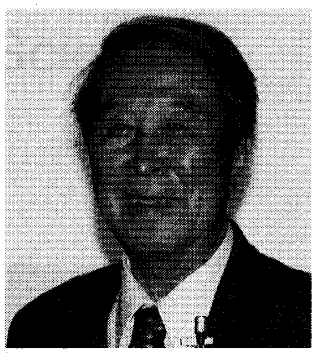
[基礎物理学の系譜]

座長: 益川 敏英

基礎物理学 — 過去と未来 —

南部 陽一郎



たいしたタイトルですが、これは私が付けたのではなくて世話人の坂東さんがつけたのです。私は責任を持ちませんので。

話の前に、ひとこと申しあげます。牧二郎先生が最近亡くなられまして、2日ほど前に追悼のシンポジウムがあったはずなのですが、私は残念ながら出席することができませんでした。ここで改めて追悼の言葉を申しあげたいと思います。

みなさんご存じのように、牧さんは素粒子物理学に非常にたくさんの先駆的な貢献をされました。特に neutrino の問題とか、flavor physics の問題とか、たくさんあります。牧さんと私は昔からかなり親しくしていたので、それに関する追悼のお話を聞き逃したのはたいへん残念です。牧さんがもし生きておられたら、今回のことに関してまた、非常に貴重なお話をうかがえただろうと残念に思っております。

どういう話をしていいかよくわからなかったので、坂東さんにもおうかがいしたのですが、だいたい昔のことを話してくれと頼まれました。将来のことを私が予想できるような資格はありませんので、昔の語りをさせていただきたいと思います。

[slide 1] 私が参考にした資料をここに書いています。これらは多少参考にしたか、あるいは見たことのあるというものです。

KEK インタビュー 2005 は、最近、KEK にプロジェクトができたようで、高橋嘉右さん、Gotow Kazuo (Virginia Polytechnic Institute) さん、それから東大の科学史専門家の伊藤憲二さん、これらの方がシカゴに来られてインタビューされました。それがまだ available かどうかは知りませんけれども、KEK には記録があるはずです。同様にして、昨年 Babak Ashrafi (American Institute of Physics) さんからも2日間インタビューを受けました。これもいずれは available だろうと思います。それから私が知っていることでは、だいぶ前になりますけれども、アメリカと日本との合同のプロジェクトがありました。研究会を開いて直接に関わったそのころの人に、何回かインタビューをとった報告が Progress の Supplement に出ております。

1. 資料
   - KEK interview 2005 (高橋嘉右@KEK、K. Gotow@VPI、伊藤憲二@Todai)
   - AIP interview 2004 (Babak Ashrafi)
   - Prog. Theor. Phys. Suppl 105(1991) Elementary Particle Theory in Japan 1930-1960 (M. Brown, R. Kawabe, M. Konuma, Z. Maki)
   - 朝倉現代物理学の歴史I 2004
   - 20th Century Physics, AIP 1995
   - 長島順清、Butsuri, 2005
   - Y. N, ibid. 2001, 1977 Collected Papers 1995 (World Scientific)

[Slide 1]

最近のことでは、長島順清（阪大）さんから教わったのですが、『現代物理学の歴史 I 』（朝倉書店）という本が出版されています。それから American Institute of Physics が、膨大な歴史の本を出しています。また、長島さんが物学会誌に書かれた記事があります。最後のものは私が書いた memoir みたいなものです。

こういうものをいろいろ参考にして考えたのですけれども、べつに詳しい計画を立てたのではなくて、こちらに来てみなさんと interact しながら、何か質問などがあればそれに答えながら進行させていただきたいと思っております。だいたいの話の内容は、私の過去の経歴をたどって、どういうことが起きたかということのあらましを説明いたします。

2. 1940−1950
　　東大−−大阪市大
　　仁科・朝永@理研
　　坂田・武谷哲学
3. 多体問題, 相転移, Cooperative phenomena, S−matrix
　　Ising Model
　　核力
　　Plasma theory
　　Dispersion theory
　　超伝導、超流動
4. QED
5. Hadron physics
　　対称性の追求
　　Strange particles
　　ハドロンspectrumとRegge軌道
6. Gauge invariance, SSB, and mass
　　Sakurai vector dominance
　　BCS理論とhadron physics
7. Colorの導入
8.. 弦理論へ
　　infinite−component equations
　　Veneziano formula
9. Sociology
10. Past and future

[Slide 2]

[slide 2] 私は、戦前、戦争の始まる1年前の1940年に旧制の東大に入学しました。すぐ戦争が始まって、2年半で少し早めに出されて軍隊に入営したわけです。そして戦争が終わるまでの3年間、軍隊に勤めました。

そのころの東大にはまだ素粒子論がありませんでした。話によりますと、量子力学が始まったときにも東大というのは非常に保守的で、なかなかそれを取り入れなかったのだそうです。私が入学した時は、量子力学ができてからまだ15年でした。中性子が発見されて、原子核の実体がわかってきてからも、まだ10年目でした。それと比べますと標準モデルができたのは、いまから30年以上前になります。ですから、われわれ学生にとっても非常に新鮮な時代だったのですけれども、もう量子力学はほとんど完成していたのです。核力の理論、問題もどんどん解決されていました。

有名な湯川中間子論が発表されたのは5年前、muonが発見されたのは3年前でした。

そういう時代でしたが、素粒子論はもっぱら京大関係の独占でした。幸いにして理研が近くにありまして、そこには朝永さんや仁科さんがおられて、理論と実験とが相まって非常に緊密な共同研究をやられていましたので、われわれも、その恩恵をこうむりました。

東大には素粒子論はなかったけれども、物性論には強かったのです。当然ながら私も物性論の影響をかなり受けまして、のちのち、いまでもそうですけれども、私が比較的親近感を持ってあたられるのは物性論関係の問題です。実は、私には先生というのは別になくて、おもに友人とか同僚から習ったことの方が多く、いろんなことに触れてきました。それはこれから話します。

4番目のQEDは、ご承知のように有名な朝永の繰り込み理論です。それができつつあった時代に運よく戦争が終わって、私は東大に戻ることができ、そこで勉強を始めたわけです。先生に直接ついたわけではないが、友だちが先生たちと一緒に研究していたので、幸いにだんだんとそれに入っていくことができました。これは私にとっては、非常に幸いなことだったと思います。

その先はアメリカに行ってからの話ですけれども、おもにハドロンの問題、強い相互作用の問題がまだわからなかった時代に、幸いに湯川研の研究の続きとしてそれに乗り換えることができたのです。あとでもう少し詳しくお話します。

その次にゲージ普遍性の問題とか、対称性の破れとか、これはむしろ偶然と言ってもいいかもしれませんけれども、それらの研究に入ることができました。Bardeenたちのグループが、シカゴ大学の近くのイリノイ大学にいたということが幸いだったと思っております。

それから、ハドロン物理の追求の後、Colorという概念の導入ということがあります。特に坂東さんのご注文では、5,6,7,8のことを話してくださいということでしたので、これについて少し立ち入ってお話したいと思います。

先ほど申しましたように、東大では、いわゆる素粒子物理はまだなかったが、原子核物理はありました。私の担当の先生はHeisenbergのところに留学された落合騏一郎先生でした。われわれは、同

志４、５人で一緒にセミナーやゼミ講でいろいろな本を読んだのです。例えばベーテの核力に関する有名な総合報告というのが 1936 年に出ましたけれども、それを台本にして勉強しました。余談ですけれども、1942 年のときだと思いますが、私の同級生に enterprising な学生がいまして、彼が写真版をつくる商売を始めたのです。いろいろな論文を大きな本に製版して、われわれにタダでくれましたが、ほかの大学には金を取って売りつけていました。彼とは非常に親しくなりましたが、実は秘密の共産党員でした。

2. 1940-1950

1940-42 @東大　原子核、核力理論、物性論	落合麒一郎、嵯峨根遼吉 小谷正雄、坂井卓三 林忠四郎、小野健一
1942 @理研	仁科・朝永 宇宙線セミナー (muon, pionの正体)
1944-45@陸軍技研	岡部金次郎, 伏見康治, 永宮武夫, 内山龍雄 radar technology, S-matrix for wave guides (朝永) theory of magnetron (朝永・小谷)
1946-49@東大 朝永の弟子たち	伊藤大助、田地隆夫、福田博、 木庭二郎、宮本米二、木下東一郎、 武田暁、西島和彦、藤本陽一、山口嘉夫 + 岩田義一、久保亮五、中村誠太郎、 武谷三男、渡辺慧
1950-52 大阪市大時代	早川幸男、山口嘉夫、西島和彦、中野董夫、 小田稔

[Slide 3]

嵯峨根遼吉先生は、原子核実験の講義をされた先生です。実は彼は長岡半太郎の第５番目の息子さんでした。彼とも非常に親しくなりました。彼は戦前からローレンスのところに派遣され、サイクロトンの技術を学んできて仁科研で原子核研究をしておられました。戦後にも、またローレンスのところに行かれたので、私がアメリカに渡ったときに、かなりお世話になりました。小谷正雄さんは、物性論の有名な先生です。坂井卓三さんは統計力学のご専門です。このような先生方にも接触しました。

[Slide 4]

[Slide 5]

[slide 4, 5] この写真は私の同級生たちで、２人並んでいるのは林忠四郎さんと小野健一さんです。林忠四郎さんは、もともと京都の人なのですがどういうわけか知りませんが東大に行かれました。私がなぜ東大に行ったかというのも、私はわからないのです。ただなんとなく東大がいいと親父が言ったから東大に行ってしまったのでしょうか。

実は、そのころもうすでに、湯川さんの名は日本中で非常に有名になっていました。だから、それに刺激を受けたとことは確かです。東大入学の前は第一高等学校といって、いまの駒場ですけれども、東大とは別のところにいました。そこにいた頃は、特に物理をやりたいという気はなかったのです。いろいろなものに興味があったのですけれども、問題は興味があるかどうかではなくて、自分に能力があるかということの方が先決なので、その自信ができないかぎりは、なかなかどこかに入っていけないわけです。でもたしかに、湯川さんの影響は甚大なものでした。

この写真 (slide4) は、われわれの仲間に林忠四郎さんがいたという証拠です。これが林忠四郎さんです。これが私で、これが落合騏一郎先生です。あとは、一緒に原子核理論などを勉強した仲間です。これ (slide5) は東大の物理教室の屋上で撮ったので、たぶん軍隊に入る1カ月ほど前の夏のことだったと思います。

それから、私は軍隊に取られまして、紆余曲折がありますけれども幸いにして最後は陸軍の技術研究所に回されました。軍の技術研究所は、初めは東京にあったのですが、後に宝塚に疎開しました。宝塚の近所に横浜正金銀行（後の東京銀行）のゴルフクラブがあったのでそれを接収して、一部は実験、一部は大学や会社と関係を取りながらレーダーの技術の研究開発をしておりました。月に1回くらい、研究会がありましたけれども、顧問として来られていたの人たちの長老格として、阪大の岡部金次郎というマグネトロンを開発された有名な方がありました。理論屋としては、伏見康治、永宮武夫、内山龍雄といった方も絶えず、出入りしておられました。非常によかったのは、先生も生徒もみな一緒になって、ほとんど同等に一つの目的を持って研究に没頭するということでした。例えば非常におかしな話なのですが、私はそのときまだ22、23歳でしたが、陸軍中尉という名前を持っていました。そうすると、永宮先生がやって来て、「南部中尉殿」と言われるわけです。ですから非常に親しい立場になりました。同等ですからね。早川幸男さんからも、昔同じような話を聞いたことがあります。彼は宇宙線とか気象とかをやっていましたが、戦時中か戦後か、やっぱりそういうふうにいろいろな人と折衝をしていました。彼曰く、「偉い先生だと思っていたら、彼、何も知らないんだ」って。結局、付き合ってみると、案外何も知らないということがわかってくるのです。それで親しみを覚えるのです。

ここで一つ、私がいまでも覚えていることがあります。そのころ、朝永さん、小谷先生は静岡県の島田にありました海軍の技術研究所に出入りしておられ、陸軍とは直接関係なかったのですが、研究会のときに噂が流れてきまししした。そのときの一つの問題として、電波のウエーブガイドの問題がありました。そのころのマグネトロンは非常にパワーが弱かったので、なるべくロスがないようにしてアンテナに持っていくというのが大問題だったのです。例えばウェーブガイドが曲がっているとそこで反射が起きるので、どういう形に曲げて反射を少なくするかということをみなさんで一所懸命考えていました。東大の高橋秀俊先生といった専門家も参加されましたが非常に頭を悩まされたところです。またその一環として、そのころにできました Heisenberg の S-matrix の理論が入ってきたので、朝永さんは、早速その概念を応用してウエーブガイドの理論をつくられたのです。ウエーブガイドを、何かインプットがあって、それからアウトプットがあるという、いわゆる black box とみなし、インプットとアウトプットの関係を S-matrix として表そうというものでした。そのときに例えば、unitarity とか、time reversal invariance とかが非常に大事な条件になりますが、朝永さんはそれをちゃんと考慮に入れて理論を作られたのです。私は、S-matrix というものを何も知らず、初めて研究会でそれを聞きまして、それならば、その文献を仕入れてこいという命令が出たわけです。それは海軍の文書で極秘ではないですけれども、丸秘という判子の押してあるやつで、ほかの先生を通してうまく仕入れて勉強しました。

もう一つは、朝永さんと小谷さんの共同の仕事ですけれども、マグネトロンがいかにして動作するかということの理論をつくられたのです。小谷先生が来られて報告されました。これも非常に有名なことで、戦後、お二人は学士院賞を貰われたと理解しております。アメリカでもシュインガーが、まったくほとんど同じことをやっていたということを後で聞きました。

私はそのころ、東大の助手で嘱託という、いまのポスドクに相当する籍をもらっていました。戦争が終わったときに、そのポストに帰れるかどうか非常に疑問があったのですけれども、幸いに戻ることができました。そして戦争から復員したたくさんの我々の年代の人たちが、東大にたむろしていた時代があります。私も3年間ちょっとですけれども東大の中に泊り込んで勉強していました。それがいま、非常に私の将来のためになったと思っております。

朝永さんは、ちょうど戦争の終わった年に東大の Visiting Professor という形でおられまして、東

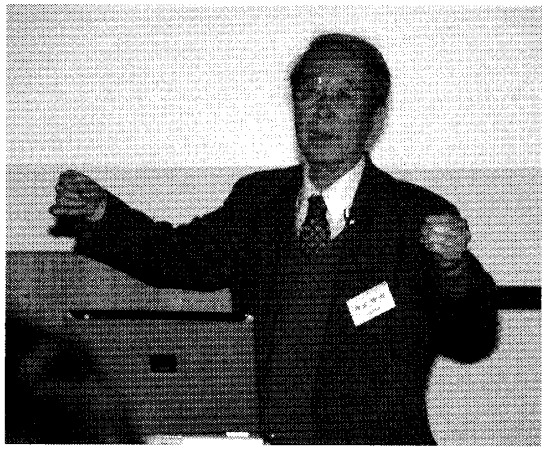
大にも弟子をつくり始めたのです。そして朝永理論を展開されたわけです。ここ（slide3）に書いてある人たち、伊藤大助、田地隆夫、福田博は文理大関係、それから木庭二郎、宮本米二、木下東一郎、武田暁、西島和彦は東大におられた弟子の方々であります。これらは全部私と同じ部屋にデスクを持つか、絶えず出入りしていた人たちです。

私はそこに泊り込んでいたので、それ以外に、同室の住人岩田義一さんや隣の部屋の会津晃さんと朝から晩まで付き合って、いろいろなことを習いました。岩田さんからは Belinfante の Undor 理論（一種の場の方程式）とか、Onsager の Ising Model の理論とか、数学とか、あるいはラテン語までも習いました。助手の久保亮五さんのグループは隣の部屋にたむろし、中村誠太郎さんは廊下を隔てた向かいの住人でした。中村さんはご家族で五歳ぐらいの娘さんを連れて泊り込んでおられました。

中村さんは湯川さんの弟子で、湯川さんが戦争中に東大で講義をされたときに一緒に連れて来られ、その後中村さんは東大に残ったと理解しています。また武谷三男さんは、もちろん京大の湯川グループの一人ですけれども、東京に家があって、ときどき中村さんのところにだべりに来られ、私の部屋にも押しかけてきました。それでしゃあしゃあと弁舌をふるって、いろいろな面白い話を聞かせてくれました。これも非常にためになりました。それとちょうど対照的なイデオロギーを持っておられた渡辺慧という先生は、東大の応用物理かどこかにおられた方ですが、フランスの de Broglie とドイツの Heisenberg のところにに留学されました。学生時代に彼から Cartan の spinor 理論とか、彼のお得意の multivalued logic などの特別講義を聴いたことがあります。いつも非常にモダンな颯爽たる格好で現れました。彼は武谷さんのような左翼的な人とは正反対の立場でしたけれども、なんとなく気が合って議論がかみ合うのです。あるとき二人が一緒に現われ、われわれの前でお互いにやりあいました。掛け合い漫才みたいな感じだったのですけれども、そういうものを聞いて非常に刺激を受けました。そして武谷さんを通じて、いわゆる坂田・武谷の哲学というものを吹き込まれたわけです。彼らは outspoken で、自分の意見を強く主張され、宣伝されるわけです。我々の年代、特に山口義夫さんとか藤本陽一さんといった連中は非常に強い影響を受けまして、いわゆる坂田・武谷の哲学に取り込まれたという感じをしております。私もその一員でした。

最後に大阪市大時代ですが、1949 年から新制大学が始まりまして、大阪にも大阪市立大学の理工学部というのが発足したのです。定職にあぶれていた我々数人、すなわち私のほか早川幸男、山口義夫、西島和彦が幸いにして職を得ることができました。阪大から中野董夫さんも加わりました。大阪市立大学は、元大阪商科大学というのが杉本町にありまして、その一部に理工学部というのが新設されたのです。建物はなかったのですけれども、とりあえず梅田の近くの扇町小学校の、空襲で焼けた建物の残骸を修理して、そこに私たちは 3 年ほど一緒にいました。

それから宇宙線実験の方ですけれども、渡瀬譲という先生が阪大から物理の主任として移って来られ、宇宙線の研究をやっておられました。小田稔さんはそのグループの一人でした。、乗鞍山に市大の宇宙線研究室もあって、我々理論屋もときどきそこまで遊びに行ってわいわいと騒いだのを覚えております。小田さんは、戦争中は海軍におられたはずですけれども、帰ったときに、海軍のレーダーアンテナをもらい受けて、それを小学校の建物の屋上に据え付けて太陽からくる電波の観測を始めたのです。そこで私は小田さんから多少電波物理の知識を得ました。



ph04　　南部

[Slide 6]

[slide 6] この写真ははその頃の、いわゆる素粒子部分の若手も含めての主な幹部です。これは1952年だと思います。この建物（湯川記念館）が正式に発足したのが1953年かと思いますけれども、そのちょうど1年ほど前にまだ私は大阪市大におりました。そのとき若手を含めて準備委員会が設立され、準備委員として集まった人たちです。お顔は皆さん、判らないかもしれませんけれども、前列が右から坂田、朝永、湯川、荒木源太郎、後列は左から尾崎正治、内山龍雄、伏見康治、宮島龍興、武谷三男、中村誠太郎、木庭二郎、谷川安孝、小林稔、それから私です。

時間がないので、QEDの発展（slide8）については話を始めたらきりがなく、ご存じの方も多いと思いますのでこれを飛ばします。ハドロンの対称性（slide9）も同じだと思います。

3. 多体問題, 相転移, Cooperative phenomena、S-matrix

Ising Model--Onsager solution (伏見、庄司、Kaufman)
場の理論と核力

Plasma theory--(Bohm-Gross, Bohm-Pines)(@大阪市大)

Dispersion theory--Goldberger, Low, Chew

超流動, 超伝導--(Feynman, Schafroth, Froelich,
Bogoliubov, Landau-Ginzburg)

[Slide 7]

私の学生時代以前に、量子力学が1925年に出て、それからたちまちDirac方程式や、場の量子論に発展しました。1930代の初めごろからは原子核の構造や核力というものの性質がわかってきました。しかしながら、根本的には、まず場の量子論というのがどこまで信用できるかということすらまだ疑問でありました。というのは、皆さんご存じのように、無限大の困難があるからです。それで

4. QED の発展
1946 Lamb shift
南部・小野picture(J. Welton. 木庭)
1943--1948 朝永理論の展開
木庭、 (繰り込み理論)
福田、宮本、(γ decay)
武田、 (Dyson formalism)
木下、南部 (spin 1 QED)
坂田、梅沢 (renormalizability)

[Slide 8]

Heisenberg などの学者たちは、量子力学というのは原子物理の問題を解くために生まれたものだが、核力となるとスケールが 100 万ほど違うので、そういう領域の問題を解くには、量子力学に代わる新しい力学が必要ではないかという先入観を持っていたと思います。すなわち現代のプランクの長さと同じような意味で、ただもっと低いところにリミットがある、例えば電子の質量の 137 倍、そのへんがリミットではないかと Heisenberg は考えたわけです。それならば、一種の現象論的に、つまり核力の場というような具体的な理論によらないで、実際に観測できる粒子の反応過程をその一般的な性質から記述していこうという立場で、S-matrix の理論を Heisenberg 自身が始めたわけです。原子核反応では、入ってきた粒子と、出てきた粒子があります。核の内部のどこに何が起こっているかは観測できないけれども、その散乱断面積の一般的性質は記述できるだろうと。その上、例えば bound state の存在という問題がありますけれども、これも S-matrix の analyticity から、散乱振幅を解析接続すれば出てくるということを主張しました。ただしそれがいつも成り立つとは限らないことは、あとで解ったことです。

5. Hadron physics
1947 pion、strange particles
pair production theory
(南部・西島・山口, A. Pais)

対称性の追求
1953 中野・西島, Gell－Mann
SU(3) 1961 Gell-Mann-Ne'eman-IOO-YY

ハドロンのスペクトルとRegge軌道
坂田・武谷哲学
Chew's bootstrap theory
duality

[Slide 9]

それからもう一つの先入観といえば、素粒子の種類というのは、今我々が知っているものしかないということです。例えば electron、proton はありますが、それ以上は考えていませんでした。素粒子の数は、非常に限られていたということです。それで例えば中性子の発見は、非常なショックだったようです。Dirac 曰く、素粒子が２つあるのでも少し多すぎる、だけど、２つあるなら、もう１つあってもいいのではないかと言って中性子を認めたらしいです。Dirac が Dirac 方程式を立てたときに、負のエネルギーのところを、proton 状態として同定しようとしたのは、そういう先入観があったからではないかと私は思っております。

また今度は中間子というものが出たとすると、素粒子の新しい粒子が出たということでこれは非常な驚異だったのです。でもそうすると、中間子というのはたった１つであり、これが強い力を担う唯一の新しい場であるというふうに、また、考え始めたわけです。ですから、いつでも素粒子の数というのは、なるべく少なくという先入観が続いているのです。

6. Gauge invariance, SSB, and mass

Yang-Mills-Utiyama gauge theory (1953)

rho and omega meson

Sakurai vector dominance theory (1960)

BCS理論のhadron physicsへの適用(1959-60)

Nambu-Goldstone theorem

[Slide 10]

ところが、不思議ですけれども、坂田さんは素粒子の数はいくらあってもいい、無限にもあるかもしれないということを、平気で言っておられました。そういうひとつの先入観というのですか、在り方みたいなものの意識があると、どういう成果であっても非常に大きな影響を与えます。例えば、2中間子論という問題がありまして、湯川さんが予言した中間子、いまではpionと言われていますけれども、それらしい新しい粒子を宇宙線のなかでCarl Andersonが見つけた。続いて仁科グループも、その質量が電子の200倍くらいだと決めた。だからこれはpionに違いないと考えるのは当然です。ところが実際にだんだんと調べてみるといろいろな理論的な矛盾も出てきたのです。それで湯川グループのみならず、ヨーロッパやアメリカのいくつかのグループが一所懸命、中間子のspinとかparityとか荷電の種類とか、いろいろな可能性を組織的に検討し、すべての現象のつじつまを合わせようとしたのですけれども、どうもうまくいかなかったのです。

ひとつの可能性として混合場の理論という、spinのゼロと1とを組み合わせる考えがありました。なぜかというと、核力ポテンシャルのsingularityがキャンセルされて少なくなるという御利益があるのが一つの理由だったのです。そういうことから、mesonには、多種類あってもいいのではないかという考えがだんだん出てきました。

谷川安孝さんはそのアイディアを発展させて、宇宙線の中の粒子には2種類あると考えたのですけれども、それを換骨奪胎して、坂田・井上が、片方はspin 2分の1と、片方はspinゼロという割付をし、その予言がうまく的中したのです。

先週、大阪の科学館で、私は出席できませんでしたが、日下周一というプリンストンで亡くなった日本人の追悼のシンポジウムがあったはずです。日下という人は、実はもともと大阪出身で、お父さんと一緒に、小さいときにカナダに移住して、それからバークレーでOppenheimerの弟子になった人です。それでそのころまで宇宙線の研究をしていました。R. F. Christyと日下、どちらも大学生ぐらいだったと思いますけれども、彼らは宇宙線と大気との相互作用の計算をして、宇宙線のspinはゼロか2分の1でなければならないという結論を出しております。ですから、坂田さんが2中間子論を出したときも、そういうことが念頭にあったのではないかと思います。

話は少し戻りますけれども、私が東大にいたときには、前に言ったように素粒子論はありませんでした。素粒子論というのは、天才でなければ行くものじゃないと決め付けられまして、われわれ有志は少しがっかりしたのですけれども、それならば、くそと思って、われわれといっしょに勉強しようということで、林忠四郎さんもそうだったと思いますけれども、朝永・湯川合同セミナーというのが理研でありましたから、近くだったのでときどきそれを拝聴に行きました。朝永さん、仁科さんが、最近の情報を常に披露されるわけです。Christy-Kusakaの話もそこで聞きましたし、また、そのころ名古屋におられた坂田さんが、朝永さんに手紙を書いて2中間子論の報告をされました。それは私が卒業する直前なのですけれども、非常に印象が深かったので覚えています。核力のタイプについてもよく議論がなされました。そういうわけで、私が東大に戻ってからも、核力のポテンシャルを、場の理論からどのように導き出すか、ということをかなり勉強しました。

しかしながら、それはそれとして、私の場合、シカゴに話が移るのですけれども、そのころの素粒子論では、まだ場の理論が正しいかどうか、使えるかどうかは確立されていませんでした。もちろん

繰り込み理論が出たということが非常に大きな刺激を与えて、繰り込み理論が正しいだろうということになったのですけれども、ほかの場に対する適用という問題がありました。例えば繰り込み理論の可能性ということが問題になりまして、坂田さんとか、そこにおられた梅沢博臣さんとかがそれを強調されたことが印象に残っております。まだ場の理論は一般に使えるかどうかわからなかった時代でした。

それで、相変わらず、S-matrix 理論の研究が盛んだったわけで、その一環として分散理論というのがありました。これはつまり、S-matrix に条件を付けて性質を制限するわけです。まず unitarity、それから time reversal とか、そういうものがありますけれども、その上に、いわゆる analyticity が、性質に大きな制限を与えます。それで、散乱振幅の実数部分と虚数部分との間に分散公式という関係式が成り立つのです。その結果、散乱の全断面積と、個々の反応の散乱振幅との間に関係が出てきます。それは私がシカゴにいたときに、私より1つぐらい若い教授の Goldberger が始めたもので、彼のもとに、東大から宮沢弘成さんも先に来ておられました。それで私もそれに関わって分散公式の追求に努めたわけです。それはそれなりに成功しましたけれども、だんだんと数学的な方向に走ってしまいました。

私がアメリカに行った頃、いわゆるロチェスター会議というのが始まりました。これはロチェスター大学の Robert Marshak という新進気鋭の理論屋が、世界中の学者の協力を促進するために始めたものです。初めは国内だけでやって、20 人くらいの会議だったのです。私が初めて行ったのは、その第2回か3回目だったのですけれども急激に膨張し、だんだん国際的になって、1958 年には、できたばかりのセルンでロチェスター会議をやったのです。1959 年にはロシアのキエフで開かれました。そのころは冷戦が始まっていましたが、Marshak の努力によってそういう会議が可能になったと思います。

すでに申しましたように、そのころ分散公式の厳密な証明というのが一つの大きな課題になっていました。それを厳密に数学的に証明するのは、前方散乱なら簡単にできますけれども、角度がゼロでない散乱振幅についての analyticity を証明することはなかなか難しいのです。例えばロチェスター会議では、この分散公式をどの角度まで証明できたかが、重要な結果として報告されました。いまとなっては、そういうことはべつに問題にならないのですけれども、一方もっと物理的な考察を進める人たちもいました。

例えば G. F. Chew はシカゴの近くのイリノイ大学にいて、われわれの協力者だったのですが、bootstrap という理論を提唱して流行になりました。彼は東洋哲学的思考を好み、坂田・武谷学派のように大きい影響を与えた人です。それに続いて、ロチェスター大学にいた学生の Tullio Regge が Regge 軌道の概念を導入し、それを Chew が彼の理論に取り入れました。そういう流れがそれから続いて、結局は弦理論が生まれました。ですから、正統的な場の理論はもちろん進んできましたけれども、それ以外に別の流れがあったいうことが言えると思います。

ここでまた立ち帰りますけれども、Yang-Mills-Utiyama のゲージ理論というものがあります。これは画期的なもので、私のプリンストン滞在の2年目でしたけれども、それを彼から聞いて非常に刺激されました。すぐ自分で reproduce しようとしたけれども、できなかったということを覚えています。

その後に内山龍雄さんがプリンストンにやって来られました。内山さんは、プリンストンに行くならどうせ論文を書かなくてはいけないから、それならば今から書いておこうと、それまでの仕事の成果をまとめて来られました。しかし向こうに着いたら、Yang が同じことやったと聞き、彼はがっかりして発表を諦めてしまいました。ところが、実は内山さんはヤング・ミルズ場の理論だけではなく、重力場の理論にも同じアイデアを適用していたので、2年ほど遅れてそのぶんを強調して論文にされたということを聞いております。

だいたい 1950、1960 年代というのは、大きな加速器ができまして、それで hadron physics が爆発的に発達した時代です。いままで、核力の元になるのがいわゆる湯川の pion だけという先入観があったのですけれども、それどころではなくて続々とたくさん新しいメソンやバリオンが発見されました。もちろん、坂田さんたちの立場からすれば、素粒子の数はいくらでもあると言っておられたのですから、それを当然と思われたかも知れません。例えば、私が武谷さんと東大で話し合ったころには、neutrino というのは、いくつもあってもいいということでした。neutrino は、fermion であってもいいし boson であってもいい。彼らはそういう非常に flexible な立場であったと思っています。ρ とか ω のメソンが出てきたのは、たしかに一つのショックであったのですけれども、考え方を変えれ

ばそれは当たり前だったとも言えます。

私はそのころ、坂田・武谷の哲学というものに非常に影響を受けていました。湯川理論もそうですが、彼らの立場では、現象の背後に実態を仮定し、モデルを作って現象の解釈をしようとします。当時核力理論のなかにいろいろ問題がありました。例えば斥力がないと困る、つまり飽和性の問題、それから form factor の問題です。細かい話になりますけれども、neutron の charge form factor というのは、どうもゼロらしいという結果が出ていました。私は、それを実態論的に解決するには、中性の spin 1 の meson があればいいという考えを出して発表したことがあるのです。同時にこれが核力として斥力を与え、核力の飽和性を説明できるというご利益もあります。omega meson が実際に発見されたのは、それから少しあとでした。でも、私のアイデアはあまり注目されなかったと思います。私が学会で話したときに、Feynman が何か怒鳴ったらしいですけれども、何を言ったのかわかりませんでした。

さきほど Yang-Mills の理論ができましたけれども、これのもともとの動機は、核力に対称性、つまり isospin symmetry があることに由来しています。1930 年代に核力の性質としてこういうことがだんだんとわかってきました。湯川さんが初めに提唱されたのは電荷を持った中間子で、核力は proton と neutron の間の交換力だけです。これは Heisenberg が言い出した、つまり強磁性の場合の交換力とのアナロジーから出てきたものですが、それだけでは困る。proton と proton、neutron と neutron の間にも、直接働く力がほしいわけです。それで、isospin symmetry を満たすために、isospin 1 の pion とかを考えたほうがいいということになりました。それを理想化して考えたのが、Yang-Mills のゲージ理論だということです。けれどもゲージ場は、質量がゼロでなければならない。これをどう解決するかが大問題でありまして、それは誰にもわかりませんでした。

この問題を追及して行けば、最後には Weinberg・Salam のような理論に到達するわけですけれども、その前に J. J. Sakurai の vector dominance の理論が相当な影響力を持っていました。桜井純さんは、日本生まれですが、ニューヨークの high school へ行きました。それは Weinberg、Glashow なども出た、サイエンスに強い有名な学校です。彼はロチェスター大学の学生の頃から頭角を現して、vector dominance 理論のほか、V − A の理論に関しても、Feynman・Gell-Mann、Marshak・Sudarshan に似た考えを持っておられたようです。われわれは大学出たての彼を、すぐに助教授に採用しました。桜井さんはシカゴにいる間ずっと、vector dominance theory を展開していました。これは一種の現象論で、つまり ρ メソンのようなベクトルメソンをゲージ理論と同じような形で記述し、ただ質量の項があるという点だけを仮定して付け加えます。そういうことをやっていくと、いろいろな現象をうまく記述できるのです。後に坂東さんたちはこの考えをさらに発展されました。

それとは別に、直接関係はないのですけれども、私が偶然に接触したのが BCS 理論です。もともと、東大で物性論の影響を受けたおかげで、ずっと今まで興味を持っているのは、なぜか知らないけれども多体問題です。P. W. Anderson は「Many is different」ということをよく強調します。つまり、多体問題には一体問題や二体問題と違った新しい性質が表れるということです。なぜこんなものに私が興味を持ったかというのは、やっぱりそういうことだったかもしれません。

これは余計な話かも知れませんけれども、私が high school の頃に読んだ本に、エンゲルスの『自然弁証法』というのがありました。そのなかで、彼は相転移と社会革命とを比較して、同じ現象だということを強調しています。そのようなことは、つまらないアナロジーだと私は思いましたが、とにかく何かそういう種類の興味を持っていました。

[slide 7] まず Ising Model について。東大に泊り込んでいたときのことです。戦争中に出た Onsager の有名な厳密解を久保さんのグループが取り上げて、隣の部屋で議論しておられました。私も Onsager の論文を同室の岩田義一さんから習って、一所懸命にそれを簡単にする方法を考えました。これが私の最初の仕事になりました。ほとんど同時に、阪大では伏見さんと、そのお弟子さんの庄司彦六さんも同じような理論を展開されました。しかし直後に pion と Lamb shift が発見されるという大事件が起きたので、私は単なる数学的問題と思われた Ising Model をすてて、直ちにこれらの新しい問題に取り組むことにしました。

そういう因縁で私はアインシュタインと話をすることができました。私がプリンストンにいたとき、Onsager の学生であった Bruria Kaufman も有名な論文を書きましたけれども、彼女がたまたまアインシュタインの助手をしていました。この Kaufman のとりなしで思いがけなくアインシュタインと面会して、30 分ほど話をすることができました。あとで聞くと、このことが Oppenheimer の耳に入ってご機嫌を損ねたということです。

それから、これは私が大阪市大に移ったころ、プラズマの理論がでました。理論としてはLangmuirという人が1920年代に最初の理論を立てたのですが、戦後になって、David Bohmとその学生のGross、Pinesたちが場の理論を使った現代版を発展させました。私はそれに感銘を受け、大阪市大で彼らの論文を同僚といっしょに勉強したのを覚えております。その影響で、私がプリンストンに行ってもそれを続けて追求していました。その頃、私は核力の問題で未解決なものとして、飽和性の問題とspin-orbit couplingをどうやって出すかということに頭を悩ませていたので、その理論を使って説明をしようと、さんざん苦労したのですけれども、結局ものになりませんでした。それは実は、坂田流に実体論で一部は解決されるべきだったもので、プリンストンで一緒だったRobert Jastrowという人が、斥力の存在を仮定して飽和性を片付けました。後の私のベクトルメソン、すなわちomega meson、はその実体の一部だといえるでしょう。spin-orbit couplingの問題はいまだに残っているようです。

それから超流動、超伝導ですけれども、これも学生時代から興味を持ちまして、アメリカに移ってからもfollowしていたのです。例えばFeynmanが超流動の理論を立てましたが、これはお話みたいなものであまり感心しませんでした。

M. R. Schafrothという人は、オーストラリア人ですが、シカゴで理論の長老格Gregor Wentzel（WKBの「W」）の弟子なので、彼のbose gasの超流動の仕事を知りました。もちろん、ボソンに対するBogoliubov変換や、LandauのFermi liquid、Ginzburg-Landauの理論などがあることは知っていましたけれども、残念ながらあまり勉強はしていませんでした。

1957年だと思いますけれども、イリノイ大学でまだBardeenの学生だったRobert SchriefferがわれわれのところでＢＣＳ理論のセミナーをしたということがありました。いわゆるＢＣＳ理論がまだ論文にはなっていなかったときで、Wentzel先生が彼をを招いたのです。私はそれが現象を非常によく説明するのに感心しました。でもすぐ気が付いたことですが、彼らが使っている固有関数は、異なった荷電を持った状態をたくさん重ね合わせたものです。そうするとゲージ不変性は当然破れている理論で、マイスナー効果のような電磁的問題を説明できるというのはおかしいと思い始めたわけです。関心はもともとあったとしても、超伝送を真剣にやろうというわけではなかったのだけども、気になり始めたのです。それでその問題をいろいろと考えて、解決に２年ぐらいかかりました。結局、ゼロモード、いわゆるNambu-Goldstone(NG) modeが誘導されて、そのためにゲージ不変性、あるいはWard-Takahashi identityというものが救われるということに気が付いたわけです。

N. N. BogoliubovとJ. G. Valatinが独立に発見したことですが、BCS理論の中のフェルミオン準粒子は粒子と穴とのlinear combinationの状態として記述され、それに対するDirac方程式に似た二成分の波動方程式ができます。そのかたちを見ていると、energy gapの項が、Dirac方程式の質量の項に形式的に非常に似ているということに気が付きました。それならばいっそのこと、素粒子にもBCS理論を使ったらどうかということを考えました。

その前に、実は弱い相互作用に関するV-Aの理論が出ていましたが、その中でchiralityの問題というものがありました。chiralityは、Dirac電子に質量があるために破れているわけです。しかしVやA型の相互作用ではchiralityは保存され、しかもVとAのカップリングがほとんど同じです。それがなぜかという問題がありました。

そのころ、これも一種の現象論的な観察ですが、Goldberger-Treimanの関係というのがありました。pionが$\mu + \nu$に崩壊する過程のカップリングと、普通のベータ崩壊のカップリングのあいだの経験的関係式です。それが何から出ているかということは謎でありまして、GoldbergerとFeynmanがそれに対して摂動計算をしていますけれども、根本的な理由はわからなかったのです。ところがたまたま、ＢＣＳの理論を応用すれば、もともとchiralityが保存されていても、それが自発的に破れうるという結論が出てきます。破れたためにpionに相当するNGボソンがinduceされます。pionがchirality currentの保存則のなかに自動的に入ってくるから、Goldberger-Triemanの関係も自然に説明できるということに気が付きました。ただ、そこで一つ問題になるのは、pionに質量があるということで、NGボソンの質量はゼロでないと困ります。それで私は、一つの大胆な飛躍だったと思いますけれども、nucleonの質量に比べればpionの質量は小さい。だからそれを無視してまったら、よい関係が成り立つということに気が付いたわけなのです。1959年にキエフで初めてロチェスター会議があったときに, B. Toushekのニュートリノのカイラリティーに関する講演の後でコメントとして発言しました。残念ながら、そのころソ連は、まだ戦後１４年しか経っていませんでしたから、非常に社会的に惨めな状態で、そのプロシーディングが出るのに２年かかりました。いまでも持っていま

すけれども、開けるとすぐにぱらぱらとなってしまう状態です。そのあとに出た論文のほうが早かったわけなのです。

その次は、ハドロンの基本粒子として何をとるかという問題でした。もちろんそのころはまだクォークなんてなかったですから、nucleon をとるのが自然でした。それから相互作用は何をとるかという問題で、例えばゲージ場のような力が当然だと考えられるのですけれども、それではいわゆる高次の過程とか、繰り込みの問題とか、いろいろな問題がありまして、どうしても文句をつけられる可能性があります。それで思い切って、もっと簡単化して、つまり essential なところだけを示す数学的なモデルとして、BCS 理論と格好は同じすけれども、4-フェルミオンの相互作用をとりました。実は、Heisenberg が戦後に出した統一場の理論というのがありまして、これも同じような 4-フェルミオンの理論です。しかも自由度、すなわち素粒子の数、をできるだけ減らそうとして、普通の 4 成分の Dirac fermion を 1 個しか使いません。それでは、いったいどうしてアイソスピンやストレンジネスのような内部自由度が出るかが問題なのですけれども、彼は一種の手品を使いました。真空にそういう自由度をもたせるのです。その justification としては、彼の有名な強磁性理論のアナロジーを使っています。ですから spontaneous symmetry breakdown という概念は、彼の頭の中にはあったようですが、それを explicit に数学的な定式化はしなかったのです。それから発散の問題がありますが、繰り込み不可能な発散ですから indefinite metric という手品を使ってます。それで、あまりにもアドホックな仮定が多く、基本概念がはっきりしないので誰もまじめに受け取りませんでした。

結局、Heisenberg の motivation とは、素粒子論の問題は対称性であり、対称性を与えれば問題は解けるという考えにあったようです。彼は 4-フェルミオンの相互作用をもっとも簡単なものとみなし、その中で最も対称性の多い axial vector 型をとりました。そこから何でも出てくるべきだと思ったのでしょう。彼の親友 Pauli も初めは彼の理論に乗ってきて一緒に協力したのですけれども、すぐ幻滅を感じて手を切って、逆に今度は反対派になって、これはナンセンスだと言いだしました。1962 年頃にセルンでロチェスター会議があったときに、Heisenberg が progress report をして、fine structure constant を計算したら、値が何分の 1 とかになったとか、そういう話をしました。そうするとすぐ後で、Pauli が演台に立ち上がっていまのはナンセンスだと Heisenberg をこき下ろすわけです。Heisenberg がすぐ反論する。それが 2、3 回繰り返されました。ちょうど政党の立会演説みたいで、非常に印象的でした。そのあと、私は Heisenberg の研究室を訪ねて、彼と会談をしたのですけれども、特別の印象は受けませんでした。

Hadron 物理への応用は、一応、成果が見られたと思いました。それからそこで気が付いたのは、いわゆる Nambu-Goldstone の定理というのは非常に一般的なものだということです。例えば音波がその一つの現れで、結晶では、並進不変性がディスクリートになものになってしいます。そのために、結晶のなかで音波が生ずるのだと解釈できます。それで、物性現象のなかで例を集めてから、それを一つの論文にしようと思っていたのです。

なぜかというと、昔、朝永さんに、1 つの論文にあらゆることをたくさん書くのはよくない、一つ一つにしなさいと言われたことがありまして、それが念頭にあったのです。私の仕事についてアメリカで初めて発表したのは、イタリアから来た若いポスドクの協力者、Jona-Lasinio が中西部の理論物理学会で報告したときです。そのプレリントが出た 2 週間後に、Goldstone からプレリントがきまして、われわれのプレリントを引用したあと、例の Mexican hat 型のポテンシャルを例としてあげ、ゼロモードの存在を述べています。これはしまったと思いました。

そのあと、私はハドロンの力学に努力を集中しました。そこでの Nambu-Goldstone モードの性質、すなわちソフト pion という問題についてちょっとお話します。いかにして実験的にそれを検証するかということをいろいろ考えまして、soft pion の定理というものをつくり、学生といっしょに追求しました。最後に今度は weak interaction への適用を考えました。そのころ原康夫さんがシカゴにポストドクとして来られたので、一緒に仕事をしました。続いて Adler いう人が、これをもっと精密化し、いわゆる chiral perturbation という方法が発展したわけです。

これはあと何分ですか。時間が過ぎましたね。一応それじゃあ、これで終わりまして、もし質問があったら、ふたたびまた、お答えしたいと思います。

討論

九後：前に個人的には聞いたかもしれないのですが、1959 年の gauge invariance in super conductivity という論文では、Goldstone の定理が出ると同時に、マイスナー effect で photon が

massive になるということがちゃんと書いてあったと思うのです。Goldstone に Goldstone の定理をやられたのは、しまったと思われたといまおっしゃったのですけれども、それからヒッグスの論文が出るまでに4年か5年かかかりましたね。それまでにだから、ヒッグスの定理というか、ヒッグス・キッブルの定理というか、あそこらへんの formulation を、ひとこと言っておこうというのは、どうしてされなかったのかということなのですが。

南部：まず質量の証明というと、Meissner effect があるから、当然、ロンドンの方程式が出る必要があるわけです。質量がでるのは当然だと思っていたのですね。あとから言われると、なるほどと思いますが。私の gauge invariance の論文にも、Meissner effect を出すということを最後に書いたと思うのですけれども、読まれていなかったようですね。しかしそれ以上、特別に追求する考えはなかったわけです。

実は私もあとから言われればそうなのですけれども、例えば桜井さんの、いわゆる vector dominance に私も非常に関心があったはずなのですけれども、むしろ私はハドロンのほうに、つまり私の chiral symmetry を完成させようと思って、そっちのほうに勢力を注いでいたのではないかと思っているのです。それで、Higgs と Brout-Englert の論文がでたとき、実は私がレフェリーだったのですが、それを見て非常に感心して、すぐ出せということで encourage をしたということは覚えています。

それから、Higgs の大きな論文が出て、Oppenheimer がシカゴにやって来たとき、Higgs の論文を見て初めておまえの考えがわかったと言われたのを覚えています。

益川：先生のお話をうかがっていると、当時のアメリカの雰囲気について、つまり先生は比較的ラグランジャンを書くことは、平気でやっていたと言いましたよね。だけどあの当時は、日本ではラグランジャン書いて話をするということは、たいへん勇気のいることでした。

南部：湯川さんの論文を見ると、いまのような方式じゃないですけれども、ちゃんと書いてありますね。例えば vector meson をやるときも、普通の minimal coupling と Pauli 的な coupling の2種類あるということを非常に気にしておられるのです。それで Pauli coupling のほうがいいとか何とか言われるのです。湯川理論を発展させながら場の理論も発展させていくという時代でしたから、いろいろな人が、例えば Kemmer がベクター場について Duffin-Kemmer の一次方程式を書くとか、いろいろな試みがあります。両方を並行的にやっていたのです。

益川：そういう意味では、日本は懐が狭いのかな? 1960 年代に Lagrangian を書くというのはたいへん勇気がいったことでした。ゲルマン・オックスレンナーが、1968 年に論文を書いたときに chiral perturbation をやるものですから Lagrangian なしに書けないのです。そのときに、Chew といえども energy momentum tensor のゼロゼロ成分は認めるだろうといって、ラグランジャンの代わりに energy momentum tensor を使うのです。ああいう雰囲気の中で先生は比較的気楽に Lagrangian を書いておられたのですね。

南部：どうでしょうね。もちろん私はそれだけじゃなくて、いろいろなほかの試みもたくさんやりまして、例えば Veneziano の公式が出る前に、高林さんも同じですけれども、無限成分方程式というのを1年間か2年間ほどでやりました。結局、ハドロンというのは、無限にたくさん状態があるのだから、hydrogen spectrum のようなもので、それをひとまとめにした master equation というものを探したわけです。それで、私は群論の表現論なんかの知識が足りないので、それを1年間ほど勉強したのです。その練習問題として、そういうものを取り上げてみたのです。そしてやってみたら、偶然ですけれども、ローレンツ群のユニタリー表現を使い、無限個の質量スペクトルをもつ方程式が出てきたのです。あとで知ったのですが、これは Majorana が既に 1932 年ごろに最初にやっています。なぜ、Majorana がそれをやったかというと、1932 年に Dirac 方程式が出ましたが、それには negative energy の解がありました。それが Majorana の気に入らなかった。それに成り代わるような negative energy がないものを作ろうと探した結果、彼が見つけたのがその無限成分方程式なのです。ところがおかしいことには、スピンが大きくなると質量が下がってきて、ゼロに収斂するのという非常に不自然な性質をもっています。実はその論文が出る前に、ポジトロンが発見されたので、彼の仕事は忘れられてしまいました。

私のはそれを少し拡張したものですから、ゼロには収斂はしないけれども、ちょうど水素原子の場合のようにある上限に収斂し、その上は continuum になります。実際、シュレーディンガーの水素原子の方程式をそのように書き直すことは、つまり形式的に書き直すことはで

きるわけで、それを１、２年追求したけれども、結局、無限成分方程式の計画は潰れてしまいました。なぜかというと、場の理論としては、ノンローカルになったりＣＰＴが破れたり、根本的な問題があったのです。例えば、positive energy しかなく、negative energy がなければＣＰＴが潰れます。そういう問題がありまして、結局、おじゃんになったのです。その矢先に Veneziano の公式が出たわけです。それで、これはと思って改めて気を取り直して、その Veneziano の公式の出るもとは何かということを調べ始めました。Veneziano の公式にも無限個の resonance があるわけで、それらを Bright-Wigner の式の和に書いてみてどうなるか、一つの resnonance のところにどれだけの状態があるか、しかもそれらの residue が正でなければ物理的な意味がない、などということをまず調べたのです。ちょうどポストドクの P. Framptonn という人がいましたので、彼と一緒に調べました。だいたい residue は正であり、それから degeneracy の傾向もわかってきました。そのあと木庭・Nielsen の有名なベータ関数の式が出ました。いわゆる multiperipheral model というものですか、いくつかの粒子が入ってきて、いくつかが出て行くというダイアグラムに対する木庭・Nielsen の表現を Bright・Wigner の和に分解する一般方式を見つけたのです。その式を見ていると、実はそのなかに無限個の harmonic oscillator が入っていて、それがちょうど一次元の弦の振動のスペクトルと同じであるということに気が付きました。しかもその弦の端に粒子との相互作用があるという描像ができたわけです。そこで、その背後にある実体は何かと考えたら、紐であるということにすぐ気が付きました。外から入ってくる粒子は外場として取り扱われていますが、実はそれらも紐であって、紐と紐がぶつかって、そして一つに融合するという描像ができたわけなのです。

益川：謎が解けました。1969 年のときに、突然５次元量を導入してストリングが出てきたのはびっくりしました。

南部：trajectory intercept を正しく出すためには５次元か６次元かが必要になるのです。しかし、私はもちろん、Kaluza-Klein の理論というのは知っていましたけれども、まだ真剣に、そこにつながるとは考えていませんでした。なんだか不自然であって、しかも６次元でやっても、必ずうまくインターセプトが出るとは思わなかったのです。結局は、紐理論、いわゆるハドロンの紐模型はだめだということが結論されたのは 1974 年ごろだと思っているのです。1974 年夏、アスペンのいわゆる合宿の研究会にそのころの研究家のほとんど全部が集まったのです。そのときの結論として、どうもこれはだめだろうということになったということを、吉川さんから聞きました。私はそれを、はっきり覚えていないのですが。吉川圭二さんは、もちろんご存じでしょうけれども、Veneziano 振幅の unitarization、紐の場の理論、T duality などに大きな貢献をされました。

益川：どうも、座長の特権で、どうしても私の関心のあることに議論が飛びましたけれども、せっかくの機会ですから、どうしてもという方がおみえでしたら、お一人だけ。

佐藤$_{文}$：いまのハドロンの紐を、先生がある期間やっておられるときの、紐というもののイメージというかレベルというか、物性論的な何かイメージで考えておられたのですか。さっきのラグランジアンであるとか、何かその解であるというのは、どういう位置付けでやられておられたのですか。

南部：それは、単に数学的な、数式を見ただけの話なのです。

佐藤$_{文}$：論文からはそのように読み取れるのですが、先生のもうひとつ内面では。

南部：内面では、それは無意識にあったかもしれません。

佐藤$_{文}$：多体の能動的なイメージだったのですか。

南部：そういうイメージがあったとは必ずしも思えないですけれども。湯川さんがもともと非局所場を始めまして、それからその流れで高林さんがそれを取り上げて、この紐の理論のほうに持っていかれたわけです。ですからそういうイメージは、高林さんは持っておられたと思います。それから Susskind にも同じようなイメージがあったのではないかと思いますけれども、私自身としては、ただ式を眺めて、先入観なしに眺めて、それが紐だと。紐か、あるいは一次元のキャビティを考えたので、そのように論文の中に書きました。それから先は、今度はそれを真剣に取り上げて、紐だとすれば、紐の古典的な action というのは、膜のようなものであるることに気が付いたのです。それは 1970 年、キエフでロチェスター会議がありましたが、その前にコペンハーゲンで木庭、Nielsen たちがシンポジウムを開いたのでそれに招かれたのです。講義を頼まれましたので、先に原稿を作って送っておきました。講義ですから、気軽に、憶測で

も何でも自由に書いたわけです。World sheet のラグランジアンも書きました。Virasoro 代数の右辺の形をはっきり覚えていなかったので消してあります。送っておいたのはよかったのですけれども、実はそこに行く前に、アメリカ大陸を横断しているときに、車が壊れて3日間砂漠のなかに立ち往生したのです。それで結局、飛行機に乗り遅れて行かずじまいになりました。

これに関してもう一つ話があります。これも sociology のようなものですけれども、1970年、今の NSF のような役割をしていた国防省が突然予算削減をしたので、たくさん首切りが出たのです。ポスドクがどんどん首を切られたので、非常に憂鬱な時代でした。A. Wightman と私が物理学会長の Marshak に頼まれて、失業状態のアンケートをとったということを覚えています。ポストドクがニューヨークでタクシーの運ちゃんをやっているという報告もありました。そういうわけで私も非常に憂鬱なときだったので、砂漠の事故のあと、がっかりして、講義の内容を本論文にする気になれなかった。あとで当然、議事録が出るだろうと思っていたころが、実は出なかった。コペンハーゲンに送った原稿を実際に見た人はほとんどいないでしょうけれども、あとで幸いにして、一般に引用してくれまして、ありがたいと思っております。この原稿は私の論文集と S. Wadia が編集したインドの winter school の proceedings に再生されています。余談ながら、原稿の中には、当時の話題だった deep inelastic scattering に対する応用も入っています。私は気にいっていたので、この部分を Phys. Rev. Lett. に送ったが、没になったと記憶しています。

益川：まだまだ質問等、せっかくの機会ですので、お聞きしたいこともあると思います。時間のこともありますし、今日は懇親会がありますので、そこでもおうかがいできると思います。一応、ここできりをつけたいと思います。拍手をしたいと思います。

ph05南部, 林, 坂東, 大沢, 九後, 佐藤$_x$, 矢崎, 小沼, 川上, 田中$_-$, 早川, 国廣, 江沢, 丹生, 大久保, 大貫, 中西