

講義の前座話

藤田 丈久

はじめに

これまで物理学の解説書を書いた時、読者が少しでもリラックスできるようにと閑話休題を載せている。これは講義における「前座話」をベースにして書いたものであるが、ここではそれらを一つの本としてまとめて見ようと思う。最近「若手研究者受難の時代」と言われているようだが、このような時にこそ「無駄話」が必要かも知れないと思いついたのである。物理の理解を深めるために雑談はあまり役に立たないと思われがちだが、しかしその中にも何かプラスになるものがきっとあるに違いないと楽観している。

昨年（2019年）の秋、ある研究者が「自分の研究室ならこの細胞は企業よりも安価に作成できる」と主張されたのだが、これには仰天したものである。研究室で「もの」が安く作れるとしたら、何か技術的なマジックでもあるのだろうか？若手は即座に反応して「これは研究室がブラックだから」と言う事らしいが良くわからない。職人はより良いものを作ろうとして「時間やお金」には無頓着なものであるが、この研究者は職人氣質とは直交しているのだろうか？

常に何かを学び続けることはそれが何であれ、非常に重要ではある。その時、ゆったりとした気持ちでのんびりと、しかし我慢強く続けることはさらに大切であろう。そして、それをずっと長く続けているとそのうちに、何か良いことがきっとあるものと思われる。しかしながら「ほんのちょっとずつでも進歩する」ということ、それ自体が実は最大の喜びであることは間違いない事であろう。

なお、この本の「独り言」は最近、書いたものであるが、それ以外の閑話休題はすべて2008年頃に書いたものである。このため物理の理解の部分では多少の修正は必要となっているかも知れない。

目次

- 独言：何故, 重力理論発見が遅れた? 1
- 閑話休題 1：小泉のラウエの斑点 7
- 閑話休題 2：西島和彦先生との議論 15
- 閑話休題 3：Max-Planck 研究所での大陸浪人 21
- 閑話休題 4：テニスの上達法 27
- 閑話休題 5：物理は 50 歳台から 47
- 閑話休題 6：講義中の雑談 53

● 独言：何故、重力理論発見が遅れた？

もしも、新しい重力理論が1970年以前に発見され、そして作られていたとしたならば、その後、一般相対論に対しては誰も興味を持つことなどなかった事であろう。1960年代においてはビッグバン模型は単なる「Toy Model」と物理屋は考えていたのである。

ところが背景輻射が1965年に観測されたことにより状況が一変することになる。この発見は非常に重要である。しかしその後すぐに「背景輻射はビッグバン爆発の名残りとして説明できる」という理論模型が提唱され、これを人々は受け入れたのである。さらにこれが劇的に宣伝されたため、定説とまでなってしまったのである。今から考えてみれば、有限な宇宙空間でフォトンが熱平衡状態になる事は物質密度が極めて希薄な宇宙において物理的には到底、不可能な話である。実際、この宇宙における光の平均自由行程は100万光年程度の大きさであり、光を閉じ込める事は到底、不可能である。しかしストーリーとしては面白いため人々が乗ったのであろう。

ここで重大な疑問は「何故、重力理論が場の理論的に作られなかったのか？」と言う事であろう。これは場の理論をかなり深く理解していないとわかりにくい問題であるが、実はこれは「ゲージ理論信仰？」と関係している。長い間「ゲージ理論のみが正しい定式化である」と言う「強い思い込み」をほとんどの物理屋が持っていたものである。そしてこれが場の理論的な重力理論が作られなかった主な原因であると言える。良く知られているように、ゲージ理論だと同じ電荷ならば斥力が働き、異なった電荷には引力が働いている。従って「常に引力の相互作用」を作ることがゲージ理論では不可能であり、この事は勿論、物理屋は誰でも知っていることである。

それでは、何故、人々は「ゲージ理論のみが正しい定式化である」と考えたのであろうか？これは実は繰り込み理論と関係している。場の理論は摂動論しか物理的な観測量を計算することはできていない。ところが QED の 3 次の摂動論で電子の磁気能率を計算すると Log 発散が現われてしまうのである。このため、Feynman や朝永達はこの無限大を波動関数を再定義することで消し去り、電子の磁気能率の実験値を再現したのである。この繰り込み理論が一世を風靡してしまい、このためゲージ理論による場の理論模型のみが繰り込み可能で正しい理論形式であると言う主張がこれまでまかり通って来たのである。

ところがこの無限大が現れた原因は Feynman の伝搬関数を用いた事に依っていたのである。実際、正しい伝搬関数を使うと発散はなく、観測量は有限で求められることがわかっている。すなわち、繰り込みは必要ないと言う事である。これが意味するところは非常に重大である。ゲージ理論のみが繰り込み可能で正しい定式化であると言う主張は全く根拠がなく、また繰り込み自体が意味をなさないのである。

それならば重力理論の定式化としてゲージ理論以外の場の理論模型を持って来ればよい事がわかる。そしてスカラー場の理論では「力は常に引力」である事はどの理論屋もよく知っている事実である。

一方 Dirac は「繰り込み理論にはその定式化の何処かに問題がある」との主張 [Dirac, AIP Conference Proceedings 74, 129 (1981)] を持ち続けていた。実はこれに関連して自分には奇妙に映っていた思い出が一つある。それは Dirac の日本滞在と関係している。学生の頃 Dirac の滞在中における様々な挿話をよく聞かされたものである。ところがその話の中で「Dirac は偉大であるが繰り込み理論を理解していない」と言う一種の批判に近い話がそれとなく語られていたものである。これは長い間、自分には妙に引っかかるものであったが、今はその正体が分かっている。繰り込み理論は朝永先生が提唱された理論であり、これが間違っているはずはないと言う強い思い込みが日本の物理屋には必ずあり、暗に Dirac を批判していたのであろう。

これはしばらく前の事であるが、朝永先生の最後のお弟子さんであった佐藤先生に繰り込み理論について議論して頂いた事がある。この時「残念ながら繰り込み理論は間違っていました」と言う説明をしたのである。しかしその時に先生は「それは朝永先生は必ず、喜んでくれると思う」と言って頂いたのであるが、この言葉には本当に励まされたものである。

ここで「科学と詩」についての Dirac の言葉を書いておこう。
In science one tries to tell people, in such a way as to be understood by everyone, something that no one ever knew before. But in the case of poetry, it 's the exact opposite!
(科学では誰も知らないことを誰でもわかるように語る。
しかし詩の場合はその真逆である。)

この部分は「宇宙の夜明け」に書き足したものを転載している。Einstein 方程式が数学的には問題ないのであるが、物理的には矛盾があり、これは深刻な問題点となっている事を解説したものである。

Maxwell 方程式 と Einstein 方程式

Einstein 方程式の問題点を物理的により深く理解するためには、Maxwell 方程式と比較し、検討して見る事が大切である。まずは両者の方程式を書いておこう。Maxwell 方程式と Einstein 方程式は

$$\partial_\mu(\partial^\mu A^\nu - \partial^\nu A^\mu) = e j^\nu \quad (\text{Maxwell 方程式}) \quad (1)$$

$$R^{\mu\nu} - \frac{1}{2}g^{\mu\nu}R = 8\pi G_0 T^{\mu\nu} \quad (\text{Einstein 方程式}) \quad (2)$$

と書かれている。Maxwell 方程式の左辺はベクトルポテンシャル A^μ で書かれていて、これが未知変数である。一方、Einstein 方程式の左辺は Ricci テンソル ($R^{\mu\nu}$) とよばれる量で書かれているが、この Ricci テンソルは計量テンソル $g^{\mu\nu}$ の 2 回微分で書かれている。従って、左辺はすべて計量テンソル $g^{\mu\nu}$ で書かれていて、これが未知変数である。問題は右辺に現われている物理量 (j^μ と $T^{\mu\nu}$) がどのように計算され、求められているかと言う事である。

● Maxwell 方程式の右辺はカレント j^μ :

まず、Maxwell 方程式の場合を考えてみよう。この場合、右辺は電流密度 j^μ で書かれている。従ってこの方程式の物理的な意味は「電流密度があるとベクトルポテンシャルの形が決まる」と言う事であり、未知変数は勿論、ベクトルポテンシャル A^μ である。

それではこの場合、その電流密度 j^μ はどのように決定されるのだろうか？これは自然界を理解するためには最も重要なポイントであるが、この電流密度の求め方はきちんとわかっている。電流密度 j^μ を生

み出すのは多体の電子の運動である。この運動を記述するのは Dirac 方程式であり、従ってこの Dirac 方程式を解けば、基本的には電流密度が決定されることになっている。現実問題としては、電子の運動は大方、非相対論的なので、この場合 Dirac 方程式は Schrödinger 方程式に帰着されている。よってこの Schrödinger 方程式を解けば電流密度 j^μ が求まることになっている。但し、この電子の多体系は散乱問題を含んでいて、非常に複雑な多体問題であり、勿論、簡単に解くことができるわけではない。しかしながら、この問題において、概念的な問題点は何処にも見当たらない。

● Einstein 方程式の右辺はエネルギー・運動量テンソル：

一方、Einstein 方程式の場合、右辺は星の分布関数により求められたエネルギー・運動量テンソルで書かれている。従って星の分布関数が求められると計量テンソル $g^{\mu\nu}$ が決まることになっていて、この $g^{\mu\nu}$ が未知変数である。この場合、右辺は力学変数で書かれているのに、左辺は座標系を表す量になっている。従って、この等号が成り立つと言う物理的な意味は不明である。これは、Einstein 方程式の深刻な問題点の一つでもある

● 星の分布関数を決める方程式：

しかしここではこの Einstein 方程式の等号を認めたとして話を進めて行こう。ここで問題となるのは、星の分布関数を決める方程式は何であるかと言う事である。これは明らかで、重力ポテンシャルが入っている Dirac 方程式が対応する基礎方程式となっている。現実的には、これを非相対論に近似して、さらに古典論近似をして求められた力学の方程式 (重力ポテンシャルを含む) が星の分布関数を決める多体の方程式として充分よいものである。すなわち、Einstein 方程式の右辺のエネルギー・運動量テンソルを決めるためにはどうしても重力場がある場合の古典力学の運動方程式を解く必要があると言う事である。

● 計量テンソルは重力場とは無関係：

この事から明らかなように、計量テンソルが重力場と関係すると言う事はそもそもあり得ないことである。右辺の分布関数を決めるためにどうしても重力場がある場合の古典力学の運動方程式を解く必要がある。そしてその結果として右辺が決まり、Einstein 方程式の解として計量テンソルが決定されている。従って計量テンソルを重力場と関係づけることは不可能である。この事は Einstein 方程式が因果律を破っている問題と密接に関係している。

● 閑話休題 1 : 小泉のラウエの斑点

高校生の頃、私は物理が苦手であった。試験をしても常に出来なかったし、そればかりか、物理が面白いと思ったことがなかった。今となつてはその原因がわからないでもない。高校の物理は現象を教える事はしてもその現象が何故起こるのかの原因を教える事は出来ないのである。例えば、地球が太陽の周りを周回しているが、それが楕円軌道であり、ほとんど平面上を周回しているという事を教える事は出来る。しかし、何故、軌道が楕円であり、運動が平面になるのかという事に疑問を持ったら、それは高校の物理では教える事が出来ないのである。

人によって、現象を学ぶ事が楽しいと思うタイプとその現象が起こる原因に興味を持つタイプと分かれてしまう事はよくある事である。勿論、そのどちらが良いかという問題ではない。しかしながら、ある種の天才は現象そのものに興味を持ち、その現象を自分で再現してみたいと思うようである。日立フェローである小泉英明氏(以下、小泉と呼ばせてもらう)は、その天才の中でも、最も凄みのある天才である。私はその天才に引きずられて物理の世界にのめり込んだと自分では思っている。

大学1年の頃、小泉と私は仲の良い友達となり、駒場寮の食堂でよく一緒に昼食やら夕食を食べたものである。私は浜松の田舎者であり下宿していたが、小泉は東京の良家のお坊ちゃんそのものであった。よく音楽の話になったが、彼はショパンを自分で演奏し、ショパンが音楽の中心であったが、私はもっぱらバッハのみで演奏ときたらオルガンでバッハのトッカータとフーガ二短調がぎりぎりまで弾ける程度であった。従って、むしろ聞く方が専門であり、よく音楽そのものの議論(口論?)になったものである。

1年生の10月のある日、小泉の家に遊びに行った。世田谷の上馬にある豪邸でグランドピアノが3台もあるという家であった。着いてすぐに彼の部屋に案内された。ところが小泉は押入れの中に入っていて「藤田、ちょっと待ってて」と言ったので、自分はぼんやりと座布団に座っていた。その内に小泉が出てきて、興奮気味に3cm四方くらいの小さな「セロハン」の様なものを取り出して私に見せてくれた。「藤田、これをよく見てくれ。薄い小さな白い斑点が見えるだろう。これがラウエの斑点だよ。」一体、ラウエの斑点とは何なのか？その当時、自分には知る由もない。これはX線を結晶にあてるとX線が干渉して斑点を示すのである。「どうやって写真を撮ったの？」と言う質問に、小泉はいとも簡単な調子で説明してくれた。「秋葉原に行って不要になったネオンサイン用のトランスを貰ってきた。それで100ボルトを変換して高電圧を作り、それを真空管にかけてX線を出したのだよ。ほとんどの真空管は駄目になってしまったが、生き延びるやつもあるんだ。だけど一番苦労したのは結晶をどうやって薄く出来るかなのだが。実はこれは菊池正士の本に書いてある。」

もはや、何も言う事はなかった。数日後、駒場のキャンパスで小泉に聞いた。「どうして、ラウエの斑点の事がわかったの？」それに対して一冊の本を取り出して「これに書いてある」と言うのだが、さらっと見てみたが、自分には全く理解できない本であった。

どうも小泉は物理の現象を直ちに捉えてしまう事が出来るらしい。おまけにそれをすべて自分で再現したいと思い、それがほとんどすべて自分で出来てしまうという事である。それに加えて、物理のみならず、自然現象を理解するための直観力は並外れて優れているのであろう。これは最近の事だが、小泉が「飛行機が浮力により空を飛ぶ時、我々はこの原因としてベルヌーイの定理により翼の上と下の空気の流れの差によって浮力が生じているのであると教わってきたが、これはおかしいね。何故かと言うに、飛行機は逆にひっくり返っても十分飛んでいる。あれは、翼を上下に向ける操作が基本的だね」と説明したので吃驚したが、確かにその通りであり、ベルヌーイの定理自体は勿論正し

いが、しかし流体力学をもう少ししっかり理解しなくてはならないと思ったものである。

大学を卒業した後の小泉の活躍ぶりはここでは省略するが、一つだけお話ししておきたい。それは、小泉が大学を卒業して3、4年後の事だが、彼は当時社会問題になっていた「髪の毛中の水銀」の量を Zeeman 分裂を使って測定する手法を開発した事である。この事はノーベル賞候補に上っているが確かに十分その価値はある。水銀原子のエネルギーが磁場をかければ Zeeman 分裂する事は恐らくはどの実験家もわかっていた事と思われるが、そのエネルギーが他の分子の Zeeman 分裂の影響なしに測定できるという事を発見したのは凄い事である。特に、偏光させた電磁波を使う事により、スピン磁気量子数の保存則を利用した絶対測定に近い形で水銀の量を測る装置を開発した事は偉大としか言いようがない。この実験を彼は週末土・日に会社に出かけて実験をしたというのだから、これはもう天才しか出来ない事である。

その小泉とは、テニスをしながら色々な事を議論しているが、その内の重要な問題の一つに青少年の教育問題がある。彼は中高生への理科教育問題を議論している委員会のメンバーであり、例によって、様々な模擬実験を提案している。しかしながら、実は理科教育に限らず、人文系の教育でも問題は深刻である。「理科離れ」と言う事がよく言われるが、現実には「文学離れ」でもあり、基礎的で時間がかかり、一見楽しくは見えない教養・学問が敬遠されているのが現状である。

この問題をどのように解決して行けるのであろうか？教育に「ベスト」な方法は存在しないが、現在の日本の教育では、中高生から大学での学問研究に行く過程において、その「中間的な教育」がかなり抜けていると思われる。どうしても大学受験が中心であり、これは教育の観点からすれば、非常にいびつな事になっている。教育は基本的には「人」であり、この「中間的な教育」を実現して行くための一つの方法に、博士号を持つ人材を大量に高校の先生に採用してゆく道筋を作る事であろう。博士課程において初めて研究の難しさを体験するわけであり、この事を経験した教員を増やす事が大学以前の教育ではどう

しても必要である。この時、博士号を持つ高校の先生には教える時間数の軽減を保障すべきであろう。さらには、博士号を取得した場合、自動的に高校の先生として教壇に立てるようにすべきである。但し、その場合、授業の教授法を訓練する一定期間を必ず設けるべきである。実は、これは大学の先生に対しても「授業の教授法訓練」はいずれ義務にするべきであると思っている。あまりにも授業の下手な先生が多すぎるのである。授業をする上で最も重要な事は、「学生」が理解できる事であるという当然の事が守られていない。ただ単純に講義をしているのでは、自分の知識を伝える事さえ出来ないものである。さらには、講義の準備にはどんなに頑張ってもやりすぎる事はない程大変であり、この事をきちんと認識する事こそが重要なのである。

小・中・高校生の教育に関しては、その目標はおのずと大学教育とは異なっている。小・中学生に対しては基本的な事を叩き込む事が最重要であり、従って単純計算を繰り返し行う事やまた様々な基本的な事柄を徹底して覚えさせる事が大切である。それに対して高校生の場合は、考える基礎を与える事が重要になる。その意味では、現在の入試システムはあまり良くない事は明らかである。特に、センター入試のような4択の問題は避けるべきであり、これは大学人の怠慢とも関係している。各大学が自分で問題を作り、採点するシステムに戻すべきである。この場合、勿論全ては記述式の問題にするべきである。ただ、問題自体は過去に同じ問題がでてそのような事を問題にするべきではない。似たような問題で十分なのである。記述式にしたら同じ問題でも解答は必ず個人によって異なってくるし、それこそが重要なのである。このような記述式の問題にする場合、全ての大学が一斉にしないと成り立たないシステムである。これは明らかで、受験生は必ず簡単な方を受験したがるからである。

この大学入試の悪弊と関連している問題で「物理オリンピック」というイベントがある。これはセンター入試と同じくらい、物理を理解すると言う観点からするとマイナスである。物理を深く理解する事が重要なのに、単純なレベルの物理の問題の解法をパズル的に競う事な

ど最悪であり、教育者としては最も避けるべき事である。ここで恐ろしい点は、それで良い点を取った学生が自分に物理の才能があると錯覚してしまう事である。このレベルの競争に強いことは、余程の例外を除いては、深く理解する能力に乏しい可能性が高いと考えた方が良い。従って、このような学生が研究者になるとまずかなりの確率で「翻訳&リピート」の研究者になってしまう恐れがある。これはいわゆる「東大の秀才」が物理の研究者としては一流になれる人の割合が少なく、また、理解が深くて実力の伴った研究者になる可能性が稀である事を考えれば良くわかる事である。一般的に言って、有名大学の学生が特に「優秀」である事などありえない事は研究者は皆よく知っている事である。この事は有名大学の出身者がその「既得権」を有効に使いたいために出身大学を宣伝していると言う事にすぎないのであり、実力とは無関係である。

それでは、大学での教育はどうであろうか？大学の教育で最も深刻な問題は、大学においても平均的に出来る学生を常に欲しがっているという事である。ところが大学では、その個人の良い点を伸ばすことが最も重要になる事は明らかである。平均点が高いという事はその中に非常に良い点も含まれているかも知れないが、同時に平均点が低い学生のうちで特別に良い点を持っている学生もかなり多い事も事実なのである。ここで怖い事は、平均点が80点の学生と85点の学生の間にも才能的な意味での差があると思込んでいる人々が多いという事である。この矛盾点をどう解決したら良いのであろうか？個人の良い点を伸ばす事が大学教育の原点であるが、自分にはその解決法は残念ながらわかっていない。

大学での教育では、その個人の良さを如何に伸ばして行くかが最大の課題であるが、しかし同時に各個人に日本人としての教養をつける事も非常に重要なことである。物理学の講義の時に、必ず「物理の勉強も大事だが、同じくらい本を読む事が大切である」と常に言って来たのであるが、かなり多くの学生がこの事に対してまじめに捉えている。雑談として学生に話している事ではあるが、「源氏物語」を読む必

要性を具体例をあげて説明している．これは初めてドイツに渡った冬にハイデルベルグでのある研究者が開いたパーティで起こった事であるが，2人の研究者の奥さんが別々に「源氏物語」のかなり細かい内容について質問してきたのである．これに対して「自分は源氏物語を読んでないのでわかりませんと言えますか？」と学生に問い掛けるのだが，この問いかけは，予想以上に学生にインパクトを与えているようである．

源氏とは直接関係はないのだが，大学での教養課程がかなり軽視されているのが現状であり，これは非常に心配である．これは，大学教育を「改革」してきた責任者達自身の教養レベルが近年では昔と比べて著しく低下している事によっている．教養のない「学者」とっては，大学での一般教養は不要に映ってしまうのであろう．今後，大学での教養課程を充実させる事が急務である．教養のない人が研究者になっても，本当に重要な研究発展は期待できない．それは学問は人間の文化の一部であるからで，それ自身が独立して存在するべきものではない事によっている．ただ単なる偶然の発見は勿論可能であると思うが，学問の真の発展はその学問が人間文化の中でどのような位置であるかをしっかり把握して初めて可能になるものである事は言うまでもない．

大学での教育に限らないが，教える事は「はきだす事」である．従って，はき出す事が出来るためには常に供給し続けなければならない．すなわち，教育者は常に勉強していないと「もぬけの殻」になってしまうのである．大学ではこれが顕著に現れている．研究していない先生は教える事さえ出来なくなるのである．言い換えれば，教えていても研究をしていない先生は学生にとって全く魅力のない木偶の坊になっているのである．そして，この事を学生は割合敏感にわかっているのであるが，残念ながら教えている当人は予想以上にわからない場合が大半であり，これは一種の「(悲)喜劇」となっている．この当然の事をしっかり理解して常に努力を怠らない事は大学人にとって必要最低限の仕事なのである．

最後に、大学の教育とは直接関係しているわけではないが、語学教育と理工学の技術教育についてコメントしておこう。「伝達としての語学力」と「理工学における技術力」とは、その教育法自体がほとんど矛盾すると思われるほど異なる手法を必要としているものである。「伝達としての語学力」の場合、基本的には丸暗記が最も重要である。特に、小・中学生にとってはこの丸暗記が極めて重要であり、例えば、算術において九九は必ず丸暗記する必要があるし、漢字もしっかり覚える必要がある。しかしながら、理工学の教育では事情がかなり異なっている。例えば、ある「電磁気学の教科書」をすべて覚えてしまった学生がいたとしよう。この場合、この本に書いてある事ならばどの問題でも正確に答えられるであろう。しかしながら、この教科書に書かれてはいない問題だと、この学生はほとんど応えられない事になるものである。それは明らかで覚える事と理解する事は本質的に異なる作業だからである。

この事は何を意味しているのであろうか？恐らくは、高校生・大学生の場合、丸暗記の教育は控え目にして、理解能力を養う事に力を注ぐ事が重要であるという事であろう。その意味で、日本の大学生があまり英語を話せないからと言ってその事をむやみに嘆く必要はないと言う気がする。さらに言うと、語学力があっても国際的な人材だといっても、結局はその学生の中身が最も重要になる時が来るものである。中身のない国際的な人材は一時的に役に立つ事はあっても、いずれは中身自体を問われる時が必ず来るものである。その意味において、現代における日本の理工学系の技術力は健在であり、アジアのみならず、世界的なレベルにおいても抜きん出ている事は確かであると思う。

そうは言っても、勿論、英語を話せた方が良いに決まっている。しかし、英語会話は必要に迫られてやる方が恐らくはより合理的であると思われる。英語で言ったら、本当の語学力は英語圏の文化をどれだけ深く理解しているのかという事であり、喋れるかどうかは本当の語学力とは無関係である。それにもかかわらず、現実問題として英語が喋れるようになるにはどうしたら良いかとよく学生に質問されるもので

ある．これに対して，何時も学生には言っている事であるが，まずは 500 個程度の英語の基本文章を丸暗記する事が最も大切であり，これが出来ると少しずつ会話が出来ようになるものである．

● 閑話休題 2 : 西島和彦先生との議論

Heisenberg がアイソスピンという概念を初めて導入したのであるが、それは陽子と中性子の質量が非常に近い事によっている。これは、素粒子を量子数で分類するという意味で非常に重要な仕事であった。さらに、この量子数の概念を拡張して、ストレンジネスという量子数を導入したのが西島先生である。この仕事がいかに重要であるかは、説明するまでもない事である。しかしながら、西島先生の本当の凄さは場の理論に対する理解の深さである。特に「Fields and Particles」の教科書は今でも内容が大変新鮮であり、また物理を深く理解されていることが良く分かる本である。その西島先生にして頂いた講演会について、以下に再現して行きたい。

2006年11月10日に西島先生が日大理工学部に来られて学生向けの「お話」をされた。実は、この一般的なお話を先生にして頂いたのには私なりの理由があった。昔、私が大学3年生の頃、朝永振一郎先生が東大理学部の物理教室に来られて「お話」をされた。その時、朝永先生が何を話されたのか私には全くわからなかったし覚えてはいない。しかし、その時の夕暮れの雰囲気は今でも良く覚えているし、また朝永先生の人間としての格調の高さも忘れる事が出来ない。そしてそのような機会を若い人達に設ける事が大切であると考えたが、今現在、その朝永先生と同じ役割をする事が出来るのは、理論物理では西島先生しかありえない。それで少し無理を言って西島先生に「お話」をしていただくようお願いした。先生も直ちに引き受けてくれたが、一つ条件をつけられた。それは「お話」の講演会がインフォーマルである事である。それであまり大げさな宣伝はしないで、純粹に学生・院生用に講演会を設定した。その結果、およそ80名程の学生・院生が1号館133教室に集まり、私としては丁度良いくらいの講演会になったと思っていた。

その時に先生はストレンジネスを発見するに至った苦労話をまじえて、1950年代当時の日本の理論物理の状況と同時に話しされた。特に当時は、朝永グループによる量子電磁力学の繰り込み理論が最も流行していたのであるが、しかし先生はその流行を避けて新しい研究を行った事を話された。その講演の後、質問コーナーを設けたところ、沢山の質問が主に学生から出てきた。感銘を受けたのは、そのどの様な質問に対しても、先生は非常に丁寧に答えられていた事である。例えば、学生が「先生が文化勲章を貰われた時に、天皇陛下はどのような御様子であったのでしょうか？」と言う物理とは無関係な質問に対しても「天皇陛下は御自分のお立ちになれる場所を良く心得ていられてとても感心しました」と答えられていた。話の内容だけではなく、その人でなければ伝えられない極めて重要なものがあると言う事を先生の講演からしみじみと感じ取る事が出来、この講演会をしていただいた事は若い学生諸君にとってやはり非常に有意義であったと強く思った次第である。

講演会の後、我々の研究室で行われる「飲み会」に先生も出席して頂く事ができた。当時5号館6階にある通称「サロン」と言う部屋で6時から飲み会を行った。食べ物は寿司、飲み物はワイン。院生と卒業生10名程が参加した。まずは各若手が自己紹介をしてから、飲みながらの物理の議論になった。先生は話し上手であるとともに、聞き上手でもあった。昔、先生はヨーロッパのある所で会議の後のパーティーに出席された。その時のパーティーの席で、両隣に座られた人が Heisenberg と Bethe であったと言っておられたが、皆、啞然として、しばらく次の質問が出てこなかったものである。

その後、先生がいかに厳しい先生であったかを示すために私が学部4年生の時に西島先生のゼミに所属していた時の話をした。当時、Klein-Gordon 方程式の導出の所で、私が「何故ルートの中に ∇^2 を入れて量子化してはいけないのですか」と質問したところ、先生は「そんな事は自分で考えなさい」と言われて仕方なく自分で考えたのだが、結局良くわからなかったものです、という昔話をした。それに対して西

島先生は驚くべきコメントをなされた。「それは私からわからなかったからだよ」と。一瞬、院生の方が驚きを通り越して沈黙し、そして次に皆、その正直さにむしろ完全に気を呑まれていた。

続いて、その当時、私が悩んでいた「ベクトルポテンシャルは何故実関数で良いのか」という事を議論した。場が実関数だとその状態は自由粒子として存在できない事を意味している。これに対して先生はゲージ場は観測量ではないから良いのではないかという事を言われ、我々もそうであると思っていると言う事で一致した。その後、院生の一人が実スカラー場は物理的に存在出来ないのではないかという我々の研究室がこの2年ほど研究している問題を提起した。これに対して先生は即座に基本粒子としてのスカラー場は存在しないと切り切ったのだが、Higgs ボソンを探索している人達が聞いたら動転しそうなコメントであった。そして、この点においても我々の研究室と考えは全く一致していた。

その他いろいろな事を議論し続けた。常にワインを飲みながら…。先生のお酒の強さにも皆、仰天した。様々なお話の中で、物理の議論だけではないもので、私に対する励ましの一つと思われるコメントをここに紹介して置きたい。我々はこの数年、新しい仕事がなかなか論文として雑誌に発表する事が出来なくて、その意味では意気消沈する事が続いていた。その事に関係していると思われるのだが、先生は仕事の評価に関して次のようなコメントをなされた。それはまず Fermi の例を出されて、Fermi の弱い相互作用の論文は結局のところ雑誌に発表される事はなかったと説明された。つまりは、新しいアイデアの論文は簡単には論文として受け入れられるはずがないという事である。「仕事の評価は多数決だから本当に新しい事や、常識を覆す考え方が人々に簡単に受け入れられるはずがない。しかしその事は気にする事ではない」と言われた。

6時頃から飲み会を始めて、実は8時頃に少し心配になり、遅くなってしまっは申し訳ないが大丈夫だろうかと思っていた。しかし、先生は悠然とワインを飲みながら議論に加わっておられた。8時半になっ

てもそして9時になっても、依然として悠々とワインを飲んでおられた。しかしさすがに自分としても9時半になった段階で、先生に申し上げた「先生、9時半になりましたが大丈夫でしょうか？勿論我々の方は全く問題ないのですが」と。その時、先生が言われた言葉を恐らく一生忘れない。先生は「何だ、もうこんな時間か。物理ばかり議論していたので酒が醒めてしまった」……

この稿を書いている途中で西島先生が急逝された。全く思いもよらぬ事であった。これまで30年間近く、折に触れて私は先生に物理の議論をしていただいていたのであるが、特にこの3年間ほどは先生にしばしばメールにより、物理上の考え方をお教え頂いた。それは自分にとって言葉に表せないほど重要でありプラスになっていた。

そして、自分が2008年の10月に先生に送ったメールが先生への最後のメールとなった。残念ながらそのメールに対するご返事をいただく事はかなわなかったが、これまで、何時でもどんな時でもすぐに返事を頂きその人柄を心から尊敬していたし、自分には物理上でも最も信頼している先生であった。結果的に先生からの最後のメールとなった2008年4月のメールと自分が先生に書いた2008年10月のメールをここに転載しようと思う。

To: "Takehisa Fujita" <*****@phys.cst.nihon-u.ac.jp>
Subject: Re: 重力論文について
Date: Wed, 16 Apr 2008 11:04:29

藤田 丈久様

早速お見舞いのメールを有難うございました．また素晴らしいお花をお送り頂き感謝致しております．早く藤田さんにお目にかかって議論が出来るようになることを願っております．先ずは御礼まで．

西島 和彦

To: "Kazuhiko Nishijima" <*****@gmail.com >
Sent: Monday, October 10 2008 6:16 PM
Subject: QEDの繰り込みについて

西島先生へ

その後、体力の方は少しずつ回復されているものと拝察していますが、こちらは新しい学期も始まり学生が次々と質問してくる日常に戻っています。

このところ、QEDの繰り込み理論が結局最も信頼できる理論であるという事から、繰り込みをチェックしてきました。私はどうしても vacuum polarization がわからなくて色々な角度から理解しようとあれこれ考えてきたのですが、't Hooft の次元正則化はとんでもない間違いをしている事がわかり、かなりショックを受けています。vacuum polarization の計算で次元正則化を用いると2次発散項が消えるのですが、私にはそれがどうしてもわかりませんでした。ところが中身を

良く調べてみると、 4 を $4 - \varepsilon$ にする事は \log 発散項の処理には有効なのですが 2 次発散項には意味がなく、数学の公式を間違えて使ったために 2 次発散項が消えていた事が分かりました。やはり 2 次発散項は手で消すしかなかったわけで、これにより vacuum polarization は繰り込みには入れてはいけないものであるという確信を持ちました。主要項が 2 次発散するからといって既にゲージを固定して場を量子化したのに、計算した項がゲージ不変を破るから消すというのはやはり無理があると思っていました。

それで、vacuum polarization の有限項が水素原子の hyperfine 分裂にどの程度効くのか計算した所、むしろ実験と逆の方向に出てしまい、実験は vacuum polarization が不要である事を示していました。それで色々考えたのですが、結局、運動方程式により見る事が重要である事が分かりました。S-行列の方法だとどうしても非物理的なグラフも計算してしまいましたが、運動方程式だとそれは無く、実際 vacuum polarization の寄与は存在しない事が分かりました。フェルミオンの自己エネルギーと vertex 補正は問題なく理解されるので、これで QED の繰り込みが私なりにすっきりした形で理解でき、嬉しい限りです。これにより、電荷は繰り込みを受けなく、従って繰り込み群は初めから無かったことになり、これもすっきりしました。それにしても QED の繰り込みが私なりに良く理解できた事は嬉しいのですが、かなり大きな影響が考えられ、それについてどうしたらいいのかと考え込んでいます。

先生が体力をしっかりと回復された折には、是非議論して頂きたいと思っています。宜しくお願いします。尚、第ゼロ次での vacuum polarization の論文をお送りしています。

日大理工，藤田丈久

● 閑話休題 3 : Max-Planck 研究所での大陸浪人

1970年代半ばに、私は3年間Max-Planck研究所にポスドクトラルフェローとして滞在し、研究活動に専念した。当時、日本に定職がなくてヨーロッパの国々で研究生を送っている人達は「大陸浪人」と呼ばれていたが、私もその内の一人であった。

当時、HeidelbergにあるMax-Planck研究所の原子核理論グループは活気あふれる研究者で一杯であった。一つにはHeidelberg大学も原子核理論グループを持ち、基本的には一つのグループとしてセミナーや共同研究をしていた事にもよっている。それとWeidenmüllerという理論グループのリーダーが物理なら何でも正確に理解していて、恐らくは当時の原子核理論では世界で最も優れた理論物理学者であった事にもよっよう。従って、そこにどうしても優秀な人材が集まってくる事になる。結局、研究所で一番大切な事はリーダーの「人となり」であるが、これはどこでも今でも変わらないものである。Heidelbergにおける原子核理論グループのセミナーは、Philosophenweg（哲学の道）の坂を上ったところにある、もとは貴族の館を改良した研究所の一室で毎週月曜日に行われた。セミナーの時間は喋る時間が1時間、議論を含めても必ず1時間半で終わる事が規則であった。セミナーが長くなりそうだと誰かが立ち上がって、講演者の主張をはっきりさせ、セミナーを終了させる事がよく起こったものである。ドイツでは若手研究者がこのHeidelberg大学でのセミナーで失敗すると職を取れないとよく言われたものである。私も半年ほどしてそこでセミナーを行った。しかし、そのセミナーの後、Weidenmüllerを車に乗せて一緒に家に帰ったその帰りの車の中で、彼は突然「お前のセミナーを批判していいか」と言い始めたのである。それからほとんど耳

を覆いたくなるような厳しいコメントを次々に発せられた。その時はまだ、プレゼンテーションの重要性に気づいていなかったのであるが、それから暫くたってから、今度は共同研究者である Heidelberg 大学の Hufner がやはり自分のセミナーを批判して、あれではどうしようもないから練習しろと言う事になった。そしてある日の午後、4人の研究者の前でセミナーの練習会を行った。彼らの批判の鋭さは普通の議論でよく知っていたが、それにしても滅茶苦茶に叱責されたものである。例えば、何かの図なり式なりを出したら、それが何を意味しているのかしっかり説明しろと厳しく言われたものである。ともかく2時間半くらいの練習会に自分は完全に打ちのめされていたのである。その日の夜、Hufner が家に電話してきた！今日は厳しくコメントしたが、それはお前のプレゼンテーションの技術を批判したのであって、人間性を批判したわけでは無いから、混同しないように」と。この Hufner とは毎週火曜日に議論する事になっていたのであるが、ある時（それは木曜日であったが）どうしても研究上議論したいと思い彼に電話して議論出来るか聞いた時があった。この時「明日、2年生への力学の講義があるので、その準備で今日は議論できない」との答えが返ってきて仰天したものである。さらには、Heidelberg 大学で行われる大学院の講義では、どの先生方も非常に良い講義をしてくれて、結構、研究者達もその講義に出席していたものである。自分にとっては、このプレゼンテーションに対する重要性の問題は、その後日大で講義をする時になって、非常にプラスになっている事は疑い得ないものである。少なくとも、講義の準備を胃が痛くなるほど懸命にすると言う事が当然であるとして、これまで実行できた事は確かな事である。

その Max-Planck 研究所において、最も強く感じた事は、「良い仕事をするには体力である」という事である。最初の頃は、彼らは肉を食べていて、日本人は米を食べているからこの違いか？などと思ったくらいである。実際には、「食」ではなくて、何らかの形で体力をつけるという事である。むしろ持続できる体力が大切である。物理はわかるわからないはデジタルである。つまり、わかるが1だとするとわからない

はゼロ．その中間は存在しないのである．従って，かなりわかったと思われるところで研究を停止すると，次の日はやはりゼロから出発する事になる．Max-Planck 研究所での研究者を見て，その研究に対する集中力と持続力には，本当にびっくりしたものである．研究所での昼食は常に十数名がテーブルを囲んで一緒に食事をした．ドイツは，少なくとも当時は，食文化がない国であると言う印象を強く持っていた．美味しいのはパンとチーズとソーセージ．それとワインとビールである．その研究所での昼食会で良く議論して印象的だった事に「教育費」の問題がある．ドイツでは大学まで教育費は一切かからない．それどころか，大学院では院生に給与に対応するものが支払われる．その代わりに，院生は何らかの形で大学または研究所で働く事が義務づけられる．例えば，大学では演習のクラスを必ず一つは担当するとか，研究所ではコンピュータの管理を任せられるとか．日本では「受益者負担」といって，大学生も授業料を払うべきであると言う事になっているので，自分もその理屈を主張した．しかし，この議論は簡単に粉碎された．それは社会のシステムに依存している．ドイツでは社会保障がしっかりしていて，老後は国が面倒を見る事になっている．その代わりに，税金はべら棒である．従って，若い人達を育てるのは国の責任であると言う事である．一方において，日本は長い間，老後は各「家」が見ていた．つまり，家社会である．それが突然老後は国が見ると言う事になったわけであり，若い人達を国が育てると言う意識はまだ無いのである．いずれは，そのようになって行くべきであると思うが，まだまだ難しい気がする．

Max-Planck 研究所はドイツにおける基礎研究の中心を担っている．ほとんど全ての分野で Max-Planck 研究所がどこかにあり，研究費は国が出し，しかしその研究費の分配は研究者が行っているというシステムを採用していて，基礎研究ではあらゆる分野で世界をリードしていると言われている．その研究所全体を統括している Max-Planck Gesellschaft (MPG) の重要メンバーの一員に，ある時 Weidenmüller が加わっていた事がある．この時，最も印象的な一種の「事件」が起

こった。Weidenmüller がその MPG の No. 2 に推されてしまったのである。彼は 1 週間悩んで結局それを引き受けなかったのである。それは彼が物理の研究を選んだ事に対応している。それでは、MPG の No. 2 は何をする人なのか？責任感が強い Weidenmüller がひどく悩んだ理由は聞いて見て良くわかった。それは、Max-Planck 研究所全体の中で、次に何処の研究所をつぶすかを決定する役であるとの事である。国として新しい研究をサポートして行くためには新しい研究所を作る必要がある。しかしそれは同時に古い研究所をつぶして行かない限り、不可能な事である。この当然な事を科学者がしっかりやっけて行こうとしている事に、自分は最も大きな感銘を受けたものである。今の日本の科学研究の状況を見るにおいて、これまでである研究所をつぶすなどとは、とても考えられない事である。しかし、研究所の使命は常にはっきりしていて、その使命や目的が不明瞭になった時は、研究所の使命を終わらなければならない。この最も大切な研究所の新陳代謝をどうやって行うのかは、現代日本の科学研究の最も重要で緊急な課題である。しかし、一方において、研究の領域にも、一種の「市場原理」的な発想を入れようとしている感じがしてならない。これは、最悪の考え方であり、将来の研究と研究者を完全につぶしてしまいかねない危険なものである。研究によって「お金」が儲かる事はあり得ない。長期的に見て、その研究がある分野を教えるような指導原理を生み出す可能性はあったとしても、それが「お金」に結びつく事を考えていたら、科学の進歩はない。

もう一つ、MPG で重要な事として印象に残った事は、国から予算が来た時、MPG の研究者自身がお金の分配を決めているという事である。この時、Weidenmüller の話だと、科学系と文化系でその分配の比率が固定されていて、その当時は常に 4 対 1 であるという事であった。これには、非常に驚いたものである。たとえ国からの予算が削減された年度でも、当時のドイツでは常に文科系の研究の重要さを認識しており、それをしっかりサポートして行くと言うことである。日本においても、研究所の体制が正常になったら、基礎研究は原則

として研究所で行われるべきである。大学はその研究所と連携しながら研究を遂行してゆくという体制が最も効率的であり、この体制を早く作るべきである。現在、日本が使っている科学研究費は膨大である。しかしながら、大半は科研費として研究者にばら撒かれている。どこの大学も今や科研費を取るための「科研費講座」を開いている。それは科研費の採択が科研費用の作文の巧拙に大きく作用されている現実を皆が見ているからである。実際、科研費の採用決定をしている研究者達が誰であったとしても、採択の現状をみてみれば、このように研究費をばら撒くような方法はなるべく早く改めてゆくべきである。科研費のみならず、現在の研究所自体においても結果主義に偏りすぎている気がしてならない。研究において結果をある程度求められることはこれは当然である。しかし、それもバランスの問題であり、結果主義に陥ると研究の成果はおよそその研究者達の能力とは程遠いものしか、実現されない事は明白である。研究費の分配は基本的には公平に行う事がベストである。東大の研究者が優れた業績を出すと思うのは幻想である。地方の国立大学も同じように研究費をしっかりと分配して、その中で運良く良い仕事をした研究者に特別な研究費を手当てして行けば良い。

ところで、この研究所の名前 Max Planck は、科学史上非常に重要な功績を残した人物である事は、良く知られている。それは量子仮説である。すなわち、「光子のエネルギーはある単位 (\hbar) をもとにしたもの ($\hbar\omega$) の整数倍になっているべきである」という仮説である。エネルギーに最小単位が存在すると言う事は、1900年当時は勿論実験的に知られている事ではなかった。この仮説により、黒体輻射の観測事実が見事に説明されたわけであるが、Planck 本人はこの仮説は何かの近似であろうと最後まで信じていた様である。それに対して、アインシュタインはこの光量子仮説をその5年後には採用して、光電効果を見事に説明したのである。この事を見てもアインシュタインが新しい理論にすばやく反応して、それを他の現象に応用する抜群のセンスを持っていた事を示しているし、この光電効果の理論模型がその後の物

物理学に与えた影響は計り知れないくらい大きい。しかしながら、この光量子仮説に関して言えば、むしろ Planck の方が物理を良く考えそして理解していたのではないかと考えられる。当時、量子力学がまだ発見されていなく、量子という概念は物理屋の理解を超えていた。この事は、逆にアインシュタインはその当時の物理を深く理解していたのではない事を示している。現代の我々理論物理屋に求められている事は、アインシュタインのような冒険心ではなく、しっかり物理を出来るだけ深く理解する努力であるとしみじみと思うものである。それは、時代に応じて自然科学に対する対応の仕方は当然変化するべきであると言う事と関係している。物理学はすでに十分成熟していてアインシュタインの時代ではなく、余程深く考えてゆかないと、新しい理論の進歩とその理解は難しいものになっている。

● 閑話休題 4 : テニスの上達法

研究で良い仕事をするためには、どうしても体力をつける事が必須条件となるが、その体力をつけるためには何か運動をする事が必要である。Max-Planck 研究所においては、数人の若手研究者が毎週火曜日の夕方集まって、近くの体育館でバスケットボールの練習試合を行ったものである。自分も必ず参加したが、しかしながら自分はいかに一度もあのバスケットの中にボールを入れる事は出来なかった。

その後方針を転換して、もっぱらテニスをする事にした。テニスは大学院の博士課程の時に始めたのだが、このスポーツがこれ程までに自分に合っているとは夢にも思わなかったのである。今は毎週2, 3回はテニスをしているが、これは確かに体力の維持には打って付けであると思われる。

ここでは、身体能力の劣る我々物理屋のためのテニス上達法を書き留めて行きたい。テニスは不思議なスポーツでもある。私の連れ合いとは結婚以来30年以上ずっと一緒にテニスをしてきたのであるが、ここに来て50歳後半になってから、突然テニスがうまくなってきたのである。彼女はどんなにひいき目に見ても、運動神経は平均以下である。これを称して運動神経はマイナスであると私は言って来たのであるが、本人はゼロである(平均である)と主張はしている。10年位前に理工学部のテニス部の学生に「ちょっと女房にサーブの打ち方を教えてあげてよ」と頼んだところ、当時、JOPランキング150位くらいになっていたその若者(ハネダ君)は喜んで教えてくれた。しかし、15分位たってから「ボールにラケットがあたりませんねー」と言って両者ともに練習を諦めたのである。

その彼女が2年前に突然ボレーが非常に上手に出来るようになったのである。ある時、2人でボレーボレーの練習をしていたのだが、ラ

リーが確かに十分長く(2, 30回)続いていたのである。それを遠くから見ていたテニスコーチである三宅美津子さんが、「誰かと思ったら弓子さんだったのね」と言っていて、本人をひどく喜ばせてくれたものである。実際、私が一緒にテニスをしている三宅さんは、全日本ベテランランキング上位を持つ本当のプロであるが、その彼女が女房のボレーをみて吃驚したのである。

何故、このような事がテニスでは起こりうるのでしょうか？その理由は簡単である。テニスは道具を使うスポーツであるから、その道具を使いこなす器用さを持っていればたとえ運動神経が悪くても、十分上手くなりうるという事である。そして、この道具(ラケット)を使いこなすある種の「感覚」が身につくとその時に突然上手くなるという事である。尤も、この事は即、試合に勝つと言う事にはつながらない。実際、試合における勝ち負けは、ほとんどが身体能力で決ってしまうので、技術があってもなかなか勝てないものである。しかしながら、結局は、試合の勝ち負けとは無関係に、技術を高めてゆく事そのものが、この上ない喜びである事がわかるものである。

(1) フォアハンドのストローク

テニスの基本はどうしてもストロークになる。バックハンド、フォアハンド共に重要である事は明らかである。しかし、まずはフォアハンドのストロークを安定してしっかり打てる事が大切になる。ところが、フォアハンドのストロークをミスしないでしっかり安定して打つ事は予想以上に難しいものなのである。それは明らかで、フォアハンドの場合、打つ事における自由度が大きすぎて、色々な打ち方が可能であり、従って、ちょっとしたズレがどうしても出てしまうのである。

そこで、それでは安定したフォアハンドのストロークはどの様に打てるのかと言う事が誰にとっても問題になる。そして、その答えはやはり力学的に考える必要があるのである。まず、最も重要な事としては、「ラケットの軌道はどの様にしたら安定するのか？」という問題を

解決する事である。つまり、何回振っても同じような軌道にラケットが行くためには、どうしたら良いのだろうか？その答えは簡単である。ラケットを持っている腕の脇をまずしっかり締めること。この脇があいているとどうしてもラケットの位置が一定せず、さらには振りの力がラケットの先に伝わってくれないのである。次に、ラケットを振る時には、基本的には腰の回転で行う。つまり、体の上半身をしっかりひねって、それでラケットを振るのである。この時、腕の振りは最小限にする事。この方法と反対の打ち方としては、腰は回転しないで腕だけで振るものである。結構沢山のテニスプレーヤーはこの腕の振りだけでボールを打っているので、フォアハンドのストロークはなかなか安定はしてくれないのである。この腰の回転のエネルギーをラケットに伝えるためには、腕の振りが腰の回転に巻きついてくる様な感覚でラケットを振る必要はある。物理的には当然の事ではあるが、腰の回転よりも早く腕を振ってしまうと、回転のエネルギーは全くラケットには伝わっていないことになっている。一旦腰の回転で打つ打ち方を会得すると、その後は色々なバリエーションを考えて行けばよい。しかし、大切な事は腰の回転でラケットの軌道をきちんと安定させ、ボールを常に体の正面で取れるようにする事である。従って、通常のストロークラリーでボールをしっかりコントロールして相手に返すためには打つ瞬間にベースラインと直角の方向に自分の体の正面を持って行く事が必要になる。これは、体をうまくさばく事に対応している。この時、顔を少し左に向けてボールをしっかり見る事が大切である。ボールを打つ時は、左肩で打つ感じで行って行く事を忘れてはならない。このボールを打つ事で最も大切な事は、ボールが地面にぶつかりバウンドする時に、すでにボールを打つ全ての準備を完了しているという事である。実はこれが意外と難しく、ちょっと油断するとボールを遅れて打つ事になる。この場合、順回転がうまくかかったボールを打つ事が難しくなるのである。いずれにせよ、これらの事をきちんと実行できるように練習して、後は高価なラケット(?)を使えば必ず上達するものと確信している。

(2) バックハンドのストローク (スライス)

バックハンドストロークでスライスを打つ事は、体の態勢が必ずしも楽なものとはならないために、技術的にはかなり難しくなる。しかし、一度マスターしてしまえば、今度はかなり安定してミスが少ないショットが打てるようになるものである。それは当然で、打ち方に自由度があまり無いため、常に同じような打ち方になるからである。バックハンドをより強く打つために「両手打ち」を開発した人達は確かに凄いとは思いますが、しかし、シングルハンドのバックハンドスライスも実は十分、合理的に打つ事が出来るものである。

バックハンドスライスをきちんと打つためのポイントは、まずボールを打つ時に自分の体が真横になる事である。この点では、フォアハンドストロークの場合と体の向きが丁度逆になっている。テニスでは相手のボールがどこに来るのかを何時も見えていなくてはならないので、一般には、自分の体が相手を真正面に見るように立ちたくなるものであり、これがいわゆるオープンスタンスである。しかしながら、これではバックハンドスライスを打つ事は出来ない。まずは体の位置を90度左回りに回転するのである。そうすると、ボールは常に自分の右手から来る事になる。バックハンドスライスはこの時、ボールを自分の直ぐ前で打つ感じになるのである。ここで、ラケットを握っている右手の手の甲を見る感じで構える。ラケットの先は左肩に乗せるくらいに引き、ボールが来たら右肩で打つような感じでラケットをボールにぶつけて行く。この時、最も大切な事は右手の肘が少しでも良いから曲がっている事である。バックハンドスライスの場合、まず体を回転をして次に肘を伸ばして最後に手首をひねり、これら全ての回転エネルギーをラケットの先に伝えて、そのラケットでボールをしっかり打てば良いのである。最後に、エネルギーをラケットの先に伝えるために、ラケットをしっかり握って締める必要がある。そうすれば、いずれバックハンドスライスがしっかり打てるようになると思われる。最初はボールを打つ時に、ネットをやっと超えるくらいのつもりで打つ

てゆけばよい．いずれ，力を入れなくてもしっかりとベースラインに届くスライスボールが打てるようになると確信できるものである．

(3) バックハンドのストローク（ドライブスピン）

バックハンドストロークでドライブスピンのボールを打つ事は打つ前の体の入れ方に強く依存している．いわゆる片手バックハンドと言われている打ち方は，最初の始動の体勢さえしっかり出来ればそれ程難しいものではない．しかし打つ前にいくつか準備が必要である．まず第1にラケットの握りであり，これはかなり薄く握る必要がある．フォアのグリップと丁度逆になる握りとなる．第2にラケットヘッドを必ず下げる事である．これはフォアの場合とは少し異なり，ラケットの先がほとんど地面にくっつく程だらんとさせれば良い．第3に，打つ前に右肩を必ず入れる必要がある．この右肩を入れる作業が身体能力が乏しい我々物理屋にはかなり大変な準備作業となる事が，このドライブスピンのボールを打つ事の難点である．しかし，準備さえきっちりして行けば，この打ち方は予想以上に楽である．特に相手方から速いボールが来た時に対処するには，スライスより楽な場合が多い．しかし，この時どうしても準備が遅くなりがちであり，この問題を解決する事がこのドライブスピンでバックハンドストロークを安定して打つための条件になる．まずは最初の練習として，ネットを少し越える程度のゆるい山なりのボールを打つ練習をして行けばいずれ感覚がつかめてくるものである．しっかり感覚がつかめた後，片手バックハンドで腰の回転がうまく使えてそのエネルギーをラケットに伝えられたら，人によってはフォアでのボールよりも速いボールが打てる可能性がかなりある．これは，刀の居合のスピードを見てもわかるように片手バックハンドの打ち方はかなり合理性があるという事である．

(4) スピンサーブ

テニスを長くやっていて何時も不思議に思う事は、サーブの難しさである。ストロークは相手のボールが強かったり変なスピンの掛かっていたりすると、やはり返球はそれなりに難しくなる。しかし、サーブは全て自分で行うので相手方の影響は全く無いのである。しかし、誰にとってもサーブは難しいものである。ある意味での理由ははっきりしていて、狭いサービスエリアに速いボールを打ち込む事は、原理的に矛盾するために難しいのである。ボールが速ければどうしても遠くまで行ってしまおうし、ゆるければ相手に強打されてしまおうし。力学的にはスピンを強く掛ければ確かにボールの弾道が弧をえがく様になり、狭いサービスエリアに入る確率が高くなるのであるが、その分スピードは無くなる。この矛盾はどう解決できるのだろうか？実はこの問題で随分悩まされたが、ある日ドイツ人のテニスプレイヤーである Boris Becker のサーブのビデオを見て、その矛盾を彼が解決している事がわかり、非常に驚いたのである。彼は、セカンドサーブでは、ボールの右上を強烈に叩いているのである。回転を強くかけ、しかしボールのスピードは失わないためには「ボールをこする」のではなく、「ボールを叩く」必要があるという事である。実際、この事を実行してみたところ、考えられないくらいの回転がかかり、しかもそれ程スピードは落ちない事がわかったのである。さらに、ボールは急速に落下して、確かに相手のサービスエリアにしっかり入ってくれるのである。ボールの落下は、勿論二つの理由による。すなわち、重力による落下と流体力学的な圧力の影響である。今、議論しているのは、当然回転による流体力学的なものである。ここで、回転をしっかりかけるには、ラケットの握り方にもかなり影響される事に注意が必要である。握りはフォアハンドの場合の握りと逆で、相当薄く握る事。もう一つ重要な事は、トスの位置であるが、これは一つにはあまり高くは上げない事、それとなるべく自分の体の方近くにあげる事である。スピンサーブを打つためには、どうしてもボールの上側(右上)を叩く必要がある。この

時、トスでボールを高く上げてしまうと、ボールが落下してきたところのその上を叩く必要があり、これは原理的にかなり難しい事になってしまうのである。しかし、トスをした時、ボールが上がってくる所かまたはとまったそのボールの上を叩く事はそれ程難しい事ではないのである。そして最後に、ボールをできるだけ強く叩く事である。実はこれがかなり難しくて一種のコツがいる。最も重要な事は手首の使い方である。ラケットをぐう握りでしっかり握り、手首だけでラケットを振る練習をする事が大切である。この時、手首の返しは手首を少し捻るような感じがかえす事になる。と言うか、それ以外は手首に負担が掛かってしまうのである。ラケットをぐう握りで持って手首でどうやったら打てるかを実験してみれば自然と手首を少し捻るような打ち方になるはずである。そして、後はボールをいかに強打するかである。この「強打」こそが、最も重要なのだが、これは身体能力の低い我々物理屋にとってはどうしても難しい作業である事がこのスピンサーブの打ち方の難点である。しかし、このスピンサーブが出来ると、バウンドした後に、ラケットの握り具合に応じてボールの跳ね方が変わってくるという利点がある。これは極めて重要で、サーバー本人は握りを変えている事を知っているのであるが、レシーバーはそれにほとんど気がつかないので、結構レシーブのミスショットが出てしまう事になるのである。

スピンサーブの打ち方を教えて気がついた事であるが、ラケット始動の位置取りが最も重要なようである。その構えであるが、まずラケットを右手で持つ人は左手でヘッドの先を軽く押さえてそのまま両手でラケット全体を頭の上にあげる姿勢をとる。この時、ラケット面は真上を向くようにする事がポイントである。そしてボールの右上を強く引っ叩ければまず間違いなく良い回転が掛かったスピンサーブが打てるはずである。

サービスに限らずスピンはテニスでは予想以上に重要であるが、これは物理的には明らかであろう。テニスのボールは基本的にいって表面にしか質量がないので、全エネルギーの内、回転エネルギーの比率

が野球の硬式球などより大きなもの(約2倍)になっているのである。従って、強く回転(自転)しているボールはラケットをあてるだけだとはじかれてしまう事になる。これはスピンボールはちょっと目ではその回転度合いが正確にはわからない事にもよっている。

(5) 手首の返し

手首を使う事はあまりにも微妙な問題を含んでいるため、余程注意して取り扱わないと混乱する難しさがある。しかし、どうにもならないくらいの重要性を含んでいる。フォアのストロークで軸の回転を主力にしてラケットを振る事が最も重要である事には変わりない。逆に言えば、この軸の回転がしっかりしていないうちに手首の返しを使うとコントロールが悪くなり、ボールの行き先が一定しなくなる。テニスの基本がコントロールである限り、フォアのストロークの打ち方においては、軸の回転が主力である事がしっかり理解できた後に、この手首の返しの事が可能になる。それでは、どうしたらうまくドライブ回転のボールがしっかり打てるのであろうか?これは、ラケットがボールにあたる瞬間の問題になる。当たる瞬間かそれよりちょっと前ぐらいに手首をうまく返すのである。こればかりは、感覚の問題であり、言葉で書きつくすことは出来ない。一番わかり易いのは、手首を使わない場合と、使う場合を一緒にやって見せてもらう事である。全く同じ打ち方で手首の返しを使う場合とそうでない場合の違いは、ベースラインから相手コートのベースラインまで打ったとき、大雑把に言って1m程度のボールの伸び方の差に現れてくると考えられる。これはかなり大きな差であるとも言える。従って、最後に手首をうまく返すフォアの打ち方を習得すると、かなり強くボールを打ってもしっかりベースラインの手前に落下するボールを打つ事が出来て、テニスが飛躍的に楽しくなるものである事は間違いない。

(6) ボールコントロール

どの球技においても，結局最も重要な事はボールのコントロールである事は，試合を経験した者には明らかである．しかしながら，このボールコントロールが予想以上に難しいのである．それは，恐らくは，このボールコントロールには，一種特別な「コツ」が必要である事と関係していると思われる．テニスにおいて，もし10 cm 四方のボールコントロールがあったら，試合はめったな事では負けないくらい強い事になる．

それではどうしたら正確なボールコントロールが可能であろうか？ここではフォアのストロークを中心にして，検討して見たい．腰の回転でボールを打つ事の重要性はすでに述べたが，このボールコントロールはこれだけでは十分ではない．ボールを叩く瞬間とその直後が問題なのである．まず，ボールの方向であるが，これは，自分が打ちたい方向に出来るだけ長くラケットを持ってゆきながら打つと言う事で，大方のベクトルの向きを決定する事ができる．それでは，そのボールをベースライにきちんと落とすにはどうしたら良いのであろうか？これこそが最も難しい問題である．基本的にはラケットを打つ瞬間に締める（振りを止める感覚）その締め方の感覚を覚える事である．例えば，全く締めないでそのまま振り切ってしまうと，ボールが何処に落ちるのかの保証はない．この微妙な瞬間的な締め方こそが，ボールコントロールを可能にしてくれるのである．さらに言えば，このボールコントロールをする上で最も重要な働きをするのは，右手人差し指の第2関節あたりである．この点が丁度ラケットに接触しているのであるが，基本的なボールコントロールは全てこの人差し指の第2関節が主力になっている．しかし，これは解説しても難しいので，自分でやってみるしか他に方法はないと思われる．

(7) 足の動き

最終的に、腰の回転を主力としてボールを打つ事が出来るようになって、常に安定したフォアのショットを打つ事が出来るとは限らない。ここで最も重要になるのは足の運び方である。ボールがバウンドする場所を大雑把で良いからすばやく特定し、バウンドした時にはそのボールをすでに打てる体制を作る事が最も重要であることは間違いない。この時、どうやったら右足にうまく体重の一部を寄せられるかが勝負であろう。どの程度の体重を右足に寄せたらベストかは、恐らく人それぞれに異なるものと思われる。この感覚さえつかめればフォアのストロークをしっかりとコントロールしてミスなく打てる事が可能になり、フォアのストロークの精度が著しく向上するものである。

(8) 壁を作る(ブロックする)

ベースライン近くに打ち込まれたボールを相手コートに正確に返す事はテニスでは最も難しい事は誰もが経験している事である。それではこの押し込まれた速いボールをきちんと返球する事が技術的に可能であろうか？ これは実は十分可能なのである。身体能力の低い自分がテニス部の学生とそこそこの試合が出来ている事のかなり重要な理由(要素)となっている。

ベースライン際の速いボールに対して壁を作って打つとは「ラケットと自分の体が一体となって壁を作りボールをブロックするように跳ね返す事」である。脇を締めて打つ事はこれまでの解説と同じである。ボールを捉える瞬間、自分の体、腕、ラケットが基本的にはベースラインとほとんど平行になる事が必要である。当然の事であるが、この場合、腕の肘部分は直角近くなるので、ボールの高さの調整は膝を曲げて上体を調節する事により行う事になる。このように壁を作って打つ感覚が身につけばショートバウンドやライジングのボールもある程度は正確に打てるようになる事は確実である。

但し、ショートバウンドやライジングのボールは当然上向きの速度

ベクトルがかなり残っている事になる。従って、そのままラケット面をボールの方向と垂直にするだけだと、どうしてもボールが上にあがり過ぎて相手側のベースラインを超えてしまう可能性がある。このため、上向きの速度ベクトルを抑える事が必要で、打つ瞬間にラケット面でボールを少し押さえ込むような作業が必要である。これは感覚だからこれ以上の説明はできないが、トライアンドエラーで必ずうまく打てるようになるかと確信している。

この壁を作って打つ基本的な操作は野球での打撃やゴルフでのスウィングでも同じ事であると思われる。まずはブロックして打つ事が基本であろう。テニスの場合、押し込まれたボールに対して、ブロックして打つ事の重要性を解説したが、相手からのボールがそれ程強くはなかった場合、ブロックした後、肘の回転をうまく付け加えると、かなり強いボールを相手方に返す事ができて、これこそが最高の喜びであると自分は考えている。

(9) 道具（ラケット）について

テニスの場合、ボールは基本的にはニューボールを常に使いたいものである。少なくとも試合練習をする時は新しいボールで試合をするのがやはりうまくなるコツでもある。普通の人間には、ボールが新しいとそのボールをより大切に打とうとする習性があると考えられるからである。

ラケットはどのようなラケットが良いのであろうか？これはほとんど明らかである。まずは散乱断面積が大きいためにはラケットの面積が大きい方がよりよいのだが、振り切るためには恐らくは120平方インチくらいで軽いものがベストであろう。さらに、出来る限りスイートスポットが大きいラケットが良いのに決まっている。スイートスポットが大きいという事は、ラケットによって叩かれたボールの散乱角のばらつきが小さい事を意味しているからである。この事から技術さえ高ければ、より大きなスイートスポットのラケットが良い事は

当然である。この点からするとブリジストンのMD35 というラケットがベストである。これまで長い間様々なラケットを使ってきたが、色々検証した結果、このラケットがすべての条件を満たしていてバランスも非常によい。これは製造した技術者がかなり高い技術を持っていた事を示している。残念ながら、このラケットはかなり前に製造中止となっていて、すでに作られてはいないが、最近5年間で新しく製造されたラケットを見る限り、これに匹敵するものはでていない。

次に、ガットのテンションであるが、これはスピンをしっかり掛けることが最重要課題である事から45ポンド以下にする事が必要であろうと思われる。テンションが高いと洗濯板でボールを打つ事に対応しており、余程手首が強くない限り、正しいスピンを掛けることは普通の人には無理であると考えられるからである。

(10) 凡ミスをなくす方法と練習の始め方

(A) 凡ミスをなくす方法:

テニスの試合に勝つためには、まずは単純なミスを減らす事である。これにはコツがある。それは「ボールを引き付けて打つ事」を修得する事である。ボールを引き付けて打つ事を心がけると言う事は、打つ直前までボールをよく見る事に対応している。大切な事はボールがバウンドした後のそのボールの動きをしっかりと見ておく事である。実際には、この操作は極めて難しいものである。まず動態視力が良くないと不可能な作業である。それとボールがバウンドする場所を素早く特定してその場所にいる必要がある。これらはある程度、訓練によって可能な事ではあるが、最終的には身体能力にも依るかも知れない。

もう一つ重要な事がある。それはフォアのストロークの場合のラケットの動き出しの位置である。ラケットの始動位置がフォアのストロークの安定性に非常に深くかかわっている事は確実である。しかし残念ながら、この紙面で解説する事は不可能な事でもある。

(B) 練習の始め方:

週1 - 2回程度のテニスプレーヤーにとって、練習をどのように始めるかと言う事はかなり重要である。それはまずは早目に動体視力を回復しておく必要があるからである。そのためには最初のラリーの時に、まずはラケットに打たせる練習を何10球か行う必要がある。ベースラインから相手のベースラインまで山なりのボールを「ラケットに打たせて」しかし、正確に打つ事が重要である。このラリーを行う事により、ボールがラケットに当たる瞬間を見極めておく事が大切であり、さらにボールがどのくらい飛んで行くかをきちんと確かめておく必要がある。この作業により動体視力を回復しておき、さらに、ラケットがボールを弾く感覚を再確認しておけば、その後のラリーや試合にスムーズに入ってゆけるものである。

(11) テニスボールの力学

テニスコートの広さはベースラインからもう一方のベースラインまでが 23.77 m, ダブルスコートの幅が 10.97 m, シングルスコートの幅が 8.23 m となっている。またベースラインからサービスラインまでの距離は 18.285 m である。ネットの高さは真ん中が一番低くて 0.914 m でボールの高さが 1.07 m となっている。細かい数字になっているのは恐らくもともとはフィートで測っていたからであろう。これまでボールにスピンを掛けることの重要性を書いてきたが、ここではボールの軌道について考察して行きたい、その際、ボールの回転は無視し、さらに空気抵抗も無視した単純な計算をして大雑把なピクチャーを掴みたいと思う。勿論、空気の抵抗や回転の影響を考慮した計算をする事はひどく難しく、手計算ではとてもできない事が最大の理由ではある。

(1) サーブの場合:

今、簡単のためにベースライン上の中央点からサービスラインに向け

てボールを打つとしよう．この場合，初速度を v としてボールを打つ角度を水平から θ 下方に向けて打つ場合を考えよう．

(a) 高さ 2.5 m, 初速度 $v=200$ km/h (時速) : ビッグサーバー

● 結果 : この時, θ がゼロ (水平) では全く入らない事がすぐに確かめられる．この場合, θ を 6.5 度にとるとネットでは 1.02 m を通り, サービスライン手前でバウンドする事がわかる．

(b) 高さ 2.0 m, 初速度 $v=100$ km/h (時速) : 一般のテニスプレーヤー

● 結果 : この場合, 水平に打つとネットでは 1.1 m を通り, やはりサービスライン手前でバウンドする事がわかる．

(2) ストロークの場合 :

ストロークをベースライン上で打つ場合を考えよう．ベースライン間の距離は 23.77 m である．今, 高さ 0.5 m の所でボールを打つ場合を考えよう．まず, 水平ではネットを超えない事は明らかである．今度の場合, 仰角を θ としてどのくらいの θ だと相手方のベースラインに丁度届くか検証する．但し, 初速度を $v=100$ km/h として計算する．

● 結果 : $\theta = 10$ 度のときに, 丁度ベースラインに落下する事がわかる．この場合, ネットの所では 1.7 m を通過している．角度が 10 度と言うのは, 感覚的にはほとんど水平と言う事である．ちなみに, 野球の場合, 外野手が時速 150 km/h でボールを投げて 外野から 70 m の距離のホームベースに届くためには何度の仰角であれば良いかという問題でも, この角度はやはり 10 度である．

(12) 試合の勝負勘

技術はかなり高くても試合になると弱いと言うテニスプレーヤーをよく見かけるものである．この勝負弱さはその人の性格によるのかそ

れとも何か他に理由があるのかと言う問題を検討してみたい。但しこれは技術論と違ってあまり根拠がある論証とは言えない。

[1] サービスリターンの場合：

テニスの試合では、相手のコートにボールを返している限りポイントを失う事はない。これが全ての原点である事は明らかである。どうしたらボールを相手コートに返せるか？ 今考えている境界条件は「普通だったら返せるボール」であり、風やコートの不規則バウンドはないと言う条件下である。

- ボールだけを見る事： 試合では必ず緊張するものであり緊張したから下手になると言う事はない。この場合、最も重要な事は「ボールだけを見る」と言う作業をする事である。これは「当たり前でしょう」と言われるかも知れないが、ほとんどの場合、所謂あがっている人の大半は、打つ瞬間でも相手を見たりボール以外の事を気にしている。逆に言えば「ボールに集中する事ができれば普段どおりのショットができる可能性が高いものである。

- 何処に返球するか： シングルスとダブルスの試合ではこれは別のスポーツではないかと思うくらい、方法が異なっている。

[a] シングルの試合では、相手の弱点を早く見つけ出して、そこに返球する事は誰でも考える事であり、これがまず第一にするべき事である。しかし一般的には「できる限り深いボールで返球する」事が最も重要である。この深いボールをベースライン際に打つ事が基本であり、それを何処まで続けられるかが勝負の分かれ目になる。昔、A選手が東京毎日選手権のベテランの部で優勝した翌年、初戦で負けて帰ってきた。この相手のB選手はすべてのボールをロブで返してきたと言う。しかしそのロブが絶妙で必ずと言っていいくらいにベースラインいっぱいに入ってくるショットであった。A選手はバックハンドスライスがフォア並みに速いし、コントロールも非常に良いテニスプレーヤーであったが、相手の深いロビングボールに精神的に耐えられなかった

と言う。この事は深いボールを返している限り、簡単にはポイントを失わない事を意味しているのである。

[b] ダブルスの試合では基本的には対角線の返球である。しかしこの場合のポイントはボールを何処まで引き付けて打てるかに掛かっている。このためにはサーブのボールが何処に来るかという予測と関係している。ボールの落下地点に素早く入る事が最も重要である。ここでバックハンドで打つ場合はロブを選択する可能性を常に頭に入れておく必要がある。

[2] ラリー中の返球コースと立ち位置：

試合をしていて「コートセンス」が際立ってよいプレーヤーが偶にいるものである。昔インカレ選手だった中村直子さんとの練習試合では、彼女が立っている位置が常にこちらにとってプレッシャーに感じる場所にいた事に驚いたものである。自分が試合(練習)をした相手の中では彼女が群を抜いて優れており、コートセンスの良さとしか言いようがないものと思われる。恐らくは相手の返球コースを狭くするような立ち位置なのであろうが、理論的な考察はまだできてはいない。

[a] シングルの試合では相手コートの空いている場所を狙って打つ事は勿論基本ではある。しかし、相手が足の速い選手の場合、これが必ずしもベストかどうかは難しい。一般には左右空いている場所に打って、しかし相手はそのボールに追いついてしまうと相手から角度のあるボールが帰ってくる可能性が高いからである。自分のように足が遅い場合、もはや角度をつけられたボールには届かないのである。従って深いボールをセンター付近に返す事がやはり基本になると思われる。

[b] ダブルスの場合は、ラリー中に自分の有利な体制で打つ時に何処に打つのが良いか、これは割合はっきりしている。前衛に人がいたら、その人がギリギリで届く程度のコースに打つ事。この場合前衛に偶々決められる確率は勿論有限であるが、恐らくは決められる確率は3割以下であらう。前衛に人がいない場合は、打たせるべき相手方プレーヤーがバックで取るような深いボールを打つ事である。

(13) メンタルな強さ

試合に勝つにはメンタルな強さが必要であるとよく言われるし、またその通りであろう。それではメンタルな強さとは何なのであろうか？勿論、いろいろな側面があるとは思いますが、そのうち、身体能力の劣る我々物理屋にとって重要なメンタルな強さがあるので、それをここで解説しよう。メンタルな強さとは試合中に自分のストロークなどの調子が狂ったときに素早く元に戻す能力である。当然、調子のアップダウンは誰にでも起こることなので調子が悪くなったとき、それを素早く良い状態に回復する必要がある。それではどうしたら、良い状態に素早く戻せるのであろうか？これはテニス技術の理論をしっかりと理解していることが条件となっている。テニスの打球感覚だけではなく、その技術論がわかっているならば、自分の悪い状態の打ち方をいち早く修整できて、これがメンタルに強い選手に対応している。

この事はテニス技術の基本的な理論をきちんと理解する事が、実は、メンタルに強くなるためのほとんど唯一の方法であることを示している。試合では、相手は必ず打ちにくいボールを配給してくる。例えば、走りながら打たざるを得ないボールとかベースラインギリギリのボールとかである。この場合、走りながら打つとどうしても腰の回転で打つ事ができないものである。しかしこの時、早めに手打ちを直して腰の回転でしっかり打って行けば、また次第に良いショットが打てて自分のポイントにできる可能性が増えるものである。またベースラインのボールをしっかり壁を作って打つ事を常に心がけていることが大切であり、この「壁の理論」をきちんと理解しておくことが条件となっている。

これまでは基本的にテニスが上達するための技術論を主に解説してきたが、これは勿論、試合に勝つためにすぐに有効であるとはいえない。それは試合に強いテニスプレーヤーの場合、その調子が良いときは常に合理的な打ち方を本能的にしているからである。従って、試合においてテニスの技術が果たす役割はせいぜい50%程度であろう。そ

れにもかかわらず，そのテニス技術論を一定以上に深く理解していると，メンタルな強さを発揮できるものである．

(14) まとめ

結局，シングルス試合に負けないためにはベースライン際に深いボールを打つ事に尽きるようである．これを続けても勝つ事が出来るとは限らない．負けないと言っているだけであり，勝つためにはもう一つの重要な要素がある．それは「忍耐力」である．しかしこれはここで検討しても無駄かも知れないが，しかし勝ちたい気持ちが忍耐につながれば勝つ可能性が高くなる事は間違いないと思われる．

ダブルスの試合では2人の連携具合に強く依存している．少なくとも，シングルスの足し算では決してない事が試合の進め方を複雑にしている．従って連携を良くする事以外に，建設的なコメントはあまり出来ない．

テニスの試合は確率のスポーツの側面があり，その上，その日の運・不運に強く依存している．ライン上にボールが掛ければポイントになり，ボール1個でも外れれば相手のポイントである．

20年くらい前，テニス部のキャプテンだった学生(カガミ君)とシングルスの練習試合をしたのだが，5 - 5になった段階で彼の方から言ってきた「6ゲーム先取にしますかそれとも2アップにしますか」と．その時あまり考えないでそちらに任せますと返事をした．まだタイブレークが一般的ではなく彼は2アップを選んだが，それからが大変であった．確か12 - 14で自分が負けた事ははっきり覚えている．しかしながらこれは自分にとってテニスの最高の思い出の一つであり非常に楽しいゲームでもあった．

テニスでの試合で最も重要な事は，楽しむ事である．勝ったら単純に喜ばばよいし，負けたら相手を褒めればよい．それがすべてである．

追記：2017年5月

テニスの技術に関する小ノートを書いてからすでに数年が過ぎている。この間、様々な人達にテニスの技術についてお話してきたのであるが、もともとは物理屋を対象にして、力学的な観点からテニス技術を議論してきたわけである。しかし現在まで、テニスの技術論をお話してきた人達の大半は物理屋とは無関係であったが、予想以上に多くの人々が興味を持ってくれたようである。

● ガットのテンション： その中で、最も重要であると感じたことは、実はガットのテンションの問題である。卓球において、ピンポン玉に回転をかけるためにはラケットラバーを摩擦があるものにかえる必要がある事は周知の事実である。実際、木のラケットで強いスピンをかけるのは容易なことではない。それと同じで、ガットのテンションが例えば、55ポンド以上に高いとスピンを掛けることはかなり難しいと思われる。あるいは、強靱な手首があれば可能かもしれないが…。実際、ガットのテンションを40 - 45ポンドにしたらスピンの掛かるようになったと多くの人達が驚いたように証言している。

● 高速のドライブスピンのボール： 結局、45ポンド前後のガットテンションのラケットを非常に厚く(自分に合うように)握ってほぼ水平にボールを強くそしてうまく引っぱたく。この時、叩いた瞬間は摩擦のため回転に衝撃エネルギーが行き、しかし水平方向の速度ベクトルは保存されるため、スピードボールでもベースラインの内側に入ると言うことである。

● 自分のスピンのボール： ショットを正確にコントロールするために最も重要なことは、打ち返したボールのスピンを自分のスピンに変える事である。そうすれば、ボールが自分の回転のボールになりミスショットが著しく減るものである。この自分の回転のボールにするという操作はラケットでボールを叩く瞬間の感覚的なものであり、必ずしも教えられることではない。そしてそれがテニスの面白さであろうと考え

ている。しばらく前に、Nさんに片手バックの打ち方を教えた時があった。それは1時間程度であったが、その短い時間に彼は片手バックの打ち方をほぼ完全にマスターして、そのボールに自分の回転をかける事ができていた。このため、次の試合練習では片手バックが十分正確になっていて周りを驚かせたものである。彼には「最初はラケットを地面につけるくらいにして、ボールをラケットに乗せるようにしてスピンをかけ、そのボールが山なりでネットを超えることを目標に打つ事」を教えただけである。

- ラケットを放り投げる： テニスで一番、難しいのがサーブであることに変わりはない。実は、サーブで速いボールを打つためにはコツがあり、それはラケットを放り投げるように打つことである。しかしこれは危険を伴う可能性があり、教えることが易しいとは言えないものである。

● 閑話休題 5 : 物理は 50 歳台から

自分は学部生の頃も院生の頃もそしてその後の研究者になってからも、物理の勉強をやたらめったらやって来たと思う。それは物理を理解する事がひどく楽しかった事が一番大きな理由であると思う。しかしながら、物理を少しわかり始めたのは実は 50 歳台になってからである。それまでの理解は今の状態と比べると冷や汗が出るほどレベルが低いものである事が自分にはわかっている。物理はそれだけ難しいと言う事である。

21 世紀になって、これまでの研究スタイルを少し変えて、場の理論により束縛状態をしっかりと理解できないものかと思うようになり、最も簡単な 2 次元の場の理論を研究し始めた。特に、Thirring 模型は非常に面白い模型で、最初は恐らく QED の単純化した模型として Thirring により発表されたのであろうが、実際にはそれ自体が場の理論の模型として物理的に意味があり、特にカイラル対称性の観点から面白い事がわかったのである。2002 年の 6 月、この Thirring 模型における新しい計算を終えて、平本君と一緒に論文を書き上げそれをアメリカの雑誌 (Physical Review) に投稿した。フェルミオンが有限質量を持つ場合の Thirring 模型においては、有限質量のボソンが 1 個存在すると言う証明をした論文であった。この論文に対して、投稿後 5 日後にはレフリーから直接コメントが来て、論文の発表は許可するが 1 個参考文献を入れる事という条件が付けられた。そのレフリーはオーストリアの大学の先生であるが、我々も直ちにその引用すべき論文を読み始め、同時にその論文を引用した新しい論文を投稿した。そしてこの論文はそのまま 2 週間後には発表を許可され、自分の論文の中では最も短い時間で発表された論文になった。

ところが、彼らレフリーの論文を読み始めて、その内容が示してい

る事実に仰天し、そして直ぐに我々自身の計算を行った。その結果、驚きのレベルを超えてしまう事実がわかってしまったのである。それは、これまで自分を含めて誰も疑った事のない問題、すなわち、自発的対称性の破れの理論を否定する計算結果が出ていたのである。先のレフリー達はその結果に対して、何とかこれまでの南部達の理論と整合性を取るため、様々な言い訳をして、自分達の計算がまだどこか不十分であるという事を主張していたのである。しかしながら、我々の計算結果は彼らよりもはるかに精密で正確であるので、計算結果が正しい事は明らかであった。すなわち、南部 - Goldstone の定理がどこか間違っていると言う事である。これは大変な事になったと自分でも驚き、それからそれこそ狂ったように調べ、計算しそして考え続けたものである。

詳しい事はすべて場の理論の教科書 ([4, 5]) に書いておいたので、そちらを参考にして貰う事にして、結果だけを簡単にお話しよう。南部 - Goldstone の定理は数学の定理であるが、これを自然界に当てはめる事は出来ないと言う事である。この理由は簡単で、自然界にフィットするには様々な条件をクリアする必要があるが、Goldstone の定理はそれらを満たしてはいなかったのである。特に南部 - Jona-Lasinio の論文は、残念ながら、どうみても信用できるとは言えないものであった。実際、カイラル対称性が自発的に破れるという事はなく、彼らが使った近似法のために見かけ上カイラル対称性が破れたように見えただけであった。物理的には、彼らの模型では真空のカイラル電荷が有限となったのであるが、これが自由場の真空 (カイラル電荷はゼロ) とは異なっているという事であったのである。そして、その有限のカイラル電荷を持つ新しい真空の方がカイラル電荷ゼロの真空よりも低くなっている事は事実であるが、カイラル対称性が破れているわけではない。さらに南部達の論文の計算における深刻な間違いは、ボソンを計算する時のフェルミオンの真空の取り方に関する問題であった。折角、有限のカイラル電荷を持つ真空の方が低くなるという事を発見したのに、彼らの計算は自由場の真空を基礎にして行われているのである。場の

理論においては、真空を正しく選ぶという事は最も重要である。それはその状態から次々と他の励起状態を作っていくからである。このため、真空が正しくないと、非物理的な状態 (Goldstone ボソン) を予言してしまうのである。その後、Thirring 模型における Bethe 仮設による計算で、有限のカイラル電荷の真空の厳密解が見つかった。この最も難しい模型計算が平本、高橋、本間の3氏との共同研究により偶然、完璧に解く事ができ、真空のエネルギーを含めて全てが解析的に求められたのである。このため「対称性の破れ」の物理は一挙に明瞭になった。南部達も使ったし、我々も最初の頃は用いていた Bogoliubov 変換による手法は厳密でない事はすでに知られていたが、それがどの程度の近似法かが明白になったのである。その近似解法だと一見、対称性の破れが起こるように見えただけで、従って「自発的対称性の破れ」に付随してでて来るべきボソンなど、当然、どこにも存在しない事が証明されてしまったのである。

これらの事をベースにして場の理論における様々な問題を検証したところ、あちらこちらにほころびが見つかり、ある時期は一時呆然としてしまったものである。しかしながら、人々が信じている理論を批判すれば、それに対して、「教科書を読みなさい」という同じオーム返しのような批判のコメントが常に洪水のように戻って来るし、そうかといって、そのままにして置くわけにはいかないし…。それ以上に深刻なのは、その物理の分野で物理上の業績としての「既得権」を持っている研究者達の反応である。これは「凄まじい」のレベルを超えるものであった。確かに、この本で議論しているように、一般相対論が間違っていて、その代わりに新しい重力理論が作られた事は若い研究者にはやるべき事が増えて面白い事に違いない。しかし、例えばブラックホールの物理で名をあげた人達はその業績がゼロになるわけであり、難しい問題をはらんでいる事は確かである。しかしながら、物理は自然を理解する学問であり、それ以上の事もそれ以下の事も人間が出来るものではない。いずれにせよ、これまで物理の研究が楽しくて楽しくて仕方が無いという状態だったのに、この時ばかりは多少がっかり

したり、情けなかつたりしたものである。結構信頼していた物理屋がとんでもない事を言って来たりで、さすがにその頃は人と議論する事さえ疎ましく思われたものである。この問題の最も大きな原因は素粒子物理の理論屋にある気がしてならない。確かに素粒子論は常に時代の最先端を学ぶ学問である事は事実である。しかし、だからといってその研究者が学問を深く理解しているかというところがそうはなっていない、現実には全く逆の現象になっている。すなわち余程しっかり謙虚に勉強している研究者でない限り、素粒子論研究者は一般的に言って基本的な物理の理解がかなり浅いものである。この原因として、70年代以降これまでの素粒子論の専門家は現象(実験事実)をしっかり捉えて理解するという努力を怠ってきた物理屋が大半である事によっていると思われる。この事は、80年代以降、素粒子物理における実験的な進展がほとんど見られなかったため、ある種の閉塞感があった事とも関係しているかも知れない。

このように、様々な状況における八方塞がりのときに、自分が一番支えられたのは、やはり自分の研究室の院生諸君であった。私の研究室に来た日大理工物理の院生のレベルの高さには、何度も驚かされたものである。物理の理解が正確であるばかりか、やはり物理そのものをしっかり理解したいという情熱にあふれた人達が自分の所に学生として来たのであった。これは本当に幸運としか言いようがないものである。これに加えて、西島先生の様々なコメントと励ましは大きかったものである。自分が大学院進学の際に、西島先生の研究室を選ばないで原子核理論に行った時、「何で来なかったのだ・・」と言われて以来ずっと、何だかんだと随分と先生にお世話になってきたが、この時期数年間の物理学上でのサポートは、言葉では表せないほどの大きな意味を自分には持っていたのである。特に、自分の書いた教科書の内容と重力理論の論文に対して、非常に貴重なコメントをして頂き、また想像を遥かに超えた励ましをして頂いたのである。その意味では、これまで、物理を深く考え、正確に理解している人が自分の身近におられた事は、この上ない幸運であったと思う。

これは最近の出来事ではあるが、20数年前に修士を卒業した大木君が、私が退官する前に会いたいと言って研究室に訪ねて来た。彼は昔から物理の理解が異常に深い学生であったが、10年ぶりに再会するなり「以前、一般相対論のチェックをしたら水星の近日点もGPSも観測とは逆に出てしまった。だからあれはおかしいですね」と言い出したのでこちらの方が吃驚した。また、彼は「これは藤田さんが10年前に一般相対論は間違っていると言われたからチェックしてみた事です」とも言っていた。それで最近 Bentham 出版社から出版された本を紹介して解説したところ「ここに来る前と後で物理の景色が激変した」と言ってひどく喜んでくれた。この10年間、一緒に議論する機会はなかった人が物理の全ての内容を即座に理解し、またある意味でそれ以上のコメントをしてくれた事は本当に嬉しい限りである。自分が孤立している事は重々承知をしているが、しかし彼と話をして「科学は多数決で決まてはいけない」と言う当然の事を再確認した次第である。その日はワイン2本を卒研究生と3人で飲んだのだが、その途中、大木君が西島先生の「Fields and Particles」の古本を取り出した。電車の中で読んでいるとの事であるが、突然「この本あげる」と言ってその卒研究生にひょいと渡したのには仰天した。この古本はかなり高価であるが、大木君にとっては、物理を極めて深く理解している4年生の存在が昔の自分自身と重なったからであろうか。

冒頭に書いたように、自分は物理の理解とその研究に膨大な時間を注ぎ込んできた。それが可能であった事は本当に恵まれていると思う。最近の若手研究者を見ると多くが共働きである。そして子供の面倒を見る事は勿論両者が行う事になる。現実を見る限り、その若手研究者達は研究に割くべき時間が大幅に削られている気がする。共に働く限りは他に方法は無いとは思ふ。しかしながら、これでトップレベルの研究が出来るかどうか難しい問題である。少なくとも、やたらめったら勉強している人達に対抗できるかと言えば、やはり答えはほとんど不可能という事になるだろう。その意味で、自分の研究がこの様に高

いレベルで出来た事は、明らかに一人でやれた事ではなく、連れ合いと二人で一緒にやってきたから可能であったと断言できるものである。その意味で、非常に辛い言い方ではあるが、研究者にとっても、共に働く事の功罪をしっかりと認識する事が重要である気がしてならない。

● 閑話休題 6 : 講義中の雑談

1. 人間の文化 :

物理を勉強して、その言葉で自然現象を理解する事は限りなく楽しいものであり、単純な事でもわかると言う事は恐らくそれが人間本来の感じる最も大きな喜びなのだろうと自分は思っている。例えば、エジプトで紀元前3世紀に地球の半径を測定した人達がいる。この人達は地球が球のようになっている事を月食などを通して知っていたのであろう。しかし、地球の半径を、当時どのようにして測ったのであろうか？これを考えるとその手法をどうしても知りたくなるが、その方法は非常にシンプルであった。それは赤道直下の町で夏至の日の正午に太陽の位置を測定したとする。その時、その町では影が出来ない事が知られていたので、これは太陽が真上にある事になる。一方、そこから真北に千キロ離れた町で同じように太陽を測定すると、今度はほんの少しの角度($\delta\theta$)だけ真上からずれてしまう事になる。これは勿論、地球が球だとわかっていれば図を描いてみると簡単にわかり、この角度の差から地球の半径($R \simeq 1000/\delta\theta$ km)を計算する事は中学生が最も得意とするところであらう。

人間の文化はゆっくりゆっくり進歩してきたのであろう。最初の講義の時に学生に話している事だが、大学生が学問に勤しむ事は重要ではあるが、しかしそれと同じくらい重要な事がある。それは本を読む事である。どんな本でも良いから手当たり次第に読む事である。科学を学ぶ事は非常に楽しい事であるが、しかし同時に「科学も文化の一部である」という当然の事をしっかり理解する必要がある。そしてさらに日本の文化を出来るだけ深く理解して欲しいと思う。学生に「源氏物語」を読みなさいとすすめると結構、反響はある。何故、源氏です

か？という事であるが，これは日本の書物の多くは何かと言うと源氏を引き合いに出して源氏がある種の「リファレンスシステム」になっている．まるで Newton 力学のように，そして Newton 力学が最も重要な「物理的センス」の源になっている事は間違いない．基本法則はむしろ Maxwell 方程式の方であったが，力学的直感とその描像をしっかりと持っている人の方が，物理の理解でひどく間違えたりはしないものである．

2. 物理の理解

高校時代，電気の問題はおろか力学の問題もさっぱりわからなかった．自分にとって物理は最も苦手の教科であった．浪人時代の予備校の授業は更にわからなく，結局ほとんど授業には出なかった．それでどうしようかと言う事になり，たまたま書店に並んでいた「物理根底500題」という本を買ってきてそれをとにかくやる事にした．ところがその本の問題500題を2回ほど解いたら，何となく物理の問題が解けるようになってきた．受験前にはほぼ完璧に解けるようになったが解き方を覚えてしまったから当然でもある．

しかし物理を本当に理解するにはこれとはほとんど直交する作業が必要となる．数学，特に微分方程式を解く方法を正確に理解してそれを何時でも使えるまでにしておく事である．例えばNewton方程式を見たときにその解法とその答えを何時でも何もみないで再現できるまでになっていれば，物理学の法則と自然界を結びつける事が可能になると思われる．

しかし物理がわかる事と物理の法則や現象を覚える事とは異なった作業が必要となっている．何時も学生に言っている事だが「自転車の乗り方を覚える事」と「自転車に乗れる事」とは別物であり，努力する作業形態もまた別である．しかし物理の理解のように非常に高度な作業が必要な場合，この2つの作業工程が必ずしも明瞭に分離してなくて，そのため物理で「自転車に乗れていない」物理屋が予想以上に多いのが現状である．実際の経験から言って，大学の物理の教授でも「物理の理解で自転車に乗れていない人」が半数以上いる事はまず間違いないと言える．それで何故，学者になれたのか？であるが，恐らく，試験に偶然できたりまた有能な共同研究者とたまたま良い論文が書けたりすると，周りも本人も物理で優秀であると錯覚してしまうのであろう．これがこの物理屋本人にとって幸か不幸かはその人自身によると思われるが，しかし講義を受ける学生にとってはこの上なく不幸な事ではある．

この事は物理に限らず他のどの分野にも等しく当てはまる現象であろう。どの分野でも「自転車に乗れている人」は少数派であるが、更に悪い事にその有能な人達が不遇である場合が予想以上に多いのである。それは何事も多数決で決められている限り、避けられない事でもあろう。若い研究者には残酷かもしれないが、あとは運が良ければ正当に評価されると言う事であろうか。

3. 言語の文法

人間が他の高等生物と比べて特に優れている事の一つに「言語の文法」が挙げられている。言葉を持つ生物は他にも数多くいるのだが、しかし人間の言語には「文法」があり、その事が最も重要であると考えられている。単語を羅列してもある程度の表現は可能ではあろうが、そこに文法力が備わった場合、表現空間は飛躍的に増大し、ほぼ無限に豊かな表現力となっている事は確かである。実際、外国語を話したいと思った時、まずは単語を覚える事から始めるがそれだけでは会話は出来ない。たとえ1500個の単語を覚えたとしてもその外国語の文法を知らないとなかなかうまく話せるものではない。ところが、その文法を理解し、それを自分のものにする事にはかなり大変な努力を必要としている。文法書を読んでやたらめったら覚えようとしてもそう簡単には文法力は身につかない。結局、一番良い方法はその外国語で普段良く使われている500個程度の「基本文章」を繰り返し繰り返し声に出してつぶやき、それをそのまま覚えてしまう事であろう。こうするといつの間にかその外国語の文法がある程度は身についてくるものである。その基礎がないまま外国に滞在したとしても、簡単な日常会話は別にして、物理の議論がしっかり出来ると言うレベルまで到達する事はかなり難しいものと思われる。

言語において文法力がその根幹であるとしたら、物理的理解で「文法力」に対応するものは何であろうか？ 物理現象を理解すると言う事は物理における様々な法則(方程式)を言語にして、その言葉で自然現象を表現する事である。その場合、沢山の法則を羅列的に並べてみても自然現象を理解する事は出来ない。それぞれの法則が持つ規則性とそれら法則間における物理的な関係を理解し、全体を互いにうまく関連つける事ができた時に人はわかったと思えるものであろう。量子力学の演習(12週間分)ではかなり多くの学生達が最初の数週間は全くわからないと泣きべそをかいている。しかし10週目くらいから突然わかり始めたと喜ぶ学生がよく見受けられる。これは量子力学の問題

を解いているうちに、ある種の「文法力」が身につき始めて、問題間の関連性がある程度ついた時に、量子力学が少しわかったと思えるからであろう。

4. Kepler Museum

昭和が終わる前年 Max-Planck 研究所に客員教授として招待され Heidelberg に 1 年間滞在して研究に没頭する事ができた。この時、共同研究者である Heidelberg 大学教授の Hufner が 2 年生に力学を講義していたため、自分に力学演習のクラスを一つ見てもらえないかと頼んできた。ドイツの学生がどのような勉強振りをするのが興味があったので二つ返事で引き受けた。演習のクラスは 15 名になるとそのクラスの定員を締め切り、130 名ほどの学生を必要な数のクラスに振り分けていた。自分のクラスに対しては英語が喋れる事を条件にしたのだが 15 名の学生が集まり演習の授業を始めた。結局、授業はドイツ語で行ったが、自分のドイツ語の発音が悪くて通じない事が何度かあった。学生の勉強振りはどの国のどの大学でも全く同じで、よく勉強し良くできる学生達とスケートボードなどにしか興味ないような勉強嫌いな学生達が等分に入り混じっていた。そのうちの一人に Baden-Württemberg 州ではかなりテニスが強かったという学生がいて、数回一緒に室内でテニスをしたものである。

冬学期も終盤になったある日、Hufner が「力学の講義に出ている学生を引率して遠足に行くから一緒に来ないか？」と誘ってくれた。バス旅行はバス酔いするため逡巡したのだが、意を決して同行した。驚いた事に 8 割近くの学生が参加していた。目的地は Stuttgart にある物性関係の Max-Planck 研究所とその近郊にある Kepler Museum であった。研究所についたら、そこの研究者達が総出で出迎えてくれた。そして学生達に非常に丁寧に自分達の研究を解説していた。まだ 2 年生なのに学生達も研究者達によく質問をしていて、これには吃驚したものである。その後 Weil der Stadt という小さな町にある Kepler Museum を訪れたが、これはなかなか面白いものであった。Kepler の業績はよく知られているが、しかし彼の母親が魔女裁判にあって、随分苦労した話が克明に記されていた。またこの町は Kepler に 2 度救われたと言われている。最初の戦争は 19 世紀以前の出来事であるが、

2 回目の話は第 2 次世界大戦中の事である。フランス軍がドイツを攻めた時、フランス軍将校が「この町は Kepler が生まれた町だから空爆してはいけない」として空爆を避けたと言う話が事実として伝わっている。当時のフランス軍将校はそれだけ教養があったと言う事であろうか？

5. 対称性の問題

オームの法則は時間反転に対して不変ではない。従ってその法則は経験則であり、それを基本法則として受け入れる事はできない。しかしマクロスケールで見たらそれはそれ程不思議な事ではないと言える。例えば Newton 方程式は確かに時間反転に対して不変であるが、かといって地球が太陽の周りを周回している現象そのものに対して時間を逆に回すことはできない。しかしもし時間を反転したとしたら、その観測量(周期など)は今と全く同じであると言う事が時間反転不変性の物理が示しているすべてである。

対称性の問題を最初にきちんと物理的に考えたのは恐らく Pierre Curie であろう。彼は圧電効果や放射能を発見した事(ノーベル賞は放射能で受賞)で良く知られているが、対称性に関して重要な仕事をしている。特に、自然現象において「非対称性の物理現象はその原因がない限り結果として非対称性が現われる事はない」という Curie の原理を提唱している。この事は量子場の理論でも正しい事が今はわかっている。自発的対称性の破れがある時期に流行したが、もし「Curie の原理」をしっかり理解していたらあのような愚かな理論が提唱される事はなかった事であろう。現実には、カイラル対称性が自発的に破れる事などあり得ない事が厳密解によって証明されている。そしてこの事は Curie の原理の言っているとおり、対称性を破る相互作用(原因)がない限り、系の対称性が自然に破れる事はないと言う極めて自然な結果であった。

ここで対称性が破れている弱い相互作用について考えてみよう。これは最初の Lagrangian にパリティを破る相互作用を入れる事により現象を説明していて、確かに Curie の原理と矛盾してはいない事がわかる。その他に対称性を破る力としては CP 対称性を破る相互作用が知られている。これはしかしオペレータでその対称性を破っているわけではなく、その相互作用の結合定数を複素数にする事により CP 対称性を破っている。この現象も Curie の原理とは矛盾しないが、しか

し物理的には今ひとつ理解し難い問題でもある。すなわち、対称性をオペレータでなくて、その強さをあらわす係数で破る事が直感的には良くわからない。観測量(実験値)は実数なので何処かにジャンプがあるものと思われるが…しかし人々はわかっているのではあると思う。

6. 座標系と物理

太陽の光が地球上の生物に非常に重要である事は明らかであるが、その光を物理における量子状態として理解する事は予想以上に難しい。その最も大きな理由として、光には慣性系を指定できないと言う事がある。例えば電子と陽電子を衝突させると弾性散乱以外にも散乱過程があり、衝突後に2個のフォトンになるという散乱がよく知られている。これを $e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$ と書く。ところが、この逆散乱の反応を考えて、フォトンとフォトンをぶつけて電子と陽電子を生成させる事ができるのであろうか？という疑問が生じてくる。しかしながらこの問題は理論的にも実験的にもまだ全く解決できていないのである。もし逆散乱過程が存在しないとしたら、これはこれで物理学の重大問題になってしまう。しかし、慣性系を指定できないのにどのように散乱断面積を求めたら良いのかがわからないし、まだその解決の糸口さえも見つかっていない。どうしたらよいのであろうか？

物理学は座標系を指定してその中で物理現象を記述しようとする学問である。時間と空間は現象を記述するべく舞台そのものであり、従ってその舞台(座標系)をきちんと自分達が納得する形で定義しておかないと、どんな舞(物理現象)をしても観客(観測者)はその舞を評価する事はできない。舞台装置を勝手に変えて奇妙な舞(Einstein方程式)をされても、その現象が本当に自然界で起こる事なのかと言う検証さえできない。これは空想の世界であり思考実験(Gedanken Experiment)の範囲でしかない。この奇妙な理論(一般相対論)に100年近くも振り回されてきた事実は重い。しかし、一体、何故このような事が物理で起こりえたのか不思議でもある。近年、相対性理論関係では特殊相対論も含めてEinsteinの評価が急落している様に見えるが、その意味でもPierre Curieの凄さには驚くばかりである。彼の自然観察眼の鋭さが最も重要なのであろうが、やはり自然を理解したいと言う彼の視点(原点)が全く揺らがない事がEinsteinとの差であるような気がしている。歴史に「もし…」は意味がない事は重々承知をしている

が、もし Pierre Curie が 1910 年代以降まで生きていたら恐らくは現代物理の進展は大幅に変わっていた事であろう。相対論も量子論も今とは異なる形で発展した事はまず間違いない事であり、それを想像するだけでもわくわくしてしまうのは何故だろうか？

7. 観測量

1930年代に発表された Heisenberg 達の数本の論文を読むと、当時 Dirac が提唱した空孔理論に対してその真空偏極の影響を何とか物理的に検証したいと言う彼らの姿勢が伺えて非常に興味深い。電磁場により負のエネルギーの電子を励起したらどのような影響があるかと言う問題である。この計算は場の量子化を現代のように行ってはいないが、全て行列要素で書いているため結果は同じとなっている。Heisenberg 達の論文でも2次発散が出ているが、無限大は観測量ではないから気にしないという姿勢が見受けられる。しかしその残りの有限項は物理的に意味があり得るかと言う問い掛けが論文を読む限りでは見えてこない。この電磁場による負のエネルギー電子の励起の問題は現在の言葉で言えばフォトンの自己エネルギーそのものである。Tomonaga はその直後に Heisenberg の所に留学していてこの一連の仕事を熟知していた事と推測される。従ってフォトンの自己エネルギーを波動関数に繰り込む事は不可能である事を知っていたと思われるし、実際、確かにその様なコメントを雑談の中でしている。しかし、この議論のなかで、物理的な観測量は何なのかという問い掛けが今ひとつ見えてこない。この問題は電子のバーテックス補正に対する考え方に顕著となって現われる。Tomonaga は電子の自己エネルギーの計算に現われた Log 発散の項をまず波動関数を再定義する事により波動関数に組み入れた(繰り込んだ)。この新しい波動関数により、バーテックス補正の Log 発散を完全に吸収する形で理論の定式化を行い、電子の異常磁気能率が計算できる手法を開発したのである。しかしこれは如何にも人工的で説得力があるとは到底思われぬし、Tomonaga 本人も一時しのぎの手法と考えていたようである。しかしながらその後、場の理論における繰り込み理論に対する進展はなく最近になってようやくこの問題が真面目に議論され始めた段階である。「観測量に発散がでたらそれは場の理論の定式化の何処かに問題がある」と考えた物理屋が予想以上に少なかったのは何故であろうか？明らかに、観測量の発散はその理

論形式の欠陥であると考えの方がより自然である．物理学が自然現象を理解しようとする学問である限り，電子のバーテックス補正の計算はまだ健全とはとても言えない．

8. 文芸部

高校時代，自分は文芸部で高校の文芸誌「一里塚」の編集に携わっていた．当時の広告料は1マスが500円であったが，それを取りに町を歩いてもほとんどは相手にはされなかった．その雑誌の巻頭言に「大宇宙空間は確かに存在しているのであろう．その中に大星雲も太陽もまた我等人間も存在しているのであろう…」から始まる400字程度の文章を書いたが，当時の自分には宇宙空間の理解と認識ができていなかった事がよくわかる．

現在，陽子と電子の寿命が無限である事が実験・理論の両面から確立されているが，この事が宇宙論にも重大な影響を与えている．宇宙論では，宇宙が無限の過去から存在していたと言う仮定から出発せざるを得ない．しかしながら，これは過去のどこかで宇宙が生成されたとする仮定よりも合理的である．実際「宇宙生成の原因」を示す実験・理論は何処にも存在していない．

しかし無限の過去からこの我々の宇宙(約1兆個の銀河系)が存在していたと言う仮定を受け入れると，宇宙論全体にも様々な影響がでてくる．この我々の宇宙が100億年程前に大爆発を起こした事は確実であり，そしてこの宇宙はその大爆発を繰り返してきた事であろう．この事は4つの相互作用が矛盾なく理解された現在，自然な結論となっている．

ところが，この「大爆発繰り返し」の事実を受け入れると我々の宇宙のみ存在しているとする仮定が矛盾を惹き起こしてしまう．それは大爆発後に必ず光とニュートリノによって，莫大なエネルギーが我々の宇宙空間から外の空間に放出されているため，無限回の大爆発の事実は我々の宇宙全体のエネルギーが有限である事と矛盾してしまう事になる．このため，どうしても全宇宙は無限であり，我々と同じ宇宙が無限個あり，そこからエネルギー(光とニュートリノによる)をお互いに出し入れしていると仮定せざるを得ないのである．そしてこのために「Mugen Universe」(無限宇宙)と言う考え方の導入が極めて自然

な作業仮説となっている。この時、無限個の宇宙からの引力でも、何故、我々の宇宙は安定なのかと言う疑問には、無限である限り安定である事が割合簡単に確かめる事ができている。更に言えば、この無限宇宙には地球のような生命体をもつ星が限りなく多く存在している事であろう。そしてこの宇宙の成り立ちまで理解する生命体の存在も数え切れない程 多数なのであるだろうか？

関連図書

- [1] J.D. Bjorken and S.D. Drell,
“Relativistic Quantum Mechanics”, McGraw-Hill, 1964
- [2] J.J. Sakurai,
“Advanced Quantum Mechanics”, Addison-Wesley, 1967
- [3] K. Nishijima,
“Fields and Particles”, W.A. Benjamin, INC, 1969
- [4] T. Fujita,
“Symmetry and Its Breaking in Quantum Field Theory”,
Nova Science Publishers, 2011 (2nd edition)
- [5] T. Fujita and N. Kanda,
“Fundamental Problems in Quantum Field Theory”,
Bentham Publishers, 2013