

野辺山電波ヘリオグラフが明らかに した太陽のグローバルな活動状況

柴崎清登 (しばさき きよと、教授・理博)

国立天文台・野辺山太陽電波観測所

shibasaki@nro.nao.ac.jp

TEL:0267-98-4488, FAX:98-2506

<http://solar.nro.nao.ac.jp/indexj.html>



1. 概要

米国航空宇宙局（NASA）および野辺山太陽電波観測所の研究者を中心とした研究チームは、野辺山電波ヘリオグラフによる電波画像とキットピーク国立天文台（米国）などによる太陽磁場画像等を用いて、過去20年間にわたる太陽のグローバルな活動（太陽の黒点の活動だけでなく、極域の活動を含めた太陽全体の活動）を追跡しました。その結果、この20年間で太陽全体の活動が次第に低下してきていることを明らかにしました。また、現在、北半球が太陽活動の極大期に達している一方で、南半球の太陽活動は極大期を迎えていないことをデータは示しています。つまり、太陽の北半球と南半球で、活動の同期が崩れていることとなります。

太陽活動の大幅な低下および北半球と南半球で活動の度合いが大きく異なる状況は、人工衛星や地上での太陽専用大型観測装置が揃ってからは初めてのことです。

野辺山電波ヘリオグラフ装置の長期にわたる安定した運用によって得られた高品質かつ均質なデータから導かれた本研究の結果は、これまでこの太陽活動に対する我々の理解に疑問を投げかけることになりました。これは太陽物理学の問題であるとともに、太陽活動に依存している惑星間空間や地球上層大気への長期間にわたる影響の問題にもなります。

2. 野辺山太陽電波観測所

(<http://solar.nro.nao.ac.jp/indexj.html>)

- 場所：長野県南佐久郡南牧村野辺山
(ハヶ岳東麓野辺山高原、宇宙電波観測所と同じキャンパス)
- 歴史：
 - 1969年東京大学東京天文台の附属施設として発足
 - 1988年国立天文台発足に際し、名古屋大学空電研究所(現、太陽地球環境研究所)第3部門(+附属施設)と合流
- 職員：研究系(教授1、助教1、研究員3)、技術系(1)、パート(2)
- 観測装置：
 - 電波ヘリオグラフ(太陽の電波画像を撮像する装置、1990、91年度に建設、92年度より20年間観測継続)
 - 強度偏波計群(マイクロ波帯の6つの周波数で太陽からの電波強度を測定する装置群、最長は1951年より61年間継続)

3. 野辺山電波ヘリオグラフ



2012/5/31

記者会見@科学技術館

4

野辺山電波ヘリオグラフ

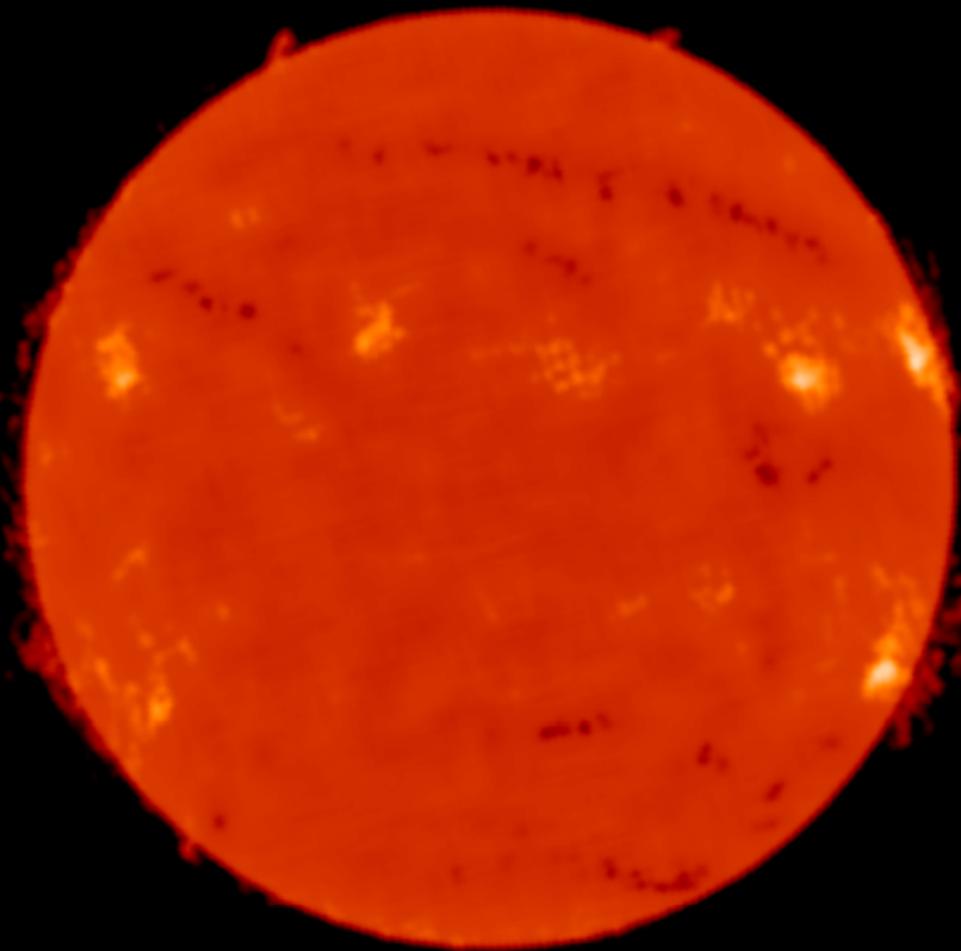
- 設置目的: 太陽観測専用の電波望遠鏡 (ヘリオ: 太陽、グラフ: 写真装置)
- アンテナ: 口径80cmパラボラアンテナ × 84台
東西490m、南北220mにT字型に配置
- 観測周波数: 17GHz、34GHz
- 視野: 太陽全面
- 空間分解能: 10秒角 (17GHz、太陽の大きさは約2000秒角)
- 時間分解能: 1秒間隔に撮像 (太陽フレアが発生すると0.1秒間隔)
- 観測時間: 8時間/日 (曇や雨でも観測可)、自動運転、装置・データ較正が非常に安定している
- 共同利用: 取得したデータはすべて共同利用可。画像合成も自動化し、WEBにて公開。WEBアクセスのヒット数は年間8百万～千万。
- ユーザー: 世界中にユーザーがおり、国際会議を何度か開催
今年は11月20日～23日に名古屋大学にて開催予定 (20周年記念)

4. 太陽からの電波放射

- 電波ヘリオグラフで見える太陽大気
 - 彩層(1万度)～コロナ(百万度)
 - 大気はプラズマ状態(水素やヘリウムが電離し、イオンと電子に分離)
- 電子がイオンと衝突したり磁場に巻き付いたりして急に曲げられると電波を放射する。
 - 太陽フレアで高速の電子ができると、磁場に巻き付いて強い電波を出す。(太陽フレアの研究)
 - 通常の太陽大気中(静かな太陽、活動領域、プロミネンス等)では、電子がイオンと衝突して電波を出す。(フレア活動以外の太陽活動の研究、今回の研究で利用)

最近の太陽

NOBEYAMA RADIO HELIOGRAPH 17GHz (R+L)



SOLAR NORTH IS UP
CENTER
(257 , 257)/ PIXEL
PEAK
46109 K
PIXEL SIZE
4.911 (ARCSEC)
SOLAR RADIUS
959.599 (ARCSEC)
SOLAR POLAR ANGLE
-18.4094 (DEGREE)
SOLAR B0
-1.6936 (DEGREE)
DATA
LOGSCALE
MAX=1E4.8 : MIN=1E3

201

2012-05-23 02:55:54.708

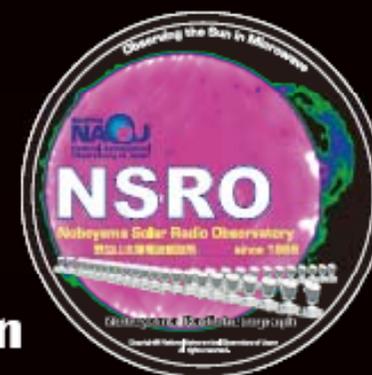
Annular Eclipse on 20 May 2012

observed in Microwave (17GHz)



Nobeyama Radioheliograph

National Astronomical Observatory of Japan



5. 発表論文について

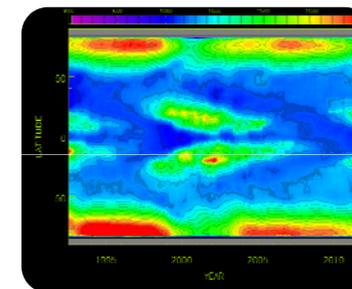
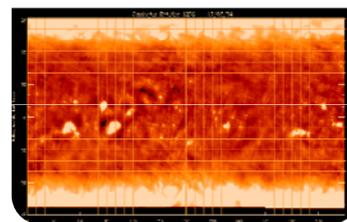
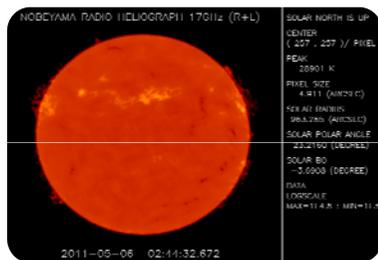
- 表題: "Behavior of Solar Cycles 23 and 24 Revealed by Microwave Observations"
「マイクロ波観測によって明らかにされた太陽活動サイクル23と24のふるまい」
- 著者: N. Gopalswamy他5名(野辺山からは柴崎)
- 掲載誌: Astrophysical Journal Letters (ApJL) 750巻、L42頁
- 掲載日時: 2012年5月10日
- NASAでのプレスリリース:
 - 5月20日にひのでの極域磁場の反転(日本では5月19日)と併せて

5.1 電波蝶形図の合成

野辺山電波ヘリオグラフで過去20年間観測された太陽全面の電波画像を用いて1枚の「電波蝶形図」(Radio Butterfly Diagram)を合成した

1. 1日1枚、正午頃の画像を抽出する(合計約7,000枚)
2. 太陽の自転を利用して、約1ヶ月分の画像から1枚の展開図を合成する(合計約250枚)
3. それぞれの展開図において経度方向に平均し、一本の緯度分布を得る。
4. 250本の緯度分布を時間軸方向に並べて平均操作を行ったものが電波蝶形図である。
5. 蝶形図が合成できるためには、長期間に亘る、欠測のない、同質のデータが必要である。画像データでは実現がむずかしい(装置のグレードアップ、校正基準の変動等)

電波蝶形図の合成



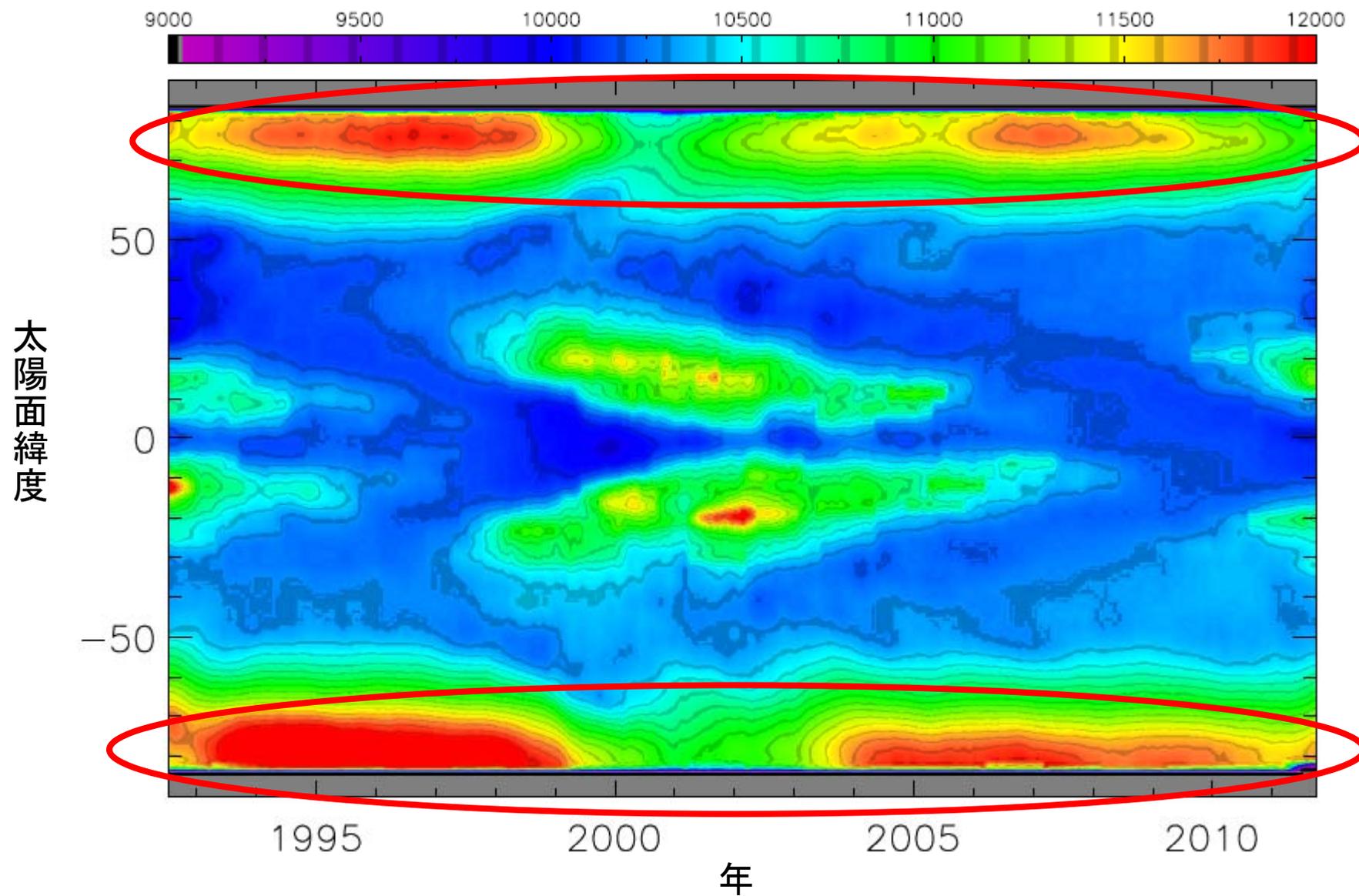
野辺山電波ヘリオグラフによる観測
(1992年より)

毎日の画像
(約7000枚)

展開図
(約250枚)

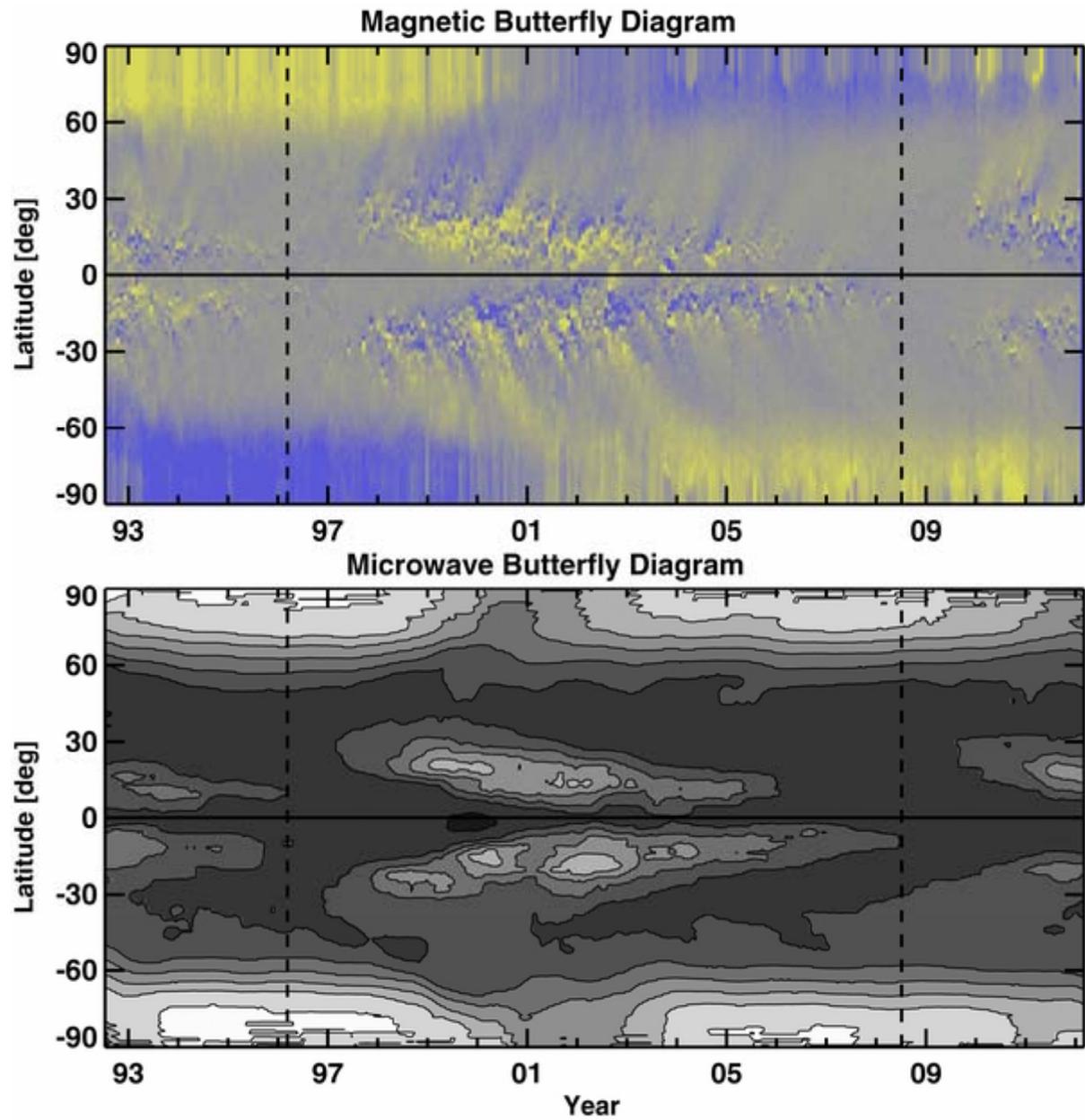
電波蝶形図

電波蝶形図



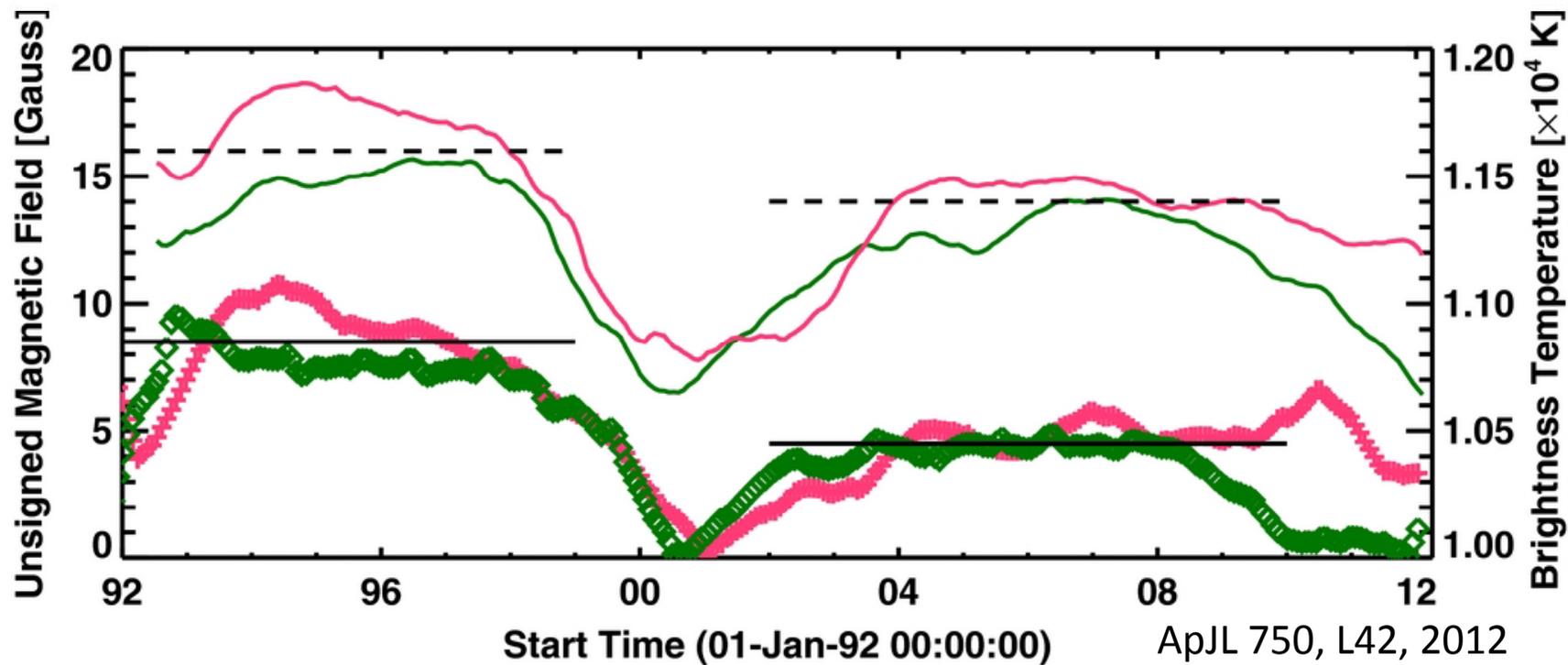
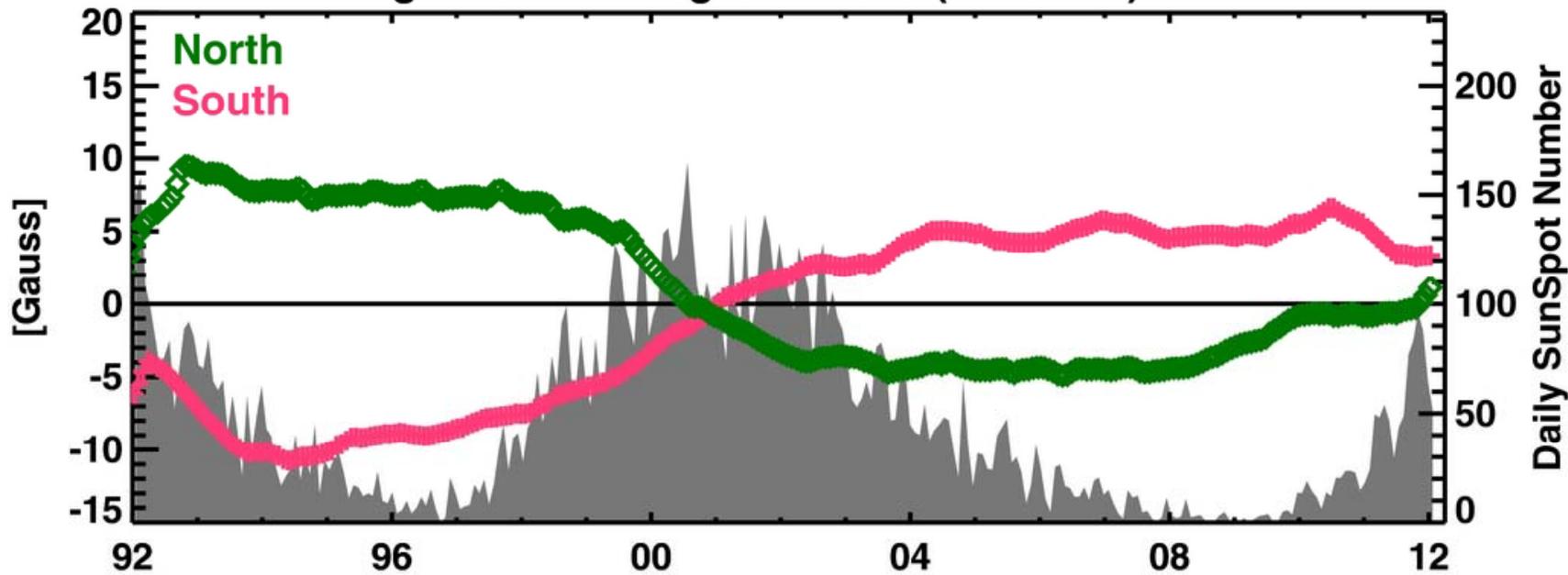
5.2 電波蝶形図から読み取れること

- 電波蝶形図の特徴： 極域が明るい
- キットピーク天文台他による太陽面磁場の長期観測データから磁場蝶形図を合成して電波蝶形図と並べて検討
 - 極域で電波の輝度と磁場の強さがよい相関
- 極域の電波輝度（磁場の強さ）が20年間にわたって低下
- 現在北極は極大期の様相
 - 電波輝度の低下、磁場の極性の逆転



ApJL 750, L42, 2012

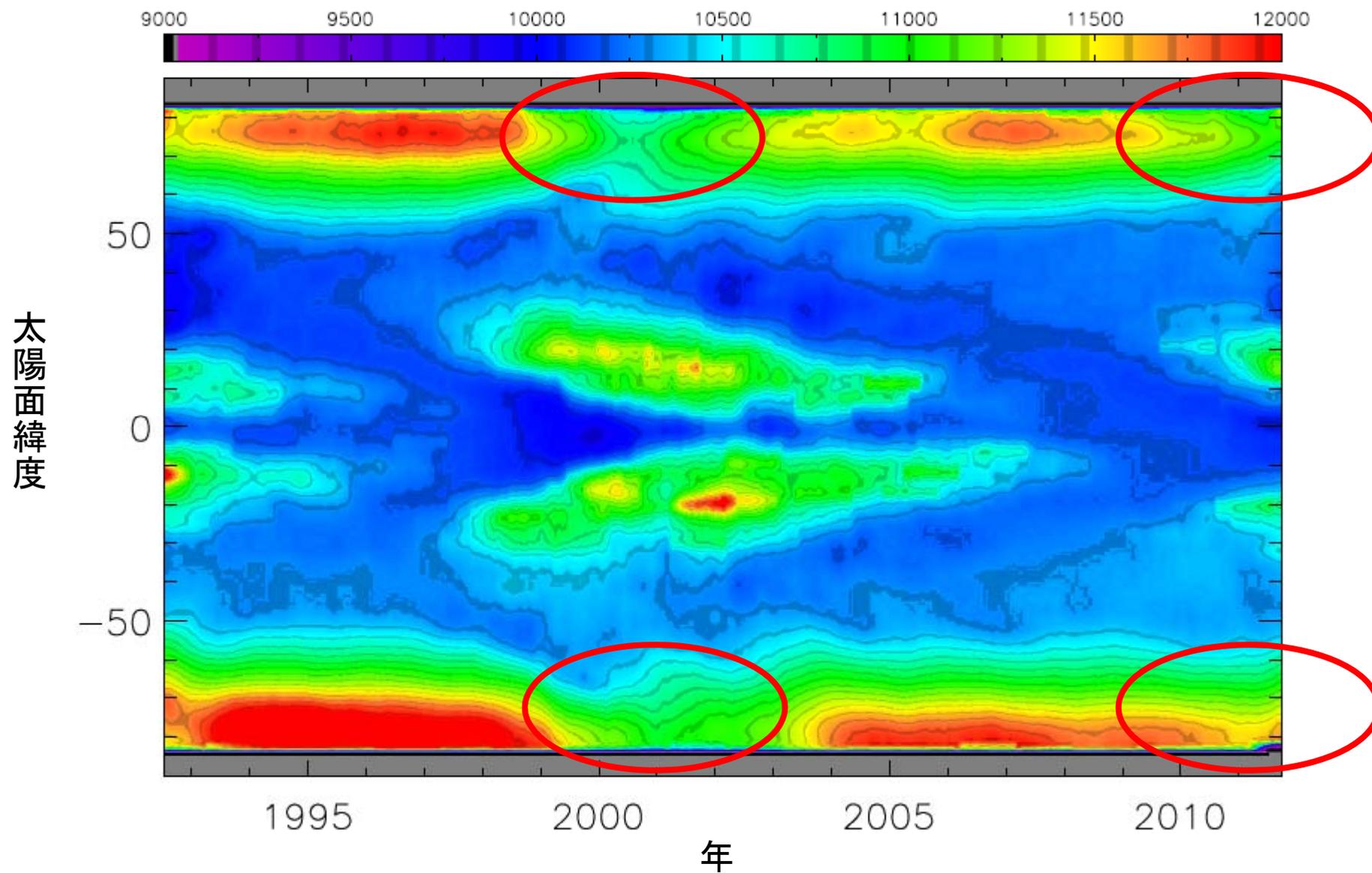
High Latitude Magnetic Field (Kitt Peak)



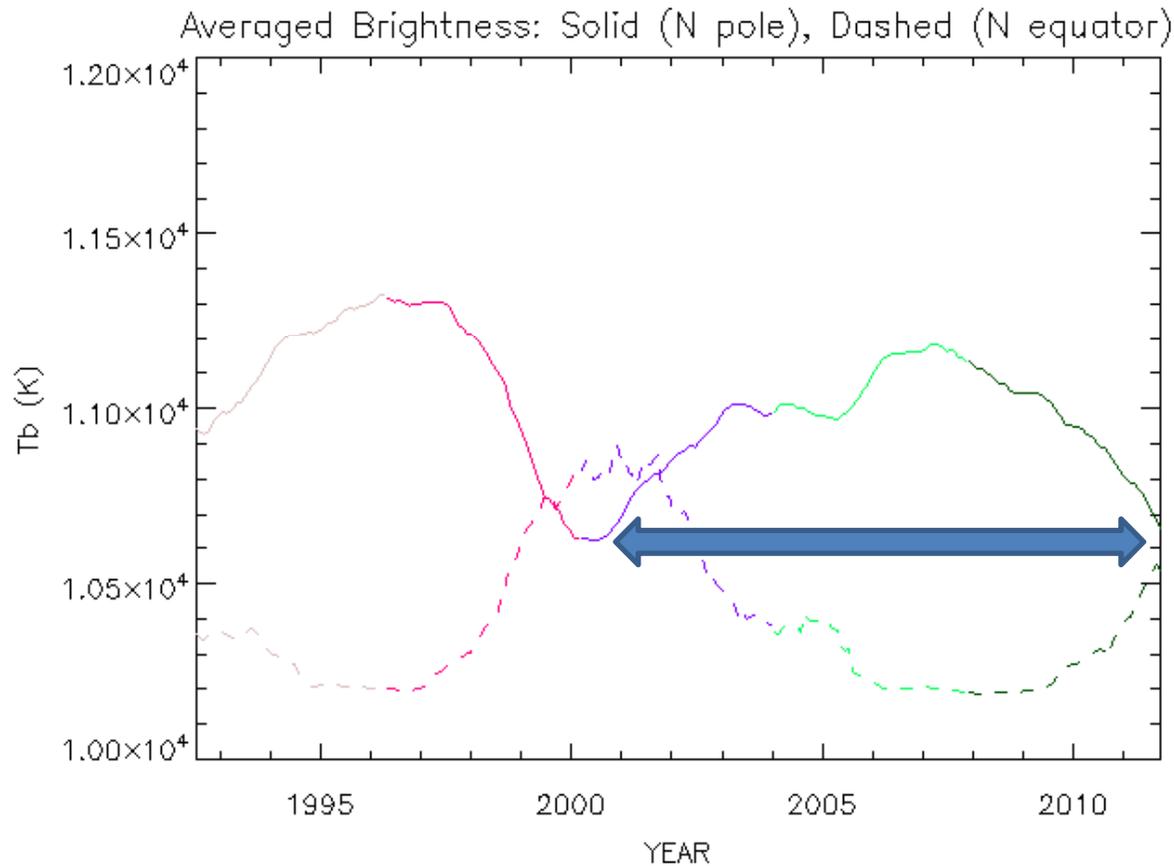
5.3 高緯度と低緯度の関係

- 高緯度(55度～80度)と低緯度(5度～35度)の関係を、北半球と南半球別々に検討
- 結果
 - 北半球と南半球の同期ずれ
 - 南半球の高緯度と低緯度の同期ずれ

電波蝶形図



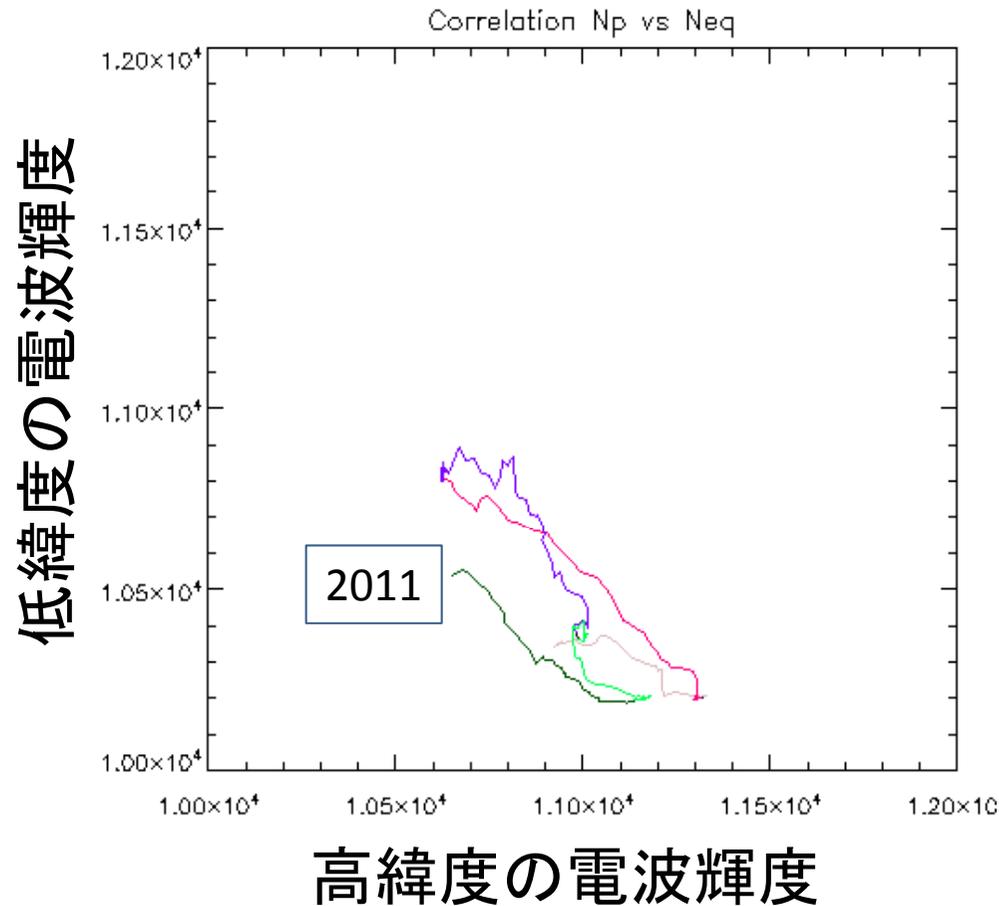
北半球での平均の電波輝度 (実線: N55-80, 点線: N5-35)



高緯度の電波輝度が極小値に達している
→ 北半球では太陽活動が極大に達していることを意味する

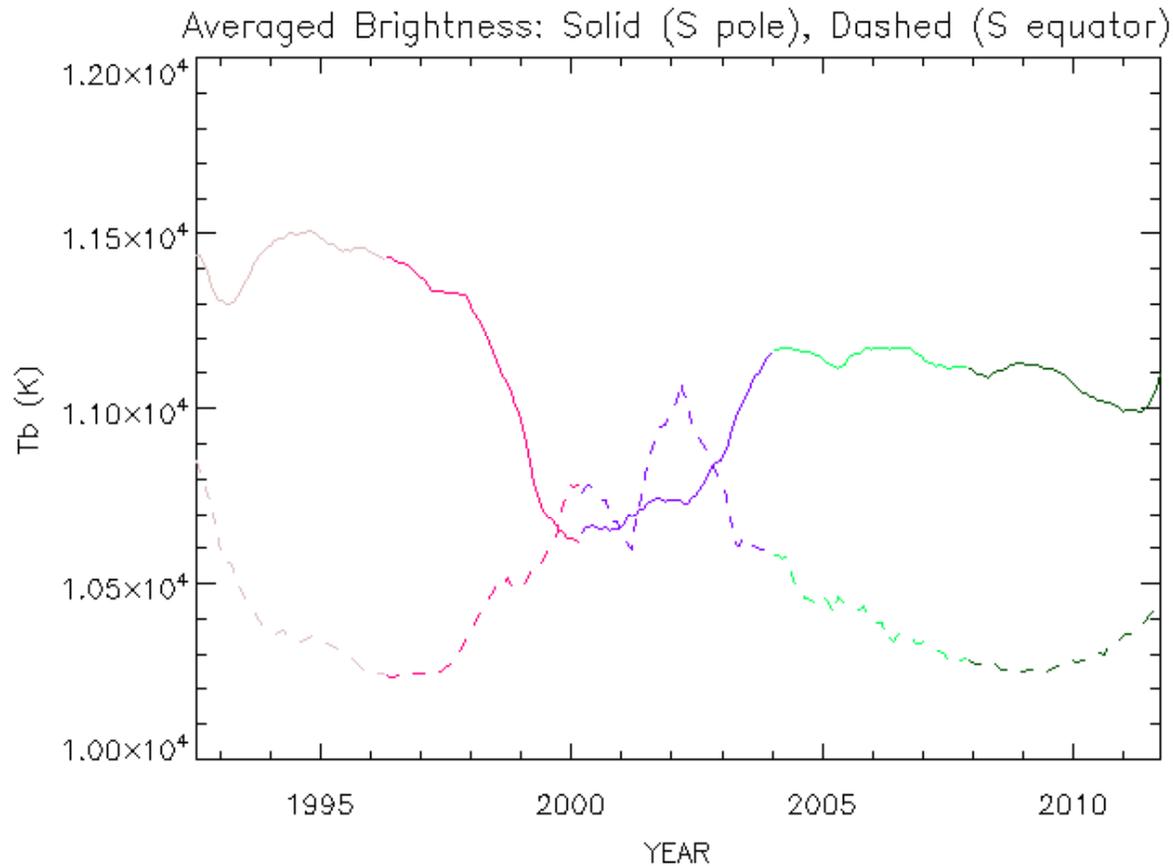
cycle 22 cycle 23 cycle 24

北半球での高緯度と低緯度の関係



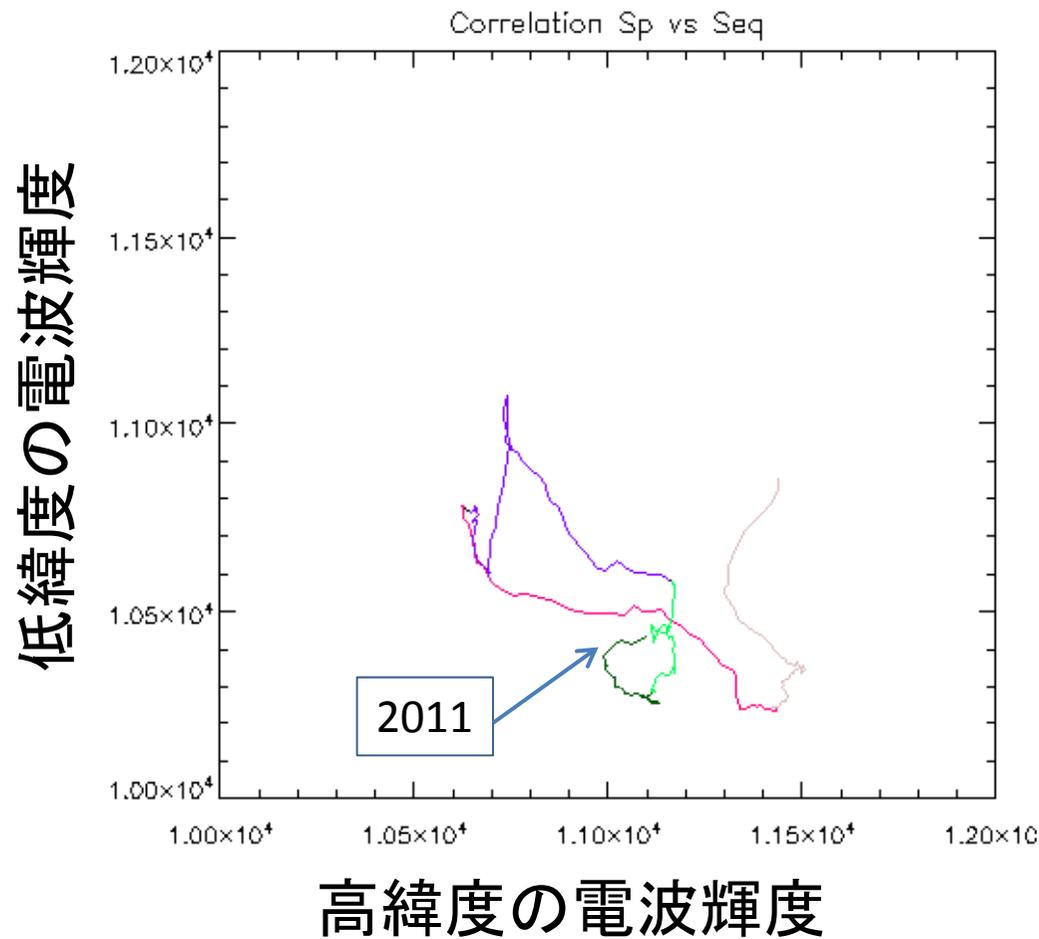
- 高い逆相関関係 係数: -0.83
- 第24サイクルは左下にシフト
- 高緯度と低緯度の逆相関関係は維持

南半球での平均の電波輝度 (実線: S55-80, 点線: S5-35)



高緯度の電波輝度は高いまま
→ 南半球はまだ太陽活動が極大に達していない

南半球での高緯度と低緯度の関係



- 高緯度と低緯度の輝度の相関が低い 係数: -0.66
- 非同期は既に22、23サイクルでも発生している。

結果のまとめ

- 20年間にわたって極域の活動が低下している（電波、磁場）。
- 現在北半球は活動極大期、南半球はまだ上昇中である。
- 南北の活動の同期がずれている。
- 南半球では高緯度と低緯度の活動の同期がずれている。
- 野辺山電波ヘリオグラフはグローバルな太陽活動の研究にとって非常に有効な装置である。

6. 今後の太陽活動について

- 過去20年間の観測結果に基づくと、今後もこの傾向は継続すると思われる。
 - 極域、低緯度帯(黒点、フレアなど)の活動度低下
 - 南北の活動の同期がずれてきている
 - 南半球では、極域と低緯度帯の活動の同期もずれてきている
- どこまで低下するのか(マウンダー極小期が再来するのか?)、いつ回復するのか。
 - 活動の正体である磁場(黒点、極域)の生成機構やその変動の原因は不明であり、現時点で根拠をもって回答することはできない。

以下に私論を示す

- 太陽磁場(黒点)とは
 - 散逸構造(太陽中心部で発生した核融合によるエネルギーの外部への流れによって駆動される構造。粒状斑は散逸構造のひとつである。)
 - 散逸構造と考えられているもの:
 - 地球の大気中の台風等の構造(赤道帯から高緯度帯へのエネルギーの流れが駆動)
 - 生物(食物の化学エネルギーの流れが駆動)
- 11年周期とは
 - 散逸構造のひとつである自励振動(リミットサイクル)
 - 自励振動と考えられているもの: 動物の脈
- 現在進行中の11年周期の不調
 - 太陽の脈の不調: 不整脈(ひどくなると心室細動)
(太陽全体として同期した脈動ができなくなりつつあるのでは?)

7. 惑星間空間への影響について

- 太陽活動の低下に伴い：
 - 太陽風、惑星間空間全体が影響を受けている。
- 人工天体による太陽風の観測によると、太陽風中の粒子の密度が低下し、風の圧力が低下している。
 - 太陽風の圧力によって決まっている太陽圏の大きさが縮小していると考えられる。
- 太陽圏が小さくなったり、太陽風中の磁場が弱くなると：
 - 銀河宇宙線が入りやすくなる。
- また、地球磁気圏も影響を受けている。
 - 磁気嵐やオーロラの頻度の低下等。

8. 地球への影響について

- 太陽からの総放射エネルギー
 - 太陽活動上昇に伴って0.1(0.05)%程度増加
 - 問題点: 低活動の時エネルギーはどこに溜められているのか?
- マウナロア観測所(ハワイ島)他での大気の透過度、日射量、上空の水滴の長期観測データ(1923年～)の最近の解析(Weber, 2010)によると:
 - 太陽活動上昇に伴って、日射量は約1%増加、水滴の量は約5%減少している。総放射エネルギーの変動より1~2桁大きい。(この水滴が雨として降るわけではない。)
 - 太陽活動上昇により惑星間空間磁場の増大および/または太陽圏の膨張によって銀河宇宙線の侵入量が減少し、宇宙線による大気分子の電離が少なくなるのが原因と考えられる。
 - 太陽活動が低下すると、銀河宇宙線が増加し、日射量が減少し、上空の水滴が増加すると考えられる。
- CERNのCLOUD実験結果 (Nature 476, 429-433, 25 Aug. 2011)
 - 銀河宇宙線が大気中でエアロゾル核の形成に非常に重要な役割。大気モデル計算の要変更。
- 地球温暖化・寒冷化との関係は?
 - 対流圏の気象・気候現象は決定論的カオス過程(Lorenz, 1963)であり、1:1の因果関係を求めるのは難しいのではないだろうか。CO₂の影響は? 温暖化するとCO₂は増加する。

9. 今後の観測と研究

- 現在の太陽活動の異常状況から推測すると、今後もさらにこの状況が継続し増大する可能性がある。
- 野辺山電波ヘリオグラフはグローバルな太陽活動、特に極域の活動を観測するために非常に有効な装置である。
- 長期間にわたる安定して高品質のデータが必須であり、野辺山電波ヘリオグラフによる観測とそれに基づいた研究が必要とされている。
- 太陽、惑星間空間、地球大気を総合した研究が必要である。
- この分野の研究のためには、数十年以上連続した一様データの取得が必須であるが、現在の大型プロジェクト偏重の状況では非常に困難である。

本資料の画像の利用について

- 個人のご利用はご自由にできます。
- 14頁と15頁の画像(論文 ApJL 750, L42, 2012より採用)以外は以下の規則に従って利用してください。
- 学校その他の教育機関における授業や試験問題へのご利用、天文学の広報普及活動を目的とするご利用は、ご自由に行えます。お使いになる際は、『提供 国立天文台』の記載を御願います。
- 新聞社、テレビ局などの報道機関による報道資料としてのご利用は、『国立天文台 提供』のクレジットの明記をお願いします。なお、掲載記事の PDF ファイル(もしくはウェブの場合はURL、テレビの場合は番組名、放映時間など)を事後でも結構ですので御連絡いただけると幸いです。連絡は `norh-service (at) solar.nro.nao.ac.jp` ((at) は @に置き換えてください) をお願いします。
- 詳しくは、以下をご覧ください。
 - [利用規程](http://www.nao.ac.jp/policy.html) <http://www.nao.ac.jp/policy.html>