

§ 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。

平成15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。

2003年度第49回 仁科記念賞 受賞者業績紹介

受 賞 者 北岡良雄（大阪大学大学院基礎工学研究科教授）



研究題目 核磁気共鳴法による新しい超伝導状態の解明

北岡氏は、核磁気共鳴（NMR）と呼ばれる磁性を調べる手法を駆使して、新しく発見された種々の超伝導体において、従来の常識的な超伝導状態（スピニ重項s波状態）とは異なる性質をもつ超伝導体状態（スピニ重項d波、スピニ三重項p波状態）が存在することを明らかにした。これらのエキゾチックな超伝導状態は、金属固体中の多くの電子が強い反発力の影響下で運動する系－強相関電子系－に特徴的にあらわれることを、北岡氏は多元極限環境（極低温、高圧、強磁場）下でのNMR法によって見事に実証・解明したものである。

「磁性」と「超伝導」は、物質の性質を現す重要な概念である。従来は、これら二つの現象は、互いに相反するものと考えられていたが、最近になって互いに深い

関連をもつことが知られるようになってきた。上記の強相関電子系と呼ばれる一群の物質が両者の相関する重要な舞台であり、銅酸化物からなる高温超伝導体は、その典型例である。通常の超伝導体では、超伝導電流を運ぶ電子対がその磁性を打ち消しあうようなスピニ重項状態を形成し、またその電子対の内部運動を規定する波動関数の対称性はs波と呼ばれる等方的な状態となる。ところが、「重い電子系」と呼ばれる金属間化合物超伝導体（CeCu₂Si₂、UPd₂Al₃など）では、電子相間に起因する磁性相間が電子対の引力相互作用の起源となっており、これによってスピニ重項ではあるが、対称性が異方的なd波となる。この超伝導の対称性を実験的に決定するのは容易ではないが、北岡氏は磁性のプローブであるNMR法を用いてd波状態を実証し、これによって、上記の超伝導発現機構を決定的にした。また、これらの先駆的な知見に基づき、銅酸化物高温超伝導体がやはりd波超伝導体である可能性を早くから指摘し、それはその後多くの他の実験手法でも確認された。

北岡氏はさらに、新しく出現した多くの超伝導体について、超伝導状態の性質および磁性と超伝導との関連をNMR法を用いて実験的に解明する研究を精力的に続けている。このうち、最近の特筆すべき成果は、電子対のスピニが同じ方向を向くような新しい異方的対称性超伝導相、すなわちスピニ三重項p波状態が存在することを、層状ルテニウム酸化物（Sr₂RuO₄）および他の「重い電子系」（UNi₂Al₃）で実証したことである。

量子力学の世界の特徴がマクロな現象として現れる「超伝導」という重要で基本的な現象に対して、きわめて興味深い「内部構造」が存在することを実証したことが、北岡氏の世界的な業績であり、仁科記念賞にふさわしいものである。

＜上記業績に関係した北岡良雄氏の代表的な論文＞

“NMR Investigation of Superconductivity and Kondo-Coherency in CeCu₂Si₂”, Y. Kitaoka, K. Uea, K. Fujiwara, H. Arimoto, H. Ishida, and K. Asayama: J. Phys. Soc. Jpn. **55** (1986) 723.

“Spin-Triplet Superconductivity in Sr₂RuO₄ Identified by ¹⁷O Knight Shift”, K. Ishida, H. Mukuda, Y. Kitaoka, K. Asayama, Z. Q. Mao, Y. Mori, and Y. Maeno:

受賞者 鈴木厚人（東北大学大学院理学研究科教授）

研究題目 原子炉反電子ニュートリノの消滅の観測



ニュートリノは長年研究されているものの、非常に反応しにくく検出が難しいために、いまだに謎の多い素粒子である。電荷を持った3種類のレプトン（電子、ミュー粒子、タウ粒子）に対応する3種類のニュートリノが知られている。標準理論ではその質量はゼロとされ、直接に質量を測定する実験で観測できないほど小さいとだけ知られていた。しかし、宇宙線起源の大気ニュートリノや太陽ニュートリノが飛行中に消滅することが観測され、その原因はニュートリノ振動と呼ばれる現象と考えられることから、新しい展開が始まった。ニュートリノ振動は、3種類のニュートリノのそれぞれが異なる質量のニュートリノの混合した粒子であり、時間とともに混合比が変化する結果、ニュートリノの種類が入れ替わる現象である。振動の様子は、混ざり合う度合いや、混ざり合うニュートリノの質量の違い、ニュートリノのエネルギーで変化する。その詳細を解明すべく、さまざまな研究が進行中である。

鈴木厚人氏が提案し、リーダーとして遂行しているカムランド (KamLAND, Kamioka Liquid scintillator ANtineutrino Detector) 実験は、原子炉から出る反電子ニュートリノを平均約180kmの遠距離で検出し、その検出頻度からニュートリノ振動のパラメーターを測ることを目的としている。周到な準備のもとに検出装置が建設されて、実験は予定どおり約2年前から測定を開始し、人工の反電子ニュートリノを検出するのに成功した。初期の測定器調整後およそ半年のデータで、原子炉からの反電子ニュートリノ強度がニュートリノ振動によって期待されるとおり、約60%に減少していることを観測した。また、カムランド測定器の優れた性能は、今

後ニュートリノ振動の詳細にとどまらず地球内部起源の反電子ニュートリノの観測などを含む、さらに豊富な知見をもたらすであろうとの可能性を示した。

鈴木厚人氏は、卓越したアイデアで実験を企画し、優れた指導力により国際チームをまとめて技術的に困難な実験を遂行し、ニュートリノ物理学に多大の功績を挙げた。

カムランド測定器は、かつてカミオカンデ測定器の設置されていた神岡鉱山の地下空洞に建設された。神岡までの距離が100ないし200km程度の日本海沿岸、中京地域には発電用原子炉が多数稼働中なので、超高感度測定器によってこれら原子炉の発する反電子ニュートリノを検出できれば、長基線ニュートリノ振動のパラメーターに関して貴重なデータを得ることが出来る。このような低バックグラウンドの地下の環境と多数の大型原子炉の概略同じ距離の分布という立地条件は世界中で他に例がない。

原子炉からの距離が1km程度までの実験は従来多数試みられたが、ニュートリノ振動は検出されておらず、距離を増して感度を良くする必要があった。ただ、反電子ニュートリノの強度は距離の2乗で減少するので、遠距離になるほど検出は難しい。カムランド実験は前例のない長距離での実験であり、技術的には多くの困難が予想された。しかし、ユニークな発想と他では得られない可能性に惹かれ、アメリカから多くの研究者が参加した結果、カムランドは国際協力実験として進められた。鈴木氏は国際研究グループのリーダーとして、チームをまとめた。

原子炉からの反電子ニュートリノのエネルギーは数MeVしかないと、そのエネルギーを精度良く測るために、検出には液体シンチレーターが使われた。検出効率を上げるために総量1300トンのシンチレーターが用いられ、これを純化、保持するために実験グループの綿密な努力が続けられた。バックグラウンド事象をなくすために、素材に含まれる放射性元素を徹底的に除去することが不可欠であり、1300トンのシンチレーターを厚さ130ミクロンのバルーンでほぼ同じ比重のオイルに浮かせる手法が開発された。検出器は当初の予定どおり完成し、一昨年末から実験が開始された。

反電子ニュートリノの検出は、反電子ニュートリノが液体シンチレーター中の陽

子と反応して中性子と陽電子に変わる事象を識別してなされた。この反応は、陽電子の運動エネルギーと止まった陽電子が電子と対消滅するときに生ずるガンマ線のエネルギー和の測定、さらに反跳されて低速で走行する中性子が比較的短時間で陽子に吸収され重陽子となる際に放出する 2.2MeV のガンマ線を用いて明瞭に判別された。2種類の信号の遅延同時計測によって、バックグラウンドのほとんどない信号が得られた。陽電子のエネルギーから入射反電子ニュートリノのエネルギーが精度良く測定できた。ニュートリノ振動は源からの距離と、ニュートリノのエネルギーの比によって変化するので、エネルギーの高精度測定は極めて有効な情報となる。

2002年3月から10月までの実効145日間の測定データの解析が行われ、想定できるわずかなバックグラウンドの可能性を除去した後、反電子ニュートリノのエネルギーが 3.4MeV 以上の反応が54事象検出された。反電子ニュートリノはおもに距離約140kmから210kmにある26基の原子炉から到来する。測定期間中の各原子炉の出力情報から、発生された反電子ニュートリノ数が計算でき、神岡に到来する全反電子ニュートリノ数が誤差 1% 以下の精度で算出された。ニュートリノ振動がないとして期待される観測事象数は $86.8 + - 5.6$ であり、観測事象の数は明らかに欠損を示した。これをニュートリノ振動によるものと考え、エネルギー分布と減少比率 ($0.611 + - 0.085 + - 0.41$) からニュートリノ振動のパラメーターが求められた。結果は太陽からの電子ニュートリノの欠損から得られた値と一致し、電子ニュートリノと反電子ニュートリノのニュートリノ振動が同じパラメーターを持つと判明した。

今後データが増加するとさらにパラメーター測定の精度が上がり、詳細な検討が可能と期待できる。さらに、今後の解析手法の改良で 3 MeV 以下の低いエネルギーの反電子ニュートリノも検出できるようになると予想される。そうなると、ニュートリノ振動の観測に加えて、地球の内部にある放射性元素が出す地球ニュートリノも観測できるものと期待される。

このように、カムランド実験は遠距離にある原子炉からの反電子ニュートリノを用いるというユニークな可能性を着実に実現し、ニュートリノ振動に新しい知見をもたらした。鈴木厚人氏は実験の提案から、基礎研究、国際チームのまとめ役に亘

る広範な努力をし、大きな成果をもたらした。この実験はさらに継続され、今後とも新しい情報をもたらす可能性に富んでいるが、その基は鈴木厚人氏の着眼の良さと着実な研究の成果にある。

参考文献

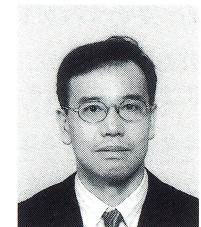
K. Eguchi et al. (KamLAND Collaboration), First results from KamLAND: Evidence for reactor anti-neutrino disappearance, Phys. Rev. Lett. **90** (2003) 021802.

解説論文

鈴木厚人：KamLAND の最初の成果－ 原子炉反電子ニュートリノの消滅現象検出、日本物理学会誌 **58** (2003) 343.

受賞者 中野貴志（大阪大学核物理研究センター教授）

研究題目 レーザー電子ガンマ線による新粒子の発見



中野氏は大型放射光施設 SPring 8 のレーザー電子光施設 (LEPS) で得られるガンマ線を用いた研究で、クオーク 5 個からなると思われる新粒子を発見した。これまで素粒子のうちバリオン（陽子や中性子など）は 3 個のクオーク、中間子は 2 個のクオークから出来ていることが知られていた。理論的には 5 個のクオークや 4 個のクオークで出来た粒子があっても良いのだが、30 年余にもわたる探査にも関わらず観測されなかった。中野氏の発見はクオークが 5 個よりなるこれまでにないタイプの粒子（ペンタクオーク：Penta-quark）の存在を示し、新しい粒子の世界への窓を開いた。発見された粒子は 1.54GeV の質量を持っており、2 コの u クオーク、2 コの d クオーク、1 コの反 s クオークから成ることがわかった。

この研究は、兵庫県播磨にある放射光施設 SPring 8 でおこなわれた。SPring-8

は 8 GeV の電子蓄積リングであり、放射光を用いた種々の研究に利用されている。中野氏の研究では放射光でなく 8 GeV の電子に正面からレーザーを照射しコンプトン散乱を起こすことにより高エネルギーのガンマ線（最大 2.4GeV）を生成して実験したものである。高エネルギーの電子に正面衝突でコンプトン散乱を起こさせると、方向が良くそろったガンマ線が得られる。また、電子の制動放射などで作った場合に比べて不必要的低エネルギーのガンマ線のバックグラウンドが非常に少ない。このレーザー・電子散乱による高エネルギー・ガンマ線のビームライン・実験装置は SPring-8 と大阪大学および日本原子力研究所の共同で設置されたものであり LEPS と呼ばれる。実験装置は本来 ϕ 中間子を研究するために作られ、K 粒子が測定できるものであった。

ペンタクオーク (Θ) は、 $\gamma + n \rightarrow K^- + \Theta \rightarrow K^- + (K^+ + n)$ 反応で作り、 K^- を検出することにより、ミッシング質量法で $(K^+ + n)$ 系の不变質量スペクトルを得た。そのスペクトルの中に質量 1540 ± 10 MeV、幅 25 MeV 以下のピークが観測された。

この実験では、ガンマ線のバックグラウンドが少ないとため、0 度にも検出器をおくことができたこと、そのためにビームの中に入れたプラスティック蛍光検出器中の炭素原子核が中性子のターゲットとなったということが成功の大きな原因になっている。また、0 度近傍のデータであったため、中性子の炭素原子核中のフェルミ運動も工夫によりほぼ消すように解析ができ、よい質量分解能が得られたことにもよる。このような工夫は受賞者のアイデアによるものである。

このデータが 2002 年の PANIC 国際会議で発表されると、すぐに米国ジェフアーソン研究所をはじめ、ロシア、ドイツなど四つの研究所で追試が行われ、存在が確認された。この発見は、これまでハドロンは 2 個または 3 個のクオークでのみ作られていると考えざるを得なかったものが、さらに多くのクオークでできた粒子が存在することを示唆することになった。もしそうだとすると、この発見はこれからさらに多くの発見を生むきっかけとなることが期待される。

H. Nakano et al., Evidence for a narrow $S = +1$ baryon resonance in photoproduction from the neutron, Phys. Rev. Lett. **91** (2003) 012002

§ 3. 仁科記念奨励金

この研究奨励金は、わが国の若い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。

研究者の海外での研究への援助について述べますと、仁科記念財団が派遣する研究者は、派遣された先の国で行われる研究の重要なメンバーとなっております。そして仁科記念財団から派遣されたということが、先方の国の大学や研究所に助手等の形で就職した場合にくらべて、ずっとよく研究能率向上に役立ったというのが、いままでの海外派遣研究者の多くの人の声であります。海外派遣研究者は公募して選考します。滞在期間は 1 年とします。

発展途上国の研究者の来日研究への援助においては、受け入れをわが国の同じ分野のかたに担当していただき、入国ならびに滞在中のお世話をお願いしております。科学研究の国際協力が今後ますます重要性を増すことを考えますと、仁科記念財団の上述の二つの助成の意義をことに若い研究者が深く理解し、それを活用するとともに、自らもその事業の発展に積極的に寄与することが望されます。

2003 年度は次の若手研究者にあてられました。

(1) 平成 15 年度海外派遣研究者

氏名 中村 真（理研協力研究員）

行先 Niels Bohr Institute, Copenhagen, Denmark

研究題目 三次元イジングモデルを記述する弦理論

(2) 仁科フェローシップで来日した発展途上国の若手研究者

なし