

「ひので」衛星 太陽極域に強い磁場を発見！

国立天文台 下条圭美

国立天文台 常田佐久

ひので衛星チーム

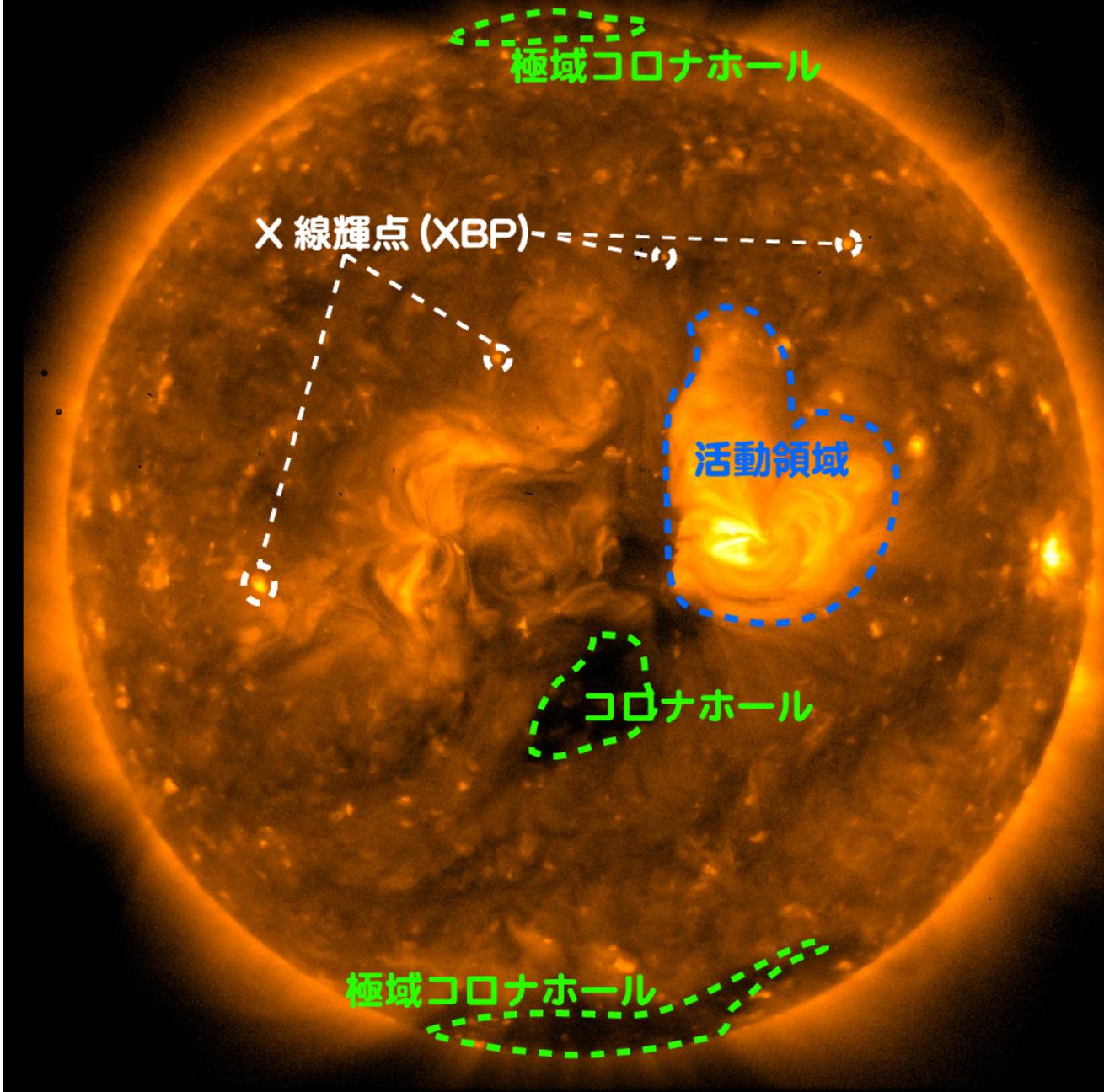
配付資料

発表要旨

- 太陽観測衛星「ひので」は、太陽の極域に黒点並み(1000ガウス以上)の強い磁場が存在することを発見した。
- 今回発見された磁場は、斑点状の形状をしており(強磁場斑点)、大きさ(黒点の1/10)と寿命(10時間)が黒点に比べて非常に小さい。
- 従来、極域には広がった弱い磁場しか存在しないと考えられていた。今回の結果は、これまでの太陽極域に対する認識に変更を迫る重要な結果である。

太陽極域とは？

X線で見た太陽の極域



太陽活動の極小期には、太陽の南北極域には、常時コロナホールが見えます。太陽活動の極大期には、これらのコロナホールは消えてしまいます。

極域の磁場：今までのパラダイム

(緑色の破線は、磁力線を示している。)

極域からの磁力線は、宇宙空間へ向かう。

黒点からの磁力線は、周囲の逆極性の磁場とつながっている。

弱いN極の磁場で埋め尽くされている北極付近

弱いN極の磁場で埋め尽くされている北極付近

極域からの磁力線は、宇宙空間へ向かう。

太陽表面での磁場分布
(白:N極, 黒:S極)

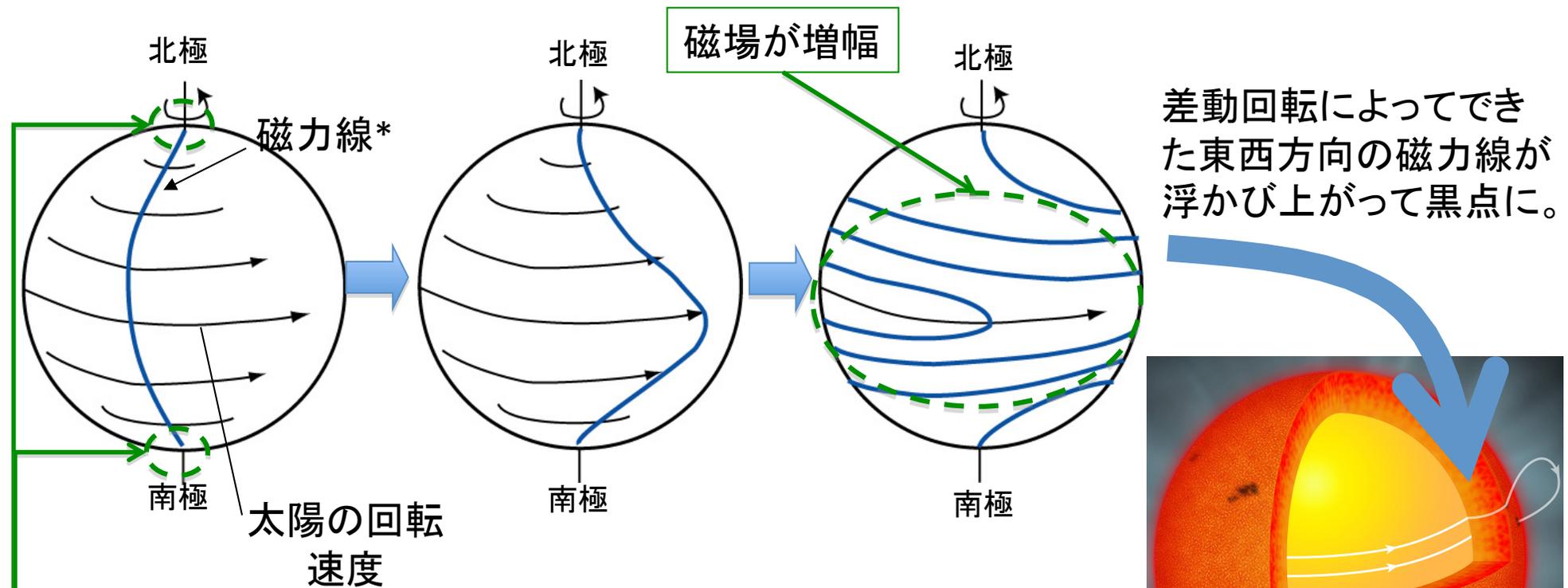
宇宙空間へ向かっている磁力線は、X線で暗い。

太陽X線画像で見える縞模様は、磁力線(磁気ループ)を示している。

X線で見える太陽
(コロナを見ている)

黒点を作る南北方向の磁場が極域で見える

- 磁場を増幅させるダイナモ機構



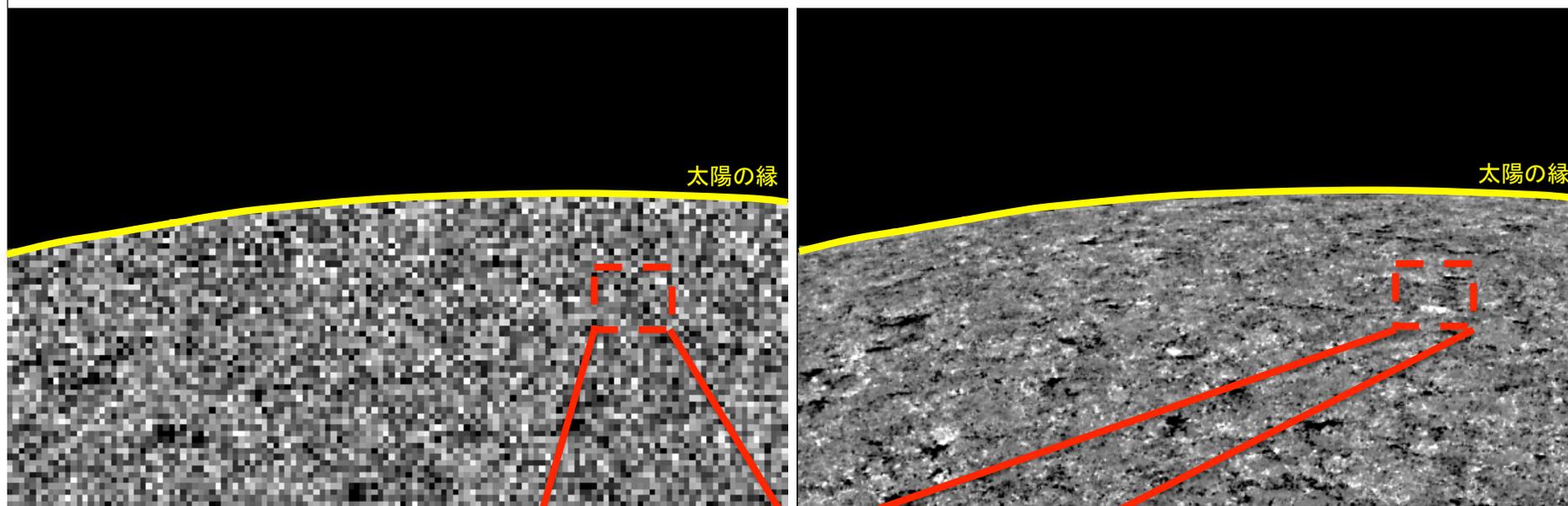
*磁力線はゴムひものように振る舞う

極域は、次の太陽周期に現れる黒点の種類になる磁場が観測できる領域である。

これまでなぜ観測できなかったか？

「ひので」と従来の観測装置の比較

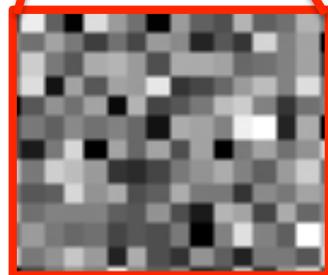
2007年9月7日 太陽の北極付近の磁場分布画像



SOHO衛星

空間分解能: 2秒角

ほとんど構造が見分けられない



「ひので」衛星

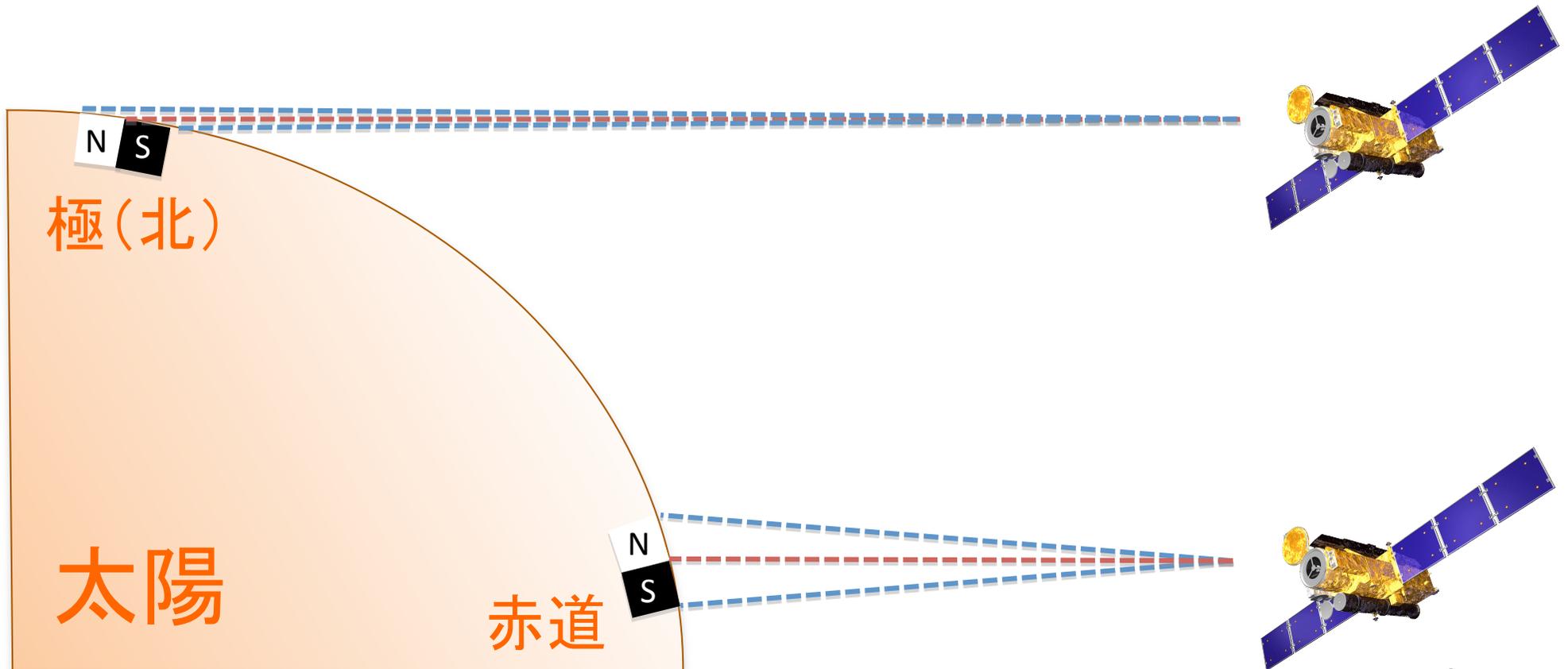
可視光・磁場望遠鏡

空間分解能: 0.2秒角

鮮明に構造を分解している

はじっこの観測は難しい

例えば下図のようなN極とS極を持つ構造を分解するには、赤破線と青破線に挟まれた角度より高い解像度を持つ望遠鏡が必要。



太陽観測衛星「ひので」

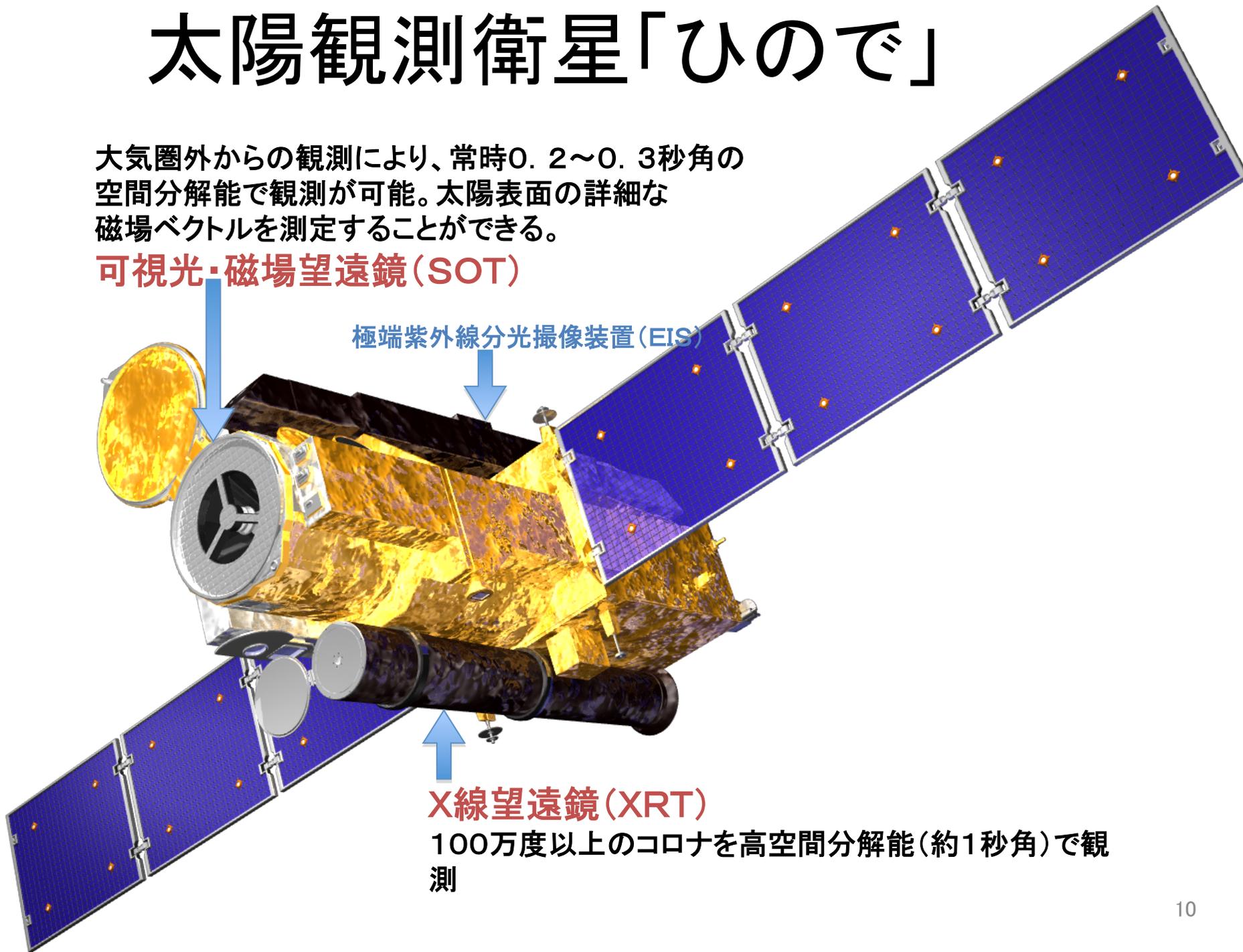
大気圏外からの観測により、常時0.2~0.3秒角の空間分解能で観測が可能。太陽表面の詳細な磁場ベクトルを測定することができる。

可視光・磁場望遠鏡(SOT)

極端紫外線分光撮像装置(EIS)

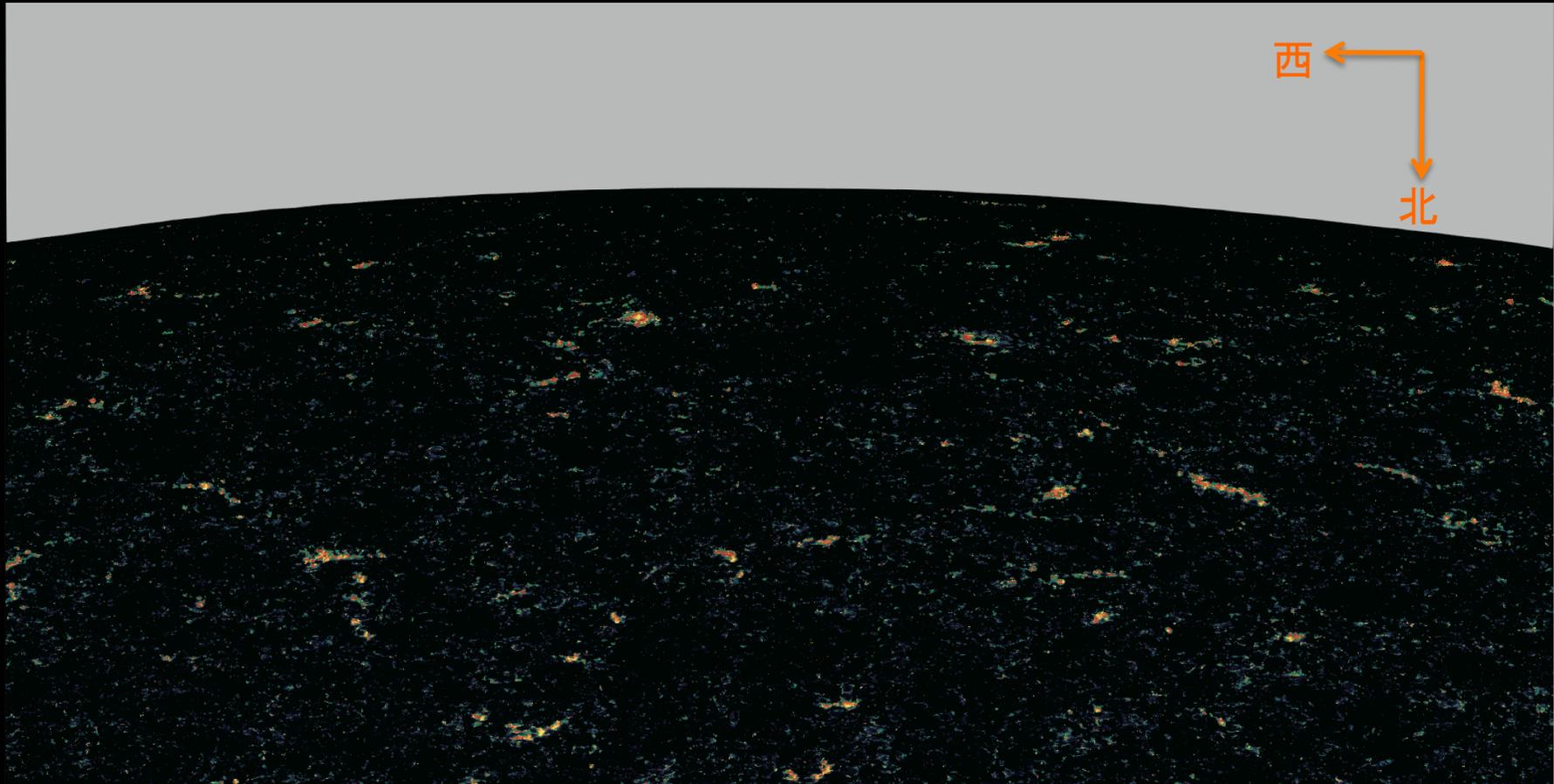
X線望遠鏡(XRT)

100万度以上のコロナを高空間分解能(約1秒角)で観測



「ひので」による発見

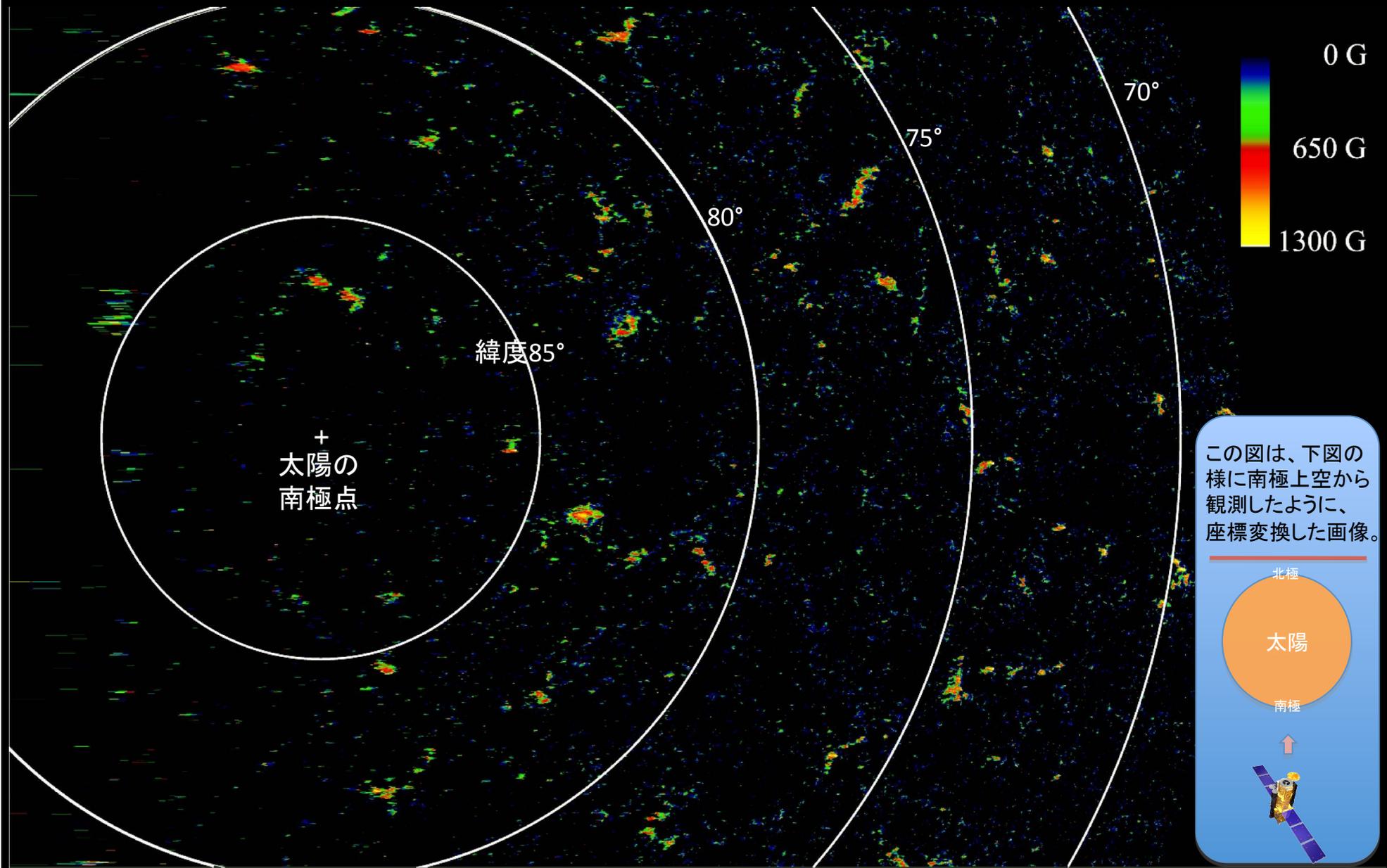
「ひので」可視光・磁場望遠鏡で得られた 太陽の南極付近の磁場



2007年9月25日の太陽南極の磁場強度分布画像

- 色が磁場の強度(黄/赤:磁場が強い, 青/緑:磁場が弱い)を示しており、強い斑点状の磁場が極域に点在している事がわかる。

南極上空から見た極域磁場

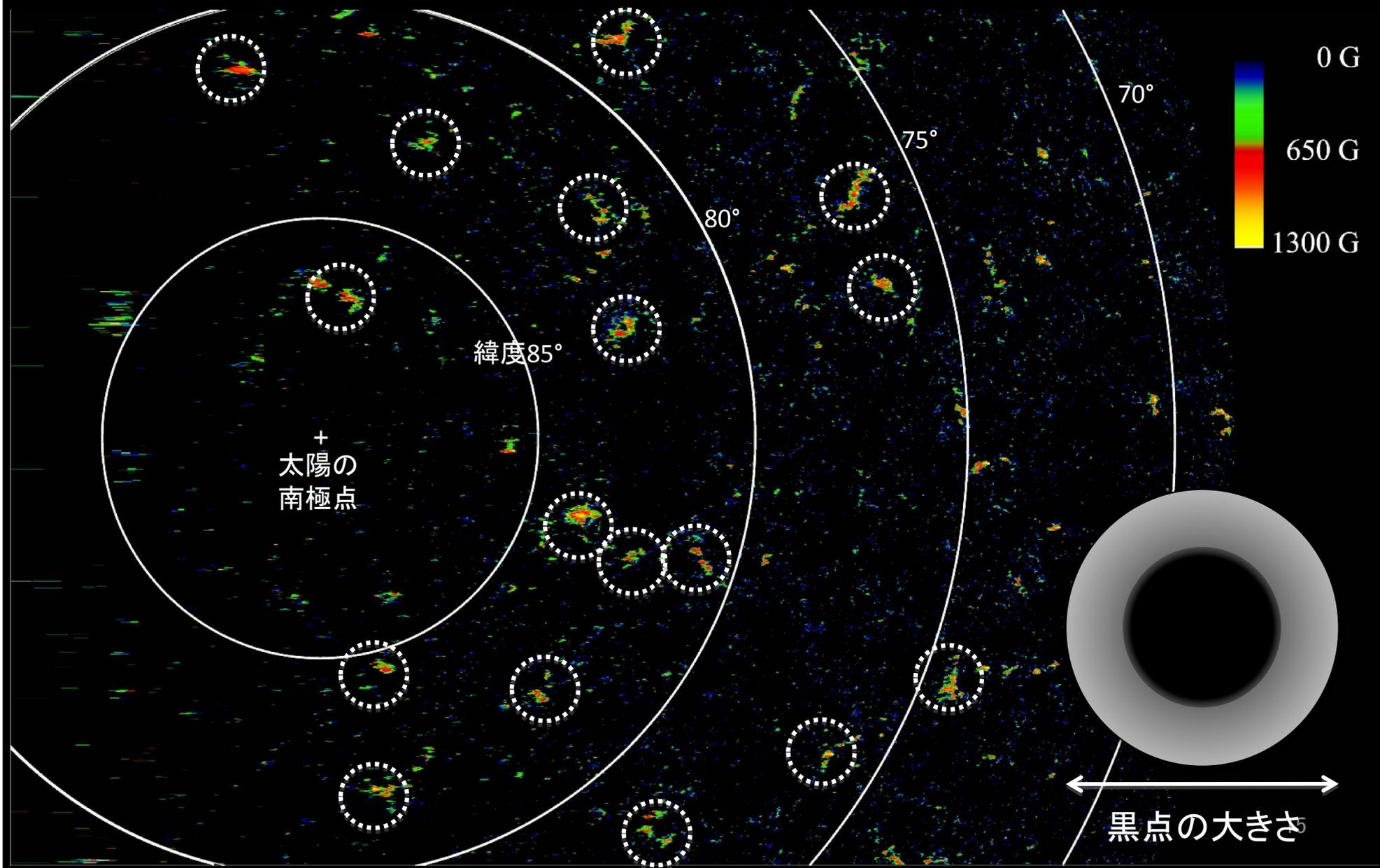


強磁場斑点の拡大図

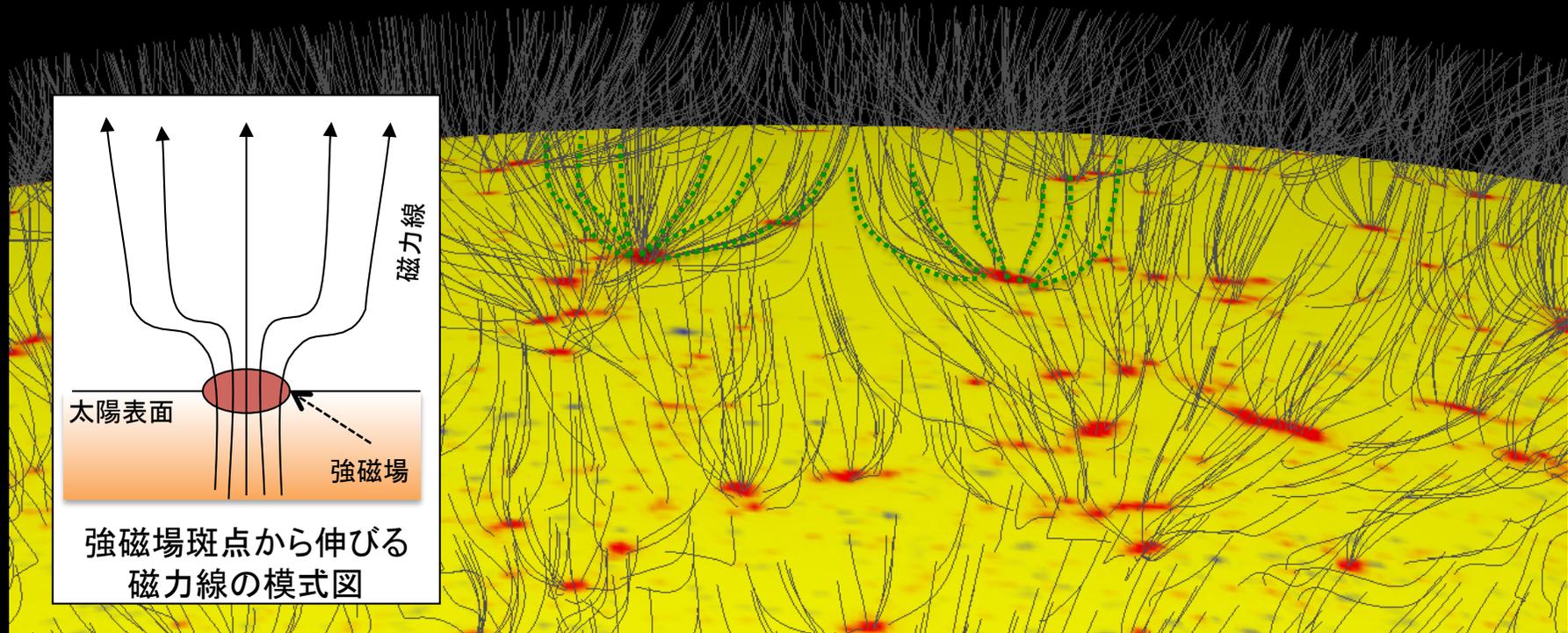
+

黒点の様に丸くなく、
いびつな形をしている

強磁場斑点は全部同じ極性 (黒点と異なりN-Sのペアになっていない)



強磁場斑点から伸びる ラッパ状の磁力線



Shiota, et al.

色は、太陽表面の磁場強度と極性(赤:S極/青N極)を示し、
灰色の線は磁力線を示している。

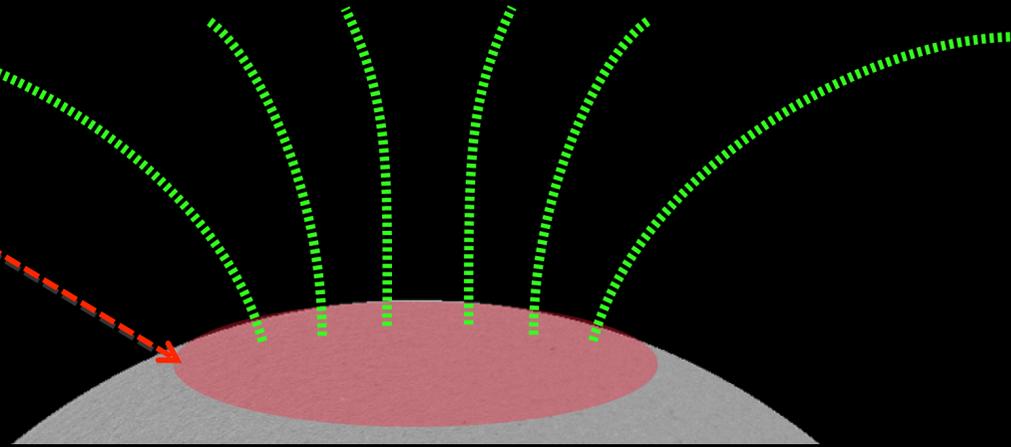
「ひので」の観測 極域の強磁場斑点と黒点の特徴

	極域の強磁場斑点	黒点(活動領域)
発生領域	北極および南極付近	中緯度帯(緯度40°以下)
磁場強度	1000ガウス程度	1000ガウス以上
大きさ	約4千km 黒点の10分の1以下	4万~6万km以上
磁場の極性	北極と南極によって極性が異なるが、同じ極域では、一方の極性しか現れない。	多くの場合、N極とS極の両方が一緒に現れる。
寿命	約10時間	数日~数ヶ月

極域磁場のパラダイムシフト

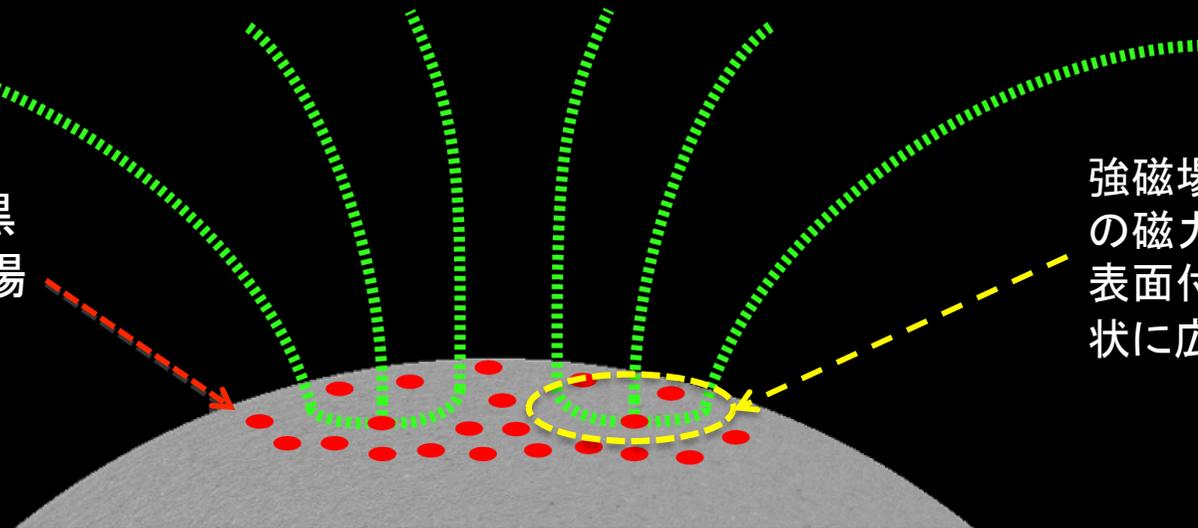
今までの理解

弱い磁場で埋め
尽くされている
北極付近



実はこうなっていた

小さく磁場強度が黒
点と同程度の強磁場
斑点が点在



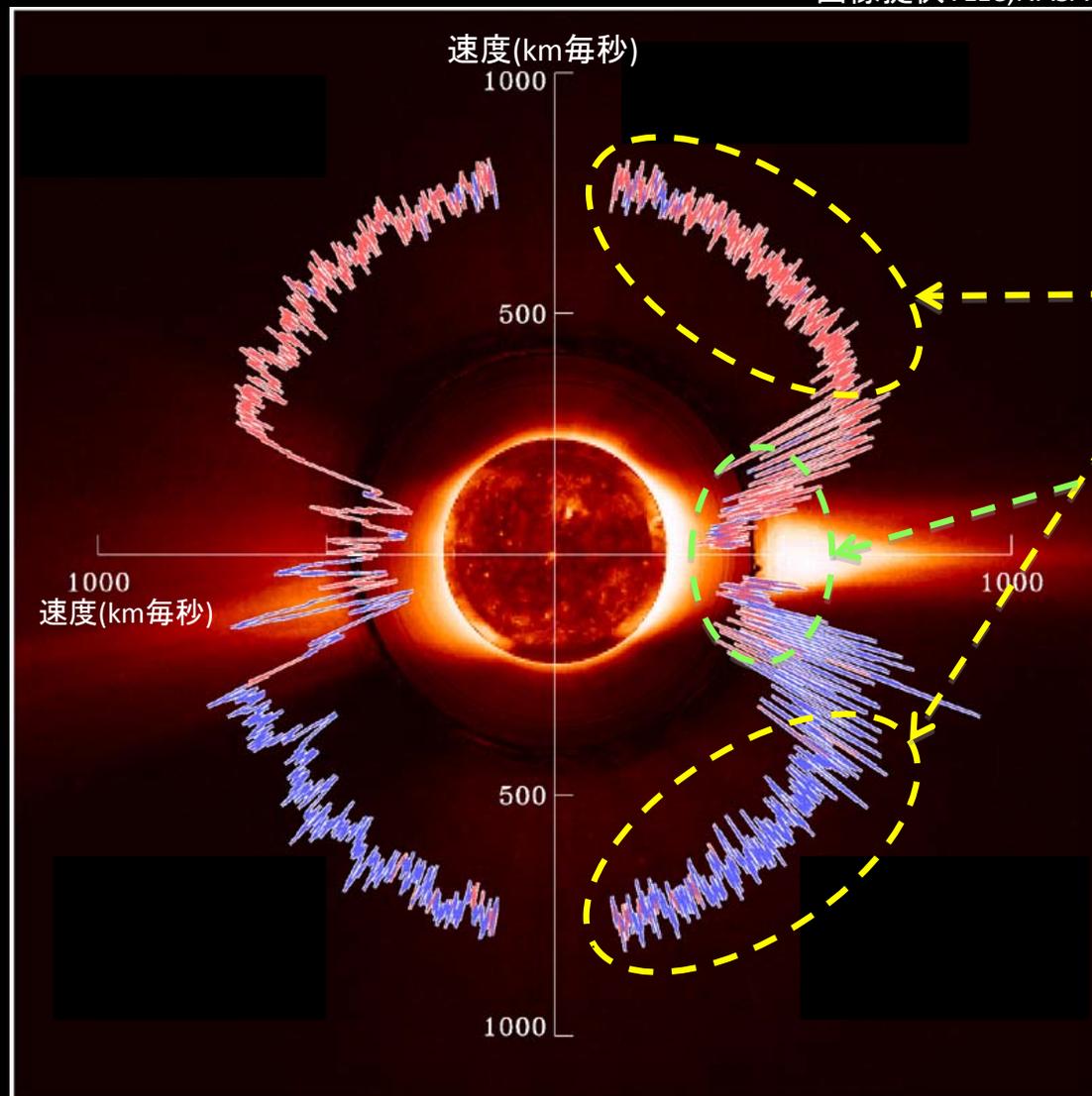
強磁場斑点から
の磁力線は、特に
表面付近でラッパ
状に広がっている。

「ひので」の発見の意味

- 高速太陽風の加速を説明
- 強磁場斑点の周りで活動現象
- 太陽周期と極域の磁場

温度の低いコロナホールから 高速の太陽風

画像提供: LLC, NASA



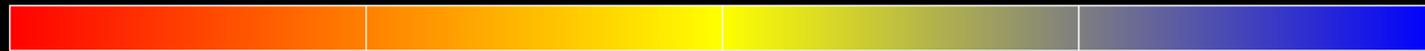
高速の太陽風

低速の太陽風

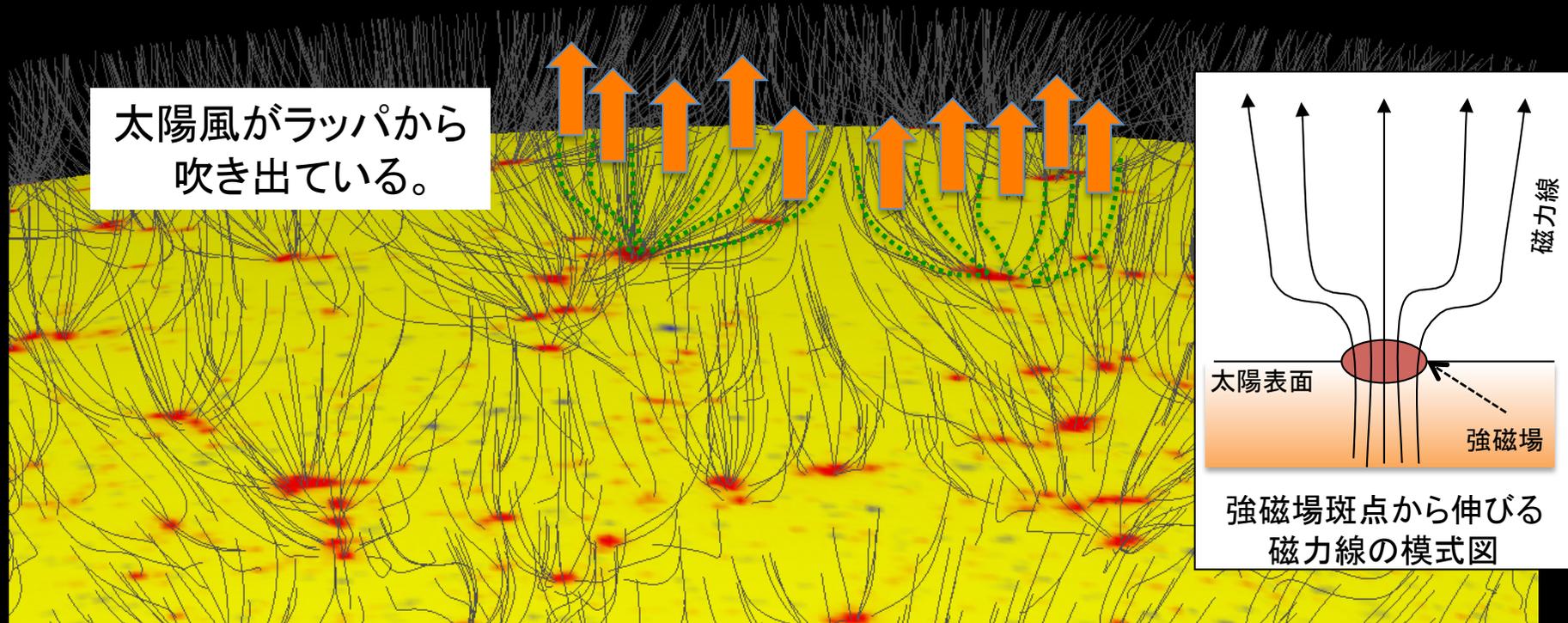
温度と密度の低いコロナホールから高速の太陽風が発生しているが、なぜ温度の低い場所からエネルギーの高い粒子が来るか分かっていない。

ラツパから噴き出す高速の太陽風

S極 200 100 0 100 200 N極



磁場強度



(色は、太陽表面の磁場強度を示し、灰色の線は磁力線を示している。)

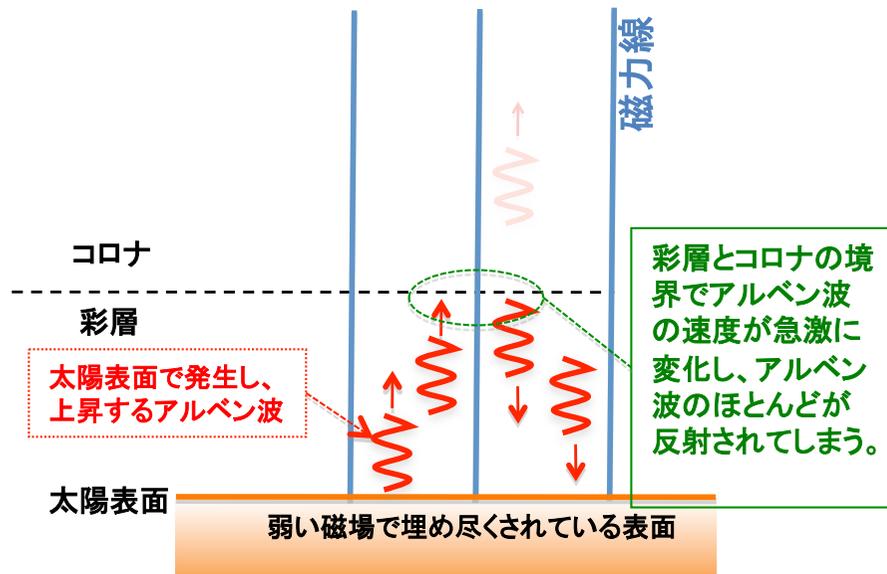
Shiota, et al.

- 極域にたくさんのラツパ磁場が立っている。惑星間空間に広がる高速の太陽風は、これらのラツパから来ていることが分かった

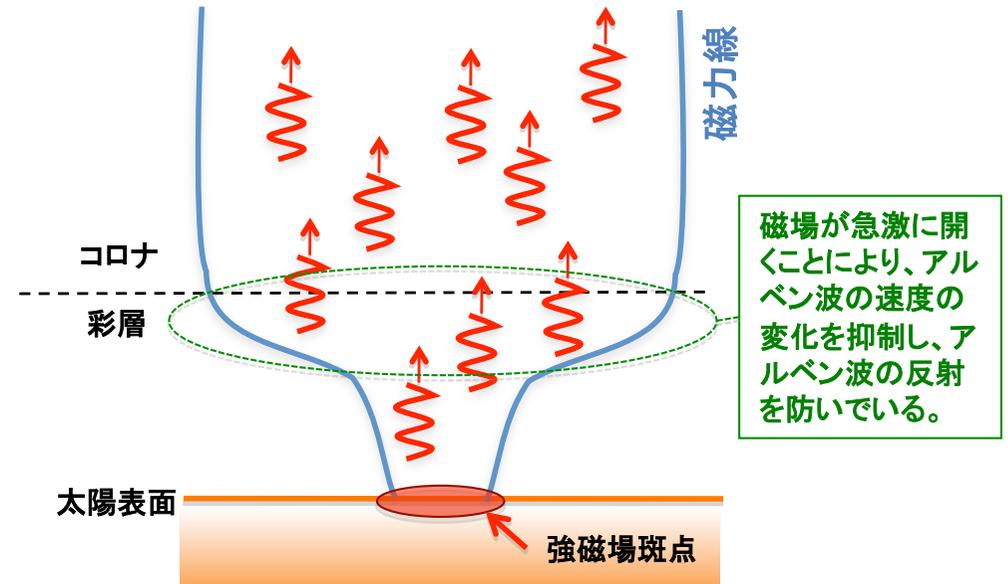
「ひので」の発見の意味： 高速太陽風の加速を説明

- 高速太陽風は、アルベン波によって加速する説が有力であるが、太陽表面で発生したアルベン波がコロナに伝わらないという問題を抱えていた
- 強磁場斑点とそのラッパ状の磁場形状は、アルベン波がコロナと彩層の境界での反射を防ぎ、彩層からコロナへアルベン波を運ぶ、トンネルの役目を果たす。

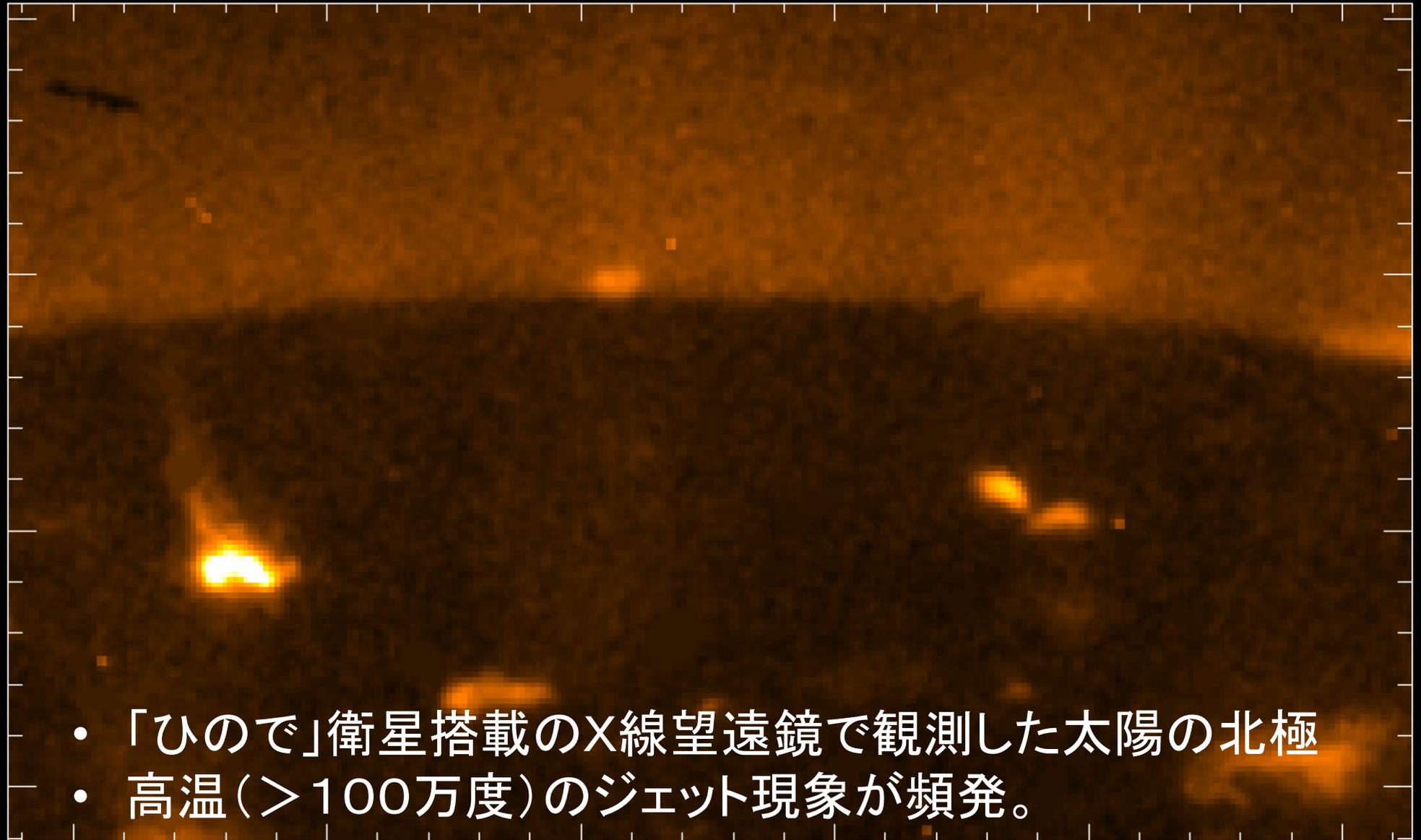
これまでの極域上空の想像図



新たな極域上空の想像図



極域コロナではジェットが頻発

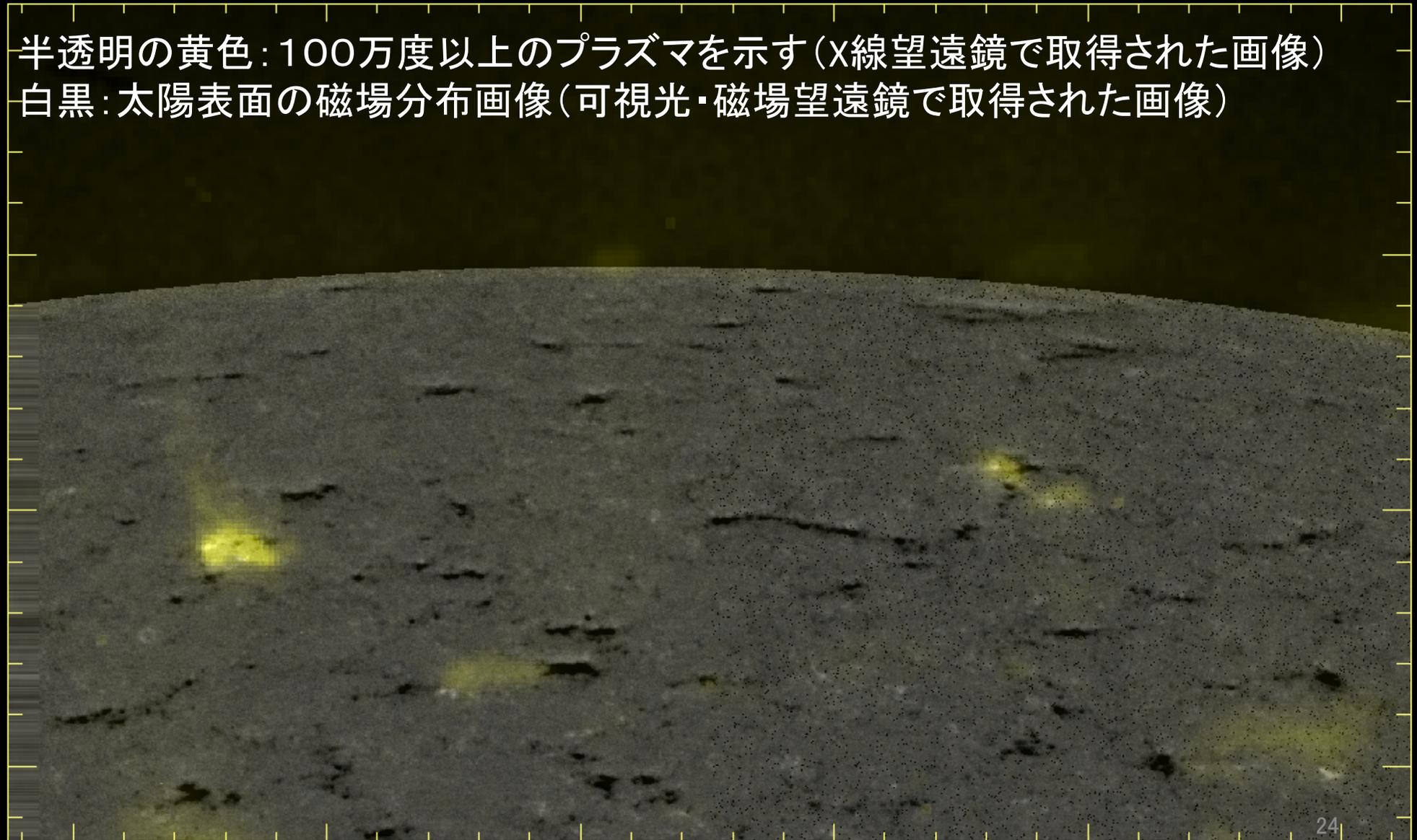


- 「ひので」衛星搭載のX線望遠鏡で観測した太陽の北極
- 高温(>100万度)のジェット現象が頻発。

なぜ、磁場が弱く極性が偏っている極域で活動現象が頻発するのか？

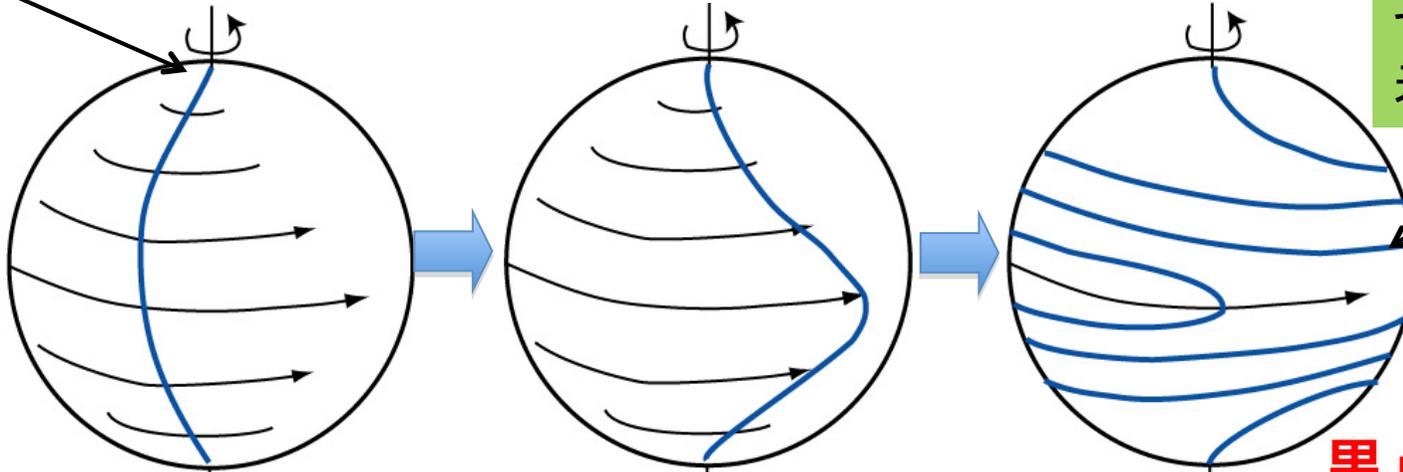
強磁場斑点付近で起こるコロナでの活動現象

半透明の黄色：100万度以上のプラズマを示す（X線望遠鏡で取得された画像）
白黒：太陽表面の磁場分布画像（可視光・磁場望遠鏡で取得された画像）



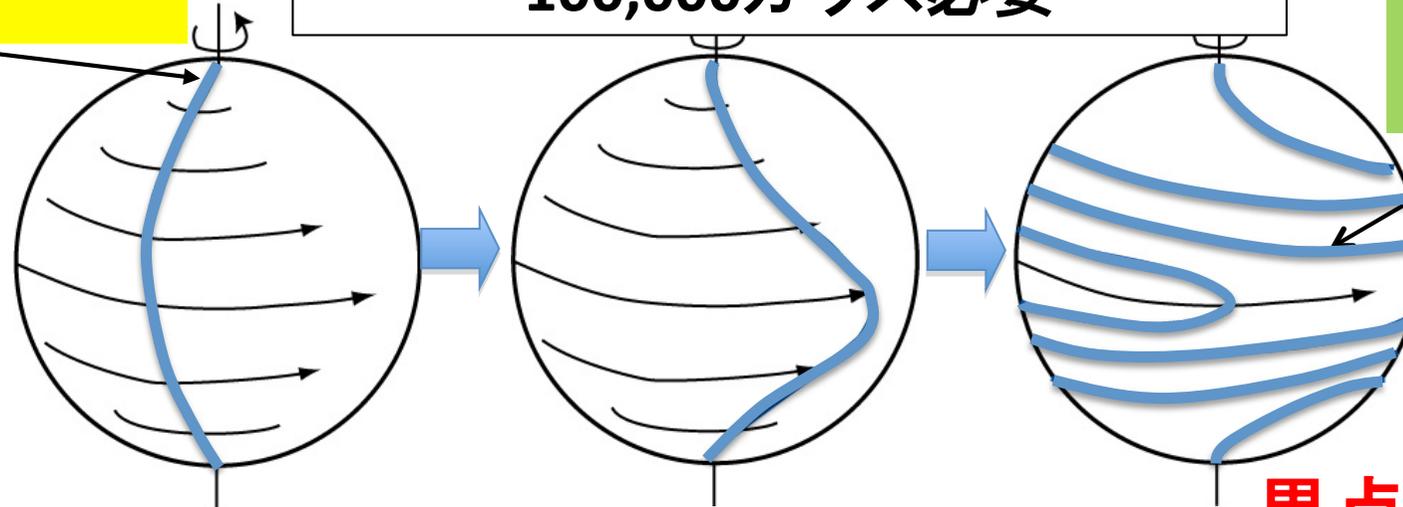
「ひので」の発見の意味： ダイナモの矛盾を解決

今までの理解
数ガウスの磁場



10年で1000ガウスの磁場を太陽の中に作ることしかできない⇒大きな矛盾

ひのでの発見
1000ガウスの磁場



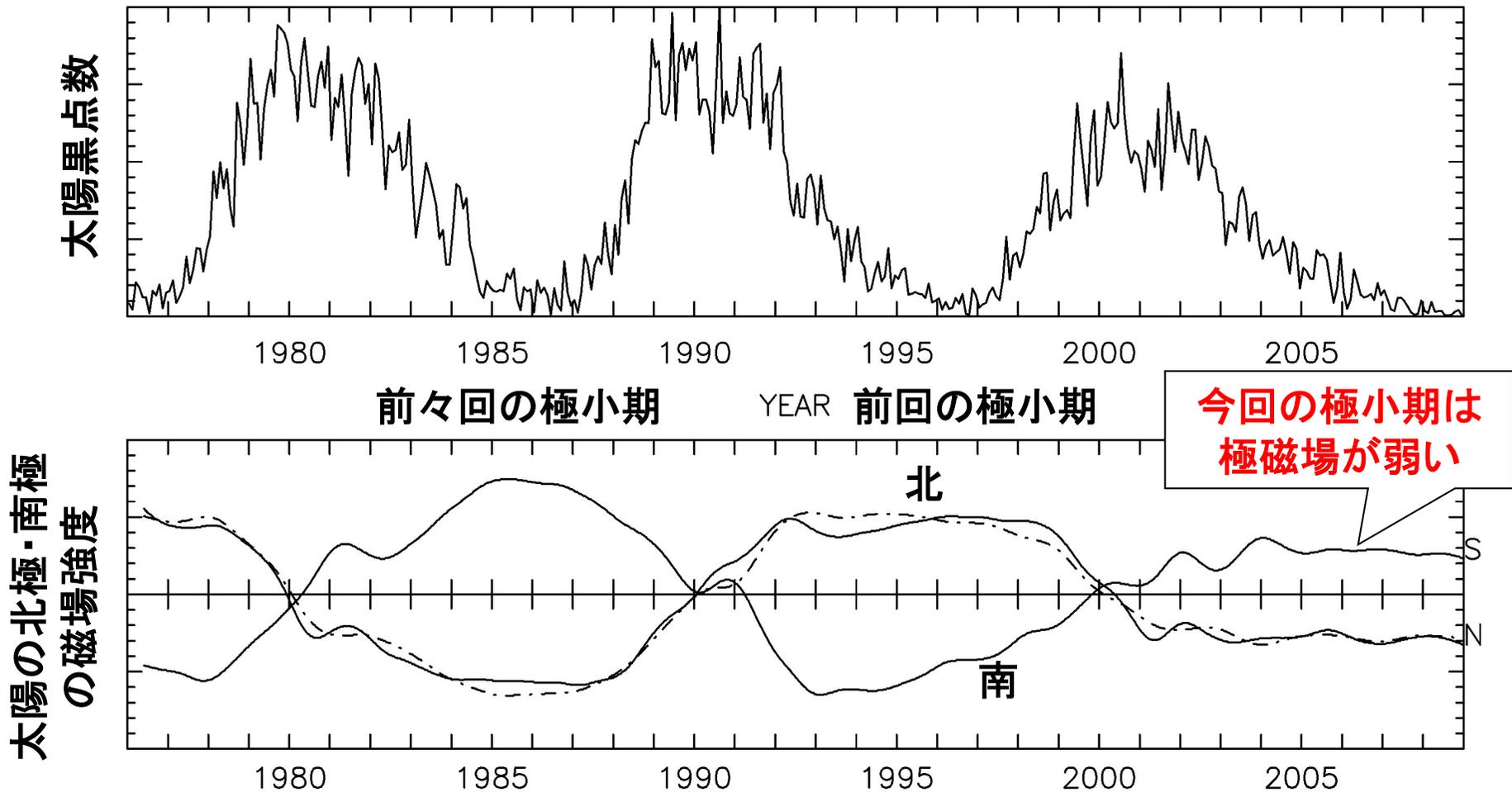
黒点を作るには、太陽内部で
100,000ガウス必要

黒点を作れない

10年で100,000ガウスの磁場を太陽の中に作ることができる！

黒点を作れる！

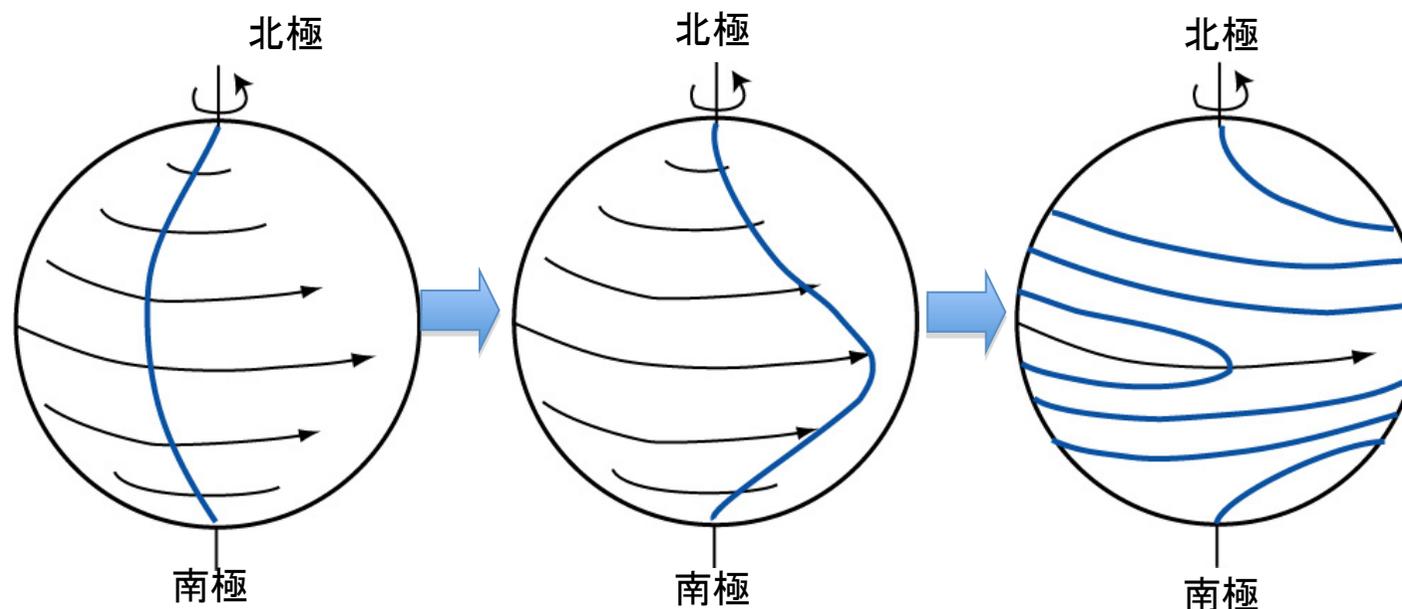
以前の周期より弱い今回の極磁場



太陽極磁場は22年周期で極性が反転し、極小期には強くなる。前、前々サイクルの極小期に比べ、今サイクルの極磁場の強度は約半分程度しかない。これが特異な太陽風と密接に関連していると考えられる。

「ひので」による極域観測が必要！

極の磁場の状況が次の極大期の大きさを決める



まとめ

- 太陽観測衛星「ひので」は、太陽の極域に黒点並み(1000ガウス以上)の強い磁場が存在することを発見した。
- 今回発見された磁場は、斑点状の形状をしており(強磁場斑点)、大きさ(黒点の1/10)と寿命(10時間)が黒点に比べて非常に小さい。
- 従来、極域には広がった弱い磁場しか存在しないと考えられていた。今回の結果は、これまでの太陽極域に対する認識に変更を迫る重要な結果である。

今後の展望

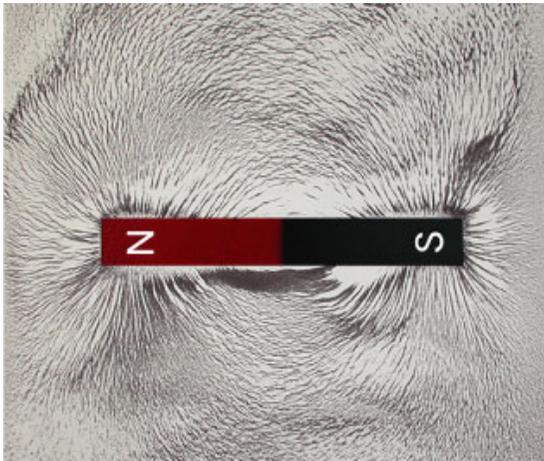
- 今回の発見により、太陽のダイナモ・太陽風の加速・コロナでの活動現象・太陽の活動周期の理解が進展すると期待される。
- 極域の磁場は黒点など太陽活動を決定していると考えられ、「ひので」は今後も太陽極域を重点的に観測する。

参考文献

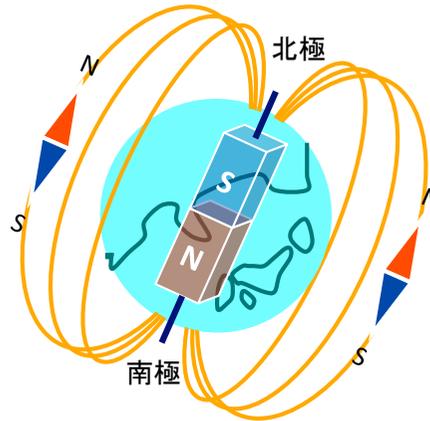
- Tsuneta, S.; Ichimoto, K.; Katsukawa, Y.; Lites, B. W.; Matsuzaki, K.; Nagata, S.; Orozco Suárez, D.; Shimizu, T.; Shimojo, M.; Shine, R. A.; Suematsu, Y.; Suzuki, T. K.; Tarbell, T. D.; Title, A. M. “The Magnetic Landscape of the Sun's Polar Region” *The Astrophysical Journal*, 2008, Volume 688, Issue 2, pp. 1374-1381.
- Shimojo, M.; Tsuneta, S. “The Relation Between Magnetic Fields and Coronal Activities in the Polar Coronal Hole” *The Astrophysical Journal Letters*, 2009, Volume 706, Issue 1, pp. L145-L149
- Itoh, H.; Tsuneta, S.; Shiota, D.; Tokumaru, T.; Fujiki, K.
“Is the Polar Region Different from the Quiet Region of the Sun?” *The Astrophysical Journal*, 2010, submitted
- Shiota, D.; Tsuneta, S.; Ito, H.; Kusano, K.; Nishikawa, N.; Suzuki, T.K.;
“Fine Structure in Three Dimensional Magnetic Field in Polar Region”,
Proceeding of Hinode-3 Science Meeting, submitted

参考1：磁場の単位（ガウス）

- “ガウス”は磁場を表す単位である。1ガウスは 10^{-4} テスラ。



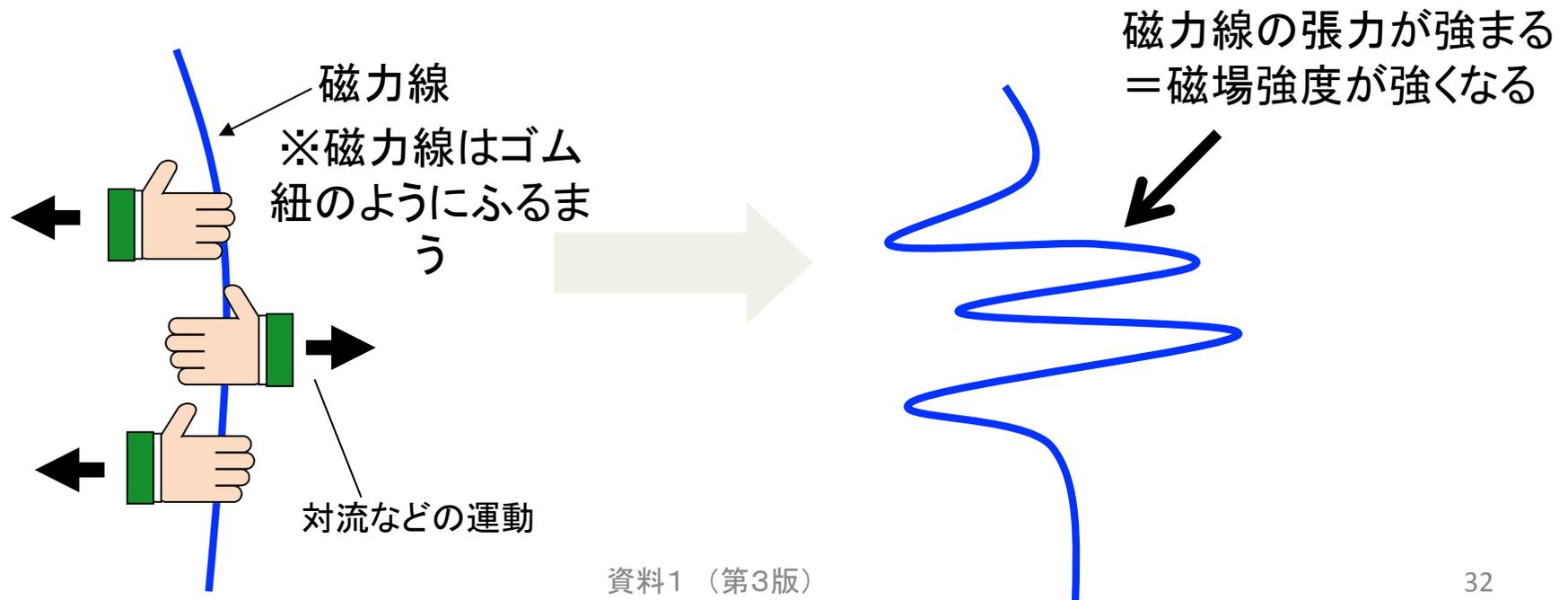
棒磁石：2500ガウス
エレキバン：800ガウス



地球にも磁石がある。
磁場強度は日本で0.5ガウス。

参考2: 磁場を生成する ダイナモ機構

- 自転や対流などの運動が磁力線を引き伸ばして磁場を増幅する。言い換えると、自転や対流の運動エネルギーを磁場のエネルギーに変換している。



参考3：高速太陽風による地球環境への影響

- 極や赤道近くにコロナホールから高速太陽風が地球方向に吹くと、フレア（太陽面爆発）と同じ様に、オーロラや磁気嵐を引き起こす。



提供：名古屋大学STE研究所



磁気嵐によって壊された変電所のコイル

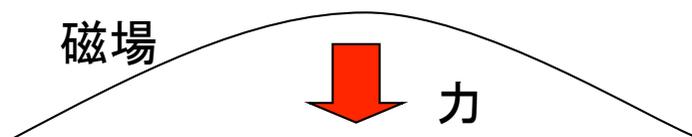
提供：NASA

参考4: アルベン波

ハネス・アルベン(Hannes Alfvén、1908－1995、右写真)が電磁流体力学理論から発見した、磁場に沿って伝播する波動。アルベンはこの業績により、1970年ノーベル物理学賞を受賞している。



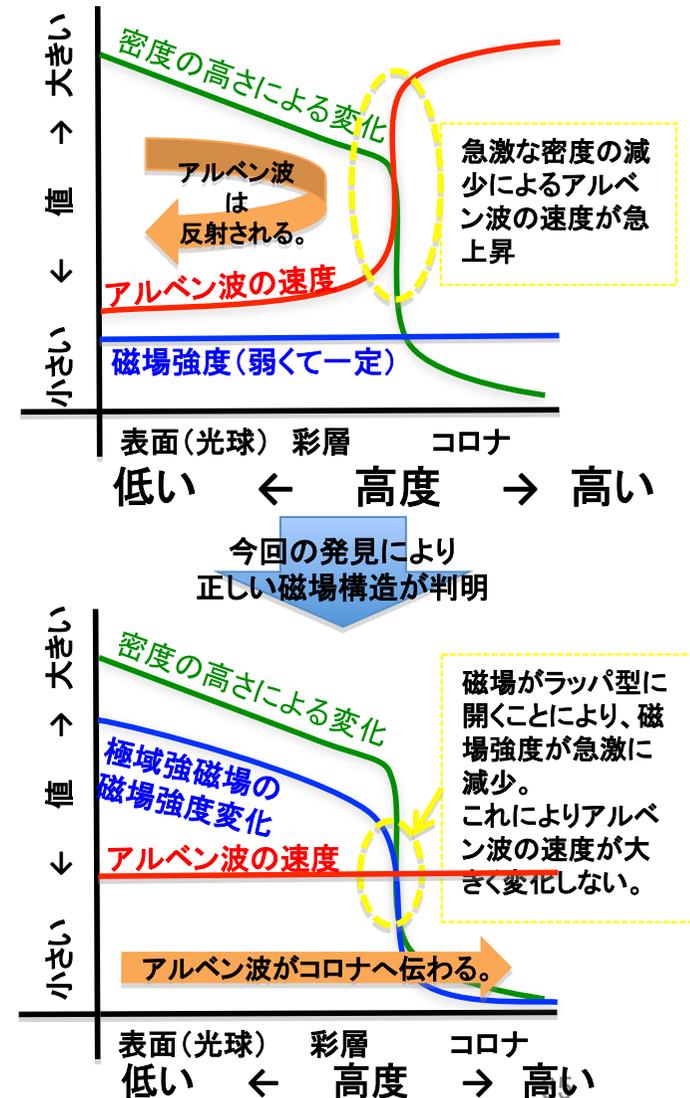
(Wikipedia より)



磁場は弾力性のあるゴム紐のようなもので、曲がると元に戻ろうとする。その曲がり紐(磁場)に沿って伝わっていくのがアルベン波である。よって、アルベン波は横波であり、音波などの縦波と違い、エネルギー散逸(波の減衰)が起こりにくい。そのため、太陽表面で発生した波動エネルギーをコロナ上部まで輸送することが可能であり、コロナ加熱に重要な役割を果たしていると考えられている。逆に、コロナ中で散逸しにくいことから、いかにして散逸しているかということも今後重要になる。

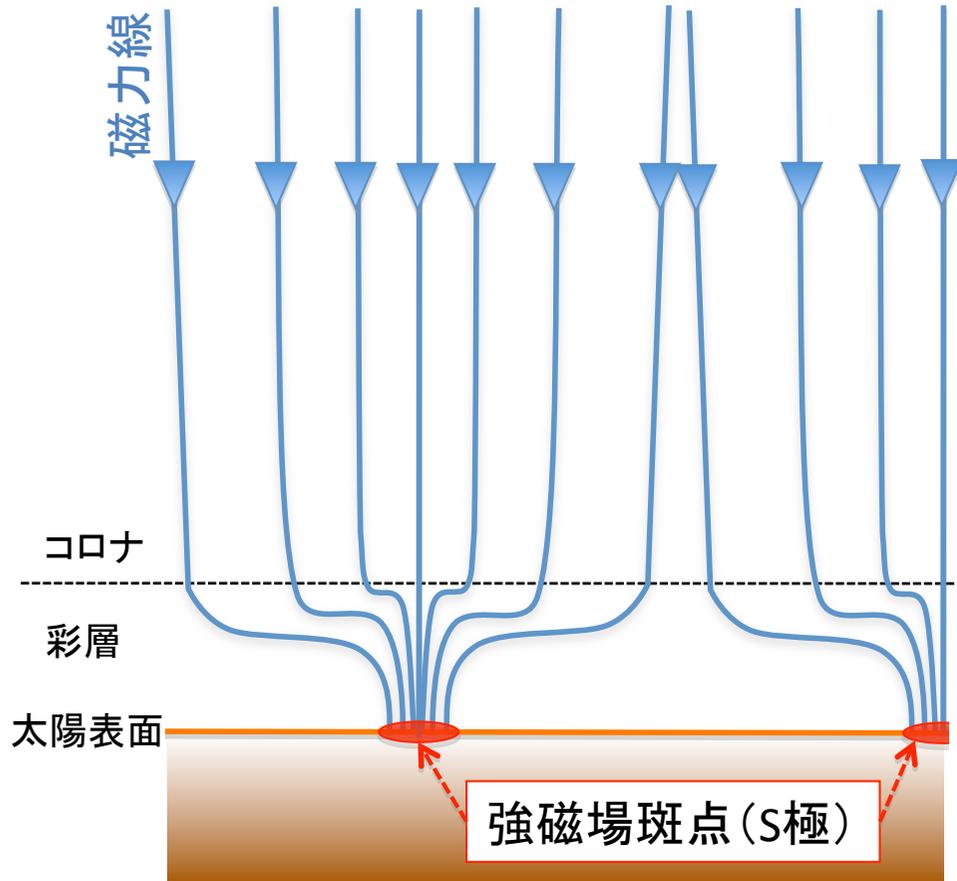
参考5: ラツパ磁場はアルベン波のトンネル

- 高速太陽風は、アルベン波によって加速されているという説が有力であるが、太陽表面で発生したアルベン波がコロナに伝わらないという問題を抱えていた。
 - アルベン波だけでなく波というものは、その速度が急激に変化する場所で反射する。
 - アルベン波の速度は、磁場の強度に比例し、密度の平方根に反比例する。
 - 太陽大気では、高度とともに急激に密度が減少しアルベン波の速度が急激に変化するため、表面で発生したアルベン波は反射し、コロナに伝わらない。
- 極域強磁場の磁場はラツパ型をしており、高度と共に、磁場の強度が急激に減少する。これにより、コロナー彩層の境界付近でのアルベン波の速度の変化は小さくなり、アルベン波が反射しなくなる。



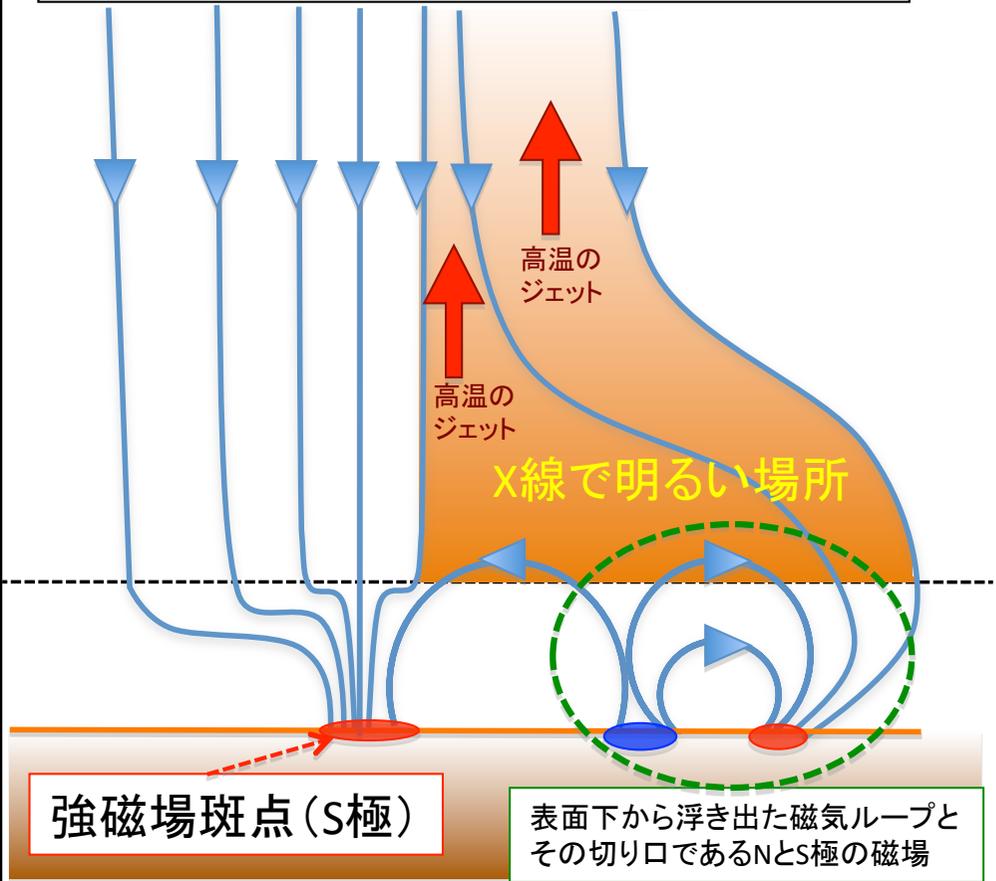
参考6: 極域の強磁場斑点とコロナでの活動現象の関係

強磁場斑点の上空



- 強磁場斑点しか無い領域は、コロナ中での活動現象が起こらず、X線で暗い領域となる

X線で明るく、コロナでの活動現象を伴う強磁場斑点の上空



- 強磁場斑点の近くに、表面下から浮上した磁場(磁気ループ)がある場合、コロナ中でジェットなどの活動現象を引き起こし、X線で明るい領域となる。

おわり