

平成 21 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：エマルシ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、神奈川大学工学部・教授・立山暢人、ISAS/JAXA 大気球センター招聘研究員・河田二郎、東京大学宇宙線研究所・助教・大西宗博、東京大学宇宙線研・技術官・小林孝英、東京大学・名誉教授・湯田利典、東京大学・名誉教授・西村 純

研究成果概要

我々はエマルションチェンバー（ECC）を用いて、宇宙線源の同定や宇宙線加速・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 以上の電子直接観測で最も統計精度の高い観測結果を出している気球実験である。気球実験用の ECC については、富士フィルムが商業用の原子核乳剤の販売を中止したため使用を見合わせることにし、代わってイルフォード社製 G5 原子核乳剤を購入して検討を開始している。

このような気球観測による宇宙線電子の観測では、大気電子の寄与を差し引かなければならない。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データから大気電子エネルギースペクトルを推定する手法を開発してきた。この手法は、M. C. シミュレーションの中で使用される核相互作用モデルや一次宇宙線（陽子、ヘリウム等）のフラックスに依存しないため、これらの不確定性の影響を受けずに大気電子フラックスを推定できる。平成 21 年度の研究では、Dalitz Decay ($\pi^0 \rightarrow \gamma e^+ e^-$) を取り入れて、手法の精密化を行った。

気球高度での大気電子のエネルギースペクトルは、電子シャワー理論を用いて導くことが出来る。

$$\begin{aligned}\frac{\partial \pi(E, t)}{\partial t} &= -A' \pi(E, t) + B' \gamma(E, t) + \pi_{ex}(E, t) \\ \frac{\partial \gamma(E, t)}{\partial t} &= C' \pi(E, t) - \sigma_0 \gamma(E, t) + \gamma_{ex}(E, t),\end{aligned}$$

ここで、 $\pi(E, t)$ はエネルギー E 、深さ t (r. l.) での電子スペクトル（一次電子 + 大気電子）を表し、 $\gamma(E, t)$ は大気ガンマ線スペクトルを表している。 $-A' \pi(E, t)$ 、 $C' \pi(E, t)$ は制動放射の寄与、 $B' \gamma(E, t)$ 、 $-\sigma_0 \gamma(E, t)$ は電子対生成の寄与、 $\pi_{ex}(E, t)$ は Dalitz Decay の寄与、 $\gamma_{ex}(E, t)$ は一次宇宙線と大気核との核相互作用による大気ガンマ線発生の寄与を表している。初期条件としては、下記の一次電子エネルギースペクトルおよび宇宙ガンマ線エネルギースペクトルを用いる。

$$\pi(E, 0) = 1.6 \times 10^{-4} \left(\frac{E}{100 \text{ GeV}} \right)^{-3.3} (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr} \cdot \text{GeV})^{-1}$$

$$\gamma(E, 0) = 0.$$

また、電子エネルギースペクトル $\pi(E, t)$ は二つの項に分けることが出来、大気電子スペクトル $\gamma_{ex}(E) \xi(t)$ を導出する。

$$\pi(E, t) = \pi(E, 0)\zeta(t) + \gamma_{ex}(E)\xi(t)$$

ここで、 $\zeta(t)$ は制動放射による大気中でのエネルギー損失を表し、 $\xi(t)$ は $\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$ からのガンマ線による電子対生成と Dalitz Decay ($\pi^0 \rightarrow \gamma e^+e^-$) からの電子の寄与を表している。図 1 に導出した大気電子スペクトルを示す。

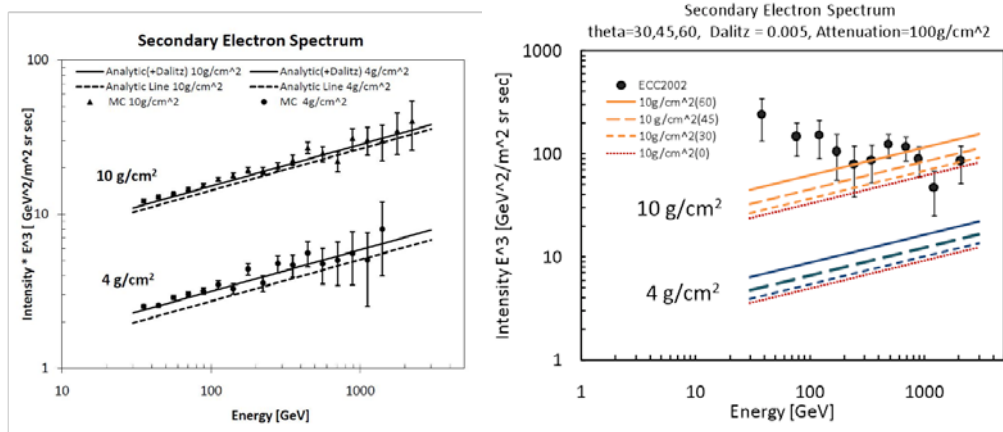


図 1：大気電子エネルギースペクトル。(左)：M.C. シミュレーションによる大気電子スペクトルとの比較。ただし、M.C. シミュレーションによる大気電子スペクトルは観測した大気ガンマ線スペクトルを再現できるように、フラックスを 1.25 倍してフラックスの規格化を行っている。実線が Dalitz Decay を考慮した場合、点線が Dalitz Decay を考慮しない場合を示す。高度 4g/cm²、10g/cm² でのスペクトルを示している。(右)：観測した一次電子エネルギースペクトル (黒丸) との比較。天頂角度 0, 30, 45, 60° 内での大気電子スペクトルを示している (高度 4g/cm²、10g/cm²)。

$\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$ の分岐比は 98.8%、Dalitz Decay ($\pi^0 \rightarrow \gamma e^+e^-$) の分岐比は 1.2% であるが、図 1 (左) から分かるように、Dalitz Decay の寄与は大気電子スペクトルの 10% 程度を占める。また、図 1 (右) に示されているように、気球に搭載した観測装置上空の残存大気中で発生する大気電子は、200GeV-2TeV 領域では、高度 10g/cm² で宇宙線一次電子と同程度、高度 4g/cm² で宇宙線一次電子の数%のイベント数である。このため、大気電子の寄与を少なくするために、数 g/cm² 以上の高度での気球観測が必要になる。

整理番号