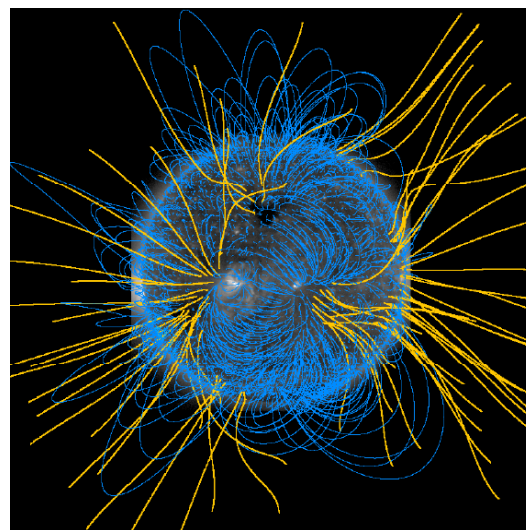
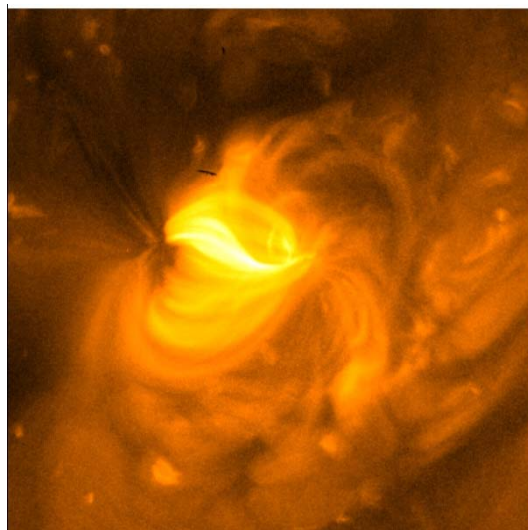


# 太陽風の源を「ひので」により初めて同定 太陽風の加速機構に迫る



JAXA/国立天文台(アルファベット順)

坂尾太郎

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部  
宇宙科学共通基礎研究系・准教授

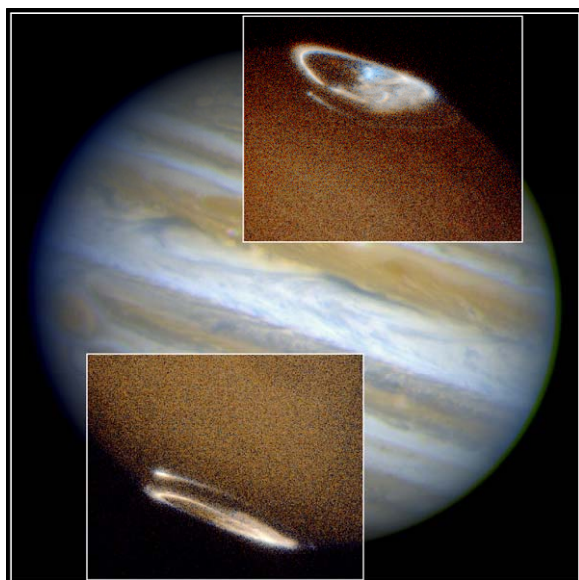
論文タイトル : 太陽活動領域の端からの絶え間ないプラズマ流出と太陽風の発生源  
著者 : 坂尾太郎、鹿野良平、成影典之、古徳純一、坂東貴政、DeLuca, E. E.、Lundquist, L. L.、  
常田佐久、Harra, L. K.、勝川行雄、久保雅仁、原弘久、松崎恵一、下条圭美、  
Bookbinder, J. A.、Golub, L.、Korreck, K. E.、Su, Y.、柴崎清登、清水敏文、中谷一郎  
Science 2007年12月7日号

## 発表要旨

- コロナホールに隣接した太陽活動領域の端から、**高温のガスが絶えずコロナ上空に流れ出ているのが**、「ひので」X線望遠鏡による観測で発見された。
- 流れ出ているガスは、太陽風による質量放出率の約1/4にも達する。この観測は**太陽風の流れ出る源をとらえたもの**と考えられる。
- 太陽系を満たし、地球周辺の宇宙環境や日常生活にまで大きな影響を与える**太陽風の理解が大きく進むと**期待される。
- 今回の発見は、「ひので」X線望遠鏡のもつ**幅広い温度感度と連続撮影性能**によって、もたらされた。

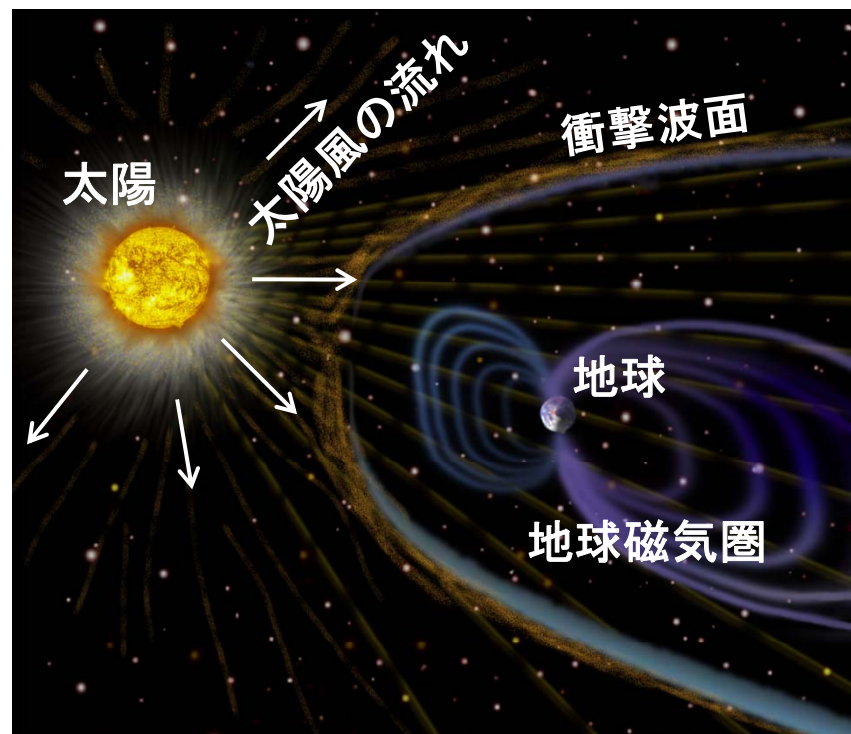
# 太陽風と地球、太陽系

太陽風は、地球とその周辺の宇宙空間、さらに太陽系全体にさまざまな影響を及ぼしています。



Jupiter Aurora HST • STIS • WFPC2  
PRC98-04 • ST Sci OPO • January 7, 1998  
J. Clarke (University of Michigan) and NASA

ハッブル望遠鏡がとらえた木星のオーロラ。太陽風粒子が木星の北極・南極に降り込むことで発生します。



地球は、太陽系を満たす太陽風の流れの中に浮かんでいます。通信をはじめ人類活動の多くが人工衛星に依存するようになってきた今日、太陽風の活動は、フレアやCME(コロナ質量放出現象)とならび、私たちの日常生活にまで影響を与えうようになっていきます。

# 太陽風

## 太陽風とは

- 太陽系を満たす超音速の粒子の流れ。
- 太陽表面から流れ出したのち、超音速に加速。
- 2種類の太陽風
  - (1) 低速太陽風  
地球周辺での速さが秒速約300km
  - (2) 高速太陽風  
秒速約800km。  
主に太陽の南北両極域のコロナホールから吹き出していると考えられている。

## 発見の歴史

- 1950年代に彗星の尾の観測からその存在が予測される。
- 人工衛星による観測(マリナー2号; 1963年)で確認。



ユリシーズ衛星による観測  
(太陽活動極小期)

(<http://solarscience.msfc.nasa.gov/SolarWind.shtml>より)

# 用語説明

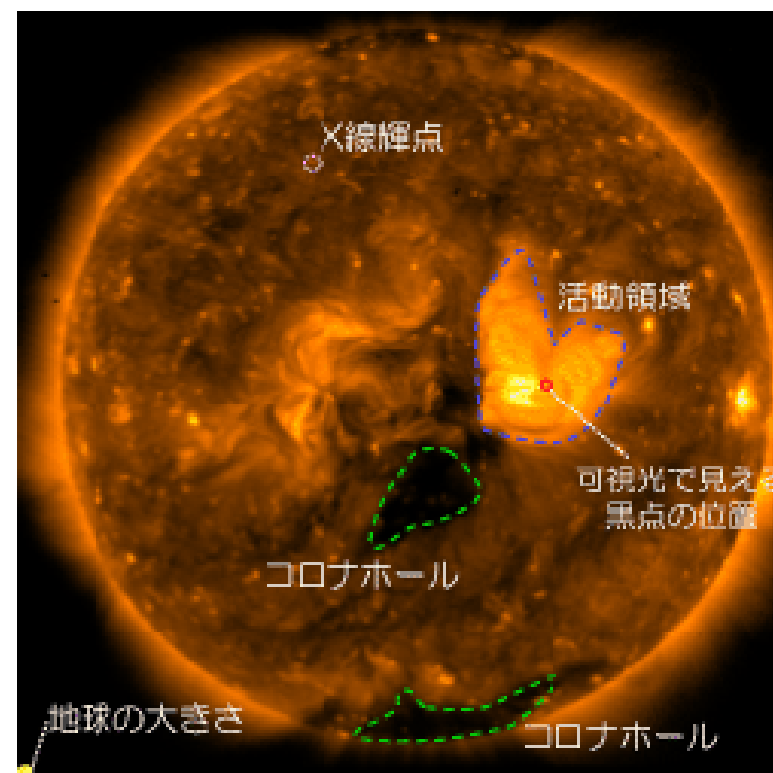
X線で太陽を撮影すると、太陽の高温大気（100万度以上）であるコロナを観測できます。

## ◆活動領域

黒点など磁場の強い場所の上空にある、X線で明るく光るコロナの領域を指します。

## ◆コロナホール

コロナ中の暗く穴のあいたように見える領域。コロナホールから出発した磁力線は、太陽表面に戻って来ずに惑星間空間へと伸び出していると考えられています。



「ひので」X線望遠鏡による太陽X線像

([http://hinode.nao.ac.jp/news/070527DataOpen\\_XRT/](http://hinode.nao.ac.jp/news/070527DataOpen_XRT/)より)

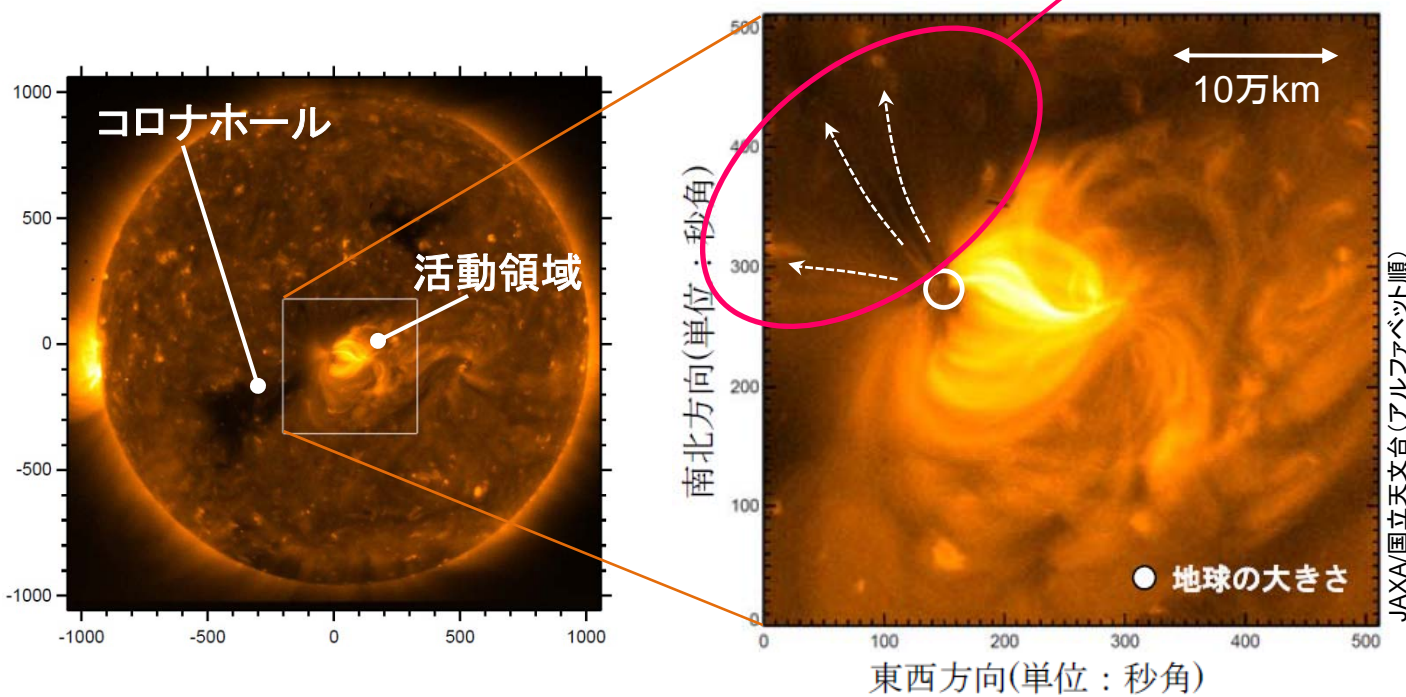
# 太陽風の謎

- **太陽表面のどこから出ているのか？**
  - 太陽風が宇宙空間に吹き出していることは明らかなのですが、流れ出す場所がピンポイントでどこなのか、わかっていません。
  - 太陽風が流れ出ているところを画像でとらえた観測はありません。
- **どこでどのようにして超音速に加速されるのか？**
  - 太陽風は秒速数百kmの超音速のプラズマ粒子の流れですが、太陽表面を出発した太陽風粒子の加速されるメカニズムは謎のままです。
  - どこから流れ出ているのかすらよくわかっていないので、有力な手がかりに乏しいのです。

# 観測領域

「ひので」のX線望遠鏡で、コロナホールに隣り合った活動領域(黒点上空の、X線で明るい領域; NOAA AR 10942)を2007年2月20-22日の3日間にわたって観測しました。活動領域の端にある、白い円で示した場所(太陽表面に小さな黒点群があります)から上方向や左方向に放射状に、**筋状の磁力線構造**が見られます。これらの磁力線はコロナの上空に伸び出しています。

筋状の磁力線



全体図

観測領域

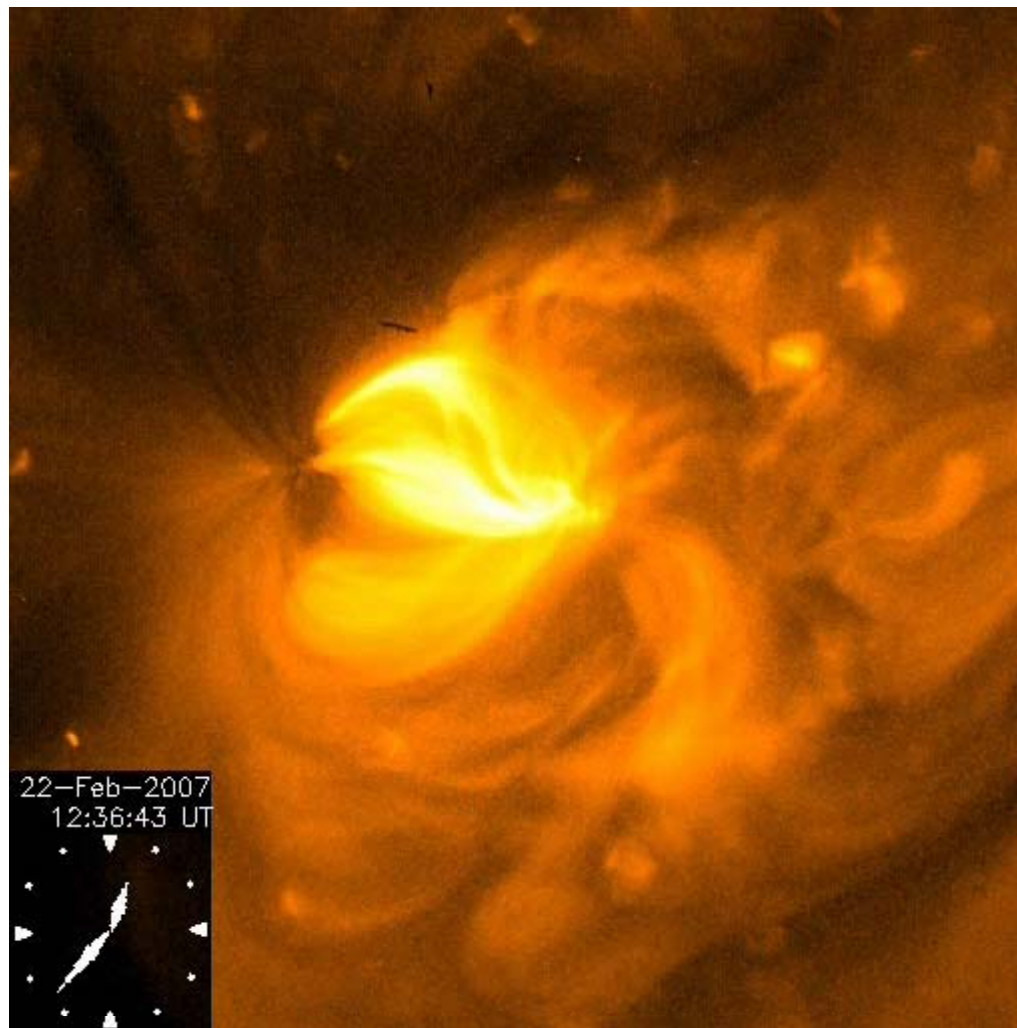
JAXA/国立天文台(アルファベット順)

# X線画像ムービー

■筋状の磁力線に沿って、X線を放射する100万度のプラズマが、秒速140km前後の速さで**絶えず流れ出ている**のが発見されました。

■太陽風が惑星間空間に放出する**質量放出率の約1/4を、この領域から流出しているプラズマ粒子だけでまかなえます。**

■ムービーで表示している期間は約6時間ですが、この上昇流は3日間の観測期間中、常に見られました。



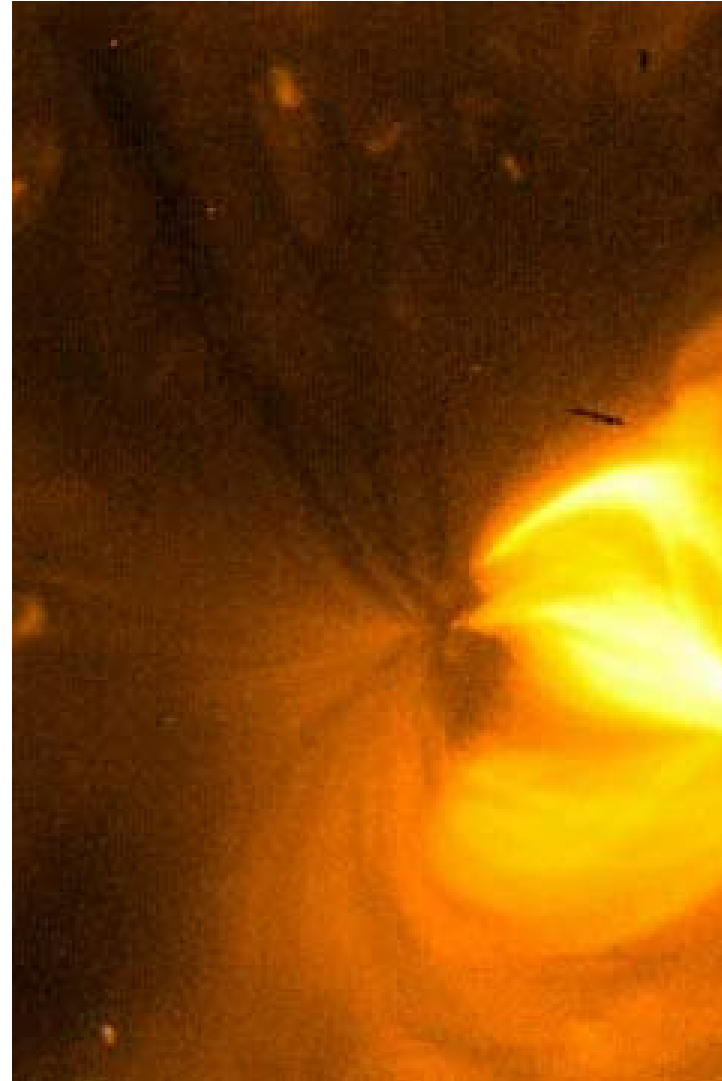
JAXA/国立天文台(アルファベット順)

約6時間の観測ムービー



# X線画像ムービー（流出域の拡大像）

- 筋状の磁力線に沿って、X線を放射する100万度のプラズマが、秒速140km前後の速さで**絶えず流れ出ている**のが発見されました。
- 太陽風が惑星間空間に放出する**質量放出率の約1/4を、この領域から流出しているプラズマ粒子だけでまかなえます。**
- ムービーで表示している期間は約6時間ですが、この上昇流は3日間の観測期間中、常に見られました。

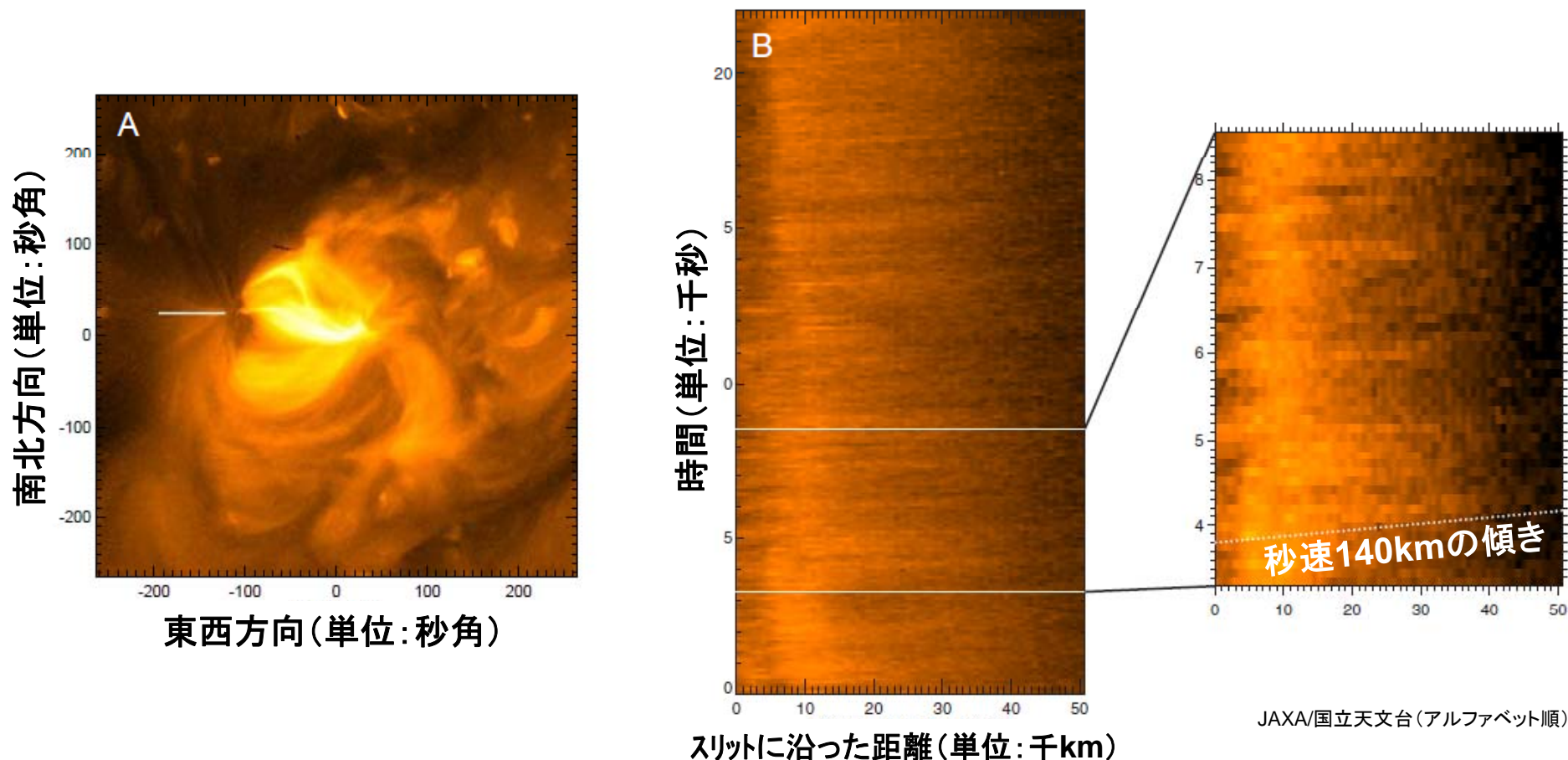


JAXA/国立天文台(アルファベット順)

● 地球の大きさ

約6時間の観測ムービー

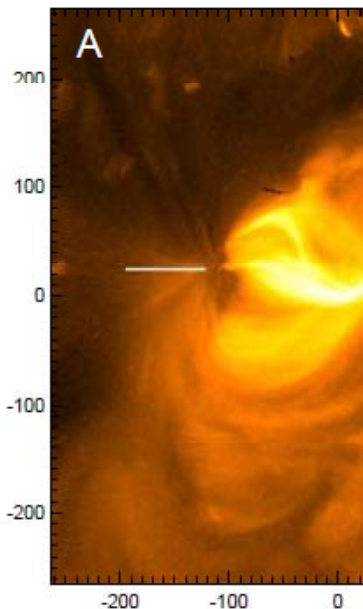
# プラズマ流の速さ



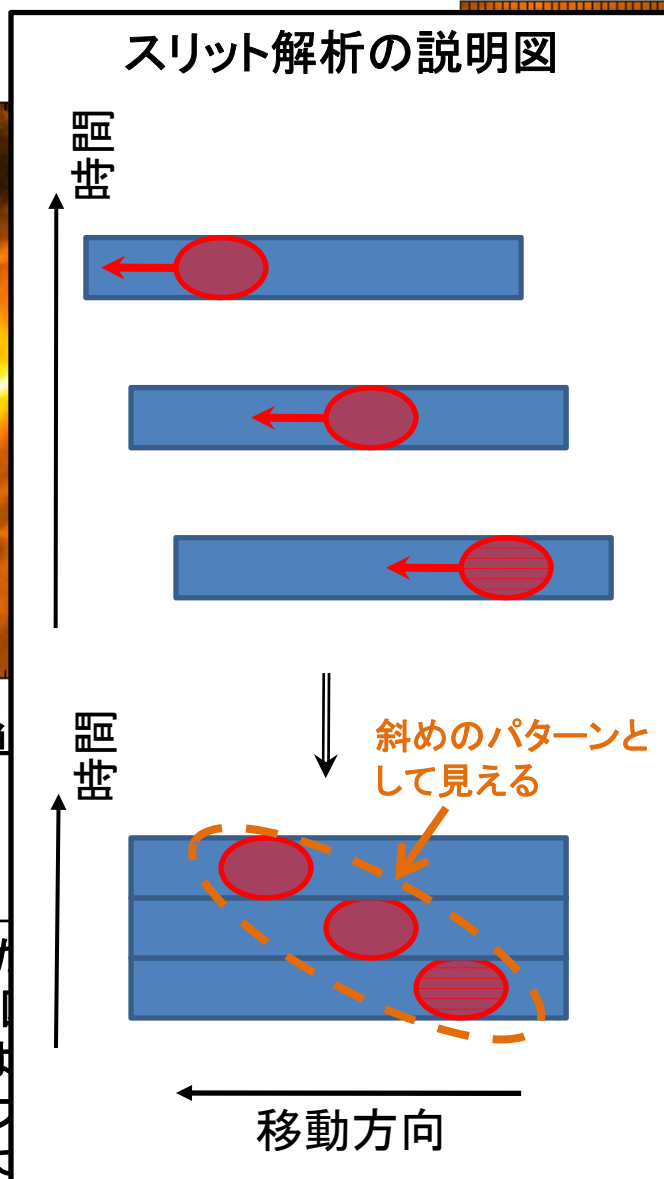
A図の中に示した白いスリットに沿ったX線の輝度分布を各画像(時間順)ごとに縦方向に積み上げたのがB図です(ただしA図とは左右が反転)。A図でスリット上を右から左に伝わっていくプラズマは、B図で右斜め上方向に進むパターンとしてあらわれます。このパターンの傾き角度から、プラズマの流れていく速さ(視線方向に垂直な面内での)が求められます。また、同じく「ひので」に搭載された極端紫外線撮像分光装置(EIS)による観測でも、視線方向のドップラー速度として、秒速約50kmの上昇速度が検出されました。

# プラズマ流の速さ

南北方向(単位:秒角)

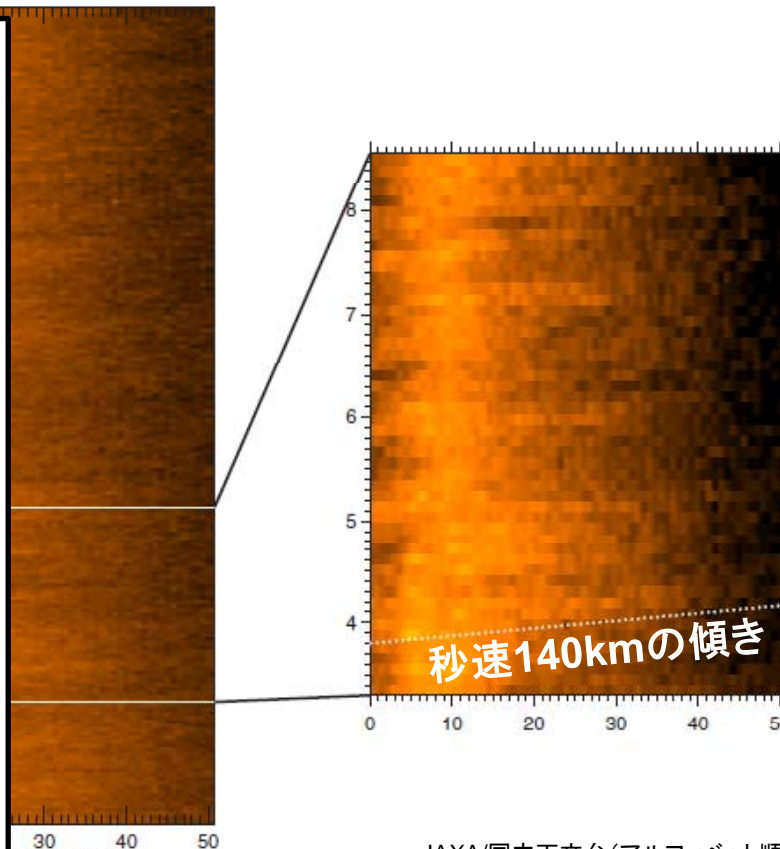


東西方向(単位:秒角)



斜めのパターンとして見える

移動方向



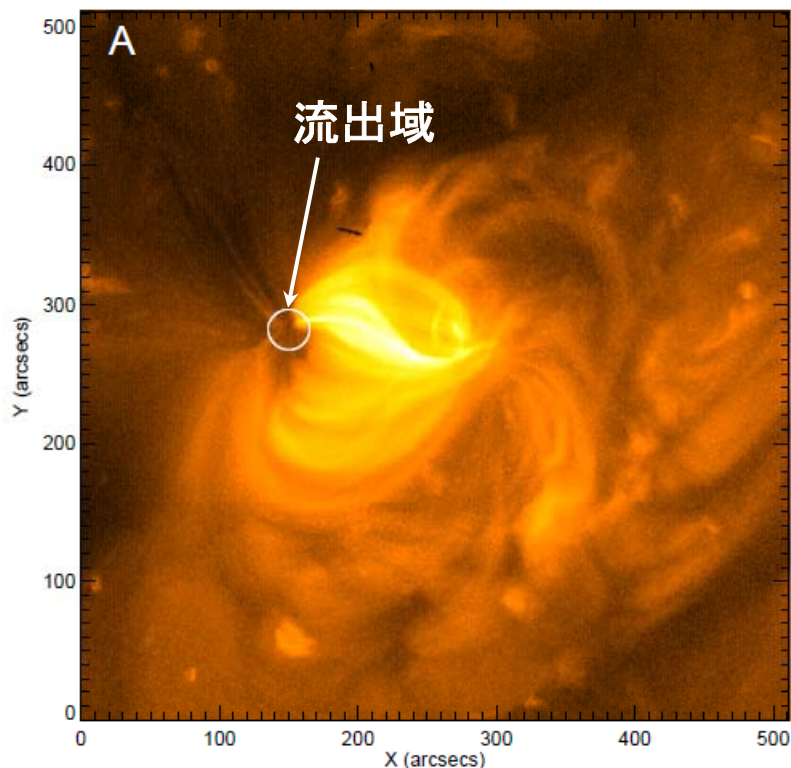
JAXA/国立天文台(アルファベット順)

距離(単位:千km)

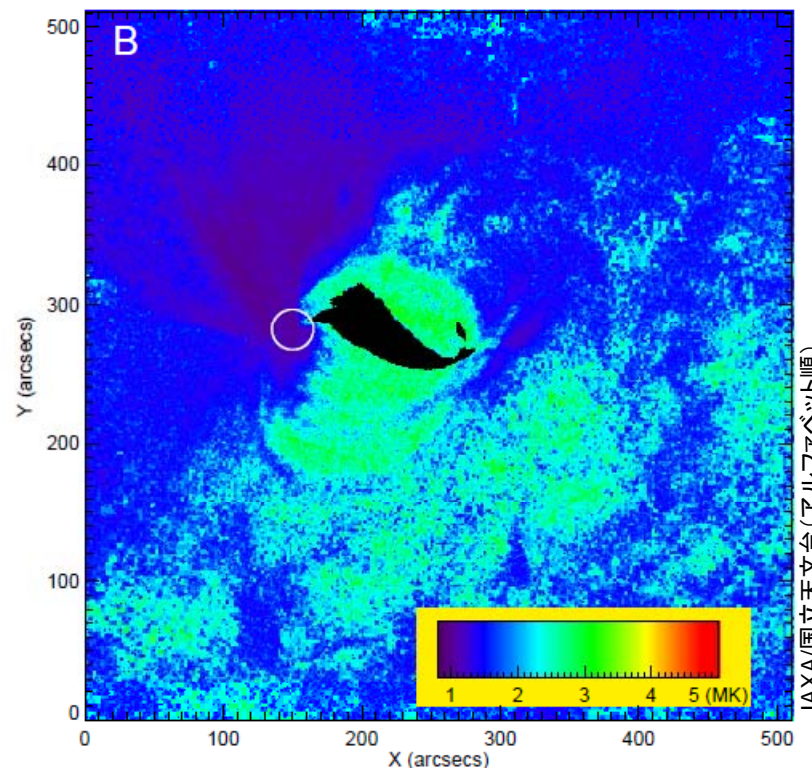
A図の中に示した  
み上げたのがB  
ていくプラズマは  
傾き角度から、  
同じく「ひので」に  
ドップラー速度として、秒速約50kmの上昇速度が検出されました。

各画像(時間順)ごとに縦方向に積  
A図でスリット上を右から左に伝わっ  
としてあらわれます。このパターンの  
(垂直な面内での)が求められます。また、  
置(EIS)による観測でも、視線方向の

# 流れ出しているプラズマガスの量



X線画像

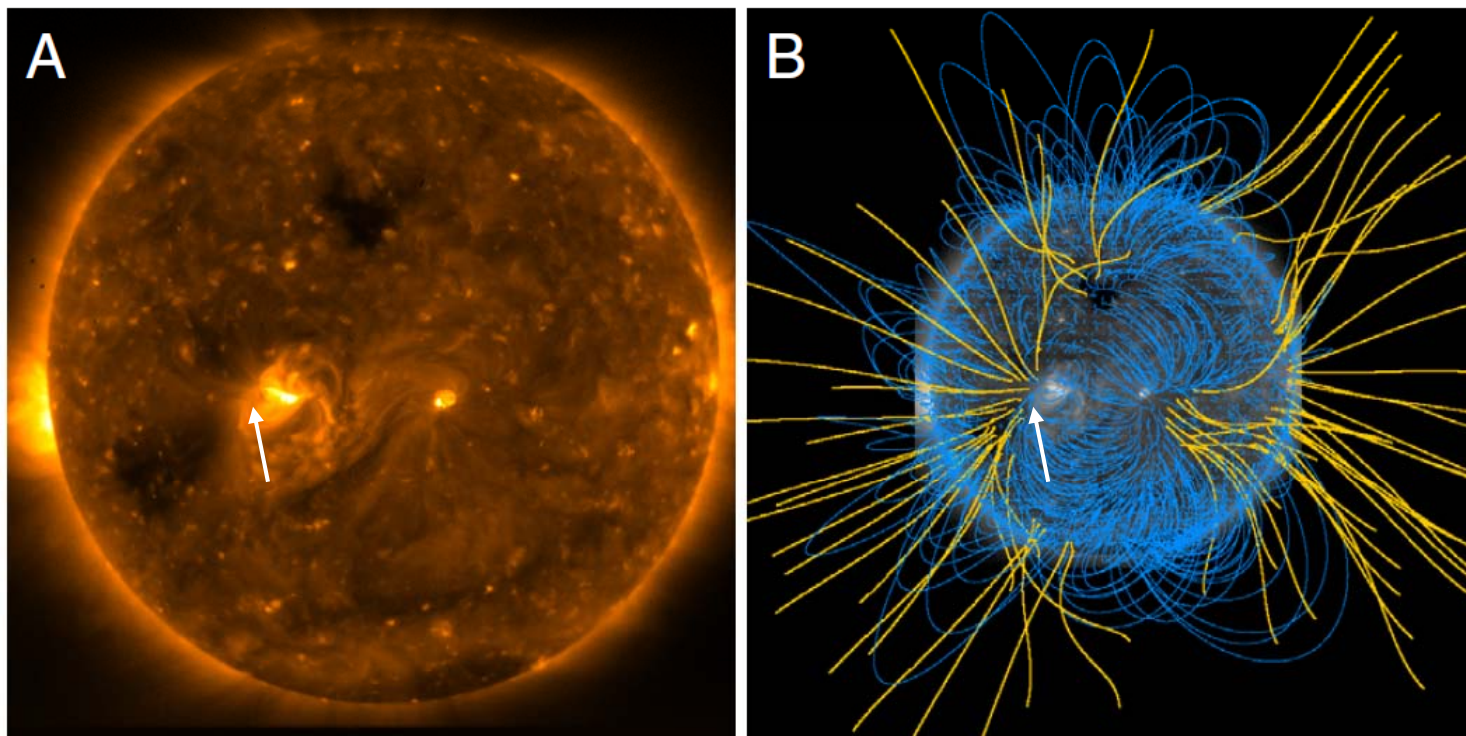


温度画像

JAXA/国立天文台(アルファベット順)

- 「ひので」X線望遠鏡による温度解析から、流出しているプラズマは温度約110万度、密度 $3.2 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$
- 流出域の面積 $3.7 \times 10^{18} \text{ cm}^2$ 、流出速度の代表値として $140 \text{ km s}^{-1}$ をとると、流出ガスの平均質量放出率は $2.8 \times 10^{11} \text{ g s}^{-1}$
- これは太陽風による質量放出レートの約1/4にあたる。

# 惑星間空間へ伸び出す磁力線



右の図は、太陽表面の磁場分布から、磁力線の大規模構造を計算した結果です。黄色の線は、惑星間空間への伸び出している開いた磁力線、青の線は太陽表面に戻ってくる閉じた磁力線を表わします。活動領域の端からのプラズマ上昇流は、白の矢印で示した領域で発生していますが、ここからの磁力線は惑星間空間へとつながっている、つまり、**プラズマ上昇流は磁力線に沿って太陽風として太陽系空間へと放出されうる**ことを示しています。

# まとめ

- 「ひので」X線望遠鏡による観測から、コロナホールと活動領域の境界部から、惑星間空間へと開いた磁力線に沿って定常的にコロナガスが流れ出ているのが発見されました。  
(なお、流源の特徴から、低速太陽風の源と思われます。)
- コロナからの太陽風の流れ出しを初めてとらえたもので、今後、太陽風の加速メカニズムの解明も進展することが期待されます。
- また、地球周辺の宇宙空間にも大きく影響をおよぼす太陽風を理解することで、宇宙天気予報活動の進展にも貢献できます。

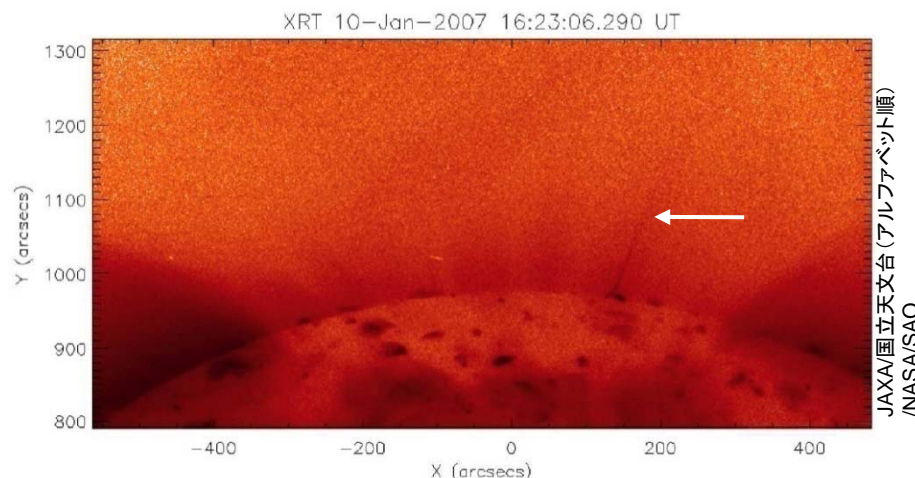
# 「ひので」による太陽風研究の進展

本研究に関連し、太陽極域のコロナホールにおいて、これまで考えられていたよりもはるかに頻りにX線ジェットの発生していることがサーテン(NASA)らによって発見されました。この研究もサイエンス特集号に掲載されています(下記参照)。さらに常田(国立天文台)らによる研究で、今まで磁場が弱いと考えられてきた極域コロナホール中に、1000ガウスを超える強い磁場がパッチ状に存在することがわかってきました。高速太陽風が極域のコロナホールから発生していることから、これらX線ジェットや極域の強磁場と高速太陽風の関連も注目されています。

論文タイトル : 太陽X線ジェット中に存在するアルベン波の証拠

著者 : Cirtain, J., Golub, L., Lundquist, L., van Ballegooijen, A., Savcheva, A., 下条圭美、柴田一成、DeLuca, E., 常田佐久、坂尾太郎、Reeves, K., Weber, M., 鹿野良平、成影典之、柴崎清登

Science 2007年12月7日号

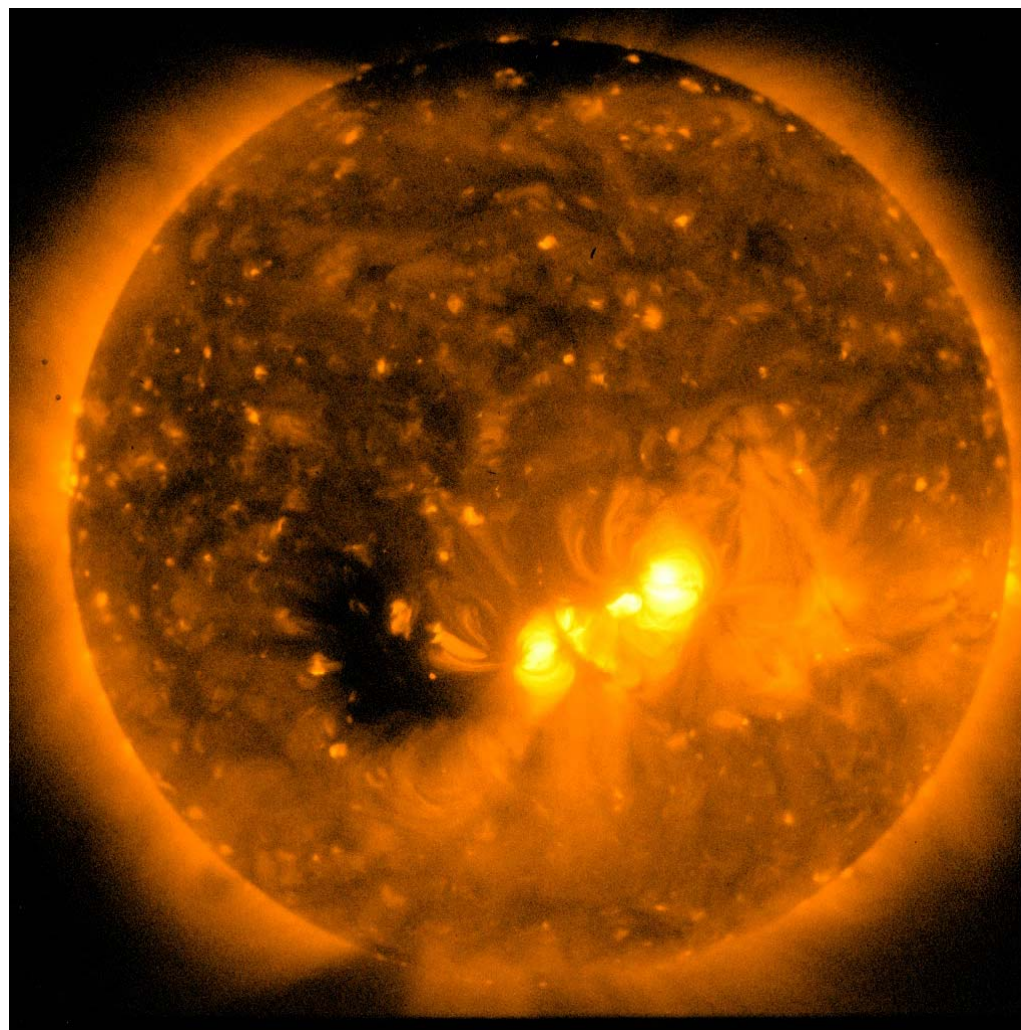


太陽極域のコロナホールで発生するX線ジェット(図中に矢印で表示)

# 補足説明



# X線で見える太陽



JAXA/国立天文台(アルファベット順)

「ひので」X線望遠鏡による太陽X線像

( [http://hinode.nao.ac.jp/news/061220Press/#xrt\\_ffi](http://hinode.nao.ac.jp/news/061220Press/#xrt_ffi)より)

# 低速太陽風の流出源について

小島(名古屋大学)らのグループによる地上からのIPS(惑星間空間シンチレーション)観測によって、低速太陽風(の一部)がコロナホールと隣り合った活動領域の端から出ているのではないかと示唆されていました。今回の「ひので」の発見は、この描像を強く支持するものです。

IPS観測から示唆された、太陽半径の2.5倍の距離での太陽風の速度分布

光球面磁場分布から計算した磁力線の構造

太陽表面(光球面)の磁場分布

活動領域

(小島ら 1999年、より)

