

はじめに: CALETによる10年間の観測成果ハイライト

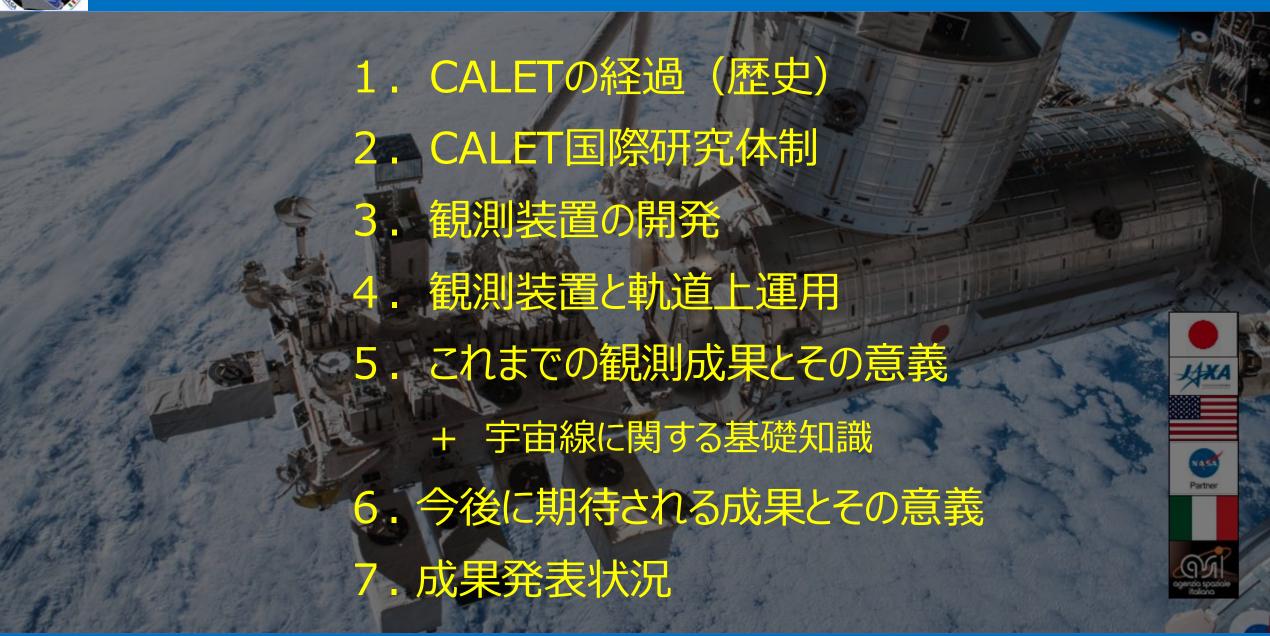


早稲田大学 理工学術院総合研究所 招聘研究教授、名誉教授 鳥居祥二(研究代表者)





目次





CALETに至る歴史と打ち上げ後の経過

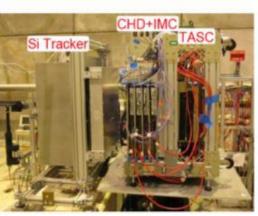
BETS bCALET CALET PPB-BETS CALET概念設計 CALET 開発·製造 CAI FT軌道上観測 21 22 23 99 2000 01 02 03 06 07 08 09 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 25 ~ 30 科研費A,B,海外 基盤研究S 基盤研究S 基盤研究S 科研費特定領域,B JAXA地上研究経費 基盤研究S BETS開発・ビーム実験 後期 後期運用(3) 後期運用(4) bCALET観測 定常運用 CALETプロトタイプ 南極周回気球 運用(2) 気球実験(三陸) 開発・ビーム実験要素技術開発・ビーム実験 開発・実験



Balloon-borne Electron Telescope with Scintillation fibers (BETS) 宇宙科学研究所 三陸大気球観測所



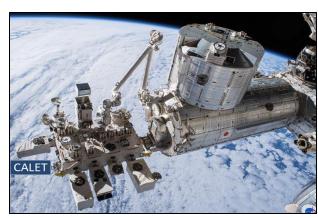
Polar Patrol Balloon (PPB)- BETS 国立極地研究所昭和基地



CALET熱構造モデル(STM) 加速器ビームによる性能実験 欧州共同原子核研究所(CERN)



CALET打ち上げ こうのとり 5 号機 種子島宇宙センター



CALETによる軌道上観測 国際宇宙ステーション 日本実験棟「きぼう」 船外実験プラットフォーム#9ポート



CALETミッション







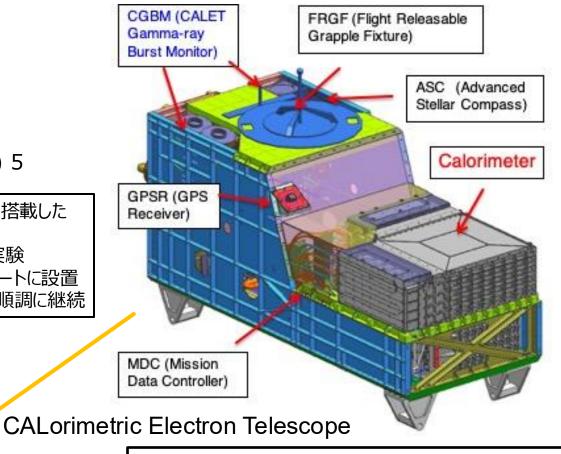




こうのとり (HTV) 5

JEM/Port #9

- 2015年8月19日に、H2-B に搭載した HTV5で打上げ
- ISS日本実験棟「きぼう」船外実験 プラットフォーム(JEM/EF)#9ポートに設置
- 現時点まで約10年間の観測を順調に継続



- 全質量 : 612.8 kg
 - 標準ペイロードサイズ :
 - 1850mm(L) \times 800mm(W) \times 1000mm(H)
 - 消費電力(最大値): 507 W
 - データ転送レート(中速系):600 kbps (6.5 GB/day), 1Mbps (最大値)





早稲田大学とJAXAのCALET共同研究

宇宙ステーション日本の実験棟(JEM)船外実験プラットフォーム第2期利用 高エネルギー電子・ガンマ線観測装置ミッション実施に関する覚書(2010年)

早大(研究者)側役割

- (1) CALETに関する要素開発、一部部品の提供、関連する試験及びデータ解析
- (2) 科学観測運用の実施と観測データ解析による初期的科学成果の発信
- (3) 5年間(以上)の科学観測運用の継続的実施と観測データの科学解析深化による観測成果の発信
- (4) 観測データの公開(アーカイブ)による関連分野との研究連携

早大-JAXA連携によるCALETミッションの実施内容

- CALET軌道上運用の実施(2015.8~)
- 国際共同研究体制による観測成果の発信
- 観測データ較正方法の確立による軌道上装置性能の実証
- 軌道上装置不具合の解決方法の確立
- □ JAXAの経営・科学審査による後期運用(~2030.12)の承認

JAXA側役割

- (1) CALETミッション全体とりまとめ
- (2) CALETの開発(装置製作+打ち上げ)
- (3) 打上げ初期チェックアウト
- (4) 軌道上運用
- (5) CALET観測成果審査

早大-JAXA 連携協力協定 調印式



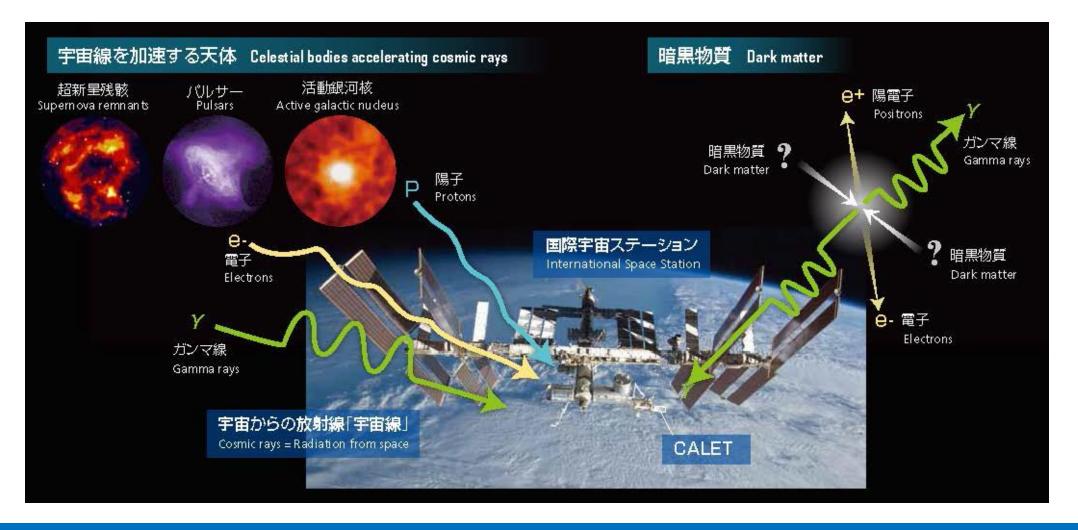
理工学術院・鳥居祥二教授が国際宇宙ステーションのミッションリーダーに2015年8月打ち上げ JAXA「きぼう」で調査・探索 (早大 News & Press Release)





CALorimetric Electron Telescope (CALET) プロジェクト: 当初目標

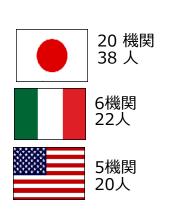
国際宇宙ステーション日本実験棟に搭載する高エネルギー宇宙線観測装置(CALET)による 5年間の観測で、宇宙における高エネルギー現象の解明を行う。





CALET国際研究チーム

O. Adriani, Y. Akaike, K. Asano, Y. Asaoka, E. Berti, P. Betti, G. Bigongiari, W.R. Binns, M. Bongi, P. Brogi, A. Bruno, N. Cannady, G. Castellini, C. Checchia, M.L. Cherry, G. Collazuol, G.A. de Nolfo, K. Ebisawa, A. W. Ficklin, H. Fuke, S. Gonzi, T.G. Guzik, T. Hams, K. Hibino, M. Ichimura, M.H.Israel, K. Kasahara, J. Kataoka, R. Kataoka, Y.Katayose, C. Kato, N. Kawanaka, Y. Kawakubo, K. Kobayashi, K. Kohri, H.S. Krawczynski, J.F. Krizmanic, P. Maestro, P.S. Marrocchesi, M. Mattiazzi, A.M.Messineo, J.W. Mitchell, S. Miyake, A.A. Moiseev, M. Mori, N. Mori, H.M. Motz, K. Munakata, S. Nakahira, J.Nishimura, M.Negro, S. Okuno, J.F. Ormes, S. Ozawa, L. Pacini, P. Papini, B.F. Rauch, S.B. Ricciarini, K. Sakai, T. Sakamoto, M. Sasaki, Y. Shimizu, A. Shiomi, P. Spillantini, F. Stolzi, S. Sugita, A. Sulaj, M.Takita, T.Tamura, T.Terasawa, S.Torii, Y.Tsunesada, Y.Uchihori, E. Vannuccini, J.P.Wefel, K.Yamaoka, S.Yanagita, A.Yoshida, K.Yoshida, and W. V. Zober





日本:早稲田大、立命館大、神奈川大、青山学院大、JAXA/ISAS、東大宇宙線研、KEK、国立天文台、沖縄科学技術大学院大学、 弘前大、芝工大、日大、横国大、茨城大、岐阜高専、信州大、名古屋大、NICT、放医研、大阪公立大

イタリア: Pisa INFN, Florence U. & INFN, IFAC/CNR, Siena U., Padova U.& INFN

米国: NASA/GSFC, Louisiana State U., Washington U. (St. Louis), Maryland U., Denver. U



国際共同研究実施体制

データ速報

- ♦GRB Atel GCN(GW)
- ◆CAL(ガンマ線) GCN(GW)
- ◆CAL(MeV電子) 宇宙天気

共同研究

LVC LSC

MAXI



SEDA



ERG



研究統括•推進: 早稲田大学 鳥居 祥二(研究代表者) 基盤S

ミッション運用(WCOC)

神奈川大学 田村忠久(分担) 早稲田大学 赤池陽水(協力) 研究協力者20名+派遣1名

・軌道上データ監視(24時間) 運用計画策定

データ解析システム維持・更新

観測データ基礎解析

立命館大学 森 正樹(分担) 早稲田大学 小林兼好(協力)

低次レベルデータ作成 解析ソフト管理・更新 データバックアップサイト運用 軌道上データ較正(性能維持)

ミッション国際調整

早稲田大学 鳥居祥二(代表) Holger Motz (協力)

→米・伊研究者へのデータ配信 データ解析打ち合わせ(テレコン) データ解析ワークショップ(年2,3回) 国際会議・論文発表の調整

観測結果の理論的解析及び論文 (含む共同研究) 作成

・共通フォーマット高次レベルデータ作成 ・電子、陽子・原子核成分(含むB/C比)

科学(高次レベル)データ解析

- 粒子識別による科学データ解析
- 軌道上観測シミュレーション計算
- アーカイブデータ作成

- データの理論的解析
- 他観測データとの相互比較による理論的解 析の検証

森正樹(分担), 赤池, 小林 他11名

浅野勝晃(分担), 郡(KEK), 川中(京大) 他13名

•長期、短期太陽変調データの理論的解析

•宇宙天気予報に関する共同観測結果の

• ガンマ線拡散成分、点源、GRB・GW対応

・ガンマ線バースト(GRB)データの理論的解析

・重力波(GW)対応イベントの理論的解析・検証

- ・ 高次レベルデータ作成, 科学解析
- ・共同研究 (SEDA,ERG)による解析
- 速報及びアーカイブデータ作成
 - 片岡龍峰(分担), 三宅(茨城高専) 他5名

理論的解釈

宗像(信州大), 寺澤(東大) 他5名

イベントの理論的解析

共同研究

ガンマ線

GRB

太陽変調

宇宙天気

宇宙線

- ・ 高次レベルデータ作成, 科学解析
- 速報(GCN)及びアーカイブデータ作成
- 公開データ用解析ツール開発

森、吉田(青学大)

森、坂本 (青学大)



NASA (アメリカ)









- 低次レベルデータ 保管
- CGBM観測データ及 び解析ツール公開
- CAL観測高次レベル データ公開
- MeV電子カウント レート (REP)

国際ワークショップ

AMS-02 (米) DAMPE(中国)

国外の同分野研究 プロジェクトとの相互検証





CALETを構成する機器 (IA)

- □ CALETは日本が主導する日 本初の本格的な宇宙線観測 ミッションである。
- □世界に先駆けて宇宙空間に おいてカロリメータによるTeV 領域での高エネルギー宇宙 線の観測を実現している。
- □装置開発、製造および観測 運用は、JAXAと早稲田大学 の協定(覚書)にて実施され ている。
- 米国NASA, イタリアASIとの共 同プロジェクトで、NASAは軌 道上運用のリソース提供、 ASIは高圧電源装置を支給し ている。



CHD/IMC [CAL]



TASC [CAL]



イタリア側支給



GPSR-ANT



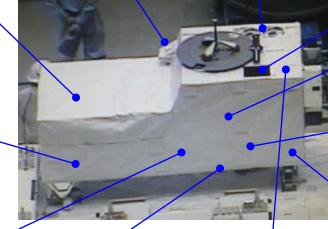
HXM#1, #2 [CGBM]



CHU(buffle付)[ASC]



DPU[ASC]







CIRC【運用終了】



SGM [CGBM]



MDC

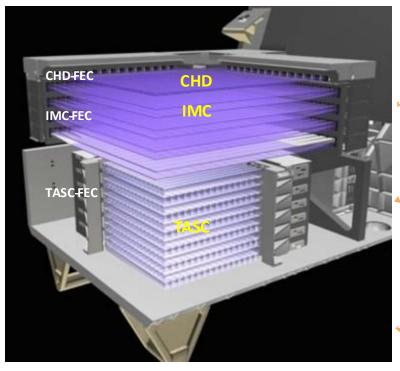


GBM-EBOX[CGBM]



カロリメータを構成する機器 (MPC,NIPPI)

カロリメータの構成機器



TASC構造: CFRP









CHD用プラスチックシンチレータアセンブリ

- · 28式
- ・ 集光用アクリルライトガイド
- ・反射材にESRフィルムを使用





浜松ホトニクス (光電子増倍管)

IMC用シンチレーティングファイバーアセンブリ

- ・112式(各32×2段のファイバーを使用)
- ・ファイバー端面をアルミ蒸着



浜松ホトニクス (64アノード 光電子増倍管)

クラレ/エムライン (シンチレーション ファイバー/ベルト製造)

TASC用PWOシンチレータアセンブリ

- ·192式(PMT:16式、PD/APD:176式)
- ・反射材にESRフィルムを使用



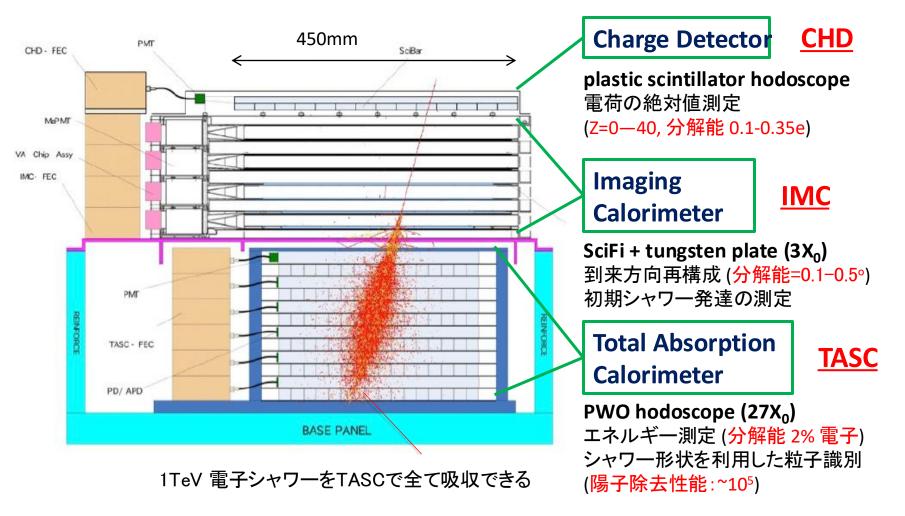
浜松ホトニクス (AP/PD ハイブリッド センサー)

京石産業/ 上海珪酸塩研究所 (PWO製造・加工)

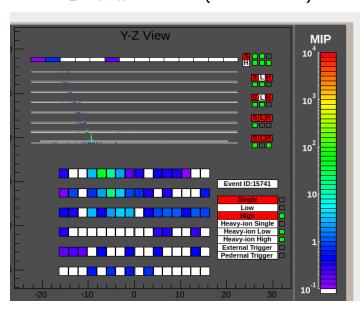


CALET観測装置の概要

電子観測に最適化された、電荷測定(CHD)、飛跡検出(IMC)、エネルギー測定(TASC)の機能を組み合わせた厚いカロリメータ(30 X_0)により、TeV領域の電子観測、PeV領域までの陽子・原子核観測が可能

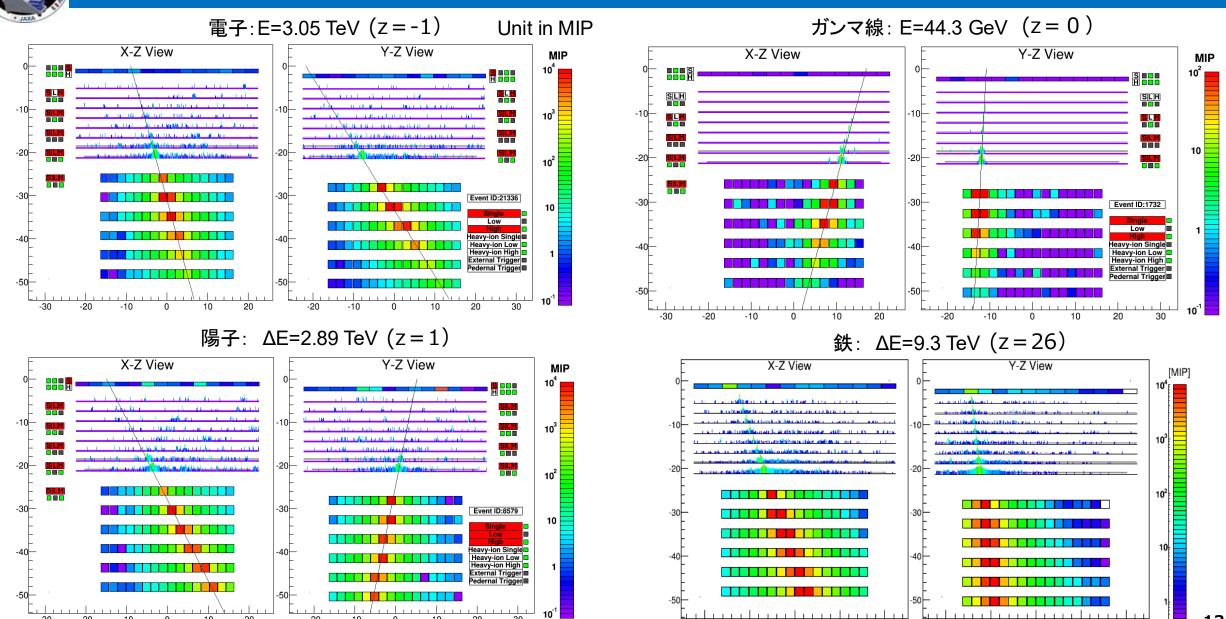


観測イベント例: 電子候補イベント (>100 GeV)





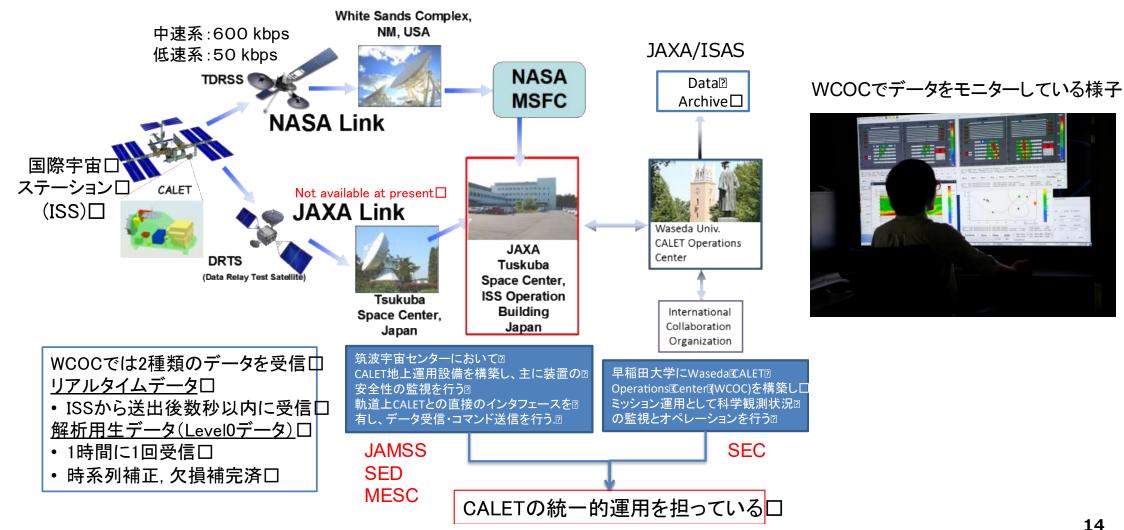
観測イベント例





CALETサイエンス運用システム

NASAリンクの低速・中速系によりリアルタイムデータ及び欠損補完データ(LevelO)を Waseda CALET Operations Center (WCOC) で受信している。

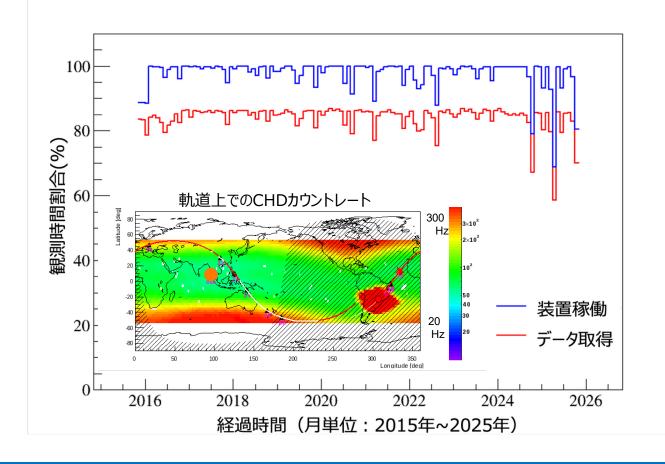




CALET観測10年間の成果 - 観測運用-

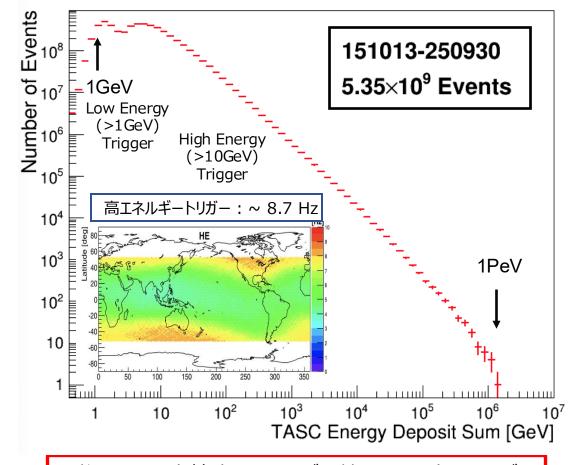
高エネルギートリガー (> 10 GeV) 観測統計量 (@2025.9.30)

- 定常観測日数(2015.10.13~): 3641日 (~10 年)
- 実観測(データ取得)時間割合: ~ 86%
- 電子観測量:~310 m² sr day



1 GeV-1PeVのエネルギー領域で測定

カロリメータに付与された全粒子のエネルギー分布



6 桁にわたる高精度なエネルギー較正により高エネルギー 領域で正確な冪型のエネルギー分布が得られている。

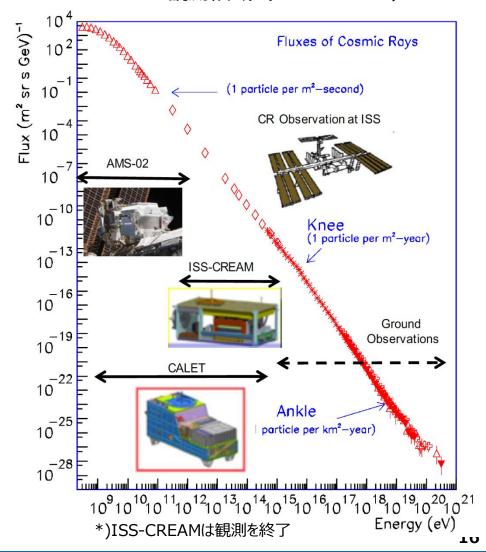


CALETによる宇宙線観測

CALETによる宇宙線観測の独自性

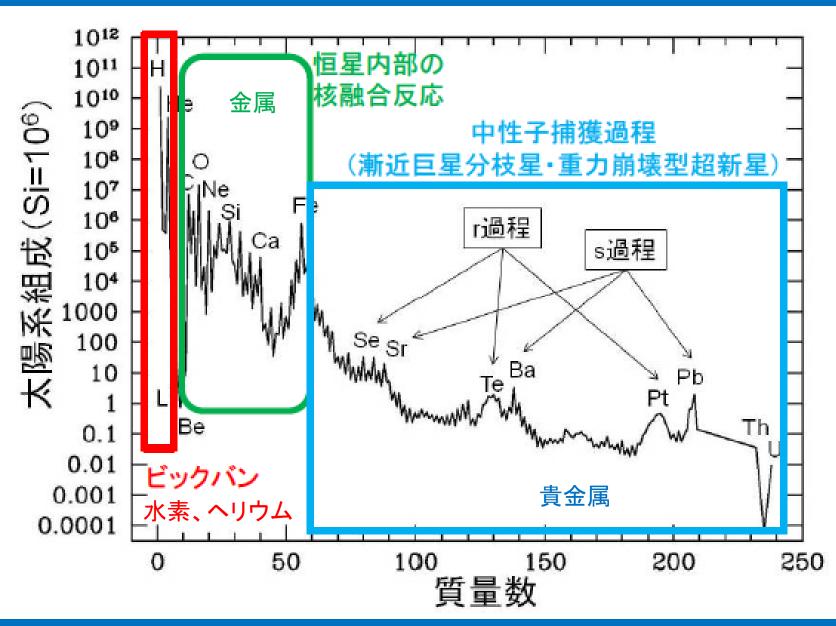
- □ 宇宙空間における最も高いエネルギー領域での宇宙線 の直接測定
- □国際宇宙ステーションにおける大型装置による長期観測 (>10年間)により、世界最高レベルの宇宙線観測を実施
- ■電子観測に最適化することにより、10° eV (GeV) 20 x 10¹²eV (TeV) 領域での電子観測を高エネルギー分解能で達成 近傍加速源、暗黒物質の探索
- □原子核成分の観測を10 GeV- 10¹⁵eV (PeV) の領域で実施 銀河宇宙線の加速・伝播機構の解明
- □ 安定的運用により突発的天体現象の観測 ガンマ線バースト、太陽フレア、重力波の同時観測 など

全宇宙線エネルギースペクトルと CALETの観測領域(1GeV-1PeV)





太陽系の元素組成と起源

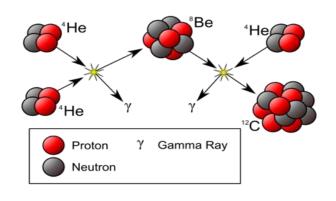




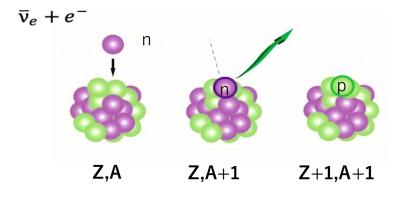
星の進化における重元素の元素生成

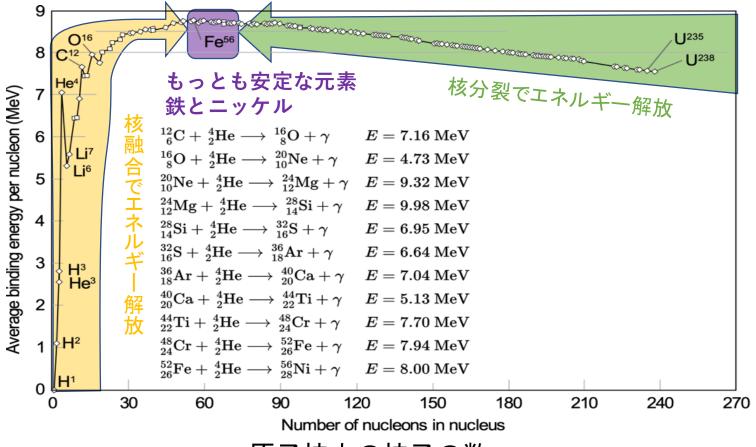
トリプルアルファ反応 3 ⁴He → ¹²C + 7.3 MeV

核子1個(陽子又は中性子)あたりの原子核における結合エネルギー MeV 単位で表す (1 MeV=1.6x10⁻¹³J)



中性子捕獲反応

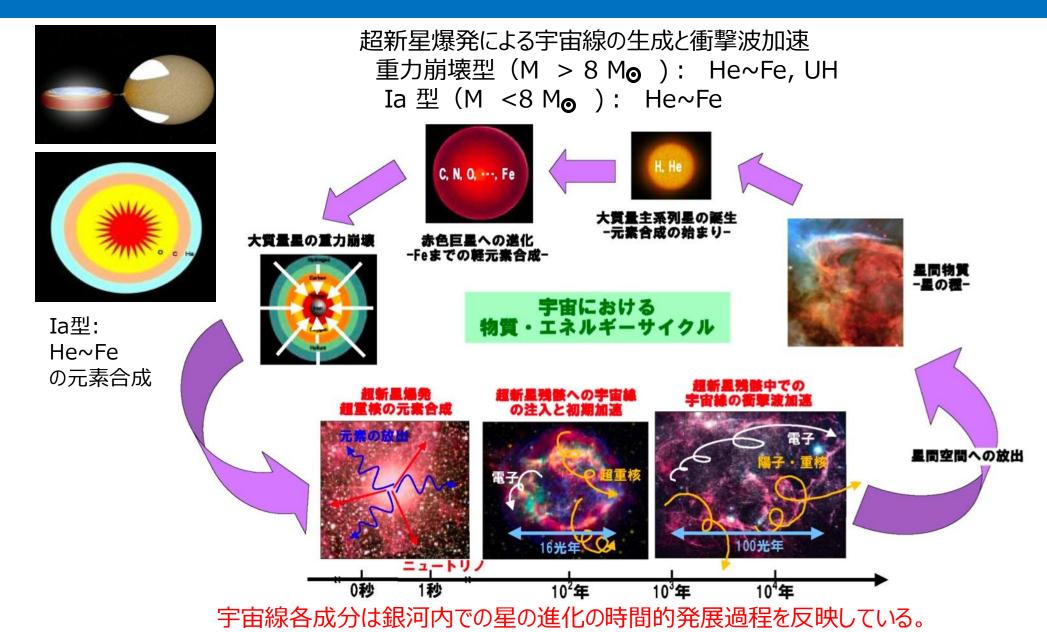




原子核中の核子の数



宇宙線の起源:星の元素合成と超新星爆発による加速





CALETによる宇宙線観測の学術的意義

学術的背景

銀河内宇宙線加速・伝播の"標準モデル"

- 超新星残骸における衝撃波加速
 - 強い衝撃波ではy=2を与える
 - 電荷(Z)に比例した加速限界: E_{max} ~ 100 Z TeV
 - 電子成分は伝播過程におけるエネルギー損失 (-dE/dt = bE²) のため、TeV領域では寿命が10万年以下の1kpc内にある加速源 (近傍加速源)のみが寄与
- 銀河磁場による拡散的伝播過程
 - エネルギースペクトルの変化 銀河磁場からの漏れだしの効果 : dN/dE ∞E -y-a
 - 一次/二次成分比(B/C)のエネルギー依存性: B/C∞E ^δ

標準モデルと矛盾する観測結果

- □陽電子比の増大(電子+陽電子の過剰)
- □陽子・ヘリウムスペクトルの硬化 (単一冪からのずれ)

CALETで解決する課題

陽子•原子核:

衝撃波による加速の限界はどこに存在するか? スペクトルの冪に電荷依存性はあるか?

近傍加速源は存在するのか?

B/C比:

拡散係数のエネルギー依存性($D \propto E^{\delta}$) はどの ようになっているか?

銀河磁場の乱流成分はコルモゴロフ則($\delta=1/3$) に従うか?



高エネルギー陽電子・電子の未知な加速源の正



陽子・ヘリウムの標準モデルでは未解明な加速・ 伝播機構とは何か?



TeV領域電子を生成している超新星残骸である

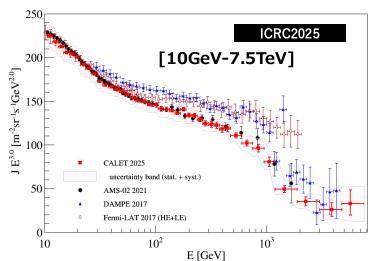
体は (パルサー か暗黒物質) ?



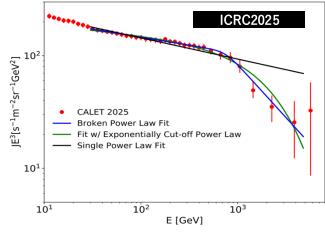
電子+陽電子観測:エネルギースペクトル

- 直接観測の最高エネルギーである7.5 TeVまで観測を達成し、1TeV領域でのスペクトルの軟化を実証。
- 陽電子過剰の原因をパルサーとするモデルにより、電子+陽電子スペクトルを検証。

1 伝播過程におけるエネルギー損失によるスペクトル軟化の理論的予測を実証



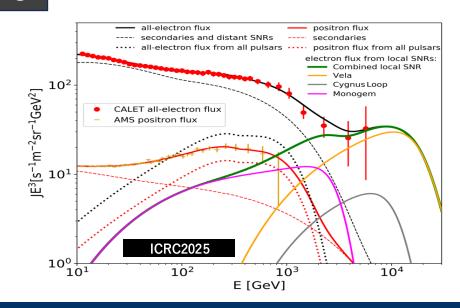
CALETの電子+陽電子観測と他観測結果との 比較。TeV以下でAMS-02の観測とは一致



30 GeV-4.8 TeV領域のスペクトルを単一冪(黒線)と折れ曲がりのある関数でフィットした結果。スペクトルの軟化(-3.08⇒ -3.88)を6.7σの有意性で検出。

2 陽電子過剰をパルサー起源とするモデルによる、 電子+陽電子スペクトルの理解

TeV領域での近傍加速源の存在を示唆



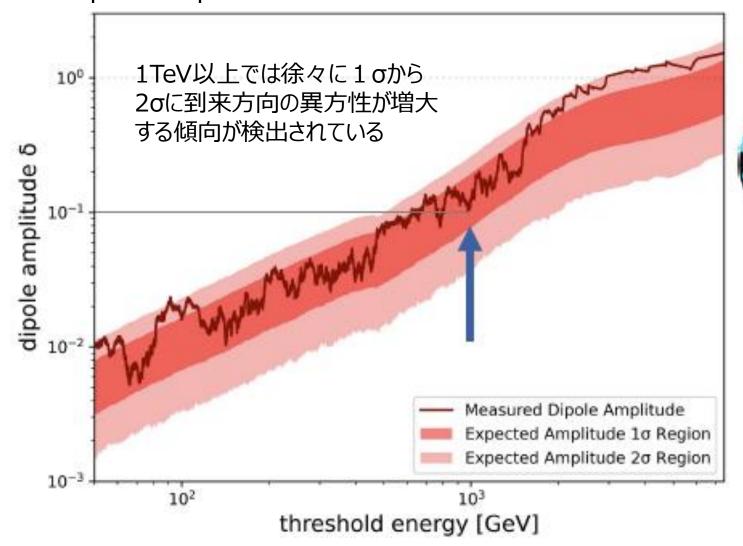
今後の観測課題

- DAMPE、Fermi-LATとの統計・系統誤差について、相互検証により原因検証
- スペクトル構造の正確な理解に必要な高精度測定を実施することにより、パルサー及び暗黒物質の寄与を定量的に評価
- ・ 陽電子過剰の原因として暗黒物質を起源とする モデルの検討を加えて行う。
- TeV領域で示唆される近傍加速源の存在を有意 (~5σ) に検証する。(+異方性)

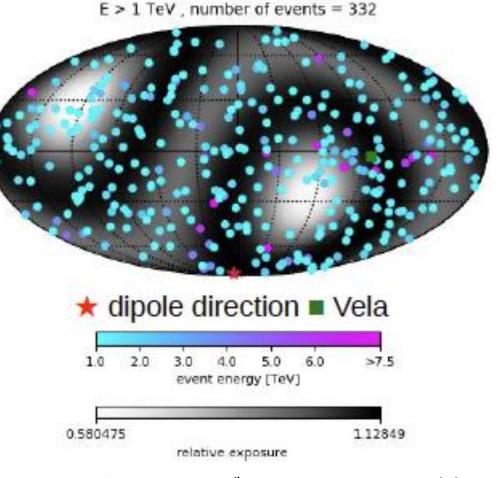


電子+陽電子観測:到来方向の異方性

Dipole Amplitudeの測定結果とランダムな分布の予測値の比較



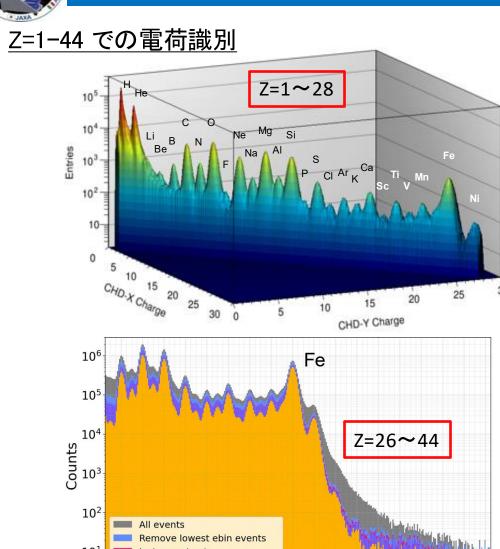
1 TeV以上の電子到来方向の分布



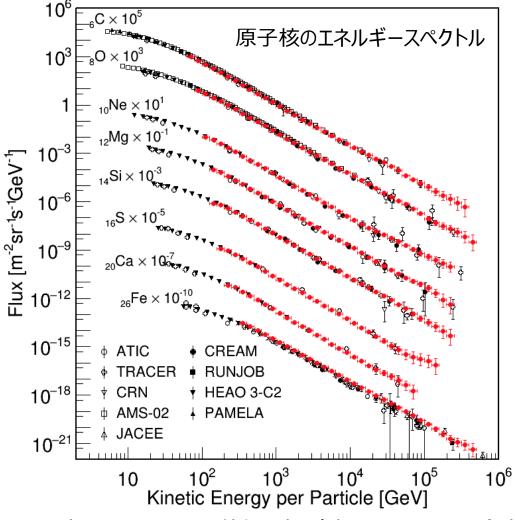
5TeVを超えるエネルギーの電子イベントの到来 方向は超新星残骸Velaの方向と矛盾しない



陽子・原子核観測:成分比+エネルギースペクトル



重原子核のエネルギースペクトル測定



現時点でこれまでの他観測を凌駕する100TeV領域 に及ぶスペクトルの観測を達成

10°

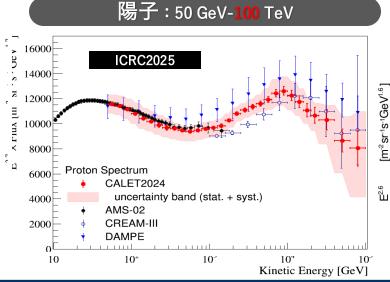
Charge Consistency cut

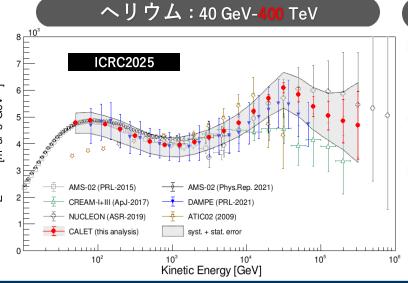
10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44

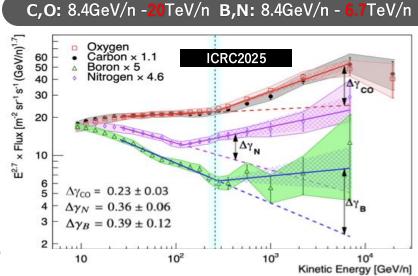


陽子・原子核のスペクトル観測:スペクトルの単一冪からのズレ

- 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
- 今後の観測により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、p,Heと同様にRigidity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?

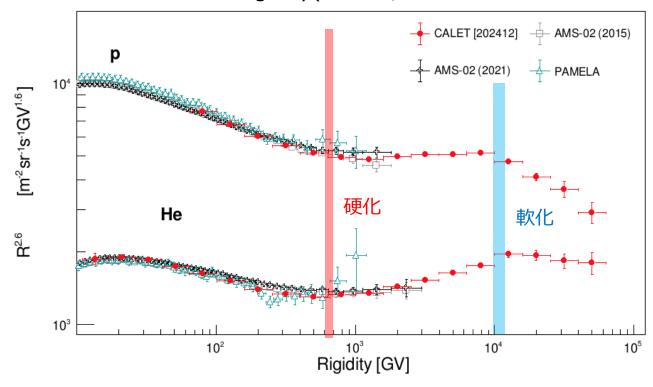
軟化の電荷依存性 スペクトルの軟化は、陽子、ヘリウム以外の原子核でも観測されるのか?

24



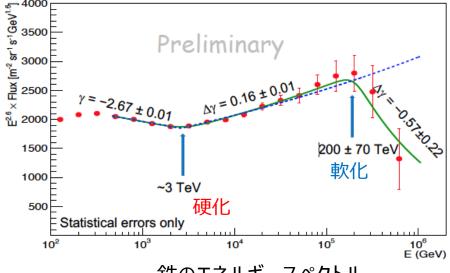
陽子・原子核スペクトルの硬化・軟化の電荷依存性

陽子・ヘリウムのRigidity(運動量/電荷)スペクトルの比較

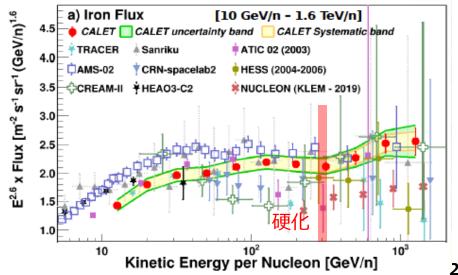


- p,He,CNO,Feでほぼ同じRigidity領域でスペクトルの硬化を検出 ⇒ 電荷に依存した原因を示唆
- p,He,CNOでほぼ同じRigidity領域でスペクトルの軟化を検出
 - ⇒ 電荷に依存した超新星残骸での衝撃波の加速限界(~10TV)を示唆 従来の予測(~100Z TeV)より一桁低いエネルギー?

CNOをまとめたエネルギースペクトル



鉄のエネルギースペクトル

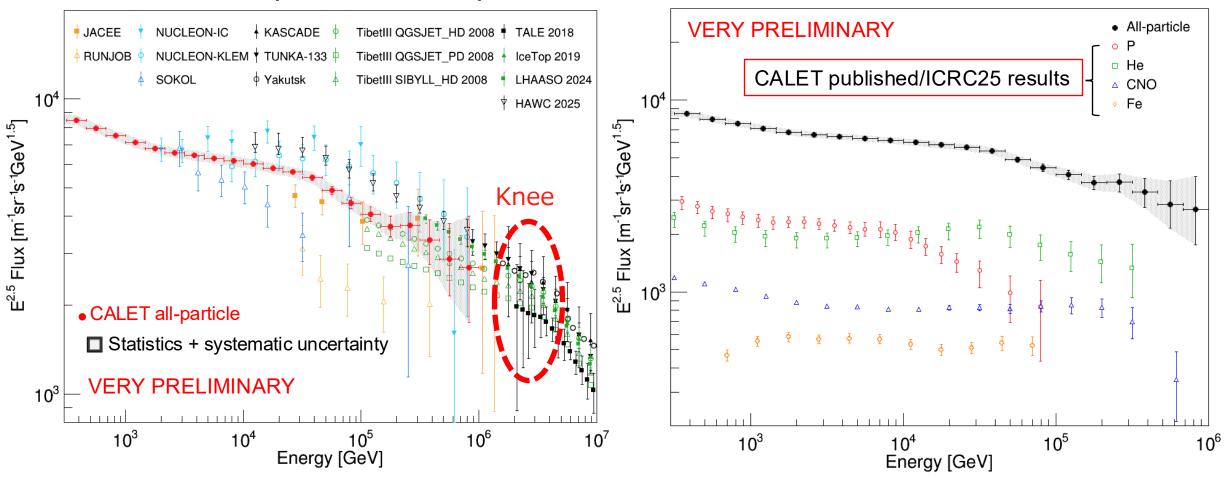




全粒子エネルルギースペクトル観測



CALETの全粒子と各主要成分のスペクトル



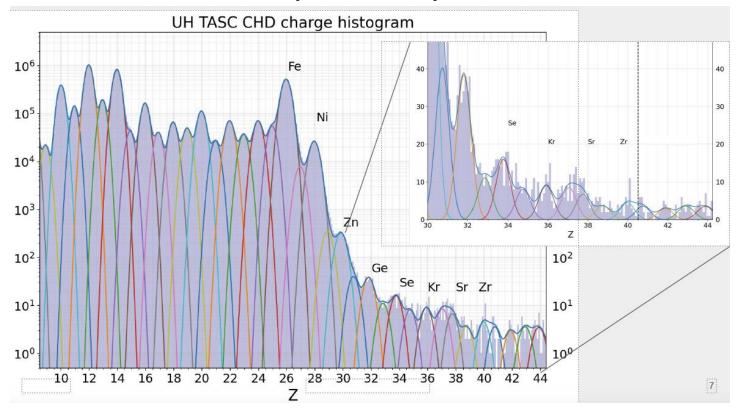
10年間の観測で、これまで直接観測では困難であった、宇宙線スペクトルが急激に減少するKnee領域(\sim 3 PeV) に迫る観測を達成し、その成因の解明に不可欠な各成分のエネルギースペクトルを100 TeV以上まで観測している \sim 6



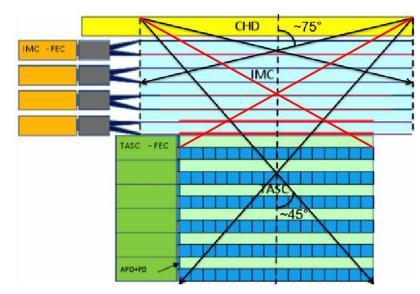
鉄、ニッケルより重い超重核の観測

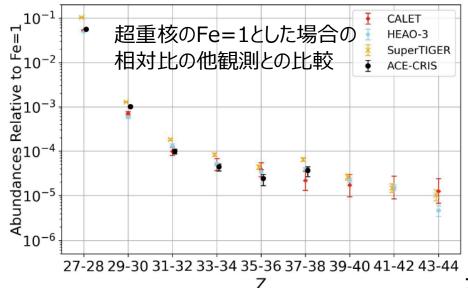
The Astrophysical Journal, 988:148 (14pp), 2025 August 1

右図で示すUHトリガー(CHD+IMC)で観測された電荷分布



星の元素合成(核融合反応)では生成されない鉄、ニッケルより重い原子核を観測し、その加速天体と超重核の生成プロセスの解明に貢献

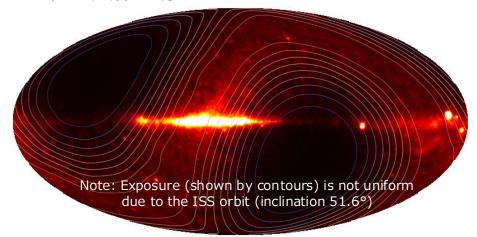


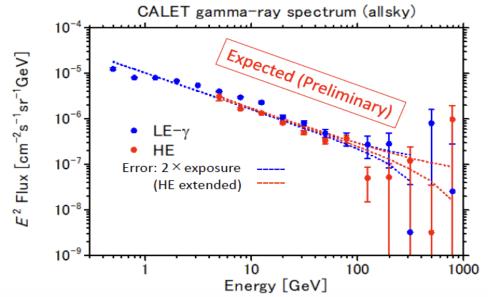




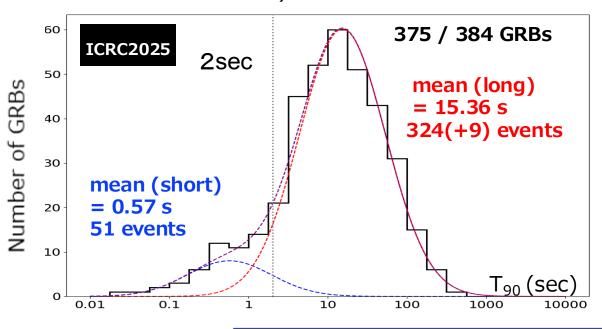
ガンマ線、ガンマ線バーストの観測

ガンマ線(>1GeV)の継続的な観測により拡散成分や個別天体の観測に成功している。





2025年4月の時点で、CGBM は 1888 イベントをトリガーして、 その内383ベント (~20%) がガンマ線バーストと判定されている。



LVKによる重力波観測のO4ランにおいて、重力波に付随するガンマ線バーストの観測をおこなう。その結果、CGBMではそのようなイベントは観測されなかった。

このような観測がないという事実も重要な結果である。

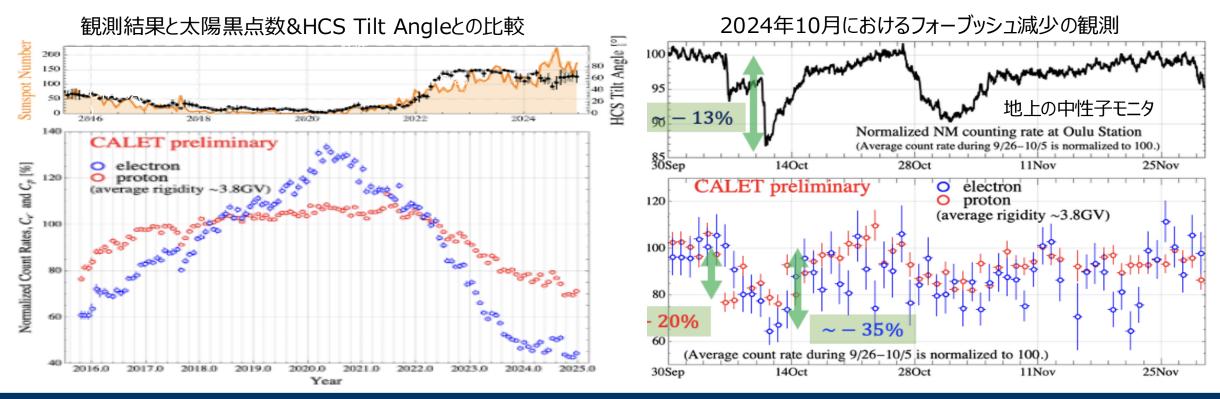
	Detection (SNR >= 7)	No detection	HV off	Outiside of FOV
O4a	0	44	37	4
O4b	1 (S241122a)*	51	47	7
04c	0	8	7	2
O4 total	1	103	91	13

 ^{*}A solar event coincided with \$241122a.



一太陽周期にわたる太陽変調の観測

- 太陽活動の極小期(2019 年)を挟んで太陽周期(~11 年)のほぼ一周期に亘って、電子、陽子の太陽変調の観測を実施 → 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界に先駆けて行っている。
- 中性子モニタに矛盾しないタイミングでフォーブッシュ減少*の検出を確認した。電子と陽子による違いがあることが示唆されている。



今後の観測課題

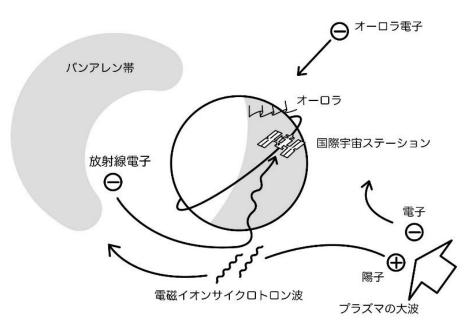
- 太陽磁場の極性が正から負に反転する次の太陽半周期での観測を継続により、電荷依存性を解明するドリフトモデルを確立し、 10 GeV/Z以下の銀河宇宙線への影響を理解
- 新たなデータ解析と観測により,10 GeV/Z以下の重原子核成分の太陽変調を観測することにより、ドリフトモデルの高精度に検証



太陽地球磁気圏の観測:宇宙天気予報

CALETによるREP事象の観測 (REP: Relativistic Electron Precipitation)

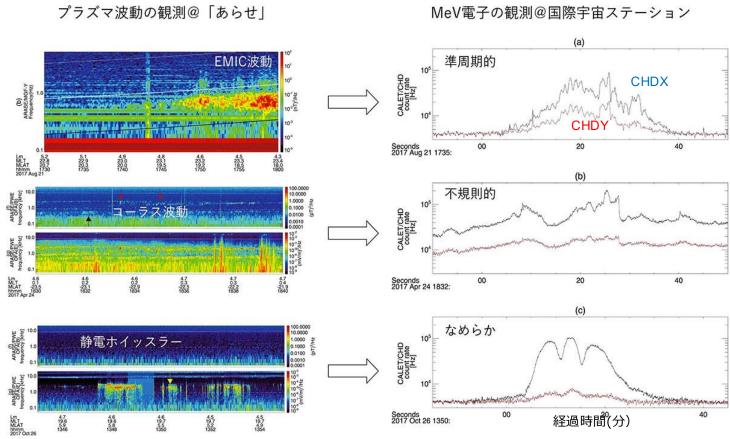
「あらせ」衛星との同時観測で、EMIC以外にもコーラス等 によるREP事象が多数観測され、それらの割合が得られている。



米国衛星(Van Allen Probe)による放射線帯での、 電磁イオンサイクロトロン波(EMIC)の観測



REPとEMICの関係を定量化し、宇宙天気予報を 高精度化する手がかりが得られている。



REP事象による放射線量の増加量を求めて、宇宙飛行士の放射線被曝の 定量化を行った。



これまでの成果と期待されるサイエンス

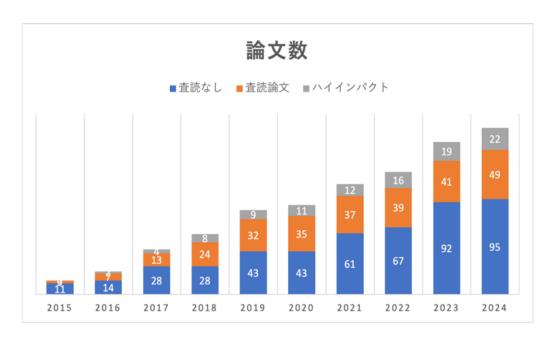
観測対象	これまでの成果(2019-2025)	期待される観測成果(~2030)	物理的意義		
電子 (+陽電子)	 [PRL2023] 10 GeV-7.5 TeVスペクトル測定 ・世界最高エネルギー(7.5 TeV)まで観測 ・1TeV以上でのスペクトル軟化を確認 ・近傍加速源の探査(存在の示唆) 	10 GeV-20 TeVのスペクトル ⇒ スペクトル微細構造(<1 TeV) ⇒ 近傍加速源(>1 TeV) 電子到来方向の異方性(>300 GeV)	加速・伝播機構のモデル化による陽電子源の解明 ・ 陽電子源はパルサーか暗黒物質か? 近傍加速源の発見と加速機構の定量化 ・ Velaは近傍加速源か?		
陽子	 [PRL2022] 50 GeV-60 TeVスペクトル測定 (ハイライト: Editor's Suggestion) ・スペクトル硬化(~600 GeV)を確認 ・スペクトルの軟化 (~9.3 TeV)を検出 	40 GeV-数100 TeV領域のスペクトル ⇒スペクトル硬化の電荷依存性 (重原子核との相互比較)	衝撃波加速の限界エネルギーの決定とKnee の原因解明 ・ スペクトル軟化は電荷に依存するか(衝撃波加速検証)?		
ヘリウム	[PRL2023] 40 GeV-250 TeVスペクトル測定スペクトル硬化(~1.3 TeV)を確認スペクトル軟化(~33 TeV)を検出	⇒スペクトル軟化の電荷依存性 ⇒衝撃波加速における上限エネルギー	Kneeの理解に新たな加速源必要か?電子観測による近傍加速源の加速機構とスペクトル軟化の関係は?		
重原子核	スペクトル測定 [PRL2022] B,C,O: 8.4 GeV/n-3.8 TeV/n • ~200 GeV/nにスペクトル硬化を検出 [PRL2022] Ni: 8.8 GeV/n-240 GeV/n • Fe,Niは有意なスペクトル硬化を未検 [PRL2025] Cr,Ti: 10 GeV/n-250 GeV/n • SubFe+Feの高精度測定、Feのスペクトル硬化を検出	主要一次核のTeV/n領域までのスペクトル ⇒スペクトル硬化の電荷依存性 C,O,Feの100 TeV(粒子)以上のスペクトル ⇒スペクトル軟化の検証(p, Heと比較)	スペクトル硬化の原因解明 ・ 硬化は全ての原子核で存在するか? ・ 硬化は電荷か質量数のいずれに依存するのか?		
	[PRL2022] B/C: 8.4 GeV/n-3.8 TeV/n • TeV領域で単一冪からのズレを検出	B.C比の1 TeV/n 領域でのスペクトル ⇒ <mark>冪型スペクトルの変化</mark> subFe/Fe比のスペクトル ⇒B/C比との相違の有無を検証	Leaky Box Modelと加速領域物質量(滞在時間)の 検証		
	[ApJ2025] Z=13~44の成分比 超重核(Z=28~44)の成分比の観測	超重核の奇数核をふくむ成分比	宇宙線源、初期加速機構、元素合成の解明		
太陽変調 REP現象	[PRL2023] 電子・陽子の太陽変調の観測 ・太陽変調の荷電依存性を検出しモデル化試行	太陽磁場の極性が正から負に反転する次の太 陽半周期の電子・陽子の太陽変調	太陽変調を説明するドリフトモデルの確立 ・ 太陽変調の影響をうける宇宙線スペクトルの正確な理解(20 GeV/Z以下のスペクトル)		
	[GRL2022] EMIC波によるREP現象の検出 [GRL2025] EMIC波以外によるREP現象の検出	太陽活動の極大期を含むREPの長期観測	EMIC波以外のREP成因の解明と宇宙天気予報の高 精度化		

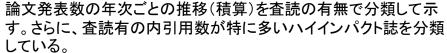


論文・学会発表数の推移 2024年12月時点

論文・学会発表数の推移

研究発表の「見える化」として、観測開始(2015年)以来の論文発表数及び国内外の会議発表の累積数を以下に示す。(他観測との共同論文を含む)







国内外の会議発表数の年次ごとの推移(積算)を示す。国際的に最も需要な宇宙線国際会議が奇数年に開催されるため、該当する年に増える傾向がある。



まとめ

- □ CALETミッションは、2015.10.13の科学観測開始以来、現在まで約10年に亘って観測を順調に継続し、世界最高レベルの高エネルギー電子、陽子・原子核観測を達成している。ガンマ線やガンマ線バーストの観測においては、重力波観測との連携を含む観測が順調に実施され成果を上げている。さらに、太陽活動の極大期から極小期への電子・陽子の太陽変調の観測やREPの観測において、それらの解明に大きく貢献できる観測を実施できている。
- □ CALETの観測結果は、現在までに査読付き論文76編(24編はハイインパクトな論文)による発表や、国内外の会議で約450件の報告を行なっている。CALETの成果は、この1年にISS関係で発表された4400を超える科学論文の中で、Annual Highlights of Resultsとしてハイライトされている。陽子・原子核観測、ガンマ線観測、重力波発生時のガンマ線同時観測、REP観測などにおいて観測を2030年まで継続することにより、より大きな成果の達成を目指している。
- <u>軌道上の観測装置には、観測開始以来ほとんど経年変化等による劣化が見られず、非常に安定的に運用されている。</u>引き続き、観測量と観測機会の増大を実現することにより、世界最高レベルでの観測成果の達成を目指していく。

