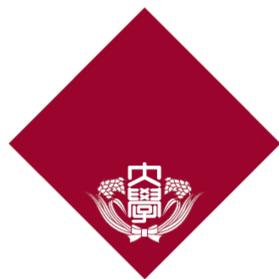


# ISS軌道上における CALETの電子観測条件最適化

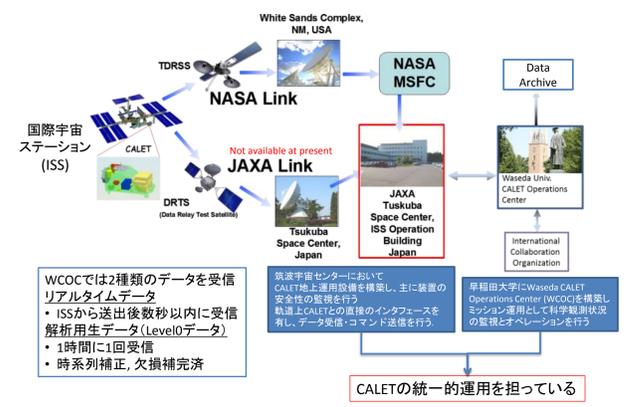
早大理工研<sup>1</sup>, 早大先進理工<sup>2</sup>, 早大国際教育センター<sup>3</sup>, 神奈川大工<sup>4</sup>, JAXA/ISAS<sup>5</sup>

浅岡陽一<sup>1</sup>, 鳥居祥二<sup>1,2</sup>, 笠原克昌<sup>1</sup>, 赤池陽水<sup>2</sup>, 小澤俊介<sup>2</sup>, 安藤祐貴<sup>2</sup>, 神尾泰樹<sup>2</sup>,  
佐藤郁也<sup>2</sup>, 竹本翔一<sup>2</sup>, 田中瑞樹<sup>2</sup>, 宮田諒平<sup>2</sup>, 山口優幸<sup>2</sup>, 大和啓一<sup>2</sup>,  
Holger Motz<sup>3</sup>, 清水雄輝<sup>4</sup>, 田村忠久<sup>4</sup>, 上野史郎<sup>5</sup>, 富田洋<sup>5</sup>, 他CALETチーム

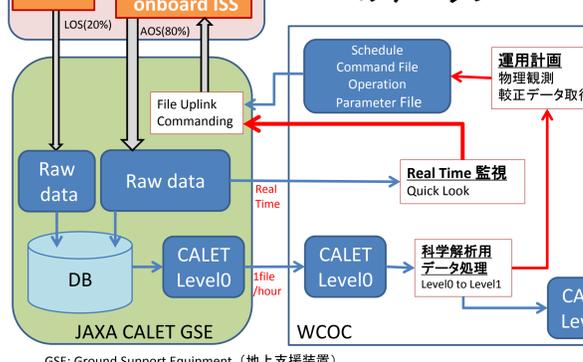


CALETは2015年10月に国際宇宙ステーションにて長期観測を開始した高エネルギー宇宙線観測装置である[1]。撮像型と全吸収型を組み合わせた計30放射長の分厚いカロリメータを搭載し、主目的であるTeV領域電子の本格観測に加え、ガンマ線や陽子原子核を幅広いエネルギー範囲で観測する性能を有する。CALETのミッション運用やデータ監視・解析を実施するため、早稲田大学にWCOC(Waseda CALET Operations Center)[2]が設置されており、JAXAに設置された地上システムと協力して24時間体制での運用が行われている。CALETの実運用では、地磁気緯度の影響を考慮してトリガー条件を計画的に制御することで、TeV領域電子の観測統計を最大限確保しつつ低エネルギー粒子の効率的な観測や較正データの取得を実現している。本講演では、軌道上運用を開始したCALETの観測条件最適化について発表する。

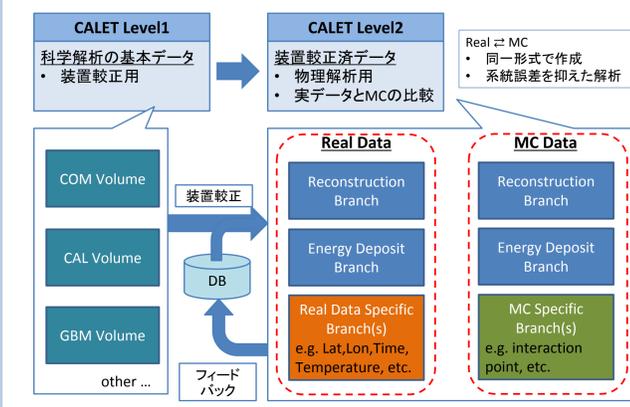
## 軌道上から地上へ



## CALET 地上システムの データフロー



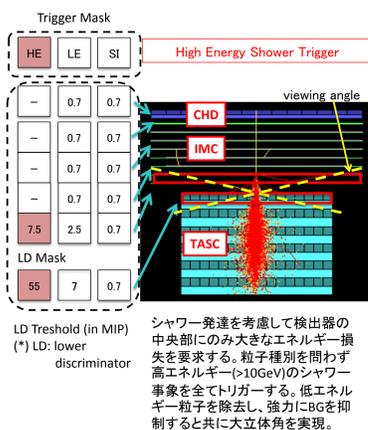
## CALET高次データ処理の概要



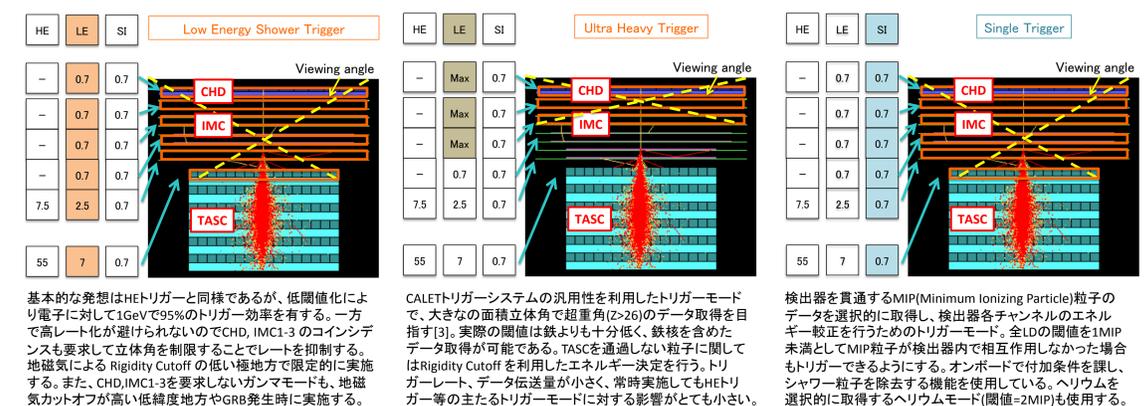
CALETのトリガーシステムには、支配的なGeV領域の宇宙線を排除して、CALETの主たる観測対象である高エネルギーのシャワー現象を効率的に取得する機構が必要となる。この要請を満たしつつ複数の異なる条件でのトリガーを可能とするため、CALETには、以下の3つのトリガーモードが実装されている。

- High Energy Shower Trigger (HE)
- Low Energy Shower Trigger (LE)
- Single Trigger (SI)

CALETにおけるトリガー信号は、トリガーカウンターからのLD信号のコインシデンスによって生成される。LD信号は要素検出器の信号和を指定した閾値で波高弁別することで生成される。トリガーに使用される要素検出器としては、CHD X,Y, IMC X1-X4, Y1-Y4 (ファイバー2層の和), TASC X1があり、11個のLDの閾値・及びコインシデンスを自由に組み合わせて各トリガーモードを設定できる。具体的な設定パターンを右図に示す。各トリガーモードのデータを実際に取得するかどうかは、Trigger Maskによって選択できる。CHDにて大きなエネルギー損失を要求する“Heavy Mode”も上記に加えて設定可能である。

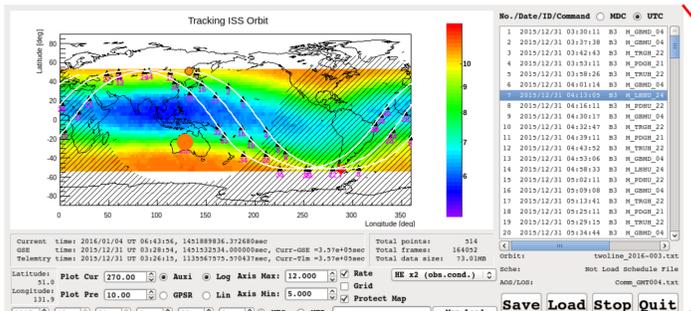


## CALET のトリガーモード

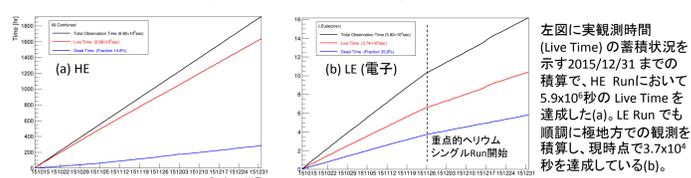


## 科学観測運用計画

CALETの実運用では、地磁気緯度の影響を考慮してトリガー条件を計画的に制御することで、TeV領域電子の観測統計を最大限確保しつつ、低エネルギー粒子の効率的な観測や較正データの取得を実現している。観測デッドタイム(1イベント取得毎に~5ms)とデータ伝送量(最大で600kbps, ただし5MBのバッファ機能あり)に注意を払って運用計画を作成する必要がある。

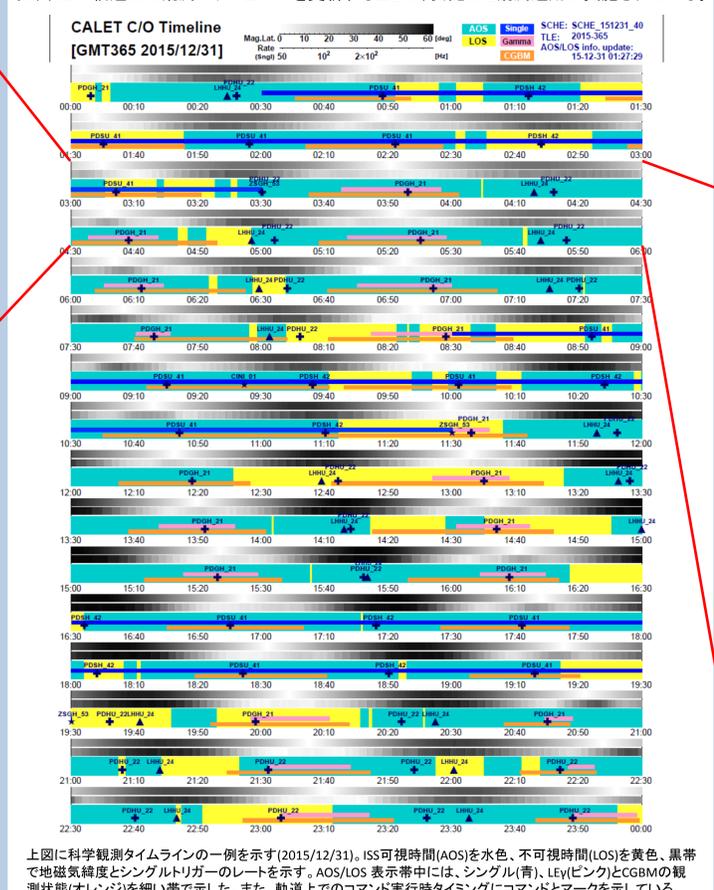


- スケジュールコマンドファイルによる科学観測運用を10/5より継続的に実施している。10/13以降は検出器の高電圧を固定し、以下のモードを組み合わせた安定観測に移行した。
- High Energy Shower Observation : 常時実施**  
電子・ガンマ線、核子の高エネルギーシャワー現象を全て取得。Ultra Heavy用のトリガーモードも基本的に常時実施となっている。
  - Low Energy Electron Run : 最高地磁気緯度で各30秒間実施**  
磁気カットオフの小さくなる極地方で1GeV領域の電子データを取得。
  - Low Energy Gamma-Ray Run : 低緯度地方で実施**  
地磁気カットオフを利用して低エネルギーガンマ線データを効率的に取得。
  - Single Run : 一日の中で指定した軌道に対して実施**  
装置ゲイン較正用、装置内で相互作用しない粒子を選択的に取得。陽子Runを10/5-11/25に渡って実施した(10/16以降2軌道/day)。11/26以降はヘリウムRunを実施(現在は十分な較正データを取得するため、重点的に6軌道/dayとして実施)。
  - Pedestal Run : 1380秒おきに2秒間実施**  
周期的にペデスタルデータ取得する。
  - CGBM Observation Control : CGBMの観測制御をスケジュールファイルで実施**  
極地方・SAAでのHV Off, 観測可能領域でのHV On, トリガー有効化を行う。



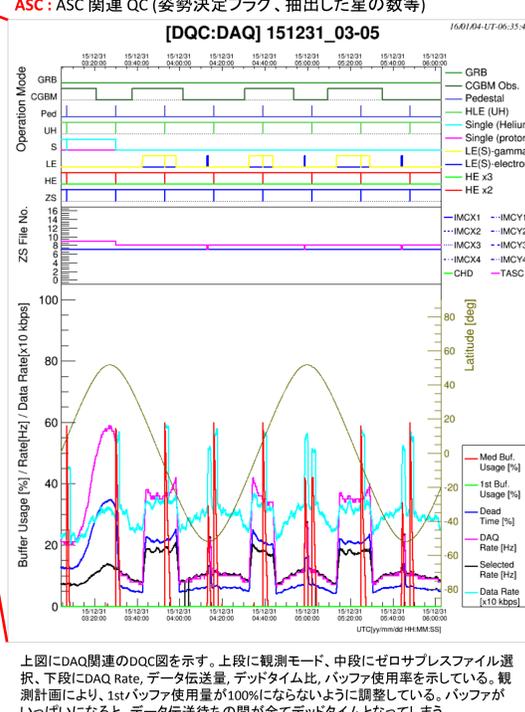
## 観測運用タイムライン

観測運用は、実行時刻を付与したコマンドシーケンスを記載したスケジュールコマンドファイルによって、軌道上で逐次実行される。WCOCではスケジュールコマンドの自動作成を実現しており、日々軌道上で観測スケジュールを更新することで、安定した観測運用が実施されている。



## Data Quality Check

リアルタイム監視ではQuick Lookを用いた観測状態の監視を行っており、各瞬間におけるデータ取得の健全性はチェックしているが、それでは気づかないような統計的なデータ品質の確認も重要である。その目的で以下のData Quality Check 図を毎日作成し、チェックを行っている。DAQ : データ収集のチェック。観測モード推移の妥当性を確認。TRG : Trigger Rate, CHD Count Rate 等により観測環境の変化をチェック。DSZ : イベントあたりのデータサイズ変動のチェック(ゼロサプレスのQC)。SPC : 簡易的にスペクトルを作成し、総合的にデータ品質を確認。PED : Pedestal変動のチェック(ノイズ、平均値)。TMP : Sensor Temp, TASC Temp, Solar Altitude, Beta Angle。GPS : GPS 関連 QC (補足衛星数、信号の強さ等)。ASC : ASC 関連 QC (姿勢決定フラグ、抽出した星の数等)。



**まとめと展望:**  
ISS軌道上でのCALET電源投入以来、WCOCは運用計画、リアルタイム監視、科学解析用データ処理の3つの役割を全て着実に果たしている。デッドタイム、データ伝送量を考慮した電子観測条件の最適化も完了し、10/13の安定観測開始以降、順調に実観測時間を蓄積している。本運用を継続することで、初の本格的なTeV領域電子直接観測が実現できる。  
本研究は、JSPS科研費 26220708 (基盤研究S 研究代表者 鳥居祥二) (H26-H30) 及び私立大学戦略的研究基盤形成支援事業(研究拠点形成) (H23-H27)による助成を受けています。

**参考文献:**

- S. Torii for the CALET Collaboration, "Calorimetric Electron Telescope (CALET) for the International Space Station", Proceedings of the 34nd International Cosmic Ray Conference (The Hague, Netherland), 581 (2015).
- Y. Asaoka for the CALET Collaboration, "Development of the Waseda CALET Operations Center (WCOC) for Scientific Operations of CALET", Proceedings of the 34nd International Cosmic Ray Conference (The Hague, Netherland), 603 (2015).
- R. Brian for the CALET Collaboration, "Predicted CALET measurements of ultra-heavy cosmic ray relative abundances", Advances in Space Research 53 (2014) 1444.