

《ハイテクとおめがね事情(4)》

野辺山電波ヘリオグラフ

—太陽フレアの謎に迫る電波の目—

長野県野辺山にある JR 最高地点からあまり遠くないところに国立天文台野辺山があります。天文台内に足を踏み入れるとまず直径 45 m の巨大なパラボラアンテナ (45 m 電波望遠鏡) と 6 台の直径 10 m のパラボラアンテナ群 (野辺山ミリ波アレイ) が目に飛び込んできます。そこから 45 m 電波望遠鏡に向かって少し進むと右手はるかかなたに小さな白いパラボラアンテナの一群が見えてきます。この一群のアンテナで構成される電波望遠鏡が、今回紹介する電波望遠鏡「野辺山電波ヘリオグラフ」です。

太陽電波バーストを捉える

太陽活動が活発な時期、太陽から放射されるマイクロ波は、時折、突発的に増加することがあります。この現象は目で見える光 (可視光、たとえば $H\alpha$ 線など) で観測される「太陽フレア現象」と関連した現象で、「太陽電波バースト」といわれます。両者の主な違いは、可視光でのフレア現象が光球面からその上空に広がる彩層領域での現象として捉えられるのに対し、電波バーストはさ

らに上空のコロナ領域での現象として捉えられる点です。しかし、この 2 つの現象は、共通のエネルギー源で結び付けられていると理解されています。衛星やロケットによる太陽 X 線観測でも同様な現象が捉えられています。

これらの太陽面爆発現象では通常、数秒から数 10 分といったきわめて短時間に 10^{30} erg 前後という膨大なエネルギーが放出されます (広島型原爆 1 発のエネルギーはおおよそ 10^{21} erg)。フレア現象の直接的なエネルギー源は、太陽黒点などを通して太陽光球面から上空に延びている強い磁力線に“ゆがみ”や“ねじれ”といった形で蓄積されたエネルギーであることはすでに良く知られています。このエネルギーの貯蔵所がコロナ中であることも解ってきています。しかし、そのエネルギーがどのように太陽大気に引き渡されるのかはいまだに謎のままです。電波や X 線での観測は、このエネルギーの貯蔵所であるコロナを直接見ることができるといえます。野辺山電波ヘリオグラフや太陽 X 線観測衛星「ようこう」で撮影された太陽コロナの写真により、徐々にエネルギー解放の基礎過程が明らかにされはじめています。

シャッタースピード 1/20 秒の電波カメラ

野辺山電波ヘリオグラフは太陽から放射される

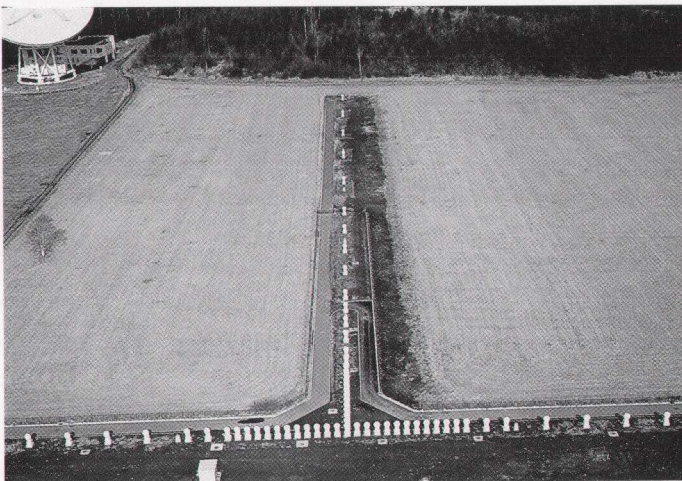


表 1 野辺山電波ヘリオグラフの性能

観測周波数	17 GHz
観測視野	40 分角 × 40 分角
解像力	約 10 秒角 (2 次元像)
時間分解能	50 ミリ秒
偏波観測	右回り・左回り時分割
画質 (ダイナミックレンジ)	≥ 100 : 1

写真 1 空から見た野辺山電波ヘリオグラフのアンテナ

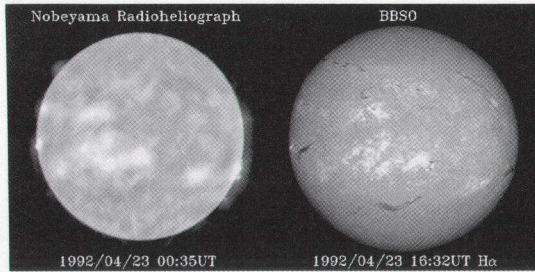


写真2 野辺山電波ヘリオグラフで見た太陽の姿
(左)、右は可視光(H α 線)で見た太陽

マイクロ波の電波を捉えて電波写真として映し出す装置です。太陽フレア現象の撮影を主目的にしており、そのために必要な性能を最優先して設計されています。フレア現象の初期には電波強度が秒以下の継続時間で増減することがあり、このため、電波写真の撮影は50ミリ秒で行えるようになってきました。また、フレアの初期には電波放射領域が非常に小さいことが予想されることから、多少画質を犠牲にしても2次元像で約10秒角という高い解像力が得られるように設計しています。野辺山電波ヘリオグラフの性能を表1に示します。

T字に並ぶアンテナ群

たくさんの小型アンテナを使って、あたかも1台の大口徑望遠鏡のように機能させる方式の電波望遠鏡を電波干渉計といいます。野辺山電波ヘリオグラフは84台の小型アンテナで構成される電波干渉計です。1台1台のアンテナは直径80cm、架台の高さ約2mと小さいのですが、84台のアンテナが協調動作することにより上記の高い性能を発揮します。

写真1は空から見た野辺山電波ヘリオグラフのアンテナです。写真中央に逆T字形に並んだ一群のアンテナがわかると思います。写真の上方向が北で、腕の長さは東西方向に約500m、南北約220mです。アンテナはT字の腕の交点付近で密、そこから離れるにしたがってまばらに配置してあります。このようにすることにより、比較的少ない

アンテナで高い解像力と広視野を同時に満たしています。

アンテナ、受信機、計算機からなる複合装置

野辺山電波ヘリオグラフはアンテナ、受信機、計算機を一体化した大きな複合システムです。精密に太陽を追尾するアンテナ群で受信された電波は、各アンテナに取り付けられた高感度受信機で増幅された後に光信号に変えられ、光ファイバーを通して観測棟に集められます。観測棟で光信号は再び電気信号に戻され、相関値と呼ばれる写真のネガフィルムに相当するデータに変換され、保存されます。太陽の電波写真は、相関値に対して高速の計算機で現像、焼付けに相当する画像処理を行うことによって得られます。

高感度・高安定の受信機、毎秒5000億回のかけ算を行う専用計算機(相関器)、画像処理プログラムなど多数の項目が独自に開発されました。

見えてきた新しい太陽の姿

野辺山電波ヘリオグラフで見た太陽は、1秒よりはるかに速いバースト電波源の明滅、彩層からコロナへの高温ガスの上昇運動、電波バーストに伴う高温ループ構造の出現、巨大な電波プロミネンスの上昇や消失など、これまで目にしたことのない姿を私たちに見せてくれています。観測成果については、今後、本紙のSky Lightなどでも紹介される予定ですので、詳細はそちらにゆずることとし、ここでは野辺山電波ヘリオグラフの見た太陽の姿の一端を示すことにとどめます(写真2)。

現在、観測データによる国内外の研究者との共同研究が進められています。その一方、太陽高エネルギー現象のより定量的な解析を目指して、野辺山電波ヘリオグラフの2周波化(17/34GHz同時観測)などの装置開発も進めています。

西尾正則(国立天文台野辺山)