

領域略称名：太陽地球環境予測
領域番号：2708

平成29年度科学研究費補助金「新学術領域研究
(研究領域提案型)」に係る中間評価報告書

「太陽地球圏環境予測：我々が生きる宇宙の
理解とその変動に対応する社会基盤の形成」

(領域設定期間)

平成27年度～平成31年度

平成29年6月

領域代表者 (名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授・草野 完也)

目 次

研究領域全体に係る事項

1. 研究領域の目的及び概要	4
2. 研究の進展状況	6
3. 審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況	9
4. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	11
5. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公开发表等）	14
6. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	19
7. 若手研究者の育成に関する取組状況	20
8. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	21
9. 総括班評価者による評価	22
10. 今後の研究領域の推進方策	24

研究組織（総括：総括班，支援：国際活動支援班，計画：総括班及び国際活動支援班以外の計画研究，公募：公募研究）

研究項目	課題番号 研究課題名	研究期間	代表者氏名	所属機関 部局 職	構成員数
X01 総括	15H05812 総括班（太陽地球圏環境予測）	平成27年度～ 平成31年度	草野 完也	名古屋大学 宇宙地球環境研究所 教授	11
Y01 支援	15K21709 太陽地球圏環境予測における国際連携研究の推進	平成27年度～ 平成31年度	草野 完也	名古屋大学 宇宙地球環境研究所 教授	6
A01 計画	15H05813 次世代宇宙天気予報のための双方向システムの開発	平成27年度～ 平成31年度	石井 守	情報通信研究機構・電磁波計測 研究所宇宙環境インフォマテ ィクス研究室・室長	8
A02 計画	15H05814 太陽嵐の発生機構の解明と予測	平成27年度～ 平成31年度	一本 潔	京都大学 理学研究科 教授	8
A03 計画	15H05815 地球電磁気圏擾乱現象の発生機構の解明と予測	平成27年度～ 平成31年度	三好 由純	名古屋大学 宇宙地球環境研究所 准教授	13
A04 計画	15H05816 太陽周期活動の予測とその地球環境影響の解明	平成27年度～ 平成31年度	余田 成男	京都大学 理学研究科 教授	10
総括・支援・計画研究 計6件					
A01 公募	16H01176 電離圏擾乱が衛星搭載合成開口レーダー観測へ与える影響の評価と補正	平成28年度～ 平成29年度	齊藤 昭則	京都大学 大学院理学研究科 准教授	1
A01 公募	16H01180 太陽地球圏における宇宙線被ばくに関するリアルタイムデータの提供	平成28年度～ 平成29年度	保田 浩志	広島大学 原爆放射線医科学研究所 教授	1
A02 公募	16H01177 コロナ磁場モデリングに最適なスペクトル線の選定	平成28年度～ 平成29年度	阿南 徹	京都大学 理学研究科 研究員	1
A02 公募	16H01187 太陽フレア多波長スペクトルモデルの構築	平成28年度～ 平成29年度	渡邊 恭子	防衛大学校 地球海洋学科 講師	1
A03 公募	16H01171 電離圏擾乱予測に資する金属イオン・原子層の動態研究：高エネルギー粒子に対する応答	平成28年度～ 平成29年度	津田 卓雄	電気通信大学 大学院情報理工学研究科 助教	1
A04 公募	16H01173 湖成年編から探る白亜紀の太陽活動周期と十年規模気候	平成28年度～ 平成29年度	長谷川 精	名古屋大学 名古屋大学博物館 特任准教授	1
A04 公募	16H01181 中間圏・下部熱圏H ₂ O・HO _x 光化学モデルの開発研究	平成28年度～ 平成29年度	藤原 均	成蹊大学 理工学部 教授	1
A04 公募	16H01184 太陽活動が海洋変動と気候に与える影響の解明	平成28年度～ 平成29年度	黒田 友二	気象庁気象研究所 気象研究部 室長	1

B01 公募	16H01169 太陽対流層大規模数値計算 を用いた平均場パラメタ推 定の精密化	平成28年度 ～ 平成29年度	堀田 英之	千葉大学 大学院理学研究院 特任助教	1
B01 公募	16H01170 大規模運動論的シミュレー ションで解き明かす内部磁 気圏の物理素過程	平成28年度 ～ 平成29年度	天野 孝伸	東京大学 大学院理学系研究科（理学部 准教授	1
B01 公募	16H01172 プラズマ波動の伝搬特性を 利用した地球磁気圏環境の 解析システムの開発	平成28年度 ～ 平成29年度	笠原 禎也	金沢大学 総合メディア基盤センター 教授	1
B01 公募	16H01174 回転磁気流体波動に注目し た太陽周期活動の多様性の 究明	平成28年度 ～ 平成29年度	堀 久美子	名古屋大学 宇宙地球環境研究所 研究員	1
B01 公募	16H01175 太陽活動から地球環境への 影響予測のための数理モデ ル	平成28年度 ～ 平成29年度	木村 芳文	名古屋大学 多元数理科学研究科 教授	1
B01 公募	16H01179 地球電磁気環境じょう乱－ 衛星表面相互作用に基づく 衛星帯電の数値モデリング	平成28年度 ～ 平成29年度	三宅 洋平	神戸大学 計算科学教育センター 准教授	1
B01 公募	16H01182 適合格子細分化法を用いた 太陽圏磁場の動的モデルの 構築	平成28年度 ～ 平成29年度	松本 倫明	法政大学 人間環境学部 教授	1
B01 公募	16H01183 化学気候モデルを用いた太 陽プロトンイベントのオゾ ンと気候に及ぼす影響に関 する研究	平成28年度 ～ 平成29年度	秋吉 英治	国立環境研究所 地球環境研究センター 室長	1
B01 公募	16H01185 深層学習を利用したリアル タイム太陽フレア予報シス テムの開発	平成28年度 ～ 平成29年度	村主 崇行	理化学研究所 計算科学研究機構 特別研究員	1
公募研究 計 17 件					

研究領域全体に係る事項

1. 研究領域の目的及び概要（2 ページ以内）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、応募時までの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

1) 研究の学術的背景と応募領域の着想に至った経緯：急速な宇宙探査と宇宙開発の進展の結果、宇宙空間が従来考えられていたより遥かに激しく変動する世界であると共に、地球環境と人間社会にも大きな影響を与える「**太陽地球圏環境**」を形作っていることが分かってきた。特に、太陽で発生する巨大な爆発現象である太陽フレアとコロナ質量放出（CME）は文明にとって大きな脅威となる可能性がある。また、太陽活動の長期変動が地球の気象・気候に影響を与えるメカニズムは未だに明確ではない。このため、気候変動予測における太陽影響の評価には依然として大きな不確実性が残っている。こうした事実は、**太陽に起因する惑星規模の環境変動は人類が想定すべき危険な自然現象であると共に、その発生と影響を正確に予測するための科学的な基盤を早急に確立する必要がある**ことを我々に教えている。しかし、太陽地球圏環境の十分な予測能力を人類は未だ獲得していない。

一方、太陽地球圏環境の研究において、我が国はその最先端にある。特に、我が国の太陽観測衛星「ひので」とジオスペース探査機「あらせ（ERG）」は太陽及び地球磁気圏の精密な観測を可能とした。これらの観測により様々な知見が得られつつあるが、それにも関わらず太陽地球圏環境変動の理解と予測能力は未だ十分ではない。その理由として以下の2点を挙げることができる。

第1に、**本格的な分野横断研究の欠如**がある。太陽地球圏環境の変動は太陽、宇宙空間、地球及び社会システムに跨る複合現象であるが、これまでそれらは個別の学問領域で取り扱われ、現象の全体像を把握する試みは十分でなかった。第2の理由として、**科学研究と予測研究の乖離**を挙げるができる。現在、太陽地球圏環境の監視とその変動予測は各国の政府機関により「**宇宙天気予報**」として運用されている。しかし、現在の宇宙天気予報は限定された過去の経験にのみ依拠する段階に留まっており、物理法則に基づく精密かつ堅強な予測の段階には至っていない。この状況は、最先端の宇宙科学と社会基盤としての宇宙天気予報の間に、「**死の谷**」と評される隔たりを生んでおり、科学研究が社会に役立つ予報へ応用できる水準に達していない一方で、アドホックな予報は現象の科学的理解に貢献できないという相互に否定的な認識に留まらせている。

以上の背景より、**我々が生きる太陽地球圏環境を正確に理解すると同時にその変動を正しく予測することは、科学的にも社会的にも重要かつ緊急の課題**であることが分かる。その解決のためには、太陽物理学、地球電磁気学、気象学・気候学及び関連する諸分野の専門家が密接に連携し、**科学研究と予測研究を相乗的に発展させる新しい学術領域を構築することが必要**である。本領域はこうした認識の上に、様々な分野の研究者の危機感と強い意志に基づいて提案された。

2) 本領域の目的：上述した通り、本領域が対象とする学問分野は、天文学、太陽・太陽圏物理学、地球電磁気学、気象学・気候学、古気候学、電気工学、宇宙放射線医学など幅広い。本領域はこれらの分野の連携をもとに科学研究と予測研究の相乗的な発展を展開することで、既存の学問分野の枠に収まらない太陽地球圏環境予測研究の創成を目指すものである。このため、本領域では以下の2つの目的を掲げ、これを達成することで、革新的・創造的な学術研究の発展を実現する。

【目的1】 科学的重要課題の抜本的解決：最新の観測とシミュレーションを融合することで、物理モデルによる現象の予測を行なうと共に、予測結果の定量的な検証を通して太陽フレアの発生とそれに伴う地球電磁気圏擾乱及び、太陽周期活動の変動とその気象気候影響などの科学的重要課題を解決する。

【目的2】 社会基盤としての宇宙天気予報の飛躍的な発展：分野横断研究を通して複合現象である太

陽地球圏環境変動が社会システムに与える影響を具体的に予報すると同時に、予報の定量的検証から観測システムと物理モデルの改善にフィードバックする双方向システムを構築する。これによって社会基盤としての宇宙天気予報を飛躍的に発展させる。さらに、現代文明が経験したことの無い激甚宇宙天気災害の精密なシミュレーションを実現し、宇宙天気ハザードマップを作成して広く社会に公開する。

3) 本領域の重要性・発展性：

①世界的な社会基盤構築への貢献：惑星規模の激甚宇宙天気災害は将来必ず発生すると考えられるが、本領域はそれに対応する社会基盤の構築に貢献するものである。

②科学的重要課題の抜本的解決：本領域では科学研究と予測研究の相乗的發展を通して、太陽フレアの発生機構や地球放射線帯の生成機構等これまで長い間未解明であった太陽地球圏の科学的重要課題を抜本的に解決するものである。

③宇宙における生存環境の普遍的な理解：本領域の成果は地球以外の惑星や系外惑星にも応用できるため、宇宙における生存環境の普遍的な理解のための基盤を与える。

④国際共同研究のリーダー：当該分野における我が国の先進性を活かすことで、国際プロジェクト VarSITI を始めとした国際共同研究をリードする役割を果たす。

⑤分野融合型の若手人材育成：多様な分野の研究者が共に参加する包括的な研究ネットワークを構築し、太陽地球圏環境を基軸とした分野融合型の若手人材育成を実践的に進めることができる

4) 本領域の全体構想：領域の目的を実現するため、4つの計画研究班を組織し、総括班及び公募研究との有機的な連携を通して、以下に示す基本目標を達成すると共に、発展目標に挑戦する。

予報システム班 (A01)：基本目標として、A02-A04 班が開発する物理モデルと社会が必要とする宇宙天気予報情報を相互に連結することで、社会が必要とする宇宙天気情報をきめ細かく伝える体制を整える。また、宇宙天気ハザードマップを作成し、広く公開する。発展目標として、物理モデルに基づく精密な予報をリアルタイムで実現する次世代宇宙天気予報システムの開発を進める。

太陽嵐班 (A02)：基本目標として、ひので衛星による太陽磁場観測と物理モデルの連携により太陽フレアのトリガ機構を解明することで、より確度の高いフレア発生予測スキームを開発すると共に、太陽フレアからコロナ質量放出に発展する過程を観測し、地球を襲う太陽嵐の重要度をフレアの発生から数時間以内に確率予測する方法論を開発する。発展目標として、観測とモデルの適切な同化手法を開発し、大型フレアの発生前にその影響を定量的に予測するスキームを構築する。

地球電磁気班 (A03)：基本目標として、①従来の放射線帯モデルでは捉えられない過渡的な変動過程を明らかにすると共に、ERG 衛星の観測との比較によって予測精度を向上させる。②領域連結シミュレーションによって地磁気誘導電流(GIC)を予測するとともに、観測による検証によって予測精度を向上させる。③太陽フレアによる熱圏密度・電離圏電子密度変動の現況推定と数時間先予測を行う。また、プラズマバブルなどの電離圏メソスケール擾乱現象の発生確率予測と到来予測を行い、観測による検証を基に予測精度を向上させる。発展目標として、磁気嵐時の宇宙放射線、GIC、熱圏密度・電離圏電子密度変動を予測する方法論を確立すると共に、激甚宇宙天気災害を精密に予測する為に必要な新たな知見を獲得する。

周期活動班 (A04)：基本目標として、①太陽活動の精密な観測と新たな太陽ダイナモモデルにより次期太陽活動サイクルの予測を行うと共に、②太陽物理学と気象学・気候学の連携により太陽活動の気候影響メカニズムの特定を行う。発展目標として数百年スケールの太陽活動長期変動の機構解明、太陽影響を組み込んだ地球システムモデルによる長期変動再現を行う。

2. 研究の進展状況【設定目的に照らし、研究項目又は計画研究ごとに整理する】（3 ページ以内）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、現在までにどこまで研究が進展しているのか記述してください。また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らして、どのように発展したかについて研究項目又は計画研究ごとに記述してください。

研究項目 A01 次世代宇宙天気予報のための双方向システムの開発（予報システム班）

宇宙天気のユーザーとの密接な連携のもとに、宇宙天気現象が現在の社会に与える影響を定量的に評価し必要な対策を取るためのハザードマップを作成するほか、ユーザーの声を反映した宇宙天気情報の有用な展開のためのアプリケーション開発を進める。また、太陽、太陽風、磁気圏、電離圏の各領域ごとに開発されているモデルを進めることを目的とする。これまでの成果は以下の通り。

（1）研究成果と事業者ニーズ間のギャップ解析：「宇宙天気ユーザー協議会」を設立し、衛星運用、通信測位、電力など 23 の事業者から必要な宇宙天気情報に関するニーズの調査を開始した。また研究者側からシーズの調査も行い、両者の比較によるギャップ解析を行った。

（2）ユーザーフレンドリーな宇宙天気予報モデルの開発：(a) 電波伝搬シミュレータ：3次元短波伝搬モデルの基礎開発が完了した。さらに、GPS 観測網等を基にしたトモグラフィによるリアルタイム電波伝搬モデル開発の道筋をつけた。また衛星測位に対するシンチレーションシミュレータについてはフランス CNES との共同研究によって開発の見通しがついた。(b) テーラーメイド宇宙天気：静止軌道上の粒子環境の現況マップの開発を完了。MHD シミュレーションとの比較検証を進めている。衛星帯電予測については、「みちびき」及び「こだま」衛星の工学モデルの開発を進めている。(c) 電力網アラートシステム：A03 班と共同で東京電力の変電設備における誘導電流計測を開始するとともに、電力会社と電力システムに対する地電流の影響評価方法について検討した。(d) リアルタイム人体影響予測システム：航空機の経路上の被ばく量を見積もるプログラムを完成。ウェブによる公開の検討を開始した。

（3）宇宙天気ハザードマップの作成：米国・英国・韓国等の政府が発行している宇宙天気現象に関する行動計画文書を分析し、我が国の宇宙天気ハザードマップに向けた検討を進めた。その結果、1. 宇宙天気の社会影響、2. その定量的評価、3. 経済インパクト、の3構成で執筆を開始し、現在までに1.の執筆を完了した。また、3.に関する国際共同研究を英国ケンブリッジ大学等と開始した。

（4）モデル間結合：宇宙天気予測のための太陽・太陽風、磁気圏、電離圏モデルの結合を目指し、その課題を検証する研究会（参加者 72 名）を開催した。また、宇宙天気予測モデルの国際ネットワークの構築について米国 NASA/CCMC (Community Coordinated Modeling Center) と検討を開始すると共に、本領域が開発したモデルの利用を国際的に拡大するための WEB ページの整備を行った。

研究項目 A02 太陽嵐の発生機構の解明と予測（太陽嵐班）

太陽面爆発の発生機構の解明とその予測性の抜本的改善を目指し、以下の目標を達成する。

基本目標 1. 精密な太陽面磁場観測と先進的な物理モデルの連携により大型フレアのトリガ機構を特定し爆発過程を理解することで、従来の経験予測モデルより確度の高いフレア予測スキームを開発する。

基本目標 2. 太陽面爆発からコロナ質量放出に発展する過程の連続観測し、モデルと連携することにより、地球を襲う太陽嵐の重要度を爆発の発生から数時間以内に確率予測する方法論を開発する。

発展目標 3. さらなる研究の進展を通して適切な同化手法を開発し、大型フレアの発生前にその発生と影響を定量的に予測するスキームを構築することで次世代宇宙天気予報の基盤形成を目指す。

現在までの進展状況は以下の通りである。**基本目標 1.** を目指した研究は順調に進展している。まず、ひので衛星が観測した磁場データから 3次元コロナ磁場を数値的に再現し、これに擾乱を加えることで太陽フレアの発生を再現するデータ駆動型数値実験に初めて成功した (Muhamado, et al. 掲載決定)。また、世界最大の太陽望遠鏡 NST によるフレアの詳細観測とシミュレーションの比較によって、草野らが

提唱するフレアトリガモデルを強く支持する結果を得た(Wang, et al. 2017 Nature Ast.)。さらに、フレア発生のトリガ過程について「ひので」、SDO、IRIS 衛星のデータを解析することで、フレア発生の原因となる小規模エネルギー解放の詳細を解明した (Bamba, et al. 2017a, 2017b)。また、太陽面爆発の原因となる新たな電磁流体力学不安定性を見出し、その臨界状態を表すパラメータを導出した (Ishiguro, et al. 掲載決定)。一方、磁気嵐の原因となるコロナ質量放出の磁場変動を予測するためのシミュレーション (Shiota and Kataoka 2016) を開発すると共に、太陽高エネルギー粒子の加速と輸送を再現するプロトタイプモデルの開発も完了した。

基本目標 2. については、まず「ひので」衛星による集中観測を通してフレアデータベースを整備することでフレア予測の統計的研究の準備を整えた。京都大学飛騨天文台では、これまでにない高速運動 (410km/s) まで観測できるフィラメント放出速度場観測装置を新たに製作し、2016年5月から観測を開始し、これまでに速度 300km/s を超える噴出現象を複数捉えることに成功した (Ichimoto et al. 2017)。また、光球・彩層磁場を観測するための多波長同時偏光分光観測装置を飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡に完成させた。情報通信研究機構では新電波分光計を製作し、2016年夏から定常運用を開始した。これにより、コロナを伝搬する衝撃波を安定かつより詳細に観測することが可能となった。名古屋大学の太陽風観測グループは、惑星間空間シンチレーション観測システムを維持・運用し、太陽風擾乱のデータを蓄積しつつある。国立天文台では、フレア望遠鏡によるフィラメント磁場の観測を進めると共に、その精度を大幅に向上することができる大フォーマット・低ノイズの赤外カメラの製作を進めた。また、公募研究と協力し、フレアの電磁波放射強度を予測するためのモデル構築に向けて、X線から電波を含む様々なフレア放射強度の統計的研究をすすめた。

発展目標 3. については、必要となる連携観測とデータ同化手法について議論を重ねている。

研究項目 A03 地球電磁気圏擾乱現象の発生機構の解明と予測 (地球電磁気班)

計画している3つの研究課題についてそれぞれ以下の通り研究を進め、順調に進展している。

1. 宇宙放射線: 放射線帯電子変動について、基本モデルとして放射線帯全領域の放射線量変動を計算するコードの開発を行うとともに、発展モデルとして非線形波動粒子相互作用に関するシミュレーションを開発し、宇宙放射線量の大局的な変動予測と、非線形効果が影響すると考えられている急激な変動機構を明らかにすることを目指している。現在までのところ、各シミュレーションの開発は順調に進められている。特に発展モデルにおける非線形の波動粒子相互作用シミュレーションにおいては、粒子加速に重要なコーラス波動と呼ばれるプラズマ波動の励起を現実のパラメータで再現する計算に成功している (Kato and Omura 2016)。また、2016年にはジオスペース探査衛星「あらせ」が打ち上げられ、精密な宇宙放射線観測を開始した。すでに、2017年3~5月に発生した磁気嵐に伴う放射線帯電子増加等の観測に成功している。

2. 電離圏変動: 熱圏・電離圏変動を予測するためのモデル開発については当初計画通り進んでいる。特に、電離圏・大気圏結合全球モデル(GAIA)の実証的検証を熱圏温度の計算結果とファブリ・ペロー干渉計による熱圏温度観測の比較を通して行った(Nakamura et al. 2017)。このGAIAの精度向上により、太陽フレアに対する電離圏・熱圏の応答や、中緯度において電波障害の原因となるスプラディックE層の発生を再現することにも成功した (Shinagawa et al. 2017)。電離圏・熱圏の新規観測装置は、アジア・アフリカ域に順調に設置することができ、西アフリカで初めてのプラズマバブルの大気光イメージング観測にも成功している。既存の広域多点観測ネットワークによる観測を継続することにより、電離圏擾乱を励起すると考えられる大気波動や、真夜中過ぎのプラズマバブル発生に対する新たな知見を得た(Dao et al, 2016)。

3. 地磁気誘導電流 (GIC) : 計画は順調に進み、前半の目標を全て達成している。まず、磁気圏・電離圏電流から放射される電磁界を3次元で解くことができる時間領域差分 (FDTD) 法シミュレーションを開発した。FDTD 法は電磁場の3次元伝播過程を時間領域で直接解くことができるため、従来の周波数空間における計算に比べてリアルタイム予測に向いている。特に、突発的に発生する太陽フレアに起因する太陽風変動の影響予測に対して FDTD 法は威力を発揮する。電離層電流と日本列島を模擬した地下構造を与え、FDTD 法により日本列島の地電場を求めた結果、電気伝導度の高い海に囲まれた細長い島国であることから、日本列島の地電場は局所性が強くなることを明らかにした。さらに、送電網を流れる GIC を求めるために、我が国の最高電圧階級である 50 万ボルト送電網を模擬した等価回路に地電場を入力として与える必要がある。日本の送電網を模擬し、送電網を流れる GIC を求めるモデルを開発し、シミュレーションを行った。その結果、日本の地形に起因する地電場の局所性と大都市に集中している変電所の偏在性によって日本の GIC は他国と比べて複雑で、広域かつ精細なモデルによる計算が必要であることが判明した。また、電力会社と協力し、GIC 測定装置を国内 2 カ所の変電所に設置し、モデルの検証を行うための GIC 測定データの収集を開始した。

研究項目 A04 太陽周期活動の予測とその地球環境影響の解明 (周期活動班)

現在の太陽黒点周期 (第 24 周期) はすでに極大期を経過したが、約百年ぶりに黒点数が少ない特異な周期になる可能性が高い。しかし、その原因は未解明である。また、このような黒点活動に関わる全太陽放射照度や紫外線スペクトル、太陽高エネルギー粒子などの変動が地球環境・気候に及ぼす影響については、十分な科学的理解に至っておらず、気候モデルによる将来予測の不確実要因の一つとなっている。

本計画研究では、先端的な太陽観測・解析と太陽ダイナモモデルを結び付けて、次期太陽周期の活動予測に挑戦する。また、様々な太陽活動変動に対する大気の大気応答過程を地球システムモデルに組み込み、太陽活動変動が気象・気候に影響を与える主要物理メカニズムを数値実験により特定する。現在までの進捗は以下の通りである。

1. 次期太陽周期活動予測研究 : 太陽極域磁場から次期太陽周期活動を予測するため、表面磁束輸送モデルから極域磁場強度を求めるモデルの開発に成功し、予測計算を実施した。その結果、極小期の約 3 年前から極磁場の予測が可能であることを示すと共に、次期サイクルは、現サイクルに比べて数十%弱くなるという予測結果を得た (Iijima et al. ApJ 投稿中)。これによって、次期サイクルの予測に関する基本目標はすでにほぼ達成し、当初の計画を上回る成果を得ることができた。今後は、さらなる予測精度の向上を目指して、太陽磁場精密観測データの詳細解析も含めて検討するとともに、マウンダー極小期のような長期の予測可能性について、過去の黒点スケッチに基づくモデル計算の可能性などを検討する。

2. 太陽磁場・太陽放射・宇宙線変動研究 : 赤外スペクトロポラリメータを運用し、次期太陽周期予測に用いる太陽磁場精密データ観測を順調に継続して行った。また、過去の太陽磁場アナログデータを科学的定量解析に掛けられる状態に変換し、データベースとして整備した。マウンダー極小期に発生した宇宙線強度異常増加事例の年代決定のため炭素 14 及び酸素同位体比の高精度分析を行った。中国華東師範大学とは、トラバーチン堆積物中のベリリウム 10 による宇宙線強度変動復元の共同研究を開始した。

3. 地球システムモデル研究 : 気象研究所地球システムモデルの性能検証のため古気候再現計算を行い、ミランコビッチ・サイクルによる日射量変動に起因した気候の変化を定量的に調べ、地表の気候変化に対して成層圏オゾン化学過程の重要性を初めて指摘した。高エネルギー粒子降下に伴う化学効果を導入し、過去事例で感度実験を行って、本格実験を開始できる段階となった。さらに、新たな国際連携研究テーマとして、太陽活動変動の気候影響を総合的に検討できる軽量高速大気大循環-化学結合モデルの開発と実験を開始し、初期成果として今後の地質学的試料の分析に方向性を与える新知見を得た。

3. 審査結果の所見において指摘を受けた事項への対応状況（2 ページ以内）

審査結果の所見において指摘を受けた事項があった場合には、当該コメント及びそれへの対応策等を記述してください。

＜審査結果の所見において指摘を受けた事項＞

本研究領域は、太陽を起源とする惑星規模の環境変動について、その発生と影響を予測する科学的な基盤を確立することを目指す提案である。物理モデルによる予測と、その定量的な検証を通して、次世代宇宙天気予報の基盤を構築し、宇宙天気予報を社会的基盤にまで高めようという取組の意義は大きい。また、次世代宇宙天気予報の基盤提供に関連して様々な技術開発の展開が予想され、一定の波及効果も期待される。

各計画研究には、太陽物理学、地球電磁気学、気象学・気候学など、幅広い分野の実績ある研究者が参画しており、これらの計画研究の連携によって新しい学術領域の形成が期待できる。また、領域代表者には十分なマネジメント実績が認められ、広い視野に立った領域全体の推進が期待できる。

一方で、各計画研究が孤立することがないように、有機的な連携の強化が必要である。

（留意事項）

1. 各計画研究はこれまでの研究を個別に深化させようとするものが多いように見える。領域代表者及び総括班が中心となって相互の連携を密に行い、狭い研究に落ち込まないようにする工夫が必要である。
2. 研究項目 A01、A03、A04 では旅費が多く計上されているが、その妥当性・必要性が不明瞭であるため、エフォートとの整合性も踏まえて、旅費の積算を見直した上で交付申請されたい。

（1）上記の所見と留意事項 1. に対応するため、特に各班の連携強化について以下の対応を実施した。

1. **課題解決型の連携タスクチーム**：研究班を横断して課題解決を目指す下記の連携タスクチームを組織し、複数の研究班が協力する体制を強化した（図 1 参照）。

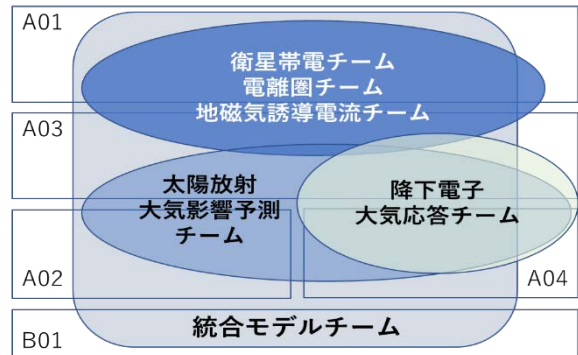


図 1：連携タスクチームと研究班の関係

- ・ **統合モデルタスクチーム**（A01, A02, A03, A04, B01 連携）：太陽地球圏環境の要素モデルと宇宙天気エンドユーザーモデルの統合モデルの開発を推進する（図 2）。研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」（2017. 1. 26-27, 名古屋大学）を実施すると共に、領域で開発されている様々なモデルにアクセスするためのホームページの整備を行った。
- ・ **衛星帯電タスクチーム**（A01, A03 連携）：宇宙放射線変動から人工衛星の帯電評価を実現する。宇宙環境の予測と衛星帯電シミュレータ（MUSCADT）の連携により個々の衛星の帯電リスクを予測するモデルの開発を進めている。さらに、JAXA の実際の衛星を使った実証実験の準備を整えた。
- ・ **地磁気誘導電流（GIC）タスクチーム**（A01, A03 連携）：磁気圏・電離圏モデル、地下構造を考慮した電磁場伝搬モデル、電力グリッドモデルを連結し地磁気誘導電流を評価すると共に、商用電力網を使ったモデルの実証を実現する。国内電力会社と協力し、商用電力網 2 箇所における GIC のリアルタイム測定を開始すると共に、ウェブで測定結果の常時モニター体制を整備した。
- ・ **降下電子大気応答タスクチーム**（A03, A04 連携）：大気電子降込みとその大気化学的影響を予測する。降下電子による中間層オゾンへの影響についてはフィンランドの Turunen 博士らとの国際共同研究を推進した（Turunen et al. 2016, JGR）。

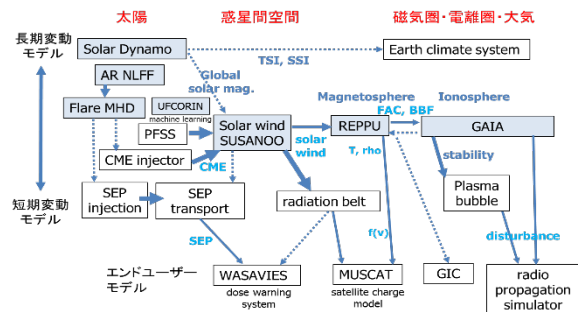


図 2：本領域が開発するモデルの統合に関する計画チャート：太陽活動に関するモデル（左）から地球に関するモデル（右）への結合と長期変動（上段）から短期変動（中段）、宇宙天気エンドユーザーモデル（下段）への連結が計画されている。

・電離圏タスクチーム (A01, A03 連携) : 電離圏擾乱から電波伝播障害の予測システムを開発する。さらに、GNSS に対するプラズマバブルの影響予測についてはフランスとの国際共同を推進している。



図 3 : 国際シンポジウム PSTEP-1 の参加者

・太陽放射大気影響予測タスクチーム

(A02, A03, A04 連携) : フレア及び太陽周期変動に伴う太陽放射スペクトルを再現し、その超高層大気に対する影響を予測する。

2. 領域会議及び PSTEP 国際シンポジウムの開催: 領域全体の連携を強化し、課題を領域で議論する為に、領域会議を 4 回実施すると共に、2 回の国際シンポジウムを名大と京大で開催した (図 3)。

3. PSTEP セミナーによる分野融合の推進: インターネットを利用して全国の関連機関をつないで太陽地球圏環境に関する様々な情報交換を行なう PSTEP セミナーを 2016 年 4 月より開始し、2017 年 6 月までに 14 回実施した (表 1)。領域研究に参加していない関連研究者も出席し、分野を超えた議論を通じた連携の強化に非常に大きな役割を果たしている。

4. PSTEP ニュースレターの定期発行: 2016 年 4 月より年 4 回ニュースレターを発行し、研究成果と領域活動を領域内外に分かりやすく伝える活動を拡大することで、分野を超えた相互理解と領域としての情報共有に大きな成果を上げている。また、各研究班からの委員で編集委員会を組織しニュースレターの編集を行なうことで、分野を超えた相互理解の深化にもつながっている。

(2) 留意事項 2. に対応するため、以下の検討を行った。

A01 班では宇宙天気情報のニーズ・シーズマッチングの検討のために、数多くの事業者とコミュニケーションをとる必要があること、また宇宙天気ユーザー協議会などを多数開催することを踏まえて旅費について再検討した上で、必要な経費の交付申請を行った。A03 班においては、観測点の設置と維持のための旅費、成果発表、打ち合わせの旅費内容をあらためて精査することで、旅費の割合を可能な限り圧縮して交付申請 (H27: 9,600 千円、H28: 8,300 千円、H29: 4,400 千円) した。A04 班においては、旅費内容をあらためて精査するとともに、国際活動支援班の経費を活用することで、当初申請より大幅に旅費を圧縮して (H27: 19%、H28: 70%、H29: 70%) 交付申請を行った。

表 1 : これまでに開催した PSTEP セミナーの記録 (2015 年 4 月 2017 年 6 月まで)

No.	月日	氏名	所属	班	タイトル
#01	4 月 21 日	石井守	NICT	A01	宇宙天気のニーズ・シーズマッチングとハザードマップの検討
#02	5 月 17 日	草野完也	名古屋大学	A02	太陽フレア発生機構とその予測について
#03	6 月 21 日	塩川和夫	名古屋大学	A03	赤道電離圏のプラズマバブルの観測と発生確率予測
#04	7 月 12 日	小寺邦彦	名古屋大学	A04	大気大循環と地上気温分布に見る 11 年太陽周期の変動をどの様に理解すべきか?
#05	8 月 23 日	松本倫明	法政大学	B01	適合格子細分化法を用いた太陽圏磁場の動的モデルの構築
#06	9 月 29 日	松本晴久	JAXA	A01	宇宙機の帯電放電現象
#07	10 月 20 日	一本 潔	京都大学	A02	フィラメント噴出と飛騨 SMART/SDDI
#08	11 月 25 日	後藤忠徳	京都大学	A03	地殻電気伝導度構造と地磁気誘導電流
#09	12 月 5 日	櫻井隆	国立天文台	A04	2015 年に行われた黒点相対数改訂のレビュー
#10	1 月 19 日	木村芳文	名古屋大学	B01	太陽活動から地球環境への影響予測のための数理モデル
#11	2 月 14 日	保田浩志	広島大学	A01	宇宙放射線被ばくに対する防護
#12	3 月 21 日	鳥海森	国立天文台	A02	大型フレア・CME を生じる太陽活動領域の統計的傾向
#13	5 月 9 日	小原隆博	東北大学	A03	衛星による宇宙天気現象のその場観測—宇宙放射線粒子、電離層不規則構造を中心に—
#14	6 月 5 日	堀田英之	千葉大学	A04	太陽対流層研究の話したくないつらい話

4. 主な研究成果（発明及び特許を含む）【研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理する】

（3 ページ以内）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果（発明及び特許を含む）について、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。記述に当たっては、本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

研究項目 A01 次世代宇宙天気予報のための双方向システムの開発（予報システム班）

A01（計画・石井）

- ・宇宙天気情報のニーズ・シーズマッチング調査とハザードマップ作成

「宇宙天気ユーザー協議会」を設立し、通信測位、電力、衛星運用、被ばく、資源探査、その他に関する 23 の事業者の宇宙天気情報に対するニーズと研究者のシーズの間のギャップ解析を行った。また、米国・英国・韓国等の政府が発行している宇宙天気現象に関する行動計画文書を分析すると共に、我が国としての宇宙天気ハザードマップに必要な内容を検討し、作成を開始した。特に、経済インパクトの評価について、英国ケンブリッジ大学やロイズ・ジャパン等と連携した作業を開始した。（2016）

A01（計画・斉藤）

- ・3次元短波伝搬シミュレータの開発

3次元短波伝搬モデルの基礎開発が完了。さらに、GPS 観測網 GEONET などの観測データを基にしたリアルタイム電波伝搬モニタリングモデル開発に道筋をつけた(図 4)。また衛星測位に使われる L 帯の予測モデルについてフランス CNES との共同研究を開始した。（2016）

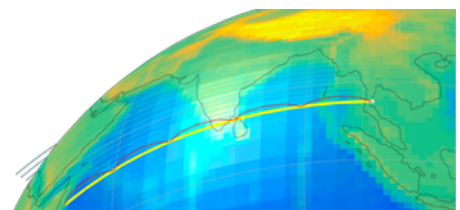


図 4 電波伝搬シミュレータの例

A01（計画・松本）

- ・テラーメイド宇宙天気システムの構築

静止軌道上の粒子環境の現況マップの開発を完了し、MHD シミュレーションの予測の検証を開始した。さらに、「みちびき」衛星の表面帯電計算用の工学モデル及び「こだま」衛星地球センサの深部帯電計算用の工学モデルの開発を進めた(図 5)。（2016）

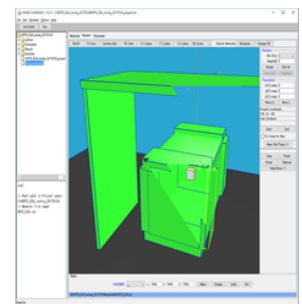


図 5 テラーメイド宇宙天気システムにおける DRTS/ESA の形状モデル

研究項目 A02 太陽嵐の発生機構の解明と予測（太陽嵐班）

A02（計画・一本）

- ・「太陽嵐」予報システムの構築：飛騨天文台の新観測装置の開発と太陽からの高速噴出現象観測に成功

太陽から高速に飛び出すフィラメント放出現象を観測することができる装置（Solar Dynamics Doppler Imager：SDDI）の開発に成功し、2016年4月より京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡(図 6)にて観測を開始した。これによって最大 400km/秒という猛スピードで噴出するフィラメントの運動を世界で始めて完全に捉えることができたようになった

(Ichimoto, et al. 2017)。これまで約1年の観測で速度 300km/s を超える噴出を数例捉えることに成功し、噴出の数時間前から速度が増加する前兆現象を発見した(図 6)。(日本経済新聞など、2017)

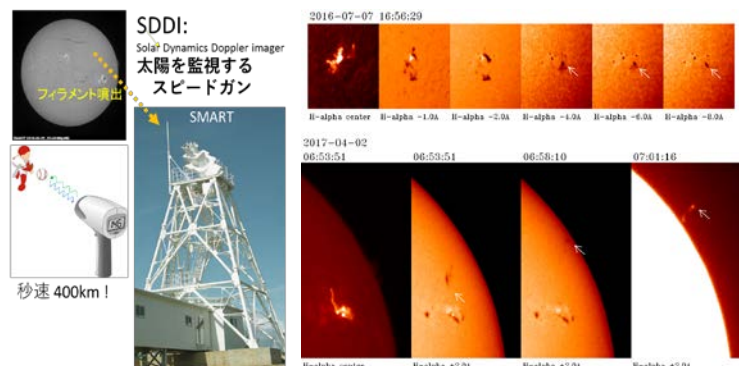


図 6：Solar Dynamics Doppler Imager の説明と観測結果：右上は H α -8A (370 km/秒)の画像でも噴出するフィラメントが確認できた例（2016年7月7日）、右下は2017年4月2日に西の縁で発生した CME を伴う噴出現象。

A02 (計画・草野)

・世界で初めてのフレアトリガ再現実験に成功

ひので衛星の磁場データと電磁流体力学シミュレーションを連携させ、2006年12月13日に発生した大型フレアの再現実験に初めて成功した(図7)。太陽フレアの数値シミュレーション予測に道を拓く成果である。(ApJ 2017 掲載決定)

・太陽面爆発の発生原因となる新しい電磁流体力学(MHD)不安定性とその臨界条件を解明

フレアやコロナ質量放出の発生原因となり得るこれまで知られていない新しい電磁流体力学(MHD)不安定性を理論的に見出すと共に、その臨界条件を明らかにした。太陽磁場観測に基づく新たなフレア予測スキームの構築のための重要な知見を与えるものである。(ApJ 2017 掲載決定)

・世界最大の太陽望遠鏡 NST を利用して太陽フレアトリガ過程の詳細観測に成功(国際共同研究)

米国ニュージャージー工科大学などと共同し、世界最大の太陽望遠鏡 NST によってフレア初期過程のこれまでに無い詳細観測に成功すると共に、数値シミュレーションとの比較から草野らが提唱する「フレアトリガモデル」を強く支持する結果を得た。(Nature Astronomy 2017、毎日新聞、中日新聞、日本経済新聞、その他各新聞とニュースサイト 2017年3月)

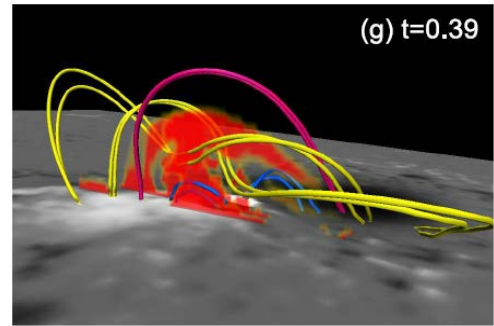


図7：ひので衛星データに基づくフレア再現数値実験、太陽表面の磁場分布と磁力線、フレア発生時の電流3次元分布を表す

研究項目 A03 地球電磁気圏擾乱現象の発生機構の解明と予測(地球電磁気班)

A03 (計画・三好)

・放射線帯電子の増加を引き起こす太陽風構造と、磁気圏で励起する現象を結びつけた新しいモデルを提案

太陽風、放射線帯電子フラックス、およびジオスペースの統計解析を進め、放射線帯電子の増加を引き起こす条件に関する新しいモデルを提案した。このモデルにより、放射線帯電子の増加を起しやすいた陽風構造を特定することで、放射線帯増加の予測が可能になることが期待される。(2017)

A03 (計画・三好、高島、三谷、加藤、塩川)

・あらせ衛星の打ち上げ成功と、初期観測の実施

本領域の多くのメンバーが中核になって開発した JAXA の新しい科学衛星「あらせ」が2016年12月に打ち上げに成功し、順調に観測を開始した。すでに磁気嵐に伴う貴重なデータを取得している。(NHK、各新聞 2017)。

A03 (計画・塩川、大塚)

・赤道域電離圏観測ネットワークの強化と、西アフリカで初の赤道電離圏プラズマバブルの大気光観測に成功

A03 (計画・品川、塩川、大塚)

・電離圏・熱圏全球結合モデル(GAIA)によるスポラディック E 層の再現

GAIA モデルの開発を進め、中緯度において電波障害の原因となるスポラディック E 層の発生を再現することに成功した。また、太陽フレア時における電離圏と熱圏の応答を再現し、日出・日没線に電離圏電場が増大・減少が起こることを明らかにした。(JGR 2017)

A03 (計画・海老原、田中)

・世界で初めて計算機シミュレーションによるオーロラ爆発現象の特定

磁気圏研究分野で最大の謎の一つであるオーロラ爆発過程を計算機シミュレーションで再現し、ダイナモを含めた基礎過程を明らかにした。(JGR 2015、各国の新聞、ニュースサイト)

A03 (計画・海老原、亘ほか)

・地磁気誘導電流 (GIC) シミュレーションの開発

磁気圏・電離圏電流から放射される電磁界を3次元で解くことができる FDTD (時間領域差分法) シミュレーションを開発し電離層電流と日本列島を模擬した地下構造を与え、地電場 (GIE) のシミュレーションに成功した (図 8)。(2017)

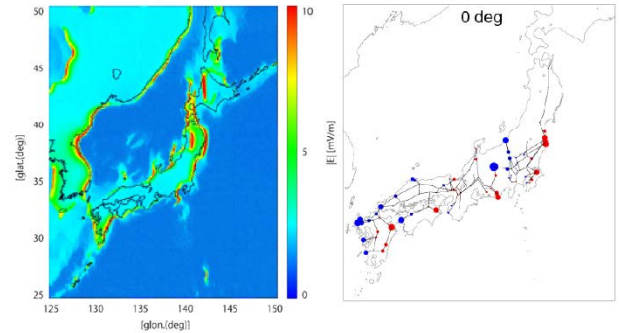


図 8 : 日本列島に印可された地電場と日本の 50 万ボルト階級送電網を流れる GIC の計算結果。

研究項目 A04 太陽周期活動の予測とその地球環境影響の 解明 (周期活動班)

A04 (計画・今田)

・次期太陽周期の振幅を予測：現サイクルに比べて数十%の弱化

次期太陽周期活動を予測する表面磁束輸送モデルを開発し、観測された太陽光球付近の磁場情報を初期条件として極磁場の予測可能性を検証することにより、浮上磁場の詳細なモデリングに依存しない新たな予測スキームを提案した。新手法で次期太陽周期の振幅を予測した結果、次期サイクルは現サイクルに比べて数十%弱くなるという結果が得られた。(ApJ 投稿中)

A04 (公募・堀田)

・大規模数値計算による太陽全球スケールの磁場生成機構の理解

スーパーコンピュータ京と音速抑制法を用いて、太陽対流層全球のこれまでにない高解像度数値計算を実行した。その結果、従来の研究を超える高解像度ではこれまでの理解とは逆に高解像度ほど大スケール磁場が強くなることを発見した。これは小スケールダイナモが非常に活発になり、小スケールの磁場破壊運動が抑制されて、大スケールの磁場が維持されるためであることがわかった。これは、実際の太陽で磁場を維持する重要なメカニズムの発見といえる (図 9)。(Science 2016)

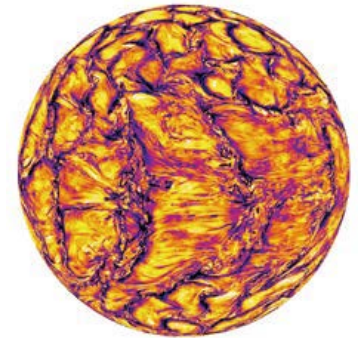


図 9 : 太陽対流層上部境界付近での動径方向速度

A04 (計画・余田、吉田、納多、小寺)

・古気候シミュレーションにおける成層圏オゾン化学過程の重要性

気象研究所の地球システムモデルを用いて産業革命前と完新世中期の気候再現実験を行い、ミランコビッチ・サイクルによる日射量変動に起因した気候の変化を定量的に調べた。その結果、上部成層圏オゾン分布の違いが、南極域地上付近の気温変化に最大 1.7 度程度の差を生じさせることが分かった。これまでの気候モデル比較プロジェクトで使われていたオゾン分布は不適切であり、正確な推定オゾン分布を使用すべきであることを指摘した。(JGR 2017)

研究項目 B01 太陽地球圏環境予測のための数理科学研究

B01 (公募・村主)

・機械学習による新たなフレア予測スキームの構築と運用 (A02 との共同研究)

Recurrent Neural Network などを利用し太陽観測画像から 24 時間先までのフレア発生を予測する新たなスキームを東工大の共同利用計算機 Tsubame 上に構築し、これを用いた実際のフレア予測実験を実施した。(2017)

●特許出願

なし

5. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5 ページ以内）

本研究課題（公募研究を含む）により得られた研究成果の公表の状況（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。記述に当たっては、本研究課題により得られたものに厳に限ることとします。

- 論文の場合、新しいものから順に発表年次をさかのぼり、研究項目ごとに計画研究・公募研究の順に記載し、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に*印を付してください。
- 別添の「(2) 発表論文」の融合研究論文として整理した論文については、冒頭に◎を付してください。
- 補助条件に定められたとおり、本研究課題に係り交付を受けて行った研究の成果であることを表示したもの（論文等の場合は謝辞に課題番号を含め記載したもの）について記載したものについては、冒頭に▲を付してください（前項と重複する場合は、「◎▲・・・」と記載してください）。
- 一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

<発表論文>

研究項目 A01 次世代宇宙天気予報のための双方向システムの開発（予報システム班）

A01（計画・石井） 計 6 件（査読有 6 件）

- ▲*Ishii, M. (2016), Japanese space weather research activities, Space Weather, 10.1002/2016SW001531.
- *Tsunoda, R. T., T. Maruyama, T. Tsugawa, Tatsuhiko Yokoyama, M. Ishii, T. T. Nguyen, T. Ogawa and M. Nishioka (2017), Off-great-circle paths in transequatorial propagation 1. Discrete and diffuse types, J. Geophys. Res.,
- *Nishioka, M., T. Tsugawa, H. Jin, and M. Ishii (2016), A new ionospheric storm scale based on TEC and foF2 statistics, Space Weather, 10.1002/2016SW001536
- *石井守、宇宙天気監視の現状と将来、日本航空宇宙学会誌、64(11), 334-337, 2016-11

A01（計画・佐藤） 計 5 件（査読有 5 件）

- *T. Sato (2016), Evaluation of World Population-Weighted Effective Dose due to Cosmic Ray Exposure. Sci. Rep. 6: 33932, doi: 10.1038/srep33932
- *T. Sato (2016), Analytical Model for Estimating the Zenith Angle Dependence of Terrestrial Cosmic Ray Fluxes. PLOS ONE 11(8): e0160390

A01（計画・塩田） 計 3 件（査読有 3 件）

- *Shiota, D., Kataoka, R. (2016), Magnetohydrodynamic simulation of interplanetary propagation of multiple coronal mass ejections with internal magnetic flux rope (SUSANOO-CME), Space Weather, doi:10.1002/2015SW001308

A01（計画・中田） 計 3 件（査読有 3 件）

- *H. Nakata, K. Abe, A. Tokunaga, T. Takano, T. Tsugawa, and M. Nishioka, Spectral density analysis of total electron content perturbations associated with earthquakes, IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, Vol.136, No.5, pp.272-277 (2016).
- *H. Nakata, K. Kawai, S. Akiyama, T. Chida, R. Tanaka, Y. Kawamura, T. Takano, and S. Shimakura, Estimation of direction of arrival of VHF radio wave by interferometers, IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials, Vol.136, No.5, pp.278-285 (2016).

A01（計画・松本） 計 1 件（査読有 1 件）

- *松本晴久、キャリントン級フレアによる衛星障害の推定、日本航空宇宙学会誌、66(2), 27-30, 2017-02

A01（計画・長妻） 計 1 件（査読有 1 件）

- *長妻努、衛星運用の安心・安全に資する宇宙環境予測の実現に向けて、日本航空宇宙学会誌、65(4), 96-99, 2017-04

研究項目 A02 太陽嵐の発生機構の解明と予測（太陽嵐班）

A02（計画・一本） 計 7 件（査読有 7 件、査読無 0 件）

- ▲*Ichimoto, K., Ishii, T.T., Otsuji, K., Kimura, G., Nakatani, Y., Kaneda, N., Nagata, S., Ueno, S., Hirose, K., Cabezas, D., Morita,” A New Solar Imaging System for Observing High Speed

Eruptions: Solar Dynamics Doppler Imager (SDDI)”, Solar Physics, vol. 292, 63, 2017/04, 査読有

2. ▲ Kawate, T.; Ishii, T. T.; Nakatani, Y.; Ichimoto, K.; Asai, A.; Morita, S.; Masuda, S., “Temporal Evolution and Spatial Distribution of White-light Flare Kernels in a Solar Flare”, Astrophysical Journal, 833, 1, 50, 2016/10, 査読有

A02 (計画・草野) 計12件 (査読有12件、査読無0件)

1. ▲ *Ishiguro, N., Kusano, K., “Double arc instability in the solar corona”, The Astrophysical Journal, in press, 査読有
2. ▲ *Muhamad, J., Kusano, K., Inoue, S., Shiota, D., “Magnetohydrodynamic Simulations for Studying Solar Flare Trigger Mechanism”, The Astrophysical Journal, in press, 査読有
3. ▲ *Bamba, Y., Lee, K. S., Imada, S., Kusano, K., “Study on the Pre-flare Activity of the X1.6 Flare in the Great AR 12192 with SDO, IRIS, and Hinode”, The Astrophysical Journal, vol. 840, 116, 2017/05, 査読有
4. ▲ *Bamba, Y., Inoue, S., Kusano, K., Shiota, D., “Triggering Process of the X1.0 Three-ribbon Flare in the Great Active Region NOAA 12192”, The Astrophysical Journal, vol. 838, id. 134, 2017/04, 査読有
5. ▲ *Wang, H., Liu, C., Ahn, K., Xu, Y., Jing, J., Deng, N., Huang, N., Liu, R., Kusano, K., Fleishman, G. D., Gary, D. E., Cao, W., “High-resolution observations of flare precursors in the low solar atmosphere”, Nature Astronomy, vol. 1, 85, 2017/03, 査読有

A02 (計画・花岡) 計1件 (査読有1件、査読無0件)

1. Joshi, A. D., Hanaoka, Y., Suematsu, Y., Morita, S., Yurchyshyn, V. and Cho, K.-S., “Pre-eruption Oscillations in Thin and Long Features in a Quiescent Filament”, 2016, ApJ, 833..243J, 査読有

A02 (計画・清水) 計4件 (査読有4件、査読無0件)

1. Shimizu, T., “3D magnetic field configuration of small-scale reconnection events in the solar plasma atmosphere”, 2016, Physics of Plasmas, 22, 101207, 査読有

A02 (計画・徳丸) 計5件 (査読有5件、査読無0件)

1. Tokumaru, M., K. Fujiki, N. Nishimura, N. Nozaki, “Space weather study using interplanetary scintillation observations at ISEE”, 2016 The 4th AOSWA workshop, 2016/10, 韓国濟州島

A02 (計画・鳥海) 計8件 (査読有8件、査読無0件)

1. ▲ *Toriumi, S., Katsukawa, Y., Cheung, M. C. M., “Various Local Heating Events in the Earliest Phase of Flux Emergence”, The Astrophysical Journal, vol. 836, id. 63 (13pp), 2017/02 査読有
2. ▲ *Toriumi, S., Schrijver, C. J., Harra, L. K., Hudson, H., Nagashima, K., “Magnetic Properties of Solar Active Regions that Govern Large Solar Flares and Eruptions”, The Astrophysical Journal, vol. 834, id. 56 (19pp), 2017/01, 査読有

A02 (計画・久保) 計2件 (査読有2件、査読無0件)

A02 (計画・箕島) 計1件 (査読有1件、査読無0件)

1. ▲ *Minoshima T., Miyoshi T., and Imada S., Boosting magnetic reconnection by viscosity and thermal conduction, *Physics of Plasma*, **23**, 072122, 2016. (査読有り)

A02 (公募・阿南) 計1件 (査読有1件、査読無0件)

1. ▲ *Anan T., Ichimoto, K., and Hillier A., “Differences between Doppler velocities of ions and neutral atoms in a solar prominence”, Astronomy and Astrophysics, vol. 601, A103, 2017/04, 査読有

A02 (公募・渡邊) 計2件 (査読有2件、査読無0件)

1. ▲ Namekata, K., Sakaue, T., Watanabe, K., Asai, A., Shibata, K., “Validation of a scaling law for the coronal magnetic field strength and loop length of solar and stellar flares”, PASJ, 69, 7, 2017/2, 査読有

研究項目 A03 地球電磁気圏擾乱現象の発生機構の解明と予測 (地球電磁気班)

A03 (計画・三好) 計 34 件 (査読有 34 件、査読無 0 件)

1. ▲ *Miyoshi, Y., S. Saito, K. Seki, T. Nishiyama, R. Kataoka, K. Asamura, Y. Katoh, Y. Ebihara, T. Sakanoi, M. Hirahara, S. Oyama, S. Kurita, and O. Santolik, Relation between energy spectra of pulsating aurora electrons and frequency spectra of whistler-mode chorus waves, *J. Geophys. Res.*, 有, 120, doi:10.1002/2015JA021562, 2015
2. ▲ *Miyoshi, Y., R. Kataoka, and Y. Ebihara, Flux Enhancement of Relativistic Electrons Associated with Substorms, in *Waves, Particles, and Storms in Geospace*, 有, 333-353, 2016.
3. ▲ *Kurita, S., Y. Miyoshi, B. Blake, G. Reeves, and C. Kletzing, Relativistic electron microbursts and variations in trapped MeV electron fluxes during the 8-9 October 2012 storm: SAMPEX and Van Allen Probes observations, *Geophys. Res. Lett.*, 有, 43, doi:10.1029/2016GL068260, 2015.
4. ▲ *Ozaki, M., S. Yagitani, K. Sawai, K. Shiokawa, Y. Miyoshi, R. Kataoka, A. Ieda, Y. Ebihara, M. Connors, I. Schofield, Y. Katoh, Y. Otsuka, N. Sunagawa, and V. K. Jordanova, A direct link between chorus emissions and pulsating aurora on timescales from milliseconds to minutes: A case study at subauroral latitudes, *J. Geophys. Res.*, 有, 120, doi:10.1002/2015JA021381, 2015.
5. ▲ *Nomura, R., K. Shiokawa, Y. Omura, Y. Ebihara, Y. Miyoshi, K. Sakaguchi, Y. Otsuka, and M. Connors, Pulsating proton aurora caused by rising tone Pcl waves, *J. Geophys. Res.*, 有, 120, doi:10.1002/2015JA021681, 2016.

A03 (計画・塩川) 計 42 件 (査読有 42 件、査読無 0 件)

1. ▲ *Balan, N., Y. Ebihara, R. Skoug, K. Shiokawa, I. S. Batista, S. Tulasi Ram, Y. Omura, and T. Nakamura, A scheme for forecasting severe space weather, *J. Geophys. Res.*, 有, 1122, doi:10.1002/2016JA023853, 2016.

A03 (計画・大塚) 計 13 件 (査読有 13 件、査読無 0 件)

1. ▲ *Dao, T., Y. Otsuka, K. Shiokawa, S. Tulasi Ram, and M. Yamamoto, Altitude development of postmidnight F region field-aligned irregularities observed using Equatorial Atmosphere Radar in Indonesia, *Geophys. Res. Lett.*, 有, 43, doi:10.1002/2015GL067432, 2016.
2. ▲ *Buhari, S.M., M. Abdullah, T. Yokoyama, Y. Otsuka, M. Nishioka, A. M. Hasbi, S. A. Bahari, and T. Tsugawa, Climatology of successive equatorial plasma bubbles observed by GPS ROTI over Malaysia, *J. Geophys. Res.*, 有, 122, doi:10.1002/2016JA023202, 2016.

A03 (計画・海老原) 計 34 件 (査読有 34 件、査読無 0 件)

1. ▲ *Ebihara, Y., and T. Tanaka, Substorm simulation: Formation of westward traveling surge, *J. Geophys. Res.*, 有, 120, doi:10.1002/2015JA021697, 2015.

A03 (計画・加藤) 計 6 件 (査読有 6 件、査読無 0 件)

1. ▲ *Katoh, Y. and Y. Omura, Electron hybrid code simulation of whistler-mode chorus generation with real parameters in the Earth's inner magnetosphere, *Earth, Planets, and Space*, 有, 168, doi:10.1186/s40623-016-0568-0, 2016.

A03 (計画・家森) 計 2 件 (査読有 2 件、査読無 0 件)

A03 (計画・吉川) 計 7 件 (査読有 7 件、査読無 0 件)

A03 (計画・品川) 計 6 件 (査読有 6 件、査読無 0 件)

A03 (計画・亘) 計 1 件 (査読有 1 件、査読無 0 件)

A03 (計画・片岡) 計 16 件 (査読有 16 件、査読無 0 件)

A03 (計画・齋藤) 計 3 件 (査読有 3 件、査読無 0 件)

研究項目 A04 太陽周期活動の予測とその地球環境影響の解明 (周期活動班)

A04 (計画・余田) 計 4 件 (査読有 3 件、査読無 1 件)

1. ▲ *Noda S., Kōdera K., Adachi Y., Deushi M., Kitoh A., Mizuta R., Murakami S., Yoshida K., and Yoden S., Impact of interactive chemistry of stratospheric ozone on Southern Hemisphere paleoclimate simulation, *J. Geophys. Res. Atmos.*, **122**, 878-895, doi:10.1002/2016JD025508, 2017. (査読有り)

2. *Yoden S., General introduction to tropical atmospheric science, keynote talk at the 2nd South-East Asia School on Tropical Atmospheric Science, Hanoi University of Science, Hanoi, Vietnam, 23 August 2016.

A04 (計画・今田) 計 6 件 (査読有 6 件、査読無 0 件)

1. ▲*Bamba Y., Lee K.-S., Imada S., and Kusano K., Study on precursor activity of the X1.6 flare in the Great AR 12192 with SDO, IRIS, and Hinode, *Astrophys. J.* 印刷中 (査読有り)
2. ▲*Lee K.-S., Imada S., Watanabe K., Bamba Y., and Brooks D.B., IRIS, Hinode, SDO, and RHESSI observations of a white light flare produced directly by nonthermal electrons, *Astrophys. J.*, **836**, 150, 2017. (査読有り)
3. ▲*Kanoh R., Shimizu T., and Imada S., Hinode and IRIS observations of the magnetohydrodynamic waves propagating from the photosphere to the chromosphere in a sunspot, *Astrophys. J.*, **831**, 24, 2016. (査読有り)
4. ▲*Imada S., Hirai M., and Hoshino M., Energetic ion acceleration during magnetic reconnection in the Earth's magnetotail, *Earth, Planets and Space*, **67**, 203, 2015. (査読有り)
5. ▲*Imada S., Murakami I., and Watanabe T., Observation and numerical modeling of chromospheric evaporation during the impulsive phase of a solar flare, *Physics Plasma*, **22**, 101206, 2015. (査読有り)

A04 (計画・櫻井) 計 2 件 (査読有 2 件、査読無 0 件)

1. ▲*Sakurai T., Heating mechanisms of the solar corona, *Proceedings of the Japan Academy, Ser. B*, **93**, 87-97, 2017. (査読有り)
2. ▲*Xu H., Zhang H., Kuzanyan K., and Sakurai T., On the origin of differences in helicity parameters derived from data of two solar magnetographs, *Solar Physics*, **291**, 2253-2267, 2016. (査読有り)

A04 (計画・浅井) 計 5 件 (査読有 5 件、査読無 0 件)

1. *Takasao S., Asai A., Isoe H., and Shibata K., Observational evidence of particle acceleration associated with plasmoid motions, *Astrophys. J.*, **828**, id103, 2016. (査読有り)

A04 (計画・宮原) 計 8 件 (査読有 8 件、査読無 0 件)

1. ▲*Miyahara H., Higuchi C., Terasawa T., Kataoka R., Sato M., and Takahashi Y., Solar 27-day rotational period detected in a wide-area lightning activity in Japan, *ANGEO Communicates*, **35**, 583-588, 2017, doi:10.5194/angeo-35-583-2017. (査読有り)
2. ▲Sakashita W., *Yokoyama Y., Miyahara H., Yamaguchi Y.T., Aze T., Obrochta S.P., and Nakatsuka T., Relationship between early summer precipitation in Japan and the El Niño-Southern and Pacific Decadal Oscillations over the past 400 years, *Quaternary International*, **397**, 300-306, 2016. (査読有り)

A04 (計画・吉田) 計 7 件 (査読有 7 件、査読無 0 件)

1. *Morgenstern O., Hegglin M. I., Rozanov E., O'Connor F. M., Abraham N. L., Akiyoshi H., Archibald A. T., Bekki S., Butchart N., Chipperfield M. P., Deushi M., Dhomse S. S., Garcia R. R., Hardiman S. C., Horowitz L. W., Jöckel P., Josse B., Kinnison D., Lin M., Mancini E., Manyin M. E., Marchand M., Marécal V., Michou M., Oman L. D., Pitari G., Plummer D. A., Revell L. E., Saint-Martin D., Schofield R., Stenke A., Stone K., Sudo K., Tanaka T. Y., Tilmes S., Yamashita Y., Yoshida K., and Zeng G., Review of the global models used within phase 1 of the Chemistry-Climate Model Initiative (CCMI), *Geosci. Model Dev.*, **10**, 637-671, 2017. (査読有り)

研究項目 B01 太陽地球圏環境予測のための数理科学研究(数理科学班)

B01 (公募・村主) 計 1 件 (査読有 1 件、査読無 0 件) A02 との共同研究

B01 (公募・堀) 計 1 件 (査読有 1 件、査読無 0 件) A02, A04 との共同研究

B01 (公募・堀田) 計 1 件 (査読有 1 件、査読無 0 件) A04 との共同研究

1. ▲*Hotta H., Rempel M., and Yokoyama T., Large-scale magnetic fields at high Reynolds numbers in magnetohydrodynamic simulations, *Science*, **351**, 1427, 2016. (査読有り)

<書籍>

A03 (計画・海老原) Ebihara, Y., Ring Current (章担当), *Space Weather Fundamentals*, pp.149-172, Ed. George V. Khazanov, CRC Press, 2016 年 8 月

<ホームページ・新聞等>

1. 雷・太陽自転の周期一致一約 27 日 武蔵野美大など、日本経済新聞 2017/05/14

2. 飛騨天文台の新観測装置、太陽からの高速噴出現象観測に成功 –地球を襲う「太陽嵐」予報システムの構築に向けて–、産経新聞、中日新聞、日本経済新聞、毎日新聞、京都新聞ニュース 2017/04/15
3. 宇宙のさえざり測定 金大など 地球周辺の環境解明へ –あらせ搭載 PWE 観測器がコーラスの波形観測に成功、北國新聞、北陸中日新聞、読売新聞、マイナビニュースなど 2017/04/03
4. 世界最大の太陽望遠鏡によって太陽フレア爆発の前兆現象の詳細観測に成功、日本経済新聞、中日新聞、毎日新聞、マイナビニュース、Yahoo ニュース、その他、2017/03/29
5. あらせ打ち上げ、読売新聞、NHK ニュース 9、2016/12/20
6. サイエンス ZERO「太陽フレア 生命の脅威か？ 母なる恵みか？」 NHK 2016/09/11
7. 科学の扉「ひので 太陽観測 10 年」朝日新聞、2016/08/14
8. 太陽の磁場増減メカニズムに迫る、朝日新聞、共同通信、時事通信等、2016/03/25
9. CME シミュレーションで宇宙天気予報へ展望、日本・欧米各国等の WEB ニュース 2016/03/01
10. コロナ単体の磁場測定成功、科学新聞 2016/02/26
11. 太陽活動から気候変動予測、日経産業新聞 2016/01/28
12. オーロラ爆発の仕組み解明 京大、発生場所予測に期待、京都新聞、産経新聞、読売新聞、海外のメディア多数（米欧、インド等）で報道 2015/12/22
13. 低緯度オーロラの撮影に成功、十勝毎日新聞（Web ニュース）2015/12/22
14. またたくオーロラ：原因は宇宙のさえざり読売新聞、日刊工業新聞、財経新聞 2015/09/29、中日新聞 2015/10/08、2015/10/12、科学新聞 2015/10/09
15. 太陽の黒点形成時に発生する爆発・ジェット現象の仕組みを解明、しんぶん赤旗 2015/10/1
16. 巨大磁気嵐に備え「ハザードマップ」作成へ、読売新聞 2015/07/14
17. 3 月の北海道のオーロラ「磁気嵐」重なり大規模に、日本経済新聞、2015/06/17

<主催シンポジウム等の状況>

1. 第 1 回 PSTEP 国際シンポジウム (PSTEP-1)：2016 年 1 月 13-14 日、名古屋大学、参加者 98 名
2. 第 2 回 PSTEP 国際シンポジウム (PSTEP-2)：2017 年 3 月 23-24 日、京都大学、参加者 80 名
3. PSTEP セミナー：2016 年 4 月より毎月 1 回インターネットを利用して全国の関連機関を結んで実施。
4. その他：太陽フレア予測に関する国際研究集会（2016. 1. 12, 京大）、太陽地球環境予測のための気候モデリング国際ワークショップ（2016. 1. 15, 京大）、地球内部磁気圏でのプラズマ波動の生成・伝播に関する小研究会（2016. 8. 17, 東北大）、太陽面爆発に関するワークショップ（2017. 3. 21-22, 名大）、太陽活動の気候影響に関するワークショップ（2017. 3. 21-22, 京大）、宇宙天気手法説明会（2015. 12. 10, NICT）、研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」（2017. 1. 26-27, 名大）、宇宙天気ユーザー協議会（2017. 2. 15, NICT）、第 13 回宇宙環境シンポジウム（2016. 11. 1-2, NICT, 後援）、太陽フレアデータ解析ワークショップ（2016. 11. 28-12. 1, 名大、共催）、太陽観測衛星「ひので」10 周年科学国際会議 Hinode-10（共催、2015. 9. 5-9, 名大）、JpGU Space Weather, Space Climate, and VarSITI セッション（2016. 5. 22-23、幕張、後援）、第 1 回 VarSITI 総合シンポジウム（2016. 6. 6-10, ブルガリア、後援）、European Space Weather Week 2016, PSTEP セッション（2016. 11. 17, ベルギー）、赤道域電離圏プラズマバブルについての国際ワークショップ（2016. 11. 29-12. 2, 名大）、インドネシア宇宙天気予報官国際研修（2016. 10. 24-11. 4, 名大）

<アウトリーチ活動>

1. 一般公開講演会・サイエンスカフェ・サイエンスイベント等 53 件に協力
2. 小中高等学校における出前授業・体験授業 18 件に協力
3. ナイジェリア、インド、ロシア、インドネシア、ベトナム、シンガポールで国際スクールに協力 9 件
4. PSTEP ニュースレター No. 1-No. 4 を発行
5. 宇宙天気ユーザーズフォーラム 2016 年 6 月 14 日 国立科学博物館

6. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2ページ以内）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、研究組織間の連携状況について組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

本課題の主要なテーマの一つである、双方向宇宙天気予報システムの構築の実現のために、特にA01班とA03班を中心としたタスクチームを構成、最新の研究成果の実利用展開に向けた活動を行ってきた。通信・衛星測位、人工衛星への影響、電力網への影響、人体への影響の4つのサブテーマに対してA01、A03班で対

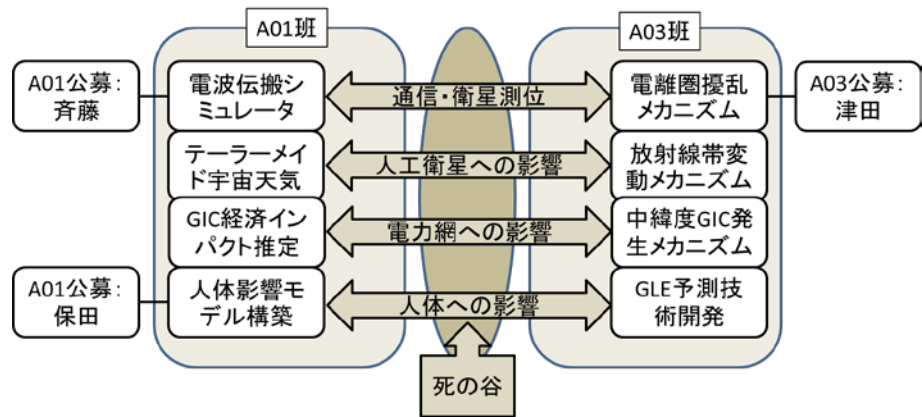


図10：本領域における研究項目の連携

応する目標を設定し連絡を密にとることで効率的・効果的な活動を実現している。さらに公募研究もそれぞれ関連するサブグループにひもづけることで全体が一体となり、死の谷を乗り越える懸け橋を構成している(図10)。

- ・被ばくタスクチーム： A01、A02、A03班：

太陽フレアに伴う高エネルギー粒子の加速と地球への伝播に関するモデリングと予測をA02班が担う。さらに、A03班は、ジオスペースにおける太陽放射線(SEP)のフラックス変動のモデリングを、被ばくに関する人体への影響はA01班が担うという役割分担を進めている。また、人体に対する宇宙放射線被ばくに関するデータの提供を公募研究(保田)が連携して進めている。

- ・衛星帯電タスクチーム： A01、A03班：

A03班は、ジオスペースにおける放射線帯電子の高精度の予測を目指した研究を行い、その結果をふまえた衛星帯電に関する情報をA01班が担っている。また、衛星表面相互作用に基づく精密な衛星帯電の数値モデリングを公募研究(三宅)が連携して進めている。

- ・電波伝搬(電離圏)タスクチーム： A01、A03班：

A03班はプラズマバブル等をはじめとした電離圏変動現象の観測、モデリングを進め、A01班において電波伝搬への影響を評価するという役割分担を行っている。

- ・地磁気誘導電流(GIC)タスクチーム： A01、A03班：

A03班において、地磁気誘導電流に関するモデル計算を進め、A01班とともに変電所への計測機器設置等を実施している。

この他に、統合モデルタスクチームとしてA01、A02、A03、A04、B01班が連携すると共に、降下電子大気応答タスクチームとしてA03、A04班が連携して活動している。また、公募研究として実施している(B01)太陽地球圏環境予測のための数理科学研究はA01～A04班の研究と連携し、先進的なモデル開発に貢献している。

7. 若手研究者の育成に係る取組状況（1 ページ以内）

領域内の若手研究者の育成に係る取組状況について記述してください。

1. PSTEP 若手支援事業の実施

本領域では若手研究者の育成を目的として、大学院博士後期課程学生ならびに 30 歳未満の若手研究者を対象とする、公募に基づいた若手支援を独自のプログラムとして行っている。平成 27 年度は 11 件、平成 28 年度は 9 件の課題を採択し、支援した（表*）。採択した課題は何れも活発な研究を展開しており、例えば、玉澤春史氏（京都大学大学院理学研究科博士課程）の「古文書にみられる低緯度オーロラ・黒点記録と自然科学データとの照合」に関する研究はその後、大きな発展をみせ、メディアの注目も集めている。

表：PSTEP 若手支援採択課題

【H27 年度】	研究課題
坂下 渉（東大 D3）	宇宙線生成核種を用いたラシヤンプ地磁気エクスカージョン期時の宇宙線強度変動復元のための基礎実験
北原理弘（東北大 D2）	ERG 衛星搭載 SWPIA を用いたホイッスラーモードコーラス放射と高エネルギー電子の波動粒子相互作用の直接観測
松下拓輝（九大 D2）	緯度方向多点稠密地上磁場観測データに基づく電離圏擾乱に伴う赤道ジェット電流の構造変化メカニズムの解明
河野隼也（東大 D1）	太陽彩層・コロナ加熱問題解決に向けた磁気流体波散逸機構に関する研究
栗田 怜（名大 PD）	ホイッスラーモードコーラス波動の伝搬特性と放射線帯電子フラックス変動の関係性の観測的研究
高棹真介（京大 D3）	巨大フレアを起こしやすい太陽黒点磁場の起源を探る体系的なシミュレーション研究
松田昇也（金沢大 PD）	電磁気圏環境変動に伴うプラズマ圏 EMIC 波動の伝搬特性変動の解明
高橋直子（東北大 D2）	地上・衛星同時観測による大規模擾乱に伴う電場の発達・伝搬過程の研究
桑原正輝（東大 D1）	磁気嵐に呼応する地球外気圏の水素原子密度の変動メカニズムの解明
玉澤春史（京大 D1）	古文書にみられる低緯度オーロラ・黒点記録と自然科学データとの照合
P. Abadi（名大 D1）	Effects of Equatorial Ionospheric Irregularities on GNSS (Global Navigation Satellite Systems)
【H28 年度】	
清水健矢（東大 D3）	大規模電磁粒子シミュレーションを用いたイオン慣性長を超える分厚い電流層中での磁気リコネクションのトリガー過程に関する研究
飯島陽久（名大研究員）	輻射磁気流体計算による表面磁束輸送モデルの数値的検討
高橋直子（東北大 D3）	地上・衛星同時観測による大規模擾乱にともなう電場伝搬・エネルギー輸送過程の研究
河村聡人（京大 D1）	オーロラ観測の歴史的資料に基づく過去の太陽活動の研究
廣瀬公美（京大 D1）	H α 線太陽全面像から探るフィラメント消失の要因解明、及び宇宙天気予報の研究
H. Yikai（京大 D2）	斜め伝搬ホイッスラーモード波動粒子相互作用のシミュレーション
北原理弘（東北大 D3）	THEMIS 衛星データを用いた EMIC 波動によるイオンピッチ角散乱の直接的実証研究
庄田宗人（東大 D1）	コロナ加熱・太陽風加速の新たな 1 次元モデルの提唱とその数値シミュレーション
P. Abadi（名大 D2）	Effects of latitudinal variation of zonal neutral wind on azimuthal distribution of scintillation occurrence

2. 若手研究員への支援

本領域では現在、9 名の若手研究者を研究員として雇用している。これらの若手研究員については研究期間終了後も研究者としてのキャリアパスを見出すことができるよう、特に成果創出に留意して研究を遂行している。

3. PSTEP サマースクール陸別 2017 の実施

全国の大学院生を主な対象として太陽地球圏環境予測について幅広く学ぶためのサマースクールを 2017 年 7 月 30 日から 8 月 4 日まで北海道陸別町の全面的な協力を得て実施する。すでに、98 名の参加希望者が登録されている。

8. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）（1 ページ以内）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

共同利用・共同研究拠点である名古屋大学宇宙地球環境研究所の統合データサイエンスセンター（CIDAS）におけるスーパーコンピュータシステム（CIDAS システム）は、本領域研究において幅広く利用されている。特に、同システムは並列計算ノードを多数持つと共に「ひので」、「ERG」衛星のデータ解析環境に優れているため、比較的小規模のシミュレーションとデータ解析プラットフォームとして効果的に利用されている。また、本領域の国際活動支援経費で平成 27 年度に導入したデータサーバーはこの CIDAS システムと接続され、本領域で開発されたデータベース及び予測モデルを研究者で共有するための環境が整備されている。

また、総括班経費を利用したレンタル WEB サーバーと文書管理システムは情報の発信と共有に有効に利用されている。また、全国に分散する領域研究者が参加する会議とセミナーを頻繁に実施するため、高機能のネット会議用マイクを名古屋大学で購入すると共に、最新のネット会議システム ZOOM を導入し、PSTEP セミナーや研究打ち合わせ、総括班会議、領域会議などで有効に利用している

9. 総括班評価者による評価（2 ページ以内）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

Terry Onsager (Director, International Space Environment Service, NOAA, USA)

The PSTEP project is an exciting activity in that it will address fundamental questions of solar-terrestrial physics and it will contribute to Japan's next-generation space weather forecasting system. The importance and uniqueness of the program are recognized in the U.S. and internationally. As a new nation-wide effort, PSTEP has important opportunities and challenges. While there is the opportunity to utilize the strong scientific talent in Japan to improve space weather service capabilities, the difficulty is also well recognized of focusing effectively scientific efforts on service needs. The fundamental physics efforts in this project cover the full range of physical processes from long-term solar cycle variability to solar eruptions, geomagnetic storms, ionospheric disturbances, and the energetic particle radiation environment. The topics of focus of the PSTEP teams are well aligned with the operational priorities of space weather prediction centers (NICT in the case of Japan, which is represented by the A01 group leader, M. Ishii). We look forward to PSTEP activities and consider a range of near-term, medium-term, and long-term possibilities from this exciting effort.

星野真弘（東京大学大学院理学系研究科・地球惑星物理学専攻・教授）

これまでこの新学術研究では、基礎研究としてのスペース物理・太陽物理から応用研究としての宇宙天気予報までを総合的に推進してきた。4つの研究班における個々の研究はおおむね順調に進んでおり、学術論文や国際共同研究などの成果も十分に認められる。これは既に約200編の国際誌論文が出版されていることから裏付けられる。しかし若干気がかりな点として、応用研究としての出口の重要な役割を担っているA01班では、宇宙天気予報のための調査・検討を着実に進めてきてはいるが、社会実装に向けた取り組みが必ずしも見えていない。本学術研究ではまた、将来発生する激甚宇宙天気災害に備える社会基盤の形成を推進することも目的としている。激甚宇宙天気災害の研究は、基礎研究としても興味深いものがあるが、社会インフラへの激甚被害をもたらす大規模嵐に対する研究について具体的な進捗が見えていない。今後の取り組みであると思われるが、磁気圏物理と太陽物理を中心とした研究者で構成されている新学術領域メンバーの強みを生かして、各班におけるサブグループ間の連携や4つの研究班間の密な連携、特に長期変動を研究するA04班の研究と、A02（太陽嵐）およびA03（地球電磁気）班の研究との連携を更に進められることを期待したい。

Lesley Gray (Professor, Physics Department, Oxford University, UK)

The PSTEP A04 activity is an excellent, coordinated and holistic approach to understanding the global and regional impact of the Sun's variations on the Earth's weather, climate and space environment. The results achieved so far and the work in progress are very promising, particularly in the modelling and understanding of the relative impacts of different proposed mechanisms. I believe this project will especially make an important contribution to understanding processes for the regional impact of the 11-year solar cycle via the stratosphere and related feedbacks through ocean-atmosphere coupling. I also particularly encourage the approach to perform long paleo-climate simulations so that the relevant mechanisms for impacts on the 11-year and centennial timescales can be disentangled.

Daniel Marsh (Senior Scientist, National Center for Atmospheric Research, USA)

To improve on the prediction of climate variability related to changes in solar output, it is

necessary to advance our understanding of how the earth system responds to changes in solar irradiance and energetic particle forcing. The activities of Group A04 represent a balanced approach that will clarify the processes by which solar variations influence climate. State of the art models and observations are combined to investigate both the direct forcing of the surface by irradiance changes as well as chemical-dynamical pathways that begin with deposition of energetic particles and photons (e.g., energetic electrons/protons and ultraviolet radiation) in the middle and upper atmosphere. Ongoing activities within A04 that aim to improve the representation of chemical response to solar radiation and particles, such as adding HOx and ozone photochemistry, are a necessary first step. Planned comparisons with observations and models participating in the Coupled Model Intercomparison Project phase 6 (CMIP6) will ensure the new models are validated and leverages similar activities outside of Japan. Overall the activities of PSTEP should significantly advance our understanding of the role of solar activity in climate variability.

日江井榮二郎（国立天文台名誉教授、明星大学元学長）

A02 班の観測的研究グループはそれぞれ必要と思われる装置を設置して観測を進めているように見受けられた。平成 29 年度にはそれらの観測的研究成果が出てくるものと期待している。草野領域代表らが提唱するように大フレア発生原因は 2 つの要因に帰着するとするならば、過去のデータを追試して検証ができないだろうか。

カナダ・ケベックでの停電現象に対して日本の電力会社も関心を持っているとのことなので、宇宙天気予報の研究が徐々に民間にも伝わっていると判断できる。

彩層・コロナ領域での磁場の観測は容易ではないが、高緯度の磁気中性線上のプロミネンスは時に消滅・出現を何度となく繰り返すものがあり [通称 DB (disparition brusque)], その磁場変化による消滅予想の観測的研究や、2017 年 8 月の皆既日食、時に地上望遠鏡とひので衛星との連携観測により、コロナ・彩層の構造と磁場の関係がより詳しく観測され、研究されることを期待する。

上出洋介（名古屋大学名誉教授）

この領域研究は、独特のメンバー構成により、(1) 宇宙天気現象の最も進歩した予報モデルを作り出す、(2) 研究者と予報官の間に長く存在する「死の谷」を埋める、(3) Super storms に注目し、何がスーパーなのかを明らかにする、(4) Super storms は normal storms の単純な延長として理解できるかを明らかにする、などの成果が期待されている。特に A03 班については、人工衛星や地上観測に豊富な実績を持つメンバーと、最先端の数値シミュレーションで成果を上げてきたメンバーとがバランスよく配置されており、実証的な研究成果が期待される。ERG 衛星の最新の観測データや、広域の多点ネットワークによるデータ、電力会社と送電線の誘導電流の観測データを用い、予測精度が向上することを期待する。

A03 班が作るモデルの成果は、A01 班を通して宇宙飛行士の被ばく、通信障害や測位誤差、地表に誘導される電流など、具体的な宇宙天気の影響として社会に発信し、研究の成果が人類の社会インフラの安定した利用へと結びつくことを指向している点で、定性的議論に終始した今までの宇宙天気研究とは一線を画すものである。学術的議論はもとより、A01 班による宇宙天気現象の“定量的”社会ニーズに応える努力と、A02~04 班から発信される最新の科学的知見をもとに事業者と協力し、宇宙天気災害に対してインフラが直ちに十分な対策が取れる体制の提言を行なうことなどを期待したい。

10. 今後の研究領域の推進方策（2ページ以内）

今後どのように領域研究を推進していく予定であるか、研究領域の推進方策について記述してください。また、領域研究を推進する上での問題点がある場合は、その問題点と今後の対応策についても記述してください。また、目標達成に向け、不足していると考えているスキルを有する研究者の公募研究での重点的な補充や国内外の研究者との連携による組織の強化についても記述してください。

本領域の研究計画では研究期間の前半には各要素研究を推進し、領域全体の連携研究の基盤を築くことに重心が置かれていた。これまでの研究において、全ての項目ですでにこの前半の目標を達成するだけでなく、A04 班の次期太陽周期予測などでは、目標を上回って成果を生み出すことができた。それ故、領域研究は順調に進行しており、特に問題はない。今後は各項目の研究をさらに進めると共に、連携研究を強化することで、太陽地球圏全体を一つのシステムとして理解し、科学研究と次世代宇宙天気予報を相乗的に発展させる領域目標を十分に達成することができる。また、独自の若手支援事業、国内及び海外でのサマースクール、毎年行なう国際シンポジウム、関連拠点と協力したワークショップ、ニュースレターの発行、プレスリリースと様々なアウトリーチ活動などを今後も積極的に実施する。

研究項目 A01 次世代宇宙天気予報のための双方向システムの開発（予報システム班）

科学研究と事業者ニーズ間のギャップ解析に基づいて、ユーザーフレンドリなアプリケーションを他藩と連携して開発する。ユーザー協議会での議論と宇宙天気予報からのフィードバックを基に、使いやすい宇宙天気予報アプリケーションの開発を進める。各項目の推進方策は以下の通り。

(a) 電波伝搬シミュレータ：短波伝播モデルの web インターフェースの構築および観測との比較による計算結果の評価を継続する。衛星測位への影響に関するシンチレーションシミュレータを開発する。

(b) テーラーメイド宇宙天気：表面帯電及び深部帯電について精度および使用評価を行い Web で公開。

(c) 電力網アラートシステム：電力事業者との協力の元に観測を進めるとともに、電力システムについての議論を進めハザードマップに反映させる。

(d) リアルタイム人体影響予測システム：太陽宇宙線由来の被ばく線量計算プログラムに銀河宇宙線の寄与を追加したリアルタイム被ばく線量予報モデルを Web に組み込み運用を開始する。

(e) 宇宙天気ハザードマップについては、A02-A04 班の知見を取り入れ、宇宙天気災害の定量的被害評価を実施して、製作し、広く公開する。

(d) モデル間結合検討：宇宙天気モデル連携および結合について、相互連結手法を定め、実現性と実効性があるモデルの連携を実現する。また、国際的な宇宙天気モデルの協力体制を構築する。

研究項目 A02 太陽嵐の発生機構の解明と予測（太陽嵐班）

フレア発生予測については、H28 年度までに構築した太陽活動領域 3 次元磁場データベースを活用し、MHD シミュレーションによる数値フレア予測の有効性を検証する。さらに、H28 年度に定式化した新しい不安定性の臨界条件に基づく新たな予測スキームを開発すると共に、その予測性を定量的に評価することで、予報運用へも応用できるスキームに発展させる（基本目標 1）。

一方、本計画で新たに稼働を開始した観測装置を含めて、太陽面から太陽風までの連携観測を推進する。特に、太陽活動が現在下降期にあるため、フレアが発生しそうな活動領域を重点的に観測する。太陽嵐イベント数を増やし、地球影響の実時間予測に有効なフレアの特徴量を抽出、その予測精度を評価する。コロナ質量放出モデルやフレア放射モデルによる現象再現精度の評価とモデルの改良をすすめる。また、CME モデルと太陽高エネルギー粒子モデルを結合し、地球軌道で観測された太陽プロトンイベントを再現することで、数値モデルの改良を行なう。これらを通して、地球を襲う太陽嵐の重要度を爆発の発生から数時間以内に確率予測する方法論の開発をおこなう（基本目標 2）。

さらに A01 班がとりまとめた宇宙天気に関する「ニーズ・シーズ調査」の結果に基づき、ユーザーが必要とする宇宙天気情報を提供するためのモデル開発を進める。ただし、太陽から地球への結合型予測

が難しい場合は、データの解析手法から再検討をおこなう。A03 班とは具体的な宇宙天気イベントについて共同解析を行なう。特に、「あらせ」衛星で観測される放射線帯変動や、GIC 現象と CME 発生過程との関連性、電離層変動と太陽フレア予測モデルから得られる放射スペクトルとの相互比較、等をテーマとして共同研究を推進する。本計画の3つの目標の達成度を総括するとともに、A01, A03 班と連携して、宇宙天気予報の実運用にむけた太陽嵐班としての提言をまとめる。

研究項目 A03 地球電磁気圏擾乱現象の発生機構の解明と予測（地球電磁気班）

【宇宙放射線】宇宙放射線変動予測については、A01 班との連携のもと被ばくタスクチーム、帯電タスクチームを結成している。前者は、太陽放射線変動に伴う被ばくを評価すると共に、様々な Ground Level Enhancement (GLE) イベントの地上中性子モニターの観測を再現すると共に、A02 班とも協力して GLE 変動の予測精度向上を行う。衛星帯電予測については、放射線帯電子フラックスの予測から帯電しきい値等を導出し、放射線帯電子変動から衛星帯電を評価するための研究を進める。

【電離圏変動】A01 班と連携して実施している電離圏電波伝搬タスクチームにおいて、すでに電波伝搬プログラムの開発を終えた。今後、GAIA モデルによる計算結果や、実際の電離圏プラズマ密度の観測データを使い、プラズマバブルなど電離圏擾乱による電波伝搬への影響を調べる。

【地磁気誘導電流】A01 班との連携のもと、地磁気誘導電流に関するタスクチームを結成している。今後、国内電力会社の協力を得て実測している GIC のデータを解析し、磁気嵐急始(SC)、サブストーム、磁気嵐など異なる時間スケールを持つ事象について GIC と磁場との関係を明らかにする。太陽風のパラメータをインプットとして日本の送電網を流れる GIC を求める計算スキームを確立し、日本における地電場と GIC の性質を明らかにする。計算によって求めた GIC と実測値を比較し、モデルの評価と予測精度向上のための改善を行う。

研究項目 A04 太陽周期活動の予測とその地球環境影響の解明（周期活動班）

赤外スペクトロポラリメータによる太陽磁場観測や「ひので」衛星等の磁場データを用いて、主要パラメータの10年スケールでの時間変動を解析するとともに、得られたパラメータと表面磁束輸送モデルを用いて、太陽全球表面磁場の時間発展を解き、2020年頃に訪れる太陽極小期の極域磁場を予測する。また、太陽彩層画像の乾板データから太陽紫外線強度の指標であるプラージュ・インデックスを導出するとともに、地球高層大気の応答の相関関係を求める。樹木年輪、氷床コアの宇宙線生成核種を単年分解能で精密測定し、小氷期の太陽活動周期及び宇宙線強度変動を詳細に解析する。さらに、太陽高エネルギー粒子降下時の化学過程を導入した地球システムモデルを用いて、次期大気海洋結合モデル相互比較プロジェクト CMIP6 に準拠した実験を実施し、高エネルギー粒子のインパクトを明らかにする。

上記基本目標の達成に加えて、マウンダーミニマムのような極端な状況を作り出す原因を、観測データ解析、試料分析、数値実験の各方向から探るとともに、次期太陽周期活動が極端な状況になり得ないかの検討を、数値モデル予測および高精度試料分析の立場から行い、発展目標の達成をめざす。

新たな連携研究テーマとして、太陽活動変動の気候影響を総合的に検討できる軽量高速大気大循環-化学結合モデルの開発と実験を昨年度より開始している。775年の「三宅イベント」を事例としてベリリウム10の移流実験を行い、今後の地質学的試料の分析に方向性を与える新知見を得た。これは、古気候試料分析と地球システムモデルシミュレーションの連携によるこれまでにない成果であり、更なる共同研究を推進していく予定である。また、この大気大循環-化学結合モデルの開発は、米国 NCAR の研究者との共同研究によるものであり、国際活動支援による研究組織の強化に基づいている。