

太陽地球系結合過程の研究基盤形成

① 計画の概要

太陽から地球へのエネルギーとプラズマの流れ、太陽活動に対する地球大気圏・電離圏・磁気圏の応答過程を知り、太陽地球系の結合過程を統一したシステムとして定量的理解を深める。太陽から放射エネルギーと太陽風（高エネルギー粒子の流れ）が地球に来る。前者は定常的で赤道域で最大、後者は小さいが間欠的かつ極域に集中するため放射エネルギーに匹敵する（右図）。赤道と極域の2つの特異点に大型大気レーダーを建設するとともに、全球に広域地上観測網を整備し、衛星観測・モデル研究と連携しつつ研究を推進する。

- 1) 赤道ファウンテン：赤道域で大気擾乱が最大であるインドネシアに赤道 MU レーダーを設置して総合観測拠点とし、地表付近の対流圏、中層大気、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の EISCAT_3D レーダー（6ヶ国共同、国際的には建設中）を完成させる。太陽風エネルギー流入により激しく変動する極域の電離圏・磁気圏を高解像度で3次元観測し、電離圏・中層大気へのエネルギー流入と応答過程を解明する。
- 3) グローバル結合過程：中層・超高層大気の広域地上観測網を赤道から極域に展開する。大学間連携「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）」による大量・多様な観測データの統合メタデータベース・解析システムを活用して総合解析する。観測衛星と連携、数値モデル研究（全大気圏モデル GAIA 等）と共同でエネルギーと物質のグローバル結合過程を研究する。

② 学術的な意義

太陽地球系結合系における時間特性・エネルギー密度が極端に異なる現象の個別研究を融合し、エネルギー再配分と物質輸送に関する理解のブレークスルーを進める。

- 1) 太陽からの放射エネルギーは地表を暖め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。感度を10倍にした赤道 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・物質フローが解明される。
- 2) 極域には太陽起源の高エネルギー粒子や電磁エネルギーが直接流入する。EISCAT_3D レーダーによる従来の100倍の高解像観測により、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観測でき、磁気圏最大のエネルギー解放現象である磁気嵐をはじめとする重要過程が解明される。
- 3) 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、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に加え、各種の衛星観測、データベース及び数値モデル等を組み合わせることで、極と赤道をつなぐ大気圏・電離圏・磁気圏のグローバルなエネルギーと物質の流れが明らかとなる。

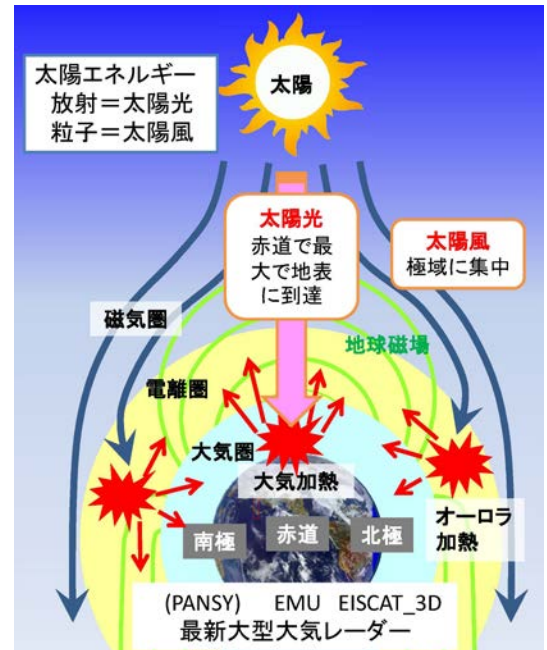
【波及効果】 太陽から地球に流入する2種類のエネルギー（放射と太陽風）は別々に取り扱われてきた。これを同時に定量的に研究する。超高層大気には地球大気の変動が拡大して現れるため地球環境の変化予測に貢献する。太陽地球系結合過程は他惑星にも適用し得るため惑星大気進化の理解に役立つ。大型レーダーの開発は電波遠隔計測技術や超高速信号処理技術の点で電子情報通信工学に貢献する。広域地上観測を含む大量・多様なデータ収集・解析はデータサイエンスへの大きな貢献である。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

日本が源流を創ってきた技術基盤に立脚した2つの大型レーダーと、日本が得意とする地上観測網を中心とする戦略的な研究提案である。日本は現在、MU レーダー（滋賀県）と PANSY（南極昭和基地）の大型レーダーを有し、EISCAT レーダー運用に参画し、機能が限られるが赤道大気レーダー（インドネシア）を運用中である。EISCAT_3D レーダーが北極、赤道 MU レーダーが赤道の観測を強化することで、全球の観測網を日本が引き続きリードできる。

地球大気について推進される国際協同研究計画（ISC 傘下 SCOSTEP: 太陽地球系物理学科学委員会）において日本は中心的役割を果たしており、最近の計画 CAWSES-II と VarSITI では計画メンバーが国際共同議長を務めている。

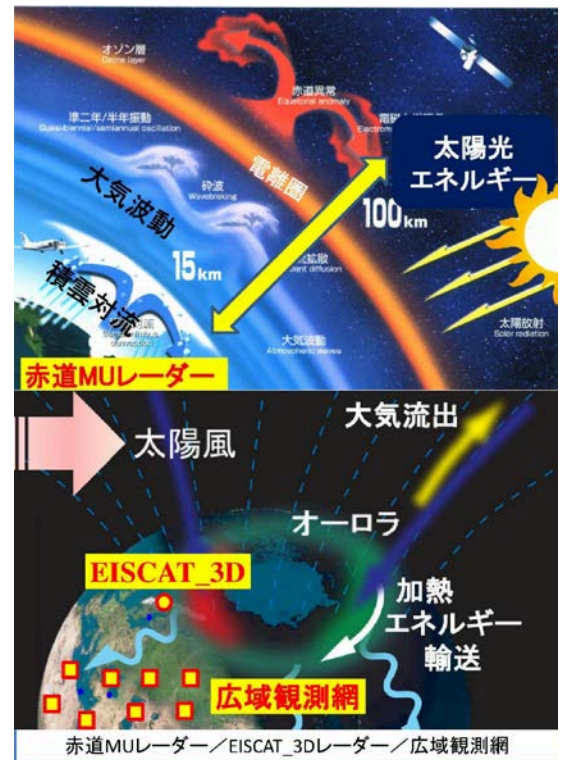
赤道 MU レーダーは LAPAN と共に建設準備を進めている。EISCAT_3D は EU の大型研究設備ロードマップ（ESFRI）に採択、Landmark 認証（2018）され、既に欧州分担分の建設が開始されており、日本の参加が急務である。



④ 実施機関と実施体制

- 1) 赤道ファウンテン 京都大学生存圏研究所(RISH) (赤道 MU レーダー建設・運営の中心)、インドネシア航空宇宙庁(LAPAN) (赤道 MU レーダー運営協力) (2014年に基本合意を取り交わし、インドネシア科学技術大臣に2回にわたって説明済み。2016年にLAPAN長官が在インドネシア日本大使館に計画推進を要請した。)
- 2) 極域エネルギー流入過程 国立極地研究所(NIPR) (EISCAT_3D建設・運営の日本の中心)、名古屋大学宇宙地球環境研究所(ISEE) (EISCAT_3D共同推進)、EISCAT科学協会(EISCAT_3D計画を推進する国際機関) (NIPRは1996年からEISCAT科学協会の正式メンバー(日本代表)であり、EISCAT_3D計画には当初から参画してきた。)
- 3) グローバル結合過程 ISEE (光学・電磁場観測網の中心)、九州大学国際宇宙天気科学・教育センター(ICSWSE) (地磁気観測網(MAGDAS)の中心)、IUGONET 運営協議会(観測データの相互利用推進、データ分析可視化の中心)

赤道MUレーダーはRISH、EISCAT_3DレーダーはNIPR、広域観測網はISEEとICSWSEが中心であり、それぞれ概算要求中である。観測データベースは、上記4機関と関連大学が参画するIUGONETの下で整備される。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ており、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。大学共同利用機関であるNIPRと共同利用・共同研究拠点であるRISHとISEEが参画しており共同利用体制は完備している。ICSWSEはアジア・アフリカでの人材育成に実績を有している。本計画の実施体制は整っている。



⑤ 所要経費 総額129億円(地上観測について10年計画)うち設備85億円、運営44億円

- 1) 赤道ファウンテン 設備費 赤道 MU レーダー (EMU レーダー) 44億円、運営費20億円(10年間)
- 2) 極域エネルギー流入・応答過程 設備費 EISCAT_3D レーダー 31億円、運営費4億円(10年間)
注) 日本は全体のEISCAT_3Dレーダー建設予算の約20%を分担し、運営費として総額4億円を分担することによって、EISCAT_3D特別実験時間枠(全体の15%)を確保する。
- 3) 広域地上観測網 設備費 高感度全天カメラ、高感度磁力計等 10億円、運営費20億円(10年間)
注) 運営費にはIUGONETコンソーシアムの運営等を含む。

⑥ 年次計画

【本計画成立の経緯】本計画は長年の取組み・研究成果を踏まえて構想された。IUGONETを契機として参加機関の連携と統合の議論が深まり、マスタープラン2014で確立し実現に向けて参加機関が一体となって推進してきた。国際研究集会や人材育成イベントも既に数多く行っている。

【年次計画】EMUレーダーと広域地上観測網は、予算化から2年間程度で設置できる。機器調整・予備観測を経て本観測を開始する。EISCAT_3Dレーダーは2017年に欧州が開始した設置(1期目)を受け2022年から観測開始する。本計画は初期の観測に参加し設置(2期目)に貢献する。EISCAT_3Dレーダーの本観測は設置(2期目)後に始まる。研究期間中には、各時点における全装置が参加する集中観測を4回(以上)実施する。

【運用計画】本計画の観測装置をすべて国際共同利用する。観測データの収集・活用にはIUGONETを活用、観測の充実とともに国内外の研究者(衛星観測やモデル研究を含む)との共同研究が活発化してゆく。国際研究集会を開催し、観測・データ講習会を各地で開催して人材育成を図る。ポスドク研究者(国内外から最大30名)を本計画の費用で雇用する。

【期間終了後の計画】国際地球観測年(IGY、1957年)を源流として幾多の国際協働研究計画を実施、日本は大型大気レーダーを分担し要請に応じてきた。期間終了後も観測を継続しWDSとしてデータサービスを続ける。将来について国際コミュニティと議論し計画を策定して行く。

⑦ 社会的価値 (SDGs 該当項目)

【地球環境変化予測・災害防止】極端気象の予報改善に貢献する。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・予測に貢献する。宇宙プラズマの研究は衛星システムの安全運用に寄与する。(SDGs 項目13)

【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。(SDGs 項目9)

【オープンデータ活用】レーダー等の多様な大気観測データがWDS(World Data System)として認定されている。本研究の取り組みは、データサイエンスの実例である。(SDGs 項目4、9)

【質の高い教育(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。国内外の若手研究員・大学院生の人材育成を促進する。(SDGs 項目4、10、17)

⑧ 本計画に関する連絡先 山本 衛(京都大学・生存圏研究所)