

Study of Coupling Processes in the Solar-Terrestrial System

太陽地球系結合過程の 研究基盤形成



太陽地球系結合過程

Coupling processes in the solar-terrestrial system

太陽

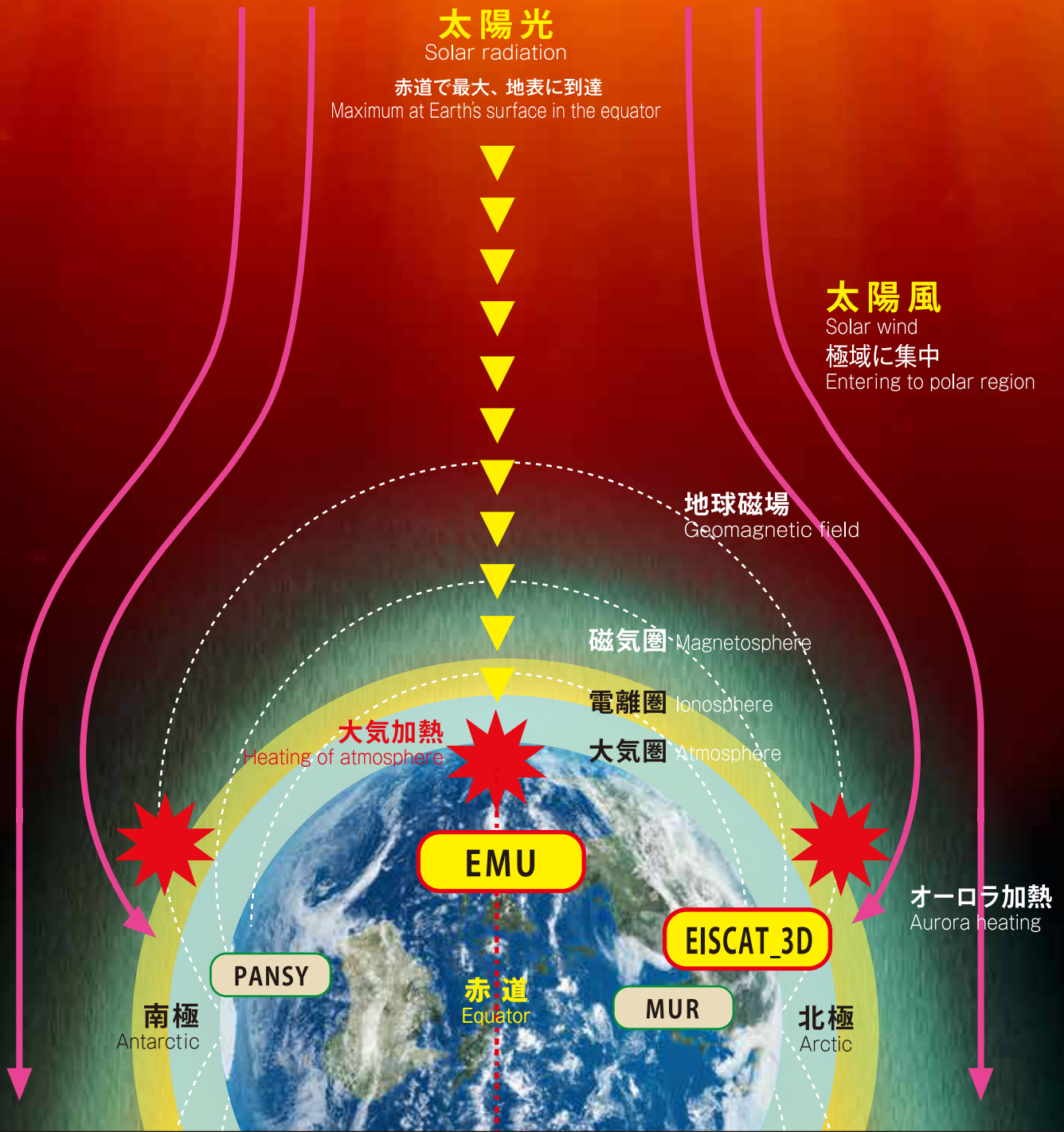
Sun

太陽エネルギー

Solar energy

太陽光(放射) 太陽風(粒子)

Sun light (radiation) Solar wind (plasma particles)



研究計画の概要

「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向に運ばれます。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。

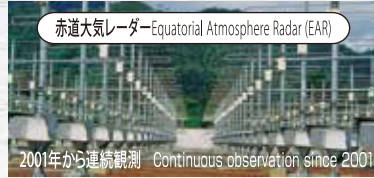
本提案では、これら2つの特異点に大型大気レーダーを設置して拠点観測することを目指しています。赤道域のなかでも、大気変動が最も強くなるインドネシアに、「赤道MUレーダー」を設置します。また、北欧に国際協力により「EISCAT_3Dレーダー」を建設します。国内に既設のMUレーダー、インドのMSTレーダー、南極・昭和基地のPANSYレーダー等とともに、国際協同観測を進めます。さらに、小型計測機器により赤道から極域までをつなぐ広域観測ネットワークを構築して、エネルギーと物質のグローバルな流れを解明します。本提案は、日本学術会議のマスタープラン2014・2017・2020の重点大型研究計画の一つとして採択され、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ました。

“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 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 all the Master Plan 2014, 2017, and 2020 by the Science Council of Japan. It was also selected as one of top 11 projects in the Road Map 2014 by Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology.

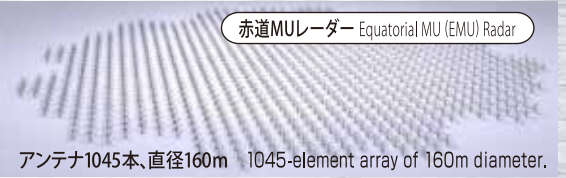
赤道ファウンテン

赤道では、積雲対流と呼ばれる大気擾乱が活発です。これにより作られる大気波動が上空に伝わることで、エネルギーが地表付近から高い高度にある電離圏まで運ばれます。また、赤道には、中低緯度域から大気物質が集中してきますが、これも上に吹き上げられ、対流圏界面を通過して、地球全体に輸送されます。超高層の電離圏でもプラズマの擾乱（赤道異常）が起こります。このように、赤道域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MULレーダー」で観測します。我々は既にインドネシアの西スマトラにおいて2001年以来、「赤道大気レーダー（EAR）」を国際共同で連続運用してきました。今回、既設のEARに比べ10倍以上の感度を持つ新型レーダーの建設を提案しています。



赤道大気レーダー Equatorial Atmosphere Radar (EAR)

2001年から連続観測 Continuous observation since 2001.

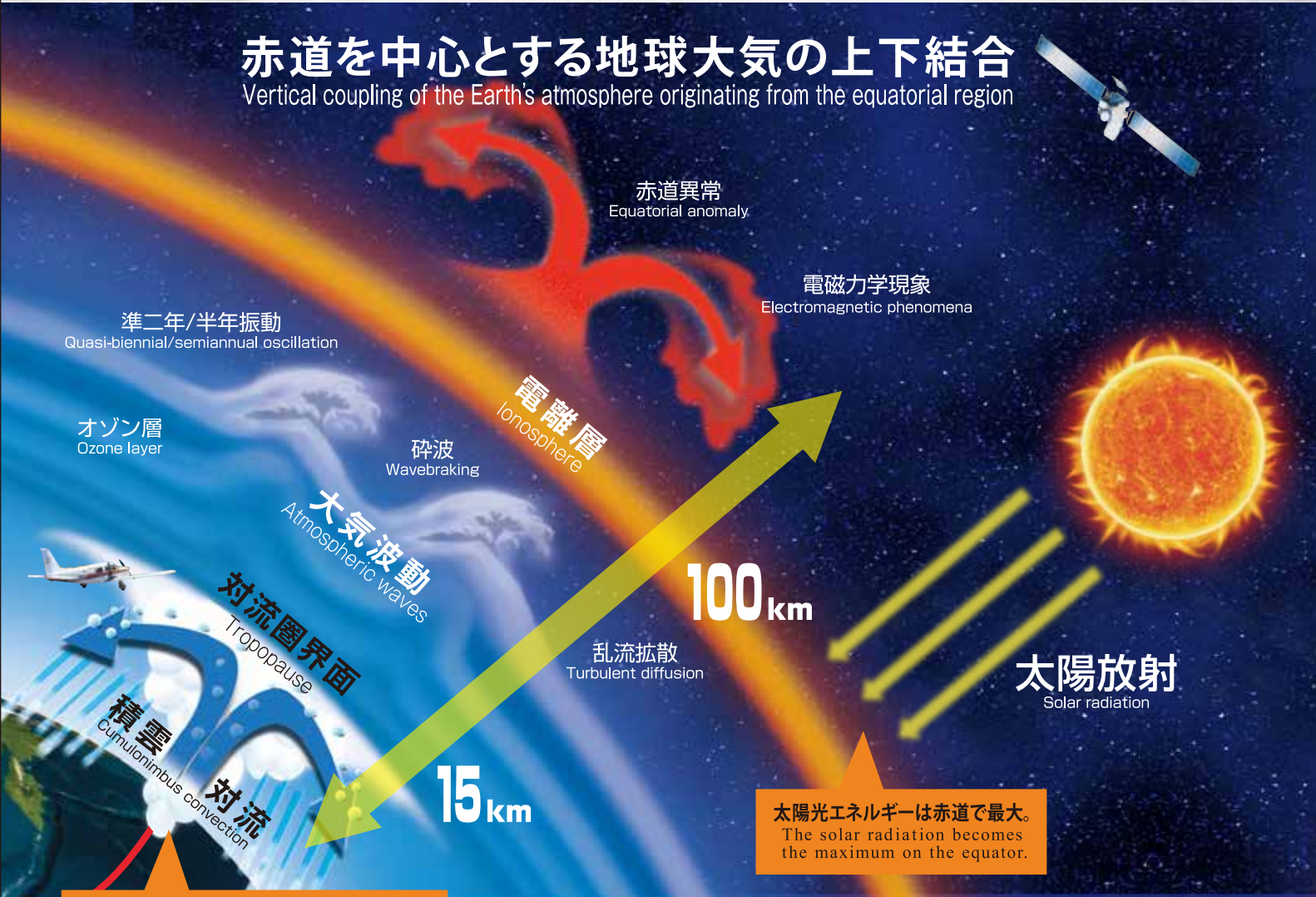


赤道MULレーダー Equatorial MU (EMU) Radar

アンテナ1045本、直径160m 1045-element array of 160m diameter.

赤道を中心とする地球大気の上下結合

Vertical coupling of the Earth's atmosphere originating from the equatorial region



赤道MULレーダーを、インドネシア・西スマトラに新設し、広い高度層を連続観測。
Develop Equatorial MU (EMU) radar in West Sumatra, Indonesia to observe the atmosphere over wide height range.

Cumulonimbus convection is active in the equatorial atmosphere. It generates various types of atmospheric waves that propagate upward to transport energy and momentum into the upper atmosphere, including the ionosphere. In addition, different kinds of materials (atmospheric minor constituents) originating at low- and mid-latitude regions that converge into the equatorial region are blown upward through the tropopause; they eventually reach the middle atmosphere and spread around the globe.

In the upper atmosphere, there are plasma disturbances, and the equatorial ionization anomaly is generated around the equator. We will capture the energy and material flow occurring in all height ranges of the equatorial atmosphere as the "Equatorial Fountain" using the Equatorial MU (EMU) radar. In 2001 we established the Equatorial Atmosphere Radar (EAR) in West Sumatra, Indonesia and continue our observations as part of an international collaboration. In this project, we propose developing the EMU radar, which is 10-times more sensitive than the EAR.

Equatorial Fountain

極域へのエネルギー流入と応答過程

太陽風に起因するエネルギーが流入することで起こる、極域特有の現象を高性能の「EISCAT_3Dレーダー」で解明します。地球磁場に沿って侵入するプラズマ粒子により発生するオーロラが、極域における擾乱現象の代表例です。また、太陽風のエネルギーは姿を変えて、下層の大気や低緯度方向に輸送されます。逆に、極域は、地球大気の一部の成分が宇宙空間に流出する窓にもなっています。これらの速い時空間変動について、3次元の空間構造の変化を精密に測定できる新型レーダーをスカンジナビア北部に建設します。この計画は、日本が1996年より参加している、欧州非干渉散乱レーダー(略称、EISCAT)科学協会により国際共同で推進されており、2022年からの第1期運用開始を予定しています。

5箇所にアンテナ1万本のアレイ(直径80m) 5 sites with each 10,000-antenna array (80m diameter). ▶



The new IS radar “EISCAT_3D” provides great opportunities to make major breakthroughs in the science of solar-terrestrial physics. High-energy particles precipitate from the magnetosphere into the polar upper atmosphere along Earth’s magnetic field lines and create interesting phenomena such as the aurora borealis. Part of the energy from the solar wind changes its form and is transported to the lower atmosphere and lower latitude regions. On the other hand, the polar region is also the area where part of the Earth’s atmosphere outflows to Space. The phenomena occurring in the polar upper atmosphere are characterized by their rapid variability in time and space. The EISCAT_3D radar constructed in northern Scandinavia will have the unique capability to investigate three-dimensional structures of the upper atmosphere and ionosphere with a high temporal and spatial resolution. The EISCAT_3D radar project has been internationally promoted by the EISCAT scientific association, which Japan joined in 1996. The EISCAT_3D radar is expected to start the first stage observations in 2022.

Research on energy inputs into the polar upper atmosphere and its response

観測とデータの全球ネットワーク

我々は最先端の大型大気レーダーであるMUレーダーを世界に先駆けて国内で開発し、さらに、海外拠点にも設置してきました。この技術に習った大型レーダーが海外でも建設されています。これらの実績をもとに、さらに進化した最新式レーダーを赤道と北極域に建設し、国際的なレーダーの協力体制を発展させます。一方、観測空白域であるアジア・アフリカを中心に、小型機器を用いて、赤道から極域を南北につなぐ地上観測ネットワークを整備します。データはIUGONETを通じて共有し、グローバルなエネルギーと物質の流れを明らかにします。



多点フェーズド・アレイ・レーダー
Multi-point phased array radar



アクティブ・フェーズド・アレイ・レーダー
Active phased array radar

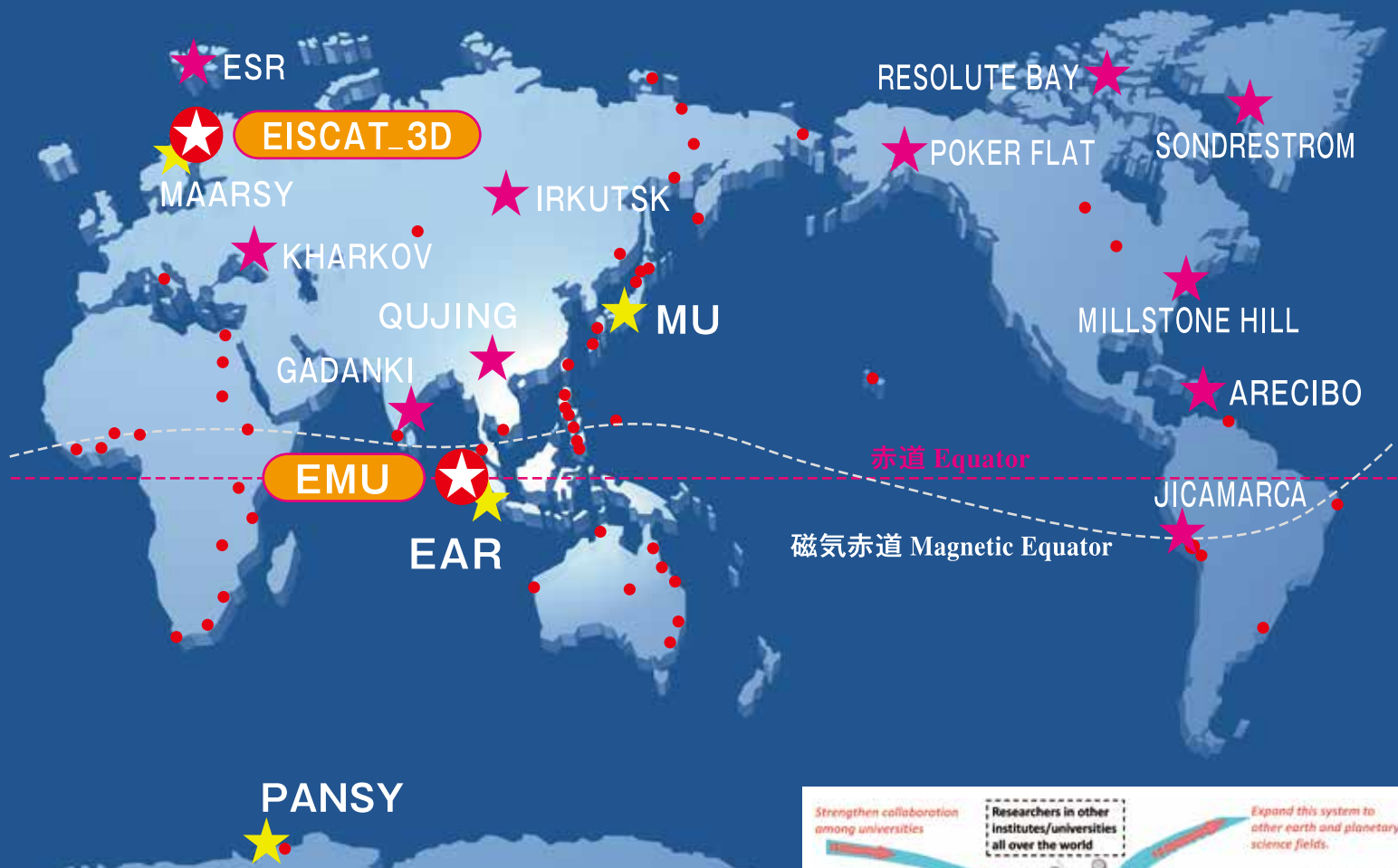


IS/MSTレーダー
IS/MST radar

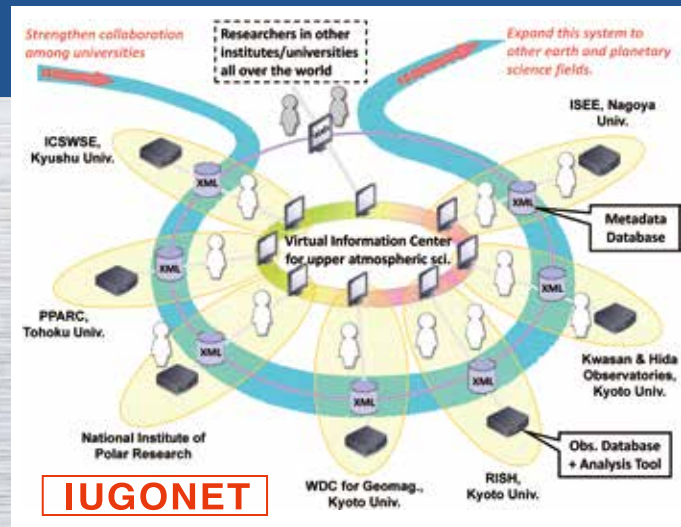
(IS: Incoherent Scatter, MST: Mesosphere-Stratosphere-Troposphere)

★ 大型大気レーダーと 広域地上観測網

★ Large atmospheric radar and ● Global observation network



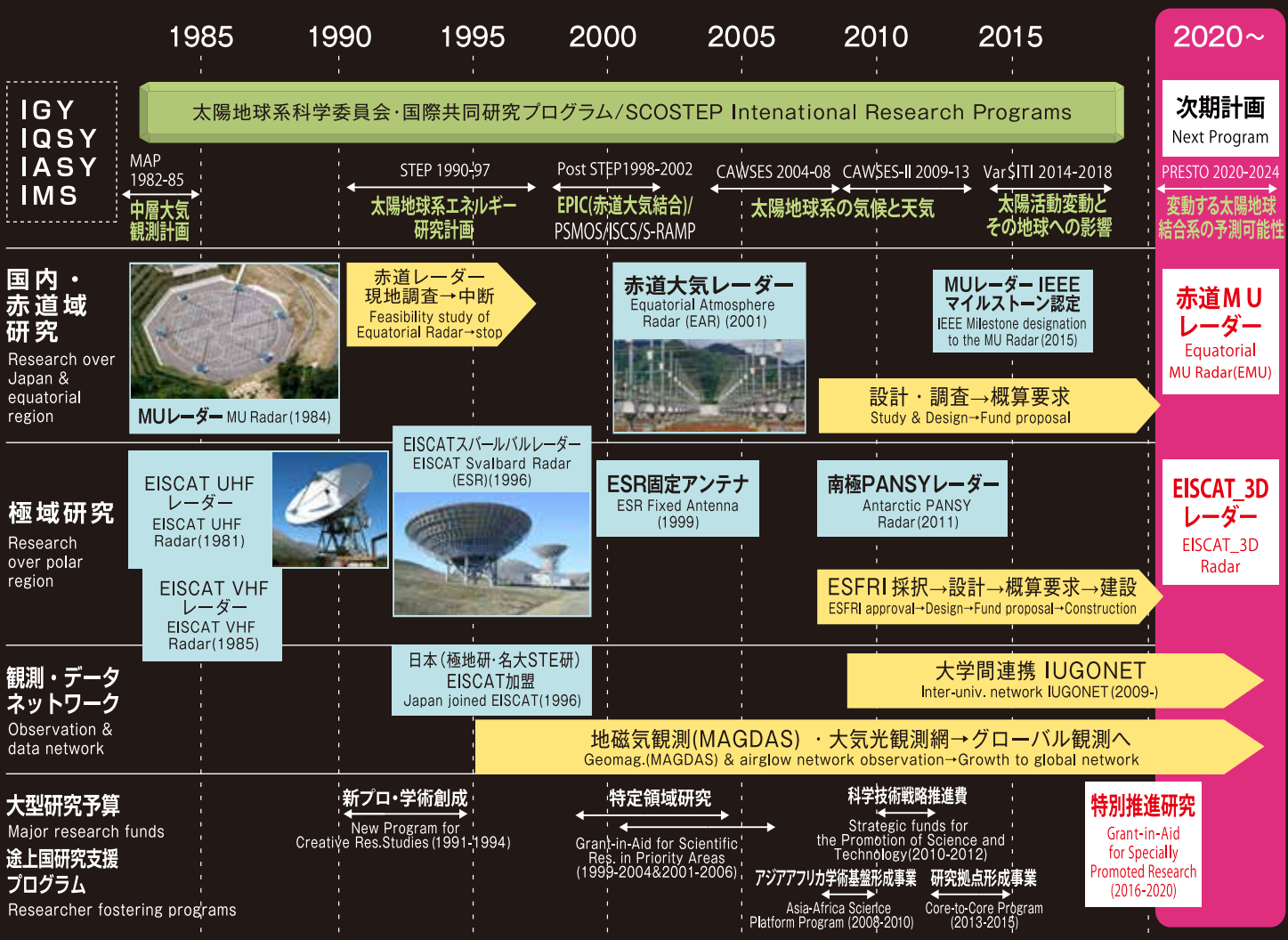
We developed the MU radar in Japan, which is the first application of an active phased array antenna to atmospheric radars. This technology has been extended to similar radar systems in overseas bases. Additionally, foreign researchers have adopted our innovation to develop other radars. Based on this heritage, we will establish even more advanced state-of-the-art radars in the equatorial and polar regions. On the other hand, we have deployed observation network of small instruments to the Asian and African regions where observations were not well established. We will move to expand the observation network from the equator to the poles, establish an international collaboration of large radars, share data through IUGONET, and elucidate the global flow of energy and materials.



Global network of observations and data

国内外の研究動向

太陽地球結合過程の研究は、国際的にはISC (国際学術会議) 傘下のSCOSTEP (太陽地球系物理学・科学委員会)において、国内では日本学術会議で議論されてきました。1957年の国際地球観測年 (IGY) 以来、5~10年にわたる国際研究プロジェクトが継続しており、2004~2013年に「太陽地球系の気候と天気: CAWSES」が、2014~2018年に「太陽活動変動とその地球への影響: VarSITI」が行われました。現在は2020~2024年に「変動する太陽地球結合系の予測可能性: PRESTO」が進行中です。日本は特に大型大気レーダーにより貢献し、2015年にはMUレーダーがIEEEマイルストーン認定をうけました。国内のMUレーダー設置をはじめとして、赤道域に赤道大気レーダーを設置し、極域ではEISCATレーダー観測に参加し、最近では南極PANSYレーダーの整備を行っています。同時に、地磁気や大気光の地上観測網を広域に展開してきており、大量の観測データを共有するため「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究 (IUGONET)」プロジェクトを推進しています。



The study of the coupling processes in the solar-terrestrial system has been internationally discussed by SCOSTEP (Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics) under ISC (International Science Council). Japan's contribution was determined through discussions at the Science Council of Japan (SCJ). Since the International Geophysical Year (IGY in 1957-1958), many international research programs lasting about five to ten years have been undertaken. For example, PRESTO (Predictability of the Variable Solar-Terrestrial Coupling)(2020-2024) replaced the CAWSES (Climate and Weather of the Sun-Earth System)(2004-2013) and VarSITI (Variability of the Sun and Its Terrestrial Impact)(2014-2018). Japan has contributed greatly through observations, especially via the deployment of large atmospheric radars. We developed the MU radar in Japan in 1984, the Equatorial Atmosphere Radar (EAR) right over the equator in 2001, joined EISCAT scientific association to enhance observations of the polar-region in 1996, and recently developed the PANSY radar at the Antarctic Syowa station. In parallel to these efforts, our observation network of magnetometers and airglow imagers were expanded to large areas all over the world. To enhance the management and use of the large amount of data from observations with these facilities, we are now running a project called IUGONET (Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETWORK).

National and international research trends

国際協力および関連分野・社会に与えるインパクト

International cooperation & Impact of this plan on research fields and society

国内・国際協力体制 National/International cooperation

本提案は国内・国際コミュニティから幅広い支援を受けています。赤道MUレーダーに関してインドネシア政府の全面的な支援を得ており、EISCAT_3Dレーダーは欧州各国および中国等を含めて議論され、2017年から建設を開始しています。我々は革新技術を駆使した大気レーダーの源流を作ってきました。今後も太陽地球系科学の国際共同研究プロジェクトを牽引し優位性を維持します。大量の観測データを相互利用するコンソーシアムが既にできています。観測データはWorld Data Systemで活用され、Big Dataの実例にもなります。

This plan is widely supported by national and international scientific communities. The development of the Equatorial MU radar has received full support from the Indonesian Government. The EISCAT_3D radar project has been internationally discussed with the associated countries in Europe and China, and started its construction in 2017. We have been pioneering atmospheric radars with innovative technology. Leveraging our knowledge of solar-terrestrial studies, we continue to lead international research. We have already established a consortium for mutual use of large-volume data from our observations. These data will be used in the World Data System, and will be an example of "big data".

波及効果・人材育成 Effect from the plan and capacity building

太陽地球系を理解することは系外惑星の大気環境を解明する研究に発展します。また新型レーダーの開発は電波応用科学や情報通信工学に直結します。研究成果は、極端気象や宇宙天気の前報精度改善に貢献し、減災や衛星の安全運用に寄与します。

海外フィールド実習や国際スクールを通じて、国内外の人材育成に役立ち、また、科学技術を通じた平和外交にも貢献できます。

Understanding the solar-terrestrial system may advance studies on the atmospheric environment of extra-solar planets. The development of new radar has a direct impact on radio science, informatics, and electronics. The results from our studies should improve the forecast accuracy of severe weather and/or space weather.

Through field practice and international school, the project will be useful for capacity building of young scientists from around the world, and can also contribute to peaceful diplomacy through science and technology exchanges.

関連する科学者コミュニティ

Related scientist community

関連コミュニティ(学協会) Related scientific community

国内: 日本地球惑星科学連合・宇宙惑星科学セクション、地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS)、日本気象学会、電子情報通信学会

国際: ISC・太陽地球系物理学・科学委員会 (SCOSTEP)、電波科学連合 (URSI)、国際測地学・地球物理学連合 (IUGG)、国際MSTレーダー研究コミュニティ、国際宇宙天気研究グループ (ISWI)、ISC・世界科学データシステム (WDS)

Japan: JpGU (Japan Geoscience Union) Section for Space and Planetary Sciences, SGEPSS (Society of Geomagnetism and Earth, Planetary and Space Sciences), Meteorological Society of Japan, IEICE (The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers)

International: ISC/SCOSTEP, URSI (International Union of Radio Science), IUGG (International Union on Geodesy and Geophysics), MST radar community, ISWI (International Space Weather Initiative), ISC/WDS (World Data System)

海外協力機関 Related overseas institutions

インドネシア: 研究・技術高等教育省 (RISTEKDIKTI)、航空宇宙庁 (LAPAN)、気象気候地球物理庁 (BMKG)、科学技術評価応用庁 (BPPT)、バンドン工大など

欧州非干渉散乱 (EISCAT) レーダー科学協会: ドイツ、英国、フランス、ノルウェー、スウェーデン、フィンランドが1975年に創設。日本は1996年に、中国は2007年に加盟。

Indonesia: RISTEKDIKTI (Ministry of Research, Technology and Higher Education), LAPAN (National Institute of Aeronautics and Space), BMKG (Indonesian Agency for Meteorology, Climatology and Geophysics), BPPT (Agency for the Assessment and Application of Technology), ITB (Bandung Institute of Technology), etc.

EISCAT scientific association: Established in 1975 by Germany, UK, France, Norway, Sweden, and Finland. Japan and China joined in 1996 and 2007, respectively.



京大生存圏研究所

Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University

〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄
Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011, JAPAN

Tel. 0774-38-3601 Fax. 0774-31-8463
Phone +81-774-38-3601 Fax +81-774-31-8463



国立極地研究所

National Institute of Polar Research



名古屋大学宇宙地球環境研究所

Institute for Space-Earth Environmental Research (ISEE), Nagoya University



九州大学国際宇宙天気科学・教育センター

International Center for Space Weather Science and Education (ICSWSE), Kyushu University



インドネシア航空宇宙庁

National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN)



欧州非干渉散乱 (EISCAT) 科学協会

EISCAT (European Incoherent SCATter) Scientific Association