

## 太陽ライマンα線(1216Å) 偏光分光観測ロケット実験 CLASP

〇成影 典之, 常田 佐久, 鹿野 良平, 坂東 貴政,
久保 雅仁, 勝川 行雄, 原 弘久, 末松 芳法 (国立天文台),
石川 遼子, 上田 航平 (国立天文台, 東京大学),
渡邉 皓子, 一本 潔 (京都大学), 坂尾 太郎 (ISAS/JAXA),
Ken Kobayashi (UAH), Jonathan Cirtain (NASA),
Javier Trujillo Bueno (IAC), CLASP チーム

### Chromospheric Lyman-Alpha Spectro-Polarimeter (CLASP)の目的

- 世界で初めて、太陽紫外線(ライマンα線)での本 格的な<mark>偏光観測を行い、ハンレ効果によって生じる直線偏光の検出を行う。
  </mark>
- 2. ハンレ効果のインバージョンにより太陽大気(彩 層)磁場の直接測定を目指している。
- 3. 本実験は、次期太陽観測衛星SOLAR-Cの予備実験 を兼ねている。(技術面、若手の育成)

# 彩層-太陽研究で注目の領域

彩層は、光球(太陽表面)とコロナ(太陽大気)の間に位置する 領域(高さ: 500~2000 km)。

- 彩層は熱容量が大きく、彩層加熱に必要なエネルギー(~ 10<sup>6</sup> erg cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)は、コロナ加熱(~10<sup>5</sup> erg cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)よりも大きい。(彩層加熱問題・コロナ加熱問題)
  - 「ひので」により、太陽の彩層~遷移層に様々な動的現象 が発見され、彩層・コロナ加熱に関連している可能性が出 てきた。
- ガス圧と磁気圧が釣り合う(プラズマβ=1)領域。
- →彩層の活動現象や加熱過程を理解するには、磁場(磁気)
  正)の情報が不可欠!

# 彩層観測の現状

「ひので」可視光望遠鏡が彩層でのダイナミックな運動
 を発見したが、撮像のみ。





• 彩層磁場の情報は、これまで、ほとんど得られていない。

#### 彩層磁場観測に使用できるラインと効果

	Lyα	Mg II K	Ca II K	Ca II	He I
	1216A	2796A	3933A	8542A	10830A
formation height	< ● 高い	太陽表	面からの高さ		低い
	Trans. region ~ high chromo.	Trans. region ~ high chromo.	High chromo.	High chromo.	High chromo. (active region)
Zeeman effect	few sensitivity	certain sensitivity	certain sensitivity	high sensitivity	high sensitivity
Hanle effect	<200G	< 100G	? (sensitive)	< 0.1G	< 10G

CLASP

SOLAR-C / UV-Visible-NIR telescope

#### <u>NOTE</u>

- The lines not formed in high chromosphere (e.g., Na D, Mg I, etc.) are not described in this table.
- The longer wavelength line is more sensitive for Zeeman effect.
- We don't know the example of Hanle effect applied to Mg II h/k, Ca II H/K.

#### **Discovery space of CLASP**



# Hanle効果



#### 観測対象とハンレ効果で予測される直線偏光

atmosphere, with a random-azimuth horizontal magnetic field of strength B, for a LOS with mu=0.1 (close to the limb observation). 0 -0.1 Random-azimuth horizontal field with B (in gauss): -0.2 ..... 0 [%] ----- 10 ---- 20 ð-0.3 ----- 30 ----- 40 ----- 50 ----- 100 -0.4 500 -0.5 From Trujillo Bueno & Stepan (2009) 1215 1215.2 1215.4 1215.6 1215.8 1216 1216.2 wavelength [Å]

Emergent Q/I profiles of the Lyman-alpha line calculated in a semi-empirical model of the solar





Emergent Q/I profiles of the Lyman-alpha line calculated in a semi-empirical model of the solar atmosphere, with a horizontal magnetic field of strength B, for a LOS with mu=1 (forward-scattering geometry).



### CLASP の Challenging point

- ハンレ効果による直線偏光の検出には、~0.1%オーダーの 直線偏光検出能力が必要。
   →少なくとも 0.1%の精度(装置キャリブレーション)が必要。
- ハンレ効果検出の確証を得るためには、理論が予測する直線偏光の波長依存性を確認する必要がある。
   → ~ 0.1Åの波長分解能が必要。

ロケットのフライト時間約5分間において、各波長分解能ごとに 10<sup>7</sup> 個の光子を集める必要がある。高いスループットが必要(1個の光子も無駄に出来ない)。

# 装置概要と開発状況

第11回宇宙科学シンポジウム

#### Specification of CLASP



Spectrograph camera	
Device	two 512 x 512 frame transfer CCDs (13.5µm pixel size)
Plate scale	0.77 arcsec/pixel (spatially), 0.05 Å/pixel (in wavelength)
Slit FOV	0.77 arcsec (in wavelength) x 396 arcsec (spatially) x multi-slit
Wavelength range	1216 Å (Lyα line) ± 12.8 Å
Slit-jaw camera	
Wavelength	1216 Å (Lyα line) with narrow band filter
Device	512 x 512 frame transfer CCD (13.5µm pixel size)
Plate scale	0.77 arcsec/pixel
FOV	396 x 396 arcsec

#### cold mirror coating + heat absorber



ライマンα線に高反射率を持ち、可視光域では高い透過率を持つコーティング(cold mirror coating) を主鏡に施す。そして、主鏡を透過した可視光や熱は、主鏡の背後に 配置する heat absorber により吸収する。これにより、不要な可視光・熱は望遠鏡の 中に取り込まれない。





# CLASP用光学素子の開発と測定

分子科学研究所 シンクロトロン UVSOR BL-7B



- ライマンα波長(121.6 nm)において強度が強く、高い直線偏光を持つビームが出せる「分子科学研究所 UVSOR(シンクロトロン)の BL-7B」を使用し、これまでのべ7週間の評価試験を行った。
- 持ち込みのチェンバーには、我々が開発した 「直線偏光度を100%に高め、かつその偏光 方向を任意に調整可能な装置」が配置してあ り、理想的なビームが作り出せる。



#### MgF<sub>2</sub>の反射率•透過率測定 @ UVSOR #5



#### Lya線での 1/2 波長板の開発と評価 @ UVSOR #6



Spectrograph	
Grating	Spherical varied-line-spacing grating (magnification ~ 1) - groove density : 2400 lines/mm - size : 13 cm x 13 cm
Optimized wavelength	1216 Å (Ly $\alpha$ line) (in the first diffraction order, m = 1)
Wavelength resolution	0.1 Å
Incident angle	12 degree
Distance from camera	112.5 cm







#### CLASPの国際協力体制

- <u>日本</u>(国立天文台、ISAS/JAXA、京都大学)
  - 実験の総指揮(プロジェクト立案、装置製作、運用、科学成果)。
  - 望遠鏡、偏光解析装置、分光器、構造の製作。
  - 観測プランの検討、作成。
  - データ解析、論文執筆。
- ・ <u>アメリカ</u>(アラバマ大学ハンツビル校、MSFC/NASA、 ロッキード社)
  - ロケット、搭載コンピューター、エレキ、CCDカメラの提供。
  - 彩層の共同研究。
- <u>スペイン</u>(IAC) – ハンレ効果のモデル、インバージョンコードの提供。
- <u>ノルウェー</u>(オスロ大学)
  - 彩層大気モデルの提供。

#### CLASP ロケット実験は 2014年夏の実施予定



第11回宇宙科学シンポジウム

### CLASPの将来太陽ミッションへの発展

- ・小型衛星への発展
  - CLASPを小型衛星へと発展させ、定常的な太陽大 気(彩層)磁場観測の実施。
- ・次期太陽観測衛星SOLAR-Cへの応用
   紫外線用偏光解析装置の開発ならびに測定技術。

### 謝辞

- 宇宙理学委員会から支援いただいたCLASP開発予算
  - 平成20、21年度国際共同ミッション推進研究経費 「NASAとの国際共同ロケット観測による太陽研究の推進」
  - 平成21、22年度搭載機器基礎開発実験費 「真空紫外線域における高精度偏光解析装置の開発」