

JAX

ISS軌道上における CALETの 電子 観測条件 最適化

早大理工研¹, 早大先進理工², 早大国際教育センター³,神奈川大工⁴, JAXA/ISAS⁵ 浅岡陽一1,鳥居祥二1,2,笠原克昌1,赤池陽水2,小澤俊介2,安藤祐貴2,神尾泰樹2, 佐藤郁也², 竹本翔一², 田中瑞樹², 宮田諒平², 山口優幸², 大和啓一², Holger Motz³, 清水雄輝⁴, 田村忠久⁴, 上野史郎⁵, 冨田洋⁵, 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。









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 ルギーのシャワー事象を効率的に取得する機構が必要 となる。この要請を満たしか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)
- 3. 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。



中央部にのみ大きなエネルギー損 (*) LD: lower 失を要求する。粒子種別を問わず discriminator 高エネルギー(>10GeV)のシャワー 事象を全てトリガーする。低エネル ギー粒子を除去し、強力にBGを抑 制すると共に大立体角を実現。

り電子に対して1GeVで95%のトリガー効率を有する。一方 で高レート化が避けられないのでCHD, IMC1-3 のコインシデ ンスも要求して立体角を制限することでレートを抑制する。 地磁気による Rigidity Cutoff の低い極地方で限定的に実施 する。また、CHD,IMC1-3を要求しないガンマモードも、地磁 気カットオフが高い低緯度地方やGRB発生時に実施する。

で、大きなの面積立体角で超重角(Z>26)のデータ取得を目 指す[3]。実際の閾値は鉄よりも十分低く、鉄核を含めた データ取得が可能である。TASCを通過しない粒子に関して はRigidity Cutoff を利用したエネルギー決定を行う。トリ ガーレート、データ伝送量が小さく、常時実施してもHEトリ ガー等の主たるトリガーモードに対する影響がとても小さい。

データを選択的に取得し、検出器各チャンネルのエネル ギー較正を行うためのトリガーモード。全LDの閾値を1MIP 未満としてMIP粒子が検出器内で相互作用しなかった場合 もトリガーできるようにする。オンボードで付加条件を課し、 シャワー粒子を除去する機能を使用している。ヘリウムを 選択的に取得するヘリウムモード(閾値=2MIP)も使用する。

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せた安定観測に移行した。

- 1. 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事象を全て取得。 Ultra Heavy 用のトリガーモードも基本的には常時実施となっている。
- 2. 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。
- 3. 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。

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クォリティ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、総合的にデータクオリティを確認 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)



4. Single Run: 一日の中で指定した軌道に対して実施

- 装置ゲイン較正用に、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)。
- 5. 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。
- 6. 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。





上図に科学観測タイムラインの一例を示す(2015/12/31)。ISS可視時間(AOS)を水色、不可視時間(LOS)を黄色、黒帯 で地磁気緯度とシングルトリガーのレートを示す。AOS/LOS 表示帯中には、シングル(青)、LEγ(ピンク)とCGBMの観 測状態(オレンジ)を細い帯で示した。また、軌道上でのコマンド実行時タイミングにコマンドとマークを示している。

上図にDAQ関連のDQC図を示す。上段に観測モード、中段にゼロサプレスファイル選 択、下段にDAQ Rate, データ伝送量, デッドタイム比, バッファ使用率を示している。観 測計画により、1stバッファ使用量が100%にならないように調整している。バッファが いっぱいになると、データ伝送待ちの間が全てデッドタイムとなってしまう。

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。



- 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).
- 2. 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", 3. Advances in Space Research 53 (2014) 1444.