

場所：杉並区立科学館

講演タイトル：2002年度ノーベル物理学賞受賞記念 小柴昌俊先生 特別講演会

『ニュートリノと宇宙』 副題「素粒子と宇宙」

講演日2003年1月25日

講演：高柳 雄一氏（文部科学省高エネルギー加速器研究機構教授）

小柴 昌俊氏（東京大学名誉教授・2002年ノーベル物理学賞受賞）

項目

小柴昌俊教授 科学館名誉館長就任式

高柳雄一教授 紹介

高柳雄一教授 講演：『小柴先生とニュートリノ天文学』

小柴昌俊名誉教授 紹介

小柴昌俊名誉教授 講演：『ニュートリノと宇宙』 副題「素粒子と宇宙」

質疑応答

司会

皆さんこんにちは。昨年の3月まで科学教育センターと称しておりましたこの科学館ですが、33年の歴史の中でも今日ほど大勢のお客様を迎えたことは無かったと思えます。メイン会場のこの講堂の他、館内全部にモニターを準備しましたが、ご不便をおかけすることをお許しいただきたいと存じます。

本日は杉並区名誉区民となられた小柴昌俊先生のノーベル物理学賞受賞記念特別講演会を開催させていただきます。

講演に先立ちまして、小柴先生の科学館名誉館長就任式を行います。

それでは式典に移らせていただきます。

【小柴昌俊名誉教授 科学館名誉館長就任式】

司会

まずご列席の先生方をご案内させていただきます。丸田頼一教育委員会委員長。宮坂公夫委員長職務代理者、與川幸男教育長です。どうぞよろしく願いいたします。

名誉館長称号贈呈を行います。杉並区教育委員会、丸田頼一委員長からお願いいたします。

<丸田委員長の証書読み上げ>

「小柴昌俊様、あなたの学術研究におけるご功績に対して、杉並区の教育の誇りと敬愛の念を込めて、杉並区立科学館名誉館長の称号を送ります。平成15年1月25日 杉並区教育委員会。」

<証書授与>

司会 丸田頼一教育委員会委員長からご挨拶をいただきます。

丸田教育委員長

小柴昌俊先生のノーベル物理学賞受賞、心からお祝い申し上げます。また、本日は杉並区立科学館名誉館長にご就任いただきまして、深く感謝いたしております。

先生の今回の受賞は杉並区の誇りでありますとともに、杉並区の子もたちに、将来に向けての大きな夢を授けていただけたものと確信しております。

政府は科学技術創造立国を掲げる一方、子どもたちの理科離れや、一般社会における科学技術コミュニケーションの機会の少なさなどが問題になっております。

このような時代には身近な科学館の活動に、より一層の大いなる期待が集まることとなります。杉並区立科学館の教育的効果には高い評価をいただいておりますが、このたびの小柴先生の名誉館長ご就任にともない、より輝きのある充実した子どもや区

民のための科学館に成長していくものと期待しています。

本日は文部科学省高エネルギー加速器研究機構教授、高柳雄一先生からもご講演いただくことになっています。両先生から国際的に最高水準のお話を聞けるものとたいへん幸せに思っています。

以上、簡単でございますが挨拶とさせていただきます。どうもありがとうございました。

司会 丸田委員長、ありがとうございました。

花束贈呈は、杉並区立沓掛小学校5年生の男子、6年生女子のお二人からです。

（握手）お二人さん、今日は手を洗えませんか。大事にしておいてください。

これで科学館名誉館長就任式を終わらせていただきます。

## 【高柳雄一教授 紹介】

司会

続きまして講演会に入ります。

まず初めに、「小柴先生とニュートリノ天文学」と題しまして、文部科学省高エネルギー加速器研究機構教授、高柳雄一先生にお話をさせていただきます。

高柳先生をご紹介申し上げます。高柳先生は、東京大学物理学科、そして、東京大学の天文学専攻修士過程大学院をご卒業になられたあと、NHKに就職をなさいました。そして、NHKで長らくいろいろな科学番組、特に物理系、天文学系の番組をお作りになられました。

「銀河宇宙オデッセイ」という、ものすごい人気番組がありましたね。そのあとはNHKの解説委員になられました。昨年現在在籍しておみえの高エネルギー加速器研究機構でニュートリノを含め、さまざまな核物理学関係の研究成果を一般社会へ伝えるお仕事をしていらっしゃいます。現在広報室の室長をなさっております。

では高柳先生、どうぞよろしく願いいたします。

講演：『小柴先生とニュートリノ天文学』 高柳 雄一教授

高柳先生

会場にいらっしゃる皆さん、小柴先生の講演を今か今かと待っていたら嬉しいのがとてもよくわかるので、あまり長々と話をするつもりもありません。

いま、ご紹介いただきましたように、NHKで宇宙の番組をずっとやっていました。

そのときからニュートリノ天文学をたいへんすばらしい世界だと思っていました。今日はそのときに感じた小柴先生のお仕事のことに少しふれまして、あとは小柴先生のお弟子さんたちの活躍についてお話をしようと思います。

小柴先生はニュートリノを通じて、豊かな自然が持っている深みを、実に巧みに探求されました。そして、まだまだ自然は探るべき豊かさをたくさん持っています。

ニュートリノを調べることによって、さらにいろいろなことがもっとわかってくるだろうと思われています。

そのお弟子さん達は、皆さん壮大なプロジェクトをたてていらっしゃいます。最後の方で触れたいと思いますが、小柴先生に続くその若い人たちの活動をご紹介させていただいて、小柴先生の話聞いていただくといいのではないかと思います、今日のお話をさせていただきます。また、たまたま杉並区に住んでいるということでこういう機会を得ることができ、その幸せをいま味わっています。

個人的なことから申し上げますと、1964年から66年くらいまで小柴先生が東京大学の理学部にいらしたころ、私は物理の学生でした。先生の非常にユニークな授業風景をいっぱい覚えています。今年、同僚からたくさん年賀状をいただいたなかに、小柴先生の厳しさ、怖さが影を潜めてしまったのでびっくりしたと書かれたものをたくさん貰いました。私が学生のときは、生徒に非常にきちんと、厳しく、ものをおっしゃっていたのをいまだに覚えています。

私は天文のほうでは太陽物理をやっていたので、NHKに入ってから太陽の活動をテーマにした番組をたくさんつくりました。

小柴先生と同じ年に、同じくノーベル物理学賞を受賞したRaymond Davis Jr. (レイモンド・デービス・ジュニア) という人は、1960年代からアメリカのサウスダコタにある金鉱の鉱山で、塩素化合物をタンクに詰めて、太陽から来るニュートリノをつかまえる仕事をしていました。

太陽が輝いているのは、太陽の中心で核融合が行われているからなのですが、そこから出てくるニュートリノの量が、理論上の数字よりも、どうも半分近くに減って地球に届いているらしいという話題が当時出まして、それを番組で取り上げた覚えがあります。

太陽は、半径およそ70万キロです。燃えている芯の部分の情報をきちんと伝えてくれるのが太陽内部を素通りしてくるニュートリノです。そこから出たエネルギーが表面にくるまでに、100万年くらいかかるといわれていますから、いま実際に星の中心で何が起きているのかを知るには、ニュートリノはもってこいの粒子なのです。それを使ってデービスが調べたことを番組にしたのを覚えています。

ただ、そのときは1ヶ月とか3ヶ月とかの期間をかけて、塩素化合物の中にニュートリノがもたらすアルゴンというガスを計って調べるという方法で、とてもニュートリノを使って宇宙を「観測する」というような域にまで達していませんでした。光が来る方向や観測時刻などが正確にわかる望遠鏡の使い方から見ると、ほとんどニュートリノの観測装置は望遠鏡としての役割が生かされていませんでした。

小柴先生は、1983年から岐阜県神岡町のカミオカンデという装置で、陽子崩壊(ようしほうかい)を調べる実験をなさっていました。これもまた壮大な挑戦をなさっていたのですが、そのあと、1987年の超新星爆発において、見事にニュートリノの観測に成功されました。

その間、陽子崩壊は観測されなかったのですが、一方で、小柴先生はカミオカンデの性能を望遠鏡なみに、非常に見事に仕立て上げられました。

まず、デービスのときと違い、ニュートリノがどこから入ってくるか、いつ入ってくるかを観測できるまでになさいました。ニュートリノによる素粒子の反応をとらえてニュートリノが入ってくる方向、時間を調べることを可能にしたのです。

どこから入ってくるかはニュートリノの種類によって違うのですけれど、たとえば、太陽ニュートリノを観測した場合、来た方向、時刻、エネルギーなどは詳細にわかりません。こうしたカミオカンデが超新星爆発という宇宙の出来事と出会い、すばらしい成果をあげました。

その後、その成果が広く認められ、1996年のスーパーカミオカンデ建設に繋がっていきます。光電子増倍管の数にして10倍の規模(カミオカンデ約1,000本、スーパーカミオカンデ約10,000本)になりました。

そのスーパーカミオカンデでニュートリノの振動という現象がつかまえられました。それにより、どうもニュートリノには質量がありそうだとということが考えられるようになり、さらに研究が進められてきました。

質量があることを証明するためには、振動を正確に測定し、ニュートリノが別種のニュートリノに変化することを証明することが必要になってきます。

今、私が勤めている筑波の高エネルギー加速器研究機構で人工的に発生させたニュートリノを、250 km離れた岐阜県神岡にある東京大学宇宙線研究所の施設であるスーパーカミオカンデまで飛ばし、ニュートリノの振動がいったいどういう割合で、どういうふうになっているのかという測定を行っています。

不幸なことに、2001年の11月、スーパーカミオカンデで光電子増倍管破損事故があり、増倍管の数は半分に減ってしまいました。しかし昨年末から、なんとかこの人工ニュートリノ振動の実験には使える状態にまで応急処置が完了しました。2003年の1月18日から実験を再開しています。

小柴先生のお弟子さん達の仕事がかんたん広がっているわけなのですが、最後にもうひとつそれに関連したお話をいたします。

小柴先生は加速器の分野でもたいへんいいお仕事をなさっております。

電子と陽電子を衝突させて、非常に高いエネルギー状態をつくり出し、その中で生じる素粒子のいろいろな反応を調べることに日本でいち早く注目し、それを進めたのが小柴先生の加速器を使ったお仕事です。お弟子さん達がドイツのDESY（デジー）という電子加速器研究所や、ヨーロッパのジュネーブにある研究所などの大きな施設を使って見事な成果をあげておられます。

その方たちが、次の世代の加速器であるリニアコライダーで、地上にないような高いエネルギーの状態をつくり、現在証明されているエネルギー段階を超えた次の段階の素粒子理論を検証（けんしょう）、つまり、理論的に予言されている現象を見つける計画を進めています。

リニアコライダーとは、長さが30キロくらいある、非常に長い直線状の加速器のことです。両側から電子と陽電子をぶつけて高エネルギーを発生させるのです。2003年2月には、世界中から筑波に若い研究者たちが集まって、どこに、どのようにリニアコライダーをつくり、どう研究を進めればいいのか議論を進めます。

小柴先生の蒔かれた夢が、いろいろな形でいろいろなところで、どんどん育ちつつあるのです。

今この会場に来ていらっしゃる若い方々も、ニュートリノ、あるいは高エネルギー、素粒子の分野に興味を持たれた方がいっぱいいらっしゃると思います。そこにはたくさん謎が待っています。自分が携わった形で、実験でそれを追求してゆく。そんな世界がまだまだありますので、期待を広げていていただきたいし、ぜひ、その謎を自分たちの手で探っていて欲しいと思います。

そういった、大きな夢の種をどうやって育て上げたかという話が、今日の小柴先生のお話であると思いますので、私の話はこれで終わりにさせていただきたいと思います。

司会

高柳先生、どうもありがとうございました。

高柳先生には、1990年の11月24日「銀河宇宙オデッセイの舞台裏」という題でお話をさせていただいたことがあります。それもすばらしいものでした。また、何年か前の暮れには当館のプラネタリウムからNHKのBS放送の番組中継もして頂いております。高柳先生も杉並区民でいらっしゃいます。今後ともどうぞよろしく願いいたします。

#### 【小柴昌俊教授 紹介】

小柴先生は、たいへん怖いと有名だったということです。私もいろいろな方々から小柴先生はたいへん怖い先生だとうかがっていました。10年前に、講演していただくために科学館のお近くにお住まいの小柴先生のお宅におそるおそるお願いに行きましたら、とても優しくいらっしゃいました。

簡単に小柴先生の経歴をご紹介します。

1926年に愛知県にお生まれになりました。1951年、東京大学理学部物理学科をご卒業、1953年に、東京大学大学院理学部修士課程を修了、1955年にロジェスタ大学大学院を修了。物理学でPHD（博士号）をおとりになりました。そして、1970年に東京大学理学部教授におなりになりまして、1987年に定年退官なさいました。東京大学名誉教授でいらっしゃいます。

実はこの1987年に退官される1ヶ月ぐらい前に、大マゼラン星雲の超新星爆発が観測され、ニュートリノをとらえられました。しかもちょうど、そのまた1ヶ月ぐらい前にその装置が非常に改良され、ノイズが少なくなっていたのです。スタンバイOKになってすぐに、その超新星爆発のニュートリノをとらえられたという経緯があります。

1997年まで東海大学理学部の教授をなさいまして、昨年ノーベル物理学賞を受賞されました。現在、日本学士院会員でいらっしゃいます。

カミオカンデに代表される宇宙線観測や、世界最高エネルギーを生み出す電子陽電子衝突加速器を用いた実験をされました。

何よりも、今、たくさんのお弟子さんが育っていらっしゃいます。それらの方々が皆、世界の第一線で、核物理学、素粒子物理学をやっていらっしゃるのです。ほんとうに、世界のリーダー、世界の巨人でいらっしゃいます。

たくさんのお勲章や賞を貰っていらっしゃいます。挙げるときりがないのですが、ドイツ連邦共和国大功労十字賞、仁科記念賞、朝日賞、文化功労者、日本学士院賞、藤原賞、文化勲章、イスラエルウルフ賞などを、受賞されていらっしゃいます。

それでは小柴先生、どうぞよろしく願いいたします。

講演：『ニュートリノと宇宙』副題「素粒子と宇宙」 小柴 昌俊教授

小柴先生

私は、ここへ来て話をするのは特別に緊張するのです。数年前にここでお話をしたとき、孫娘は幼稚園の年長組でした。「お話をするときは、まっすぐ前を見て、手は両側でちゃんと正して、まっすぐ立ってなければいけませんよ。」幼稚園の先生に教えてもらったとおりのことを私に言いました。それで、いざこの会場に来ましたら、紹介のときにあまりに誉めてくださったので、私は照れくさくなってしまって下を向いてしまったのです。話を終わった帰り道で孫娘から、「じじ、下向いてしまって、ダメじゃないの。」と、叱られました。今日、誉められたときも私が顔を下に向けずに前を向いていたのは、こういうわけでございます。

さて、今日のお話ですが、「素粒子と宇宙」という題をつけました。この会場におられる小学生、中学生の人たちに、できるだけ分かるようなお話にしたいと思うのです。分からないことがあっても気にすることはありません。分からないところは跳ばしてしまって構いません。

私が東京大学の先生になって、宇宙線の講義をするために教室に行った最初の日のことです。黒板に字を書きました。私は右腕が不自由なので、黒板に字を書くのが非常に苦手なのです。私は、黒板に字を書くのをできるだけ少なくしようと思い、まず、黒板の左の端に「宇宙」と書きました。最近、宇宙に関する理解が非常に進んできました。もう一つ、右の端に「素粒子」と書きました。素粒子に対する理解も、最近の進歩は極めて著しいものがあります。

私は、いずれは素粒子の理解と宇宙の理解というものが深く関係づけられるものではないかと、そのときから思っていました。

一つはうんと小さいもの、もう一つはうんと大きいもの。この二つを繋いで橋渡しをしてくれるものはいったい何だろうかと考えてみました。

「どうも、理由は君たちにはっきり説明はできないけれども、私の勘では、ニュートリノが二つのとりもちをしてくれるのではないかと考えている。」こういうふうに講義で話したのです。《図1：1964年 東大での最初の講義の初日の黒板》

その時は、もちろん根拠が明確にあって言ったのではなかったのですが、40年近くたった今では、ある程度それが本当だということが分かってきました。

この絵は、最近理論宇宙論者が使っているものですが、人間の大きさを基準にして、大きな側、宇宙のほうを調べていくと、山、地球、太陽、太陽系、銀河、グレート・ウォールになり、最後は150億光年ぐらいの広がりまでいきます。今度は人間よりも小さいほうを調べていくと、アメーバ、分子、原子とどんどん小さくなります。

原子の芯にある原子核、次に素粒子、どんどん小さいほうを見ていきますと、うんと小さかった、生まれたばかりの宇宙は、いったいどういうことになっているのだろうか。

素粒子物理というのは、「いったいどういうのが、ほんとうの素粒子なのか。」ということが大事な問題となってくるわけです。この表は現在、素粒子と考えられているものを挙げてみました。ここにあるこれぐらいの粒子で、我々の身体を含めた自然界の全てが作られています。

第1、第2、第3ファミリーと、こんなにたくさんの素粒子がありますが、どうして自然はこんなに必要ないものをたくさんつくったのだろう。第1ファミリーと、第2ファミリーの間の関係はどうなのか、これとこれの関係はどうなのか。そういうことは、いまだに分かりません。

もしここに居る若い方たちが物理をやるならば、まだまだ分からないことがたくさんありますから、やることはたくさんあります。これら素粒子の種類ほかに、素粒子同士が、いったいどういう力を及ぼし合っているのかという問題があります。

粒子があるだけでは物事は起きません。お互いにどういう力を及ぼし合っているかをはっきりさせなければならないのです。我々の知っている、及ぼし合う力というのは4種類あることが分かっています。

まず初めに、原子核などを一つにまとめている「強い力」といわれる力です。これは、クォークという粒子の間に働く力です。それを媒介する粒子としてグルーオンというのがあると考えられています。

それから電磁的な力を媒介するのは、よく知られている光です。光子と呼ばれている光の粒、ガンマです。それが「電磁気力」です。

次に、「弱い力」ですが、放射性元素などが崩壊するときに電子をはじき出して、他の種類の原子に変わる放射性変換という現象があります。それを起こす力のことです。その弱い力を媒介するのが、Zゼロ、Wプラス、Wマイナスなどの重い粒子だということが分かっています。

それから最後に「重力」です。これは昔から知られているのに、一番弱いためになかなか理解が難しいのです。それを媒介するのが、重力子と呼ばれる粒子だろうと考えられています。

普通は「力を及ぼす」というと、押すとか引っ張るとか、そういうことが頭に浮かぶのではないかと思うのですが、物理で「力を及ぼす」というときには、必ず「それを媒介する粒子をやりとりすることによって力が働く。」と考えます。

例えば、静かな湖の上にボートが2艘あったとします。それぞれに1人ずつが乗り、向き合ってボールを投げ合います。片一方がボールを投げると、その反動で投げた人の舟が少し後ろへ下がります。ボールを受け取った人も、勢い良く飛んでくるボールを受け取めるので、その運動量の分だけ、舟と一緒に少し後ろへ下がります。これを何度もやっていると、舟はだんだんお互いに遠ざかっていきます。それを遠くから見ていると、「あの2つの舟は、互いに遠ざかっているから、反発力が働いている。」と理解するわけです。

引力を説明するのは、少しごまかして説明しますが、普通のボールの代わりにブーメランを使います。オーストラリアの先住民が狩猟に使っていた道具で、空中に投げて、何も当たらないと元のところに戻ってきます。この場合は、それぞれの舟が少し離れて背中合わせになって、相手のいない方向へブーメランを投げます。まず、投げたときの反動で、投げた人の舟は背中側に少し動きます。ブーメランは前方から戻ってきて後方へ行き、そこから元の所へ戻ってきます。戻ってきたブーメランを他の舟の人がキャッチすると、その運動量により背中側に動きます。それを2人が背中合わせに繰り返していると、2艘の舟はだんだん近づいていきます。遠くから見ていると、「2人の間に、引力が働いている。」ように見えるわけです。実は、このブーメランを使った説明にはちょっとインチキがあるのですけれどね。そのインチキがどういうことなのか考えてごらんになるのも面白いかもしれません。

## 《図2：力を橋渡しするもの》

素粒子を質量によって分けてみると図のようになります。縦軸は質量で、1目盛り上がると10倍になります。単位は電子ボルトです。ところで素粒子などというものは、物好きがいじくりまわしているもので、私は見たことも聞いたこともない、そんなものがいったい何なのだという気がすると思うのです。そのような素粒子を身近なものに感じるためには、どのように素粒子を観測するのかをお見せするとよいと思います。

素粒子の中で電気を持った粒子、たとえば電子ですが、そういうものは比較的観測しやすいのです。それでも難しいことは難しいのですけれど、その点についてこれから説明します。

電気を持った粒子、荷電粒子が物質の中を走る場合についてです。そのときに使う「物質」は、気体でも液体でも固体でもいいのです。その中を荷電粒子が走るとき、通り道の周りの原子を電離します。電離というのは、クーロンの力で原子の外側にある電子を弾き飛ばすことです。そうすると、原子は電子を失ってイオンになります。

荷電粒子は自分が走る通る道で、ポツンポツンとイオンを作っていくのです。

ではそれを観測できるかということ、非常に細かい現象なので、どんなに倍率の大きい顕微鏡、あるいは強力な電子顕微鏡を使ったとしても見ることはできません。もう桁違いに小さいのです。それを見られるように、学者がいろいろと工夫してきました。そして、ほんの小さなものも、雪崩現象(なだれげんしょう)を使って大きく増幅して、目に見えるようにすることができるようになりました。

たとえば、静かな風のない山にたくさん雪が積もっているとします。でも、静かな何物も動かないときには、雪が積もったまま静かに同じ状態にいるでしょう。けれども、もしキツネが何かに驚いてパパッと駆けたら、キツネのたてたその騒ぎのために、ちょっと雪が動きます。その雪の動いたことが原因となって隣の雪を動かします。それが重なり、雪崩が始まるのです。いわばキツネが引き金を引いたというわけです。キツネが動いたことは細かいことなので、なかなか観測できなくても、その結果として起きた雪崩は大きなことですから、きちんと観測できるのです。

もう一つ、例をお話ししましょう。飛行機の通ったあとにできる飛行機雲は、できることもあれば、できないこともあります。飛行機が飛んでいるところの空気が不安定な状態だとできるのです。飛行機が飛んできて空気がかき混ぜられたために、不安定な場所に霧ができます。それが飛行機雲になるのです。その飛行機雲が、どちらの方向に、どの位の速さで伸びているかを観測すると、飛行機自体は見えていなくても、その飛行機の進行方向、速度などが分かります。それと同じことを物理の研究者は素粒子に対して行っているのです。

### 素粒子をどうやって観測するか

- ・電気を持った荷電粒子をまず考えよう。
- ・物質〔固体・液体・気体〕の中を走るとクーロン力によって原子をイオン化する。軌道に沿って出来たこれらイオンは小さすぎてまだ見えない。

そこで、

- ・雪崩現象を利用して大きく増幅する。
- ・飛行機から見た砂漠を走る自動車、飛行機雲 など。

素粒子が起こす細かな動きを雪崩的に増幅し、観測ができるような状態を人工的につくり出すことができるのが、霧箱(きりばこ)という検出器です。元々はロンドンの霧がどうして発生するかということの研究するためにつくられた装置です。

この容器の中に気体とアルコールを入れ、その容器の蓋をぱっと一気に引いて、急激に中の圧力を減らします。圧力が減ると、そこにあったアルコール蒸気を蒸気として保っておくことが難しくなり、アルコールの蒸気が液体の粒になりたがります。ところが、液体になりたくても、何もきっかけがないと液体の塊(かたまり)にはなれません。では、何をきっかけにするかということ、その気体のなかにあるホコリなどです。ホコリの周りに蒸気がサッと集まり、液体の粒ができます。あちこちに霧の粒ができます。粒になったものは重いので、だんだん下へ沈んでいき、底へ溜まります。それを何回か繰り返すと、ホコリは全部液体の粒の芯になり、下に沈んでしまいます。すると、非常に綺麗な、ホコリの無い気体になります。その状態になると、急激に圧力を下げても、ホコリがないから液滴ができません。ですが、液滴をつくりたくてしょうがない状態になっています。これを「不安定な平衡状態」といいます。

その「不安定な平衡状態」の気体の中を電気を持った粒子、荷電粒子が通ったとします。荷電粒子は電子をたたき出して、イオンを次々とつくり出します。すると、イオンという異物を種にして、液滴ができます。これが霧箱の原理です。

このようにして、荷電粒子が通ったときに圧力を下げると、荷電粒子の通ったあとに沿って霧が見えるのです。荷電粒子はここでどんどんエネルギーが少なくなってヒョロヒョロしてきます。速度が遅くなるとイオンをつくる能力が強くなり、たくさんイオンができますからだんだん霧が濃くなってきますが、それもここまでで、霧が見えなくなったのは粒子が止まったということです。

これ(図3)は実は有名なミュー粒子を宇宙線の中で発見した写真です。

この仕事でやはりノーベル賞が出ております。《図3：原子核乾板》

これは、もう一つの霧箱写真(写真無し)で、これはこの物質層の下に、何も見えない隙間があって、ここに、跡が見えますが、このなかでつくられた電氣的に中性で軌跡の見えない粒子が、ここで二つの荷電粒子に崩壊したと解釈されて、奇妙粒子という名前を付けられた粒子の始まりです。この奇妙粒子の理解には日本の西島先生という方が、

中野・西島・ゲルマン（NNG法則）の法則というのを言い出して、素粒子の研究に大きな寄与をしたことがあります。

原子核乾板というのは基本的には写真乾板と同じなのですが、普通の写真乾板よりもずっと感度がよくなっています。荷電粒子が乾板の中につくったイオンを種にして、銀粒子がそこへ集まり、それを現像すると、黒い銀の粒が見えるのです。例えば、だんだん濃くなっているということは、パイ中間子が止まっている現象です。パイ中間子は湯川先生が言いましたものですが、このパイ中間子の止まったところで、また新しい、さらに薄い軌跡の粒子がつくられて、それがずっと走って行ってまた止まり、今度はまたさらに薄い粒子が走り出しています。

これを解釈するとどういうことになるのでしょうか。これは、パイ中間子がきて、ミュー粒子ともう一つ、目に見えない粒子に壊れたということです。この長さが、最初の場合と次の場合を比較すると、両方同じ長さです。それは崩壊のときに出てきたミュー粒子のエネルギーが一定だということを表しています。つまり、パイ中間子がミュー粒子ともう一つ中性の恐らくこれがニュートリノだと思いますけれど、パイ中間子が壊れたときの現象は、2体崩壊で、二つが逆方向に同じ運動量で飛び出しているということになります。そして、両方の粒子のエネルギーが決まった量になるということが理解できます。一方、ここから飛び出す電子、これはエネルギーが変わっていますから、これは2体崩壊ではなくて、少なくとも3体崩壊、つまり、ニュートリノが2個は出ているはずだということが分かります。

もう一つ別の種類の不安定平衡をつくる実験装置の泡箱についてお話ししましょう。

液体も圧力を急に減らすと、中に含まれていたものが気体になりたがります。先ほどの霧箱と同じように、何かきっかけになるものがないと、なかなか気体の粒になれません。霧箱と同じように、液体の圧力を減らすことを繰り返しますと、中のホコりはみな下に沈殿して綺麗になります。そうしてできた不安定な平衡状態のところへ、電気をもった荷電粒子が入ってきたとします。それが通りながらポツポツとイオンをつくり、そのイオンを種にして気体の泡ができます。この泡箱はいろいろな粒子を発見するのに役立ちました。そのなかでもオメガ粒子の発見が有名です。

今は、こんなに難しいことを、全部分かろうとする必要はありませんよ。とにかく、いまお話したように、目に見えない素粒子の様子を、雪崩現象を起こせば観測することができるので、それを観察すると、素粒子のことが身近に思えてくるということだけを感じてくれればいいと思います。

もう一つの例です。極板の間にガスを詰めます。高い電圧をかけると普通はスパークといって放電して光り、パーっと広がってしまいます。ところが、ごく短い時間だけ高電圧をかけると、荷電粒子が走りながら通り道につくったイオンの回りだけに電流が流れ、そこのところだけ光ります。その原理を使い、鉄板をたくさん重ねて、それに短い時間に交互に高い電圧をかけます。すると荷電粒子の通ったところだけがパチン、パチンと放電が続き、粒子が通った証拠が見えるのです。

次に、加速器から作られるニュートリノビームについてお話ししましょう。

先ほどもお話ししましたが、加速器でパイ中間子やケイ中間子をつくって、それを崩壊させると、崩壊したときに出てくるニュートリノをビームとして取り出すことができます。そのニュートリノを鉄を重ねたものに通してみると、衝突によって作られた粒子はスーッと通りぬけていくものばかりです。これは電子ではあり得ません。電子の場合には、鉄板を通るごとに数がどんどん増えていき、横にも広がってしまうはずだからです。そうならず、ただ通りぬけているというのは、電子よりずっと質量が大きい粒子のほうです。これにより、質量の大きいミュー粒子ばかりがつくられていることが分かります。このことから加速器でつくられたニュートリノは、ベータ崩壊のときに出てくるニュートリノや、あるいは原子炉の中から出てくるニュートリノとは種類が違うということが分かります。このことを発見した人たちもノーベル賞を貰っています。

ドイツで、電子と陽電子の衝突実験を行った装置では、日本の東京大学グループが主要な役割を果たしました。この実験（JADA実験）では、グルーオンという、強い相互作用を媒介する粒子、それに関する実験的な証拠をいろいろ出すことができ、ヨーロッパ物理学界の特別賞を受賞しています。

電子と陽電子というのは、粒子と反粒子ですから、ぶつかってお互いに消滅しあうと、ごく小さな空間領域に大きなエネルギーが発生します。ですから、エネルギー密度がたいへん大きいのです。すると、その全エネルギーが許す限りの制限で、いろいろな種類の粒子、反粒子の対が出てくるのです。これはいわば宇宙のビッグバンのマイクロマクロマイクロバージョンとでも言いましょか。実際のビッグバンよりもうんと桁違いにエネルギーは低いけれども、それと丁度似た現象ができるのです。もちろんそれだけエネルギーの差があると、宇宙のビッグバンとは違うところがいろいろあります。しかし、これを詳しく調べていくということは、いずれは宇宙の誕生の理解にも役立つのだらうと思っています。

ドリフトチェンバーという検出器を使ったJADE実験についてお話ししましょう。

粒子の軌跡に沿って電離したイオンの電子を電圧で動かして最後に増幅し、それまでに経過した時間から最初のイオンの場所が見えるようにするものです。上の図はクオークと反クオークが逆向きに飛び出して、それぞれ中間子になっている事象ですけれども、下の図の観測結果を見ますと、束が三つになっているように記録されています。

これはグルーオンの出た様子と考えられます。

それでは、もっと観測の難しい、電気を持たない中性の粒子はどうやって観測したらよいのでしょうか。中性の粒子は物質の中を通っても、クーロン作用がありませんから、イオンをつくりません。だから、それだけでは見えるはずがないのです。そこでその中性の粒子が持っている相互作用を使って荷電粒子をたたき出すのです。荷電粒子をたたき出して、出てきた荷電粒子がどちらの方向にどれだけのエネルギーで走り出したかということから逆算して、中性の粒子がどういう動きをしていたのかを観測をします。

中性子というのは、原子炉の話などで知っている人もいますが、観測は割と簡単なのです。中性子は強い力が働きますから、速度が遅くなると原子核に吸収されて、その原子核を放射性元素にして、その放射性元素が崩壊するときにカウンターで調べるという方法もあります。また、強い相互作用を持っているので、例えば水のように、水素が含まれている媒質の中を通ると、水素の中の陽子をたたき出すということを頻繁に起こします。それによって、たたき出された陽子を観測すれば中性子の振る舞いが分かります。

中性子の場合はまだいいのですが、電気を持たないニュートリノとなると、強い相互作用もなければ電磁的な相互作用もありませんので、観測はさらに難しくなります。ニュートリノを感じる相互作用というのは弱い力しかないのです。弱い力というのは、名前の通り非常に弱いのです。その弱い力で他の粒子と相互作用をするというのは、極めて極めて稀なことなのです。それでも、ニュートリノが物質のなかを通るとき、弱い相互作用を使って、そのなかの電子をたたきます。そういうことはなかなか起きることではありませんが、あり得るのです。非常に稀に、たたき出されて飛び出した電子を観測すれば、たたき出した元のニュートリノは、どちらの方向にどのくらいのエネルギーで走っていたかということ推論するのです。

その観測を可能にしたのが、カミオカンデという実験装置です。円筒形の鉄でできたもので、周囲2メートルは周りからくる放射線を遮へいする（安泰）カウンターと言われる層です。内部は、約3,000トンの水が入るタンクになっており、その周りに大きな光電増倍管を隙間なく取りつけてあります。このタンクに超純水を満たし観測に使います。この水の中にニュートリノが入ると、非常に稀に電子がたたき出されて動きます。するとチェレンコフ光という光が、電子の軌跡を軸にして円錐形に出てきます。この光を各光電増倍管で検知して、何個の光の粒がどういう時刻に届いたかを観測しますと、これを出した荷電粒子は、ここからスタートしてこちらへ行って、エネルギーがどれだけだったのかが分かるのです。

《図4：カミオカンデの内部写真（魚眼レンズにて撮影）》

この写真は、光電増倍管という光を感じる目を周りいっぱい詰めたカミオカンデの内部を魚眼レンズで撮ったものです。他のアメリカの実験と比べて、この装置を非常に強くしてくれたのは、この観測のために開発した、世界最大の光電増倍管です。この光電増倍管がうまくつくったということが、よい観測ができる大きな理由となっています。これができたとき、私はとても嬉しく思い、ニコニコして光電増倍管を持って記念撮影をしました。《図5：小柴先生と光電増倍管》カミオカンデの成功に続いて、もっと大きなものをという私たちの要望を政府が満たしてくれたのが、スーパーカミオカンデです。周りの光電増倍管の数が約11,000個以上あり、たいへん大きな円筒タンクです。

では、実際にそれらの検出器がどのように働いているのかということについてお話ししましょう。《図6：カミオカンデで検出したミュオン粒子》これはスーパーカミオカンデの円筒です。ちょうど缶詰の缶を開けて空にし、底も開きます。円筒の部分を縦に切って平に広げますと、内面が全部見えるようになります。ここにあるポツポツとした点は、11,000個以上ある光電増倍管の一つ一つを表しています。赤くなっているのはその場所の光電増倍管がたくさん光の粒を受け止めたことを表し、黄色や青は少しずつ少ない数の光の粒子を受け止めたことを表しています。これはつかまえたフォトン（光子）の数が時間的にどう変化したかを示しています。この図で分かるように、宇宙線のミュオン粒子が、ここから検出器の中に入って、この近くにたくさんのチェレンコフ光子をくっつけて、チェレンコフの光がこちらに走り出しているところです。

それから1億分の5秒たったときにどう見えるかと言うとチェレンコフ光がここまで進んできました。粒子はこちらの方向に進んでいます。更に1億分の5秒たつと、粒子はもう下にくっついてしまって、ここに赤い光子が出口の所に示されています。けど水の中のチェレンコフ光は、波面がここまでしか届いていないのです。

ここで少しチェレンコフ光の説明をしておきます。もう何年も前のことですが、ジェット機が音速を超えるようになったときに、音の衝撃波が出るようになりました。音の進む早さよりも、音を出している物体のほうが早く進むと、波面の重なる衝撃波が物体の後方にできるのです。

それと同じことで、水中でももしも荷電粒子が光速を超えたとします。水中で荷電粒子が走るというのは、電磁的な波、つまり光を出しながら進むということです。その光が進行する速度より速い速度で粒子が進んだとすれば、光の衝撃波が後方に広がります。これはロシアのチェレンコフという研究者が予言した光なので「チェレンコフ光」と名づけられています。

特殊相対性理論によれば、真空における光の速度が物質の速度のなかで最も速く、どんな粒子も、どんな信号も、これより速く進むことはあり得ません。では、なぜ水中では粒子の速度が光の速度を超えることができるのでしょうか。

水は屈折率が1ではなくて、1.3ぐらいです。

光は、屈折率を持つ物体の中を通ると、速度が屈折率分の1に減ってしまうのです。

ですから光が水の中を走るときには、真空中を走るときの速度に比べて75パーセントぐらいのスピードになります。ところが、粒子は水の屈折率に影響を受けません。真空中での光速に近い速度で走ることができるのです。なので、水中では粒子の速度が光速を超えることができるのです。それで衝撃波であるチェレンコフ光が出るのが理解できます。この観測の時点よりもさらに1億分の5秒たつと、チェレンコフ光がもっと全体的に広がっていることも見られます。

この検出器のもう一ついいところは、同じ荷電粒子がつくったチェレンコフリングでも、電子がつくったものとミュオン粒子がつくったものとを、きちんと分けて観測できることです。二つを比べてみますと、ミュオン粒子がつくったチェレンコフリングのほうがはっきりと綺麗に整っています。電子がつくったチェレンコフリングは、ボーっとにじんでしまって、すっきりしていません。

《図7：チェレンコフリング、電子事象とミュオン粒子の比較》

それはなぜかという、静止質量がとても軽い電子の場合は、水の中を通るときに、原子核によってガンマ線を出しています。ガンマ線がまた電子と陽電子の対をつくりまします。それらはみな低いエネルギーですから、大きく散乱されます。そのように、散乱されやすい条件が多いために、電子でつくられたチェレンコフリングはにじんでしまうのです。この違いを定量的に調べますと、99パーセント以上の正確さで、ミュオン粒子であったか、電子であったかをはっきり決められます。これが、後にニュートリノ振動という現象を発見することにたいへん重要な役割を果たします。

先ほど言いましたように、電子との衝突の観測によりニュートリノの動きをつかむと、逆算して、入ってきたニュートリノはどちらの方向から来たのか、どのようなエネルギー

ギ一分布を持っていたのか、いつ届いたのか。その三つのことを全部知ることができます。その三つが分かれば、まさに天体物理学として成り立ちます。太陽ニュートリノを、三つの条件を満たす方法で計ることが可能になったことによって、ニュートリノ天体物理学が誕生したのです。

骨折した場合、身体の中の見えない部分で骨が折れている様子をエックス線で写しとります。我々はニュートリノを観測します。こちらが太陽から来る方向で、これが等方的に入ってくる邪魔なバックグラウンド、その上でたくさんの太陽から来るニュートリノをつかまえています。ニュートリノで撮った太陽の写真というのも撮れるわけです。世界最初にとらえた太陽のニュートリノ写真です。

これは銀河座標の中で、太陽がどういうふうに動いたかという、太陽の軌道をニュートリノで見たニュートリノ写真です。これは素晴らしいことではありますが、実は、少し問題があります。ニュートリノ写真に写る太陽というのは、我々が目で見ている太陽よりもずっと大きく、ぼけてしまいます。目で見える太陽は、写真でいうならば、ちょっとした点ぐらいのはずです。かなり頼りない解像度です。ニュートリノ天体物理学という分野は、まだ生まれたばかりの赤ちゃんのようなものなのです。このニュートリノの太陽写真をもっと綺麗に写るようになるために、いま小学校、中学校にいる皆さんが、将来誰か、何か、うまい方法を思いついてくれるといいなと思います。

太陽ニュートリノの観測がうまくできるようになって2ヶ月もたたないうちに、私たちの銀河の隣のマゼラン星雲で超新星爆発が起きました。この写真は光学的な観測で、大マゼラン星雲のこの星が超新星爆発をして、これほどの輝きを示したというものです。その時にたったニュートリノの記録です。これがバックグラウンドで、これが時間の軸です。ここにプロットしてあるのがつかまえたフォトン、光子の数です。縦軸の上に行くほどエネルギーが大きいのです。ここに11個の時間的に集まったニュートリノ事象が見られます。これが超新星から出たニュートリノの信号です。

たった11個ですけれど、実はこれがたいへんに役に立ったのです。それまで、理論的に天文学で考えていた超新星型といわれる超新星の爆発は、鉄の重力崩壊によるものであって、そのときにたされるエネルギーやニュートリノを出しているときの温度などを確認することができました。《図8：超新星1987A、爆発前/爆発後》

それから、1個目から11個目までの時間の広がり10秒ぐらいあります。それがまた大事な意味を持っています。もし普通の物質の状態からニュートリノが放出されたのだとすると、この信号の時間の幅というのは1,000分の1ミリ秒よりもっと短い時間に集まっているはずなんです。それが10秒ほどに伸びているということは、ニュートリノの放出される領域というのが原子核に近いような高密度で、ニュートリノでさえもスーッと出てこれられない状態で、あちこちぶつかり合いながら、いわゆる拡散して出てきたということを示しています。つまり、中性子星の状態になる直前のような所からニュートリノが放出されたのだということを示しているのです。

皆さん、聞いてくださってありがとうございます。いまの話で、まだまだ分からないことがたくさんあるということを感じていただけたであろうと思います。さらに理解を進めるのはあなた方です。こういうことで、私の話を終わらせていただきます。

#### 【質疑応答】

司会 小柴先生、どうもありがとうございました。長時間にわたりまして、「ニュートリノと宇宙」と題し、たいへんご丁寧なお話をしていただきました。

こうしたお話をお聞きできる機会というのはなかなかないと思います。たいへん幸せなことです。

先生に何か質問したい人はいますか。気軽に遠慮なくどうぞ。

聴衆（子ども）中瀬中学校のAです。最初のカミオカンデは現在どうなっているのでしょうか。

小柴先生 最初のカミオカンデは、もう取り壊してしまって、その洞穴（ほらあな）に新しい第3世代の実験であるカムランドという実験装置が造られています。その実験が2002年の秋、既に立派な結果を発表して世界中の人が喜んでます。

司会 ありがとうございます。他にありますか。この際、世界最高の碩学に直接お答えいただくわけですから、どうぞ、このチャンスを逃さないようにしてください。

小柴先生 皆さん、全部分かっちゃったのか、それともぜんぜん分からなかったか、どっちかな。

聴衆 聖パウロ高等学園のBです。ニュートリノを使用した太陽の写真ですが、なぜぼやけるのでしょうか。

小柴先生 いい質問だね。それを理解して、君がいい撮り方を考えてくれて、綺麗な写真が撮れるようになるといいですね。

理由は二つあります。一つは、太陽からニュートリノが来て水中の電子を、だいたい前方にたたき出すのだけれども、真正面にパンとたたき出すのではなくて、少しずれたところにたたき出すという核分布というのがあつたのです。それがぼやける一つの原因です。もう一つは、たたき出された電子は水中を通るときに、クーロン力で原子核との散乱を起こして、方向を変えるのです。

この両方の原因を合わせると、だいたい25度ぐらい広がったぼやけになってしまうのです。これでは非常に情けない写真になってしまいます。だから君たちのうちの誰かが、もっと綺麗な写真の撮り方を見つけてくれるといいですね。

司会 ありがとうございます。次の方どうぞ。

聴衆（大学生）多摩川大学のCです。スーパーカミオカンデなんですけれど、地下1,000メートルという地中深い位置にあり、宇宙からの余計なものが入ってこないようにしてあると聞いているのですが、他にも観測に邪魔なものというのはあるのですか。また、宇宙から来るいらぬものというのは、どういうものがあるのですか。

小柴先生 例えば、周りの岩石から出てくる、放射性元素からのガンマ線です。それが水中に入って電子をたたき出したり、あるいは、電子、陽電子のペアをつくったりするのです。それがバックグラウンドとしてのいらぬものですね。もう一つ、これが頭痛のタネだったのですが、カミオカンデの建設地の神岡は、元々鉛を掘っていた鉱山なのです。そういう重金属の鉱脈にはラドンという放射性元素がたくさんあるのです。現に、神岡の鉱内では、他の場所よりもラドンの含有量が10倍以上あります。



そのラドンというのはやっかいなことに、水が大好きで、水にすぐ溶け込んでしまうのです。それが水の中で放射性の崩壊をすると、原子が光を出してバックグラウンドをつくる。これがほんとうに困り物なのです。岩から出てくるラドンが水の中に入らないように測定機を全部機密にしたり、蒸発した水を補給するための水は、ラドンが十分に崩壊して消えてしまうように、3週間ぐらい予備のタンクに入れておいて、それから本体のほうに移すなどの工夫をしています。そういうことをしても、まだラドンが残っているときがあります。よくよく調べてみると、光電子増倍管のガラスの中からラドンが出てきたこともあります。それをどうやって取り除くかというので苦労したこともありました。

司会 そうすると先生、カミオカンデの水というのは世界一綺麗な水と言っていいわけですね。

小柴先生 それは確かにそうです。世界一綺麗な水です。ただし、飲んではいけません。

司会 どうしてですか。

小柴先生 人間の身体というのは、本当の真水ではなくて、いろいろなイオンがある程度入っていないといけないのです。だから、本当に純粋の水を飲むとかえって体に悪いのです。

聴衆（大学生） もう一つお願いします。先ほどの水の話なのですが、これはどこから取ってきた水なのですか。

小柴先生 地下水です。その場で湧いて出る水です。

聴衆（大学生） 天然水をそのままですか。何かいろいろな物質が入っているのではないのでしょうか。

小柴先生 そういうのを幾重にもフィルタで取り除いたりしています。

司会 水が綺麗になり、ノイズが出ないような工夫が終わり、カミオカンデの性能が非常に良くなった丁度2ヶ月目に大マゼラン星雲の爆発があったのですね。たいへんよいタイミングでしたね。

小柴先生 そうです。たいへんありがたいことです。

司会 他に質問ありますか。

聴衆（大人） そのとき、ニュートリノは11個観測されましたね。カミオカンデは山の中にあります。岩石の質量は水よりも高いと思います。観測地点の深さが変わると、発見率も変わるのでしょうか。

小柴先生 いえ、ニュートリノに関しては、地球の直径なんて、有って無いようなものです。すいすいと通りぬけてしまいます。

聴衆 そうなのですか。ありがとうございます。

司会 10の16乗個もあるうちのうちの、たった11個でしたね。

小柴先生 その程度です。

司会 10の16乗というのは、1のあとに0が16個つくほど大きい数です。それが13秒の間にこの水タンクの中を通り、そのうち11個が発光現象を見せたということですね。他に質問ありますか。

聴衆（子ども） 三谷小学校のDです。光電子増倍管は、とらえた信号を何倍にして出してくれるのですか。

小柴先生 光電増倍管のガラスの内側には光電面があり、光が入ってくると、まずその光電面で、1個の電子をたたき出します。その電子に電圧をかけて加速し、金属の極（ダイノード）にぶつけます。その金属の種類をうまく選んでおくと、電子がダイノードにぶつかり、5個、6個と電子が内部に出てきます。次のダイノードにぶつかってまた5倍6倍の電子が出てくる、さらにまた5倍、6倍。このようにして、雪崩のように電子の数をふやしていき、増幅された信号を取り出すのです。何段重ねるかということによって何倍になるかが決まるのです。しかし、私どもは、最大の増幅まではしないで使っています。ああいう実験というのは、何年、十何年にもわたって観測を続けなければなりません。増倍管が痛んで、頻りに球を取り替えるようでは困るのです。だから、かける高電圧をそれほど高い電圧にしないで、増幅率をあまり上げずに使っています。

聴衆（子ども） ありがとうございます。

司会 会場の外に、50センチの光電子増倍管が展示してあります。20センチの小さいのもありますから、ぜひ見て行ってください。他にありますか。

聴衆（大人） 家に娘がおり、最近までうつ病でした。かわりに聞きにきています。

娘のこれからの人生に何が必要だと思われますか。ちょっと皆さんの話と違ってしまっていて申し訳ありませんが、先生の示唆があればお伺いしたいのです。

小柴先生 そのお嬢さんは、まず、自分が何をやりたいのかということを見つけることを心がけたらいいのではないかという気がします。自分が何かやりたいと思うこと。そういう夢が持てると、生きていくことが楽しくなる。私はそう思います。

聴衆（大人） ありがとうございます。

司会 他にありますか。

聴衆 桃井第四小学校のEです。どうして星は爆発するのですか。

小柴先生 難しいことを聞きますね。それを理解するには、やはりこれからいろいろなことを勉強しなければならないけれども、ごく大雑把にお話します。太陽みたいな光る星を恒星といいます。太陽よりもっと大きな恒星を考えてみます。太陽のような光る星は、中心部で常に核融合を行っています。まず水素原子核（陽子）が4個集まって、ヘリウム原子核（陽子2個、中性子2個）1個に変わります。これを核融合反応といいます。その核融合反応のときにもニュートリノが出ます。それを長期間続けて、何億年、何十億年たつと、水素がだんだんなくなってきて、燃え尽きてしまうのです。すると、ヘリウムの灰がだんだん溜まってきます。ヘリウムの灰は、万有引力という重力の法則によって引っ張り合うのです。そうすると、中心のほうがぎゅっと押し詰められて熱くなる。熱くなって密度が大きくなる。そうすると今度はヘリウムが3個くっついて炭素という原子になります。こういうふうに、次々と軽い原子核がお互にくっついて核融合を起こし、もっと重い原子核に変わっていくのです。そのときにエネルギーが発生するから光り続けるのです。それを繰り返していつまでも光を出せるかということ、そうではないのです。超新星の爆発が起こらない限りは一番重い元素は鉄です。鉄の原子核というのは結びつきが非常に強くて、固くしまっているから、鉄の原子核を二つくっつけても、エネルギーは出てきません。ですから、核融合はそこで止まってしまうのです。これ以上どうにもならない鉄が星の芯のところに、だんだんと灰になって溜まってくるのです。その鉄の、重力のために自分自身で縮もうとする力がだんだん強くなってきて、それを支え切れなくなったときに、鉄がバシャッと潰れます。それが、超新星爆発の引きがねになるのです。そのときにニュートリノが出てきます。また、普通の状態では鉄が一番重いと言いましたが、この爆発のときにだけ、もっと重い元素ができます。簡単な説明だけれど、これを理解するためには少し勉強が必要ですね。

聴衆（子ども） ありがとうございます。

司会 とてもいい質問でしたね。是非科学館のプラネタリウムに通ってください。星の爆発などのお話もいたします。もう一人、お願いします。

聴衆（子ども） 狛江第六小学校のFです。水のほかに、ニュートリノを検出に役立つものは何があるのですか。

小柴先生 ただニュートリノが来たということを検出するだけであれば、先ほどの話にも出ていた、デービスが使った塩素を含んだ液体があります。

同位体というものがあります。同じ種類の原子なのに、少しずつ重さの違う原子核を持った原子のことを指して同位体と呼びます。塩素にも、塩素同位体という、いろいろな種類の塩素があります。その中で、質量37の塩素の原子核は、ニュートリノがくるとそれを吸って電子を出して、アルゴン37に変わります。アルゴン37というのは安定な原子核ではないので、また元の塩素37に崩壊します。このアルゴン37を取り出してその崩壊をはかると、いつなのか時刻までは分からないけれども、いつのまにかニュートリノがきて、塩素をアルゴンに変えたのだということは分かります。

聴衆（子ども） 桃井第一小学校のGです。グルーオンというのは何ですか。

小柴先生 これは難しい質問です。物理学者で偉そうな顔をしていても、クオークとかグルーオンを見た人は一人もいないのです。ですから理論の学者は、「なぜ見えないのだ」という理論をつくってしまったほどなのです。だから、クオークとかグルーオンというのは、本当に素粒子なのかと疑っている人も学者の中にはずいぶんいるのです。グルーオンというのは何ですかと言われると、今我々の理解している範囲内では、「直接見たことは誰もいないけれど、強い力をやりとりしている粒子として理解すると、いろいろなことがうまく説明できる。」そういう粒子とされています。

聴衆（子ども） ありがとうございます。

司会 そろそろ最後です。

聴衆（子ども） 和泉小学校のHです。先ほど、カミオカンデの水は純粋の水だと聞いたのですが、もしフィルタでろ過していない水を使ったらどうなるのですか。

小柴先生 ろ過していない水を使うと、その中には放射性的物質なども混ざっていますから、我々が計ろうとしている太陽ニュートリノとまぎらわしいような現象がたくさん起きてしまって、見分けがつかなくて、非常に困ります。

聴衆（子ども） ありがとうございます。

司会 もう一人。

聴衆（子ども） 光電子増倍管から出てきた、イヤなやつはどう始末するのですか。

小柴先生 ラドンのことですね。それは色々工夫します。球の内部で崩壊が起きないように水の流れを調整するのです。球の外側で崩壊が起きるのは別にいいのです。だからそういうところは後ろをそっと水が流れるように工夫してあります。

聴衆（子ども） ありがとうございます。

聴衆（大学生） 東京農工大学に通っているIです。私も大学で研究を続けているのですが、研究を長い間続ける秘訣というのを教えていただきたいです。

小柴先生 秘訣なんて何もないです。ただ、自分がやっていて面白い、楽しいと思えるようなことを見つけてやっていたら、何も努力しなくても自然に続いてしまうと思います。

聴衆（大学生） ありがとうございました。

司会 先生、どうも長い間ご講演いただきまして、しかも、こんなにもたくさんの皆様のご質問を受けていただき、直接ご丁寧に説明していただきましてありがとうございました。

あらためてお礼を申し上げます。ありがとうございました。

### 参考URL

東大大学宇宙線研究所（スーパーカミオカンデ公式ホームページ）：

[http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/index\\_j.html](http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/index_j.html)

高エネルギー加速器研究機構：<http://www.kek.jp/>

- 《図1：1964年 東大での最初の講義の初日の黒板》
- 《図2：力を橋渡しするもの》
- 《図3：原子核乾板》
- 《図4：カミオカンデの内部写真（魚眼レンズにて撮影）》
- 《図5：小柴先生と光電増倍管》
- 《図6：カミオカンデで検出したミュオン粒子》
- 《図7：チェレンコフリング、電子事象とミュオン粒子の比較》
- 《図8：超新星1987A、爆発前／爆発後》

\*クリックすると、大きい画像を表示します。

[\\*クリックすると、大きい画像を表示します。](#)

