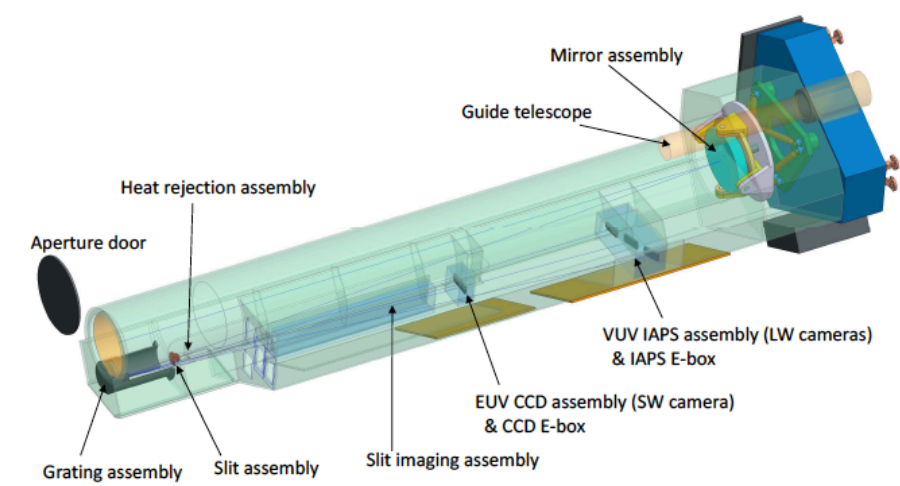


# Solar-C\_EUVST計画の科学課題II.

## 太陽フレアの物理機構



鳥海 森<sup>1</sup>、渡邊鉄哉<sup>1</sup>、清水敏文<sup>2</sup>、今田晋亮<sup>3</sup>、川手朋子<sup>2</sup>、原 弘久<sup>1</sup>、一本 潔<sup>4</sup>、末松芳法<sup>1</sup>、勝川行雄<sup>1</sup>、鹿野良平<sup>1</sup>、久保雅仁<sup>1</sup>、石川遼子<sup>1</sup>、関井 隆<sup>1</sup>、渡邊恭子<sup>5</sup>、永田伸一<sup>4</sup>、阿南 徹<sup>6</sup>、草野完也<sup>3</sup>、Noda Carlos Quitero<sup>2</sup>、他Solar-C WG

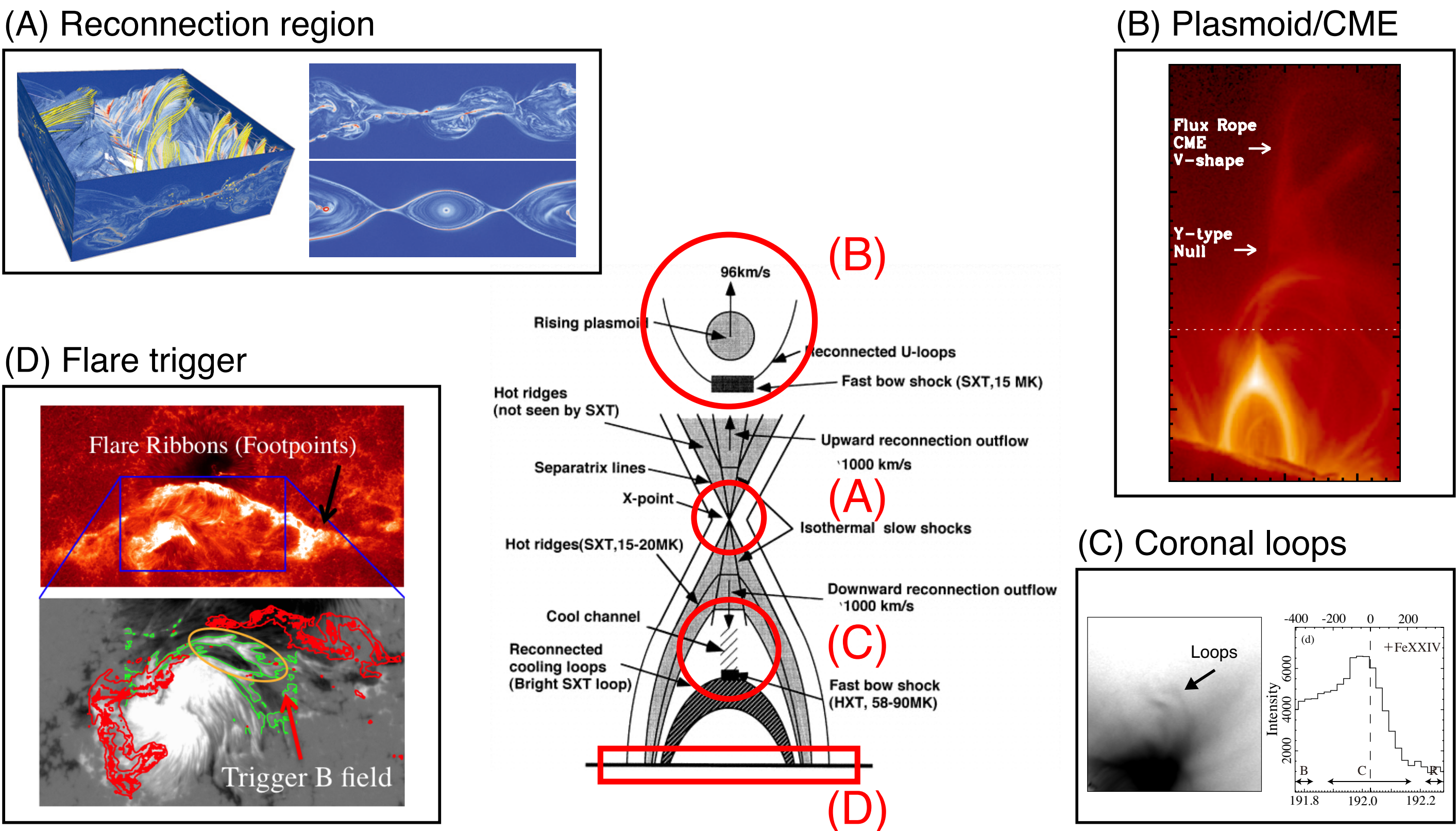
1. 国立天文台、2. JAXA宇宙科学研究所、3. 名古屋大学、4. 京都大学、5. 防衛大学校、6. National Solar Observatory

太陽フレアやコロナ質量放出は太陽における最もダイナミックな活動現象であり、その駆動メカニズムとして挙げられる磁気リコネクションはプラズマ物理学における重要課題の一つである。Solar-C\_EUVSTはフレア発生時に生じる様々な温度帯のプラズマを測定することで、高磁気レイノルズ数の環境下において高速磁気リコネクションがどのように達成されるのかを解明する。また、フレアを生じる太陽活動領域が発達し、系全体が不安定化する様子をモニター観測することで、フレアのトリガ機構や不安定性の成長過程を明らかにする。

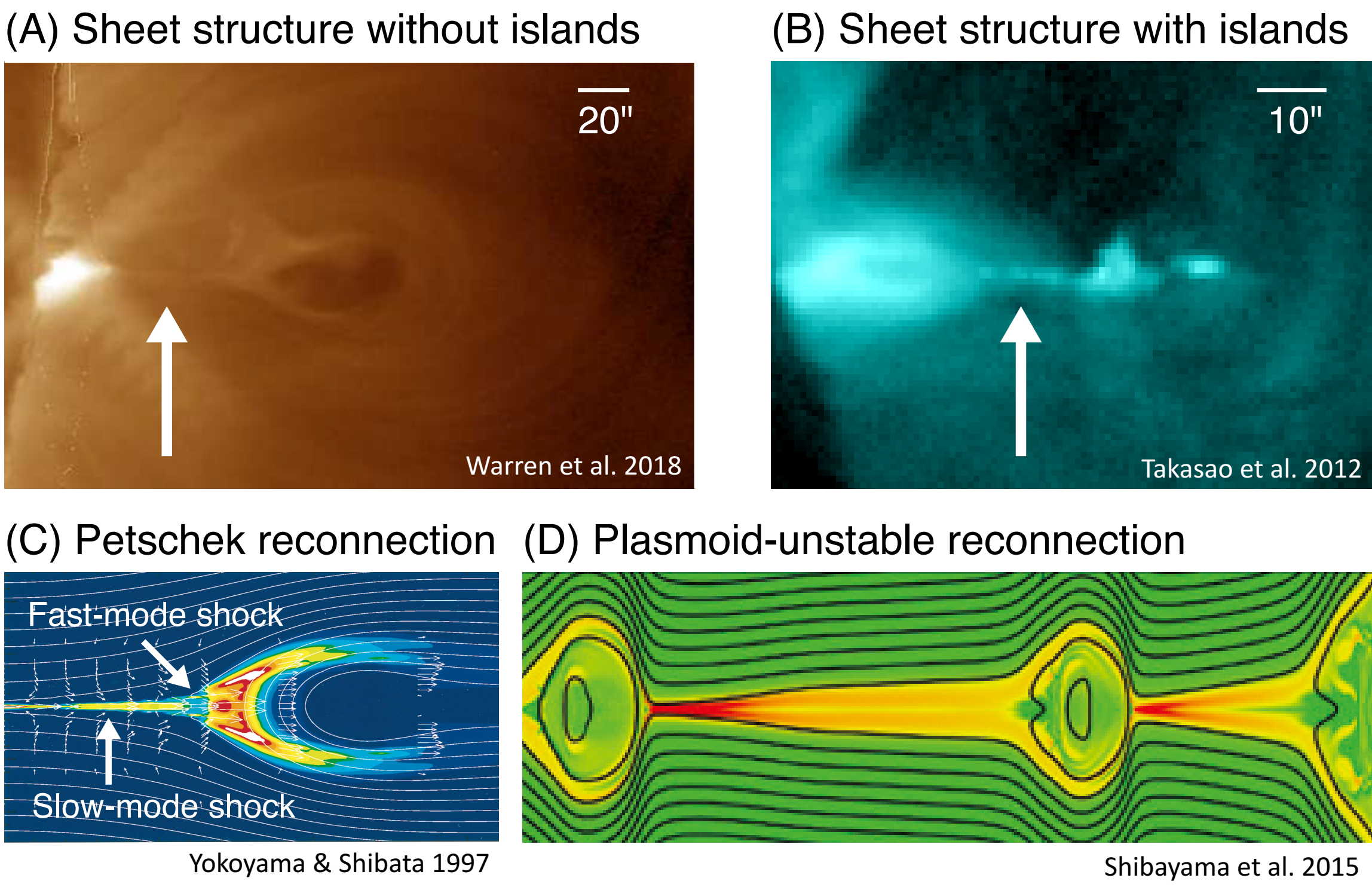
## 太陽フレア観測とSolar-C\_EUVST

これまでの観測から、太陽フレアは「磁気リコネクション」と呼ばれるプラズマ物理過程によって生じることが明らかになっている（右図：標準モデル）。太陽フレアに見られる**高速な磁気リコネクション**がどのように達成されるのかを観測的に解明するには、リコネクション領域（右図A）や電流シート内における磁気島（プラズモイド：B）の形成を観測する必要があるが、これらはポストフレア・アーケード（C）に比べて暗く、これまでは検証が困難であった。また、フレアの発生予報を実現するには、大気中の**磁気エネルギーの蓄積過程**を追跡し、フレアを駆動する**トリガ磁場**の観測（D）とフレア数値シミュレーションとの比較を行う必要がある。**高時間高空間分解能で多波長観測を行う高感度EUV/UV分光望遠鏡（Solar-C\_EUVST）**は、以下に示すサブ課題 II-1, II-2 により、これらの観測を実現する。

太陽フレアの標準モデル（Tsuneta 1997）と観測・シミュレーションの結果。（A）リコネクション領域に関する数値シミュレーション（Daughton et al. 2011）。（B）SDO/AIAによるプラズモイドと電流シートの観測（Liu et al. 2013）。（C）ポストフレア・アーケードの上に見られる磁気ループ（Imada et al. 2013）。（D）フレアリボン（彩層増光）、光球磁場とフレアトリガ（Bamba et al. 2013）。



## II-1. 高速磁気リコネクション過程の解明



太陽フレアの高いエネルギー変換効率を説明するため、ペテック型(上図C)やプラズモイド不安定型(D)など高速磁気リコネクションの理論モデルが提案されている。しかし、リコネクション領域の測定には次のような困難がともない、これまで観測的な検証は不十分であった。

- 相対的に**リコネクション領域が暗く**、インフロー、衝撃波、高速のアウトフローなどの観測が困難
- **リコネクション領域が狭い**（数秒角：上図A, B）
- **幅広い温度帯**のプラズマが存在（数10万度～数1000万度）

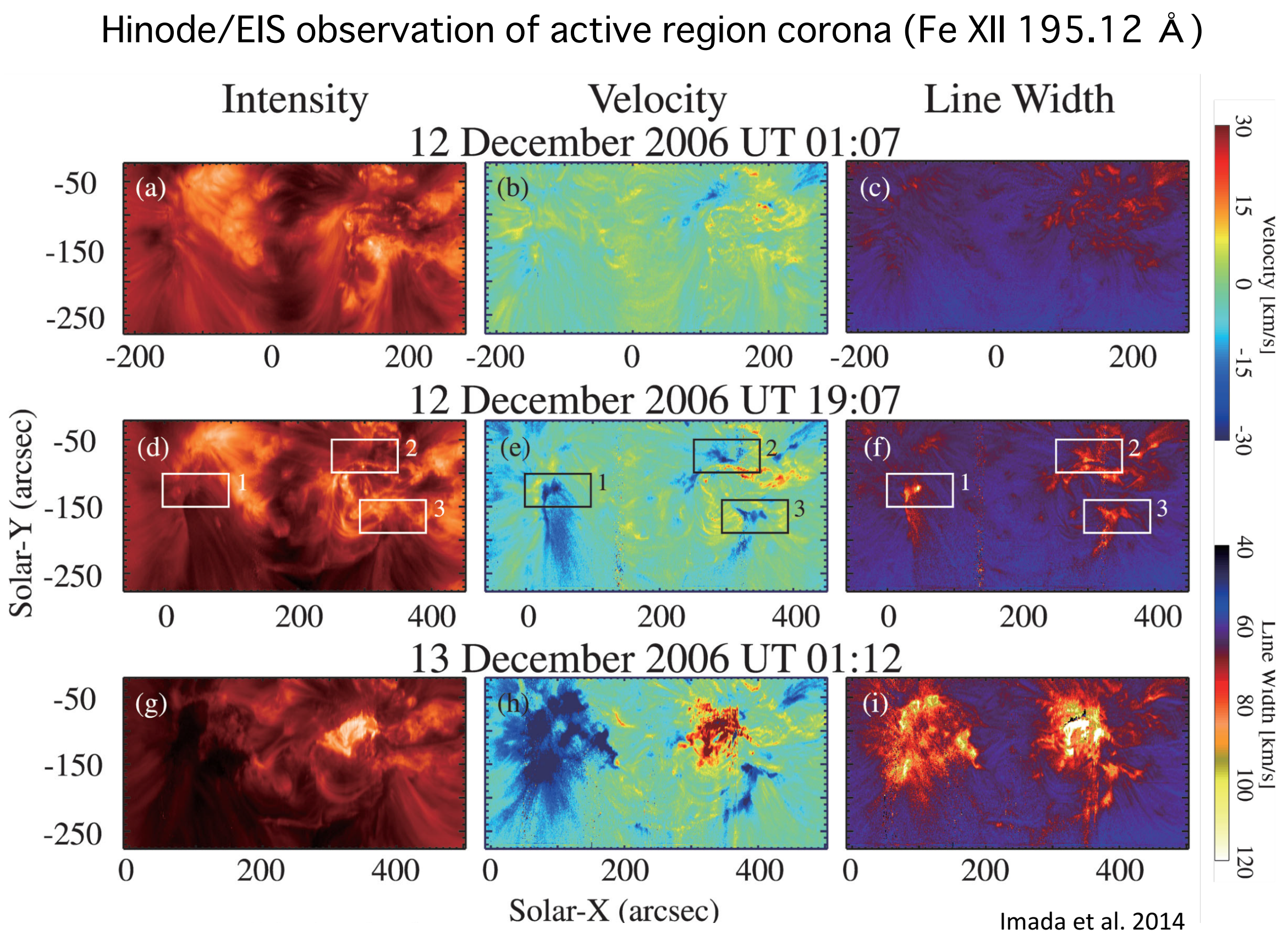
また、プラズマは**電離非平衡状態**にあることが指摘されており、波長の異なる（電離時間の異なる）イオン種を同時観測し、電離状態を探る必要がある。これらを解決するため、Solar-C\_EUVSTは以下の観測を行う。

1. リコネクション領域のプラズマ状態や構造を分解観測し、リコネクションにおける衝撃波や磁気島の役割を解明する
2. リコネクションに対する彩層応答を高時間分解観測し、エネルギー変換過程を検証する
3. コロナとは電離状態の異なる彩層や遷移層において、磁気リコネクションの物理状態やダイナミクスを検証する

また、以下に主要なミッション要求値を示す。

Item	Requirement	Rationale
Temperature coverage	0.01 – 30 MK	To observe the site of magnetic reconnection and chromospheric evaporation in the chromosphere, transition region, and corona simultaneously. Non- equilibrium ionization diagnostic capability.
Spatial resolution	2 arcsec	For resolving magnetic islands during the flare (~1"), kernels of chromospheric evaporation (~1"), and magnetic reconnection in the chromosphere (~1").
Temporal resolution	~1 sec / step in 1" step 0.5 sec without scanning	The scanning speed should be faster than Alfvén speed 1000km/s, i.e. 1 sec /step in 1" step. This is probably difficult. This case, we should make use of a sparse scan to cover the FOV. <30 sec. Evolution timescale for the kernels of chromospheric evaporation (0.5 sec).

## II-2. 大局的な磁気エネルギー蓄積と局所的なフレアトリガ機構の特定



大規模な太陽フレアは活動領域に発生する。活動領域の大局的な成長にともなって大気中に磁気エネルギーが蓄積される一方、フレア噴出は微細な磁場構造によって駆動されると考えられており、これらの両方を解明する必要がある。従来課題として、以下が挙げられる。

- **活動領域全域のスキャンに時間を要し**全体の変化を追うのが困難
- そのため上昇流（上図e）や輝線幅の増大(f)などの**フレア前駆現象（プリフレア現象）**と磁気エネルギー蓄積との関連が不明
- **フレアトリガ磁場**周辺の流速場・温度場の測定が行われていない

そこで、本課題では2種類の観測を実施する。

1. 活動領域全体を長時間モニター観測し、エネルギー蓄積にともなう分光学的なプリフレア現象を解明する
2. フレア噴出を駆動する小スケール磁場のダイナミクスを観測し、光球の観測や数値シミュレーションと比較することでMHD不安定モードの特定を行う

特に、フレアトリガの観測はフレア予報・宇宙天気予報を実現する上で重要な課題である。以下に主要なミッション要求値を示す。

Item	Requirement	Rationale
Temperature coverage	0.1 – 10 MK	(1) A broad temperature range of log(T [K])=3.8-7.3 should be covered to monitor pre-flare phenomena. (2) Lower temperature ranges, log(T [K])=3.8-4.0 and 4.8- 6.0, should be covered to reveal the dynamics of the lower atmosphere.
Field of view	280 × 280 arcsec <sup>2</sup>	(1) The entire AR should be covered (e.g. 280"x280"). (2) A FOV similar to II-1 (e.g. 25" x 100") is requested.
Observation duration	A few days (up to 2 weeks)	A few days are requested to catch at least one flare event (up to 2 weeks for the whole disk passage).