

南極のニュートリノ観測施設「IceCube」と 超高エネルギー宇宙線の起源に関する新しい解析



吉田 滋 Yoshida Shigeru

千葉大学大学院理学研究科教授／ハドロン宇宙国際研究センター長

専門分野：物理学、ニュートリノ研究

1994年に東京工業大学で理学博士を授与されたのち、アメリカ・ユタ大学研究員、東京大学助手等を経て2002年に千葉大学に着任。高エネルギーニュートリノ天文学の第一人者の一人で、超高エネルギー宇宙線とニュートリノの関係を活発に研究、南極に建設された「IceCube（アイスキューブ）」観測所によるニュートリノ検出実験に参加。超高エネルギー宇宙ニュートリノ発見への貢献により平成基礎科学財団より戸塚賞を2014年に受賞。

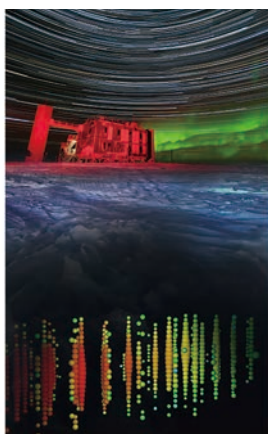
— どのような研究内容か？

私たちハドロン宇宙国際研究センターでは、ニュートリノの検出に取り組んでいます。ニュートリノとは素粒子の一種で、宇宙線という光のスピードで宇宙から降り注ぐ高エネルギーの束を解明するために、重要な要素になるとして、様々な研究者が注目をしている物質です。しかし、ニュートリノはめったに物質と衝突することなく通り過ぎてしまうため、今までの規模の検出器では捉えることが困難でした。その検出と解明を目的に、南極に巨大な検出器「IceCube」が建設され、2011年より本格的な観測プロジェクトが開始されています。私たち千葉大学のグループは、そのプロジェクトに観測施設の建設当初より参加をし、観測データの分析などを担当しています。

ハドロン宇宙国際研究センターでは、「ニュートリノ天文学」と「プラズマ宇宙研究」の2つの部門の研究を並行して推進しています。

「ニュートリノ天文学」とは、宇宙探査のカギとなる「ニュートリノ」を捉えることで極限高エネルギー宇宙の現状を調べるという21世紀の新しい手法です。「幽霊粒子」という異名をもつニュートリノは、貫通力が高く電荷をもたないため検出器を作っても大半は痕跡を残さず素通りしてしまいます。この希少な高エネルギーの反応を捉えるため、南極大陸にある氷河を検出体として使うという画期的な12か国が参加する国際共同実験「IceCube」プロジェクトがスタートし、千葉大学ハドロン宇宙国際研究センターは日本からの唯一の参加研究機関です。

「プラズマ宇宙研究」部門で行われているのは、数値実験という手法で、宇宙のように研究室に入れて実験することが不可能な対象を調べるために有効な手段です。物質を高速で吹き出す「宇宙エンジン」の候補となる天体がどのように物質粒子を吹き上げ、同時に光を放射しているのか、様々な仮説をスーパーコンピュータ上で試し、シミュレーションをしています。



南極のIceCube観測施設とニュートリノにより発生するチェレンコフ光の分布図



ニュートリノ検出器モジュール単体



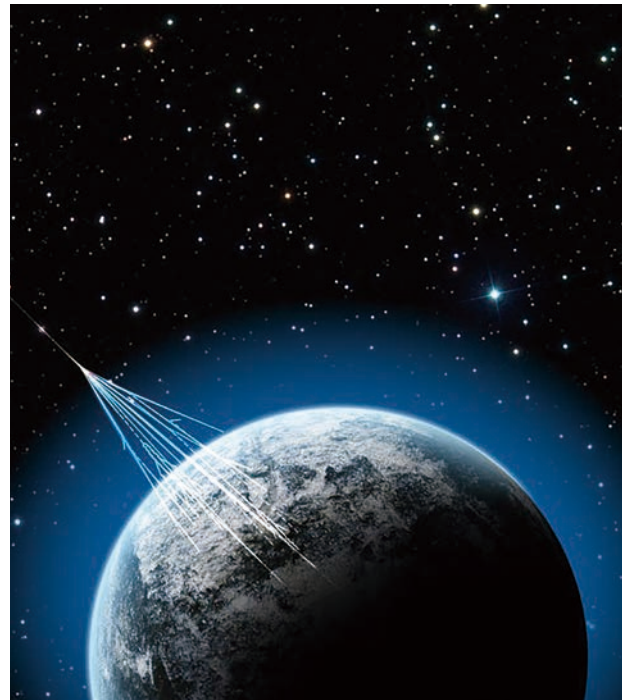
南極の氷河下に埋め込まれた検出器

—— 何の役に立つ研究なのか？

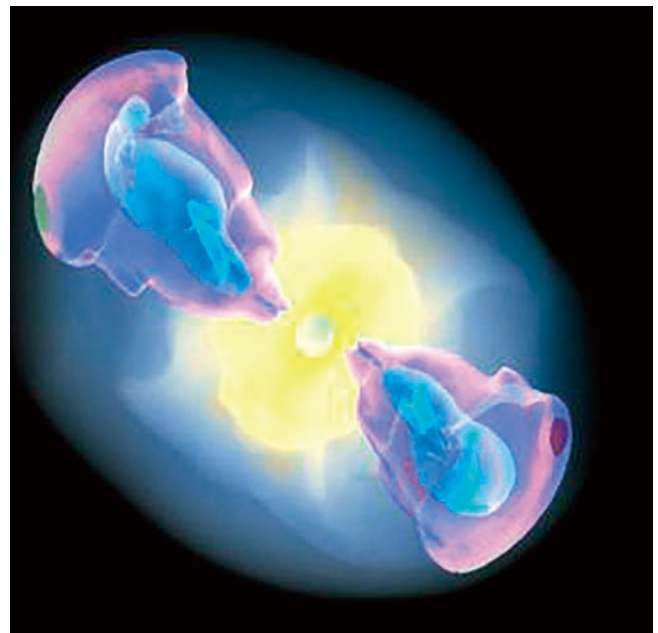
宇宙線は、その発見から100年以上たった今でも実態が分かっていません。その起源を明らかにすることは、宇宙物理学最大の課題です。当研究センターでは、超高エネルギーハドロン（陽子、中性子等）の放射源と粒子加速メカニズムを、「宇宙ニュートリノ探索」と「天体活動現象の理論シミュレーション研究」の連携を通して解明し、宇宙線はどのように作られているかという宇宙物理学最大の謎を解き明かすことを研究ミッションとして挙げています。宇宙線の謎を解くということは、宇宙について理解するために、とても大切なことです。

これまでに培ったIceCube実験の観測データから、私たち千葉大のグループは可視光に比して1,000兆倍も高いエネルギーのニュートリノ事象を発見しました。これは、粒子を加速する「宇宙」エンジンによって作られたニュートリノが実在することを示す世界初の観測結果です。2013年に2つの論文により正式に公表されたこの成果により、宇宙全体の高エネルギーニュートリノの存在量を推定することも可能となり、ニュートリノによる極限宇宙探査の大きな1歩となりました。

最近では、以前の解析をアップデートし、2014年5月までの6年間のデータを用いた研究結果を発表しました。発見した宇宙ニュートリノの数も54個に増え、約2.5倍に増えたデータを分析し、新たな解析手法も工夫したため、これまで高エネルギーの発生源として有力とされていた巨大銀河やγ線バースト天体などのアクティブ天体から発生するGZKニュートリノというPeVを超えるEeVのエネルギーをもつニュートリノの検出も可能と思われましたが、今回の結果では別のPeV程度のエネルギーの事象が見つかったものの、それを超える事象は確認されませんでした。これは、巨大銀河やγ線バースト天体のようなアクティブ天体は最高エネルギー宇宙線の起源ではないという結論につながり、いままで考えられてきた宇宙線の発生源の想定について再検討が必要となる可能性が出てきたということになり、これからの宇宙研究に大きな影響を与えることになるでしょう。



地球に向かう宇宙線



超新星爆発のシミュレーション結果

—— 今後の計画は？

希少なニュートリノが反応する際に発する光を逃さず検出できるように、実験装置の機能向上を目指しています。現在のIceCube装置よりも多くのイベントを検出できる「Generation2（ジェンツー）」という次世代装置の建設も計画されています。またニュートリノ衝突に伴って放射される電波パルスを検出することによってニュートリノ観測を行う「ARA（アラ）」実験も、IceCube観測装置の隣のサイトに建設が進められています。

プラズマ宇宙研究部門においてもスーパーコンピュータ「京」によって高解像度シミュレーションを行い高エネルギーの電子が作られる環境を明らかにしました。しかし高度な粒子加速シミュレーションを行うには、現在のコンピュータの機能では足りていません。ニュートリノを発生させるには、より高度な技術環境で粒子（陽子）を際限の速度まで加速し、他の物質に衝突させるなどによる衝撃を与える必要があります。その衝撃で速度が弱まった粒子から、障害物を通り抜けることのできるニュートリノだけが突出してくるのです。次世代のスーパーコンピュータ、「ポスト京」ならその環境を生み出すことが可能だと期待されています。そうなれば、IceCube観測による実際の検出結果をもとに、スーパーコンピュータ上での粒子加速シミュレーションを用い実験をすることができるようになります。つまり、この環境を生み出せてこそ、これからのニュートリノ天文学の新しい幕開けとなるということです。このように様々な実験方法での連携によって、宇宙線の解明を目指し研究に取り組んでいきたいと思っています。

—— 関連ウェブサイトへのリンク URL

▶ ハドロン宇宙国際研究センター

—— 成果を客観的に示す論文や新聞等での掲載の紹介

日経サイエンス 2016年1月号 アイスキューブ

南極でニュートリノを捉えるIceCube観測の生みの親、ウィスコンシン大学のE.ハルゼンによるIceCube観測実験のとこれまでの宇宙ニュートリノ検出結果についての解説。代表的なニュートリノ検出へと導いた千葉大学グループの貢献についても書かれています。

ニュートン別冊 2016/2/5 南極でニュートリノを観測するIceCube

IceCube観測施設とその検出器の仕組みや、最先端の宇宙ニュートリノ研究についての記事。IceCubeの全体像や詳細な検出器の解説、観測施設の建設時の様子などにも触れています。

—— この研究の「強み」は？

ニュートリノ天文学は、当センターの研究施設や技術を使う以外、ほかの手段ではできない分野であるといえます。そしてIceCube観測は、高エネルギーニュートリノ天文学に置いて世界一の検出感度を誇る、国際的なプロジェクトです。そして、私たち千葉大学の研究チームは、日本からの唯一の参加グループとしてニュートリノ検出に大きな役割を果たしています。

—— 研究への意気込みは？

この先、何百年も語り継がれるような本質的な新発見ができるよう、力を注いでいきたいと思っています。

—— 学生や若手研究者へのメッセージ

ニュートリノは1930年代の物理学者が予想したものをのちの学者たちが研究を重ね実在することを証明しました。最近ではアインシュタインが100年も前に予測した重力波も近年実際に発見されました。このように、長く続くリレーのように、理論や実験結果が受け継がれ、観測技術も発展し新しい宇宙の窓が拓いてきたのです。「ニュートリノ天文学」はその代表事例です。それでも宇宙の謎は深く、私たち人類が分かっていることはほんのわずかです。これからの若い研究者の熱意が、その進展の要となるでしょう。あなた方に期待します。

—— その他

当ハドロン宇宙国際研究センターでは、ニュートリノやIceCube実験などについて若い世代の方々に興味を持っていただけるよう、公開講演会「コズミックカフェ」の開催や楽しい形で私たちの研究やニュートリノについて分かりやすく説明をしているリーフレットなどの作成にも取り組んでいます。リーフレットをご希望の方には無料で配布していますので、ご興味がありましたら、ICEHAP広報(043-290-2763 icehap_at_astro.s.chiba-u.jp)までお問合せください。