

# CALETプロジェクト: 「きぼう」曝露部における シマ線観測 高エネルギーモロ線



理







研究代表者



第14回宇宙科学シンポジウム@宇宙科学研究所



#### as of 2013.7

# CALET Collaboration

O. Adriani<sup>19</sup>, Y. Akaike<sup>3</sup>, Y. Asaoka<sup>23</sup>, K. Asano<sup>3</sup>, M.G. Bagliesi<sup>22</sup>, G. Bigongiari<sup>22</sup>, W.R. Binns<sup>24</sup>, M. Bongi<sup>19</sup>, J.H. Buckley<sup>24</sup>, G. Castellini<sup>19</sup>, M.L. Cherry<sup>9</sup>, G. Collazuol<sup>26</sup>, K. Ebisawa<sup>5</sup>, V. Di Felice<sup>21</sup>, H. Fuke<sup>5</sup>, A. Gherardi<sup>19</sup>, T.G. Guzik<sup>9</sup>, T. Hams<sup>30</sup>, N. Hasebe<sup>23</sup>, M. Hareyama<sup>5</sup>, K. Hibino<sup>7</sup>, M. Ichimura<sup>2</sup>, K. Ioka<sup>8</sup>, M.H. Israel<sup>24</sup>, A. Javaid<sup>9</sup>, E. Kamioka<sup>15</sup>, K. Kasahara<sup>23</sup>, Y. Katayose<sup>4,25</sup>, J. Kataoka<sup>23</sup>, R. Kataoka<sup>17</sup>, N. Kawanaka<sup>8</sup>, M.Y. Kim<sup>22</sup>, H. Kitamura<sup>11</sup>, Y. Komori<sup>6</sup>, T. Kotani<sup>23</sup>, H.S. Krawczynski<sup>24</sup>, J.F. Krizmanic<sup>31</sup>, A. Kubota<sup>15</sup>, S. Kuramata<sup>2</sup>, T. Lomtadze<sup>20</sup>, P. Maestro<sup>22</sup>, L. Marcelli<sup>21</sup>, P.S. Marrocchesi<sup>22</sup>, V. Millucci<sup>22</sup>, J.W. Mitchell<sup>10</sup>, S. Miyake<sup>28</sup>, K. Mizutani<sup>14</sup>, A.A. Moiseev<sup>30</sup>, K. Mori<sup>5,23</sup>, M. Mori<sup>13</sup>, N. Mori<sup>19</sup>, K. Munakata<sup>16</sup>, H. Murakami<sup>23</sup>, Y.E. Nakagawa<sup>5</sup>, S. Nakahira<sup>5</sup>, J. Nishimura<sup>5</sup>, S. Okuno<sup>7</sup>, J.F. Ormes<sup>18</sup>, S. Ozawa<sup>23</sup>, P. Papini<sup>19</sup>, B.F. Rauch<sup>24</sup>, S. Ricciarini<sup>19</sup>, Y. Saito<sup>5</sup>, T. Sakamoto<sup>1</sup>, M. Sasaki<sup>30</sup>, M. Shibata<sup>25</sup>, Y. Shimizu<sup>4</sup>, A. Shiomi<sup>12</sup>, R. Sparvoli<sup>21</sup>, P. Spillantini<sup>19</sup>, M. Takayanagi<sup>5</sup>, M. Takita<sup>3</sup>, T. Tamura<sup>4,7</sup>, N. Tateyama<sup>7</sup>, T. Terasawa<sup>3</sup>, H. Tomida<sup>5</sup>, S. Torii<sup>4,23</sup>, Y. Tunesada<sup>17</sup>, Y. Uchihori<sup>11</sup>, S. Ueno<sup>5</sup>, E. Vannuccini<sup>19</sup>, J.P. Wefel<sup>9</sup>, K. Yamaoka<sup>29</sup>, S. Yanagita<sup>27</sup>, A. Yoshida<sup>1</sup>, K. Yoshida<sup>15</sup>, and T. Yuda<sup>3</sup>

1) Aoyama Gakuin University, Japan 17) Tokyo Technology Institute, Japan 2) Hirosaki University, Japan 18) University of Denver, USA 3) ICRR, University of Tokyo, Japan 19) University of Florence, IFAC (CNR) and INFN, Italy 20) University of Pisa and INFN, Italy 4) JAXA/SEUC, Japan 21) University of Rome Tor Vergata and INFN, Italy 5) JAXA/ISAS, Japan 6) Kanagawa University of Human Services, Japan 22) University of Siena and INFN, Italy 7) Kanagawa University, Japan 23) Waseda University, Japan 24) Washington University-St. Louis, USA 8) KEK Japan 9) Louisiana State University, USA 25) Yokohama National University, Japan 26) University of Padova and INFN, Italy 10) NASA/GSFC, USA 11) National Inst. of Radiological Sciences, Japan 27) Ibaraki University, Japan 12) Nihon University, Japan 28) Tokiwa University, Japan 13) Ritsumeikan University, Japan 29) Nagoya University, Japan 30) CRESST/NASA/GSFC and University of Maryland, USA 14) Saitama University, Japan 15) Shibaura Institute of Technology, Japan 31) CRESST/NASA/GSFC and Universities Space Research Association, USA 16) Shinshu University, Japan

## 宇宙と素粒子の謎にせまる:宇宙粒子線・ガンマ線観測 近年の衛星・観測技術の発展により、宇宙科学観測では電波からガンマ線に いたる殆どすべての波長の電磁波がカバーされ、ニュートリノや電子、陽子・ 原子核といった宇宙から飛来する素粒子(宇宙線と呼ぶ)へと新たな分野が 開拓されつつある。





パルサー



超新星爆発

(AGN)

活動的銀河核

This document is provided by jAXA.



# CALETによる科学観測



### カロリメータ (CALET/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: 30 keV 30 MeV
- 硬X線 : 3keV 3 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	3 keV - 30 MeV領域でのX線・ガンマ線のバースト現象 4
	This document is provided by jAXA



# 高エネルギー 電子(+陽電子)の加速と銀河内伝播





# CALETによる電子(+陽電子)の観測

- TeV領域での直接観測を陽子雑音の十分な除去(残存率~1%)と優れたエネルギー分解能 (<3%)で実施する(世界初)
- ▶ 正確かつ高統計な1GeVからTeV領域までの電子観測を実現する
- ▶ 近傍ソースや暗黒物質の発見に不可欠なスペクトル構造と到来方向の異方性の検出が可能である

Velaから期待される到来方向の異方性

暗黒物質から期待される電子・陽電子の過剰







最近のAMS-02の陽電子・陽電子観測で確認された陽電子比の増大及び全電子スペクトルの結果と矛盾しないモデルによるCALETの観測予測。

超対称性(SUSY)模型における最も軽い 粒子(LSP)の崩壊で期待されるCALETに おける電子+陽電子の観測予測とこれ までの観測結果。



陽電子/電子比の観測結果



This document is provided by jAXA.



## 高エネルギーガンマ線の観測性能

#### Performance for Gamma-ray Detection

Energy Range	4 GeV-10 TeV	
Effective Area	600 cm² (10GeV)	
Field-of-View	2 sr	
Geometrical Factor	1100 cm²sr	
Energy Resolution	3% (10 GeV)	
Angular Resolution	0.35 ° (10GeV)	
Pointing Accuracy	6'	
Point Source Sensitivity	8 x 10 <sup>-9</sup> cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	
Observation Period (planned)	2014-2019 (5 years)	

#### Simulation of Galactic Diffuse Radiation



#### ~25,000 photons are expected per one year



#### Expected flux of diffuse gamma-rays observations in five year





# 陽子、ヘリウムの観測性能



#### CALETの5年間の観測予測(赤丸)

### Energy reach in 5 years:

- > Proton spectrum to  $\approx 900 \text{ TeV}$
- > He spectrum to ≈ 400 TeV/n

## <u>Multi - TeV Region</u>

- Proton and He slopes are different ?
- Single power law or curvature.
- Is there a proton cutoff below 1 PeV?

## Requirements for calorimetry:

- Proton interaction requires >  $0.5 \Lambda_{INT}$
- Energy Measurement at 100 TeV scale requires confinement of the e.m. core of the shower, i.e. > 20 X<sub>0</sub>

	λ <sub>int</sub>	X <sub>0</sub> (nominal incidence)	
CALET	1.5	30	
CREAM	0.5+0.7	20	
AMS-02	0.5	17	



## 重原子核成分とB/C比の観測予測



- Spectra of C,O,Ne,Mg,Si to ≈ 20 TeV/n
- > B/C ratio to ≈ 4 6 TeV/n
- Fe spectrum to ≈ 10 TeV/n

CALET will measure the B/C ratio to over 1 TeV/nucleon and provide an exact value of the energy exponent  $\delta$  within an accuracy of ~0.05



# カロリメータ構成及び性能概要





電子・ガンマ線に対する性能

(1)10<sup>5</sup>を超える陽子事象の除去性能. TeV 領域での電子への混入をパーセントレベルに抑える. (2)2-3%のエネルギー分解能. 詳細なスペクトルの構造を測定できる.

(3) 0.1-0.5°の角度分解能. 高エネルギー電子やガンマ線の異方性を高精度で観測可能.

(4)1200 cm<sup>2</sup>sr の検出器アクセプタンス. ISS での2年間観測でTeV 以上でも精密測定が可能.

(5)入射粒子に対する電荷分解はΔZ=0.15-0.30.





Japanese Experiment Module Exposed Facility as of 2014





## 熱構造モデル (STM)を用いたCERN-SPSビーム実験

#### Charge Detector: CHD



Imaging Calorimeter: IMC



Total Absorption Calorimeter: TASC



September 22, 2013



#### Beam Test Model at CERN SPS H8 Beam Line





#### **Beam Test Results**



### 他ミッション(含む計画)との電子観測における比較表

装置名称 (打ち上げ時期)	観測可能エネル ギー範囲 (ギガ電子ボルト)	エネルギー分解能 (小さいほど高性能)	電子識別能力 (電子が識別できる陽子雑 音の数:大きいほど高性能)	装置構成* (カロリメータの厚さは放射長X <sub>0</sub> で表す: 厚くなるほど高性能)	5年間の観測規模** (装置サイズ:m <sup>2</sup> sr ×観測時間:day)	装置重量 (衛星構体 を含む)
PAMELA (2006)	1-700	5% @200 GeV	10 <sup>5</sup>	マグネットスペクトロメータ (0.43T) + サンプリング型カロリメータ (Si+W: 16 X <sub>0</sub> )	~ 4	470
FERMI/LAT (2008)	20-1,000	5-20 % (20-1000 GeV)	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup> (20-1000GeV) エネルギー依存性大	飛跡検出型カロリメータ (Si+W:1.5X <sub>o</sub> ) +全吸収型カロリメータ (CsI:8.6X <sub>o</sub> )	1500@TeV	7.000
AMS-02 (2011)	~ 2,000 (~800)	~10% @100 GeV	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> 低エネルギーで増加	マグネットスペクトロメータ (0.15T) + サンプリング型カロリメータ ( SciFi + Pb: 17X <sub>o</sub> ) +電荷・速度測定器(TOF+TRD+RICH)	55 (170)	7,000
CALET (2014)	1 - 20,000	~2% (>100 GeV)	~10 <sup>5</sup>	飛跡検出型カロリメータ (W+SciFi: 3 X <sub>o</sub> ) + 全吸収型カロリメータ (PWO : 27 X <sub>o</sub> ) +電荷測定器(SCN)	220	650
TANSUO (中国,:2016?)	5 - 10,000	~1.5%	~10 <sup>5</sup>	飛跡検出型カロリメータ (W?+ <i>SC</i> N: 6.5X <sub>o</sub> ) +全吸収型カロリメータ (B <i>GO</i> : 27 X <sub>o</sub> )	900	1,500
GAMMA-400 (ロシア:2017?)	1 - 3,000	~1% (>100GeV)	~104	飛跡検出型カロリメータ(W+Si: 6X <sub>0</sub> ) +全吸収型カロリメータ (PWO:22.5 X <sub>0</sub> )	1,280	1,700

#### \*) 装置略称説明

Śi: シリコンストリップ W: タングステン SciFi: シンチファイバー Pb: 鉛 TRD: 遷移放射検出器 RICH : リングイメージチェレンコフ光検出器 Csl : ヨウ化セシウム結晶シンチレータ PWO: タングステン酸鉛結晶シンチレータ BGO: ビスマスゲルマニウムオキサイド結晶シンチレータ SCN: プラスティックシンチレータ

\*\*) 観測規模が大きいほど観測粒子数は増えるが、これまでの観測装置(PAMELA, FERMI,AMS) はエネルギーの測定限界のため、1000 ギガ電子ボルトを上回る測定はできない。

## Why we need CALET ?

CALET is a dedicated detector for electrons and has a superior performance in the trans-TeV region as well as at the lower energies by using IMC and TASC

#### FERMI Electron Analysis



#### Geometric Factor is constant up to 10 TeV



## Energy resolution is nearly 2 %, and constant over 10 GeV



## Proton rejection power depends fully on simulation by using different parameters



Proton rejection power at 4 TeV is better than 10<sup>5</sup> with 95 % electron retained



## General Capability of Magnet Spectrometer





データダウンリンクとCALETデータ解析







まとめと予

CALETはTeV領域の電子・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、これまでの気球実験(BETS,PPB-BETS)の経験をもとに開発されており、 日本で初めての宇宙空間における高エネルギー宇宙線観測プロジェクトであり、2014 年度の打ち上げ後、5年間の観測を目指している。
- CALET は、JAXA有人宇宙利用ミッション本部宇宙環境利用センターと早稲田大学の共同研究によるプロジェクトであり、宇宙科学研究所の支援をえている。国際共同ミッションとして、JAXAが米国NASA,イタリアASIと協定を結んで実施している。
- CALETは、詳細設計を終えて、2013年より搭載装置の製造・試験を開始している。 現在、つくば宇宙センターのISS運用室(UOP)においてCALET用運用システムの準備 が進んでおり、早稲田大学における運用、データ解析システムの構築が行われている。



ポスター発表

# □ P2-14:CALETガンマ線バーストモニタ(CGBM)の開発 (山岡和貴:名古屋大学STE研)

□ P2-15:CERN-SPSにおける熱構造モデルを用いたCALET性能実証実験 (赤池陽水:東京大学宇宙線研究所)

□ P2-16:CERN-SPS重粒子ビームによるCALETの電荷分解能測定
(小澤俊介:早稲田大学)

■ P2-17:CALETのTASC性能試験用レーザー照射システムの開発 (塚原)

□ P2-18:CALETの地上系運用システム概要
(浅岡陽一:早稲田大学)

□ P2-19:シミュレーションを用いたCALETの軌道上キャリブレーション手法の開発 (仁井田多絵:早稲田大学)