

Title	A Study of Meteorological Radar Network at Ku-band with High Resolution
Author(s)	Yoshikawa, Eiichi
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1398
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

【103】

氏 名	吉 川 栄 一
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 4 5 8 8 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 23 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学 位 論 文 名	A Study of Meteorological Radar Network at Ku-band with High Resolution (気象用Ku帯広帯域レーダネットワークに関する研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 河崎善一郎 (副査) 教 授 小牧 省三 教 授 馬場口 登 教 授 滝根 哲哉 教 授 北山 研一 教 授 三瓶 政一 教 授 井上 恭 教 授 鷺尾 隆 教 授 溝口理一郎 准教授 牛尾 知雄

本論文は筆者が大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻在学中に行った、気象用Ku帯高分解能レーダネットワークに関する研究の成果をまとめたものである。

竜巻やダウンバースト等災害に直結する小スケールの気象現象の観測手段として、短距離レーダにより構成される気象レーダネットワークは非常に有用である。従来のSもしくはC、X帯電磁波を用いた大型かつ長距離観測用の気象レーダは空間・時間共に分解能が百メートル・5分以上である一方、これらの現象は水平スケールが百メートル、10～20分程度の寿命である為、十分に観測できない。更に長距離レーダは地球の曲率の影響により、その多くの観測エリアにおいて、これら小スケールの現象が発生する低高度の観測を行うことができない。そこで我々は、開発を行った気象用Ku帯広帯域レーダ(Broadband radar; BBR)によるネットワーク観測を提案している。BBRとは上記の現象を十分に解析できる程の極めて高い分解性能を有する短距離用パルスドップラーレーダであり、地球の曲率の影響を受けることなく、また複数の多点配置することによって広域を観測する。更に重複観測領域では多面的に観測を行うことで、より高精度な物理量の推定が可能になる。

本論文は全6章の構成とした。

第1章は本論文の導入である。種々の用途に用いられている既存の大気観測用レーダを概説し、その問題点を指摘した。それらに比して、我々が提案する気象用レーダネットワークの目的及び意義を明確にした。

第2章では、開発したBBRについて、その特徴、構成、信号処理について詳細に示した。BBRの観測精度を評価する為、地上観測機器であるディストロメータとの比較を行い、非常に良い一致を確認した。また、鹿児島県種子島で行った初期観測結果において、従来レーダよりも詳細な観測が可能であることを確認した。

第3章では、BBRにて適用したリアルタイム観測用クラッタ除去アルゴリズムについて説明した。既存の気象レーダに比して、BBRは非常に近接レンジからの観測を行う為、また都市部、山間部等に設置される為、グラウンドクラッタ(地表、建造物、木々、その他静止物体からの反射)の影響が大きい。クラッタ除去手法としては高精度なものも提案されているが、当然ながらそれらは計算コストが大きい。提案手法は、ドップラー周波数領域において降雨エコーとクラッタが重畳した場合においても、クラッタを除去しかつ降雨エコーのみを推定するアルゴリズムである。降雨スペクトルをガウス型であると仮定し、複雑な演算を全て排除することで、降雨スペクトルのみを正確かつ高速に推定する。ここでは、手法の詳細、シミュレーション及び観測実験データを用いた精度評価結果を示した。

第4章は、BBRによる観測から導かれた降雨に関する新たな知見について述べた。大気境界層における雨滴粒径分布(Raindrop size distribution; DSD)の鉛直構造は降雨レーダによる観測誤差を評価する上で、また特に衛星降雨レーダの観測において地球規模の水循環を理解する上で非常に重要である。しかし、技術的問題から、運用・観測用途共に従来の気象用レーダでは地上300メートル以下のDSDを推定することができなかった。BBRの観測により高度50メートルからの観測を実現し、対流性降雨において300メートル以下の高度であっても粒径分布は併合過程にあり、直径0.5mm以上の雨粒の数密度が2倍以上に増加することを初めて確認した。

第5章は、大阪平野に構築されたBBRネットワークについて、その配置及び特性を示した。現在、2台のBBRの設置が完了しており、3台目のBBRの設置を2011年中に計画している。BBR2台による同時観測を行った結果、その重複領域において両BBRによって同様の降雨パターンが観測され、また2台のBBRの観測結果を統合する(両BBR間で観測データを補完しあう)ことによって、降雨パターンを更に高精度で出力した。加えて本章ではBBRネットワークにおける降雨減衰補正手法について述べた。降雨減衰は、反射強度に対してしばしば大きな過小評価を引き起こすことで顕著な降雨域を隠す等、降雨レーダにおける根源的な問題である。Ku帯電磁波は、既存の気象レーダで用いられているS、C、X帯に比して、この影響が顕著である為、降雨減衰補正は必須である。BBRネットワークのような高時間分解能観測の下では、ある点における降雨の状態が1スキャン内で変化せず、複数のレーダにて等しい物理量が推定されるという仮定を用い易い。提案手法においては確率的手法を用いて補正を行うことで推定値の分散量を同時に得ることができ、それを用いて各レーダの観測データに対し確率的に最適な統合を行う。ここでは、シミュレーションによって、本手法が安定かつ正確な推定を達成していることを確認した。

第6章では、本論文で得られた成果を総括した。

本論文は学位申請者吉川栄一君が大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻在学中に行った、気象用Ku帯高分解能レーダネットワークに関する研究の成果をまとめたものである。

竜巻やダウンバースト等災害に直結する気象現象は空間・時間スケールが、1km程度もしくはそれ以下・1時間以下の小スケールであり、2km以下の低高度にて発生する。一方、従来のSもしくはC、X帯電磁波を用いた大型かつ長距離観測用の気象レーダは空間・時間分解能が100m・5分以上であり、地球の曲率の影響により多くの観測エリアにて2km以下の観測が不可能で、上記の現象を検出できない。本研究は、これらの災害に直結する小スケールの気象現象を迅速かつ正確に検出する為の新しい高分解能パルスドップラーレーダである、気象用Ku帯広帯域レーダ(BBR)の開発、及びそれを複数台用いたネットワーク観測を主題としている。

第2章では、開発したBBRについて、その特徴、構成、信号処理について詳細に示している。BBRの観測精度を評価する為、地上観測機器であるディストロメータとの比較を行い、高い精度が得られることを確認している。また、初期観測結果においては、従来のレーダよりも詳細な降雨観測を実現し、その有用性を示している。

第3章では、BBRのリアルタイム観測に用いられる、ドップラーモーメントを正確に推定する為のアルゴリズムについて記述している。地上設置レーダにて問題となる地表面クラッタを除去し、かつ高分解能化に伴う大容量のデータを扱う上で高速に動作する手法を提案している。

第4章では、本レーダによる観測から導かれた新たな科学的知見、大気境界層低層における降水の鉛直構造について記述している。これまで観測できなかった高度300m以下の降水構造を、初めて定量的に示している。

第5章では、大阪平野に構築したBBRネットワークについて、その配置及び特性を示している。BBR2台による同時観測を行った結果、その重複領域において両BBRによって同様の降雨パターンが観測され、また2台のBBRの観測結果を統合することによって、降雨パターンを更に高精度で検出している。加えて本章では、BBRネットワークにおける降雨減衰補正手法について記述している。降雨減衰は反射強度に対してしばしば大きな過小評価を引き起こし、降雨レーダにおける根源的な問題であると同時に、その正確な補正は難しい。BBRネットワークによる降雨の多面的な観測を利用して、降雨減衰を正確に補正する手法を提案し、その有用性を示している。

以上のように、本論文は高分解能小型レーダを開発し、境界層における降水の鉛直構造を明らかにし、さらに降雨減衰補正アルゴリズムを開発、複数台による観測を通じて、従来以上の詳細かつ精緻な観測を実現している。これらの結果は、災害に直結する気象現象に対する防災に寄与し、レーダリモートセンシングならびに情報通信工学に貢献するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。