

インドネシア宇宙天気研究の推進と体制構築

実施予定期間：平成 22 年度～平成 24 年度
代表機関： 京大生圏研究所（略称 RISH）
代表者：山本 衛
国内参画機関： 名古屋大学太陽地球環境研究所（略称 STEL）
代表者：大塚 雄一
（独）情報通信研究機構（略称 NICT）
代表者：長妻 努
国外参画機関： インドネシア航空宇宙庁（略称 LAPAN）
代表者：Clara Yono Yatini

I. 概要

「宇宙天気」は地表からの高度 100 km 以上の超高層大気から地球周辺の宇宙空間の環境を研究し予報を目指す領域であって、通信の確保や衛星システムの安定運用等を通じて社会基盤の向上に資する。インドネシアでは、最近、政府レベルで宇宙天気研究に対する関心が高まり、研究技術大臣が政策に盛り込み、LAPAN が、独自の研究プログラムを開始した。本研究は、日本＝インドネシアの 2 国間協力を通じた宇宙天気研究の推進を目的とする。最終目標は同国の宇宙天気サービスの開始である。具体的には、既存の観測施設をフル活用してインドネシア地域の宇宙天気の研究を推進、地域特有の現象に関して最先端の科学成果を追求し、同時に、同国が宇宙天気サービスを実現するための基盤整備を進める。

1. 共同研究の内容

a. 研究の背景

「宇宙天気」とは、地表からの高度 100km 以上の超高層大気から地球周辺の宇宙空間の環境を研究し予報を目指す領域である。社会に対しても、衛星＝地上通信の確保、衛星の周辺環境の影響評価、磁気嵐から引き起こされ得る地上送電網のトラブルなど社会基盤への悪影響回避、航空航法にも利用され始めた GPS 測位の信頼性確保など、貢献が多い研究領域である。

宇宙天気は日米欧を中心として盛んに研究され、国際的には国際宇宙環境情報サービス（International Space Environment Service; ISES）が形成されている。我が国では NICT が ISES 地域警報センターを担当しており、国内向けサービスを行っている。更に国連の承認を受けた国際宇宙天気イニシアティブ（International Space Weather Initiative; ISWI）が設立されており、全世界にわたる観測網の充実と途上国における宇宙天気研究の普及に向けて 2010～2012 年の期間に活動中である。（WEB ページは、ISES = <http://www.ises-spaceweather.org/>、ISWI = <http://www.iswi-secretariat.org/>）

インドネシア共和国は、赤道全周の 1/8 にわたる領域（＝アメリカ合衆国の主要部に匹敵する広さ）に分布する島嶼国であるため、通信や衛星システム利用の重要性には言を待たない。地方間の通信は今でも短波通信に頼る部分が多く、古典的な問題も残っている。宇宙天気に対する関心が、最近政府レベルで高まっている。研究技術大臣は、2012～2013 年に予想される次の太陽活動極大期に向けて宇宙天気の解明を求めることを政策に含め、解決を LAPAN に命じた。LAPAN は宇宙天気研究を全力で推進し始めている。

b. 研究目的

日本とインドネシアの 2 国間協力により、同国の宇宙天気研究の水準を飛躍的に向上することを目的とする。最終的な目標は同国の宇宙天気サービスの実現である。これらに向け、具体的には、既存の観測施設をフル活用したインドネシア地域の観測強化、地域特有の諸現象に関する最先端の科学成果の追求、さらに、宇宙天気サービスを実現するための諸機能（データ収集と分析、先進的な実施機関との協調、衛星環境情報の配布等）に向けた基盤整備を進める。

なお本研究に関わる主たる観測装置は、RISH がインドネシア・スマトラ島に有する赤道大気レーダー（Equatorial Atmosphere Radar、略称 EAR、<http://rish.kyoto-u.ac.jp/EAR/>）、STEL が EAR 観測所を含む世界各国に展開中の超高層大気イメージングシステム（Optical Mesosphere Thermosphere Imagers、略称 OMTI、<http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/omti/>）、NICT のイオノゾンデを中心とする東南アジア電離圏観測網（SouthEast Asia Low-latitude Ionospheric Network、略称 SEALION、<http://wdc.nict.go.jp/IONO2/SEALION/>）である。

c. 研究内容

インドネシアの宇宙天気研究を推進し、公共サービスの実現に近づくためには、まず地域における観測の強化を通じた研究成果の積み上げが必要不可欠である。更に宇宙天気サービスの体制作りの点では、我が国からの技術支援が重要である。これらを実現するため、本研究では以下の 3 つの研究項目を設定して研究を進める。

- (1) 研究項目 1 「EAR 観測所における宇宙天気の観測強化と低緯度超高層大気現象の研究」：日本側が主導する項目であって、EAR 及び EAR 観測所設置の OMTI、SEALION 機器による長期連続観測を実施し、低緯度に特有の超高層大気擾乱について、LAPAN と共に一級の研究成果を追求する。LAPAN は観測装置の運営に協力し、データ解析と研究に参加する。
- (2) 研究項目 2 「インドネシア地域の宇宙天気観測ネットワークの整備」：両国が共同して取り組む項目である。LAPAN 自身が推進中の観測点ネットワーク構築に協力し、衛星＝地上ビーコン観測用デジタル受信機を各地に設置する。インドネシア地域で他の機関が実施している GPS 観測データの収集等を通じて、地域の宇宙天気研究に使える観測データの量と品質を向上させる。
- (3) 研究項目 3 「インドネシア共和国の宇宙天気サービスに向けた基盤整備」：LAPAN が主導する項目である。LAPAN は宇宙天気サービスに向けた組織整備、国際連携網の整備、国内の需要掘り起こしを推進する。本研究では、毎年 1 回、国際ワークショップをインドネシアで開催し本研究の研究成果について議論する。日本側が持つ宇宙天気サービスの知識と技術について講習する。

d. 本研究の波及効果

- (1) 科学技術コミュニティの構築と技術の普及・国際標準の創出の可能性

RISH・STEL・NICT は既にタイ・ベトナム・インドネシアを中心とする観測網の構築を開始している。その東西には、米国グループによる太平洋諸島域の観測網と、インド

のグループによる観測網が存在している。一方、広大なインドネシア地域は、EAR 観測所の他は大きな空白地帯となっているが、これは観測は行われているが国際コミュニティに知られていない、という側面が強い。本研究によって、観測空白域を埋め、LAPAN の研究水準を向上することによって、国際コミュニティが構築強化されると期待される。

(2) 低緯度域の宇宙天気研究への貢献

低緯度域では、磁気赤道を中心としてプラズマバブルと呼ばれる極めて強い擾乱現象が発生し、衛星＝地上間の通信や GPS 測位の品位を低下させ、途絶させる。この発生原因の特定と予測は、低緯度域の宇宙天気研究のホットトピックであり、現在の大きな問題はプラズマバブルの日々変動の解明である。これには大気の力学的上下結合が寄与していると考えられている。本研究はこの問題の解明に貢献できると期待される。

2. ネットワーク構築の実現可能性

RISH は過去 20 年以上にわたりインドネシア域を中心とする赤道大気研究に取り組み、LAPAN を初めとする国立研究所・大学と協力関係を築いてきた。EAR はアンテナ直径が 110m 大型大気レーダーである。LAPAN は建設に先立って EAR 敷地を提供し、完成後は LAPAN が運用技術者を雇用する等の協力体制を構築し、以来 RISH と共に長期観測を継続し成果を挙げてきた。更にその過程で、STEL 及び NICT も LAPAN との共同研究を実施し成果を積み上げてきている。以上から本研究に参加する 4 機関の交流実績は充分であり、意思疎通はスムーズであり、協力関係は磐石である。以上から、ネットワーク（＝研究協力体制）の実現は全く問題ない。

3. 本制度により取組を支援する必要性

インドネシアでは宇宙天気研究を政府レベルで推進中であり、LAPAN は独自のプログラムを実施中である。日本側参加機関は、本研究によって相手国側の研究推進に貢献するのみならず、EAR を中心とする低緯度域の観測強化を通して最先端の科学を追求できる。更にインドネシア地域の観測・研究強化は周辺地域と国際連携して更なる科学水準の向上に繋がる。これらは本制度の目的である「我が国の研究水準を活用した互恵的な国際共同研究を実施し科学技術コミュニティを構築」に合致した取組みであり、本制度の「対象とする取組」に関する条件(1)～(6)全てを高度に満足している。更に本研究は、宇宙天気研究という科学の推進、宇宙天気サービスという公共サービスに向けた体制構築を目的とするものなので、産業界主導で行うべき研究開発活動ではない。以上から明らかかなように、本研究は本制度で支援されるべきものである。

4. 継続性

インドネシア政府レベルで宇宙天気研究を推進すべしとの明確な方針が出されており、LAPAN が政府機関としてこれに取り組んでいることから、本研究の期間終了後も LAPAN 側の取組みは継続する。RISH は EAR を最重要な国外研究拠点と認識し全国・国際共同利用に供していることから、継続的な観測は明らかである。STEL・NICT に關しても研究の継続性に問題はない。

5. 相手国・地域との政府レベルでの協力関係の強化・構築への発展性

a. 当該研究計画に関する相手国政府の関心

インドネシア共和国は、アメリカ合衆国の主要部に匹敵する広大な地域に点在する島嶼から構成され、通信や衛星システムの重要性は言を待たない。宇宙天気研究に対する政府レベルで関心が高まっており、科学技術大臣が政策に掲げて推進中である。

b. 政府レベルでの協力関係への展開構想

相手国政府レベルでの宇宙天気研究への強い関心と取組み、それを受けた LAPAN の独自プログラム展開、RISH=LAPAN の長年の協力関係、NICT が我が国の宇宙天気担当機関であること、本研究における国際協力の本質的な重要性等を鑑みると、本研究を端緒とした長期間にわたる協力関係の強化発展は明らかである。

6. 生命倫理・安全面への配慮について

該当なし

7. 研究実施体制

a. 代表機関の組織体制

京都大学はアジア・アフリカ諸国との国際交流に積極的であり、積極的な「発信型」国際交流活動の展開を計画している。大学本部には国際部や国際交流推進機構が組織されており、国際共同研究への組織的な支援体制が整備されている。

b. 役割分担

参画研究機関ごとに活動内容を示す

(1) 京都大学生存圏研究所

活動内容：(a) EAR による超高層大気の強化観測、LAPAN との共同研究
(b) 衛星ビーコン受信機の LAPAN 観測所への展開
(c) 宇宙天気に関する科学的知見について LAPAN において講演

(2) 名古屋大学太陽地球環境研究所

活動内容：(a) OMTI による超高層大気の観測、LAPAN との共同研究
(b) インドネシア地域の宇宙天気関連観測データの掘り起こし
(c) 宇宙天気に関する科学的知見について LAPAN において講演

(3) 独立行政法人情報通信研究機構

活動内容：(a) SEALION による超高層大気の観測、LAPAN との共同研究
(b) インドネシア地域の宇宙天気関連観測データの掘り起こし
(c) 宇宙天気サービスに関する運営技術の LAPAN への伝授

(4) インドネシア航空宇宙庁

活動内容：(a) EAR 観測所での長期連続観測の支援、研究への積極参加
(b) LAPAN 観測所ネットワークの整備、ビーコン受信機設置援助
(c) 国際ワークショップの開催支援、宇宙天気に関する情報収集

	研究項目(1) EAR観測所における宇宙天気 の観測強化と低緯度超 高層大気現象の 研究	研究項目(2) インドネシア地域 の宇宙天気観測 ネットワークの 整備	研究項目(3) インドネシア共和 国の宇宙天気 サービスに向けた 基盤整備	
京大生大生生存圏研究 所(RISH)	赤道大気レーダー 観測	衛星ビーコン受信 機の設置	(RISH/STEL/NICT 共同実施)宇宙天 気研究ワークショップ	代表 機関
名古屋太陽地球環境 研究所(STEL)	光学観測装置・ GPS受信機観測	(STEL/NICT共 同実施)	に参加し、成果発 表・観測ネットワ ークの議論・宇宙天気 の技術講習等を実 施	国内参画 機関
情報通信研究機構 (NICT)	イオノンデ観測	インドネシア国内 の観測データ掘 り起こし		国内参画 機関
インドネシア航空宇宙 庁(LAPAN)	観測機器運用、 解析の共同実施	国内観測所ネット ワークの整備	宇宙天気研究プ ロジェクトの推進	国外参画 機関
	日本主導	日伊共同	インドネシア主導	

日伊協力によりインドネシア地域の宇宙天気研究の推進と体制整備を進める

氏名	所属部局・職名	提案課題における役割
◎山本 衛	京大生大生生存圏研究所・教授	研究項目 1、2、3 研究総括・相手国側との調整 EAR 長期連続観測、衛星ビーコン観測網
山本 真之	京大生大生生存圏研究所・助教	研究項目 1、3 EAR 長期連続観測
橋口 浩之	京大生大生生存圏研究所・准教授	研究項目 1、2 EAR 長期連続観測
斉藤 昭則	京都大学理学研究科・助教	研究項目 3 インドネシア宇宙天気の体制構築
大塚 雄一	名古屋大学太陽地球環境研究所・助教	研究項目 1、2 OMTI を用いた宇宙天気関連研究
長妻 努	(独) 情報通信研究機構 電磁波計測研究センター・研究 マネージャー	研究項目 2、3 SEALION を用いた宇宙天気関連研究
津川 卓也	(独) 情報通信研究機構 電磁波計測研究センター・主 任研究員	研究項目 1、2 SEALION を用いた宇宙天気関連研究
Clara Yono Yatini	インドネシア航空宇宙庁宇 宙科学応用研究センター・セ ンター長	研究項目 1、2、3 相手国側の研究総括・日本側との調整 宇宙天気サービスに向けた組織体制構築
Buldan Muslim	インドネシア航空宇宙庁宇 宙科学応用研究センター・観 測所運営設置長	研究項目 1、2 観測所ネットワーク整備、観測データの掘り起こし
Afif Budiyo	インドネシア航空宇宙庁大 気科学気候応用研究センタ ー・センター長	研究項目 2、3 宇宙天気研究のための観測強化

8. 各年度の計画と実績

a. 平成 22 年度

- 計画 研究項目 1 では EAR 長期連続観測の手法を早期に確立し観測を開始するとともに、OMTI 及び SEALION による長期観測の継続に努める。研究項目 2 では、衛星ビーコン受信機を開発しインドネシア各地に設置を進めるとともに、インドネシア各地で実施されている宇宙天気関連の観測データ

の掘り起こし作業に着手する。研究項目 3 では、初回の国際ワークショップをインドネシア・バンドンの LAPAN 研究所において開催するとともに、インドネシア国内の宇宙天気サービスの需要家との議論をすすめる、同時に東南アジア・オセアニア諸国と宇宙天気研究・サービス実施機関のネットワーク化を図る。インドネシア側の研究が活性化するように留意する。

- ・実績 まず生存圏研究所 (RISH) とインドネシア航空宇宙庁 (LAPAN) との間で、研究推進の基盤となる合意文書を取り交わした。また本課題のホームページ (<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/isw/>) を作成・公開した。

研究項目 1 では、本課題のための EAR 長期連続観測を 7 月 9 日に開始した。また EAR 観測所では情報通信研究機構 (NICT) のイオノゾンデ (SEALION) による電離圏観測が継続され、名古屋大学太陽地球環境研究所 (STEL) はファブリ・ペロー干渉計を設置して OMTI を増強し観測を継続した。

研究項目 2 については、RISH は LAPAN と共に衛星ビーコン受信機をカリマンタン島のポンチアナ観測所に設置した。STEL も同観測所に 3 台の GPS 受信機を設置し、電離圏擾乱によるシンチレーションの観測を開始した。NICT はインドネシア周辺諸国の既存の電離圏構造観測網を調査した。インドネシアのスマトラ島に約 30 点展開されている GPS 受信機網 SUGAR のデータを取得し、データベース化を進めた。以上を通じてインドネシアにおける宇宙天気サービスの基盤整備に資する観測網の構築を進めた。

研究項目 3 について、12 月 1~3 日の期間にバンドンの LAPAN 研究所において、国際ワークショップ "2010 International Workshop on Space Weather in Indonesia" を開催した。日本・インドネシア・マレーシア・インド・オーストラリアから合計 106 名の参加者を得て活発な議論が行われた。ワークショップでは、アジア=オセアニア地域の宇宙天気研究の実務についても議論を行い、関係機関の連携を深めることで合意した。

b. 平成 23 年度

- ・計画 研究項目 1 では EAR・OMTI・SEALION の長期連続観測を継続しつつ、プラズマバブルの動態と発生原因に関する研究を進める。研究項目 2 では、衛星ビーコン観測による電離圏の空間構造の解析を開始しつつ、インドネシアの宇宙天気関連データの収集システムの構築を進める。研究項目 3 では、9 月に国際ワークショップを開催するとともに、LAPAN の宇宙天気サービスの開始に向けた支援を本格化し準備状況をモニターする。東南アジア・オセアニアの宇宙天気研究・サービス実施機関のネットワークを拡充する。本課題終了後の国際共同研究の方向性の議論を始め、将来の協力体制の拡充に向けた取り組みを具体化する
- ・実績 研究項目 1 では、本課題のための EAR 長期連続観測を 1 年間にわたって継続実施した。観測日数は年度内の全観測日の 96 パーセントを占めた。これらの観測データを web ページ (<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/ear/data-fai/>) から公開中である。太陽活動度極小期には夜半過ぎにプラズマバブルが頻繁に観測される。西向きに伝搬するものが多いこと、真夜中ごろに生じる赤道向き風速の収束によってプラズマバブルが発生しやすい条件が生じることを明らかにした。STEL では OMTI 観測を継続するとともに、同一磁力線上に位置する EAR サイトとタイ・チェンマイにおけるファブリ・ペロー干渉計観測から、2011 年 4 月 5 日夜に熱圏大気風速の同時観測に成功した。磁氣的南北半球共役点における同時観測は世界初である。同晩の電離圏電場は主に熱圏風によ

る F 層ダイナモから生成されたものと考えられるが、E 層からの電場生成も 10 パーセント程度寄与している可能性が示唆された。NICT は、EAR サイト、タイのチェンボンとチェンマイ、ベトナムのバクリウ及びフィリピンセブにおける SEALION 観測網において、イオノゾンデや GPS 受信機等による電離圏観測を継続実施し、各地において装置の改修、機器の入れ替え、データ収集、保守作業等を実施した。

研究項目 2 では、衛星ビーコン観測網の拡充と継続に努めた。インドネシアでは LAPAN の協力の下でマナド観測所とビアク観測所に新設し、広域的にはタイのバンコク、チェンボンに新設しブーケットの受信機を移設して態勢を強化した。C/NOFS による電離圏全電子数 (以下では TEC) の経度分布について、経度方向に直線的な分布を仮定することによって 1 局のデータから絶対 TEC 値を推定する方法を考案し妥当性を検証した。ベトナムとエチオピアの観測データを用いて東西波長数百 km の Large Scale Wave Structure (LSWS) とプラズマバブルの関係を統計解析した。アフリカ・アジアいずれにおいても LSWS 強度とプラズマバブル発生には相関が見られた。NICT では、インドネシア及び周辺諸国において各研究機関が取得している GPS データから標準化された電離圏全電子数データに変換するツールを開発し配布を開始した。また NICT と LAPAN 双方によるイオノゾンデデータの手動読取り値の相互比較した他、東南アジア域イオノゾンデデータとニューラルネットワーク技術を利用した電離圏 F 領域臨界周波数の予報マップを作成する等の活動を行った。

研究項目 3 では、2011 年 9 月 21 日にインドネシア・バンドンの LAPAN 研究所において、本課題の国際ワークショップ "2011 International Workshop on Space Weather in Indonesia" を開催した。引き続き 9 月 22~23 日にジャカルタにおいて EAR 10 周年記念式典と同記念シンポジウムを開催した。インドネシア研究技術 (RISTEK) 大臣、駐インドネシア日本国特命全権大使 (日本国公使による代理出席)、文部科学省研究振興局学術機関課長、京都大学事・副学長らをはじめとする来賓と国内外から約 200 名の列席を得た。本課題終了後の EAR 及び将来の研究プロジェクトについても議論を行った。一方、NICT の主導のもとに結成されたアジア・オセアニア宇宙天気連合 (AOSWA) では第 1 回ワークショップを 2012 年 2 月 22~24 日にタイ・チェンマイにて開催し、10 カ国から 76 名の参加を得た。LAPAN を含む東南アジア諸国、韓国、中国、インド、豪州及び日本の宇宙天気研究者間で、各国の宇宙天気研究の現状について議論し、各国の宇宙天気・電離圏観測機器網やデータ取得方法についての情報交換が行われた。国外へのデータ提供が難しい国からの GPS 受信機網データについて、NICT・京都大学理学研究科・STEL が協力して整備し標準化を進めている電離圏全電子数データフォーマットに変換することで共有を促進するという提案が出され、参加各国によって受け入れられた。

以上まとめると、平成 23 年度には RISH・STEL・NICT がそれぞれの観測を拡充・継続しつつ研究成果の積み上げを進めた。さらに日本・インドネシアのみならずアジア・オセアニア地域の国際研究

集会を開催することで、宇宙天気に関する国際協力体制の強化が進んだ。

c. 平成 24 年度

- ・計画 EAR・OMTI・SEALION の長期連続観測を継続しつつ、それらと衛星ビーコン観測データ、インドネシアの宇宙天気関連データ等を総合したプラズマバブルの日々変動の機構の解明を図る。国内において研究報告会を開催し LAPAN 研究者を招へ

いして本課題の進捗状況を点検する。インドネシア・バンドンにおいて国際ワークショップを開催して本研究の成果、インドネシア側の研究活性化状況についての議論を行う。LAPAN によるインドネシア向けの宇宙天気サービスの状況について検討する。本研究を取りまとめるとともに、将来の協力強化を目指して具体的なプログラムへの応募を目指す。

9. 年次計画

研究項目	1年度目	2年度目	3年度目
研究項目 1 「EAR 観測所における宇宙天気の観測強化と低緯度超高層大気擾乱現象の研究」	長期連続観測実施・ ←	解析 →	← 研究取りまとめ →
研究項目 2 「インドネシア地域の宇宙天気観測ネットワークの整備」	ビーコン受信機整備 ← (LAPAN 主体)観測 ←	観測データ掘り起 ← ネットワークの整 備 →	こし →
研究項目 3 「インドネシア共和国の宇宙天気サービスに向けた基盤整備」(LAPAN が主導する研究項目)	インドネシアにお ← (LAPAN 主体) 宇宙 ←	いて国際ワークシ → 天気サービス開始 →	ヨップ開催 → に向けた体制構築 →