

NEWS

創刊によせて

センター長 理学研究科・教授 松元 亮治



千葉大学大学院理学研究科附属ハドロン宇宙国際研究センター (International Center for Hadron Astrophysics: ICEHAP) が2012年1月1日付で設置されて1年余りになりました。「ハドロン」とは、陽子や中性子などの粒子群につけられた名前です。ヒッグス粒子発見で有名になったCERNの加速器の名前LHC (Large Hadron Collider) にも「ハドロン」という名前が含まれています。これは、この加速器が陽子を加速して衝突させる実験を行う装置であるためです。

今から100年前に、Hessは宇宙から地球に高エネルギー粒子が降り注いでいることを発見しました。「宇宙線」と名付けられたこれらの粒子の最高エネルギーは、LHCで加速できる陽子のエネルギーの1億倍にも達します。このような高エネルギー粒子が宇宙のどこで放射されているのかは100年来の謎になっています。陽子などの荷電粒子は銀河磁場と相互作用して方向を変えてしまうため、地球に到達した粒子を観測してもその放射源を特定することは困難です。また、これらの粒子は宇宙を満たすマイクロ波背景放射と相互作用してエネルギーを失うため、銀河団スケールを超えて伝播することはできません。他方、ハドロンと同時に放射されるニュートリノは物質とほとん

ど相互作用しないため、遠方まで直進することができます。宇宙を透視することができるニュートリノを観測することにより、超高エネルギー粒子放射源に迫ることができます。

千葉大学理学研究科はハドロンから放射されるニュートリノを南極に設置した観測装置によって捕らえる国際プログラムIceCubeに参加してきました。また、粒子加速源の候補である宇宙ジェットや超新星爆発、銀河団プラズマ等の理論シミュレーション分野で世界を先導する研究を展開してきました。本センターでは、この2グループの連携によって高エネルギーハドロン放射の起源と粒子加速機構を解明する研究を推進するとともに、世界に向けた研究発信を行うことを目指しています。このため、ニュートリノ天文学部門、プラズマ宇宙研究部門の2部門を設けて研究を進めています。

本センターニュースではハドロン宇宙国際研究センターで行われている研究と研究成果を、物理を専門としていない方々にも理解できるように紹介していきたいと思っております。本センターの活動についてご理解いただき、ご支援いただけますよう、お願いいたします。

アイスクューブ実験は南極の1立方キロメートルの氷河を使って、宇宙からやってくる高エネルギーニュートリノを観測する巨大実験です。1立方キロメートルの実験装置というと、体積で言えば東京ドーム800個分もあり、この大きさと南極氷河を素粒子検出器として使うユニークな発想がアイスクューブ実験装置の最大の特徴であると言えます。宇宙において、エネルギーの高いニュートリノが作られる数は、エネルギーの低いニュートリノの数に比べて非常に少ないため、装置をできる限り大きくし、有効検出体積を増大させることで高エネルギーニュートリノ検出頻度を高めます。つまりこの巨大さはまさに、我々が検出ターゲットとするこれまで観測されたことのないほど高いエネルギーを持つ宇宙ニュートリノを検出するためには必要不可欠な特徴なのです。

宇宙においてニュートリノを作っていると期待されている天体には、粒子のジェットを噴出する巨大ブラックホールを中心に持つ活発な銀河(活動銀河核)や宇宙最大級の爆発現象であるガンマ線バーストがあります。高エネルギーニュートリノは高エネルギーの光や宇宙線粒子よりもはるかに高い透過能力をもっています。つまりニュートリノは、光や他の粒子では運ぶことの出来ない、天体内部やより遠くの高エネルギー宇宙の情報をも運ぶことが出来るのです。また、ニュートリノはそういった貴重な情報を宇宙にある未知の磁場や背景放射などの影響を受けずに運ぶことができるため、高エネルギー深宇宙の姿をより直接的に見せてくれる粒子が宇宙ニュートリノと言うことが出来ます。

アイスクューブ検出器は5160個の直径約33cmの球状をした光検出器を南極点1立方キロメートルの氷河内深さ1.5kmから2.5kmにわたり配列することにより建設されました(図1)。実験装置の建設は5年以上かけて行われ、

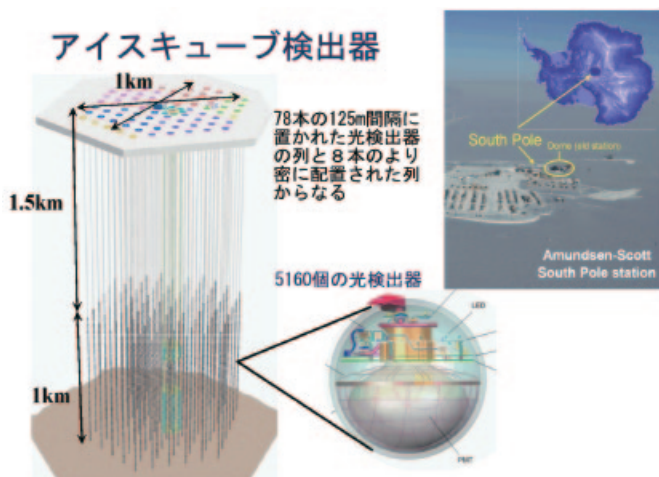


図1

2010年の12月によく完成し、その後、実験装置が期待された通りに動いているかなどのテストを重ねて、2011年5月から、完成した装置での観測が始まりました。千葉大学アイスクューブグループは世界初となる、完成したアイスクューブから得られたデータを使った高エネルギーニュートリノ検出解析を行いました。アイスクューブ完成前年、約90%の検出器が完成した時点でのデータも使い、有効観測時間670日分相当のデータを使った解析では、ニュートリノ信号の1,000,000,000倍以上の頻度で観測にかかる背景事象を排除しながらニュートリノ事象を抽出します。背景事象は、宇宙線が大気と相互作用することで生成される大気ミュオンや大気ニュートリノといった事象ですが、これはエネルギーが高くなるにつれその頻度が急激に減少します。アイスクューブは100GeVから 10^{10} GeVにわたるエネルギーのニュートリノを観測することが出来ますが、本解析では、特に背景事象の少ない 10^6 GeV以上の高エネルギー領域のニュートリノ事象を選択的に抽出することで背景事象の排除を行っていきました。

今回、千葉大グループが行った解析の結果、2つのニュートリノ事象を検出することができました。この2事象は世界標準時2011年8月8日と2012年1月3日に観測され、検出されたチェレンコフ光分布は球状をしています。これはこの事象が、ニュートリノがアイスクューブ検出内で相互作用を起こしたことで発生した事象であることを示す特徴の一つであると考えられます。

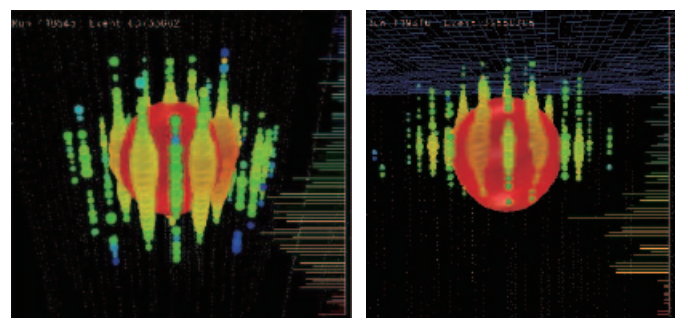


図2：観測された2事象の光子分布

図2に観測された2事象の光子分布を示しています。丸の一つ一つで、ニュートリノが作った粒子から放出されたチェレンコフ光を捕らえた光検出器を表し、丸の大きさでその検出光量を表しています。また、色は検出された光子のタイミングを表しています(赤が最も早く青が最も遅い光信号)。事象の中心にあるもっとも大きな光量を受けた光検出器が最初に光を検出した光検出器であることがわかります。その後の詳細な事象解析の結果、観測された球状チェレンコフ光の分布は検出器内にニュートリノによって生成された粒子カス

ケードが作るチェレンコフ光子分布とよく一致することが確認されました。様々なアルゴリズムを使って、観測された事象の再構築を行ってきました。エネルギーの再構築から、この2つの事象がアイスキューブ検出器内で放出したエネルギーはそれぞれ1.2PeV(PeV=10⁶GeV)と1.4PeVと見積もることが出来ます。アイスキューブ実験は、これまで観測されたニュートリノの中で、最も高いエネルギーのニュートリノの観測に成功しました。今回の解析では背景事象である大気ニュートリノ及び大気ミューオンから期待される事象数を観測期間を通して0.050事象まで落としました。この期待値から、この観測された2事象が、これまで他実験で観測されてきたような宇宙線と大気の相互作用背景事象のみで説明出来る確率はわずか0.117% (3.0 σ のエクセス)、またこれまで観測されたことのないチャームを持つ中間子の崩壊から生成される大気ニュートリノの可能性を含めても約

0.307% (2.7 σ)程度の確率となります。これはこの2つのニュートリノ事象が、宇宙ニュートリノが起こしたものである可能性が高いことを意味しています。

宇宙における高エネルギー現象をニュートリノから解き明かしていくというニュートリノ天文学は、長期にわたるアイスキューブ実験の準備期間(アイスキューブのプロトタイプ検出器の制作は1991年に開始)やそれ以前の構想・デザインの期間、実に1970年代からその実現が期待されてきた学問です。本研究の高エネルギーニュートリノ事象の検出から、我々ついにニュートリノ天文学に向けた新たな一歩を踏み出すことが出来ました。今後は、より低いエネルギーでのニュートリノ観測や、再構築された事象の方向情報などを用いることにより、宇宙ニュートリノ発生起源天体の正体に迫っていきます。

プラズマ
宇宙研究部門

数値実験で探る銀河中心のモンスター

松元 亮治

Ryoji Matsumoto

さまざまな銀河の中心核に存在する巨大ブラックホールと、その近傍から噴出する高速ジェットは高エネルギー粒子加速源の有力な候補です。ハドロン宇宙国際研究センターのプラズマ宇宙研究部門では、ブラックホール近傍におけるジェット形成とジェット中に形成される衝撃波による粒子加速を大規模数値シミュレーションによって調べています。

ブラックホールというと、物質を飲み込んで成長していくモンスターのようなイメージがあるかもしれませんが。しかしながら、重力によって物質を吸い込むだけでは、活動銀河中心核で観測される莫大なエネルギー解放やジェット噴出を説明することはできません。物質がブラックホールに一直線に吸い込まれるのではなく、ブラックホールのまわりを回転するガス円盤(降着円盤)が形成されれば、この円盤物質がゆっくりとブラックホールに向けて落下する間にエネルギーを取りだして、様々な活動性を駆動するエンジンになることができます。私達のグループでは、磁場を考慮した3次元磁気流体シミュレーションによってブラックホール降着円盤の進化を調べています。図1にシミュレーション結果の例を示します。

私達の銀河系中心にも太陽の400万倍の質量

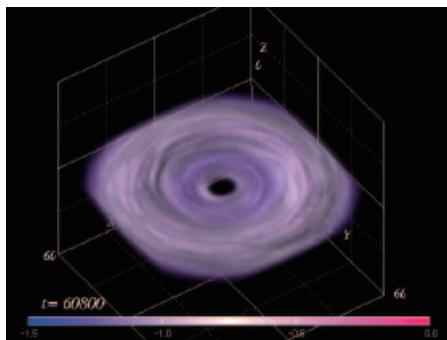


図1：ブラックホール降着円盤の3次元磁気流体シミュレーション結果の例 (図提供：町田真美)

の巨大ブラックホールが存在することが、銀河系中心付近の星の運動から示唆されています。現在、このブラックホールに向けて地球程度の質量のガス雲が落下しつつあり、今年秋に最接近します。このガス雲はブラックホールの潮汐力によって破壊され、降着円盤に衝突するはずですが、このため、ブラックホールに落下するガス量が増え、ブラックホール近傍から放射される電波やX線強度が増加する可能性があります。図2に私たちが実施中の降着円盤とガス雲衝突のシミュレーション結果を示します。私達の銀河系中心ブラックホールは現在、活動性が低い状態にありますが、ガス雲衝突によってモンスターは目覚めるでしょうか。シミュレーション結果をもと

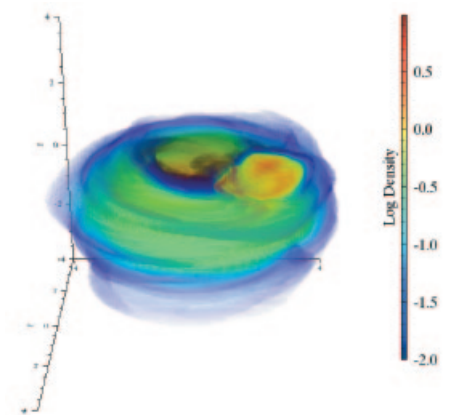


図2：銀河系中心ブラックホールに落下するガス雲のシミュレーション結果の例 (図提供：小野貴史)

に光度変化等を予測する研究を進めています。一昨年には遠方の銀河中心で、恒星がブラックホールの潮汐力によって破壊されたと考えられる爆発的増光と光速に近い速度のジェット噴出が観測されました。このようなジェット中で、粒子をどの程度のエネルギーまで加速できるかのシミュレーションも進行中です。

ICEHAP Activity Report

超高エネルギーニュートリノを 世界初観測！！

2012.6.12

吉田 滋准教授 記者発表

☆新聞報道

2012年6月 9日 読売新聞

2012年6月13日 千葉日報

2012年6月21日 朝日新聞

2012年6月24日 毎日新聞



今年度は、宇宙を探索する新しい学問である「ニュートリノ天文学」が、高エネルギー宇宙の謎を解明する最初の、しかし大きな一歩を踏み出した歴史的な年でした。本学が参加する8ヶ国共同大型国際プロジェクト「アイスキューブ」(IceCube)ニュートリノ望遠鏡が南極点直下での建設を終え完全稼働を開始した1年目のデータの中に超高エネルギーニュートリノ事象が二例捉えられていたのです。この発見を導いたのは私たち千葉大学の研究グループでした。

その中心となった石原安野特別研究員による記事をお読みください。

陽子、中性子、原子核が主成分である「宇宙線」と呼ばれる物質流の起源は長い間宇宙の科学における最も重要な疑問の一つと考えられています。宇宙線の中には、目に見える光(可視光)に比べて、10億倍のそのまた10億倍もエネルギーの高いものがあります。宇宙には物質を光の速さに加速する「エンジン」のようなものがあるに違いありませんがその見当がついていません。そこで期待を集めてきたのがニュートリノの検出でした。高エネルギーニュートリノは、宇宙線陽子・中性子の反応を起源とする過程でしか現実的に生成することができず、しかもこの摩訶不思議な素粒子は電荷を持たないため宇宙磁場中を直進します。それどころか、「弱い力」にしか感応しないニュートリノは光では貫通することが不可能な星内部(「星」には太陽や我々の地球も含まれます)や高密度のガスも突き抜けて、宇宙の果てからでも届きうるの

す。

高エネルギーニュートリノの検出は宇宙線が「宇宙エンジン」によって加速された現場を捉える決め手だと考えられてきました。

しかし言うは容易く行うは難しというのは科学の世界でも常であります。ニュートリノの検出は光の検出に比べ技術的には桁違いに困難なのです。

「弱い力」のみに反応するため貫通力が高いニュートリノの性質は、宇宙を調べるには素晴らしいユニークな長所ですが、それを捉えたい者にとっては災難です。検出器を作っても、大半のニュートリノはそこを素通りしてしまい何の痕跡も残さないのですから。ごくまれに反応するニュートリノを捉えるためには巨大な体積を持つ検出器が必要とされるのです。南極大陸にある氷河を検出体に使おうという野心的な発想はこうして生まれたのです。

今回アイスキューブ実験によって検出された2事象は、高エネルギーの宇宙ニュートリノが「現実存在している」可能性を示唆する歴史上初めての観測成果なのです。この観測結果から宇宙線を加速する「宇宙エンジン」の性質の一部が(まだごく一部ですが)明らかになります。これから数年にわたる観測でさらに例数を増やせば、ついには「宇宙エンジン」の現場を同定できるでしょう。高エネルギーニュートリノ天文学の幕開けはこのような意義を持っているのです。

ハドロン宇宙国際研究センター 吉田 滋

ICEHAP
NEWS

March, 2013 No.1

千葉大学大学院理学研究科附属 ハドロン宇宙国際研究センター
International Center for Hadron Astrophysics, Graduate School of Science

〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33
URL <http://www.icehap.chiba-u.jp/>
問い合わせ先 icehap@astro.s.chiba-u.ac.jp



千葉大学
Chiba University