

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 情報学 )	氏名	TUMMALAPALLI Venkata Chandrasekhar Sarma
論文題目	Design and Development of Radio Acoustic Sounding System with the Indian MST radar (インドのMSTレーダーを用いたRASS(Radio Acoustic Sounding System)の設計・開発)		

(論文内容の要旨)

本論文は音速と温度の関係から気温プロファイルを測定するレーダー観測法である RASS(Radio Acoustic Sounding System)に関する技術開発を主題としている。大気乱流による屈折率変動からの電波散乱を受信し、そのドップラー周波数偏移から風速を測定する大気レーダー(ウィンドプロファイラーレーダー:WPR)が開発されている。RASSでは、WPR近傍に音波発射装置を設置し、音波パルスを上空に発射して、人工的に屈折率変動を発生させる。WPRで音波面からの散乱電波を検出して音速の高度変化を測定し、気温(仮温度)を推定する。RASSは時間・高度に連続的に気温を測定する斬新な観測法として、京大生存研のMUレーダーをはじめ国内外で活用されてきた。本論文では、RASSをインド大気科学研究所(NARL)が南インドのガダンキ(13.46°N, 79.17°E)で運用する大型WPR(MSTレーダー)および境界層レーダーに適用した。

本論文の第2章では、まずガダンキMSTレーダーのシステム構成と開発の経緯を述べている。MSTレーダーは、NARLが大気科学推進のために1993年に建設完了したVHF帯パルス・コヒーレント・ドップラーレーダーで、対流圏・成層圏および中間圏における風速測定を主目的としている。MSTレーダーは多様な研究分野に活用されているが、申請者が貢献した研究として、電離層擾乱の測定、電波天文応用および流星飛跡からの電波散乱に関する結果を紹介している。

第3章で、RASSの観測原理である音速と仮温度の関係を述べ、さらに、背景風により音波面が変形しつつ上空に伝搬する様子を示すRay-tracing技法を示している。次いで第4章で、MSTレーダーの送信周波数に合致した100Hz前後の音波周波数で稼働する音波発射装置の設計・制作を述べている。また、広い高度範囲で気温を測定するのに必要な音波信号の発生・制御方法を示している。なお、大出力音波による騒音被害を低減させるために、水平方向に放射される音波を抑制する方法を議論している。RASSの試験観測を行ない、高度約14kmまでの気温の観測に成功した。音波面は背景の水平風により変形を受けRASS観測の観測可能高度を制限するが、この問題を克服するためにレーダーアンテナ周辺に4台の音波発射装置を追加した。その結果、RASSエコーを取得できる高度範囲が成層圏下部(高度22.8km)まで拡大した。

第5章では、2007年8月に69時間継続したRASS観測で得られた仮温度データを用いて大気擾乱特性を研究している。特に、積雲対流によって励起された大気重力波の伝搬特性の解明に気温データが有用であることを示している。なお現象の解釈には、地上観測データおよびTRMM衛星データ等を援用している。

第6章では、大気境界層の観測のためにNARLが開発した1,280MHz帯のWPRにRASSを適用すべく、約3kHzの周波数の音波を発射する音波発射装置を製作した。RASSにより大気境界層の仮温度プロファイルを得ており、特に0.25 $\mu$ 秒幅の短い送信パルスを用いることで、気温を約40mの高度分解能で測定することに成功した。

境界層レーダーおよびMSTレーダーのRASS観測、さらに観測タワーによる高度50mまでの気温の直接測定等を組み合わせることで、地表付近から対流圏全域さらに成層圏下部まで広い高度範囲で連続的に気温プロファイルを観測できるシステムを完成させた。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

大気現象を理解するには、風速、気温、水蒸気量の時間・空間変動を精確に測定する必要がある。これらは、それぞれ力学、顕熱、潜熱エネルギーに関係しており、特に大気力学過程を解明するのに必須である。風速測定には乱流散乱を用いた大気レーダー(WPR)が1980年代より開発されており、また、近年GPS電波を活用した手法で水蒸気積分量が観測できるようになってきた。一方、気温の高度プロファイルの観測は気球による直接測定(ラジオゾンデ)が未だに主流である。しかし、1980年代にRASSがWPRに適用され、気温(仮温度)がリモートセンシングできるようになった。

本論文は、インドのNARLが運用している50MHz帯のMSTレーダー、ならびに1,280MHz帯の境界層レーダーという2種類のWPRにRASSを適用し、熱帯域の気温プロファイルの観測を実現し、気温構造と変動特性を研究している。本論文の主な成果は以下の3点である。

- (1) RASSの開発：京大・生存研で開発された50MHz帯レーダー用の音波発射器を基本とし、MSTレーダーに適した音波発射システムを開発した。また、1,280MHz帯レーダーについても音波発射装置を製作し、RASS観測を実現した。これらの音源について、周囲への騒音を低減させるための付加装置を考案した。また、大気中の音波伝搬特性のモデル計算をもとに、RASS観測の高度範囲を広げた。
- (2) MSTレーダー・RASS観測：2010年までの数年にわたり、様々な気象条件のもとでRASS観測を実施した。高度約2kmから下部成層圏までの気温プロファイルを得ることに成功した。特に、最高高度は22.8kmに至っており、従来の世界記録(MUレーダー、21km)を更新した。2007年にアジアモンスーンが活発な時期に約70時間にわたるRASS連続観測を行い、熱帯対流圏における積雲対流にともなう気温擾乱の時間・高度変動特性を研究した。とりわけ、積雲対流によって励起された大気重力波を抽出し、気温変動を含めて波動特性を解明した。なお、熱帯降雨衛星(TRMM)等の衛星データも活用し、大気擾乱の水平測定も考察している。
- (3) 境界層レーダー・RASS観測：NARLが開発したレーダーにRASSを適用し、MSTレーダーでは観測できない高度約2km以下の気温変動を観測した。従来の大気レーダーでは例のない0.25 $\mu$ 秒という短い送信パルスを用いて、高度分解能を約40mに向上させ、大気擾乱の微細過程を解明しうる観測システムを実現した。太陽放射による地表加熱に起因する気温の一日周期変動が高度1km以上まで認められること、および降雨にともなう気温擾乱の特性を明らかにした。

以上、本研究では、南インドのガダンキでNARLが運用している総合的な大気観測所において、複数の大気レーダーにRASSを適用し、地表付近から対流圏の全域さらに対流圏界面を超えて成層圏下部に至る広い高度範囲で気温プロファイルを連続観測するシステムを実現させた。この研究は大気レーダーの新技术開発に大きく寄与している。今後、この研究で開発された観測システムを活用して、アジアモンスーンが非常に活発である南インド地域における大気擾乱の力学過程の研究が進むと期待される。

よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成23年2月24日論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。