

平成 23 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：エマルジョンチェンバーによる高エネルギー宇宙線電子の観測
 英文：Observations of high-energy cosmic-ray electrons with emulsion chambers

研究代表者 芝浦工業大学システム理工学部・教授・吉田健二
 参加研究者 青山学院大学理工学部・講師・小林正、神奈川県立保健福祉大学・准教授・古森良志子、東京大学宇宙線研究所・助教・大西宗博、東京大学宇宙線研・技術補助員・小林孝英、東京大学・名誉教授・西村 純

研究成果概要

我々はエマルジョンチェンバー（ECC）を用いて、宇宙線源、宇宙線加速・伝播機構の解明を行うために、高エネルギー宇宙線電子の気球観測を行ってきた。ECCは、宇宙線源の解明にとって極めて重要な1TeV以上の電子の直接観測で最も統計精度の高い観測結果を出している実験である。本年度は、1968年から2001年までの全ECC気球観測データを取りまとめて、ECCによる最終的な30GeV～3TeV領域の宇宙線電子エネルギースペクトルの観測結果をAstrophys. J. に投稿した。また、気球観測による宇宙線電子の観測では、バックグラウンドとなる大気電子スペクトルを差し引かなければならないが、ECCでは電子と同時に大気ガンマ線の観測も行っており、大気ガンマ線の観測スペクトルから大気電子スペクトルを導出する解析的手法を取りまとめて、Astropart. Phys. に投稿した。図1にECC気球観測による最終的な宇宙線電子エネルギースペクトルを示す。

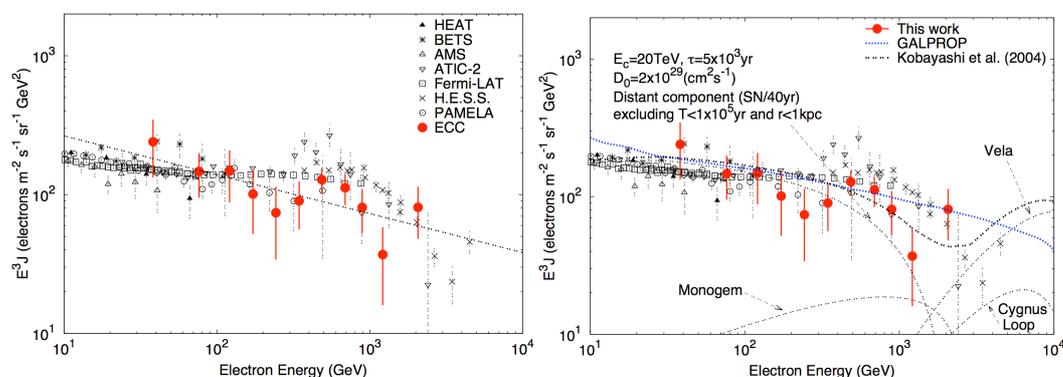


図1：ECC気球観測による最終的な宇宙線電子エネルギースペクトルと power-law スペクトルによるフィッティング結果（左）、SNR 起源の電子スペクトルモデルとの比較（右）

ECC 気球観測による宇宙線電子スペクトルは、下記の power-law スペクトル

$$J_e(E) = (1.39 \pm 0.23) \times 10^{-4} (E/100 \text{ GeV})^{-3.28 \pm 0.10} (\text{m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{GeV}^{-1})$$

で良く再現できる。また、ECCによる電子スペクトルをSNR起源の電子スペクトルモデルと比較すると、 $W_e = 1 \times 10^{48} \text{ erg/SN}$ 程度の宇宙線電子の出力エネルギーで、我々の銀河系内で40年に1回程度の超新星爆発が起こっているとすると良く説明できる。さらに、我々の1TeV以

上の電子スペクトルの観測データは、近傍の電子加速源（距離<1kpc、年齢<1x10⁵yr）が存在することを強く示している。

これらの成果を導出してきた ECC のユニークな特徴に、1 μm 以下という優れた位置分解能がある。この位置分解能により、入射粒子の識別を優れた精度で行うことができる。図 2 に気球観測で識別した電子、ガンマ線、陽子イベントのシャワー発生点分布を示すが、それぞれ期待値と一致しており、粒子識別の妥当性を示していることが分かる。

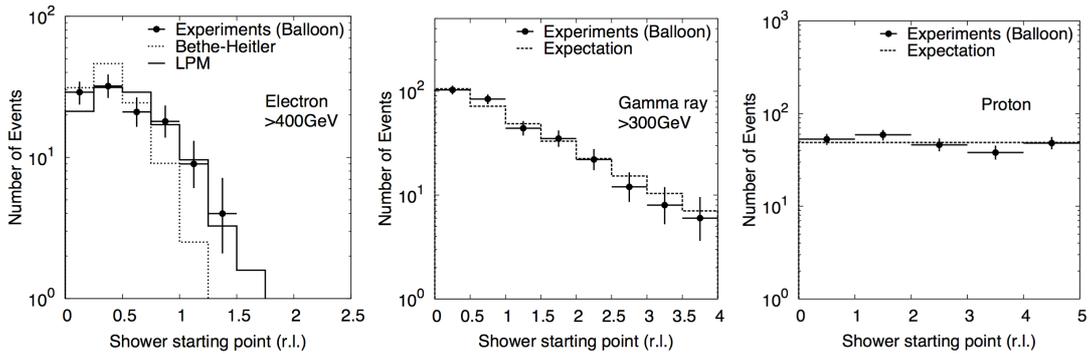
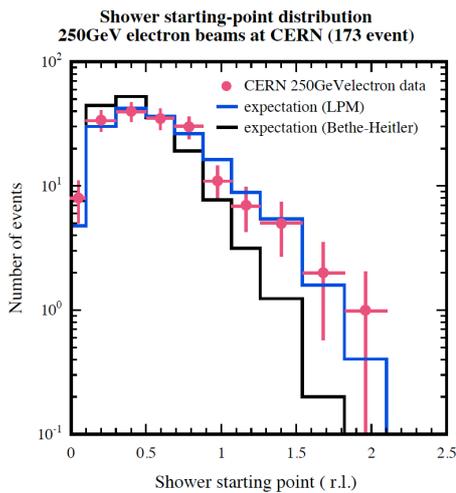


図 2：気球観測での電子、ガンマ線、陽子のシャワー発生点分布と期待値の比較。

ECC では、電子のシャワー発生点分布から、LPM 効果の検証を行うことが可能になる。LPM 効果のある制動放射の断面積では、低エネルギーのガンマ線発生が抑圧され、入射電子が初めて作る電子対の深さ分布は制動放射の断面積に依存するため、シャワーの発生点の深さが Bethe-Heitler の期待値よりも深くなるためである。気球観測データを取り纏めて、400GeV 以上の電子イベントに対してシャワー発生点分布を求め、M. C. シミュレーションの結果と比較したところ、Bethe-Heitler により期待される分布とは一致せず、LPM 効果により期待される分布とは一致する傾向を観測している（図 2）。



2008 年に実施した CERN-SPS での 250GeV 電子ビーム照射実験については、まだ解析途中であるものの、やはり LPM 効果と一致する傾向を示している（図 3）。

図 3：CERN-SPS 電子 250GeV 照射データでの電子シャワー発生点分布と期待値 (LPM および Bethe-Heitler) との比較。