

# 「ようこう」・「ひので」による 太陽電磁流体现象の観測的研究

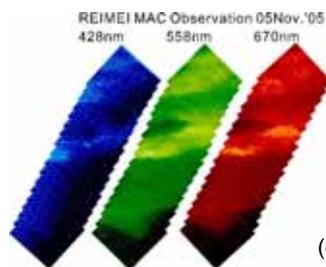
勝川行雄

自然科学研究機構国立天文台  
ひので科学プロジェクト 助教

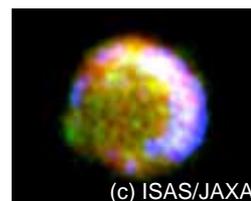
## 宇宙にはプラズマが普遍的に存在する

宇宙空間には様々な空間スケールに渡ってプラズマが存在する

- 地球、惑星磁気圏
- **太陽**・恒星コロナ
- 惑星間空間 (太陽風、恒星風)
- 中性子星、ブラックホール、降着円盤  
超新星残骸
- 銀河、活動銀河核
- 銀河団プラズマ



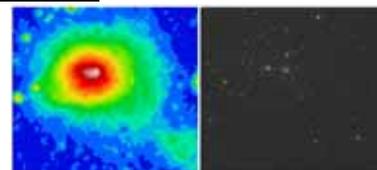
(c) ISAS/JAXA



(c) ISAS/JAXA

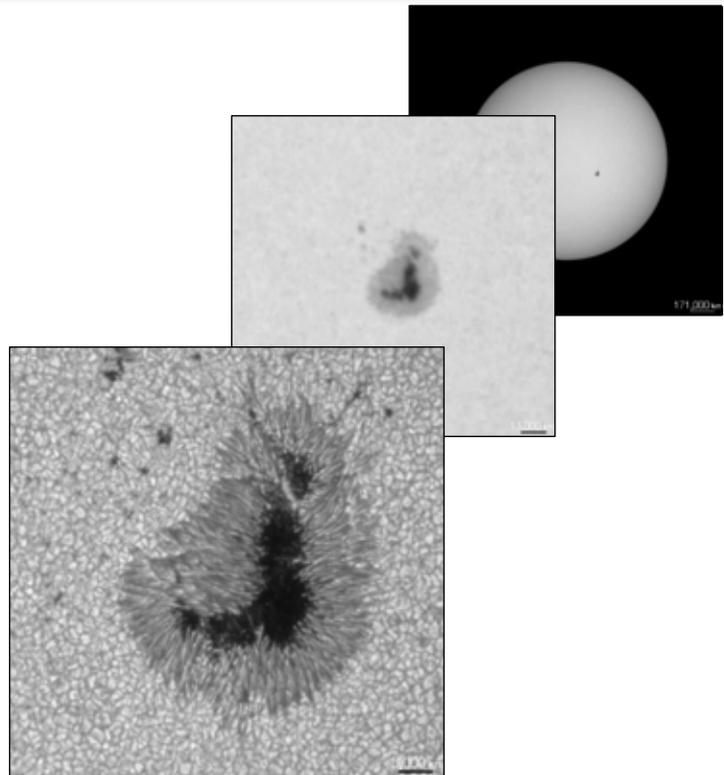


(c) NASA



- 太陽は空間的に分解して観測できる唯一の恒星
- その外層大気には6000度から数百万度という様々な温度のプラズマが共存
- 爆発現象(フレア)によって、超高温のプラズマが突発的に生成される
- キロガウス磁場、地磁気の数1000倍

## 宇宙プラズマの実験室



2009/3/10

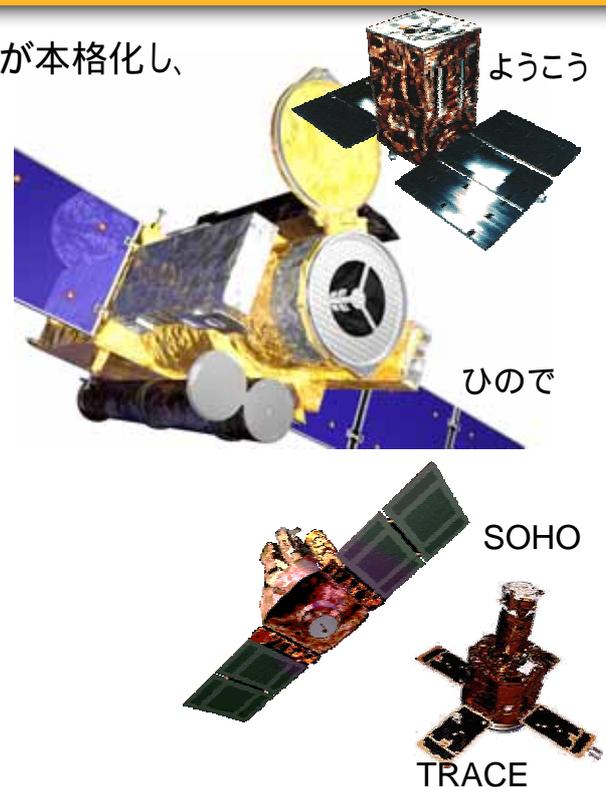
宇宙科学奨励賞記念講演

3

# 人工衛星による太陽観測

1990年代以降、人工衛星からの太陽観測が本格化し、多くの科学的成果をもたらした

- ひのとり (1981年)
- ようこう (1991年-2001年)
- ひので (2006年-)
- SOHO、TRACE、RHESSI など
- 地上からは見えない波長での観測
  - 線、X線、紫外線
  - 激しい太陽の様子が見えてくる
- 大気に邪魔されず、細かな所まで観測する
  - 可視光での太陽表面の詳細観測
- 24時間連続した安定した観測
  - 太陽表面の常時監視

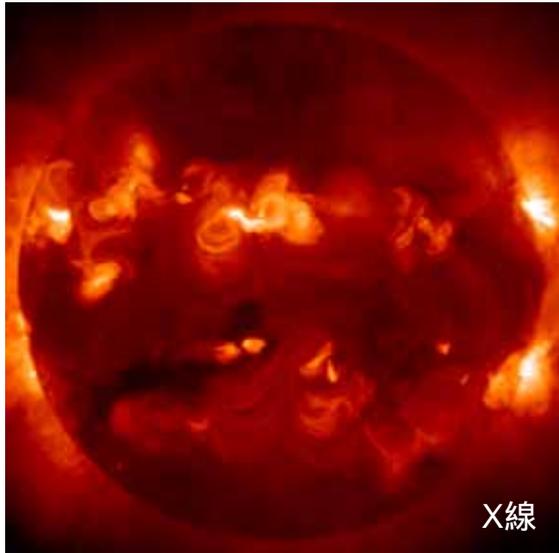


2009/3/10

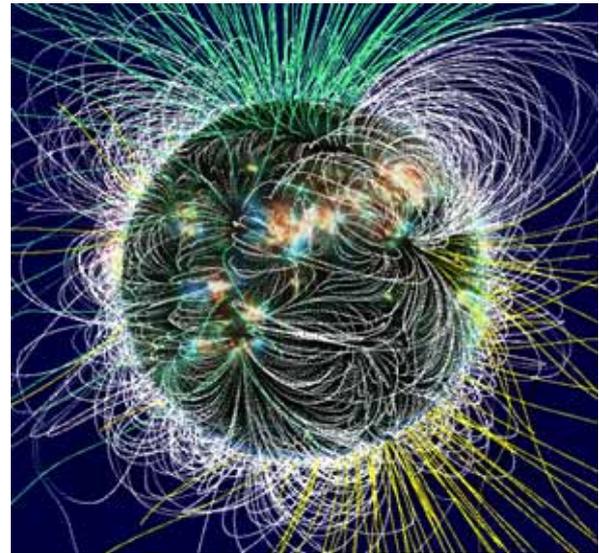
宇宙科学奨励賞記念講演

4

# 太陽表面は磁石でおおわれている



黒点にはN極(白)、S極(黒)の強い磁石(磁場)  
それ以外の場所にも磁場は存在している



N極とS極をつなぐ磁力線が  
太陽の外側をおおっている

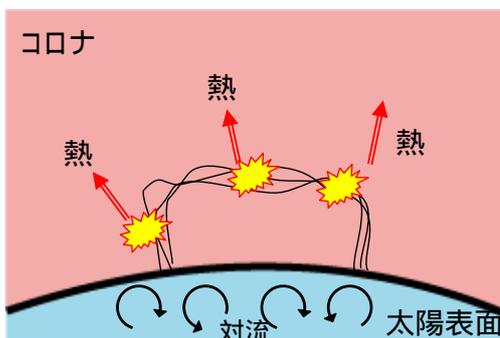
2009/3/10

宇宙科学奨励賞記念講演

5

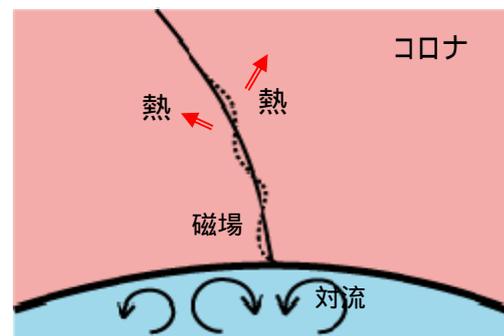
# コロナ加熱のメカニズム

## ナノフレア加熱説



これまでの望遠鏡では分解できなかった  
小さなフレア(ナノフレア)がエネルギー  
源となり、コロナに熱を供給している。対  
流によって磁力線がねじられ、コロナ中  
のいたるところに電流シートができ、磁気  
リコネクションによりエネルギーを解放。

## 波動加熱説



太陽表面から無数に伸びている磁力線が、  
太陽表面の対流などの運動により揺すら  
れることで、エネルギーをコロナに運び、コ  
ロナで熱に変換する

2009/3/10

宇宙科学奨励賞記念講演

6

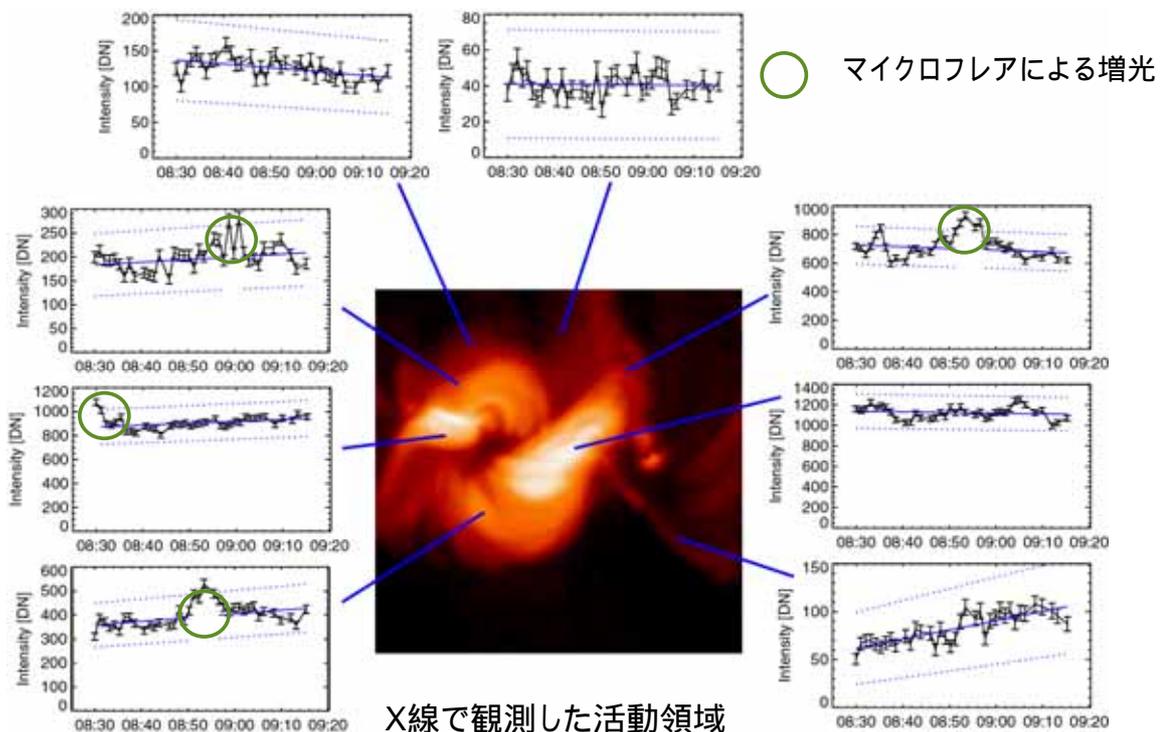
- コロナ加熱の鍵を握るナノフレアや波は極めて小さく直接観測するのはなかなか難しい
- そこで、
  - コロナから来るX線強度の揺らぎに埋もれたナノフレアの徴候を調べる
  - 磁場とコロナの関係から、磁場がどのような役割を担っているかを知る
- 最終的にはその過程を直接捉えたい
  - 新しい太陽観測衛星「ひので」

2009/3/10

宇宙科学奨励賞記念講演

7

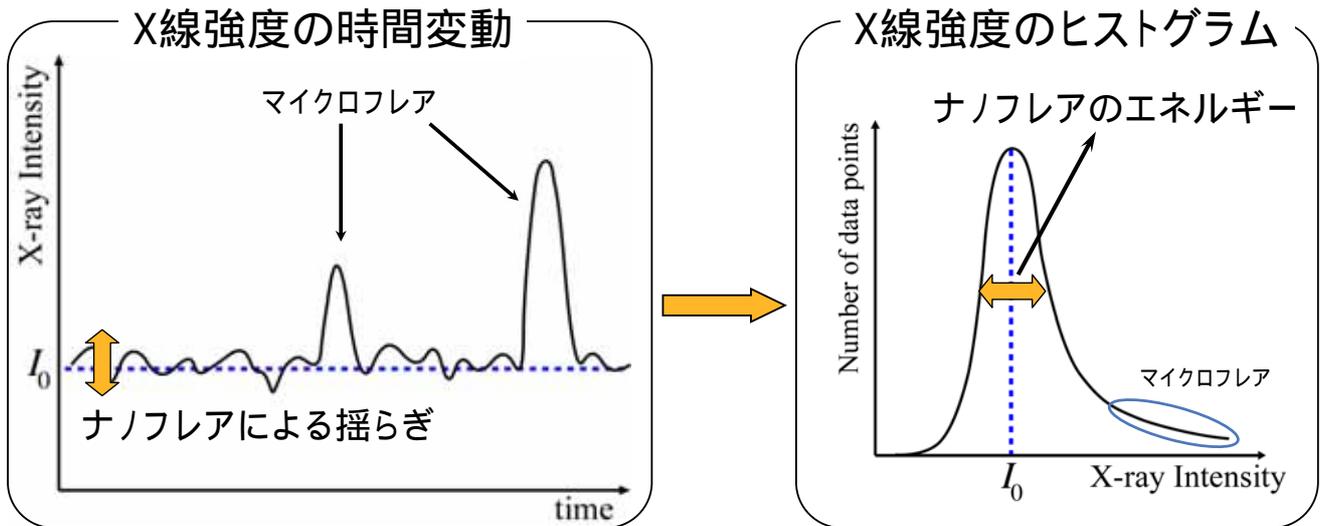
## X線強度の微小時間変動



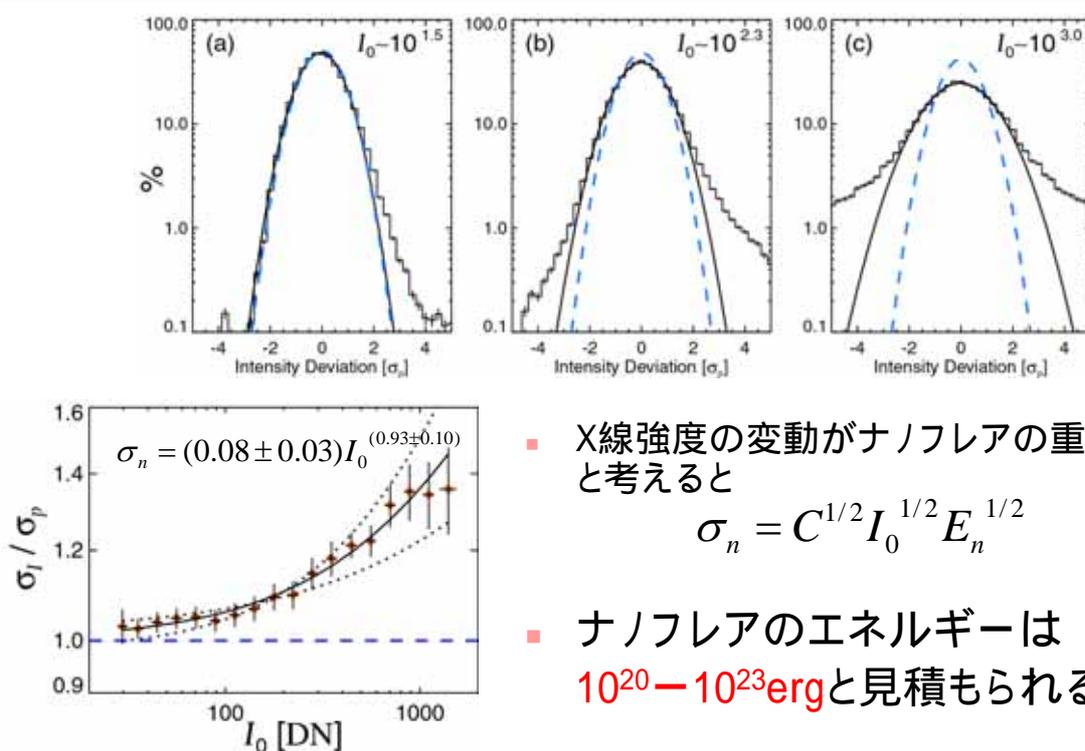
2009/3/10

宇宙科学奨励賞記念講演

8



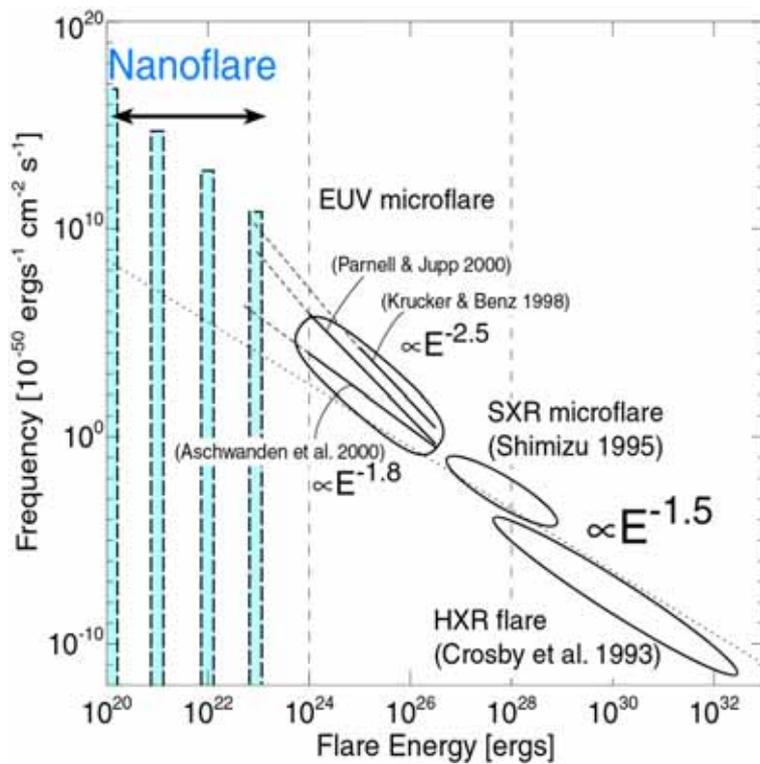
- 一定に見える成分も、ナノフレアによって揺らいでいるはず。
- X線強度の時間変動からヒストグラムを作る。
- ヒストグラムの幅から、ナノフレアの情報が得られると期待される。



- X線強度の変動がナノフレアの重ね合わせと考えると

$$\sigma_n = C^{1/2} I_0^{1/2} E_n^{1/2}$$

- ナノフレアのエネルギーは  $10^{20} - 10^{23}$  erg と見積もられる

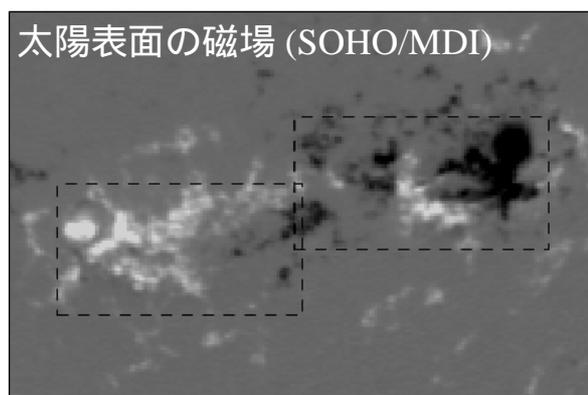
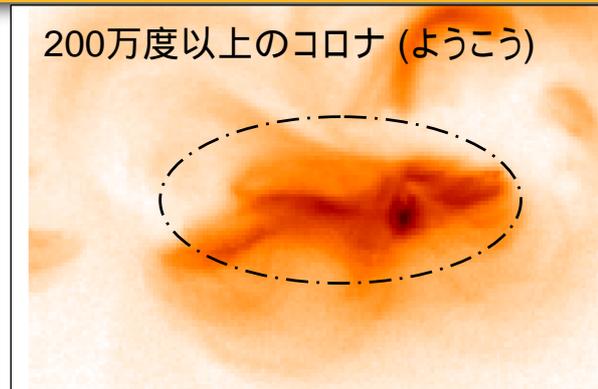
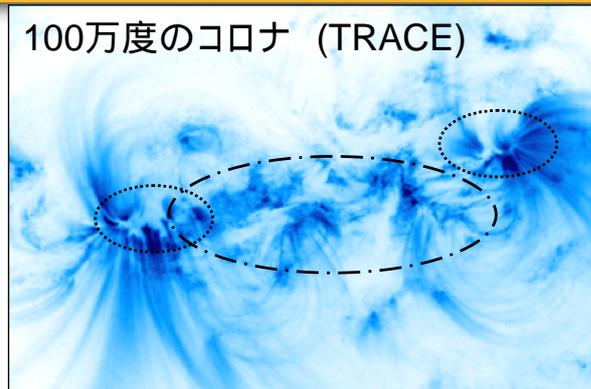


- これまで観測されたマイクロフレアよりも小さなエネルギーである。
- 大きなフレアを外挿して得られる頻度よりもはるかにたくさん起きている。

2009/3/10

宇宙科学奨励賞記念講演

11

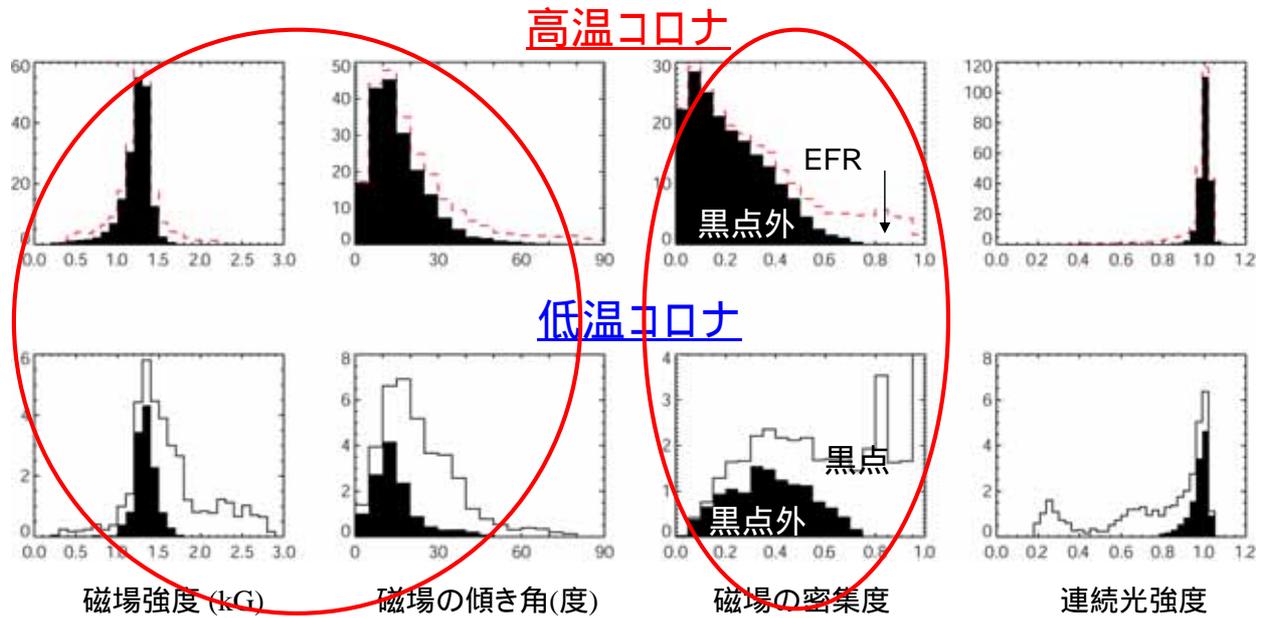


2009/3/10

宇宙科学奨励賞記念講演

12

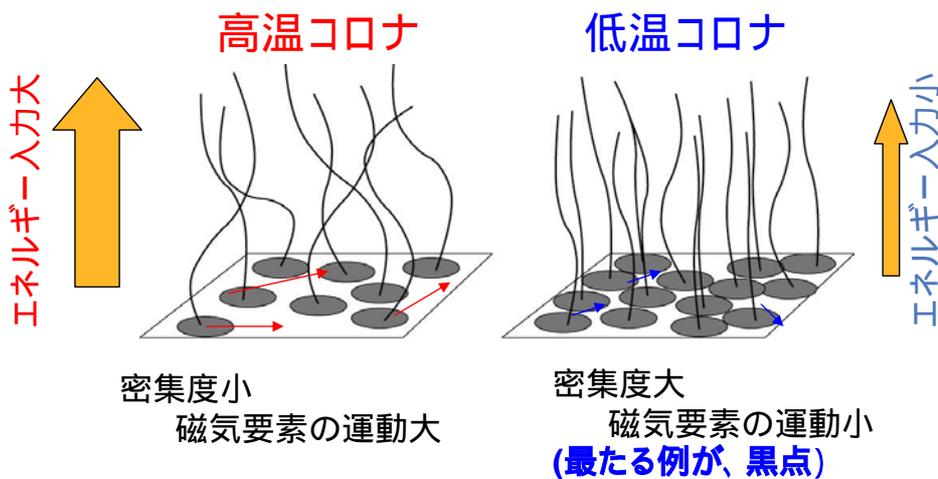
低温コロナ、高温コロナそれぞれについて、光球磁場の特徴を詳しく調べる



あまり差が無い

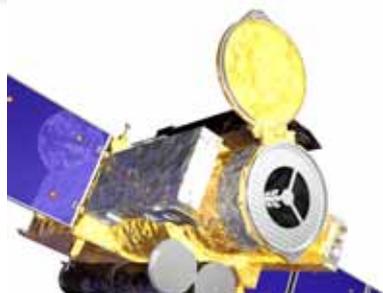
非常に異なる

## 微細な磁気要素の運動が鍵を握る

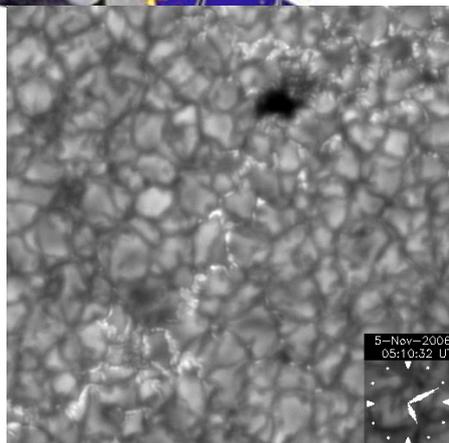


- 光球における、磁場の密集度、磁気要素の運動のしやすさがコロナ加熱へのエネルギー入力の大さを決めている

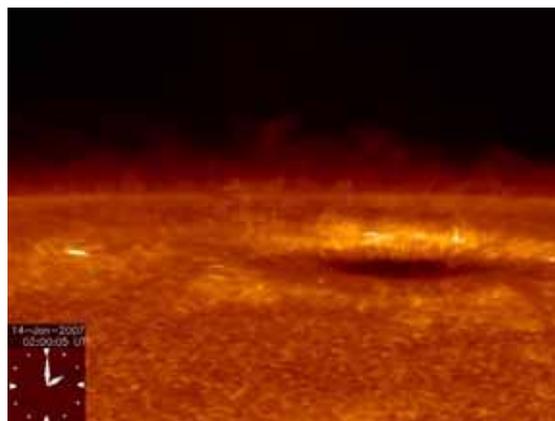
# 「ひので」 太陽表層における磁場の微細活動が見えてきた



- 2006年9月に打ち上げられた「ひので」
- 光球磁場の超高解像観測
- 彩層、コロナの同時観測
- コロナ加熱の素過程の直接観測を目指す



対流(粒状斑)と磁場の相互作用



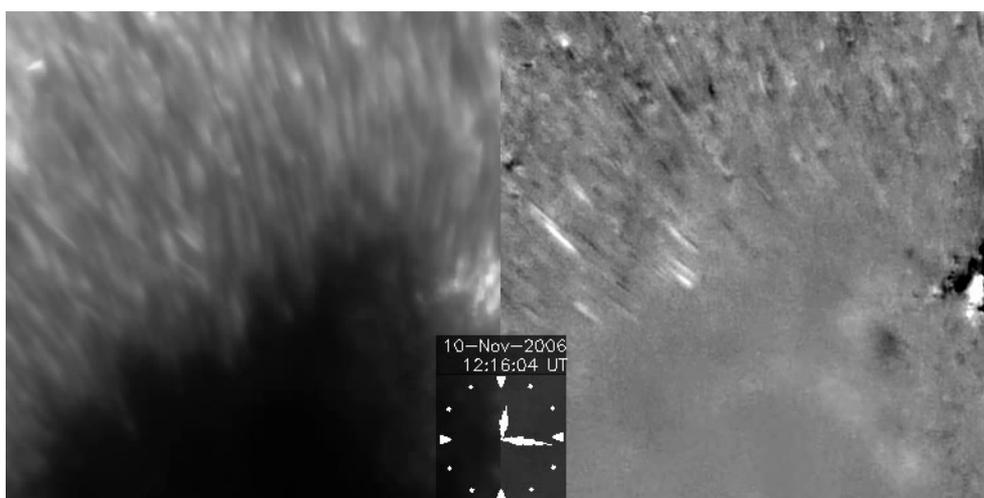
彩層で発生するジェット現象

2009/3/10

宇宙科学奨励賞記念講演

15

# 黒点内で発生する微細ジェット現象

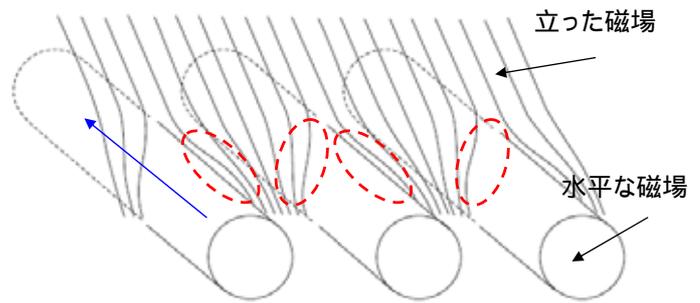
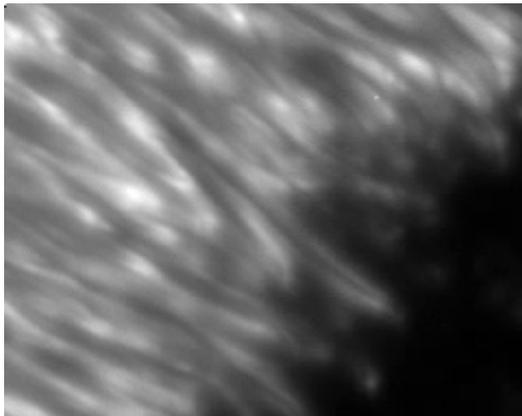


- 黒点半暗部の彩層 (温度1万度) におけるジェット状の増光現象
- 長さ: 1000 4000km, 幅: 300km, 寿命: 1分以下
- このような微細で短命なジェット現象は、従来の観測ではとらえることができなかった。

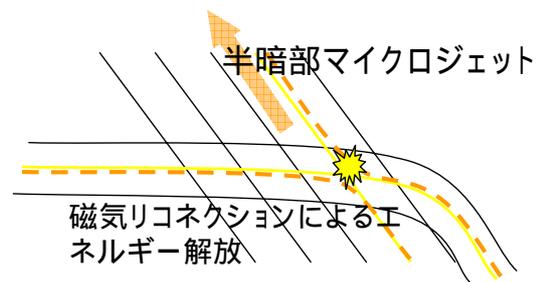
2009/3/10

宇宙科学奨励賞記念講演

16



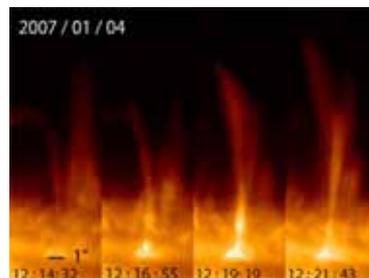
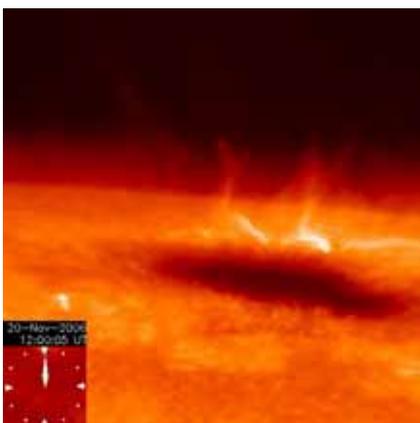
- 偏光分光観測によって、磁場の様子を調べると、半暗部には水平な磁場と立った磁場が存在(くし状構造)
- 2つの磁場成分の間には強い不連続面が存在。そこで磁気リコネクションによって磁気エネルギーが解放されている



2009/3/10

宇宙科学奨励賞記念講演

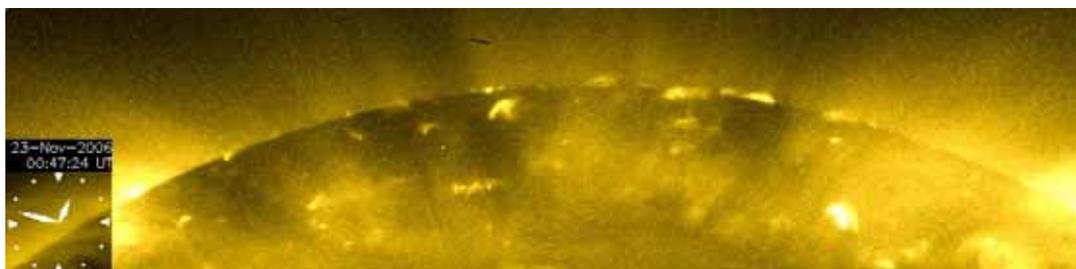
17



Shibata et al. (2007)

- 彩層ではあらゆる場所で無数のジェット現象が発生。
- 極域コロナホールで観測されるX線ジェット

Cirtain et al. (2007)



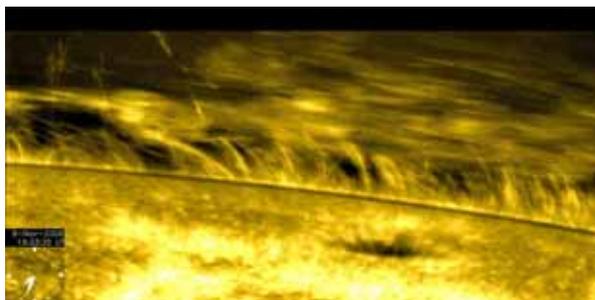
2009/3/10

宇宙科学奨励賞記念講演

18

- これまでの観測では見えなかった。多数のジェット現象。磁気リコネクションは太陽大気で普遍的に発生している
- 加熱に必要なエネルギーを伝播している可能性のある磁気流体波(アルフヴェン波)も始めて検出された

プロミネンスを伝わる波  
Okamoto et al. (2007)



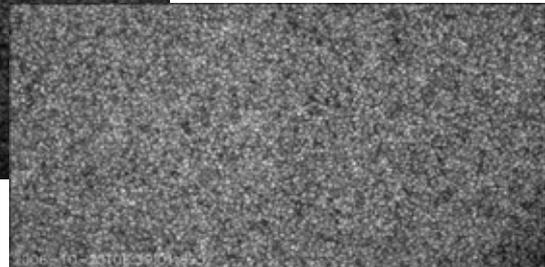
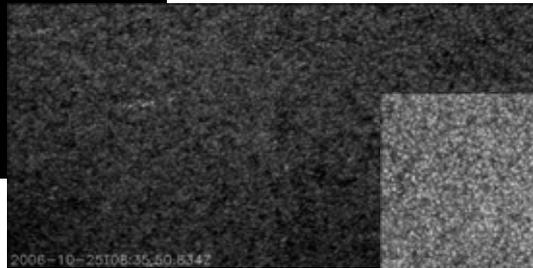
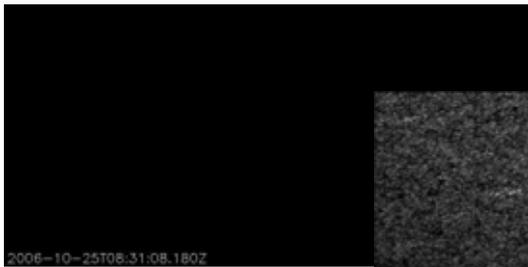
- 磁気リコネクションで発生したエネルギーが波によって周囲に伝播し散逸するなど、お互いに連携しあって加熱している可能性が高い。コロナ加熱解決まであと一歩。

- 口径50cmの回折限界性能を持つ世界最大、最高性能の太陽観測用宇宙望遠鏡
- 可視光でハッブル宇宙望遠鏡に継ぐ解像度
- 最先端の宇宙光学技術の結晶、純国産技術で開発
  - 軽量光学系、その支持機構
  - 軽量・低熱膨張構体
  - 衛星擾乱を取り除く可動鏡
  - 微小擾乱の低減、など
- それらを地上で実証するための試験手法の開発



- 可視光磁場望遠鏡(SOT)の完成を記念して(国立天文台高度環境試験棟にて)

2006年10月25日 可視光望遠鏡のファーストライト



2009/3/10



宇宙科学奨励賞記念講演



21

- 太陽という身近なごくありふれた恒星であっても、磁場によって、複雑で様々な現象が生み出される
  - 身近であってもなかなか手の届かないもどかしさと奥深さ
  - 太陽を通して、プラズマの物理を知る面白さ
- 新しいサイエンスを生み出すための新しい観測装置の開発を通して
  - 国内外の多くの方々とともに、同じ目的を目指して装置を開発することの重要性、困難、それを克服したときの喜び
  - 「ひので」のデータを見たときの感動、その感動は研究者だけのものではなく、一般の方々とも共有できるものであること

2009/3/10

宇宙科学奨励賞記念講演

22

- JAXA/宇宙科学研究本部、自然科学研究機構国立天文台の「ようこう」・「ひので」チームの方々
- 人工衛星の開発や運用を支えて頂いているメーカーの方々
- 栄えある第1回宇宙科学奨励賞を授与して下さった財団法人宇宙科学振興会の皆様に心から感謝致します