

飛騨天文台 30年のあゆみ



京都大学
大学院理学研究科附属天文台

1998年10月

1. まえがき

飛騨天文台が北アルプスの山々を一望出来る大空の下に立ち上がり、その活動を開始したのは30年前の昭和43年（1968年）11月のことありました。

京都市の急速な都市化による花山天文台の環境悪化の為、昭和36年頃宮本正太郎先生を中心として新天文台建設計画がスタートしました。昭和38年には第一次候補地調査が実施され、昭和39年には第二次調査観測が行われて、候補地が更に絞られ、昭和40年に当地に決定されました。昭和42年度には険しい山肌を切り拓いて専用道路が建設され、昭和43年11月に管理棟、本館等が竣工し、花山天文台から60cm反射望遠鏡を移転して、飛騨天文台が設立されたものであります。この間の詳しい経緯につきましては、服部昭先生が、天文月報に紹介されております。まさに、多くの方々の並々ならぬエネルギーとご尽力の結晶であります。

創立当時の1960年代後半から1970年代にかけては、アメリカとソ連が競って宇宙空間探査ロケットを打ち上げ、月及び惑星の研究が脚光を浴びた時代がありました。飛騨天文台も当初惑星天文台と呼ばれたことからも判るとおり、花山天文台と共に惑星観測に最も力を注ぎ、昭和47年（1972年）にはレンズの望遠鏡としては東洋一の65cm屈折望遠鏡を設置して、名実共に地上からの惑星観測の拠点となりました。特に、火星表面の長期にわたる精密観測データの蓄積は、その気候変動の研究を行う上で、現在では世界的に貴重なものとして、高い評価を得ております。

昭和54年（1979年）には、長年にわたる太陽グループの夢を実現して、世界第一級の高分解能を持つドームレス太陽望遠鏡が完成し、我が国の太陽観測を一気に世界の最前線に押し上げました。ドームレス太陽望遠鏡は、毎年、全国公募によって他機関の研究者にも広く利用され、次々と世界的な研究成果を挙げて、我が国地上太陽観測の中心的役割を果たしてきております。又、現在では人工衛星を含めた国際ネットワーク観測のアジアにおける拠点としても、益々重要な役割を担って活躍しております。

平成4年には、太陽エネルギー地球擾乱問題についての国際協同研究（STEP）に参加することによって、太陽フレア監視望遠鏡を新設しました。これによって、太陽フレア及びプロミネンス爆発の観測体制が強化され、太陽地球間環境の研究分野にも積極的な貢献を行えるようになりました。

このように教育研究環境が次第に整備され、主として太陽系天体及び太陽の研究分野において、花山天文台とともに多くの成果を挙げると共に、京都大学理学部及び大学院理学研究科を中心とした大学院生及び学部学生への先端的な教育と研究指導を行ってまいりました。又、青少年や教育関係者をはじめとした多くのグループからの申し込みに応じて、見学や研修の案内を実施し、天文学及び自然科学に対する知識と興味の普及など、一般社会の方々への啓蒙活動にも力を注いでまいりました。

厳しい自然環境の中、過労と病に倒れられたお二人の先生のご無念を決して忘れる事は出来ませんが、台員一同力を合わせて、この度の30周年を迎えることが出来ましたのも、ひとえに、京都大学関係者、上宝村関係者をはじめとする多くの皆様方のご支援のおかげであります。ここに、厚くお礼を申し上げます。

この30年を一つの区切りとするとともに、「太陽宇宙磁気プラズマ研究」、「地球環境に影響する太陽活動変動の研究」などの次期プロジェクトへの発展に向けて、決意を新たにするべく、この小冊子を作成致しました。研究成果の紹介に際しましては、スタッフの他、大学院生、研修員、天文台OBの方々にもご協力を戴きました。限られた時間と紙面でまとめましたので、すべてを網羅出来てはおりませんが、ご了承戴きたいと思います。又、戴いた原稿をそのまま掲載しましたので、統一的な編集は出来ておりませんが、多様な研究の特徴とそれぞれの心意気をそのままお伝えすることが出来ましたならば、幸いであります。

目 次

1. まえがき	1
2. 職員	3
3. 研究成果概要	4
太陽系物理学分野	4
(1) 月及び地球型惑星の地形の成因	4
(2) 火星の大黄雲と大気大循環	4
(3) 火星中緯度帯の雲	4
(4) 火星の極雲	6
(5) 火星の極冠	7
(6) 火星のブルー・クリアリング	8
(7) 木星の大気に発生する渦	9
(8) 彗星の二次ダスト・テイル	10
太陽物理学分野	11
(1) 太陽面爆発(フレア)の衝撃的発達構造とエネルギー伝搬機構	11
(2) 太陽面爆発のエネルギー蓄積機構	14
(3) 浮上磁場領域における磁気再結合現象	16
(4) プロミネンス・フィラメントの構造と速度場	18
(5) プロミネンス爆発機構と地球磁気嵐への影響	22
(6) スピキュールの微細構造と運動	24
(7) エラーマン爆弾の物理構造	25
(8) 太陽内部の対流現象	27
(9) 黒点とその周辺部の速度場	30
(10) 太陽コロナの温度密度構造	33
(11) 浮上磁束管が引き起こすコロナループ加熱現象の発見	36
4. 望遠鏡建設と装置開発	37
(1) 60 cm反射望遠鏡	37
(2) 65 cm屈折望遠鏡	38
(3) ドームレス太陽望遠鏡	40
(4) 太陽フレア監視望遠鏡	43
5. 研究論文リスト	45

2. 職員

(1) 歴代附属天文台長

宮本正太郎	:	(昭和33年4月) — 昭和51年3月
服部 昭	:	昭和51年4月 — 昭和54年3月
川口市郎	:	昭和54年4月 — 昭和62年3月
小暮智一	:	昭和62年4月 — 平成元年3月
牧田 貢	:	平成元年4月 — 平成8年3月
黒河宏企	:	平成8年4月から現在に至る

(2) 昭和43年発足当時の職員構成

附属天文台長 宮本正太郎

飛騨天文台	
助教授	服部 昭 (花山天文台より配置換え)
助手	神野光男 (花山天文台より配置換え)
技官	松井宗一 (花山天文台より配置換え)
技官	荻町洋一 (新規採用)
教務補佐員	赤羽徳英 (新規採用)
技能補佐員	石浦清美

花山天文台	
教 授	宮本正太郎
助 手	斎藤澄三郎
助 手	中井善寛
事務補佐員	母袋 久
技能補佐員	稻田藤四郎

(3) 平成10年10月現在の職員

附属天文台長 黒河宏企

飛騨天文台	
助教授	赤羽徳英
助教授	北井礼三郎
助手	船越康宏
助手	上野 悟
技官	石浦清美
技官	木村剛一
技能補佐員	上木富美子
技能補佐員	門田三和子
技能補佐員	野林幸彦
技能補佐員	松崎糸子
非常勤研究員	真柄哲也

花山天文台	
教 授	黒河宏企
事務補佐員	岸本寿佳
技能補佐員	名筋容子
非常勤研究員	ダーニ ヘルディ ウィ ジャヤ

併任教官	
教 授	斎藤 衛
教 授	小山勝二
教 授	荒木 徹
教 授	稻垣省五

3. 研究成果概要

太陽系物理学分野

飛騨天文台は1956年以来花山天文台で行われてきた火星観測を引き継ぎ、火星大気現象の観測を行っています。火星軌道と火星自転軸の傾きにより、火星の同一地域の同一季節を観測できるチャンスは15年に1回しかありませんので、飛騨天文台の30年に亘る火星観測は世界的に貴重な資料となっています。飛騨天文台は火星の他に、1970年代までは月や惑星の地形学的研究、それ以降は木星や彗星の観測・研究も行っています。

(1) 月及び地球型惑星の地形の成因

月の地形は「陸」と「海」に大別されます。陸は明るく且つ一面にクレータでおおわれていますが、海は暗く平坦でクレータの密度が極端に低くなっています。月では海が表側、すなわち地球側に集中しています。大局的に表側を海半球、裏側を陸半球とみなす事ができます。火星では北半球と南半球とで地形に大きな相違があります。北半球はクレータが少なく平坦ですが、南半球にはクレータが多く且つ北半球より標高が高くなっています。月や火星のかのような地形の分布は次数1のマントル対流により形成される地形の分布に対応しています。

月、火星、水星にはいろいろな形態のクレータがあります。また、海とクレータとの中間的な地形も多く見られます。形態学的に個々の地形を調べてみると、あるものはマグマによる溶融や隆起、あるいは水蒸気爆発により形成されたことがわかります。

(2) 火星の大黄雲と大気大循環

火星が太陽に最も近づく時は火星南半球の晩春でありますから、南半球の夏は北半球の夏よりかなり日射量が多くなります。そのため晩春から盛夏にかけて南半球の中緯度帯に大規模な砂嵐がしばしば発生します。それは黄雲と呼ばれています。黄雲は上空の気流に乗って西へ流され、火星を一周します。同時に北へも移動し、赤道を越えて北半球へ広がっていきます。その間、発生源からダストが供給されつづけますので、大黄雲は2週間ほどで火星全体を覆ってしまいます。これらの観測事実から、火星の大気大循環は地球と異なっていることがわかります。すなわち、火星上空では全域で偏東風が吹き、大気は夏半球から赤道を越えて冬半球へと流れています。

大黄雲の供給源は必ずしも発生源の1カ所のみとは限りません。黄雲が発生し、そのフロントが西へ移動するにつれて、フロント付近で別の黄雲が発生する事もあります。それは最初の黄雲と一体となってさらに西へ移動しながら、また新たな黄雲を誘発します。1973年の大黄雲では少なくとも3カ所の供給源が確認されています。黄雲をつくっているダストの量を見積るために、その光学的厚さが必要となります。1973年の大黄雲では成長期における黄雲の光学的厚さは5以上ありました。図1は1973年の大黄雲の初期の様子です。

(3) 火星中緯度帯の雲

火星北半球の春から夏の季節には、火星の大気中に水蒸気が多くなります。それは主に北極の万年氷がとけることによりますが、北半球の低・中緯度帯の特定の場所からも水蒸気が供給されていると推

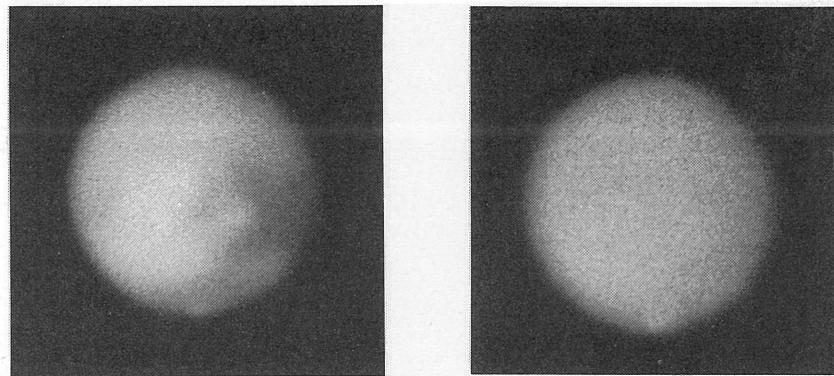


図1. 発生後2日目の大黄雲 (Oct. 15, 1973)。左:赤色光による像。中央から左下の明るい部分が黄雲。右:青色光による像。青色光では黄雲が見えにくい。

定されます。水蒸気が多くなりますと当然雲が発生しやすくなります。この時期に北半球の低・中緯度帯に発生する雲は活動時刻により朝雲、昼雲、夕雲に分類されます。朝雲と夕雲はそれぞれ朝方と夕方のリム（あるいは明暗境界線）付近に見られ、北緯30度から南緯30度に及ぶ大きな雲であります。仲春のころは限られた場所にしか発生しませんが、最盛期の晩春から盛夏では、南半球低緯度帯から北半球中緯度帯のすべての地域で朝・夕雲が見られます。最盛期には朝雲は日中でも消えずに残り、やがて夕雲へと移行します。低・中緯度帯の朝雲が日中でも残るようになると、低・中緯度帯は雲の帶で取り巻かれているように見えます（図2）。

雲の光学的厚さはその活動の目安となります。タルシス地方に発生する朝雲の光学的厚さの時間的变化を求めてみると、早朝では1.5から2.0であります、火星地方時の10時ころには1ほどに減少し、11時から14時の間は極小値の0.5前後を保っています。その後は時間と共に増加していきます。光学的厚さの時間的变化から、夕雲は14時頃から活動を始める事がわかります。朝雲の高度は意外と低いことがタルシス地方の観測から推定されます。タルシス地方にはオリンパス山など高い火山がいくつあります。観測によると高い火山の峰は朝雲の上に出ていますので（図3）、朝雲の高さは山頂よりも低いことがわかります。山の高さから朝雲の高度は20 km以下と推定されます。

昼雲は直径500 kmから1000 kmの雲塊でして、エリシュームやタルシス地方の巨大な火山に発生します（図4）。昼雲は早春から見られるようになります。その頃は北極冠はまだドライアイスに覆われていて、万年氷は露出していませんので、早春の昼雲をつくる水分は雲が発生する地域から供給されていると推察できます。昼雲の活動の最盛期は朝・夕雲と同じ晩春から盛夏であります。タルシス地方のオリンパス山にかかる昼雲は朝雲が薄くなる10時頃から目立ってきます。夕方に向けてみかけの明るさは増加しますが、それ以上に夕雲の方が明るくなりますので、午後も遅くになると昼雲は夕雲の中に埋もれてしまいます。昼雲の光学的厚さの時間的变化を追跡してみると、それは地方

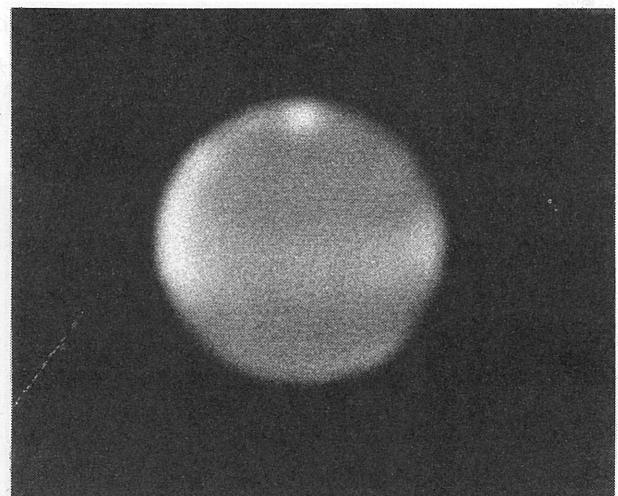


図2. 火星中緯度帯を取り巻く雲
(Mar. 5, 1997)

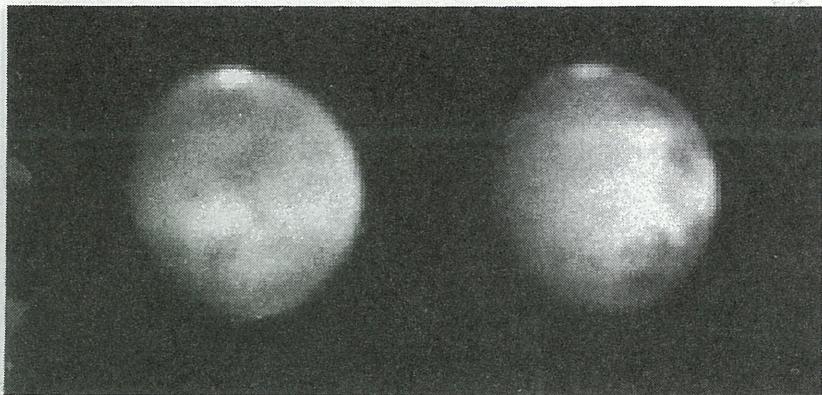


図3. 左：火星タルシス地方の朝雲（中央少し左よりの大きな明るい斑点。120 W, 10 N）。その雲の縁にある複数の暗い斑点は火山の峰である。(Apr. 13, 1994. CM=112, Ls=84)。右：ほぼ同時刻の赤色光による像。雲を透して地面の模様が見えている。CM：中央経度。Ls：火心太陽黄経。

時の13時から14時にピークに達します。その時の値は1ほどです。火星大気の温度は低いですから、雲をつくる水分は氷粒になっています。それを水に換算してみると、昼雲のピーク時の水量は1.4 pr ミクロン、すなわち単位面積当たり 0.0014 mm の水柱となります。

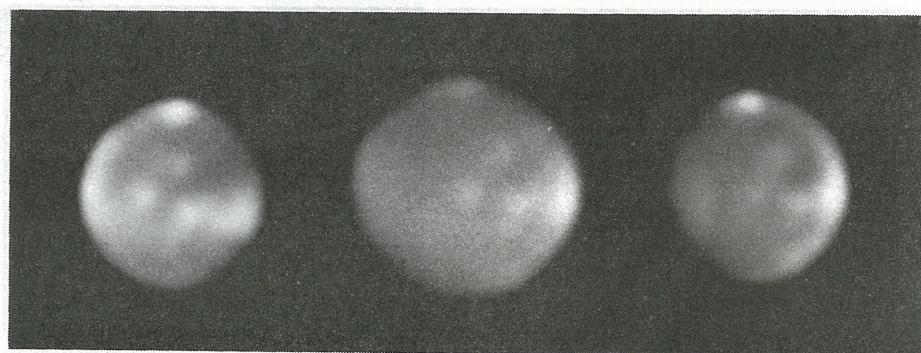


図4. 火星タルシス地方の昼雲(1997). 左:Feb. 14. CM=118, Ls=78. 中:Mar. 24. CM=141, Ls=96. 右:Apr. 26. CM=143, Ls=110.

(4) 火星の極雲

火星の北極地方は晩夏から翌年の早春まで、極雲で覆われます。発生したばかりの北極雲は不安定でしばしば消滅してしまいます。しかし、初秋には安定し、終日極地方をおおうようになります（図5右、図6右）。極雲は日変化をしない安定した雲とみなされていましたが、実は規則的な日変化をしていることがわかりました。朝方の極雲は北緯30度付近にまで張り出していますが、正午頃の極雲の縁は北緯50度付近となり、午後には60度以北にまで後退してしまいます。また、同一地点の極雲の光学的厚さは朝方が最も高く、時間と共に減少します。北緯60度付近の正午頃における極雲の光学的厚さは0.6ほどあります。日中に衰退した極雲は夜間に回復し、翌朝には元の状態に戻っています。かような極雲の規則的な日変化は初秋から晩冬まで繰り返えされます。このように極雲は安定していますが、極雲の縁付近にはしばしば明るい斑点（雲）が発生します。それは緯線に沿って東へ移動し、数日間で消滅してしまいます。この雲は極前線と関係しているように思われます。

(5) 火星の極冠

極冠は極地方をおおう氷原であります。冬の極地方は火星自転軸の傾きにより地球からは観測しにくい位置にありますし、その上、極雲で覆われていますので極冠の観測は容易ではありません。しかし、1971年以来継続しています写真観測の資料を解析して、極冠に関する重要な事実がわかつてきました。真夏に露出している北極の万年氷は別としまして、極冠は大気が凍ったドライアイスからできています。それ故、極地方の大気温度が最低となる真冬に極冠は最大となるはずです。しかし、観測によりますと、観測資料が未だ不十分なために断定はできませんが、極冠は晩冬に最大となるようです。冬期の極冠は極雲で覆われていますから、眼視でそれを確認することは難しいのですが、赤色フィルターをかけて写真撮影し、画像処理を行うと地面の模様が見えてきます。その結果、1975年の観測では真冬には地肌が露出していて、極冠は未完成の状態であることがわかりました。私たちが観測した1975年の極冠の成長がたまたま遅れていたという可能性もありますが、15年後の観測でも同じような現象が見られました。極冠がいつピークに達するかは火星大気大循環モデルに大きく影響する重要な問題であります。

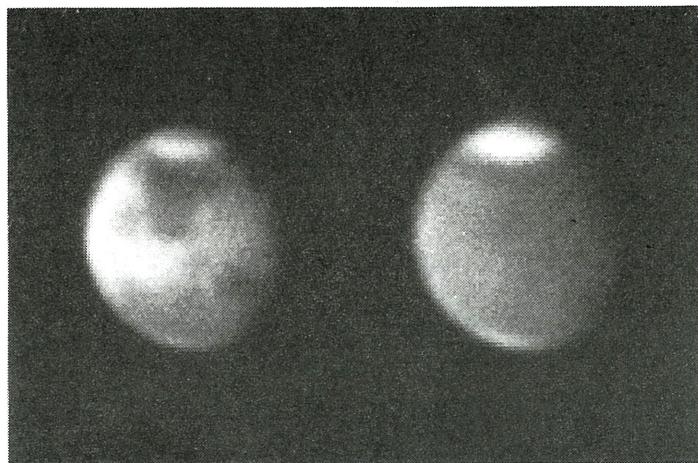


図5. 左：火星の北極冠（赤色光）。右：青色光では極雲がみえている（Nov. 29, 1994. Ls=25）。

春になりますと極雲は薄くなり、また極地方が地球へ向いてきますので極冠の観測は容易になります（図5左、図6左）。しかし、時すでに遅く、極冠のピークは過ぎて縮小期に入っています。北極冠と南極冠とでは縮小の仕方が異なっています。北極冠は春先には北緯65度から60度あたりまで広がっています。それはわずかながら縮小していく傾向にはありますが、仲春までほぼ同じ大きさを保っています。その後一定の早さで極方向へ後退していきます。そして春の終わり頃になると、万年氷のみが残ります。一方、南極冠は早春には南緯60度から55度あたりにまで広がっていて、早春から一定の割合で縮小します。なぜ北極冠は仲春までピーク時とほぼ同じ大きさ保つかは今後の研究を待たねばなりませんが、多分極雲や極地方の大気の循環パターンが影響しているものと思われます。極冠の大きさやとける速さには毎年に多少の差があります。特に南極冠の大きさにはばらつきが目立ちます。それは南半球の夏に発生する大黄雲と関係があります。大黄雲が発生した直後の冬にできた極冠はとける速さがゆっくりで、遅くまで大きな極冠が残ります。微小なダストはなかなか落下しなく、1~2年間は大気中に漂っています。それが太陽光を遮るためと思われます。

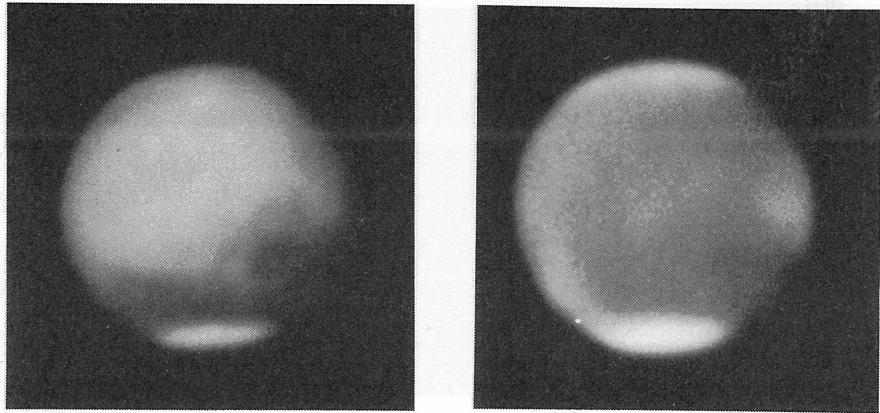


図6. 火星の南極冠 (July 3, 1986. L_s=199)。左：赤色光の像。右：青色光の像。すでに北極雲が発生している。

(6) 火星のブルー・クリアリング

火星の地表面の模様は緑より長波長ではコントラストが高く容易に識別できますが、青や紫外線では識別できません。短波長での火星面の反射能はどこもほぼ同じで、濃淡の差がないためあります。しかし、時には短波長でも長波長で見られるのと同じ模様を識別できることがあります。この現象をブルー・クリアリングと呼んでいます。一例として図7に大シルティスのブルー・クリアリングを示します。青色光の写真でも大シルティスを識別できます。なぜブルー・クリアリングがおこるのかは火星の写真観測が始まった今世紀初めからの謎がありました。

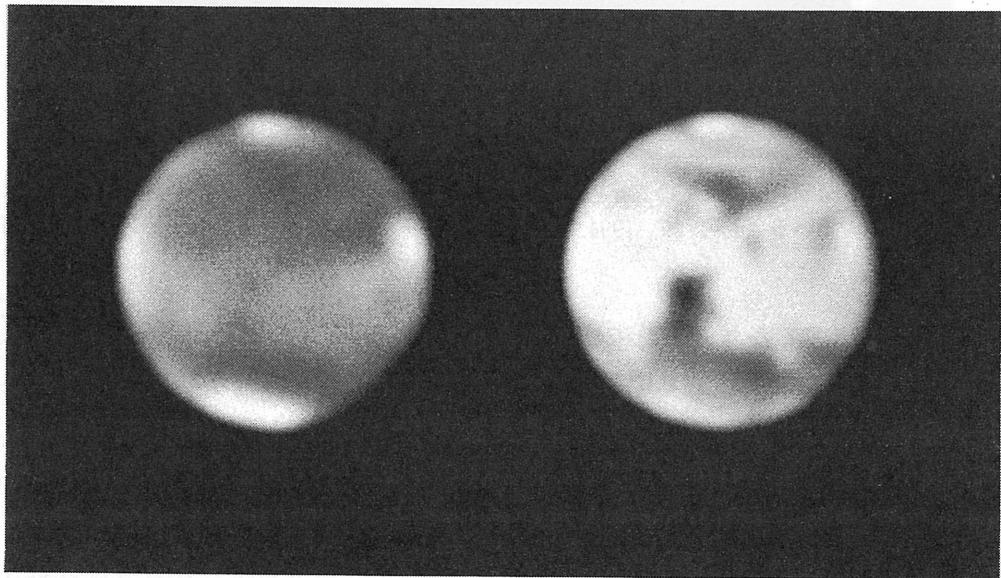


図7. 左：大シルティスのブルー・クリアリング (Mar. 5, 1997. CM=273, L_s=67)。右：左の像とほぼ同時刻に撮られた赤色光の像。

火星には月と同じように衝効果があります。衝効果とは衝付近で惑星の光度が急激に明るくなる現象で、惑星の地面の微細構造によるものであります。火星では可視光の全波長域にわたって、明るい地域は暗い地域よりも衝効果が大きくなっています。したがって衝付近（位相角が数度以内）では短波長でもコントラストがつき、明暗の模様を識別できるようになります。衝のころにブルー・クリアリングが多く観測されているのは衝効果のためとおもわれます。

ブルー・クリアリングの他の原因に、北半球の低・中緯度帯に発生する朝雲があります。朝雲の高度は低いですから、朝雲は高地をさけて低地に発生するように見えます。火星では一般に暗い模様に見える地域はその周囲の明るい地域よりも高くなっています。雲の厚いところは明るく見えますので、周囲より高い地域は相対的に暗くなり、短波長でも地面の模様を識別できることになります。北半球の夏に大シルチスなど低・中緯度帯の模様が短波長で識別できるのは朝雲による場合があります。1997年の例では大シルチス上の雲の光学的厚さは周囲の明るい地域よりも0.4ほど低くなっていました。

(7) 木星の大気に発生する渦

木星の縞模様は東西方向に流れる強い気流によるもので安定しています。その模様の中には大小の斑点が多く見られます。それらは渦でありまして、その大きさは大小さまざま、寿命も短いものから長いものまであります。大赤斑は最も大規模で寿命の長い渦であります(図8)。数値モデルを使い、いろいろな東西流の中で高気圧性と低気圧性の渦の安定性を調べてみました。それによりますと、一様流の場合、速い西向流では低気圧性渦が安定ですし、遅い西向流では高気圧性渦が安定であります。また、シェアーフローでは、周りの流れの渦度と渦の渦度が一致する場合(高気圧性シェアーフロー中の高気圧性渦、低気圧性のシェアーフロー中の低気圧性渦)には、渦が安定して存在できること、シェアーフローの渦度と渦の渦度が逆の場合は渦が消滅する事がわかりました。

西向きジェット流の中に低気圧性渦をおきますと、それはジェット流をすりぬけていく事ができます。この結果は木星の南熱帯擾乱と呼ばれる現象を再現していると考えられます。

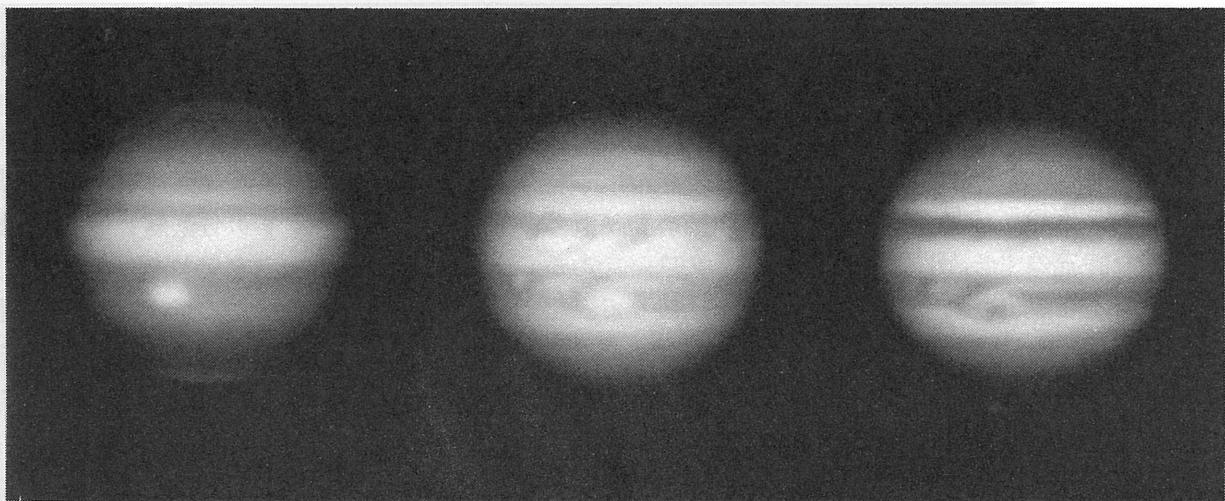


図8. 木星の大赤斑(Sep. 14, 16h UT, 1998)。左:メタンバンドの像(890nm)。中:メタンバンドの像(725nm)。右:青色光の像(430nm)。

木星の北温帯縞には秒速165mにも達する東向きのジェット気流がありまして、そこにしばしば白斑が発生します。そして白斑の西側では暗班が次々とほぼ等間隔に生まれています。この現象を再現するため、数値モデルを使って強い東向きジェット流の中に高気圧性渦をおき時間変化を調べてみました。変形半径が大きい場合はすべての方向に内部重力波が伝搬していましたが、変形半径が小さい場合には渦の西側にのみ内部重力波が発生しました。この結果から、暗班は内部重力波であり、木星大気の変形半径は小さいことがわかります。

(8) 彗星の二次ダスト・テイル

彗星の尾をつくっているダストは頭部から連続的に放出されていますが、しばしば突発的に大量のダストを出すことがあります。この現象をバーストとよんでいます。このとき彗星の尾の中に明るいすじができます。1回のバーストにより1本のすじが生まれます。それはシンクロロンとよばれる曲線です。シンクロロンは頭部から同時刻に放出された様々な大きさの粒子の軌跡です。従って、ダストの尾に見られる明るいすじは一般には頭部へ収斂します。



図9. ウエスト彗星。いくつかの明るいすじは頭部に収斂しない。

しかし、彗星によっては頭部に収斂しない明るいすじも見られます。その代表的な例はウェスト彗星です(図9)。その尾に見られるいくつかの明るいすじの軌跡を計算してみると、それらは頭部から発せられた特定のすじ上に始点を持つシンクロロンであることがわかりました。すなわち、バーストによって頭部から放出されたダストがさらに分裂して二次の明るいすじをつくったのです。すじの明るさからダスト量を見積もってみると、大きな彗星は1回のバーストで100億キログラムほどのダストを放出していることがわかります。

太陽物理学分野

太陽はその表面で起こっているダイナミックなプラズマ活動現象の変化を、詳しく観測して、そのメカニズムを具体的に研究出来る唯一の天体です。従って、太陽は我々の宇宙を理解するための実験場であり、又、高温プラズマ物理学の天然の実験室ともなっています。

一方太陽は、我々生命の母であり、地球環境をコントロールするエネルギー源でありますから、宇宙ステーション等大気圏外における、人類の今後の活動に大きな影響を与える太陽面爆発現象や、11年周期等の太陽活動周期的変動のメカニズムを解明することが、現在文明にとって重要な課題となっています。

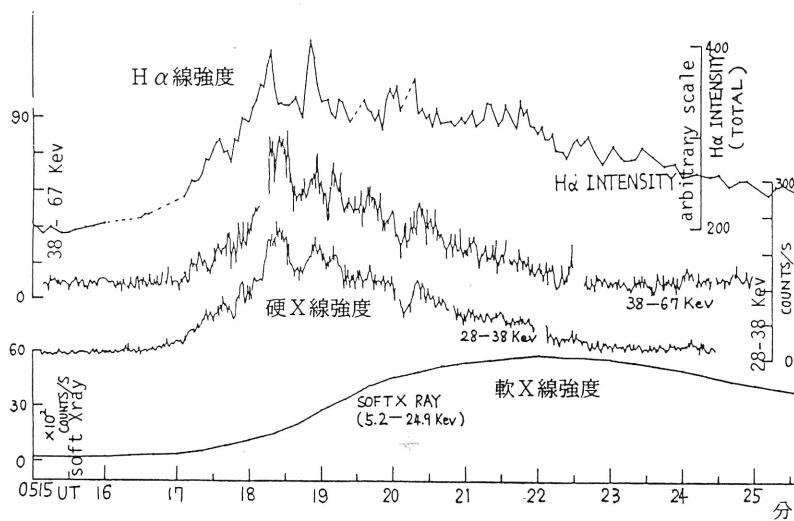
附属天文台では、花山天文台における太陽研究と天文機械工学研究の成果を基盤として、世界第一級の高分解能を持つドームレス太陽望遠鏡を飛騨天文台に建設する事に成功しました。以来、この望遠鏡を中心として、多くの研究成果が挙げられてきております。

(1) 太陽面爆発（フレア）の衝撃的発達構造とエネルギー伝搬機構

太陽フレアの初期は非常に早い変化によってエネルギーが解放されるので、従来その爆発初期の正確な構造の変化を捕らえることは至難の業でしたが、ドームレス太陽望遠鏡の高空間分解且つ高時間分解の観測によって、はじめて彩層フレアの微細構造が明らかにされました。

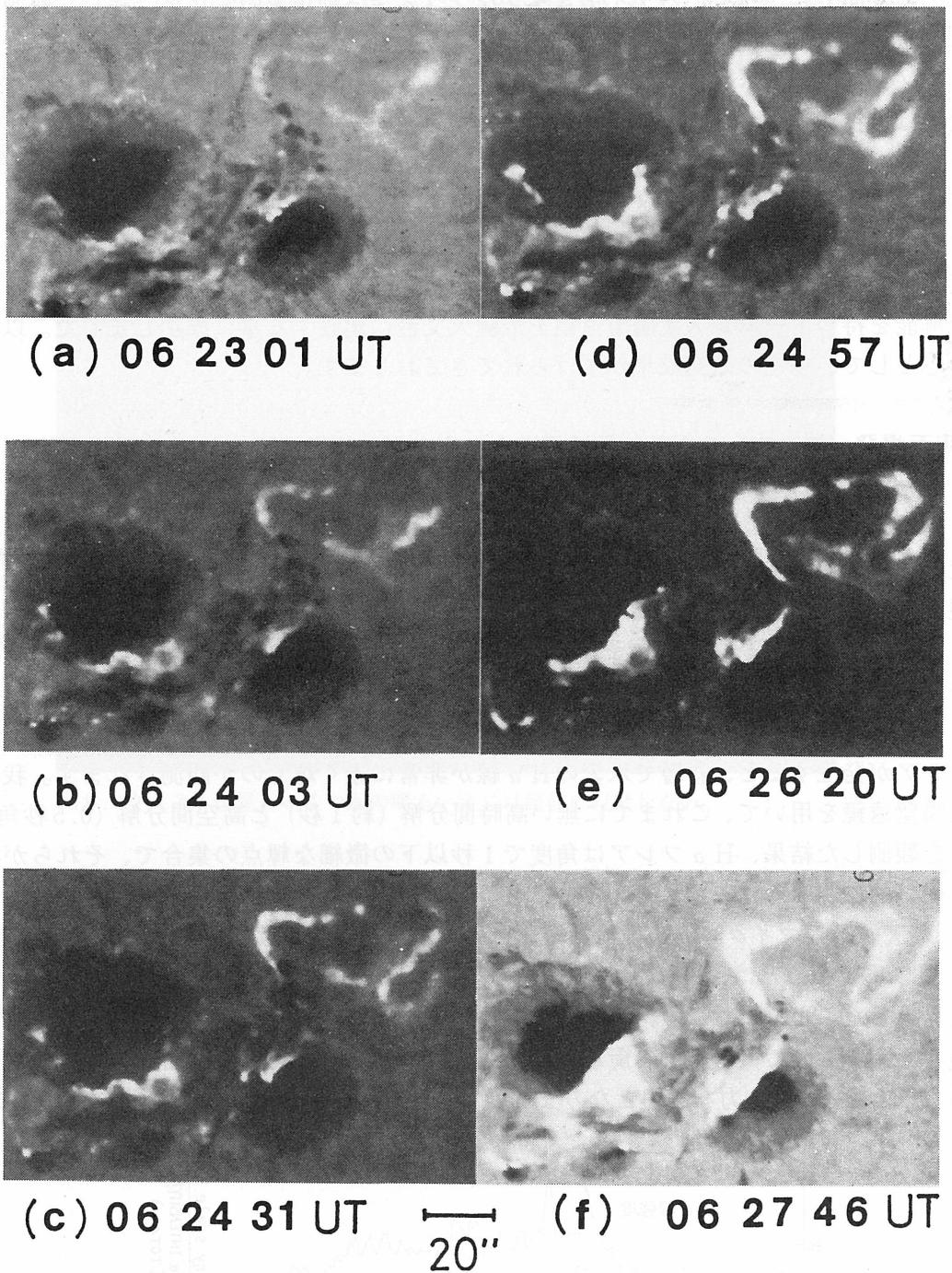
高速電子流による彩層加熱の証拠を掴んだ

太陽フレアが発生すると、彩層で水素のH α 線が非常に赤く輝くのが観測されます。我々は、ドームレス太陽望遠鏡を用いて、これまでに無い高時間分解（約1秒）と高空間分解（0.5秒角）で、多くのフレアを観測した結果、H α フレアは角度で1秒以下の微細な輝点の集合で、それらが次々と場所を変えて衝撃的に明るく輝く事、これらの輝点の時間変化は従来の教科書で定説とされていた軟X線ではなく、硬X線及びマイクロ波の衝撃的増光と秒単位の精度で一致していることを見出しました（図1）。又、更に重要なことは、一本のフレアループの両足がH α 線で1秒以内の時間差で、同期して輝くことを発見したことです。この結果は、コロナで解放されたフレアエネルギーの伝搬機構について強い制約を与えるもので、フレアの衝撃的爆発期には、高速電子流が彩層加熱エネルギーの主たる運び手であることを示す、有力な証拠となりました。次ページの写真は、高速電子流の突入によって、彩



図：フレアの衝撃的爆発期のH α フレア強度の時間変動は硬X線強度の時間変動と同期していることを明確に示した。軟X線とは爆発後期のみ一致。

層フレアが黒点の間の磁気中性線に沿って、爆発的に発達している様子が示されています。数字は時、分、秒を世界時で表しています。

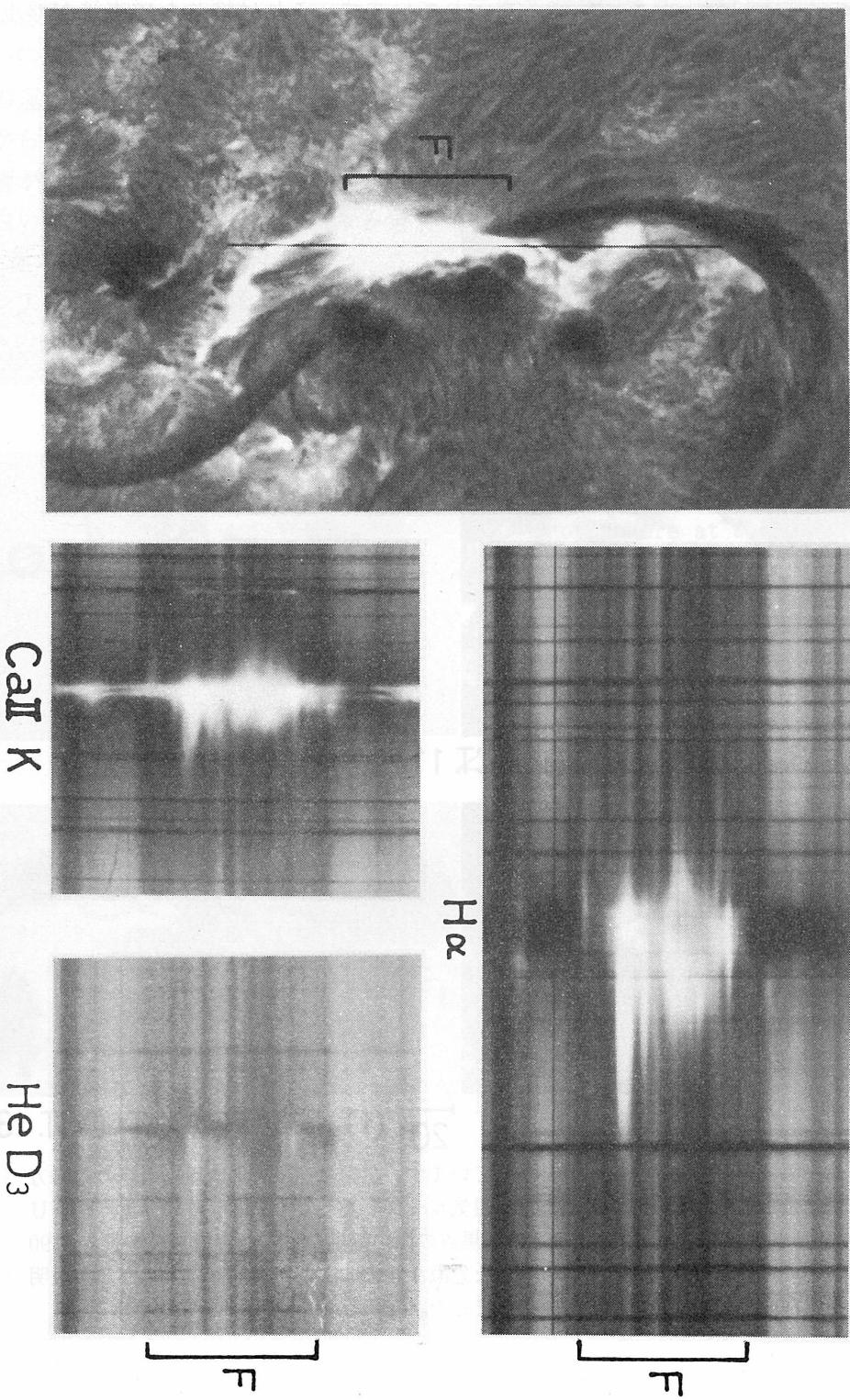


写真：黒点間の磁気中性線に沿って爆発的に拡がる、H_α フレア輝点の時間的変化

フレア彩層中に秒速 100km の高速降下流を発見

我々はドームレス太陽望遠鏡の垂直分光器で、フレアの衝撃的爆発初期を捕らえた分光観測に始め成功しました。フレアの発生場所を特定することができないため、衝撃的爆発初期のフレア核を分光器のスリット上に捕らえて保持し、秒単位のスペクトル時間変化を観測することは、非常に困難で、それまで誰も成功していませんでした。この成功によって、H_α 輝線輪郭の中心は、爆発初期には、長波長側に大きく変移していることを発見しました。これは、これまでの定説を覆すもので、それまで謎であったフレア輝線の赤側非対称輪郭の原因に始めて解答を与えるものでした。速度にして秒速 100km にもおよぶ赤方変移がその原因であったのです。この高速下降流は、彩層上部がコロナからの急

RED-SHIFTED EMISSION STREAKS OF A FLARE (OCT. 1989)



彩層フレアの分光スペクトル。左の太陽面写真で、白く輝くのがフレア。その上の黒い線は分光器のスリット。
右上は水素の $H\alpha$ 線、下中央は電離カルシウム (Ca II) K 線、左下はヘリウム (He) D 3 線。

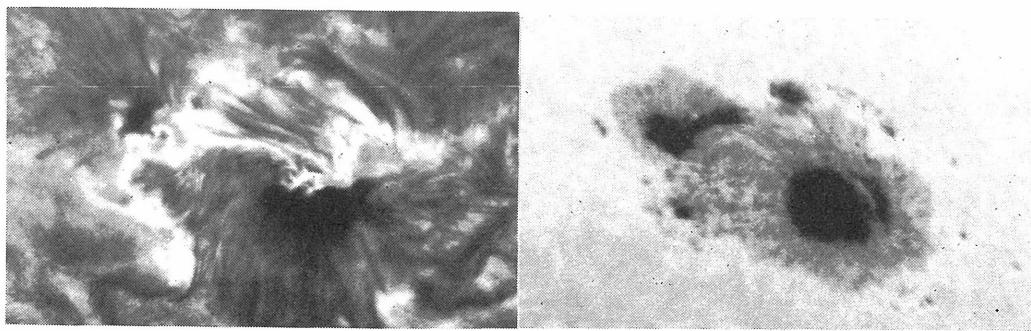
激な加熱によって蒸発する際に、その反作用によって生ずることも示されました。

また、複数のスペクトル線の同時観測によって、この様な高速下降流は、ヘリウム D 3 輝線と電離カルシウム H K 輝線等にも存在することが始めて確認されましたが、同時に撮影されたナトリウム D 線その他の金属線では、秒速わずか数 km の速度しか観測されないことも判りました。これらは、フレア彩層の深さによる加熱の違いを明らかにする重要な結果であり、現在コンピューターによるモデル大気の計算と詳細に比較する研究が進められています。

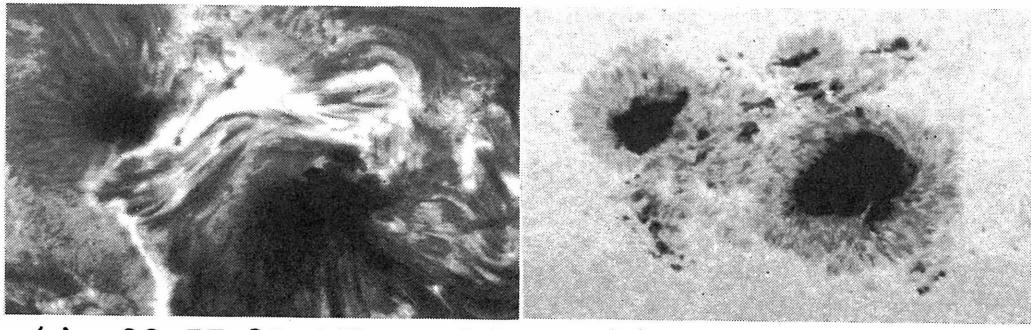
下の図 3 は白く輝く彩層フレア中心に当てられた分光器のスリットの位置と、水素 $H\alpha$ 線、電離カルシウム K 線、ヘリウム D 3 線のスペクトルを示しています。長波長（右）側に伸びた鋭い輝線は高速下降流を示しています。

(2) 太陽面爆発のエネルギー蓄積機構

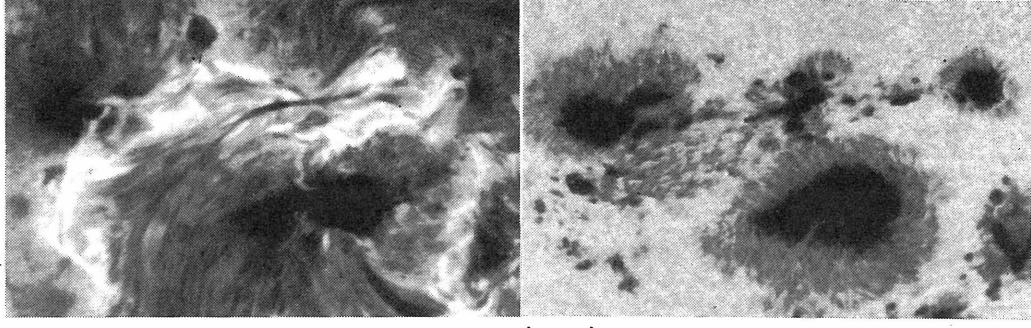
ドームレス太陽望遠鏡の高分解写真によって、多くの黒点領域の磁場構造の進化を詳細に追跡した結果、磁場の捻れが大きい黒点領域ほどフレアを発生しやすいこと、又中でも、黒点が発達しながら強い捻れが同時に形成される時には、特に強いフレア活動が発生することを明らかにしました。この結果は、フレアのエネルギーは太陽内部の対流層で磁場がねじ曲げられることによって与えられ、浮上してくる磁束管にあらかじめ蓄えられていることを強く示唆しています。この研究成果は、フレアのみならず他の太陽面活動現象のメカニズムを考える上でも、更に他の宇宙磁気プラズマ爆発現象のメカニズムを解明する上でも重要な示唆を与えています。下の写真は、異なる磁極の黒点の間に、傾きの違った磁力線が次々に浮上している様子を示しています。これは捻れた磁束管が浮上してきた証拠で、この後非常に大きなフレアが起こりました。



(a) 03 08 41 UT OCT.11 (b) 0110 00 UT



(c) 23 57 25 UT OCT.11 (d) 23 56 24 UT



(e) 23 51 27 UT OCT.12 (f) 01 27 04 UT OCT.13
20''

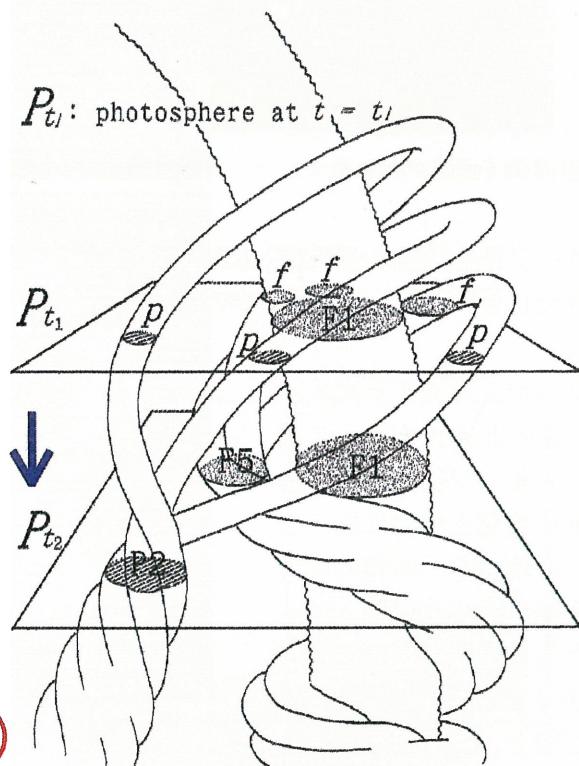
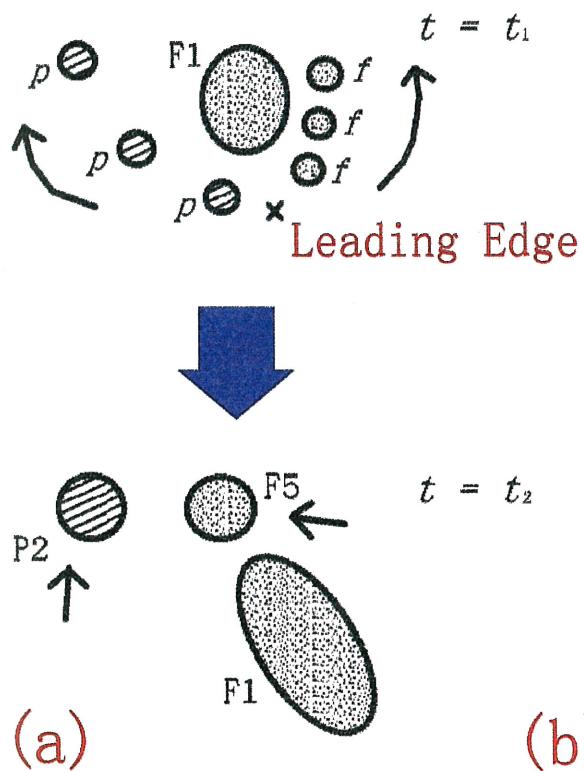
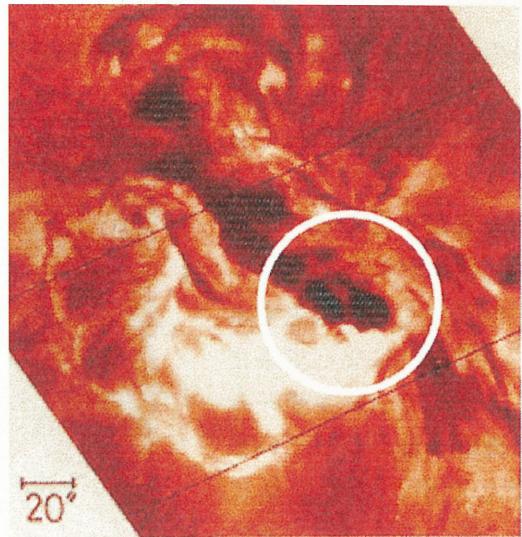
写真：右側は黒点の発達する様子を示しています。左側のH_α写真は黒点上空の磁場方向の変化を示しています。黒い筋模様が磁気ループを表しています。時刻は世界時（UT）で表しています。上2段の写真から、黒点の間の磁場の方向が約21時間の間に約90度回転していることが判ります。この様な急激な回転は捻れた磁束管の浮上でしか説明出来ません。この後、大フレアが発生しました。

太陽フレアは、太陽における爆発的なエネルギーの解放現象であり、電波からX線まで様々な波長で急激な増光現象として観測されます。

右図は、ドームレス太陽望遠鏡を用いてH α 線でとらえた太陽フレアの例です。白い部分がフレアによって光っている領域です。この領域ではフレアが繰り返し何度も発生していました。その原因は何だったのでしょうか？

我々は、下図のような捻れた磁束管の浮上がフレア多発の原因であることを突き止めました。

右図の白い円で囲まれた領域では、下図(a)のような黒点の運動が観測されました。これらの黒点の運動から、この領域では下図(b)のような捻れた磁束管が浮上していたことが推測できます。右図の白い円の周辺領域は、フレアの多発領域でした。従って、捻れた磁束管の浮上が、この領域でフレアを多発させたと考えられます。



(3) 浮上磁場領域における磁気再結合現象

浮上磁場領域におけるH_α サージ噴出現象の発見

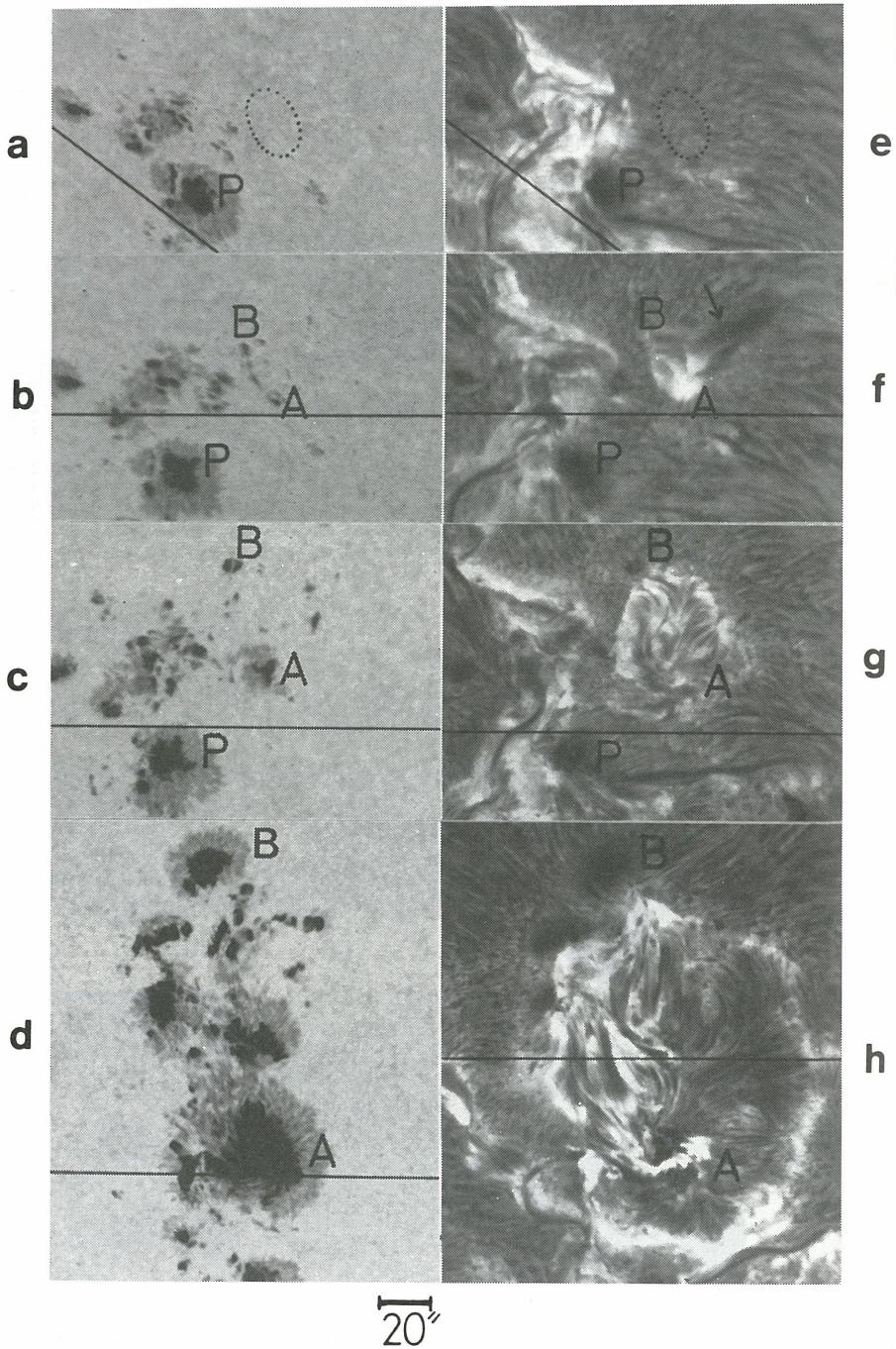
太陽の活動領域（黒点領域）は、双極磁場が対流層から太陽表面に浮上して来た時に誕生し、発達します。この黒点誕生の直前に、噴水のように活発なH_α サージの噴出が起こることが、ドームレス太陽望遠鏡の観測によって発見されました。

観測を重ねるにつれて、多くの活動領域がこの様なH_α サージの噴出と共に誕生することが、明らかになって来ました。それまで、H_α サージの噴出機構は良く判っていませんでしたが、この発見によって、浮上磁場が本質的な役割を演じていることが明らかとなり、また同時に、浮上磁場と既存の磁場との再結合モデルが非常に有力となりました。実際、その後の理論計算によって我々の観測モデルが裏付けられました。右図はその観測例を示しています。

H_α サージ発生領域で、磁場強度が増大していることを発見

上記の研究を更に進める為に、中国の北京天文台と共同で、H_α サージ発生領域の磁場強度の変化を詳細に調べました。その結果、15例の中で約半数の領域において、はつきりとした磁場強度の増加が見つかりました。サージ噴出が起こると、磁場エネルギーは失われるはずですから、それにも拘わらず、増加しているという結果は、非常に重要です。これによって、H_α

サージは浮上磁場で発生するという先の我々の発見が裏付けられ、浮上磁場と周囲の磁場との再結合モデルがいよいよ有力になったと考えています。下の図1と図2では、H_α サージ発生場所とそこに



写真：左右は同時刻の連続光（左）とH_α（右）写真。写真aとeの点線の部分に、写真bとfでは、浮上磁場領域A Bが誕生して、その後（c d、g h）急速に発達していることが判ります。

サージ（写真fの矢印）はその誕生初期に噴出しています。

おける磁場分布が示されています。磁場分布上では白色がN極、黒色がS極の磁場を表しています。図4では、サージ発生場所のN極磁場が時間的に増加していることが判ります。

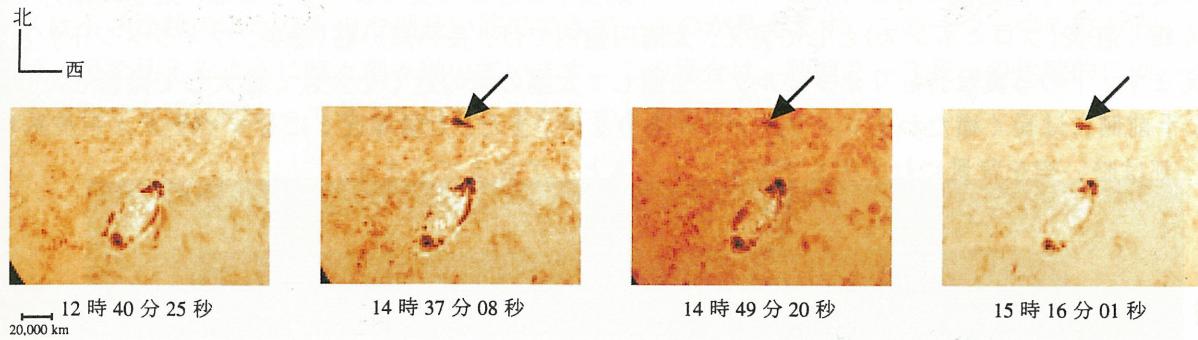


図1. 1992年11月4日に活動領域 NOAA7332で発生したサージ
(飛騨天文台 60 cm ドームレス太陽望遠鏡にて撮影)

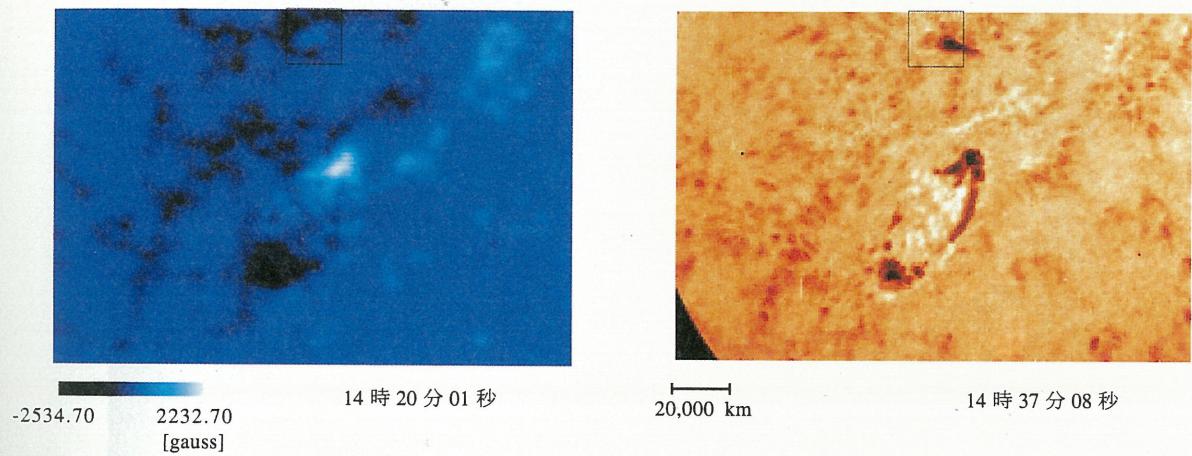


図2. サージ発生領域の太陽磁場分布図と太陽像
(太陽磁場分布図は北京天文台 Huairou Station にて測定)

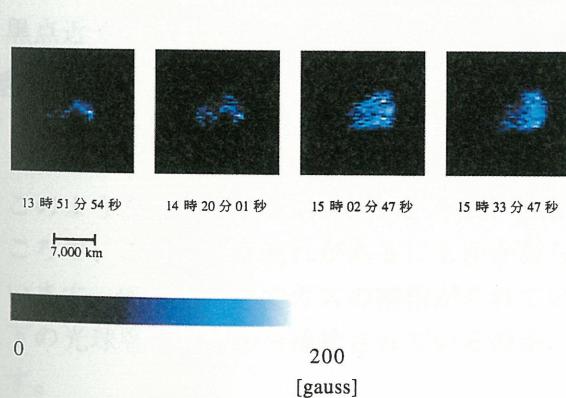


図3. 孤立磁場領域の磁場強度の時間変化の様子

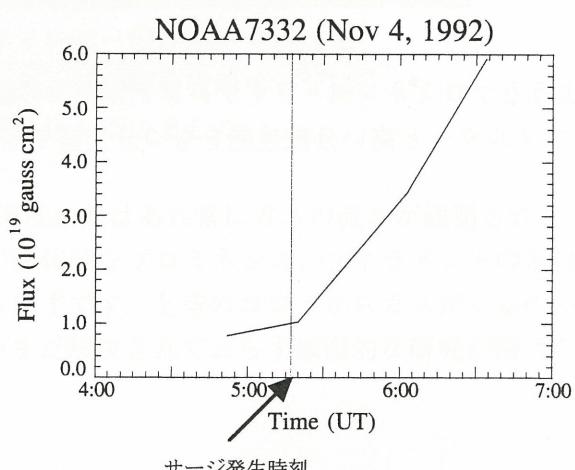
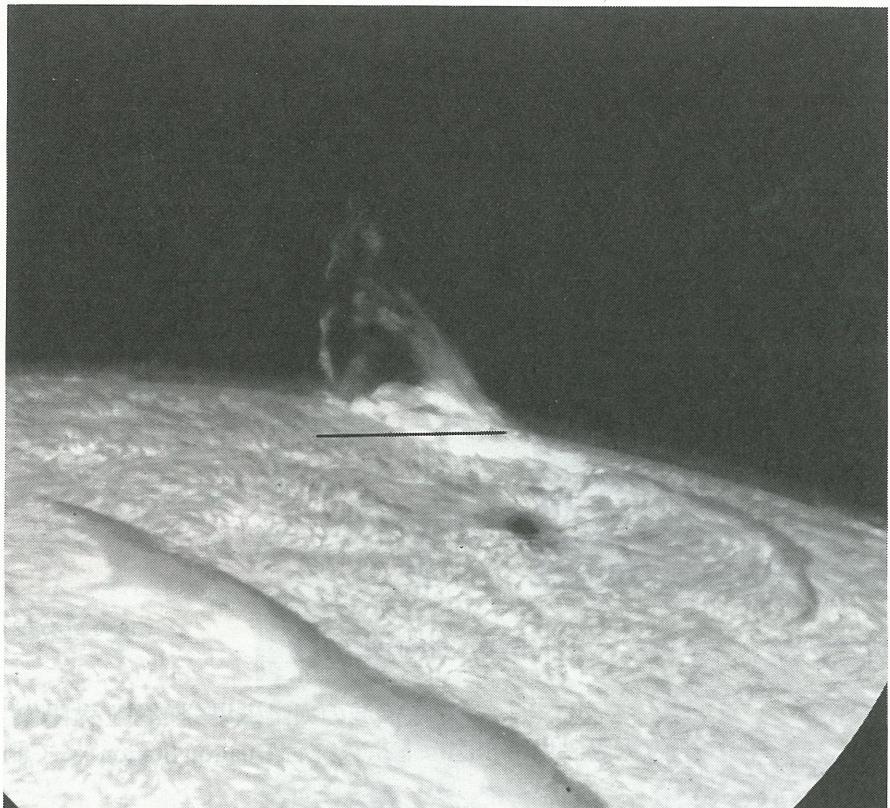


図4. 孤立磁場領域の磁場強度の時間変化のグラフ
(時刻は世界時)

(4) プロミネンス・フィラメントの構造と速度場

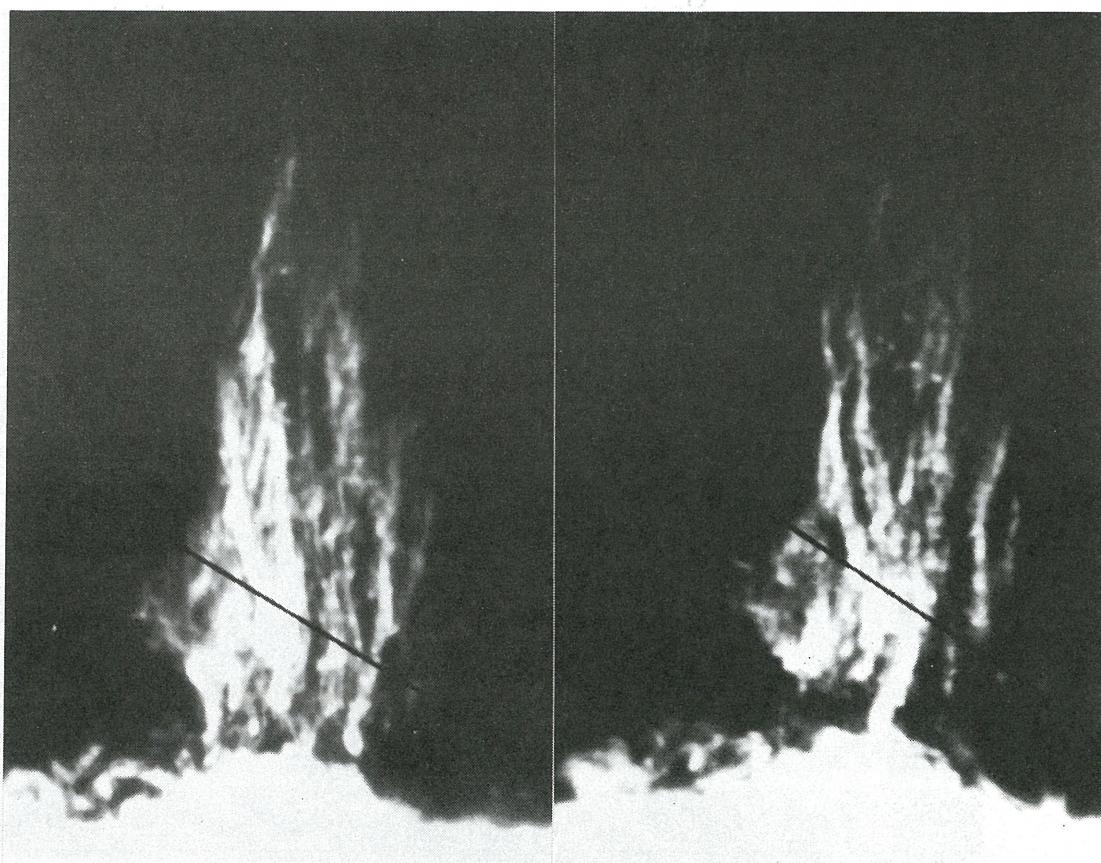
200万℃の太陽コロナ中には、1万℃以下の比較的低い温度を示す雲のようなものが浮かんでいます。飛騨天文台DST望遠鏡のH α リオフィルターで観察するとこの雲のようなものは、太陽の縁外では明るく輝く紅炎(プロミネンス)として見え、太陽円盤内では、長い黒い筋(暗条、フィラメント)として見えます。下の写真はH α リオフィルターを通して太陽の縁の近くを大きく拡大して撮影したものです。手前側には長く横たわるフィラメントがあります。また、太陽縁近くにもフィラメントがあり、その一部は暗い空を背景にして明るくプロミネンスとして見えています。



このようなプロミネンス・フィラメントのガスの流れ、運動状態、温度、密度などは、DST望遠鏡のリオフィルターと高い分散性能をもつ分光器を用いて詳しく調べられてきています。

プロミネンスの中のガスの流れ

下の図は、太陽の縁にある静穏型のプロミネンスと呼ばれるもののH α リオフィルター像です。左の像を撮影して、15分後の状態を右の図に示しています。DST望遠鏡で撮影したもので、プロミネンスは小さな粒のようなものや細長い筋でできているのが見えます。この一つ一つの粒あるいは筋模様は、図で見えるように時々刻々動いています。この場合は、秒速2-3Kmの比較的にゆっくりとした速度で太陽に向かって落ちていることが分かりました。



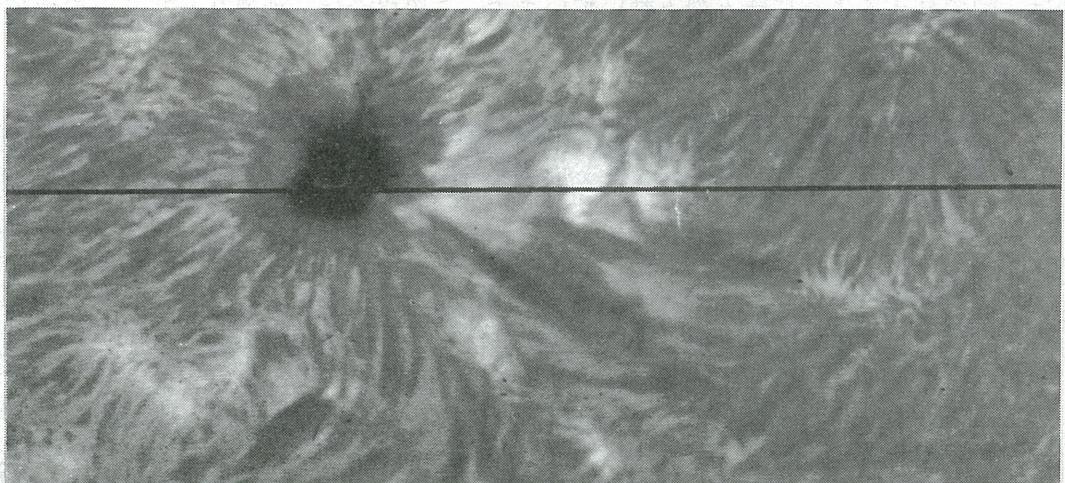
黒点近くの活動領域フィラメントでも、リオフィルター像を用いて黒点に流れ込むガスが一般的であることが観測されました。その例を次のページに示します。この場合は、秒速30Kmの速度で流れ込んでいました。

このようなプロミネンス、フィラメントでは、速度の差はあれ常にガスの流れが観測されています。ところで、このような流れがあるにもかかわらず全体的なプロミネンス、フィラメントの形は保たれています。何らかの形でガスの補給がされているはずです。上空のコロナからガスがくるのかあるいは下の光球層、彩層から補給されているのか、いまだ解決されておらず観測的な研究が続けられています。

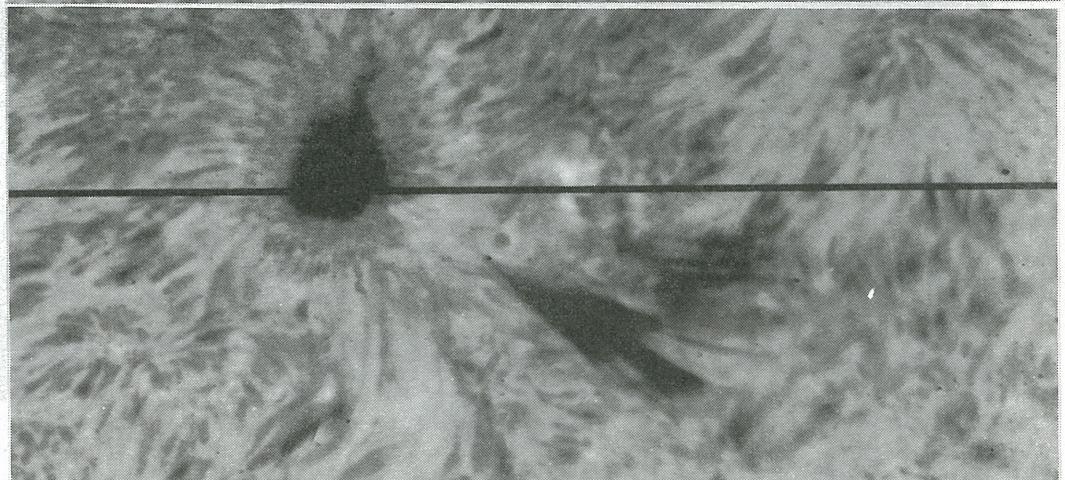
黒点に流入する暗条の流れ

1990年6月13日11時45分

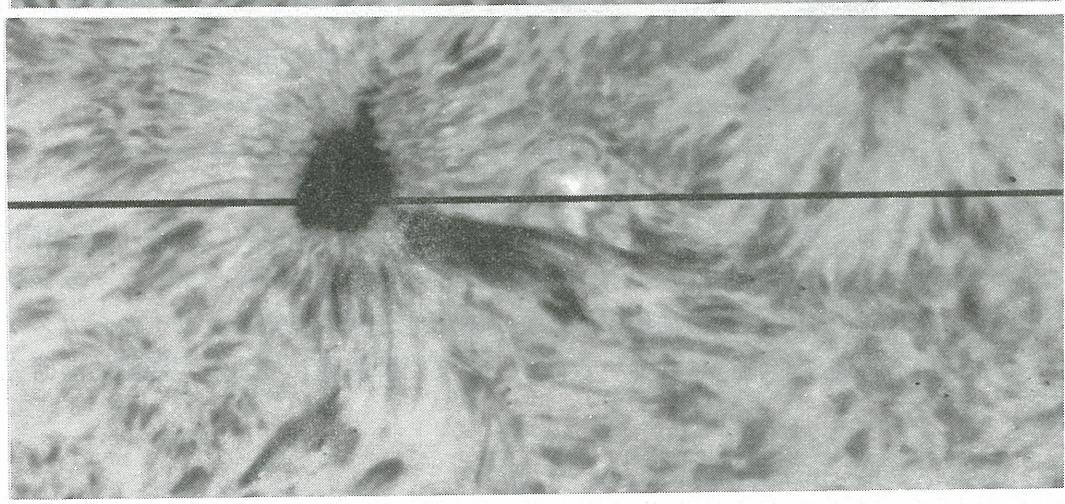
$H\alpha \pm 0.0$



$H\alpha - 0.5$

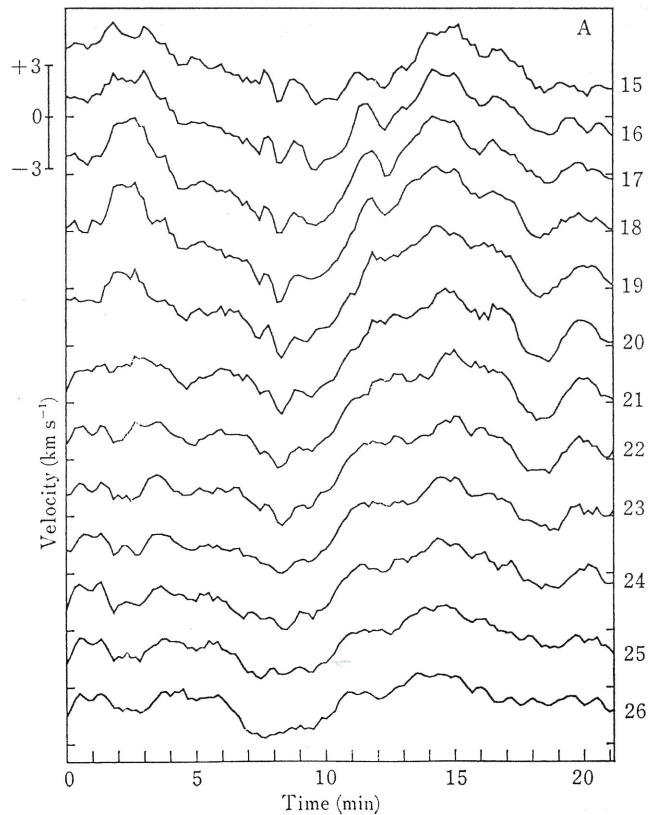
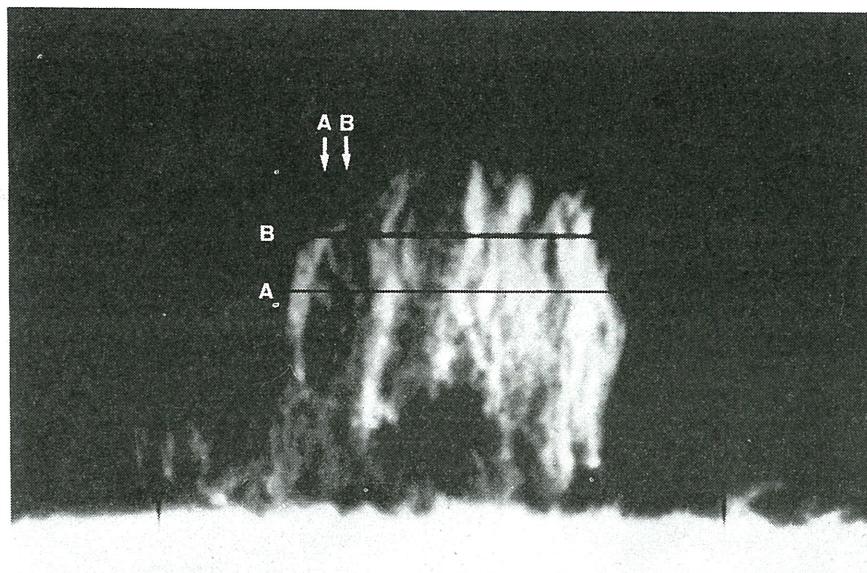


$H\alpha + 0.5$



プロミネンスの振動現象

プロミネンスの輝線スペクトルを DST 望遠鏡の高い分散のスペクトルで観測すると、ガスが我々に近づいたり遠ざかったりしたときの速度を詳しく求めることができます。プロミネンス内のこのガスの動きの時間変化を DST でとらえることに成功しました。そして、静穏型のプロミネンスにおいては、時間的に繰り返す運動（振動現象）が見出されました。下の図は、観測されたプロミネンスの $H\alpha$ 像と、線 A 上の各場所でのガスの速度の時間変化を示しています。600秒の周期的な運動が明らかに観測されています。色々なプロミネンスを観測すると、その周期は 160 – 600 秒、振動の振れ幅は秒速 3 Km 程度であることが分かりました。この振動現象は、通常の方法では難しい問題（プロミネンスを支える磁場の強さ、プロミネンスの質量の見積もり）を解く重要な手がかりを与えてくれます。



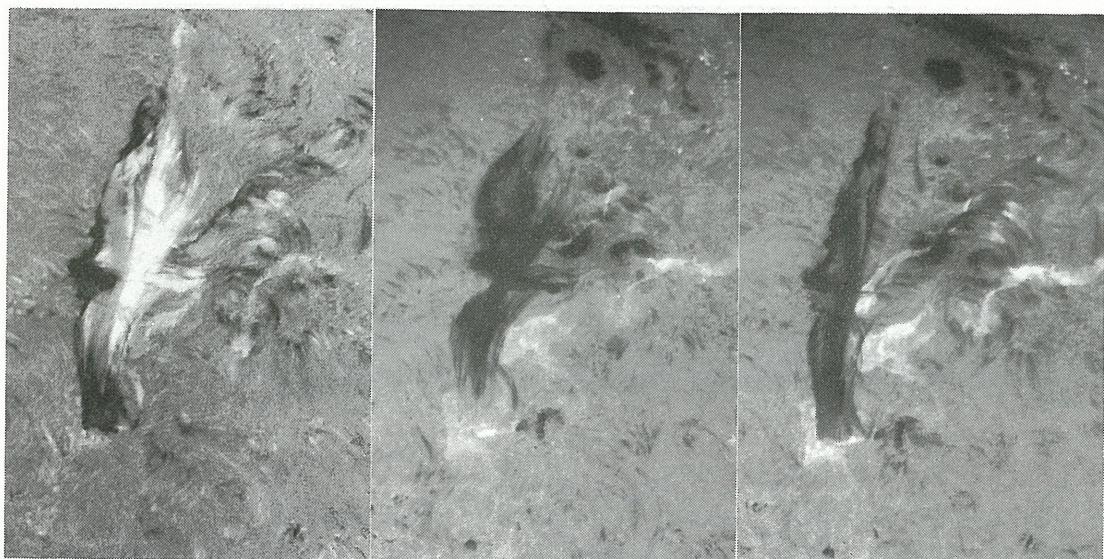
(5) プロミネンス爆発機構と地球磁気嵐への影響

回転しながら噴出するプロミネンス（フィラメント）爆発をとらえた

1984年4月25日に発生した大フレアの後に、その領域から、ねじれたH α フィラメントが回転しながら噴出する過程が、はじめて見事にとらえられました。下の写真aは、このフレア爆発とこれによつて片足が切れた捻れたフィラメントの噴出直前の姿を示しています。写真cとdはそれぞれ、H α -1.0Aと+1.0Aでの単色像で、写真bはそれらを合成した速度場写真です。bでは、白が我々に近づく成分、黒が遠ざかる成分を表しているので、フィラメントが回転しながら太陽表面から噴出していることが良く判ります。この様な回転噴出運動は、磁場の捻れが解けながら加速されるという柴田一内田モデルによって良く説明されることがはじめて示されました。



写真a：白く輝く大H α フレアと、黒くとぐろを巻いて捻れた、噴出直前のフィラメント



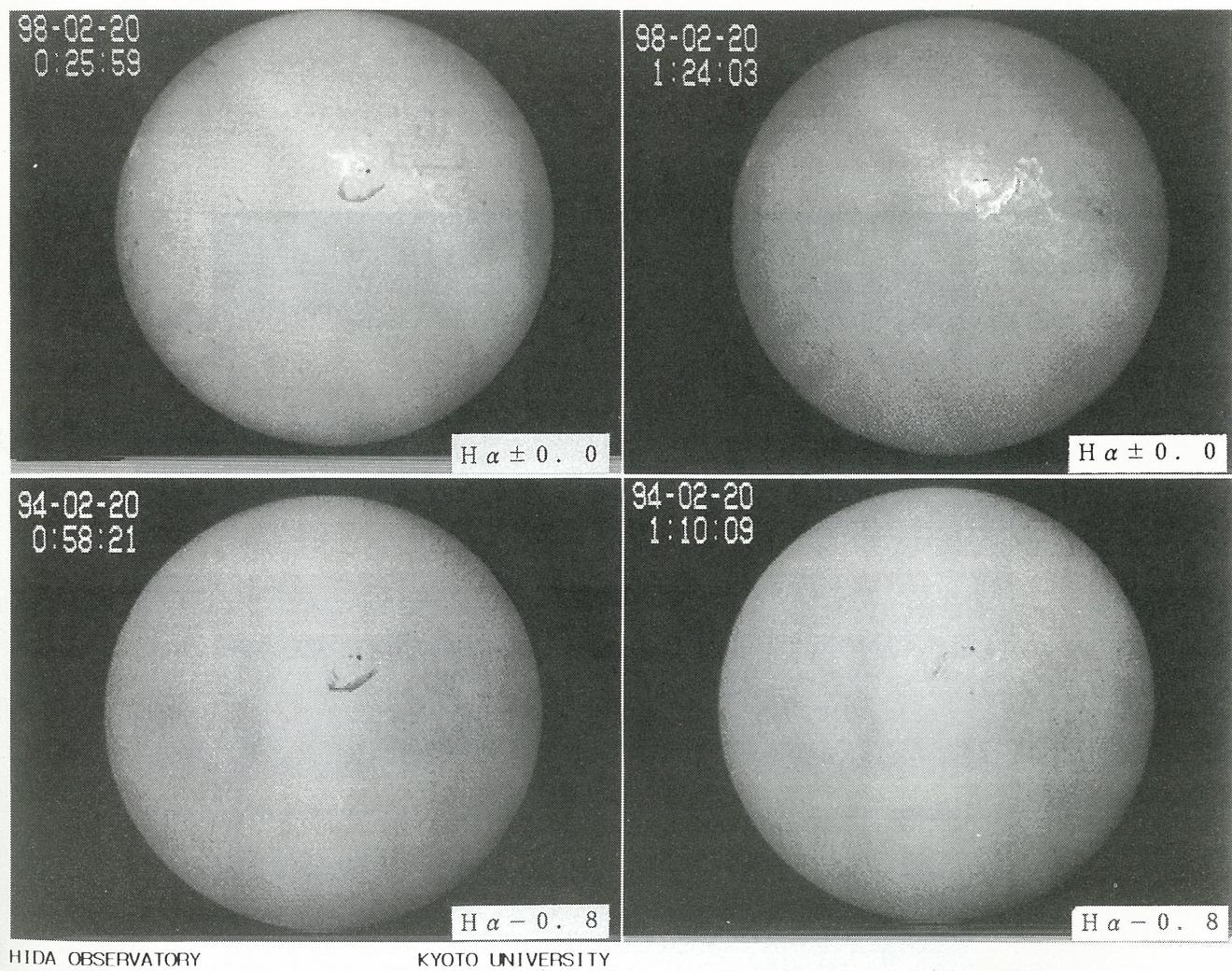
b：噴出フィラメントの速度場

c : H α -1.0A像

d : H α +1.0A像

フィラメント消失の速度場と地磁気嵐発生規模の関係を探る

1991年から5ヶ年計画で実施された太陽地球エネルギープログラム（S T E P）国際協同研究に参加して新設された太陽フレア監視遠鏡によって、非常に多くのフィラメント消失とプロミネンス噴出のデータが得られました。世界各地で稼動している太陽全体像監視遠鏡はH α 中心像を撮影しているのですが、本望遠鏡は-0.8Aと+0.8Aでも同時撮影しているため、消失が上昇によるのか、落下によるのか、または加熱によるのかの区別が出来ます。これによって、フィラメントが惑星間空間に放出されたかどうかの判定が可能となり、地磁気嵐との因果関係をより正確に研究できるようになりました。下の写真は1994年2月20日のフィラメント消失とそれに伴う大フレアを示していますが、野辺山太陽電波ヘリオグラフとの協同解析によって秒速600kmから1400kmにもわたる高速でフィラメントが噴出したことが確認されました。この速度は、地磁気の発生時刻を説明するとともに、その時太陽から3.5AU離れた位置を飛んでいたアメリカの探査機ユリシーズが約1週間後に観測した惑星間衝撃波をも説明することが出来ました。

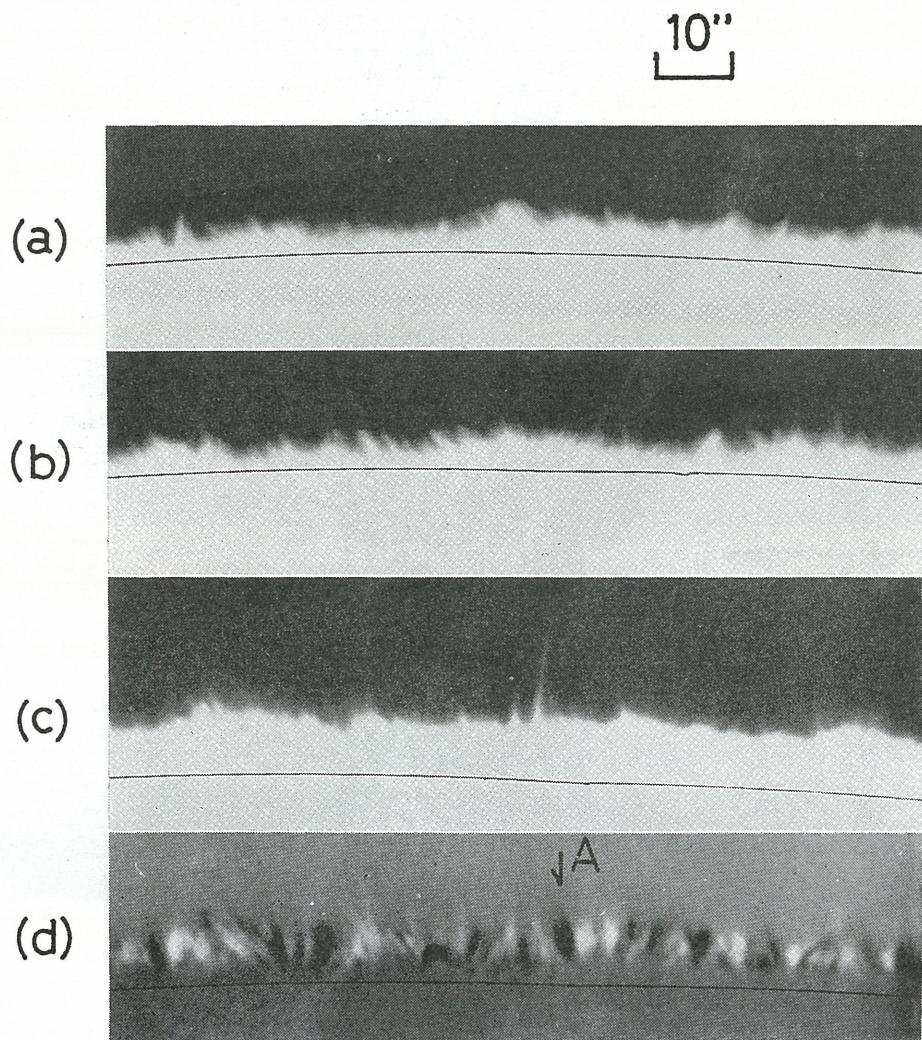


写真：上段はH α 中心像、下段はH α -1.0 A像。最初(00時25分59秒)にH α 中心で見えていたフィラメントが消失して、00時58分21秒にはH α -0.8 A像で見ている。更に高速で上昇した為、01時10分09秒には-0.8像でも見えなくなっている。

(6) スピキュールの微細構造と運動

スピキュールは、太陽の周縁部の非常に薄い層で観測されるもので、高い空間分解能をもつ望遠鏡が必要です。我が国では、DST望遠鏡によって初めてその観測が可能となりました。DST望遠鏡での観測から、スピキュールは幅500Kmで高さ10000Kmの針状の形をしており、秒速30Km以上の速さで伸縮していることが明らかになりました。下の図は、太陽の縁の部分をH α リオフィルターを通して撮影したもので、微細な針状のスピキュールが、数え切れないほどとらえられています。図(a)は、H α の波長中心から短波長側で撮影したもの、(b)は長波長側で撮影したもの、(c)は波長中心で撮影したものです。(d)は、(a), (b)から合成されたもので、我々に向かって動いているスピキュールが白く、我々から遠ざかって動いているスピキュールが黒く示されています。

この観測結果は、京都グループが行った理論数値シミュレーションと比較検討され、スピキュールの起源を説明する最も有力な説の基礎となっています。

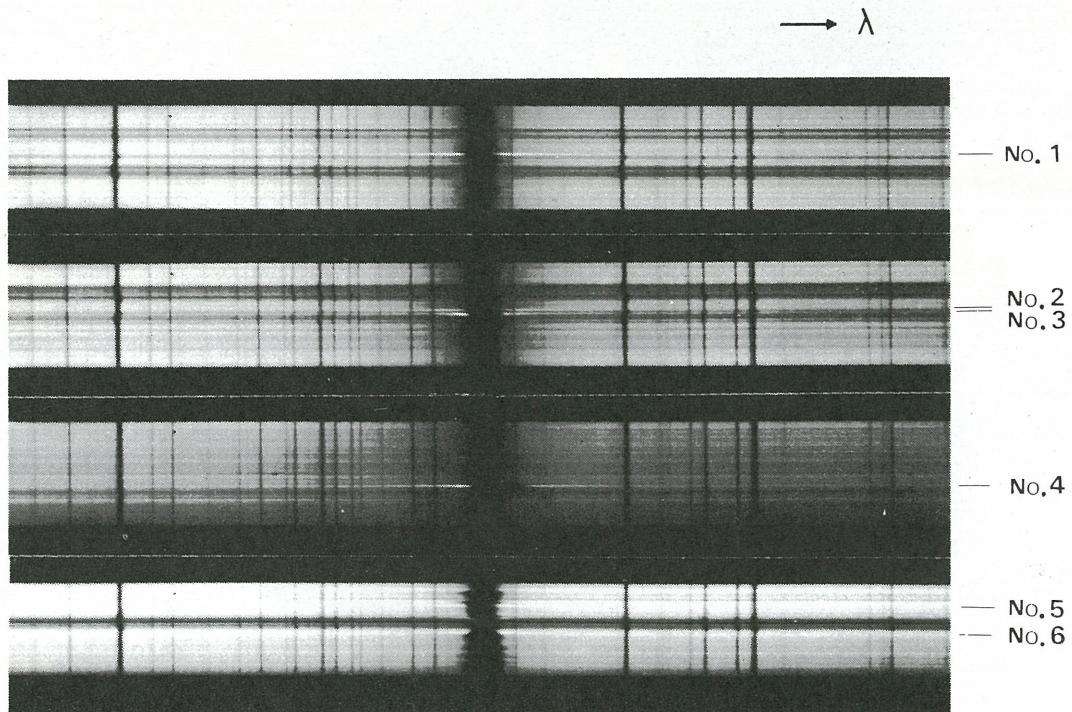


(7) エラーマン爆弾の物理構造

黒点の周辺を、D S T望遠鏡のH α リオフィルターで観測すると様々な微細なものが見えてきます。特に、リオフィルターの波長をH α の波長中心からずらして観測すると、小さな明るい輝点が無数に見えます。これらは、エラーマン爆弾と呼ばれているもので、黒点周辺の小規模な爆発と考えられています。ところが、その大きさが極めて小さくその素性は明らかではありませんでした。高い空間分解能をもつD S T望遠鏡での観測から、その性質が明らかになってきました。

エラーマン爆弾の特異な線輪郭を解明

下の写真は、エラーマン爆弾のH α 線のスペクトルです。きわめて小さなサイズの構造のスペクトルがこのように高い波長分解能で得られました。我が国で、このようなスペクトルを観測することは、D S T望遠鏡によって初めて可能となりました。エラーマン爆弾の場所では、H α 線の波長中心では吸收されて暗くなっていますが、波長中心から左右（波長の長短）に長く伸びる輝線が伴う極めて特異なスペクトルとなっています。このスペクトルの解析から、エラーマン爆弾のところでは、上空に高温高密のプラズマがつくられていること、また、秒速5-6 Kmの速さでプラズマが上昇していることが明らかになりました。



エラーマン爆弾は増光しながら針状に伸びることを発見

H α リオフィルター像の時間変化を調べることによっても、エラーマン爆弾の別の性質が明らかになりました。図は、H α 線の中心波長より短い波長で撮影した、黒点周辺の様子です。多くのエラーマン爆弾が白く輝いて見えています。それぞれのエラーマン爆弾の明るさとサイズと形の時間変化を調べた結果、エラーマン爆弾は、針状に明るさを増しつつ伸びて行くことがわかりました。また、その寿命は平均12分ということが得られました。この運動の様子は、スペクトルの解析結果と見事に一致しています。



(a)



(b)

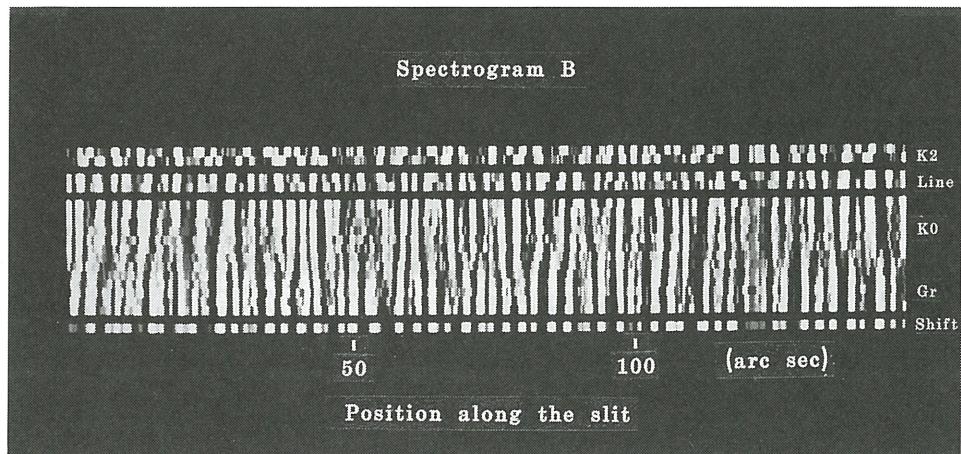
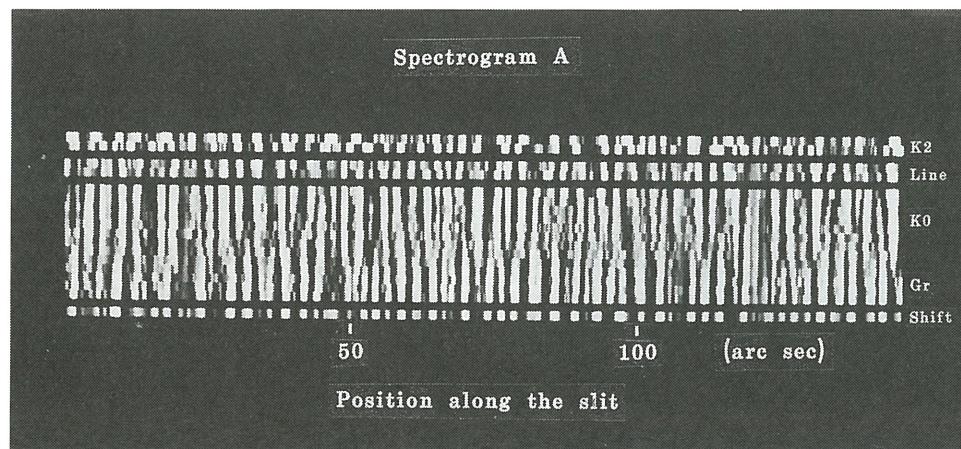


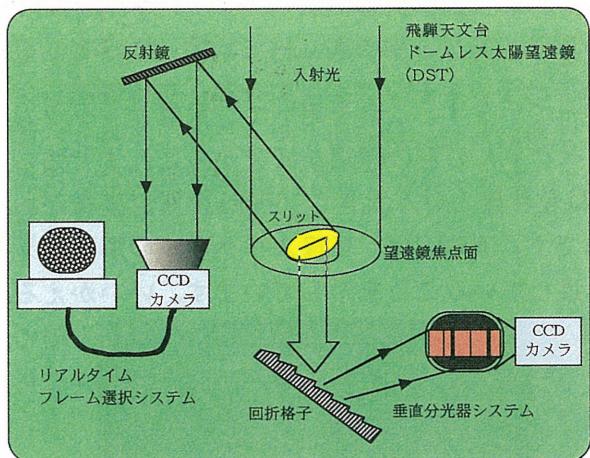
(c)

(8) 太陽内部の対流現象

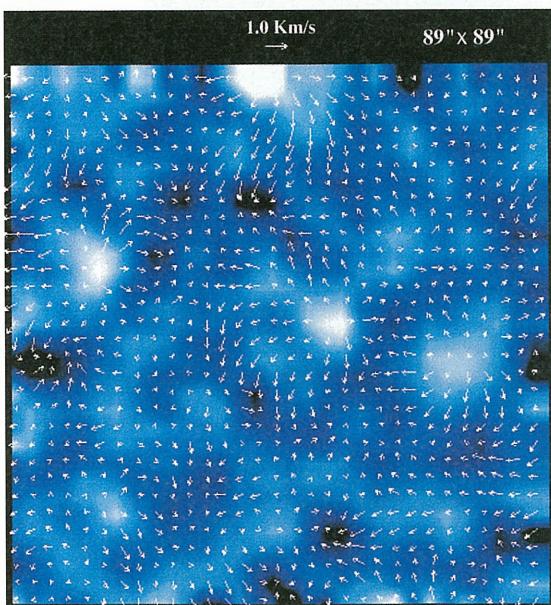
粒状斑間上空における加熱領域の発見

D S T望遠鏡の垂直分光器は、世界一の分散性能を持っています。これを用いて、電離カルシウムのK線の高分解能スペクトルが観測されました。そのスペクトルの形の詳細な研究からこれまで知られていなかったことが見出されました。静穏な光球層では粒状斑という大きさ1000Kmの対流模様があり、その中心は明るく縁では暗くなっているのが一般的です。下の図は、K線スペクトルの解析結果で、粒状斑の暗い場所と、上空における明るい場所が一致していることを示しています。いいかえると、上空では、粒状斑の縁の部分でより加熱されていることが明らかになりました。これは、太陽の外層の大気の加熱という謎を解く重要な手がかりを与える結果です。対流と磁場とが加熱に大きな影響を持っていることを示唆しています。

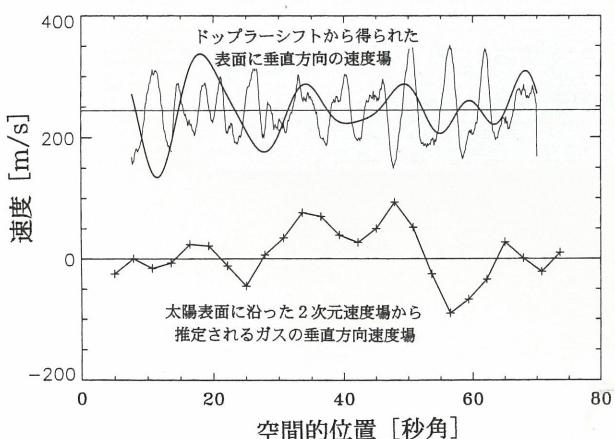




太陽表面の視線方向と水平方向の速度場を同時に取得します。



水平方向の速度場とその勾配。暗い部分がガスが集中して来ている領域、明るい部分が逆にガスが流れ出している領域。

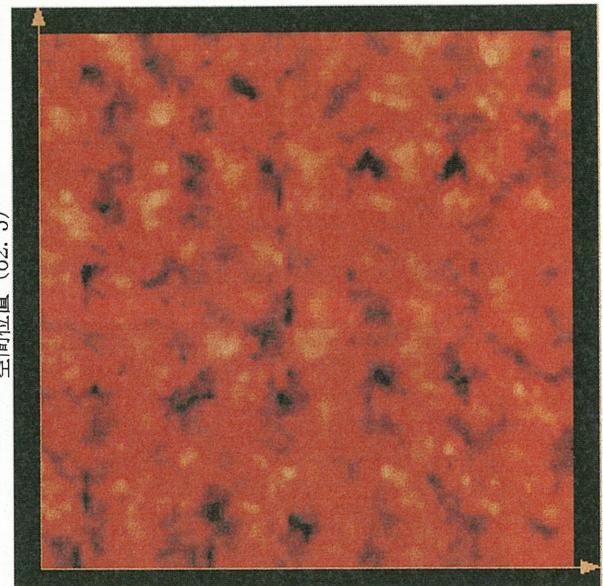


太陽表面のある1直線上での、ガスの垂直方向、水平方向の運動速度の関係。パターンが非常に良く一致しています。

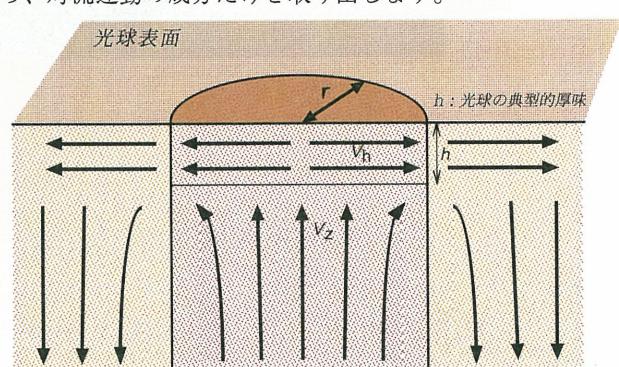
太陽表面の対流について、粒状斑 (granulation) の底が中性水素が電離する境界面に対応し、超粒状斑 (supergranulation) の底が1回電離ヘリウムがさらに電離する境界面に対応していると考えられていることから、古くから中性ヘリウムが電離する境界面に対応する、その中間規模の対流、中規模粒状斑 (mesogranulation) の存在が想像されていました。

飛驒天文台では、光球上を水平に運動するガスの動きを検出する撮像観測と、太陽表面に垂直な方向の運動を10m/sの高精度で決定できる分光観測を同時に行うことにより、それに対応すると思われる速度場構造を3次元的に見事に検出しました。

現在でもその正体が色々議論されている中規模粒状斑が、実際に理想的な対流セルを反映しているという証拠を明確に示したことになります。



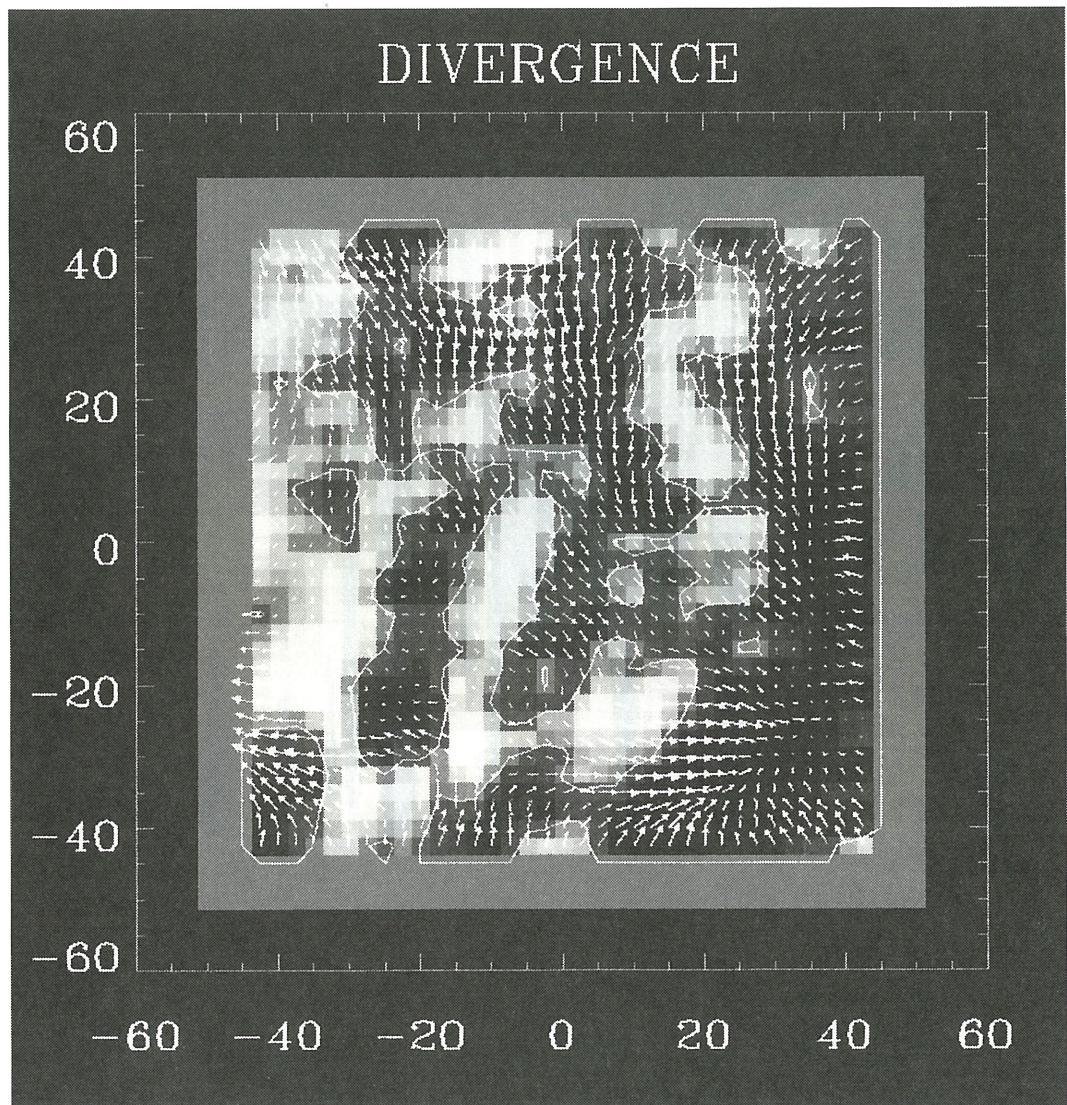
太陽表面に垂直な方向のガス運動の時間変化。約5分周期で大気が振動していることが良く分かります。ここから、対流運動の成分だけを取り出します。



おそらく中規模粒状斑は、このような理想的な対流運動による結果と考えられます。

巨大対流斑

太陽では、粒状斑、中間粒状斑、超粒状斑といった対流による模様があることがしられています。理論面からは、さらに太陽半径と同程度の大きさをもつ巨大粒状斑があることが予想されています。この巨大粒状斑は、太陽の11年の周期活動に深く関係しているといわれています。ところが、これまで観測的には、その有無が確認されていません。飛騨天文台では、フレアモニター望遠鏡の太陽全面連続観測データの解析から、巨大粒状斑をとらえる研究を進めています。これは、太陽全面にある超粒状斑の動きを求めて、超粒状斑を動かしているより大規模な流れの様子をもとめようとするものです。下の図は、観測された流れの場から、太陽の自転成分を差し引いた残りの水平流れの様子を矢印ベクトルで示したものです。また、流れが水平吹き出しのところは明るく、逆に流れ込みの部分は暗く表示されています。太陽経緯度で、南北120度、東西120度の範囲の様子です。巨大対流の吹き出し部分が、逆”く”の字型にならんでいて、理論が予想する形とよく似ています。巨大対流斑の存在の証拠が浮かび上がってきたと考えています。

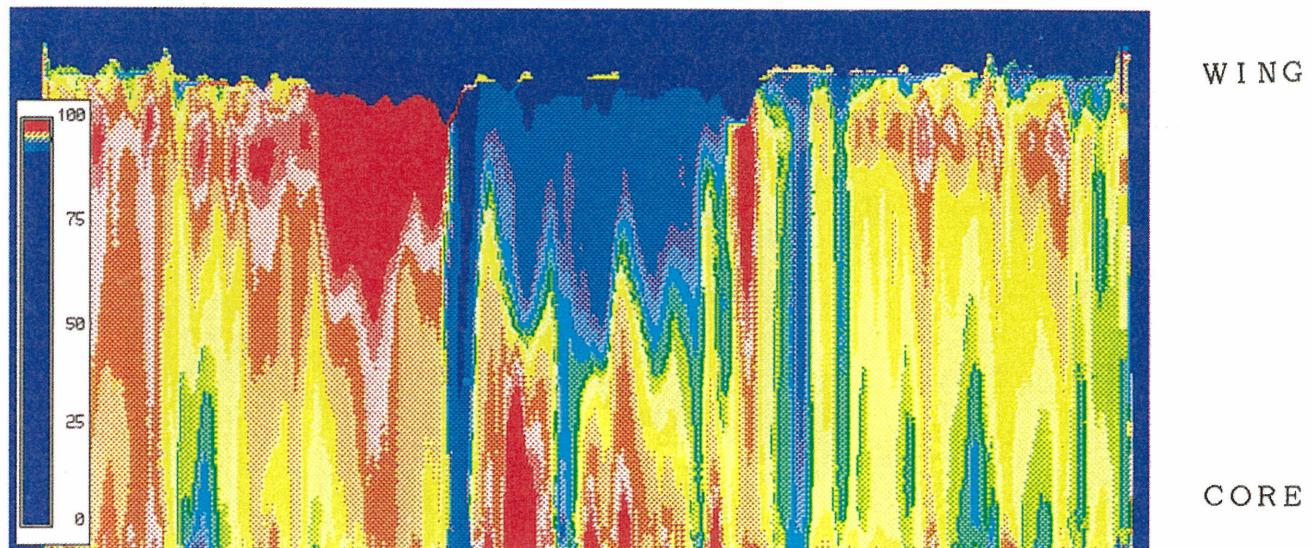


(9) 黒点とその周辺部の速度場

エバーシェッド流の構造

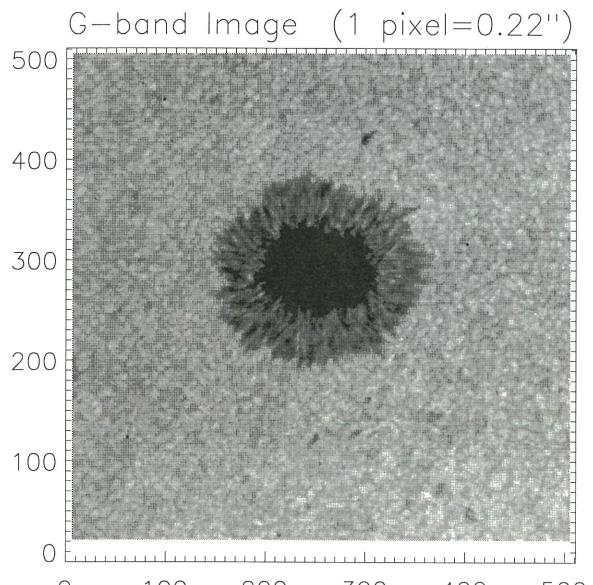
太陽黒点の半暗部には、黒点からその半径方向に外へ向かう流れがあって、エバーシェッド流と呼ばれています。D S T水平分光器の多波長同時スペクトル観測によって、半暗部の深いところでは大きな速度で外向きに流れ、上空に行くにしたがって速度は小さくなり、やがては内向きの流れになるということが精密に確認されました。更に、垂直分光器を用いて、高い空間分解能を生かして、半暗部の場所ごとのスペクトルを詳しく観測すると、エバーシェッド流は、一様で定常な層状の流れではなく、多数の筋状の管の中を様々な速度でガスが流れている複雑な状態であることがわかりました。図は、高分解能スペクトルから得られた結果で、半暗部断面での速度の分布を示しています。暖色系統は半暗部から外向きの、寒色系統は内向きの流れを示します。横方向は半暗部の場所の違いを示します。縦方向は、大気の深さを示します。同じ深さでも、場所によって内向き、外向きの流れがあって複雑な流れとなっています。D S T望遠鏡による磁場の高空間分解能データとの総合解析によって、流れの起源が解明されると期待しています。

Line Asymmetry $\lambda 5434$

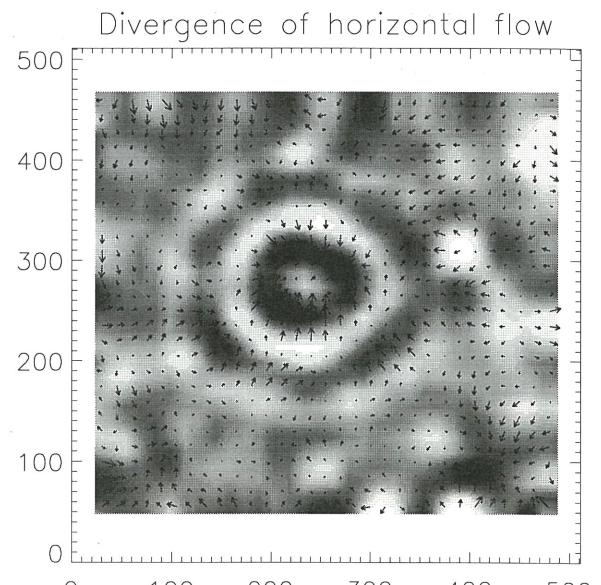


安定な黒点での流れの場

太陽光球部の粒状斑の模様の移動から、中間粒状斑が発見されました。同じ手法を太陽黒点に応用してみたところ、安定な黒点の暗部、半暗部、周辺光球部に極めて特徴的な流れの場があることが見出されました。図の左側は、黒点とその周辺の粒状斑の様子を示します。右側は、得られた水平速度場を矢印ベクトルで示しています。また、流れの吹き出し部分を明るく、流れ込みの部分を暗く表示しています。黒点内部の内向きの流れと半暗部外周光球部から黒点に向かうリング状の流れが明らかにとらえられています。黒点内部の流れは、黒点内部の小さな輝点の運動を一つ一つ求めて得たものと一致しています。周辺のリング状の流れは、初めて見つかったものです。

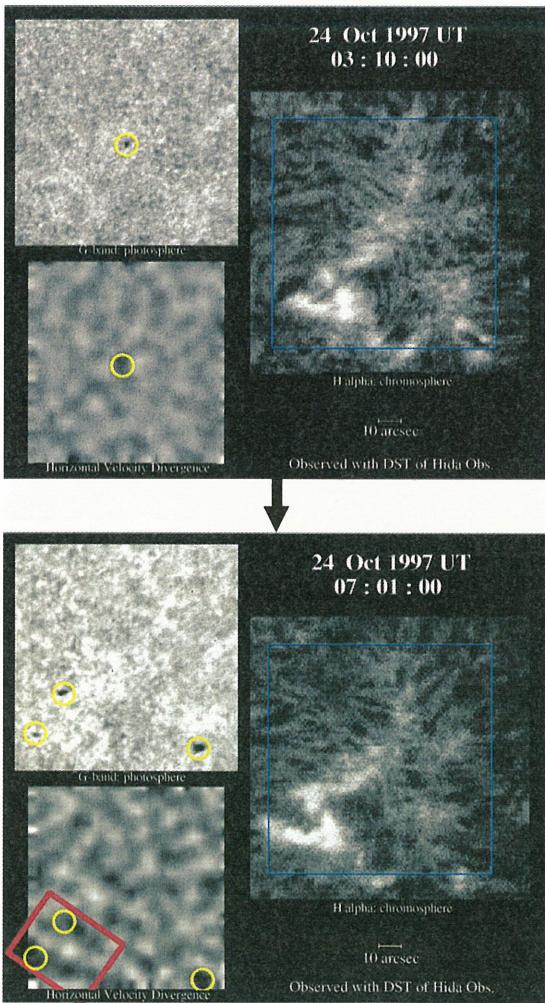


96/Aug/02 NOAA7981



96/Aug/02 NOAA7981

黒点誕生時の速度場の時間発展を捉えた



黒点周辺の光球速度場の研究は古くから行われてきていていますが、様々な黒点のある一時期の速度場を測定するにとどまつたものが多く、ある黒点の形成から崩壊までの大気運動の時間発展を連続的に追尾した研究はまだ少數です。

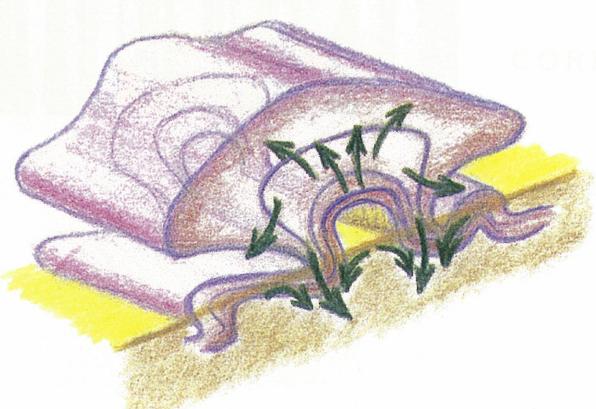
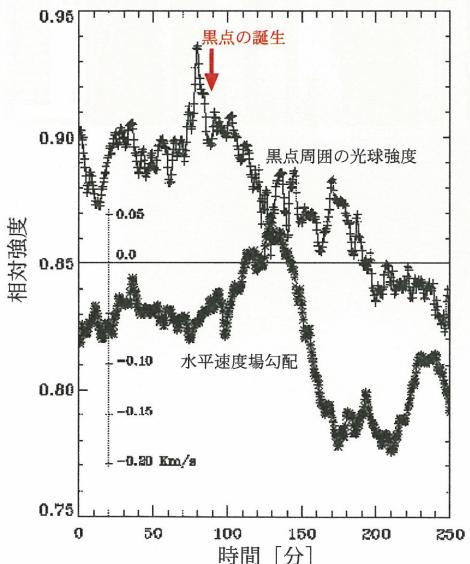
飛騨天文台では、その様な研究の一環として、磁束管浮上領域での小黒点(pore)の生成消滅の様子を詳細にとらえる観測を行いました。

左図は、比較的穏やかな活動領域を含む領域を、6時間以上に渡って時間分解能30秒で追い続けた観測で取得したイメージからの抜粋です。光球を写し出すフラウンホーファーのG線と、彩層の構造を反映する中性水素線のイメージを比較しつつ、水平方向の光球速度場の勾配を示しています。

これらの時間発展の様子から、小黒点が消滅していく過程、誕生して発達していく過程における、特に光球の水平方向のガスの運動の状態を詳細に知ることができました。それによれば、黒点ができる領域上空では、すでに彩層において磁束管中に閉じこめられた水素ガスの構造物が存在し、光球へ向けてその一部が下降しつつあります。その後、その足元の光球での明るさが急に低下し、直後、その周辺の光球ガスが黒点に向けて集中し、その結果黒点は安定して存在する様になります。

彩層においてアーケード的に見える磁場構造物(Arch Filament System)の足元に相当する2本のベルト状の領域においても、黒点こそ出現はしていませんが、上記の様なガスの集中が起っている事が確認され、磁束管が対流層から光球を横切り、彩層に至る過程を数値的にシミュレートした理論的研究による描像とも非常に良く一致することが確認されました。

今後、さらに大規模な黒点に関わる大気運動の時間的変化を詳細に調査していく予定です。



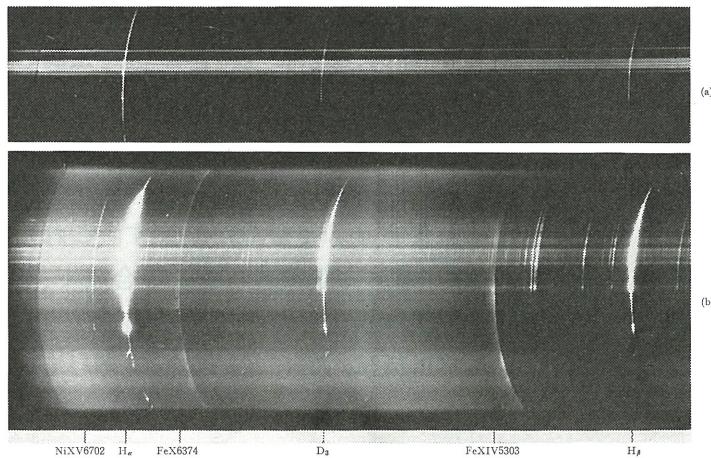
数値シミュレーションから想像される、磁束管浮上時の磁場の形体と、それに伴う大気運動の様子。光球でみられる速度場構造とぴったり一致します。

(10) 太陽コロナの温度密度構造

附属天文台では、飛騨天文台発足後も、1970年（メキシコ）、1973年（モーリタニア）、1976年（オーストラリア）、1980年（ケニア）、1983年（インドネシア）、1991年（メキシコ）と次々と皆既日食観測隊を派遣して、多くの成果を挙げてきました。

彩層の微細構造（スピキュール）の間は100万度の高温コロナであることを実証

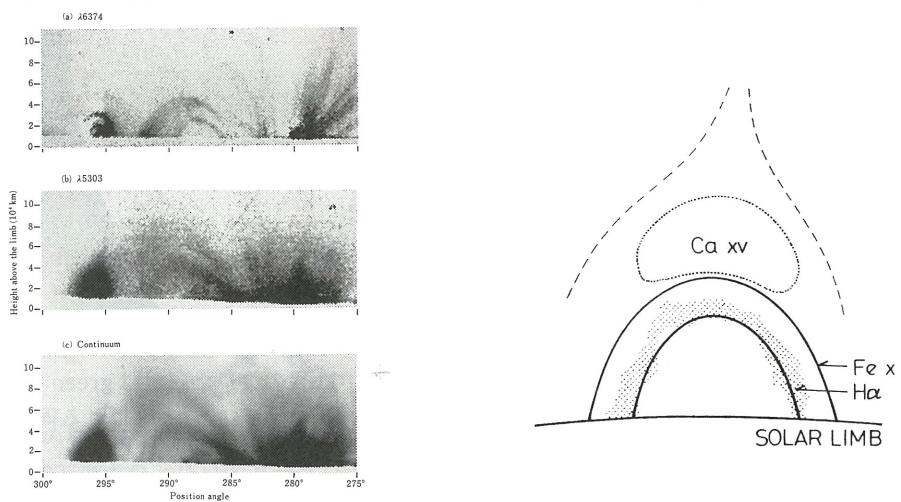
特別に設計した分光器によって、コロナ輝線のスロット・スペクトルを太陽縁ぎりぎりまで、はじめて撮影する事に成功しました。これによって、Fe Xイオンから放射される100万度のコロナ輝線強度が光球上1000 kmまで増加し続けることを見い出し、スピキュールと呼ばれる低温ジェット底部まで、その間は高温コロナで満たされていることを、初めて実証しました。



写真：1970年メキシコ日食で撮影されたフラッシュ・スペクトル。上段は第2接触直前の低部彩層のスペクトル。下段は第2接触直後の彩層及びコロナのスペクトル。

皆既日食でフレアループを初めて観測

1980年の皆既日食で、フレア発生後のポストフレアループを高空間分解のコロナ輝線像（a）と分光スペクトルの両方で初めて同時に撮影することに成功しました。この解析から、100万度の低温コロナループ（FeX6374）の上に350度（CaXV5694）の高温プラズマがカスプ状の構造の中に存在していることを示しました（b）。この高温プラズマ成分は、現在のX線衛星「陽光」でも、確認されました。



a : コロナの微細ループ構造：左の黒い小山がフレアループ。 b : フレアループの温度構造

100万度と200万度のコロナループは独立に存在する

図1は、1991年7月11日にメキシコで観測された皆既日食中のコロナで、東縁付近に見られた活動領域上空の画像です。(a)(b)は、鉄イオン Fe^{+13} および Fe^{+9} の出す波長それぞれ5303 Åおよび6374 Åの光を取り出して見たもので、それぞれ200万度、100万度のプラズマの分布を代表しています。(c)は連続光で見た画像で、温度に依らない領域全体の密度分布を反映しています。図1を見ると、コロナには細い管状の構造が数多く存在しているのがわかります。これらはコロナループと呼ばれるもので、コロナ中の磁場にコロナを構成するプラズマが閉じ込められている姿だと考えられています。これらの画像を詳しく比較することにより、観測領域内の異なる温度成分がどのような分布をし、それらがプラズマ全体に対してどの程度の寄与をしているか調べることができます。

以前の観測（1980年ケニア日食）の解析からは、フレア直後の活発な領域では200万度の太いコロナループの芯部分に100万度の細いループが存在しているという、同軸構造を示す結果が得られています。今回の解析では、より広範囲にわたる分布の違いを再現可能でより定量的な方法で評価するために、OMC (Octdirectional Maxima of Convexities) と呼ばれる構造強調のためのアルゴリズムを利用しました。OMCの使用により、特に(c)の連続光画像では、濃淡が極めて薄く判別の難しかった構造をうまく抽出することができました（図2を参照）。図3は、異なる波長の構造強調画像を色を違えて重ね合わせたものです。(1)は、200万度（緑色）と100万度（赤色）の画像の合成で、両者の構造は重なり合うことなく、ほぼ排他的な位置関係にあることがわかります。これに対して(2)(3)は、それぞれ200万度（緑）と連続光（橙）、100万度（赤）と連続光（橙）の合成で、両者とも(1)に比べて重なり合う度合いが高くなっているのがわかります。以上より、100万度と200万度の構造は全く独立に存在しており、それらが観測領域のプラズマにはほぼ対等に量的な寄与をしている、という新しい描像が明らかになりました。

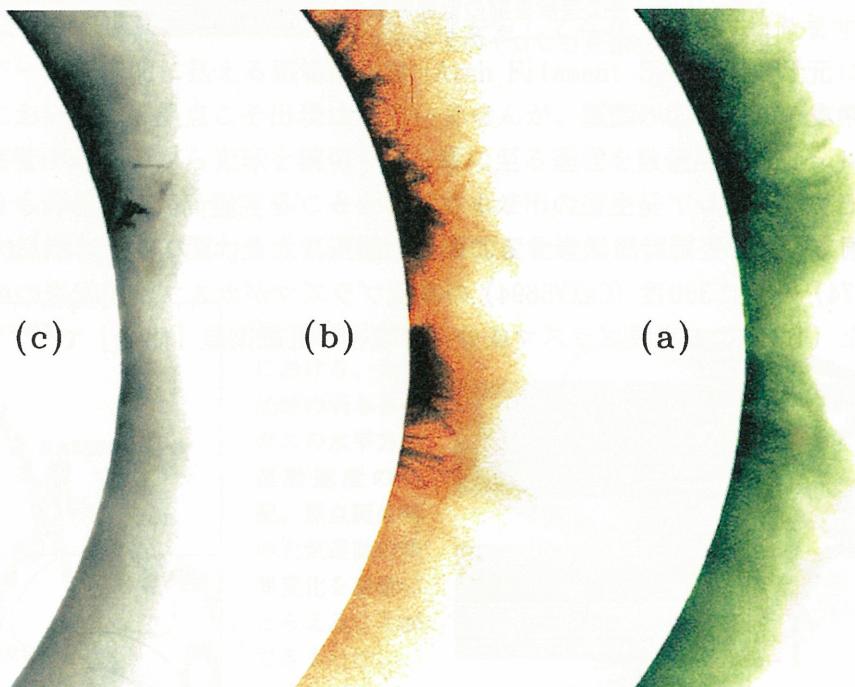


図1. 京都大学日食観測隊が観測した1991年7月11日のコロナ。(a)はgreen lineと呼ばれる鉄イオンの輝線で約200万度のプラズマの指標。(b)はred lineと呼ばれる同じく鉄イオンの輝線で約100万度のプラズマの指標。(c)は連続光で密度の指標。

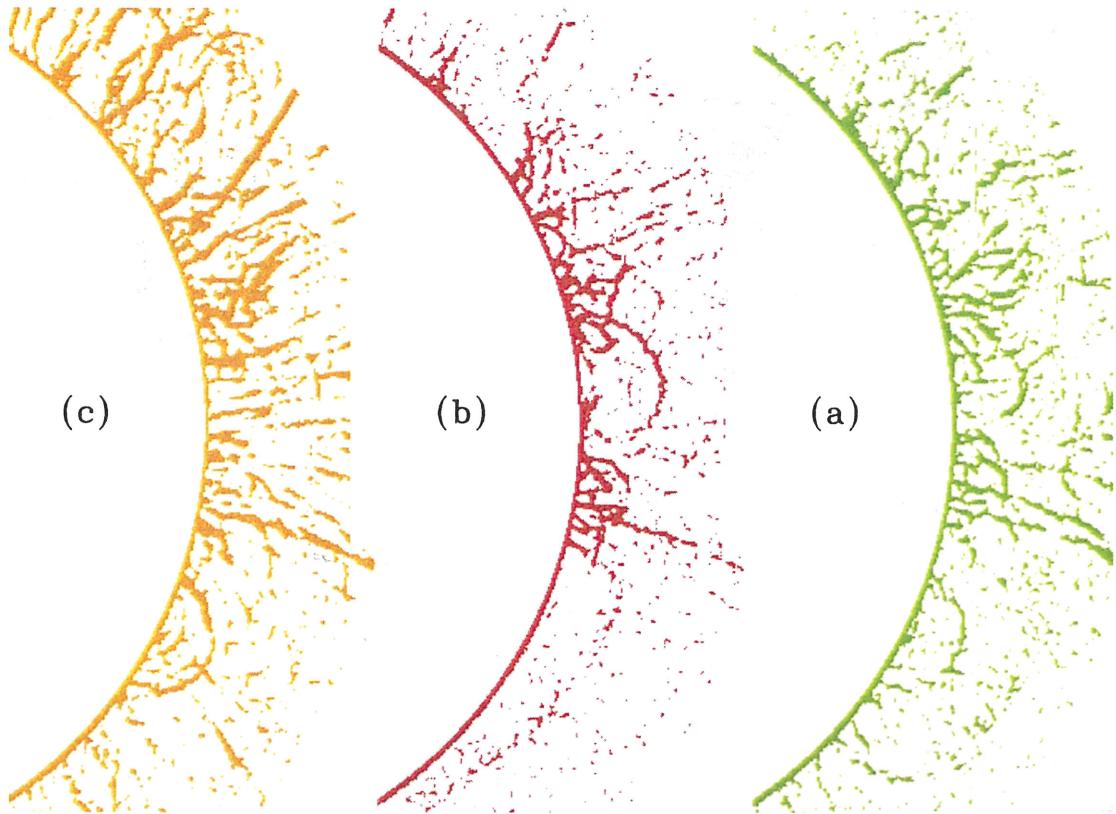


図2. 図1の画像をOMCアルゴリズムによりループ構造を強調したもの。
(a)(b)(c)は図1のものに対応。

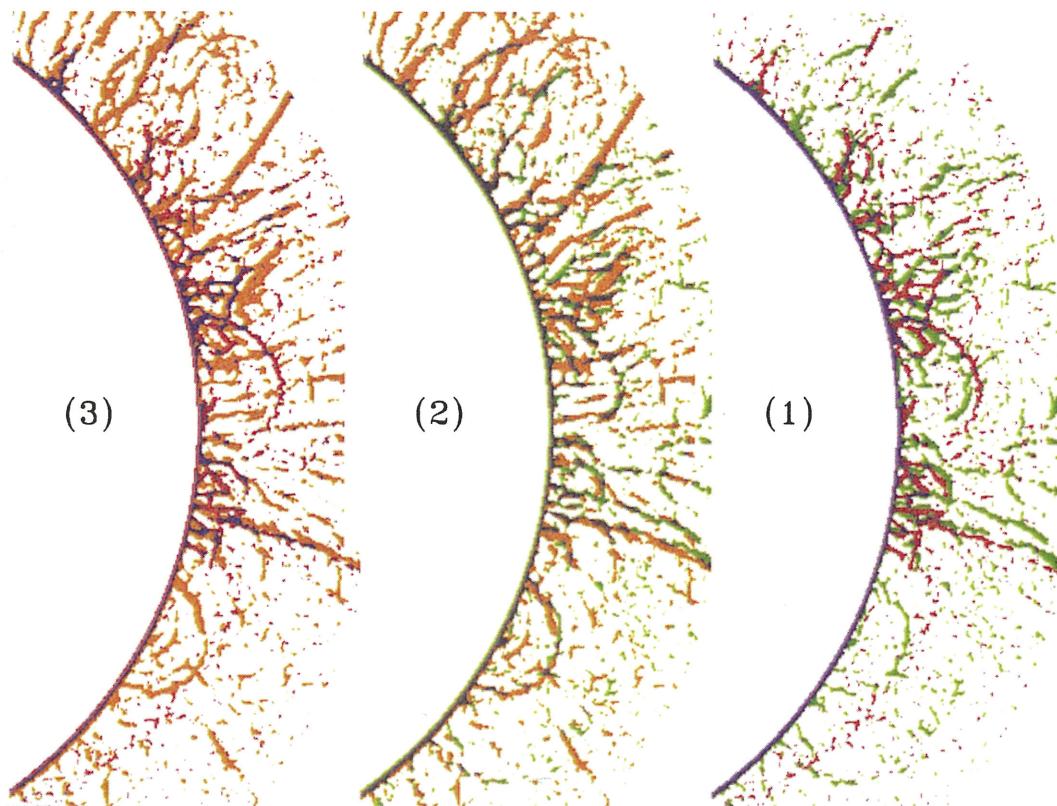
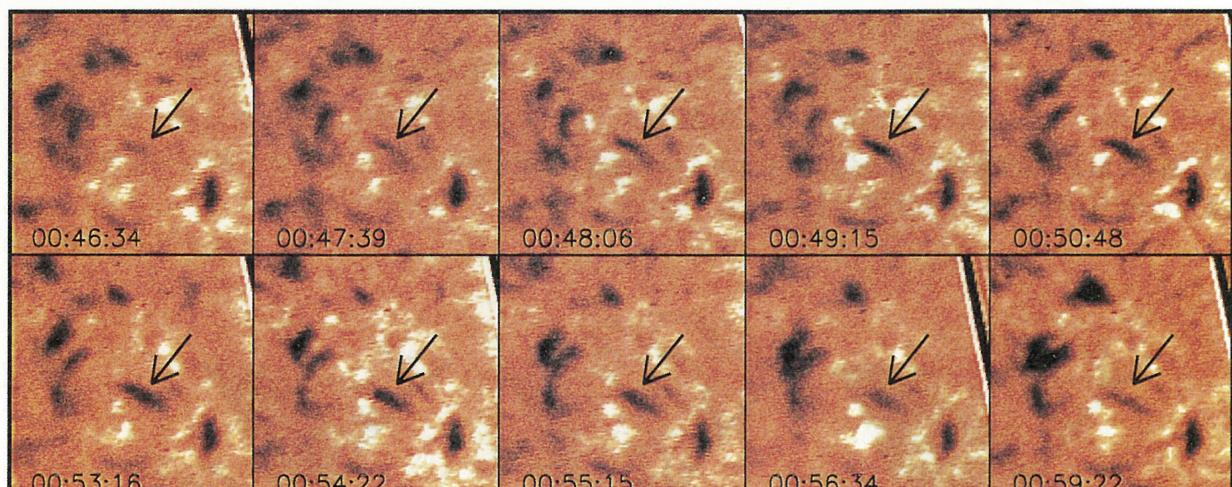


図3. 図2の画像の異なる2枚を重ね合わせたもの。
(1)は図1の(a)200万度成分と(b)100万度成分の合成。同様に(2)は(a)200万度成分と(c)全密度、(3)は(b)200万度成分と(c)全密度の合成。

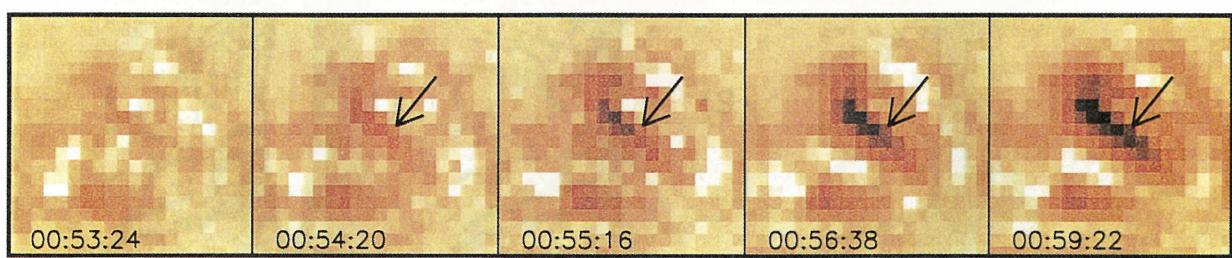
(11) 浮上磁束管が引き起こすコロナループ加熱現象の発見

「コロナ」が何故200万度の高温であるのか？という疑問は「コロナ加熱の問題」と呼ばれ、太陽物理学における、今なお解決されない長年の問題です。

H_α線像で見られる磁束管は一萬度程度のものなので、「活動領域」の初期段階である「磁束管浮上領域」を観測すれば、その一万度の磁束管が「コロナ」の数百万度にまで加熱される様子が見られるはずです。我々は、今までに数回、日本が1991年に打ち上げた人工衛星「ようこう」と共同観測を行い、飛騨天文台で得られたH_α線像と「ようこう」の軟X線を比較することによって、「磁束管浮上領域」における低温磁束管（H_αで確認）と高温のそれ（軟X線で確認）の関係について調べました。その結果、H_α線像で低温の浮上磁束管が確認されてから数分後に軟X線像で明るい高温のループが発生する様子を初めて観測することに成功しました。この現象は、浮上してきた磁束管が、コロナ中の磁場との間で、「磁場の再結合」と呼ばれる現象を起こしており、その結果として磁束管が数百万度の高温にまで加熱されていることを示しています。このような対応関係は、ほとんどの浮上磁束管において見つかっており、かなり一般的な現象であると思われます。このような clear な時間関係が示されたのは、世界でも初めてのことです。



(a)



(b)

(a) はドームレス太陽望遠鏡で撮られた画像の時間変化で、H_α線で見た太陽表面の一部です。図中に矢印で示したものが浮かび上がってきた磁束管です。「Ω」形のループを真上から見ているので「線分」に見えています（これは軟X線の図でも同様です）。それぞれの画像の左下に示されているのは、画像の取得時間（世界標準時）です。（b）は「ようこう」で撮られた軟X線画像です。色の濃い部分は、そこに何らかのエネルギー解放が起ったことを示しています。

4. 望遠鏡建設と装置開発

(1) 60 cm反射望遠鏡

この望遠鏡は昭和35年に津上製作所でつくられ、花山天文台に設置されました。そこでは昭和41年まで月や惑星の写真観測に使われました。昭和42年、飛騨天文台へ移転するために津上製作所長岡工場でオーバーホールされ、昭和43年に飛騨天文台の7 mドームに据えられました。平成9年に駆動用モーター一式及び配電装置を更新しました。同時に、エンコーダーを極軸につけ、望遠鏡が向いている方向の赤経値をパソコンに表示させるようにもしました。

昭和46年までは主にカセグレン焦点での月・惑星の写真観測に使われました。その間恒星の分光観測も試験的に行われました。65cm屈折望遠鏡が設置された以降は、彗星や星雲・星団の広視野を必要とする観測に使われてきました。平成9年にリツー応用光学製の分光器が導入され、惑星や恒星の分光観測にも使われています。主鏡とカセグレン鏡のメッキは少なくとも2年に1回梅雨時に行われています。

<光学系>

主鏡の焦点距離は3.3 m、F数は5.5です。カセグレン式の合成焦点距離は12 m、F数は20です。カセグレン鏡をはずし、ニュートン式にすることもできます。

<観測装置>

ニュートン式：星野カメラ (108mm × 84mm 乾板)

カセグレン式：眼視観測装置

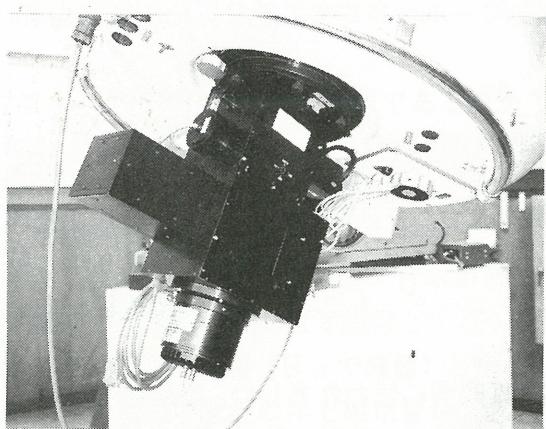
電磁シャッターカメラ (カットフィルム、プロニーフィルム)

プラネットカメラ (35mmフィルム、CCD)

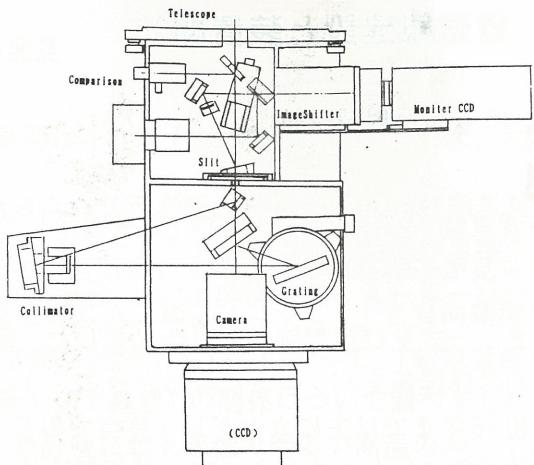
カセグレン分光器

表1. カセグレン分光器の主な仕様

波長範囲	250nm - 1200nm (回折格子交換による)
コリメーター鏡	軸外放物面鏡。 焦点距離 275mm (F/20 に最適化)
カメラレンズ	焦点距離 85mm, F/1.4
光学配置	インライン式ハイブリッド光学系 小型天体分光器用として、入射光軸と射出光軸を同一直線上に配置
線分散度	20 - 10 nm/mm (回折格子交換による)
分解能	10000 以上
スリットモニター	鏡面スリットにより像野観察可能
ガイディング	自動案内装置による高精度ガイディング可能
比較スペクトル	Ne ホロカソード管
筐体寸法	230(W) × 170(H) × 369(D) (突起部を含まず)
重量	13 kg



60cm反射望遠鏡につけられた分光器



分光器の光学系配置図

(2) 65 cm屈折望遠鏡

昭和46年度にカールツアイス製65cm屈折望遠鏡が新設されました。この望遠鏡は月・惑星の精密観測を主な目的として導入されましたが、彗星や星団・星雲の観測にも使われています。昭和57年、モニター用に西村製作所製20cm屈折望遠鏡が鏡筒にとりつけられました。屈折望遠鏡は像が安定していますしコントラストも高いですから、眼視観測には最適です。眼視の倍率は66倍から875倍の範囲で使用できます。マイクロメーターを使いますと、惑星面上の距離や二重星の角距離などの測定ができます。

写真観測装置には星野カメラとプラネットカメラがあります。星野カメラには16cm×16cmの乾板のほか、ペンタックス6×9、プロニカ、ニコンのカメラボディをつけられます。プラネットカメラは必要に応じて像をアイピースで拡大し、9.5m以上の任意の合成焦点距離で撮影できます。プラネットカメラには35mm長尺フィルム用ニコンマガジン、CCDカメラ、SITカメラを装着できます。SITカメラは高感度ビデオカメラです。

昭和53年までは現像の都合上、プロニー12駒撮りフィルムと35mm36駒撮りフィルムを主に使用していました。太陽望遠鏡ができ、自動現像機が導入されますと、35mm250駒撮りの長尺フィルムを用いるようになりました。平成5年にCCDカメラが購入されてからは、広い領域の撮影が必要な場合を除き、フィルムは使われなくなっています。

<光学系>

口径65cm、焦点距離10.5m、F数15のレンズは2枚重ね合わせのEタイプで、波長530nmで最良の像が得られるように設計されています。短波長域と長波長域で色収差が大きくなりますので、1981年に色収差補正レンズをつけました。それにより、ブルーと近赤外で質の高い写真が撮れるようになりました。色収差補正レンズを使いますと、望遠鏡の焦点距離は9.5mになります。

<観測装置>

眼視観測装置には次のものがあります。

アイピース：12mm、16mm、25mm、40mm、100mm、160mm

天頂ミラー

ファイラー マイクロメーター

写真観測装置には次のものがあります。

星野カメラ 16cm × 16cm 乾板、プロニーフィルム、35mm フィルム)

バーローレンズ拡大装置 (ニコンマウン: X 2、X 3、X 4)

プラネットカメラ 35mm 長尺フィルムニコンマガジン

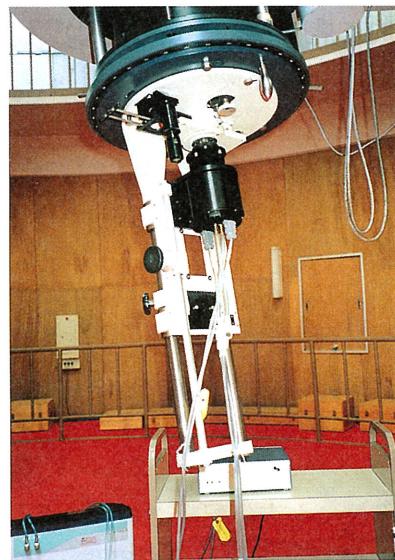
S I T カメラ (浜松フォトニックス)

イメージ・インテンシファイナー (ナイテック)

C C D カメラ (水冷式、スペクトラソース H P C - 1 S)



65cm 屈折望遠鏡



C C D を装着したプラネットカメラ

表 2. 60cm 反射望遠鏡と 65cm 屈折望遠鏡の概要

	60cm 反射望遠鏡	65cm 屈折望遠鏡
口径	600mm	650mm
焦点距離	3,300 mm (主焦点) 12,000 mm (カセグレン焦点)	10,500 mm
分解能	0.19"	0.18"
集光力	7,400	8,600
極限等級	16.1 等級	16.2 等級
追尾精度	1.5" /30分時	0.1" /9分時
筒の大きさ	860mm × 3,700mm	930 mm × 11,500mm
総重量	4.5 ton	17 ton
極軸先端の位置	137° 18' 28.192" E 36° 14' 58.627" N 1286.64 m	137° 18' 29.609" E 36° 14' 56.225" N 1275.81 m

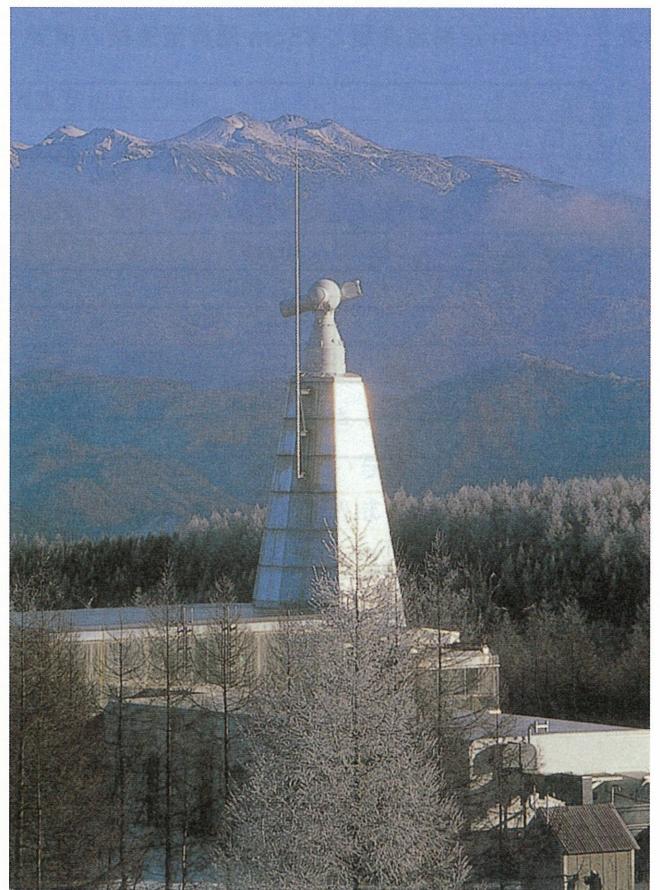
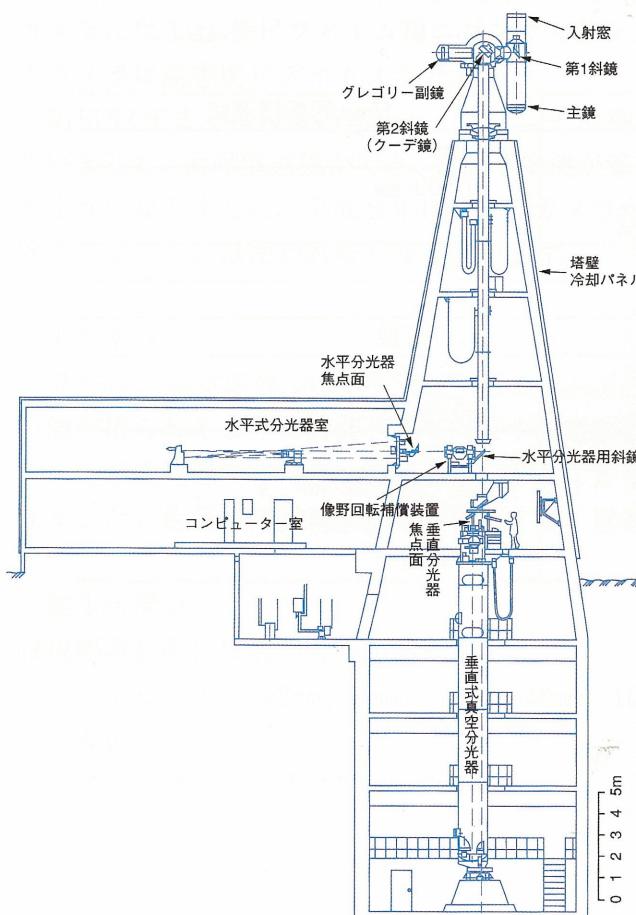
(3) ドームレス太陽望遠鏡

DSTと略称される「ドームレス太陽望遠鏡」(Domeless Solar Telescope)は、太陽表面の微細構造の精密観測装置として設計・開発された特殊望遠鏡で、1979年5月の竣工当初より世界屈指の高解像力望遠鏡として注目され、以来、研究テーマ・観測方法の変遷にも柔軟に対応して、機器開発・整備拡充が進められ、現在もなお世界第1級の高水準を維持し活躍を続けています。

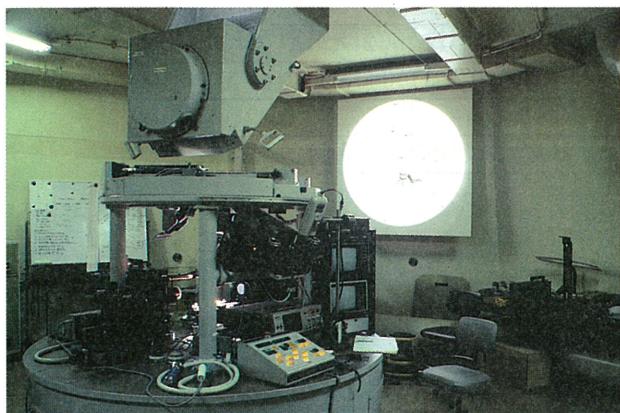
「望遠鏡」の性能・諸元は右表の通りですが、高解像力の「太陽望遠鏡」として国際的に高い評価を得ている理由は、強い光と強烈な熱をともなう太陽の場合、従来不可避とされていた熱による「像質低下」を積極的に排除する様々な対策が講じられているからです。望遠鏡「周辺」での像質低下の主要原因には、(1) 地面・建物からのかけらう、(2) 光学部品の熱変形、(3) 望遠鏡内の熱乱流、(4) 器械的散乱光等があります。これらに対し、(1a) 望遠鏡を高い塔上に設置、(1b) ドームレスの形式、(1c) 最小の塔頂面積、(1d) 塔壁表面の外気温への冷却保持、(2a) 超低熱膨張率ガラス素子、(2b) 入射窓の金枠部・中心遮蔽部の受熱遮断、(3) 望遠鏡内部の真空化、(4a) 最少数の光学素子、(4b) 1次焦点の視野絞、等の積極策が講じられています。この他にも大小様々な工夫が随所に施されています。勿論、通常の天体望遠鏡に必要な高い指点精度・高精度の追尾・容易な操作性にも十分配慮されており、理論的光学性能に即した高精細の結像を実現しています。これらの配慮や試みは、その後に建造された世界各国の太陽望遠鏡にも多くの示唆を与えてきました。

●望遠鏡の性能

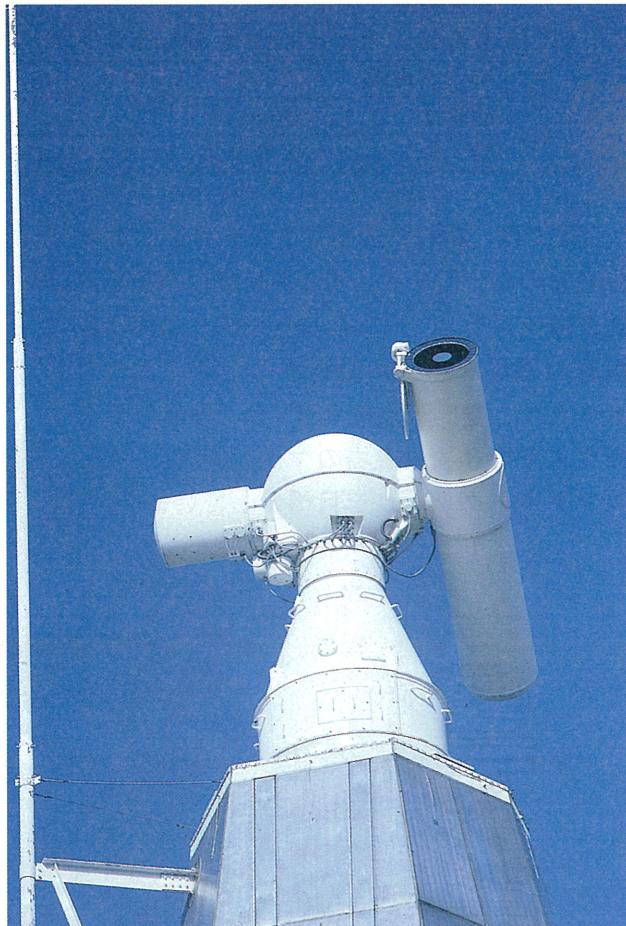
型 式	ドームレス型真空式塔望遠鏡
光学形式	グレゴリー式反射望遠鏡
有効口径	600mm
主鏡焦点距離	3,150mm
副鏡との合成焦点距離	32.19m
副鏡との組合せによるF数	F/53.7
分 解 能	0".18
有効視野	±18'
中心遮蔽率	0.39
二次太陽像直径	300mm
日周追尾方式	コンピューター制御光電案内装置付
望遠鏡筒内真空度	2~5mmHg
架 台	高度方位式
望遠鏡総重量	21ton



DSTの円滑な動作は、様々な「裏方」に支えられています。望遠鏡「油圧装置」は、21トンの望遠鏡を $50\mu\text{m}$ (=1/20mm)の油膜に浮かべ、高速のコンピューターとエレクトロニクス回路による滑らかな駆動を実現しています。「気象観測装置」は、時々刻々の気温・気圧をオンラインで送出し、大気の屈折率変動のリアルタイム補正に供されます。「屋外監視装置」は、望遠鏡の姿勢や天空の状態を観測者に知らせます。「昇降作業台」は、塔頂の望遠鏡に接近できる唯一の「脚」であり、「道具」で、日常の点検・整備や故障修理・内部点検に欠かせません。また、機械棟では、塔壁冷却パネルの運転・制御や塔屋内の給排気・温度管理が行われています。これらも、ドームレス太陽望遠鏡本体と不可分の構成要素です。



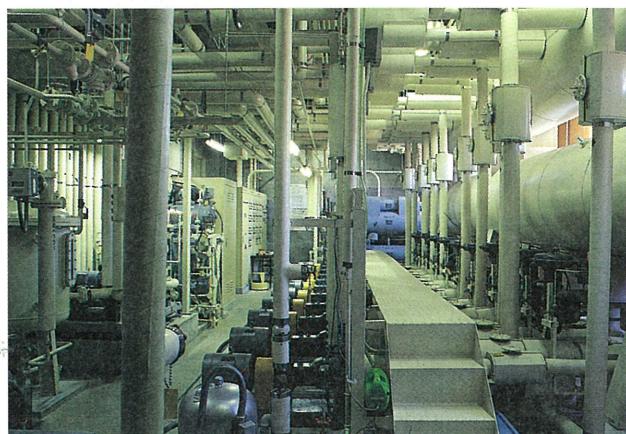
垂直分光器観測室



塔頂のグレゴリー望遠鏡
(蛇の目様の入射窓に注目)



昇降作業台による点検



機械室内部
(右側の大きなタンクがブラインヘッダー)

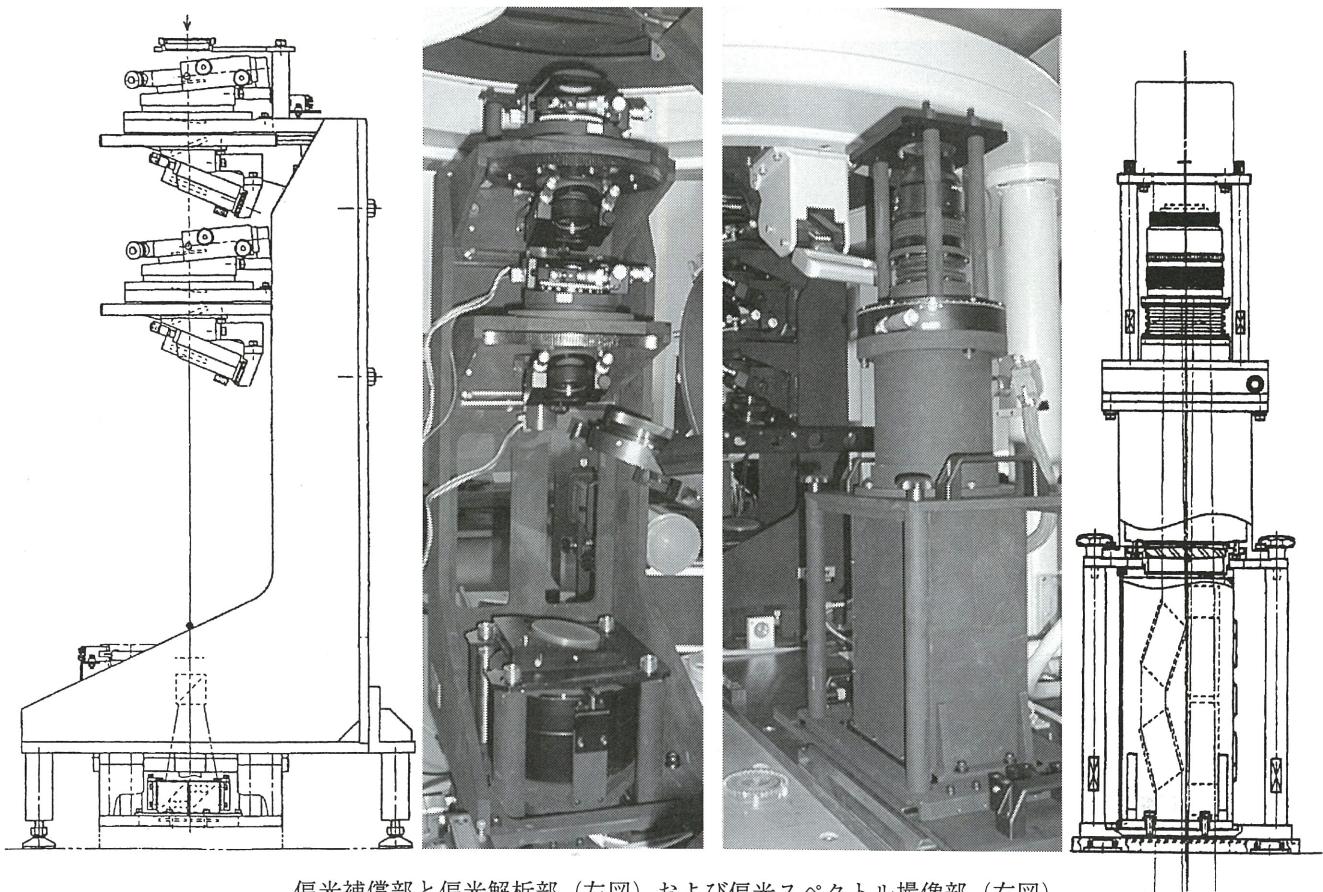
ドームレス太陽望遠鏡には、物理観測用大型設備として、2種類の分光器が装備されています。「垂直式真空分光器」は、世界最大の大型回折格子（刻線面積 420mm × 320mm）を備えた超高分散分光器で、太陽面上の 200m/s のガスの流れを明瞭に識別することができます。また、「水平分光器」は、同時多色観測用で、6連のカメラ鏡による計 4.2m の長大なスペクトル・ポートから任意の波長の光を同時に取り出せる、世界に類例の無い設計の広視野分光器です。

●分光器の性能

	垂直分光器	水平分光器
光学形式	ツェルニー・ターナ型真空分光器	ツェルニー・ターナ型
焦点距離	14m	10m
分散能	0.14 Å /mm (5次スペクトル)	0.33 Å /mm (2次スペクトル)
有効波長域	3,600 ~ 11,000 Å	3,600 ~ 11,000 Å
総重量	10ton	3 ton
特 長	高分解能	全波長域同時撮影可能

DST では、高精細の解像力と、垂直式真空分光器の高分散を活用する最新装置の開発研究が着々進行中です。その一つが太陽面微細構造の磁場を精密に測定するためのポラリメータで、空間分解能 0.3" 角、検出限界 5 ガウスでの 3 次元磁場のマッピング(ベクトルマグネットグラム) を目標としています。

観測波長 : FeI 6302.5nm (g=2.5)
 有効視野角 : 2'
 偏光変調子 : $\delta = 127^\circ$ 薄型回転波長板
 検光子 : 3-Wollaston Beam Splitter
 Pixel 分解能 : 0.3" (spatial) × 0.8pm (spectral)
 Frame Rate : 16fps
 A/D 分解能 : 12bit



偏光補償部と偏光解析部（左図）および偏光スペクトル撮像部（右図）

(4) 太陽フレア監視望遠鏡

1991年から5ヶ年計画で実施された、太陽地球エネルギープログラム（S T E P）国際協同研究に参加して、新しいタイプの太陽フレア監視望遠鏡を設計製作して、1991年3月に飛騨天文台に設置しました。

この望遠鏡は4本の太陽全体像望遠鏡（H α 中心、H α -0.8Å、H α +0.8Å、連続光）と1本の太陽周縁像（プロミネンス像）望遠鏡（H α 中心）、及び1本の光電追尾望遠鏡の、合計6本の小望遠鏡で構成されています。これらは、1台のフォーク式架台に同架されて、1体として運転制御されています。

H α 線の3波長で連続同時観測出来るのは世界にも例がなく、この特徴を生かして、フィラメント消失の観測で多くの成果が得られてきています。

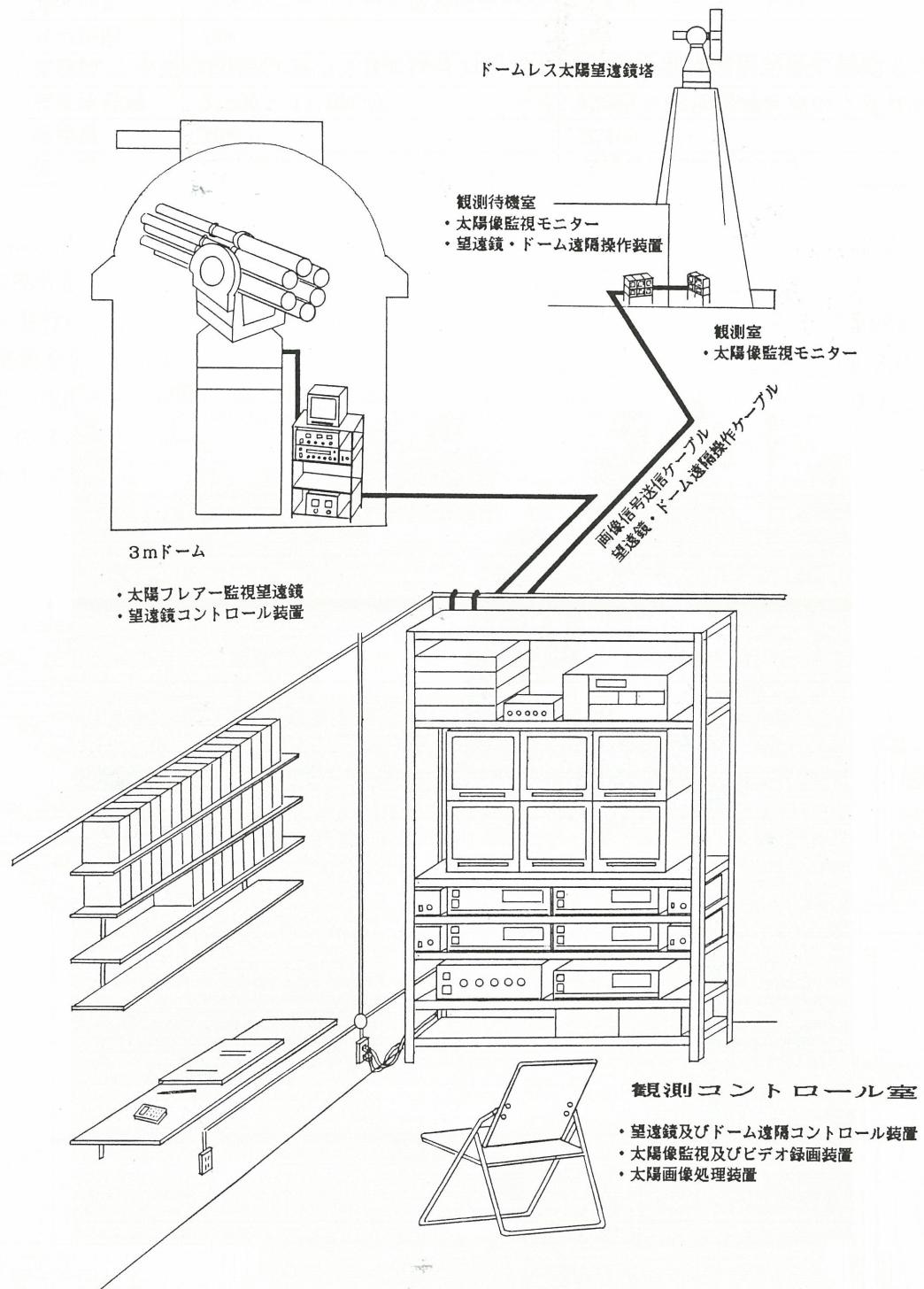


1991年に新設された太陽フレア監視望遠鏡とドーム。右後方にはドームレス太陽望遠鏡が見えています。

5本の望遠鏡に取り付けられたビデオCCDカメラによって、4波長の太陽全体像と1波長の太陽周縁像が撮影されて、観測コントロール室に送られます。そこで、5台のVTRで連続録画されると同時に、パソコンによってデジタル信号に変換されてCDROMにも保存されています。

又、同じ画像は、ドームレス太陽望遠鏡の観測室にも送られ、そこでの高分解観測の対象を決める際に利用されています。

太陽フレアー監視望遠鏡システム 概念図



5. 研究論文リスト

太陽系物理学分野論文リスト (1968年 - 現在)

- Miyamoto, S.
Meteorological Observations of Mars during the 1967 Opposition
Contr. Inst. Astrophys. Kwasan Obs. Univ. Kyoto, No. 169, 1-35, 1968.
- Miyamoto, S.
Mantle Convection and Selenological Histories
Contr. Inst. Astrophys. Kwasan Obs. Univ. Kyoto, No. 170, 1-11, 1968.
- Miyamoto, S.
Morphological Study of Lunar Crust
Icarus, 9, 440-445, 1968.
- Miyamoto, S.
Meteorological Observations of Mars during the 1969 Opposition
Contr. Inst. Astrophys. Kwasan Obs. Univ. Kyoto, No. 184, 1-63, 1970.
- Iwasaki, K.
A Non Gray Greenhouse Model and Microwave Absorption in the Atmosphere of Venus
Publ. Astro. Soc. Japan, 23, 387-397, 1971.
- Miyamoto, S.
Meteorological Observations of Mars during the 1971 Opposition
Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 206, 1-72, 1972.
- Miyamoto, S.
Life Cycle of Martian Polar Cap, Sand Storms, and General Circulation
Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 207, 73-80, 1972.
- Ebisawa, S.
Analytical Study on the Secular and Seasonal Modifications of Martian soil
Contr. Kwasan Hida Obs., No. 210, 1-82, 1973.
- Miyamoto, S.
Water Vapor and Martian Meteorology
Contr. Kwasan Hida Obs. Univ. Kyoto, No. 211, 1-12, 1973.
- S. Miyamoto.
Meteorological Observations of Mars during the 1973 Opposition
Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 217, 1-64, 1974.
- Miyamoto, S.
Seasonal Change of the Martian Polar Caps
Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 218, 1-8, 1974.
- Miyamoto, S.
Seasonal Change of Martian Albedo Features
Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 219, 1-10, 1974.
- Miyamoto, S.
Morphological Study of Mercury Crust
Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 220, 1-9, 1974.
- Hattori, A and Akabane, T.
Photographic Observations of Mars during the 1973 Opposition.
Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 221, 1-25, 1974.
- Ebisawa, S.
Planisphere of Mars Showing the General Features of Surface Markings during the 1973 Opposition before the Appearance of Large Dust Storm
Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 224, 1-2, 1975.
- Akabane, T.
Formation of Lunar Thalassoids.
Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 228, 1-15, 1975.

- Akabane, T.
 Evolution of Maria and Development of Terra of the Moon.
 Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 232, 1-31, 1976.
- Hattori, A., Akabane, T., Matsui, M., and Ishiura, K.
 Photographic Observations of Mars during the 1975 Opposition.
 Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 233, 1-25, 1976.
- Saito, Y.
 Sinus Rills in Western Mare Imbrium
 Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 234, 1-12, 1977.
- Iwasaki, K., Saito, Y., and Akabane, T.
 Behavior of the Martian North Polar Cap, 1975-1978.
 J. Geophys. Res., 84, 8311-8316, 1979.
- Akabane, T., Matsui, M., Ishiura, K., Hattori, A., Iwasaki, K., Saito, Y.,
 Asada, T., Saito, S., and Nakai, Y.
 Photographic Observation of Mars during the 1977-1978 Opposition.
 Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 242, 1-27, 1980.
- Miyamoto, S.
 Morphological Sequence of Craters in Moon, Mercury, and Mars
 Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 244, 1-9, 1980.
- Miyamoto, S.
 Central Features of Galilean Satellites of Jupiter
 Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 245, 11-17, 1980.
- Miyamoto, S.
 Landforms of Mercury Crust
 Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 246, 19-31, 1980.
- Akabane, T., Matsui, M., Ishiura, K., Iwasaki, K., Saito, Y., and Kitahara, T.
 Photographic Observations of Mars during the 1979-1980 Opposition.
 Contr. Kwasan Hida Obs., Univ. Kyoto, No. 250, 1-40, 1982.
- Iwasaki, K., Saito, Y., and Akabane, T.
 Martian North Polar Cap 1979-1980.
 J. Geophys. Res., 87, 10265-10269, 1982.
- Akabane, T.
 The Secondary Tail of Comet West 1976 VI.
 Pub. Astron. Soc. Japan, 35, 565-578, 1984.
- Iwasaki, K., Saito, Y., and Akabane, T.
 Martian North Polar Cap and Haze 1981-1982.
 Pub. Astron. Soc. Japan, 36, 347-356, 1984.
- Asada, T.
 Numerical Experiments of Intermediate Scale Eddies and STrD on Jupiter
 J. Meterolog. Soc. Japan, 63, 359-376, 1985
- Iwasaki, K., Saito, Y., and Akabane, T.
 Martian South Polar Cap 1973.
 Pub. Astron. Soc. Japan, 38, 267-275, 1986.
- Akabane, T., Iwasaki, K., Saito, Y., and Narumi, Y.
 The Optical Thickness of the Blue-White Cloud near Nix Olympica of Mars in 1982.
 Pub. Astron. Soc. Japan, 39, 343-359, 1987.
- Akabane, T., Hanaoka, Y., Iwasaki, K., Kawakami, S., Nakai, Y., Saito, S., and Takeuchi
 A.Dust and C2-Contents in the Coma of Halley's Comet (1986 III).
 Mem. Faculty Sci., Kyoto Univ., Series A, 37, 283-290, 1988.
- Iwasaki, K., Saito, Y., Nakai, Y., Akabane, T., Panjaitan, E., Radiman, I., and Wiramihardja, S. D.
 Behavior of the Martian South Polar Cap 1986.
 Pub. Astron. Soc. Japan, 41, 1083-1094, 1989.
- Iwasaki, K., Saito, Y., Nakai, Y., Akabane, T., Panjaitan, E., Radiman, I., and Wiramihardja, S. D.
 Regression of the Martian South Polar Cap 1988
 Proc. 22nd ISAS Lunar and Planetary Symp. pp.30-36, 1989

- Akabane, T., Iwasaki, K., Saito, Y., and Narumi, Y.
 Blue Clearing of Syrtis Major at the 1982 Opposition.
J. Geophys. Res. 95, 14649-14655, 1990.
- Iwasaki, K., Saito, Y., Nakai, Y., Akabane, T., Panjaitan, E., Radiman, I., and Wiramihardja, S. D.
 Martian South Polar Cap 1988.
J. Geophys. Res. 95, 14751-14754, 1990.
- Iwasaki, K., Saito, Y., Nakai, Y., Akabane, T., Panjaitan, E., Radiman, I. and Wiramihardja, S.D.
 A Note on the Regression of Martian South Polar Cap 1990
Proc. 24th ISAS Lunar and Planetary Symp. pp.172-175, 1991
- Akabane, T., Iwasaki, K., Saito, Y., and Narumi, Y.
 Opacities of the 1973 dust storm over the Solis Lacus, Hellas, and Syrtis Major areas of Mars.
Astron. Astrophys. 255, 377-382, 1992.
- Akabane, T., Saito, Y., Iwasaki, K., and Narumi, Y.
 Martian Late-Northern-Winter Polar Hood Opacities and Non-Visibility of a Surface Cap: 1975 and 1990 Observations.
Astron. Astrophys. 277, 302-308, 1993.
- Asada, T., Gierash, P. J., and Yamagata, T.
 Initial Development of Eddies in High-Speed Zonal Flow: One Interpretation for NTB Activity of Jupiter
Icarus 104, 60-68, 1993.
- Akabane, T., Saito, Y., Iwasaki, K., and Narumi, Y.
 Martian North Polar Hoods in Early Autumn and Late Winter
Proc. 26th ISAS Lunar and Planetary Symp. pp.48-51, 1993
- Iwasaki, K., Larson, S.M., Ebisawa, S., Akabane, T., Panjaitan, E., and Radiman, I.
 Martian North Polar Cap in 1992-1993 from Image Processed CCD and Photographic Images and Drawings
Proc. 26th ISAS Lunar and Planetary Symp. pp.52-55, 1993
- Akabane, T., Saito, Y., Iwasaki, K., Narumi, Y., and Martin, L.J.
 Behavior of the Martian North Polar Hood in 1969
Proc. 27th ISAS Lunar and Planetary Symp. pp.35-38, 1994
- Iwasaki, K., Akabahe, T., and James, P.B.
 Martian North Polar Cap in 1990-1991 from CCD Observations with the Hubble Space Telescope
Proc. 27th ISAS Lunar and Planetary Symp. pp.43-46, 1994
- Akabane, T., Saito, Y., Iwasaki, K., and Martin, L. J.
 The North Polar Hood in Early Autumn on Mars.
Astron. Astrophys. 304, 595-601, 1995.
- Lindner, B.L., Iwasaki, K., and Akabane, T.
 Analysis of Japanese Observations of the Martian Polar Caps
Bull. American Astron. Soc. 27, pp.828-829, 1995
- Iwasaki, K., Larson, S.M., and Akabane, T.
 Search for the Martian North Polar Cap before Vernal Equinox
Bull. American Astro. Soc. 27, p.1099, 1995
- Iwasaki, K., Akabane, T., Sagar, R., Ghosh, K.K., Raharto, M., and Dirghantara, F.
 Regression of Martian North Polar Cap 1994-1995
Proc. 28th ISAS Lunar and Planetary Symp., pp.217-220, 1995
- Akabane, T., Iwasaki, K., Martin, L.J.
 Morphological Features and Opacities of the Martian North Polar Hood
LPI Technical Report No.95-04, p.9, 1995
- Iwasaki, K., Akabane, T., and Tomita, Y.
 A Second Look at 1975 Observations of the Martian North Polar Region before the Vernal Equinox
Bull. Am. Astron. Soc., 28, p1060, 1996
- Iwasaki, K., Larson, S., and Akabane, T.
 Martian North Polar Cap Before Vernal Equinox
Proc. 29th ISAS Planetary Symp., pp.103-106, 1996
- Akabane, T., Iwasaki, K., and Saito, Y.
 Peculiar Blue Clearing Phenomena in the Amazonis-Tharsis area on Mars
Proc. 29th ISAS Lunar Planetary Symp., pp.208-211, 1996

- Akabane, T., Iwasaki, K., and Saito, S.
 Diurnal Variation of Morning and Afternoon Clouds in the Tharsis-Amazonis Area in 1995 and 1997 Observations.
 LPI Technical Report No. 97-03 (Mars Telescopic Observations Workshop II), 5, 1997.
- Iwasaki, K., Parker, D.C., and Akabane, T.
 Regression of Martian North Polar Cap 1996-1997
 LPI Technical Report No.97-03, pp.15-17, 1997
- Mukai, T., Akabane, T., Hashimoto, T., Ishimoto, H., Sasaki, S., Inada, A., Toigo, A., Nakamura, M., Abe, Y., Kurita, K., and Imamura, T.
 Observations of Mars and its Satellites by the Mars Imaging Camera (MIC) on Planet-B
 Soc. Geomag. Earth, Plan. Space Sci., 50, 183-188, 1998.
- Iwasaki, K., Parker, D. C., Larson, S., and Akabane, T.
 Martian North Polar Cap 1996-1997
 Icarus, 1988, in press.
- Akabane, T., and Iwasaki, K.
 Blue Clearing Phenomena and Equatorial Clouds in the Syrtis Major Region of Mars: 1997 Observations
 Proc. 31th ISAS Lunar Plan. Symp. 1998, in press.

太陽物理学分野論文リスト (ドームレス望遠鏡設立 1979 年 - 現在)

- Kubota, J.
 The Vertical Motion of Matter in Quiescent Prominences
 Proceedings of the Japan-France Seminar on Solar Physics edited by F. Moriyama and J.C. Henoux, p178, 1981
- Kawaguchi, I.
 The Brightening of Very Short Duration Observed in the Wing of H α line
 Proceedings of the Japan-France Seminar on Solar Physics edited by F. Moriyama and J.C. Henoux, p199, 1981
- Kitai, R.
 On the Emission Spectra of Moustaches
 Proceedings of the Japan-France Seminar on Solar Physics edited by F. Moriyama and J.C. Henoux, p202, 1981
- Kurokawa, H.
 Some Observational Results on Ellerman Bombs
 Proceedings of the Japan-France Seminar on Solar Physics edited by F. Moriyama and J.C. Henoux, p206, 1981
- Nakai, Y.
 New Domeless Solar Telescope in Hida Observatory
 Proceedings of the Japan-France Seminar on Solar Physics edited by F. Moriyama and J.C. Henoux, p275, 1981
- Kurokawa, H., and Kanno, M.
 H α Fine Structures in the 7 September 1981 Flare and Their Relation to X-ray and Microwave Emission
 Proceedings of Hinotori Symposium on Solar Flares, p199, 1982
- Kawaguchi, I., Kurokawa, H., Funakoshi, Y., and Nakai, Y.
 Brightening Phenomena in Prominences at the Center of the H α Line
 Solar Phys., 78, 101, 1982
- Kurokawa, H., Kawaguchi, I., Funakoshi, Y., and Nakai, Y.
 Morphological and Evolutional Features of Ellerman Bombs
 Solar Phys., 79, 77, 1982
- Nikaido, Y.
 NaI D Brightening Phenomena in Quiescent Prominence
 Solar Phys., 80, 259, 1982
- Nikaido, Y. and Kawaguchi, I.
 On the Intensity Ratio of Emission Lines of NaI D1 to D2 in Prominences
 Solar Phys., 84, 49, 1983
- Kanno, M., and Kurokawa, H.
 Observations of a Compact Solar Flare on 1981 Sep. 7
 Solar Phys., 86, 193, 1983

- Kurokawa, H.
 The Height of H α Flare Emission Region
 Solar Phys., 86, 195, 1983
- Kitai, R.
 On the Mass Motions and the Atmospheric States of Moustaches
 Solar Phys., 87, 135, 1983
- Kawaguchi, I., Nakai, Y., Funakoshi, I., and Kim, K.
 Brightening Phenomena in Prominences at the Center of the H α Line
 Solar Phys., 91, 87, 1984
- Ichimoto, K., and Kurokawa, H.
 H α Red Asymmetry of Solar Flares
 Solar Phys., 93, 105, 1984
- Nakai, Y., and Hattori, A.
 Domeless Solar Tower Telescope at the Hida Observatory
 Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto Univ., #3, 385, 1985
- Kawaguchi, I.
 The Spectra of the Limb Flare Observed at Hida Observatory on 9-10 March 1982
 Proceedings of the Kunming Workshop on Solar Physics and Interplanetary
 Travelling Phenomena, (eds) C. de Jager and C. Biao, Science Press, Beijing, 1985
- Makita, M., Hamana, S., Nishi, K., Shimizu, M., Koyano, H., Sakurai, T., and Komatsu, H.
 Observation by the Solar Vector Magnetograph of the Okayama Astrophysical Observatory
 Publ. Astro. Soc. Japan, 37, 561, 1985
- Kurokawa, H., Kitahara, T., Nakai, Y., Funakoshi, Y., and Ichimoto, K.
 High Resolution Observations of H α Solar Flare and Temporal relation between H α and X-ray, microwave emission
 Astrophysics and Space Science, 118, 149, 1986
- Kawaguchi, I.
 Mass Loss from the Emerging Magnetic Flux Region
 Proceedings of the Second Japan-China Workshop on Stellar Activities and
 Observational Techniques, p.121, 1986
- Shibata, K., and Uchida, Y.
 Sweeping-magnetic-twist mechanism for the Acceleration of Jets in the Solar Atmosphere
 Solar Phys., 103, 299, 1986
- Tsubaki, T., and Takeuchi, A.
 Periodic Oscillations Found in the Velocity Field of a Quiescent Prominence
 Solar Phys., 104, 313, 1986
- Kawaguchi, I., Kim, K., and Nakai, Y.
 A Small-scale Energy Release Observed on the Limb: I. The Broadened
 Components of D3 Emission Lines
 Solar Phys., 106, 47, 1986
- Kurokawa, H.
 Impulsive Brightening of H α Flare Points
 Proceedings of the NSO/SMM Flare Symposium on the Low Atmosphere of the Solar Flare, p51, 1986
- Kubota, J., and Uesugi, A.
 The Vertical Motion of Matter in a Prominence Observed on May 7, 1984
 Publ. Astro. Soc. Japan, 38, 903, 1986
- Makita, M., Nishi, K., and Kurokawa, H.
 Recent Studies by the Solar Magnetograph of the Okayama Astrophysical Observatory
 Proceedings of SMY/SMA Workshop, Irkutsk, 1986
- Tsubaki, T., Ohnishi, Y., and Suematsu, Y.
 Short-Period Oscillations Found in a Quiescent Prominence
 Publ. Astro. Soc. Japan, 39, 188, 1987
- Kurokawa, H., Hanaoka, Y., Shibata, K., and Uchida, Y.
 Rotating Eruption of an Untwisting Filament Triggered by the 3B Flare of 25 April, 1984
 Solar Phys., 108, 251, 1987

- Ichimoto, K.
 Evershed Effect Observed in Various Solar Photospheric Lines
 I. Dependence of the Velocity Distribution across the Penumbra on the Equivalent Width
 Publ. Astro. Soc. Japan, 39, 329, 1987
- Suemoto, Z., Hiei, E., and Nakagomi, Y.
 Bright Threads in the Inner Wing of Solar Call K line
 Solar Phys., 112, 59, 1987
- Kurokawa, H.
 Two Distinct Morphological Types of Magnetic Shear Development and Their Relation to Flares
 Solar Phys., 113, 259, 1987
- Kim, K.
 Emitting region of Sodium Lines in Solar Prominences
 Solar Phys., 114, 47, 1987
- Ichimoto, K.
 Evershed Effect Observed in Various Solar Photospheric Lines.
 II. Dependence on the Excitation Potential
 Publ. Astro. Soc. Japan, 40, 103, 1998
- Kubota, J.
 The Intensities and Widths of Spectral Lines in Ten Quiescent Prominences
 Contri. Kwasan and Hida Observatories No. 283, 1988
- Kurokawa, H.
 Surge Activities in an Emerging Magnetic Region of the Sun
 Proceedings of the 4-th Asian-Pacific Regional Meeting of IAU
 (Contri. Kwasan and Hida Observatories No. 286), 1988
- Kubota, J., Tohmura, I., and Uesugi, A.
 The Vertical Motion of Matter in Two Prominences Observed on October 26, 1984
 Proceedings of the 4-th Asian-Pacific Regional Meeting of IAU
 (Contri. Kwasan and Hida Observatories No. 288), pp189-195, 1988
- Tsubaki, T., Toyoda, M., Suematsu, Y., and Gamboa, G.A.R.
 New Evidence for Oscillatory Motions in a Quiescent Prominence
 Publ. Astro. Soc. Japan, 40, 121, 1988
- Kurokawa, H., Takakura, T., and Ohki, K.
 Close Relationship between H α and Hard X-ray Emissions at the Impulsive Phase of a Flare
 Publ. Astro. Soc. Japan, 40, 357, 1988
- Suematsu, Y., Saito, S., Funakoshi, Y., and H. Kurokawa
 A Coronal Condensation Observed at the Total Solar Eclipse of June 11, 1983 and Related Transient Prominence
 Solar Phys., 116, 285, 1988
- Hanaoka, Y., Kurokawa, H., and Saito, S.
 Active Region Coronal Loops Observed at the Total Solar Eclipse of February 16, 1980
 Publ. Astro. Soc. Japan, 40, 369, 1988
- Nishikawa, T.
 Spicule Observations with High-Spatial Resolution
 Publ. Astro. Soc. Japan, 40, 613, 1988
- Brueckner, G.E., Bartoe, J.-D.F., Cook, J.W., Dere, K.P., Socker, D., Kurokawa, H., and McCabe, M.
 Plasma Motions in an Emerging Flux Region
 Ap. J., 335, 986, 1988
- Kawakami, S., Makita, M., and Kurokawa, H.
 Detailed Comparison of Transverse Magnetic Fields with H α Fine Structures
 Publ. Astro. Soc. Japan, 41, 175, 1989
- Ichimoto, K., Hiei, E., and Nakagomi, Y.
 Spectral Manifestations of the Granular Velocity Field near the Solar Limb
 Publ. Astro. Soc. Japan, 41, 175, 1989
- Kurokawa, H.
 High Resolution Observations of H α Flare Regions
 Space Science Reviews, 51, 49, 1989

Hanaoka, Y., Kurokawa, H.
Mass Motions in Active Region Filaments
Solar Phys., 124, 227, 1989

黒河宏企
高分解能H α 像によるフレアエネルギー蓄積機構の研究
HESP RESEARCH No.5, pp. 99-105, 1989

田中捷雄、宮崎英昭、桜井隆、一本潔、坂田朗、和田節子
磁気光学フィルターの開発
搭載機器基礎開発成果報告書 Vol.2, pp. 55-60, 宇宙科学研究所、1989

為永辰郎、鈴木令子
VTRによるH α 太陽像の観測 1. 1988年のフレア活動
三重大学教育学部研究紀要 第41巻、pp. 7-24, 1989

黒河宏企
フレアを頻発する太陽活動領域のH α 観測
通信総合研究所季報 Vol.35 特7 pp. 31-38, 1989

Suematsu, Y., Yoshinaga, R., Terao, N., and Tsubaki, T.
Oscillatory and Transient Features Detected simultaneously in the CaIIK and H β Line Spectra of a Quiescent Prominence
Publ. Astro. Soc. Japan 42, 187, 1990

Kitahara, T., and Kurokawa, H.
High-resolution Observation and Detailed Photometry of a Great H α Two-ribbon Flare
Solar Phys. 125, 321, 1990

Suemoto, Z., Hiei, E., and Nakagomi, Y.
Continuous and Line Spectra of Granules and Intergranular lanes
Solar Phys. 127, 11, 1990

Suemoto, Z., Hiei, E.
Bright Features in the Intergranular Region
"Solar Photosphere: Structure, Convection, and Magnetic Field",
(ed.) J.O. Stenflo, IAU Symp. 138, pp. 97-100, 1990

Kurokawa, H., Nakai, Y., Kitai, R., and Funakoshi, Y.
Observational Study of Energy Release and Mass Ejection Associated with Solar Flares and Prominence Eruptions
太陽地球系エネルギー国際共同研究計画第1回シンポジウム報告, pp. 1-8, 1990

為永辰郎、樋口弥生
VTRによるH α 太陽像の観測 2. 1989年のフレアと周縁活動
三重大学教育学部研究紀要 第42巻 自然科学、pp. 59-69, 1990

黒河宏企
1984 April 25の大フレアを起こした活動領域の構造と進化
「1990年代初頭の太陽観測」研究会集録 pp. 3-9, 1990

花岡庸一郎
Prominence Eruption の観測
「1990年代初頭の太陽観測」研究会集録 pp. 10-12, 1990

黒河宏企、秋岡真樹、船越康宏、北井礼三郎、花岡庸一郎、河合吾郎、小路真木子、
當村一郎
1989年太陽共同観測：飛驒における観測
「1990年代初頭の太陽観測」研究会集録 pp. 51-73, 1990

秋岡真樹
1989年太陽共同観測：北京天文台における観測
「1990年代初頭の太陽観測」研究会集録 pp. 74-87, 1990

牧田貢、船越康宏、岡本富三
DOMELESS 太陽望遠鏡 (DST)水平分光器におけるスペクトル線の倒れについて
天文台技報第2号 pp. 1-10, 1990

船越康宏、北井礼三郎、中井善寛
DST 駆動制御用コンピュータの更新とプログラムの改訂
天文台技報第2号 pp. 21-27, 1990

- Kurokawa, H., Nakai, Y., Funakoshi, Y., and Kitai, R.
 High Resolution Observations of Active Phenomena Obtained at Hida Observatory
 Advances in Space Research, 15, No.5, pp. 233-240, 1991
- Zhang, H., Ai, G., Sakurai, T., and Kurokawa, H.
 Fine Structure of Chromospheric Magnetic Field and Material Flow in a Solar Active Region
 Solar Phys. 136, pp. 269-293, 1991
- Makita, M., Funakoshi, Y., and Hanaoka, Y.
 Instrumental Polarization of the Domeless Solar Telescope of the Hida Observatory
 "Solar Polarimetry", (ed.) L.J. November, NSO/SP Workshop Series No.11, pp.233-240, 1991
- Kurokawa, H.
 Optical Observations of Flare-Productive Flux Emergence
 "Flare Physics in Solar Activity Maximum 22", (ed.) Y. Uchida,
 R.C. Canfield, T. Watanabe, and E. Hiei, Lecture Notes in Physics 387,
 Springer Verlag, pp. 39-50, 1991
- Kurokawa, H.
 Collaboration with Optical Observations
 Proc. Symp. on Nobeyama Radioheliograph, pp. 64-71, 1991
- Semel, M., Mouradian, Z., Soru-Escaut, I., Maltby, P., Rees, D., Makita, M., and Sakurai, T.
 Active Regions, Sunspots and Their Magnetic Fields
 "Solar Interior and Atmosphere", (eds.) A.N. Cox, W.C. Livingston,
 and M.S. Mathews, Arizona Press, pp. 844-889, 1991
- 黒河宏企ほか飛騨天文台 DST グループ
 磁気シアー構造の発達過程とフレアー
 宇宙放射線シンポジウム(平成2年度) 集録 pp.42-47, 1991
- 黒河宏企、河合吾郎、小路真木子、秋岡真樹、船越康宏、北井礼三郎、中井善寛、川上新吾、當村一朗
 1990年太陽共同観測の結果(NOAA6233 領域の進化とフレア活動について)
 太陽研究会「磁気シアーを基調とした太陽活動現象の研究」集録 pp.106-109, 1991
- 秋岡真樹
 活動領域における Fibril 構造とその時間変化 -H α ビデオムービー制作の試みー
 太陽研究会「磁気シアーを基調とした太陽活動現象の研究」集録 pp.110-111, 1991
- Bachtiar, A., Makita, M., and Kubota, J.
 On a Scheme for a Study of Sunspot Proper Motion
 太陽研究会「磁気シアーを基調とした太陽活動現象の研究」集録 pp.143-147, 1991
- 當村一朗、黒河宏企、川上新吾
 光球磁場の生成・消失過程のスペクトル観測
 太陽研究会「磁気シアーを基調とした太陽活動現象の研究」集録 pp.155-158, 1991
- 張洪起、桜井隆、黒河宏企
 彩層磁場の観測
 太陽研究会「磁気シアーを基調とした太陽活動現象の研究」集録 pp.159-160, 1991
- 船越康宏、木村剛一
 飛騨天文台の気象統計
 天文台技報第3号 pp.10-18, 1991
- Kubota, J., Kitai, R., Tohmura, I., and Uesugi, A.
 The Sudden Disappearance of a Dark Filament Observed on October 26, 1989
 Solar Phys. 139, pp.65-79, 1992
- Kurokawa, H., Kawai, G., Kitai, R., Funakoshi, Y., Nakai, Y., Tsuneta, S., Kosugi, T., Enome, S., Acton, L.W., and Ogawara, Y.
 Detailed Comparison between H α and Yohkoh Soft X-ray Images of a Confined
 Two-Ribbon Flare
 Publ. Astron. Soc. Japan 44, L129-134, 1992
- Kurokawa, H., Nakai, Y., Funakoshi, Y., Kitai, R., Ishiura, K., and Kimura, G.
 The New Flare-Monitoring Telescope of Hida Observatory
 STEP GBRSC NEWS, Vol.2, No.2, pp.6-8, 17, 1992
- 牧田貢、松川英二、宮野栄治、上床真司
 モザイク回折格子制御台微動ステージの較正
 天文台技報第4号 pp.9-13, 1992

Kurokawa, H.

Japanese Expedition for the Observation of the 1991 Total Solar Eclipse

「平成3年7月11日メキシコ日食による太陽コロナの観測」平成2—3年度科学研究費
補助金国際学術研究成果報告書 pp.1-4, 1992

Kurokawa, H., Kitai, R., Ishiura, K.

The Observation of the Inner Corona at the 1991 Total Solar Eclipse

「平成3年7月11日メキシコ日食による太陽コロナの観測」平成2—3年度科学研究費
補助金国際学術研究成果報告書 pp.10-40, 1992

Kurokawa, H., Nakai, Y., Funakoshi, Y., and Kitai, R.

Observations of Solar Flares and Prominence Eruptions

太陽地球系エネルギー国際共同研究(STEP)第2回シンポジウム報告 pp.7-13, 1992

Shibata, K., and Kurokawa, H.

Study of Solar Flares and Prominence Eruptions using MHD Numerical

Simulations and Optical Observations

太陽地球系エネルギー国際共同研究(STEP)第2回シンポジウム報告 pp.14-22, 1992

黒河宏企、河合吾郎、D S T グループ

飛騨天文台H α 像と陽光軟X線像の比較

平成4年度第2回S T E研究会「太陽物理に与えた'ようこう'のインパクト」集録 pp.136-139, 1992

北井礼三郎、船越康宏、中井善寛、黒河宏企

Observation of Flare-Triggered Active Phenomena in an Active Region

NOAA6952 on December 4, 1991

総合シンポジウム「磁気シアーカーを基調とした太陽活動現象の研究—ようこうの最新成果をふまえて—」集録 pp.53-58, 1992

北井礼三郎

Optical Observation of Post Flare Loops on Dec. 2, 1991 at Hida Observatory

総合シンポジウム「磁気シアーカーを基調とした太陽活動現象の研究—ようこうの最新成果をふまえて—」集録 pp.77-79, 1992

Kato, Y., Shibata, K., Tsuneta, S., Kitai, R., and SXT Team

Observation of 2-Dec-91 Flare using SXT

総合シンポジウム「磁気シアーカーを基調とした太陽活動現象の研究—ようこうの最新成果をふまえて—」集録 pp.81-86, 1992

Kurokawa, H., Kawai, G., Kitahara, T., Tsuneta, S., Kosugi, T., and Enome, S.

Comparison between H α and Yohkoh Soft X-ray Images of the 5 Dec. 1991

Flare

総合シンポジウム「磁気シアーカーを基調とした太陽活動現象の研究—ようこうの最新成果をふまえて—」集録 pp.99-108, 1992

小路真木子

Line Shifts in Impulsive Phase

総合シンポジウム「磁気シアーカーを基調とした太陽活動現象の研究—ようこうの最新成果をふまえて—」集録 pp.113-115, 1992

秋岡真樹、小路真木子、船越康宏、Zhang Honqui, Ai Guoxiang

Optical Observation of X1.9/4B Flare on Decayed Active Region NOAA6703

総合シンポジウム「磁気シアーカーを基調とした太陽活動現象の研究—ようこうの最新成果をふまえて—」集録 pp.139-143, 1992

Ishido, Y., Shibata, K., Tanaka, N., Kurokawa, H., and SXT Team

Observation of EFRs using SXT

総合シンポジウム「磁気シアーカーを基調とした太陽活動現象の研究—ようこうの最新成果をふまえて—」集録 pp.145-149, 1992

秋岡真樹、船越康宏、小路真木子

Two Dimensional Multi-Wavelength Spectral Observation System Using VTR

総合シンポジウム「磁気シアーカーを基調とした太陽活動現象の研究—ようこうの最新成果をふまえて—」集録 pp.253-257, 1992

西川宝

非線型最小自乗法の有効性

高山短期大学研究紀要第15号 pp.11-20, 1992

Akioka, M., and Kurokawa, H.

The Coordinated Solar Observation between Japan and China

Proc. First China-Japan Seminar on Solar Physics, pp.1-2, 1993

Kurokawa, H., Akioka, M., Kawai, G., Tohmura, I., Kawakami, S., Shoji, M.,

Anwar, B., Hanaoka, Y., Kitai, R., Funakoshi, Y., Nakai, Y., and Makita, M.

Evolutional Characteristics of the Flare Regions Observed in the Japan-China Coordinated Observation

Proc. First China-Japan Seminar on Solar Physics, pp.17-23, 1993

- Makita, M., and Li, W.
 Velocity and Magnetic Field Fluctuations in Active Regions
 Proc. First China-Japan Seminar on Solar Physics, pp.40-49, 1993
- Akioka, M.
 Small Scale Active Phenomena Observed with DST and Huairou Magnetograms
 Proc. First China-Japan Seminar on Solar Physics, pp.50-55, 1993
- Zhang, H., Ai, G., Sakurai, T., and Kurokawa, H.
 Chromospheric Fine Structures Inferred from the Observation of Magnetic Fields
 Proc. First China-Japan Seminar on Solar Physics, pp.56-66, 1993
- Kitai, R., Funakoshi, Y., Nakai, Y., Kurokawa, H., and Makita, M.
 On Evershed Flows
 Proc. First China-Japan Seminar on Solar Physics, pp.84-89, 1993
- Kubota, J., Kitai, R., Tohmura, I., and Uesugi, A.
 The Vertical Motion of Matter in a Dark Filament on October 26, 1989 and its DB Event
 Proc. First China-Japan Seminar on Solar Physics, pp.174-180, 1993
- Kurokawa, H., and Kawai, G.
 H α Surge Activity at the First Stage of Magnetic Flux Emergence
 "Then Magnetic and Velocity Fields of Solar Active Regions", (eds.)
 H. Zirin, G. Ai, and H. Wang, IAU Colloq. No. 141, ASP Conf. Ser. Vol.46, pp.507-510, 1993
- 黒河宏企、河合吾郎、川上新吾、S X T チーム
 浮上磁気領域とフレア活動
 ワークショッピング "One Year of YOHKOH Research" 集録、pp.1-6, 1993
- 河合吾郎、黒河宏企、秋岡真樹、常田佐久、清水敏文、柴田一成、Acton, L., Strong, K., and Nitta, N.
 Emerging Flux Regions Observed by Soft X-ray and H α
 ワークショッピング "One Year of YOHKOH Research" 集録、pp.7-9, 1993
- Anwar, B., Makita, M., Funakoshi, Y., Kurokawa, H., Kitai, R., Hiei, E., Hudson, H.S., Canfield, R.C., Wulser, J.P., Metcalf, T., Acton, L., Tsuneta, S., Hara, H., Hanaoka, Y., and Sakao, T.
 Morphological Evolution of the Post-Flare Loops of June 26, 1992
 ワークショッピング "One Year of YOHKOH Research" 集録、pp.167-170, 1993
- 北井礼三郎、河合吾郎、Anwar, B., 黒河宏企、船越康宏、中井善寛、常田佐久
 1992年4月6日のプロミネンス爆発について
 ワークショッピング "One Year of YOHKOH Research" 集録、pp.184-188, 1993
- Kurokawa, H., Kawai, G., and YOHKOH SXT Team
 Frequent Occurrence of Flares in an Emerging Flux Region
 宇宙放射線シンポジウム集録(1993) pp.34-37, 1993
- Canfield, R.C., Blais, K.A., McClymont, A.N., Metcalf, T.R., Readson, K.P., Wulser, J.P., Acton, L., Kurokawa, H., and Hirayama, T.
 The X flare of 15 September 1991: Preflare Flux Emergence, Heating and Filament Eruption
 宇宙放射線シンポジウム集録(1993) pp.88-91, 1993
- Kitai, R., Kawai, G., Anwar, B., Kurokawa, H., Funakoshi, Y., Nakai, Y.
 Prominence Eruption in NOAA7125 on April 6, 1992
 宇宙放射線シンポジウム集録(1993) pp.146-150, 1993
- Makita, M., Yatagai, H., Nakamura, K., Fujikawa, T., and Hirose, S.
 Effective Lande Factors and Sunspot Magnetic Fileds
 Mem. Faculty Sci. Kyoto Univ., Ser. Phys. Astrophys. Geophys. Chem., 38, pp.255-313, 1993
- Hanaoka, Y., Nobeyama Radioheliograph Group, Hida Observatory Group
 Simultaneous Observations of a Prominence Eruption Followed by a Coronal
 Arcade Formation in Radio Soft X-ray and H α
 宇宙放射線シンポジウム集録(1993) pp.101-104, 1993
- 一本潔、桜井隆、日江井栄二郎、西野洋平、篠田一也、野口本和、今井英樹、入江誠、宮下正邦、田中伸幸、熊谷収司、
 佐野一成、末松芳法、岡本富三、宮崎英昭、福島英雄、代情靖、超昭旺
 太陽フレア望遠鏡プロジェクト
 国立天文台報第1巻第4号 pp.375-390, 1993
- 宮崎英昭、桜井隆、岡本富三、一本潔、宮下正邦、小山星一、坂田朗、和田節子
 磁気光学フィルターの開発と太陽観測への応用
 国立天文台報第2巻第1号 pp.417-429, 1993

八田貝宇、黒河宏企、渡辺堯
1992年8月28日のプロミネンス爆発に伴う軟X線イベント
宇宙放射線シンポジウム集録(1993) pp.140, 1993

Kurokawa, H., Nakai, Y., Funakoshi, Y., Kitai, R., Ishiura, K., and Kimura, G.
New Flare-Monitoring Telescope of Hida Observatory
太陽地球系エネルギー国際共同研究(STEP)第3回シンポジウム報告 pp.21-28, 1993

中井善寛、黒河宏企、西村有二
平成3年度に飛騨天文台に設置された太陽フレア監視望遠鏡
天文台技報第5号 pp.1-8, 1993

中井善寛
大型回折格子の必要性について
天文台技報第5号 pp.9-22, 1993

Ji, G.P., Kurokawa, H., Fang, C., and Huang, Y.R.,
High-Resolution Spectral Observation during the Impulsive Phase of a Flare,
Solar Phys. 149, pp.195-203, 1994

Hanaoka, Y., Kurokawa, H., Enome, S., Nakajima, H., Shibasaki, K., Nishio, M., Torii, C., Sekiguchi, H., Kawashima, S., Bushimata, T., Shinohara, N., Irimajiri, Y., Koshiishi, H., Shinomi, Y., Nakai, Y., Funakoshi, Y., Kitai, R., Ishiura, K. and Kimura, G.,
Simultaneous Observations of a Prominence Eruption Followed by a Coronal
Arcade Formation in Radio, Soft X-Rays, and H-alpha,
Publ. Astron. Soc. Japan 46, pp.205-216, 1994

Miura, N., Ohsawa, K. and Baba, N.,
Single-Frame Blind Deconvolution by means of Frame Segmentation,
Optics Letters 19, p.695, 1994

Leka, K.D., van Driel-Gesztelyi, L., Anwar, B., Canfield, R.C., Hudson, H.S., Metcalf, T.R., Micky, D.L., Nitta, N. and Kurokawa, H.,
Diagnostics of Twisted Flux Emergence(NOAA AR7260),
in 'X-Ray Solar Physics from Yohkoh', eds. Y. Uchida et al., Frontiers Science
Ser. No.10, Universal Academy Press, pp.25-28, 1994

Kitai, R., Kawai, G., Anwar, B., Kurokawa, H., Funakoshi, Y., Nakai, Y. and Tsuneta, S.,
Prominence Eruption in NOAA 7125 on April 6, 1992,
in 'X-Ray Solar Physics from Yohkoh', eds. Y. Uchida et al., Frontiers Science
Ser. No. 10, Universal Academy Press, pp.287-292, 1994

Canfield, R.C., Blais, K.A., McClymont, A.N., Metcalf, T.R., Reardon, K.P., Wulser, J.-P., Acton, L.W., Kurokawa, H. and Hirayama, T.,
The X Flare of 15 November, 1991: Preflare Flux Emergence, Heating and
Filament Eruption, in 'X-Ray Solar Physics from Yohkoh', eds. Y. Uchida et al., Frontiers science
Ser. No. 10, Universal Academy Press, pp.153-156, 1994

Kurokawa, H., Kawai, G., Tsuneta, S. and Ogawara, Y.,
Transient Brightenings of Soft X-Ray Loops in Emerging Flux Regions,
in 'X-Ray Solar Physics from Yohkoh', eds. Y. Uchida et al., Frontiers Science
Ser. No. 10, Universal Academy Press, pp.59-62, 1994

Ichimoto, K., Kumagai, K., Sakurai, T., Hara, H., Takeda, A. and Yohkoh SXT Team,
Spectroscopic Observations of Coronal Emission Lines and Their Relation to Soft X-Ray Images,
in 'New Look at the Sun with Emphasis on Advanced Observations of Coronal
Dynamics and Flares', eds. S. Enome and T. Hirayama, Proc. Kofu Symp. pp.113-116, 1994

Kitai, R., Kurokawa, H., Funakoshi, Y., Nakai, Y., Shibata, K., Yaji, K., Nitta, N., Yohkoh Team and NAOJ Flare Telescope Team,
Flares on September 6, 1992,
in 'New Look at the Sun with Emphasis on Advanced Observations of Coronal
Dynamics and Flares', eds. S. Enome and T. Hirayama, Proc. Kofu Symp. pp.147-150, 1994

Kurokawa, H., Kitai, R., Kawai, G., Shibata, K., Yaji, K., Ichimoto, K., Nitta, N. and Zhang, H.,
A Morphological Study of Magnetic Shear Development in a Flare-Productive
Region NOAA 7270, 1992,
in 'New Look at the Sun with Emphasis on advanced Observations of Coronal
Dynamics and Flares', eds. S. Enome and T. Hirayama, Proc. Kofu Symp. pp.283-287, 1994

Takeda, A., Kurokawa, H., Kitai, R. and Ishiura, K.,
Thermal and Density Structure of the Inner Corona Observed at the 1991
Total Solar Eclipse,
in 'New Look at the Sun with Emphasis on Advanced Observations of Coronal
Dynamics and Flares', eds. S. Enome and T. Hirayama, Proc. Kofu Symp. pp.381-384, 1994

- Shoji, M. and Kurokawa, H.,
 Red Asymmetries of Optical Lines at the Impulsive Phase of Solar Flares,
 in 'New Look at the Sun with Emphasis on Advanced Observations of Colonial
 Dynamics and Flares', eds. S. Enome and T. Hiroyama, Proc. Kofu Symp. pp.409-411, 1994
- Kurokawa, H.,
 Hida Observatory of Kyoto University,
 Proc. Second Japan-China Seminar on Solar Physics, eds. T. Sakurai et al., pp.17-21, 1994
- Kurokawa, H., Kitai, R., Funakoshi, Y., Nakai, Y., Ichimoto, K., Shibata, K. and Zhang, H.,
 Emerging Flux Regions and Surge Activities in NOAA 7270,
 Proc. Second Japan-China Seminar on Solar Physics, eds. T. Sakurai et al., pp.209-214, 1994
- Shibata, K., Nitta, N., Kitai, R., Kurokawa, H., Yaji, K., Sakurai, T. and Zhang, H.,
 Flares on Sep. 6, 1992 in NOAA 7270: SXT Observations and Comparison with H-alpha and HXT Observations,
 Proc. Second Japan-China Seminar on Solar Physics, eds. T. Sakurai et al., pp.220-225, 1994
- Kitai, R., Kurokawa, H., Funakoshi, Y., Nakai, Y., Shibata, K., Yaji, K., Nitta, N., Yohkoh Team and NAOJ Flare Telescope Team,
 Flares on Sep. 6, 1992,
 Proc. Second Japan-China Seminar on Solar Physics, eds. T. Sakurai et al., pp.215-219, 1994
- Kurokawa, H.,
 Yohkoh-Hida Observation and Solar-B,
 Proc. The Solar-B Meeting, pp.34-38, 1994
- 桜井隆、宮崎英昭、岡本富三、宮下正邦、坂田朗、和田節子
 磁気光学フィルターの開発—4
 宇宙科学研究所塔載機器基礎開発成果報告書 Vol. 7, pp.73-78, 1994
- Shoji, M. and Kurokawa, H.,
 Evolutional Characteristics of Multiple Spectral Lines during the Impulsive Phase of Solar Flares,
 Publ. Astron. Soc. Japan 47, pp.239-250, 1995
- Schmieder, B., Mein, N., Shibata, K., van Driel-Gesztelyi, L. and Kurokawa, H.,
 Chromospheric Ejections and Their Signatures in X-Ray Observed by YOHKOH,
 Adv. Space Res. Vol. 17, No. 4/5, pp.193-196, 1995
- Kurokawa, H. and Shinkawa, T.,
 The H α Filament Eruption of 20 Feb. 1994 Followed by a Big Flare and Geomagnetic and Interplanetary Disturbances,
 STEP GBRSC NEWS Vol.5 No. 1 pp.3-4, 1995
- 黒河宏企、石浦清美、木村剛一、北井礼三郎、船越康宏、中井善寛、新川雄彦、谷田貝宇
 太陽プロミネンス活動現象の観測
 太陽地球系エネルギー国際協同研究(STEP)第4回シンポジウム報告、pp.61-71, 1995
- 谷田貝宇、荒木徹、黒河宏企、渡辺亮
 フィラメント消失とそれに伴う軟X線現象及び地磁気擾乱
 太陽地球系エネルギー国際協同研究(STEP)第4回シンポジウム報告、pp.79-85, 1995
- 船越康宏、北井礼三郎、木村剛一、中井善寛
 大型真空分光器への熱影響
 天文台技報第6号 pp.12-34, 1995
- Kurokawa, H., Ishiura, K., Kilmura, G., Nakai, Y., Kitai, R., Funakoshi, Y., and Shinkawa, T.,
 Observation of Solar H-alpha Filament Disappearances with a New Solar
 Flare-Monitoring-Telescope at Hida Observatory,
 J. Geomag. Geoelectr., Vol. 47, pp. 1043-1052, 1995
- Sakurai, T., Suematsu, Y., Ichimoto, K., Kurokawa, H., Kitai, R., Akioka, M., Tohmura, I., Soltau, D., Mickey, D.L., Zirin, H., Tang, F., Zhang, H.Q., and Li, W.
 Peculiar Magnetic Field Evolution of Active Region NOAA 7562 in August 1993,
 in Proc. of the Third China-Japan Seminar on Solar Physics,
 (eds) Wang, J.X., Ai, G.X., Sakurai, T., and Hirayama, T., pp. 3-10, 1996
- Kitai, R., Tohmura, I., Suematsu, Y., Akioka, M., and Soltau, D.,
 Observations at Tenerife during the August 1993 International EFR Campaign,
 in Proc. of the Third China-Japan Seminar on Solar Physics,
 (eds) Wang, J.X., Ai, G.X., Sakurai, T., and Hirayama, T., pp. 11-16, 1996

- Hara, H., Ichimoto, K., and Takeda, A.,
 Temperature Structures of the Active-Region Corona Revealed with Norikura
 Coronagraph and Yohkoh Soft X-Ray Telescope,
 in Proc. of the Third China-Japan Seminar on Solar Physics,
 (eds) Wang, J.X., Ai, G.X., Sakurai, T., and Hirayama, T., pp. 97-102, 1996
- Kurokawa, H., Kawai, G., Kitai, R., Funakoshi, Y., and Nakai, Y.,
 Observational Evidences of Magnetic Field Reconnection Found in H-alpha
 Fine Structures,
 in Proc. of the Third China-Japan Seminar on Solar Physics,
 (eds) Wang, J.X., Ai, G.X., Sakurai, T., and Hirayama, T., pp. 191-196, 1996
- Kurokawa, H.,
 Energy Build-up Processes of Solar Flares Studied by Optical Observations,
 in IAU Colloquium No.153 "Magnetodynamic Phenomena in the Solar Atmosphere",
 (eds) Uchida, Y., Kosugi, T., and Hudson H.S., pp. 185-194, 1996
- Kitai, R., Tohmura, I., Suematsu, Y., Akioka, M., and Soltau D.,
 Hel 10830 A in Solar Active Regions and its Correlation with Chromospheric Lines,
 in IAU Colloquium No.153 "Magnetodynamic Phenomena in the Solar Atmosphere",
 (eds) Uchida, Y., Kosugi, T., and Hudson H.S., pp. 435-436, 1996
- Yoshimura, K., Kurokawa, H., Sano, S., and Hudson, H.,
 Causal Relation between H-alpha Arch Filament Loops and Soft X-ray Coronal Loops,
 in IAU Colloquium No.153 "Magnetodynamic Phenomena in the Solar Atmosphere",
 (eds) Uchida, Y., Kosugi, T., and Hudson H.S., pp. 457-458, 1996
- van Driel-Gesztelyi, L., Schmieder, B., Demoulin, P., Mandrini, C., Cauzzi, G., Hofmann, A., Nitta, N., Kurokawa, H.,
 Mein, N., and Mein, P.,
 Emerging Flux, Reconnection, and XBP, in IAU Colloquium No.153 "Magnetodynamic Phenomena in the Solar Atmosphere",
 (eds) Uchida, Y., Kosugi, T., and Hudson H.S., pp. 459-460, 1996
- Takeda, A., Kurokawa, H., Kitai, R., Ishiura, K., and Golub, L.,
 Comparison of High Resolution Optical and Soft X-ray Images of Solar Corona,
 in IAU Colloquium No.153 "Magnetodynamic Phenomena in the Solar Atmosphere",
 (eds) Uchida, Y., Kosugi, T., and Hudson H.S., pp. 483-484, 1996
- Fujiki, K., Nakajima, H., Hanacka, Y., Yaji, K., and Kitai, R.,
 Electron Acceleration Site of the 1992 Sep 6. Flare,
 in IAU Colloquium No.153 "Magnetodynamic Phenomena in the Solar Atmosphere",
 (eds) Uchida, Y., Kosugi, T., and Hudson H.S., pp. 547-548, 1996
- Magara, T., Minesige, S., Yokoyama, T., and Shibata, K.,
 Numerical Simulation of Magnetic Reconnection in Eruptive Flares,
 in IAU Colloquium No.153 "Magnetodynamic Phenomena in the Solar Atmosphere",
 (eds) Uchida, Y., Kosugi, T., and Hudson H.S., pp. 585-586, 1996
- Shinkawa, T., and Makita, M.,
 Distributions of the Magnetic Field Inclination in Sunspots,
 in IAU Colloquium No.153 "Magnetodynamic Phenomena in the Solar Atmosphere",
 (eds) Uchida, Y., Kosugi, T., and Hudson H.S., pp. 615-616, 1996
- van Driel-Gesztelyi, L., Schmieder, B., Wiik, J.E., Tarbell, T., Heinzel, P., Kitai, R., Funakoshi, Y., and Anwar, B.,
 Relative Altitude of Hot and Cool Post-Flare Loops,
 in 'Magnetic Reconnection in the Solar Atmosphere',
 (eds.) Bently, R.D., and Mariska, J.T., pp. 359-364, 1996
- Kitai, R., and Muller, R.,
 White-light Enhancements and Small-scale Chromospheric Activities in an Active Region,
 Sol. Phys., Vol. 165, pp.155-167, 1996
- Magara, T., Minesige, S., Yokoyama, T., Shibata, K.,
 Numerical Simulation of Magnetic Reconnection in Eruptive Flares,
 Ap. J., Vol. 466, pp. 1054-1066, 1996
- 小路真木子、新川雄彦、北井礼三郎
 花山天文台におけるUNIXシステムの現況、
 天文台技報 第8号、pp. 1-11, 1996

UeNo, S., Mineshige, H., Negoro, H., Shibata, K., and Hudson,H.S.

Statistics of Fluctuation in the Solar Soft X-ray Emission

Astrophys. J. 484, pp.920-926, 1997

Magara, T., Shibata, K., and Yokoyama, T.

Evolution of Eruptive Flares. I. Plasmoid Dynamics in Eruptive Flares

Astrophys. J. 487, 437-446, 1997

Kitai, R., Funakoshi, Y., Ueno, S., Sano, S., and Ichimoto, K.

Real Time Frame Selector and its Application to Observations of the Horizontal Velocity Field in the Solar Atmosphere

Publ. Astron. Soc. Japan 49, pp.513-522, 1997

Herdiwijaya, D., Makita, M., Anwar, B.

The Proper Motion of Individual Sunspots

Publ. Astron. Soc. Japan 49, pp.235-248, 1997

Magara, T., and Shibata, K.

Plasmoid Formation in Eruptive Flares

Adv. Space Res. 19, p.1903, 1997

Kubota, J., Kitai, R., and Tokimasa, N.

Rapid Flow of Matter in quiescent Dark Filament

Proc. 7th Asian-Pacific region Meeting of IAU (Pusan), J. Korean Astron.

Soc. 29, S329-S330, 1997

Tohmura,I., Kitai, R., Suematsu, Y., Akioka, M., and Soltau, D.

Spectroscopic Observation of the Solar Active regions in HeI 10830 Å line

Proc. 7th Asian-Pacific region Meeting of IAU (Pusan), J. Korean Astron.

Soc. 29, S333-S335, 1997

van Driel-Gesztelyi, L., Wiik, J.E., Schmieder, B., Kitai, R., Tarbell, T.,

Anwar, B., and Funakoshi, Y.

Post-flare loops of 26 June 1992, IV : Formation and Expansion of Hot and Cool Loops

Solar Phys. 174, pp.151-162, 1997

UeNo, S., and Kitai, R.

3D Velocity Field Observation of Solar Convection. I. Characteristics of Mesogranulation

Publ. Astron. Soc. Japan, 50, pp.129-135, 1998

Ishii, T.T., Kurokawa, H., and Takeuchi, T.

Emergence of a Twisted Magnetic Flux Bundle as a Source of Strong Flare Activity

Astrophys. J., 499, 898-904, 1998



北アルプスの山々を背景にした飛騨天文台