

マスタープラン2014
重点大型研究計画

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

京都大学生存圏研究所
国立極地研究所
名古屋大学太陽地球環境研究所
九州大学国際宇宙天気科学・教育センター

2014年4月

この提案は、以下の研究者が中心となって取りまとめたものである。

代表 津田敏隆（京都大学生存圏研究所・所長／教授）

幹事 山本衛（京都大学生存圏研究所・教授）

京都大学生存圏研究所

津田敏隆・山本衛・橋口浩之・山本真之・矢吹正教

国立極地研究所

中村卓司・宮岡宏・小川泰信

名古屋大学太陽地球環境研究所

松見豊・塩川和夫・野澤悟徳

藤井良一（名古屋大学副総長・理事）

九州大学国際宇宙天気科学・教育センター

羽田亨・湯元清文・吉川顕正

IUGONET 協議会（機関代表）

東北大学理学研究科：小原隆博

国立極地研究所：中村卓司

名古屋大学太陽地球環境研究所：塩川和夫

京都大学生存圏研究所：津田敏隆

京都大学理学研究科附属天文台：柴田一成

京都大学理学研究科附属地磁気世界資料解析センター：家森俊彦

九州大学国際宇宙天気科学・教育センター：吉川顕正

目 次

提案概要	1
提案内容	5
1. 学術的な意義及び研究計画	5
2. 国内外の研究動向と当該計画の位置付け	12
3. 科学者コミュニティの合意状況	17
4. 所要経費と年次計画	21
5. 主な実施機関と共同利用体制	24
6. これまでの準備状況	27
7. 緊急性と社会的価値	33
付録	37
（1）マスタープラン 2014 課題説明	38
（2）文部科学省ロードマップ 2014 ヒアリング説明資料	40
（3）総合科学技術会議説明資料	43
（4）マスタープラン 2011 課題説明	44
（5）マスタープラン 2011 から 2014 への改善点	46
（6）サポートレター	48
（7）国内外の共同利用参画大学研究機関リスト	57
（8）キャパシティビルディングの取組み実績リスト	63

提 案 概 要

計画概要

太陽地球系結合過程の研究目的は、太陽エネルギーとプラズマが地球に流入する過程、ならびに、太陽活動の短期・長期変動に対する地球周辺環境（大気圏、電離圏、磁気圏）の応答過程を解明することである。

人類の生存環境を形成する地球大気は太陽エネルギーで維持されている。大気の放射、組成、運動が相互作用し、自然界の絶妙なバランスのもとで形成された環境のもとで、人類が生息してきた。また地球周辺の宇宙にある衛星システムは、現代社会を維持する必須のインフラとなっており、人類の生存環境は宇宙まで広がりつつある。太陽エネルギーを起源とする地球環境の生成・維持および長期・短期の変動機構の解明は、人類共通の根源的な興味である。太陽地球系結合過程の研究はこれらを解明することを主題とする。さらに、太陽地球系の領域間結合過程を知り、統一システムとして定量的な理解を深めることを目指す。将来発展としては、太陽地球結合系の end-to-end モデルを構築し、宇宙地球環境の短期・長期変動予測や宇宙インフラの安全・安心に資する発展性を有している。

太陽から地球に与えられるエネルギーと物質は、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る。

太陽光は赤道で最大となり、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、その擾乱が波となって伝わることでエネルギーが上方に伝わる。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する。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る。(図1)

地球に太陽エネルギーが流入する、これら2つの特異点に大型大気レーダーを設

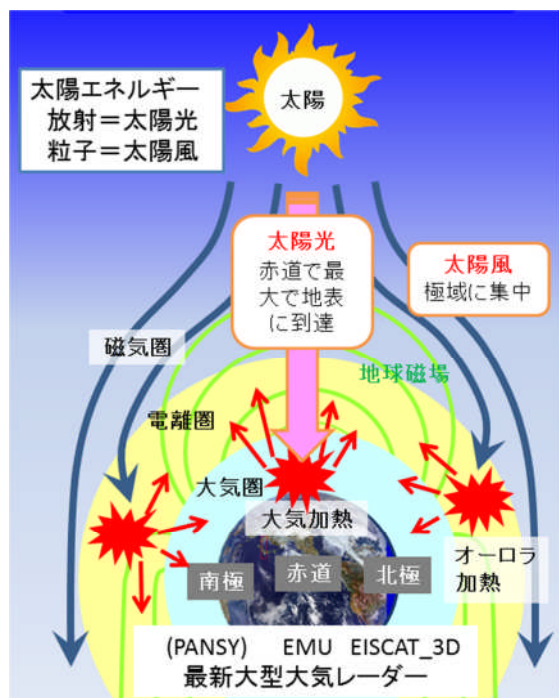


図1 太陽地球系結合過程の概要図

置して拠点観測することを提案する。赤道域でも、大気変動が最も強くなるインドネシア・西スマトラ州の Koto Tabang に、京都大学・生存圏研究所（以下、生存研）が中心となって赤道 MU レーダー（EMU: Equatorial MU Radar）を設置する。また、国立極地研究所（以下、極地研）と名古屋大学・太陽地球環境研究所（以下、STE 研）が連携し、北欧諸国および中国との国際協力のもとでスカンジナビア北部に EISCAT_3D レーダー（European Incoherent Scatter Radar_3 Dimensional Radar）を建設する。国内で京大・生存研が運用している MU レーダー（Middle and Upper Atmosphere Radar）および赤道大気レーダー（EAR: Equatorial Atmosphere Radar）、南極の昭和基地に東京大学と極地研が共同で建設した PANSY レーダー（Program of the Antarctic Syowa MST/IS Radar）をはじめ、欧米、インド、中国等における海外の大型レーダーネットワークと国際協力する。さらに STE 研、九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター（以下、IGSWSE）を中心に、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する。

計画内容

1. 赤道ファウンテン：赤道を中心とする地球大気の下結合

赤道では、積雲対流と呼ばれる大気擾乱が活発である。これにより作られる波がさらに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る。また、赤道には、中低緯度域から様々な大気微量成分を含む大気が輸送され、赤道に集中する大気物質が上空に吹き上げられ、対流圏界面を通過して、地球全体に輸送される。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 MU レーダーを中核にした複合観測システムで明らかにする。

我々は既にインドネシアの西スマトラにおいて 2001 年以來、赤道大気レーダー（EAR）を国際共同で連続運用してきた。今回、既設のレーダーに比べ 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る。

2. 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

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レーダーで解明する。地球磁場に沿って侵入するプラズマ粒子によるオーロラがその代表的現象である。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る。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る。

これらの速い時間変動について、空間構造、つまり 3-Dimensional な変動をも精密に観測できる新型レーダーを国際共同で北欧に建設する。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）の委員会で十分検討されており、既に各国が予算要求を進めている。

3. 全球広域観測ネットワークによるグローバル結合過程

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ており、さらに、海外拠点にも設置してきた。この技術を使ったレーダーがインドや北欧など海外でも建設されている。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る。

また、これらのレーダーと同じ経度に位置し、観測空白域でもあるアジア・アフリカの子午面を中心に、大気分光装置やGNSS受信器、コヒーレント散乱レーダーなどの小型機器を多点に設置して、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、グローバルなエネルギーと物質の流れを明らかにする。

国際動向と国内実施体制

太陽地球結合系過程の研究は、ICSU傘下のSCOSTEP (Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics、太陽地球系物理学・科学委員会)において国際的な検討が行われ、それを受けて、学術会議で国内対応が議論されてきた。1957-58年の国際地球観測年(IGY)以来、5~10年にわたる国際共同研究プロジェクトが行われており、2004-2013年には、「太陽地球系の気候と天気：CAWSES (Climate and Weather of the Sun-Earth System)」が実施された。現在、2014-2018年に「太陽活動変動とその地球への影響：VarSITI (Variability of the Sun and Its Terrestrial Impact)」が進行中である。日本は太陽地球系科学の国際共同研究プロジェクトを牽引してきており、国内でも協力体制ができている。

これらのプロジェクトを推進するうえで重要な観測装置について、日本は特に大型大気レーダーにより貢献してきた。国内のMUレーダーを皮切りに、赤道や極域にレーダーを設置している。このように、革新技術を駆使した大気レーダーの源流を作っており、今後もその国際的優位性を維持する。さらに、大型装置を国際共同利用に提供する仕組みができている。

同時に、地球磁場や大気光の地上観測を広域に展開してきており、また、大量のデータを共有するシステムも構築している。2009-2014年には、文部科学省から特別経費・プロジェクトの経費措置をうけて、「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 (Inter-university Upper atmosphere Global Observation Network)」を、極地研、東北大学、STE研、生存研と京大・理、およびICSWSEの大学間連携プロジェクトとして実施している。これにより、大量の観測データを相互利用するコンソーシアムが構築された。これらの観測データはWorld Data Systemで活用され、また、Big Dataの実例にもなると考えられる。

関連分野への波及効果と国際貢献

太陽地球系結合過程を理解することは、太陽系内の他惑星や系外惑星の大気環境を解明する研究に発展すると期待される。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する。この研究成果は、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する。

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、科学技術を通じて我が国の外交上の利益に貢献できる。

提案に至る経緯と準備状況

本提案は、既に「マスタープラン 2011」に選定された計画に立脚しており、その後のコミュニティにおける意見交換をもとに、改善を進めた(付録(5))。その結果、幅広い国内、国際コミュニティと連携することができた。地球惑星科学に限らず、宇宙物理、環境科学、電子工学などの広い分野からも本研究提案に対して支援を得ている。また、国際的には、インドネシア政府の全面的な支援を得ており、欧州各国および中国を含め議論が成されている。したがって、本計画を実施に移す準備は十分に整っている。

提 案 内 容

1. 学術的な意義及び研究計画

地球には太陽を源とするエネルギー・物質流入があり、地球大気の基本状態は入力に対するバランスで決められている。しかし太陽活動には長期・短期の変動がある上に、自然界に内在する擾乱および人為起源の変動があり、それらへの応答は複雑で未解明である。本計画ではこれまで個別に行われてきた領域研究を融合し、太陽地球結合系におけるエネルギー再配分と物質輸送の定量的な解明を目指す。特に現象が顕在化する赤道域と極域の研究に重点を置く。

(1) 赤道ファウンテン：赤道を中心とする地球大気の上結合（図2）

太陽からの放射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発生させる。大気波動のエネルギーと運動量は姿を変えつつ電離圏まで運ばれ地球周辺環境を変動させる。赤道域の地表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、対流圏界面を通過して噴出され中高緯度まで広く輸送される。本計画が設置する赤道 MU レーダーを中心とする複合観測によって、大気の全高度域に現れるエネルギー・物質フローを解明する。

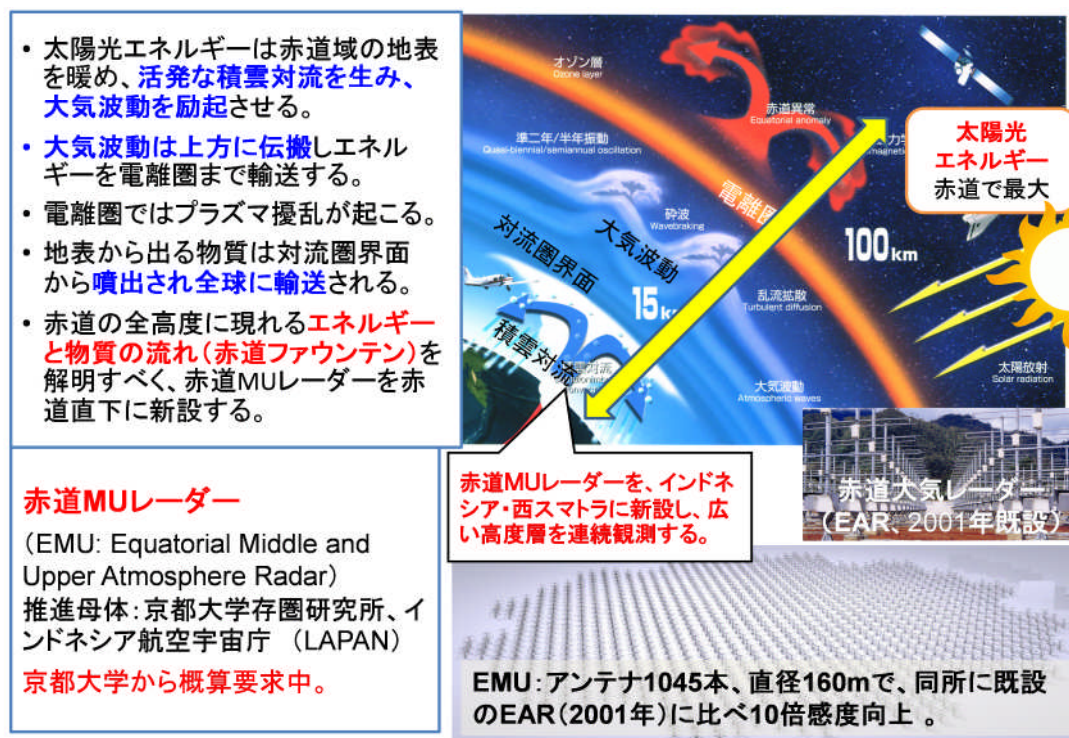


図2 赤道 MU レーダーを中心とする赤道ファウンテンの研究

これらの大気現象を解明するには、対流・成層・大気波動・乱流・不安定現象等に関わる力学・電磁力学エネルギーの発生・伝播・散逸過程、ならびに大気組成、エアロゾル・雲粒子、金属原子、超高層の大気・プラズマ密度といった大気物質の変質・変動・循環過程を観測し、さらに大気物質とエネルギーの相互作用等を、数値モデルも活用して定量的に理解することが重要である。

特に赤道域では、強烈な太陽放射、活発な積雲対流、豊富なエアロゾル・水蒸気、コリオリ力の消滅、地球磁場構造の特殊性等の要因により、特異現象が起こる。その結果、赤道域を中心に、エネルギー・大気物質の噴流・循環過程が、地表付近の境界層から対流圏、中層大気(成層圏と中間圏)さらに超高層大気に至る広い高度領域において共通して起こっている。我々はこれらの現象を「赤道ファウンテン」と名付ける。本計画においては、以下の要素から構成される「赤道ファウンテン」の解明に総合的に取り組む。

- (a) **ファウンテンの源泉** 陸面・海洋から境界層に放出されるエアロゾル及び水蒸気が、赤道域対流圏で顕著な積雲と巻雲の生成・発達に果たす役割を明らかにする。また、雲に伴う大気乱流や成層構造等が温室効果気体や大気質指標物質(CO₂、オゾン、エアロゾル、水蒸気等)の輸送・拡散に及ぼす影響を調べる。更に、強い上昇流を伴う積雲対流が対流圏界面付近まで短時間に物質を輸送するという、赤道域に固有の過程を明らかにする。これらのプロセスは、物質及びエネルギー双方のファウンテンの源泉となっている。
- (b) **物質ファウンテン** 下層で放出された大気物質は、赤道域においてのみ対流圏界面を上昇通過して成層圏に侵入し、中層大気中を広く中高緯度まで循環してオゾン層破壊などグローバルな大気質の変動をもたらす。熱帯対流圏界面付近のさまざまな時間・空間スケールを持った大気擾乱と、それが作り出す温度場・流れの場の変動を把握し、大気下層から成層圏への水蒸気・オゾン等の物質流入過程(物質ファウンテン)を明らかにする。さらに、赤道域で中層大気に吸い上げられた大気物質が地球全域にわたって大循環する輸送・混合過程を明らかにする。
- (c) **エネルギーファウンテン** 赤道域では、波の性質を規定する慣性周期が無限大となり、また強い積雲対流が存在するため幅広い時間スケールの大気擾乱(赤道波、大気重力波、潮汐等)が発生する。そのメカニズムを解明する。大気波動は対流圏で得たエネルギーを効率よく上方輸送する(エネルギーファウンテン)。そして中高緯度気候にも大きく影響する準2年周期振動(QBO)等の大規模かつ不規則な変動を生み出す。その定量的な評価を行う。更に大気波動が超高層大気のプラズマ変動現象を駆動する過程を調べる。
- (d) **プラズマファウンテン** 大気とプラズマのエネルギー交換に着目し、大気波動が誘発するプラズマ上昇流・密度擾乱とプラズマの不安定現象や、地球磁場と

結合したプラズマが大気に与える影響を調べる。地球大気の外縁部において、太陽活動の短・長期変動がプラズマを介して超高層大気を変動させる過程を研究する。また、地球外物質(流星)を起源とする金属原子層の特性と中層大気組成への影響を解明する。

以上、赤道大気では下層を源泉として超高層まで物質とエネルギーが噴き上げられ、広く中高緯度に輸送・拡散される。赤道ファウンテンは全球に大気変動を引き起こす重要な役割を果たしているが、それが内包している短・長周期、不規則変動は未解明で、その影響も予測しにくい。赤道域でも、特に熱帯アジア・西太平洋域は、地球上で最も擾乱活動が強く、全球に広がる大気変動の重要な駆動源となっている。本計画では、既設のレーダーに比べ10倍以上の感度を持つ新型の赤道MUレーダーをインドネシア・西スマトラ島に設置し、ファウンテンの源泉となる対流圏、物質・エネルギーファウンテンの舞台となる中層大気、プラズマファウンテンに至る超高層大気を同時に観測することを世界で初めて可能にする。この総合拠点観測に、広域ネットワーク観測、衛星データ、数値モデルを組み合わせて、赤道ファウンテンの本質的な要素を研究し、熱帯アジア・西太平洋域を源泉とした力学・電磁力学的エネルギーと大気物質のフローを解明する。ひいては、赤道ファウンテンが地球環境変化、宇宙天気へ与える影響を科学的に解明し、成果の社会還元を目指す。

(2) 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(図3)

極域は、太陽を起源とする高エネルギー粒子や太陽風、電磁エネルギーが直接流入するユニークかつ重要な領域である。世界で唯一、プラズマ流の3次元ベクトルの立体構造観測が可能なEISCAT_3Dレーダーによる高解像観測を実現し、オーロラ微細構造やプラズマ-中性大気相互作用等の素過程を理解し、磁気圏最大のエネルギー解放現象であるサブストームをはじめとする重要現象の解明を目指す。

極域大気は、太陽を起源とする高エネルギー粒子や太陽風、電磁エネルギーが直接流入するユニークかつ重要な領域である。流入した太陽風エネルギーは、極域大気中で熱エネルギーや運動エネルギーに転換される。その代表例として、ジュール加熱や粒子加熱による中性大気の加熱、惑星間空間電場が極域電離圏へ印加されてイオンが動くことによる中性大気の駆動が挙げられる。このような過程を経て極域熱圏及び極域電離圏で消費された太陽風エネルギーの一部は、電離圏イオンの上昇流を励起し、その結果、電離圏のイオンは磁気圏や宇宙空間へ流出する。また、大気加熱に伴い大気重力波が発生し、中・低緯度へ伝搬する。このように、太陽風エネルギーは、極域大気で消費されるとともに、エネルギー形態を変えて磁気圏や低緯度熱圏に輸送されていく。オーロラ降下粒子により生成された一酸化窒素の下方輸送による上部成層圏のオゾン層破壊が近

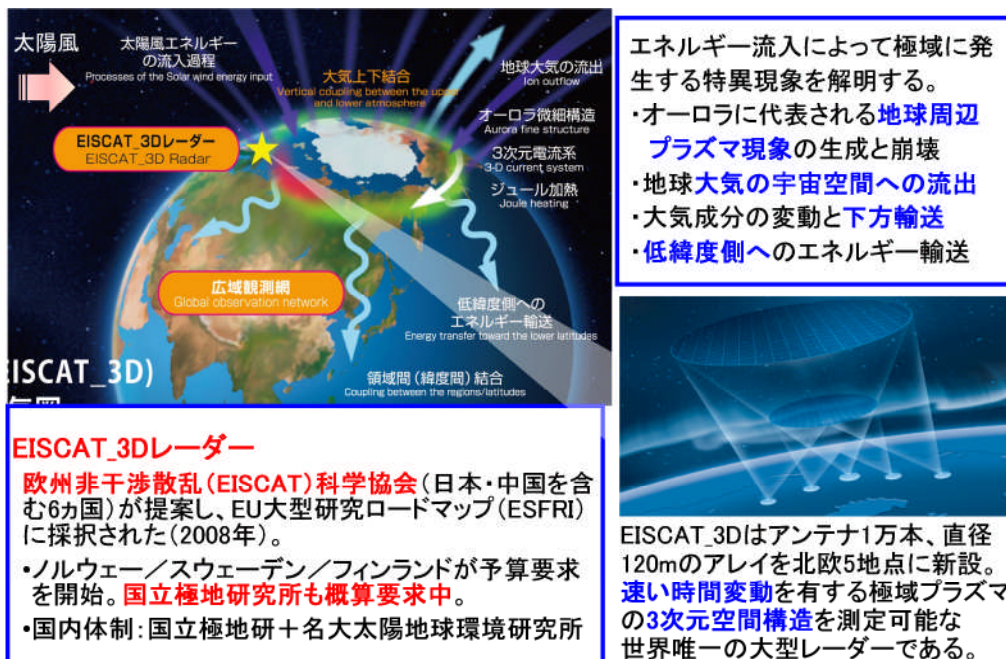


図3 EISCAT_3D レーダーによる極域の磁気圏・電離圏・大気圏結合過程の解明

年注目を集めている。この大気微量成分変動を含む地球大気の総合的な理解のためには、極域における太陽風エネルギー散逸過程の解明は必須である。その解明を目指して極域大気に関する多くの研究が数十年に渡って実施されてきているが、未だ不明な点が多い状況である。その原因の一つは、物理素過程の理解が遅れていることであり、それらの解明は現状の地上観測機器のみでは不十分である。

非干渉散乱(IS; Incoherent Scatter)レーダーは、電離圏のプラズマパラメータ(電子密度、イオン温度、電子温度、イオン速度)を精度良く導出できる非常に有力な観測機器である。高度90 km以上の電離圏を高度分解能良く観測できる手法は、ISレーダーのみである。ISレーダーを用いた電離圏の研究が半世紀に渡って数多く実施され、多くの成果を挙げてきている。しかしながら、ISレーダー観測の弱点として、一方向の観測に限られること、および3次元速度ベクトルの導出に仮定が必要なことが挙げられる。前者は、観測がオイラー的であるため、ある観測点で生起している現象の時間・空間変動の判別が難しく、そのことが現象の本質的な理解を妨げている。後者に関しては、1982年から30年にわたって運用されたEISCAT UHFレーダーは、世界唯一の3局方式による観測を行い、3次元速度ベクトルを1分間程度の時間分解能で取得できていた。しかしながら、この3局観測はある高度の1つの場所に限定され、現象の解明には時間・空間一様性等の仮定が必要となり、時空間変動の激しいオーロラに代表される極域電離圏現象の正確な理解には、十分な性能とは言えなかった。

これらの現状を踏まえ、日本が加盟するEISCAT科学協会は、新型の次世代大型ISレーダー建設計画(EISCAT_3D)の検討を2003年から開始し、現在加盟各国が予算要求を

行なっている。この大型レーダーシステム EISCAT_3D の大きな特徴は、世界で唯一、プラズマ流の 3 次元ベクトルの立体構造を高解像度で観測することが可能となることである。この高解像観測により、これまで為し得なかった精度での太陽風エネルギー散逸過程の研究が可能となり、様々な極域大気現象の理解が深まると期待されている。具体的には、オーロラ微細構造、3次元電流系、イオン流出現象、熱圏加熱現象、プラズマ-中性大気相互作用、オーロラアーク近傍における中性大気変動、大気重力波散逸過程などが挙げられる。これらの現象の物理素過程を解明し、磁気圏最大のエネルギー解放現象であるサブストームをはじめとする重要現象の解明を目指す。さらに、EISCAT_3D レーダーは対流圏から下部成層圏の風速観測及び、長期連続観測が可能なシステムである。その利点を生かした、下部熱圏における大気波動の研究を大幅に進めることにより、極域熱圏大気ダイナミクスの理解に大きなインパクトを与えることができる。さらに、極域大気と中低緯度大気との結合に関する多くの知見も得られると期待されている。

(3) 全球広域観測ネットワークによるグローバル結合過程 (図4)

太陽風から地球磁気圏を介して超高層大気へ侵入するプラズマや電磁場変動のエネルギーは、上述されるように地球の磁力線が集まる極域に主に侵入する。この侵入したプラズマ・電磁エネルギーは、ジュール加熱やローレンツ力を通じて超高層大気を加熱したり加速させたりする。これらの力学変動は大気波動として中低緯度に伝搬していく。また、加熱に伴う大気組成の変化は物質輸送として中低緯度に広がっていく。さらに、太陽風から磁気圏に侵入した電磁場変動は、磁気圏内の磁場に垂直な伝搬や電離圏-地上の間のダクト伝搬を通して低緯度に広がり、中低緯度の電離圏電流を左右する。これらの諸過程を通して、太陽風・磁気圏から侵入したプラズマ・電磁エネルギーは、極域から中低緯度にわたるグローバルな変動を引き起こしている。その代表例として、中緯度の電離圏での電子密度が異常に増大・減少する正相・負相の電離圏嵐や、電場の侵入によって誘起される赤道域の電離圏不安定、磁気嵐に伴う赤道ジェット電流の変動などが挙げられる。これらの現象は、衛星-地上間の通信や GNSS 衛星を用いた測位に大きな影響を与えるために重要である。しかしこれらのエネルギー・物質の中低緯度への伝搬過程の全体像を観測的に把握することは難しく、また、モデル化においても電磁場変動と中性大気の力学変動を下層・上層の境界条件も含めて解くことは難しい。

一方で、赤道ファウンテンに代表される下層大気から発生した大気変動は、中間圏界面付近で散逸して運動量を放出し、全球的な子午面循環を駆動することが理論的に推測されているが、その定量的な評価は十分には行われていない。また、この運動量放出によって発生する二次的な波動や、中間圏で散逸しなかった波動がさらに高い高度に侵入し、電離圏のプラズマ変動を地球規模で引き起こしていることが最近の研究から明らかになっている。これらの過程は数時間スケールの大気重力波から数日スケールのプラネ

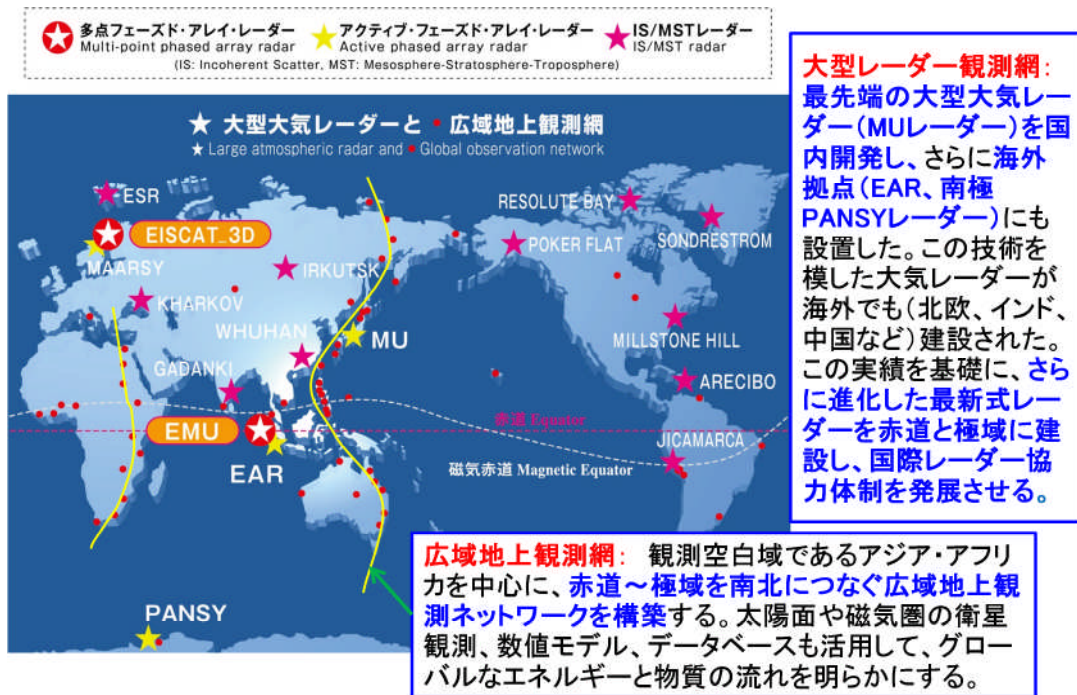


図4 全球観測ネットワークによるグローバル結合過程の研究

タリー波まで、広く発生していることが分かってきた。近年の観測では、北極域成層圏で冬期に起こる突然昇温の影響が、上空の大気だけでなく、遠く離れた赤道域電離圏にまで現れることが明らかになった。この原因として、大気波動の緯度間結合が考えられているが、その全容は未解明のままである。また、電離圏で頻繁に観測される伝搬性電離圏擾乱は、下層大気やオーロラ帯からやってきた大気波動と、電磁場変動に左右される電離圏のプラズマ不安定の両者が成因と考えられており、両者を切り分ける研究はまだ十分になされていない。

中性大気変動と電磁場変動が複雑に絡み合った中層・超高層大気の変動をグローバルに理解していくためには、(1)(2)で記載された極域と赤道域における大型大気レーダーによる拠点観測に加えて、このレーダーと同じ経度に位置し、観測的にも空白域になっているアジア・アフリカの子午面において、図4に示すような緯度方向に展開された広域地上多点観測網を整備することが重要となる。この観測網では、高感度大気光カメラ、GNSS 受信器群、ファブリ・ペロー干渉計、流星レーダー、大型短波レーダー、磁力計等を組み合わせることによって、複数高度における電磁場変動と中性大気変動を同時に多点で観測する。また、大気潮汐やプラネタリー波は経度方向に構造を持つため、極域を中心として経度方向にリング上に観測点を展開する。これらのリモートセンシング観測を、電離圏高度の人工衛星による大気・プラズマの直接観測や広範囲をカバーできる人工衛星からの撮像観測と組み合わせて、グローバルな大気結合を測定する。

2. 国内外の研究動向と当該計画の位置付け

本計画にかかわる国内外の研究動向について、図6に概要を図示する。

国際共同研究プログラム

太陽地球系科学は、国際的には ICSU（国際科学会議）傘下の SCOSTEP（Scientific Committee on Solar-Terrestrial Physics, 太陽地球系物理学・科学委員会）が国際プロジェクトを策定・実施することで推進してきた。我が国では、これらの端緒となった IGY（国際地球観測年、1957～1958年）より、国際プロジェクトに対応して日本学術会議において議論が進められ、大型の研究装置・研究課題が実施されてきた。最近では、太陽活動変動が地球に与える影響を明らかにすることを目的として、国際協同研究「太陽地球系の気候と天気-I/II」（Climate And Weather of the Sun-Earth System-I/II - CAWSES-I/II, 2004-2008/2009-2013）が実施された。さらに2014年からは、新たに「太陽活動変動とその地球への影響」（Variability of the Sun and Its Terrestrial Impact - VarSITI, 2014-2018）が開始されている。一方、国連の傘下には国際宇宙天気イニシアティブ（ISWI: 2010-）が形成され、発展途上国を対象として研究振興とともに若手研究者の育成が図られている。本計画の代表者及び参加研究者は、CAWSES-IIとVarSITIの国際リーダーやISWIの事務局を勤めるなど、これらの国際協同研究の中心メンバーとして参加し、特に地上からのリモートセンシング観測で大きく貢献してい

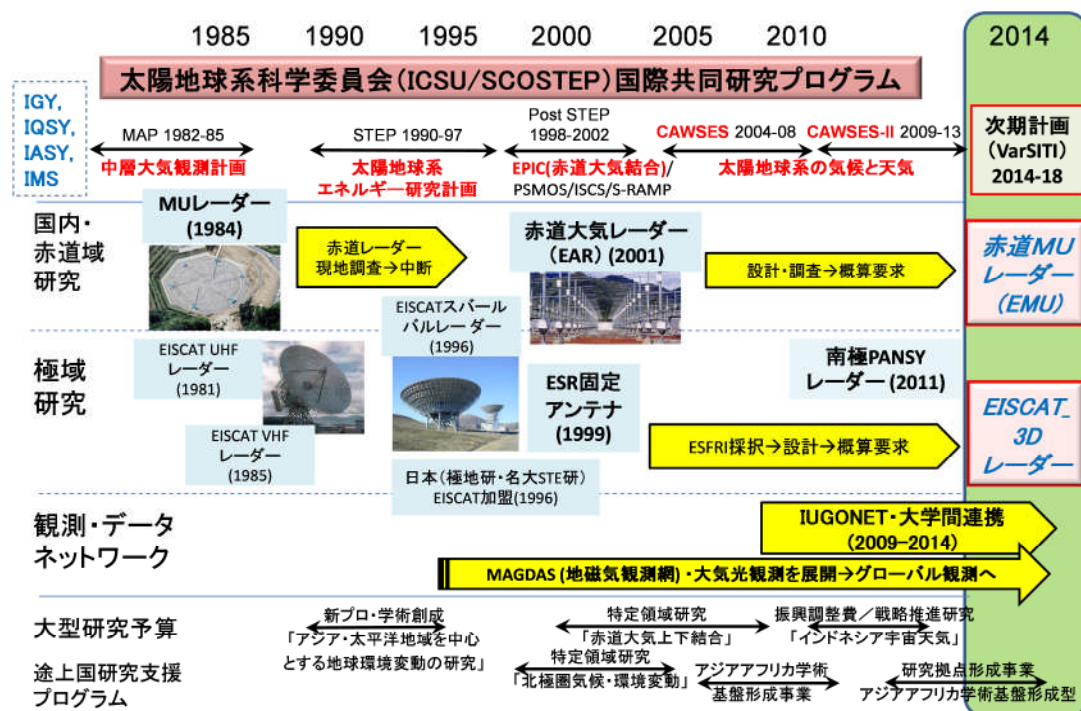


図6 国内外の研究動向と当該計画の位置づけ

る。

大型レーダー

これらの国際共同プログラムの内、1982～1985年に実施されたMAP(中層大気観測計画)の期間中である1984年に、京都大学生存圏研究所(以下では生存研、当時の名称は超高層電波研究センター)が我が国初の大型レーダーであるMUレーダー(以下ではMUR)を滋賀県甲賀市信楽町に設置して地表近くから高度1000kmまでの観測を開始した。1992～1997年のSTEP(太陽地球系エネルギー研究計画)とその後のPost STEPプロジェクトの期間には、それまでヨーロッパ諸国が共同で設立・運営していたEISCATレーダーに、国立極地研究所(以下では極地研)と名古屋大学太陽地球環境研究所(以下ではSTE研)が1996年に参加(初の欧州外からの参加)して北極域に研究拠点を形成し、1999年にはEISCATスバルバルレーダーに大型の固定アンテナを追加設置した。一方、赤道大気については、生存研が1980年代末から新たな大型レーダー(赤道レーダー)をインドネシアに設置すべく現地調査を開始し、並行してラジオゾンデ(気象観測気球)を用いた赤道大気の観測研究を始めていた。当時より生存研が主導して進めてきた日本・インドネシアによる赤道大気の研究は、2001年に赤道大気レーダー(以下ではEAR)設置として結実し、以来、現在まで連続観測を継続している。さらに極地研は東京大学と共同で、2010年から南極昭和基地に大型レーダーPANSYの建設を開始した。2011年から一部システムの稼働が始まっており、2015年からは全システムによる観測が開始される。

以上の経緯により、我が国は現在では国内(中緯度域)、赤道域、北極・南極域に大型レーダーを有する世界でも唯一の存在である。これら全ての大型レーダーの利用は、全国・国際共同利用の枠組みによって国内外の研究コミュニティに開放されており、広範な太陽地球系科学の研究に活用されている。ただし、MUR・EAR・PANSYが観測方向を電子走査する先進的なアクティブフェーズドアレイアンテナ方式であるのに対してEISCATは機械的なパラボラアンテナ方式に留まっていること、EARが他のレーダーに比して感度が約1/10と低いことなど、大型レーダーの全球ネットワークとして不十分な部分が残っていた。そこで本計画では、EAR観測所に赤道MUレーダーを新設すること、EISCATレーダーをアクティブフェーズドアレイアンテナ方式のEISCAT_3Dレーダーに更新することによって、赤道域と極域における観測性能を大幅に向上することとした。

広域観測網・科学衛星・観測データベース

広域の観測網に関しては、九州大学国際宇宙天気科学・教育センター(以下ではICSWSE)によるMAGDAS(地磁気観測網)とSTE研によるOMTI(大気光イメージャ・ファブリペロー干渉計観測網)を代表として、1990年代から現在までネットワークを拡張しつつ根強く研究が続けられてきた。広域観測網による水平方向に広い領域の観測は、大型レ

画を速やかに実施に移すことによって、地上の大型レーダーと広域観測網と同期間に宇宙の ERG が稼働することとなり、多くの観測を有機的に連携して理想的な形で研究計画が推進できる。もちろん本計画の推進に当たっては、利用可能な諸外国の科学衛星観測との連携も推進していく。

我が国の研究者は、以上に示したように太陽地球系科学に関する長期間・多種多様な観測データを蓄積してきた。これらを取りまとめ、効率よく公開することを目的としたプロジェクト IUGONET（超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究）が、生存研・STE 研・極地研・IGSWSE に加えて東北大学理学研究科と京都大学理学研究科の参加を得て 2009～2014 年に実施中である。IUGONET で得られた観測データのマネジメント技術やソフトウェア資産は、多種・多様なデータの効率良い活用手法として非常に有用である。本計画ではこれらを活用することによって、研究の効率をさらに増進させる。

研究プロジェクト

上記の様々な研究の推進に当たって、我々は、新プログラム・学術創成研究、特定領域研究（2 課題）、戦略推進研究に代表される各種の大型研究予算を獲得してきた。一方で、途上国を中心とする研究者の支援についても、アジア・アフリカ学術基盤形成事業、研究拠点形成事業、2 国間共同研究などの研究交流を目的とする予算を獲得して積極的に活動している。さらに我々は 21 世紀 COE プログラムやグローバル COE、リーディング大学院プログラム等にも積極的に参画することによって、広い領域の研究教育活動を進めてきた。

キャパシティビルディング

これまで我が国では、赤道大気レーダーを中心とした観測網を整備して、低緯度・赤道域の超高層大気の研究を推進することにより、東南アジア諸国との研究協力の輪を拡げてきた。また広域地磁気ネットワーク観測 (MAGDAS) は、発展途上国を中心とした観測ホスト研究機関と協力して 73 観測点を世界中に展開している。国際協働事業による研究成果は日本を中心に挙げられ、現地の研究者による研究がなかなか進まないという問題があった。しかしながら近年東南アジア諸国の研究水準は向上してきており、各国政府が主要大学・研究所の研究者に国際水準の成果を挙げるように要求する状況になっている。一方でアフリカでは、国際スクールによる啓蒙活動などを通じて、超高層大気を研究しようという要望が現地から上がるようになってきている。アフリカは観測的に「未踏の地」であるため、研究拠点を設けようという動きが欧米からも盛んである。

キャパシティビルディング活動は、健全な協働活動による恒常的な観測網維持という意味からも非常に重要である。また国際的な若手研究者養成により、我が国のプレゼンス向上に寄与すると共に、若手研究者の国際的教育能力の向上、国際的視野を持つ人材

育成に大きく貢献することが期待される。

キャパシティビルディングの実践に関して、我々は、アジア・アフリカ学術基盤形成事業、研究拠点形成事業、2国間共同研究などの研究交流を目的とする予算を獲得して積極的に活動している。21世紀COEプログラムやグローバルCOE等にも積極的に参画することによって研究教育活動を進めてきた。本計画の参画機関が取り組んできたキャパシティビルディングの実績を付録(8)に示す。2003年ごろから、京都大学の21世紀COEプログラムKAGIによってアジア域の大学院生・若手研究者を対象とするサマースクールが合計6回、主としてインドネシア・バンドン市で開催されてきた。2008年からはアジア・アフリカscience platform事業による特別セミナーが同様に実施されている。2009年からは国連傘下の国際宇宙天気イニシアティブ(ISWI)が活動を開始して、太陽地球系科学の一部である宇宙天気研究の国際スクールを開催してきた(図8)。ISWI国際スクールは毎回多くの参加者を集めている。2012年に九州大学に設置されたICSWSEは、教育を重視して推進する点に大きな特徴があり、MAGDASを用いた科学研究の教育を推進し、ISWIが主催する国際スクールの推進に中心的な貢献を果たすなど、発展途上国の研究者育成に積極的に取り組んでいる。

以上のような取り組みによって、アジアやアフリカ地域等の発展途上国の若手研究者の成長が期待できる。すなわち、科学技術を通じて我が国の外向的利益に貢献する。また東南アジア諸国が独自の宇宙開発に乗り出そうとしている現在において重要な取り組みである。



図8 インドネシアで開催された国際スクール
(ISWI/SCOSTEP/MAGDAS Indonesia School、2012年9月)

計画 (http://www.sgepss.org/sgepss/shorai/SGEPSS_syorai_Jan2013.pdf) の中でも、重要な大型計画として位置づけられている。また、気象学会においても、赤道大気研究の重要性が認められている。これら研究成果のとりまとめを行う国際シンポジウムを国内で主催し、国際コミュニティの意見集約も進めている。具体的には、以下に示す多数のシンポジウムを経て、本計画はコミュニティからの支援を獲得してきた。

- CAWSES 国際シンポジウム (2007 年 10 月、京都大学)
- CAWSES-II 国際シンポジウム (2013 年 11 月、名古屋大学)
- JpGU 大会特別セッション (2008/2010/2011/2012/2013/2014 年)
- SGEPS 総会・講演会特別セッション (2006/2007 年)
- JpGU 宇宙惑星科学セクションシンポジウム (2013 年 2 月、神戸大学惑星科学研究センター)
- UN/Japan Workshop on Space Weather (2015 年 3 月、九州大学 (予定))

2013 年に地球惑星科学連合 (JpGU) が行った公開ヒアリングにおける本計画の評価は、「研究目的、研究方法及び実施体制が明確で、よく練られた計画である。これまで実績を上げてきた研究プロジェクトであり、人材育成にも貢献してきており、引き続き成果を期待する。」という高いものであり、国内コミュニティからも支援を受けている。

これらの研究コミュニティにおける議論と並行して、生存研は赤道 MU レーダーの概算要求を 2011 年度 (平成 23 年度) から開始しており、2015 年度 (平成 27 年度) 概算要求にも提案済みである。EISCAT_3D レーダー計画は、EU の大型研究設備ロードマップ (ESFRI) に採択済みであり、スウェーデン及びノルウェーから我が国への協力要請が出されており、極地研が概算要求を行っている。

本計画の計画全体に対しては SCOSTEP からサポートレターを得ている。さらに赤道 MU レーダーに対してはインドネシア航空宇宙庁から、EISCAT_3D に対して EISCAT 本部からサポートレターを得ている。また ICSWSE の活動に対しては国連宇宙利用部からサポートレターを得ている。これらのサポートレターのコピーを付録 (6) に示す。

本計画は、以上の経緯をたどって固められたものであり、マスタープラン 2014 に応募し審査を受けて重点大型研究計画に採択された (付録 (1) (2) (3) (5))。

国際協力・国際共同

太陽地球系結合過程の研究は本質的に国際的であり、我々は数々の国際共同研究プロジェクトに参加し重要な貢献を果たしてきた。特に、日本は太陽地球系科学の国際共同研究プロジェクトを牽引してきており、最近では、2004-2013 年に SCOSTEP が実施した CAWSES プログラムで津田 (京大生存研、本計画代表者) が、また、2014 年以降の VarSITI では塩川 (名大 STE 研、本計画の共同提案者) が国際リーダーを務めている。その他に

も数々の国際共同研究プロジェクトに関する国際シンポジウムのコンビーナの役割を日本の研究者が担ってきた。

現在の EAR はインドネシアと共同研究契約を交換して国際協力のもとで運営中であり、本計画の EMU も両国の緊密な協力のもとに整備される。EISCAT 科学協会は、日本、中国、英国、ノルウェー、スウェーデン、フィンランドの 6 加盟国により運営されており、活発な学术交流により様々な国際共同実験及び研究を実現してきた。2010 年 12 月からは加盟国以外からの実験公募を開始しており、世界中の研究者が最先端科学成果を享受する体制が築かれている。EISCAT に関する我が国の科学的貢献や国際的信用は高く、我々は EISCAT_3D に対しても国際共同運用及び研究体制に深く関与し続ける。地上広域観測網は、これまでもアジアやアフリカの関連研究者との良好な国際協力のもとに構築されており、ロシア、インドネシア、タイなどの研究機関と本事業の参加研究機関の間で学术交流協定が締結されている。本計画で整備する設備は、国際的に共同利用して行く。

科学者コミュニティの広がり

本研究に関連する学術コミュニティは、国際的には ICSU 傘下の SCOSTEP、URSI、IUGG (IAGA, IAMAS)、並びに国連傘下の ISWI である。国内においては、地球電磁気・地球惑星圏学会 (略称 SGEPPS、会員数約 700 名)、日本気象学会 (会員数約 4000 名)、電子

本計画に直接関与する研究コミュニティ: **全世界44カ国の185機関から481名**
(うち国内、46機関、226名)

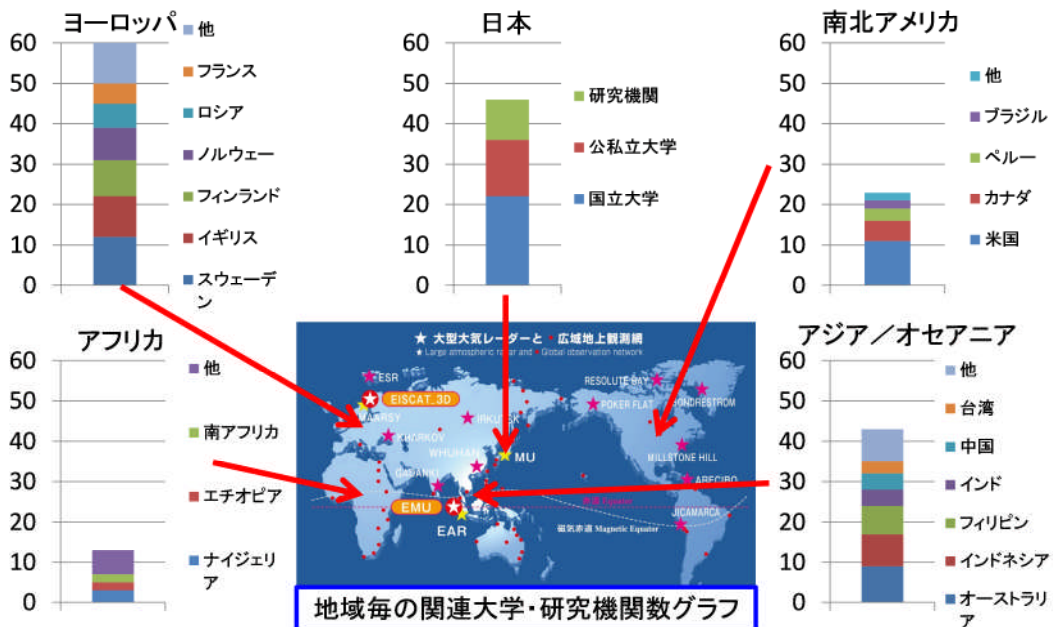


図 10 国内・海外の研究コミュニティの広がり
(関連大学・研究機関数のグラフ)

情報通信学会（会員数約 30,000 名）等との関連が深い。

本計画の参画機関は大学共同利用機関（極地研）および共同利用・共同研究拠点（生存研、STE 研）であって、後述のように共同利用を推進している。図 10 は、我々が運用する既存の大型大気レーダーや広域観測を実際に共同利用した大学・研究機関の数を、世界の地域毎に示している。本課題に関連する科学者コミュニティは、それら共同利用の利用者及び国際的な関連研究者から構成される。ここ数年の共同利用実績から本計画に関連する科学者コミュニティに含まれる研究者総数を調査したところ 481 名であった。国内では、国立大学のみならず、公立・私立大学及び研究機関等を加えて、46 機関、226 名が利用している。特筆すべきは、その国際的な広がりである。付録（7）に本計画に関連する大学・研究機関のリストを示すが、全世界に分布する 44 か国の 185 機関に達している。図 10 のグラフより、共同研究を以前より行ってきた欧米の大学・研究機関に加え、アジア諸国からの利用も多い。また、広域観測を展開し始めたアフリカにおいても利用者が拡大しつつある状況が見て取れる。

4. 所要経費と年次計画

所要経費

総額 120 億円（地上観測について 10 年計画）うち設備 70 億円、運営 50 億円

(1) 赤道ファウンテン 計 55 億円

設備費 赤道MUレーダー 35 億円

運営費 赤道 MU レーダー運営 20 億円（10 年間）

概算要求：京都大学生存圏研究所

(2) 極域エネルギー流入・応答過程 計 35 億円

設備費 EISCAT_3D レーダー 25 億円

運営費 EISCAT_3D レーダー観測 10 億円（10 年間）

注) 日本は全体の EISCAT_3D 建設予算の約 15%（約 25 億円）を分担する。また運営費として年額約 1 億円を分担することによって、現行の EISCAT 特別実験時間枠（全体の 15%）を確保する。

概算要求：国立極地研究所

(3) 広域地上観測網 計 30 億円

設備費（高感度全天カメラ、高感度磁力計 等） 10 億円

運営費 広域地上観測運営費 20 億円（10 年間）

概算要求：名古屋大学太陽地球環境研究所

九州大学国際宇宙天気科学・教育センター

（運営費には IUGONET コンソーシアムの運営等を含む）

年次計画

赤道MUレーダーと地上広域観測網については、予算化されればすぐに実現に向けて動き始め、2年間程度で装置類の設置を完了できる見込みである。初年度に赤道MUレーダーの建設に着手し、約1年間で完成させる。機器調整および予備観測を進め、4年度目に広域観測網と連携した赤道重点観測を実施する。また、別途進められている、放射線帯観測衛星（ERG）とも共同観測する。一方、極域については、日本が関与する、EISCAT_3D レーダーの中核施設を初年度の後半に建設開始し、約3年間で完成させる。他の加盟国が分担するサブシステムを含めた全体システムは5年度目に完成する。EISCAT 科学協会が全体計画の各種コーディネートをを行い、建設スケジュールに遅延が生じないようにする。6年度目からは、赤道の EMU、国内の MU レーダーおよび両極域の

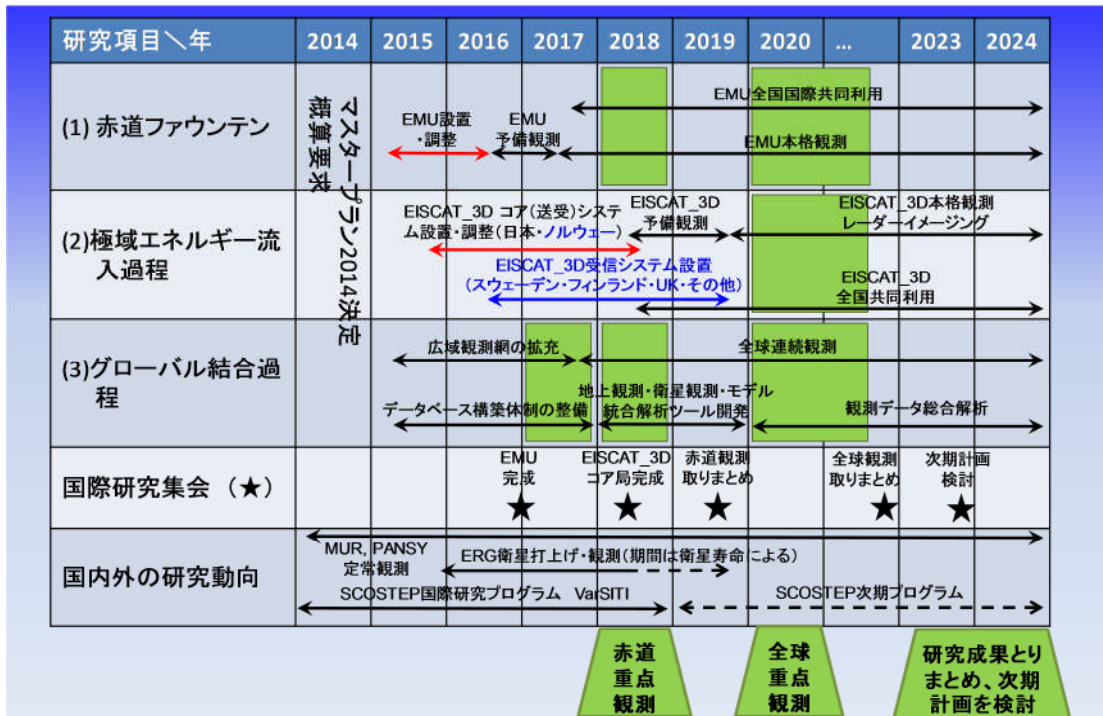


図 1 1 本計画の年次計画

レーダー(EISCAT_3D、PANSY)をフル稼働した全球観測を実施してゆく。

2014年度を起点とした本計画の年次計画を図11に示す。詳細は以下の通りである。

2014年度：

マスタープラン2014の決定

概算要求

MUレーダーおよびPANSYは定常観測を継続中。

SCOSTEP国際研究プログラムVarSITI開始(2018年まで)。

2015年度：

赤道MUレーダーの入札・発注と建設開始。

EISCAT_3Dコア(送受)システムの建設開始(2018年までに完成予定)

広域地上観測網の整備を開始

大学間連携プロジェクトIUGONETをベースとしたデータベース構築体制の整備

ERG衛星打上げ(2015年12月予定)

2016年度：

赤道MUレーダーが完成、予備観測を開始する。

EISCAT_3D受信システムの建設開始(2019年までに完成予定)

IUGONET後継プロジェクトによる観測データベース構築と地上観測・衛星観測・モデリングの統合解析ツールの開発。アジア・アフリカ域及び極域における広域地上観測網の整備。

国際研究集会（EMU 完成時点）

2017 年度：

赤道MUレーダーが本格観測を開始する。京都大学生存圏研究所が全国・国際共同利用に供する。

広域地上観測網による大気圏・電離圏・磁気圏観測の維持・継続

2018 年度：

赤道域を中心とする強化観測（一部については 2017 年度から）を実施する。

EISCAT_3D コア（送受信）システムが完成、予備観測を開始する。

国際研究集会（EISCAT_3D コアシステム完成時点）

2019 年度：

EISCAT_3D が本格運用を開始する。長期の継続運用を他の加盟国と国際共同で行う。

国際研究集会（赤道域の強化観測取りまとめ）

SCOSTEP 次期国際研究プログラム開始。

2020 年度～：

全球の強化観測を実施する。観測データの総合解析を継続する。

長期の継続運用を国際共同で行う。

国際研究集会（全球の強化観測取りまとめ）

2023～24 年度：

研究の取りまとめと次期計画の検討を行う。

国際研究集会（次期計画の検討）

5. 主な実施機関と共同利用体制

実施機関

本計画の実施課題と主たる実施機関は以下の通りである。

(1) 赤道ファウンテン

京都大学生存圏研究所（赤道 MU レーダー建設・運営の総括）
インドネシア航空宇宙庁（赤道 MU レーダー運営協力）

(2) 極域エネルギー流入・応答過程

国立極地研究所（EISCAT_3D 建設・運営の分担）
名古屋大学太陽地球環境研究所（EISCAT_3D 共同研究推進）
EISCAT 科学協会（EISCAT_3D 建設・運営の総括）

(3) グローバル結合過程

名古屋大学太陽地球環境研究所（光学・電磁場観測網の整備推進）
九州大学国際宇宙天気科学・教育センター（地磁気観測網（MAGDAS）の整備推進）
京都大学生存圏研究所（MLT レーダー観測網の整備推進）
IUGONET 運営協議会（観測データの相互利用推進、情報システム開発）
京都大学生存圏研究所
国立極地研究所
名古屋大学太陽地球環境研究所
九州大学国際宇宙天気科学・教育センター
京都大学理学研究科附属世界地磁気資料センター
京都大学理学研究科附属天文台
東北大学理学研究科

関連事業

太陽観測衛星 SOLAR-C、放射線帯探査衛星 ERG、南極大型大気レーダー-PANSY

共同利用体制

本計画の実施体制を図 1 2 に示す。まず、赤道 MU レーダーは京都大学生存圏研究所が実施主体となり、インドネシア航空宇宙庁と共同で建設する。次に、EISCAT_3D レーダーは国立極地研究所と名古屋大学太陽地球環境研究所が連携して、北欧諸国と共同で設置を進める。広域観測および統合データベース構築には、これら 3 機関と九州大学国際宇宙天気科学・教育センターに加え、国内の多くの研究者が参画する。

本計画には、大学共同利用機関である国立極地研究所と共同利用・共同研究拠点である京都大学生存圏研究所と名古屋大学太陽地球環境研究所が参画しており共同利用体制は完備している。2つの共同利用・共同研究拠点に関する中間評価では、生存研はレーダーの国際共同利用、STE研は広域観測が特に評価されている。極地研では、一般の南極観測とは別に、EISCATの国際共同利用を専門に議論する委員会を構成して特別対応している。また九大はアジア・アフリカでの人材育成に実績を有しており期待が大きい。

京大生存研はMUレーダーを1984年の完成当初から全国共同利用に供し、多くの研究成果を生み出してきた。半年毎に公募を行っており、半期で30件程度の課題が採択されている。2001年に完成した赤道大気レーダーも2005年から共同利用に供しており、当初から国際共同利用として海外の研究者による利用が全課題数の約3割を占め、年1回の公募で、毎年30件程度の課題が採択されている。なお現在では、MUレーダー・赤道大気レーダーを含む国際的な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するため、両レーダーの共同利用を統一して運用しており、2013年度の年間課題数は92件であった。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公開を原則としており、国立極地研究所・東北大学・名古屋大学・京都大学・九州大学の5機関連携の特別教育研究費プロジェクト「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究(IUGONET)」(平成21~26年度)によって、メタデータ・データベースや解析ソフトウェアUDASが整備され、多様な観測データの共同利用体制が構築されている。

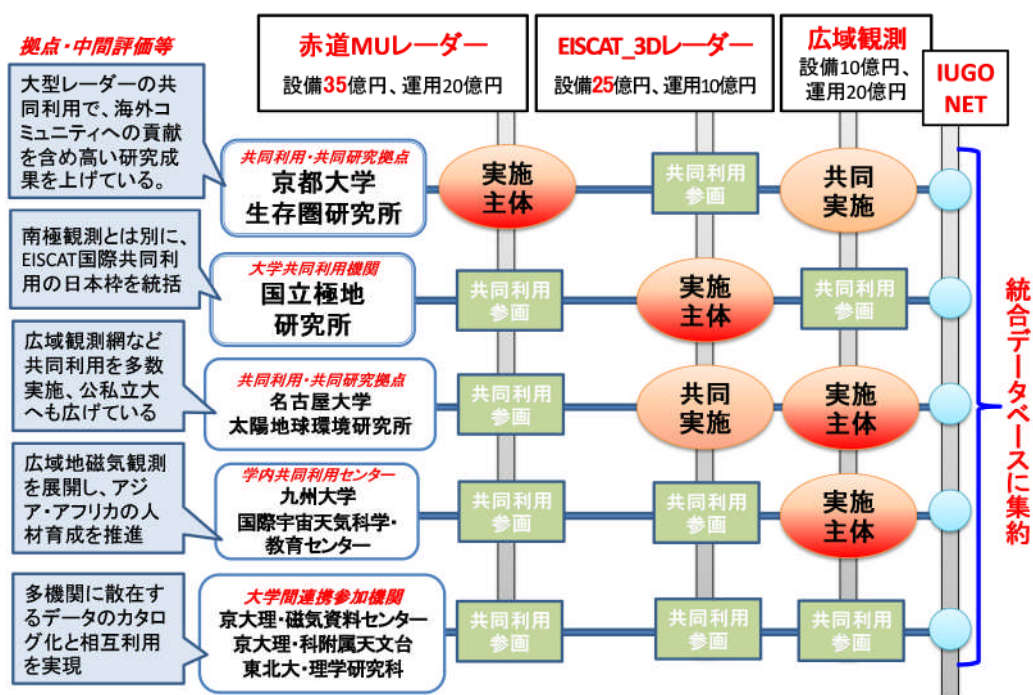


図 1 2 本計画の実施体制

EISCAT は国際的に共同利用されている。国立極地研は 1996 年に EISCAT 科学協会に加盟以降、我が国向けの共同利用を推進してきた（年間 17 機関・約 50 名が利用）。新設の EISCAT_3D も共同利用を行っていく。名大太陽地球環境研では、2010 年度より新たに地上ネットワーク観測共同研究を開始して、年間 17-25 件の研究課題を採択し、全国の関連研究者による観測網の構築を支援している。九大国際宇宙天気科学・教育センターは教育面に特徴があり ISWI/MAGDAS 国際スクールを開催して世界の若手研究者の育成に実績を示してきた。本計画でも全世界の広域地上観測網の利用者育成を積極的に実施していく。

本計画で整備される観測装置は、いずれも共同利用のもとで開放的に運用する計画である。本計画は、日本学術会議や国際・国内学会における広範な研究者コミュニティの議論を経て立案されたものであるが、研究の基盤となる利用者の範囲を推定する目的で、本計画の参画機関がそれぞれ主催する共同利用・共同研究の利用者について調べた。利用者の所属機関あるいは協力先の大学・研究機関を取りまとめ、重複を排除した結果が、付録（7）の関係研究機関リストである。全世界の 42 か国に分布する 185 の大学・研究機関が含まれている（図 10）。さらに利用者数の総計は、481 名に達した。本研究は、この広く厚い研究者群に支持されている。

6. これまでの準備状況

本計画は「マスタープラン2011」に採択された計画番号23（課題名同じ）に立脚している。京大・極地研・名大・東北大・九大の5機関連携による IUGONET プロジェクト（2009年度開始）では、EISCAT、赤道大気レーダー（略称 EAR）、MU レーダー等のデータ相互利用の基盤を整備してきた。EISCAT_3D を含む今提案は、関係者の議論と調整を経て策定された。マスタープラン 2014 申請時の区分に従えば、本計画の準備状況は「4）予算要求段階にある」である。以下に本計画で整備する各装置の準備状況について示す。

（1）赤道 MU レーダー

我が国は、MUレーダー（中緯度域の大気レーダー）、南極昭和基地大型大気レーダー-PANSY（極域の大気レーダー）、赤道大気レーダー（低緯度域の大気レーダー）と低緯度・中緯度・高緯度域にそれぞれユニークな観測装置を有している。赤道大気レーダーは生存研の最大・最重要な海外研究拠点であり、図13に示すように、多くの観測装置を集積した赤道大気総合的な研究拠点となっている。2001年の完成以来今日まで連続観測を続ける一方、全国・国際共同利用によって国内外の関連研究者に対して開放的に運用してきた。しかしながら、赤道大気レーダーは他の2者より感度が1/10と低くバランスを欠く状況である。

本計画では、レーダーの飛躍的な拡充をめざし、MUレーダーと同等以上の感度を有する高機能大気レーダー「赤道MUレーダー」をインドネシア共和国に設置する。本設備の概要を図14に示す。1,045台のクロス八木アンテナが略円形敷地内に配置された「アレイアンテナ」、各アンテナ基部に設置された同数の「送受信モジュール」、ソフトウェア無線技術を駆使して多チャンネル・多周波数の変調パルスを生成し受信信号を復調し信号処理するサブシステムと信号の分配・合成回路等から構成される「多チャンネル変復調・データ処理装置」で構成され、多チャンネル・多周波数の送受信機能と高度な信号処理技術により、地上から超高層大気に至る広領域の大気現象を3次元イメージング観測する。本設備は高度化する大気微細構造の観測ニーズを満足するために必要不可欠であり、導入によって、地球環境変化の鍵を握る赤道域大気現象の微細構造を立体可視化して捉えることが可能となる。

赤道 MU レーダーの整備については、生存研より平成27年度概算要求・特別経費（基盤的設備等整備分）を要求している。また長年にわたって赤道大気の研究を続けており、EAR 運営パートナーでもあるインドネシア航空宇宙庁長官からサポートレターを得ている。赤道 MU レーダーの実現に向けてこれまでに、以下に示すような努力を払ってきた。

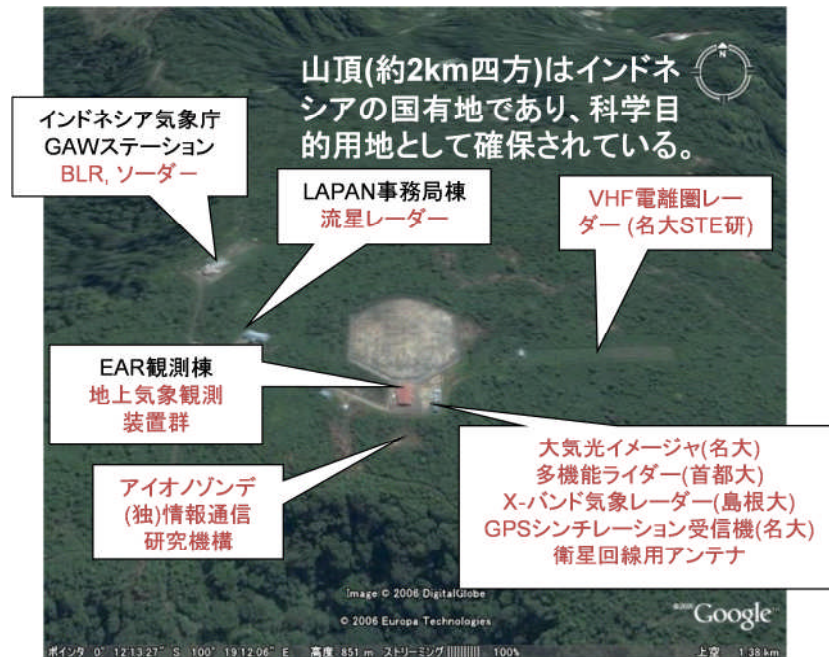


図 1 3 赤道大気レーダー観測所の全景 (写真: Google Earth より)

(日本・インドネシア双方からのサポート)

平成 23 年 9 月 22～23 日に赤道大気レーダー 10 周年記念式典及び記念国際シンポジウムをジャカルタで開催した(図 1 5)。インドネシア側から Suharna Surapranata 研究技術(RISTEK)大臣、Bambang Tejasukumana インドネシア航空宇宙庁(LAPAN)長官を初めとする多くの政府高官、日本側から島田順二 駐インドネシア公使、澤川和宏 文部科学省研究振興局学術機関課長、塩田浩平 京都大学理事・副学長らの出席を得て成功した。我々の研究に対する理解とサポートが確認された。

(設計・計画の高度化)

本設備の設置に関わる現地調査を平成 24 年 3 月に実施した。設置候補地の地形、電源確保の諸問題、資材運搬に利用する道路の現況など、本装置を実現する上で重要な問題点について多くの知見が得られた。この調査結果をもとに、設備設計と設置計画を飛躍的に高度化することに成功した。

(研究コミュニティにおける議論)

日本地球惑星科学連合の 2012 年大会と 2014 年大会において、それぞれ、特別セッション「赤道大気レーダー 10 周年 ～赤道大気研究の発展に向けて～」及び「Study of coupling processes in Sun-Earth system with large radars and large-area observations (国際セッション)」を開催した。現在までの研究成果を取りまとめと共に、研究コミュニティの将来構想について議論を行った。

(全国国際共同利用の発展)

赤道大気レーダーは平成 17 年度より全国国際共同利用を開始し、毎年約 30 件の課題

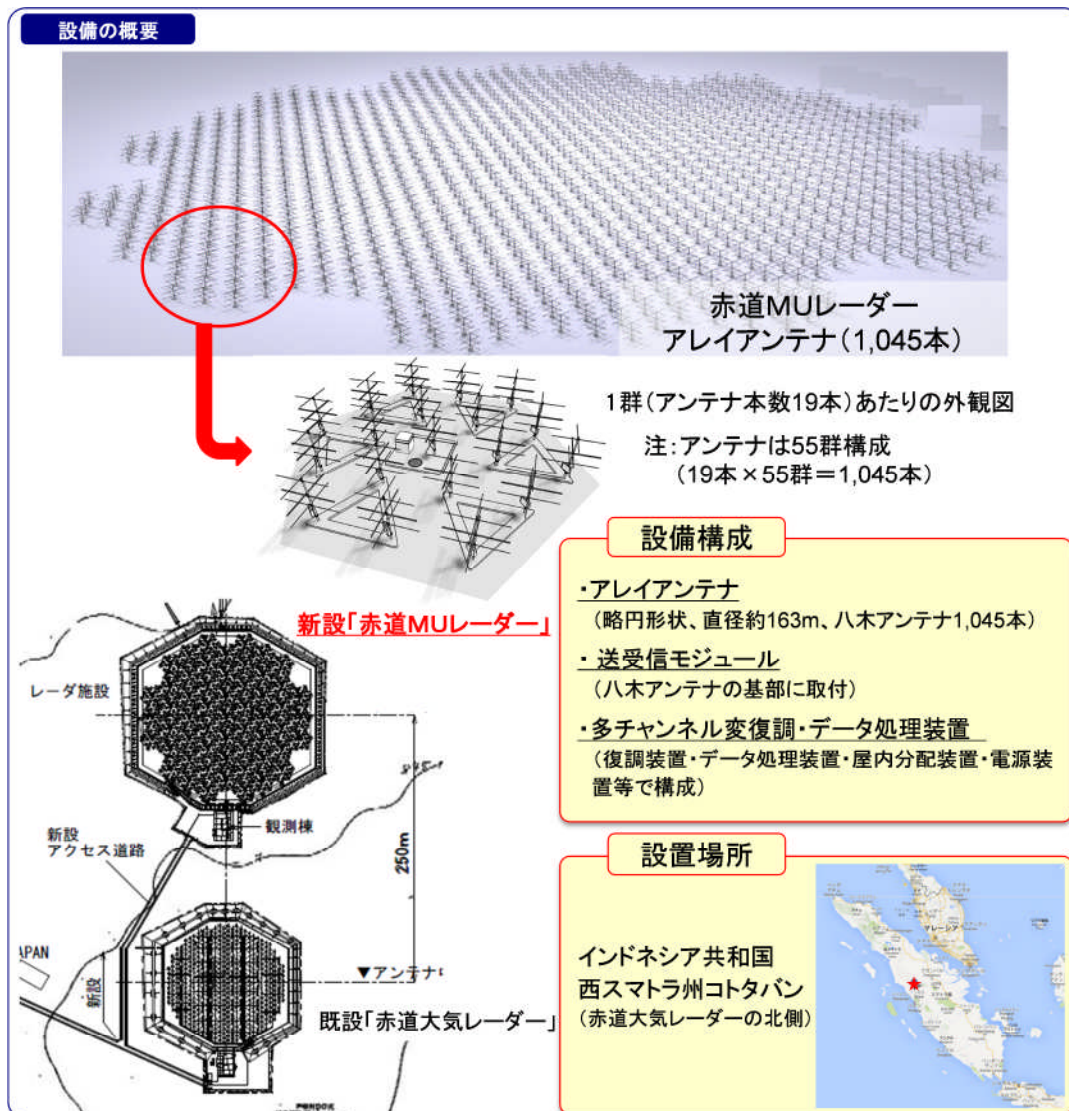


図14 赤道MUレーダーの概要



図15 赤道大気レーダー10周年記念行事(2011年9月22日)

を実施してきた。平成 24 年度には、更なる発展を狙って MU レーダー共同利用との統合を果たした。統合後の課題公募では MU レーダーと赤道大気レーダーの連携提案が得られており、実施が始まっている。

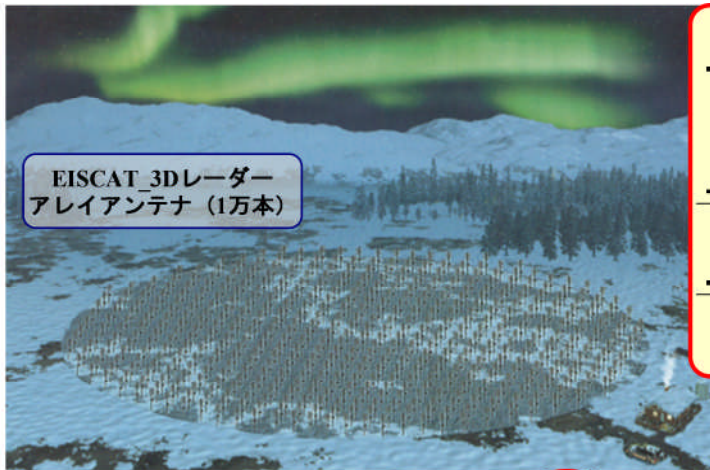
(2) EISCAT_3D 計画

EISCAT 科学協会は 1975 年に設立され、スカンジナビア北部において、1981 年から 30 年以上に渡って極域電離圏・超高層大気の観測を実施してきた。1996 年には、スバル諸島ロングイアビンに新たな IS レーダーを設置した。日本は 1996 年 EISCAT 科学協会に加盟し、それ以来 EISCAT レーダーを用いた観測研究を実施するとともに、EISCAT レーダー運営に関与してきている。2001 年に次期 EISCAT レーダーについての議論が始まり、EISCAT 将来構想“*E Prime*”が 2003 年にまとめられた。新規フェーズドアレイ建設計画のため、2005 年 4 月から 2009 年 4 月まで、5 機関が中心となって、EU の援助の元、EISCAT_3D デザインスタディ (Design study: FP6) (予算額 2M ユーロ) を実施した。これにより、レーダーシステムに関する基本的なデザインが確立し、2008 年に EISCAT 評議会にて EISCAT_3D 計画推進の最終決定を行なった。この EISCAT_3D 計画は、2008 年 12 月に EU の大型研究設備ロードマップ (ESFRI) に採択された 44 プロジェクトの 1 つに含まれた。2009 年には、EISCAT_3D 用周波数 (230-240 MHz) 免許を取得した。2010 年 10 月からは 4 年間の準備フェーズ (Preparatory phase: FP7) (予算額 4.5M ユーロ) を関係 9 機関が中心となって実施している。14 の Working Package に焦点を当て、技術的な課題を含め、総合的な検討を実施している。EISCAT_3D を用いて推進するサイエンスの内容については、国際ワーキンググループを形成して執筆し、2011 年 6 月に出版し、その改訂作業を順次実施している (全 109 ページ: <https://www.eiscat3d.se/project/fp7/science-case>)。レーダー設置サイトの検討も併せて行なっており、送信サイトを Skibotn・ノルウェー (69.33°N, 20.33°E) にすることを 2013 年 10 月の EISCAT 評議会にて決定した。図 15 に EISCAT_3D レーダーの概要図を示す。

我が国は 2009 年に国内ワーキンググループを立上げて準備フェーズに参加し、計画に日本のユーザーの意見を反映してきた。特に、JpGU 国際セッション (2013 年 5 月) や年 2 回の国内研究集会を継続して開催し、EISCAT_3D を用いてオールジャパンで推進すべき重要な科学課題をまとめている。

国際共同による EISCAT_3D 建設のための概算要求を平成 26 年度に国立極地研から行った (不採択)。現在、平成 27 年度概算要求を準備中である。ノルウェーおよびスウェーデンは 2014 年度の予算要求を行なった。フィンランドは、フィンランド大型設備計画へ申請し、2014 年 2 月に採択された。UK についても自国の大型研究ロードマップに既に採択され、建設予算申請の機会を検討中である。現 EISCAT 加盟国の中国も、次期 5 カ年計画に EISCAT_3D 建設予算を盛り込むことを検討している。ノルウェーおよびス

設備の概要

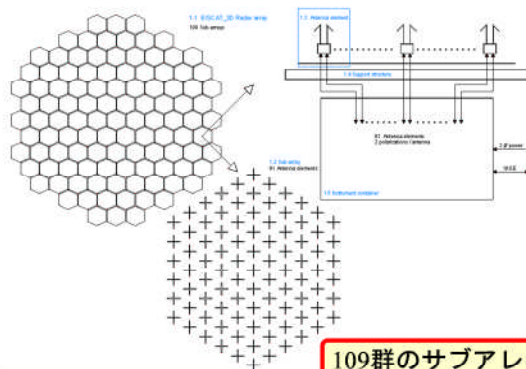
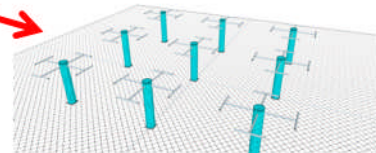


設備構成と特徴

- ・ 1つの送受信局と4つの受信局からなるユニークな多局式フェーズドアレイ大型レーダー
- ・ アレイアンテナ (略円形状、直径約120m、八木アンテナ1万本)
- ・ 送受信モジュール (八木アンテナ下部のコンテナに設置)



アンテナアレイを横から見た図。積雪対策のため、地上から約2mの高さにアンテナを配置。



EISCAT_3Dレーダー アレイアンテナ (1万本)

109群のサブアレイ (1群あたり91本のアンテナ) で構成

設置場所



図16 EISCAT_3Dレーダーの概要

ウェーデンの申請は、非常に高評価を得た（ノルウェーは7段階中、最高位の評価）。しかし、複数の国が関わる国際共同の大規模建設計画であるため、他国の予算計画の状況を含む、より具体的な計画の提出を要求されている。2014年1月22日には、ノルウェー、スウェーデン、フィンランドの関係者が集い、計画の具体性について議論を行った。日本は、EISCAT本部および関係各国の研究者らと緊密な連携を行っており、これらの国際動向を随時把握し、平成27年度概算要求に反映している。

(1) 広域地上観測網

太陽地球系科学においては、多数の観測点をグローバルに展開し、地球規模の変動を把握する広域地上観測網が必須である。この重要性は、1957-58年の国際地球観測年(IGY)以降に広く認識され、さまざまな努力が各国で行われてきた。IGYの頃には、地磁気変動を計測する磁力計と電離圏の基本パラメータを測定するイオノゾンの標準観測点世界各地に整備された。我が国では、南極昭和基地の観測、気象庁柿岡地磁気観測所による日本の3カ所での地磁気観測、郵政省電波研究所(現在の情報通信研究機構の一部)による日本の4カ所でのイオノゾンの標準観測が整備され、現在でも運用が継続されている。その後、観測キャンペーンなどで一時的な観測網が局所的に形成されてきたが、特に SCOSTEP が 1990-1997 年に推進した STEP 国際事業において、本格的な定常観測の整備の時代に入り、磁気経度 210 度付近の日本の子午面における地磁気観測点網が名古屋大学太陽地球環境研究所により、磁気赤道沿いの地磁気観測点網が九州大学によって整備された。その後、これらの地磁気観測点網は九州宇宙空環境研究センター(現在の国際宇宙天気科学・教育センター IGSWE)に引き継がれ、MAGDAS/CPMN ネットワークとして、南米やアフリカにも展開が開始されている。一方、名古屋大学太陽地球環境研究所は、1997 年より、高度 80-300km で発光する夜間大気光を撮像することによって中間圏界面と電離圏の大気・プラズマ変動の 2 次元可視化を可能にする高感度全天カメラを中心とした超高層大気イメージングシステムを開発し、日本やアジア、カナダ、ノルウェーなどの 12 カ所に設置してきた。これらの観測点網の展開と共に、現地研究者との研究交流も進んでおり、共同研究や研究者交流事業が行われている。特に発展途上国においては、現地の研究者が自力で研究を進めることができるように、スクールの開催や若手研究者の招聘などを通じて、現地研究者の研究のレベルアップがはかられている。

一方で、これらの観測点は、主に地磁気変動の観測と夜間大気光の 2 次元撮像観測に限られてきた。赤道 MU レーダーや EISCAT_3D レーダーと協力して、赤道ファウンテンに伴う大気・プラズマ変動が高緯度に伝わる過程や、高緯度に侵入した太陽からのプラズマエネルギーが低緯度に伝わる過程を調べるためには、アジアとアフリカの緯度方向の子午面に、従来の高感度カメラ、磁力計をより密に整備するだけではなく、中間圏と熱圏の風速・温度をそれぞれ測定する流星レーダーとファブリ・ペロー干渉計、異なる空間スケールで電離圏のプラズマの動きと構造を測定する VHF レーダー、HF レーダー、FM-CW レーダー、2 周波 GNSS 受信器を展開していく必要がある。

7. 緊急性と社会的価値

緊急性

○国際的競争・協力で我国がリードするために早期実施が重要。

本計画は太陽地球系科学の国際的な研究協力枠組み（IGSU/SCOSTEP, UN/ISWI など）の中で形作られている。1980年代以来の国際プロジェクトで、日本は大型大気レーダーの開発で貢献してきた。SCOSTEPが2014年に開始した国際プロジェクトでもリーダーシップを維持するには、本課題の実施が必須である。まず、EISCAT_3Dレーダーについて、EUのマスタープラン（ESFURI）で採択されており、ノルウェーやスウェーデンが概算要求中であり、日本が国際的連携を維持するためには、建設スケジュールの順守が重要である。また、赤道 MU レーダー（EMU）に関しては、インドネシア政府（研究技術省、航空宇宙庁など）から早期の計画推進が求められている。アジア域で太陽地球系科学を推進する機運が高まっている。

○早期に実施しないと国際的に著しい不利益を招く。

下記のように各国で大型大気レーダーに対する熱意が高まっており、早期に実施しないと国際的な開発競争に遅れを取りかねない。

中国： EISCAT 科学協会に加盟、また独自に大型大気レーダー（昆明）を建設中。

インド： フェーズドアレイの大型レーダーを計画中。

米国： 極域における大型レーダーの多点化を計画中。

更に広域観測網については、日本が早期から展開してきたアフリカに欧米諸国が進出しつつあり、優位性を維持するには早急な戦略的展開が必要である。当地域における人材育成にも遅れを取る恐れがある。

○実施の遅れにより、人材の深刻な流出が危惧される。

本学問分野は最新ハードウェアに依拠するところが大きいため、本計画の遅れは欧米・新興国の大型レーダーを使った研究へ人材流出を引き起こす恐れがある。

戦略性

○分野での世界トップを確実にし、我が国の強みをさらに伸ばす。

本計画の研究分野においては、国際共同研究プロジェクトを日本が牽引している。

・国際リーダーを努めるプロジェクト：CAWSES-II：津田（京大）、

VarSITI：塩川（名大）

・革新技術による大気レーダーの源流を創っている。

・赤道、中緯度及び両極のすべてに大型レーダーを有する日本の優位性を維持する。

○他分野への波及効果等がある。

本研究の推進により、以下のような波及効果が期待される。

- ・他の惑星や系外惑星の大気環境やプラズマの構造と変化の理解に発展する。
- ・大気環境や宇宙プラズマの多様・大量の観測データベースは、日本が中心に推進している WDS (World Data System) に直結し、かつ” Big Data” の実例となる。
- ・地表付近の環境変動の影響が超高層大気では増大して現れるため、温暖化の環境監視等の変化予測に貢献しうる。

○国際貢献や国際的な頭脳循環につながる。

2つの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、トップクラスの研究者間の頭脳循環が促進される。また、我々が本計画で実施するキャパシティビルディングを通じて、自然科学を指向するアジア・アフリカの若手が増え、科学振興に貢献できる。これらの活動を通じて、我が国の若手研究員・大学院生の国際交流が促進される。

○将来的な我が国の成長・発展につながる。

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すと考えられる。

○計画を実施しないと国の損失を招く。

本計画を実施しない場合の損失としては、以下の諸点が考えられる。

- ・大気レーダー観測、さらには太陽地球系科学における国際的リーダーシップを失ってしまう可能性が高い。
- ・2つのレーダー建設および広域観測展開は国際的に責任分担があり、実施しない場合は国際的信用を損ねかねない。

社会や国民の理解

【災害防止】

大型大気レーダー等を用いた大気や宇宙プラズマの研究は、極端気象の予報改善、ならびに宇宙天気の基本過程の理解に貢献すると期待され、風水害の未然予防、衛星システムの安全運用や衛星測位精度の向上等に寄与する。

【産業振興】

電波技術、信号処理、データ解析技術を産学連携で新技術開発することは産業振興につながる。

【国際貢献】

高度人材育成によってアジア・アフリカにおける日本のプレゼンスが向上し、我が

国の外交上の利益に貢献することができる。

【宇宙地球環境変化の理解】

太陽エネルギーを起源とする地球環境の生成・維持および長期・短期の変動機構の解明は、人類共通の根源的な興味であり、人々の知的好奇心を刺激する。

付 録

- (1) マスタープラン 2014 課題説明
- (2) 文部科学省ロードマップ 2014 ヒアリング説明資料
- (3) 総合科学技術会議説明資料
- (4) マスタープラン 2011 課題説明
- (5) マスタープラン 2011 から 2014 への改善点
- (6) サポートレター
- (7) 国内外の共同利用参画大学研究機関リスト
- (8) キャパシティビルディングの取組み実績リスト

付録（１）マスタープラン 2014 課題説明（日本学術会議公表文書より）

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t188-1.pdf>（本文）

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t188-1-1-3.pdf>（資料ページ）

計画番号 102 学術領域番号 24-1

太陽地球系結合過程の研究基盤形成

① 計画の概要

太陽から地球に至るエネルギーとプラズマの流れ、太陽活動の短・長期変動に対する地球の大気圏及び電離圏・磁気圏の応答過程を知り、太陽地球系の領域間の結合過程を解明し、統一システムとしての定量的な理解を深める。太陽からのエネルギー入力には放射エネルギーと太陽風（高エネルギー粒子の流れ）から構成される。前者は赤道域で最大であり後者の電磁エネルギーは磁力線を通じて極域に集中的に流入する（右図）。本計画ではこれらの特異点に大型レーダーを建設し、全球にわたる広域観測網を整備し、衛星観測等との連携を踏まえて研究推進する。（次ページ図）

(1) 赤道ファウンテン：地球上で最も大気擾乱現象が活発なインドネシアの総合観測地点に赤道 MU レーダーを設置し、地表付近の対流圏、中層大気、電離圏（超高層大気）に至る高度領域に共通するエネルギー・物質の噴流・循環過程（赤道ファウンテン）を解明する。

(2) 極域エネルギー流入過程：スカンジナビア半島北部に大型レーダーシステム EISCAT_3D を 6ヶ国の共同出資で建設する。太陽風エネルギー流入により大きく変動する電離圏・磁気圏を高解像度で 3次元観測し、極域の電離圏・中層大気へのエネルギー流入とその応答過程を解明する。

(3) グローバル結合過程：赤道域から極域までをカバーする中層大気及び電離圏の広域地上観測網を整備する。観測網からのデータを、我が国が打上げる太陽観測衛星 SOLAR-C や放射線帯観測衛星 ERG 等と組み合わせ、大量・多様な観測データ統合解析のためのメタデータベースや解析ツールを含む情報システムを開発する。各種モデル研究等との協同を通じてエネルギー及び物質のグローバル結合過程の研究を推進する。

以上の計画を現在推進中の大学間連携プロジェクト「超高層大気長期変動の全球地上観測・研究（略称 IUGONET）」の枠組みを利用して全体を調整しつつ推進する。

② 学術的な意義

地球には太陽を源とするエネルギー・物質流入があり、地球大気の基本状態は入力に対するバランスで規定されている。しかし太陽活動には長期・短期の変動がある上に、自然界に内在する擾乱および人為起源の変動があり、それらへの応答は複雑で未解明である。本計画ではこれまで個別に行われてきた領域研究を融合し、太陽地球系結合系におけるエネルギー再配分と物質輸送の定量的な解明を目指す。特に現象が顕在化する赤道域と極域の研究に重点を置く。

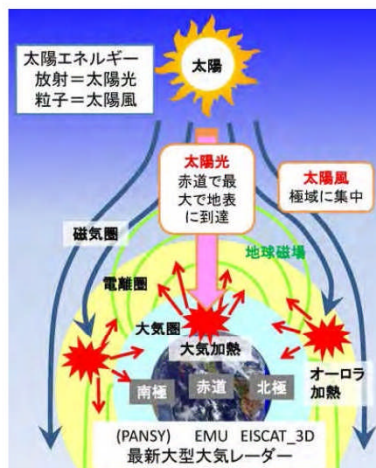
(1) 太陽からの放射エネルギーは赤道域の地表を暖め活発な積雲対流を生み大気波動を発生する。大気波動のエネルギーと運動量は姿を変えつつ電離圏まで運び地球周辺環境を変動させる。赤道域の地表から放出される大気物質は、対流圏を循環しつつ積雲や巻雲の生成・発達に寄与し、対流圏界面を通過して噴出され中高緯度まで広く輸送される。本課題が設置する赤道 MU レーダーを中心とする複合観測によって、大気の全高度域に現れるエネルギー・物質フローを解明する。

(2) 極域は太陽を起源とする高エネルギー粒子や太陽風、電磁エネルギーが直接流入するユニークかつ重要な領域である。世界で唯一、プラズマ流の 3次元ベクトルの立体構造観測が可能な EISCAT_3D による高解像観測を実現し、オーロラ微細構造やプラズマ-中性大気相互作用等の素過程を理解し、磁気圏最大のエネルギー解放現象であるサブストームをはじめとする重要現象の解明を目指す。

(3) 我が国が集中的に整備してきたアジアと観測空白域であるアフリカに、赤道から極域までをカバーする大気圏・電離圏の子午面観測網を整備する。また磁気圏でのエネルギー・物質の経度方向の循環過程の極域観測網を整備する。これらに太陽及び磁気圏の衛星観測、モデリング・データベースを組み合わせ、地球規模で大気圏・電離圏・磁気圏のグローバルなエネルギーと物質の流れを明らかにする。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

太陽地球系科学は、ICSU の SCOSTEP（太陽地球系物理学科学委員会）が国際プロジェクト CAWSES（2004-2008）、CAWSES-II（2009-2013）によって、並びに国連傘下の国際宇宙天気イニシアティブ（ISWI；2010-2012）が推進している。我が国は中心メンバーとして参加し、特に地上からのリモートセンシング観測で貢献している。日本学術会議の国際対応分科会 SCOSTEP 小委員会では、2014 年からの次期計画を議論しており、主要設備として赤道 MU レーダー・EISCAT_3D・広域地上観測網を国際的に提案している。これにより、既設の MU レーダー（日本）・PANSY（南極昭和基地）を含め大型レーダーの国際観測網が完成する。なお EISCAT_3D は、EU の大型研究設備ロードマップ（ESFRI）に採択済みで、スウェーデン及びノルウェーから我が国への協力要請が出されている。本計画と相補的な衛星計画として、天文学宇宙物理学分科会から太陽観測衛星 SOLAR-C がマスタ



ープラン2014に提案される。また放射線帯観測衛星 ERG は2015年の打上げが予定されている。

④ 所要経費

総額120億円(地上観測について10年計画) うち設備70億円、運営50億円

- (1) 赤道MUレーダー 設備35億円、運営20億円
- (2) EISCAT_3D レーダー 設備25億円、運営10億円(設備費総額約132Mユーロのうち15パーセントを分担する)
- (3) 広域地上観測網 設備10億円、運営20億円(運営費にはIUGONET コンソーシアムの運営等を含む)

⑤ 年次計画

赤道MUレーダーと地上広域観測網については、予算化されればすぐに実現に向けて動き始め、2年間程度で装置類の設置を完了できる見込みである。EISCAT_3D計画はEISCAT科学協会が中心となって推進中であり2017年度完成を目指している。2014年度を起点とした年次計画は以下の通りである。

2014年度：赤道MUレーダーの入札・発注と建設開始。/大学間連携プロジェクト IUGONET による観測データベース構築体制の整備/EISCAT_3D建設：スカンジナビア北部に約1万本のアンテナから成る大型フェーズドアレイを5局(コア局1および受信専用局4カ所)建設する。その整備はEISCAT科学協会を中心とする国際協力の枠組みで実施する。(2017年度まで継続)

2015年度：赤道MUレーダーが完成、予備観測を開始する。/IUGONET後継プロジェクトによる観測データベース構築と地上観測・衛星観測・モデリングの統合解析ツールの開発。アジア・アフリカ域及び極域における広域地上観測網の整備。/ERG衛星打上げ(2015年12月予定)

2016年度：赤道MUレーダーが本格観測を開始する。京大大学生存圏研究所が全国・国際共同利用に供する。/広域地上観測網による大気圏・電離圏・磁気圏観測の維持・継続

2017年度：EISCAT_3Dが完成

2018年度以降：EISCAT_3Dが本格運用を開始する。長期の継続運用を他の加盟国と共同で行う。/SOLAR-C衛星打上げ

⑥ 主な実施機関と実行組織

本計画の実施課題と主たる実施機関は以下の通りである。

(1) 赤道ファウンテン

京大大学生存圏研究所(赤道MUレーダー建設・運営の総括)/
インドネシア航空宇宙庁(赤道MUレーダー運営協力)

(2) 極域エネルギー流入過程

国立極地研究所(EISCAT_3D建設・運営の分担)/
名古屋大学太陽地球環境研究所(EISCAT_3D共同研究推進)/
EISCAT科学協会(EISCAT_3D建設・運営の総括)

(3) グローバル結合過程

名古屋大学太陽地球環境研究所(光学・電磁場観測網の整備推進)/九州大学国際宇宙天気科学・教育センター(地磁気観測網(MAGDAS)の整備推進)/IUGONET運営協議会(観測データの相互利用推進、情報システム開発)【京大大学生存圏研究所、京都大学理学研究科附属世界地磁気資料センター、京都大学理学研究科附属天文台、国立極地研究所、名古屋大学太陽地球環境研究所、東北大学理学研究科、九州大学国際宇宙天気科学・教育センター】

関連事業

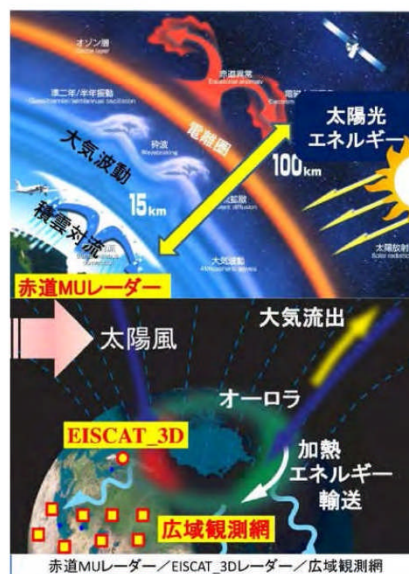
SOLAR-C衛星、ERG衛星、PANSY

⑦ 社会的価値

地球周辺の宇宙空間には多数の人工衛星が飛び、有人宇宙活動も常時行われている。本計画の成果は宇宙天気予測精度の向上に貢献し、衛星システムの安全・安心な運用に資する。さらに衛星測位システムや衛星通信・放送に対する電離圏の影響の回避にも貢献する。極端な擾乱現象は地上の電力系統に深刻な故障を起こす等、社会に直接の悪影響を与える。一方、地震や津波を起原とする大気変動が電離圏に達することに対しては、東日本大震災後の報道等から社会的な関心が高まっている。大気観測レーダーによる風速データの活用によって天気予報の精度が向上する。赤道MUレーダーや広域地上観測網による共同研究や国際スクールの実施などを通じて、アジアやアフリカ地域等の発展途上国の若手研究者を育成できる。これは即ち科学技術を通じた平和外交である。

⑧ 本計画に関する連絡先

山本 衛(京都大学・生存圏研究所) yamamoto@rish.kyoto-u.ac.jp



付録（２）文部科学省ロードマップ2014 ヒアリング説明資料

計画No.102 地球惑星科学分野
計画名 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 (京大大学生存圏研究所・所長/教授)
 山本 衛 (京大大学生存圏研究所・教授)
 中村 卓司 (国立極地研究所・副所長/教授)
 藤井 良一 (名古屋大学・理事/副総長)
 松見 豊 (名古屋大学太陽地球環境研究所・所長/教授)

計画の概要

「太陽地球系結合過程」とは？
 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)により太陽エネルギーが与えられる。
 太陽光は赤道で最大で、地表面が加熱され、大気擾乱を起こし、逆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極域に集中し、下向きおよび低緯度方向に伝わる。
 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。

- 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。
- 極域: 北極に国際協力によりEISCAT_3Dレーダーを建設。
- 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。

(1) 赤道ファウンテン: 赤道を中心とする地球大気の上結合

- 太陽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、大気波動を激起させる。
- 大気波動は上方に伝播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界面から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レーダーを赤道直下に新設する。

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: 京大大学生存圏研究所、インドネシア航空宇宙庁 (LAPAN)
 京大がEMUを概算要求中。

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。
 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。

(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

エネルギー流入によって極域に発生する特異現象を解明する。
 ・オーロラに代表される地球周辺プラズマ現象の生成と崩壊
 ・地球大気の宇宙空間への流出
 ・大気成分の変動と下方輸送
 ・低緯度側へのエネルギー輸送

EISCAT_3Dレーダー
 (設備総額160億円、日本分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か国)が提案し、EU大型研究ロードマップ(ESFR)に採択された(2009年)。
 ノルウェー・スウェーデン・フィンランドが予算要求を開始。国立極地研究所も概算要求中。

国内体制: 国立極地研+名古屋太陽地球環境研究所

EISCAT_3Dはアンテナ1万本、直径120mのアレイを北極5地点に新設。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。

(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

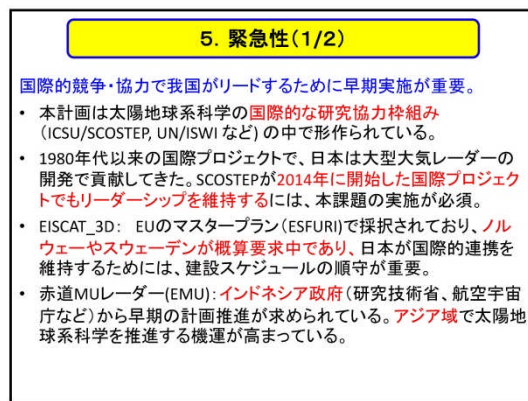
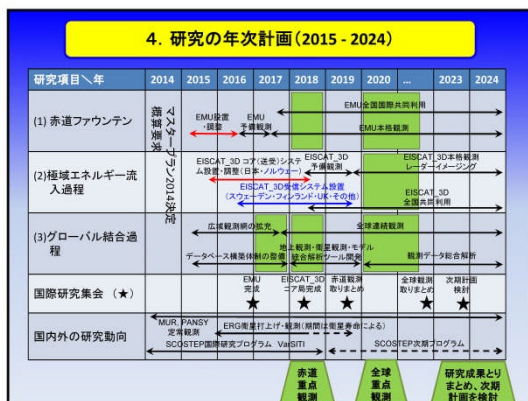
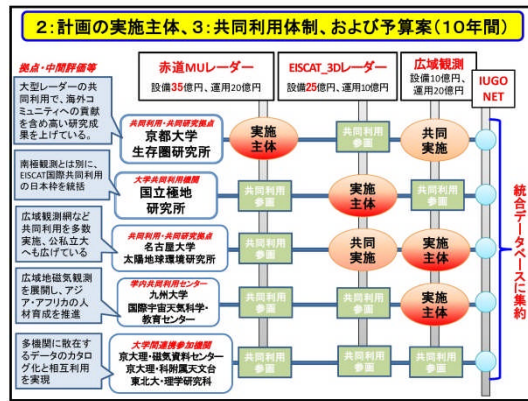
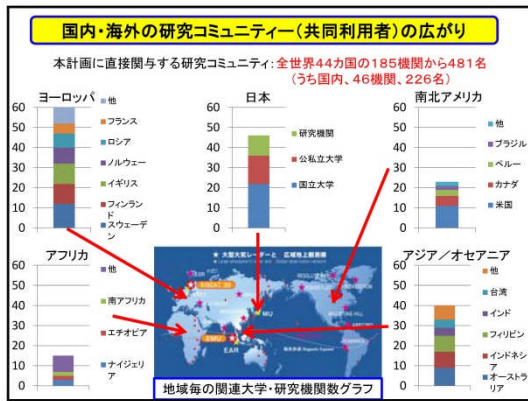
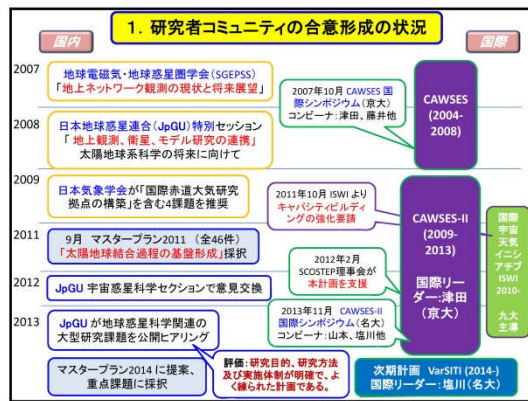
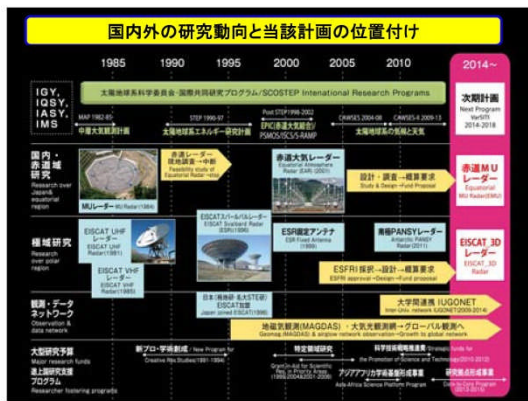
大型レーダー観測網: 最先端の大型大気レーダー(MUレーダー)を国内開発し、さらに海外拠点(EAR、南極PANSYレーダー)にも設置した。この技術を模した大気レーダーが海外でも(北極、インド、中国など)建設された。この実績を基礎に、さらに進化させた最新式レーダーを赤道と極域に建設し、国際レーダー協力体制を発展させる。

広域地上観測網: 観測空白域であるアジア・アフリカを中心に、赤道～極域を南北につなぐ広域地上観測ネットワークを構築する。太陽面や磁気圏の衛星観測、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。

地上観測データデスの共有に関する大学間連携プロジェクト: IUGONET (2009-2014)

多岐かつ膨大な量の観測データが各研究機関に分散して存在
 → 共有データベース化し、検索可能に
 → 分野を横断したデータ総合解析により新しい研究テーマを発掘

参加機関: 九大 ICSWSE, 東北大 PPARC, 極地研, 京大 理・地磁気センター, 海外の研究者, 名大 STE研, 京大 理・附属天文台, 京大 生存研, 大東工 理・地磁気センター, 大東工 生存研, 観測DB(解析ソフト), 観測データの可視化・解析ツールも開発 → データ利用の促進



5. 緊急性 (2/2)

早期に実施しないと国際的に著しい不利益を招く。

- 大型大気レーダーの開発における国際的な競争に遅れを取る。
中国: EISCAT科学協会に加盟、また、独自に大型大気レーダー(昆明)を建設中。
インド: フェーズドアレイの大型レーダーを計画中。
米国: 極域における大型レーダーの多点化を計画中。
- 日本が広域観測を展開してきたアフリカに、欧米諸国が進出しつつあり、優位性を維持するには早急な戦略的展開が必要である。当地域における人材育成にも遅れを取る。

実施の遅れにより、人材の深刻な流出が危惧される。

- 本学間分野は最新ハードウェアに依拠するため、本計画の遅れは欧米・新興国の大型レーダーを使った研究へ人材流出を引き起こす恐れがある。

6. 戦略性 (1/2)

分野での世界トップを確実にし、我が国の強みをさらに伸ばす。

- 本分野の国際共同研究プロジェクトを日本が牽引している。
国際リーダー: CAWSES-II: 津田、VarSITI: 塩川(名大)
- 革新技術による大気レーダーの源流を創っている。
- 赤道、中緯度及び両極のすべてに大型レーダーを有する日本の優位性を維持する。

他分野への波及効果等がある。

- 他の惑星や系外惑星の大気環境やプラズマの構造と変化の理解に発展する。
- 大気環境や宇宙プラズマの多様・大量の観測データベースは、日本が中心に推進しているWDS(World Data System)に直結し、かつ"Big Data"の実例となる。
- 地表付近の環境変動の影響が超高層大気では増大して現れるため、温暖化の環境監視等の変化予測に貢献しうる。

6. 戦略性 (2/2)

国際貢献や国際的な頭脳循環につながる。

- 2つの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、トップクラスの研究者間の頭脳循環が促進される。
- 我々が本計画で実施するキャパシティビルディングを通じて、自然科学を志向するアジア・アフリカの若手が増え、科学振興に貢献できる。研究員・大学院生の国際交流を促進する。

将来的な我が国の成長・発展につながる。

- 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す。

計画を実施しないと国の損失を招く。

- 大気レーダー観測、さらには太陽地球系科学における国際的リーダーシップを失う。
- 2つのレーダー建設および広域観測展開は国際的に責任分擔があり、実施しない場合は国際的信用を損ねる。

7. 社会や国民の理解

【災害防止】 大型大気レーダー等を用いた大気や宇宙プラズマの研究は、極端気象の予報改善、ならびに宇宙天気的基础過程の理解に貢献すると期待され、風水害の未然予防、衛星システムの安全運用や衛星測位精度の向上等に寄与する。

【産業振興】 電波技術、信号処理、データ解析技術を産学連携で新技術開発することは産業振興につながる。

【国際貢献】 高度人材育成によってアジア・アフリカにおける日本のプレゼンスが向上し、我が国の外交上の利益に貢献する。

【宇宙地球環境変化の理解】 太陽エネルギーを起源とする地球環境の生成・維持および長期・短期の変動機構の解明は、人類共通の根源的な興味であり、知的好奇心を刺激する。

【地球惑星科学分野】太陽地球系結合過程の研究基盤形成

計画期間	赤道MULレーダー(EMU): H27 設置、H28～本格運用と共同利用。 広域観測網: H27～ 設置・連続観測 EISCAT_3DLレーダー: H27-30: コア装置設置(サブ設置～H31)、H31～本格運用と共同利用
実施機関等	国内: 京大・生存圏研、国立極地研、名大・太陽地球環境研、九大・国際宇宙天気科学・教育センター等 海外: インドネシア航空宇宙庁(LAPAN)、欧州非干渉散乱レーダー(EISCAT)科学協会
所要経費 (億円)	総額120(設備70、運営50(10年間)) 内訳: 赤道MULレーダー(設備35、運営20)、 EISCAT_3DLレーダー(設備25、運営10)、データベース・広域観測網(設備10、運営20)

太陽地球系結合過程: 太陽光と太陽風(プラズマ粒子流)で構成される太陽エネルギーが地球へ流入する過程、ならびに地球大気の応答過程(エネルギー再配分、物質フロー)を、大型大気レーダーによる拠点観測を中心に解明する。

- (1) 赤道域: 太陽光が最大となる赤道のうち、大気変動が最強のインドネシアに赤道MULレーダー(EMU: Equatorial MU Radar)を新設。大気擾乱・波動によるエネルギーの上方輸送、全球物質フロー駆動等の大気上下結合を解明。
- (2) 極域: 磁力線を通じて極域に集中する太陽風エネルギーによる高速プラズマ現象や大気的外部流出等の立体構造をEISCAT_3DLレーダーで解明。欧州と共同推進。
- (3) 全球観測: 赤道～極域をつなぐ広域観測網、衛星や数値モデルを併用しエネルギー・物質の全球フローを解明。

社会的価値: 天気予報、衛星システムの安全利用に寄与。最新レーダー、データ処理技術等の産業振興。アジア・アフリカでの高度人材育成による国際貢献。人類の根源的興味である生存環境の変遷過程の理解と未来予測につながる。

付録（４）マスタープラン 2011 課題説明（日本学術会議公表文書より）

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-h135-1.pdf>（本文）

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-h135-1-3.pdf>（資料ページ）

(3) エネルギー・環境・地球科学

計画番号 23

太陽地球系結合過程の研究基盤形成

①計画概要

太陽地球系結合系のエネルギー・物質フロー解明のため、最も変動が活発なインドネシア域に総合観測拠点を構築し、これを中核に大気・電離層・地磁気等の全球観測網を整備する。さらに太陽活動変動特性の衛星観測を推進する。本提案は「エネルギー・環境・地球科学」と「宇宙空間科学」の2つの分野に関連する。

(1) 地球上で最も大気擾乱現象が活発なインドネシアの総合観測拠点到赤道MUレーダーを設置し、地表付近の境界層から対流圏、中層大気、超高層大気に至る大気圏（～高度約1,000 km）で共通して起こっているエネルギー・物質の噴流・循環過程（赤道ファウンテン現象）を解明する。さらに大気質、大気光等のアジア域観測網、宙空圏の地磁気全球観測（MAGDAS）を整備し、数値モデルを活用することにより、このファウンテンの地球規模の広がり、ならびに太陽活動・宇宙嵐が下層に与える影響を理解する。

(2) 太陽ダイナモ、コロナ加熱、フレアの発生機構を解明し、太陽活動の地球への影響を理解するため、太陽観測衛星SOLAR-Cを整備し太陽表面・彩層・コロナの多波長域かつ超高分解能観測を行うと共に、黄道面を脱出した探査機による太陽極域の観測を実現する。

②科学的意義

太陽地球系の研究では、太陽から惑星間空間、宙空圏、電離圏、大気圏にわたる広い領域を1つの系としてとらえ、様々な時間空間スケールをもつ現象とそれらの相互作用の理解を目指す。本研究では、太陽磁場の生成機構やダイナミックに変動する太陽表層大気の加熱機構を解明し、太陽活動の短・長期変動に対する地球系の反応過程を知って、太陽地球系を統一システムとして定量理解する。以下の2つの最重要項目を推進する。

(1) 赤道ファウンテン・太陽地球系結合過程の研究：太陽放射エネルギーが最も多く地球大気に流入する赤道域に注目し、大気の全高度域に共通して現れるエネルギー・物質フローを解明する。この下層から上方への結合過程と同時に、太陽活動が地球周辺の宇宙空間および地球大気に与える影響を明らかにする。

(2) 太陽の研究：太陽磁気プラズマの流れ場と磁場の相互作用の現場を高解像度衛星観測で捉えることで、複数の微細磁気構造が関わり地球の放射量を支配する太陽大気加熱機構や局所的にはたらくダイナモ機構を解明するほか、極領域を含む太陽全球スケールの内部ダイナミクスを明らかにする。

③所要経費

総額 380 億円（地上観測について 10 年計画） うち設備 350 億円、運営 30 億円

(1) 赤道MUレーダー 設備 30 億円、運営 20 億円

(2) 地上広域観測網 設備 20 億円、運営 10 億円

(3) 次期太陽観測衛星 SOLAR-C 設備 250-300 億円

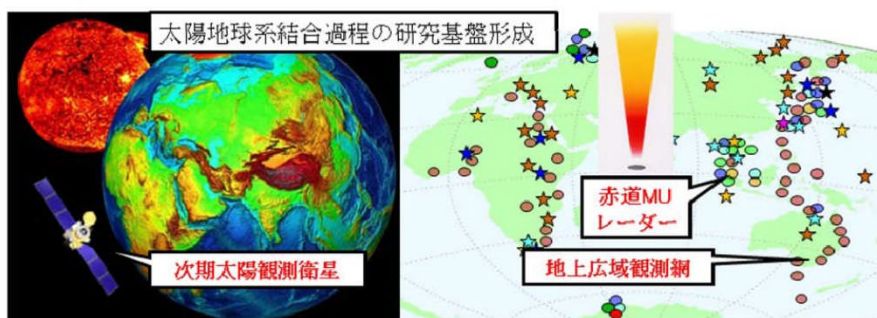


図 太陽地球系結合過程研究の概念図と衛星・大型レーダー・観測網

④年次計画

平成 24～33 年度

平成 24—25 年度 赤道 MU レーダーおよび地上広域観測網整備

平成 30 年度 太陽観測衛星 SOLAR-C 打上げ

⑤提案する中心的実施機関または実施体制

計画責任者：津田敏隆（京大大学生存圏研究所・教授・所長）、山本衛（同・教授）

（赤道 MU レーダーを中心とする赤道ファウンテンの解明）

共同研究者：湯元清文（九州大学宇宙環境研究センター・教授）

（地上広域観測網による宇宙圏—地球圏の結合過程の研究）

塩川和夫（名古屋大学太陽地球環境研究所・教授）

（地上広域観測網による宇宙圏—地球圏の結合過程の研究）

川勝康弘（宇宙航空研究開発機構・准教授）、原弘久（国立天文台・准教授）

（SOLAR-C 衛星による太陽観測）

⑥学術コミュニティの合意状況等

本計画に対応する学術コミュニティは、直接的には地球電磁気・地球惑星圏学会（以下、SGEPSS と略称）であり、大きな枠組として日本地球惑星科学連合（以下、JpGU と略称）である。国際的には、ICSU 傘下の SCOSTEP（太陽地球系物理学科学委員会）が推進する国際プロジェクト CAWSES（2004-2008）、CAWSES-II（2009-2013）並びに、国際太陽系観測年（IHY）に引き続き実施中の国際宇宙天気イニシアティブ（ISWI；2010-2012）に中心メンバーとして参画している。本計画については、以下の多数のシンポジウムを経てコミュニティからの支援を獲得してきた。

- 第 120 回 SGEPS 総会・講演会（平成 18 年 11 月） 特別セッション「地上—衛星観測・データ解析・モデリングの総合型ジオスペース研究に向けて」
- 第 122 回 SGEPS 総会・講演会（平成 19 年 9 月） 特別セッション「STP における地上ネットワーク観測の現状と将来展望」
- CAWSES 国際シンポジウム（平成 19 年 10 月 京都大学で開催）
- JpGU 2008 年大会（平成 20 年 5 月） 特別セッション「太陽地球系科学の将来に向けて—プロジェクト間の連携」
- JpGU 2010 年大会（平成 22 年 5 月） 特別セッション「赤道ファウンテン」及び国際セッション「CAWSES-II/ISWI」
- JpGU 2011 年大会（平成 23 年 5 月） 国際セッション「CAWSES-II/ISWI」

本計画のタイムスケジュールとしては、赤道 MU レーダーと地上広域観測網については、予算化されればすぐに実現に向けて動き始め、2 年間程度で装置類の設置を完了できる見込みである。太陽探査については、2020 年代前半と予想される次々期太陽極大期の観測実施を目標に、2018 年度の打上げを目指している。

⑦国際協力・国際共同

太陽地球系結合過程の研究は本質的に国際的であり、CAWSES（太陽地球系の気候と天気；2004-2008）、CAWSES-II（2009-2013）、IHY（国際太陽観測年；2007-2009）、ISWI（国際宇宙天気イニシアティブ；2010-2012）等の国際研究計画が推進中であり、我々は主導的に参加し重要な貢献を果たしている。現在の赤道大気レーダー（EAR；2001 年完成）はインドネシアと共同研究契約を交換して国際協力のもとで運営しており、京大大学生存圏研究所から全国・国際共同利用に供されている。本計画の赤道 MU レーダーも両国の緊密な協力のもとに整備される。また広域観測網は、各地の関連研究者との良好な国際協力のもとに構築される。これらの設備は、完成後は全国・国際共同利用施設として運用することを想定している。SOLAR-C の計画規模は、日本のみで成し遂げられるものではなく、海外宇宙機関である NASA 及び ESA との協力が不可欠である。打上げ後の運用も、ようこう・ひので衛星と同じように、国際協力のもとで推進される。

付録（５）マスタープラン 2011 からマスタープラン 2014 への改善点

本課題は、日本学術会議の地球惑星科学委員会が審査したマスタープラン 2011 において推薦され、ロードマップ 2012 に選定された。その後、「マスタープラン 2014」の申請に向けてそれぞれの研究分野で議論が展開された結果、下記の改善が加えられたうえで、マスタープラン 2014 に提案された。

1. 研究の主題を明確にした。 太陽光と太陽風（プラズマ粒子流）で構成される太陽エネルギーが地球へ流入する過程、ならびに地球大気における太陽エネルギーの変換・再配分過程、およびそれらに伴う物質フローを、大型大気レーダーによる拠点観測を中心に、広域地上観測ネットワークも用いて解明することを研究目的とする。
2. 長期的ビジョンで本課題の意義を示した。 太陽地球系科学は、太陽エネルギーを起源とする地球環境の生成・維持および変動機構を解明することが目的であり、本課題で設置される大型大気レーダー観測により格段に謎の解明が進む。将来的に、太陽から地球までの結合系の全貌を統一的に取り扱う end-to-end モデルを構築する研究に発展すると期待される。これが進めば、人類の生存環境の未来を定量的に予測しうる。
3. 参加機関の連携を強化した。 大学共同利用機関（国立極地研）、共同利用・共同研究拠点（京大生存研、名大太陽地球環境[STE]研）における共同利用機能を相互に活用することで、本課題で設置される大型装置が国内外の関連コミュニティにより有効利用できる体制を整えた。また、既に実施中である大学間連携プロジェクト「超高層大気長期変動の全球地上観測・研究（略称 IUGONET）」を発展させ、データ利用を促進する。
4. 地上観測を中心に実施内容を絞った。 太陽光が最強の赤道域、および太陽風が集中する極域に拠点を選び、京大生存研がインドネシアに赤道 MU レーダーを、極地研と名大 STE 研とが連携して北極域スカンジナビアに EISCAT_3D レーダーを新設することとした。なお、南極・昭和基地に設置される PANSY レーダーが既に予算化され、フル稼働に向けた調整が進んでいる。
5. 衛星観測との連携を再検討した。 地上広域観測ネットワークを本課題で実施するのに加え、内部磁気圏を観測する ERG 衛星（2015 年打上予定）、および地球観測衛星等のデータにより拠点観測を補完することで、グローバル結合過程を明らかにする。なお、2011 年時点では本課題に太陽観測の SOLAR-C 衛星を含めていたが、その後の議論で、「次期太陽観測衛星 SOLAR-C 計画（課題番号 93）」が別途、物理学分野から提案された（課題 93 はマスタープラン 2014 に選ばれている）。名大 STE 研が SOLAR-C のデータセンターを担当する予定で、本課題とはデータ共有を通じて強い連携を維持する。

なお、SOLAR-C 衛星計画では、軌道が黄道面上にある衛星（プラン B）と、黄道面に対して傾斜軌道を持つ衛星（プラン A）が検討された。しかし、革新的提案であるプラン A には技術的に検討すべき事項が残っていることから、マスタープラン 2014 ではプラン B が提案されている。現時点では、最も早い場合に 2021 年に SOLAR-C（プラン B）が打ち上げられると期待されており、我々の計画の実施期間（2015-2024 年）と重複する可能性がある。

ところで、マスタープラン 2011 では、当初別々に提案された、大型大気レーダーを主とする課題と SOLAR-C 衛星計画が統合された。マスタープラン 2014 では、分野別に研究コミュニティで研究計画が議論されたが、その過程で、SOLAR-C 計画担当者から、「SOLAR-C は太陽地球系科学において重要な役割を果たすが、太陽物理の分野では SOLAR-C を物理学委員会の中で位置づけるので、地球惑星科学委員会への提案の主要素としては外し、強い連携を持つという位置づけ」にしたいという要請があり、合議の結果、現在の課題形態となった。それを受け、我々の計画のサブ課題(3)グローバル結合過程においては、「広域地上観測網からのデータを、我が国が打上げる太陽観測衛星 SOLAR-C や放射線帯観測衛星 ERG 等と組み合わせ（申請書より転載）」、既に推進中である大学間連携プロジェクト「超高層大気長期変動の全球地上観測・研究（IUGONET）」を活用したデータ共有により強い連携を維持することとした。なお、SOLAR-C 計画の中心的推進者である柴田一成教授（京大理附属天文台）は IUGONET に参画しており、さらに、柴田教授は本計画の推薦者になって頂いている。

付録（６）サポートレター

ICSU 傘下の太陽地球系物理学・科学委員会（SCOSTEP）からのサポートレター

International Council for Science (ICSU)

SCIENTIFIC COMMITTEE ON SOLAR-TERRESTRIAL PHYSICS

President:
Dr. Nat Gopalswamy
Solar Physics Laboratory, Code 671
Heliophysics Division
NASA Goddard Space Flight Center
Greenbelt MD 20771
USA

Vice-President:
Prof. Dr. Franz-Josef Lübken
Leibniz Institute of Atmospheric Physics
Schloss-Str. 6
18225 Kühlungsborn
Germany

Scientific Secretary:
Prof. Marianna Shepherd
CRESS, York University
4700 Keele St
Toronto, ON M3J 1P3
Canada

Prof. Toshitaka Tsuda
Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH)
Kyoto University
Uji, Kyoto 611-0011
JAPAN

November 27, 2013

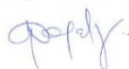
To Whom It May Concern:

This letter is in support of the project "Study of Coupling Processes in the Solar-Terrestrial System" by T. Tsuda, R. Fujii, M. Yamamoto, K. Shiokawa, H. Miyaoka, and K. Yumoto, considered for support by the Science Council of Japan. The main objective of this project is the establishment of advanced observation facilities to clarify energy and material flow in the Sun-Earth system. The facilities will consist of a comprehensive multi-instrument observatory including the Equatorial MU Radar and the EISCAT-3D to study the whole equatorial, middle and high latitude atmosphere, and global observation networks of magnetometers and radio and optical instruments to study coupling processes of the Sun-Earth system.

This project builds on the experience and achievements of a very active and continuous involvement by the project team and its leader in previous and current SCOSTEP programs like the STEP (Solar-Terrestrial Energy Program), the SRAMP (STEP-Results, Applications, and Modeling Phase), the PSMOS (Planetary Scale Mesopause Observing System), the EPIC (Equatorial Processes Including Coupling), the CAWSES I and CAWSES II (Climate and weather of the Sun-Earth System); the project leader, Prof. Toshitaka Tsuda, is a Co-chair for CAWSES II. Japanese scientists will also play a key role in the new SCOSTEP program VarSITI (Variability of the Sun and Its Terrestrial Impacts) over the period of 2014 - 2018. Prof. Kazuo Shiokawa is a Co-chair for VarSITI.

SCOSTEP promotes Solar Terrestrial Physics (STP) research by providing the necessary scientific framework for international collaboration and dissemination of the derived scientific knowledge. The Equatorial MU (middle/upper atmosphere) Radar for EPIC (equatorial processes including coupling) and any new measurements for STP science in Indonesia will be essential in achieving further understanding of equatorial aeronomy and dynamics, as well as the dissemination of this knowledge. EISCAT-3D facility will provide unprecedented high quality observations of the middle and upper atmosphere at high latitudes, which has not been available before. SCOSTEP's active capacity training activity, examples of which are the Space Science Schools in Bandung in September 2012 and Nairobi, Kenya in October 2013, as well as the recent acceptance as a Permanent observer to the UN Committee for Peaceful Use of Outer Space (COPUOS) will provide a link between the current project and the international STP scientific community. The activity outlined by this proposal will be contributing significantly to the SCOSTEP related research activities and observation network and in particular to the objectives of the VarSITI program. Therefore, on behalf of SCOSTEP we would urge you to provide the necessary financial support to this very important project.

Sincerely,



Dr. Nat Gopalswamy
SCOSTEP President

President
nat.gopalswamy@nasa.gov
Tel: +1 301 286 5885
Mobile: +1 301 395 6711
Fax: +1 301 286 7194

Vice President
luebken@iap-kborn.de
Tel: +49 38293 680
Mobile: +49 173 6075 382
Fax: +49 38 293 6850

Scientific Secretary
mshepherd@yorku.ca
Tel: +1 416 736 2100 ext 33828
Mobile: +1 647 236 8382
Fax: +1 416 736 5626

COSPAR . IAGA . IAMAS . IAU . IUPAP . SCAR . URSI

(抄訳)

2013年11月27日

津田教授

津田教授他によるプロジェクト「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の日本学術会議への提案を支持いたします。この計画は太陽地球系のエネルギーと物質の流れを解明することを目的とし、赤道 MU レーダー、EISCAT_3D レーダーと広域観測網は、太陽地球系の結合過程を研究するための包括的な観測システムを構成しています。

このプロジェクトは、SCOSTEP が現在までに実施してきた数多くの国際研究プログラムの成果に立脚しています。さらに提案者らは、CAWSES-I, -II あるいは VarSITI に対して大きな貢献をして来られました。

このプロジェクトは、SCOSTEP に関連する研究活動、特に次期のプログラムである VarSITI に大いに役立ちます。SCOSTEP を代表して、この重要なプロジェクトに対して必要な財政的サポートがなされることを強く要望いたします。

SCOSTEP 委員長

Dr. N. ゴパルスワミー (NASA, GSFC)

インドネシア航空宇宙庁からのサポートレター



**NATIONAL INSTITUTE OF AERONAUTICS AND SPACE
(LAPAN)**

Jl. Pemuda Persil No. 1 Jakarta 13220, P.O. Box 1020 / JAT
Telp (021) 4892802 (Hunting), Fax. (021) 4894815

Ref.Number: B/521/76/03/2013

26 MAR 2013

To Whom It May Concern,

This letter is to show strong support from our institute to the project "Study of Coupling Processes in the Solar-Terrestrial System" led by Prof. Toshitaka Tsuda, the Director of RISH, Kyoto University. We understand that the original plan of this project was selected as one of the 46 research projects by the Science Council of Japan in 2011. This time Prof. Tsuda modifies the project, and proposes it again to the council for the selection of major scientific programs in 2014. This project is to establish ground- and space-based observation facilities, which is very important to clarify energy and material flow in the Sun-Earth system. Lapan and RISH have a long history of collaboration conducting variety of scientific projects. Lapan collaborated with RISH for the operation of the Equatorial Atmosphere Radar (EAR) for more than 10 years. Now the EAR is one very important facility in our atmosphere/ionosphere observation network over Indonesia. The Equatorial MU Radar, a major component of the proposed project, is the expansion plan of the EAR. We welcome the new radar, and will give necessary help for the installation and operation of the system when it is funded by the Japanese government.

Sincerely yours,

Drs. Bambang S. Tejasukmana, Dipl.Ing.
Chairman of Lapan

(抄訳)

2013年3月26日

関係各位、

インドネシア航空宇宙庁は津田教授が主導する研究計画「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」を強く支援します。本計画は、太陽地球システムのエネルギーと物質の流れを解明するために重要です。京大生存圏研究所とは長年にわたって協力関係を培っており、赤道大気レーダーを10年以上にわたって共同運営してきました。我々は新しい赤道MUレーダーを歓迎しており、日本政府の予算化があれば、設置と運営について助力を惜しみません。

LAPAN 長官

バンバン・テジャスクマナ

EISCAT 科学協会からのサポートレター



EISCAT Scientific Association

Kiruna, 27 March 2013

Prof. Hiroshi Miyaoka
National Institute of Polar Research
10-3 Midori-cho
Tachikawa-shi
Tokyo, Japan 190-8518

Dear Prof. Miyaoka,

EISCAT Scientific Association is extremely pleased to hear of Japan's potential interest in the EISCAT_3D project. Your long history with the EISCAT systems and the scientific data they produce place you and your colleagues in an excellent position to recognize the extensive benefits that this new radar will provide. We very much welcome you to join us in our efforts to lead the EISCAT Scientific Association toward a new and exciting era of upper atmospheric and ionospheric research. The ground-breaking world-class capabilities of this system will greatly enhance the promising future of auroral-zone research within the association. Japan's help in providing this necessary infrastructure and in supporting its operation once established would go a long way toward making this scientific vision a reality.

Sincerely,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Craig Heinselman".

Dr. Craig Heinselman
Director
EISCAT Scientific Association

(抄訳)

EISCAT 科学協会

2013年3月27日

親愛なる宮岡宏先生：

EISCAT 科学協会は、日本が EISCAT_3D 計画に関心を持っていると聞き、大変うれしく思います。日本はこれまでに EISCAT レーダーシステムおよび EISCAT データ解析による長い歴史があるため、日本の研究者は、新大型レーダー (EISCAT_3D) によりもたらされる多大な利益を正しく理解していると思います。EISCAT 科学協会による超高層大気と電離圏研究の新展開への、日本の参加を心より歓迎します。この新型レーダーの先駆的な世界有数の性能により、EISCAT 科学協会のオーロラ帯研究の輝かしい未来は強化されるでしょう。新型レーダーの建設費および運営費に対して、日本の貢献が実現すれば、この科学的展望が現実のものになるでしょう。

クレッグ ヘイレスマン博士
EISCAT 科学協会 所長

国際連合宇宙局からのサポートレター



UNITED NATIONS
Office for Outer Space Affairs

Dr. Setsuo Arikawa
President
Kyushu University
6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku
Fukuoka 812-8581
JAPAN

18 December 2011

Your Excellency,

**International Space Weather Initiative (ISWI):
International Center for Space Weather Science and Education**

On behalf of the United Nations Office for Outer Space Affairs I am taking this opportunity to express strong support for the proposed *International Center for Space Weather Science and Education* (ICSWSE), as recommended in the *Abuja ISWI Resolution*, which is attached to this letter. This International Center deserves full support of Kyushu University. Space Weather is now recognized all over the world as a new and important field of study. In this regard Space Weather, in the coming years, needs more coordination at the international and regional levels in terms of necessary science and education. This is the conclusion of the *Abuja ISWI Resolution*, which was unanimously adopted by the participants of the recently held *UN/Nigeria Workshop on ISWI*.

The United Nations and other international organizations support the “institutionalization” of the coordination of international science and education activities on Space Weather. The above International Center would play a leading role in this endeavor.

Efforts have been made to identify a research institute that is able to assume the leading role for the above International Center. This challenge has been captured in the attached *Abuja ISWI Resolution*, which spells out what



UNITED NATIONS
Office for Outer Space Affairs

capabilities and resources are needed for such an International Center.

I am personally familiar with research and education related work that SERC of Kyushu University has pursued since it was established in 2002. SERC's outstanding achievements at the national, regional, and international level do facilitate the role to assume the lead for the International Center for Space Weather Science and Education.

In conclusion, on behalf of the United Nations Office for Outer Space Affairs, we would be grateful to receive your support from Kyushu University:

(1) Kyushu University may wish to formally agree to establish the *International Center for Space Weather Science and Education* (ICSWSE) at SERC of Kyushu University in 2012, and

(2) Kyushu University may wish to make the necessary recommendation to the Government authorities of Japan to provide the necessary material support for the International Center.

Sincerely yours,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Hans J. Haubold'.

Hans J. Haubold
United Nations Programme on Space Applications

(抄訳)

国際連合宇宙局

九州大学総長 有川節夫殿

2011年12月18日

閣下

国際宇宙天気イニシアティブ：
国際宇宙天気科学・教育センターについて

国際連合宇宙局を代表して、このレターに添付していますアブジャ議決書により推挙されている国際宇宙天気科学・教育センター(ICSWSE)の設置について強いサポートを表明致します。

この国際センターは九州大学が最大限のサポートをするに相応しいセンターであります。宇宙天気は今や非常に重要な新規の学問分野として世界中に認識されています。この意味に於いて、宇宙天気研究は数年の後に国際的なレベル、地域的なレベルにおいても、必要不可欠な科学として、その教育とともに再構成が行われるでしょう。これはUN/Nigeria Workshop on ISWI に於いて、満場一致で採択されたアブジャ ISWI 議決書の結論です。

国連及び、関連した国際機構は、宇宙天気に関する国際的な科学・教育活動を主導する拠点の設置を支持します。上述した国際センターは、この目標に向かって先導的な役割を果たす必要があります。

この国際センターとしての先導的役割を果たすことの出来る研究所を精査する努力がなされてきました。この国際センターにどのような能力とどのようなリソースが求められるべきかについてはアブジャ ISWI 議決書に詳述してあります。

私は、九州大学の宙空環境研究センター(SERC)が2002年の設置以来追求してきた研究と教育について良く知っています。SERCの地域的、国家的、そして国際的に傑出した成果は、SERC自身が国際宇宙天気科学・教育センターの第一候補であることを示しています。

結論として、国連宇宙局を代表として、

- (1) 九州大学が2012年に公式にSERCにICSWSEを設立することに同意すること
- (2) 九州大学が国際センターのために、政府当局に必要な予算措置を取り付けるための提案を行うこと

について、九州大学からのサポートをご考慮いただければ幸いです。

Hans. J. Haubold
国連宇宙利用部

付録（７）国内外の共同利用参画大学研究機関リスト

本計画に関連する大学・研究機関リスト		
No.	大学・研究機関名	国名
1	Boston University Center for Space Physics (CSP) ボストン大学宇宙物理学センター	アメリカ
2	Geophysical Institute, University of Alaska Fairbanks アラスカ大学フェアバンクス校地球物理研究所	アメリカ
3	Johns Hopkins University ジョンズ・ホプキンス大学	アメリカ
4	Minnesota State University ミネソタ州立大学	アメリカ
5	National Science Foundation (NSF) アメリカ国立科学財団	アメリカ
6	SRI International SRI インターナショナル	アメリカ
7	The Massachusetts Institute of Technology (MIT) Haystack Observatory マサチューセッツ工科大学ヘイスタック天文台	アメリカ
8	U.S. Geological Survey アメリカ地質調査所	アメリカ
9	University of Colorado コロラド大学	アメリカ
10	University of Oklahoma (OU) オクラホマ大学	アメリカ
11	Pacific Tsunami Warning Center 太平洋津波警報センター	アメリカ
12	Aberystwyth University アベリストウィス大学	イギリス
13	Atmospheric Physics Laboratory (APL), University College London ロンドン大学	イギリス
14	Department of Physics and Astronomy, University of Leicester レスター大学物理天文学科	イギリス
15	Latterfrosken Software Development Limited, Walsall	イギリス
16	Natural Environment and Research Council (NERC) 自然環境調査協議会	イギリス
17	Space Plasma Environment and Radio Science (SPEARS), Lancaster University ランカスター大学	イギリス
18	Rutherford Appleton Laboratory (RAL) ラザフォード・アップリトン研究所	イギリス
19	University of Bath パース大学	イギリス
20	University of Central Lancashire (UCLan) セントラル・ランカシャー大学	イギリス
21	University of Southampton サウサンプトン大学	イギリス
22	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Osservatorio de L' Aquila	イタリア
23	Department of Aerospace Engineering, Indian Institute of Science (IISc) インド科学院大学	インド
24	Indian Institute of Geomagnetism インド地磁気研究所	インド
25	National Atmospheric Research Laboratory (NARL) 国立大気科学研究所	インド
26	University of Delhi デリー大学	インド
27	Andalas University アンダラス大学	インドネシア
28	Indonesian Agency for Meteorology, Climatology and Geophysics (BMKG) インドネシア気象・気候・地球物理庁	インドネシア
29	Geophysics Station, Kotabumi	インドネシア
30	Institut Teknologi Bandung (ITB) バンドン工科大学	インドネシア
31	Coordination Agency National Survey and Mapping (Bakosurtanal) 測量地図庁	インドネシア

32	National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN) インドネシア国立航空宇宙庁	インドネシア
33	Stasiun Klimatologi Pulau Baai Bengkulu	インドネシア
34	Agency for Assessment and Application of Technology (BPPT) インドネシア技術評価応用庁	インドネシア
35	Observatorio Astronomico de Quito	エクアドル
36	Helwan University ヘルワン大学	エジプト
37	Addis Ababa University アディスアベバ大学	エチオピア
38	Washera Geospace and Radar Science Laboratory (WaGRL), Bahir Dar University	エチオピア
39	Australian Agricultural College Dalby Campus オーストラリア農業カレッジ	オーストラリア
40	Australian Antarctic Division オーストラリア南極局	オーストラリア
41	Central Queensland University セントラルクイーンズランド大学	オーストラリア
42	Cooktown State School	オーストラリア
43	CSIRO Sustainable Ecosystems, Tropical Ecosystems Research Centre	オーストラリア
44	Geoscience Australia, Space Geodesy and Geomagnetism Minerals and Geohazards オーストラリア地球科学局	オーストラリア
45	IPS Radio and Space Services IPS 電波宇宙予報サービスセンター	オーストラリア
46	Australian National University オーストラリア国立大学	オーストラリア
47	The University of Adelaide アデレード大学	オーストラリア
48	Institute of Communication Networks and Satellite Communications (IKS), Graz University of Technology グラーツ工科大学	オーストリア
49	Athabasca University アタバスカ大学	カナダ
50	Communications Research Centre (CRC) カナダ通信研究センター	カナダ
51	Institute of Space and Atmospheric Studies (ISAS), University of Saskatchewan サスカチュワン大学	カナダ
52	University of Alberta アルバータ大学	カナダ
53	University of Calgary (UofC) カルガリー大学	カナダ
54	University of Nairobi ナイロビ大学	ケニア
55	University of Cocody ココディ大学	コートジボワール
56	University of Pristina プリシュティナ大学	コソボ
57	University of Zambia ザンビア大学	ザンビア
58	Chalmers University of Technology (GTH), Onsala Space Observatory チャルマース工科大学	スウェーデン
59	Swedish Institute of Space Physics (IRF), Solar Terrestrial Physics Research Programme, Kiruna and Uppsala	スウェーデン
60	Swedish Institute of Space Physics (IRF), Space Plasma Physics Research Programme, Uppsala	スウェーデン
61	Swedish Institute of Space Physics (IRF), Polar Atmospheric Research Programme, Kiruna	スウェーデン
62	Luleå University of Technology (LTU), Division of Fluid and Experimental Mechanics, Luleå	スウェーデン
63	Luleå University of Technology (LTU), Division of Space Technology, Kiruna	スウェーデン
64	Onsala Space Observatory, Chalmers University of Technology チャルマース工科大学	スウェーデン
65	Royal Institute of Technology (KTH), School of Electrical Engineering, Space and Plasma Physics スウェーデン王立工科大学	スウェーデン

66	Stockholm University, Department of Meteorology (MISU), Stockholm ストックホルム大学	スウェーデン
67	Swedish Defence Research Agency (FOI), Stockholm スウェーデン防衛研究所	スウェーデン
68	The Space and Plasma Physics Division, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm	スウェーデン
69	Umeå University (UmU), Department of Physics, Umeå ウメオ大学	スウェーデン
70	Sudan University of Science and Technology スーダン科学技術大学	スーダン
71	Centre for Atmospheric Research, University of Nova Gorica ノヴァゴリツァ大学	スロベニア
72	Chiang Mai University チェンマイ大学	タイ
73	University of Dar Es Salaam ダルエスサマール大学	タンザニア
74	Institute of Atmospheric Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic (ASCR)	チェコ
75	Leibniz Institute of Atmospheric Physics (IAP), University of Rostock, Kühlungsborn ライプニッツ大気物理研究所	ドイツ
76	Institute of Meteorology, University of Leipzig ライプツヒ大学	ドイツ
77	Leibniz Institute for Tropospheric Research	ドイツ
78	National Space Research and Development Agency Federal Ministry of Science and Technology 国家宇宙研究開発機関	ナイジェリア
79	Redeemer University	ナイジェリア
80	University of Ilorin イロリン大学	ナイジェリア
81	University of Otago オタゴ大学	ニュージーランド
82	Andøya Rocket Range (ARR): アンドーヤロケット発射場	ノルウェー
83	Department of Physics, University of Oslo オスロ大学	ノルウェー
84	Norwegian Mapping Authority (NMA)	ノルウェー
85	Norwegian University of Science and Technology (NTNU): ノルウェー科学技術大学	ノルウェー
86	Research Council of Norway (RCN) ノルウェー総合研究審議会	ノルウェー
87	The University Centre in Svalbard (UNIS): The Arctic Geophysics Department	ノルウェー
88	University of Bergen (UiB): The Birkeland Centre for Space Science at the Department of Physics and Technology ベルゲン大学	ノルウェー
89	University of Tromsø (UiT): The Department of Physics and Technology トロムソ大学	ノルウェー
90	Cagayan State University カガヤン州立大学	フィリピン
91	Divine Word College of Legazpi ディバイン・ワード・レガピ大学	フィリピン
92	Manila Observatory, Ateneo de Manila University アンテオ・デ・マニラ大学	フィリピン
93	National Mapping and Resource Information Authority 国立地図・資源情報局	フィリピン
94	San Carlos University サン・カルロス大学	フィリピン
95	University Malaysia Sabah マレーシア・サバ大学	フィリピン
96	Xavier University ザビエル大学	フィリピン
97	Aalto University Aalto-yliopisto アールト大学	フィンランド
98	CSC-IT Center for Science	フィンランド
99	Department for Education and Science Policy, Finnish Ministry of Education フィンランド教育省	フィンランド

100	Finnish Meteorological Institute フィンランド気象研究所	フィンランド
101	Finnish Geodetic Institute フィンランド測地研究所	フィンランド
102	Lappeenranta University of Technology (LUT) ラッペーンランタ大学	フィンランド
103	Tampere University of Technology タンペレ工科大学	フィンランド
104	University of Helsinki Helsingin yliopisto ヘルシンキ大学	フィンランド
105	University of Oulu オウル大学	フィンランド
106	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) ブラジル国立宇宙研究所	ブラジル
107	Universidade Federal de Santa Maria	ブラジル
108	Centre national de la recherche scientifique (CNRS) フランス国立科学研究センター	フランス
109	Institut National des Sciences de l'Univers (INSU), CNRS	フランス
110	Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations spatiales (LATMOS)	フランス
111	The Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides (IMCCE)	フランス
112	University of Toulon トゥーロン大学	フランス
113	Vietnam Academy of Science and Technology ベトナム科学技術院	ベトナム
114	ICA University	ペルー
115	Instituto Geofísico del Perú ペルー国立地球物理研究所	ペルー
116	Jicamarca Radio Observatory (JRO)	ペルー
117	Belgian Institute for Space Aeronomy (BISA) ベルギー宇宙航空学協会	ベルギー
118	Chacaltaya Cosmic Ray Observatory, Faculty of Sciences, Universidad Mayor de San Andres, La Paz ラパス・サンアンドレスがい学理学部附属チャカルタヤ宇宙線研究所	ボリビア
119	National Space Agency of Malaysia マレーシア国立宇宙局	マレーシア
120	Weather Service Office YAP	ミクロネシア連邦
121	Eduardo Mondlane University エドゥアルド・モンドラーネ大学	モザンビーク
122	The Research Center of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Sciences モンゴル科学アカデミー天文学・地球物理学研究センター	モンゴル
123	Physics Department, University "Dunarea de Jos" of Galati	ルーマニア
124	Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) 北極南極科学研究所	ロシア
125	Institute of Cosmophysical Research and Aeronomics (IKFIA)	ロシア
126	Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation (IKIR) ロシア科学アカデミー宇宙物理学・電波伝搬研究所	ロシア
127	Institute of Solar-Terrestrial Physics (ISTP), Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences ロシア科学アカデミーシベリア支部・太陽地球系物理学研究所	ロシア
128	Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation (IZMIRAN), Moscow	ロシア
129	The Polar Geophysical Institute (PGI), Murmansk 北極地球物理研究所	ロシア
130	Korea Astronomy and Space Science Institute, KASI 韓国天文宇宙科学研究院	韓国
131	National Central University 国立中央大学	台湾
132	National Cheng Kung University 国立成功大学	台湾
133	National Space Organization (NSPO) 国家宇宙センター	台湾

134	Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science 中国科学院地質・地球物理研究所	中国
135	Polar Research Institute of China 中国極地研究所	中国
136	武漢大学	中国
137	China Research Institute of Radiowave Propagation (CRIRP)	中国
138	South African National Space Agency 南アフリカ国立宇宙機関	南アフリカ
139	University of Kwzulu-Natal クワズルー大学ネイトル	南アフリカ
140	(独)海洋研究開発機構	日本
141	(独)国立環境研究所	日本
142	(独)情報通信研究機構	日本
143	(独)電子航法研究所	日本
144	JAXA 宇宙科学研究所	日本
145	愛知工業大学	日本
146	茨城大学	日本
147	大阪大学	日本
148	大阪電気通信大学	日本
149	金沢大学	日本
150	気象庁気象研究所	日本
151	九州大学	日本
152	京都大学	日本
153	高知大学	日本
154	神戸大学	日本
155	国立極地研究所	日本
156	国立天文台	日本
157	駒澤大学	日本
158	島根大学	日本
159	首都大学東京	日本
160	信州大学	日本
161	成蹊大学	日本
162	星槎大学	日本
163	摂南大学	日本
164	総合研究大学院大学	日本
165	総合地球環境学研究所	日本
166	拓殖大学	日本
167	千葉大学	日本
168	帝京科学大学	日本

169	電気通信大学	日本
170	東京工業大学	日本
171	東京大学	日本
172	東京理科大学	日本
173	東北大学	日本
174	富山大学	日本
175	名古屋大学	日本
176	奈良女子大学	日本
177	日本大学	日本
178	弘前大学	日本
179	福井工業大学	日本
180	福岡大学	日本
181	福島大学	日本
182	北海道大学	日本
183	山形大学	日本
184	理化学研究所	日本
185	立教大学	日本

付録（８） キャパシティビルディングの取組み実績リスト

参画機関によって主催された国際スクール等(予定を含む)		
	スクール・シンポジウム名	日程・開催地
1	KAGI21 Kick-off Symposium	2003年12月・京都
2	1 st KAGI21 summer school at Bandung	2004年7月・インドネシア(バンドン)
3	EAR visit/lecture by ITB staff and students	2004年9-10月・インドネシア(EAR観測所)
4	2 nd KAGI21 summer school at Bandung	2005年8月・インドネシア(バンドン)
5	3 rd KAGI21 summer school at Bandung	2006年7月・インドネシア(バンドン)
6	4 th KAGI21 summer school at Bandung	2007年7-8月・インドネシア(バンドン)
7	Asia-Africa Science Platform Special seminar at LAPAN	2008年8月・インドネシア(バンドン)
8	Asia-Africa Science Platform Special seminar at LAPAN	2008年10月・インドネシア(バンドン)
9	Asia-Africa Science Platform Special seminar at LAPAN	2008年11月・インドネシア(バンドン)
10	Asia-Africa Science Platform International Symposium at LAPAN	2009年3月・インドネシア(バンドン)
11	Asia-Africa Science Platform Special seminar at LAPAN	2009年7月・インドネシア(バンドン)
12	5 st KAGI21 summer school in Japan	2009年8-9月・インドネシア(バンドン)
13	Seminar at KU-OU Symposium + MU radar visit	2009年11月・京都、信楽MU観測所
14	Asia-Africa Science Platform Special seminar at Gadjadarda University	2010年6月・インドネシア(ガジャマダ大学)
15	ISWI/MAGDAS Egypt School	2010年9月・エジプト
16	Asia-Africa science Platform Special seminar at NARL	2011年3月・インド(ティルパティ)
17	6 th KAGI21 summer school in Japan	2011年8-9月・滋賀(東近江市)
18	ISWI/MAGDAS Nigeria School	2011年10月・ナイジェリア
19	ISWI/ SCOSTEP/ MAGDAS Indonesia School	2012年9月・インドネシア
20	ISWI/MAGDAS Africa School	2013年9月・コートジボワール
22	ISWI/SCOSTEP School on Space Sciences	2013年10月・ケニヤ
23	African School on the Impact of the Sun on Ionosphere: Physics and Applications	2014年7月・ルワンダ
24	ISWI/SCOSTEP School on Space Sciences	2014年9月・ペルー
25	UN/ Japan Workshop on Space Weather 2015	2015年3月・福岡

参画機関による国内スクーリング			
	参加国	主催	日程・場所
1	オーストラリア、ベトナム、マレーシア、フィリピン	ICSWSE	2012年11月・福岡
2	マレーシア、インドネシア、フィリピン	ICSWSE	2013年1月・福岡
3	ペルー、インドネシア	ICSWSE	2013年8月・福岡
4	コートジボワール、ナイジェリア、エジプト、モザンビーク	ICSWSE	2014年1月・福岡

参画機関による留学生学位取得者数		
年度	修士	博士
～1999	2	1
2000～2009	2	3
2010～	6	6