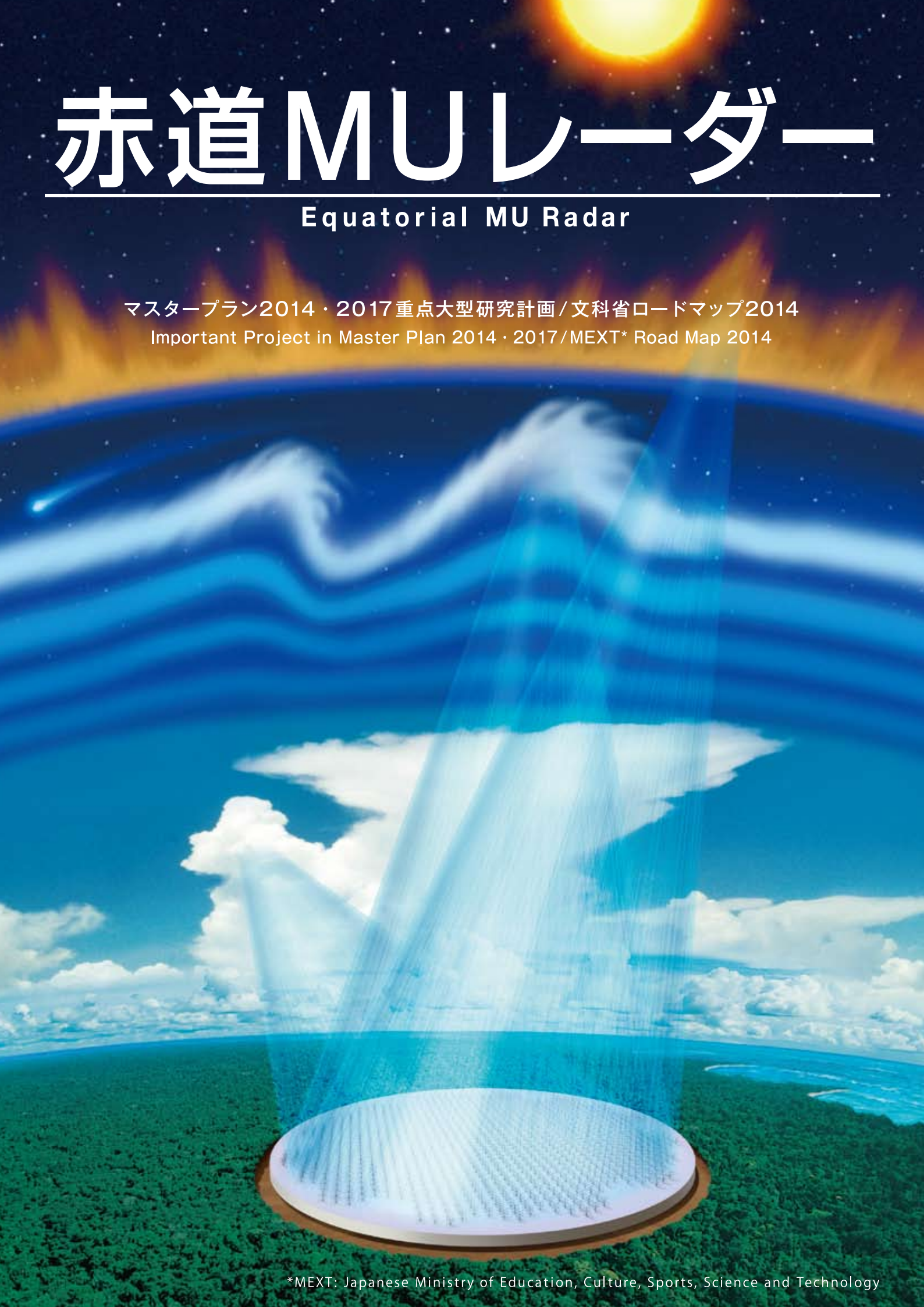


赤道MUレーダー

Equatorial MU Radar

マスタープラン2014・2017重点大型研究計画/文科省ロードマップ2014
Important Project in Master Plan 2014・2017/MEXT* Road Map 2014



*MEXT: Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology

赤道MU (EMU)レーダーが挑戦する新たなサイエンス

New scientific challenges of the Equatorial Middle and Upper Atmosphere (EMU) Radar

- MURレーダーにより確立された高度な観測技術を駆使し、熱帯域における未知の大気現象を解明します。レーダーイメージング技術を用いた高分解能観測は、1万kmの総観スケールから数kmの積雲スケールに及ぶ様々なスケールでの赤道大気の力学過程の本質を解明します。
- EMUレーダーで達成される高感度により、これまで不可能であった中間圏の風速・乱流観測、熱圏・電離圏の電子密度観測等が実現されます。EMUレーダーを用いて、対流圏の積雲対流から高度数100kmに至る、赤道域のエネルギーと物質の流れ(赤道ファウンテン)の変動を観測します。
- 極域に設置されたPANSYレーダー及びEISCAT_3Dレーダー・中緯度に設置されたMURレーダーなどととも、大型大気レーダー観測網を構築します。さらに、広域地上観測網を活用し、太陽地球系結合過程を解明します。
- EMUレーダーは、長年にわたる日本とインドネシアの密接な協力の下で運用されます。世界中の研究者に活用されるのみならず、国内外の人材育成に貢献します。

- The state-of-the-art techniques established by the MU radar are used in the EMU radar to discover and clarify unknown phenomena in the equatorial atmosphere. Radar imaging techniques are used to resolve multi-scale fundamentals of the dynamical processes.
- The high sensitivity of the EMU radar enables measurements of the winds in the mesosphere/thermosphere and ionospheric parameters. Studies on energy and material flow in the equatorial atmosphere (Equatorial Fountain) will be conducted at a wide range of altitudes.
- The EMU radar along with other giant atmospheric radars such as the MU radar, PANSY, and EISCAT_3D radar will constitute a global observation network. This network will enhance studies on coupling processes in the solar-terrestrial system.
- The EMU radar will be operated under close long-term collaboration between Japan and Indonesia. It will be open to the international community and utilized in the education of young scientists from around the world.

赤道ファウンテン

Equatorial Fountain

赤道域の大気の全ての高度層で現れるエネルギーと物質の流れを「赤道ファウンテン」として捉え、その変動を赤道MURレーダーで観測します。

The energy and material flows that occur in all height regions of the equatorial atmosphere are referred to as the "Equatorial Fountain", which will be studied with the EMU radar.

(1) 物質ファウンテン Material fountain

赤道の陸面・海洋から放出される大気物質は、対流圏を循環しつつ積雲や巻雲の生成・発達に寄与します。さらに対流圏界面を通過して成層圏に噴出され、中層大気中を中高緯度に広く輸送されます。Different kinds of materials in the atmosphere are emitted from land- and sea-surfaces in the equatorial region. As they circulate in the troposphere, they help generate cumulus and/or cirrus clouds. These materials flow into the stratosphere through the tropopause like a fountain and widely reach the middle and high latitude regions.

(2) エネルギーファウンテン Energy fountain

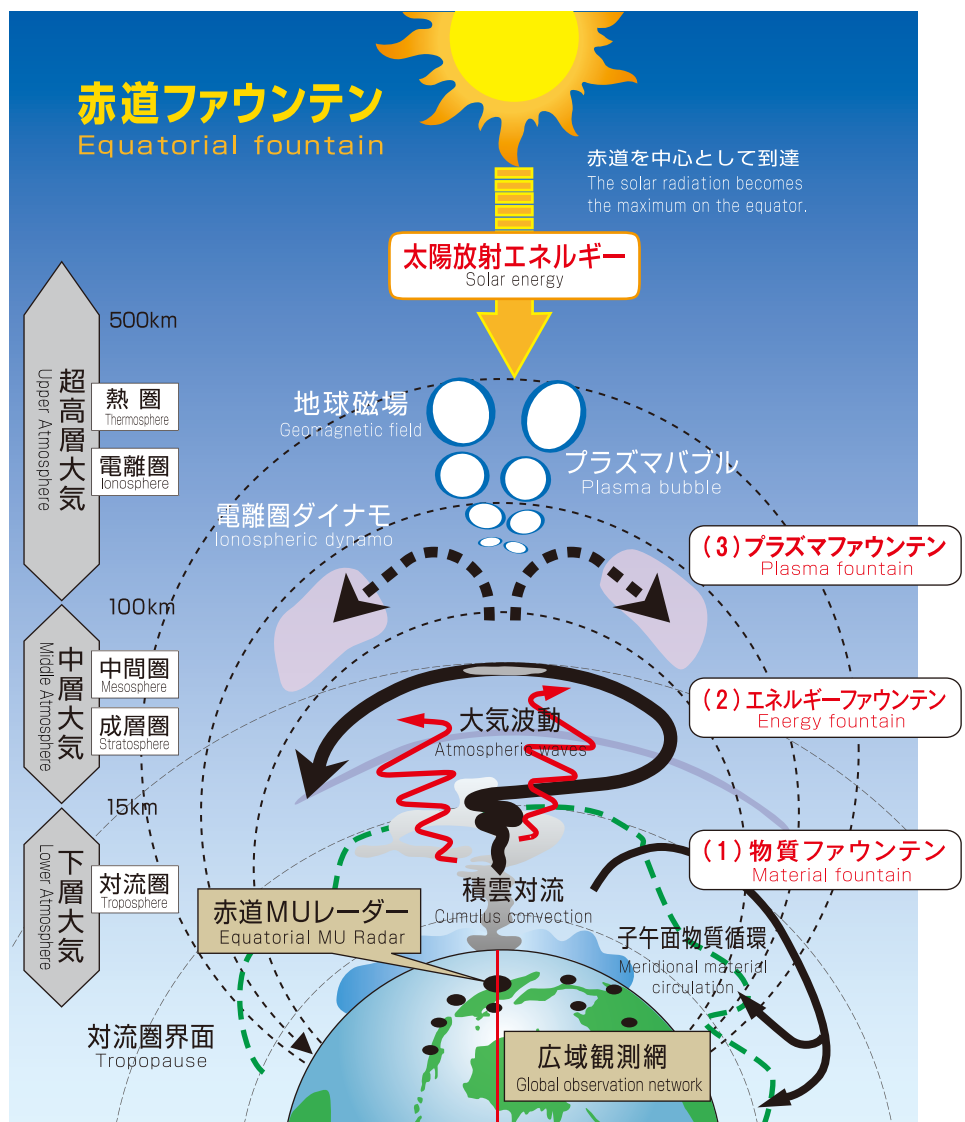
対流圏を源泉とする大気波動はエネルギーと運動量を上方に輸送し、中層大気中の特異な長周期・不規則変動を駆動します。

Atmospheric waves originating in the troposphere transfer their energy and momentum like a fountain up to the middle atmosphere, where peculiar long-term waves and irregularities are induced.

(3) プラズマファウンテン Plasma fountain

電離圏では中性風によるダイナモ電場が地球磁場と相互作用してプラズマを噴き上げます。力学・電磁学的結合によるエネルギー交換とプラズマ密度変動が起こっています。

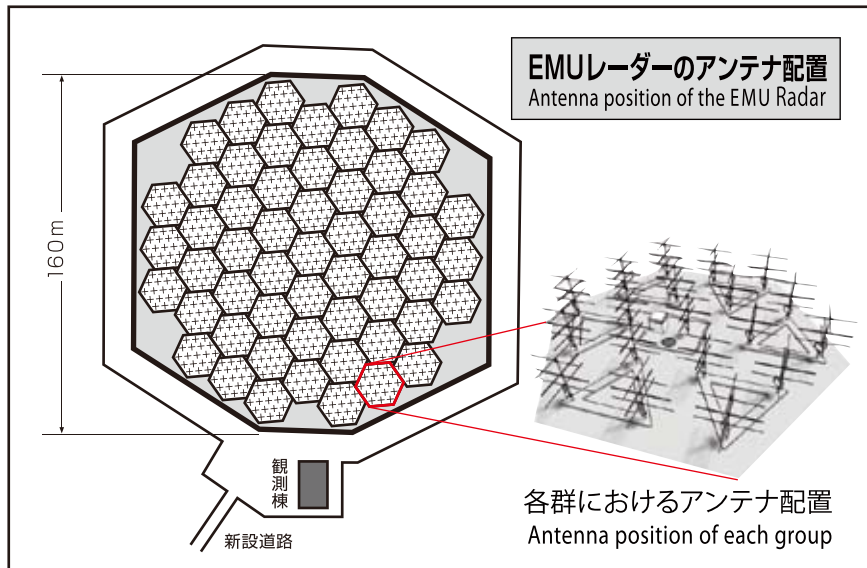
The ionospheric plasma around the geomagnetic equator is blown upward by the dynamo electric field induced by the background neutral winds, and is known as the plasma fountain. Various energy exchanges and plasma-density fluctuations are induced through the coupling between the dynamics and electromagnetics.



EMUレーダーの観測システム

Hardware system of the EMU Radar

EMUレーダーでは、アンテナの大径化（直径約160m）と尖頭送信出力の増大（500kW）により、EARと比較して10倍以上感度が向上します。また、19本×55群のサブアレイを用いたレーダーイメージング観測が可能となります。



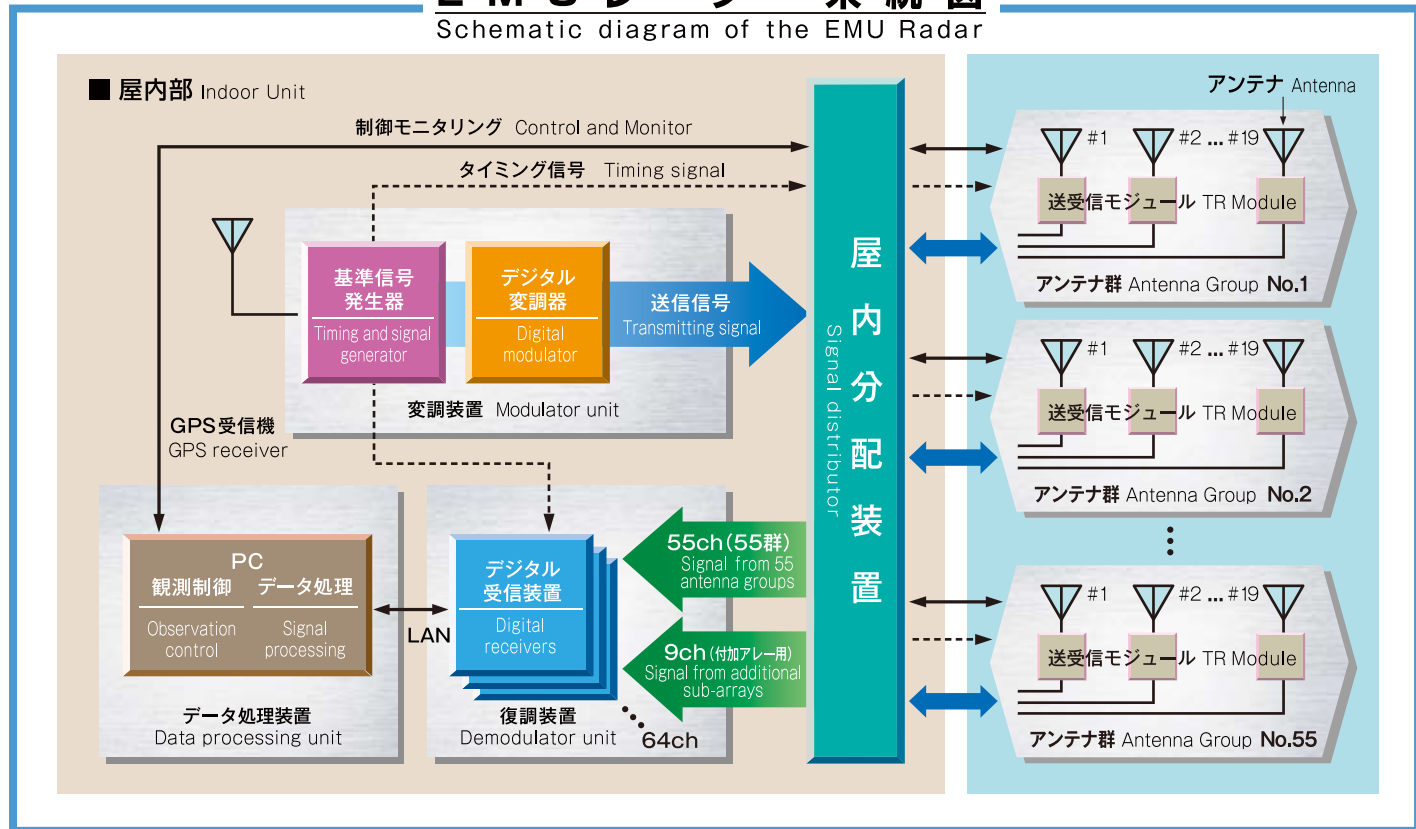
A large-sized antenna array with a 160-m diameter and 500-kW peak output power enable the EMU radar to be ten times more sensitive than the EAR. For radar imaging measurements, the 1045 Yagi elements can be divided into 55 sub-arrays. Each sub-array is composed of 19 Yagi elements.

EMUレーダーの諸元 Specifications of the EMU Radar

◆ 構成	Configuration モノスタティックパルスドップラーレーダー Monostatic pulse Doppler radar
◆ 中心周波数	Center Frequency 47MHz
◆ アンテナ	Antenna
構成	Configuration 略円形アレイ3素子直交八木アンテナ1045本 A quasi-circular array consisting of 1045 crossed Yagi antennas with 3 elements
開口面積	Aperture 約16000㎡ About 16000㎡
走査方向	Beam directions 天頂角30度以内の任意方向 Arbitrary direction within a zenith angle of 30°
◆ 送信機	Transmitter
構成	Configuration 固体送受信モジュール1045台 1045 solid-state TR modules
電力(尖頭値)	Peak power 500kW以上 500kW (minimum)
偏波面	Polarization 円偏波 Circular polarization
◆ 受信機	Receiver
構成	Configuration 同期直交検波55+9系統 55+9 channels of synchronous quadratic detection

EMUレーダーシステム図

Schematic diagram of the EMU Radar



EMUレーダーは屋外のアクティブ・フェーズド・アレイ・アンテナ及び送受信モジュールと、屋内のデータ処理装置及び変復調装置から構成されます。多チャンネルの高速デジタル信号処理により、EMUレーダーの観測性能を極限まで高めています。

The EMU radar is comprised of antennas, TR Modules, a data processing unit, a modulator unit, and a demodulator unit. Multi-channel digital signal processing realizes the full measurement capability of the EMU radar.

研究動向 Research Trends

1984~ MUレーダー MU Radar

MUレーダー(中層超高層大気観測用大型レーダー)は、滋賀県甲賀市信楽町の信楽MU観測所に設置された世界最高性能、アジア域最大級の大気観測レーダーです。1984年の完成から現在まで、気象から超高層に至る地球大気変動の解明に貢献しています。MUレーダーは、周波数46.5 MHz、出力1MWのVHF帯電波を用い、アンテナは直径103mの円内に475本の八木アンテナを並べた構造をしています。高速な送受信ビームの走査と多種多様な観測が可能なシステム設計が特徴です。

The MU (Middle and Upper atmosphere) radar, located at the Shigaraki MU Observatory, Shigaraki, Koka, Japan, is known as the most capable atmospheric radar in the world and is one of the largest radars in Asia. Since its installation in 1984, it has been used to study the variability of the atmosphere from meteorology to upper atmosphere dynamics. The MU radar uses VHF radio waves at 46.5 MHz with a peak output power of 1 MW. The antenna area consists of 475 Yagis arranged in a circular array of 103-m diameter, which enables fast beam steerability and flexibility for diverse observations.



2001~ 赤道大気レーダー Equatorial Atmosphere Radar

赤道大気レーダー(EAR)は、インドネシア共和国西スマタラ州コトタバング直下に位置するコトタバング大気観測所に、2001年に設置された大気観測用レーダーです。周波数は47MHzのVHF帯電波を用い、アンテナは直径約110mの略円形アンテナアレイで構成されています。小型の送受信モジュールが全ての八木アンテナの中心部に設置されており、MSTレーダーと同様のタイプ・フェーズドアレイ構成を取っており、MSTレーダーと同様の送信出力が1/10であるものの、高速ビーム走査により、地表から20kmまでの対流圏及び下部成層圏、高層成層圏イレギュラリティなどを観測できます。

The Equatorial Atmosphere Radar (EAR) is a large-scale MST radar located at the Kototabang Atmosphere Observatory, Kototabang, West Sumatra, Indonesia. It consists of 560 Yagi antennas in a near-circular array of 110-m diameter. The bottom of each Yagi antenna is a transmit-receive module. EAR has almost the same system design as the MU radar, except that its output power is 100 kW and it observes the lower-stratosphere) as well as ionospheric irregularities.



IEEEマイルストーン認定 IEEE Milestone dedication to the MU radar

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IEEEマイルストーンに認定されました。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が歴史的偉業に対して認定する賞です。MUレーダー以降は、世界中の大気レーダーが同様のシステム設計を採用しています(右図)。

IEEE Milestone was dedicated to the MU radar as the world first large-scale MST radar with a two-dimensional active phased array antenna system. This is an honor bestowed to significant historical technical achievements in study areas of electric, electronics, information, and communications. Following the MU radar, recent atmospheric radars employ a similar system design (right figure).

MAARSY



レーダー osphere Radar

共和国西スマトラ州の赤道
00年度末に完成した大型
で、八木アンテナ560本
ナアレイを備えています。
ナの直下に備えられたアク
MUレーダーと比べて最大
査が可能です。高度1.5km
度90km以上に分布する電

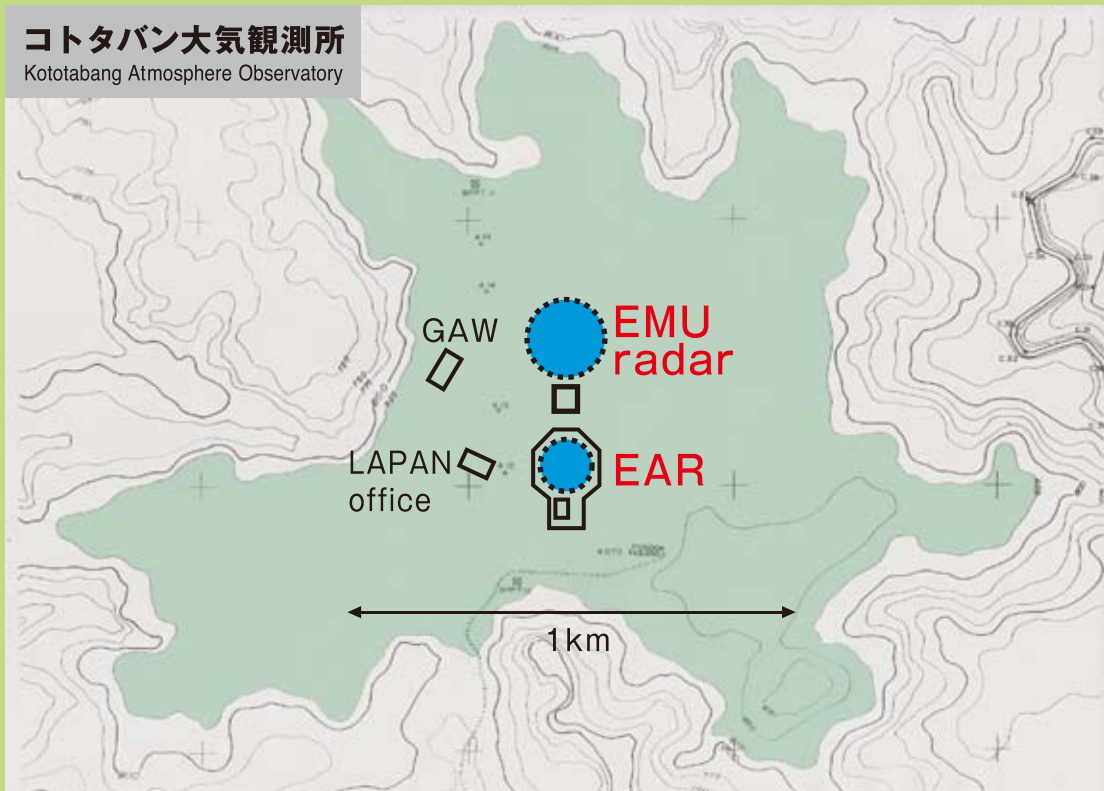
a large atmospheric radar
observatory right over the
operates at 47 MHz and
rcular field with a 110-m
equipped with a compact
same functionality as the
kW. It can observe winds
to 20 km (troposphere and
regularities over 90 km.



2017~ 赤道MUレーダー Equatorial MU Radar

EMUレーダーはEARの北側に設置されます。
The EMU radar will be installed north of the EAR.

コトタバン大気観測所
Kototabang Atmosphere Observatory



プ・フェーズドアレイレーダー Array Radars in the world



EMUレーダー計画は、これまでの経験と知識を基礎として立案され、大型研究「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の下で進められています。現地の地形調査を実施済みであり、これによって設置方法を含む詳細なシステム設計が完了しました。また、工事開始前に必要となる環境影響評価も実施済みです。

The EMU radar plan is based upon achievements and knowledge to date, and as well advances in the research project “Study of coupling processes in the solar-terrestrial system”.

We conducted a topographic survey of the location, which completed the detailed system design, including the installation method. Additionally, the environmental assessment necessary for construction is completed.

日本の研究コミュニティによる地上観測網の充実
Expansion of ground-based observation
by Japan's research community

大学間連携 IUGONET (2009~)
Inter-University Network IUGONET

太陽地球系結合過程の研究基盤形成

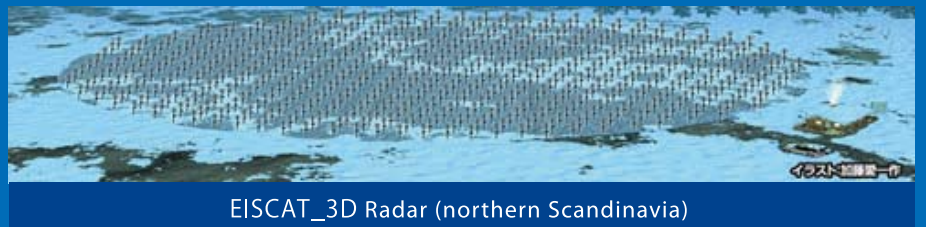
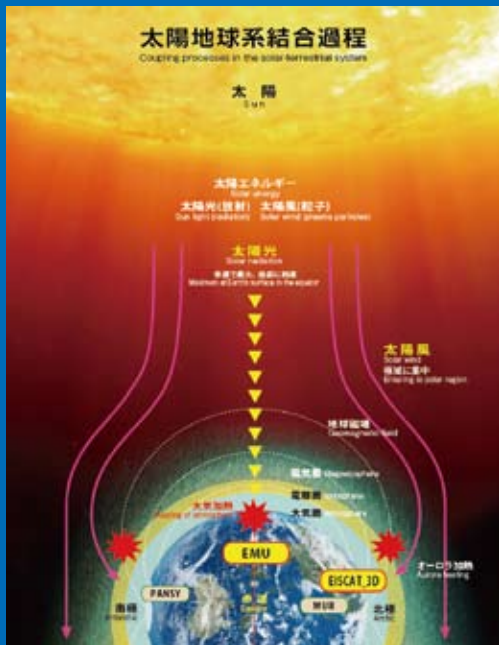
Study of Coupling Processes in the Solar-Terrestrial System

「太陽地球系結合過程」の研究目的は、地球に太陽エネルギーが流入する過程、ならびに、それに対する地球周辺環境の応答を解明することです。太陽から地球に与えられるエネルギーは、太陽光ならびにプラズマ粒子の流れである太陽風に大別されます。太陽光は赤道で最大となりますが、太陽放射により加熱された地表面が熱源となって大気擾乱を起こし、その擾乱が大気波動に姿を変えて伝わることでエネルギーが上方に運ばれます。一方、太陽風に起因する電磁エネルギーは、地球磁場の磁力線を通じて北極と南極に集中します。極域でも擾乱が起こり、太陽エネルギーの一部は、下向きおよび低緯度方向に伝わります。

これら2つの特異点に大型大気レーダーを設置して拠点観測することを目指しています。赤道域のなかでも、大気変動が最も強くなるインドネシアに、「赤道MUレーダー」を設置します。また、北欧に国際協力により「EISCAT_3Dレーダー」を建設します。国内に既設のMUレーダー、インドのMSTレーダー、南極・昭和基地のPANSYレーダー等とともに、国際協同観測を進めます。さらに、小型計測機器により赤道から極域までをつなぐ広域観測ネットワークを構築して、エネルギーと物質のグローバルな流れを解明します。本提案は、日本学術会議のマスタープラン2014及び2017の重点大型研究計画の一つとして採択され、文部科学省のロードマップ2014の11件の新規課題の一つにも選定されています。

"Coupling processes in the solar-terrestrial system" aims to study the solar energy inputs into the Earth and the response of Geospace (magnetosphere, ionosphere, and atmosphere) to these energy inputs. Solar energy can mainly be divided into two parts: solar radiation and solar wind. The former involves infrared, visible, ultraviolet and X-ray, while the latter is the high-speed flow of plasma particles. Solar radiation is maximized at the equator. Atmospheric disturbances are actively generated near the Earth's surface and further excite various types of atmospheric waves, which propagate upward carrying energy and momentum. On the other hand, the energy associated with solar winds converges into the polar regions where the disturbances are generated. Part of the energy is transported toward lower latitudes and lower atmospheric regions.

We propose to establish large atmospheric radars with active phased array antennas at the equator and the arctic region. In the equatorial region, we focus on the Indonesian region where atmospheric disturbances are most intense. We strive to establish a comprehensive observatory in Indonesia with the Equatorial MU (EMU) radar as the main facility. Additionally, we are part of an international collaboration to construct a state-of-the-art radar, called EISCAT_3D radar, in northern Scandinavia. We also develop a global observation network of portable equipment from the equator to both polar regions. With these radars and global network, we will study the flow of the energy and materials in the whole atmosphere. This project has been selected as an important project in both the Master Plan 2014 and 2017 by the Science Council of Japan. It has also been selected as one of top 11 projects in the Road Map 2014 by Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology.



EISCAT_3D Radar (northern Scandinavia)

*MEXT: Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology



京都大学生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humansphere (RISH), Kyoto University

〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011, JAPAN

Phone (+81)774-38-3601 Fax (+81)774-31-8463

E-mail: ear@rish.kyoto-u.ac.jp



インドネシア航空宇宙庁

National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN)

Jl. Pemuda Persil No. 1, Jakarta 13220, INDONESIA

Phone (+62)21-489-4989, Fax (+62)21-489-4815