

次期太陽観測計画 SOLAR-C

原 弘久

国立天文台

ひので科学プロジェクト・准教授

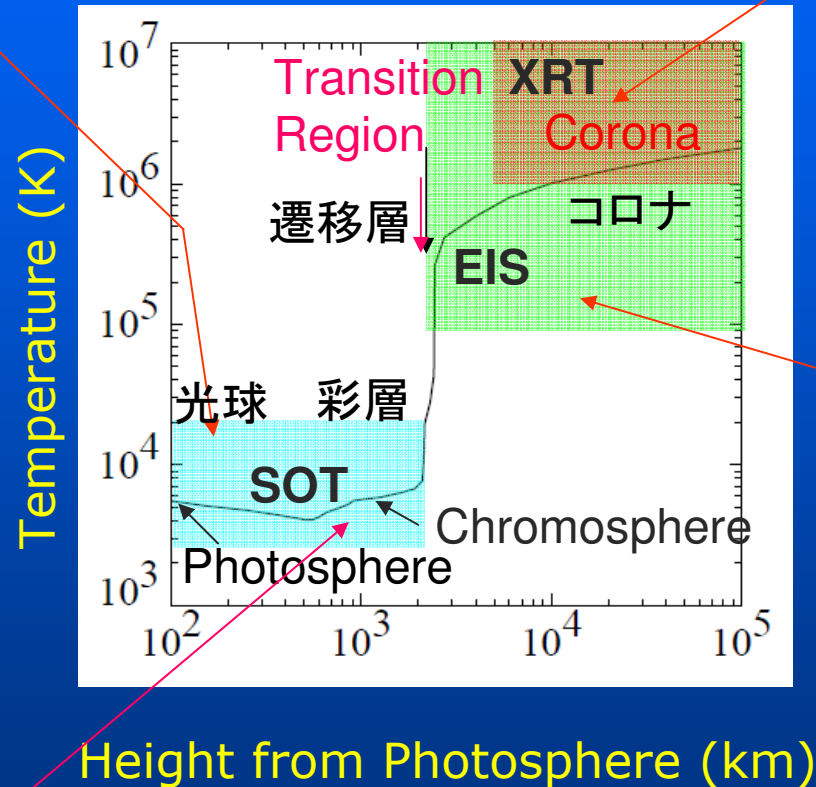
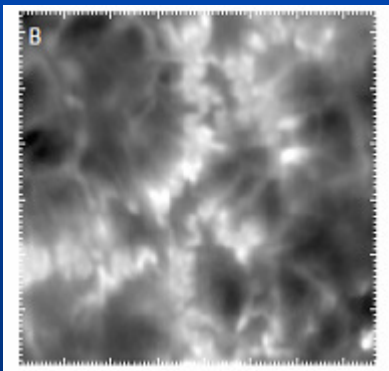
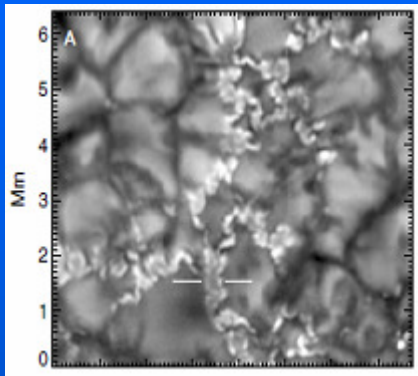
SOLAR-C検討室

総合研究大学院大学・天文科学専攻・准教授

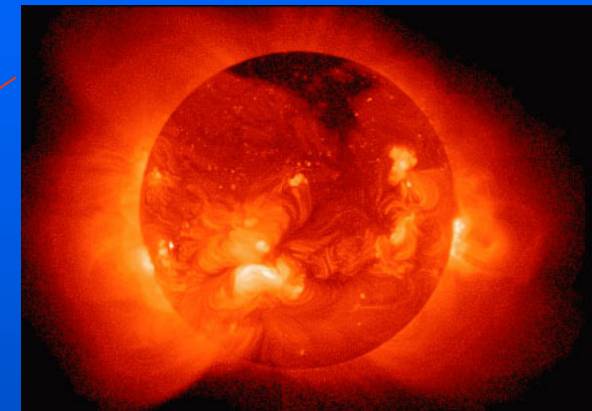
2009年11月23日

太陽研究最前線体験ツアー

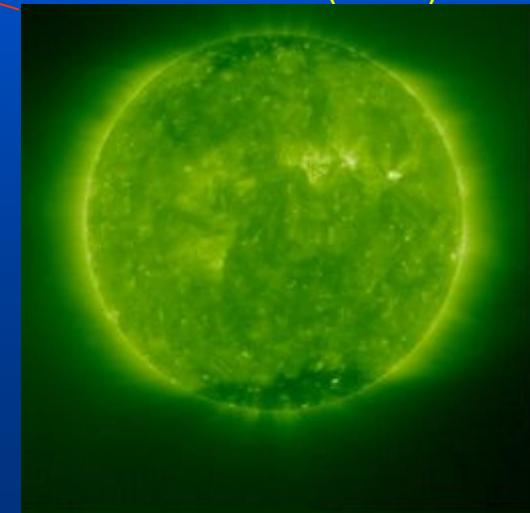
Solar Atmosphere



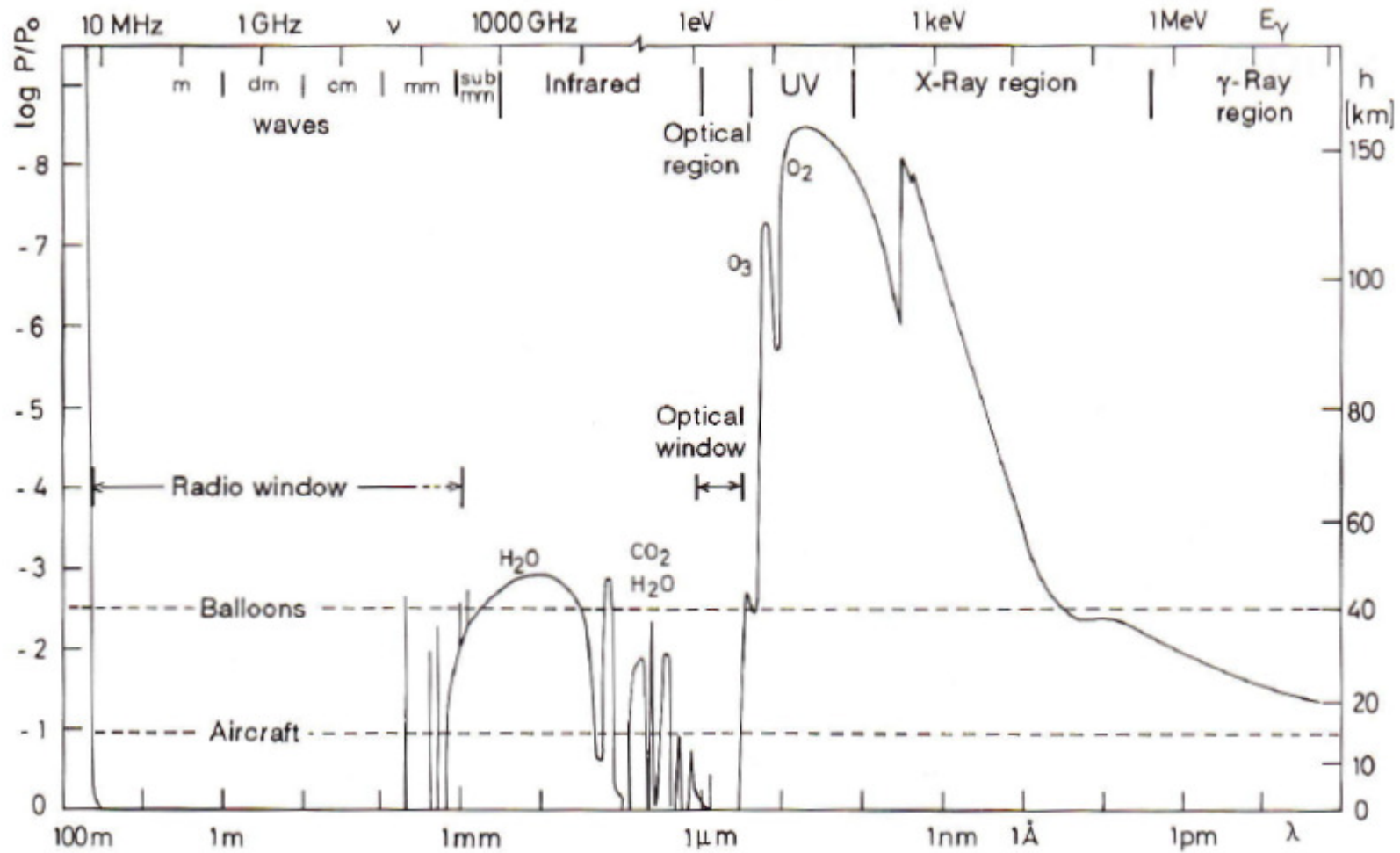
Corona



TR/Corona (EUV)

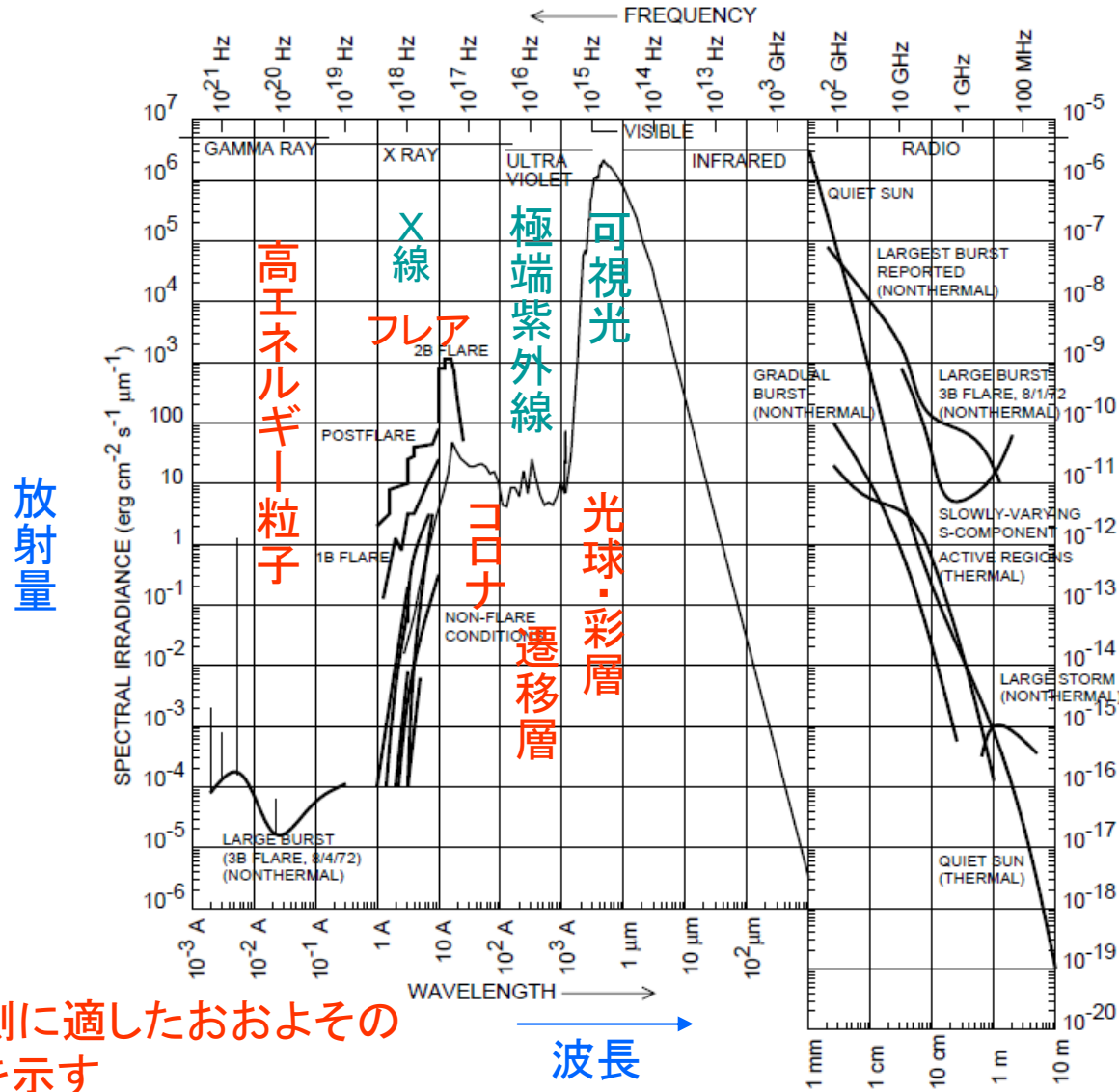


宇宙への窓と観測手法



宇宙からの放射強度が半減するレベルを表示

太陽からの放射



太陽の上層大気を詳細に観測するには大気圏外に出る必要あり

赤字は観測に適したおよその波長領域を示す

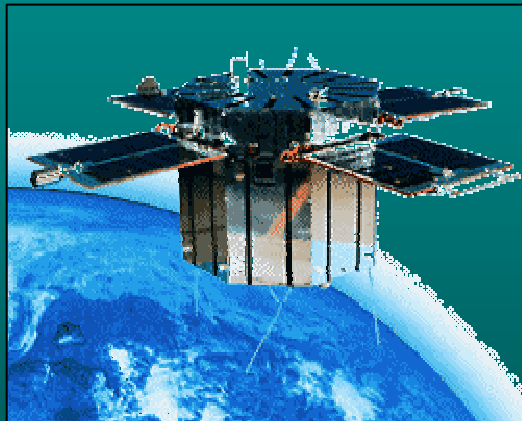
Zombeck (1990)

日本の太陽観測衛星

ロケット観測(1970年台)

たんせい(試験衛星)

ひのとり (ASTRO-A)

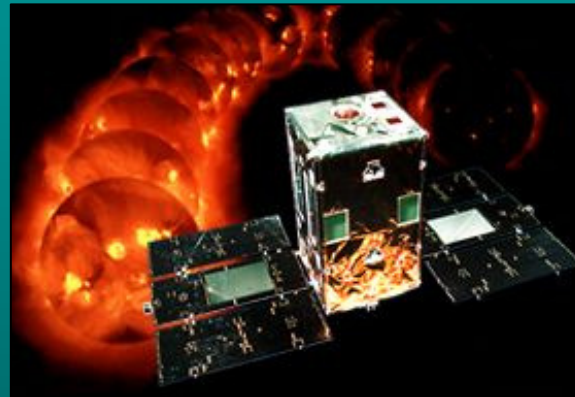


188 kg
1981年2月打ち上げ

フレア中の
高温プラズマ生成
高エネルギー粒子加速

最高空間分解能 10秒角

ようこう (SOLAR-A)

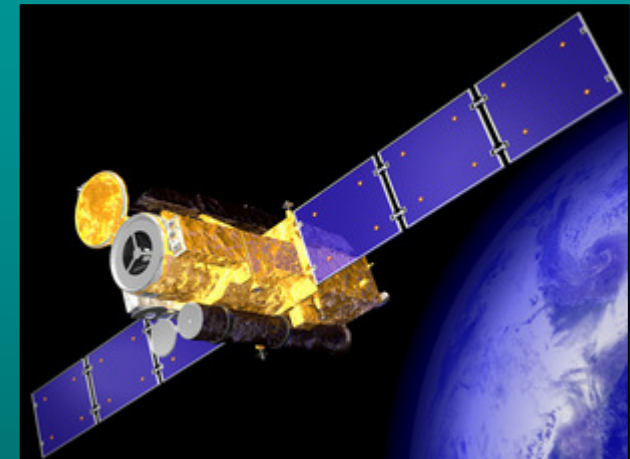


390 kg
1991年8月打ち上げ

- ・フレア中の
高温プラズマ生成
高エネルギー粒子加速
- ・太陽コロナの加熱
- ・太陽活動周期

最高空間分解能 5秒角

ひので (SOLAR-B)



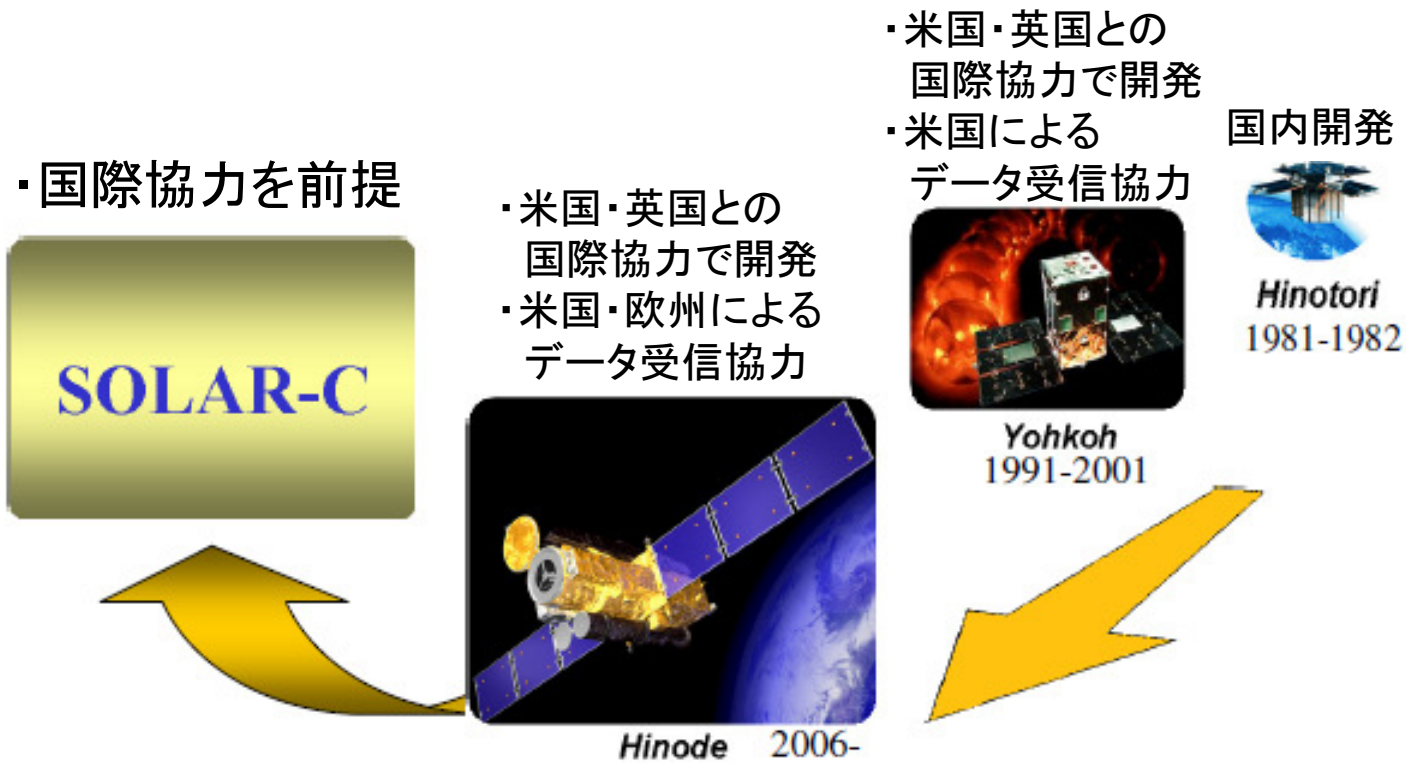
900 kg
2006年9月打ち上げ

- 太陽磁気活動全体
- ・磁場の微細構造
- ・3次元磁場構造
- ・太陽彩層・コロナ加熱
- ・プロミネンス
- ・太陽活動周期

最高空間分解能 0.2秒角

次期計画

- *Hinode*が現在活躍していますが、既に次期計画が検討されています



SOLAR-Cの構想

- 「ひので」で明らかになりつつある新しい太陽像をふまえ、以下の2案を平行して検討中：
 - A案: **黄道面脱出による太陽探査**
黄道面を離れた観測(最大傾斜角 $\sim 40^\circ$)より、
太陽内部構造・太陽周期ダイナモ機構の解明
磁場生成過程の解明へ
 - B案: **分光能力向上による高解像度観測**
分光診断能力の大幅な向上による、彩層ダイナミックスを中心とした光球—コロナシステムの
観測・彩層コロナ加熱機構の解明
磁場散逸過程の解明へ
- 2017年度打ち上げを目指している
- H-IIAによる打ち上げを想定

A案: 黄道面脱出による太陽探査

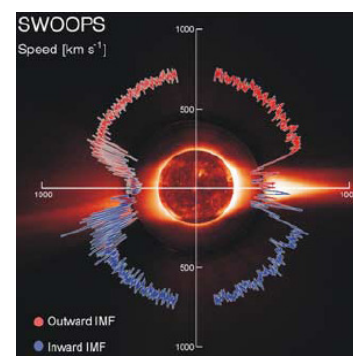
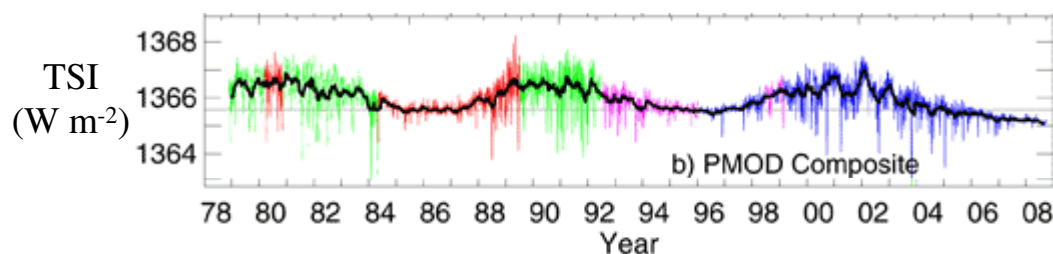
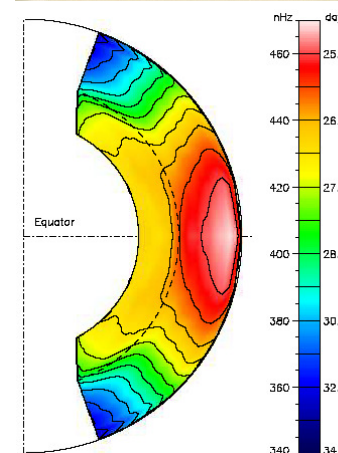
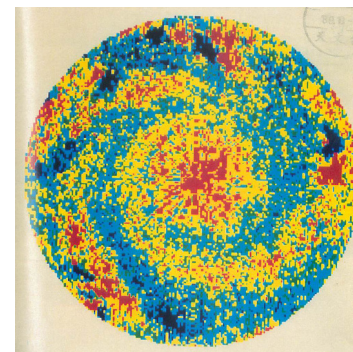
The Sun as a star

<ダイナモ磁気活動の理解に向けた探査>

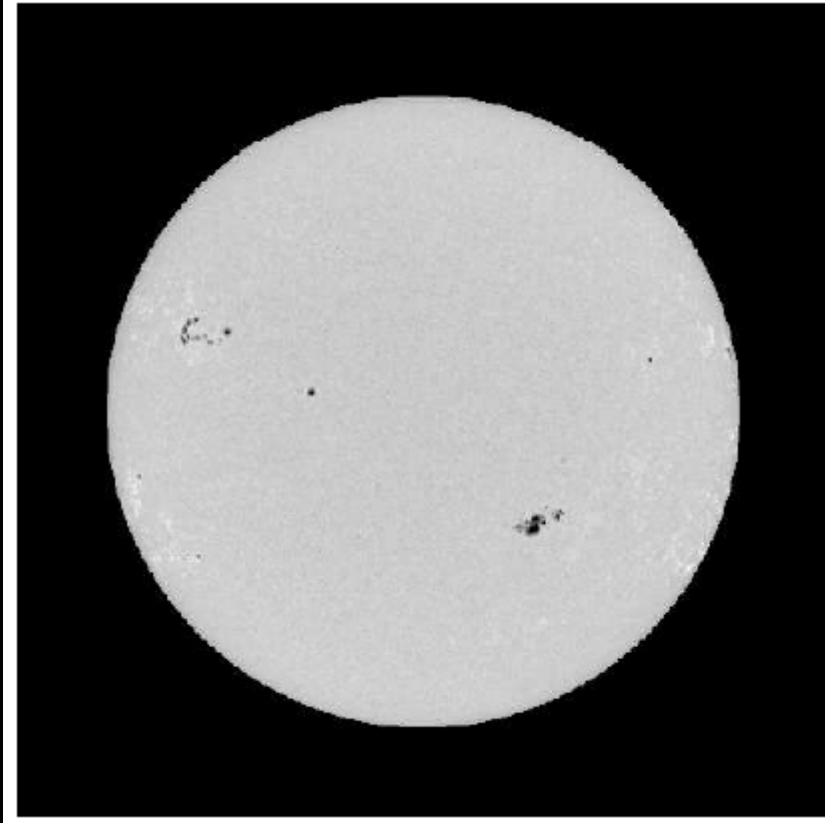
- 高緯度・極領域の表面磁気構造の探査
- 高緯度・極領域の内部流れ場探査
- 磁場生成領域とみなされる対流層底部探査
(日震学的アプローチ)

<Vantage pointからの探査>

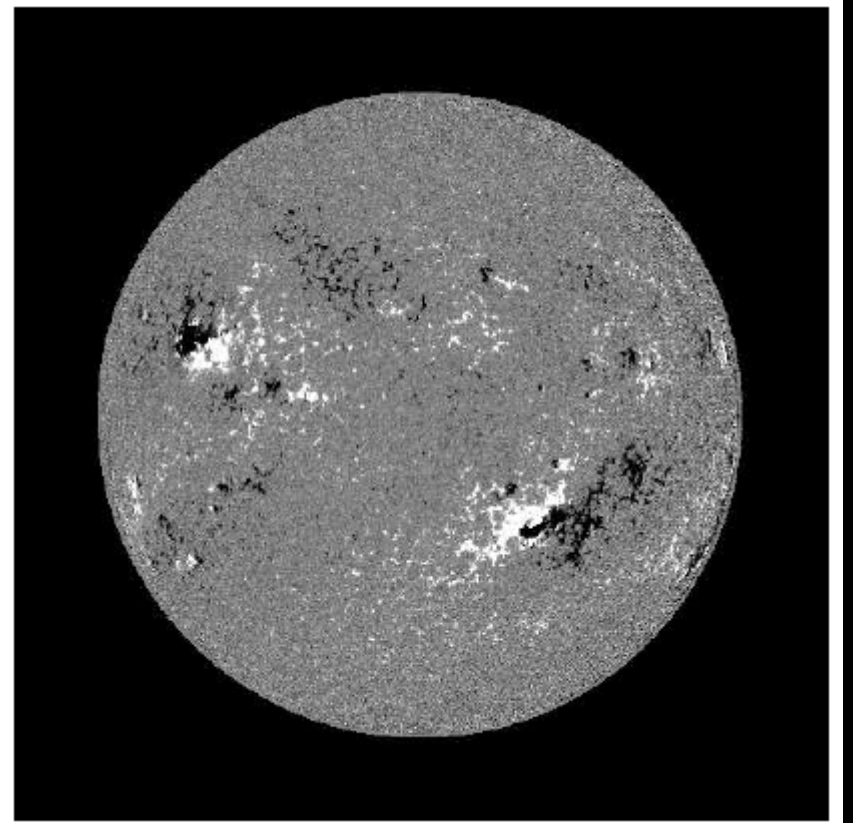
- 極領域コロナホールからの高速太陽風探査
- 黄道面外からの太陽総放射量の測定



太陽磁場



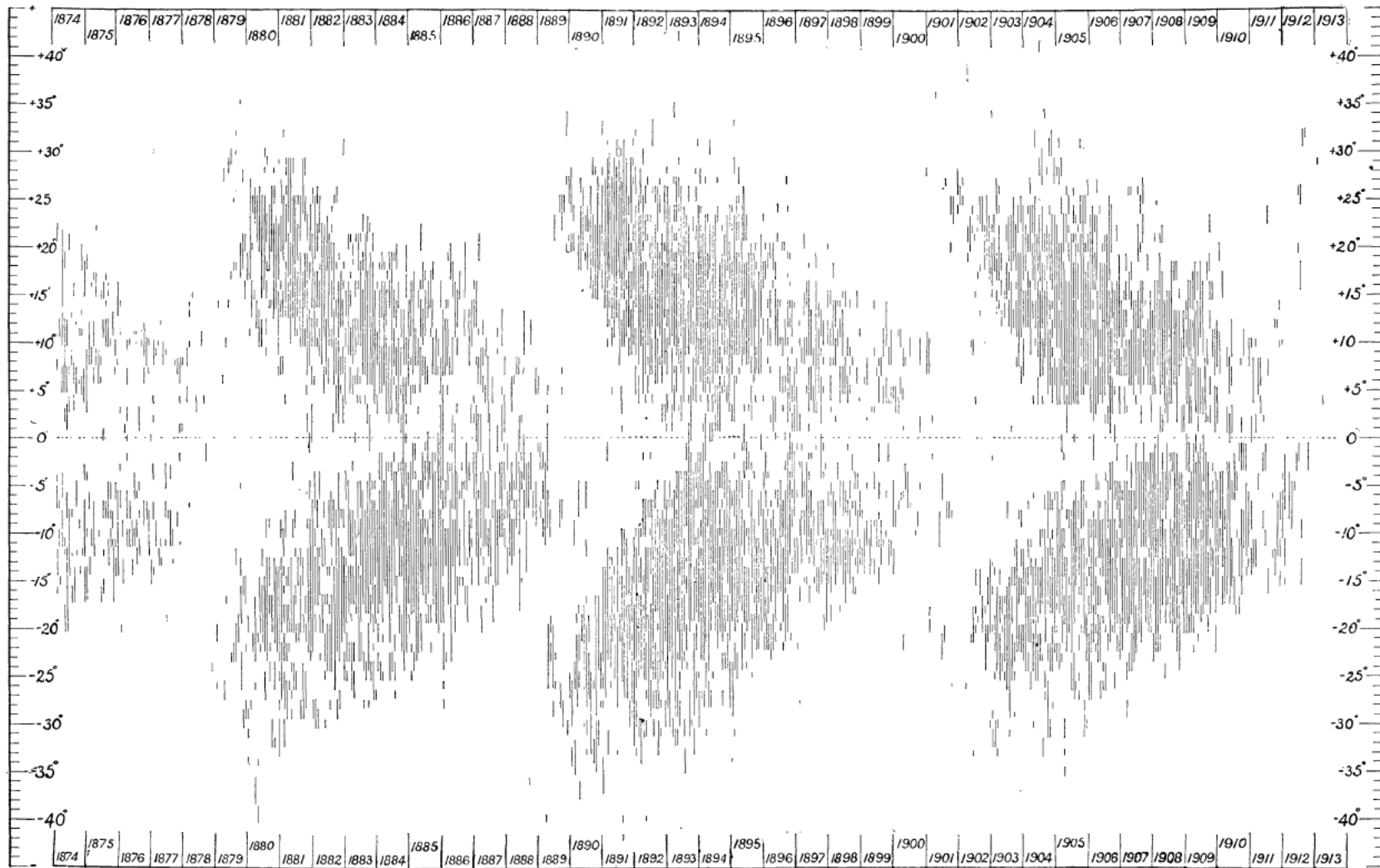
可視光で見た太陽



光球磁場
白:N極、黒:S極

Butterfly diagram

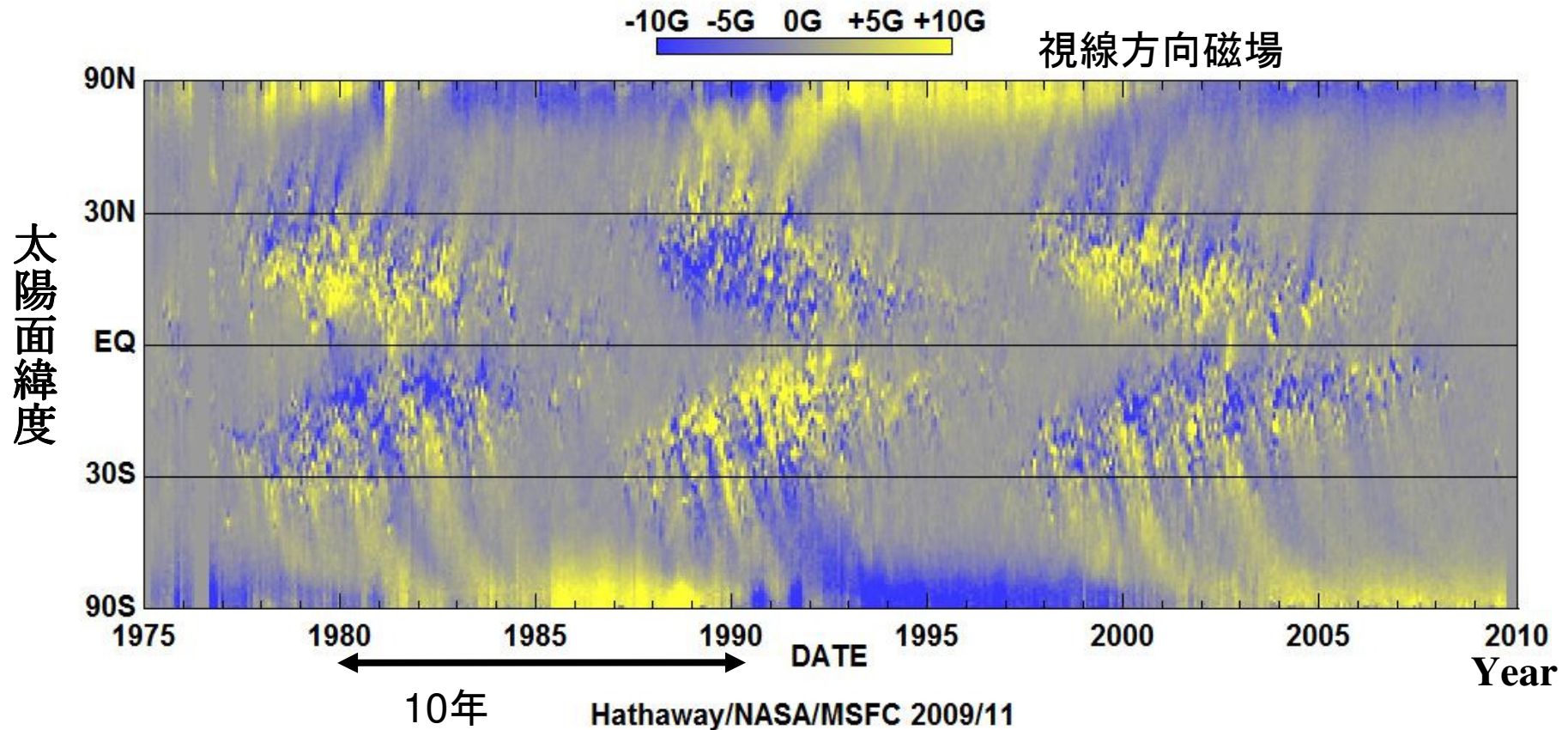
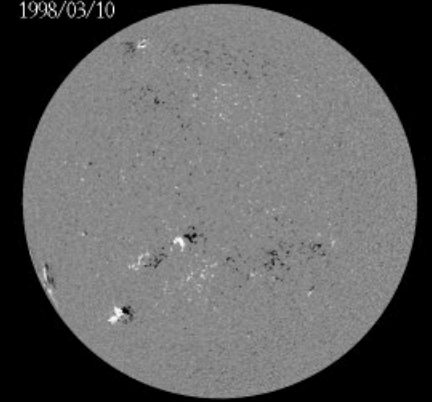
蝶形图

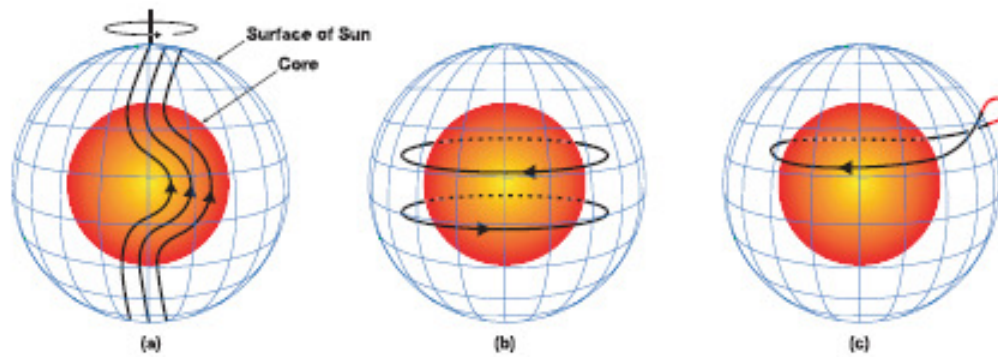


1998/03/10

太陽磁気周期

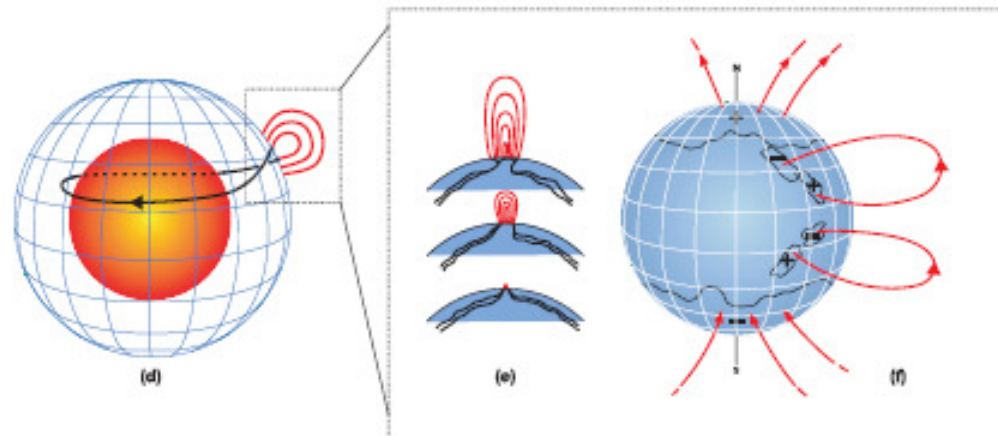
- どのように太陽磁場はつくられているのだろうか？ - 太陽ダイナモ -



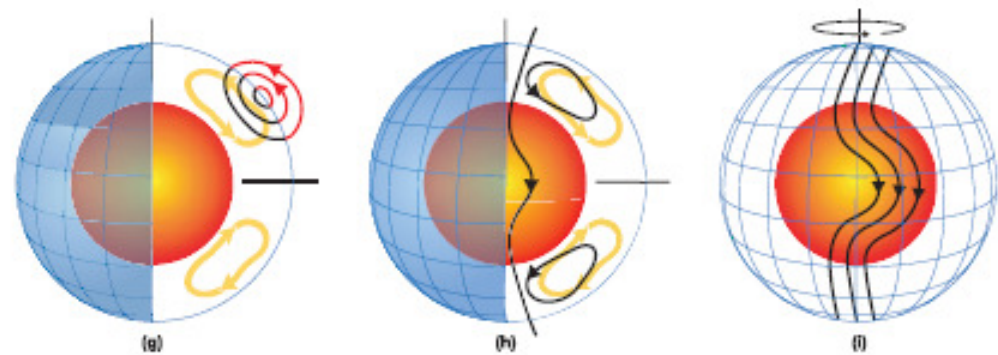


一つのモデル

磁束輸送ダイナモ



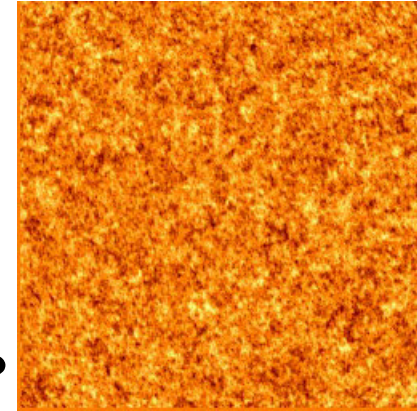
実際のところ、磁場はどこで作られているのだろうか？



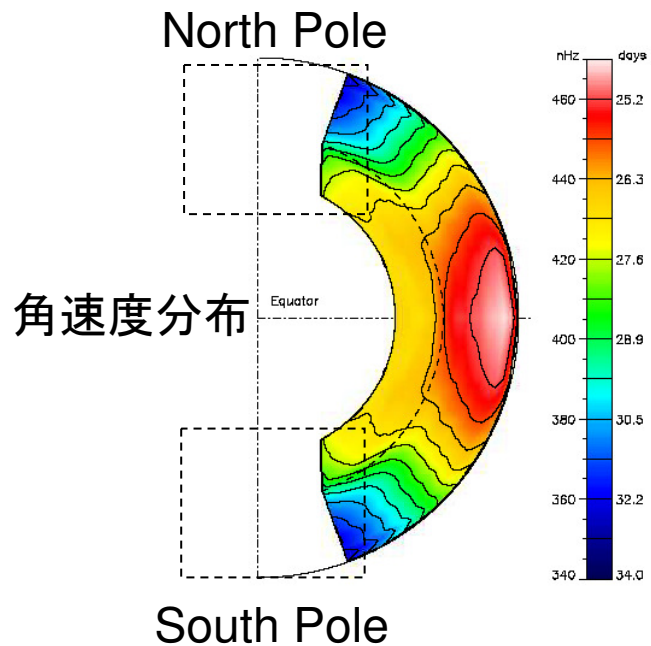
Dikpati & Gilman
2006, ApJ, 649,498

回転速度場と子午面還流

- 太陽ダイナモを理解する上の基本量
- 極領域近傍での測定は地球方向では不可
- 黄道面外軌道から日震学手法で測定
- 極での磁場の動きはどのようになっている？

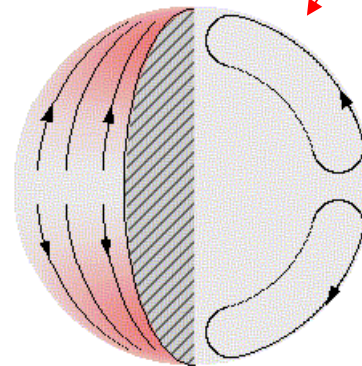


光球
視線方向
速度場

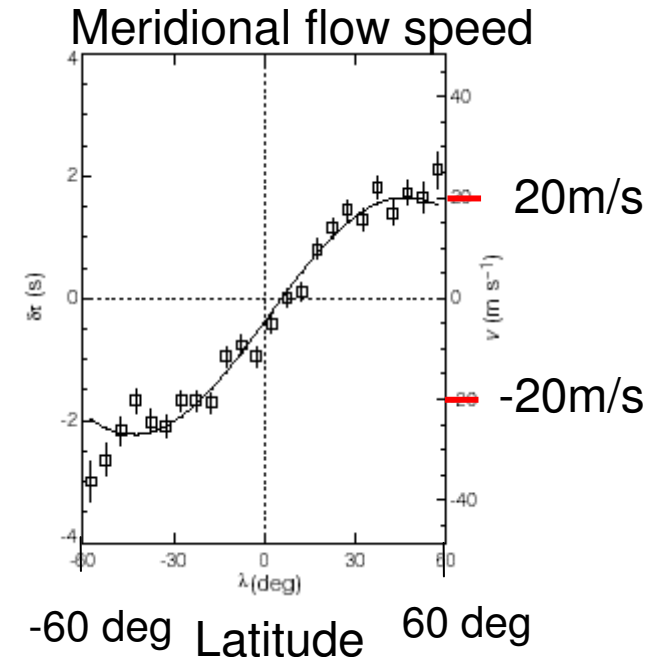


Submergence of magnetic field? 磁場の沈降?

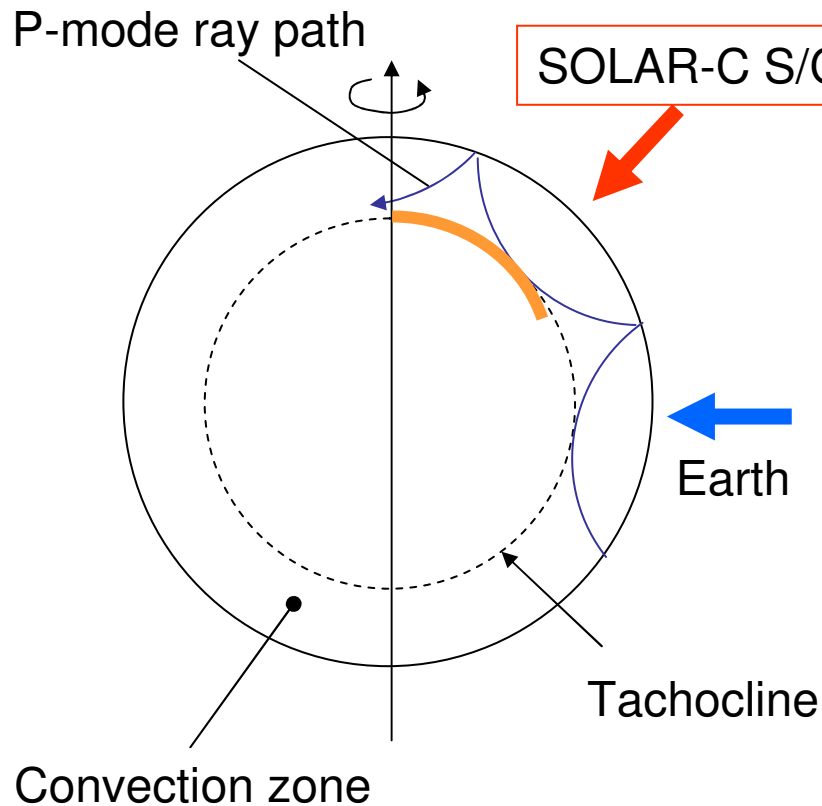
Surface magnetic field transport



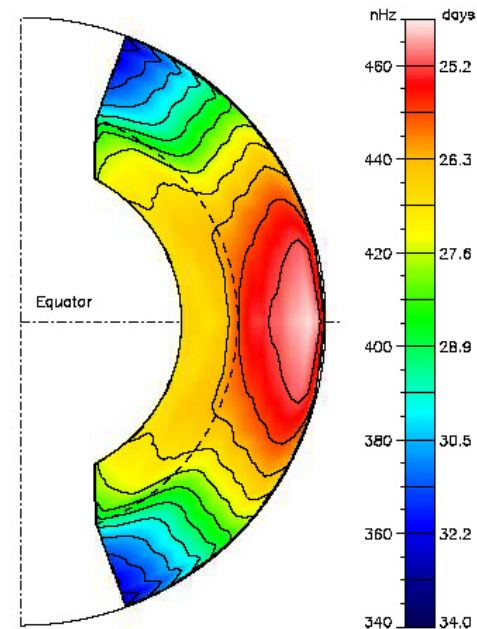
Meridional flow
子午面還流



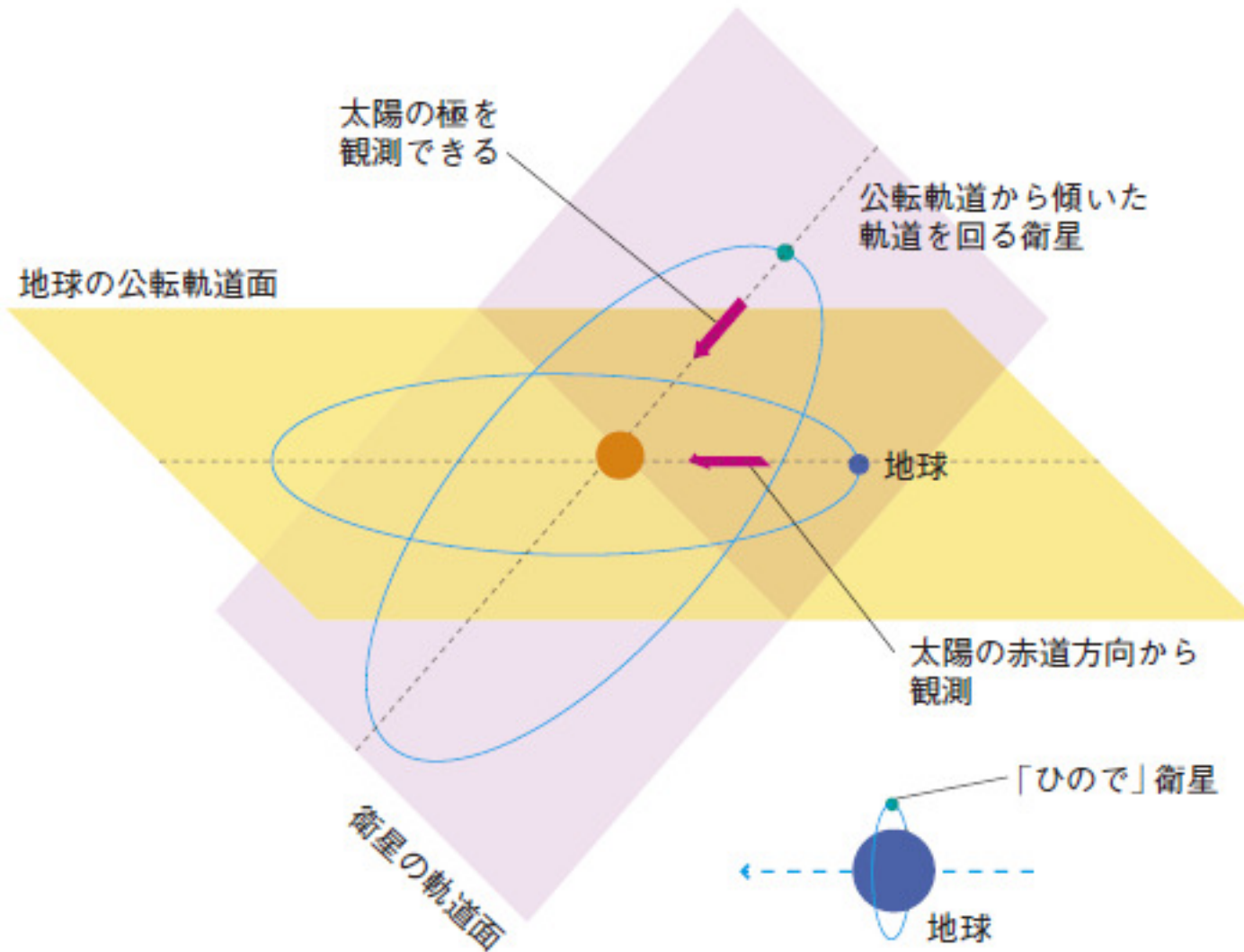
対流層底部での磁束管探査



- 強磁場の磁束管が対流層底に横たわる速度シア層tachoclineで生成されていると考えられている
- 局所日震学によるtachocline位置での磁束管の探査

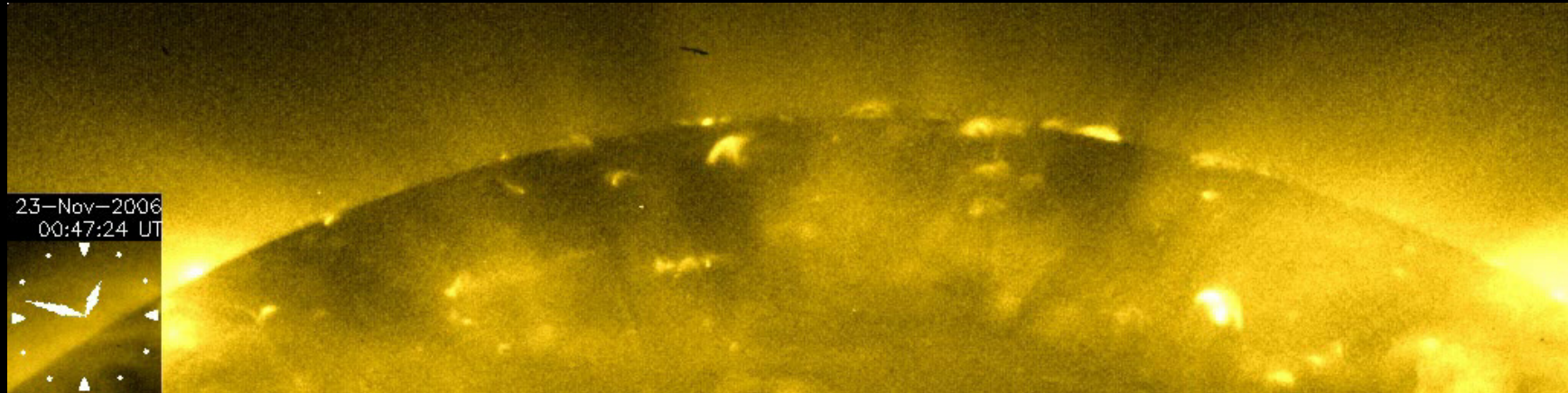


A案に必要な軌道の最終形状



Polar Coronal Activity

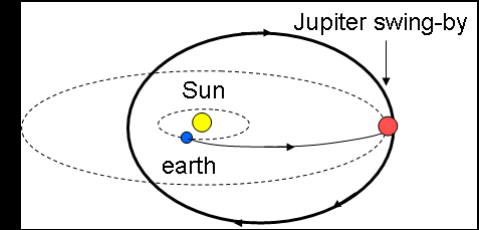
極域コロナ活動



- Dynamic polar regions of the sun
- Highly transient jets
- More stable plumes in EUV images
- Source of high-speed solar wind

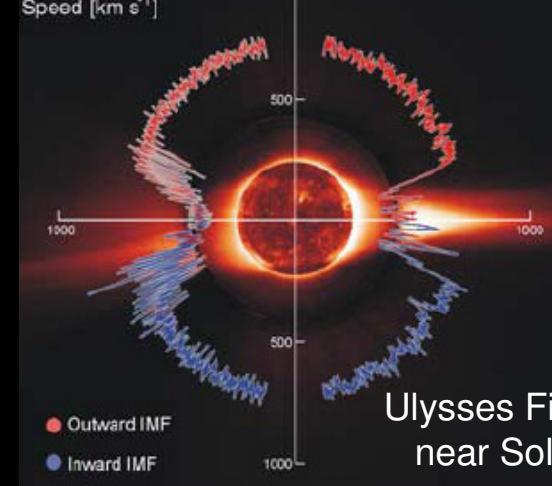
Hinode XRT

太陽風

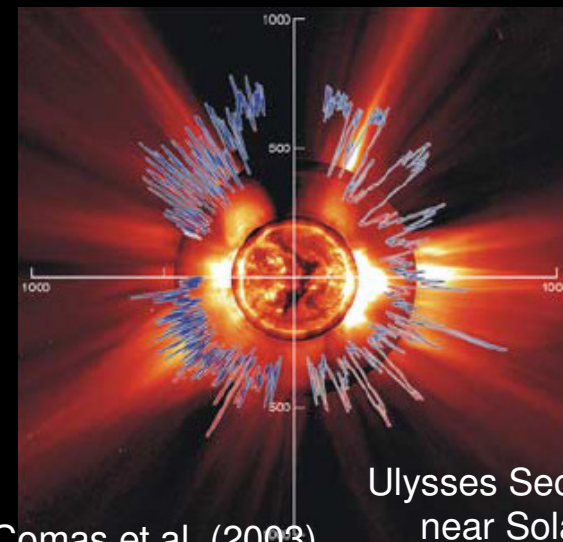


- 太陽風: 太陽から噴き出す高速 (300-800 km/s) のプラズマ流
- 高速風 (~800 km/s) の流源はコロナの暗い領域(コロナホール; 長期にわたって極領域にある)
- A案衛星は地球方向に流れる太陽風を見下ろせる面白い位置にいる
- 黄道面外軌道からは、太陽風の噴き出し口の流速場測定、地球に向かう太陽風のイメージング等が可能となる

ユリシーズ衛星による太陽風速度



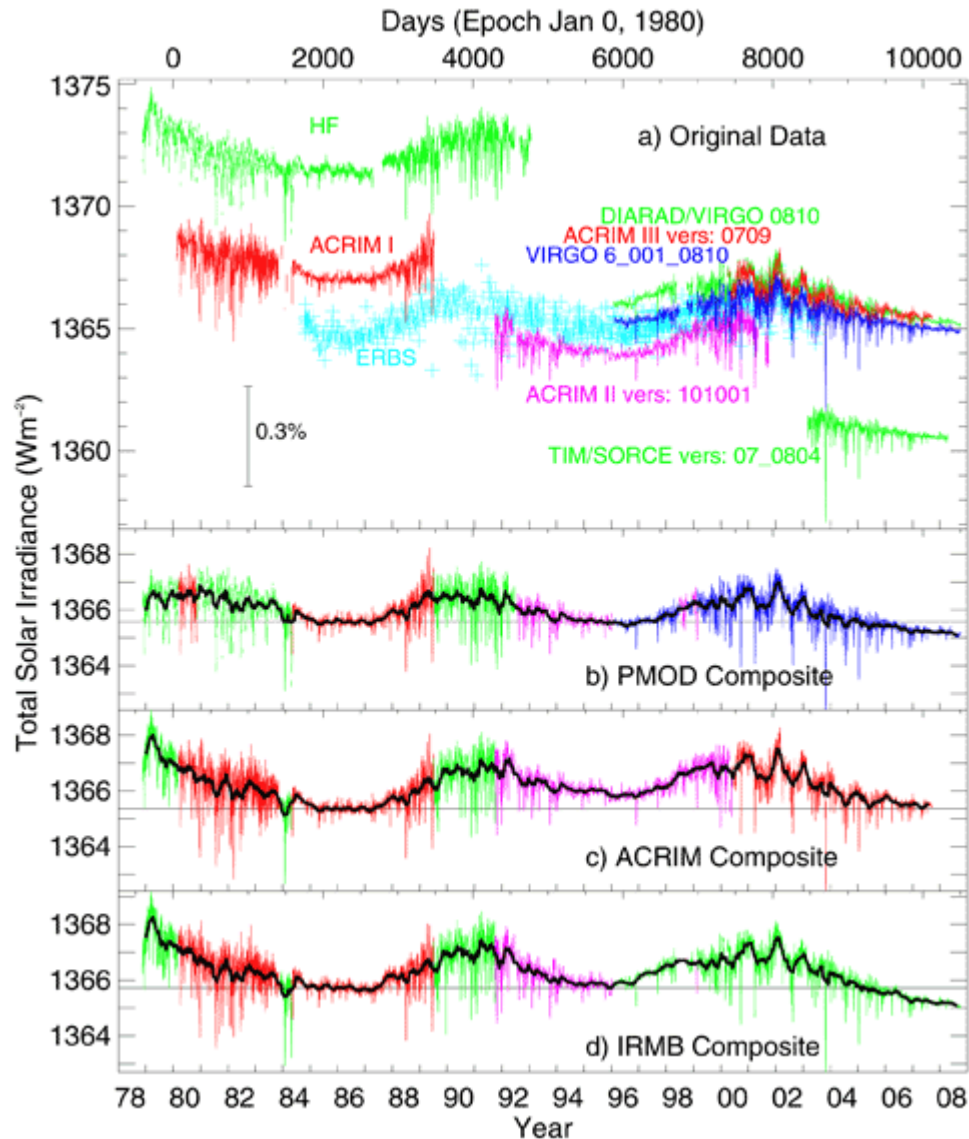
Ulysses First Orbit near Solar Min



Ulysses Second Orbit near Solar Max

McComas et al. (2003)

黄道面外からの太陽総放射量測定



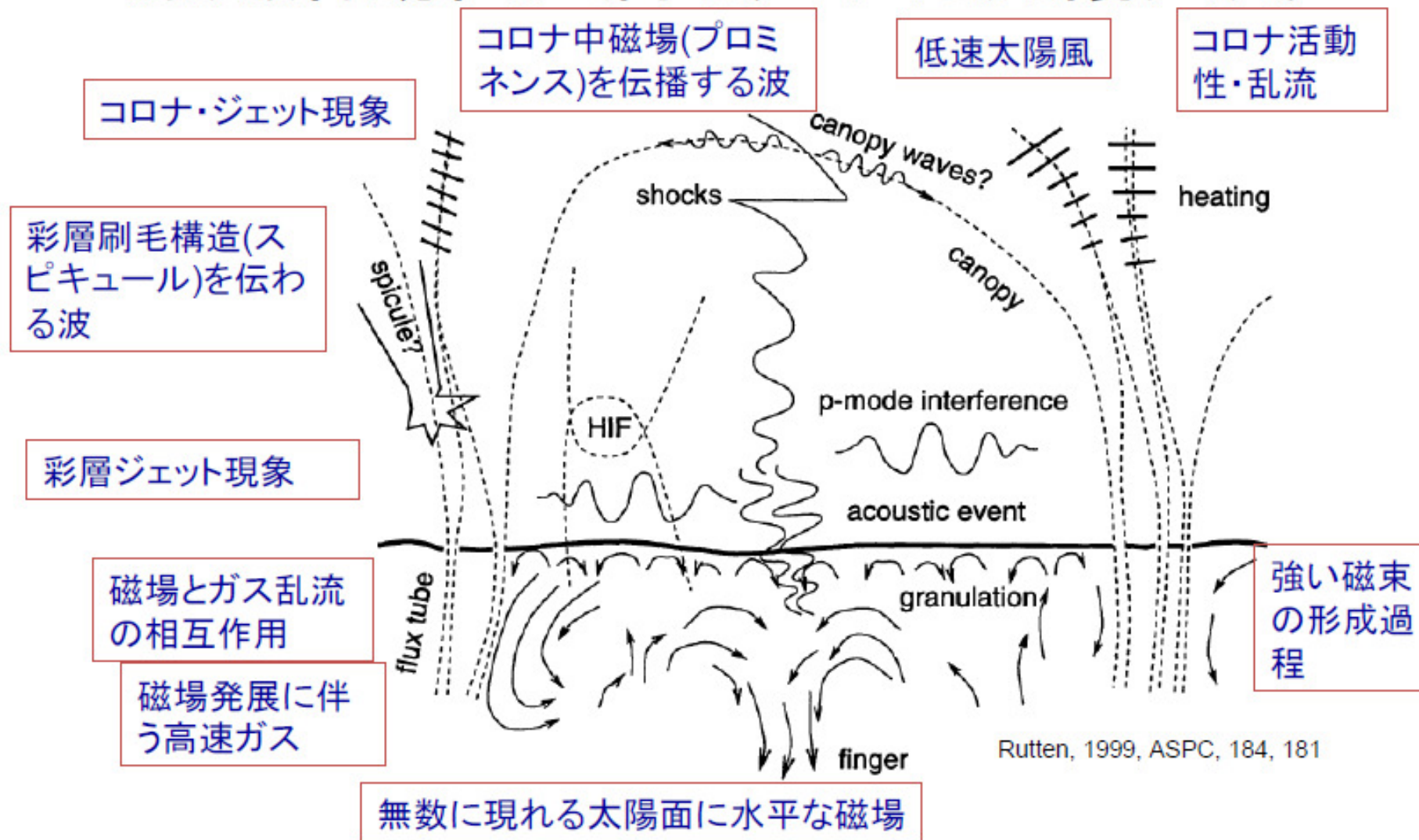
- 恒星という視点での太陽
- 太陽総放射量は太陽11年周期で~0.1%変動
- 他の太陽様恒星では変化の振幅がもっと大きい
- 極領域の寄与が大きい視点からの観測ではどのようなようになるのか？

Figure from PMOD WRC homepage

B案: 分光能力向上による高解像度観測

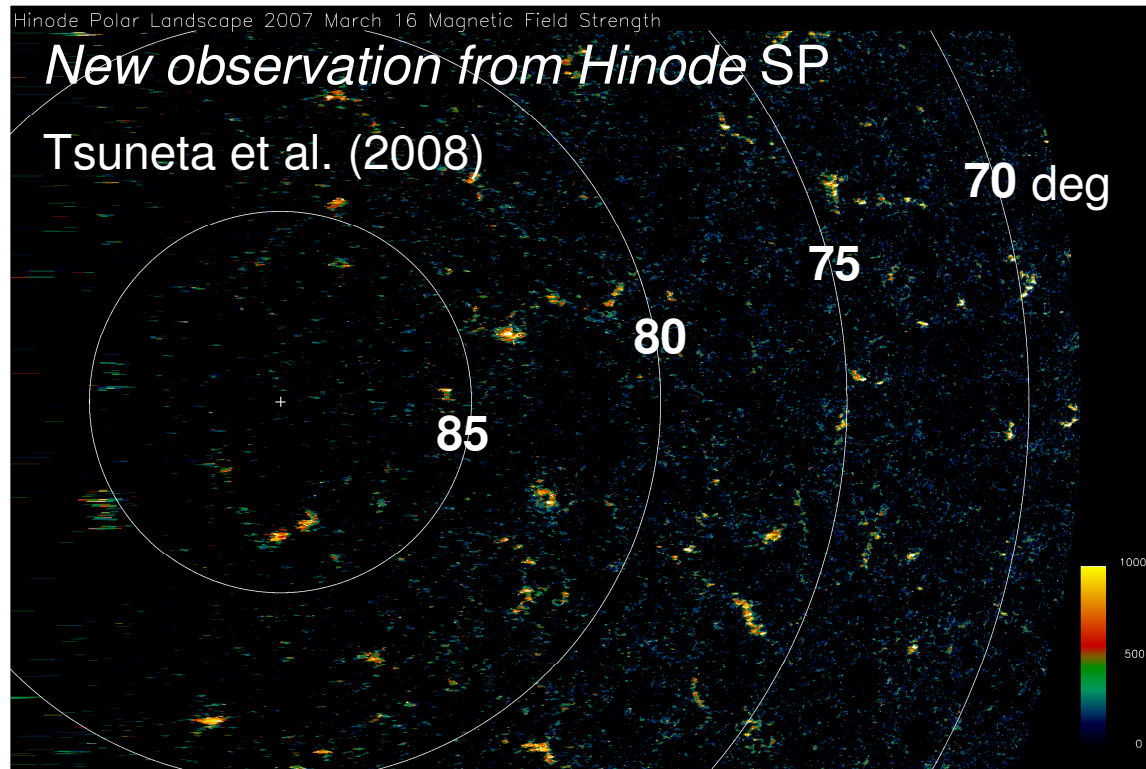
- 画像観測から分光・偏光観測へ
 - *Hinode*によるスペースからの彩層画像観測から、地上観測ではとらえられなかったダイナミックな現象の発見
 - 画像観測では物理量の決定が困難
- 遷移層・コロナの高解像度観測へ
 - 微細構造存在の観測的証拠が得られてきた
 - 遷移層・コロナ底部でのエネルギー解放領域の探査

「ひので」観測で画像として見えてきた 磁気活動性に満ち溢れた太陽大気



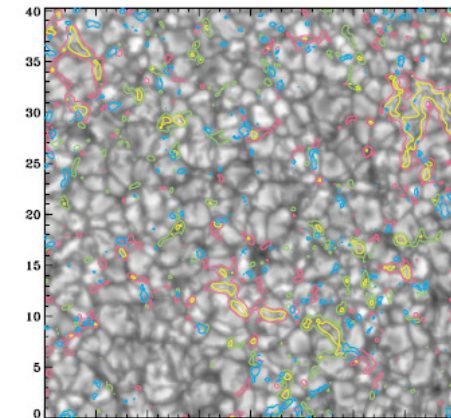
偏光・分光能力による discovery space

- *Hinode*の場合

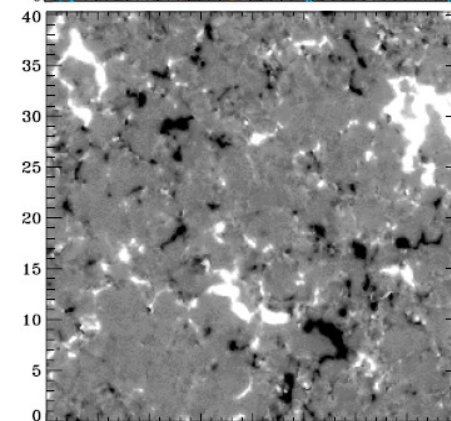


極磁場

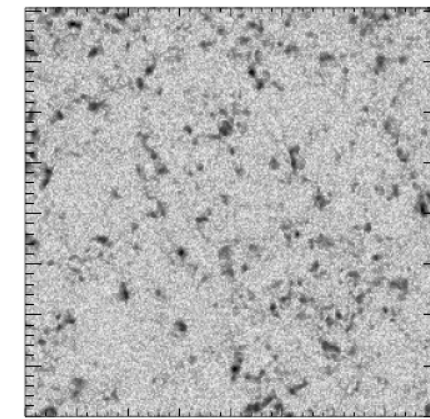
Lites et al. 2008



連続光



視線方向磁場



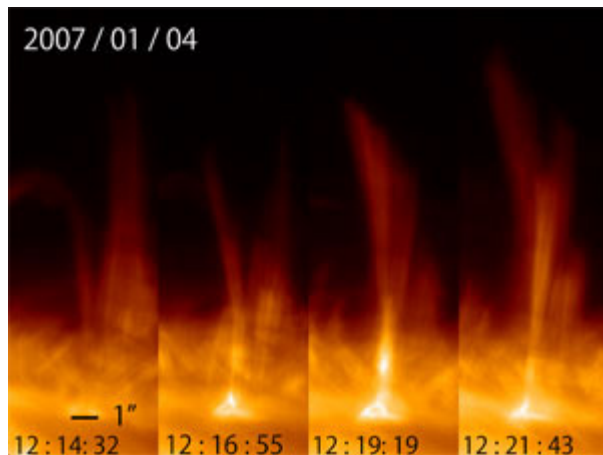
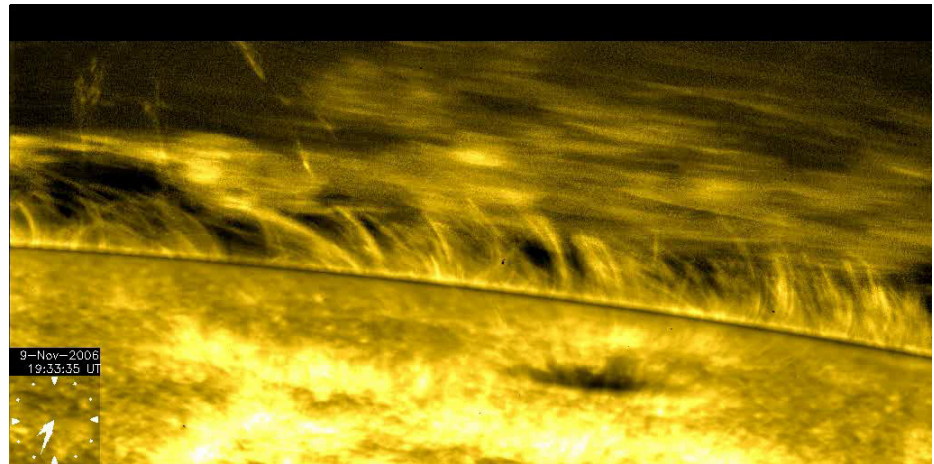
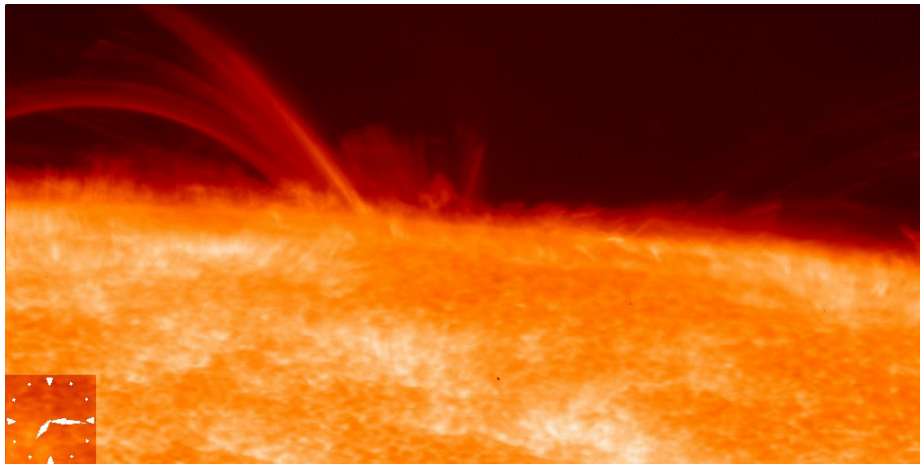
水平磁場

0 5 10 15 20 25 30 35 40
Arcseconds

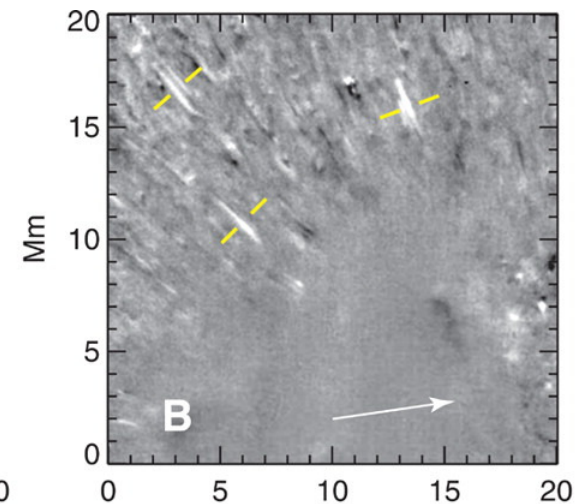
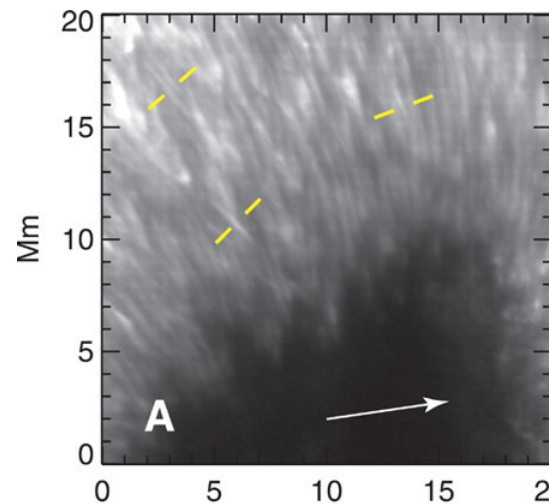
*Hinode*画像観測からの要請 ⇒ 高速の偏光・分光観測

*Hinode*彩層画像観測

Okamoto et al. (2007)

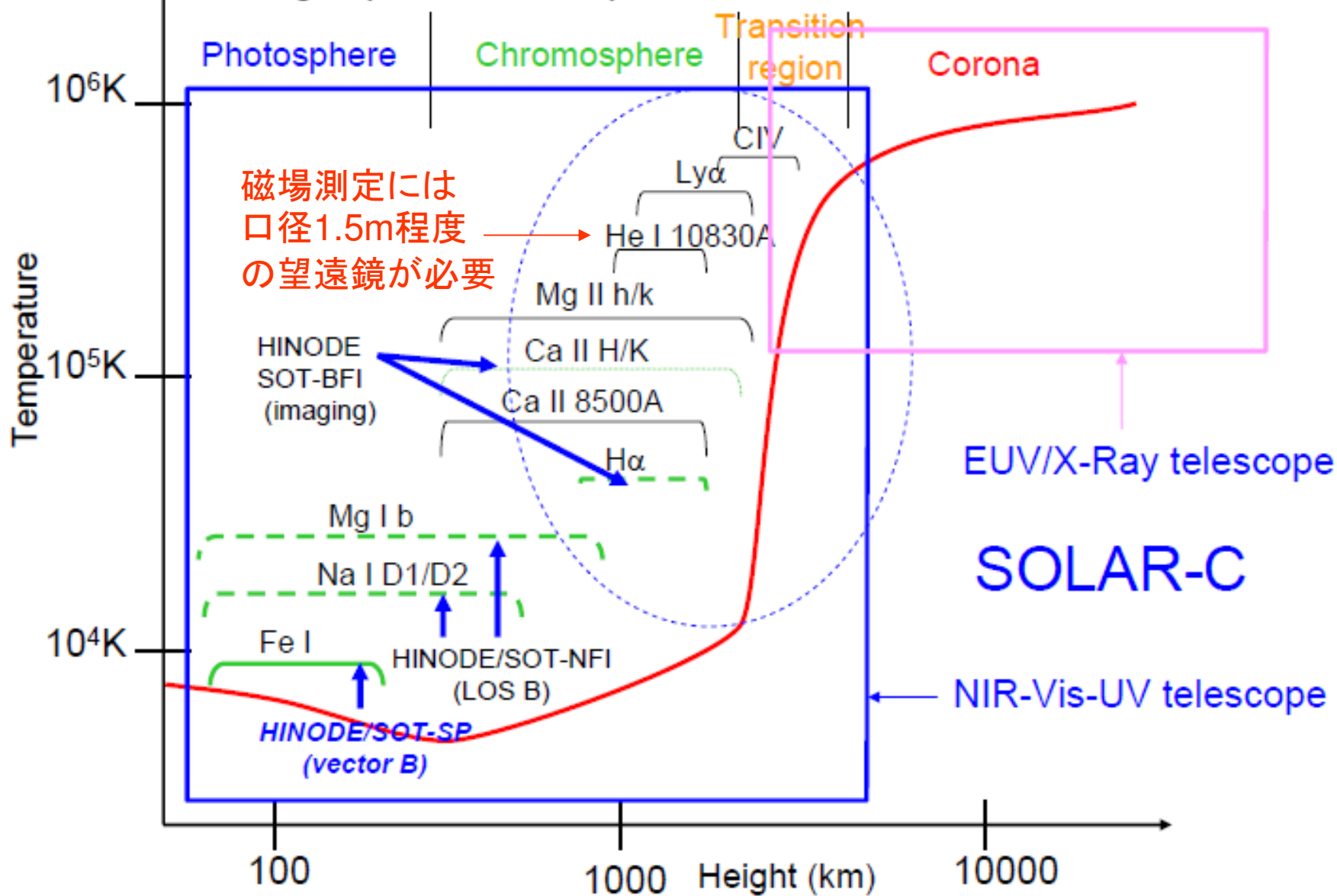


Shibata et al. (2007)



Katsukawa et al. (2007)

Precise *chromospheric* and, if possible, *coronal vector magnetic field* maps in addition to photospheric magnetic maps with high spatial and temporal resolution



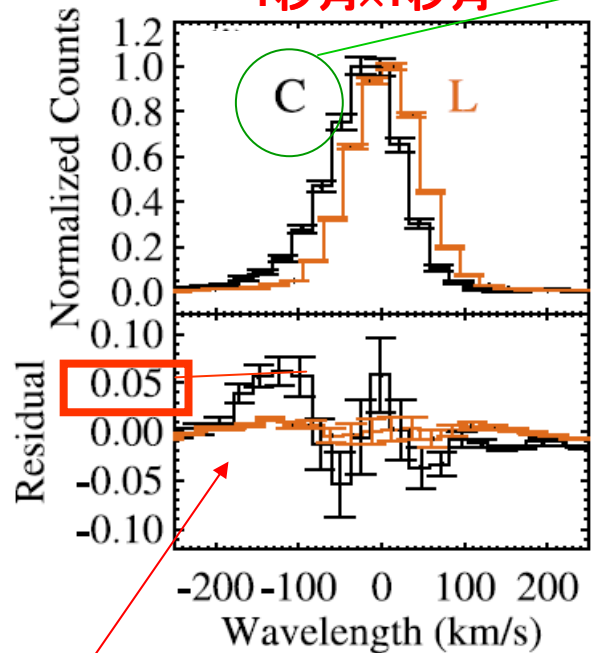
B案: 分光能力向上による高解像度観測

- 画像観測から分光・偏光観測へ
 - *Hinode*によるスペースからの彩層画像観測から、地上観測ではとらえられなかったダイナミックな現象の発見
 - 画像観測では物理量の決定が困難
- 遷移層・コロナの高解像度観測へ
 - 微細構造存在の観測的証拠が得られてきた
 - 遷移層・コロナ底部でのエネルギー解放領域の探査

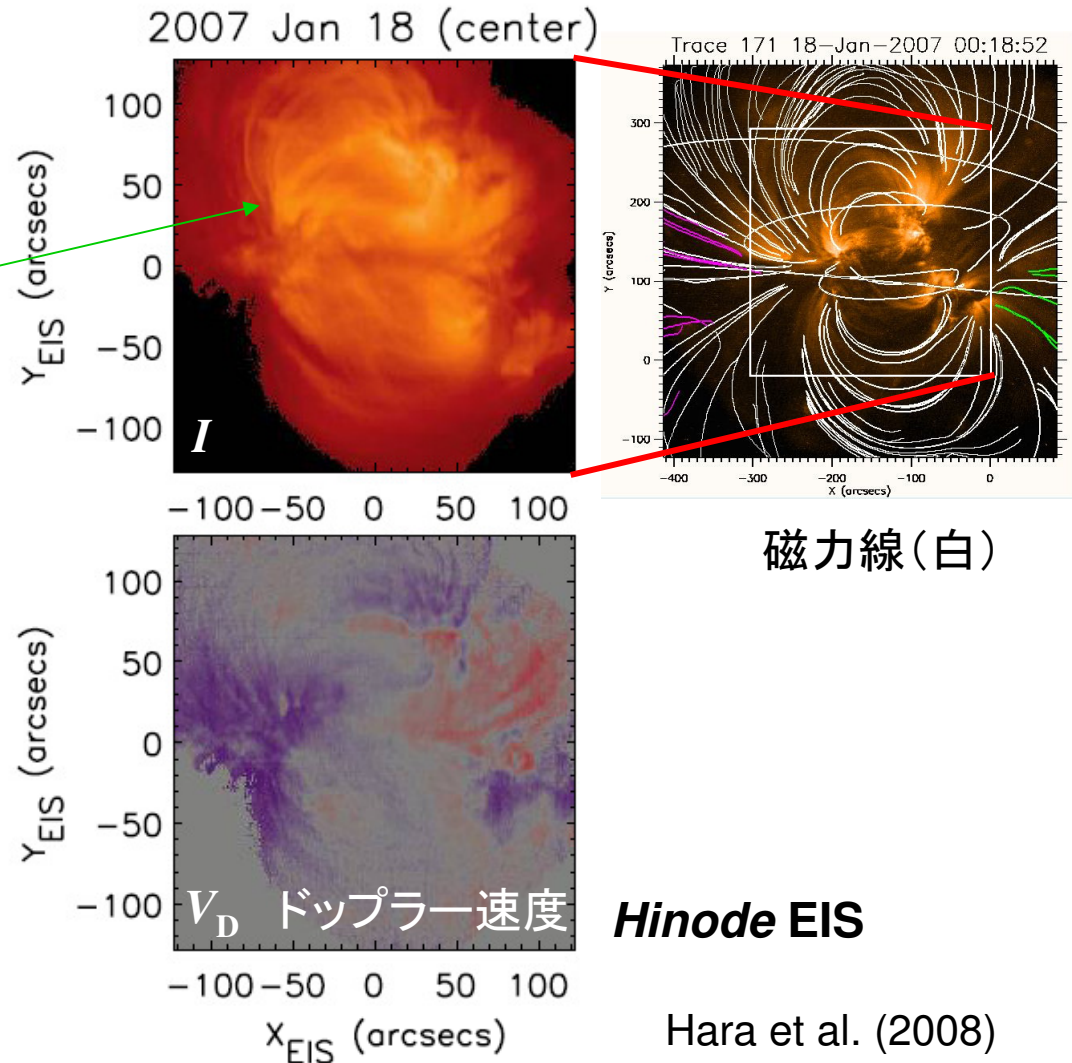
コロナ中の微小スケール構造

加熱されて高速に上昇する
プラズマのエミッション量は
空間サンプリング単位内の
輝線強度全体の < 1/10

EUVスペクトル Fe XV284
1秒角×1秒角



- 加熱されたコロナ上昇流成分
- 加熱スケールO(0.1)を示唆



磁力線(白)

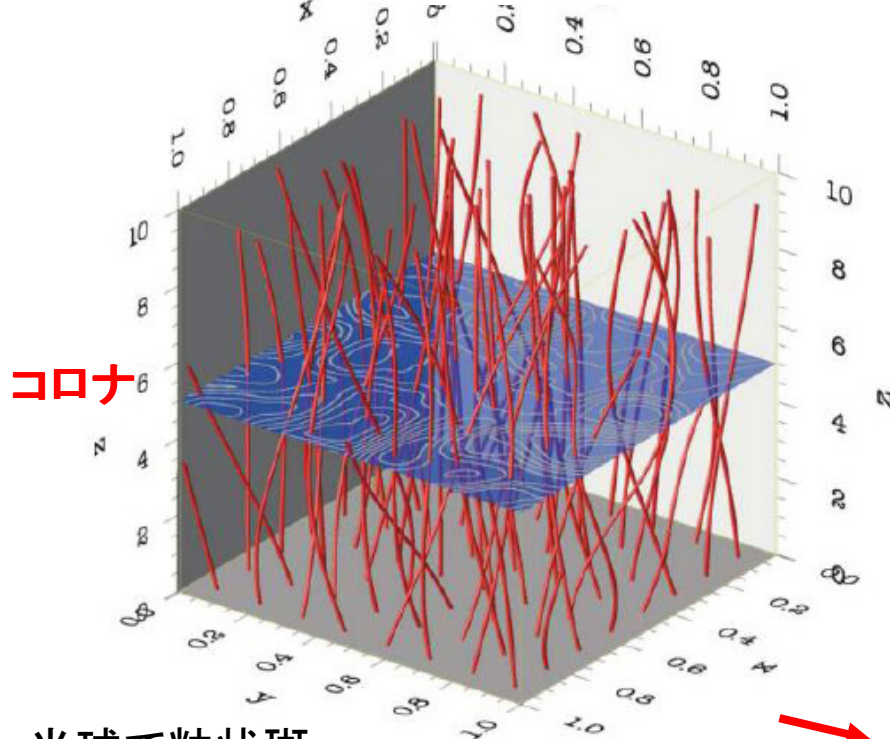
Hinode EIS

Hara et al. (2008)

コロナの微細構造が見えるか？

磁場

赤線: 磁力線 **光球**

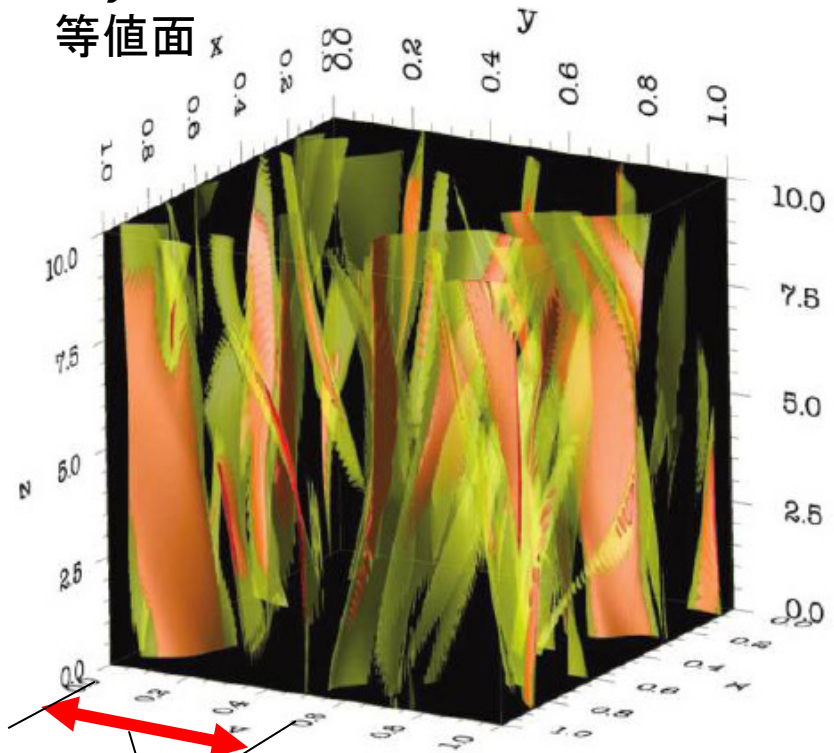


光球で粒状斑
スケールで磁場
を動かした
シミュレーション

Rappazzo et al. (2008)

カレント

j^2
等値面



光球 「ひので」SOT
光球磁場分解能(0.3秒角)

ひのでXRT, EISコロナ分解能(~2秒角)

コロナ領域でさらに空間分解能をあげると
基本構造が見えてくる？