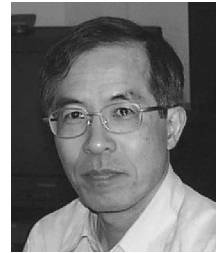


野辺山電波ヘリオグラフによって 明らかになった太陽全面活動の変遷

柴崎 清 登

〈国立天文台野辺山太陽電波観測所 〒384-1305 長野県南佐久郡南牧村野辺山462-2〉

e-mail: shibasaki.kiyoto@nao.ac.jp



野辺山電波ヘリオグラフの20年にわたる太陽電波画像観測から、太陽全面活動の長期の変遷を明らかにすることができた。1日1枚の画像約7,200枚を用いて電波蝶形図を合成して解析した結果、黒点の蝶形図と同様な低緯度の活動領域の活動とともに、電波特有の極域増光の活動をとらえることができた。極域増光は活動領域の活動と逆相関を示し、その明るさは極域磁場と良い相関を示す。また、活動領域と極域の活動を南北別々に調べたところ、北半球は良い逆相関が見られたが、南半球はその関係ははっきりしない。20年にわたって、極域・活動領域ともに活動が低下しており、また、南北半球間や南半球での高緯度と低緯度の活動の同期がくずれてきていることが明らかとなった。

1. 序

太陽は一つの恒星であり、中心核における核融合反応によって発生した熱エネルギーが外部に向かって拡散し、表面の光球からは主に電磁放射によって宇宙空間に広がっている。このエネルギーの流れによって空間的・時間的構造が形成され維持されており、太陽の活動現象は一つの散逸構造と考えることができる。黒点や太陽フレアを含む太陽表面の構造や活動および長期の周期活動現象は、大局的にはこのようにとらえることができるが、具体的な素過程を理解しないと現象を理解したことにはならない。それを明らかにするためには観測が必要である。

近年多くの太陽観測衛星が打ち上げられ、搭載された広い波長帯の望遠鏡群により、細かい空間構造の早い時間変化を連続して観測することが可能となってきた。これによって短時間の活動現象の理解は進むことが期待される。しかし黒点数が示すような11年周期やそれに伴った活動領域出現の緯度変化などの長期の太陽全面にわたる時

間・空間構造の変動の研究にはあまり向いていない。それぞれの衛星の寿命がせいぜい太陽活動周期程度であるためである。地上観測においてはこのような観測が可能であるが、地上観測の場合でも研究者の性のために常に改良を加えて性能の向上をめざす。変動する対象を観測する際に観測装置がそれよりも早いタイムスケールで変化すると均質なデータが得られず、対象の変化なのか性能向上によるものなのかわからない。太陽がいつも同様な変動を繰り返している場合はそれでも良いのであるが、それまでと異なる変動が出現した際にはこれは致命的である。

太陽は天文学にとっては一つの恒星であり、その表面が詳しく観測できるという点で特別である。しかも地球上に生活するわれわれにとって一番身近で直接その影響を受けているという意味でも特別な研究対象である。地上付近へのエネルギー源としての太陽は比較的安定しているのだが、地球の上層大気（電離層や磁気圏など）や太陽の周りに広がる惑星間空間は太陽の活動の変動によって非常に大きな影響を受けている。比較

的短時間の影響としては、太陽フレアに伴う短波長の電磁放射や高いエネルギーをもつ粒子によるものや、コロナ質量放出（CME）と呼ばれる太陽フレアやプロミネンス放出による磁化プラズマの放出現象などによるものがある。これらの現象を扱う「宇宙天気」（Space Weather）という分野が近年大きく発展しつつある。地球を取り巻く宇宙空間には多くの人工衛星が飛び回り、われわれの生活もこれらへの依存度が大きくなってきているので、非常に重要な分野となっている。

天気に対する言葉で気候というのがあるが、長期にわたる宇宙環境の変動を研究するのが「宇宙気候」（Space Climate）である。現在太陽活動の様子が以前と異なってきており、この分野の研究もおおいにその必要性が認識されてきている。今までと異なる状況の発生により、太陽地球系システムの物理学の理解が深まることが期待される。宇宙気候の研究のためには長期にわたる観測が必要であり、数百年を超える変動については、直接観測がないために間接的データを用いることになる。ここでは電波による太陽の画像観測から得られた20年程度の変動について紹介する。

2. 野辺山電波ヘリオグラフ

太陽フレアにおける粒子加速の研究のために1990-1991年度に国立天文台野辺山太陽電波観測所で電波ヘリオグラフ装置（太陽観測専用の電波望遠鏡，図1）を建設した。それまでさまざまな電波望遠鏡を建設してきた経験・技術をすべてつぎ込んで設計・建設し、またその後の充実した保守によって、20年以上経過した現在でも大きな故障もなく、建設当初の性能を維持し高品質で均質なデータを全世界の研究者に提供し続けている。1995年8月末から10月初めにかけて機能追加のために観測を中断したが、それ以外の長期欠測はほとんどなく、過去10年間では稼働率が99%を超えている。太陽フレアなどの突発現象を取り逃がさないためには、欠測を最小限に抑えることが必要である。

野辺山電波ヘリオグラフは、直径80 cm口径のパラボラアンテナ84台を東西490 m、南北220 mの基線の上に配置した電波干渉計である。電波干渉計は天体画像の空間フーリエ成分を測定するものであり、これを逆フーリエ変換して画像化し、サイドローブを取り除くためにCLEANなどの処理を



図1 野辺山電波ヘリオグラフアンテナ。背景は八ヶ岳。

行う。良質の画像を得るためには取得したフーリエ成分の位相と振幅の較正が必要であり、その位相と振幅は各アンテナで受信する電波の位相と振幅による。野辺山電波ヘリオグラフでは、較正のためのデータを画像用データごとに取得している。太陽は地球大気の擾乱の激しい昼間に観測しなくてはならないので受信する電波の位相は大きく乱れており、これができることは高画質の像を得るためには非常に重要である。野辺山電波ヘリオグラフは建設後20年以上経過しているが、この性能を凌駕するような装置がほかにないために、今後も当分最先端の装置として存在することができるであろう。

太陽からの電波には吸収線や輝線がないために得られる情報量が限られており、また空間分解能は光学観測やX線・紫外線の観測には劣るが、ほかの波長域では得られない情報を得ることができる。吸収線や輝線がなく連続光観測なので、逆に視線方向の運動によるドップラー効果の影響を受けることがないので、高速で飛び出すプロミネンス放出の観測には向いている。短センチ波帯の電波観測の特徴としては、放射機構がほかに比べて単純であり、観測量から放射源の物理量を比較的簡単に求めることができることが挙げられる。電波は電子の加速度運動によって放射され、加速度運動の原因はイオンとの衝突と磁場によるローレンツ力である。よって古典物理学を用いて解析することができる。高エネルギー電子が磁場と相互作用すると非常に効率良く電波を放射するので、高エネルギー現象の研究には不可欠である。ローレンツ力による電子の円運動と円偏波電波の相互作用から磁場情報が得られる。また、電子の衝突の主な相手は水素が電離した陽子なので、ほかの手段では観測の難しい陽子の密度をより直接的に測定できる。また電子は軽いので熱運動の速度が速く、熱平衡状態にすばやく移行することができるので、遷移領域などの急激に物理状態の変化する場合でも局所的熱平衡の仮定が適用しやすい。よって、ほかの波長域の観測と組み合わせること

によって大いにその存在意義を示すことができる。

以上述べた電波放射の特徴に合わせた電波ヘリオグラフの特徴により、この装置からのデータは太陽のさまざまな現象の研究において世界中の研究者に利用されている。電波ヘリオグラフの視野は太陽全面であり、観測中であれば太陽面上のどこで突発現象が発生しても取り逃がすことはない。また、装置の安定的運用や天候にあまり左右されないために1日約8時間ではあるがその間は連続したデータが利用できる。太陽フレアやプロミネンス放出などのイベントの解析だけでなく、さまざまな現象の統計的研究をするには最適である。アンテナも野ざらしで良いので自動運転が可能で、観測のために人手は不要である。観測当番は、故障がないか、取得されたデータは正常かなどのチェックを行っている。さらにデータの取得レートが通常1秒間隔、太陽フレアなどの非常に速い現象が発生した際には0.1秒間隔であるため、振動や波動現象の研究におおいに利用されている。観測データはほかの太陽観測装置の場合と同様、取得と同時に一般公開されている。

最近の計算機や周辺装置、それにネットワーク技術の進歩のために、1992年の観測開始からのすべてのデータがディスクに保存され、ネットワーク経由で自由にアクセスできる。野辺山太陽電波観測所の共同利用の方法は、通常行われているユーザーが時間を限って観測装置を占有して観測する方法とは異なり、観測は観測所が行って、ユーザーは過去のものを含めてそのデータを自由に利用できるというものである。共同利用を増進するために、代表的な画像を合成して観測所のWEB頁 (<http://solar.nro.nao.ac.jp/index-j.html>) に掲載するとともに、対応する数値データをFITS形式にて提供している。また、フレアやプロミネンス放出などを自動検出し、それらの画像データをWEBページに掲載している。さらに像合成やデータ解析のためのソフトウェアパッケージを準備している。

これらの共同利用の成果の一つとして、過去に何回か野辺山電波ヘリオグラフからのデータを主とした国際シンポジウムを開催してきた。最近のものとしては、「Solar Physics with Radio Observations—Twenty Years of Nobeyama Radioheliograph and Beyond—」と題して2012年11月20日-23日に名古屋大学で開催した。約60名の参加を得、そのうち半数が国外からの参加であった。一つの地上観測装置で太陽物理分野の広い分野をカバーし、国際会議が何度も開催できるというのも野辺山電波ヘリオグラフの特徴の一つである。そこで発表された論文のうちオリジナル論文が天文学会の欧文報告PASJの特集号 (Vol. 65, No. SP1) として2013年12月に出版された。また、それらを日本語でわかりやすく解説したものをまとめて天文月報の誌上で紹介する予定であり、私のこの記事もその一部である。

3. 電波ヘリオグラフで見た太陽全面活動の変遷

3.1 電波蝶形図の合成

20年を超える安定した運用と高品質で均質な連続データが蓄積されたことにより、長期にわたる太陽活動の変遷について議論ができるようになった¹⁾。全観測期間のデータを用いて太陽全面の活動を明らかにするために、まず17 GHzでの1日1枚の南中近辺の電波像を用いて太陽面の電波の明るさの分布の展開図(シノプティックチャート)を合成した。太陽は約1カ月で1回自転(カリントン周期)しているので、毎日の電波像の南中付近を切り出し、それを少しずつずらしながら重ねていくと展開図となる。活動領域はその明るさが時とともに変化するので、本当の意味での展開図とはならないが、それに近いものが得られる。各自転には番号が付与されており、カリントン番号と呼ぶ。展開図を経度方向に平均するとカリントン番号ごとに1本の緯度分布となる。これらを順番に並べると観測開始以降の太陽全面

の活動の状況を1枚の図として見る事ができる。太陽の高度の年変化による空間分解能の変化や天空間に対する太陽の自転軸の傾きの年変化の効果を除くために12カ月の移動平均を行ったものが図2である。黒点の蝶形図に倣って電波蝶形図と呼ぶこととする。電波蝶形図にも低緯度帯に蝶の羽ばたきを見ることができる。

3.2 極域増光

電波蝶形図の特徴として、黒点の蝶形図にはない極域(図2の上端と下端付近)で増光が見られることが挙げられる。電波蝶形図上では低緯度の活動領域の電波輝度より明るい、これは経度方向の平均の効果である。活動領域は通常、極域よりはるかに明るいのであるが、経度方向に連続しているわけではないので平均すると明るさは低下する。一方極域は経度平均してもその明るさはほとんど変化しない。また蝶形図上では極域の占める割合は大きくて目立つが、実際の太陽面上では非常に小さな面積を占めているだけである。しかし後で示すようにこの部分が太陽活動上重要な意味をもつとともに、惑星間空間の大部分は極域から吹き出す太陽風に満たされている。極域が短センチ波帯で増光することはウクライナ(当時はソビエト連邦)のクリミアの黒海沿岸にある22 m電波望遠鏡によって発見され²⁾、国内でも1984年には野辺山宇宙電波観測所の45 m電波望遠鏡によって観測が行われている³⁾。また、飛び飛びの観測ではあるが、クリミアの観測によりその明るさは低緯度の黒点活動と逆相関を示すことが示唆されていた⁴⁾。この現象の観測を意図したわけではないが、野辺山電波ヘリオグラフの観測周波数はちょうど極域増光の観測できる周波数帯に一致している。

図2で明らかのように、極域増光は低緯度の活動領域の活動と逆相関を示している。活動領域には大気中に高温のプラズマが多く含まれるので、電子と陽子の衝突による電波が多く放射される。強い磁場があるので磁気共鳴放射というものもあるが、17 GHzでは大きな黒点の暗部上空という非常に限

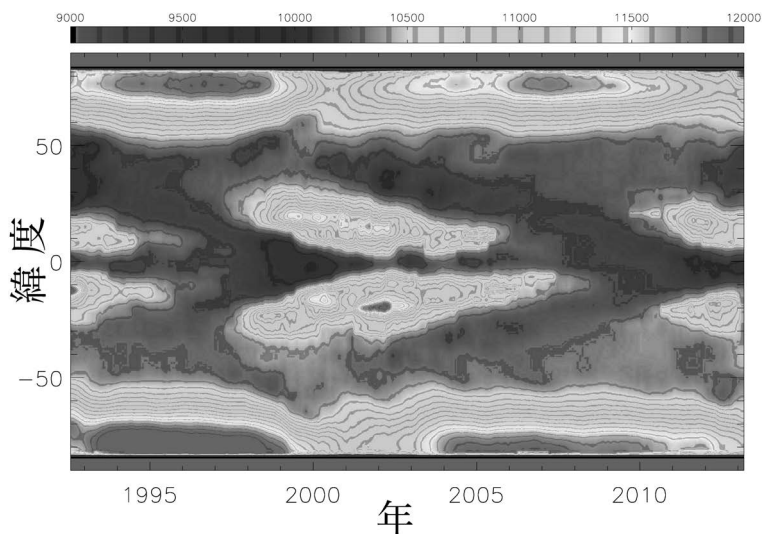


図2 電波蝶形図.

られた領域からのみであるため、さまざまな平均化を施した電波蝶形図にはほとんど影響を及ぼさない。活動領域では彩層、遷移領域、コロナ中の温度や密度が高いため電波も明るくなる。よって電波の明るさは活動領域の活動度を示す。極域には活動領域はないので、極域増光を説明するには別な機構が必要であり次の節で議論する。図2から、20年間ではあるがこの極域増光がしだいに減少するとともに低緯度の活動も低下している、つまり太陽全面の活動が低下している様子が一目瞭然とわかる。

このように長期間の観測的研究のためには、観測装置が安定であるとともに、基準の変動しない電波輝度較正が必要である。野辺山電波ヘリオグラフでは電波輝度の絶対測定は行っていない。よって像合成によって得られる電波像の明るさは相対的なものであるが、全画素の明るさの頻度分布を作成して空と静かな太陽のピークを求め、空は宇宙背景放射温度（近似として絶対温度0度）、静かな太陽は1万度⁵⁾として電波輝度の較正を行っている。よって静かな太陽の明るさが長期にわたって変動しないという仮定をしていることになる。

3.3 太陽からの電波放射のしくみと極域増光

太陽の大気は、表面に相当する約6千度の光球、

その上に約1万度の彩層、それから遷移領域を経て100万度のコロナに至り、層状構造をしている。このコロナは太陽風によって惑星間空間に流れ出している。しかし実際には磁力線がそれらの大気を貫いており、磁力線に沿っての熱伝導度は非常に良いので、層状構造はこれらを水平方向に平均したものであると考えるべきである。光球と彩層の間には約4千度の温度極小領域がある。太陽中心核から温度極小領域まで温度は単調減少しているのであるが、そこから上の大気は温度構造が逆転して単調増加となっている。これは通常の熱力学に反しているわけであり、非熱的しくみを持ち出す必要がある。これがコロナ加熱の問題であり、まだ解明されていない太陽物理学の重要問題の一つである。コロナだけでなく彩層や遷移領域も同様であり、また加熱するだけではなく温度を調整したプラズマ物質を定常的に供給し、太陽風として流れ出す大気を補わなくてはならない。

このような大気中で、高温のために電離したプラズマ中の電子がイオン（主に陽子）との衝突によって短センチ波帯の電波を放射している。野辺山電波ヘリオグラフは実質的に彩層上部の約1万度の大気からの電波放射を観測していることにな

る。温度極小域より上層からの放射の場合、太陽の周辺を観測すると高温大気の厚さが増し、太陽面中心から周辺に向かって明るさが上昇するため周辺増光と呼ばれる。逆に下層では周辺減光となる。野辺山電波ヘリオグラフで観測される太陽電波像も周辺増光を示す。極域はいつも太陽の縁付近にあるので周辺増光のために明るい。これだけであれば、太陽活動に依存することなくいつも明るいはずである。

4. 極域増光と太陽活動

4.1 コロナホールと電波増光

太陽の極域はコロナホールに覆われることが多い。コロナホールは、コロナに空いた穴という意味で、軟X線や極端紫外線望遠鏡で観測すると暗く穴のように見える。光球面では単極の磁場構造となっており、磁力線は上空に向かって開いて、そのまま惑星間空間にまで広がっている。そのため高速の太陽風の吹き出し口と考えられている。これに対して、活動領域でもコロナホールでもない領域は「静かな太陽」と呼ばれ、太陽表面の広い領域を占める。この静かな太陽の光球面ではコロナホールと違って磁場はN極とS極が混在する状態であり、さまざまな長さの閉じたループ状の磁力線が多く存在しその中にプラズマが閉じ込められている。低空のループには低温プラズマが多く存在する。よって大気構造も整然とした層状構造とはならない。大気が層状構造をすると、周辺増光が乱されることはないが、そうでないと周辺増光とならなかつたり、増光した電波が低温物質によって吸収されたりしてしまう。低緯度の縁で極域ほど周辺増光が顕著でないのはこれが原因と思われる。大型のコロナホールが低緯度に出現した際に、東や西の縁の近辺で電波輝度が上昇することが観測されているので、極域でも同様の状況が出現していると考えられる。極域がコロナホールに覆われるのは太陽活動極小期で、太陽活動極大期には極域のコロナホールはなくなる。こ

の事実から極域増光が太陽活動と逆相関を示すことが理解できる。しかし、20年にわたってしだいに減光していることは説明できない。

コロナホールは太陽表面の単極磁場構造によるので、太陽表面に固定した現象であり、周辺増光は太陽面中心からの距離によって決まるものである。太陽の自転軸が天空面に対して年に ± 7.2 度変動することを利用すると、これらの効果を分離することができる⁶⁾。極の位置を補正した蝶形図と補正しない蝶形図を作成し、移動平均の操作を施さなければ、これらの効果を別々に見ることができる。その結果、どちらの効果もほぼ同程度に寄与していることがわかった。

4.2 極域磁場と電波増光

太陽の大局的磁場もほぼ11年周期で変動している。太陽の自転軸に一致した軸をもつ双極子モーメントは11年ごとに極性が反転しており、反転の時期は低緯度の活動の最盛期である。反転の際には双極子モーメントが小さくなり、逆向きの双極子モーメントに入れ替わる。その際極域の磁場は弱くなり、磁場の極性が入れ替わる。このときが太陽活動極大期である。双極子モーメントが消えると、次に見え出すのは四重極以上の構造であり、太陽面の磁場パターンが複雑になる。これらを支配しているのは太陽内部で働いているダイナモ機構であるが、理論的説明はまだみだである。

スタンフォード大学が運用しているウィルコックス太陽観測所(WSO)では、光の望遠鏡で1976年から極域の磁場強度の詳細観測を行っている。極域はいつも太陽の縁に近いので、太陽表面に垂直な磁場成分の観測は非常に難しい。スタンフォード大学のスバルガード(Leif Svalgaard)さんたちは、太陽活動極小期における極磁場の強さが次の太陽活動極大期の活動に関係しているという経験則を導き、現在進行中の第24太陽活動周期の活動が非常に低調となることを予言し、それが的中した。しかし、極磁場強度の長期の測定精度(1ガウスの1/10程度)についてはなかなか

自信がもてず、独立した証拠を探して、野辺山電波ヘリオグラフによる極域の電波輝度に注目した。毎日の電波写真の極の明るさと測定した磁場の強さを比べて、非常によい相関を示すことを見つけたとともに自身の測定に自信をもつことができた。さらに、望遠鏡の不具合のために、ある期間の磁場データの品質が悪いことも見つけた。特に磁場反転の時期には極磁場が弱く、逆に低緯度からは大きな黒点のために偏光率の高い光が散乱光として紛れ込み、測定精度を低下させていたことを突き止めた。電波データを磁場データの較正のために利用したわけである。独立したデータがあるということは非常に重要である。電波蝶形図を用いて、この関係を示したのが図3である。横軸は緯度55-80度（南北ともに）の電波輝度の平均値、縦軸は極域の磁場強度（単位は0.01 Gauss）で、非常によい正の相関を示すことがわかる。なぜマイクロ波の電波輝度と磁場強度との相関が良いのかについては、5章で議論する。

4.3 低緯度活動と極域活動

低緯度と極域の活動の関係を調べるために、南北の半球別々に低緯度として3-35度、極域として55-80度の平均の電波輝度を求め、20年間の変動を調べた。図4に北半球での極域（実線）と低緯

度（破線）の変動を示す。逆相関をしていることがわかるが、時間軸を除いて直接相関を求めたのが図5である。図4で期間ごとに線の太さを変えているので、図5でも時間の推移がわかる。相関曲線が2006年頃から傾きを保ったまま左下に移動している。これは極域と低緯度の両方で活動が低下していることを示す。南半球での同様な相関図が図6である。北半球と比べて相関が悪く、20年前の観測開始時点ですでにこのような状況にあったことがわかる。南半球では低緯度と極域の活動の同期が悪く、また北半球と南半球の活動の同期もずれている。太陽面全体の双極子モーメントが弱くなっていることに対応しているものと思われる。

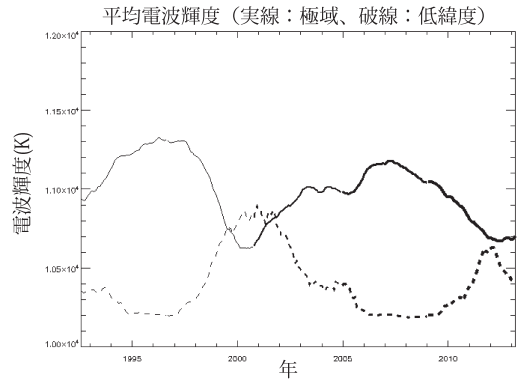


図4 北半球の極域（実線）と低緯度（破線）の平均電波輝度の年変化。

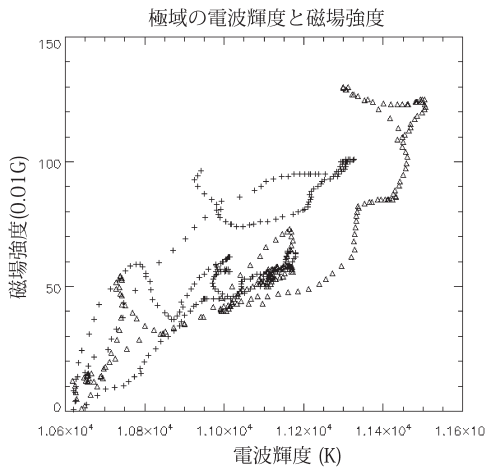


図3 極域の電波輝度（横軸）と磁場強度（縦軸）。+は北半球，△は南半球。

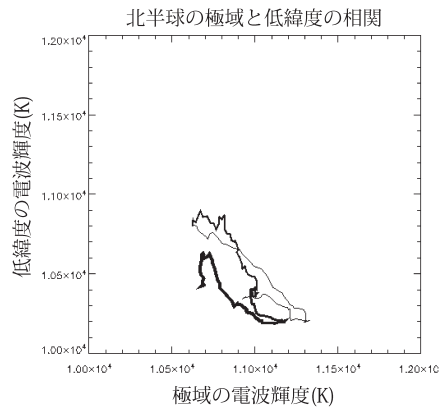


図5 北半球の極域（横軸）と低緯度（縦軸）の電波輝度の相関図。

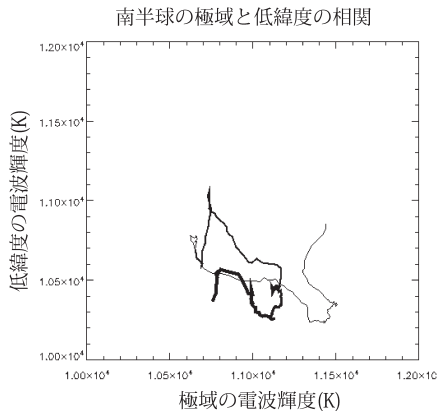


図6 南半球の極域（横軸）と低緯度（縦軸）の電波輝度の相関図。

5. 太陽の極域はなぜマイクロ波帯で明るいのか

極域はいつも太陽の縁に近いので周辺増光によって極域が明るいことは3.3節で述べた。また、この周辺増光は極域コロナホールがある場合とない場合で異なることを4.1節で示し、太陽活動最盛期に減光する理由と、これら二つの寄与はほぼ同程度であることを述べた。最後になぜこれが磁場と良い相関を示すのかという問題が残っている。電波ヘリオグラフができる前、1984年に野辺山宇宙電波観測所の45 m電波望遠鏡を用いて周波数36 GHzで太陽全面観測を行い、約2時間かけて1枚の電波画像を取得した³⁾。それを解析してヒントとなるような現象をつかんでいる。観測時にはちょうど低緯度帯にコロナホールが存在した。コロナホールは軟X線や極端紫外線では暗く見えるが、コロナ自体が薄いためにマイクロ波帯では暗くは見えない。逆にコロナホール中の単極性ではあるが磁場の強い領域に対応して電波が明るくなっていることを見つけた。その後のほかの研究でもこの事実を支持している。これを極域のコロナホールに適用すれば、磁場の強いところから強い電波がでていことがうなずける。これが磁場の存在による電波放射機構に起因すると

考えると、強い円偏波成分が観測されなくてはならないが、そのようにはなっていない。考えられる理由としては、磁場強度に比例して彩層上部あたりの大気の密度・温度が高くなっていることが考えられる。つまり磁場強度に比例して彩層加熱率が高まっており、これによって電波が周りより明るくなっていると考えられる。単極磁場領域であっても磁場強度に比例して彩層・コロナ加熱が働いているわけで、この観測事実は加熱機構にきつい縛りを課すことになる。

6. まとめと議論

野辺山電波ヘリオグラフで撮像された周波数17 GHzでの毎日の電波画像20年分を用いて電波蝶形図を作成した。この蝶形図には、黒点の蝶形図に見られる低緯度の活動領域とともに極域の増光をとらえることができ、それらは逆相関を示す。極域の電波増光はウィルコックス観測所で測定された極域磁場と非常に良い相関を示す。よって短センチ波帯での1枚の蝶形図から太陽全体のグローバルな活動をとらえることができる。

蝶形図から低緯度と高緯度の電波輝度の相関を調べたところ、北半球と南半球で関係が異なることがわかった。北半球では低緯度と高緯度の電波輝度は非常に良い逆相関をしており、2006年以降はその関係を維持したまま低緯度と高緯度の電波輝度が共に低下している。ところが南半球では観測を開始した頃からずっと相関が悪い。南北半球の間の活動の同期もくずれてきている。この電波蝶形図は過去20年間にわたる太陽全体の活動の低下を示すとともに、南北半球の活動の同期、さらに南半球における低緯度と高緯度の活動の同期が弱まってきていることを示している。

野辺山電波ヘリオグラフは太陽における高エネルギー現象の研究のために建設されたわけであるが、太陽全面活動の長期変動の研究にも非常に役に立つ装置であることがわかった。観測周波数の17 GHzはフレアに伴う高エネルギー電子からの電

波を検出するために設定したわけであるが、これがちょうど極域増光の周波数帯に一致しており、高緯度の活動の観測に利用できる。電波ヘリオグラフは建設後20年以上経過しているが、設計と建設が良かったこと、それにその後の保守が適切になされたことにより、今でもほとんど完璧な状態で観測運用がなされている。このことにより、長期にわたる電波蝶形図を合成することが可能となった。

太陽活動は黒点数によって代表されているが、黒点は温度極小域より下層の現象であり、地球や惑星間空間への影響はそより上層の彩層・遷移層・コロナの気層による。ここから放射されている紫外線～軟X線によって地球電離圏が電離され、コロナから噴出する太陽風によって磁気圏が影響を受けている。これらの太陽上層気層の高温プラズマは、いまだ解明されていない加熱機構によって維持されており、その加熱率が黒点数に依存しているわけである。よって太陽活動の変動とは、より直接的には彩層・遷移層・コロナの加熱率の変動であると理解すべきであり、活動指数としてはこれらの層の物理状態を反映する観測量が適当である。もちろん黒点数に匹敵する長期の観測データはないが、数十年程度であれば、マイクロ波帯の電波強度が利用でき、20年ではあるが電波ヘリオグラフによる電波画像も利用できる。マイクロ波帯の電波観測は地上からの観測であるために衛星に比べると長期に維持しやすい。さらに最も重要な測定データの較正方法が確立しており、数十年にわたる観測データの均質性が保障されている。たとえ黒点数とはいいながら、長期にわたる均質性についてはさまざまな問題をかかえており、過去にさかのぼった較正が進行中である。さらに最近黒点ができにくくなってきている状況が報告されており、電波データの重要性が再認識されている。

われわれは現在太陽活動の低迷期に遭遇しており、黒点相対数では約百年前の状況にある。人類が高度な太陽観測手段を手にして初めて経験する

状況である。このような状況は、太陽活動およびそれによって影響を受けている惑星間空間、地球上層大気の深い理解のためにはまたとないチャンスである。太陽の極域は惑星間空間を満たす太陽風の吹き出し口であり、その情報の得られる電波ヘリオグラフはますますその重要性を増してきている。今後も野辺山電波ヘリオグラフによってこのような太陽の活動状況を記録し、太陽活動と周辺領域の物理的理解に役立つことを望むものである。

参考文献

- 1) Shibasaki K., 2013, PASJ 65 (SP1), S17
- 2) Efanov V. A., et al., 1980, Radio Physics of the Sun 86, 141
- 3) Kosugi T., Ishiguro M., Shibasaki K., 1986, PASJ 38, 1
- 4) Babin A. N., et al., 1976, Izvestiya Ordena Trudovogo Krasnogo Znameni Krymskoj Astrofiziceskoi Observatorii 55, 3
- 5) Zirin H., Baumert B. M., Hurford G. J., 1991, ApJ 370, 779
- 6) Shibasaki K., 1998, Synoptic Solar Physics 140, 373

Change in Global Solar Activity Revealed by the Nobeyama Radioheliograph

Kiyoto SHIBASAKI

Nobeyama Solar Radio Observatory, National Astronomical Observatory of Japan, 462-2 Nobeyama, Minamimaki, Minamisaku, Nagano 384-1305, Japan

Abstract: A radio butterfly diagram is synthesized using daily radio images of the Sun for 20 years taken by the Nobeyama Radioheliograph. In the diagram, we can see butterfly pattern corresponding to low-latitude active region activity. Also, we can see clearly activity of the polar regions. Polar regions are bright in microwave around 17 GHz. Their brightness is strongly correlated with polar magnetic field strength and anti-correlated with low-latitude active region activities. In the northern hemisphere, anti-correlation is strong but not in the southern hemisphere. We found that 1) global activity of the Sun (active region activity and polar activity) has been declining during 20 years, 2) synchronization of northern and southern activity and 3) synchronization of high-latitude and low-latitude activity in the southern hemisphere have been deteriorating.