

## 平成 30 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：飛翔体観測（CALET）による高エネルギー宇宙線加速天体の研究 英文：Study on High Energy Cosmic Ray Sources by Observation in Space			
研究代表者	早稲田大学	理工学研究所/物理学科	教授	鳥居祥二
参加研究者	早稲田大学	理工学研究所	主任研究員	浅岡陽一
	早稲田大学	先進理工学研究科	次席研究員	小澤俊介
	早稲田大学	国際教育センター	准教授	MOTZ Holger
	早稲田大学	理工学研究所	招聘研究員	笠原克昌
	東京大学	宇宙線研究所	名誉教授	寺澤敏夫
	東京大学	宇宙線研究所	准教授	浅野勝晃
	神奈川大学	工学部	教授	田村忠久
	神奈川大学	工学部	准教授	清水勇輝
	横浜国立大学	工学研究院	准教授	片寄祐作
	立命館大学	理工学部	教授	森 正樹
	弘前大学	工学研究科	准教授	市村雅一
	芝浦工業大学	システム工学部	教授	吉田健二
	信州大学	理学部	教授	宗像一起
	茨城大学	理学部	名誉教授	柳田昭平
	大阪市立大学	理学研究科	准教授	常定芳基
	NASA	GSFC	研究員	赤池陽水
	(他 早稲田大学 大学院生 12 名 宇宙線研 大学院生 1 名)			
研究成果概要	<p>宇宙線の加速・伝播機構の体系的な解明と近傍加速源・暗黒物質の探索を主な目的としたCALorimetric Electron Telescope (CALET)は、2015年8月に打ち上げられ、国際宇宙ステーション「きぼう」船外実験プラットフォームで軌道上観測を実施している。現在までにすでに約3.5年にわたって、早稲田大学 CALET Operations Center (WCOC)にて観測運用を順調に実施している。そして、JAXAによる打ち上げ後2年間の観測成果審査(フルサクセス)を経て、2018年1月より「延長運用」が5年間(以上)の観測を目標に開始された。CALETの観測はこれまで期待通りの軌道上性能を発揮して、ほとんど中断もなく順調な観測が実施され、装置の軌道上性能について十分な検証が行われている。そして、これまでの観測により10 GeV以上のシャワーイベントが約10億例取得されている。</p> <p>これまでに、データ解析の基礎となる軌道上データのエネルギー測定方法を確立し、装置性能の長期変動を確実に較正することにより、(1)電子エネルギー分解能(&gt;100GeV): &lt; 2%、(2)エネルギー測定のレンジ: 1GeV-1PeV、(3)エネルギー測定の系統誤差: ~1%等、という所期の性能を達成している。そして、軌道上の観測データを較正したデータ(L2)を作成し、観測イベントについてシャワー軸の飛跡再構成、入射粒子の電荷測定、カロリメータに付与されたシャワーエネルギー測定、を高精度に実施している。データは、日米伊の国際共同研究機関に配布され、各機関で独立なデータ解析を実施して、定期的なチーム会議やテレコンにより解析結果の相互検証が実施された。</p> <p>その結果、2017年には直接観測としては世界で初めの3TeVまでの電子エネルギースペクトルをPRLに発表したが、2018年には高エネルギー領域での統計量を2倍に増やした11 GeV-4.8 TeVでの高精度なエネルギースペクトルをPRLにて発表できている(図1)。その際、シャワー形状の違いを用いた電子/陽子識別に必要なシミュレーション計算を、宇宙線研の大型計算機などを駆使して行なった。</p>			

図に示す通り、CALETの結果は1TeVまでAMS-02とはよく一致しているが、100GeV以上ではFermi/LAT等の結果とは有意な差が見られる。この結果による知見を以下にまとめる。

- ① 1 TeV 以下では、AMS-02 の測定結果と誤差内でよく一致している。異なる測定原理による観測結果が一致したことは、系統誤差がよく理解されていることの証左となる。
- ② これまでの宇宙における直接観測の限界を更新した。1-4.8 TeVの領域は、電子加速源の分布によるスペクトルのカットオフ構造が見られる。
- ③ CALET の結果は系統誤差を含めるとまだ有意とは言えないものの、AMS-02とは異なり200 GeVと1 TeV近辺に、暗黒物質やパルサーと関連する可能性があるスペクトルの微細構造の存在を示唆している。

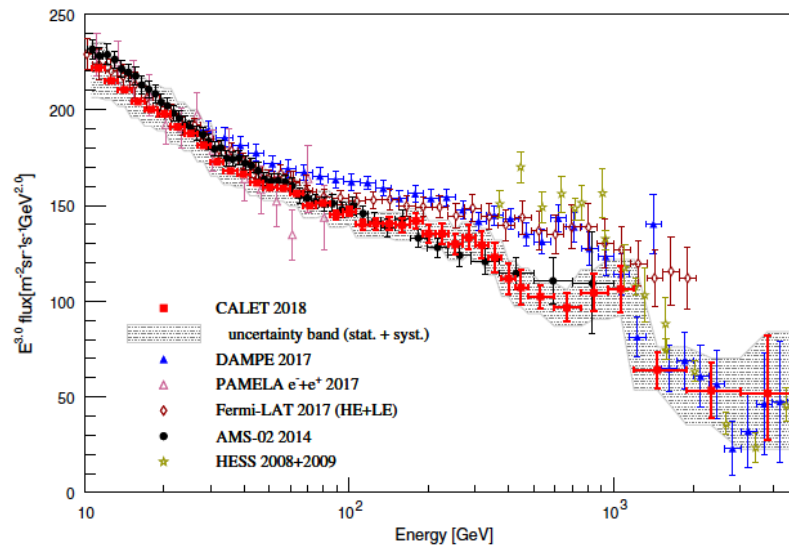


図1: CALETにより11 GeV-4.8 TeVの領域で測定された宇宙線全電子スペクトル、灰色帯は系統誤差を示す。これまでの観測のうち、宇宙空間での測定結果(DAMPE, PAMELA, Fermi-LAT, AMS-02)と地上からの観測結果(HESS)を共に示す。

さらに陽子・原子核の主要な一次成分について 100TeV 領域に至るエネルギースペクトル、及び TeV 領域までの B/C 比が得られており、陽子については PRL で論文が受理されており、その他は論文投稿を準備している。ガンマ線観測では、1GeV 以上の到来方向分布図 (skymap)を作成し、銀河内拡散成分や代表的なポイントソースである Vela, Crab, Geminga を検出し、ApJL (2018)に観測性能を含む論文を発表した。さらに、LIGO/Virgo の重力波観測のフォローアップによる上限値の論文を ApJ(2018)にて発表している。

今年度における共同利用の研究成果としては、大型計算機によるシミュレーション計算の実施や、研究会での成果発表などが挙げられる。これらの研究成果は、上記を含む査読付き論文 5 編、国際会議プロシーディングス 7 編、及び国内外会議発表 24 件にて公表した。

なお、これまでの CALET による電子観測の成果に対して以下の2件の受賞をしている。

- ① ISS Awards for Compelling Results in Physical Science and Material Development, “Direct Measurement of High Energy Cosmic-Ray Electron and Positron to the TeV Region” Shoji Torii and the CALET Team by CASIS, NASA, AAS, 2018. 7.
- ② 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」 鳥居祥二, 2019 年 1 月 9 日, 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構