飛驒天文台 50年のあゆみ
50 years of the Hida Observatory

ASTRONOMICAL OBSERVATORY,
GRADUATE SCHOOL OF SCIENCE, KYOTO UNIVERSITY

京都大学大学院理学研究科附属天文台

2018 年 11 月

目次

1　まえがき: 飛騨天文台50周年にあたって

京都大学の天文台は、1910年、京大吉田キャンパスの時計台の近くに、ドイツから輸入したザートリウス18cm屈折望遠鏡を設置したのが始まりです。当時、京大物理学教室で測地学や固体物理学を研究していた新城新蔵博士が、ドイツ・ゲッチンゲンに留学したおり、ゲッチンゲン天文台長カール・シュバルツシルド (Karl Schwarzchild) 博士の講義に感銘を受け、これからは新しい宇宙物理学の時代だ、と京大に戻って宇宙物理学研究を開始したのが、京大の宇宙物理学・天文学の始まりでした。さらに新城博士はゲッチンゲンでザートリウス望遠鏡を購入して日本に戻り、上記のように京大最初の天文台を設立したのです。**1920年**には、新城博士は主任を務めていた物理学教室第4講座 (宇宙物理学) を**宇宙物理学教室**として独立させました。

その後、京都大学周辺の環境が次第に悪くなってきたことを受けて、**1929年、京都東山に花山天文台が設立**され、初代天文台長には、新城博士の最初の弟子の山本一清博士が着任しました。山本博士は、日本中の天文好きの人々や子供たちを花山天文台に招き、また日本中に出かけて行って天文学の普及に非常に熱心に努めました。その結果、日本中にアマチュア天文家が生まれ、花山天文台は「アマチュア天文学の聖地」と呼ばれるようになりました。第2次大戦後、花山天文台では、山本博士の弟子の宮本正太郎博士 (第3代台長) が火星に偏東風を発見するなど火星気象学の開拓で大きな成果をあげました。また、宮本博士率いる花山天文台はアポロ計画の前にNASAの主導する月面地図作り国際 (米欧日) 共同観測に世界の三極の鼎の一つとして協力し、月の観測的研究でも大きな足跡を残しました。

花山天文台のある京都東山地区も、戦後の山科の発展とともに周辺の環境が急速に悪化したため、**1968年に飛騨天文台が設立**されました。このとき、宮本正太郎博士の月・火星観測での活躍が飛騨天文台設立の大きな原動力となりました。以来、飛騨天文台は今年に至るまで、京都大学の最先端の天文台として50年もの長きにわたり太陽系観測天文学をリードしてきました。1968年の飛騨天文台設立当初は、花山天文台より移設した60cm反射望遠鏡が唯一の望遠鏡だったのですが、**1972年**に屈折望遠鏡では東洋一の口径の**65cm屈折望遠鏡**ができ、花山天文台時代からの伝統を引き継いで惑星・月観測で活躍しました。

1979年になると、当時で26億円もの予算をつぎ込んで、**太陽専用のドームレス太陽望遠鏡 (DST: Domeless Solar Telescope) が完成**しました。太陽分野では我が国初の世界トップクラスの太陽望遠鏡でした。このDST開発に関しては、製造元のカールツァイス社ばかり有名になっていますが、京大飛騨天文台で技術面を担当していた中井善寛助手と船越康宏技官の超人的な働きなしには決して完成できなかったことを記録しておくべきでしょう。

それ以来40年近くたちましたが、DSTと主装置たる水平・垂直分光器は、太陽分光観測では今だに世界のトップクラスの性能を維持しています。その間、太陽フレアの分光観測から Hα 線赤方非対称の謎を解明し、彩層蒸発 (上昇流) の反作用としての彩層下降流の存在を確立しました (一本潔と黒河宏企 1984)。この研究は、DST・分光器の世界トップクラスの性能をいかんなく発揮した研究であり、太陽彩層のフレア構造・ダイナミック

スを解明した研究として、太陽物理学の歴史に残る研究と言えます。その他、DST・分光器の成果としては、エラーマン・ボム (ムスターシュともいう、光球・彩層の小爆発現象) の研究 (北井礼三郎 1983、黒河宏企ら 1982) が特筆できますが、当時、世界で同レベルの観測的研究を推進できる太陽観測所があまりにも少なかったこともあり、世界的な注目を集めなかったのは残念なことでした。エラーマン・ボムに関しては、日本のひので衛星 (2006 年)、米国の SDO 衛星 (2010 年)、IRIS 衛星 (2013 年) の打ち上げのおかげで、現在ではようやく誰にでも研究できるようになり、30 年の時を経て、飛騨天文台の 1980 年代の論文が最近頻繁に引用されるようになっています。

1992 年には、飛騨天文台に太陽全面を Hα 線フィルターを用いて速度場観測ができる**フレア監視望遠鏡 (FMT: Flare Monitoring Telescope)** ができました。太陽黒点が多いときなど、DST を用いて太陽面のごく一部を高解像度で観測していると、別の場所でフレアが発生し、重要なフレアを見逃すことが多々あります。そういう悔しい経験に基づき、そのようなことがないようにしたい、という黒河宏企台長 (第 8 代台長) のアイデア (熱い思い) によるものでした。これは口径 6.4cm の屈折望遠鏡を 6 本搭載したもので、1500 万円ほどの予算でできました。FMT は Hα 速度場観測で常時太陽面全体を監視しているという特徴を生かし、1997 年から 10 年間にモートン波 (太陽コロナを伝搬する衝撃波に起因する波動現象) を 20 例以上発見しました。これは当時の世界全体で発見されたモートン波の実に半分近くに達するものでした。

その後、**2003 年**には、黒河宏企台長の尽力により、DST の改修 (4 億円) とともに、FMT の発展版である、**太陽磁場活動望遠鏡 (SMART: Solar Magnetic Activity Research Telescope)** ができました (建設費 4 億円)。SMART は、口径 20cm 屈折望遠鏡 2 本と口径 25cm 屈折望遠鏡 2 本の計 4 本からなる望遠鏡で、20cm の 2 本は太陽全面の Hα 像と磁場を観測し、25cm は太陽面の一部の活動領域だけを少し高分解能で観測するという目的で設置されました。Hα の全面太陽観測は、FMT を引き継ぎ、しかも太陽全面 Hα 単色像の空間分解能では世界一という性能もあって、モートン波の観測で特筆すべき成果をあげています (浅井歩ら、2012 年)。2016 年からは、一本潔教授のアイデアにより、Hα 線の周辺 Hα -9 Å∼ +9 Å を 0.25 Å 毎に狭帯域フィルターで太陽全面を単色像観測するという世界初の装置 **SDDI (Solar Dynamics Doppler Imager)** が開発され SMART に搭載されました。0.25 Å おきに波長が異なる単色像が 73 種類も得られるので、従来に比べると、波長分解能が格段に改善され、ラインプロファイルも 0.25 Å の分解能で再現できる (いわば 2 次元分光ができる) のが特徴です。今後、プロミネンス/フィラメント噴出 (コロナ質量放出) の検出や予報 (宇宙天気予報) に活躍することが期待されています。また、SMART の磁場観測に関しては当初のプランを大幅に改善した新しい磁場観測装置 (マグネトグラフ) が永田伸一助教たちによって開発され、今後の活躍が期待されています。

FMT は、SMART 完成後、基本的なデータの特徴が SMART と共通ということもあって、2010 年に石塚睦博士、イシツカ・ホセ博士の協力により、ペルー・イカ大学に移設されました。その後、ペルー FMT で育った学生の一人の、Denis Cabezas 君が京大大学院理学研究科物理学・宇宙物理学専攻の博士課程 (指導教員:一本) に進学したのは、大変嬉しい出来事でした。

2014 年には、かつて京大理学研究科大学院博士課程 (指導教員:柴田) で博士号をとった

Ibrahim 博士が中心となって、サウジアラビアにも同様の FMT 型太陽望遠鏡が設置されました。ここに至って、太陽全面 Hα 速度場観測を全世界で 24 時間体制で推進するという **CHAIN (Continuous H Alpha Imaging Network)** プロジェクトが本格的にスタートしました。CHAIN プロジェクトの推進には、飛騨天文台の上野悟助教が大きな貢献をしています。

DST については、近年、上野悟助教らによる**スペクトロヘリオグラフ**の開発、一本潔教授らによる**偏光分光装置**の開発、三浦則明博士 (北見工業大学教授) らによる**補償光学観測装置**の開発など、地上観測所ならではの新装置開発が続々となされています。これらの新装置は未来のスペース太陽観測装置の基礎となるものであり、飛騨天文台のスペース観測の技術開発の拠点としての役割は、まだまだ大きいものがあると言えます。

飛騨天文台の DST は、40 年にわたって、地上太陽観測の世界的拠点の一つとして、日本と世界の地上太陽観測をリードしてきました。しかしその一方で、DST の性能は世界トップクラスなのに論文があまり出ていないのはなぜか? という批判がこれまで国内外からたびたび言われてきました。確かに論文の質は高いが、論文の数とか引用数とかについては、現在の世界の最先端の太陽観測所の数字に比べると見劣りがするのは否めません。しかしながら、飛騨天文台は、論文数では決して測ることのできない大きな貢献を、日本と世界の太陽物理学分野に対して成し遂げてきました。それは**人材育成**に関して、です。飛騨天文台の DST 完成以後の 25 年間 (1979 年–2004 年) に、京大附属天文台において太陽物理学の分野で博士号を取得した者の数は 26 人になります (理論も含む)。それに対して、同じ期間に、日本の他大学 (総研大を含む) において太陽物理学分野で博士号を取得した者の数は 44 人となります (理論も含む)。実に日本の太陽物理学全体の博士の 3 分の 1 を上回る数 (26/70) を京大は輩出したことがわかります。

人材育成に関する京大太陽グループの貢献度は別の数字からも見ることができます。日本の太陽物理学の分野の査読雑誌論文を一つでも書いたことのある、現役研究者 (大学院生、研究員、現役教員) のリストが http://hinode.nao.ac.jp/user/joten/paper_year.html にあり、現在 65 名となっています。(これが日本の現役の太陽物理学者のトータルの数) このうち京大大学院 (博士、修士) 出身・在籍者は全部で 25 人です。京大学部卒は 2 人。これに京大博士出身者の弟子 6 人、孫弟子 6 人を含めると、全部で 39 人となり、日本の太陽物理学分野の過半数となります。まさに京大飛騨天文台が日本の太陽物理学分野の研究者の半数近く (数え方によっては過半数) を輩出してきたと言えます。飛騨天文台に直接にしろ間接にしろ影響を受けて育った太陽物理学者が、実は日本のスペース太陽観測を支えてきた、と言えるのです。

このような人材育成機関としての役割を、京都大学飛騨天文台は今後も果たせるのか否かが、実は日本の太陽物理学の将来にとってきわめて重要であることがわかります。これは見方を変えると、日本の太陽物理学分野の層の薄さと、その将来への不安にもつながっています。

現在、日本の太陽物理学コミュニティは、ようこう衛星 (1991–2001: Solar A)、ひので衛星 (2006–現在: Solar B) の成功を受けて、Solar C 衛星を計画中です。昨今の予算削減のあおりを受けて、Solar C 衛星は当初の大型衛星計画から中型衛星に縮小されました。京大飛騨天文台はこの日本の太陽スペース計画にいかに関与するのか、地上観測拠点・人

材育成拠点としての役割を今後も維持できるのか、岐路に立たされていると言って良いでしょう。

しかしながら、若い人々には過去に引きずられる必要はないことも強調しておきたいと思います。何を研究するかは若者たちが決めるべきことです。宇宙物理学・天文学分野は未解決の謎に満ち溢れています。チャレンジすべき課題は無数にあります。狭い蛸壺にはまり込みさえしなければ、未来は明るいと思います。京大では岡山天文台ができ、東アジア最大の3.8mせいめい望遠鏡が完成しました。太陽フレアを様々な天体に応用したような分野、宇宙の爆発現象や突発現象、恒星スーパーフレアを世界最高の精度で観測できる新しい望遠鏡が動き出します。「恒星の太陽物理学」という新分野をスタートさせることができます。一方で、太陽の地球や人間への影響が次第に判明し始め、20年ほど前から宇宙天気という新しい分野が始まっています。飛騨天文台においても宇宙天気研究は重要課題となっています。太陽と地球・生命をつなぐと驚くべき発見があるかもしれません。岡山天文台からは、「太陽系外惑星の宇宙天気」というような新分野が生まれるかもしれません。京大宇宙ユニットでは、人類の宇宙進出へ向けて新しい学問「宇宙総合学」の開拓が始まっています。これらはみな多かれ少なかれ、飛騨天文台のこれまでの研究成果の結果、生まれてきた新分野であることを強調したいと思います。

最後に、これまで飛騨天文台に様々な面から応援をしてくださった歴代の理学研究科長・京大総長のみなさま、予算提案時や災害時にご支援くださった理学研究科事務室・本部事務室のみなさま、飛騨天文台を日常的に支えてくださった旧・現教職員や卒業生・学生・院生のみなさま、さらには学内外で飛騨天文台を応援してくださった多くの皆様方に、深く感謝申し上げて、本稿の終わりとしたいと思います。

平成30年 (2018年) 10月28日
京都大学大学院理学研究科
附属天文台台長　柴田一成

(注) 当年表では、出版当時、花山天文台のクック屈折望遠鏡の改造を昭和44年 (1969年) 3月としましたが、その後 昭和43年 (1968年) 5月 であることが判明しました。引用される際にはご注意ください。

2　50年のあゆみ

2.1　沿革と主な施設整備年表

	飛騨天文台	京大天文台 (花山、生駒、岡山)
1910		京大天文台の始まり (ザートリウス望遠鏡を京大本部構内の小ドームに設置)
1929		花山天文台設立 (10 月)
1941		生駒山太陽観測所設立 (7 月)
1958		花山天文台及び生駒山太陽観測所を理学部附属天文台として官制化 (4 月)
1960		花山天文台 60 cm 反射望遠鏡完成 (3 月)
1961		花山天文台 現在の太陽館と 70 cm シーロスタット完成 (3 月)
1968	飛騨天文台設立、管理棟・本館・60 cm 反射望遠鏡ドーム完工、60 cm 反射望遠鏡を花山天文台より移設、開所式挙行 (11 月)	
1969		花山 クック 30 cm 屈折望遠鏡を改造し、ツァイス 45 cm レンズを搭載 (3 月)
1972	65 cm 屈折望遠鏡及び新館完成竣工式挙行 (4 月)	生駒山太陽観測所閉鎖 (3 月)
1979	ドームレス太陽望遠鏡 (DST) 完成 (5 月)	
1980		花山天文台 新庁舎 (現 新館) 完成 (3 月)
1988	ドームレス太陽望遠鏡駆動コンピューター更新 (3 月)	
1991	ドームレス太陽望遠鏡塔体パネル一部修理工事完了 (3 月) 15 m ドーム (65 cm) 駆動装置更新工事完了	
1992	太陽フレア監視望遠鏡 (FMT) 完成 (3 月)	花山 別館 5 m ドーム屋根張り替え工事完了 花山 モザイク回折格子制御装置設置 (太陽館分光器室)
1993		花山 本館 9 m ドーム屋根張り替え工事完了
1995	専用道路落石防護工事施工 (10 月)	
1996	研究棟及び管理棟外壁等改修工事施工 (11 月)	

	飛騨天文台	京大天文台
1997	ドームレス太陽望遠鏡に高分解能 太陽磁場測定装置新設 (3 月) 60 cm 反射望遠鏡カセグレン焦点に 分光器設置 7 m ドーム (60cm) 駆動部改修工事施工	
1998	60 cm 反射望遠鏡赤道儀駆動部改修 工事施工 (3 月)、専用道路に光ケーブル 敷設工事施工、高速データ通信回線 (384 Kbps) 開通 (10 月)	
1999	研究棟・管理棟改修工事及び 管理棟合併浄化槽敷設工事施工	花山 18 cm 屈折 (ザートリウス) 望遠鏡 に太陽 Hα 単色像 デジタル撮影シス テム完成 (3 月)
2001	65 cm 屈折望遠鏡 15 m ドーム スリット等改修工事完了 (3 月)	
2002		花山 建物等改修工事施工 (3 月)
2003	太陽活動総合観測システム (SMART 望遠鏡ほか) 新設 (3 月) ドームレス太陽望遠鏡塔体冷却システム 改修工事完了 (11 月)	
2005		3.8m 望遠鏡開発に対し、藤原洋氏 (インターネット総合研究 所代表取締役) が支援開始 (5 月) 国際会議 6th Solar-B を京都で開催 (参加者:140 名)
2006	ダークファイバーと岐阜情報スーパー ハイウェイを利用した高データ速 通信回線 (100 Mbps) 開通 (3 月) 65cm 観測棟屋根・電源系改修工事	
2008	研究棟耐震補強工事施工 (12 月)	
2010	フレア監視望遠鏡を飛騨天文台から イカ大学 (ペルー) へ移設 (3 月) 管理宿泊棟屋上防水工事完了	
2011	SMART-T3 高速撮像装置 (FISCH) 観測開始 (9 月) ドームレス太陽望遠鏡垂直分光器室に 広帯域スペクトロポラリメータ完成	
2012	SMART にシーイングモニター (SHABAR) 設置	

	飛騨天文台	京大天文台
2013	高山で Hinode-7 国際会議を開催 (11 月) (参加者:242 名) SMART-T4 新マグネトグラフ観測開始 大型営繕工事 4 件実施	花山天文台が京都市の “京都を彩る 建物や庭園” に選定される (1 月) 3.8 m 望遠鏡建設の概算要求 (補正予算) 措置決定 (12 月)
2014		花山天文台が京都市の “京都を彩る 建物や庭園” に認定される
2015		3.8 m 望遠鏡用ドームの概算要求予算 措置決定 (1 月)
2016	SMART 望遠鏡 SDDI 観測開始 (5 月) ドームレス太陽望遠鏡水平分光器室に 多波長偏光分光観測装置完成 ドームレス太陽望遠鏡制御装置更新 65cm 屈折望遠鏡制御装置更新	
2017	ドームレス太陽望遠鏡水平分光器室に 新補償光学装置完成	花山 本館ほか外壁等改修工事 (3 月) 国際会議 4th APSPM を京都で開催 (参加者:151 名)
2018		岡山天文台に 3.8 m 望遠鏡 (せいめい 望遠鏡) 完成 (7 月)

2.2 職員録

京大・理・附属天文台に 1963 年度以降在籍の職員について、着任年度順に表示。年次報告 (1989 年度以降) および飛騨天文台日誌 (1968 年–1990 年、1996 年–1998 年) に基づき、作成しました。間違いがあるかも知れませんので、お気づきの点がございましたら御一報下さい。

京大・理・附属天文台　歴代職員
（1963年度以降在籍の職員。着任年度順。）

氏名	職名	勤務地	着任年度	離任年度
宮本正太郎	教授、台長	花山	1958	1975
齋藤澄三郎	助手、講師	花山	1960	1988
中井善寛	助手、講師、助教授	花山	1961	1994
久保田諄	助手、非常勤講師	花山	1961 1976	1962 1990
服部昭	助教授、台長 (1959～1961年度は理学部助手・ 助教授として附属天文台に貢献)	花山、飛騨	1962	1982
田中利一郎	非常勤講師	花山	1963頃	1965頃
石浦清美	臨時職員、技能補佐員、 技能員、技官、技術専門職員	飛騨	1964	2006
母袋久	事務職員	分室	1964	1980
松井宗一	技能員、技官、実験助手、 技能補佐員	花山、飛騨	1966	1994
稲田藤四郎	技能補佐員	花山	1968以前	不詳
神野光男	助手、助教授、教授	飛騨	1968	1986
赤羽徳英	教務補佐員、技官、講師、 助教授	飛騨	1968	2001
荻町洋一	技官	飛騨	1968	1990
椿都生夫	非常勤講師	花山	1970	1973
平田力夫	技能補佐員	飛騨	1970	1988
斎藤きよ	技能補佐員	飛騨	1972	1973
北川みよ	技能補佐員	飛騨	1972	1973
川上せき	技能補佐員	飛騨	1973	1977
高屋かよ	技能補佐員	飛騨	1975	1988
船越康宏	教務補佐員、技官、助手	花山、飛騨	1977	1998
黒河宏企	教務補佐員、助手、助教授、 教授、台長	飛騨、花山	1978	2005
高井道子	技能補佐員	飛騨	1978	1985
広田くに	技能補佐員	飛騨	1978	1979
川口市郎	教授・台長（宇宙物理兼任）	花山	1979	1986
山口カズ	技能補佐員	飛騨	1979頃	1979頃
阿閉里美	事務補佐員	分室	1981	1992
上木富美子	技能補佐員	飛騨	1982	1999
上木友子	技能補佐員	飛騨	1982	1982

末松芳法	教務補佐員	飛騨	1982	1983
志賀(淵崎)成子	事務補佐員	分室	1983	1985
七本登美子	技能補佐員	飛騨	1983	1984
北井礼三郎	助手、准教授、非常勤講師	花山、飛騨、花山	1983	2015
澤池美恵	事務補佐員	分室	1986	1987
小暮智一	教授・台長（宇宙物理兼任）	花山	1987	1987
和田千代	技能補佐員	飛騨	1987	1992
牧田貢	教授、台長	花山	1988	1995
上平(岸本)寿佳	事務補佐員	分室	1988	1998
岩崎恭輔	教務補佐員、非常勤講師	花山	1989 2002	1990 2005
花岡庸一郎	研究員	花山	1989	1989
中嶋福安	技能補佐員	飛騨	1989	1989
辻井秀男	技能補佐員	飛騨	1990	1995
木村剛一	技官、技術職員、技術専門職員	飛騨	1990	-
松崎糸子	技能補佐員	飛騨	1993	1999
門田三和子	技能補佐員、研究支援推進員	飛騨	1995	-
當村一朗	研究員	花山	1995	1995
野林幸彦	技能補佐員	飛騨	1996	2001
山崎達哉	研究員	飛騨	1997	1997
Herdiwijaya, D.	研究員	花山	1997	1999
名筋容子	技能補佐員	花山	1997	2001
小川康二	技能補佐員	飛騨	1997	1997
真柄哲也	研究員	飛騨、花山	1998 2006	1999 2006
上野悟	助教	飛騨	1998	-
木内香子	技能補佐員	花山	1998	1998
山内ゆか	事務補佐員	分室	1998	2000
柴田一成	教授、台長	花山	1999	-
吉村圭司	研究員	花山、飛騨、花山	1999 2003	2000 2003
武田秋	教務補佐員	花山	1999	1999
大山真満	研究員	花山	1999	2000
Chen, P-F.	研究員	花山	1999 2001	1999 2002
鴨部麻衣	技能補佐員	花山	1999	-
人見久恵	技能補佐員	花山	1999	2000
井上理恵	技能補佐員、臨時用務員、 労務補佐員	飛騨	2000	-

石井貴子	研究員、派遣職員、 教務補佐員、研究員	花山	2000	-
福田秀子	臨時用務員、労務補佐員	飛騨	2000	2006
Wang, T-J.	研究員	花山	2000	2000
中岡恵美	事務補佐員	分室	2000	2007
野上大作	助教	飛騨、花山	2000	2014
殿岡英顕	技能補佐員	花山	2001	2005
秋山幸子	研究員	飛騨	2001	2001
Brooks, D.H.	研究員・教務補佐員	花山	2001	2004
磯田安宏	技能補佐員	花山	2001	2002
仲谷善一	技能補佐員、教務補佐員、 技術職員、技術専門職員	飛騨、岡山	2001	-
浅野芳洋	研究員	飛騨	2001	2002
田沼俊一	研究員	飛騨、花山	2001	2005
稲田孝雄	技能補佐員	飛騨	2002	2006
永田伸一	助教	飛騨	2003	-
小森裕之	技能補佐員	飛騨	2003	2009
Liu, Y.	研究員	飛騨	2003	2005
枝村聡子	技能補佐員	花山	2003	2007
吉永尚生	技能補佐員・教務補佐員	花山	2003	2004
宮腰剛広	研究員	花山	2003	2005
森本太郎	研究員	飛騨	2003	2005
小林燕	技能補佐員	花山	2003	2003
Dun, J.	研究員	花山	2003	2006
木村広美	技能補佐員	飛騨	2004	2005
上村美智子	事務補佐員	分室	2004	2014
Su, J.	研究員	飛騨	2004	2004
三羽ちひろ	事務補佐員	分室	2005	2007
岡光夫	研究員	花山	2005	2007
山内洋平	研究員	飛騨	2005	2006
Wang, D.	研究員	飛騨	2005	2005
青木成一郎	技術補佐員、教務補佐員、 非常勤講師	花山	2006	-
萩野正興	研究員	飛騨、花山	2006 2012	2007 2014
前田耕一郎	非常勤講師	花山	2006	2008
He, H.	研究員	花山	2006	2006
前原裕之	研究員、教務補佐員、 特定准教授	花山、岡山	2007 2017	2012 2018

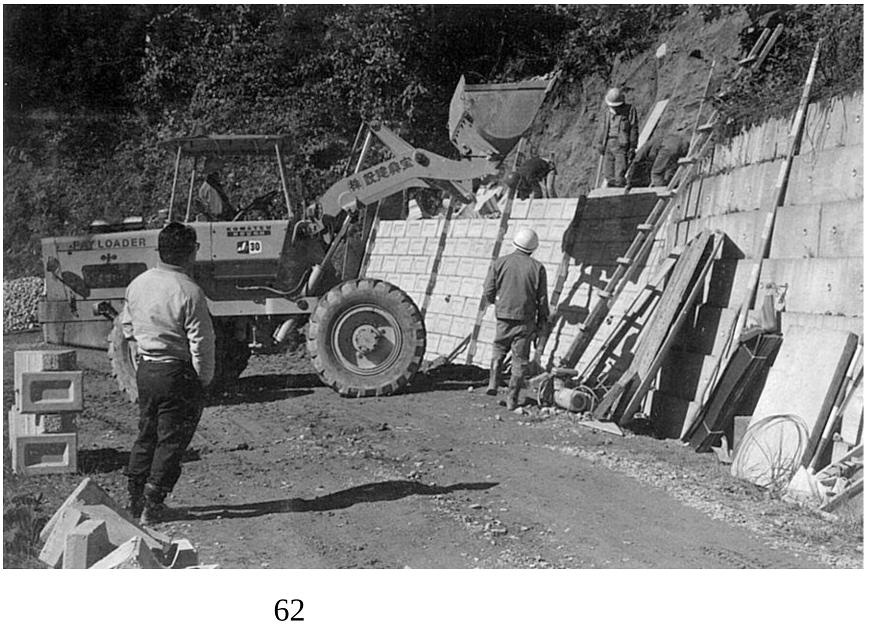
松葉純尚	技術補佐員	飛騨	2007	2008
小椋登美子	労務補佐員	飛騨	2007	2009
森田諭	研究員・教務補佐員	飛騨	2007	2012
浅野栄治	研究員	花山	2007	2009
加藤精一	非常勤講師	花山	2007	2015
滝澤寛	技術補佐員	花山	2007	2007
高坂志穂	事務補佐員	分室	2007	2012
Zhang, Y-Z.	研究員	飛騨	2007	2008
一本潔	教授	飛騨	2008	-
富岡知美	技術補佐員	花山	2008	2010
太田実	技術補佐員	飛騨	2008	2011
西田圭佑	研究員、教務補佐員、研究員	花山	2009	-
金田直樹	技術補佐員	飛騨	2009	2017
白川茂	技術補佐員	飛騨	2009	2013
Singh, K.A.P.	研究員	花山	2009 2018	2011 -
西川宝	非常勤講師	花山	2009	2015
はしもとじょーじ	非常勤講師	花山	2009	2014
八木正三	技術補佐員	花山	2009	2012
山本さなみ	労務補佐員	飛騨	2009	2010
本田敏志	研究員	花山	2010	2012
Zhang, Y.	研究員	花山	2010	2011
岡田貞子	労務補佐員	飛騨	2011	-
Hillier,A.	研究員	花山	2011	2014
平井留美	事務補佐員	分室	2012	2015
山中雅之	研究員	花山	2012	2014
山下孝司	労務補佐員	飛騨	2012	2016
川手朋子	教務補佐員	飛騨	2012	2014
小長谷茉美	事務補佐員	分室	2013	-
筒井達子	事務補佐員	分室	2013	2013
阿南徹	教務補佐員、研究員	花山、飛騨	2013	2017
Shen, Y-D.	研究員	花山	2013	2013
樋本隆太	技術補佐員	花山	2013	2016
杉浦圭祐	技術補佐員	花山	2013	2016
今田明	研究員	花山	2015	2016
山敷庸亮	非常勤講師	花山	2015	2016
大辻賢一	研究員	飛騨	2015	-
岡村綾子	事務補佐員	分室	2015	-
浅井歩	准教授	花山	2016	-

磯部洋明	非常勤講師	花山	2016	-
寺西正裕	技能補佐員	花山	2016	-
松葉宏尚	労務補佐員	飛騨	2017	-
木野勝	助教	岡山	2017	-
岡本恵理	事務補佐員	分室	2017	-
格和純	技術補佐員	飛騨	2017	-
大塚雅昭	特定助教	岡山	2018	-
黒田大介	特定助教	岡山	2018	-
松林和也	特定助教	岡山	2018	-
戸田博之	教務補佐員	岡山	2018	-
田中奏絵	事務補佐員	分室	2018	-
山本広大	研究員	岡山	2018	-
有松亘	研究員	岡山	2018	-

註）特に初期の職員の職名・着任年度情報には、不正確な点が含まれている可能性もございます。
お気付きの点がございましたら、是非当天文台まで御一報頂けますと幸いです。

2.4 写真集: 災害・飛騨天文台の今

1969年度
専用道崩落



豪雪

1980年3月

1981年1月

1981年1月

1981年2月

1984年3月

1996年2月

2011年1月1日 0時過ぎ
倒木による停電の
復旧作業

年越しの宿直で
紅白歌合戦をみていたら
３曲目で停電した。(一本)

2015年3月

宝興建設による
除雪作業

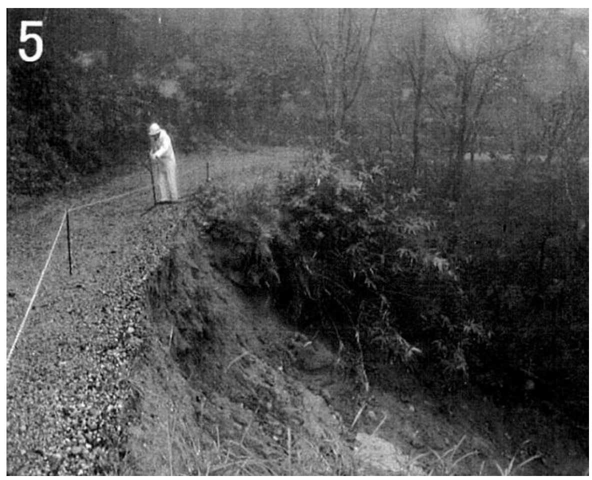
専用道路面流出、路肩崩落

1998年4月

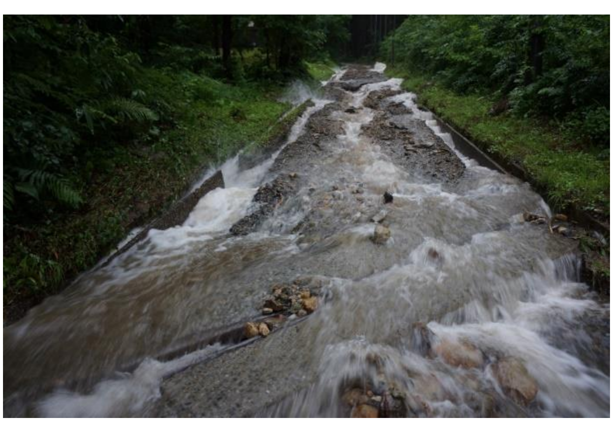
1998年4月

1999年9月

2004年10月



2018年7月



2018年7月

ドームレス
太陽望遠鏡

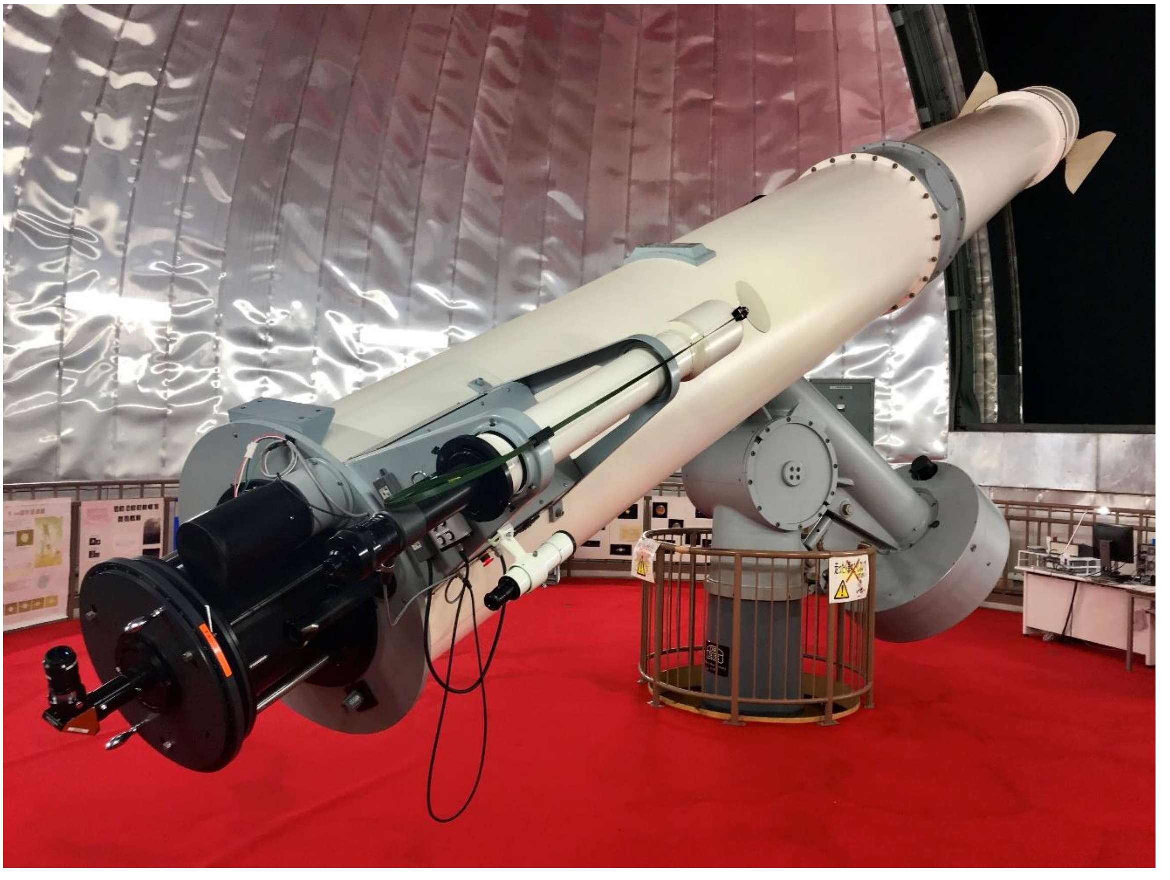
鏡筒先に
機器偏光測定用装置を
取り付けた様子(2011年10月2日)

SMART望遠鏡

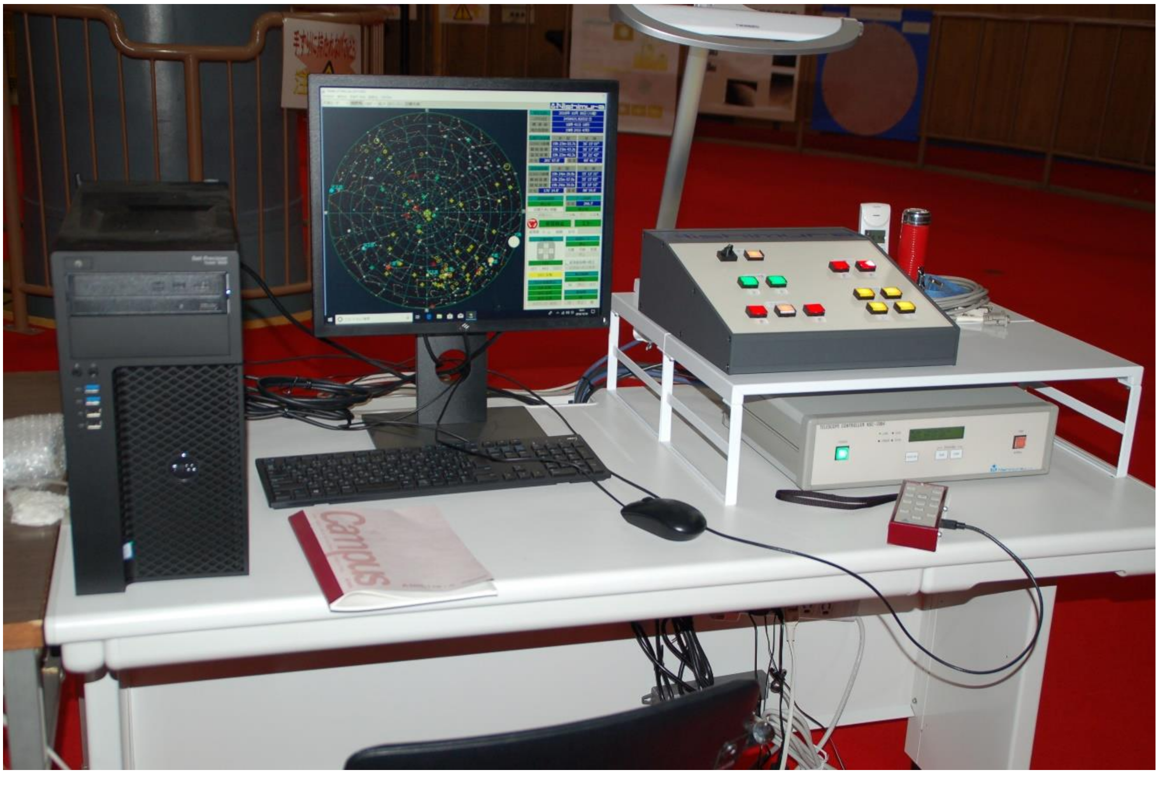
2017.12.22

2018.11.01

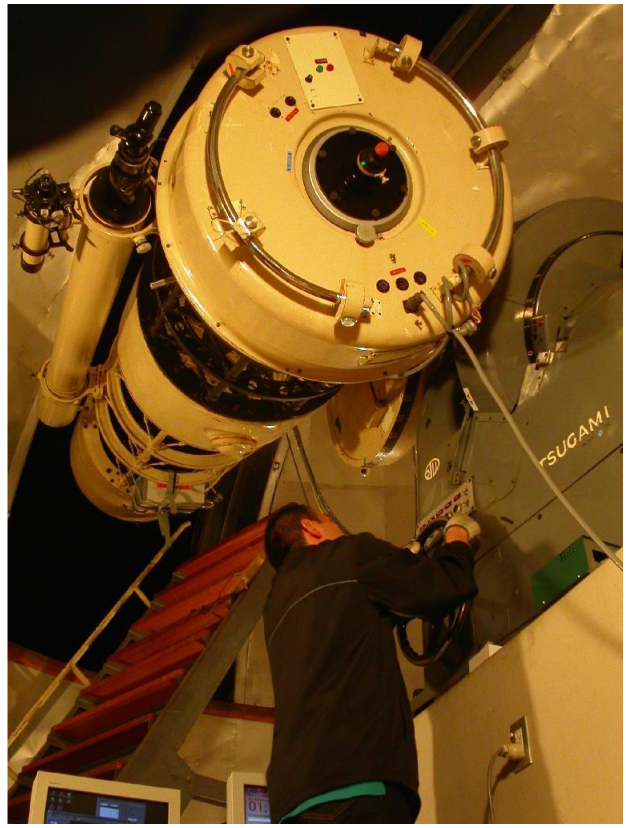
65cm屈折望遠鏡



改修後の望遠鏡操作卓 (3.2.17参照)



60cm反射望遠鏡



真空蒸着装置

2012年5月29～30日

金環日食の木漏れ日 (2012.05.21)

研究棟　2008年に耐震補強工事完了　2017.05.04

虹　https://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/topics/hida_niji/

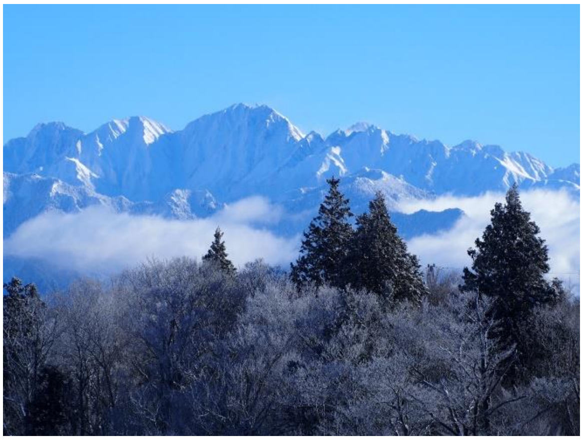
内暈、外暈、
逆さ虹、幻日
(2007.10.31)

太陽柱
Sun Pillar
(2010.12.28早朝)

かもしか　(左2017.09.02　右 2018.05.30　)

60cm 天守閣からの眺望 (2017.05.02)

笠ヶ岳　　　　奥穂高　　(2018.01.14)



一般公開　2016年8月27日

DST垂直分光器室

講演会

真空蒸着装置とロビンソン

SMART観測室のフレア博士

プロジェクションマッピング

3　ここ20年のできごと

3.1　営繕

3.1.1　飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡塔体冷却システムの改修

老朽化による長い間の懸案であったドームレス太陽望遠鏡塔体冷却システムの改修が、平成14年度の補正で予算化され平成15年11月末に完工しました。昭和53年度に設立されたドームレス太陽望遠鏡は世界最新技術の粋をあつめ、独自に開発された世界屈指の望遠鏡であり、現在も世界第一級の高分解能を持つ最先端設備として一線で活躍している望遠鏡です。その一部ともいえる塔体冷却システムは観測の大敵である「かげろう」を防ぐための極めて重要な設備ですが、永年経過による塔体冷却水配管やパネル裏面等の腐食、また悪性の特定フロンを使用する冷凍機など早期の改修が待たれていました。

新装なった塔体冷却パネル

今回の基本設計に当たっては既設設備の要点を十分に考慮し、関係者のさまざまな発想や議論から検討を進めてきましたが、従来のステンレスパネルから極めて日射吸収率の低いアルミ板 (ステンレスの約50%) をパネルに採用する事とし、アルミの持つ高い熱伝導率を利用して、従来の構造とはまったく異なった冷却パネルの設計を採用することとなりました。既設の冷却パネルは、表面5 mm厚のステンレス板と裏面6 mm厚の鉄板を7 mmの隙間をおいて張り合わせ、その隙間7 mmへパネル面全体に冷却水を通し、塔体10面体の壁面パネル温度を外気温度と同等、又はそれ以下に冷却することにより「かげろう」の発生を防ぐ構造となっていました。今回のアルミパネルでは8 mm厚アルミ板の裏面に200 mm間隔で張り付けた角パイプに冷却水を通し、パネル全体を熱伝導で冷却するという画期的な構造となりました。実験を通して角パイプ間隔やアルミパネル厚の選定から、角パイプ上の温度と角パイプ間の中央の温度差が1度以内におさまるように設計し、最終的には0.8度以内におさまることに成功して、既設と同様に設定温度±1度以内の制御が可能となりました。また日射を受けるパネル材質に日射吸収率の低いアルミを採用することにより、冷却負荷の軽減 (約30%減) を図ることができ省エネ対策を講ずることができました。更にパネルの構造上製作が容易となってローコストに抑える事ことができ、アルミの採用でパネル重量が軽くなったことから格段に施工性も向上しました。懸案であったパネルのメンテナンス性については、新設備では冷却パネル1枚毎にメンテ用パネル (メンテパネルも冷却) を取り付け、パネル1枚毎の脱着を可能としました。このメンテパネル取り付けにより施工が容易となり、且つ、万一の漏水等損傷事故に最小限の費用で対応できるようになっています。

システムの心臓部である冷凍機は、通年仕様を基本とする設計から空冷式を採用し、キメ細かい送水温度制御ができるインバーターチラーを2台設置しました。2台の設置とし

(左) 塔体冷却システムの機械室　(右) ブラインチラー (冷凍機)

たのは、夏季間の低負荷期には 1 台での運転制御が可能であり、万一の故障等に低負荷時ならば他の 1 台でバックアップ運転が可能となります。これによってパネルに熱吸収率の低いアルミを採用したのと併せ、システムとしての高い省エネルギー化の実現と、ブラインチラーの出口温度が −10 度の能力をもっていることから、冬でも外気温度が −5 度以上であれば運転制御が可能となるなど、飛騨天文台の厳しい冬期間でもパネルの冷却制御ができる通年仕様型システムとなりました。なお、老朽化による塔体冷却水配管の腐食と漏水事故が危惧されていましたが、今回の改修では外部等の配管を従来の黒鋼管からステンレス鋼管に改修したことにより、大幅な設備の安全や耐久性と維持管理の軽減を図ることができました。

新システムにおける他の主な特長は、従来の設備で採用されていたエアによる自動制御を全て電気式制御方式に改修したことです。エアによる制御方式は機敏で早い動作が大きな利点ですが、空気源であるコンプレッサーの騒音やオイルフリーコンプレッサーのメンテ負担が大きいことから、近年制御性や信頼性が向上している電気式を採用することになりました。もう一つは、従来の密閉式膨張タンクと窒素ガス加圧による冷却水の圧力制御から、窒素ガスの取り扱い等メンテナンスの軽減を図るため、ブライン補給ポンプによる圧力制御に変更しました。最後に、この極めて重要なシステムを観測者等が負担なく運用するためには、操作の軽減を図ることが大きなポイントであることから、ボタン一つでシステム全体の運転を可能にするなど操作性の向上を図ったことが上げられます。

以上が新装なったドームレス太陽望遠鏡塔体冷却システムの概要ですが、この改修によって一層の安定した温度制御と、年間を通じてかげろうを防ぐ塔体空調が可能になったことや、省エネルギー化の実現と維持管理の軽減、及び操作性の向上などますます安全で安定した運用が可能となりました。これにより平成 14 年度にドームレス太陽望遠鏡に設置されたマルチチャンネル高分解能撮像装置など、太陽活動総合観測システムの運用と併せ、高精度の観測に大きく貢献できるものと期待されています。

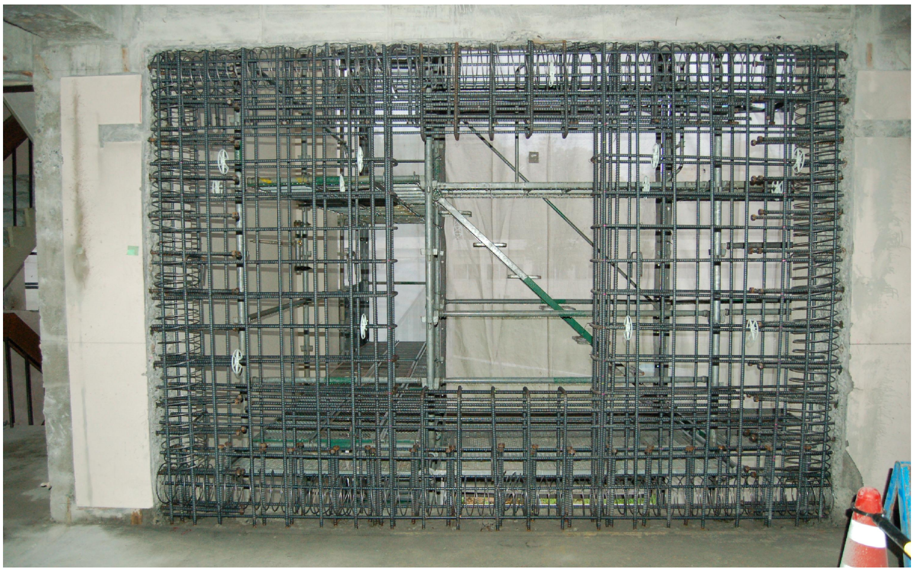
(石浦 2003 年度年次報告より)

3.1.2　研究棟耐震補強工事

研究棟耐震強度測定の結果、耐震構造としては不適格との耐震診断が下され、建物の補強工事と機能改修工事が平成 19 年度中の準備期間を経て、2008 年度実施された。工事の概要は以下の通りである。

(1) 耐震補強工事

今回の工事の内、最も重要である建物の耐震耐力を強化するための工事であり、当初建物外壁外部に、鉄骨またはコンクリートにより補強を施す設計がされたが、建物外壁に庇を超える部分に構造物を設ける事は、凍結、積雪等により凍結割れ等の崩壊が進行することは、過去の事例により明らかであったため、施設部に対し設計変更を依頼し、既設壁面にコンクリート壁を打ち増する工法と、開口部 (窓) の数を減少させ、耐震強度を高める方式を採用した。これにより、外観上は窓の数量が減少した程度にしか感じないが、耐震強度は規定を十分満たす事となった。



補強構造壁配筋状況 (通常より数量が多い。2 階 研究室 3 北側外壁)

(2) 機能改修工事

耐震補強工事を実施するに当たり、建物内の全ての内装、給水配管、電気通信配線を撤去する必要が有り、この機能を復旧するため機能改修工事が実施され、以下の項目の工事が行われた。
(2a) 給排水改修工事
(2b) 電気設備改修工事
(2c) 暖房設備改修工事
(2d) その他

(2a) 給排水設備改修工事

給排水設備改修工事として既設給排水管を全て撤去した後、新しい給排水管を敷設した。また、従来の配水方式は 4 階に高架水槽を設置し配水していたが、今回新たに加圧給

水ポンプを設置し全館へ配水する方式を採用した。これにより、従来水圧不足で水圧が低かった箇所にも十分な圧力で送水する事が可能となった。

(2b) 電気設備改修工事

電気室内、高圧電気機器及び、館内の全ての電気設備が更新された。電気室内に於いては、高圧盤、低圧盤、変圧器の更新がなされ、変圧器は低損失型の変圧器が採用され省エネルギーの一助となっている。また、低圧盤にあっては従来のナイフスイッチから盤取付型ブレーカーとなり安全性が向上した。

(2c) 暖房設備改修工事主に暖房設備 (蒸気暖房) の往復配管とラジエター (放熱器) の更新がなされた。放熱器の配置数は再設計がされたため、従来よりラジエターの配置数が多くなり、極寒冷地である当地に於いても素早い暖房が可能となった。

(2d) その他

今回の機能改修工事では、機能改修を主に行われたが、省エネルギーを配慮した工事となり、窓ガラスにはペアガラスが使用され、更に屋外に面したサッシの内側に樹脂製の内サッシが設けられ、サッシグレードはH-5以上を達成し、北海道等の極寒冷地でも採用される断熱性能を十分満たしている。

屋外駐車場のコンクリート舗装が永年の風雪等により劣化が進行していたため、研究棟に面している部分と、道路の一部およそ $320m^2$ について更新された。

改修工事費に伴い建新予算が認められ、各種什器類の更新も成された。また、施設整備費により、大会議室内の視聴覚機器の新設、ブラインド、案内看板の設置も行った。

(3) 7m ドーム改修工事

従来より営繕要求などにより予算要求を行っていた研究棟7mドームの改修が、耐震補強工事の実施と同時に行われた。これは、耐震補強工事と同時に改修工事を行えば工事関連諸経費の節約を図れるためと、ドームの状況が非常に悪化していたためである。外装ステンレス板全面と、下地木張り部分を撤去し改修した。スリット部分は、特に雨漏りが酷かったためステンレス板シーム溶接により一体構造となったため防水性能が格段に向上した。

(施工業者: 建築工事 和仁建設 (主契約者) 電気工事 宝興建設電気事業部、トーエネック JV 設備工事 橋本工業、工事範囲: 研究棟、工事費: 115,000 千円)

(木村 2008 年度年次報告より)

3.1.3 その他の営繕工事

飛騨天文台高圧ケーブル配線替他工事（2012 年 11 月）

台内各所へ配電している高圧ケーブル (6600v) は敷設後長期間を経過し、漏電事故などの懸念があった。埋設されている全ての高圧ケーブルを更新する工事を実施した。配線経路は電力会社分岐点から研究棟電気室、研究棟からドームレス太陽望遠鏡棟に至るおよそ 500m の埋設ケーブルを更新した。

(施工業者:宝興建設株式会社 電気事業部)

研究棟非常用自家発電機改修工事 (2014 年 11 月)

研究棟非常用自家発電機は、飛騨天文台開所の昭和 43 年に設置され、以来 47 年間に渡り使用されており、近年老朽化による不調が多発していた。学内改修費によって発電機本体、電源切替盤の更新がなされた。また、本工事に付帯する改修工事として、65cm 棟電気室低圧盤の全面更新も併せて実施された。

改修後の発電機定格、規格などは以下のとおりである。

製造会社: ヤンマーエネルギーシステム (株) 製 AP-65C-6R 60.9kW

定格: 220V 60Hz 55KVA

(施工業者: 杉浦電気工事株式会社)

飛騨天文台浄化槽改修工事（2017 年 7 月）

飛騨天文台では各棟に浄化槽が設けられ、それぞれの棟で汚水処理を行ない清掃なども浄化槽単位で実施し管理が大変煩雑であった。また、旧規格の浄化槽しか設けられておらず環境面においても不適格な状況であった。これらの浄化槽を一元化し、天文台から排出される全ての汚水を集約し処理する合併処理浄化槽を新設する工事を実施した。

(施工業者: 橋本工業株式会社)

管理宿泊棟他防水等改修工事（2017 年 7 月）

飛騨天文台管理宿泊棟屋上および外壁、ドームレス太陽望遠鏡機械室屋根、渡り廊下防水工事を実施した。また、管理宿泊棟については老朽化したアルミサッシ更新を行い室内側に樹脂サッシを取付け断熱性能の向上を図った。

(施工業者: 和仁産業株式会社)

暖房設備等改修工事(2017 年 10 月)

飛騨天文台暖房設備及び危険物屋外貯蔵施設の全面改修を実施した。暖房設備についてはボイラー 2 基ならびにボイラー室内の付帯設備について全面更新を行った。危険物屋外貯蔵施設については 14 キロリットルタンクを 3 基に減じ、タンク、配管設備を全面改修した。

(施工業者:株式会社アクアテック)

(木村)

3.2 観測装置

3.2.1 ドームレス太陽望遠鏡スペクトロヘリオグラフの改良

2006 年に打ち上げられた HINODE 衛星の CaII H 線フィルタ撮像観測により、太陽彩層活動現象のより詳細な様子が明らかとなった。それに伴い、太陽の各種活動現象や、光球–コロナ間エネルギー伝播過程 (コロナ加熱過程) における、彩層の果たしている役割を改めて見直す動きが進んだ。ただ、HINODE 衛星には彩層を分光的に観測できる装置が搭載されなかったため、彩層現象の定量的な把握には制限があった。

従って、飛騨天文台では、光球から彩層上部にまで渡る、幅広い高さ情報を含んでいる CaII K, H 線の分光観測を高時間分解能で行なう事ができれば、HINODE 衛星のフィルタ撮像データと合わせて、彩層の様々な物理量の分布や時間変化をより詳細に知る事が可能になると考え、2007 年度にドームレス太陽望遠鏡・垂直分光器におけるスペクトロヘリオグラフの高速化を実施した。

それまで高速化が困難だった理由と 2007 年度に高速化が必要とされた理由としては、2006 度までドームレス太陽望遠鏡において分光観測用に用いていた CCD カメラは、Ca K, H 線が位置する短波長領域の感度が低く、これを用いたスペクトロヘリオグラフで光量を十分に確保しつつ、1 秒角を切る空間サンプリングでの観測を行なおうとすると、1 回のスキャンの所要時間が長くなってしまうこと、そのため、そのままの状態では、HINODE の観測で注目されるようになった、彩層の振動現象やジェットなど 、短いタイムスケールで変動する現象を 2 次元に渡って捉えるのが困難であったこと、があげられる。

そこで 2007 年度、この短波長領域での感度が高く、かつフレーム読み出しレートが速く、空間方向にも波長方向にもピクセル分解能が良いもの、という条件のもと、CCD カメラの選考を行ない、ドームレス太陽望遠鏡・垂直分光器スペクトロヘリオグラフへの導入を行なった。このカメラの垂直分光器で使用時の実際の仕様は以下の通りである。

・カメラ名: PROSILICA 社 GE1650
・画素数: 800 × 600 (2×2 ビニング時)
・波長ピクセル分解能: 0.020 Å/pix
・空間ピクセル分解能: 0.24 arcsec/pix
・FOV: 16.0 Å× 145 arcsec
・A/D 変換階調: 12 bit
・Ca II K,H 線での典型的な露出時間: 50 – 80 ms
・フレーム容量: 約 1 MB/frame
・フレームレート: 最高 30 Hz まで、HDD への連続書込み可能

従って、このカメラを利用することにより、例えばスキャン幅 120 arcsec、0.6 arcsec ステップでの Ca H,K 線のヘリオグラムが、所要時間約 15 秒で取得できるようになった。これにより、中規模の活動領域やプロミネンス領域中で発生する周期 3 分程度の振動現象や、短命のジェット現象などにおける物理量の時間変化を、逃さずに追って行くことが可能となったわけである。この垂直分光器スペクトロヘリオグラフを用いて、2007 年度には、HINODE 衛星との協同観測を始めとする、彩層分光観測に重点を置いた様々なテーマでの観測が行なわれた (図 1、2 参照)。

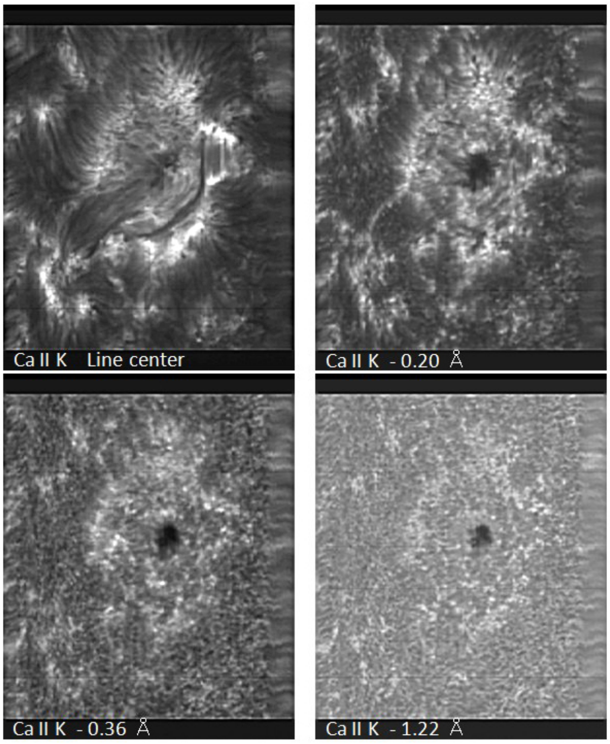
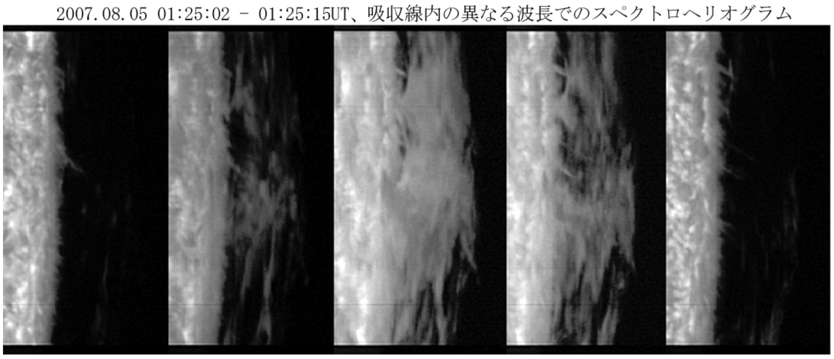


図1：活動領域のスキャン例
(CaII K 線)
スキャン幅120” のサンプル

取得日時：2007.08.07,
03:08:04 - 03:08:16 UT

図2：プロミネンスのスキャン例（CaII K線）
2007.08.05 01:25:02 - 01:25:15UT、吸収線内の異なる波長でのスペクトロヘリオグラム



しかし、その間にも、さらに Ca II K, H 線だけでなく、他の彩層ライン、場合によっては光球ラインも含めた、複数の波長におけるスペクトルを同時に取得できるスペクトロヘリオグラフの必要性が高まっていった。なぜなら、光球から彩層にかけての太陽大気中の様々な物理量を導出する際に、複数のラインのプロファイルに対して大気モデルをフィッティングさせた方が、より精度良くそれらの値を求めることができるからである。また、垂直分光器スペクトロヘリオグラフにおいては、太陽像に対して分光スリットをスキャンさせる方法として、望遠鏡本体をスキャンさせる、と言う方法が採られてきたが、この方法の場合、望遠鏡の動作速度の非一様性や高速スキャン時の位置精度の限界、と言う問題が存在していた。

そこで、2008 年度には水平分光器において、焦点面直前に回転式ガラスブロックを設置することにより、より安定した速度・位置精度での高速スキャンを可能とし、同年度から少しずつ高速カメラの台数を増やして、多波長同時観測が可能なスペクトロヘリオグラフを実現させた。この水平分光器スペクトロヘリオグラフにより、2008 年度以降、学部学生の卒業研究から、HINODE 衛星や IRIS 衛星、海外の地上観測所との国際協同観測に至るまで、様々なテーマでの多波長 2 次元分光観測が実施されるようになった。

(上野 悟 記、2007 年度年次報告の当該記事を編集・追記)

3.2.2 ドームレス太陽望遠鏡の補償光学装置の開発 – 実験から実用へ –

飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡は、太陽像の劣化の原因となる空気の揺らぎ(かげろう) を抑えるため、あらゆる手を尽くした望遠鏡である。望遠鏡の筒全体を真空にする、風の流れを乱す格納ドームを排除する、望遠鏡をかげろうのたちやすい地面から離すため 20m を超えるタワーの上に設置する、さらにタワー側面を外気温と同じに温度に制御して空気の対流を防ぐ、といった工夫である。これらの対策によって望遠鏡周りの空気揺らぎは極力低減されているが、解像度の劣化には手の届かない大気の上空での乱流も寄与しており、望遠鏡の口径 60 cm を真に発揮した回折限界分解能は、1 年を通してもごく限られた時間にしか実現できないのが現状である。

大気の揺らぎによる波面の乱れを何とか補正できないか? これを実現するものが補償光学装置 (Adaptive Optics: AO) である。近年画像処理の高速化や精密光学素子の制御技術の進歩によって AO の有用性が広く認知されるようになり、昼夜を問わず世界中の天文台でしのぎを削って開発している技術である。飛騨天文台においても国立天文台の花岡や北見工大の三浦らのグループが 2000 年代中盤からドームレス望遠鏡においてその開発に取り組んでおり、実験的なセットアップにより実績を積んできた。これをドームレス望遠鏡の実際の観測に生かすべく、AO で波面補正された光を分光器に導くための「AO 常設光学系」を製作した。2008 年度は、垂直分光器室にこれを設置した (図 1)。

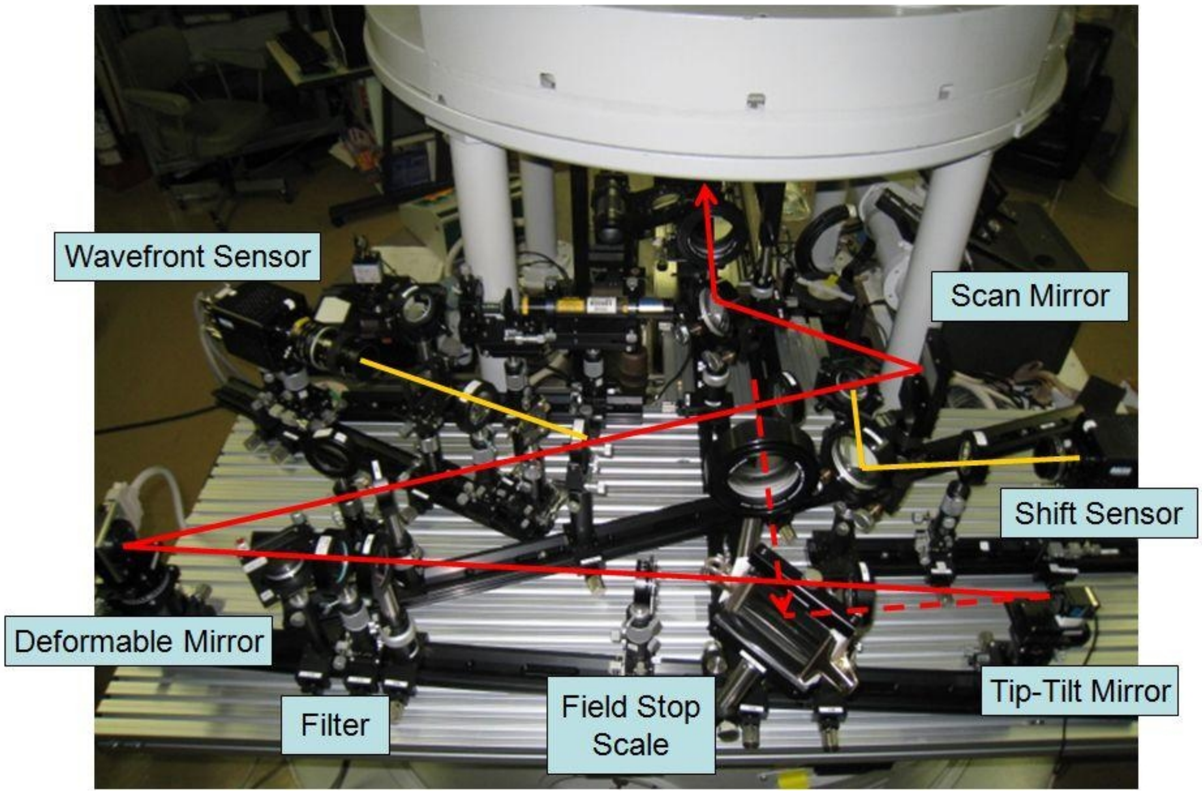


図 1: 垂直分光器用補償光学系

2009 年 8 月と 11 月には、従来と同様に、可変形鏡には 52 ch の電磁型のもの、波面センサーには 6×6 のマイクロレンズアレイと 955 fps の CCD カメラを用いた。望遠鏡から

の光は、斜鏡によって AO に導入され、波面補償の後、元の望遠鏡光路に戻される。AO 装置内では、リレーレンズ系によって Tip-tilt 鏡と可変形鏡上で二度瞳像が結像する。また、可変形鏡で反射したのち、光の一部が分割されて波面センサーと位置ずれセンサーに導入される。

2010 年 3 月には、波面センサーの改善を行った。10×10 のマイクロレンズアレイを用いて空間的な計測精度を向上させると共に、2000 fps での画像取り込みが可能な CMOS カメラを導入し、時間的な性能の改善を図った。これによって装置全体の性能もかなり向上した。図 2 は AO が動作していない時の画像である。大気ゆらぎのため細かな構造が全く見えていない。これに対して、AO を動作させたときに得られた画像が図 3 であり、細かな構造を見ることができる。視野は 71×54 arcsec、観測波長は 650 nm である。

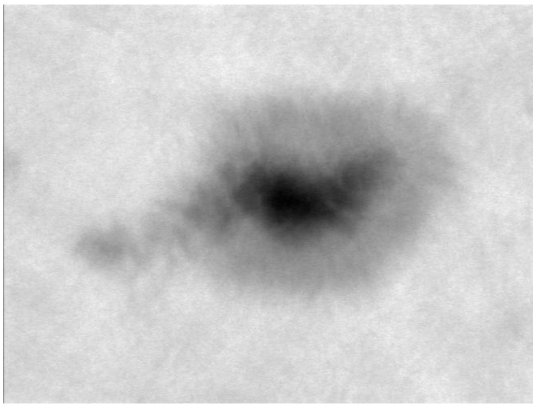


図 2: AO なしで観測された太陽像

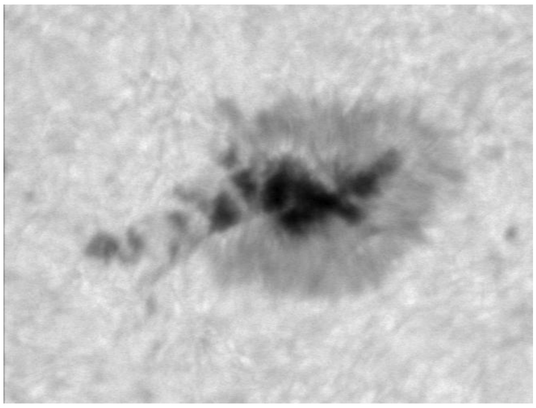


図 3: AO を通して観測された太陽像

2010 年度 7–8 月には、フィルタ配置の修正を行った。これにより、白色光を分光器に渡すことができるようになった。また、波面センサー用ソフトウェアの改良を行い、幾つかのサブアパーチャでセンシングが失敗した場合でも、波面計測がより安定して動作するようにした。

2010 年 9 月には、97 ch の電磁型可変形鏡を新しく導入した。従来用いていた 52 ch のものに比較して、アクチュエーターが増えたことにより、鏡面精度がかなり向上した。同様の理由により、波面計測・補償に使用するゼルニケ多項式の係数を 9 項から 20 項にまで増やすことができた。同じシステムにおいて、11 月には波面測定における絶対差和計算部を複数コア PC で並列処理をすることに成功した。これにより、システム全体の動作周波数が可変形鏡の応答速度の上限である 900 Hz にまで上昇した。

開発したシステムを用いて、2011 年 11 月 21 日、AO を動作させながら 10 分間の連続観測を行い、装置が問題なく動作することを確認した。図 4 はその中から比較的細かな構造が見えるものを約 1 分おきに並べたものであり、細かな構造の時間変化を確認することができる。ただし、これらの画像はデコンボリューション処理によって画像を鮮明化してある。視野は 30.2×30.2 arcsec、観測波長は 430 nm である。

川手らによるドームレス望遠鏡におけるシーイング特性 (空気揺らぎの空間・時間周波数の確率分布) の評価によれば、観測期間の約 10 %において本 AO が有効に機能すると期待できることがわかった。AO が実用化すれば高い空間分解能が得られるだけではなく、

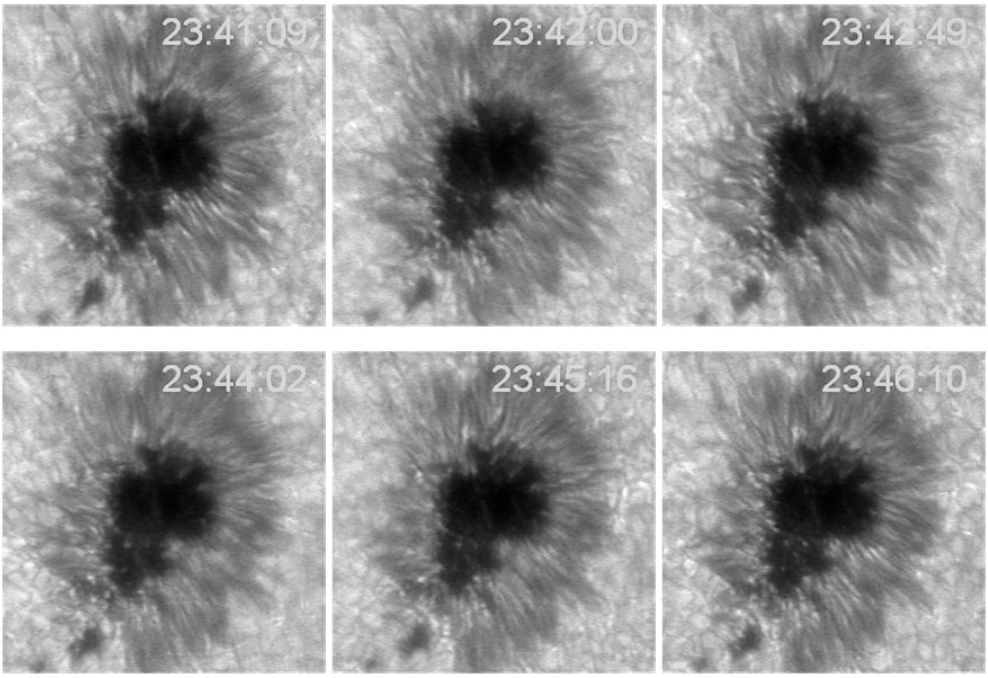


図 4: AO を通して観測された太陽像時系列（波長 430 nm）

像が安定化することによってより精度の高い偏光観測も可能となってくる。これによりドームレス太陽望遠鏡では以下の研究を推進することを計画している。

・高空間分解・高精度偏光分光観測による微細磁場構造の観測研究
・「ひので」との協調観測による彩層ダイナミクスの研究
・多波長高分解分光観測による Solar-C のサイエンス及び搭載装置の検討
・高精度偏光分光観測による新しいプラズマ診断手法の開拓

Reference:

[1] “Advances in solar adaptive optics system at the domeless solar telescope of the Hida Observatory,” N. Miura,, Y. Noto, S. Kato, Y. Yokoyama, S. Kuwamura, N. Baba, Y. Hanaoka,S. Nagata, S. Ueno, R. Kitai, K. Ichimoto and H. Takami, Proc. SPIE. Vol. 7439B, 7439B-30 (2009)

[2] “Optical setup and wavefront sensor for Solar Adaptive Optics at the Domeless Solar Telescope, Hida Observatory,” N. Miura, F. Yokoyama, M. Nefu, S. Kuwamura, N. Baba, Y. Hanaoka, S. Ueno, Y. Nakatani, S. Nagata, R. Kitai, K. Ichimoto and H. Takami, Proc. SPIE. Vol. 7736, 7436-191 (2010)

(三浦則明、横山文人 (北見工大)、馬場直志 (北大工)、一本潔 記、2008, 2010 年度年次報告より)

3.2.3　ドームレス太陽望遠鏡の新補償光学装置の開発

北見工大や国立天文台と協力して基礎的開発をすすめてきた垂直分光器室の実験的 AO により、2009 年度には撮像観測における太陽像の明らかな改善をみるようになった。しかし、シーイングで乱れた波面を補正する能力はまだ不十分であり、多数のレンズを用いているため光の透過率が悪く、また限られた波長でしか使えないため、ドームレス望遠鏡の最大の特徴である多波長高分散分光観測に生かすことができない。

そこで 2010 年度よりドームレス太陽望遠鏡の垂直・水平両分光器で使える本格的な補償光学装置 (AO) の開発に着手した（図 1)。新 AO は水平分光器観測室に設置する約 3m × 1m の光学定盤の上に搭載され、可変形状鏡、可動鏡、軸外し放物面鏡を含む 16 枚のミラーからなる大がかりな装置となる（図 2)。2011 年度は補償光学装置の心臓部である形状可変鏡 (サイネティックス社製、直径 77mm、97 素子) の制御システムの製作および面形状の測定を行った。実験初期制御装置に不具合も発見されたが、改修後すべての素子が自作のプログラムにより正常に動作し、ミラーを平面にするための条件だしなどをおこなった。また、ミラー保持機構の設計、軸外し放物面鏡の製作をおこなった。

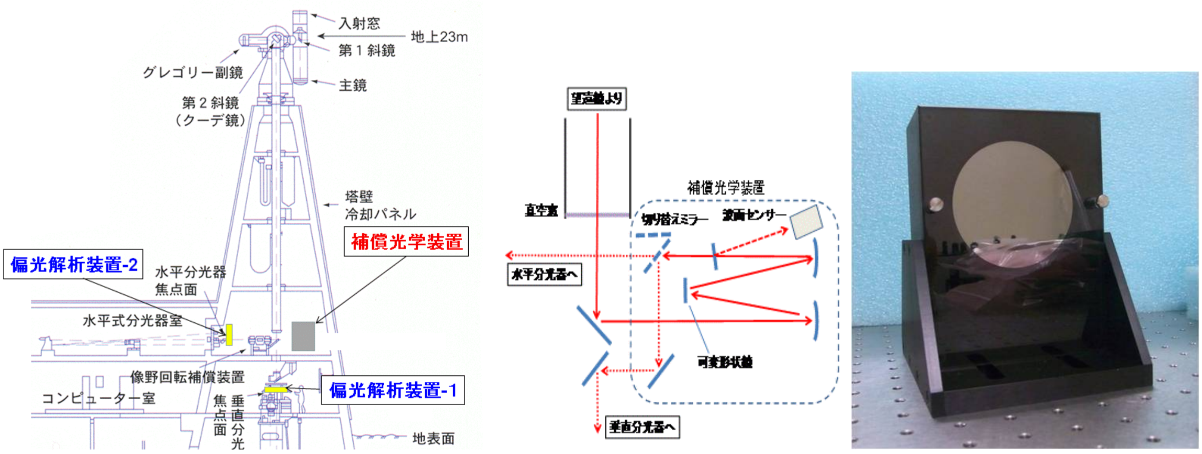


図 1．ドームレス太陽望遠鏡新補償光学装置の設置。右の写真は形状可変鏡。

2014 年度には光学素子の設置が完了し、最初の観測結果を得た。図 3 は、(a)AO を動作させないとき、(b)AO を動作させたときに得られた太陽像である。AO を動作させない時には見えなかった細かな構造が、AO を使用することによって見えているのがわかる。観測波長は 430nm、視野は 40x30 秒角である。波面センシングの対象として用いたのは、中央 3 つの黒点間の明るい領域である。この領域については特に細かな構造が見えているが、離れるに従って補償の効果が少なくなっていくことも確認できる。なお、波面展開に当たって、新たに KL 関数系を導入し、ゼルニケ多項式の代わりに実際に装置に組み込んだ。

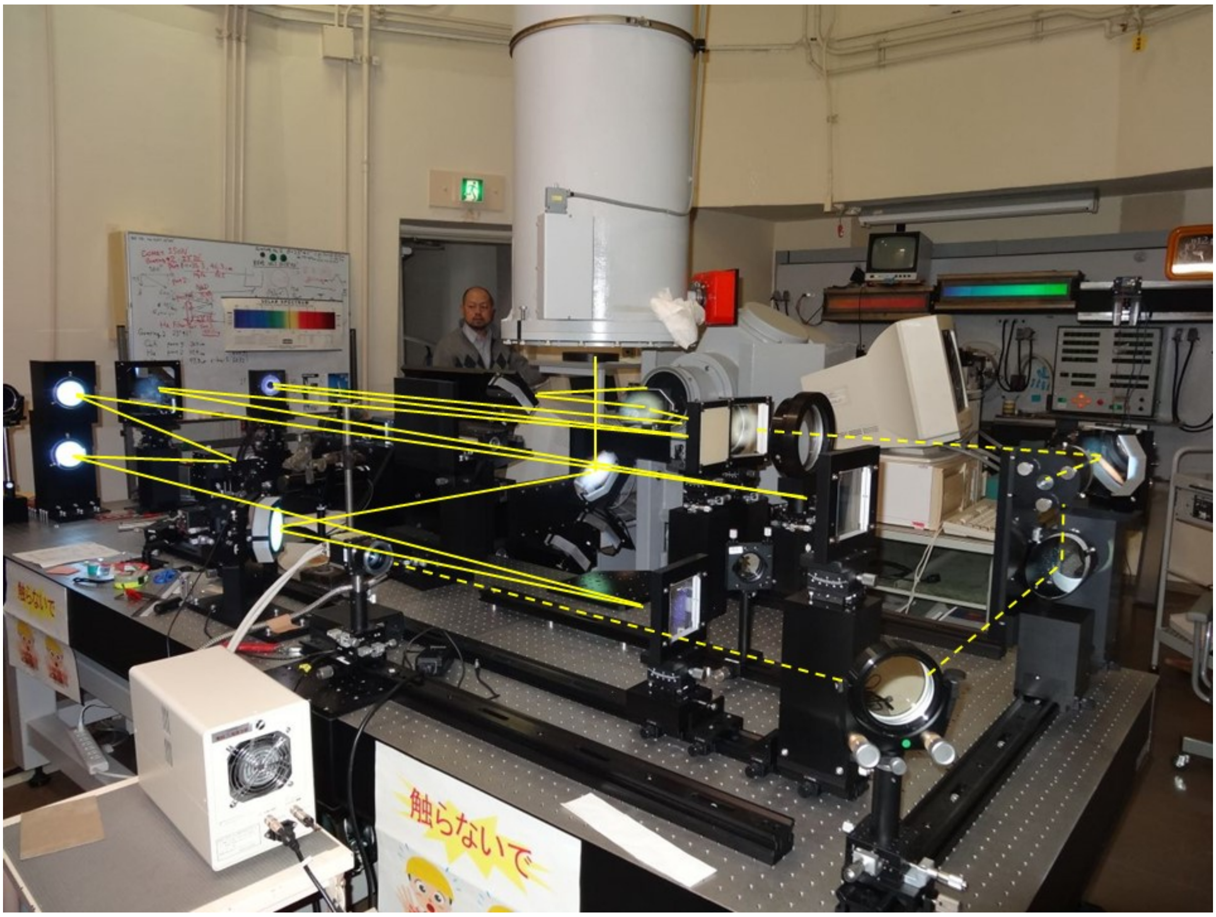


図 2．水平分光器室に設置された新補償光学装置。

また、前年度に実施した波面情報からのデコンボリューション法を用いた太陽像改善において、波面推定の際に KL 関数系を用いて、画像処理をやり直した。図 3 下段 (a) は AO を通して観測された太陽像、下段 (b) は波面情報から得られた PSF（2 倍に拡大）であり、このストレール比は 0.15 である。この PSF 計算の際に KL 関数系を用いている。図 3 下段 (c) は、(a) を (b) でデコンボリューションした結果である。デコンボリューション法としては、Lucy-Richardson 法を用いており、再生ループは 200 回である。全体にコントラストが向上し、細かな構造が見えているのがわかる。

通常の AO では補償が有効な視野が狭いため、広い視野での補償を可能にするマルチコンジュゲート（多層共役、MC）AO の開発も進めている。2014 年度は、1F ターンテーブル上に MCAO 用光学系を設置した。観測に当たっては、２ F 常設 AO の下流で使用することを設定しており、MCAO では地表からの高さ 3km の上空ゆらぎのみを補償する。ここで開発している MCAO では太陽像の伸縮の抑制を目的とした簡易な波面センシング法を用いている。観測した太陽像において、黒点間の距離変動の偏差を評価したところ、MCAO の効果で黒点間の位置変動が抑えられていることが確認できた。

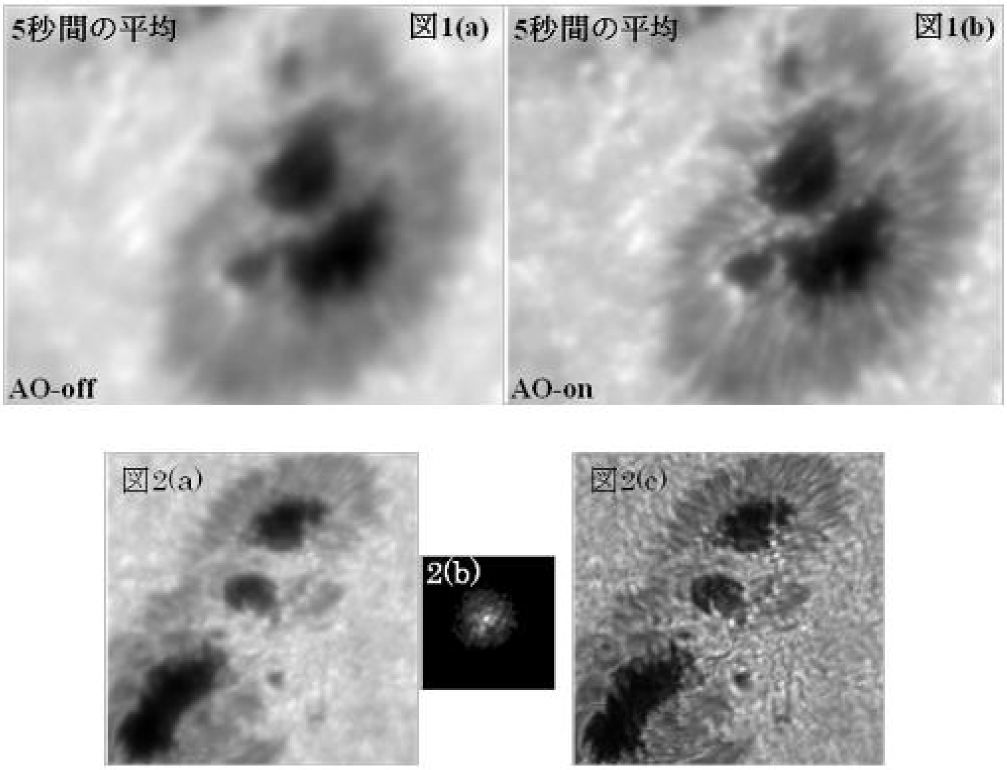


図 3. 上段 : 新補償光学装置による像の改善。下段 : SF によるデコンボリューションの効果。波長 430nm。（本文参照）

尚、この開発は科学研究費補助金、基盤研究 A「偏光分光スペクトルによる新しいプラズマ診断手法を用いた太陽活動現象の研究 (代表:一本潔)」と基盤研究 B「太陽 multi-conjugate 補償光学系の実用化 (代表:三浦則明)」により推進した。

＜文献＞

[1] N. Miura, A. Oh-ishi, S. Aoki, H. Mogaki, S. Kuwamura, N. Baba, Y. Hanaoka, M. Yamaguchi, S. Ueno, Y. Nakatani, S. Nagata, R. Kitai, and K. Ichimoto, " Development of a new solar adaptive optics system at the Hida Observatory " Proc. SPIE, 9148, 914831 (2014).

(三浦則明、大石歩、大石明（北見工大)、一本潔 記 2011, 2014 年度年次報告より)

3.2.4 飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 広波長帯偏光分光観測システムの完成

ゼーマン効果を用いた太陽光球磁場の測定によって、太陽現象と磁場の密接な関係が明らかとなった。近年では、偏光メカニズムの理論的発展と偏光測定精度の向上がゼーマン効果とハンレ効果を用いた彩層磁場の測定を可能にした。今後、彩層やプロミネンスの磁場を測定することで、彩層の様々な活動的現象のメカニズムが明らかになることが予想される。彩層・プロミネンスの磁場を測定するために、私たちは可視から近赤外の広い波長帯 (400 nm ～ 1600 nm) で高偏光測定精度 (10^{-3} ～ 10^{-4}) な偏光分光観測ができる装置を

開発した。複数のスペクトル線の偏光を測定することで、スタルク効果を用いた電場の測定、衝突偏光を用いた熱伝導や非熱的粒子の測定などといった新しいプラズマ診断手法を開拓することも私達の大きな目的である。

飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡は高波長分解能な分光観測ができる垂直分光器が備わっており、スペクトル情報から太陽表面現象の物理量を導出するのに適した望遠鏡である。またこの望遠鏡には光球によって形成されるスペクトル線 (6302.5 Å) での偏光観測が可能なポラリメーターが設置されている (Kiyohara et al. 2004)。私達は既設のポラリメーターを広い波長域でより高精度な測定が可能な装置に改良した。まず、近赤外に感度を持つ赤外カメラと大容量の画像を高速に取得できる CCD カメラ、広帯域波長板を導入し、検出器及び偏光変調器を広帯域化 (400 nm ∼ 1600 nm) した。そして、波長板回転角の原点センサーをカメラ連続撮像の開始トリガーとすることで、十分な回転角精度で波長板を連続的に回転させながら効率良く直交 2 偏光成分を同時に連続的に撮像できる装置を開発した。これによりこれまで可視域で偏光精度 10^{-3} を達成するのに 150 秒以上を要していた装置を、可視では約 30 秒、近赤外では約 60 秒で達成できる装置に改良することができた。

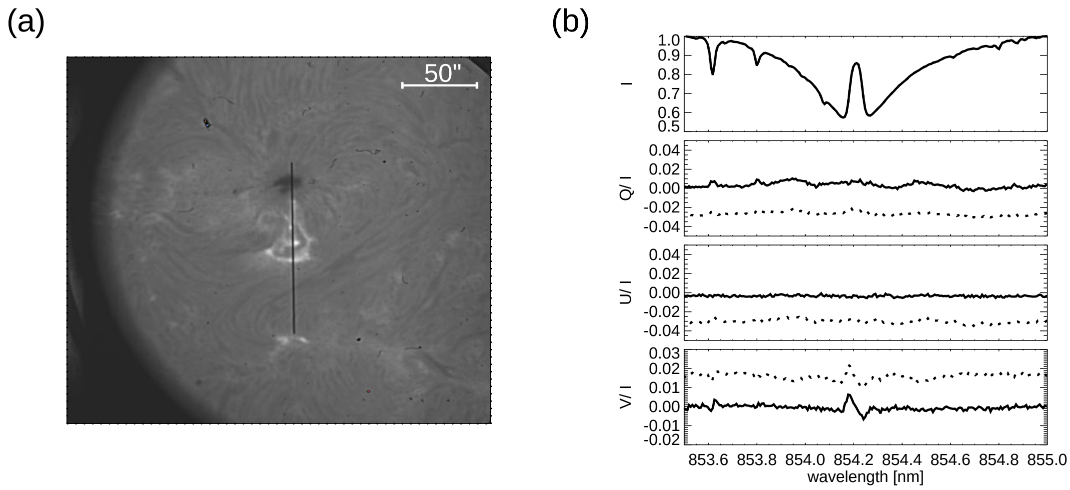


図: CaII 8542Å で観測された小フレア。

太陽からの偏光を正しく導出するためにはさらに DST の装置偏光を補正しなくてはならない。私たちは、太陽中心の連続光 (理想的な無偏光) と偏光板を用いて既知の偏光状態を持つ光を望遠鏡に入射させ出力された光の偏光状態を測定することで、広波長域における DST の偏光モデルを構築した。図は本装置による観測例である。

Reference:

Kiyohara et al. 2004, Proceedings of SPIE, 5492, 1778K

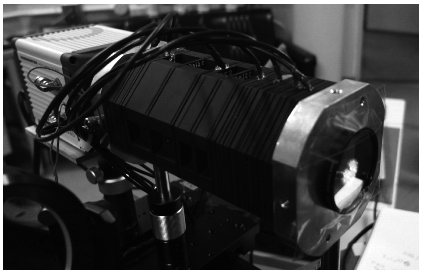
(阿南徹 記 2011 年度年次報告より) Reference: Anan, T. et al. 2012, SPIE, 8446, 84461C.

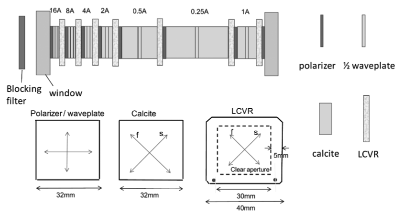
3.2.5 狭帯域チューナブルフィルター (UTF32) の開発と太陽彩層観測

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。

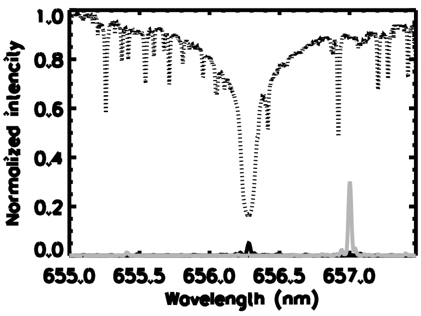
このフィルターは 7 段のステージで構成され、次のような性能を持っています。このフィルターは波長制御に液晶可変遅延素子を、方解石に京都大学飛騨天文台既有の 32mm 径リオフィルターのものを用いました。従来の狭帯域フィルターから次に列挙する点において大きく発展しました。(1) 広帯域の偏光板と 1/2 波長板を用い 500nm–1100nm の任意の波長で観測が可能。(2) チューニング素子として液晶可変遅延素子を用いチューニング時間は約 0.1 秒という高速化を実現。(3) 波長チューニングに必要であった可動部分がないため油槽を排除でき、軽量でコンパクトであり気泡の混入がない。太陽光を用いた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

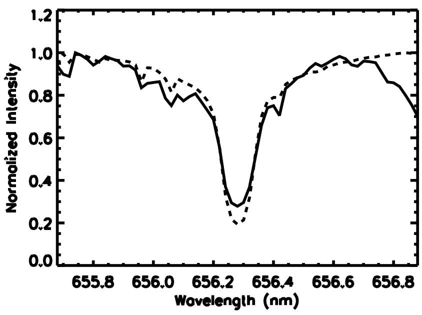
このフィルターを用いて、中国雲南天文台の撫仙湖太陽天文台の 1 m 真空太陽望遠鏡で 2015 年 1 月 19-30 日に高解像度イメージング観測を行いました。この期間に、いくつかのフレアや彩層の微細構造を観測できました。





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 Hα 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

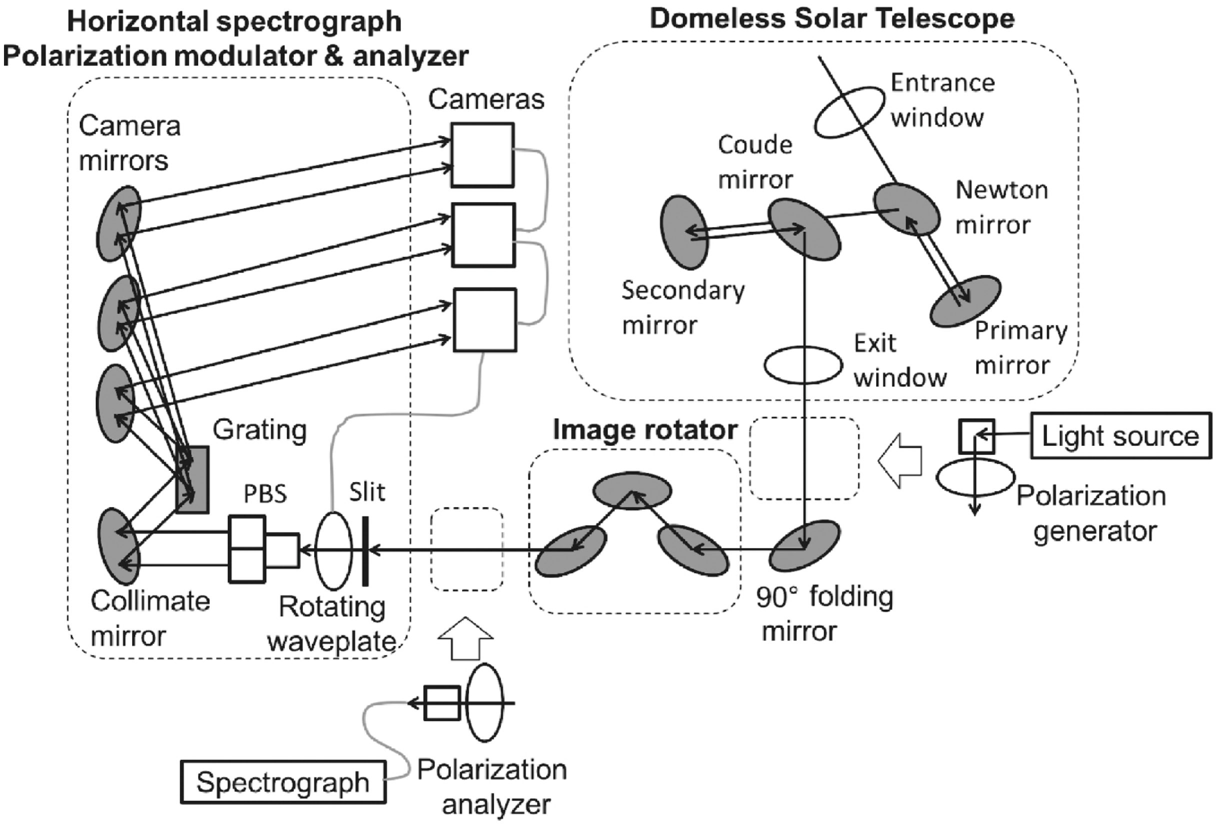
(萩野 正興 記 2014 年度年次報告より)

3.2.6 飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 複数波長帯同時偏光分光観測システムの完成

複数の波長帯の偏光スペクトルを同時に取得するために、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST) に新たな偏光分光観測装置を開発した。太陽大気における 3 次元磁場やその他のベクトル量を診断する強力なツールとなることが期待される。

この新たな偏光観測装置は、経緯台式の口径 60 cm 真空望遠鏡 DST、イメージローテーター、水平分光器、回転波長板、偏光ビームスプリッター、高速大容量の CMOS カメラと赤外カメラで構成される。偏光変調器に用いる HI-RETAX 複合波長板（ルケオ株式会社製）は広い波長帯（500 – 1100 nm）で偏光変調効率の高い遅延量を持つ。同様に偏光解析装置であるシグマ光機製の偏光ビームスプリッターは 500 – 1100 nm の波長帯で高い消光比 1:300 を持つ。さらに、水平分光器はカメラと同数の波長帯で同時分光観測を可能とする。

これらによって、可視光から近赤外にかけての広い波長帯（500 – 1100 nm）における複数の波長帯を同時に高精度に偏光観測することが可能となった。私達は、装置全体の偏光特性を評価し較正手法を確立することで、ストークスパラメーター Q, U, V 間のクロストークを 0.06% ～ 1.2% に抑え、20 ～ 60 秒の積算時間で偏光測定精度 0.03 %を達成できる装置を完成させた。



Reference:
Anan et al., 2018, PASJ

(阿南徹 記)

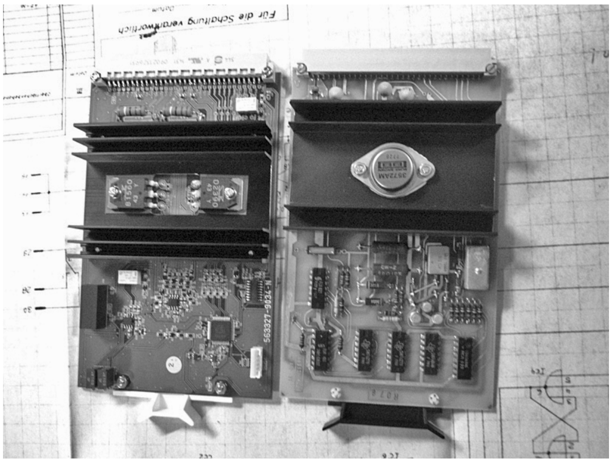
3.2.7　飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の観測制御装置の更新

平成 28 年度の京都大学全学経費「設備整備経費 (教育・研究)」として、「飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の観測制御装置の更新」を採択して頂くことができました。

ドームレス太陽望遠鏡 (DST) は、飛騨天文台に 1979 年に設立されました。以降、国内最大の地上太陽観測拠点として運用を行ってきており、学内における教育・研究に供されているだけでなく、全国の大学・研究施設から太陽や太陽系天体を専門とする科学者が実質上「共同利用」と言う形で毎年利用してきています。近年は、さらに海外からの観測者も受け入れているほか、将来の飛翔体観測 (次期太陽観測衛星「Solar-C」や Sunrise 気球実験等) 用の観測装置の開発に必要な実験設備としても活躍しています。

しかし、建設から 37 年目を迎え、特に観測制御装置内の多数の電子回路基板の故障頻度の上昇、各駆動部分に取り付けられているエンコーダからの出力値に含まれるノイズの増加、旧式の赤外線撮影装置の利用者からのニーズに対する性能不足が各々顕著となってきていました。

そのため、これら電子回路基板やエンコーダ、赤外線観測装置を、最新のものに更新することで簡素化・高性能化し、故障発生確率を大幅に低減させ、安定して高精度なデータが得られる環境を整えました (写真 1, 2)。これにより、当望遠鏡の共同利用を更に加速させていくことが可能となりました。



(左) 写真 1: 更新前と更新後の制御システム電子回路基板の比較一例。今回は特に既に製造中止となっている IC を使用している電子回路を中心に更新を行ないました。この更新により、電子回路の耐久性も大きく向上し、かつ回路が簡素化されたため、故障発生確率が大幅に抑制されました。(右) 写真 2: 新規製作・導入した 11 種類の各駆動部エンコーダ。全て寸法は旧エンコーダに揃え、容易に取り換えが可能なものとしました。この更新により、望遠鏡各駆動部の位置情報信号のノイズが除去され、望遠鏡各部の誤作動の発生が回避されて安定した天体観測データが得られるようになりました。

(上野 2016 年度年次報告より)

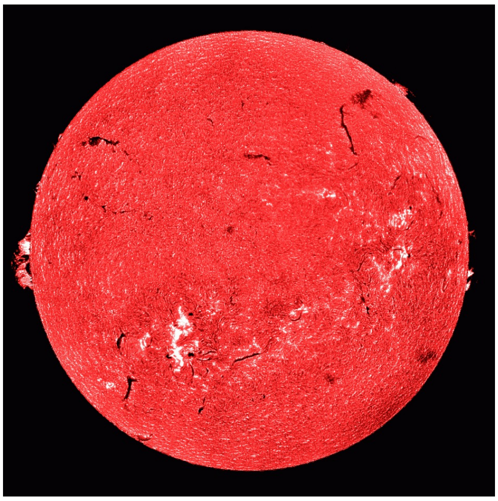
3.2.8 太陽磁場活動望遠鏡 (SMART) の高分解能太陽全面像

飛騨天文台に新設された太陽磁場活動望遠鏡 (Solar Magnetic Activity Research Telescope: SMART: スマート) は図 1 の写真のように 2 月の厳冬期でも設計どおりに作動することが確認できました。裸のまま厳しい自然に晒された中で、望遠鏡蓋及び側面パネル開閉や内部の空調システムなどを安定に作動させることは非常に難しい課題でしたが、1 年を通した立ち上げテスト観測の中で、様々な測定と最適化調整を経て確認されました。SMART の目的は、我々人類と地球にとって最も大切な太陽の活動を詳しく調べることです。そのためには、太陽全面に亙って出来るだけ高分解能且つ高精度で、太陽表面の三次元磁場構造の変化とそれによる太陽プラズマ活動現象の変化を同時に観測する必要があります。このため SMART には、次のような新しい多くの工夫がなされています。

図 1: 厳冬の中の飛騨天文台の太陽磁場活動望遠鏡

(1) 鉄塔上に設置 (地上 16m)。鉄塔歪：40μ 以下 (風速 10m 時)
(2) 搭上面を極力狭い格子構造とし、陽炎除去
(3) 望遠鏡を極力コンパクトなドームレス型
(4) 望遠鏡内を二重構造にして自動温度制御 (摂氏 25 度 $\pm$5 度)
(5) 大口径フィルターにより対物レンズ直前で不要波長除去
(6) 望遠鏡を動かさずに観測領域選択: 2 枚の大口径楔を対物レンズ直前で回転
(7) 口径 50mm (世界最大) Lyot フィルタの製作
(8)25cm 多機能望遠鏡: 直交する 2 偏光の同時撮影で磁場の測定精度向上
(9) 大口径タンデム型ファブリ・ペロフィルタの製作
(10) 最大画素数 4096×4096 で、現在最速の USB2 データ転送を用いた CCD カメラを採用

次のページでは 2003 年の 8 月 6 日に撮影された太陽全面の Hα 像を示しています。調整テスト段階において撮影されたものですが、既に太陽全面 Hα 像としては、世界最高級の空間分解能を実現していることが分かります。これまで、飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡を用いた、高分解能 Hα 写真によって、色々な新しい発見がなされてきましたが、その半面で、高分解能の弱点として撮影領域の視野が狭いために、数々の面白い現象の発展段階を逃してきたのも事実でした。そのたびに「太陽全面をいつも高分解能で観測でき



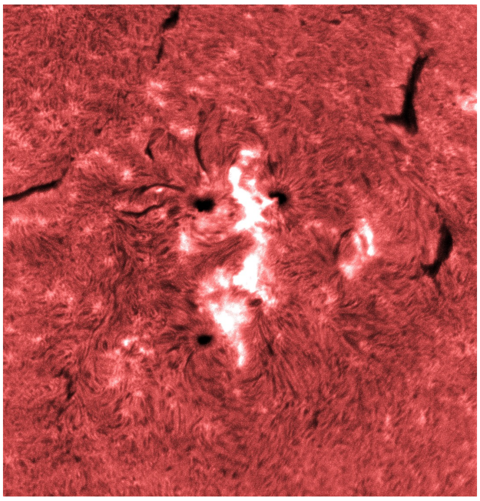
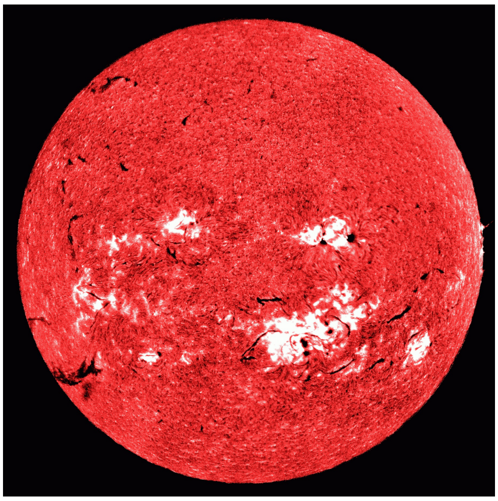


図 2(左): SMART で観測された太陽全面 Hα 像 (2003 年 8 月 6 日撮影) 図 3(右): 図 2 の全面像の右下の活動領域を拡大したもの

る望遠鏡」の必要性が要望されてきたわけですが、今まさに実現したと云えます。

この太陽全面像の分解能を確認するために、右下の活動領域だけを拡大したものを図 3 に示します。黒点周辺の強い磁場に沿ったプラズマの流れを表す黒い微細な筋模様が分解されて見えているのが良く判ります。

図 4 には、2003 年 10 月末から 11 月にかけて多くの強いフレアを発生させた活動領域を含む太陽全面の Hα とベクトル磁場図を示しています。このように SMART は高い空間分解能でいつも太陽全面を観測できますから、地球側に向いた太陽表面に現れる全ての活動領域をその誕生から、その発達過程を詳細に連続して追跡することが可能となりますので、フレアなどの爆発現象の発生メカニズムを研究する上で大きな武器を得たことになります。



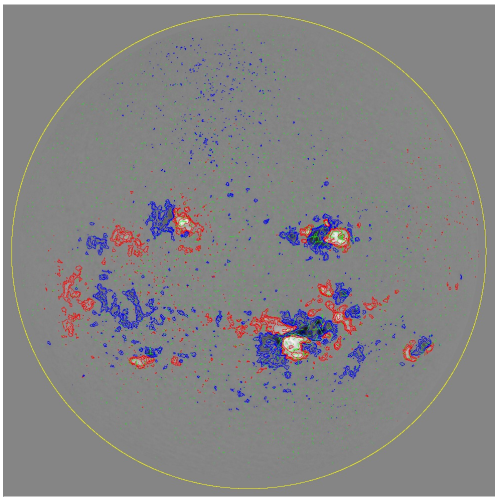


図 4: 2003 年 10 月 30 日の太陽全面像。(左): Hα 線像。(右): ベクトル磁場図。

(黒河 宏企 記 2003 年度年次報告より) Referecnce: UeNo, S. et al. 2014, SPIE, 5492, 958.

3.2.9 SMART Hα / 連続光 高速撮像装置 (FISCH: Flare Imaging System in Continuum and H-alpha) の新設

可視光においてフレアカーネルの時間発展を高速かつ高空間分解能で撮像することで、フレア加速粒子の空間的・時間的発展を詳細に捉える目的で、飛騨天文台 SMART 望遠鏡 T3 の光学ベンチに Hα/連続光撮像光学系を新らたに設置した[1]。

2011 年 8 月 18 日にファーストライトを迎え、2011 年 9 月には、白色光フレアの観測に成功した。

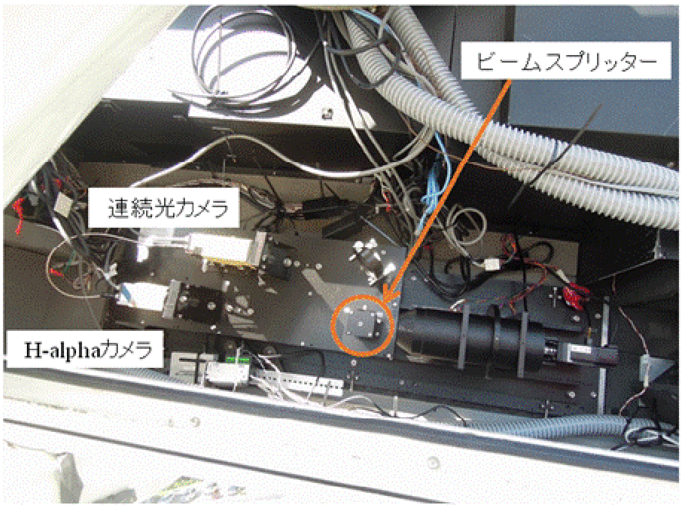


図 1:(左)SMART 全景 (右) 新設された Hα/連続光高速撮像システム

SMART に搭載した新光学ベンチの写真を図 1 に示す。Hα/連続光高速撮像システムは、光を 2 つの撮像系に分けるビームスプリッター、Hα と連続光 (647nm) の多層膜バンドパスフィルター、および 2 台の高速 CCD カメラ (1600 × 1200 画素) から構成される。

視野は 350 × 260arcsec^2 をカバーし、25 frames/秒で 2 つの波長の画像を同時に取得する。Hα のフィルターは透過幅 3 Å のものを採用したため、純粋な彩層画像は得られないが、同時に取得した連続光画像を差引くことにより Hα 線の積分強度に対応する画像を得る。露出時間は 0.2 msec 程度で、これは大気の揺らぎ (シーイング) の時定数よりも十分に短い。スペックル像再生処理を施すことにより、回折限界の解像度 ($\sim$ 0.6 arcsec) を達成する。画像データは望遠鏡タワー下の観測室に設置する観測制御計算機にて連続的に保存する。このとき発生するデータ量は 1 時間当たり 1 TB、一日に 7 $\sim$ 8 TB と膨大なものとなるが、フレアが発生している時間帯以外のデータの時間分解能を落としてデータを選別することにより、現実的なデータ量に抑える。フレア時以外は、連続光画像を用いたフレームセレクションを行い、5 秒に 1 セットの Hα 線と連続光画像を選別する。

[1]この開発研究は、名古屋大学 STE 研の地上ネットワーク観測大型共同研究 (重点研究) (代表:一本潔、増田智) により行われた。

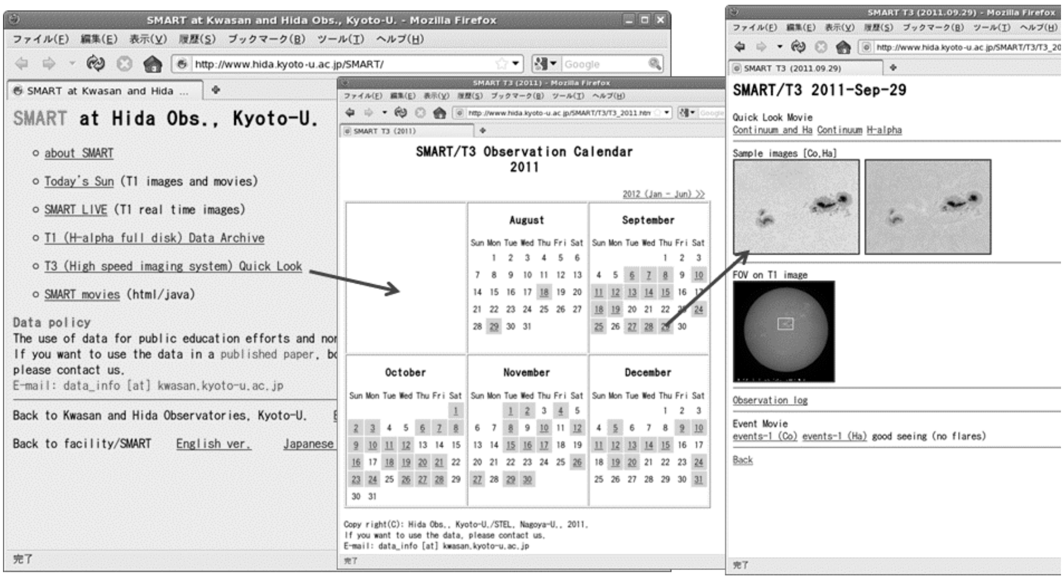


図 2: データ公開

2011 年 8 月 18 日にファーストライトを迎え、11 月には、Hα 全面像と同様の定常観測を開始した。観測翌日にはサンプル画像やクイックルックムービーなどをホームページ (http://www.hida.kyoto-u.ac.jp/SMART/) から閲覧できる (図 2)。

ファーストライト以降に発生した 9 回の X クラスフレア (日本時間の昼のものは 5 回) のうち、4 例が観測されている。2011 年 9 月 6 日世界時 22 時と、9 月 7 日世界時 22 時に発生した X クラスフレアにおいて、連続光におけるフレア時の増光が確認された。2012 年 3 月 7 日の観測データは確認途中であるが、天候不良もあり、連続光での増光は判断がついていない。2011 年 9 月 6 日のフレア (図 3) について、RHESSI など硬 X 線での撮像分光観測や SDO/HMI の磁場データとの比較解析を行い、日本天文学会にて発表を行った。

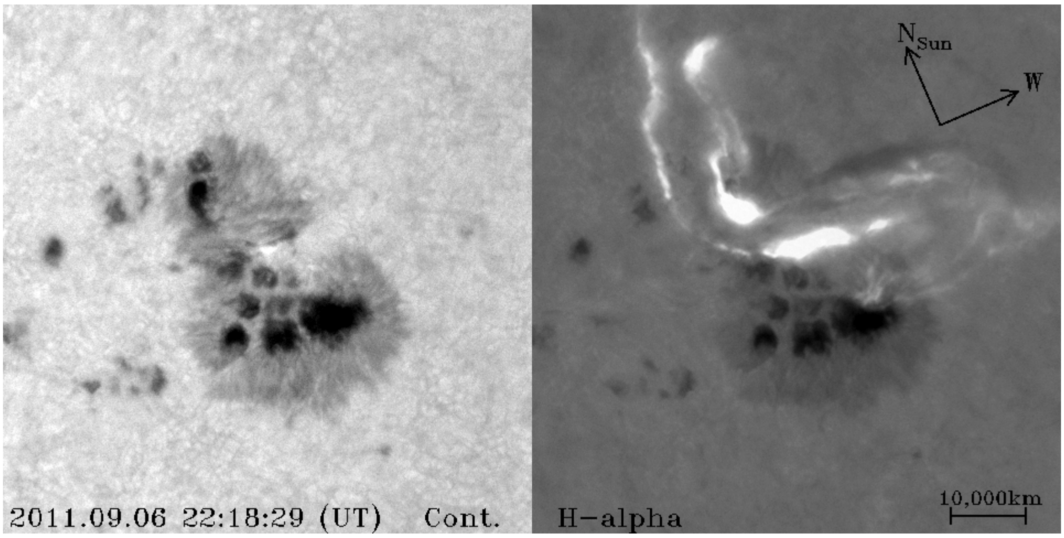
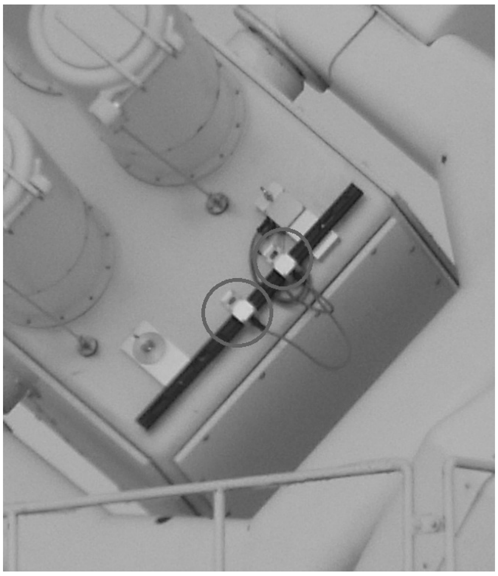


図 3: 2011 年 9 月 6 日の X クラスフレア (左) 黒点中央に白色光フレア

(石井貴子 記 2011 年度年次報告より) Reference: Ishii, T.T. et al., 2013, PASJ, 65, 39.

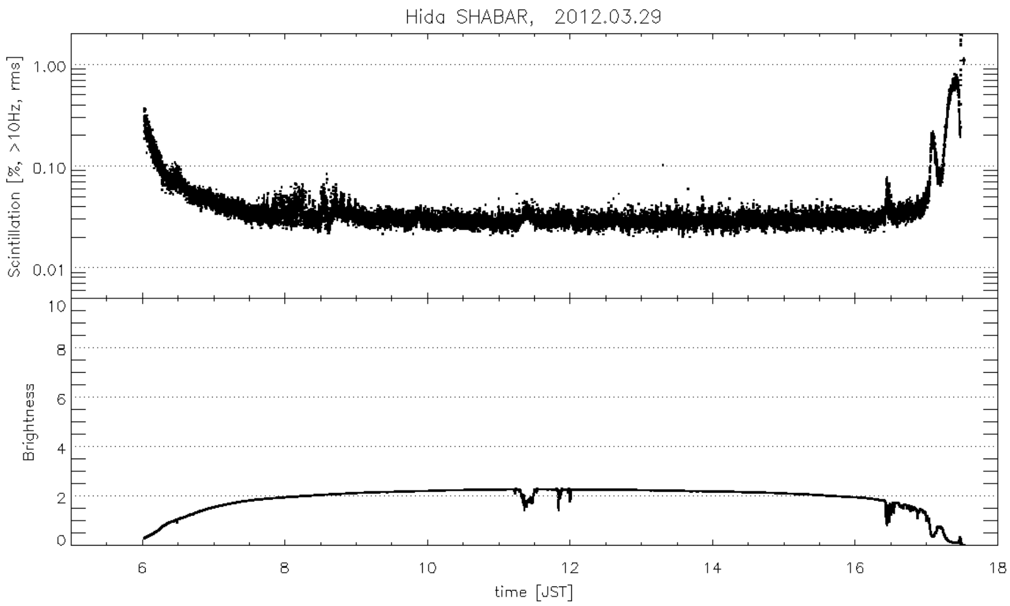
3.2.10　太陽観測用シーイングモニターの開発



SHABAR(SHAdow-BAnd Ranger) により太陽の光量を測定し、そのシンチレーションからシーイングを見積もる装置を開発し、飛騨天文台太陽磁場活動望遠鏡 (SMART) に設置した。SMART は、高さ 16m の塔上にドームレスで設置されている。四本の望遠鏡を一つのフォーク式架台に同架している望遠鏡函体の前面 (観測時に太陽を指向) にセンサー類を設置した (右写真)。

回路のパターン設計などは飛騨天文台にて自作し、4 層のプリント基板で作成した (5 枚作成済み、増産も可能)。センサーはアルミケース内に納め、汎用の 50 mm 光学ベンチ (長さ:約 1 m) に配置し、A/D コンバーターへは防水メタルコンセントにて接続した。降雪対策として、ケース天面に融雪用のヒーター (自己制御) を組み込んだ。光量は 16-bit AD 変換を行い 5000 Hz で取得し、2 秒ごとに平均輝度、rms 輝度変動、二つのセンサー間の相互相関値を記録している。現在、二つのセンサーを間隔 20 cm で運用しているが、これは、汎用ベンチキャリアを介して容易に変更、増設できる。

SMART 観測時には、常にデータを取得し、全面像撮影の停止・再開の自動判断に平均輝度の値を用いている。毎日のデータは台内向けに web サーバーに保存している。2011 年 3 月 29 日の、rms 輝度変動 (シンチレーション) と平均輝度のグラフを下図に示す。今後、得られたシンチレーションのデータと、SMART Hα/連続光高速撮像望遠鏡の画像から判定した実際のシーイングとの比較検討を行っていく。



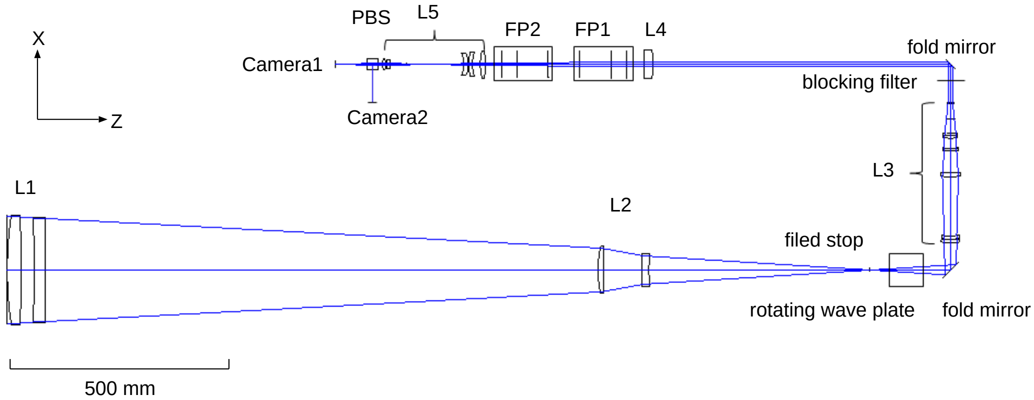
(石井貴子 記 2011 年度年次報告より)

3.2.11　SMART-T4 マグネトグラフ:Tandem Etalon Magnetgraph (TEM)

飛騨天文台の Solar Magnetic Activity Research Telescope (SMART) の第 4 鏡筒 (T4) は、2003 年のプロジェクト開始当初に実験プラットホームとして位置づけられ、第 2 鏡筒 (T2) で実施する全面の光球磁場観測を補う部分像光球磁場観測、もしくは彩層、光球の 2 色同時撮像観測を計画していた。

初期運用期間には、いずれのオプションを選択するのかの検討を続けてきた。この間、2006 年に「ひので」衛星の打ち上げがあり、可視光望遠鏡の Spectro Polarimeter(SP) では、SMART T2 を凌駕する高精度の磁場観測データを取得できるようになった。このために、地上観測の利点を生かした、特徴ある磁場観測を SMART で実施できないか検討を深め、最終的には T4 を磁場観測望遠鏡として位置づけ、その新装置 (Tamdem Etalon Magnetograph) の開発を科研費など利用して、2008 年度より行ってきた。2012 年度からの試験観測を経て、2015 年度から定常観測を行っている。なお、2010 年には、NASA の Solar Dynamics Observatory(SDO) 衛星が打ち上げられ、Helioseismic and Magnetic Imager(HMI) による連続的な光球全面のベクトル磁場観測が行われるようになった。

T4 マグネトグラフは、SMART-T2、「ひので」などと同じ FeI 6302.5Å のゼーマン効果を計測して、光球面の 3 次元磁場情報を取得する。吸収線を選択する狭帯域フィルターとしては、2 台の Fabry-Perot フィルタ使用して、∼ 100mÅ の FWHM で、線輪郭を測定する。偏光観測装置としての特徴は、2Hz で連続回転する回転波長板と偏光ビームスプリッター、30fps の CCD カメラを 2 台用い、直交偏光信号を同時に取りこむ点である。



マグネトグラフの光路図 (Nagata et al. (2014) より転載)

直交偏光の同時取得により、シーイングによる疑似偏光の混入を抑制することが可能となり、さらに30fpsの高速読み出しデータを時間方向に積分することで、統計的な計測誤差も抑えることができる。これにより、3×10^{-4} に達する測光精度での光球磁場マップを、1分程度の時間間隔で取得することが可能になる。これは、12分間隔で 10^{-3} の精度での観測をするSDO/HMIを上回るものである。

本計画の主要な試験、開発要素は以下のようにまとめられる。

機構改修:当初に使用を想定していたfull frame CCDとは異なる小型のinterline CCDのカメラの視野に対応した視野調整レンズ(ワイドコンバーター)を望遠鏡光学系を設計・制作したコニカミノルタとともに新規に開発した。ワイドコンバーターレンズ、ビームスプリッター、カメラを搭載する機構も新規制作した。

狭帯域撮像:CSIROにより制作されたFabry-Perotフィルタの分光性能評価は、ドームレス太陽望遠鏡分光器を利用して行われた。波面性能については、国立天文台の先端技術センターのザイゴ干渉計を利用させていただき実施した。なお、「ひので」衛星でも経験されている、Andover社製のブロッキングフィルターの劣化(透過波長の短波長シフト)が顕著になったために、2017年度にAlluxa社製のものに交換している。

偏光変調:ドームレス太陽望遠鏡の偏光観測での経験を活かし、横河の中空サーボモータを用い、直線偏光と円偏光の変調効率が等しくなるように遅延量を調整した波長板(日本真空製)を設置し、約2Hで連続回転するシステムとした。偏光復調に必要な撮像時の角度信号を、サーボモータの制御装置から取り込むようにした。

データ処理:30fpsでは各画像間のシーイングの影響は除去できないために、複数画像を用いて偏光復調を行うためには画像の位置合わせが必要となる。このために、広く用いられているImage destretchのアルゴリズムを、マルチコアCPUを用いて並列処理するライブラリを開発した。

ストークスインバージョン:取得されたストークスプロファイルからベクトル磁場への変換は、「ひので」可視光望遠鏡のNarrowband Filter Imager(NFI)用のLoop Up Table(LUT)方式のコードをベースに開発し、小さな計算機資源でも効率的に磁場データを得られるようにした。

T4 マグネトグラフの性能を検証するために、2012年7月10日に観測された活動領域NOAA11520の様子を、SDO/HMIの観測の様子と詳細に比較を実施したところ、ほぼ設計値を満たす 3×10^{-4} という偏光測定精度を20秒の観測で実現出来ていることが確認された。これは、同じ観測時間で比較した場合は、SDO/HMIをも上回るものになっている(図2)。

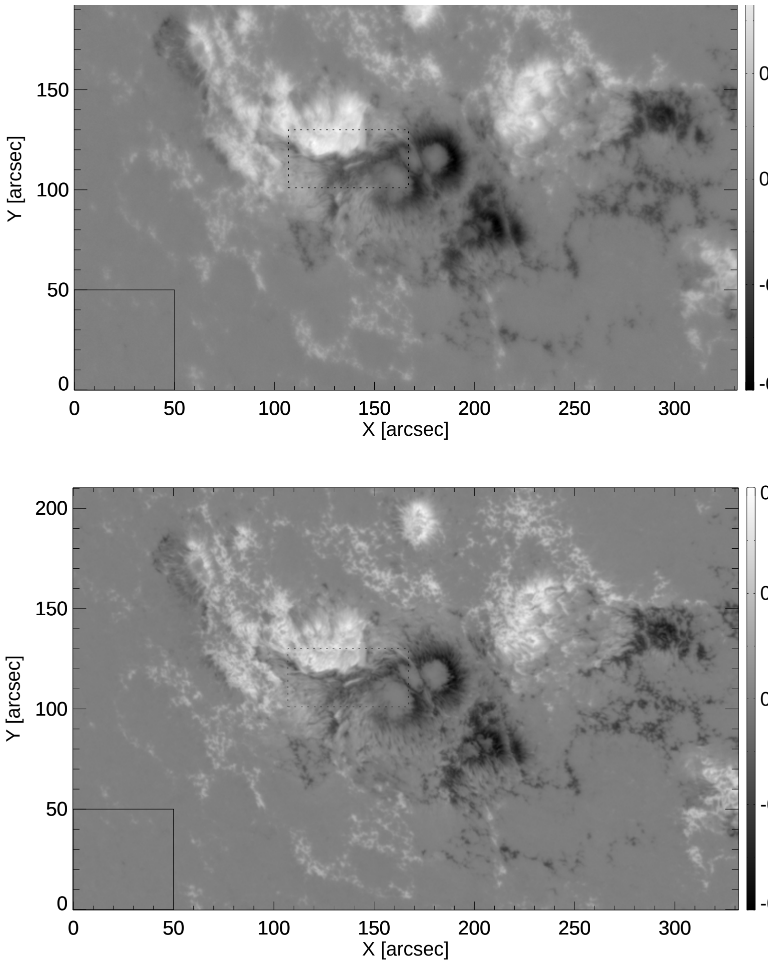


図: SMART/TEM（上）と、SDO/HMI で取得された NOAA11520 の偏光信号（視線方向磁場強度）の比較 (Nagata et al. (2014) より転載)。

2015 年 8 月 25 日には、NOAA12403 で発生したインパルシブな circular ribbon flare(M5.6) を観測し、リボンの発達に伴った顕著な光球磁場構造の変化が捉えられた。SDO 衛星のコロナデータと合わせて、フレアに関与する磁気リコネクションの時間変動についての解析を進めている。また、9 月 6 日に X9.3 の巨大フレアを起こした NOAA12673 については、2017 年 9 月 4 日–5 日の発達の様子を捉えることができた。今後、T1/SDDI, T3/FISCH の特徴ある H-α 速度場、白色光フレアの観測データと合わせることで、太陽フレアやプロミネンス噴出における磁気エネルギー蓄積・開放過程、力学的不安定成長に関する観測研究を推進していく。

Reference:

Nagata, S. et al. 2014, PASJ, 66, 45.

(永田伸一 記)

3.2.12 SMART 全面像望遠鏡用チューナブルフィルターの作製—新学術領域 PSTEP(太陽地球圏環境予測) がスタート—

2015 年度より新学術領域研究として、太陽地球圏環境予測 Project for Solar-Terrestrial Environment Prediction (PSTEP) が発足した。これは太陽と地球およびそれを取り巻く惑星間空間すなわち「太陽地球圏」を統合的に研究することで、太陽表面におけるフレアやフィラメント噴出現象、CME といった活動現象が我々の社会基盤や生活にどのような影響を及ぼすかを予測する「宇宙天気予報」の確立を目的としている。

PSTEP 発足に伴い飛騨天文台の太陽磁場活動望遠鏡 SMART では、地球磁気圏に影響を及ぼす太陽噴出現象をより詳細かつ定量的に観測するため、彩層全面像用の新たなチューナブルフィルターを開発することとなった。新たなフィルターは口径 40mm、透過幅 0.25Å、波長チューニング幅 9Å、チューニング時間 0.1 秒と、従来のものと比較してより広範囲の速度域 ($\sim \pm 400$ km s^{-1}) を短時間でカバーすることが求められた。これまで捉えることができなかった高速噴出現象をその初期段階から観測することで宇宙天気予報の正確性、迅速性を向上させることを期待され、開発費用は PSTEP から拠出された。

今回、コンパクトかつ即応性に優れたチューナブルフィルター作製のため、遅延素子として液晶可変遅延素子 (LCVR) を用いた。各種光学素子は干渉計、ひずみ検査器および偏光特性計測装置を用いて検定を行った。特に LCVR は光の波長、印過電圧および温度によって遅延量が変化するため、状況に応じた適切な印過電圧を計算するためのモデル作成を行った。フィルター本体を組み立て後、飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡にて試験観測を行い、今回のチューナブルフィルター作製を完了した。来年度以降、実際に SMART の望遠鏡内部にチューナブルフィルターを設置した上での定常観測へ向けて計画を実施していく予定である。

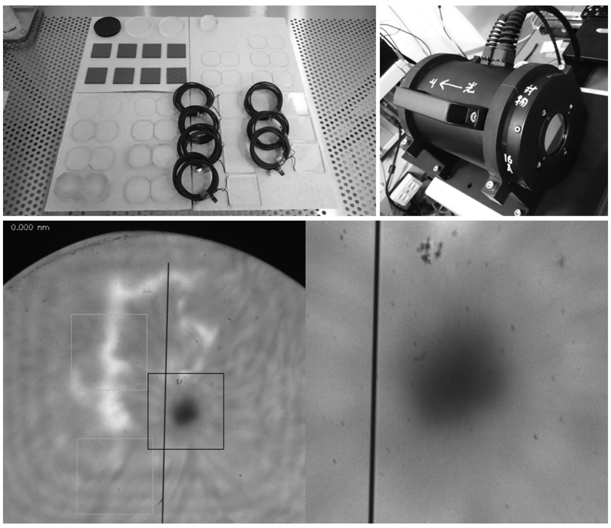


図: (左上) チューナブルフィルター作製に用いた全光学素子、(右上) 完成したチューナブルフィルターの外観、(下段) ドームレス太陽望遠鏡で試験観測した活動領域近傍の彩層。

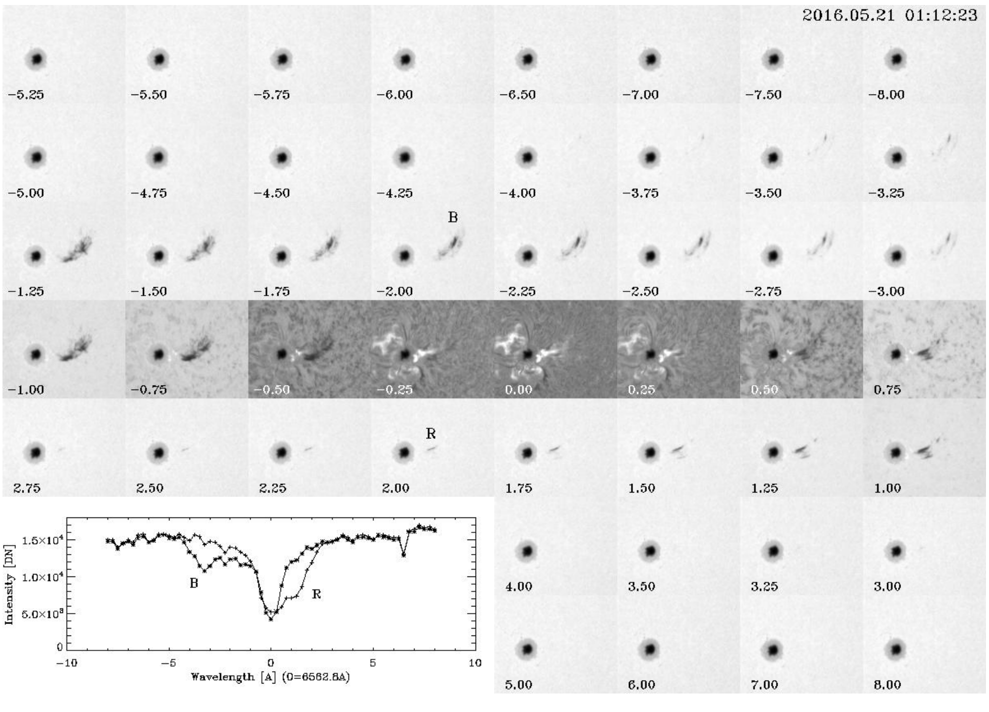
(大辻 賢一 記 2015 年度年次報告より)

3.2.13 SMART 望遠鏡 新全面像速度場撮像装置: Solar Dynamics Doppler Imager (SDDI)

新学術領域「太陽地球環境予測 (PSTEP)」の太陽嵐班 (A02) の研究のため、太陽から高速に飛び出すフィラメント放出現象を観測することができる装置を 2016 年 4 月末に飛騨天文台 SMART 望遠鏡に新設した。

太陽から放たれる紫外線や X 線、高エネルギー粒子（放射線）、および磁化したプラズマの風は、太陽面爆発 (フレア) やコロナ質量放出 (Coronal Mass Ejection: CME) により激しく変動する。このような太陽現象を起因とする太陽・惑星間空間の変動「太陽嵐」は、地球環境と人間社会にも多大な影響を与る。コロナ質量放出 (CME) は、太陽面からのフィラメント (プロミネンス) 消失に伴い発生することが知られているが、すべてのフィラメント消失が CME と関連するのではなく、運動するフィラメントの速度構造との関係は十分に調査されていない。

そこで、本研究では、高速で運動するフィラメントの三次元速度構造を決定するため、飛騨天文台 SMART 望遠鏡の太陽全面像観測システムを更新した。従来の観測は、Lyot フィルターを用いた波長制御と 4K CCD カメラによる波長点数 7 点 (Hα 中心および $\pm$0.5, 0.8, 1.2 Å)、視野 2300 arcsec^2(ピクセルサイズ 0.56 arcsec/pix)、時間分解能 1-2 分であったのに対し、新装置 (Solar Dynamics Doppler Imager : SDDI) は、液晶による波長制御を行う複屈折フィルターと 100 frames/sec の高速撮像可能な 2K CMOS カメラにより、波長点数 73 点 (Hα $\pm$ 9 Å の範囲を 0.25 Å 刻みに観測)、視野 2520 arcsec^2(ピクセルサイズ 1.23 arcsec/pix)、時間分解能約 15 秒で観測を行う。これにより、従来の装置で観測できるフィラメントの噴出速度は最大 55km/秒だったのに対して、新装置では、最大 410km/秒までとらえることが可能となった。



2016 年 5 月 21 日に活動領域 NOAA 12546 の周辺で観測された噴出現象

本年次報告の表紙には、2016 年 5 月 21 日に活動領域 NOAA 12546 の周辺で観測された噴出現象の SDDI による多波長観測画像と、R,B 付近の波長ごとの明るさの変化を示したグラフを掲載した。グラフの 0 が、Hα 中心に相当し、物質が運動することによりグラフ (吸収線) の形が変化していることがわかる。この変化量から、運動するフィラメントの視線方向の速度が算出でき、太陽画像から視線と水平な方向の速度を求めることにより、フィラメントの三次元速度場が導出できる。

SDDI では、広い波長範囲を高時間分解能で観測するため、データ量は巨大 (10 時間の観測で 1.4TB) になる。秒速 150km を超えるような速い活動現象は稀れ (日によって活動度は異なるが、多い時で一日数例 (合計 2-3 時間程度)、観測されない日も多数) なため、観測終了後に高速現象を確認して波長範囲を狭めたデータを保存、現象の受かっていない外側の波長のデータは消去している。こうして確認された高速のサージ、フィラメント活動の観測例や、リアルタイム太陽画像は、飛騨天文台 SMART 望遠鏡のウェブサイト http://www.hida.kyoto-u.ac.jp/SMART/ より閲覧可能である。

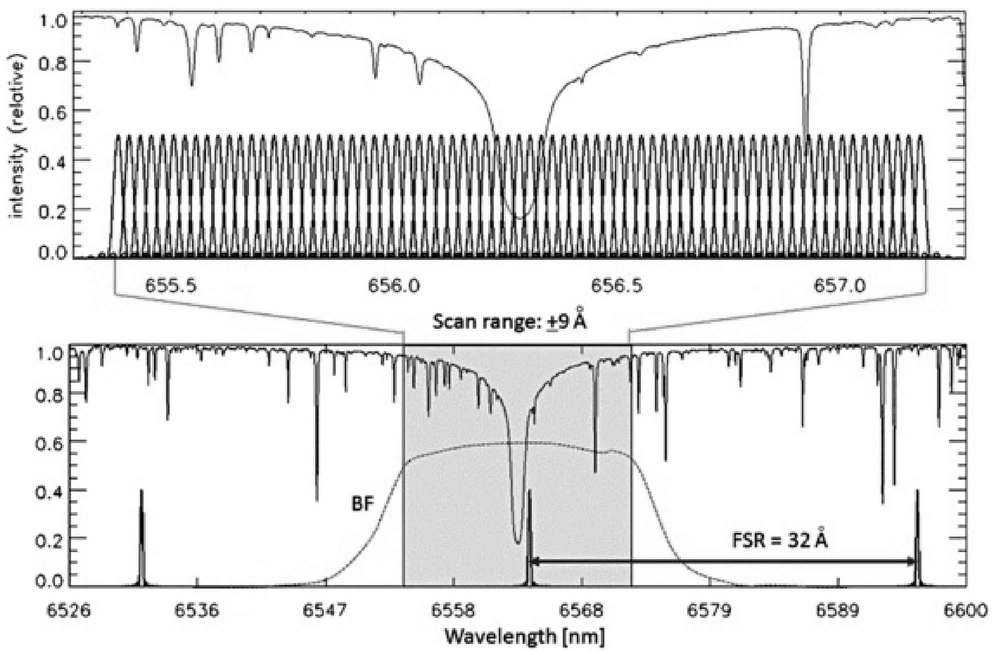
Reference:
Ichimoto, K. et al. (2017) Solar Physics, 292, id63.

(石井 貴子 記 2016 年度年次報告より)

参考:

http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2017/170410_1.html

産経新聞 (2017 年 4 月 15 日夕刊 8 面)、中日新聞 (2017 年 4 月 15 日 29 面)、日本経済新聞 (2017 年 4 月 14 日 30 面) および毎日新聞 (2017 年 4 月 19 日 27 面, 本記念誌 p.61) に掲載されました。



SDDI が観測可能な波長範囲と波長分解能 (Ichimoto et al. 2017 より転載)。

3.2.14 飛騨天文台フレア監視望遠鏡のペルーへの移設

皆さん御存知の通り、フレア監視望遠鏡 (FMT) は 1991 年度、宇宙天気研究の推進に太陽観測の立場から貢献することを主たる目的として、飛騨天文台に建設された。その後、この FMT が小型望遠鏡ながらも太陽彩層全面像の多波長同時観測が可能であることを活用し、様々なテーマで多くの研究業績を生み出してきた事は、当天文台ホームページの FMT 関連論文リストのページ[1]等を御覧頂くとお分かり頂けるものと思う。

当天文台では、地球環境に影響を及ぼし得るようなフレア、フィラメント噴出、衝撃波など、太陽彩層で見られる大規模な活動現象を漏れなく検出して、それらの物理量を測定することを可能とするために、2005 年頃より、上記のように宇宙天気研究に有効な特徴を備えた FMT 型望遠鏡を世界中に展開することにより、太陽全面 Hα 多波長地上観測国際ネットワークの形成を目指すプロジェクト: Continuous H-alpha Imaging Network (CHAIN) Project を発案し、海外第一号 FMT を設置する候補地・協力機関を探し始めていた。

その様な背景の中、ペルーの石塚睦先生から、ペルーへの太陽望遠鏡設置検討の御要望を頂いた事、太陽の連続観測と言う観点からもペルーは日本の夜の時間帯を長時間カバーし、連続的に飛騨天文台における観測にバトンタッチしてくれると言う地理的好条件を備えている事、などから、私たちは 2006 年度に上記海外第一号 FMT 設置候補地をペルー国に定めることとし、更に 2008 年度夏には、具体的にペルーに設置する望遠鏡として、飛騨天文台の FMT そのものをペルーに移設する、と言うことを決めるに至った。

なお、幸い飛騨天文台には 2003 年に SMART 望遠鏡が完成したので、Hα 周辺波長での太陽全面撮像観測は、多波長同時ではないものの、可能であり、今後、撮像頻度を上げてデータ数を稼ぐなどの改良により、異なる波長での撮影時のシーイング変動の効果も抑制して行けるものと判断し、日本における CHAIN プロジェクトの主要観測装置は、SMART が担って行くものとした。

ペルーにおける具体的な観測サイトや運用方法、インフラなどについての議論は、この CHAIN プロジェクトとペルーへの FMT 設置計画を国際的に公表するために当天文台の上野とペルー地球物理学研究所 (IGP) のイシツカ・ホセ氏が参加した、2006 年 11-12 月、インドのバンガロールにて開催された "International Heliophysical Year (IHY) 2007" の国際会議の時点より開始し、2007 年 1 月には当天文台の柴田台長と上野も実際にペルーに渡り、IGP より提案されていたアンコン観測所、ワンカイヨ観測所、ハワイ新教育天文台建設候補地、そしてイカ大学、の 4 か所の候補サイトを視察して回り、それらのサイトの中から、先ず第一には晴天率を重視し、更にインフラ整備の見通し、アクセス性の良さ、オペレーションスタッフやデータを効果的に利用する研究者等の人的環境・教育効果の高さ、等を総合的に勘案した結果、IGP チームがイカ大学に働きかけて 2008 年からの着工が決まっていた、同大学内の「太陽ステーション」を FMT 設置サイトとして最終決定するに至った。

[1] http://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/general/facilities/fmt/fmt_papers.html


写真１：飛騨天文台でのＦＭＴ解体作業


写真２：飛騨天文台でのＦＭＴ解体作業


写真３：ペルーでのＦＭＴ組立作業

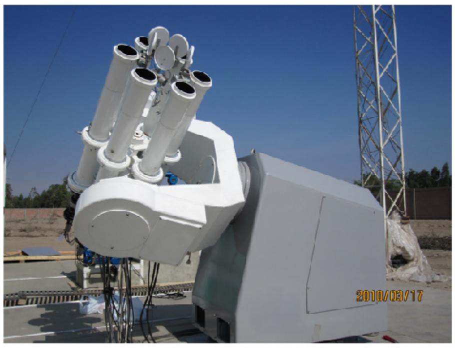


写真４：ペルーでのＦＭＴ設置完了時の様子

そうして、ついに今年度、科研費学術創成「宇宙天気予報の基礎研究」(代表：柴田一成教授) や国立天文台受託研究費 (大学支援経費) 「ペルー国イカ大学に設置する国際協同太陽観測装置による宇宙天気研究」(代表：柴田一成教授)、京大・理・GCOE プログラム・若手スタッフ GCOE 研究基盤強化プロジェクト経費「国際太陽地上観測ネットワーク形成による 100 年に一度の活動極小期から極大期に向かう太陽および宇宙天気の観測的研究」(代表：上野悟) 等の支援を受け、飛騨天文台 FMT のペルーへの移設作業が実施されるに至った。

2009 年 11 月 10 ～ 11 日には、実際に飛騨天文台の FMT が解体されて京都の西村製作所へと運送され (写真 1,2)、同年 12 月末には、ペルー・イカ市の緯度 (南緯 14 度) に合わせた赤道儀架台の製作が完了。その後、仮組み立て・動作テストを行ないながら輸出入手続を行ない、2010 年 1 月 29 日に、神戸港より周辺機器と共に船便で発送された。それらの荷物は、3 月 3 日、無事ペルーのカヤオ港に入港し、約 10 日間の通関手続きを経た後、3 月 13 日の夜、イカ大学太陽ステーションに無事、到着した。現地では当天文台の上野、木村に加え、西村製作所スタッフが FMT の組立、調整作業を行ない (写真 3)、3 月 17 日に同ステーション内のシーロスタット分光器棟横に設置を完了した (写真 4)。ただし、現在イカ大学太陽ステーションにおいては、主にイカ大学の特別予算から支出して頂いて、さらに本格的な FMT 用格納庫の建設を進めて頂いている所であり、来年度以降、この格納庫が完成し次第、その中に望遠鏡を移動する予定である。この新格納庫には、空調の利いた制御計算機室も用意して頂ける他、同太陽ステーション内の研究棟との間が直接 LAN ケーブルにて接続される予定のため、この格納庫を利用すれば、観測したデータがリアルタイムで研究棟の解析用計算機に転送できるようになり、日本へも順次自動的に転

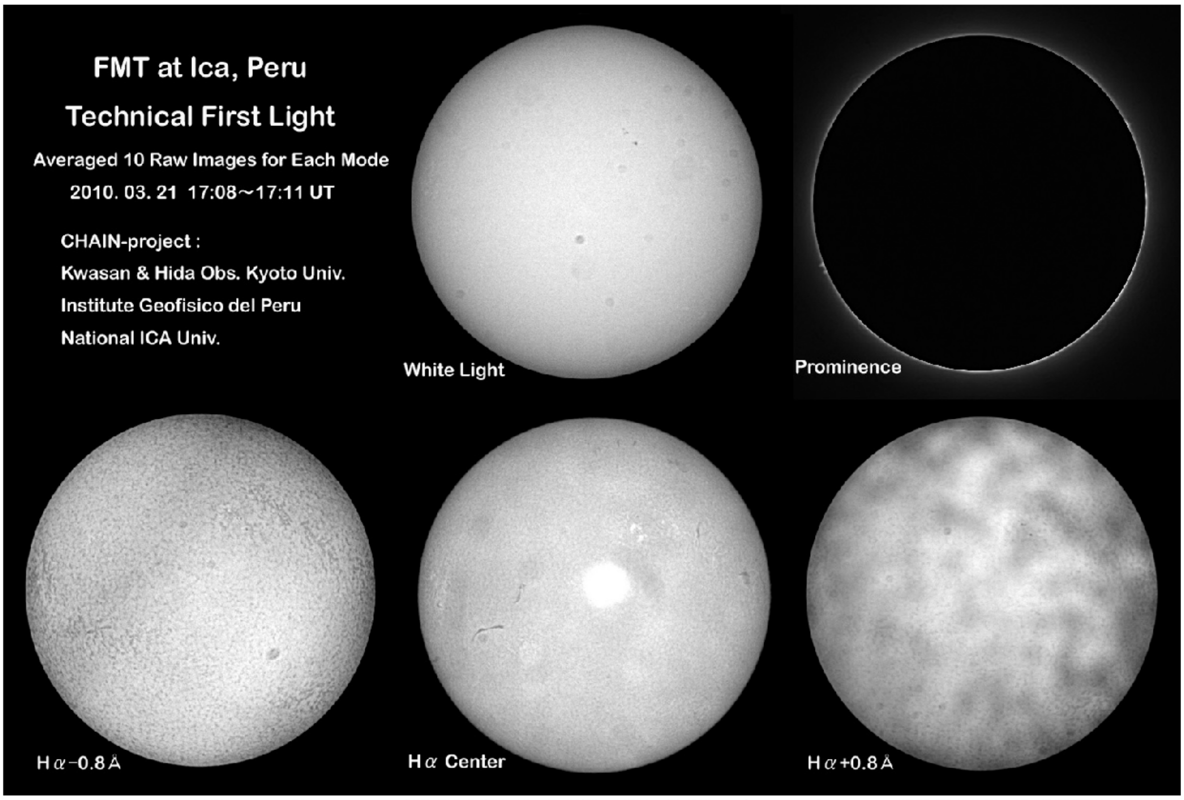


図１：ペルーへのＦＭＴ移設直後の太陽画像（ダーク、フラット処理無しの状態）

送できるようになる予定である。

最後に、図 1 にペルーに FMT を移設した直後の 3 月 21 日に太陽を撮影した際の生画像をまとめた。この画像上には、一部フィルタの劣化によるパターンの目立つものや、長期に渡る保管・輸送期間中のフィルタ温度の低下の影響を受けたパターンが見られるものがあるが、これらのフィルタ自体を更新することも、今後の課題のひとつである。ただ、当面は次年度に予定されている、当天文台スタッフのペルー長期滞在による現地研究者・学生に対する研修・実習プログラムの中で、ダーク、フラットの取得法・画像処理方法を確立して教育することにより、これらの器械的パターンを除去して科学的解析に当たって行く予定である。

これらの研修・実習の成果は、次年度 11 月頃にペルーにおいて国際ワークショップを開催し、発表する場を設けると共に、CHAIN/FMT データを用いた今後の科学研究テーマについて、より深く議論する機会を持つ予定になっている。

(上野 悟 記 2009 年度年次報告より)

関連論文:

Cabezas, D.P. et al. 2017, ApJ, 836, 33.
Seki, D., et al. 2018, Sun and Geosphere, in press. (arXiv:1808.06295)

3.2.15 サウジアラビアへのフレア監視望遠鏡の設置

ISWI News Letter, 2015 Nov.

Solar Observation Started with the Flare Monitoring Telescope at King Saud University under the CHAIN Project

Reporter: Satoru UeNo (Hida Obs., Kyoto Univ.)

The main purposes of our CHAIN project are reinforcement of multi-wavelength H-alpha observations of the full-disk Sun by formation of an international network of ground-based solar station, and international spread, academic exchange and promotion of the space-weather research including developing countries. Under this purposes, we had supported the installation of a new Flare Monitoring Telescope (FMT) at King Saud University (KSU) in Saudi Arabia.

Photo 1: The building and astrodomes of the department of physics and astrophysics of KSU

In 2011, KSU started the project to install the FMT by their own budget and research space weather through solar observations. KSU has very wide campus in the capital city Riyadh. The department of physics and astronomy has two 6.6 m astronomical domes (photo 1). In the one dome, a telescope for the solar observation in white-light has been already working. In another dome, a telescope for night astronomy was working in former times. However, nighttime observation in Riyadh city has become difficult due to the light pollution. Therefore, they decided to replace this nighttime telescope with the FMT and focus on the researches of solar activities and space weather.

Therefore, Kyoto University and Japanese telescope-company cooperatively performed initial installation of a new FMT at KSU in December 2014 under the fund of KSU (photo 2, 3).

Moreover, in October 2015, we did further optical adjustment (photo 4, 5, 6) and training of telescope-operation and data-analysis for Saudi Arabian researchers (photo 7, 8). After that, the daily solar observation with the FMT in KSU safely started on Oct-31 (photo 9, 10, 11).

By starting daily observation at KSU, the CHAIN project came to be able to monitor the Sun for 24 hours continuously without blank time all year round, with including solar observations at Japanese and Peruvian CHAIN stations.

Photo 2: Carrying the fork-mount of the FMT in the astrodome (Dec 2014)

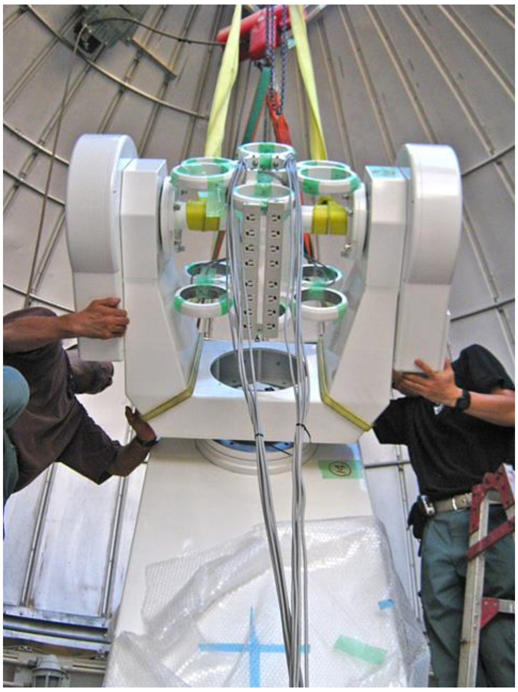


Photo 3: Assembling the FMT (Dec 2014)

Photo 4: Assembling focus-adjustment systems (Oct 2015)

Photo 5: Adjustment of the allignment of objective lenses (Oct 2015)

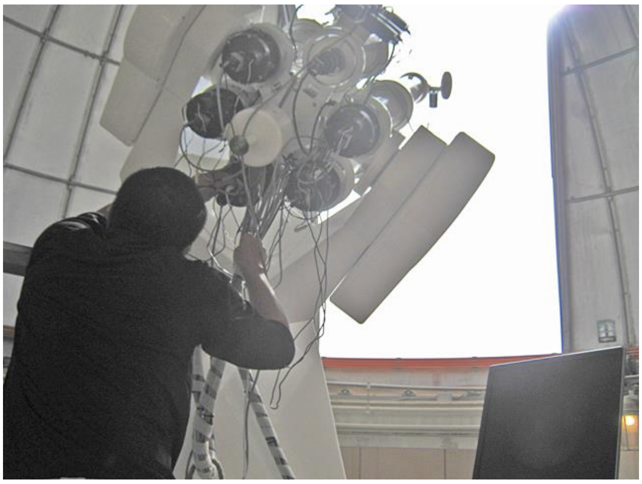


Photo 6: Adjustment of observational wavelengths of optical filters (Oct 2015)

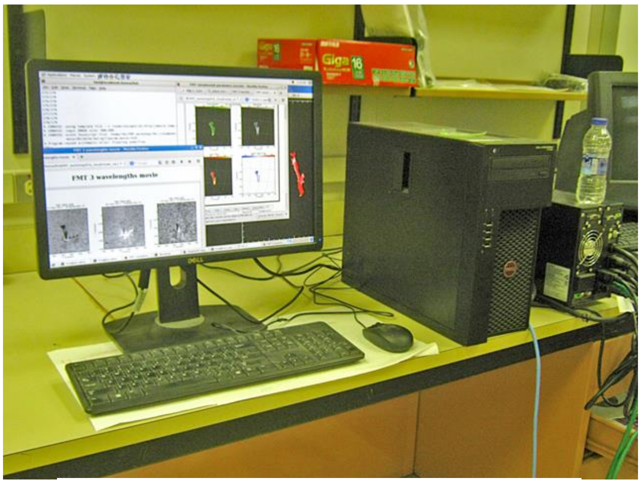


Photo 7: The Linux computer in which data-analysis software was installed

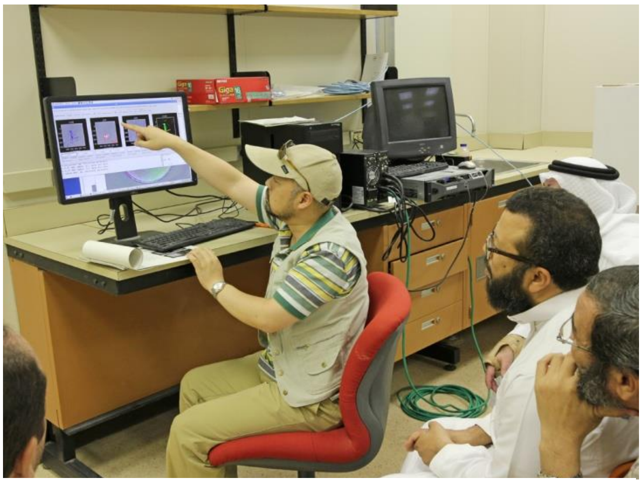


Photo 8: Training of data-analysis of the FMT-data for Saudi Arabian researchers (Oct 2015)

Photo 9: The completed FMT that started daily solar observation (Oct 2015)

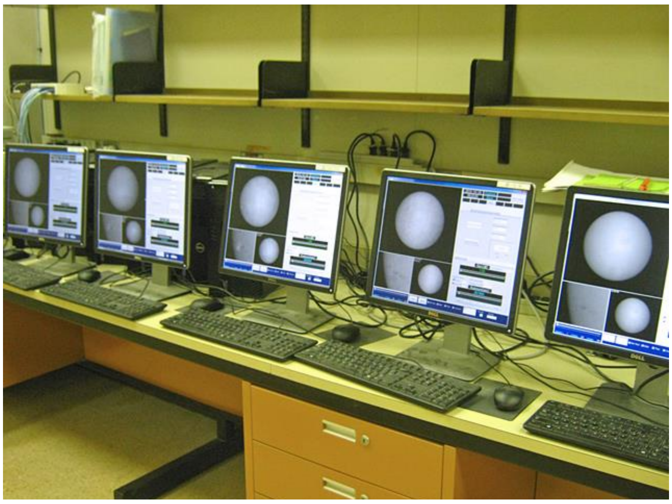


Photo 10: Monitors of each solar image in the control & data-analysis room (Oct 2015)

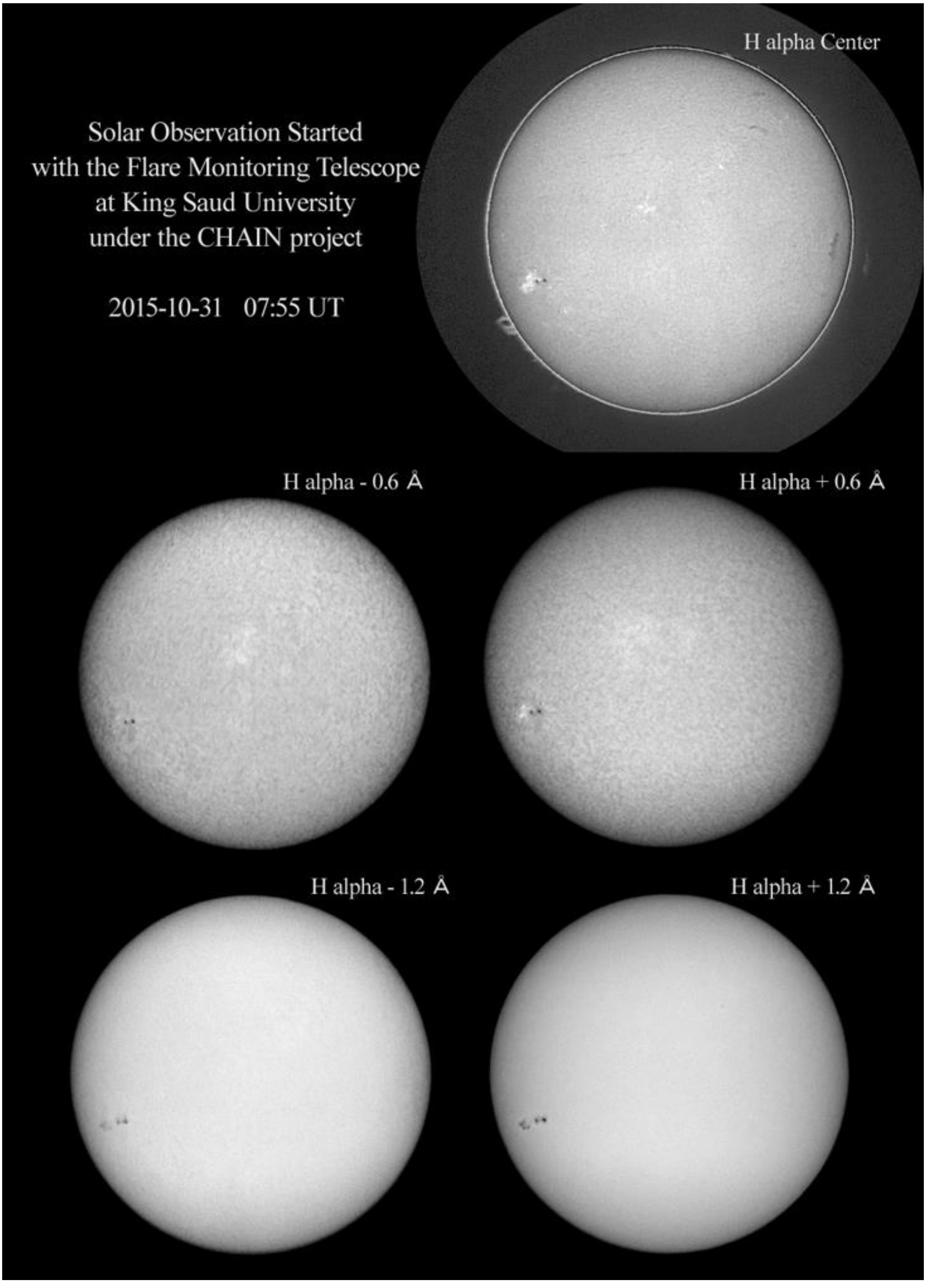


Photo 11: Five kinds of solar images at different wavelengths around H-alpha absorption line on the first day of daily observation with the Saudi Arabian FMT

3.2.16 60cm 反射望遠鏡 恒星観測用整備

飛騨天文台は「惑星天文台」という別名で呼ばれたこともあるように、当初は火星・木星などの惑星と月の観測が主体であった。この天文台の第1号の望遠鏡として花山天文台から移設された60cm望遠鏡も、当初は多くの時間で惑星を写真観測することに使われた。しかし、この20年では、恒星の観測に使えるように様々な手入れがなされてきた。

1999年には、恒星の日周運動の追尾精度を上げ長時間露光に対応するために、極軸の再調整が行われた。また同年には、カセグレン装置の分解掃除とモーターの交換も行なわれた。それ以前はセルシンモーターが使われていたが、その入手が不可能となったので、ステップモーターに変更された。

2000年にはエンコーダが交換された。それまでは観測視野への天体の導入は、赤経軸のみに取り付けられた精度15分のエンコーダ出力をもとに、ガイド望遠鏡で目視をしながら行なうようになっていた。これでは暗い恒星の導入に手間がかかるため、赤経軸及び赤緯軸にOMRON社製の高精度インクリメンタル型ロータリーエンコーダが取り付けられた。これにより望遠鏡方向の取得精度が赤経方向1秒、赤緯方向10"となり、天体の座標のみから短時間で視野に導入できるようになった。

2001年には、カセグレン焦点に取り付けてられていた1K × 1Kピクセルの液体窒素冷却CCDカメラが、主焦点に取り付けられるようになった。これにより焦点距離が大幅に短くなり(焦点距離12m; F20から焦点距離3.3m; F5.5)、約25分角の明るい広視野を確保できて、観測のフレキシビリティが大幅に向上した。また、恒星や銀河の観測において一般的に使用されているJohnson-Kron-Cousinsシステムに準拠したB, V, R_c, I_cの干渉フィルターが導入された。これに合わせてフィルターターレットも制作された。また、望遠鏡の微動用のハンドパドルと、ドームのスリットの位置を動かすためのハンドパドルを統合した新しいハンドパドルが制作され、操作性が向上した。

以上により、19等程度までの恒星の測光観測に十分に使えるようになった。また、1-2年に1回程度、梅雨時の主鏡の再蒸着を継続している。

(野上)

3.2.17 65cm 屈折望遠鏡制御装置の改修

65cm屈折望遠鏡は1972年に設置され、惑星観測を中心に使用されてきた。近年では金星、木星、土星などの偏光観測に用いられている。望遠鏡の制御装置などは建設当時のまま使用されていることから、使用すると必ず故障するということが続いており、その修理のために多くの時間を要していた。制御方法もDTL(Diode Transistor Logic)のため回路構成面積が大きく故障個所の追跡が困難であること、同等仕様の部品の入手が困難になっているということで、制御装置の更新を行った。

各種モーターの取替え、各配線の張替え、制御装置の入替えを行い、これまで行うことができなかった自動導入が行えるようになったなど、使い勝手が格段に向上した。

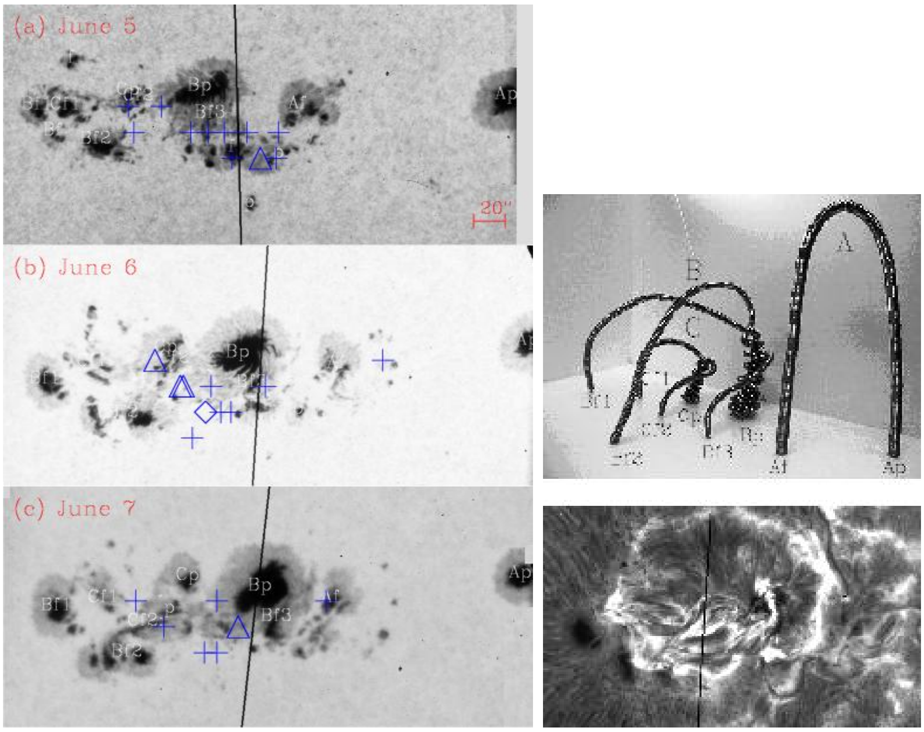
(仲谷 2017年日本天文学会秋年会V267a予稿より)

3.3 研究トピックス

3.3.1 太陽活動領域における捻れた磁束管の浮上とフレア活動との関連について

太陽活動領域 (太陽表面の黒点や黒点上空のコロナ) では、様々な活動現象が観測されています。 中でも太陽面爆発現象 (フレア) は、莫大なエネルギー ($10^{22} \sim 10^{25}$ J) を短時間 (数分から数時間) で解放する活動現象で、その影響は惑星間空間を経て地球にまで及びます。フレアで解放されるエネルギーが、どこにどのようにして蓄積されるかは未だ解明されていませんが、磁気シアと呼ばれる磁場のひずみにエネルギーが蓄えられるという考えがあります。この考えを検証するためには、活動領域における浮上磁場の形態とフレア活動との関連の研究が必要です。

本研究では、二つの大黒点群 (NOAA 5395 と NOAA 4201) について磁場構造の変化とフレア活動との関連を吟味しました。これらの黒点群はどちらも活発なフレア活動を示しており、特に NOAA 5395 は前太陽活動周期で最も活発であった黒点群として知られています。それぞれの黒点群について、黒点の運動や磁場構造の変化を調べ、観測された運動や変化を説明できる浮上磁場のモデルを作成しました。更に、黒点群内での場所によるフレア活動度の違いについて評価したところ、捻れた磁場が浮上している領域に活発なフレア活動が集中していることが判明しました。このことは、フレア活動のエネルギー源が捻れた磁場にあることを示唆します。



左: NOAA 4201 でのフレアの発生位置を黒点像に重ねて表示。+: C-class、△: M-class、◇: X-class flare。右上: 浮上磁場のモデル。 右下: 捻れた磁束管の浮上領域 (右上図 B 及び C) で発生したフレア。

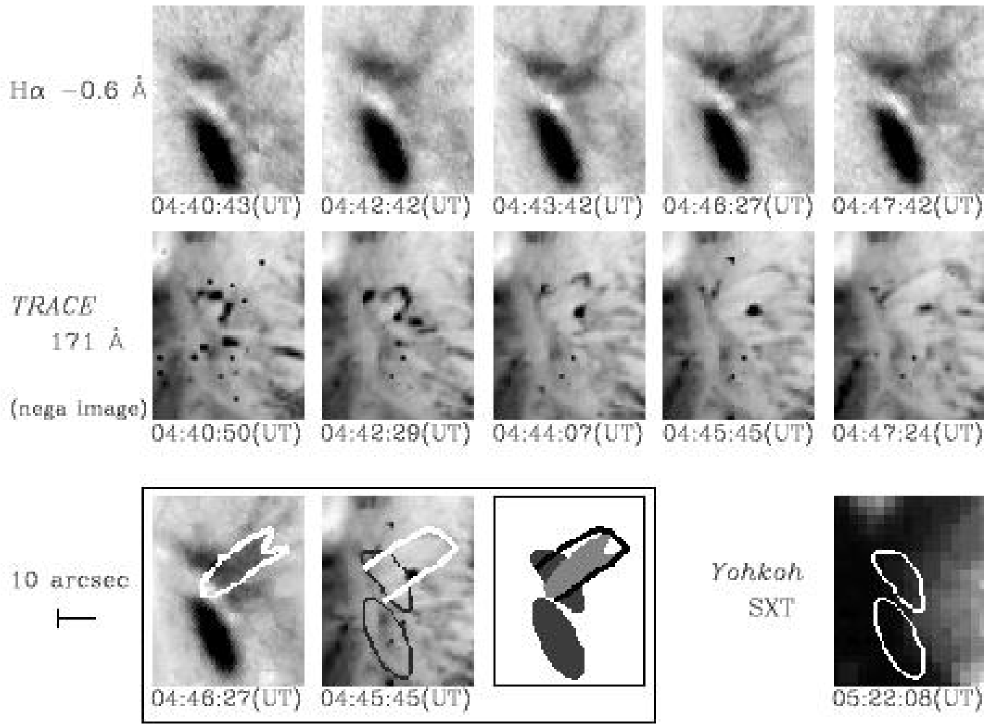
(石井貴子 記 1999 年度年次報告より 学位論文要旨)

Reference: Ishii et al. 1998, ApJ, 499, 898. (被引用件数 15 位)、Ishii et al. 2000, PASJ, 52, 337.

3.3.2　太陽黒点の暗部に見られる、ライトブリッジからのプラズマ放出

太陽表面の活動現象は磁場構造の変化に起因していると考えられています。黒点が生まれ成長する段階では、次々と複雑な磁場構造が形成され、盛んな活動現象が起こります。サージと呼ばれる暗く細い筋状の噴出現象もその一つで、太陽内部から浮上した磁力線が既存磁場と磁気再結合 (磁気リコネクション) し、エネルギー解放することで引き起こされると考えられています。一方、崩壊段階にある黒点暗部では、サージなどの活動現象は起こりにくいと考えられていました。ライトブリッジ (light bridge; 黒点暗部内に見られる細長く明るい領域、黒点の崩壊段階で見られることが多い) からのサージについてもごくわずかに観測例があるものの、詳細な解析はなされてきませんでした。

しかし私は、黒点が崩壊する際の磁場構造の変化もまた活動現象に何らかの影響を及ぼすと考えました。そこで私は 2000 年 5 月 2 日に、活動領域 NOAA 8971 にあるライトブリッジを京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を用いて Hα 線で観測し、そこから噴出するサージを発見しました。ライトブリッジはこれまで、周囲と同一の磁場極性を持ち磁場構造も単純であると考えられてきましたが、今回の観測で、浮上磁場の存在等複雑な磁場構造をしている可能性が強く示唆されました。この結果は、黒点の進化、特に崩壊段階での磁場構造と活動現象の描像に対して、新たな問題提起となる重要な結果といえます。



さまざまな波長で見たライトブリッジからのサージ; Hα 線 (上)、極紫外線 (171 Å; 中)、軟 X 線 (右下)。

(浅井 歩 記 2000 年度年次報告より)

Reference:

Asai, A., Ishii, T.T., Kurokawa, H. 2001, ApJ, 555, L65. (被引用件数 11 位)

3.3.3 国際協同観測によって明らかになった、太陽の捩れた磁束管構造

2000 年の 5 月から 6 月にかけて、米国ロッキード太陽天体物理研究所の SOUP 観測チームが La Palma で観測する時期に合わせて、飛騨天文台でも協同観測を実施しました。これは 2000 年 2 月に筆者らが Lockheed を訪ねた際に、Allan Title、Tom Berger、Richard Shine 達と実施について打ち合わせておいたものです。飛騨天文台での観測が終わる (08-09UT) 頃に、La Palma での観測が始まるので、高空間分解能の観測を連続して行うことが出来るということが、国際協同観測の狙いです。TRACE もこの期間、同一領域を観測しました。この協同観測期間中に、幸いにして、我々の目的に合致した活動領域 NOAA9026 が出現して、強いフレア活動を起こしました。図 1 に飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡の H-alpha 撮像装置で得られたこ領域の進化を示しています。

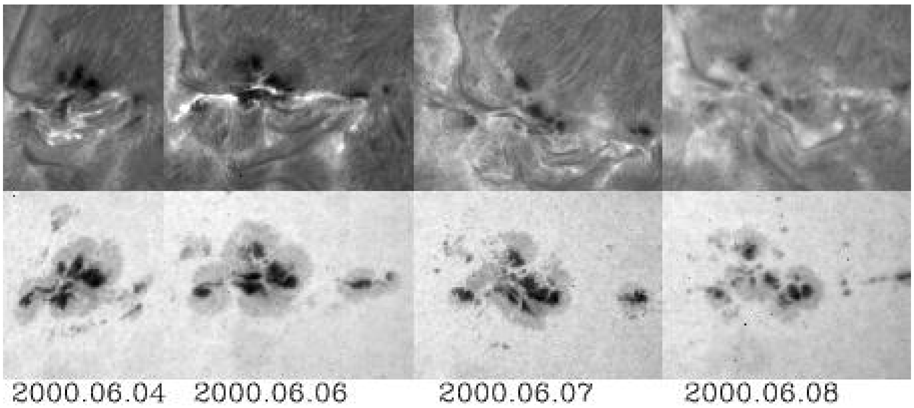


図 1: 活動領域 NOAA9026 の発達衰退過程。(上) H-alpha center (下) H-alpha -5.0 Å

図 1 から判るように 6 月 6 日から 6 月 7 日にかけて、中央の黒点が急激に回転して 8 日には崩壊を始めています。面白いことにこの間に X クラスフレア 3 個と M クラスフレア 2 個、合計 5 個の強力なフレアが発生しました。我々はこの間の磁場構造と黒点の固有運動などを人工衛星のデータを用いて調べて、図 2 のような捩れた磁束管が浮上するモデルを作りました。 この我々の図によって、捩れた磁束間が浮上する際に、磁束管全体の捩れが中央部に集められて delta 型の黒点を作るとともに、不安定化によって急激に 回転したことが始めてはっきりと示されました。この時にその捩れのエネルギーが解放されて強力な 5 個のフレアが発生したと考えることが出来ます。

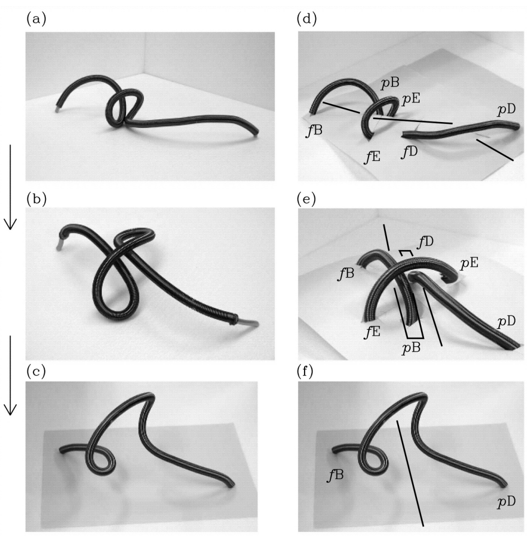


図 2:捻じれた浮上磁束管のモデル。

(黒河宏企 記 2000 年度年次報告より)

Reference: Kurokawa, H., Wang, T., Ishii, T.T. 2002, ApJ, 572, 598. (被引用件数 21 位,p38 新聞記事)

3.3.4 Hα と軟 X 線フレアループ構造の高精度な比較

大規模フレアに伴って Hα 線でループ状構造が見られることがあり、これをポストフレアループと呼びます。飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (DST) では 1992 年 11 月 2 日のフレアに伴うポストフレアループが観測しましたが、DST では現象の初期から観測されており、またようこう衛星の軟 X 線撮像装置 (Yohkoh/SXT) でも同時に観測されたという貴重なデータです。

Hα 線や軟 X 線でループ構造が見られる原因は次のように考えられています。フレアによって生成された高エネルギー粒子が磁場に沿って彩層に突入し、磁気ループは彩層蒸発によって生じた高温のプラズマで満たされます。高温プラズマ ($\sim 10^7$ K) は軟 X 線でループ状の構造として見え、これが冷却されて温度が下がる ($\sim 10^4$ K) と Hα 線で見られるようになると考えられます。そこで、Hα と軟 X 線のループ構造の時間変化を詳しく調べることによってプラズマの冷却時間を求めることを目的に解析を行いました。

まず、Hα と軟 X 線画像の位置合わせを行ってループ構造を比較した結果、Hα と軟 X 線のループ構造で共通した特徴があることがわかり、Hα の構造は軟 X 線の構造が冷却された結果であるという説明が裏付けられました。 次に、ループ構造の対応関係が確かめられた定点について、Hα と軟 X 線の明るさの時間変化を求めました (図 1)。この結果は Hα の時間変化は軟 X 線よりも遅れてることを示すもので、この遅れはプラズマの冷却時間と解釈することができます。

さらに、Yohkoh/SXT の 2 種類のフィルターで撮像したデータから温度と密度を求め、プラズマの冷却時間を概算してみました。単純な熱伝導と輻射による冷却を考えた計算でプラズマの冷却時間を概算すると、観測データの解析から求められた冷却時間に近い結果が得られました。この結果は観測データから求められた遅れが冷却時間時間であるという解釈と符合するものです。

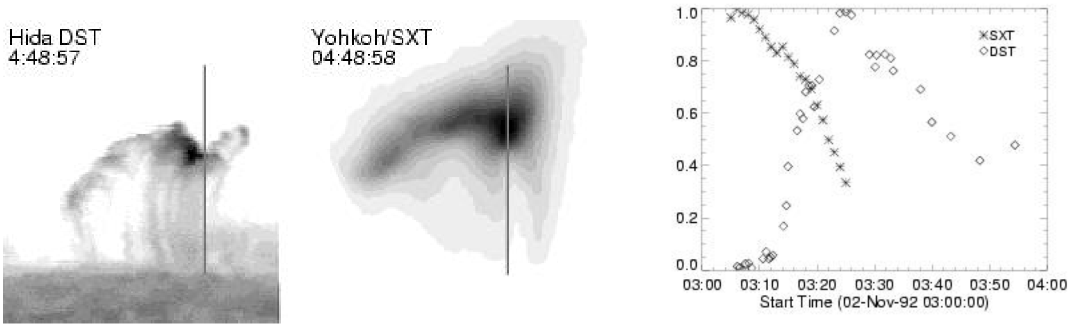


図 1. 左側:同時刻における Hα と軟 X 線のループ構造。右側:定点における Hα と軟 X 線の明るさの時間変化。

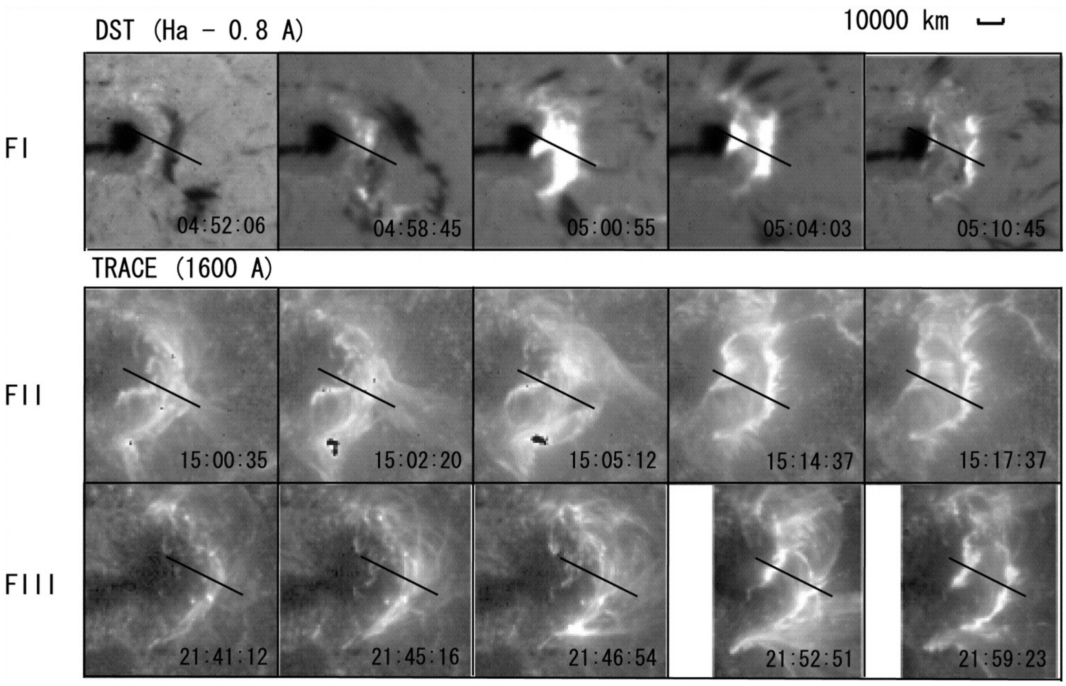
(神尾 精 記 2001 年度年次報告より)

Reference: Kamio, S., Kurokawa, H., Ishii, T.T. 2003, Solar Phys., 215, 127.

3.3.5 2000年11月24日に起きたホモロガスフレアの定量解析

現在、太陽の爆発現象 (太陽フレア) を説明する理論として、磁気リコネクション (磁力線の再結合) モデルと呼ばれる理論があります。本研究では、京都大学飛騨天文台やさまざまな人工衛星に搭載されrた高分解能な望遠鏡を用いて、2000年11月24日に起きた3つのフレアを解析し、磁気リコネクションモデルから理論的に予想される物理量を見積もり、そのモデルから予想されるエネルギー解放率に関する関係式の妥当性を確かめました。これらのフレアは、短時間のうちに同じ活動領域で起きているので、同じような物理条件の元で起きたと考えられます。そのため、過去の研究に比べより少ない仮定のもとで精度の良い研究を行えました。今回の研究では磁場の大きさを一つの指標として上記の関係式を検証し、その結果、エネルギー解放率と非熱的放射には良い関係があることが分かりました。この結果は、従来の磁気リコネクションモデルを強く支持するものです。また、この研究では「Neupert Effect」というエネルギー解放に関する経験則に似た、軟X線放射強度の時間変化とフレアループの広がる速度の時間変化に関する次に表されるような新しい経験則を見つけることに成功しました。

$dI_{SXR}(t)/dt \propto V_{rib}(t)$, where $I_{SXR}(t)$ is the soft X-ray intensity and $V_{rib}(t)$ is the separation velocity of the two ribbons. This relation is similar to the well-known empirical law, the Neupert effect.



Reference: Takasaki, H. et al. 2004, ApJ, 613, 592.

(本文は、高崎宏之 2004年度年次報告より、図は論文より転載)

3.3.6 飛騨天文台でのモートン波観測

飛騨天文台では、フレア監視望遠鏡 (FMT) や太陽磁場活動望遠鏡 (SMART) による Hα 線での太陽全面監視観測を 1992 年より継続して行っている。彩層においては、フレアの発生に伴って、フレアを中心に波のようなものが太陽面上を伝わっていくのが観測されることがある。これは、発見者の名をとって「モートン波」と呼ばれている。また、これら太陽フレアに伴う衝撃波は、惑星間空間を伝播し地球磁気圏へ影響を与えるため、宇宙天気の観点からも重要な研究対象である。飛騨天文台での Hα 線観測により、Hα 線モートン波についての数多くの研究成果が上がっている。

モートン波は、典型的には速度約 1000 km/s で、フレア発生場所から 50 万 km も離れたところまで伝播する。モートン波の正体については、Hα 線で観測されることから「彩層を伝わる波」と当初考えられた。しかし 1000 km/s という速度は彩層の磁気音速 (数十 km/s) の 10 倍以上もあり、彩層を伝わっているのであれば、すぐに拡散してしまい 50 万 km も遠方にまで伝わることは説明できない。1968 年に内田によって出された”sweeping skirt モデル”は、この問題を説明するモートン波の理論として最も受け入れられている。フレアに伴い生じる衝撃波はコロナを磁気音速に近い速度で伝播する。その衝撃波が彩層と接する面が、モートン波として観測される。このモデルによると、彩層のさらに上の層であるコロナにも彩層と同じように、フレアに伴う波があることが予言される。

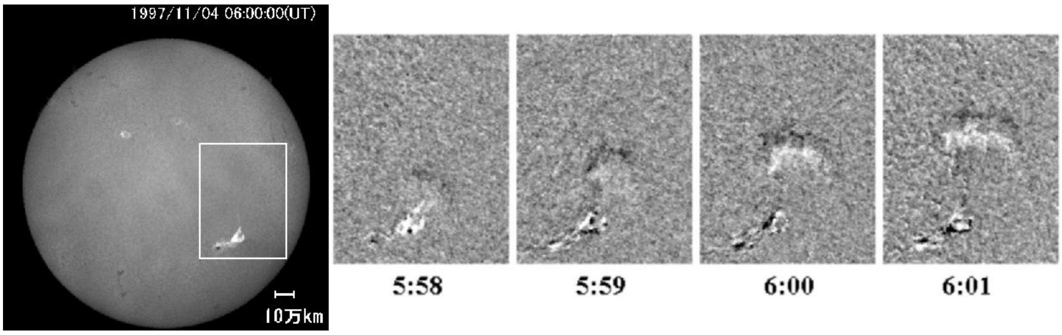


図 1: モートン波:飛騨天文台/FMT(右の 4 枚の視野は、左の全面像の四角)

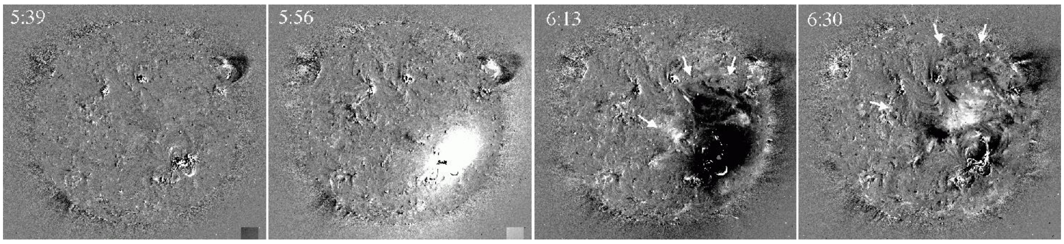


図 2: EIT 波:SOHO/EIT(時間は、左から 5:39、5:56、6:13、6:30[世界時])

このモデルが予言する「コロナのモートン波」の候補として、まず注目されたのが、 極端紫外線を用いたコロナ観測で見られる、フレアに伴って太陽面上を伝播する 「EIT 波」であった。モデルによると、「モートン波」と「コロナのモートン波」は、ほぼ同じ波面、同じ速度を持つことが予言される。したがって、EIT 波がコロナ中のモートン波かどうかを検証する最も直接的な方法として、モートン波、EIT 波の同時性に着目した。ただし、モートン波は非常に観測例が少ないため、同時観測例も極めて少ない。

そのうちの 1 例は、飛騨天文台 FMT により観測された 1997 年 11 月 4 日のフレアに伴うモートン波である (図 1)。[1] では、このイベントに対する解析で、モートン波、EIT 波では、平均伝播速度はそれぞれ、約 720 km/s、約 200 km/s と大きく異なり、波面の位置も異なることを明らかにした (図 2)。したがって、少なくともこのイベントに関しては、EIT 波はコロナのモートン波ではない、という結論に至った。

続いて、ようこう衛星搭載の軟 X 線望遠鏡 (SXT) でも、1997 年 11 月 3 日のフレアに伴い、コロナ中を伝わる波が直接見つかった (図 3)[2]。この X 線波 (X-ray wave) は FMT により Hα 線モートン波と同時観測され、伝播方向・伝播速度においてモートン波と共通の性質を持っていることが分かった。さらに、観測と電磁流体力学の理論を用いて、X 線波が電磁流体衝撃波であることが確認された。これらの結果も、X 線波がコロナ中のモートン波であることを示唆している。

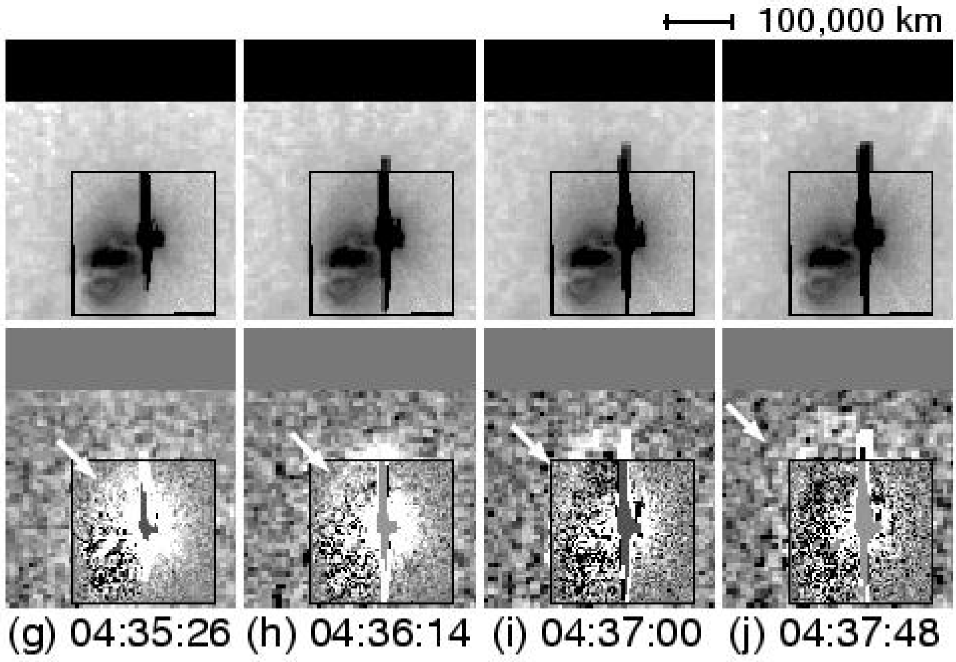


図 3: X 線波 1997/11/03

2000 年 3 月 3 日に太陽の縁付近で発生したフレアに伴い、ようこう/SXT による X 線波と FMT による Hα 線モートン波が同時観測された (図 4)。このイベントは、太陽の縁付近で起きたことから両者の高さ方向に関する位置関係が一層明らかになった。また、X 線観測データを詳しく観測することで、衝撃波のマッハ数が時間とともに徐々に減少しており、マッハ数がおよそ 1 になるタイミングと、モートン波が消えるタイミングが同じであることも分かった [3]。

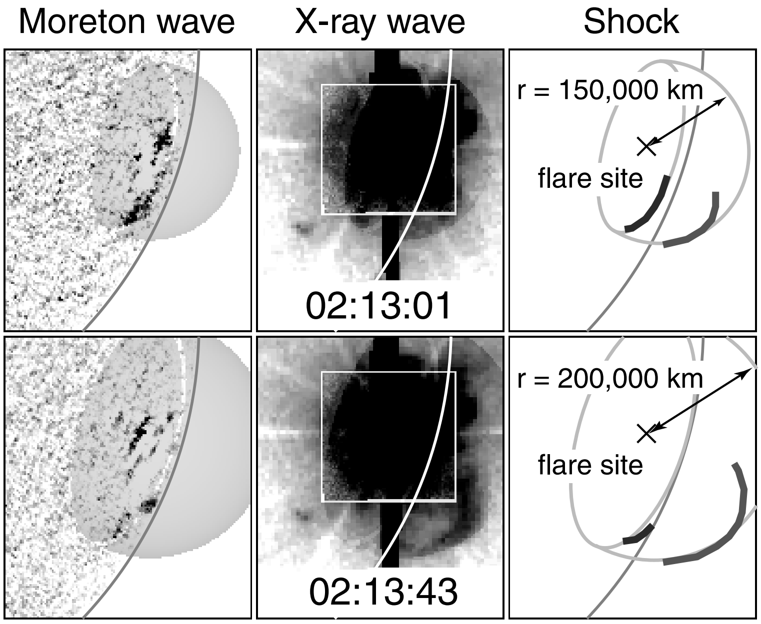


図 4: 2000 年 3 月 3 日に太陽の縁で観測されたモートン波と X 線波。モートン波は太陽面に沿って伝播しているのに対し、X 線波はコロナを太陽の外側に向かって伝播している。

Hα 線モートン波は、まれにしか観測されず、かつ短時間しか現れないため観測例が少ない。しかし、何らかの擾乱がコロナ中を伝播し、フレア領域から遠く離れたフィラメント/プロミネンスを振動させることがある。これらは、Hα 線単色画像では、フィラメントが消えたり現れたりする様子で観測されるため、「ウィンクするフィラメント (winking filament)」とも呼ばれる。フィラメントの振動開始 (winking) のタイミングなどからは、モートン波と同じような速度をもった擾乱がコロナ中を伝播したと考えられ、そのような擾乱は「見えないモートン波 (invisible Moreton wave)」とも呼ばれている。

FMT では、この winking filament の観測でも成功を収めている [1]。さらに、観測された winking filament を引き起こす擾乱はモートン波 (と同等の速度を持つ擾乱) によるものだけではなく、EIT 波によるものもあることが分かった [4]。これは EIT 波の正体を突き止める上でも、興味深い結果である。

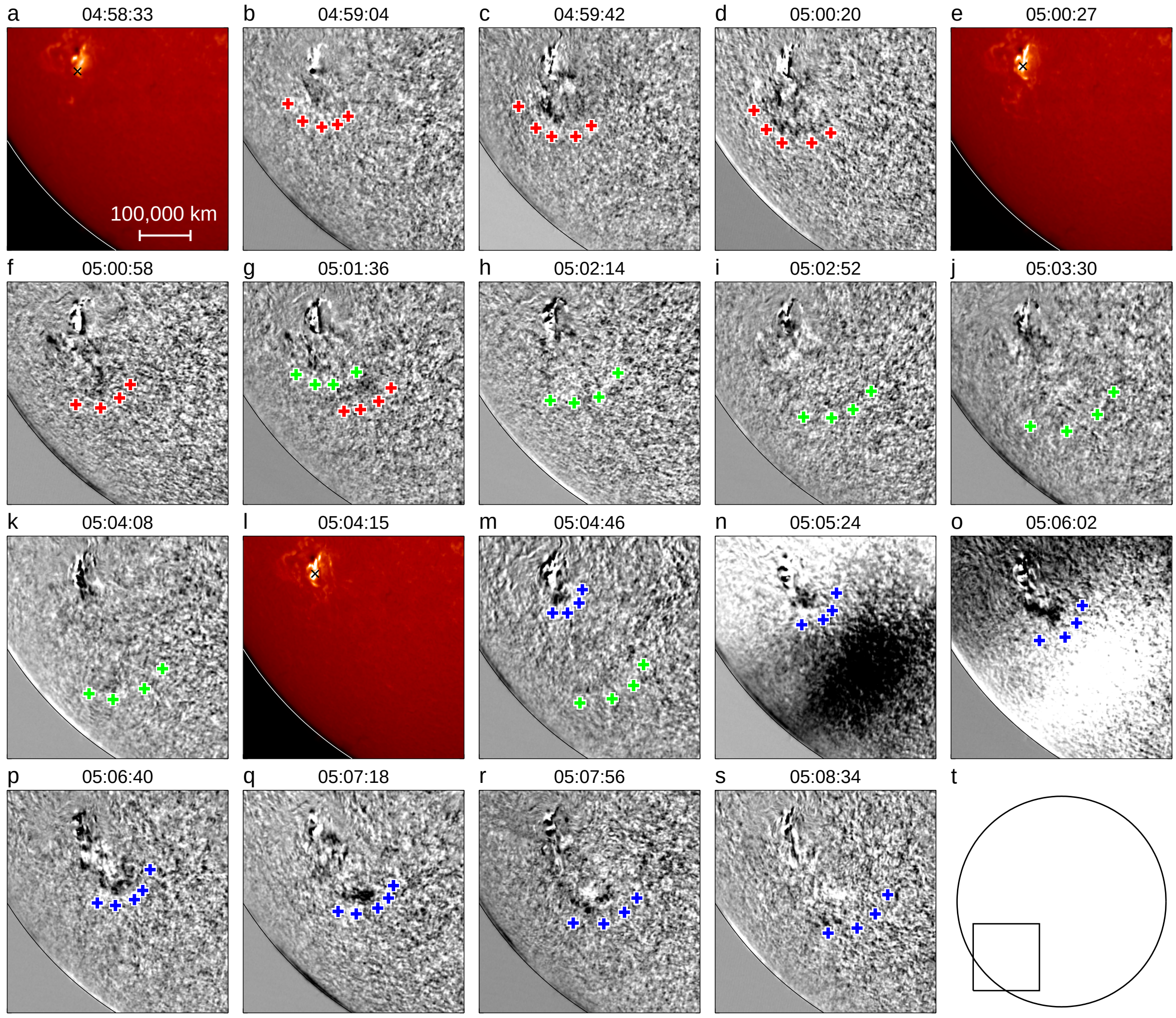


図 5: 2005 年 8 月 3 日に SMART 望遠鏡が観測した 3 連発のモートン波。赤印: 第 1 波、緑印: 第 2 波、青印: 第 3 波

飛騨天文台に新たに SMART が導入されると、空間分解能、時間分解能など観測条件の大幅な向上により、従来は観測されなかった Hα 線モートン波も検出可能となった。これにより、2005 年 8 月 3 日のフレアに伴い、世界で初めて「3 連続」で発生したモートン波を発見した (図 5)[5]。

1 番目に発生した衝撃波の伝搬速度は遅く、2 番目に発生した速く伝搬する衝撃波に追いつかれ、ふたつの衝撃波が合体する様子を捉えた。さらに、電波のデータからは、合体する際に衝撃波の強さが強くなったことが示唆された (図 6)。加えて、3 つのモートン波 (衝撃波) の発生には、瞬間的なエネルギーの解放と、フィラメントの噴出が強く関係していることが分かった。3 連続の各々のモートン波の発生時刻には、瞬間的にエネルギーの解放が強められていることが観測されていた。そして、各々のモートン波に対応して、フィラメントも 3 度噴出しており、それらの噴き出す方向や速度は、対応するモートン波の伝搬した方向や速さと関係していることが分かった。これまで、モートン波の発生メカニズムについては、はっきりと分かっていなかったが、今回の発見により、フィラメント噴出がモートン波を駆動させているという説を裏付けるものとなった。

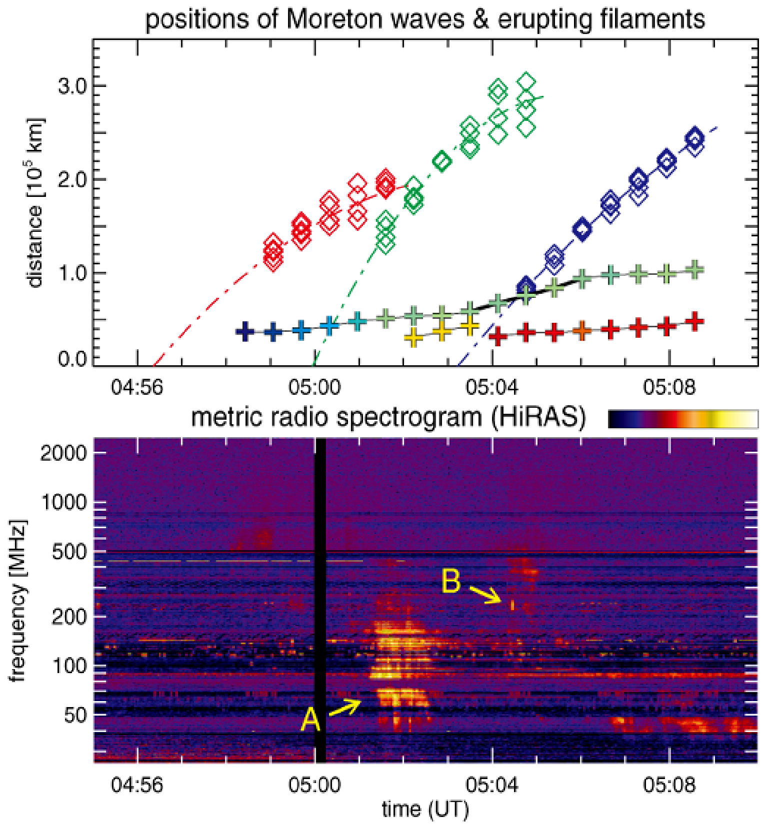


図 6: 3 連発モートン波の時間発展を示したグラフ。横軸は時刻。上のグラフは、縦軸がフレア地点からの距離で、各時刻でのモートン波の波面の位置が◇で示してある。赤色が 1 発目、緑色が 2 発目、青色が 3 発目のモートン波の波面の位置。このグラフを見ると、1 発目のモートン波 (赤色◇印) に 2 発目のモートン波 (緑色◇印) が追い付いている様子がよくわかる。＋印は噴出したフィラメントの位置を示しており、フィラメントも 3 度噴出しているのが分かる。下のグラフは電波の強さを表したもので、1 発目と 2 発目のモートン波が合体した時刻に、強さが増しているのが分かる (矢印 A)。また、3 発目の衝撃波 (色◇印) と最初に噴出したフィラメント (青–緑色の＋印) がぶつかった瞬間にも、電波の信号が強くなっているのがわかる (矢印 B)。

さらには、2011年8月9日に活動領域NOAA 11263で発生した巨大フレア(X6.9)に付随して、世界で初めて、Hα線モートン波と極端紫外線での波動状現象(EUV波)、およびそれらに駆動されるフィラメント · プロミネンス振動現象を同時に観測することに成功した[6]。SMARTにより得られたこのフレアのHα線撮像データからは、フレア位置からおよそ760 km/sで伝播するモートン波が確認された(図7右)。また、SDO衛星AIAによる極端紫外線(EUV)撮像観測データの解析により、このモートン波に付随する波動状現象(EUV波)をとらえた(図7左)。モートン波は、コロナ中を伝播するフレア衝撃波と彩層との接地面であると考えられていることから、観測されたEUV波はまさにコロナ中の衝撃波面をとらえたものと考えられる。加えて、この衝撃波によって励起されたと考えられるフィラメント · プロミネンスの振動現象を、Hα線やEUVでの多波長で同時観測することに成功した。これらの振動現象を駆動するには、570から800 km/sの速度での衝撃波の伝播が必要であり、この速度はまさに観測されたHα線モートン波やEUV波の伝播速度と同等であることがわかった。またこれらの結果により、これまで長い間謎であった"EIT波"と呼ばれる太陽コロナの波動現象の正体を観測的に明らかとする手がかりを得ることができた。

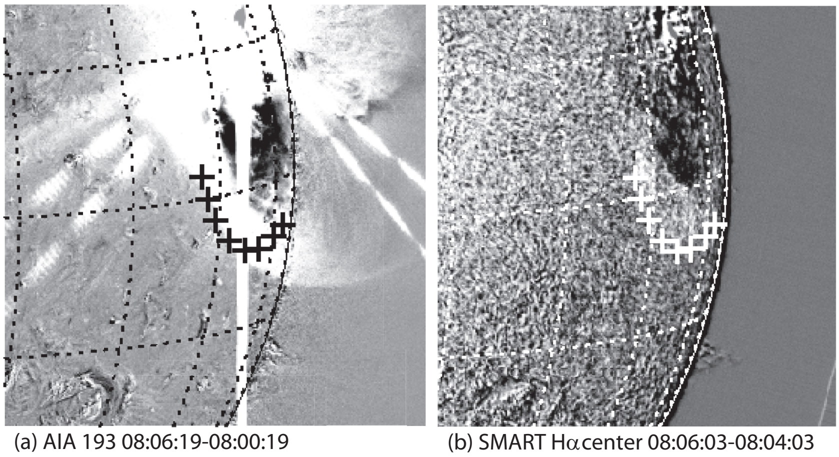


図7: 2011年8月9日のフレアに付随した衝撃波現象のEUV画像(左)とHα 線画像。どちらも差分画像。図中の＋マークはHα線モートン波の波面を示す。

Reference:

[1] Eto, S. et al. 2002, PASJ, 54, 481. (被引用件数3位)

[2] Narukage, N. et al. 2002, ApJL, 572, L109. (被引用件数5位)

[3] Narukage, N. et al. 2004, PASJ, 56, L5.

[4] Okamoto, T.J, et al. 2004, ApJ, 608, 1124. (被引用件数6位)

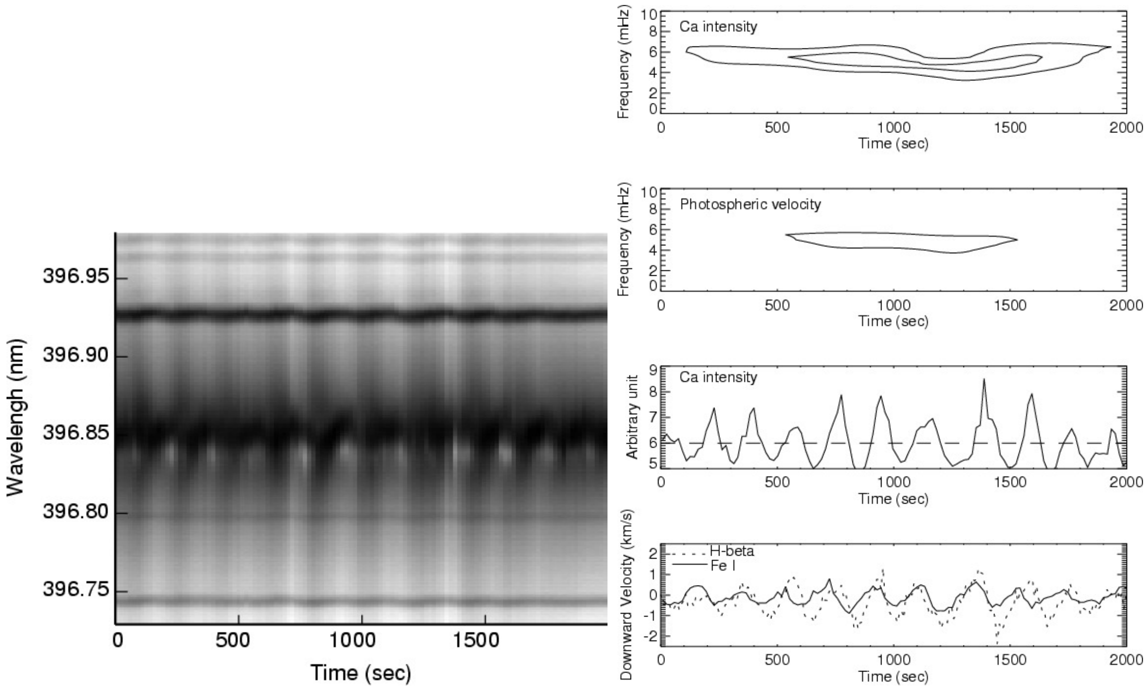
[5] Narukage, N. et al. 2008, ApJL, 684, L45. (p.45 新聞記事)

[6] Asai, A. et al. 2012, ApJL, 745, L18. (被引用件数10位、p.54 新聞記事)

(衛藤茂、成影典之、浅井歩 記)

3.3.7 彩層グレインと光球・彩層の振動の関係

グレインは、太陽静穏領域で彩層の Ca II 線で観測される 1000 km 程度の大きさの輝点で、彩層やコロナの加熱にも関係していると考えられるため、その発生機構を明らかにすることは大きな意義があります。本研究では、ドームレス太陽望遠鏡 (DST) の水平分光器 (HS) を用いて静穏領域の多波長同時分光観測を行い、Ca II H_{2v} で見られる彩層グレイン (輝点) の発生と彩層および光球の 3 分周期の速度振動の振幅の間に相関があることを明らかにしました。データ解析では Fe I と Hα スペクトルのドップラーシフトから彩層と光球の運動速度を求めて、Ca II H_{2v} グレインの発生との関係を調べました。ウェーブレット解析によち、光球と彩層の 3 分周期の振動成分を取り出すことにより、光球と彩層の 3 分振動の強度分布に相関があり、同時に彩層の 3 分振動の大きさとグレインの増光にも相関があることを明らかにしました。これらの結果により、光球から彩層に伝播した 3 分周期の音波がショックを形成し、ショックによる密度・温度上昇がグレインの輝点として観測されるという理論モデルが観測的に検証されました。また、彩層で卓越している 3 分周期の振動は、その直下にある光球の 3 分周期の振動に起源があることを観測的に初めて明らかにしました。



Reference:
Kamio, S., Kurokawa, H., 2006, A&A, 450, 351

(本文は、神尾精 2005 年度年次報告より、図は論文から転載)

3.3.8 Cooperative Observation of Ellerman Bombs between the Solar Optical Telescope aboard Hinode and Hida/Domeless Solar Telescope

ひので衛星搭載の可視光望遠鏡が2007年1月5日に撮像したCaII Hフィルターを用いて、活動領域NOAA10933を解析した。黒点近傍に現れた浮上磁場領域には1秒角以下の小規模輝点が多く観測された。我々は、ひので衛星と同期して飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡で撮像されたHαフィルター像を用いて、それらの輝点のうち2つについてエラーマンボムであることを同定した。エラーマンボムは従来Hα線の観測的特徴によって定義されているため、ひのでCaII H像では同定不可能であったが、今回の地上と宇宙の共同観測によって初めてCaII輝点とエラーマンボムの同定が可能になった。

さらにひのでCaII Hフィルターによる高解像度撮像を用いることで、これまでほぼ点源として観測されていたエラーマンボムにコアとハローの構造が見られることを突き止めた。コア部は明るい楕円形の構造をしており、それを包むようにハロー部が存在している（図左下）。ハロー部は双極子磁場の磁極と同じ位置にあり、その磁気中性線上にコア部がある。このことから、異なる磁極が接近することにより磁気リコネクションが誘発し、そのエネルギー解放の結果としてエラーマンボムが観測されるのではないかと思われる（図左）。これは従来考えられてきた、浮上磁場に付随する磁気リコネクション説（Pariat et al.2004）を支持するものである。

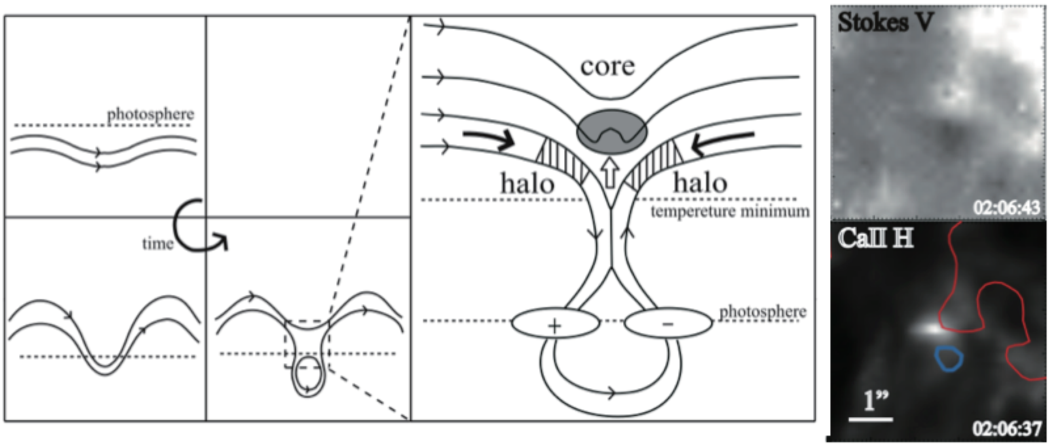


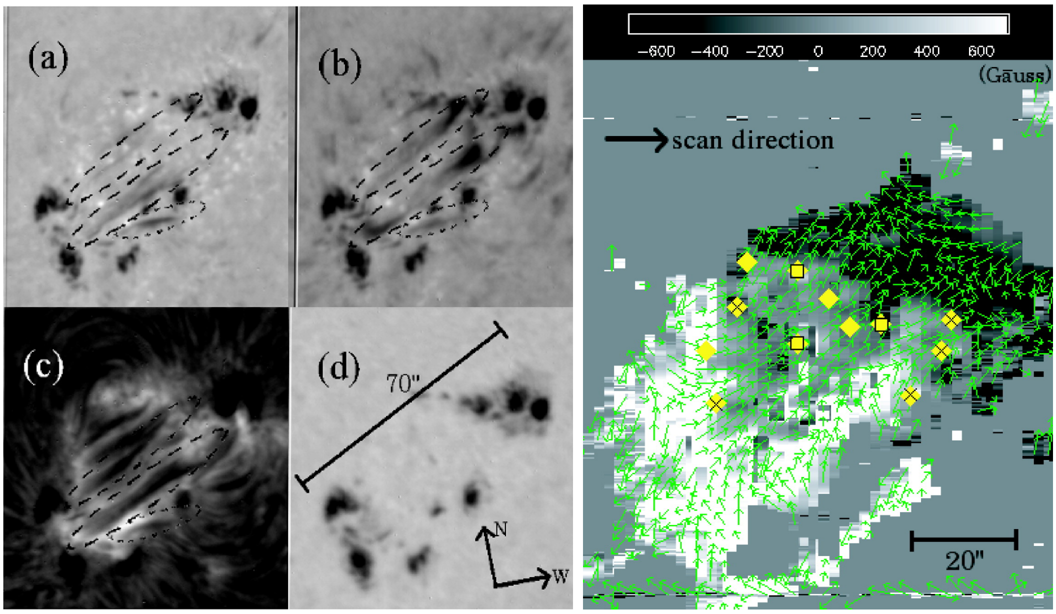
図: 観測された磁場分布（右上）とCaII H像（右下）と考えられ得るエラーマンボムの形成機構

Reference:
Pariat et al. 2004, ApJ, 614, 1099
Matsumoto, T. et al., 2008, PASJ, 60, 577

(松本琢磨 記 2008年度年次報告より)

3.3.9 Spectropolarimetric Observation of an Emerging Flux Region: Triggering Mechanisms of Ellerman Bombs

A high spatial resolution observation of an emerging flux region (EFR) was made using a vector magnetograph and a H α Lyot filtergraph with the Domeless Solar Telescope at Hida Observatory on 2006 October 22. In H α wing images, we could see many Ellerman bombs (EBs) in the EFR. Observations in two modes, slit scan and slit fixed, were performed with the vector magnetograph, along with the H α filtergraph. Using the H α wing images, we detected 12 EBs during the slit scan observation period and 9 EBs during the slit fixed observation period. With the slit scan observation, we found that all the EBs were distributed in the area where the spatial gradient of vertical field intensity was large, which indicates the possibility of rapid topological change in the magnetic field in the area of EBs. With the slit fixed observation, we found that EBs were distributed in the areas of undulatory magnetic fields, in both the vertical and horizontal components. This paper is the first to report the undulatory pattern in the horizontal components of the magnetic field, which is also evidence for emerging magnetic flux triggered by the Parker instability. These results allow us to confirm the association between EBs and emerging flux tubes. Three triggering mechanisms for EBs are discussed with respect to emerging flux tubes: 9 out of 21 EBs occurred at the footpoints of emerging flux tubes, 8 occurred at the top of emerging flux tubes, and 4 occurred in the unipolar region. Each case can be explained by magnetic reconnection in the low chromosphere.



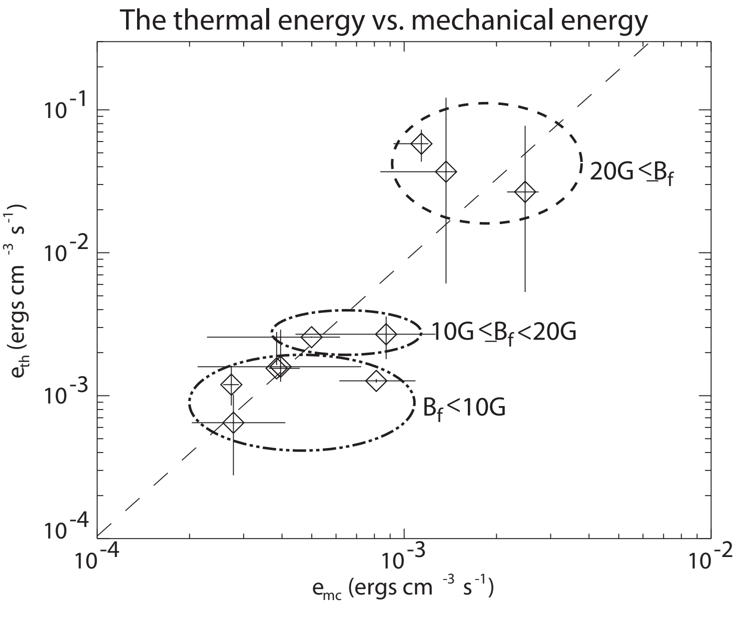
Reference:

Watanabe, H., Kitai, R., Okamoto, K., Nishida, K., Kiyohara, J., Ueno, S., Hagion, M., Ishii, T.T., Shibata, K., 2008, ApJ, 684, 736. (被引用件数 19 位)

3.3.10 太陽フィラメント消失とそれに随伴するフレアアーケードの間のエネルギー関係について

プロミネンス噴出やフィラメント消失に伴って、Hα 線ツーリボンフレアが発生し、軟 X 線や EUV では明るいアーケード構造が形成されることはよく知られている。しかし、両者の物理的なつながりは未だ明らかになっていない。両者の相関についてのこれまでの研究では、軟 X 線のピーク強度と質量放出現象のみかけの速さの比較あるいは時間変化の相関に注視されてきた。物理的により有意な相関を調べるためには、放出物の三次元速度場の導出が必要である。飛騨天文台のフレア監視望遠鏡 (FMT) で取得された太陽全面の Hα 線中心波長、H$\alpha - 0.8$ Å(青色側ウィング)、H$\alpha + 0.8$ Å(赤色側ウィング) の三つの波長帯でのデータを用いると、運動するフィラメントの三次元速度を求めることができる (Morimoto & Kurokawa 2003 PASJ)。

本論文では、10 例の消失するフィラメントに対して、運動エネルギーと重力ポテンシャルエネルギーの二つを求め、それらとフレアアーケードやループの熱エネルギーと比較した。更に、力学的エネルギー密度 (下図横軸) と熱エネルギー密度の増加率 (下図縦軸) と対象領域の平均磁場強度との関係を調査した。その結果、熱エネルギー解放率と力学的エネルギーとの間は正の相関関係にあることがわかった。この相関の関係式は、蓄積された磁気エネルギーがポインティングエネルギー流速により運ばれ、磁気リコネクションにより熱エネルギーに変換されるということと、フィラメントの加速はローレンツ力によってなされることを仮定する簡略モデルで説明することができた。周辺の平均光球磁場強度が強いほど両エネルギー密度増加率が大きいことも、この考え方を支持する。



Reference:
Morimoto, T. & Kurokawa, H. (2003) PASJ 55, 503.
Morimoto, T. & Kurokawa, H. (2003) PASJ 55, 1141.
Morimoto, T., Kurokawa, H., Shibata, K., Ishii, T.T. (2010) PASJ, 62, 921.

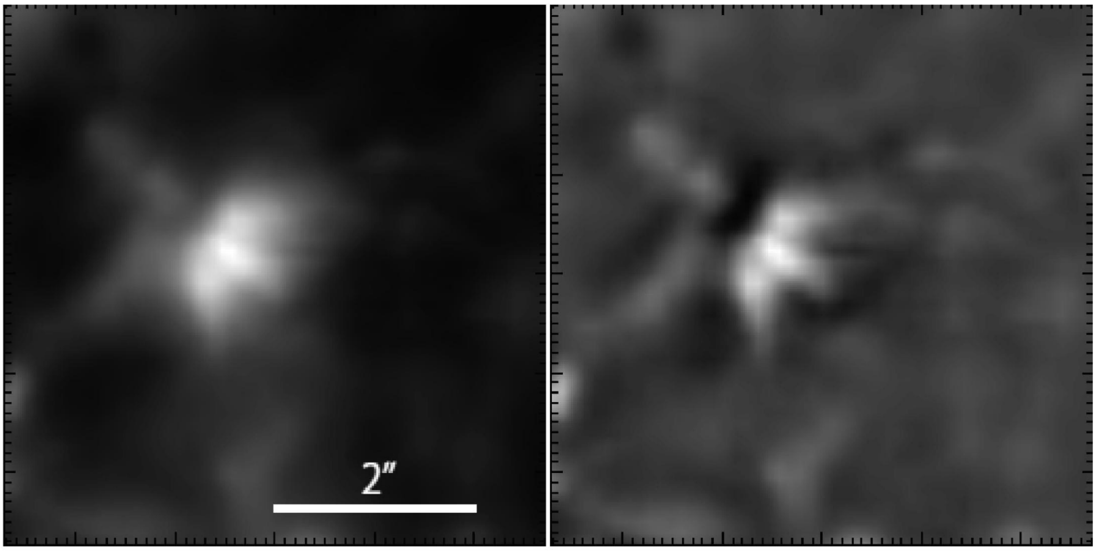
(石井 貴子 記 2010 年度年次報告より)

3.3.11 エラーマンボムの内部微細構造

エラーマンボムとは、活動的な太陽黒点周辺で見られる微小な構造である。これまでの研究から、それは活動領域彩層下部での小規模の爆発現象であり、磁気再結合現象による爆発と考えられている。しかしながら、この現象は空間的なサイズが小さくその詳細は不明であった。

2007 年 8 月に、飛騨天文台と「ひので」衛星との共同観測が実施されて、活動領域 NOAA10966 内で発生した 4 例のエラーマンボムを、高空間分解能、高時間分解能で観測することに成功し、エラーマンボムの形態変化、磁場分布、視線速度変化を捉えることができた。そのデータ解析の結果、(1) エラーマンボムは、ジェット状の内部微細構造を持っていること、(2) ジェット状の内部構造は、そのサイズが巾 170 km、長さ 450 km 程度で、平均寿命 390 秒であること、(3) ジェット状構造は、磁気中性線に当初現れてその後延伸すること、(4) エラーマンボムの Ca II K 輝線が青方に非対象である時、即ち、ガスが太陽表面から噴出しているとき、ジェット状微細構造が発生していることが観測的に明らかになった。

以上の結果を踏まえて、エラーマンボム現象とは、磁気中性線上で次々とそして間欠的に起こる磁気再結合現象の集合体であり、複数見られるジェット状の微細構造 (図参照) はそれぞれ 5–6 分継続する 1 回の磁気再結合現象の対応するという描像を得ることができた。

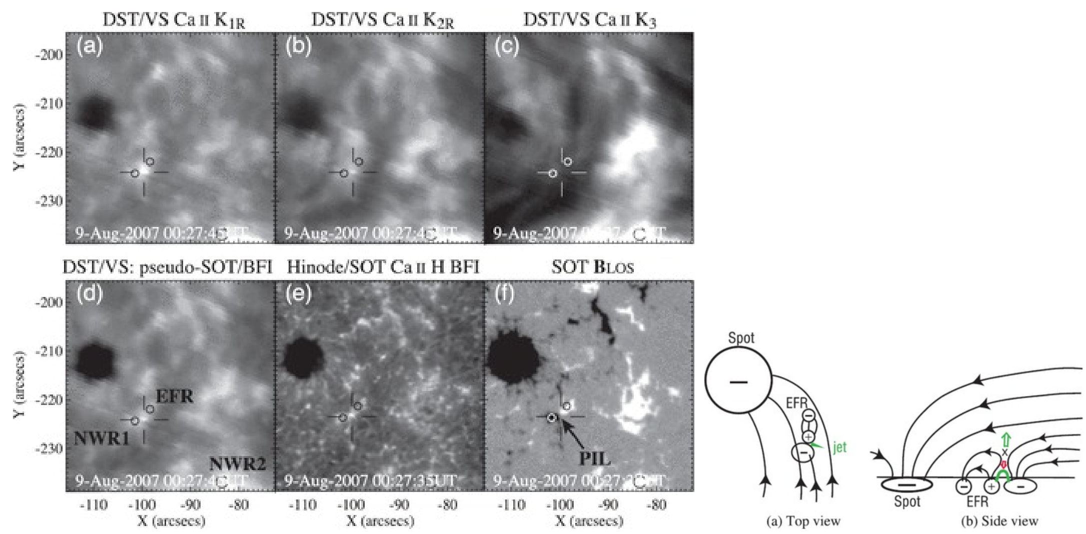


Reference:
Hashimoto, Y., Kitai, R., Ichimoto, K., Ueno, S., Nagata, S., Ishii, T. T.., Hagino, M. , Komori, H., Nishida, K., Matsumoto, T., Otsuji, K., Nakamura, T., Kawate, T., Watanabe, H., and Shibata, K. , 2010, PASJ, 62, 879.

(北井 礼三郎 記 2010 年度年次報告より)

3.3.12 Observations of Chromospheric Anemone Jets with Hinode Ca II Broadband Filtergraph and Hida Ca II Spectroheliograph

We present the first simultaneous observations of chromospheric "anemone" jets in solar active regions with Hinode SOT Ca II H broadband filetergram and Ca II K spetroheliogram on the Domeless Solar Telescope (DST) at Hida Observatory. During the coordinated observation, 9 chromospheric anemone jets were simultaneously observed with the two instruments. These observations revealed three important features, i.e.: (1) the jets are generated in the lower chromosphere, (2) the length and lifetime of the jets are 0.4–5 Mm and 40–320 sec, (3) the apparent velocity of the jets with Hinode SOT are 3–24 km/s, while Ca II K3 component at the jets show blueshifts (in 5 events) in the range of 2 – 6 km/s. The chromospheric anemone jets are associated with mixed polarity regions which are either small emerging flux regions or moving magnetic features. It is found that the Ca II K line often show red or blue asymmetry in K2/K1 component: the footpoint of the jets associated with emerging flux regions often show redshift (2–16 km/s), while the one with moving magnetic features show blueshift (around 5 km/s). Detailed analysis of magnetic evolution of the jet foaming regions revealed that the reconnection rate (or canceling rate) of the total magnetic flux at the footpoint of the jets are of order of 10^{16} Mx/s, and the resulting magnetic energy release rate (1.1–10) $\times 10^{24}$ erg/s, with the total energy release (1–13) $\times 10^{26}$ erg for the duration of the magnetic cancellations, 130s. These are comparable to the estimated total energy, 10^{26} erg, in a single chromospheric anemone jet. An observation-based physical model of the jet is presented. The relation between chromospheric anemone jets and Ellerman bombs is discussed.



Reference:

Morita, S., Shiabta, K., Ueno, S., Ichimoto, K., Kitai, R., Otsuji, K., 2010, PASJ, 62, 901

3.3.13　2001年4月10日の太陽フレアに伴うフレアリボン内のHα輝線赤方偏移

太陽フレアでは、コロナで解放されたエネルギーが非熱的粒子や熱伝導の形で彩層まで伝わり、そこで急激に彩層プラズマの圧力を上昇させる。この急激な圧力上昇は、磁力線に沿って上向きの流れ(彩層蒸発流)を生じ、磁気ループは高温プラズマで満たされる。一方、この彩層蒸発の反作用として、彩層プラズマは下方へ押されることから、フレアリボンやフレアカーネルでのHα線輝線の赤方偏移として観測される。

私たちは、2001年4月10日に発生した太陽フレアについて、京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡によって観測されたHα線の多波長撮像観測データを用いてフレアリボン内に見られる赤方偏移について詳細に調べた。それによると、赤方偏移はフレアリボン内の至る所で見られるが、フレアリボンの最も外側(1000~2000 km程度)で特に強くなっていることがわかった(下図)。また私たちは、赤方偏移の強さがHα線輝線の放射強度には依存しないことを初めて明確に示した。このことは、赤方偏移(彩層プラズマの下向きの流れ)の時間変化はHα線の放射強度の時間変化とは同起しておらず、また最も赤方偏移が強くなる時(最も強く彩層プラズマが凝縮されている時)の値も放射強度には強く依存しないことを示している。

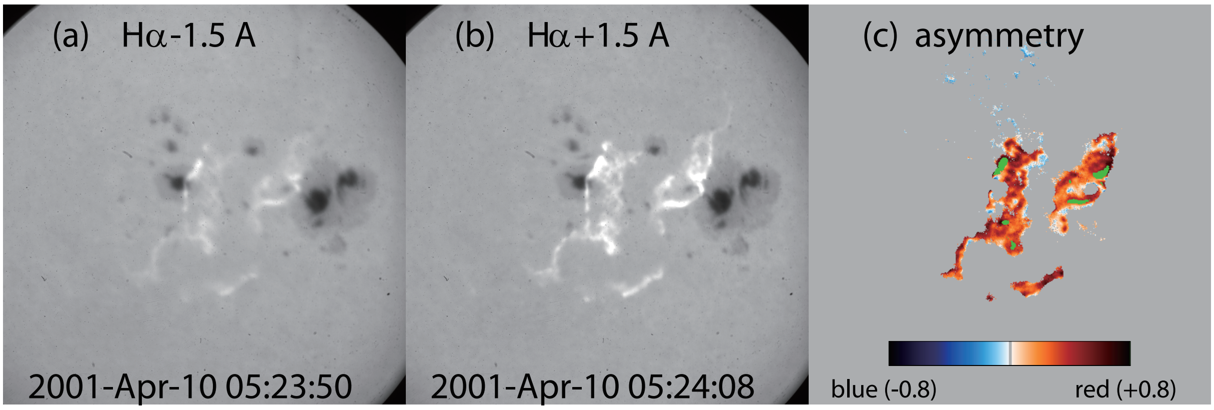


図: 2001年4月10日に発生したフレアの、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡によるHα線画像。(a)はHα線中心から-1.5Å離れたところでの画像、(b)は同じく$+1.5$Åの画像、(c)はHα線の青方・赤方偏移を青・赤で示した図。フレアリボンは至る所で赤方偏移していることがわかる。

Reference:

Asai, A., Ichimoto, K., Kitai, R., Kurokawa, H., Shibata, K., "A Study on Red Asymmetry of Hα Flare Ribbons Observed in the 2001 April 10 Solar Flare", 2012, PASJ, 64, 20

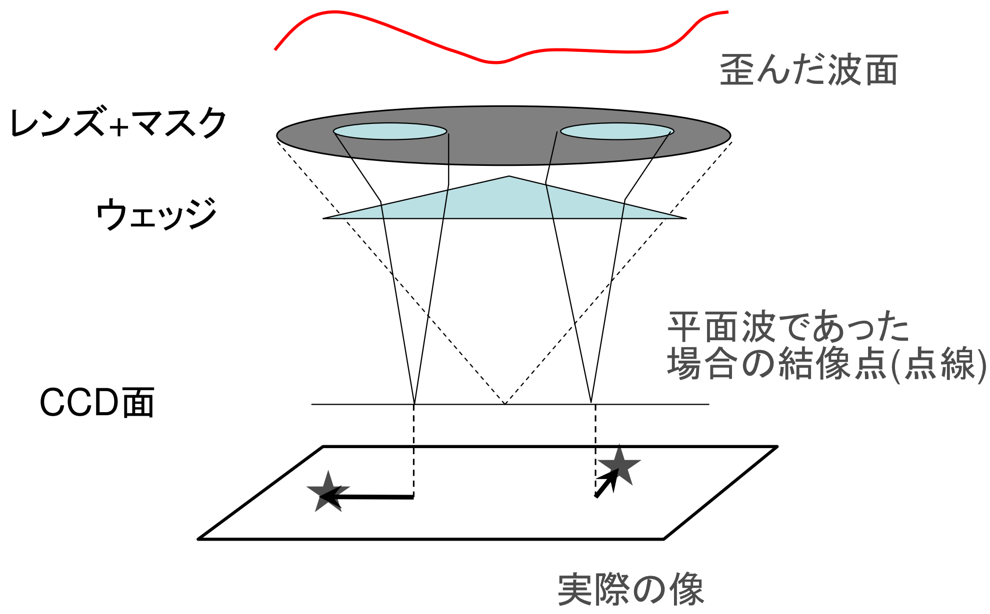
(浅井歩 記 2011年度年次報告より)

3.3.14 太陽観測における大気揺らぎの定量評価の正当性: シャックハルトマン波面センサを用いた太陽観測用 DIMM の特性 (修士論文)

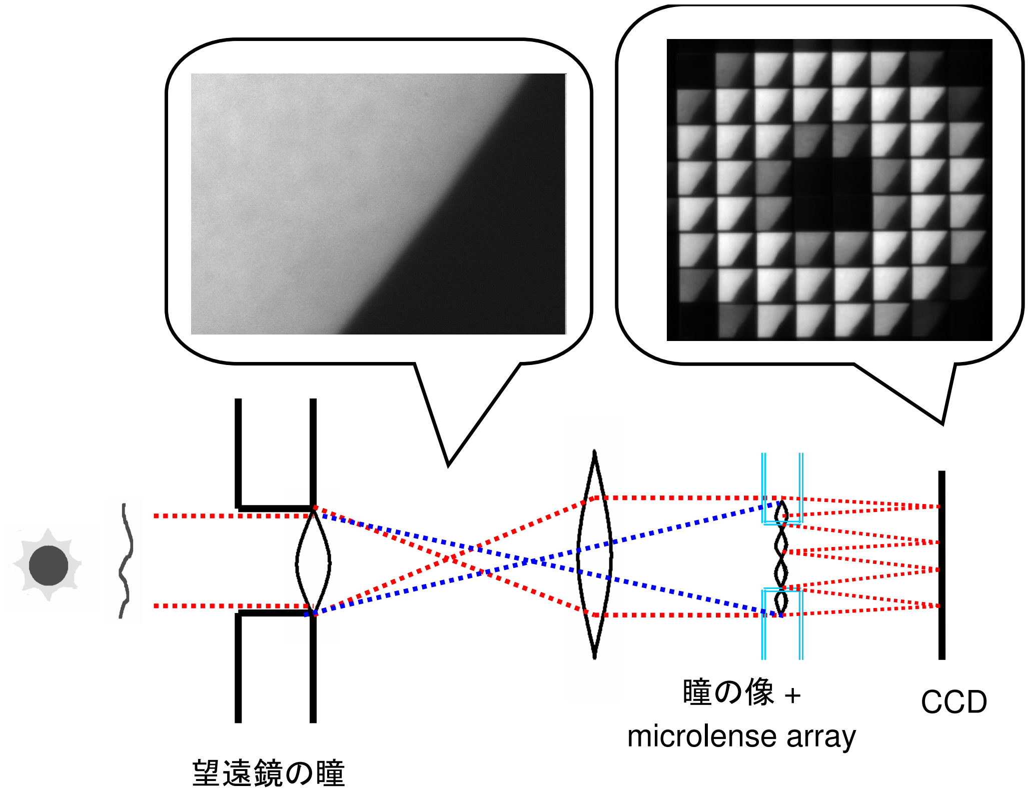
地上から天体を観測する際に、空間分解能の減少要因として大きな割合を占めるものが大気揺らぎ (seeing) である。seeing は周囲の地形・時間・季節等により強度自体が変動し、その揺らぎのパターンも数ミリ秒で変動する。それゆえ地上観測において、観測に適した場所を新たに探す場合、あるいは揺らぎのパターンを光学的に補正する補償光学装置などを設計する場合には、seeing の定量評価を行う必要がある。

seeing の定量評価のひとつとしてフリードパラメータ r_0 (Fried (1965)) というものがある。これは r_0 より大きいどのような口径の望遠鏡であっても、r_0 を口径とする望遠鏡の回折限界と空間分解能がほぼ等しくなるような大気の状態であるという基準の値であり、通常日中観測で seeing の良い場合で 8cm 程度と言われている。従って全ての大口径望遠鏡は常に seeing の制約下にあると言って良い。

フリードパラメータの計測方法はいくつかあるが、今回は Differential Image Motion Monitor (DIMM) (Sarazin & Roddier (1990)) というものを取り扱った。



これは 1 つの望遠鏡を光学的に二開口に分割し、局所的な二箇所の大気の揺らぎの度合いを計測することで全体の大気の揺らぎの強度からフリードパラメータを求めるものである。DIMM は夜間、日中観測問わず一般的に seeing 計測として用いられている装置であるが、夜間ではターゲットとするものが星、つまり点源であるのに対し、日中観測では太陽のリムという、空間的に広がった「構造」を用いなければならない。一方、DIMM の結果からフリードパラメータに変換するモデルは主に 3 種類構築されているが、いずれも点源を仮定したモデルであり、本来空間的に広がった対象を仮定したモデルではない。それゆえ、太陽のリムを用いたフリードパラメータ導出方法が正しいのか、実証を必要とする。



実験は京都大学附属飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 (口径 60cm) において、国立天文台及び北見工業大学による補償光学実験装置の一部、シャックハルトマン波面センサを用いて行った。シャックハルトマン波面センサとは、マイクロレンズアレーを望遠鏡の瞳結像部分に設置して擬似的に望遠鏡の開口を分割し、望遠鏡開口部分全体の大気の揺らぎをその結像位置変動から求めるものである。つまり、マイクロレンズアレーで分割された複数の開口 (サブアパーチャ) の各組み合わせが DIMM として機能する。これにより DIMM からフリードパラメータを求めるモデルに必要な観測条件のうち、大気揺らぎの方向と二開口の空間配置を同時に観測することにより、そのモデルの正当性を評価した。

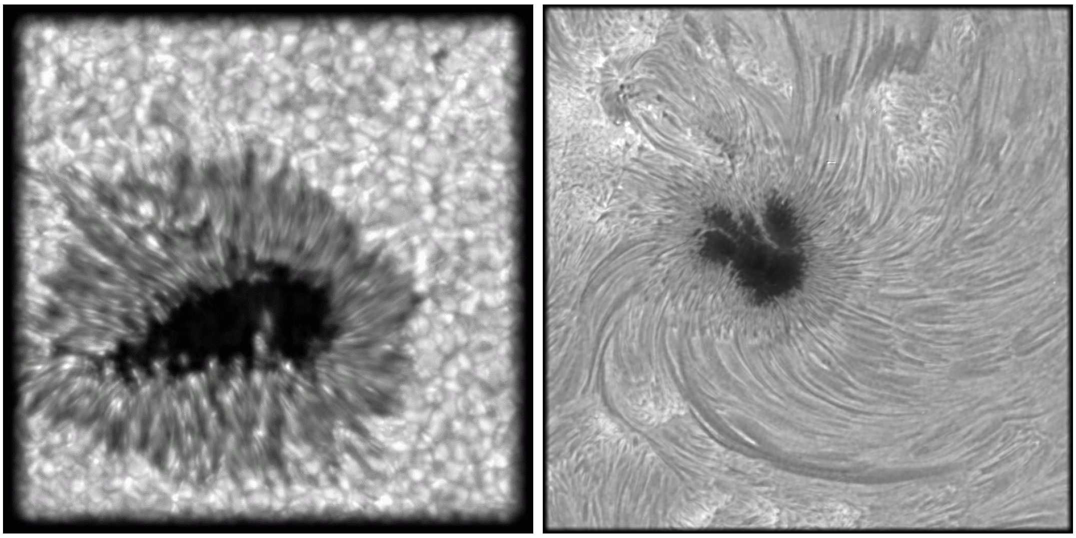
実験条件としてサブアパーチャの像は 8x8 に分割したものを 1kHz で連続的に取得し、その高時間分解ゆえ実際の大気揺らぎの変動を再現することが可能となった。そこで、単純な二開口の DIMM では得られない風速、風向というパラメータに対するモデルの安定性や、時間的に連続する像を積算することによる露出時間依存性に対する議論も行った。また実験は 2008 年 5 月から 12 月の様々な観測状況 (視野内のリムの方向、風速、風向) に対して行った。

その結果現在構築されている 3 つの点源用のモデルのうち、Sarazin & Roddier (1990) によるモデルと 10%以内で空間配置として一致する結果となった。また露出時間×風速の増加により、フリードパラメータを大きく見積もってしまう事を定量的に議論することが出来た。

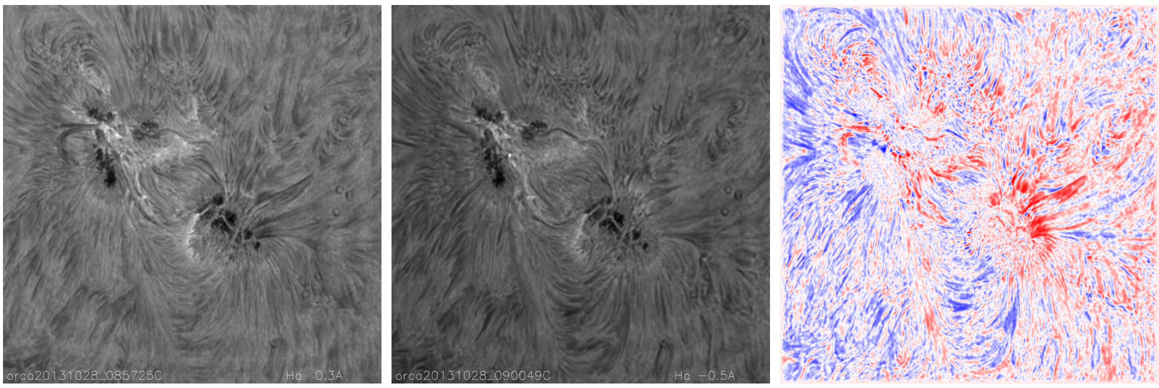
(川手 朋子 記) Reference: Kawate et al. 2011, MNRAS, 416, 2154.

3.3.15 スペックルマスキング法による画像復元

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、スペックルマスキング法による画像復元プログラムを IDL 上に作成した (spemirh.pro、天文台技報参照)。入力画像は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である。スペックルマスキング法を用い、位相復元プロセスに新たな工夫を付け加えることで、ロバストで効果的な画像復元をおこなうことができる。飛騨天文台の DST で得られた画像への適用例を示す。



左:430nm 右:656.28nm



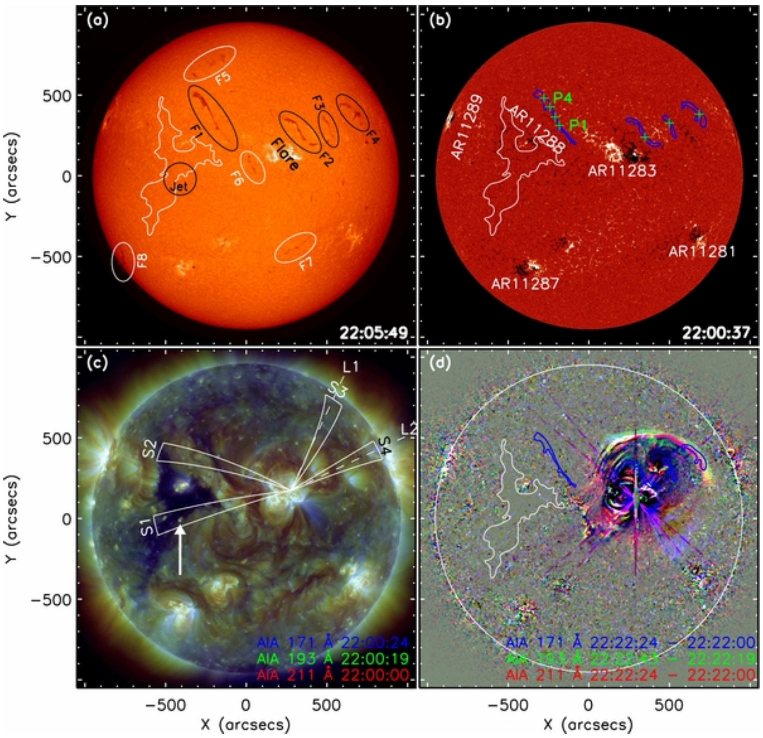
Ha -0.4A, Ha +0.4A, Dopplergram

Reference:

一本 潔、川手 朋子 (2014-01-25) 京都大学大学院理学研究科附属天文台技報, 2(1): 1-22
https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/180390/1/TRKHO_2_1.pdf

3.3.16 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.

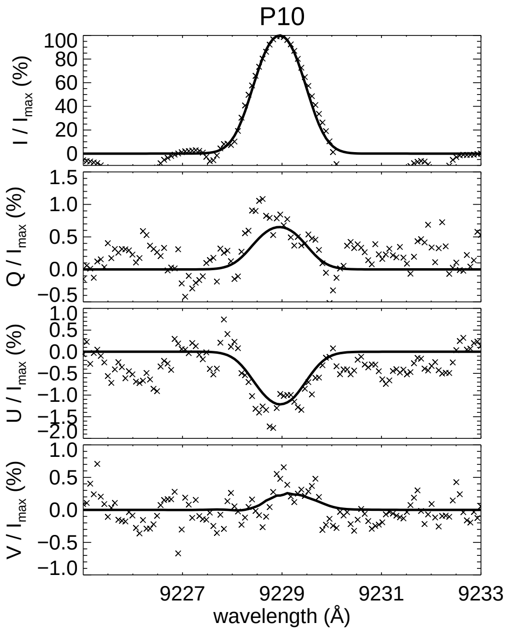


Shen, Y., Ichimoto, K., Ishii, T.T., Tian, Z., Zhao, R., Shibata, K. 2014 ApJ 786, 151.

3.3.17 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

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る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る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の磁場を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で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。

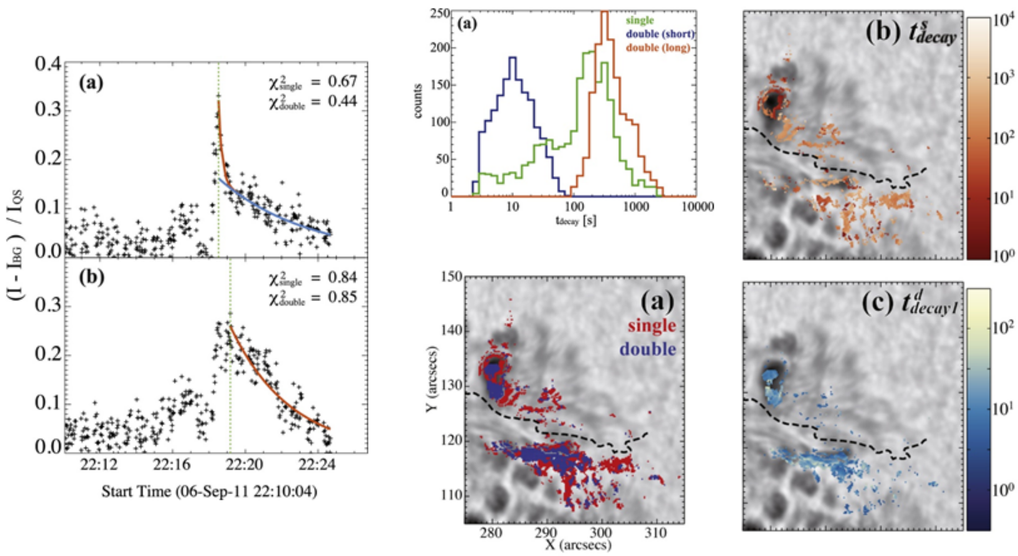


観測された偏光プロファイル（十字）とフィッティング（実線）

(阿南 徹 記 2014 年度年次報告より) Reference: Anan, T. et al. 2014, ApJ, 786, 94.

3.3.18　太陽フレアにおける白色光フレアカーネルの時間発展および空間分布

2011 年 9 月 6 日世界時 22 時に活動領域 NOAA 11283 にて発生した巨大フレア (X2.1) は、連続光でも増光のみられる白色光フレアであった。このフレアについて、飛騨天文台 SMART 望遠鏡の Hα 連続光高速撮像望遠鏡 (Flare Imaging System in Continuum and Hα: FISCH) により極めて高い時間分解能 (25frames/sec) で得られた画像に対しスペックルマスキング法による画像回復処理 (Ichimoto & Kawate 2014) を行い、白色光フレアカーネルの増光の時間発展および空間分布を各ピクセルについて詳細に調査した結果、以下のことが分かった。(1a) 明るさ変化から、減衰時間を求めたところ、42 %のピクセルが速さの異なる二つの時間成分を持ち、それぞれの成分の平均は、15.6 秒と、587 秒であった。(1b) 残りの一つの成分のみのピクセルについて、減衰時間の平均は、254 秒であった。(2a) 短い減衰時間をもつピクセルのピーク時の明るさは、連続光で特に明るい場所とよい相関があった。(2b) 長い減衰時間をもつピクセルのピーク時の明るさは、フレアのより初期に磁気中性線に近い側で明るい傾向がみられた。(3) 長い減衰時間をもつピクセルの方が、短い減衰時間をもつものより、平均して 1.78 倍明るかった。もし、短い減衰時間が彩層での冷却時間もしくは非熱的イオン化時間により決まっており、長い減衰時間がコロナでの冷却時間に相当するとすると、これらの結果は、彩層起源とコロナ起源の双方に由来するものが全体の 42 %であり、コロナ起源による増光の方が彩層起源によるものよりいくらか強いことを示唆する。



グラフ: (左) 明るさ変化の様子。二成分ある例 (a) と一成分の例 (b)。(中上) ピクセルごとの減衰時間のヒストグラム。画像: 各ピクセルの空間分布。黒点線は磁気中性線を示す。(a) 一成分 (赤) と二成分 (青)。(b) 一成分の減衰時間の分布。時間の長いものが多い。(c) 二成分のうち短い方の時間の分布。

Reference:
Ichimoto & Kawate (2014) 京都大学大学院理学研究科附属天文台 技報 Vol. 2, 1.
Kawate et al. (2016) ApJ, 833, 50.

(石井 貴子 (京大・理・天文台)、川手 朋子 (宇宙科学研究所) 記 2016 年度年次報告より)

3.3.19 噴出前における太陽フィラメントの小スケールな運動の視線方向速度の大きさの増加について

太陽面上では、しばしば爆発と共に宇宙空間に大量のプラズマや電磁波を放出する。近年、これら太陽面爆発由来のプラズマや電磁波が、大規模停電や人工衛星の故障という形で、我々の生活に影響を及ぼすことが指摘されている。太陽面爆発に伴う現象の1つに、フィラメント噴出がある。太陽大気中には、フィラメントという周囲より低温高密なプラズマ塊が磁場により浮遊しているが、しばしば磁場構造の不安定化により噴出する (=フィラメント噴出)。これまで、フィラメントは、噴出の前に内部のプラズマが活発に運動する様子が定性的に報告されていたが、これを定量化し、噴出の予測に応用した例は無かった。

そこで我々は、噴出に近づく際の、フィラメント中の小スケールな速度場の時間発展について研究した。観測は、飛騨天文台の SMART/SDDI を用いて行われたが、噴出前および噴出中のフィラメントの視線方向速度を、これまでにない精度で導出することができる。2016 年 11 月 5 日に噴出した、静穏領域フィラメントの観測画像から、Beckers のクラウドモデルを用いて、フィラメントの視線方向速度場を導出し、各時刻における速度場のヒストグラムを作成した（図参照)。もし、フィラメント内部のプラズマの運動が静かであれば、ヒストグラムはシャープな形となるが、活発に動いているならば、潰れた形となる。従って、速度分布の標準偏差は、内部プラズマの運動の活発さを表した値、とみなすことができる。この値の時間変化を追った結果、我々は、噴出前日の標準偏差は 2-3km/s でほぼ一定なのに対し、噴出当日には 3-4km/s に少し増えていたこと、噴出の約 3 時間前には、1.1m/s^2 で標準偏差が増加したこと、そして噴出の約 1 時間前には、2.8m/s^2 で標準偏差が増加したことを発見した。本結果から、我々は、フィラメントの小スケールな運動の大きさの増加が、噴出の前兆と見做せることを提案した。

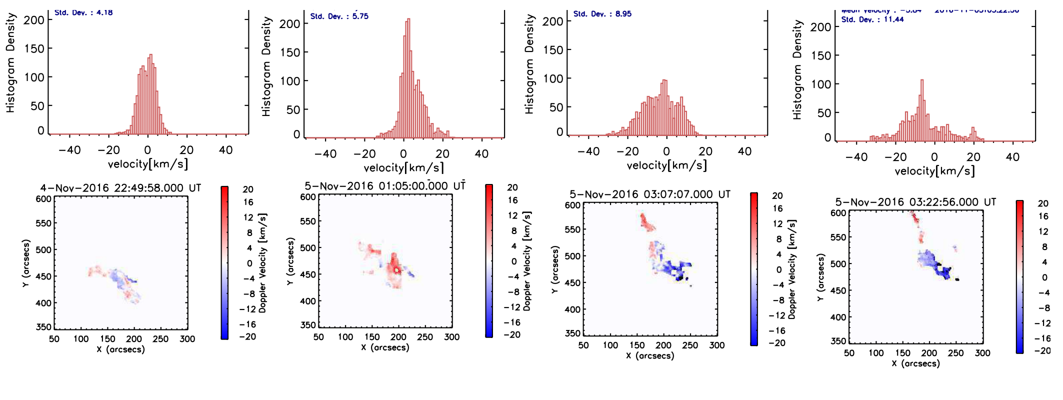


図: （下）フィラメントの視線方向速度場。青部分が地球方向、赤部分が太陽方向。（上）下図の速度場のヒストグラム。噴出が近づくにつれ（左から右)、ヒストグラムの形が潰れていく（標準偏差が大きくなっていく）様子がわかる。

Reference: Seki, D., Otsuji, K., Isobe, H., et al., 2017, ApJ, 843, L24

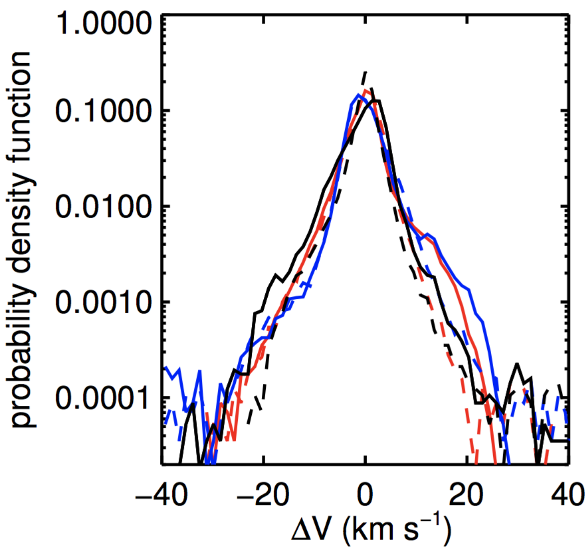
(関大吉 記 2017 年度年次報告より)

参考: http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2017/170707_2.html
京都新聞 (2017 年 7 月 15 日 29 面、本記念誌 p.61) に掲載されました。

3.3.20　プロミネンスにおけるイオンと中性粒子の速度差

部分電離プラズマである太陽彩層の中性水素は、荷電粒子との衝突を介して、ローレンツ力を受けている。これまで太陽彩層は密度が大きく十分な衝突があるため、Hα (H I 656 nm) などで観測される様々な現象は磁気流体力学によって理解されてきた。特にコロナ中に浮かぶ冷たく重いプロミネンスにおける中性水素は、電荷を持たないにも関わらず磁場によって支えられていると考えられている。中性粒子と荷電粒子の衝突による摩擦力は中性粒子と荷電粒子の速度差に比例する。近年、この速度差を起因とする中性粒子流体からの磁場の拡散が理論的に研究され始め、この磁場の拡散によってコロナ加熱に重要な波の減衰率、磁気リコネクションの効率、浮上する磁場の量、彩層加熱率、さらには星形成の効率に影響することが明らかとなってきた。

私達は中性粒子と荷電粒子の速度差を観測的に明らかにすることを目的に、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の水平分光器を用いて、プロミネンスの H I 397 nm、H I 434 nm、Ca II 397 nm、Ca II 854 nm を同時分光観測し、ドップラー速度を比較した。その結果、中性水素とカルシウムイオンのドップラー速度に有意な差があることが明らかとなった。その一方で、中性水素の 2 本のスペクトル線のドップラー速度同士またはカルシウムイオンの 2 本のスペクトル線のドップラー速度同士を比較しても、同様の有意な差があることが明らかとなった。以上より、私達は中性粒子流体からの磁場の拡散に伴う中性水素とカルシウムイオンの速度差を検出したのではなく、スペクトル線形成に寄与が大きなプロミネンス微細構造がスペクトル線毎に違うため、別々の微細構造の動きの違いを検出したと結論した。



速度差のヒストグラム (確率密度関数)。Ca II 397 nm と H I 397 nm (赤実線)、Ca II 397 nm と H I 434 nm (赤破線)、Ca II 854 nm と H I 397 nm (青実線)、Ca II 854 nm と H I 434 nm (青破線)、Ca II 397 nm と Ca II 854 nm (黒実線)、H I 397 nm と H I 434 nm (黒破線)。

Reference: Anan, T., Ichimoto, K., Hillier, A. 2017, A&A, 601, A103

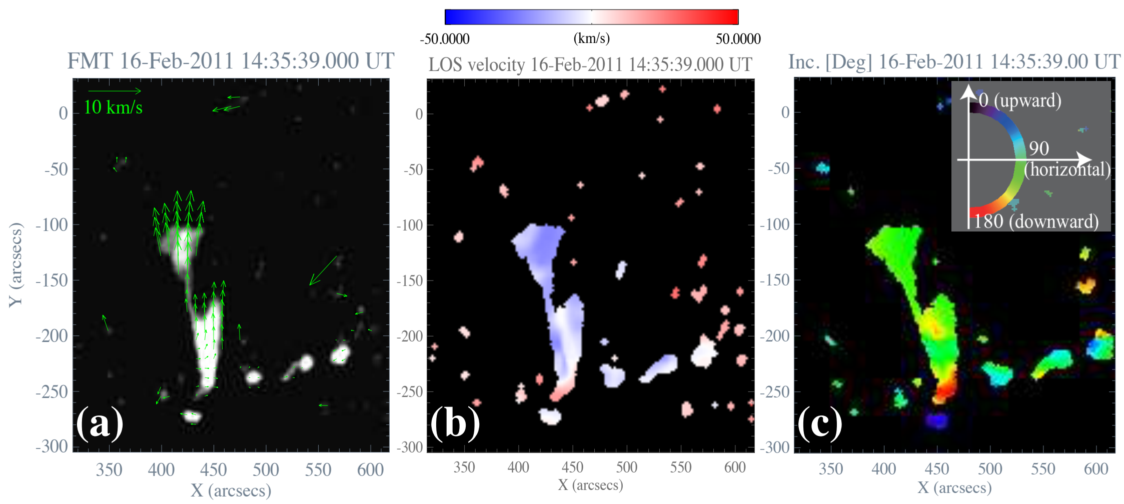
(阿南徹 記 2017 年度年次報告より)

3.3.21 "Dandelion" Filament Eruption and Coronal Waves Associated with a Solar Flare on 2011 February 16

In the recent years the study of solar filament eruptions are extensively being carried out because they play a crucial role in triggering coronal mass ejections (CME). This latter considered as the primary driver of geomagnetic storms. Therefore, the importance reside in determining the real mass motion of the filament eruption, that is, in direction of the line-of-sight (LOS), which do provide valuable information to investigate Earth affecting CMEs.

Here we summarize the study of a filament eruption that accompanied a M-class flare on 2011 February 16. This event was captured in multiwavelength imaging Hα line by the Flare Monitoring Telescope (FMT), in operation at Ica National University, Peru. Combining observations in Hα line center and its wing (Hα ±0.8 Å), the tangential (a) and the LOS (b) velocities were determined by applying local correlation tracking method and a modified Becker's cloud model, respectively. The composition of the tangential and the LOS velocity enabled us to derive the 3-dimensional velocity field of the erupting filament. In addition, by the mean of the derived velocity vectors, we estimate the inclination (c) of the erupting material with respect to the solar surface. Associated with this event, coronal waves in EUV and activation of quiescent filaments in Hα wing were also observed.

The main findings can be summarized as follows: (1) we could trace the temporal evolution of the velocity field and inclination of the filament eruption and compare them with EUV observations, (2) although the FMT may have missed detecting very fast component of the erupting material due to the limited off-band Hα images, the main part of the filament eruption was identified to travel with a LOS velocity of about 30 km s^{-1}, and (3) the inclination maps we performed leads us to conclude that the filament was ejected nearly horizontal to the solar surface. Regarding the filaments activation, the correlation in time suggests that they were activated by the coronal wave passage.



Reference:

Cabezas, D.P., Martinez, M.L., Buleje, Y.J, Ishitsuka, M., et al., 2017, ApJ, 836, 33

(Denis Cabezas 記、2017 年度年次報告より)

3.3.22 ヨードセル法を用いた太陽面視線速度観測に基づく差動回転則の決定

太陽の差動回転は磁場活動を引き起こす源となるので重要であるが、定量的にはまだ十分によく理解されているとはいえない。観測的手法の観点から見ると、黒点の見かけの移動を追って自転の差動度を調べる方法は直接的で簡単ではあるが、高緯度領域が探れないなどの問題点もあり、分光観測でガスの視線速度を測定する方法（ドップラー法）も欠かせない。ただこの分野はこれまで特別の観測機器を用いる光電的ドップラー補償法の独壇場となっており、通常の分光観測での差動回転決定はいくつか例はあるが満足できる結果は得られていないのが現状である。そこで今回我々は、ヨードセル法（ヨウ素ガスフィルターを通して分光してスペクトルに焼き込んだ多数のヨウ素分子線を比較スペクトルにして高い視線速度精度を達成する）を用いて太陽差動回転を求めることを企てた。

観測は 2010 年 7 月 20 日と 21 日の両日、京都大学附属飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡（DST）の水平分光器に、国立天文台岡山観測所で開発したヨードセルを持ち込み機器として装着して太陽ディスク全面の分光観測を行った。波長域は 5188–5212 Å に設定し、両日とも観測は半径方向に 13 ステップ（1/12 太陽半径刻み）、角度方向に 48 ステップ（7.5 度刻み）、すなわちディスク面上の 13×48=624 点それぞれにスリットを当てて行った。ただし 7 月 20 日はスリットの向きは東西に固定、7 月 21 日は南北に固定した。またスリットの長さ方向三分割して三本のスペクトルを求めたから結果的に観測点は更に 3 倍になり、延べ $624 \times 3 \times 2 = 3744$ 点である（図 1(a)）。

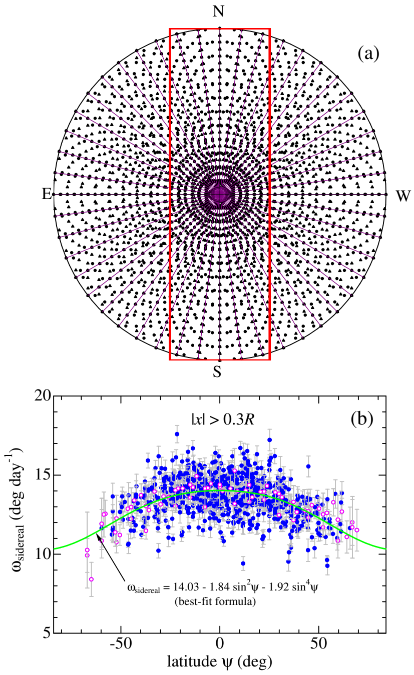
この各点で得た「太陽＋ヨウ素分子吸収線入り」スペクトルを、別途取得した「太陽のみ」テンプレートスペクトルと「ヨウ素分子吸収線のみ」スペクトルと合わせて解析して、その点でのテンプレートに対する相対視線速度 $V_{\rm rad}$ を求めた (手法の詳細については文献 [1] を参照)。平均的誤差は $\sim$ 20–30 m s^{-1} である。この $V_{\rm rad}$ に対して更に地球運動の補正を加えて太陽中心系に直した値から日面緯度 (ψ) で対恒星自転角速度 $\omega_{\rm sidereal}$ を求めた。この際以下の二点に注意を払わなければならなかった。
—(1) 東半球と西半球の対応する値を平均して非対称性をならすこと、
—(2)x(子午線からの距離) の小さい観測点は誤差が増幅されるので除外すること（今回は $|x| > 0.3R$ の観測点のみ用いた; 図 1(a))。

結果として得られた $\omega_{\rm sidereal}$ vs. ψ 関係を図 1(b) に示す。これを良く用いられる解析式 $\omega_{\rm sidereal}$ (deg day^{-1}) $= A + B\sin^2\psi + C\sin^4\psi$ でフィットさせるべく最小自乗法で係数 (A, B, C) を求めると $A = 14.03(\pm 0.06)$、$B = -1.84(\pm 0.57)$、 $C = -1.92(\pm 0.85)$ となった。この係数はこれまでに（主にドップラー補償法で）得られた結果と良く一致する。従って「単にヨウ素ガスフィルターをスリットの前に置いて分光するだけ、という大変安価で簡単な方法でも（特殊な精密装置を用いる手法に匹敵するほどの）太陽差動回転則の十分精度の良い決定が可能である」ということが示された。

本研究の詳細については文献 [2] を参照されたい。

参考文献

[1] Takeda, Y., et al.: 2002, *PASJ*, **54**, 113.



(a) 二日間の観測でスペクトルが得られた点の太陽ディスク面上のプロット。赤線で囲った部分は誤差が増幅するために自転角速度決定には用いなかった領域。(b) 得られた対恒星自転角速度（$\omega_{\rm sidereal}$）と日面緯度 (ψ) の関係。白抜きのシンボルはリムから得られた結果。実線は最適なフィットが得られた解析式を表す。

[2] Takeda, Y., Ueno, S.: 2011, *Solar Phys.*, **270**, 447.

（竹田洋一（国立天文台)、上野悟（飛騨天文台） 記 2010 年度年次報告より）

3.3.23 太陽スペクトルを用いた NLTE 補正因子の決定に向けた観測

1. 近赤外域 C I 1.07μm 線の重要性

金属欠乏星 (それも特に [Fe/H] < -2 の超金属欠乏星) は多様な炭素過剰星の存在などもあり特に炭素の組成を正確に決定することはきわめて重要である。これまでこの種の星の炭素組成決定にはもっぱら $\lambda \sim 4300$ Å の青領域の強い CH 分子線バンド (G バンド) が低金属領域でも観測できるためにもっぱら用いられてきた。ただ大気上層で形成されてきわめて強い温度依存性を持つためにモデル大気の不確定性に大きく影響されるという欠点があった。最近竹田と比田井は近赤外 1.07μm にあるマルチプレット 1 の一群の中性炭素原子線が超低金属領域まで明確に見えて広い金属量範囲の星の炭素組成決定に大いに有用であることをすばる望遠鏡 IRCS で得られた 45 個の星 ($-3.7 <$ [Fe/H] $< +0.3$) の zJ バンドスペクトルの解析から示した (Takeda & Takada-Hidai 2013, PASJ in press, preprint: arXiv 1302.3313)。ただこの線はかなり non-LTE 効果が効くので NLTE 補正の適用が必須であるが (-0.1dex から-0.6dex で低金属になるほどより重要)、この補正は中性水素非弾性衝突係数にかなり影響されるので、正確な NLTE 補正を見積もるにはこの衝

突係数の古典的な取り扱いの妥当性の是非が問題になる (古典値のままでよいか？補正因子を掛ける必要があるか？)。

2. 太陽スペクトルを用いた補正因子 k の経験的決定に向けた観測

そこで、太陽面上の異なる μ ($=\cos\theta$) の点では形成層が異なることを利用して、複数観測点における線強度 (輪郭) データをパラメータ (衝突断面積の古典値に対する補正因子 k) を色々変えた理論計算と比較することで k の経験的な情報を得るために 2012 年 7 月に DST 水平分光器を用いて観測を行った。つまり太陽面子午線上の静穏領域の各点において $\Delta r = R/20$ の間隔で周縁から中心までスキャンして $x = \sin\theta$ が 0.00, 0.05, 0.10, ..., 0.95, 1.00 の 21 個の各点におけるスペクトルを得た。波長範囲は約 32 Å で波長分解能は R $\sim$ 60000 である。

図 1

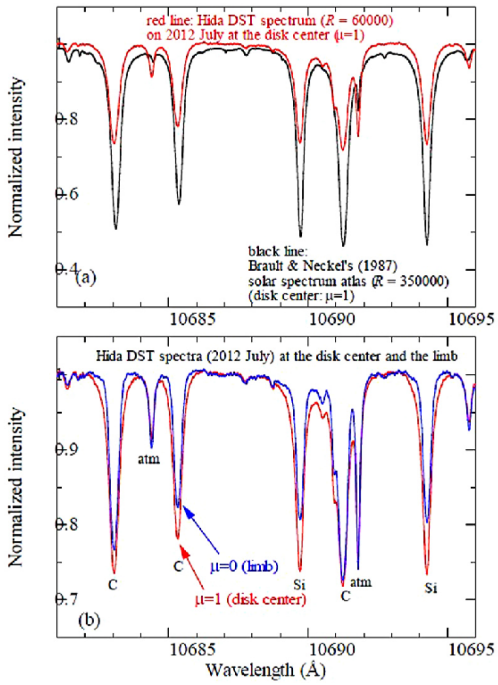
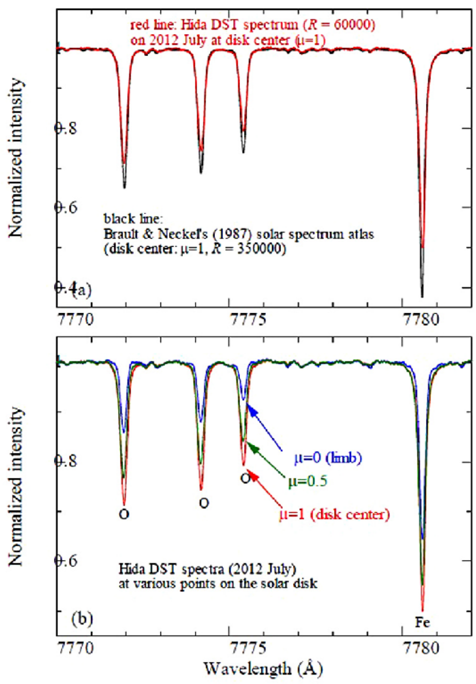


図 2



3. 太陽スペクトルアトラスとの比較で明らかになったこと

公開されている広い波長範囲の太陽スペクトルとしては Brault & Neckel (1987) の NSO の FTS で撮った円盤中心 ($\mu = 1.0, x = 0.0$) の R=350000 のディジタルスペクトルが有名である。従って我々の得た円盤中心のスペクトルをこれと比較してみたところ、意外にも大きな食い違いが見られた。図 1 に示すように DST のスペクトルにおける C スペクトル線強度は NSO アトラスに比べて明らかに弱くせいぜい半分程度である (図 1a)。もちろん両者の波長分解能はかなり異なるのであるが、マクロ乱流によって決まる線幅が一番重要なので R=60000 と R=350000 の違いによる半値幅の差はほとんど明確でない。(というよりも分解能のより低い DST のスペクトル線の方が「むしろ少し痩せている」ように見

えるのは不思議である。) なお図 1b は中心とリムでの DST スペクトルの比較だが、後者が弱いのは予想通りである。

ディスク中心の C I 10683 Å 線の等価幅 (分解能に依存しない) を測定した結果は、それぞれ 120 mÅ(DST スペクトル)、208 mÅ(Brault & Neckel のスペクトルアトラス) であった。これからわかるように DST のスペクトルにおけるスペクトル線強度は顕著に (約六割近くにまで) 弱くなっている。また多波長での状況の参考として OI 7771-5 Å の三重線の場合を図 2 に示す。この場合は C I 線ほど食い違いは顕著ではないがやはり DST のスペクトルは若干強度が弱くなっている (図 2a)。ちなみにディスク中心における OI 7771.94 線の等価幅を測定したところ DST スペクトルからの値は 69 mÅ、Brault & Neckel (1987) のスペクトルアトラスからの値は 78 mÅ であった。従って波長が長くなって 1 μm 以上の近赤外域に入るほど食い違いが増大すると言って良いであろう。

4. 今後の課題

そこで来年度に改めてこの近赤外の $\lambda \sim 1.07$ μm 領域に対象を絞って色々な条件で再観測とテストを行い、果たして昨年のような食い違いの傾向がやはり見られるのか、もしそうならその原因は何か、何らかの補正を施して初期の目的にかなうような中性炭素の線の周縁 ～ 中心スペクトルを得ることは可能なのか、などについて調べたいと思っている。具体的には、水平分光器と垂直分光器での両方での観測、光学系や波長分解能を変えての観測、散乱光の定量的評価 (ディスク外の色んな点でのスペクトル、黒点の中のスペクトル、なども)、可能なら検出器を変えての観測、などできる限りのことを試みたい。

(竹田洋一 (国立天文台)、上野悟 (飛騨天文台) 記 2012 年度年次報告より)

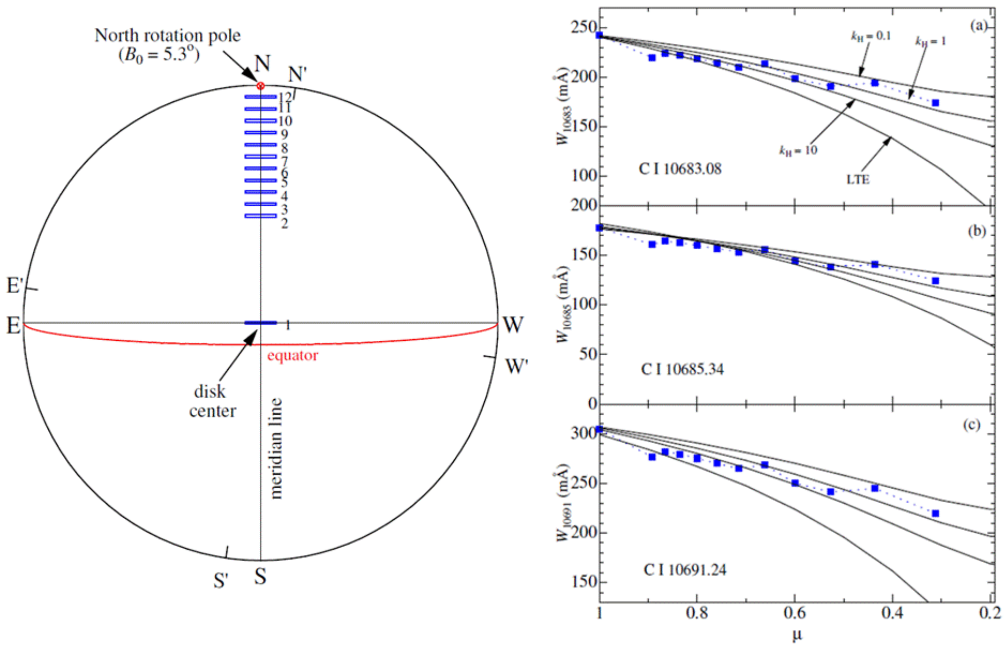
3.3.24 中性炭素線の太陽面中心–周縁強度変化と中性水素衝突係数の推定

最近竹田らがすばる望遠鏡の IRCS を用いて行った近赤外の 1.07μm の C I 線に基づく金属欠乏星の炭素組成解析 (文献 [1]) では [Fe/H] < -2 の非常に金属欠乏領域において CH から出した組成と C I から出した組成の系統的な食い違いが見られた。この食い違いの説明として一つの可能性は NLTE 効果が大きい C I 線の NLTE 補正が正しくないことである。というのも FGK 型の晩期型星では中性水素原子による非弾性衝突効果がよくわかっていないので衝突遷移レートの不確定性が大きく、これが NLTE 計算の信頼性を損ねているからである。

この中性水素衝突係数 $C(H)$ には古典的考察に基づく公式もあるが単なるオーダーの目安程度のものにすぎないので、そこで $C(H) \equiv kHC(H)_{classical}$ と書いてこの補正因子で対応するのが一般的であり、結局 kH の値を知ることが本質的になる。([1] においては $kH = 1$ を用いた。) そこで我々は太陽を用いる経験的なアプローチでこの問題に取り組むことにした。つまり太陽面上の異なる μ (=cosθ) の点では形成層が異なることを利用して、複数の μ における近赤外 1.07μm C I 線強度を kH を色々変えた理論計算値と比較し、kH の値に関する情報を得ることを試みたのである。

観測は 2013 年 7 月 26 日に京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の水平分光器を用いて行った。図 (左) に示すように太陽面上の μ の異なる 12 点の位置で 1.069 μm 領域で波長分解能 19 万のスペクトルを得た。そして中性炭素線三本の等価幅 $W'(\mu)$ を各位置で

測定した。円盤中心でのスペクトルをNSOスペクトルアトラス(文献[2])と比較したところ散乱光の影響で約25%ほどスペクトル線強度が弱く出ていたので、みかけの$W'(\mu)$に対しこの効果を補正して真の等価幅$W_{obs}(\mu)$を求めた。



次に各々の線についてATLAS9太陽大気モデル([3])を基に、$kH = 0.1, 1, 10$の三通りの場合でNon-LTE計算を行い、理論的な$W_{th}(\mu)$を計算した。

こうして得られた観測値W_{obs}と理論値W_{th}の比較を図(右)に示す(なおLTEは$kH = \infty$に対応するがこの場合も参考のために図示している)。この図からは(ちらばりがあるのでkHの値を特定することは難しいが)「古典的な取り扱いの$kH = 1$で特に悪くない」ことが言える。従って最初に述べた食い違いはnon-LTE計算が不適当だったためのC Iからの組成の系統誤差にはできない。分子線は温度に非常に敏感なのでむしろ大気構造の不確定性がCHバンドから出したC組成の方に系統誤差を生じたのではないかと推察される。本研究の詳細については文献[4]を参照されたい。

(文献)

[1] Takeda & Takada-Hidai 2013, PASJ, 65, 65

[2] ftp.hs.uni-hamburg.de/pub/outgoing/FTS-Atlas

[3] Kurucz 1993, Kurucz CD-ROM No.13

[4] Takeda & UeNo 2014, PASJ, 66, 32

(竹田洋一(国立天文台) 記 2013年度年次報告より)

3.3.25 2003年3月29日に発生したガンマ線バーストGRB030329の早期可視残光光度曲線の構造

ガンマ線バーストは数ミリ秒から数百秒程度の時間尺度で莫大なエネルギーを放出するバースト現象である。X線から電波に至るすべての波長で、残光現象が観測されることがある。そのうち、ガンマ線バーストの継続時間が秒スケール以上のものは、ある種の大質量星が進化の最後で超新星爆発を起こす際の現象だとされている。その発光機構としては、中心にできたブラックホールに周囲の物質が落ち込んでいき、その一部が相対論的ジェットを形成して星本体を突き破って星間空間に飛び出した際に、たまたま地球がそのジェットの方向にあれば、内部衝撃波によるガンマ線や外部衝撃波による残光が観測されるというものである。

現在までに多くのガンマ線バーストで残光現象が観測され、上記のような描像が確立しているが、2000年代に入る頃ではガンマ線バーストの位置特定精度が悪く、特に発見後0.1日以内の残光現象の詳しい観測はほとんど報告されていなかった。しかし、2003年3月29日11時37分14.67秒(世界時)にHETE-2衛星に検出され、その0.051日後に世界中に広報されたGRB030329は、すぐに可視光で12等もの明るさの新天体と同定され、京都大学を中心とした世界的ネットワークで追跡観測がなされた(Uemura et al. 2003, 2004)。

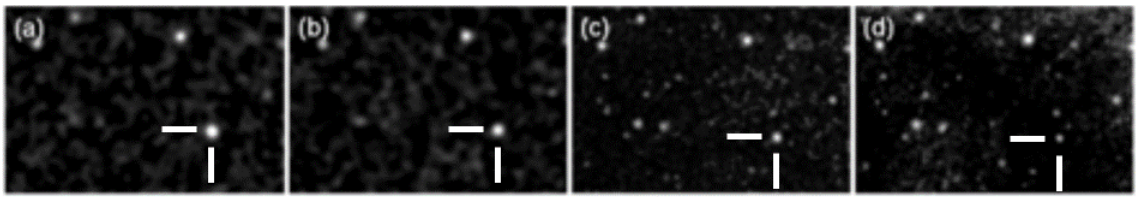


図1: ガンマ線バースト発生から(a)1.27時間後、(b)3.37時間後、(c)8.18時間後、(d)28.65時間後のRc-band画像(Uemura et al. (2004)の図1を改編)。(a)(b)は京都大学宇宙物理学教室、(c)は南アフリカ天文台、(d)は飛騨天文台60cm反射望遠鏡で撮影されたもの。

京都大学宇宙物理学教室では、当時博士課程の大学院生であった植村誠氏を中心に、屋上に設置されていた30cm望遠鏡と25cm望遠鏡で広報を受け取ってすぐに観測を開始し、明るい残光を確認した(図1a)。世界的に観測が継続される中、飛騨天文台ではこの日は天候が悪く残念な思いをしていたが、次の日には晴れ、60cm反射望遠鏡で野上が観測を行なった。ガンマ線バースト発生後1.2日が過ぎていたが、16等程度の明るさでしっかり観測された。

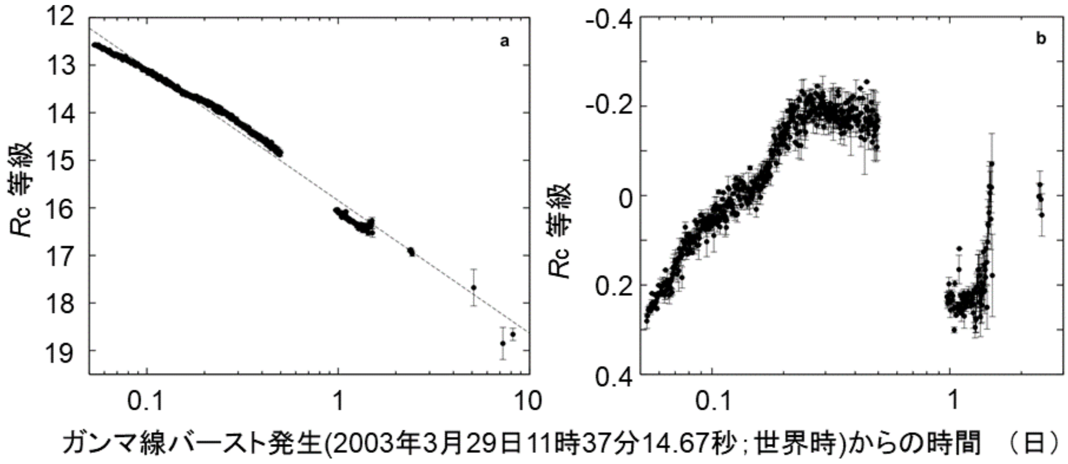


図2: ガンマ線バースト発生から0.053日(1.27時間)後から10日後までの光度曲線(Uemura et al. 2003の図1を改編)。左図は全体の光度曲線と時間のべき乗則でフィット(べきは-1.115)した線(点線)を表している。右図は実際の光度曲線からべき乗則の線を引いた残差。

観測は我々の観測ネットワーク全体で8日間継続された(図2)。図2左では時間の単純なべき乗則で明るさが減少していくモデルでフィットしたものを点線で書き入れてある。べき指数は-1.115で、これは可視光残光の減光を表すものとしては標準的な値であった。しかし、観測データからべき乗モデルを引いたものを示した図2左からわかるように、バースト発生から0.5日までに、2こぶの構造があるのがあった。その後、1日までは比較的速い減光があり、そこから増光に転じていた。これはそれまでに理論的に提唱され観測もされていた相対論的ビーミングの弱まりによるジェットブレイクや、超新星成分の卓越による光度変化では説明できないものであり、1日以下のタイムスケールでの光度曲線の構造を捉えた初めての観測であった。

Reference:

Uemura et al. 2003, Nature 423, 843. (被引用件数17位、p.40新聞記事)

Uemura et al. 2004, PASJ 56, S77.

(野上大作 記)

4　50周年によせて

飛騨天文台 50 周年へのメッセージ

川口市郎
京都大学名誉教授、附属天文台第 5 代台長

丁度 50 年少し前に上宝村の大雨見山山頂近くにある原野に私は立ってた。この時の同行者は京大の服部兄、村の助役の吉岡さん、教育長の田上さん、それに石浦さんであった。天文台の敷地の候補として、この他にも松本市の美ヶ原、南アルプスの近くの入笠山などが考えられていたが、受け入れてくれたのは上宝村だけであった。反対理由は、この土地を放牧のために利用していたからであった。このような理由で天文台は上宝村にきまった。天文台職員はこの歴史を忘れる事なく、村との良い関係を維持される事を私は願っている。

飛騨天文台ドームレス望遠鏡の思い出

日江井 榮二郎
東京大学名誉教授、国立天文台名誉教授、明星大学名誉教授

20 世紀の半ば以降には、国際的な共同観測により太陽活動の変遷を研究しようという風潮が盛んになり、1957–58 年の IGY(国際地球観測年)、1964–65 年の IQSY(太陽極小期国際観測年)、1969–71 年の IASY(太陽活動期国際観測年) などが実施され、そのたびに鼎の三脚としての日本のデータの提供が期待されていた。興味ある活動域の発生に伴い、共同観測の期間が限定され、必ずしも良い画像とは言えない画像を提供するのがつらかった。当時は Big Bear 観測所で撮られた空間分解の良い画像が会議のたびに見せられた。しかし飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡が完成し、そこで取得された画像は解像度が良く世界に冠たるものでした。これで胸を張って国際会議で発表ができるという晴れ晴れした思いになったことを想い出します。

北アルプスの山々を見下ろすがごとくに、蒼空に真白く聳えるドームレス望遠鏡を仰ぎ見た時には、太陽観測の新しい時代が到来したと実感しました。川口市郎さんが Pic de Midi 天文台で取得された解像度の素晴らしい粒状班に負けぬようにと皆が努力され、太陽現象の多くの成果を生みました。素晴らしい望遠鏡を作られました。

しかしこれが完成するまでにはその努力、苦労は計り知れないものがあったと思います。飛騨天文台の計画が始まろうとする頃と思いますが、ある学会の時、京大の天文屋が私に話を掛けてきました。飛騨の山中に京大が天文台を作ろうとしているがどう思うかと。もしこれが進むと東京天文台のもろもろの計画が遅れますよねと慇懃な話しぶりであった。私は良い計画ですね、と言ったらあきれた顔をされた。当然反対とはいかないまでも、賛成するとは思いもよらないという態度でした。建設、完成に至るまでの服部さんの功績は甚大であると思っていますし、宮本先生と末元さんの信頼関係も影の力になったと思います。川口さんと守山さんとの親密関係もよく、ドームレス太陽望遠鏡完成以来、東京・京都の太陽研究者は益々仲良く交流するようになりました。太陽フレア監視望遠鏡の予算化の時には大賛成をしました。

大雨見山近くの観測地を京大関係者に案内した人が地元の有力者であり、私の大学時代の運動部後輩の父親でもあり、気さくに山案内の話をしていただき、飛騨天文台には親しみを感じていました。ドームレス太陽望遠鏡で観測するのが楽しみでもありました。これからも地上からのすばらしい観測成果を上げられますことを念じています。

飛騨天文台の思い出

久保田 諄
大阪経済大学名誉教授

もう50年以上も経ったのか。新しい天文台建設の候補地を探して、岐阜県上宝村に初めて行ったのは、開所式の5年前、昭和38年の夏だったと記憶している。とにかく、夜は暗いか、シーイングはどうかを確かめるために小さい望遠鏡(口径20cm)とカメラを持って、最初は服部昭先生と一緒に、4泊5日のテント暮らしを、十三墓峠の頂上近くの少し平らな場所で過ごした。今と違って、峠の近くに道路はあったけれども、人の住む家は全くなくて、夜ともなればごくたまに道を車が通るのみで、静寂そのものの境地。泉鏡花の「高野聖」に出て来る峠はまさかここがモデルではあるまいかと、心細いこと限りなく思えた。その時は残念ながら天候が悪くて、ほとんどテスト観測は出来なかったが、その後、現在の大雨見山の地に最終的に決まるまで、何回かあちこちのテスト観測に参加した。しかし、最初の強烈な上宝村の印象として思い出すのは十三墓峠の体験である。

昭和50年にドームレス太陽望遠鏡が飛騨天文台に完成してからは、毎年一週間の観測タイムを頂いて、その期間この望遠鏡を占有できるのは大変嬉しいことだった。花山天文台にある70cmシーロスタットの太陽望遠鏡はシーイングのことなど全く考慮しないで作られた望遠鏡だったので、当時、世界的に研究が始まった太陽面現象の微細構造などは全く研究不可能な器械であった。本で見るアメリカのサクラメントピーク天文台の太陽タワー望遠鏡やウイルソン山天文台の100フィートタワー望遠鏡などは憧れの的であった。花山天文台での観測は、微細構造などを問題としない太陽の静穏プロミネンス分光スペクトルしか思い及ばなかったので、仕方なくプロミネンス分光ばかり精出してやっていたので、いつの間にか「プロミネンスのクボタ」と云うアダ名が付いた。しかし、プロミネンスにしても、このドームレス望遠鏡を使えば、構造も含めた観測と研究ができる。その後は、プロミネンスのガスの物理状態の研究は一先ず切り上げて、静穏プロミネンス(Hαフィラメント)の中でガスがどのように流れているかの観測ばかりに専心した。プロミネンスの中の細い線はガスの流線である。その速さが毎秒0.5～1 km程度のときは、プロミネンスは安定した形を示しているが、これが毎秒数十km以上になり、流線がフィラメントの軸に平行に近くなると形が不安定となり、突然消失(そしてCME)の前兆となる。こんなことを、上杉さんや北井さんと共同で、いくつかの論文に書いた。われわれの仕事は、ほんの一寸した業績であったが、今後はこのドームレス望遠鏡の特徴を充分に活かした画期的な研究が行われることを期待して止まない。長年の間、大変お世話になった天文台の職員の方々に心からお礼を申し上げる次第である。そして、懐かしい「峰の白雪」にも。

以上

50年前の回想

赤羽 徳英
元附属天文台助教授

昭和43年4月に教務補佐員として花山天文台に雇用された私は飛騨天文台建設現場へしばしば参りました。8月以降は毎月2週間ほど現場にいたと思います。後になって気付いた事ですが、私の現場行きは施設部の代理だったようです。本来は発注者として施設部職員が駐在すべきでしょうが、私を代用したらしいのです。工事日報等の施設部への報告は工事元請会社の内藤建設現場責任者から行われていたらしく、現場での私の仕事は皆無でした。ただぼんやりと工事現場付近をうろついているだけでした。しかし、面白い経験がいくつかありました。

天文台構内や周辺にはマムシが生息しています。昼休みになると現場責任者や作業員の物好きな者はマムシ捕りに出かけます。私もそれに幾度か同行しました。マムシを見つけるチャンスは少ないのですが、それでも現場責任者用の建物には生きたマムシの入った一升瓶が常に2-3本ありました。後に焼酎を注入してマムシ酒にするのです。また現場責任者を誘惑して山頂付近へキノコ採りに行くのも楽しみの一つでした。

工事現場には三つの仮設小屋があり、現在の65センチ望遠鏡用研究棟の東に南北に並んでいました。北より飯場、工事責任者用、京大用です。京大用の小屋は十畳程の和室一部屋で、電気こたつが一つあるだけでした。勿論洗面所やトイレはありません。私は一人ここで寝起きをし、食事は飯場にお願いしました。時折京都から来られた先生方や施設部職員は村の宿屋に泊まられたと思います。現場責任者達は下請け会社社長の別宅に下宿をしていました。作業員は20人ほどいたでしょうか、彼らは飯場で寝起を共にしていました。人里離れた飯場生活に耐えられなくなった作業員が夜逃げをしたという話も聞きました。現場から20kmほどの神岡駅まで歩き、そこから鉄道を利用したようです。多分郷里へ帰ったのでしょう。

竣工式の少し前に飯場生活から解放されました。新天文台の宿泊室での生活は自炊でしたが快適でした。竣工当時の飛騨天文台職員は服部昭助教授、神野光男助手、松井宗一技官、萩町洋一技官 (新採用)、石浦清美技能補佐員、そして私赤羽徳英教務補佐員の6人でした。服部、神野、松井、赤羽の4名は花山天文台からの配置換えであり、まだ宿舎もありませんでしたので、宿泊室に泊まり込み、花山・飛騨を往復していました。翌年の秋には向野の地震観測所構内に宿舎が出来ましたので、松井さんと私が入居し、上宝村に常住しました。

新天文台最初の元旦は鳴海泰典さん (大学院生) と私で迎えました。新天文台を祝して門松を飾ろうと言うことで、大晦日に雪を踏みしめながら林へ分け入り、松の枝を採ってきて談話室に飾りました。大晦日の夜はゆっくり飲むつもりで、早めに見回りを済ませ、談話室に質素な手料理を持ち込みました。会話の内容はすっかり忘れてしまいましたが、二人ともそこそこの酒好きでしたので大酒となり、大変楽しかったことを覚えています。宿直という任務を忘れて大酒を飲む、当時は若かったし呑気な時代でもありました。

改めて竣工当時を振り返りますと、数々の懐かしい想い出が甦ります。

飛騨天文台創立50周年おめでとうございます。

飛騨天文台50周年へのメッセージ

黒河 宏企
京都大学名誉教授、附属天文台第8代台長

飛騨天文台との最初の出会いは修士に入った時で、建設前の気象・気流最終調査、敷地境界の確認や道路建設用の敷地測量などの仕事でした。

創立後10年間は時々花山天文台から出張するだけでしたが、ドームレス太陽望遠鏡(DST)の建設が始まった1978年8月に、船越さんと共に上宝村本郷の官舎へ移り、いよいよ飛騨天文台に丸ごと身を投じる生活が始まりました。

当初船越さんと私はDSTと周辺機器の管理・運転や来訪客のお世話に追われましたが、折りしも第21太陽活動極大期で、多くの新しい活動現象に出会うことができました。その頃は土日でも晴れれば天文台に上がっていたので、官舎の奥さん方は「ここは後家部落のようね」と嘆いていたようです。

1981年の3m豪雪は記録的なものでした。12月30日の朝、天文台越冬隊の川口先生と末松さんに食料を届けるために、官舎の雪の中からジープ2台を掘り出して、船越さんと天文台へ向かいました。除雪車が下りてくるのを待ってから10時頃に山麓を出発。除雪が十分でなく何回も立ち往生。車底の雪をショベルで掻き出して、別の1台がワイヤーロープで引っ張って助け出すことを繰り返しながらやっと天文台に到着したのは既に午後2時頃。川口先生に「暗くならないうちに下りないと危ないぞ」と言われて食料品だけ置いて早々に下山、麓の長七に着いたのが4時。ほっとした途端に二人とも未だ昼を食べていなかったことに気がついた。というような若さと雪との闘いは他にも色々ありました。

「太陽地球系エネルギープログラム(STEP)国際共同研究」には、1989年から準備して「太陽フレアーと紅炎爆発に伴うエネルギー解放と質量放出の観測的研究」というテーマで参加しました。各方面の皆さんのお蔭で、DSTの建設以来12年ぶりの新太陽望遠鏡「太陽フレアー監視望遠鏡」が誕生しました。

2001年もまた記念すべき年でした。年末の忘年会の席へ突然掛かって来た「先生、太陽望遠鏡が補正で通りました。2月には仕様書を提出しなければいけませんのでよろしくお願いします」という理学部司計掛長の北野さんからの電話に武者震いさせられたことは今でも忘れられません。数年前から概算要求し続けてきた「太陽活動総合観測システム」の設置がやっと認められたのでした。「太陽磁場活動望遠鏡 Solar Magnetic Activity Research Telescope (SMART)」と命名され、2003年10月に長尾総長をお迎えして開所式が行われました。

振り返って見まして、私の人生の半分は飛騨天文台と共にあったような気がします。

退職後に、都会の子供たちに本当の自然を見てもらいたいと立ち上げた「子ども飛騨天文台天体観測教室」は第11回、大人向けの「飛騨天文台自然再発見ツアー」も第8回を数え、飛騨天文台スタッフの方々の温かいご協力を得て好評を博しています。

宇宙研究の基本であり、我々の恵みの星でもある太陽研究の世界的中核拠点として、飛騨天文台がこの美しい自然の中にいつまでも立って活躍し続けることを願ってやみません。

飛騨天文台創立50周年によせて

石浦 清美
元附属天文台技術職員

この度は飛騨天文台創立50周年を迎えられ心からお祝いを申し上げます。

顧みますと、設立前の候補地調査の時代から関わり、飛騨天文台と共に歩んできた半世紀は私の生涯そのものでした。右も左もわからない全くの素人が、自然科学の世界に飛び込んで現役を全うできましたのは、諸先生方や関係者の皆様のおかげと心から感謝を申し上げる次第です。

飛騨天文台は北アルプスを一望できる絶好の地に設立され、周囲の明かりがなく、静穏な大気と空気の透明度が高いなど、天体観測には非常に優れた環境にありますが、雪国の標高1,280mの山岳地帯にあるため、気象条件は極めて厳しい自然環境の中にあります。従って、施設の維持管理では設立当初から過酷な自然との戦いに明け暮れました。

平地では考えられないような建物や設備等の損傷、豪雨による道路の災害、豪雪による雪との戦いなど、数多くの問題に直面して来た歴史を振り返りますと様々な思い出がよみがえり感無量となります。

飛騨天文台の歴史につきましては、2007年、宇宙会発行の回想録『私の42年をふりかえって』に記していますが、この飛騨天文台に携わった事で、私自身、多くを学び、育てて頂きました。

私が現役を離れて既に11年半の歳月が流れ、その間には、太陽フレア監視望遠鏡のペルーへの移設や、観測装置の整備、施設の整備等を進められてきましたが、併せて附属天文台では様々な厳しい課題に面しておられます。

中身の違いがあるにせよ、いつの時代でも厳しい状況に直面することは避けられません。先達の方々のたゆまない努力とご尽力によって今日がありますので、今後も皆様のお力で附属天文台を是非とも大きく育てて頂きたいと思います。

今年は、飛騨天文台創立50周年記念と併せ、計画から12年、待望の3.8m望遠鏡が完成し誠に喜ばしい年となりました。

大きく飛躍する節目ともいえますので、附属天文台、飛騨天文台の益々のご発展とご活躍をご祈念申し上げ、お祝いの言葉と致します。

飛騨天文台創立50周年に寄せて

北井 礼三郎
元附属天文台准教授、佛教大学

1979年川口市郎先生に連れられて、完成直後のドームレス太陽望遠鏡で太陽を観測する機会があり、その時に水平分光器で Hα スペクトルを見ることができました。そのシャープな素晴らしいスペクトル画像を目にして、日本の地上観測の質が一桁上がったと感動したことは、今でも覚えています。この時の観測データをまとめ上げて博士論文にできたこともあり、飛騨天文台の設備は私が太陽研究を更に進める上で大きな力となりました。

その後、1985年から23年間飛騨天文台で教員として勤務しました。この間、厳しい自然環境の中で研究活動を続けていくには、様々な困難があることを思い知らされました。度々の出来事に対して、先輩・同僚・地元・大学事務局の助けを得て、一つ一つ対処していったことを懐かしく思い起こしています。そのことにより、自分の観測研究を行うこともできましたし、何よりも若い人たちが飛騨天文台で観測をして成果を上げてゆくことのお手伝いできたのではないかと自負しています。もちろん微力ではありましたが。ただ、食堂で様々な人と色々なことについてお話しできたことは、ある種の宝物として心に残っています。

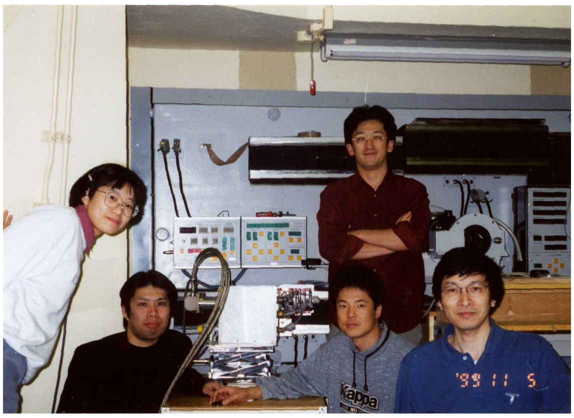
近年、設置後50年にもなる飛騨天文台の望遠鏡は、当然ながら所々綻びが来ているものと思います。それに対して現職員の皆さまが、より良きものに更新しようという試みを種々されていることを聞いています。SMART望遠鏡のフィルターも新機軸のものに更新されましたし、ドームレス太陽望遠鏡については、補償光学装置を導入して更に質の高い観測ができるようになりました。また、それに伴う環境整備も行われていると聞いており、喜ばしい限りです。

以上個人的な太陽観測に沿った観点から縷々記しましたが、50周年を迎えた飛騨天文台の役割は、これからも増々大事なものになって行くと思います。色々と厳しい環境のもとですが、スペース観測と地上観測の両輪で天文学研究を推し進める基盤天文台としてこれからも発展されることを願っております。最後に、私も今しばらくはドームレス望遠鏡での観測を続けることをお許しいただければ望外の幸せです。

飛騨天文台50周年に寄せて

桜井 隆
国立天文台名誉教授

これまで飛騨天文台には20回以上観測に来ているのですが、中でも重要だったと考えているのは、1988年から5カ年計画で建設した国立天文台三鷹キャンパスの太陽フレア望遠鏡用リオフィルターの検定 (1991年) と、東京大学理学部木曽観測所から赤外検出器を借りて行った 1.6μm 帯での偏光観測 (1999年) です。前者は日本で初めてのビデオマグネトグラフのためのフィルターで、中心波長 6303 Å、透過波長幅 1/8 Å でした。高分散の分光器が必要なため、飛騨天文台の水平分光器によりフィルターの調整と透過輪郭の測定を実施し、これをもとに装置を完成させました。後者の赤外観測は、それから6年後、太陽フレア望遠鏡を改造し赤外ストークスポラリメータを製作する (2005–2008年) ための基礎になりました。



左: （後列）秋岡さん、一本さん、桜井、船越さん（前列）南京の Li, He, Zhang さん（1991年）右: 中久保、笠原、柳沢、木挽、桜井（1999 年）

これらのことが可能だったのは、飛騨天文台にドームレス望遠鏡という世界第一級の観測装置があり、かつ観測所スタッフの強力な支援があったからです。50 周年にあたって観測所の皆様及び関係各位に感謝するとともに、今後も新しい研究テーマに挑戦され、優れた研究成果を挙げられることを祈念します。また、望遠鏡の維持は技術的にも、また財政的にも次第に難しくなると懸念されますが、新装置計画などの前向き思考で取り組んでいただき解決の道が見いだされることを希望しています。

飛騨天文台 50 周年へのメッセージ

渡邊 鉄哉
国立天文台名誉教授

京都大学理学研究科附属 飛騨天文台 の創立 50 周年、おめでとうございます。

思い起こせば、飛騨天文台を訪れたのは、ドームレス太陽望遠鏡 (DST) が完成し、「ひのとり」の成果が出るようになった頃、飛騨高山で行われた DST シンポジウム後に企画された 1 泊 2 日の「天文台ツアー」がその最初ではなかったかと記憶しています。西ドイツ（当時）キール大から戻った折には、同大での研究成果を神野光男先生に褒めて戴いたことも忘れられない「飛騨」の思い出です。その後も地上観測にはあまり時間がとれない状況が続くことになりましたが、CaII H/K 線の線輪郭、その時間変化には興味をもち、何度かは共同利用に申し込みをして、DST の観測時間を戴きました－全てをお天気のせいにすることはもちろんできませんが、遂に投稿論文にまとめるというところまでたどり着けなかったことは大変に残念です。

「ひので」が大いなる成果を挙げ、次の太陽観測衛星計画が進む中、飛騨天文台における太陽観測の前途は決して安穏ではないと思いますが、特色ある観測装置・設備を生かし、目的の尖鋭化を図って、世紀を超える科学成果に繋げて戴けるよう、今後の更なるご発展をお祈りいたします。

飛騨天文台 50 周年へのメッセージ

竹田 洋一
国立天文台

京都大学飛騨天文台が開所以来五十年という記念すべき節目の時を迎えるとのことでお祝い申し上げます。私がまだ高校生の頃ですが、宮本正太郎先生が出演されて飛騨天文台でロケをした NHK の科学特集テレビ番組が放映され、出来たばかりの 65 センチ屈折望遠鏡を用いた観測風景や惑星など色んな天体の生画像が放映されたことがありました。その様子を見て「いつかこういう天文台で観測してみたい」と子供心に思った記憶があります。ただその機会に恵まれたのはそれから数十年の年月を経た比較的近年の太陽観測のための来所でした。私は分光学的手法を主体にした恒星物理学を主に研究しているのですが、表面を分解して詳細に観察できる唯一の恒星である太陽は比較基準の対象として重要であり、太陽円盤面各点に正確に位置決めして効率よく高分散スペクトルが撮れる国内唯一の地上観測機器である飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡はうってつけだったのです。これまで何回か観測させていただきましたが毎回満足のいくデータが取れて感謝しています。以前は「飛騨」というとイメージとしてなんとなく狐狸の棲息する深山幽谷の秘境というおどろおどろしい先入観を持っていたのですが、いざ来てみると陽光のさんさんと降り注ぐ広々とした明るい雰囲気のサイトで、いつも心地よい滞在をさせてもらっています。今後もこの伝統ある飛騨天文台の一層の発展を期待します。

飛騨天文台 50 周年へのメッセージ

前川 譲児
元カールツァイス株式会社

飛騨天文台創立 50 周年おめでとうございます。

私は、1980 年ごろから DST のメンテナンス作業のために飛騨天文台にお邪魔するようになりました。その当時私にとっては、1 軸にアブソリュートエンコーダ、デジタイザー、タコジェネレータ、モーターが付いてコンピューターで制御している機械は非常に興味のあるものでした。しかし、どこか 1ヵ所でも故障が起きたときには、大きなフィードバックループの中から故障個所を見つけないといけないので非常に苦労しました。時には修理終了まで 1 か月半も正常動作しない時もあり、皆様にご迷惑をおかけしました。

私は 1978 年に日本のカールツァイス株式会社に入社して大阪営業所で顕微鏡の修理をしていました。その後名古屋営業所に転勤しました。名古屋営業所は開設したばかりで修理担当者は私 1 人だけでした。ある日、本社部長から飛騨天文台に挨拶に行って来いと言われました。詳しく聞いても、今回だけだから、挨拶だけだからとしか言いませんでした。そして、飛騨天文台に来てみると中井先生と船越様がにこにこと出迎えてくれて、船越様が「これから長いお付き合いになると思いますが宜しくお願いします。」と言われました。それを聞いて内心「話が違うぞ」と思いましたが、2 人には「挨拶にきただけです」とは言えませんでした。

その頃の DST のメンテナンスは、毎月 1 回 1 週間だったのです。その後も名古屋営業所には修理を行うものは私 1 人だけでした。営業マンからは、「また天文台に行くのか」とよく言われました。

今思うに、確かに38年もの長いお付き合いになってしまいましたが、ある面おもしろい時間でもあったと思います。これからもよろしくお願いします。

飛騨天文台の思い出

浅田 正
九州国際大学

あれは1969年のことではなかったかと思うのですが、できたての飛騨天文台を見学したことがあります。私はまだ中学生でした。マイクロバスが登れないということで、蔵柱から歩いて登りました。当時はまだ60cmの反射望遠鏡しかありませんでした。図書室に「飛騨天文台」の額があったのを覚えています。

1977年に大学院に進学して木星の撮像観測を始めました。主に使っていたのは花山天文台の45cm屈折望遠鏡でしたが、服部先生から「飛騨も使ってな」とよく言われました。一度、当時の愛車の原付バイク(といってもカブではなくスポーツタイプ)で、京都から実家の金沢経由で飛騨天文台に行ったこともあります。

就職して九州で働き始めてからも飛騨へ観測にお邪魔しました。船越さんがご存命のころはドームレス太陽望遠鏡も使わせていただきました。最近では2009年から2014年まで65cm屈折を使わせていただきました。飛騨で一番困るのは気晴らしができないことです。

2015年からは東北大学惑星プラズマ大気研究センターのご厚意により、マウイ島のハレアカラ観測所の60cm反射望遠鏡を遠隔操作で使わせてもらっています。空いている時間をやりくりしながら観測をするので、ストレスがたまりにくいのです。もう一つ良い点はハワイと日本の時差が5時間あることです。観測シーズン初めの明け方の朝6時まで観測する際でも、日本時間午前1時までで済むので、体が楽なのです。

飛騨天文台も、せめて遠隔操作ができるようになったら利用者が増えるのでないか、と考えるのは私だけでしょうか。

祝 飛騨天文台50周年

末松 芳法
自然科学研究機構国立天文台 太陽観測科学プロジェクト

京都大学大学院理学研究科附属飛騨天文台が創立50周年を迎えるにあたり、お祝いを申し上げます。飛騨天文台は設立当初、花山天文台から移設された60cm反射望遠鏡だけであったものが、長大なZeiss 65cm屈折赤道儀、同じくZeiss製の60cmドームレス太陽望遠鏡、太陽フレアモニタ望遠鏡(現在ペルーに移設)、太陽磁場活動望遠鏡(SMART)と、太陽観測拠点として発展を遂げていることは、太陽研究者の一人として大変喜ばしく思っていますし、施設の共同利用者としても感謝しています。

故・服部昭先生の飛騨天文台設立時の天文月報記事を読み返してみると、60cm反射だけでは主流に乗れないため、3年度計画で毎年、65cm屈折、20cm彩層望遠鏡、1m反射望遠鏡を予算要求していくことが書かれています。65cm屈折は早くに実現し、彩層望遠鏡はドームレス太陽望遠鏡をはじめとする太陽望遠鏡群として結実し、1m望遠鏡は半世紀立ってようやく、アジア最大の3.8m光赤外新技術望遠鏡(場所は岡山観測所であるが)

として実現しようとしているということでしょうか。この間、観測研究対象も設立当初の太陽系惑星から、太陽、更に恒星、系外惑星へと広がってきており、半世紀にわたり高い研究水準を維持し、着実に成果を挙げていることは大変喜ばしいことです。

研究分野の変遷、望遠鏡の設置場所の変遷もあり、今後の飛騨天文台は大きな変化が予想されますが、半世紀にわたる観測研究遺産を継承し、ますます発展されることを祈念します。

飛騨天文台へのメッセージ

嶺重 慎
京都大学理学部宇宙物理学教室

私と飛騨天文台との関わりは (飛騨天文台 40 年記念の一回を除き) ポケゼミ「活動する宇宙」の合宿ゼミを通じてでありました。このゼミは 2000 年 (ごろ)、柴田さんが京大に異動になってから始まったものです。それ以来毎年、理系・文系問わずさまざまな学部から学生が集まり、教科書の輪講や飛騨天文台での実習を通じ、和気あいあいと議論しながら学びを進めています。ゼミの目的は、宇宙をテーマに、理学的なものの考え方について学ぶということです。中身は完全に理学系ですが、学生の出身学部は、理はもちろん文、法、経済、総合人間、教育、医、工、薬、農の 10 学部 (おっ、全学部か) に及びます。春学期で使用するテキストは柴田他編の『活動する宇宙』とウルムシュナイダー著の『宇宙生物学入門』。内容は、太陽における爆発現象、星形成、銀河磁場、宇宙ジェット、惑星の誕生、太陽系外惑星、地球上の生命とその起源など。学生は中から興味のある 1 章を選べ、1 時間かけてゼミ発表をします。このテキストは入門的とはいうものの、1 回生には難しいです。高校までの勉強とは違い、右も左もわからないところで孤軍奮闘することが要求されます。それでも、皆がんばって、先端の研究はどのように進められるのか、どのような疑問にどのような手法で対処し道を切り拓いているのか、理解しようと努めています。

そうやって半年かけて基礎知識を身につけた、バライエティ豊かな学生が毎年夏休み (8 月か 9 月)、2 泊 3 日で飛騨天文台を訪問するのであります。これは学生にとって最も楽しい経験です (と書いておこう)。飛騨天文台の施設を利用し、昼間は世界有数のドームレス太陽望遠鏡を用いた太陽の観測、夜には東洋一の屈折望遠鏡を用い、惑星や星雲などを観望しています。「天の川を生まれて初めて見た」、そのような感想も聞かれます (天の川が見られるのはおよそ 3 年に 1 度)。また、各人、任意に選んだ天文に関するテーマで発表をしてもらっています。毎回、「宇宙農学」や「宇宙医学」といった融合分野を始め、ユニークな話題が披露されています。合宿の最後の夜には、自由な意見

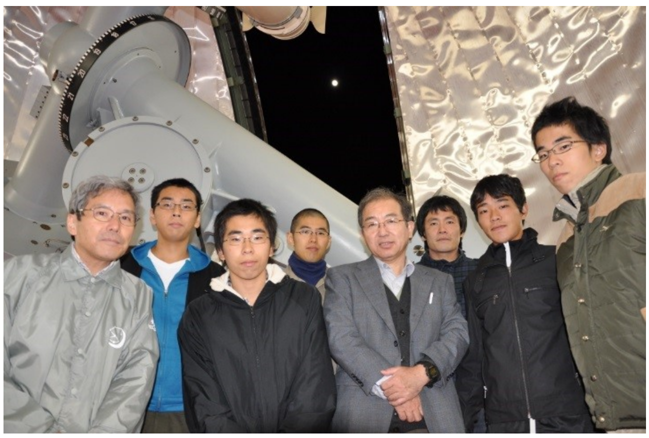


写真: とある年のポケゼミ合宿風景。どこかで見たような人が。。。

交換の時をもっていますが、「テキストは最初難しかったが、先生の話を聞いて、何となくわかったような気がした」「教員2人のやりとりがおもしろかった」「自分は理学部ではないが、将来、今回の学びを活かして宇宙に関わる仕事をしたい」といった感想が出てきます(うっしっし)。理学部生の中には実際に研究活動を始めて、学会発表やNature誌の掲載論文に共著者として名前を連ねる人まで出てきました。その中には、今も天文学者として活躍している人もいます。そう、今、あなたの隣に座っている人かもしれませんよ。

飛騨天文台でのアイソン彗星観測の思い出

渡部 潤一
国立天文台

50周年おめでとうございます。まずは飛騨のユーザーの一人として、心よりお祝い申し上げると共に、今後の世界の動向にあわせて発展されんことを望みたいと思います。

飛騨天文台をはじめて訪問したのは、大学院生になりたての1980年代。近くでシンポジウムがあって、そのエクスカーションで見学させてもらった記憶があります。当時は太陽系天体、特に彗星などの研究を志していたので、飛騨天文台で仕事をすることは一生無いだろう、と思っていました。

ところが、研究人生も面白いもので、ドームレス望遠鏡を用いて観測せざるを得ない彗星が出現しました。2012年に発見されたアイソン彗星。太陽をかすめるタイプの彗星です。その一年前に出現したラブジョイ彗星も同様の軌道で、太陽をかすめた後、大化けして大彗星になりましたが、残念ながら南半球でしか観測できませんでした。一方のアイソン彗星は、ラブジョイ彗星よりも大型と推定され(絶対等級が明るかった)、北半球で観測条件がよかったため、世界中で観測態勢が敷かれつつありました。我々、太陽系小天体の観測チームも、さっそく観測を検討し、太陽をかすめる近日点前後の彗星の分光観測を行うことにしました。通常は、彗星はこれほど太陽に近づくことはないので、揮発成分しか見えないのですが、太陽に187万kmにまで接近すれば、金属のラインが見えると踏んだのです。こうして、太陽直近での観測が安全にできる飛騨天文台のドームレス望遠鏡に観測申請を行い、認めてもらったのです。私の研究者人生ではじめて観測者として飛騨天文台に赴き、(夜のカラオケを含め)良い経験をさせていただきました。ただ、ご存じのようにアイソン彗星は太陽接近時に崩壊・消滅し、データをとるこれはできませんでした。ただ、われわれの観測をNHKの報道チームが密着取材を行っていたため、ニュース7などで放映されたことで、飛騨天文台の広報に少しは貢献できたと思っています。

それにしても崩壊・消滅は、世界中の彗星研究者にとってまったくの予想外でした。NHK取材チームは、この崩壊についてのコメントを最後に求めてきました。私はどう答えてよいかわからず、とっさに「宇宙のいろんな現象の予測は難しいと逆に知ってもらういい機会になった」と答えたのは、いまでも実に良いコメントだったと思っています。

飛騨天文台 50 周年へのメッセージ

花岡 庸一郎
国立天文台 太陽観測科学プロジェクト

飛騨天文台 50 周年おめでとうございます。大学院に入った頃から今に至るまで、長らくドームレス望遠鏡での太陽の観測で、飛騨天文台にはお世話になっております。一方、飛騨ではそれ以外の変わった経験をする機会もありましたので、紹介したいと思います。飛騨滞在中に、たまたま明るい彗星が地球に接近するということがわかったことがあったのですが、その時に急遽 60cm 反射望遠鏡で写真撮影を試みるということになりました。それまで彗星観測に使用していたわけでもない望遠鏡で急に思い立って撮影できたのは、当時の天文台の皆さんの対応力のおかげと思います。後にハレー彗星が来て世界中が盛り上がった時には、この時の問題点など経験をもとに望遠鏡を彗星の運動に合わせた追尾ができる方式に改造し、観測を行うことができました。様々な新しいものを受け入れる広い間口を持って柔軟に対応していくことは、今後 60 年、70 年へ向けて前進していくために不可欠と思います。これからも自由で幅広い発想が歓迎される天文台として、さらに発展されることを期待しております。

飛騨天文台 50 周年へのメッセージ

三浦 則明
北見工業大学

飛騨天文台創立 50 周年、誠におめでとうございます。50 年もの長きにわたり、しっかりと望遠鏡を管理され、観測所を運営されてきた歴代のスタッフの皆様の多大なご尽力に敬服すると共に、ユーザとして心から感謝の意を表します。

飛騨天文台で初めて観測させていただいたのは 1994 年でした。ドームレス太陽望遠鏡に感心し、スクリーンに映った大きな太陽像に感動し、北アルプスの雄大な景観を堪能し、スタッフの皆さんの連日の歓待を受け、すっかり飛騨天文台での観測が楽しみになりました。以来一度も欠かすことがなく毎年飛騨天文台にお邪魔し、気が付くと四半世紀になろうとしています。ざっと計算してみると、通算 1 年間以上山の上に滞在しているようです。年月を経てスタッフの方々が入れ替わっても、いつでも暖かく迎えてくれる施設でした。京都大学の教職員の方々の寛容なお人柄、学生さん達の自由で自主的な気質、飛騨地方の素晴らしい風土、地元の方々のおおらかな気質などが見事に融合して醸成された雰囲気であるに違いありません。

「ひので」の大成功やハワイに大型地上望遠鏡の設置が進む中、太陽研究を取り巻く環境は劇的に変化し続けています。そんな中、飛騨天文台の持つ「実験室」「研究者のゆりかご」としての役割はますます重要になっているように感じます。飛騨天文台が太陽物理学の研究にさらに重要な貢献をしていくことを確信すると共に、今後も太陽研究の中核施設であり続けることを祈念しております。

飛騨天文台との長いつきあい

野澤 恵
茨城大学

京大飛騨天文台が50周年を迎えられ、おめでとうございます。

私と飛騨天文台の繋がりは33年前の1985年から始まる。大学の講義の関係で、30人程度で見学に行き、長七に泊まった憶えがある。訪問を記したノートには名前が残っており、共同利用観測に連れていく学生が再発見をするので、いつも恥ずかしい気持ちとなる。

2005年ごろに卒研生の森本智彦君がSMARTのデータ転送の改良を手掛けたことをきっかけに飛騨天文台と再び繋がり始める。その前にも自分のD論で、花山の滞在がよくあり、飛騨も何回かお邪魔したと思うのだが、記憶がない。それまではシミュレーション中心の研究であったが、このあたりから観測の方向に舵を取り始める。

スケジュールで確認できるのは2007年7月30日に再来訪してからは、一年に複数回飛騨天文台を訪れ、それからは10年を越えるつきあいとなる。SMARTの運用当番で何回か訪れ、雪掻きをしたことは懐しい思い出だ。また2009年の乗鞍観測のあとの学生を連れての飛騨天文台訪問は、予定にない突然の訪問であったが、快く受けてくださり、学生ともども非常に有益な時間を過したことを思い出す。

それからは飛騨天文台との共同利用観測と、学部の観測実習との繋がりで年最低二回は飛騨に滞在している。DSTを利用した観測テーマの学生は、大井瑛仁君(2011年度卒)、大川明宏君(2013年度卒)、澤田真平君(2014年度卒)、米谷拓朗君(2016年度卒)、海宝孝祐君(2017年度卒)など、学部の卒研生をあわせると10人以上となる。特に米谷君の研究は、阿南君によってまとめられ論文として出版されることとなった。阿南君には、垂直分光器による回転波長板を用いたポラリメーターの観測や解析では非常にお世話になり、感謝してもしきれない。

加えて自然科学研究機構の乗鞍共同利用でもベースキャンプとしての宿泊を許可くださり、ありがとうございます。そのときは浦和西高校の坂江さんらと一緒に泊まり、製作した手作り太陽分光器についての議論や太陽観測による様々な相談に乗り、また滞在生活を支えてくださり、飛騨天文台の皆さんには感謝しています。ここに一名一名それぞれに感謝の意を書きたいが、スペースの都合で省くこととなり、誠に残念である。本当にありがとうございました。

飛騨天文台との思い出はたくさんのものがあるが、2013年11月の「Hinode-7」が印象深い。私は5名の学生を連れての参加であり、学生たちも初めての国際会議で貴重な経験になった。事務局となった飛騨天文台の皆様には本当にお世話になり、いろいろとご迷惑をおかけしたと思う。帰りに初雪を見たことを昨日のように思い出し、感慨深い。

これからも、飛騨天文台とその皆さんにはお世話になると思います。ご迷惑を一杯かけてしまいますが、よろしくお願いします。

飛騨天文台 50 周年へのメッセージ

武田 秋
米国モンタナ大学

飛騨天文台を計画する所から始まり、実際に建設し、保守改良を重ねて科学的成果を上げることに尽力してこられた方々、またそれを支援してこられた方々、すべての皆さまに敬意を表し、50 周年のお祝いを申し上げます。

飛騨天文台 50 周年へのメッセージ

小路 真木子
京都経済短期大学

飛騨天文台 50 周年、おめでとうございます。

主に水平分光器にお世話になりました。運転免許を持っていないため、送り迎えもいろんな方にお世話になりました……。

初めて訪れたのは 4 回生のときなので、いま思うとわりと新しかったんですね。まだアナログ撮影の時代でした。それから次々と新しい技術や設備を導入して、今も最先端の研究をしているのが、さすがです。

地上それも国内で本格的な観測ができる施設の、存在意義は大きいと思います。これからも活躍が続くことを期待しています。

追伸：ホームページの天文台紹介、歴史のページが 2007 年で止まっているので、ぜひこの機会にアップデートを。

飛騨天文台 50 周年へのメッセージ

森本 太郎
元附属天文台研究員

飛騨天文台創立 50 周年おめでとうございます。

豊かな自然に囲まれた地で、最先端の装置と、すばらしい研究員・スタッフの皆さんとによってこれからも多くの発見がなされることを願っております。

飛騨天文台 50 周年に寄せて

神尾 精
2006 年博士後期課程修了

創立 50 周年を心よりお祝い申し上げます。

私は大学院生の時にドームレス太陽望遠鏡を用いて太陽彩層の振動を詳細に観測し、学位論文を書きました。水平分光器の特色である多波長同時分光観測により、この研究が可能となりました。大学院生の身分でありながら、世界的に見ても一級の観測装置を使用できたことは、非常に恵まれていたと思います。これまで大学院生の研究活動を支援してくださった天文台の皆様に感謝いたします。

飛騨天文台は 50 周年を迎えますが、ここにある特色ある観測装置はアイデア次第でさらに新しい成果が出せるものと思います。今後のさらなる活躍を期待しております。

飛騨天文台 50 周年へのメッセージ

清原 淳子
2006 年博士後期課程修了

飛騨天文台創立 50 周年、おめでとうございます。

私は、学部 3 回生の時に花山天文台・太陽館で黒点の磁場測定を行う課題研究で太陽観測の扉を叩きました。それから大学院博士課程 3 回生までの計 7 年間、黒河先生、一本先生、柴田先生をはじめとする附属天文台の先生方や職員の皆様には大変お世話になりました。大学院生時代は、ドームレス太陽望遠鏡での偏光観測を研究のテーマとして行う中、多くの時間を飛騨天文台で過ごしました。試行錯誤しながらも地道にデータを積み重ねてなんとかベクトル磁場を測定できるところまで出来たことは私の大切な思い出です。一方で、それら成果をまとめ切れなかったことは、今となっても私の大きな後悔となっています、笑。

2006 年に一般企業へ就職し太陽の研究からは遠ざかりましたが、これからも飛騨天文台が活発な研究・教育の場として存在し続けることを期待しています。

メッセージ

渡邉 皓子
2012 年博士後期課程修了

飛騨天文台 50 周年、おめでとうございます。

飛騨天文台では、ドームレス太陽望遠鏡やスマート望遠鏡で、何度も観測させていただきました。いつ雲の切れ間に入るか、なんども外に出て確かめて、良いデータが撮れるよう祈ったのを覚えています。

また、飛騨天文台には、高山の地元から働きにきている方々が何人もいて、皆様との交流が心に残っています。大学院生当時は、周囲には言えなかった悩みを、天文台では話せる人がいて、心が晴れました。

最先端の観測装置のこと、それを支えるために働いている人たちのこと、多くのことを吸収できる環境に若い間に身を置けたことは、以降の人生に活かされていると思います。心から感謝し、御礼申しあげます。

ドームレス太陽望遠鏡

阿南 徹
米国国立太陽観測所

僕のおもちゃ、与えられてから 10 年
晴れの日はいつも遊んできた
少しの晴れ間でも、運がにげないように。と遊んだ

特性を調べることが僕のテーマだった
理想通りにはならないことを教えてくれた

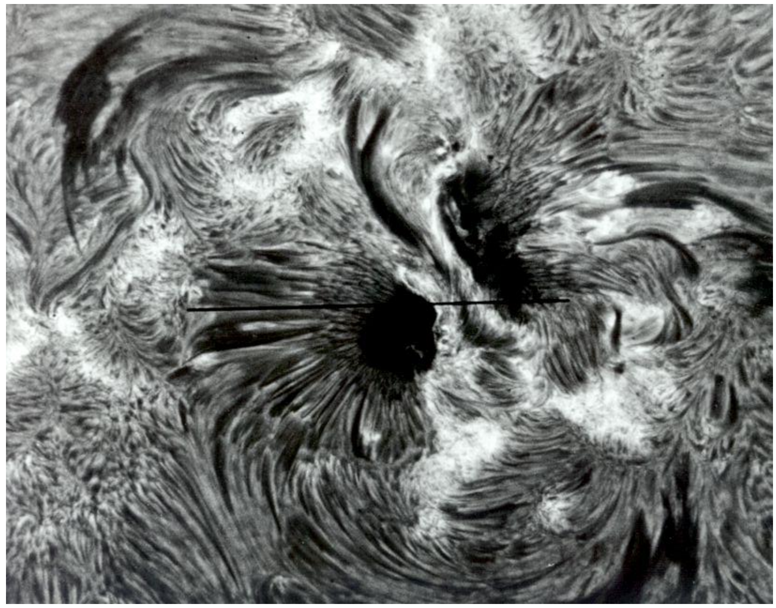
デラックスで自由な望遠鏡
いろいろな研究テーマができた
誕生日には最高のデータが取れた
暗闇の中、いろいろな人と会話した

僕はあなたの種だった

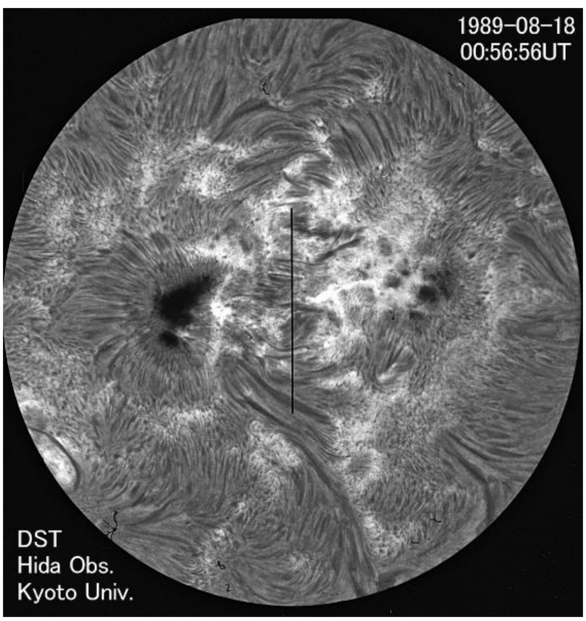
5. 飛騨天体写真集

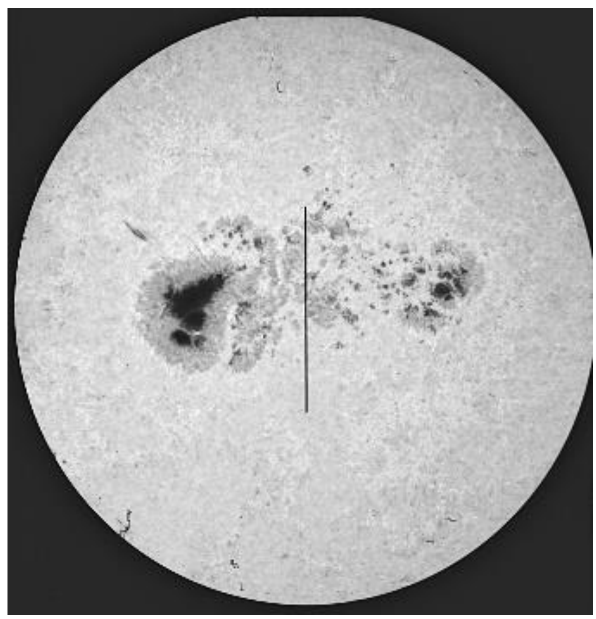
DST Hα高解像画像

1981年07月24日
23:18:18 UT

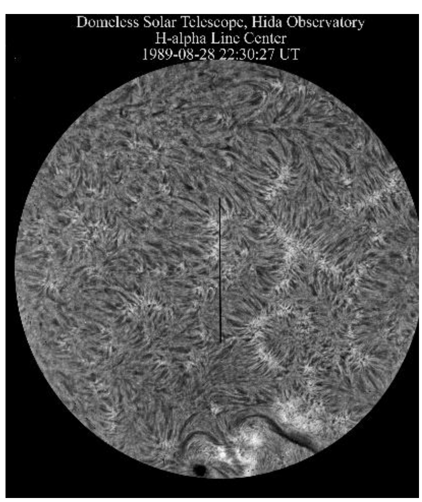


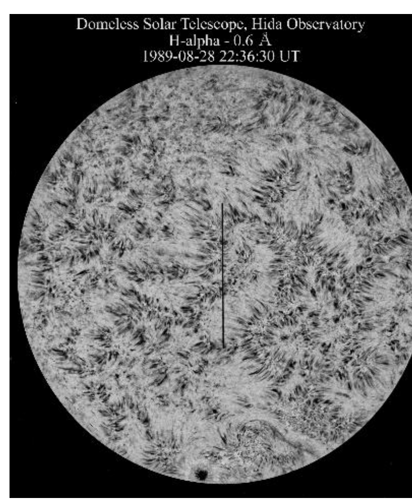
1989年08月18日





1989年08月28日（22UT）



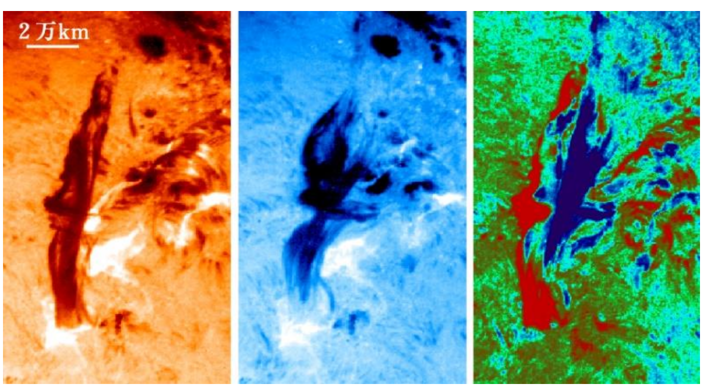


DST Hα画像　　噴出、サージ、フレア

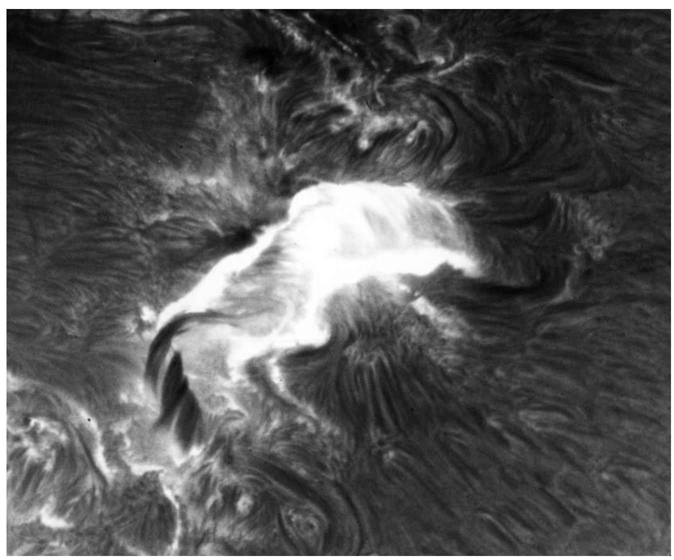
1982年02月09日

1982年07月22日

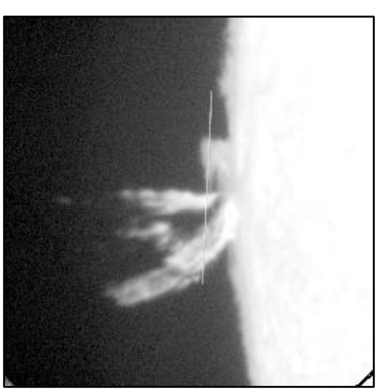
1982年04月25日 X13 フレア
捻れながら上昇するフィラメント



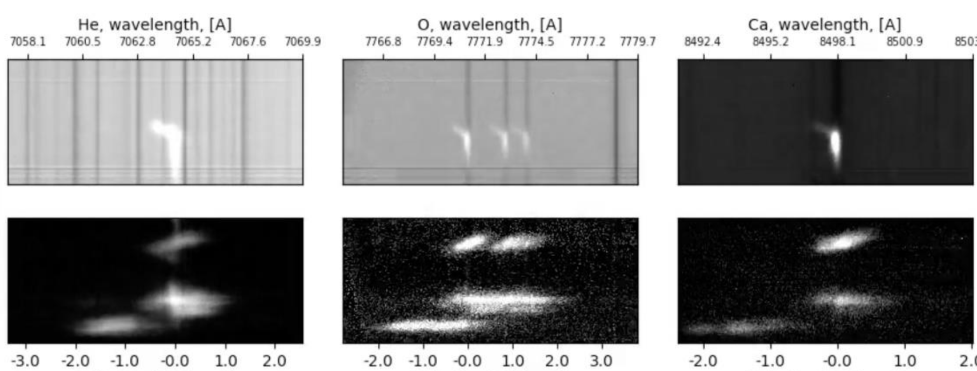
Kurokawa et al., 1987, Sol.Phys.



2015年05月08日

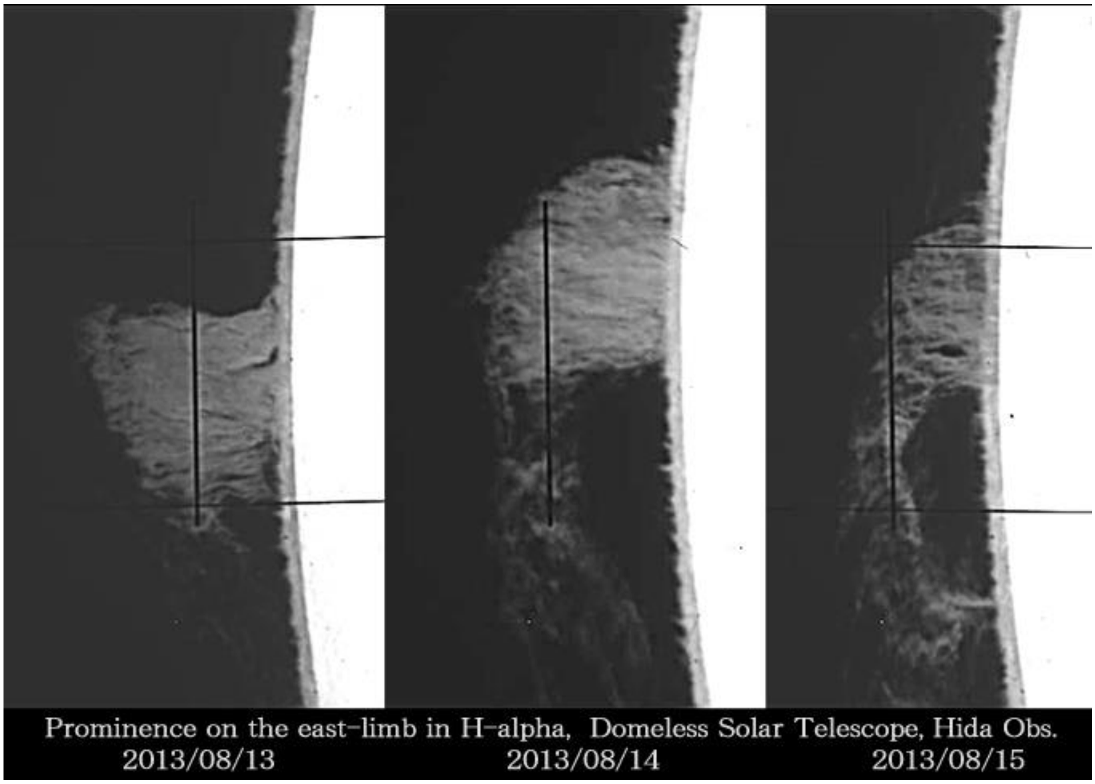


HeI　　OI　　CaII



DST Hα 画像　　プロミネンス、スピキュール

2013年08月13 - 15日



1985年08月13日

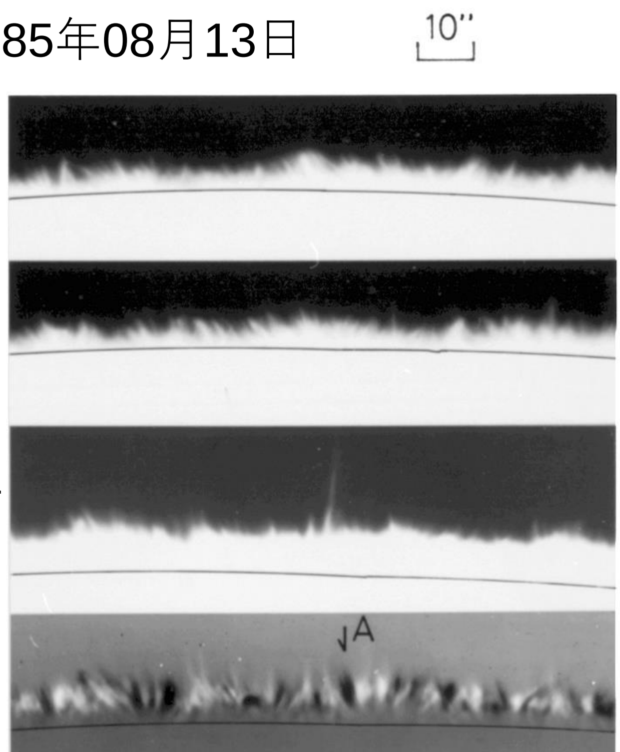
2015年　04月23,24日

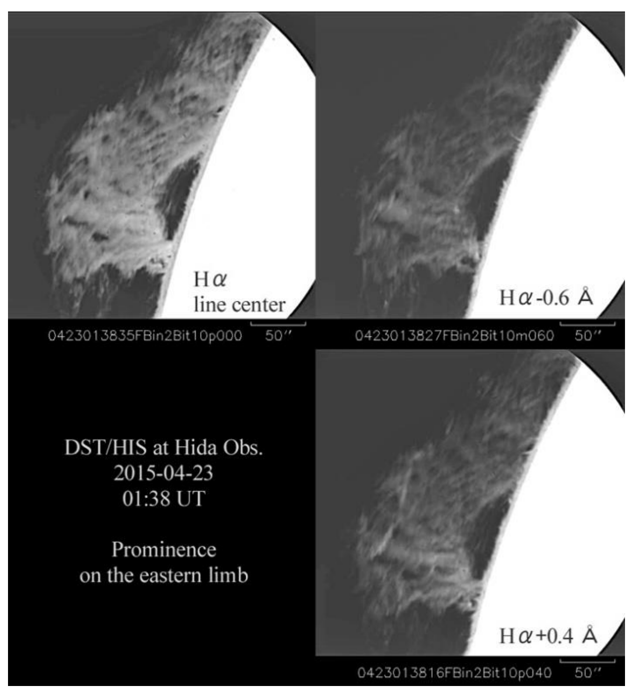
Ha+0.9A

Ha-0.9A

Ha center

doppler



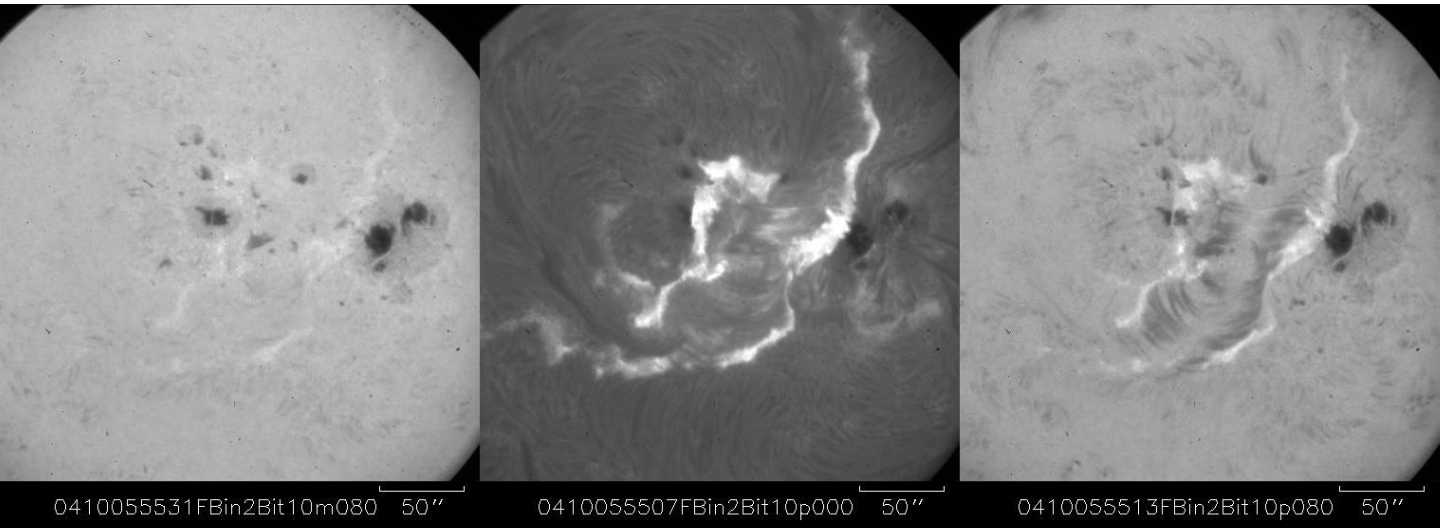


Nishikawa, 1988, PASJ

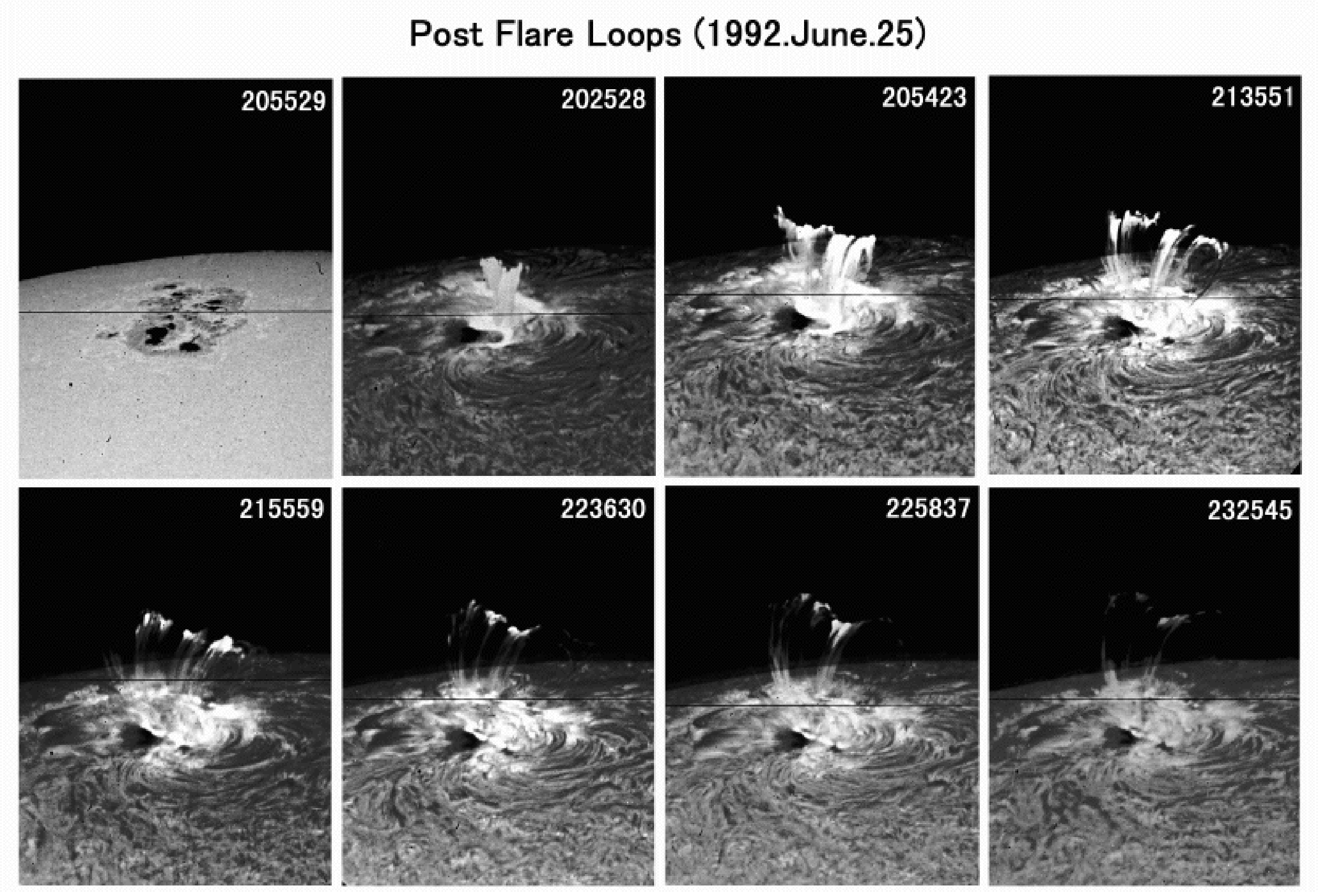
DST Hα画像　　フレア

2001年04月10日

Hα -0.8A　　Hα center　　Hα +0.8A



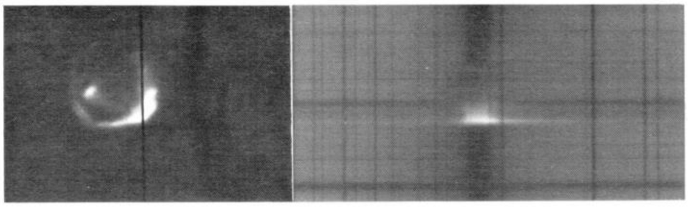
Asai et al. 2012, PASJ



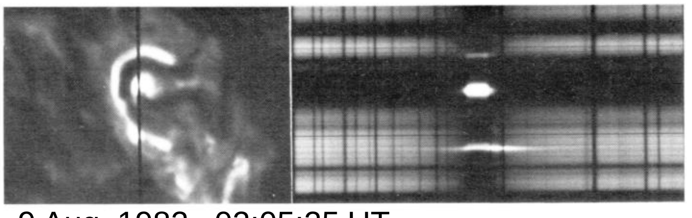
フレア・エラーマンボム分光観測

フレアのHαスペクトル

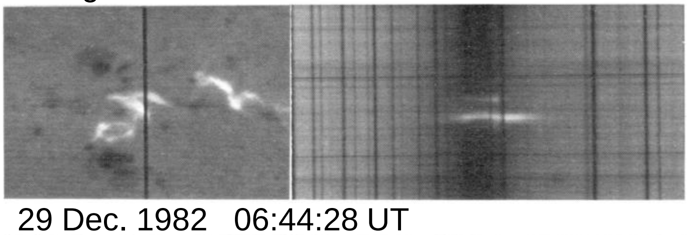
20 June 1982 00:20:28 UT



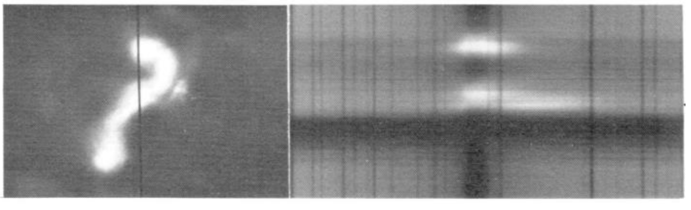
21 June 1982 04:54:52 UT



9 Aug. 1982 02:05:25 UT

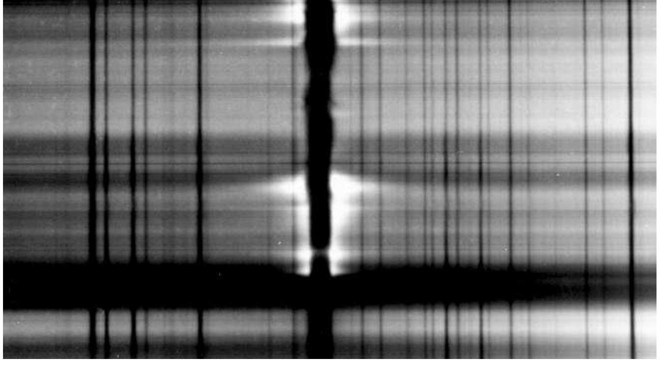


29 Dec. 1982 06:44:28 UT



Ichimoto & Kurokawa 1984, Sol.Phys.

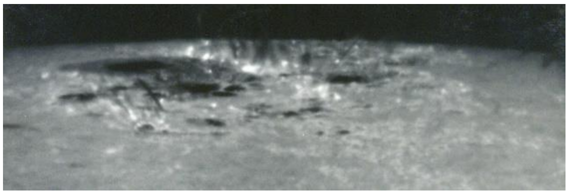
Moustache 1982.06.12 052158UT



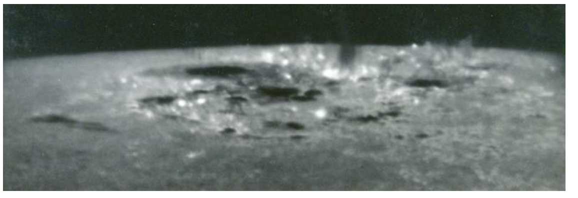
Kitai 1983, Sol.Phys.

Ellerman bomb 1980.06.05

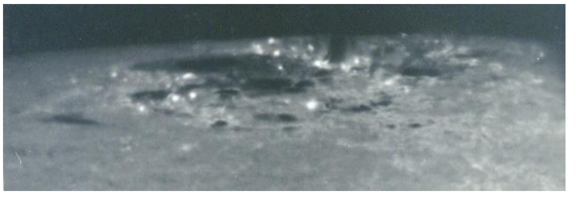
215219UT



220134UT

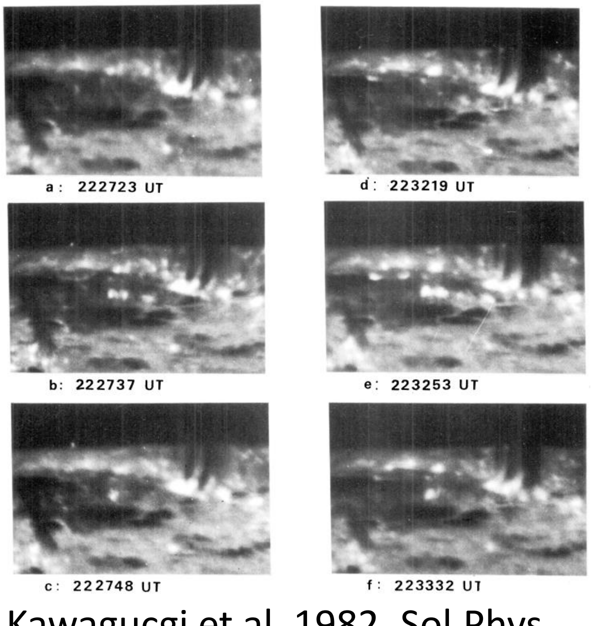


220302UT



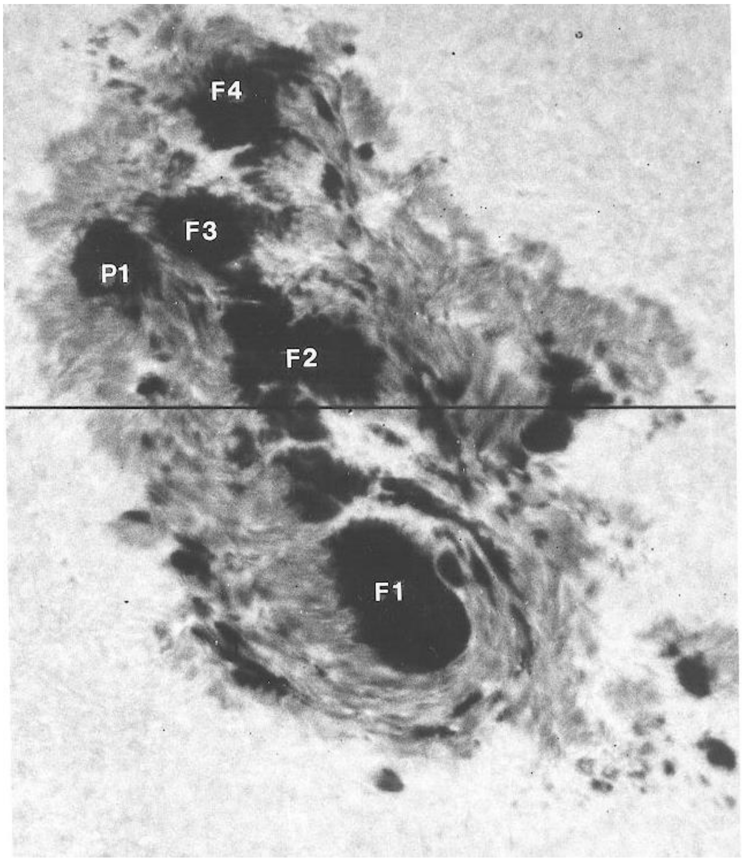
Kurokawa et al. 1982, Sol.Phys.

Progressive brightening in Ha wing
1980.07.05



Kawagucgi et al. 1982, Sol.Phys.

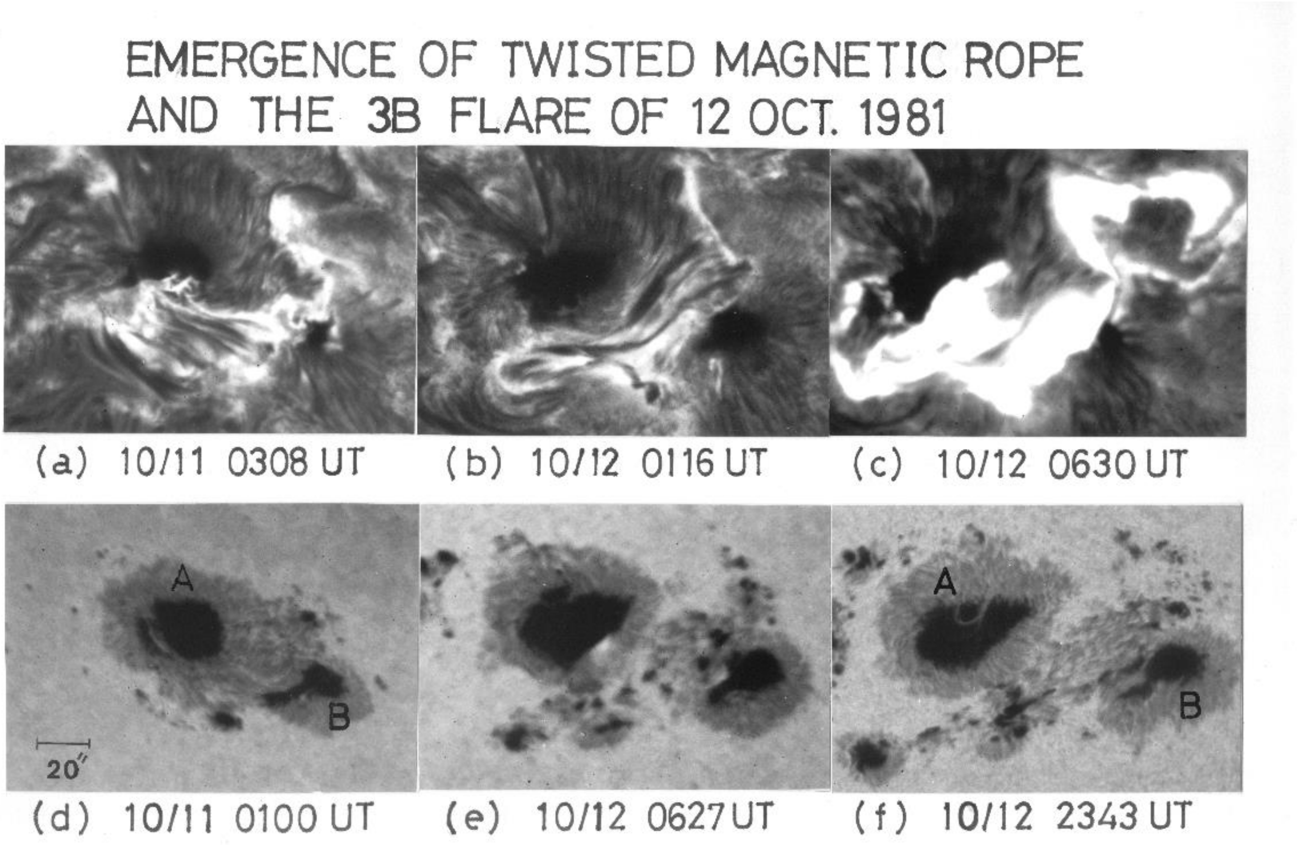
DST 黒点



1989.3.11

Hα -5A

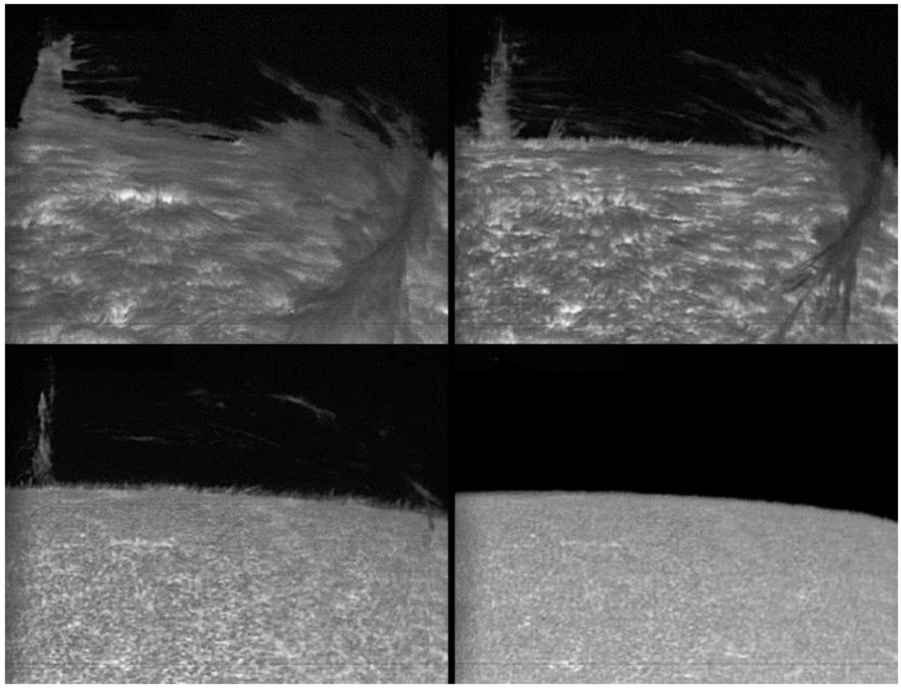
Ishii et al. 1998, ApJ



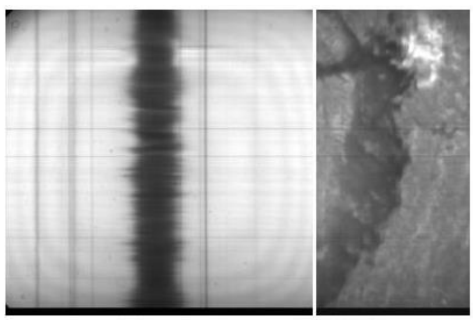
Kurokawa et al. 1987, Sol.Phys.

DST スペクトロヘリオグラム

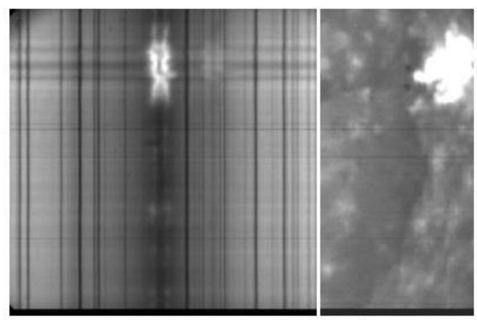
2012年08月01日
CaII K



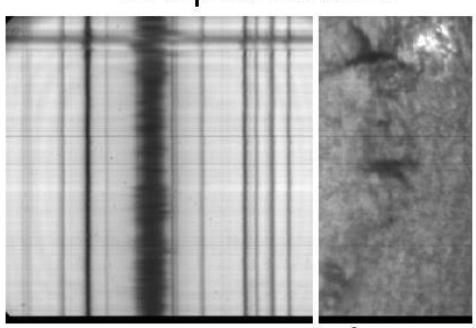
2015年09月28日
フィラメント
多波長観測



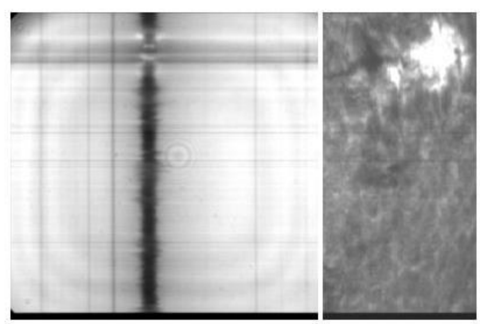
H-alpha 6563 Å



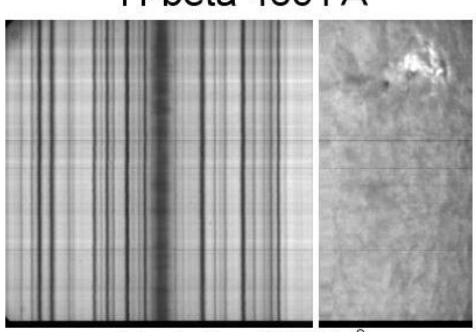
Ca II H 3968 Å



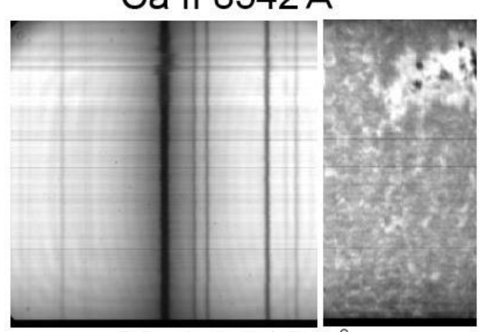
H-beta 4861 Å



Ca II 8542 Å



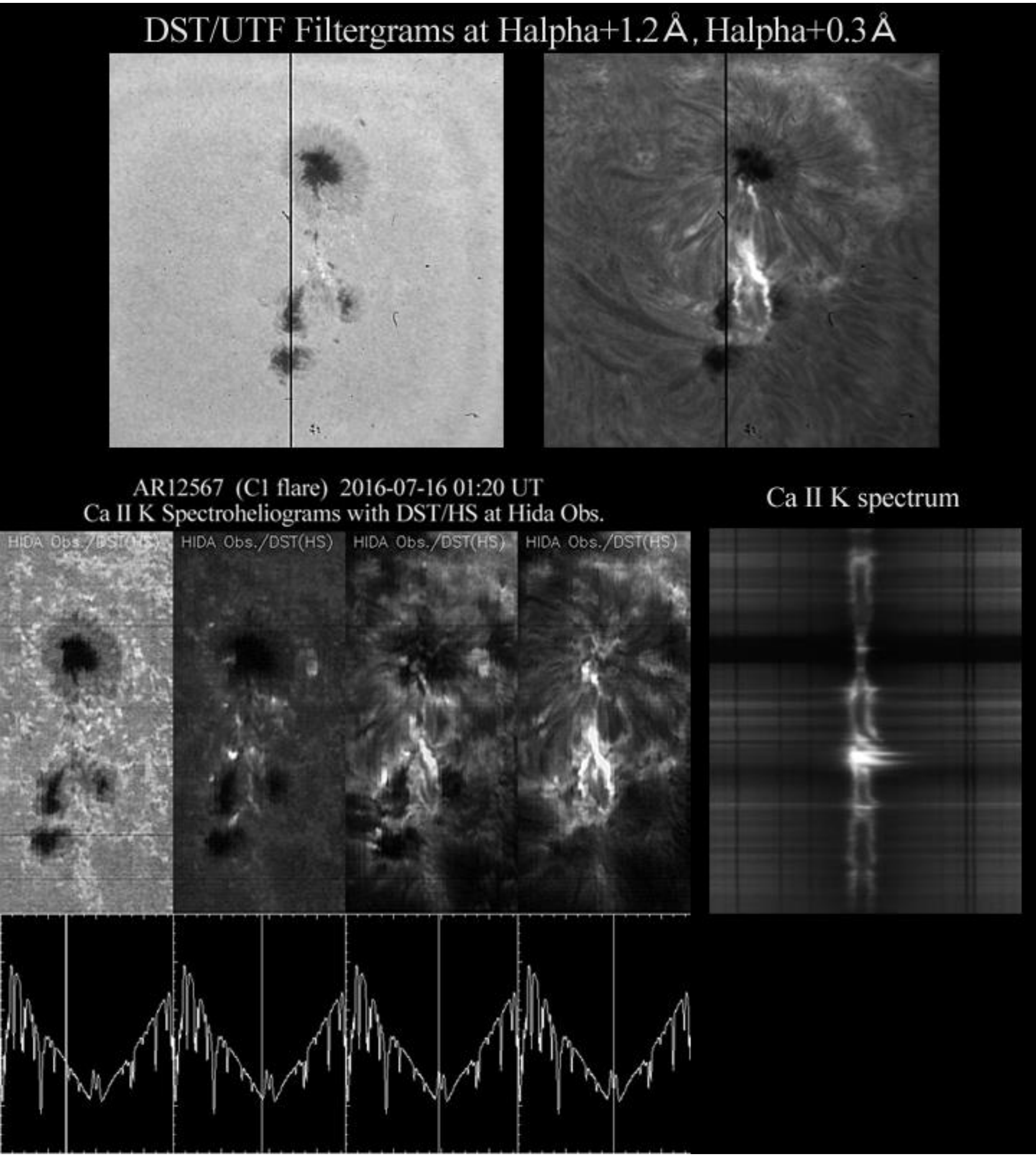
H-delta 4102 Å



Mg b1 5184 Å

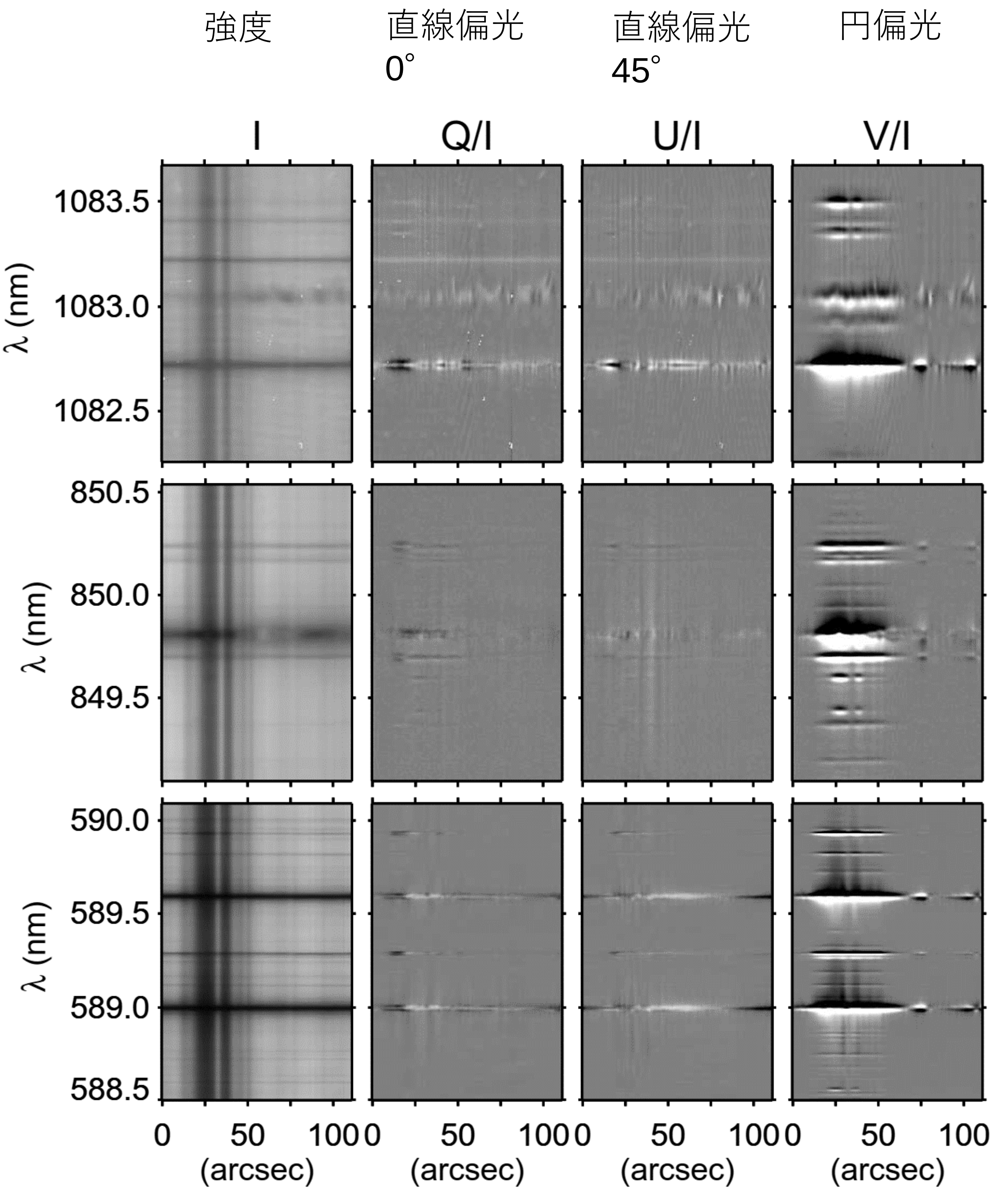
DST フレア観測
UTF Hα撮像／ Ca II K スペクトロヘリオグラム

2016年07月16日 フレア



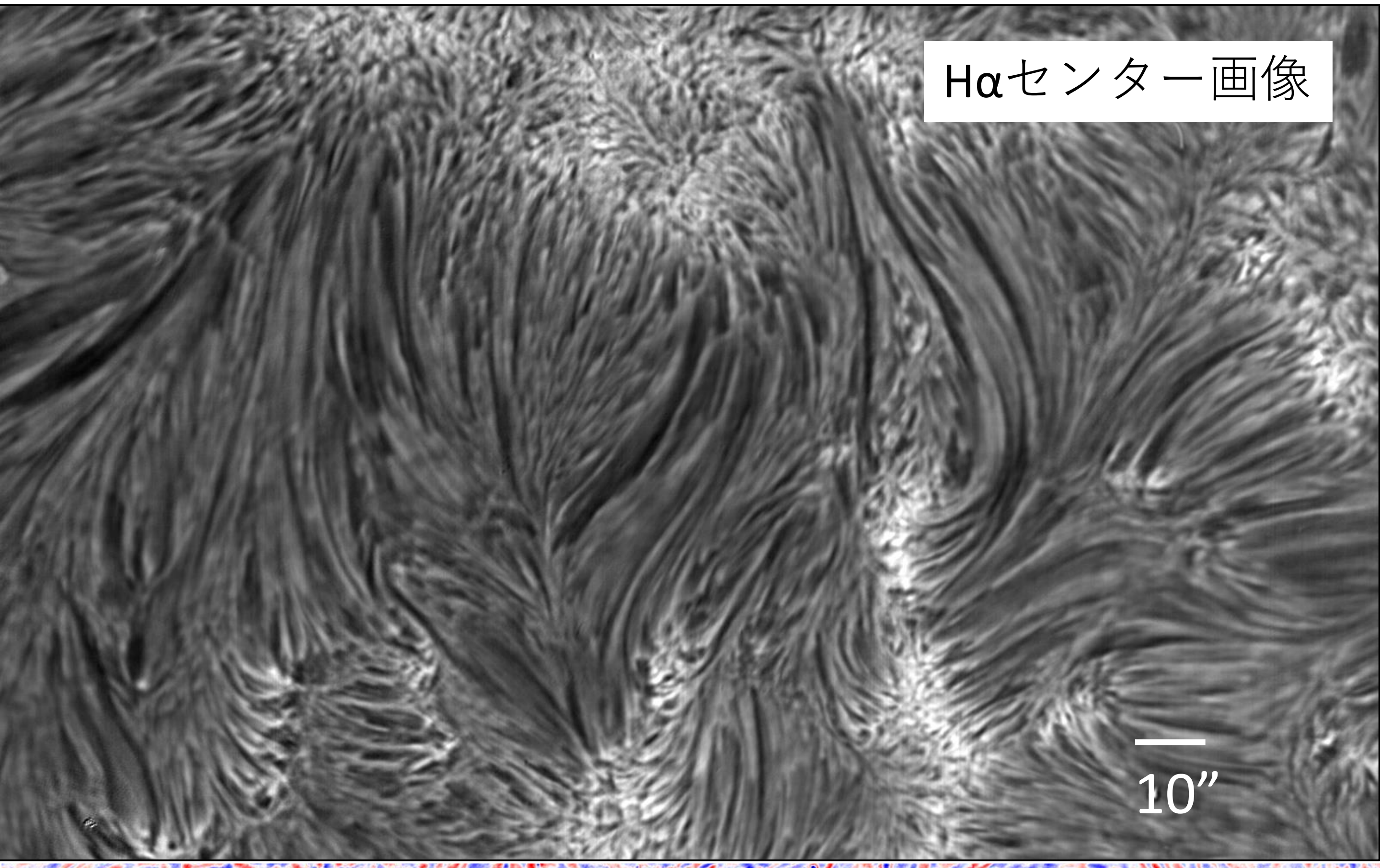
DST 水平分光器 多波長偏光分光装置

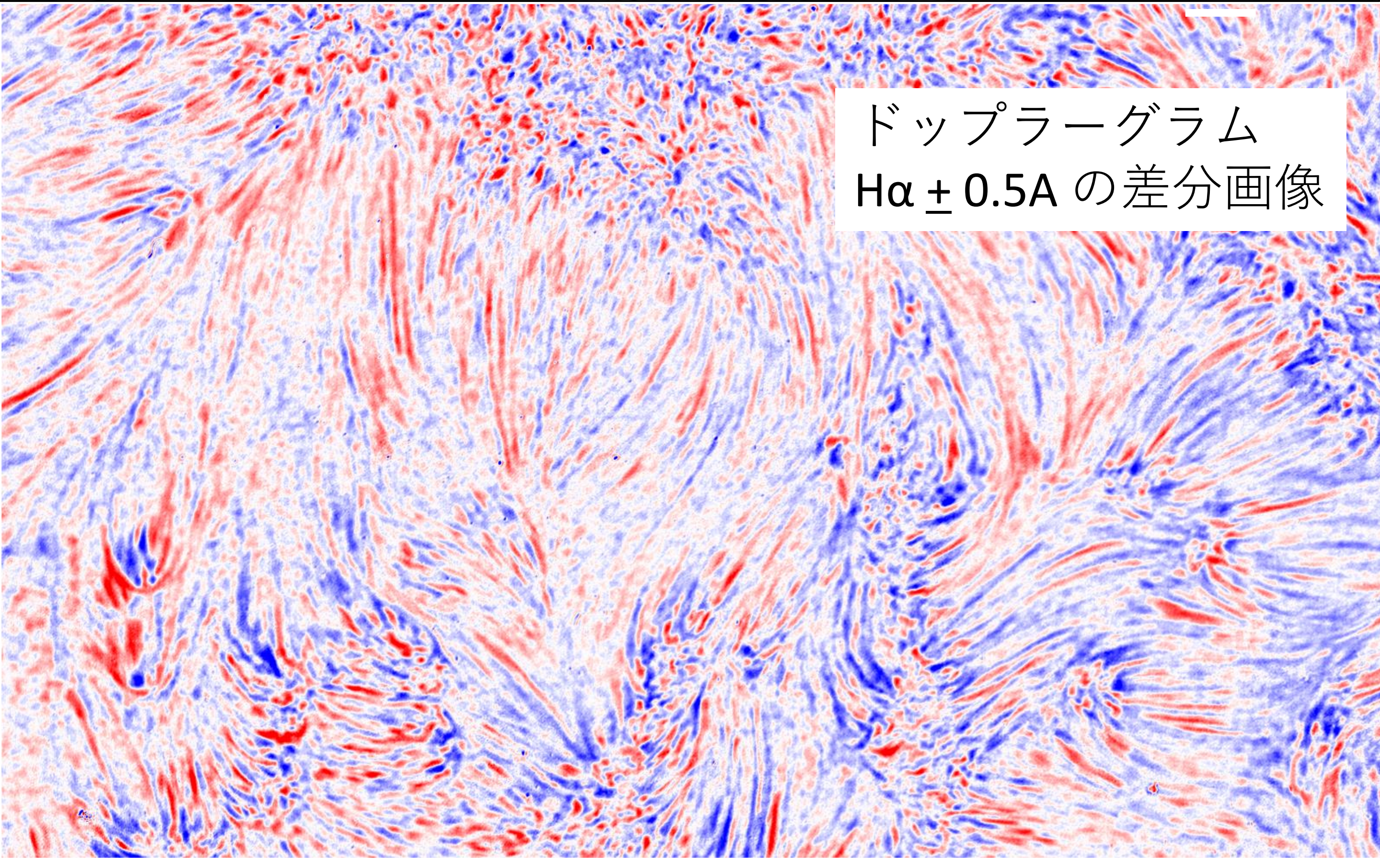
2016年12月03日
3つの波長帯で同時観測した偏光スペクトル



Anan et al., 2018, PASJ

DST UTF Hα ± 0.5A 同時撮像観測 2018年07月16日



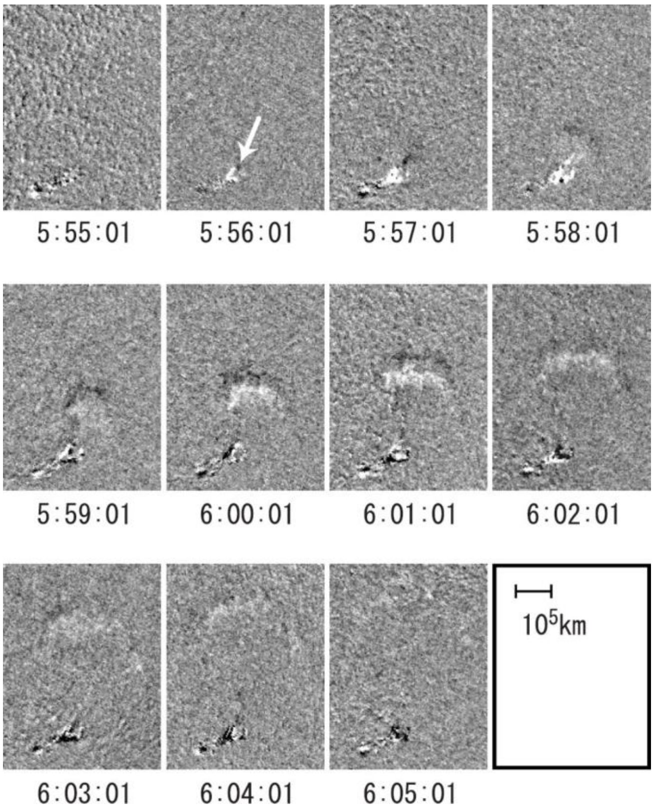


30枚の短時間露光画像をスペックル処理したもの。視野横197”

モートン波

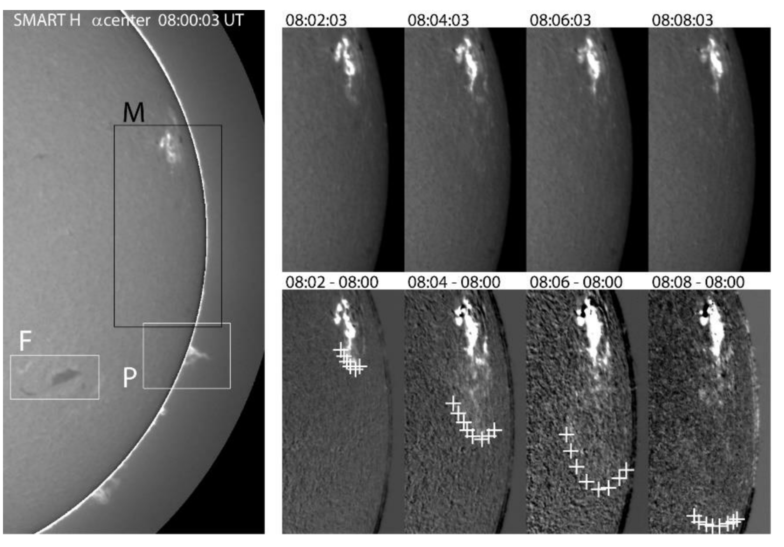
FMT　1997年9月4日

Eto et al., 2002, PASJ

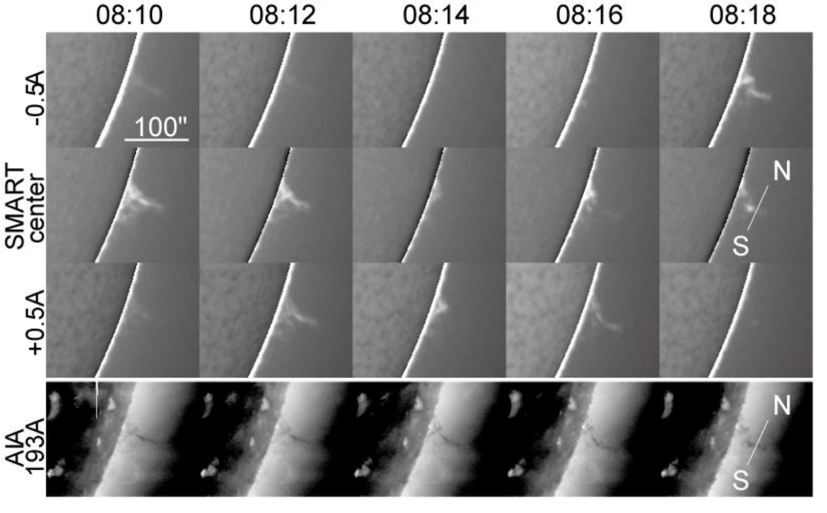


SMART/T1
2011年8月9日

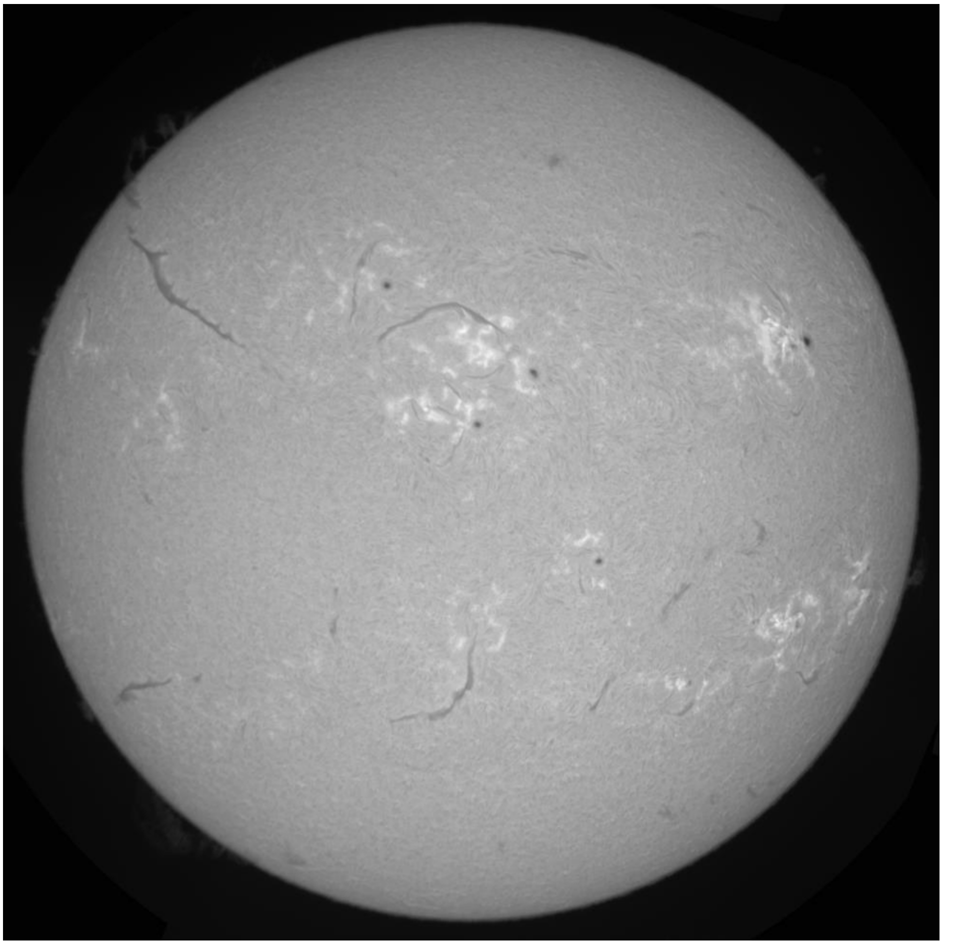
Asai et al., 2012, PASJ



プロミネンスの振動 →



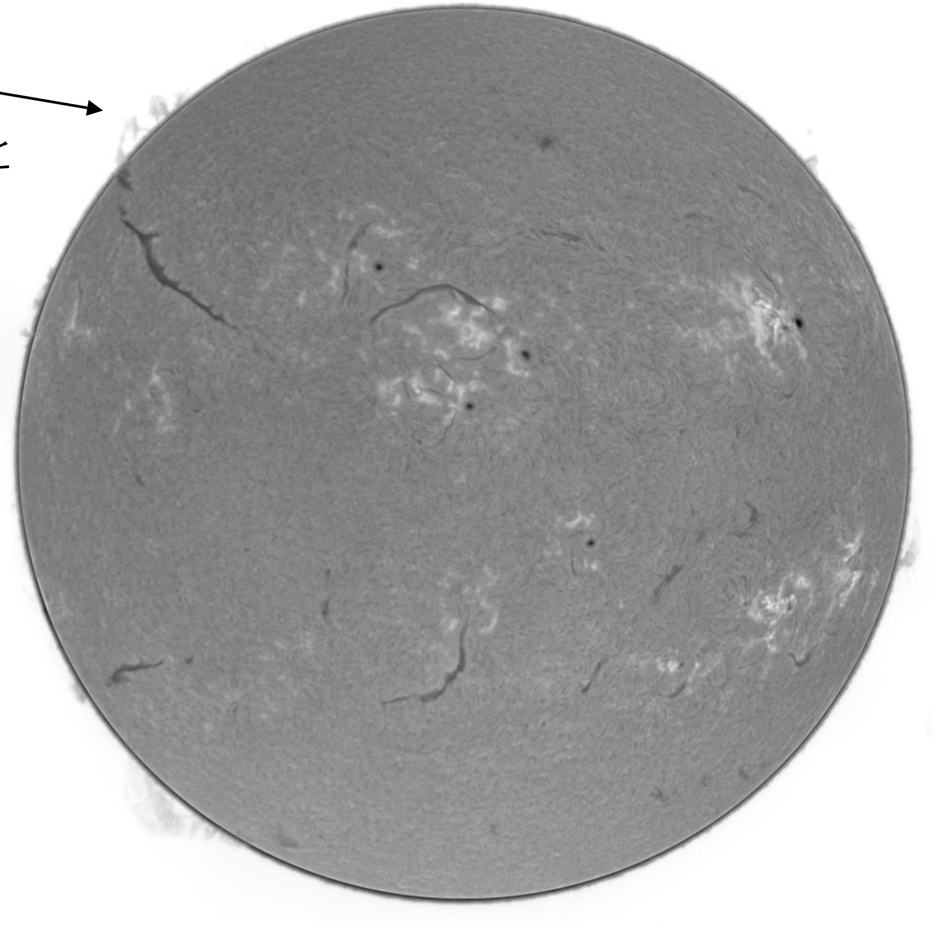
SMART T1



2011年11月12日

H-alpha中心像

処理を施した
下の画像をみると
太陽円盤上の
フィラメントと
太陽縁の
プロミネンスが
同一の現象で
あることが
わかる



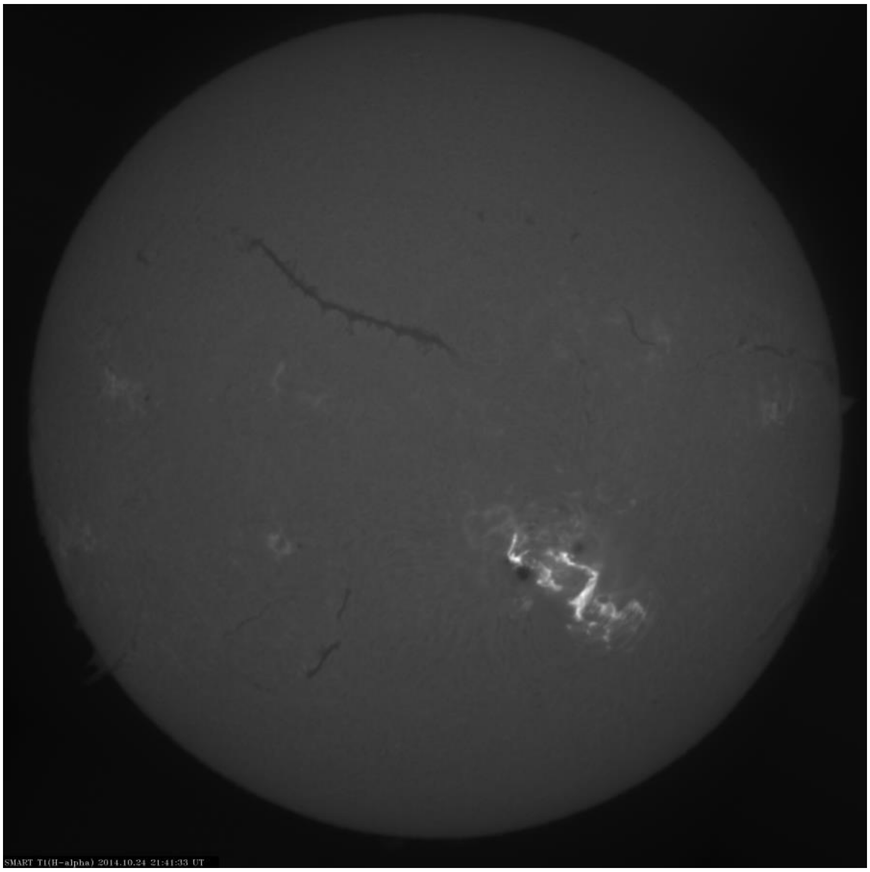
日面通過

日食
2012年5月21日
SMART T1

金星日面通過
2012年6月6日
DST

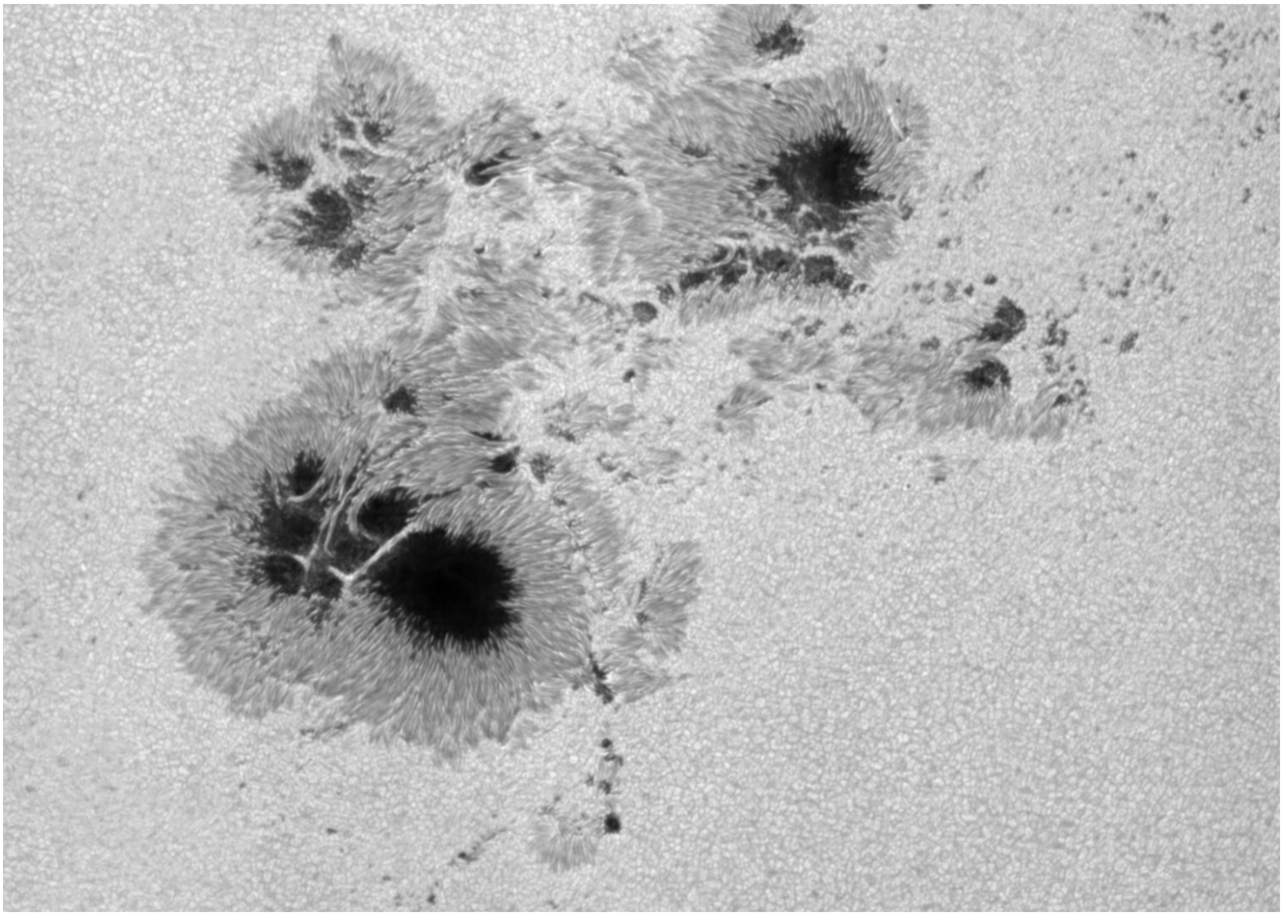
飛行機日面通過
2016年8月5日
SMART/SDDI
SDDIで観測を始めてから
飛行機が頻繁に写る

SMART　2014年10月の巨大黒点



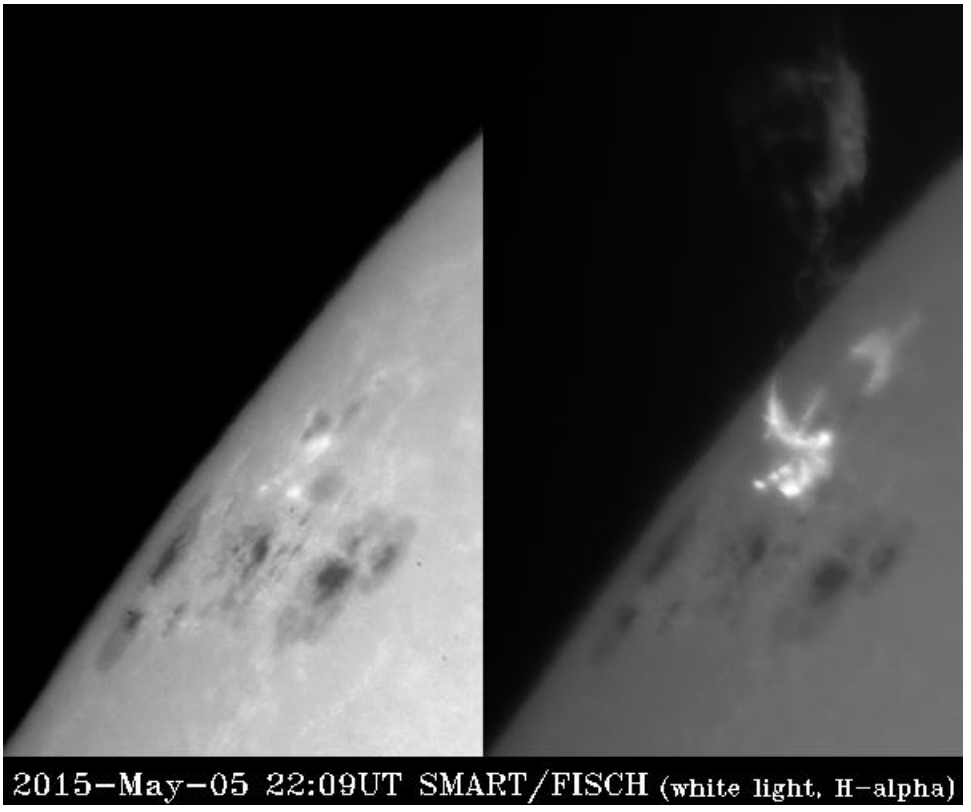
(左)
2014年10月25日
早朝に発生した
大フレア(X3.1)
T1 全面像
H-alpha 中心

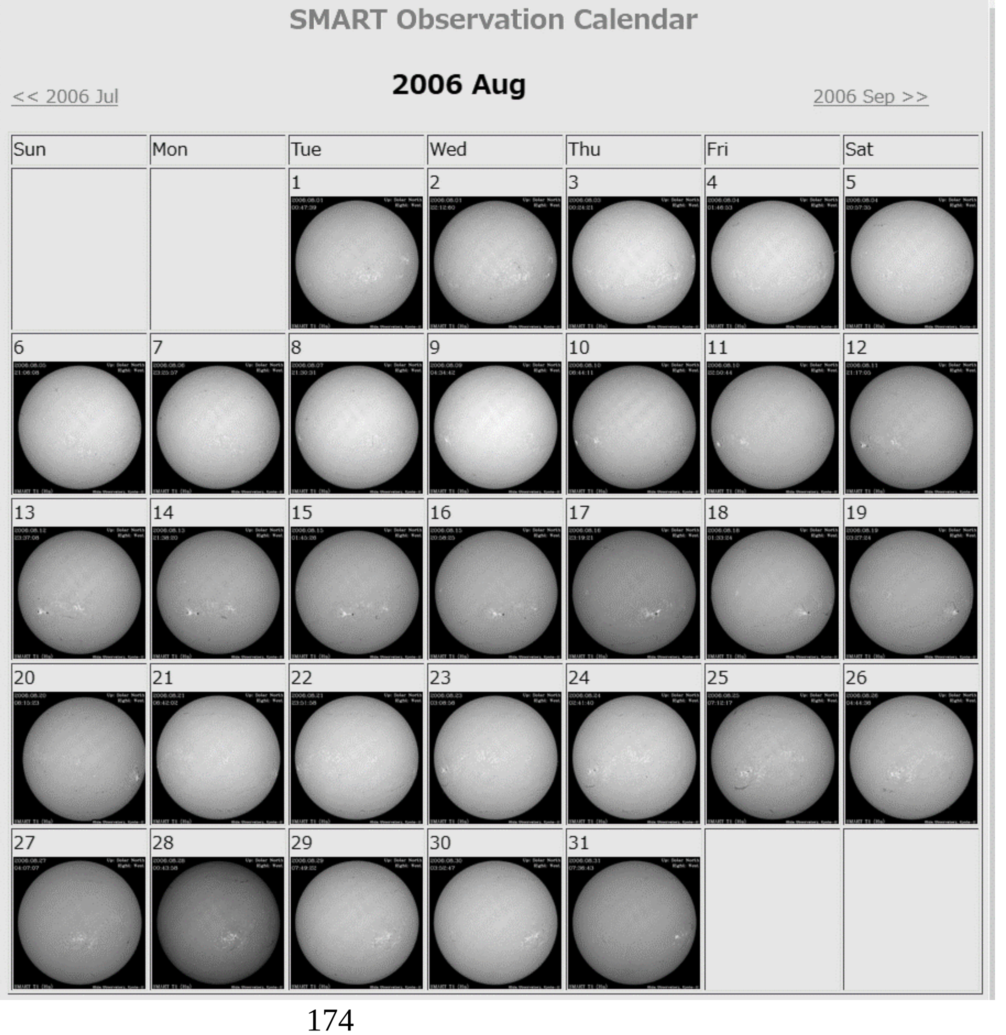
(下)
T3/FISCH (3.2.9参照)
による黒点画像に
画像処理を施した
もの
2014年10月24日



SMART

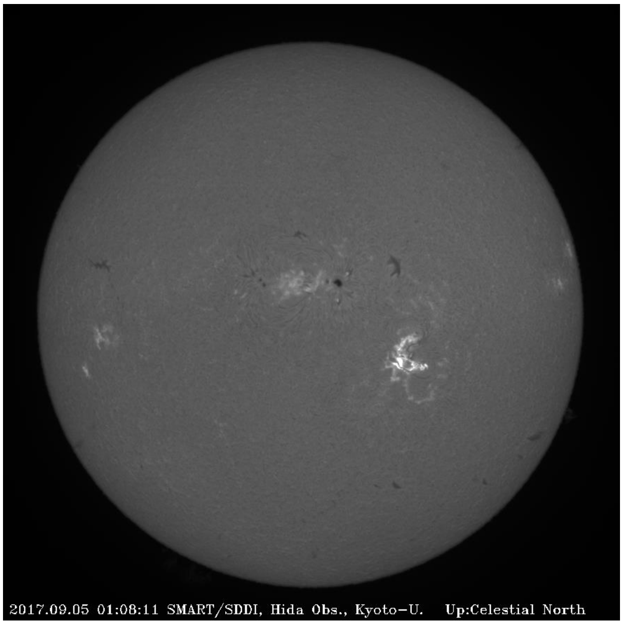
T3/FISCH(3.2.9 参照)が観測した白色光フレア2015年5月6日

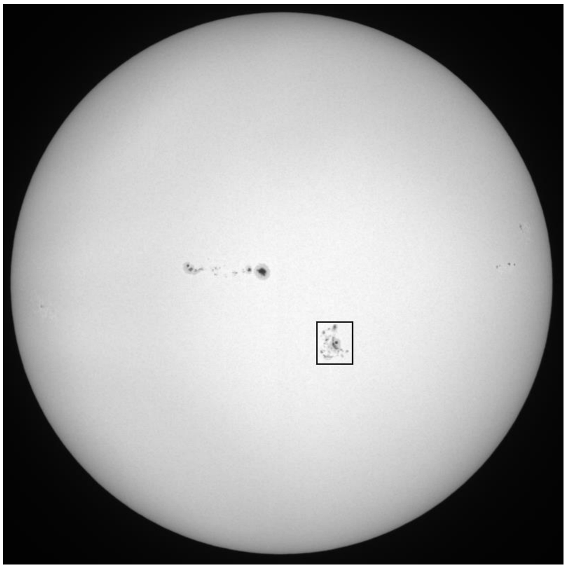




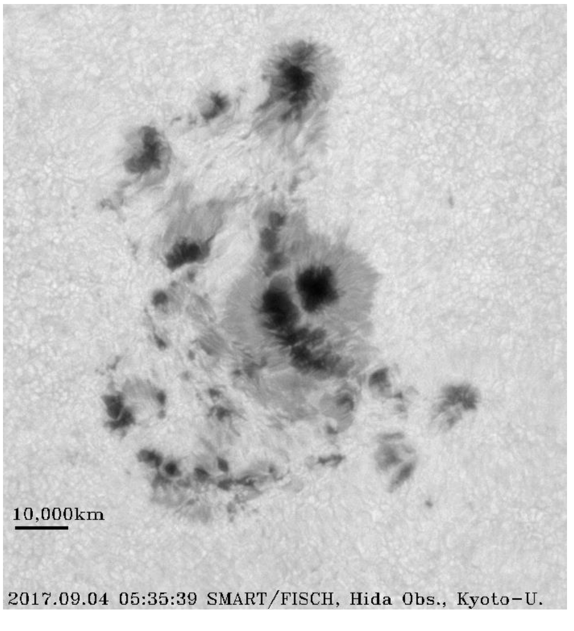
太陽でうまったカレンダー2006年8月

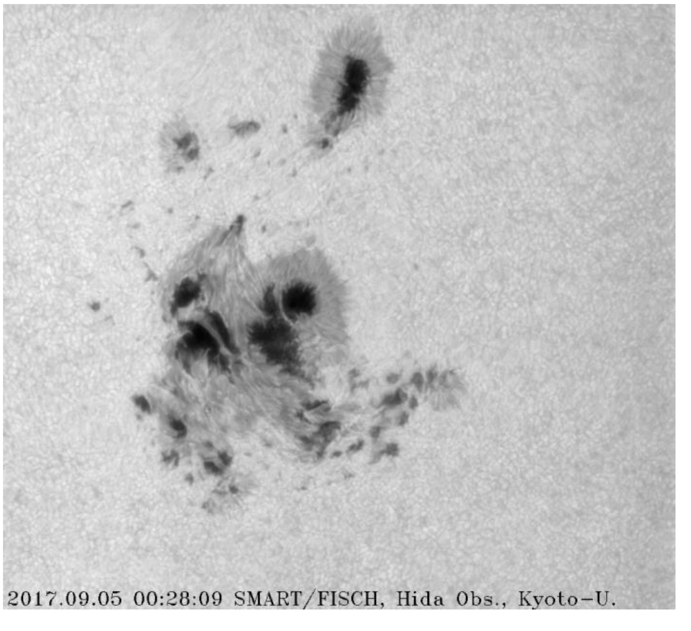
2017年9月6日に今太陽活動周期(Cycle 24)において最大のフレ(X9.3)が活動領域NOAA 12673において発生しました。 この領域では、4回の大フレア(X-class flare)が発生しましたが、すべて日本時間の夜であったため、 飛騨天文台では観測はできませんでした。 ここでは、飛騨天文台SMART望遠鏡とドームレス太陽望遠鏡(DST)による黒点の画像を紹介します。





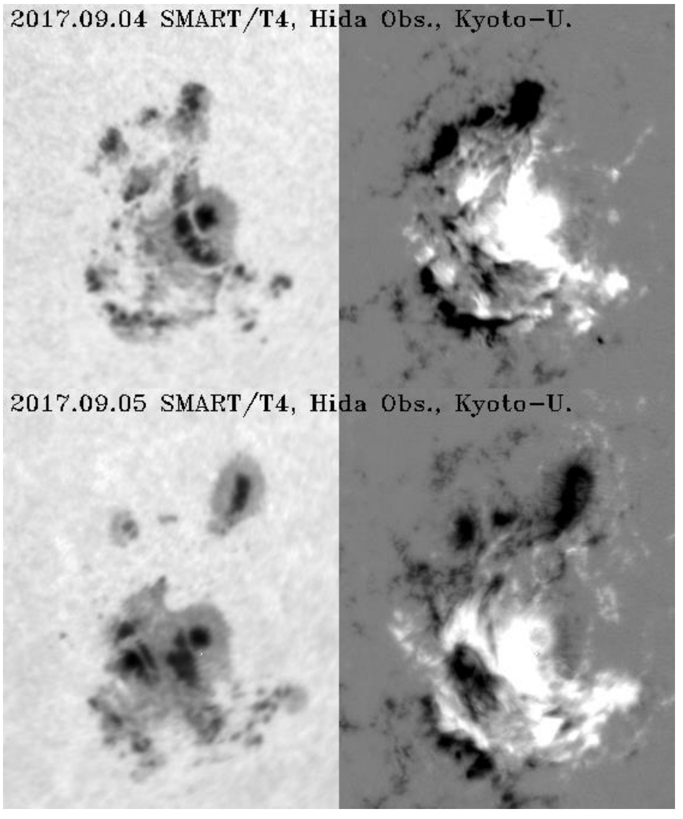
SMART/SDDI (3.2.13参照)
全面像 2017年9月5日H-alpha中心　2017年9月4日 連続光



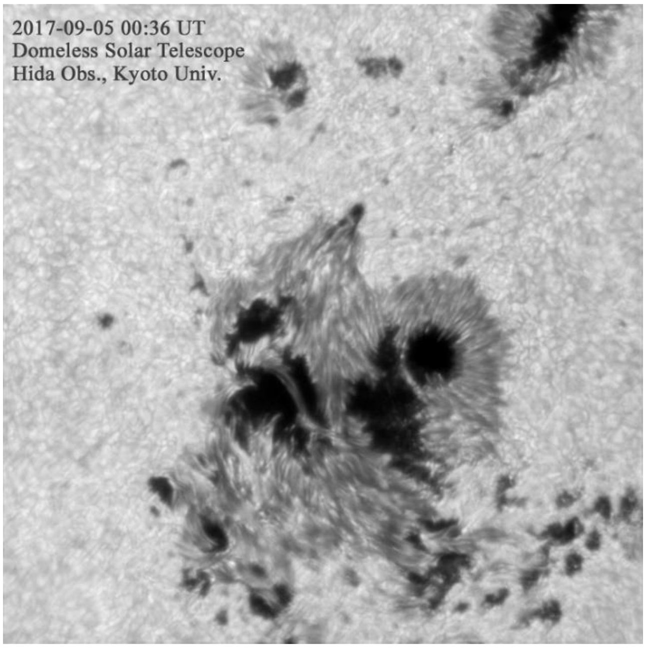


SMART/FISCH (3.2.9参照) 連続光 2017年9月4日、9月5日

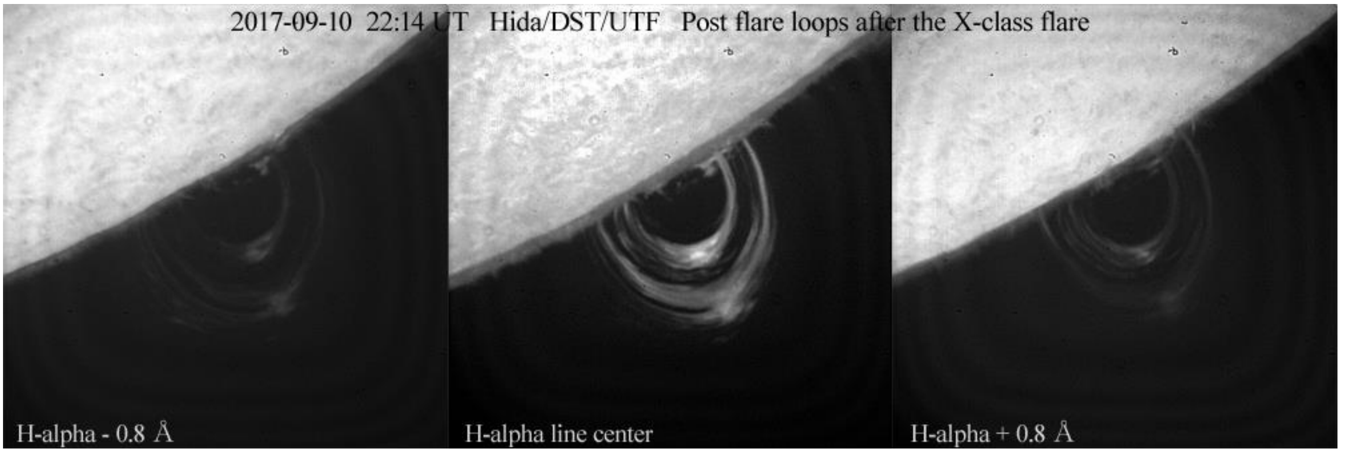
SMART/T4 マグネトグラフによる磁場観測 2017年9月4日、9月5日



DST
補償光学装置実験観測中の
黒点画像(画像処理前)



DST/ UTF
2017年9月11日
西リムポストフレアループ

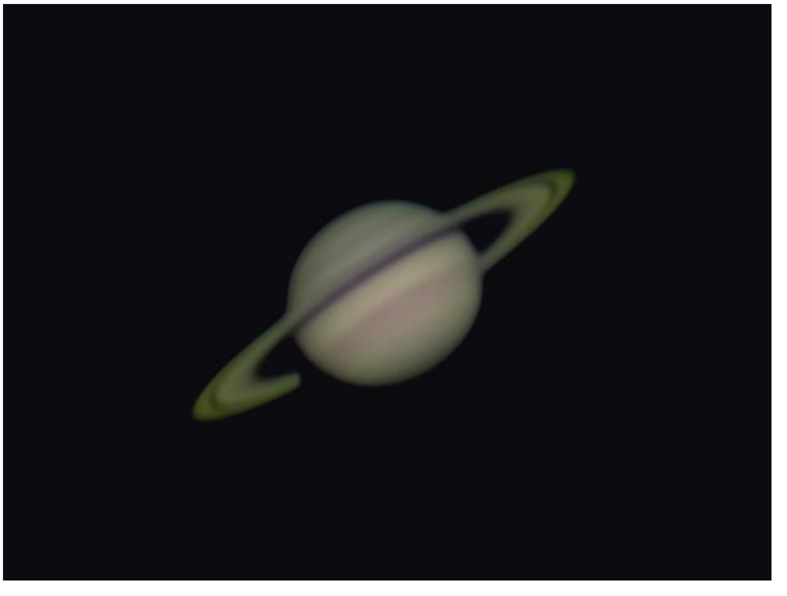


65cm屈折望遠鏡で撮影した惑星　　撮影: 仲谷

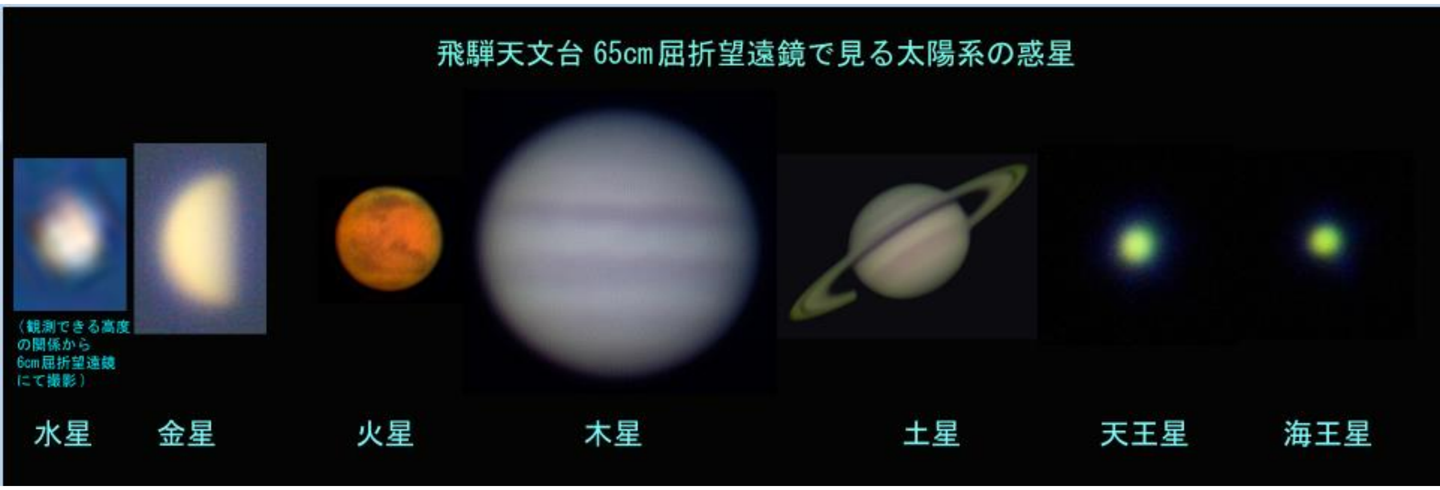
https://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/topics/hida_65cm/

火星
2007.12.26

土星
2008. 04.30

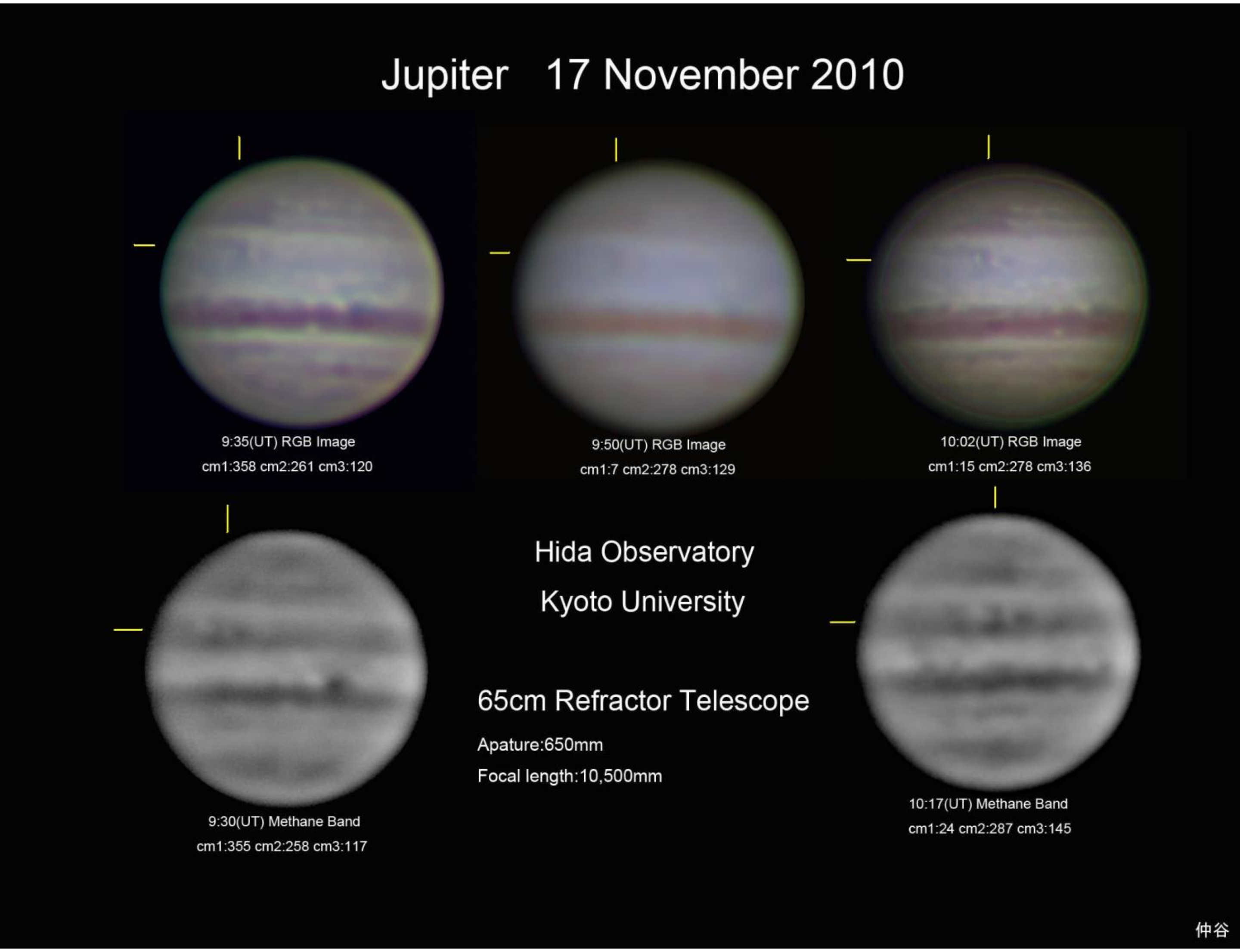


木星
2009.10.28

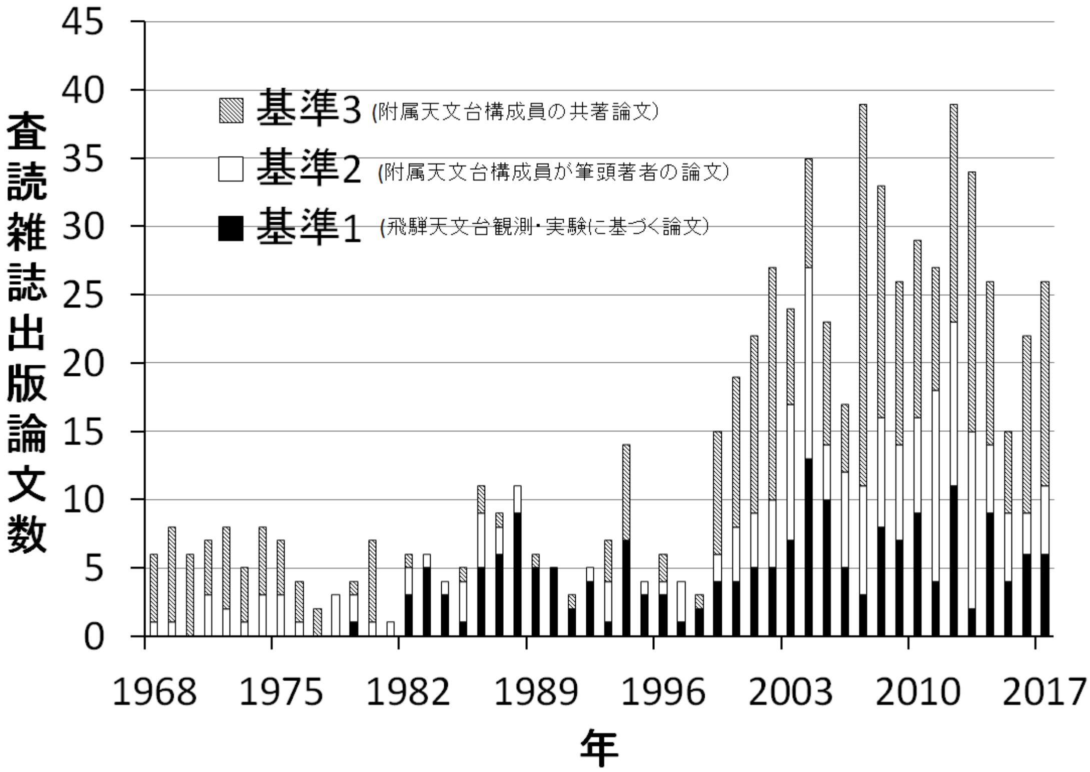


木星 南赤道縞 復活の前兆 (2010.11.17)

https://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/topics/jupiter2010/index2.html



6　論文リスト



飛騨天文台設立以降の附属天文台所属研究者の論文数の推移.

論文リストは 1968 年 (飛騨天文台設立年) 以降に出版された査読雑誌論文の中から, 次の排他的な基準に従って選定した.

基準 1: 飛騨天文台で取得されたデータを使用した論文, 飛騨天文台でなされた実験に基づく論文 (附属天文台構成員*ではない研究者の論文も含む).

基準 2: 附属天文台構成員が筆頭著者の論文で, 飛騨天文台の観測, 実験を用いていないもの.

基準 3: 附属天文台構成員が共著者の論文で飛騨天文台の観測, 実験を用いていないもの.

*附属天文台所属の教員, 研究員, 大学院生.

太陽系物理学論文 (基準1+2)

[1] Miyamoto, S., Morphological Study of the Lunar Crust, 1968, Icarus, 9, 373
[2] Iwasaki, K., A Non-Gray Greenhouse Model and Microwave Absorption in the Atmosphere of Venus, 1971, PASJ, 23, 387
[3] Iwasaki, K., Spatial variations of the strength of CO_2 absorption and the rotation temperature on Venus., 1976, PASJ, 28, 215
[4] Iwasaki, K., Saito, Y. & Akabane, T., Behavior of the Martian north polar cap, 1975 - 1978., 1979,Journal of Geophysical Research, 84,8311
[5] Iwasaki, K., Saito, Y. & Akabane, T., Martian north polar cap 1979 - 1980., 1982, Journal of Geophysical Research, 87, 10265
[6] Akabane, T., The secondary tail of comet 1976 VI west., 1983, PASJ, 35, 565
[7] Iwasaki, K., Saito, Y. & Akabane, T., Martian north polar CAP and haze 1981-1982, 1984, PASJ, 36, 347
[8] Asada, T., Numerical experiments of the intermediate scale eddies and the STrD on Jupiter., 1985, J. Meteorol. Soc. Jpn, 63, 359
[9] Iwasaki, K., Saito, Y. & Akabane, T., Martian south polar CAP 1973, 1986, PASJ, 38, 267
[10] Akabane, T., Iwasaki, K., Saito, Y. & Narumi, Y., The optical thickness of the blue-white cloud near Nix Olympica of Mars in 1982, 1987, PASJ, 39, 343
[11] Akabane, T., Hanaoka, Y., Iwasaki, K., Kawakami, S., Nakai, Y., Saito, S. & Takeuchi, A., Dust and C_2-contents in the coma of Halley's comet (1986 III)., 1988, Memoirs Faculty of Sciences University of Kyoto, 37, 283
[12] Iwasaki, K., Saito, Y., Akabane, T., Nakai, Y., Panjaitan, E., Radiman, I. & Wiramihardja, S. D., Martian south polar cap 1986, 1988, Vistas in Astronomy, 31, 141
[13] Iwasaki, K., Saito, Y., Nakai, Y., Akabane, T. & Panjaitan, E., Behavior of the Martian south polar CAP 1986, 1989, PASJ, 41, 1083
[14] Akabane, T., Iwasaki, K., Saito, Y. & Narumi, Y., Blue clearing of Syrtis Major at the 1982 opposition., 1990, Journal of Geophysical Research, 95, 14649
[15] Iwasaki, K., Saito, Y., Nakai, Y., Akabane, T., Panjaitan, E., Radiman, I. & Wiramihardja, S. D., Martian south polar cap 1988., 1990, Journal of Geophysical Research, 95, 14751
[16] Akabane, T., Iwasaki, K., Saito, Y. & Narumi, Y., Opacities of the 1973 dust storm over the SOLIS Lacus, Hellas, and Syrtis Major areas of Mars, 1992, A&A, 255, 377
[17] Akabane, T., Iwasaki, K., Saito, Y. & Narumi, Y., Martian late-northern-winter polar HOOD opacities and non-visibility of a surface cap: 1975 and 1990 observations, 1993, A&A, 277, 302
[18] Asada, T., Gierasch, P. J. & Yamagata, T., Initial Development of Eddies in High-Speed Zonal Flow: One Interpretation for NTB Activity of Jupiter, 1993,Icarus, 104,60

[19] Akabane, T., Saito, Y., Iwasaki, K. & Martin, L. J., The north polar HOOD in early autumn on Mars., 1995, A&A, 304, 595

[20] Nakakushi, T., Akabane, T., Iwasaki, K. & Larson, S. M., Mars: The cloud effect on the blue clearing in the Syrtis Major region, 2001, Journal of Geophysical Research, 106, 5043

[21] Akabane, T., Nakakushi, T., Iwasaki, K. & Larson, S. M., Diurnal variation of Martian water-ice clouds in Tharsis region of the low latitude cloud belt: Observations in 1995-1999 apparitions, 2002, A&A, 384, 678

[22] Nakakushi, T., Akabane, T., Iwasaki, K. & Larson, S. M., Mars: Dissipating Behavior of the Cloud Belt, 2002, PASJ, 54, L31

太陽物理学論文 (基準 1+2)

[1] Kurokawa, H., Tominaga, S., Kubota, J. & Kawaguchi, I., The Flash Spectrum Observed at the Total Eclipse of February 5, 1962, 1969, PASJ, 21, 141

[2] Kanno, M., Tsubaki, T. & Kurokawa, H., On the Coronal Lines in the Chromosphere at the 1970 Eclipse, 1971, SoPh, 21, 314

[3] Tsubaki, T., Kurokawa, H. & Kanno, M., Fine Structure in the Inner Corona Observed at the 1970 Eclipse, 1971, SoPh, 21, 305

[4] Kawaguchi, I., Oda, N. & Mizuno, S., Observation of a Smoke Ring on October 30, 1970, 1972, SoPh, 22, 140

[5] Maeda, K., Oda, N. & Nakayama, K., Monochromatic observation of a flare on August 4, 1972., 1972, Rep. Ionosph. Space Res. Japan, 26, 291

[6] Kawaguchi, I. & Kitai, R., Coronal Prominences on the Disk Observed on 29 October 1972, 1973, SoPh, 33, 145

[7] Kurokawa, H., Nakayama, K., Tsubaki, T. & Kanno, M., The Continuum of the Extreme Limb and the Chromosphere at the 1970 Eclipse, 1974, SoPh, 36, 69

[8] Kubota, J., Kureizumi, T. & Koyama, S., The Asymmetry of NA I D Line Profiles at the Root of a Disk Surge, 1974, PASJ, 26, 495

[9] Kubota, J., Tamenaga, T., Kawaguchi, I. & Kitai, R., The Brightening of Sunspot Umbra Observed on 29 October, 1972, 1974, SoPh, 38, 389

[10] Kanno, M. & Tanaka, R., The Geometry of the Chromosphere-Corona Transition Region Inferred from the Center-to-Limb Variation of the Radio Emission, 1975, SoPh, 43, 63

[11] Kanno, M., Comments on the Paper 'On the Reliability of the Structure of the Low Corona as Derived from Flash Spectra' by R. Giovanelli, 1975, SoPh, 43, 381

[12] Kurokawa, H., The Coronal Condensation Observed at the 1973 Eclipse, 1975, SoPh, 43, 385

[13] Kawaguchi, I. & Kitai, R., The velocity field associated with the birth of sunspots., 1976, SoPh, 46, 125

[14] Kanno, M. & Nishikawa, T., Obscuration of the Solar EUV Line Emission near the Sun's Limb ., 1978, PASJ, 30, 353

[15] Kanno, M., Contribution of Spicules to the Solar EUV Line Emission, 1978, PASJ, 30, 581

[16] Maeda, K., Tamenaga, T. & Kubota, J., Flare Spray on the Solar Disk Observed on June 2, 1974 and Accompanied Radio Bursts, 1978, PASJ, 30, 533

[17] Kanno, M., Weakening of the Solar EUV Line Emission in Wavelengths Shortward of 912A, 1979, PASJ, 31, 115

[18] Nishikawa, T. & Kanno, M., Analysis of EUV Limb-Brightening Observations in a Solar Coronal Hole, 1979, PASJ, 31, 563

[19] Kawaguchi, I., Morphological Study of the Solar Granulation - Part Two - the Fragmentation of Granules, 1980, SoPh, 65, 207

[20] Kanno, M., Withbroe, G. L. & Noyes, R. W., Analysis of Extreme Ultraviolet Spectroheliograms of Solar Prominences, 1981, SoPh, 69, 313

[21] Kanno, M. & Suematsu, Y., Wavelength Dependence of the Weakening of the Solar Extreme Ultraviolet Line Emission, 1982, PASJ, 34, 449

[22] Kawaguchi, I., Kurokawa, H., Funakoshi, Y. & Nakai, Y., Progressive Brightenings Observed in the Wing of Hα Line, 1982, SoPh, 78, 101

[23] Kurokawa, H., Kawaguchi, I., Funakoshi, Y. & Nakai, Y., Morphological and Evolutional Features of Ellerman Bombs, 1982, SoPh, 79, 77

[24] Nikaidou, Y., Na i D brightening phenomena in quiescent prominences, 1982, SoPh, 80,259

[25] Kanno, M., Weakening of the Solar Extreme Ultraviolet Line Emission Near the Sun's Limb, 1983, SoPh, 89, 253

[26] Nikaidou, Y. & Kawaguchi, I., On the intensity ratio of emission lines of Na i D_1 to D_2 in prominences, 1983, SoPh, 84, 49

[27] Kanno, M., Kurokawa, H. & HINOTORI Group, Observations of a compact solar flare on 1981 September 7 in Hα, X-ray, and microwave radiations, 1983, SoPh, 86, 193

[28] Kitai, R., On the mass motions and the atmospheric states of moustaches., 1983, SoPh, 87, 135

[29] Kurokawa, H., The Height of Hα Flare Emitting Region, 1983, SoPh, 86, 195

[30] Kanno, M., Suematsu, Y. & Nishikawa, T., Weakening of the Solar Extreme Ultraviolet Line Emission by Lyman Continuum Absorption as Derived from Line Ratios, 1984, SoPh, 91, 71

[31] Kawaguchi, I., Nakai, Y., Funakoshi, Y. & Kim, K.-S., Brightening Phenomena in Prominences at the Center of the Hα Line, 1984, SoPh, 91, 87

[32] Ichimoto, K. & Kurokawa, H., Hα Red Asymmetry of Solar Flares, 1984, SoPh, 93, 105

[33] Ichimoto, K., Kubota, J., Suzuki, M., Tohmura, I. & Kurokawa, H., Periodic behaviour of solar flare activity, 1985, Nature, 316, 422

[34] Nakai, Y. & Hattori, A., Domeless solar tower telescope at the Hida Observatory, 1985, Memoirs Faculty of Sciences University of Kyoto, 36, 385

[35] Suematsu, Y., Mass Motions due to Shock Propagations Along Low-Lying Loops in the Solar Atmosphere - on the Formation of Fibrils, 1985, SoPh, 98, 67

[36] Kawaguchi, I., Kim, K.-S. & Nakai, Y., A Small-Scale Energy Release Observed on the Limb - Part One - the Broadened Components of d3 Emission Lines, 1986, SoPh, 106, 47

[37] Kitai, R., Photospheric and Chromospheric Umbral Dots in a Decaying Sunspot, 1986, SoPh, 104, 287

[38] Kubota, J. & Uesugi, A., The vertical motion of matter in a prominence observed on May 7, 1984, 1986, PASJ, 38, 903

[39] Kurokawa, H., Kitahara, T., Nakai, Y., Funakoshi, Y. & Ichimoto, K., High resolution observation of Hα solar flares and temporal relation between Hα and X-ray, microwave emission, 1986, Ap&SS, 118, 149

[40] Hanaoka, Y., Kanno, M., Kurokawa, H. & Tsubaki, T., The innermost corona observed at the 1973 June 30 eclipse, 1986, SoPh, 106, 95

[41] Hanaoka, Y., Tsuda, I., Sadakane, K. & Kanno, M., Emission curve of growth for Fe ii in chromospheric limb spectra, 1986, SoPh, 106, 87

[42] Hanaoka, Y., Kurokawa, H. & Saito, S., The post flare loops observed at the total eclipse of February 16, 1980, 1986, SoPh, 105, 133

[43] Tsubaki, T. & Takeuchi, A., Periodic Oscillations Found in the Velocity Field of a Quiescent Prominence, 1986, SoPh, 104, 313

[44] Akioka, M., Kubota, J., Suzuki, M., Ichimoto, K. & Tohmura, I., The 17-MONTH Periodicity of Sunspot Activity, 1987, SoPh, 112, 313

[45] Ichimoto, K., Evershed effect observed in various solar photospheric lines. I - Dependence of the velocity distribution across the penumbra on the equivalent width, 1987, PASJ, 39, 329

[46] Kim, K.-S., Emitting region of sodium lines in solar prominences, 1987, SoPh, 114, 47

[47] Kurokawa, H., Hanaoka, Y., Shibata, K. & Uchida, Y., Rotating eruption of an untwisting filament triggered by the 3B flare of 25 April, 1984, 1987, SoPh, 108, 251

[48] Kurokawa, H., Two distinct morphological types of magnetic shear development and their relation to flares, 1987, SoPh, 113, 259

[49] Suemoto, Z., Hiei, E. & Nakagomi, Y., Bright threads in the inner wing of solar Ca II K line, 1987, SoPh, 112, 59

[50] Tsubaki, T., Ohnishi, Y. & Suematsu, Y., Short-period oscillations found in a quiescent prominence, 1987, PASJ, 39, 179

[51] Brueckner, G. E., Bartoe, J.-D. F., Cook, J. W., Dere, K. P., Socker, D., Kurokawa, H. & McCabe, M., Plasma Motions in an Emerging Flux Region, 1988, ApJ, 335, 986

[52] Hanaoka, Y., Kurokawa, H. & Saito, S., Active region coronal loops observed at the total solar eclipse of February 16, 1980, 1988, PASJ, 40, 369

[53] Ichimoto, K., Evershed effect observed in various solar photospheric lines. II - Dependence on the excitation potential, 1988, PASJ, 40, 103

[54] Kubota, J., Tohmura, I. & Uesugi, A., The vertical motion of matter in two prominences observed on 1984 October 26, 1988, Vistas in Astronomy, 31, 39

[55] Kurokawa, H., Surge activity in an emerging magnetic region of the sun, 1988, Vistas in Astronomy, 31, 67

[56] Kurokawa, H., Takakura, T. & Ohki, K., Close relationship between H-alpha and hard X-ray emissions at the impulsive phase of a solar flare, 1988, PASJ, 40, 357

[57] Nishikawa, T., Spicule observations with high spatial resolution, 1988, PASJ, 40, 613

[58] Suematsu, Y., Saito, S., Funakoshi, Y. & Kurokawa, H., A coronal condensation observed at the total solar eclipse of June 11, 1983 and a related transient prominence, 1988, SoPh, 116, 285

[59] Tsubaki, T., Toyoda, M., Suematsu, Y. & Gamboa, G. A. R., New evidence for oscillatory motions in a quiescent prominence, 1988, PASJ, 40, 121

[60] Kawakami, S., Makita, M. & Kurokawa, H., Detailed comparison of transverse magnetic fields of the sun with H-alpha fine structures, 1989, PASJ, 41, 175

[61] Kurokawa, H., High-Resolution Observations of Hα Flare Regions, 1989, SSRv, 51, 49

[62] Hanaoka, Y. & Kurokawa, H., Mass Motions in Active Region Filaments, 1989, SoPh, 124, 227

[63] Ichimoto, K., Hiei, E. & Nakagomi, Y., Spectral manifestations of the granular velocity field near the solar limb, 1989, PASJ, 41, 333

[64] Suematsu, Y., Yoshinaga, R., Terao, N. & Tsubaki, T., Oscillatory and Transient Features Detected Simultaneously in the CA II K and Hβ Line Spectra of a Quiescent Prominence, 1990, PASJ, 42, 187

[65] Suemoto, Z., Hiei, E. & Nakagomi, Y., Continuous and Line Spectra of Granules and Intergranular Lanes, 1990, SoPh, 127, 11

[66] Kitahara, T. & Kurokawa, H., High-Resolution Observation and Detailed Photometry of a Great Hα Two-Ribbon Flare, 1990, SoPh, 125, 321

[67] Kurokawa, H., Nakai, Y., Funakoshi, Y. & Kitai, R., High resolution observations of active phenomena obtained at Hida Observatory, 1991, Advances in Space Research, 11, 233

[68] Zhang, H., Ai, G., Sakurai, T. & Kurokawa, H., Fine Structures of Chromospheric Magnetic Field and Material Flow in a Solar Active Region, 1991, SoPh, 136, 269

[69] Akioka, M., Kubota, J., Suzuki, M. & Tohmura, I., Detailed comparison between sunspot activity in 'hot spots' and galactic cosmic-ray intensity, 1992, SoPh, 139, 177

[70] Kubota, J., Kitai, R., Tohmura, I. & Uesugi, A., The sudden disappearance of a

dark filament observed on October 26, 1989, 1992, SoPh, 139, 65

[71] Kurokawa, H., Kawai, G., Kitai, R., Funakoshi, Y., Nakai, Y. et al., Detailed Comparison between Hα and YOHKOH Soft X-Ray Images of a Confined Two-Ribbon Flare, 1992, PASJ, 44, L129

[72] Kawai, G., Kurokawa, H., Tsuneta, S., Shimizu, T., Shibata, K., Acton, L. W., Strong, K. T. & Nitta, N., Comparison between Hα and YOHKOH Soft X-Ray Images of Emerging Flux Regions, 1992, PASJ, 44, L193

[73] Anwar, B., Acton, L. W., Hudson, H. S., Makita, M., McClymont, A. N. & Tsuneta, S., Rapid Sunspot Motion during a Major Solar Flare, 1993, SoPh, 147, 287

[74] Kawakami, S. & Makita, M., Magnetograph Observations of Solar Faculae, 1993, PASJ, 45, 255

[75] Baba, N., Kuwamura, S., Miura, N. & Norimoto, Y., Imaging Spectroscopy with High Spatial Resolution, 1994, ApJ, 431, L111

[76] Culhane, J. L., Phillips, A. T., Inda-Koide, M., Kosugi, T., Fludra, A., Kurokawa, H., Makishima, K., Pike, C. D., Sakao, T., Sakurai, T., Doschek, G. A. & Bentley, R. D., Yohkoh observations of the creation of high-temperature plasma in the flare of 16 December 1991, 1994, SoPh, 153, 307

[77] Hanaoka, Y., Kurokawa, H., Enome, S., Nakajima, H., Shibasaki, K. et al., Simultaneous Observations of a Prominence Eruption Followed by a Coronal Arcade Formation in Radio, Soft X-Rays, and Hα, 1994, PASJ, 46, 205

[78] Ji, G. P., Kurokawa, H., Fang, C. & Huang, Y. R., High-Resolution Spectral Observation during the Impulsive Phase of a Flare, 1994, SoPh, 149, 195

[79] Miura, N., Ohsawa, K. & Baba, N., Single-frame blind deconvolution by means of frame segmentation, 1994, Optics Letters, 19, 695

[80] Miura, N., Ohsawa, K. & Baba, N., Parallel blind deconvolution applied to solar image, 1994, Optical Review, 1, 208

[81] Tsumuraya, F., Miura, N. & Baba, N., Iterative blind deconvolution method using Lucy's algorithm, 1994, A&A, 282, 699

[82] Kitai, R. & Muller, R., White-Light Enhancements and Small-Scale Chromospheric Activities in an Active Region, 1996, SoPh, 165, 155

[83] Kurokawa, H., Ishiura, K., Kimura, G., Nakai, Y., Kitai, R. et al., Observations of Solar Hα Filament Disappearances with a New Solar Flare-Monitoring-Telescope at Hida Observatory., 1995, Journal of Geomagnetism and Geoelectricity, 47, 1043

[84] Shoji, M. & Kurokawa, H., Evolutional Characteristics of Multiple Spectral Lines during the Impulsive Phase of Solar Flares, 1995, PASJ, 47, 239

[85] Miura, N. & Baba, N., Segmentation-based multiframe blind deconvolution of solar images., 1995, Journal of the Optical Society of America A, 12, 1858

[86] Schmieder, B., Mein, N., Shibata, K., van Driel-Gesztelyi, L. & Kurokawa, H., Chromospheric ejections and their signatures in X-ray observed by YOHKOH, 1996, Advances in Space Research, 17, 193

[87] van Driel-Gesztelyi, L., Schmieder, B., Cauzzi, G., Mein, N., Hofmann, A., Nitta,

N., Kurokawa, H., Mein, P. & Staiger, J., X-Ray Bright Point Flares Due to Magnetic Reconnection, 1996, SoPh, 163, 145
[88] McAllister, A. H., Kurokawa, H., Shibata, K. & Nitta, N., A Filament Eruption and Accompanying Coronal Field Changes on November 5, 1992, 1996, SoPh, 169, 123
[89] Herdiwijaya, D., Makita, M. & Anwar, B., The Proper Motion of Individual Sunspots, 1997, PASJ, 49, 235
[90] Kitai, R., Funakoshi, Y., Ueno, S. & Ichimoto, K. & Sano, S., Real-Time Frame Selector and its Application to Observations of the Horizontal Velocity Field in the Solar Photosphere, 1997, PASJ, 49, 513
[91] Magara, T., Shibata, K. & Yokoyama, T., Evolution of Eruptive Flares. I. Plasmoid Dynamics in Eruptive Flares, 1997, ApJ, 487, 437
[92] UeNo, S., Mineshige, S., Negoro, H., Shibata, K. & Hudson, H. S., Statistics of Fluctuations in the Solar Soft X-Ray Emission, 1997, ApJ, 484, 920
[93] Ueno, S. & Kitai, R., 3D Velocity-Field Observation of Solar Convection I. Characteristics of Mesogranulation, 1998, PASJ, 50, 125
[94] Ishii, T. T., Kurokawa, H. & Takeuchi, T. T., Emergence of a Twisted Magnetic Flux Bundle as a Source of Strong Flare Activity, 1998, ApJ, 499, 898
[95] Magara, T. & Shibata, K., Evolution of Eruptive Flares. II. The Occurrence of Locally Enhanced Resistivity, 1999, ApJ, 514, 456
[96] Magara, T., & Kitai, R., Photospheric and Chromospheric Gas Motions around a Dark Filament, 1999, ApJ, 524, 469
[97] Miura, N., Baba, N. & Sakurai, T., Superresolution applied to solar granulation images, 1999, 18th Congress of the International Commission for Optics, 3749, 116
[98] Yoshimura, K. & Kurokawa, H., Causal Relations between Hα Loop Emergences and Soft X-Ray Brightenings, 1999, ApJ, 517, 964
[99] Chen, P. F. & Shibata, K., An Emerging Flux Trigger Mechanism for Coronal Mass Ejections, 2000, ApJ, 545, 524
[100] Ishii, T. T., Kurokawa, H. & Takeuchi, T. T., Emergence of Twisted Magnetic-Flux Bundles and Flare Activity in a Large Active Region, NOAA 4201, 2000, PASJ, 52, 337
[101] Kurokawa, H. & Yoshimura, K., Relationship Between Hα AFS Loops and Soft X-Ray Brightening Loops in Emerging Flux Regions, 2000, Advances in Space Research, 25, 1825
[102] Kurokawa, H. & Sano, S., Hα. Surges in Emerging Flux Regions as an Evidence of Magnetic Field Reconnection, 2000, Advances in Space Research, 26, 441
[103] Li, H., Sakurai, T., Ichimoto, K. & UeNo, S., Magnetic Field Evolution Leading to Solar Flares I. Cases with Low Magnetic Shear and Flux Emergence, 2000, PASJ, 52, 465
[104] Ohyama, M. & Shibata, K., X-Ray Plasma Ejection and Magnetic Reconnection, 2000, Advances in Space Research, 26, 461

[105] Takeda, A., Kurokawa, H., Kitai, R. & Ishiura, K., Contribution and Properties of the Green- and Red-Line Coronal Loops in the K-Corona, 2000, PASJ, 52, 375

[106] Asai, A., Ishii, T. T. & Kurokawa, H., Plasma Ejections from a Light Bridge in a Sunspot Umbra, 2001, ApJ, 555, L65

[107] Asai, A., Shimojo, M., Isobe, H., Morimoto, T., Yokoyama, T., Shibasaki, K. & Nakajima, H., Periodic Acceleration of Electrons in the 1998 November 10 Solar Flare, 2001, ApJ, 562, L103

[108] Ishii, T. T., Inoue, K., Kamio, S., Sakai, K., Watanabe, Y. & Kurokawa, H., Evolution of Hα fine loop structures observed in a long-duration solar flare, 2001, Advances in Space Research, 26, 1789

[109] Ohneda, Y., Baba, N., Miura, N. & Sakurai, T., Multiresolution Approach to Image Reconstruction with Phase-Diversity Technique, 2001, Optical Review, 8, 32

[110] UeNo, S., Kitai, R., Ichimoto, K., Sakurai, T., Soltau, D. & Brandt, P. N., Preliminary study of the evolution of solar magnetic structures and photospheric horizontal velocity fields, 2001, Advances in Space Research, 26, 1793

[111] Asai, A., Masuda, S., Yokoyama, T., Shimojo, M., Isobe, H., Kurokawa, H. & Shibata, K., Difference between Spatial Distributions of the Hα Kernels and Hard X-Ray Sources in a Solar Flare, 2002, ApJ, 578, L91

[112] Eto, S., Isobe, H., Narukage, N., Asai, A., Morimoto, T., Thompson, B., Yashiro, S., Wang, T., Kitai, R., Kurokawa, H. & Shibata, K., Relation between a Moreton Wave and an EIT Wave Observed on 1997 November 4, 2002, PASJ, 54, 481

[113] Isobe, H., Yokoyama, T., Shimojo, M., Morimoto, T., Kozu, H., Eto, S., Narukage, N. & Shibata, K., Reconnection Rate in the Decay Phase of a Long Duration Event Flare on 1997 May 12, 2002, ApJ, 566, 528

[114] Kurokawa, H., Wang, T. & Ishii, T. T., Emergence and Drastic Breakdown of a Twisted Flux Rope to Trigger Strong Solar Flares in NOAA Active Region 9026, 2002, ApJ, 572, 598

[115] Narukage, N., Hudson, H. S., Morimoto, T., Akiyama, S., Kitai, R., Kurokawa, H. & Shibata, K., Simultaneous Observation of a Moreton Wave on 1997 November 3 in Hα and Soft X-Rays, 2002, ApJ, 572, L109

[116] Asai, A., Ishii, T. T., Kurokawa, H., Yokoyama, T. & Shimojo, M., Evolution of Conjugate Footpoints inside Flare Ribbons during a Great Two-Ribbon Flare on 2001 April 10, 2003, ApJ, 586, 624

[117] Brooks, D. H., Kurokawa, H., Yoshimura, K., Kozu, H. & Berger, T. E., A study of the causal relationship between the emergence of a twisted magnetic flux rope and a small Hα two-ribbon flare, 2003, A&A, 411, 273

[118] Kamio, S., Kurokawa, H. & Ishii, T. T., Precise determination of cooling times of post-flare loops from the detailed comparison between Hα and soft X-ray images, 2003, SoPh, 215, 127

[119] Miura, N. & Kikuchi, K., Blind deconvolution of images with band-limited point spread functions, 2003, 19th Congress of the International Commission for Optics:

Optics for the Quality of Life, 4829, 186
[120] Morimoto, T. & Kurokawa, H., A Method for the Determination of 3-D Velocity Fields of Disappearing Solar Filaments, 2003, PASJ, 55, 503
[121] Morimoto, T. & Kurokawa, H., Eruptive and Quasi-Eruptive Disappearing Solar Filaments and Their Relationship with Coronal Activities, 2003, PASJ, 55, 1141
[122] Shiota, D., Yamamoto, T. T., Sakajiri, T., Isobe, H., Chen, P.-F. & Shibata, K., Slow and Fast MHD Shocks Associated with a Giant Cusp-Shaped Arcade on 1992 January 24, 2003, PASJ, 55, L35
[123] Yoshimura, K., Kurokawa, H., Shimojo, M. & Shine, R., Close Correlation among Hα Surges, Magnetic Flux Cancellations, and UV Brightenings Found at the Edge of an Emerging Flux Region, 2003, PASJ, 55, 313
[124] Asai, A., Yokoyama, T., Shimojo, M. & Shibata, K., Downflow Motions Associated with Impulsive Nonthermal Emissions Observed in the 2002 July 23 Solar Flare, 2004, ApJ, 605, L77
[125] Asai, A., Yokoyama, T., Shimojo, M., Masuda, S., Kurokawa, H. & Shibata, K., Flare Ribbon Expansion and Energy Release Rate, 2004, ApJ, 611, 557
[126] Brooks, D. H. & Kurokawa, H., Hida Domeless Solar Telescope and SOHO Coronal Diagnostic Spectrometer Observations of Short-Duration Active Region Blinkers. II. Extreme-Ultraviolet Properties, 2004, ApJ, 611, 1125
[127] Brooks, D. H., Kurokawa, H., Kamio, S., Fludra, A., Ishii, T. T., Kitai, R. et al., Short-Duration Active Region Brightenings Observed in the Extreme Ultraviolet and Hα by the Solar and Heliospheric Observatory Coronal Diagnostic Spectrometer and Hida Domeless Solar Telescope, 2004, ApJ, 602, 1051
[128] Chen, P. F., Shibata, K., Brooks, D. H. & Isobe, H., A Reexamination of the Evidence for Reconnection Inflow, 2004, ApJ, 602, L61
[129] Liu, Y. & Kurokawa, H., Formation of Opposite-Sign Magnetic Helicity by an Erupting Filament in a Coronal Mass Ejection, 2004, PASJ, 56, 497
[130] Liu, Y. & Kurokawa, H., On a Surge: Properties of an Emerging Flux Region, 2004, ApJ, 610, 1136
[131] Miyagoshi, T. & Yokoyama, T., Magnetohydrodynamic Simulation of Solar Coronal Chromospheric Evaporation Jets Caused by Magnetic Reconnection Associated with Magnetic Flux Emergence, 2004, ApJ, 614, 1042
[132] Miyagoshi, T., Yokoyama, T. & Shimojo, M., Three-Dimensional Magnetohydrodynamic Numerical Simulations of Coronal Loop Oscillations Associated with Flares, 2004, PASJ, 56, 207
[133] Moriyasu, S., Kudoh, T., Yokoyama, T. & Shibata, K., The Nonlinear Alfvén Wave Model for Solar Coronal Heating and Nanoflares, 2004, ApJ, 601, L107
[134] Narukage, N., Morimoto, T., Kadota, M., Kitai, R., Kurokawa, H. & Shibata, K., X-Ray Expanding Features Associated with a Moreton Wave, 2004, PASJ, 56, L5
[135] Okamoto, T. J., Nakai, H., Keiyama, A., Narukage, N., UeNo, S., Kitai, R., Kurokawa, H. & Shibata, K., Filament Oscillations and Moreton Waves Associ-

ated with EIT Waves, 2004, ApJ, 608, 1124

[136] Sakajiri, T., Brooks, D. H., Yamamoto, T., Shiota, D., Isobe, H., Akiyama, S., Ueno, S., Kitai, R. & Shibata, K., A Study of a Tiny Two-Ribbon Flare Driven by Emerging Flux, 2004, ApJ, 616, 578

[137] Takasaki, H., Asai, A., Kiyohara, J., Shimojo, M., Terasawa, T., Takei, Y. & Shibata, K., A Quantitative Study of the Homologous Flares on 2000 November 24, 2004, ApJ, 613, 592

[138] UeNo, S., Nagata, S., Kitai, R., Kurokawa, H. & Ichimoto, K., The development of filter vector magnetographs for the Solar Magnetic Activity Research Telescope (SMART), 2004, SPIE, 5492, 958

[139] Warmuth, A., Vršnak, B., Magdalenić, J., Hanslmeier, A. & Otruba, W., A multiwavelength study of solar flare waves. I. Observations and basic properties, 2004, A&A, 418, 1101

[140] Isobe, H., Takasaki, H. & Shibata, K., Measurement of the Energy Release Rate and the Reconnection Rate in Solar Flares, 2005, ApJ, 632, 1184

[141] Kamio, S., Kurokawa, H., Brooks, D. H., Kitai, R. & UeNo, S., Transition Region Downflows in the Impulsive Phase of Solar Flares, 2005, ApJ, 625, 1027

[142] Kozu, H., Kitai, R. & Funakoshi, Y., Development of Real-Time Frame Selector 2 and the Characteristic Convective Structure in the Emerging Flux Region, 2005, PASJ, 57, 221

[143] Liu, Y., Kurokawa, H., Kitai, R., Ueno, S. & Su, J. T., A Study On Surges: I. Automatic Detection Of Dynamic Hα Dark Features From High-Cadence Full-Disk Observations, 2005, SoPh, 228, 149

[144] Liu, Y., Kurokawa, H. & Shibata, K., Production of Filaments by Surges, 2005, ApJ, 631, L93

[145] Liu, Y., Su, J. T., Morimoto, T., Kurokawa, H. & Shibata, K., Observations of an Emerging Flux Region Surge: Implications for Coronal Mass Ejections Triggered by Emerging Flux, 2005, ApJ, 628, 1056

[146] Shiota, D., Isobe, H., Chen, P. F., Yamamoto, T. T., Sakajiri, T. & Shibata, K., Self-Consistent Magnetohydrodynamic Modeling of a Coronal Mass Ejection, Coronal Dimming, and a Giant Cusp-shaped Arcade Formation, 2005, ApJ, 634, 663

[147] Su, J. T., Liu, Y., Zhang, H. Q., Kurokawa, H., Yurchyshyn, V., Shibata, K., Bao, X. M., Wang, G. P. & Li, C., Evolution of Barb Angle and Filament Eruption, 2005, ApJ, 630, L101

[148] Tanuma, S. & Shibata, K., Internal Shocks in the Magnetic Reconnection Jet in Solar Flares: Multiple Fast Shocks Created by the Secondary Tearing Instability, 2005, ApJ, 628, L77

[149] Kamio, S. & Kurokawa, H., The relation between Ca bright grains and oscillations in the photosphere, 2006, A&A, 450, 351

[150] Kozu, H., Kitai, R., Brooks, D. H., Kurokawa, H., Yoshimura, K. & Berger, T. E., Horizontal and Vertical Flow Structure in Emerging Flux Regions, 2006, PASJ, 58,

407

[151] Magara, T., Dynamic and Topological Features of Photospheric and Coronal Activities Produced by Flux Emergence in the Sun, 2006, ApJ, 653, 1499

[152] Miura, N., Kodama, N., Ohkama, H., Odagiri, H., Baba, N., Kita, H., Kitai, R. et al., Image acquisition and processing using a PC cluster toward real-time solar image improvement, 2006, ICO20: Optical Information Processing, 6027, 1234

[153] Miura, N., Kobayashi, T., Sakuma, S., Kuwamura, S., Baba, N., Hanaoka, Y., Ueno, S. & Kitai, R., Solar Adaptive Optics System Based on Software Control, 2006, Optical Review, 13, 338

[154] Nagashima, K. & Yokoyama, T., Statistical Study of the Reconnection Rate in Solar Flares Observed with Yohkoh SXT, 2006, ApJ, 647, 654

[155] Nagata, S., Bellot Rubio, L. R. & Katsukawa, Y., Dynamical Properties of Photospheric Flux Tubes at the Footpoints of Hot and Cool Coronal Loops, 2006, ApJ, 638, 539

[156] Narukage, N. & Shibata, K., Statistical Analysis of Reconnection Inflows in Solar Flares Observed with SOHO EIT, 2006, ApJ, 637, 1122

[157] Sudo, Y., Baba, N., Miura, N., Ueno, S. & Kitai, R., Application of self-deconvolution method to shift-and-add solar imaging, 2006, ApOpt, 45, 2707

[158] Baba, N., Hanaoka, Y., Ueno, S., Kitai, R., Miura, N., Noto, Y., Kato, S. & Kuwamura, S., Performance of software-based solar adaptive optics system, 2007, Optical Review, 14, 159

[159] Ishitsuka, J. K., Ishitsuka, M., Trigoso, H., Sakurai, T., Nishino, Y., Miyazaki, H., Shibata, K., Ueno, S., Yumoto, K. & Maeda, G., A solar observing station for education and research in Peru, 2007, Bulletin of the Astronomical Society of India, 35, 709

[160] Kitai, R., Watanabe, H., Nakamura, T., Otsuji, K., Matsumoto, T. et al., Umbral Fine Structures in Sunspots Observed with Hinode Solar Optical Telescope, 2007, PASJ, 59, S585

[161] Nagashima, K., Isobe, H., Yokoyama, T., Ishii, T. T., Okamoto, T. J. & Shibata, K., Triggering Mechanism for the Filament Eruption on 2005 September 13 in NOAA Active Region 10808, 2007, ApJ, 668, 533

[162] Otsuji, K., Shibata, K., Kitai, R., Ueno, S., Nagata, S. et al., Small-Scale Magnetic-Flux Emergence Observed with Hinode Solar Optical Telescope, 2007, PASJ, 59, S649

[163] Shibata, K. & Kamide, Y., Basic Study of Space Weather Predictions: A New Project in Japan, 2007, Space Weather, 5, S12006

[164] Shibata, K., Nakamura, T., Matsumoto, T., Otsuji, K., Okamoto, T. J. et al., Chromospheric Anemone Jets as Evidence of Ubiquitous Reconnection, 2007, Science, 318, 1591

[165] Su, J., Liu, Y., Kurokawa, H., Mao, X., Yang, S., Zhang, H. & Wang, H., Observation of Interactions and Eruptions of Two Filaments, 2007, SoPh, 242, 53

[166] Ueno, S., Shibata, K., Kimura, G., Nakatani, Y., Kitai, R. & Nagata, S., CHAIN-project and installation of the flare monitoring telescopes in developing countries, 2007, Bulletin of the Astronomical Society of India, 35, 697

[167] Miura, N., Noto, Y., Kato, S., Kuwamura, S., Baba, N., Hanaoka, Y., Ueno, S. & Kitai, R., Performance of Software-Based Solar Adaptive Optics System, 2007, Opt. Rev., 14, 159

[168] Tanuma, S. & Shibata, K., Oblique Shocks in the Magnetic Reconnection Jet in Solar Flares, 2007, PASJ, 59, L1

[169] Antolin, P., Shibata, K., Kudoh, T., Shiota, D. & Brooks, D., Predicting Observational Signatures of Coronal Heating by Alfvén Waves and Nanoflares, 2008, ApJ, 688, 669

[170] Asai, A., Shibata, K., Hara, H. & Nitta, N. V., Characteristics of Anemone Active Regions Appearing in Coronal Holes Observed with the Yohkoh Soft X-Ray Telescope, 2008, ApJ, 673, 1188

[171] Magara, T. & Shibata, K., Plasma ejections and shock waves in the solar atmosphere, 2008, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 70, 546

[172] Matsumoto, T., Kitai, R., Shibata, K., Otsuji, K., Naruse, T., Shiota, D. & Takasaki, H., Height Dependence of Gas Flows in an Ellerman Bomb, 2008, PASJ, 60, 95

[173] Matsumoto, T., Kitai, R., Shibata, K., Nagata, S., Otsuji, K. et al., Cooperative Observation of Ellerman Bombs between the Solar Optical Telescope aboard Hinode and Hida/Domeless Solar Telescope, 2008, PASJ, 60, 577

[174] Miura, N., Noto, Y., Kato, S., Kuwamura, S., Baba, N., Hanaoka, Y., Nagata, S., Ueno, S., Kitai, R. & Takami, H., Solar adaptive optics system at the Hida Observatory, 2008, Adaptive Optics Systems, 7015, 70156U

[175] Nagata, S., Tsuneta, S., Suematsu, Y., Ichimoto, K., Katsukawa, Y. et al., Formation of Solar Magnetic Flux Tubes with Kilogauss Field Strength Induced by Convective Instability, 2008, ApJ, 677, L145

[176] Narukage, N., Ishii, T. T., Nagata, S., UeNo, S., Kitai, R., Kurokawa, H., Akioka, M. & Shibata, K., Three Successive and Interacting Shock Waves Generated by a Solar Flare, 2008, ApJ, 684, L45

[177] Nishizuka, N., Shimizu, M., Nakamura, T., Otsuji, K., Okamoto, T. J., Katsukawa, Y. & Shibata, K., Giant Chromospheric Anemone Jet Observed with Hinode and Comparison with Magnetohydrodynamic Simulations: Evidence of Propagating Alfvén Waves and Magnetic Reconnection, 2008, ApJ, 683, L83

[178] Ren, D. B., Jiang, Y. C., Yang, J. Y., Zheng, R. S., Bi, Y. & Wang, M., The eruption of a small filament in the quiet Sun, 2008, Ap&SS, 318, 141

[179] Schmieder, B., Bommier, V., Kitai, R., Matsumoto, T., Ishii, T. T., Hagino, M., Li, H. & Golub, L., Magnetic Causes of the Eruption of a Quiescent Filament, 2008, SoPh, 247, 321

[180] Shimizu, M., Nishida, K., Takasaki, H., Shiota, D., Magara, T. & Shibata, K., The

Correlation among the Rise Velocity of a Soft X-Ray Loop, the Ejection Velocity of a Plasmoid, and the Height above the Loop Top of the Hard X-Ray Source in Masuda-Type Flares, and Its Interpretation Based on the Reconnection Model of Flares, 2008, ApJ, 683, L203

[181] Watanabe, H., Kitai, R., Okamoto, K., Nishida, K., Kiyohara, J., Ueno, S., Hagino, M., Ishii, T. T. & Shibata, K., Spectropolarimetric Observation of an Emerging Flux Region: Triggering Mechanisms of Ellerman Bombs, 2008, ApJ, 684, 736

[182] Asai, A., Shibata, K., Ishii, T. T., Oka, M., Kataoka, R. et al., Evolution of the anemone AR NOAA 10798 and the related geo-effective flares and CMEs, 2009, Journal of Geophysical Research (Space Physics), 114, A00A21

[183] Liu, Y., Su, J., Xu, Z., Lin, H., Shibata, K. & Kurokawa, H., New Observation of Failed Filament Eruptions: The Influence of Asymmetric Coronal Background Fields on Solar Eruptions, 2009, ApJ, 696, L70

[184] Miura, N., Noto, Y., Kato, S., Yokoyama, F., Kuwamura, S. et al., Advances in solar adaptive optics system at the domeless solar telescope of the Hida Observatory, 2009, Astronomical and Space Optical Systems, 7439, 74390U

[185] Miura, N., Noto, Y., Kato, S., Yokoyama, F., Kuwamura, S., Baba, N., Hanaoka, Y., Nagata, S., Ueno, S., Kitai, R., Ichimoto, K. & Takami, H., Solar adaptive optics system using an electromagnetic deformable mirror, 2009, Optical Review, 16, 558

[186] Nagata, S., Otsuji, K., Ishii, T., Ichimoto, K., Ueno, S. et al., The tandem Fabry-Perot filter imaging spectro-polarimeter for the Solar Magnetic Activity Research Telescope (SMART), 2009, SPIE, 7438, 74380V

[187] Nishida, K., Shimizu, M., Shiota, D., Takasaki, H., Magara, T. & Shibata, K., Numerical Examination of Plasmoid-Induced Reconnection Model for Solar Flares: The Relation between Plasmoid Velocity and Reconnection Rate, 2009, ApJ, 690, 748

[188] Nishizuka, N., Asai, A., Takasaki, H., Kurokawa, H. & Shibata, K., The Power-Law Distribution of Flare Kernels and Fractal Current Sheets in a Solar Flare, 2009, ApJ, 694, L74

[189] Okamoto, T. J., Tsuneta, S., Lites, B. W., Kubo, M., Yokoyama, T. et al., Prominence Formation Associated with an Emerging Helical Flux Rope, 2009, ApJ, 697, 913

[190] UeNo, S., Shibata, K., Kitai, R., Ichimoto, K., Nagata, S. et al., The CHAIN-Project and Installation of Flare Monitoring Telescopes in Developing Countries, 2009, Data Science Journal, 8, 51

[191] Watanabe, H., Kitai, R. & Ichimoto, K., Characteristic Dependence of Umbral Dots on Their Magnetic Structure, 2009, ApJ, 702, 1048

[192] Watanabe, H., Kitai, R., Ichimoto, K. & Katsukawa, Y., Magnetic Structure of Umbral Dots Observed with the Hinode Solar Optical Telescope, 2009, PASJ, 61, 193

[193] Anan, T., Kitai, R., Kawate, T., Matsumoto, T., Ichimoto, K. et al., Spicule Dy-

namics over a Plage Region, 2010, PASJ, 62, 871
[194] Antolin, P. & Shibata, K., The Role Of Torsional Alfvén Waves in Coronal Heating, 2010, ApJ, 712, 494
[195] Hashimoto, Y., Kitai, R., Ichimoto, K., Ueno, S., Nagata, S. et al., Internal Fine Structure of Ellerman Bombs, 2010, PASJ, 62, 879
[196] Hillier, A., Shibata, K. & Isobe, H., Evolution of the Kippenhahn-Schlüter Prominence Model Magnetic Field under Cowling Resistivity, 2010, PASJ, 62, 1231
[197] Kigure, H., Takahashi, K., Shibata, K., Yokoyama, T. & Nozawa, S., Generation of Alfvén Waves by Magnetic Reconnection, 2010, PASJ, 62, 993
[198] Kitai, R., On the Relation between Surge Activities and a Photospheric Horizontal Velocity Field, 2010, PASJ, 62, 921
[199] Matsumoto, T. & Kitai, R., Temporal Power Spectra of the Horizontal Velocity of the Solar Photosphere, 2010, ApJ, 716, L19
[200] Miura, N., Yokoyama, F., Nefu, M., Kuwamura, S., Baba, N. et al., Optical setup and wavefront sensor for solar adaptive optics at the Domeless Solar Telescope, Hida Observatory, 2010, Adaptive Optics Systems II, 7736, 773654
[201] Morimoto, T., Kurokawa, H., Shibata, K. & Ishii, T. T., Energetic Relations between the Disappearing Solar Filaments and the Associated Flare Arcades, 2010, PASJ, 62, 939
[202] Morita, S., Shibata, K., UeNo, S., Ichimoto, K., Kitai, R. & Otsuji, K., Observations of Chromospheric Anemone Jets with Hinode Ca II Broadband Filtergraph and Hida Ca II Spectroheliograph, 2010, PASJ, 62, 901
[203] Otsuji, K., Kitai, R., Matsumoto, T., Ichimoto, K., Ueno, S., Nagata, S., Isobe, H. & Shibata, K., CaII K Spectral Study of an Emerging Flux Region using the Domeless Solar Telescope in Hida Observatory, 2010, PASJ, 62, 893
[204] Shoji, M., Nishikawa, T., Kitai, R. & Ueno, S., Spectroscopic Studies of Limb Spicules. I Radial and Turbulent Velocities, 2010, PASJ, 62, 927
[205] Warmuth, A., Large-scale waves in the solar corona: The continuing debate, 2010, Advances in Space Research, 45, 527
[206] Watanabe, H., Tritschler, A., Kitai, R. & Ichimoto, K., Temporal Evolution of a Rapidly-Moving Umbral Dot, 2010, SoPh, 266, 5
[207] Hillier, A., Isobe, H., Shibata, K. & Berger, T., Numerical Simulations of the Magnetic Rayleigh-Taylor Instability in the Kippenhahn-Schlüter Prominence Model, 2011, ApJ, 736, L1
[208] Hillier, A., Isobe, H. & Watanabe, H., Observations of Plasma Blob Ejection from a Quiescent Prominence by Hinode Solar Optical Telescope, 2011, PASJ, 63, 19
[209] Kawate, T., Hanaoka, Y., Ichimoto, K. & Miura, N., Seeing measurements using the solar limb - I. Comparison of evaluation methods for the Differential Image Motion Monitor, 2011, MNRAS, 416, 2154
[210] Kawate, T., Asai, A. & Ichimoto, K., Center-to-Limb Variation of Radio Emissions from Thermal-Rich and Thermal-Poor Solar Flares, 2011, PASJ, 63, 1251

[211] Lugaz, N., Downs, C., Shibata, K., Roussev, I. I., Asai, A. & Gombosi, T. I., Numerical Investigation of a Coronal Mass Ejection from an Anemone Active Region: Reconnection and Deflection of the 2005 August 22 Eruption, 2011, ApJ, 738, 127

[212] Otsuji, K., Kitai, R., Ichimoto, K. & Shibata, K., Statistical Study on the Nature of Solar-Flux Emergence, 2011, PASJ, 63, 1047

[213] Shibata, K. & Magara, T., Solar Flares: Magnetohydrodynamic Processes, 2011, Living Reviews in Solar Physics, 8, 6

[214] Singh, K. A. P., Shibata, K., Nishizuka, N. & Isobe, H., Chromospheric anemone jets and magnetic reconnection in partially ionized solar atmosphere, 2011, Physics of Plasmas, 18, 111210

[215] Takeda, Y. & Ueno, S., Iodine-Cell Spectroscopy Applied to Investigating the Solar Differential Rotation, 2011, SoPh, 270, 447

[216] Zhang, Y., Kitai, R., Narukage, N., Matsumoto, T., Ueno, S., Shibata, K. & Wang, J., Propagation of Moreton Waves, 2011, PASJ, 63, 685

[217] Zheng, R., Jiang, Y., Hong, J., Yang, J., Bi, Y., Yang, L. & Yang, D., A Possible Detection of a Fast-mode Extreme Ultraviolet Wave Associated with a Mini Coronal Mass Ejection Observed by the Solar Dynamics Observatory, 2011, ApJ, 739, L39

[218] Watanabe, H., Vissers, G., Kitai, R., Rouppe van der Voort, L. & Rutten, R. J., Ellerman Bombs at High Resolution. I. Morphological Evidence for Photospheric Reconnection, 2011, ApJ, 736, 71

[219] Anan, T., Ichimoto, K., Oi, A., Kimura, G., Nakatani, Y. & Ueno, S., Developments of the wideband spectropolarimeter of the Domeless Solar Telescope at Hida Observatory, 2012, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IV, 8446, 84461C

[220] Asai, A., Ishii, T. T., Isobe, H., Kitai, R., Ichimoto, K. et al., First Simultaneous Observation of an Hα Moreton Wave, EUV Wave, and Filament/Prominence Oscillations, 2012, ApJ, 745, L18

[221] Asai, A., Ichimoto, K., Kita, R., Kurokawa, H. & Shibata, K., A Study on Red Asymmetry of Hα Flare Ribbons Using a Narrowband Filtergram in the 2001 April 10 Solar Flare, 2012, PASJ, 64, 20

[222] Bi, Y., Jiang, Y., Li, H., Hong, J. & Zheng, R., Eruption of a Solar Filament Consisting of Two Threads, 2012, ApJ, 758, 42

[223] Hillier, A., Berger, T., Isobe, H. & Shibata, K., Numerical Simulations of the Magnetic Rayleigh-Taylor Instability in the Kippenhahn-Schlüter Prominence Model. I. Formation of Upflows, 2012, ApJ, 746, 120

[224] Hillier, A., Hillier, R. & Tripathi, D., Determination of Prominence Plasma β from the Dynamics of Rising Plumes, 2012, ApJ, 761, 106

[225] Hillier, A., Isobe, H., Shibata, K. & Berger, T., Numerical Simulations of the Magnetic Rayleigh-Taylor Instability in the Kippenhahn-Schlüter Prominence Model. II. Reconnection-triggered Downflows, 2012, ApJ, 756, 110

[226] Kawate, T., Nishizuka, N., Oi, A., Ohyama, M. & Nakajima, H., Hard X-Ray and

Microwave Emissions from Solar Flares with Hard Spectral Indices, 2012, ApJ, 747, 131
[227] Matsui, Y., Yokoyama, T., Kitagawa, N. & Imada, S., Multi-wavelength Spectroscopic Observation of Extreme-ultraviolet Jet in AR 10960, 2012, ApJ, 759, 15
[228] Miura, N., Miyazaki, J., Kuwamura, S., Baba, N., Hanaoka, Y. et al., Solar adaptive optics at the Hida Observatory: latest achievements of current system and design of new system, 2012, Adaptive Optics Systems III, 8447, 84474D
[229] Nakamura, N., Shibata, K. & Isobe, H., Numerical Simulation of Three-dimensional Asymmetric Reconnection and Application to a Physical Mechanism of Penumbral Microjets, 2012, ApJ, 761, 87
[230] Singh, K. A. P., Isobe, H., Nishizuka, N., Nishida, K. & Shibata, K., Multiple Plasma Ejections and Intermittent Nature of Magnetic Reconnection in Solar Chromospheric Anemone Jets, 2012, ApJ, 759, 33
[231] Singh, K. A. P., Isobe, H., Nishida, K. & Shibata, K., Systematic Motion of Fine-scale Jets and Successive Reconnection in Solar Chromospheric Anemone Jet Observed with the Solar Optical Telescope/Hinode, 2012, ApJ, 760, 28
[232] Takasao, S., Asai, A., Isobe, H. & Shibata, K., Simultaneous Observation of Reconnection Inflow and Outflow Associated with the 2010 August 18 Solar Flare, 2012, ApJ, 745, L6
[233] Takeda, Y. & Ueno, S., Detection of Gravitational Redshift on the Solar Disk by Using Iodine-Cell Technique, 2012, SoPh, 281, 551
[234] Takizawa, K., Kitai, R. & Zhang, Y., Prominent Photospheric Downflows on Magnetic Neutral Line in a Delta-Type Sunspot, 2012, SoPh, 281, 599
[235] Toriumi, S., Hayashi, K. & Yokoyama, T., Detection of the Horizontal Divergent Flow Prior to the Solar Flux Emergence, 2012, ApJ, 751, 154
[236] Yang, J., Jiang, Y., Yang, B., Hong, J., Yang, D., Bi, Y., Zheng, R. & Li, H., A blowout surge from the eruption of a miniature filament confined by large coronal loops, 2012, NewA, 17, 732
[237] Yang, J., Jiang, Y., Zheng, R., Bi, Y., Hong, J. & Yang, B., Sympathetic Filament Eruptions from a Bipolar Helmet Streamer in the Sun, 2012, ApJ, 745, 9
[238] Zhang, P., Fang, C. & Zhang, Q., H α counterparts of X-ray bright points in the solar atmosphere, 2012, Science China Physics, Mechanics, and Astronomy, 55, 907
[239] Watanabe, H., Bellot Rubio, L. R., de la Cruz Rodríguez, J. & Rouppe van der Voort, L., Temporal Evolution of Velocity and Magnetic Field in and around Umbral Dots, 2012, ApJ, 757, 49
[240] Asai, A., Kiyohara, J., Takasaki, H., Narukage, N., Yokoyama, T. et al., Temporal and Spatial Analyses of Spectral Indices of Nonthermal Emissions Derived from Hard X-Rays and Microwaves, 2013, ApJ, 763, 87
[241] Hillier, A. & van Ballegooijen, A., On the Support of Solar Prominence Material by the Dips of a Coronal Flux Tube, 2013, ApJ, 766, 126
[242] Hillier, A., Morton, R. J. & Erdélyi, R., A Statistical Study of Transverse Oscilla-

tions in a Quiescent Prominence, 2013, ApJ, 779, L16
[243] Ishii, T. T., Kawate, T., Nakatani, Y., Morita, S., Ichimoto, K. & Masuda, S., High-Speed Imaging System for Solar-Flare Research at Hida Observatory, 2013, PASJ, 65, 39
[244] Kawate, T. & Imada, S., The Relationship between Extreme Ultraviolet Nonthermal Line Broadening and High-energy Particles during Solar Flares, 2013, ApJ, 775, 122
[245] Miura, N., Oh-ishi, A., Shionoya, S., Watanabe, K., Kuwamura, S., Baba, N., Ueno, S. & Ichimoto, K., Solar scintillation detection and ranging (SCIDAR) technique for measuring turbulent-layer heights, 2013, MNRAS, 434, 1205
[246] Nishida, K., Nishizuka, N. & Shibata, K., The Role of a Flux Rope Ejection in a Three-dimensional Magnetohydrodynamic Simulation of a Solar Flare, 2013, ApJ, 775, L39
[247] Takasao, S., Isobe, H. & Shibata, K., Numerical Simulations of Solar Chromospheric Jets Associated with Emerging Flux, 2013, PASJ, 65, 62
[248] Zhang, Y. & Ichimoto, K., Properties of sunspot penumbral grains observed with Hinode, 2013, A&A, 560, A77
[249] Anan, T., Casini, R. & Ichimoto, K., Diagnosis of Magnetic and Electric Fields of Chromospheric Jets through Spectropolarimetric Observations of H I Paschen Lines, 2014, ApJ, 786, 94
[250] Dorotovic, I., Shahamatnia, E., Lorenc, M., Rybansky, M., Ribeiro, R. A. & Fonseca, J. M., Sunspots and Coronal Bright Points Tracking using a Hybrid Algorithm of PSO and Active Contour Model, 2014, Sun and Geosphere, 9, 81
[251] Hagino, M., Ichimoto, K., Kimura, G., Nakatani, Y., Kawate, T., Shinoda, K., Suematsu, Y., Hara, H. & Shimizu, T., Development of a universal tunable filter for future solar observations, 2014, Advances in Optical and Mechanical Technologies for Telescopes and Instrumentation, 9151, 91515V
[252] Ishitsuka, J., Asai, A., Morita, S., Terrazas, R., Cabezas, D. et al., Within the International Collaboration CHAIN: a Summary of Events Observed with Flare Monitoring Telescope (FMT) in Peru, 2014, Sun and Geosphere, 9, 85
[253] Miura, N., Oh-ishi, A., Aoki, S., Mogaki, H., Kuwamura, S. et al., Development of a new solar adaptive optics system at the Hida Observatory, 2014, Adaptive Optics Systems IV, 9148, 914831
[254] Nagata, S., Morita, S., Ichimoto, K., Nishida, K., Nakatani, Y. et al., The Tandem Etalon Magnetograph of the Solar Magnetic Activity Research Telescope (SMART) at Hida Observatory, 2014, PASJ, 66, 45
[255] Shen, Y., Ichimoto, K., Ishii, T. T., Tian, Z., Zhao, R. & Shibata, K., A Chain of Winking (Oscillating) Filaments Triggered by an Invisible Extreme-ultraviolet Wave, 2014, ApJ, 786, 151
[256] Shen, Y., Liu, Y. D., Chen, P. F. & Ichimoto, K., Simultaneous Transverse Oscillations of a Prominence and a Filament and Longitudinal Oscillation of Another

Filament Induced by a Single Shock Wave, 2014, ApJ, 795, 130
[257] Takeda, Y. & UeNo, S., Empirical investigation on the impact of hydrogen collisions for the formation of C I 1.07 μm lines based on the solar center-to-limb variation^{y}, 2014, PASJ, 66, 32
[258] Ueno, S., Shibata, K., Morita, S., Kimura, G., Asai, A. et al., International Collaboration and Academic Exchange of the CHAIN Project in this Three Years (Period), 2014, Sun and Geosphere, 9, 97
[259] Su, Y., Gömöry, P., Veronig, A., Temmer, M., Wang, T., Vanninathan, K., Gan, W. & Li, Y., Solar Magnetized Tornadoes: Rotational Motion in a Tornado-like Prominence, 2014, ApJ, 785, L2
[260] Watanabe, H., Kitai, R. & Otsuji, K., Formation and Decay of Rudimentary Penumbra around a Pore, 2014, ApJ, 796, 77
[261] Miura, N., Oh-ishi, A., Kuwamura, S., Baba, N., Ueno, S. et al., Solar image improvement based on deconvolution using additional wavefront sensor,, 2015, Imaging and Applied Optics, , JT5A29
[262] Shaltout, A. M. K. & Ichimoto, K., Coupling of the magnetic field and gas flows inferred from the net circular polarization in a sunspot penumbra, 2015, PASJ, 67, 27
[263] Takahashi, T., Asai, A. & Shibata, K., Prominence Activation By Coronal Fast Mode Shock, 2015, ApJ, 801, 37
[264] Takasao, S., Matsumoto, T., Nakamura, N. & Shibata, K., Magnetohydrodynamic Shocks in and above Post-flare Loops: Two-dimensional Simulation and a Simplified Model, 2015, ApJ, 805, 135
[265] Takasao, S., Fan, Y., Cheung, M. C. M. & Shibata, K., Numerical Study on the Emergence of Kinked Flux Tube for Understanding of Possible Origin of δ-spot Regions, 2015, ApJ, 813, 112
[266] Levens, P. J., Labrosse, N., Fletcher, L. & Schmieder, B., A solar tornado observed by EIS. Plasma diagnostics, 2015, A&A, 582, A27
[267] Yang, B., Jiang, Y., Yang, J., Hong, J. & Xu, Z., The Formation and Eruption of a Small Circular Filament Driven by Rotating Magnetic Structures in the Quiet Sun, 2015, ApJ, 803, 86
[268] Kawate, T., Ishii, T. T., Nakatani, Y., Ichimoto, K., Asai, A., Morita, S. & Masuda, S., Temporal Evolution and Spatial Distribution of White-light Flare Kernels in a Solar Flare, 2016, ApJ, 833, 50
[269] Mulay, S. M., Tripathi, D., Del Zanna, G. & Mason, H., Multiwavelength study of 20 jets that emanate from the periphery of active regions, 2016, A&A, 589, A79
[270] Miura, N., Oh-ishi, A., Kuwamura, S., Baba, N., Ueno, S., Nakatani, Y. & Ichimoto, K., Deconvolution of partially compensated solar images from additional wavefront sensing, 2016, ApOpt, 55, 2484
[271] Miura, N., Oh-ishi, A., Kuwamura, S., Baba, N., Hanaoka, Y., Ueno, S., Nakatani, Y. & Ichimoto, K., Status of Hida solar adaptive optics system and experiment of

tomographic wavefront sensing, 2016, SPIE, 9909, 99092N
[272] Okamoto, T. J., Liu, W. & Tsuneta, S., Helical Motions of Fine-structure Prominence Threads Observed by Hinode and IRIS, 2016, ApJ, 831, 126
[273] Takahashi, T., Mizuno, Y. & Shibata, K., Scaling Relations in Coronal Mass Ejections and Energetic Proton Events Associated with Solar Superflares, 2016, ApJ, 833, L8
[274] Takasao, S. & Shibata, K., Above-the-loop-top Oscillation and Quasi-periodic Coronal Wave Generation in Solar Flares, 2016, ApJ, 823, 150
[275] Yang, J.-Y., Jiang, Y.-C., Yang, B., Hong, J.-C. & Xu, Z., Coupling of small- and large-scale filament eruptions, 2016, Research in Astronomy and Astrophysics, 16, 3
[276] Anan, T., Ichimoto, K. & Hillier, A., Differences between Doppler velocities of ions and neutral atoms in a solar prominence, 2017, A&A, 601, A103
[277] Ichimoto, K., Ishii, T. T., Otsuji, K., Kimura, G., Nakatani, Y. et al., A New Solar Imaging System for Observing High-Speed Eruptions: Solar Dynamics Doppler Imager (SDDI), 2017, SoPh, 292, 63
[278] Namekata, K., Sakaue, T., Watanabe, K., Asai, A., Maehara, H. et al., Statistical Studies of Solar White-light Flares and Comparisons with Superflares on Solar-type Stars, 2017, ApJ, 851, 91
[279] Nitta, N. V. & Mulligan, T., Earth-Affecting Coronal Mass Ejections Without Obvious Low Coronal Signatures, 2017, SoPh, 292, 125
[280] Sakaue, T., Tei, A., Asai, A., Ueno, S., Ichimoto, K. & Shibata, K., Observational study on the fine structure and dynamics of a solar jet. I. Energy build-up process around a satellite spot, 2017, PASJ, 69, 80
[281] Seki, D., Otsuji, K., Isobe, H., Ishii, T. T., Sakaue, T. & Hirose, K., Increase in the Amplitude of Line-of-sight Velocities of the Small-scale Motions in a Solar Filament before Eruption, 2017, ApJ, 843, L24
[282] Takahashi, T. & Shibata, K., Sheath-accumulating Propagation of Interplanetary Coronal Mass Ejection, 2017, ApJ, 837, L17
[283] Takahashi, T., Qiu, J. & Shibata, K., Quasi-periodic Oscillations in Flares and Coronal Mass Ejections Associated with Magnetic Reconnection, 2017, ApJ, 848, 102

恒星物理学論文[2](基準1+2)

[1] Nogami, D., Engels, D., Gänsicke, B. T., Pavlenko, E. P., Novák, R. & Reinsch, K., A newly discovered SU UMa-type dwarf nova, HS 1449+6415, 2000, A&A, 364, 701
[2] Nogami, D., Kato, T., Baba, H., Novák, R., Lockley, J. J. & Somers, M., A normal and superoutburst study of the eclipsing SU UMa star: DV Ursae Majoris, 2001, MNRAS, 322, 79

[2]Accretion Disk, Black Hole, 宇宙ジェットを含む.

[3] Nogami, D., Kunjaya, C., Kato, T. & Masuda, S., A Deep Dip during an Outburst in the Old Nova, Q Cygni, 2001, Information Bulletin on Variable Stars, 5139, 1

[4] Nogami, D., Buczynski, D., Baba, H. & Kato, T., The SU UMa Nature of V630 Cygni, 2001, Information Bulletin on Variable Stars, 5157, 1

[5] Liu, B. F., Mineshige, S. & Shibata, K., A Simple Model for a Magnetic Reconnection-heated Corona, 2002, ApJ, 572, L173

[6] Nogami, D., Kato, T. & Baba, H., Time-Resolved Photometry of GK Persei during the 1996 Outburst, 2002, PASJ , 54, 987

[7] Brooks, D. H. & Costa, V. M., Spectroscopic diagnostics of UV power and accretion in T Tauri stars, 2003, MNRAS, 339, 467

[8] Isobe, H., Shibata, K., Yokoyama, T. & Imanishi, K., Hydrodynamic Modeling of a Flare Loop Connecting the Accretion Disk and Central Core of Young Stellar Objects, 2003, PASJ, 55, 967

[9] Kato, T., Uemura, M., Kiyota, S., Tanabe, K., Koizumi, M. et al., Eclipsing Dwarf Nova CW Monocerotis: Dwarf Nova-Type Outburst in a Possible Intermediate Polar?, 2003, PASJ, 55, 489

[10] Nogami, D., Baba, H., Matsumoto, K. & Kato, T., The SU UMa Nature of the Dwarf Nova, DM Lyrae, 2003, PASJ, 55, 483

[11] Nogami, D., Uemura, M., Ishioka, R., Kato, T., Torii, K. et al., In-the-gap SU UMa-type dwarf nova, Var73 Dra with a supercycle of about 60 days, 2003, A&A, 404, 1067

[12] Nogami, D., Ishioka, R., Makita, M., Kato, T., Yamaoka, H., Uemura, M. & Mineshige, S., On the nature of the suspected dwarf nova, HP Andromedae, 2003, Information Bulletin on Variable Stars, 5416, 1

[13] Uemura, M., Kato, T., Ishioka, R., Yamaoka, H., Monard, B., Nogami, D., Maehara, H., Sugie, A. & Takahashi, S., Structure in the early afterglow light curve of the γ-ray burst of 29 March 2003, 2003, Nature, 423, 843

[14] Aoki, S. I., Koide, S., Kudoh, T., Nakayama, K. & Shibata, K., Quasi-periodic Inward Shock Formations in the System of a Black Hole and an Accretion Disk and Application to Quasi-periodic Oscillations in Galactic Black Hole Candidates, 2004, ApJ, 610, 897

[15] Kigure, H., Uchida, Y., Nakamura, M., Hirose, S. & Cameron, R., Distribution of Faraday Rotation Measure in Jets from Active Galactic Nuclei. II. Prediction from Our Sweeping Magnetic Twist Model for the Wiggled Parts of Active Galactic Nucleus Jets and Tails, 2004, ApJ, 608, 119

[16] Mizuno, Y., Yamada, S., Koide, S. & Shibata, K., General Relativistic Magnetohydrodynamic Simulations of Collapsars: Rotating Black Hole Cases, 2004, ApJ, 615, 389

[17] Mizuno, Y., Yamada, S., Koide, S. & Shibata, K., General Relativistic Magnetohydrodynamic Simulations of Collapsars, 2004, ApJ, 606, 395

[18] Nogami, D., Monard, B., Retter, A., Liu, A., Uemura, M., Ishioka, R., Imada, A.

& Kato, T., The Peculiar 2004 Superoutburst in the Helium Dwarf Nova, 2003aw, 2004, PASJ, 56, L39

[19] Nogami, D., Uemura, M., Ishioka, R., Iwamatsu, H., Kato, T. et al., A New SU UMa-Type Dwarf Nova, QW Serpentis (= TmzV46), 2004, PASJ, 56, S99

[20] Nogami, D., Uemura, M., Ishioka, R., Kato, T. & Pietz, J., Photometric Observations of an SU UMa-type Dwarf Nova, VW Coronae Borealis, during Outbursts, 2004, PASJ, 56, S155

[21] Nogami, D. & Iijima, T., Dramatic Spectral Evolution of WZ Sagittae during the 2001 Superoutburst, 2004, PASJ, 56, S163

[22] Uemura, M., Kato, T., Ishioka, R., Yamaoka, H., Monard, B., Nogami, D., Maehara, H., Sugie, A. & Takahashi, S., Optical Variability of the Afterglow of GRB 030329, 2004, PASJ, 56, S77

[23] Uemura, M., Kato, T., Ishioka, R., Bolt, G., Cook, L. M. et al., A Deeply Eclipsing SU UMa-Type Dwarf Nova with the Shortest Orbital Period, XZ Eridani, 2004, PASJ, 56, S141

[24] Uemura, M., Kato, T., Ishioka, R., Imada, A., Nogami, D. et al., Optical Observation of the 2003 Outburst of a Black Hole X-Ray Binary, V4641 Sagittarii, 2004, PASJ, 56, 823

[25] Imada, A., Kato, T., Uemura, M., Ishioka, R., Krajci, T. et al., The 2003 Superoutburst of an SU UMa-Type Dwarf Nova, GO Comae Berenicis, 2005, PASJ, 57, 193

[26] Kigure, H. & Shibata, K., Three-dimensional Magnetohydrodynamic Simulations of Jets from Accretion Disks, 2005, ApJ, 634, 879

[27] Rodríguez-Gil, P., Gänsicke, B. T., Hagen, H.-J., Nogami, D., Torres, M. A. P., Lehto, H., Aungwerojwit, A., Littlefair, S., Araujo-Betancor, S. & Engels, D., HS 0943+1404, a true intermediate polar, 2005, A&A, 440, 701

[28] Uemura, M., Mennickent, R. E., Ishioka, R., Imada, A., Kato, T. et al., TV Corvi revisited: Precursor and superhump period derivative linked to the disk instability model, 2005, A&A, 432, 261

[29] Uemura, M., Mennickent, R., Stubbings, R., Bolt, G., Monard, B. et al., Outburst of a Black Hole X-ray Binary V4641 Sgr in 2004 July, 2005,Information Bulletin on Variable Stars, 5626,1

[30] Imada, A., Kato, T., Kubota, K., Uemura, M., Ishioka, R. et al., The 2003/2004 Superoutburst of SDSS J013701.06-091234.9, 2006, PASJ, 58, 143

[31] Imada, A., Kubota, K., Kato, T., Nogami, D., Maehara, H. et al., Discovery of a New Dwarf Nova, TSS J022216.4+412259.9: WZ Sge-Type Dwarf Nova Breaking the Shortest Superhump Period Record, 2006, PASJ, 58, L23

[32] Imada, A., Kato, T., Monard, L. A. G., Retter, A., Liu, A. & Nogami, D., The 2005 July Superoutburst of the Dwarf Nova 2QZ J021927.9-304545: the SU UMa Nature Confirmed, 2006, PASJ, 58, 383

[33] Masada, Y., Kawanaka, N., Sano, T. & Shibata, K., Dead Zone Formation and

Nonsteady Hyperaccretion in Collapsar Disks: A Possible Origin of Short-Term Variability in the Prompt Emission of Gamma-Ray Bursts, 2007, ApJ, 663, 437

[34] Ibrahim, A. & Shibata, K., Long-Time Simulations of Astrophysical Jets: Energy Structure and Quasi-Periodic Ejection, 2008, PASJ, 60, 871

[35] Imada, A., Kato, T., Monard, L. A. G. B., Stubbings, R., Uemura, M., Ishioka, R. & Nogami, D., Photometric Studies of New Southern SUUMa-Type Dwarf Novae, FL Trianguli Australis and CTCV J0549–4921, 2008, PASJ, 60, 267

[36] Imada, A., Stubbings, R., Kato, T., Uemura, M., Krajci, T. et al., The 2006 November Outburst of EG Aquarii: the SU UMa Nature Revealed, 2008, PASJ, 60, 1151

[37] Hiroi, K., Moritani, Y., Nogami, D., Imada, A., Hashimoto, O. et al., Spectroscopic Observations of the WZ Sge-Type Dwarf Nova GW Librae during its 2007 Superoutburst, 2009, PASJ, 61, 697

[38] Kato, T., Imada, A., Uemura, M., Nogami, D., Maehara, H. et al., Survey of Period Variations of Superhumps in SU UMa-Type Dwarf Novae, 2009, PASJ, 61, 395

[39] Soejima, Y., Imada, A., Nogami, D., Kato, T. & Monard, B., Photometric Studies of a WZ Sge-Type Dwarf Nova Candidate, ASAS 160048-4846.2, 2009, PASJ, 61, 395

[40] Soejima, Y., Nogami, D., Kato, T., Uemura, M., Imada, A. et al., Photometry of Three Superoutbursts of the SU UMa-Type Dwarf Nova, SW Ursae Majoris, 2009, PASJ, 61, 659

[41] Kato, T., Maehara, H., Uemura, M., Henden, A., de Miguel, E. et al., Survey of Period Variations of Superhumps in SU UMa-Type Dwarf Novae. II The Second Year (2009-2010), 2010, PASJ, 62, 1525

[42] Moritani, Y., Nogami, D., Okazaki, A. T., Imada, A., Kambe, E. et al., High-dispersion spectroscopic monitoring of the Be/X-ray binary A0535+26/V725 Tau - I. The long-term profile variability, 2010, MNRAS, 405, 467

[43] Honda, S., Aoki, W., Beers, T. C. & Takada-Hidai, M., Spectroscopic Studies of Extremely Metal-poor Stars with the Subaru High Dispersion Spectrograph. V. The Zn-enhanced Metal-poor Star BS 16920-017, 2011, ApJ, 730, 77

[44] Honda, S., Aoki, W., Arimoto, N. & Sadakane, K., Enrichment of Heavy Elements in the Red Giant S 15-19 in the Sextans Dwarf Spheroidal Galaxy, 2011, PASJ, 63, 523

[45] Matsumoto, J., Masada, Y., Asano, E. & Shibata, K., Special Relativistic Magnetohydrodynamic Simulation of a Two-component Outflow Powered by Magnetic Explosion on Compact Stars, 2011, ApJ, 733, 18

[46] Moritani, Y., Nogami, D., Okazaki, A. T., Imada, A., Kambe, E. et al., Drastic Spectroscopic Variability of the Be/X-Ray Binary Ariel 0535+262/V725 Tau during and after the 2009 Giant Outburst, 2011, PASJ, 63, 25

[47] Tanaka, J., Nogami, D., Fujii, M., Ayani, K., Kato, T., Maehara, H., Kiyota, S. & Nakajima, K., Spectral Evolution of the Unusual Slow Nova V5558 Sagittarii, 2011, Publications of the Astronomical Society of Japan, 63, 911

[48] Tanaka, J., Nogami, D., Fujii, M., Ayani, K. & Kato, T., On the Rebrightenings of Classical Novae during the Early Phase, 2011, Publications of the Astronomical Society of Japan, 63, 159

[49] Maehara, H., Shibayama, T., Notsu, S., Notsu, Y., Nagao, T., Kusaba, S., Honda, S., Nogami, D. & Shibata, K., Superflares on solar-type stars, 2012, Nature, 485, 478

[50] Matsumoto, J., Masada, Y. & Shibata, K., Effect of Interacting Rarefaction Waves on Relativistically Hot Jets, 2012, ApJ, 751, 140

[51] Moritani, Y., Nogami, D., Okazaki, A. T., Imada, A., Kambe, E. et al., Precessing Warped Be Disk Triggering the Giant Outbursts in 2009 and 2011 in A0535+262/V725Tau, 2013, PASJ, 65, 83

[52] Nakata, C., Ohshima, T., Kato, T., Nogami, D., Masi, G. et al., WZ Sge-Type Dwarf Novae with Multiple Rebrightenings: MASTER OT J211258.65+242145.4 and MASTER OT J203749.39+552210.3, 2013, PASJ, 65, 117

[53] Notsu, Y., Shibayama, T., Maehara, H., Notsu, S., Nagao, T. et al., Superflares on Solar-type Stars Observed with Kepler II. Photometric Variability of Superflare-generating Stars: A Signature of Stellar Rotation and Starspots, 2013, ApJ, 771, 127

[54] Notsu, S., Honda, S., Notsu, Y., Nagao, T., Shibayama, T. et al., High-Dispersion Spectroscopy of the Superflare Star KIC 6934317, 2013, PASJ, 65, 112

[55] Shibayama, T., Maehara, H., Notsu, S., Notsu, Y., Nagao, T. et al., Superflares on Solar-type Stars Observed with Kepler. I. Statistical Properties of Superflares, 2013, The Astrophysical Journal Supplement Series, 209, 5

[56] Nogami, D., Notsu, Y., Honda, S., Maehara, H., Notsu, S. et al., Two sun-like superflare stars rotating as slow as the Sun*, 2014, PASJ, 66, L4

[57] Nakata, C., Kato, T., Nogami, D., Pavlenko, E. P., Ohshima, T. et al., J075418.7+381225 and OT J230425.8+062546: Promising candidates for the period bouncer, 2014, PASJ, 66, 116

[58] Notsu, Y., Honda, S., Maehara, H., Notsu, S., Shibayama, T., Nogami, D. & Shibata, K., High dispersion spectroscopy of solar-type superflare stars. I. Temperature, surface gravity, metallicity, and vsin i, 2015, PASJ, 67, 32

[59] Notsu, Y., Honda, S., Maehara, H., Notsu, S., Shibayama, T., Nogami, D. & Shibata, K. High dispersion spectroscopy of solar-type superflare stars. II. Stellar rotation, starspots, and chromospheric activities 2015, PASJ, 67, 33

[60] Notsu, Y., Honda, S., Maehara, H., Notsu, S., Namekata, K., Nogami, D. & Shibata, K., Spectroscopic observations of active solar-analog stars with high X-ray luminosity, as a proxy of superflare stars, 2017, PASJ, 69, 12

太陽・恒星物理学論文 (基準1+2)

[1] Shibata, K. & Yokoyama, T., Origin of the Universal Correlation between the Flare Temperature and the Emission Measure for Solar and Stellar Flares, 1999, ApJ, 526, L49

[2] Shibata, K. & Yokoyama, T., A Hertzsprung-Russell-like Diagram for Solar/Stellar Flares and Corona: Emission Measure versus Temperature Diagram, 2002, ApJ, 577, 422

[3] Shibata, K., Isobe, H., Hillier, A., Choudhuri, A. R., Maehara, H., Ishii, T. T., Shibayama, T., Notsu, S., Notsu, Y., Nagao, T., Honda, S. & Nogami, D., Can Superflares Occur on Our Sun?, 2013, PASJ, 65, 49

[4] Namekata, K., Sakaue, T., Watanabe, K., Asai, A. & Shibata, K., Validation of a scaling law for the coronal magnetic field strength and loop length of solar and stellar flares, 2017, PASJ, 69, 7

その他 (基準1+2)

[1] Asano, Y., Mukai, T., Hoshino, M., Saito, Y., Hayakawa, H. & Nagai, T., Evolution of the thin current sheet in a substorm observed by Geotail, 2003, Journal of Geophysical Research (Space Physics), 108, 1189

[2] Tanuma, S., Yokoyama, T., Kudoh, T. & Shibata, K., Magnetic Reconnection Triggered by the Parker Instability in the Galaxy: Two-dimensional Numerical Magnetohydrodynamic Simulations and Application to the Origin of X-Ray Gas in the Galactic Halo, 2003 ApJ, 582, 215

[3] Takeshige, S., Takasao, S. & Shibata, K., A Theoretical Model of a Thinning Current Sheet in the Low-β Plasmas, 2015, ApJ, 807, 159

[4] Kawamura, A. D., Hayakawa, H., Tamazawa, H., Miyahara, H. & Isobe, H., Aurora candidates from the chronicle of Qíng dynasty in several degrees of relevance, 2016, PASJ, 68, 79

[5] Tamazawa, H., Kawamura, A. D., Hayakawa, H., Tsukamoto, A., Isobe, H. & Ebihara, Y., Records of sunspot and aurora activity during 581-959 CE in Chinese official histories concerning the periods of Suí, Táng, and the Five Dynasties and Ten Kingdoms, 2017, PASJ, 69, 22

被引用回数上位 25 論文[3](基準 1)

順位	著者, タイトル	年	雑誌名	被引用回数
1	Ichimoto, K. & Kurokawa, H. Hα Red Asymmetry of Solar Flares	1984	SoPh,93,105	152
2	Warmuth, A. et al. A multiwavelength study of solar flare waves. I. Observations and basic properties	2004	A&A,418,1101	121
3	Eto, S. et al. Relation between a Moreton Wave and an EIT Wave Observed on 1997 November 4	2002	PASJ,54,481	100
4	Hanaoka, Y. et al. Simultaneous Observations of a Prominence Eruption Followed by a Coronal Arcade Formation in Radio, Soft X-Rays, and Hα	1994	PASJ,46,205	89
5	Narukage, N. et al. Simultaneous Observation of a Moreton Wave on 1997 November 3 in Hα and Soft X-Rays	2002	ApJ,572,L109	83
6	Okamoto, T. J. et al. Filament Oscillations and Moreton Waves Associated with EIT Waves	2004	ApJ,608,1124	82
8	Liu, Y. & Kurokawa, H. On a Surge: Properties of an Emerging Flux Region	2004	ApJ,610,1136	68
9	Kurokawa, H. Two distinct morphological types of magnetic shear development and their relation to flares	1987	SoPh,113,259	68
10	Asai, A. et al. First Simultaneous Observation of an Hα Moreton Wave, EUV Wave, and Filament/Prominence Oscillations	2012	ApJ,745,L18	67

[3]被引用回数の調査は, 2018 年 10 月 30 日に実施した.

順位	著者, タイトル	年	雑誌名	被引用回数
11	Asai, A., Ishii, T. T. & Kurokawa, H. Plasma Ejections from a Light Bridge in a Sunspot Umbra	2001	ApJ,555,L65	67
12	Kitai, R. On the mass motions and the atmospheric states of moustaches.	1983	SoPh, 87, 135	67
13	Warmuth, A. Large-scale waves in the solar corona: The continuing debate	2010	ASR,45 527	65
14	Kurokawa, H., Kawaguchi, I., Funakoshi, Y. & Nakai, Y. Morphological and Evolutional Features of Ellerman Bombs	1982	SoPh,79,77	63
15	Ishii, T. T., Kurokawa, H. & Takeuchi, T. T. Emergence of a Twisted Magnetic Flux Bundle as a Source of Strong Flare Activity	1998	ApJ,499,898	59
16	Kurokawa, H., Hanaoka, Y., Shibata, K. & Uchida, Y. Rotating eruption of an untwisting filament triggered by the 3B flare of 25 April, 1984	1987	SoPh,108,251	57
17	Uemura, M. et al. Structure in the early afterglow light curve of the γ-ray burst of 29 March 2003	2003	Nature,423,843	54
18	Okamoto, T. J. et al. Prominence Formation Associated with an Emerging Helical Flux Rope	2009	ApJ,697,913	51
19	Watanabe, H. et al. Spectropolarimetric Observation of an Emerging Flux Region: Triggering Mechanisms of Ellerman Bombs	2008	ApJ,684,736	51
20	Tsubaki, T. & Takeuchi, A. Periodic Oscillations Found in the Velocity Field of a Quiescent Prominence	1986	SoPh,104,313	48
21	Kurokawa, H., Wang, T. & Ishii, T. T. Emergence and Drastic Breakdown of a Twisted Flux Rope to Trigger Strong Solar Flares in NOAA Active Region 9026	2002	ApJ,572,598	46

順位	著者, タイトル	年	雑誌名	被引用回数
22	Kurokawa, H. High-Resolution Observations of Hα Flare Regions	1989	SSRv,51,49	46
23	Schmieder, B. et al. Magnetic Causes of the Eruption of a Quiescent Filament	2008	SoPh,247,321	38
24	Li, H., Sakurai, T., Ichimoto, K. & UeNo, S. Magnetic Field Evolution Leading to Solar Flares I. Cases with Low Magnetic Shear and Flux Emergence	2000	PASJ,52,465	38
25	McAllister, A. H., Kurokawa, H., Shibata, K. & Nitta, N. A Filament Eruption and Accompanying Coronal Field Changes on November 5, 1992	1996	SoPh,169,123	36

修士論文

授与年	氏名	論文題目
1957	中井 善寛	天体光電測光法
1959	久保田 諄	成長曲線の方法に就いて
1962	椿 都生夫	On the Limb darkening of the Solar Surface – in the Continuous Emission –
1963	野村 勉	太陽紅炎における温度と密度の決定について
1964	赤羽 徳英	月面の微細構造
1965	為永 辰郎	花山天文台太陽館におけるプロミネンススペクトルの観測
1966	鳴海 泰典	Seasonal Distributions of Surface Temperature and Vertical Temperature Profile on Mars
1967	渡辺 堯	HII 領域の電波観測
1967	岩崎 恭輔	(1)The Atomosphere of Venus (2)A Nongray Greenhouse Model and Microwave Absorption in the Atomosphere of Venus
1967	大木健一郎	The Acceleration Mechanism of Charged Particles in Solar Flares
1967	黒河 宏企	1962 年ニューギニア・ラエにおけるフラッシュ・スペクトルの整理
1967	船越 康宏	太陽黒点暗部における乱流速度
1968	小田 進幸	The Review of Convection Problem in the Stars
1969	吉川 一雄	On the Spectra of Surge Prominence
1969	斉藤 良一	On the Thermal History of the Moon and Earth
1970	前田 耕一郎	太陽フレアの発生機構
1971	暮泉 武	Umbral Dot
1973	北井 礼三郎	Loop Prominence
1978	西川 宝	太陽 LIMB 付近での EUV 輝線輻射の Obscuration
1979	柴田 一成	Two Dimensional Numerical Simulation of Rising Magnetic Flux Tubes in the Solar Atmosphere
1979	浅田 正	1977–1978 年の北温帯縞北組織暗部について
1980	二階堂 義信	静穏型紅円炎中に於ける NaID 輝線
1981	末松 芳法	彩層微細構造中の運動について　-スピキュール-
1983	一本 潔	太陽フレアに於ける Hα 輝線の red asymmetry
1984	北原 達正	Solar Flare における Hα Kernel の微細構造
1984	當村 一朗	The Spatial Distribution of EUV Weakening in Solar Prominances
1984	金 甲星	The Structure of a Solar Prominence

授与年	氏名	論文題目
1985	花岡 庸一郎	1980 年 2 月 16 日の皆既日食で見られた Sporadic Coronal Condesation
1987	竹内 彰継	静止型 Prominence の速度場で検出された振動現象と Trapped Fast Wave について
1987	川上 新吾	太陽活動領域の磁場構造について
1988	秋岡 真樹	第 21 太陽活動周期における黒点活動
1989	Bachtiar Anwar	Sunspot and Stray Light Observations During the 1987 September 23 Partial Solar Eclipse
1989	河合 吾郎	太陽磁場浮上領域に見られたサージ及び擬似サージについて
1991	小路 真木子	複数のラインによるフレア・エミッションのシフト量の解析
1993	武田 秋	1991 年メキシコ皆既日食のデータ解析と内部コロナの温度構造
1993	新川 雄彦	太陽黒点の磁場の傾きについて
1994	Dhani Herdiwijaya	On the Study of Sunspot Proper Motion in 1989, 1990, and 1992
1995	真柄 哲也	Numerical Simulation of Magnetic Reconnection in Eruptive Flares
1995	吉村 圭司	磁束管浮上領域 Hα 線像と軟 X 線像の比較
1996	佐野 周作	太陽彩層面におけるサージ活動発生領域の磁気的環境について
1997	石井 貴子	太陽黒点固有運動の解析に基づいた浮上磁場構造の研究
1997	上野 悟	Various Aspects of Solar Atmosphere – From Convection Zone to Corona –
1998	天間 崇文	CH_4 吸収線を用いた多波長測光観測による木星大気鉛直構造の推定
2000	高津 裕通	撮像装置 RTFS2 の開発と太陽活動領域の対流構造の研究
2000	中串 孝志	Syrtis Major 領域に於けるブルークリアリング現象に対する Martian equatorial clouds の影響について
2000	森本 太郎	フィラメント消失現象とコロナアーケイド生成の相関
2001	早川 知範	火星の大気大循環(主に極冠の研究) The General Circulation on Mars (The Study of Polar Caps)
2002	浅井 歩	Active Phenomena on the Solar Surface (太陽表面での活動現象)
2002	磯部 洋明	Studies of Solar and Protostellar Flares (太陽・原始星フレアの研究)
2002	森安 聡嗣	Alven Wave による太陽浮上磁気ループ中のコロナ加熱
2003	神尾 精	HαFine Features Observed in Solar Chromosphere (太陽彩層で観測されたＨ α 微細構造について)
2003	清原 淳子	太陽磁気活動現象の観測的研究: 太陽フレアの定量解析とベクトルマグネトグラフの開発
2003	高崎 宏之	Energetic Phenomena of the Solar Flares (太陽フレアに伴う高エネルギー現象)
2003	成影 典之	Simultaneous Observations of Moreton Waves and X-Ray Waves (太陽フレアにともなう衝撃波について)

授与年	氏名	論文題目
2004	上原 一浩	MHD Simulations of Astrophysical Jets – Star-Disk Interaction, and Development of 3-Dimensional MHD Simulation Code –
2004	塩田 大幸	Numerical Studies of Magnetic Reconnection in Solar Coronal Mass Ejections (太陽コロナ質量放出における磁気リコネクションの数値的研究)
2005	今田 明	SU UMa-type Dwarf Novae with Short Orbital Periods（短周期 SU UMa 型矮新星の可視光観測）
2005	岡本 丈典	Observational Studies on Solar Filaments（太陽フィラメントに関する観測的研究）
2006	齊藤 祥行	太陽フレアと彩層底部加熱に関する観測的研究
2006	清水 雅樹	MHD Simulation of Magnetic Reconnection Associated with Emerging Flux in the Solar Atmosphere(浮上磁場に伴う磁気リコネクションの研究)
2006	西田 圭佑	Numerical Studies of Magnetic Reconnection in Solar Flares(太陽フレアにおける磁気リコネクションの MHD シミュレーション)
2006	Patrick Antolin	Coronal Heating by Nanoflares and Alfven Waves, Predicting Observational Features
2007	川道 俊見	A Hydrodynamic Simulation of Protostellar Flares with Non-thermal Heating and Expected Hard X-ray Spectrum(非熱的電子を含めた原始星フレアのシミュレーションおよび予測される硬X線スペクトル)
2007	長島 薫	エネルギー解放及びトリガー機構に関する太陽フレアの観測的研究
2007	西塚 直人	Fractal Structure and Particle Acceleration in the Impulsive Solar Flare.（インパルシブ太陽フレアのフラクタル構造と粒子加速）
2007	松本 琢磨	The Interation between the Magnetic Field and the Plasmas in the Solar Atmosphere: From Ellerman Bombs to Solar Wind.（太陽大気における磁場とプラズマの相互作用）
2007	馬見塚 裕	Theoretical Approach to the Acceleration Mechanism of Blazar Jets in the Framework of Kerr Space-Time: The Effect of Disk-Dynamo and Magnetic Reconnection on the Energy Conversion in Magnetically Driven Jets.（カー時空におけるブレーザーの MHD モデルによる σ 問題へのアプローチ）
2008	大辻 賢一	太陽表面磁気浮上に伴う活動現象の観測的研究
2008	杉保 圭	激変星、KR Aur, PQ Gem における短時間変動の観測
2008	須崎 亮平	Zeeman 効果による原始星ジェットの磁場観測について
2008	中村 太平	太陽光球・彩層リコネクションの研究

授与年	氏名	論文題目
2009	川手 朋子	シャックハルトマン波面センサを用いた太陽観測用 DIMM の特性
2009	副島 裕一	Superhump Evolutions During Superoutbursts of SU UMa-type Dwarf Novae
2009	松本 仁	Relativistic Magnetohydrodynamic Simulations of Magnetar Outflows
2009	渡邉 皓子	Observational Studies of Fine Scale Structures in Sunspot Umbrae
2010	阿南 徹	飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡偏光キャリブレーション
2011	車 信一郎	マグネター磁気圏における対生成を考慮した電流シートダイナミクスの解析
2011	田中 淳平	Study of Spectral Evolutions of Classical and Recurrent Novae
2010	橋本 祐樹	Dynamic Phenomena in the Solar Chromosphere
2012	玉澤 春史	太陽フレアおよび銀河中心の磁気流体現象についてのシミュレーションによる研究
2013	蔵本 哲也	フレア星の高時間分解能低分散分光観測による恒星フレア発生機構の研究
2013	高棹 真介	Explosive Phenomena Associated with Magnetic Reconnection in the Solar Atmosphere（磁気リコネクションにともなう太陽の爆発現象に関する研究）
2013	中村 尚樹	Numerical Study of Magnetic Reconnention and Application to Solar Active Phenomena（数値シミュレーションによる磁気リコネクションの研究と太陽活動現象への応用）
2014	高橋 卓也	Observational and Numerical Study of Explosive Phenomena on the Sun
2014	田中 悠基	野辺山太陽電波ヘリオグラフを用いたジャイロレゾナンス放射の統計的解析
2014	福岡 隆敏	飛騨天文台 SMART 搭載ベクトルマグネトグラフ用インバージョンコードの開発
2014	山口 雅史	京都大学飛騨天文台で観測されたモートン波現象に付随するフィラメント噴出の統計的解析
2015	佐野 聖典	飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡によるプロミネンスの多波長偏光分光観測
2015	竹重 聡史	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
2015	中田 智香子	Observational Study of the Terminal Evolutionary Stage of Cataclysmic Variables

授与年	氏名	論文題目
2016	須田 武憲	磁気リコネクションによる二重スピキュール発生モデル
2016	平石 平	スーパーフレアが地球に与える影響
2016	野津 湧太	スーパーフレアを起こした太陽型星の高分散分光観測
2016	廣瀬 公美	Hα 線太陽全面像を用いたフィラメント消失の要因、及びコロナ質量放出との関連についての研究
2017	黄 于蔚	Diagnosis of Prominence Magnetic fields with the new Simultaneous Multi-Wavelenght Spectro-Polarimetry of DST
2017	坂上 峻仁	Observational Study on the Solar Jet: Energy Build-up and Release Process（太陽ジェット現象におけるエネルギー蓄積・解放過程の観測的研究）
2017	鄭 祥子	Spectroscopic study of spatial and temporal evolution of a chromospheric bright feature in a solar flare （分光観測で探る太陽フレアのダイナミクス）
2018	中村 達希	太陽フレアに伴う彩層における低温上昇流は形成可能か?
2018	行方 宏介	Observational Studies on Solar Flares toward an Understanding of Energy Release Mechanism of Stellar Flares（恒星フレアのエネルギー解放機構の理解に迫る太陽フレアの観測的研究）
2018	二宮 翔太	太陽観測衛星「ひので」を用いた光球磁束管の統計的研究

博士論文

授与年	氏名	論文題目
1967	椿 都生夫	A New Model of the Coronal Condensation (コロナ・コンデンセーションの新しいモデル)
1968	久保田 諄	The Spectra of Lower Balmer Lines in the Dark Filament (太陽面上のダークフィラメントに於ける低バルマー線のスペクトル)
1973	為永 辰郎	(サージ型プロミネンスの速度場)
1975	渡辺 堯	Solar Wind and EUV Corona (太陽風と極紫外コロナ)
1975	黒河 宏企	The Coronal Condensation Observed at the 1973 Eclipse (1973 年日食に於けるコロナルコンデンセーション)
1976	中井 善寛	Astronomical Considerations to the 65cm Refractor, its Facilities and Photometer of the HIDA Observatory (飛騨天文台 65cm 屈折望遠鏡と測光装置の性能に関する天文学的考察)
1976	岩崎 恭輔	Spatial Variations of the Strength of CO_2 Absorption and the Rotational Temperature on Venus (金星大気に於ける CO_2 吸収の強度とその回転温度の場所的変化)
1976	赤羽 徳英	Evolution of Maria abd Development of Terrae of the Moon (月の海の進化と陸の成長)
1977	暮泉 武	ループ状紅炎のスペクトル解析
1981	前田 耕一郎	Interplanetary Scitillation in Jupiter's Decametric Radiation (木星デカメータ放射における惑星間空間シンチレーション)
1983	西川 宝	Origin of the Weakening of EUV Emission Lines Formed in the Chromosphere-Corona Transition Zone (彩層・コロナ遷移帯で形成される極紫外輝線の減光の起源)
1983	二階堂 義信	On the Intensity Ratio of Emission Lines of NaID1 to D2 in Prominences (NaID1 対 D2 の強度比から見た紅炎中の NaID 輝線現象)
1983	北井 礼三郎	On the Mass Motions and the Atomospheric States of Moustaches (ムスタッシュの運動及び大気状態について)
1983	柴田 一成	Nonlinear MHD Wave Propagation in the Solar Chromosphere I. The Case of Uniform Vertical Magnetic Field (太陽彩層における非線型電磁流体波伝播 I. 一様鉛直磁場の場合)
1984	小田 進幸	Morphological Study of the Solar Granulation III. The Mesogranulation (太陽粒状斑の形態敵研究 III. メゾグラニューレーション)

授与年	氏名	論文題目
1985	末松 芳法	Mass Motions Due to Shock Propagations along Low-Lying Loops in the Solar Atmosphere: On the Formation of Fibrils (太陽大気内の低ループに沿った衝撃波伝播による物質運動：ファイブリルの形成について)
1985	浅田 正	Numerical Experiments of the Intermediate Scale Eddies and the STrD on Jupiter (中規模渦の数値実験と木星南熱帯攪乱)
1987	一本 潔	Evershed Effect Observed in Various Photospheric Lines I. Dependence of the velocity Distribution Across the Penumbra on the Equivalent Width (多数の吸引線でみたエバーシェッド効果 I. 黒点半暗部における速度分布の吸引線等価値幅に対する依存性)
1987	金 甲星	Emitting Region of Sodium Lines in Solar(太陽紅炎のナトリウム線放出領域について)
1988	花岡 庸一郎	The Active Region Coronal Loops Observed at the Total Eclipse of February 16, 1980 (1980 年 2 月 16 日の皆既日食で観測された活動領域コロナループ)
1993	秋岡 真樹	Detailed Comparison Between Sunspot Activity In “Hot Spots” And Galactic Cosmic Ray Intensity (太陽面「ホットスポット」における黒点活動と銀河宇宙線強度変動の詳細比較)
1993	Bachtiar Anwar	Rapid Sunspot Motion during a Major Solar Flare (太陽の大フレア時における高速黒点運動)
1993	竹内 彰継	The Nonlinear Evolution of Convective Instability in a Solar Magnetic Flux Tube (太陽光球の磁束管内における対流不安定の非線型時間発展について)
1995	小路 真木子	Evolutional Characteristics of Multiple Spectral Lines during the Impulsive Phase of Solar Flares (太陽フレアのインパルシブ期におけるスペクトル線の発展的特徴)
1997	Dhani Herdiwijaya	The Proper Motion of Individual Sunspots (太陽の黒点の固有運動)
1998	真柄 哲也	A Study of Solar Flares based on Comparison between Theory and Observation (理論と観測の比較に基づいた太陽フレアの研究)
1999	吉村 圭司	太陽表面での磁束管の浮上とそれにともなう軟 X 線増光について
2000	石井 貴子	Relation between Emergence of Twisted Magnetic Flux Bundle and Flare Activities in Active Regions on the Sun (太陽活動領域における捻れた磁束管の浮上とフレア活動との関連について)
2000	武田 秋	Contribution and Properties of the Green- and Red-Line Coronal Loops in the K-Corona (太陽コロナの温度・密度構造について：皆既日食観測より導かれる新たな描像)

授与年	氏名	論文題目
2003	中串 孝志	Observational Studies of the Martian Low-Latitude Cloud Belt (火星低緯度氷晶雲帯の観測的研究)
2003	森本 太郎	On the Three Dimensional Velocity Fields of Disappearing Solar Filaments and Their Relation to Coronal Activities (太陽 Hα フィラメント消失の三次元速度場導出方法と随伴コロナ活動との相関関係)
2004	水野 陽介	General Relativistic Magnetohydrodynamic Simulations of Collapsars as a Model for Gamma-Ray Bursts (ガンマ線バーストのモデルとしてのコラプサーの一般相対論的磁気流体力学シミュレーション)
2004	浅井 歩	Observational Studies on Energy Release Mechanism in Solar Flares (太陽フレアにおけるエネルギー解放機構の観測的研究)
2005	磯部 洋明	Numerical and Observational Studies of Magnetic Reconnection in the Solar Corona (太陽コロナにおける磁気リコネクションの数値的及び観測的研究)
2006	神尾 精	Spectroscopic Study of Dynamic Phenomena in the Solar Atmosphere (太陽大気における活動現象の分光観測による研究)
2006	木暮 宏光	The Study of Astrophysical Jets and Accretion Disks by Three-Dimensional MHD Simulations (3 次元 MHD シミュレーションによる、宇宙ジェットと降着円盤に関する研究)
2006	高津 裕通	Observational Studies of Convective Structure in Emerging Flux Regions (浮上磁場領域における対流構造の観測的研究)
2006	高崎 宏之	Energetic Phenomena of the Solar Flares : Plasmoid Ejections and Particle Transport and Acceleration (太陽フレアにおける高エネルギー現象：プラズモイド噴出現象、粒子輸送、加速過程)
2006	成影 典之	Observational Studies of Flare-Associated Waves and Reconnection Inflows (太陽フレアに伴う波動現象とリコネクションインフローの観測的研究)
2007	塩田 大幸	Numerical and Observational Studies of Coronal Mass Ejections and Associated Phenomena (コロナ質量放出と付随する現象の数値的観測的研究)
2007	Ahmed Ibrahim	Long Term Simulations of Astrophysical Jets; Energy Structure and Quasi-Periodic Ejection (宇宙ジェットの長時間シミュレーション：エネルギー構造と準周期的噴出)
2008	今田 明	CCD Photometry of SU UMa-Type Dwarf Novae (おおぐま座 SU 型星の CCD 測光観測)
2008	岡本 丈典	Observational Studies on Formation and Evolution of Solar Active Region Prominences (活動領域プロミネンスの形成・進化に関する観測的研究)

授与年	氏名	論文題目
2008	政田 洋平	A Key Process for Magnetohydrodynamic Phenomena in Astrophysical Compact Objects (高密度天体における電磁流体現象の鍵を握る物理機構)
2009	西田 圭佑	Magnetohydrodynamic Simulations of Solar Flares with Plasmoid Ejection: What Determines Reconnection Rate and Reconnection Duration? (プラズモイド噴出を伴う太陽フレアの磁気流体シミュレーション: リコネクション率とリコネクションの継続時間は何によって決まるのか？)
2009	Patrick Antolin	Predicting observational signatures of coronal heating by Alfven waves and nanoflares (アルフヴェン波とナノフレアによるコロナ加熱の観測的特徴)
2010	西塚 直人	Ubiquitous and Fractal Reconnection in the Solar Atmosphere (太陽大気における磁気リコネクションのユビキタス性とフラクタル性の理論的・観測的研究)
2010	松本 琢磨	Spicule Formation, Coronal Heating, and Solar Wind Acceleration with Alfven waves driven by observed photospheric motions (観測された光球速度場で駆動されたアルフベン波によるスピキュール形成、コロナ加熱および太陽風加速)
2011	大辻 賢一	Observational Study of Solar Emerging Magnetic Flux Region (太陽浮上磁場領域の観測的研究)
2011	Andrew Hillier	Numerical Study of Plasma Instabilities to Investigate Fine-Scale Prominence Dynamics (プロミネンスのプラズマ不安定性と微細ダイナミクスに関する数値的研究)
2012	川手 朋子	Observational Study of Particle Acceleration in Solar Flares (太陽フレアにおける粒子加速現象の観測的研究)
2012	渡邉 皓子	Observational Study of Umbral Dots. Manifestation of Magnetoconvection in a Solar Sunspot (Umbral Dot に関する観測的研究、太陽黒点における磁気対流現象)
2012	松本 仁	Special Relativistic Magnetohydrodynamic Simulations of Astrophysical Outflows (天体アウトフローの特殊相対論的電磁流体シミュレーション)
2014	阿南 徹	Open a New Window of Plasma Diagnostics in the Solar Physics with Spectropolarimetric Observation (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)
2015	滝澤 寛	Evolution and Flare Activity of δ–spots in Cycle 23 (太陽活動第 23 期に観測されたデルタ型黒点群の時間発展とフレア活動)

授与年	氏名	論文題目
2016	高棹 真介	Fundamental Magnetohydrodynamic Processes of Solar Flares: Formation of Flare-productive Regions and Evolution of Flare Loops (太陽フレアの基礎的磁気流体過程：フレア活動性の高い領域の形成とフレアループの進化)
2017	高橋 卓也	Dynamics of Flare Shocks and Propagation of Coronal Mass Ejections (フレア衝撃波とコロナ質量放出の伝搬の動力学)

京都大学大学院理学研究科附属天文台
(50 周年記念誌 編集委員: 一本 潔 (編集長)、上野 悟、永田 伸一、石井 貴子)

岡山天文台	〒 719-0232	岡山県浅口市鴨方町本庄	TEL: 0865-47-0138
			FAX: 0865-47-0139
飛騨天文台	〒 506-1314	岐阜県高山市上宝町蔵柱	TEL: 0578-86-2311
			FAX: 0578-86-2118
花山天文台	〒 607-8471	京都市山科区北花山大峰町	TEL: 075-581-1235
			FAX: 075-593-9617
天文台分室	〒 606-8502	京都市左京区北白川追分町	TEL: 075-753-3893
		京都大学大学院理学研究科	FAX: 075-753-4280