

**大学間連携事業**  
**「太陽圏環境変動観測 ネットワーク事業」**  
**の提案と京大・理・附属天文台の役割**  
**(2013年5月現在案)**

**京都大学・理・附属天文台**  
**上野 他**

# 目的

- ◆ 宇宙天気変動（太陽地球間環境変動）の源としての太陽活動とその影響過程の理解
- ◆ 太陽全面観測（シノプティック観測）の拡充によるグローバル・3次元的で連続的・長期的な太陽活動のより高精度での把握：  
特に CME, 太陽風, 紫外線
- ◆ 異種観測装置間のデータ共有化のためのインフラ整備とそれを通じた共同研究の促進
- ◆ 太陽地球系科学間の分野横断的基礎研究の促進：  
地球磁気圏、超高層大気、気象分野など
- ◆ 文明化社会における太陽活動の影響を把握する社会的必要性に応えるための社会インフラとしての太陽観測態勢の強化

# 学術創成「宇宙天気的基础研究」以来国内で進められてきている「宇宙天気モデリング」

(例) 塩田、片岡、三好 et al. : Inner Heliosphere の物理量変動の MHD シミュレーションによる再現

- ◎太陽全面磁場から推定する IMF を用いた太陽風分布など
  - => 地球磁気圏に到来する CIR ショックの再現、オーロラ嵐 (サブストーム) の予測

※太陽風速度がかなり under-estimate される

※CIRショック面前後の磁場強度も かなり under-estimate される

=> 高精度の彩層全面磁場を用いることにより、IMFの推定精度を向上(?)

- ◎SoHO/LASCO による CME 観測情報

=> CME衝撃波や Flux Rope の磁気圏到達時刻の予測

※予測到達時刻の精度はまだ良くない。

※CMEが持つ磁場の観測情報がないので、CME到達時の磁場情報は得られていない。

=> 現在、CMEの速度が天球面に投影された成分だけを見ていて、その噴出方向も太陽動径方向が仮定されている。

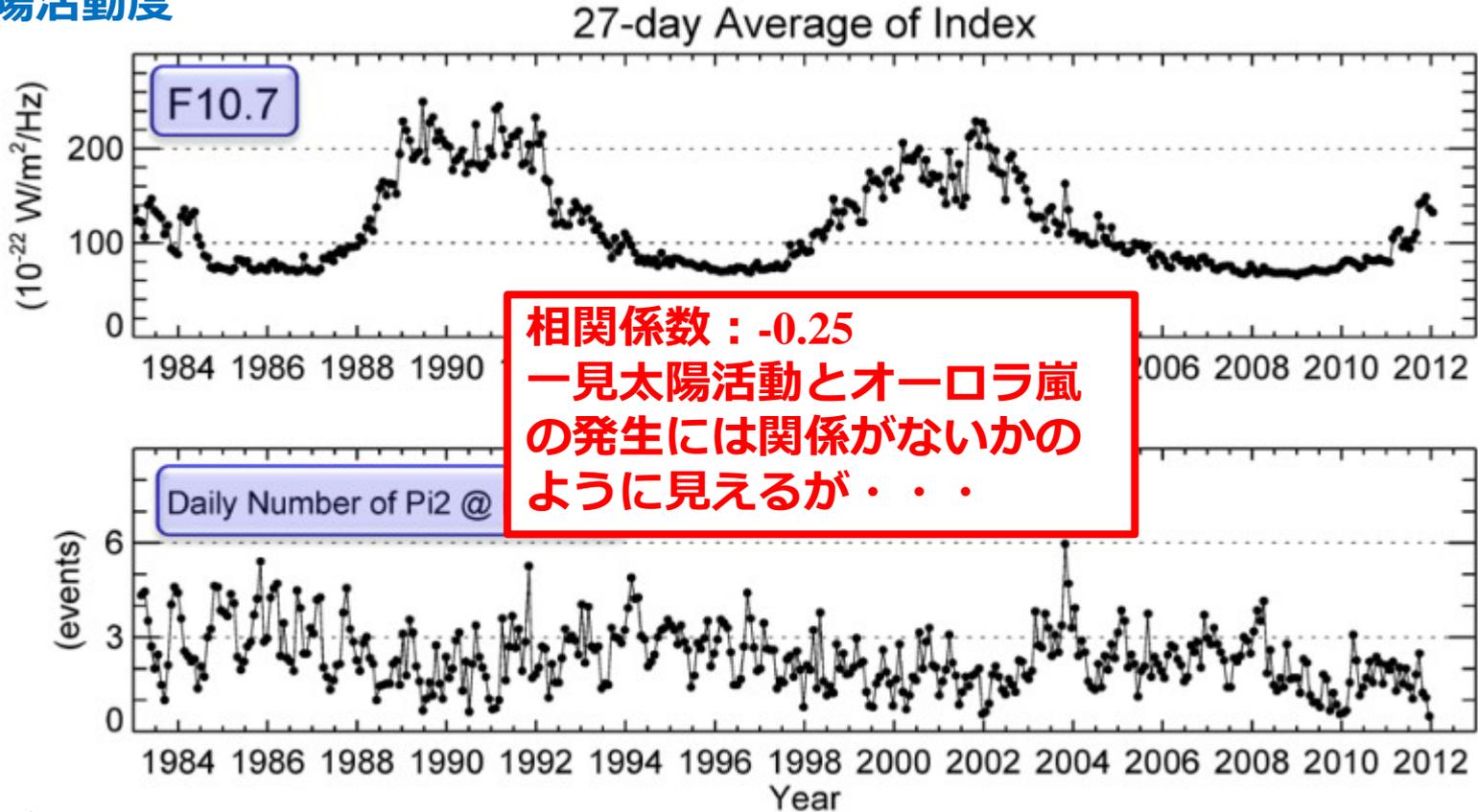
この速度場を3次元観測情報に置き換えなければならない。

さらに、CME自体 (コア部分) が持つ磁場の観測情報を得なければならない。

典型的事例：

# オーロラ嵐・サブストーム発生に対する太陽活動の影響

## 太陽活動度



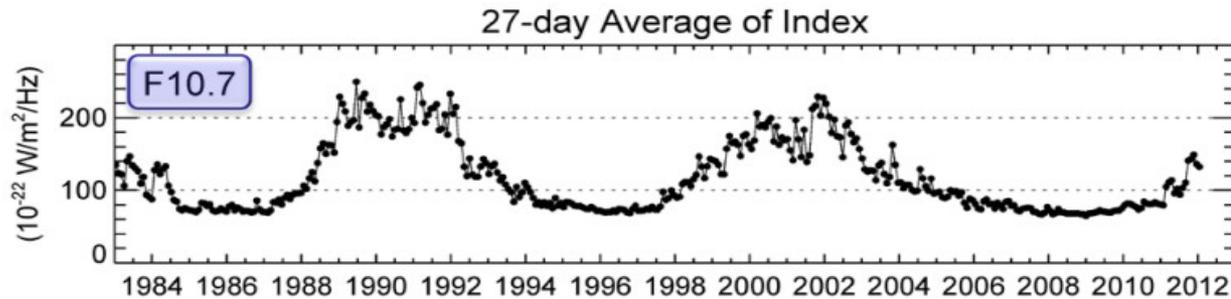
## サブストーム発生数

(低緯度地磁気脈動(Pi2: 周期40—150s 減衰波 = サブストーム発生指標)

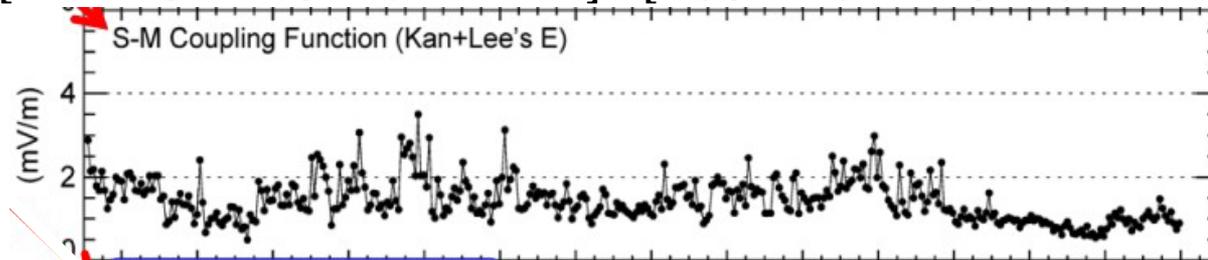
[サブストームの発生数]  $\propto$  [CMEによるエネルギー流入量]

\* [太陽風からのエネルギー流入量]

\* [磁気圏自体のサブストーム発生のしやすさ]

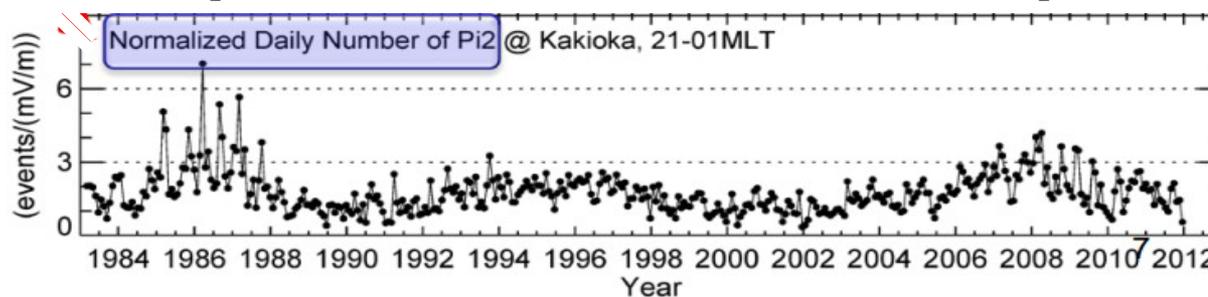


[CMEによるエネルギー流入量] \* [太陽風からのエネルギー流入量]



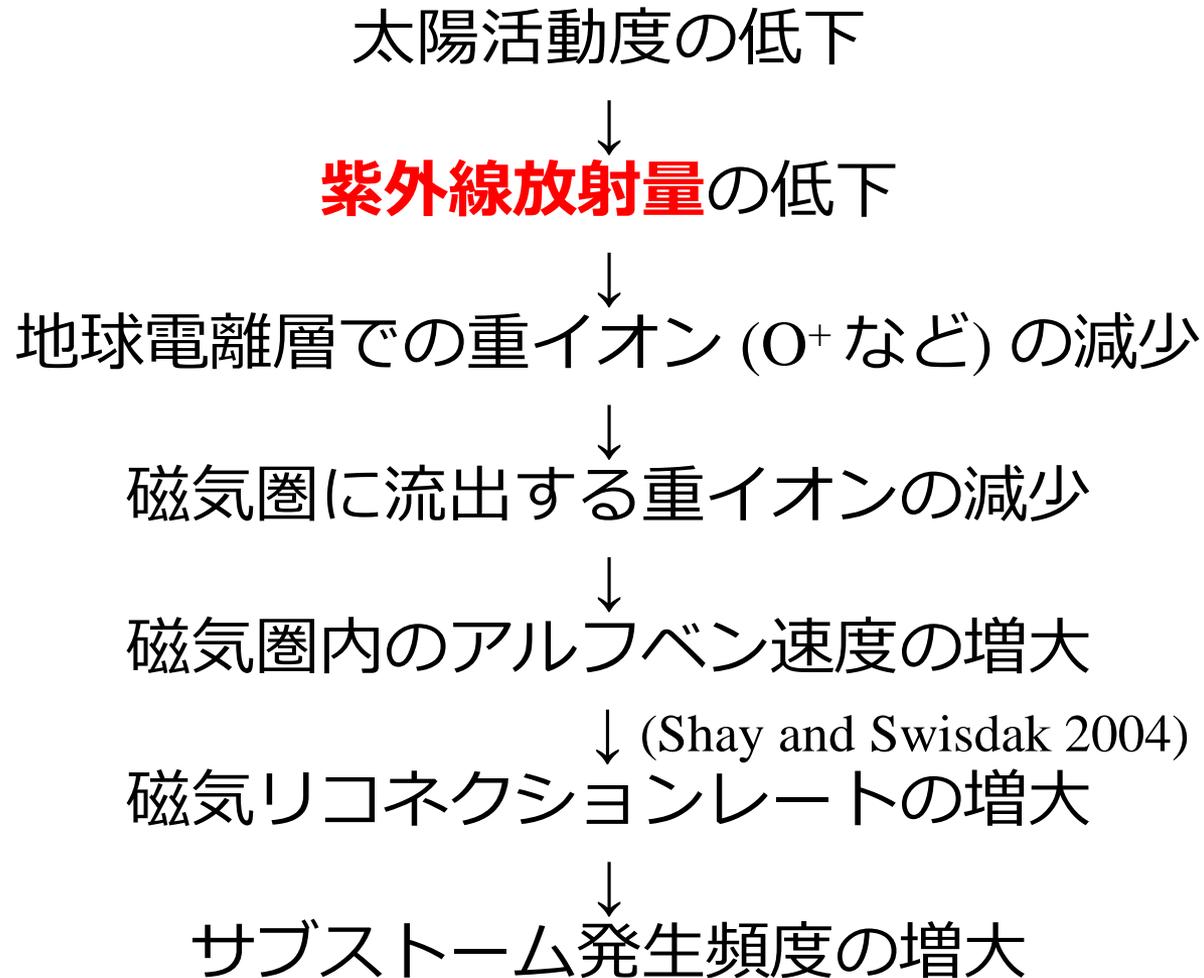
衛星による実測データ  
(OMNI Database) から  
Kan and Lee (1979) の  
電場パラメータで算出

[磁気圏自体のサブストーム発生のしやすさ]



磁気圏自体でのサブ  
ストームの発生のしやす  
さは太陽活動度と逆相  
関になっている！

# 太陽活動極小期でのサブストーム発生頻度増加の有力説



# 宇宙天気変動を引き起こす太陽活動の三大要素

## 3. 太陽放射

太陽活動に応じて変動するEUV, UV, X線による電離層電離、熱圏大気加熱  
→電離圏伝導度変動  
→地磁気変動

## 2. 太陽風

惑星間磁場との相互作用、CIR衝撃波の形成  
→磁気圏・電離圏電場の生成→磁気嵐

太陽活動に依る  
惑星間磁場  
IMF

銀河宇宙線

太陽高エネルギー粒子

地球磁気圏

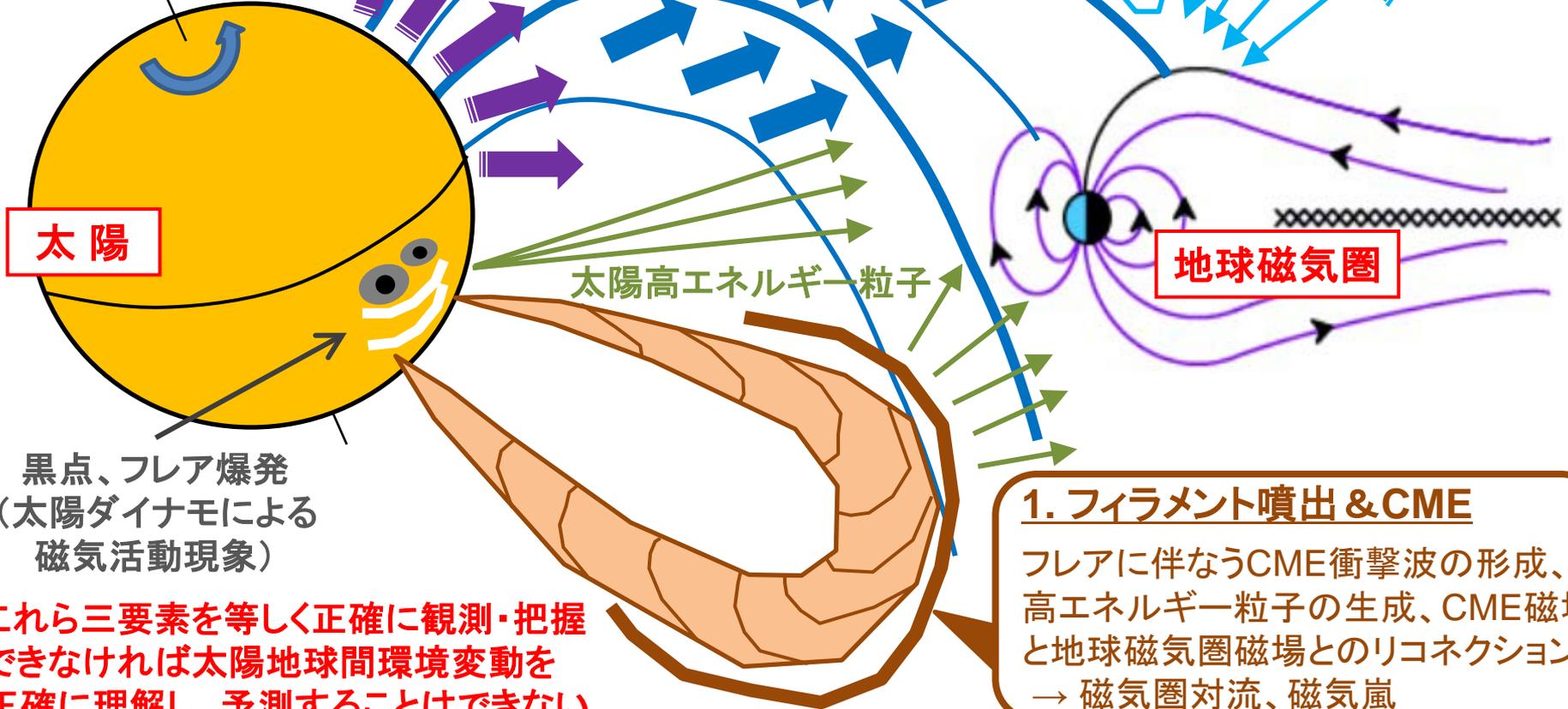
太陽

黒点、フレア爆発  
(太陽ダイナモによる  
磁気活動現象)

## 1. フィラメント噴出&CME

フレアに伴うCME衝撃波の形成、  
高エネルギー粒子の生成、CME磁場  
と地球磁気圏磁場とのリコネクション  
→磁気圏対流、磁気嵐

これら三要素を等しく正確に観測・把握  
できなければ太陽地球間環境変動を  
正確に理解し、予測することはできない。



# 他機関との役割分担

## 1) フィラメント噴出・CMEの物理量の把握

本体形状、  
衝撃波面、  
3次元速度場、  
密度分布、  
磁場構造、...

三鷹 Solar Flare Telescope (彩層多波長、磁場)  
太陽周期活動望遠鏡(彩層磁場:長期的)  
飛騨SMART(彩層多波長、彩層磁場:短期的)、  
FMT(彩層多波長)  
名大 IPS(惑星間空間CME分布、速度場)  
東北大 IPRTなど(衝撃波高度変化)

## 2) 太陽風速度・密度の3次元分布の把握

高速領域と低速領域の3次元分布 &  
時間変動、  
CIR衝撃波面の位置・強度  
定在IMF構造

名大 IPS(太陽風速度分布)  
三鷹 Solar Flare Telescope、周期活動望遠鏡  
(光球・彩層磁場分布)  
飛騨SMART(彩層磁場分布)

## 3) 紫外線を中心とする電磁波の放射量変動の把握

紫外線放射量に大きく影響する  
彩層の輝度・温度分布  
紫外域の波長帯別放射量推定

三鷹 Solar Flare Telescope、周期活動望遠鏡  
(彩層H $\alpha$ 多波長画像)  
飛騨SMART, FMT(彩層H $\alpha$ 、Ca II 多波長画像)  
九大全面望遠鏡(彩層 Ca II K 画像)

# 京大太陽面爆発監視システム 目的

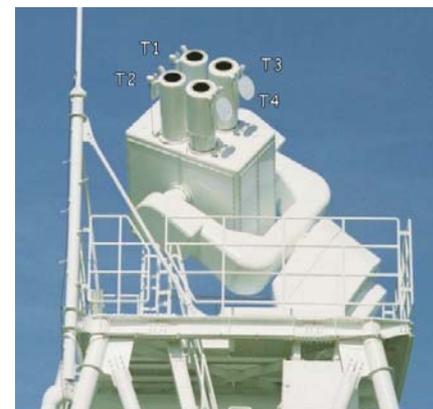
- **噴出に至るフィラメントの磁場構造の把握**  
→ フィラメント噴出の予測とCME (Flux Rope) 磁場構造の推定
- **噴出しているフィラメントの三次元速度場の把握**  
→ 噴出メカニズムの解明とCME (Flux Rope) の地球磁気圏到達可能性の予測
- **彩層画像データによる紫外線放射量の推定**  
→ 太陽活動長期変動と地球環境変動との比較 (1900年代 前～中期のアナログデータとの連結)

# 京大太陽面爆発監視システム(装置の特徴)

## 1) カルシウム線フィラメント磁場・彩層輝度観測装置

Call 8542 Å 線で偏光観測を $10^{-4}$ の測定精度で行ない、フィラメント磁場の直接的導出および彩層全面輝度分布モニターを行なう。

時間分解能 : 約30秒  
磁場導出精度 : 数G  
空間分解能 : 1秒角／画素



飛騨天文台SMART望遠鏡  
に新規搭載予定

## 2) H $\alpha$ 線 フィラメント噴出3次元速度場観測装置

- ・飛騨天文台SMART望遠鏡・全面H $\alpha$ 撮像装置の改修  
(高速チューナブルフィルタによる分光撮像装置化)

波長サンプリング:  $\pm 4.0 \text{ \AA}$  (約180km/s)間を41点で  
時間分解能 : 約20秒

- ・ペルーFMT望遠鏡フィルタ追加

波長サンプリング: 3波長→5波長

波長範囲 :  $\pm 0.8 \text{ \AA}$  →  $\pm 3.0 \text{ \AA}$  (約130km/s)

フィラメント噴出の24時間連続監視

→速度ダイナミックレンジの向上



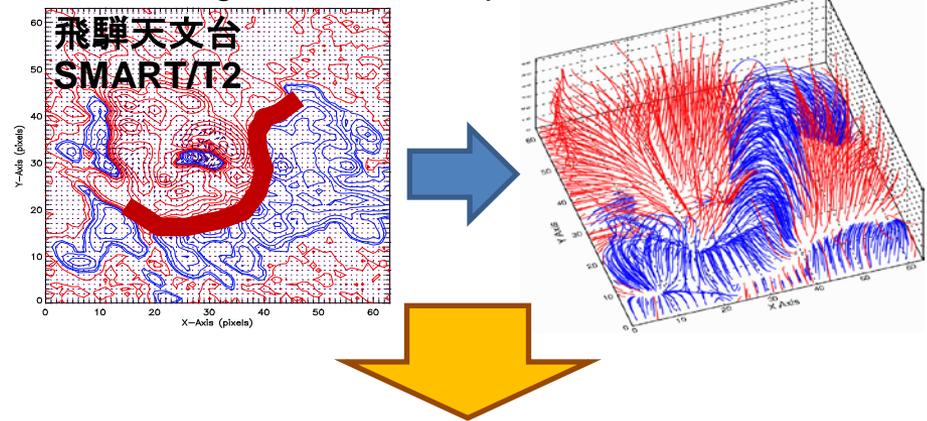
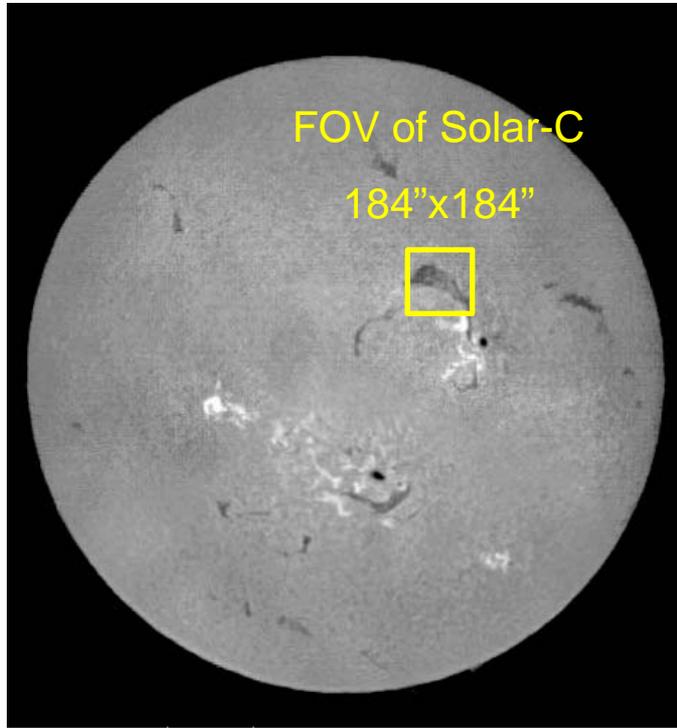
ペルーFMT望遠鏡

# 噴出する彩層フィラメント中の磁場構造の測定について:(京都大学の観測装置1)

磁場に感度のある彩層形成線の太陽全面高時間分解能偏光観測を行ない、CME発生初期の彩層プラズマ中の磁場構造とその詳細な時間変化を把握

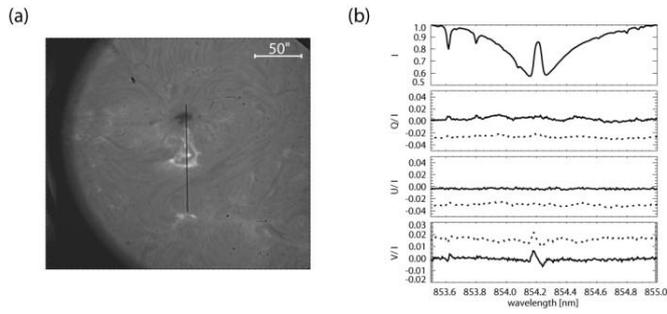
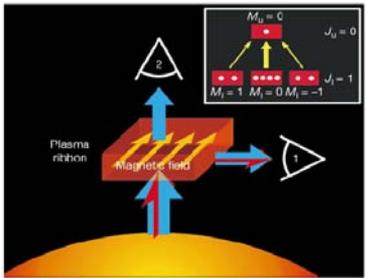
Solar-C 衛星においても、彩層磁場の観測が計画されているが、中規模フィラメント1本をカバーできる視野に限られるので、複数の活動性フィラメントとその変化の様子を漏らすことなく捉えるためには、地上からの全面観測を併行して行なう必要がある。

光球磁場からもダークフィラメント領域の磁場構造は推定できるが...  
by using Han He's Nonlinear force-free magnetic field extrapolation scheme



Call 8542 Å 線で彩層フィラメントの偏光観測を $10^{-4}$ の測定精度で行ない、時間分解能約30秒で数Gの精度での噴出フィラメント磁場の直接的導出を行なう。  
→ フィラメント噴出メカニズム解明、蓄積エネルギーの定量モニターによる噴出予測、噴出フィラメントの磁場構造測定による磁気圏への影響の予測

当計画では、京大飛騨天文台SMART望遠鏡の太陽全面磁場偏光観測望遠鏡(T2)に、高速読み出し(毎秒100フレーム)が可能なCMOSカメラの導入、高速連続回転が可能な波長板回転装置の導入、高速波長可変フィルタの導入、シーイングによる画像歪みのソフト的補償、などの改良を加えることにより観測に用いる。



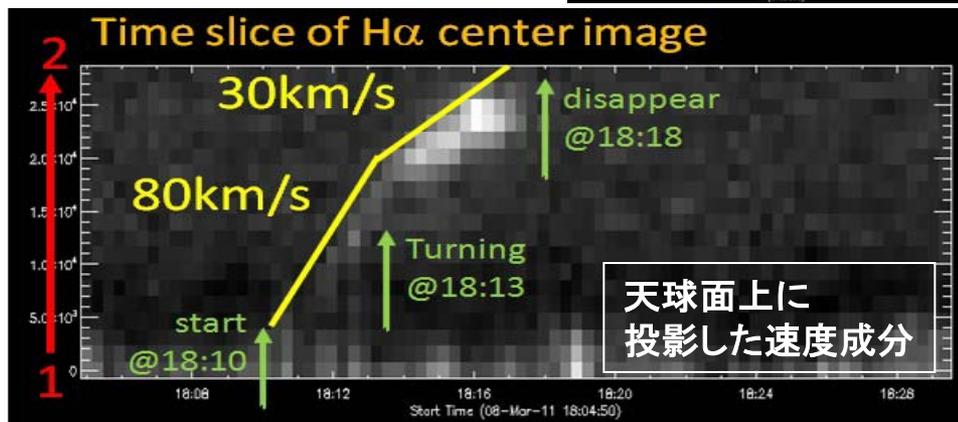
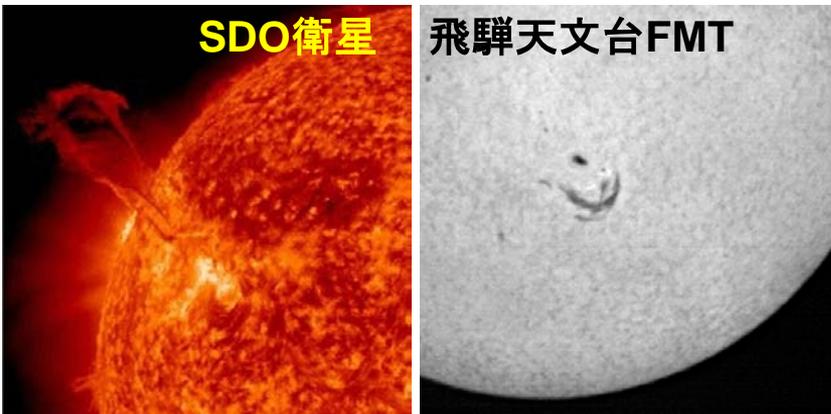
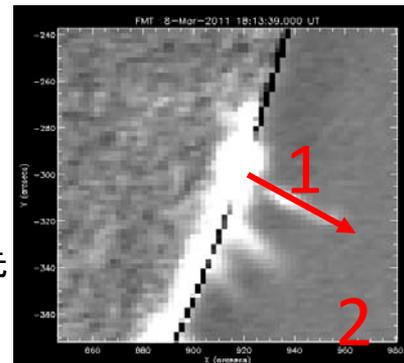
Ca II 8542 Å 線の彩層磁場偏光の特徴については、京大飛騨天文台DST分光器を用いて、現在研究進行中 (Anan et al. 2012 SPIE)

# CMEの初期状態: 彩層フィラメント噴出の速度場観測について (京都大学の観測装置2)

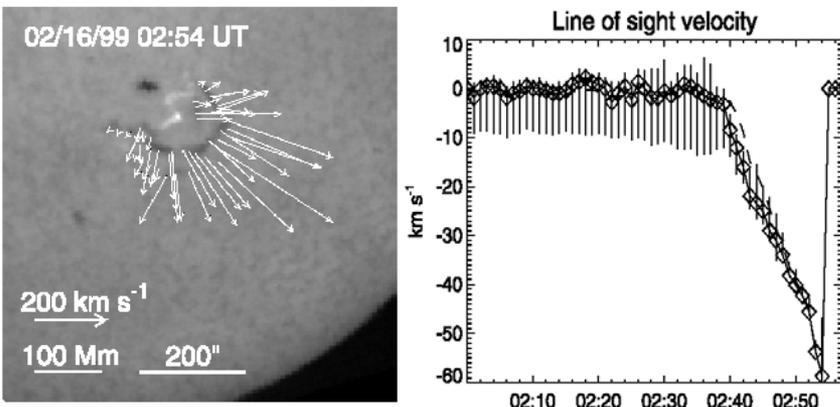
天球面上に投影された速度場成分だけでなく、地球方向に向かう速度場成分も測定し、CME発生初期の彩層プラズマの3次元速度場とその時間変化を把握

人工衛星にしても地上望遠鏡にしても、ある単一波長で観測しているだけでは3次元速度場は得られない。

ペルー設置のフレア監視望遠鏡 (FMT) で2011年3月8日のCMEの起源となったフィラメント噴出の3次元速度場の時間変化を追った例 (M. Gutierrez et al. 2012 ISWI)

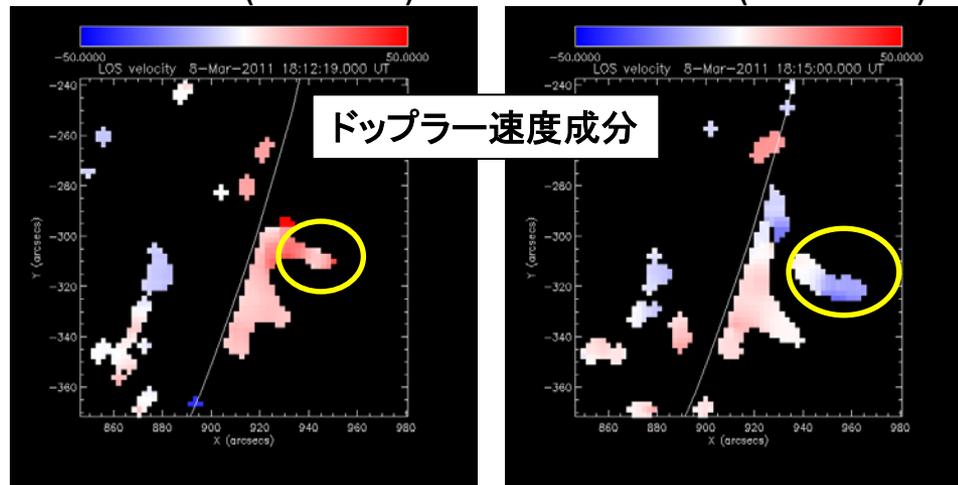


複数波長での観測データを組み合わせることにより、視線方向速度場成分とその時間変化が測定可能。

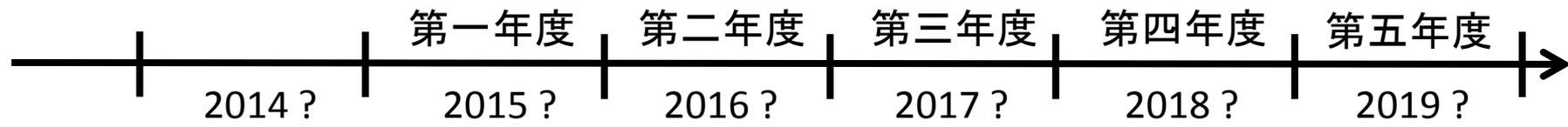


Morimoto & Kurokawa (2003)

18:12:19UT (red-shift)      18:15:00UT (blue-shift)



# ロードマップ(京大太陽面爆発監視システム)



カルシウム線 フィラメント 磁場・彩層全 面輝度観測 装置	カルシウム 線磁場偏光 メカニズムの 研究	新フィルタ開発		CMOSカメラ、 高速回転波長 板の導入	制御システム の整備、 新システム の搭載	新システムに よる観測	...
		新光学系の製作					

H $\alpha$ 線 フィラメント 噴出3次元 速度場観測 装置	飛驒SMART 旧システムによる観測・データ 蓄積	CMOSカメラ搭載	新システムによる観測				...
		フィルタ改修&搭載					

ペルーFMT旧シ ステムによる観測	フィルタ更新	新システムによる観測					...
----------------------	--------	------------	--	--	--	--	-----

観測装置 整備以外の 項目	メタデータ整備によるデータ共有化、データ蓄積装置の拡充と観測制御システム維持、 国際共同研究の推進 (特定助教、PDF研究員と技術補佐員の雇用、関係各国との間の人的交流)							...
---------------------	---	--	--	--	--	--	--	-----

# 予算計画

## (京大太陽面爆発監視システム)

項目		年度	予算
カルシウム線フィラメント磁場・彩層全面輝度観測装置(SMART)	フィルタ製作、光学系更新、CMOSカメラ導入	2015年～2018年	1.0億円
H $\alpha$ 線フィラメント噴出3次元速度場観測装置	SMART 高速撮像装置(フィルタ改修、カメラ高速化)	2015年～2016年	0.5億円
	ペルー FMT 望遠鏡の更新(フィルタ追加)	2015年	0.1億円
データ蓄積装置拡充・観測制御系維持		2015年～2019年	1.1億円
旅費		2015年～2019年	0.5億円
人件費		2015年～2019年	1.0億円
合計		2015年～2019年	約4.2億円