

## 次期太陽活動極大期に向けた展望

—太陽—

秋岡真樹\*

(1997年1月17日受理)

TOWARD THE NEXT SOLAR MAXIMUM  
—SOLAR OBSERVATION AND FORECAST—

By

Maki AKIOKA

Future research plans of solar observations in the Space Weather Forecast Project at the Hiraiso/CRL are briefly described. Toward the next solar maximum around 2000, we have been making efforts to develop the comprehensive solar observation facilities consisting of a High-Definition H $\alpha$  Solar Telescope, Sunspot Monitoring Telescope, and Filter Magnetograph as well as data exchange facilities with computer networks. The observations with these telescopes and quasi real-time data exchange will play an important role for the forecasts of solar and magnetosphere disturbances in the next solar maximum.

As well as the development of the monitoring facilities, research on state of the art solar observation techniques is planned. One of the main targets is research and development for spectroscopic polarimetry of the sun. For flare research and forecasting, polarimetry of spectral lines is required and precise derivation of physical parameters, especially of the magnetic field, from observations is crucial. We will develop the precise spectroscopic polarimetry technique after research and development of several required features and technologies. These include image stabilization technology, a no artificial polarization mirror in the oblique reflection, a telescope filled with Helium, and IR polarimetry.

[キーワード] 太陽, 太陽観測, 地磁気嵐, 分光偏光観測, 赤外観測.

The sun, Solar observation, Geomagnetic storms, Spectroscopic polarimetry, Infrared observation.

## 1. 宇宙天気予報プロジェクトのめざすもの

昨今, 人類の宇宙での活動が急速に拡大・高度化しつつあり, また日常生活における様々なインフラストラクチャの運用における宇宙活動への依存の高まりは, 通信・放送衛星やGPS衛星, 地球観測衛星の研究用途以外へのデータ利用に如実に現れている。また, スペースシャ

トルや宇宙ステーション計画に見られるように, 有人宇宙活動も日常的なものになりつつある。

地球上に生活する我々は, 厚い大気と磁気圏の内部に守られているため, 太陽の恐ろしさを直接感じる事はほとんどない。しかしながら, 太陽フレアによるX線放射や高エネルギー放射線は, 人体に多大な影響を及ぼすと共に, 搭載コンピューターの誤作動や素子の破壊を引き起こす。また, 太陽から放出されるプラズマ雲や, コロナホールから吹き出す高速太陽風流に伴う惑星間衝撃波

\* 関東支所 平磯宇宙環境センター 太陽研究室

は、地球磁気圏と複雑に相互作用する事により、地球近傍の高エネルギー粒子密度を増大させ、様々な障害を人工衛星にもたらす。最近の例では1997年1月11日に米国の通信衛星 Telstar 401 のテレメトリと通信回線が切れて永久故障に陥るといふ事故が発生している。原因は現在調査中との事であるが、1月6日に SOHO 衛星で観測された太陽からのプラズマ放出に伴う高エネルギー電子密度の増大が原因ではないかと言われている。1994年1月のカナダの通信衛星 ANIK の機能停止事故も、宇宙環境じょう乱が原因といわれている。

宇宙天気予報プロジェクトは応用研究であり開発研究である。これまで、太陽物理学、太陽地球系物理学や磁気圏物理学などにおいて、太陽面現象やそれに起源をもつ地球近傍の様々なじょう乱現象の基礎研究が盛んに行われてきた。これまで、通信総合研究所も含めた関連研究集団が、基礎科学である太陽物理学、太陽地球系物理学として蓄積された様々な知見に基づいて社会的要請の高まりに応じた研究開発として展開していくパイロット的試みが宇宙天気予報プロジェクトであると言える。その最終的なゴールは、これらの擾乱現象を事前に予報し、危険な状態を回避するための情報を的確に提供するシステムを構築する可能性を探る事にある。

本稿では、第2節においてこれまでの「太陽監視望遠鏡群」の開発等、これまでの取り組みの成果について簡単に紹介し、今後の課題である分光偏光計測技術に関する研究計画のアウトラインを示す。

## 2. これまでの成果と次期太陽活動極大期における予報運用

宇宙天気予報プロジェクトは、太陽面現象の観測をもとに、惑星間空間や地球磁気圏などの宇宙空間のじょう乱を監視し、必要に応じて警報を出し、最終的にその予報を可能にする事を目的としている。太陽予報についていえば、予報の実現に向けて2段階の目標を設定している。第1の目標は、太陽面擾乱を連続的に監視し、それに基づいて太陽フレアや噴出現象の発生を速やかにユーザーに周知するシステムの確立及び活動領域の監視観測から太陽面上の活動的な領域の存在をその活動度の推移と共に警報する事である。たとえば、フレアの発生実績、活動領域の活動度等を日々の確に把握すると共に、現在の推移状況（活動が「活発化しつつある」、「衰退しつつある」）の判断をおこなう事である。

この目標を次期太陽活動極大期において実現し、安定に運用させることを目標にこれまで研究開発を進めてきた。すなわち、従来の監視観測型の太陽望遠鏡の能力を飛躍的に向上させた「太陽監視望遠鏡群」を開発・整備

すること、各観測所（特に日本と異なる経度帯の米州、欧州）の観測データや観測報告を収集すること等である。データの準リアルタイム解析まで視野に入れた一連の流れを確立する試みも、日頃の宇宙環境情報サービスの中で試行しつつある。これらの課題は平成8年度の段階でかなりの部分が完成しており、次期太陽活動極大期への体制は徐々に整いつつあると言える。

可視光領域において、太陽活動領域に関する情報量の多いH $\alpha$ 線による彩層観測は、H $\alpha$ 望遠鏡の開発によって非常に質の高い監視が可能になった<sup>(1)-(2)</sup>。これにより、全面におけるフレアの発生監視、フィラメント消失の発生監視及び活動領域の大局的な磁場構造や活動度についての情報が得られるようになった。また、フィラメント消失やガス噴出が進行している時の観測データが得られれば、高エネルギー粒子の発生やプラズマ雲の地球近傍への到達の可能性を判断することもある程度可能である。

黒点の監視については、「黒点監視望遠鏡」によるデジタル撮像によって監視望遠鏡としてはトップレベルの性能を達成しており、黒点群の発生、発達の様子を高品質かつ自動化された形で監視する事が可能になりつつある<sup>(3)</sup>。

光球面の大域的磁場分布は、マグネトグラフにより吸収線の偏光度をマッピングする事により可能になる。フィルター型のマグネトグラフなので磁場の計測精度という点は不十分な点はあるが、一度に広視野の観測が可能であること、一回のデータ取得に要する時間が短いため、形態的な変化を連続的に追跡できる等の利点がある。これらの特徴は後述する偏光分光観測と相補的なものである。

従来から行っている電波を用いた観測装置も予報に必要な情報を与える。たとえば、2.8 GHz のフラックスモニターは太陽活動度を示す国際的な指標であり、活動度の把握やモデル計算に対するパラメータを与える。また、広帯域太陽電波観測装置（ダイナミックスペクトル計）のデータは、太陽面現象に起因する衝撃波の発生をとらえることにより、プラズマ雲の放出の有無に関する情報を与える。

これらの装置の総合的運用により、活動領域の発生と成衰、太陽面擾乱の検出等に基づく太陽活動度の現況把握が可能になったわけであり、浮上磁場の検出等により活動度の推移予測もある程度可能になったと言える。また、フレアやそれに伴うフィラメント噴出、2型、4型バーストの検出により太陽面からのプラズマ雲放出とそれに伴う衝撃波生成が観測できるようになり、フレア性の地磁気擾乱の発生予測も可能になった。

「太陽監視望遠鏡群」は平礎で運用する装置であるた

め、電波による観測装置を除いて天候に大きく左右されるとともに、日本が昼間の時間のデータしか得られないという問題がある。前者については、監視望遠鏡を平磯から遠く離れた適地、たとえば沖縄にも設置する事でかなり改善される。たとえば、平磯が梅雨期である6-7月期に沖縄ではすでに梅雨明けしており、晴天が期待できる。後者については、装置の共同開発なども含めた国際協力による取り組みが必要であり、今後の課題である。

これまでに整備した「太陽監視望遠鏡群」の定常的運用によって、平磯における太陽面現象の現況把握能力は飛躍的に高まった。これにより次期太陽活動極大期には、太陽面擾乱の発生や太陽活動領域の活動度のデータに基づく太陽フレア、地磁気嵐及び高エネルギー粒子に関する予報がある程度可能になると考えている。

次期太陽活動極大期に試験運用を開始する「宇宙天気予報」の目標の一つである太陽活動度の推移予測や太陽面監視に基づく地磁気擾乱の発生予測を可能にしていくためには、これらのデータを用いた研究が必要である。たとえば、LDE型のフレアは地磁気擾乱のもとになるプラズマ雲の放出を発生させやすいため、LDEフレアの発生を検出できれば地磁気嵐の発生の可能性があることを予測することは可能である。しかし、ある特定の活動領域がLDE型フレアを発生させるか否かをあらかじめ判断するためには、その発生機構の解明とともに、LDEフレアを発生させた活動領域に関する共通の性質を発見していく必要がある。

予報の運用のためには、観測装置の開発と観測技術に関する研究がまず必要であることは言うまでもないが、予報を可能にしていくためにはまだまだ解決すべき課題が残されていると言える。太陽フレアの発生機構の解明という難問題に関する基礎研究と共に、フレア予報のための経験則を発見、整理していくことも現実的な観点からは重要であり、また基礎研究の重要な手がかりが得られるものと期待できる。次期活動極大期がだんだんと間近に迫りつつある現在、「太陽監視望遠鏡群」等のデータを用いて、このような調査研究にさらに精力的に取り組む必要がある。

### 3. 次期太陽活動極大期における研究開発

宇宙天気予報プロジェクトにおける第2の目標は、太陽フレアの発生予測に関する研究である。太陽フレアの物理は、ようこうを初めとする第22太陽活動周期における研究によってかなり明らかになりつつあるが、そのエネルギー供給、蓄積及びトリガー機構など、フレアの発生機構そのものについては未知の問題が多く、解決にはほど遠い状況である。しかしながら、これらの研究を

通じて、光球面の磁場が本質的な鍵を握っているらしいことは様々な状況証拠からまず間違いないと考えられている。

現在のところ、磁場観測において達成されている観測精度は、フレアにより解放されるエネルギーを磁場のデータをもとに定量的に議論するにはほど遠いものである。たとえば、Liu, Akioka and Yan<sup>(4)</sup>は、フィルター型マグネットグラフのデータを用いて境界要素法を用いることにより上空磁場のシュミレーションを行い、ある程度の大きさ以上のコロナループの再現に成功したが、フレア発生に直接関係していると思われる小さな、背の低い磁気ループはうまく再現できていない<sup>(5)</sup>。これは、ベクトル磁場のうち、とりわけ視線に垂直な成分の計測誤差によるものと考えられる。このように、現在磁場計測において達成されている計測精度は、定量的な議論には不十分なものでしかない。

必要な精度で表面磁場を観測するためには、いくつかの技術的課題を解決する必要がある。光球表面磁場の推定には、スペクトル線がゼーマン効果により分離し、各々の偏光状態が異なる事が利用できる。高精度で表面磁場を取得するためには、吸収線輪郭の偏光プロファイルを精度よく決定する事が必要であり、このような試みはストークスポラリメトリと呼ばれている。宇宙天気予報プロジェクトでは、回折格子分光器を用いたストークスポラリメータの開発と、必要な要素技術の研究を計画している。

地上から太陽の偏光計測を行う場合、最も大きな影響を及ぼすのが大気ゆらぎによる像の細かい運動であり、計測中の大気のゆらぎが得られる結果に致命的な誤差を生じさせる。これを防ぐには、解析時にデータ間のアライメントを行って補正するか、観測時に実時間で大気ゆらぎの補正を行い、検出器上で像の動きを止めてしまうことが必要である。回折格子分光器の場合は実時間で補正してゆくしかないため、像安定装置の開発が必須である。

太陽フレアの発生機構の解明や予報のために磁場エネルギーや電流について定量的に調べる事が必要でそのためには0.1%以下の偏光検出感度にチャレンジする必要がある<sup>(6)</sup>。そのためには、素子技術も含めた先端的な技術開発が必要であり、斜め反射等による人為偏光を抑制する技術の研究、レンズ材に残留する複屈折の除去、精度よく偏光変調や検出のできる偏光計測システムとキャリアレーションスキームの開発と実験運用等が重要課題である。

これらの分光偏光計測に関する基礎的研究を行うとともに、定常観測用の分光偏光望遠鏡のプロトタイプを開

