

特別企画

中野藤生先生インタビュー ～線形応答理論から半世紀を経て～

インタビュアー：木村初男、服部真澄、山下護、杉山勝¹
名古屋工業大学杉山研究室にて

(2005 年 3 月 14 日受理)

はじめに

アインシュタインが 20 世紀の物理学の根幹となった 3 つの重要論文を発表した奇跡の年より 100 周年となる今年、「2005 世界物理年」として世界中で様々な物理学に関するイベントが予定されています。アインシュタイン奇跡の年の 3 つの重要論文の一つであるブラウン運動の理論 [1] は、発表より半世紀後、戦後の窮乏の中にあった日本において量子系に拡張された不可逆過程の非平衡統計力学として発展していき、前世紀半ばにはついに不可逆過程の統計力学における美しい公式が発見され線形応答理論として体系化されました [2]。これは、力学の可逆性と熱現象の不可逆性を結びつけ簡潔な時間相関関数表式に表現したという統計力学史上の最も重要な成果の一つとして知られています。この、不可逆過程の線形応答理論において、本質的なブレークスルーを伴う重要公式「電気伝導度の公式」が、現行の「物性研究」の前身である「物性論研究」誌上において“**ひとつの電気伝導計算法**”(1955.5)として発表されてから、ちょうど半世紀であることに鑑み、50 年前の先駆者たちがどのような経緯でいかなる方法論を展開したかを改めて展望し、21 世紀に生きる我々が今日の統計物理学の理論としていかなる方向性を持ち、いかなる解決方法論を探るかを自問し再考する意味も込め、「電気伝導度の公式の発見」と「不可逆過程の線形応答理論」の推進に重要な貢献をされた中野藤生先生に線形応答理論 50 周年記念インタビューをお願いしました。

中野藤生先生の研究業績は、統計力学及び物性基礎理論の各分野にわたりますが、特に顕著なものとして昭和 30 年 (1955) 発表の「電気伝導度の公式」は、従来の半現象論的で複雑な計算方法とは全く異なった簡潔な公式であって広く内外の注目を浴びました。この公式は、その斬新さと有用性のみでなく、原理的・方法論的意義が極めて大きく、その後、非平衡状態の統計力学が**線形応答理論**として確立されるための世界的にも先駆をなす重

¹ 木村初男 (名大名誉教授)、服部真澄 (名工大名誉教授)、山下護 (三重大工教授)、杉山勝 (名工大教授)

要な基礎となりました。また、この理論は熱電気現象、電磁気現象等、更に広い不可逆現象への応用や一般化へと発展し、数多くの成果を挙げました。さらに、輸送係数に対して与えた厳密な変分原理は、不可逆過程の輸送現象の熱統計力学的本質を示す基礎研究 [3] として行われ、一方で線形応答理論は現象論であるとの立場から、公式は厳密だと主張される方やそれを安直に使う方々とは一線を画してこられました。

一方、中野先生は長年にわたり相転移現象の理論的研究 [4] も行ってこられました。厳密に解きうる各種のモデル系の多様な型の相転移の数理的解析、相転移現象における分子レベルでの相互作用や種々のエントロピー効果の役割など綿密な物理的考察などにより、相転移現象の機構に関する本質的・普遍的な知見を多面的に得られており、更に、昭和 48 年 (1973) に提出した「対称破りポテンシャルの方法」は、多様な物質系の相転移現象をミクロな立場から統一的に研究する方法として極めて有効であり、磁性体や合金系をはじめ、従来未開拓だった分子性結晶や液晶などを含む種々の対象に応用され、多大の成果を得られました。また、早くから生物物理学にも関心を持たれ、生体高分子の旋光性や、生体膜の相転移などの理論的解明にも成果を挙げられ、学際的協力にも寄与されてます。また、中野先生は名古屋大学において 31 年間の永きにわたり、力学・統計力学の教育と研究を通じて、後進の指導と人材の育成、学術の進歩に努め、我が国の教育上及び学術上に残した功績は顕著であります。

中野藤生先生履歴

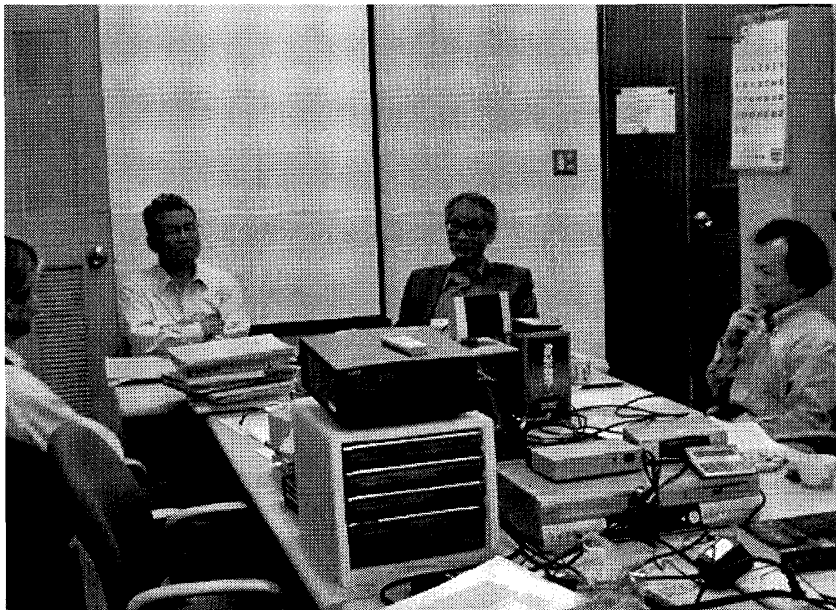
1922 年 (大正 11 年)	12 月 8 日	大阪生まれ
1942 年 (昭和 17 年)	3 月	大阪高等学校卒業
1944 年 (昭和 19 年)	9 月	大阪帝国大学理学部物理学科卒業
1944 年 (昭和 19 年)	10 月	海軍技術見習尉官 (2 年現役) 浜名海兵团附
1945 年 (昭和 20 年)	2 月	海軍兵学校附
1945 年 (昭和 20 年)	3 月	海軍兵学校物理学科 (技術中尉) 江田島大原分校勤務
1945 年 (昭和 20 年)	12 月	大阪帝国大学理学部副手
1949 年 (昭和 24 年)	6 月	大阪大学助手 (ポツダム助手)
1955 年 (昭和 30 年)	1 月	名古屋大学瑞穂分校 (教養部) 教授
1961 年 (昭和 36 年)	5 月	名古屋大学理学部教授
1965 年 (昭和 40 年)	4 月	名古屋大学工学部教授
1986 年 (昭和 61 年)	3 月	停年退官 名大名誉教授

インタビューは、2004 年 4 月 24 日 (土)、5 月 1 日 (土) の両日、名古屋工業大学杉山研究室にて行われ、合計で約 7 時間に及びました。中野先生は簡単なメモを基に、自由奔放に話していただきました。独特の大阪弁で面白おかしく語っていただき、和やかな雰囲気でのインタビューは進んでいきました。若い世代の我々が全く知りえなかった線形応答理論

の成立前後の研究の様子に関しても詳しく語っていただきました。またインタビューを通し、一科学者として公正な態度で研究を行うことの大事さを改めて考えさせられました。

本インタビューの文献調査や事実関係の確認作業等においては、名古屋大学図書館にはたびたびお世話になりました。調査において特に重要視した「物性論研究」誌は、和文原著論文誌として当時の貴重な論文資料を多く含んでいるにもかかわらず、紙質の劣化が激しく保存状態はよくありません。また半世紀前の雑誌であり保存してある研究機関も少なく、原文をそのまま目にする機会は限られているのが現状です。そこで今回、「物性論研究」として掲載されていた当時の手書きの原文の雰囲気を知る意味でも大変重要との認識から、「物性論研究」誌上で1955年5月号に掲載された論文“ひとつの電気伝導計算法”[5]と同年9月号に掲載された論文“電気伝導計算のノート”[6]を原文そのままに、本インタビュー記事後に再掲されることとなりました。

なお、誌面の制約のため、本インタビュー記事は内容を失われない程度にコンパクトに縮小編集されました。また、編集作業は細かい表現まで中野先生やインタビュアーの方に何度も確認しながら行われました。



インタビュー中のN,K,H,Y,Sは、それぞれ、中野藤生氏、木村初男氏、服部真澄氏、山下護氏、杉山勝氏の略である。インタビュー速記並びに編集作業等の一部は、磯部雅晴²が携わった。

² 【編集注】編集担当者（名工大）は九州大学出身であり、中野研とは直接関係はないため、過去の様々な客観的参考資料を重視し、最大限公正さを保てるよう事実関係を確認しながら慎重に編集作業を行った。

1 大学卒業研究の頃

S まずは、学生の頃の卒業研究などをお話してください。

N 伏見先生³からは、大学の3年生でも一人前扱いされてとまどいました。先生の Density Matrix の論文 [7] を習得するように言われました。準備として特に Fock の second quantization の論文 [8] を読むことになりました。一応習得できたところで「固体電子論の伝導理論を見直してみよう」と言われて「あ、そうですか」と承ってきたが、問題の大変な意味が全く分っていませんでした。僕らの卒研は実験の人はともかく理論の方は余り自明でない計算をやるとか、重要な基本的論文をできるだけ深く理解するとかいうことだったと思います。

S 伏見先生からは何かそれ以上のアドバイスはありましたか？

N 個別的なことでは余り記憶にありませんが、いろんな談話の間に感銘を受けたことがたくさんあったように思います。先生は留守が多くて僕は小林稔先生の場の理論のコロキウムに出席していました。小林先生が出られる他、内山（龍雄）さん、山崎（純平）さん、司馬（宗英）さん、同級生の金井（英一）君らが常時出席しておられました。金井君は素粒子論の小林研志望で計算力に富む鋭い人でした。Heisenberg-Pauli⁴, Jordan-Pauli⁵ や Dirac-Fock-Podolsky⁶ の多時間理論などを聴いたことが思い出されます。Fock や伏見先生の論文も僕はこのコロキウムでまず聴いてもらったのです。伏見先生に聴いていただいたのは、それ以後でした。その他、先生との接触は教授室での談話でした。ご託宣を受けるような気持ちである一方、まるで無遠慮なことも言える雰囲気があって贅沢な環境だったと思います。そういうことが卒研期間に経験した大きな恩恵でしたね。

僕は卒研を選ぶとき、伏見研にしようか永宮研にしようか大変迷いました。結局、永宮先生⁷ にお願ひに行きましたが、早速問題を提出されました。50 年近い昔の記憶は単純化しているでしょうが、金属球だったか誘電体の球だったかに、電磁波が当たって散乱する状況を調べるというようなことだったように思います。僕は空想的だったので、いきなり計算にかかるのに気が進まずやめにしたいと思いながら、よう断りにも行かず、そのまま伏見先生のところに行きました。横着なことをしたものです。後に名大で志水（正男）さんがお願ひした永宮先生の特別講義がすんだ

³ 伏見康治

⁴ W. Heisenberg and W. Pauli, *Zeitschr. f. Physik*, **56** 1 (1929); **59** 168 (1930).

⁵ P. Jordan and W. Pauli, *Zeitschr. f. Physik*, **47**, 151 (1928).

⁶ P. A. M. Dirac, V. A. Fock and B. Podolsky, *Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion*, Band 2, Heft 6 (1932).

⁷ 永宮建夫

一日、先生を囲んで鳥謹（鶏料理店）で夕食をとった時に、昔のことを言って謝ったら「覚えがない」とおっしゃった。忘れておられたのか、わざととぼけてくださったのか分かりませんが、ありがたく思いました。

2 海軍兵学校～大阪大学時代

S 大学卒業後の兵役から敗戦そして大学に復帰されるまでの頃をお話してください。

N 正規には 1945 年の 3 月末に卒業するところですが、当時は半年短縮で 1944 年 9 月卒業でした。少し以前から特研究生（大学院特別研究生）というのがあって、推薦された人になったのですが、僕はならなかった。普通の兵役に行くのは嫌だから、海軍技術見習尉官という制度が 2,3 年ほど前からできていたのに応募した。採用された大部分の人は海軍工廠へ行きますが、僕は教育を志望して海軍兵学校の物理教官に配属された。配属の前にまず浜名湖に近い新居町にあった浜名海兵団で 3 ヶ月訓練された。その間に風邪で熱を出して入院したことがありますが、実は肺を患っていたようです。

H 海兵団では食事は十分でしたか。

N 不合理なことだが、訓練で体力のいるときには食べ物が貧しくどうにか訓練に耐えられる程度であったように思います。訓練がすんで兵学校に移った後には、それほど労働しない割に、贅沢なものではないもののアルミ碗に入れられたご飯の他、当時の世間（都会では食料不足だった）に比べると格段によかったのが回復しました。大学生時代には 55kg 以上になったことはないが、兵学校に在籍の間に体重が誕生以来最高の 65kg 近くになりました。浜名時代には、兵曹長（水兵、下士官を経た最上位）の人が何かの折に「水兵の訓練に比べて貴様らの訓練は地獄と極楽ほど違う」と言ったことがあります。広島県の江田島の中の江田島村にあった兵学校で一月過して、そこから歩いて 30 分くらいの大原村にあった大原分校に就任した。休日には定期船に乗って呉に出ることもあってローレンツの物理学という本 [9] を買った。桑木彥雄⁸ 訳です。ローレンツの古い訳本が呉にあるのを興味深く思いました。もう一つ Watson の Physics という本⁹ も買った。

兵学校教官の日常生活では、意外に読書する時間などがあった。戦後知ったところでは、大学では空襲の防衛で混乱するし、どこか辺鄙に疎開する作業などで大変だったようです。その間に読んだ中で強い印象が残っているのは Weyl の「群論と量

⁸ 桑木彥雄（くわきあやお）：哲学者桑木厳翼の弟

⁹ “A text-book of practical physics” by William Watson, Longmans, Green, and Co., 初版は 1906 年

子力学」(山内恭彦訳) [10] でした。かなり理解できたが、5章には歯が立たなかった。だが戦後、多元数論を勉強したら霧が晴れたように理解できたのは不思議だった。五里霧中で読んだので全く無効だと思っていたが、そうでもなく、霧が晴れるように、読んだことが頭の中に浮び上ってきたのである。人間の頭は奇妙だと思う。

やがて江田島からは瀬戸内海の対岸が米軍機の夜襲を受けて燃えさかる炎が毎夜のように瀬戸内海越しの北方の空を紅蓮に染めるようになった。兵学校幹部将校の間で、燃えたのが兵学校岩国分校でなく陸軍燃料廠であったと知って喜んでいただと告げて憤慨していた教官同期生(大高も同期)の友人(小俣虎之助君)のことが思い出される。当時生き残る展望の持てないニヒルな暮しの中で、かえってあれこれに悩むことなく、考えることに集中できたのは、今思うと不思議です。

8月6日の晴れわたった日の朝にピカドン(原爆)を見ました。大原分校から爆心地までは16kmほどの距離ですが、広い教官室で本を読んでいたら、空間全体が青白く光って(ピカ)、少し間をおいてドンという感じ(地響きではなく、空間の響きとでもいうか圧力というか)がしました。みんな驚いて戸外に出ました。僕は阪大物理で核分裂のことを習ったが、さらに日本の原爆研究チームは、世界中どこでも、この大戦中には成功しないとして解散したということも聴いたことがあって、それを皆さんに話したことを覚えています。物理教官室の皆さんは、原爆かも知れないと半信半疑になっていたしながら、広島の下で起されていた歴史的な大惨劇の実態に思い到りませんでした。

15日には教官室に集ってラジオの天皇の降伏放送を聴きました。聴きなれない発声で明瞭ではないが、生き延びることができることに歓喜しました。その後しばらくして呉に出てどうにか無蓋貨車に乗ることができましたが、進行は遅々として岡山駅についたのは夜でした。駅の外は闇市で、闇の中にうごめくたくさんの人々の活気に強い印象を受けました。明け方になってようやく動き出した列車は徐行と停止を繰り返して、トンネルをいくつも抜けて煙で煤だらけになりました。大阪に降り着いた時の大阪駅のことは不思議なことにまるで記憶にありません。家は空襲で焼かれていたので、父母らの寄寓する叔父の家に戻りました。

そのうちに阪大に行ったら早速に伏見先生にお目にかかれ、以後出入りするようになりました。やがて母校の大高(正確には旧制大阪高等学校)の力学の非常勤講師になりましたが、僕の大高生のころも哲学とフランス語の先生だった野田又夫先生¹⁰と何度か話し合ったことだけが記憶に残っています。先生には、文科生であるのに試験のときに理科の学生が数学を教わりにきたという逸話があった。次には関西学院理工専門部の専任講師になれたが、その後肺結核を発病し(前述の浜名時代

¹⁰ 野田又夫：大高の卒業生。後に京大教授

の病気の再発と思われる)、先に入所していた研究室の先輩の渡辺茂さん¹¹に誘われて、兵庫県の能勢山麓にあった療養所で6ヶ月間療養しました。2時間ほどの安静時間に寝る以外は起きていて、療養所が貸してくれた小さな黒板も使って渡辺茂さんと勉強会をやった。朝永(振一郎)さんの1次元フェルミオンの基底状態直上のエネルギー・スペクトル(フォノン)の厳密理論の考えをボゾンに応用し、この場合には3次元にも適用できて導出したフォノンスペクトルの話をしたことが思い出されます。この結果は、当時ソ連との交流がなく、日本では知られていなかったボグリューボフ・フォノンだった。

休養中に関西学院の申し入れに従ってその講師をやめた。病気回復後は、北野中学の夜間部の専任講師になったが、一週間に夜間8時間の数学の授業だけで、研究室の活動にほとんど支障なく参加できました。中学時代の恩師の福島豊先生¹²に昼間にも来るようにと依頼され、昼夜あわせて一人前の分担となった。伏見研の助手の西山敏之さん¹³、関谷全さん¹⁴ら福島先生の教え子たちが集って代数学などの数学の勉強会をやった。そのうちに無給副手だった僕も有給化して、外部の講師職は廃業することができました。ポツダム宣言に大学の下級教官をふやすよう要請があったためらしく、ポツダム助手と呼ばれたようです。

K 履歴書¹⁵を見ると、昭和22年9月30日のいわゆるポツダム助手の月手当金は400円とあります。そのころどんな感じでしたか？

N 覚えがありませんね。敗戦直後からずっと金の価値がどんどん変わりましたが、時々給与の金額や物の値段などについての感覚は記憶に残っていません。

S そのころ、研究面については如何でしたか？

N 先ほど述べた北野中学(やがて新制高校に変わった)で福島先生にかつて教わった生徒たちが先生を囲んでやった数学の勉強会で取り上げたうちの代数学(多元数論)は当時の伏見研の主テーマでした。大阪にはまだ外国雑誌が来ていないころ、伏見先生が理研の図書室でPhysical Reviewに掲載されたOnsager¹⁶の結晶統計の論文[11](正方格子上のイジング・スピンの厳密解)に感激し論文を筆写して帰り、それを庄司一郎さん¹⁷に渡されたそうです。その後長く無反応にうち過ぎ投げ出したか

¹¹ 渡辺茂：後年三重大大学教授。故人。

¹² 福島豊：後に阪大教授

¹³ 西山敏之：後に阪大教授

¹⁴ 関谷全：後に阪大教授

¹⁵ 中野先生の停年退職後の名誉教授推薦書作成のため庶務課が送付してきた文書

¹⁶ Lars Onsager：ノルウェー生れのアメリカの物理学者。1931年に線形不可逆現象の輸送係数を力学変数の揺動で表わし、相反定理を証明。この業績により1968年ノーベル化学賞受賞。

¹⁷ 庄司一郎：当時有給副手、後に阪大教授

と思っところやってきた庄司さんの説明は完璧だったと聞いています。そのころの先生の代数熱がやがて研究室に伝染したわけです。やがて三角格子と蜂の巣格子の厳密解が導出され伏見-庄司の論文[12]が出されました。庄司さんはさらに裏格子変換によって籠目格子（伏見先生によるこの見事な命名が今は日本語のまま世界語になっている）の解も求めました（庄司論文[13]）。僕はその後、庄司さんに聴いた飾りつけ変換のことを思い出してフェリ磁性（ferrimagnetism）の厳密解を導いた。フェリ磁性のことは芳田君¹⁸から聞いた全くの耳学問だった。庄司さんのおかげだと思って共著にしました（庄司-中野論文[14]）。名大に行ってから、decorationを使うと複数の相転移点を持つ exact model が可能なことに気づいた。その論文を庄司さんが気にってくれたのがうれしかった。最近になって目片（守）さんから質問を受けるなかで知ったのですが、スピングラスの研究者の間で庄司さんのカゴメ格子の厳密解が話題になっているそうです。意外なことでしたが、庄司さん死去の後であったのが残念でした。これらの厳密解登場[15]の上述の歴史を話した内容を参考にした目片さんの論説が、物理学会誌にも Physics Today にも掲載されています[16]。

話を少し元に戻して、伏見研が多元数論になびいていたころ、第二量子化法の多元数論に基づいて多電子問題を扱った理論を展開した Ostertag の論文[17]を先生の提案に応じて読みました。それは問題提起に留っていたので、解決を計ろうとしたが、予想外に難問であることに気づき、未解決のまま論文を書いた Ostertag の気持とその掲載を認めた審査員の判断が分った気がしました。正田研究室¹⁹にも相談してみたが、関心を引くことができず、数学者の興味の所在を悟ったように感じました。多元数論適用の小手調べに Dirac 電子の γ 代数の他、当時所持していた湯川理論を記念した本 Collected Papers of Meson Theory（その後誰かに貸したままで戻ってこなかったようだ）に掲載されていた Kemmer の meson theory に現れる β 代数（電子論における γ 代数に相当）の表現行列を求めたりした。そのうちによりやうく本来の課題が解決できて、この理論に基づいて相互作用しあう多電子系の表現行列を系統的に求める多元数論的方法に到達した。まるで田園風情であった名大で開かれた物理学会（1951～2年ころか）で講演した時に、豊田利幸さんが質問してくださったのを思い出す。書いた論文を監修していただくため伏見先生に預けたが、しばらく先生の机の抽斗に眠っていて、刊行は1953年だった[18]。そういう暢気な時代だった。かつて対称群の問題として求められた山内恭彦先生の群論的方法は正統法でなく、多元数論は数学的正統法であり、山内先生がほめてくださったと伏見先生にお聴きした。後年これが僕の学位論文となった。その審査に際しては庄司論文

¹⁸ 芳田奎:大高の同級生で当時、永宮研の助教授

¹⁹ 正田建次郎: Noether 女史門下。

とともに高度に数学的趣向の強い内山さんにほめてもらったのはうれしかった。永宮先生も評価してくださったらしいのは、予想外だったのでさらにうれしかった。後に名大に移ってから高林武彦さんが力作だと言ってくださった。その程度でめったにこの論文を読んでもくれる人はいなかったと思う。

H 多元数論と群論というのはどんな関係なんですか？

N 群論は多元数論に包含される。群論にかこつけて概略の話をしましょう。群論では、 $A_1, A_2, A_3, \dots$ などの元の間に一種類の演算（積として表す）が定義され、それらの間に $A_i A_j = A_k$ のような関係が定義される。可換則 $A_i A_j = A_j A_i$ が成り立つとは限らない（成り立つ場合はアーベル群と呼ばれ、そのことを明示するのに $A+B$ と書くことがあるので、加群とも呼ばれる）。それに少し上乘せして、たとえば複素数または実数の係数 $\alpha_i (i=1, 2, 3, \dots)$ と元とについて任意の一次結合 $\sum_i \alpha_i A_i$ も集合に加え（係数は体と呼ばれる）、そのような全体が多元数である。加法、乗法の二重の算法が定義される。その点では群というより環であるので、多元環とも呼ばれます。複素数は実数を体とする二元数である。多元数は一般に $A_i A_j = \sum_k \gamma_{ij}^k A_k$ のような関係によって規定され、 γ_{ij}^k の全体を群表 (Gruppen-Tafel) という。複素数では $1^2 = 1, 1i = i, i^2 = -1$ が群表関係である。詳細には立ち入らないが、このような多元数（多元環）に関していくつかの基本概念が存在する。

S 先生は、最初は素粒子をやろうと思われていたが、後に統計物理に移られたということをお聞きしました。とくにお考えがあったのでしょうか？

N 先に述べたように卒業研究の時、伏見研にしながら先生の留守のときには、小林先生の素粒子論のコロキウムに出席していました。戦後の伏見研では素粒子のグループと統計力学のグループとがあって、どちらにも気があった僕も結局は主として統計力学に与することになりました。それでも内山さんの曖昧さのない厳しい数学的雰囲気刺激されることも多かった。研究室でなされた直交変換群の継続講義などで受けた感銘が記憶に残っています。その内山さんも当時やはり伏見先生には傾倒されていました。僕の学生のころは演習指導にいらただけで講義を聴くことはなかったが、次年度には講師になって一年下の人たちには講義されたように思います。学生時代は伏見さんとか、永宮さんとか。「さん」付けで呼んでいて、僕なんか卒業した後になって伏見先生とか言うようになった。生意気というわけでもなく、そういう習慣でした。

Y 我々の京大時代でもそうでした。中野研でもそうでしたよね。

N 先生の方も僕らを「中野さん」とか言われるんですね。僕なんかは自分のところの大学院生に「山下さん」なんていうと白々しいような感じで、「山下君」と呼んでるが。「木村君」ともいうわけですが、僕の学生だったことはないけれど。その人の大学院とか若いときに知り合った人は君で呼んでいるようです。同輩の中嶋（貞雄）さんの呼び方に同じていたのだとも言える。

K 僕は中野さんが来られたところにS研にいたが、S研では「有山（兼孝）先生」と言ってた。陰では「有山さん」と言ってたけど。それ以外は「中嶋さん」などと呼んで、先生の方は「君」と言っていた。

H 内山さんが書いた岩波全書の相対性理論を見開いてみたところ、これが理解できないようなら相対性理論を学ぶことはあきらめるべきであろう、と書いてある。（笑）

Y しっかり書いたんだからしっかり読んでもらわなければ困ると。

N そうでしょう。内山さんなら書きそうなことだと思います。

S 1950年代に、日本で量子統計力学の仕事がずいぶんなされたのは、若い研究者たちに、そういうバックグラウンドがあったからであった。そんな感じがするんですが。

N さあ、どうでしょうか。

S 中野先生の「物性論研究」の論文も1950年代初めにもうfield theoreticalな物性論を展開されてますよね。松原（武生）さんもGreen関数の方法に関して仕事をされているんですが[19]。

N それほどに思わないけれど、聴いたり見たりして雰囲気があったのでしょうか。

S 阪大出身の方が多いような印象を持ちますけど、今のお話を聞いてますとそういうバックグラウンドがあったのかなと思います。

N それはともかく当時でもまだ先生方がフレッシュだったのでしょう。東京などとは何かといろんな意味で正統的で、新鮮感は大阪にあったのかも知れない。講義も東大ではもっとガッチリしていて、阪大はそれに比べると緩やかで、名大はもっと緩やかで、時には抜けたままということも聞いたことがある。阪大は一応かなりあったし、心酔する名講義もあったと思う。講義というものは完結した形にするというものでは必ずしもなかったし、それでよいのだと思う。独学では学問に対する親近感とか生気とかが感じにくいのが、敬意を抱く研究者の先生の講義を聴いて息吹を感じることで、その学問が身近に感じられ容易に入っていけたように思う。

K まだ学生だったころ、伏見さんの「量子統計力学」（共立出版）[20]に感銘を受けましたね。中身は難しかったけれど、高いので何べんも本屋で眺めた末に買いました。

S 私も中野先生のお名前を最初に知ったのはその本です。

N それは第二版です。初版の計画は僕らがまだ20歳代前半のころで、伏見先生が講義原稿らしいものを渡されて、これを基に勉強して書くようにと言われた。僕はやりだしたところで療養生活に入って脱落した。担当したのは熱力学だったが、その後、一年後輩の河島さんという人が書かれた。

K あれは戦後の学生には、強い影響を及ぼした。中身を読みこなせたわけではないけれど、他に、例えば東大の先生が書いてるようなのはもう少し地味な感じですね。

N 僕はあの本で統計力学を身につけました。丹念に終始読み通したのあれだけで、思考のルーツになった。その後もあちこち何度も読み返した。他の本はたいてい断片的に読んだのです。

S Boltzmann 方程式の部分を書かれたのは先生ですか？

N 初版の気体運動論の部分は中井真蔵さんという人です。新版のほうは僕が書きました。新版執筆では伏見先生を中心に執筆者が何度か集って相談したことが楽しく思い出されます。年月（20年近い）も経たし、かなり書き換えようという先生の提案もあったので、スタイルを変えて気体運動論を基地にして統計物理の見方を論ずるというふうにしました。シーザーの肺の中に入った分子が現在の人の肺に何個か入っているとかいう面白い脚注を先生がつけられました²⁰。

H 伏見さんが、教育者としても偉大だったんですかね。

N そうでしょうね。僕は教育者というふうには感じなかったけれど、先生の学問に魅せられた。その先生が公明党の参議院議員になられたのはふしぎであった。

H 僕が中学2年か3年のころ、伏見さんが講演に来られた。1950年ころ。

Y 湯川（秀樹）さんがノーベル賞をもらって、物理に関する関心が高まった。

²⁰ 脚注は、“この「非常に多数」を感覚に訴えるためにジーンズが、おもしろいことを書いている。シーザーの死後、その肺中にあった空気が、地球上の空気中に一様に拡散していったとする。肺中にあった空気分子には何か印がつけられていたとしたら、今日私たちの肺中に、この印付きの空気分子が何個はいっているだろうか。答：10個程度。これほど刺激的でない話は、コップいっぱいの水を海中に流し、これが世界中の海に一様に拡散していったとする。コップ中の水の分子にやはり印がついていたとして、海面中からふたたびコップいっぱいの水を汲みあげるとき、そのコップ中に、印付きの水分子は何個存在するか。答：1000個程度。今日では、放射能によって分子原子に印をつけることができる。太平洋上の原爆実験によって、日本の空気や水がどれだけ汚染されるかを計算するとき、ジーンズの計算を追うことになるわけである。”とある。

H そうだろうね。そういう湯川効果で徳島でも講演会が開かれたのでしょう。

N 驢馬電子 [21] なんかに読んだ？

H 僕は読んでいない。

Y 中公新書で読みました。

N 最初は創元社から出た。先生は文才も画才もあって漫画めいた挿絵もある楽しい本だった。

H 学校の帰りに、梅田かどっかの闇市かなんかで伏見先生によくぜんざいをご馳走になったとかいう話を聞いたことがあったけど。

N そうだった。

H 中野先生と伏見さんとはわりとうまが合うような間柄だったんですか？

N そうとも思えないが、そういうところもあったかも知れない。僕はそんなに買われていたとは思わない、だがだんだん、持ち直したかも知れない（一同笑）。学生時代以後。伏見先生の雲をつかむようなことも言われることにも惹かれたけれど、伏見先生は案外シャキシャキと計算できる人を評価されたような気がする。

S 伏見先生がですか？逆のような気がしますけどね。そうですか。

Y たぶん船頭は2人いないということじゃないですかね。

N そんなに高等な話ではない。

K 伏見さんの「確率論および統計論」[22]というのは、全く丁寧に書いてあって非常に抜け目なく、数学的なこときちっとしていてね。だからそういう人なんですね、あの人は。

N 昔から名著だと言われている。

S 今から見てもモダンな感じがしますね。

N 物理屋にとって今でもあれに代るものはないのかも知れない。

S ええそう思いますね。復刻版が出てますね。

N 文才もあるという感じがするでしょ。あれ書かれたのは30代。

S そうですね、すごいですね本当に。30代でそれくらい書けるというのは。中野先生が阪大に入学したころは湯川さんはおられたのですか。

N 湯川さんはおられなかった。すでに京大教授でしたね。阪大でお目にかかった記憶がなく、かつて阪大におられたという感触は僕にはありません。

S 小林先生がおられたということはその影響が阪大に少しはあったということですかね？

N それはそうでしょうが、小林さんも間もなく京大に移られたし、余り印象は残っていない。

S 坂田（昌一）さんとは、名大で初めて。

N 実感上そうです。

Y 先生が大学に入られたころは、坂田先生は名大においででしたか。

N 京大かな、名大かな。僕の阪大物理入学は1942年ですが。

H 名古屋大学が帝國大学になったのがその頃で、それで名古屋に移られたんじゃないかな。

K 名古屋帝大はね、昭和14年に設置、それで1940年に理工学部ができた。

Y 坂田先生は1942年10月7日、名古屋帝國大学教授と書いてあります。理学部物理学教室第四講座を担当したとのこと。帝國大学ですね。10月31日には、京都帝國大学理学部物理学教室研究嘱託を兼ねるとあって、翌年1月には京都帝國大学化学研究所所員を兼ねています。²¹

K 昭和18年で、山本連合艦隊司令長官がソロモン海の上空で撃墜された年です。

S 伏見研での磁性体研究についてお話しいただけませんか？

N Ising modelによる結晶統計の問題は本来磁性に関する統計力学上、最も基本的な問題の一つですね。それについてはすでに多少述べました。それとは比較にならないが、僕は磁性論でDiracのvector model（磁性関係ではHeisenberg modelという）が不用意に使用される点に関する考察を多元数論的観点で指摘しました。Heisenberg modelはスピンの力学に基づく相互作用ではなく、スピン1/2のフェルミ粒子の波動関数の従うべき反対称性に基づいて現れる統計効果に基づくものですから、スピン

²¹ 坂田昌一著、「科学者と社会」論集2、岩波書店（1972）より。

1/2以上の原子間について無条件に援用できるわけではありません。物性論でも統計力学でも原子のスピン値如何にかかわらず機械的に採用されているのですが、原子について Hund rule が成り立つことが必要な前提であることを示しました。自明とも言えるかも知れないが、「物性論研究」[23]に掲載したとき、一般に成り立つと主張する反論が出されたことからみて自明とは言えないようです。この論文ではついでに（しかし分量としてはこちらが占める紙面が多い）スピン1の場合に Heisenberg 理論を具体的に論じました。

電子・フォノン相互作用に基づく Fröhlich の超伝導の理論[24]は BCS 理論[25]の前駆です。僕は Fröhlich を BCS と並べて評価します。Fröhlich の摂動論的計算では転移が導出されても転移温度が低過ぎた。間もなく Wentzel が Fröhlich の超伝導条件が成り立つ場合には、phonon が不安定になる、つまりエネルギー表式における振動数 ω の2乗の係数が負になることを示し、この理論は内部矛盾を孕んでいるというのである[26]。僕はそのころ強大なクーロン力がおおよそ考慮されないで成り立っているバンド理論など固体電子論の不思議について初めて解明した Bohm と Pines のプラズマ理論[27]に傾倒しているうちに、今でいう繰り込みを施せば Fröhlich 問題のパラドクスも解消できるのでないかと思った。Bohm-Pines の理論をコロキュームで紹介した結果、計算力の優れた北野さん²²の協力も得られて、ほどなく予想通りの結論に達した。「物性論研究」[28]に発表して1年くらいしたら Fröhlich 自身が同じ趣旨の論文[29]を出した。Field Theory の立場から見れば、Fröhlich のやり方より僕らのやりの方が正しい。それで Progress にも書いた。そうすると中嶋さんが同様な問題を少し elegant に書いたが、その後さらに発展させて electron-phonon だけでなくクーロン相互作用も含めて繰り込んだ[30]。それは Bardeen がほめたそうです。

先に述べたボゾン集団のフォノンスペクトルの問題は、朝永さんの1次元フェルミオン集団の理論[31]をまねたのだが、フェルミオンの場合の基底状態は波数空間の球だから、1次元に限定されざるを得なかったのに対し、自由ボゾン集団の基底状態では3次元系でも全粒子が原点に集中している状態から励起するわけだから、3次元系にも適用できて、そのフォノンスペクトルを導いたのです。そうすると、ヘリウム分子間の相互作用ポテンシャルの波数展開の0成分つまりポテンシャルの全空間にわたる積分の平方根が音速の表式に現れ、この積分が正である必要があります。初めて研究室で話したとき芳田君が質問したのが契機になって、この積分値をどう評価するのか。分子間力はレナード・ジョーンズ型ポテンシャルだとすると積分は負で、困ったことになる。分子の大きさの剛体球を考慮すると正になるが、こ

²² 北野芳治：後に大阪府立大学教授

の値をどう算定するのか。このように考え込んで、分子間力として物理的に有意義な引力作用が表面に現れないような表式を導く理論の根底が不確かなように思えた。「物性論研究」に向けて論文を書き上げて出すところだったけれど出さずじまいでした。後年芳田君にこの話をしたら、覚えがないということで、独り相撲であったのかと苦笑したものです。



3 電気伝導理論提唱の頃

S 電気伝導理論を提唱なさった頃についてお話しくださいませんか。

N 名大に来て間もないころ、今も親しくしている磁気共鳴問題の実験家である同僚の荒川（泰二）さんと話し合っているうちに、依頼されて久保一富田論文 [32] を読んだのですが、間もなく伝導理論を考えつきました。

H 1 月に名大に就任されて、荒川さんの要請を受けてから間もなく論文を出しています。中野先生は名古屋大学就任が 1955 年 1 月で、「物性論研究」はその同じ年の 5 月に発表²³ してますね [5]。

N そうですか。誰も磁気吸収と伝導現象とを関連して考えることはなかったようです。確かに静磁場下にある磁性体、静電場下における誘電体の定常状態では、何も不可逆性は起らないけれど、伝導問題では静電場下の導体の定常状態では不可逆過程が起っているという点が相違していて関連して考えることはなかったのでしょう。磁

²³ 1955 年 4 月 26 日受理

場によるローレンツ力は軌道に垂直で仕事をしないわけです。後に、久保さんの退職記念講演会²⁴における橋爪（夏樹）さんの講演²⁵に問題を感じて、講演後にコメントしたところ、橋爪さんの返事はなかったが、その後の講演で久保さんは僕の意見を肯定された²⁶。多勢の中でのコメントは余り徹底したとは思えないし、その後出版された講演記録 [33]²⁷にも質疑については全く記事になっていないので、事柄を明かにしておく責任があると感じて、岩波の雑誌「科学」の「フォーラム」に投稿しました [36]。「物性論研究」誌には、僕の電気伝導の公式の論文が掲載されてからしばらく続いた関連する論文の掲載が一段落したころ²⁸「科学」誌上に久保さんの「電気伝導の理論の体系化」と題する論説が掲載された [37]。その長い論説の終末に「この問題に関しては中野氏のノートがある」とだけ記してあった²⁹。このことを思い出して同誌に投稿したのです。

S 久保さんの「非平衡系の量子統計力学 I」 [38] には、中野先生の論文を引用しながら、「一昨年磁気吸収の理論として著者らの展開した方法、それを電気伝導に適用した中野氏の議論などには、若干、不必要に近似を導入した点がなくもなかった。最近、強磁場における電気抵抗などの問題を取扱おうとして、この点を明かにする必要に迫られた。ここに述べるような諸公式を整備した理由である。」と書かれていますね。

N 僕は電気伝導度の一般公式を導くのに近似を使っているわけではないので、久保さんがここで近似と称しているのは、一般公式から金属に対する在来の近似表式 Grüneisen の式を導いた計算のことと考えられますが、久保さんが「非平衡系の量子統計力学 I」に述べられている内容は一般公式の持つさまざまな数学的性質であって、今杉山さんが挙げられた文章は不可解です。

S ところで先生の電気伝導理論に関して反応は如何でしたか？

²⁴ 久保亮五先生還暦記念講演会「統計力学の進歩」、1980年3月26日(水)、東京大学理学部化学教室講堂

²⁵ 講演題目は、「統計力学の発展と久保理論」。ほぼ同時期に刊行された「科学」増刊号「論文に見る日本の科学 50 年」(1980) p.95 にも講演と同趣旨の解説がある。久保理論の解説としては [34, 35] などがある。

²⁶ 導体（電気伝導）の問題は静電場の下でジュール熱が発生し続けて不可逆過程が起こるという意味で磁性体（磁気共鳴吸収）の問題と基本的な相違が存在し、一方の問題の解決が他方の問題の開拓に直結しないという見解。

²⁷ 講演記録には、“2.10 電気抵抗の理論、「磁気吸収は静磁場では消えるが、電気抵抗は静電場でも存在する。磁場と電場の違いはどういうことか」という疑問から、Kubo-Tomita 理論を利用して、F. Bloch(1928) 以来の Boltzmann 方程式を経由せず、直接に電気伝導率を求める方法を得ようとしたのが 1955 年 4 月の H.Nakano の第 1 報であった。(略) 残念なことに Nakano はこの公式を得たのみで、不可逆過程の統計力学の一般論を展開しようという大きな狙いをもたなかったようである。”とある。

²⁸ 当時の日本物理学会誌には、「各専門分野研究活動の展望」がまとめられており、昭和 30 年「極低温・統計力学・相転移」(松原武生)、「固体電子論」(植村泰忠)、昭和 31 年「統計力学」(中村伝)、「固体電子論」(森田章)には、「電気伝導理論」に関する当時の研究者たちの著しい関心の高さと学会における客観的評価の一端を伺い知ることができる。

²⁹ 正確には、(本論文の内容はまだまとめてはいないが、近く J.Phys.Soc.Japan に発表するつもりである。中野藤生氏のノート、その他関連した論文はあるが、一々文献を挙げることはやめた。)と記されてある。

N 即座に現れたのは、在英の中嶋さんの反応 [39] で、物性論誌上の僕の論文を見てショックを受けたということでした。僕自身は当時の氏からの私信で知ったことだが、後年、固体物理誌上に掲載された「物性論研究の思い出」という論説やその後の日本物理学会誌に、このことが述べられています³⁰ [40]。そして中野理論に対して、2 人の外国人研究者が対照的な反応をしたとも記してある。Peierls と Pauli 門下の Schafroth³¹ とです。Peierls は、中嶋さんが Proceedings に関連した論文を提出したのに対する審査意見に「この理論は電場の効果について 1 次の摂動しか考えてなく、電子・フォノン相互作用について複雑で不透明な摂動計算をやったのち、誰でも知っている電気伝導の表式 (Grüneisen の式) を導いたにすぎない」と書いてきたそうである。それに対して Schafroth は「以前から Boltzmann 方程式というように特殊な体系に限られることなく、一般的に通用する理論を探していたのであるが、これはそれに当る」と感激したというのである。Peierls 門下の Edwards や Greenwood が後にこの問題を取り上げていて Peierls 先生に謝辞を述べている。Edwards は Green 関数を使ったスマートな計算によって Grüneisen の式を求めており [41]、Greenwood は電気伝導度の公式自体を求めている [42]。これらに徴してみると、上記の Peierls の意見は奇妙です。急に考えが変わったのでしょうか。

昨年志水さんのお宅に招かれて懇談した際、磁性体の非平衡状態について質疑を交したことがありましたが、その後もらった手紙に久保さんの 1956 年の Canadian Journal³² にある論文 [43] が同封されていて、僕の論文の引用が変だとする注意がそえられていました。僕は同誌上の Ziman の論文 [44] (Boltzmann-Bloch 方程式に関する Kohler - 梅田 - Sondheimer の変分原理を簡潔に整理し熱力学的意味を説いたもの) を精読したことがあるが、その前後にあったと思われる久保さんの論文は注意していなかったもので、記憶に残っていませんでした。上記の 1955 年の「物性論研究」[38] の久保さんの論文を先頭にしてそれ以後に掲載された論文が引用されていて、それらに先行した僕の論文は出ておらず、僕の論文としては 1956 年の Progress の Letter[45]³³ が引用されていて、「電気伝導度の公式」は久保さんが発見したよう

³⁰ 中嶋氏は、固体物理誌上で、“日本から送られてくる「物性論研究」でこの中野さんの仕事を読んだときのショックは忘れられない。(略) 物理的に考えると、久保・富田理論の振動磁場を振動電場でおきかえ、周波数ゼロの極限をとることによって金属の直接抵抗を求めうとは思えなかったからである。”とし、日本物理学会誌で、“中野によって最初に導かれたこの表式は、明らかに §2 で述べた Einstein の関係の量子論版である。(略) その後の国内の研究の展開にとって、中野の発見は“コロンブスの卵”であった。”と紹介している。

³¹ 後に飛行機事故で家族もろとも亡くなった。

³² International Conference on Electron Transport in Metals and Solids, Ottawa, Sep. 10-14, (1956). 京都理論物理国際会議 (1953) のリターン会議と言われたシアトル理論物理国際会議 Sep.17-22 (1956) の直前に開催された。日本からは久保亮五氏、小谷正雄氏が参加。久保氏による初めての「電気伝導度の公式」の英語論文 (Proceedings) が発表された。

³³ full paper も、Progress(1957.2) に発表されている [46]。久保氏の full paper(1957.6) より数ヶ月早い。

に見えるというのです³⁴。このことには、志水さんの指摘で初めて気づきました。Journalに出た論文[47]では、僕の論文の引用は電気伝導度の一般公式を見出したのではなく、ただGrüneisen式を導いたかのようにも見える曖昧な説明だと感じたことを思い出しました³⁵。

後に久保研究室に招かれて変分原理の話[48, 49]をしたこともあったのですが、間もなく一緒に論文を書かないかという誘いが来ました³⁶。そのころは不信感も覚え始めており、先方の話を聞いていないので承諾しなかった。それより以前のことで、thermal disturbanceの取扱いを論じた久保さん横田さん共著の論文[51]に続いて中嶋さんの論文[52]が出されたことが思い出されます。久保-横田論文はOnsagerの理論[53]の量子力学版をめざしたのですがdynamical disturbance(電気伝導)の場合に現れた温度因子が導かれないうまま、その存在を仮定しました。Boltzmann方程式の理論に準じてvon Neumann方程式に基づく導出も試論的に論じられています。それに対して中嶋論文は、Onsager理論の量子版化に成功しました。ところが後に出版されたJ. Phys. Soc. Jpn.[54]では三人の共同論文になりました。久保-横田論文はいわば失敗作であると思っていたので、後年のある会合(State Univ. New York, Buffaloの石原明さん、藤田重次さんが招かれ、その同時代に活動した研究者もお相伴して開催された講演会)の懇親会で中嶋さんに「単独で書いたらよかったのではないか」と述べたら、彼も重々承知であって「久保さんが名古屋まで来てjoint paperにしてくれと言われたのだから断れなかった」という告白でした。他にも偶然目にしたこともあった。琵琶湖畔堅田にあった東洋紡の施設で開かれた研究会である人のexcitonに関する話(それ以上に内容を覚えていない)は、その知識がとぼしい僕にも面白い話だと思われました。たまたま僕の隣席にいたその人のところに久保さんが来て、「うちの研究室でも同じようなことをやっているの、一緒に書かないか」と言われるのを聴きました。その結末は知りませんが。アメリカのイリノイ大学の大野克嗣さん(それまで面識がなかった)から「物性論研究」のころの日本の研究について書いてほしいという依頼状を頂いて書いたものがInt. J. Mod. Phys. Bに出ています[2]。依頼状には当時の日本での状況が欧米などでは正確に伝わって

³⁴ Canadian Journalにおける久保氏の「物性論研究」論文の引用の末尾には“(These are preliminary reports.)”と付記されており、優先権を暗に主張しているようにも見える。Canadian Journalは国内誌に比べサーキュレーションがよく、このProceedingsの引用をたよりに海外に業績が間違って伝わった可能性が指摘される。

³⁵ 最近出版された、川畑有郷，“線形応答理論，久保亮五”，数理科学，No.491，p.43 (2004)．では、久保論文(1957)においては電気伝導がもっとも重要であり、久保論文以前には電気伝導の一般論も存在せず、問題に応じて直感を交えた方法を各自が工夫して使うという状況であったが、久保氏の最大の功績は電気伝導率テンソルの厳密な表式を与えたと紹介してある。

³⁶ 森肇氏インタビュー[50]によると、森先生が久保研に内地留学をしていた(1959.8-1960.3)際に線形応答理論の変分原理をやっていたとの記述があり、中野先生が変分原理の論文を書いてセミナーを行った時期と重なるようだ。

おらず、公正を欠いていると考えるから³⁷ と記されていました³⁸。

S ところで、先生は、線型応答理論は現象論であるとおっしゃっていらっしゃいますが、どういうことでしょうか。

N 端的に言って、まず電場（一般に外場）が加えられた体系が定常状態に保たれていることを前提にして論じているのですが、それが保証される機構なり機能なりについては不問にしています（揺動散逸仮定によって熱平衡状態の揺動現象として考察する立場では熱平衡の問題であるが）。発生するジュール熱がどのように放出されて定常状態が保たれるのか、そのような広義の境界条件とでもいうべきものを、問題の対象となる体系の状況を外的に規定するための環境の状況やそれと対象体系との相関などを第一原理的ないし原子論的に保証するわけではなく、実験に照して定常状態が継続することを仮定してかかるわけです。

H ジュール熱がはけると仮定するのは、電場の2乗の項を無視するということですよ。

N 数理的にいうとその通りです。無限小の電場と考えることでしょう。統計力学（熱平衡論）で熱平衡を成立させる過程自体は不問に付すのと類似するが、定常状態（散逸状態）ではその内実はもっと多岐多様で複雑です。ボルツマン方程式の理論（kinetic stageの理論）でもフォン・ノイマン方程式の理論（dynamic stageの理論）でもこの点では同様であり、対象となる体系に対して、kineticなレベルの記述（この記述自体がすでに現象論的）であるか、特定のモデルに限定されることなく Hamilton 形式に基づいて記述（この部分は本質論的に見える）された理論であるかの違いです。伝導度の公式として Grüneisen の公式と線形応答論の公式との違いはこの違いであり、後者は前者より基礎理論的であり、より一般的な公式であると考えられます。素粒子反応の単一基本的過程のみにかかわる理論とは違って、環境も含めて総合的に考える統計物理学の対象となるような現象については、常にあるレベルの現象論的段階の状況を仮定して理論が展開される。このような手法のすべての正当性を第一原理的には解明することはできないが、それなりの論理のもとに導かれたその結論が現象に十分符合していることが理論の正当性を証明していると考えられるのだと思います。

³⁷ 大野氏の非平衡の講義ノート <http://www.rinst.org> では「電気伝導度の公式」は、Nakano's electric conductivity formula; that is the famous formula erroneously called the Kubo formula と紹介してある。

³⁸ 伏見康治「久保亮五さんのライバルたち」(1995)[55] では、“次には、熱平衡を取り扱う統計力学から、非可逆過程をも取り入れた統計力学へという学問の流れの中で起こった「線形応答理論」の話である。これは戦後の話であるが、戦中から永宮建夫さんが発行を始めた「物性論研究」誌上での話である。電気伝導度などを計算する運動論的方法を越えて、もっとも一般的な仮定と形式を使って、体系の外部攪乱に対する応答を計算する方法を初めて示したのは名大の中野藤生さんであった。これに雁行して久保さんも同様の計算法を開発していった、もちろん多数の労作を伴っていたのだが、非常に大きな評価を得たのである。”と紹介してある。

ところで考えてみると、線形応答理論という名称は変ですね。輸送係数の理論などはどんな理論にしる線形応答理論ですから。線形応答理論にはいろいろの段階なり方式なりが存在するわけで、ボルツマン方程式の理論も線形応答理論であるし、フォン-ノイマン方程式の理論もどちらも線形応答理論であるわけです。

H International Journal の先生の論文 [2] によると、先生は 1955 年 6 月³⁹ に Feynman と会ってますね。

N Feynman の名古屋来訪時に、名大の S 研と E 研とが朝日会館の一室を 2 日間借りて、初日に S 研が、2 日目に E 研が彼と話し合いました。Feynman は奥さんと一緒に近くの丸栄ホテルに泊っていました。初日の僕のトークに興味を示し、その日の閉会後には観光が予定されているため明日もう一度会いたいと頼んだので、2 日目の会合の後、ホテルに同行して歓談しました。僕の話した公式と彼の考えた公式とが一致しているのかどうかを確かめたかったようです。トークの前半の印象より、後半の Grüneisen の式を導く部分が時間がかかったので記憶に残ったらしく、彼の式とは違っているような印象を持ったようです。彼の差し出したホテルの便箋の裏に公式を書き記したら彼も納得したのです。記念のために逆に同じ式を Feynman にも書いてもらったのが今も手許にあります。このことを記した International Journal の原稿を見た大野さんがこの Feynman の筆蹟も掲載したいから送ってほしいと注文されました。それが掲載されています [2]。

H International Journal には Lax という人に関する Physical Review の記事も書かれていましたが。

N アメリカ物理学会講演の abstract が出ていた Physical Review で知ったことだが、Feynman の司会のもとになされた Melvin Lax⁴⁰ による講演の簡単な記事の内容は「電気伝導度の公式」に相当するものでした。多分 Feynman はこの司会后間もなく日本に来たのでないか⁴¹。僕は Feynman が導いたのだと思いこんでいたが、それは誤解だったようです。Feynman の論文が出ないのを不思議に思っていたのですが、これで疑問が解けたのです⁴²。

³⁹ 1955 年 6 月 4 日、5 日

⁴⁰ 2002 年 12 月に他界した。近く memoir が National Academy of Sciences の Biographical Memoir として出版されるそうである。

⁴¹ その後の調査で、この部分の推測は正しくないことがわかった。脚注 42 参照。

⁴² 事実誤認が生じた理由は、Physical Review には講演日程に関する情報が記載されてなかったからだと思われる。その後の Bulletin of APS の調査で、Lax の講演の日付は 1955 年 12 月 30 日であることが判明した。Winter Meeting on the Pacific Coast, Los Angeles, Calif. Dec. 28-30 (1955). “Generalized theory of mobility” Melvin Lax (R.Feynman, presiding)[56]. Lax は 1958 年に full paper[57]、1960 年に review paper[58] を出版している。Lax が 1955 年 12 月の講演以前にどのような着想でどの時期から研究を始めたのか、また来日する直前の Feynman との接触があったかどうかは不明である。

H 一柳さんの本 [59]⁴³ の 135 ページにも中野先生が 1957 年 1 月に出版された「物性論研究」の引用を紹介しています。「昨年日本に来たとき、この方法に強い興味を持っていたように見えた Feynman は、今ではソッポをむいていると聞いたが、不可逆性の意識を持たなかった Feynman であれば、さもありろと思われる。」 [63]。

S Lax のこの 1958 年の論文 [57] の脚注に、先生の論文 [45] の引用があつて、“Feynman (private communication)” とあります⁴⁴。

N 僕は Lax のことは知りませんでした。Feynman からは Lax のことは聞かなかった。Lax の論文はその後知りましたが。58 年の論文 [57] に引用してある 55 年の Lax の論文というのは、先に述べた学会講演の記事でしょう。

S さて、もう少し話を進めさせていただきます。先生は電気伝導理論提唱後、その変分原理による定式化に進まれましたね。先生が変分原理に関心を持たれた最初のきっかけは何だったのですか。

N 変分原理一般ということだと、戦後すぐだったか、学生のころだったか伏見教授室で見た丸善講演集の先生の著述「場の理論における変分原理」 [64] に魅かれたことです。先生の坐っておられる机のこちら側のテーブル上にたくさんの本や書類が雑然と積まれていて、その手前に坐って先生と話している自分の目前にこの論説の別刷がのぞいているのが目につき、興味が湧いて早速頂戴して帰りました。輸送現象については、Wilson の著書「Theory of Metals」 [65] では Boltzmann-Bloch 方程式の変分原理が詳しく書かれていてその章を熱心に読みました。

K Wilson の本にあるのは梅田-Kohler-Sondheimer の変分原理 [66, 67, 68] ですか。

N Wilson の本では、Kohler と Sondheimer の引用だけで梅田は引用されていません。僕は後年、イギリスのバーミンガムの Peierls のところに招かれて（中嶋さんの口ききだった）バーミンガム大学に滞在していた際に、Peierls の紹介で Sondheimer に会ったのです。イギリスでは、各大学の入学試験に他の大学の人が試験委員に加わるそうで、Sondheimer は試験委員として来ていたのです。彼はその時は多忙で長話ができず、僕は後日招かれて London の college に訪問しました。変分原理の話をした

⁴³ 一柳正和：著書に先立ち、1992, 1993 年度の科研費成果報告書として「日本統計物理学史—不可逆過程論の展開—」 (1994) がまとめられている。その後、英文でも公表された [60]。科研費報告書の視点をまとめたものには、大矢正人 (2001) [61] がある。一柳氏は、病気により脱稿を急がれ、著書が出版される前に他界された。そのため著書にはいくつかの誤りも指摘されている。中野藤生 (2001) [62]。Appendix A 参照。

⁴⁴ Lax の full paper (1958) の脚注 1 は、“R. Kubo, Can. J. Phys. **34**, 1274 (1956); M. Lax, Phys. Rev. **100**, 1808 (1955); H. Mori, J. Phys. Soc. Japan **11**, 1029 (1956); H. Nakano, Progr. Theoret. Phys. Japan **15**, 77 (1956); R. P. Feynman (private communication).” となっている。しかし、Lax 本人は Feynman の（電気伝導度の公式に関する）仕事を知らないと言っていたそうである（Lax の共同研究者であった小田垣孝氏の情報による）。

のですが、「あなたの公式は久保の公式とどう違うのですか」と聴かれ、「同じです。僕が先に公式を導いたのですが」と言ったら、「あちらは宣伝がうまいのだ」と言っていました。その時の話の原稿では、僕は Boltzmann-Bloch 方程式の変分原理について Kohler-Sondheimer を挙げていたのですが、Sondheimer は「それ以前に梅田(魁) がやっている」と教えてくれたのです。おかげで、その後帰国時に Peierls 先生に託して帰った論文の原稿では Umeda-Kohler-Sondheimer (以下 UKS と略記) 変分原理と引用することができました。それが Proceedings of Physical Society に掲載された時 [69]、別刷を梅田さんに送って Sondheimer のことを伝えたら、梅田さんは大変喜ばれて Sondheimer の写真があったら頂きたいとおっしゃったので、Sondheimer の写真を送りました。ご病気だと聞きましたが、間もなく亡くなられてお会いすることもなく残念でした。長く勤務されていた北大(多分停年)退官後岡山大学に移られ、すでに岡山大学も退職されていたように思います。

Kroll も梅田さんも Heisenberg のところに留学されていて親交があり、後に Kroll はナチスから逃れて梅田さんの所に來たのですが、やがて台北帝大の教授になったように聞いています。Wilson の本にも書かれている Kroll の方法 [70] は、Boltzmann-Bloch の方程式の解を無限級数に展開して解くものですが、その理屈はつけられておらなかった。梅田さんは問題を変分原理として提示し、Kroll の無限級数はその変分関数であるとして根拠を示したのです。特殊な場合を取扱っているのですが、その考え方は一般的に通用するものです。Kohler のは、気体分子の場合を論じたが、後には自由電子についても論じています。戦中で交流がなく、互に独立の仕事だと思えます。梅田さんの理論が何年か早かったが、物理的意味も論じている点では Kohler がすぐれています。それから Sondheimer は金属、半導体のさまざまな問題に応用して洗練されています。

しかし僕が自分の変分原理を考えついたのは UKS 原理とは関係なく、阪大時代に知った Lippman-Schwinger の散乱理論に関する変分原理 [71] を思い出して突然頭に閃いたのです。UKS 変分原理との関連は後から考えたことです。阪大伏見研時代のことですが、大阪市大に新設された大学院向けの統計力学の講義を早川幸男さんに頼まれて(東大物理同級の中嶋さんが僕を勧めたらしい)、ほんの数人の理論の大学院生に講義したのですが、研究室の隣の小さなコロキウム室でやりました。午後は研究室のコロキウムがあって、それを聴くことにしていましたが、ある日は西島和彦さんが Lippman-Schwinger の紹介をされました。後年それをふっと思い出して、不可逆過程の変分原理を定式化したのです。骨組はすぐにでき、すぐに UKS 原理との相違が意識にのぼりました。

S 変分原理の重要性についてお話しください。

N 論文 [69] に書いているように、第一に計算の方便として有用である点で、第二には表現形式が問題の物理的意義を解明する点です。第二の観点がとくに重要ですが、第一の方便も第二の観点と関連しあっていて、単なる計算の方便でなく、変分関数は物理的な意義に基づいて仮定されるのです。変分原理は積分形式で表示されることが多く、運動方程式が微分形式で与えられるのと対照的です。そのことが示しているように、変分原理は包括的表示である点で物理的、直観的に問題の意義が露呈されるように思います。

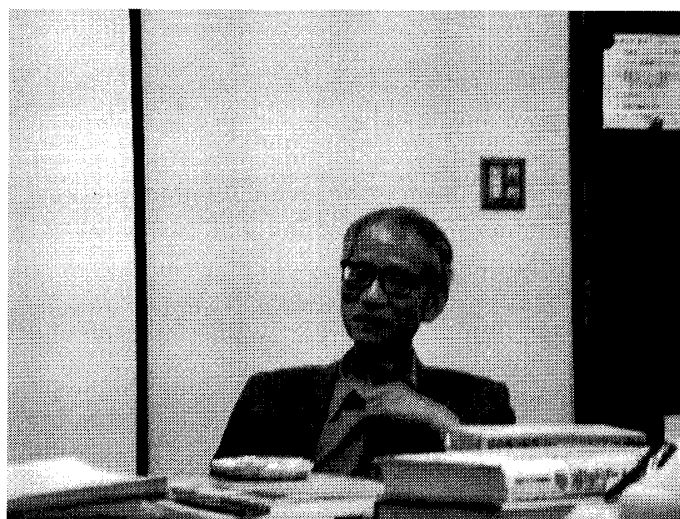
具体的なこととしてさらに述べておきたいのは、Boltzmann 方程式における時間推進演算子は self-adjoint であるのに対して von Neumann 方程式では self-adjoint でなく、いわば anti-self adjoint であることです。この点は散乱問題と共通です。この性質に基づいて過去から現在へ進む問題と現在から未来へ進む問題とが変分原理に結合して登場するのです。Boltzmann 方程式では一方だけしか登場しない。このことは力学的段階 (dynamical stage) と運動論的段階 (kinetic stage) との違いであり、情報削減によって前者が後者に帰着するということから見て不可逆性の露呈と考えることができます [3]⁴⁵。久保さんは「電気抵抗に関する中嶋氏のノートに対する注意」[74]⁴⁶ で Boltzmann 方程式の数理を整理してそれと平行に von Neumann 方程式を論じて以後の考察に役立てようと試みておられますが、このように両者の相違を自覚しないのでは von Neumann 方程式の本質を見逃しており、それに対する変分原理には進めないのです。

⁴⁵ 不可逆過程の変分原理は、一柳 (1992)(1994)[72, 73] などが詳しい。中野藤生著 “Variational Principles on Linear Response Theory of Irreversible Processes” の原稿がほぼ完成している。

⁴⁶ 後に久保理論 (1955.10) と呼ばれるようになった 2 編の論文 [38, 51] の直前に掲載されている。書き出しは、“前号に中嶋氏は中野氏の用いられた方法によって、一般に任意の温度について Grüneisen の内挿式が Bloch の方程式を解くことなく直接に得られることを示された。伝導率を与える公式

$$\sigma_{\mu\nu}^s = \frac{1}{kT} \int_0^\infty \langle \{j_\nu(0)j_\mu(t)\} \rangle dt \quad (1)$$

が low-frequency, 高温度といった仮定なしに正しいことは、中野氏自身も前号に述べられているし、またそのもっとも一般的な議論は本号の筆者のノートにも与えられている。こゝには、(1) 式の近似として Grüneisen formula が得られることの必然的な理由をノートしておこうというのである。必然的といって悪ければ別の見方からの解釈である。この結果は以下に述べるような理由によって、当然予見されたことで、折にふれ筆者はこのことを注意したところである。このような予想の根拠を改めてこゝに述べる理由は、一つには中野、中嶋両氏等の計算、あるいは筆者等が磁気共鳴吸収の理論で用いた方法の意味を明かにすることにもなるからである。”となっている。



4 名古屋大学におけるその後の研究

S その後の名古屋大学での研究についてお話いただけませんか？

N 物理教室にいたころ B 研（右衛門佐教授らの研究室）と協力しており、コロキウムにも参加していて、応物に移ってからも続けていました。そのうち右衛門佐さんの依頼で hypochromism の研究に協力しました。高分子の π 電子における励起子問題で、それは単一分子の光吸収が高分子形成に伴う協同効果として強度が少し弱まる効果を論じ、永久双極子が存在するとどのような影響があるかということも調べた [75]。僕と B 研の安藤君⁴⁷ とがともに高分子溶液などの円偏光二色性の linear response theory を論じていることが分って、一旦共同の letter [76] を書いたのですが、その後考え方が違ってきて full paper は書かなかった。Full paper は、その後彼は加藤又氏さん⁴⁸ と書いたし、僕は木村君に高分子物質などに応用してほしいと頼んだ。あのころ彼はまだ液晶問題に詳しくなかったようでその希望は果せず、Maxwell 方程式も含めて一般的理論として論文 [77] を書きました。

Dirac の vector model について、それに基づいて Heisenberg が群論的考察によって強磁性理論を樹立したので、Heisenberg model と呼ばれることや、阪大時代にスピン 1/2 以上の場合でも同様に用いられる条件を論じたことは前に述べました。Opechowski は新しく統計力学的処理を群論など利用することなく実施する方法を提起した [78]。鉄鋼学科（後に理学部物理）の安達健五さんに同研究室の Co chalcogenide 実験シリーズのデータの理論的分析について相談された時、磁性原子

⁴⁷ 後、近畿大。今は故人

⁴⁸ 加藤又氏：信州大

Co の最も近い対の間とその次に近い対の間に交換相互作用が存在するものと仮定したモデルに Opechowski 理論を適用して検討してみようと思いました。独りでは複雑な計算に自信がもてなくて正確な計算力のある服部君に協力を要請したら、短期間に展開の 3 次ないし 5 次の複雑な計算をやりとげたのですが、その結果は実験データとよく照合し、成分比と磁性などとのマッチングには安達さんも満足されたようでした [79]。その機会に Opechowski の方法を磁性問題に限らず、一般的な体系の相転移に対する統計熱力学として利用するように、対称破りポテンシャル法を定式化しました [80] が、これは以後のわれわれの研究室における相転移問題の研究でよく活用されました。

山下君の採り上げた問題 [81] は、unit system (monomer) 自身が小さな熱力学的体系で、その熱的性質は数学的に analytic(non-singular) でありながら、それらが連合体を形成すると質的変化が起る (singular になる) という問題を定式化したものであるが、個体としては正則な体系であっても、それらが多数集合して相互に多少とも作用を及ぼしあうと、相転移を起すほどの異常性を帯びるにいたる点で、量から質への転換という弁証法の典型を具現したものに他ならないわけです。上田 (誠) 君の合金における devil's stair case の問題 [82] とか、液晶の問題とか、いろいろやられたが、未だに成功していないものとしては剛体球気体の Alder 転移の問題があります。Alder ら⁴⁹ の仕事は計算機実験であって、理論的論証と言えるほどのことはなされていないと考えているが、矢野 (武) 君はその計算 [84] を進めたものの、成功していない。対称破りポテンシャル法は液晶の問題では有効だった。例えば剛体球モデルでは相互作用ポテンシャルがゼロだが、状態和の計算における剛体核の存在は分子の可動範囲を限定する効果を生じ、その寄与は温度に依存しない。他方相互作用力の寄与は温度に依存する (最低近似では温度に反比例する)。これは Onsager による hard rod model の結果 [85] と Maier-Saupe による相互作用モデルとの結果 [86] との総合になっているわけで、木村君によるネマチック液晶の計算 [87] が有効となったわけです。その後の各種の液晶の計算にも同様に有効でした。星野 (正人) 君の学位論文のテーマとして対称破りポテンシャル法を剛体棒モデルに適用することによってスメクチック液晶を論ずることを選んだのは、剛体棒モデルによる Onsager のネマチック液晶理論が成功していることがあったからです。矢野君の Alder 転移における剛体球モデルの計算が成功していないことからこの試みの正否については疑問も浮かんだが、星野君によると最低近似で相転移が導かれることが分りました [88]。剛体棒モデルの場合のほうが剛体球モデルの場合より計算がはるかに容易であるの

⁴⁹ Berni J. Alder : 1956 年、Wainwright との共同研究により剛体球系において固液相転移が起こることを分子動力学法を用いた計算機実験により世界で初めて示した。この研究は、後の計算機科学に大きなインパクトを与えた。2001 年、川崎恭治氏 [83] と共にボルツマンメダル受賞。

は一見逆説的に思われるが、剛体球では高次近似まで進めないと相転移が導かれな
いのは、球面玲瓏としてひっかかりのない球は、絡み合いにくく、相転移（対称相
から非対象相への転移）は起りにくいこと、従ってその理論的導出は微妙で困難で
あって、よほど精密な計算を進めないことには相転移は導かれまいのだろうと悟っ
たのでした。もちろんスメクチック秩序は結晶秩序に比べて粗雑な秩序であること
が利いているのも確かです。

K 対称破りポテンシャルの方法 [80] は、液晶の研究者の中では日本でも外国でもかな
り有名です。内容は知らなくても対称破りポテンシャルの方法というのは何か役に
立つらしいという印象は液晶の society の中ではかなり広まっています。

N 液晶の分野では統計力学者は多くないからでしょうか。Opechowski の強磁性理論を
統計力学の方法として一般化して書いておいたのは液晶方面でも有意義だったので
すね。

Y それと具体的な高温展開の方法とかに結びつきますし。ランダウ理論にそのまま繋
がるのですね。

N 展開の仕方というのは必ずしも高温展開に限らんのですが、一番手近な計算法は高
温展開です。

Y そうですね。数学的にはルジャンドル変換がポイントになっている。

N 物理というのは物理的意義と数学的意義とがストレートに繋るところが意味深長で
す。磁気でいえば磁場を変数とするギブス型自由エネルギーか磁化を変数とするヘ
ルムホルツ型自由エネルギーか、その間の変換が数学でいえばルジャンドル変換に
なっていますね。だから、数学者はたとえこのような物理を知らなくても、物理の
数理を展開してるのであって、その見事な整合性は意義深い。

K いつか東北大の田中実さんとか広池和夫さんとかと話したときに「液晶はやられま
せんか」と言ったら「剛体球でさえ取り扱いに困ってるのに、棒などとてもできま
せん」ということだった。

N まあ矢野君も5次までやったらひょっとしたらいけたのかも知れない。しかし多重
積分はコンピュータの泣き所でしょうか。苦手なようですな。

Y 後に本間(重雄)さんもやられてたと思います [89]。5次くらいまで展開してました
ね。融解の問題で。

N 4次までだったと思う。当時の計算機では余り徹底した計算はできなかった。液晶ではコンピューター実験をやって星野君の計算が合うとかと言っていた人がいましたね。

K はい。Daan Frenkel です。

N 有名なフレンケルじゃなく、最近の人ですね。停年退職（1986年）後1987年5-8月カナダにいた間に僕はあなたからの手紙でFrenkel氏の研究を知ったので、8月にブリュッセルに滞在中の杉山さんと一柳君のところに立ち寄った時に同氏を訪ねようと考えたが、彼はアメリカに行っていて会えなかった。

S アムステルダムまで先生と一緒にいったことがありましたね。

N Frenkelからの手紙で留守であることは知っていましたので、アムステルダムに連れて行ってもらったのは遊楽でした。レンブラントやゴッホの絵をたくさん見ることもできて、従来の感覚が変りました。その後Frenkel氏に会いましたか。

K 会いました。いろいろ手紙もくれましたし、われわれの研究室に来た時は中野さんがもう定年になってからでした。剛体棒のシミュレーションで、ネマティック相だけでなくスメクティック相も出るのを見つけたのは彼らが最初だった。星野君の難しい計算を見て、スメクティック相だけでなく、コラムナー相も可能性があることを知った。彼はコラムナー相も見つけたが、これは発表すべきかどうか迷ったけれど星野君の論文を見て出す決心をしたと言っていました。そんなことは何にも書いてなくて、論文は引用してありました。星野君の仕事は発表したときには日本でも世界でも殆ど注目されなかったけれど、その後、星野－中野－木村という論文[88]がずっと引用され出した。それまでもう7,8年間は誰もその引用することはない状況だったんです。

N そうですか。

K さっきの optical activity の論文[77]。先生はあれは形式論としては出すことになったが、応用の方はできなかったと言われましたね。僕が調べて、 α -helix とか β -sheet とか、要するに poly-peptide の構造を勉強したのですが、まだ応用するまでにはいかなかった。しかしその後、あの論文はイギリスの Buckingham という光化学の専門家が注目して手紙をくれたことがありました。また後にアメリカの Optics の学会 (SPIE) が論文集に載せさせてくれと言ってきました。物理光学の人たちの間では基本的な文献になっているようです。あの論文の optical activity の表式には、普通の教科書にある magnetic moment と dipole moment のカップルした項以外に、dipole moment と quadrupole moment のカップルした項も含まれています。

N 正確に言うと、誘電率などは、dipole-dipole の response function であるのに対して、magnetic moment と dipole moment の response の絡み合いであり、さらに dipole-quadrupole の絡み合いであるわけだ。

K そうです。ところが実は dipole-quadrupole の項は isotropic な溶液では均らされて消えてしまう。しかし、例えば液晶のような分子の方向が揃った状態では役割を果たすんですよ。だから液晶の分野の optical active を解釈するのに非常に役にたっている。普通、化学では等方性液体で旋光性が起こるものを optical active と言ってるんです。ところが、例えば分子自身は対称面を持っていたとしても、頭としっぽが違ってしまうような場合は、普通の意味で optical active ではないんですが、液晶にしてもそれも biaxial ネマティックとかいう状態にすると、とにかく実験的に偏光面の回転が観測される。実験家は不思議だなと言うんですが、あの論文に照らしてみればね、当然のことなんです。

N 僕があなたを誘って期待したのは、そういうことだったんだけどね。

K 僕はまだそこまではいなくて、とにかく難しい構造にね。

N 仕方なく僕の手持ちで全部書いたんだけど、結局付け足してくれるものが何もなかった。今の話を伺うと僕の期待は的はずれではなかったんだ。

K だから、決して形式論は空疎じゃなくて、やっぱり出しておいたことによって、見る人は見てるし、生きる場面があったということですね。

N 利用しやすい定式化をやっておけば、後日役に立つ。物理とか化学とかはね、物が語るから、形式論を書いたときにはね。あの optical activity の論文書いたときには形式論だと思っていたけれど、内容が確かであれば将来それがものをいうことがある。大げさな問題についていうと、古典力学では、解析的に解ける惑星の問題とか教科書に載ってるような話が力学のすべてだと僕らは習ったわけだが、カオス理論が出てきたのは思いもよらないことでした。古典力学の懐は、発想者の思いをはるかに越えて深いものだった。物理学は、真理をついているものだから、掘り下げていくと意想外のことまで出てくる。そのような認識に関しては、科学論者などでは浅薄な議論がされることがあるように感ずるのです。有名な Thomas Kuhn の考察 [90] などは物理学の真髄を感知しない浅薄なところが多いように思う。パラダイム (paradigm) という名称にしても言葉が気がきいた風であるため、言葉として流行したが、クーン自身はこれが気に入らず disciplinary matrix と言い換えているのに、名称だけが独り歩きしてしまったようです。だいぶ横道にそれてしまいましたが。

S ここまでで、先生のこれまでなさった仕事のいくつかのお話を聞くことができました。付け加えることがございましたら。

N 今ひょっと思い出したことですが、菊池良一さんという人をご存じですか。

S ええ、名工大にも滞在されていました。cluster variation method[91] の話を聞いた覚えがあります。

N そうですか。いや、僕はそれを使ってね、一つには magnetic relaxation の話 [92, 93] と、それからもう一つは Brown 運動の理論を「物性論研究」 [94] に書きました。

S 60 年代中ごろですね。

N あれもちよっと、Progress あたりに書いとけばよかったかな。それは菊池さんの理論にヒントを得てね。菊池さんに送ろうかなと思いながら忘れてしまっていて、時折、思い出したが、そのうちに亡くなられて。

S 中野先生にご連絡すればよかったですね。

N そんなに最近ですか。

S ええ、10 年余り前だと思います。

N 僕は菊池さんがまだ日本におられたころ知り合っていました。お互いにまだ 20 代でした。菊池さんは 3 年ほど年長だと思います。あの方は東大だったのですが。

Y 基研で研究会やったときに来られてましたよね。

N そうでしたか。

S Feynman の「統計力学」の本 [95] に名前が出ていますね、あの講義ノートを作ったというのが菊池さんです。

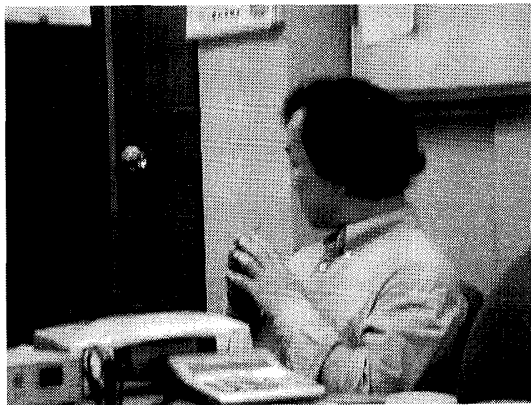
Y だけど、クラスター変分法というのは、アメリカなんかでかなり使われたんでしょうか？

S 金属屋さんはよく使うみたいですね。

Y 田中友安さんが、やはりクラスター変分法使って、固体ヘリウムの問題をされてましたね。

S いつごろですかそれは？

Y 85年ころ中部大学に來られてからです。だから向こうでもやっていたんですね。アラブ出身の人に学位をとらせたり、中部大学でも学生に計算させておられましたね。



5 統計物理学とその周辺をめぐる回顧、感想など

S 先生に質問か何かないでしょうか。

Y 現在の学問の状況について？

S それに行きますか？

Y 統計物理に関わる。

N トピカルな問題には通じていませんね。。

K 基研の研究者だとか、物性研の委員とか、研究者の中のいろんな役をやられましたよね。

N 基研の研究部員にはよく当りました（選挙）。いろいろありましたが、手許に資料が残っていませんし、物事も人も変ってしまつて、耄碌のせいもあるし今さら当時の気もちに戻つて話す気が起りにくい。今ひょつと思ひ出したことを一つだけいうと、日本社会が急速に変わり出したころ（新幹線みたいに走りまくっている今ほどではないにしても）、研究部員会議で、各大学物理学科の教育のおかれている条件について諸大学の人々にお願いして調査しようということになって、基研に出入りの多いいくつかの大学の方々にお願いして用意した調査書類に書き込んで提出してもらい、後日開いたシンポジウムで話して頂いたことがありました。その折の早稲田大学の並木美喜雄さんの話の中で「私立大学の教育条件については国立大学の人に

は分っていただけない困難がいろいろとある」とおっしゃったことが記憶に残っています。名大退職後に経験した私大の非常勤講師の実情についても並木さんの言葉をしみじみと思い出しました。多くが外国語担当の、多くが女性の非常勤講師らが授業のかなり多くの部分を支えているのが実情であると見受けられるのですが、年ごとの依嘱で、翌年も継続するかどうかと気遣う声も聴きました。働き盛りの人たちです。質疑を交すなど学生との接触は少く、教育上の責任としても問題が多いわけです。日本の大学教育はこのような粗末な状況に目をつむって教育論が展開されること多いので、僕は表面的な教育論議には熱意が持てません。

K 後半くらいには例えば科研費の班だとか、いろいろありましたね。そんな中で統計力学関係の研究者とはかなり付き合いがあって見てこられたと思うんですが、日本の統計力学の学界の特徴はどういうところにあったでしょうか。

N これまでの話にさらに付け加えるとなると、今となっては記憶が薄れているし、いろんな状況が変ってしまっているんで、さらに話す意欲が出てこないですね。

K 学会などに出かけるのはあまり好きでなかったのでしょうか。

N 余りマメには行くほうではなかった。

K 科研費の班をやったときに、森(肇)さんなんかいつも、形式的な報告書は出さないほうが良いと言われた。官製のものに研究が左右されては困るという気持ちを強く持っておられたと思います。

N 科研班などの記憶は余り残っていませんが、森さんがそういう主張をされましたか。森さんとの付き合いは電気伝導のときに多くなりました [96]。僕が「物性論研究」の論文 [5] を英語にしないので、あれをいつどこに出すんだとか何べんも聞かれた。その他、学会中も講演は勤勉に聴かないで、どこか喫茶店などに長居して話し合うことが多かった。中村伝さんと親密になってよく談じあったが、やはり学会の折に食堂や喫茶店で長話をしたのです。そういう雑談まじりの議論で教わることが多く、非常に有益だったように思います。窮屈な座席で 10 分講演を聴いたりする努力を惜しんだのです。

S 当時の「物性論研究」の雑誌としての位置づけが今と違っていたようですね。Onsager もアブストラクトだけで full paper がかなり遅れているものもありますね。

N 液晶の hard rod モデルなどもそうですね。

K あれは、戦争末期のどさくさだったからかも知れませんが、口頭発表して full paper が出るまで8年くらいかかってます⁵⁰。

N Onsager の Crystal Statics のものすごい計算も最初はやはり学会記事 [11] ですね⁵¹。だから、「物性論研究」に発表後そのままにしていた僕の意識は、このように衆目の目にさらしたものは、もうプライベートなものじゃないと考えていたのです。その後もそういう意識でいた。たとえば前に話した庄司さんと共同で書いた ferrimagnetisms の問題 [14]、あれも「物性論研究」に書いてそのままにして翌年か翌々年に英文にした。前に話した Fröhlich については、electron-phonon interaction に基づく超伝導の問題での renormalization の理論の場合 [28] も同様でした。ところが、「物性論研究」は和文だから世界に余り通用しないので、日本人がきちんと正確に海外に紹介しないといけないのですが、まさかそれを利用しようというような人がいるという風には思っていませんでした。若いときにはみんなフェアだと思っていましたが、そうではないと気づいたのはだいぶ晩年になってからのことです。

H 話が変わりますが、統計力学の基礎が最近あまり進んでないような気がするんですが、どうなんですかね？物理学会のプログラムなんかみても基礎的な分野は半日あるかないかという非常に少なくなってますね。

S そうですね、ずいぶん変わりましたね。

H 例えば、linear response なら linear response という、現時点では一応すんでいるということで、linear でない非平衡の問題では各論的にならざるを得ないという、そういうことですかね？

N 統計力学は、熱平衡状態というものを論ずるからこそ、明快な general formulation ができた。単純明快にいうと、無限大の体系についての、無限時間にわたる平均に関する理論です（現実的には巨視的尺度、緩和時間がどれくらいかということが問題になる）。非平衡状態を論ずれば、それは場合場合によるわけで、各論的になるでしょう。だが各論もある領域をカバーできると、それなりの一般論が成り立つ。そういう意味で平衡の統計力学ほどの一般論は成り立たなくても、ある程度の普遍性を持つ理論が展開できることになるでしょう。ところで linear response というのはともかく定常状態ですね。マクロの定常状態の状況がじわじわと変わっても、各瞬間は定常状態とみなせる。定常状態がゆっくり変化する限り（定常と変化とは固定観

⁵⁰ Abstract として、“Viscosity and particle shape in colloid solutions.” Phys. Rev. **40**, 1028 (1932).; “Anisotropic solutions of colloids.” Phys. Rev. **62**, 558 (1942). の学会講演後、1949 年に full paper [85] を出版している。

⁵¹ “Crystal statics” Phys. Rev. **62**, 558 (1942). の学会講演後、1944 年に full paper [11] を出版している。

念的には両立できないが、要は緩和時間の問題である)、電流が電場に比例すると
して、定常状態の理論が有効であるわけです。それとは別に、電場が強くて物質の
状態が著しく変化する場合には、定常状態自体が違ったものになる。電流対電場の
関係がN次形やS次形で表されるような現象です。これが普通 non-linear とされる
現象ですね。

今では古典力学、量子力学、相対性理論、電磁気学、熱力学、統計力学など自然
を把握する基本的論理がおおよそ完備していて揺らぐことがなさそうである。それら
がどれだけの現象を包含しているのか私たちはまだまだ知っていない(古典力学が
カオス理論を包含することを最近まで知らなかったように)のであって、巨視的世
界から微視的世界にいたるまで、まだまだそれらに基づいて把握し理解することが
できることは確かである。統計物理が今後どのように発展するかという見方よりも、
新に発展する理論にどのような統計物理的観点が含まれているか、有用であるかと
いう見方が現実的だろうと思う。服部君が学会の統計物理基礎論の縮小している
というのも、このような観点でみると納得できるように思う。統計物理基礎論という
問題の捉え方が適切ではなく、陳腐になってきたということでないか。

先ほども言ったように、新風についてはほとんど知らないけれど、杉山さんから
教わって extended thermodynamics[97, 98, 99, 100]⁵² については僕も多少知識があ
るわけですね。Boltzmann 起源の kinetic theory の自然な拡張として面白い試みだ
と思います。kinetic theory との間に少し飛躍があるようにも感じますが、実はそう
でなく、僕の洞察が足りないのかも知れない。kinetic theory の場合には保存量に関
する local canonical mean を基盤にして構成された定式化を、保存量だけでなく、そ
れに伴う流量も canonical mean に繰り入れるのが気になります。保存量の変動して
もすぐに回復する安定性を持っているが、流量はそうではない。それを同じ仲間
に入れてもよいのか。気にしなくてもよいのかも知れません。森さんらの揺動理論で
どんどん高次の揺動の運動方程式に進んでいくのも似ているように思います⁵³。ど
こまでも進めるのは、数学的形式論であるように見えます。

S おっしゃるような側面はありますね。それは extended thermodynamics の弱いところ
だと思いますね。

Y その最初の物理量というか空間というのは熱力学とか、まあ、order parameter とか
指針があるわけですね。だけど、fluctuation の次をわけるというのはどういう指

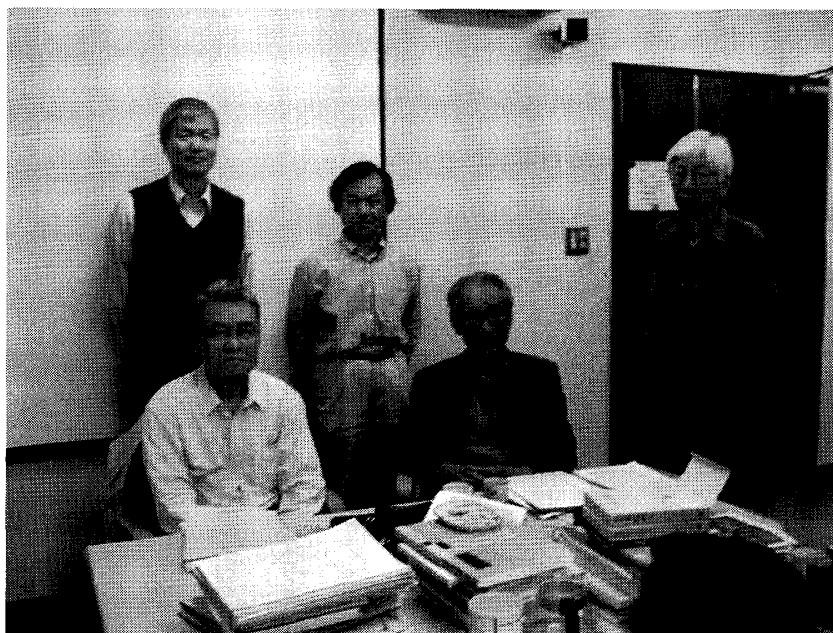
⁵² 熱力学の最近の発展に関しては、一柳 (1996)[101]、数理科学 “特集/熱力学の多彩な展開”(2002)[102] が詳しい。

⁵³ 森理論やその文献に関しては、「森肇氏インタビュー」[50] が詳しいため、本インタビュー記事では詳細は割愛した。

針があるんですかね？熱力学ともうちょっとミクロなというのは、割合すばっと分けられるんでしょうけど。次の階層性の現象をうまく見つけられようかいくんではないかな？

N ある現象を論じようと思うと、どうしてもそういう風に考えざるを得ないというように、いわば物質が人を導いてくれる。経済学などだと、もともと人がやることを人が記述するのだから、経済学を学ぶのは経済学者にだまされないためだと経済学者がというような忖度性がある。そこが学問の性格として違うんだね。非常にバイアスがかかるわけで、資本家の御用学者にもなりやすい、物理学というのは自然の御用学者になるわけだから。その点は安心です。

僕は講義をしながら自分も少しずつ賢くなっていったような気がする。学生時代以来、とくに熱力学については以前の認識が浅薄に思えてくることがたびたびであった。教育によって一番教育されるのは教師であるというのが大学教師職を卒業した僕の感想です。



左より、杉山、服部、山下、中野、木村 (敬称略)

【編集注】このあたりで「インタビュー」の報告を終了。さらに、デカルトと哲学者の話・パスカルの話・トリチェリの話・ガリレオの話なども話題に上ったが、ここでは省略する。

Appendix A: 一柳正和著『不可逆過程の物理・日本統計物理学史から』について

線形応答理論の成立過程は一柳氏の著書が詳しく、それが当時の歴史的事実と受け取られている方も多くいる。しかし、中野藤生, “一柳正和著『不可逆過程の物理・日本統計物理学史から』を読む”, 第11回統計物理学研究会報告集, 12 (2001). [62] で記載されているように、著者の誤解も散見される。歴史の記録間違いを正すことは、本インタビューが行われる一つの強い動機になったため、後の歴史的資料としてアクセスのしやすい物性研究誌に掲載し広く読まれることが重要だと考え、許可を得て報告集の再録を行った。なお、インタビュー内容と重複している部分もあるが、一柳氏の本の訂正版として独立に読めるものとして完全版の再録をした。

一柳正和著『不可逆過程の物理・日本統計物理学史から』を読む

送り届けられた一柳君の原稿は、初稿として検討しあうことになるのだろうと理解していたが、まもなく彼が発病し、ついには無念にも逝ってしまい、その機会は永遠に失われた。出版には関与していないので、そのまま刊行された経緯について僕は知らない。本書の記述の僕に関する部分には誤解や独断が残っており、論じあうことができなかったことが惜まれる。全体にわたって検討する余裕はないが、1955年の僕の最初の論文以来日本で始まった linear response theory 関連の仕事や言行に触れた箇所のうち、僕が直接の対象になっている箇所を中心にして思い浮かんだことを述べることに留めたい。以下に述べることは、そこに書かれている当時の僕の研究をめぐる叙述を中心とする事項に関する断片的感想であり、断定的な記述になるだろう。

一柳君は第6章線形応答理論についてその第一パラグラフで、「この章のテーマは、筆者のめざす日本統計物理学史（本書全体をさしているようだ）における主題である」と述べている。その序論で、当時の研究者の意識を述べたところは、実情であるよりは、一柳君の執筆時における、歴史記述者の推理に影響された評論であり、事実に基づいているわけではないと思う。その研究展開期の発端となった当時の研究では、僕はそのように大上段に構えてたわけではなく、研究の日常における思考の流れのなかで展開した自然な経過に過ぎなかった。たまたまボルツマン方程式による気体や金属の伝導理論に多少精通していたことと、同僚の荒川泰二氏に乞われて久保・富田両氏の磁気共鳴吸収理論の論文を読んだことが絡み合って、心は電気伝導理論に向いていったのである。さらには、阪大伏見研の卒研（学習に過ぎないのだが）で伏見先生に先生の密度行列の論文を読むように指導され、その方法にかなり精通できた経験が理論の円滑な展開に役立ったのだと思う。対象を限定してしまっているボルツマン方程式の方法と違って、限定しないで適用されるところに価値を認めたのである。さらに導出したその一般公式を、金属の伝導電子模型に適用することによってボルツマン・ブロッホ方程式に基づいて得られる在来の結果、すなわちグリューナイズンの式を導くことに成功した。最初グリューナイズン式の導出には高温近似を用いたが、その必要がないことを知ったが、中嶋氏もそれに気づいたことを知

り、その早業に驚いた。これが契機になって、その方向の研究が自然の流れのように展開され、物性論研究誌上に関連論文が相次いで現れた。当時の当事者ではない一柳君の書いているように、「借り物の上ではなく熱学・統計力学の基礎からはじめ、新しい出発点となる物理理論のしっかりした体系を創る」というような確たる心構えがあつて研究がスタートしたわけではなかった。一柳君が健在であつて僕がこのことについて再考を促せば、彼もここに書かれているような歴史的論述の陥りがちな概念的判断を訂正することになったことだろう。第二パラグラフで述べられている彼の観点も漫然としてて、検討する必要があると思う。

6-3-1 ローレンツ・ゾンマーフェルトの方法

梅田・コーラー・ゾントハイム変分原理 (p.130 が最初で、それ以後にも触れられる。以後 UKS 変分原理とよぶ) と記されている名前ゾントハイムは、正しくはゾントハイマー (Sondheimer) である。それとオンサーガーの変分原理との相違についての説明は誤っている。概してこの部分の説明は不十分である。僕の量子力学的変分原理 (Quantum Variation Principle. 以後 Q 変分原理とよぶ) と UKS 変分原理との間では、対象となる過程が、前者では微視的段階の力学 (原理的には古典力学でもよいが、物理の事実上からは量子力学) であつて可逆過程、後者では熱力学的な不可逆過程であるという重要な違いが存在する。可逆過程にたいする Q 変分原理における完全な情報が削減される (contraction of information) ことによって不可逆過程に関する気体運動論的段階の UKS 原理が導かれるのである。UKS 原理とともに、さらにその情報を削減することによって導かれるオンサーガー原理とは、どちらもエントロピー生成 (entropy production) の極値原理の意味を持ち、不可逆過程が問題にされている点で共通である。ただ情報の詳細さに差異が存在するのであつて、UKS 原理の変分関数はボルツマン方程式の対象である分子の分布関数であり、オンサーガー原理における変分関数は分子流、熱流、運動量流 (圧力テンソルに等しい) などの局所的巨視量であつて、UKS 原理に比してはるかに大まかな情報が問題になっている。両者の間に存在するのはこのような定量的差異である。この差異にも関わらず、両者の間に可逆性と不可逆性とのギャップが存在するのではなく、一柳君の議論は正しくない。

6-3-2 中野の「一つの電気伝導計算法」

著者はここで前節で述べた電気伝導度の公式を導いた論文のことを述べているのであるが、p.131 の上から 3 行に、当初、外部電場の作用を摂動として考慮するに当って懸念したこととして「時間とともに上限なしに加速されるから、有限の時間の摂動には論理的な矛盾が感じられた」と記載されているのは一柳君の思い違いである。僕が懸念したことは、時間的問題ではなく、空間的問題である。すなわち、電場 E に基づく摂動を通例のように $-eEx$ と表した場合、座標 x は体系の広がりとして巨視的な大きな値もとるのであるから、摂動処理したがって線形理論が許される保証がないという懸念を抱いたのである。

p.132,133 は的確でないところがあり、混乱している。とくに記述が変分原理に及んでいるのは、事実ではない。当時は公式の印象が強くて、不可逆性問題をとくに意識した積極的な論議はなかった。後年僕の展開した変分原理は有意義だと思っているが、1955 年のころは全くそれには思い至らなかった。この節の終に「中野公式を導出する変分原理が

待望された」とあるが、当時は、公式をめぐる論議がさかんであつて、変分原理が云々されることはなかった。一柳君はある時期から僕の変分原理に興味を抱くようになり、それ以後関心を深めていったため、早くから変分原理が人々の念頭にあったかのような思い込みが生じたのでなかろうか。

変分原理については、かつて学んだ Lippmann-Schwinger の散乱理論を、後年 (1959 年) ふと思い出し、それにヒントを得て、変分原理の成立に気づいたのである。物事は現るべくして現れるのではなく、不作為にふと現れることが多いようである。すでに成案のあった Q 変分原理は、パイエルス教授から招聘を受けて (前年まで在英だった中嶋貞雄さんの紹介のおかげ) バーミンガムに滞在した間に検討を加えてフルペーパーに仕上げた。フォンノイマン方程式をリウビル方程式に読み替えれば、古典力学でも通用しないわけではない。Q 変分原理と量子力学における散乱理論の変分原理との間には本質的な相似が存在している。それに情報縮約 (information contraction) を施すと U K S 原理が導かれる。Q 原理は量子力学的原理であつて熱力学的要素を含まず、エントロピー生成 (entropy production) には無関係であるが、遊んでいる過剰な情報 (密度行列の時間反転に関する偶成分) を消去して削減することによって奇成分を変分関数とする不可逆過程にたいする U K S 的原理 (U K S 原理の本原型。ボルツマン方程式に関する在来 of U K S 原理はこの本原型に摂動近似を施すことによって導かれる) に移行する (物理的意義についてはさらに後述)。この事実はミクロの力学の可逆性とマクロの熱力学の不可逆性を繋ぐ論理の典型を提供している。

p.132 第二のパラグラフ以下 **p.133** 中段のこの小節の終了までは一柳君の解釈が混じっていて、少なくとも僕のみに関することは事実ではない。とくに述べておきたいのは、久保教授退官記念講演における橋爪氏の発言に対する僕の表明したコメントの内容である。第一に橋爪氏は、僕の理論を久保一富田の磁気共鳴吸収理論の単なる応用であるとしたこと、第二に中野は公式の持つ性質を解明しないで、公式に基づいてボルツマン方程式による電気伝導理論の結果 (グリューナイズンの式) を導くのに汲々としたと述べた。第一の問題の誤解は明白なことで、静磁場の磁性体にたいする作用と違って静電場の導体にたいする作用は熱平衡を乱し、不可逆現象を起すのであつて、両者は定性的に異っている。だからこそ誰も着手できなかったのである。第二の批判にたいしては、在来より基本的一般的な方法が開発されたとき、何よりもまずなすべきは、適用域の狭い旧来の伝統的方法による結果を新しい方法から妥当な物理的仮定のもとに導出して、その位置づけを明確にすることであると主張した。橋爪氏の重要視する公式のもつ対称性などの性質は、公式におのずと内蔵されており、公式自体が語っているのであり、極言すれば物理数学的問題であると僕は考えた。

1955 年、来日したファインマンと僕との討論については、直接一柳君に何度か語ったし、ものにしたこともあるが、事実と違ったことが書かれているのは奇妙である。事実は以下の通りである。ファインマンと名大研究者との会合に初日に僕の話した内容に興味を抱いたファインマンが翌日ホテルに來訪してほしいと要請したので応じて、ホテルで話し合った。自分の思っている公式と違いがあるように思ったというので、ノートを見せて説明した。前日僕は電気伝導度の基本公式を導出するだけでなく、それを金属の伝導電

子系に適用し、近似的取扱いを施してグリーンアイゼンの式も導いたが、彼はそれに幻惑されて、その前に示した元の基本公式のほうを見落としていたことに気づいて疑問は氷解した。それはさておき、後年 *Physical Review* の学会記録を読んでいると、Lax の学会講演の簡単な記事が出ていて、僕の得た公式と同等な結果が記されており、ファインマンが講演の司会役とあるから、僕はファインマンが得たものと思っていたのだが、実は Lax の得た成果だったのである⁵⁵。このことは僕のレビュー論文 *Int.J.Mod.Phys.*7(1993)2397-2467 にも書いておいた。なお僕が不可逆性との関連を述べたのはファインマンとの会見後二年たってからのことであり、一柳君の記憶にはこの点でも混同が生じている。本著書はやはり初稿と考えられるものであって、今さらながら急逝が惜しまれるのである。健在であったら、ともに討議して改良できただろうし、さらに僕の関与していない多くの研究について述べられている事柄について討議できたと思う。正すべきを正し、さらに学ぶところが生じただろうと思うと、残念である。

変分原理の思いつきは、伏見研にいたころ早川幸男さんに頼まれて大阪市大に創設されたばかりの大学院の統計力学の講義を担当した 1950 年頃にさかのぼる。コロキウム室で四人ばかりの第一期大学院生を前にして講義し、午後はそこで開かれる研究室のコロキウムに出席したが、あるとき西島和彦さんが話した Lippmann-Schwinger の散乱理論が印象に残って、後年ふと電気伝導の論理構造がそれと相似であることに気づき、変分原理を導くことができたのである。散乱問題の変分原理では incoming wave の解と outgoing wave の解とが対になって登場するが、輸送現象でも同様に、incoming field の解と outgoing field の解とが対になって登場する。これが Q 変分原理の特徴で、変分表式には時間反転に関して奇な密度行列と偶な密度行列とが共存することになる。ボルツマン方程式の UKS 変分原理には、incoming field または outgoing field の分布関数のどちらか一方だけが登場する。この相違は、ボルツマン方程式が self-adjoint であるのにたいし、フォンノイマン方程式はそうではなく、anti-self adjoint であることに基づいている。しかし電流など流束量を求める変分原理における変分表式では偶成分が遊んでいて (irrelevant)、偶成分に関する変分条件（加える外場に関係なく体系固有の条件）に基づいて偶成分は消去され、奇成分のみに関する変分原理に帰着される。このような情報削減 (contraction of information) の結果、UKS 的変分原理になる。つまりこのような情報削減によって dynamical stage における可逆過程にたいする変分原理が kinetic stage における不可逆過程にたいする変分原理 (entropy production の極値性と関係する) に転換されるのである。

p.133 末尾にある「中野公式を導出する変分原理が待望された」と記されているのは、公式発見当時の状況とは全く関係なく、後に僕の変分原理に傾倒するようになった一柳君自身の感慨が彼を錯覚に導いたと考えられる。

上に述べた変分原理の数学的構造に関することであるが、中嶋さんの論文に関するノートとして久保さんがボルツマン方程式と引き比べてフォンノイマン方程式について考察したことが思い出される。久保さんは両者を区別しないで、後者もまた self-adjoint であるものとして論じた。その当時僕は別段それに注意を向けることなく、その誤解（前者は self-adjoint であるが、後者はそうでない）の重要性に気づかなかった。

⁵⁵ 【編集注】インタビュー本文、脚注 42 参照

p.134 中嶋さんの額縁論についても、現時点における視点が作用して、事実とは違う記述になっている。それは公式旋風がほぼ沈静したころのことで、中嶋さんと二人で対話しているときに出た言葉である。うまい表現に感心したのであるが、そこで語りあったのは、公式があっても、現実個々の場合の伝導度を計算することについては、さほど役立つわけではない、そんな神通力があるのではない。そういう意味で単なる額縁なんだという意味であった。二人は不可逆過程論を論じたのではなかった。問題の対象を限定し、モデルを設定することによって、物理が定まり、具体的な計算ができるのであり、計算法が役立つことになる。すなわち物理的考察はこの段階で具体的になるのである。伝導電子にたいするボルツマン方程式の理論はこの段階に当たる。Schrödinger 方程式があるからといって、問題の解決法が分かるわけではないのである。

「中野はボゴリューボフの理論にも賛同しなかった」とある点については、世上、この導出がもっぱら力学のみに立脚しているとみなされていて、それ以上の根拠は述べられていないようであるとして、不満であった。一柳君に述べたのはそのことであって、近來のカオス理論によると、衝突過程が chaotic であることが基本にあると言ったのである。今ではもっと具体的に、ボゴリューボフ理論でされている重要な仮定は一種の情報削減 (contraction of information) に他ならず、その結果リウビル方程式がボルツマン方程式に帰着されたのだと悟ることができたと思っている。プリゴジン派の Subdynamics 概念もまた informational contraction に属する。情報削減によって運動が部分空間に限られ、運動が不可逆的運動に特殊化されるということである。

LINEAR RESPONSE THEORY というと、輸送係数、運動係数の理論はすべてそれに含まれるはずである。このカテゴリーの現象にはオームの法則（電気伝導）、フーリエの法則（熱伝導）、フィックの法則（拡散）などがあり、最も端的な不可逆現象はこれらであって、nonlinear な現象は個々さまざまな特殊な修飾が伴い、内包されている不可逆性の本質が複雑に覆い隠されているきらいがあるように思う。不可逆現象として最も一般性に富む定常線形過程 steady linear process について不可逆性発現の起源を求めることが重要である。

【編集注】（付録として、出版計画中の著書 “VARIATIONAL PRINCIPLES OF IRREVERSIBLE PROCESSES” の目次が掲載されているがここでは割愛する。）

Appendix B: 電気伝導理論関連の年表

今回のインタビューに際し、事実関係を明らかにする必要にせまられたため、本インタビューの「電気伝導度の公式」に関連する主な文献 (1953-1963 まで) や出来事の時系列年表を作成した。当時の物性論研究（物研）には、1955.5 の“ひとつの電気伝導計算法”が発表された後、多くの研究者によって電気伝導理論や輸送現象に関する論文が掲載されているが、ここでは割愛した。なお科学の業績は現在の名声や引用数とは独立に、純粋に論文の受理日で決まる側面もあるため、純粋な科学的な業績評価の観点から受理日などできる限りの情報を明記した。

電気伝導理論関連年表⁵⁶

- 1953. 9 京都理論物理国際会議 (Kubo-Tomita 発表)
- 1954.12 Kubo-Tomita, JPSJ(6/26 受理) [32].
- 1955. 1 中野, 名大着任 (荒川氏に Kubo-Tomita 論文の解説を依頼される)
- 1955. 5 中野, “ひとつの電気伝導計算法”, 物研 (4/26 受理)[5]
- 1955. 5 基研研究会「多体問題」(5/10-25)
- 1955. 6 **Feynman**, 名大 S 研、E 研研究会、Feynman-中野対談 (6/5-6)。
「電気伝導度の公式」手書きのメモを中野氏に渡す (6/6)[2]
- 1955. 8 中嶋, “Schafroth の方法の拡張について”, 物研 (7/14 受理)
- 1955. 9 中嶋, “電気抵抗計算法について”, 物研 (9/10 受理)[39]
- 1955. 9 中野, “電気伝導計算のノート”, 物研 (9/12 受理)[6]
- 1955.10 久保, “電気抵抗に関する中嶋氏のノートに対する注意”, 物研 (10/5 受理)[74]
- 1955.10 久保, “非平衡系の量子統計力学 I”, 物研 (10/1 受理)[38]
- 1955.10 久保一横田, “非平衡系の量子統計力学 II”, 物研 (10/5 受理)[51]
- 1955.11 森, “輸送現象の量子理論 I - 一般論-”, 物研 (10/24 受理)
- 1955.11 森, “輸送現象の量子理論 II - 運動量緩和-”, 物研 (11/10 受理)
- 1955.12 久保一橋爪一横田, “非平衡系の量子統計力学 III”, 物研 (12/2 受理)
- 1955.12 久保一長谷川, “強磁場における電気伝導 I”, 物研 (12/2 受理)
- 1955.12 **Lax**, 電気伝導度の公式に関する学会講演 (12/30)(座長 : Feynman)
Bulletin of APS (abstract 〆切は 1955/10/21; Vol.30.No.5 より); Phys.Rev.(12/15 出版) [56]
- 1956. 1 **Nakano**, (電気伝導度の公式の英文レター) PTP(1955/11/14 受理)[45]
- 1956. 1 森, “輸送現象の量子理論 III - entropy 生成と液体の輸送係数-”, 物研 (1955/12/15 受理)
- 1956. 1 羽賀, “電気伝導について”, 物研 (1955/12/26 受理)
- 1956. 1 羽賀, “電気伝導に関する中野一中嶋の方法について”, 物研 (1955/12/26 受理)
- 1956. 2 橋爪, “電気抵抗に関する中嶋氏のノートに対する注意 [レター]”, 物研 (2/5 受理)
- 1956. 5 基研研究会「電気伝導」
- 1956. 6 Nakajima, Proc.Phys.Soc.A **69**,441 (1956).(3/19 受理)

⁵⁶ 本インタビュー並びにその後の調査結果より、線形応答理論（伝導理論）における「電気伝導度の公式」の発見と導出は、最初に Nakano、次いで Feynman、Lax の順で日米でほぼ同時期になされ（正規の著作物としては、Nakano、Lax が残っているが）、それぞれ独立に仕事が行われたようだ。

1956. 9 Kubo, Int. Conf. on Electron Transport in Metal and Solids Sep. 10-14
(Proceedings 発表→1956.12)
1956. 9 Kubo, Int. Conf. on Theoretical Physics in Seattle, Sep. 17-21
伝導度の一般表式に関して Feynman, Lax と議論⁵⁷
- 1956.10 Mori, (輸送現象の量子理論 I-III の英文論文), JPSJ(7/4 受理)[96]
- 1956.11 中嶋, “非可逆過程の熱力学と量子統計力学”, 物研 (10/24 受理)[52]
- 1956.12 Kubo, (電気伝導度の公式 Proceedings) Cand.J.Phys.[43]
1957. 1 中嶋, “非可逆過程の熱力学と量子統計力学 (補足)”, 物研 (1956/12/28 受理)
1957. 1 中野, “電気伝導計算法ノート”, 物研 (1956/12/22 受理)[63]
1957. 1 中野, “不可逆過程の理論”, 物研 (1956/12/22 受理)
1957. 2 Nakano, (電気伝導度の公式の本論文) PTP(1956/9/12 受理)[46]
1957. 2 久保, “電気伝導の理論の体系化 —アインシュタインの関係の一般化—”, 科学 [37]
1957. 5 中野, “「不可逆過程の理論」ノート”, 物研 (4/24 受理)
1957. 6 Kubo, (非平衡系の量子統計力学 I の英文論文) JPSJ(3/2 受理)[47]
1957. 7 基研研究会「非可逆過程の量子統計力学」(7/19-21)
1957. 8 中嶋, “熱的不可逆過程”, 物研 (7/18)
- 1957.11 Kohn-Luttinger, Phys.Rev.(3/28 受理)
- 1957.11 Kubo-Yokota-Nakajima, (joint paper) JPSJ(8/3 受理)[54]
1958. 1 Greenwood, Proc.Phys.Soc.(1957/11/14 受理).[42]
1958. 3 Luttinger-Kohn, Phys.Rev.(1957/9/13 受理)
1958. 3 Lax, Phys.Rev.(1957/11/18 受理)[57]
1958. 9 Edwards, Phil.Mag.(5/23 受理)[41]
- 1959-60 中野, (量子変分原理の一連の論文), 物研 (1959.6),(1959.7),(1959.8),(1959.8),(1960.12)[48]
- 1959-60 Nakano, (量子変分原理の英文論文) PTP(1959),(1960),(1960),(1960),(1960)[49]
1959. 5 Chester-Thellung, Proc.Phys.Soc.(1958/12/15 受理)
1959. 9 Martin-Schwinger, Phys.Rev.(3/20 受理)
- 1960-62 Langer, Phys.Rev.(1960)(1961)(1962)(1962)
- 1963.11 Nakano, (在英中パリエルスに託した量子変分原理の本論文) Proc.Phys.Soc.(7/5 受理)[69]

⁵⁷ シアトル理論物理国際会議報告 (久保亮五) より: 日本物理学会誌、11 No.11 p.511 (1956). “ (略) ついで Luttinger は impurity scattering による電気伝導に関して、Van Hove の摂動論に同等な議論を述べ、これに関連して、伝導度の一般表式の議論が Feynman, Lax によつて口火を切られた。Kubo はこれについての一般的な考案を簡単に述べ、Einstein relation, Heisenberg Kramers の分散式、一般的な Onsager relation との関係について注意した。(略) ”

参考文献

- [1] A. Einstein, “Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen”, *Ann. der Phys.* (4) **17**, 549 (1905).
- [2] H. Nakano, “Linear Response Theory: A Historical Perspective.”, *Int. J. Mod. Phys. B* **7**, 2397 (1993).
- [3] 中野藤生, 服部真澄, “エルゴード性とは何か” パリティ物理コース, 丸善 (1994).
- [4] 中野藤生, 木村初男, “相転移の統計熱力学”, 朝倉書店 (1988).
- [5] 中野藤生, “ひとつの電気伝導計算法”, *物性論研究* **84**, 25 (1955.5).
- [6] 中野藤生, “電気伝導計算のノート”, *物性論研究* **88**, 53 (1955.9).
- [7] K. Husimi, “Some Formal Properties of the Density Matrix”, *Proc. Phys. Math. Soc. Japan* **22**, 264 (1940).
- [8] V. A. Fock, “Konfigurationsraum und zweite Quantelung”, *Zeits. f. Physik* **75**, 622 (1932).
- [9] H. A. Lorentz 著, “物理學 上・下”, 桑木彥雄, 長岡半太郎訳, 富山房 (1913).
- [10] H. Weyl 著, “Gruppenntheorie und Quantenmechanik”; “群論と量子力学”, 山内恭彦訳, 裳華房 (1932).
- [11] L. Onsager, “Crystal Statistics. I. A Two-Dimensional Model with an Order-Disorder Transition”, *Phys. Rev.* **65**, 117 (1944).
- [12] K. Husimi and I. Syôzi, “The Statistics of Honeycomb and Triangular Lattice. I.”, *Prog. Theor. Phys.* **5**, 177 (1950).; I. Syôzi, “The Statistics of Honeycomb and Triangular Lattice. II”, *ibid.* 341.
- [13] 庄司一郎, “籠目格子の統計について”, *物性論研究* **40**, 1 (1951.7); I. Syôzi, “Statistics of Kagome Lattice”, *Prog. Theor. Phys.* **6**, 306 (1951).
- [14] 庄司一郎, 中野藤生, “ある ferrimagnetism の問題”, *物性論研究* **61**, 35 (1953.4).; I. Syôzi and H. Nakano, “Statistical Models of Ferrimagnetism”, *Prog. Theor. Phys.* **13**, 69 (1955).
- [15] I. Syôzi, “Transformation of Ising Models”, *Phase transitions and critical phenomena, Exact Results* /edited by C. Domb and M. S. Green ; London : Academic Press, (1972). Chap.7

- [16] 目片守, “カゴメ物語”, 日本物理学会誌 **58**, 47 (2003).; M. Mekata, “Kagome: The Story of the Basketweave Lattice”, Physics Today, **56**, No.2, 12 (2003).
- [17] Ostertag, Zeits. f. Physik **106**, 329 (1937).
- [18] H. Nakano, “An Algebraic Treatment of the Many Electron Problem”, Prog. Theor. Phys. **9**, 33 (1953).
- [19] 松原武生, “量子統計力学の一方法”, 物性論研究 **81**, 80 (1955.2).; T. Matsubara, “A New Approach to Quantum-Statistical Mechanics”, Prog. Theor. Phys. **14**, 351 (1955).
- [20] 伏見康治編, “量子統計力学”, (初版), 共立出版 (1948); 伏見康治編, 伏見康治, 庄司一郎, 中野藤生, 西山敏之著, “量子統計力学”, (改版), 共立出版 (1967).
- [21] 伏見康治著, “驢馬電子: 原子核物理学二十話”, 創元社 (1946); “ろば電子: 原子核物理学二十話” 中央公論社 (1975); “ろば電子”, みすず書房 (1987).
- [22] 伏見康治著, “確率論及統計論” 河出書房 (1942); 伏見康治著, “確率論および統計論”, (復刻版) 現代工学社 (1977).
- [23] 中野藤生, “ある結晶モデルに対する Heisenberg 強磁性理論について”, 物性論研究 **45**, 52 (1951.12); H. Nakano, “The Heisenberg Theory of Ferromagnetism of the Crystal constituted by the Atoms with Spin One”, Prog. Theor. Phys. **9**, 403 (1953).
- [24] H. Fröhlich, “Theory of the Superconducting State. I. The Ground State at the Absolute Zero of Temperature”, Phys. Rev. **79**, 845 (1950).
- [25] J. Bardeen, L. N. Cooper, and J. R. Schrieffer, “Theory of Superconductivity”, Phys. Rev. **108**, 1175 (1957).
- [26] G. Wentzel, “The Interaction of Lattice Vibrations with Electrons in a Metal”, Phys. Rev. **83**, 168 (1951).
- [27] D. Bohm and D. Pines, “A Collective Description of Electron Interactions. I. Magnetic Interactions”, Phys. Rev. **82**, 625 (1951).
- [28] 北野芳治, 中野藤生, “電子－格子波の相互作用について, 一超電気伝導の問題－”, 物性論研究 **53**, 67 (1952.8).; T. Kitano and H. Nakano, “On a Correlation between the Electron Assembly and the Lattice Waves in the Crystal”, Prog. Theor. Phys. **9**, 370 (1953).
- [29] H. Fröhlich, “Interaction of Electrons with Lattice Vibrations”, Proc. Roy. Soc. **A215**, 291 (1952).

- [30] 中嶋貞雄, “Fröhlich 理論について”, 物性論研究 **65**, 116 (1953.8).
- [31] S. Tomonaga, “Remarks on Bloch’s Method of Sound Waves Applied to Many-Fermion Problems”, Prog. Theor. Phys. **5**, 544 (1950).
- [32] R. Kubo and K. Tomita, “A General Theory of Magnetic Resonance Absorption”, J. Phys. Soc. Jpn. **9**, 888 (1954).
- [33] 久保亮五教授還暦記念事業委員会編, 「統計力学の進歩」, 裳華房, (1981).
- [34] 橋爪夏樹, “統計力学における久保理論”, 日本物理学会誌, **29**, 585 (1974).
- [35] 富田和久, “久保理論をめぐって”, 日本物理学会誌, **29**, 884 (1974).
- [36] 中野藤生, “電気伝導度の公式をめぐる感想”, 科学, **54**, No.2, 119 (1984).
- [37] 久保亮五, “電気伝導の理論の体系化 —アインシュタインの関係の一般化—”, 科学, **27**, No.2, 58 (1957).
- [38] 久保亮五, “非平衡系の量子統計力学 I, Fluctuation-Dissipation Theorem と Correlation Function の方法”, 物性論研究 **89**, 79 (1955.10).
- [39] 中嶋貞雄, “電気抵抗計算法について”, 物性論研究 **88**, 45 (1955.9).
- [40] 中嶋貞雄, “物性論研究の思い出”, 固体物理, **20**, No.7, 489 (1985).; “線形応答理論の成立”, 日本物理学会誌 **51**, No.10, 99 (1996).⁵⁸
- [41] S. F. Edwards, “A New Method for the Evaluation of Electric Conductivity”, Phil. Mag. **3**, 1020 (1958).
- [42] D. A. Greenwood, “The Boltzmann Equation in the Theory of Electrical Conduction Metals”, Proc. Phys. Soc. **71**, 585 (1958).
- [43] R. Kubo, “A General Expression for the Conductivity Tensor”, Cand. J. Phys. **34**, 1274 (1956).
- [44] J. M. Ziman, “The General Variation Principle of Transport Theory”, Cand. J. Phys. **34**, 1256 (1956).
- [45] H. Nakano, “A Method of Calculation of Electrical Conductivity”, Prog. Theor. Phys. **15**, 77 (1956).
- [46] H. Nakano, “A Method of Calculation of Electrical Conductivity”, Prog. Theor. Phys. **17**, 145 (1957).

⁵⁸ Web ページで公開されている。 [http://wwwsoc.nii.ac.jp/jps/jps/butsuri/50th/noframe/50\(10\)/50th-p699.html](http://wwwsoc.nii.ac.jp/jps/jps/butsuri/50th/noframe/50(10)/50th-p699.html)

- [47] R. Kubo, “Statistical-Mechanical Theory of Irreversible Processes. I. -General Theory and Simple Applications to Magnetic and Conduction Problems-”, J. Phys. Soc. Jpn. **12**, 570 (1957).
- [48] 中野藤生, “電気伝導の変分原理”, 物性論研究 **133** (2-5-6), 725 (1959.6); “不可逆過程第二種の変分原理”, **134** (2-6-1), 38 (1959.7); “熱的輸送現象の変分原理”, **135** (2-6-2), 164 (1959.8); “不可逆過程統計力学の変分原理について”, **135** (2-6-2) 174 (1959.8).; “輸送係数の公式と相関関数について”, **151** (2-8-6) 470 (1960.12).
- [49] H. Nakano, “On a Variation Principle for Calculating the Electrical Conductivity”, Prog. Theor. Phys. **22**, 453 (1959).; “A Variational Principle in the Theory of Transport Phenomena”, *ibid.*, **23**, 180 (1960).; “A Variation Principle for Calculating General Susceptibility Tensors”, *ibid.*, **23**, 182 (1960).; “On the Extremum Property in the Variation Principle in the Theory of Transport Processes”, *ibid.*, **23**, 526 (1960).; “On the Extremum Problem in the Variation Principle in the Theory of Susceptibility or Relaxation Phenomena”, *ibid.*, **23**, 527 (1960).
- [50] “森肇氏インタビュー”, 物性研究 **80-5**, 631 (2003).
- [51] 久保亮五, 横田万里夫, “非平衡系の量子統計力学 II -熱的な disturbance に対する response-”, 物性論研究 **89**, 99 (1955.10).
- [52] 中嶋貞雄, “非可逆過程の熱力学と量子統計力学”, 物性論研究 **102**, 24 (1956.11).; “非可逆過程の熱力学と量子統計力学 (補足) ”, **104**, 6 (1957.1).
- [53] L. Onsager, “Reciprocal Relations in Irreversible Processes. I.”, Phys. Rev. **37**, 405 (1931).; “Reciprocal Relations in Irreversible Processes. II”, *ibid.*, **38** 2265.
- [54] R. Kubo, M. Yokota and S. Nakajima, “Statistical-Mechanical Theory of Irreversible Processes. II. -Response to Thermal Disturbance”, J. Phys. Soc. Jpn. **12**, 1203 (1957).
- [55] 「特集：追悼 久保亮五博士」, 日本物理学会誌 **50**, No.11, (1995).
- [56] M. Lax, “Generalized Thoery of Mobility”, Bulletin of the American Physical Society, Vol.30, No.8, 24 (1955).; Phys. Rev. **100**, 1808 (1955).
- [57] M. Lax, “Generalized mobility theory”, Phys. Rev. **109**, 1921 (1958).
- [58] M. Lax, “Fluctuations from the Nonequilibrium Steady State”, Rev. Mod. Phys. **32**, 25 (1960).
- [59] 一柳正和著, “不可逆過程の物理：日本統計物理学史から”, 日本評論社, (1999).
- [60] M. Ichiyanagi, “Conceptual Developments of Non-Equilibrium Statistical Mechanics in the Early Days of Japan”, Phys. Rep. **C262**, 227 (1995).

- [61] 大矢正人, “「日本統計物理学史」の視点”, 第11回統計物理学研究会報告集, 4 (2001).
- [62] 中野藤生, “一柳正和著『不可逆過程の物理・日本統計物理学史から』を読む”, 第11回統計物理学研究会報告集, 12 (2001).
- [63] 中野藤生, “電気伝導計算法ノート”, 物性論研究, **104**, 11 (1957.1).
- [64] 伏見康治, “場の理論における変分原理について”, 物理学講演集, 丸善 (1944).
- [65] A. H. Wilson, “The theory of metals”, 2nd ed., Cambridge University Press, London, (1953).
- [66] K. Umeda, “Zur Blochsche Integralgleichung”, Sci. Pap. Inst. Phys. Chem. Res. Tokyo **39**, 342 (1942).
- [67] M. Kohler, “Behandlung von Nichtgleichgewichtsvorgängen mit Hilfe eines Extremalprinzips”, Zeits. f. Physik **124**, 772 (1948).; “Transporterscheinungen im Elektronengas”, *ibid.*, **125**, 679 (1949).
- [68] E. H. Sondheimer, “The theory of transport phenomena in metals”, Proc. Phys. Soc. **A203**, 75 (1950).
- [69] H. Nakano, “A Variation Principle in the Quantum Theory of Irreversible Processes”, Proc. Phys. Soc. **82**, 757 (1963).
- [70] W. Kroll, “The theory of thermoelectric effects”, Zeits. f. Physik **80**, 50 (1933); *ibid.* **81**, 425 (1933).; *ibid.* Sci. Pap. Inst. Phys. Chem. Res., Tokyo **39**, 342 (1938).
- [71] B. A. Lippmann and J. Schwinger, “Variational principles for scattering processes, I”, Phys. Rev. **79**, 469 (1950).; B. A. Lippmann, “Variational Principles for Scattering Processes. II. Scattering of Slow Neutrons by Para-Hydrogen”, *ibid.*, 481.
- [72] 一柳正和, “不可逆過程の変分原理の最近の発展”, 物性研究, **57-4**, 511 (1992).
- [73] M. Ichiyanagi, “Variational Principles of Irreversible Processes”, Phys. Rep. **C243**, 125 (1994).
- [74] 久保亮五, “電気抵抗に関する中嶋氏のノートに対する注意”, 物性論研究 **89**, 72 (1955.10).
- [75] S. Yomosa and H. Nakano, “Effect of Permanent Dipole Moments on the Hypochromism in Helical Polymers”, J. Phys. Soc. Jpn. **21**, 1369 (1966).
- [76] T. Ando and H. Nakano, “Quantum Statistical Theory of Optical Rotation”, Prog. Theor. Phys. **35**, 1163 (1966).

- [77] H. Nakano and H. Kimura, “Quantum Statistical-Mechanical Theory of Optical Activity”, J. Phys. Soc. Jpn. **27**, 519 (1969).
- [78] W. Opechowski, “On the exchange interaction in magnetic crystals”, Physica **4**, 181 (1937).
- [79] M. Hattori, K. Adachi and H. Nakano, “Thermostatistical Investigation of Magnetic and Thermal Properties of Cobalt Dichalcogenide Compound $Co(S_xSe_{1-x})_2$ with Pyrite Structure”, J. Phys. Soc. Jpn. **26**, 642 (1969).; “Magnetization Process of the Heisenberg Spin System on the F.C.C. Lattice with Second-Neighbor Interaction”, *ibid.*, **35**, 1025 (1973).
- [80] H. Nakano and M. Hattori, “Method of Symmetry-Breaking Potential in Statistical Mechanics of the Long-Range Order”, Prog. Theor. Phys. **49**, 1752 (1973).
- [81] M. Yamashita and H. Nakano, “Phase Transitions in Assemblies of Many Identical Thermodynamical Systems”, Prog. Theor. Phys. **56**, 1042 (1976).; “Phase Transitions in Assemblies of Many Identical Thermodynamical Systems. II”, *ibid.*, **57**, 759 (1977).
- [82] M. Ueda and H. Nakano, “Theory of Order-Disorder Transition in Binary Alloy with Arbitrary Mole Fraction. I. Case of b.c.c. Type Lattice”, J. Phys. Soc. Jpn. **46**, 1701 (1979).; “Theory of Order Disorder Transition in Binary Alloy with Arbitrary Mole Fraction. II. Case of F.C.C. Lattice”, *ibid.*, **48**, 1829 (1980).; “Thermostatistical Theory of Long Period Superlattice Structure in Binary Alloy on FCC Lattice”, *ibid.*, **52**, 2081 (1983).
- [83] “川崎恭治インタビュー：ボルツマンメダル受賞記念”, 物性研究 **76**, 299 (2001).
- [84] 中野藤生, 矢野武, “融解現象の理論”, 物性研究, **18-4**, 147 (1972).
- [85] L. Onsager, “The effects of shape on the interaction of colloidal particles.”, Ann. N. Y. Acad. Sci. **51**, 627 (1949).
- [86] W. Maier and A. Saupe, “Eine einfache molekular-statistische Theorie der nematischen kristallinflüssigen Phase. Teil I.”, Z. Naturforsch. **14a**, 882 (1959).; *ibid.*, **15a**, 287 (1960).; **16a**, 816 (1961).
- [87] H. Kimura, “Nematic Ordering of Rod-Like Molecules Interacting via Anisotropic Dispersion Forces as well as Rigid-Body Repulsions”, J. Phys. Soc. Jpn. **36**, 1280 (1974).
- [88] M. Hosino, H. Nakano and H. Kimura, “Nematic-Smectic Transition in an Aligned Rod System”, J. Phys. Soc. Jpn. **46**, 1709 (1979).; “Effect of Orientational Fluctuation on Nematic-Smectic A Transition in the System of Hard Rod Molecules”, *ibid.*,

- 47, 740 (1979).; “Pressure Effect on Nematic-Smectic A Transition in the Hard Rod System with an Attractive Interaction”, *ibid.*, **50**, 1067 (1981).; “Phase Transitions in the Systems of Identical Rigid Molecules in Perfect Alignment-Relations of the Smectic A and Columnar Orderings in Liquid Crystals and the Crystalline Ordering to the Molecular Shape”, *ibid.*, **51**, 741 (1982).
- [89] S. Homma and H. Nakano, “Theory of Phase Transition in Solid Ortho-Hydrogen. I”, *Prog. Theor. Phys.* **54**, 19 (1975).
- [90] トーマス・クーン著, 中山茂訳, “科学革命の構造”, みすず書房 (1971).
- [91] R. Kikuchi, “A Theory of Cooperative Phenomena”, *Phys. Rev.* **81**, 988 (1951).
- [92] H. Nakano and A. Yoshimori, “On a Statistical Theory of Spin Relaxation”, *Prog. Theor. Phys.* **32**, 685 (1964).
- [93] H. Nakano, “A Statistical Theory of Spin Relaxation”, *Prog. Theor. Phys.* **35**, 214 (1966).
- [94] 中野藤生, “ブラウン運動の理論”, *物性研究*, **1-5**, 335 (1964).
- [95] R. P. Feynman, “Statistical mechanics : a set of lectures”, notes taken by R. Kikuchi and H.A. Feiveson, edited by Jacob Shaham, W.A. Benjamin , (1972).
- [96] H. Mori, “A Quantum-statistical Theory of Transport Processes”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **11**, 1029 (1956).
- [97] I. Müller and T. Ruggeri, “Extended Thermodynamics” (Springer, New York) (1993).; “Rational Extended Thermodynamics”, *ibid.*, (1998).
- [98] D. Jou, J. Casas-Vazquez and G. Lebon, “Extended Irreversible Thermodynamics”, (Springer, Berlin) (1993).
- [99] B. C. Eu, “Kinetic Theory and Irreversible Thermodynamics”, (Wiley, New York) (1992).
- [100] 杉山勝, “拡張された熱力学 (Extended Thermodynamics) 概説”, *物性研究* **73**, 626 (2000).
- [101] 一柳正和, “拡張された不可逆過程の熱力学”, *日本物理学会誌*, **51**, No.10, 734 (1996).
- [102] “特集／熱力学の多彩な展開”, *数理科学*, サイエンス社 (2002.8).