18aW3-1

NAS

Partne

2024年3月18日

ISS搭載CALETによる 観測成果のハイライトと今後の展望



on the International Space Station

2024.3.1

鳥居祥二 早稲田大学理工総研 他CALET国際研究チーム

日本物理学会2024年春季大会(オンライン)



CALET Payload







Launched on Aug. 19th, 2015 by the Japanese H2-B rocket

Emplaced on JEM-EF port #9 on Aug. 25th, 2015











Overview of the CALET Calorimeter

Field of view: ~ 45 degrees (from the zenith): Geometrical Factor: ~ 1,040 cm²sr (for electrons): Thickness: 30 $X_{0,}$ 1.3 λ_{I}





CALET Orbital Operations

Geometrical Factor:

- 1040 cm² sr for electrons, light nuclei
- 1000 cm² sr for gamma-rays ٠
- 4000 cm²sr for ultra-heavy nuclei

High-energy trigger (> 10 GeV) statistics:

- Orbital operations : 3062 days (~8.4 years) as of Feb. 29, 2024
- Observation time : 2.60×10^8 sec
- Live time fraction: $\sim 86\%$

Duration |

20

20.6 hours

on average

per day

Exposure of HE trigger : \sim 270 m² sr day





Energy deposit (in TASC) spectrum: 1 GeV-1 PeV

Date [yymmdd] 日本物理学会2024年春季大会(オンライン)



電子+陽電子観測の成果

- 直接観測の最高エネルギーである7.5 TeVまで観測を達成
- 宇宙線研究に従来の理解を検証し新たな理解をもたらす以下の成果を挙げる。





陽子・原子核のスペクトル観測の成果

■ 陽子・ヘリウム・ホウ素・炭素・酸素についてこれまでの最高エネルギー領域での直接観測を達成
 ■ 従来の宇宙線の概念を変えるエネルギースペクトルの構造(硬化、軟化)の高精度観測に成功



今後の観測課題

■ さらに高精度かつ高エネルギー領域での世界最高レベルの観測を実施 ■ 研究計画を達成するために必要な以下のスペクトル構造に関わる問題を解決

Kneeの起源
 陽子、ヘリウムの数100TeV領域への観測進展により、加速限界はどこに存在するのか?
 軟化、硬化の原因
 スペクトルの硬化や軟化のエネルギーは、Rigidityに依存するのか核子数に依存するのか?
 硬化の電荷依存性
 スペクトルの硬化は、酸素より重い鉄までの全ての原子核で観測されるのか?
 軟化の電荷依存性
 スペクトルの軟化は、陽子、ヘリウム以外の原子核でも観測されるのか?



陽子・ヘリウムのスペクトル構造の観測結果



- Both of proton and helium spectrum present a similar structure of hardening and softening.
- The softening of p & He spectrum around 10 TV indicates a possible limit of the acceleration.

Best fit parameters with DBPL function for proton and helium spectrum (energy/particle)

	γ	E_0 (GeV)	$\Delta\gamma$	S	E_1 (TeV)	$\Delta \gamma_1$	S_1
Proton	-2.843 ± 0.005	553 ⁺⁴⁴ -38	0.29 ± 0.01	2.1 ± 0.4	9.8 +3.2 -2.1	$-0.39 {}^{+0.15}_{-0.18}$	~ 90
Helium	$-2.703^{+0.005}_{-0.006}$	1319^{+113}_{-93}	$0.25 \substack{+0.02 \\ -0.01}$	$2.7 \substack{+0.6 \\ -0.5}$	$33.2^{+9.8}_{-6.2}$	$-0.22 \begin{array}{c} +0.07 \\ -0.10 \end{array}$	30



陽子・原子核の観測結果と観測期待

スペクトル硬化、軟化の原因解明

伝播過程の解明と通過物質の定量化





 10^{-6}

2024.3.18

28

30

32

34

36

38

40

42

44

Ultra-heavy Cosmic-ray Nuclei (26 < Z < 44)



日本物理学会2024年春李大会(オンライン)

The CALET UH element ratios relative to Fe are consistent with Super-TIGER and ACE abundances.

 10^{-6}

27-28

29-30

31-32

33-34

35-36

37-38

39-40

41-42

43-44

Preliminary results of High Energy Gamma-ray Onservations



日本物理学会2024年春季大会(オンライン)

Energy [GeV]



Observations of Gamma-ray Burst



1000



太陽変調とREP現象の観測成果

- 放射線監視に用いているCHD カウントレートの短時間(数秒~数10秒) 太陽活動の極小期(2019年)を挟んで太陽周期(~11年)の約半周期 変動の計測からREPを検出 に亘って、10 GeV 以下の電子、陽子の太陽変調の観測を実施 その成因が太陽フレアーと関連するプラズマ波動の一種であるEMIC 波動によ →その電荷(正負)依存性から、太陽変調のドリフトモデルによる理解を世 るものであることが判明[24] 界に先駆けて試行 「その場観測」を行うあらせ衛星との同時観測により、上述とは成因が異なる 観測結果(PRL2023以降を追加)とドリフトモデルの比較 REP を観測 140-**CALET** preliminary PRL2023 [2]+ JGR2020 [12] (a) CALET/CHD count rate [Hz] 「あらせ」衛星との同期観測で得られた • CALET corrected e C_{p}^{b} [%] • CALET proton REP現象。 Geminga <R>~3.8GV and 黒線はCHDX、赤線CHDYの0.1秒単 Seconds 2017 Aug 21 1735 位のカウントレート示す。 Normalized Count Rates, 100 (b) (a) EMIC波動と関連する準周期的な CALET/CHD count rate [Hz] 変化 (b) コーラス波動と関連する不規則な 40 Seconds 2017 Apr 24 1832 変化 ドリフトモデルによる予測 静電コーラス波動と関連するスムー (c) (c) 陽子:赤線、電子:青線 ズで準周期的な変化 CALET/CHD count rate [Hz] 2017.0 2018.0 2019.0 2020.0 2021.0 2023.0 2016.0 2022.0 Year Seconds 2017 Oct 26 1350 20 00 今後の観測課題
- 太陽磁場の極性が正から負に反転する次の太陽半周期での観測 を継続により、電荷依存性を解明するドリフトモデルの確立し、20 GeV/Z以下の銀河宇宙線への影響を理解
- 太陽活動の極大期を含む長期観測によりEMIC 波動以外を含む REP の成因を統計的に明らかにし、宇宙天気予報の高精度化に 多大に貢献



Main Science Goals and Status of the Analysis

Scientific Objectives	Observables	Energy Reach	Reported	Reference (Latest)	Present
	Electron spectrum	1 GeV – 20 TeV	to 4.8 TeV	PRL 120, 261102 (2018)	11 GeV – 4.8 TeV
	Proton spectrum	10 GeV – 1 PeV	to 60 TeV	PRL 129, 101102 (2022)	50 GeV – 60 TeV
	Helium spectrum	10 GeV – 1 PeV	To 50 TeV	PoS (ICRC2021), 101	50 GeV – 50 TeV
Cosmic-ray origin	Carbon and Oxygen spectra	10 GeV – 1 PeV	to 2.2 TeV/n	PRL 125, 251102 (2020)	10 GeV/n – 2.2 TeV/n
and acceleration	Iron/Nickel spectrum	10 GeV – 1 PeV	to 2 TeV/n	PRL 125,241101 (2021) PRL 128,131103 (2022)	50 GeV/n – 2 TeV/n 8.8GeV/n – 240GeV/n
	Elemental spectra of primaries	10 GeV – 1 PeV	to 100 TeV	PoS (ICRC2019), 034	10 GeV – 100 TeV
	Ultra-heavy abundances (< z=40)	> 600 MeV/n	> 600 MeV/n	PoS (ICRC2021), 124	> 600 MeV/n
CR propagation	B/C and secondary-to-primary ratios	Up to some TeV/n	to 3.8 TeV/n	PRL 129,251103 (2022)	8.4 GeV/n – 3.8 TeV/n
Nearby electron sources	Electron spectral shape	100 GeV – 20 TeV	to 4.8 TeV	PRL 120, 261102 (2018)	to 4.8 TeV
Dark matter	Signatures in e/γ spectra	100 GeV–20TeV (e) 10 GeV-10TeV (γ)	to 4.8 TeV (e) to 600 GeV (γ)	Proc. of IDM2022 (e) PoS (ICRC2021), 619 (γ)	to 4.8 TeV
Gamma rays	Diffuse & point sources	1 GeV – 10 TeV	1 GeV – 1 TeV	ApJS 238:5 (2018)	1 GeV – 1 TeV
Heliospheric physics	Solar modulation	1 GeV – 10 GeV	1 – 10 GeV	PoS (ICRC2021), 1270	1 – 10 GeV
Gamma-ray transients	GW follow-up and GRB analysis	7 keV–20MeV (CGBM) 1 GeV-1TeV (ECAL)	7 KeV-20MeV	ApJ 933:85 (2022)	7 keV–20MeV (CGBM) > 1 GeV (ECAL)
Space weather	Relativistic electron precipitation	> 1.5 MeV	> 1.5 MeV	Geophys.Res.Lett,49 (2022)	> 1.5 MeV
2024.3.18	日本	物理学会2024年春季大	会(オンライン)		13



これまでの経緯と今後の観測計画

JAXAによるCALET観測の承認プロセスと審査会の経緯

2015年8月 : こうのとり5 号機によって打ち上げ、きぼう船外実験プラットフォーム#9に設置							
2015年11月:定常運用(201	.5年12月~2018年3月)	2017年11月: 定常運用終了審査及び後期運用移行審査					
2018年 4月:後期運用(1)	(2018年4月~2019年3月)	2019年 3月:後期運用(1)終了審査及び再 2019年 4月: CALETプロジェクト終了審査	再延長可否審査				
2019年 4月:後期運用(2)	(2019年4月~2021年3月)	2020年12月:後期運用(2)理学委員会評(2021年 3月:後期運用(2)終了審査及び	価 「再延長可否審査				
2021年 4月 : 後期運用(3) (2021年3月~2024年12月)		 2022年3月:後期運用(3)中間確認会(その1) 2023年3月:後期運用(3)中間確認会(その2) 2023年11月:後期運用(3)理学委員会評価 2024年3月:後期運用(3)終了審査/後期運用(4)計画審査【本審査】 → 2030年までの延長観測の承認予定(本日午後!) 					
科研費基盤Sに採択 (R6-R10)されました。							

- ✓ つくば宇宙センター(TKSC)におけるCALET運用への完璧なサポートについて、JAXA運用担当のスタッフの皆さん に心より感謝します。
- ✓ 本研究は科学研究費基盤(S)19H05608(2019-2023年度)の支援を受けて実施されています。



Examples of CALET Event Candidates

Electron, E=3.05 TeV



