

宇宙線望遠鏡(TA)実験における

絶対エネルギー較正のための小型電子線形加速器の始動



2010年10月5日

東京大学宇宙線研究所

高エネルギー宇宙線研究部門

芝田達伸

テレスコープアレイ実験

テレスコープアレイ(TA)実験は北米・ユタ州のソルトレイク市から約200km離れた砂漠地帯で行われている 10^{18}eV 以上の極高エネルギー宇宙線(UHECR)の観測実験である。UHECRの正体を明らかにし、発生起源を探索する事で加速機構を理解し、巨大なエネルギーを持つ天体現象の詳細を探る事を目的としている。更には現在の素粒子物理学の枠を超えた新物理への手掛かりを得る事も目的の一つである。

TA実験では大気中に入射したUHECRが空気中分子との衝突によって引き起こす巨大カスケードシャワーを地上に設置した2種類の検出器で観測する。カスケードシャワーに含まれる荷電粒子やガンマ線をシンチレーションカウンターで検出する地表検出器(SD)とカスケードシャワーに含まれる電子が空気中の窒素を励起する事で発生する紫外線領域の発光現象(大気蛍光)を光学望遠鏡で観測する大気蛍光望遠鏡(FD)である。

小型電子線形加速器(ELS)

UHECRの観測実験においてUHECRのエネルギーを高精度で測定する事が重要な課題である。TA実験ではこれまでにない全く新しい方法でエネルギースケールを決定する。それが小型電子線形加速器(Electron Light Source ; ELS)を用いたエネルギー較正である。ELSはFDから100mの近距離に設置された定格出力 $40\text{MeV} \times 10^{10}\text{e}^-/\text{pulse} \times 0.5\text{Hz}$ の電子ビームを空中に対して鉛直上向きに射出するように設計された電子加速器である。ELSから射出された電子ビームの出力エネルギーは既知であるため、空中でのエネルギー損失量はシミュレーションで計算が可能である。そのエネルギー損失量とFDでの観測量¹との関係をシミュレーションと実データで比較する事で、電子の空気中でのエネルギー損失からFDでの観測量までの大気中の減衰係数以外の全較正定数に対する一括較正が可能となる。

ELSの運転開始

ELSの開発は2005年4月からKEKとの共同研究として開始され、2008年1月に完成した(図1(左))。その後2008年12月まで試験運転を行い、2009年3月に北米・ユタ州のFDサイトへの移設が完了した。2009年4月から2010年5月末までに運転に必要な環境整備²が完了した(図1(右))。ELSの立ち上げ作業は2010年6月と8月下旬から9月初旬に行われた。6月の立ち上げ作業では大電力高周波パルス発生装置の最終整備と動作確認、100keVパルス型電子銃の動作確認を行い、両方ともに大きな問題がない事を確認した。8月下旬からは

¹ FDの観測量はFlash ADC値である。FDでは10MHz,14bitのFADCを使用している。

² 2010年5月末までに電力供給、冷却水配管、コンテナの断熱処理、システムの遠隔操作と監視体制、放射線管理体制の整備が完了。

加速ビーム試験を行い、現地時間で 2010 年 9 月 3 日午後 22 時、ついに空気中に射出された電子ビームが作る大気蛍光の発光現象を FD で観測する事に成功した(図 2)。

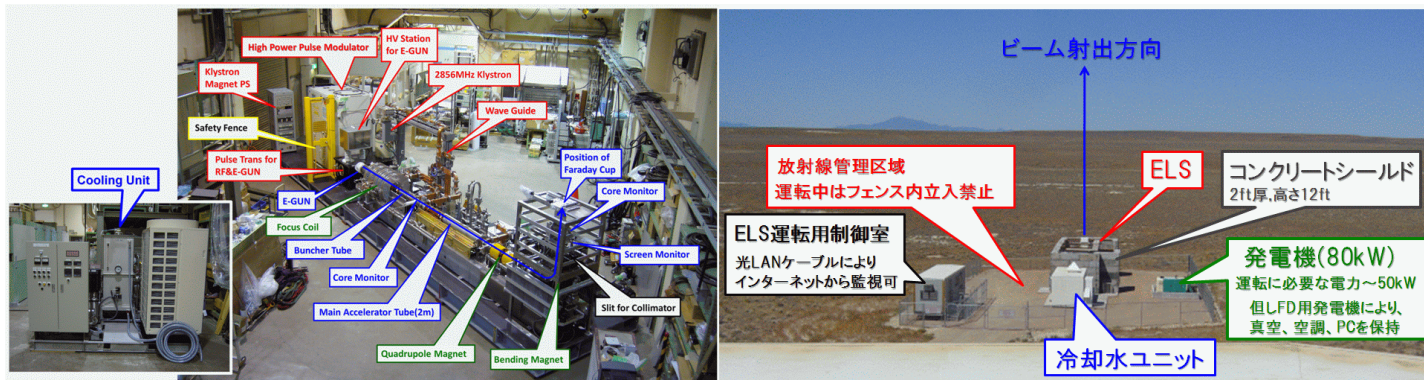


図 1 : KEK で完成した ELS の写真(左)、FD ステーション屋上から見た ELS サイトの様子(右)
 完成された ELS は 12m の海上コンテナに収納された。冷却水ユニットは 6m の海上コンテナに収納された。
 2 つのコンテナは写真右の中央に並べて設置されており、ELS 用の 12m コンテナは放射線防護のため厚さ 60cm
 のコンクリートブロックで覆われている。ELS の全ての管理はビーム射出口から約 20m 程離れた制御用コンテナから行う。

2010年9月3日 電子ビームの初の空中射出、及びFDIによる初観測

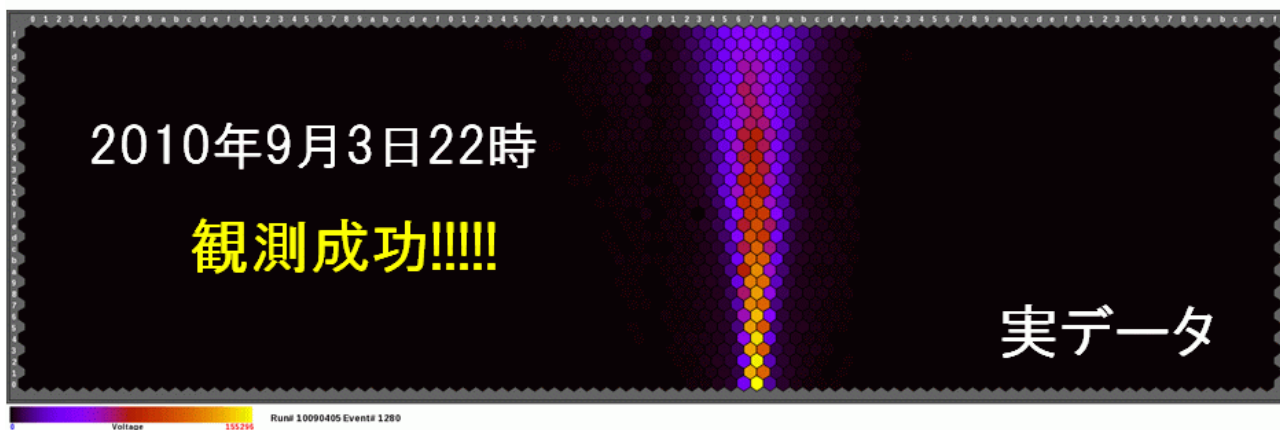


図 3 : 2010 年 9 月 3 日 FD で観測された初の加速電子ビームによる大気蛍光発光現象の撮像図

今後の展望と発展

ELS を用いた FD のエネルギー較正によって現在エネルギースケールに対する約 20%の系統的誤差を 10%以下に下げる事が期待されている。そして将来 TA 実験に止まらず、宇宙線望遠鏡のエネルギー較正は加速電子ビームを用いる事が標準的な手段となる事も充分期待できる。

追伸

ELS についての詳しい記事は ICRR ニュース第 74 号に掲載予定です。