

リモートセンシング技術最前線

～NICTの取り組み～

気象災害の激甚化や地球環境の変化が進む中、リモートセンシング技術は私たちの暮らしを守る重要な手段となっている。情報通信研究機構（NICT）では、電波や光を駆使した観測技術の研究開発・高度化を通じて、未来の防災・減災、気候変動予測等に貢献している。

特集記事の巻頭にあたり、リモートセンシング技術の概要と、NICTが取り組む最先端のリモートセンシング技術について概説する。

国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）
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



最新型気象レーダー MP-PAWR

はじめに

リモートセンシングとは、電波や光、音波などを使って遠く離れた場所の情報を取得する技術のことである。たとえば、我々が日々目にする天気予報では衛星画像や地上気象レーダーによる雨雲の分布などが出てくるが、これらはリモートセンシング技術によって得られたものだ。この技術は、気象観測だけでなく、地震や土砂災害の被害状況の把握、環境変化の監視、さらには地球温暖化の研究など、さまざまな分野で活用されている。人が直接行けない場所でも、電波や光などを使って「見えないものを見る化」する、それがリモートセンシング技術だ。

情報通信研究機構（NICT）は、情報通信分野を専門とする日本で唯一の公的研究機関である。そのルーツは、1891年に通信省が設立した「電気試験所」にまでさかのぼる。ここで、当時まだ世界的にも新しかった無線通信の研究が始まった。1952年には、郵政省「電波研究所」（電波研）となり、電波の性質や応用技術の研究が本格化した。当時の日本では、通信インフラの復興と発展が急務であり、電波の性質や伝わり方を科学的に解明することが重要な課題であった。電波研では、電波が大気中や地形の影響を受けてどう伝搬するか、どのような条件で通信が安定するかなど、電波伝搬に関する基礎研究が盛んに行われた。この研究は、通信技術の発展だけでなく、後にリモートセンシング技術の基盤にもなっていく。

その後、組織は幾度かの改組を経て、現在のNICTとなった。今ではNICTの研究分野はBeyond 5G、AI（人工知能）、量子情報通信、サイバーセキュリティ

など多岐にわたっているが、我々電磁波研究所では「電波を使って世界を知る」という理念を受け継ぎ、電波や光（レーザー）を用いた観測技術の開発・高度化を通じて、防災・減災や気候変動予測に資する取組を発展させ続けている。

近年、気象災害の激甚化や地球環境の変化が大きな課題となっている。これらに対応するためには、より高精度で広範囲、多角的な観測が求められる。AI技術の進展により、観測データの解析も進化している。これからリモートセンシングは、単なる「観測」から「予測」や「判断」へと進化し、私たちの暮らしを守る力となっていくだろう。

リモートセンシングの基礎原理

まず始めに、リモートセンシング技術の基礎となるレーダーの仕組みを簡単に紹介したい。レーダー(radar)とは、Radio Detection and Rangingの略で、文字通り電波を使って検知(detection)し、距離を測る(ranging)装置だ。電波(radio)ではなく光(light)を使う装置はライダー(lidar)と呼ばれ、近年多くの場面で利用が広がっている。

図1はレーダーを例に、最も基本的なリモートセンシングの原理を図にしたものだ。送信機からパルス状の電波を発射し、標的に当たって反射してきた反射波(エコー)を受信機で受信する(送受別々のアンテナを用いるシステムもあるが、物理的な大きさの制限もあり、送受共用アンテナを用いるレーダーが多い)。この時、アンテナと標的の間の距離をR、送信と受信

の時間差を T 、光速を C とすると、 $R=CT/2$ として標的までの距離が分かる。これがレーダーの基本原理だ。標的が動いている場合、反射されるエコーの周波数はドップラー効果を受けて変化する。送信パルスと受信エコーの周波数差を求めると、標的の動く速度も計測することができる（ドップラー観測）。

パルスの幅が狭いほどレーダーとしての分解能は上がるが、幅の狭いパルスを作るためには広い周波数帯域が必要となる（無線免許を取得する点で難しさが出てくる）。そのため、長いパルスを用いる代わりにパルス内変調をして分解能を上げるなどの工夫をすることがある。また、強いパルスを発射すればより遠くまで観測できるが、強いパルスを送信するには大きな（高価な）送信機が必要になるため、パルスの長さでパワーを稼ぎ、パルス内変調で分解能を補償する考え方もある。レーダーの目的に応じて、様々な工夫をしてシステムを構築している。

図1は標的がハードターゲット（航空機や車など固いもの）のイメージで書かれているが、我々が観測するターゲットは雨・雲・大気などのソフトターゲットがほとんどだ。これらは至る所に分布しているため、分布ターゲットとも呼ばれる。例えば大気の動きを計測するウインドプロファイルでは、大気の屈折率の揺らぎからの微弱な反射波を受信してドップラー観測で風を計測する。パルスが送信された瞬間から反射波は逐次返ってくるが、送信してからの時間で反射した場所が特定できるのはハードターゲットの場合と同じで、ターゲットの分布、さらにはその動きを知ることができる。

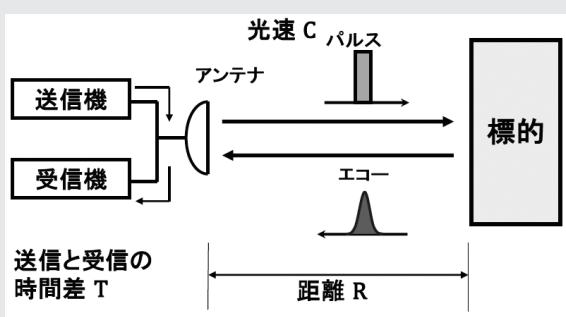


図1 レーダーの基本原理

一般的にソフトターゲットの場合、ハードターゲットよりも反射強度がはるかに弱いため、例えば大気観測中に飛行機が飛んでくるなど望まないハードターゲットからの反射（クラッターエコー）が入ってくると、本来見たい弱いエコーが見えなくなってしまうことがある。このようなクラッターエコー対策も重要な技術要素となる。

最先端リモートセンシング技術

我々が現在研究開発やその高度化を行っている各種センサーを図2に示す。各センサーが用いている電磁波の周波数を横軸に、センサーの活躍する高度を縦軸に取った図になっている。様々な周波数の電磁波を用い、宇宙から、空から、地上から、地球環境を観測する技術の研究開発・高度化を行っている。

今回の特集では、本稿に続き最新のリモートセンシング技術に関する7編の技術紹介がある。以下、その概要を紹介する。

＜地表の状況を捉える航空機搭載レーダー＞

災害が発生したとき、現場の状況をいち早く把握することは、救助活動や復旧作業を進めるうえで非常に重要だ。しかし、地震や土砂崩れなどの災害現場は、地上からのアクセスが困難な場合が多く、迅速な情報収集が難しいことがある。そこで活躍するのが、航空機搭載型の合成開口レーダー Pi-SAR X3 だ（図2①）。

Pi-SAR X3 は、電波を使って、世界最高レベル 15 cm の分解能で地表の様子を「撮影」することができる。通常のカメラでは雲や夜間の暗さに影響されるが、レーダーは電波を使っているため、昼夜・天候を問わず観測が可能だ。

2024年1月1日に発生した能登半島地震の後にも観測を行った。災害前の情報があると有事に変化抽出などで状況を把握しやすくなるため、現在気象庁常時観測火山のほぼ全てを観測しているほか、東南海地震の想定されるエリアでも観測を行っている。また、災害時以外に、平時から日常生活に役立てるデータ利活用の検討も進めている。

＜高速に雨をとらえる次世代気象レーダー＞

従来の気象レーダーは、雨の3次元空間観測に5分程度かかることが一般的だった。しかし、NICTが開発・運用に携わるフェーズドアレイ気象レーダーは、仰角方向の電波を瞬時に切り替えることができるため、アンテナを方位角方向に1回転させる30秒ごとに高密度な空間観測が可能だ。これにより、急激に発達する積乱雲やゲリラ豪雨の兆候をリアルタイムで捉えることができる。

偏波を活用する最新のマルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダー（MP-PAWR：図2②）は、さいたま・吹田・神戸の3か所で稼働している。大阪・関西万博では、吹田・神戸2台のMP-PAWRと理研のスーパーコンピューター「富岳」を連携した高精度

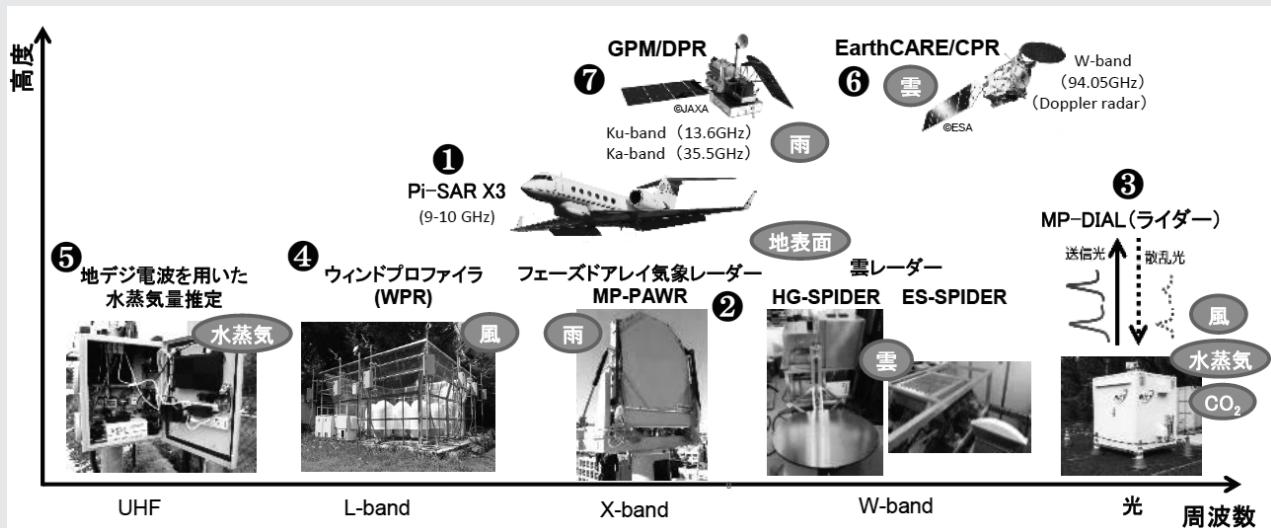


図2 NICTが研究開発・高度化を進める各種リモートセンシング用センサー

気象予測の実証実験を2025年8月に行うなど、未来的な気象予測に向けた取り組みを進めている。さらに、AIを用いて豪雨を短時間予測するAIナウキャストの研究も行っている。

<風や水蒸気を捉えるセンサーたち>

空気は目に見えない。しかし、空気の流れは風であり、空気の中には水蒸気が含まれている。風が水蒸気を運び、集め、持ち上げて雲を形成する。水蒸気は雨の元となる水で、豪雨の発生に深く関係し、空気中に大量の水蒸気が含まれていると積乱雲が急速に発達して、短時間で激しい雨が降ることがある。これら目に見えない重要な気象要素を観測することは気象予測に欠かせない。NICTでは、レーザーや電波を使って風や水蒸気を「見える化」するためのリモートセンシング技術の開発・高度化を実施している。

ライダーは、レーザー光を空気中に照射し、その反射を測定することで大気の状況を調べる装置だ。NICTが開発したマルチパラメータ差分吸収ライダー(MP-DIAL: 図2③)は、複数の波長のレーザーを使うことで、風速・水蒸気分布などの情報を同時に取得できる。目に入っても安全な波長 $2\mu\text{m}$ 帯のレーザー光を使っているのが特徴で、このためあらゆる方向にレーザーを照射して観測ができる。また、世界最高レベルの送信パワーを有し、風速だけであれば30km先までの観測が可能だ。

ウインドプロファイラ(WPR)は、電波を使って上空の風の速度や方向を観測する装置だ(図2④)。電波が空気中の乱れ(屈折率変化)で反射する性質を

を利用して、風の動きを「見える化」する。気象庁が全国33地点に展開するウインドプロファイラ観測網WINDASにはNICTのWPRと同型の装置が導入されており、そのデータは日々の気象予測に使われている。NICTでは、近年はWPRのクラッターエコー除去技術を高度化させている。

テレビ放送に使われている電波が、実は気象観測にも役立つことをご存じだろうか? NICTでは、地上デジタル放送(地デジ)の電波を活用して、空気中の水蒸気量を測定するという、世界でも珍しいリモートセンシング技術を開発している(図2⑤)。

地デジの電波は、送信塔から各家庭のテレビアンテナに向けて発信されている。この電波は、空気中を通過する際に、水蒸気の量によってわずかに遅くなる(遅延する)性質がある。NICTでは、この遅延の度合いを高精度に測定することで、空気中の水蒸気量を推定する技術を確立した。つまり、既存インフラであるテレビ放送の電波を「気象センサー」として使っているのだ。電波の性質を深く理解してきたNICTだからこそ実現できた技術と言えるかもしれない。地デジ電波を使った水蒸気観測は、既存の放送電波を活用することで、レーダーのような新たな送信設備を必要とせず水蒸気分布を把握できるため、コスト面でも優れている。現在は台湾との共同研究で、台北の気象予測に地デジ観測を役立てる研究を行っている。

NICTでは、さらにこの研究の発展として、「通信と観測の融合」をテーマに、5Gなどの通信電波をセンシングに活用する研究開発も進めている。

＜衛星からの雲降水観測＞

リモートセンシング技術は、地上や航空機だけでなく、宇宙からも地球を観測している。人工衛星に搭載されたセンサーは、広い範囲を長期間にわたって観測できるため、地球規模の気象や環境の変化を捉えるのに欠かせない存在だ。

NICTは、JAXAと協力しながら国際的な衛星プロジェクトにも積極的に参加し、宇宙からのリモートセンシング技術の開発と運用に貢献している。EarthCARE (Earth Cloud Aerosol and Radiation Explorer)は、欧州宇宙機関(ESA)とJAXAが共同で開発した地球観測衛星で、2024年5月に打上に成功した。NICTは、この衛星に搭載されたCPR(雲プロファイリングレーダ)をJAXAと共同で開発した(図2⑥)。CPRは世界で初めて衛星からのドップラー観測を実現させたレーダーで、雲の内部構造に加え、雲粒子の上下方向の動きを観測することができる。これにより、気候変動予測における最大の不確定要素と言われている雲についての理解が深まり、気候変動のメカニズムを解明する手がかりが得られると期待されている。

GPM (Global Precipitation Measurement)は、NASAとJAXAが共同で進める全球降水観測計画で、その中核を担うのが、NICTとJAXAが共同開発したDPR(二周波降水レーダ)だ(図2⑦)。DPRは、宇宙から地球に向けて電波を照射し、雨粒からの反射を測定することで、雨の強さや高さ、構造を立体的に捉えることができる。これにより、世界中の降水の分布や変化を高精度で把握することが可能になった。

GPM/DPRは2014年に打ち上げられ、2024年には運用開始から10周年を迎えた。この10年間で得られたデータは、気象予測の精度向上、洪水リスクの評価、気候変動の研究など、さまざまな分野で活用されている。現在GPMの後継ミッションであるPMM(Precipitation Measuring Mission)の検討も進んでおり、NICTはこのミッションで衛星からの雨のドップラー観測のアルゴリズム開発を担っている。

これからのリモートセンシング

これまで紹介してきたように、NICTでは様々なリモートセンシング技術を研究開発・高度化させていく。センシングは、CPS(サイバーフィジカルシステム)において、実空間の情報をサイバー空間に取り込むための手段だ(図3)。取り込んだ情報をサイバー空間で解析・処理して付加価値を付け、それを実空間



図3 CPS(サイバーフィジカルシステム)
NICT Beyond 5G ホワイトペーパーより

にフィードバックすることで、より良い日常へ貢献することを目指している。

リモートセンシングは、「見えないものを見る化する」技術だ。これは、科学の本質とも言える探究心と創造力の結晶である。高校生・高専の学生をはじめとする若い世代の皆さんにも、是非この分野に興味を持っていただきたい。そして、一人でも多くの若者にリモートセンシング技術の最前線を切り拓く我々の仲間になっていただければ、これほど幸いなことはない。

謝辞

本取組の一部は、総務省委託業務「0155-0096 電波伝搬の観測・分析等の推進」の支援を受けて行われている。

本特集の実現に向けて数年に渡り根気強くご調整いただいたFORN編集長の杉山博氏に心より感謝します。

川村 誠治



●略歴：京都大学大学院博士後期課程修了後、日本学術振興会特別研究員(於CRL)を経て2006年NICTに入所、レーダーリモートセンシングの研究に従事。2007-2011年NICT沖縄熱帯計測技術センター(現沖縄電磁波技術センター)、2020-2021年NICT経営企画部企画戦略室を経て、2021年4月より現職。地球電磁気・地球惑星圈学会、日本気象学会所属。博士(情報学)。

●研究内容：大学で研究室を選ぶ際、台風の強風に煽られながら観測気球を放球する映像を見てこの分野に飛び込みました。レーダーを使った電離圏、中間圏・下部熱研などの高層大気の研究を経て、現在は地デジ放送波を用いた水蒸気観測の研究開発を主軸に、地上設置型レーダーの研究開発・高度化に従事しています。

●今後の展望：リモートセンシングには、まだ未開拓の可能性が広がっています。災害などの非常事だけでなく、日常から役に立つリモートセンシング技術とそのデータ利活用を目指し、より安心で安全な社会作りに技術開発で貢献していきたいと考えています。