

# 日本天文学会 早川幸男基金による渡航報告書

## COSMIC RAYS, ASTROPHYSICAL TURBULENCE AND MAGNETIC RE-CONNECTION

氏 名：高棹真介（名古屋大学PD）\*

\*渡航当時

渡航先：ブラジル

期 間：2016年12月3日-12日

私は2016年12月5日から12月9日にかけてブラジルのNatalで行われた“COSMIC RAYS, ASTROPHYSICAL TURBULENCE AND MAGNETIC RECONNECTION”という研究会に参加してきました。本研究会は乱流やダストの研究で有名なAlexander Lazarianによって企画され、研究会の内容も彼の研究に関係した人々を主に集めた形になっていました。参加者の分野は研究会のタイトルのおおむね幅広く、乱流の基礎研究や乱流中の宇宙線加速・伝播、乱流を考慮したダスト偏光の解釈など多岐にわたります。参加人数は30人程度と、互いに密な議論がしやすい規模でした。ほとんどの参加者は招待講演で一人の発表時間は40分とじっくり話せる長さになっており、私にとってあまり馴染みのない分野の話でも長めのイントロのおかげで多くのことを学ぶことができました。私は太陽フレア観測の現状について話すよう招待され、自身の最近の研究成果をもって挑みました。発表の基本的な部分は、私の指導教官であった柴田一成教授と執筆した太陽・恒星フレアのレビュー論文（Shibata & Takasao, 2016）に基づいており、この論文の宣伝も兼ねています。

太陽フレアは太陽表面上で起こる突発的な磁気エネルギーの解放現象で、磁気リコネクションという物理によって駆動されていると考えられています。この磁気リコネクションというのは、基本的には反平行成分をもつ磁力線のつなぎ変えのこ

とを指すのですが、実際の天体現象では粘性や磁気拡散が小さいため（つまり拡散時間がダイナミクスのタイムスケールより極めて長い）、振る舞いが乱流的になると思われます。太陽フレアは本来の磁気拡散時間よりもはるかに短い時間スケールで生じておりその原因が何かを突き止めるため多くの研究が行われていますが、乱流が磁気エネルギー解放を高速化する上で重要な役割を担っているのではと近年注目されています。しかし、乱流といっても実際にどのような構造として見えるのかはわかりません。乱流構造は宇宙線の加速過程の理解にも重要なので、ぜひ理解したいことの一つです。ぐちゃぐちゃな構造になるのか、ある程度まとまった構造がフラクタルに幅広い空間スケールで形成されるのか、これすらもよく理解されていません。磁気リコネクションは天体現象で普遍的に見られる物理のため、詳しく観測ができていた太陽フレアの観測結果は宇宙物理学で重要な意義を持ちます。

私は2012年に、Solar Dynamics Observatoryという人工衛星の撮像観測データを解析することによって、初めて太陽フレアでプラズモイドと呼ばれるプラズマの塊がリコネクションが起きる電流シート中で形成・噴出する過程を発見しました。このプラズモイドという構造は電流シート中でフラクタルに形成してリコネクションを高速化する可能性が理論的に指摘されており、フラクタルなリコネクションモデルをサポートするものでした。さらに、野辺山電波望遠鏡によるデータから粒子加速がプラズモイドの運動に伴って起きている初めての証拠を見つけ、2016年に論文として発表しました。これらの成果が発表内容の軸と

なるものです。

発表では、いかにしてプラズモイドがエネルギー解放の高速化に寄与しているかという柴田氏の基本的な考えを紹介し、フレア観測の現状を報告しました。さらにフレアの基本問題であるオンセット問題（エネルギー蓄積からいかにして解放に移るのか）にプラズモイドが関係している可能性も指摘しました。ほとんどの聴衆は太陽分野ではないにもかかわらず質疑応答やその後の休憩時間に多くの質問をいただけたので、多くの人に興味をもっていただけたように思います。

質問や議論の中で、Hui LiやAndery Beresnyakなどに「乱流のレベル（たとえば乱流のAlfven-Mach number）を見積もって見たか」と聞かれました。外部（太陽表面对流など）から注入される乱流がリコネクションの高速化に重要かどうかを知りたかったようです。表面对流速度や黒点の移動速度などを使って乱流レベルを見積もると、Lazarianらが提唱する乱流リコネクションが卓越するレベルに遠く及ばないことがわかります（彼らのモデルではプラズモイドの形成がリコネクションの高速化に必要なではない）。そのためフレアのオンセット時は外部からの乱流による影響ではなく自発的な構造形成（プラズモイド形成を伴うようなものがそれにあたる）が卓越すると思われます。ただし、研究会参加者のGrzegorz Kowalらによる外部から乱流を与えない3次元高解像度シミュレーションをみると、自発的に不安定化した電流シートはKelvin-Helmholtz不安定性を通じた乱流も発達し、Lazarianらの乱流リコ



滞在地 Natal のホテルから見た海辺の景色。

ネクションモデルの予言と合う結果に落ち着くという結果になっています。このような結果が現在集まっている観測結果とどのようにつながるのかはまだわかりません。Kowalとも議論しましたが、リコネクションは磁場のトポロジーの変化を伴う過程のため、境界条件（実際の太陽フレアでは例えば足元の黒点構造など）が重要な役割をもちます。彼らのシミュレーションでは周期境界条件になっているなど十分に境界の影響が考慮されていないので、その点は今後の課題として残されています。

最後になりましたが、本研究会の参加は年度始めに予定していなかったため渡航予算がなく、ご支援がなければ参加できませんでした。今回の渡航にいったことで上記のような有意義な議論を重ねることができ大変ありがたく思います。支援してくださった日本天文学会ならびに早川基金の関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。