IUGONETシンポジウム2016
国立極地研究所
October 18, 2016

赤道MUレーダープロジェクトの現状について

山本　衛, 橋口浩之, 津田敏隆
(京都大学生存圏研究所)

『マスタープラン2014』『文科省ロードマップ2014』

『マスタープラン2017』(提案中)

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

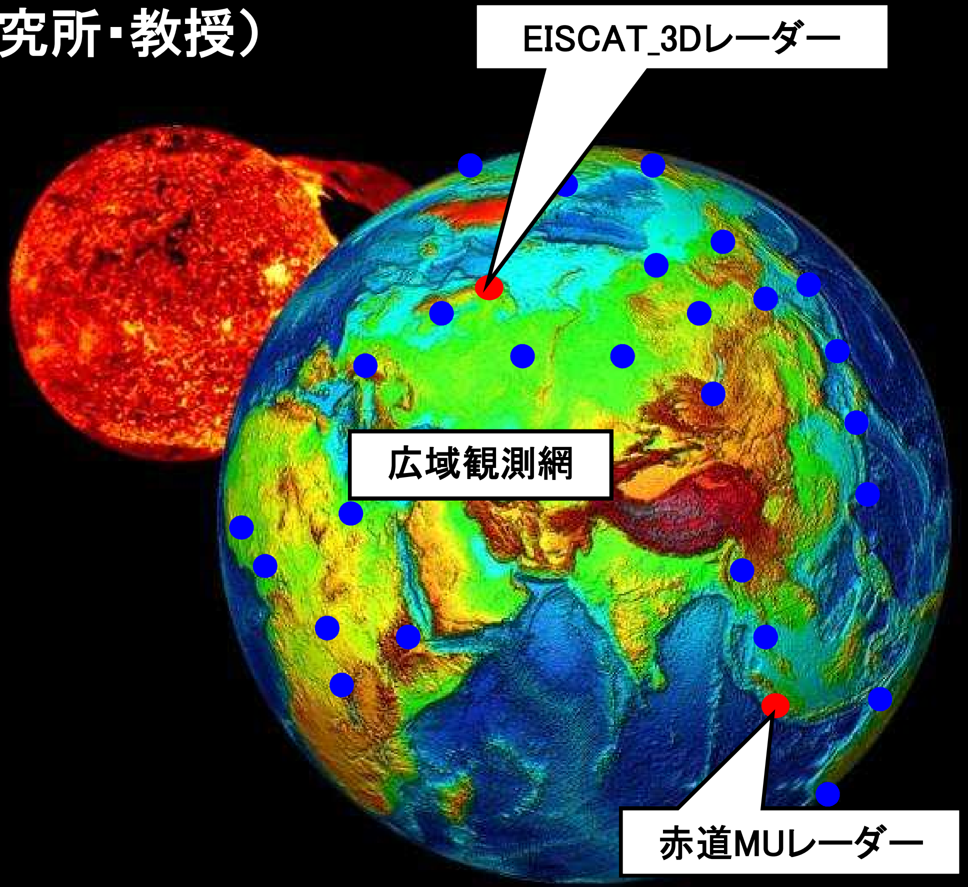
代表者　津田敏隆(京都大学生存圏研究所・教授)

研究計画

(1)赤道域赤道でも大気変動が
最強のインドネシアに**赤道MUレーダー(EMU: Equatorial MU Radar)**を設置。

(2)極域: 北欧に国際協力により
EISCAT_3Dレーダーを建設。

(3)全球観測: 赤道～極域をつなぐ
広域観測ネットワークでエネルギー・物質のグローバルな流れを解明。



国内・国際共同研究計画の実施状況と本計画提案に至る経緯

1985　1990　1995　2000　2005　2010　2015　2017～

太陽地球系科学委員会（ICSU/SCOSTEP）国際共同研究プログラム

IGY,
IQSY,
IASY,
IMS

MAP 1982-85
中層大気観測計画

STEP 1990-97
太陽地球系
エネルギー研究計画

Post STEP
1998-2002
EPIC(赤道大気結合)/
PSMOS/ISCS/S-RAMP

太陽地球系の気候と天気
CAWSES
2004-08
CAWSES-II
2009-13

太陽活動変動と地球への影響
VarSITI
2014-18

計画メンバーによる国際共同議長

国内・赤道域研究

MUレーダー (1984)

赤道レーダー
現地調査→中断

赤道大気レーダー(2001)

MUレーダー・IEEEマイルストーン認定（2015）

設計・調査→概算要求・準備

赤道MUレーダー

極域研究

EISCAT UHF
レーダー
(1981)

EISCAT VHF
レーダー
(1985)

スバールバル
ISレーダー
(1996)

日本（極地研・名大ISEE）
EISCAT加盟(1996)

EISCAT スバールバル固定アンテナ(1999)

PANSYレーダー (2011)

ESFRI採択→設計→概算要求・準備

EISCAT_3D レーダー

観測・データネットワーク

IUGONET・大学間連携（2009～継続中）

MAGDAS (地磁気観測網)・大気光観測を展開→グローバル観測へ

主な競争的資金

新プロ・学術創成
「アジア・太平洋地域を中心とする地球環境変動の研究」

特定領域研究
「赤道大気上下結合」

振興調整費／戦略推進研究
「インドネシア宇宙天気」

特定領域研究
「北極圏気候・環境変動」

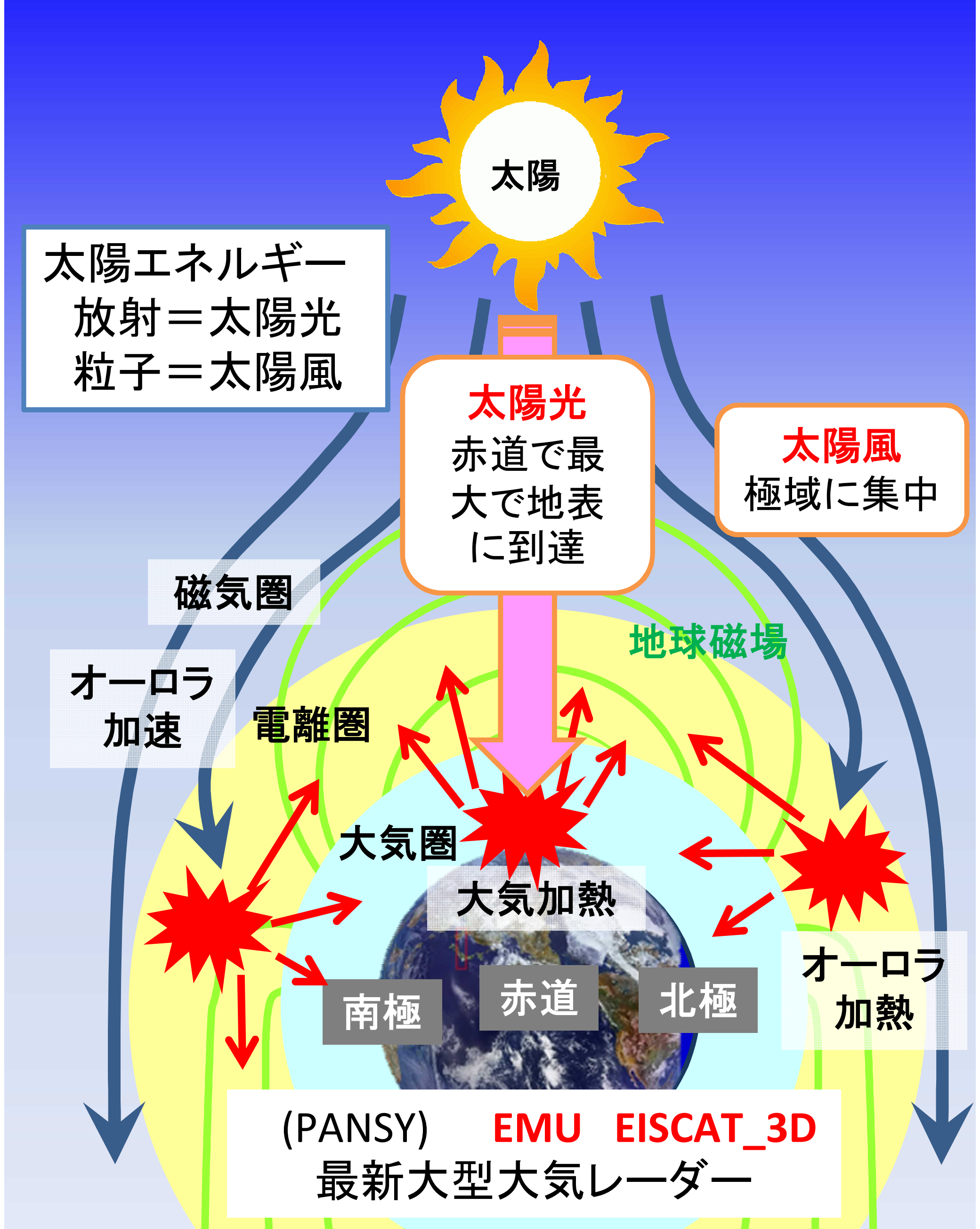
途上国研究支援プログラム

アジアアフリカ学術基盤形成事業

研究拠点形成事業
アジアアフリカ学術基盤形成型

2

計画の概要



● 太陽地球系結合過程：**太陽エネルギーが地球へ流入する過程と、地球周辺環境（磁気圏・電離圏・大気圏）の応答**を解明。

- ✓ **「太陽光」**と「**太陽風**（プラズマ粒子流）」としてエネルギーが与えられる。
- ✓ **太陽光**は**赤道で最大**であり、加熱された地表面で大気擾乱が起こり、さらに**上方にエネルギーが伝わる**。
- ✓ **太陽風**による電磁エネルギーは磁力線を通じて主に**極域に集中**し、その影響は**極域中層大気や中低緯度**に及ぶ。

● 地球の**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。

（1）**赤道域**：　赤道でも大気変動が最強の**インドネシアに赤道MUレーダー(EMU: Equatorial MU Radar)**を設置。

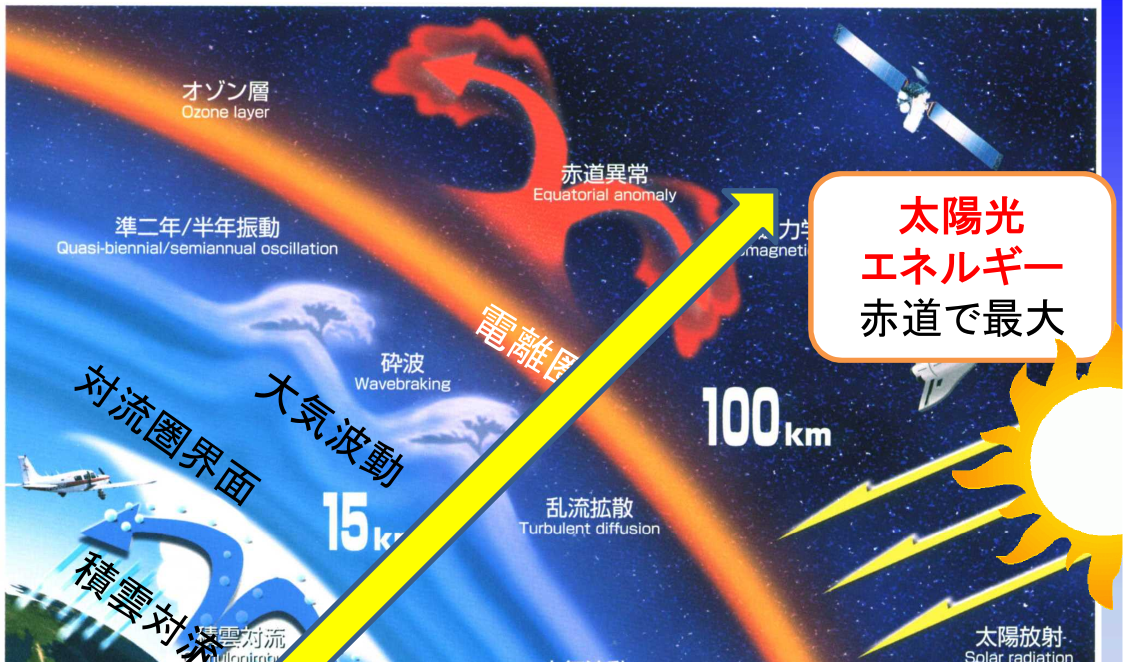
（2）**極域**：　**北欧にEISCAT_3Dレーダーを国際協力により建設**。

（3）**全球観測**：　**赤道～極域をつなぐ広域地上観測ネットワーク**でエネルギー・物質の**グローバルな流れ**を解明。

3

(1) 赤道ファウンテン：赤道を中心とする地球大気の上下結合

- 太陽放射(光)エネルギーは赤道域の地表を暖め、**活発な積雲対流を生み、大気波動を励起**させる。
- **大気波動は上方に伝搬**しエネルギーを電離圏まで輸送する。
- 電離圏ではプラズマ擾乱が起こる。
- 地表から出る物質は対流圏界面か**噴出され全球に輸送**される。
- 赤道の全高度に現れる**エネルギーと物質の流れ(赤道ファウンテン)**を解明すべく、赤道MUレーダーをインドネシアに新設する。



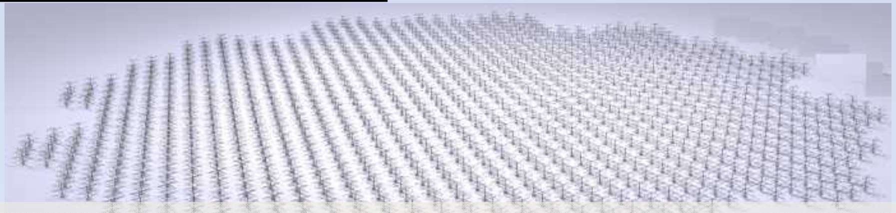
赤道MUレーダーを、インドネシア・西スマトラに新設し、広い高度層を連続観測する。

赤道MUレーダー

（EMU: Equatorial Middle and Upper Atmosphere Radar）
（設備費：35億円、運営費：20億円）

推進母体：京都大学存圏研究所、インドネシア航空宇宙庁 （LAPAN）

京都大学がEMUを概算要求中。



EMU：アンテナ1045本、直径160mで、同所に既設のEAR（2001年）に比べ10倍感度向上 。

4

(2) 大型レーダー（EISCAT_3D）による極域の磁気圏・電離圏・大気圏へのエネルギー流入と応答過程の解明

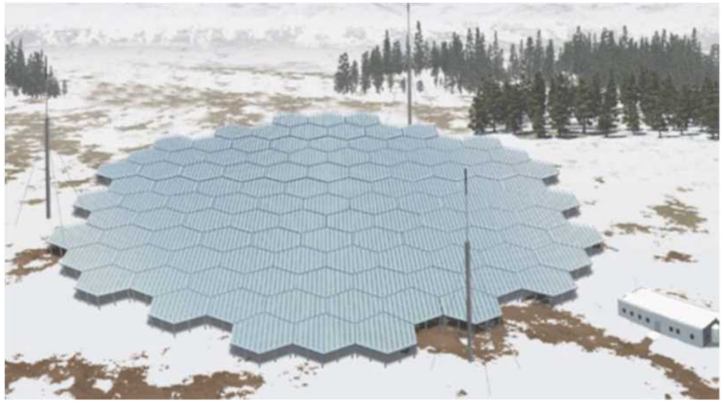
太陽風の粒子エネルギー流入で極域に起こる特異現象を解明。

- ・オーロラで代表される**地球周辺プラズマ現象**の生成と崩壊
- ・地球**大気が宇宙空間への流出**
- ・大気成分の変動と**下方輸送**
- ・**低緯度側へ**エネルギー輸送

EISCAT_3Dレーダー
（設備総額160億円、日本分担25億円、運営10億円）

欧州非干渉散乱（EISCAT）科学協会（日本・中国を含む6ヵ国）が提案し、EU大型研究ロードマップ（ESFRI）に採択された（2008年）。

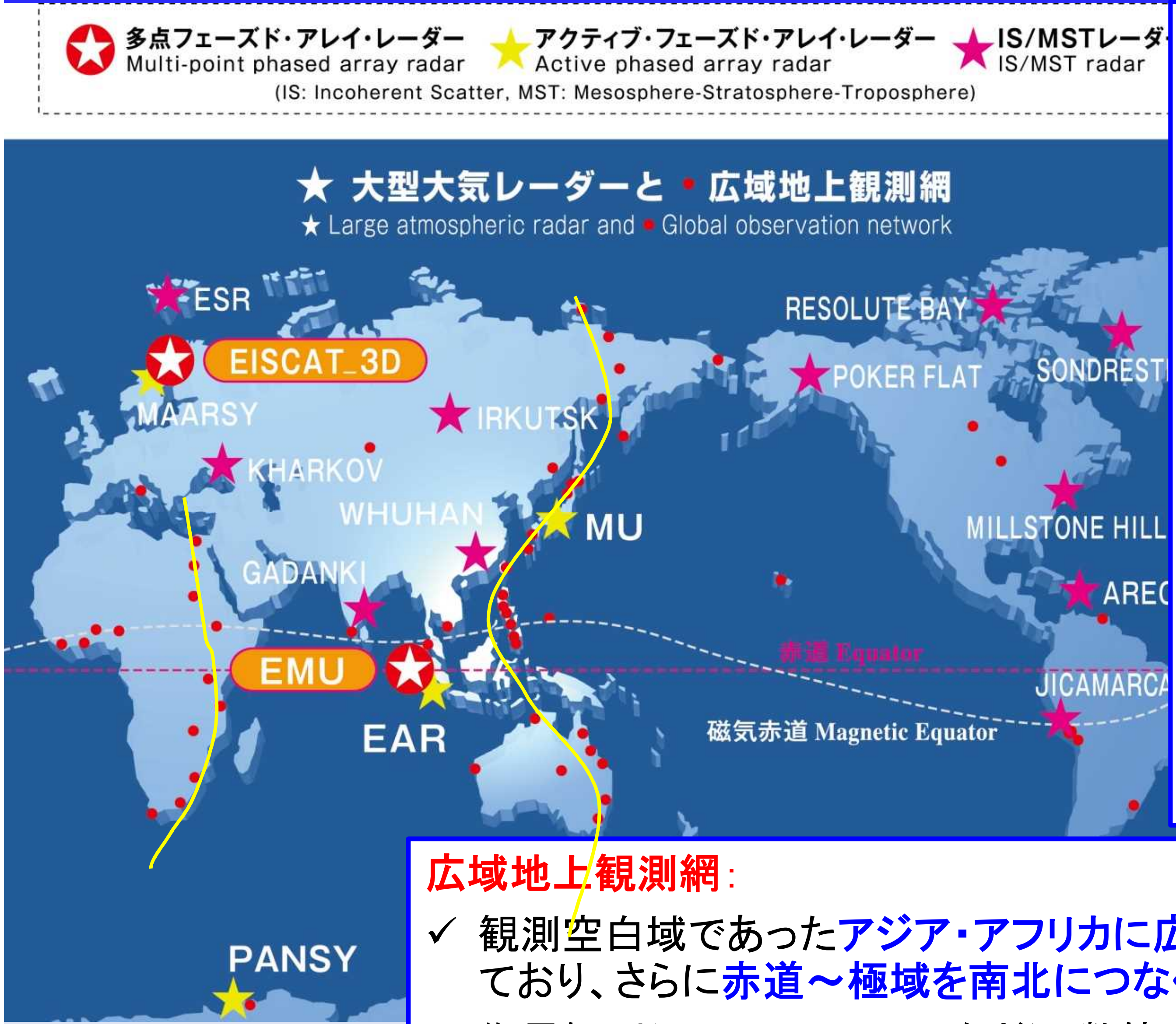
- •ノルウェー／スウェーデン／フィンランドが条件付きで予算内定。**国立極地研究所も概算要求中**。
- •国内体制：国立極地研＋名大宇宙地球環境研究所



速い時間変動を有する極域プラズマの**3次元空間構造**を測定可能な世界唯一の大型レーダーである。EISCAT_3Dはアンテナ1万本、直径70mのアレイを北欧5地点に新設。

5

（3）全球観測ネットワークによるグローバル結合過程の研究



大型レーダー観測網：

- ✓ 最先端の大型大気レーダー（MUレーダー）を国内開発し、海外（EAR、南極PANSYレーダー）にも設置されている。
- ✓ この技術を用いた大気レーダーが他国（欧米、インド、中国など）でも建設されている。
- ✓ 我が国の実績を基礎に、さらに進化した最新式レーダーを赤道と極域に建設し、大型レーダー国際観測網を強化・発展させる。

広域地上観測網：

- ✓ 観測空白域であったアジア・アフリカに広域地上観測を開拓してきており、さらに赤道～極域を南北につなぐネットワークに拡張する。
- ✓ 衛星観測(ERG, COSMIC-IIなど）、数値モデル、データベースも活用して、グローバルなエネルギーと物質の流れを明らかにする。

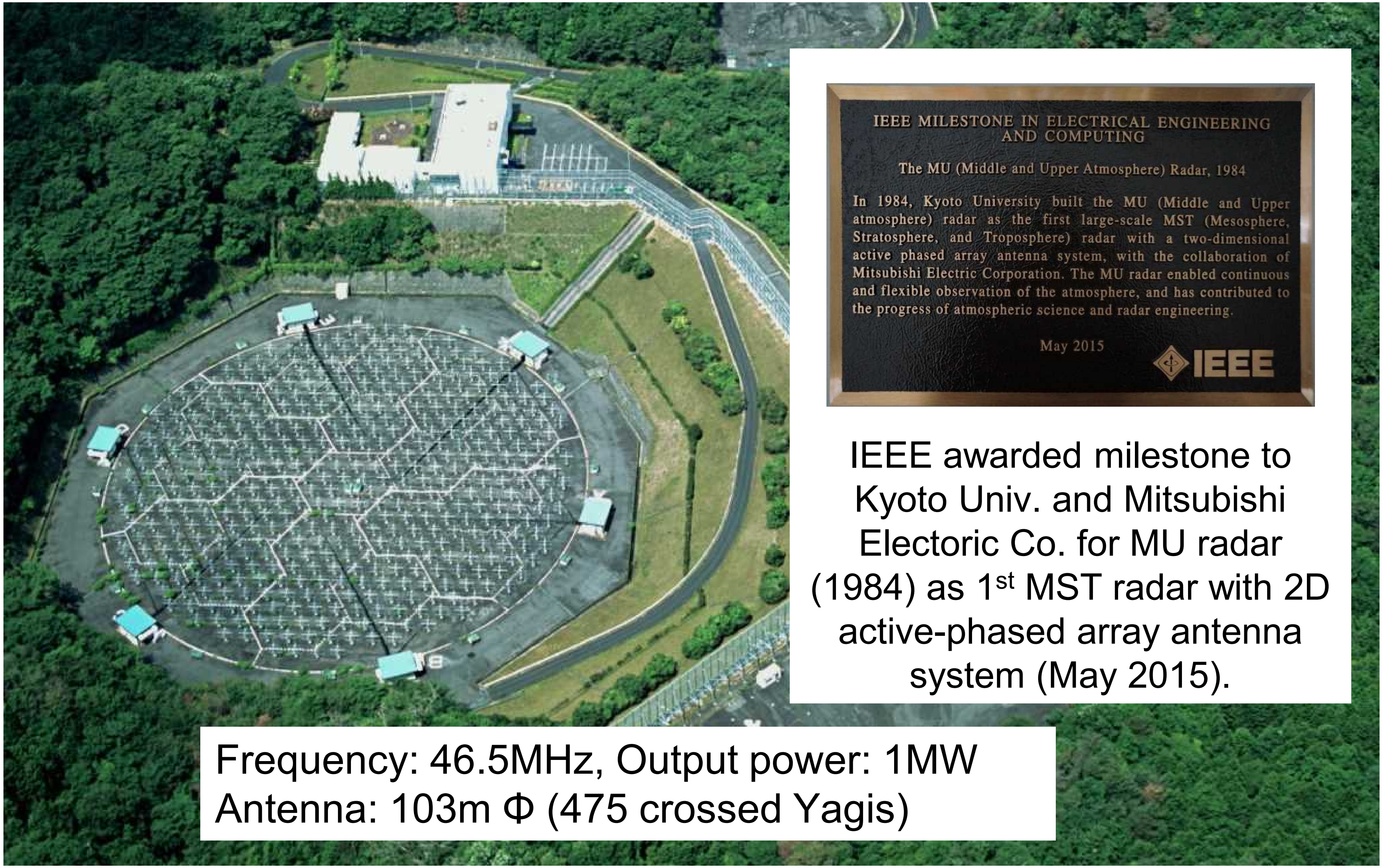
6　計画の実施主体、共同利用体制、予算案（10年間）

共同利用・共同研究拠点の評価	機関	赤道MUレーダー 設備35億円、運用20億円	EISCAT_3Dレーダー 設備25億円、運用10億円	広域観測 設備10億円、運用20億円
大型レーダーの共同利用で、海外コミュニティへの貢献を含め高い研究成果を上げている	*共同利用・共同研究拠点* 京都大学　RISH 生存圏研究所	実施主体	共同利用参画	共同実施
南極観測とは別に、EISCAT国際共同利用の日本枠を統括	*大学共同利用機関* 国立極地研究所 NIPR	共同利用参画	実施主体	共同利用参画
広域観測網など共同利用を多数実施、公私立大へも広げている	*共同利用・共同研究拠点* 名古屋大学　ISEE 宇宙地球環境研究所	共同利用参画	共同実施	実施主体
広域地磁気観測を展開し、アジア・アフリカの人材育成を推進	*学内共同利用センター* 九州大学国際宇宙天気科学・教育センター ICSWSE	共同利用参画	共同利用参画	実施主体
多機関に散在するデータのカタログ化と相互利用を実現	*大学間連携参加機関* 京大理・附属地磁気世界資料解析センター 京大理・附属天文台 東北大・理学研究科	共同利用参画	共同利用参画	共同利用参画

IUGONET：統合データベースに集約

MU radar

(Shigaraki, Koka, Shiga, Japan)

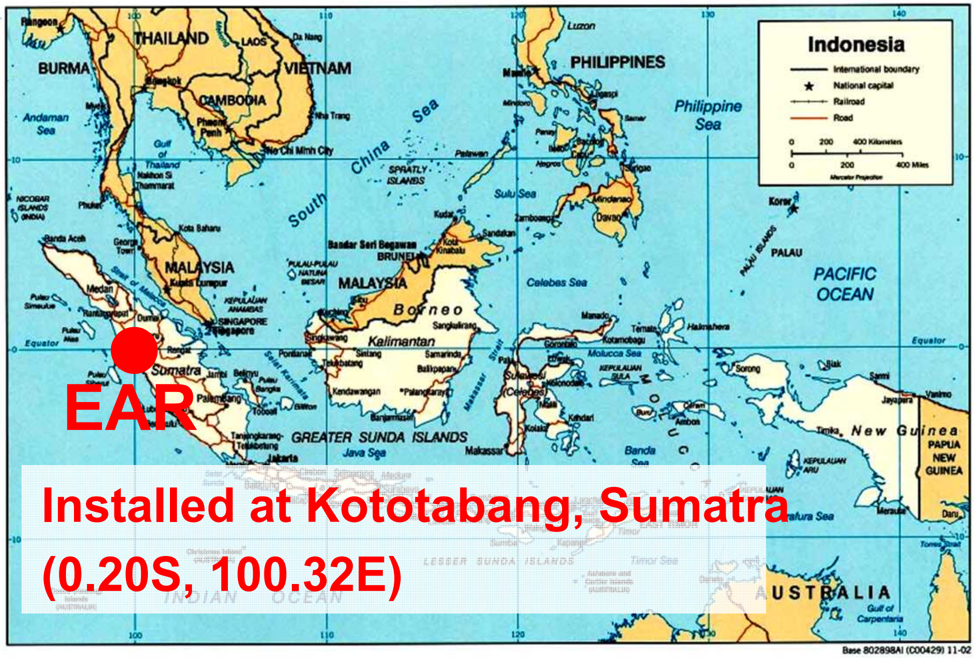


IEEE awarded milestone to Kyoto Univ. and Mitsubishi Electoric Co. for MU radar (1984) as 1st MST radar with 2D active-phased array antenna system (May 2015).

Frequency: 46.5MHz, Output power: 1MW
Antenna: 103m Φ (475 crossed Yagis)

MUレーダーがその後の大気レーダー開発に与えた影響

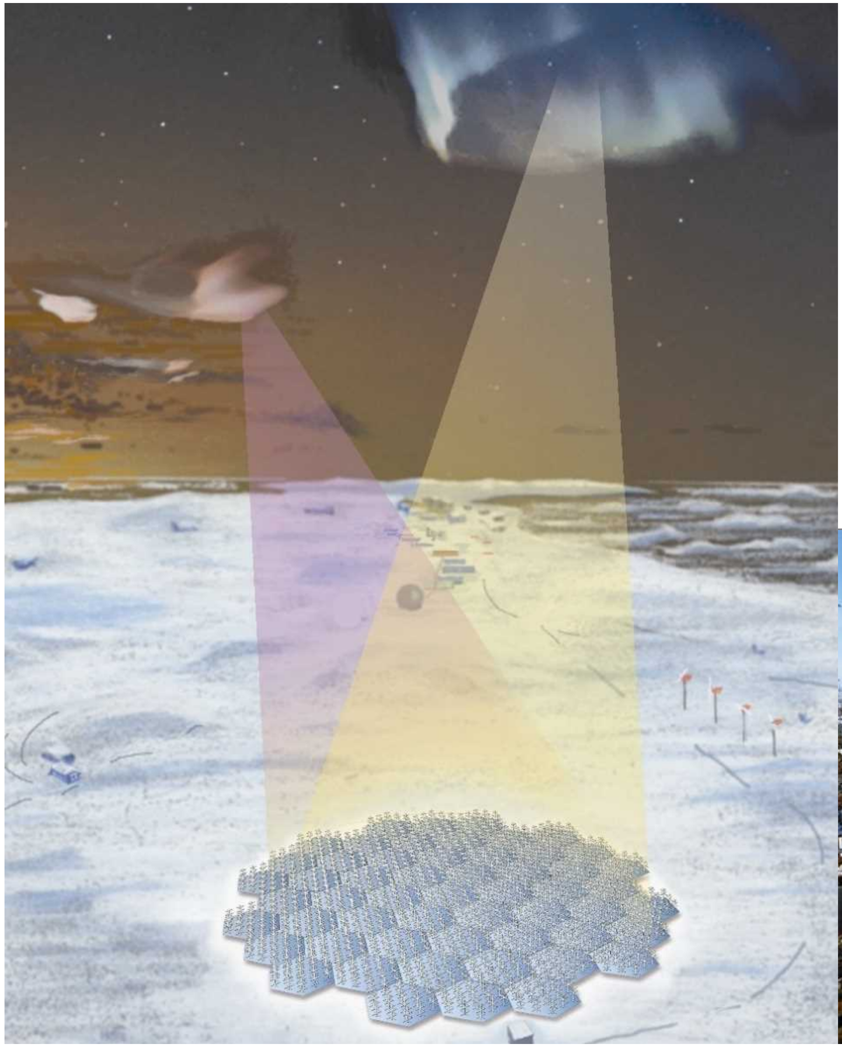
The Equatorial Atmosphere Radar (EAR)
(Established in 2001)

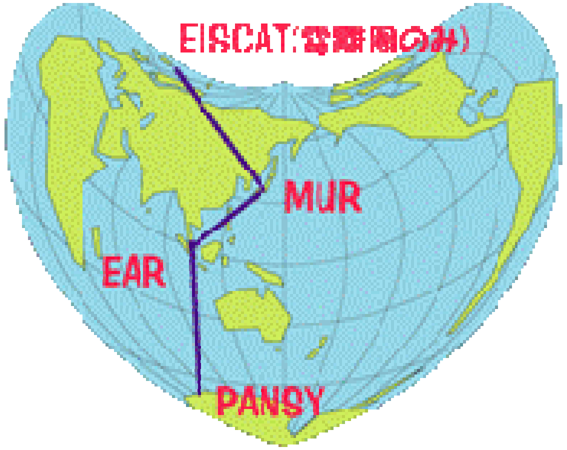


TR: transmitter and receiver

PANSY (Program of the Antarctic Syowa MST/IS Radar)

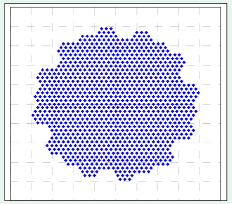
NIPR + Univ. of Tokyo



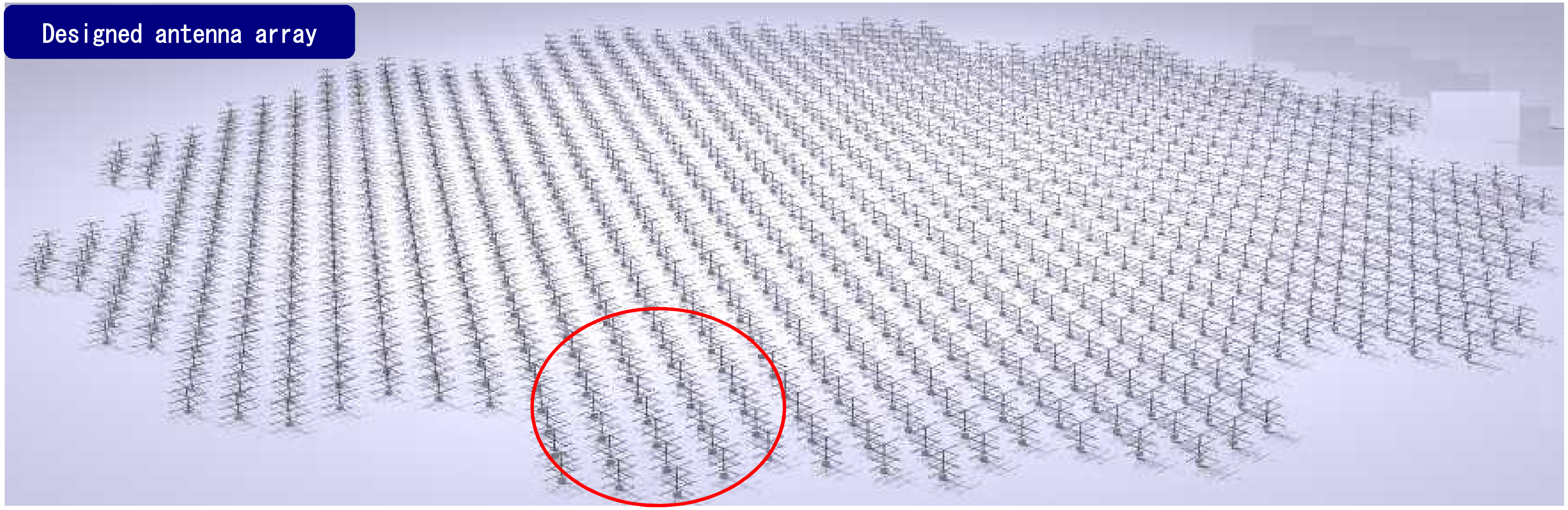


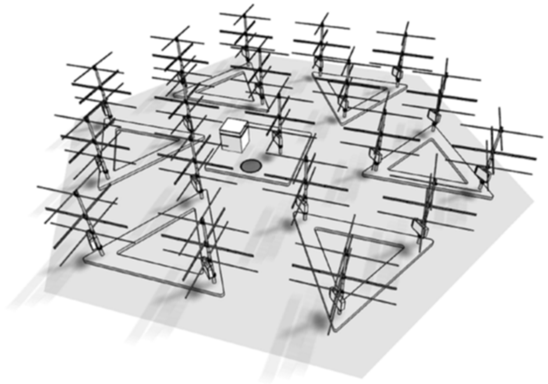
The system construction was completed.
PANSY is now working with full power.

Comparison of MU Radar, EAR, and PANSY

	MU radar	EAR	PANSY
Photo			
Lon, Lat	34.85N, 136.11E	0.20S, 100.32E	69.00S, 39.59E
Number of antenna	475	560	1045
Number of RX channel	25 ch	1 ch	55 ch
Antenna aperture	8,300 m^2 (103 m diameter)	9,500 m^2 (110 m diameter)	20,000 m^2 (160 m diameter)
TX module output	2.2 kW	200 W	500 W
Peak output power	1 MW	100 kW	500 kW
Antenna aperture × Output power （Relative number proportional to the radar sensitivity)	1.0 (standard)	0.11	1.2

Equatorial MU Radar (Expansion of EAR)





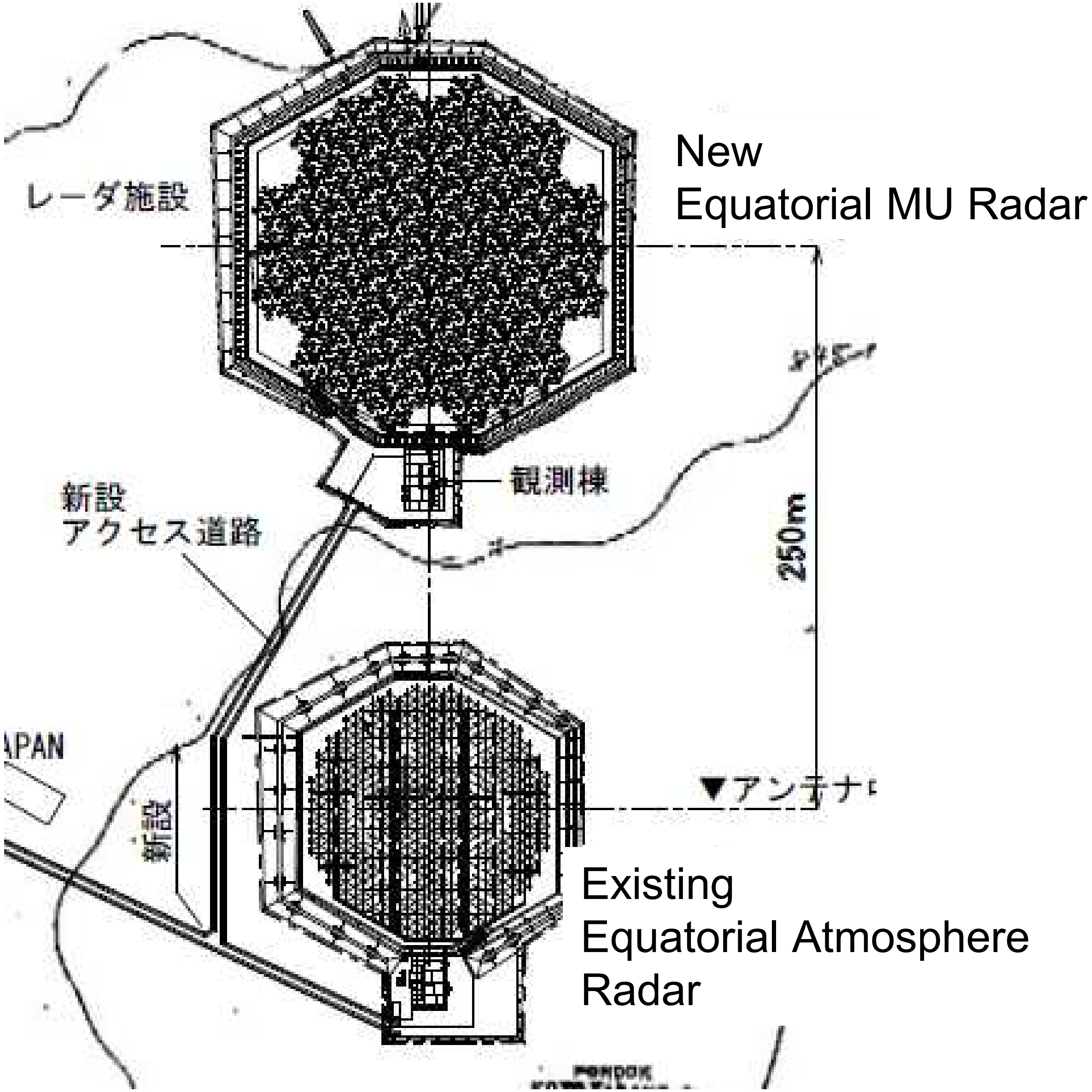
1-group = 19 Yagis
Array consists of 55 groups
(19 Yagis x 55 = 1045)

◆ EMU System
Frequency: 47MHz
Antenna: Active-phased array
(163m diameter, Total 1045 Yagis)
Output power: 500kW PEP)
Subsystems:
TR module at each Yagi-antenna
Multi-channel receivers
Radar controller / Data processor

MUR x 2

MUR x 1/2

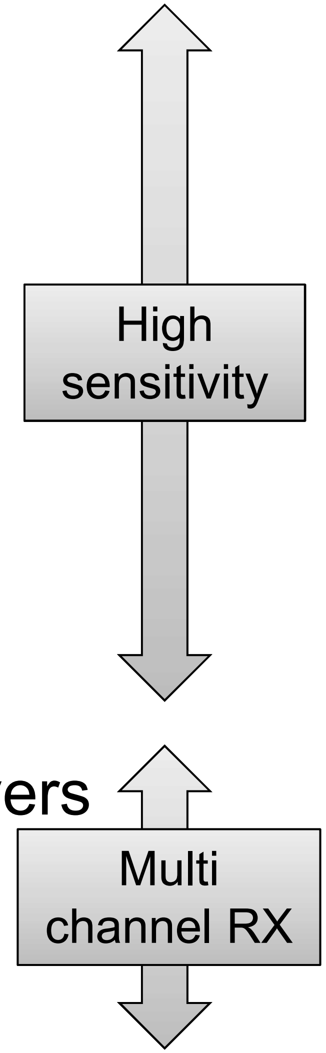
Equatorial MU Radar (Expansion of EAR)



- Equatorial MU Radar (EMU) will be installed next to the existing Equatorial Atmosphere Radar (EAR) at Kototabang, West Sumatra.
- EMU will be operated under collaboration with LAPAN based on success of RISH-LAPAN collaboration on the EAR.
- Detailed local survey was conducted in March 2012. Now design and installation plan of the EMU is precise and complete. We are ready to realize the new radar as soon as the funding would decided.

Equatorial MU Radar (Expansion of EAR)

- New observations with EMU
  - Troposphere and lower stratosphere
    - Good data up to ~20km height.
  - Mesosphere experiment
    - 60-80km height, daytime echoes
    - Atmospheric tides and gravity waves
  - IS (incoherent scatter) experiment
    - Ionosphere plasma density, drift, and temperature measurement.
  - Radar interferometry with multi-channel receivers
    - Radar imaging observations.
    - Meteor-echo observations.



7

国家としての戦略性・緊急性、準備状況

【戦略性・緊急性】

- 太陽地球系科学の国際研究協力(ICSU/SCOSTEP、UN/ISWIなど)において、日本は大型大気レーダーで貢献してきた。現在実施中の国際プロジェクトでも国際的リーダーシップを維持するには、本課題の早期実施が必須である。
- 赤道MUレーダー(EMU):インドネシア政府(研究技術高等教育省など)が早期の計画推進を求めている。アジア域で赤道大気研究の必要性が高まっている。
- EISCAT_3Dレーダー:北欧3国が予算を内定し、他国も概算要求中である。日本も国際的に合意されたスケジュールに従って予算化を進めることが重要。
- 両レーダーはアクティブ・フェーズド・アレイ・アンテナを技術基盤とする。この源流であるMUレーダーは、IEEE マイルストーンに認定された(25年以上経た画期的イノベーションへの顕彰)。本計画の技術基盤に対する我々の正統性を示す。
- 大型大気レーダーに関して世界トップを確実にし、我が国の強みを伸ばす。産学連携による新型レーダー開発は、電波応用科学、情報通信工学、電子工学の技術発展を促し、将来的な我が国の産業の発展、経済成長につながる。

【準備状況】 京都大学と国立極地研究所が、それぞれ大型設備を概算要求中。

- 赤道MUレーダー、EISCAT_3Dレーダーの技術実証試験などを実施中。
- 名古屋大学と九州大学が、競争的資金等で広域観測ネットワークを拡張中。

8 社会的価値（国民の理解、知的価値、経済的・産業的価値）

【地球環境変化予測】 環境変動が顕在化する超高層大気のレーダー観測は、温暖化等の監視・予測に貢献しうる。衛星システムの安全運用等に寄与する。

【産業振興】 高性能レーダー開発、電波科学、信号処理技術、データ解析技術等について産学連携で新開発することで国内外で産業振興を促す。

【大規模データ活用】 レーダー等の多様な大気観測データがWDS (World Data System)において認定されており、”ビッグデータ”の実例となっている。

【国際交流・若手育成】 世界最先端の大型大気レーダーの国際共同利用を通じて、欧米のトップクラスの研究者との頭脳循環が促進される。アジア・アフリカを含む国内外の若手研究員・大学院生の国際交流を促進する。

大型研究計画としての適性

- 太陽エネルギーを起源とする地球環境の生成・維持機構、および長期・短期変動特性の解明は、人類共通の根源的な興味であり、地球惑星科学の主要テーマの一つである。本大型研究計画は、赤道と極に集中する太陽エネルギーの再配分とそれにともなう物質フローを解明することを中心に、さらに全球における環境変動を対象としており、当該分野のビジョンに合致する。
- 国際連携に基いて日本に要望されている大型レーダー施設の設置計画であり、既に文科省「ロードマップ2014」の新規11課題のひとつに選ばれている。

マスタープラン2014からの進捗

- 概算要求の状況
  - 赤道MUレーダー（京大生存研）： 共・共拠点経費に含める大型設備、および赤道大気研究に関する新規研究プロジェクトを概算要求中。
  - EISCAT_3D（極地研）： 情報・システム研究機構が概算要求中（北欧3国が日本他が出資することを条件に予算化 (必要額の約75%)を計画）。
  - 広域観測網（名大・ISEE）： 共・共拠点のプロジェクト経費に一部採択。
- 即応体制の整備状況
  - 赤道MUレーダー：アンテナ配置と八木アンテナ単体の性能評価を実施。
  - EISCAT_3D：高出力パワーアンプの設計試作と性能評価を実施。
- 意見・情報交換、広報活動
  - JpGUで国際セッションを開き、同時に国際的な研究計画会議を開催。
  - EMU関係のWorkshopとEISCATシンポジウムを2017年に東京で合同開催。
  - URSI, COSPAR 等の国際研究集会で講演した。また、各国で国際スクールを開催しており、本計画に対するグローバルな認知が広がっている。
  - webページ(http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/masterplan2014/)を開設し、研究計画書(日本語)とパンフレット(日英併記)を刊行した。
  - 本計画を紹介する論文が Radio Sci. 誌の特集号に採択。