは、MP-PAWR観測

高度600 mにおけるZHの10分ノウキャスト
2018/07/24

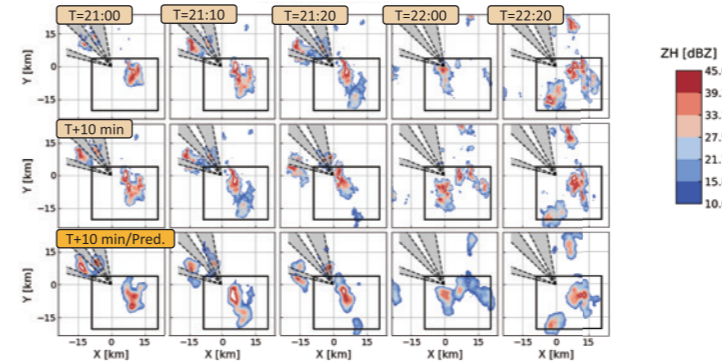


図2 ナウキャストが予測した10分後のZH（降雨強度に対応）
上段 上空600mにおける時刻Tの観測値、
中段 T+10分後の観測値、
下段 T+10分後のノウキャスト予測値



図3 ナウキャスト予測改善のために検討すべき事項の例

データのみを使います。モデルの訓練はあらゆる種類の降雨データを使って行われます。これにより、豪雨をもたらす得るすべての予兆を認識できるロバストなモデルを開発します。

第二のタスクは、モデルの詳細決定及び実行です。時系列分析では、回帰型ニューラルネットワーク（RNN）を用いた手法が確立しており、画像解析では、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を用いた手法が確立されています。我々は、これらを組み合わせた手法を検討しています。先行研究としては、Shi et al. (2015) により提案されたCRNNが、我々が検討中の空間分解能より低い2Dデータを用いたノウキャストで使用されています。

第三のタスクは、モデルを検証し、共同研究を実施している大阪大学の研究結果との比較を通じて、モデルの性能を評価することです。

解決すべき課題

我々が開発するノウキャストモデルは、大量の観測データに含まれる時間的及び空間的特徴を認識し、外挿できるように設計する必要があります。この種の研究では多くの場合2次元観測データの扱いが使われますが、目的達成のためには3次元空間での考慮が必須です。さらに、我々のモデルは、MP-PAWRが収集可能なすべてのデータ（すなわち、ドップラー速度及び水平偏波・垂直偏波のレーダー

反射率）を予測計算に利用できるように設計します。

大量のデータを用いて3次元で演算を行うため、開発するモデルのパラメータ数は107個を超えており、この訓練には処理能力の高いGPUを用いても数週間の期間を要します。

これまでの成果

図1は、我々が開発した3次元マルチパラメータ時系列モデルの概要を表しています。このモデルにおける「マルチパラメータ」とは、3つのレーダーパラメータを指しています（すなわち、水平偏波のレーダー反射率（ZH）、水平偏波の反射率と垂直偏波の反射率との比（Zdr）、及びドップラー速度（Vd）です）。ZHは降雨強度、Zdrは雨滴の種類及びVdは雨滴の動きに関わる観測量です。例えば、10 dBZのZH値は、1時間あたり約0.05 mmの小雨に相当し、37 dBZのZH値は、1時間あたり9 mmの大雨に相当します。

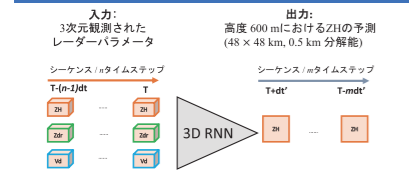
このモデルのコアは、ConvGRU3Dユニットをベースとした4層構造のエンコーダー/デコーダーモジュールです。各層は、指定された空間サイズ及び解像度でデータの特徴量の解析を実行します。エンコーダーは入力系列から時空間的特徴を抽出し、デコーダーはそれらを外挿します。モデルの訓練は、2018年8月から10月の間に収集されたすべての降雨観測データを用いて行いました。

図2は、ノウキャストが予測した10分後の降雨強度と、実際の観測結果を示しています。ノウキャストによる予測は、少し不鮮明になっているものの、観測と良く一致しています。また、我々のモデルは、他のチームが開発したモデルと同等の性能を示しています。ただし、他のモデルと同様に、本ノウキャストモデルの精度は、10分を超えた予測では大幅に低下します。

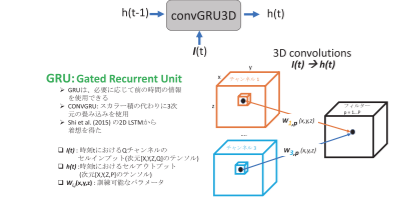
将来の展望

大雨の予測は本ノウキャストの最優先事項ですが、現在のデータベースでは大雨のデータが不足しています。図3に、ノウキャストを改善するための様々な方法を要約しています。今後は、最新の手法（敵対的学習、アテンション機構など）を用いて、アーキテクチャ及びモデルの訓練方法の改善をはかります。また、訓練用データベース中の大雨の事例を増加させることを考えています。しかしながら、異なるアーキテクチャ・モデル訓練法を使ってもモデル性能に明らかな差異が認められないときは、現在レーダーから得られていない情報（相対湿度や曇量など）を含める必要があるかもしれません。これらすべての課題に効果的に取り組むには、大阪大学や理化学研究所などの研究チームとの交流を強化する必要があります。

(a) 3次元マルチパラメータ時系列モデル



(b) RNNの3次元ユニット



(c) エンコーダー/デコーダー アーキテクチャ

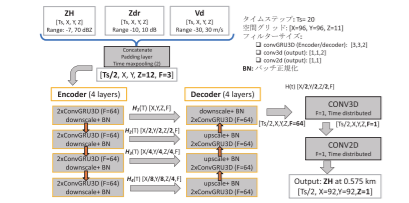


図1 モデルインターフェース(a)、RNNユニット(b)、及びエンコーダー/デコーダーアーキテクチャ(c)の概要図

ウィンドプロファイラのISO規格策定

風を測るレーダーの標準化に向けた取組

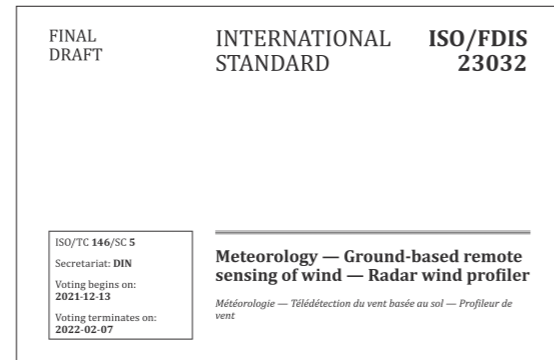
経営企画部 評価室 プランニングマネージャー 山本 真之
電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター リモートセンシング研究室 室長 川村 誠治

気象観測データは世界中で国家気象機関の気象業務・研究活動等に広く利用されており、近年、その精度確保を目的に、気象測器に関する国際規格の策定が進んでいます。晴天域における風の高度プロファイル測定するレーダーであるウィンドプロファイラ (WPR) でも、国際標準化機構 (ISO) による国際規格の作成が、世界気象機関 (WMO) との連携の下で進められています。

気象は、日常の暮らしから地球温暖化対策を見据えた将来の経済・社会の在り方に至るまで、人間生活に大きく影響します。過去に発生した気象現象の調査、現在の気象状況の把握、気象予報や気候変動の予測の全てにおいて、世界中で精度の確保された観測を行い、そのデータを蓄積・利用することが重要です。ISOでは、「大気の質」の専門委員会 (TC 146) の下に設置された「気象」の分科委員会 (SC 5) が気象測器に関するISO規格を担当しており、WMOにおいて気象観測手法や測器の標準を検討する観測・インフラ・情報システム委員会 (INFCOM) と連絡調整を行いながら、必要な技術基準をISO規格として定めています。気象測器ごとに設置されるSC 5のワーキンググループ (WG) は、これまでに風速計・温度計・レーザーレーダー (ライダー)・気象レーダーに関するISO規格を策定してきました。日本では、日本産業標準調査会 (JISC) を代表機関として国内審議委員会を組織しており、TC 146/SC 5の国内審議委員会では気象庁・研究機関・企業がISO規格の作成に取り組んでいます。

乱流などが生み出す大気の電波屈折率の擾乱により、送信電波の散乱エコー (大気エコー) が発生します。WPRは、大気エコーのドップラーシフトを用いて、晴天域における風の高度プロファイルを優れた時間分解能 (多くの場合は10分~1時間程度) で測定するレーダーです。世界各地の気象機関が運用するWPRは、気象予報などの気象業務に活用されています。WPRのISO規格作成を担当するWG 8には、ドイツ・日本・アメリカ・フランス等のExpert (技術専門家) が参加しています。ドイツ気象局のVolker Lehmann氏が、WG 8をとりまとめるConvenor (コンビーナ) を務めています。2017年11月に設置されたTC 146/SC 5/WG 8が取り組むISO規格の作成は、作業原案 (WD)、委員会原案 (CD)、国際規格案 (DIS) の各段階が順調に終了しています。2021年12月に開始された最終国際規格案 (FDIS) の承認投票を経て、WPRのISO規格の作成が完了します。

WPRのISO規格作成に関わる国内審議委員会には、WPRの観測網 (WINDAS) を運用する気象庁、WPRを開発・製造する企業、WPR観測技術の研究開発や気象研究に取り組む研究機関が参加しています。国内審議委員会は、各国が培ったWPRの優れた技術が今後幅広く生かされることを見据えた、国際的にも評価が高い多くの提案をWG 8に行っています。NICTは、技術専門家としてWG 8における調整と議論に加わることで、ISO規格の作成に国際的な役割を果たしています。グランフロント大阪にあるNICTのオープンスペースにおいて、2019年5月にWG 8の第3回国際会議が開催されました。さらに、NICTが次世代WPRの基盤技術として開発に取り組んだアダプティブクラッタ抑圧やレンジイメージングが、それぞれ不要エコー (クラッタ) の低減とレンジ (高度) 分解能を向上させるためのISO規格における推奨技術となっています。NICTが取り組んだWPRの研究開発成果が、WPRのISO規格の策定に生かされています。



FDISの表紙 (一部を拡大)

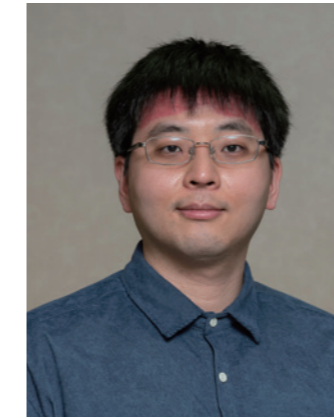


山本 真之
(やまもと まさゆき)
経営企画部 評価室 プランニングマネージャー
(2021年12月31日まで電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター リモートセンシング研究室 主任研究員)
大学院修士課程修了後、企業・大学での勤務を経て、2015年よりNICTに入所。大気リモートセンシングの研究に従事。博士 (情報学)。



川村 誠治
(かわむら せいじ)
電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター リモートセンシング研究室 室長
2003年大学院修了後、日本学術振興会特別研究員を経て2006年NICT入所。レーダーリモートセンシングの研究に従事。博士 (情報学)。

航空機搭載合成開口レーダーによる地表観測と情報抽出



牛腸 正則 (ごちょう まさのり)

電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター
リモートセンシング研究室
有期研究員
博士 (工学)

- 経歴
1993年 新潟県にて誕生
2016年 新潟大学工学部情報工学科卒業
2019年 新潟大学大学院自然科学研究科博士課程在籍中、NICT入所
2021年 新潟大学大学院自然科学研究科博士課程修了
現在に至る
- 受賞歴等
2018年度/2019年度 電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究専門委員会優秀論文賞
2020 IEEE AP-S Japan Student Award

一問一答

- Q 研究者になりたいと思ったのはいつ?
A 小学校の同級生と会ったときにふと言われました。「博士になりたいって言ってたね」と。嘘だと思いつつ卒業文集を見返したところ、なんと本当でした。知らぬ間に本願成就していたようです。
- Q 今までで最大の失敗は?
A 「最大の失敗」と言えるほどかはわかりませんが、博士課程で受給していた奨学金の免除申請を出しそびれ現在進行形で返済中です。
- Q 最近はまっていること
A コーヒーを淹れることが趣味です。長らく電動ミルを使っていたのですが、最近は手回し式に変えました。無心でゴリゴリと豆を挽いていると心が洗われていくようです。



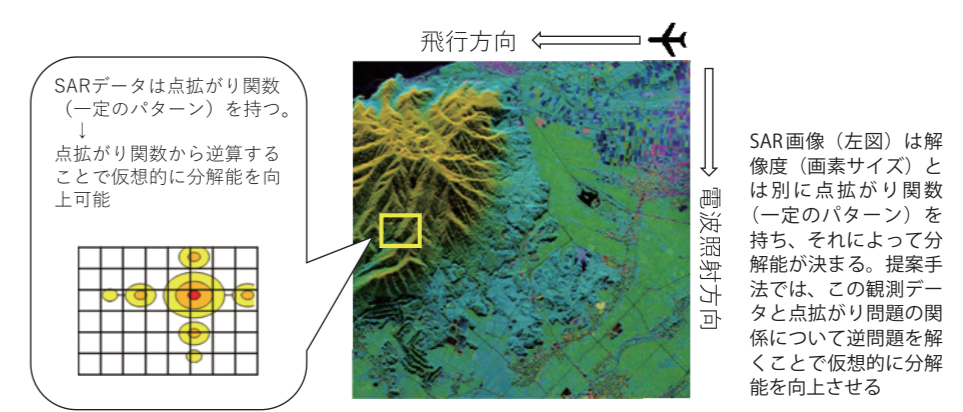
私 たちの日常生活には地図をはじめ、様々な測量成果が利用されています。しかし、人間が歩き回って測量するには地球は広すぎます。そのため遠隔 (リモート) から測量 (センシング) するリモートセンシングが発展してきました。

リモートセンシング機器のひとつであるレーダーは、送受信した電波が跳ね返ってくるまでの時間から距離を計測する装置です。直感的には電波と機械を用いた「やまびこ」です。航空機搭載合成開口レーダー (航空機SAR) は航空機に搭載されたレーダーと高度な信号処理を組み合わせることで地表を面的に可視化することが可能です。高高度から地表を観測できるため、広い領域を一度に観測可能であり、かつ航空機の迅速性を併せ持っていることが利点です。NICTでは2000年代から航空機SARの開発と地表観測を行ってきました。

私の研究は航空機SARの観測データを

用いた信号処理技術の開発と情報抽出です。特に現在は航空機SARの分解能を信号処理的に向上させる技術について研究を行っています。SARの分解能は「観測可能な最小単位」を表す指標で、この分解能が高いほど詳細に地表の様子を知ることができます。しかし分解能はレーダーの周波数帯域などによる限界が生じるため、向上させることは容易ではありません。そこで私の研究では、画像化し

たSARデータは一定の点拡がり関数を持つという特性を利用し、信号処理的に分解能を向上させる手法を開発しました。この手法を用いることで仮想的に2~3倍の周波数帯域幅を用いたSARデータ、すなわち実効的に2倍以上の分解能を達成できることが検証結果からわかっています。今後は開発した手法の詳細な検証とともに、実用化や改良を進めていきたいと考えています。





「Highly Cited Researcher 2021」 に当機構研究者が選出されました

クラリベイト・アナリティクス社は、2021年の「高被引用論文著者 (Highly Cited Researchers)」リストを発表し、当機構研究者が選出されました。



<https://recognition.webofscience.com/awards/highly-cited/2021/>

東脇 正高 室長のコメント

研究者として一つの目標であった「Highly Cited Researcher」に選出されたこと、非常に嬉しく思います。NICT 発の酸化ガリウムが世界的に認知され、その研究開発が現在大きな流れになっていることの表れであると考えられます。今後も継続して受賞できるように、日々精進する所存です。

「高被引用論文著者 (Highly Cited Researchers)」とは、クラリベイト・アナリティクス社が、引用された回数が上位1%に入る論文（高被引用論文）を複数発表した著者から研究分野ごとに選出したものです。2021年は、70を超える国と地域から約6,600名が、世界的に最も影響力のある研究を行っている研究者としてリストアップされています（日本からは87名）。2021年 Cross-Field 分野において、未来 ICT 研究所 小金井フロンティア研究センター グリーン ICT デバイス研究室 東脇正高室長が選出されました。

Highly Cited Researchers サイト

<https://recognition.webofscience.com/awards/highly-cited/2021/>



採用 2023

パーマナント研究職・総合職

NICTは、情報通信分野を専門とした我が国唯一の研究機関です。研究者と総合職が一体になることで、高いパフォーマンスを発揮し、情報通信の分野で『安心・安全で豊かな社会の実現』を目指して仕事をしています。このNICTで、是非一緒に様々なことに挑戦していきませんか？

研究職・研究技術職・テニュアトラック研究員

- 募集職種 パーマナント研究職員、パーマナント研究技術職員及びテニュアトラック研究員
- エントリー方法 弊機構採用情報のwebページからのエントリー
 (研究職) https://www.nict.go.jp/employment/research_staff.html
 (研究技術職) https://www.nict.go.jp/employment/technical_staff.html
- 《採用時期》2023年4月1日(原則)
- 《応募締切》2022年4月8日(金) 17:00 必着
- お問い合わせ
 総務部人事室人事グループ/経営企画部 研究職 採用担当
 MAIL: jinji-r@ml.nict.go.jp TEL: 042-327-7304

総合職

- 仕事内容 研究開発の推進及び研究開発成果の社会還元のため、経営企画、人事、財務、法務、広報等の組織マネジメント、産学官・地域連携、国際連携、知的財産管理、技術移転などの業務に従事します。
- 応募資格 4年制大学（海外の大学を含む）以上を2023年3月に卒業・修了する見込みの方。あるいはそれらを卒業・修了した30歳以下（1992年4月1日生まれまで）の方。※学部や専攻は問いません。
- エントリー方法
 下記URLからマイナビ2023に登録後、エントリーをされた方へ順次ご案内いたします。
<https://www2.nict.go.jp/employment/clerk/clerk.html>
 ※マイナビにエントリーできない方は、下記までお問い合わせください。
- お問い合わせ
 総務部人事室人事グループ 総合職 採用担当
 MAIL: jinji@ml.nict.go.jp TEL: 042-327-7304

2022年3月1日
 エントリースタート!

その他、詳細については、採用情報のURLをご覧ください。

<https://www.nict.go.jp/employment/index-top.html>

ハイブリッド開催
 (リアル会場+オンライン会場)

詳細については3月中旬頃、HPに掲載します。

NICTオープンハウス2022

6月24日(金)・25日(土) 開催

NICTの最新研究成果等を皆様にご紹介いたします。皆様のご参加を心よりお待ちしております。



2019年開催の様子