

採 択 番 号 06901

研究開発課題名 テラヘルツ波を利用した雲・水蒸気分布観測二周波レーダーシステムの研究開発

(1) 研究開発の目的

本研究開発において、94GHz 帯、150GHz 帯の二周波数を用いて降水を含まない積雲、および水蒸気を観測する世界初の気象レーダーを開発するとともに、AI を活用して当該レーダーによる膨大な観測情報を迅速に処理し、質の高い短時間予報を行うための技術開発を行う。併せて、レーダーの観測情報の送信、予測結果の送信、ユーザーに対する予報の配信に係る通信をスムーズに行うための実証実験を行い、Beyond 5G ネットワークの活用に向けた課題の抽出および提言を行うこととしている。その目的は次の5つに集約される。

- ①94GHz 帯および世界初の 150GHz 帯を用い、当該二周波数を用いて積雲(降水のない雲)と水蒸気を同時観測する気象観測レーダーを開発し、降水発生前の気象観測・予測を可能にする。
- ②上記レーダーが取得する膨大な観測データを、AI を用いて迅速に処理し、降水の発生を予測するためのアルゴリズムおよび処理システムの開発を行う。
- ③上記研究により積雲と水蒸気の両観測が可能で、積乱雲に伴う極端気象を1時間前に予測できる世界初のレーダー技術、ならびにその通信ネットワークの基盤を確立する。
- ④研究開発の成果を日本発の新たな気象観測・予測技術として世界に発信していく。
- ⑤④を通じ、高周波帯を活用した気象観測レーダーのメリットを国内外に示すことで、天文分野向けに割り当てられているものの十分に活用が進んでいない94GHz 帯、および150GHz 帯を含む高周波数帯の利用ニーズを喚起していく。

(2) 研究開発期間

令和 4 年度から令和 5 年度 (2 年間)

(3) 受託者

キーコム株式会社<代表研究者>  
学校法人早稲田大学  
国立研究開発法人防災科学技術研究所

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 4 年度から令和 5 年度までの総額 969 百万円 (令和 5 年度 500 百万円)  
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 : ミリ波レーダーによる検知・観測技術の確立

- 研究開発項目 1-a) 94GHz レーダーの改良 (キーコム社)
- 研究開発項目 1-b) 150GHz レーダーの新規開発、94GHz レーダーとの連携と統合システムの開発 (キーコム社)

研究開発項目 2 : 観測データの解析方法の確立

- 研究開発項目 2-a) レーダー反射因子シミュレーション (防災科研)
- 研究開発項目 2-b) AI による雲・水蒸気推定モデル構築に関する研究開発 (早稲田大学)
- 研究開発項目 2-c) 雲・水蒸気推定モデルと観測データからの水蒸気・雲水量データの解析手法の研究開発 (早稲田大学)

研究開発課題3： 統合実証実験

研究開発項目3-a) 二周波レーダーを用いたローカル5G環境下での実地試験  
(キーコム社)

研究開発課題3-b) AIモデルによる水蒸気・雲水量の統合評価(早稲田大学)

研究開発項目3-c) 検証用比較観測と気象予測に対するインパクトの評価(防災科研)

(6) 特許出願、外部発表等

		累計(件)	当該年度(件)
特許出願	国内出願	6	5
	外国出願	4	4
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	9	8
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	4	1
	展示会	1	1
	受賞・表彰	0	0

(7) 具体的な実施内容と最終成果

・研究開発項目1 ミリ波レーダーによる検知・観測技術の確立

・研究開発項目1-a) 94GHzレーダーの改良

94GHz帯FMCWレーダーの設計を完了し、試作及び評価を実施した。半導体パワー増幅器の8合成により送信出力4.23W(目標:4W級のCWアンプ)を確認できた。また受信機のNFについて4.2dB(目標:4.5dB, 給電損失除く)を確認することができた。試作した装置の性能について当初目標の達成を確認することができ、実運用に投入可能なレーダーであることを確認した。無線局免許申請を実施し、令和6年5月以降運用可能な見込み。

94GHz帯および148GHz帯共用カセグレンアンテナ(アンテナ開口直径1m)を送信用に1つ、受信用に1つの合計2個、観測時にレーダー電波の発射方向を所望する方位角および仰角に向けるために用いる2軸回転台の製造を実施した。

観測時にレーダー電波の発射及び停止、所望の観測方向にレーダーを向けるための制御を実施、また、観測データを処理し表示する表示操作部(ソフトウェア)を製造した。

・研究開発項目1-b) 150GHzレーダーの新規開発、94GHzレーダーとの連携と統合システムの開発

150GHz帯FMCWレーダー用の設計を完了し、試作を実施した。試作評価に必要な部材が比較的研究の早い段階で入手できた受信部については先行して試作を行い、NFについて6.2dB(目標6.8dB, 給電損失除く)を確認することができた。

アンテナ、2軸回転台、受信部、表示制御部は94GHz帯のレーダーと共通化、および一体型設計することによって、1-a)の研究開発項目の中で製造した。

・研究開発項目2 観測データの解析方法の確立

・研究開発項目2-a) レーダー反射因子シミュレーション

バルク法雲解像数値気象モデル(CReSS)を用いて雲の再現実験を行い、レーダー反射因子のシミュレーションを行う仕組みを作成した。これにより、機械学習に必要とされる学習用データを作成する環境が整備され、複数の事例で学習用データを作成した。さらに、気象パラメータ

から電磁的現象を計算する手法を、より高度な T-Matrix 法を用いた散乱シミュレーションに置き換えて、より精緻なシミュレーションを可能にした。

ビン法雲解像数値気象モデル (WRF-SBM) を用いた雲の粒径分布のシミュレーションを実施した。ビン法モデルと T-Matrix 法を併用することにより、雲の粒径分布を考慮したレーダー反射因子のシミュレーションが可能となった。

• 研究開発項目 2-b) AI による降水予測技術に関する研究開発

2-c) の ITU-R モデルを使用した教師データセットによる水蒸気・雲水量の推定では、95GHz と 150GHz のレーダー反射因子に加え、両者の差分を説明変数として用いた場合の精度の向上から二周波レーダーの優位性を確認した。また AWGN ノイズ付加時の雲水量推定では、空間考慮及び重みの付加による推定精度の向上の知見を得た。

2-a) のバルク法データを教師データセットに使用した雲水量の推定でも、高い精度で推定することが可能であった。また、95GHz と 150GHz の二周波レーダーの反射因子の差分を用いた場合の精度向上 ( $R^2$  で反射因子の差分使用時 13.0% (仰角 90 度)、7.7% (仰角 45 度)) から二周波レーダーの優位性を確認した。

• 研究開発項目 2-c) 雲・水蒸気推定モデルと観測データからの水蒸気・雲水量データの解析手法の研究開発

公開データベースの学習データセットの構築：ARM (The Atmospheric Radiation Measurement) の Ka バンド (35.3GHz) / W バンド (94.0GHz) の雲レーダー (Ka/W-SACR)、雲底レーダー (WACR)、ラジオゾンデ (SONDEWNP)、マイクロ波プロファイラー放射計 (MWRP) などの情報から、降雨開始状態を効率的に検索して AI 学習の教師データセットを生成するためのデータベースとアプリケーションからなる環境構築を完了した。

対象地域：二地域 (Cape Cod, Ascension Island)

対象期間：2012/10/12~2017/10/31

環境地域プロファイルの抽出：国内 17 箇所の補正データを、対象期間：2012/10/12~2017/10/31 の月次ごとに、P.840-8 の標準大気をベースに近似関数の補正を完了した。この成果によってラジオゾンデデータの高精度な補正を可能とした。

リトリーブモデルの研究開発：Ka バンドと W バンドのレーダー反射因子・減衰係数・複素誘電率などからなる計算モデル[1]を検討、ARM データに対する雲の水蒸気密度 LWC の評価を三月末終了した。

[1] R. J. Hogan, N. Gaussiat, and A. J. Illingworth, "Stratocumulus Liquid Water Content from Dual-Wavelength Radar."

• 研究開発項目 3： 統合実証実験

• 研究開発項目 3-a) 二周波レーダーを用いたローカル 5G 環境下での実地試験

ローカル 5G 無線装置を導入し、無線局免許を取得した。ローカル 5G 環境下のスループット試験を実施した。レーダーにより取得される観測データを想定した実験の実施により、観測データの収集する伝送路の一つのモデルケースとして使用可能なことが示された。

• 研究開発項目 3-b) AI モデルによる水蒸気・雲水量の統合評価

2-a) から提供されるバルク法のレイデータのデータセットを用いて B-SCOPE と PPI 表示の 3D 表示の時間変化を表示可能な評価用アプリケーションを試作完了した。具体的にはデータ記録・管理・各種表示機能の試作を完了した。この成果によって防災科研 2-a バルク法データセットとの一致評価が可能になった。

- 研究開発項目 3-c) 検証用比較観測と気象予測に対するインパクトの評価

電波増幅器 (EIK) が消耗により使用できない防災科研の雲レーダーを用いて、本研究で開発する二周波レーダーの観測結果の検証・比較を行うために、同型の雲レーダーを所有する名古屋大学の雲レーダーの EIK を防災科研雲レーダーへ移設し、その EIK を用いた雲レーダー観測が可能であるかの調査を実施した。調査の結果、移設した EIK を用いた電波送信が可能であり、所期の送信電力が得られることを確認した。また、受信機特性等も問題の無いことから、二周波レーダーの検証・比較観測に用いることが可能であることが示された。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

今後の検証として比較的实现性高い、Ka バンド雲発生観測レーダーの観測結果と、本研究開発の 94GHz 帯レーダーの観測結果を比較することで 94GHz 帯レーダーの妥当性検証を実施する。本研究で試作したレーダーについては本研究を進めた受託者に提供する、ないし取得した観測データを共有する。

150GHz 帯レーダーについて試作を継続し、観測に使用できるように進めることができれば、94GHz 帯レーダーと 150GHz 帯レーダーを用いた二周波観測を実施する。

取得した二周波観測の観測データを、データ解析、AI による降水予測モデルにフィードバックすることで、優位点を実証する。

最終的に、気象予測に対するインパクトを評価することで、本研究の優位性・有用性を検証する。