
仁科先生と朝永さんと私

1965 年 12 月 6 日

朝日講堂において



湯 川 秀 樹

きょうは、もし仁科芳雄先生
はじめに にご存命でありましたら、ち
ょうど満 75 歳の誕生日を迎
えられたわけでありまして、それからまた朝
永さんが、12 月 10 日にノーベル賞をもらわ
れるということになっております。どちらも
私には因縁の深い方々でありまして、仁科財
団創立 10 周年というときこのお二人につい
て講演をさせていただくことはまことに光栄
であり、また非常に感慨の深いものがありま

す。

人間の一生におきまして、ほかの人たちと
の関係、対人関係、あるいは人間関係という
ものは、非常に重要なものであります。これ
はいうまでもないことですが、だれでも、小
さいときには母親の影響が最も大きくて、や
がて父親、兄弟、親類、友人、同級生、先生、
先輩などいろんな人々との間の人間関係のな
かで自分を形成し、また発展させてゆく――
だれでもそうであろうと思います。そのなか

ですぐれた先輩すぐれた友人に接する機会があるということは、その人の一生にとりまして、自分の意識している以上に大きなプラスであると考えるのであります。私はいままで、非常にいろんな幸運に恵まれましたけれども、その一つといたしまして仁科先生、朝永さんら、すぐれた方々と長い期間にわたって親しい関係にあったということは、科学者として、また人間として自分を形成していくのに、非常に大きな意義があった；いったいどういう意義があったろう；そういうようなことを、思いつくままにお話したいと思うのであります。

朝永さんと
の出会い

このお二人のなかでは、朝永さんのほうに早くから接触する機会がありました。

私が旧制の第三高等学校にはいりましたのは、大正12年(1923年)のことです。当時の高等学校というのは、理科と文科とに分かれていまして、理科のなかがまた、甲と乙というふうに分かれていました。私は理科の甲類、朝永さんは理科の乙類、甲というのは、外国語でいいますと、英語の時間が多くて、ドイツ語の時間が少ない；乙というのは、ドイツ語の時間が多くて英語の時間が少ない、

というわけですが、乙類にはいる人というのはお医者さん志望の人が大部分なんです。甲類は、理科系と工科系が大部分でした。したがって1年、2年の間は、別々に講義を聞いたりしておったんですが、3年生になりました、力学の講義や演習がありました。乙類のほうはそういうものがないんです。お医者さん志望の人が多いわけですから、力学をやるより、動物の解剖をやる方が必要であります。大多数の人は動物の解剖をやっていたのですが、乙類の少数の人は、力学の演習のときにわたくしたちと同じ組に参加された。朝永さんも、医者になるつもりはなかったんだろうと思うんです。それがたぶん、朝永さんと親しくなったはじまりではないかと思えます。

力学というのは、物理をやる者はみなそこから始めるわけではありますが、そんなやさしいものではなくて、演習問題などなかなかむづかしい。私も一生懸命、演習問題を解くことをやりましたけれども、朝永さんも、ときどき黑板に出て問題を解いておられたんでしょね、その記憶はあまりありませんけれども。そのとき感じたことは、非常に頭のいい人だ、それまで私もいろいろ友人がおりまし

たが、そういう人と比べるとたいへん頭がいい、とくに頭が非常に緻密な人であるというのが、第一印象でした。

のちになりまして、私は 10 年ほど前に、『旅人』という自伝ふうのものを書きましたが、それをけさ、ひっくりかえして見ましたら、こういうことが書いてありました。「私には独断的なところがある……」そうだと思います(笑声)。「自分の考えを徹底さそうとする。知らぬまにゆきすぎをやる。ときには飛躍しすぎる。朝永さんはそういうまちがいをめったにやらない人である。限界を心得ながら、うまい考えを出す」——朝永さんの半面をよくあらわしているのではないかと思います。

朝永さんは、昭和 38 年から学術会議の会長をおやりになっております。責任の重い、たいへんな仕事でありまして、私はかねがね大いに同情しておったのであります。ところが実際なんでもやれる人である。そして、なんでもやりだしたら非常に責任をもって、こまかい点まで一つ一つやらなきゃ気がすまない、そういう人であります。学問でもそうだと思うんです。こまかい点まで決してゆるがせにしないというところは、ずっと昔から私

が感じておったことです。私のような理論物理をやっている者は、つぶしがきかんからやっている。ところが朝永さんは、ほんとうはなんでもやれる。理論物理学者でもってたいへん成功されたんだから、それでよかったのでありますけれども、なにかほかのことをされても、きっと成功されたのではないかと思います。

といいますのは、一例をあげますと、私たちは三高を卒業いたしまして京都大学へはいり、理学部物理学科の学生になった。ところが当時は、ガラス細工というのが非常にだいじだったんです。いまだってそうかもしれませんが、当時はたいへんだいじでした。たぶん 1 年生のときの実験だと思います。いろいろな実験をやりますけれども、あるとき、ディラトメーターというのを作ることになった。ディラトメーターというのは膨張計です。どうも私、いま考えてみると、あれはどういう役に立つ道具かわからない(笑声)。水銀のディラトメーターです。ガラス管の一方をバーナーでとかして丸めて、水銀を入れて、片方の端をスーッと引っばる。そうするとスッと細くなる。私はそれをやるのですが、なかなかうまくいきません。だいたいガラスという

ものは、非常に具合悪いもんです。

みなさんのなかにも、ガラス細工をおやりになった方があるでしょう。ガラスはかたいものですが、少し熱くすると赤くなってやわらかくなる。ところが、熱しすぎるとグニャグニャになる。ちょっと出しておくとカチカチになる。その間のちょうどいいところでスーッと引っぱらなきゃならない。それがなかなかむづかしい。私にはカチカチとグニャグニャの途中がつかめない(笑声)。それでやるのがいやになりまして、ときどき先生が見まわりにくるんですがね、うまいくかんからますます具合悪くなる。とうとう、だめです、ほかの実験に替えてほしい、ディラトメーターはよし、といったんです。

ところが朝永さんのやるのを見るとなかなかうまいんです(笑声)。理論でもやりそうな人ですが、ガラス細工がうまいというのは、意外に思いました。

なぜ意外に思ったかという、高等学校のとき用器画をやっていた。カラス口を使って、紙にいろんな設計図みたいなものを描くわけですが、それもなかなかうまいかないんです。高等学校のときは、ワットマンというざらざらした紙に描くんですが、むづかし

いことをやらせたんですね。これはやっぱり昔からの訓練の一つでしょう。私なんかやっても、ぜんぜんうまくいかんです。カラス口をとぎすぎると紙が切れてしまう。そういうことで、私はいつも用器画の時間には困っちゃったんです。用器画の採点には A, B, C, D とありまして、A の人は、見えますと人間わざと思えんぐらいうまい。私のほうは、ドイツ語のエー(E)でした(笑声)。英語でいうとイーとなる。ひとつもイーことないです。ところが、朝永さんも同程度なんです。あまりよくなかった。ですからガラス細工とぜんぜん違う。

ともに新分野
にひかれて

さきほどもいいましたように、朝永さんという人は、頭の緻密な人で、こまかい点もゆるがせにしないで進んでこられたんです。私のほうは大学の3年生になりますと、なにか志望をきめて、ひとりの先生につかなければならない。それで理論物理学に進むことにしました。私は実験をやらずにすみたいと思ったんです。ところが、私と朝永さんと、相談したわけでもなかったが、期せずして同じ玉城嘉十郎先生につくことになった。そのころ、量子力学という新しい学問が、ヨ

ーロッパでできつつあった。私はこれをなんとか早くマスターしなきゃいかん、そう思ってかけ足でいろいろ勉強しました。どうも朝永さんのほうは、私よりも少し冷静でありまして、ゆっくりしたペースで勉強しておられた。同じようにやってましたけれども、その点が違っていたような気がするんです。

大学を出ましたのが昭和4年(1929年)ですが、そのころは、外部のいろいろな方が大学へきて講義をしたりして、私たちは大きな刺激を受けました。それから間もなく、杉浦義勝という先生が講義されたんです。杉浦義勝先生もなくなれましたが、長く理化学研究所におられた方です。当時はちょうどドイツで勉強して帰ってこられたばかりで、その講義を私たちは熱心に聞いておりました。それで杉浦先生も、私と朝永さんを見どころがある、と思われたんでしょうね。それぞれに問題を出されたんです。私に与えられた問題は、いまはもう、だいたい記憶が薄らいでいますが、『フィジカル・レビュー』かなにかに実験が出ています。この実験をなんとか説明することを考えろ……。たしかベルゲンデービスという人の実験ですが、内容は覚えていません。ところが、私はどうも問題が

気にいらない。その実験を説明せよというけれども、実験自身が少し怪しいんじゃないかと思ったんです。しかし、そんなこと杉浦さんにいうのもちょっと具合悪いから、とにかく「お断わりします」というてやめました。あとになってわかりましたことは、やらなくてよかった。その実験やっぱりまちがいであったらしいんです(笑声)。

朝永さんのほうはどういう問題だったか、なにか分子構造の計算だったと思います。杉浦さんは当時、ハイトラー・ロンドンの有名な理論がありまして、そういうことに関係したりっぱな論文を出しておられました。ですからそれと関係のある計算だったんでしょう。私のほうは、だいたい実験が怪しいからそれをやめて、なんか勝手な勉強をやってましたが、朝永さんのほうは、分子を一生懸命、計算しておられました。それは積分の計算なんです。積分の計算というのは、このごろの方はちょっとめんどくさいとすぐ、電子計算機にかけるとおっしゃいますが、当時はブラニメーターというのがありました。朝永さんはブラニメーターを盛んに動かして、面積を出していたのに、感心した。私はいまだにブラニメーターの使い方を知りませんけれど

も、そういうような時代のことを思い出しても、ずいぶん違うような気がします。

朝永さんには重要なお仕事がいくつもありますが、こんどのノーベル賞の対象になっている量子電気力学に関する研究、これはしろとわかりするように話すことはたいへんむつかしい。くろうとわかりするように話すことさえむつかしい。朝永さん自身も、だいたいしろとに話してわかるような研究と、わからん研究がある、自分のはわからんほうだといっています。ほかのものにわかりにくいのは当然でしょう。しかし、内容はだいたい量子電気力学というのは、私たちが大学を卒業したとき、ハイゼンベルクとパウリというえらい先生たちが、大論文を書きました。私はなんども読みかえたものでありますけれども、これは非常に「困った理論」だということがいわれていました。「困った」というのは、無限大という困難がある。この困難は非常に基本的なものであることは明らかだけれども、結論のなかには、理論と実験と一致することもたくさんある。非常におかしなこともあるけれども、非常にいいところもあるというような理論なんです。

ちがったタ
イプの二人

そういう場合に、研究者はそれに対してどういうような態度をとるか、いろいろありうると思うんです。どうせわれわれの知っている理論というのは、完全無欠、絶対ではないんですから、結果が不十分であると、さらにもっと基本的なものを求めようとするのが、一つのゆき方です。これに対して量子電気力学の場合におきましても、使える部分はできるだけ使う。さらに使い方をよくしていくことができる。欠陥は欠陥として、その欠陥がなるべくじゃまにならんようにするというのがもう一つのゆき方です。はじめのゆき方ですと、いろいろ可能性があるが、なかなか成功しない。朝永さんは、その使えるところを、さらにもっとよく使えるものにするということに成功されたのであります。

こんどシュウインガー、ファインマンといっしょに、ノーベル賞をもらわれたわけでありますけれども、朝永さんはいちばんはじめ、超多時間理論というものを出版されました。これがまたなかなかややこしいもので、説明がむつかしいんです。戦争中でありまして、昭和17年(1942年)ごろのことです。私、朝永さん、その他の人——きょうここに

おいでになる方もなん人がおりますけれども、ときどき集って中間子討論会というのをやっていました。

その当時私は、元来せっかちな人間でありますから、ぜんぜん違うことを考えていた。量子力学という考え方を通り越して黒板に丸をかいていたが、なかなか思うように先へ進まない。丸いというのは4次元の世界のなかの話ですが、朝永さんは丸いのは困るから、平べったい目の形にされた。すると量子力学のワクにはまる。それが超多時間理論であります。それがさらに「くりこみ理論」というように発展していったわけです。

このことは、教育者という面からみてもそうです。私は研究もしましたけれども教育にもたずさわっている。私は自分が教育者として、どうもあまり成功していないと思って、たいへん悲観しています。どういうことかといいますと、いろんなことを若い研究者や学生に申します。ところが、私のいい方が非常にあらっぽいのか、懇切ていねいでないのか、私の場合には、若い人たちがなかなかついてきてくれない。私は、ついてきてもらわなくたってかまわない(笑声)。反発して別のことをやってくれるならそれでもいいと思い

ます。けれども、そうでない；特別反発するわけではない；しかしついてもこない。しかたありませんから自分だけで研究しているということなのですが、朝永さんのほうは、いわゆる後進の育成ということには、成功しておられるんじゃないかと思います。わからないところはていねいに教えて、それを導くというところがあります。私よりもずっと、教育者として成功しておられるんじゃないかというような気がしておるわけであります。

仁科先生は私
にとって父親
のかわり

次に、仁科先生であります
が、仁科先生は、さきほど
申しました杉浦義勝先生が
こられてからしばらくしてこられました。昭和5~6年(1930~1931年)ごろのことと思います。

仁科先生がこられましたところが、杉浦さんの場合とは非常にようすが違う。杉浦さんというのは、講義のときものすごいスピードで話されるんです。私の感じでは、私は関西人ですが、だいたい東京の方は早口だ——そんなことないんでしょう。自分によくわからんのは早口だと思う(笑声)。だから西洋人が英語をしゃべってると、みな早口だ(笑声)。早口かどうかということは、非常に

主観的なものであります。しかし杉浦さんは主観的でなく、ものすごい勢いで講義される。それで内容は非常に豊富なんでありまして。しかしあまりに速いもので、聞いていても消化してるひまもないという調子でありました。ところが仁科先生は、ご承知の方も多いと思いますが、悠揚せまらざる方でありまして、ハイゼンベルクの書いた『量子論の物理学的諸原理』(Die physikalische Prinzipien der Quantentheorie-1930)という本、ただ単に数学的でなく、物理学的な解釈というところに重点をおいて書かれた非常にいい本であります。それをテキストにして話をされました。これはひと口にいうとコペンハーゲン流の考え方でありまして、それを非常によく、なっとくのいくように話をされた。それで、得るところが多かったのであります。

それからまもなく、朝永さんが仁科先生の招きで、理化学研究所へゆかれましたし、私は大阪大学のほうに移りました。しかし、私はたびたび東京へゆきまして仁科先生にお目にかかりました。

今になって思いかえしますと、仁科先生というのはおそらく、私の父親のかわりになった方ではないかという感じがいたします。ど

うということかと申しますと、だいたい世の中の男の子にとっては、フロイトの精神分析学をまつまでもなく、自分のおやじというものは、はなはだやっかいなしろものですね(笑)。私の父は学者でしたけれども、いわゆるカミナリおやじでありました。私はだいたい人からごちゃごちゃいわれるのはきらいですから、なるべくおやじの前には出ない。前に出ればどなられる(笑声)。私の兄に貝塚というのがいます。この兄が、おやじを恐れずいろいろなうんです。そうするとおやじは怒り出して、「けしからん」という。私はこれはまずいなと思ひまして、敬遠主義をとってきました。だいたい人間ざらいということがあったんでしょうが……。父親というものはこわい場合が多い。やさしいおとうさんというのもあります。このごろはおとうさんがやさしくなりすぎて、おかあさんより、おとうさんのほうがやさしい、母親がおやじみたいにいばっている家庭もあるようですが(笑)。ところが仁科先生はああいう方でありまして、たいへん包容力があひまして、私がいろいろののを聞いて、「それはおもしろそうですね」といってくださる。そういう人はわたくしにはなかった。あとにもさきに

も、ないんじゃないかと思うんです。

絶大な包容力、 仁科先生という方は、非常
理解力、そして 理解の深い、そして記憶
てがんばり のいい方でありました。ボ
ーア先生が日本へこられて講演されたことが
ありますが、ボーア先生というのは、かんで
ふくめるような調子で講演をされます。その
ときに仁科先生は通訳を引受けられまして、
ボーア先生の話されること、しかも相当の量
を、いっぺんに日本語に訳していかれる。こ
れは実にたいへんなことです。話はそれま
すが、パウエルというノーベル賞をもらった有
名な学者、この人がなん年前にこられまし
て、その講演会がありました。藤本陽一君
が、パウエル先生のところで勉強して、お世
話になったからというので、通訳を引き受け
てくれて、私をごあいさつしました。ところ
がテキストがなかったものですから、藤本さ
んは途中でへとへとになって、通訳できな
なっちゃった。しかたがないから少し休ん
で、その間に質疑応答ということにしたん
ですが、その質疑応答のところだけ、私にや
ってくれという。そこで日本語で聞いた人の話
を英語に直し、それからパウエルさんが答え
たのを日本語に直すということをやりました。

た。たいへんです。聞くそばから全部忘れて
しまう(笑声)。へとへとになっちゃいました。
ですから仁科先生がまとまった話を聞いて、
それを翻訳なさったのは、普通のことじゃな
いですね。

仁科先生はご承知のように、ずいぶん多
面の活動をされました。いま考えても非常に
驚くべきことでありまして、だれでも人間は
エネルギーを蓄積しまして、それを使って活
動しているわけですが、私と仁科先生
と比べますと、持っているエネルギーはそん
なに違うとは思いません。ところが、その活
動量は非常に違うわけです(笑声)。いろん
なことをおやりになりました。たとえば、日本
へ帰られまして、仁科研究室で理論物理の指
導をされる。指導といっても、朝永さんのよ
うな人がおられますから、楽だったかもわか
りませんけれども……。それから原子核の実
験ですね。とくに大サイクロトロンをつくる
という大仕事をおやりになった。それから宇
宙線、これもいろいろあります。ウィルソン
霧箱を使うとか、中間子をみつけ出すとい
うような仕事ですね。またきょう受賞された三
宅三郎さんの仕事の先駆になるようなことも
ありますし、放射線物理の方では、中性子を

ウサギにあてるというようなことを盛んにやっておられました。それら全部の元締になっておられた。そのころ、研究室に100人ぐらいいたと思います。そのいっさいのことをやっておられて、給料日がくれば、研究室における研究者全部ひとりひとり、月給を手渡しておられたんだということを、あとから聞きました。そういう雑用的なこと、それから自分の研究、これらいっさいを自分でやっておられたんです。驚くべきエネルギーですね。

そういうわけですから、ものすごく忙がしいわけですね。私がときどきうかがいますと、黒板にいろんな用事が書いてあったり、人の名前が書いてあったりする。1年たって行ったら、また同じことが書いてある。その用事が片づいたり片づかなかったりなんでしょうが、それは、九牛の一毛にすぎなかったんですね。研究や雑用を全部抱えこんで、忙しくしておられたんですけれども、私が行きますと、忙しそうな顔をしておられたことがない。これはふしぎなことですね。いま忙しいからどうのということを、決しておっしゃることはない。長い時間おしゃべりをしていると、その間に一度は「それはおもしろそうだね」と。かならずおっしゃるんです。です

けれども、さすがの仁科先生も、多忙が非常にからだにさわられたんじゃないかと思えます。残念ながら戦後は、先生ご自身やりたいと思っていた研究につながらないようなことのために、奔走される機会が多すぎた。もっと長く生きていただきたかったのに、早くなくなられました。ですが仁科先生のご一生について活動の時間積分をやりますと、たいへん大きな活動をしておられた。積分の小さい人が多いんですがね(笑声)。

研究と人間関係

ここでまた、話は朝永さんのほうにもどりますけれども、昭和14年(1939年)、戦争が起るちょっと前に、私はヨーロッパに参りました。そのときに、また仁科先生のお世話で理研から旅費を出していただけたんですが、当時、朝永さんはライブチヒにいました。ライブチヒにはハイゼンベルクがいて、日本の物理学者の世話をしてくれたわけですね。前のボーア先生といい、ハイゼンベルクといい、日本の物理学者のために、ずいぶん面倒をみてくれた人たちです。朝永さんはライブチヒで、原子核構造の問題をやっていました。それで私もライブチヒへ行って、朝永さんと会ったんですが、あいにく夏休みでハイゼンベル

クに会えなかった。

それから私は、ベルリンにもどりました。そのうち戦争が始っちゃったんです。それで靖国丸というので帰ることになった。

私はベルリンから大西洋の北のほうを通過して、アメリカを回って日本へ帰った。同じ船に朝永さんも乗っておられたんです。私は、船がニューヨークへ着いたら上陸しようと思ってました。そしてニューヨークへ上って、いろんなアメリカの学者とか、アインシュタインなどヨーロッパからきた学者とかに会って、いろいろ話した。それでアメリカにひと月近くおりましたが、朝永さんのほうは、靖国丸にそのまま乗って日本へ帰られた。パナマ運河を通過して、ゆうゆうと帰っていった。ゆっくりと眠って、その間しばらくゆうゆう自適しているほうがいいと思われたんでしょう。これも一つの見識だと思うんです。

もう一度、仁科先生について申しますと、ほかの学者と違っておりますことは官立の大学にはぜんぜん関係なかったことです。理化学研究所というのは半官半民ですが、そういうところで研究生活を続けてこられた。しかし学界から離れて、わき道のほうで好きなことをやっておられたというわけではなく、や

はり原子物理学の中心的な存在だったわけですよ。これは非常に異例のことでありまして、先生ご自身、ちょっと比較できない非常に大きなキャパシティーをもっておられたから、そういうことができたんだと思います。

このへんで話を終りたいと思いますが、近ごろ私のおります大学でも、大学のマンモス化ということに深刻に悩んでおります。大学というものが非常に大きくなりまして、学生の数も 10,000 人とか、あるいはそれ以上になりますと、先生と学生との個人的な接触というものが非常にむつかしくなってくる。それからまた、ひとりで研究するというケースが少なくなってきている。大なり小なり研究グループをつくって研究する。しかしそういうふうになりましても、科学というものはひとりひとりが、むつかしい言葉を使うと、自然認識の主体である。自分でやっていることがよくわからないでお手伝いしているというのは、研究者ではないわけです。科学者である以上、ひとりひとりが自然認識の主体である。またどうしてもそうでありたい。

そういうことを考えると、今日でも研究者にとって人間関係が、非常に重要だと思うんです。そのなかでもとくに、若いときの人間

関係が重要だと思います。年をとるにしたがいまして、相対的な比重はだんだん低くなるでしょうし、また年をとってくれば、人と接触したって、人のいうことなんかきかんようになるでしょう(笑声)。私もそういうふうになりかかっているんで、気をつけておりますけれども、しかし若いうちというものは、人間同士の影響が大きい。

私はたいへんしあわせな人間でありまして、仁科先生を自分のおやじのかわりだと思ってきたし、朝永さんのような、高等学校以来の同級生として同じ道を歩んできた人がいる。べつに私は朝永さんと、そうたびたび会っていろいろ話するわけじゃない。お互い

に忙しいですから、そういうチャンスが少ないわけです。また朝永さんと私は、さきほど申しましたようにいろいろ違うところがある。しかし、若いときの環境はよく似ている。お互い違えば違いでなんとなくわかるし、同じところは同じところでわかるんです。そういうようなことが、私の気がつかない間に、非常な刺激を私に与えてくれているにちがいないと思います。

朝永さんはまだ静養中でこの席におられません。おられたらどうか知りませんが……私事にわたる話が多くて申しわけありません。(拍手)。

量子電気力学の発展

朝 永 振 一 郎

1966年6月3日朝日講堂において



(拍手) 本日は仁科財団の催しとしてわたくしがこの間ストックホルムに行って講演してきたものをみなさんに聞いて頂くことになったわけですが、このように多くの方が来られて恐縮に存じます。

講演にはいます前に弁解を申しあげなくてはならないのですが、わたくしこの講堂で仁科財団の記念講演を二三回やったことがあります。その時は大抵いい加減な話を(笑)多

少落語の要素を加えまして(笑声) お話したのですけれども、今日はいっと厳粛な話をいたします。と申しますのは、まさかストックホルムで落語をやるわけにもまいりませんから(笑声)。そういうわけで内容もかなり堅い話になるかと思ひます。その点でご了承願ひたいと思ひます。

ディラック論
文との出会い

わたくしは昭和7年、1932
年に仁科先生の研究室にま

いりまして、そして仁科先生の助手としてわたくしの研究生活を始めたのですが、ちょうどその年にイギリスのディラックという学者がイギリスの Royal Society という学会の発行する機関誌に一つの論文を発表いたしました。この論文でディラックはということを述べているかと申しますと、それは相対論的量子力学をどのような形に理論化すればよろしいかということの問題にしたわけです。特にディラックが論文で扱いましたのは電子と電磁場の相互作用の問題をどういうふうに理論化したらよろしいかということで、そういう論文であったわけです。

当時こういう電子と電磁場の相互作用に関係する理論が決してなかったわけではないんで、非常に包括的な理論がドイツの学者のハイゼンベルクとパウリの二人の人が一つの理論を作りあげていた。ところがディラックはこのハイゼンベルクとパウリの理論に満足できない点がある。新しい理論をもっと違った観点から作るべきだとそういう風に考えたわけです。ディラックがいますのには、ハイゼンベルク、パウリは電磁場というものはほかの電子などと同じように一つの力学的な系であると考えた。そして力学のいろいろな方

法のうちで量子力学でいちばん役に立った方法としてハミルトン方式というのがございいますが、電磁場もハミルトン方式で扱えるものだ。そして電磁場と電子といったような粒子との相互作用には、普通の相互作用、普通の量子力学が使えるという考え方をしている。ところでディラックの考えでは電磁場は粒子とは、つまりここでは電子とは——全く違った役目をすべきものだ、そういう具合にディラックは考えたのです。

それでディラックの言葉によりますと、電場磁の役目というものは粒子のシステムを観測するその観測のための手段を与えるものと考えるべきで、それ自身が観測されるものではない。——ですからハイゼンベルクとパウリのように、電磁場を電子と同じような力学の対象として扱うやり方は間違っている。粒子の方は観測の対象になる何物かであるけれども、電磁場はそうではなくて、全く別の観点、つまりそれ自身観測されるべきものではなくして、粒子を観測する方法であるという観点から扱かわなくちゃならない、こういう主張をしたわけです。

多時間理	こういう、彼一流の哲学をたて
論とは	まして、その考えに適合するよ

うな一つの理論を作り上げてみせたのです。これを普通、多時間理論と申します。この多時間理論は、いま申しましたディラックの哲学の具体的な例であると同時に、その形式がハイゼンベルク、パウリの理論と比べると非常にきれいだという特徴を持っている。実際彼が問題にしているのは相対論的な量子力学であります。この相対論的な立場から申しますと、このハイゼンベルク、パウリの理論にしましても、あるいは量子力学全体にしましても、共通の欠点があります。このハミルトンという人はイギリスの19世紀の学者であります。ハミルトン力学というのは非相対論の力学を基礎にして作り上げられてきたもので、この形式では、時間と空間をはっきり区別して使う考え方が基礎になっています。それでハミルトンの力学というのは、ある力学の対象、力学的なシステムが与えられた時にその状態が時間がたつとともにどう変っていくか、ということを経算する、そういう形をとって理論が組み立てられている。——これは普通の力学の話ですが、これを量子力学の方に持ってきますと、ハミルトン形式を基礎にした普通の量子力学にも同じような事情があります。

ただ系の状態というものが普通の力学と多少違いまして、確率振幅あるいはシュレーディンガー関数といった方が通俗的ないい方かも知れませんが、その確率振幅が時間とともにどういうふうに変っていくかという質問に答えるよう理論が作られています。

たとえば一つの例として、 N 個の粒子からできている力学的システムを考えてみます。その N 個の粒子の座標を(黒板に $r_1, r_2, \dots, r_N$ と書く)ああいうように $r_1, r_2, \dots, r_N$ というふうに書きますと、今いいました確率振幅、あるいはシュレーディンガー関数といわれるものは、この N 個の r とそれから(黒板に t と書き足す)それがいつのどういう時刻における確率振幅であるかということを与える時間の変数 t と、こういうものの関数で与えられる、そういう形式を普通の量子力学はとっているのです。

この関数には空間の座標 $r_1, r_2, \dots, r_N$ のほうは N 個含まれているのに、時間を表わす変数 t というのは1個だけしか含まれていない、こういう性質を持っています。ところが、時間と空間というものは全く同じ立場で対等の立場で扱われなければならない、というのが相対論の特徴であります。ですからその空

間座標 $r_1, r_2, \dots, r_N$ は N 個あるのに時間が 1 個しかないというアンバランスは、相対論の立場からいいますと大変に不満足なものであります。

ところでディラックは、さっき申しましたフィロソフィーに立って一つの理論を作ったわけですが、ディラックはこのハミルトン形式というものを捨ててしまって、全く別の考え方をとろうということにしたものですから、こういう不満足な点がなくなります。

彼の理論によりますと確率振幅というものは (黒板に $r_1, t_1, r_2, t_2, \dots, r_N, t_N$ と書く) こういうふうに $r_1, t_1, r_2, t_2, \dots, r_N, t_N$ の関数として表わすことが可能になってきたわけです。時間が、普通のハミルトン形式では一つの変数しかないのに、こんどはそれぞれの粒子に別々の時間を考えてその関数として確率振幅を表わす、そういうことが可能だということをディラックが示したわけです。

ディラックはこの新しい理論を多時間理論と呼びました。時間変数が一つではなくて、ちょうど粒子の数だけ N 個の時間変数が含まれているという意味で、これを多時間理論とよぶことになったわけです。

研究の スタート

このディラックの論文は、わたくし読んで非常に興味を感じました。というのは彼の哲学がたいへん新奇なものであるということ、わたくしは哲学者の息子でして——このところはストックホルムでいかなかったのですけども (笑声)、哲学者の息子であるために哲学に大いに反感をもっているのですけども (笑声) やっぱり若い時は、誰でも一度は哲学青年になるか、あるいは詩人になるか、だいたいそんなものですが、多少その哲学に魅せられて、それよりもなお一層その形が非常に美しいということで、それで大変興味をひかれました。

わたくしの先生の仁科先生も、たいへんこの論文はおもしろいというので、何かこの理論を使って、このディラックの新しい理論を使って、今までのハイゼンベルクとパウリの理論で説明できなかったことが説明できるかどうか、あるいはハイゼンベルクとパウリの理論でいろんな結論がでてくるわけですが、それと違った結論がでるかどうかが、ひとつ何かやってみたらどうかとそういうサジェッションを仁科先生がわたくしに与えたのです。

発見：二つの
理論は同等

そこでわたくしは電子と電磁場の問題で一番やさしい問題をやってみようというわけで、こんな問題にとりかかりました：クライン-仁科の公式というのがございます。これは仁科先生が留学中にコペンハーゲンでスウェーデンのクラインという学者といっしょに研究した結果導き出した公式です。これをこの新しいディラックの理論から、その公式がでてくるかどうか、あるいは何か違った答がでてくるかどうか、それをひとつ調べてみようというわけで計算にとりかかってみたのです。

ところが、このディラックの新しい理論を使ってクライン-仁科のやった問題を計算し直しても、答は結局ハイゼンベルクとパウリの答と同じものしかでてこない、ということが計算をしまいまでやらないで、途中でわかってしまった。

その同じ答が出るという点を調べてみますと、結局ハイゼンベルクとパウリの理論と、このディラックの新しい理論とは数学的には同じものだということがわかったのであります。数学的に同じものだということは片方からもう一つの理論へ移るのには、ある種の数

学的な変換をすればよい、そうするとお互に移り変りができる。そのある種の変換と申しますのは、術語を使いますとユニタリー変換という変換ですが、ハイゼンベルクとパウリの理論をユニタリー変換するとディラックの理論がでてくる、逆にディラックの理論をユニタリー変換するとハイゼンベルクとパウリの理論がでてくる；まあそういうことがわかった。数学的には結局みかけが違うだけで、実質的には同じだということがわかったのであります。

そうしているうちにやはり同じことをみつけた人がありまして、コペンハーゲンでローゼンベルクという学者が結局やはりこの二つの理論は全く同じものだということを見つけた。それからディラック自身もですね、非常に新しい理論として発表したわけですが、結局古い理論と内容において違いはないということを彼自身みつけております。ソグイエトのフォックとボドルスキーという人々、この人々はディラックといっしょに研究したわけですが、それに気がついて、それらの人々が結局二つの理論は同じものだということを論文にして発表したわけです。わたくしもこの二つの理論は同じものだということ

朝永教授のノーベル賞

仁科講演会と記念

- 左上 講演中の朝永教授
- 左下 講演会の聴衆
- 中央 ノーベル賞メダルと賞状
- 右上 スウェーデン大使と歓談する
- 右下 記念晩餐会、祝辞を述べ



賞を記念する
会

る参会者
永教授夫妻
るのは我妻榮博士



に気が付きまして、これはまあ大発見でもないんだけどちょっとした発見だというわけで発表しようと思っている所へ、むこうが先に出してしまったんで、まあちょっと口惜しかったおぼえがあります。これもストックホルムではいかなかったのですが(笑声)。ですから結局こちらは発表はあきらめたわけです。

“ディラックの
哲学は捨てざる
にしても”

この多時間理論は、さきほどのディラックのフィロソフィからしまして、電子と電磁場とは全く別な性格なものと考えてはいけないそういう観点に立っているわけなんで、電子の方は粒子として取り扱っております。ところが、量子力学ではすべての粒子は波動として取り扱うこともできるということがわかっている。実際、このハイゼンベルクとパウリは、電磁場と電子とは違った性格のものとは考えておりませんから、ハイゼンベルクとパウリの論文では電子の方も電磁場と同じように波動として取り扱っております。実際、相対論的な量子力学で電子の問題を扱うときは、電子を粒子と考えるよりは波動と考える方がはるかに便利である場合がたくさんあります。そこで次に起こる問題はディラックのフィロソフィももう結局ハイ

ゼンベルクとパウリと同じ結果にしかならないわけですから、それはまあ捨て去るとして、しかしハイゼンベルクとパウリの理論の中にはやはりハミルトン形式を基礎としておりますために相対性理論の立場からいうと非常に不満足な点がある、それを除くにはどうしたらよいだろうか。つまり電子は波動と考え電磁場も波動と考えるけれども、しかしハイゼンベルクとパウリの理論のもともとの理論とは違ってハミルトン形式には依らない、もっと相対論的に満足な形にするにはどうしたらよいか——そういう問題が次々に起こってきた。というよりもわたくしの心の中でそういう問題が起こってきたわけです。ハイゼンベルクとパウリの理論で、それではどういう点が具合が悪いかと申しますと、これはすでにディラックがそこで不満足といって彼の理論を出したわけですが、ハイゼンベルクとパウリの理論にも、やはりあの確率振幅という関数が表われてくるのでして、その場合に時間の変数が一つしかは入っていないという点、これが相対論の立場からいうと大変まずい所です。もう少し詳しくいいますと、こんどは、ああいうふうに電子を粒子と考えておりませんから、 $r_1, r_2, \dots, r_N$ というような N 個

の座標というものは考えられないんですけれども、そのかわり電子の波動場の場の強さと申しますか、それと電磁場の場の強さ、空間のそれぞれの点にそういう field というものがすべての点に考えられるのですけれども、そういう空間の中のいろいろな点における field strength の関数として確率振幅が表われるわけですが、そのほかに一つの共通の時間変数 t というのがはいってくる。ところで、空間のいろいろ違った点における共通な一つの時間というのは、相対論的な意味を持っていないということになっております。相対論の立場からいうと同時刻という概念はあやふやになってくる。つまり立場によって同じ時刻というのがちがってきて、異なる場所における同じ時刻という概念は、物理的にはあまり客観的な意味を持たない、そういうことになっておりますので、空間の異なる点に一つの時刻 t を指定するというやり方は相対論的にははなはだ不満足なやり方です。そういう欠点が高イゼンベルクとパウリの理論には含まれているわけです。

1942 年頃、話の始まりから約 10 年位たった頃のことですが、湯川さんがこの不満足な点を非常に強調されまして、ハイゼンベルク

とパウリの理論では、空間のいろいろ違った点においてたった一つの時間を考えるというのが不満足だ；当時量子力学、特に量子電気力学にはいろいろ具合の悪い点がたくさん知られていたわけですが、それがこういうハイゼンベルクとパウリの理論の欠点と何か関係があるのではなかろうか；この欠点を直さなければいろいろな困難は克服できないだろうという考えをお出しになった。それから非常に思い切った改革を理論の中に持ち込もうというたいへん野心的な努力に向ってのサジェッションをされたわけです。

しかしこういう根本的な改革というのはい

いんで、わたくしが思いましたのは、このハイゼンベルク・パウリ理論が相対論的にいい格好をしていないということと場の量子論に現われてくる、あるいは量子電気力学に現われてくるいろいろな困難な問題とは、その原因が共通ではないかも知れない。困難な問題は解決できないとしても、形のまずい点は改良出来るんじゃないかならうか。湯川さんがいうような荒療治をしなくても、その形が満足でないという点はおおせるとはなかろうか。つまり、もう少し詳しく申しますと、この相

対論的に十分意味のあるような確率振幅というものを、そういう荒療治なしに理論の中に使うことができるに違いないとそういうふうに考えたのです。そういうふうに考えましたときに私は、その時より 10 年前にわたくしを非常に感心させたディラックの多時間理論というのを思い出していたわけであります。

ここでごらんになりますように、 N 個の粒子がありますときにディラックの多時間理論では第一番目の粒子には t_1 というそういう時間変数を使い、第二番目の粒子に対しては t_2 という時間変数を使う；そういうわけで最後の粒子に対しては t_N という時間変数を持ち込んで、そして 1 個の時間変数を使うかわりに N 個の違った時間変数を使う——そういうことをやって、形の上では非常に満足のいくものが得られているのです。

そこで、ハイゼンベルク・パウリの理論ではいろいろたくさんの異なった空間の点に対してただ 1 個の時間変数 t を持ち込んでおりますけれども、そのかわりにこの点にはこの点の時刻、別の点には別の時刻というふうに、空間のそれぞれの点に異なる時間変数を附属させてみたらどうであろうか、そういうふうに考えました。それでいろいろやってみ

ますと、そういうことは可能であるということがわかったのであります。

ディラックの理論ではいつも N 個という有限な個数がありますから、そこに持ち込みます時間の変数の数、 $t_1, t_2, \dots, t_N$ という時間の数は N 個ですむわけです。ところが空間のそれぞれの点に別々の時間変数を使うということになりますと、空間の中の点の数は無限にたくさんあるわけですから、そのとき使わねばならぬ時間変数の数も空間の中の点の数だけ無限にある。

そういうわけで普通の数学とはかなり違った数学を使わなくてはいけない。しかしながら無限の時間変数を含むような確率振幅を考えるということについてはそう本質的な困難はないということがわかったのであります。

そういうようにして無限にたくさんの時間を含む理論を作ってみますと、その形は対論的には非常に満足な形をしている。しかもディラックの多時間理論がハイゼンベルク・パウリの理論と全く数学的に同等であって、先程のユニタリー変換という変換でいっぽうからもう一方へ移せるというのと同じように、空間のそれぞれの点に時間変数を考える、そういう新しい理論も、結局は一つの時

間変数を考えるハイゼンベルクとパウリの理論と数学的には同等である；片方から他方へユニタリー変換という数学的変換の手続きで移すことができる——そういうことが分ったわけです。

この仕事を 1942 年頃から始めまして、途中戦争があってしばらく休んでおりましたが 1946 年に完全なものにして発表したわけがあります。

“無限大”の 困難への挑戦

そういうふうにして場の量子力学とくに量子電気力学は形の上では大変に相対性原理にふさわしい満足な形にもっていくことができました。けれどもこれは形が満足であるというわけですが、内容は昔のハイゼンベルク・パウリの理論と同じだということになりますので、その古い理論にありましたいろいろな困難な問題はそのままやはり新しい理論の中に残っているわけです。

このいろいろな困難というのはどういうことかと申しますと、いろいろな電子と電磁場が相互作用していろいろな物理的な現象が起こるわけですが、それを理論で計算してみますと、いつでも無限大という答が出てくる。これが大変むづかしい問題です。

ある現象が起こるときに、その現象に対して場の反作用というものが、必ずついてきます。その反作用の影響がどうなるかということ調べますと、答はいつも無限大になってしまうのです。

電子の“電 磁的質量”

こういう問題、場の反作用の問題で、一番初めに物理学者の注意をひきましたのは、電子の電磁的質量という問題であります。電子という粒子が電気をもっています。そうしますと、その回りに電磁場ができるわけです。ところがその電磁場が電子と作用します。その電磁場のことを電子の自己場、自分自身の場と申しますが、その自分自身が作った場と、電子が作用する。これをその場の反作用、電子に対する電磁場の反作用というふうに申します。電子がもし場を作らなければいいんですけど、場を作ります。その場が電子に作用するということで、場からの影響をうけると、それを反作用というわけです。この電子が自分の作る場の反作用をうける結果、どういうことが起こるかといいますと電子の質量がそのもとの値と変わってくるという現象が表われてきます。このもとの質量と変わってきた部分は、自分の作る電磁場

の反作用によるものでありまして、これを普通電子の電磁的質量というふうに呼んでいます。実際観測される電子の質量は、電子個有のもともとの質量と、この反作用によって起こってくる電磁的質量との和であるというふうに考えられるわけです。こういうふうに、電子が自分の作る場との作用によってその質量がもともとの自分自身の質量と変わってくるということは、すでにずっと前に、20世紀の始め、今世紀の始めにオランダのローレンツという学者によって示されております。ローレンツはその当時の電磁気学で、その電磁的質量を計算しています。そして、もし電子の大きさがゼロであるならば、すなわち電子がもし点であるならば、電磁質量は無限大になるということをやってみせています。ですからこの、無限大の出てくるといのは、相当古くからの問題であるわけです。その後、ローレンツの時代の電磁場の理論は、実際は適用限界がある。もっと正しくは、量子論をとり入れた電磁場の理論でなければいけないということがわかってきたのですが、そこでさきほど申しました量子電気力学を使って電子の自己エネルギー、つまり電子の電磁質量を計算したらどうなるかという問題が出てき

まして、これはいろいろな人によってあつかわれました。その結果、量子論的な電磁的な質量というものが、やはり無限大になる。ただその無限大の程度が、ローレンツ時代の理論よりも、はるかに弱い。もっと弱い無限大であるけれども、やはり無限大になる。そうしますと、電子固有の質量と電磁質量とを足した観測される質量というものがやはり無限大になるので、これでは実験と全く合わないわけです。そういう困難が、理論の中にあるということはもうローレンツの時代にわかっていましたし、量子論ができましても、やはり同様な困難があるということがもうずいぶん前からわかっておりました。

もう一つ、場の反作用に関する問題としていろいろな人の注意を引きましたの

は、電子質量の問題のほかに電子が散乱されるという問題であります。そういう問題で、電磁場の反作用というものがどういうふうにその答に影響するかという問題であります。一つの具体的な例をあげますと、電子がある外から与えられた電場で、曲げられる、そういうときに、いったいどういうふうに曲げられるかというような、そういった問題です。

普通、こういう問題を取りあつかうときには、電子が自分でまわりに作った場によって影響されるということは無視しまして、ただ外から与えられた電場と電子との間の作用だけで問題をといてみますと、非常に実験とよく合う答が出ます。ですから、それはそれで満足なのですが、しかしもう少し計算を精密にしまして、電子が自分のまわりに作った場と作用するということを考えに入れますと、散乱の問題でどういうふうに答が変わってくるかという問題が学者の注意をひきました。

パウリ-フェールツ とダンコフの計算

ここで話したいのはさっきのハイゼンベルク-パウリのパウリと同じパウリと、フェールツというスイスで研究した人の二人、あるいはアメリカでダンコフという人が、この問題にとりくんだ研究のことです。パウリとフェールツはこの問題を取りあつかうのに相対論でなしに——相対論の効果を簡単のために無視して——普通の力学、量子力学で計算いたしました。ダンコフのほうは相対論的に計算をやりました。これが 1938 年から 9 年にかけての頃のことです。ダンコフのほうはこの計算をしますときに方程式を解くのが非常にむづかしいので

精密に解くかわりに、いわゆる摂動計算という、近似計算的な計算法を使ってやっております。それに対してパウリとフェールツのほうは、計算にはもう少し精密な方法をとっています。ただ相対論的でないという点であらうぱいことをやっているわけですが、そのかわり計算のほうは非常に精密な計算をやっております。どちらも一長一短があります。パウリとフェールツはちょっと専門的な話で恐縮ですが、摂動的な方法を使うというかわりに接触変換の方法という方法を使ってやっております。この接触変換の方法というのは、摂動的な方法よりも非常にいい点がありまして、計算が余りゴタゴタしないということのほか物理的な意味づけができる、計算の途中に出てくるいろいろな式に物理的な意味をはっきり見せてくれる、という点に特徴があります。パウリとフェールツは非相対論的なモデルを使いましたものですから計算が特に見通しがよくなっています。そしてその計算の結果は散乱の問題についてはやはり、無限大が現われるということを示したのです。

悲観論も 出たが

散乱の問題にも無限大が出る。それから電磁質量の問題にも無限大が出てしまうということに

なったものですから、これはたいへん物理学にとっては悲しむべきことでありして、無限大なんかが答に出てくるようではさっぱり信用ができない；そういう理論は信用ができない、ということになったのです。この無限大がいつも場の反作用というものを考えに入れると出てくるので、さきほど申しましたように、反作用を考えに入れないで散乱の問題を計算してみますと、実験と非常によく合う結果が出る。ところが反作用を入れると、せっかく合っていた答が無限に違ってしまうということになっております。そこでいろいろな人が、この場の量子論、あるいは量子電気力学は信用できないということを言い出しました。それから場の反作用というものを無視すれば、いい答が出ますから、場の反作用というようなものが、実は自然界には何にも縁のないもので、こういうものが現われてくるのは、考えていけないものを考えようとしているからだというような、そういう悲観的な考え方をする人も現われてきたわけです。ところが一方、この場の反作用というものがそんなに意味のないものではない、無限大が出てくるのは、たしかに困ることであるけれども、これは、どこが悪いのかよくわからないけれ

ど、どこかが悪いので、場の反作用自身が無意味な概念であるという考え方はいきすぎだという考えの人も、もちろんいたわけです。ドイツのハイゼンベルクは、先ほどもハイゼンベルク-パウリと申しましたように、この種の問題にとりくんでいた人なのですが、中間子論に関して、中間子の散乱の場合に、場の反作用というのが非常に重要な役をするということを強調した論文を書いたことがあります。これは 1939 年頃のことですけれど、ちょうどその頃、わたくしはドイツに留学していまして、ハイゼンベルクのところで勉強しておりましたが、ハイゼンベルクが、この自分の場の反作用というものが、中間子の場合には、たいへん重要な意味を持つのだという考えで、たいへん熱心にわたくしに説明しまして、これを読んでおけといって論文がまだ出る前にグラ刷りをわたくしにくれたことを、まだおぼえています。このハイゼンベルクの考え方を聞きまして、わたくしも場の反作用というものは、全く無意味なものだなどと考えるのはとんでもないことで、むしろこれは、真正面から取りくまなければならない問題であろうと、そういうふう考えるようになってきたわけです。

質量の無限大と散
乱の無限大との関
係をつきとめよう

そういうわけで、ドイツ
の留学から日本へ帰って
来まして、これはちょう

ど 1939 年ですが、それからずっと、いろいろ
な現象にあらわれる場の反作用、とくに散
乱の問題に現われる場の反作用の無限大の問
題を少し考えてみようというわけで、この問
題にとりくみました。わたくしが知りたいと
思いましたことは、一方の質量の方に無限大
が現われると、もう一方の散乱の問題にも無
限大が表われる——その両方の無限大の間に
いったい何か関係があるのであろうか、ある
いは無関係なものであろうか、ということで
した。この両方の間に何か関係があるに違
いというふうに思われますことは、パウリー
・フィールツの論文を読んでもみますと、先ほど
接触変換の方法を使うと申しましたが、まず
接触変換という変換を理論にほどこします
と、ある無限大の量が分離してしまいます。
その分離した無限大を見ますと、電子の質量
を変えろという、そういう形で分離されてく
るということがわかります。パウリとフィー
ルツの計算の結果は、こういう質量の形で分
離してくる無限大を分離したあとでも、まだ
散乱に特有な無限大が残るという、そういう

答になっております。わたくしはもっとほか
の場合にもどうであろうかということで、い
くつかの簡単なモデルを考えまして——これ
は実在する問題ではなしに数学的に、簡単に
解けるようなモデル、これを、わたくしはよ
くおもちゃと称するんですけど、子供のお
もちゃみたいなものです。実際は余り役に立
たないかも知れないけれども、子供がいじる
のにはたいへん適していて、かつ教育的であ
るという——これもストックホルムではいわ
なかったことです(笑声)。いくつかの教育的
なおもちゃを工夫いたしまして、それを解い
てみました。そうしますと、やはり、パウリー
・フィールツの場合と同じように、散乱の問題
であらわれる無限大の一部分は、質量——そ
の粒子の場の反作用による粒子の質量を変え
るような形をしておる。実際、質量の問題を
そのおもちゃで解いてみますと、同じ形をし
た無限大が出てくる。それから、その質量の
問題と同じ形の無限大が、無限大の中の一部
分として出てきますが、残りがやはりあって、
その残りは質量のときには出てこなかったけ
れども、散乱の問題にはあらわれてくる、散
乱特有の無限大であると、そういうようなこ
とがわかりました。それからもう一つわかり

ましたことは、散乱のときに残った、つまり散乱特有の無限大は、質量の無限大よりも弱い程度の無限大であると、そういうことです。つまり一番強い無限大は、質量の中に、質量の無限大と同じ形をしているということがわかってきたわけです。

しかしこういうパウリー-フェルツの仕事は先ほど申しましたように、非相対論的なモデルを使っておりますし、わたくしがいろいろなじくりまわしたおもちゃも、実際は存在しないものですから、実際の場合にはどうなるか——実際の場合と申しますのは、相対論的な電子と電磁場の場合です。そういう問題が残っていたわけですが、先ほど申しましたダンコフという人が 1939 年にこの問題に答を出したのです。ダンコフは、さっき申しましたように、摂動計算という一つの近似計算をやっているのですが、それでも相当いろいろなことがわかるのでして、彼の計算をみますと、散乱の問題にあらわれるいくつかの無限大のうちの、ある部分は電子の質量の無限大と同じ形をしている、同じ起原のものと考えられる。ところがそのほかに散乱特有の無限大がやはり残る。ただしその散乱特有の無限大は、先ほどのいくつかの例でみましたよ

うに、質量の無限大より弱い無限大ではなくて、質量の無限大と同じ程度の無限大だと、そういう結論を出しております。ですから散乱の問題に出るいろいろな無限大のうち、一番強い無限大が質量になって、残りの散乱特有の無限大はそれより弱い無限大だという、先ほどの結論は相対論的な電子の場合には、成り立っていないという、そういうことになるわけです。

相対論的な電子について、
真空偏極形の場の反作用
に、ここでちょっとつけ加えておかなければいけないのは、反作用というのに 2 種類あるということです。一つは質量形と名づけますが、もう一つは真空偏極形と普通いわれるものです。非相対論的な場合には、質量形の無限大だけしかあらわれませんが、真空偏極形という、もう一つの種類の別の無限大があらわれてくるということがわかっております。質量形というのは、電子の質量を見かけ上変えるという形で出てくるもので、ローレンツのときにすでにあったものです。それに対して真空偏極形というのは、電子の持っている電気量を見かけ上変える、電子のもともと持っていた固有の電荷を

違うように見かけさせるという、そういう影響を電子に与えます。ローレンツの昔の理論では、こういうものは現われていませんし、非相対論的電子論でも、これはあらわれてきませんが、相対論的な電子論では、こういう種類の反作用がもう一つ別にあるということになってきております。しかもこれを計算してみますと、無限大がやはりあらわれてきまして、その真空偏極の影響で電子の電荷がもとのものと見かけ上異なってくる；その異なり方を表わす式の中に無限大があらわれてくる；そういう困難があるということになっております。こういうふうにして、ダンコフの結果から見ますと、散乱特有の無限大が質量の無限大——このほかにいま申しました真空偏極の無限大があるんですが——質量の無限大と関係ない、しかも同じ程度の強い無限大がそこに残るということになったわけで、これにはあまりうまくない結果であります。

坂田教授の“凝集力の場”の理論

ところが 1946 年になりまして、名古屋大学の坂田教授が、この電子の質量の無限大をなくする方法というのを考えられました。これは凝集力の場という新しい場

を、電磁場のほかに考えよう、そして電子は電磁場と作用するだけでなくこの新しい、今まで誰も知らなかった凝集力の場とも作用している、——そういう考え方を出された。この凝集力の場というものを、適当な形にとりますと、電子はそれと相互作用しますから、やはりその反作用として、電子の質量が固有の質量と変わってくるという現象が当然おこるわけです。それを計算してみますと、この凝集力の場と電子との相互作用で出てくる質量はマイナスの符号を持っている、ということ、坂田先生が見付けたわけです。そうしますと電磁場の方との相互作用で出てくる質量の変化はプラスで出てくるのですが、これにマイナスの符号で質量を変化させる場が存在するとすれば、それがちょうどうまく打消し合って無限大がなくなるようになる、そういうふうにすることが可能になってきます。そこで坂田先生は、この凝集力の場というものを考えることによって、電子の場との反作用による質量の変化を、有限にとめることができると、そういうことを見付けられた。これと同じ考えを、オランダの学者のバイスという人も出していたということがあとでわかったのです。

そこで、この論文を、この新らしい説をききましてわたくしは、はたしてこの凝集力の場というものを考えることによって散乱の方の無限大もプラスとマイナスがうまく消し合うことができるであろうかとそれを調べてみる気になったわけです。そこで次の問題は、電子と電磁場の場合に場の反作用が散乱にどういうふうに影響するかという計算は、ダンコフがすでにやっているわけで、そのダンコフの計算の電磁場のところを新しい凝集力の場を入れてみれば、今の計算ができるわけです。そこで、わたくしはわたくしのまわりにいる若い連中を総動員しまして、その計算をやってみたわけです。ところが、この凝集力の場と電子との相互作用、その反作用によって、なるほど、散乱の方にも無限大がある、しかもそれがマイナスだという事がわかりました。ところがこのマイナスとそれからダンコフが計算しました電子と電磁場の場合に出てくるプラスとくらべてみますと、完全に打消してくれないで、やはりおつりが少し残るということがわかったのです。いいかえますと、坂田先生の理論は質量、電子の質量における無限大をプラスとマイナスで完全に消し去ることができるけれども、散乱の方の無限

大は、プラスとマイナスが完全に打消してくれない。そういう結果をわれわれは得たのです。それからもう一つ、真空偏極の方の無限大が、やはりどちらにも出てくるのですが、これも電磁場によるものと、凝集力の場によるものとが打消してくれないという結論になりました。そういうわけで、これもストックホルムでは言わなかったですけど、坂田の理論では質量の無限大は打消すことができるけれども、散乱の方の無限大は消すことができないという発表をしたわけです。

ダンコフの 誤りを発見

このダンコフという人の論文はたいへんな計算なんですけど非常に短い論文で、計算をすっかり発表していなかったの、わたくしどもはダンコフの計算をもう一ぺんやり直す必要があると思ったわけです。ダンコフの計算をお手本にして凝集力の計算をやるのですが、お手本をまずよく理解しないといけませんから、ダンコフの計算をやり直してみたのです。ところがそういうやり直しを、若い人にたのんでやらせている途中でもっと簡単な方法があるということを、ひょっとした機会からわたくしが見付けました。それはどういう方法かといいますと、パウリと

フィールツがつかった接触変換の方法というのがありますが、相対論的な場合にも、それに似た方法を使うことができるということに気がついたのであります。その接触変換の方法をやりますときに、ちょうど前にわたくしがやりました相対論的にいいかっこうをしていますところの量子電気力学、それを使いますと非常に計算の見通しが良くなる、そういうことがわかったのであります。この計算法、実は計算の内容はダンコフが使いました摂動の方法と全く同じであります。しかしながらこの方法のいい点は、質量の電磁質量というものを、はじめから接触変換という方法で分離することができるという、そういう利点がある。そういうことに気がついたのです。この新しい計算法というのは、ダンコフの摂動論的計算法と、内容はあまり違わないのですけれど、いま申しましたように計算が非常に見通しよくなるという点がその特徴であります。実際、ダンコフの計算法で数ヵ月かかったものを、この新しい方法でやりますと、数週間ですませられるということがわかりました。しかしこの新しい方法でやってみますと、ダンコフの計算に間違いがあるということが、見付かったのであります。計算をやり

なおしてみましたところが、散乱の問題でも無限大がぴしっと消えてしまうということがわかったのであります。ダンコフの計算、あるいはわれわれのはじめの計算の中に一つだけ項を見おとしておりまして、そのためにその項の部分だけが残るという、そういう結論になったのですが、それは間違いだということがわかりました。そこであわてて速達郵便で、その若い連中に“どうも落ちていた項がある”——若い連中はもう若くないですけれども(笑声) 名前をいってももうさしさわりが無いと思う……時効にかかっていますが、その人は木庭君という人で、コペンハーゲンで先日会ってきたのですが、この人が一生けん命摂動論で計算をやっていたわけです。彼はすっかり頭を坊主にして現われまして、“どうも……まずかった。” それからあわてて論文の訂正の論文を書いて——ちゃんと計算すると、坂田の理論で質量の無限大も消えると同時に散乱の方の無限大も消えてなくなるという訂正を出しました。ただし真空偏極の無限大は両方がうまくプラスとマイナスで消してくれるというふうにはなっていない。その点が残っているわけです。こういうふうにして、ダンコフの計算の間違いが——これはた

いへん不幸な間違いだったのですが——みつかりますと、彼が出した結論をもう一ぺん検討する必要があります。彼が出した結論というのはつまり散乱に現われる無限大と、質量に現われる無限大とは、すこしばかり値が違うという；無限大のことですから値というのはおかしいですが、無限大は完全には等しくならないというそういう結論ですね。これはもう一ぺん再検討を要するということです。

くりこめば
残りは有限

先ほど申しましたように、この散乱に現われる無限大のうちの一番強い発散の部分、すなわち強い無限大が質量の無限大と同じ形をしているということは、両方が同じ起源——原因——で起っているということ、いいかえますと散乱のときに現われる無限大のうちのその部分は、質量の無限大の中にくりこんでしまうことができると、まあそういうことを意味するわけです。ダンコフの結論は、散乱の場合に現われる無限大のうちに質量の無限大の中にくりこめない残りが残るといふのであったわけですが、この計算をやりなおしてまちがいをおしてみますと、散乱に現われる無限大は質量の無限大の中にくりこむことができるということ。しかも、さっきの

いろいろなおもちゃでは残った無限大は、質量の無限大より弱い無限大だといったのですが、このほんもの場合は、残ったものは無限大でなくて有限であると、そういう結論になったわけです。ところで、このとき残った部分がなぜ有限となるかと申しますと、質量自身の無限大、これは先ほど申しましたようにローレンツが計算をしたような問題ですが、これが非常に弱い無限大でありまして、その次に弱いのはもう無限大でなくて有限であるということになります。そこで、無限大の部分は全部質量の中にくりこむことができ、残りは有限だとそういう結論になったのです。この結論に非常にたいへんな意味がある、というわけは、散乱の場合に現われる無限大は質量の無限大として分離してしまつて、残りはすべて有限な理論、有限形で数式が出てくる、そういう点です。こういうふうにしてこのいろいろな無限大の間の関係がかなりはっきりしてきました。

散乱のもうひとつ 真空偏極の無限大のこと
の無限大は電荷のは、あまり申し上げませ
中にくりこめる んでしたけれども、この

真空偏極の無限大と類似の無限大が、やはり散乱の方にも現われてまいります。ところが

この方の無限大は、ダンコフがすでに結論しておりますが、この無限大は電子の見かけ上の電荷、電荷の真空偏極による値の変化と同じ形をしている。したがってその中にくりこむことができる、とダンコフがいております。ダンコフはその質量の方の無限大にくりこんでも残りがあるといったんですけれども、計算をやりなおしますと散乱の問題に現われるすべての無限大は質量の方か、あるいは電子の電荷の方かどっちにくりこむことができ、そして残った理論には何も無限大が含まれていない、とそういうことになったわけです。こういうふうに、いろいろの問題が散乱の問題に現われてくるにかかわらず、それが全部電子の質量かあるいは電荷の中にくりこめる、それと同じ形をしている、ということは、たいへんうまい話です。

残された問題は

われわれは理論が有限になったとは決して申しません。現に質量あるいは電荷を計算してみると、無限大が出てくるわけですから、理論がこれで完全に有限になったとはいえないわけですが、しかし、くりこんでしまいますと——質量と電荷に無限大をくりこんでしまいますと——残りは有限だということ、

これはたいへんに重要な結論だといえます。しかもこの理論の構造を調べてみますと、その散乱の場合の無限大を質量と電荷の中にくりこんでしまいますと、それからあとに現われる質量とか電荷というのは、くりこんだ結果 modify された見かけ上の質量と電荷が、そこからあとでずっと現われてきて、その電子本来の質量と、それから場の反作用による電磁質量とが別々に現われて来ることは決してないと、そういうことがわかったわけです。こういう状態になりますと、次のような可能性が出てきます。理論は、決して無限大の困難を解決してはおらない；というのは、この理論で、計算しますと見かけ上の質量とか、見かけ上の電荷とかいうものは無限大になるという答がでてくるわけですから理論は何も解決してくれない；しかし、他方実験で観測される質量とか、電荷とかいうのは電子の本来の質量とか電荷ではなく、場によってちょっと値が——ちょっとではないですが——値が変わったそれを観測しているわけです。それはもちろん実験的に調べると有限です。それからもう一方理論の中に現われる質量とか電荷というものは、いま申しましたように、結局は場の反作用で、値が変わったもの

が現われて来て、もとの値とか、反作用の値自身は決して別々に現われて来ない。

そういうことになりますと、この理論で無力なところ、つまり質量や電荷の反作用による部分を計算できないということには変りがありませんけれども、したがって、それと元の電荷質量との和であるところの実験的に測られるものは、やはり理論的に計算できないわけですけれども、その欠点を、いわゆる現象論という方法で補う、つまり理論の計算できないものは、実験をやってみようというそういう方法です。これはまあ一種のあれ——試験の問題が解けないときには、カンニングをやるというのに似ているのですけれども、計算して答が出ないからちょっと、自然自身に教えてもらう、——実験をして教えてもらう。そうすると、こういうのを使えばよろしいというので、それを代入して見るということです。こういうふうに、理論的に計算できない値、その値を実験でわかっている値で入れ替える。これはリノーマリゼーションと申します。理論の中のもともとの電荷とか、もともとの質量を、でなくて、それに場の反作用で変った値を使う。それに実験値を使うということ、日本語では何といいますか、ふ

つうリノーマリゼーションという言葉を使っております。このリノーマリゼーションという考え方は、これはかなり前からありまして、いろんな人が、すでに陰に陽にこういう考え方を使っております。場合によっては御当人は気づかずに使っていることがありまして、パウリー・フィールツの論文とか、ダンコフの論文のうち、ダンコフの方はちゃんと意識して、リノーマリゼーションという言葉を使っておりますが、パウリー・フィールツなどは、無意識のうちに使っております。

ダンコフはリノーマリゼーションという言葉を使っておりますが、彼の場合には計算の間違いのために、散乱の問題には電子の質量や電子の電荷のリノーマリゼーションでは解決できない無限大が残っていたわけですが、この間違いをなおしてみますと、リノーマリゼーションをやれば答は常に有限にでてくる、ということになったわけです。そのダンコフの論文というのは 1939 年に発表されてありまして、その時の間違いがほぼ 10 年たらずの間、8 年位でしょう、誰にも見つけられなかったということは、その間大変不幸な戦争などがありましたからそのせいもあるでしょうが、戦後までその間違いを誰も気が

付かなかった。そこでもしダンコフがこういう間違いをしていなかったら、この量子電磁気学の歴史は完全に実際と違っていただろうという感じがいたします。わたくしがストックホルムへいくということもおそらく起こらなかったであらうでしょう。(笑声) まあそういうことで、歴史というのは奇妙なことも時々ある。実はわたくし、プリンストンに呼ばれた時に、これも余談ですがダンコフが僕に会いたいと言ってやって来まして、どうもあなたはたいへん不幸な間違いをしていたんだといったらたいへん自分も残念だと言っていましたが、それは確かに残念だろうと思います。

これまで申しましたようなことを1946年、7年頃にわたくしはやっていたのですが、その頃から1948年頃までの間外国の情報がなかなか日本に入ってきて来ない状況でありまして、シュウイングーとかファインマンとかいう人達が同じようなことをやっているということは、全然知らなかったわけです。しかし47~8年頃になりますとぼつぼつ情報が入って来まして、やはりアメリカで、ルイスという人とエブシュタインという人、こういう人達がダンコフの間違いをやはり見つけており

ます。それから、シュウイングーが、わたくしがやりましたと同じ様な相対論的な理論を作りあげてそれを使っているようなニュースが入って来ました。

ラムの発見 の報をきく

それからこの方の大事な発見が、例のラムの発見したラム・シフトという現象なんです。水素原子エネルギーの値が、ディラックが始め計算したのと少し違って来るという実験的な発見がありました。これが場の反作用によるものだということ、そういうニュースがぼつぼつ入って来まして。このラムの発見というのはたいへん画期的な発見でありまして、今までやりましたような計算が実際に実験にかかるということを示した点で非常に大事な問題です。わたくしどもがラムの仕事を知りましたのは——アメリカの物理学会で出している推誌フィジカル・レビューという雑誌がありますが、その雑誌でなくて——週間誌だったのです。アメリカのタイムという週間誌がありますが、その通俗科学のコラムで最初に知ったわけです。——いま、紙が回って来まして後一分でやめろと(爆笑)ということですが、ごらんの通り後一枚ですか

ら…(笑声)。

ラムの実験を説明するのにやはり場の反作用というもので説明がつく。場の反作用は無限大、計算をすると無限大になって出てくる。このラムの場合も無限大になるんですけども、これも先ほどのリノーマリゼーションという方法で、理論で無限大の値が出てくるそのところに実験値を、電子の電荷と質量の、実験でわかっている値を入れますと、非常に良く合う結論が出る。そういうことをシュウインガーが(少しここの話を飛ばしますが)示しまして、わたくしどもも、シュウインガーと独立にタイム誌を読んでから早速ラム・シフトというものの計算にかかりまして、たいへんな計算、たいへんくたびれる仕事だったのですが——若い人達に手伝ってもらいまして計算した結果、シュウインガーの計算と答は一致した；一致した結論が出ました。それからファインマンの方は、これはまた全然別の行き方で、このラム・シフトの計算をやっておりますが、こういう三人だけで

なく先ほど申しましたようにいろんな人の仕事の上に立って量子電気力学というものがだんだんに発展したわけです。

このように実験と非常によく合う答が出るので、有名になったわけですが、これで問題が解決したというのではないということを最後におことわりしておく必要があると思います。つまり無限大というものは理論の中にはやはり依然として内在している、それを解決するのは将来の問題であるわけです。どうも堅い話を大変長くいたしてきましたが、要するに量子電気力学というものは非常に長い時間かかって大勢の人がああでもない、こうでもないといってやっとここまでたどりついたので、そのごく一部分の役目をわたくしが果たしたということでありまして、ノーベル賞を戴くようなことになって、たいへん恐縮に思っているわけです。さらにこのダンコフが計算を間違えたということ、これは大変にお気の毒なことであったと思っております。

ありがとうございました。(拍手)