

空へ挑み、宇宙を拓く



SOLAR-C ミッション

常田佐久(自然科学研究機構・国立天文台)

国際ISAS/JAXA SOLAR-C WG主査

宇宙科学シンポジウム講演

宇宙科学研究所・2012年1月5日

Solar-C A案・B案の選定結果

(日本Solar-C WG決定 2011年3月)

- B案(高分解能撮像分光ミッション)をSOLAR-Cとして選定した。現在、NASA, ESA・欧州諸国と協力して、SOLAR-C計画の詳細検討を行っており、JAXAにミッション提案をする。
- A案(太陽極域探査ミッション)のサイエンスへの評価も国際的に極めて高く、将来のSOLAR-D衛星としての実現を目指して検討を継続する。

太陽物理残された諸問題

Yohkoh (1991- 2001)

With NASA/TRACE

光球と彩層、コロナの磁場構造 (SOLAR-C)

彩層・コロナの加熱 (SOLAR-C)

高速太陽風の加速・加熱機構 (SOLAR-C)

磁気プラズマの基礎過程 (SOLAR-C)

局所ダイナモ過程 (SOLAR-C/D)

太陽内部の構造と流れ場 (SOLAR-D)

大局的ダイナモ過程 (SOLAR-D)

フレア, CMEと粒子加速

SOLAR-C打上げ

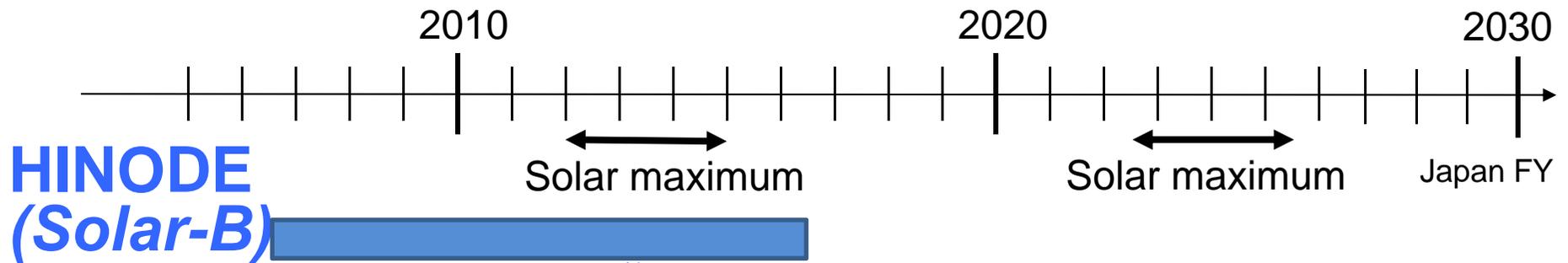
2019年冬

(要望)



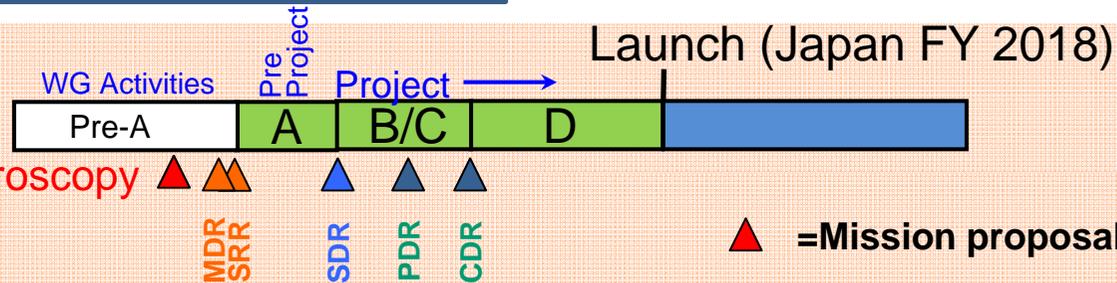


Solar&helio physics roadmap 2011-2030: From SOLAR-C to SOLAR-D



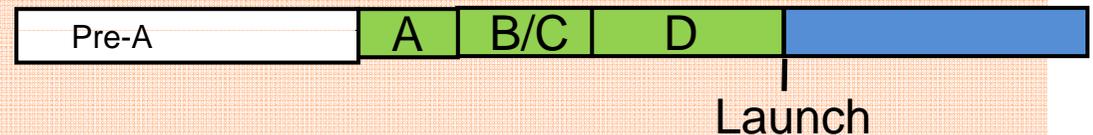
Solar-C

High resolution spectroscopy
(plan B-satellite)

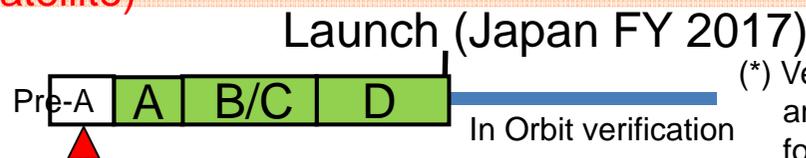


Solar-D

Out-of-ecliptic mission
(Success-guaranteed plan A-satellite)



Engineering mission^(*)
(ISAS small satellite series #3)



^(*) Verification of large ion engine and other technologies to be used for future deep space missions

ISAS/JAXA Solar-C WG

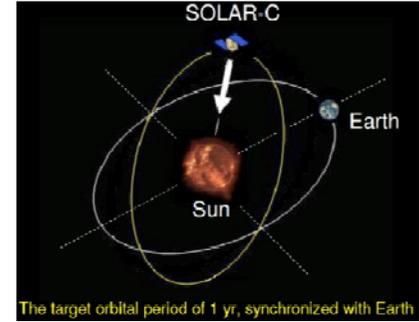
JSPEC/JAXA out-of-ecliptic solar mission WG

11 March. 2011

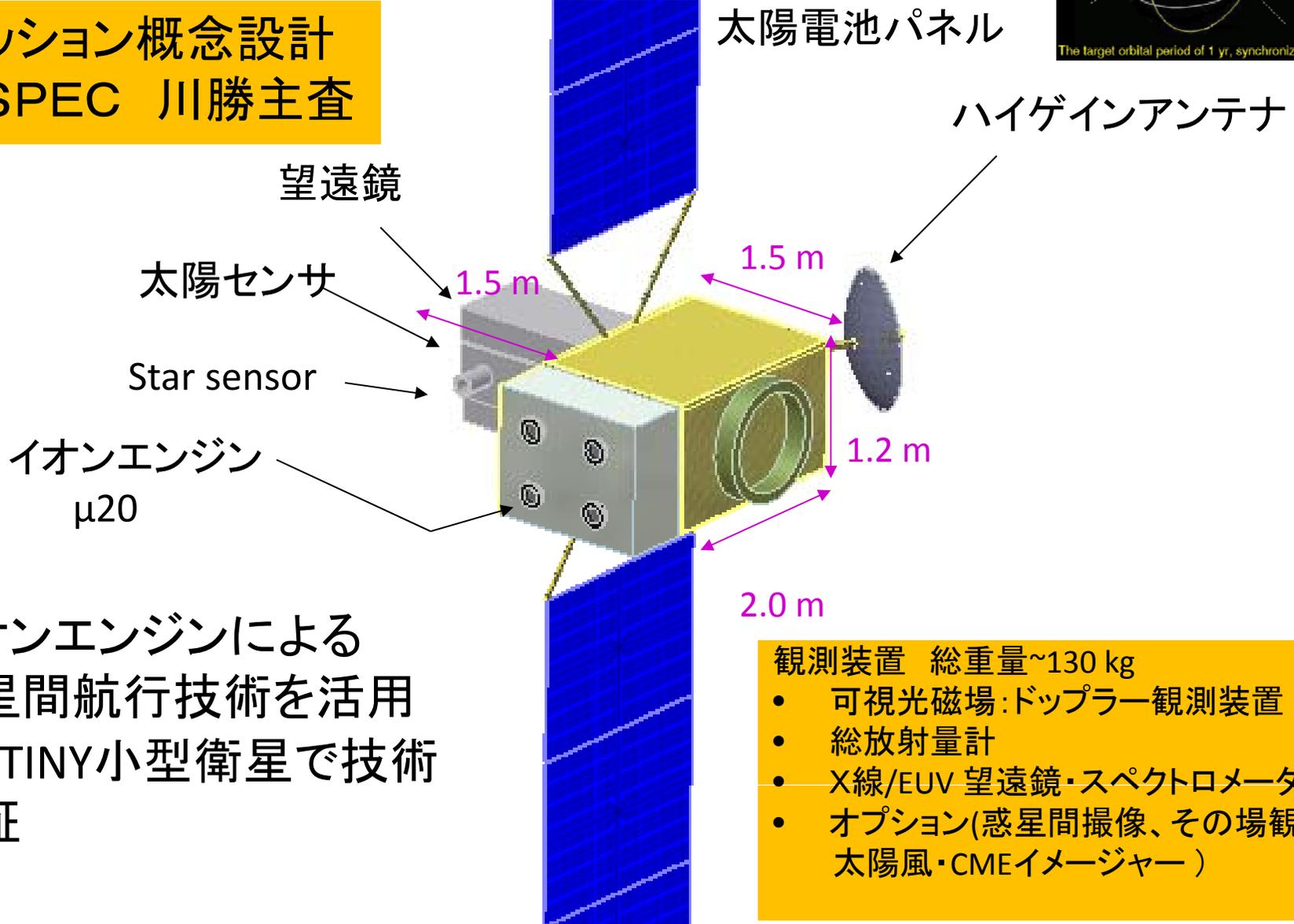
- Pre-A: Pre-Phase-A (WG activities)
- A: Phase-A (R&D)
- B/C: Phase-B/C (PM phase)
- D: Phase-D (FM phase)
- SSSC: Space Science Steering Committee



Solar-D 黄道面離脱 ミッション



ミッション概念設計
JSPEC 川勝主査



イオンエンジンによる
惑星間航行技術を活用
DESTINY小型衛星で技術
実証

- 観測装置 総重量~130 kg
- 可視光磁場:ドップラー観測装置
 - 総放射量計
 - X線/EUV 望遠鏡・スペクトロメータ
 - オプション(惑星間撮像、その場観測
太陽風・CMEイメージャー)



Solar-Cの科学目的

- 光球—彩層—遷移層—コロナの磁場を直接的(偏光分光観測)・間接的手法(数値的外そうモデル)を駆使して明らかにする。光球より上空の磁場構造はほとんど知られていない。
- 同時に光球からコロナ・フレアまでの温度的に隙間のない分光観測(光子計測手法を含む)を行い、熱力学的諸量とプラズマのダイナミクス(ジェット、波動、乱流)を明らかにする。
- これにより磁気リコネクションを起こす磁気中性面を同定したり、磁気リコネクションの構造や波動の伝搬の性質を明らかにし、彩層・コロナの加熱、太陽風の加速を解明する。
- これらを光球—コロナのシステムとして、すなわち磁氣的結合を明らかにする。



科学目的から観測装置要求へ

- 「ひので」によるフィリングファクターの観測から、光球では、
~0.1秒角、彩層より上では~0.2-0.4秒角程度(詳細検討中)
の空間分解能が必要。
- 高解像度観測と分光観測を太陽大気全域に対して隙間なく
行うため、波長別に3台の望遠鏡を必要とする。
- 分光観測は、(偏光)分光装置(可視・紫外線)および光子計
測の方法(X線)で行う。
- (1)高い空間解像度、(2)分光に必要な高いSN(光子数)、(3)
彩層の早い時間変動に追随するという3つの要求すべてが
、大口径、高スループットの望遠鏡を必要とする。



SOLAR-C Strawman instruments

3. X-Ray spectrometer (XIS)
1" Grazing incidence telescope
with photon counting and/or
very high-resolution (0".2)
normal incidence telescope

UV spectro-polarimetric
observations: pending CLASP+

Geo-synchronous orbit for
quasi-continuous access to the
spacecraft:

1. Use SOLAR-C as a ground-based observatory to allow real-time response to solar situation,
2. Real time response for space weather

中型衛星

打ち上げロケット JAXA H-IIA

1. UV-Visible-NIR telescope (SUVIT)

Filtergraph+spectrometer

<1.5mφ telescope with filtergraph and spectro-polarimeter. Wide wavelength coverage from photosphere to the upper chromosphere and transition region.

Zeeman+Hanle spectropolarimetry



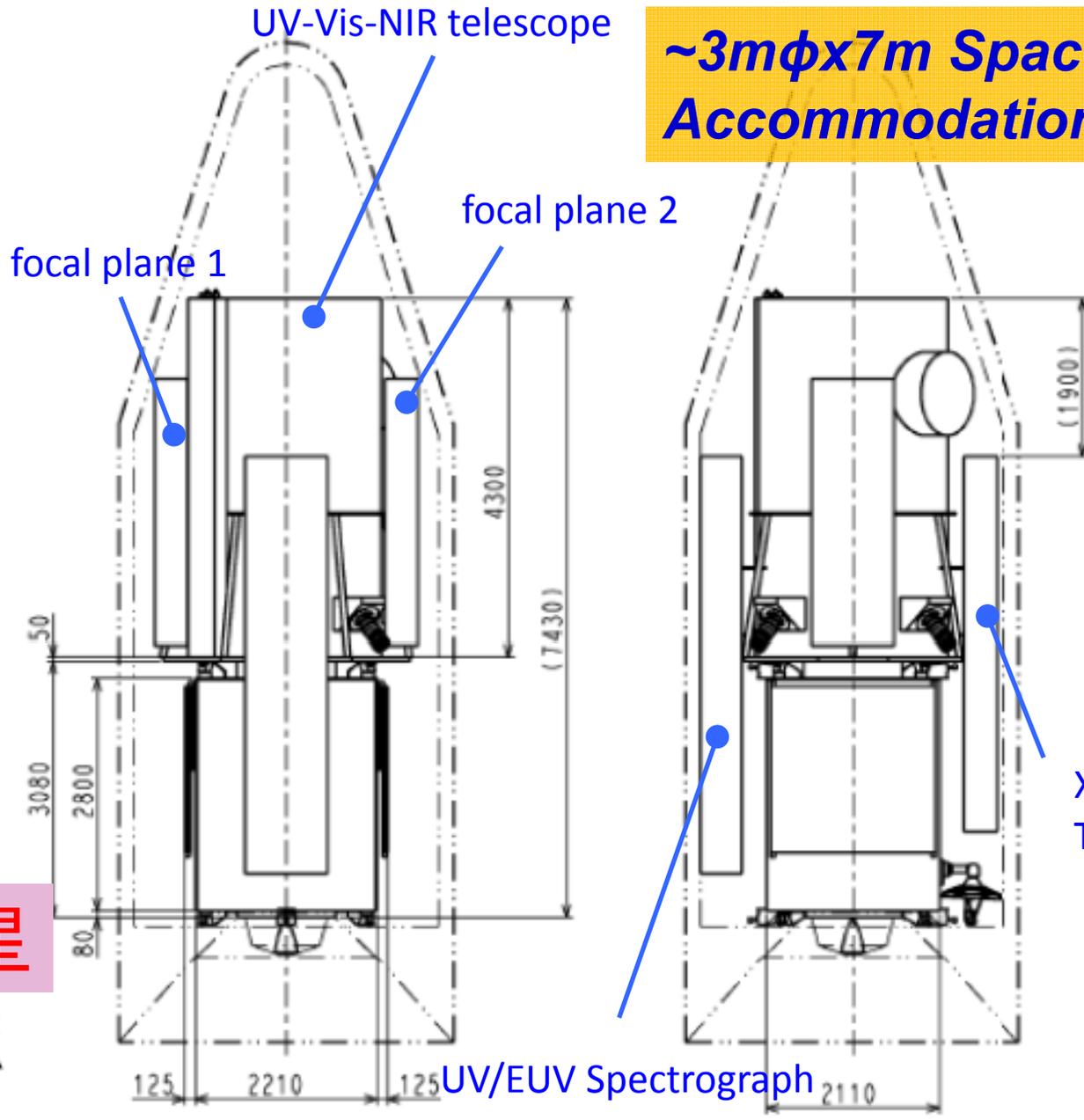
2. High throughput UV/EUV spectrograph (EUVS)

High throughput to achieve high temporal cadence and high spatial (0".3) & spectral resolution. Wide T. coverage (0.01-20MK) including the chromosphere, transition region, low corona, and flares.

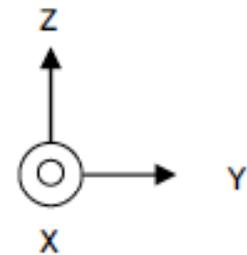
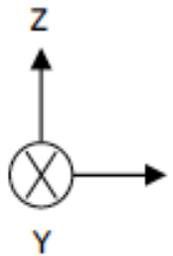
空へ挑み、宇宙を拓く



**~3mφx7m Spacecraft
Accommodation exercise**



中型衛星



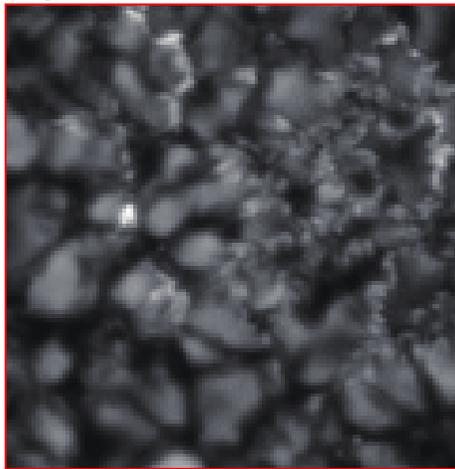
JAXA H-IIA 4S fairing envelope



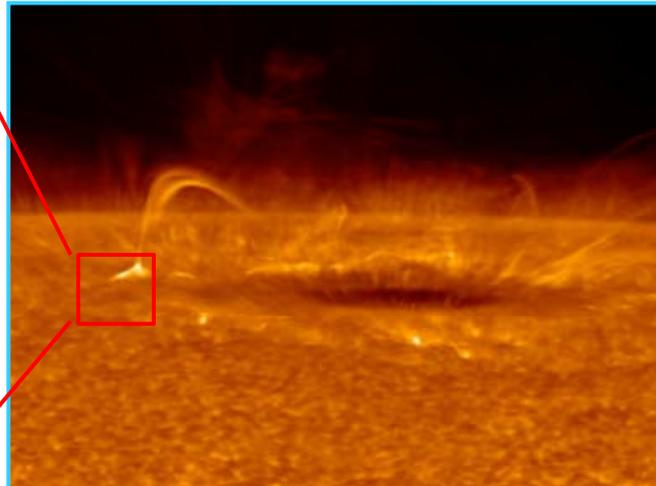
NASAとESAおよび欧州諸国 との国際協力(「ひので」発展型)

- **JAXA&NAOJ etc**
 - 大型光学望遠鏡
 - 可視光望遠鏡の焦点面観測装置の一部
 - X線ミラー (調整中)
 - 衛星と打上げ
- **NASA**(pending US decadal survey)
 - 可視光望遠鏡の焦点面観測装置の主要部
 - X線・EUV望遠鏡
- **ESA & European nations** (pending SPICA resolution)
 - UV分光望遠鏡
 - 大型光学望遠鏡の主鏡・副鏡、試験用フラット一式

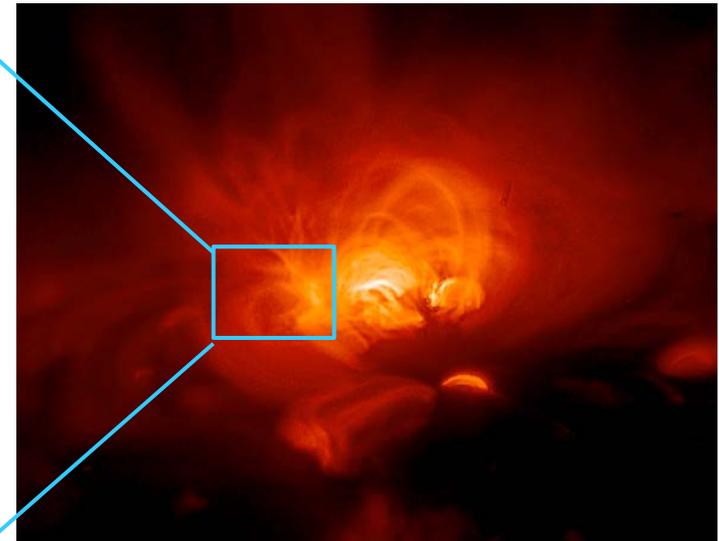
光球下からコロナまでの接続性、 すなわち磁氣的結合の様態を明かにする



エネルギーのリザーブ
アとしての光球



彩層と何か？



2-5MKのコロナの
出来上がり！

SOLAR-Cの概念設計での working questions:

- 彩層の磁場構造をどのように観測するのか？
- コロナの磁場構造をどのように求めるのか？
- 光球・彩層・遷移層・コロナの磁場構造を統一的に求めることができるか？
- 「ひので」EISで観測された輝線の膨らみ、高速上昇流の正体は？
- 「ひので」のfilling factor観測が示すSOLAR-Cの必要解像度は？

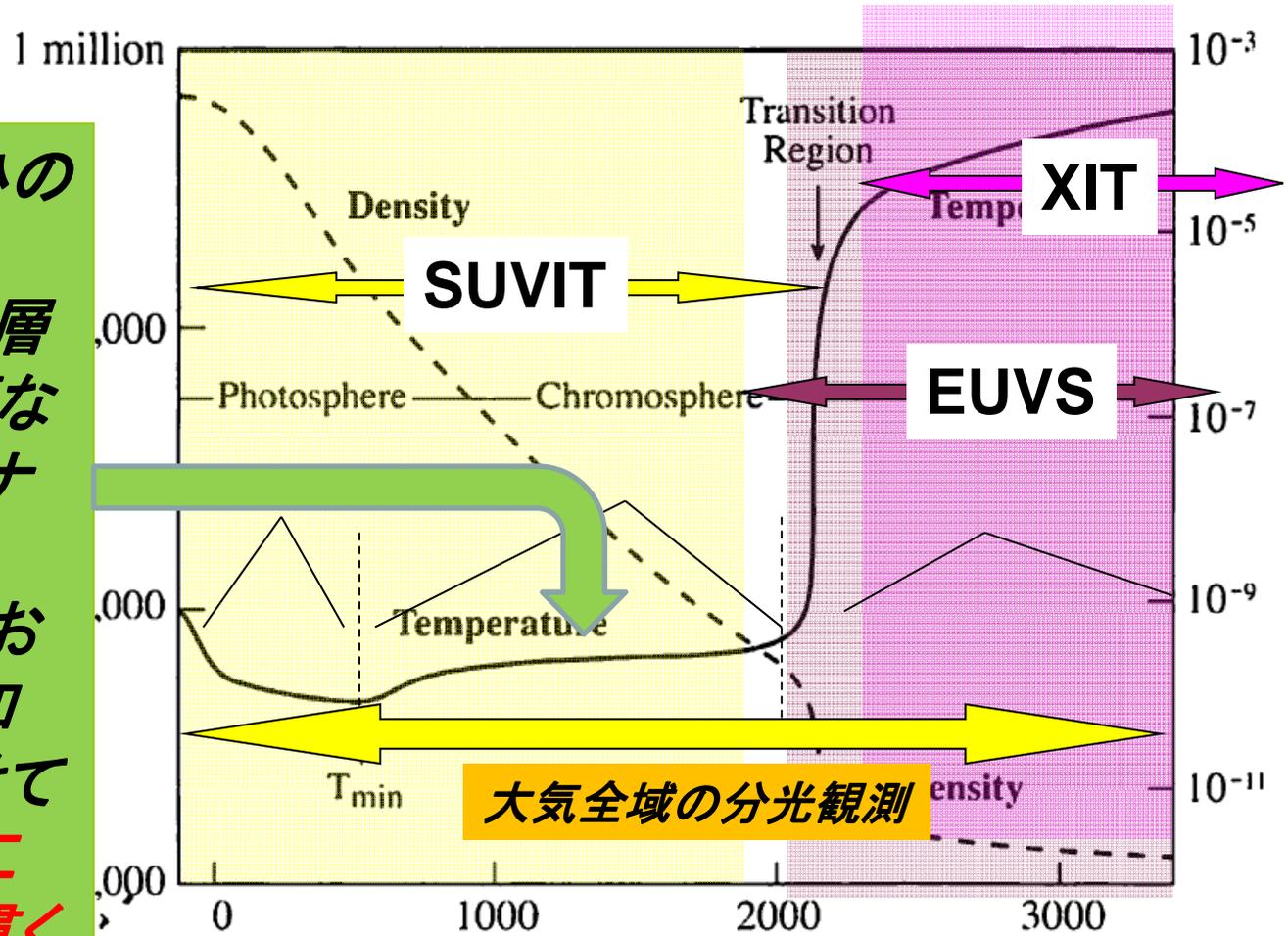


3台の分光望遠鏡で光球下からコロナまでの磁氣的結合を明らかにする

・ムービーが示す「ひので」最大の発見の一つ: 非常に動的な彩層

・彩層の維持に必要なエネルギーは、コロナのそのの $\times 10-100$ 。

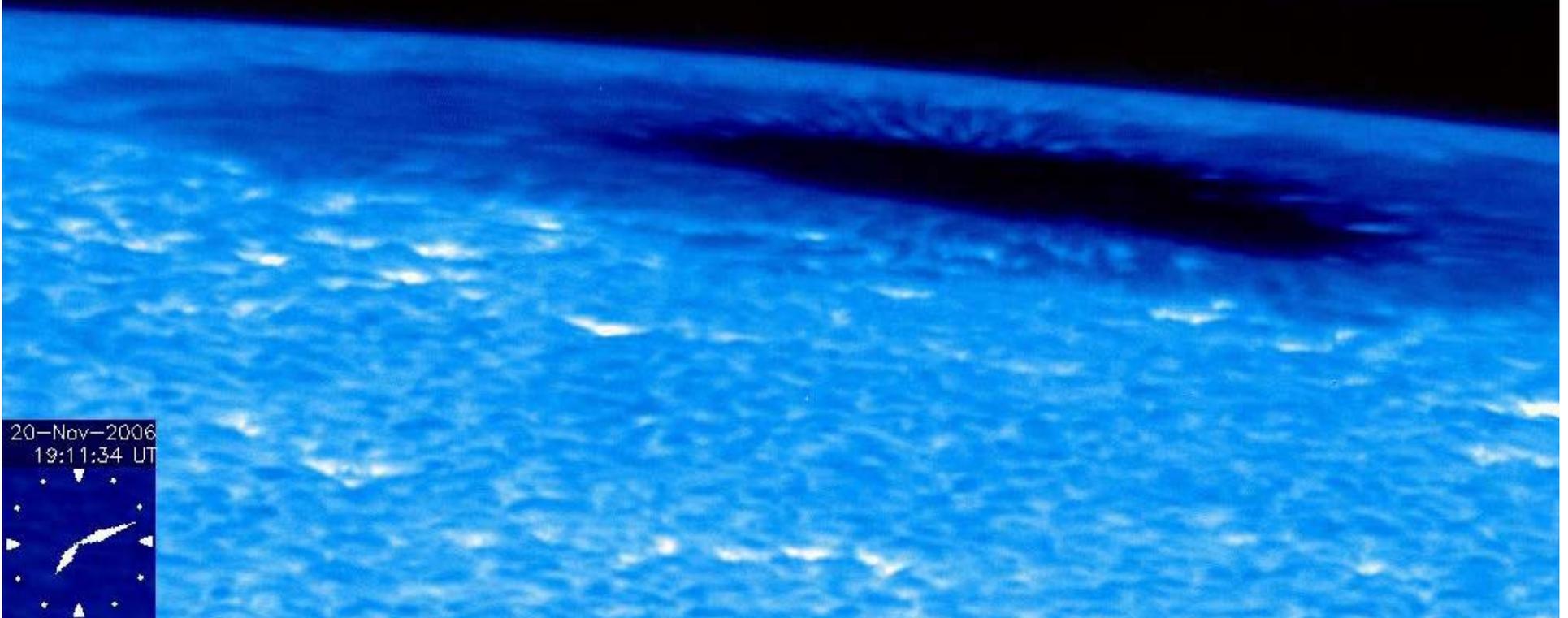
・磁力線は繋がっており、彩層とコロナの加熱と動的現象を分けて考えるべきでない。これが、*SOLAR-C*を貫く設計思想。



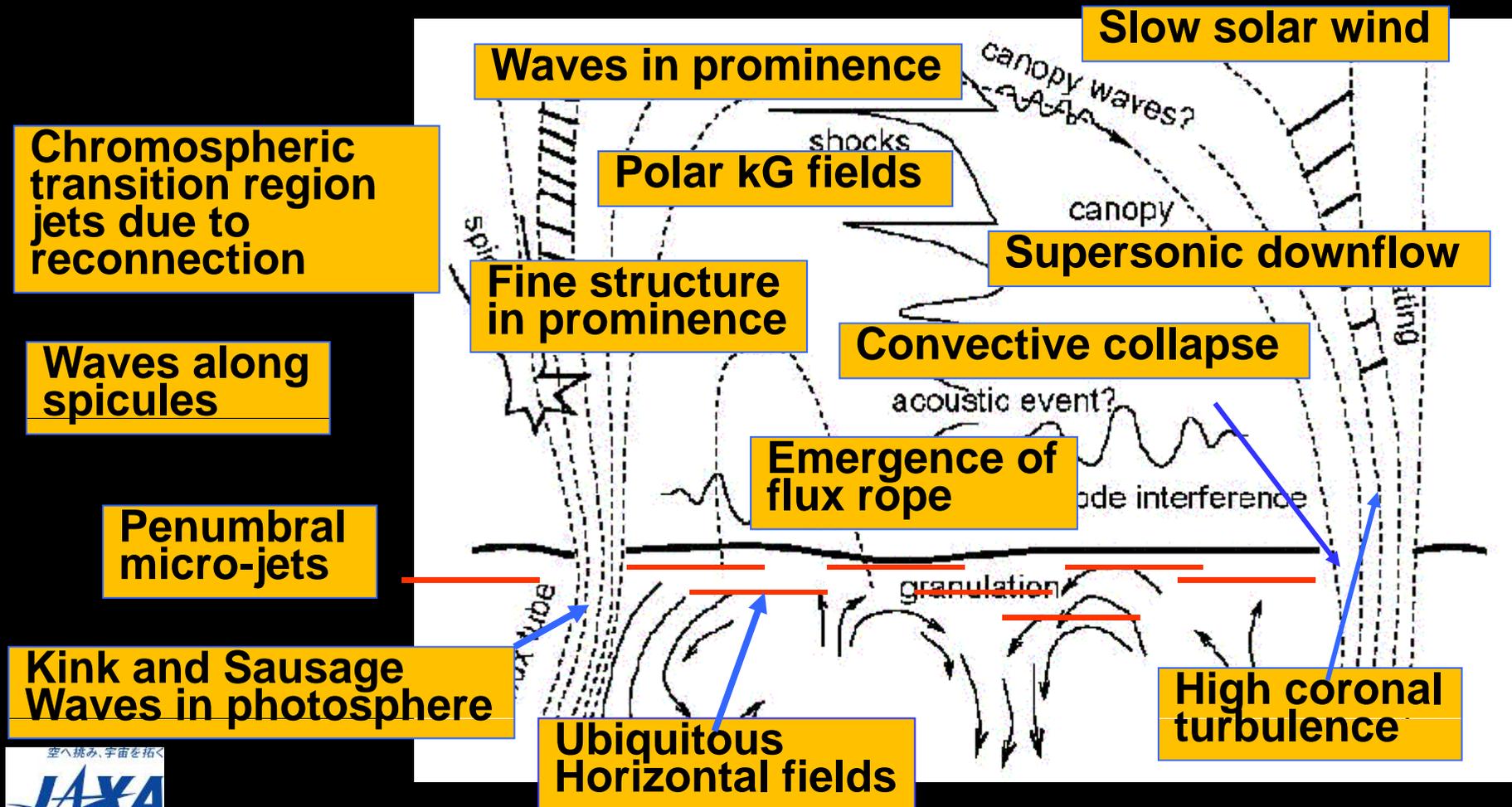
NASA SMEX IRIS: ただの分光
 JAXA SOLAR-C: 偏光分光

このムービーの示すダイナミックな彩層
の姿は「ひので」最大の発見の一つ
(勝川行雄氏作成)

20-Nov-2006
19:11:34 UT



リコネクション、波、乱流、ダイナモ などの素過程が「ひので」で見えだしている





横糸と縦糸の織りなす世界

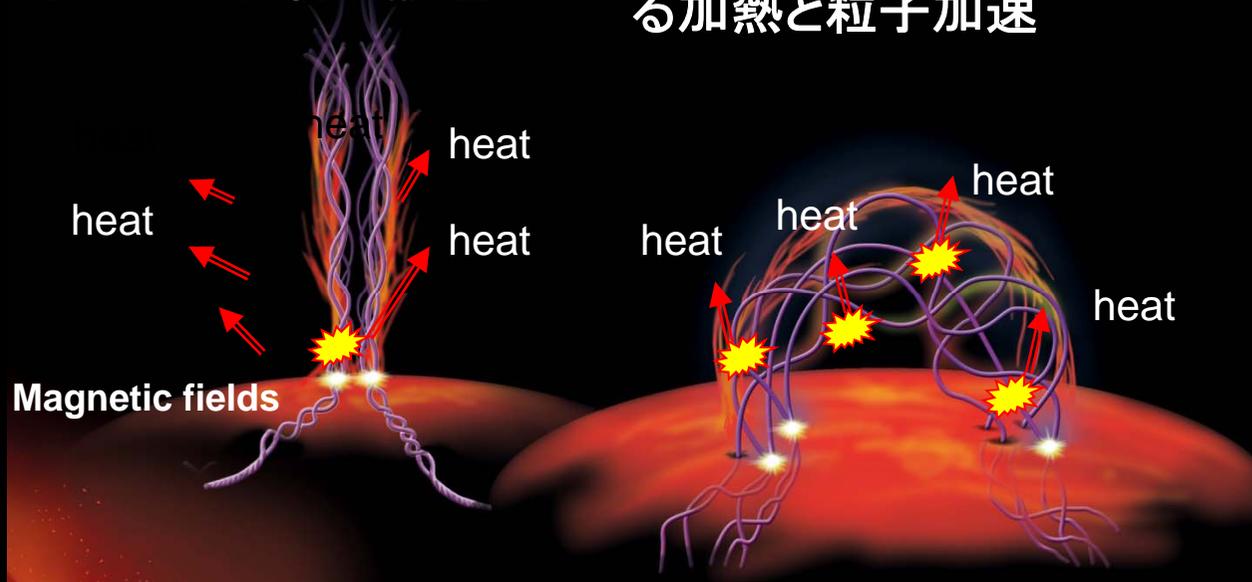
- 解明すべき天文学的現象(彩層・遷移層・コロナの磁場構造とマクロ・ミクロ磁気中性面、彩層・コロナ加熱、太陽風の加速など)を横糸とする。
- それに対して、天体プラズマ素過程(磁気リコネクション、波、乱流、局所ダイナモ、磁束管など)は縦糸になる
- SOLAR-Cにより横糸と縦糸の織りなす多様な太陽プラズマを総合的に観測・解明する。



彩層・コロナ加熱2つの可能性

波動による光球からの
エネルギー伝搬と散逸

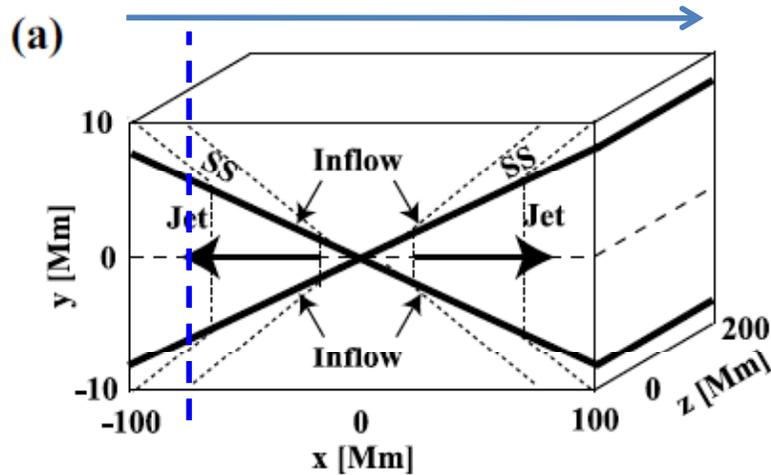
準静的変形による磁場構造の変
化や微細磁気リコネクションによ
る加熱と粒子加速



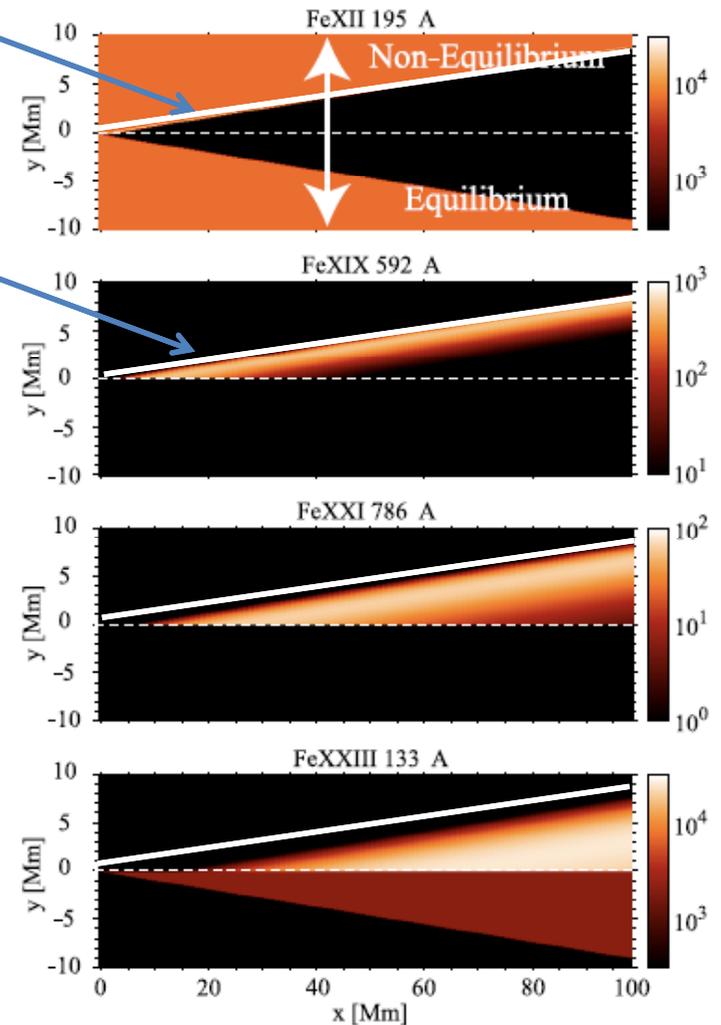
光球・彩層・コロナの磁場構造の観測⇒大口径望遠鏡による偏光分光観測
光球ーコロナの磁気結合の解明⇒光球からコロナの隙間のない分光観測
ダイナミックスの解明⇒偏光分光・分光による速度場・磁場の同時観測
磁気リコネクションによる高温プラズマ形成⇒分光観測と光子計測
早い時間変化⇒大口径・高いスループット

EUVSとXISでインフローとアウトフローの観測によりリコネクション領域の構造を完全解明

Scanning time <100s



Slow-mode Shock



遅いMHDショックの重要性

- ・遅いMHDショックは存在するか？
（存在せねばならない）
- ・遅いMHDショックは電子とイオンにどうエネルギーを分配するか？
- ・早いMHDショックは存在するか？
- ・リコネクションは、加速・加熱・流れにどうエネルギーを分配するか？

Imada+11を見よ



SUVIT と EUVS で波のモード・進行方向・エネルギー量を光球・彩層・コロナで明らかにする(差分が散逸量)

光球でのオブザーバブル
Zeeman/Hanle効果を使用

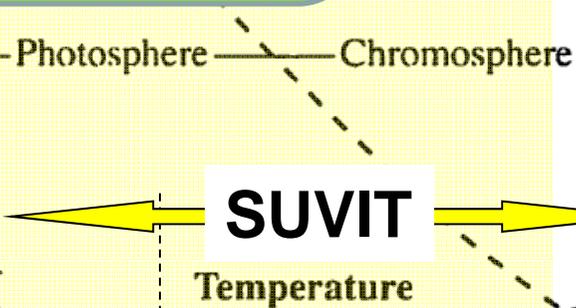
$$I + \delta I(t)$$

$$B_{//} + \delta B_{//}(t), B_{\perp} + \delta B_{\perp}(t)$$

$$V_{LOS} + \delta V_{LOS}(t)$$

Temperature (°K)

10,000



SUVIT

Temperature

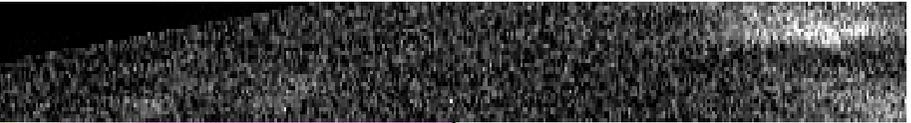
光球での横波の
発見とモード同定
(Fujimura+09)

min

1000

2000

Height (km)



Transition Region

XIS

プロミネンスを伝える
横波(Okamoto+08)

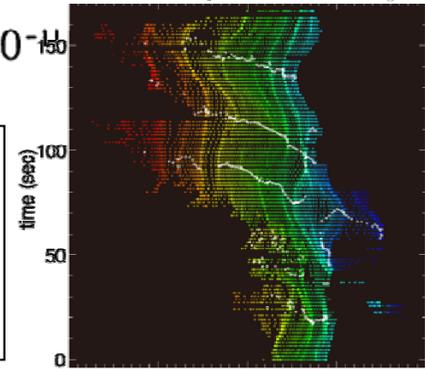
EUVS

彩層・遷移層でのオブザーバブル
 $I + \delta I(t), V_{LOS} + \delta V_{LOS}(t)$
With CLASP, $B_{\perp} + \delta B_{\perp}(t)$

CLASP+が必要でないか?

スピキュールを
伝える横波
(DePontieu+09,
Okamoto+11)

horizontal displacement at each height



-2 -1 0 1 2

SOLAR-C成功基準

(科学目的と一対一対応)

- 光球・彩層・遷移層の磁場構造を明らかにする
- 磁気リコネクション・波動現象や局所ダイナモ過程などの素過程を理解する
- 彩層の加熱機構を解明する
- 静穏太陽の加熱・高速太陽風の加速機構を解明する
- 活動領域のコロナ加熱機構を解明する



太陽物理

これから20年のストラテジー

- 「ひので」により高解像度と偏光分光の組み合わせの威力により大きな成果を得た(査読論文:500篇/5年)
- SOLAR-Cでは「ひので」で部分的であった偏光分光を彩層・遷移層付近まで行い、光球—彩層—遷移層—コロナの磁場構造・ダイナミクス・熱力学量を直接的手法・間接的手法で求め、太陽物理の多様な課題に答える
- 引き続いて、SOLAR-Dにより、太陽の内部流れ場と極域磁場の観測を行いダイナモ機構に迫る