

2020 (令和二) 年度 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：Ashra 観測

英文：Observation with Ashra

研究代表者 東京大学宇宙線研究所・准教授・佐々木真人

参加研究者

東京大学宇宙線研究所・准教授・佐々木真人、名誉教授・木舟正、技術専門職員・青木利文、東邦大学理学部・教授・小川了、D4・大島仁、M2・永澤陸飛、M1・横川まゆ子、KEK・田中真伸、岡山大学・吉村浩司、ハワイ大学・教授・T. Browder, 教授・P. Binder, 教授・J. Learned, 助教・Danny Marfatia、INFN・教授・R. Mussa 他

研究成果概要：

PeV (10^{15} eV) 以上の宇宙線の起源天体は未決の謎であるが、そこで加速された陽子は周囲の原子核や光子と衝突し π を生成し崩壊後 ν と γ 線が放出される。本研究では PeV 領域の ν 、 γ 線および原子核を空気シャワー (AS) による大気チェレンコフ光と大気蛍光 (大気発光) を通じて初めて複合的に高精度撮像観測し宇宙線起源の謎を解明する (図 1)。

地殻や山と衝突した宇宙タウ ν (ν_τ) は τ に変換して山斜面や地表に出現して崩壊し AS 生成し大気発光する。地面や山の方向から来た AS の親粒子は明確に ν_τ と分かる。上空から来る AS の親粒子の殆ど核子だが、電荷がなく磁場で曲げられない γ 線なら点源に集中する、もしくは AS 発達形態から識別が可能である。

地球上で体積が最大の山であるハワイ島マウナロア山上の高度 3000m~3500m の地点に、マウナロア山斜面上空の大気を 2 重に視野に含めるように広視野高精度の大気発光撮像検出器を配置し、そこで生じる AS からの大気チェレンコフ光と大気蛍光を高精度にて双眼撮像観測する。

① HESS などの TeV γ 線撮像大気チェレンコフ

望遠鏡 (IACT) と同等の解像度 ($< 0.1^\circ$) でありながら、単位検出器 1 台で 30° の広視野撮像検出が出来ること、および、② 大気チェレンコフ光による AS 横発達と大気蛍光による AS 縦発達の時定数が全く異なる事象を複合的に同時撮像できることが、本検出器の独自の特徴である。これらの特徴により、天球上の広大な検出視野範囲を確保しつつ、 0.1° 以下の鋭い方向決定と親粒子種識別を伴う複合観測が行え、PeV 宇宙素粒子の起源天体の明確な位置と物理機構の同定を狙える。また、視野内に地球かす

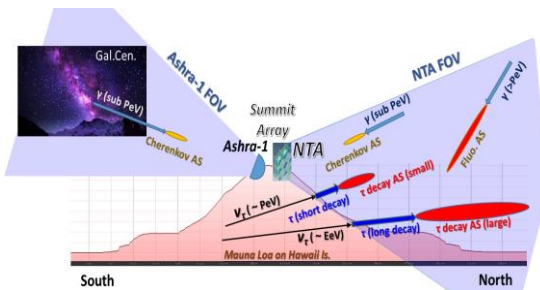


図 1：AS 複合的銀河バルジ連動撮像観測の原理

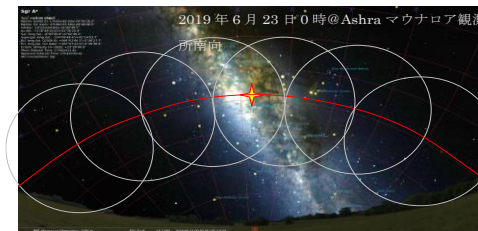


図 2：6 基の集光器による銀河バルジの監視観測



図 3：Ashra-1 マウナロア観測所

リッや γ によるAS発光を捉えれば、PeV-EeV領域において最大級の有効検出感度を有する(図4)。また高精度分解能撮像による超高エネルギー γ 線・ニュートリノ同時観測は銀河中心由来の超重暗黒物質探査としても有用である。

○ 銀河パルジPeV γ 線& ν 同時走査試験観測計画

宇宙素粒子の複合的撮像観測で優位なAshra-1(図3)を4サイトの観測システムへと展開するAshra NTA計画を国際共同も含め念に議論した。山上3000m-3500m高度のアレイ配置によって山周囲の大気中のAS発光を最大効率で検出でき、PeV周辺の出検感度を増強できる。IceCubeにより確認された宇宙 ν 過剰をNTA複合的撮像観測によってPeVで同等感度にて確認でき、30PeV以上ではIceCubeの10-100倍の感度で探査可能である。NTA検出器はAshra-1集光器を基礎に量産可能だが山上アレイに展開する時点で①自動運転と②電源の確保に対する実証のため、Ashra-1集光器4台を図1のように山斜面を望むように北向きに再調整して配置し太陽電源と自動運転によるパイロット観測を計画した。サイト調査を兼ねて天候条件や夜光の長期変動も調査し具体的な国際共同の策定を行ってきた。

○ Ashra-NTAに向けたトリガー装置準備

上記の目的と段階的なAshra-NTA観測に向け、トリガー論理判定のFPGAプログラムのさらなる改良とシミュレーションおよび机上の実証パルス試験、パルスレーザーによるトリガー撮像試験を行ってきた。安定かつ順調なトリガー論理判定が可能であることが確認された。明野にトリガー試験のため双眼のNTA試作器を設置して試験をこれまで実施してきた(図5)。大気蛍光の出検感度は空気シャワー幾何学的な特性、特に検出器における信号継続時間に強く依存する。この回路時定数の問題を解決し、あらゆる方向から到来する空気シャワーに対しアンバイアスに高感度トリガー検出可能とするため以前に開発された信号・飛跡認識回路を本実験に再活用すべく実装のトリガー論理プログラム等の調整し試作器試験に既に使用可能となっている。

○ Ashra1第3観測期の物理解析

Ashra-1第1観測期に行った地球かすりチェレンコフ・タウニュートリノ初探査を第3観測期に拡張した物理解析も進め、強い流束制限を与えている。Fermi-GBM衛星が発したGRB100411のトリガーに対応する広大な誤差円33度を網羅的に探る初めて光学閃光探査も実施し(図7)、プリカーサ領域をカバーする強い流束制限を唯一与えた。

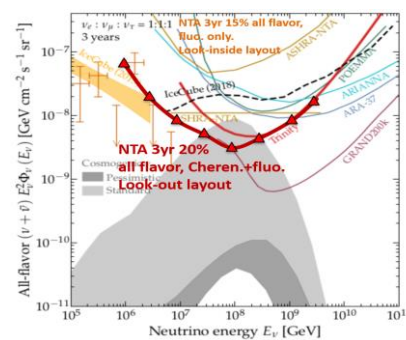


図4：NTA ニュートリノ感度の比較



図5：トリガー試験用双眼NTA試作器



図6：信号・飛跡認識回路の調整

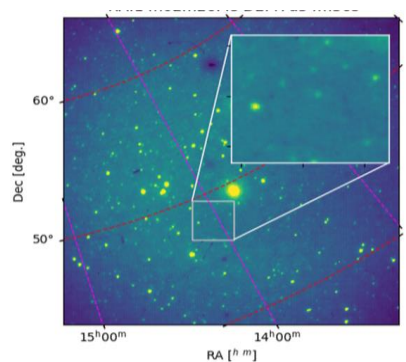


図7：Ashra1光学探査用の画像例。