

氏名	萩原 開人		
授与した学位	博士		
専攻分野の名称	理学		
学位授与番号	博甲第	6180	号
学位授与の日付	2020年 3月25日		
学位授与の要件	自然科学研究科 数理物理学専攻 (学位規則第4条第1項該当)		
学位論文の題目	Search for Astronomical Neutrinos from Blazar TXS0506+056 in Super-Kamiokande (スーパーカミオカンデにおける Blazar TXS0506+056 起源の天体ニュートリノ探索)		
論文審査委員	教授 石野 宏和	教授 岡田 耕三	准教授 吉見 彰洋
<b>学位論文内容の要旨</b>			
<p>2017年9月22日 20:54:30.43 (UTC), 南極に設置された IceCube ニュートリノ観測所は約 290 TeV の高エネルギーニュートリノを観測した。ニュートリノは TXS0506+056 という名前の blazar 天体起源であることが推測された。この blazar は 2017 年 4 月から GeV エネルギー領域で増光していた。さらに TXS0506+056 からのニュートリノフラックスが 2014 年 9 月から 2015 年 3 月にかけて増加していたが、その期間ではガンマ線の増光は確認されなかった。本研究では、Super-Kamiokande 実験の過去約 20 年間のデータを用いて GeV-TeV 領域の blazar ニュートリノを探索し、IceCube で観測されたニュートリノ事象やガンマ線スペクトラムと比較する。</p> <p>Super-Kamiokande (SK)は岐阜県神岡町の神岡鉱山内の地下 1 km に設置された巨大水チェレンコフ検出器である。検出器 (直径 39.3 m, 高さ 41.4 m) は内水槽と外水槽の 2 層で、宇宙線ミュオンなどのバックグラウンドとニュートリノ事象を識別する。本研究では、1996 年 4 月から 2018 年 2 月までのデータを使用して天体ニュートリノ探索を行う。SK でのニュートリノ事象は 3 つのクラスに分けられる。反応点が内水槽内部である場合は Fully-Contained (FC)事象と Partially-Contained (PC)事象に分類される。荷電粒子が全て内水槽の内側に収まる場合は FC 事象で、少なくとも 1 つの荷電粒子が外水槽へ抜ける場合は PC 事象である。さらに、SK の周りの岩と高エネルギーミュオンニュートリノが反応して生成されたミュオンが水平よりも下側から飛来する場合、Upward-going muon (UPMU)事象に分類される。FC 事象では 5.1 GeV, PC 事象では 1.8 GeV の閾値を設定することで、10 度以内に 68%のニュートリノ事象が再構成される。UPMU は 1.6 GeV の閾値を設定することで 5 度の探索範囲に 77%以上のニュートリノ事象が再構成される。</p> <p>予測される大気ニュートリノバックグラウンドと blazar TXS0506+056 方向からのニュートリノ事象の比較、blazar 方向の On-source とそれ以外の方向の Off-source で観測されたニュートリノ事象の平均と分散の比較、On-source と Off-source でのイベントレート比較、KS 検定を行った。これらの解析結果から、SK では blazar TXS0506+056 方向から有意なニュートリノ事象は観測されなかった。そのため 90%信頼度での Fluence 上限値、Energy-Flux 上限値、Luminosity 上限値を計算した。また、この上限値と数値計算モデルとの比較を行った。その結果、モデルパラメータによっては blazar からのニュートリノが SK で観測される可能性があることを示した。このパラメータから高エネルギー宇宙線の起源や宇宙線の加速機構が解明されることが期待される。</p>			

## 論文審査結果の要旨

萩原氏は論文タイトルにもある通り、スーパー神岡実験 (SK) において、Blazar TXS0506+056 からのニュートリノ探索を行った。このブレーザーは、南極でニュートリノの観測を行っている IceCube 実験によって発見された 100TeV 高エネルギーニュートリノ事象に端を発し、可視光望遠鏡による追観測によって天体が同定されたものとされる。本当にこのニュートリノが、このブレーザーから飛来したのかの真意については、いくばくかの議論の余地があるが、もし他の観測で見つかれば確固たる証拠となる。SK は、岐阜県飛騨市の地下 1000m に設置された純水 5 万トンからなる水チェレンコフ装置を用いたニュートリノ観測実験である。IceCube と比較して低いエネルギーを広い範囲 (1GeV~10TeV) のニュートリノを検出する能力を持つ。萩原氏は、SK の 22 年間にわたる観測データを用いて、このブレーザーからのニュートリノ信号を探索した。膨大なデータから興味ある事象データを抽出し、また背景事象の見積もりを精度よく行った。その結果信号事象は見つからなかったが、ニュートリノの流量の上限値に対して世界で最も厳しい制限を与え、ある種のブレーザーのモデルのパラメータ領域を排除することに成功した。この成果は、*Astrophysical Journal Letters* (Q1 雑誌) に第一著者として掲載された。また、萩原氏は SK において、Geant-4 を用いた新しい Simulation tool の開発を行った。超新星爆発背景ニュートリノ (SNR) 探索で鍵となる Gd の中性子捕獲で発生するガンマ線のエネルギースペクトルを、J-PARC での中性子ビームを用いて測定し、原子核モデルを適用しその結果の解釈を与えた。またこの結果は、SK の Geant-4 シミュレーションに導入され、間もなく始まる SK での Gd 入り実験において重要な寄与を与えた。この結果は、中性子タグの効率の系統誤差を抑制し、SNR の流量を求める際の重要なインプットとなる。

論文発表会での発表および質疑応答は適切に与えられた。以上から、学位審査委員会は、学位審査に合格と判断する。