

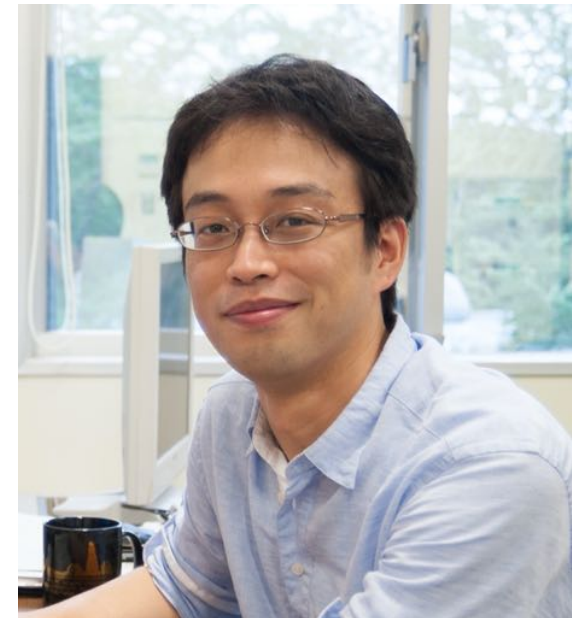
# 国立天文台での太陽研究

勝川 行雄

国立天文台 太陽観測科学プロジェクト

東京大学・理学系研究科天文学専攻  
総研大・天文科学専攻

- 国立天文台・太陽観測科学プロジェクトで仕事をしています
- 最先端の観測データを使って太陽活動の研究をしています
- 人工衛星「ひので」
  - 太陽を観測する最先端の人工衛星
  - JAXA/ISASを中心とした国際協力で開発
  - 2006年9月23日に打ち上げ、  
15年経った今も観測しています
- 岐阜県恵那市の出身です



# 国立天文台での観測・研究設備



すばる望遠鏡  
ハワイにある8m望遠鏡

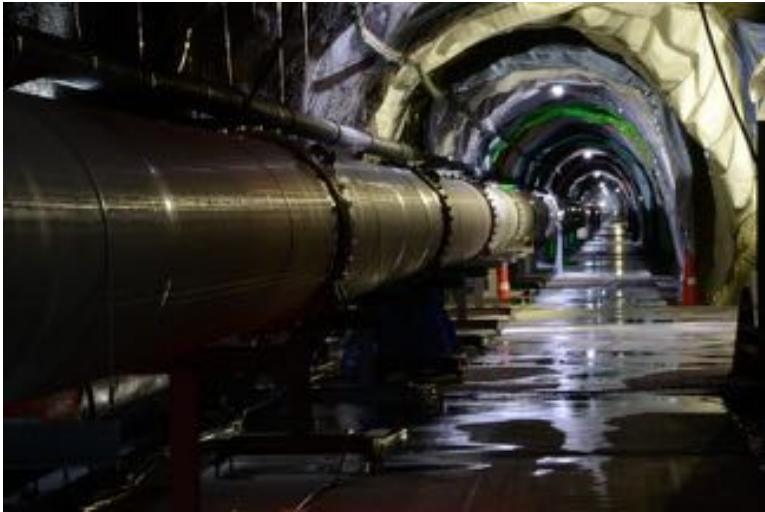


アルマ望遠鏡 (12m/7mのパラボラアンテナ66台)  
南アメリカ・チリにある電波望遠鏡



スーパーコンピュータ

# 最先端の観測装置をつくる



KAGRA: 重力波望遠鏡



先端技術センター



TMT: thirty-meter telescope  
(ハワイ)

# 国立天文台の施設

## 三鷹キャンパス

### 国立天文台の研究施設

宇宙へ近づくため  
 よりよい観測環境を求めて  
 世界に広がる研究施設

国立天文台の研究・観測施設は、世界最高の観測条件を求めて、日本国内から海外遠征に移転しています。ハワイではすばる望遠鏡が稼働を続け、30m望遠鏡 TMT が建設予定です。南米チリにアルマ望遠鏡を建設しました。

#### 国立天文台の施設公開

国立天文台で、研究の成果を広く社会に還元するために、おもな観測施設で一般公開や特別公開、定期定例会などを行っています。

#### 国立天文台チリ

**■チリ観測所・アルマプロジェクト・ASTEプロジェクト**  
 世界でも乾燥した場所のひとつと呼ばれるチリ北部のアタカマ高地は、波長の短い電波（ミリ波・サブミリ波）観測の最適地です。ここでは、アルマ望遠鏡とアスタ望遠鏡が稼働しています。チリの南緯サタピアコには、国立天文台チリ観測所のオフィスと、アルマ望遠鏡を使用する合同アルマ観測所センターが中央集積所があります。



**アルマ望遠鏡**  
 アルマ望遠鏡は、国立天文台、米、欧州南天文台を中心とした科学者・機関が参加して、チリの標高5,000m級の高山に建設した巨大な電波望遠鏡群です。2013年から本格運用がスタートし、日本のアンテナを含む66台のバラバラな科学観測に使われています。

**アスタ望遠鏡**  
 波長1mm以下の「サブミリ波」と呼ばれる電波を観測します。サブミリ波で最高の観測条件を満たしたアタカマ高地に設置されており、南天の観測に貢献。近距離の地形情報や遠方観測などの観測に威力を発揮しています。

**アルマ望遠鏡山麓施設**  
 アルマ望遠鏡から約30km離れた標高2,900mの場所に設置されています。アルマ望遠鏡を運用するためのコントロールルームや観測のメンテナンスを行う実験室のほか、アルマ望遠鏡スタッフ向けの宿舎や食事などを備えたアルマ望遠鏡のベースキャンプです。

Credit: Clem & Adri Ballei-Namier (wikipedia.com/ISO)

32

#### 国立天文台野辺山

**■野辺山電波観測所**  
 〒884-1305  
 野辺山電波観測所野辺山462-2  
 TEL 097-96-4300 (F)  
<http://www.nao.ac.jp/>

日本の電波天文学を世界のトップレベルに押し上げた観測施設です。年々50cm電波望遠鏡は、ミリ波では世界最大級の望遠鏡で、新たな星分子の発見やブラックホールの発見をもたらするなど、数々の成果を挙げている。常時観測可能です。

**重力波プロジェクト 神岡分室 KAGRA**  
 KAGRAは重力波天文学という新しい分野を開拓することを目標として神岡山の地下で観測を始め、重力波検出装置です。神岡分室はKAGRAのコミュニケーション作業の拠点となっています。

**ハワイ観測所 岡山分室**  
 京都大学大学院理学研究科附属天文台岡山天文台の口径3.8mせいめい望遠鏡の共同利用観測所。国立天文台が担当します。これにより、国内外の可視光・近赤外線望遠鏡の観測機会を広く国内の研究者に提供します。

**国立天文台野辺山**  
 一般公開  
 観測10時～17時 / 年末年始除く毎日  
 観測8時～18時 / 7/20(水)の閉所  
<http://www.nao.ac.jp/nao/>

**国立天文台三鷹 (本部)**  
 〒188-8501 東京都三鷹市五反田3-1-1  
 TEL 0422-34-9000 (F)  
<http://www.nao.ac.jp/>

**■水沢 VLBI 観測所-山口観測局**  
 一般公開  
 観測10時～17時 / 毎日

**■水沢 VLBI 観測所-VERA 入来観測局**  
 一般公開 (9時～17時) / 毎日

**■水沢 VLBI 観測所-VERA 右垣島観測局**  
 一般公開 (9時～17時) / 毎日

**■水沢 VLBI 観測所-VERA 小笠原観測局**  
 一般公開 (9時～17時) / 毎日

**■石垣島天文台**  
 一般公開 (9時～17時) / 毎日

**■小笠原島天文台**  
 一般公開 (9時～17時) / 毎日

**■小笠原島天文台**  
 一般公開 (9時～17時) / 毎日

**■小笠原島天文台**  
 一般公開 (9時～17時) / 毎日

**■小笠原島天文台**  
 一般公開 (9時～17時) / 毎日

**■小笠原島天文台**  
 一般公開 (9時～17時) / 毎日

**■小笠原島天文台**  
 一般公開 (9時～17時) / 毎日

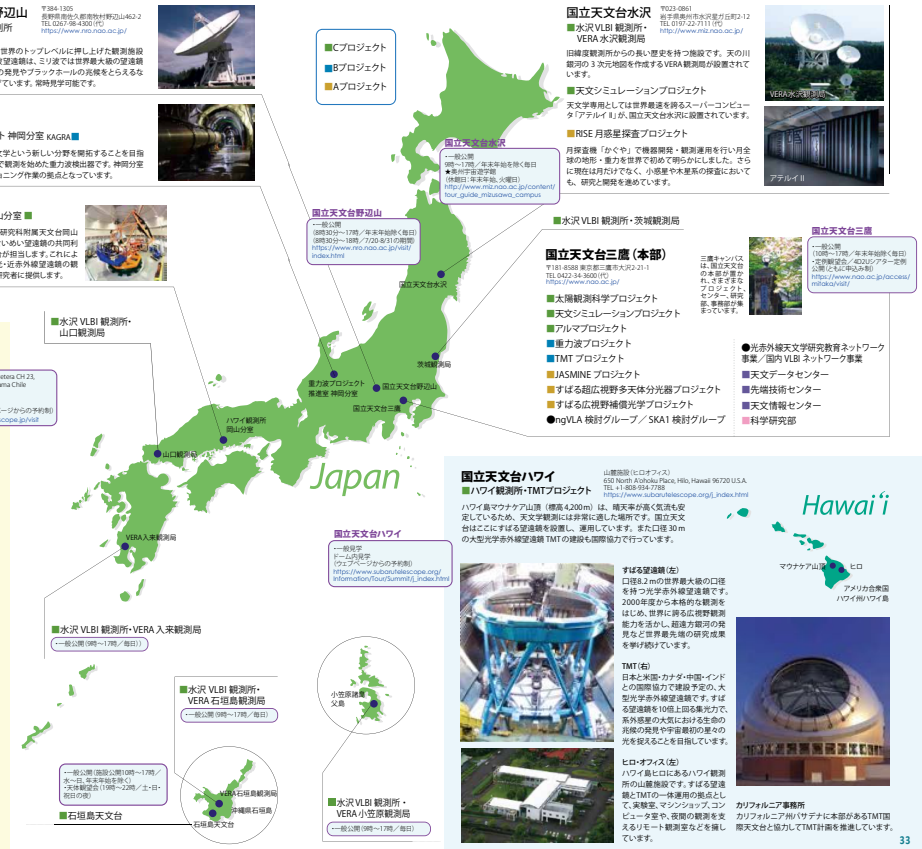
**■小笠原島天文台**  
 一般公開 (9時～17時) / 毎日

**■小笠原島天文台**  
 一般公開 (9時～17時) / 毎日

**■小笠原島天文台**  
 一般公開 (9時～17時) / 毎日

**■小笠原島天文台**  
 一般公開 (9時～17時) / 毎日

33

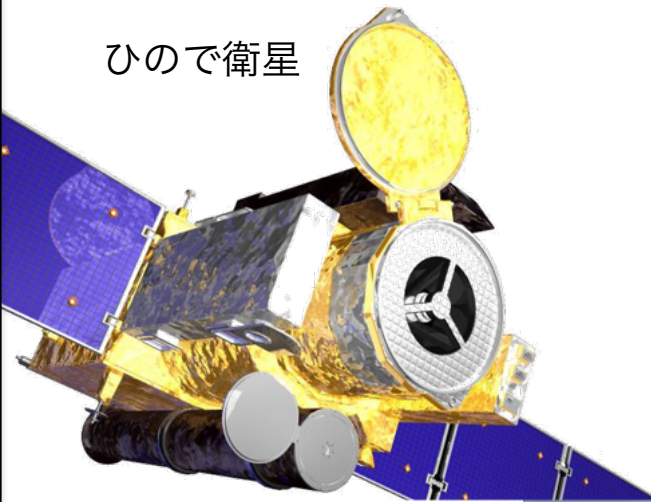


## 国立天文台パンフレットより

# 国立天文台における太陽研究

## 太陽観測科学プロジェクト

ひので衛星



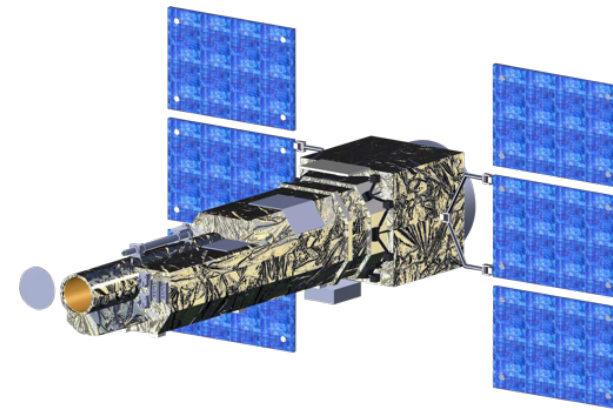
地上観測



ロケット、気球観測



## SOLAR-Cプロジェクト



## ALMAプロジェクト



(2022年3月現在)

- 「太陽観測科学プロジェクト」 「SOLAR-Cプロジェクト」  
「ALMAプロジェクト」
  - 教授: 原
  - 准教授: 石川, 下条, 関井, 花岡, 勝川
  - 助教: 岡本, 久保, 成影
  - 国立天文台フェロー: Benomar
  - 研究員: 大場, 川畑, 松本
  - 学振研究員: 八田, 行方 (庄田, 2月まで)
  - 大学院生: 5名 (総研大 3, 東大 2)

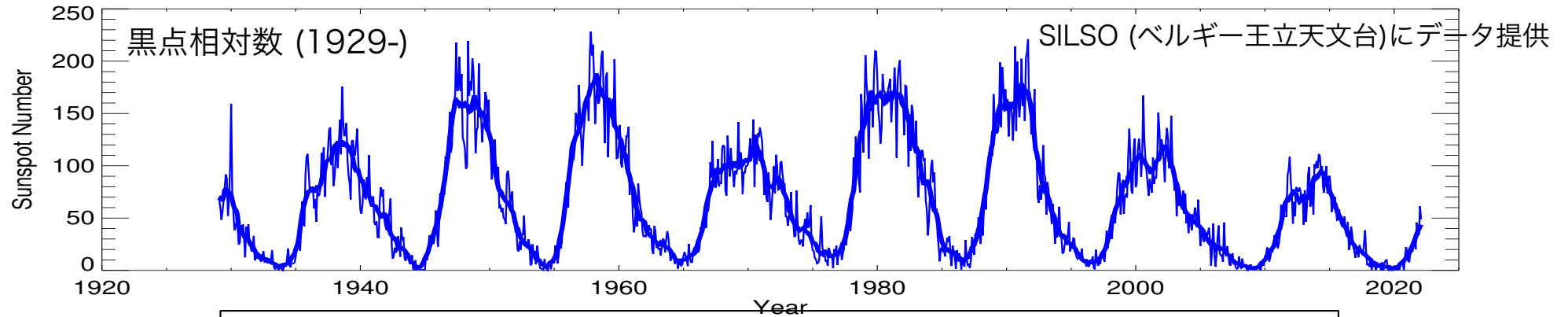
人材豊富です

# 多様なニーズに応えます！！

- いろんなデータを使った研究をやりたい
  - 地上～衛星、電波～X線、自前～他の装置
- 人工衛星を運用してみたい
  - ひのでの運用だけでなく、IRIS(NASAの衛星)を運用している人もいます
- 自分で観測装置を作りたい
- 大きなプロジェクトで仕事がしたい
  - ロケット・気球実験
  - Solar-C衛星
- 太陽以外の天文宇宙研究にも興味がある

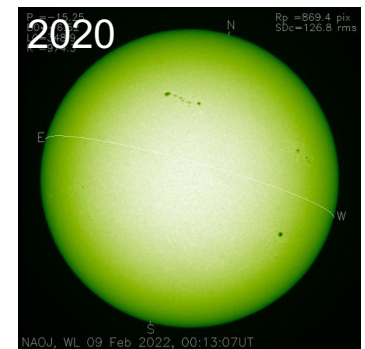
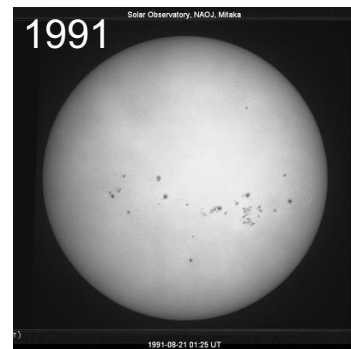
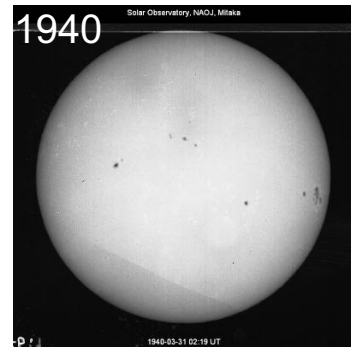
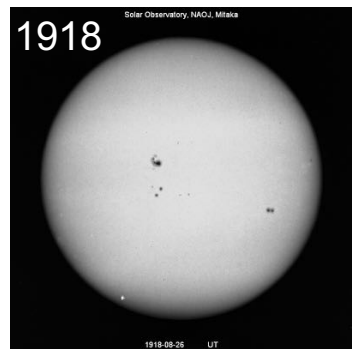


# 国立天文台における太陽観測

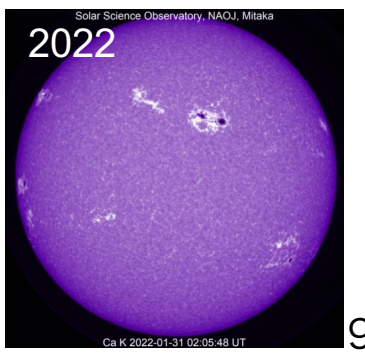
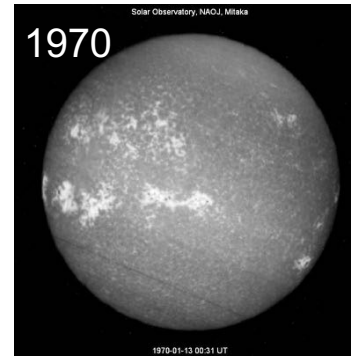
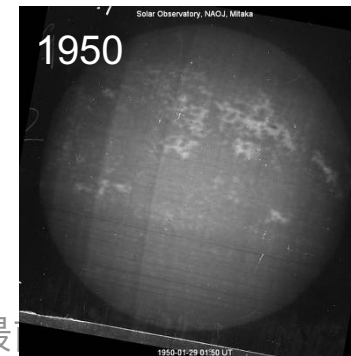
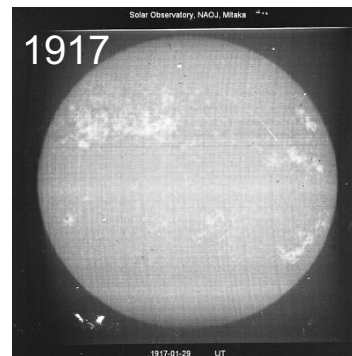


太陽磁気活動の長期変動を知る貴重なデータ

白色光  
(1918-)



黒点スケッチ  
(1938-1998)



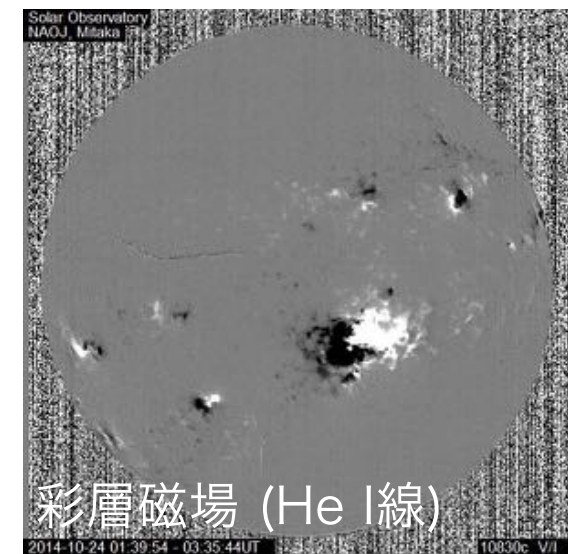
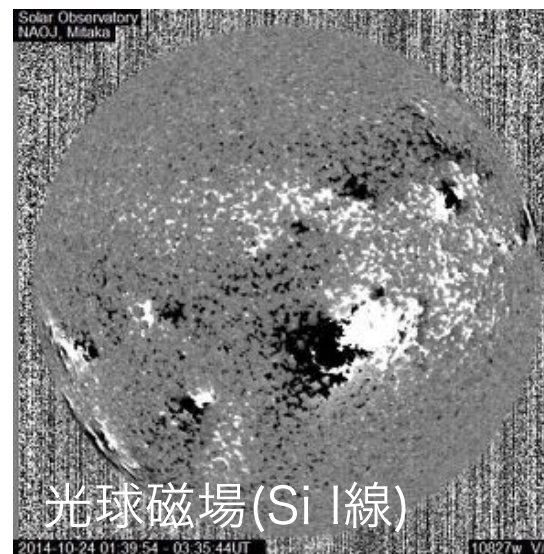
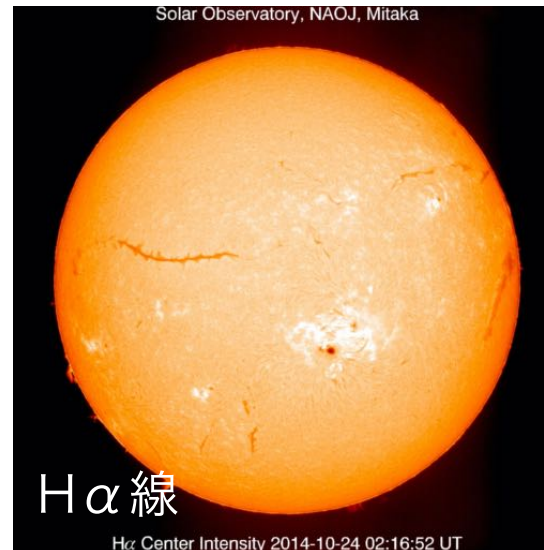
Ca II K線  
(1917-1974)  
(2015-)

H $\alpha$ 線

# 国立天文台での太陽観測：磁場観測

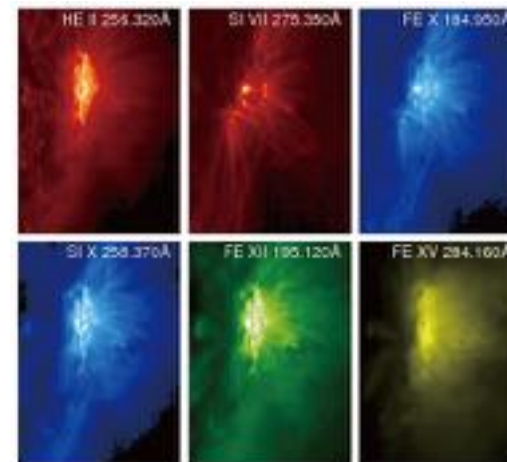
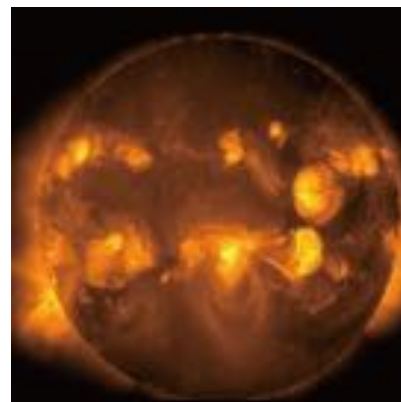
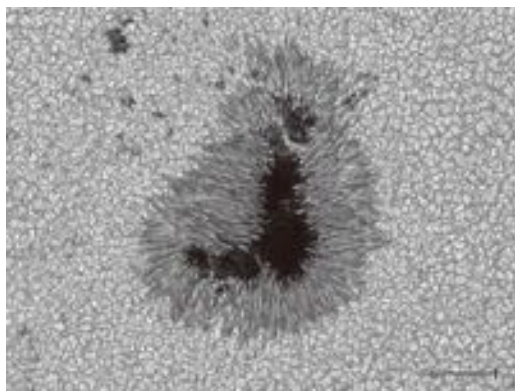
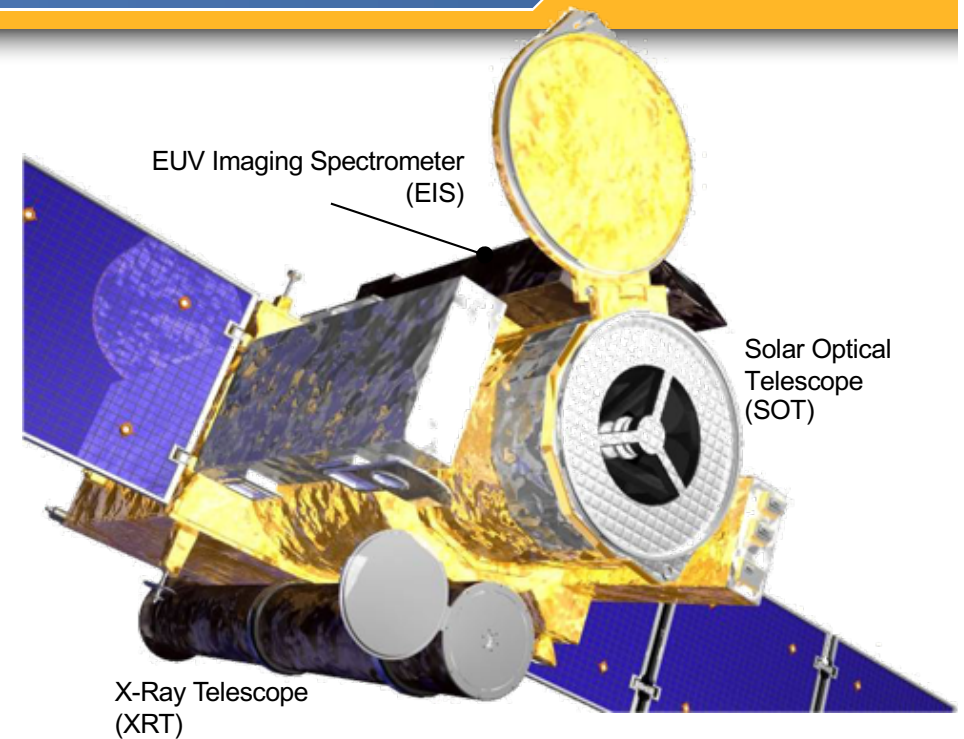


太陽フレア望遠鏡@三鷹



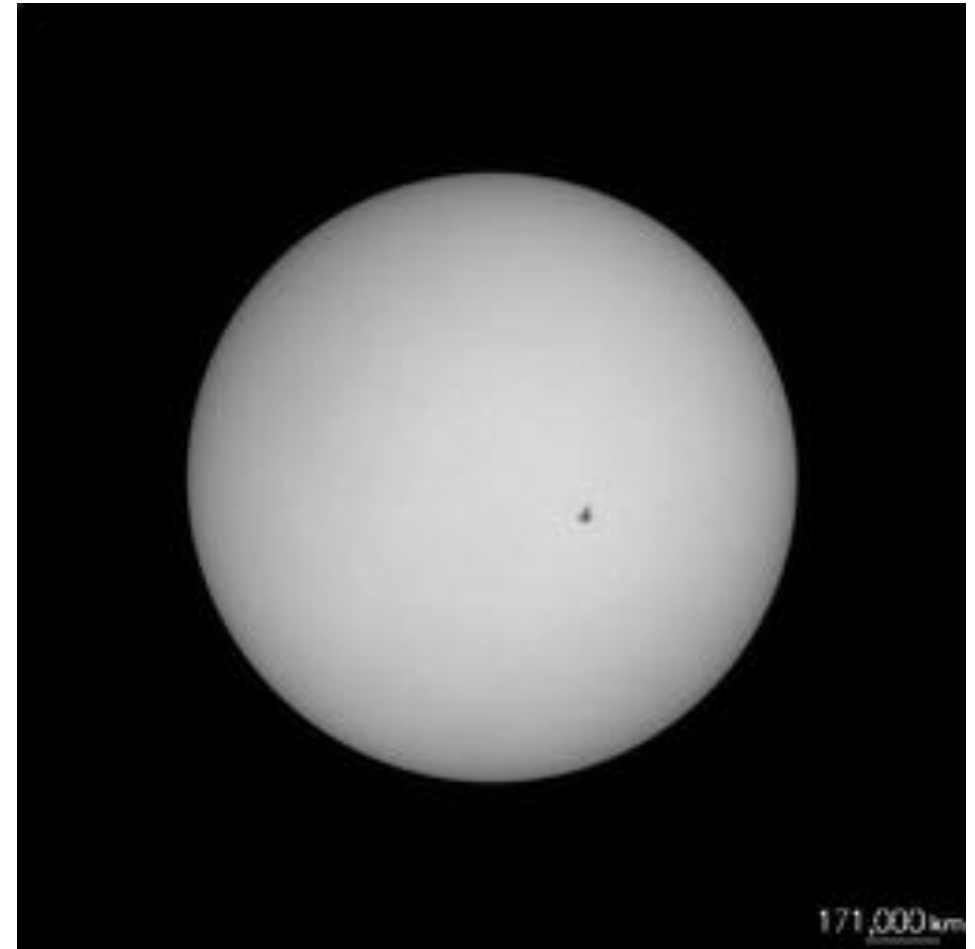
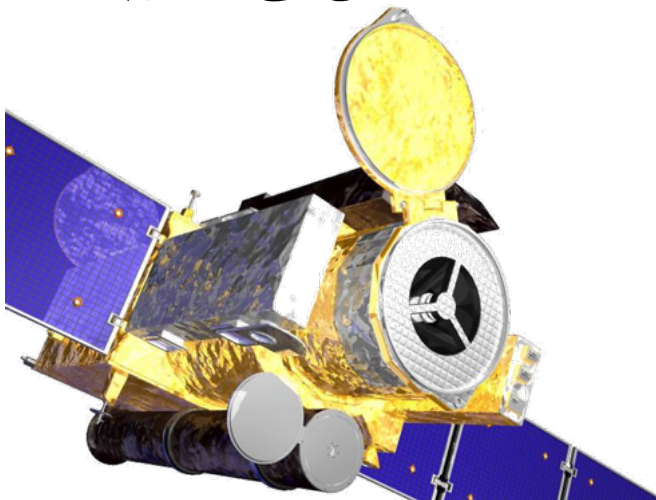
# 「ひので」衛星

- スペースからの太陽観測
  - 地上からは見えない波長 (X線、紫外線) でコロナを観測
  - 大気に邪魔されず精度のよい観測ができる
  - 24時間連続観測、太陽の常時監視
  
- 可視光望遠鏡 (SOT)
  - 口径50cmの回折限界性能を持つ世界最大、最高性能の太陽観測用宇宙望遠鏡



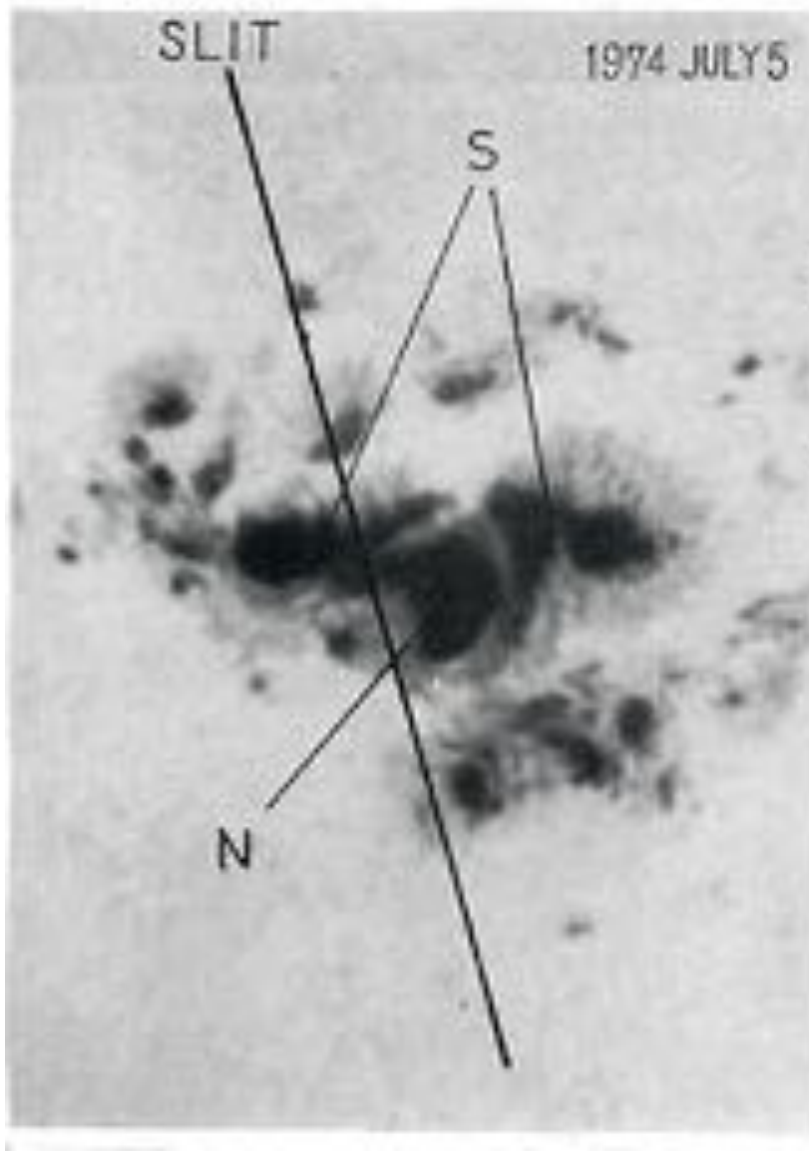
# 詳しい観測ができる唯一の星

- 空間分解できる
- 太陽の周囲には数100万度という高温のプラズマ
  - 電子と陽子が完全に電離した状態
- 爆発現象（フレア）によって、超高温(>1000万度)のプラズマができる

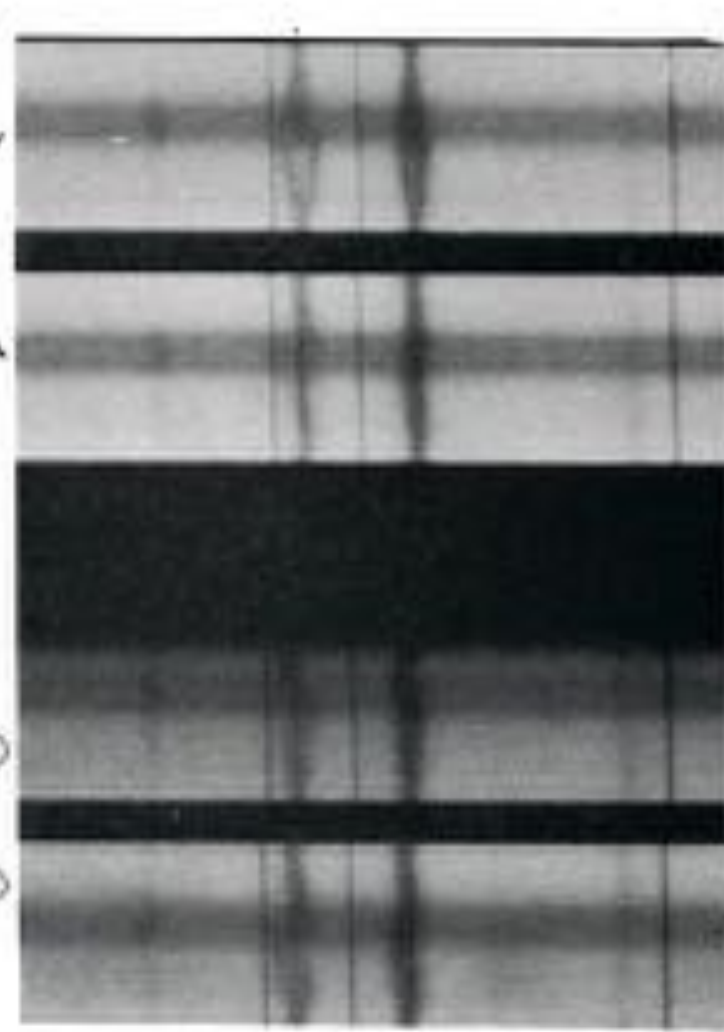


「ひので」衛星による太陽黒点の「顕微鏡」観測  
(©NAOJ/JAXA)

# ゼーマン効果



国立天文台岡山



# ゼーマン効果

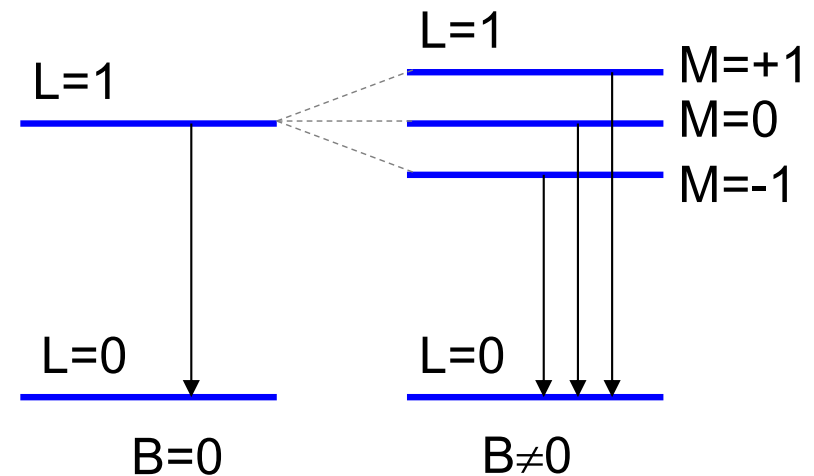
- 電子の角運動量(磁気モーメント)と磁場の相互作用でエネルギー準位が分離する

$$\Delta\lambda_B \approx 4.67 \times 10^{-13} \lambda_0^2 gB$$

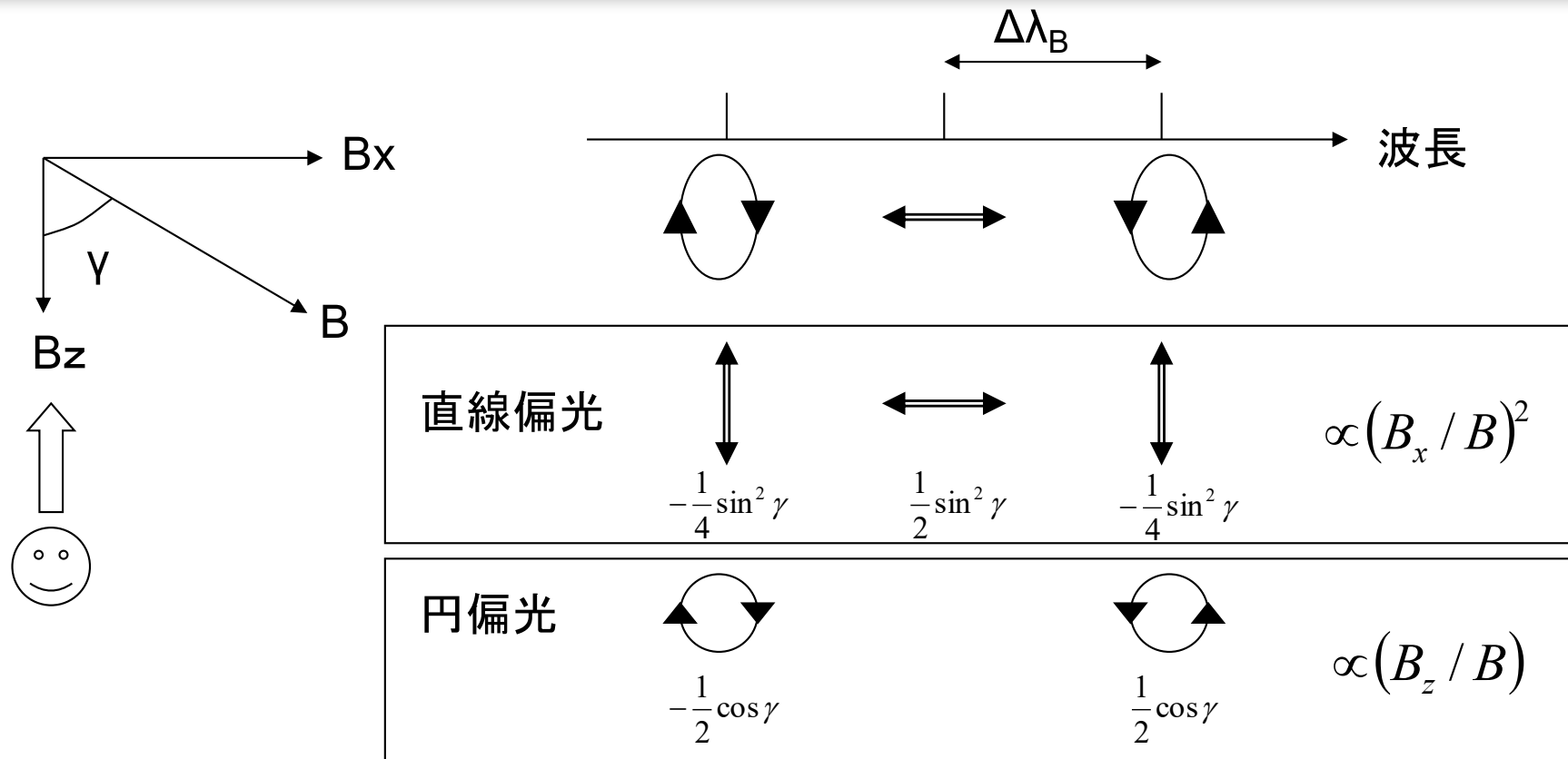
B: 磁場強度(ガウス)

$\Delta\lambda_B, \lambda_0$ : Å

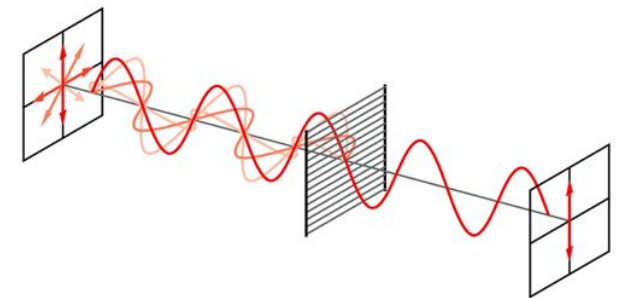
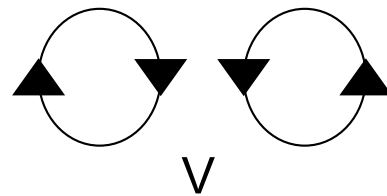
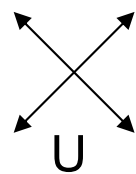
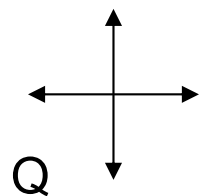
g: ランデ因子  $g=2.5$



# ゼーマン効果と偏光

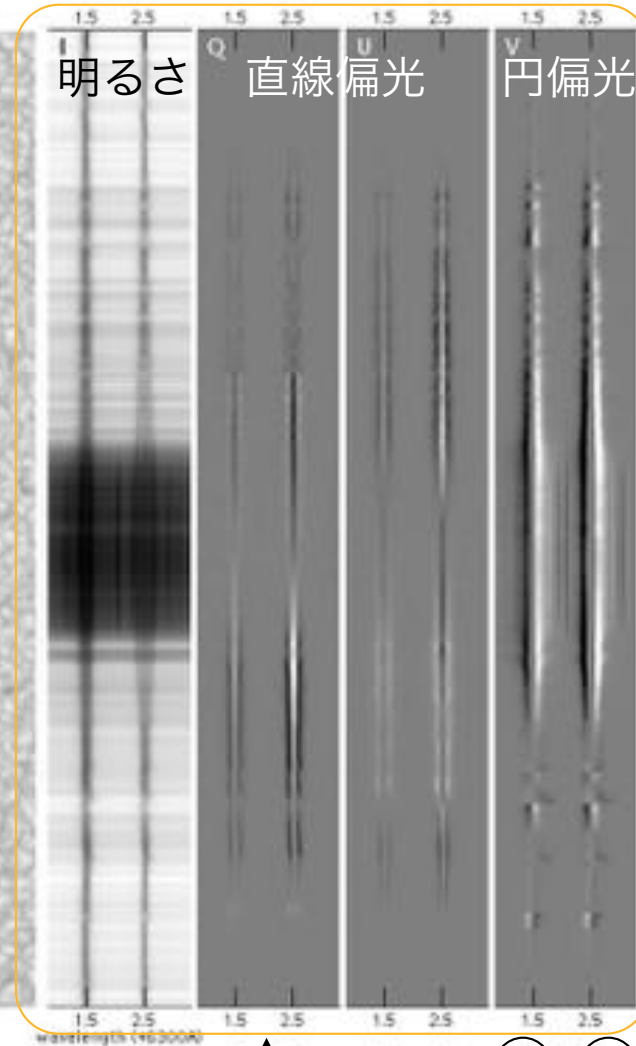
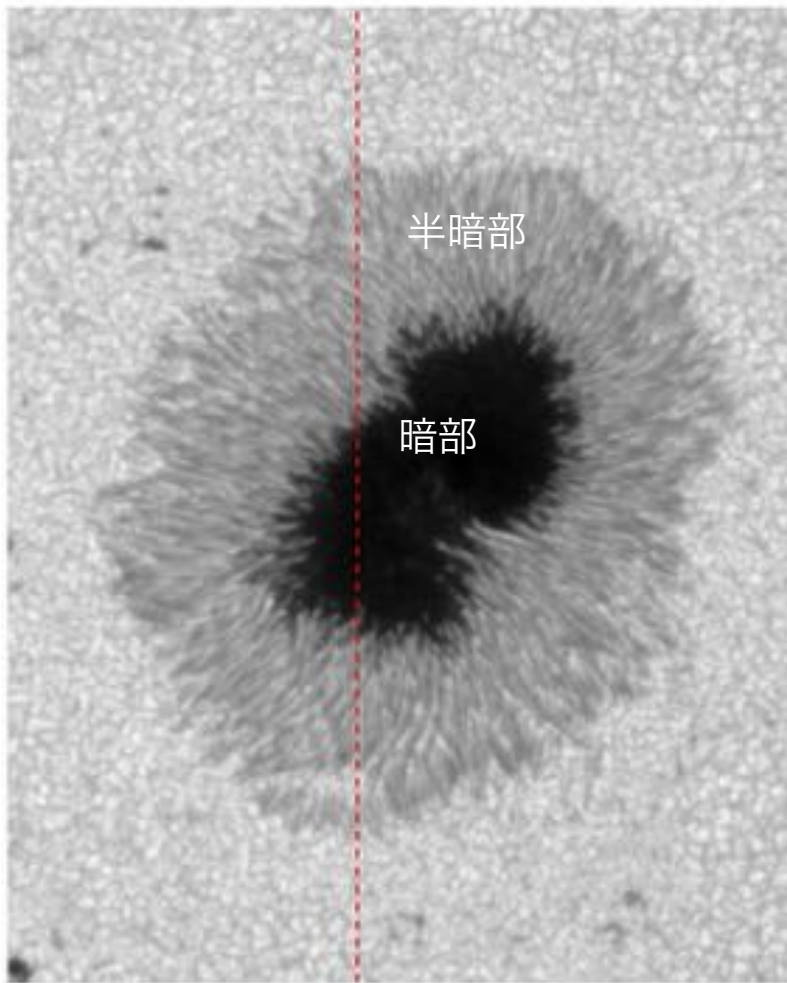


- 偏光を測定すると、磁場ベクトルの方向までわかる



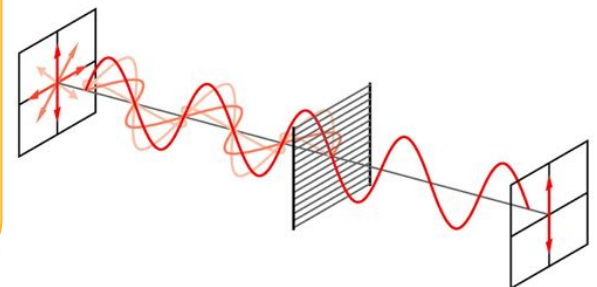
# 太陽表面の磁場をリモートセンシング

鉄の吸収線 (波長 630 nm)



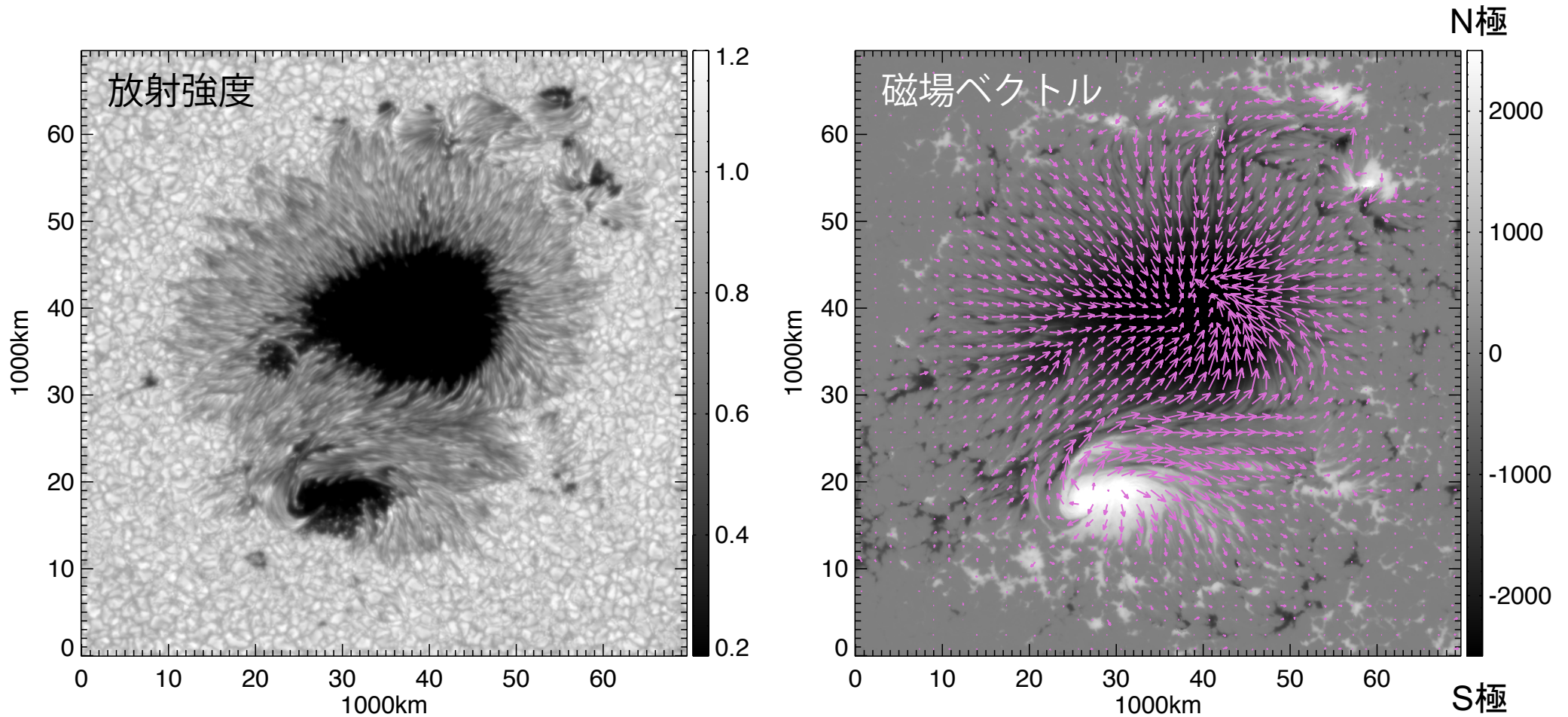
「ゼーマン効果」で発生  
 する偏光を測定

偏光を解析することで、  
 磁場の向き・強さが分かる。

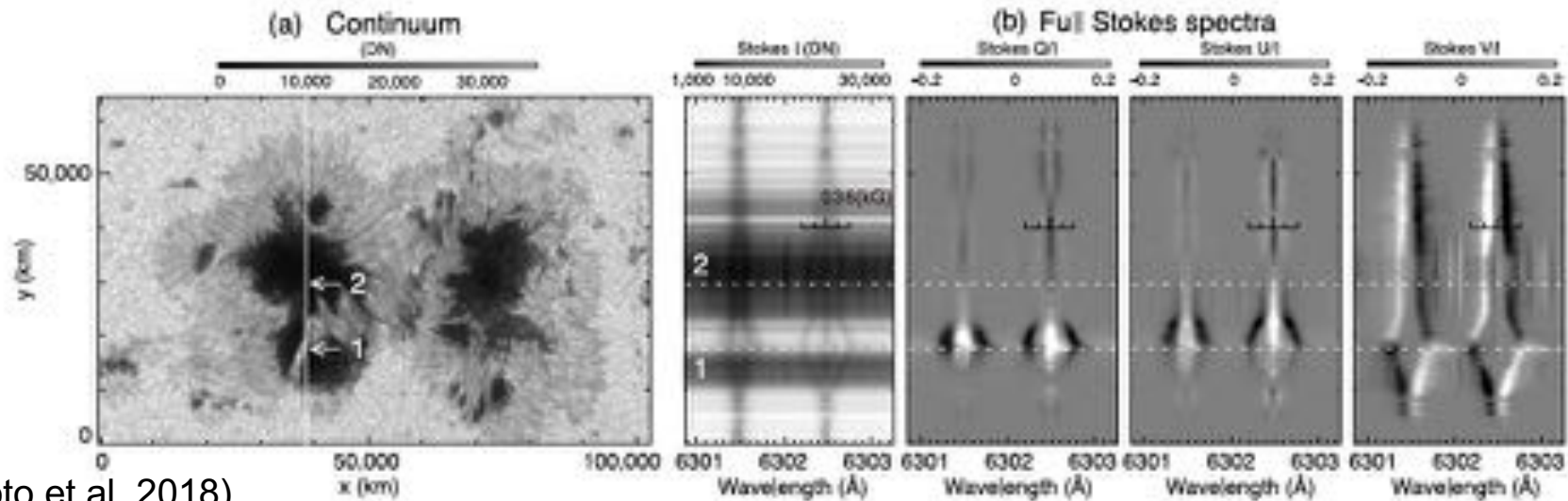




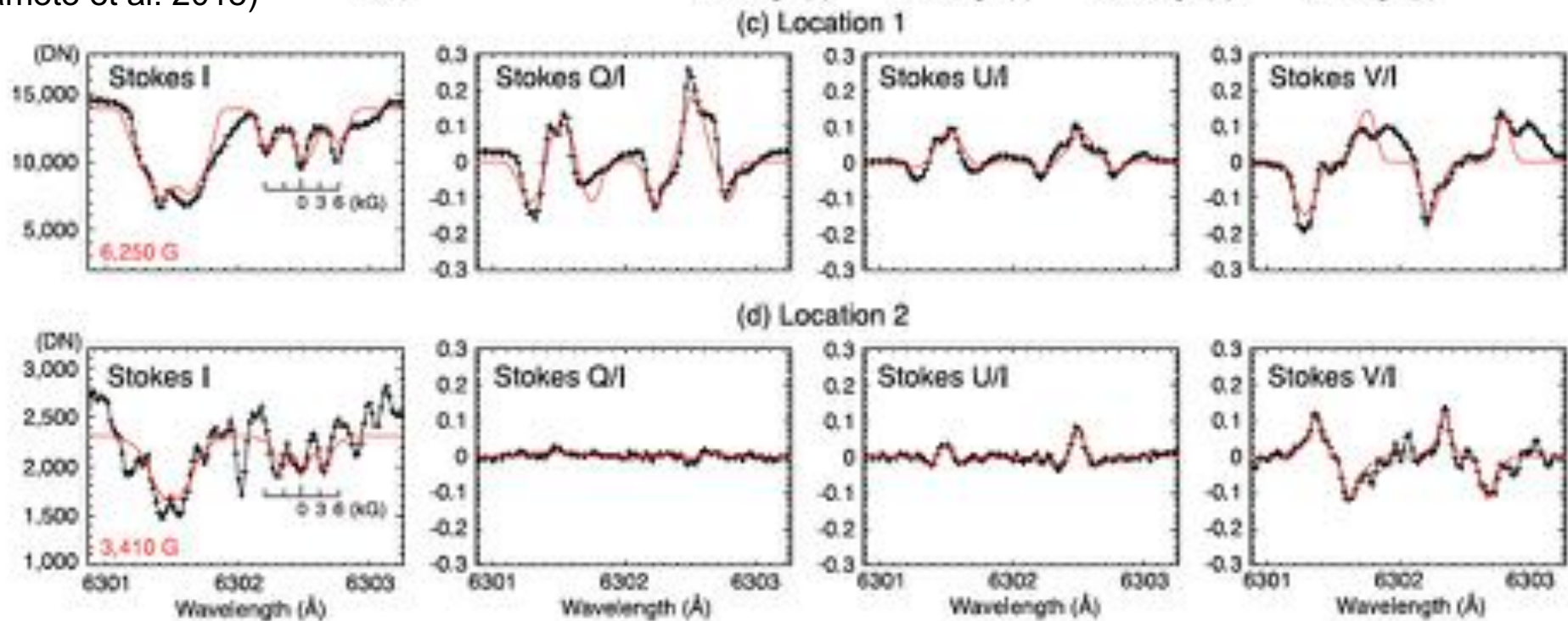
# 黒点の磁場「ベクトル」



# 黒点の中の超強磁場

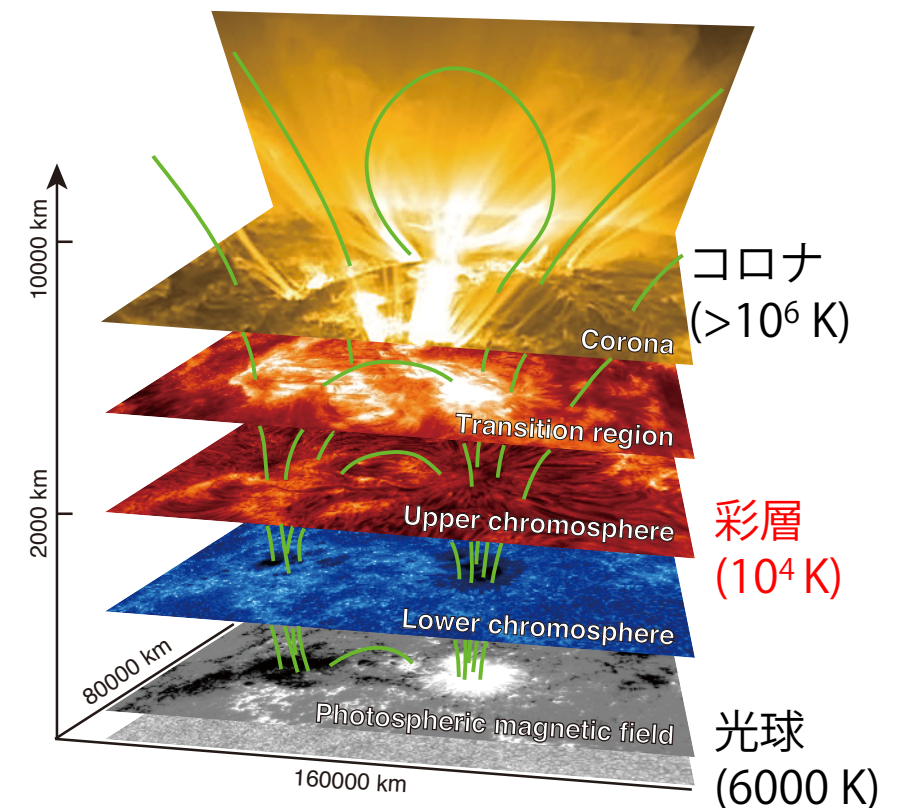
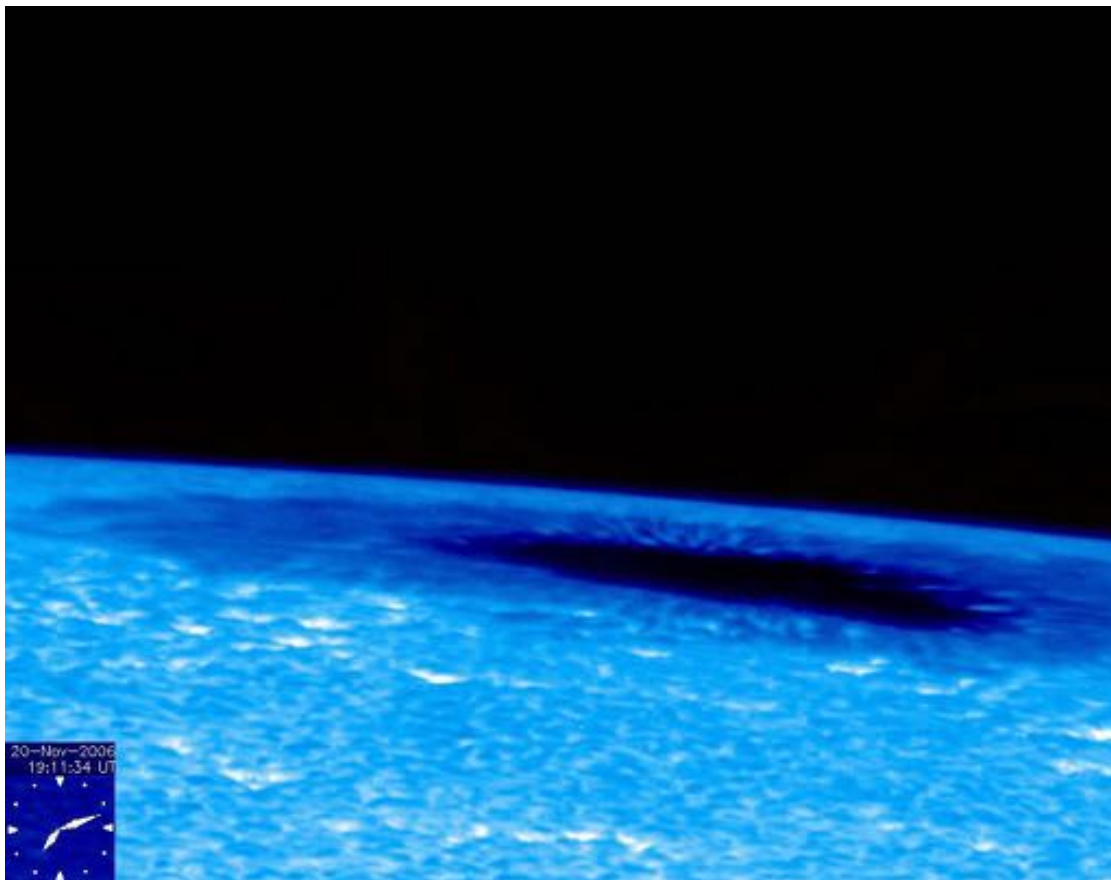


(Okamoto et al. 2018)



# ダイナミックな彩層活動

- 地球を飲み込むほどの高さにまでジェットが数分で到達



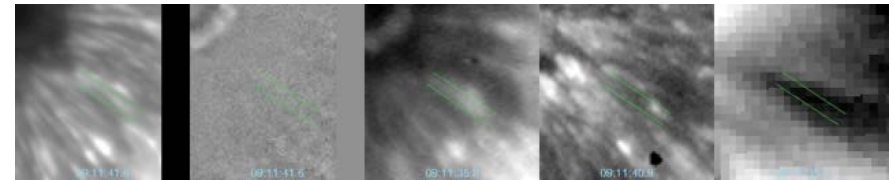
# 多波長観測で迫る彩層・コロナ加熱

- 可視光彩層観測と紫外線コロナ( $10^5 - 10^6$  K)観測を組み合わせ、彩層ジェットがコロナにどう影響を及ぼしているのか調べる

Hinode SOT  
 Ca II H  
 ( $\sim 10^4$  K)

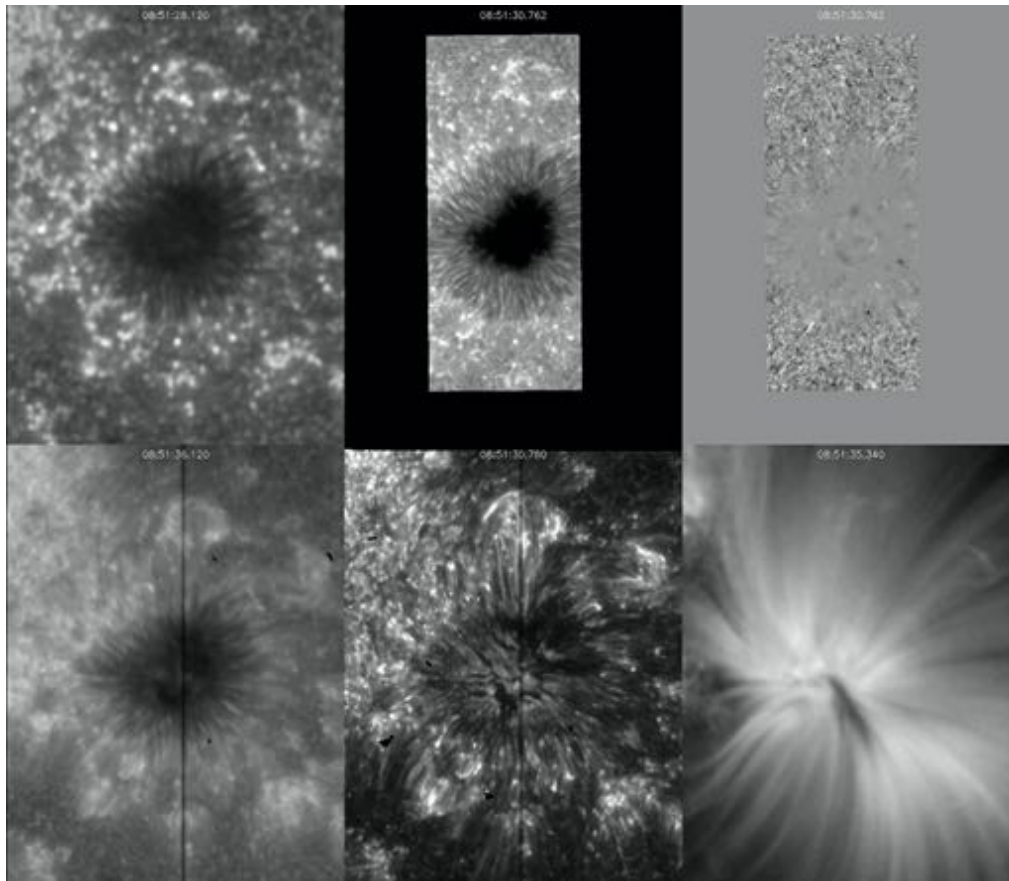
IRIS SJ  
 Mg II  
 ( $\sim 10^4$  K)    Si IV  
 ( $\sim 10^5$  K)

SDO AIA  
 Fe IX  
 ( $\sim 10^6$  K)



SDO AIA 160 nm

Hinode 彩層観測 (390 nm)

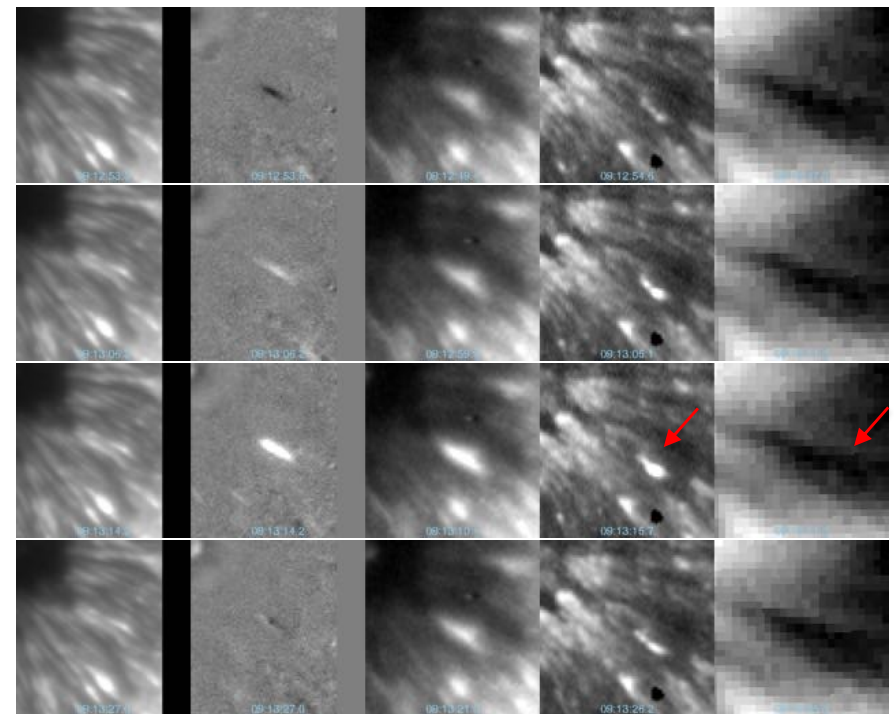


IRIS 280 nm

IRIS 140 nm

SDO 17 nm

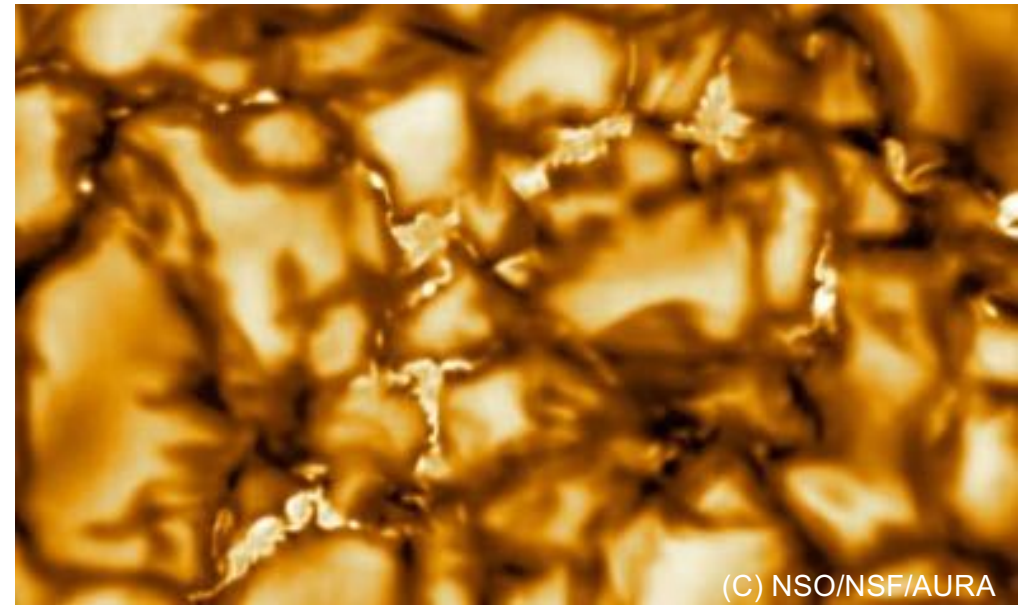
Time ↓



視野: 13秒角

SOLAR-Cのターゲット

# 地上超大型太陽望遠鏡 (DKIST)



## 2021年から口径4mの地上望遠鏡が観測開始

- これまでは最大でも1.6 m
- 高解像度、高感度により、太陽彩層・コロナ磁場の観測
- SOLAR-C衛星との連携観測に期待
- プロポーザル制: 日本からの提案(勝川/石川、岡本)も受理されている  
(年内にデータ手にはいるといいな。。。)

# 「ひので」可視光望遠鏡 (SOT)の開発

- 口径50cmの世界最大、  
最高性能の太陽観測用  
宇宙望遠鏡



可視光望遠鏡(SOT)の完成を記念して  
(国立天文台のクリーンルームにて)

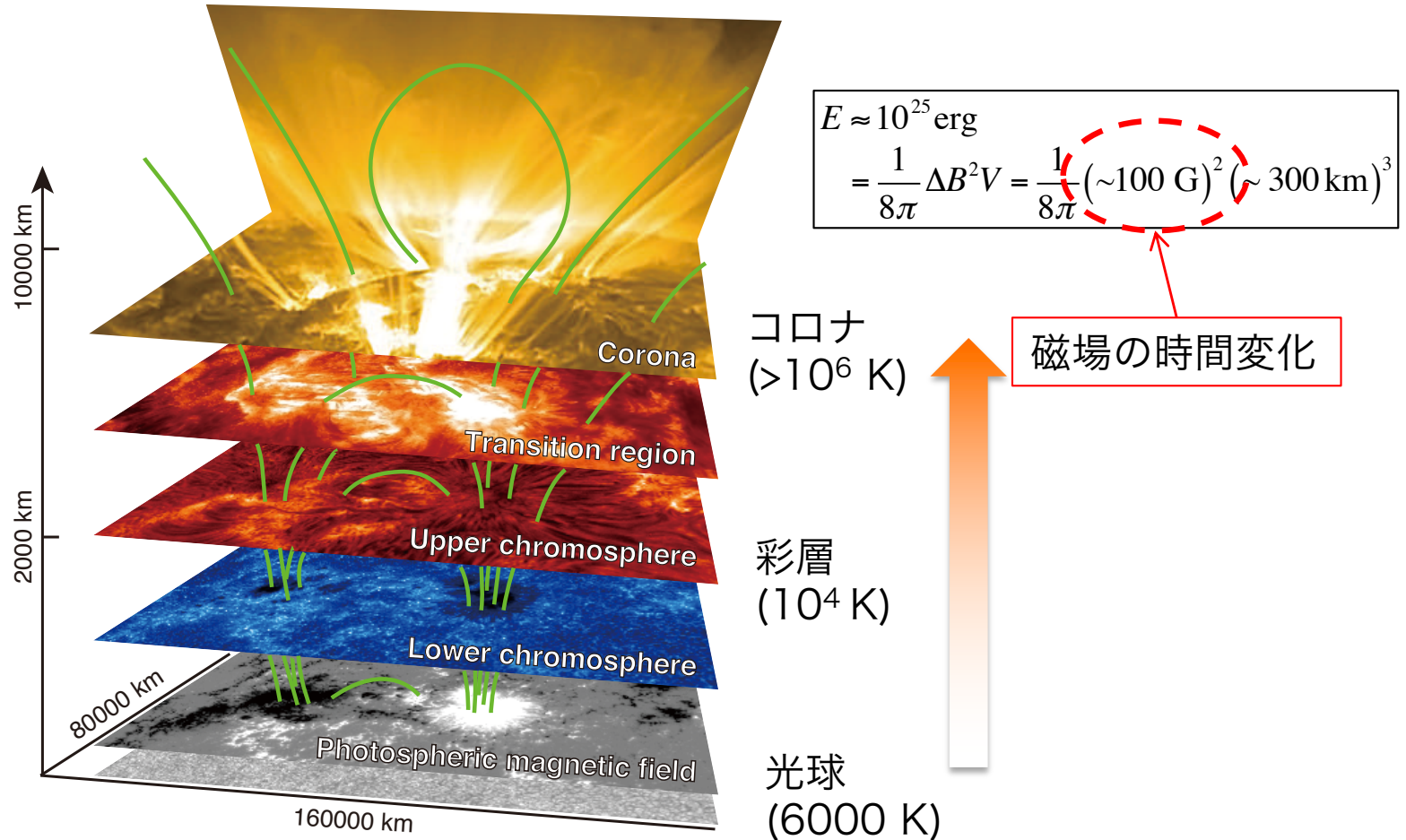
# 打ち上げ・ファーストライト

- 2006年9月23日: ISAS M-Vロケットで打ち上げ
- 2006年10月25日: ファーストライト



JAXA宇宙科学研究所にて

# 「見えない」磁場を見えるようにしたい



これまでの彩層・コロナ観測  
撮像観測による定性的研究  
(光球では偏光分光観測がなされた)

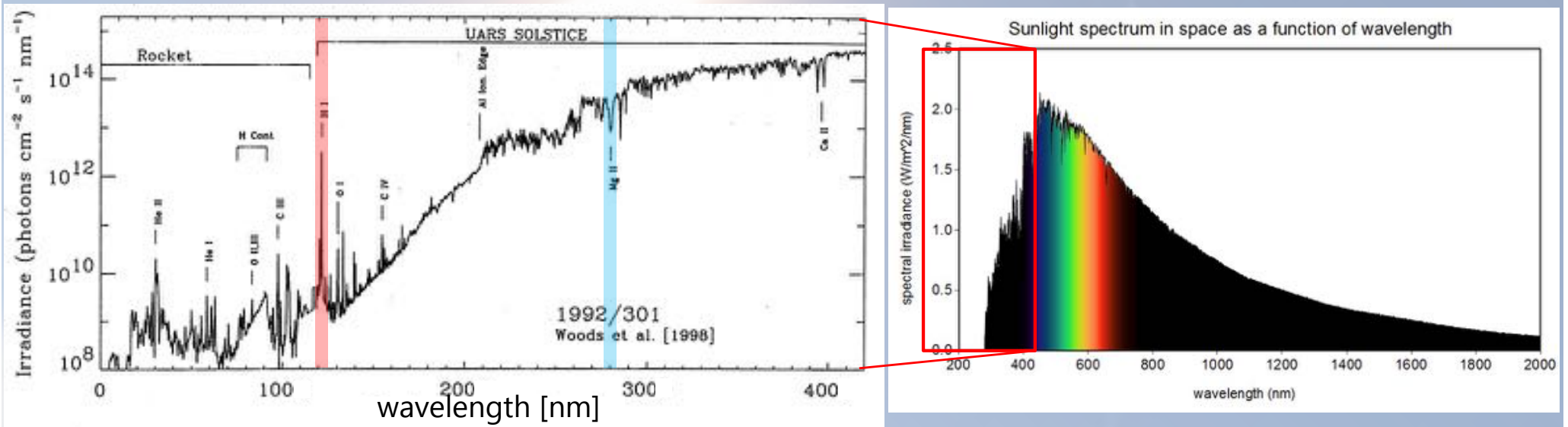


これからの彩層・コロナ観測  
偏光分光観測から得られる物理量  
(温度、速度、磁場)に基づく定量的研究



# 太陽観測ロケット実験CLASPシリーズ

- NASAの観測ロケットを用いた日米欧国際協力実験
- 世界初の**紫外線の偏光分光観測**→**コロナ直下の磁場測定**
  - CLASP (2015): ライマンα線 @ 121.6nm
  - CLASP2 (2019, 2021): 電離マグネシウム線 @ 280nm

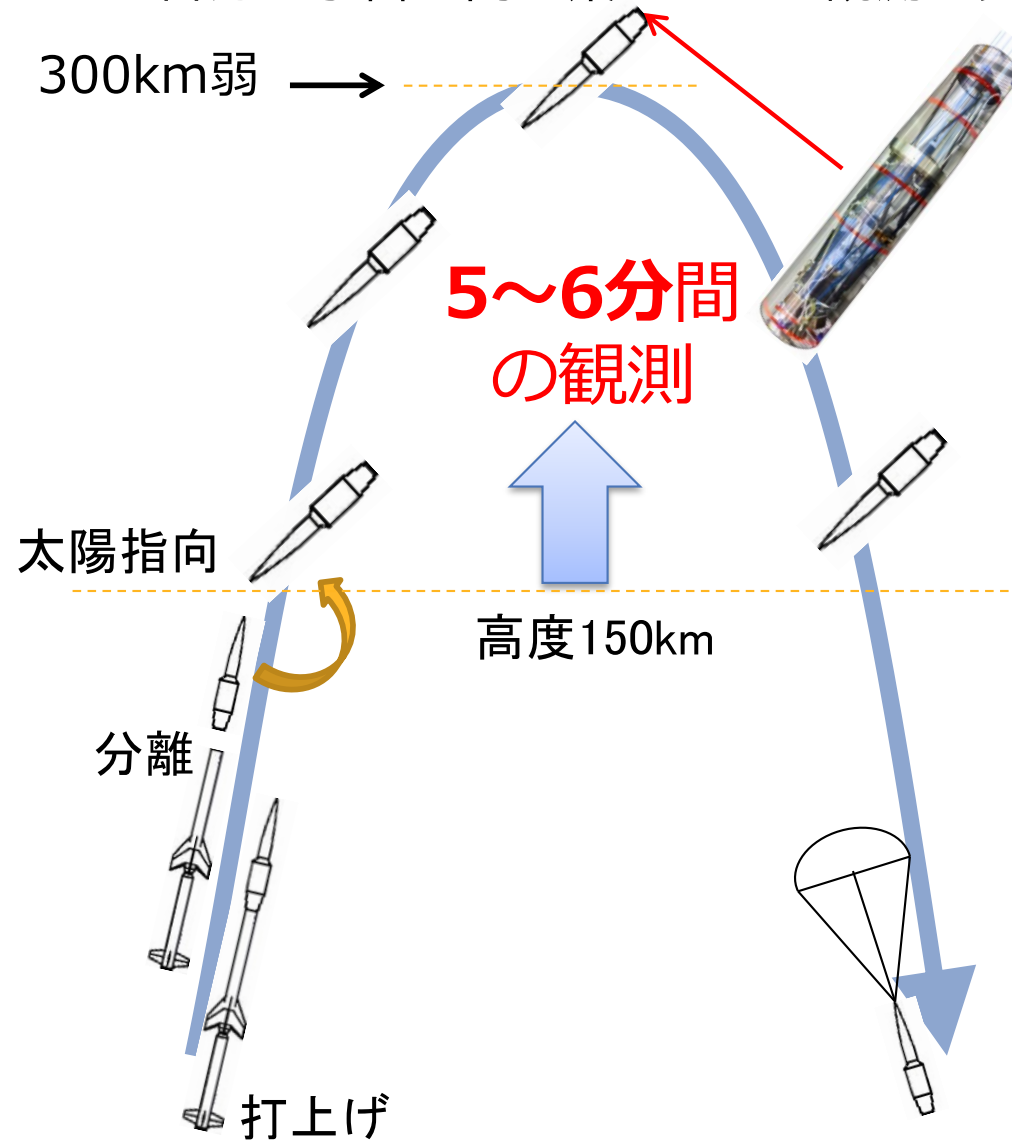


Christopher S. Baird

**CLASP** = **C**hromospheric **L**yman-**A**lpha **S**pectro**P**olarimeter  
**CLASP2** = **C**hromospheric **L**Ayer **S**pectro**P**olarimeter

# 観測ロケット実験？

ロケット自身が宇宙空間を飛びながら観測を実施

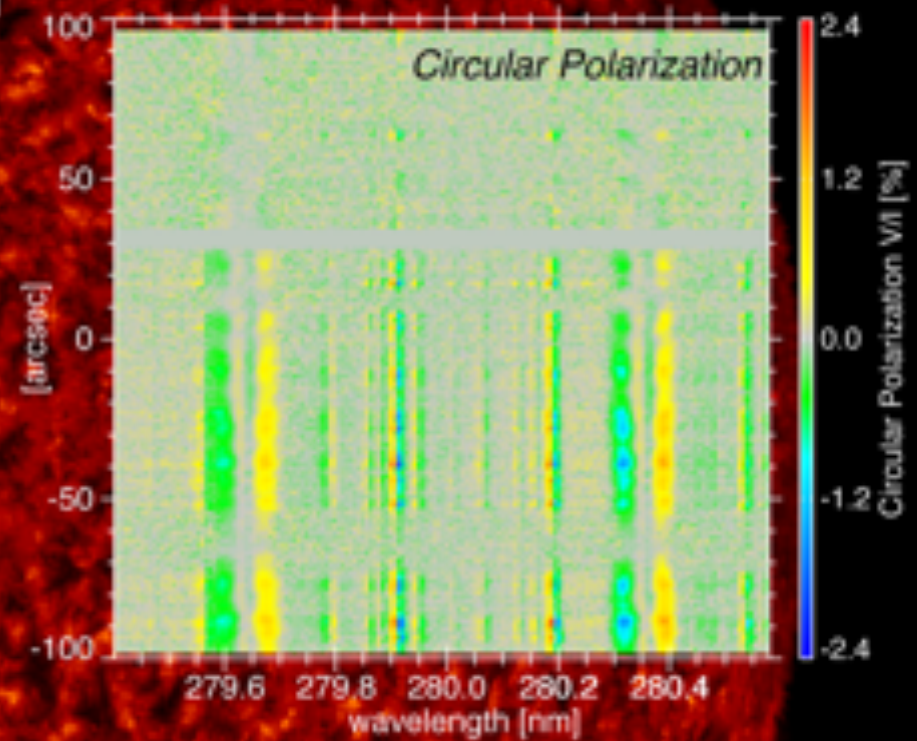
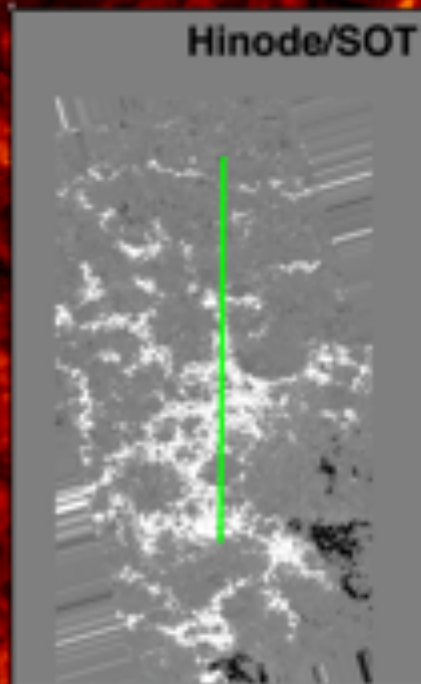
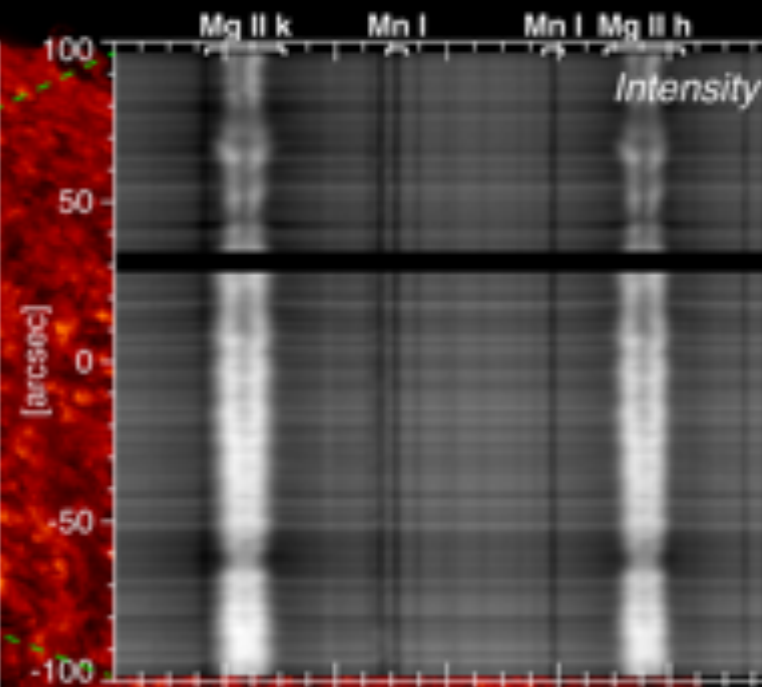
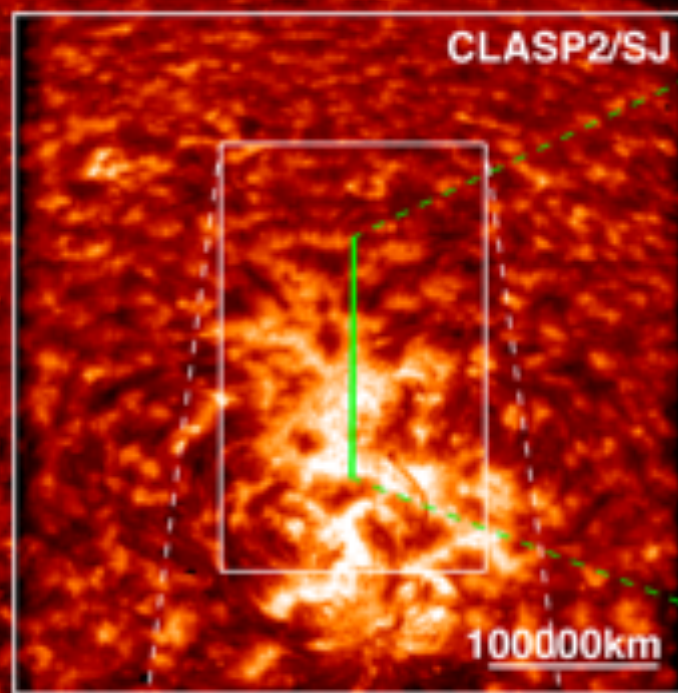


※気球の到達高度:<50km

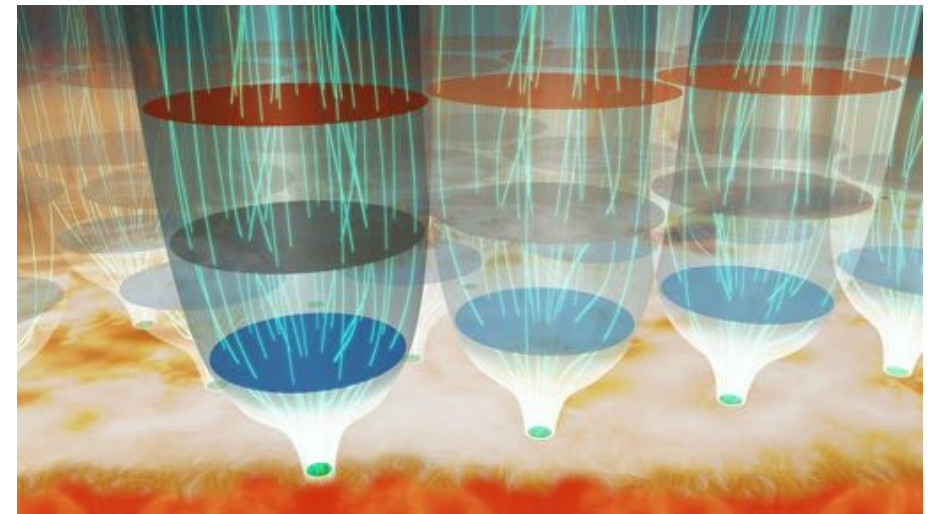
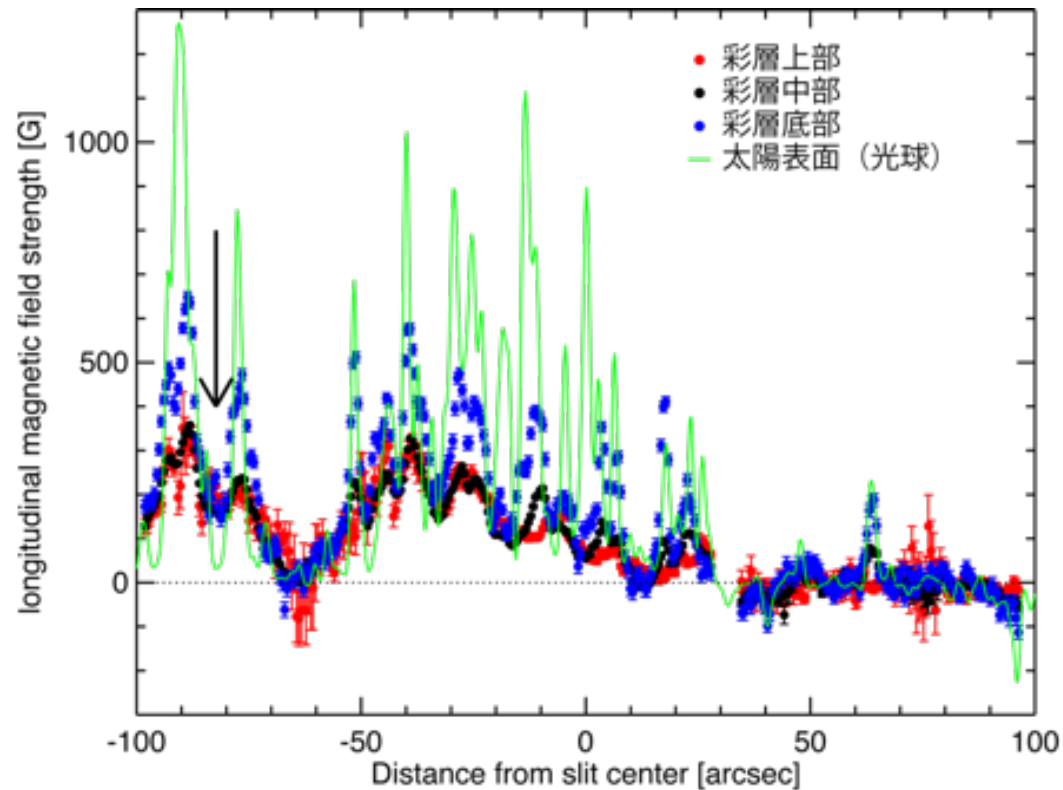
# 打ち上げ場所： White Sands Missile Range



- 観測装置は砂漠に帰還。再利用が可能！



# 光球～彩層最上部の連続した磁場測定に成功！

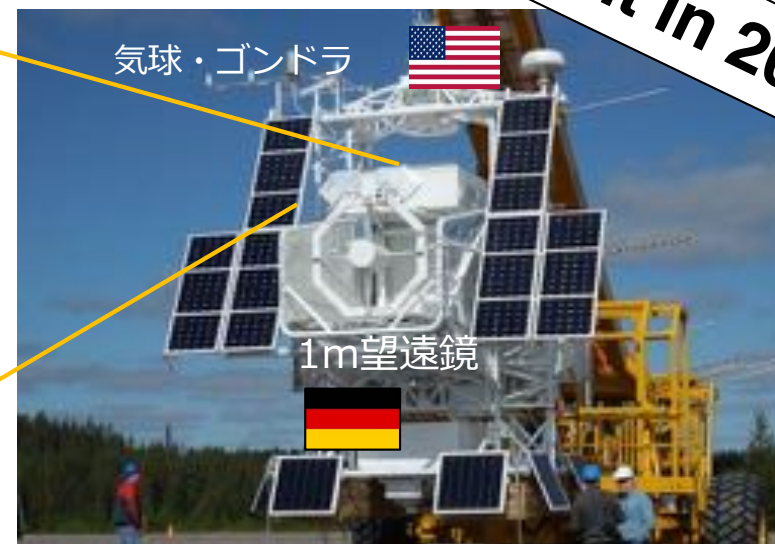
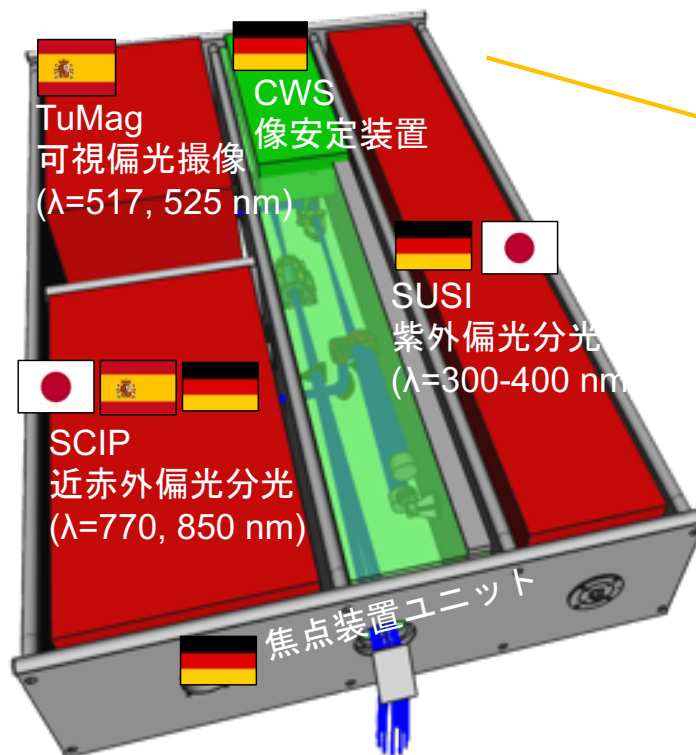
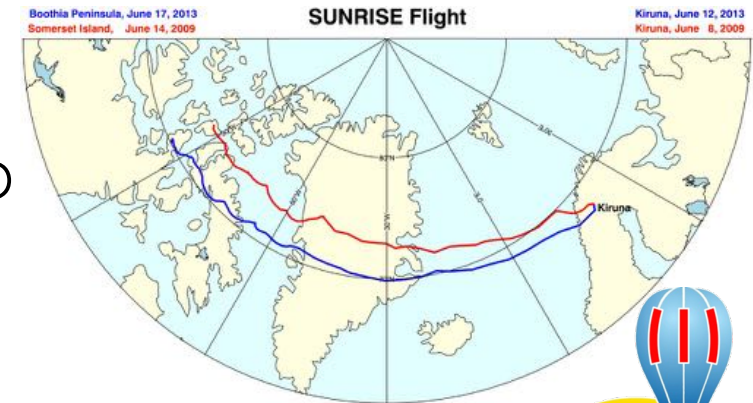


*Ishikawa et al. 2021*

- 高度が高くなるにつれて磁場が弱くなっている
- 光球で磁場が弱い場所でも彩層では磁場が比較的強い

# SUNRISE-3気球実験

- 口径1m (ひのでの2倍) の光学太陽望遠鏡
  - 2009年と2013年に飛行実績
- スウェーデン・キルナからカナダまで大西洋上空の高度約35kmを1週間飛行
  - 紫外線域 (波長 200 - 400 nm) の観測
  - シーイングの無い高精度偏光観測
- フライト2022年6月

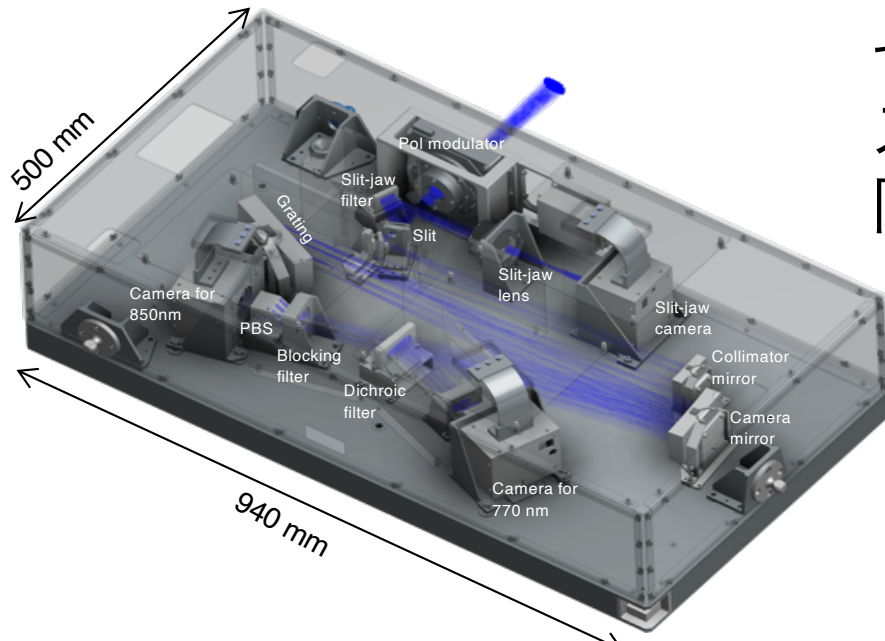


Flight in 2022

# SUNRISE-3 SCIP

Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter

ゼーマン効果 (+ハンレ効果) に高感度なスペクトル線がある近赤外線2波長帯を同時に偏光分光

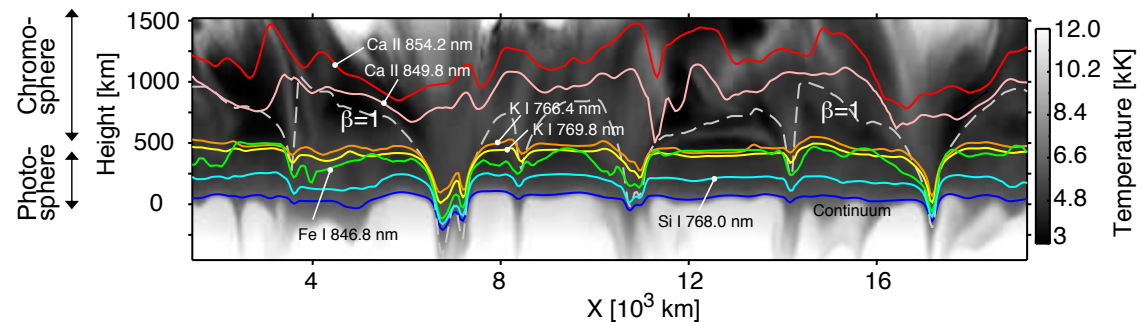
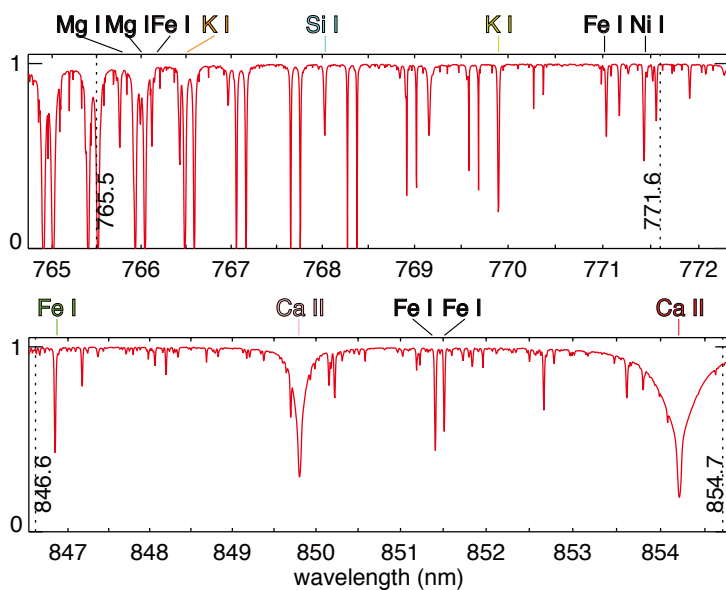


## ■ 高空間・時間分解能

- 「ひので」と同じ解像度: **0.21秒角**  
(850 nm、 $\Phi 1\text{m}$ の回折限界)
- 時間分解能: **15秒**
- 分散:  **$2 \times 10^5$**

## ■ 高精度偏光観測

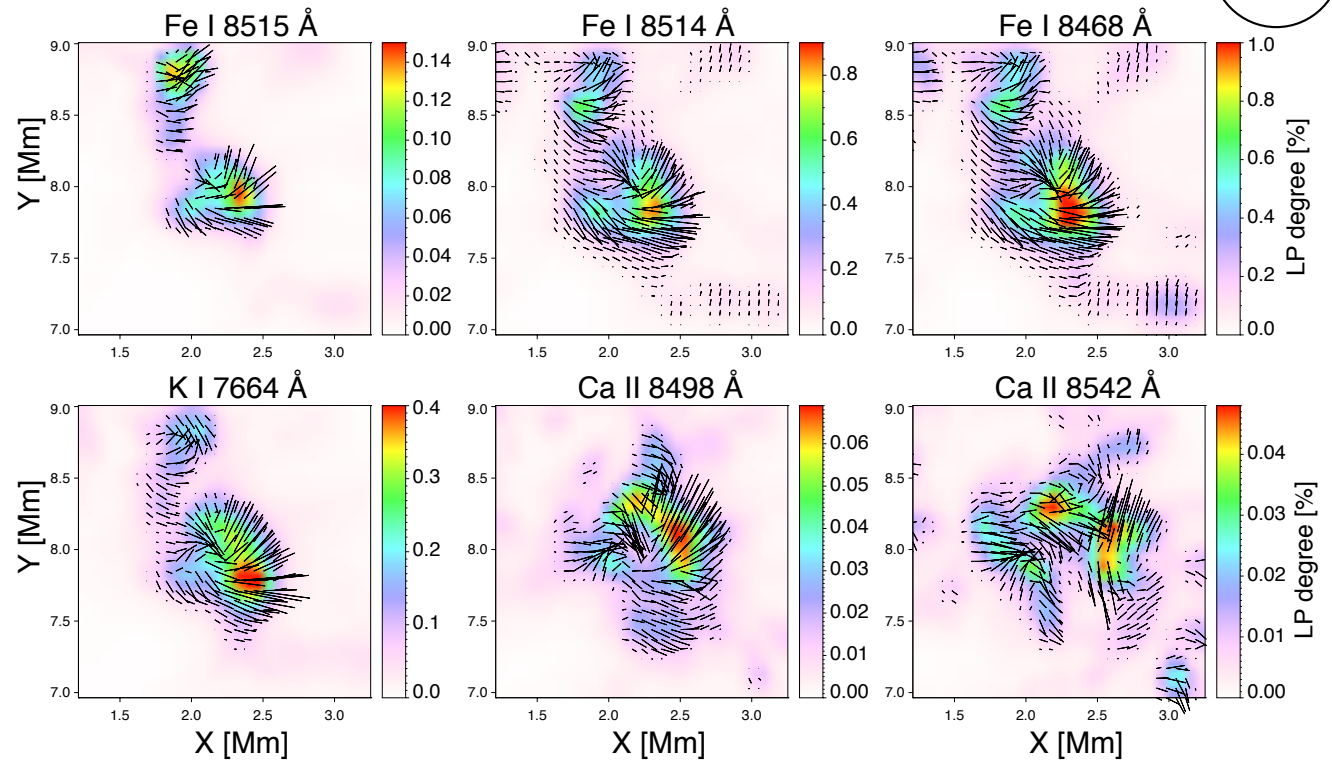
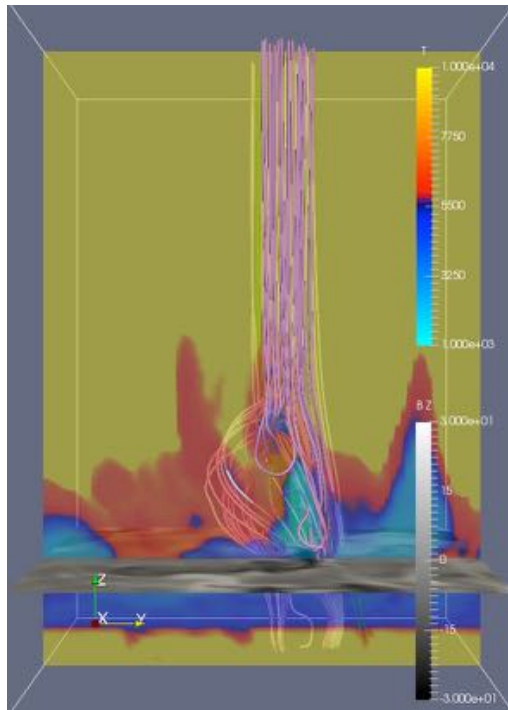
- Ca II 線で $\sim 5\text{ G}$ の磁場を測定: **0.03%**( $1\sigma$ )の偏光度測定



# ジェットを駆動する磁場構造が見えるか

SCIPで観測するスペクトル線における直線偏光

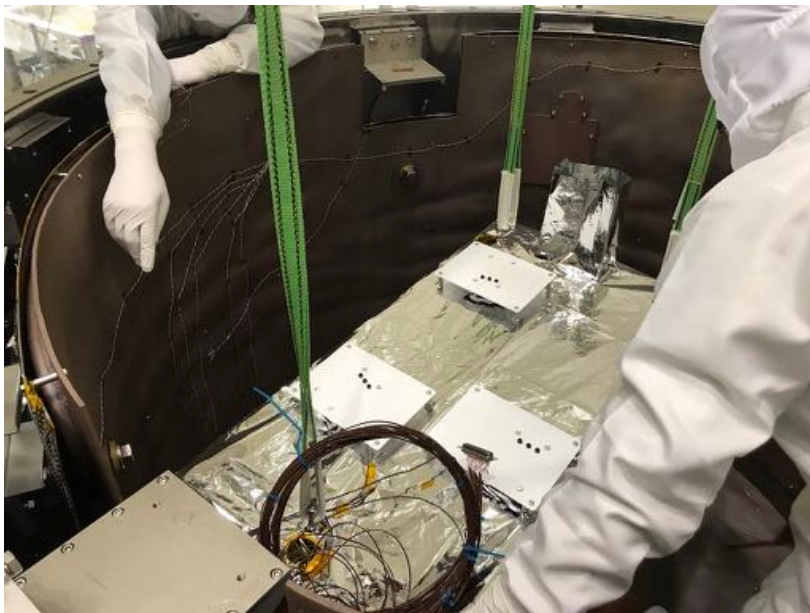
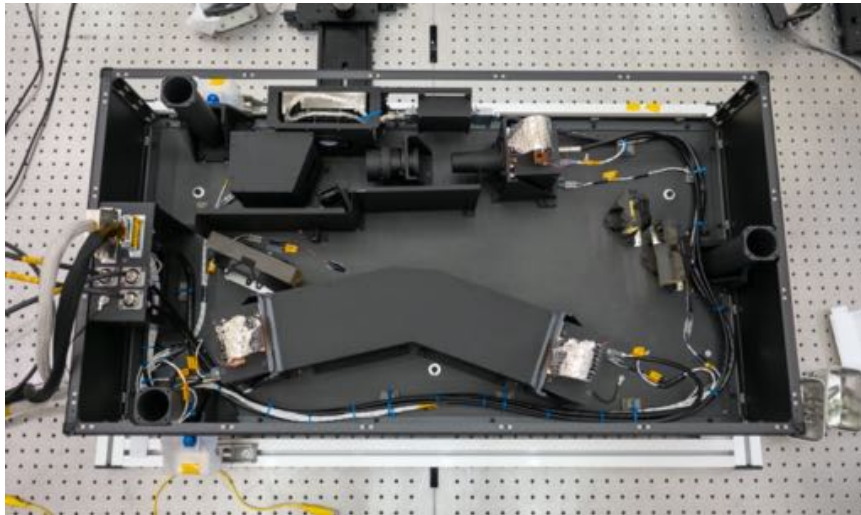
1秒角



- 彩層ジェットを駆動する磁場・運動の偏光分光信号を検出する



# SCIPの開発 @ NAOJ





都築  
(光学エンジニア)

原  
(研究者, 観測)

久保  
(研究者)

松本  
(研究者, 理論)

篠田  
(実験テクニシャン)

川畑  
(研究者, 観測)

浦口

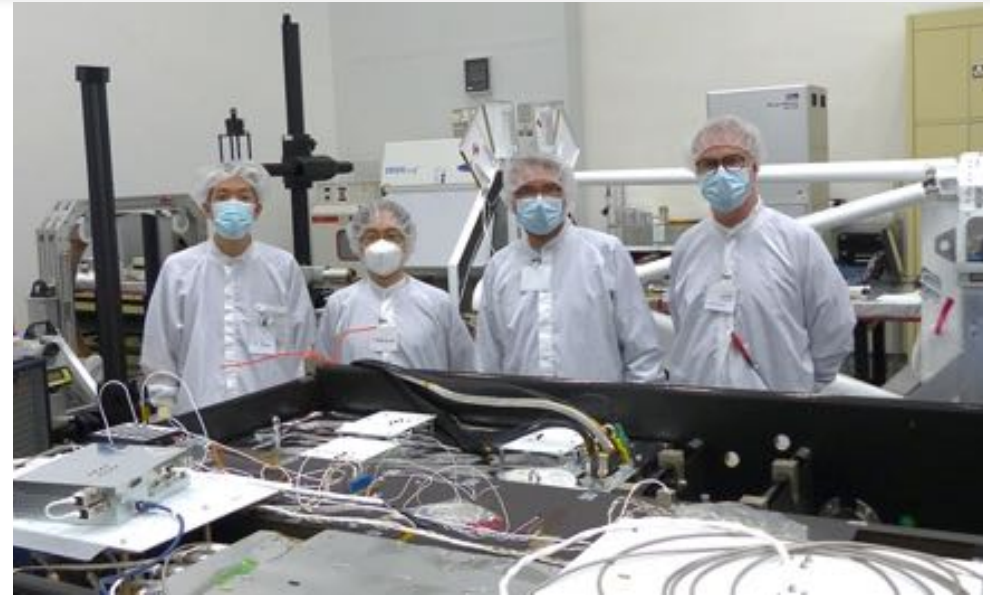
田村

末松  
(研究者, 観測)

勝川 (構造エンジニア) (実験エンジニア)  
(PI, 研究者, 観測)

大場  
(研究者, 観測)

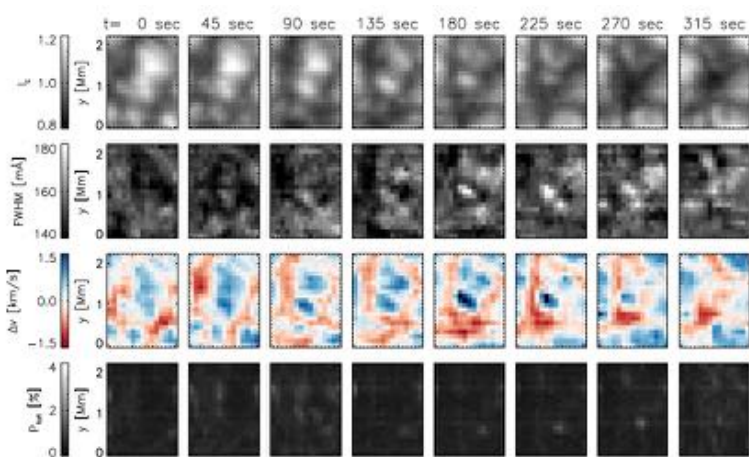
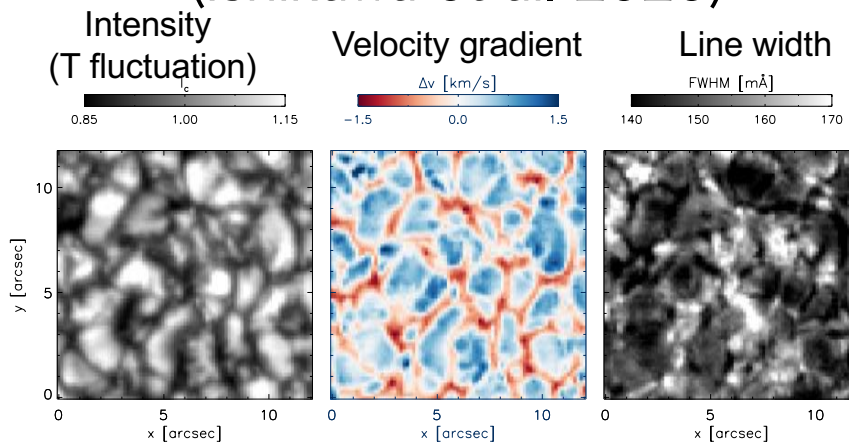
# ドイツでの試験完了、キルナへ



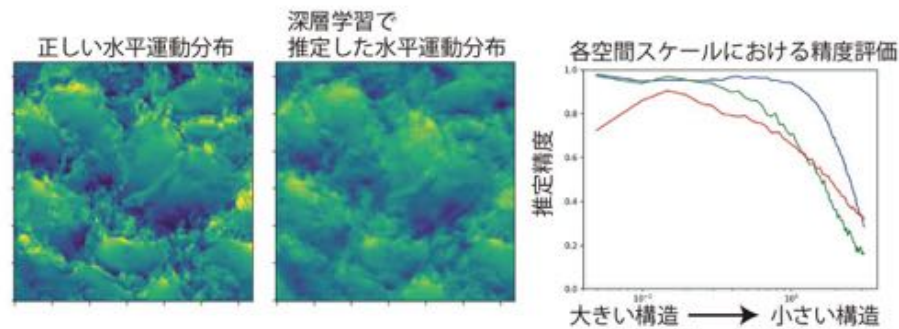
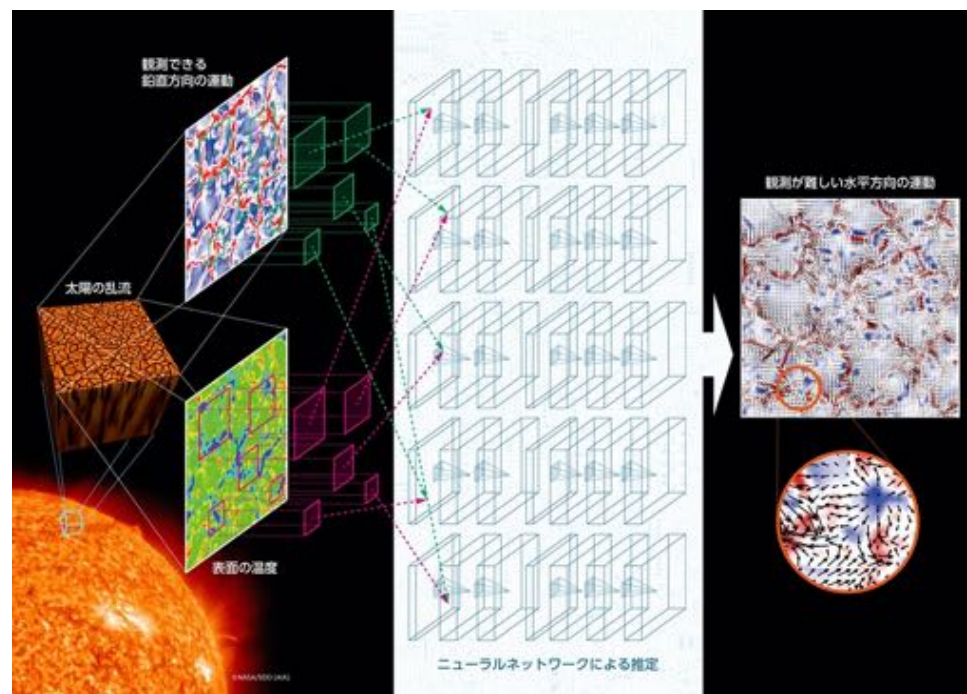
## D3石川さんの研究

ひので偏光分光観測を使った研究  
 (Ishikawa et al. 2020)

深層学習を使った物理量導出  
 (Ishikawa et al. 2022)

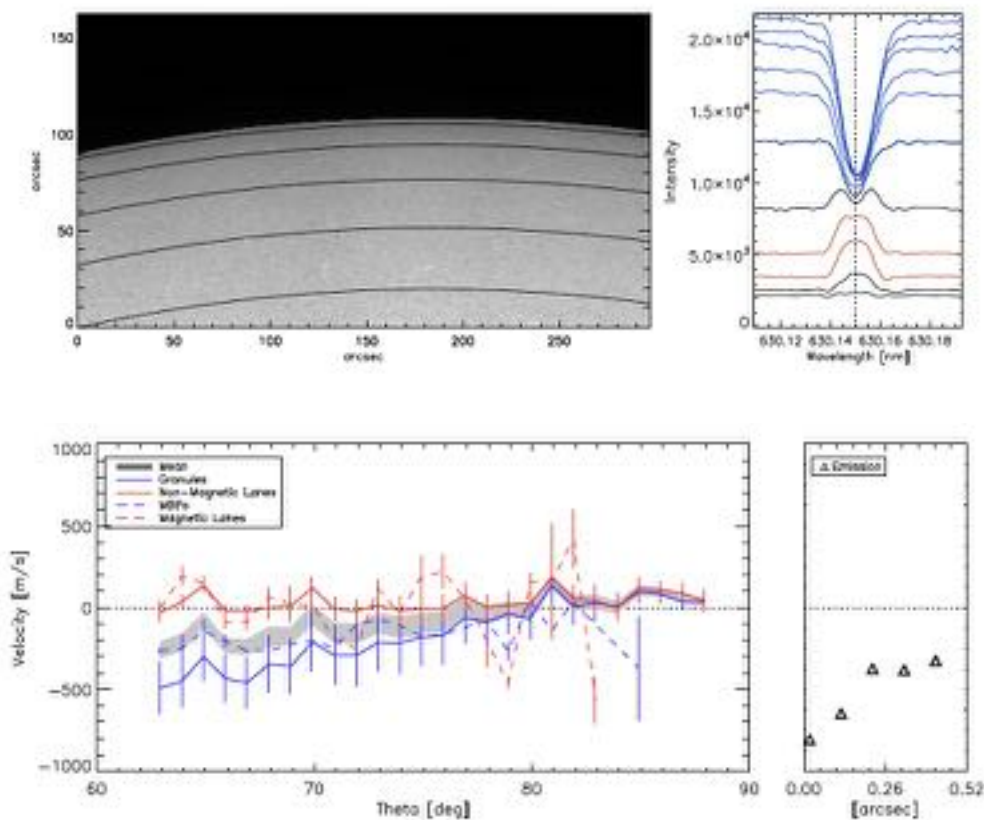


粒状斑が消失するときに乱流が増大することを発見



## M2森塚さんの研究

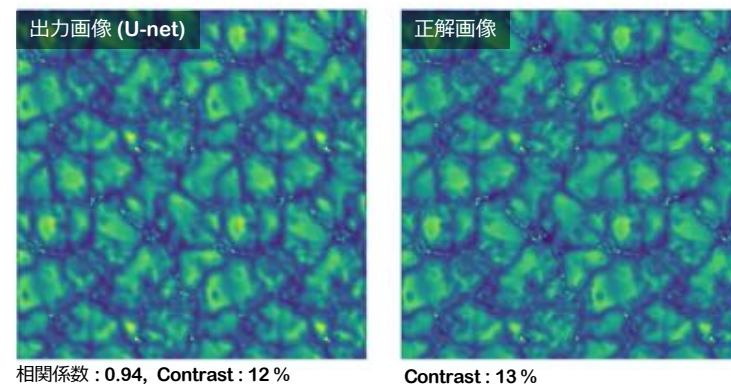
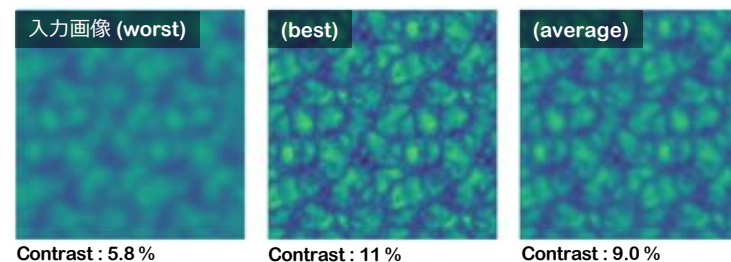
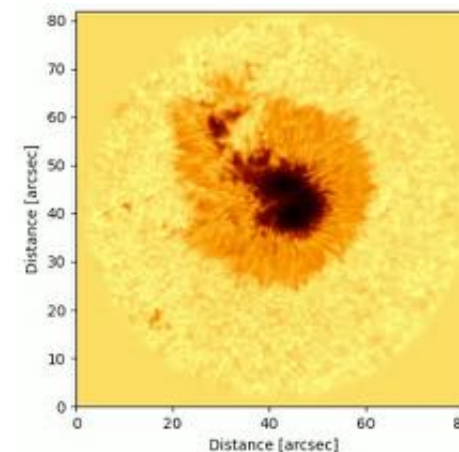
ひので偏光分光観測を使って太陽リムの  
 Doppler shiftを調べる

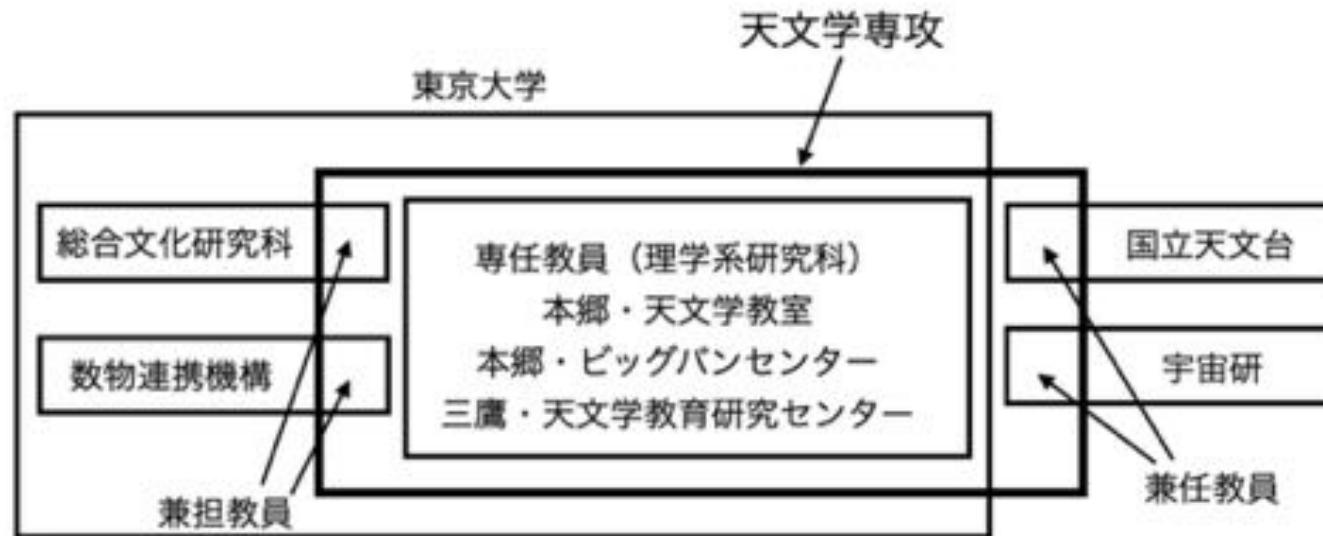


恒星表面の対流でドップラー速度が変わる  
 → 恒星の精密分光観測への応用

## M1福満さんの研究

深層学習を使って  
 シーイング除去  
 画像復元





- 講義は大学(本郷)で (ここ2年はオンライン)
- 研究は、各指導教員のいる拠点で
- 天文学の幅広い講義を受講できる
- R5年度入試ガイダンス: 2022年6月4日(土)予定

詳しくは<http://www.astron.s.u-tokyo.ac.jp/admission/graduate/>

## 理論

グループA

教員名	所属	研究分野	研究テーマ
戸谷 友則	天文学教室	理論天体物理学	宇宙論, 銀河形成進化, 及び高エネルギー天体现象の研究
相川 祐理	天文学教室	理論天体物理学	星・惑星系形成, 星間化学
梅田 秀之	天文学教室	理論天体物理学	恒星進化, 超新星, ガンマ線バースト, 初代天体と元素合成
藤井 通子	天文学教室	理論天体物理学	星団・銀河・惑星系の形成・進化の理論的研究, シミュレーション手法の開発
茂山 俊和	ビッグバン	理論天体物理学	爆発的天体现象におけるガスの運動論・輻射輸送, 銀河の進化
鈴木 建	総合文化	理論天体物理学	宇宙天体プラズマ物理学, 特に天体風駆動理論と天文学への応用
小久保英一郎	国立天文台	理論天体物理学	惑星系形成論, 太陽系, 系外惑星系
中村 文隆	国立天文台	理論天体物理学	星・惑星系形成過程の観測的および理論的研究

## 光赤外観測

グループB

教員名	所属	研究分野	研究テーマ
田村 元秀	天文学教室	系外惑星天文学	系外惑星天文学・赤外線天文学, 観測装置開発
柏川 伸成	天文学教室	銀河天文学	初期宇宙, 銀河形成, ブラックホール, 構造形成, 宇宙再電離, 銀河同物質
嶋作 一大	天文学教室	銀河天文学	銀河の形成と進化
土居 守	天文センター	光赤外線天文学	観測的宇宙論, 超新星, 突発天体, 銀河, 観測装置開発
宮田 隆志	天文センター	赤外線天文学	熱赤外線天文学: 機器開発と時間変動を用いたガストの研究
小林 尚人	天文センター	天体物理学	星・星団および銀河系の形成進化, 光学赤外高分散分光
峰崎 岳夫	天文センター	赤外線天文学・銀河天文学	銀河天文学・観測的宇宙論, 観測装置開発
酒向 重行	天文センター	光赤外線天文学	時間軸天文学, 光赤外線装置開発, 星・惑星系形成論
高遠 徳尚	国立天文台	赤外線天文学	太陽系形成進化の観測的研究, 及び光赤外線観測装置開発
本原顕太郎	国立天文台	赤外線天文学	銀河形成進化, 赤外線天文学, 観測装置開発
SILVERMAN, John	数物連携機構	銀河天文学	Evolution of galaxies and supermassive black holes

## 電波観測

グループC

教員名	所属	研究分野	研究テーマ
河野孝太郎	天文センター	電波天文学	銀河・銀河団の形成と進化の研究, ミリ波サブミリ波観測機器開発
阪本 成一	国立天文台	電波天文学	ミリ波サブミリ波観測による星間物理学
深川 美里	国立天文台	電波天文学	系外惑星天文学, 電波・赤外線天文学
本間 希樹	国立天文台	電波天文学	超長基線電波干渉計を用いた電波天文学
奥田 武志	国立天文台	電波天文学	近傍銀河の観測的研究, 観測装置開発

## 衛星、重力波

グループD

教員名	所属	研究分野	研究テーマ
鹿野 良平	国立天文台	天体物理学	位置天文観測衛星計画の推進と装置開発, 太陽・恒星物理学
都丸 隆行	国立天文台	重力波天文学	重力波天文学 (実験)
勝川 行雄	国立天文台	太陽物理学	太陽・恒星磁気活動の観測的研究, 次世代観測装置の開発
海老沢 研	宇宙研	X線天文学	主に X 線天文衛星を用いた高密度天体や天の川の観測的研究, 科学衛星データアーカイブシステム開発, 地上システム開発
関本裕太郎	宇宙研	実験宇宙物理学	宇宙マイクロ波背景放射実験, ミリ波観測装置の開発研究
片坐 宏一	宇宙研	天体物理学	衛星搭載赤外線望遠鏡による観測技術の開発

注: R4年度入学案内から  
 R5年度は変更されます

# 学部生向けの体験企画

- 総研大では学部生(主に2-3年生)を対象に最先端の天文学研究に触れられる企画をおこなっています。
- 総研大スプリングスクール
  - 国立天文台の研究者による天文学の基礎の集中講義を行う
  - 2-3月に1週間、50名ほど
- 総研大サマースチューデント
  - 国立天文台に滞在し、研究者の指導で、実際の研究を行う
  - 8月に2-4週間、最後に発表会
  - 面白い成果がでたときに、天文学会で発表してもらったこともあります