



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.5 May 2017

INDEX

【研究紹介】 大規模数値計算で明らかになった太陽磁場生成機構	pp.1-2
【会議報告】 第2回 PSTEP 国際シンポジウム (PSTEP-2)	p.3
【会議報告】 PSTEP-2 サテライト会議 / 太陽面爆発に関するワークショップ (名古屋大学)	p.4
【会議報告】 PSTEP-2 サテライト会議 / 太陽活動の気候影響に関するワークショップ (京都大学)	p.4
【会議報告】 PSTEP 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」	p.5
【フィールドワーク】 タイ・ピマーイにおける大気および超高層現象の観測	p.5
【国際活動支援班活動報告：派遣】 太陽フレア発生モデルの統計的評価に関する共同研究 / 伴場 由美	p.6
【国際活動支援班活動報告：招聘】 SUSANOO-CMEモデルを用いた予測性能評価手法の研究開発 / Neel Savani	p.6
【会議報告】 第4回 PSTEP 領域会議	p.7
平成28年度 活動報告 計画研究班	pp.7-8
【PSTEPメンバー紹介】 川手 朋子 / 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所	p.9
【PSTEPメンバー紹介】 飯島 陽久 / 名古屋大学	p.9
研究室紹介④「情報通信研究機構 宇宙環境研究室」	p.10
Q&A「宇宙と地球のなぜ? どうして?」	p.10

Project for
Solar-Terrestrial
Environment Prediction

大規模数値計算で明らかになった太陽磁場生成機構

太陽表面には黒点があり、黒点数は 11 年の周期を持って変動しています。PSTEP A04 周期活動班では、2025 年ごろに訪れると考えられている次の周期の太陽活動度を予測して 10 年スケールの宇宙天気予報を行う計画を進めています。計画研究では、極小期の極磁場と次の周期の黒点数が良い相関を持つという経験則から黒点数を推定するために、極磁場の予測を目指しています。このような経験則を用いた手法は、非常に強力です。しかし、太陽黒点数の 11 年周期のメカニズムが明らかになっていない現状では、1600 年代から 1700 年代にかけて 70 年間あまり黒点が著しく減少したマウンダー極小期のような特別なことが起こった際には、適用できなくなる可能性が高いです。そのため、スーパーコンピュータ「京」などの大規模計算機で超高解像度計算を実施することで、11 年周期のメカニズムを理解するという研究も行なっています。11 年周期の問題は、太陽物理学最古の問題であり、すんなり解決というのは難しいのですが、乱流を精密に分解した計算から得られる知見を、経験則を用いた計画研究にフィードバックするという方針で、研究を進めています。その精密計算にて、大変重要な発見をしましたので、ここで紹介します。

太陽には 11 年の周期があることはすでに記した通りですが、その他にヘールの法則に代表される幾つかの法則があることが知られています。ヘールの法則は、黒点の極性を示す経験的なルールで、90% 以上の黒点がそれに従うことが知られています。ある周期の中では、北半球にある黒点対のうち先行黒点（西側の黒点）は正極であるのに対して、後行黒点（東側の黒点）は負極になっています。一方、南半球では、先行黒点が負極であるのに対して、後行黒点が正極になっています。

そして、次の 11 年周期ではこれらの関係が全て逆転するのです。この法則は、太陽の中に全球スケールの大規模な磁場が存在していることを示唆しています。太陽内部は、乱流的な熱対流によって占められています。乱流のレイノルズ数はとても大きく 10^{14} ほどと考えられており、20 万 km の対流層の厚さに対して、乱流の最小スケールは数 cm ほどとなると考えられています。乱流的なシステムにおいては、乱流が分裂するカスケードという働きによって、徐々に小さな乱流が作られていきます。この過程によって、速度場は小さいスケールほどより小さいエネルギーを持つこととなります。よって、cm スケールの乱流が大スケールの速度場に直接影響を与える可能性は低いのですが、磁場の生成では大きな問題となります。磁場の生成のほとんどは、磁場の引き伸ばしによっておこなわれるのですが、磁場の引き伸ばしは速度場のスケールが小さければ小さいほど効率的なので、乱流的なシステムの中ではとても小さい磁場のみが支配的になってしまいます。このようなことは最近の高解像度計算によって確かめられています。一方、全球スケールの現象については、カナダの研究グループによる太陽を模した計算で、2010 年に初めて大規模な磁場やその周期性

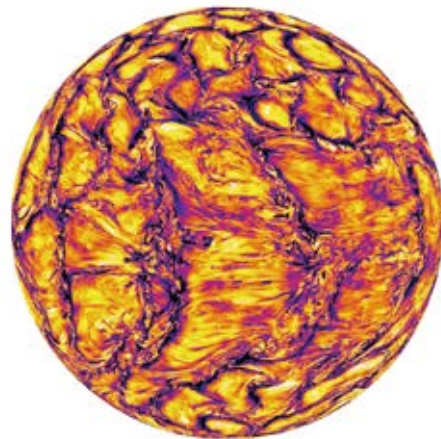


図 1：上部境界付近の動径方向速度を表しています。

が再現されています (Ghizaru et al., 2010)。しかし、この計算は 2010 年当時としても非常に低い解像度 ($47 \times 64 \times 128$) で行われていました。先に述べたようにこれ以上の高解像度化をすると、小スケールの磁場が支配的になってしまい、大規模な磁場やその周期性は破壊されてしまうからです (Brun et al., 2004, Nelson et al., 2013)。別の言い方をすると、この現象は以下のように説明できます。低解像度で見られた大スケールの磁場は、乱流が回転の影響を受けることによって非等方的になり生成されるのですが、小スケールの乱流は、時間スケールが回転の時間スケールと比べて短く、その影響をほとんど受けません。結果として、ほぼ等方的な乱流となり、大規模な磁場を壊す向きに働きます。これはよく理解できる物理過程なのですが、実際の太陽は、いわばさらなる超高解像度の状況であり、どのようにして大規模磁場を維持しているのかは謎になっていました。

この問題に取り組むために、我々のグループはこれまでにならぬ高解像度の数値計算を実行しました。解像度を上げるために、我々が独自に開発した「音速抑制法」を採用しました。並列計算機で頻繁な全体通信が生じるアナラスティック近似と比べて、音速抑制法で必要なのは近接通信のみですので、「京」のような大規模な計算機を有効に使うことができます。我々は、低解像度、中解像度、高解像度の 3 パターンの計算を実行しました。高解像度計算ではこれまでにならぬ解像度を達成しています。その様子を図 1 に示します。図 1 では、上部境界付近の動径方向の速度場を表しています。大規模な乱流の中に、小スケールの構造があることがわかります。その時の大規模磁場の時間発展を図 2 に示します。図 2 では、経度方向に平均化した、経度方向の磁場を示しています。上から、低解像度、中解像度、高解像度の結果です。横軸が時間、縦軸が緯度で対流層の底付近の様子を表しています。低解像度から中解像度にかけては、これまでの研究と調和的な結果が得られまし

た。つまり、解像度を上げると大規模な磁場が壊されてしまうということです。しかし、我々のかつてない高解像度の計算では、大規模な磁場が復活していることがわかります。解析の結果、この現象は非常に強くなった小スケールの磁場によって起こされたことがわかりました。先に述べたように、高解像度になると小スケールの磁場が強くなります。今回の計算では、その強さが、流れ場のエネルギーを超えるほどになり、小スケールの流れ場を選択的に抑制し、その結果、大規模磁場を壊していた小スケールの流れ場がなくなり、高解像度の状況下でも磁場が維持できたのです。実際の太陽でもこのような機構が起きていると考えられます。

(堀田 英之 / 千葉大学)

この成果は、Hotta, Rempel, and Yokoyama, Large-scale magnetic fields at high Reynolds numbers in magnetohydrodynamic simulations, 2016, Science, 351,1427 として出版されました。

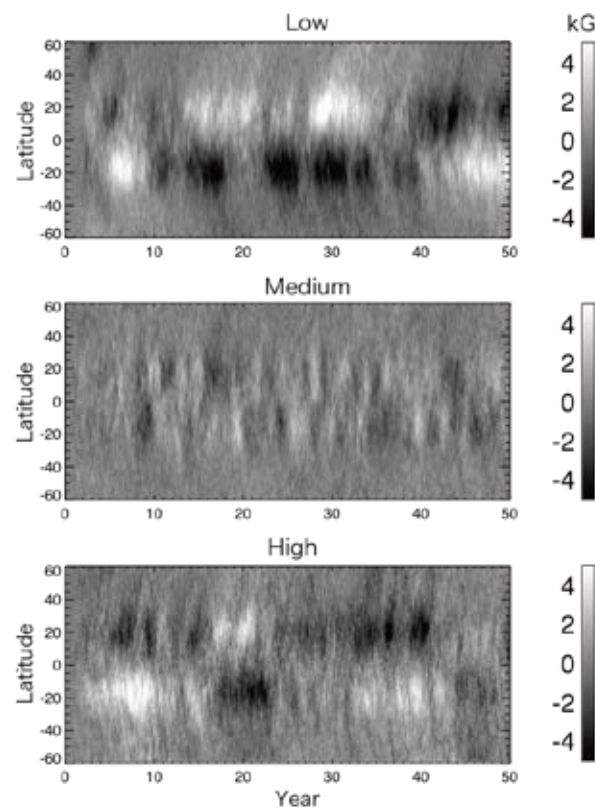


図 2：低解像度 (上)、中解像度 (中)、高解像度 (下) の大規模磁場の進化の様子を表しています。対流層の底付近の経度方向に平均化した経度方向の磁場を表しています。

会議報告

第2回 PSTEP 国際シンポジウム (PSTEP-2)

2017年3月23日～24日、京都大学理学研究科セミナーハウスにおいて、第2回 PSTEP 国際シンポジウム (PSTEP-2)、“Toward the Solar-Terrestrial Environment Prediction as Science and Social Infrastructure”が開催されました。PSTEP のキックオフとして開催された国際シンポジウム PSTEP-1 (2016年1月13日～14日@名古屋大学 ES ホール) につづいて、今回はとくに PSTEP A02 太陽嵐班と A04 周期活動班のテーマにフォーカスし、PSTEP の2年間の成果を共有してさらなる国際協力の展開を図ることを目的としています。シンポジウムにはそれぞれの分野において第一線で活躍する 11名の研究者を海外(ヨーロッパ、北アメリカ、オーストラリア、東アジア)から招待し、A02、A04 班以外の研究者や学生も含め 84名が参加しました。



シンポジウムでの議論の様子

本シンポジウムでは A01 班 (予報システム班) に関して、宇宙天気災害の経済影響に関する Edward Oughton 氏 (University of Cambridge) の基調講演 (The economic impact of extreme space weather) に続いて、1日目と2日目にそれぞれ A02 と A04 班のこれまでの成果や今後の計画が報告され、関連分野における海外の最新研究の発表がおこなわれました。太陽嵐 (A02) に関する1日目のセッションでは、Bernhard Kliem 氏 (University of Potsdam & Nagoya University) による基調講演 (Understanding the mechanism of solar eruptions) で、太陽嵐発生メカニズムに関する最新理論の動向をレクチャーいただき、続いて太陽面爆発観測システムの進展、活動領域の形態とフレア・CME (太陽風擾乱) との関係性、フレア発生モデルや予測アルゴリズム、CME の最新の観測と数値モデル等に関する研究成果が報告されました。太陽周期活動 (A04) に関する2日目のセッションではまず、三好由純氏 (Nagoya University) による講演 (Exploration of energization and radiation in geospace “ARASE” (ERG) mission) で、昨年打ち上げに成功した「あらせ」衛星の全貌が紹介され、Lesley

Gray 氏 (Department of Physics, University of Oxford) による基調講演 (Influence of the 11-year solar cycle on climate) で、太陽活動周期に対する地球大気への応答に関する最新の研究成果が紹介されました。続いて、観測データに基づく太陽活動の最近の動向や次サイクルの予測、太陽活動に対する地球環境への応答、とくに地球大気の化学反応や電気抵抗の変化、海洋への応答等にも着目した気候変動に関する研究成果が報告されました。

シンポジウムでは 12 件の招待講演の他にも 20 件のショート講演、22 件のポスター発表がおこなわれ、シンポジウムの期間を通して大変有意義な質疑や議論が交わされました。1日目の夜には桜開花までもう少しの銀閣寺道のレストランで賑やかに懇親会がもたれました。また、海外からの招待者の何人かの方はシンポジウムの前後に PSTEP 参加大学や研究機関を訪問し、小研究会やセミナーを通してさらに深い研究交流をおこないました。太陽から地球に至る宇宙環境変動のメカニズムや予測にテーマを絞って時間をかけ議論を深めることができたことは、今後の PSTEP の推進にとっていっそうの弾みとなりました。

最後に本シンポジウムの運営を支えてくださった名古屋大学宇宙地球環境研究所の事務の方、学生の皆さん、京都大学気象学研究室、附属天文台の事務、研究員、学生の皆さんにこの場を借りてお礼申し上げます。

(一本 潔・浅井 歩 / 京都大学)

PSTEP-2 プログラム :

<http://www.pstep.jp/information/20170314.html>



参加者の集合写真 (セミナーハウス前にて)

会議報告

PSTEP-2 サテライト会議

第2回 PSTEP国際シンポジウム(PSTEP-2)のサテライト会議として、2つの国際ワークショップを実施しました。

太陽面爆発に関するワークショップ（名古屋大学）

太陽面爆発の発生機構に関するワークショップを名古屋大学宇宙地球環境研究所にて、2017年3月21日～22日に実施しました。このワークショップには PSTEP-2 の基調講演者である Bernhard Kliem 氏（ドイツ・ポツダム大学、名古屋大学客員教授）、同じく招待講演者である Mike Wheatland 氏（オーストラリア・シドニー大学）、Sung-Hong Park 氏（アイルランド・ダブリン大学）をはじめ、本領域代表の草野完也（名古屋大学）、PSTEP A02 太陽嵐班の井上諭（名古屋大学）、伴場由美（ISAS）、Kyoung-Sun Lee（国立天文台）、三好隆博（広島大学）など 10 名程が参加し、通常の国際会議では行なうことができない非常に密度の濃い議論を集中的に行なうことが出来ました。

特に、フレアやコロナ質量放出（CME）など太陽面爆発の発生原因となる太陽面上の 3 次元磁場を光球面磁場観測データから求める非線形フォー

スフリー磁場モデルとそれを応用したデータ駆動型シミュレーション研究について、並びに太陽面爆発を駆動する不安定性と磁気リコネクションの関係について多角的な議論が展開されました。いずれも大規模な太陽嵐の発生とその性質を予測するために必要な重要課題であり、PSTEP の今後の研究にとって貴重な機会となりました。本領域ではその成果を今後の国際共同研究の発展に活かす予定です。（草野 完也 / 名古屋大学）



ワークショップでの議論の様子

太陽活動の気候影響に関するワークショップ（京都大学）

2017年3月21日～22日の2日間、京都大学理学研究科において、太陽活動の気候影響に関するワークショップを開催しました。海外からは Bernd Funke（スペイン・IAA-CSIC）、Lesley Gray（英国・オックスフォード大学）、Daniel Marsh（米国・NCAR）、Yvan Orsolini（ノルウェー・NILU）、Limin Zhou（中国・華東師範大学）の各氏を招待し、合計 14 名の参加者を得て、それぞれの講演と議論に十分な時間をもちました。PSTEP A04 周期活動班の研究課題のひとつである「太陽活動変動の気候への影響」について、下部熱圏から対流圏、海洋まで

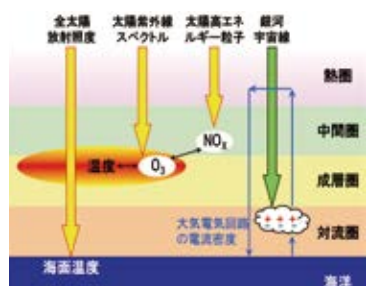
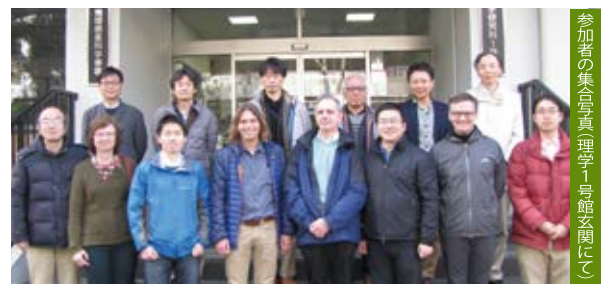


図1:太陽活動が気候変動に影響する4つの過程

を対象として、全球データ解析と数値モデル実験の最新成果をもとに、活発な議論を繰り広げました。

太陽活動が気候変動に影響する過程として、全太陽放射照度、紫外線スペクトル、高エネルギー粒子、銀河宇宙線の 4 つの変動（図 1）が考えられますが、これらに対する気候系の応答はどのような過程を経るか、時間遅れの特徴をもつか、非線形な性質があるかなど、共通認識をもつよい機会となりました。また、IPCC の次期評価報告書に向けた結合モデル相互比較国際プロジェクト CMIP6 において、高エネルギー粒子効果の導入など、どのような新たな取り組みがあるかについて最新情報交換を行いました。（余田 成男 / 京都大学）



参加者の集合写真(理学1号館玄関にて)

会議報告

PSTEP 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年1月26日～27日の日程で名古屋大学宇宙地球環境研究所にてPSTEP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」を開催しました。研究集会では、太陽・太陽圏・地球圏（電磁気圏・大気圏）からなる太陽地球圏環境の多岐にわたる諸現象の予測に向けた様々な数値モデルについて、各分野の専門家をお招きし、基礎から最先端の研究開発の現状と課題及びその展望について講演をしていただきました。参加者の研究領域・分野は多様で、研究手法も数値モデル研究のみならず統計数理学的研究や観測解析研究にまで及びました。宇宙開発に携わる方々にも参加いただき、総勢72名の参加者の間で、21件のkey講演と11件のポスター講演に対して、分野を超えた活発な議論がなされました。また、モデル研究という共通点から、予測に関する新技術やモデル評価手法や国際的なモデル研究の将来計画についても検討するセッションを新たな試みとして実施し、それぞれ集中した議論を行いました。気象研究分野で先駆的に行われている国際的な連

携や競争の枠組みについては太陽地球圏環境に関わる研究分野にとっては大いに参考になるものでした。今回残念ながら参加されなかった方々も含め、広く議論の共有化を図っていきます。

本研究集会は今後、掘り下げて議論するテーマを変えながらシリーズ化して開催していきます。当研究集会が、分野および学会を横断し、太陽地球圏環境に関するモデル研究の進展の一助となるよう、皆様とともに盛り上げていきたいと考えています。

(今田晋亮、塩田大幸 / 名古屋大学、埜千尋、中溝 葵 / 情報通信研究機構、吉田康平 / 気象庁気象研究所)



研究集会参加者の集合写真

フィールドワーク

タイ・ピマーンにおける大気および超高層現象の観測

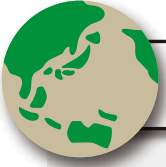
PSTEP では太陽から地球大気圏にわたる広大な領域で生起する様々な現象の物理過程を解明することを基にして、地球周辺の空間（ジオスペース）における擾乱現象を予測することを目指しています。ジオスペース擾乱には、下層大気も影響を及ぼしていることが知られていますが A03 班電離圏サブグループでは、スコールなど、熱帯の激しい気象現象を利用して、短周期の大気波動が電離圏に及ぼす影響を調べるために、タイの東北部、ピマーンにありますチュラロンコン大学のピマーン大気科学観測所で、地磁気、微気圧変動、高時間分解能の気象観測、および GPS 電波による電離圏観測を行っています。観測所は小さいながらも鉄筋コンクリート 2 階建てで、屋上には私たちの GPS アンテナ、気象観測センサーだけではなく、他の研究グループによるライダー観測用の窓、自動追尾式の日射計等、様々な観測装置が設置されています(写真)。熱帯域でかつ無人のため、高温・雷・小動物・虫による機器の故障や停電のための観測停止が頻発し、これまでは、全ての機

器が同時連続観測できている期間は全期間の数分の一程度でした。特に、6月から10月にかけての雨期は雷の影響か、欠測が多くなっています。PSTEPの国際活動も兼ねて、昨年10月に引き続き、今年3月にも故障した観測機器の交換と、その他の装置の保守に出かけ、これら装置の連続観測を再開することができました。今後も様々な問題の発生が予想されますが、堅牢性を増す工夫をして、できる限り観測を継続し、十分な量のデータを蓄積したいと考えています。

(家森 俊彦 / 京都大学大学院理学研究科)



ピマーン観測所の屋上からの眺め。GPSアンテナを交換しているところ。(2017年3月)



国際活動支援班活動報告

派遣

太陽フレア発生モデルの統計的評価に関する共同研究

伴場 由美

宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所



【派遣期間】2016年10月1日～12月2日 【派遣先】NorthWest Research Associates (NWRA) Boulder Office

太陽フレア発生モデルに関する国際共同研究を実施するため、米国コロラド州ボルダーにあるNorthWest Research Associates (NWRA) に滞在しました。NWRA は米国各地に拠点をもち、太陽地球圏の幅広い分野の研究者が在籍する研究機関です。今回の滞在中、かねてより計画していた、太陽フレア予測研究で先駆的な成果を挙げている Leka 博士らとの共同研究を開始することができました。

PSTEP A02 太陽嵐班では、フレアの発生メカニズムを理解し、その発生を予測するために、数値モデルを構築しています。我々はモデルから求めたある物理量がフレアの発生に関わっていると考えていますが、このことを実際の観測データでも証明することが重要です。そこで、我々はこの物理量を人工衛星による太陽観測データからも測定し、フレア発生との相関を統計的に評価する研究を行なっています。この研究では、フレアを起こした太陽活動領域と起こさなかった領域のそれぞれについて、膨大なデータを取り扱うことが必要になります。この際、Leka 博士らの得意とする判別分析という手法が非常に有効であると考え、共同研究に至りました。

今滞在中では、多くの活動領域の観測データから物理量を測定し、判別分析によりフレア発生との相関を評価するところまでを自動で行うプログラムの基礎を完成させることができました。今後はこのプログラムを応用して、フレア発生にとって重要な新たな物理量の探査や、我々のモデルに基づくフレア発生予測実験を行いたいと考えています。



NorthWest Research Associates (NWRA) Boulder Office

招聘

SUSANOO-CME モデルを用いた予測性能評価手法の研究開発

Neel Savani

NASA GSFC / UMBC



【招聘期間】2017年1月22日～24日 【招聘先】名古屋大学 宇宙地球環境研究所

名古屋大学で開発された太陽風 - コロナ質量放出 (CME) 伝搬予測モデル「SUSANOO-CME」の予測性能評価手法の研究開発を進めるために、米国航空宇宙局 (NASA) Goddard Space Flight Center (GSFC) / University of Maryland, Baltimore County (UMBC) の Neel Savani 博士を名古屋大学に招聘しました。

CME 内部の磁束管 (flux rope) によって地球にもたらされる磁場の南向き成分は、大規模な磁気嵐の主要因であるため、その予測モデルの開発は PSTEP の最重要課題の一つです。Savani 博士は、太陽面の観測データから CME flux rope によってもたらされる惑星間空間磁場ベクトルの時間変動を予測するモデル「Bz4Cast」を開発し、地球環境への影響度の予測につなげる研究を進めています。また、米国や欧州における太陽風・CME 予測モデル開発の研究者に呼びかけ、CME 惑星間空間磁場予測の性能評価基準についての国際的な議論を主導しています。

今回の滞在中では、NASA におけるモデル開発から運用に至るプロセスの経験に応用し、様々な手法と基準による評価を試しながら SUSANOO-CME による惑星間空間磁場ベクトルの時間変動予測の性能評価手法を探りました。その結果、Receiver Operating Characteristic 法を用いた評価について一定の成果が得られました。この研究の初期成果は、2017年5月に開催される日本地球惑星科学連合 - アメリカ地球物理学連合共催の連合大会にて報告される予定です。

(塩田 大幸 / 名古屋大学)



Savani 博士のセミナーの様子

会議報告

第4回 PSTEP 領域会議

2017年3月27日～28日、ロワジュールホテル豊橋（愛知県豊橋市）にて第4回 PSTEP 領域会議を実施しました。この会議は本領域の2年目の研究成果を総括し、次年度以降に向けた研究計画の総点検を行なうことを目的としたものです。本会議には、計画研究、公募研究、若手支援研究などの関係者70名と共に日江井栄二郎先生（元明星大学長、国立天文台名誉教授）など領域外からの評価担当者にも参加頂き、夜遅くまで活発な議論を行いました。



第4回 PSTEP 領域会議の様子

特に、各計画研究の総括を行なうだけでなく、異なる計画研究班の連携活動、計画研究と公募研究の連携、海外機関や国

際組織などとの国際共同研究の計画について密度の濃い検討を行うことができました。その結果、領域全体の研究は当初の計画を一部上回るかたちで順調に進行していることを確認すると同時に、新たな課題も明確にすることが出来ました。来年度以降の研究活動にとって極めて有意義な議論を行うことができました。

（草野 完也 / 名古屋大学）



第4回 PSTEP 領域会議の参加者

平成28年度 活動報告 計画研究班

A01 予報システム班

「次世代宇宙天気予報のための双方向システムの開発」

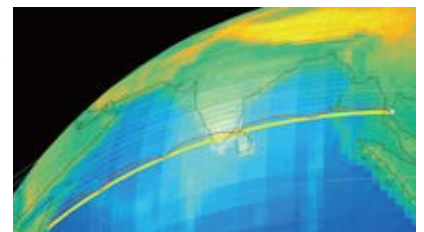
A01班は、宇宙天気に関する研究者と実用事業者との交流を活発化し、宇宙天気に関する最先端の知見を宇宙天気予報に反映させ実際に社会の役に立つ情報提供を目指しています。

平成28年度には、経済インパクトの大きい航空および電力分野を中心に9件のヒアリングを行うとともに、3回のユーザー協議会を開催しました。この中では特に、現在宇宙天気の航空運用での利用が議論されているICAOの現状について報告・検討を進めてきました。また、我が国初の宇宙天気ハザードマップの制作に関しては、宇宙天気の社会影響に関する定性的な記述についてのドラフトがほぼ完成しました。

さらに、電波伝搬障害を監視することを目的とした電波伝搬シミュレータについて、3次元短波伝搬モデルの基礎開発が完了すると共に、フランス・CNESとの共同研究を進める準備を整えました。また、国土地理院のGPS観測GEONETのデータを利用したリアルタイム電離圏トモグラフィの研究

が進んだことから、我が国周辺ではリアルタイムでの電波伝搬の状況が推定できる基盤が構築されました。衛星帯電については、静止軌道粒子環境の現況マップの開発、及びみちびき衛星の表面帯電計算用の工学モデル、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ています。同時に、被ばく影響についても平成29年度には航空機の航路上の被ばく推定を行なうモデルを構築することが可能な状況となってきました。他の予測システムについても進展次第順次公開の予定です。

今後は、宇宙天気現象の社会インパクトについての定量的な影響評価に向けた研究を中心に進めていく予定です。



電波伝搬シミュレータの例

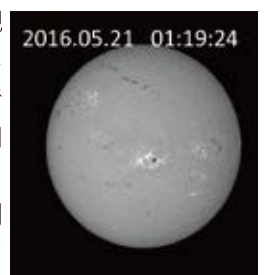
A02 太陽嵐班

「太陽嵐の発生機構の解明と予測」

A02班は、精密な太陽面磁場観測と先進的な物理モデル連携により、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発生の予測スキームを開発すると共に、光学観測と電波観測の連携により太陽面爆発からコロナ質量放出に発展する過程を連続的に捉え、地球を襲う太陽嵐の重要度を爆発の発生からいち早く確率予測する方法の開発を目指しています。

平成28年度には、京都大学飛騨天文台で太陽からのフィ

ラメント噴出運動を捉える速度場観測装置が完成し、定常観測を開始しました。また、NICT山川観測所では新太陽電波分光計の定常運用を開始し、新たなデータを創出し始めました。「ひので」衛星10年間の観測からはフレアデータベースが整備され、次のステップへの準備が整いま



太陽面フィラメント運動の観測画像

した。国立天文台のフィラメント磁場観測と名古屋大学の惑星間シンチレーションによる太陽風観測も順調に進められています。また、予測モデリンググループでは、太陽フレアとコロナ質量放出（CME）の原因となる不安定性を特定すると共に、その解析に基づいて太陽面爆発の発生を予測するための新たな予測パラメータを導出する研究を進めると共に、CME による惑星間空間磁場変動を予測するためのシミュ

レーション実験を開始しました。さらに、最新の機械学習を利用して日々のフレア発生予測を実施し、その有効性を検証する試みも進めています。

研究計画は順調に進んでいることから、今後は観測とモデルの連携をより高めることにより、A02 班の最終目標にむかって研究を進めることとなります。

A03 地球電磁気班

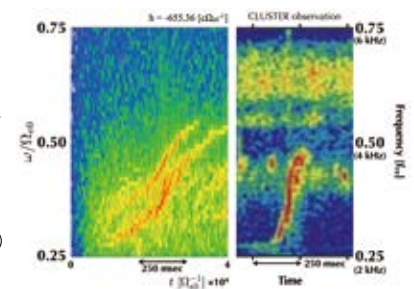
「地球電磁気圏擾乱現象の発生機構の解明と予測」

A03 班では、特に人間活動に影響が大きい宇宙放射線、電離圏、GIC を研究対象として取り上げ、3 つのサブグループと関連するタスクチームとして活動を行っています。平成 28 年度は、宇宙放射線サブグループでは、放射線帯電子および太陽高エネルギープロトンの変動予測を目指した研究を進めました。特に非線形波動粒子相互作用のモデル開発を行い、実パラメータでのコーラス励起の再現等に成功しました。また、データ解析研究も進め、マイクロバーストと放射線帯電子増加の関係の発見等の成果も得ることができました。さらに、波動粒子相互作用等に関する国際ワークショップも開催しています。

電離圏サブグループの代表的成果としては、GAIA モデルを用いた、プラズマバブルの発生確率予測、太陽フレアにともなう夕方側電離圏東向き電場の発達、スポラディック E 層のグローバル分布のシミュレーションなどがあります。また、ファブリ・ペロー干渉計による熱圏温度の観測に基づく GAIA モデルの検証も行われました。さらに、プラズマバブルに関する国際ワークショップも開催しました。

地磁気誘導電流（GIC）サブグループ / タスクチームでは、日本の送電網を流れる GIC の性質を理解し、その予測を実現するモデルの開発を目指しており、本年度は、①磁気圏・電離圏電流を入力として地面に誘導される電場を時間領域で直接求めるシミュレーションの開発、②上記で求めた電場を日本の超高压送電網モデルに与え、全国の変電所等と地面間を流れる電流を求めるモデルの開発、③ラプラス変換を用いて地磁気から GIC を導出する手法や、日本列島直下の電気伝導度 3 次元モデルの開発で大きな成果を得ています。また、国内電力会社の協力により、GIC の測定を 2 地点で開始することができました。

シミュレーションで再現されたコーラス波動の励起
 (左) シミュレーション
 (右) 衛星観測
 横軸は時間、縦軸は周波数。
 (Katoh, Y. and Y. Omura, Earth Planets Space, 68:192, 2016.)



A04 周期活動気班

「太陽周期活動の予測とその地球環境影響の解明」

太陽ダイナモ数値計算グループでは、次期太陽周期活動（サイクル 25）を予測するため、太陽表面磁束輸送計算コードを開発し、幾つかのテスト計算をしたのち、サイクル 25 の予測を実施しました。その結果、予測計算に必要なパラメータを観測から導出し、次期サイクル 25 は本サイクル 24 より弱くなるという結果が得られました（図 1）。

太陽磁場精密観測グループは、国立天文台の磁場精密観測と太陽放射磁場観測装置を運転中であり、装置論文を準備しています。また、太陽紫外線放射を近似するものとして、カルシウム K 線スペクトロヘリオグラムのデジタル化を完了しました。また、2015 年になされた黒点相対数の大幅改訂を検証し、国立天文台の黒点相対数の再較正を行いました。

太陽放射変動グループは、京都大学生駒山太陽観測所にて観測されたデータのデジタル化を行い、カルシウム K 線スペクトロヘリオグラムの写真乾板データ（特に 1945 年～ 1965 年のデータ）について、データ公開のための較正・整備を進めました。また、フラット処理などを適正に行うことにより、この 20 年間の太陽プラージュ領域のバタフライダイアグラムを作ることができました。

宇宙線変動グループは、西暦 1989 年～ 2015 年の日本の雷活動に、太陽自転周期と同期した成分を検出し、論文を公表しました。太陽活動の 11 年周期の極大期において、15 県

以上にまたがる雷活動に顕著なシグナルが認められます（図 2 上）。また、広域にまたがる雷活動の発生頻度も、太陽活動の極大期に増えることが確認されました（図 2 下）。

地球システムモデル計算グループは、気象研究所地球システムモデルに高エネルギー粒子化学効果を熱圏からの移流効果を含めて導入し、ハロウィンイベントの感度実験を行いました。また、高解像度雲モデルへの氷相過程及び、雲荷電効果を試験導入するとともに、アンサンブル実験用の軽量高速大気モデルに大気化学過程を導入することで、太陽の気候影響を詳細に計算するための基盤を確立しました。

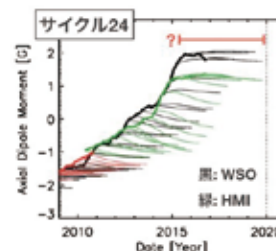


図 1：
 サイクル 25 の予測計算結果。
 横軸は年、縦軸は太陽磁気双極子モーメント
 自転軸成分。太線は観測値、細線は予測値。

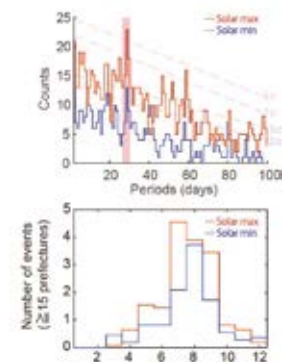


図 2：
 (上) 日々の雷発生数のパワースペクトル
 (下) 月別雷発生頻度。赤線は太陽活動の極大期、青線は極小期。

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。



川手 朋子

Kawate Tomoko

宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所

- Q. 座右の銘は？
A. 一期は夢よ ただ狂へ
Q. マイブームは？
A. 自転車で史跡・博物館巡り
Q. 一度は行ってみたい所は？
A. マヤ・アステカ等中米の遺跡群

PSTEP A02 太陽嵐班にて、太陽フレアの素過程を主に研究しています。太陽フレアでは磁場のエネルギーが粒子やプラズマの運動・熱・放射エネルギーに爆発的に変換され、特に惑星間空間に放出されたプラズマのエネルギーは、地球近傍では磁気嵐として、あるいは放射エネルギーは電離圏の電子密度を増加させるデリンジャー現象として、地球での私たちの暮らしに関わってきます。私の研究内容は、フレアに伴う様々な放射から変換前後のエネルギーを定量評価、またそれを統計的に評価することで、エネルギー解放プロセスと変換されたエネルギー配分の関連性を明らかにすることを目的としています。

これにより、地球に影響を及ぼしうるフレアが観測的にどのような特徴を持つかを理解することができます。変換されたエネルギーはそれぞれ異なる波長で調査することになります。基本的には電波から硬X線までの全波長のデータを解析しますが、最近では特に硬X線や電波観測によって得られる加速電子のエネルギー分布と、極端紫外線の撮像・分光データによって得られるコロナのダイナミクスを比較しています。

もともとの興味が装置寄りで、「どのようにプラズマから光が放射されるか」「どのように光が伝搬するか」「伝搬した光がどのように検出されるか」「検出された光がどのようなデータとして現れるか」等幅広い波長・装置で楽しめる観測的なフレア研究は、自分によく合っていると思います。



日本天文学会 2017 年春季年会での研究発表



飯島 陽久

Iijima Haruhisa

名古屋大学

- Q. あなたの特技は？
A. ジャグリング
Q. 絶対にしないと決めていることは？
A. 後悔することがわかっていることを積極的に選択すること
Q. 座右の銘は？
A. 諸行無常

私の専門は太陽プラズマ物理学で、主に数値シミュレーションを用いて太陽表面付近の現象を調べています。子供の頃から自然科学が好きで、大学では流体力学と数値シミュレーションに興味を持ち、太陽を専門とすることにしました。プラズマは電磁波が流体と相互作用するために、いろいろな現象が現れるところに魅力を感じます。数値シミュレーション自体も奥深く、単なる数値アルゴリズムに見えがちな数値スキームのデザインが、方程式の物理的な性質を出来る限り活かすように深く考えられていることに感銘を受けました。太陽の活動はダイナミックな現象が多く、地球からの距離も近いためとてもきれいな観測画像を撮ることが出来ます。そんな画像を見ていると、「いつかこのきれいな映像をシミュレーションで作ってやる！」とつい大自然に対抗したくなります。

PSTEP A04 周期活動班での活動として、太陽の持つ周期活動の予測手法を研究しています。太陽の11年周期は対流層におけるダイナモ活動が原因であると考えられています。対流層の中は直接の観測がほぼ不可能で、どうなっているかは誰にもわかりません。そこで、観測のしやすい太陽表面の情報を使って 2025 年付近に極大期を迎えると推測される次期太陽活動周期の強さを予測しようとしています。現在のところ現象論的な予測手法が多いのですが、いつかは太陽ダイナモ機構の理解と正確な予測を両立出来る、人間の理解しやすい自己無矛盾なモデルを作りたいと思っています。



IRIS-6: The Chromosphere での研究発表

研究室紹介 ④

情報通信研究機構 宇宙環境研究室

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。

情報通信研究機構宇宙環境研究室は、世界に18か所ある国際宇宙環境サービス (ISES) の日本担当として我が国唯一の宇宙天気予報業務を行う機関です。平日には午後2時30分より宇宙天気予報会議を行い現況把握と予報情報の検討を行うとともに、週末・祝日を含む毎日 Web や電子メールによる情報発信を行っています。毎回1万人ほどがこの情報を受け取り、通信・放送・測位などの電波を使う業務や衛星運用、航空運用などの重要な業務に利用されています。

これらの情報を発信するために、国際連携枠組みのもと人工衛星データを用いるとともに自ら地上観測を行っています。太陽観測については長年茨城県平磯太陽観測施設で観測を続けてきましたが、2015年には鹿児島県山川電波観測



情報通信研究機構

山川太陽電波望遠鏡



施設に新電波望遠鏡を設置し観測を開始しました。また電離圏についてはサロベツ (北海道)、国分寺 (東京都)、山川 (鹿児島県)、大宜見 (沖縄県) の4か所にイオノゾンデを設置し、15分間隔で観測を続けています。

また、宇宙天気予報精度向上をテーマとして、東南アジア等海外での電離圏および磁場観測、人工衛星のスペックを考慮した予報システム、宇宙天気経験モデルおよび物理モデルの開発などの研究を進めています。

PSTEP の中では、当研究室は主に A01 次世代宇宙天気予報システムの構築を担い、ユーザーニーズに対応した情報システムの開発を進めています。このため、2003年から行ってきた「宇宙天気ユースフォーラム」の中心メンバーによる、「宇宙天気ユーザー協議会」を立ち上げ、活発な議論を行っています。(石井 守 / 情報通信研究機構)

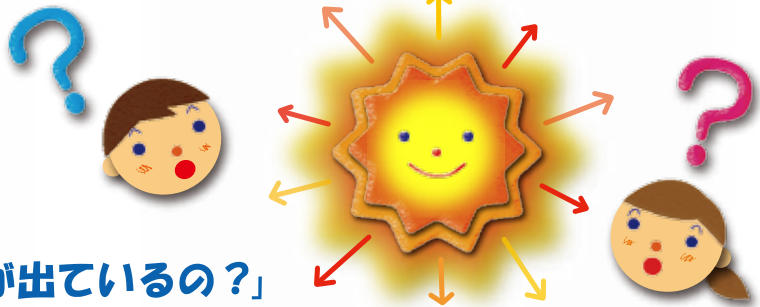


山川太陽観測施設ドーム



研究室メンバー

『宇宙と地球のなぜ? どうして?』



Q. 「太陽からはどんな光が出ているの?」

A. 「太陽からは色々な波長の光 (電磁波) が出ていますが、一番強く出ているのは人間の目に見える可視光です!」

太陽から一番強く出ている光は、人間の目に見える可視光です。プリズムに太陽の光を通すと、虹のように色々な光の帯が見える、という実験をしたことのある人は多いのではないのでしょうか。

そのような目に見える光の他に、太陽からは日焼けの原因になる紫外線、電気製品のリモコンや暗視カメラで使われている赤外線、それから、レントゲン撮影に使われるX線、通信に使われる電波など、さまざまな光 (電磁波) が放射されています。紫外線やX線は人間にとって有害ですが、地球の成層圏より上層の大気で吸収されたり散乱されたりして、地表にはほとんど届きません。大気中の原子や分子は、紫外線やX線をたくさん吸収すると、負の電荷を持った電子と正の電荷を持ったイオンに分離 (電離) します。大気上層部ほどより電離され、多くの電子とイオンが存在するため、この領域は電離圏と呼ばれています。いわば、大気圏と電離圏がバリアとなって、私達生命は守られているのです。

太陽は時々フレアという爆発を起こして、いつもより強い紫外線やX線を出します。すると、大気の電離が活発になり電離圏の電子が増えるために、電波を使った通信に障害が発生します。例えば、GPSの位置情報のずれが大きくなったり、航空管制の電波が吸収されて届かなくなったりします。PSTEPでは、フレアが起こるとどこで通信障害が起こるのか予測するための研究も行なっています。



PSTEP Newsletter No.5 May 2017

発行日：2017年4月30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：中溝 葵（編集長）、松村 充（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/>