

# ブロードバンドレーダ開発に関する研究 (0221047)

## Development of the Broadband Radar

牛尾知雄 大阪府立大学

Tomoo Ushio, Osaka Prefecture University

研究期間 平成 14 年度～平成 16 年度

### 概要

本研究では、雲の三次元像が数十秒毎の分解能で得られるリアルタイムレーダ及び空間分解能が数メートル程度の高空間分解能レーダ及びそのアルゴリズム開発を行う。送信に Ku 帯広帯域信号を用いて、パルス圧縮処理による高空間分解能観測を行い、分解能数メートルで、降雨による体積散乱の検出が高精度で行われていることを確認した。また、ドップラー変位の検出アルゴリズム、雨滴粒径分布と降雨量変換アルゴリズムを開発した。さらに、大電力化を行い、360 度の水平回転に要する時間が 2 秒程度となるようバイスタティック型アンテナ回転機構の製作を行い、原理検証を行った。その結果、雲の 3 次元像を得るのに要する時間が、30 秒から 1 分程度のレーダを開発することが出来た。

### Abstract

In this study, high temporal and spatial resolution radar for meteorological application has been developed and tested. The initial observation with high spatial resolution mode shows that the several meters resolution was achieved by using the pulse compression technique and the observed radar reflectivity factor was well correspond to that by disdrometer on ground. In addition, the algorithm for the estimation of the doppler velocity, the drop size distribution and the rainfall rate was developed. After the initial evaluation, the 1 kw TWTA and the antenna rotating unit was equipped to the original radar system, enabling to observe the 3-D cloud system within 1 minute.

### はじめに

近年の日本社会の高度化に伴い、集中豪雨などの災害気象に対する警報、正確な情報伝達の必要性は、年々広く認識されるようになってきている。こうした短時間に甚大な被害を及ぼす気象現象は、その生成が、極めて短時間、局所的に為されることから、どの時間にどの場所とといったピンポイントでの観測、ひいては予報や警報が必要となる。

通常の気象レーダでは、時間分解能が数分、空間分解能が数百メートルであるため、雷雨やそれに伴う集中豪雨のような、より分解能の高いスケールでの気象現象の解明は遅れている。例えば、雷雲内の鉛直上昇速度は、時に秒速数十メートルにも達する。こうした時間スケールの早い現象が、雷雲の構造を数十秒毎に変えているため、従来の気象レーダの分解能である数分スケールでは、各スキャン間で、雷雲セルの像が変わってしまうことが多く、これ以上のスケールの現象を問題にすることはできなかった。さらに、雷雲セルの中の挙動、即ちマイクロセルスケールの現象が存在しこれが竜巻の生成に先立つことが米国での観測から指摘されており、集中豪雨や竜巻などの現象、その予兆現象の抽出にはこうしたより高分解能の時間空間スケールの観測システムの製作と観測が必要である。そのため、本研究では、送信信号に広帯域信号を用いることにより、高速高分解能レーダの技術開発を行うことを目的としている。

### レーダ開発と初期観測結果

本研究では、高速高分解能レーダの開発を行うことが、目的である。そのため、研究計画において、まず、送受信機システムの製作と小電力での降雨観測とアルゴリズムの開発を行い、降雨観測に対する有効性を検証した後、製作したレーダシステムの電力化とアンテナ回転機構を付与し、開発を行った。

製作したレーダシステムのブロック図を図 1 に、概観図を図 2 に示す。本レーダは主に、任意信号発生器(AWG)、送受信機、A/D 変換ボード、GPS、送受信用アンテナで構成されている。任意信号発生器では、任意の送信信号を作成することができ、今回の降雨観測では帯域 80MHz のチャープ信号を作成し出力している。送受信機の送信部では、二つの PLO で任意信号発生器からの信号を中心周波数 15.75GHz までアップコンバートし、また受信信号も、同様に 2 段の PLO によってダウンコンバートし、IF 信号を直接記録している。送受信アンテナは、ともに垂直方向に向けて設置しており、送受信用カセグレンアンテナは直径 60cm でビーム幅約 2 度、利得が約 33dB となっている。本レーダのシステムでは、GPS から出力されている高精度 10MHz 基準信号を用いて、A/D 変換ボードと任意信号発生器の内部クロックを同期させており、また、データ取得用の PC、Disdrometer、さらに比較に用いる Micro Rain Radar との 3 台の PC 間での

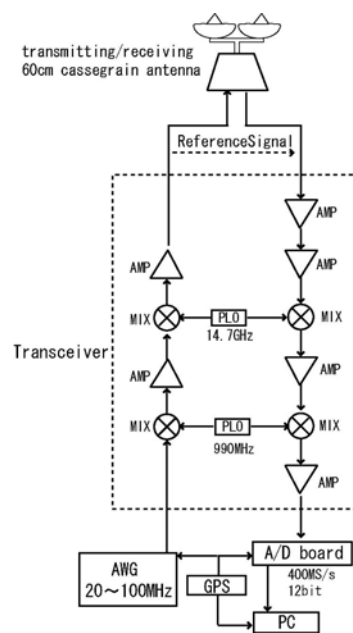


図 1 システム構成



図 2 レーダ概観図

時刻同期も行っている。

降雨を対象として、小電力による鉛直上向き観測を行った結果の一例を図3に示す。時間軸を横軸、縦軸を高度とし、レーダ反射因子を色で示している。ここに示されているように、降雨のプロファイルが高分解能で詳細に得られていることがわかる。また、近接して設置されているマイクロレインレーダによって観測された同時刻の鉛直プロファイルも、極めて類似した傾向を示しており、本システムが、高い分解能と信頼性を有していることがわかっている。なお、本レーダシステムによって観測されたレーダ反射因子は、20dBz以上のみ表示している。また、高度40mの地点におけるレーダ反射因子の時系列変化は、併設しているディストロメータで算出されるレーダ反射因子の時系列変化と極めて類似した傾向を示し、相関係数0.98であった。このことから開発したレーダが高精度で降雨を計測していることがわかる。

さらに、送信に広帯域信号を用いて降雨エコーに伴う受信信号変動を低減し、高速スキミングを可能にする原理を、定量的に検証するため、広帯域信号と単一周波数の両方の送信信号を用いて降雨観測実験を行った。本実験では、送信に80MHzの帯域幅のFMチャープ信号と単一周波数の2種の送信信号について、パルス幅1マイクロ秒、パルス繰り返し周期300マイクロ秒、パルス数64で、送受アンテナを鉛直上向きに固定した観測を行った。サンプリング周波数は400MHz、12ビットで、中間周波数信号をA/D変換した後、2乗し、1マイクロ秒間、平均化処理を行った。

図4に、降雨を対象に行った観測結果の典型的な一例を示す。これは、高度2km付近の降雨によって散乱、受信された信号の64パルス毎の強度変動を示している。単一周波数方式での受信強度は、パルス毎に大きく変動していることが示されており、降雨に伴う散乱波受信信号が大きなRMSエラーを有することがわかる。これに対して、広帯域信号では、各々の雨滴からの散乱波の干渉によるこれらの変動が、単一周波数方式に比べて、小さく抑えられていることが示されている。単一周波数での標準偏差は、受信電力値と同じ程度であり、広帯域信号を用いた場合は、0.1倍程度である。即ち、広帯域信号を送信に用いることによるレーダ受信信号の強度の変動が、改善されたことになる。これは、理論的に予測される $1/\sqrt{BT}$  (B:帯域幅 T:パルス幅)での0.11に比べて同等程度となっており、多数のパルスを照射することによる変動成分の低減効果が、一回の広帯域信号を使用することによっても、等価的に得られていることが示されている。即ち、広帯域方式が、アンテナの高速回転に、原理的に資することがわかる。以上のようにして、高速高分解能レーダが開発された。

## 誌上発表リスト

- [1] T. Ushio, Stan J. Heckman, Hugh J. Christian, and Z. Kawasaki, Vertical Development of Lightning Activity Observed by the LDAR System: Lightning Bubbles, Journal of Applied Meteorology, 42, 165-174, 2003, 1:
- [2] 門田和士、妻鹿友昭、牛尾知雄、岡本謙一、気象用小型高距離分解能レーダの開発と初期観測結果、電子情報通信学会論文誌、査読中:
- [3] 妻鹿友昭、岡本謙一、大野裕一、井口俊夫、低層大気観測用レーダによる下部対流圏の風の観測、J. Atmos. Electr.、印刷中:  
他3編

## 申請特許リスト

- [1] 牛尾知雄、小型気象用レーダ、日本、特願2005-37726

## 報道発表リスト

- [1] “降雨量、高度別に詳しく 観測レーダーで4メートル単位 大阪府立大学”、日経産業新聞 8面、2005年4月15日

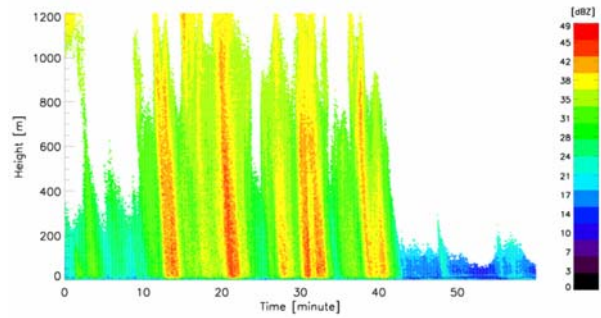


図3 鉛直上向き観測結果の一例

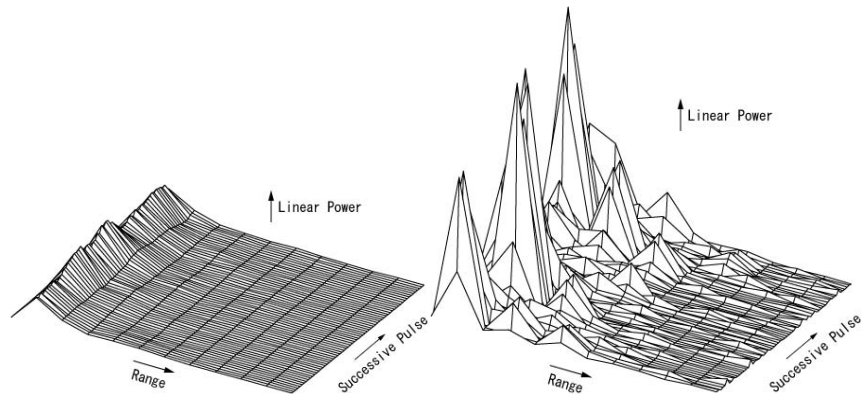


図4 パルス毎のレーダ受信電力の変動。広帯域信号(左)と単一周波数(右)。