

ひのとり硬 X 線望遠鏡の誕生まで

大木 健一郎*

1. はじめに

今年の2月21日に、内之浦から打ち上げられた第7号科学衛星「ひのとり」は、その後、順調に観測を続け、太陽活動極大期近くに起こる数多くのフレアを観測し、貴重なデータを蓄積しつつある。その「ひのとり」衛星の主望遠鏡である SXT (太陽硬 X 線望遠鏡) は、回転式モジュレーション・コリメータを使った、世界でも初めての本格的な硬 X 線望遠鏡と呼べるもので、純粋な硬 X 線エネルギー域の二次元像を観測できる。

科学衛星の計画から、設計、製作、そして打ち上げ、観測の成功に至るまでには、実に多くの年月と、それに携わる人々の努力の集積を必要とする。衛星の姿勢、電力の供給、衛星各部の温度の管理等々、天文観測を何年間もの長期にわたり、文字通り連続的に続けて行くためには、設計・製作・テストの段階で、格段の信頼性が、要求されるわけで、そのための苦勞も並みたくないものではない。しかし、ここでは、一応それらの衛星全体のいわゆる House keeping 的なことは割愛し、この「ひのとり」衛星のメインテーマとして搭載されている SXT (硬 X 線二次元像観測装置——ここでは単に望遠鏡と呼ぶことにする) についてのみ、科学衛星づくりの一端でもお伝え出来ればと思い、その設計の段階から今日に至るまでを紹介したいと思う。

2. SXT 望遠鏡の構想と設計

話は、1974年にまで、さかのぼる。その頃、「はくちょう」などの M-3C ロケットより更に性能の向上した M-3S が 1980年に打ち上げ可能となるがこれに搭載する7号科学衛星は、何が適当であるか、という議論が持ち上がっていた。実は、それに先だつこと5年前の1969年に、我々(東京天文台の太陽電波グループと宇宙研の小田研と西村研のグループ)は、既に太陽フレアの硬 X 線を観測するべく、世界で初めての試みとして、小田式コリメータを使った観測器を気球によって打ち上げ、硬 X 線一次元像の観測に成功していた。しかし、まだ分解能も充分ではなく、硬 X 線強度の大きなフレアを捉えたわけではないので、硬 X 線源のサイズ・形状について、あまり多くのことは確定できなかった。その後も数年間に数回の気球観測を行ったが、残念ながら、気球の短い飛行時間

内に、大きなフレアを捉えることには成功しなかった。

そのようなわけで、我々のグループは、我々の有する硬 X 線観測器を改良し、太陽を長時間連続観測することさえ可能なら、未だ観測されたこともない、20 keV 以上のエネルギー域でフレア像を観測し、フレアの急激で莫大なエネルギーの解放メカニズムを解明できることになるので、人工衛星による長時間観測を渴望していた。そこで、前記の7号衛星に向けて、硬 X 線望遠鏡を衛星に搭載できるようにするには、どのようなデザインがあり得るかについての検討のため、ワーキング・グループがつくられた。小田研の松岡勝氏と筆者とで、独立に、そのデザインの検討を進め、1974年2月に第1回目のワーキング・グループによる検討会が開かれた。そこで、衛星用硬 X 線望遠鏡の第一次案が提出されたが、驚いたことに、と言うより結局、当然のことだったのかも知れないが、両者の第一次案は、殆んど似かよっていた。原理的には、RMC (回転式モジュレーション・コリメータ) であって、衛星のスピンの方向を、意識的に少しだけ、太陽中心からずらせて、太陽面上の、いかなる位置で起きたフレアであっても、衛星が半回転分スピンする間に、あらゆる方向からの一次元スキャンを得て、それらの合成から完全な二次元像を得ようというものであった。

しかし、その次に、まだ難問題が控えていた。M-3S 型の大きなロケットで運ぶ、今までより2倍も大きな衛星であるとは言え、まだ、数秒角の姿勢検出のできるスター・センサーを搭載するのは大変なことであった。第一に、軽量で、精度の上がる姿勢検出器は、それまでに国内で、開発されていなかった。しかも、我々のグループが以前に気球で使用した太陽位置センサーも、位置検出精度は、約30秒角程度であった。どうしても、5秒角くらいの位置検出センサーが欲しかった。何とかして、自前で、小さな衛星に向く位置センサーを作り出さねばならなかった。硬 X 線スダレについては、我々には、今までの経験もあるので、実現可能だが、この位置センサーは、かなりの技術的障壁であろうと当時の我々には思えた。——実は、後になつ分かるのだが、硬 X 線スダレにも、全体として5秒角の pointing を保証するのは、かなり難しい問題なのであった。

何か、うまい太陽位置センサーは、ないものかと、思索していたところ、思いついたのが、電波干渉計には、grating interferometer というのがあるではないか、それと同じような空間レスポンスを持つスダレを考え出せ

* 東京天文台 Kenichiro Oki: Hard X-ray Telescope on the Satellite Hinotori.

ば、高いフーリエ成分を利用しつつ直流成分も押しえられるではないか。このスダレの構造は、何のことはない、上層スダレと一体となり取付けられたレンズによる光学太陽像が、ちょうど、下部スダレのメタル部分の幅に相当するようにし、そのメタル幅より充分狭いスリットが、平行に等間隔で並んでいれば良いのだ。これで、光学的には、約1秒角まで、くっきり見える太陽 Limb を使って位置決定が出来るという原理ができ上がようなものだ。しかも、この方法でなら、光学センサーの出力値のカーブをすべて記録しなくても、ある出力レベルを切った時刻のみを次々と伝送すれば、位置センサーとしての情報は、すべて、計算できることが、高倉氏によって示された。筆者が、上記の hard ware 的原理を思いついて、高倉氏に告げてから、わずかに一週間も経っていなかった。どのような案も、まとまる段になると、トントン拍子に行くことの見本のようなものである。ともかく、これで位置センサー情報のテレメータに占めるビット数は、大幅に節約できる見通しも出来た。

しかし、その後も難問は残った。上記の原理を実行するために、下層グリッド面に、くっきりとした収差の少ない太陽像をつくるには、レンズの直径は、ある程度大きくしなければならぬ。しかし、レンズを大きくすると、SXT 内に太陽熱を取り込んでしまうので、温度上昇により、スダレ・グリッドが歪んでしまう。この矛盾を除くため、レンズ前に干渉フィルターや熱しゃ断フィルターを挿入することが考えられ、その設計のため、数ヶ月の時間が、日本光学との間で費やされた。しかし、この問題にも、「コロブスの卵」的考え方が現れ、直ちに解決した。つまり、レンズの分解能より狭いスリットで、ボケた像をスキャンしても、その電気出力のカーブから、分解能の限界よりずっと良い精度で、そのカーブのピークを決定できることになる。このことが、どれだけうまく行っているかは、次の話からもうかがえる。後日、SXT の最終調整の際、レーザー光を使って、SXT と SXA の光軸合わせを行った。SXA レンズによる像を、SXA スダレで切ったものを電気出力とし、この SXT 望遠鏡の光軸を知るという方法をとった。その際、大いに援助をいただいた光学の専門家である東京天文台の T 氏をして、感嘆せしめたのは、このちっぽけなレンズによる電氣的測定法が、角度の変化を計算値どおり、敏感に反映した事実である。

3. SXT 望遠鏡の製作開始

「ひのとり」のプロト・タイプは、1978 年までに作られてテストされた。このとき、SXT については、かんじんのスダレは製作されず、望遠鏡の筒と、スダレを保持するサンドイッチ板までが製作され、テストされた。こ

れは、宇宙の環境では、温度変化が大きいので、望遠鏡の筒が歪んで、何もならないので、温度特性をテストするためであった。ここで見つけられた事実は、以下のことである。スダレ望遠鏡で、最も大切な構造上の問題は、三層のスダレが、光軸のまわりに、ねじれないかということ、スダレ面の平行方向に三層間でズレが生じないかという問題である。前者は起こりにくいが、後者は簡単に起こることがわかる。そのため三層を支えている側面の三本のアルミ棒の材料は慎重に同じロットの中から、切り出すように指示されたにも拘わらず、現実には綿密な測定を行ってみると、上記のズレが起きていることが分かった。フライト・モデルには、更に慎重な材料選びが必要となった。

さて、いよいよ 1979 年春からは、フライト・モデルの製作が始まった。と言っても最初のうちは、製作は、大部分メーカー側で行われ、大学側での調整・総合テストは、後半に行われるわけで、まだその頃には、我々が 1979 年暮ごろから約一年にわたって体験することになる「血みどろな」闘いは予想することも出来なかった。

前哨戦は、1979 年秋のある日突然やって来た。メーカーから、SXT 本体の鏡筒部が納入された。早速プロトタイプのとき問題となっていた鏡筒の 3 本足のアルミ棒による歪みの問題をテストし始めた。大きな恒温槽の中で、スダレ面の上層と下層の上側に各々鏡を注意深くはり付けて、オート・コロメータで、その鏡の平行度の変化を一温度サイクルで何日間かを費しながら見て行くという仕事が始まった。筆者は地上の電波干渉計の据え付けなどしか、やった経験はなく、はじめは慣れずもたもたしているのを、宇宙研若手の M 氏などは、アッという間に実験のセット・アップを済ませ、大いに力になってもらえた。それでも慣れてくると、地上の装置などより、ずっとミニチュアであるが、最終的な望遠鏡としての分解能が同程度の場合、結局は同じ程度の測定の困難さと調整の手間を食うものだな、と妙なところで感心もした。更に、宇宙の機器の場合、温度変化が地上より一般的には大きいので、広い温度範囲で、その性能を保たねばならない分だけ、それから打ち上げ時のロケットの振動に耐える構造にする分だけ、地上装置より大変だなと思う。一連の測定が終わると、歪みの許容限界よりかなり大きな歪みが出ていた。プロトタイプのときより大きいぐらいである。これでは、スダレ系を三層にすることは出来ず、二層にでもしなければ、望遠鏡として動かない。(後日、全く別の理由で 2 層の方が有利とわかり、結局最後は、2 層の望遠鏡として飛ばすことになるのだが、この時は、まだ 3 層にこだわっていた。)その時は実験の前途を思って暗たんたる気持が、何日か続いた。

問題の解決は、しかし、「ひょうたんから駒」という感

じでやって来た。温度の変動が大きいために、鏡を押さえている板とグリッド板の熱膨張の差で「バイメタル」効果が出来上がっていたのである。一回であきらめず、鏡の取付け位置をいろいろ変えて、筆者が何回か、しつこく測定を繰返したので幸いにも見つかった。早速、押さえ板と鏡の間にバネがはめ込まれ、押さえ板は、グリッド板と自由にスライド出来るように取り付けられた。この頃から、この SXT の設計のみでなく、実験的な面も、打ち上げ後に実際にデータを使うことになる天文のグループで、もっと行う必要があるのを痛感し始めていた。宇宙研のグループが「白鳥」の運用に追われているので、なおさらのことであった。しかし、この時はまだ、天文側から硬 X 線 SXT, HXM の計画に参加しているのは実験的な面では、まだ筆者一人であった。

そうこうするうちに、1979 年も押し詰まり、「クリスマス・プレゼント」の包みが、我々の手元へ届けられた、開けてみると、スタレを構成するフォト・エッチング板のサンプルであった。キラキラと輝く金属の表面と、その精緻な出来ばえに、しばし見とれて、これこそ我々の望遠鏡の「レンズ」となるものだなと考えていたものの、これ以後の半年以上にわたり、このフォト・エッチング板をめぐる、くり広げられることとなる「凄惨」な苦闘の始まりだとは、その時は、まだ知るよしもなかった。この「闘い」の中で、我々は、望遠鏡の基本的性能は何とか損わない範囲であるが、一步も二歩も理想からは後退せざるを得なかったのである。

4. 1980 年——SXT, HXM 最終調整の年

SXT 製作の最終の年が来てしまった。年明けと共に、スタレのフォト・エッチング板のチェックが始まった。はじめのうちは格別のアイデアがあるわけでもないので、試行錯誤そのものであった。約 100 枚あるエッチング板から、十数枚ずつを選び出し、最終的には、三層のスタレを構成することになる。どこかの層に、一枚でも不良のエッチング板が混じり込むと、望遠鏡としては失敗となる。正に望遠鏡づくりの正念場である。相手のエッチング板が、どんな性質を持ったものか、わからないので、最初は顕微鏡の下で、直径約 300 mm のエッチング板を一枚々々の隅々まで見るということから始めた。スリットが 400 本以上もある板が、100 枚もあるので、これだけでも気の遠くなるような作業である。スタレ望遠鏡の全体としての性能に最も影響するのは、スタレのピッチであるが、その他にも、スタレのスリットの幅、スリットの直線性と、ふちの乱れ具合等を一枚々々丹念に調べて行く。一枚分見るのにも、かなりの時間を要するのだが、100 枚全部をやっと見終っても、また測定のまづさに気づいたり、別の項目の測定を始めた。何

回も繰り返して、やっとエッチング板の出来具合についての性質が、わかりかけて来た頃には、季節は早くも春先へと変わっていた。

SXT コリメータとは別に、X 線検出器の電気回路の製作がメーカーにより出来上がっていたので、その試験が、クリーン・ルームで始まっていた。その試験にも参加しながらのエッチング測定なので、明らかに人手が不足し始めていた。実験に遅れを来たすと、不十分なままの望遠鏡を打ち上げてしまうことにもなるので、各方面に新たな人々が実験に参加してもらえるよう呼びかけた。実は、この少し前から天文台から、もう一人と、大学院生の T 君と N 君が既に、この実験に参加しており、我々の戦力は 4 人となっていたが、この頃から、実験の計画が急ピッチで進み出していたので、我々が毎日、朝から宇宙研の門限である夜 10 時まで働きずめに働いても、実験は、思いどおりには進まなかった。皆の顔に焦りの色が見えるのだが、この時は、まだ各方面からの援助は、ほとんど得られなかった。どうも、この計画の当初に、各方面のコンセンサスを充分に取りつけていなかったのが原因だとある人から忠告を受けた。もっとも忠告だと思うが、今までに、これだけの予算とマンパワーを注ぎ込んで来て、もう少しで、これまでの世界になかったような種類の望遠鏡が、誕生しようとしているのである。何とかならないものかと思った。他の人々を有効に説得できない自分を、この時ほどなげなく思ったことはない。

ロケットの方の予定では、翌年 2 月打ち上げで、その前のクリーン・ルームでの詳細な総合テストのため、実験室での実験の締切りは 9 月に迫っている。ともかく、能率を上げて、やり遂げる他ない。その頃から、SXT 外にも、SXA (太陽光学姿勢計) と HXM (硬 X 線モニター及びスペクトル計) も測定に入り、次第に我々の手に任せられつつあった。この方の実験の一部を天文台に移して行うという方法を取って、やっと一部の天文台の人々の理解が得られ始め、援助も始まった。しかし、それも「焼石に水」となるくらいに皆が忙しかった。我々にとって始めて体験するような仕事が多いということもあるが、衛星の打ち上げ一年前の忙しさというのは、これから天文の人が衛星をやらうとする時、胆に命じておく必要があるだろう。私事にはなるが、筆者の場合、自宅が少し遠いこともあって、毎日、夜は終電車となり、日曜も出ることが多いため、何ヶ月間か、自分の家の子供と顔を合わせたこともないという珍事も起こる始末であった。

ある夜の事、門限のため、宇宙研の通用門へと急ぎながら、大学院の T 君の口から漏れた言葉が印象的であった。「これが、ほんとの泥沼状態ということですね……。」確かに、その頃は実験の遅れから、9 月の締切りまでに、

いったい望遠鏡が出来上がるのかどうか、また計画どおりの性能に達するものなのか、将来の展望が全く得られない状態であった。もう夏も近づきつつあるその頃には、宇宙研のグループも大勢の人々が、Astro-AのSXT, HXMに関連した仕事に取りかかっていた。何本もあるDetectorづくり、その熱テスト、真空テスト、振動テスト等の厳しいテストを行わねばならないので、仕事が山程あった。もちろん、各種の地上の観測装置や望遠鏡でも、製作・調整の完成するまでに至るには、関係者の血のにじむような長年の努力があるわけだが、衛星の仕事をして面喰らうことは、息の長い設計・計画の期間があるかと思えば、ひどく仕事の集中する期間があることだ。地上装置でも、もちろん会計年度などで製作期限はあるが、衛星には、打ち上げ日という、もっと厳しい期限が待っている。それに、打ち上げて観測を始めてからは、ちょっと具合の悪いところがあるからと言って、手直しも出来ないで、地上で前もって厳しいテストを繰り返す必要がある。そうかと言って、Detectorを余り早くから地上で作っておくと、経年変化をしてしまうだろう。等々、仕事の集中する要素は沢山ある。当然、計画を始める前には、ある時期には、マンパワーを、うんと集中できるようにには可能性を考慮しておかねばならないだろう。そんな事情にうすうす感付きながらも、それに対処せず、SXT, HXM製作のまっただ中に、とび込んで来た我々の苦悩が大きいのも、蓋し当然かも知れない。しかし、ここで自分達を正当化しようとは思わないが、そのような「向こう見ず」の者も居ないと、世の中には意外性のあるユニークな望遠鏡の誕生は、難しいのではないだろうか。考えてみると、それまでも、いろいろと宇宙研やメーカーの方々に、無理難題をお願いしては、余計に手間のかかる望遠鏡を作っていたのが、我々の姿だからである。曰く「HXMはチャンネル数を大幅に増やして、単なるX線モニターからスペクトル計として働くものにしよう。」「SXAは5秒角の絶対位置を決定できるようにしよう。」「SXTは、大きなプリセッション運動があるため、1分角の半値幅を2分角くらいにしておこうという意見があるが、逆に、我々は現状よりも難しくなるが、30秒角の半値幅に挑もうではないか。」「また更に曰く「それが満たされたなら、30秒の半値幅より更によい分解能を持たせるよう、スタレの質の良いものを作ろうではないか。」「……等々、無理難題を次々と提出しては、「それでは約束が違う。」「間際になってからの、そんな変更は困る。」と関係者を怒らせてしまった場面もあり、今になって思い出だけでも、冷や汗の出る思いである。しかし、その結果が現在(1981年夏)のSXTのユニークな成果となって表れていることで、関係者のお許しを、お願いしたいと思っている。

最後に、ここに特筆したいことは、X線源位置を5秒角で太陽光球上に書き込む精度を得るために、SXAとSXTの光軸の関係を5秒角の精度で測定しなければならなかったが、この仕事に、X線望遠鏡の計画には入っておられなかったが、東京天文台の光学の分野の富田氏と計算施設の大橋氏が参加して下さったことである。一時は我々と行動を全く同じくし、一週間以上にわたって、半徹夜が続くようなペースの中での困難な仕事であったにも拘わらず、我が事のように測定に協力して下さったのには全く頭の下がる思いである。また富田氏の知識と経験による援助が無かったら、この測定は恐らく、こんなに短期間には成功しなかったことだろう。

ともかく、一年近くに及んだ文字通りの悪戦苦闘の末、締切り日である1981年9月17日、水曜日の朝は、既に白々と明けかけていた。(やれるだけのことは、やったのだ)と自分に言い聞かす。前夜から徹夜で行った最終測定が、やっと朝方に終わり、大学院生のT君は、机に顔を伏せて仮眠をとっている。朝9時になると、また早速、衛星本体に持ち込んだ状態でのSXT, HXMのチェックが始まるからだ。その後姿を見ていると、普段から、なかなか逞しい精神力の持主だと感じていた彼が、なぜか少しやつれて弱々しい存在にすら見えてくる。(ほんとうに、このような望遠鏡計画に、引き込んでしまったことが、彼にとって良かったことなのだろうか)という後悔に似た思いが、ふと頭の隅をかすめる。まだ、この先、衛星自身の成功までには、幾多の困難が待ち受けていることだろう。本当に、打ち上げ後SXT, HXMから送られて来たデータを見るまでは、我々の長年の努力の結果が、成功なのか、失敗しているのかすら知るよしもないのだ……。

5. SXT 望遠鏡顧末記

1981年2月21日、忘れもしない土曜日の朝のことであった。数日間の延期の後、ASTRO-Aは内之浦から打ち上げられ「ひのとり」と命名された。筆者は、折り悪く身体の調子を悪くしていたので、内之浦へは駆けつけられず、その朝も、駒場の宇宙研リアルタイム・データ受信室に詰めていた。室内には、内之浦の現場の場内放送と同じものが流れていた。また、コンピュータのディスプレイ画面と隣のグラフィック画面には、内之浦にある衛星受信用コンピュータと伝送線で直結されていて、同じ内容が表示されていた。つまり、ロケットの本物の轟音以外は、現場の内之浦と同じデータが即時にわかる、臨場感たっぷりの設定であった。打ち上げられた衛星が、地球を一周して一回目に帰って来た時、そこには、我々の待っていたドラマが展開していた。これからヨーヨーデスピナーを切り離して、衛星のスピンを、打

ち上げ時の非常に速いスピから観測に適した 12 RPM 以下に落とすのだ。これに失敗すれば、2度とやり直しはきかず、従ってソーラー・バドルの展開も出来ず、衛星計画は失敗に終るわけだ。実は、地上でやっていた最終に近いテストで、このヨーヨーデスピナーに問題点が指摘されていた。……場内が静まり返って、衛星にコマンドを送る人の声のみが響いていた。ヨーヨー切り離しのコマンドが指示される。次に、「では、コマンドをセットします。……」と言っている。練習のときと殆んど変わぬ何と落ち着いた声なんだろう。こちらで聞いている方の胸がドキドキする。「コマンドをセットします。……」という声が終るか終らないうちに、グラフィック画面に表示されていた太陽角を示すグラフの周期が、急に、ゆっくりと大きなものになった。(しめた、ヨーヨーが無事に切り離されたぞ。……)と考えている間もなく、その次にバドルを展開する旨スピーカーが告げている。すると、太陽角の周期が更にゆっくりとしたものになり、ディスプレイ装置の HK 画面の中の太陽周期の数字が 14 秒あまりの数字に変わった。やったぞ!! 成功だ。思わず部屋に居合わせた 10 数人の人の間で、誰からともなく拍手が湧き起こる。もうすぐ春の近いことを思わせる

明るい光の差し込む部屋の中であった。

打ち上げから数ヶ月、ひのとり観測班の方々のガンバリで SXT, HXM の観測した成果は、巨大フレアだけでも 20 個近くに及ぶ。SXT のスダレを通して見た本物の太陽フレアのパターンには、非常に尖った三角山が見つかっている。これで本物の成功だ。その他にも、最近では、フレアの高エネルギー現象のカギを握っている「二つ目玉の硬 X 線源は存在するのか?」という間にも答えている。SXT の観測した中に二つ目玉は存在したのだ。その他にも、10 keV 以上の X 線とそれ以下の X 線源の大きさは、かなり違うことなど、次々に新事実を明らかにしつつある。

ひと昔前までは、我々日本人が、観測天文学の分野で世界に先駆ける仕事をするチャンスは、非常に少なかった。しかし、今多くの人々の努力に支えられて、我々の SXT 望遠鏡は、人間の手にした像の描ける望遠鏡という意味では最も高いエネルギーの画像を我々に送り届けて来ている。筆者は、そのような幸運な科学者の一人になり得たことを、衛星計画に携わった何十人、いや恐らく何百人の人々に感謝したい気持ち一杯である。

雑報

T. Tauri 型星のフレア活動

アインシュタイン衛星が上がった、最初の頃の観測で、T. アソシエーションと一致する X 線源を見つけた事は良く知られていますが、その後、個々の T. Tauri 型星を観測して激しい時間変動を見出しています。それによれば、牡牛座で平均各星について 10^{30} エルグ/秒、オリオンの T. アソシエーションで 10^{31} エルグ/秒の強度が軟 X 線を出ており、その中でも、DG Tauri は平均間隔 35 分位で変動している様です [Feigelson and De Campli *Ap. J.* **243**, L 89, 1981]. この X 線は太陽の場合の 10 万倍位の大規模なフレアから発生すると考えている様です。時系列解析などはされていない様で、回転との相関の様なものは見つかっていない様です。X 線を出している T. Tauri 型星は、光学的に激しく変動している星の様で、どちらかという、光度の明るい時に変動の激しい型の星の様で、質量吸着を示す YY Ori 型星には今の所 X 線は受かっていない様です [Gahm, *Ap. J.* **242**, L 163, (1980)]. バルマー輝線などとの関係ははっきりしていない、つまり線幅の変化との相関を示す観測はない様です。

以前から、UV Ceti 型フレア星とよく似ている T.

Tauri 型星がある事が指摘されていますが、U バンドで測光をいくつかの T. Tauri 型星について行った所、5% 程度の時間変動があり、その頻度スペクトルが、UV Ceti 型と良く似ている事が報告されています [Worden, Schneberger, Kuhn and Africano, *Ap. J.* **244**, 520, (1981)]. そこで Worden 等は T. Tauri 型星で、昔ハローが考えた、連続フレアモデルが成立しているとした様ですが、先程の X 線観測結果と比較しますと、U バンドで変動の激しかった RW Aur では、X 線は受かっておらず、V で変動のない GW Ori では、変動の激しい X 線が受かっているという事になって、Gahm が指摘している、光度変化の激しいもの程、X 線が受かっているという事とは正反対の結果になっています。結局、光学領域の変動現象が、T. Tauri 型星の様な暗い星に対してでも、もっと観測によって、はっきりさせられる必要がある様に思えます。(近藤正明)

中粒状斑

空の状態のよいとき白色光で太陽面一面にみられる粒状斑、電離カルシウムなどの強い吸収線での単色像でよくみえる超粒状斑はよく知られているが、最近中粒状斑の存在が November, Toomre, Gebbie, Simon (*Ap. J.* **245**, L 123, 1981) によって確認された。

粒状斑約 10^8 km, 超粒状斑 3×10^4 km とすると中粒