

氏名	伊藤芳樹
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	論理博第1317号
学位授与の日付	平成9年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	Development of a Five-Beam Phased Array Doppler Sodar and Its Application to Observations of the Planetary Boundary Layer (5ビームフェーズドアレイドップラーソーダの開発とプラネタリー境界層観測への応用)
論文調査委員	(主査) 教授 光田 寧 教授 村松久史 教授 津田敏隆

### 論 文 内 容 の 要 旨

大気中に音響パルスを発射し空中の密度変動からの反射を受信することによって大気状態を探查する新しい計測器がソーダであるが、これにドップラー解析機能を持たせて風の計測が出来るようにしたものがドップラーソーダである。電波を用いたレーダのような遠距離の探查は困難であるが、地上から数百メートルまでの高さの大気境界層の観測には適しており、近年盛んに用いられるようになりつつある。申請者は、この計測器を日本で最初に開発する段階から参加し、その改良に努めてきた。

申請者の論文は、ソーダ用の新しいフェーズドアレイ型の送受用の音響アンテナの設計とそれを用いたドップラーソーダの試験を行った第1部とそれを5ビーム法で用いた時の風測定における誤差の評価法とその応用例を示した第2部、さらに申請者の開発したこの新しいソーダを実際にプラネタリー境界層の観測へ応用した結果についての第3部よりなっている。

第1部では従来は音響ビームを造るために放物面反射板を用いていたが、これを多数の変換器を同一平面上に配置しその入出力信号に位相差を与えることにより方向性のあるビームを作るフェーズドアレイ方式に変更することにより1台の音響アンテナで複数の方向に向うビームを次々と造ることが可能なことに注目し、その設計を行っている。ソーダの観測には $10^\circ$ 以下の拡がりのビーム作る必要があるので $16 \times 16$ のアレイが最低限必要であること、また横方向への音もれ、すなわち公害源となるサイドローブを減少させるためには外側での変換器の数を減少するティーパーを付すことが有効であることを計算し、それに基づいて5ビームフェーズドアレイドップラーソーダを新たに開発しその試験観測を行っている。

第2部では従来の3ビーム式のソーダでは不可能であった測定時の誤差の評価を5方向のドップラー解析結果から求める方法を開発した。これは真上および斜め4方向の5つのビームにより5つの情報が得られるところから風速の3成分以外に鉛直方向および斜めビーム方向の測定誤差をドップラー計測の結果から算出することが可能であることに着目した結果であり、これにより従来誤差が大きくて測定が困難であった水平風速の2次モーメントを誤差の補正を行うことにより算定可能とした。これらの手法は200mの

気象観測塔との比較観測を行って検証されている。

第3部においてはこのような新しい装置を潮岬の台地に設置してプラネタリー境界層の観測を行った結果を示している。周辺に崖をめぐらした台地の上空に発生する内部境界層の上端には平坦地形上の粗度変化により生じる内部境界層とは異なって小さな風速極大が作成されそれが崖から風下3,000mにおいても見られること、静かな晴天時には積雲の下で境界層の中でも上昇域とそれを取り巻く下降流域が地上100mぐらいまで見られること、また地上100mぐらいの高度から上で熱気泡が作成され上昇気流が生じることなど従来知られていなかった新しい事実を見いだしている。

参考論文は18編あるがそのほとんどは従来のパラボラ放射型、あるいは新しいフェーズドアレイ型のドップラーソーダの設計、試験および応用に関するものである。

### 論文審査の結果の要旨

申請者は5ビームフェーズドアレイドップラーソーダを新たに開発し、その試験を行い、さらにそれを用いて境界層の観測を行った結果を論文にまとめている。

開発初期のソーダはパラボラ反射板を用いて音響ビームを造っていたがこれでは風速の3つの成分を測定するには最低3つの方向にビームを向ける必要があり、そのためには3つ以上の反射板が必要となり装置が非常に大規模になってしまう欠点があった。

これに対して平面上に多くの変換器を並べてこれに位相差を持った信号を供給することにより合成された音響信号がシャープなビームとなるようにすることが出来る。こうすれば1つの音響アンテナで充分である。これは電波に用いられているフェーズドアレイシステムの手法と同じであるが申請者はこれを音響に利用したのである。しかし、フェーズドアレイの欠点は前方に出る主ビーム以外に横の方にサイドロープと呼ばれる音のもれが生じることである。これはソーダの利用において雑音となり公害の原因となってしまう。申請者はこのサイドロープを少なくするためには外側での変換器の数を減じる配列を用いるのが良いことを示した。

また、フェーズドアレイを用いることにより1つの音響アンテナで多数の方向にビームを出すことが出来るので申請者は5つのビームすなわち、真上および天頂から4方向に20°傾いたビームを用いることを考えた。これにより5つの情報が得られるので、3つの風速成分の他に鉛直方向および斜方向測定の誤差成分を計算することが可能で、これを補正することによりソーダの測定値の変動成分を補正し平均値以外にて2次モーメントについても比較的正確に求められる事を示した。さらにこれを利用した新しいソーダと気象研究所200mの観測塔に設定された超音波風速計との比較観測を行い信頼出来る結果の得られることを確認した。従来のソーダ解析の手法で測られた水平風速成分の標準偏差は塔での超音波風速計による観測値0.55m/sに比して1.07m/sと大きいのが、これを5ビーム法で得られる計測誤差0.46m/sで補正すると結果は改善される。このように申請者による世界に先駆けたこの新型ソーダ開発における貢献は大きい。

申請者はこの新型ソーダを用いて潮岬の台地においてプラネタリー境界層の観測を行い、崖を巡らせた台地の上では強風時にその頂部に小さな風速極大を持つ内部境界層が崖から下流3,000mぐらいまでも検出することが出来、その高さは距離と共に高くなり、3,000mでは250mぐらいに達している事を見出し

た。このような内部境界層は測定手段が無かったこともあって初めて観測されたものである。さらに、晴天時には上空を通過する積雲の下に中央部が上昇流で周囲に下降流域を持つ積雲の根ともいえる現象が高さ100m ぐらいまで観測された。これは先に米国 NCAR において航空機で観測された積雲直下における現象の下端に相当するもので、周囲下降流は積雲の表面における放射冷却によって生じた冷気が落下してきたものと考えられる。また上空に雲の全く無い時に、100m ぐらいから上で熱気泡と見られる直径1,000~2,300m ほどの上昇気流域が高さと共に発達していくのがみられた。この時の中心での最大上昇気流は高さ300m で約3m/s に達する。このような自由大気に連なる対流現象は100m 未満の境界層では短周期の変動に隠されて全く検知できない。このことは上空での組織的な対流現象は地表付近の乱流から高さ100m ぐらいの高度で再編成されて生じることを示す気象学では新しい知見である。このように申請者の研究は境界層の性状についての研究においてもその貢献するところが大きい。

18編の参考論文はいずれも申請者の長年にわたるソーダに関する研究の結果を示すもので申請者の熱心な研究態度が感じられる。

従って、本申請者論文は博士（理学）の学位論文として十分な価値を有すると認めた。なお、平成9年1月14日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。