

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

委員長 山本 衛（京都大学・生存圏研究所）

1. 共同利用施設および活動の概要

1.1 概要

信楽 MU 観測所は、滋賀県甲賀市信楽町神山の国有林に囲まれた山中に 1982 年に開設された。観測機器の中核を担う MU レーダー（中層・超高層大気観測用大型レーダー；Middle and Upper atmosphere radar）（図 1）は、アジア域最大級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。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、開発後 30 年を経た今も世界で最も高性能な大型大気レーダーの一つとして活躍を続けている。なお、MU レーダーシステムには、レーダー、計算機工学の進歩に合わせ最新のレーダー観測技術を導入しシステム拡充が行なわれている。1992 年に「実時間データ処理システム」、1996 年に「高速並列レーダー制御システム」、2004 年に「MU レーダー観測強化システム」が導入された。特に、MU レーダー観測強化システムでは、空間領域及び周波数領域の柔軟なレーダーイメージング観測が可能となった。



図 1：信楽 MU 観測所全景（左）と MU レーダーアンテナアレイ（右上）、MU レーダー観測強化システムで導入された超多チャンネルデジタル受信機（右下）。

一方、赤道大気観測所はインドネシア共和国西スマトラ州の赤道直下に位置しており、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。観測機器の中核を担う赤道大気レーダー (Equatorial Atmosphere Radar; EAR) (図 2) は平成 12 年度末に完成した大型大気観測用レーダーであり、MU レーダーと比べて最大送信出力が 1/10 であるものの、高速でビームを走査することが可能である。運営はインドネシア航空宇宙庁 (LAPAN) との協力関係のもとに進められている。平成 13~18 年度には、EAR を中心として赤道大気の地表面から宇宙空間に接する領域までの解明を目指した科研費・特定領域研究「赤道大気上下結合」を実施し、事後評価において最高位の評価結果：A+ (期待以上の研究の進展があった) を得た。現在では図 2 のように観測装置が充実した総合的な観測所に成長している。平成 17 年度から全国国際共同利用を開始した。平成 22~24 年度に科学技術戦略推進費 (旧 科学技術振興調整費) 「インドネシア宇宙天気研究の推進と体制構築」課題が実施されたことに伴い電離圏イレギュラリティ観測を定期的に行うようになり、現在は対流圏・下部成層圏・電離圏の切替観測を標準的に実施している。

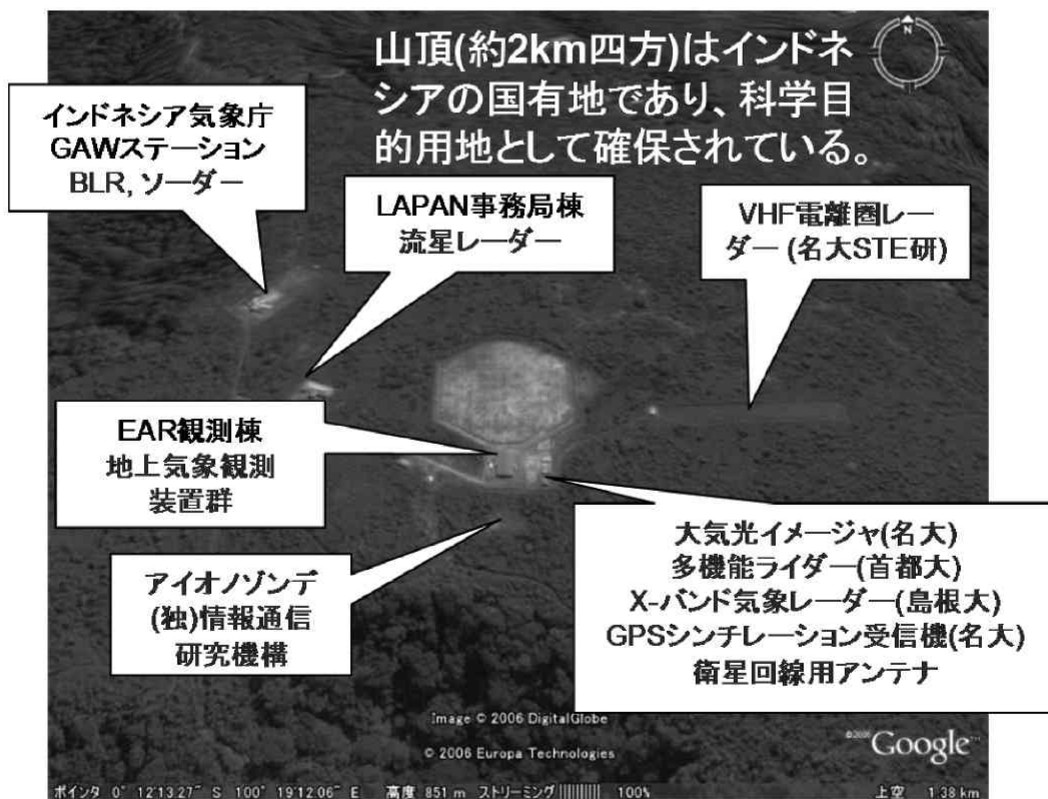


図 2 : 赤道大気レーダー (中央) を含む観測所全景と観測装置群

従来異なる共同利用専門委員会を組織し、課題の審査やレーダー運用等の議論を行ってきたが、MU レーダー・EAR をはじめ、南極昭和基地 PANSY レーダー、北極域アンドーヤ MAARSY レーダー、インドガダンキ MST レーダーなど、国際的レーダーネットワークの連携した研究をより積極的に推進し、また委員会の効率的な運営を図るため、2012年6月に両委員会を統合し、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発足した。

1.2 共同利用に供する設備

MU レーダー、赤道大気レーダー、アイオノゾンデ、地上気象観測器(気圧・気温・湿度・風速・降水強度・降雨粒径分布)、レイリー・ラマン・ミーライダー、流星レーダー、境界層レーダー、マイクロレインレーダー、シーロメータ

1.3 共同利用の公募

共同利用の公募は年2回としており、ホームページ(<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/mu+ear/>)に掲載すると共に、各種メーリングリストでも案内している。専門委員会において、応募課題の審査やMU レーダー・EAR の運営状況について議論し、観測時間の割当て等を行う。国際的な共同研究プログラムからの観測依頼など、緊急を要する場合は、必要に応じて電子メールベースで委員に回議し、専門委員長が採否を決定する。

1.4 運営と予算状況

特殊観測装置であるMU レーダーの運用は、製造メーカーへの業務委託により行われており、観測所の維持を含めた運営費は附属施設経費・装置維持費・特別教育研究経費の一部が充てられている。運営費は決して充分でないため、共同利用者の希望よりも運用時間を削らざるを得ないのが実情である。EAR の運営はインドネシア航空宇宙庁(LAPAN)とのMOUに基づき共同で行なっており、例えば現地オペータにはLAPAN職員が就いている。その他の運営費は日本側の負担であり、装置維持費と特別教育研究経費の一部が充てられている。EAR の運営費も決して充分ではないため、時々の競争的資金を活用している。

2. 共同利用研究の成果

2.1 代表的な研究成果

2.1.1 MU レーダーによるイメージング(映像)観測

2004年に「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により、分解能が飛躍的に向上した観測が可能となっている。レンジイメージングとレイリーライダーやラジオゾンデを併用した観測キャンペーンにより、乱流の動

態が明らかになりつつある(Luce・Kantha・橋口・矢吹他)。電離圏イレギュラリティのイメージング観測も実施されている(Chen 他)。MU レーダーで開発されたイメージング観測技術を赤道大気レーダーや小型のウィンドプロファイラーに応用する試みも行われている(山本(真)・中城・橋口他)。

2.1.2 MU レーダーによる中間圏・電離圏観測

より高精度・高分解能なデータが得られるように流星観測手法の改良が続けられている(堤他)。ふたご座、しぶんぎ座、アンドロメダ座、きりん座などの流星群の集中観測が実施され、ヘッドエコー観測による軌道決定など、その実態解明が進められている(阿部・Kero・中村他)。国際宇宙ステーションからの超高層大気撮像観測(ISS-IMAP)とMU レーダーによるFAIやIS同時観測も実施されている(齊藤(昭)・山本(衛)他)。

2.1.3 熱帯性降雨に関する研究

赤道域では、強い日射と豊富な水蒸気量に伴い降水活動が活発なため、降雨に関する研究が数多く行なわれている。EAR・X帯気象レーダー・地上降雨の長期データ解析による対流システムの階層構造の研究(柴垣他)、EAR・境界層レーダー・ディストロメータによる降雨粒径分布の研究(Marzuki・橋口・下舞・Findy 他)、EAR・ライダーによる層状性降水特性の研究(山本(真)・阿保他)、X帯気象レーダーを用いた衛星回線降雨減衰統計に関する研究(前川他)などが行われている。

2.1.4 ライダーによる対流圏・成層圏・中間圏の観測

高機能ライダーが設置されており、対流圏から成層圏にかけてのエアロゾル層、目に見えない薄い巻雲が長期間連続に観測され、EAR との比較研究が行われている(阿保・山本(真)他)。レイリーライダーによる成層圏～中間圏領域及びラマンライダーによる対流圏上部～成層圏領域の気温分布や、中間圏上部に存在する金属原子層の観測が行われ、赤道域における非常に貴重なデータを提供している。対流圏界面領域のオゾン分布の高分解能観測も開始された(長澤・阿保・柴田他)。

2.1.5 電離圏イレギュラリティの研究

磁気赤道を中心として低緯度電離圏にはプラズマバブルと呼ばれる強い電離圏イレギュラリティ(FAI)が発生し、衛星・地上間の通信に大きな悪影響を与える。EAR・大気光イメージャ・ファブリペロー干渉計・GPS受信機・VHFレーダー・イオノゾンデを駆使した研究が展開中である(山本(衛)・大塚・塩川・津川・Sridharan・Patra 他)。例えば、昼間の高度130～170km付近に出現するFAIエコーの特性などが研究されている(大塚・塩川他)。また、衛星航法のためのプラズマバブル監視手法の研究も行われている(齊藤(享)他)。

2.2 学術雑誌に公表された論文

- Suzuki, S., K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Kawamura, and Y. Murayama, Evidence of gravity wave ducting in the mesopause region from airglow network observations, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 601-605, doi:10.1029/2012GL054605, 2013.
- Suzuki, S., S. L. Vadas, K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Kawamura, and Y. Murayama, Typhoon-induced concentric airglow structures in the mesopause region, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 5983-5987, doi: 10.1002/2013GL058087, 2013.
- Li, G., B. Ning, M. A. Abdu, Y. Otsuka, T. Yokoyama, M. Yamamoto, and L. Liu, Longitudinal characteristics of spread F backscatter plumes observed with the EAR and Sanya VHF radar in Southeast Asia, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 118, doi:10.1002/jgra.50581, 2013.
- Suwarman, R., K. Ichiyanagi, M. Tanoue, K. Yoshimura, S. Mori, M. D. Yamanaka, N. Kurita, and F. Syamsudin, The variability of stable isotope and water origin of precipitation over maritime continent. *SOLA*, 9, 72-75, doi:10.2151/sola.2013-017, 2013.
- Wu, P., A.A. Arbain, S. Mori, J.-I. Hamada, M. Hattori, F. Syamsudin, and M. D. Yamanaka, The effects of an active phase of the Madden-Julian oscillation on the extreme precipitation event over western Java Island in January 2013. *SOLA*, 9, 76-79, doi:10.2151/sola.2013-018, 2013.
- Wilson, R., H. Luce, H. Hashiguchi, M. Shiotani, and F. Dalaudier, On the effect of moisture on the detection of tropospheric turbulence from in situ measurements, *Atmos. Meas. Tech.*, 6, 697-702, doi:10.5194/amt-6-697-2013, 2013.
- Marzuki, H. Hashiguchi, M.K. Yamamoto, S. Mori, and M.D. Yamanaka, Regional Variability of Raindrop Size Distribution over Indonesia, *Annales Geophysicae*, 31, 1941-1948, doi:10.5194/angeo-31-1941-2013, 2013.
- Bhatnagar, R., V. Panwar, Y. Shibagaki, H. Hashiguchi, S. Fukao, T. Kozu, M. Takahashi, and S.K. Dhaka, Hourly radiosonde observation of humidity and temperature and high resolution vertical wind using the Equatorial Atmosphere Radar during convection over Koto Tabang, Indonesia in CPEA-II campaign, *Indian Journal of Radia and Space Physics*, 42, 277-291, 2013.
- Goel, A., V. Panwar, H. Hashiguchi, and S.K. Dhaka, Observed change in association of temperature with solar activity in upper troposphere and lower stratosphere after 1977, *Indian Journal of Radia and Space Physics*, 42, 309-319, 2013.
- Rungraengwajjake, S., P. Supnithi, T. Tsugawa, T. Maruyama, and T. Nagatsuma, The variation of equatorial spread-F occurrences observed by ionosondes at Thailand

longitude sector, *Adv. Space Res.*, 52, 1809-1819, doi:10.1016/j.asr.2013.07.041, 2013.

西岡未知, 丸山隆, 大塚雄一, 津川卓也, 石橋弘光, 塩川和夫, 石井守, イオノゾンデおよびファブリ・ペロー干渉計によって観測された子午面熱圏風の比較, 南極資料, 57, 357-368, 2013.

大塚雄一, 水谷徳仁, 塩川和夫, Amit Patra, 横山竜宏, 山本衛, 赤道大気レーダーを用いた高度 150km 沿磁力線不規則構造のドリフト速度に関する研究, 南極資料, 57, 369-378, 2013.

Wilson, R., H. Luce, H. Hashiguchi, N. Nishi, and Y. Yabuki, Energetics of persistent turbulent layers underneath mid-level clouds estimated from concurrent radar and radiosonde data, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 118, 76-89, doi:10.1016/j.jastp.2014.01.005, 2014.

Yamamoto, M. K., T. Fujita, Noor Hafizah Binti Abdul Aziz, T. Gan, H. Hashiguchi, T.-Y. Yu, and M. Yamamoto, Development of a digital receiver for range imaging atmospheric radar, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 118, 35-44, doi:10.1016/j.jastp.2013.08.023, 2014.

2.3 学位論文

大松直貴, GPS を用いた赤道域電離圏擾乱及びその航空航法支援システムへの影響に関する研究, 名古屋大学大学院工学研究科修士論文.

佐々木健治, ウィンドプロファイラレーダーを用いた福井県嶺北地方における局地循環の観測的研究, 福井工業大学修士論文.

Wendi Harjupa, Study on orographic precipitation in West Sumatra based on an X band Doppler radar observation, 島根大学大学院総合理工学研究科修士論文.

北川貴庸, マイクロレンレーダ(MRR)観測により推定された雨滴粒径分布に対する大気鉛直流の影響, 度島根大学大学院総合理工学研究科修士論文.

佐々木達郎, 衛星搭載降雨 SAR(PSAR)におけるビームシフトおよび"にじみ"の評価と補正方法の研究, 島根大学大学院総合理工学研究科修士論文.

稲森佑崇, Ku 帯衛星回線における降雨減衰 3 地点観測から推定した雨域移動と地上風との前線別の関係について, 大阪電気通信大学大学院工学研究科電子通信専攻修士論文.

岩城悠也, 稠密GNSS受信ネットワークによる可降水量の時空間変動に関する研究, 京都大学情報学研究科通信情報システム専攻修士論文.

加藤寛大, ロケット及び地上観測による中規模伝搬性電離圏擾乱の研究, 京都大学情報学研究科通信情報システム専攻修士論文.

- 児玉真哉, MRR 降雨観測により得られたブライトバンドにおける等価レーダ反射因子の高度変化と降水粒子の落下速度の関係, 島根大学総合理工学部卒業論文.
- 藤原亮, 大気レーダー2周波法によって推定した雨滴粒径分布鉛直プロファイルに基づく対流活動不活発時における降雨の特徴, 島根大学総合理工学部卒業論文.
- 佐藤笑, 六ヶ所村で観測されたヤマセの鉛直構造, 弘前大学理工学部地球環境学科学士論文.
- 竹本圭吾, 赤道大気レーダを用いた乾季における赤道域降水雲分布の推定, 大阪電気通信大学情報通信工学部通信工学科卒業論文.
- 田間章宏, 赤道大気レーダを用いた雨季における赤道域降水雲分布の推定, 大阪電気通信大学情報通信工学部通信工学科卒業論文.
- 淡野孝明, Ku 帯衛星回線における降雨減衰特性及び偏西風と地域性の影響の調査, 大阪電気通信大学情報通信工学部通信工学科卒業論文.
- 山本武, Ku 帯衛星回線における前線別の降雨減衰特性と大気の状態との関係, 大阪電気通信大学情報通信工学部通信工学科卒業論文.
- 岡谷良和, 大気レーダー用デジタル受信機の高機能化に関する研究, 京都大学工学部電気電子工科学士論文.
- 増成一樹, MU レーダーを用いたスペースデブリの観測計画に関する研究, 京都大学工学部電気電子工科学士論文.

2.4 受賞

渡邊祐里子, 下舞豊志, 古津年章, 衛星搭載二周波降水レーダによる降雨強度推定精度改善のための雨滴粒径分布モデル化, 電気学会中国支部奨励賞, 第 64 回電気・情報関連学会中国支部連合大会, 岡山大学, 平成 25 年 10 月.

3. 共同利用状況

表 1 及び図 3 に示すとおり、MU レーダーの利用件数は 50～60 件程度、EAR のそれは 20～30 件程度で推移してきた。2012(平成 24)年の統合後は 100 件程度に増加しており、今後も活発な共同利用研究が行われると期待される。また国際共同利用を実施しており、特に EAR 関連課題は約 3 割が国際共同利用課題である。図 4, 5 にそれぞれ MU レーダー、赤道大気レーダーの観測時間の年次推移を示す。平成 19 年度からは毎年度にシンポジウムを開催しており、平成 25 年度には 9 月 12～13 日に MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウムを開催した。なお、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。

表 1 MUR/EAR 共同利用状況

年度 (平成)		17	18	19	20	21	22	23	24	25
採択 課題数 *	MUR	48 (2)	54 (6)	49 (2)	59 (8)	59(10)	50 (5)	50 (8)	102 (27)	93 (31)
	EAR	27 (4)	27 (2)	33 (9)	34(10)	30 (9)	25 (7)	26 (9)		
共同利 用者数 **	MUR	162	102	215	310	261	292 学内 103 学外 189	267 学内 122 学外 145	580 学内 233 学外 347	527 学内 230 学外 297
	EAR	108	165	205	214	190	156 学内 42 学外 114	167 学内 48 学外 119		

* ()内数字は国際共同利用課題数

** 研究代表者および研究協力者の延べ人数

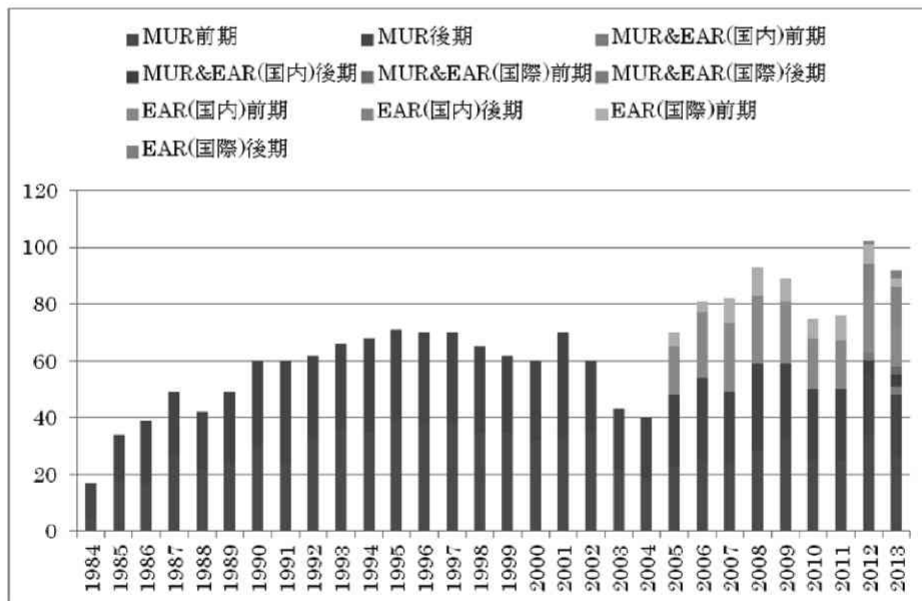


図 3 : MU レーダー及び赤道大気レーダーの共同利用課題数の年次推移

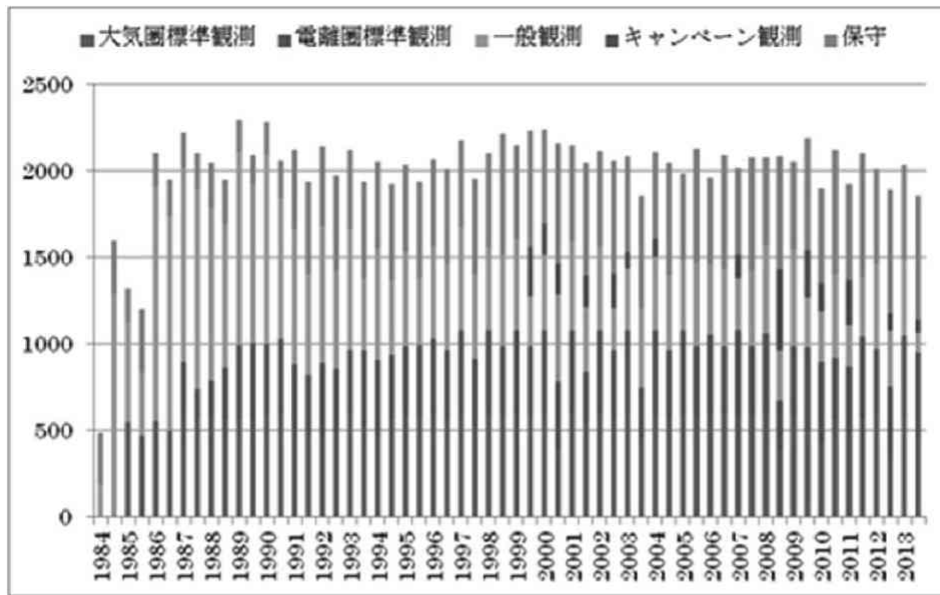


図 4：MU レーダー共同利用の観測時間の年次推移

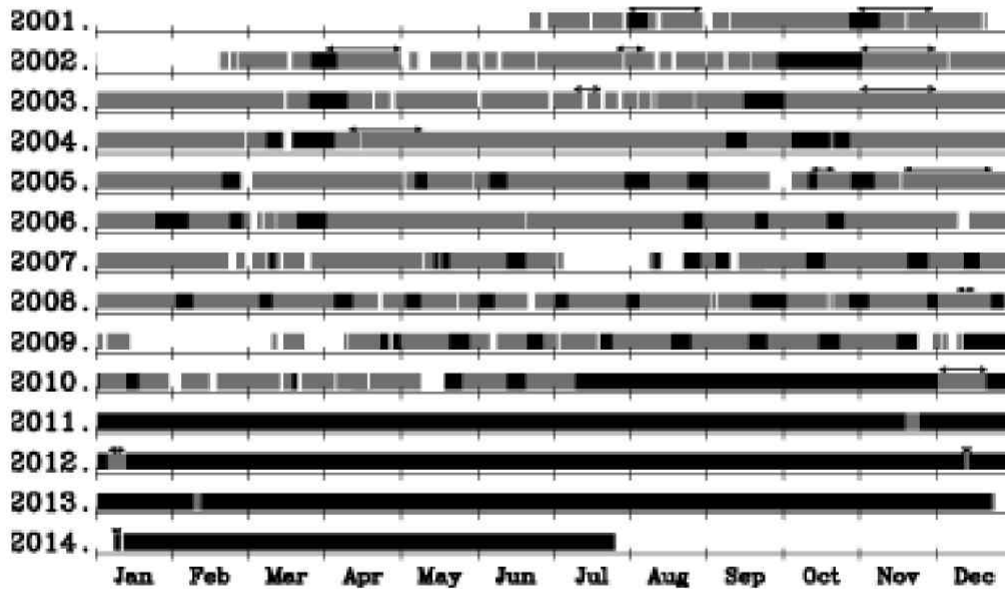


図 5：赤道大気レーダー長期連続観測の実績（濃色部分：電離圏観測を同時実施）

4. 専門委員会の構成および開催状況（平成 25 年度）

4.1 専門委員会の構成

- 山本衛（京都大学・生存圏研究所）
- 橋口浩之（京都大学・生存圏研究所）
- 津田敏隆（京都大学・生存圏研究所）
- 塩谷雅人（京都大学・生存圏研究所）
- 矢野浩之（京都大学・生存圏研究所）

吉村剛（京都大学・生存圏研究所）
高橋けんし（京都大学・生存圏研究所）
古本淳一（京都大学・生存圏研究所）
山本真之（京都大学・生存圏研究所）
家森俊彦（京都大学・理学研究科）
佐藤亨（京都大学・情報学研究科）
塩川和夫（名古屋大学・太陽地球環境研究所）
高橋正明（東京大学・大気海洋研究所）
長澤親生（首都大学東京・システムデザイン研究科）
中村卓司（国立極地研究所）
江尻省（国立極地研究所）
廣岡俊彦（九州大学・理学研究院）
藤吉康志（北海道大学・低温科学研究所）
村山泰啓（情報通信研究機構）
山中大学（海洋研究開発機構）
大塚雄一（名古屋大学・太陽地球環境研究所）
下舞豊志（島根大学・総合理工学研究科）
齋藤享（電子航法研究所）

国際委員（アドバイザー）

A.K. Patra（National Atmospheric Research Laboratory (NARL)）

Robert D. Palmer（University of Oklahoma）

Thomas Djamaludin

（National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN)）

4.2 専門委員会の開催状況

平成 25 年 5 月 1 日、11 月 8 日に 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開催し、申請課題の選考などを行った。

5. 特記事項

日本学術会議の学術の大型施設計画・大規模研究計画に関するマスタープラン「学術大型研究計画」（マスタープラン 2014）の重点大型研究計画 27 件のうちの 1 つに「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」（津田敏隆代表）が選定された。マスタープランの主要設備の一つとして、赤道大気レーダーの性能を大幅に向上させた「赤道 MU レーダー」を赤道大気観測所に設置する計画である。