

星も透視できる素粒子があるって本当？

ニュートリノは重力を除くと弱い力しか及ぼしません。そのため、他の物質となかなか衝突できません。1930年に理論的に予言されたニュートリノが実際に発見されたのは、1956年にもなってからなのですが、このように時間がかかったのはニュートリノの反応しにくさによるものです。衝突のしやすさを断面積で表すことがあります。1cm²に1個の間隔で並んだ標的に、何度も粒子を投げ込みます。1億回に1回衝突したならば、この反応断面積は1億分の1cm²と表現します。ニュートリノの発見は、原子炉から放出される4MeV程度の反電子ニュートリノを水素の原子核（陽子）で捕獲することで実現しました。この反応断面積はなんと7×10⁻⁴³cm²です。約20光年（太陽と冥王星の距離の1000倍）の水を用意すればやっと捕まえることができる計算です。そのため、ニュートリノは太陽でも地球でも簡単に貫通することができます。ニュートリノの観測は、他のバックグラウンドを極力減らす目的で地下で行うのが通常です。同時に、極低放射能な環境を作るため不純物の極力少ない実験装置を作ります。しかも、ごく希に反応するニュートリノ信号を捉えるために、観測装置は巨大でなければなりません。東北大学が運転するカムランドは1000トンもの極低放射能の液体シンチレータ（素粒子が反応すると発光する油）を使用し、ニュートリノを観測します。

ニュートリノの貫通性の高さを活用した観測の最初のターゲットは太陽でした。太陽中心の核融合反応で作られたエネルギーが太陽表面に伝わり光として放出されるまでに要する時間は、100万年にもなります。一方ニュートリノは、2.3秒で太陽表面に到達し、その後約500秒で地球に届きます。つまり、ニュートリノ観測で100万年後の太陽活動を予測することも可能です。太陽の明るさから計算したニュートリノの観測予測数に対して、実際の観測数は3分の1から4分の1程度しかなく「太陽ニュートリノ問題」といわれる30年近く続く大問題に発展しました。後に、ニュートリノ振動が原因であることが判明したのですが、太陽ニュートリノ問題はニュートリノ振動の最初の兆候でだったのです。

さて、最も身近な天体はやはり地球でしょう。地球は固体であるため内部の状態を調べるのは太陽よりも難しい面があります。特に問題となるのが、地球内部の熱生成、そして組成です。宇宙の塵が集まってできた地球が、どのよう

に形成されたのか、現在どのような活動をしているのかは、地球内部のエネルギー生成（放射性物質）の理解をしなければ解明できません。地震研究で地球内部の構造が詳細に調べられている反面、地球内部の試料を取り出すことが容易でないため放射性物質の算出は困難を極めます。地球内部の放射性物質の崩壊で生じるニュートリノは、地球ニュートリノといわれ、地球内部の情報を直接伝えてくれます。カムランドは、世界で初めて地球ニュートリノの観測に成功し、地球表面にわき出す熱の半分程度の熱しか放射性物質は生成していないことを見いだしました。地球が徐々に冷えているということはある意味常識でしたが、初めて実験的に検証されました。また、その観測結果は、地球物理学的モデルを排除しつつあり、マントルが1層対流と主張する地球物理学者と多層対流と主張する地球化学者の間の長年の議論に終止符を打とうとしています。さらには、地球の始原隕石として、炭素質コンドライトとエンスタタイトコンドライトの2つが有力な候補に挙げられていて、双方一步も譲らぬ議論が巻き起こっていますが、地球ニュートリノの観測精度の向上はこの議論に対しても有力な情報を与えることと期待されています。

他にも超新星爆発の前兆をニュートリノで捉えることで、近傍の巨星（ベテルギウスなど）の超新星爆発を予知し、万全の体制で貴重な超新星爆発現象を観測しようとする連携が構築されているところです。

また、ビッグバン起源の宇宙背景ニュートリノは宇宙誕生から0.1秒程度に作られたものですが、光学的にはプラズマがなくなる宇宙誕生から38万年の時に作られた宇宙背景放射以前にさかのぼることができません。この間には宇宙の元素合成などの重要な出来事が起こっており、未だ実現していない宇宙背景ニュートリノの観測は、ニュートリノで宇宙を見透かす研究として、ニュートリノ研究者の夢になっています。