

ひろば

独創性の岐路の中で —研究者を目指す人たちへ—

東京電機大学理工学部

小田垣 孝

(2010 年 12 月 10 日受理)

1. はじめに

「小田垣君、一寸部屋に来てくれないか」、1967 年 4 月に 4 年生として研究室に配属された数週間後、山本常信教授に掛けられたこの言葉が私の研究生生活の始まりであった。化学反応の理論を研究したいと希望した研究室であったが、「うちは物性理論・統計力学をやっているから、物理学科の講義を全部聴いてこい」という指示があり、物理学科の講義を一年遅れで履修しつつの研究の始まりであった。それ以来、大学院生、研修員を含めて 12 年間の京都大学、博士研究員、助教授として 10 年間過ごしたニューヨーク市立大学、ブランダイス大学、1989 年に帰国後の京都工芸繊維大学、九州大学において、物性理論の研究に携わり、数多くのテーマに取り組んできた。実らずに終わったテーマもあれば、その独創性により 30 年以上にわたって今なお引用され続ける成果を発表することもできたが、振り返ってみると研究の色々な段階で独創性に至る岐路が存在したことに気がつく。その岐路で、何故間違った判断をして独創性を発揮できなかったのか、あるいはどのように考えて独創性に至る道に踏み込めたのか。私が研究者としてたどってきた道を振り返りつつ、「倜儻不羈」（てきとうふき：明確な自分の考えを持ち、周りに惑わされずに信念を貫くこと）、「勿嘗糟粕」（糟粕（そうはく）を嘗（な）むるなかれ：精神を汲みとらず、形だけを真似するな）、「想像即創造」を三つのキーワードとして、独創的な研究がいかに生み出されたのかを眺めてみたい。

2. 京都大学時代

山本教授の示した問題は、熱膨張係数が小さいことで知られている FeNi 合金（インバー合金）の磁性の問題であった。Ni が 30% くらいのこの合金の熱膨張係数が小さいのは、温度上昇による熱膨張が磁歪で打ち消されるからである。イジングモデルを用いて、このインバー合金の磁氣的性質の組成依存性を理解しようというのが研究テーマであった。Ni と Fe 混晶系では、隣り合う Ni 同士および Ni と Fe のスピンは強磁性的に相互作用し、隣り合う Fe 同士は反強磁性的相互作用をする。そこで、Ni の割合が増すと強磁性的相互作用で互いにつながったスピンからなる領域がだんだんと大きくなり、系全体に広がったと

ころで、磁氣的性質が大きく変化することを示すことが研究テーマであった。様々な組成で Ni と Fe の分布を作り、繋がりを判別することを実際にやったのである。当時の計算機は、まだ紙テープで入力するような旧式ものであり、しかもメモリーは 160 KB 程度しかなく、また「繋がりの判定などとても計算機にできるわけがない」という山本教授の判断から、方眼紙を用いて 2 次元正方格子上に分布を作り、目で見て繋がりを判定した。手作業によるモンテカルロシミュレーションというわけである。方眼紙の目一つごとに乱数をひいて分布を作るのは大変なので、銭桁なるものを用いて一度に 50 個の点の分布がつけられるように工夫した。正方格子上のシミュレーションであったが、実験をおおよそ再現する結果を得たので、その年の秋に東京工業大学で行われた日本物理学会で発表した。講演の日は、ちょうど私の 22 歳の誕生日であったので、その日のことは今でも鮮明に覚えている。このとき宿泊した目黒荘という宿舎で、基礎物理学研究所の松田博嗣教授から、この問題がパーコレーションと呼ばれる問題と関連しているのではないかという指摘を受けた。それが私のパーコレーション問題との関わりの始まりであり、それ以来 40 年もの間その問題に向き合うこととなった。

FeNi 合金は金属であり、磁性を作り出す電子は局在していないと考えられる。一方、我々のモデルは局在スピンモデルであり、そのことを批判されたのであろうか、山本教授は急速にこの問題に対する興味を失われた。1969 年の大学闘争の年をはさんで、私は一人でこの問題に再度挑戦した。FeNi 合金の実際の結晶構造である面心立方格子において、繋がりを判定する計算機のプログラムを書き上げ、大規模な計算によってより信頼のできる結果を発表した。また、温度を上昇させたときの相転移についても修士課程の大学院生と一緒にモンテカルロシミュレーションを用いて研究した。1972 年には、転移温度の組成依存性を決定すると共に中間の組成領域で多くの縮退した基底状態からなる複雑な状態が出現することを見つけていたが論文にしていなかった。数年後、欧米で強磁性スピンと反強磁性スピンの混晶系に対して、スピングラスという概念が提案され、統計力学の一大分野が開花した。我々は、何故そのスピングラスという概念に到達できなかったのであろうか。私が FeNi 合金という現実の物質にとらわれすぎていたため、現象の本質を見抜いて抽象化し、物理学の根源的問題として問題を設定できていなかったことが最も大きな原因である。また、私自身が未熟であり、本質に迫ろうという信念を貫き通せなかった、つまり「偶儻不羈」でなかったことが災いした。

1968 年頃、アルカリ金属の融点を圧力の関数としてみたとき、融点はある程度の圧力までは圧力とともに上昇するが、さらに圧力が高くなると下降に転じるという「融点極大現象」が大阪大学の川井直人教授によって発見された。山本教授は、京都大学でセミナーをされた川井教授を研究室に招いてその問題を議論された。その席に、何故か私も同席させてもらった。山本教授は、原子間のポテンシャルエネルギーに二つの壁があればよいのではないかという提案をされた。私は、習いたての統計力学を応用して、すぐさま二つの壁を持つポテンシャルについて、1 次元上の液体では圧力を増加させると低密度液体が

ら高密度液体へのクロスオーバーが見えることを示し、勇躍山本教授に見せに行った。ところが、「君、金属なんだから電子も入れた量子力学的な扱いをしなければだめだよ」という批判を受けた。「面白いから、3次元の液体で計算してみたら」というような示唆はなかった。数年後、3次元の液体でポテンシャルエネルギーの斥力部分に変曲点があれば融点極大が存在することが示された。また、最近では同様のポテンシャルが水、準結晶、ガラスなどの研究において用いられており、もっと深く掘り下げるべきであった。

1969年は、大学闘争の時代、大学のかかえる矛盾や社会に対する責任などが全共闘により厳しく追及された。そのころ、本来やりたかった化学反応の理論の勉強を始め、独自に化学反応のストキャスティック理論（原子が二つの状態を不規則に飛び移るという考え方に立って化学反応を記述する理論）を勉強した。研究室でこの理論を紹介したときには、全く興味を示されなかった山本教授が、数年後、物理教室の研究者による同様の計算を絶賛されたのには驚いた。この方向の研究は、論文になるところまで進められなかったが、そのとき培った確率論的に現象を理解するという問題意識は、その後のストキャスティック伝導やガラス転移の理論に生かされた。

博士課程に進学した頃、研究室の谷憲輔講師が研究テーマを持ちかけてこられた。谷講師のテーマは、マグノンと光の相互作用があるとき、光の強度がつよくなるとマグノンの運動に不安定化が起こりうるという論文があり、反強磁性体のマグノンでも同様のことが起こることを示すというものであった。計算すればその通りになり、論文も書いたが、人のまねごとをして同様の結果を得るという典型的な「糟粕を嘗める」研究であった。

博士課程の後半からは、物理教室の遠藤裕久助教授の研究室のセミナーに参加させてもらった。セミナーのテーマは、主に液体金属の気液臨界点近傍における金属非金属転移であり、松原武生教授や小川泰助手も参加されていた。液体と気体の臨界点より高温・高压側を通れば、金属である液体状態から非金属である気体状態まで連続的に密度を変えられる。では、どこで金属から非金属に変わるのか、その理由は何だろうかというのが主な問題点である。そのころ、前出の松田教授が、「密度、すなわち平均原子間距離だけで、そもそも物の性質は決まっているのか」という問題を提起された。つまり、密度が一定でかつ一樣な系でも、温度によって原子の配置のされ方が変化し、それが物性に反映するはずだといっているのである。気液臨界点と同じような臨界点を持つ格子気体モデルを用いて、原子の繋がり方、すなわちパーコレーションの立場から構造を解析し、温度に依存するパーコレーションとして、世界に先駆けた結果を得た。さらに、物理教室で東北大学の桂重俊教授による集中講義があり、ベーテ格子における磁性体モデルの取り扱い方を学んだので、その方法を直ちに応用してベーテ格子上の格子気体のパーコレーション問題の厳密解を得た。論文は、日本の *Progress of Theoretical Physics* に掲載された。その直後に、アメリカの *Physical Review* に A.Cognilio が同様の内容の論文を出し、そちらの方がよく引用されているのは残念である。

これらの研究に続いて、途切れ途切れのパスを持つ系で量子力学に従う電子の輸送がど

うなるかといういわゆる「量子パーコレーション」の問題に取り組んだ、この問題も、松田教授により提起されたものである。当時日本の最速の計算機を導入していた理化学研究所の計算機を、荻田直史博士の好意により利用させてもらい、膨大な計算をしたが、システムサイズが不十分であり、明確な結論を得ないままだった。この問題は、後に私が New York にいたときに、研究室を訪問してきた A. Aharoni に話をし、それ以来 Aharoni により精力的に研究された。また、その後の私達の繰り込み群を用いた研究等を通して、「量子パーコレーション」という概念が確立した。

私は、京都大学で15年、私の青春時代のすべてを過ごした。京都大学の存在そのものである「反権力」という姿勢は、教養教育を含む多くの講義の中で自ずと身についた。京都大学時代の最後のおよそ2年間は、基礎物理学研究所の米沢富美子助教授と共同研究をした。米沢助教授は、ある論文の結果を再現し、それができればその手法を別の系に適用しようという提案をされた。本質的な問題が具体的に設定されているわけでもなく、まさに「糟粕を嘗める」問題設定であった。ところが、その論文の手法を精査していくと、物理的に許されない結果が生じることがわかり、新しい近似法の考案、その正当性の証明という仕事へと発展した。このときの米沢助教授との共同研究は、その後の仕事に大きな影響を与えた。この期間に米沢助教授を一ヶ月間ほど訪問されていたニューヨーク市立大学 (CCNY) の J. Birman 教授夫妻と知り合った。私は、1978年の7、8月に妻共々 J. Birman 教授夫妻に京都を案内し、また小さなアパートにも招いた。Birman 教授は、博士号取得後も定職のない私の身を案じられ、日本を去る前に、興味を持っている研究のまとめと履歴書を渡すように言われた。この出会いこそが私をアメリカに導き、それが私のキャリアを決定づけることになった。

3. ニューヨーク・ボストン時代

1978年8月の下旬に、CCNY の M. Lax 教授から博士研究員として採用したいからニューヨークに来ないかという手紙を頂いた。ニューヨークに戻られた Birman 教授は、帰国後すぐ同僚の M. Lax 教授に私を紹介してくれていたのである。Lax 教授は、ベル研究所の研究員も兼ねておられる不規則系や非線形光学、揺らぎの理論の権威であり、中でも1951年に開発された不規則媒質中の波動伝搬に対するコヒーレントポテンシャル近似 (CPA: 不規則なポテンシャルを、散乱を考慮に入れた平均的なポテンシャルで表す方法) は、1960年代に入ってから二元合金の電子状態や格子振動に応用され、物性物理学でも広く知られるようになっていた。私の米沢助教授との仕事が、この CPA を拡張したものであり、また私が不規則系に興味を持っていることから、博士研究員に招いて下さったのである。

Lax 教授が最初に提案された問題は、私の前任者がやりかけていた「無輻射遷移」(光を放射することなく、電子状態が移り変わる現象)の研究の継続であった。ある程度その研究の成果が出始めた頃、Lax 教授から1次元上のストキャスティック伝導(局在している電子が、イオンの運動に助けられて行う伝導)に関する論文を読むように依頼された。私はす

ぐに、その問題が厳密に解けることを発見し、即座に解を書き出した。さらに、前出の CPA の方法が、適用できることを見出し、半導体の不純物伝導において、これまで標準的とされていた CTRW (連続時間ランダムウォーク) 法より優れた結果が得られることを示した。また、この理論の根拠を与えるために、局在した物理量に対する線形応答理論を確立した。これらの結果を発表した論文は、欧米では Odagaki-Lax の方法として知られている。この論文を勉強したという何人もの研究者と国際会議で出会えたことは、うれしい限りである。ストキャスティック伝導の定式と量子力学の定式の類似性に想像力を働かせて、一見異なった問題同士を結びつけたことがこの研究を推進する力となった。

このころ独自の研究として、不規則な媒質中の電子波の局在問題に取り組んでいた。これまで、電子の感じるポテンシャルがランダムで、運動に伴うエネルギーは一定という Anderson が始めた問題が考えられていた。ポテンシャルは一様であっても、電子運動に伴うエネルギーが揺らげばどうなるかという問題であるが、単に揺らぎの幅が大きくなるだけだと局在化は起こらないという研究があった。この時、これらの二つの問題を結びつける道筋を問い詰めて、べき乗分布する揺らぎをもつ系であれば局在・非局在転移が起こることを示した。この研究は、大学院生を指導して、原子が不規則に分布した系へと発展させた。

ニューヨーク市立大学の時代が、最も学ぶところが多かった。Lax 教授からは、現象をとことん考え、その本質に迫ることや彼の研究に対する謙虚さを学んだ。また、世界の中心であるニューヨークには、実に多くの人が訪問してきた。物理教室のコロキウムでは、T.D.Lee や P.W.Anderson らのノーベル賞受賞者の講演もよく聴いた。専門外の人にも、「物理をわからせる」講演が多く、コミュニケーションの方法も大いに学ぶことができた。

3年半後に、ボストン郊外にある Brandeis 大学に、助教授として採用された。Brandeis 大学では、教育、研究を通して多くの経験をした。英語による授業をするのは、もちろん初めてのことであったので、その準備には特に力を入れた。CCNY において、Lax 教授や Birman 教授、Sakita 教授の講義を聴いていたので、その経験を生かして、担当した講義「数値計算法」、「固体物理学」、「統計力学」や新たにデザインした講義「計算機物理学」の講義ノートを丁寧に作った。それらの講義ノートは今も私の貴重な財産になっている。Brandeis 大学物理教室には同じ研究分野に E. Gross 教授という著名な先生がおられた。Gross 教授には、日常の会話や討論の中で、自己主張の大切さなど、研究者たるべき姿勢をいろいろと教えられた。また、教室の同僚に最近やった研究の説明をしていたときに、「Are you doing physics or just calculation?」という質問を受けて、愕然とした。「物理をする」ということが、如何なることであり、いかに大切かと言うことを思い知らされたのである。Brandeis 大学では、2名の大学院生を指導した。一人は、量子パーコレーションを繰り込み群によって解析し、量子効果による臨界点および臨界指数の変化を具体的に求めた。また、量子パーコレーションにおけるトンネル効果についても成果を出した。他の一人とは、量子超周期構造における電子輸送について研究した。量子井戸に閉じ込められ

た電子に電場を掛けると、通常とは逆の方向に分極が生じるという驚くべき結果を示した。

1985 年、*Physics Today* 誌の最近の研究を紹介する記事の中で、規則的だが周期性を持たない原子配列をとる新しい物質相（準結晶と呼ばれる）が紹介された。固体物理学の講義では、周期結晶が持つエネルギーバンドの特徴について講義しており、一方、京都大学の時代に、不規則な物質がもつエネルギーバンド構造の特徴についての松田教授らの研究を勉強していた。それらの両極限の中間に位置する準結晶のバンド構造がどちらに近いのかという問は、固体物理学の基本的問題であると認識し、直ちに大学院生と計算し、世界に先駆けて成果を発表できた。さらに、不規則系について開発されていた方法を用いて、1 次元の準結晶についてバンド構造を理論的に求める方法を考えた。ちょうど、CCNY の Birman 教授とその学生が同じ問題に興味を持っていることがわかり、直ちに共同研究を行い、バンド構造に関する重要な成果を得た。また、North Eastern 大学の博士研究員をされていた青山秀明博士とともに、ハイパーインフレーションという準周期配列に存在する対称性を発見したのもこの頃である。

1987 および 1988 年の夏に、金沢大学の樋渡保秋教授がしばらくボストンに滞在された。ストキャスティック伝導理論の超イオン伝導体で見られるジャンプ運動への応用について行っていた計算を説明すると、樋渡教授は同様のジャンプ運動がガラス形成過程でも見られるので、ガラス転移に応用できるのではないかという示唆をされた。これが、その後 20 年にわたる私の主要テーマとなった「ガラス転移の研究」に取り組むきっかけである。

なお、これらの研究とは独立に、つながりの強さが距離とともに減少するソフトパーコレーション過程という新たなパーコレーション過程を提案し、パーコレーション転移の起こる臨界点はモデルのパラメーターには依存しないが、臨界指数はパラメーターに依存するという通常の臨界現象で見られる普遍性とは逆の普遍性が存在するという極めてユニークな結果を報告した。

CCNY、Brandeis 大学で、現象の本質をとらえたモデル化の大切さ、物理をすることの大切さ、そして自己主張の大切さを学んだことが、「糟粕を嘗める」ことなく、「偶儻不羈」を保ち、「想像を逞しくする」という独創的な発想の原動力を与えてくれた。

4. 再び日本へ

1987 年の夏に、ボストンを訪問された京都工芸繊維大学の武野正三教授から京都に戻らないかというお誘いを受けた。それから 2 年後に、京都工芸繊維大学の工芸学部教授として採用されたので、日本に戻る決断をした。京都工芸繊維大学では学科目としての物理学の担当だったので、研究はすべて自分の手を動かして行った。Brandeis 大学で始めたガラス転移に関する研究は佳境に入った。また、整数論が専門の金子昌信助教授着任され、共同研究によって自己相似性による 1 次元準周期配列の分類に成功した。

1992 年 3 月に東京で開催され日本物理学会からの帰りの新幹線で、京都まで九州大学の川崎恭治教授と一緒にになった。そのとき、九州大学の教授公募に応募しないかと声を掛け

ていただいたのが、1993年春に九州大学理学部に移動するきっかけであった。九州大学では、物性理論講座を担当したので、多くの大学院生と一緒に研究をすることができた。研究室に配属されてきた学部4年生の卒業研究には、世界の最先端の研究テーマで、その研究によって博士の学位も取れるようなものを取り上げることを心がけた。ほとんどすべてのテーマは、国際会議、外国の学術雑誌、研究者との討論から思いついた問題を整理し、4年生でも取り組み、かつ最終的に学位論文を書けば、一家をなせるようなテーマとして、問題を設定した。例えば、1粒子から順に粒子数を増したときの重力場中の粒子の統計力学的振る舞い、構造が時間的に揺らぐ系における輸送現象と境界摂動法、ソリトンの散乱問題とソリトンデバイス、複雑ネットワーク上のダイナミックス、社会物理学など、これらのテーマはどれも日本ではほとんど見られないテーマである。

ガラス転移に関する最も重要な仕事は、最近も継続している自由エネルギーランドスケープ理論であるが、この考え方に至ったのは極めてユニークな体験からである。液体の温度を下げて固化させるとき、結晶化する場合とガラス化する場合がある。10年ほど前のことだが、研究室からの帰り道で、自分が原子になって、自分を含め周りの温度がどんどん下がったとき、果たして自分はどう振る舞うだろうかということを想像してみた。当然のことながら、原子は、結晶化に向かおうがガラス化に向かおうが同じような振る舞いをするはずだから、結晶化とガラス化を理解する理論的枠組みをそれほど大差ないはずであり、自由エネルギーランドスケープという考えにたどり着いたのである。想像することが創造への道を拓いてくれたのである。

5. 独創性を育む三つの言葉

本稿のキーワードとした三つの言葉に触れておこう。

「糟粕を嘗むる勿かれ」という言葉は、「莊子」天道篇に書かれている中国の故事に由来するものであるが、日本の偉大な物理学者である長岡半太郎博士が愛された言葉である。大学で学ぶ学生に、また若き研究者に「つねに創造的であれ」ということを念じて、長岡先生が揮筆された「勿嘗糟粕」という額が、日本のいくつかの大学に残されている。

「倜儻不羈」は、同志社大学の創立者である教育家新島襄が特に好んだ言葉で、彼の教育理念の中に「倜儻不羈なる書生を圧束せず務めて其の本性に従い云々」とある。司馬遼太郎も「倜儻不羈」という言葉を愛したようであるが、この言葉自体「日本書紀」に同義語が見られことから分かるように、日本では古来優れた人の大切な姿勢であると考えられていた。

最後に「想像力」にも触れておこう。私の知人である著名な小説家と会った折に、科学研究の進め方と小説を書くときの考え方を話し合ったことがある。純文学としての小説は、ある事柄を起点として、「想像」によって過去あるいは未来に広大な世界が広がり、それを文章にしていくなのだと言うことであった。

作曲家にとっても「想像力」が重要であるようだ。ウィーン郊外のハイリゲンシュタッ

トという街にベートーベンの名を冠する小径がある。ベートーベンは、この辺りを散策しながら「田園交響曲」を作曲したと言われている。せせらぎの聞こえる小径を歩くと、近くの丘のブドウ畑を吹き抜けた風が頬をなでる。ベートーベンの時代にはウィーンを中心街に向かって畑が波打っていたことであろう。長閑な景色の中に音を聞くことから、壮大な交響曲が生まれたのではないであろうか。

科学の研究においても、また技術の開発においても、一つの事柄から如何に多くを想像し、如何に本質的な問題設定をするかが最も重要なことである。それらの問題を一步一步解決し、想像した世界に到達することによって、独創的な発見や発明が行われるのである。読者の方が、本稿で述べたことを糧として、独創性豊かな優れた研究者に育たれることを期待する。