

## CALorimetric Electron Telescope



# CALETONII <u>İ LEKEV</u>UUR

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



S4-002

第17回宇宙科学シンポジウム@宇宙科学研究所

2017.1.6



## **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 Nalfo<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. Javaid<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





## CALET はISSに向けて打上げられました!





 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を搭載したこう 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。



②8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。

④8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 始まりました。





第17回宇宙科学シンポジウム

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。



## 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
- ・ カンマ線. 「Gev = 10 lev (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









## シミュレーション計算による粒子識別の概念



◆ 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(~10<sup>5</sup>@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σz=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。



2017年1月6日

CALETのデータフローとサイエンス運用概念



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 for 415 days: Oct. 13, 2015 - Nov.30, 2016
The exposure, SΩT, has reached to ~36.1 m<sup>2</sup> sr day by continuous observation.
Total number of the triggered events is ~ 270 million with a live time of 84 %.





## 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



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

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









sing multiple dE/dx measurements from the IMC sin/lla/ng fibers (upstream the interaction point), a somplementary charge measurement from IMC is oted vs the CHD charge assignment (abscissa).

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



## Preliminary Nuclei Measurements $-Z = 3 \sim 40 - 2$

### Charge Identification after pre-selection cuts







Toper cord. Swettinh.

CAL event ID: 26796 Ve entry: 193 ITC time: 2018-01-03 12:57/20 ITC time: 1451825840.008

econstruited even econstructed event AC track type (TracEvent) - Kalman (K) - Kalman (K) ASC track type (TracEvent) - Shower ares

Ni candidate

CAL Energy deposit

~768 GeV

Z = 28



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



## **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.

第17回宇宙科学シンポジウム

2017年1月6日

Galactic Latitude

Galactic Longitude

## Projection to Galactic Latitude (|||<80deg)

### And comparison with Fermi-LAT's observation

Galactic Emission [LE-N<sub>ft</sub>  $\ge$  3] tryID:6 151013--160531 (|I)<80deg)



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

Ryuho 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 (~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



## 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.



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.

under MoU with LVC

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 ±10 s.



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CALEチーム CGBM観測の現状

P011 H. Motz 他 Searching for Cosmic Ray Anisotropy from the Vela SNR with CALET