

§ 2. 仁科記念賞

「仁科記念賞は、原子物理学およびその応用の分野できわめて優秀な成果をおさめた研究者に贈るものであります。この賞の特色は、功成り名遂げた大先輩に贈られるのではなく、むしろこれから活躍を大いに期待される若い研究者に贈られる点にあります。」（“NKZ”創刊号（1962）43ページより）

これまでの受賞者とその業績および当時の所属を巻末に掲げます。

2004年度の仁科記念賞の受賞者と受賞業績を以下に紹介します。

2004年度第50回 仁科記念賞 受賞者業績紹介

受賞者 蔡 兆申 (Tsai Jaw-Shen)

(理化学研究所フロンティア研究システム・チーム
リーダー・日本電気株式会社 基礎・環境研究所
主席研究員)



研究題目 ジョセフソン接合素子を用いた2個の量子ビット間の量子もつれ状態の実現

蔡氏は、量子コンピューターの素子として期待されているジョセフソン接合量子ビットを2個結合させる事により、量子力学的な「もつれ状態」(entangled state)を実現した。量子もつれ状態は、AINシュタイン等による、いわゆるEPRパラドックスの基礎となる状態であり、量子力学の本質と深く結びつくものである。巨視的な系では困難と思われていた量子もつれ状態を、世界で初めて、人工的で制御可能な系で実現した事は、世界でも高く評価されており、量子力学の本質をさらに

深く理解する事に貢献すると期待されている。

量子ビットとは、計算機の最も基本的な素子で、量子力学的な何らかの二つの状態（通常0, 1と呼ばれる）をとる。この研究で使用されている量子ビットは、長さ約1,000分の1mmの細いアルミニウム薄膜を薄い絶縁体を介して電子の供給源に結合させたもので、電気的に中性の状態（0）と電子が2個余分に入っている状態（1）をとれる。電子が1個余分に入った状態がないのは、アルミニウムは低温では超伝導になり、電子は2個が対になって行動するからである。このような素子は、ジョセフソン接合量子ビットと呼ばれる。

普通の状態では、量子ビットはエネルギーの低い0の状態にあるが、その近くにおいた制御電極に正の電圧を加えると、電子が2個入った1の状態のエネルギーが下がる。状態0と1のエネルギーが同じになると、量子ビットの状態は、これらの間を行き来する共鳴状態となる。量子力学の言葉で言えば、量子ビットの状態は、これらの状態の線形結合である。制御電極に電圧を加える時間を適当に選べば、量子ビットの状態を0から1に変えたり、0と1の線形結合の状態にする事ができる。このような素子は、日本電気基礎研究所のチームによって開発され、その中心となった中村泰信氏が1999年に仁科賞を受賞した。

本年の受賞の対象となった研究は、このような量子ビット（A, B）を2個結合させて、いわゆる「量子もつれ状態」を実現した事にある。この状態の実現のためには、2個の素子の弱い結合によるC-NOTゲートと呼ばれる次のような操作が基本となる。素子Aが0の場合は、素子Bの制御電極にある時間電圧を加えると、Bの状態を0から1に変える事ができるが、Aが1であると、Aにある電荷のためにBの0, 1の状態のエネルギーが変わるので、同じ操作をしてもBの状態は変わらない（正確に言うと、そのように諸条件を設定できる）。

量子もつれ状態を作るには、まず、Bを0にしておく。次に、Aを0と1の線形結合の状態にしてから上記の操作をBに対して行うと、Aが0でBが1の状態とAが1でBが0の状態の線形結合の状態を作る事ができる。これが量子もつれ状態である。又、条件を変える事により、AとBが共に0及び共に1の状態の線形結合を作る事もできた。

量子もつれ状態は、原子核スピンや光では既に実現されているが、巨視的な系では、接近したエネルギーを持つ状態が多数存在するために外部からの擾乱に弱く、作るのが困難で、出来たとしても直ちに壊れてしまうと考えられていた。実際、量子ドット等の他の種類の固体量子ビットによるものも含めて、巨視的な系で量子もつれ状態を作る試みは、世界でも蔡氏の研究以外に成功した例はない。蔡氏は、超伝導状態が巨視的な量子状態である事を巧みに利用して、量子もつれ状態を作り、これをある時間維持して、各量子ビットの状態を読み取り、実際に量子もつれ状態が出来ている事を確認した。この研究は、量子力学のさらに深い理解、特に、まだわからない事の多い巨視的な系の量子力学的な振る舞いの解明に貢献できると期待されている。

技術的な面では、1個の量子ビットの操作の技術は、中村泰信氏、蔡氏等によつてある程度確立はしていたが、2個の量子ビットを結合させて操作し、さらにその状態を読み取るには、格段に高い技術が要求される。

蔡氏が自分の研究チームを率いてこのような高度の研究を成し遂げたことは、仁科記念賞を受賞するのに十分値するものである。

参考文献

- [1] "Quantum oscillations in two coupled charge qubits", Yu.A. Pashkin, T. Yamamoto, O. Astafiev, Y. Nakamura, D.V. Averin, and J.S. Tsai : Nature **421** (2003) 823.
- [2] "Demonstration of conditional gate operation using superconducting charge qubits", T. Yamamoto, Yu.A. Pashkin, O. Astafiev, Y. Nakamura, and J.S. Tsai : Nature **425** (2003) 941.

受賞者 丹羽公雄（名古屋大学理学研究科教授）



研究題目 原子核乾板全自動走査機によるタウニュートリノの発見

タウレプトンが1975年に発見されて以来、タウニュートリノの存在は標準素粒子論によって予言されていた。それ以降3個のクオークが発見されたが、タウニュートリノは最後まで未確認のまま残されていた。この残された基本粒子の探索に終止符を打ったのが、丹羽公雄氏が率いたDONUT実験によるタウニュートリノの発見である。この発見は、丹羽氏のリーダーシップと彼が提案し、基盤的研究を進めてきた原子核乾板全自動走査機の実用化なしには不可能であった。

電磁相互作用と弱い相互作用を統一する素粒子論は標準理論と呼ばれ、現在の実験観測のほぼ全てを説明する。この理論によるとタウレプトン(τ)とタウニュートリノ(ν_τ)は対(τ, ν_τ)として考えられ、タウニュートリノの存在を疑う研究者はいなかつたと言っても過言ではない。ただし、全ての仮説は実験で確認する必要がある。

タウニュートリノを発見するには、まず加速器のビームをターゲットに照射し、多くの粒子を生成する。その中にタウニュートリノも含まれていると考える。ここで生成された多くの粒子は原子核乾板の前に設置されたシールドによって吸収される。ニュートリノは物質との反応が小さいので、このシールドを通過し、非常に小さな確率で、36m先に設置された原子核乾板の中で反応し、そのニュートリノの種類に対応するレプトンが生成される。DONUT実験は原子核乾板の中にタウレプトンの飛跡が存在することを示した。この観測はタウニュートリノを発見したこと他ならない。

タウレプトンの寿命は 3×10^{-13} 秒で、長くても5mmの飛跡しか残さない。さらに、大部分の μ 粒子はシールドでストップするが、まだ $10^5/cm^2$ もの μ 粒子が通り抜ける。これだけの μ 粒子が通過するとバブル・チェンバーでのニュートリノ

測定は、中の液体が沸騰してしまうので不可能であり、シリコン測定器は小さすぎて、まれなニュートリノ反応を観測するのは無理である。このような厳しい環境の中で生成されたタウレプトンを観測できる唯一の測定器が原子核乾板である。

DONUT 実験は、7 個の原子核乾板モジュール (50cm × 50cm, 60枚の原子核乾板を積層) の外部に設置したシンチレーションファイバー測定器でニュートリノ衝突点と考えられる場所を予想し、 10^{11} 個の飛跡を選び出した。さらに原子核乾板全自动走査機が、顕微鏡を用いて自動的にミクロン単位で、能率的に解析し、1000個のニュートリノ反応を選び出し、その中からタウレプトンの候補を探した。

読み出した 10^{11} 個の飛跡の中から、7 個のタウニュートリノ反応から生成されたタウレプトンが観測された。この中に含まれるバックグラウンドはわずか 0.8 ± 0.2 個である。この結果は正に世界の研究者が認めるタウニュートリノの発見である。

丹羽公雄氏がリードする名古屋大学のグループは、加速器実験あまり注目されていなかった原子核乾板技術を発展させ、大規模原子核乾板実験に不可欠な自動走査機を開発した。この世界で「オンリーワン」の技術が加速器実験で行なう国際共同研究へと発展し、基本素粒子の発見につながった。これは我が国が誇るべき業績であり、仁科記念賞にふさわしいものである。

参考文献

1. Observation of tau neutrino interactions, K. Kodama et al.. Physics Letters **B504** (2001) 218-224.
2. Observation of the tau neutrino, B.Lundberg, K.Niwa, and V.Paolone Annu. Rev. Nucl. Sci. **53** (2003) 199-218.

§ 3. 仁科記念奨励金

この研究奨励金は、わが国の研究者の海外での研究への援助（1956年度から）、および発展途上国の研究者の来日研究への援助（1992年度以降）にあてられております。