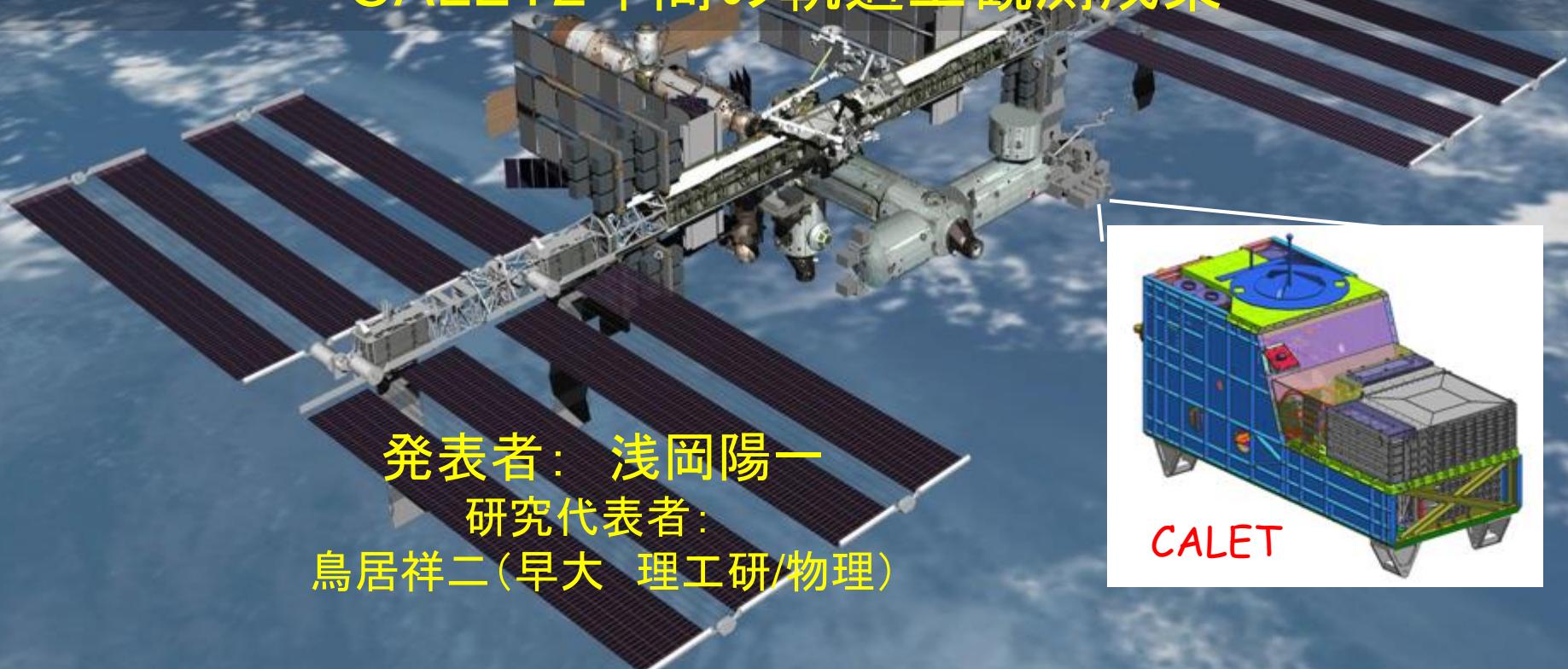




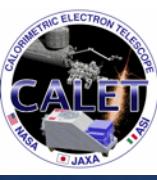
飛翔体観測による 高エネルギー宇宙線加速天体の研究 ～CALET2年間の軌道上観測成果～



発表者： 浅岡陽一

研究代表者：
鳥居祥二(早大 理工研/物理)

CALET



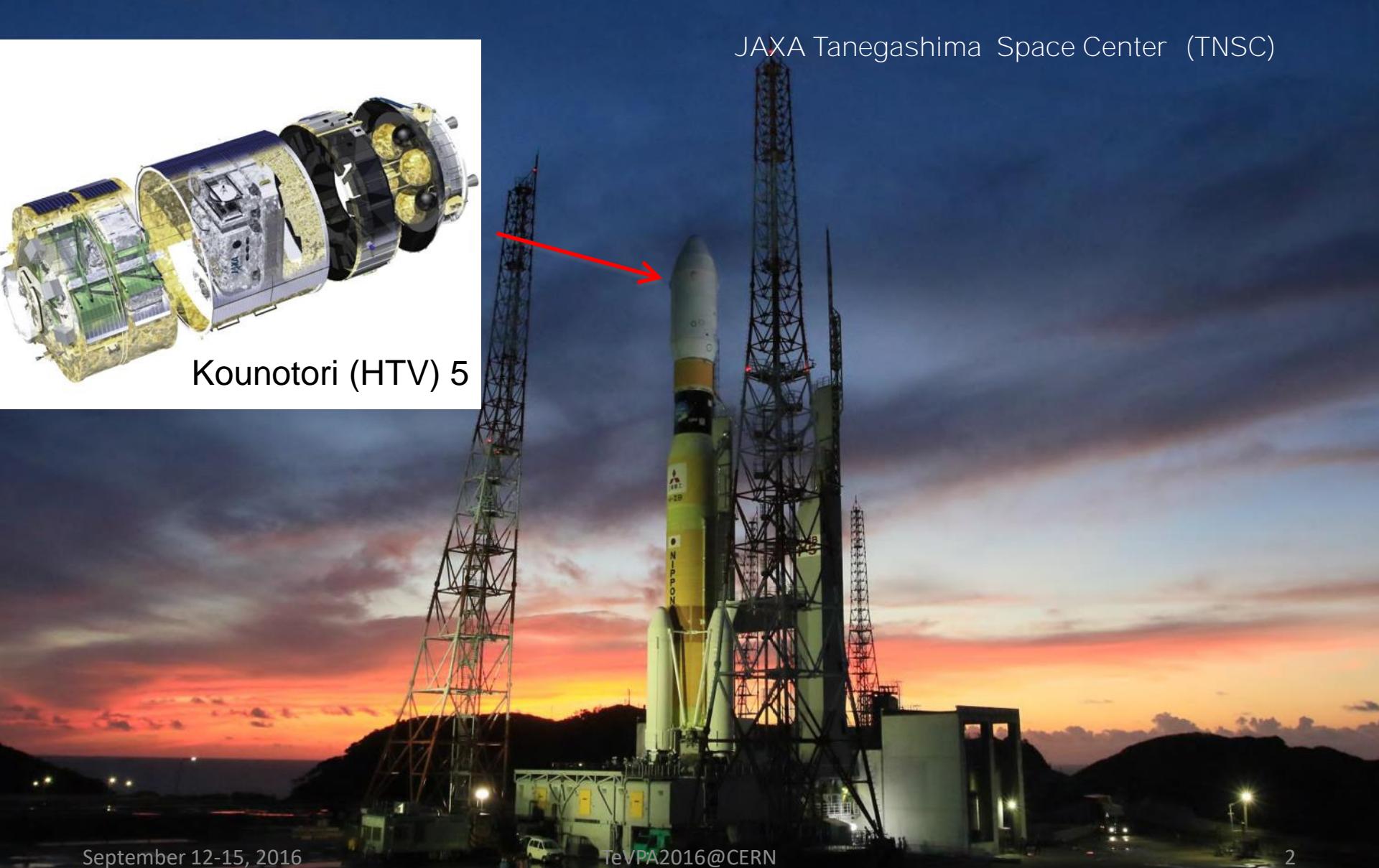
CALET Launch: August 19, 2015 at 12:50:49 (UT)



JAXA Tanegashima Space Center (TNSC)

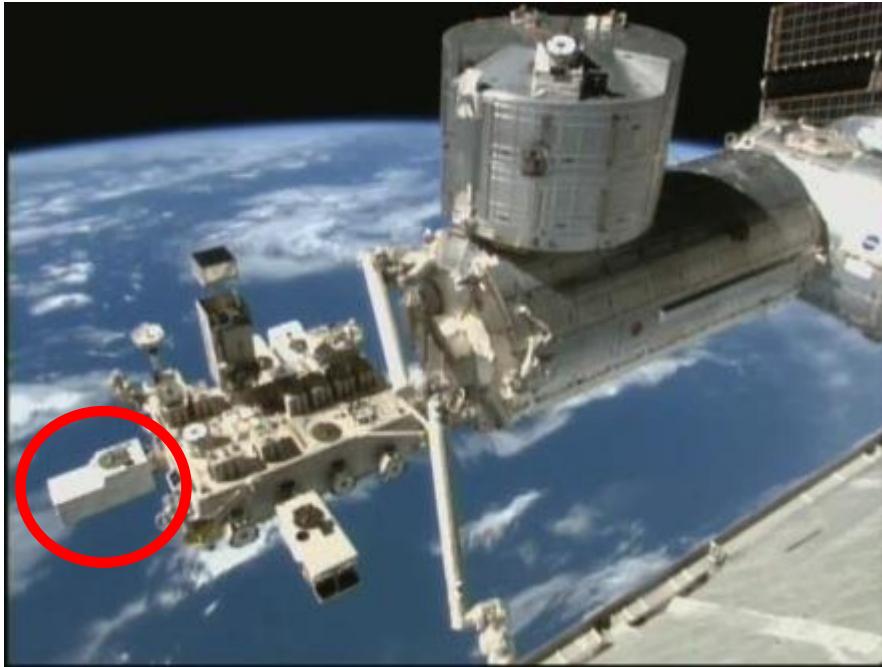


Kounotori (HTV) 5

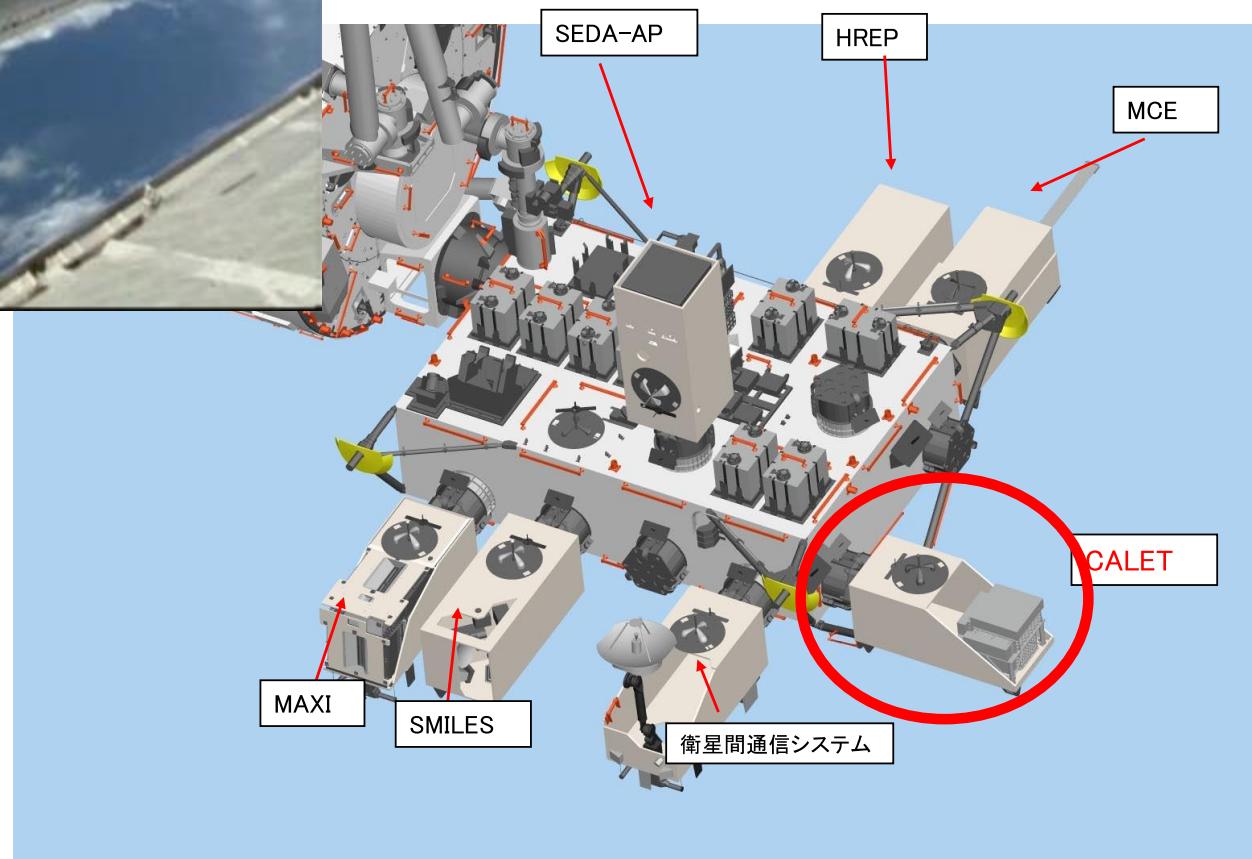




CALETを船外実験プラットフォームに設置 (2015.8~)



実際に設置された様子



模式図

共同利用研究概要(2017)

■ 共同研究内容

- CALET観測最適化のためのシミュレーション計算及びデータ解析

■ 発表概要

- CALET観測目的・装置
- 観測現状
- 観測データ解析
- まとめと展望

■ 予算 旅費 200千円

支出(予定)内容：研究打ち合わせ、小研究会

■ 共同利用 計算機(シミュレーション計算)

参加研究者及び研究補助

早稲田大学	笠原克昌、小澤俊介、浅岡陽一、Motz H Martin、佐藤郁也、宮田諒平、	神奈川大学	田村忠久、清水雄輝
小宮優馬、多田真希子、田中瑞樹、安藤裕貴、高橋宏侍、藤田峻、宮崎美有、右田陽太郎			
宇宙線研究所	寺澤敏夫、浅野勝晃、石崎涉	芝浦工業大学	吉田健二
横浜国立大学	片寄祐作	弘前大学	市村雅一
立命館大学	森正樹	茨城大学	柳田昭平
信州大学	宗像一起		
CRESST/NASA/GSFC	赤池陽水		



CALET collaboration team



O. Adriani²⁵, Y. Akaike², K. Asano⁷, Y. Asaoka^{9,31}, M.G. Bagliesi²⁹, G. Bigongiari²⁹, W.R. Binns³², S. Bonechi²⁹, M. Bongi²⁵, P. Brogi²⁹, J.H. Buckley³², N. Cannady¹², G. Castellini²⁵, C. Checchia²⁶, M.L. Cherry¹², G. Collazuol²⁶, V. Di Felice²⁸, K. Ebisawa⁸, H. Fukue⁸, G.A. de Nalfo¹⁴, T.G. Guzik¹², T. Hams³, M. Hareyama²³, N. Hasebe³¹, K. Hibino¹⁰, M. Ichimura⁴, K. Ioka³⁴, W. Ishizaki⁷, M.H. Israel³², A. Javaid¹², K. Kasahara³¹, J. Kataoka³¹, R. Kataoka¹⁶, Y. Katayose³³, C. Kato²², Y. Kawakubo¹, N. Kawanaka³⁰, H. Kitamura¹⁵, H.S. Krawczynski³², J.F. Krizmanic², S. Kuramata⁴, T. Lomtadze²⁷, P. Maestro²⁹, P.S. Marrocchesi²⁹, A.M. Messineo²⁷, J.W. Mitchell¹⁴, S. Miyake⁵, K. Mizutani²⁰, A.A. Moiseev³, K. Mori^{9,31}, M. Mori¹⁹, N. Mori²⁵, H.M. Motz³¹, K. Munakata²², H. Murakami³¹, Y.E. Nakagawa⁸, S. Nakahira⁹, J. Nishimura⁸, S. Okuno¹⁰, J.F. Ormes²⁴, S. Ozawa³¹, L. Pacini²⁵, F. Palma²⁸, P. Papini²⁵, A.V. Penacchioni²⁹, B.F. Rauch³², S.B. Ricciarini²⁵, K. Sakai³, T. Sakamoto¹, M. Sasaki³, Y. Shimizu¹⁰, A. Shiomi¹⁷, R. Sparvoli²⁸, P. Spillantini²⁵, F. Stolzi²⁹, I. Takahashi¹¹, M. Takayanagi⁸, M. Takita⁷, T. Tamura¹⁰, N. Tateyama¹⁰, T. Terasawa⁷, H. Tomida⁸, S. Torii^{9,31}, Y. Tunesada¹⁸, Y. Uchihori¹⁵, S. Ueno⁸, E. Vannuccini²⁵, J.P. Wefel¹², K. Yamaoka¹³, S. Yanagita⁶, A. Yoshida¹, K. Yoshida²¹, and T. Yuda⁷





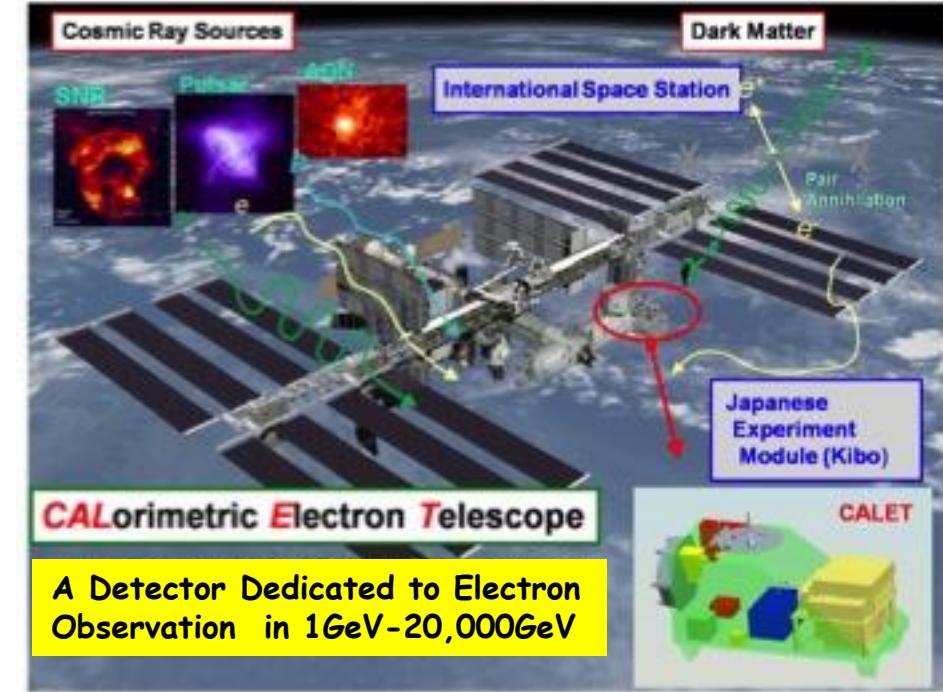
CALETによる科学観測

カロリメータ (CAL)

- 電子: 1 GeV – 20,000 GeV
- ガンマ線: 10 GeV – 10,000 GeV
(ガンマ線バースト: > 1 GeV)
- 陽子・原子核:
数10GeV – 1,000 TeV
- 超重核:
Rigidity Cut 以上のエネルギー

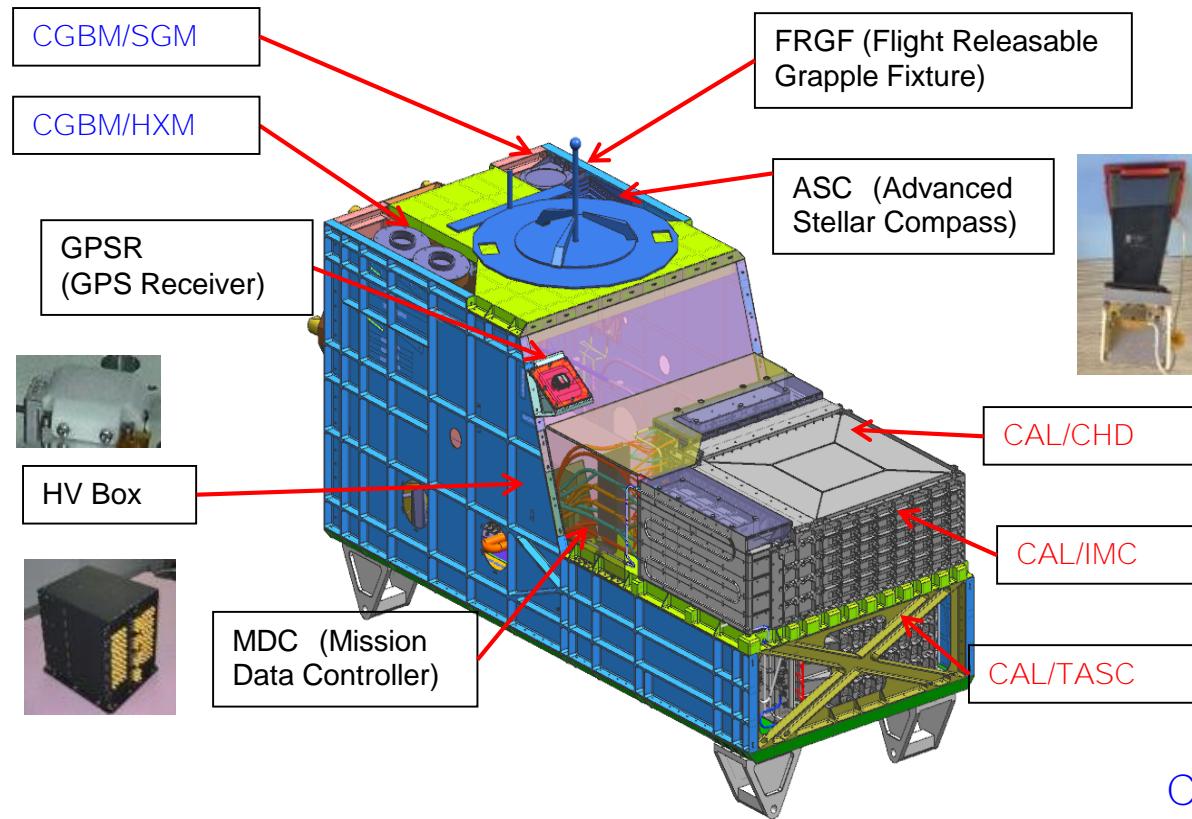
ガンマ線バーストモニタ (CGBM)

- 軟ガンマ線: 100 keV – 20 MeV
- 硬X線: 7keV – 1 MeV



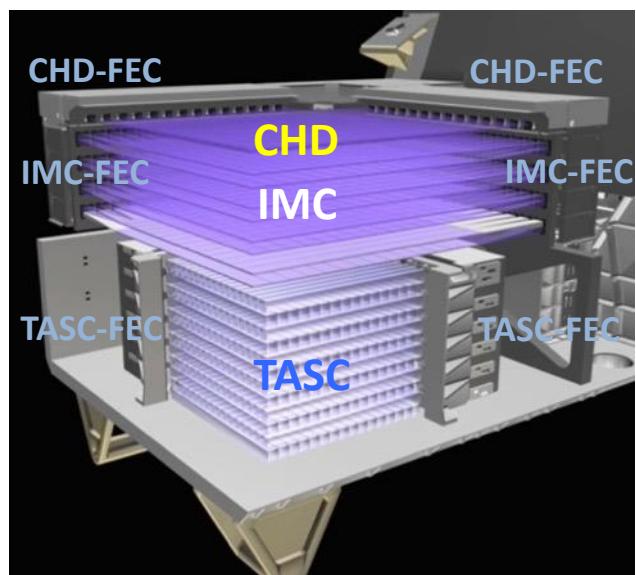
観測目的	観測対象
宇宙線近傍加速源の同定	TeV領域における電子エネルギースペクトル
暗黒物質の探索	電子・ガンマ線の100 GeV-10 TeV領域におけるスペクトルの”異常”
宇宙線の起源と加速機構の解明	電子及び陽子・原子核の精密なエネルギースペクトル、超重核のフラックス
宇宙線銀河内伝播過程の解明	二次核/一次核(B/C)比のエネルギー依存性
太陽磁気圏の研究	低エネルギー(<10GeV)電子フラックスの長・短期変動
ガンマ線バーストの研究	7 keV – 20 MeV領域でのX線・ガンマ線のバースト現象

CALET観測システムの概要



- ・**質量:** 612.8 kg
- ・JEM 標準ペイロードサイズ
1850mm(L) × 800mm(W) × 1000mm(H)
- ・消費電力: 507 W(max)
- ・**通信速度:**
中速系 600 kbps (6.5GB/day) 最大: 1Mbps
低速系 50 kbps

CALORIMETER (CHD/IMC/TASC)



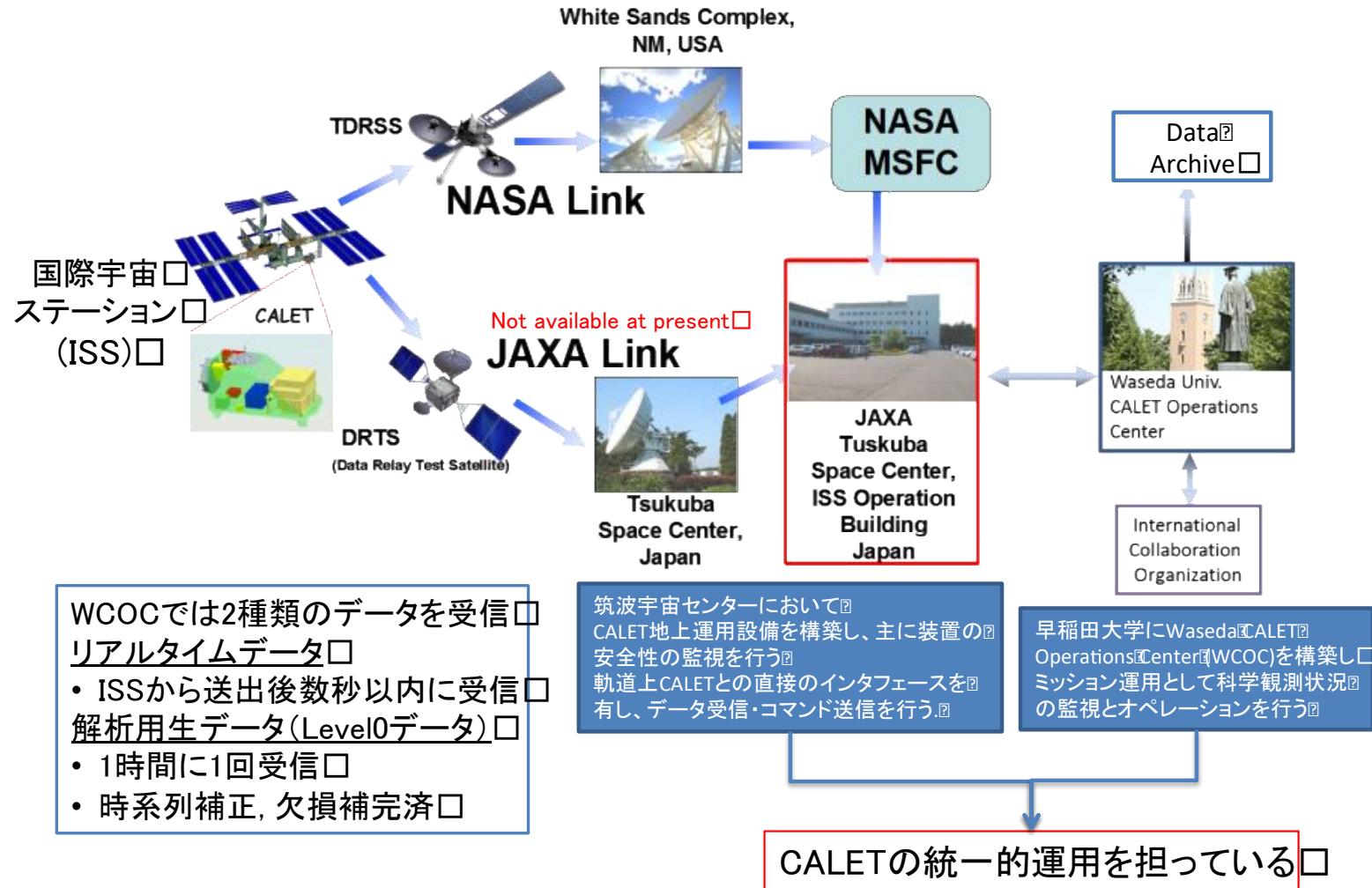
CGBM
(CALET
Gamma-ray
Burst
Monitor)





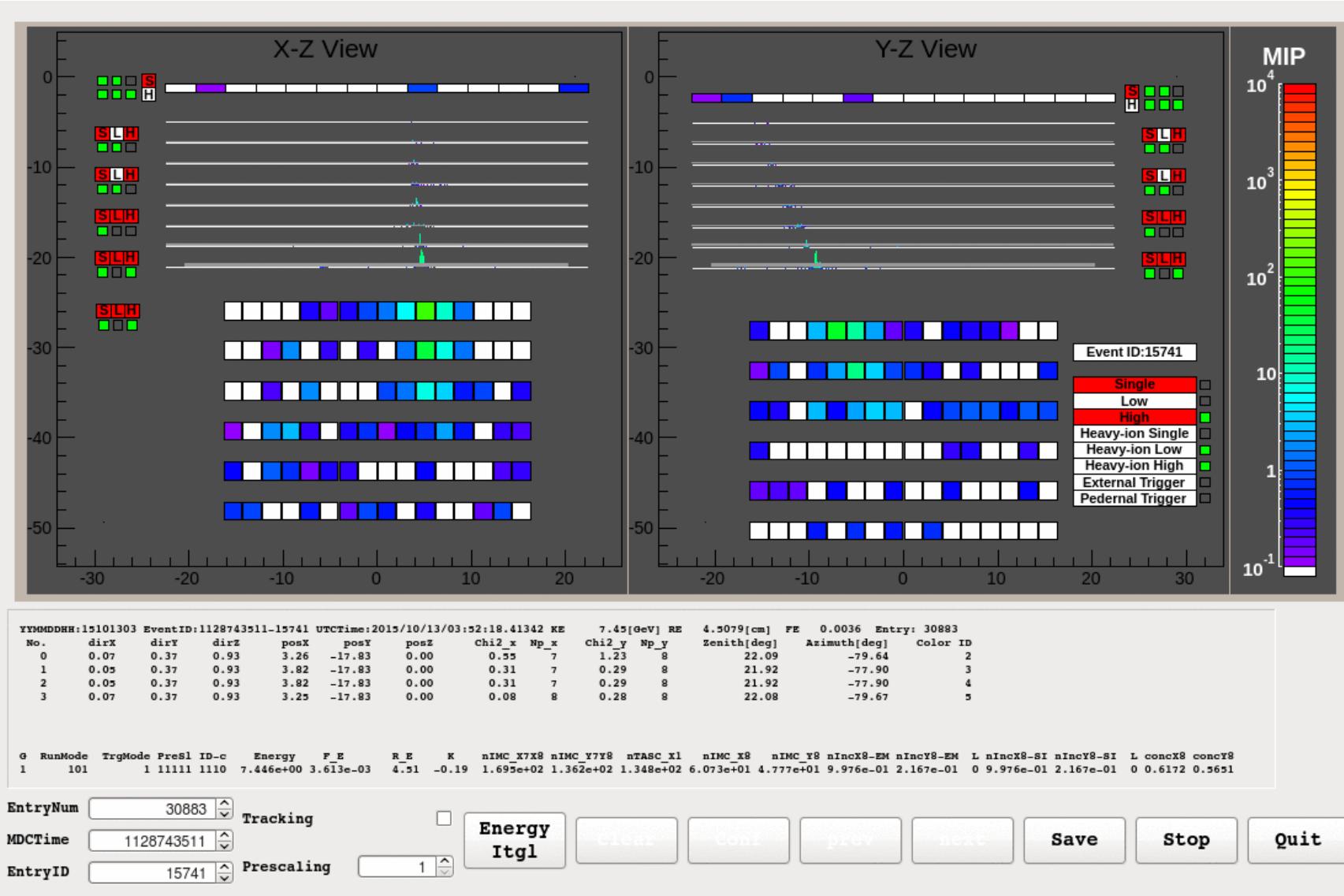
CALETサイエンス運用システム

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(Level0)のWaseda CALET Operations Center (WCOC)での正常に受信している。





高エネルギー電子のリアルタイムデータ画像



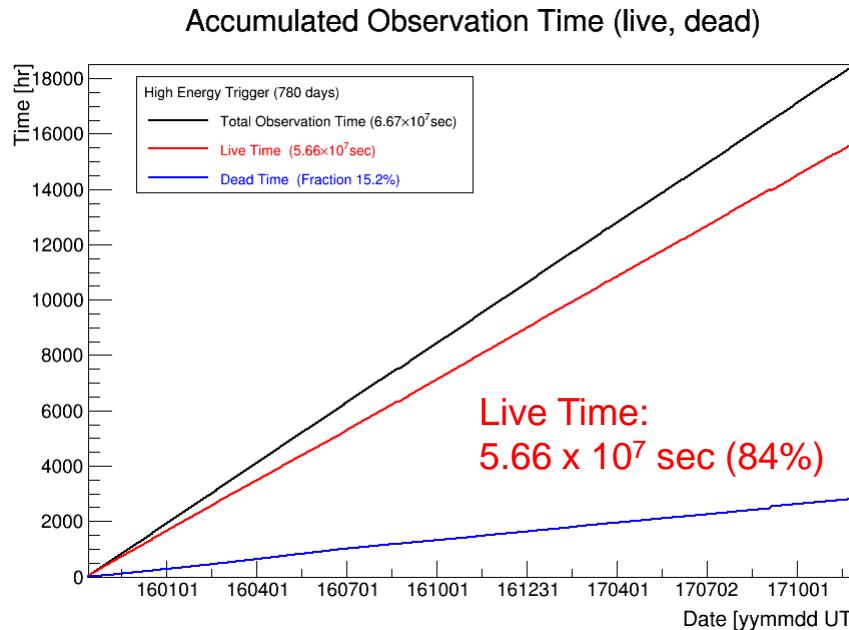


Observation by High Energy Trigger

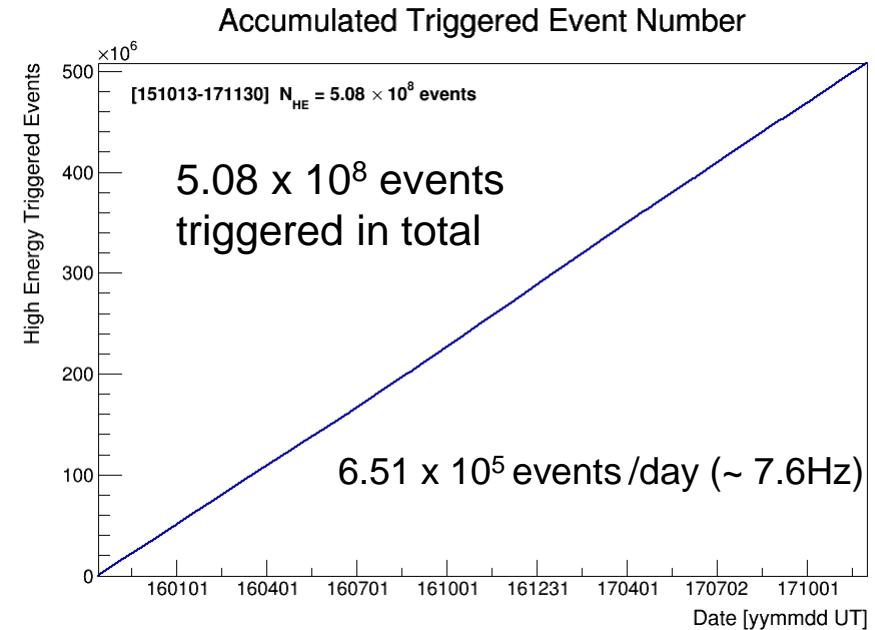
Observation by High Energy Trigger for 780 days : Oct. 13, 2015 – Nov.30, 2017

- The exposure, $S\Omega T$, has reached to $\sim 68.1 \text{ m}^2 \text{ sr day}$. by continuous observation.
- Total number of the triggered events is ~ 508 million with a live time of 84 %.

Accumulated observation time (live, dead)



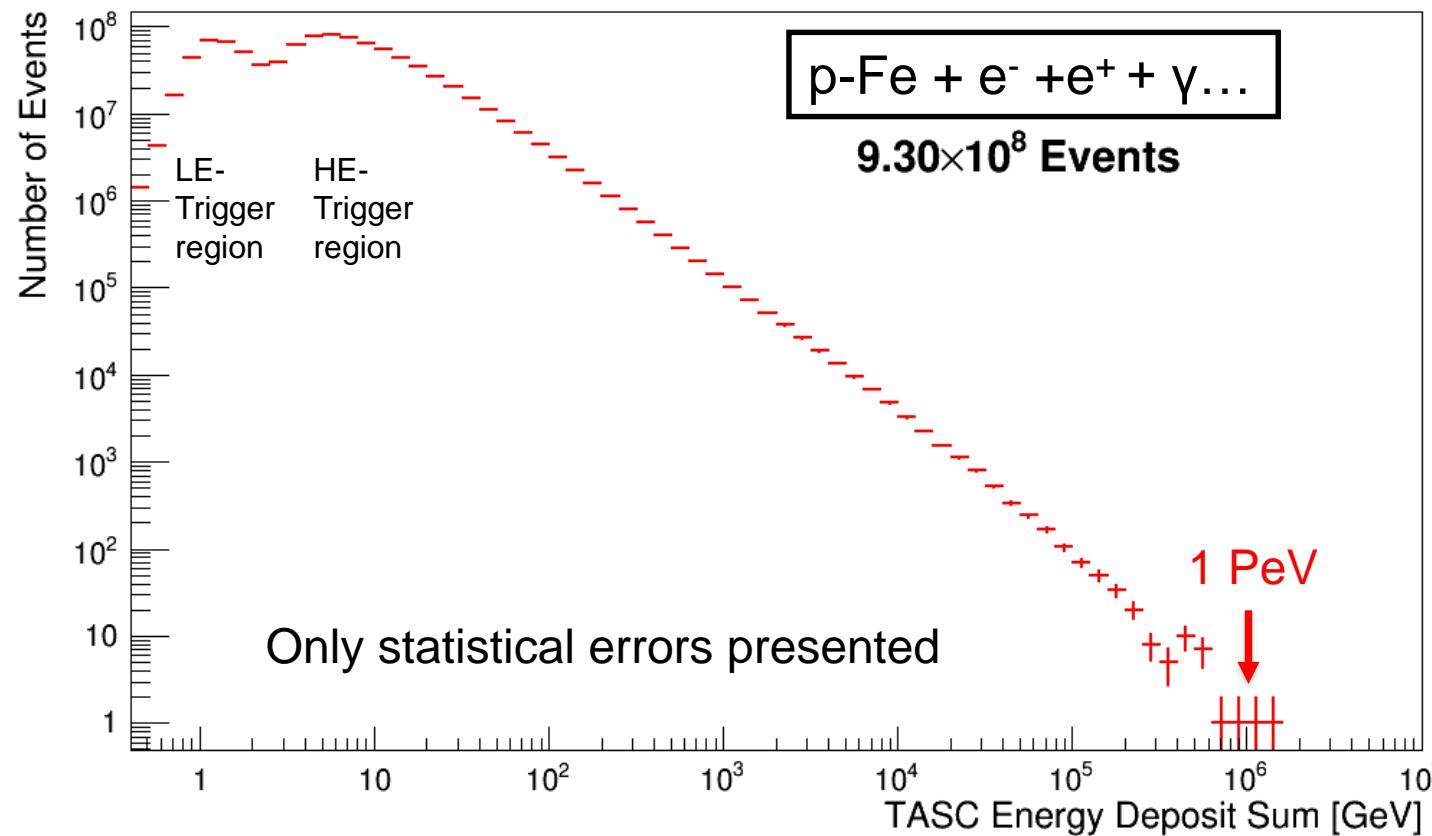
Accumulated triggered event number





Energy Deposit Distribution of All Triggered-Events by Observation for 780 days

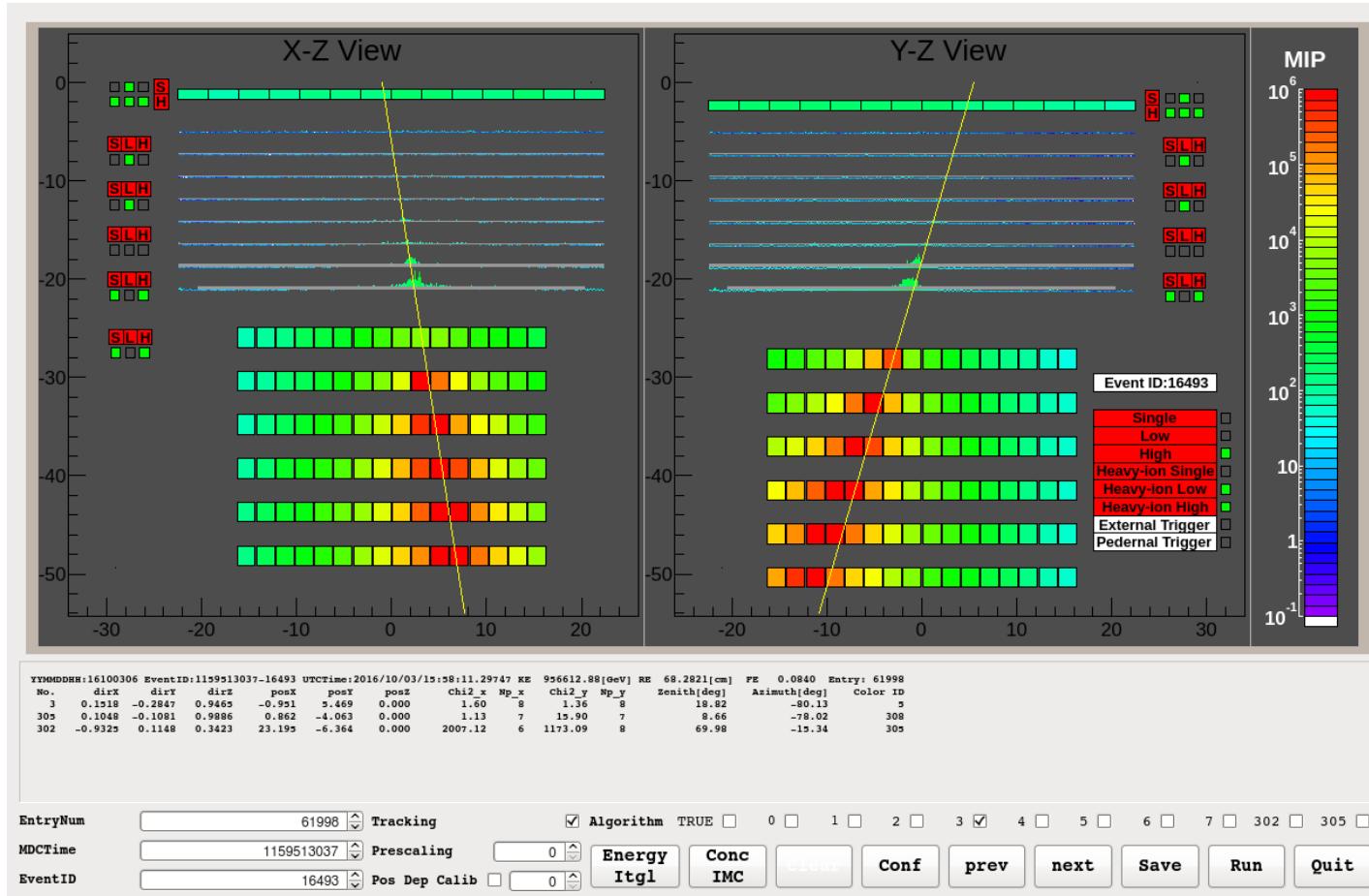
Distribution of deposit energies in TASC observed in 2015.10.13—2017.11.30



The TASC energy measurements have successfully been carried out in the dynamic range of 1 GeV – 1 PeV.

Highest Energy Event ($\Delta E \sim 957$ TeV): An event view of proton candidate

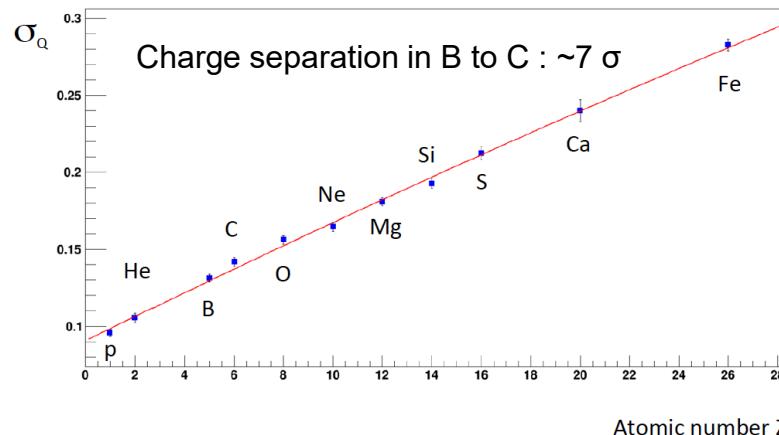
Color Map Range: Maximum = 10^6 MIP, Minimum = 0.1 MIP



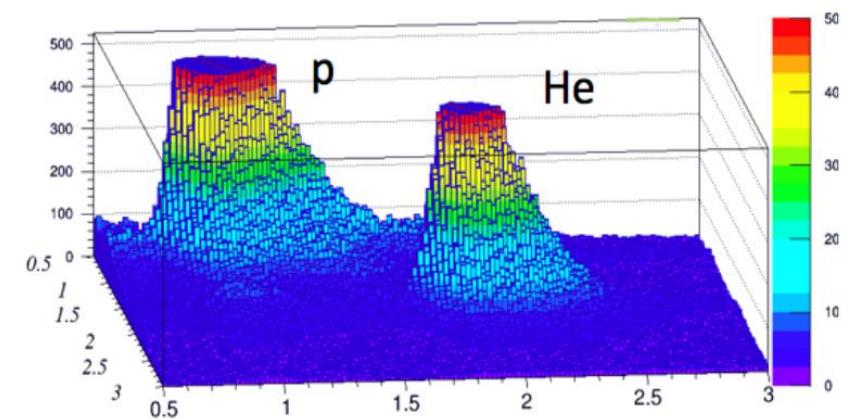
Preliminary Nuclei Measurements (p , He, $Z \leq 8$)

P.S.Marrocchesi et al.,
ICRC 2017, PoS 205.

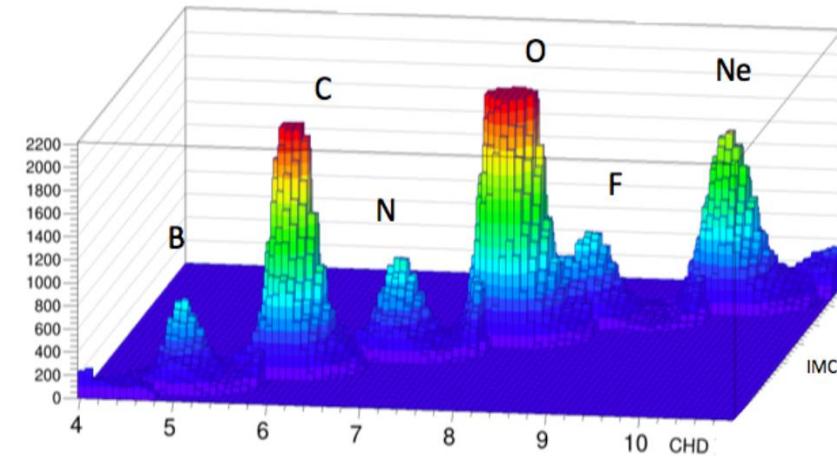
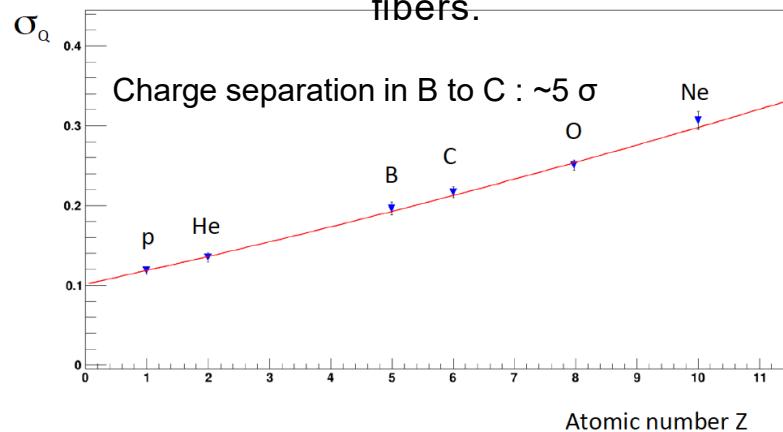
CHD charge resolution (2 layers combined) vs. Z



Charge resolution combined CHD+IMC



Charge resolution using multiple dE/dx measurements from the IMC scintillating fibers.



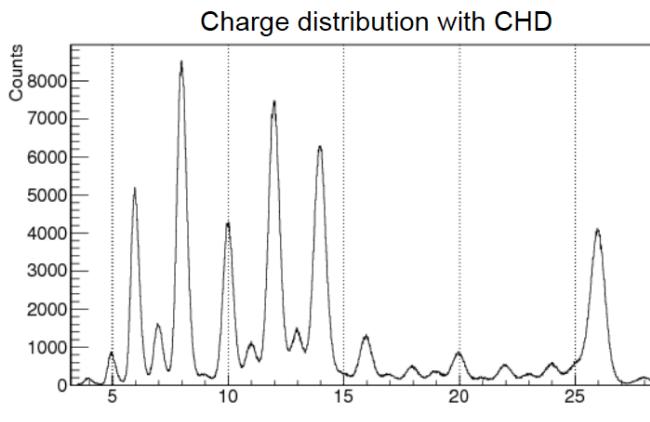
*) Plots are truncated to clearly present the separation.

Non-linear response to Z^2 is corrected both in CHD and IMC using a model.

A clear separation between p , He, up to $Z=8$, can be seen from CHD+IMC data analysis.

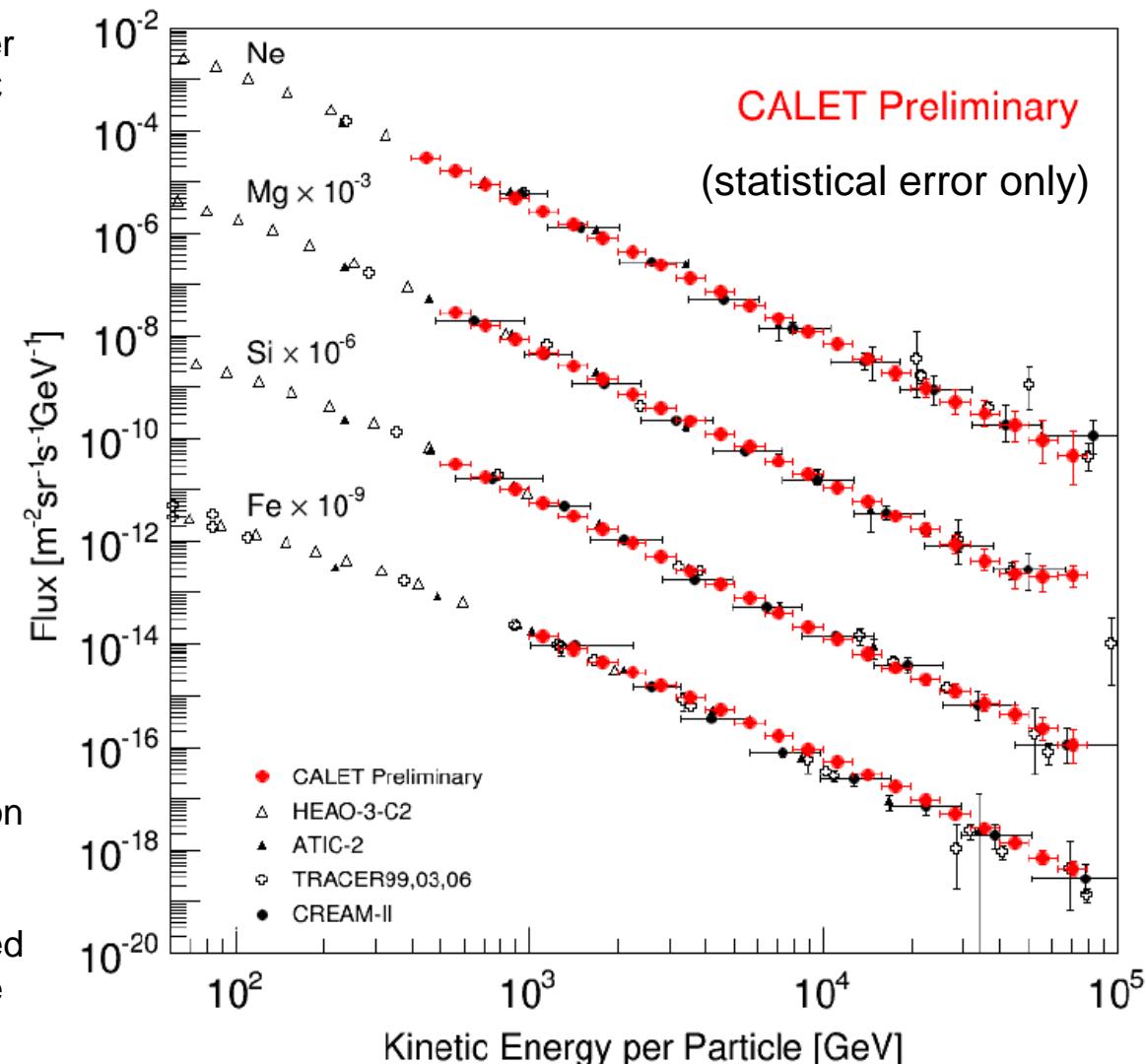
Independent analysis is carried out for heavy nuclei in $Z=8\text{--}26$.

- Charge determination by CHD together with consistency requirement with IMC
- Consistent charge resolutions were obtained between the two analysis methods.



Analysis Method (in particular for heavy nuclei)

- Unfolding procedure based on *Bayes' theorem* is applied with response function from MC data.
- Charge selection efficiencies and contaminations from neighboring charged nuclei are also taken into account in the unfolding procedure.

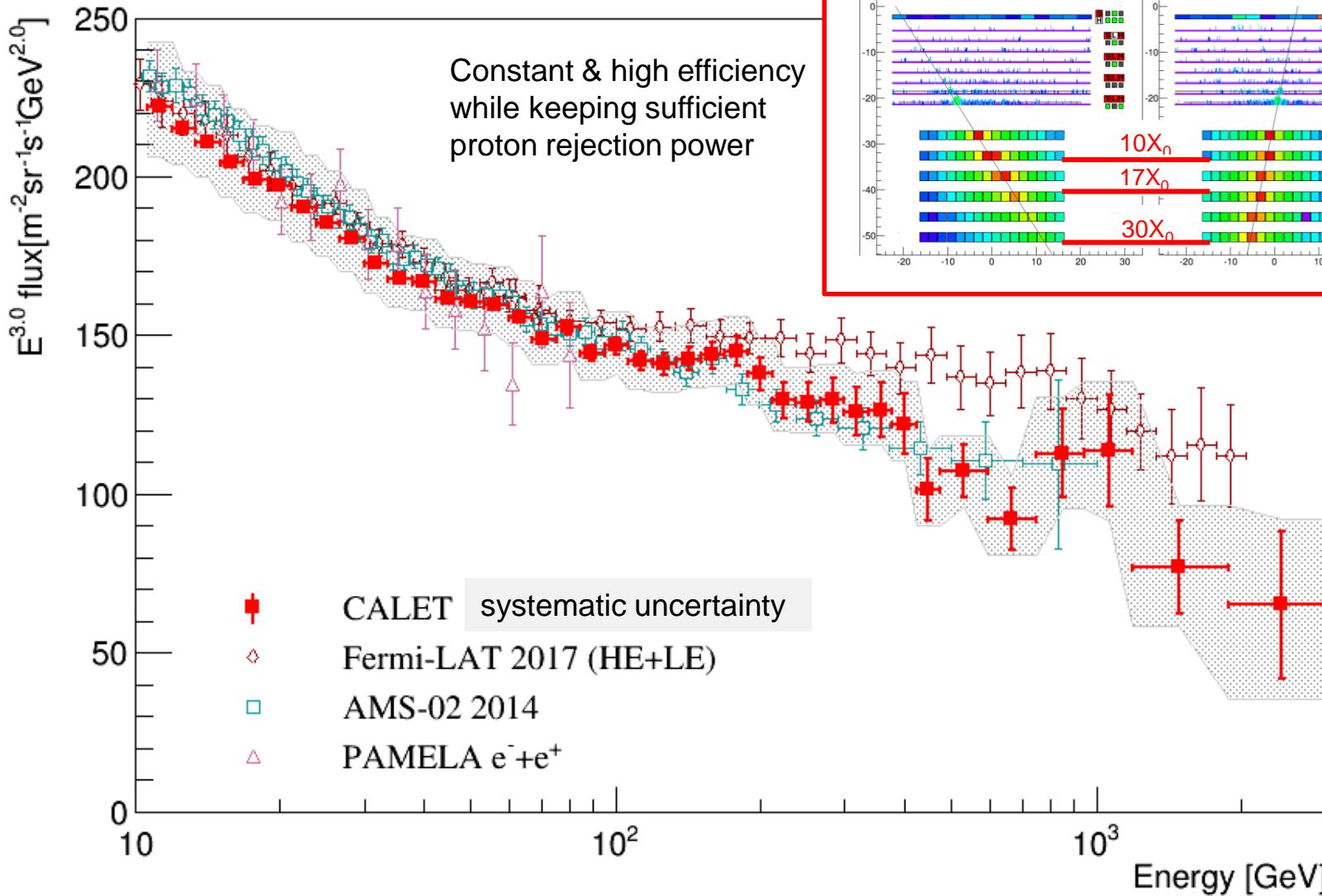




The First Detection in Space of 3 TeV Cosmic Ray Electrons

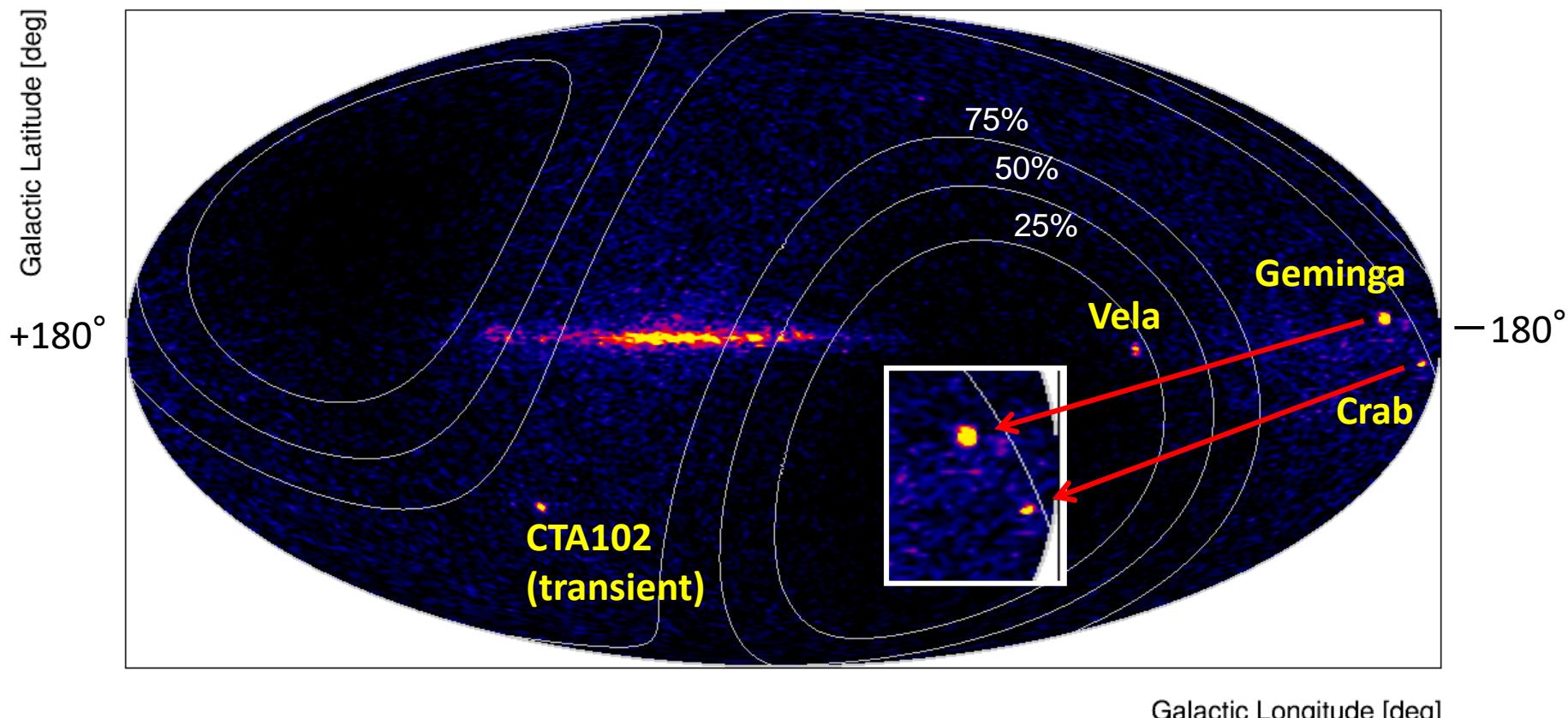
in a High-Precision Measurement of the Electron Energy Spectrum by CALET on the ISS

O.Adriani et al. (CALET collaboration),
Phys. Rev. Lett. 119 (2017) 181101.



Diffuse Gamma-Ray Observation

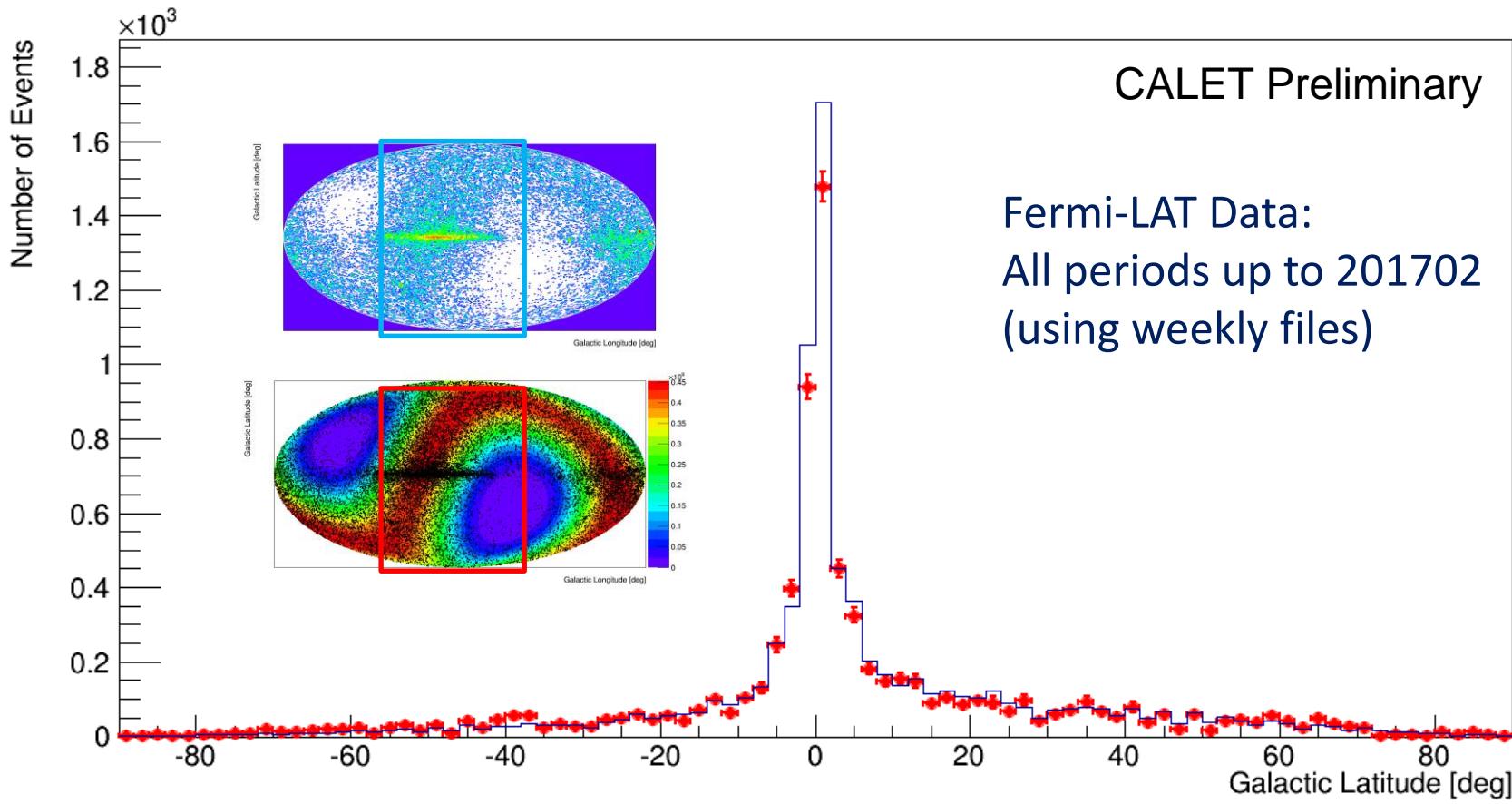
- Purpose: Sensitivity validation & BG estimation
- Data set: from 151013 to 170831 (1.9 years)
- Observation Mode: Low Energy Gamma-Ray Trigger



Bright sources are clearly identified.

Projection to Galactic Latitude ($|l| < 80\text{deg}$)

Comparison with Fermi-LAT's observations



Considering the contribution from point sources, it was consistent with expectation. Therefore, it was found that current selection criteria has a validated sensitivity and can be used to set limit on transient gamma-ray flux.



まとめと展望

- CALETは、TeV領域に及ぶ電子・ガンマ線観測により近傍加速源と暗黒物質の探索を行うほか、陽子・原子核の観測を1000TeV領域まで実施して宇宙線の加速・伝播機構の包括的な解明を行う。さらに、太陽変動やガンマ線バーストのモニター観測を実施する。
- CALET は、2015年8月19日に種子島宇宙センターからHTV5号機に搭載して打ち上げられ、現在まで国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」の船外実験プラットフォーム #9ポートにおいて、所期の性能を発揮して順調に観測が実施されている。
- 現在早稲田大学CAET Operations Center (WCOC)において、つくば宇宙センター経由でCALETとデータを送受信しており、ガンマ線バースト検出(81events)を含めて、軌道上運用が24時間体制で実施されている。現在まで観測は極めて順調に実施できており、すでに定常運用終了審査を終えて、後期運用フェーズに入っている。
- 2017年には、エネルギー測定に関する軌道上装置性能を実証する論文の発表 (Astropart. Phys.)に加え、最も重要な観測対象である全電子スペクトルをPRLにて出版した。その他にも現在までに、Relativistic Electron Participation (REP)の観測や、LIGO が検出した重力波イベントGW151226の電磁波同時観測で成果を上げている。
- 高エネルギー宇宙線の観測において、2年以上のデータが順調に蓄積されており、データ解析も順調に進展しているので、さらなる論文作成を予定している。

本共同研究で実施しているシミュレーション計算はデータの解釈に不可欠であり関係者の皆さんに深く感謝いたします !!



CALET's first publication NOT for Cosmic Rays

Accepted article online 25 APR 2016

Geophysical Research Letters

Relativistic electron precipitation at International Space Station: Space weather monitoring by Calorimetric Electron Telescope

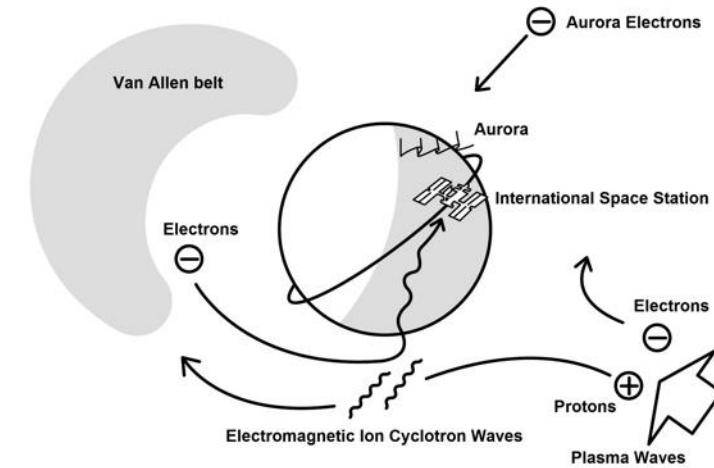
Ryuho Kataoka^{1,2}, Yoichi Asaoka³, Shoji Torii^{3,4}, Toshio Terasawa⁵, Shunsuke Ozawa⁴, Tadahisa Tamura⁶, Yuki Shimizu⁶, Yosui Akaike⁴, and Masaki Mori⁷

¹Space and Upper Atmospheric Sciences Group, National Institute of Polar Research, Tachikawa, Japan, ²Department of Polar Science, School of Multidisciplinary Sciences, SOKENDAI (Graduate University for Advanced Studies), Tachikawa, Japan, ³Research Institute for Science and Engineering, Waseda University, Shinjuku, Japan, ⁴Department of Physics, Waseda University, Shinjuku, Japan, ⁵Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo, Kashiwa, Japan, ⁶Institute of Physics, Kanagawa University, Yokohama, Japan, ⁷Department of Physical Sciences, Ritsumeikan University, Kusatsu, Japan

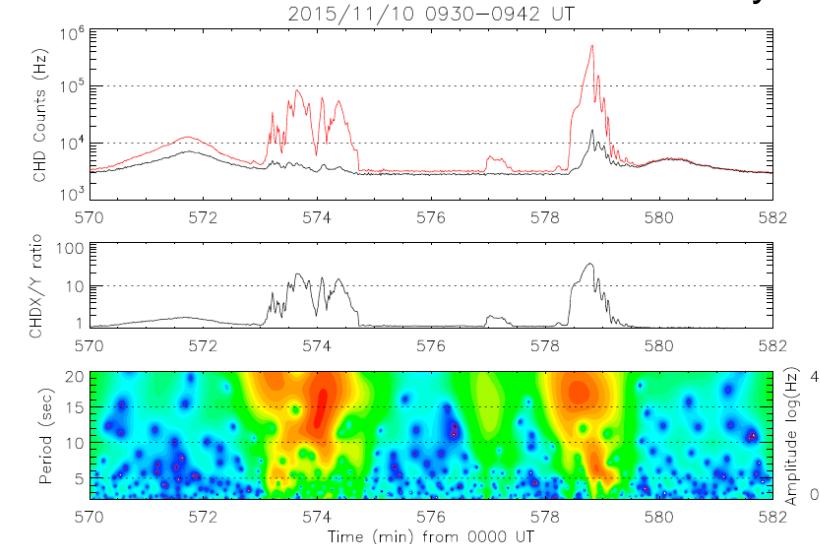
Abstract The charge detector (CHD) of the Calorimetric Electron Telescope (CALET) on board the International Space Station (ISS) has a huge geometric factor for detecting MeV electrons and is sensitive to relativistic electron precipitation (REP) events. During the first 4 months, CALET CHD observed REP events mainly at the dusk to midnight sector near the plasmapause, where the trapped radiation belt electrons can be efficiently scattered by electromagnetic ion cyclotron (EMIC) waves. Here we show that interesting 5–20 s periodicity regularly exists during the REP events at ISS, which is useful to diagnose the wave-particle interactions associated with the nonlinear wave growth of EMIC-triggered emissions.

Space Weather is now a new topic of the CALET science !!

Relativistic Electron Precipitation



CHD X and Y count rate increase by REP



CALET UPPER LIMITS ON X-RAY AND GAMMA-RAY COUNTERPARTS OF GW 151226

Astrophysical Journal Letters 829 L20, 2016 September 20

The CGBM covered 32.5% and 49.1% of the GW 151226 sky localization probability in the 7 keV - 1 MeV and 40 keV - 20 MeV bands respectively. We place a 90% upper limit of 2×10^{-7} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$ in the 1 - 100 GeV band where CAL reaches 15% of the integrated LIGO probability (~1.1 sr). The CGBM 7 σ upper limits are 1.0×10^{-6} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$ (7-500 keV) and 1.8×10^{-6} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$ (50-1000 keV) for one second exposure. Those upper limits correspond to the luminosity of $3-5 \times 10^{49}$ erg s $^{-1}$ which is significantly lower than typical short GRBs.

CGBM light curve at a moment of the GW151226 event

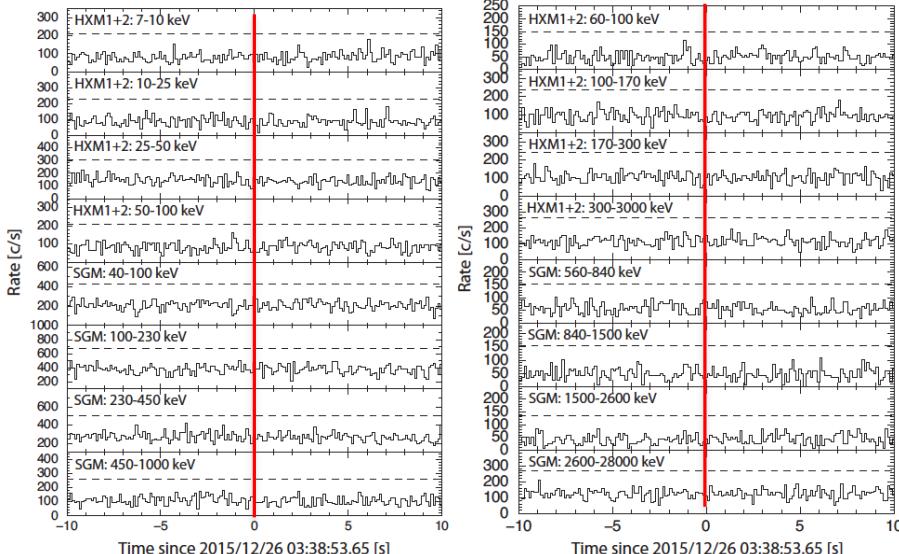


Figure 1. The CGBM light curves in 0.125 s time resolution for the high-gain data (left) and the low-gain data (right). The time is offset from the LIGO trigger time of GW 151226. The dashed-lines correspond to the 5 σ level from the mean count rate using the data of ± 10 s.

Upper limit for gamma-ray burst monitors and Calorimeter

HXM: 7-500 keV

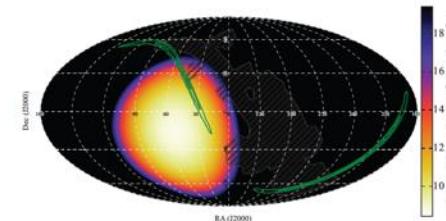


Figure 2. The sky maps of the 7 σ upper limit for HXM (left) and SGM (right). The assumed spectrum for estimating the upper limit is a typical BATSE S-GRBs (see text for details). The energy bands are 7-500 keV for HXM and 50-1000 keV for SGM. The GW 151226 probability map is shown in green contours. The shadow of ISS is shown in black hatches.

Calorimeter: 1-100 GeV

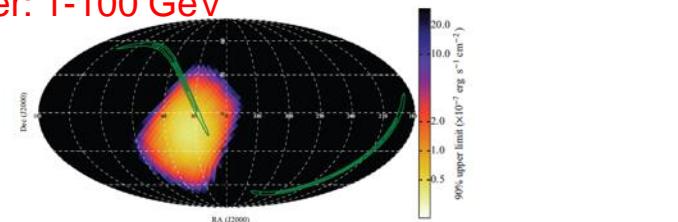


Figure 3. The sky map of the 90% upper limit for CAL in the 1-100 GeV band. A power-law model with a photon index of -1 is used to calculate the upper limit. The GW 151226 probability map is shown in green contours.

under MoU with LVC