



CALETによる3年間の軌道上観測の最新成果報告

Latest results of the CALET observations by on-orbit operations for 3 years

鳥居祥二

Shoji Torii

for the CALET collaboration

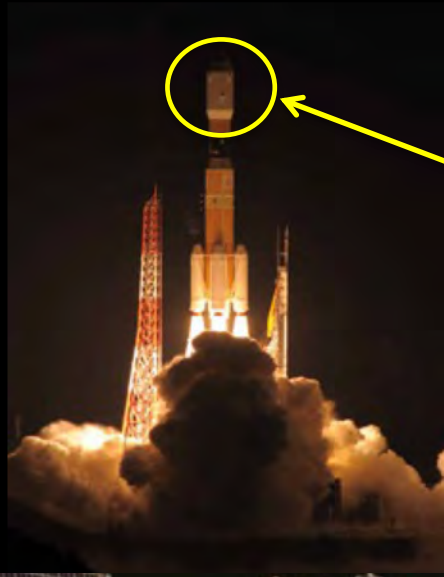
早稲田大学

Waseda University





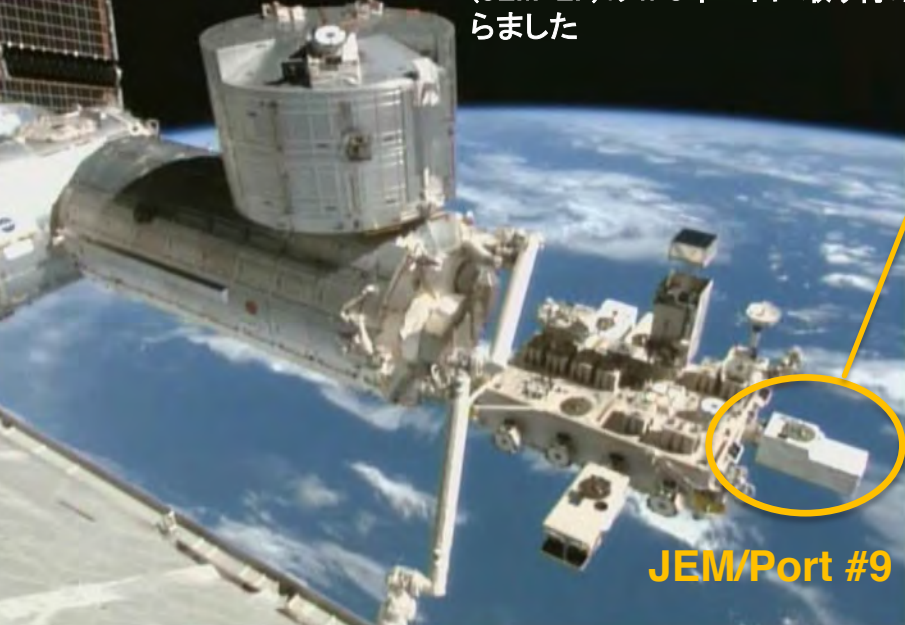
CALET 概要



Kounotori (HTV) 5



2015年8月19日に、H2-Bロケットで打ち上げられ、8月25日に日本実験棟船外実験プラットフォーム (JEM-EF) の#9ポートに取り付けられました



JEM/Port #9

CGBM (CALET Gamma-ray Burst Monitor)

FRGF (Flight Releasable Grapple Fixture)

ASC (Advanced Stellar Compass)

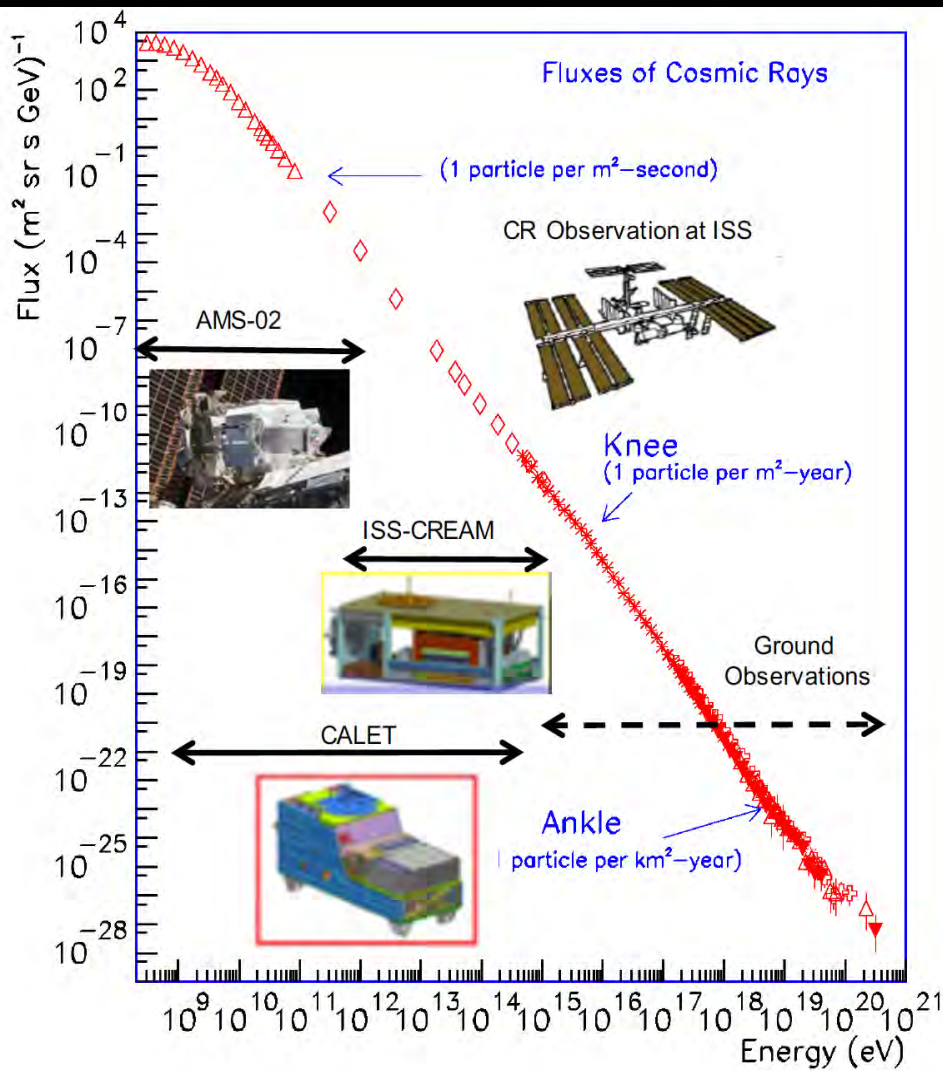
Calorimeter

GPSR (GPS Receiver)

MDC (Mission Data Controller)

全質量 : 612.8 kg
標準ペイロードサイズ :
1850mm(L) × 800mm(W) × 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)

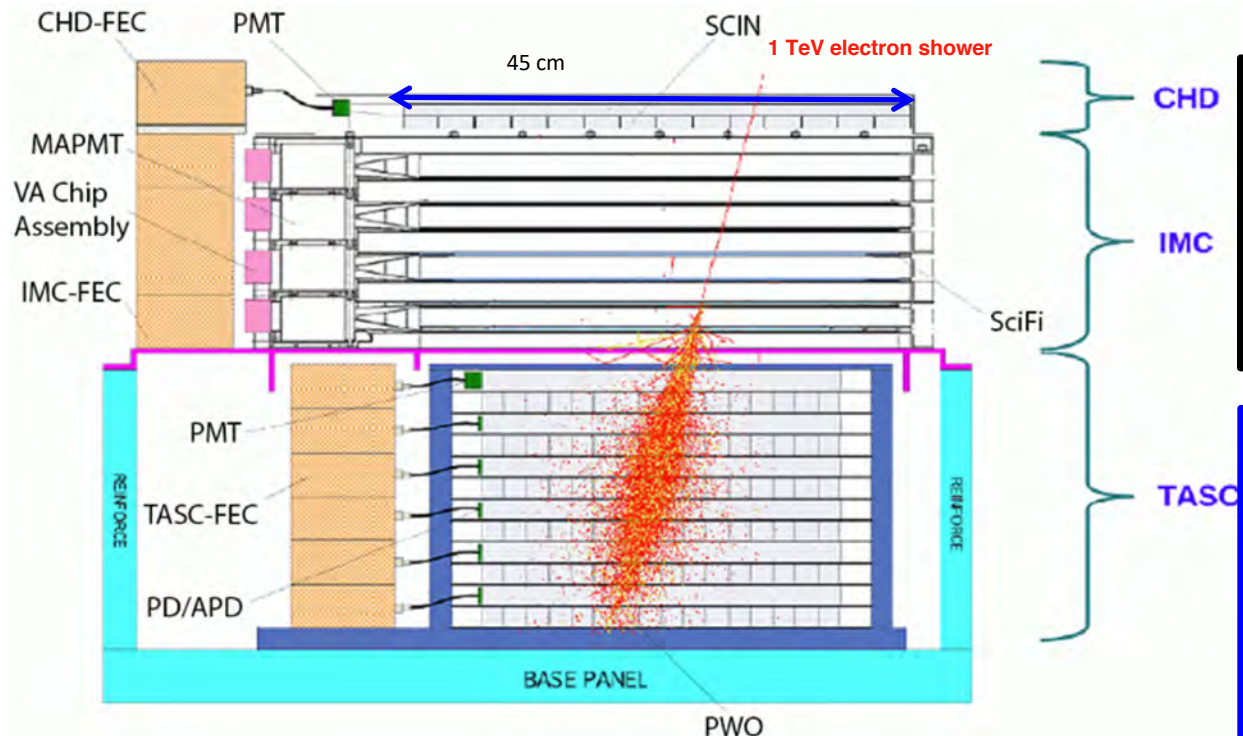
CALET 観測の概要



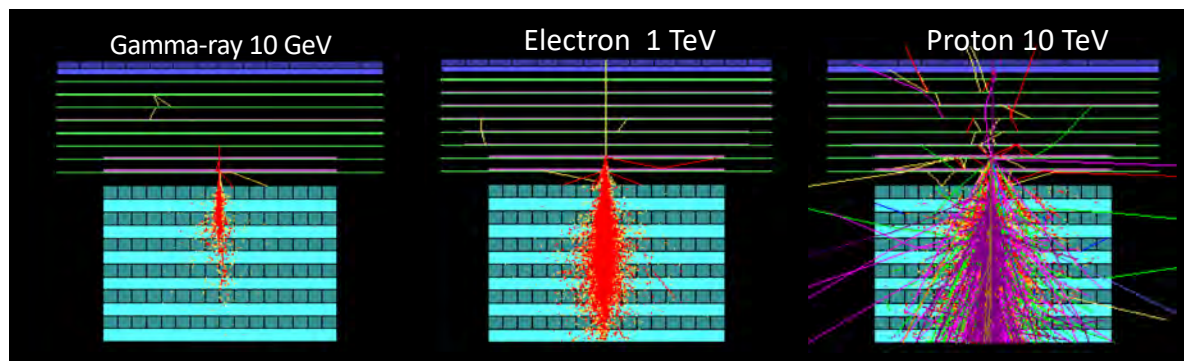
- 宇宙空間における最も高いエネルギー領域での宇宙線直接測定
- 国際宇宙ステーションにおける大型装置による長期観測 (5年間) により、世界最高レベルの宇宙線観測を実施
- 電子観測に最適化することにより、 10^9 eV (GeV) – $20 \times 10^{12} \text{ eV}$ (TeV) 領域での電子観測を高エネルギー分解能で達成
 - ➡ 近傍加速源、暗黒物質の探索
- 原子核成分の観測を $10 \text{ GeV} - 10^{15} \text{ eV}$ (PeV) の領域で実施
 - ➡ 宇宙線加速・伝播機構の解明
- 安定的運用により突発的天体現象の観測
 - ➡ ガンマ線バースト、太陽フレア、重力波の同時観測 など



観測装置概要



シミュレーション例：入射粒子によるシャワーを可視化することにより、粒子種別を決めることができる



CALETの特徴

- 広い視野角：天頂から約 45°
- 大きな幾何学的面積：
～ $1,040 \text{ cm}^2\text{sr}$ （電子観測）
- 非常に厚い吸収層：
約30 放射長（大気より厚い）

Charge Detector (CHD)

- 宇宙線の電荷を $Z=1-40$ (p-Zr) の領域で測定
- 陽子から鉄核までの原子核を高精度に分離

Imaging Calorimeter (IMC)

- 高精度な位置分解能で入射粒子のシャワー初期段階を観測
- 到来方向を 0.2° の角度精度で決定

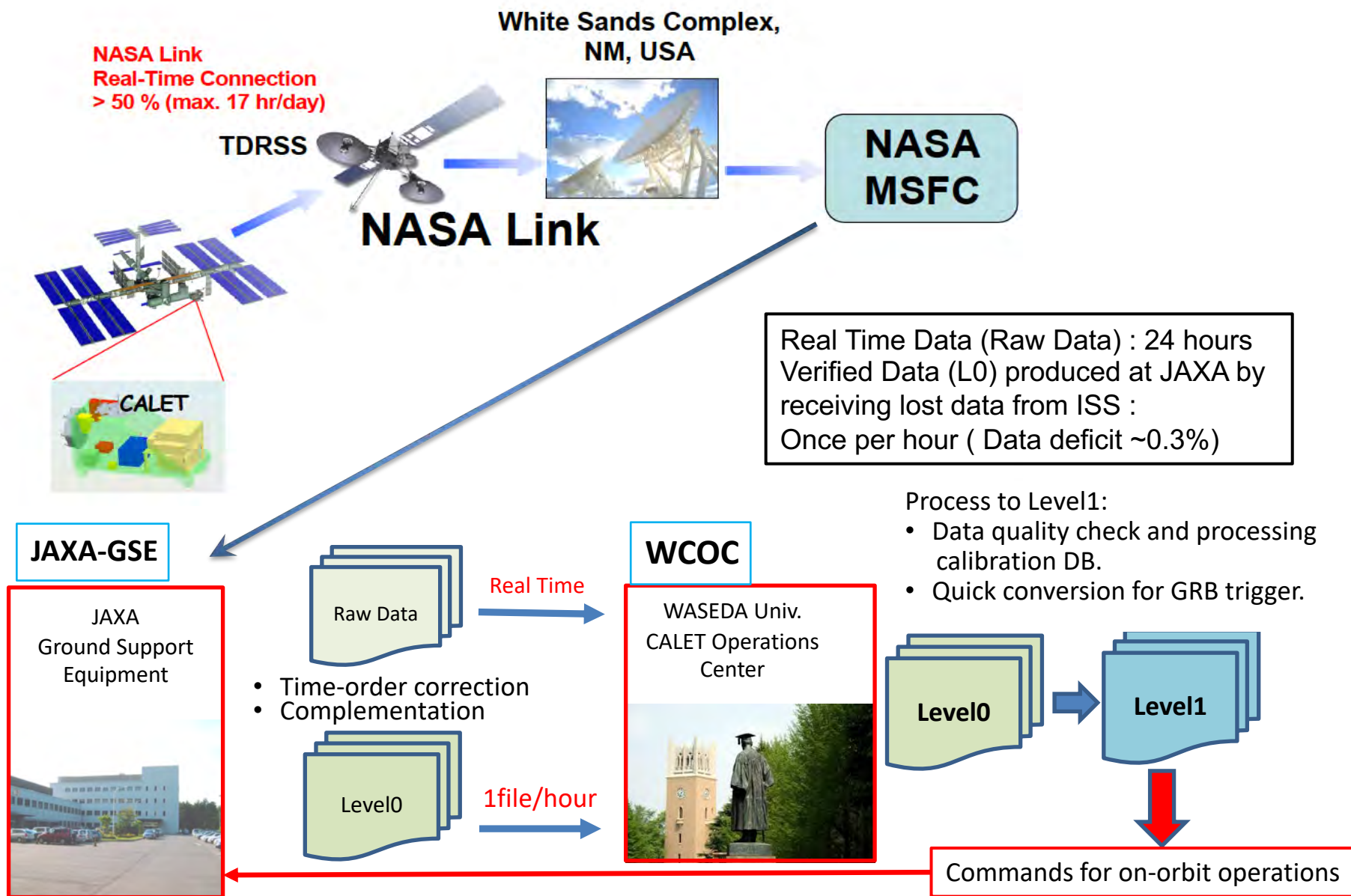
Total Absorption Calorimeter (TASC)

- 全エネルギーを吸収することにより正確にエネルギーを測定（～2 %）
- シャワー形状の違いにより、陽子と電子を高性能に分離（ $e/p \sim 10^5$ ）

➤ 広いエネルギー領域で、高精度に粒子を識別して観測を実現

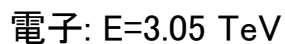
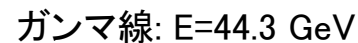


CALET観測データのダウンリンクと観測運用システム





電子候補 ($>10\text{GeV}$) のイベント動画

陽子 $\Delta E = 2.89 \text{ TeV}$ 

観測運用の概要(1)

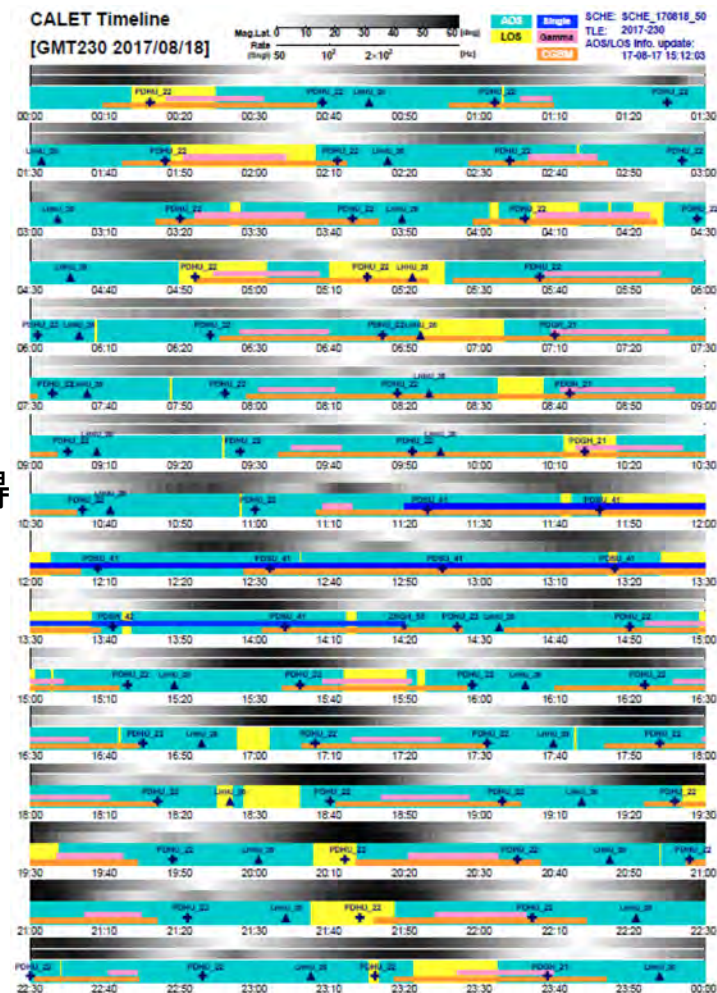
1) 安定的かつ継続的に多機能な観測運用を実現

- ① 高エネルギー電子観測
 - 10GeV以上の高エネルギーシャワーを常時観測
- ② 低エネルギー電子観測
 - 高緯度地方で1GeV以上の電子データ取得
- ③ 低エネルギーガンマ線観測
 - 低緯度地方で1GeV以上のガンマ線データ取得
- ④ ペDESTAL(ノイズオフセット)計測
 - 周期的にペDESTALデータ取得
- ⑤ シングル計測
 - 装置ゲイン較正用に相互作用しない粒子を選択的に取得
- ⑥ ガンマ線バースト観測
 - 常時実施(GRB/ASC画像をオペレータがダウンロード)

主要な観測モードである高エネルギー(>10GeV)トリガー

- 現在まで1259日間の観測を安定かつ継続的に実施している。(Live Time: 84.0%)
- 観測データ統計量
 - 全観測量: $\sim 8.2 \times 10^8$ イベント
 - 6.5×10^5 イベント/day (~ 7.5 Hz)

CALET 科学観測タイムライン例(1日16パス分)

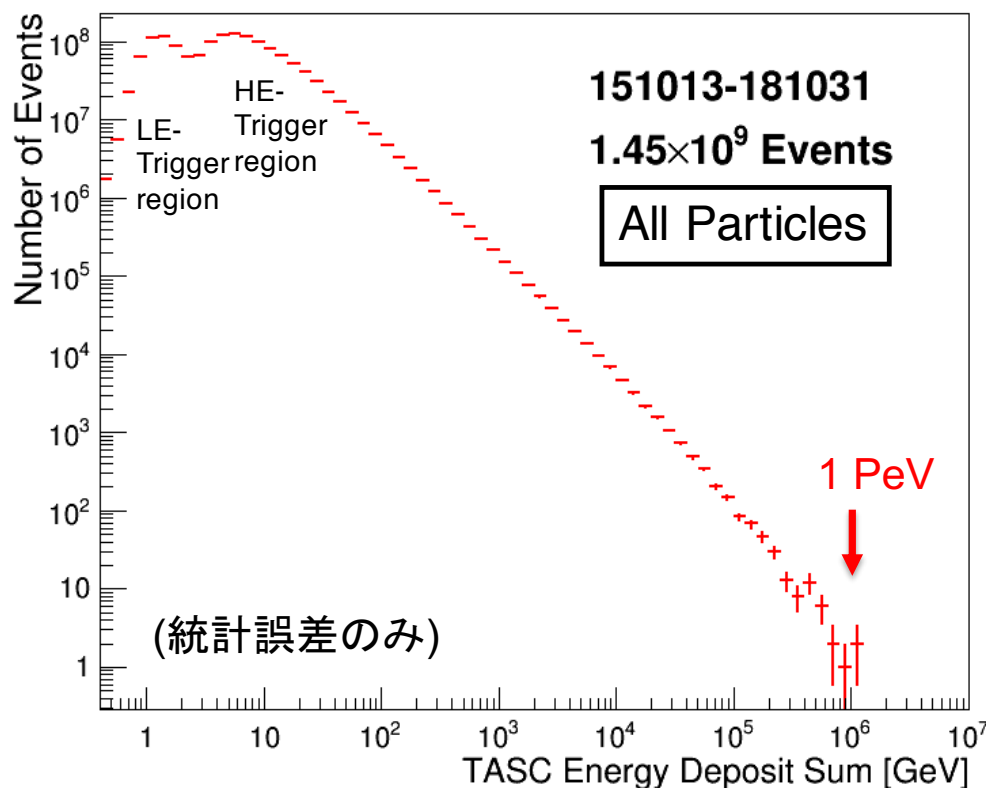




観測運用の概要 (2)

2) 1 GeV–1 PeVのエネルギー領域で測定

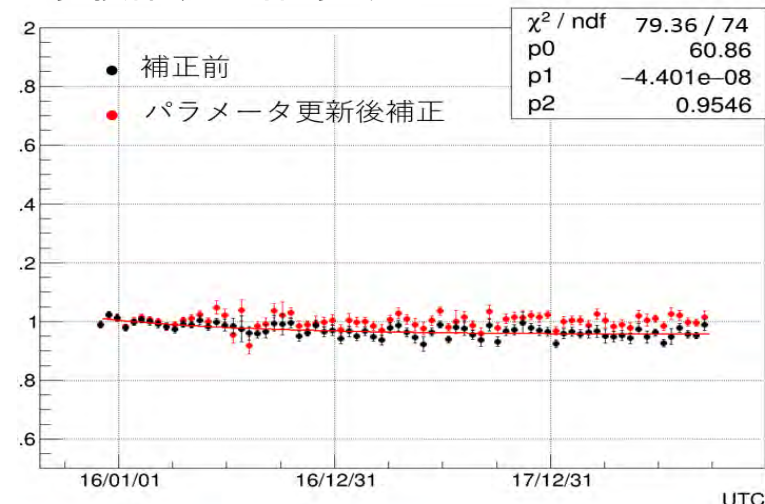
TASCにおけるエネルギー損失和の分布



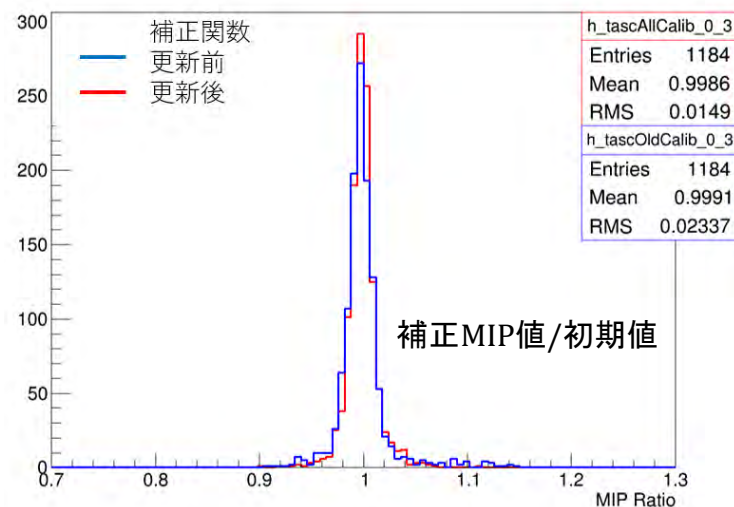
高精度なエネルギー較正により6桁にわたる正確なエネルギー分布が得られている

3) 長期間にわたる装置性能較正

TASX4-15chの経年変化補正前後の変換係数の時間変動



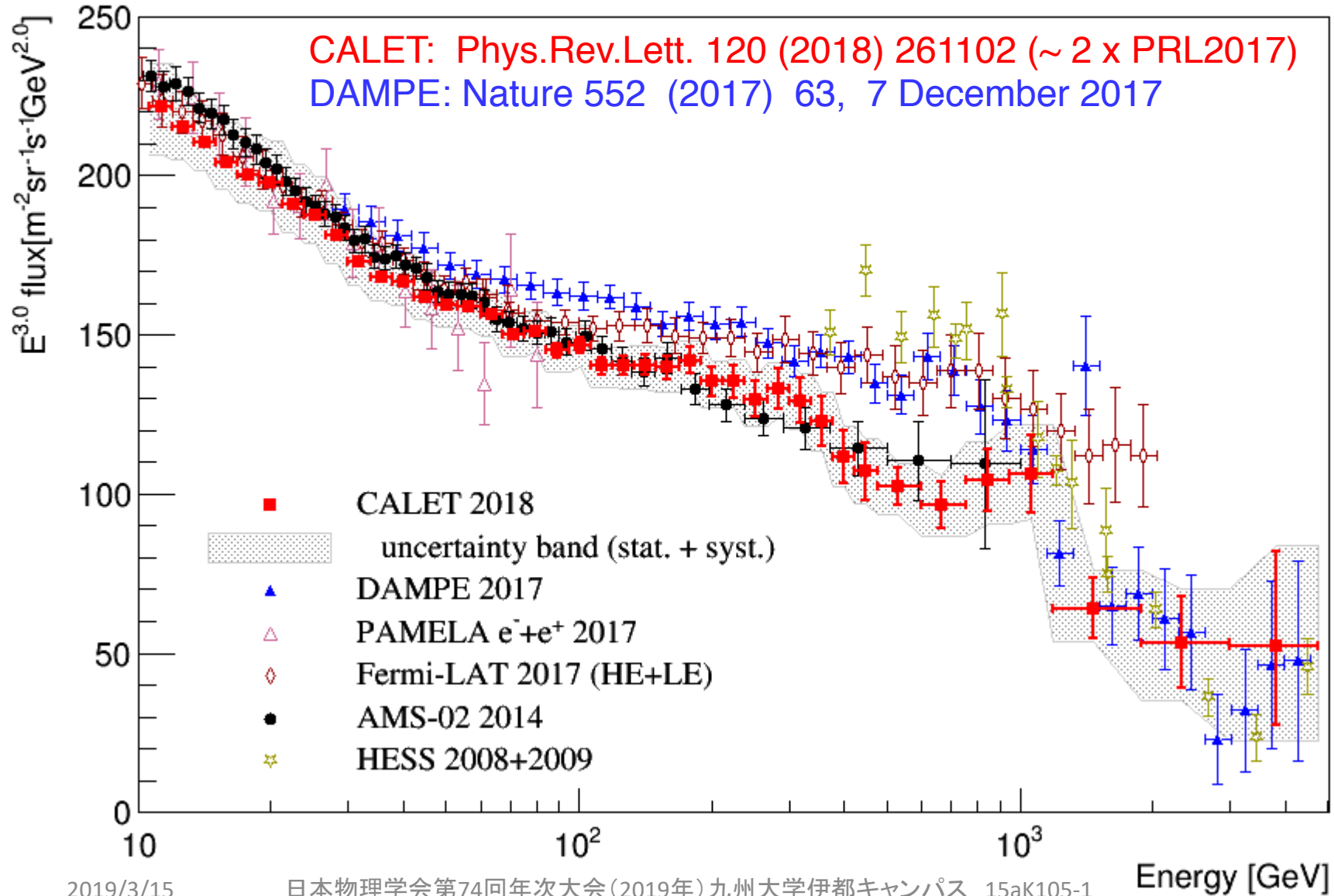
TASC全チャンネルのMIP補正値の分布





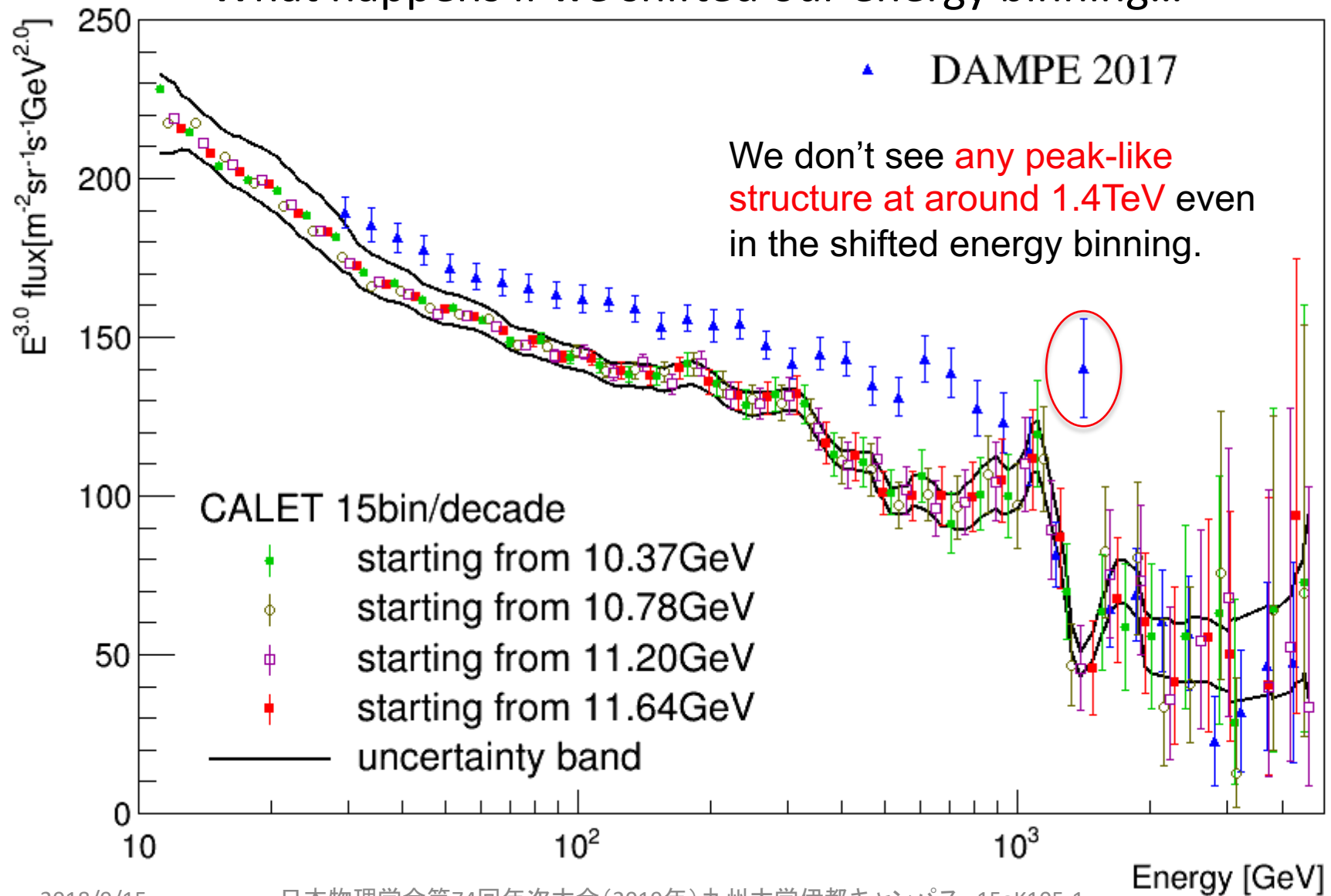
電子観測 - 2017.11.30までの観測結果 -

Approximately doubled statistics above 500GeV by using full acceptance of CALET



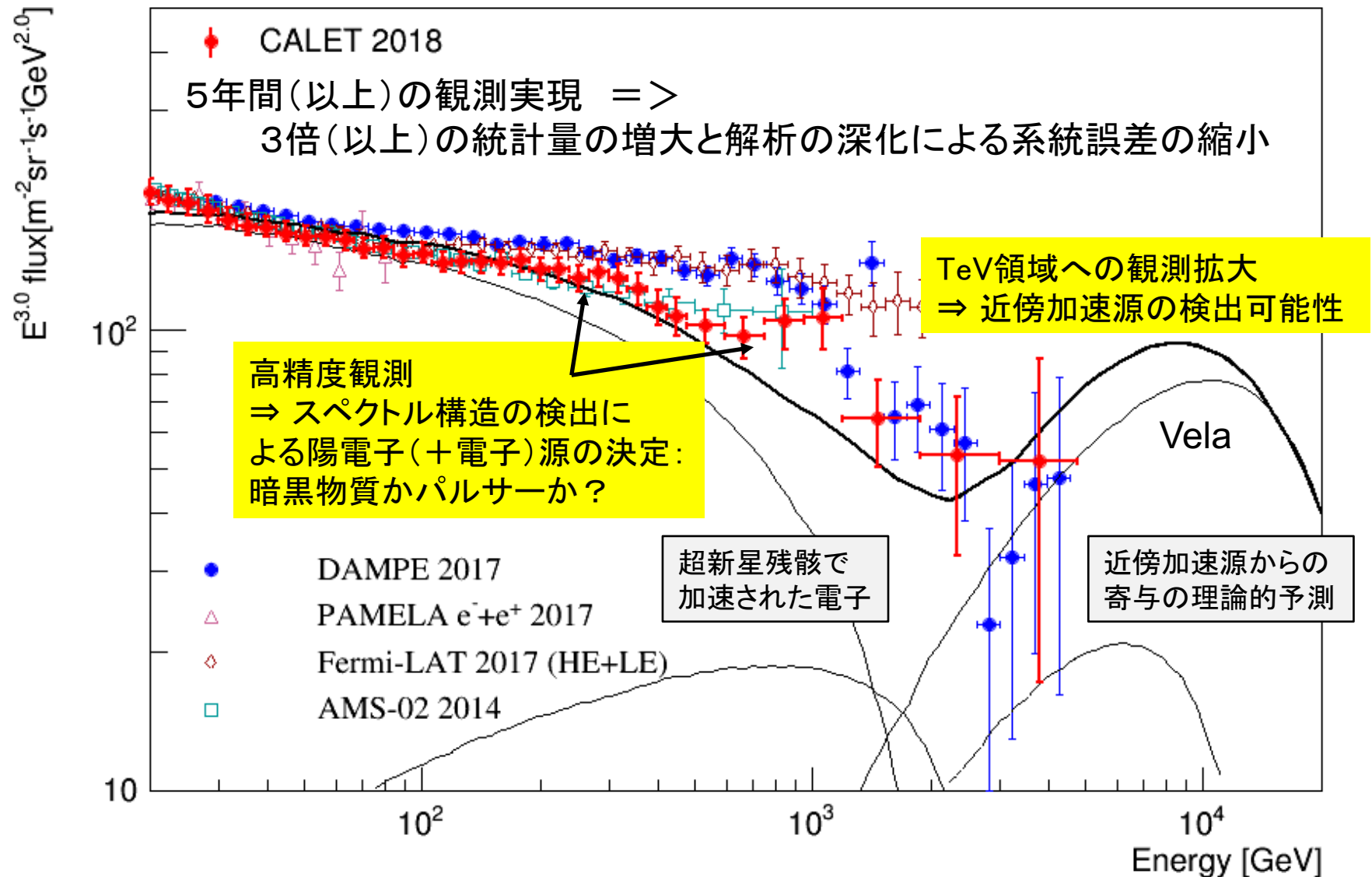
DAMPEの観測結果との比較

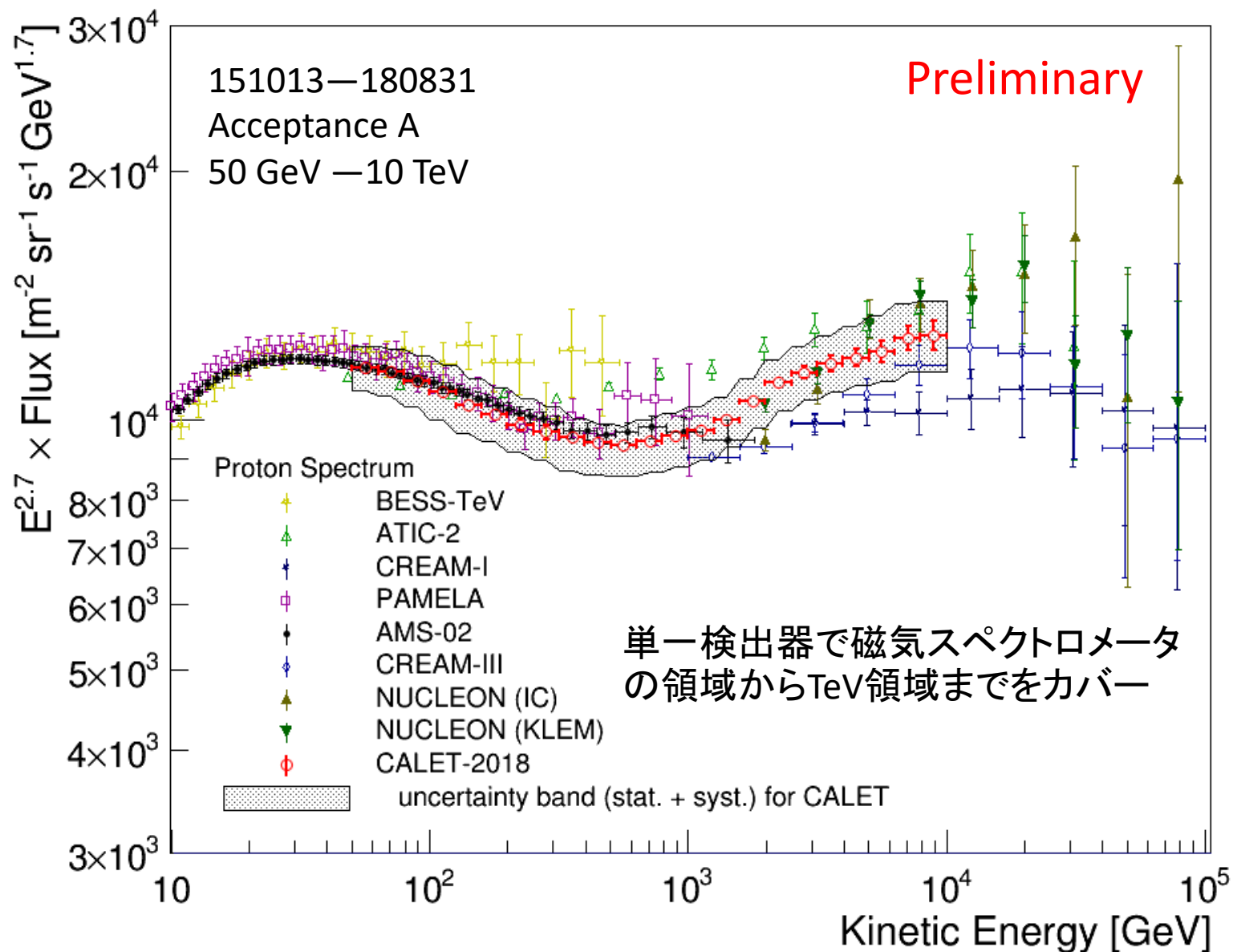
What happens if we shifted our energy binning...



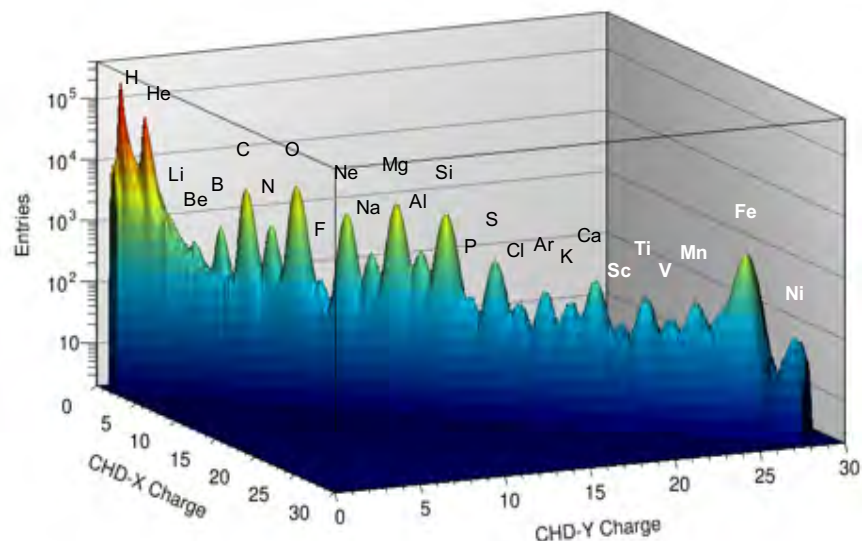


CALETによる全電子観測の今後の展望



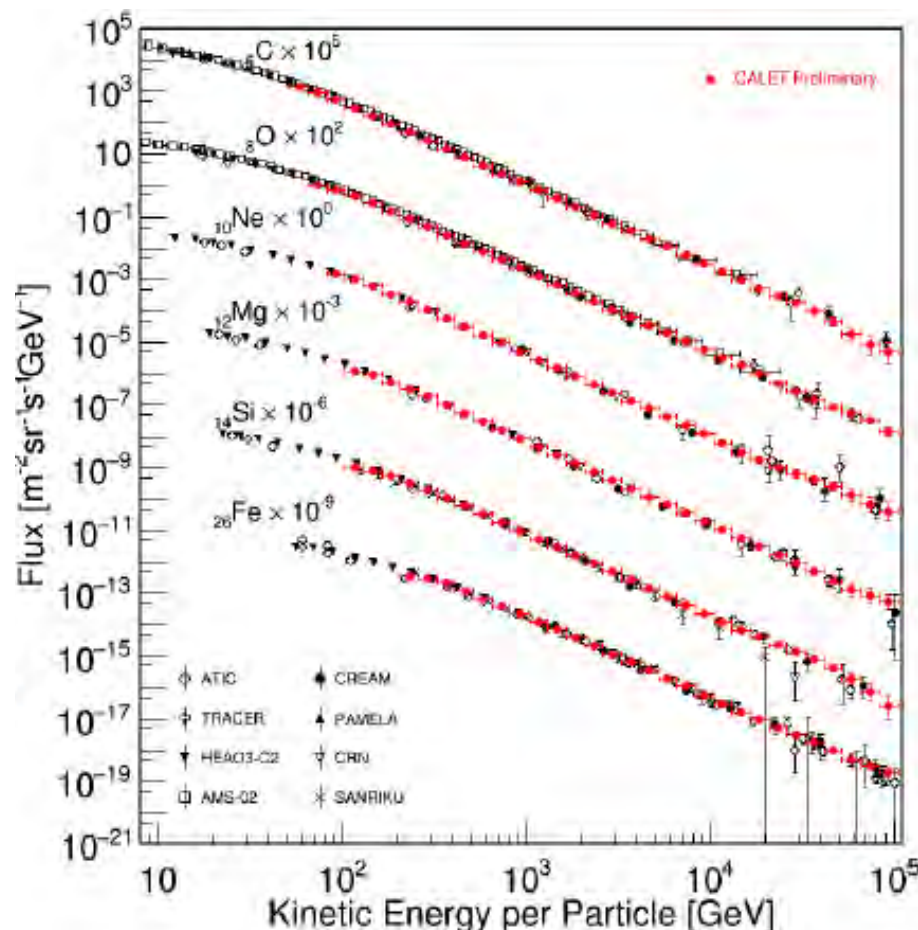
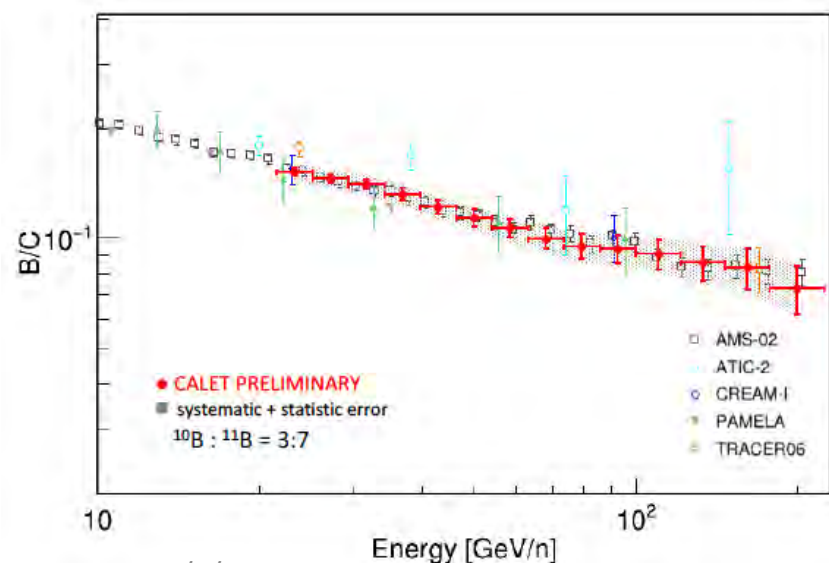


CHDの電荷分解能: $Z=1-28$ ($\Delta Z=0.1e-0.3e$)



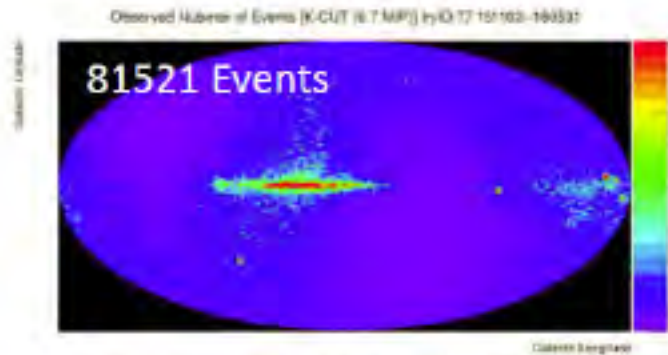
- 主な重原子核のエネルギー スペクトルの初期的な結果。
- 100 TeVのエネルギー領域まで観測が実施されており、これまでの直接観測の上限に迫る。

B/C比 のエネルギー依存性の初期的な結果

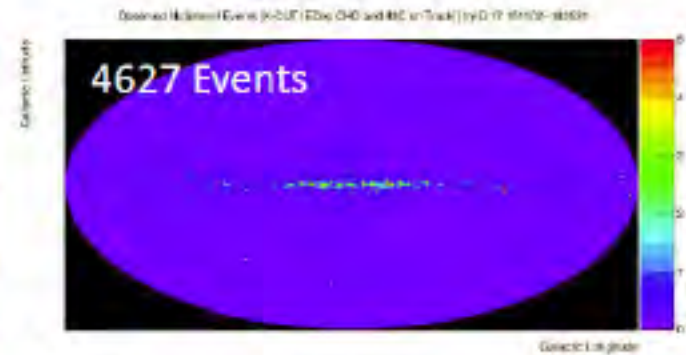


No cut on
moving
structures
(A)

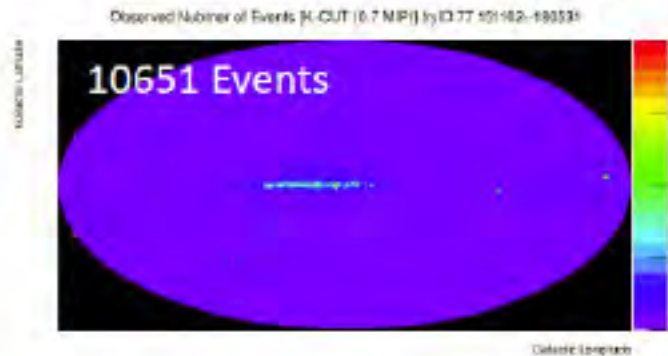
Low-Energy Region (2.5~3.2GeV)



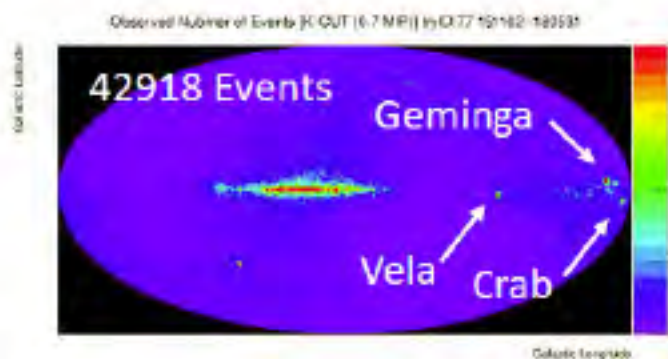
High-Energy Region (25~32GeV)



ApJS:
w/ upper right
region only in
FOV
(B)



w/ moving
structure cut
(C)



高エネルギー電子・ガンマ線観測装置(CALET) 後期運用延長審査会

平成31年2月14日

有人宇宙技術部門
きぼう利用センター

- 2017年11月1日の定常運用(2年間)終了審査会にて後期利用運用(1)への移行が承認された。
- 後期運用利用(2)として2021年3月まで(5.5年間)の延長とする。

CALETの電子観測に関する受賞

**Compelling Results in Physical Sciences
and Materials Development**

(ISS R&D Conference: AAS,NASA,CASIS)

Direct Measurement of High Energy Cosmic-Ray

Electron and Positron to the TeV Region

2018.7.26

宇宙科学研究所賞(特別賞)

CALETによる高エネルギー宇宙線電子の観測

2019.1.9



まとめと展望

- CALET は、2015年8月19日に打ち上げられ、これまで所期の性能を発揮して順調に観測が実施されている。そして、主要目的である宇宙線観測やガンマ線バーストの観測に期待通りの成果を挙げるとともに、太陽変動・宇宙天気予報(三宅:15aK105-6)や重力波源観測など、当初は予期していなかった分野にも研究が進展している。
- CALETの主要目的である宇宙線電子の観測では、宇宙空間における4.5TeVまでの高精度観測に初めて成功し、その成果を論文(PRL)発表している。その他、原子核成分、ガンマ線やの観測が順調に実施されており、データ解析が進んでいる。
- CALETは、宇宙線観測だけでなくガンマ線バーストの観測(坂本:15aK105-5)を同時に行うことにより、重力波源観測における国際連携(LIGO/Virgo)や、「きぼう」搭載装置(MAXI, SEDA)との共同研究が進行している。
- LIGO/VirgoやMAXIとの連携による突発的X線・ガンマ線天体の共同観測や、SEDAや「あらせ」との連携による太陽地球磁気圏に関する新たな研究展開が期待できる。
- 2019年2月14日にJAXA有人部門希望利用センターで行われた後期運用延長審査会において、2021年3月31日までの観測延長(全期間で約5.5年間)が承認されている。

CALETの安定的運用にご尽力頂いている、JAXAのISS関係者の皆様に深く感謝します !!!

*)本研究は、科学研究費基盤S(H21-25, H26-30)、文部科学省「私立大学戦略的研究基盤形成事業」(H23-27)(研究代表者 鳥居祥二)等の支援を受けて行われています。