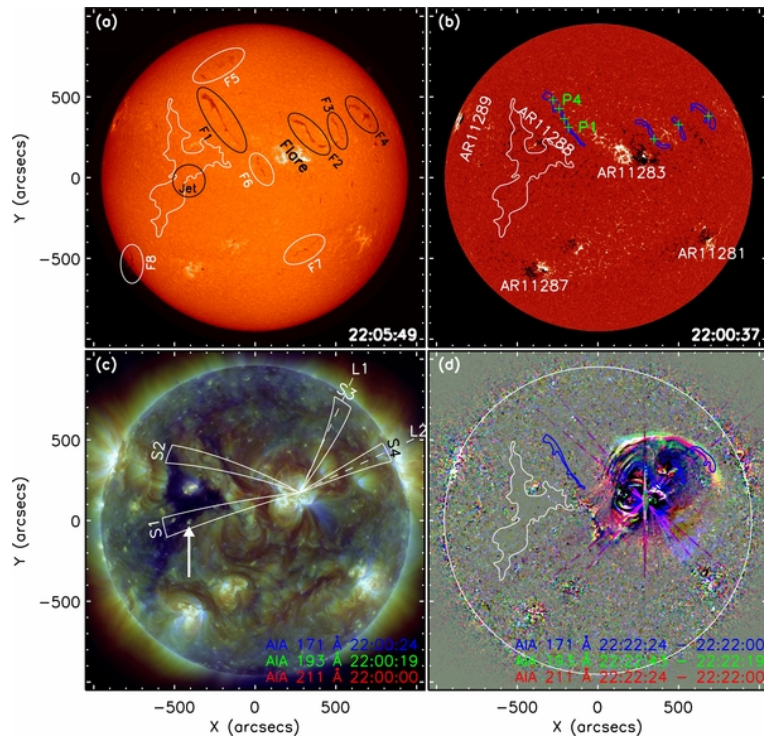


5.2 研究トピックス

A Chain of Winking (Oscillating) Filaments Triggered by an Invisible Extreme-ultraviolet Wave

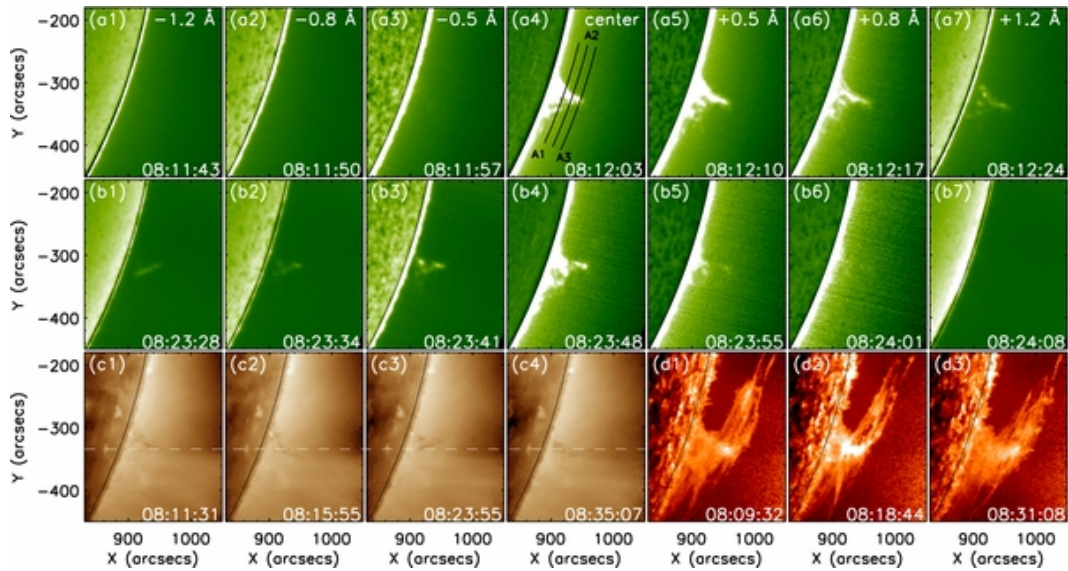
Winking (oscillating) filaments have been observed for many years. However, observations of successive winking filaments in one event have not yet been reported. In this paper, we present the observations of a chain of winking filaments and a subsequent jet that are observed right after the X2.1 flare in AR11283. The event also produced an extreme-ultraviolet (EUV) wave that has two components: an upward dome-like wave (850 km s⁻¹) and a lateral surface wave (554 km s⁻¹) that was very weak (or invisible) in imaging observations. By analyzing the temporal and spatial relationships between the oscillating filaments and the EUV waves, we propose that all the winking filaments and the jet were triggered by the weak (or invisible) lateral surface EUV wave. The oscillation of the filaments last for two or three cycles, and their periods, Doppler velocity amplitudes, and damping times are 11-22 minutes, 6-14 km s⁻¹, and 25-60 minutes, respectively. We further estimate the radial component magnetic field and the maximum kinetic energy of the filaments, and they are 5-10 G and 1019 J, respectively. The estimated maximum kinetic energy is comparable to the minimum energy of ordinary EUV waves, suggesting that EUV waves can efficiently launch filament oscillations on their path. Based on our analysis results, we conclude that the EUV wave is a good agent for triggering and connecting successive but separated solar activities in the solar atmosphere, and it is also important for producing solar sympathetic eruptions.



Shen, Y., Ichimoto, K., Ishii, T.T., Tian, Z., Zhao, R., Shibata, K. 2014 ApJ 786, 151.

Simultaneous Transverse Oscillations of a Prominence and a Filament and Longitudinal Oscillation of Another Filament Induced by a Single Shock Wave

We present the first stereoscopic and Doppler observations of simultaneous transverse oscillations of a prominence and a filament and longitudinal oscillation of another filament launched by a single shock wave. Using Halpha Doppler observations, we derive the three-dimensional oscillation velocities at different heights along the prominence axis. The results indicate that the prominence has a larger oscillation amplitude and damping time at higher altitude, but the periods at different heights are the same (i.e., 13.5 minutes). This suggests that the prominence oscillates like a linear vertical rigid body with one end anchored on the Sun. One of the filaments shows weak transverse oscillation after the passing of the shock, which is possibly due to the low altitude of the filament and the weakening (due to reflection) of the shock wave before the interaction. Large-amplitude longitudinal oscillation is observed in the other filament after the passing of the shock wave. The velocity amplitude and period are about 26.8 km s⁻¹ and 80.3 minutes, respectively. We propose that the orientation of a filament or prominence relative to the normal vector of the incoming shock should be an important factor for launching transverse or longitudinal filament oscillations. In addition, the restoring forces of the transverse prominence are most likely due to the coupling of gravity and magnetic tension of the supporting magnetic field, while that for the longitudinal filament oscillation is probably the resultant force of gravity and magnetic pressure.



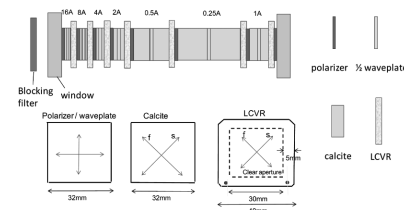
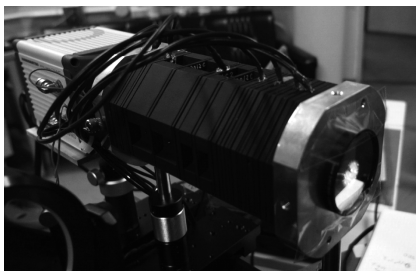
Shen, Y., Liu, Y.D., Chen P.F., Ichimoto, K. 2014 ApJ, 795, 130

狭帯域チューナブルフィルターの開発と太陽彩層観測

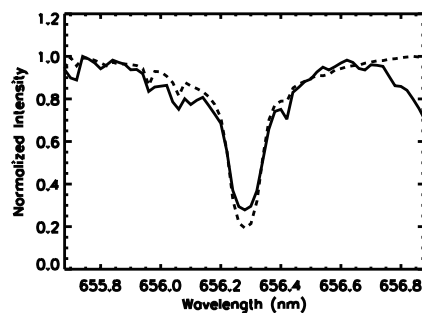
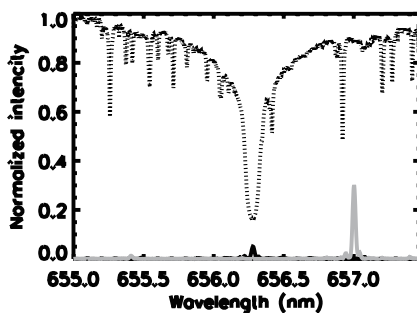
太陽観測衛星「ひので」や高解像度の地上大型望遠鏡による観測から、太陽大気はダイナミックなプラズマの運動に埋め尽くされている事が明らかになってきました。これらの現象の起源を理解するために、高速で広視野での速度場や磁場などの物理量を測定する必要があります。我々はこの分光イメージ観測を実現するべく、高波長分解能で短時間に波長シフトできる「狭帯域チューナブルフィルター」の開発を行ってきました。

このフィルターは7段のステージで構成され、次のような性能を持っています。このフィルターは波長制御に液晶可変遅延素子を用い、方解石に京都大学飛騨天文台既存の32mm径リオフィルターのものを用いました。従来の狭帯域フィルターから次に列挙する点において大きく発展しました。(1) 広帯域の偏光板と1/2波長板を用い500nm–1100nmの任意の波長で観測が可能。(2) チューニング素子として液晶可変遅延素子を用いチューニング時間は約0.1秒という高速化を実現。(3) 波長チューニングに必要であった可動部分がないため油槽を排除でき、軽量でコンパクトであり気泡の混入がない。太陽光を用いた測定で、透過幅は0.025nm(656.3nm)、透過率は15%と良い成績を得ました。

このフィルターを用いて、中国雲南天文台の撫仙湖太陽天文台の1 m真空太陽望遠鏡で2015年1月19-30日に高解像度イメージング観測を行いました。この期間に、いくつかのフレアや彩層の微細構造を観測できました。



左図:フィルター外観、右図:フィルター内部の素子配置



左図:フィルター透過プロファイル (破線はH α 線付近の太陽スペクトル、実線は波長中心と連続光の透過プロファイル)、右図:フィルターの透過波長を変化させて取得した像から再構築したスペクトル線

Hagino, M. et al. 2014, SPIE, 9151, 91515V-1

Ichimoto, K. et al. 1999, PASJ, 51, 383

(萩野 正興 記)

SMART 観測トピックス

2014年10月下旬に、24年ぶりの巨大黒点 (NOAA 12192) が出現した。

本報告の表紙は、飛騨天文台 SMART 望遠鏡 FISCH により撮影した大黒点の画像に画像復元処理を施したものである。シーイングによって解像度の劣化した観測画像から対象の本来の輝度分布を得るために、IDL 上に作成されたスペックルマスキング法による画像復元プログラムを SMART/FISCH により 4 秒間に得られた 100 枚の画像 (観測対象が変化しないと考えられる時間内に得られた短時間露出画像の時系列) に対して施した。この処理方法の詳細については、天文台技報 (<http://hdl.handle.net/2433/180390>) として出版されている。

また、この黒点では、大フレア (X-class flare) が、合計 6 回発生した。このうち、日本時間の昼に発生した 2 回のフレアを観測することができた。



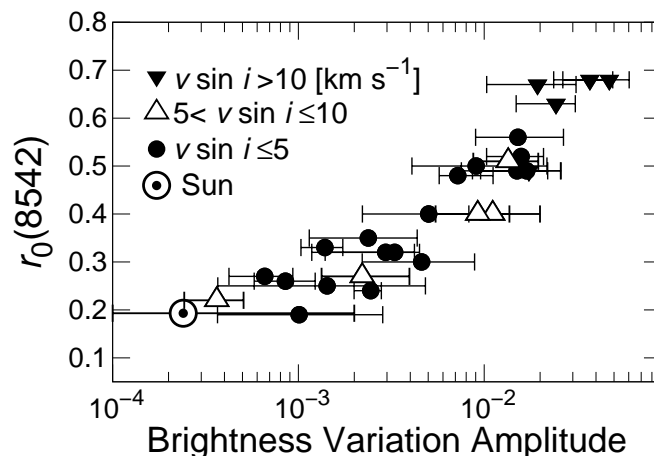
10月25日早朝の大規模フレア (X3.1) のピーク時の SMART 全体像望遠鏡の画像 (時刻は世界時、上が太陽の北、右が太陽の西)

(石井 貴子 記)

スーパーフレアを起こした太陽型星の高分散分光観測

我々は、ケプラー宇宙望遠鏡の測光データの解析により、太陽型星 (G 型主系列星) におけるスーパーフレア (最大級の太陽フレアの $10 \sim 10^4$ 倍、 $10^{33} \sim 10^{36}$ erg のエネルギーを放出) を多数発見してきた (Maehara et al. 2012, Nature, 485, 478, & Shibayama et al. 2013, ApJS, 209, 5)。太陽フレアは、黒点周辺の磁気エネルギーが突発的に解放される爆発現象である。スーパーフレアも同様の現象と仮定すると、そのエネルギーを説明するには、巨大な黒点の存在が必要である。一方、多くのスーパーフレア星では、準周期的な明るさの変動が観測されている。その振幅は、黒点の影響による太陽の明るさの変動の振幅と比べてはるかに大きい。このことも、巨大黒点を持つ星が自転しているとすれば、説明が可能である (Notsu et al. 2013, ApJ, 771, 127)。しかし、本当に太陽のような星で巨大黒点は存在するのか、分光観測による詳細な探査が重要である。

そこで本研究では、スーパーフレア星のうち 50 星について、すばる望遠鏡 HDS を用いて高分散分光観測を行った。観測の結果、50 星中 34 星では、連星の証拠は見られず、温度等の大気パラメータも太陽型星 (G 型主系列星) の範囲にあることが分光的に確認された。これら 34 星について、詳細な解析を行った。まず、自転の効果による吸収線の広がりを測定し、星の射影自転速度 ($v \sin i$) を求めた。求めた値は、星の自転軸の傾斜角の影響を考慮すれば、明るさの変動 (上述) の周期から推定した自転速度と矛盾しなかった。次に、Ca II の吸収線の強度 (星の磁場強度を反映する) を測定し、星の他の性質と比較した。その結果、明るさの変動振幅との間に相関が見られた。特に、大黒点の存在が予想される明るさの変動振幅の大きな星は、例外なく高い彩層の活動性 (=大黒点の存在) を示した。これら 2 点から、上記の明るさの変動は、巨大黒点を持った星の自転で説明できることが支持される。



図：ケプラーで観測された明るさの変動振幅と、Ca II 8542 線中心の深さ $r_0(8542)$ の比較。

Reference:

Notsu, Y. Honda, S., Maehara, H., et al. 2015a PASJ in press (doi:10.1093/pasj/psv001)

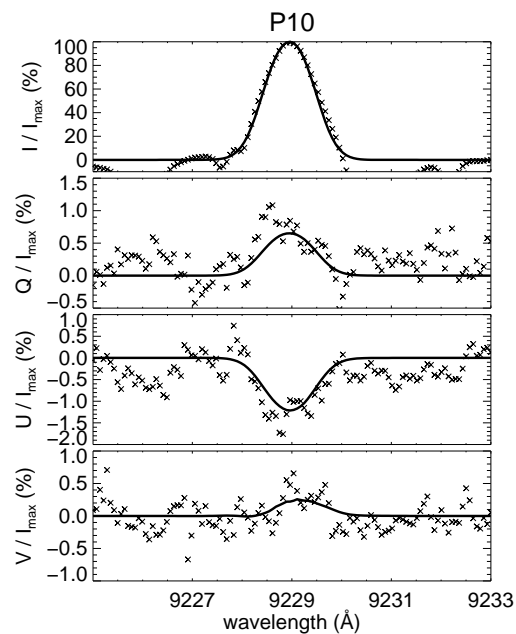
Notsu, Y. Honda, S., Maehara, H., et al. 2015b PASJ in press (doi:10.1093/pasj/psv002)

(野津湧太 記)

太陽物理における偏光分光観測を用いた新しいプラズマ診断手法の開拓 (博士論文)

これまでゼーマン効果を用いた太陽光球の磁場測定は詳細に行われ太陽現象には磁場が密接に関わっていることが明らかとなった。今後は、磁気圧優勢な上空大気（彩層やコロナ）で磁場がプラズマにどのように働くかを定量的に評価することが、コロナ加熱問題をはじめとした様々な現象のメカニズム解明に重要である。一方で、電場は磁気エネルギーの散逸、荷電粒子の加速などに働き、磁気リコネクションや粒子加速において重要である。さらに、部分電離プラズマの中性粒子が磁場を横切の際に電場が中性粒子にかかるので、部分電離プラズマである彩層プラズマのダイナミクスの理解において電場の測定は重要である。スペクトル線の偏光観測を用いて磁場と電場を測定する新しいプラズマ診断手法を開拓するため、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡（DST）を用いて、可視から近赤外の広い波長域（400 nm - 1100 nm）で、高精度（SNで $10^3 - 10^4$ ）な偏光観測ができる偏光分光観測システムを開発した。

これまで電場が太陽プラズマにする仕事は磁場に比べて小さく電場による偏光信号も小さいと推定されるため、電場はほとんど測定されてこなかった。しかし、電離度の低い彩層の中性粒子が磁場を横切の際に中性粒子にかかる電場は測定できると推定される（Gilbert et al. 2002）。そこで私たちは、これまで測定されていない活動領域上空のジェット磁場の測定すると共に強い電場が存在すれば電場を検出することを目的に2012年5月5日DSTで開発した偏光分光観測システムを用いて、シュタルク効果に敏感で電場の測定が期待できる中性水素パッシュェン系列のスペクトル線を用いて活動領域ジェットの偏光分光観測を行った。電場測定の過去の研究では中性水素の主量子数が大きなエネルギー準位における原子偏向は無視されていたが、観測された活動領域ジェットの中性水素は過去の研究の仮定が成立しないことが明らかとなった。Casiniらが開発した原子偏向及び磁場と電場の効果を考慮した偏光プロファイル計算コードを用いて、活動領域ジェットは磁場に沿っていること、電場の効果を示す偏光信号が検出されないことを明らかにしたと同時に、中性水素が磁場を横切ることによって中性水素にかかる電場の上限値を導出した。さらに観測された中性水素の速度と電場の上限値から導出される中性水素が磁場を横切る速度の上限値を比較することで、中性水素は磁場に凍結していることを明らかにした。



観測された偏光プロファイル（十字）とフィッティング（実線）

(阿南 徹 記)

ドームレス太陽望遠鏡におけるプロミネンスの多波長偏光分光観測 (修士論文)

プロミネンスの磁場構造モデルには様々なモデル (Kippenhahn and Schluter 1957, Kuperus and Raadu 1974, etc) が存在するが、未だ詳細な磁場構造は解っていない。磁場を測定する主な方法としては、ゼーマン効果 (スペクトル線の分離による直線・円偏光の発生)、ハンレ効果 (直線偏光の回転、偏光率の低下) などが挙げられ、これらを用いて磁場強度、磁場の向きを求めることができる。一般的にプロミネンスは2種類に大別され、静穏領域に存在する静穏型プロミネンス、活動領域付近に存在する活動型プロミネンスがある。それぞれの典型的な磁場強度は 8 - 15 G、20 - 70 G であると言われている。

我々は、2014年9月2日に太陽の西側のリムに存在した静穏型プロミネンスについて、ドームレス太陽望遠鏡 (DST) の偏光解析装置を用いて多波長偏光分光観測を行い、静穏型プロミネンスの磁場を測定した。DSTでの観測にあたり、2014年6月に導入した新しいカメラ: ORCA-Flash 4.0を用いた。我々はこのカメラを偏光観測に用いるための観測実験も行い、高精度化 (測光精度: $\sim 3 \times 10^{-4}$ 、回転波長板回転角の要求精度: 0.2 deg) を実現した。

観測から得られたデータを用い、ゼーマン効果、及びハンレ効果を考慮して解析を行ったところ、視線方向磁場強度は $\sim 10 - 13$ G と、静穏型プロミネンスの磁場強度として矛盾しない結果を得た。また、磁場の向きを求めるにあたりハンレ・ダイアグラム (Lopez and Casini 2002, Merenda et al. 2006) を用いたところ、磁場の向きは視線方向に対して右斜め上方向であり、磁場の向きも求めることができた。上記の方法でDSTの水平分光器を用いた多波長同時観測を行うことにより、より精度の高い観測ができると考えられ、未だ謎が多いプロミネンスの3次元磁場構造を詳細に求めることができると期待される。

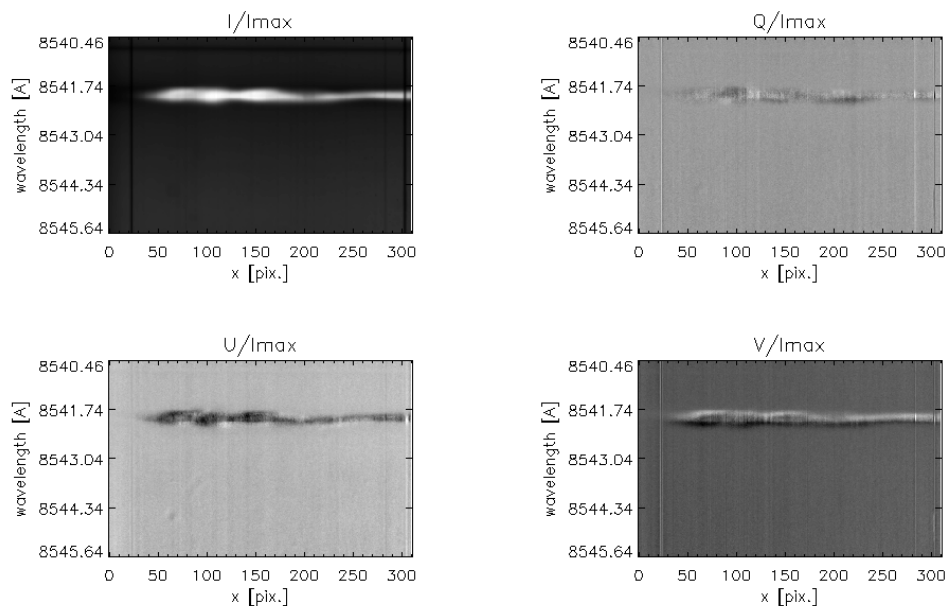


図: 8542Å のストークス $IQUV$ マップ

(佐野 聖典 記)

磁気圧優勢なプラズマ中に形成される電流シートのダイナミクス (修士論文)

磁気リコネクションは我々の宇宙で観測される様々な爆発現象において重要な物理過程の一つである。太陽フレア ($10^{29} \sim 10^{32}$ erg) において、磁気リコネクションで駆動される統一的なモデルは観測される現象を良く説明することが知られている。近年、太陽以外におけるフレア現象として強磁場中性子星であるマグネターにおいて巨大なフレア現象 ($10^{43} \sim 10^{47}$ erg) が観測されている。このようなマグネターフレアに伴う観測結果と太陽フレアの観測において多くの類似点がみられることから、マグネターフレアが磁気リコネクションで駆動されているのではないかと期待される。

過去の実験室プラズマの研究などから、速い磁気リコネクションは電流シートの薄さがイオンのラーモア半径もしくはイオン慣性長程度になるときに起こることが知られている。しかしマグネターの磁気圏でのプラズマではこのような薄さの電流シートを形成することは荷電粒子の密度が不足するために困難である。そこで本研究では粒子密度を補うために、(1) 形成された電流シートの圧縮、(2) 強電磁場による電子陽電子対生成を考えた。

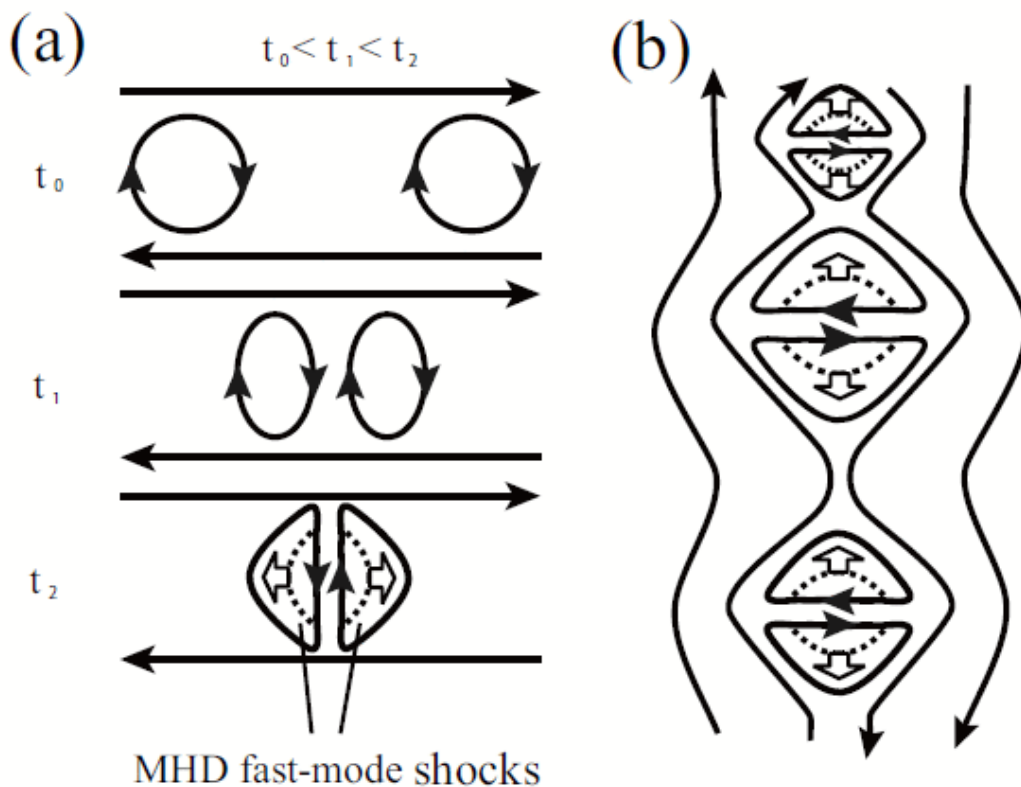


図: (a) 電流シートの圧縮過程及び MHD fast-mode shock の発生過程についての模式図。(b) 磁気レイノルズ数の大きな電流シートにおける本研究から得られた描像。この描像ではプラズモイドの合体過程に伴って発生する衝撃波によって、粒子加速が効率的に起こりうる。

本研究ではまず(1)の過程に注目し、磁気圧優勢なプラズマ中でのローレンツ力による電流シートの圧縮過程を1.5次元磁気流体(MHD)シミュレーションを用いて詳細に調べた。このような圧縮過程において、ガス圧を無視した場合の解析的な自己相似解が知られている。実際の電流シートではガス圧は有限であるため、圧縮過程が進むと自己相似解が破綻する。解析解において電流シートの厚みが0に近づく時刻 t_0 の付近およびその後の電流シートの時間発展を調べるため、本研究では1.5次元MHDシミュレーションを行った。その結果 t_0 付近で、電流シートからMHD衝撃波が形成および伝播することを確認し、その後面に残された電流シート中の物理量を t_0 の後にも詳細に調べた。本研究ではランキン=ユゴニオ関係式から我々は圧縮された電流シート中の物理量が、初期のプラズマベータに関するべき乗則に従うことを解析的に導出した。しかしこのべき乗則は極端な強磁場が存在するマグネターでは適用出来ず、マグネターにおける電流シートの圧縮過程では相対論的MHD過程を考える必要がある。本研究において得られた結果により、low- β 中での圧縮された薄い電流シート中の物理量を推定する一助になると期待される。

(竹重 聡史 記)