光赤天連シンポ 2019.9.26. 11:30-12:00 国立天文台、三鷹

太陽分野の将来計画とその策定の枠組み

横山央明 太陽研究者連絡会 _{東京大学}

スライド準備に、清水敏文・今田晋亮(Solar-C_EUVST)・ 成影典之(PhoENiX)各博士にご提供・ご協力いただきました。 また一部図を、宇宙研提出用の「目標・戦略・工程表」から流用させ ていただいています。

1992/01/12



太陽コミュニティの戦略:今後10年

サイエンス目標

- ✓ 彩層・コロナダイナミクス
- ✓ 宇宙天気·宇宙気候基礎物理

戦略

- ✓ <u>最優先事項として、Solar-C_EUVST ミッション</u>を実現
- ✓ Solar-C_EUVST 実現後の次世代プロジェクトについて、科学計画
 立案・要素技術開発・実証観測実験

周辺分野との連携

- ✓ 今後の太陽物理学研究の展開
 - ✓ 太陽圏・宇宙空間プラズマ
 - ✓ プラズマ基礎物理学
 - ✓ 恒星・恒星圏物理学の創成展開

太陽をなぜ研究するのか?

太陽そのものの理解(Sun as itself)

フレア、プラズマ放出、定常的プラズマ大気加熱、星風、ダイナモ... プラズマ実験室としての太陽(Sun as a plasma laboratory)

磁気リコネクション、粒子加速、MHD波動、MHD乱流...

星としての太陽(Sun as a star)

G型主系列星の典型例

惑星系中心星としての太陽(Sun in a planetary system)

宇宙天気、宇宙環境、紫外線・総輻射・宇宙線



彩層・コロナダイナミクス

上層大気はなぜ熱いか? 星風はなぜ吹くのか?







フレアやコロナ質量放出(CME)などの磁気プラズマ爆発現象は、どのような条件のもとでいつ発生するのか?

太陽活動の長期的な周期変動(11年)や不規則変動(Maunder極小など) はどのような機構で発生するのか?



(credit; 今田博士, Solar-C_EUVST team)

日本の太陽観測の中・大型プロジェクト

Hinode (SOLAR-B)

Hinotori (ASTRO-A)



188 kg Launched in 1981 Feb

Particle acceleration and plasma heating in solar flares



390 kg Launched in 1991 Aug

Particle acceleration and plasma heating in solar flares and general coronal activities



900 kg Launched in 2006 Sep

General solar activities of magnetized plasmas

Solar-C_EUVST



Launch planed in 2025

Domeless Solar Telescope (DST) since 1979 Flare, filaments, surges chromospheric dynamics



Nobeyama Radioheliograph (NoRH) since 1992 Flares non-thermal emission, prominence eruptions

何がわかっていて、何がわかっていないのか 1/3

磁場優勢環境(低ベータ環境)では、あらゆる箇所・さまざまな規模で磁気リコネ クション(ubiquitousness of magnetic reconnection)

大気加熱に対して具体的に<u>どれぐらいの加熱量の貢献</u>があるのか。わかってい ない。極小スケールでの分解例がほとんどないため。



何がわかっていて、何がわかっていないのか 2/3

MHD波動-Alfven波・磁気音波の同定は成功した。 いっぽう、<u>周波数スペクトルの定量化</u>が不十分。加熱機構まで落とし込 むためには、彩層・遷移層・コロナ間での接続と、各層でのスペクト ル定量が必要。



何がわかって何がわかっていないのか? 3/3



フレアにおけるエネルギー解放の中心エ ンジンが、磁気リコネクションであるこ とがほぼ確実視されている。 しかし、解放エネルギーの7割近くが非熱 的高エネルギー粒子加速に費やされ るが、その<u>加速機構は全くの謎</u>。加速 現場の時間空間分解が必要。



世界の太陽研究の今後



太陽研究者連絡会(太陽研連)

Japan Solar Physics Community(JSPC) 1994年設立、会員約200名 ほぼ国内太陽コミュニティと同一 (会費無料です。他分野の方の参加も歓迎。)

総会(会員全員参加)、運営委員会(11名、選挙、任期4年) 会長 横山央明、副会長 清水敏文•一本潔

将来計画の策定

太陽研連シンポ(年1回開催)

将来計画シンポ(随時、2012、2015、2016、2017)

運営委員会での集中審議を経て総会で議決(2018.2.20) 学術会議マスタープラン、宇宙研「工程表」運営委で対応 策定結果は、ウェブにて原則公開(文書により会員限定)

2018年2月20日総会議決(抜粋): 太陽研連としての方向性

以下を、太陽研連としての基本的な方向性とします。

- 公募型小型ミッションについては、EUVSTを支持する。
- PhoENiXについては、「ミッション実現に向けて具体的検討を行なうことを 支持している」
- また、EUVST以後のミッション・観測装置案については、長期的戦略を再構築し臨むべきである。

国際的議論:NGSPM-SOT

JAXA/NASA/ESAにより組織された次世代太陽物理ミッション科学目標 検討チーム(Next Generation Solar Physics Mission Science Objectives Team)報告 (2017/7)



14

太陽コミュニティの戦略:今後10年

サイエンス目標

- ✓ 彩層・コロナダイナミクス
- ✓ 宇宙天気·宇宙気候基礎物理

戦略

- ✓ <u>最優先事項として、Solar-C_EUVST ミッション</u>を実現
- ✓ Solar-C_EUVST 実現後の次世代プロジェクトについて、科学計画
 立案・要素技術開発・実証観測実験

周辺分野との連携

- ✓ 今後の太陽物理学研究の展開
 - ✓ 太陽圏・宇宙空間プラズマ
 - ✓ プラズマ基礎物理学
 - ✓ 恒星・恒星圏物理学の創成展開





EUVST

EUV High-throughput Spectroscopic Telescope



• The instrument: length 3.8 m, weight ~200 kg

Performance



- Peak efficiencies is a factor of 10 improvement in Hinode/EIS and 40 over SoHO/SUMER
 - High throughput → High temporal resolution



 \cdot A variety of spectral lines, seamless access to plasma temperatures from 0.01 MK to 20MK



Scientific objectives

I-1: Quantify the Contribution of Nanoflares to Coronal Heating

I-1-1: Measure the energy of small-scale heating events in the transition region and the corona in the energy range of $\sim 10^{24} - 10^{27}$ erg.





thermal energy [erg]



Spatial Resolution 0.4" Temporal Resolution 5s ~10²⁴erg Testa et al. 2013



Scientific objectives

Solar-C_EUVST

- I. Understand how fundamental processes lead to the formation of the solar atmosphere and the solar wind
- II. Understand how the solar atmosphere becomes unstable, releasing the energy that drives solar flares and eruptions





Solar-C_EUVSTとの協調

- ✓ ひので衛星(2006年から現役)
- ✓ IRIS衛星(NASA)への運用科学参加・協調観測
- ✓ 地上4m太陽望遠鏡DKISTへの科学提案参加。
 - ひので・Solar-C_EUVSTとの協調観測を見据え。
- ✓ ALMA Cycle-4より太陽観測開始
 - Science Verificationフェーズでの貢献。日本のコミュニティからも複数のプロポーザル









コロナ・(彩層)・光球結合系のRMHDモデル

Rempel (2017) 輻射MHDコードMURaM (Voegler+ 2005; Rempel 2014)を拡張し、コ ロナを扱えるように改良(Alfven速度、熱伝導の取扱いに工夫)。 彩層のNLTE効果は、それほど正確でない。



太陽コミュニティの戦略:今後10年

サイエンス目標

- ✓ 彩層・コロナダイナミクス
- ✓ 宇宙天気·宇宙気候基礎物理

戦略

- ✓ <u>最優先事項として、Solar-C_EUVST ミッション</u>を実現
- ✓ Solar-C_EUVST 実現後の次世代プロジェクトについて、科学計画
 立案・要素技術開発・実証観測実験

周辺分野との連携

- ✓ 今後の太陽物理学研究の展開
 - ✓ 太陽圏・宇宙空間プラズマ
 - ✓ プラズマ基礎物理学
 - ✓ 恒星・恒星圏物理学の創成展開

Solar-C_EUVSTの次に向けて

- ✓ CLASP(2015)、CLASP2(2019) ロケット実験
 - 太陽彩層の散乱偏光·Hanle効果の捕捉に成功
- ✓ FOXSI-3 ロケット実験(2018 NASA主導)
 - ・ 軟X線2次元集光撮像分光観測に成功。PhoENiXへ。
- ✓ 1m望遠鏡Sunrise-3気球実験(2021日独西米)。彩層の偏光分光。
- ✓ 彩層光球観測1mUV/Vis/IR望遠鏡を宇宙へ
- ✓ 黄道面脱出ミッション太陽極域からの日震学と磁場観測



(credit: CLASP team)

(credit: FOXSI team)

粒子加速 高エネルギー粒子(加速された粒子)は宇宙の至る場所で発見されているが、 「高エネルギー粒子の起源は何か?」という問題は宇宙科学における未解決の難問である。 一方、磁気リコネクションは加速環境(電場、衝撃波、乱流など)を生み出しやすく、実際、 地球磁気圏、太陽フレアなどにおいて、リコネクションに伴う加速電子が観測されている。 しかし、その加速過程は未解明であり、今後の研究の進展が待たれている。



https://www.phoenix-project.science/

PhoENIX (Physics of Energetic and Non-thermal Plasmas in the X-region)

Science Goal (本ミッションの前提となる大目標) 磁気リコネクションに伴う粒子加速の理解

Science Objectives(本ミッションの科学目的)



太陽フレアを対象に、磁気リコネクション中の加速場所を絞り込む [where] 太陽フレアを対象に、磁気リコネクション中の加速粒子の時間発展の調査 [when] 太陽フレアを対象に、磁気リコネクション中の加速粒子の特徴の把握 [how]







2030年代までのロードマップ案

観測はより上空大気へ、磁場診断(偏光分光)かつ温度シームレスに(分光)

光球での磁場診断



期待される成果

- 天体物理・プラズマ物理過程の理解 の深化
 - 磁気リコネクション
 - 磁気プラズマ乱流
 - 部分電離プラズマ
- 天文学・惑星科学への研究の展開
 - 惑星圏

母星天体の系外惑星系への作用 地球・生命圏との繋がり

社会的・経済的影響 系外惑星系環境、ひいては宇宙 における生命存在条件





プラズマ放出、高エネルギー加速粒子や極端紫外線・X線の強放射は 惑星系をとりまくプラズマに強い擾乱を与え、生命環境にも影響をあ たえる。



(credit; 今田博士, Solar-C_EUVST team)

太陽・恒星プラズマ環境の包括的理解



G1III巨星のCME X線観測 (Argiroffi et al. 2019)







太陽風乱流加速 (庄田宗人)







太陽内部磁気熱対流運動(堀田英之)

太陽コミュニティの戦略:今後10年

サイエンス目標

- ✓ 彩層・コロナダイナミクス
- ✓ 宇宙天気·宇宙気候基礎物理

戦略

- ✓ <u>最優先事項として、Solar-C_EUVST ミッション</u>を実現
- ✓ Solar-C_EUVST 実現後の次世代プロジェクトについて、科学計画
 立案・要素技術開発・実証観測実験

周辺分野との連携

- ✓ 今後の太陽物理学研究の展開
 - ✓ 太陽圏・宇宙空間プラズマ
 - ✓ プラズマ基礎物理学
 - ✓ 恒星・恒星圏物理学の創成展開