

# 次期太陽観測衛星「Solar-C」計画 —新提案に向けて—

一本潔<sup>1)</sup>、原弘久<sup>2)</sup>、清水敏文<sup>3)</sup>、坂尾太郎<sup>3)</sup>、  
末松芳法<sup>2)</sup>、鹿野良平<sup>2)</sup>、勝川行雄<sup>2)</sup>、久保雅仁<sup>2)</sup>、  
石川遼子<sup>2)</sup>、吉原圭介<sup>3)</sup>、草野完也<sup>4)</sup>、渡邊鉄哉<sup>2)</sup>、  
他、Solar-C WG

1) 京都大学、2) 国立天文台、3) JAXA、4) 名古屋大学

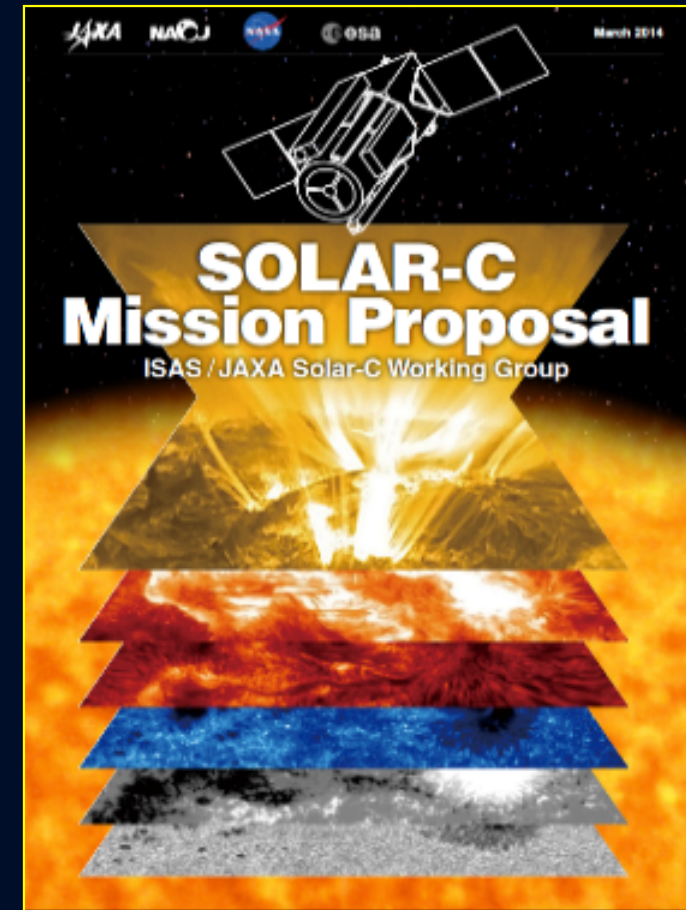
# Solar-Cのミッション提案 2015 Feb.

## 科学目的:

太陽表面から太陽コロナおよび惑星間空間に繋がるプラズマダイナミクスをひとつのシステムとして理解するとともに、宇宙に普遍的に現れる磁気プラズマの素課程を解明する

## 3つの課題:

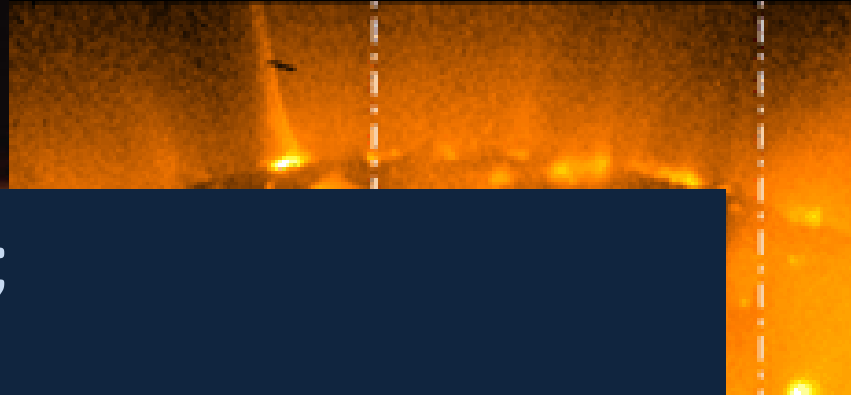
- I. 彩層・コロナ・太陽風の形成機構の解明
- II. 太陽面爆発現象の発現機構の究明と発生予測のための知見獲得
- III. 太陽放射スペクトルの変動機構の解明



# 「ひので」の発見 (査読論文: 861編; 2006~14.10) = 電磁流体の普遍的素過程



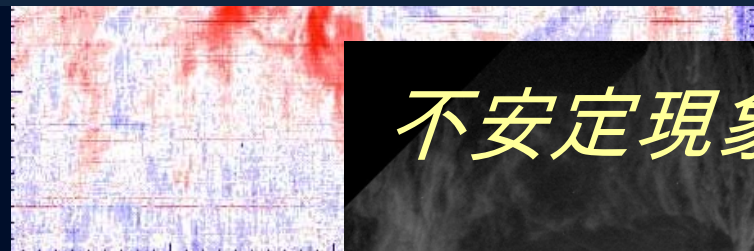
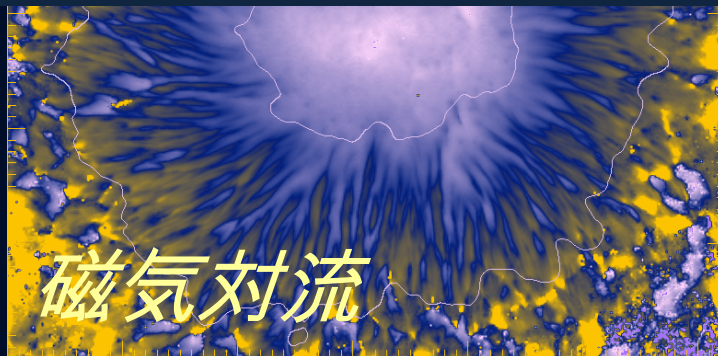
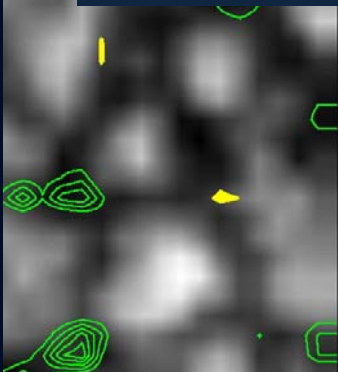
波動



「ひので」が明らかにしたこと;

- 小さなスケール(要素構造)の磁気プラズマ過程の連鎖によって大きなスケールの構造が形成される。
- 6000度の光球と100万度のコロナをつなぐ境界領域(彩層)はきわめてダイナミックであり、太陽物理学の課題解明の鍵を握る。

音  
層

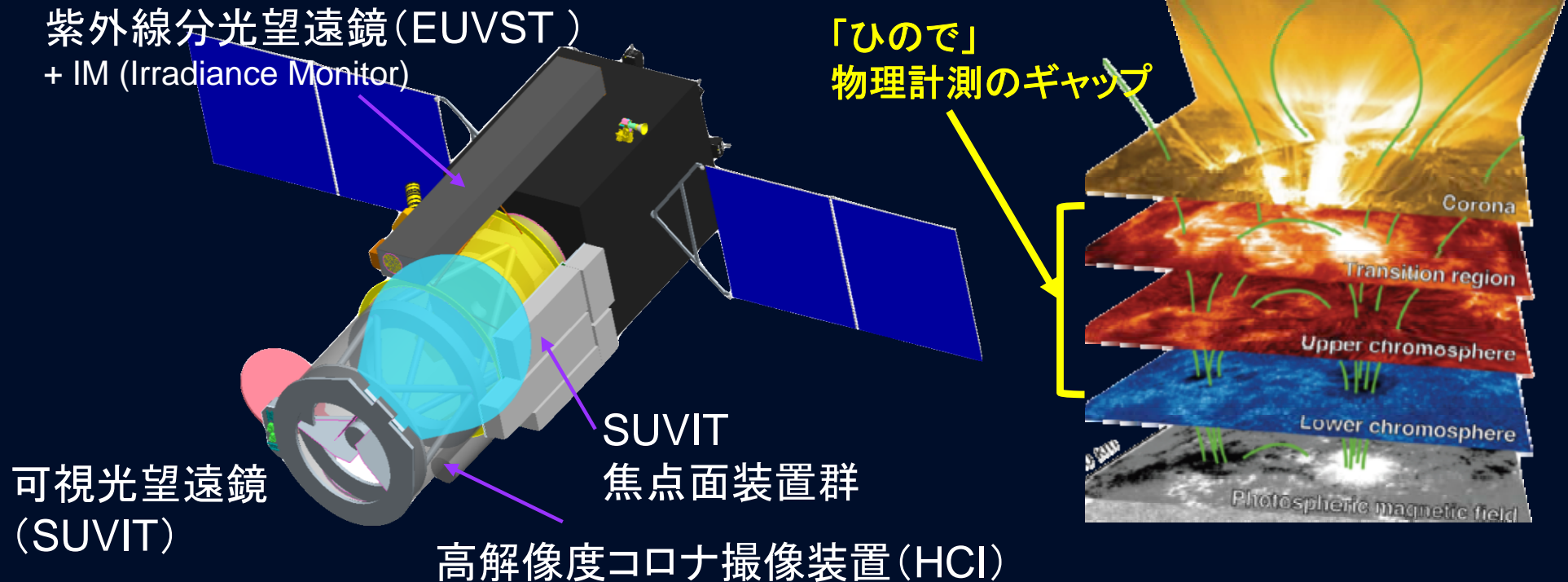


不安定現象



# Solar-Cのミッション提案 2015 Feb.

## 先進的な3つの観測装置



## 「ひので」からのジャンプ

- (1) 空間分解能の向上 約10倍 (コロナ観測)、3倍 (光球彩層観測)
- (2) 偏光分光能力の大幅強化 → 彩層磁場計測
- (3) 高感度(高スループット) → 時間分解能と精度の向上 約10倍
- (4) 観測波長の拡張による太陽大気的全階層アクセス

# Solar-Cのミッション提案 2015 Feb.

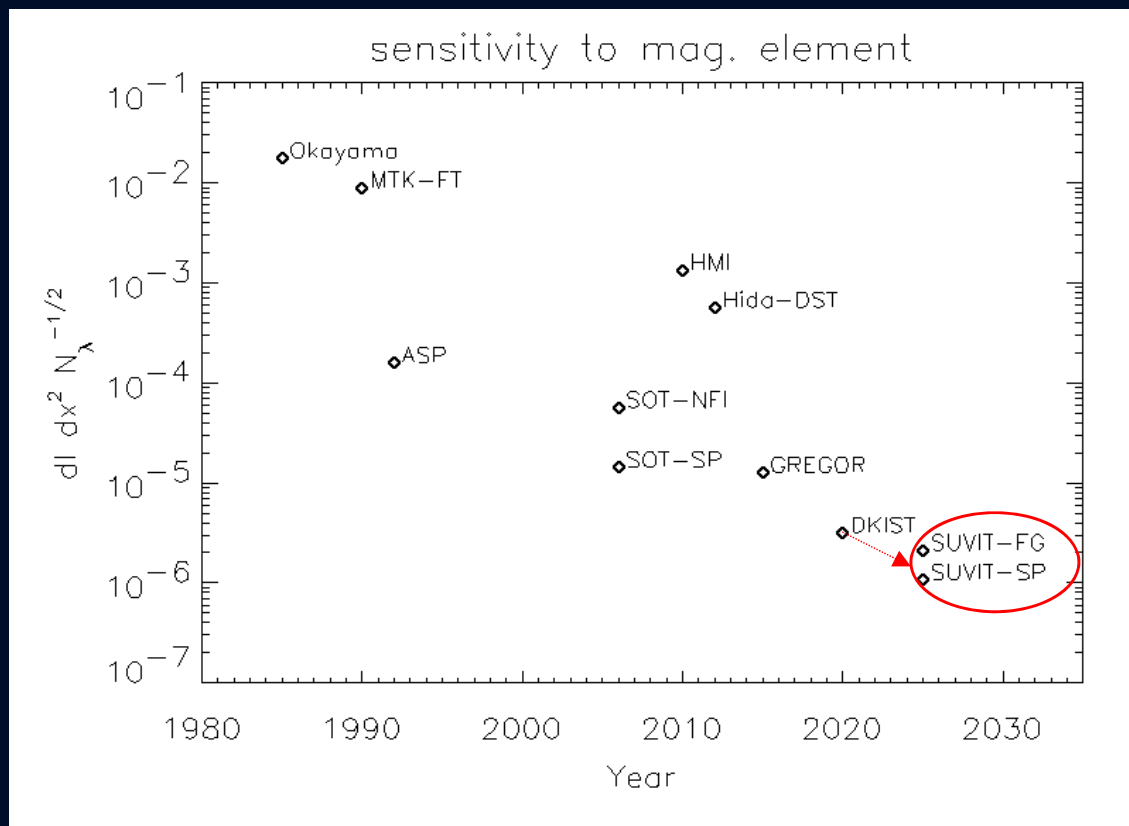
- 大規模な国際協力を前提
  - (ESA+NASAによるJAXAと同規模の予算)
- しかしESA Cosmic Vision (M4) への提案が不採択 (2015.5)
- 理学委員会から高い評価を得るがMDR通過ならず
  - WGに差し戻し
- Solar-C WGは計画を練り直し次の戦略的中型を目指す。
  - 大型望遠鏡群による高解像度・高精度観測は、太陽プラズマ科学の必然的な次ステップであり、Solar-Cはその世界で唯一のミッションである。
- 課題
  - 「実現可能」な計画にする
  - 彩層磁場計測で課題達成できることの明快な説明
  - ➔ 科学課題の「先鋭化」

# Solar-Cのサイエンス先鋭化へのアプローチ

- 超高解像度の地上観測との協調
  - SUVITは口径を縮小し広視野、長時間安定観測の利点を強化
- 科学的重要度のトレードオフにより観測波長の厳選
  - SUVITの紫外線撮像分光装置 (UBIS; 220-350nm) を削除
  - 太陽放射モニター装置 (200-20000nm) を削減 (オプション化)
  - HCIオプション化の可能性を検討 (EUVSTに撮像系を内蔵、等)
- EUVST の機能縮小の可能性検討 (分解能、波長?)
- 他衛星 (小型ミッション等) で部分的実現可能性の検討
- Joint Solar-C Science Definition Team (JAXA+NASA+ESA) による科学課題の精査を近々に開始予定。

# 超高解像度地上観測との協調

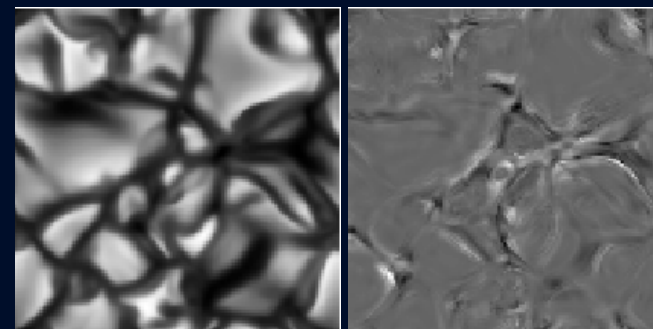
微小磁束(エネルギー要素)の検出限界  
 $\propto$  偏光精度  $\times$  空間分解能<sup>2</sup>



DKIST (Daniel K. Inouye Solar Telescope)

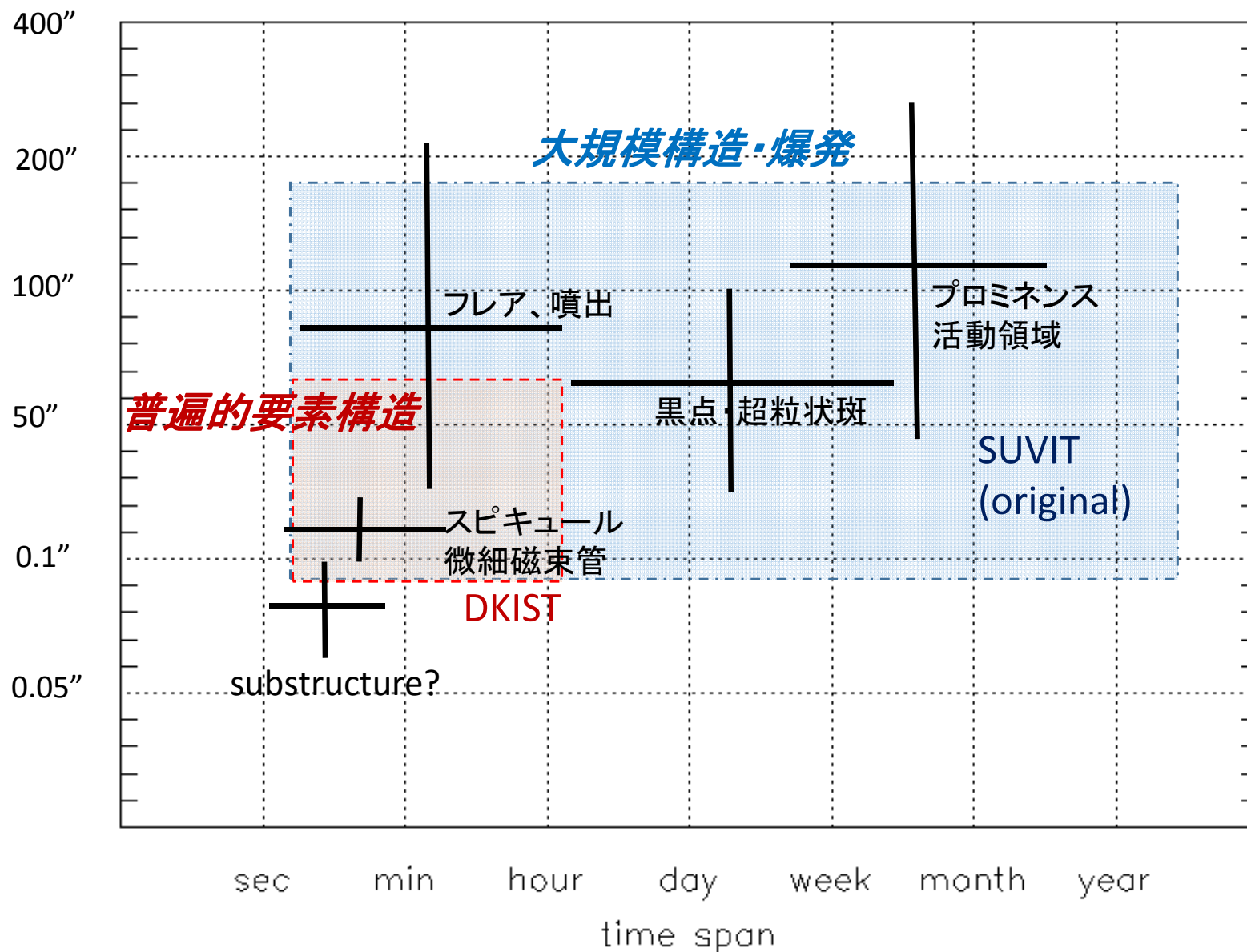


- 口径4m ハワイに建設中
- 運用開始 2020年頃
- 超高解像度撮像 (0.06" @1 $\mu$ m)



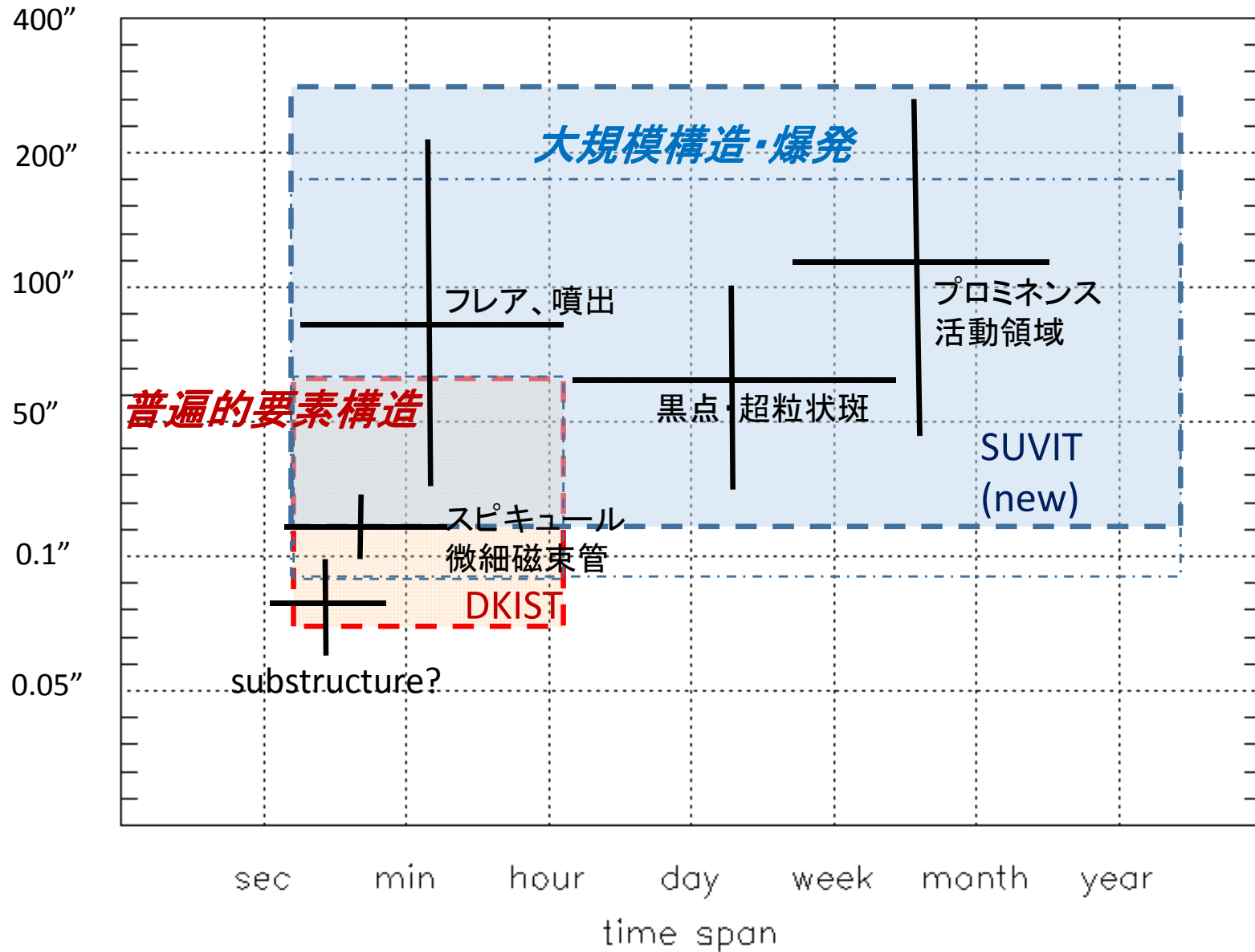
超高解像度でみる光球磁気要素  
 (数値シミュレーション)

# 磁場観測がカバーする空間・時間スケール





# 磁場観測がカバーする空間・時間スケール



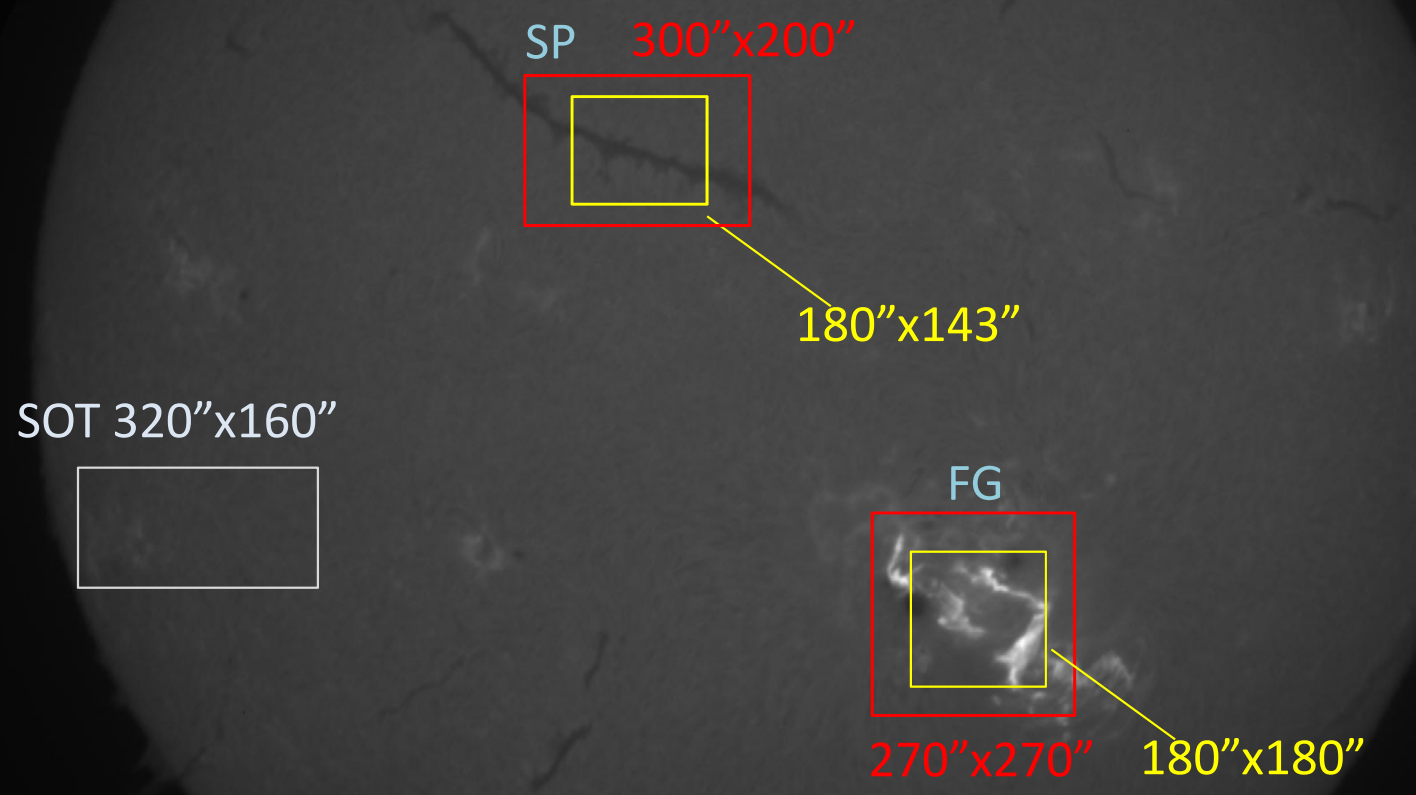
# SUVITの基本性能

	2015 提案	検討中
口径	1.4m	1m <sup>*)</sup>
観測波長	220~1100nm	380~1100nm
空間分解能		
光球磁場	0.09"	0.13"
彩層磁場	0.14"	0.22"
光球彩層撮像	0.07"	0.1"
視野		
撮像装置	180"x180"	270"x270"
分光装置	180"x140"	300"x200"
積分時間		
光球磁場 ( $1 \times 10^{-3}$ )	1sec	1sec
彩層磁場 ( $3 \times 10^{-4}$ )	10sec	10sec

口径1m: 光球の磁気要素 (~100km) を解像し、  
0.3" の彩層磁場 (10Gauss) を10秒の積算で検出できる集光力

2014.10.24  
21:42:44

Up: Solar North  
Right: West



Hida Obs.

# Solar-C の科学課題 (2015提案)

I. 彩層・コロナ・太陽風の形成機構の解明		
I-1	スピキュールの起源	足下磁場構造、衝撃波、捻れ
I-2	ナノフレア仮説の検証	微小増光、非熱的運動
I-3	波動加熱説の検証	波動モード、エネルギー束、熱化過程
I-4	太陽風加速機構の解明	3D磁場構造、コロナ中 Alfvén 波
I-5	プロミネンスの形成機構	磁場構造、質量循環
II. 太陽面爆発現象の発現機構の究明と発生予測のための知見獲得		
II-1	エネルギー蓄積機構	光球彩層磁場
II-2	トリガー機構	浮上磁場, 彩層微小磁気リコネクション
II-3	爆発メカニズム	大規模ダイナミクス、電流系
II-4	高速リコネクション	電流シート、プラズモイド、衝撃波
III. 太陽放射スペクトルの変動機構の解明		
III-1	UV 放射機構	微細UV 放射源の磁場構造
III-2	TSS/SSI モニター	TSI/SSI

# Solar-C の科学課題 (2015提案)

## I. 彩層・コロナ・太陽風の形成機構の解明

I-1	スピキュールの起源	足下磁場構造、衝撃波、捻れ
I-2	ナックル構造の検証	微小増光、非熱的運動
I-3	波の伝播の検証	対流モード、エネルギー加熱過程
I-4	太陽風加速機構の解明	3D磁場構造、コロナ中 Alfvén 波

**設定課題の見直し;**  
**微細構造の検証と大規模構造のつながりを強化**

I-5	プロミネンスの形成機構	磁場構造、質量循環
-----	-------------	-----------

## II. 太陽面爆発現象の発現機構の究明と発生予測のための知見獲得

II-1	エネルギー蓄積機構	光球彩層磁場
II-2	トリガー機構	浮上磁場, 彩層微小磁気リコネクション
II-3	爆発メカニズム	大規模ダイナミクス、電流系
II-4	高速リコネクション	電流シート、プラズモイド、衝撃波

**広視野化により補足率向上**

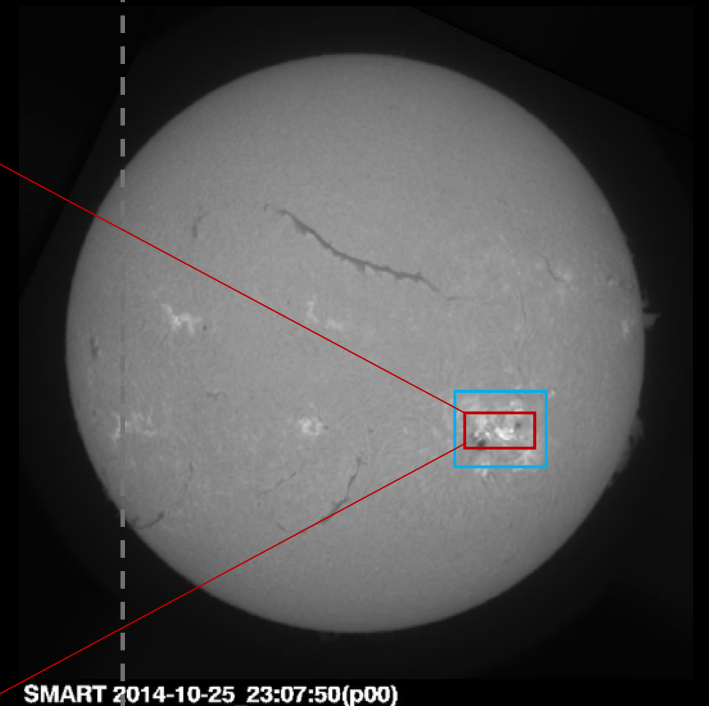
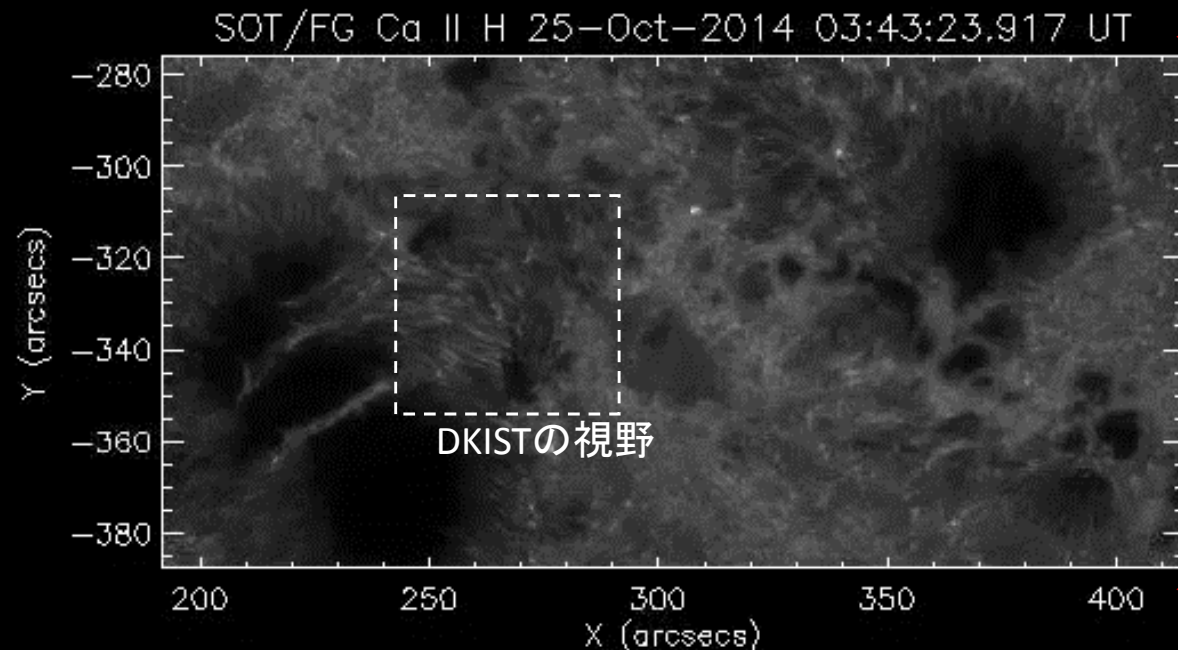
## III. 太陽放射スペクトルの変動機構の解明

III-1	UV 放射機構	主課題としな微細放射源の磁場構造
III-2	TSS/SSI モニター	TSI/SSI

# 課題：活動領域の形成、フレア

SUVITの視野

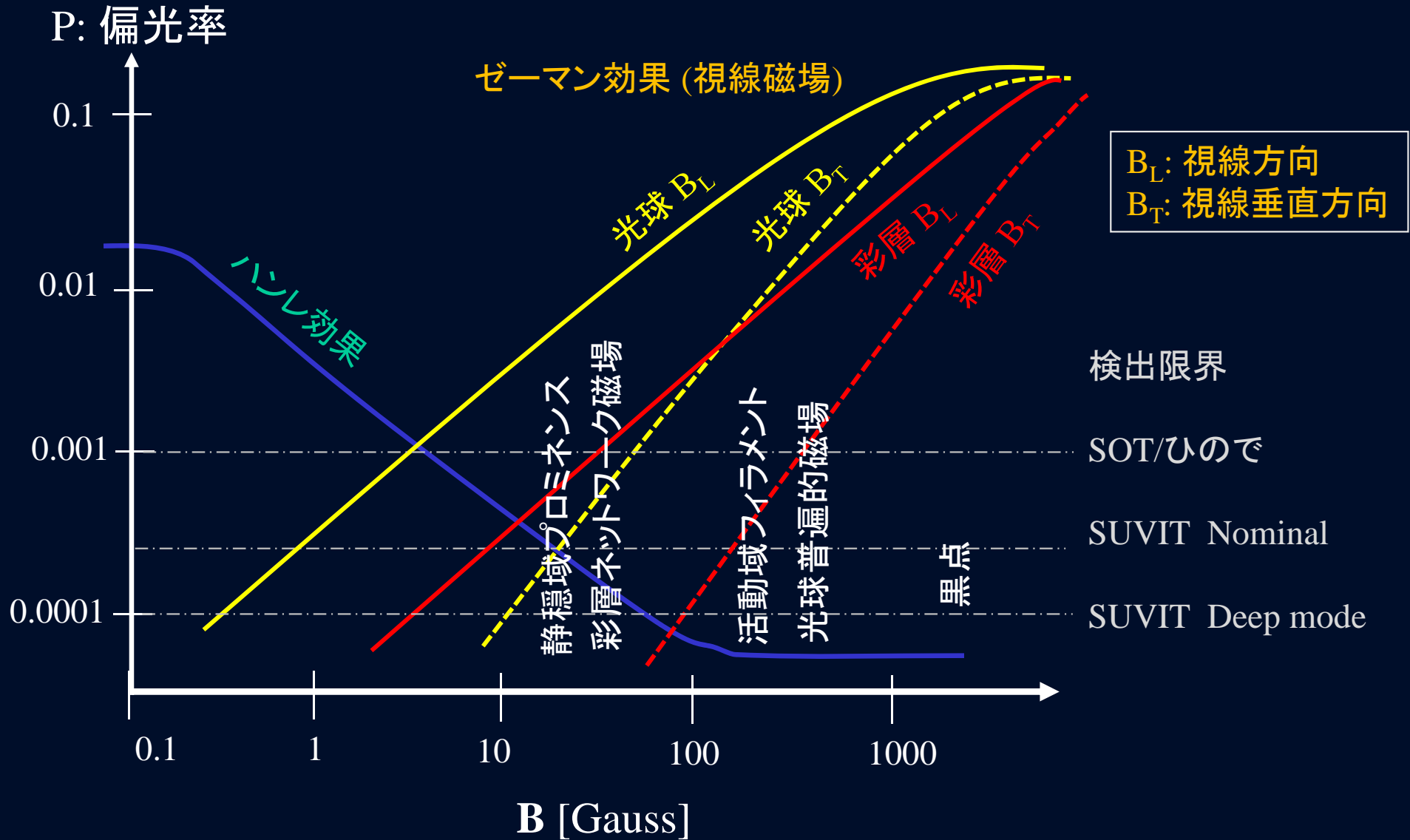
「ひので」による彩層観測



## Solar-Cの彩層物理診断・・・ 2次元から3次元へ・・・

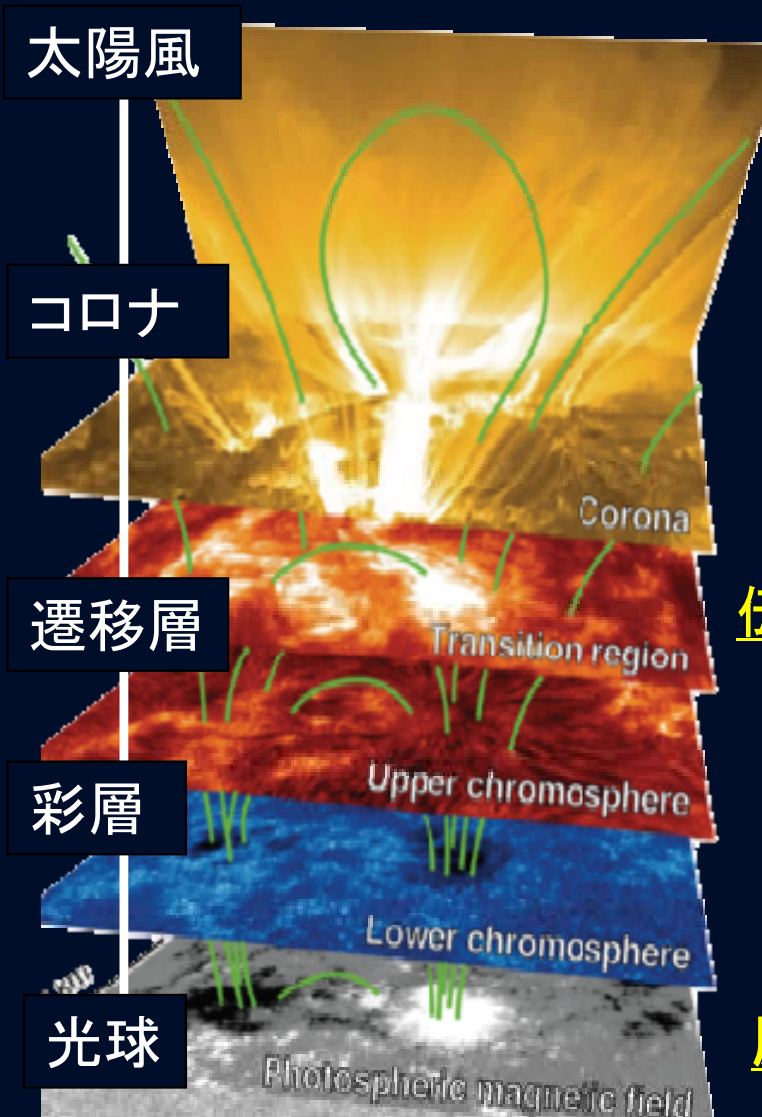
- ・磁気中性線に横たわるダークフィラメントのベクトル磁場を計測
- ・微小彩層ジェット (< 0.2") がコロナに供給する波動エネルギー、質量フラックスを計測
- ・光球 ( $\beta > 1$ ) からコロナ ( $\beta \leq 1$ ) への磁力線 (電流) のつながりを同定
- ・フレアに至るエネルギー蓄積、不安定化開始条件の理解
- ・光球から彩層に浮上する磁束を3次元的に捉え電流シートの形成過程を理解

# SUVITの磁場検出精度



# 彩層・コロナ・太陽風の形成機構の研究

例：スピキュールの形成機構とコロナへのエネルギー・質量供給



太陽風

コロナ

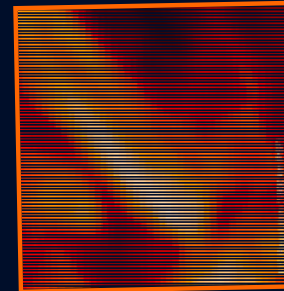
遷移層

彩層

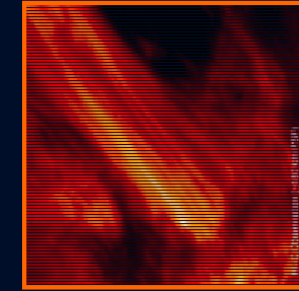
光球

熱化:

[ *Hinode* ]



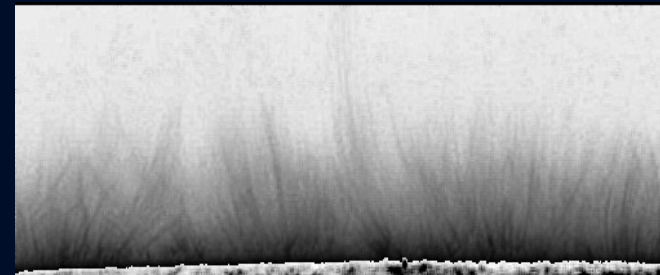
[ *Solar-C* ]



高解像  
多温度解析

非熱的運動、  
高温プラズマの発生

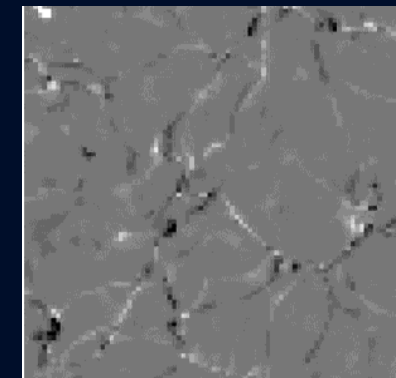
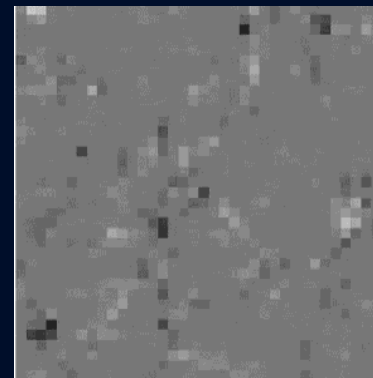
伝搬:



磁場・速度場計測

← スロー衝撃波、捻れ波動  
← エネルギーフラックス評価  
← コロナへ繋がる磁力線、  
彩層内電流シート同定

励起:



磁束管相互作用検出10倍以上

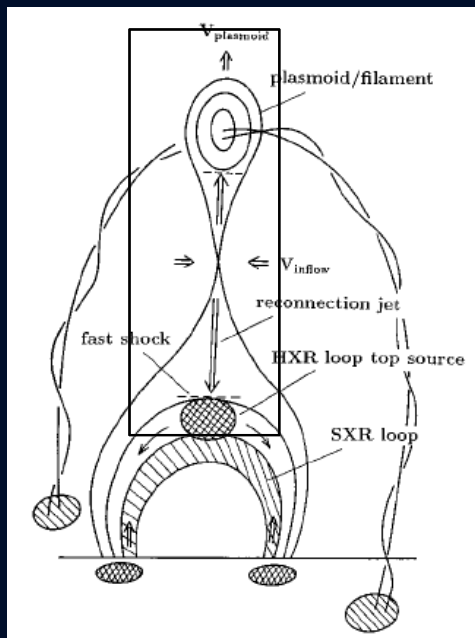
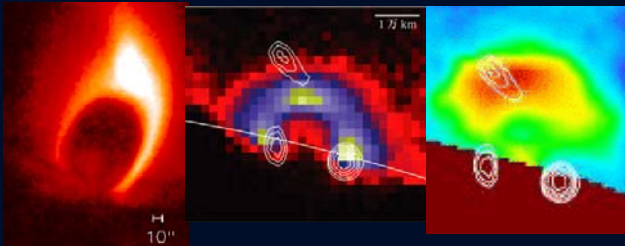


# 磁気リコネクション研究

課題： 高磁気レイノルズ数での高速リコネクションのメカニズムを解明する。

## Yohkoh

### カスプ構造の発見

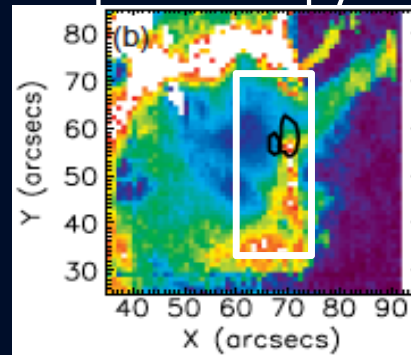


Shibata et al. (1995)

## Hinode & SDO

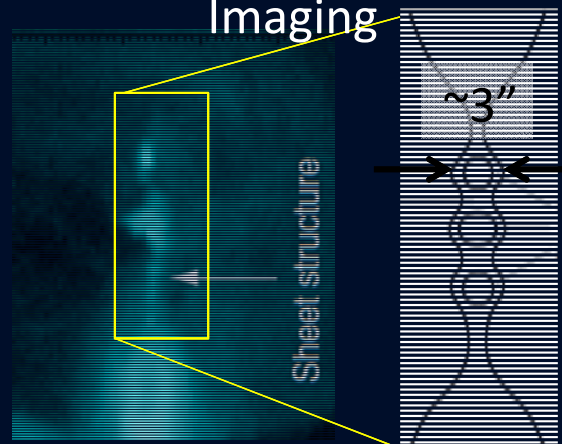
### 磁気島と流速の測定

#### Spectroscopy



Hara et al. (2011)

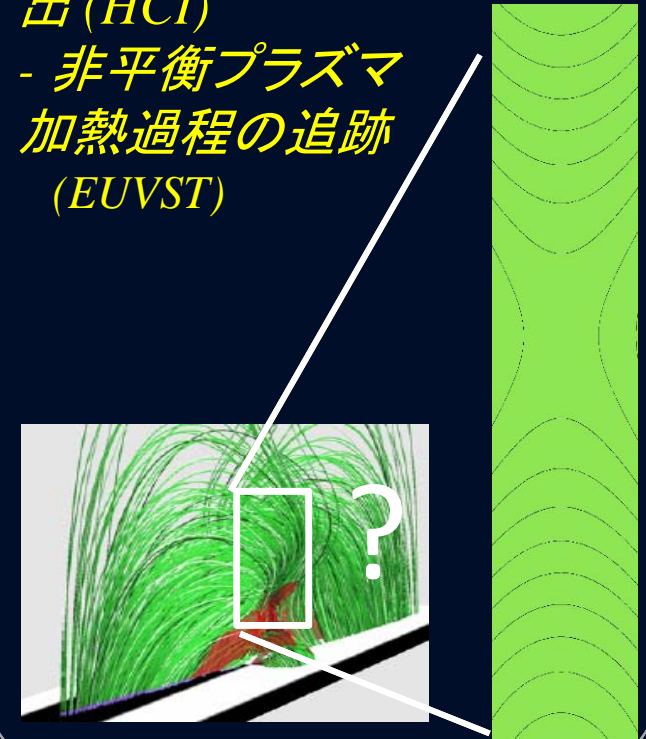
#### Imaging



Takasao et al. (2012)

## SOLAR-C

- 磁場不連続構造(電流シート)の直接同定 (SUVIT)
- 内部磁気島と衝撃波の検出 (HCI)
- 非平衡プラズマ加熱過程の追跡 (EUVST)



# Solar-Cの科学的広がり

## 天文学

恒星大気、フレア、活動天体  
宇宙・天体磁場

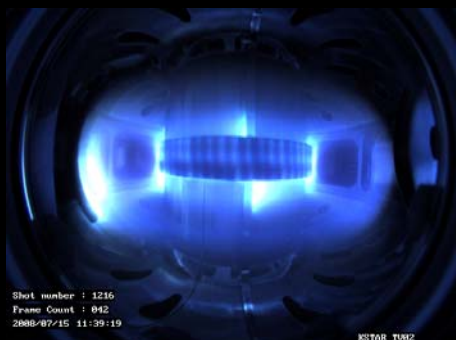
Solar-C

## 地球・惑星環境と社会

惑星間空間擾乱、  
フレア予測と宇宙天気  
太陽周期活動の影響

## プラズマ物理学

磁気リコネクション機構  
MHD乱流、衝撃波粒子加速



# まとめ

- ◆ Solar-Cは「ひので」が扉を開いた太陽プラズマ科学をさらに発展させ、結実させるミッション。太陽圏を支配する太陽活動大気の起源と宇宙磁気プラズマの普遍的素過程の解明を目指す。
- ◆ 「ひので」より約一桁高い分解能と検出感度、さらに新たなプラズマ診断機能を、「ひので」で獲得したヘリテージを最大限活用して実現。
- ◆ 日本と世界の太陽コミュニティが一致して実現を目指す唯一の高解像高精度太陽観測ミッション。
- ◆ スペースでのみ可能な科学課題に先鋭化し、国際協力を具体化して、次期戦略的中型ミッションに再提案を準備中。