



新学術領域「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

# PSTEP Newsletter

No.7 Nov. 2017

## INDEX

【研究紹介】 新たな太陽フレア発生予測に向けた取り組み	pp.1-2
<b>速報</b> 第24 太陽周期最大の巨大太陽フレアが発生	p.2
【会議報告】 PSTEP サマースクール陸別 2017	pp.3-4
【会議報告】 第2回 VarSITI 総合シンポジウム及び VarSITI 国際スクールを開催	p.5
【会議報告】 IAU symposium: "Space Weather of the Heliosphere: Processes and Forecasts"	p.5
【会議報告】 UN/US International Space Weather Initiative Workshop	p.6
【会議報告】 第12回 宇宙天気ユーザーズフォーラム	p.6
大村 善治氏がアップルトン賞を受賞	p.7
【国際活動支援班活動報告：派遣】 地球内部磁気圏における高エネルギー電子の波動粒子相互作用による加速過程に関する共同研究 / 北原 理弘	p.7
平成28年度 若手研究支援報告②	p.8
【PSTEPメンバー紹介】 石井 貴子 / 京都大学	p.9
追悼：村主 崇行さんを悼んで	p.9
研究室紹介⑥「国立天文台 太陽観測科学プロジェクト・太陽天体プラズマ研究部」	p.10
Q&A「宇宙と地球のなぜ？どうして？」	p.10

Project for  
Solar-Terrestrial  
Environment Prediction

## 新たな太陽フレア発生予測に向けた取り組み

太陽系最大の爆発現象である太陽フレアは、地球の電磁環境を乱すと共に電力、通信、人工衛星、航空などの社会インフラにも様々な被害を与え得るため、その発生と影響を正確に予測することは本領域（PSTEP）の重要課題です。太陽フレアは太陽活動領域<sup>[1]</sup>の磁場に蓄積された自由エネルギーが、強力な電磁波や太陽大気<sup>[2]</sup>を構成するプラズマの熱や運動エネルギーとして突発的に解放される爆発現象です。それ故、いつ、どこで、どれほどの規模のフレアが発生するかを予測するためには、活動領域に蓄積された自由エネルギーを計測すると共に、活動領域磁場が不安定化するための条件を見出す必要があります。

PSTEP では精密な太陽観測磁場データと数値計算を連携させることで、新たな太陽フレアの発生予測に向けた多角的な取り組みを進めています。その取り組みとして、太陽活動領域の3次元磁場モデルの開発とその解析研究があります。現在の観測技術では太陽大気中の精密な磁場観測は困難です。ただし、コロナでは磁場のエネルギーに比べて熱エネルギーや重力エネルギーが非常に小さいため、圧力と重力を無視し、電流と磁場が作るローレンツ力のみが釣り合うフォース・フリー磁場によって活動領域磁場の平衡状態を近似できると考えられます。そこで、観測可能な太陽表面磁場を境界条件として利用し、フォース・フリー磁場を境界値問題として数値的に解くことによってコロナ中の3次元磁場を近似的に再構成する試みを進めています（図1）。PSTEP ではこれまでに2010年以降に現れた大きな黒点を伴う300個の活動領域のフォース・フリー磁場を計算し、太陽活動領域フォース・フリー磁場のデータベースを構築しました。また、幾つかの活動領域についてフォース・フリー磁場の時間変化を追跡する研究も進めています。その結果、大きなフレアを発生する領域では、磁力線が両フットポイントの間で

1/2回転以上のねじれ（magnetic twist）を持っており（Inoue et al. 2016）、磁力線のねじれとフレア活動の間には比較的良い相関があることなどが分かってきました。ただし、キンク不安定性の必要条件となるような1回転を超える非常に強いねじれを持つ磁力線はフレア発生前にはほとんど無いことも示されています。また、フレア発生に至る過程で磁場に蓄積されている自由エネルギーが必ずしも増加し続けるわけではないことを示す結果も得られています（Kawabata et al. 2017）。

こうした結果は、磁力線のねじれとして自由エネルギーを蓄積することはフレア発生の必要条件であるが、必ずしも自由エネルギーの過剰な増加の結果としてフレアが発生しているわけではなく、自由エネルギーの蓄積以外にもフレア発生をコントロールするプロセスが存在することを示唆しています。例えば、我々が行った3次元電磁流体シミュレーションによって、磁場のねじれが比較的強い領域において局所的な磁極の反転や磁場のねじれの逆転があるとフレア発生のトリガーとなることが見出されています（Kusano et al. 2012）。実際、「ひので」衛星、「SDO」衛星及び米国ビッグ・ベア太陽観測所にある世界最大の太陽望遠鏡であるGST（Goode Solar Telescope）による精密な太陽磁場観測によって、幾つかの大型フレア発生領域で局所磁極反転や磁場のねじれの逆転構造があることが見出されました（図2）（Bamba et al. 2017, Wang et al. 2017）。さらに、最近の我々の

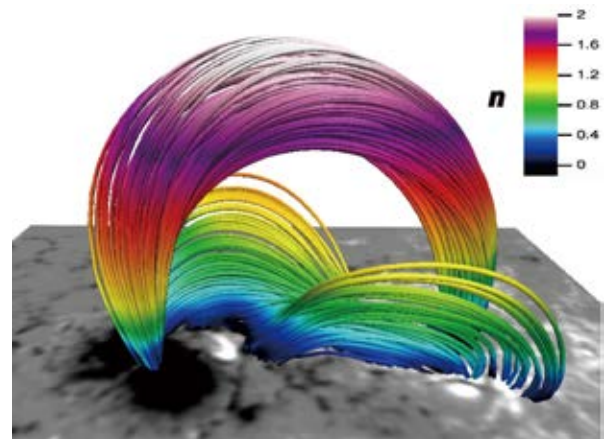


図1：太陽表面磁場の観測データ（底面のグレースケール）に基づいて再現されたフォース・フリー磁場の磁力線構造。Inoue et al.2016より転載。

[1]：太陽表面磁場が強い領域で、多くの場合、太陽黒点を伴っています。

[2]：太陽大気は太陽表面（光球面）より上層の彩層とコロナから形成されており、彩層は1万度程度、コロナは100万度程度のプラズマ（電離気体）です。

研究は、こうしたフレアのトリガーとなり得る磁場構造が、これまで知られていなかった新しい電磁流体力学的不安定性（ダブルアーク不安定性）の原因となることを理論的に解明しました。また、ダブルアーク不安定性の発生のため「磁場のねじれ」と局所的な磁力線の「繋ぎ替え（リコネクション）」が相補的な役割を果すことを明らかにしました (Ishiguro and Kusano 2017)。

従来、フレア発生予測は過去のデータから経験的に見出された黒点の性質などを利用して手探りで行われていました。一方、PSTEP ではフレア発生の物理機構を解明することで新しいフレア発生予測を実現するための研究を進めており、上で説明したように数多くの成果が生まれています。今

後はその成果を PSTEP で同時に推進しているフレア発生の数値予測 (Muhamad et al. 2017) や機械学習予測 (Muranushi et al. 2015) にも応用することにより、より精密なフレア発生予測を実現するための研究に全力で取り組みたいと考えています。

(草野 完也 / 名古屋大学)

Bamba, Y., S. Inoue, K. Kusano, and D. Shiota, 2017, The Astrophysical Journal 838, 134.  
Inoue, S., K. Hayashi, and K. Kusano, 2016, The Astrophysical Journal 818, 168.  
Ishiguro, N. and K. Kusano, 2017, The Astrophysical Journal 843, 101.  
Kawabata, Y., S. Inoue, and T. Shimizu, 2017, The Astrophysical Journal 842, 106.  
Kusano, K., et al., 2012, The Astrophysical Journal 760, 31.  
Muhamad, J., K. Kusano, S. Inoue, and D. Shiota, 2017, The Astrophysical Journal 842, 86.  
Muranushi, T., et al., 2015. Space Weather 13, 778.  
Wang, H., et al., 2017, Nature Astronomy 1, 0085.

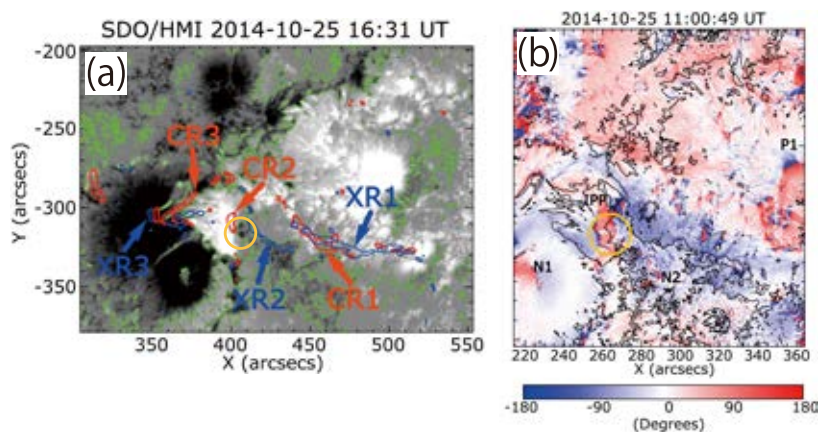


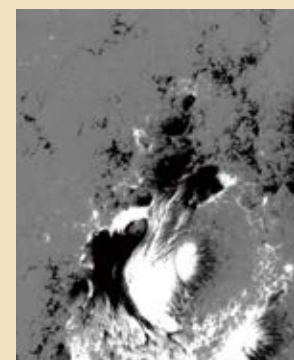
図2：活発なフレア活動を示した太陽活動領域 NOAA12192 の太陽表面磁場とフレア発光の詳細構造解析。(a) SDO衛星で観測された視線方向磁場(白が正、黒が負)と磁極反転線(緑)、フレアによる1600 Å 発光(赤と青の等高線)の分布。(b) 磁場のねじれによるシア角分布。シア角の符号が局所的に反転する領域(オレンジの丸印)がフレア発生のトリガー領域と考えられる。Bamba et al. 2017より転載。

## 速報

### 第24太陽周期最大の巨大太陽フレアが発生

2017年9月はじめに太陽表面に現れた太陽活動領域 NOAA12673 は活発なフレア活動を示し、9月6日に X9.3、同10日に X8.2 クラスの巨大フレアを発生させました。このうち、9月6日のフレアは現在の第24太陽サイクル最大のフレアであり、X9クラスを超える巨大フレアは2006年以来11年ぶりとなります。このフレアに伴うコロナ質量放出(CME)の影響によって9月8日には Dst 指数 $-142$  nT の磁気嵐が発生しました。また、2つの巨大フレアに伴い、地球軌道における太陽高エネルギー粒子の増加も観測されました。さらに、フレアを原因とする電離圏擾乱に起因した GPS 測位精度の低下なども報告され、新聞やニュースなどでも広く報道されました。

PSTEP ではこれらのフレアとその影響をレビューし、今後の研究に活かすため、9月29日に全国の拠点をインターネットでつないで緊急検討会を開催しました。その結果、「ひので」衛星がこの活動領域の精密磁場観測に成功しており(上図)、一連のイベントはフレア発生やその地球影響の解明と予測のために貴重な情報をもたらすものであることが分かりました。さらに、巨大太陽フレアの社会影響を予測するための様々な重要課題も確認することができました。これらの検討は今後の PSTEP の研究にとっても非常に意義のあるものでした。



「ひので」衛星が2017年9月6日の巨大フレア発生直後に観測した太陽活動領域 NOAA12673 の太陽表面磁場分布(視線方向成分、白と黒は正と負の磁場極性を表す)

## PSTEP サマースクール陸別 2017

平成 29 年 7 月 30 日～8 月 4 日の 6 日間、北海道陸別町にて「PSTEP サマースクール陸別 2017」を実施しました。本サマースクールは全国の大学院生・若手研究者を主な対象とし、太陽地球圏環境予測の基礎から最前線までを様々な側面から学ぶことを目的とした合宿形式の研究会で、全国から約 100 人の参加者が集まりました。本稿では、その概要について紹介します。

PSTEP でサマースクールを開こうという企画は前年度平成 28 年の 10 月頃に立ち上がりました。最初に翌年の夏に陸別町で開催することが決まっており、具体的に準備を進めるにあたって、PSTEP の各研究計画班から若手研究者を中心に 2～3 名ずつが実行委員に選出され、それに陸別町の担当者と総括班メンバーを加えた実行委員会で企画・運営をすることになりました。

広範囲にわたる PSTEP の研究領域を限られた期間で最大限学ぶために、数々の工夫を考えました。スクールでは PSTEP 関連分野の最前線で活躍される多彩な講師をお招きし、全 19 コマに渡って講義を展開していただきました。これらの講義は太陽地球圏環境の各領域をカバーするだけでなく、太陽・太陽風・地球環境のエネルギー伝搬過程や、太陽地球圏環境の基礎研究と宇宙天気予報運用とのつながりを理解できるよう意識して配置しました。

講義の理解を高める為に講義ごとにシラバスを作成することで、学ぶべき内容や講義間の連携がより明確になるよう心がけました。講師の先生には、ご自身の専門分野だけでなく、その関連領域を含めて解説していただきスクール全体を通して PSTEP の全貌を理解できるようにしました。また講義資料を事前に提出していただき、実行委員・講師らで、講義内容に漏れがないか読み合わせを行いました。こうして出来上がった講義資料は可

能な限り事前に参加者にも展開し、予習に役立てていただきました。事前に講義内容を調整する過程で、各分野の専門用語が他分野の人の理解の障害になることが予想され



「PSTEP サマースクール 2017 陸別」  
実行委員会 校長 岩井 一正

ました。そこで、実行委員が手分けして講義資料から各分野の専門用語を抽出し、それらの解説をまとめた用語集を手作りし、講義の予習や講義中にわからない用語を調べることに活用してもらいました。

PSTEP は広範囲の学術を扱うため、太陽や超高層大気研究で頻りに用いるプラズマ物理学を未履修の参加者も含まれました。そうした方々を対象に基礎的な部分を解説するインターネット中継形式の事前補講を草野領域代表が行いました。更に、全ての講義の様子はビデオ撮影し、講義資料と共に参加者に公開することで、講義内容を復習できるようにしました。

これらの甲斐あって、幅広いテーマを盛り込んだにもかかわらず、各講義の理解度は良好で、講義後には時間が足りなくなるほど活発な質疑応答が展開されました。お忙しい中、多くの注文にも粘り強く対応していただきました先生方に深く御礼申し上げます。

本スクールでは、参加者同士の交流や議論を促進する目的で、ポスターセッションと企画セッションを設けました。夕食後の時間を活用し、合計 2 日間行ったポスターセッションでは、スペースが足りなくなるほど多くの参加者が集まり、活発な議論が続きました。企画セッションでは、情報通信研究機構 (NICT) で日々行われている宇宙天気予報を実際に体験してもらう「宇宙天気予報実習」を実施しました。この実習では、参加者を

数名ごとの班に分け、様々な観測データを見ながら太陽フレアと地磁気擾乱について、実際の予報業務と同じ基準で予報を行ってもらいました。各班とも熱心に取り組み、一番正確に予報できた優勝チームには領域代表から商品を出すなど、企画は大いに盛り上がりました。

講義の合間には、エクスカージョンとして周辺の国立公園に出かけました。また最終日の講義終了後には、名古屋大学北海道 - 陸別 HF レーダーサイトへの見学ツアーを実施しました。両日とも好天に恵まれ、太陽地球圏環境をより多角的に学ぶ最良の機会となりました。

今回のスクールは参加者が同じ宿泊施設を利用する合宿形式としました。また会場となった陸別町は落ち着いた場所で、参加者が研究会に集中出来る非常によい環境でした。連日、夜遅くまで参加者間の活発な議論が続き、多くの参加者に楽しかったと言っていたことは大変喜ばしいことです。

本スクールの開催にあたっては、約1年間に及んだ準備段階から、一貫して陸別町の皆様の全面的なご協力をいただきました。またスクール期間中は会場のタウンホールをはじめ、町内のあらゆる施設を使わせていただきました。先々で町内の方々に温かく接していただけたことも、この研究会が成功する重要な要因でした。陸別町の関係者の皆様には改めまして深く御礼申し上げます。

上述のように、このスクールは非常に手の込んだイベントになりました。講義の準備の他にも、



講義の様子

参加申し込みの管理、空港からのチャーターバスの手配、宿泊施設・食事の手配、部屋割り、エクスカージョンの予約、各種支払い、先生方のスケジュールの調整など書ききれないくらい多くの作業が必要でした。これらを行った実行委員の面々の献身的な活躍なくしてサマースクールの成功はあり得ませんでした。同時に実行委員と陸別町の皆様に非常に大きな負担をかけてしまったことは本スクールの反省点の一つです。

サマースクールは盛況のうちに幕を閉じました。しかしスクールの真価は、ここで学んだことを参加者の皆様が今後の研究活動にどう活かすかにかかっています。このサマースクールが、参加していただいた全員の、ひいてはPSTEPプロジェクトの更なる発展に寄与することを願ってなりません。

(岩井 一正 / PSTEPサマースクール陸別2017 校長)

リンク : 「PSTEP サマースクール陸別 2017」  
<http://www.pstep.jp/news/20170704ss.html>



エクスカージョンの様子



PSTEP サマースクール陸別 2017 集合写真

## 会議報告

## 第2回 VarSITI 総合シンポジウム及び VarSITI 国際スクールを開催

PSTEP プロジェクトでは、2017年7月10日～15日にロシアのイルクーツクで開催された第2回 VarSITI 総合シンポジウムを支援しました。総括班の塩川が組織委員会の共同委員長を務めています。このシンポジウムは名古屋大学宇宙地球環境研究所、国際組織 SCOSTEP（太陽地球系物理学科学委員会）、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 (ISTP) が主催して開催したものです。今回のシンポジウムでは、26ヶ国から162名が参加し、太陽活動変動とその地球への影響について活発な議論が交わされました。このシンポジウムの成果は、国際誌 JASTP の特集号として今後、編集・出版される予定です。

さらにこのシンポジウムの前日及び期間中には、Introduction to Space Weather: Concepts and Tools School at the 2<sup>nd</sup> VarSITI General Symposium として国際スクールが NASA/CCMC と協力して同地で開催され、5ヶ国から参加した35名の大学院生・若手研究者の能力開発をはかりました。本シンポジウム及びスクールは PSTEP

プロジェクトの他に、名古屋大学宇宙地球環境研究所、SCOSTEP、COSPAR、JSPS 拠点形成事業、科学研究費補助金・特別推進研究の PWING プロジェクト、米国 NSF、インドの CESSI、ロシアの ROSTEC・FASO・RFBR・ISTP 研究所の支援を受けています。

(塩川 和夫 / 名古屋大学)



第2回 VarSITI 総合シンポジウムの集合写真



VarSITI 国際スクールの集合写真

## 会議報告

## IAU symposium: "Space Weather of the Heliosphere: Processes and Forecasts"

2017年7月17日～21日の5日間、英国エクセター大学にて、第335回 IAU symposium: "Space Weather of the Heliosphere: Processes and Forecasts" が開催されました。IAU symposium は、国際天文連合 (IAU) の枠組みの中で「天文学」の中の特定の研究トピックごとに召集される研究集会です。1953年の第1回以来、初めて space weather をトピックとして開催されました。欧米・東アジアを中心とした各国から約200名が参加し、80件の口頭発表と130件のポスター発表がありました。日本からは情報通信研究機構 (NICT) の3名を含む5名が参加しました。

研究会では、太陽ダイナモや太陽風・コロナ質量放出の発展過程について理解しようとする研究や発生予測を目的とした研究の発表が多く、分野間のつながりを意識した発表が多くありました。例えば、太陽活動周期のセッションに太陽型星の恒星フレア・スーパーフレアの発表、太陽風のセッションに外部太陽圏と宇宙線・系外惑星系の恒星風の発表、磁気圏・電離圏セッションに木星・

土星・冥王星の磁気圏・電離圏に関する発表など、IAU シンポジウムらしく宇宙天気研究と天文学との分野間融合を意識したプログラム編成となっていたことが印象的でした。とはいえ、宇宙天気の発表の割合も大きかったです。私は予測モデルセッションにて招待講演として登壇、太陽風・CME 伝搬モデル SUSANOO について紹介し、CME によってもたらされる南向き磁場を再現した点は好評を得ることができました。

(塩田 大幸 / 情報通信研究機構)



シンポジウムの集合写真

## 会議報告

## UN/US International Space Weather Initiative Workshop

PSTEP 国際活動支援経費の補助を受け、2017年7月31日～8月4日にかけて米国マサチューセッツ州のボストンカレッジで開催された国連ワークショップ、UN/US International Space Weather Initiative Workshop: The Decade after the International Heliophysical Year 2007 に参加して参りました。本会議はタイトルのとおり、International Space Weather Initiative (ISWI) 創成の道を切り開いた IHY2007(2007-2009) のキックオフ 10 周年を記念して開催されたものです。

会議では、極端宇宙天気現象がもたらす経済的・社会的なインパクトに関するハイレベルな国際フォーラムに始まり、IHY2007以降10年間の様々な宇宙天気関連アクティビティの進展と将来展望、国連宇宙空間平和利用委員会 (UN/COPUOS) 50 周年を記念して開催される UNISPACE+50 の準備などについて多くの議論が展開されました。

50 国から 150 人以上の科学者が参加しましたが、ISWI の特徴の一つであるキャパシティ・ビルディング活動を反映し、発展途上国の観測ホストからも多くの若手研究者が参加するなど、UN/COUPUS に承認された正式なプロジェクト期間 (2009-2012) を超えて、ISWI が更に枠組を拡げながら成長している理由の一つを強く実感した次第です。

私自身は SOC として、この 10 年の我が国の IHY/ISWI への貢献の報告とパネルトーク、地上観測ネットワーク MAGDAS の国際展開についての報告を行いました。また、NICT の石井さんは AOSWA (Asia-Oceania Space Weather Alliance) のアクティビティ報告とパネルトークを、京都大学の柴田先生からは CHAIN (Continuous H-alpha Imaging Network) プロジェクトの最新進捗が報告され、更に東北大学の小原先生、九州大学の藤本さんがサイエンストークを、JAXA の東尾さんが JAXA 衛星群の宇宙天気データについての招待講演を行うなど、我が国の ISWI 活動への貢献が大きく可視化された会議でもありました。(吉川 顕正 / 九州大学)



Boston 科学博物館での Excursion の様子。Charles 河のほとり。

## 会議報告

## 第 12 回 宇宙天気ユーズフォーラム

2017年7月5日、情報通信研究機構 (NICT) が主催し、国立科学博物館日本館講堂において「第12回宇宙天気ユーズフォーラム」を実施しました。本フォーラムは、NICT が発出する宇宙天気情報を利用する方々との情報交換の場として、2003 年以降ほぼ毎年開催しているものです。

今年も当研究室員による「宇宙天気ミニ講座 (太陽編・磁気圏編・電離圏編)」を午前中に実施しましたが、例年と異なり、電離圏から開始するという初の試みを行いました (通常は上流である太陽から開始)。私自身は磁気圏編を担当しましたが、太陽・太陽風の概要から始め磁気圏の形成から現象にいたるまで、さらに、午後の片岡氏の講演の理解の助けとなるようオーロラの基礎知識、などを限られた時間で様々な分野の方々にとどのように伝えるか、良い経験となりました。

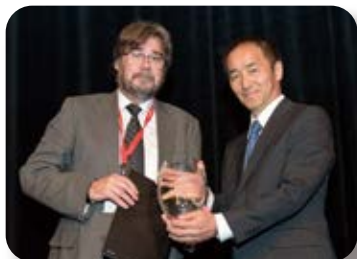
午後は、NICT 石井室長による宇宙天気の近況から国際動向まで網羅した講演に始まり、北海道大学の前田隼氏はスポラディック E 層<sup>[1]</sup> をトピックに電離圏について、国立極地研究所の片岡龍峰氏は古典資料を用いたオーロラ / 極端現象の研究、

クラブツーリズム・スペースツアーズの浅川恵司氏は宇宙旅行についてと、非常に興味深い講演が続きしました。終了後は、館内に常設されている NICT の展示を利用して、当日の宇宙天気を実感してもらおうミニツアーも行いました。来場者は、官庁、大学、研究機関、航空業界、衛星運用会社、アマチュア無線家など 111 名にのぼり、終日活発な議論が交わされました。来場者の方々をお願いしたアンケートの結果もふまえ、日々の宇宙天気情報発信や今後のフォーラムの充実を図っていきます。

(中溝 葵 / 情報通信研究機構)

[1] 高度 100km 付近に局所的に発生する電子密度の濃い突発性の電離層。日本付近では夏季に多く発生し、通常電離圏を通過する VHF 帯の電波が反射して異常伝搬し、混信障害を引き起こすことがある。





## 大村 善治氏がアップルトン賞を受賞

受賞式において、英国 URSI 委員会会長の Glover 教授から賞状と Dartington Crystal が贈呈されました。

本領域の総括班メンバーである大村 善治氏（京都大学生存圏研究所教授）が、「放射線帯における非線形波動粒子相互作用の理論、コーラスおよびイオンサイクロトロン放射のシミュレーション、相対論的電子の加速および降下現象に対する顕著な貢献」を果たしたとして国際電波科学連合 (URSI) よりアップルトン賞 (Appleton Prize) を授与されました。

同賞は 1969 年以来 3 年毎に電離層物理の研究に対する寄与に対して贈られる国際賞で、1987 年に京都大学名誉教授の加藤 進氏が受賞されて以来、日本人として二人目の受賞です。

大村氏は、宇宙プラズマ物理学において長年の謎であったコーラス放射およびイオンサイクロトロン放射の大幅な周波数変動の仕組みについて、

非線形理論とシミュレーションによって解明し、さらにこれらの電磁波が、相対論的電子と共鳴して加速・散乱を引き起こし、地球放射線帯の形成・消失過程に大きな役割を果たしていることを明らかにしました。



Dartington Crystal の表面には「URSI Appleton Prize 2017 awarded to Yoshiharu Omura」と書かれています。



## 国際活動支援班活動報告

派遣

地球内部磁気圏における高エネルギー電子の波動粒子相互作用による加速過程に関する共同研究

北原 理弘  
東北大学



【派遣期間】2017年2月20日～3月10日【派遣先】ボストン大学

地球内部磁気圏における波動粒子相互作用のシミュレーションと衛星観測の比較に関する国際共同研究を実施するため、米国マサチューセッツ州にあるボストン大学に滞在しました。

PSTEP A03 地球電磁気班では磁気嵐時における放射線帯電子の変動予測を目指した数値モデルの構築を進めています。特に地球内部磁気圏で励起するコーラス放射と呼ばれるプラズマ波動は、波動粒子相互作用を通して高エネルギー電子の加速過程に深く関わっていると考えられており、その素過程を明らかにすることは数値モデル構築において重要です。今までに、我々はコーラス放射と高エネルギー電子との非線形相互作用に着目し、新しい加速モデルを提案してきました。本滞在では、シミュレーション結果と米国の RBSP 衛星で実際に観測された高エネルギー電子の分布を比較することで、我々の提案している加速モデルを評価すると同時に、観測された電子加速過程を解明するため、コーラス放射の衛星観測研究に詳しいボストン大学の西村博士、Li 博士との綿密な議論をもとに、衛星データとの比較に向けた計算コードの開発および実パラメータを用いたシミュレーションを実施しました。シミュレーション初期結果と衛星観測データとの比較を行ったところ、我々の提案するモデルと衛星観測データは分布に同じ傾向をもつことが確認されました。今後は様々なパラメータにおいてシミュレーションと観測の比較を実施し、定量的な加速モデルの実証を進めていきたいと考えています。



滞在したボストン大学チャールズ川キャンパス



平成 28 年度

# 若手研究支援報告②

>> 本領域が公募を通して実施した「PSTEP 若手研究支援」の研究成果をシリーズで紹介します。

## Prayitno Abadi / 名古屋大学 Equinoctial asymmetry in the zonal distribution of scintillation as observed by GPS receivers

This study aims to investigate the zonal distribution of amplitude scintillation associated with equatorial plasma bubble (EPB) by using Global Positioning System (GPS) ground receivers at Pontianak (0.0°S, 109.3°E; Mag. Lat.: 9.8° S) and Bandung (6.9°S, 107.6°E; Mag. Lat.: 16.7°S) in Indonesia in March and September from 2011 to 2015. The important finding is that, as shown in Figure, the scintillation is found to occur more to the west than to the east in March at both stations, whereas no such zonal difference (higher westward scintillation compared with the eastward one) is found in September.

To discuss this finding, a hypothesis is proposed, that is, the westward EPB tilting is more pronounced around the March equinox than it is around the September equinox, because the scintillation is more likely to occur when radio waves pass through longer lengths of plasma irregularities in the EPB. Furthermore, this study also analyzes the zonal scintillation drift as estimated using three closely spaced single-frequency GPS receivers at Kototabang (0.2°S, 100.3°E; Mag. Lat.: 9.9°S) in Indonesia during 2003–2015, and the zonal thermospheric neutral wind as measured by the CHAMP satellite at longitudes of 90°–120° E during 2001–2008.

The velocities of both the zonal scintillation drift and the neutral wind decrease with increasing latitudes.

Interestingly, the latitudinal gradients of both the zonal scintillation drift and the neutral wind are steeper in March than in September. These steeper March gradients may be responsible for the increased westward altitudinal and latitudinal tilting of EPB in March. This equinoctial asymmetry could be responsible for the observed westward bias in scintillation in March. This study has been accepted at JGR-Space Physics (10.1002/2017JA024146), and has been presented at the AOGS 13th in Beijing, China during 31 Jul-5 Aug 2016, the SGPSS Fall meeting in Kyushu, Japan during 19–23 Nov 2016, and the AGU Fall meeting in San Francisco, US during 12–16 Dec 2016, in which the attendance for those meetings is supported by PSTEP through a program for young scientists.

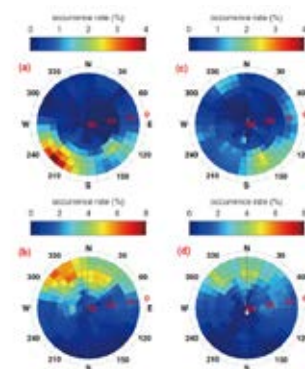
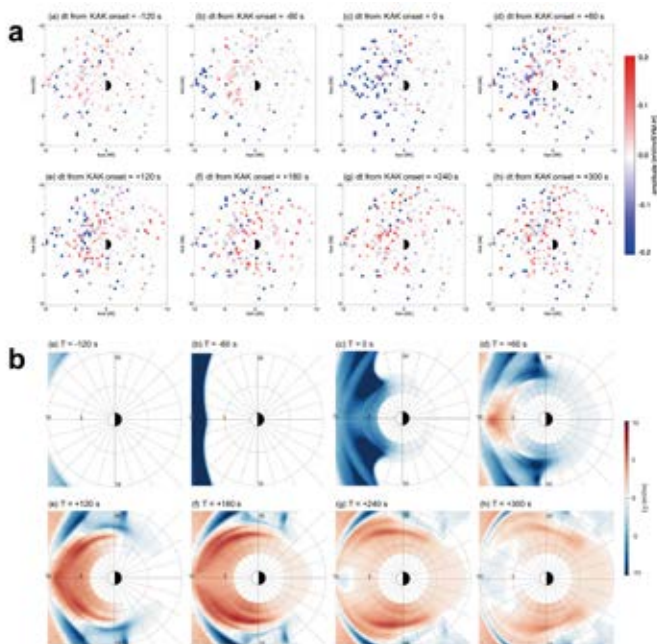


Figure: Sky plot (azimuth-elevation angles plot) of scintillation distribution for Pontianak (upper) and Bandung (bottom) stations in March (a, b) and in September (c, d). Black numbers outside and red numbers inside the sky plot indicate azimuth and elevation angles, respectively. N, E, S, and W mean North, East, South, and West respectively.

## 高橋 直子 / 東北大学 (現・東京大学) 地上 - 衛星同時観測による大規模擾乱にともなう電場伝播・エネルギー輸送過程の研究

電場は地球の磁気圏ダイナミクスを理解する上で要となる物理量であり、太陽風からのエネルギー注入にともなってグローバルに発達することが知られています。本研究では、衛星の電場直接計測データと地上レーダー・地上磁場観測データを統合的に解析し、磁力線を介してつながる磁気圏と電離圏双方でのグローバルな電場変動の発達・伝播、およびそこから求められる電磁エネルギー輸送量とその経路の同定を試みました。具体的には、磁気圏内の変動を THEMIS 衛星と Van Allen Probes 衛星で、電離圏内の変動を C/NOFS 衛星と SuperDARN レーダーでとらえ、各領域での変動開始時刻およびそのときの強度を比較しました。このような多点同時観測データの解析から、太陽風からのエネルギー注入にともなう電場伝播の描像を求めるとともに、導出された伝播速度から「最初のシグナルは圧縮波として磁気圏内を伝わる」ということを実証することができました。この電場の伝播過程は MHD シミュレーションでも再現されています (図参照)。

また、衛星観測のデータからポインティングフラックスを導出し、磁気圏・電離圏間の電磁エネルギーの輸送方向と量を定量的に評価しました。これまでの研究では主に磁場データからの推定、あるいは極軌道衛星による電場データの磁気赤道面投影によって考察されてきましたが、本研究では磁気赤道面上の直接計測データを用いることで、時間的・空間的に高い精度をもってグローバルな電場の発達・伝播過程を求めることを可能にしています。最後に、PSTEP 若手支援により、AGU Fall Meeting 2017 にて本研究成果を数多くの海外研究者に報告することができました。ここに厚く御礼申し上げます。



図：太陽風動圧急変に伴う磁気赤道面内の電場変動の伝播を真北から見た図 (a) 複数衛星観測による導出結果、(b) MHD シミュレーション結果)。ともに、縦軸・横軸は地球中心からの距離で、単位は地球半径 (RE)。横軸負の方向が太陽方向である。カラーバーは電場強度で、正の値 (赤) は夕方方向の電場が現れていることを示す。太陽風からのエネルギーが磁気圏に到達すると、圧縮波の伝播速度に伴って朝側方向の電場が夜側に伝播し、ついで磁気圏圧縮の揺り戻しとして夕方方向の電場が伝播する。

PSTEPメンバー紹介

>> PSTEP を推進している研究者の素顔を紹介します。



石井 貴子

Ishii Takako

京都大学

Q. 自分を動物にたとえるなら？

A. いのしし

Q. 座右の銘は？

A. 猪突猛進（うそです）

Q. マイブームは？

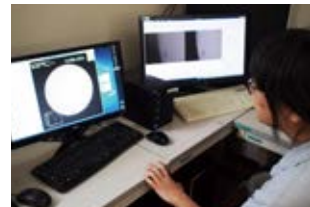
A. 豚つくね（近所のスーパーで売ってる総菜）

PSTEP A02 太陽嵐班にて、京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡 による観測及びデータ解析やデータ公開を担当しています。

飛騨天文台では、高速で運動するフィラメントの三次元速度構造を決定するため、SMART 望遠鏡の太陽全面像観測システムを更新しました。新装置 (Solar Dynamics Doppler Imager: SDDI) は、H $\alpha$ 線を中心として $\pm 9 \text{ \AA}$ の範囲を 73 波長、15 秒の時間分解能で撮影することができます。従来の装置で観測できるフィラメントの噴出速度は最大 55 km/秒だったのに対して、新装置では、最大 410 km/秒まで捉えることが可能となりました。SDDI は太陽から高速で飛び出すフィラメントの速度と方向を完全に把握することができる世界で唯一の観測装置です。

SDDI は、2016 年 4 月末にファーストライトを迎え、その後、順調に観測を続けています。もともと太陽黒点や派手なフレアが大好きでしたが、SDDI による観測開始以降、派手な噴出現象も好きになりました。これまで誰も見たことのない速度情報をもったデータを見るとワクワクします。フレアやフィラメント噴出現象など、この夏までに 40 例ほどの良質なデータセットを得ることができました。これらの観測例や、リアルタイム太陽画像は、飛騨天文台 SMART 望遠鏡のウェブサイト <http://www.hida.kyoto-u.ac.jp/SMART/> より閲覧可能です。

今後は、フィラメントの運動とコロナ質量放出 (CME) の発生の有無や大きさ、伝搬する方向との関係を調査することで、地球を襲う CME をいち早く (地球襲来 の 2-3 日前に) 予測するための方法の開発につなげていきたいと考えています。



飛騨天文台 SMART 望遠鏡観測室にて

追悼

村主 崇行さんを悼んで



2017 年 7 月 11 日に理化学研究所特別研究員の村主 崇行さんが急病のため逝去されました。村主さんは本領域の公募研究「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」の研究代表者を務められ、我が国の宇宙天気研究において重要な役割を担われておられました。特に、村主さんが開発された UFCORIN (入力データの回帰分析最適化に基づく汎用予報構築機) は、太陽表面磁場データをもとに太陽からの X 線強度の最大値を 24 時間先まで自動的に予測するもので、先進的

なフレア予測への取り組みとして国際的にも大きな注目を集めると共に、NHK のサイエンス ZERO でも取り上げられました。また、村主さんは構造格子計算で解きたい問題を数式に近い方法で記述できる全く新しいプログラミング言語 Formura を開発するなど、計算科学分野でも大きな貢献をされました。卓越した才能をお持ちだった村主さんを 33 歳という若さで失ったことは、科学研究の将来にとってあまりに大きな損失であり、私個人にとっても大変残念であり惜別の念を禁じ得ません。村主 崇行さんのご功績に敬意を表すと共に、謹んでご冥福をお祈りいたします。

草野 完也 (PSTEP 領域代表)

研究室紹介 ⑥

国立天文台  
太陽観測科学プロジェクト・太陽天体プラズマ研究部

新学術領域「太陽地球圏環境予測」には全国から数多くの研究室が参加しています。このコーナーはそれらの研究室を紹介していきます。

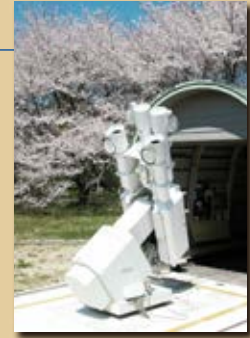
国立天文台の本部は東京郊外の三鷹市にあり、森に埋もれるように建物が点在する、東京らしからぬところです。国立天文台三鷹キャンパスは、国立天文台内の太陽関連の様々な研究グループが、幅広い分野での研究と共に最先端の装置開発も行っている場ですが、一方ここには現役の太陽望遠鏡もあり、長い歴史を受け継ぐ太陽の定常的な観測を行っています。現在ほとんどの望遠鏡は、より観測条件の良い山の中や外国、さらには宇宙で活躍しているのですが、太陽観測は三鷹に残る数少ない観測のひとつとなっています。

太陽の定常観測は、前身の東京大学東京天文台（1924年までは東京麻布にあった）においてカルシウム K 線（波長 393.3nm）での彩層の観測から始まり、今年でちょうど 100 周年を迎えました。その間常に新たな観測を開拓してきており、現在では近赤外線での光球・彩層ベクトル磁場定常観



国立天文台の本部がある三鷹キャンパス全景

三鷹キャンパスで稼働中の太陽フレア望遠鏡



測という世界に例のない観測を日々行っています。一方、100年にわたって蓄積されたデータは、長期にわたる太陽活動変動を知るための貴重な情報になっています。古いデータは写真乾板・フィルムや紙に記録されたものなので、そのままではデータとしての流通が困難でしたが、現在デジタル化によるインターネットでの公開を進めています。

このような歴史を背景として、PSTEP の AO2 太陽嵐班では、より進んだ近赤外線磁場観測を行うための偏光観測装置を開発するとともに、エネルギー解放現象を起こす活動領域形成過程の研究、爆発を起こすフィラメントの磁場の研究を進めています。また、AO4 周期活動班では、長期にわたって蓄積されたデータの整備とそれにもとづく過去の太陽活動変動の研究を行っています。（花岡 庸一郎 / 国立天文台）

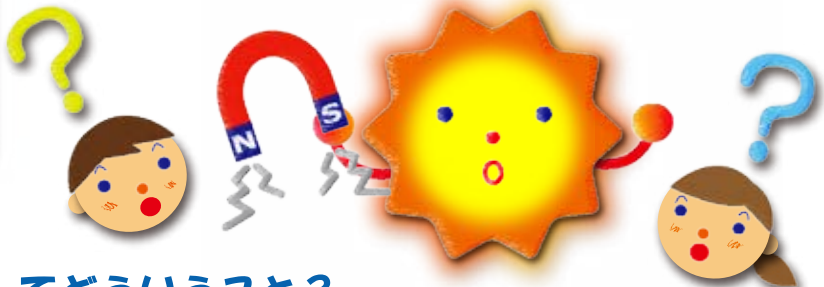


カルシウム K 線での太陽像が写った写真乾板



新規開発の装置の実験風景

『宇宙と地球のなぜ? どうして?』



Q. 「太陽に磁石があるってどういうこと？」

A. 「黒点を作る太陽の磁場がなぜできるのかは、未だに重要な研究課題なのです。」

太陽の表面にあり黒い斑点として観測される黒点はその他の領域に比べて磁力がとても強い場所です。黒点はそれぞれ N 極または S 極の磁極を持ち、磁石のように N 極と S 極のペアとして太陽の表面に現れることが多くあります。

マグネトグラフと呼ばれる観測装置を用いると、太陽表面の磁場の強さを測定することができます。今まで観測された一番磁場の強い黒点では、磁束密度が約 4000 ガウスになります。これは、地球の磁場のおよそ 1 万倍ですが、一般に市販されている強力マグネットと同じ程度の強さです。また、「ひので」衛星の精密観測によって、黒点以外の領域にも 1000 ガウス程度の磁束密度を持った小さな黒点が無数に分布していることが分かってきました。

では、どのように太陽黒点の磁場はできるのでしょうか？この問題は未だにしっかり理解されていない太陽物理学の重要な研究課題の 1 つです。太陽表面の磁場の分布や黒点を観測すると様々な規則性があることが分かります。例えば、約 11 年の周期で黒点の数や黒点の出現緯度、北半球と南半球の磁場の極性が変化することなどです。一方で、17 世紀には約 70 年の間ほとんど黒点が現れないという異常なときもありました。これらの規則性や異常を説明できる理論を作るために、研究者は様々な観測や数値計算をしています。私たち PSTEP プロジェクトでも、AO4 周期活動班が中心となり次の太陽活動周期での黒点数などの予想に挑戦しています。



# PSTEP Newsletter No.7 Nov. 2017

発行日：2017年10月31日

発行所：新学術領域「太陽地球圏環境予測」事務局

編集委員：草野 完也(領域代表・編集長)、成瀬 千恵代(副編集長・デザイン&編集)、阿南 徹(校閲責任者)、中田 裕之(校閲責任者)

TEL 052-747-6333 (名古屋大学宇宙地球環境研究所) E-mail: inquiry@pstep.jp

<http://www.pstep.jp/>