

# 論文審査の結果の要旨

氏名 高見 一

地球上で観測される  $10^{20}$  電子ボルト以上の宇宙線の発生源は、宇宙背景放射との反応によるエネルギー損失の制限から、ほぼ 1.5 億光年 (50Mpc) 以内の領域に限られる。超高エネルギー宇宙線の発生源は、この領域内に存在する限られた数の高エネルギー天体であると考えられ、宇宙空間磁場による宇宙線の偏向が十分に小さくなる  $10^{20}$  電子ボルト領域では、これら発生源天体が、天空上の「点源」として見え始めることが期待されている。本論文において申請者は、超高エネルギー宇宙線の伝搬の精細なシミュレーションを行い、これを最新の観測結果と比較することで、これまで謎とされて来た超高エネルギー宇宙線の発生源天体や、その空間分布の同定を試みた。

本論文は全 8 章からなる。第 1 章の目的と概要に続き、第 2 章では、超高エネルギー宇宙線の観測方法と、これまでに得られたエネルギースペクトル、到来方向分布と宇宙線粒子種の知見を報告する。第 3 章では、超高エネルギー宇宙線の発生源と加速機構を概観する。

第 4 章ではシミュレーション手法の解説を行っている。超高エネルギー宇宙線を発生する候補天体としては、南北半球を均等にサーベイした IRAS 衛星による銀河カタログをベースとし、カタログにない遠方の低輝度銀河については、輝度・密度分布が矛盾しないように拡張補完を行っている。宇宙空間での伝搬については、宇宙背景放射や背景光子との反応および宇宙膨張によるエネルギー損失と、銀河系内・外の磁場による伝搬の偏向を考慮した。実際のシミュレーションにおいては、反陽子を地球上から全方向に均一に放出して 250 万事象に及ぶデータベースを構築し、それを発生源天体の距離と輝度などで加重して再足し上げを行っている。

第 5-7 章では、シミュレーションを用いた解析結果を報告している。第 5 章では Pierre Auger 観測所で観測されたエネルギーが  $5.7 \times 10^{19}$  eV 電子ボルトを超える 27 事象の到来方向の自己相関 (5 度以内) と、シミュレーション事象から得られた自己相関を比較することにより、Auger の自己相関を適切に再現する発生源密度が  $10^{-4 \pm 1} / (\text{Mpc})^3$  であることを求めた。誤差範囲には、磁場強度・磁場分布モデルや発生源の輝度依存性に関わる不定性を含んでいる。得られた発生源密度を実際の天体の存在密度と比較することで、ガンマ線バースト・活動を終えた準星・FR1 型の電波銀河などが発生源として高い可能性を持つことが示された。セイファート銀河は  $10^{-3} / (\text{Mpc})^3$  程度の存在密度を持ち、Auger の観測に見られた自己相関の強さを再現することは容易でない。また、粒子加速機構の観点から超高エネルギー宇宙線の発生源として有望視されてきた FR2 型の電波銀河などは、存在密度が低すぎることに加えて、 $10^{19}$  電子ボルト近辺で観測され

ている高い等方性からも発生源として不適當であると結論された。

第6章では、超高宇宙線の到来方向分布と IRAS カタログで代表される銀河の大規模構造との相関を検討し、南半球の Auger 観測所のデータは  $z$  が 0.018 以下の銀河分布と 15 度以内で高い相関があり、北半球の AGASA 検出器のデータは、構造のない一様等方な分布と一致することを確認している。第7章では、第4章と同様のシミュレーションを用いて、超高エネルギー宇宙線のエネルギー損失反応から生じた宇宙ニュートリノの観測可能性と、それが超高宇宙線のスペクトル構造や原子核組成などに加える制限を議論している。

本申請論文に述べられた知見は、超高エネルギー宇宙線の発生源天体の種類やその分布について、限られた観測データと精細なシミュレーション計算によって一般的に通用する制限を与えたものであり、十分な学術的価値を持つ。申請者の貢献は、シミュレーション手法の設計と計算コードの開発、これを用いたデータの解釈と予言に至る全般の領域で顕著である。また本論文の内容は、申請者を筆頭著者として査読付の学術誌に掲載済み、あるいは投稿済である。

以上をもって、高見一君に博士（理学）の学位を授与できると審査委員の全員一致で認めた。