

MU レーダー・赤道大気レーダー全国国際共同利用の現状

山本衛・橋口浩之
(京都大学生存圏研究所)

1. はじめに

MU レーダーは 1984 年の完成当初から、また赤道大気レーダー(EAR)も 2005 年から全国(国際)共同利用に供し、多くの研究成果を生み出してきた。当初は異なる共同利用委員会を組織し、課題の審査やレーダー運用等の議論を行ってきたが、2012 年 6 月に両委員会を統合して MU レーダー/赤道大気レーダー全国国際共同利用専門委員会を組織し、2012 年 12 月公募分から共同利用を統一した。本報告では、共同利用の現状について報告する。

2. MU レーダー

MU レーダーは滋賀県甲賀市信楽町に位置する中層・超高層及び下層大気観測用 VHF 帯大型レーダーであり、高度 1~25 km の対流圏・下部成層圏、高度 60~90 km の中間圏及び高度 100~500 km の電離圏領域の観測が可能である。MU レーダーの最大の特徴は、アンテナ素子毎に取り付けた小型半導体送受信機(合計 475 個)を個別制御することにより、1 秒間に 2500 回という高速でレーダービーム方向を変えることが可能であり、また、25 個のサブアレイアンテナに分割して使用することも可能である点である。こうした柔軟なシステム設計のため、大型大気レーダーとしての感度は世界 4-5 番目ではあるものの、開発後 30 年を経た今も世界で最も高機能な大型大気レーダーの一つとして活躍を続けている。2003 年度には「MU レーダー観測強化システム」が導入され、レーダーイメージング観測などの機能向上が図られた。2016 年度末には全学経費(設備整備経費)により「MU レーダー高感度観測システム」が導入された。送受信制御ユニット、アンテナ素子、およびアンテナ同軸ケーブルの一部が更新され、受信感度が向上(回復)した。

信楽 MU 観測所は、MU レーダーと協同観測するさまざまな大気観測機器の開発フィールドとしても活用されており、例えば、MU レーダーが観測できない高度 2km 以下の風速を測定するために開発された下部対流圏レーダー(LTR)やレンズアンテナウィンドプロファイラ(LQ-7)は、気象庁の全国 33 カ所の現業用ウィンドプロファイラとして採用されている。MU レーダーの標準的な観測モードのデータはホームページ上で逐次公開されている。(MU レーダーホームページ <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/mu/>)。

MU レーダーは「世界初のアクティブ・フェーズド・アレイ方式の大気レーダー」として、2014 年 11 月に IEEE マイルストーンに認定された。これは、電気・電子・情報・通信分野の世界最大の学会である IEEE が、IEEE の分野における歴史的偉業に対して認定する賞で、認定されるためには 25 年以上に渡って世の中で高く評価を受けてきたという実績が必要である。また、電子情報通信学会が創立 100 周年を記念して新たに創設した、電子情報通信学会マイルストーンにも選定された。これは、社会や生活、産業、科学技術の発展に大きな影響を与えた研究開発の偉業を選定し、電子情報通信の研究開発の歴史と意義を振り返ると共に、次の 100 年に向けて更なる革新を起こす次代の研究者や技術者にその創出過程を伝えることを目的としている。

3. 赤道大気レーダー

赤道大気レーダー(Equatorial Atmosphere Radar; EAR)は、周波数 47MHz、3 素子八木アンテナ 560 本から構成される直径約 110 m の略円形アンテナアレイを備えた、インドネシア共和国のスマトラ島中西部に位置する西スマトラ州コトタバんに 2000 年度末に完成した大型の大気観測用レーダーである。本装置は、小型の送受信モジュールが全ての八木アンテナの

直下に備えられたアクティブ・フェーズド・アレイ構成をとっており、総送信出力が 100 kW、アンテナビーム方向を天頂角 30 度以内の範囲で自由に設定し、送信パルス毎に変えることができ、赤道域に設置されている大気レーダーの中で世界最高性能を誇っている。EAR はインドネシア航空宇宙庁(LAPAN)との密接な連携のもとで運営されており、2001 年 7 月から現在まで長期連続観測を続けてきた。EAR 観測データの 10 分平均値はホームページ上で逐次公開されている。(EAR ホームページ <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ear/>)。

EAR は MU レーダーに比べて送信出力が 1/10 であり、中間圏や電離圏の IS 観測を行うには感度が不足している。また、受信チャンネルは 1 個のみであるため、空間領域のイメージング観測ができないなど、機能面でも MU レーダーに劣っている。下層大気が発生した大気波動が上方へ伝搬し、上層大気の運動を変化させる様子など、大気の構造・運動の解明をより一層進めるため、MU レーダーと同等の感度・機能を有する「赤道MUレーダー(EMU)」の新設を概算要求している。この EMU を主要設備の一つとする大型研究計画「太陽地球系結合過程の研究基盤構築」(代表：津田敏隆)は日本学術会議のマスタープラン 2014・2017 の重点大型研究計画の一つとして採択された。本研究計画は、さらに文部科学省のロードマップ 2014 にも選定されたが、これまでに予算化には至らなかった。今回見直されたロードマップ 2017 には残念ながら選定されなかった。

4. 共同利用の概要と現在までの推移

MU レーダーは、アジア域最大規模の大気観測用大型レーダーであり、高度 2 km の対流圏から、高度 400 km の超高層大気(熱圏・電離圏)にいたる大気の運動、大気循環を観測する。1984 年の完成以来、全国共同利用に供され、超高層物理学、気象学、天文学、電気、電子工学、宇宙物理学など広範な分野にわたる多くの成果を上げている。図 1 にこれまでの共同利用課題数の推移を赤道大気レーダー共同利用の課題数とともに示す。また、図 2 に MU レーダーの観測時間の推移を示す。2017 年 2~4 月には MU レーダー高感度観測システムの整備のため、共同利用観測を休止した。2016 年度には、キャンペーン(長期間)観測課題として、前期に Kantha 氏代表の「Shigaraki UAV Radar Experiment (ShUREX 2016)」を、後期に佐藤薫氏代表の「国際大型大気レーダーネットワーク同時観測」を実施した。観測データのうち標準観測については観測後直ちに、その他の観測については 1 年を経過したデータを「生存圏データベース共同利用」の一環として共同利用に供している。

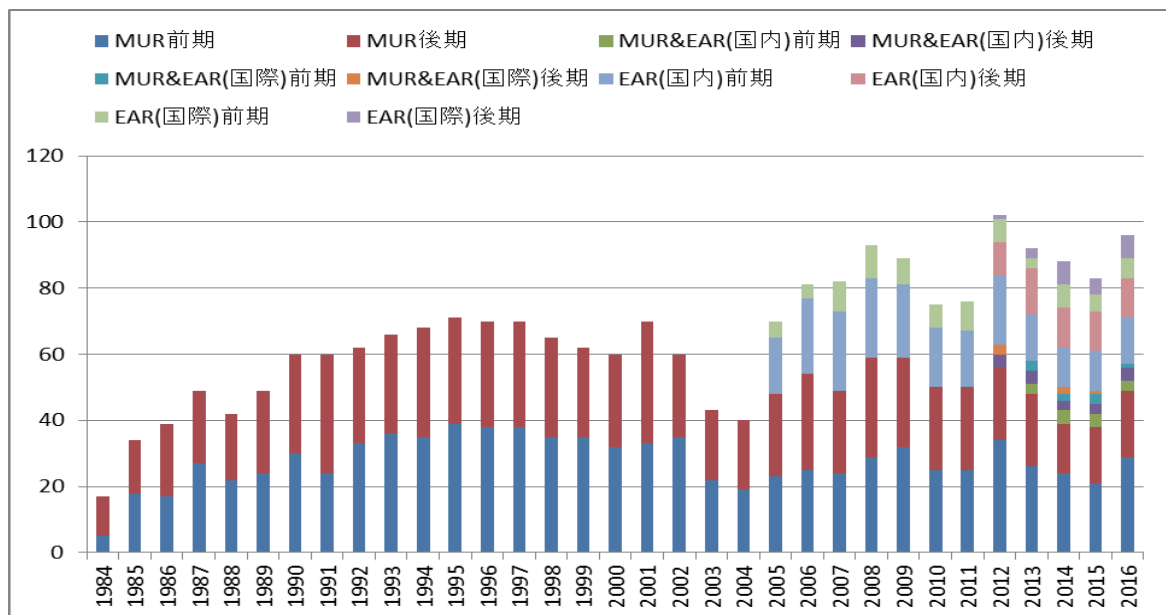


図 1. MU レーダー・赤道大気レーダー全国国際共同利用の課題件数の年次推移

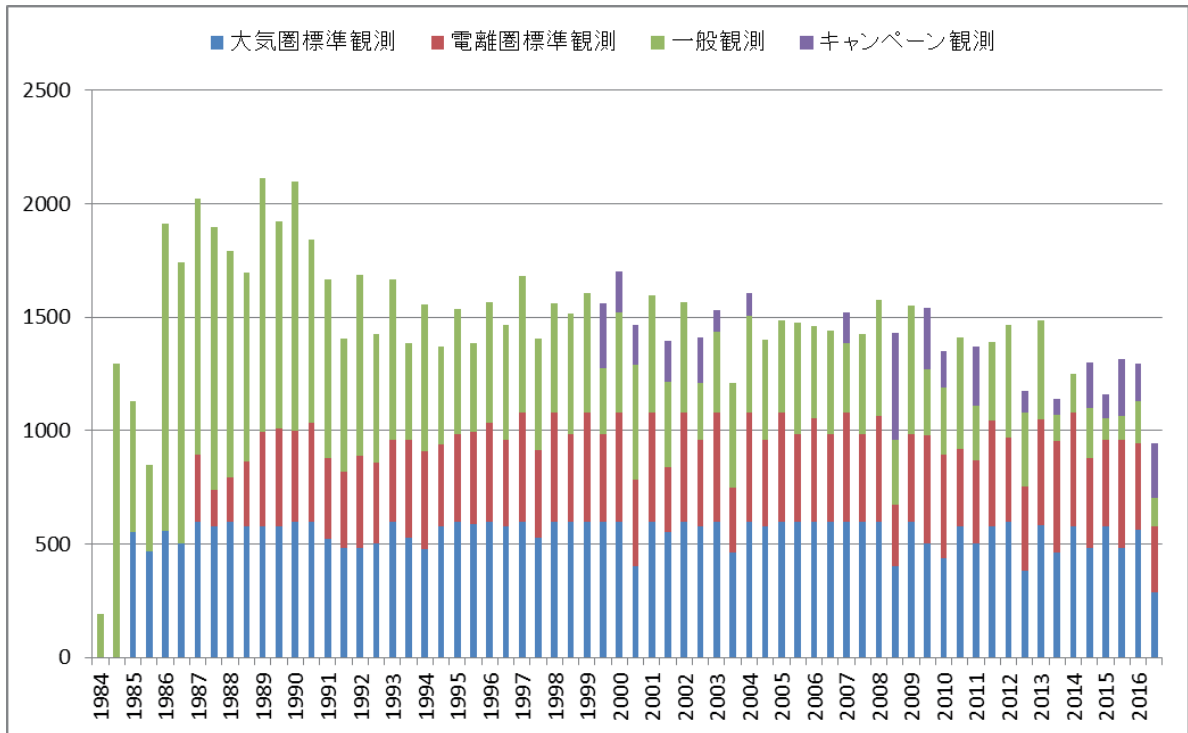


図 2. MU レーダー全国国際共同利用の観測時間の半年毎の推移。

一方、EAR は、本研究所の重要な海外拠点として、国内外の研究者との共同研究によって生存圏の科学を推進するという大きな役割を担っている。同時にインドネシアおよび周辺諸国における研究啓発の拠点として、教育・セミナーのための利用も想定される。EAR は 2005 年度から全国国際共同利用を開始した。EAR の共同利用については、開始当初の議論から以下のような性格付けが行われてきた。(1) EAR の共同利用は、施設が外国に位置することから必然的に「全国」「国際」型が重なった形態をとること、(2) 「国際」対応について、当初 2 年間は、利用者を原則として日本及びインドネシアからに限定して開始し、平成 19 年度から本格的な全国国際共同利用施設として運営すること、(3) 共同利用は学術目的とし、海外からの利用者の資格は個別に判断すること等である。また、EAR 共同利用には、EAR を直接利用するものの他、EAR サイトへの機器の持込み観測、すなわち観測場所としての利用も含まれる。実際の観測実施については、EAR の特性を考慮し、課題をいくつかのグループに分けてスケジュールする方式を取っている。また予算の許す範囲において、EAR までの旅費(日本人研究者については日本から、インドネシア人研究者についてはインドネシア国内旅費)を支給している。

MU レーダー及び赤道大気レーダーによって得られたデータは、IUGONET プロジェクト「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究」(<http://www.iugonet.org/>)によって、メタデータ・データベースが整備され、また解析ソフトウェア UDAS により簡単に図をプロットできる環境も構築されている。MU レーダー・赤道大気レーダーのデータベースの重要性が認められ、生存圏研究所は 2016 年 3 月に ICSU(国会科学会議)の WDS(世界科学データシステム)の Regular Member に認定された。MU レーダー及び赤道大気レーダーの全国国際共同利用はこれまで順調に推移してきており、今後は MU レーダー・赤道大気レーダーを含む国際レーダーネットワークによる研究が一層進むものと期待される。

5. MST レーダーワークショップの開催

第 15 回 MST レーダーワークショップ(正式名称: 15th International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar)が、5 月 26～31 日に東京都立川市の国立極地研究所にお

いて開催された。本ワークショップは大気レーダーに関する最新の科学技術について、研究成果の発表ならびに情報・意見交換することを目的として、第1回が1983年に米国で開催され、その後2~3年毎に各国で開催されてきた。第4回を1988年に京都大学超高層電波研究センター(現 生存圏研究所)主催で京都で開催されて以来、今回は29年ぶりの日本での開催である。

本ワークショップは、世界10数カ所に存在するMST/ISレーダーに関係する研究者が一堂に会する唯一の国際会議であり、科学的成果だけでなく、ハードウェア・信号処理など工学技術までをもカバーすることが特色の一つである。前回より、ワークショップで扱う範囲がISレーダーによる電離圏研究にも拡大されており、今回は18th EISCAT Symposium(主催: 国立極地研究所)と併催し、両ワークショップ/シンポジウムで計15のセッション(内、6つの合同セッション)を設け、146件の口頭発表(内、招待講演31件)及び87件のポスター発表が行われた。参加者は19カ国から計182名(国外120名、国内62名)であり、参加機関は計84(国外66、国内18)であった。両ワークショップ/シンポジウムにおける、過去最多の参加者を記録した。

オプションツアーとして、ワークショップ翌日(6月1日)に信楽MU観測所MUレーダーの見学ツアーを開催し、29名(すべて外国人)の参加を得た。また、6月2日にも会議に参加していたCraig Heinselman EISCAT(欧州非干渉散乱レーダー)科学協会長らが信楽MU観測所を来訪した。