

令和 7 年度 (2025) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：大口径解像型大気チェレンコフ望遠鏡による 10^{10} eV 領域のガンマ線・宇宙線観測に対するシミュレーション最適化の検証 英文：Verification of simulation optimization for gamma ray and cosmic ray observations in the 10^{10} eV region using a large-sized imaging atmospheric Cherenkov Telescopes
研究代表者	大石 理子 (東大宇宙線研究所)
参加研究者	吉越 貴紀、永田 柊弥 (東大宇宙線研)、郡司 修一 (山形大)
研究成果概要	2026 年度は研究代表者のグループ異動により sub-PeV (10^{14} eV) 領域の高エネルギー側の宇宙線シミュレーションに研究に注力する必要が生じたため、10^{10} eV 領域の低エネルギーに特化した研究については予定通りの進捗ではなかったが、上記の sub-PeV 宇宙線のシミュレーション研究を通じ、低エネルギー側にも適用可能な知見を得ることができた。 1. CORSIKA7 の光子減少プロセス記述(CERQEF)問題の把握 空気シャワーからのチェレンコフ光は大気中で生成されると同時に大気によって散乱・吸収を受ける。特に主要成分である Rayleigh 散乱は大角度散乱であるため光子の損失として取り扱われる。そのため、地表で検出されるチェレンコフ光子を定量評価する際には、光子の波長域と大気透過率の設定が非常に重要な前提条件となる。特に <400 nm の領域はチェレンコフ光の生成量が多い一方で大気中での損失も大きい。このため、光子経路計算の負荷を軽減する目的で、CORSIKA7 には、光子の生成時点で地表到達までの損失分を見積もり、経路追跡を行う光子をあらかじめ減数する機能 (CERQEF) が実装されている。しかし、この機能を使用した場合、地表で観測されるチェレンコフ光、特に単一粒子由来の Direct Cherenkov 光において不連続な空間パターンが現れることを確認した。このようなパターンは、光子減数処理のステップ間隔が粗い場合に発生する可能性がある。個別事象の選別への不連続性の影響が懸念されるため、現状のシミュレーションでは CERQEF を使用せず、生成高度から観測高度までの経路長と波長の二変数に依存性した吸収係数表を別途作成し、地表での光子和評価を行っている。なお、CORSIKA7 における光子減数プロセス実装上の問題点については、2026 年 5 月に大幅改訂版である CORSIKA8 が公開された段階であることから、現在は CORSIKA8 での再現テストを優先している。必要に応じて、今後は開発者へのフィードバックという形で開発に貢献したい。 2. MODTRAN の代替候補となる大気散乱計算フリーソフトウェアの検証 紫外・可視領域光子の波長依存性を含む減衰係数については、オゾン・酸素・窒素・エアロゾルなどの大気組成を組み込んだ放射輸送計算モデルが必要となる。この種の

計算には、多くの IACT (Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope) のグループにおいて MODTRAN が利用されている。一で、MODTRAN は教育用という条件下でも有償ソフトウェアである。大気透過率計算について、日変動程度の誤差範囲 (<10%) 内で MODTRAN と整合するフリーソフトウェアが利用可能であることが望ましい。この目的から、GNU General Public License の下で利用可能な libRadtran (<https://libradtran.org>) 用い、標高 2,200m のサイトを仮定した条件で MODTRAN による既存計算結果との比較を行った。200-600nm の波長域において両者は 5% 内で一致し、libRadtran が空気シャワー由来のチェレンコフ光の定量評価に十分使用可能であることを確認した。

これらの研究内容については、下記研究発表に含まれ、今後の研究成果発表にも取り入れる予定である。

関連する研究発表

国内学会

[1] “ALPACA 実験 65 : ALPACA 検出器との同期観測用チェレンコフ望遠鏡の設計研究
大石理子、他 ALPACA collaboration, 日本物理学会 2026 年度春季大会、2026 年 3 月、オンライン

国内研究会 (招待講演)

[2] “Direct Cherenkov 観測” 大石理子、第 8 回空気シャワー観測による宇宙線の起源探索研究会、2026 年 3 月、於東大柏キャンパス

整理番号2025d-F-31