

平成 29 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：小型電子線形加速器による空気シャワーエネルギーの絶対較正の研究 英文：Study of absolute energy calibration of air shower by a compact electron linac
研究代表者	高エネルギー加速器研究機構 加速器第一研究系 助教 芝田達伸
参加研究者	東京大学 宇宙線研究所・教授・佐川宏行 東京大学 宇宙線研究所・特任助教・池田大輔 (2018年5月現在 東京大学地震研究所・特任研究員) 大阪市立大学・大学院理学研究科・教授・荻尾彰一 大阪市立大学・大学院理学研究科・研究員・Bokkyun Shin (2018年5月現在 National Taiwan University, Leung Center for Cosmology and Particle Astrophysics, Junior Fellow Researcher) 大阪電気通信大学工学部・講師・多米田裕一郎
研究成果概要	<p>平成 29 年度の課題は前年度に引き続き小型線形加速器 (Electron Light Source; ELS) を用いた TA 実験用大気蛍光望遠鏡 (FD) 較正であった。絶対エネルギー較正の基本は FD で検出される光子数が実データ (DATA) とシミュレーション (MC) とで一致するかどうかを確認する事である。エネルギースケールの補正量は DATA と MC の比 ($=C_{ELS}$) で決まる。但しデータと比較する MC には大気蛍光モデルを仮定する必要がある。我々は TA が現在使用している TA 公式モデル (Model-K) と AirFly 実験等の複数の実験を平均化した参考モデル (Model-A) の 2 つを仮定した。Model-K は大気蛍光モデルに湿度依存性が含まれない。一方 Model-A には湿度依存が含まれている。そのため Model-K の C_{ELS} は大気条件に大きく依存すると予想できる。そのため可能な限り多くの大気条件下での測定が必要である。2014 年 10 月-11 月 (冬季) は温度が $-5^{\circ}\text{C} \sim +7^{\circ}\text{C}$、湿度は 17%~70% までの条件下でデータを取得した。2016 年 5 月-6 月 (夏季) は気温 $13^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$、相対湿度 20%~50%、2016 年 12 月 (冬季) は気温 $-13^{\circ}\text{C} \sim -7^{\circ}\text{C}$、湿度は 70% 前後での条件下でデータを取得した。2017 年度に 2016 年冬季の結果を新たに発表した。Model-K、Model-A を仮定した時のそれぞれの C_{ELS} と気温の相関を図 1 に示す。Model-K、Model-A を用いた場合の C_{ELS} の平均値はそれぞれ 1.24、1.01 であった。Model-A を用いた結果が実験値を良く再現している事が分かる。一方気温との相関は両方共に気温が上がると C_{ELS} は減少傾向にあるように見える。この傾向は Model-K では予想通りであるが、Model-A の場合は大気蛍光モデルが大気条件の依存性を正しく再現していればそのような相関は見えないはずである。この原因は大気条件である気温と湿度の測定精度が原因であると考えている。</p>

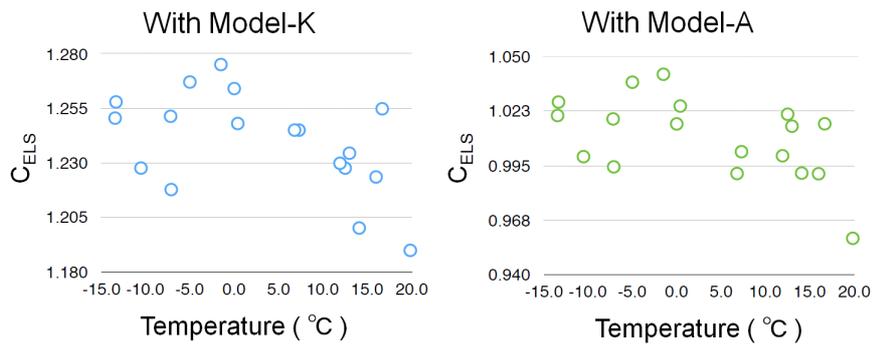
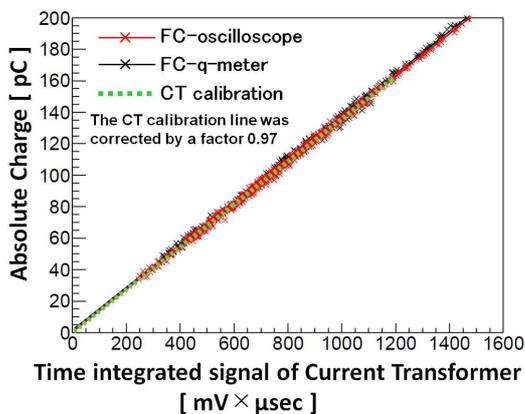


図 1: 2014 年～2016 年のデータを用いた C_{ELS} の値と気温の相関図

ELS の系統誤差にはショット毎のビーム電荷量測定精度 (3%) が含まれる。空中射出時のショット毎のビーム電荷量はビーム出力部の Current Transformer (CT) によって測定するが、ビーム電荷量の直接測定ではなく相対的な値を得るのみである。そこで絶対電荷量はファラデーカップ (FC) を用いて測定し CT を校正した。FC での電荷量測定用のデバイスは最初クーロンメータのみであった。しかしクーロンメータは積分電荷量を測定する。ビームパルス幅が 1μ 秒である一方、ビーム運転周期である 2 秒毎に 1 回の読み出しで得た値をビーム電荷量としているため 2 秒間でのあらゆるノイズ電荷が読み出し値に含まれる。このノイズ電荷の影響を評価するため、FC の出力を直接オシロスコープに入力しビームスピルの時間積分値を用いてビーム電荷量を測定する方法も試みた。これらの 2 つの測定方法で得られたビーム電荷量の差をビーム電荷量測定精度と定義し、その値が 3% であった。2016 年冬季の ELS 運転時オシロスコープの測定系に使用されているケーブルやコネクタ類のメンテナンスを行った。その際長年の運転でコネクタに溜まったゴミも掃除した。その結果 3% の差がほとんど消えてしまい 2 つの結果は非常に良く一致するようになった。2016 年冬季に取得された CT と FC の相関を図 2 に示す。2 つの結果が良く一致している事が分かる。この結果は 2017 年度に報告し、2018 年 5 月には国際粒子加速器学会 (IPAC2018) で発表した。



横軸は CT で得られたビーム信号を時間積分した量、縦軸は FC で得られたビーム電荷量である。FC-oscilloscope、FC-q-meter がそれぞれビーム電荷量をオシロスコープ、クーロンメータで測定した結果である。CT calibration は CT 単体で行った入出力応答校正の結果に FC でのビーム捕獲効率 (0.97) を考慮した値である。3 つの結果は 1% 以内で良く一致した。

図 2: 2016 年に得られたビーム電荷量測定結果