

平成27（2015）年ノーベル賞（自然科学分野）の発表について

平成27年10月15日
内閣府
政策統括官（科学技術・イノベーション担当）

（敬称略）

【ノーベル生理学・医学賞】（10月5日発表）

- William C. Campbell（ウィリアム C キャンベル、アイルランド）
米ドリュー大学名誉研究員
- 大村 智（おおむら さとし、日本） 北里大学特別栄誉教授

受賞理由：

「線虫の寄生によって生じる感染症に対する画期的治療法の発見に対して」

- Youyou Tu（トウ ユーユー、中国） 中国中医研究院

受賞理由：「マラリアに対する画期的治療法の発見に対して」

【ノーベル物理学賞】（10月6日発表）

- 梶田 隆章（かじた たかあき、日本） 東京大学教授・東京大学宇宙線研究所長
- Arthur B. McDonald（アーサー B マクドナルド、カナダ）
クィーンズ大学名誉教授

受賞理由：

「ニュートリノが質量を持つことの証拠であるニュートリノ振動の発見に対して」

【ノーベル化学賞】（10月7日発表）（仮訳）

- Tomas Lindahl（トーマス リンドール、スウェーデン）
フランシス・クリック研究所名誉グループリーダー、
英国癌研究基金クレアホール研究所名誉所長
- Paul Modrich（ポール モドリッチ、アメリカ）
デューク大学教授、ハワードヒューズ医学研究所研究員
- Aziz Sancar（アジズ サンチャル、トルコ※・アメリカ）※出生国はトルコ、二重国籍
ノースカロライナ大学教授

受賞理由：「DNA 修復機構に関する研究に対して」

受賞者略歴

(敬称略)

大村智（おおむら さとし）（80歳） 【ノーベル生理学・医学賞】

昭和29年3月	山梨県立韮崎高等学校卒業
昭和33年3月	山梨大学学芸学部自然科学科卒業
昭和33年4月	東京都立隅田工業高等学校教諭
昭和38年3月	東京理科大学理学研究科修士課程修了
昭和38年4月	山梨大学工学部発酵生産学科助手
昭和43年4月	北里大学薬学部助教授
昭和43年9月	薬学博士（東京大学）
昭和45年10月	理学博士（東京理科大学）
昭和50年4月	北里大学薬学部教授
昭和59年5月	（社）北里研究所理事・副所長
平成2年6月	（社）北里研究所理事・所長
平成13年4月	北里大学北里生命科学研究所教授
平成20年4月	（学）北里研究所名誉理事長
平成24年7月	（学）北里研究所顧問
平成25年3月	北里大学特別荣誉教授

北里大学ホームページ参照

梶田隆章（かじた たかあき）（56歳） 【ノーベル物理学賞】

昭和52年3月	埼玉県立川越高校卒業
昭和56年3月	埼玉大学理学部物理学科卒業
昭和58年3月	東京大学大学院理学系研究科物理学専門課程 修士課程（物理学専攻）修了
昭和61年3月	東京大学大学院理学系研究科物理学専門課程 博士課程（物理学専攻）修了
昭和61年3月	理学博士（東京大学）
昭和61年4月	東京大学理学部附属素粒子物理国際センター助手
昭和63年4月	東京大学宇宙線研究所 助手
平成4年4月	東京大学宇宙線研究所 助教授
平成11年4月	東京大学宇宙線研究所附属 宇宙ニュートリノ観測情報融合センター長
平成11年9月	東京大学宇宙線研究所 教授
平成20年4月	東京大学宇宙線研究所 所長

東京大学ホームページ参照

ノーベル財団発表資料（生理学・医学賞）の文部科学省による仮訳

本日、カロリンスカ研究所のノーベル賞会議で、2015年度ノーベル生理学・医学賞の半分を William C. Campbell（ウィリアム C キャンベル）氏及び大村智（おおむら さとし）氏の「線虫の寄生によって生じる感染症に対する画期的治療法の発見」に対して授与するとともに、残り半分の Youyou Tu（トゥ ユーユー）氏の「マラリアに対する画期的治療法の発見」に対し、授与することを決定した。

寄生生物によって生じる病気は、数千年もの間、人類を悩ませてきたものであり、地球規模の健康問題であった。特に寄生虫病は世界の最貧層の人々を苦しめるものであり、人類の健康・福祉の向上に大きな障壁となっている。今年のノーベル賞受賞者は、いくつかの最も悲惨な寄生虫病に対する革命的な治療法を開発した。

キャンベル氏と大村氏は、Avermectin（エバーメクチン）という新しい薬を発見した。エバーメクチンの誘導体は、河川盲目症（オンコセルカ症：回旋糸状虫症）やリンパ系フィラリア症の発生率を著しく低下させるとともに、増え続ける他の寄生虫病に対する有効性を示した。トゥ氏はマラリアによる死亡率を著しく減少させる Artemisinin（アーテミスニン）という薬剤を発見した。

これらの2つの発見は、年間何億もの人々を苦しめ衰弱させる病気と戦う、強力で新たな手段を人類に与えるものであった。本発見が、病気による苦しみを和らげ、人類の健康を向上させたことによる影響は計り知れないものである。

寄生虫の引き起こす悲惨な病気

我々は、人間やその他の大型動物だけでなく、大量の生命体が息をする、生物学的にも複雑な世界で暮らしており、幾つかの生命体は、我々にとって有害もしくは致死的である。

さまざまな寄生生物は病気を引き起こす。医学的に重要なグループは寄生線虫であり、全世界で1/3の人々を悩ませていると推定されており、サハラ以南のアフリカ、南アジア、中南米で流行している。河川盲目症とリンパ系フィラリア症は、どちらも寄生線虫で生じる病気である。その名前の通り、河川盲目症は、角膜の慢性炎症のために最終的に失明をきたす。1億人以上を苦しめるリンパ系フィラリア症は、慢性の腫脹（しゅちょう）を起こし、象皮症（リンパ浮腫）や陰囊水腫（いんのうすいしゅ）を含む、生涯にわたり障害を起こす臨床症状を呈する。

マラリアは、我々が知る限り人類とともにある。マラリアは、単細胞寄生生物によって起こる、蚊による媒介性の病気であり、赤血球に侵入することで、発熱を起こし、重症例では脳障害や死に至る。34億人以上もの世界で最も脆弱な人々にマラリアの危険性があり、子供を中心に毎年45万人以上の命を奪っている。

細菌・植物由来の新たな抗寄生虫治療

数十年にわたり寄生虫に対する治療法の開発の進展はわずかであったが、今年を受賞者による発見はその状況を劇的に変えた。

日本の天然物有機化学者であり、自然界より微生物を分離し新しい有用な物質を発見する専門家である大村氏は、土壌に住み、多種の抗生物質を産生することが知られるストレプトマイセス属に着目した。（※抗生物質の一つである、ストレプトマイシンの発見に対して、1952年 Selman Waksman（セルマン ワクスマン）氏にノーベル賞が贈られている。）大規模培養と微生物特性評価のための独創的な手法についての卓越した技術により、大村氏は土壌のサンプルから新種のストレプトマイセス属を単離し、実験室での培養に成功した。彼は、何千もの異なる培養株により、有害な微生物に対する活性について、さらに解析するべき最も有望な約50種を選択した。

キャンベル氏は、米国における寄生虫生物学研究の専門家で、大村氏のストレプトマイセス属の培養株を得て、その効果を研究した。キャンベル氏は、培養株より得られた物質の1つが、飼育動物や家畜における寄生虫に対して著明な効果を示すことを明らかにした。この生理活性物質は精製され、エバーメクチンと命名され、より有効性の高い化合物のイベルメクチンへと改良された。イベルメクチンは、後に寄生虫に感染した患者に試され、寄生虫の幼虫（マイクロフィラリア）を効果的に死滅させた。すなわち、大村氏とキャンベル氏は、寄生虫病に対する極めて有効な新薬の発見に貢献した。

マラリアは伝統的にクロロキンやキニーネで治療されてきたが、成功率は低下している。1960年代の終わりまでに、マラリアを根絶する試みは失敗しており、病気は広まる一方であった。まさにその時に、中国のトゥ氏は、伝統的な漢方薬を画期的なマラリア治療法へ応用することに、果敢に取り組むこととした。マラリアに感染した動物を用いて多数の漢方薬から探索したところ、植物のクソニンジンの抽出物が興味深い候補として浮上した。しかしながら、この結果には一貫性がなかったため、トゥ氏は、古い書物に立ち戻り、どのようにクソニンジンから生理活性物質をうまく抽出することを追い求めて、手がかりを発見した。トゥ氏は、後にアーテミスニンと名付けられるこの化合物が、ヒトや動物に感染したマラリア原虫に対して極めて有効であることを初めて示した。アーテミスニンは新しいクラスの抗マラリア薬であり、感染の早期段階に、迅速にマラリア原虫を死滅させ、これにより重症のマラリア感染症に対して、かつてない効能を示す。

エバーメクチン、アーテミスニンとグローバルヘルス

エバーメクチンとアーテミスニンの発見は、寄生虫病の治療を根本的に変えた。今日、エバーメクチンの誘導体であるイベルメクチンは、寄生虫病に苦しむ世界中全ての地域で使われている。イベルメクチンは幅広い寄生虫に対して、高い有効性を示し、副作用が少なく、世界中で自由に入手可能である。主に世界の最貧地域にいる、多くの河川盲目症とリンパ系フィラリア症患者の健康と

福祉を改善するイベルメクチンの重要性は計り知れない。これらの薬剤を用いた治療は極めて有効であることから、これらの病気は撲滅寸前であり、人類の医学の歴史において、主要な功績となるだろう。マラリアは、年間 2 億人近くが感染する。アーテミスニン、マラリアに苦しめられている世界中全ての地域で使用されている。これが併用療法として使用される場合、マラリアの死亡率は全体で 20%以上、小児では 30%以上減少させられると推定されている。これは、アフリカだけでも年間 10 万人以上の命が助かることを意味している。

エバーメクチンとアーテミスニンの発見は、悲惨な寄生虫病で苦しむ患者に対する革命的な治療となった。キャンベル氏、大村氏、トゥ氏は、寄生虫病の治療を変容させた。本発見の全世界への影響とその結果生じる人類への恩恵は計り知れない。

主要論文:

Burg et al., *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* (1979) 15:361-367.

Egerton et al., *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* (1979) 15:372-378.

Tu et al., *Yao Xue Xue Bao* (1981) 16, 366-370 (Chinese)

William C. Campbell (ウィリアム C キャンベル) 氏は 1930 年アイルランド・ラメルトン生まれ。1952 年、ダブリン大学トリニティ・カレッジで BA (学士) を取得後、1957 年米国ウィスコンシン州マディソンのウィスコンシン大学で博士号を取得。

1957 年から 1990 年までメルク治療研究機関に所属し、1984 年から 1990 年は上級研究員兼分析研究開発ディレクターとして従事。

現在は、米国ニュージャージー州マディソンのドリュウ大学名誉研究員。

大村智 (おおむら さとし) 氏は、1935 年に山梨県で生まれ、日本国籍。

1968 年に東京大学から薬学博士号を、1970 年に東京理科大学から化学博士号を取得。

1965 年から 1971 年に北里研究所の研究者。

1975 年から 2007 年に北里大学教授。

2007 年からは、北里大学特別栄誉教授。

Youyou Tu (トゥ ユーユー) 氏は 1930 年中国生まれ、中国国籍。

1955 年北京医学院薬学部を卒業。

1965 年から 1978 年に中国中医研究院 (China Academy of Traditional Chinese Medicine) 助教、

1979 年から 1984 年に同准教授、1985 年より同教授に就任。

2000 年からは中国中医研究院の筆頭教授に就任。

ノーベル財団発表資料（物理学賞）の文部科学省による仮訳

1. 受賞者

梶田 隆章（かじた たかあき）（日本）

1959年日本 東松山市生まれ。1986年東京大学（日本）理学博士。

東京大学宇宙線研究所長および東京大学教授。

www.icrr.u-tokyo.ac.jp/about/greeting_eng.html

Arthur B. McDonald（アーサー B. マクドナルド）（カナダ）

1943年カナダ シドニー生まれ。

1969年カリフォルニア工科大学（アメリカ合衆国、カリフォルニア州、パサデナ）博士。

クイーンズ大学（カナダ、キングストン）名誉教授。

www.queensu.ca/physics/arthur-mcdonald

2. 受賞理由

「ニュートリノが質量を持つことの証拠であるニュートリノ振動の発見に対して」

3. 受賞概要

素粒子の世界における変身

2015年のノーベル物理学賞は、日本の梶田隆章氏とカナダのアーサー B. マクドナルド氏が行った、ニュートリノが別の種類のニュートリノに変化するということを証明した実験への重要な貢献に対して与えられる。

この「変身」が起こるためにはニュートリノが質量を持たなければならない。この発見は、物質の最も内部的な作用に対する我々の理解を変えたが、宇宙についての我々の展望図に極めて重要である可能性がある。

2000年代に入るとき、梶田隆章氏は日本にあるスーパーカミオカンデ検出器により、地球大気中で発生したニュートリノが、検出器に到達するまでに別の種類のニュートリノに入れ替わっていることを発見した。

一方で、アーサー B. マクドナルドが率いるカナダの研究グループは、太陽で生成されたニュートリノが、地球へ到達するまでに消滅したのではなく、サドベリーニュートリノ観測所（SNO 検出器）で観測された時点では、異なる種類のニュートリノに変化していたことを証明した。

この2つの実験により、物理学者が何十年の間取り組んできたニュートリノの謎が解かれた。理論的に計算されるニュートリノの数に対して、地球上の実験では、その3分の2までが消滅したと観測されていた。しかしながら、この2つの実験により、ニュートリノが別の種類のニュートリノに姿を変えていたことが発見されたわけである。

この発見は、長年にわたって質量がないと考えられていたニュートリノが、小さくはあるがいくらかの質量を持つはずだという大きな影響力を持つ結論を導いた。

素粒子物理にとって、これは歴史的な発見である。物質の最も内部的な作用を説明する「(素粒子の) 標準模型」は、その確立から20年間以上にわたって様々な実験による検証に耐え、非常に成功した理論だった。しかしながら、「標準模型」はニュートリノが質量を持たないことを前提とする。新しい実験結果は、「標準模型」が宇宙の基本的な構成要素についての完全な理論でないことを明らかにした。

今年のノーベル物理学賞が与えられた発見は、ニュートリノのほとんど知られていなかった世界に対する極めて重要な洞察をもたらした。ニュートリノは宇宙全体の中で、光の粒子である光子(光子)に次いでその数が多く、地球は常にニュートリノを浴びているのである。

多くのニュートリノが宇宙から飛来する宇宙線と地球の大気との反応で作られる。また、それ以外のニュートリノは太陽内の核反応により生成されている。毎秒数兆個のニュートリノが我々の体を通りぬけている。その通過を誰も止めることができないニュートリノは、自然界で最も捕らえにくい素粒子なのである。

現在も世界中で数々のニュートリノ実験が継続中であり、ニュートリノを捉えその性質を解明するための精力的な研究活動が行われている。ニュートリノの最も根元的な謎に対する新しい発見は、我々の宇宙の歴史、構造、そして未来に対する我々の現在の理解に変革をもたらすと期待される。

平成27年ノーベル物理学賞 解説資料

宇宙の忍者

この二人はニュートリノのパズルを解き、素粒子物理学の新たな領域を切り開いた。梶田隆章氏とアーサー B. マクドナルド氏はスーパーカミオカンデおよびサドベリーニュートリノ観測所という二つの大きな研究グループの主要科学者であり、ニュートリノの飛行中の「変身」を発見した。

狩りは継続していた（ニュートリノをとらえようとする試みは続けられていた）。地球深くに位置する研究施設において、何千もの人工的な目がニュートリノの秘密を明らかにするために、その瞬間を待ちかまえていた。1998年に梶田隆章氏はニュートリノが「変身」するとみられる発見について発表した。ニュートリノは、日本にあるスーパーカミオカンデの検出器に到達するまでにその種類を変えていた。捕らえられたニュートリノは、元は宇宙線と地球大気との反応により生成されたものである。

一方で、地球の反対側において、カナダのサドベリーニュートリノ観測所（SNO）の科学者らは、太陽由来のニュートリノの研究を行っていた。2001年には、アーサー B. マクドナルド氏率いるグループは、この種のニュートリノもまた種類が入れ替わることを示した。

これら2つの実験の結果は、ニュートリノ振動という新しい現象の発見を意味している。この実験が示す重大な結論は、長年質量がないと考えられていたニュートリノが、質量を持つに違いないということである。

これは素粒子物理と我々の宇宙の理解の根本を揺らがせるような重要性を有する。

尻込みした勇者たち

我々はニュートリノの世界の中に生きている。毎秒数兆個ものニュートリノが体を通り抜けている。見ることも感じることもできない。ニュートリノはほぼ光速で空間を駆け抜ける。物質とほとんど相互作用をしない。それらはどこから来るのか？

いくつかは、ビッグバンですでに作られていた。それ以外は、宇宙または地球上における様々な過程において常に作り続けられている。例えば巨星の死である超新星爆発や、原子力発電所における核反応や、自然界における核崩壊において。我々の体の中においてさえも、1秒間に5000個のニュートリノがカリウムの同位体の崩壊によって放出されている。地球に到達する大多数は、太陽内における核反応に起因している。ニュートリノは全宇宙において、光の粒子である光子（光子）について2番目に多い粒子である。

それにもかかわらず、長年にわたり、ニュートリノはその存在すら確認できず、むしろ謎が深まるばかりであった。オーストリア人であるヴォルフガング パウリ（1945年ノーベル賞受賞者）によりその存在が提案されたのは、主として原子核における核崩壊の一種である β 崩壊においてエネルギーの保存を成り立たせるという向こう見ずな試みにおいてであった。1930年にパウリは“親愛なる放射性の紳士淑女の皆様”と宛名して物理学者の同僚に手紙を書いている。この手紙において、彼は、 β 崩壊の際に、電氣的に中性で、相互作用が弱く非常に軽い粒子によって、エネルギーが持ち出されるという考え方を提案している。しかし、パウリ自身も、この粒子の存在をほとんど信じていなかった。彼は“私はとんでもないことをしてしまった。検出されることができない素粒子を考えついでしまった。”と言っていたに違いない。すぐにイタリア人のエンリコ フェルミ（1938年ノーベル賞受賞者）が、パウリの非常に軽い中性の素粒子を含むエレガントな理論を提案した。その素粒子は中性微子、「ニュートリノ」と名付けられた。しかし、誰もその小さな素粒子が素粒子物理学と宇宙を革新するとは予言できなかった。

ニュートリノが実際に発見されるまで、四半世紀かかった。発見の機会は1950年代にやってきた。その頃建設されていた原子力発電所からニュートリノが大量に流れ出始めたのである。1960年6月に2人のアメリカ人研究者、フレデリック ライネス（1995年ノーベル賞受賞者）とクライド コーワンがパウリに「ニュートリノが検出器に痕跡を残している。」という電報を送った。この発見は幽霊ニュートリノもしくはポルターガイストと当時そう呼ばれていた粒子が、現実にあるということを示した。

風変わりな三人組

今年のノーベル物理学賞は、長年の懸案であったニュートリノのパズルを解いたことに對して与えられる。1960年代から科学者たちは太陽を輝かせる核反応から生成されるニュートリノ量の理論計算を行ってきた。しかし、地球上における観測では、そのうち最大3分の2までが失われていた。それはどこにいったのか？

この結果の説明は何通りも考えられた。太陽におけるニュートリノ生成の理論計算に誤りがあるのかもしれない。もしかしたら太陽ニュートリノのパズルは、ニュートリノがその種類を変えているからではないか、という考えもあった。素粒子物理の標準模型によると、ニュートリノは、電子ニュートリノ、ミューニュートリノ、タウニュートリノという三人組から成る。それぞれには電荷を持つパートナー、電子、それよりずっと重い短命の親戚であるミュー粒子とタウ粒子が存在する。太陽では電子ニュートリノのみが生成される。もし太陽で生成された電子ニュートリノが地球へと旅するうちにミューニュートリノやタウニュートリノに変換しているのであれば、捕獲された電子ニュートリノの不足がうまく説明できる。

地下でニュートリノを捉える

ニュートリノが種類を変えるという推測は、より大きくより洗練された研究施設が稼働するまで単なる推測であり続けた。宇宙から飛来する宇宙線や周辺で起きる放射性核崩壊から生じる雑音（ノイズ）を減らすため地下深くに埋められた巨大な検出器で、ニュートリノは日夜捕獲された。それでも、何十億というノイズの中らごくわずかな本当のニュートリノの信号を見つけ出すのは難しい技術である。なにしろ、鉱山中の空気や検出器の材料でさえ自然に核崩壊する物質を含んでおり、観測に影響を与えてしまうのである。

スーパーカミオカンデは1996年に東京の北西250キロメートルに位置する亜鉛鉱山において稼働を開始した。一方、オンタリオ州のニッケル鉱山にあるサドベリーニュートリノ観測所は1999年に観測を開始した。これらの検出器は忍者のようなニュートリノの性質を明らかにし、今年のノーベル物理学賞が与えられるに至った。

スーパーカミオカンデは地下1000メートルに建設された巨大な検出器である。それは、直径、高さとも40メートルのタンクに5万トンの水を満たしている。この水は光がその強度が半分になるまでに70メートルも進めるほどの純度を誇る。通常のプールでは数メートルの深さでそこが見えなくなることと比べてみると良い。この極めて純粋な水の中における、非常に弱い発光を増幅し観測するために、1万1千個以上の検出器がタンク上部・側部・底部に設置されている。

ほとんどのニュートリノは何もせず、ただタンクを通り抜けるが、ごくまれにニュートリノが水中の原子核や電子と衝突する。これらの衝突において、ミューニュートリノからはミュー粒子、電子ニュートリノからは電子といった、電気を持つ粒子（荷電粒子）が生成される。生成した荷電粒子が水中での光の速さよりも速く動くとき、青い微かな発光を起こす。チェレンコフ光と呼ばれる光である。これは、アインシュタインの相対性理論と矛盾しているわけではない。相対性理論が述べているのは、真空中では光より速く動くものはないということであり、水の中では光の速さが真空中の速度の75%まで遅くなっており、荷電粒子のほうが光より早く進むことがありうるのだ。観測されたチェレンコフ光の分布や強度から、どのようなニュートリノが光を生成したか、また、どこから来たのかを明らかにすることができる。

難問は解き明かされた

宇宙線は空間のいたる方向からやってきて、地球の大気分子とフルスピードで衝突し、ミューニュートリノと電子ニュートリノから成るニュートリノシャワーが生成する。スーパーカミオカンデは、稼働後始めの2年間に約5000のニュートリノによる信号を観測

した。この量は、それまでの実験よりかなり多いものだったが、科学者たちは、ニュートリノの到来方向によっては、予想した値より少なくなることを発見した。

スーパーカミオカンデは、真上の大気から下に向けて降りそそぐミュウニュートリノを捕まえるとともに、地球の真裏から検出器にたどりつき、上向きに向かうミュウニュートリノを捕えた。地球内部にはニュートリノの数を大きく減らすものは存在しないことから、上下どちらの方向から来るニュートリノも同数であるはずである。しかし、スーパーカミオカンデの上から来るミュウニュートリノは地球を通り抜けてくるミュウニュートリノより明らかに多かった。

このことは、より長く飛行したミュウニュートリノが種類を変えていることを示している。一方、スーパーカミオカンデの上から来るミュウニュートリノは2～30キロメートルしか飛行していないため種類は変えていないのだろう。一方、上下二つの方向から来る電子ニュートリノの数は予測と一致していたのでミュウニュートリノは3つ目の種類のタウニュートリノに変わったに違いない。タウニュートリノの軌跡はスーパーカミオカンデの検出器では観測できないので、その分、検出できるニュートリノの数が減ったのだろう。

宇宙線が作る大気ニュートリノと異なり、太陽から来るニュートリノは核反応によって生成される電子ニュートリノのみである。SNOが、太陽からのニュートリノの観測を実施したとき、問題解決の決定的な糸口が得られた。SNOでは、地下2キロメートルにおかれた1000トンの重水タンクのなかの9500個の光検出器が電子ニュートリノを観測している。ここで、重水は、1つ1つの水分子が核に余分な中性子を持つ水素の同位体から成る点が、通常の水と異なっている。

重水素の原子核とニュートリノは、いくつかの違った反応を通じて検出器の中で衝突する。ある種の反応からは、電子ニュートリノの数のみを決定することができる。一方、その他の反応は、ニュートリノの種類を区別することはできないが、3種類のニュートリノの総数を計ることができる。

太陽からは電子ニュートリノのみが到達すると考えられているので、もしニュートリノが変身しないなら、ニュートリノの数を数えるこの2つの方法は同じ結論を導くはずである。それに対し、検出された電子ニュートリノ数が3つのニュートリノの総数より少なければ、太陽からの1億5000万キロメートルの旅の途中で電子ニュートリノに何か起きたことを示している。

太陽から地球へは毎秒1平方センチメートル当たり600億個を超える電子ニュートリノが到達するにもかかわらず、サドベリーニュートリノ観測所は、観測当初の2年間、1日あたり3つしか捉えられなかった。これは期待される電子ニュートリノ検出数の3分の1に過ぎず、3分の2が消えていた。しかし、3つのタイプのニュートリノの数を足し合わせると、期待された電子ニュートリノの数に一致した。このことから、電子ニュートリノが太陽からの道すがら、種類を変えた結論される。

量子世界での変身

この2つの実験はニュートリノが一つの種類から他の種類へ変わるという考えを確かなものにした。この発見によって、新たな実験的研究に拍車がかかり、また理論物理学者は新たな方法でものを考えるようになった。

この2つの実験の成果を総合すると、次のような本質的な結論に到達する。すなわち、ニュートリノの変身はニュートリノが質量をもつことを要求する。さもないとニュートリノは変身できない。ではどうやってこの変身は起きるのだろうか？

量子物理学は、このマジックを説明する必要がある。量子世界では粒子と波は同じ物理状態の別の側面として現れる。あるエネルギーをもった粒子はある振動数をもった波に対応する。量子物理学では電子ニュートリノ、ミューニュートリノ、タウニュートリノは、異なる質量をもったニュートリノの状態に対応する波の重ね合わせによって記述される。

異なる状態のニュートリノが同位相であるとき、ニュートリノの状態を互いに区別することはできない。しかしニュートリノが空間を伝搬するとそれぞれの波の位相がずれる。そのため、波は様々な形で重ね合わせられる。ある特定の場所における重ね合わせは、その場所においてどのタイプのニュートリノが最も出現するかという確率に対応する。その確率は場所ごとに変化し、振動し、ニュートリノは様々な種類を発現する。

この奇妙な振る舞いは、ニュートリノ同士の質量の違い（差）に起因する。実験は、この違いが非常に小さいことを示している。ニュートリノの質量は未だ直接に測定されていないのだが、それは非常に小さいと評価されている。いずれにせよ、ニュートリノは宇宙において非常に多く存在するため、その小さな質量の合計は大変なものになる。ニュートリノの質量を合わせたものは宇宙にある目に見える星の質量を合わせたものにおおむね匹敵すると見積もられている。

新しい物理への入口

ニュートリノ質量の発見は素粒子物理にとって、基礎を揺るがすようなものであった。物質の最も基本的レベルにおける「標準模型」はすべての実験的な検証を耐え抜いて20年間にわたってとてつもなく成功していた。しかし、この「標準模型」はニュートリノが質量をもたないことを要求する。この実験はつまり「標準模型」の初めての明らかな欠陥を意味する。これにより「標準模型」は宇宙の基本的構成要素がどのように相互作用するかを記述する完全な理論でないことが明らかとなった。

「標準模型」を超える新しい理論を構築するためには、さらにいくつかのニュートリノの性質に関する重要な、しかし難問を解かねばならない。ニュートリノ質量の正確な値は？なぜ他の粒子に比べこんなに軽いのか？今知られている3種類より他の種類はないのか？ニュートリノは自分自身が反粒子と言う説があるが、これは正しいのか？なぜ他の素粒子とこんなにも違っているのか。

今年のノーベル物理学賞が授与されたこの発見は、厚いベールに隠されたニュートリノの世界の一端を開いてくれた。現在も世界中で数々のニュートリノ実験が継続中であり、ニュートリノの研究が多方面から精力的にすすめられている。まだ隠されているニュートリノの謎の解明は、宇宙の歴史、構造、そして運命を、我々に明かしてくれるものと期待される。

ノーベル賞について

1. ノーベル賞の概要

- ・アルフレッド・ノーベルの遺言に基づき、その遺産によって設立された基金をもとに、物理学、化学、生理学・医学、文学、平和の各分野で「人類に最大の貢献をもたらした人々」に贈られる賞。ノーベルの遺言を実行するために1900年6月、ノーベル財団が設立され、1901年に第1回の授賞。
- ・経済学分野については、スウェーデン銀行の基金により、ノーベル経済学賞が創設（1968年）。

2. これまでの受賞者数

- ・2014年までに889名が受賞。
- ・2015年の生理学・医学賞3名、物理学賞2名、化学賞3名、文学賞1名、平和賞1名（団体）、経済学賞1名を加えると、900名が受賞。

3. 受賞内容

- ・毎年、分野毎に最大3名まで受賞。
- ・賞状、メダル、賞金（800万スウェーデンクローネ、約1億1700万円）を授与。
1スウェーデンクローネ=14.58円で換算。
2011年までは1000万スウェーデンクローネ。財団の財政悪化で2012年から現在の賞金額。

4. 授賞式

- ・授賞式は12月10日（ノーベルの命日）にスウェーデンにて開催。

5. 日本人受賞者について

- ・2014年までの日本人受賞者は20名（物理学賞8名、化学賞7名、生理学・医学賞2名、文学賞2名、平和賞1名）で、ロシア（旧ソ連含む）と並び世界で7番目の受賞者数。（物理学、化学、生理学・医学の自然科学分野に限定すると世界で5番目の受賞者数。）
2008年物理学賞受賞の南部陽一郎博士、2014年物理学賞受賞の中村修二博士は米国籍であることからアメリカに計上。
- ・2015年の生理学・医学賞の大村智氏、物理学賞の梶田隆章氏を加えると、これまでの日本人受賞者は22名（物理学賞9名、化学賞7名、生理学・医学賞3名、文学賞2名、平和賞1名）で、世界で単独7番目の受賞者数。（物理学、化学、生理学・医学の自然科学分野に限定すると世界で5番目の受賞者数。）
- ・21世紀以降（2001年以降）の自然科学分野（物理学、化学、生理学・医学）に限定すると、アメリカに次ぐ世界で2番目の受賞者数。

各国のノーベル賞（自然科学分野）受賞者数について

○総計（2014年発表分まで）

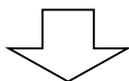
	物理学	化学	生理学・医学	計
アメリカ	87 (44%)	65 (38%)	98 (47%)	250 (43%)
欧州	86 (43%)	80 (47%)	86 (42%)	252 (44%)
日本	8 (4%)	7 (4%)	2 (1%)	17 (3%)
その他	18 (9%)	17 (10%)	21 (10%)	56 (10%)
全体	199 (100%)	169 (100%)	207 (100%)	575 (100%)

(注)

(注) 2008年物理学賞受賞の南部陽一郎博士、2014年物理学賞受賞の中村修二博士は、米国籍であることから、アメリカに計上している。

○総計（2015年発表分まで）

	物理学	化学	生理学・医学	計
アメリカ	87 (43%)	66 (38%)	98 (47%)	251 (43%)
欧州	86 (43%)	81 (47%)	87 (41%)	254 (44%)
日本	9 (4%)	7 (4%)	3 (1%)	19 (3%)
その他	19 (9%)	18 (10%)	22 (10%)	59 (10%)
全体	201 (100%)	172 (100%)	210 (100%)	583 (100%)



○日本のノーベル賞受賞者（自然科学分野のみ）

年	分野	受賞者	受賞年齢	受賞理由
昭和24年(1949)	物理学賞	湯川秀樹	42	核力の理論的研究に基づく中間子存在の予言
40 (1965)	物理学賞	朝永振一郎	59	量子電磁力学の基礎的研究
48 (1973)	物理学賞	江崎玲於奈	48	半導体におけるトンネル現象の実験的発見
56 (1981)	化学賞	福井謙一	63	化学反応におけるフロンティア電子理論
62 (1987)	生理学・医学賞	利根川進	48	免疫機構の分子生物学的解明
平成12年(2000)	化学賞	白川英樹	64	伝導性ポリマーの発見と開発
13 (2001)	化学賞	野依良治	63	キラル触媒による不斉水素化反応の研究
14 (2002)	物理学賞	小柴昌俊	76	天文学とくに宇宙ニュートリノの検出に対するパイオニア的貢献
	化学賞	田中耕一	43	生体高分子の質量分析法のための穏和な脱着イオン化法の開発
20 (2008)	物理学賞	南部陽一郎	87	素粒子物理学における自発的対称性の破れの発見
	物理学賞	小林誠	64	自然界に存在する少なくとも3世代のクォークの存在を予知する対称性の破れの起源の発見
	物理学賞	益川敏英	68	
	化学賞	下村脩	80	緑色蛍光タンパク質の発見

22 (2010)	化学賞	鈴木章	80	有機合成におけるパラジウム触媒クロスカップリング
	化学賞	根岸英一	75	
24 (2012)	生理学・医学賞	山中伸弥	50	成熟細胞が初期化され多様性を獲得しうることの発見
26 (2014)	物理学賞	赤崎勇	85	明るく省エネルギーの白色光源を可能にした効率的な青色発光ダイオードの発明
	物理学賞	天野浩	54	
	物理学賞	中村修二	60	
27 (2015)	生理学・医学賞	大村智	80	線虫の寄生によって生じる感染症に対する画期的治療法の発見
	物理学賞	梶田隆章	56	ニュートリノが質量を持つことの証拠であるニュートリノ振動の発見

(参考：日本の人文科学系受賞者)

- ・川端康成：(昭和43年(1968)文学賞)
- ・佐藤栄作：(昭和49年(1974)平和賞)
- ・大江健三郎：(平成6年(1994)文学賞)

国別・分野別のノーベル賞の受賞者数(1901～2015年)

2015年発表分まで

分野 国名	物理学	化学	生理学 ・医学	小計	経済学	文学	平和	計
アメリカ	87	66	98	251	52	10	25	338
イギリス	22	26	30	78	9	11	12	110
ドイツ	24	29	16	69	1	8	4	82
フランス	13	8	10	31	2	16	9	58
スウェーデン	4	5	8	17	2	8	5	32
スイス	3	6	6	15	—	2	10	27
日本	9	7	3	19	—	2	1	22
ロシア(旧ソ連含む)	11	1	2	14	1	3	2	20
オランダ	9	3	2	14	1	—	1	16
イタリア	3	1	3	7	—	6	1	14
カナダ	4	4	2	10	1	1	2	14
デンマーク	3	1	5	9	—	3	1	13
オーストリア	3	2	4	9	—	1	2	12
ベルギー	1	1	4	6	—	1	4	11
イスラエル	—	5	—	5	2	1	3	11
ノルウェー	—	1	2	3	3	3	2	11
南アフリカ	—	—	1	1	—	2	4	7
オーストラリア	—	—	6	6	—	1	—	7
スペイン	—	—	1	1	—	5	—	6
アイルランド	1	—	1	2	—	3	1	6
アルゼンチン	—	1	2	3	—	—	2	5
インド	1	—	—	1	1	1	2	5
ポーランド	—	—	—	0	—	3	1	4
エジプト	—	1	—	1	—	1	2	4
その他	3	4	4	11	1	20	33	65
計	201	172	210	583	76	112	129	900

(注1) 受賞者の国名は受賞時の国籍でカウントしている。

但し、二重国籍者は、出生国でカウントしている。

(※二つの国籍と出生国が異なる場合、国籍のうち、受賞時の主な活動拠点国でカウントしている。)

(注2) 2008年物理学賞受賞の南部陽一郎博士、2014年物理学賞受賞の中村修二博士は、米国籍であることから、アメリカに計上している。

(注3) 2011年受賞者の国籍及び出生国については、ノーベル財団が一部未公表であるため、当該情報が不明な受賞者は、同財団が発表時に公表した受賞時の主な活動拠点国で計上している。

21世紀以降(2001年以降)の自然科学分野(物理学、化学、生理学・医学)に限定すると、アメリカに次ぐ世界で2番目の受賞者数。