# 2020 年ブルーノ・ポンテコルボ賞を受賞 丹羽公雄 名古屋大学名誉教授

丹羽公雄 名古屋大学名誉教授が原子核乾板技術を発展させタウニュートリノの発見とニュートリノ振動をタウニュートリノの出現により直接検出した功績で、2020年ブルーノ・ポンテコルボ賞を受賞しました。

ブルーノ・ポンテコルボ賞はニュートリノ物理学に多くの先駆的業績を残した Bruno Pontecorvo 博士(1913-1993)を記念して 1995 年にロシアの JINR (ドゥブナ合同原子核研究所)によって創設されました。ニュートリノ研究では世界をリードする日本からも大気ニュートリノ振動・原子炉ニュートリノ振動・大気及び太陽ニュートリノ振動・加速器によるニュートリノ振動研究で過去 4 名が受賞しています。

丹羽名誉教授は、日欧共同研究 OPERA 実験を提唱・主導し、多くのニュートリノ振動研究が、振動によるニュートリノの減少量を測定する方法で行われてきた中で、ニュートリノ振動によってのみ出現するタウニュートリノを直接検出することで、ニュートリノ振動の直接的な証拠を捉えました。OPERA 実験を可能にした原子核乾板技術を飛躍的に発展させた功績により本賞を受賞しました。

丹羽公雄氏のもと発展してきた原子核乾板技術はニュートリノ研究以外の分野へ も新たな道を開いています。

## 【ブルーノ・ポンテコルボ賞】

ブルーノ・ポンテコルボ賞はニュートリノ物理学に多くの先駆的業績を残した Bruno Pontecorvo 博士(1913-1993)を記念して 1995 年にロシアの JINR (ドゥブナ合同原子核研究所)によって創設されました。特にポンテコルボはニュートリノ振動理論において、1962 年に本学の、牧二郎・中川昌美・坂田昌一博士によるニュートリノ振動理論の定式化でポンテコルボ・牧・中川・坂田行列 (PMNS 行列、Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Sakata matrix) として知られている。この PMNS 行列はノーベル賞を受賞した本学の小林・益川博士等の理論(1973 年)にも影響を与え、カビボ・小林・益川行列(CKM 行列、Cabibbo-Kobayashi-Maskawa matrix)と共にクォーク・レプトンの素粒子理論において重要な役割を果たした。

## 【ポイント】

- ・ 顕著なニュートリノ研究の業績に対して贈られるブルーノ・ポンテコルボ賞を受賞 した。ニュートリノ研究で世界をリードする日本としては 5 人目。
- 原子核乾板技術を飛躍的に発展させタウニュートリノの直接検出を成し遂げた。
- ・ 飛躍的に発展させた原子核乾板技術を用いたタウニュートリノ検出・識別能力を生かし、従来の 1000 倍規模の史上最大規模の原子核乾板実験を提案し、日欧国際共同研究 OPERA 実験を主導し、ニュートリノ振動現象をタウニュートリノの出現をもって確認した。この結果は 2015 年の梶田氏のノーベル賞「ニュートリノ振動の発見」の重要な証拠の1つです。

## 【受賞背景と内容】

ニュートリノはこの宇宙を形作る基本粒子クォーク・レプトンのうちで、電子も属するレプトンに分類される。レプトンは三種類の荷電粒子(電子・ミュー粒子・タウ粒子)と、それと対をなす電荷の無い(電子・ミュー・タウ)ニュートリノとして知られている。ニュートリノは「幽霊粒子」とも呼ばれ、地球ですら容易に貫通してしまうほど物質と相互作用しないために実験的な検出は極めて難しい。クォーク・レプトン全 12 種類の内で最後まで実験的に確認されていなかったタウニュートリノを 2000 年に DONUT 実験において初検出しその存在を確認した。この功績により丹羽名誉教授は 2004 年に仁科記念賞を受賞しました。この極めて難しいタウニュートリノの検出を可能にしたのは、名古屋大学で発展させてきた原子核乾板技術の飛躍的な向上です。

1990 年代の様々な実験でミューニュートリノが長い距離を通過する間に減少してい るという観測結果が得られており、同時に電子ニュートリノの量は変化していなかっ た事から、その現象ミューニュートリノがタウニュートリノに変化したニュートリノ 振動で説明できるのではと示唆されていました。ニュートリノ振動とは、1962 年に本 学の牧二郎・中川昌美・坂田昌一によって予言されたニュートリノが時間と共に別の種 類のニュートリノに変化しうるという現象で、彼らと共にニュートリノ振動の理論体 系の構築に寄与したのがポンテコルボです。この時点では振動によって変化したはず のタウニュートリノは観測できておらず、様々な検証実験が提案され実施される中で、 唯一振動によって生じたはずのタウニュートリノを検出することでニュートリノ振動 の決定的な証拠を得るために実施されたのが日欧国際共同研究 OPERA 実験です。OPERA 実験は従来の 1000 倍規模の史上最大の原子核乾板実験で、原子核乾板技術の飛躍的な 向上無しには不可能な実験でした。OPERA 実験では 2015 年に最終結果を発表し、ニュ ートリノ振動によりミューニュートリノがタウニュートリノに変化したことを確認し ました。この結果は2015年に梶田氏がニュートリノ振動の発見でノーベル賞を受賞す る決定的な証拠となりました。この OPERA 実験を提案・主導したのが丹羽名誉教授で あり、この功績が受賞理由として評価されました。



図 1 OPERA 実験装置

はがき大の鉛板と原子核乾板を積層した ECC、約 15 万個、総重量 1250 トンの標的からなる。ミューニュートリノビームが 730 km離れたセルン (欧州原子核研究機構) より図の左方向から照射された。

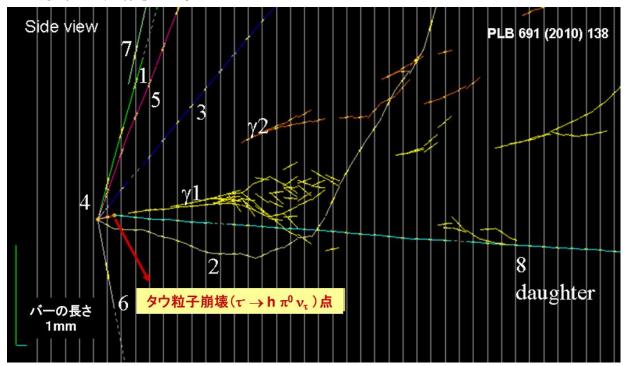


図2 OPERA 実験により検出されたタウニュートリノ反応(第1例目)

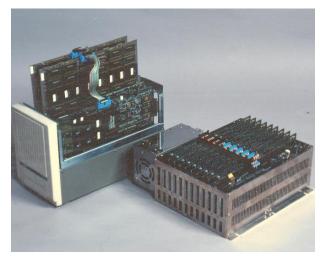
原子核乾板で検出された荷電粒子の飛跡が黄色く表示されている。短寿命粒子である タウ粒子の崩壊点(折れ曲がり)が再構成されている。

この DONUT 実験・OPERA 実験を成功に導いた飛躍的な原子核乾板技術の発展は、丹羽名誉教授が推進した原子核乾板の自動読取装置の開発によるものです。1985 年の最初の自動読取装置から新たな実験のたびにその読取速度を 100 倍、1000 倍と桁違いに向上させながら不可能と思われた実験を可能にしてきた。90 年代以降の自動読取装置は丹羽名誉教授のもとで本学理学研究科講師中野敏行氏により開発され、現在も次世代の開発を推進している。読取装置の歴史は図3,4参照。

この自動読取装置の開発と発展により、原子核乾板技術はニュートリノや素粒子物理学の研究のみならず、原子核乾板を用いたガンマ線望遠鏡による天文分野ならびに、宇宙線を用いたピラミッドの透視による考古学的な研究にまで道を切り開いた。









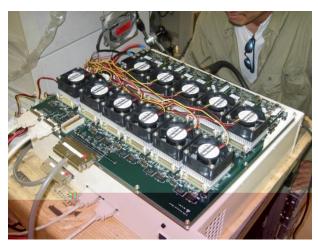




図3 歴代自動読取装置 左上から1985、1994、1996、1998、2006、現行のHTS

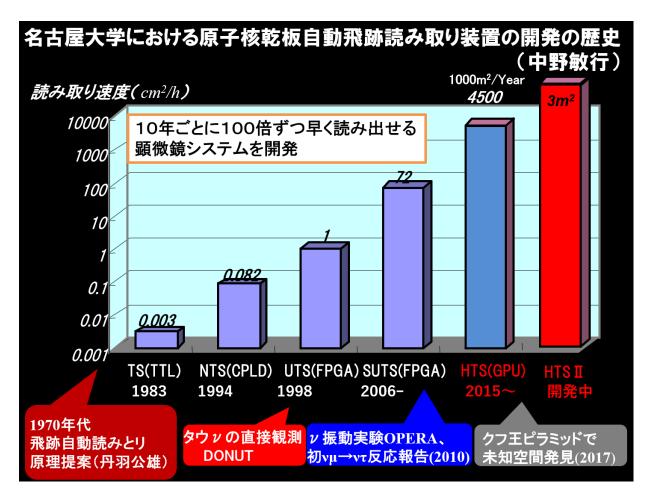


図4 自動飛跡読み取り装置の読み取り速度

## 【受賞の意義】

名古屋大学が世界をリードする原子核乾板技術を発展させてきた長い歴史とその技術をもってして初めて可能となったタウニュートリノの初検出やニュートリノ振動をタウニュートリノの出現をもって検証したニュートリノ研究分野への功績が評価された。受賞理由の主たるものは原子核乾板技術の発展であり、現在進行形ならびに将来の素粒子研究のみならず宇宙・考古学といった分野にも道を切り開いた。

ポンテコルボは本学の牧・中川・坂田によるニュートリノ振動理論の確立に寄与した人であり 名古屋大学の丹羽名誉教授の受賞はそのような意味においても意義が大きい。

#### 【用語説明】

原子核乾板: 高感度の写真フィルムで宇宙線・放射線や荷電粒子の飛跡が写るように開発されたもの。ゼラチン中に直径 200nm 程度の臭化銀結晶を高密度に入れてあり、荷電粒子の飛跡をサブミクロンの位置精度で測定できる。

**自動読取装置**:原子核乾板に記録された素粒子の飛跡を高速度カメラと独自画像認識ハードウェア(現行システムは GPU)を使用。

ニュートリノ:素粒子標準理論の中で電荷がなく、弱い相互作用しかしないため検出するには 大質量の検出器が必要。電子ニュートリノ・ミューニュートリノ・タウニュートリノの3種類が観測 されており、長らく質量はないものとして扱われていたがニュートリノ振動現象をとおしてごくわ ずかながら質量があることが証明された。

ニュートリノ振動: 3種類あるニュートリノに質量差がある場合に、ある種類のニュートリノから他の種類のニュートリノに変化する現象。ニュートリノの種類ごとに質量が異なる場合におき、名古屋大学の牧・中川・坂田によって予言されていた現象。この「ニュートリノ振動の発見」により2015年ノーベル物理学賞を梶田教授が受賞した。ニュートリノ振動は長い距離を伝搬する間に3種類相互の間で種類が入れ替わる現象で、ニュートリノが飛行する長い距離が必要。

## 【受賞情報】

賞名:ブルーノ・ポンテコルボ賞 (Bruno Pontecorvo Prize)

受賞者:名古屋大学名誉教授 丹羽公雄博士

受賞理由: For the development of the high-resolution nuclear emulsion technique, which led to identification of the tau neutrino and direct observation of tau neutrino oscillations

第 129 回 JINR(ドゥブナ合同原子核研究所) 科学評議会 http://www.jinr.ru/posts/at-129th-session-of-jinr-scientific-council/