



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.6 Aug. 2017

INDEX

【研究紹介】 ジオスペース環境中で相対論的電子を生成する非線形加速機構	pp.1-2
【研究紹介】 CMIP6 における太陽活動変動の気候影響評価実験	pp.3-4
【会議報告】 JpGU-AGU「Space Weather, Space Climate, and VarSIT」セッション	p.5
【会議報告】 宇宙天気ワークショップ及びISES ミーティング	p.6
【会議報告】 Joint Hinode-11/IRIS-8 Science Meeting	p.6
平成 28 年度 若手研究支援報告①	p.7
【国際活動支援班活動報告：派遣】 太陽活動の気候影響を理解するためのモデル構築に関する共同研究 / 納多 哲史	p.8
【国際活動支援班活動報告：招聘】 アルバン波乱流モデル及び「ひので」ES 観測を用いたコロナ加熱に関する共同研究 / Mahboubeh Aseghi-Targhi	p.8
【PSTEP メンバー紹介】 松村 充 / 名古屋大学	p.9
【PSTEP メンバー紹介】 金子 岳史 / 名古屋大学	p.9
研究室紹介⑥「九州大学 理学研究院、国際宇宙天気科学・教育センター」	p.10
Q&A「宇宙と地球のなぜ? どうして?」	p.10

Project for
Solar-Terrestrial
Environment Prediction

ジオスペース環境中で相対論的電子を生成する非線形加速機構

ジオスペース（近い将来に人類の活動域となり得るような地球周辺の宇宙空間）の中で最もエネルギーが高い荷電粒子が存在する領域を「放射線帯」と呼びます。この領域は地球をドーナツ状に取り囲むように存在しており、特に電子放射線帯は「宇宙嵐」の発生に伴って大きく変動することが知られています。宇宙嵐とは太陽風の擾乱によって地球磁場が影響を受けることで発生するジオスペース最大の擾乱現象であり、これにより MeV を超える相対論的電子の数が数日以内に 100 倍から 1000 倍増加することがあります。このような変動は衛星障害の原因になりえることが危惧されており、放射線帯電子の変動予測とその生成機構の解明は、将来の宇宙開発をサポートする上で重要な役割を担っています。PSTEP Newsletter No.4 で紹介された「あらせ」衛星は、この放射線帯電子変動の謎を解明するために 2016 年 12 月に打ち上げられた新たな科学衛星です。

相対論的電子の数を増加させる要因として、地球磁気圏内に存在している波動による散乱が重要であると考えられています。地球磁気圏内の波動には、地球磁気圏スケールの擾乱を引き起こす磁気流体波動や、粒子の慣性長やラーモア半径スケールの波長を持つ運動論的波動が存在します。周波数においても mHz から数十 kHz 以上にまでおよんでいます。このような幅広い時空間スケールに存在する波動により放射線帯電子が散乱を受け、高エネルギー電子の数が変動するわけですが、この加速機構として磁気流体波動に伴う機構と運動論的波動に伴う機構の 2 つに大別されます。磁気流体波動に伴う電子加速機構として、周期が数分程度の地磁気脈動と、それと同程度の周期で地球周辺を周回運動する電子による「ドリフト共鳴」が挙げられます。これにより電子は動径方向

に散乱を受け、より強磁場領域へ輸送（内向き輸送）された電子は、第一断熱不変量（サイクロトロン運動に関する磁気モーメント）を保存しながら運動エネルギーを増加させます。一方、運動論的波動はその周波数の高さ故に第一断熱不変量の保存を壊します。特にホイッスラーと呼ばれる波動は数十 kHz 程度の周波数を持ち、電子と「サイクロトロン共鳴」を起こすことによりその場でエネルギーを増加させることが出来ます（概念図：図 1）。このように放射線帯電子の増加過程には、外側からの輸送（外部供給）によるものとその場で直接加速される過程（内部加速）の両方が重要な役割を担っています。

粒子と波動の共鳴により波動粒子間のエネルギー交換が可能かどうかは、粒子が波動のどの位相に位置しているかによります。これまで、波動と粒子の位相関係が確率的に決定されるという仮定のもとで準線形理論が構築され、放射線帯電子の増加は拡散モデルで記述可能とされてきました。しかしながら、放射線帯電子の急増に深く関わっていると考えられているホイッスラー・コー

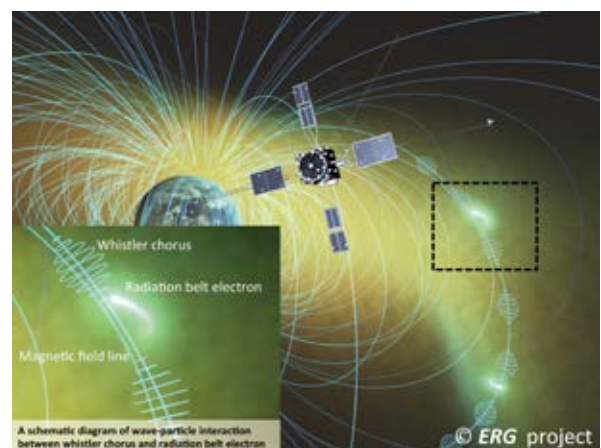


図 1：ホイッスラー・コーラス波動による放射線帯電子散乱の概念図。地球から出ている線は磁力線を示しています。黒破線の中を拡大した左下の図は、磁力線に沿って伝搬するコーラス波動により放射線帯電子が散乱される様子を示しています。図中の衛星は「あらせ」を示しています。この衛星は放射線帯中心部において高エネルギー粒子やプラズマ波動の詳細な観測を行います。

ラス波動は、揃った位相からなる波動であることがこれまでの観測からわかっています。また、これまでの理論研究により、地球磁場のような不均一磁場を伝搬するコーラス波動は電子と非線形的な共鳴を起こし、数百 keV から数 MeV まで秒単位で加速が可能であることが示唆されています。しかしながら、放射線帯の増加は数時間から数日かけて起こるため、一つ一つの共鳴が非線形であったとしても、多数回の相互作用過程は準線形的な拡散モデルで記述可能であると考えられており、これまで放射線帯電子加速に対する非線形散乱過程の重要性は明確になっていませんでした。

この非線形散乱の役割を検証するため、PSTEP A03 地球電磁気班では地球磁力線を伝搬するコーラス波動による、電子の散乱過程を計算するシミュレーションコード (GEMSIS-RBW) を開発し、非線形散乱過程の検証を行いました。このシミュレーションは磁力線をバウンス運動する電子軌道を旋回中心近似で追跡しながら、磁力線を伝搬するホイッスラー波動と衝突した際に生じる電子の運動量変化について運動方程式をもとに計算するものです。またこの計算は、指定された頻度で、波動粒子間の位相差を一様乱数により確率的に与えることが可能です。この頻度が高ければ電子の散乱はより準線形的な散乱となり、逆に低ければ、非線形過程も含めた散乱となります。この違いによって 2 MeV 以上の電子の増加にどのような差が生じるのかを示したのが図 2 です。横軸が位相差を一様乱数で与えた頻度 (f_{PB})、縦軸に 2 MeV 以上の電子数に比例する値を示します。線の色はコーラス波動による電子散乱の継続時間を表します。この図より、継続時間によらず f_{PB} が高いほど 2 MeV 以上の電子の生成数が落ちることがわかります。また、非線形散乱過程の時間スケール (秒単位) より充分長い継続時間 (1 時間) においても、 $f_{PB} = 0.2 \text{ Hz}$ と $f_{PB} = 10^3 \text{ Hz}$ の場合を比べると 2 MeV 以上の電子の生成数に 10 倍程度の違いが出るということがわかりました。多数粒

子データの解析の結果、この違いは非線形散乱過程に伴う加速が原因であることがわかりました。この結果は、相対論的電子がコーラス波動を起源として急増する場合は、準線形過程のみならず、非線形散乱過程に伴う加速が重要であることを示唆しています。

本研究で用いられているモデルは、準線形モデルでは再現不可能な非線形散乱過程を含んでおり、この差は特に相対論的電子数の急増過程において重要になることが今回の研究により明らかになりました。今後、このモデルと「あらせ」衛星データとの比較を通して、非線形波動粒子相互作用の研究が大きく進むことが期待されます。また、このモデルは、A03 班が進める次世代グローバル放射線帯変動モデルへ組み込まれることが計画されており、今後定量的な予測を行うためのキー・モデルとして発展していくことも期待されています。

※この成果は、
Saito, S., Y. Miyoshi, and K. Seki (2016), Rapid increase in relativistic electron flux controlled by nonlinear phase trapping of whistler chorus elements, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, 6573–6589, doi:10.1002/2016JA022696.
として出版されました。

(齊藤 慎司 / 名古屋大学)

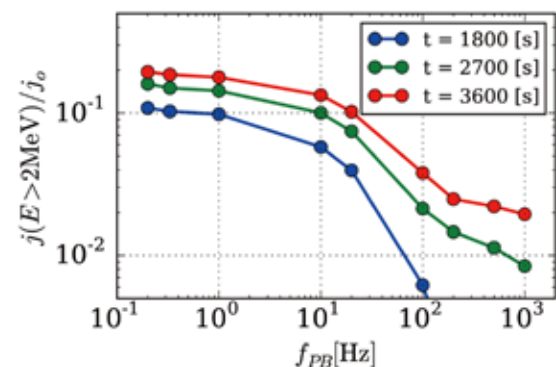


図 2：横軸は波動粒子間の位相差を確率的に与えた頻度。縦軸は 2 MeV 以上の電子数に比例する値。線の色はコーラス波動による散乱継続時間を表します。(Figure 10: Saito et al. (2016) *J. Geophys. Res.*, 121, 6573–6589, doi:10.1002/2016JA022696)

CMIP6における太陽活動変動の気候影響評価実験

地球の気候は様々な時空間スケールで変動をしています。太陽活動に由来する変動も当然存在し、熱潮汐や 11 年周期振動などはよく知られています。その様々な気候変動の中でも温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化はその影響の大きさから世界中で取り組まねばならない課題と考えられています。人為起源の気候変動の影響、緩和・適応策の評価を目的として、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) が世界気象機関 (WMO) と国連環境計画 (UNEP) により 1988 年に設立されました。IPCC は 5 ~ 6 年ごとに最新の科学的知見を集結させた将来予測の評価報告書 (Assessment Report; AR) を発行していき、今回は 6 度目ということで AR6 と呼ばれています。AR の発行より前に、世界の気候モデル機関が最新技術で構築したモデルで数値実験の相互比較を行う、結合モデル相互比較プロジェクト (Coupled Model Inter-comparison Project; CMIP) が事前に行われ、将来予測や各種実験の最新の知見を集積します。AR6 のための CMIP は CMIP6 と呼ばれます。

CMIP では将来気候の予測に際し、様々な温室効果ガス排出等のシナリオごとにどのような気候応答が生じるか、様々な強制に対し各モデルはどのように応答するか、過去の観測及び氷河期のような古気候変動をモデルは正しく再現できるかなどを調べます。正確な過去や将来のシミュレーションのためにモデルにはなるべく現実に近い過程を取り込みます。太陽変動の影響などもその一つです。各気候モデルは様々な実験を同一条件で行います。過去を全く再現できないモデルは将来予測の信頼性が低くなりますし、1つのモデルだけで出た結果では堅牢性を欠くためです。CMIP6 の実験デザインの概念図を図 1 に示します。CMIP6 の実験にはこれだけやっておけば最低限モデルの評価や特性把握ができるという基本実験



図1: CMIP6 実験デザインの概要。Eyring et al. (2016)^[2]より引用。

集 DECK^[1] と、気候変動シナリオや詳細なモデル特性把握のために各研究コミュニティが提案した実験集 MIPs (または Endorsed-MIPs) があります。DECK には産業革命前実験や二酸化炭素濃度のみを増加させて気候の応答を調べる実験が含まれています。これらの実験結果から各モデルの温暖化前の気候状態や単純な二酸化炭素増加への気候感度を把握します。MIPs では歴史実験や温暖化シナリオ実験、詳細なモデル特性や予測性能を把握する多岐に渡る実験があります。MIPs の実験結果を解釈する際に DECK の実験結果が比較対象となります。MIPs の実験の中で太陽活動変動に関連するものは、過去気候を再現する歴史実験 (historical) と対比としての太陽変動だけに歴史的変動を与える実験、地球の軌道要素等が大きく異なる古気候実験、太陽光遮蔽に対する気候の応答を調べたりするジオエンジニアリング実験などがあります。また非公式ですが将来にマウンダー極小期級の太陽変動が起きた場合の実験も可能です。DECK や MIPs の実験結果を有機的に組み合わせることで、ある気候変動シナリオでの特定の成分 (例えば太陽変動) の寄与はどの程度か? などの問いに複数のモデルで答えることができます。

CMIP6 の実験スケジュールを図 2 に示します。CMIP6 の実験・解析期間は 2020 年までで、以降

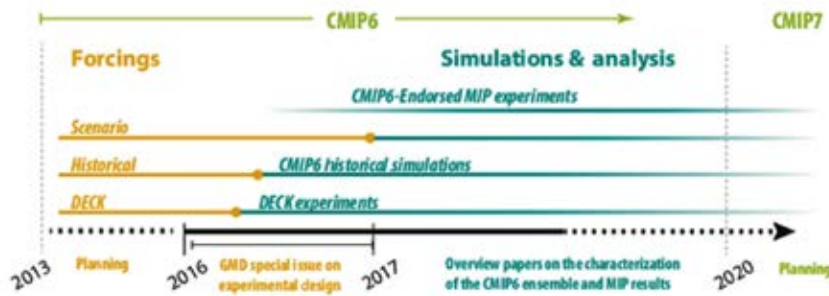


図2: CMIP6のタイムスケジュール。
Eyring et al. (2016) より引用。

は次期 CMIP である CMIP7 の期間となっています。ただし AR6 の前に実験を終了し様々な解析を終えて知見をまとめないといけないので、DECK は 2017 年度まで、MIPs は遅くとも 2018 年度中に実験結果を提出することが実質的な期限と考えています。

気象研究所では最新の気象研究所地球システムモデル MRI-ESM2^[3] で CMIP6 に参加します。MRI-ESM2 は大気大循環モデル、陸面モデル、海洋・海氷モデル、エアロゾルモデル、大気化学モデルの各種モデルを結合して構成される非常に複雑なモデルです。MRI-ESM2 では MIPs で用いた MRI-ESM1 に比べ様々な点が改良されています。例えば、成層圏準二年周期変動という赤道成層圏の東西風の振動現象が現実的に再現できるようになり、雲や関連する放射が改善され、海氷、エアロゾルの分布の再現性も上がっています。これらは太陽変動の影響を気候に反映するための重要な要素と考えられています。さらに高エネルギー粒子降下 (EPP) により中間圏大気を中心に窒素酸化物 (NOx) 水素酸化物 (HOx) 生成を促す大気

化学効果が新たに導入されています。前回の CMIP5 に比べ提供された太陽スペクトル放射照度データが最新の観測を反映した値になっていること、EPP に伴う大気イオン化率データが新たに提供されるようになったことも注目すべき点です。図 3 に 2003 年 10 月頃に発生した顕著な EPP イベントであるハロウィンイベントを模した数値実験結果を示します。10 月末の大きな EPP に伴い NOx、HOx が増加、それに応じてオゾンが減少を見せていることがわかります。これまでの地球システムモデルではこのような現象は再現できませんでした。そしてハロウィンイベント以外でも、EPP に伴う大気のイオン化率が推定できれば影響評価が可能になります。EPP に伴う硫酸エアロゾル新粒子生成や雲荷電効果も微細な雲微物理を扱うモデルによって調べられ始めていて、十分な寄与が見込まれば地球システムモデルへの導入が検討されます。このようにこれまで考慮されていなかった太陽変動の影響が最新の気候変動予測にも取り込まれてきています。

(吉田 康平 / 気象庁気象研究所)

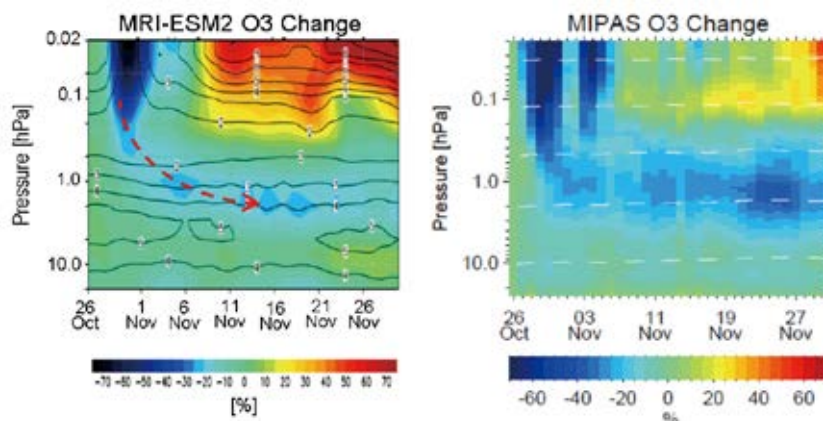


図3: ハロウィンイベント実験のオゾン濃度 (実線) と変動比 (カラー)。右は衛星観測で Funke et al.(2011)^[4] より引用。

[1] DECK は "Diagnostic, Evaluation and Characterization of Klima" の略。Klima は climate を意味するドイツ語。特定の条件のもとで行なう気候モデルの基本的な診断評価、特性把握のための実験集を意味する。

[2] Eyring, V., et al. (2016), Geosci. Model Dev., 9, 1937–1958, doi:10.5194/gmd-9-1937-2016.

[3] MRI-ESM は Meteorological Research Institute-Earth System Model の略。

[4] Funke, B., et al. (2011), Atmos. Chem. Phys., 11, 9089–9139, doi:10.5194/acp-11-9089-2011.

会議報告

JpGU-AGU 「Space Weather, Space Climate, and VarSITI」セッション

JpGU-AGU^[1,2] Joint Meeting 2017 (千葉市幕張)において、2017年5月22日、23日の2日間にわたって開催された Space Weather, Space Climate, and VarSITI^[3] 国際セッションについて報告する。コンビーナ(セッションの主催者)は、片岡 龍峰(極地研)、AGU 側は Antti Pulkkinen (NASA / GSFC)、PSTEP を代表して草野 完也(名大)、VarSITI を代表して塩川 和夫(名大)の4名。ポスターセッションは23日の口頭セッション終了直後に開催された。口頭発表が39件、ポスター発表は36件で、うち招待講演は12件(1件はポスター発表)。今回は学生(ポスドク1年目まで含む)の口頭発表が増えて、海外の学生が2名、日本の学生が4名(京大と東大と名大)であった。

宇宙天気サイエンスとオペレーションの両面において、PSTEP からの研究成果に関する報告が口頭とポスターともに充実していた。例えば口頭発表では、今田、中村、石井、長妻、佐藤、草野、一本などである(敬称略)。個々の研究成果については、PSTEP からプレスリリースされてきたものも多く、ここで具体的には紹介しない。今回の宇宙天気セッションは、これまでJpGUで開催された宇宙天気セッションの中で最も国際的なものになった、というのが第一印象である。日本やアメリカのほか、フィンランド、カナダ、台湾、韓国、インドネシア、ニュージーランドの参加者が特に目立っていた。この豊かな国際色は、AGU との共同開催や、VarSITI との連携などが大きな要因だと考えられる。セッションで扱ったテーマも幅広く、スタンダードな宇宙天気予報に関連するテーマはもちろん、核戦争の引き金を引きそうになったと言われてい



セッション会場の様子

る50年前の巨大フレア、古典籍に記録されたオーロラ^[4]、地磁気反転と宇宙線雲の関係、クジラの座礁問題、雷の発生と太陽自転の周期(27日)一致の発見など、意欲的な研究テーマについても報告があり、明るい雰囲気でも議論も活発であった。このような幅広いベクトルやアンテナというのは、このセッションの重要な特色であり、分野外の聴衆や、若い研究者を新たに引き寄せることにもつながり、よい展開ではないか、と考えている。

最大の反省点は、宇宙天気の重要テーマである放射線帯に関して、「あらせ」衛星のファーストライトに関する研究発表と平行セッションになってしまったことである。内部磁気圏セッションとの平行セッション回避は優先順位を一番に上げて提案することで、今後のこの問題への対応としたい。来年はセッション名の最後に VarSITI とつく最後の年になる。来年も AGU 側コンビーナとの協力は継続し、コンビーナは一部世代交代を準備する。パネルディスカッションという新スタイルの導入も検討する。火星の有人探査についても議論の場があると面白いのではないかと個人的には考えており、それ用の研究も進めてみようかとも思っている。

(片岡 龍峰 / 国立極地研究所)



セッションでの議論の様子

[1] JpGU: Japan Geoscience Union

[2] AGU: American Geophysical Union

[3] VarSITI: Variability of the Sun and Its Terrestrial Impact

[4] Hornyak, T. (2017), Mining ancient texts reveals clues to space weather of yore, *Eos*, 98, <https://doi.org/10.1029/2017EO074487>. Published on 24 May 2017.

会議報告

宇宙天気ワークショップ及び ISES ミーティング

2017年5月2日～5日に米国コロラド州ブルームフィールドで宇宙天気ワークショップが行われ、情報通信研究機構 (NICT) から石井守、久保勇樹、長妻 努が参加しました。今年度の主要テーマは R2O2R (Research to Operation to Research) であり、学術機関だけでなく政府機関や産業界からの発表も数多くあり、研究成果を実運用に生かす試みが積極的に進められている印象を受けました。宇宙天気ワークショップに引き続いて、5月5日～6日に ISES ミーティングが行われました。ISES (国際宇宙環境情報サービス) とは、宇宙天気予報の実運用を行っている各国の機関が加盟している唯一の国際組織で、2017年6月現在、地域警報センター (RWC) として18か国が加盟しています。日本では、NICTがRWC Japanの役割を担っています。ISES ミーティングは加盟国の代表が一堂に会する会議で、RWC Japanからは石井守、久保勇樹が参加しました。今回は12か国のRWCとWMO(世界気象機関)等から参加があり、新規にRWCとして加盟したメキシコ、インドネシアと、加盟申請中の英国RAL Spaceからそれぞれ

活動報告がなされました。続いて各RWCからの活動報告があり、RWC Japanからは電離圏嵐スケール策定や、AIによる太陽フレア発生予測モデル開発について報告しました。2日目にはISESの規約改正についての議論が行われ、改正項目についての合意がなされました。また、予報評価についての活動報告と今後の方向性についての議論も行われ、今後も継続して議論を続けていくことで合意しました。最後に、新規加盟申請に関する審議の方針が確認され、会議は終了となりました。今回の活発な議論は、ISESの更なる発展を予感させるものでした。

(久保 勇樹 / 情報通信研究機構)



ISES ミーティングに参加したメンバー

会議報告

Joint Hinode-11/IRIS-8 Science Meeting

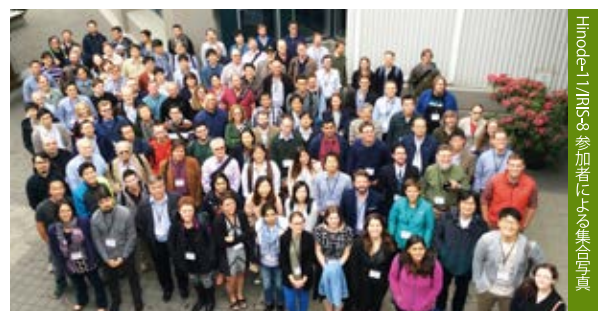
2017年5月30日～6月2日、アメリカのワシントン州シアトルにおいて Joint Hinode-11/IRIS-8 Science Meeting が開催されました。本会議は、11回目となる太陽観測衛星 Hinode に関する研究を報告する会議「Hinode Science Meeting」と、8回目となる太陽観測衛星 IRIS (Interface Region Imaging Spectrograph) ワークショップの合同国際会議になります。今回は各国から約130名の参加者が集まり、光球、彩層からコロナにかけての様々な現象に関する最新研究の報告が行われました。発表内容は多岐にわたり、Hinode 衛星や IRIS 衛星による観測研究はもちろんのこと、その他の衛星や地上望遠鏡による観測研究、数値モデリング、解析手法、将来計画などについても活発に議論されました。Hinode 衛星・IRIS 衛星は光球・彩層・コロナの観測を行っているため、PSTEP の



Hinode-11/IRIS-8の口頭発表会場

中でも A02 太陽嵐班との関連が深く、特にコロナで起こるフレアなどのエネルギー解放現象と彩層・光球の結合に注目した研究が数多く報告されました。PSTEP からも約10名が参加し、フレアの予測やトリガー、活動領域の熱・速度構造、エネルギー解放現象と光球・コロナ磁場構造・運動の関係、磁気リコネクション、彩層ジェットなど様々な話題に関して発表を行いました。特に、例年に比べて多くの日本人学生が口頭・ポスター発表で研究を報告していたのが印象に残りました。

(飯島 陽久 / 名古屋大学)



Hinode-11/IRIS-8 参加者全員集合写真

平成 28 年度

若手研究支援報告①

>> 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。

Yikai Hsieh / 京都大学 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

Whistler mode wave-particle interaction is a significant process for producing relativistic ($> \text{MeV}$) electrons in the outer radiation belt. We perform test particle simulations to reveal the interactions between electrons and whistler mode waves propagating in the direction oblique to the geomagnetic field. The dynamics are very different from parallel whistler waves and oblique waves.

The figure shows the comparison of parallel wave-particle interactions and oblique wave-particle interactions. For parallel waves, electrons gain energy through the cyclotron resonance. In Figure (a), red curves are trajectories of resonant electrons undergoing the cyclotron resonance. The related electron distribution in phase space of equatorial pitch angle (vertical axis) and kinetic energy (horizontal axis) is plotted in Figure (c). The white dot in Figure (c) represents the initial distribution before the wave-particle interaction. This acceleration process also moves resonant electrons to higher equatorial pitch angle.

For oblique waves, we find that not only cyclotron resonance but also multiple resonances contribute to electron accelerations. The multiple resonances are shown as the trajectories in different colors in Figure (b) and the different branches in Figure (d). Especially the Landau resonance, which is referred to the blue trajectories and distribution branch with number 0, shows very effective acceleration for the MeV electrons. The Landau resonance is led by the wave parallel electric field. However, by analyzing the energy gain of resonant electrons, we find that surprisingly the remarkable Landau resonance acceleration is mainly contributed by wave perpendicular electric field, which is the same factor as forming the cyclotron resonance acceleration.

Thanks to the PSTEP young scientist support, we reported

our important finding at 2016 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference, Seoul, Korea (Aug 21-25, 2016). At the oral presentation, we received several comments for improving our study. We reported this strong Landau resonance acceleration in the Earth's magnetosphere by the numerical simulations. At the conference, we realized that this acceleration process is very useful for building an accelerator of charge particles in laboratory. Furthermore, since AP-RASC was a technical conference, I learned a lot of skills regarding programming to enhance the efficiencies of simulations.

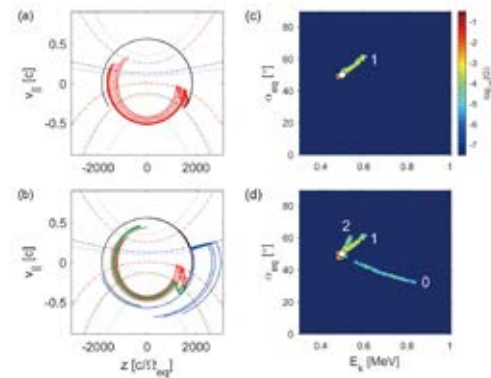


Figure : Particle trajectories interacting with (a) parallel propagating whistler mode wave and (b) oblique propagating wave. The related electron distribution functions are shown for (c) parallel and (d) oblique waves. In figure (a) and (b), the horizontal axis is the distance from the geomagnetic equator along a field line, and the vertical axis shows the electron velocity parallel to the background magnetic field. The color trajectories denote electron undergoing different resonances. The dotted lines are the resonance velocities for wave frequencies $\omega = 0.2\Omega_{ce}$, and the dash-dot lines are for $\omega = 0.5\Omega_{ce}$.

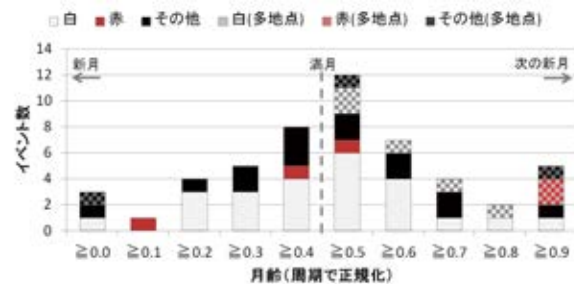
河村 聡人 / 京都大学 オーロラ観測の歴史的資料に基づく過去の太陽活動の研究

宇宙天気の見点でも、太陽物理学の見点でも、(特に強大な)太陽フレアがどの程度の頻度で起こるのかは関心の高いトピックです。しかしながら、フレアの観測は 1859 年のキャリントンフレアを第一号として、約 160 年の歴史しかありません。これでは数百年に一度程度の頻度で起こるとされている巨大フレア(スーパーフレア)の議論等には不十分です。そこで、フレアによって引き起こされる低緯度オーロラの記録を東アジアの歴史的資料に求めました。

Kawamura et al.(2016 PASJ) では中国清王朝の歴史書・清史稿(19 世紀~20 世紀初頭)において、東アジアの伝統的価値観に基づくオーロラの記述(赤気や白気など)を集計・解析し、その信憑性を議論しました。以前から「氣」などの表記はオーロラと考えられていますが、大気光学現象等との誤認の可能性も考えられます。そこで、月を光源とする大気光学現象に注目し、月齢を用いた解析を行いました。月齢解析の結果は図となり、満月付近では相当数の大気光学現象が誤認されている疑いがある一方で、新月近くでの記録は他の記録よりもオーロラとしての蓋然性が高いことがわかりました。この結果から、月齢によるフィルタリングという新しい手法を確立するに至りました。

歴史的資料の低緯度オーロラ記録は、その記録の性質を精

査することで、フレアに重点を置いた太陽の長期活動の研究に多大な貢献となると期待しています。最後に、PSTEP 若手支援により、当研究における資料管理・解析環境の充実等のサポートを賜りました。ご支援への感謝を以て、研究成果報告といたします。



図：月齢に対する清史稿のオーロライベントの数(同日複数記録は1イベントとカウント)。月齢は周期で正規化(0が新月、0.5が満月、1.0が次の新月)している。チェック柄のものは多地点での観測(欧州等での記録が24時間以内にあり)のもので、オーロラとしての蓋然性がより高い。無地のものに注目すると、満月付近にイベントが集中しており、月を光源とする大気光学現象が相当数含まれている可能性が高い。一方で、新月付近にも若干数のイベントがあり、これらは満月付近の記録よりもオーロラの蓋然性が高い。



国際活動支援班活動報告

派遣

太陽活動の気候影響を理解するためのモデル構築に関する共同研究

納多 哲史

京都大学



【派遣期間】2016年7月31日～9月4日 【派遣先】National Center for Atmospheric Research (NCAR) Foothills Laboratory
太陽活動の気候への影響を調べるモデルを開発するため、米国コロラド州ボルダールの National Center for Atmospheric Research (NCAR) Foothills Laboratory に滞りました。NCAR は気象学・気候学分野の研究者が在籍する研究機関です。今回の滞在で、IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) の地球温暖化予測にも多大な影響を与えている最先端気候モデル WACCM の開発の統括である Daniel Marsh 博士との共同研究を始めました。

PSTEP AO4 周期活動班太陽気候影響サブグループでは、気象研究所地球システムモデル MRI-ESM2 等の最先端気候モデルに加え、現象理解のための理想化実験を行うための化学気候モデル DCPAM-CHEM の開発を行っています。DCPAM-CHEM は大気モデル DCPAM をベースとし、大気化学反応の計算は NCAR の ROSE モデルの化学モジュールが受け持ちます。太陽活動変動の気候への影響には放射スペクトル、宇宙線など4種類の経路が存在しますが、DCPAM-CHEM ひとつでこれら全ての理想化実験を扱えることを目指しています。今回は大気モデルと化学モジュールの結合作業を行いました。

滞在では、DCPAM-CHEM の設計開発を共同で行い、滞在中に作業の大部分を終えることができました。帰国後も開発を継続し、同年9月の東大での研究集会および翌年3月の京都での国際シンポジウム (PSTEP-2) において、来日した Marsh 博士と今後の開発や実験デザイン等について議論を重ねました。



NCAR Foothills Laboratory

招聘

アルベン波乱流モデル及び「ひので」EIS 観測を用いたコロナ加熱に関する共同研究

Mahboubeh Asgari-Targhi

Harvard-Smithsonian
Center for Astrophysics



【招聘期間】2016年10月17日～11月10日 【招聘先】名古屋大学 宇宙地球環境研究所

日本が2006年に打ち上げた太陽観測衛星「ひので」に搭載されている極端紫外線撮像分光装置 (EIS) と、Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (CfA) で開発してきたアルベン波乱流モデルの計算結果を比較研究してコロナ加熱問題を解明するため、CfA の Mahboubeh Asgari-Targhi 博士を名古屋大学に招聘しました。

太陽はコア (核) と呼ばれる中心部で核融合反応を起こす事で熱を生成しており、その熱により太陽表面である光球は約 6000 度に保たれています。熱源は太陽の中心にあるので通常は外側の気層ほど温度は低くなる事が予想されますが、不思議な事にコロナと呼ばれる外層大気は数百万度ある事が知られています。これがいわゆる太陽物理学における重要課題の一つである「コロナ加熱問題」です。この問題を解決する有力な説として、光球のガスの運動によって磁場が揺らされ、アルベン波と呼ばれる波が発生し、その波が上空で散逸する事でコロナを加熱しているというものがあります。

Asgari-Targhi 博士らと私はこれまで、アルベン波乱流モデルの計算結果と「ひので」衛星の観測結果を比較し、どの高さでどのくらいのプラズマの加速、乱流、加熱が起こっているかを議論し、幾つかの論文を出版しました (Asgari-Targhi et al., 2014, ApJ; Asgari-Targhi et al., 2015, ApJ)。今回の滞在では、この比較研究を展開し、多くの活動領域について行い、結果の普遍性について議論しました。

(今田 晋亮 / 名古屋大学)



セミナー後の懇親会にて、名古屋大学の学生達と共に、Mahboubeh Asgari-Targhi 博士：前列左から3人目

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。



松村 充

Matamura Mitsuru

名古屋大学

Q. マイブームは？

A. 1940 - 50 年代のジャズ（特にチャーリー・パーカー）

Q. 子どもの頃の夢は？

A. 科学者になるのが幼稚園のときからの夢でした。

Q. 最近あったうれしかったことは？

A. 二人目の姪っ子が生まれたことです。

私の研究のスタイルは、自然現象をコンピューター・シミュレーションで再現し、そのメカニズムを調べることです。研究対象は、主に地球の超高層大気（電離圏・熱圏）で起こる現象ですが、実は対象には特にこだわりはなく、以前は海の波や地震について調べていたこともあります。性質や動き方がまったく違う媒質でも、同じような方程式や計算手法でモデル化できることに面白みを感じています。また、まったく振る舞いの異なる領域同士が接することで思いがけない現象が起こるのも興味深く、それを理解することは PSTEP の目標と共通するものでもあります。

現在は PSTEP A03 地球電磁気班に所属し、太陽フレアに対する超高層大気の応答をシミュレーションで研究しています。フレアは太陽からの極端紫外線や X 線の放射が強くなる現象で、大気の電離を促進してプラズマの密度を増やしたり、大気の温度を上げて風を強めたりします。プラズマ密度は電波を用いた通信に影響を与えるので、その予測につなげるために、密度が変化する原因を理解することを目指しています。プラズマ密度と風の分布は電場を変化させ、それがさらにまた密度の分布を変化させますが、特に夕方側は密度と電場が夕方時によって大きく変わるので、フレアが起こらない場合でも現象が複雑です。フレアが起こるとどうなるかは、さらに複雑で理解が難しいのですが、だからこそ挑戦しがいのある研究テーマでもあります。



JpGU-AGU Joint Meeting 2017 での研究発表



金子 岳史

Kaneko Takafumi

名古屋大学

Q. 一度は行ってみたい所は？

A. 宇宙

Q. 座右の銘は？

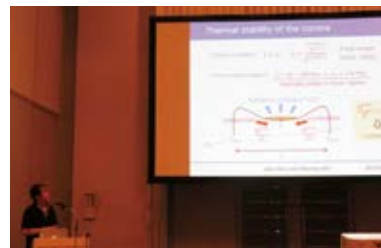
A. 急がば回れ

Q. 絶対しないと決めていることは？

A. 絶叫マシンに乗ること

私は太陽コロナ内の構造形成とプラズマ放出現象について研究しています。本研究を始めるきっかけとなったのは大学の太陽物理学実習でした。地球で紆余曲折を経て発見、整理されて来た物理体系が、地球ではまず起こりえない太陽の現象まで説明できることに感銘を受け、本研究分野を専攻することにしました。

現在は PSTEP A02 太陽嵐班において太陽プロミネンスの形成と噴出のシミュレーション研究を行っています。太陽コロナ中にはプロミネンスと呼ばれる低温高密度プラズマ雲が出現します。プロミネンスは突発的に宇宙空間へ噴出し、コロナ質量放出（CME）となって地球へ影響を与えることがあります。噴出のメカニズムだけでなく、低温高密度プラズマが高温のコロナ内で生成されるメカニズムについても、様々な議論はあるものの、完全には解明されていません。私は大学院博士課程時代に研究した独自のプロミネンス形成モデルと、先行研究で提案されている太陽表面爆発（フレア）モデルを組み合わせて、プロミネンスの形成から噴出までを一貫して再現するシミュレーションに挑戦しています。従来のプラズマ放出シミュレーションにはプロミネンスが含まれておらず、観測との比較に様々な仮定が必要でした。プロミネンスを含むプラズマ放出シミュレーションが完成すれば観測との直接比較が可能になり、噴出前にプロミネンスが示す前兆現象（振動など）や CME へ発達するまでの加速メカニズムを解明できると考えられます。



JpGU-AGU Joint Meeting 2017 での研究発表

研究室紹介 ⑤

九州大学 理学研究院、
国際宇宙天気科学・教育センター

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。

九州大学理学研究院の地球惑星科学部門、流体圏・宇宙圏科学講座の各研究室では、気象・気候現象から宇宙空間で生じる様々な現象を対象とした研究が進められており、学内共同利用センターである国際宇宙天気科学・教育センター (ICSWSE) と連携して PSTEP と関連した宇宙天気研究を推進しています。ICSWSE では学内の様々な分野の研究者が所属研究院を跨ぐ形で共同研究を行っていますが、中でも中核となって宇宙環境データを取得しているのが、汎世界的な地磁気ネットワーク観測である MAGDAS (MAGnetic Data Acquisition System) です。

九州大学の地磁気観測の歴史は 1970 年代まで遡ります。ネットワーク観測としての歴史も 30 年を超え、これまで延べ 140 以上の観測点を世界中に構築してきました。地磁気データには、惑星間空間 - 磁気圏 - 電離圏系で生じる宇宙天気現象、気象・気候現象と連動した大気圏・電離圏間の上下結合現象、



九州大学 伊都キャンパス、理学部の全景

国際宇宙天気科学・教育センターの全景
(右側がセンターです。)



地圏 / 水圏としての地球系に発露する電磁気的現象など、様々な現象が複合的に重畳しています。これらの複合現象を数理科学的・データ科学的に読み解いていくことが、ICSWSE の分野横断型研究の大きな推進力にもなっています。

PSTEP A03 地球電磁気班では、この MAGDAS データを用いて、主に低緯度・磁気赤道域での Sq (地磁気静穏日変化)、EEJ (赤道ジェット電流) の構造とプラズマバブルの発生頻度の関連性、日本・オーストラリア域の GIC (地磁気誘導電流) 関連研究などを調べています。宇宙天気研究は実用科学として成功させる必要がありますが、私たちは結論を焦らずに、物理とデータに素直に向き合っシステムに内在する本質をえぐり出す研究を行って行きたいと考えています。

(吉川 顕正 / 九州大学)

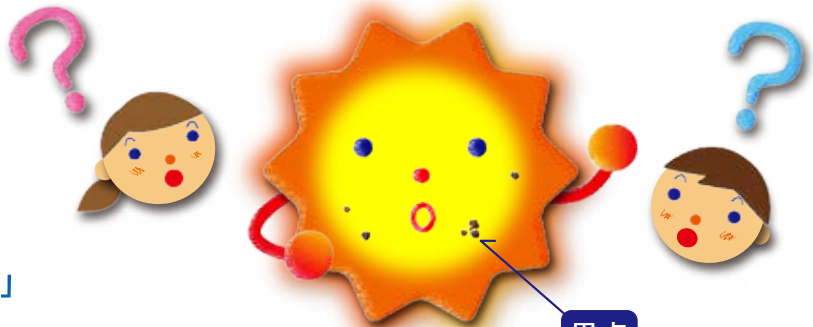


MAGDAS 観測点マップ

マレーシア、ジョホールバル観測点の設置。
一息ついて、皆で休憩。



『宇宙と地球のなぜ? どうして?』



Q. 「黒点はなぜ黒いの?」

A. 「黒点が黒く見えるのは、
黒点の温度がまわりに比べて少し低くなっているためです！」

黒点は、太陽の顔 (表面) についたホクロやシミのように見えますね。黒点が黒く見えるのは、黒点の温度がまわりに比べて少し低くなっているためです。その原因は磁力にあります。太陽では、中心付近が最も高温で、内部からエネルギーが外側へ流れています。しかし黒点は、とても磁力が強く、太陽表面付近のガスの運動 (対流) が抑えられてしまい、太陽内部からのエネルギーの流れが妨げられて、低温になっているのです。ただし、黒点は温度が低いとはいえ 4000 度もあり、実は光を出しているんです。もし、太陽全体が黒点に覆われたとしても、空は真っ暗になることはなく、薄曇りの日中くらいの明るさになります。黒点が黒く見えるのは、黒点以外の太陽表面が明るすぎるせいでもあるのです。ところで、「ひので」衛星などによる最近の精密観測では、黒点の中にも複雑な構造を伴う特殊な対流運動が生み出されているらしいことが分かってきました。黒点の謎の解明はこれからも続きます。



PSTEP Newsletter No.6 Aug. 2017

発行日：2017年7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：松村 充（編集長）、阿南 徹（副編集長）、成瀬 千恵代（デザイン&編集）、草野 完也（領域代表）

〒464-8601 名古屋市千種区不老町

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/>