

太陽物理学入門

横山 央明

東京大学 地球惑星

自己紹介

1992年3月 京都大学 工学部 航空工学科卒業(学部・修士)

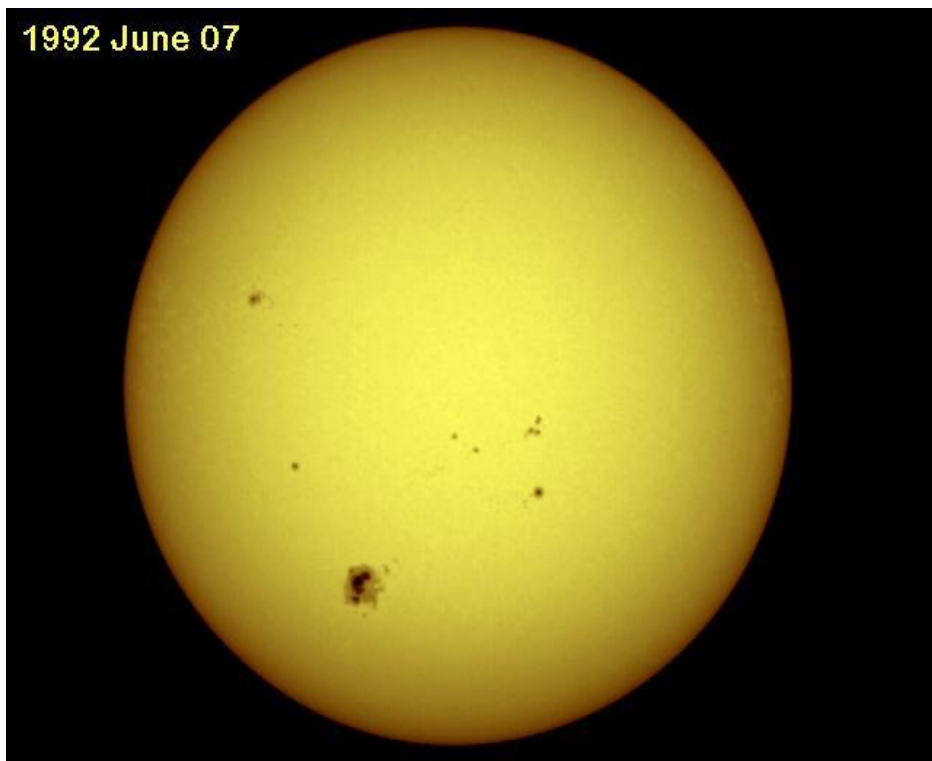
1995年3月 総合研究大学院大学 (国立天文台三鷹)で学位
取得

1995年4月から1998年3月 国立天文台三鷹でポスドク

1998年4月 国立天文台野辺山助手

2003年4月より 東京大学 地球惑星科学専攻助教授・准教授

太陽

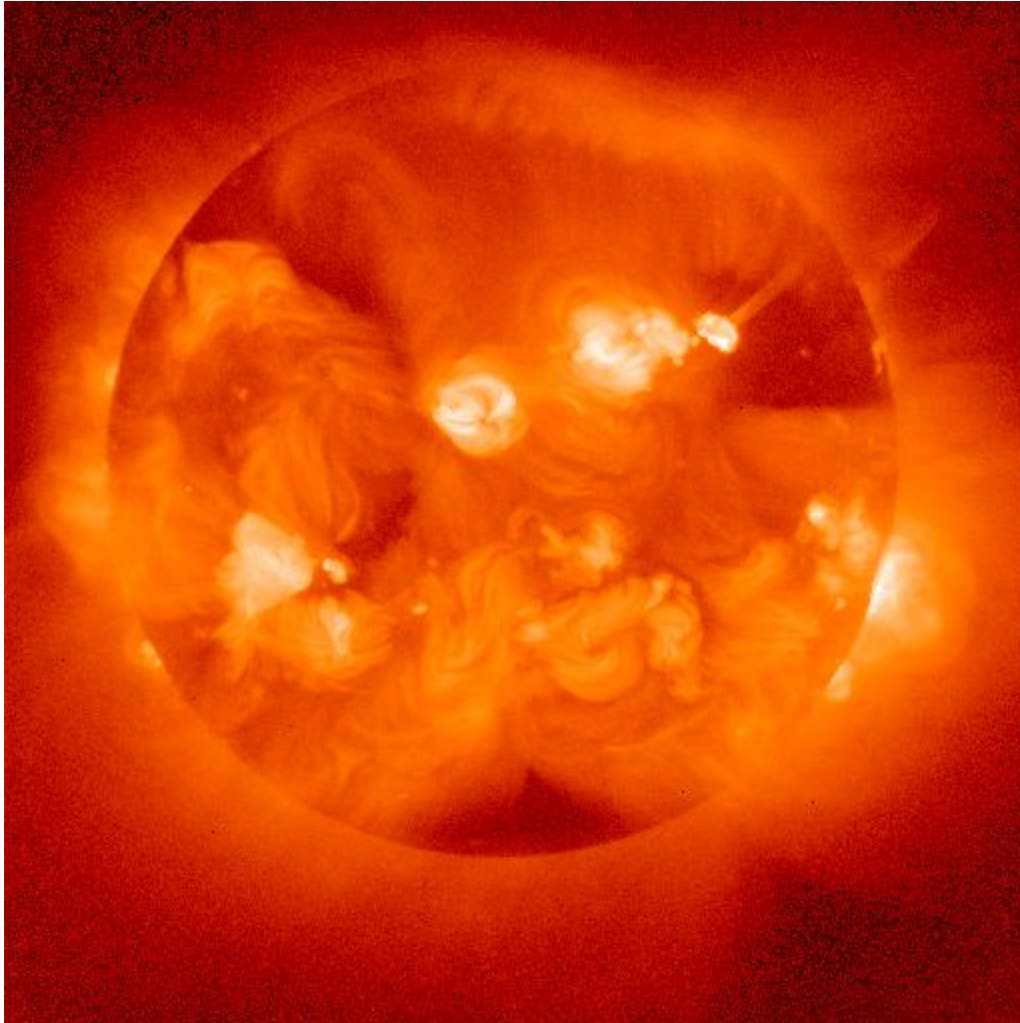


- **最も近い恒星**
 - 次は 300,000 倍の彼方
- **電離したガス (プラズマ)**
 - 陽子と電子(とイオン)
- **半径: 70万 km**
 - 地球の約100倍

• 可視光で見た太陽は、ただのたいくつな球体(黒点はみえるが、、、) **太陽の「古典的な」描像**

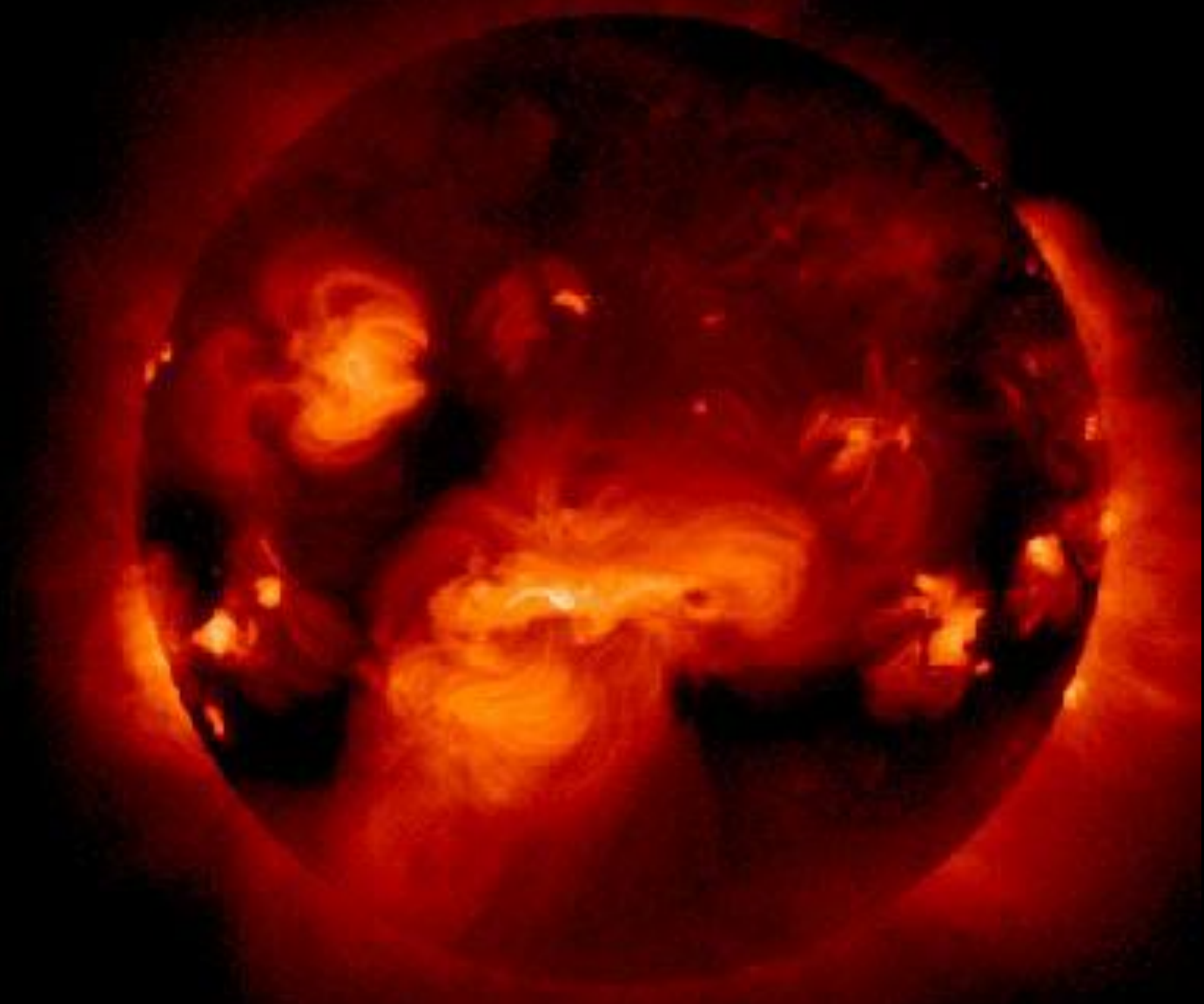
X線でみた太陽—コロナ

ようこう軟X線望遠鏡



さまざまな構造

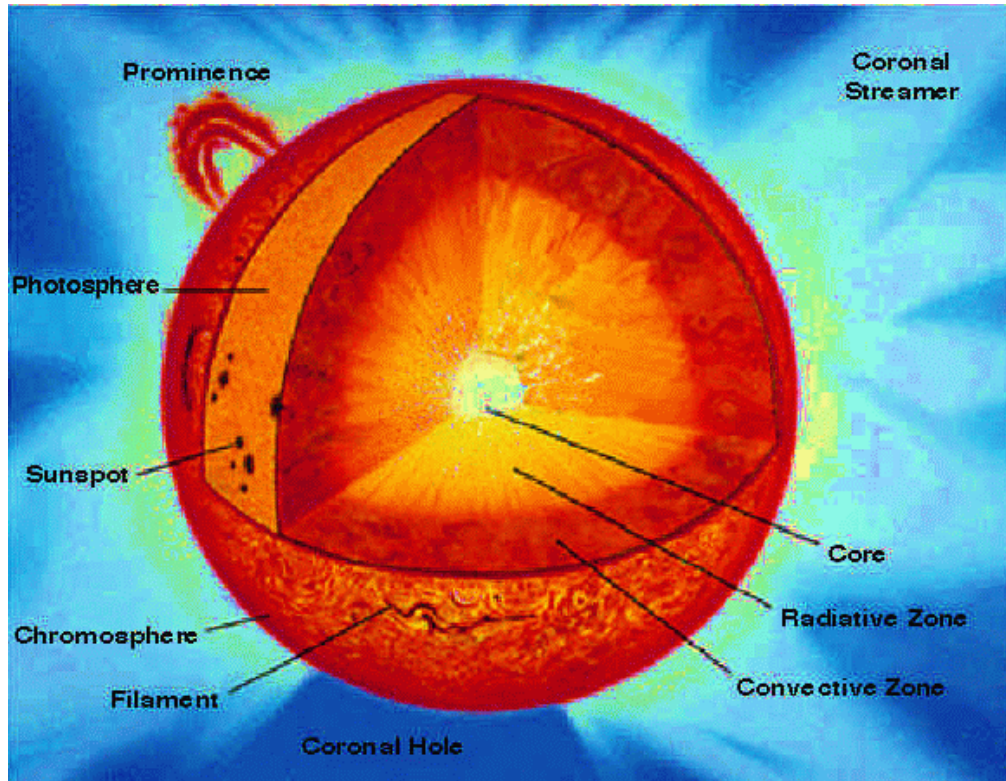
ループ、アーケード、
穴、細長い構造など
など、、、



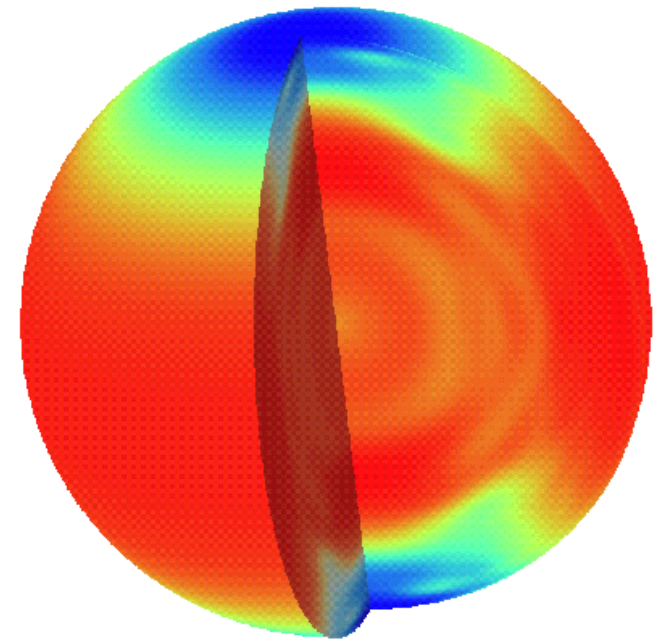
24-NOV-91 01:47:06

ようこう衛星
JAXA提供

太陽の内部



回転速度分布



(SOHO/MDI)

太陽の内部を探ることができる



ひので衛星

JAXA・NAOJ提供

171,000 km

太陽研究の魅力

ムービー・ムービー・ムービー...

人間が観測可能な時間スケールで変動がおこる数少ない天体現象

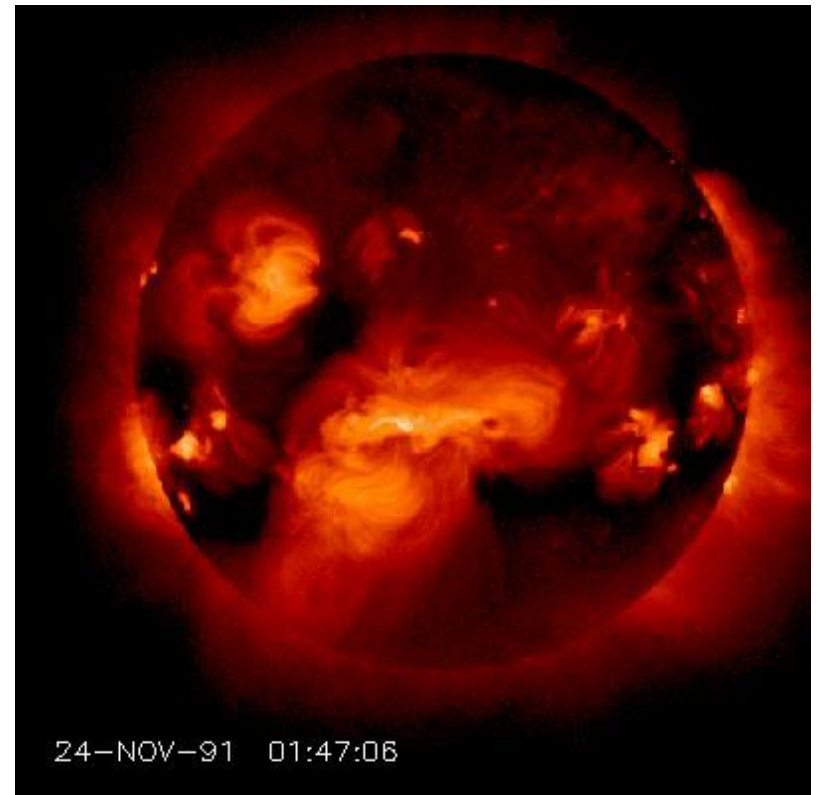
豊かな構造

磁場とガスとが織りなす世界

活動的天体現象の代表例

他天体研究への波及効果

プラズマ物理学の実験室

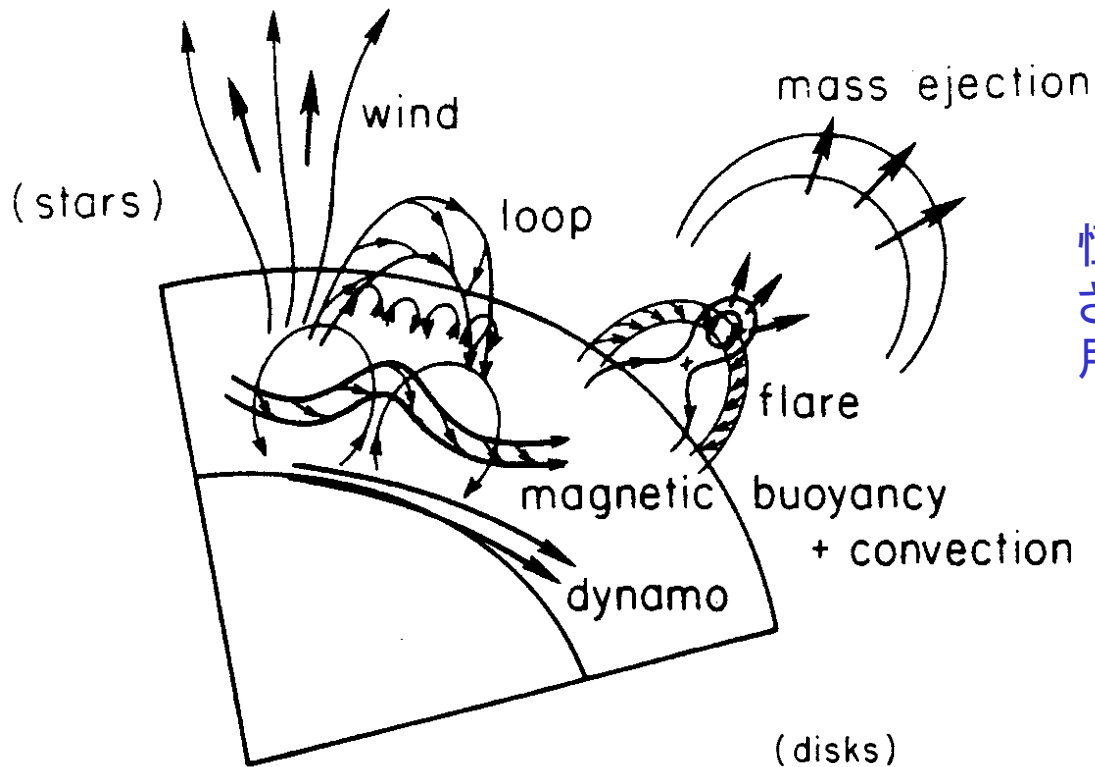


24-NOV-91 01:47:06

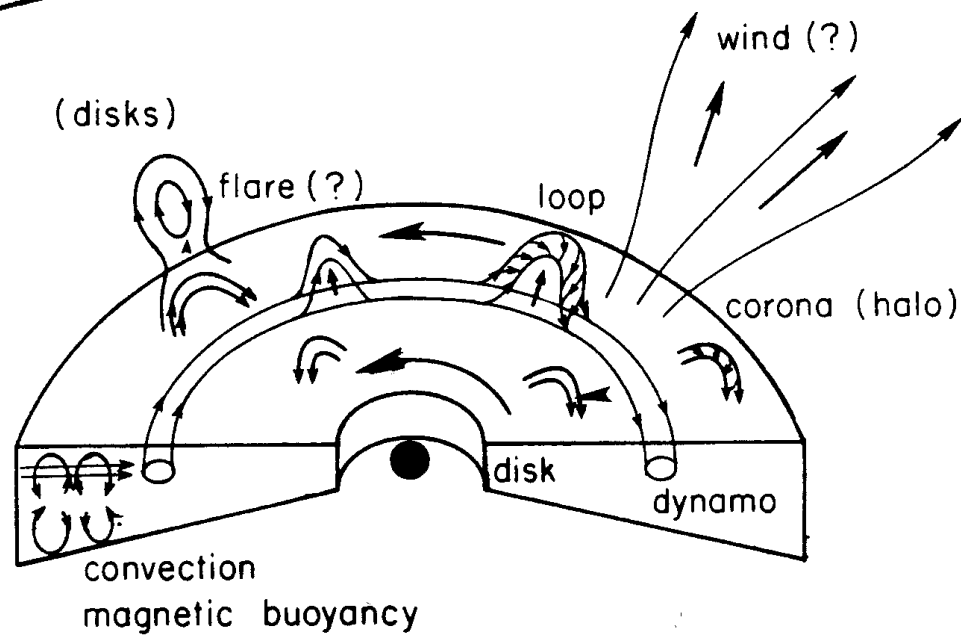
なぜ太陽を研究するのか？

なぜ太陽を研究するのか？

- 天文学の一里塚
 - 宇宙において、もっとも詳しく観測可能な天体
- 日常生活への影響
 - 宇宙天気予報
- プラズマ物理学の実験室
 - 極限的な環境
 - 超高温、超低密、高い電気伝導性



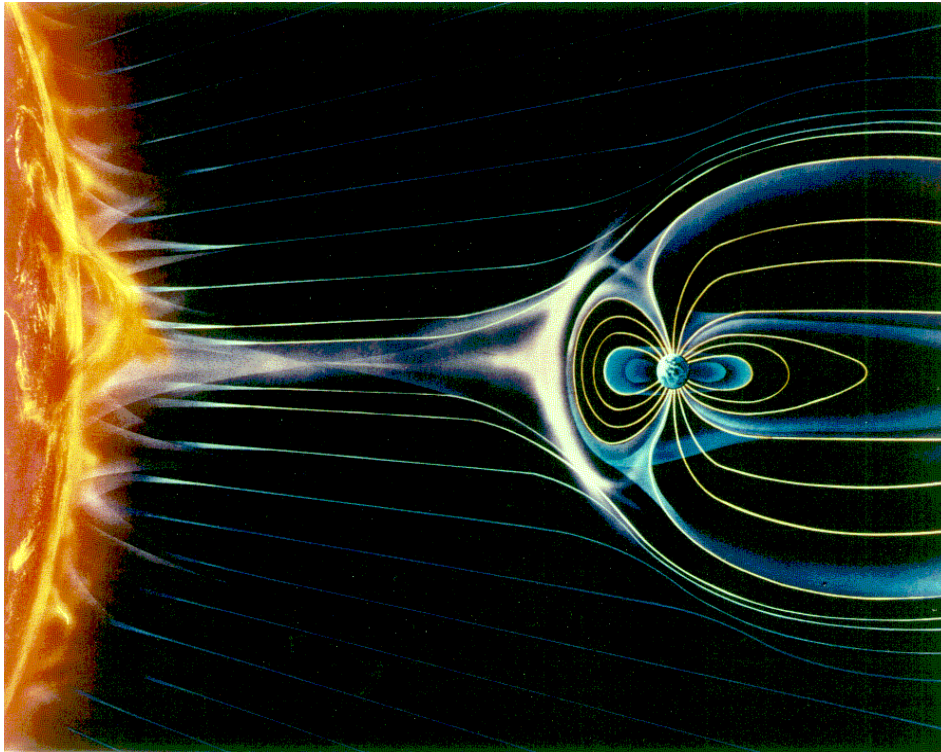
恒星・太陽や降着円盤で起こる
さまざまな磁場・プラズマ相互作用



なぜ太陽を研究するのか？

- 天文学の一里塚
 - 宇宙において、もっとも詳しく観測可能な天体
- 日常生活への影響
 - 宇宙天気予報
- プラズマ物理学の実験室
 - 極限的な環境
 - 超高温、超低密、高い電気伝導性

日常生活への影響



(1) 太陽で起こった乱れが、地球に達するとその磁気圏を揺らす。(2) 高エネルギー粒子が太陽から飛んでくる。

通信障害

なぜ太陽を研究するのか？

- 天文学の一里塚
 - 宇宙において、もっとも詳しく観測可能な天体
- 日常生活への影響
 - 宇宙天気予報
- プラズマ物理学の実験室
 - 極限的な環境
 - 超高温、超低密、高い電気伝導性

太陽の重要問題

爆発現象

フレアやコロナ質量放出現象

コロナ加熱・太陽風

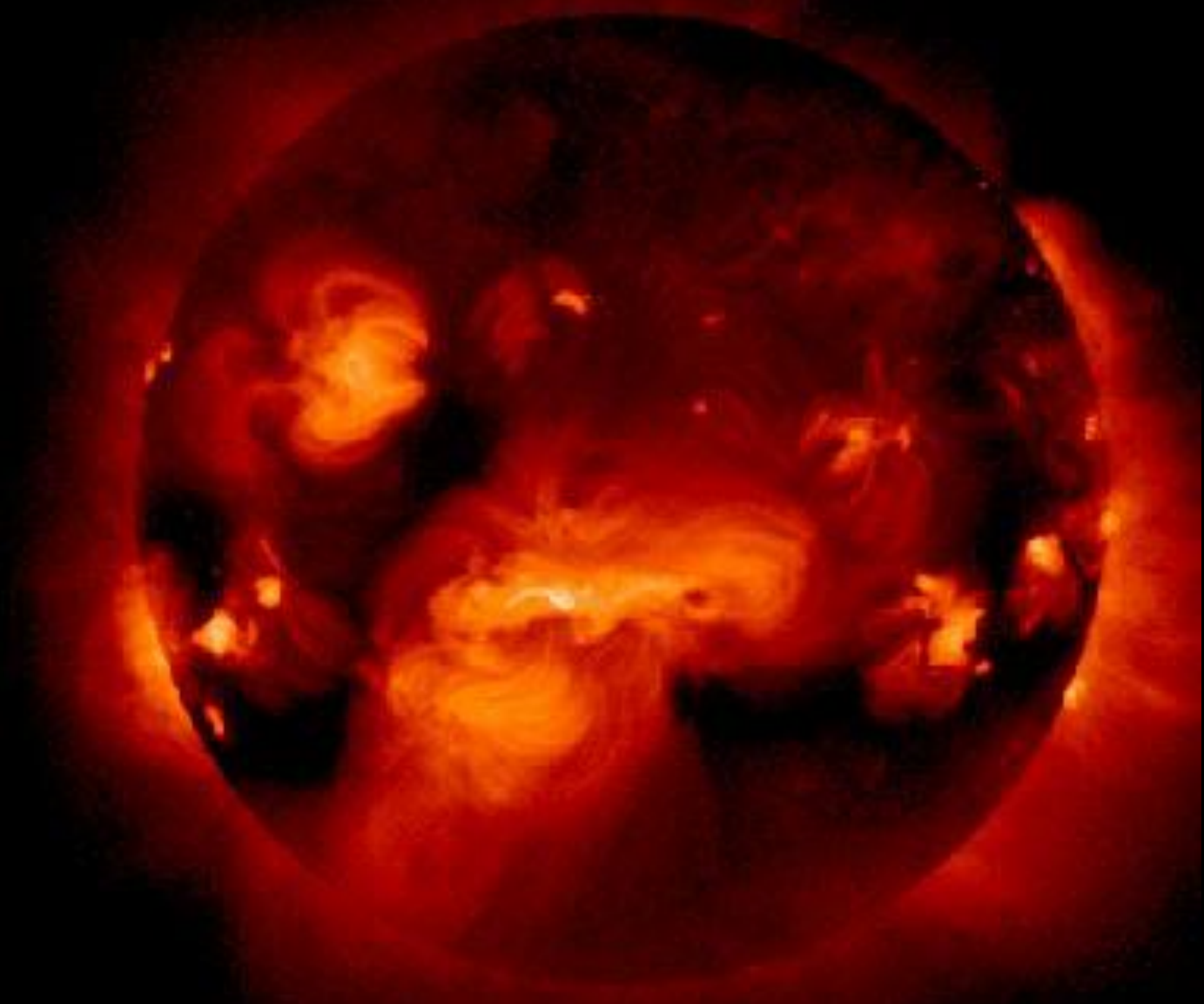
なぜ最外層大気が熱いのか？

ダイナモ

磁場の起源

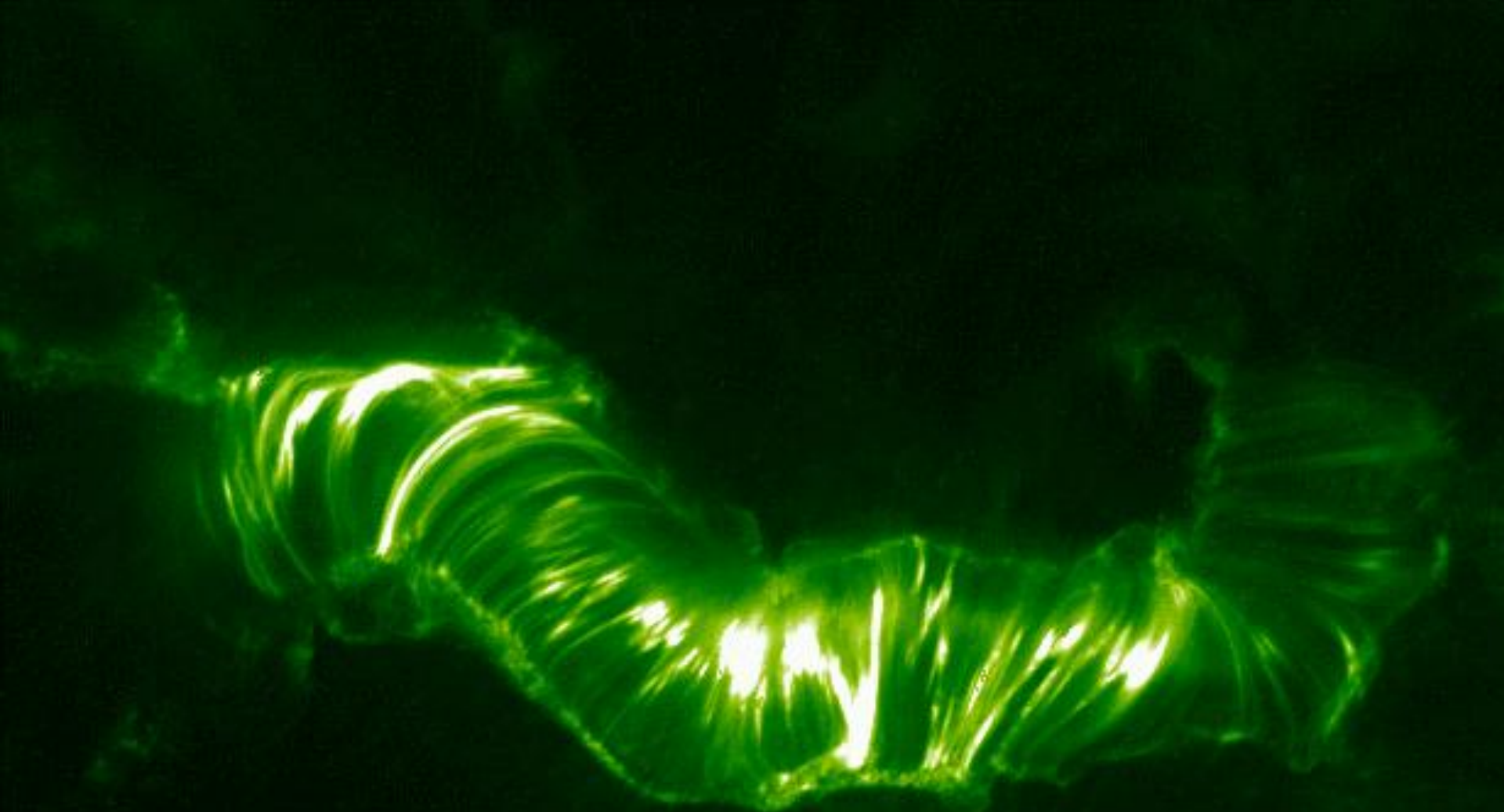
これ以外にもおもしろい課題はたくさん

さまざまな太陽活動現象 フレアとプラズマ放出現象



24-NOV-91 01:47:06

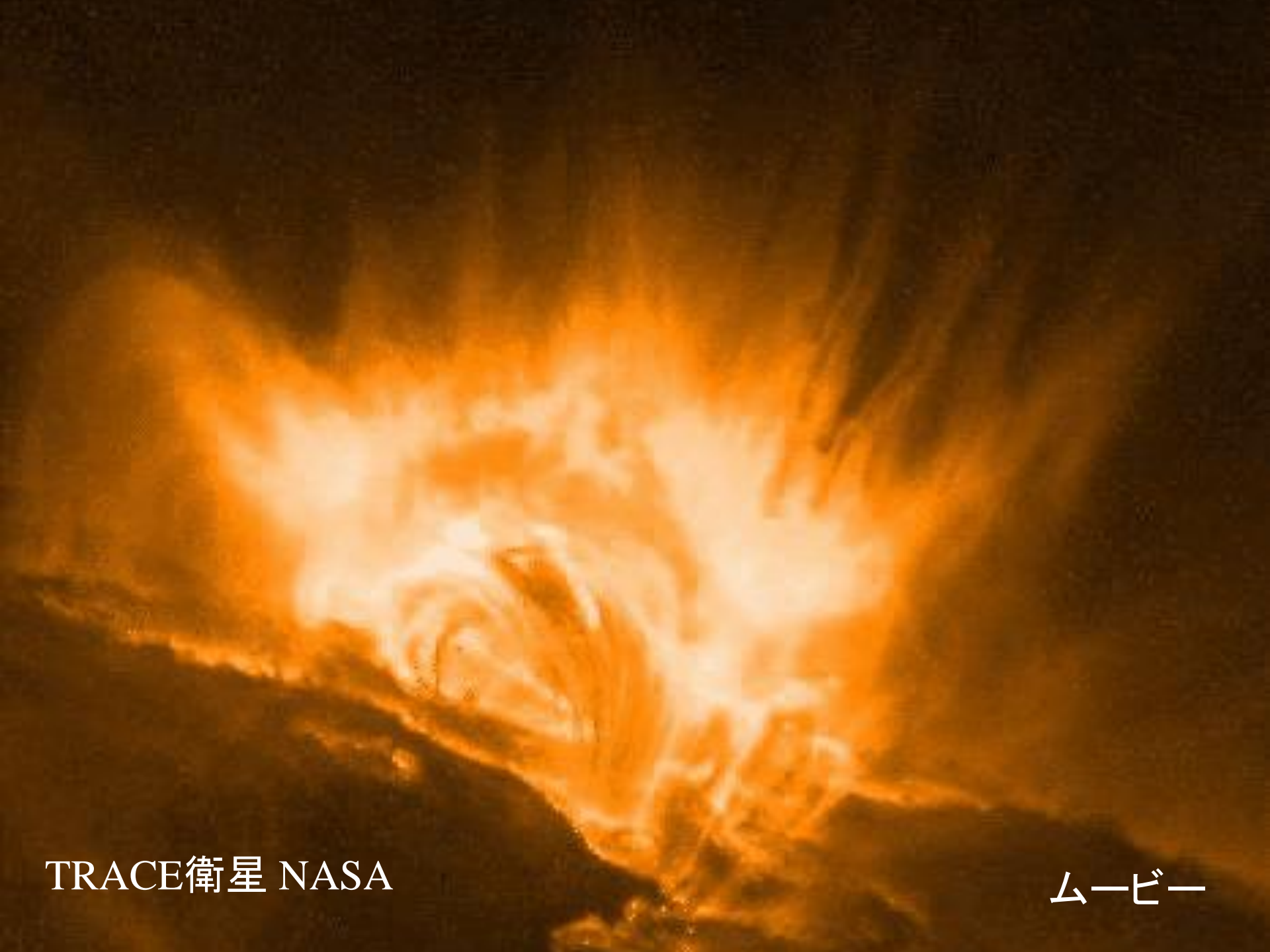
ようこう衛星
JAXA提供



TRACE衛星 NASA提供
SOHO衛星 NASA/ESA提供

ムービー1

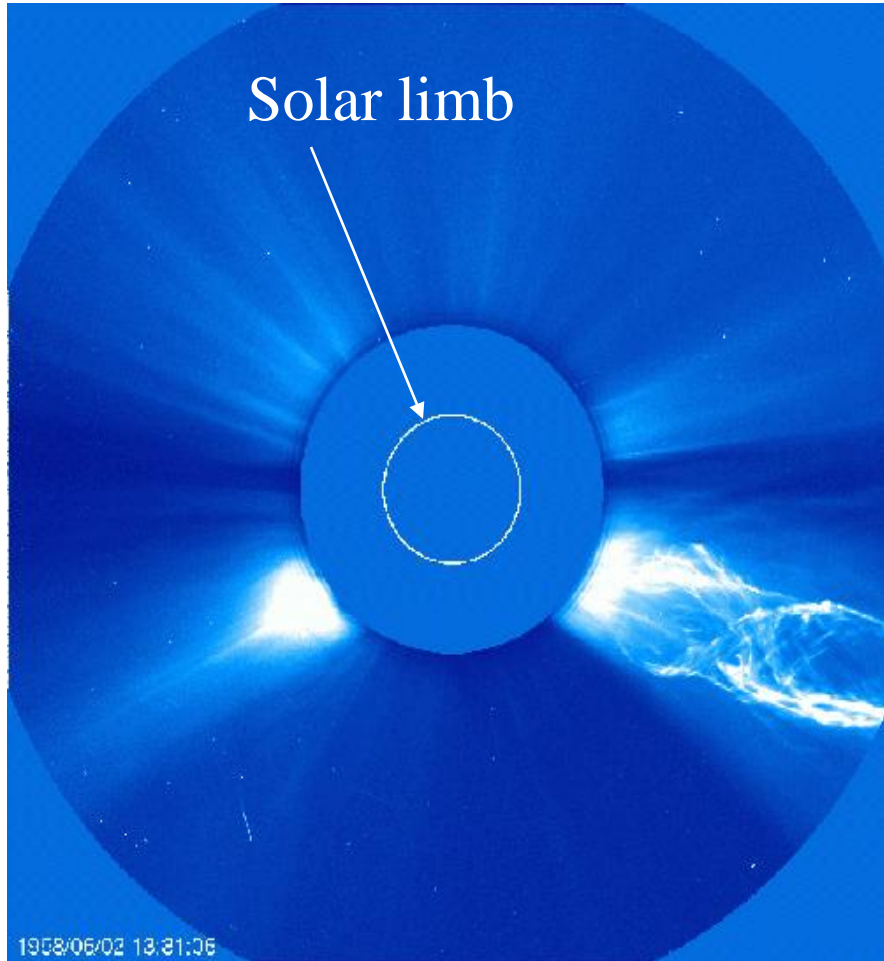
ムービー2



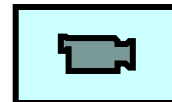
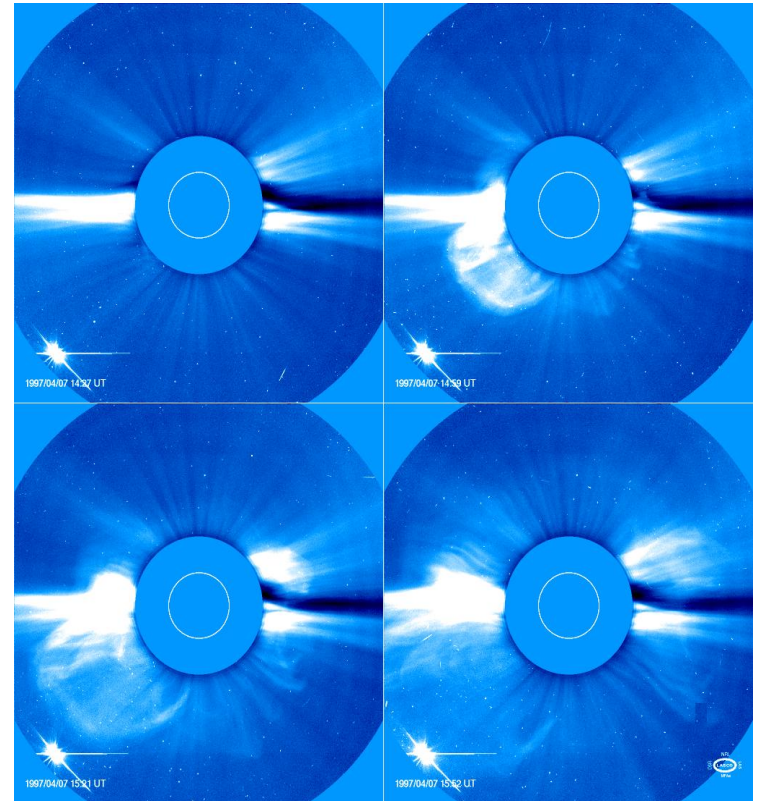
TRACE衛星 NASA

ムービー

コロナ質量放出現象 (CME)



SOHO/LASCO
NASA・ESA提供



1000 km/sec

30億トン

太陽フレア

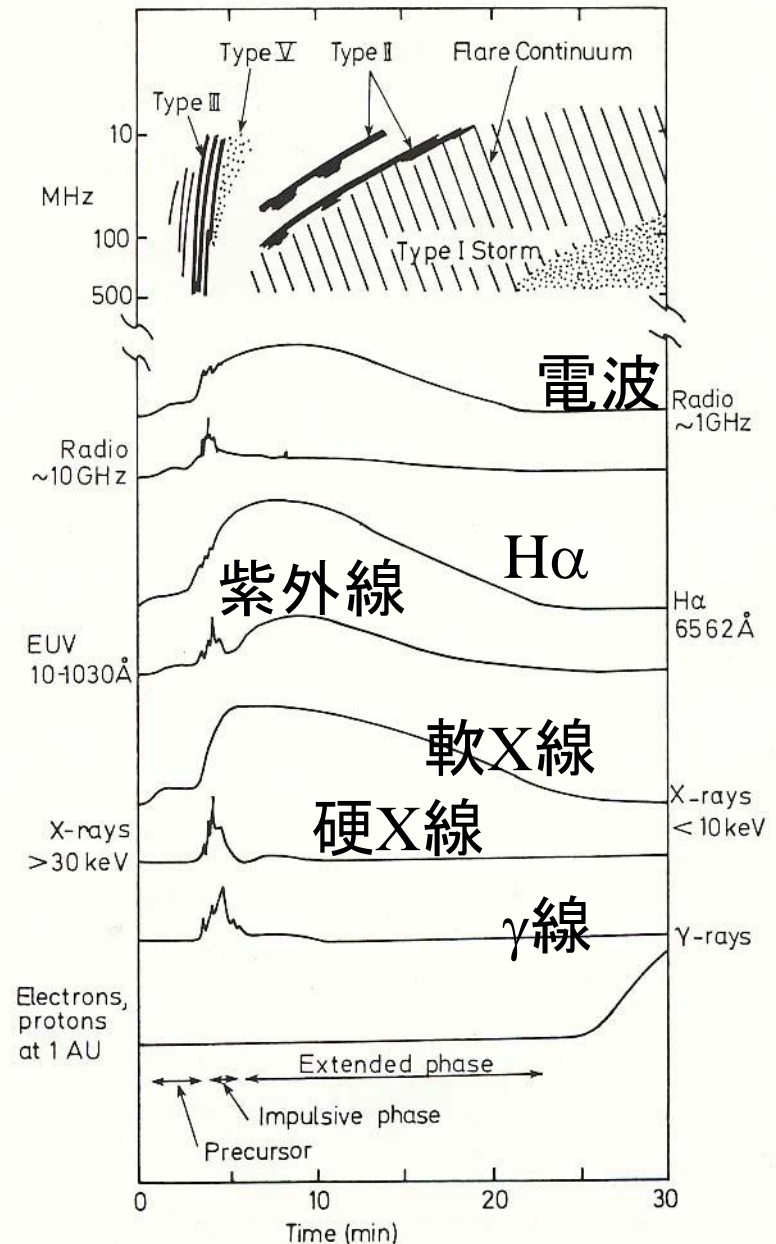
太陽大気でおこる爆発現象
あらゆる波長(電波から γ 線まで)の電磁波
が、数分から数時間にわたって増光

エネルギー 10^{29} – 10^{32} erg
マグニチュード8の地震のエネルギーの10万倍
から1億倍
(現在の)太陽系で最大規模の爆発現象
10年間で3000個程度

超高温プラズマ 数千万度から数億度(もとの
コロナの数十から数百倍)

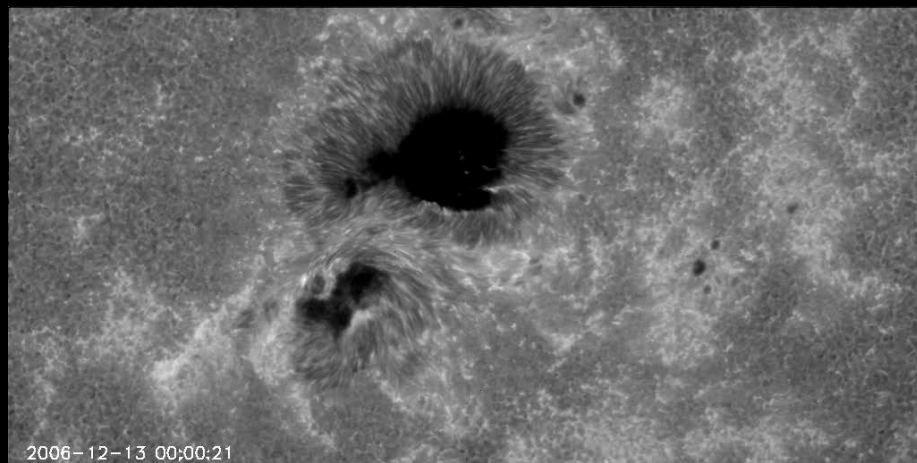
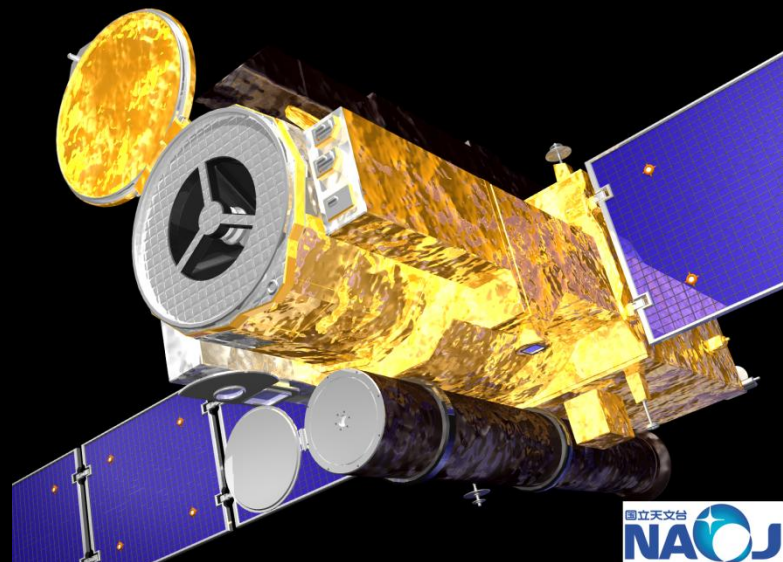
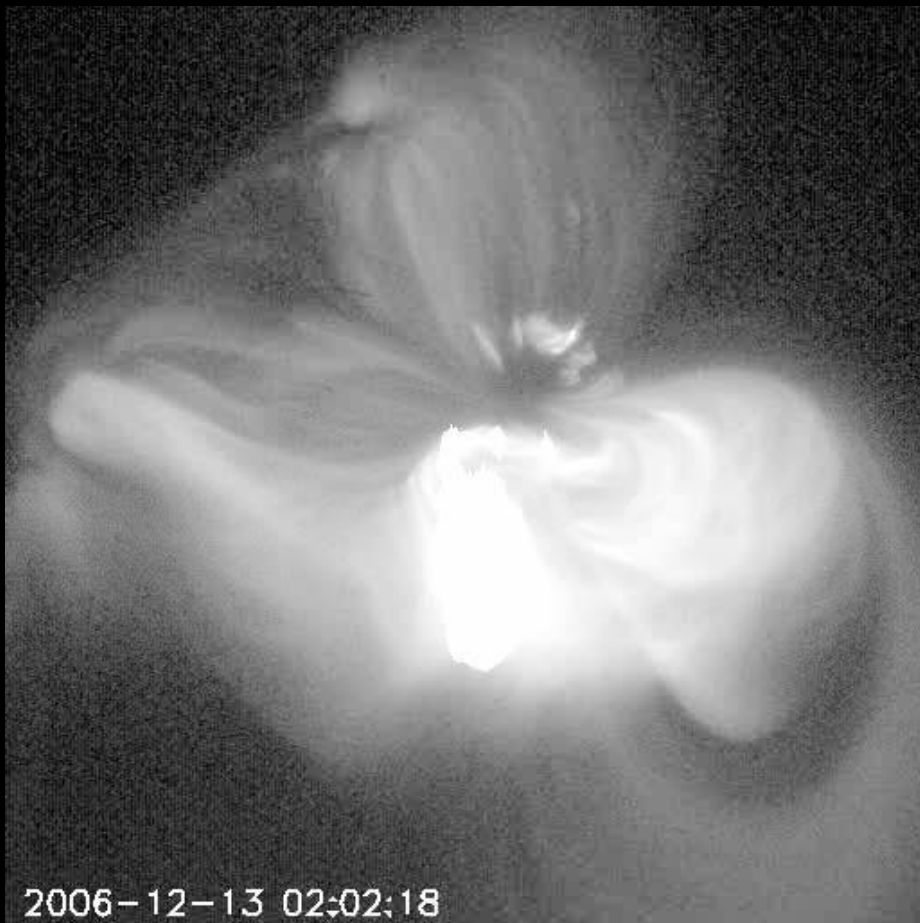
高エネルギー粒子(Maxwell分布からはずれた
粒子) 数十keVから数MeV

ときにCMEやフィラメント放出などの大規模な
プラズマ放出現象をともなう



(Kane, 1974, IAU, p105)

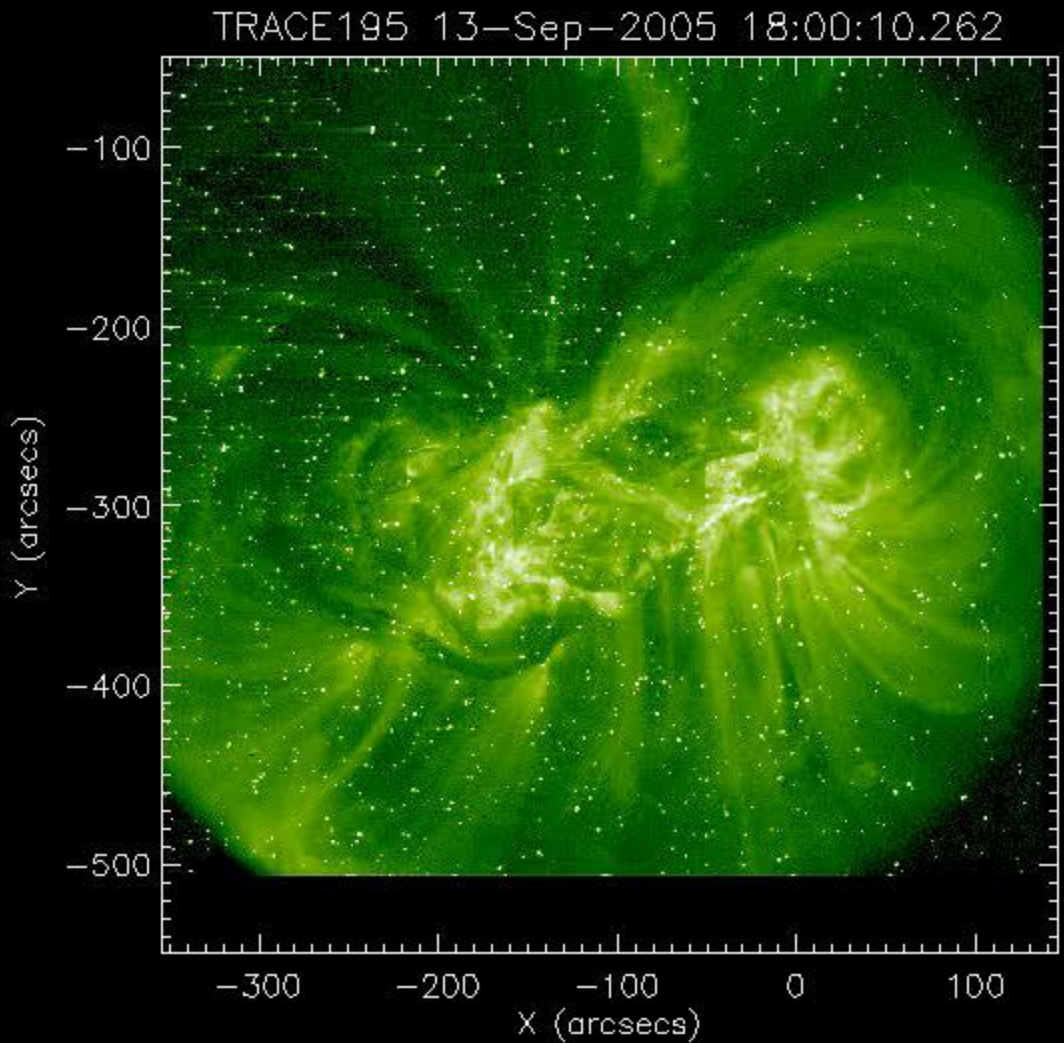
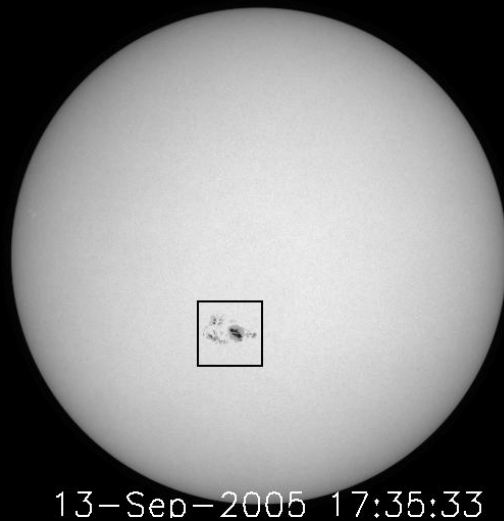
「ひので」が観測したフレア



(国立天文台・JAXA提供)

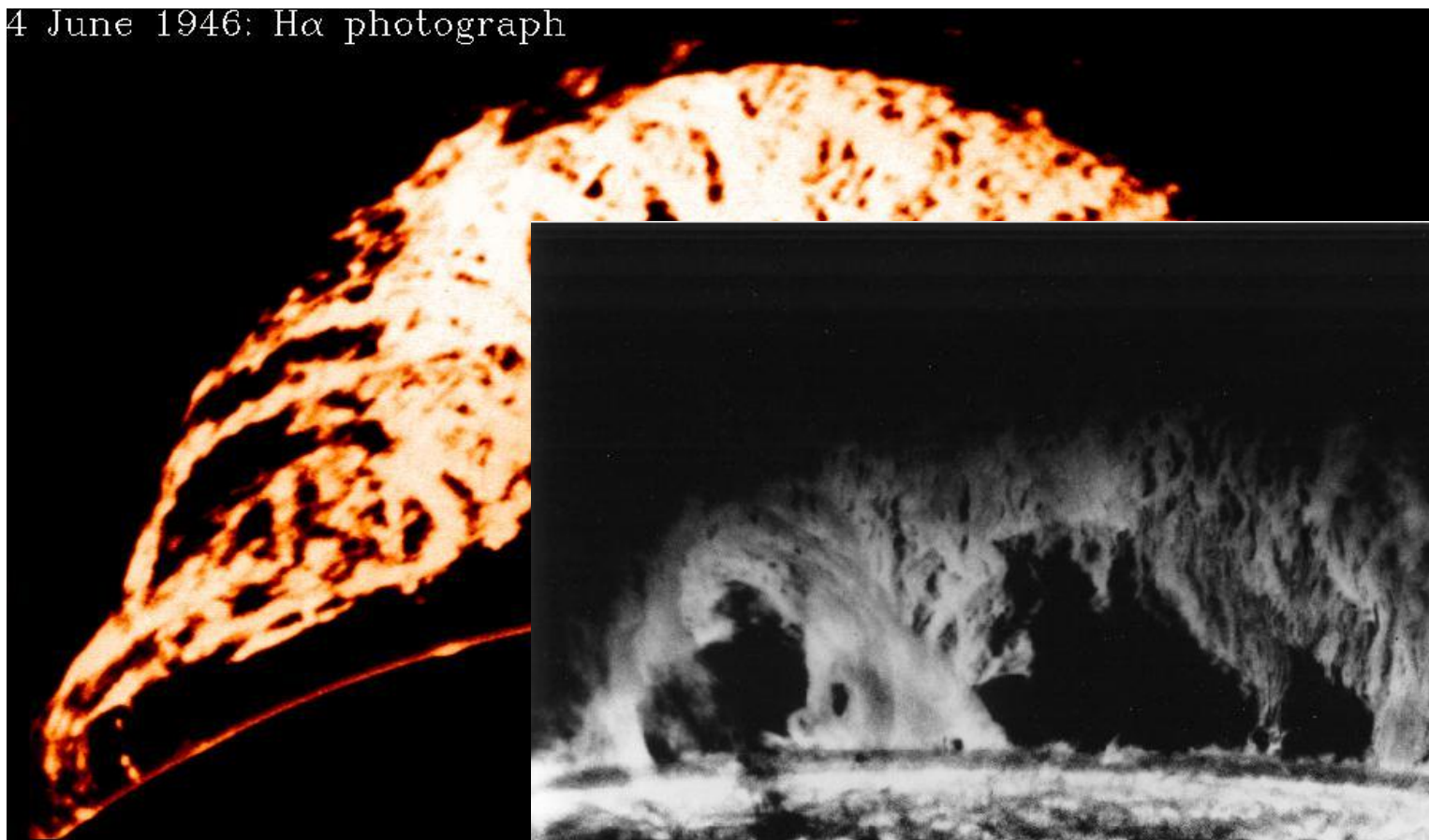
フィラメント放出+フレア 2005年9月13日

Nagashima et al. (2007 ApJ)



プロミネンス放出

4 June 1946: H α photograph

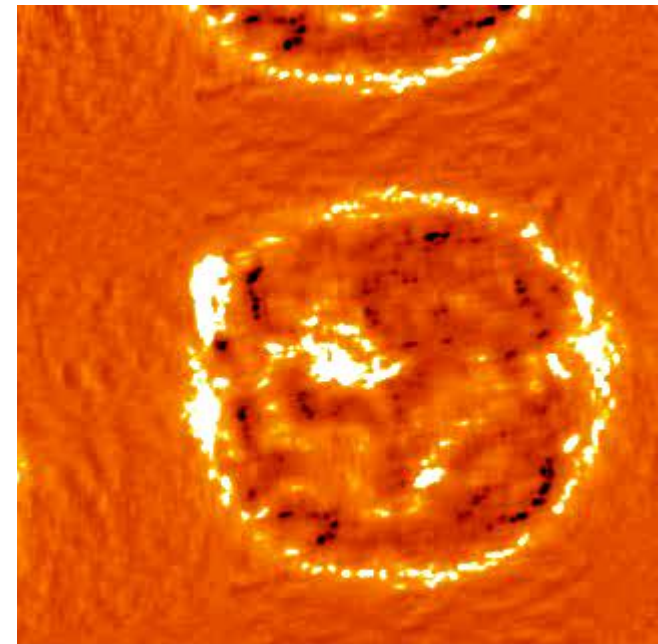
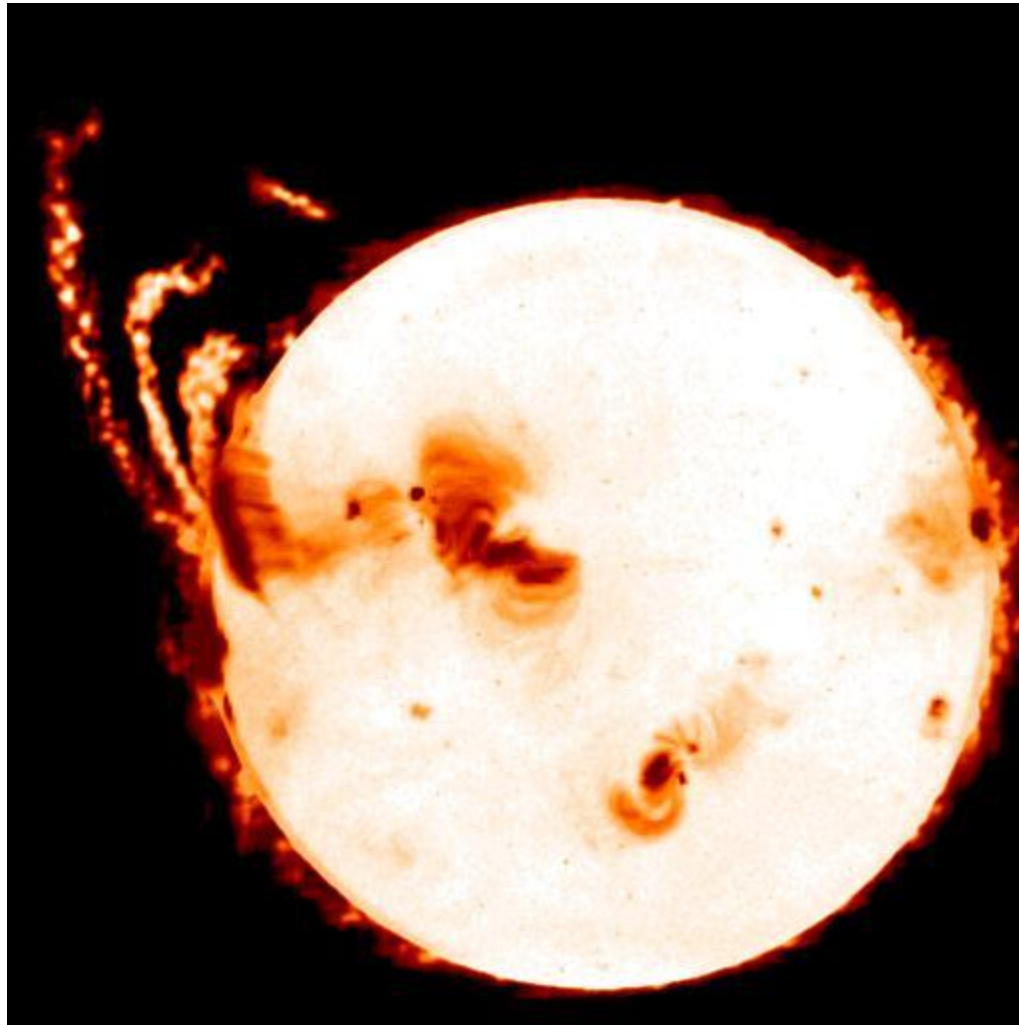


Source: High Altitude Observator



プロミネンス放出1992-7-31

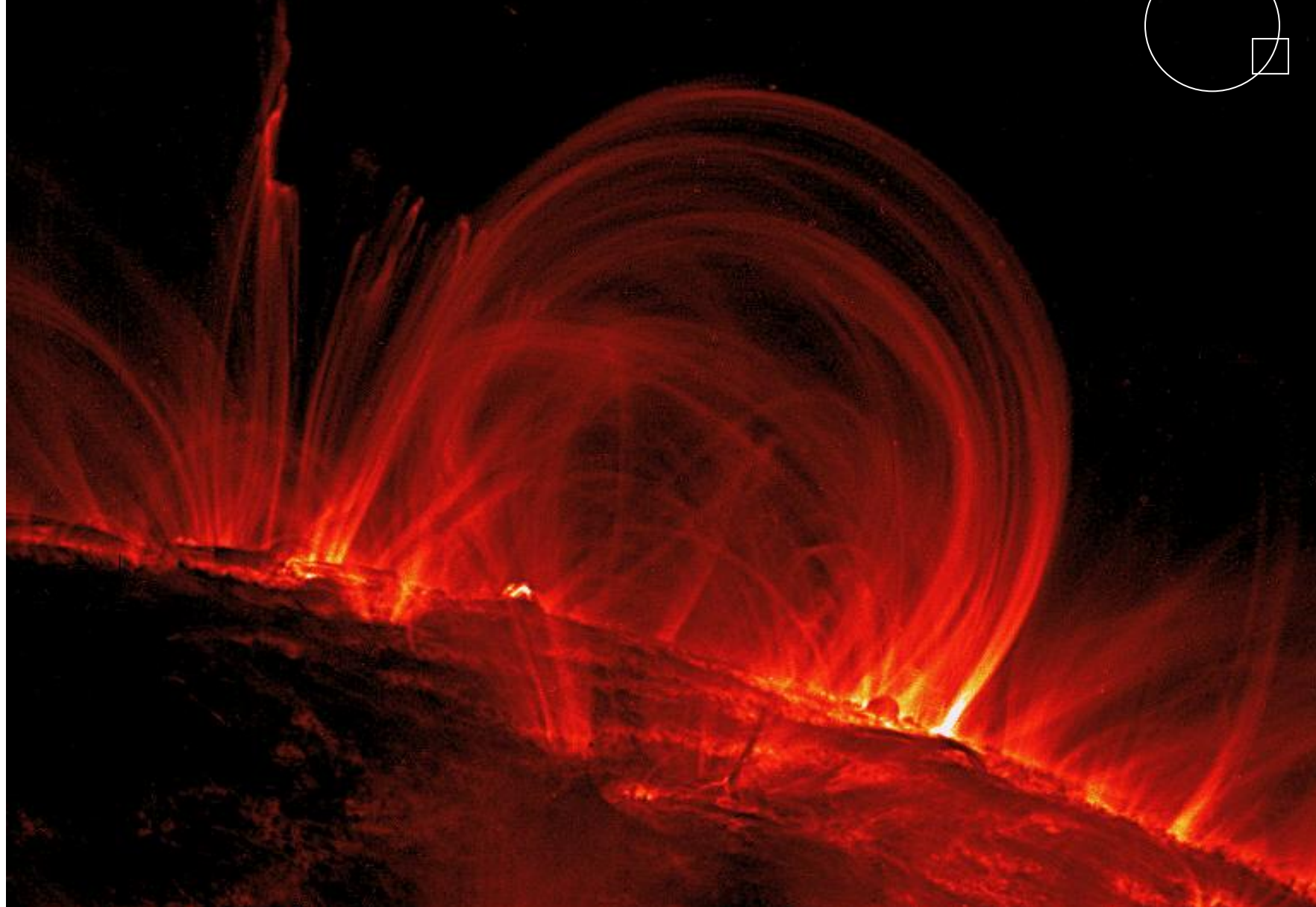
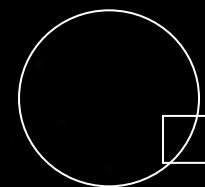
Hanaoka et al. (1994)



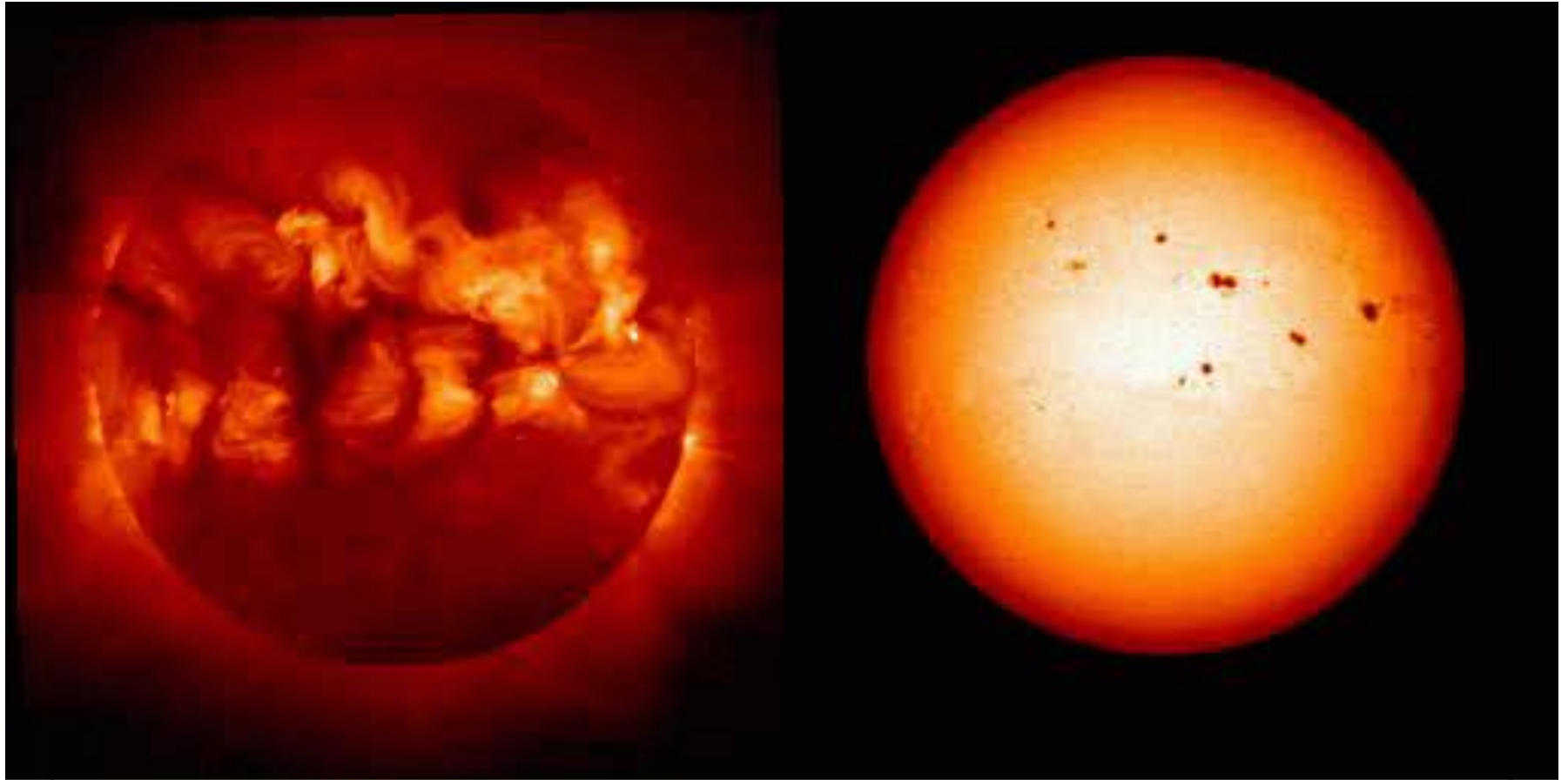
1992 July 31 00:15UT
Y. Hanaoka

太陽活動現象のエネルギー源は？

太陽の磁場



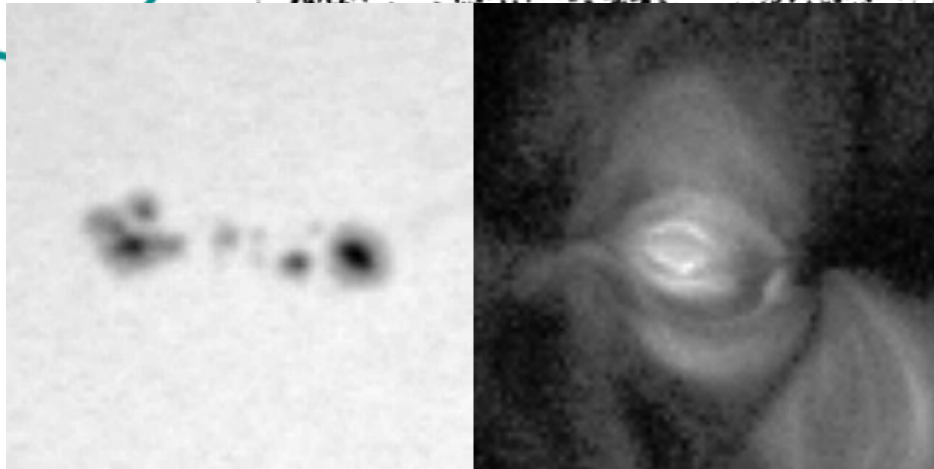
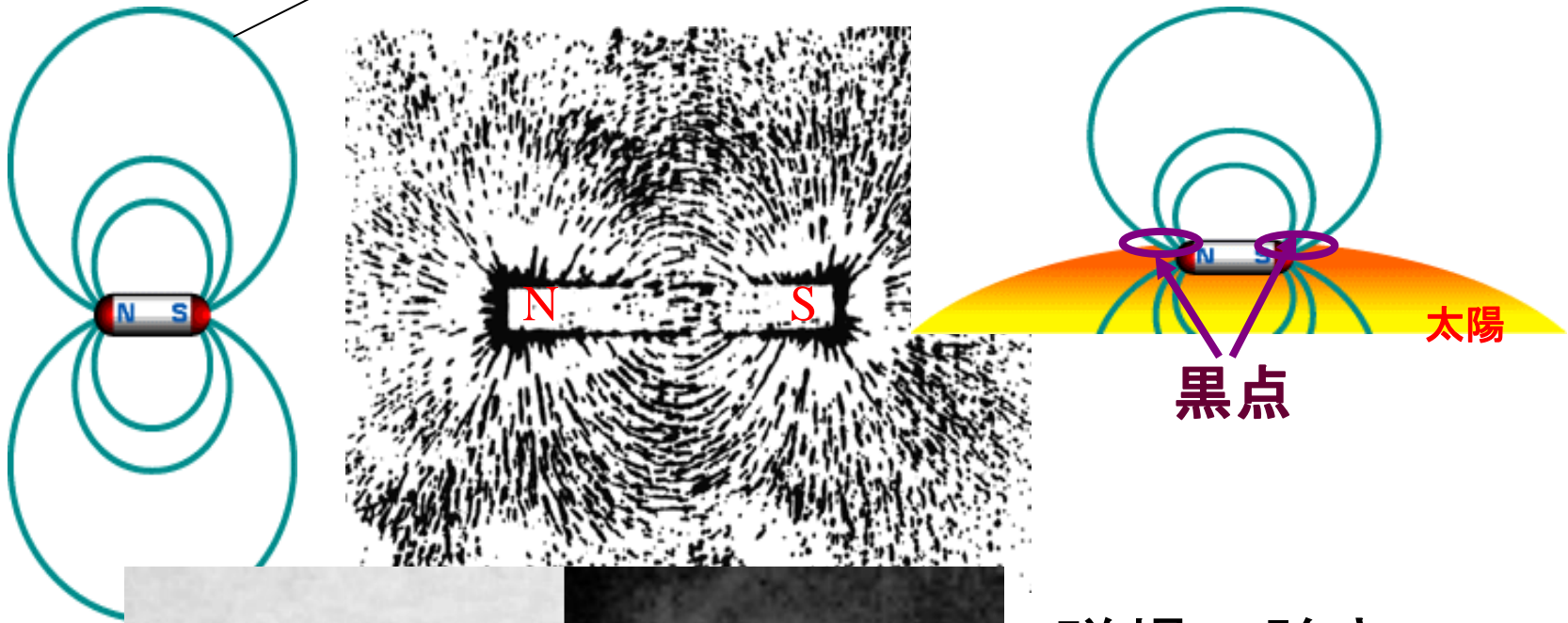
可視光とX線とでみた太陽像の比較



太陽の磁場

(YPOPより)

磁力線



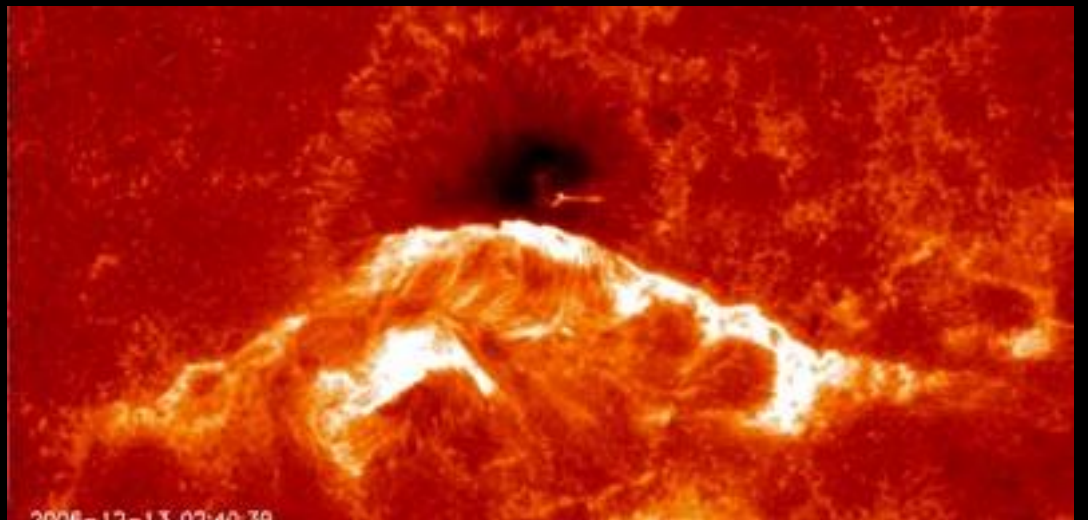
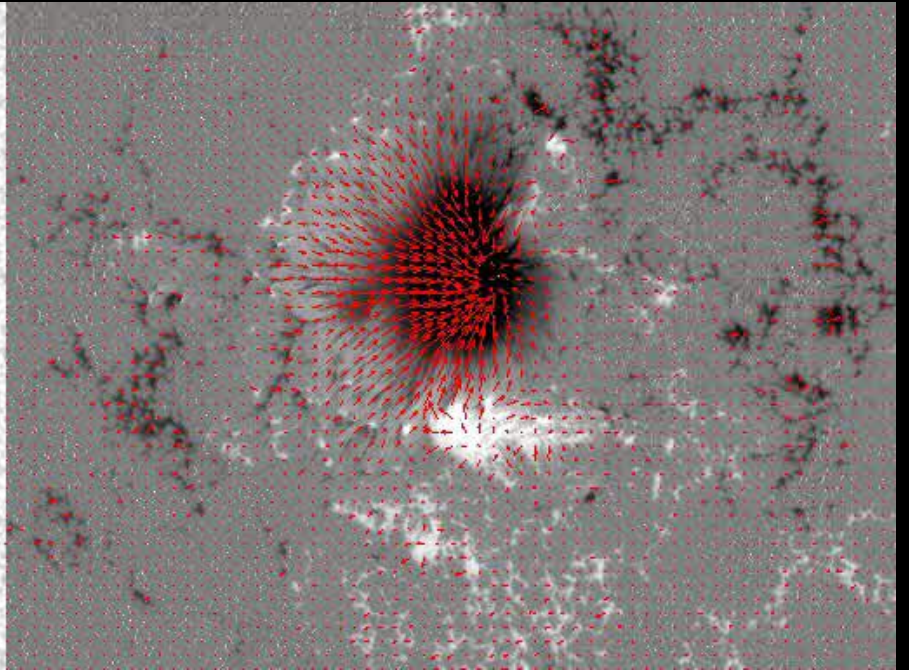
磁場の強さ
黒点で数キロガウス

磁力線の性質

ゴムひものように張力をもつ

- ねじったり押しつぶしたりするとエネルギーを蓄積する
- はじけたりして緩むとエネルギーを解放する

2006-12-08 10:51:05



2006-12-13 03:40:39

太陽の重要問題

爆発現象

フレアやコロナ質量放出現象

コロナ加熱・太陽風

なぜ最外層大気が熱いのか？

ダイナモ

磁場の起源

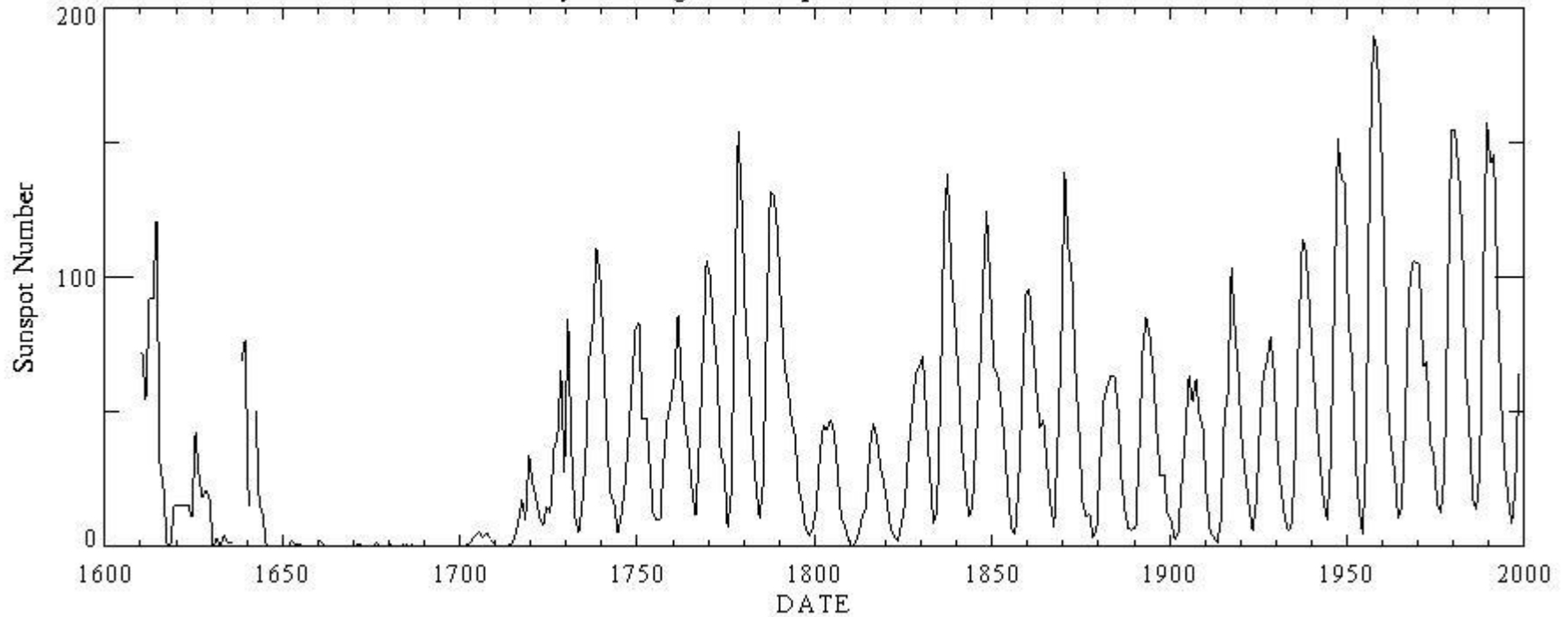
これ以外にもおもしろい課題はたくさん

太陽活動の11年周期変動

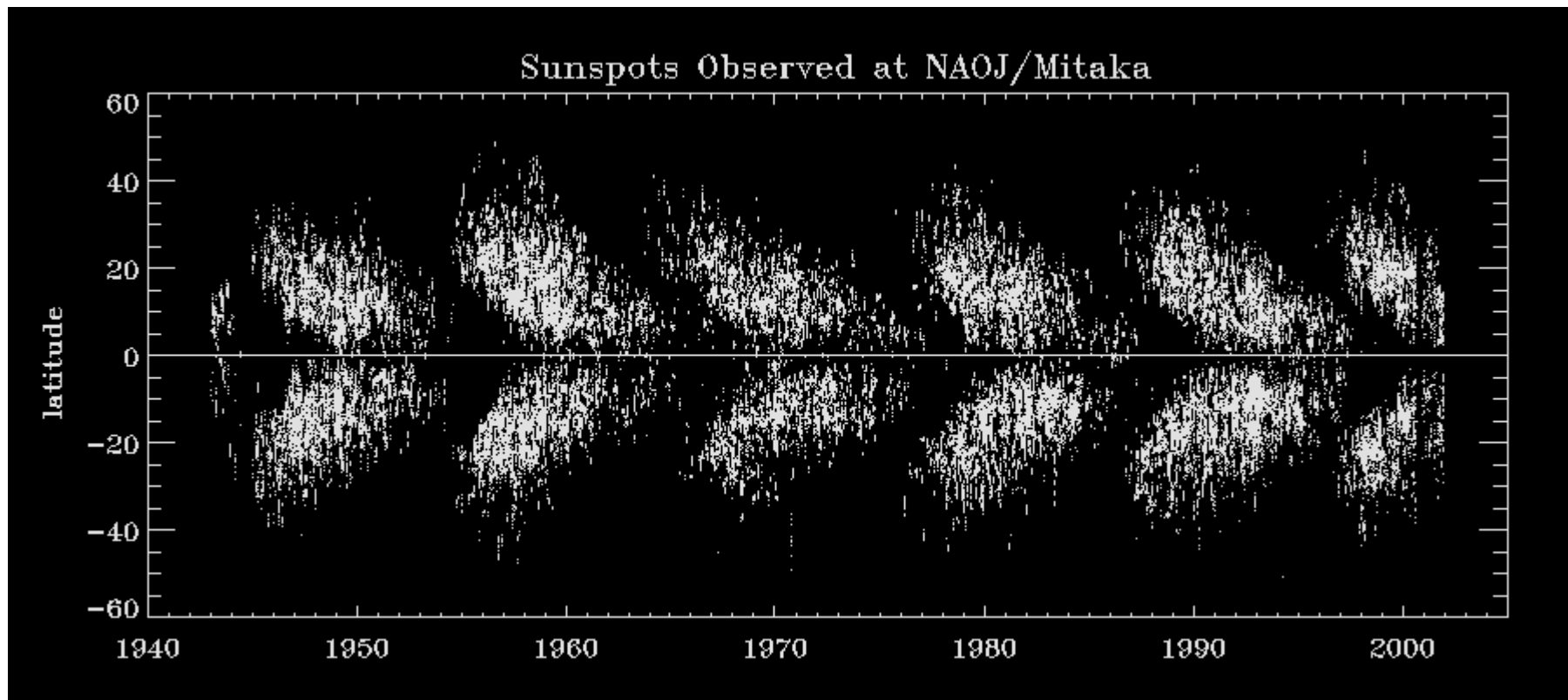
黑点数

(NASA提供)

Yearly Averaged Sunspot Numbers 1610-1998

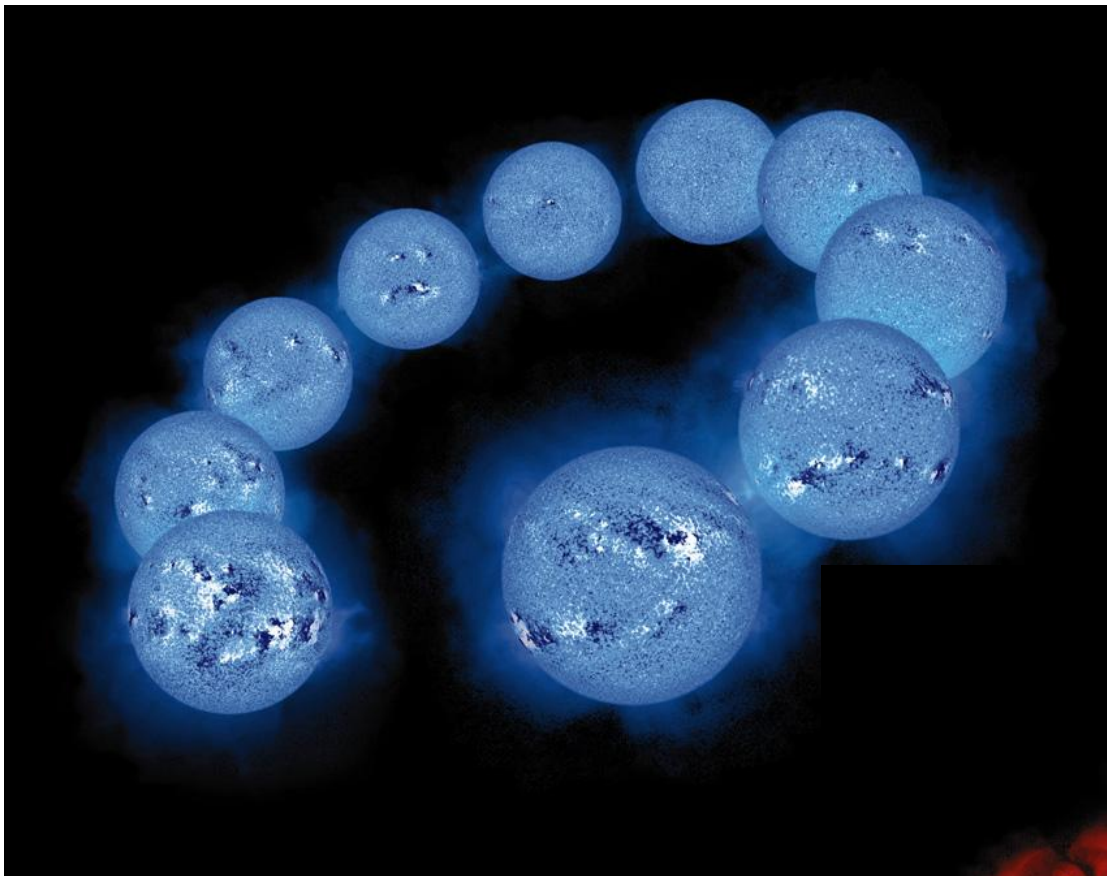


蝶形图

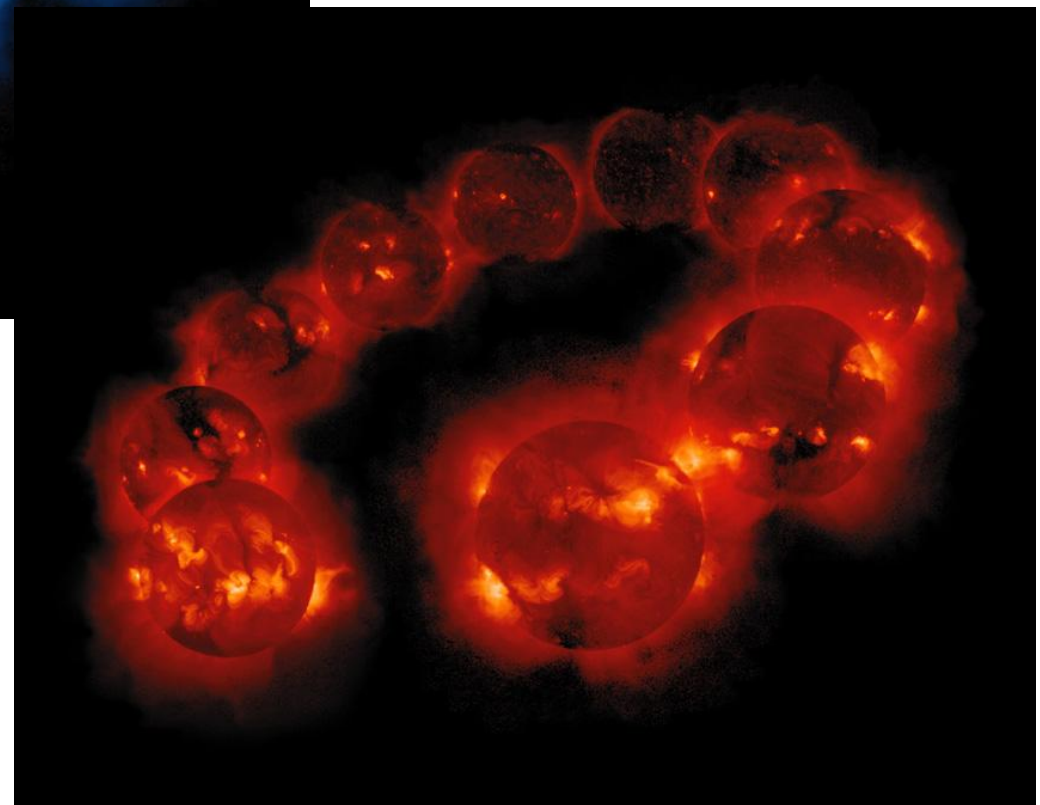


(NINS国立天文台提供)

太陽光球磁場の
約10年間の変動
(米国NSO提供)

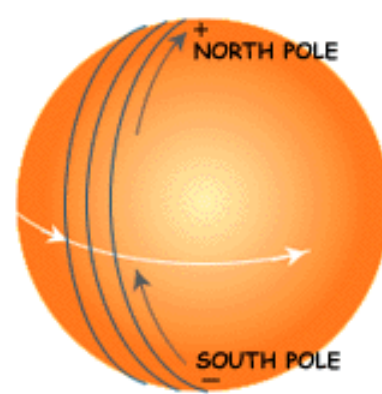
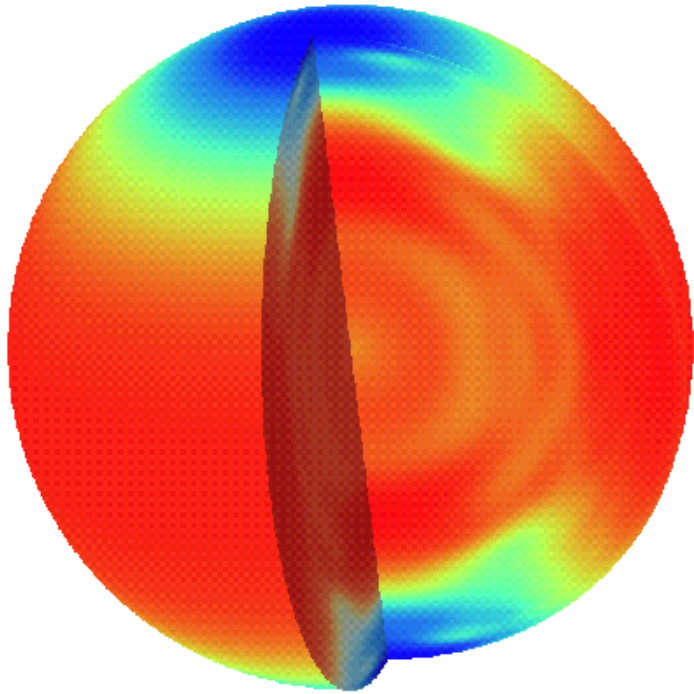


太陽X線放射の
約10年間の変動
(ようこう: JAXA宇宙研提供)

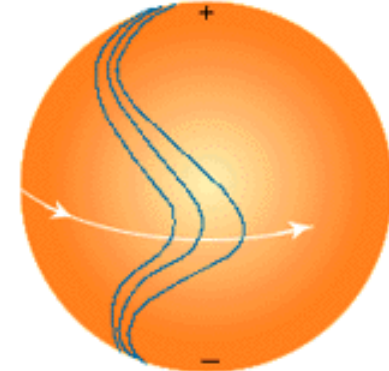


磁場はどのようにして生成されるのか？

回転速度分布



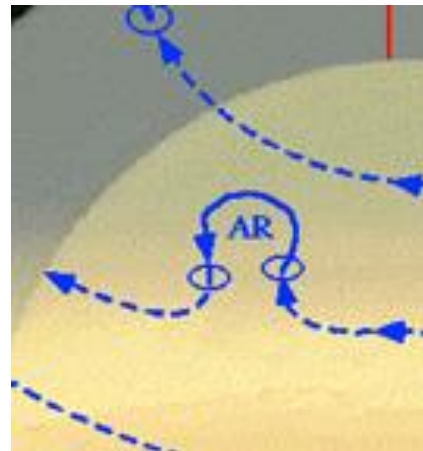
(TRACE ウェブ)



回転によりひきのぼされる



上空に浮上



太陽の重要問題

爆発現象

フレアやコロナ質量放出現象

コロナ加熱・太陽風

なぜ最外層大気が熱いのか？

ダイナモ

磁場の起源

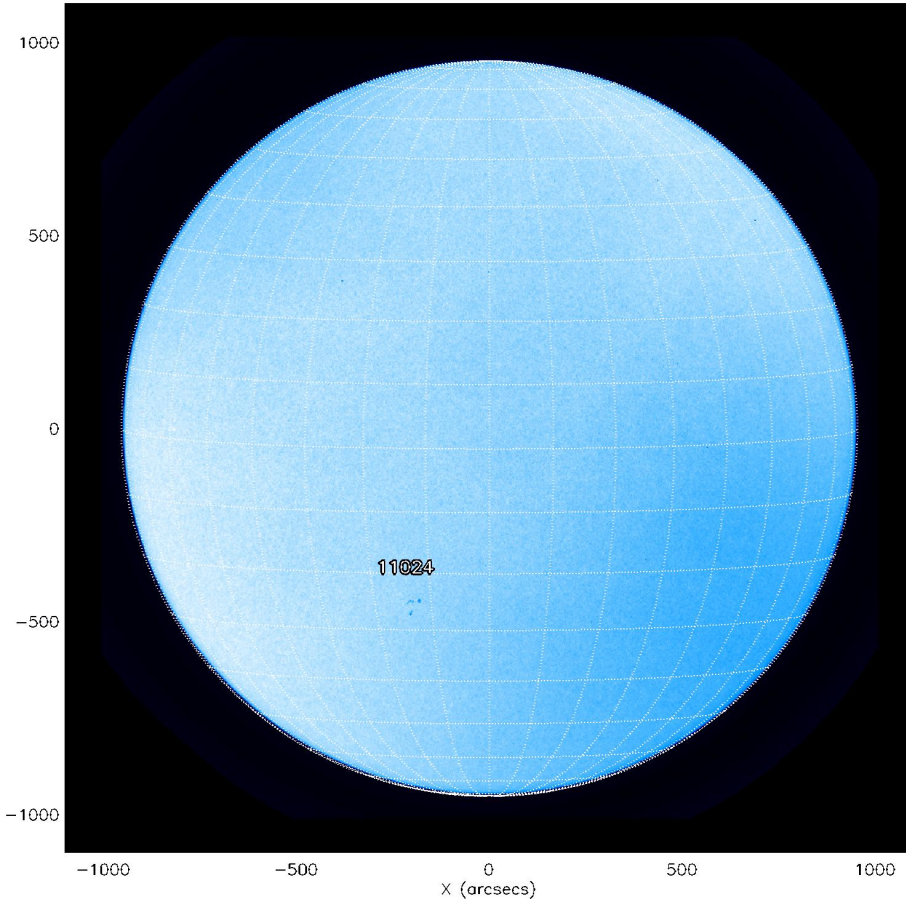
これ以外にもおもしろい課題はたくさん

太陽コロナはなぜ熱いか？

コロナ加熱問題

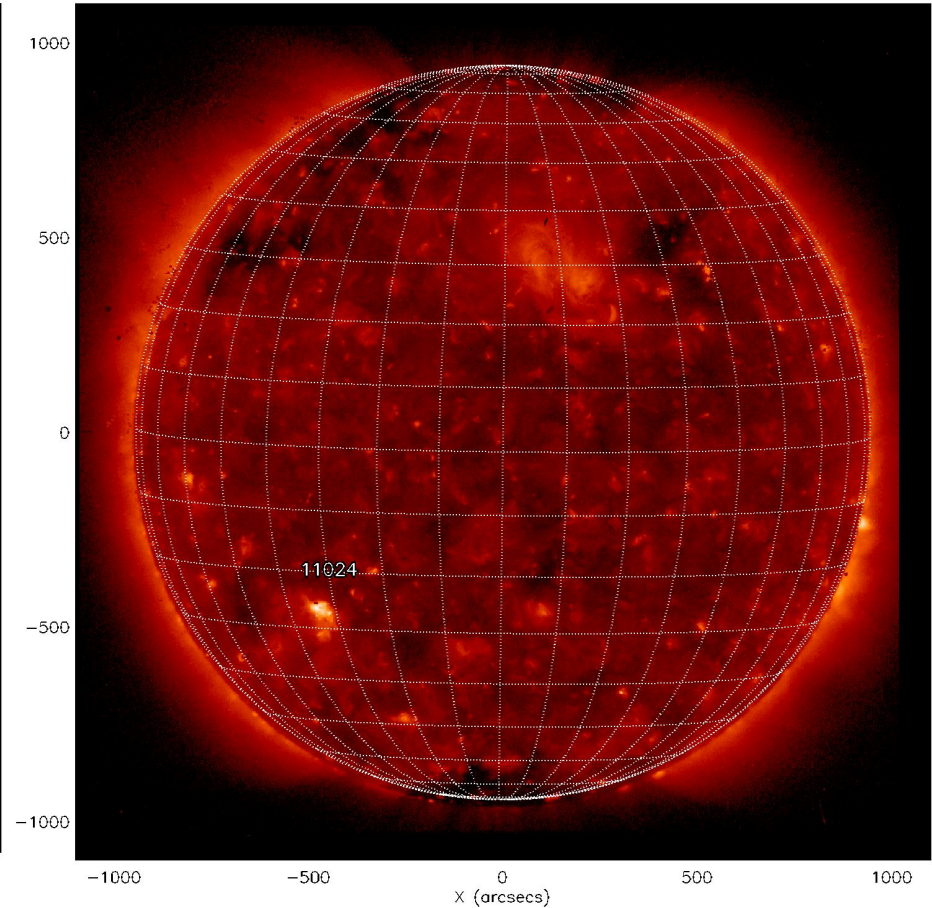
星の中心に熱源(核融合)。なぜ外の方が熱い？

MDI Continuum 4-Jul-2009 00:00:00



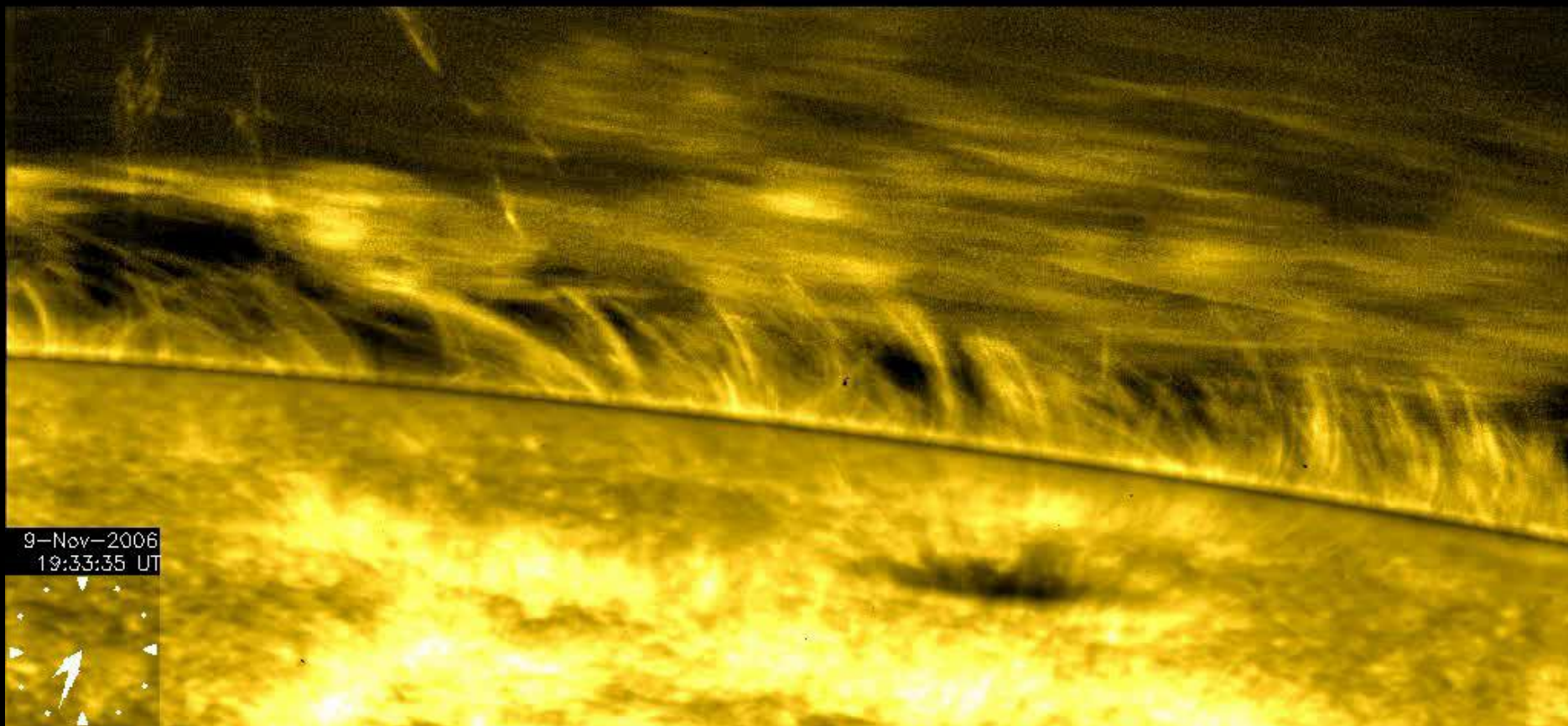
光球: 約5000度

Hinode XRT 2-Jul-2009 18:03:34.765



コロナ: 約100万度

太陽大気中で揺れる磁力線(アルヴェーン波)



(Okamoto et al. 2007; NAOJ/JAXA提供)

太陽の重要問題

爆発現象 → 講義2,4,5

フレアやコロナ質量放出現象

コロナ加熱・太陽風 → 講義3

なぜ最外層大気が熱いのか？

ダイナモ → 講義9

磁場の起源

これ以外にもおもしろい課題はたくさん

太陽研究の手法

研究手法

観測

地上望遠鏡

飛騨天文台ドームレス望遠鏡

野辺山電波ヘリオグラフ

宇宙望遠鏡

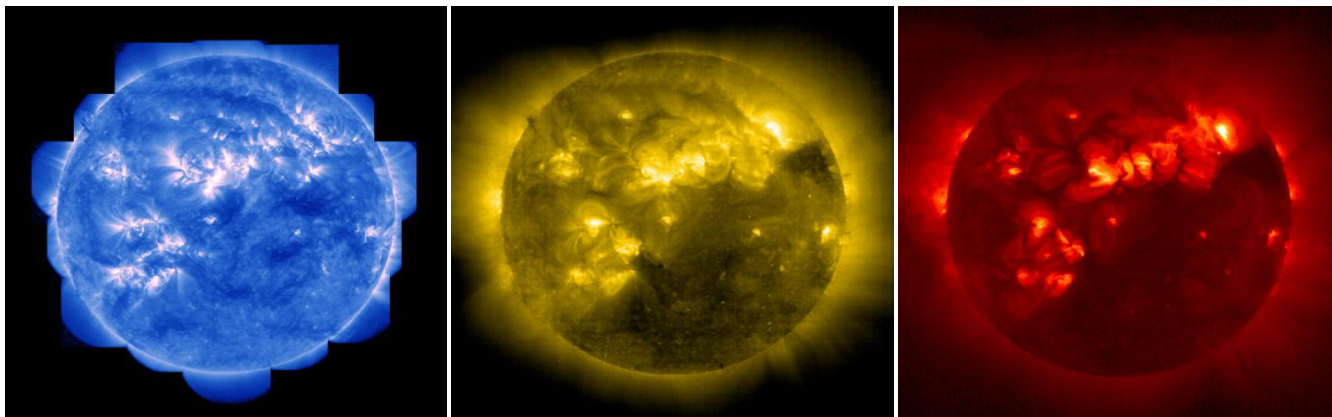
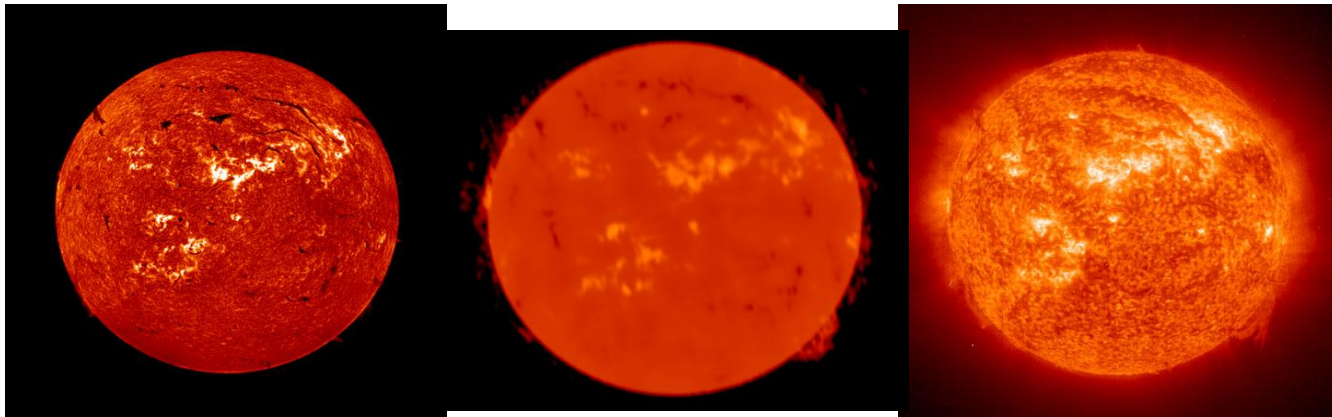
ひので衛星

理論・シミュレーション

機器開発

太陽を研究する手段 観測

- 可視光・赤外線 飛騨天文台(講義6@飛騨)
- 紫外線・軟X線 「ひので」衛星(講義8@三鷹)
- 電波 野辺山(講義7@野辺山)
- 硬X線・ガンマ線・宇宙線(中性子) 講義2@名古屋
- Solar-C 講義10@三鷹



「ひので」衛星搭載 3観測機器

Solar Optical Telescope (SOT)

ベクトル磁場の高精度高分解能観測

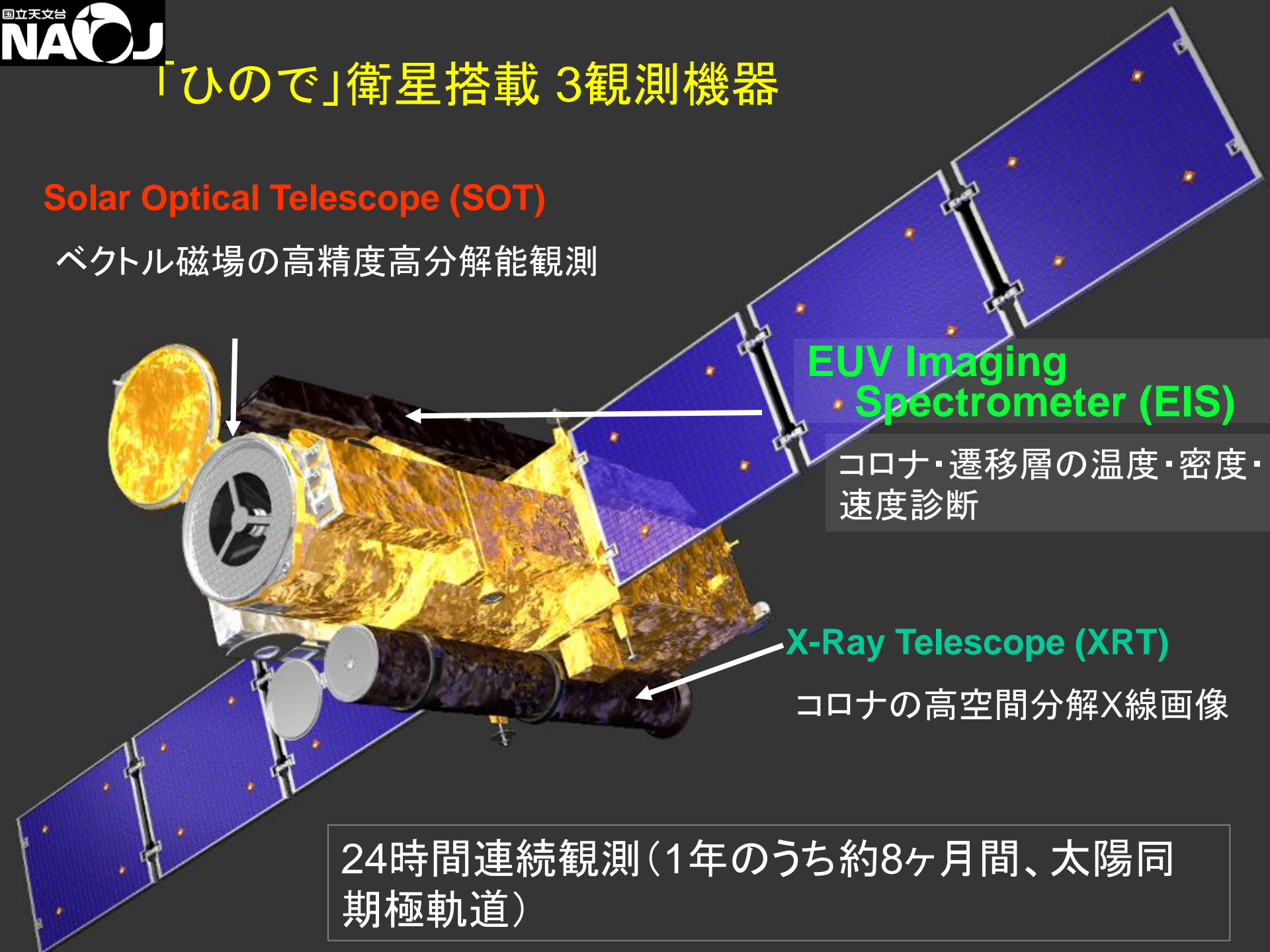
EUV Imaging Spectrometer (EIS)

コロナ・遷移層の温度・密度・速度診断

X-Ray Telescope (XRT)

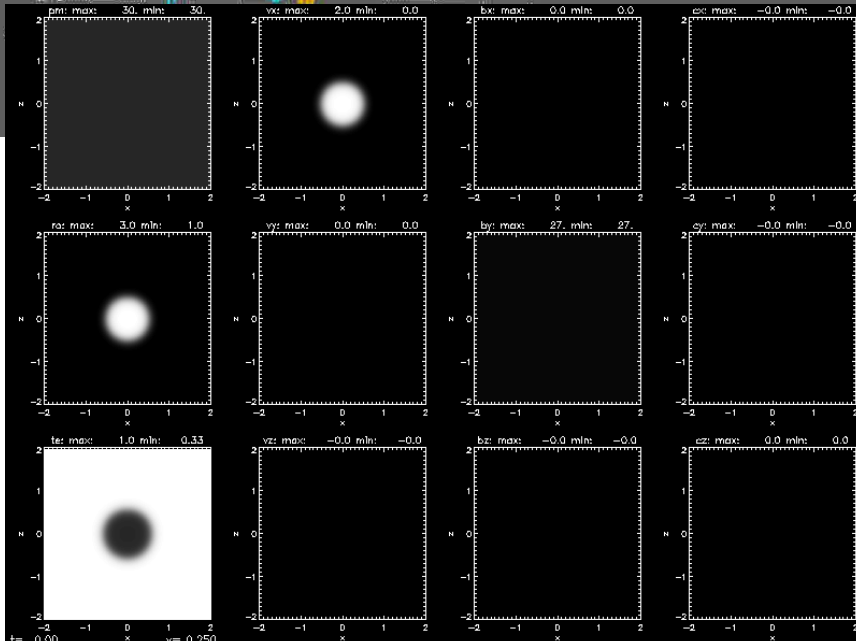
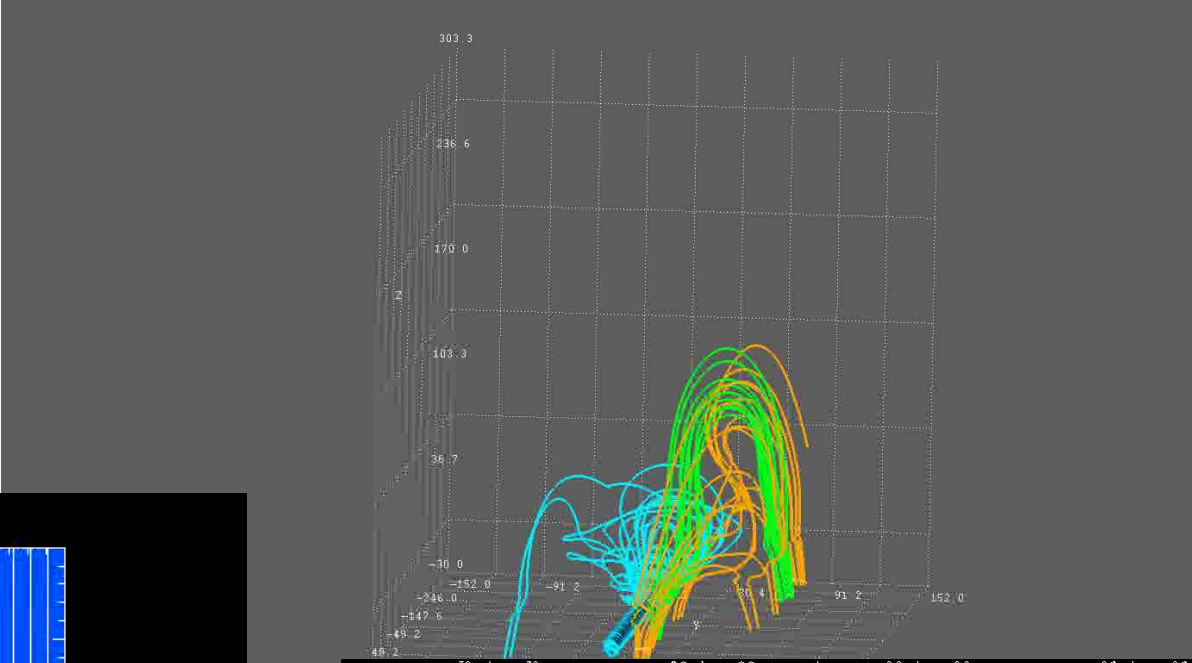
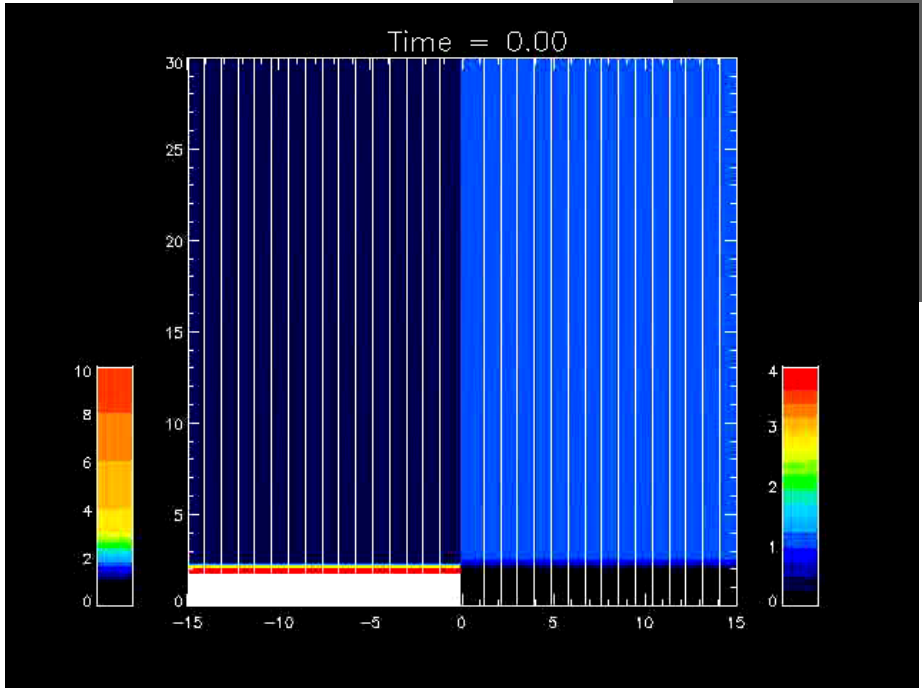
コロナの高空間分解X線画像

24時間連続観測(1年のうち約8ヶ月間、太陽同期極軌道)

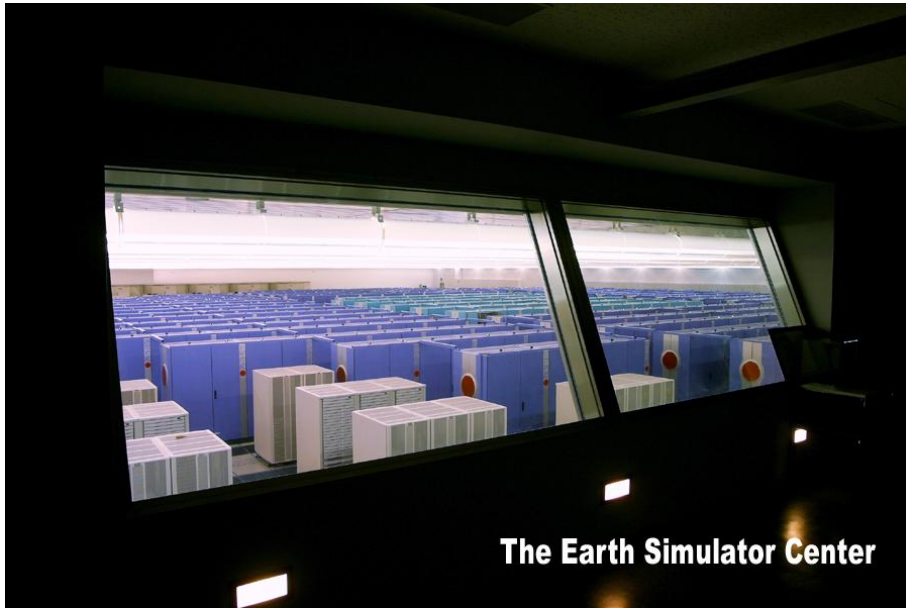


太陽を研究する手段 理論・シミュレーション

- (講義1、4@名古屋)
- 磁気流体力学
- プラズマ粒子運動論
- 放射輸送



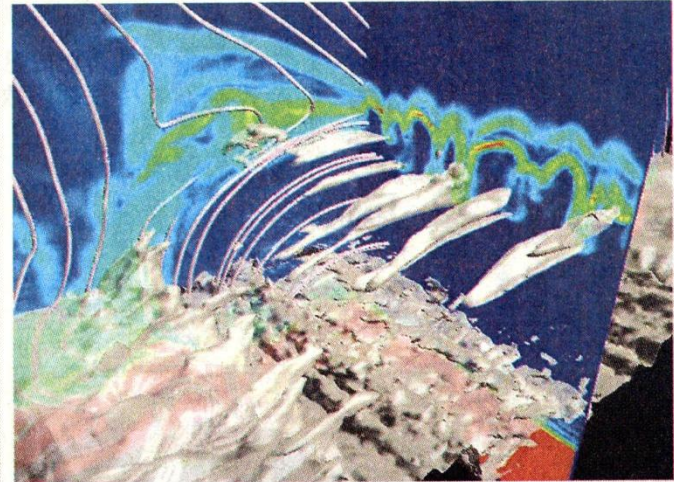
地球シミュレータを使った大規模3次元磁気流体シミュレーション



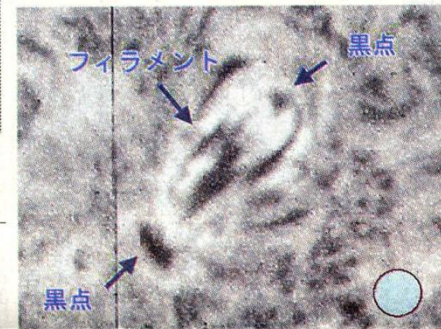
The Earth Simulator Center

京 都 府 京 都 2005年(平成17年)

シミュレーション結果。太陽表面から灰色雲状のフィラメントが浮上している。灰色の棒線は磁力線。電流分布の断面図(後の面)で見ると、フィラメント両側に電流(黄色から赤色)が発生している



京大グループ 活動の仕組み解明へ



地上から観測される太陽フレア。二つの黒点をつなぐ筋状の黒いフィラメントが

太陽表面でコロナが加熱されたり、フレア(太陽面爆発)のエネルギーが生まれたりする様子が、日本のスーパーコンピュータ「地球シミュレーター」で再現された。太陽表面でコロナが加熱されたり、フレア(太陽面爆発)のエネルギーが生まれたりする様子が、日本のスーパーコンピュータ「地球シミュレーター」で再現された。

太陽表面スパコンで再現

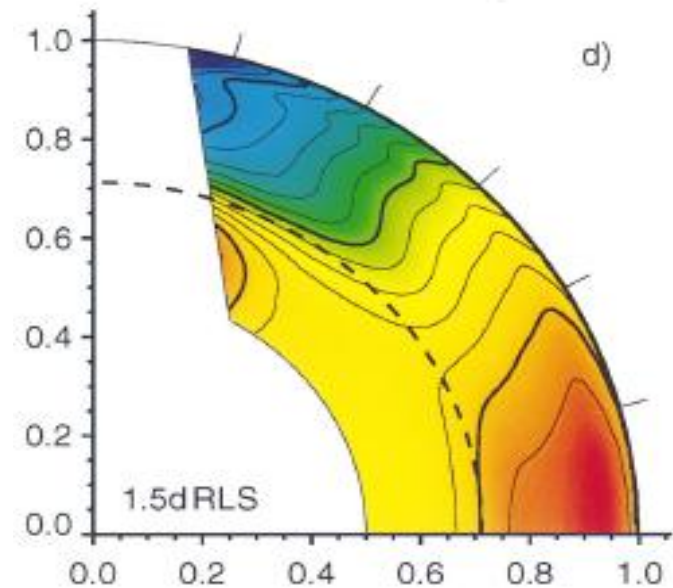
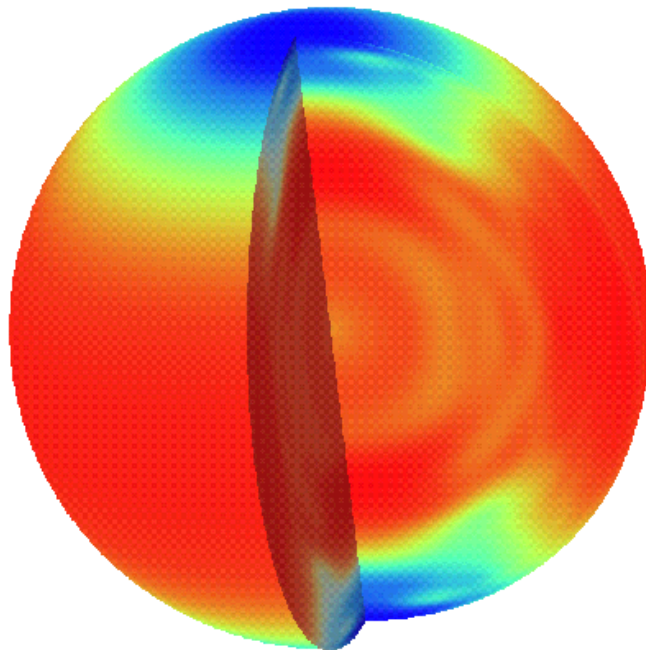
発表する。

太陽の表面温度は度程度だが、大気圏は百万度以上にまで昇る。黒点の温度はこれよりさらに高く、フレアが繰り返される。これらのエネルギーは太陽磁場の変化で蓄積され、フレアとして爆発的に放出される。詳しいメカニズムは不明である。

3月24日京都新聞

太陽を研究する手段 日震学

- おもに可視光観測データを用いるが、理論的手法を併用して、太陽内部の情報を得る
- 講義9@三鷹



東京大学 理学系研究科
地球惑星科学専攻
横山研の紹介



最近のテーマ

太陽表面磁場変動のひので衛星観測

太陽コロナを伝える磁気流体波動の観測

太陽活動周期ダイナモのシミュレーション

太陽磁場浮上現象のシミュレーション

乱流磁気リコネクションのシミュレーション

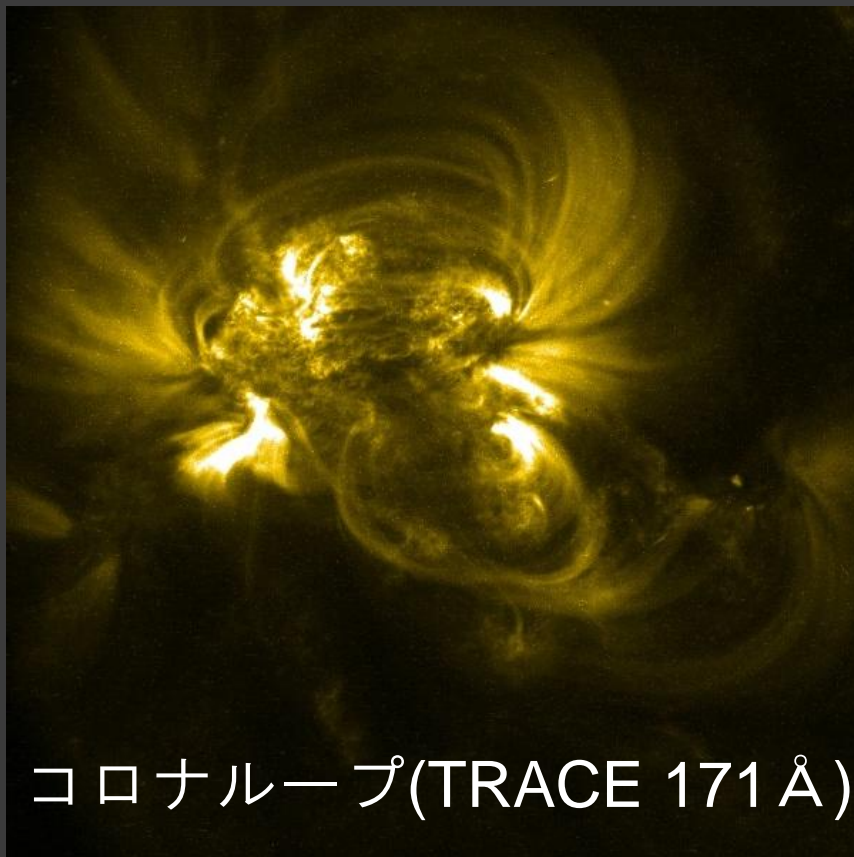
太陽爆発現象のシミュレーション

相対論的磁気リコネクション

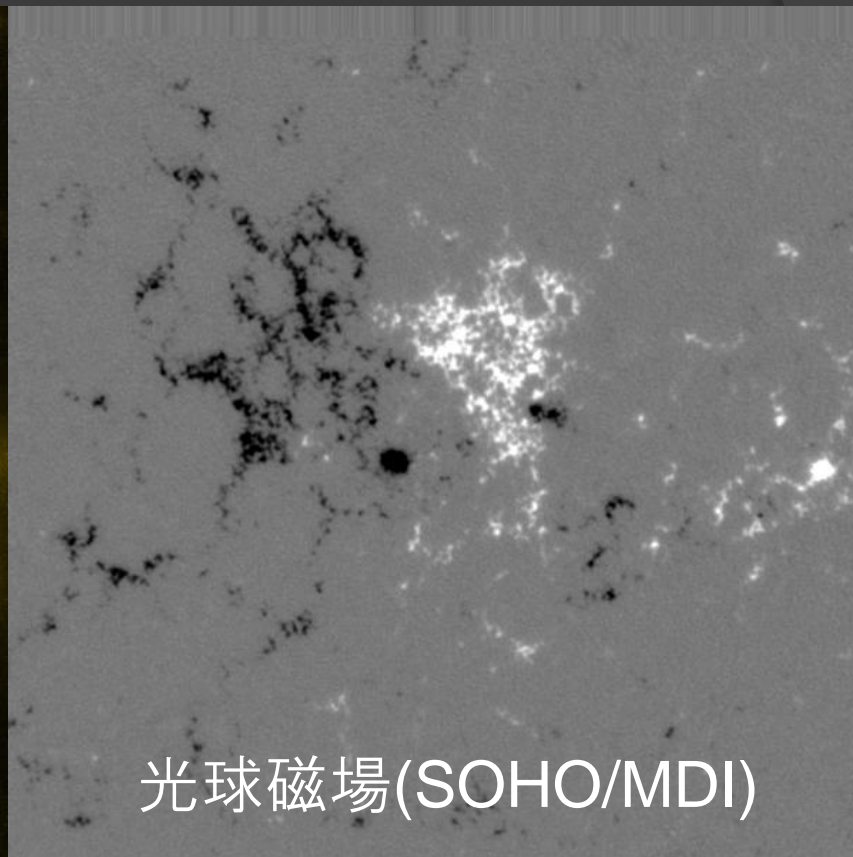
太陽フレア粒子加速の観測

活動領域と浮上磁場

上空の磁気ループと表面の磁場分布



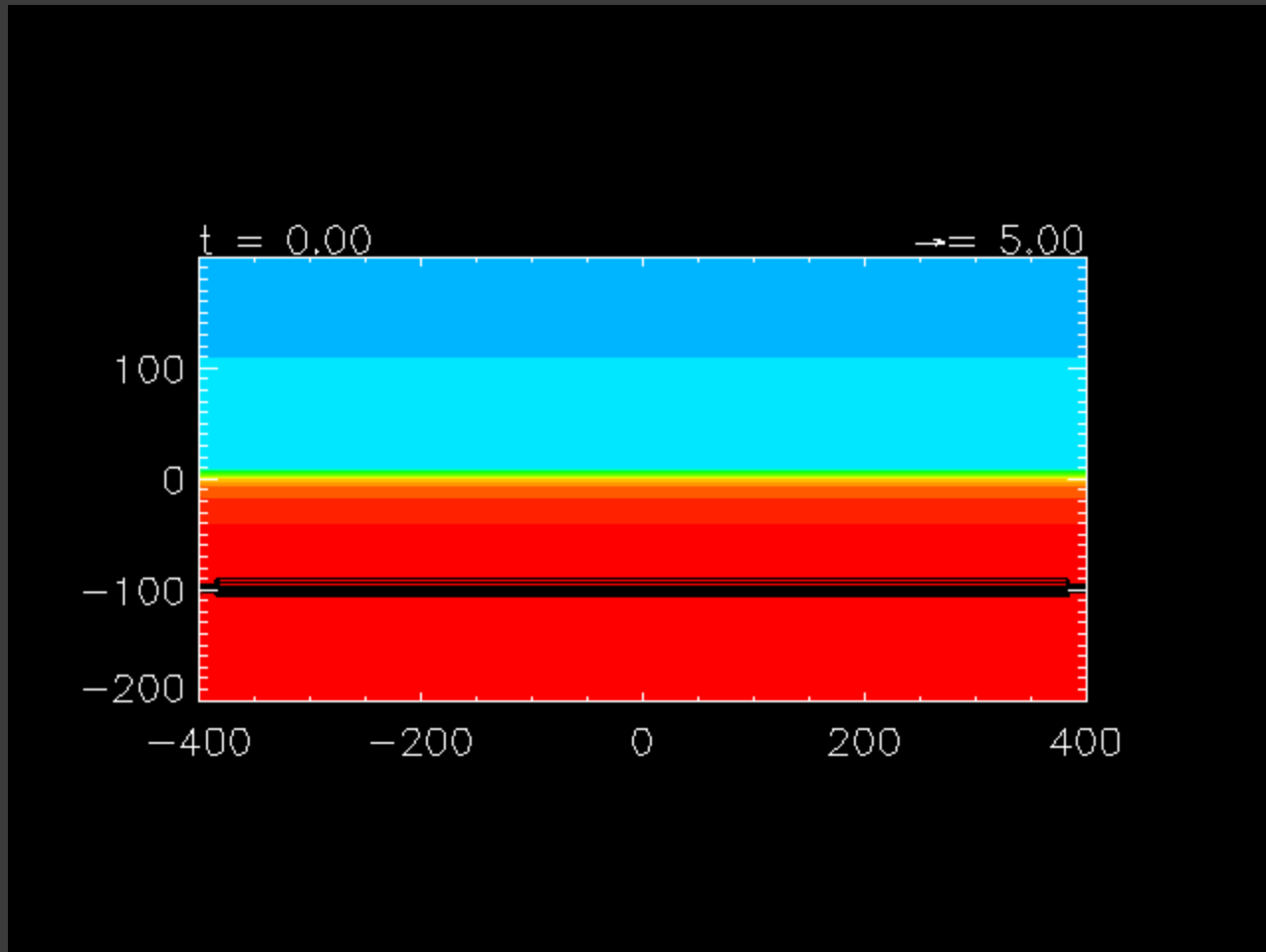
コロナループ(TRACE 171 Å)



光球磁場(SOHO/MDI)

AR 10897

浮上磁場のシミュレーション（鳥海）



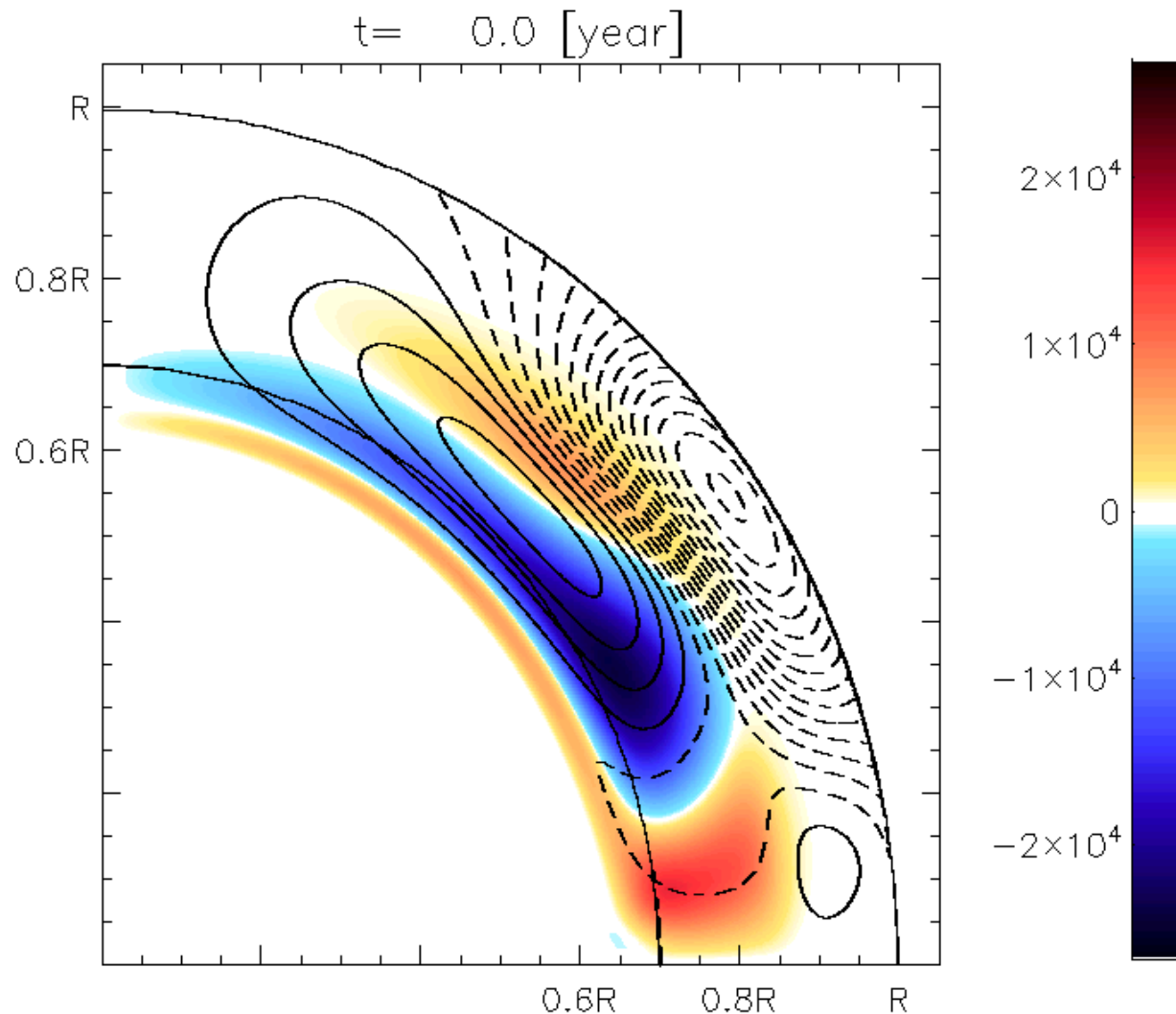
密度場 + 磁力線 + 速度場

太陽ダイナモのシミュレーション(堀田)

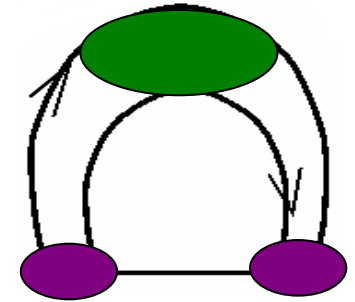
太陽の子午面を
見た図

ポロイダル磁場
実線:時計回り
破線:反時計回り

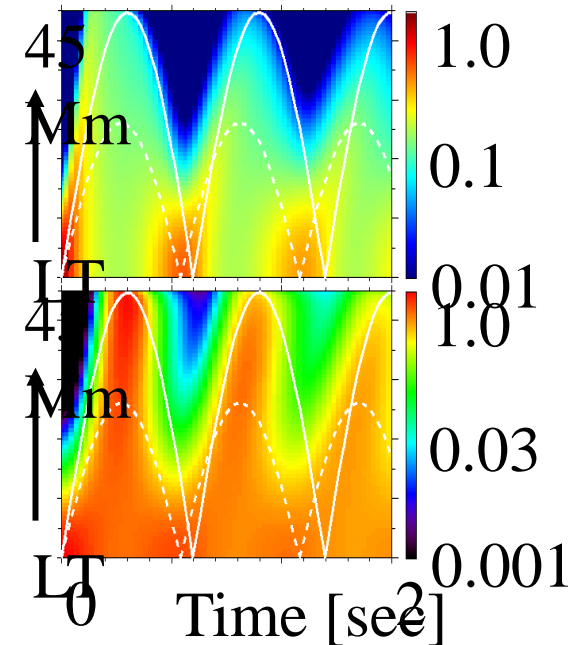
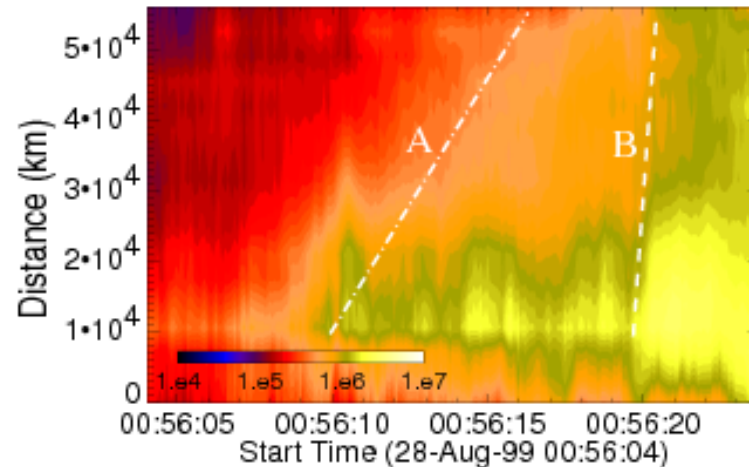
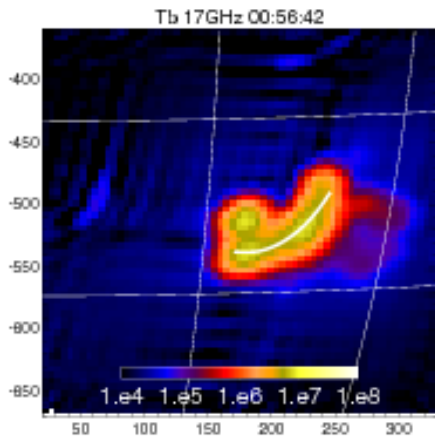
トロイダル磁場
赤:あちら側
青:こちら側



フレアシ非熱粒子輸送のシミュレーション(簗島)



Minoshima et al. (2008)



$$\frac{\partial N}{\partial t} + \mu c \beta \frac{\partial N}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial \mu} (\dot{\mu} N) + \frac{\partial}{\partial E} (\dot{E} N) = \frac{\partial}{\partial \mu} \left(D_{\mu\mu} \frac{\partial N}{\partial \mu} \right),$$

粒子輸送Fokker-Planck方程式
+ジャイロシンクロトロン放射モデル

加速粒子のピッチ角分布の情報→
加速についての情報

これから取り組みたいテーマ

太陽爆発現象のシミュレーション

太陽フレア粒子加速のシミュレーション

恒星・原始星フレアのシミュレーション

太陽表面熱対流のシミュレーション

相対論的磁気リコネクション

宇宙線効果の入った磁気流体現象のシミュレーション

銀河ダイナモへの応用をめざして

太陽研究に
興味ある方、
意欲ある若者を
求めています。