

# Obituary

追悼

## 戸塚洋二氏 (1942-2008)

Henry W. Sobel, 鈴木洋一郎

スーパーカミオカンデ共同観測グループを率いてニュートリノ振動を発見。

Nature Vol.454 (954) / 21 August 2008

素粒子物理学の第一人者である戸塚洋二氏が、がんとの長い闘いを終えて、7月10日に永眠した。彼は、この30年間のニュートリノ物理学のスリリングな歩みを支え、2001年にニュートリノ観測装置スーパーカミオカンデが大規模破損事故を起こしたときには、確固たる信念をもって、その再建を指揮した。

戸塚は1942年3月6日に静岡県富士市に生まれ、東京大学で学士号、修士号、博士号を取得した。学位論文のテーマは超高エネルギー素粒子相互作用であり、素粒子物理学に対する彼の生涯にわたる情熱はここから始まっていた。戸塚はその後、東京大学の助手としてドイツに渡り、ドイツ電子シンクロトロン研究所で電子・陽電子衝突の研究に従事し、1979年に東京大学助教授となった。

戸塚のキャリアは、小柴昌俊とともにカミオカンデ実験の準備に着手した1981年に転機を迎えた（小柴は後に2002年、宇宙ニュートリノの検出によりRay Davis Jrとノーベル物理学賞を共同受賞することになる）。カミオカンデ計画の当初の目的は、陽子崩壊を検出することにあつた。これは、タンクに大量の超純水を入れておき、その中の陽子が崩壊するのを待つという実験である。陽子が崩壊すれば、その生成物は水と相互作用して特徴的なチェレンコフ放射を生じるはずである。彼らは、タンクの内側の壁面に数百本の光電子増倍管を並べて、この光を捕らえようとした。この実験に必要な3000トンという膨大な量の水を蓄えたタンクは、宇宙線による背景雑音を遮るために地中深くに設置された。

この実験では、陽子崩壊モデルをかなり絞り込むことができただけでなく、太陽からくる低エネルギーのニュートリノ（太陽ニュートリノ）と地球に降り注ぐ宇宙線が大気中の原子核と衝突することで作られるニュートリノ（大気ニュートリノ）の両方をみることもできた。太陽ニュートリノは、1960年代後半にRay Davies Jrが建造した塩素を利用した観測装置によりすでに検出されていたが、理論から予想されていたニュートリノ流束の3分の1しか観測することができなかった。理論値と観測値とのこの矛盾は「太陽ニュートリノ欠損」として知られるようになり、ニュートリノの理解に問題があることを示唆する初期の徴候となった。

1987年に大マゼラン星雲で超新星爆発が起きたとき、カミオカンデ共同研究グループはまたとない幸運に恵まれた。米国のIMB（カリフォルニア大学アーバイン校・ミシガン大学・ブルックヘブン研究所）コンソーシアムとともに、超新星爆発によって生成したニュートリノバーストを観測することができたのである。ニュートリノ天文学は、このとき産声を上げたといわれている。その後、この観測データに基づいて超新星爆発やニュートリノの性質を論じる論文が800本以上も執筆された。

超新星爆発から間もなく、小柴は定年退官し、戸塚がカミオカンデ計画のリーダーとなった。その後、このグループは2本の重要な論文を発表した。第一の論文は、大気ニュートリノ欠損についての報告だった。このデータは、実験の系統誤差や背景ニュートリノ流束の不確定性では説明することができず、論文の言葉

を借りるなら、「いまだ説明のつかない物理過程」が関与している可能性があった。第二の論文は、Davisが記録した太陽ニュートリノ欠損を高い精度で確認するものだった。

1991年に、戸塚はカミオカンデの後継観測装置を建設するための資金を得た。これが、5万トンの水を蓄えた地下の検出器スーパーカミオカンデである。スーパーカミオカンデは、ニュートリノ振動という現象の存在とニュートリノが質量をもつことについての最初の決定的な証拠をもたらした。ニュートリノには、電子ニュートリノ、 $\mu$ ニュートリノ、 $\tau$ ニュートリノという3つの種類があり、お互いの中で変化することができる。これがニュートリノ振動である。大気ニュートリノは、主として $\mu$ ニュートリノと電子ニュートリノからなる。どちらの素粒子も、地球に吸収されることなく裏側まで突き抜けることができるため、大気ニュートリノは、空から降り注いでくるのと同じ数だけ地球の裏側から上向きに飛んでくると予測されていた。しかし、スーパーカミオカンデによる観測では、電子ニュートリノは両方向で同じ数だけ検出できたが、上向きに飛んでくる $\mu$ ニュートリノは下向きに飛んでくる $\mu$ ニュートリノよりも少なかった。

今日では、上向きに飛んでくる $\mu$ ニュートリノは、地球を通り抜けてくる分だけ空から直接降り注いでくるものよりも飛行距離が長いので、その間に $\tau$ ニュートリノへと変化して、検出器をすり抜けてしまうことがわかっている。ニュートリノ振動を裏づける証拠は、太陽ニュートリノ欠損の説明も提案した。すなわち、太陽からの「行方不明」の電子ニュートリノは、初期の観測装置では検出できなかった $\tau$ ニュートリノと $\mu$ ニュートリノに変化していただけたのかもしれない。これは後に、スーパーカミオカンデとカナダのサドベリー・ニュートリノ天文台での研究により確認された。

2003年に、戸塚は茨城県つくば市の高エネルギー物理学研究所(KEK)の所長に就任し、それから3年間、長基線ニュートリノ振動実験(K2K)を指揮した。これは、KEKの加速器で発生させたニュートリノのビームを、250km離れたスーパーカミオカンデで検出するという実験である。この実験により、大気ニュートリノ振動についての以前の知見が裏づけられた。戸塚はこの間に、KEKのBファクトリという加速器を使ってB中間子を発生させて物質と反物質の違いを調べるBELLE実験も軌道に乗せた。

2001年にスーパーカミオカンデで大事故が発生したとき、戸塚は稀有なリーダーシップを発揮した。観測装置に備えつけられていた数千本の光電子増倍管



が爆発するという大損害を被った翌日、彼は、1年以内の再建を誓う声明を発表した。そして、わずか2か月のうちに再建のためのロードマップを完成させ、事故から13か月後には、実際にカミオカンデを再稼働させられる状態までこぎつけたのである。

病に倒れた晩年の1年あまりの間、戸塚はブログを執筆し、科学と科学政策に関する見解を語り続けた。彼はまた、そのフォーラムを使って、自分の闘病生活を記録した。彼は、自分のがんの広がりや時間を関数としてプロットし、化学療法の効果を評価した。ときには意外な趣味も明らかにして、自宅の庭に咲いた花や、スーパーカミオカンデが位置する村についても語った。

戸塚は、その業績により国際的な名声を博し、日本で最も権威のある文化勲章をはじめとする数々の学術賞を受賞した。ニュートリノ物理学が大きな成果を上げ続けていることは、彼の業績のすばらしさを証拠立てている。大気ニュートリノ異常や太陽ニュートリノ問題についての今日の詳細な理解の基礎には、スーパーカミオカンデ共同観測グループの努力がある。戸塚洋二は、この努力の中心にいた。彼のビジョンとリーダーシップが失われたことは、あまりにも大きな損失である。■

Henry W. Sobel, カリフォルニア大学アーバイン校理学部(米)  
鈴木洋一郎, 東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設