

日本天文学会早川幸男基金渡航報告書

2019年06月10日採択

申請者氏名	金子岳史 (会員番号 5766)
連絡先住所	〒 464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町 F3-3
所属機関	名古屋大学 宇宙地球環境研究所
職あるいは学年	研究員
任期 (再任昇格条件)	3年 (再任不可)
渡航目的	研究集会での招待発表
講演・観測・研究題目	Apparent Cross-field Superslow Propagation of Magnetohydrodynamic Waves in a Flux Rope Hosting Prominence
渡航先 (期間)	シンガポール (2019年7月30日～7月31日)

2019年7月30日から31日まで、シンガポールで開催された Asia Oceania Geoscience Society 16th Annual Meeting の Magnetohydrodynamic Waves in Solar Magnetic Structure: Seismology and Heating セッションに参加し、招待講演を行いました。本セッションは、太陽コロナの磁気流体波動に関するセッションで、基礎理論のレビューから始まり、磁気流体波動の散逸によるコロナ加熱の理論的研究や、モデルと観測の比較によってコロナ物理量を推定する応用研究まで、様々な研究成果が発表されました。研究対象も、黒点（強磁場領域）上空のコロナループ、プロミネンスと呼ばれるコロナ内の低温高密度プラズマ雲、静穏領域（弱磁場領域）の宇宙空間に開いた磁場など多岐に渡り、磁気流体波動が観測されるあらゆるコロナ領域がカバーされていました。私は、磁気流体波動現象の一つである位相混合に関する理論シミュレーション研究を発表しました。

太陽コロナは非常に高温 (10^6 K) なプラズマ大気層ですが、その加熱メカニズムは完全には解明されていません。また、コロナでは大規模な爆発（フレア）に伴うプラズマ放出現象が発生し、大量の磁化プラズマが地球へ飛来することがあります。このような定常的な加熱や突発的な爆発現象は、コロナの磁気エネルギーが何らかのメカニズムにより散逸、解放されることで発生すると考えられています。コロナ加熱のメカニズム解明は太陽物理学の長年の課題であり、突発的な爆発現象の事前予測は宇宙天気分野でも重要な課題となっています。これらの課題を達成するためには、コロナ磁場の情報が必要不可欠ですが、現在のところ、コロナ磁場を直接観測する手法はありません。そこで、コロナで観測される波動の物理量（伝搬速度や減衰率）から、コロナ磁場のパラメータを導出するコロナサイсмоロジーの研究が行われています。

本研究で着目した位相混合は、磁気流体波動の散逸メカニズムの一つであり、波の位相速度が空間的に（磁力線垂直方向に）急激に変化する領域で発生します。位相混合はエネルギー散逸メカニズムとしては注目されてきましたが、コロナサイсмоロジーに対する有用性は議論されていませんでした。本研究では、位相混合の特殊な位相伝搬特性（非線形非等方）を定式化し、伝搬速度の物理量依存性を明らかにしました。次に、2次元磁気流体シミュレーションを実施し、プロミネンスとコロナの境界付近で位相混合が発生するこ

とを確認し、定式化した伝搬特性から逆算することで、コロナの物理量を推定できることを示しました (Kaneko et al., 2015)。また、今回の発表では、より現実的なプロミネンスの3次元シミュレーション (Kaneko & Yokoyama, 2018) でも位相混合を確認し、物理量導出が可能であることを示しました。ただし、実際の観測では視線方向の積分効果が影響するため、磁場と視線方向の角度が重要になると考えられます。

本研究で明らかにした位相混合の伝搬特性のうち、重要なのは、伝搬方向が磁力線垂直方向であることと、伝搬速度が時間に反比例して遅くなることです。通常、磁力線垂直方向に伝搬する波は速い磁気音波と解釈されます。過去の観測では、磁力線垂直方向に非常にゆっくりと伝搬する波動を速い磁気音波として解釈した結果、非常に弱い磁場強度が導出されてしまい、謎とされている事例もあります。位相混合波はこのような非常に遅い伝搬を明快に説明できます。

本セッションでは、プロミネンス内の磁気流体波動に関する観測研究も発表されました。Y. Zhang 氏は、プロミネンスにしばしば見られる複数のトルネード構造の間に、波動によるエネルギー輸送の兆候があることを示しました。トルネード構造は、撮像観測ではあたかも回転しているように見えるのですが、本当に回転しているかは定かではなく、太陽研究者の間でも意見が対立しています。もし本当に回転しているならば、プロミネンスへ磁気エネルギー（ヘリシティ）を供給しているはずであり、重要な構造となります。発表後、Zhang 氏が発見したケースについて位相混合モデルの適用が可能か議論を行い、共同研究を行うことにしました。

本セッションでは磁気流体波動の多種多様な物理的側面に焦点が当てられましたが、私自身の研究に関連して特に興味深かったのは、圧縮波の熱力学特性についてです。V. Nakariakov 氏は、遅い磁気音波の密度擾乱が、放射冷却率（熱エネルギー損失）や加熱率（熱エネルギー獲得）を変動させるため、振幅が減衰、または増幅することを定量的に示しました。これは Field (1965) で熱不安定の波動モードとして指摘されているものですが、コロナループモデル（磁束管モデル）に適用されたのは初めてです。P. F. Chen 氏は、数値シミュレーションを用いて、コロナプラズマの放出に伴う磁気流体波動を議論しました。シミュレーションの結果として、速い磁気衝撃波からモードコンバージョンにより分離した遅い磁気音波が特定の磁場構造内で停滞し（伝搬速度が非常に遅くなり）、大きな密度上昇を生むことが示されました。私は現在、Chen 氏とほぼ同様の設定で、放射冷却や熱伝導などの熱力学過程も含めたシミュレーションを行っていますが、彼の発表を聞いた後に自分のシミュレーションを見直すと、遅い磁気音波が停滞する高密度領域で熱不安定（凝縮モード）が発生していました。観測的にはコロナレインと呼ばれる低温高密度プラズマ塊の形成に似ています。衝撃波の通過に伴う熱不安定の励起は、星形成の理論モデルとしてよく登場しますが、太陽ではあまり議論されていません（太陽では彩層蒸発や磁場構造の変化が熱不安定を励起すると考えられています）。もし太陽大気中でも衝撃波起源の熱不安定が存在するならば、非常に興味深いです。本セッションは、自身の位相混合の研究を紹介するだけでなく、波動由来の熱不安定を再考する良い機会にもなりました。

最後になりましたが、このような貴重な機会を与えてくださった早川基金および関係者の方々に厚く御礼申し上げます。