統計物理学雑談

伏見 康治

中野：先生が統計力学に強い関心をもたれた動機、そのころのいろんな状況というか過程みたいなことからお話しをうかがいたと思います。

伏見：僕が東大の学生だった頃は、寺田物理学が一世を風びしていて、平田森三先生などがおられました。多分僕自身は寺田先生の講義を受けた最後のクラスだったと思いますが、当時先生は、肉体的にはかなり衰えておられて、40代というのに、しわくちやで、生活には、強さのない人で、たとえば寒がりやでシャツを何枚も着ておられたり、甘いものが好きだったり、そういうタイプの人でした。病気になられる以前は、orthodoxな世界の潮流にのつた仕事をされていて、Braggの公式に相当するものを、Braggが発表される以前に考え出したりされていたわけですが、病気になられてから、いわゆる寺田物理学というものが出てきたわけです。寺田先生は、器用な頭のいい方で、例えば陸軍の気球が火災を起こしたので相談をうけて、その原因を調べて器用にまとめられたりしました。小さくいろんなことに気がついてまとめられるので、皆からたいへんちようほうがられておりました。その当時のことで思い出すのは、平田先生が“科学”という雑誌にキリンの縞模様について書かれまして、ちようど田んぼが、かわいてひびがはいるのと同じように、キリンが胎内にいる時に、皮膚が裂けたものだと言われたのですが、生物学者からは、コテンコテンにやられたことを憶えております。(爆笑)

寺田物理学の主要な点は、統計的観測にあると思いますが、よく平田先生といつしよに東京駅の改札口に出かけて、どの窓口に行くか、何秒間に何人いくとかかをよく観察したものでした。それでわかったことは、多勢の人がいる窓口には、ますます多くの人が集り、少ない窓口には人が寄りつきにくいなどというcorrelationがあるんですね。

伏見康治

寺田先生の講義は、統計の話で、種本は、Fürth の Schwankungser-scheinungen in der Physik でした。この人はナチに追われてアメリカに行つた人ですが、Brownian 粒子の数が時間と共にどのように変わるか、ある時刻の数と一定時間数との間には、correlation があるなどのことが書いてあるわけです。当時、数学の方で Markoff process がはやり出してきていたわけです。当時の寺田物理学はジャーナリズムがもてはやしていて、東大の学生にとっては、今の素粒子論位に受けとつていたわけです。(笑)

しかしまあ寺田物理学は、あまりに随筆的で気がきいてはいるが、まとめ方が浅すぎて、orthodox な物理では、習つてもあまり役立たないわけですが、数理的側面がたくさんあるわけです。壮大な理論体系の中でまとめられるもので、日常生活の中で面白い面を pick up はしているが、体系化されていないわけです。これを確率論的統計論的にまとめられるのではないかと思うようになった。こういうことが、学生時代に、確率的、統計論的に物事を観ようと思つた一つの原因です。

中野： そういうことは伏見先生一人で考えられたことなんですか。そういうことを考えて、議論しあつた同好の仲間というものがあつたんですか。

伏見： 当時僕より3年後輩に高橋浩一君がおられて、彼は大の寺田物理学ファンでしたが、寺田物理学と同じことをやるわけです。砂の力学というか、筒の中に砂を入れて、底に紙をはつて圧力をほかると、側面にまさつがあるから紙には、full に圧力がかからないわけです。まさにハイとドロの物理学です。その時、Takahashi-Hushimi の方法が出たわけです。これは部屋の中に、回転する振子、つまりねじり振子をつるしておくで、室内には、turbulence があつて空気が動いているわけで、ある時間間隔で、ねじれの角度を測りますと、一見デタラメな曲線が得られるわけですが、この曲線から、この振子の固有振動がみられないかというわけで、equal time で deflection の correlation function をとつて、時間の関数としてあらわすと、periodicity をもちながら damp していくというわけです。現在では、この方法は、technical には確立されているわけですが、当時はいちいち correlation function を計算するので大変だつたわけで、これは私が東大の助手をしていた時の仕事で、気象集誌という雑誌にのつています。

僕は、昭和9年春阪大に移つたのですが、当時、東大には、山内、小谷、犬井という三羽ガラスが、工学部の力学教室におられ、理学部には、坂井先生、落合先生などがおられました。三羽ガラスの人達より年代も上だつたせいもあつて、僕は理学部より工学部に行く方が面白くて、工学部に出向いては、いじめられていたわけです。その当時、量子力学を理解して、仕事をするということが、物理の目標みたいなことでしたが、三羽ガラスの人達は、十分にこなしていたわけです。それで、僕も 山内訳 Weyl の“群論と量子力学”という本を当時の金高にしては高い8円也で買ったわけです。助手の月給は東大が70円、阪大が60円でした。阪大に移つて月給が下つたので、八木先生にそのことを申し出ると、気の毒だというので、半年程して講師にしてくれて、年俸1000円になりました。余談はやめにして、力学教室に出はいるしている時、山内さんが、お前は量子力学をやるつもりなのかというので、僕はこう答えたわけです。僕は物理の確率論的側面にしか興味がない、量子力学には、確率論的 aspect があるから量子力学をやるのだと、これは本心から言つたものでもなく、売り言葉に買い言葉という感じもするわけです。その後、だんだん戦争が近ずき、山内さんが高等学校時代か何かで、友達であつた 河出孝雄という人が、だんだん用紙の配給も少なくなり、理工系の本でも出さないとやつていけないというので、応用数学叢書を出すことになり、前に山内さんに見栄を切つたものだから、確率論を書かされたわけです。これが僕の最初の本で、本が出たのは昭和17年頃だと思います。

さて僕が学生の頃、Birkoff, Von Neumann の Ergoden Theorie の数学的証明というのが1931年頃出たのですが、それにつづいて、関連した論文が出てきましたが、大阪に移つてからは、Hopf の Ergoden Theorie という本が Spriger から出ました。東大時代 Birkoff, Von Neumann の論文を読み始めましたが数学がむつかしく、落合先生の前で夢中になつて、コロキウムをやつたことを憶えています。

当時東大では統計力学という講義はなく、気体運動論で、教課書でいえば、Bennard の Kinetic theory of gases にあたるような本で、molecule の数と pressure の関係とか、管を流れるガスの流れの理論とか、いわゆる真空技術の初歩みたいな話を聞いていたわけです。

伏見康治

統計確率論に進んだ今一つの側面は、僕の妹が富山小太郎氏と結婚して親せきになったことです。富山氏は、山内さんよりも2年先輩で、高峰研究室に出入りしていました。富山氏は、たいへんな勉強家で、いろんな雑誌をよく読んで、何が新しい問題かをかぎつける能力があり、統計に関するBirkoffやNeumannの論文のコピーを克明に集めておりました。深入りする気はなく理解できればいいという天性ジャーナリスチックな人で、親せきになつてからは富山氏から論文のコピーをもらつていたわけで、僕自身雑誌をひっくり返す必要がなかつたわけです。当時はコピーをとるのは大変なことだつたわけです。そういうことがあつて、岩波物理学講座の別冊みたいなものに“エルゴードの理論”を書いたわけです。河出のより前です。河出の本で思い出すのですが、原稿の締め切り以後1年程放つておいたのですが、電報が来て、書けという催促です。当時、電報は、重大事なわけで、それから3ヶ月程は学校へ行つても朝から晩まで考えて書いたわけです。もちろん資料とか材料は集めてあつたわけですが……。

柏村； あの中に Von Mises の本のことがちよつと書いてありますが、あれは東大時代に出た本ですか。

伏見； 当時Kolmogorovの確率論の基礎、Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnungが出て、初めて、確率論が数学者の手に移つたわけです。これはmeasure theoryなんですけど、それからマジメな数学者が取扱つてよいということになつたわけです。今になつて思うのですが、いろんな人の意見を聞きに行くべきだつたと思いますね。どうも自我の強い男で、自分で文献をさがしていたわけです。

中野； 意見をききにいくべきだつたとおつしやいましたが？ 当時の同業者はどんな状況だつたのですか。

伏見； 僕は東大時代3つの講義に感心しました。一つは、竹内端三の関数論で、実によく準備された講義で、ノートをとらなくてもよかつた位で、むしろノートをとらない方がよい位です。ちやんとした本もあるのですから。ノートというと思ひ出すのは、西川正治先生の講義です。小さい声で字もうすく、第一列の人以外は、目も耳もきかぬというわけです。年代と名前しか書かずに、内容をしやべるものですから、試験になつて何も頭に残つておらぬわけです。

それで図書室から本を借りて講義とは独立に勉強したことを憶えております。当時、嵯峨根先生が、大学院の学生だったので、小使室で、どうすればよいのかと聞きますと、とにかく第一列に並んで、先生の書く年代と名前をノートして、講義が終れば、図書室にかけこんで、その年代と名前を照し合わせて調べるといふわけです。昔は雑誌は今のようによくはなく、Royal Society とか Zeitschrift für Physik 位しかなかつたからよかつたわけです。

竹内端三先生の講義は職業的な興味をもって面白く聴いたわけですが、清水武雄先生の講義も面白かつたと思います。この先生は、清水式電位計で有名で Rutherford の Radiations from Radio Active Substances という古典に日本人の名前が 2~3 出ていますが、その中に清水式 Wilson chamber のことが載っています。清水先生は実験家ですが、自分で徹底的に考えた人で、そこらへんに書いてないような観点から理解して、講義された人です。そのことで思い出すが、友近先生が流体力学の先生だったわけですが、当時、物理学会会員が 100 名程しかいなかったもので、毎月一回常会が開かれていたのですが、会をにぎやかにするために、論文が完成するしないにかかわらず、発表してほしいといわれていたわけです。それである会の時に友近先生がシソツチ(?) (イタリー人) の paradox の話をされたわけです。完全流体の中に平面の翼を入れて、これにどのような力が働くかというわけです。普通は、trailing edge という後の方から出る流線がまっすぐになるように、Circulation を与えて、Circulation によつて揚力が働くという計算をするわけで、流れに垂直に力が働くわけですが、イタリーのシソツチという学者がおかしいといいだしたわけです。完全流体であれば、圧力は面に垂直にしか働かぬから、斜めに力が働くはずがないというわけです。友近先生が、板の端の部分を limiting process として計算しても垂直にしか出ないと得意になつて話されると、清水先生が、そんなはずはない、流体の問題は、囲りが Laplace の方程式だから、流れのベクトルの方向を 90° 回転して考えると静電場の問題になる。流れに直角な方向に静電場が働いている中に金属板を入れたものと同じで、Circulation があるというのは、板に Charge があるというのと同じだというわけです。Charge のある板を持つてきて上下に condenser plate がある時に、どんな力が働くかといへば上下に働くわけで、板に垂直な

伏見 康治

方向に働くというのは物理的に nonsense だというわけです。我々学生にもよくわかる話で面白かったです。も一つ感激した講義は坂井先生の熱力学です。当時の熱力学の教科書は、Planck の Thermodynamik なんかで、Planck の理論的理学叢書が翻訳されて、裳華房から出ていました。今でいえば Landau-Lifshitz の叢書みたいなものです。式がなくて文章が多くいろんな Gedankenexperiment ですから、普通の人には、熱力学の講義が出来ないのですが、坂井先生はその点うつつつての人で、深く考えて徹底的に自分で考えぬいて話をされるわけです。壇上で、ここはこうなるのですという調子で、我々学生は感激したものです。

柏村： 今の講義は稀薄だし、学生の勉強も稀薄だと思われませんか。

伏見： そんなことはないと思う。昔の助手は、今の工学部の先生が思っている概念と同じで、先生の身のまわりの小使役とか、初等的な学生実験の世話などをしていたわけです。学生実験、講義はちやんとしていたですね。阪大へ行って驚いたのは、学生実験に使う費用を研究費に使ってしまったものだから、学生実験の道具がなく、仕方がないから、研究室からいろんなものを持ち出してきて学生に壊されて、弱っていたことがあります。あれは極端でしたが、その後長い間かかって道具をそろえていったわけです。あれは初めにそろえておけば簡単なんだが…。

熱力学の統計力学的 Begründung という意味では坂井先生が深く考える人だったわけです。もう一つ統計力学に入つていった理由は、阪大へ行って講師になつた時、何か講義をもたなければならなくなつて、以前に湯川さんが受持つておられた熱力学の講義を、やらされることになつたからです。その時、有名な伝説的話になつているけれど、当時 Handbuch der Physik が出はじめていて、その中の熱力学； Theorien der Wärme にギリシヤの数学者 Carathéodory が書いた Axiomatisierung der Thermodynamik というのがあります。熱力学の公理化、今の人にはピンとこないでしょうが、当時、公理化というのはえらい風潮であつて、あらゆるものは、Axiomatisierung されなければならぬと考えられていた。Hilbert の Grundlagen der Mathematik とか Grundlagen der Geometrie など、これらの論文が数学のもつとも大事なことだつたわけです。（ついでにいうと、Hilbert の Grundlæge

gen der Physik というのは看板倒れで、ボルツマンの式を解くのに得意の積分方程式論を駆使したというだけのものです。) 正田建次郎の抽象代数学の本が出たりしました。抽象代数学は、Axiomatisierung への方法の流れの一つの道筋だつたわけです。余計なものを取去り、essence だけを取り出そうというわけです。ですからカラテオドリーの Axiomatisierung der Thermodynamik は その時代の essence だと思つたわけです。ですからわけのわからぬままに一生懸命に講義したものだから、評判が悪かつたわけです。これは大学を卒業して2年目ですね。

中野; 先程、相談した方がよいといわれましたが、それはどういうことなのでしょう。

伏見; 湯川さんが前に熱力学の講義をしていたからよくきけばよかつたわけです。湯川さんに一つだけ教えてもらつたのは、横に n 、縦に m 個の碁パン目があつて、このマス目にある rule をつけて、けい馬飛びに飛んでいつて全体をトラス的に考えて端に行けば、反対の端に行くというようにしておけば全部の目を埋めつくすことができるかということです。けい馬飛びでなくてもただななめ隣にいくのでもよいが、これは m と n が互いに prime ならば全部おおえる。

それが、岩波物理講座の中の ergoden の話の一番最初に例として出してあります。

ちようどその時、R.H. Fowler の統計力学の厚い教科書を見て、Darwin Fowler なるものを知つて整理した論文がいくつかあります。つまり Darwin Fowler は、combinatorial という意味なんでしょう。すべて discrete に考えるわけです。energy range を有限の巾に切つて、この energy の中に、何個というように有限の cell にわけるのが、僕自身気に入らず、始めから何故 continuous でいけないのかというわけです。Partition function を計算するという立場からいえば continuous で一向差支えないわけです。cell にわける必要があるのは、ergoden 的な性格を議論する時に必要になるわけです。つまり continuous な phase space の一点を追つてゆくならいつまでたつてもまざらないわけですから、エントロピーは一定で Mixing が起こらないわけです。有限の cell を考えて初めて Mixing が起こるといふこ

伏見康治

とです。

柏村：先生の量子統計力学の本をめくっていましたら、Tolmanの本で、Birkoff, Von Neumanの話についての書きつづりが気に召さないということが書いてありましたが、あれは、物理量観測にはtime averageの方が本質的であつて、ensembleという概念を無理に導入する必要はないということですか。

伏見：ええ、目の前にある体系は一つだから、そのなんらかのaverage behaviorを示す理由を知りたいというのがErgoden Theorieの話です。phase-spaceの切り方には、無関係に、formulateしたいというのがErgoden Theorieの立場ですから、時間の方は、Poincaré cycleみたいな長い時間になるわけです。

中野：Systemそのものの状態、つまり Γ -spaceの状態点の運動そのものを問題にしているわけでないことを頭に入れておく必要がありますね。

伏見：Ergoden Theorieは観測の粗さといったものには無関係にいつきよにいつてしまおうというわけです。

中野：原子一個、電子一個の状態まで問題にするのであれば、もとにもどるには、天文学的時間がかかるというだけのことです。

伏見：何を観測するかを決めないと、平衡状態に近づく速さは決まらない。いつまでもfluctuateするものも、早くおさまるものもあるわけです。

柏村：一つのRepresentative pointの運動を追っていくという問題に限定したとしますと、あるfluctuateした状態から出発して、平衡状態へ移つてゆくという議論をするだけでは、不完全で、fluctuateした状態における滞在時間と、平衡状態にかなり近づく、 ϵ 近傍における滞在時間とのratioを、ある有限時間を勝手にとつてみると、fluctuateしている時間の方が小さいということをいわないといけませんね。そうするとpathという条件が更に付くからむずかしいでしょうが、 Γ -spaceあるいはergode面上での議論をやつぱり正確にやる必要が、まだ残つていると思つてよろしいでしょうか。

伏見：今言われたpractical aspectは、何も数学者はしていないと思うのです。数学者に興味があるのは、limitがあるかどうかということで、ど

のように近づくかというのは、物理屋の問題なんですよ。

中野； 数学者と物理学者の観点は違いますね。僕もパラパラと本をみていたら、Tolman のことが気に入らないと書いてありましたが。

伏見； 感心しないということです。今読めば感心するかも知れませんがね。Tolman は、2つ本を書いている、厚い本が出る前に本を書いている、physical chemistry の人達に、Chemist の教科書的な意味で、statistical mechanics を書いているのですが、これは非常に physical で、むずかしいことは入れず、役に立つことを書いてあるわけです。それがいい本であるのに対して、Principles of statistical mechanics という厚い本は僕の観点から基礎を掘り下げようとしているらしいのですが、それにもかかわらず僕の観点とは違うから、気に入らないというわけです。あの序文を読むと、だいたい Oppenheimer に教えられたと書いてありますね。Tolman より Oppenheimer の方が若いのですけれど。

柏村； 量子力学に興味があるのは、確率論的 aspect があるからだとおつしやられましたが、その後も、そのような意識で勉強をされたわけですか。

伏見； 売り言葉に買い言葉だったのですが、ずっとその買い言葉をそのまま principle として進めばよかったですね。

中野； 人間は何か言われて答える場合に、本心から言っているつもりでなくて、売り言葉に買い言葉というか、A と言えば B という調子でやっていて、そこにいくらか本心の片リンがあらわれるというわけですね。そういう形でゆく時も多いですね。

伏見； しかし言うことによつて 自分の本心が見つけられて、固定する時もありますね。

中野； 本心とは何ぞや。

柏村； まるで心理学の座談会じゃないですか。先生の河出の教科書には、量子力学の例と言つてはおかしいのですが、確率論的 example としてのつかまえ方というのがありますね。

伏見； Markoff Process のとらえ方として、transition probability のことが、一応書いてあります。Master equation あるいは Pauli の考え方というか、つまり確率論的 process が重なっていつて、だんだん平衡

伏見康治

状態に近づいていくということが書いてあるわけです。

中野； 確率的統計論は名著だと、柏村君も言っていたのですが、まあ僕は隅々までは読んでいないけれど、全体をパーツと見た感じでは、火花が散っているような、チカチカしているように思うのですが、ちよつとしたことでも馬券の哲学とか、氣どつたことが書いてあるんですね。知らない人は、本を読んだ印象で、伏見先生を見ているものだから、こわいと思つているらしいですね。

伏見； まあ若氣の至りというやつでしょうね。

中野； 文章のスタイルも、ちよつと違つてきていますね。

伏見； やつぱり山内先生の影響を受けてるのでしょうか。山内さんの群論と量子力学を読んでごらん下さい。やつぱりチカチカしていますよ。

中野； しかしずいぶんちがいますね。山内さんには、チカチカするものは群論と量子力学を読んで感じなかつた。そんなにスマートというか、シヤキツとした印象は受けなかつたのですが…。スタイルはできていないという感じがする。

伏見； ………

中野； 当時どんな仕事をされていましたか。

伏見； 僕の最初の論文は、Iを書いてIIが永久に出ない、“Foundation of Quantum Mechanics”という英語の論文で、当時菊池さんに誘わくされて原子核実験をやり始めた頃で、下宿に帰つてやつていたわけです。これは Neumann と Garret Birkoff (さつきいつたのはおやじの Birkoff でこちらは子どもの Birkoff でね。) が “Logic of Quantum Mechanics” という論文を、当時出はじめたアメリカの数学雑誌 “Annals of Mathematics” に発表したわけです。これは、Mathematische Grundlagen のある意味での一つの延長みたいなもので、量子力学的命題つまり、電子がある位置にいるという命題と、ある運動量を持つという命題とは、根本的に両立しないわけですが、古典的論理では、A という命題と B という命題とが、同時に parallel に成り立つわけです。A or B とか、A, B が parallel に成り立つということがあつたわけです。そういう命題の組合わせ方に関する、いわゆる Aussagen-Kalkül 命題等が古典にはあつたわけですが、命題が incompatible である場合の Aussagen Kalkül があるかどうか…。それは結局 Hilbert space の

構造みたいなものですが、普通の命題算は集合算、つまり単なる並列しているものの集合算であるわけですが、量子力学の命題算は vector space に似た strahlen Raum というだけなんです。これを logical というか、形式論理的観点から整理したにすぎないわけですが、それがひどく気に入りましたね。それを Axiomatisierung の流れの中に入れて、簡単な直観的にわかりやすい、いくつかの axiom を立てて、Neumann, Birkhoff の system が出てこないかと、説を立てたわけです。Neumann は一応の関心を示してくれたのですが、R.H. Fowler という男は、ウンともスンとも便りをくれなかつたわけです。Neumann は親切で、手紙を送った時、ハンガリーのブタペストから返事をくれたのですが、その頃籍はプリンストンに移っていたので、一時お国帰りをしていたのです。その頃から、プリンストンに行きたくて仕方なかつたわけです。それまで新しい物理学…、量子力学は、ドイツで完成したようなものですから、わざわざ理乙にはいつて、ドイツ語によつて、そちらに進もうとしたのですが、勉強し始めた頃、ヒトラーに荒らされて、気のきいた連中は、アメリカに行つてしまつたわけで、がっかりしたわけです。

話はいろいろとびますが…。

最初はそういう論文を書きました。つまり量子力学的 logic というものが、古典的な確率論的 logic というものとどういう関係にあるか、ということに関心があつたわけですが。その後 Axiomatisierung をやつた時には既に現存の理論を完全に知つているということが前提となつていて、現存の理論を整理して取上げようというわけですが、その時僕は量子力学を誤解していたと思うんです。というのは、Neumann 自身が誤解していたと思うけれども、つまり “Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik” に観測によつて相手をかき乱すということが書いてある。その時に A という量を observe して a という eigenvalue を得たならば、a という eigenvalue にくつついてある固有 vector という状態が後に残ると書いてある。観測の結果は、その観測量に関する固有状態のいくつかに、確率的に分布しているというのが、根本の仮定です。ある確率である固有状態が出てきた。それを文字通り受けとつて観測の “後” にその固有状態が残されたとするのです。ところが実は論文ができてから湯川さんに、そういうものですかね、といわれてすつかりぐらつて、

伏見康治

それで II が書けなくなつた。Neumann の Mathematische Grundlagen はそのところが misleading なところなんです。

中野； というとどういうことなんでしょうか。

伏見； “観測とエントロピー” という話がありますね。観測する毎にエントロピーがだんだん増大して行つて、それだけで平衡状態に近づいて行くということが書いてある。量子力学の理論の範囲ではそういうことは何も言えない。むしろそうでない場合があるわけですね。例えばある粒子の momentum を測定するために他の粒子をぶつつける。そうすると観測の結果 momentum change が起つて粒子の momentum は変つてしまう。つまり観測するということは観測器械との interaction の直前の状態の値を知るというわけですね。momentum を測定して a という値を得たにもかかわらず、直後の momentum は変つた値を持つわけです。ですから観測によつてある値 a を得たからと言つて一般的には観測後の状態がその状態にあるとは限らないわけで、 a' という別の eigenvalue あるいはもつと違つたものになつている。量子力学では観測後の状態がどうなつているかという一義的なことは何も言つてない、にもかかわらずそれをあたかも一義的にそうであるかのような顔をして議論しているわけです。そのところが非常に misleading なわけで、その辺のことをちやんと書いた教科書はありますか。つまり量子力学というのは始めに状態を作る preparation の操作があつて、最後に観測という操作があつてお終い。その間だけの話ですね。観測の後はどうなるかというに触れないでいるわけです。

中野； 量子力学的観測ということと不可逆過程というものの間には密接な関係があるかどうか…

伏見； あるでしょうねきっと。

中野； 不可逆過程の問題というのはそういう観点において論ずべきことであるのか…。

伏見； Ergoden Theorie にどうして興味がなくなつているのかということと統計力学的体系というものは Ergoden Theorie が論ずるような isolated system ではない。絶えず乱される何か temperature bath のようなものの中につかつているとかで、isolated system の Hamiltonian によつて動かされる体系の long range behavior を追求しても仕方がないということ

になる。むしろ核融合装置の particles の long time behavior を追う方がもつと事実に近いのかも知れない。(笑)

中野； しかしそれは量子力学の観測の問題とはとくに結び付ける必要はなく、それだけのことでいいですか。

伏見； 量子力学でも isolated system というものを本当に考えてよいかどうかということがいろいろ疑問になつてくるんですよ。本当に isolated atom 等を問題にしている時は良いのですが、中野さんのように solid state を相手にすると、銅なら銅の一片がそれだけの Hamiltonian (巨大な Hamiltonian だけれども (笑)) で支配されていると考えてよいということはない筈ですね。あらゆる回りの擾乱 (じょうらん) の中に置かれているわけですよ。そういう擾乱というのは uncontrollable なものであるという点において、量子力学的観測が相手に及ぼす擾乱というものとは非常に性格が似ているわけです。

中野； だからその点不可逆過程の問題というのは、古典的な dynamics と熱力学的不可逆過程とを結びつけるというよりも量子力学から結びつけてやる方が自然であるということですか。

伏見； やはりいろいろな意味で、量子力学の方が理論にそういう用意がしてありますからね。

中野； 観測という言葉で表わされている擾乱というものが、少しも定式化されていないということ…。それから場の変分原理という論文がありました、あれについては…。

伏見； あの变分原理というのは内山竜雄さんとのいわば合作でね。内山さんは僕の部屋にいたわけだけれども、内山さんは僕の統計力学的興味には全然乗ってこない人で、湯川先生の置土産みたいな人ですから。内山さんのおつきあいをして一緒に E. Noether の論文を読んだのですがね。古典力学での自由度有限の変換群と保存量との関係は昔からよく知られていますね。translation と momentum 保存、rotation と angular momentum の保存、それを continuous の場合に持つて行つたらどうなるかという話で、一般的にある抽象的な continuous group が許される時にどうなるかという…。その一般論を素粒子の場合に適用したわけです。あの頃僕はもつぱら Born-Infeld

伏見康治

の non-linear electrodynamics というのにほれ込んでいたのですね。
今でも何か意味があると思いますかね。

中野； それはどういうことをやっているのですか。

伏見； 要するに普通の Maxwell の式において、field equation というのは $\vec{E}$, $\vec{B}$ に対する equation と $\vec{D}$, $\vec{H}$ に対する equation との 2 つにわか
れていて、その間を結びつける $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ と $\vec{B} = \mu \vec{H}$ という 2 つの方程式があり
ますね。field equation の方は非常に validity が広そうなのにかかわらず、
両方を結びつけている式は非常に empirical な感じがする。 ϵ というの
は本当に constant であるかどうか非常に怪しい、そこを抜けてしまうという
だけのことです。 $\vec{D}$ は $\vec{E}$ のもつと複雑な function である。そしてある点の $\vec{D}$
はその点の $\vec{E}$ で決まるという意味で local です。

中野； その意味では非常に制限しているわけですね。

伏見； そうです。とにかく linearity ということから解放した。そして
point charge の energy が発散するのを救ったわけです。

中野； Laser 光の出現で、Bloembergen なんかが論じている nonlinear
optics とは、nonlinear な電磁気とは、まるで観点がちがうわけですね。

伏見； これはいわば elementary particle の話で、統計力学とは余り関係
はないのですが、もつぱら内山さんのお相手の方で…。僕が原子核の実験
をやったというのは、1 つは原子核実験が多分に統計的な要素を持っていて、
counting した時の time fluctuation ということで、そういう意味でたつ
た 1 つだけ counter に関する論文があります。counter というのは 1 つ co-
unt するとしばらくの間 dead time というのがあつてその次に来たのを数え
そこなう。この dead time があると本当は n 個来たのに実は n' 個しか数えて
いない。 n' から本当の n を知るための formula を出したわけです。

中野； Density matrix の論文はどのようなふうにしてできたのですか。

伏見； Density matrix というのは、実は講義している間に講義録というよ
うなものを systematic に展開していかなければならなくなつたわけです。そ
れで自分自身でノートを作り始めたのです。第 1 篇と第 2 篇に分かれていまして
第 1 篇は degree of freedom が極めて小さいときに density matrix がど
ういうことになるのかということの見方をつけるためにいくつかの exercise

をやった。第2篇で多体問題をやろうということになった。その最後の paragraph に書いたと思うんですが、結局これは第2量子化と同じだということが最後にわかつて…。

中野； 第2量子化と同じだというのはどういうことですか。

伏見； 普通の formulation で第2量子化から出発して density matrix へ移って行くというやり方がありますね。

中野； 全体の system の ρ を考えて、 $a^\dagger a$ のその ρ による trace をとればそれが一体の density matrix になるということですか。

伏見； いわば僕は要素的なものから出発して、一体問題の合成法によつて多体問題を作り上げたわけです。普通の教科書では逆に第2量子化から出発して一体問題というものに reduce しているわけですね。

中野； Density matrix のあのような考え方というのはその当時まだ余りなかつたのですか。

伏見； 似たものはあそこにも引用してありますが、Koffink の論文というのがあります。それから Molière かな…、Molière は第2量子化だつたかな…。Koffink は permutation group の表現論みたいな観点から議論しています。

中野； あの当時3年生の時 density matrix を読めと言われて、まず Fock の第2量子化を読んで内山さんと一緒に density matrix を読んだことがあります。金属等の電子論というのは極めていい加減なものであるからもうちよつとちやんとしたものにはできないかとおつしやつた。(笑)

伏見； Wilson の Metals 何とかという本が戦争後…。

中野； 新しいのは戦争の終り頃ではないですか、1944年か45年。

伏見； 戦争中沢田先生とか渡辺先生とか永宮先生と一緒にいろいろな本を読みました。その時の大きな題材になつたのは Mott-Gurney の “Electronic processes in ionic crystals” や Mott-Jones の “Theory of the properties of metals and alloys” 等でした…。

統計力学の仲間というのは本当は戦争後に出たわけですね。久保亮五、高橋秀俊といった人達…。まざまざと思い出すのは、永宮さんが物理学会の常会の時に1次元の condensation の話をされたのです。ところがそれが論文にな

伏見康治

つて出たら、高橋さんが1次元で condensation を起こすのはおかしいとい
てね。

中野； 高橋さんが出てそれから久保さんが書かれたのはもつと後ですか。

伏見； 永宮さんが戦争中に“物性論研究”という雑誌を出されてその第1号
に久保さんの matrix の方法というのが出ました。高橋さんの話というのは
もう少し前でしょうね。久保さんは戦争が始まった頃坂井卓三さんと一緒にゴ
ム弾性をやっておられ、その当時の topic でしたね。molecule の effec-
tive な長さがどれだけになるかというようなことを計算されていた。

中野； さつき坂井先生の熱力学の講義の話がありました。熱力学の Begrü-
ndung の統計力学的な考え方を非常に深く考えた話をなさったということ
ですが、どのようなことを話されたんですか。

伏見； Neumann は古典力学における Ergoden Theorie よりもむしろ以前
に量子力学における Ergoden Theorie を証明したのですが それと同じこと
を Pauli, Fierz が改めて証明しています。これについて坂井さんと大いに議
論して、これでは証明したことにはならんというようなことで意見が一致した
ことを覚えています。

中野； その当時から見て統計力学という学問というか、対象になるような問
題とか、議論というものがかなり進展したとお考えになりますか。またその当
時はどのように発展して行くと考えておられ、それに対して現実はどうであつ
たのかというようなことを…。

伏見； 統計力学には2つの aspect があつて、Tolman のさつきの“Prin-
ciples of statistical mechanics”という大きい本の前に実際に役に
立つ“Statistical mechanics with applications of physics and
chemistry”という本があるわけで、1つは元来実際に役立つ aspect がある。
というよりも1種の physical chemistry というか、その分野に行くと
chemist にとっては常識であるけれども物理屋の眼からみると常識ではなくて
説明しなければならないということということが非常に沢山ありますね。そうい
う意味でよく人に話をする例は Gurney の Ions in solution という本に書
かれている思想で、chemist にとって鉄は溶液中で2価あるいは3価のイオン
として存在するということは始めから常識ですね。物理屋の観点から言えば、

まず1個のイオンがあつてそれが2個になり3個になるというのならわかるけれども。物理屋は何故そうならないかという素朴な疑問から出発して考えるわけですね。化学者はもう常識になつていまさら疑問を起こさないことで何も知らない物理屋が聞いたらびつくりするような話がたくさんあるはずだと思います。そういうのを掘出したらいくらでも統計力学の問題はあるはずだと思いますが、僕自身はそういう性格ではないのです。何でも原理的なものにしかな興味がない。ですから統計力学は問題の基礎づけという意味において元来出発したのですが、それがいろんなやり方が体系化されたものですね。

Fowler は個々の application の中から共通の要素を拾い出してきてあの本を書いたんだと思います。つまり Langevin function で表わされているような Langevin の理論というのは統計力学の general profile を知っていてあのようなものが出ているに相違ないのですが、知っているというのは体系化されたものが先にあつて、application として Langevin が出てきたのではなくて Langevin の方が先にあつたわけですね。Einstein のいろいろな論文も統計力学を知っていて出てくることですが、統計力学というものは教科書的な体系化されたものであつて、それから Einstein の論文が出てきたというのではなくて、いきなり Brownian motion なら Brownian motion と取組んで出てきたというものでしょう。だからまず個々の application が先にあつて取組みやすいところがいくつかあつて、それからその共通の element として統計力学というものがむしろ後から作られる。

中野； そこが物理の面白いところで…。

伏見； そのいわば体系化されたものから、また逆にいくつかの application が新しく発掘されている。要するに僕が育つた頃には、さつき言つた、正田建次郎の抽象代数学というものが非常に悪さをしていたわけで、抽象の過程の方に学問の本道があるような感じがしていた。だから Ergoden Theorie といったような規則性といったようなものが一番大事なことだろうと思つたわけです。その規則的というのは僕の見方からいうと今になつて考えると、やはり正に正田建次郎的抽象化であつてもつと相手をよくみつめるところがなかつた。早く観念論の世界に入つてしまつた…。

中野； 観念の世界へ入る前に、具体的な問題を前にしている間に、できにく

伏見康治

くものを蓄積した上で総合されていくという観点に立てば、かなりの時間の間には相当の進展があつたというわけですか。

伏見； 統計力学の application という立場から言えば cooperative phenomena をどう取扱うかということが最大の宿題でそれは果したと言え果されたと言えるし、果されていないと言え果されていないと言えるのではないのでしょうか。しかし何れにしても相当の進歩をしたということは言えるでしょうね。

中野； 先生の場合は基礎的なことを考えたいという興味というか趣味というかそういうわけですが、いつまでもそれに執着してというふうにはなれないと思うのですが。

伏見； いやそれは環境によると思います。そういう環境に置かれればそうであつたでしょうけれども…。特に戦争というものは損するばかり…。

中野； 戦争中は wave guide の計算なんか。あれはいい加減にやつておられた？

伏見； Wave guide よりもやつぱり原子爆弾の方を。

中野； 統計力学の将来について何か。

伏見； 統計力学という言葉は余りよくないね。統計力学というのは元来平衡状態といういわば話が非常に簡単になるところだけであつて、簡単だといふところがまた良いところだけれども、また困るところでもあるわけですね。

plasma というのは困つたことに元来平衡状態から非常に遠いわけで、そういうものを基本的に取り扱うにはどうしたらよいかという非常に大きな問題がある。

中野； この前から Vlasov equation に関連して何か先生は基本的な興味を持つておられるようにおろかがいしておるのですが、それがどの辺にあるのかというようなことをもう少し…。

伏見； 昨日も実は水野さんが、Kadomtsov の plasma turbulence の理論を紹介して下さつたのです。出発点は Klimontovitch とかいう人の方程式というものですが、それが外見上は Vlasov equation と少しも違わないんだけれども、ただ出てくる f という distribution function が空間座標 r と速度座標 v と時間 t の函数で、 f に対する Liouville equation なのです。ところがそれが Vlasov equation と形は似ているが意味はまるで違うんです。

r, ϵ, t の函数としての f は実は δ -function の集合体で、個々の粒子がいるところにだけ値を持っているようなものなんです。

中野； それは平均化された distribution function という意味ではなくて力学方程式ですね。

伏見； とにかく形が非常に Vlasov に似ているわけです。

中野； Vlasov に似ているというよりも同じなんでしょう。

伏見； 形は同じなんです。外見上ね。ただ f の解釈され変えれば。そういう式から出発していながらそれを何か平均的なもの f_0 と fluctuation という部分とに分けて議論をする、それだけのことです。

中野； f_0 というのは？

伏見； f_0 というのは何か smooth out した平衡状態の分布で、結局役に立ちそうなところで顔を出してくるのは全部 smooth out されたものなんです。出発点だけで出るわけで、粒子の性質を持った Klimontovitch の方程式をどうして議論するのかわからないということになつちやう。

つまり多体問題としての aspect について議論しなければならない面というものがどれだけあるのか、Vlasov equation というものはむしろぬりつぶしてしまつた個々の粒子としての性格はなくなつてしまつたわけですね。

smearred out した要するに Thomas-Fermi の atom model なんですね。そういう aspect だけで plasma がおさえられるとしても、solution はやはり個々の粒子的性格にまで戻らなければ理解できないものなのか、何がなんでも、粒子のこまかいニュアンスにまで掘りさげて考えねばならんわけでもなからうし。

中野； それは現象によるのでしょうか、現在注目されるべき現象というところがあるのか。

伏見； 例えば turbulence の議論等では、普通の意味でいう統計力学的性質というものと turbulence という macroscopic な不規則性といったようなものとがいつも 2 つの段階に分かれるのではなくて continuous に一方から一方へ移つているというようなことがあつて、従つて turbulence の議論をする時に individual particle の世界まで下らなければならない、というようなことが実は書いてあるのかどうか期待していたのですがどうもその辺の

伏見康治

ところはぼけてしまっていて…。

中野； 余り自覚がないのでしょうか。

伏見； 何かそういうような感じですね。その辺のところを実はもう少し掘下げて教えていただきたいのですが。我々の generation はもう駄目で、問題は提出しますから、答は若い人達がやつて下さい。

中野； まあいろいろな段階というようなことが問題だと思うのですが、例えば生物物理において生物で問題になる現象は1個の分子というところまで行く必要はないんだけど、どの程度のものでどの程度の average でものを考えなければならない stage の問題なのか…。その stage における統計力学にとって代わるべき統計理論というものはどんなものであるとか…。結局統計力学の stage では間に合わないということがいろいろ出てくる…。

伏見； molecular biology となると本当に1つ1つの molecule の恰好が問題になってくるんですがね。もちろん thermal motion といったようなものも大きな働きを示しているだろうけれども。しかし molecule の恰好というものが非常にものをいうわけです。

中野； 本当の molecule の quantum mechanics という。

伏見； そういう process に相当立入らなければわからないでしょうね。つまり biophysics という立場だけではいけなくって biochemistry の physics ですね。chemistry の要素つまり molecule の構造を離れてしまった physics というのはあり得ない。物理の場合、普通の gas の統計論のような場合には必ずしも atom なら atom の…。

中野； そうですね。だから統計力学は coarse grained average という意味なんで、もう少し精細な delicate な stage を建設しなければ話にならない…。

伏見； 物理屋の範囲内で議論していたら、統計力学というものはつまらないことになる。physical chemistry に入つて行かなければ…。

そういう意味で chemical physics という言葉は良い言葉なのかも知れない。

中野； 右衛門佐さん等がやつておられることは chemical physics ですか。この間から僕も読まされたのですが、hypochromism というのですが、hypochromism の説明というのは物性論屋から見ても面白い。遺伝的な damage と

というのは例えば何か光をDNAに当てる…。DNAというのは2本の molecule chain が double helix を作っていてその chain に adenine-thymine, guanine-cytosine という base pair の hydrogen bond が橋渡しをしている。hypochromism の理論は簡単な理論で、adenine なら adenine base を持った homopolymer を取扱っている。DNA の base がたまたま同じ optical property を持つていれば homopolymer の場合と余りかわらない。hypochromism というのは single base の optical な吸収に比べて DNA の base の optical な吸収の波長は shift しないで強度が減る。single な base の吸収線は guanine が一番赤い方にある。すなわち energy が小さい。そこで DNA の中でたまたま guanine かところどころに聚落（しゅうらく）を作っていればそこに localized exciton があつて、光を当てるとあるところのが上の level に上がつてザーツと流れ、energy を放出して guanine の localized exciton のところへ行きそこでもたもたしていて chemical reaction を起こして damage を起こす。遺伝的な damage はそのような機構で考えられるのではないかをちよつと示唆しています。

伏見： 実際に光で駄目になるの？ 放射線じゃないんですか。

中野： 放射線でしょう。

どうもありがとうございました。

伏見附記： 最後の中野さんの話をきいていると将来の統計力学はこんな所にあるのではないかという気がしてきた。従来の統計というものはまず ψ から $|\psi|^2$ を作つてそれから“統計”にはいる。統計は古典物理の世界で行われているのであつて、 Ψ の世界の中で行われているわけではない。波動の coherence のある中での統計的処理を系統的に発展させることこそが将来の本当の量子統計なのではないかしら。

（中野附記： Off-diagonal long range order というのも大体そういうことなんでしよう。）

（文責 服部 真澄、加藤 又氏）