

《ハイテクとおめがね事情(8)》

MU レーダー

—世界に誇る高性能大型大気観測レーダー—

京都大学超高層電波研究センターの MU レーダーは、滋賀県甲賀郡信楽町の山林にある地球大気観測用レーダーで、地上 500 km までの大気の運動を観測しています。最新の電子工学技術を使ったレーダーは、1984 年の開所以来地球大気力学の先端観測設備として、世界から注目される観測を続けて来ました。近年、設立 10 周年を機に、データ取得能力を 10 倍以上にグレードアップし、地球大気の謎解きに挑んでいます。地球を周回するスペースデブリの観測や、流星群の観測などにも応用されています。

MU レーダーは、Middle and Upper Atmosphere Radar の略で、中層（地上 10—100 km）と超高層（地上 100 km 以上）の大気を観測するために作られたレーダーです。中層大気という言葉は、耳慣れないかもしれませんが、オゾン層があ

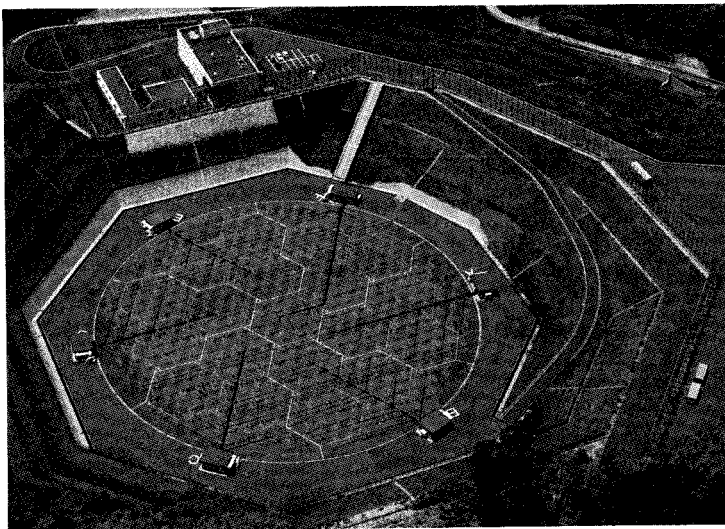


写真1 MU レーダーの外観。直径 100 m の円の中に 476 本の八木アンテナが並んでいる。

って紫外線を吸収し我々地球上の生命を保護してくれているありがたい大気層といえば、もう少し親しみ易いかもかもしれません。中層大気は、気象学でお馴染みの対流圏（約 10 km まで）と、通信分野で研究の進んでいた電離層（100—600 km）との間に挟まれています。本格的な研究が始まったのは 1960 年代で、それまでは「未知の層」とされてきました。これは、中層大気の有効な観測手段が乏しかったことによります。その後レーダーが中層大気の有効な観測手段であるとわかり、1982 年から 5 年計画で行われた中層大気国際協同観測計画 (MAP) の一環として、中層大気と超高層大気（電離層）観測用の MU レーダーが建設され、1984 年 11 月に完成しました。

MU レーダーは、VHF 帯 46.5 メガヘルツ、1 メガワット（ピーク）の送信電波を用いたコヒーレント・パルス・ドップラー・レーダーです。その特徴は、直交 3 素子八木アンテナを用いたアクティブ・フェーズド・アレイ・アンテナとコンピュータ制御による柔軟なシステム構成です。アクティブ・フェーズド・アレイ方式とは、個々の素子アンテナに独立した送受信機を接続して、その送受信波の位相を移相器を用いて電氣的に制御することにより、送受信の電波のビーム方向を可変にする方式です。気象レーダーのようにパラボラアンテナをぐるぐる回転させるのと違って瞬時にビームを走査でき、MU レーダーでは 1 秒間に最大 2,500 回もビームの方向を変えることができます。このビーム走査の高速性により、大気の動きの三次元的な構造を探ることが可能になります。また、アンテナの接続やハードウェアの設定等はすべてコンピュータ制御されているため、種々の観測方法の設定がソフトウェアで短時間に済ませること

ができます。つまり研究者が自分の考えた観測方法を意のままに設定することが可能なわけです。

MUレーダーは、全国共同利用施設であり、全国の大学や国立研究所の研究者が観測研究のために利用しています。毎月決まった時間、対流圏から電離圏までの定期観測を10年間にわたり続けている一方、応用的な観測にも積極的に時間を割り当てています。総観測時間は年間3,000時間以上にわたり、この種の大気観測用大型レーダーとしては群を抜いた稼働率を誇っています。これまでに、理論で予言されていた大気重力波（いわゆる宇宙物理の重力波とは別のもので、地球の重力を復元力とする大気の横波）の中層大気平均風の加速現象という大問題を観測的に検証した他、中緯度の電離層内の種々の不規則構造の発見、台風や前線の微細構造の解明や大気重力波との関連など、中層・超高層大気科学はもとより、気象現象観測やレーダー応用工学においても多くの成果を挙げています。

ところで、このような大気観測レーダーの応用に、スペースデブリの観測や流星の観測があります。スペースデブリとは、地球を周回する軌道上に浮遊している人工衛星やロケットの破片や隕石のかけらなどの総称で、人工衛星や宇宙ステーションなどに被害を及ぼす恐れが心配されています。MUレーダーでは、地上約1,300 kmまでのデ

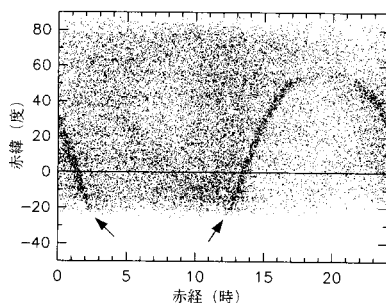


図1 MUレーダーで1991年12月10-15日に観測された29,924個の流星飛跡の天球上の分布。ふたご群の輻射点を中心とする大円上に多くの流星が見られる。これは、電波では流星飛跡が輻射点と直交する方向に見えるためである。

ブリを観測することができ、VHF帯でのデブリ観測点として、貴重な観測を行なっています。また、MUレーダーの受信信号からデブリ大きさだけでなく形状を推定する方法も開発されています¹⁾。

一方、流星物質が地球大気に突入するいわゆる「流星の発光時」に、地上80-100 kmにできる電離大気の飛跡も、VHF帯のレーダー電波を強く反射します。MUレーダーではこの反射電波を追跡することによりこの高度の背景の中性大気風速や温度を測定しています²⁾。また、流星数の変化や大気突入速度なども観測できます。とくに流星群に関連する流星数の変化は、国立天文台の渡部潤一氏らの研究課題で観測されていますが、1991年にはペルセウス座流星群の突発を母彗星「スィフト・タートル彗星」の発見前に捉えました³⁾。また、1998-99年のしし座流星群の大出現に向けて毎年11月の同群活動期には同じ条件で観測を続けています。もっとも、MUレーダーで観測される流星はほとんど散在流星ですので(図1参照)、群流星の見極めにはその出現位置や高度、速度などの情報を使うことが必要です。

以上、MUレーダー観測の概要を紹介いたしましたが、建設10年を機に、MUレーダーではデータ取得能力を10倍以上に高めて、さらに高度な応用観測に耐えるようにグレードアップしました。すでに気象観測や流星、デブリ観測などで新しい観測が始まっています。MUレーダーは今後も最も高度な大気観測レーダーとして地球環境問題を探る観測を続けて行きます。

中村 卓司 (京都大学超高層電波研究センター)

参考文献

- 1) Sato T., Wakayama T., Tanaka T., Ikeda K. and Kimura I., 1994, J. Spacecraft and Rockets, 31, 665
- 2) Tsutsumi, M., Tsuda T., Nakamura T., and Fukao S., 1994, Radio Sci., 29, 599
- 3) Watanabe, J., Nakamura T., Tsutsumi M., and Tsuda T., 1992, PASJ 44, 677