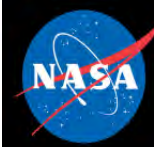
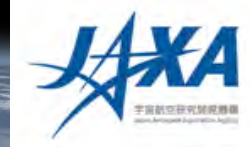
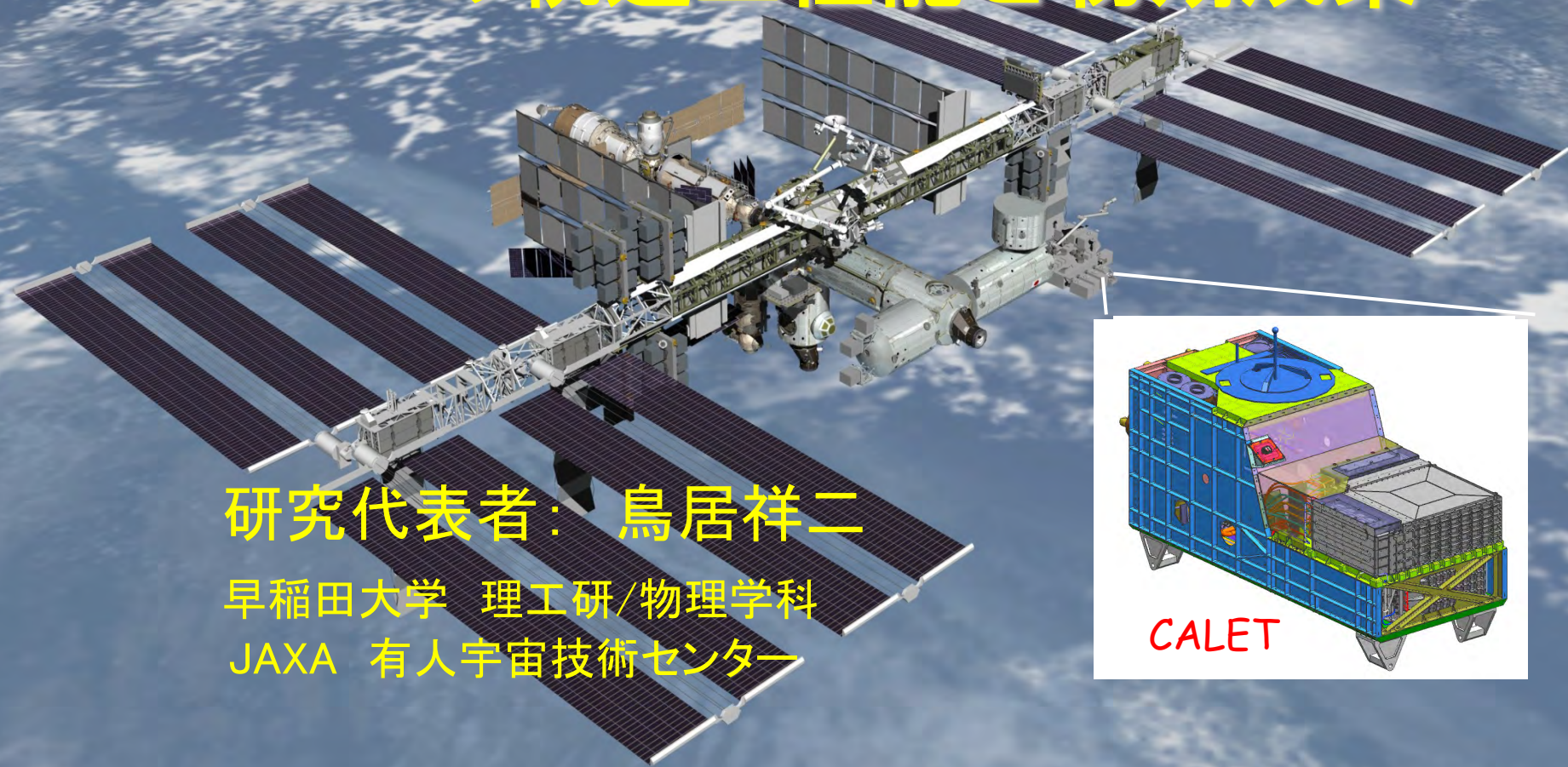




# CALorimetric Electron Telescope



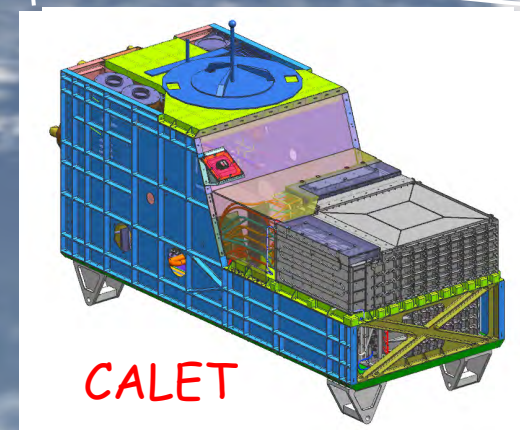
## CALETの軌道上性能と初期成果



研究代表者：鳥居祥二

早稲田大学 理工研/物理学科

JAXA 有人宇宙技術センター





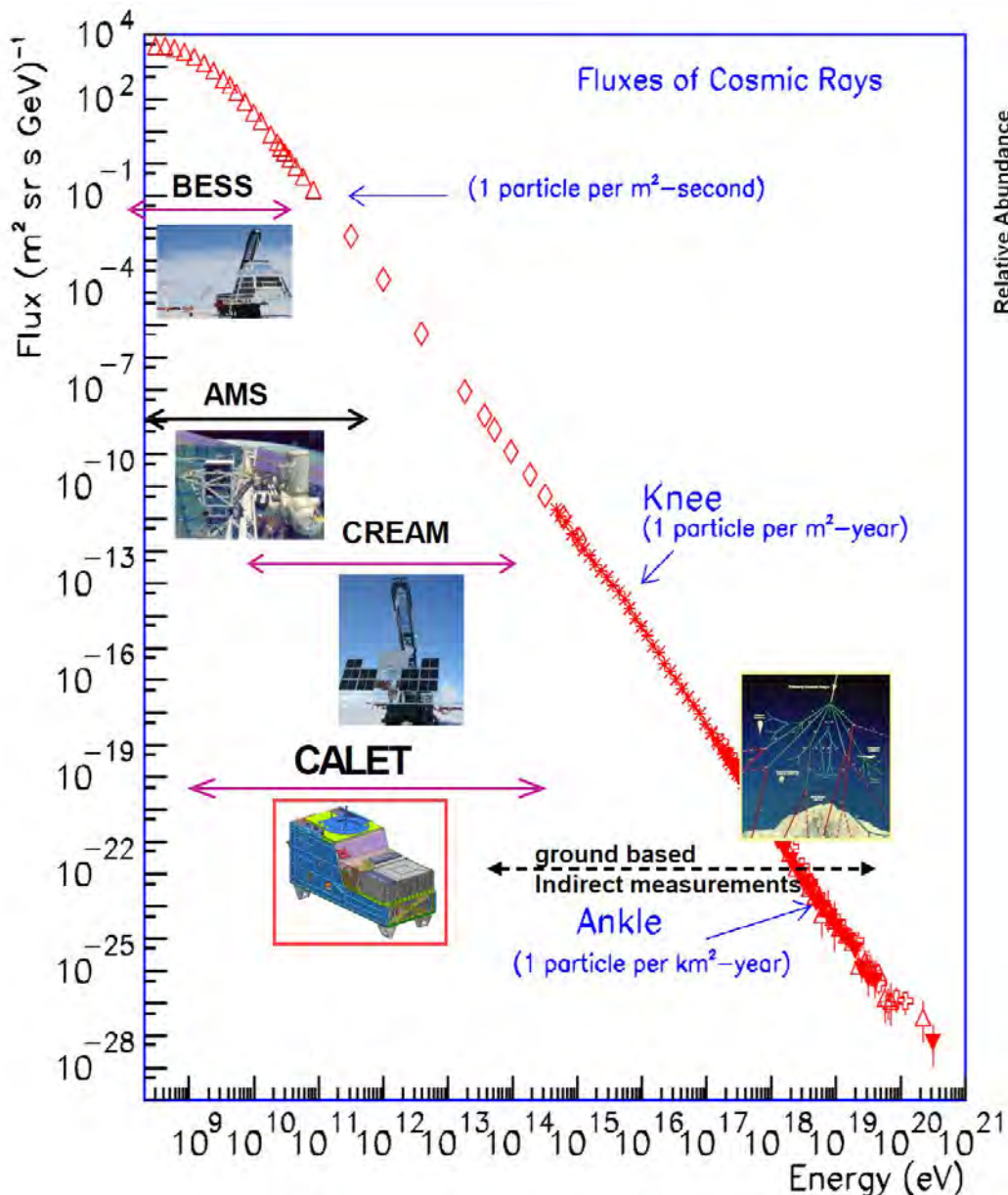
# CALET collaboration team



O. Adriani<sup>25</sup>, Y. Akaike<sup>2</sup>, K. Asano<sup>7</sup>, Y. Asaoka<sup>9,31</sup>, M.G. Bagliesi<sup>29</sup>, G. Bigongiari<sup>29</sup>, W.R. Binns<sup>32</sup>, S. Bonechi<sup>29</sup>, M. Bongi<sup>25</sup>, P. Brogi<sup>29</sup>, J.H. Buckley<sup>32</sup>, N. Cannady<sup>12</sup>, G. Castellini<sup>25</sup>, C. Checchia<sup>26</sup>, M.L. Cherry<sup>12</sup>, G. Collazuol<sup>26</sup>, V. Di Felice<sup>28</sup>, K. Ebisawa<sup>8</sup>, H. Fuke<sup>8</sup>, G.A. de Nolfo<sup>14</sup>, T.G. Guzik<sup>12</sup>, T. Hams<sup>3</sup>, M. Hareyama<sup>23</sup>, N. Hasebe<sup>31</sup>, K. Hibino<sup>10</sup>, M. Ichimura<sup>4</sup>, K. Ioka<sup>34</sup>, W. Ishizaki<sup>7</sup>, M.H. Israel<sup>32</sup>, A. Javid<sup>12</sup>, K. Kasahara<sup>31</sup>, J. Kataoka<sup>31</sup>, R. Kataoka<sup>16</sup>, Y. Katayose<sup>33</sup>, C. Kato<sup>22</sup>, Y. Kawakubo<sup>1</sup>, N. Kawanaka<sup>30</sup>, H. Kitamura<sup>15</sup>, H.S. Krawczynski<sup>32</sup>, J.F. Krizmanic<sup>2</sup>, S. Kuramata<sup>4</sup>, T. Lomtadze<sup>27</sup>, P. Maestro<sup>29</sup>, P.S. Marrocchesi<sup>29</sup>, A.M. Messineo<sup>27</sup>, J.W. Mitchell<sup>14</sup>, S. Miyake<sup>5</sup>, K. Mizutani<sup>20</sup>, A.A. Moiseev<sup>3</sup>, K. Mori<sup>9,31</sup>, M. Mori<sup>19</sup>, N. Mori<sup>25</sup>, H.M. Motz<sup>31</sup>, K. Munakata<sup>22</sup>, H. Murakami<sup>31</sup>, Y.E. Nakagawa<sup>8</sup>, S. Nakahira<sup>9</sup>, J. Nishimura<sup>8</sup>, S. Okuno<sup>10</sup>, J.F. Ormes<sup>24</sup>, S. Ozawa<sup>31</sup>, L. Pacini<sup>25</sup>, F. Palma<sup>28</sup>, P. Papini<sup>25</sup>, A.V. Penacchioni<sup>29</sup>, B.F. Rauch<sup>32</sup>, S.B. Ricciarini<sup>25</sup>, K. Sakai<sup>3</sup>, T. Sakamoto<sup>1</sup>, M. Sasaki<sup>3</sup>, Y. Shimizu<sup>10</sup>, A. Shiomi<sup>17</sup>, R. Sparvoli<sup>28</sup>, P. Spillantini<sup>25</sup>, F. Stolzi<sup>29</sup>, I. Takahashi<sup>11</sup>, M. Takayanagi<sup>8</sup>, M. Takita<sup>7</sup>, T. Tamura<sup>10</sup>, N. Tateyama<sup>10</sup>, T. Terasawa<sup>7</sup>, H. Tomida<sup>8</sup>, S. Torii<sup>9,31</sup>, Y. Tunesada<sup>18</sup>, Y. Uchihori<sup>15</sup>, S. Ueno<sup>8</sup>, E. Vannuccini<sup>25</sup>, J.P. Wefel<sup>12</sup>, K. Yamaoka<sup>13</sup>, S. Yanagita<sup>6</sup>, A. Yoshida<sup>1</sup>, K. Yoshida<sup>21</sup>, and T. Yuda<sup>7</sup>



# CALETによる宇宙線観測



- 宇宙空間における最も高いエネルギー領域での宇宙線直接測定
- 国際宇宙ステーションにおける大型装置による5年間の長期観測により、世界最高レベルの宇宙線観測を実施
- 高精度な位置分解能と非常に厚いカロリメータ ( $30 X_0$ ) により、高エネルギー領域での観測を実施
- 電子観測に最適化することにより、1GeV-20 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10GeV-1PeVの領域で実施
  - ⇒ 宇宙線加速・伝播機構の解明
- 安定的運用により突発現象の観測
  - ⇒ REP, 重力波の同時観測



# CALET はISSに向けて打上げられました！



- ① 8月19日: JAXA種子島宇宙センターから、20時50分49秒にH2-BロケットによってCALETを搭載したこのとり5号機(HTV-5)が、国際宇宙ステーションに向けて打上げられました。



- ② 8月24日: HTV-5が国際宇宙ステーションのロボットアームにより把持されました。



- ③ その後: HTV-5が国際宇宙ステーションにドッキングしました。



- ④ 8月25日: CALETが日本実験棟船外実験プラットフォームのNo.9ポートに設置され、装置の稼働が始められました。





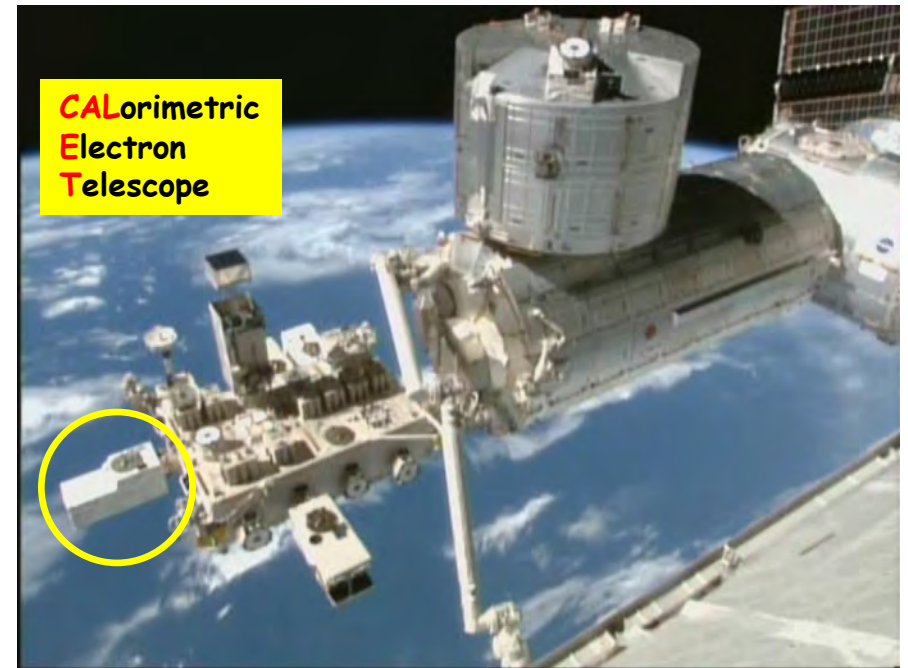
# CALETによる科学観測

## カロリメータ (CALET/CAL)

- 電子: 1 GeV – 20 TeV
- ガンマ線: 1 GeV – 10 TeV  
(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 : 7 keV – 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

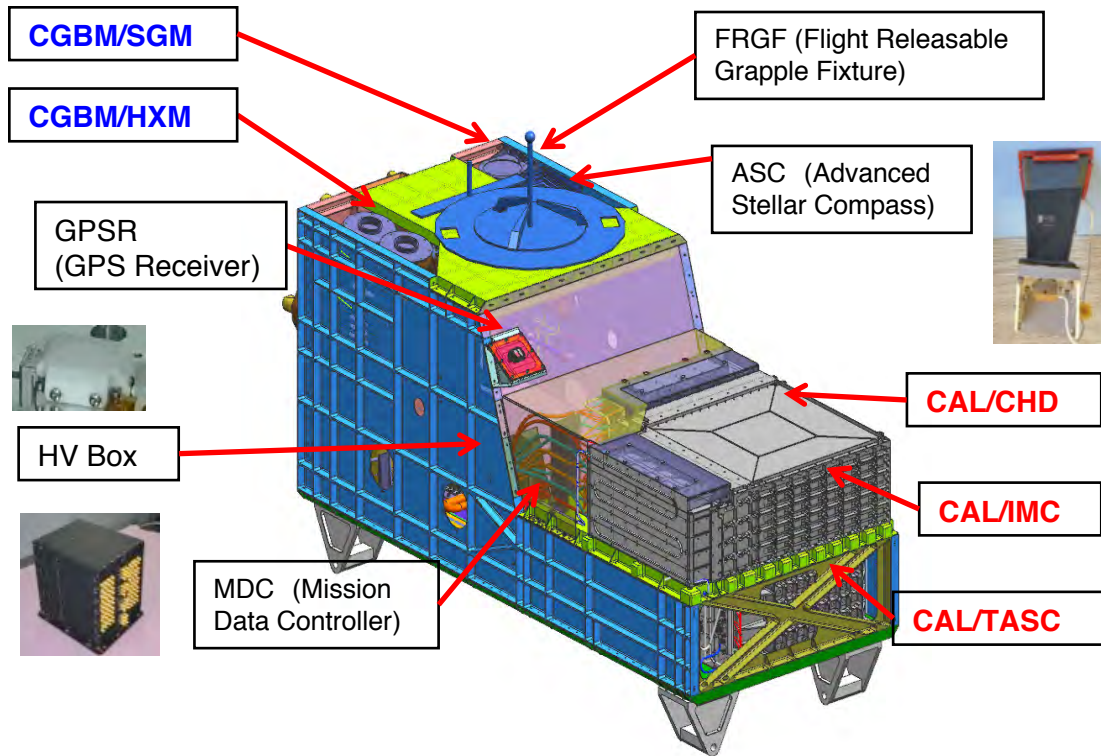
低エネルギー(<10GeV)電子フラックスの長・短期変動

ガンマ線バーストの研究

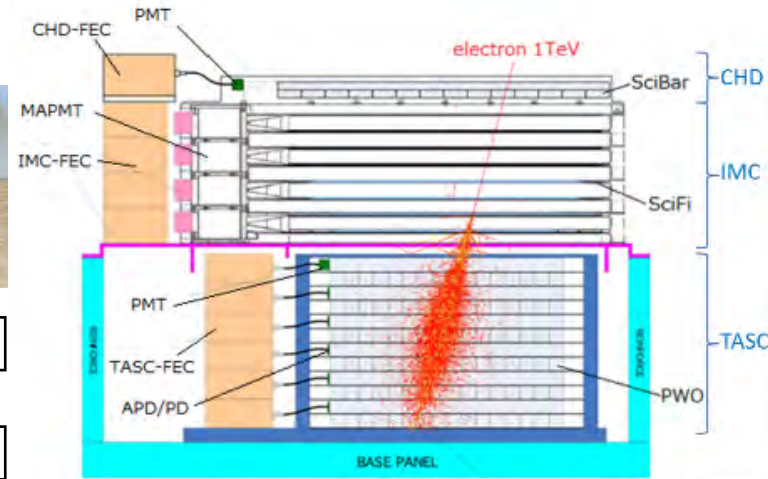
7 keV – 20 MeV領域でのX線・ガンマ線のバースト現象



# CALET観測システムの概要



## CALORIMETER (CHD/IMC/TASC)



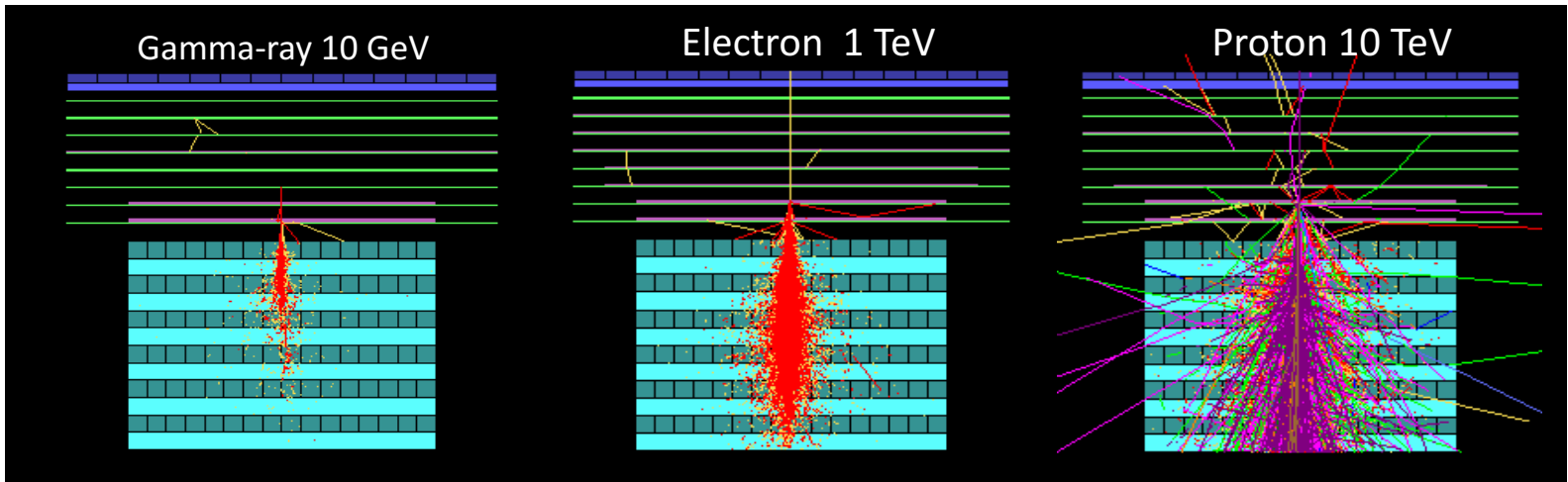
## CGBM (CALET Gamma-ray Burst Monitor)

P010 吉田篤正  
他CALETチーム  
CGBM観測の現状

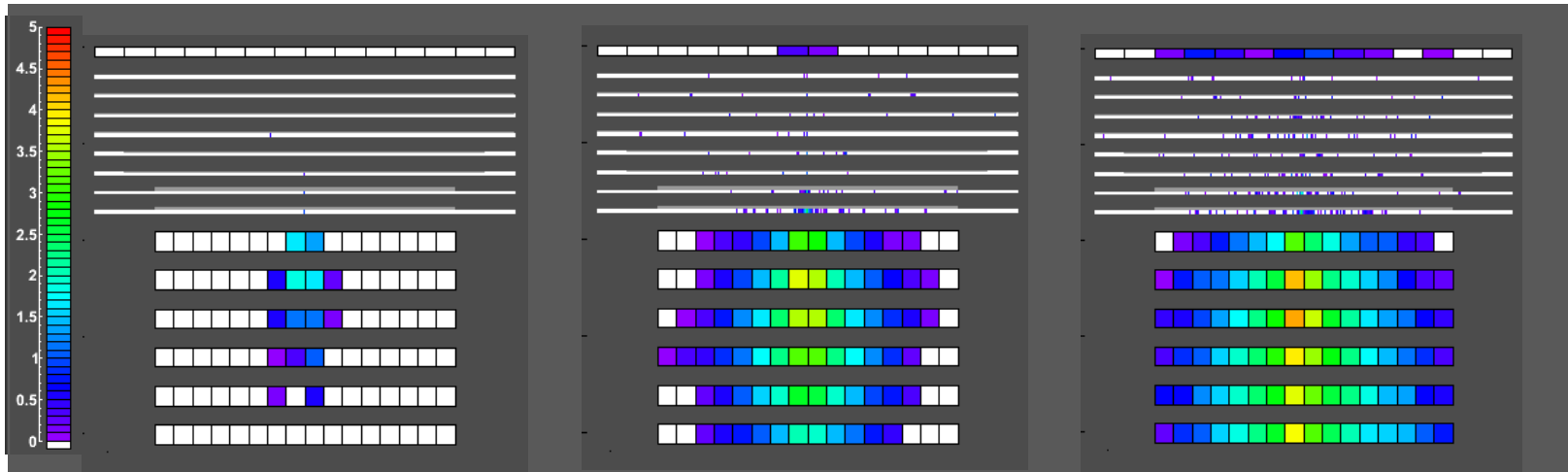


- **質量:** 612.8 kg
- JEM 標準ペイロードサイズ  
1850mm(L) × 800mm(W) × 1000mm(H)
- **消費電力:** 507 W(max)
- **通信速度:**  
中速系 600 kbps (6.5GB/day) 最大: 1 Mbps  
低速系 50 kbps

# シミュレーション計算による粒子識別の概念



In Detector Space

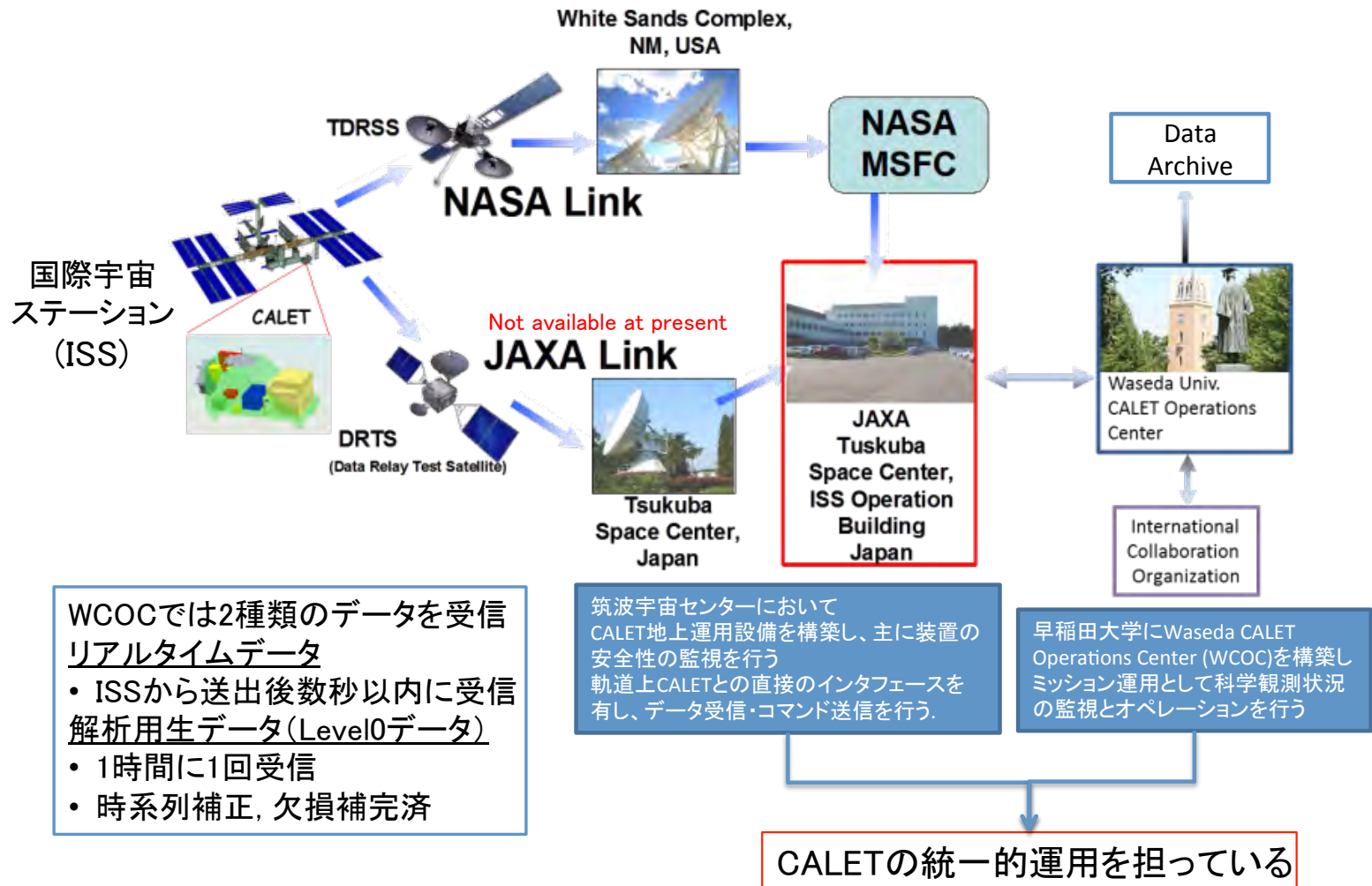


- ⊗ 非常に厚い(30 r.l) カロリメータ(IMC+TASC)によるシャワー画像の可視化技術により、電子選別に必要な陽子除去性能( $\sim 10^5$ @ TeV)を実現している。
- ⊗ CHDにより入射粒子の電荷測定をp-Feの領域で $\sigma_Z=0.15-0.3$ の精度で達成している。



# CALETサイエンス運用システム

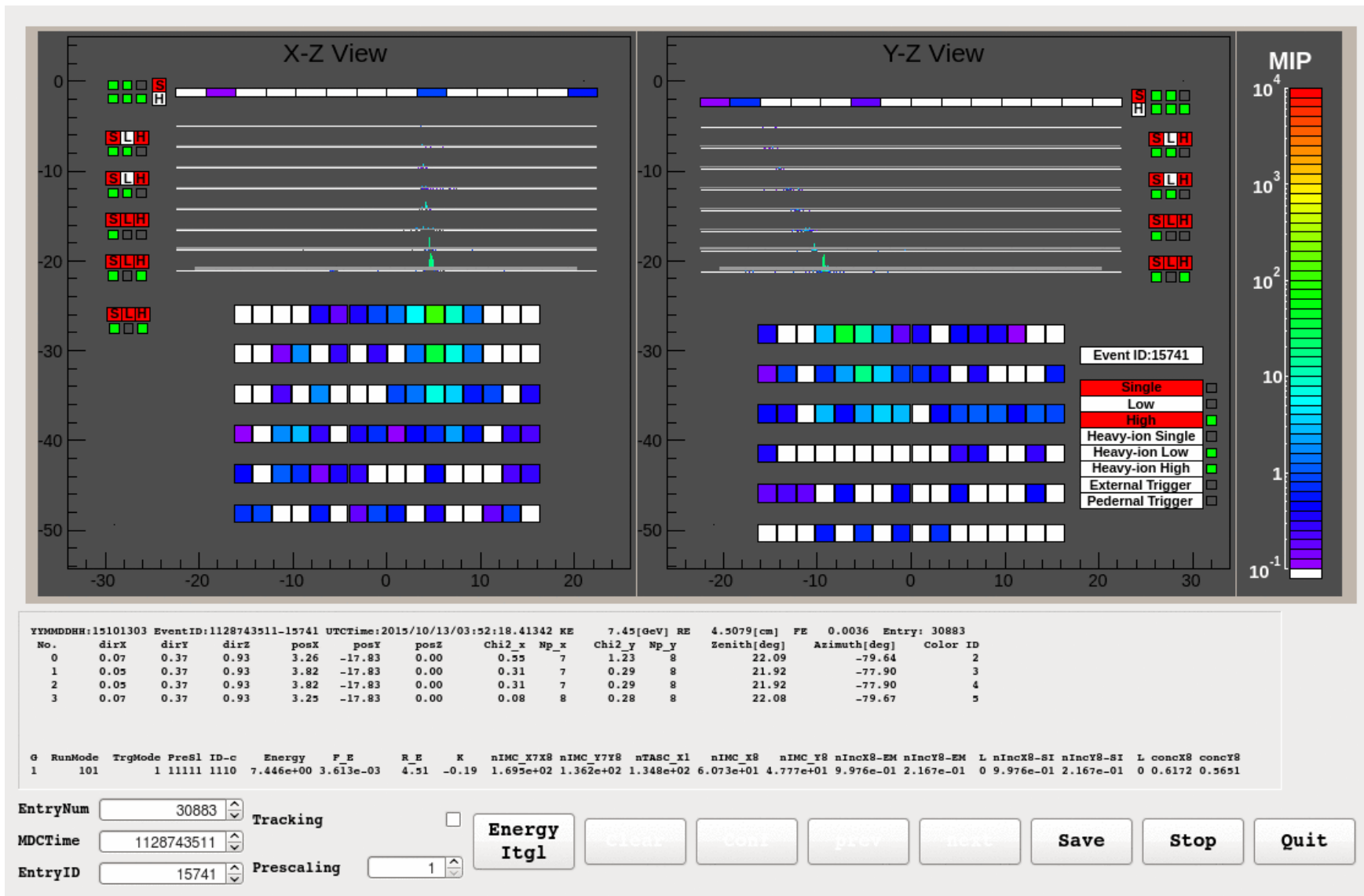
NASAリンクの低速・中速系によりリアルタイムデータ及び欠損補完データ(Level0)のWaseda CALET Operations Center (WCOC) での正常に受信している。







# 高エネルギー電子のリアルタイムデータ画像



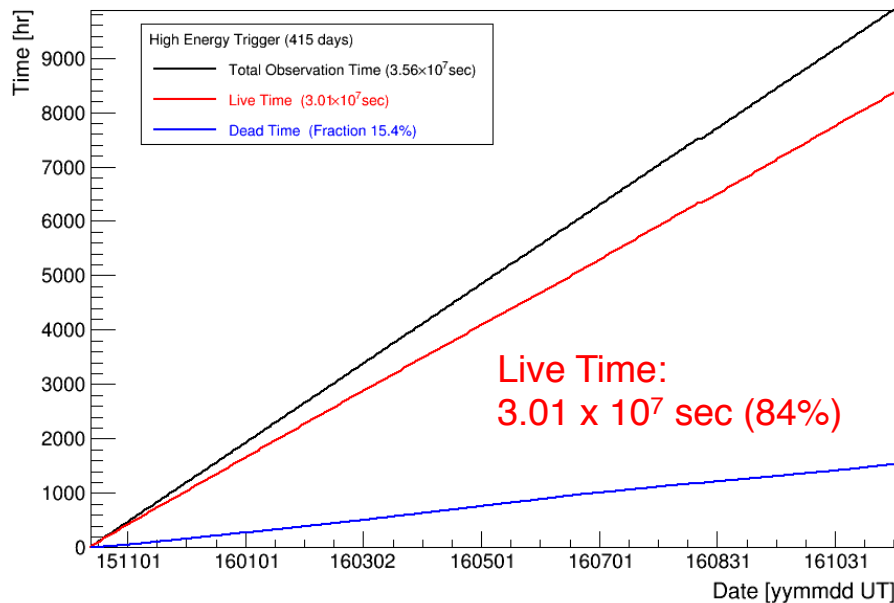


# Observation by High Energy Trigger

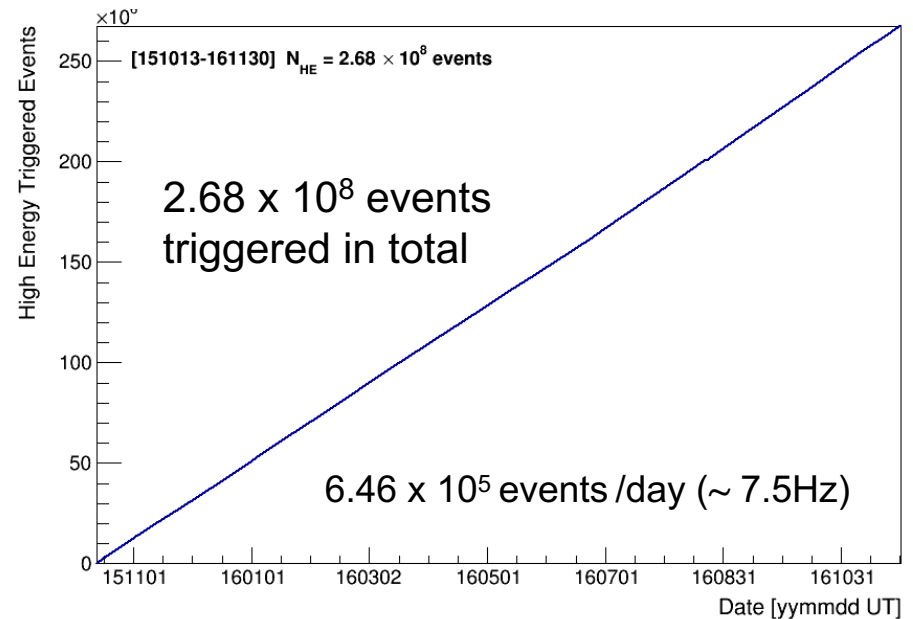
Observation by High Energy Trigger for 415 days :  
Oct. 13, 2015 - Nov.30, 2016

- The exposure,  $S\Omega T$ , has reached to  $\sim 36.1 \text{ m}^2 \text{ sr day}$  by continuous observation.
- Total number of the triggered events is  $\sim 270$  million with a live time of 84 %.

Accumulated observation time (live, dead)



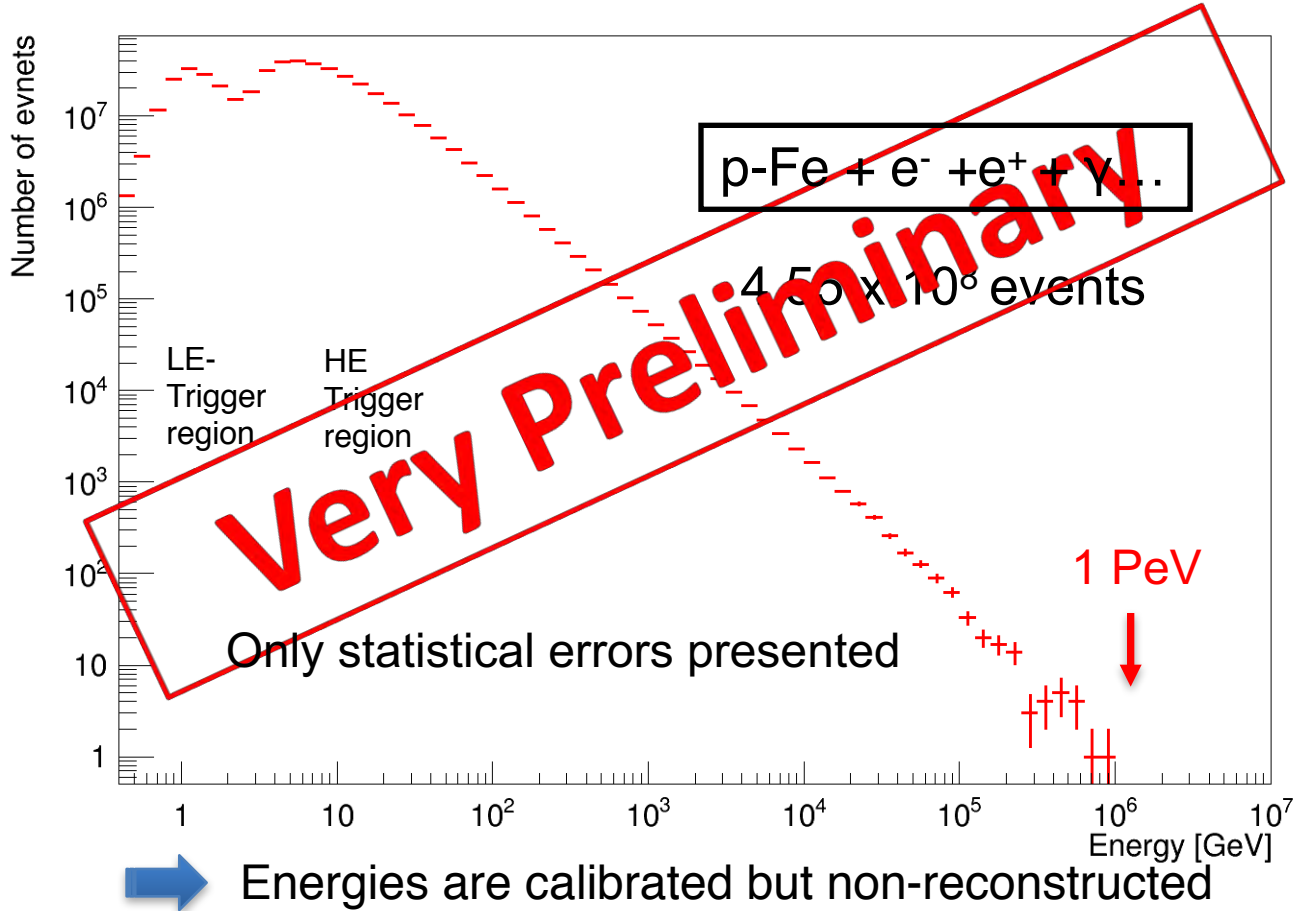
Accumulated triggered event number





# Energy Deposit Distribution of All Triggered-Events by Observation for 415 days

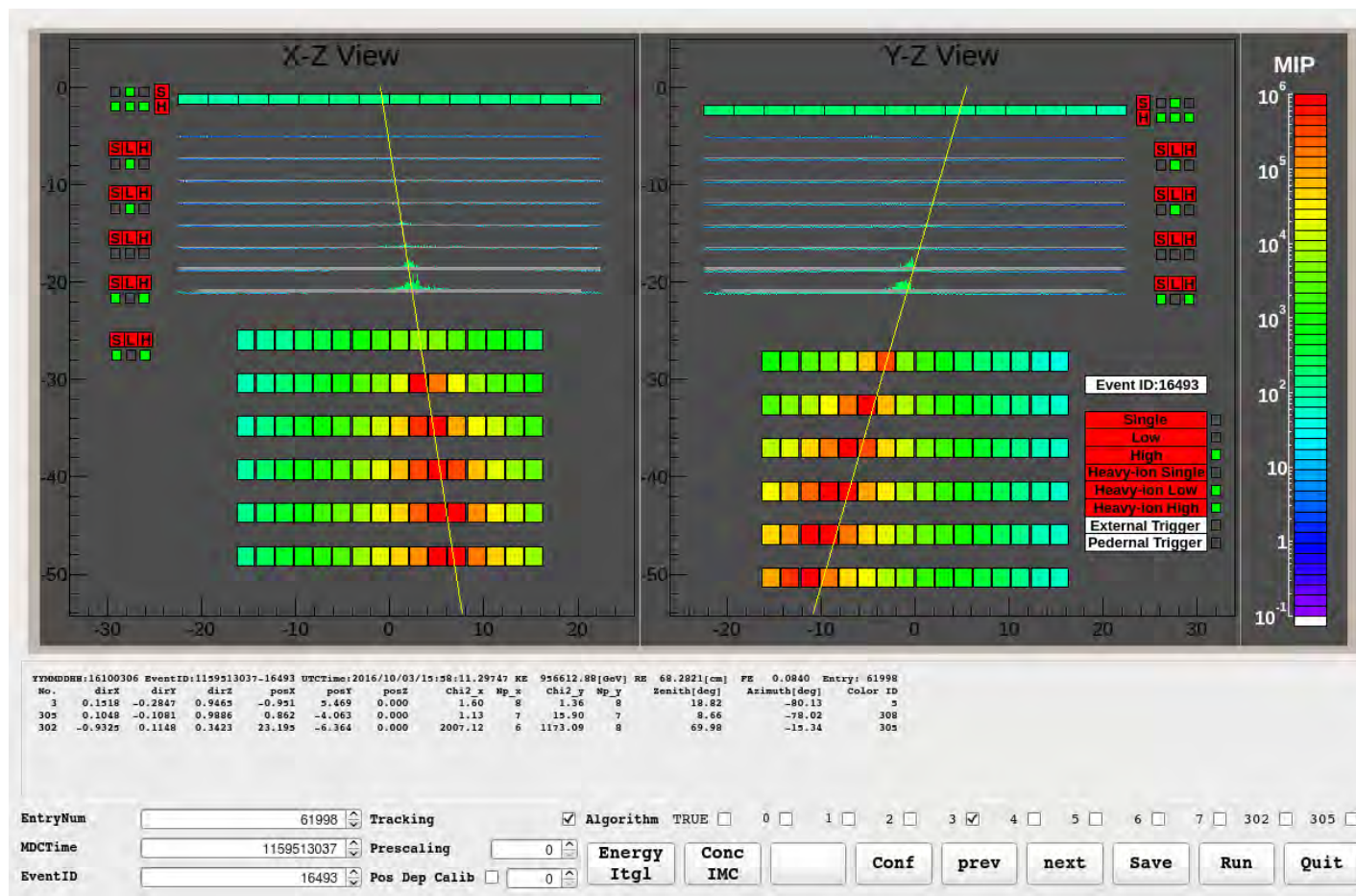
Distribution of deposit energies in TASC observed in 2015.10.13—2016.11.30



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

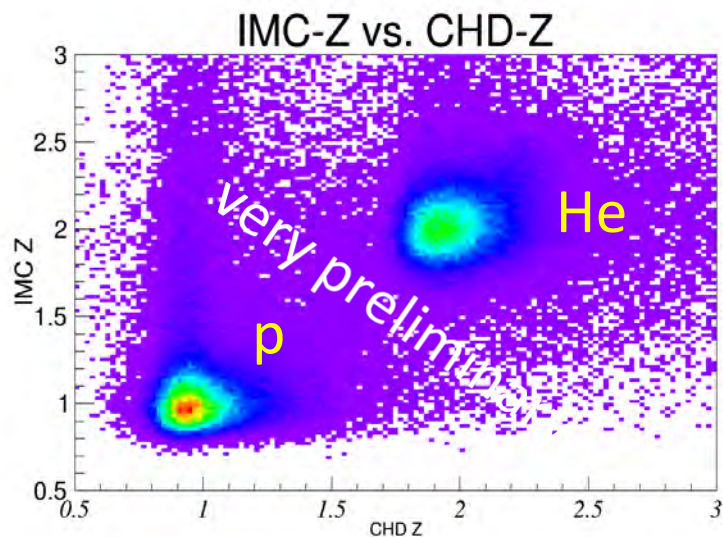
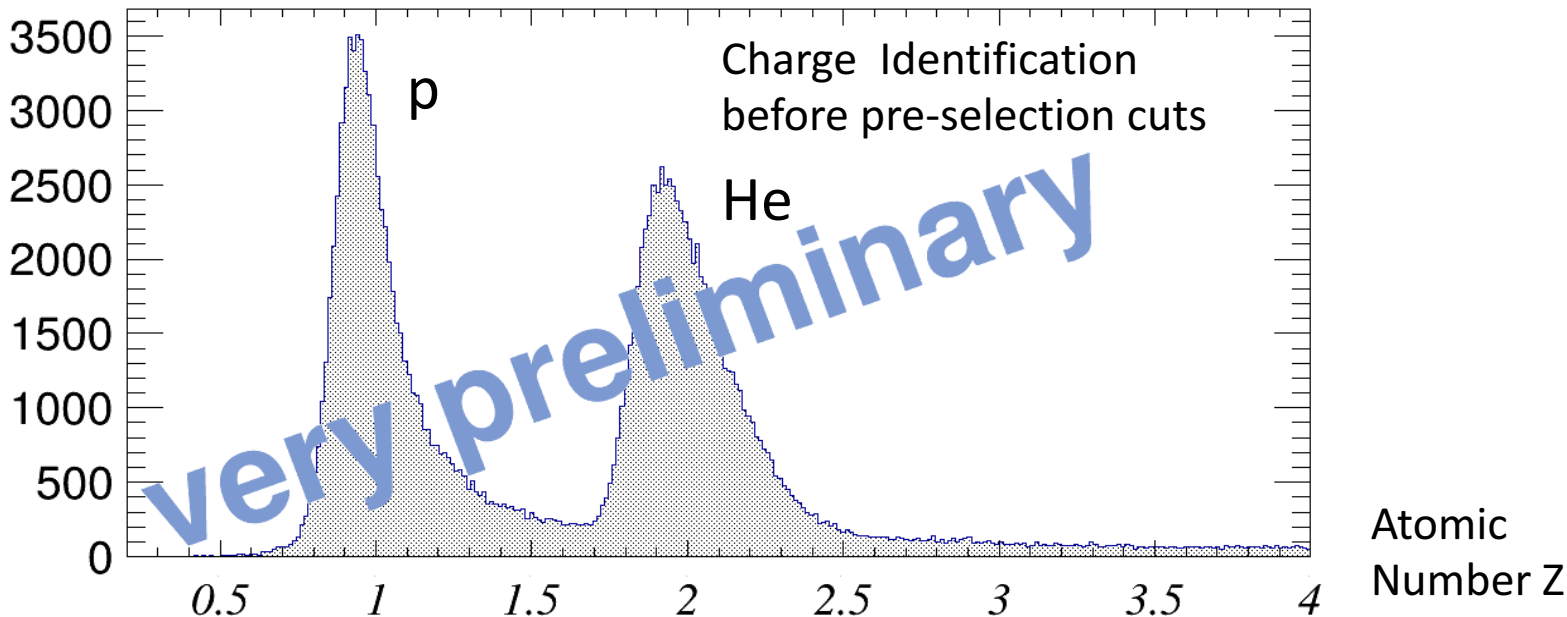
Color Map Range: Maximum =  $10^6$  MIP, Minimum = 0.1 MIP





# Preliminary Nuclei Measurements – p , He –

data selection is NOT representative of elemental abundances



Using multiple  $dE/dx$  measurements from the IMC in/IIa/ng fibers (upstream the interaction point), a complementary charge measurement from IMC is plotted vs the CHD charge assignment (abscissa).

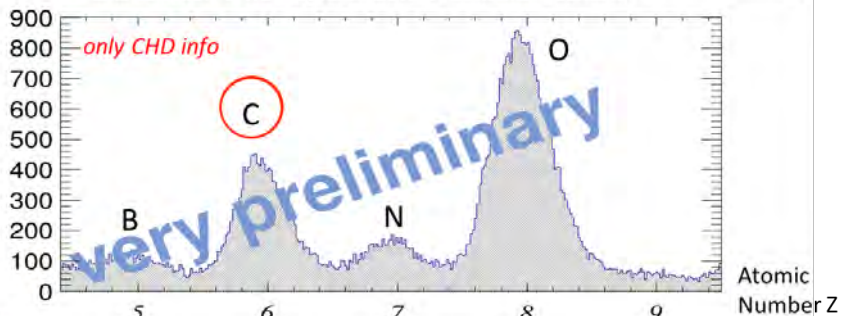
A clear separation between p and He can be seen from preliminary data analysis.



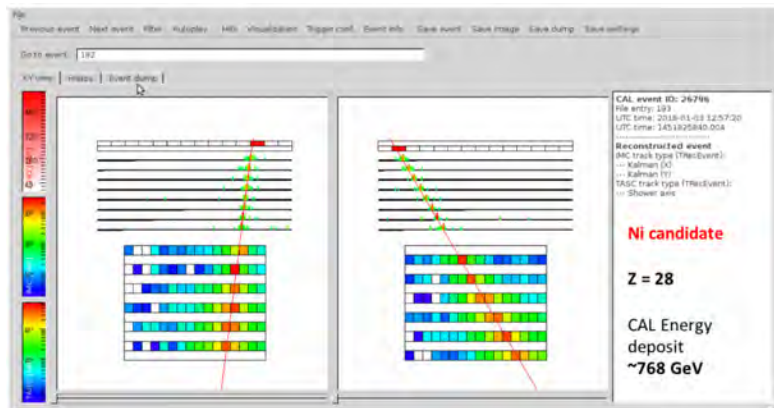
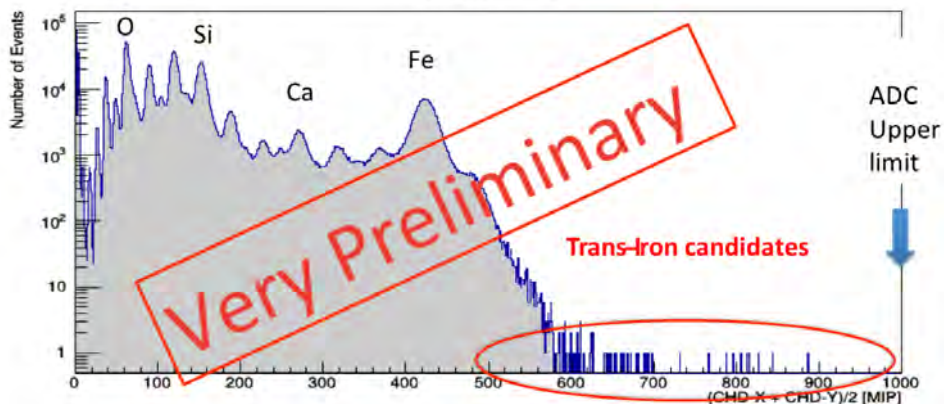
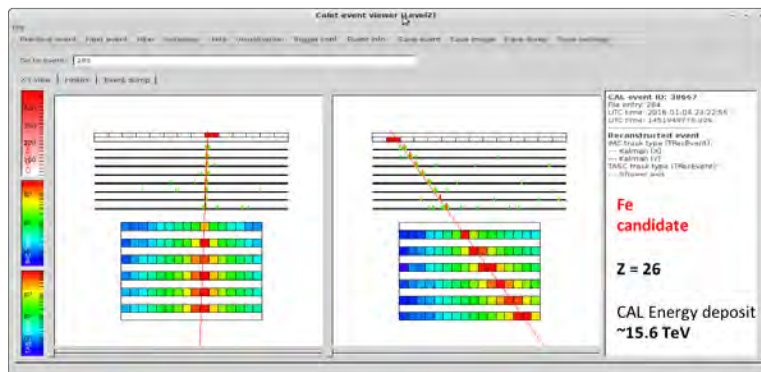
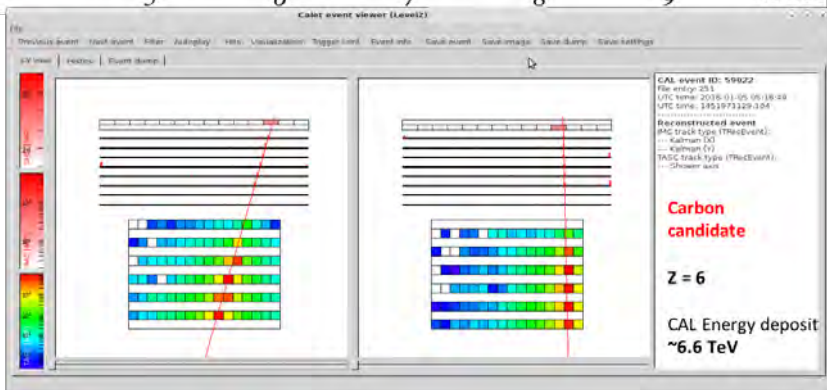
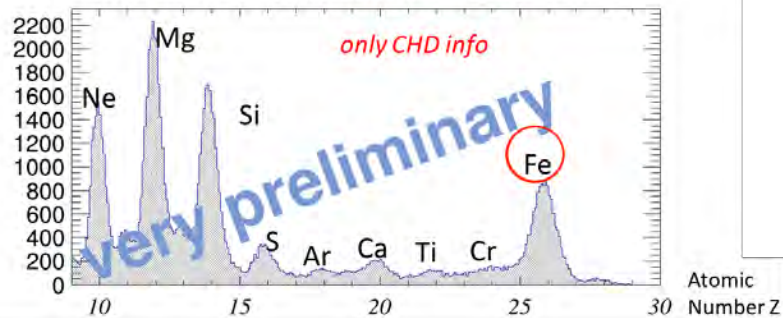
# Preliminary Nuclei Measurements – Z = 3 ~ 40 –

## Charge Identification after pre-selection cuts

data selection is NOT representative of elemental abundances



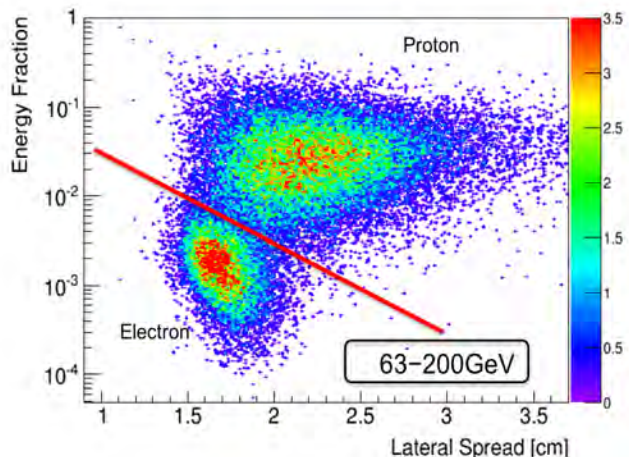
data selection is NOT representative of elemental abundances



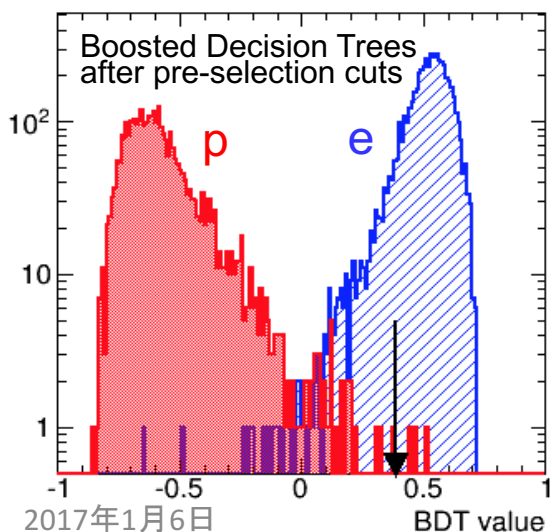


# Differential Energy Distribution of the **Electron-Candidates** in 10-1000 GeV by observation for 415 days

**Observation:** e/p separation after pre-selection cuts



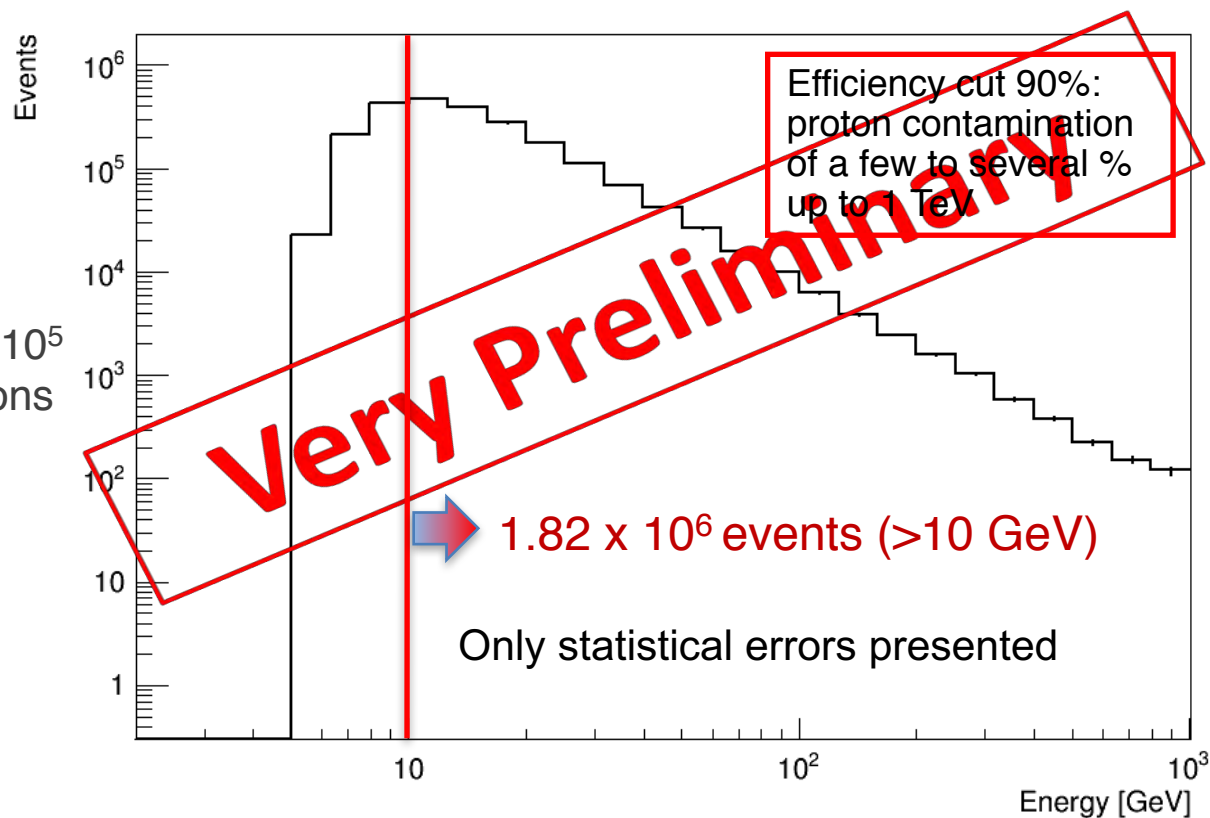
**Simulation:** e/p at 1TeV  $\sim 1.3 \times 10^5$  with  $\sim 90\%$  efficiency for electrons



2017年1月6日

BDT value

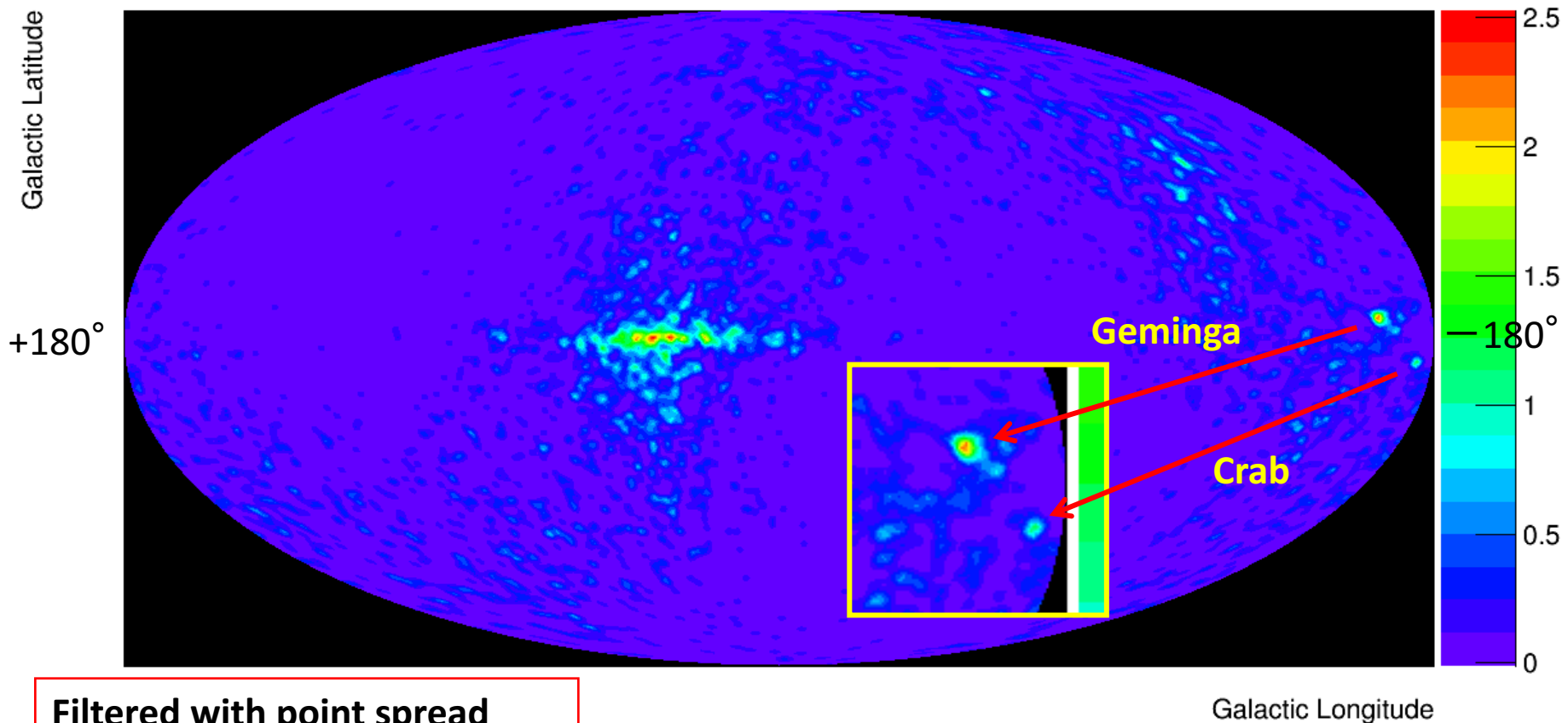
Differential energy distribution reconstructed by using **the electron candidate events** observed in 2015.10.13–2016.11.30



➡ Energies are reconstructed after the calibrations.

# Diffuse Gamma-Ray Observation

- Purpose: Sensitivity validation & BG estimation
- Data set: from 151013 to 160531 (232 days)
- Observation Mode: Low Energy Gamma-Ray Trigger



Filtered with point spread functions to see point sources

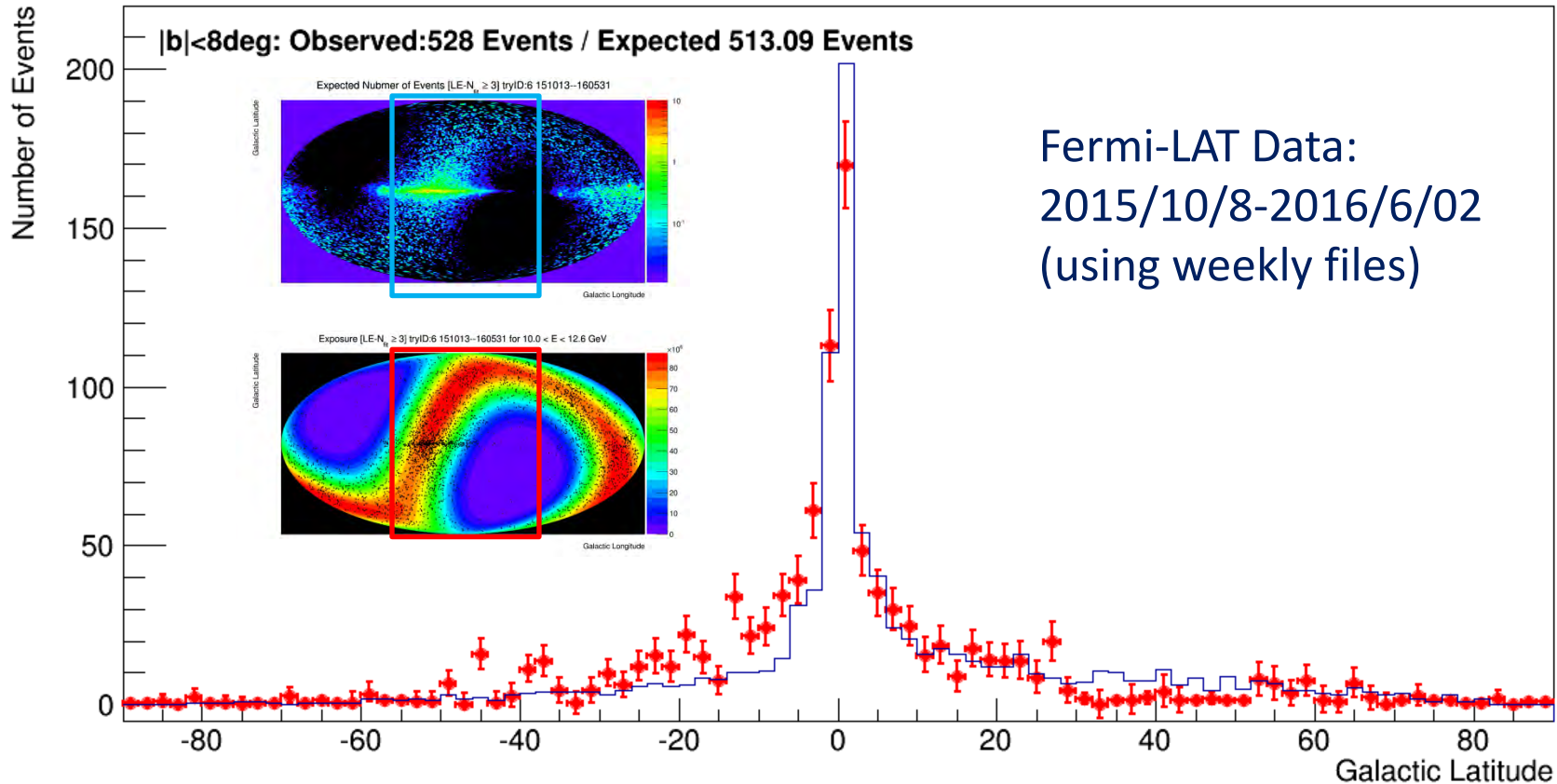
**Geminga and Crab are clearly identified.**



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

## And comparison with Fermi-LAT's observation

Galactic Emission [ $LE-N_{\text{fit}} \geq 3$ ] tryID:6 151013--160531 ( $|| < 80\text{deg}$ )



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

# 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

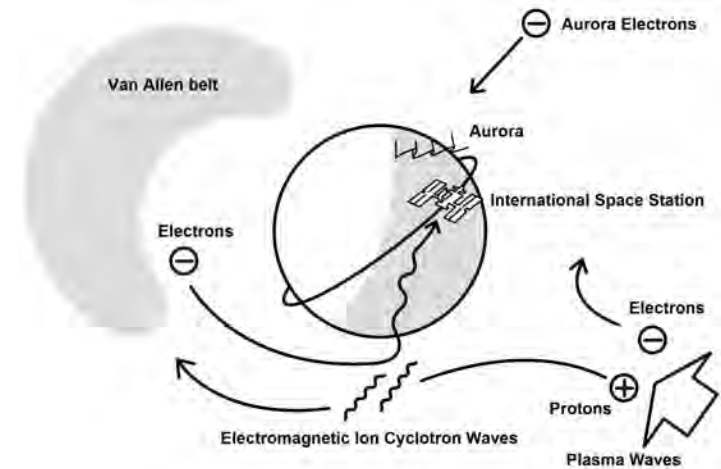
Ryuhō Kataoka<sup>1,2</sup>, Yoichi Asaoka<sup>3</sup>, Shoji Torii<sup>3,4</sup>, Toshio Terasawa<sup>5</sup>, Shunsuke Ozawa<sup>4</sup>, Tadahisa Tamura<sup>6</sup>, Yuki Shimizu<sup>6</sup>, Yosui Akaike<sup>4</sup>, and Masaki Mori<sup>7</sup>

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

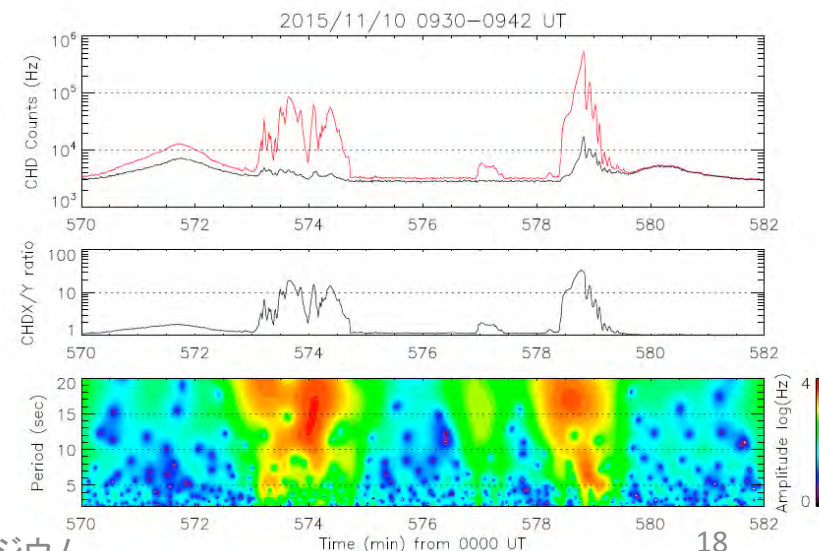
**Abstract** The charge detector (CHD) of the Calorimetric Electron Telescope (CALET) on board the International Space Station (ISS) has a huge geometric factor for detecting MeV electrons and is sensitive to relativistic electron precipitation (REP) events. During the first 4 months, CALET CHD observed 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  $2 \times 10^{-7}$  erg cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> in the 1 - 100 GeV band where CAL reaches 15% of the integrated LIGO probability ( $\sim 1.1$  sr). The CGBM 7  $\sigma$  upper limits are  $1.0 \times 10^{-6}$  erg cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (7-500 keV) and  $1.8 \times 10^{-6}$  erg cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (50-1000 keV) for one second exposure. Those upper limits correspond to the luminosity of  $3-5 \times 10^{49}$  erg s<sup>-1</sup> which is significantly lower than typical short GRBs.

## CGBM light curve at a moment of the GW151226 event

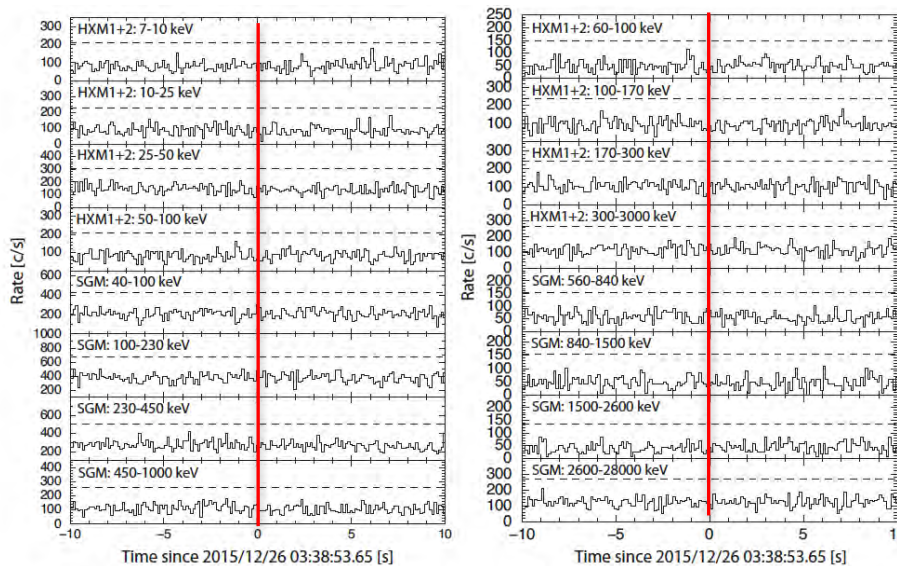


Figure 1. The CGBM light curves in 0.125 s time resolution for the high-gain data (left) and the low-gain data (right). The time is offset from the LIGO trigger time of GW 151226. The dashed-lines correspond to the 5  $\sigma$  level from the mean count rate using the data of  $\pm 10$  s.

## Upper limit for gamma-ray burst monitors and Calorimeter

HXM: 7-500 keV

SGM: 50-1000 keV

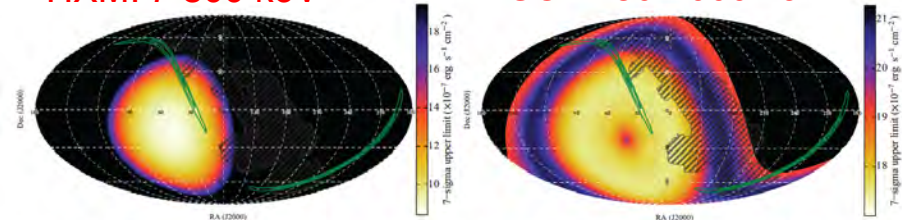


Figure 2. The sky maps of the 7  $\sigma$  upper limit for HXM (left) and SGM (right). The assumed spectrum for estimating the upper limit is a typical BATSE S-GRBs (see text for details). The energy bands are 7-500 keV for HXM and 50-1000 keV for SGM. The GW 151226 probability map is shown in green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

Calorimeter: 1-100 GeV

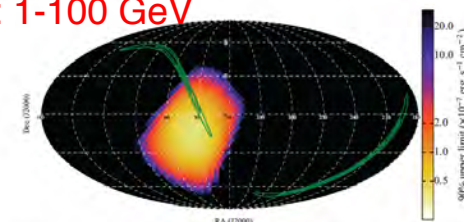


Figure 3. The sky map of the 90% upper limit for CAL in the 1-100 GeV band. A power-law model with a photon index of  $-2$  is used to calculate the upper limit. The GW 151226 probability map is shown in green contours.



# 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データ送受信を24時間体制で実施しており、ガンマ線バースト(49events)をふくむ軌道上運用が24時間体制で実施されている。今後は、2年間の観測後にフルサクセスの成功基準達成審査をうけ、その成果により5年間の観測を実現する予定である。
- 現在までに、すでにRelativistic Electron Participatin (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、本年度内に初期成果の公表を予定している。

# ポスター発表

- P008 浅岡揚一 他CALETチーム  
CALETにおけるガンマ線観測の初期成果
- P009 小宮優馬 他CALETチーム  
CALETの軌道上データにエネルギー測定性能評価
- P010 吉田篤正 他CALETチーム  
CGBM観測の現状
- P011 H. Motz 他  
Searching for Cosmic Ray Anisotropy from the Vela SNR with CALET