

論文審査の結果の要旨

氏名 木戸 英治

本論文は7章で構成される。第1章はイントロダクションであり、100 EeV にせまる極高エネルギー宇宙線(UHECR)の起源を探る研究の現状を簡潔にまとめている。UHECRは木戸氏が所属する Telescope Array 実験(TA)のグループを含む複数の観測装置で調べられているが、極限の物理現象を扱っているため、その測定精度には注意が必要である。TAを含む既存の4種の検出器エネルギースペクトルは、 $\sim 30\%$ の系統誤差を補正すれば概ね一致する。残る課題の1つは、その組成が陽子か鉄かであるが、TAのデータは陽子を支持している。そして2つ目の課題がその到来方向であり、本論文の主題である。南天の Pierre Auger 実験は、近傍の活動銀河核の方向に空間相関するという示唆を得たが、これが正しいかどうかは明らかでない。木戸氏は、TA実験の稼働開始から今までの3年のデータを解析することで、これを北天で独立に検証した。第2章ではUHECRの伝播と観測のレビューを、第3章と第4章ではTA実験の観測装置の性能、および大気シャワーのモンテカルロシミュレーションの現状をまとめている。

第5章ではデータ解析の詳細をまとめている。木戸氏は、地上粒子検出器の開発、較正を行っており、特にPMTのゲイン非線形性の評価、およびフィールドでのオンサイト較正を担当した。これは、本論文の要素の一翼を担う。解析により、10 EeV以上のイベントを856こ、40 EeV以上を49こ、57 EeV以上を20こ検出した。

第5章の結果を受けて、宇宙大規模構造とUHECRの到来方向の関係を議論したのが第6章であり、本論文の主軸である。木戸氏は既存の銀河カタログ(2 Mass Extended Source Catalogue)のK-band (2.2 μm)帯の観測結果に基づき、250 Mpc以内の大規模構造の空間構造をモデル化した。10 EeV以上の宇宙線陽子は、光子との相互作用により電子-陽電子生成、さらにはパイオン生成により吸収される。木戸氏は近傍の大規模構造の空間分布と宇宙線陽子の吸収レートを計算し、これに銀河間磁場による拡散を導入して、10 EeV以上、40 EeV以上、57 EeV以上の3種のモデルを計算した。これにTAのsky coverageを掛け合わせて、観測の再現を試みた。さらに、天の川銀河のランダム磁場と大

きな磁場構造も取り込んでいる。

こうして得られた予想全天分布密度を、実際の観測データと比較するために、木戸氏は Kolmogorov-Smirnov (KS) テストを用いた。横軸を予想宇宙線密度とし、予想量の多いところに多く、少ないところに少なく来ているかどうかを定量的に比較している。実際には銀河磁場のランダム成分、構造成分の影響が大きく、かつこれらがよく理解されていないため、解析ではこれらを適宜変えつつ、KS テストでモデルが棄却されるか否かを確認する形をとっている。

TA で得られたデータは、空間異方性がない。すなわち一様入射を考えると矛盾ない。木戸氏のモデル計算の結果から、40 EeV 以上、57 EeV 以上のデータでは、観測イベント数の不足から、大規模構造由来のモデルでも、一様入射のモデルでも統計的には説明できることが確認された。一方で、10 EeV 以上のデータでは、大規模構造由来のモデルと観測データは、ランダム散乱を入れても一致しない。銀河 disk および銀河 halo の双方に、構造的な銀河磁場がある程度の強く (4uG レベル) 存在していることが欠かせないことが示された。第7章はまとめである。

木戸氏の成果は、TA 検出器のハードウェアの一部への貢献に加え、大規模構造の空間分布と宇宙線の伝播を取り込んだモデルを自ら構築し、予想レートの重み付けを軸に、観測結果とモデルを定量的に評価したことである。特に、北天においてこの解析を初めて実施したことに独自性がある。解析で用いた、57 EeV 以上のイベント数 20 こは、2010 年段階で Pierre Auger 実験が南天で得た数字 69 こと比較して劣るが、空間異方性の解析を始めるに十分な数である上、北天でこの精度の観測は TA のみの実現していることから、用いているデータにも高い新規性がある。また、TA はチームで行っている実験であるが、論文内容および審査会で、本論文の内容については木戸氏の貢献が明確に認められるとともに、TA チームからも同意書を得ている。

以上により、博士 (理学) の学位を授与できると認める。