



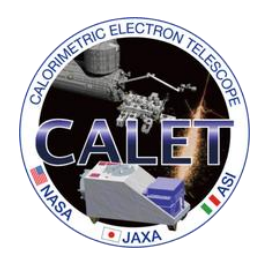
CALETの9年間観測における軌道上運用状況と 検出器キャリブレーション

2025年03月18日

早大理工総研、神奈川大^A、立命館大^B

小林兼好, 鳥居祥二, 赤池陽水, 田村忠久^A、森正樹^B、他CALETチーム

日本物理学会2025年春季大会(オンライン)



CALETの運用

- ◆ CALET 打上げ : 2015年 8月19日
- ◆ データ取得開始 : 2015年10月13日
- ◆ 通常運用
 - スケジュールファイル更新
 - 月、水、金: ISS にアップリンク、JST 12時前後に更新
 - WCOC (Waseda CALET Operations Center) Web シフト
 - DQC (Data Quality Check) の確認
- ◆ 特別対応運用
 - ISS 運用対応 (リブースト、デブリ回避、電力削減、アウトガスなど)
 - SEU 等による既知事象 (解決済み)
- ◆ 永久故障 (打上げ後)
 - IMC 7168 ch のうち 1 ch (+ Gain低下 1ch)
 - CHD 28 ch と TASC 736 ch (PWO 192本) は故障無し



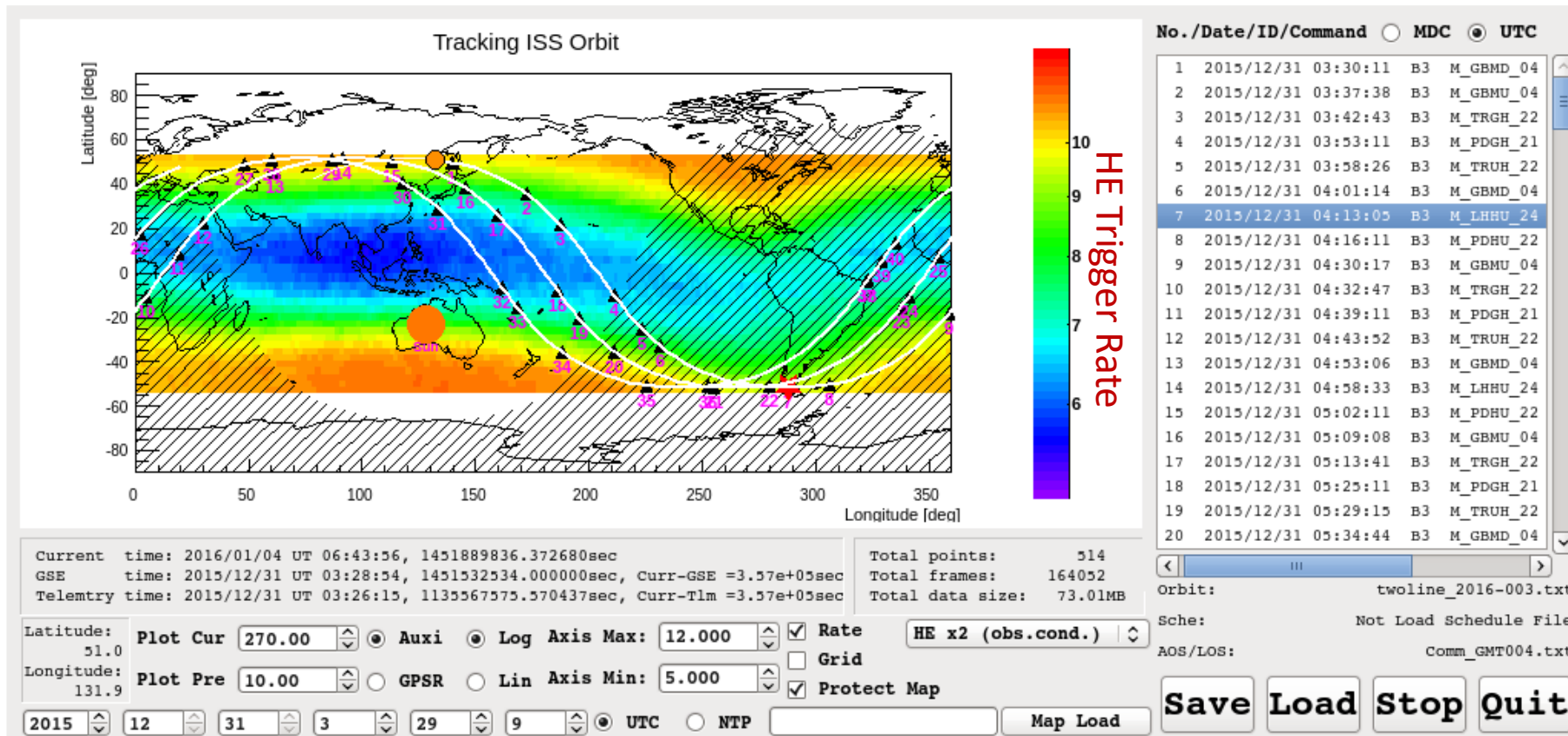
CALET: 観測スケジュール

CAL 観測モード

- 高エネルギートリガー (HE) : 常時
- 低エネルギー電子トリガー (LE-電子) : 高緯度 (90秒間)
- 低エネルギーガンマ線トリガー (LE- γ) : 低緯度
- ペDESTALトトリガー : 23分毎
- シングルトトリガー (p, He) : 毎日3時間

観測器保護 (高緯度・SAA)

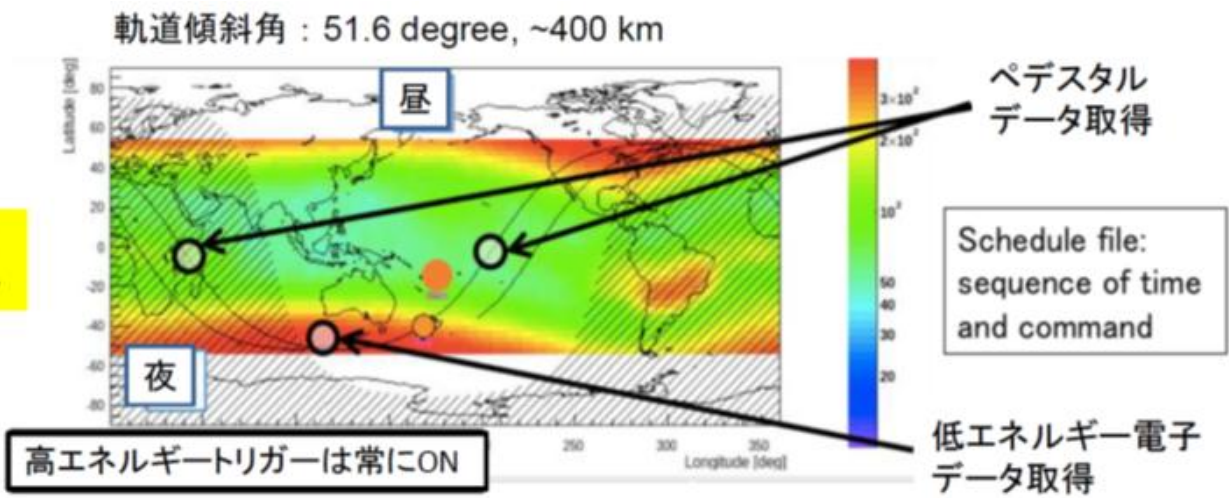
- CGBM HV On/Off



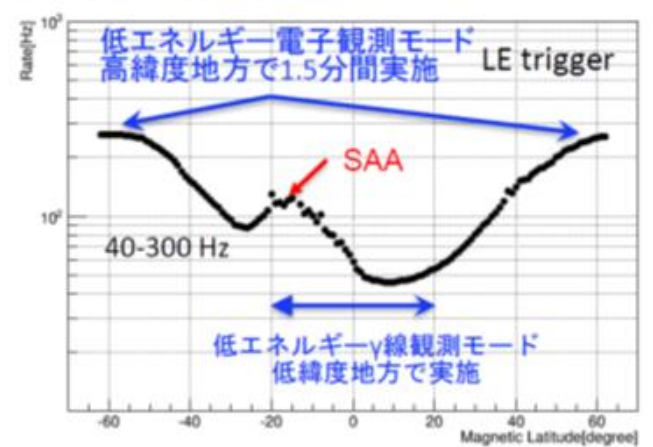
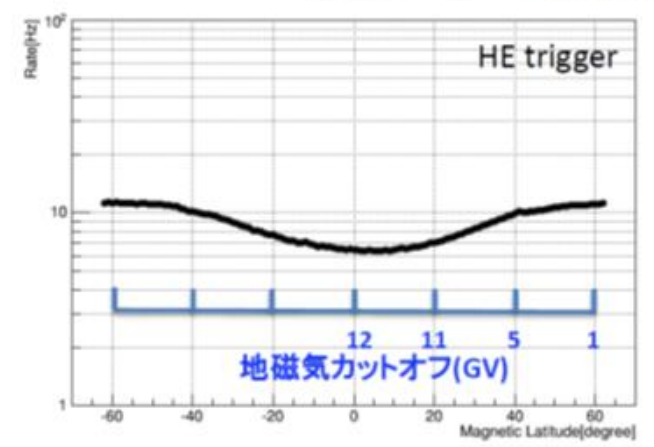


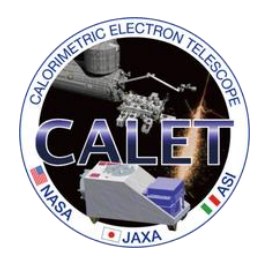
ISS軌道とCALET軌道上運用

軌道上運用
のコンセプト



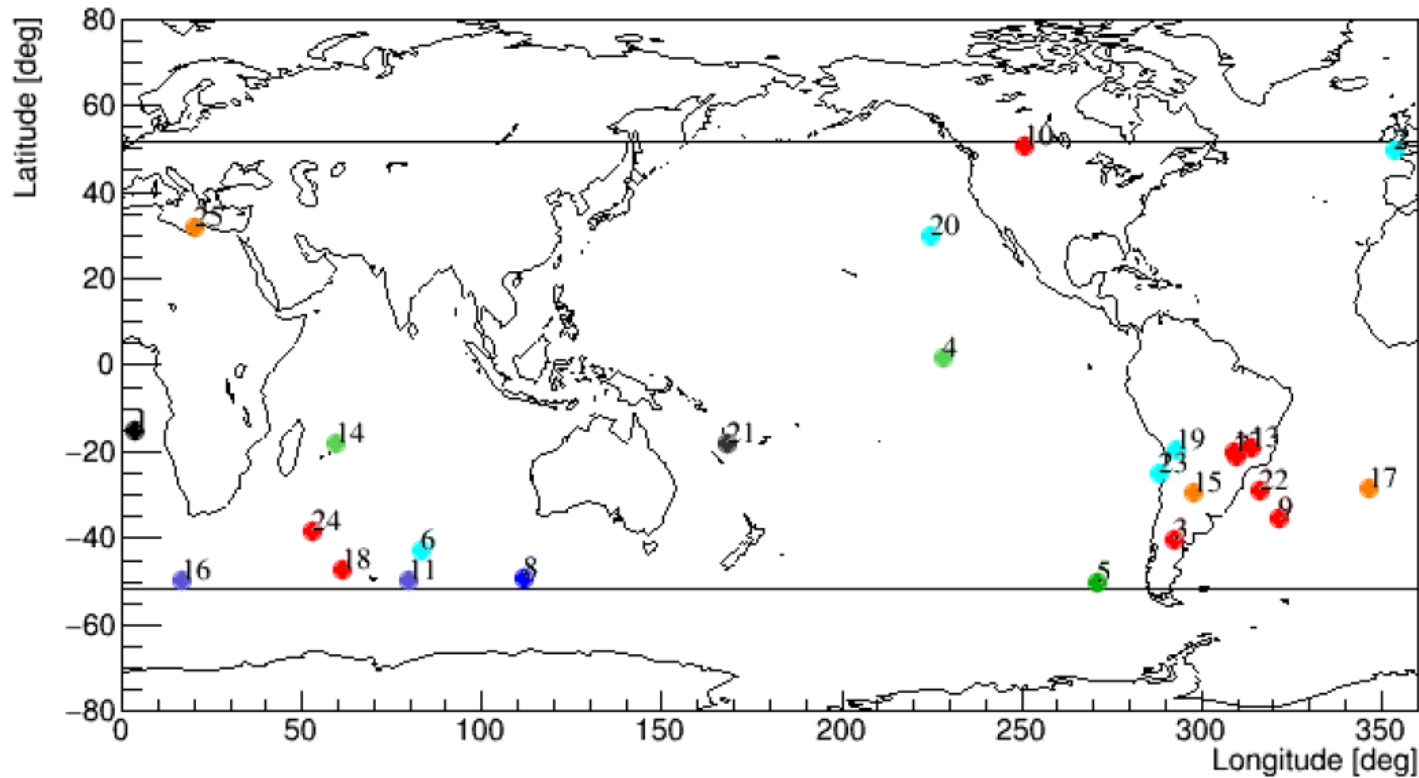
トリガーレートの地磁気カットオフ依存性





カロリメータ運用時における不具合履歴

非常に安定に動作している。観測9年間で計25回、以下の場所で不具合が起こった。



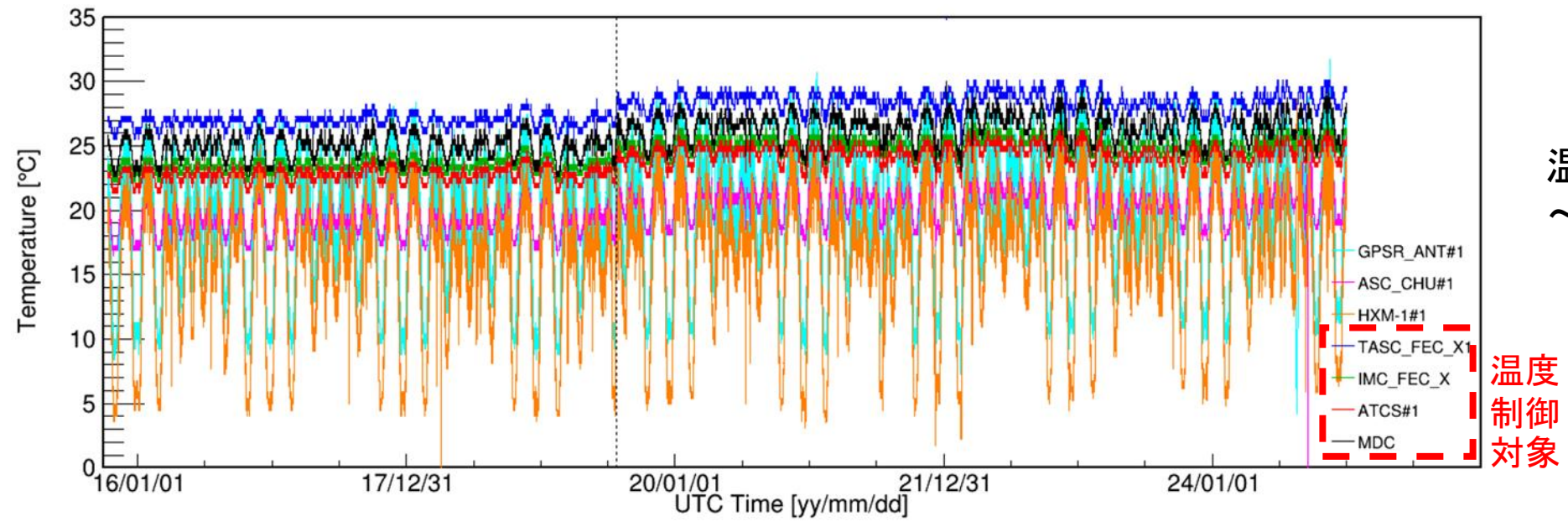
不具合発生場所はSAA(South Atlantic Anomaly)や極に近い高放射線帯に多い傾向がある。

- 軌道上における不具合は、各機器の再立ち上げにて正常復帰している。これまでの発生頻度は25回/9.2年であり1年間あたり2.7回程度である。
- 全て一時的な不具合であり、永久故障につながるものはない。
- 迅速に不具合を識別して解決することによって、質の高い観測運用を継続している。



CALET検出器の温度変化

CALET主要機器部分の2024年12月までの温度変化を示す。検出器の較正上重要となる温度安定性についても、JEM曝露部提供のATCS(能動的熱制御)機能により十分安定しており、定常運用フェーズと同様、全て規定温度内に入っている。そのため、メインヒーターについては常時OFFの状態では運用している。



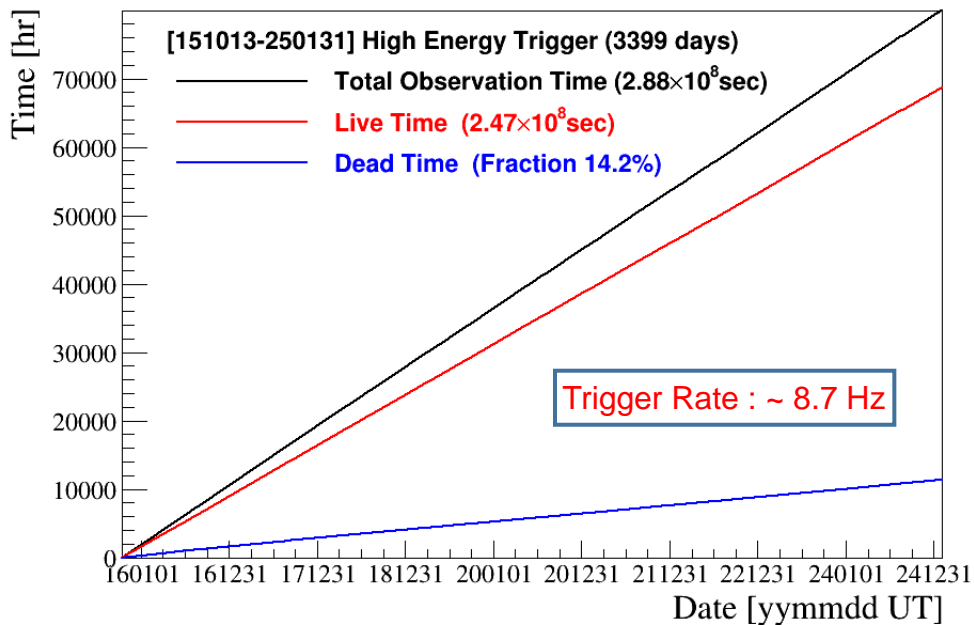
温度制御対象に関して
~±2°Cで安定している。

※) 2019年7月26日から、ISSの電力削減に伴うATCSの流量削減のため、温度が平均的に約1.6°C高くなっているが、規定温度内であり検出器較正に問題はない。

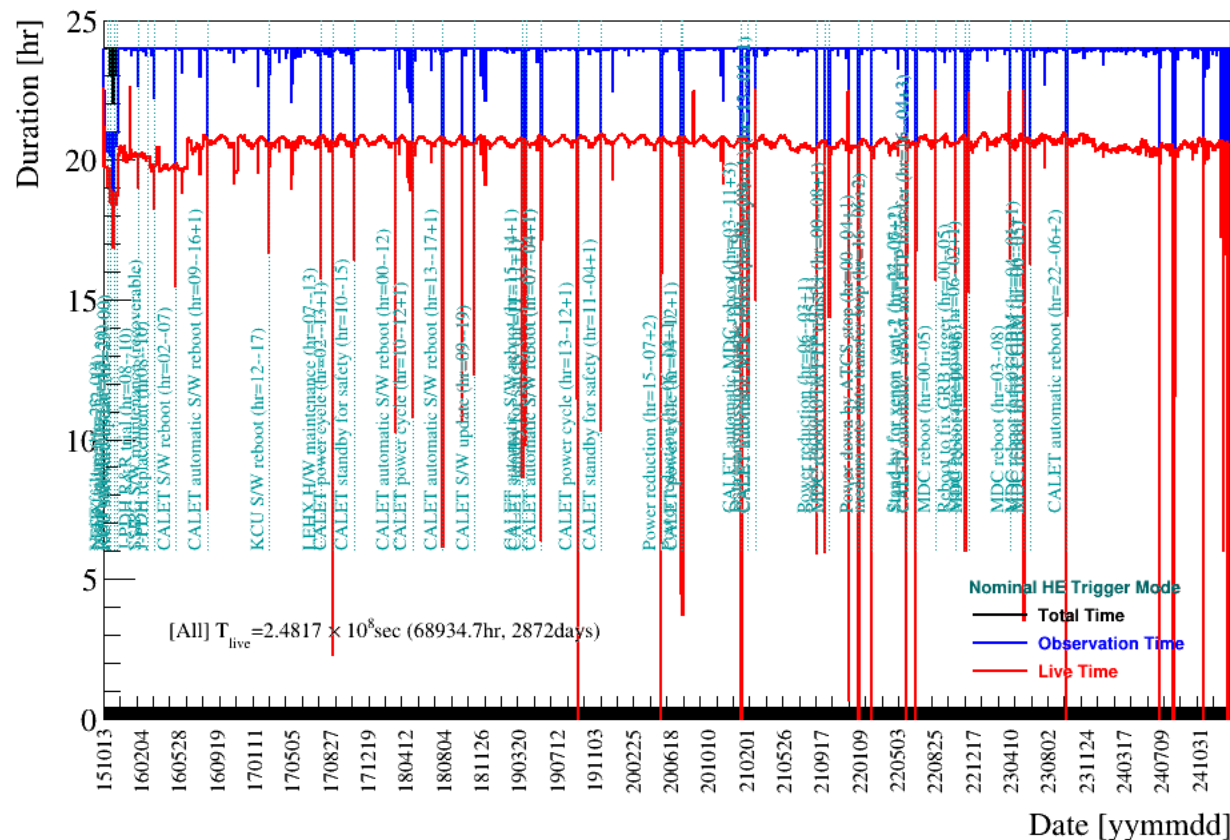


CALET Observations on the ISS

Accumulated observation time (live, dead)



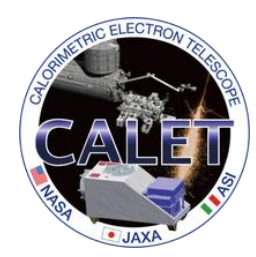
1日ごとのlivetimeの推移



High-energy trigger (> 10 GeV) statistics:

- Operational time: **3399 days** as of Jan. 31, 2025
- Live time fraction **>85%**
- Exposure of HE trigger **~300 m² sr day**
- HE-gamma point source exposure **~5.8 m² day** (for Crab, Geminga)

長期にわたる欠損なく観測が続けられている。



検出器キャリブレーション

センサーの各チャンネルの測定値は以下の式で E_{dep} に変換され、エネルギー計算に用いられる。

$$E_{dep} = \frac{kE_{MIP}}{C_{pos}C_{temp}C_{time}}$$

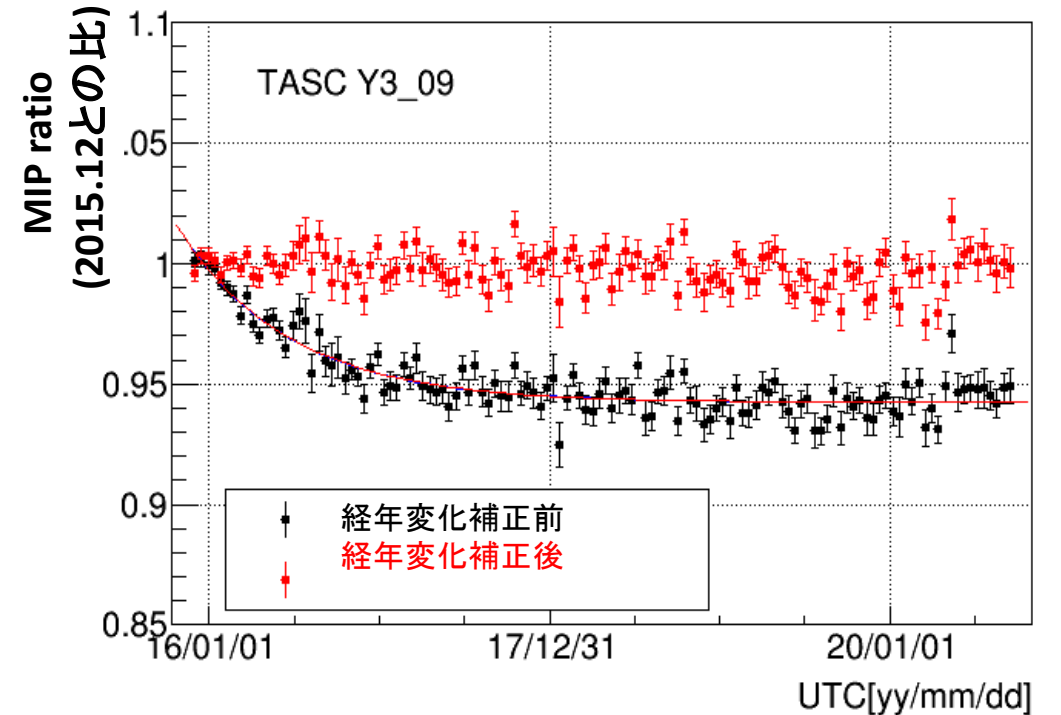
- E_{dep} : 各検出器で観測されたエネルギー
- k : 観測された光量
- E_{MIP} : 陽子、Heトリガー事象を用いたMIPエネルギー/光量
- C_{pos} : 検出器の位置の補正項
- C_{temp} : 検出器温度による光量補正項
- C_{time} : 検出器の光量経年変化の補正項

C_{pos} 、 C_{temp} については予め測定した補正項を使用、 C_{time} については以下に示す、データを用いて補正項を随時作成し、データに反映される。



経年変化較正 (1/2、関数による補正)

- CHD,IMC,TASCおのこののチャンネルに対し、陽子またはヘリウム原子核データのMIPのADC値から測定している。
- 2021年5月まではデータを較正関数(赤)でフィットし補正を施してきた。
- 観測も長期化し、フィット関数で補正しきれない場合も想定されるためCHDは1か月ごと、IMC,TASCに関しては2ヶ月ごとにデータ点そのもので補正する方式に変更した。

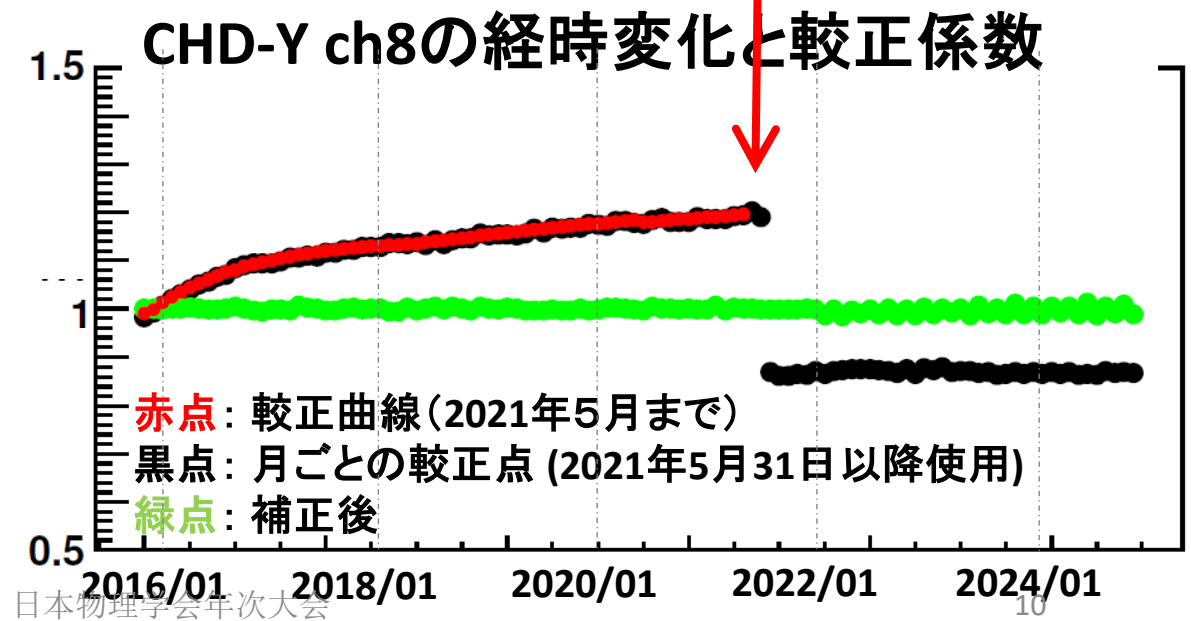
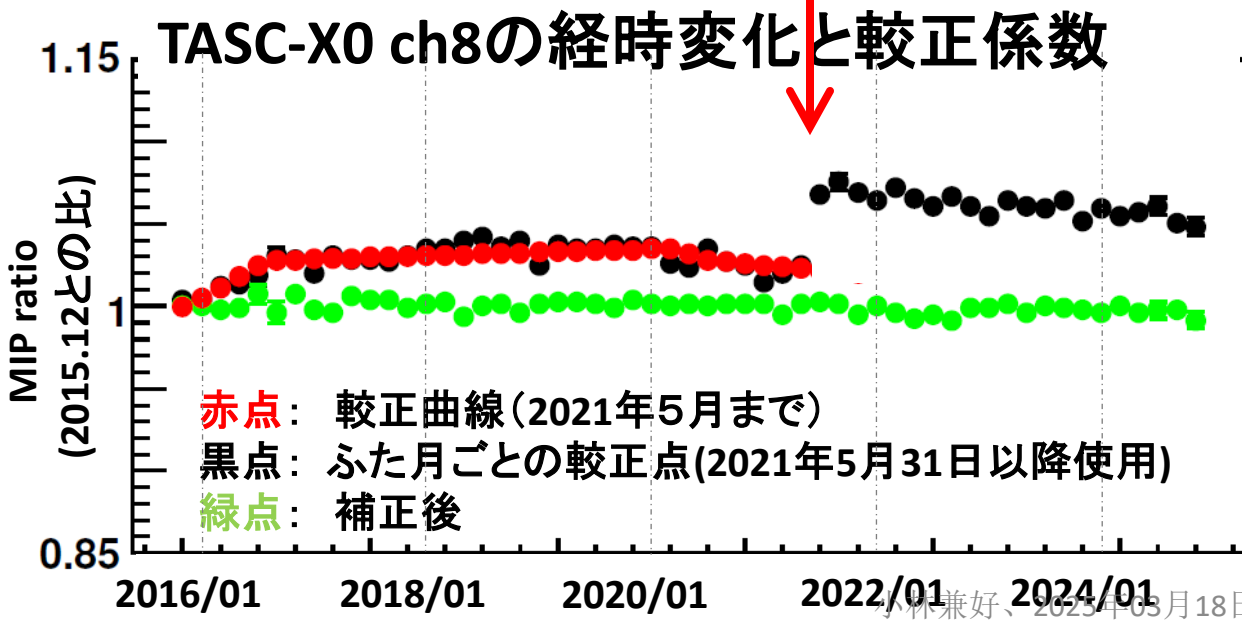


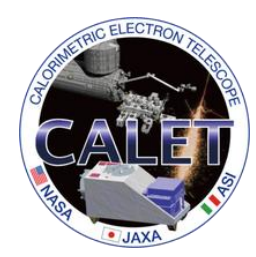
TASC-Y3 ch9の経年変化例
(補正前後)



経年変化較正 (2/2、時期ごとの補正)

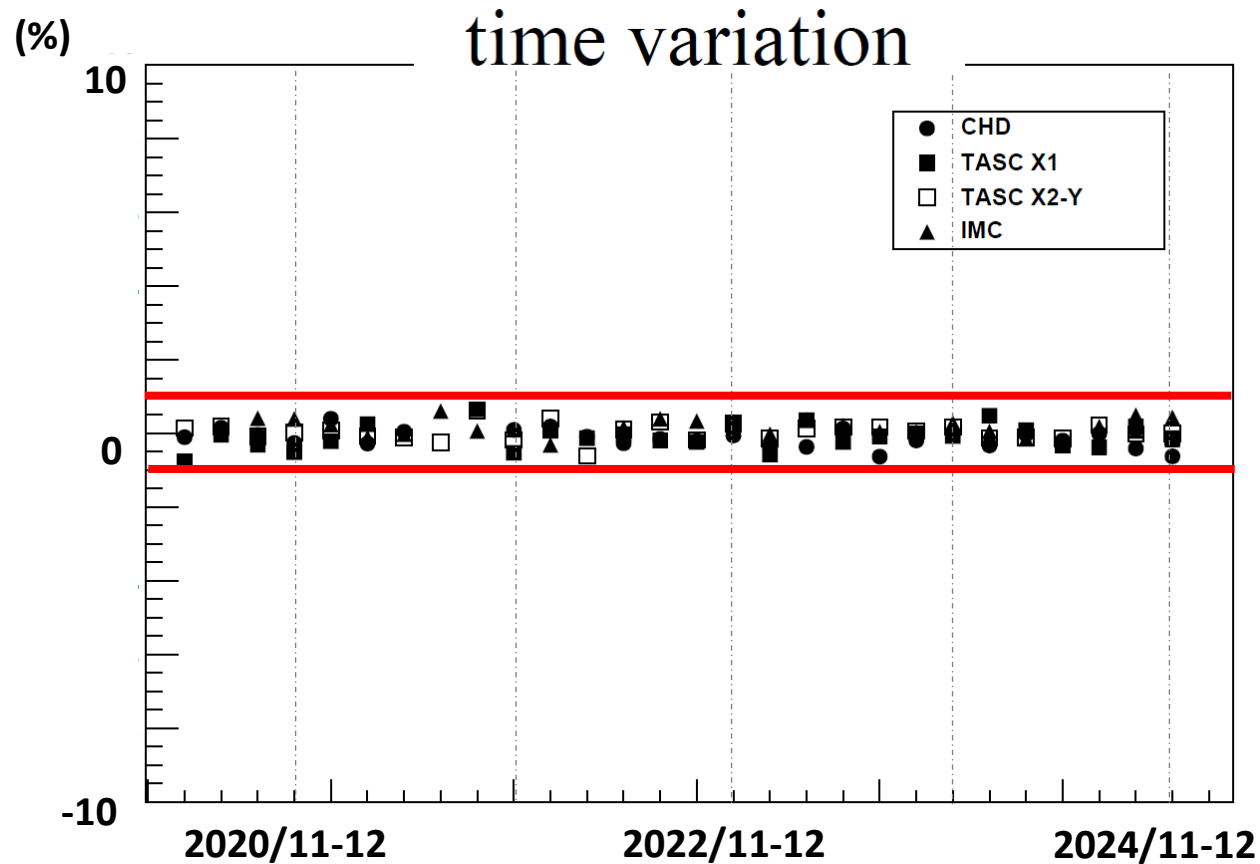
- 2021年5月31日以降のデータが期間ごとに補正係数を求め、補正を行う方法に変更したもの。それ以前も同様の方法と従来の関数による方法を比較しているがconsistentな較正になっている。
- 経年変化により当初より大きくゲインが変わってきたチャンネルもあるためTASCのHV値の設定変更により2021年5月31日、及び6月16日にTASC-X1のHV設定値を上げ補正をしている。また、CHDのHV値に関してもHV設定値を2021年7月28日及び8月11日に下げ、補正した。



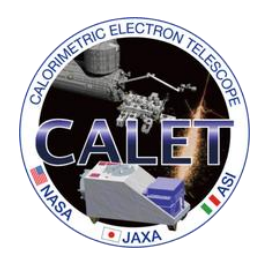


各検出器の経時変化割合

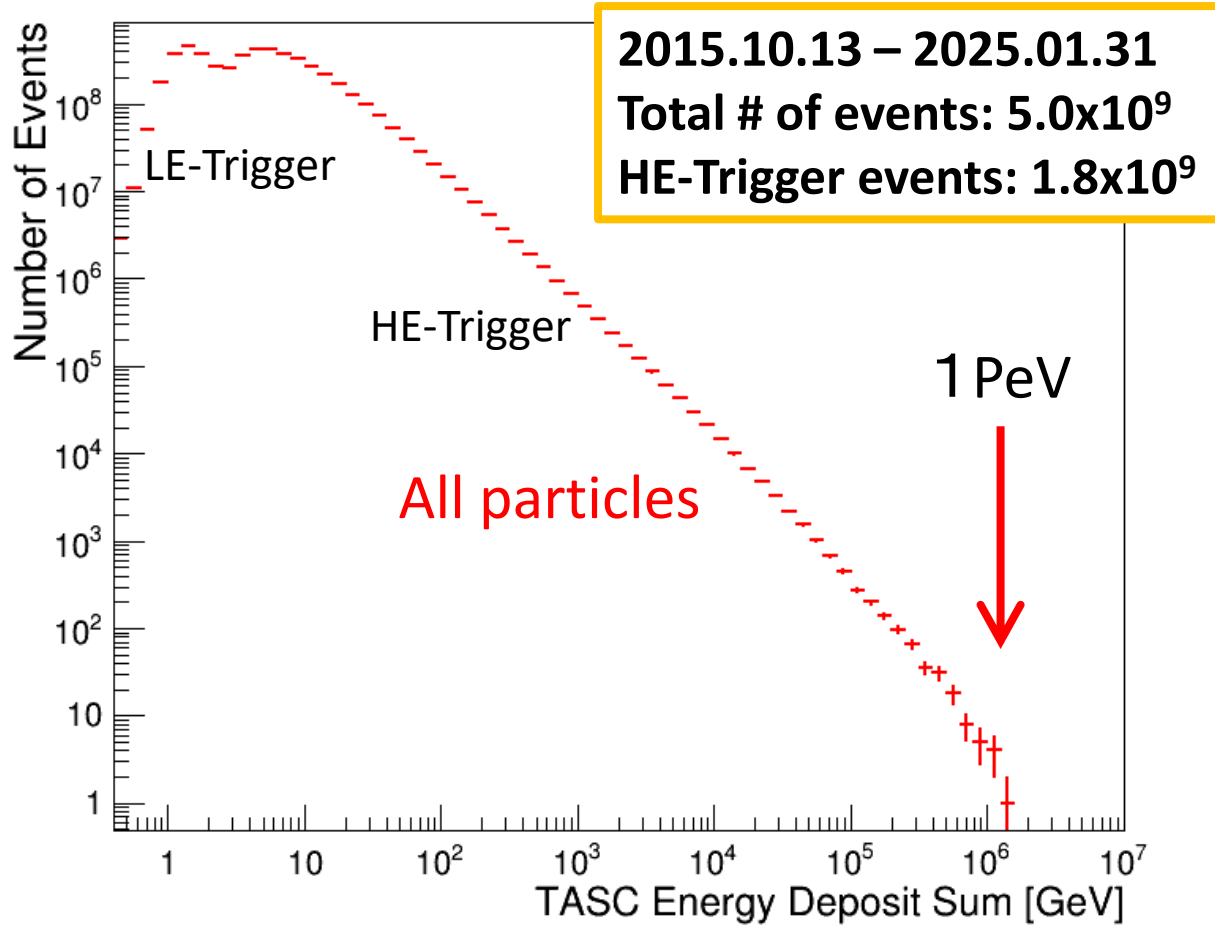
2ヶ月毎の変化の割合を示す。



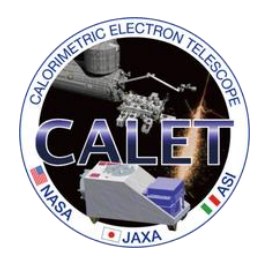
CHD,TASC,IMCいずれも
急激な変化はなく、
～±1%以内に収まっている。



Energy deposit (in TASC) spectrum: 1 GeV-1 PeV



検出器キャリブレーションは安定的に全チャンネルで行われており、1 GeVから1 PeVまでの広いエネルギー領域での解析が可能となっている。



まとめ

- CALETは2015年の観測開始から9年以上経過しているが、順調にデータを取得している。軌道上における不具合は、各機器の再立ち上げにて正常復帰しており、発生頻度は1年間あたり2.7回程度である。全て一時的な不具合であり、永久故障につながるものはない。
- 検出器キャリブレーションについても順調に行われ、1GeVから1PeVまでの広いエネルギー領域での解析が行えている。