

素粒子論研究

異分野へ挑戦した経験

NPO 知的人材ネットワークあいんしゅたいん 坂東昌子

1 研究遍歴 素粒子統一論の夢から異分野への挑戦

物理屋は個々の現象の説明だけで満足できず、さらに統一像を追求することに心を躍らせる。人間にはもともと持っている好奇心が旺盛だ。何故か、何が原因か、もっと一般論として理解できないか、これが分かると、他の現象も同じルールで理解できないかとさらに謎がわく。私は、素粒子論以外の異分野に新参者として参入した経験が結構あるが、この心をいつまでも持ち続けている人が意外に少ないことを知った。どうも物理屋は、この心をずっと持ち続けている割合が多いようだ。これは、その分野集団の環境にかなり左右されているように思う。新たな科学の領域が成熟するのには、好奇心とあいまいな枠組みだけでは不足で、単なる趣味の域を脱して、核心を突く方法論の提案につながる新分野を予想させる芽が吹き出していなければ実現しない。既成の学会では、その底辺にそれなりの枠組みと方法論が共通した認識となっていて、そこで発行される学術誌(国際的な視点を持った)で、レフリーにもまれて論文を出すということは、その領域で一人前になるにはどうしても乗り越えないといけない重要な修業である。それがプロの仕事である。あたらしい領域に参入して難しいのは、その分野の前線を見極める作業だ。素粒子の論文なら、論文の性格と出来栄を勘案して多少甘いジャーナル、評価の高いジャーナル、日本の存在をアピールするジャーナル、異なる特徴を持つジャーナルを選定し投稿する。投稿後がもっと大変で、レフリーのコメントに応じて考え直し修正する行為も研究の一環である。もちろん、投稿前に研究会や学会などで、仲間のコメントや批判を受けるという場もあるが、掲載を獲得するためのレフリーとのやり取りはシビアだ。他分野に挑戦すると、この referee とのやり取りからその分野の考え方やレベルが見えてくる。成熟した分野であるほど常識が定着している。

しかし、逆に、常識が固定化していて、結構それだけ固定概念が定着しているために、思い込みも強い。それを突破したイノベーティブな発明や発見ができない。「科学者には、一定の発想、前提、枠組み、ルールなど、既存の枠内で問題の解決をはかる傾向があり、この枠内での問題解決が行き詰ることがある。それを突破するのは外部あるいは若手研究

者である。」とはトマス・クーン¹の言葉である。宮田隆²「分子から見た生物進化³」には、「他の問題を研究していた筆者のグループは外部研究者にあたり、その点、固定概念から自由であった」(P299)という記述がある⁴。

物理学の新展開が繰り広げられたフェーズに遭遇した若者たちは、新しい世界に果敢に飛び込んだのだ。この先取の気風を湯川精神と私は名付けている。基研が生み出した宇宙進化や生物進化の分野を切り開いた林忠四郎も木村資生も、物理的な視野でマイクロとマクロを繋ぐ挑戦をした。どちらも湯川精神が支えている。もちろん、新領域を切開いたのは、必ずしも湯川だけではなく、コペンハーゲンのニールス・ボーア研究所も CERN も同じ気風がみなぎっている。戦時中でも、敵国の科学者も同じ場に集い励まし合う仲間だった。同じ目標に向かって切磋琢磨し力を合わせるかけがえのない仲間だった。

2 2 フェーズ人生：素粒子論遍歴 1

1960年、私は湯川研所属の M1。その頃、南部の Gauge Invariance に関する論文が出た。当時シカゴ大学で、BCS 理論の 1 人、シュリーハーのセミナーを聞いて、対称性を具現する原理、Gauge 対称性の破れとの関係に疑問を持った。BCS があまりに見事に超電導現象を説明したため、当時あまり気にする人はいなかったが、南部はここを徹底的に検討した。それが有名な「自発的対称性の破れ」である。ゲージ原理は破れたのではなく、別の形で貫かれている。それを担っているのが、Nambu-Goldstone 粒子である。対称性のノンリニアな表現では新しい粒子 NG ボゾンが対称性を保証している。相転移をより普遍的な物理法則「対称性の自発的破れ」で理解した南部陽一郎先生の話だった。南部は、この相転移の枠組みを素粒子の世界に持ち込んだ。このことを私に教えてくれたのは、坂東君だった。同級生だったが、広い視野をもっていて、新しい風に敏感だったのかなとも思う。鈍感な私は、それを聞いてびっくりした。意気投合して、一緒に BCS 理論を勉強した。高校時代にさっぱりわからない熱力学を学んだ後で、ボルツマンの気体運動論を知って目からうろこだったのと同じ感動である。それ以後、このエクサイティングな自然の仕組みは、素粒

¹ 科学革命の構造：「パラダイムシフト」を論じたことで有名

² 物理学を専攻していて、基研のATOM型で6か月の滞在中に「松田博嗣先生に出会い、そのまま松田先生が九大に転任された際に助手として九大に。詳しくは「基礎物理学の現状と未来-学問の系譜・湯川・朝永をうけて」https://www.jstage.jst.go.jp/article/soken/115/6/115_KJ00004871268/_article/-char/ja/での講演参照のこと。また以下のブログも記述がある。<https://jein.jp/blog-bando/1273-blog126.html>

³<https://gendai.media/list/author/TakashiMiyataAE%E7%94%B0%E9%9A%86-ebook/dp/B00IJ6V060>

⁴ 「生物進化を考える」木村資生：<https://www.iwanami.co.jp/book/b267838.html>；ダーウィンの伝統を背負う集団遺伝学の転換をもたらす中立説はなかなか認められなかったそうだ。木村資生は相当苦労したようだが、遺伝学の権威クローの様々な批判は、中立説を鍛えより強固にしたという。異分野に挑戦してうける批判は鍛えられるチャンス、「わからずや」と決めつけないことだと納得した。

子論の基礎となった。

さて、湯川研は、場の理論の矛盾を乗り越える新しい方向を探っていてノンローカル (nonlocal 非局所場の理論) が多数派だった。実は、私を指導してくださったのは、位田正邦助手⁵とポストクの野上幸久⁶さんだった。1950 年後半から、CERN、BNL、DUBNA で加速器が稼働し、続々と新粒子が発見され、すでに 200 種を超えていた。大学時代、湯川が講演で、「こんなに素粒子があるなら素粒子と言えんなあ」と腕組みして話されたのが印象的だった。「素粒子」という概念が変わりつつあった。位田さんは、壁に貼った素粒子表を毎日眺めて、レプトンやハドロンとの質量はどう決まるのか、どう分類できるのか。どう統一的に理解できるか考えろ、という。名古屋大学の研究会にものこのこ出かけた⁷が、そこで、ニュートリノに加えて種類の違うニュートリノが発見されたという話で大騒ぎしていた。同時に京都でも注目されていて、これらが同時にニュートリノ混合の話につながったのは偶然ではなかったわけだ。当時、強い相互作用、弱い相互作用を理解するというのを、場の理論から理解しようとする、発散の困難に落ち込む。さらに、強い相互作用は摂動論的なアプローチもできない。お手上げの状態だった。だから、場の理論からの分析はあきらめて、マクロな観測量 S マトリックスから内部を推しはかるしかないという意見が多数を占めていた。一方、坂田モデルは、自由度を実体化しハドロンを複合系として理解し統一する。なかなか魅力的だった。さらには、坂田モデルから名古屋モデル、そして武谷の「最初にニュートリノありき、レプトンからハドロンへの変身は B 物質⁸」

ニュートリノ → (チャージ) → レプトン → (B 物質) → ウルバリオン → ハドロン・・・という構想へと広がった。おとぎ話の域は出ないが、ここからニュートリノ混合のアイデアも生まれたのだから興味深い。ともかく、その後ゲルマンが提唱したクォークもウルバリオンも現実感にはなかったから、場の理論に乗せるわけにはいかなかった。その後、たくさんの実験データが蓄積されて、逆に、素粒子のフレーバー対称性の方は、新しいルール

⁵位田さんには研究会に誘ってもらった。「女性だからと言ってゆっくり仕事をしてもよいなどと思っただけだよ。10 年先にパリティ非保存だといっても手遅れ」というような説教をいただいた。頼りなくいつやめるかわからない私を頼りないと思われたのだろう。あとで、位田さんはパリティ非保存の論文を、リー・ヤンの前に提唱して論文を書かれたらしい。それを湯川先生にみてもらおうとお渡ししたが、湯川先生は忙しかったのか、引き出しに入れたまま忘れておられたらしい。

⁶野上さんは間もなく海外に職を得られた。当時、湯川・武谷・坂田という 3 ポスは米国のマッカーシー旋風の影響もうけて危険人物とみなされ、湯川の弟子にあたる野上さんもビザが下りず、就職先をカナダのマックマスター大学に変更された。早川幸男もそのあおりで渡米できなかったという。

⁷坂田モデルが結構認められ始めて素粒子の分類で重要な役割を果たしていた。坂田がこの研究会で「坂田モデルもまた変更が必要になるかもしれない。しかし、この基本的視点はずっと残るだろう」というような挨拶をされて、感激して報告の手紙を書いたことを覚えている。

⁸B 物質の B は、ビールのことで、アルコールを飲んで強くなるという意味だと論文にあり、思わず笑ってしまったのを覚えている。今ならダークマターかな??

も提起され、群論を駆使して素粒子反応を分析できるようになり、S 行列理論に群論を駆使して、フレーバーの異なるプロセスの関係が統一的に理解できた。ただ、スピンの自由度はそう簡単にファクターアウトできない。「スピンは何とか群論統一的に普遍的な振幅に記述できないか」と意気投合して、九後・山脇・江口さんらと夜を徹して検討したこともあったが、結局あきらめたのも懐かしい思い出である。まあ、最終的には超対称性の議論が必要だったわけだ。

間もなく、九後さんも江口さんも、場の理論の基礎的な検討へとシフトしていった。それでも、私は、まだ現象論にこだわっていた。この時期、仲間にかかなりの批判をされた。福来さんは「ブレムスシュトラーリング⁹ (制動輻射) だな」と言ったひたひたと押し寄せている新しい流れに追いついていない私を批判したのだ。九後さんには、警告を受けた

吉田兼好「徒然草 第百八十八段」

ある人が息子を坊さんにさせようと思い、「勉強をして世を理解し、有り難い話の語り部にでもなって、ご飯を食べなさい」と言った。息子は言われたとおり、有り難い話の語り部になるべく、最初に乗馬スクールへ通った。「車や運転手を持つことができない身分で、講演を依頼され、馬で迎えが来た時に、尻が桃のようにフラフラしていたら恥かしい」と思ったからだ。次に「講演の二次会で、酒を勧められた際に、坊主が何の芸もできなかつたら、高い金を払っているパトロンも情けない気持ちになるだろう」と思って、カラオケ教室に通った。この二つの芸が熟練の域に達すると、もっと極めたくなくなり、ますます修行に勤しんだ。そのうちに、有り難い話の勉強をする時間もなくなって、定年を迎えることになった。」条件づくりばかり一生懸命努力して、お経の勉強をしなかった！（現代風に翻訳したもの）

「保育所作りや女性研究者の待遇改善、結局環境の準備だけして一生を終わるのか」という意味なのだろう。振り返ると、子供が小さい時は「小銭をためるような仕事」をしていたように思う¹⁰。つまらん論文で数を稼いでいるなあ。新しい原理に基づく場の理論が息を吹き返している流れが迫っていた。いったい私が目指したのは何？

私に限らず、研究の方向転換に苦労した人は多かったと思う。どの分野にも発展のフェーズがある。流行を追いかけていると、イノベーションにはいきつかない。かといって、新しい流れの息吹に無関心でいてもいい仕事はできない。

夢は素粒子の統一理論だった筈、対称性、ゲージ対称性に軸足を置く必要がある。この

⁹ 荷電粒子が方向をかえて曲がっても、光はまだ同じ方向へ走り続けるという比喻。学問の流れは既に別の方向なのに、いつまでも同じ方向に走り続けている。

¹⁰ 他分野の仲間こんな話をしたら、ほんとに小銭をためていると思われてびっくりしたこともある。私の言ったのは、画期的な大きい仕事でなく適当なテーマでまとめる論文を書いている自分のことだった。

流れの延長線上で、ヒッグス、キップル、を経て、結局1967年のワインバーグ＝サラム標準理論に至る。これが基礎となって、この世に存在する相互作用を統一して理解する方向が垣間見えた。この世に存在する力がゲージ対称性で統一できたということだ。ワインバーグはそれまでずっと強い相互作用の中で、 ρ メソンとかゲージボゾンがあるのはどういうふうに考えたらよいのか考えていたらしい。こういうとき、キップルがセミナーをして、それを聞いたワインバーグが、あっと思ったという。実はワインバーグのこの頃のエッセイを読むと、「高速道路を走っているときに思いついた」と書いてある¹¹。これは現象論しかできなかった素粒子論の世界を大きく変えることになった。それと同時に、宇宙の初期を素粒子論で説き明かすカギをも与えた。

2 2 フェーズ人生：素粒子論遍歴2

その後の仕事は、対称性を武器に素粒子の統一的理解へという方向に向かった。中でも、hidden local symmetry（隠れた対称性）という仕事は、ドラマティックな展開だった。ちょうど、山脇さんが「名大は忙しすぎるので勉強しに来た」といった。そして、繰り込み群で結合乗数の変化を追う議論をしていたら、ビル（バーディーン）の基研でのセミナーが始まる時間になったが、議論を続行することとした。それで、セミナから帰ってきた九後さんに、「どんな話やった？」と聞いた。なんだ、同じモチベーションの話じゃないか！「そんなら、ビルのところに行って議論しよう」と私が提案したら、松本賢一さん(松本公式で有名)が、「ちょっと待て」と言う。アイデアがあるときすぐにちよろちよろ言うものではない、「こっちで結論が出てから議論しよう」となった。論文は早々に仕上げた。それが「テクニカラーモデル」のはしりの論文だ。新しい相互作用がこの世の中にあってもいいのではないか、そして、ウルクォークのようなもの（テクニクォーク）があって、その結合状態がクォークだという階層があるのでは、という模型だった。Editorのジョージヤイには、「こんな相互作用はフェイクだ」と言われたが、最終的には採択された。もっとも、「テクニカラーは、商品名だからハイパーカラーに変えろ」といわれたが。これが契機になって、さらに、hidden local symmetry という概念に至るのだが、これは、なんといっても九後さんの功績が大きい。彼が、重力場の理論でよく使う変換の式を黒板に書いた時のことである。「え、それ今やっているのにぴったり使えるやん」と言ったら「こんなの当たり前前の式やで」と九後さん。そんな中から隠れた対称性の話が進んだのである。

ところで、群論が得意で冴えた九後さんも、私たちに負けたことがある。それが、超対

¹¹ 本当のところは、キップルのセミナーがきっかけだった。「あっ、これで弱い相互作用の問題が解けるはず」と思ったのだ。そして、さっさと論文を書いた。キップルが目の前にいるとき思いついたのだから、その場で議論して、一緒に論文を書くはずだが、単名で論文を書いた。このことを知って、私はあとで参考になるとワインバーグの論文（2ページほどのレター）を注意深く読み返した。確かに、キップルにヒントを得た筈なのに殆ど触れていないことを確かめた。

称性の非線形表現の仕事だ¹²。九後さんが、超重力理論から出てくる E_8 (最大の例外群) の話をしてくれた。じゃあ、超対称性理論の「自発的対称性の破れ」を使えば素粒子全体をまとめる統一理論が作れるかもしれない。数学のできる益川さんに相談したところ、「これ面白い。坂東さん、金鉱を掘り当てたな」と言って猛烈な勢いで検討を始めた。超対称性の変換は結構ややこしい、その中で不変量を見つけないといけない。さすが益川さん、間もなく不変量を見つけたのだ。九後さんは当時 CERN にいてやはり同じ問題に取り組んでいたのだが、「負けたあ」と言ってきた。益川さんに負けたので、私に負けたのではない。こうして、ほぼ対称性の破れに用いる道具はそろった。いくつか、この方向で世代を含み重力場も内包する統一理論を作ることを試みた。残念ながら、結局、定年までには大統一理論の構築には成功しなかった。まだまだ何かが欠けているのだろう。クォークやレプトンもすべて内包する、しかも余分な状態が出てこないモデル、そして、世代の起源も説明する理論はできないかと頑張った、特に世代間のクォークの示す質量は、指数関数的に拡大する。これを合理化する理論は見つからない。ひょっとしたら、世代の高いトップやボトムクォークは、我々の住む 3 次元空間の外に軸足を延ばしているのではないかなどと空想を働かせて試してみたりもしたが、決め手に欠ける。私の夢であるクォークの多様性をひとまとめにするきれいな統一理論はいまだに夢のままである。

ところで、一つ裏話。隠れた対称性の話は結構評判がよくて、結局 Physics Reports にレビューを書かせてもらったが、これはちょっとしたきっかけから始まった。私の夫は、当時、ハイパー核に取り組んでいて、評価されてバークレーに招待された。Physics Reports のエディターのジェリー (ブラウン) が、「この人はあの有名な hidden local symmetry の論文の著者の夫です」と片目をつぶってみんなに紹介したそう。で夫は、「ジェリーはあれをえらい評価している。Physics Reports に書かしてくれるから申し出てみたら」と言った。山脇さんはその話を聞いてすぐにオファーを出した。一つ返事で話が決まった。大騒ぎして九後・山脇・坂東で分担して仕上げた。レビューの中には、もちろん、九後さんが悔しがった超対称性の非線形表現 (Supersymmetric non-linear realization) も丁寧に書いているが、九後さんはもっとスマートにまとめて、悔しさを乗り越えたかもしれない。この時、頻りに九後さんの車で名古屋に通った。この往復の車で、チョムスキイの話や、木村資生の中立説などの素粒子以外の話も結構盛り上がったのも楽しかった。

¹² 超対称性というのは、スピンをつなぐ変換を可能にしている、スピン 0、1/2、1、などを同じ既約表現に属する。普通は、空間回転対称性から出てくる角運動量は、 $L=1$ だったら $L=1$ で 1 つの既約表現になっている。角運動量の異なる表現を一緒にまとめる群がありうるかといえば、それは無理筋だというのが常識だった。その枠を広げたのが超対称性の理論だ。ローレンツ対称性とどうしてもうまく両立しない。実は、昔、江口・九後・山脇で検討したスピンをもつプロセスをまとめきれなかったのもこのためだったのだ。

3 交通流の研究：異分野への挑戦

交通工学は、モータリゼーションの始まった1950年後半から急速に発展した分野だ。ここでは、ミクロな立場からアプローチした追従モデル(Follow the Car Theory)が Pipes や Newell などによって提案され¹³、交通工学のテキストに出ていく基本方程式を与えている。ところが、このモデルは自然渋滞を説明できない。すぐ分ることだが、例えば電車のように連なっている場合は、車間距離が短くても前車の動きをすぐフォローして動くから渋滞は起こらない。ところが、高速道路での運転は、一定密度を超すと渋滞が起きる。なぜか。前車の動きに反応して後車が反応する(stimulus-response 反応)様子が違うのではないか¹⁴。これが速度の変化に跳ね返るのが、慣性の法則に従って時間的遅れを生じるのではないか。この遅れが実は自然渋滞への転移の機動力だ、そう私たちは考えた。

物理屋は、複雑な現象でもエッセンスを抽出し、単純な法則を見出すことに喜びを感じる。複雑な現象から雑音を除き、本質的な要因、普遍性を見出し、真実を探り当てて「わかった」と思える。おそらく、物理学の対象が最も単純な自然現象だったので、そこで鍛えることができたのだろう。もちろん、物質科学も複雑な現象はまだまだあって、自発磁化・超伝導・超流動といった相転移現象は、かつては、物理の枠組みでは取り扱えないと思われ、「複雑系」として片付けられていたが、今では、自発的対称性の破れという概念で捉えられることが確立している。多体系は実に面白い¹⁵。とはいえ、人間集団にまでいくと物理学で解明できるかな、こんな議論が愛知大学の仲間のなかでよく交わされていた。いきなり自由意思のある複雑な人間の多体系を対象にしては歯が立たないから、最も単純なシステムから始めるべし、である。その適切な素材が交通流ではないか。個性を持つとはいえ、主役の運転者は、運転技術を訓練してルールに従い共通の動きをする。愛知大学教養部での専門以外の研究者との交流から、こんな議論が発展した。物理の同僚、長谷部さんは益川さんに似ていてひらめきがすごい。「高速道路の自然渋滞を、物理学の相転移現象とみて、ミクロな車の挙動から説明してみよう！」となった。そして、導入したモデルは、一種の反応の遅れを自然に導くモデル(Optimal Velocity Model : OVM)だった。シミュレーションにたけた中山さんや杉山さん¹⁶が出した結果から、非線形理論特有のリミットサイクルが出ることも確認できた。自由流と渋滞流の2つを別のフェーズを同じ理論から導出できる。「法則(運動方程式)」は同じだが、その系の環

¹³ 「車両の運転者は、前方車両、特に直前車両の挙動によって、自分の車両の速度をコントロールする」という物理屋らしいモデル。後に、レフリーとのやり取りから、提唱者は、2人とも物理出身の研究者だったことが分った。

¹⁴ 実際ニュートン第2法則、刺激を受けない運動体は速度を変えないが原則である。

¹⁵ More is Different(P.W. Anderson, SCIENCE (4 Aug. 1972, Vol.177, No.4047)、

¹⁶ この2人とも、名大素粒子論の出身。ポスドクを経験している。

境や状況によって違った現象を発現する統一的理解ができたのである。

ただ、われわれは、この分野で「新参者」である。「このままでは趣味で終わってしまう。さらに先に進めるにはどうしたらいいか」話し合った。提唱したモデルの評価はできるだけトップクラスのジャーナルに出そう。その前に、点検も必要だ。従来の仕事が出ているジャーナルを京大工学部から借り出し、分担して点検した。

しかし、何より励まされたのが、山口昌哉先生の助言だった。お会いして話した途端、まず「面白い！」と激励いただいた。そして、京大定年退職後、移られた龍谷大学の山口研で、セミナーをさせていただいた。先生は、異分野に挑戦する多くの研究者を育ててこられたが、この助言と激励がなかったら仕事はお遊びで終わったかもしれない。

こうして仕上げた長谷部・中山・杉山との 2 編の論文を投稿した¹⁷。一流のジャーナルに投稿して評価を受けるべし、である。専門誌 OR や Traffic Science での評価を受ける過程は大変だった。今までのモデルはだめだという論文だからなかなか手厳しい。レフリーが 3 人もついて、「30 年もこれでやってきたのだぞ」「模型だけで現実のデータの解析がない」「今までのモデルでも現象をうまく説明しているぞ」と長い補正項の式まで説明するコメントもあった。現実のデータ解析をしっかりとしないとだめだというのは痛いところを突かれたと思った。この論文の運命はここでは省くが、結局 APS で発刊された新しい雑誌、PRE がいいと勧めてくれる人があった。投稿したら、すぐに採択された。やっぱり物理分野だった。今では、この論文は、専門の素粒子分野の「隠れた対称性」より引用数が多い¹⁸ので、ちょっと複雑な気持ちだ。また、同年秋に開かれた応用数学会でも発表した¹⁹。懇親会で、薩摩順吉先生にお会いしたら、開口一番、「京大工学部にいた時、保育所で保護者会の役をしていたが、そこで素粒子の坂東さんという名前はきいたが、どういう関係ですか？」と聞かれ、「あ、その坂東です」といって 2 人で大笑いした。薩摩研究室でのセミナーで話した機会には、ソリトンで有名な広田先生に議論いただいた。またセミナーで、

¹⁷ 「Dynamical Model of Traffic Congestion and Numerical Calculation」米 OR 学会誌「Operations Research」に投稿。パターン形成の解析「Structure Stability of Congestion in Traffic Dynamics」は、山口先生の紹介で日本応用数学会のジャーナル誌(Japan Journal of Industrial and Mathematical Science)に 1993 年 6 月投稿

¹⁸ https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Masako+Bando&btnG=によると (2023/1/31)現在で

- ・ Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation, M Bando, K Hasebe, A Nakayama, A Shibata... - Physical review E, 1995 – APS,Cited by 3289
- ・ Nonlinear realization and hidden local symmetries, M Bando, T Kugo, K Yamawaki - Physics Reports, 1988 – Elsevier Cited by 1673

¹⁹ この時面白かったのは、初めて異分野の学会に行くので一緒に行った中西さんが、フォーマルな背広をぶら下げてきたことだ。物理学会なら気楽だが気を使ったのだ。

鋭い質問をされる方がおられ、かの有名な戸田盛和先生だとわかってびっくりしたこともあった²⁰。統計数理研究所で「交通渋滞を起こす動的模型」というセミナーをさせていただく機会も得た。素粒子分野から情報分野に挑戦された先輩格(年は下?だが)の小柳義夫(元応用数理学会長)さんから紹介していただいたおかげである。例の AIC で有名な赤池弘次先生ともお話しする機会も得たが、幅広い学識とその視野の広さに感銘を受けた。AIC の A は赤池の頭文字だが、先生は「An Information Criterion」としかいわれなかったという。その先生がリーダーの統計数理研究所はいろいろな分野の現象を解析する日本では珍しい研究所だと知った。京大基礎物理学研究所にみなぎるチャレンジ精神がここにもある。多変量解析の公開講座にも生徒としても参加した。愛知大学の教養部に移って、様々な分野の研究者に出会ったと同時に新しい勉強の機会も得たなあ、と感無量である。

ただ、以上でわかるが、結局ネットワークで広げられたのは、固有の交通流分野ではなく、物理学、応用物理学、数理統計など、いわば周辺の数理・物理の分野だった。思い出すと、当初、豊田研究所のプロを知人から紹介いただいたが、「ああ、1 レーン問題はとうに片が付いていますよ」の一言だった。要するに常識が定着していると、プロはそこからはみ出たイノベーションには踏み出せないのである。

それでも専門家の中に OVM が定着したのは、杉山さんや中山さんが、海外の学会で発表し、日本でも国際会議を組織して、ネットワークを広げたからである。海外で知られるようになって初めて日本に逆輸入して、日本の専門学会でも引用するようになる。残念ながら、この道筋を通らないと、認められないのか、とちょっと情けない話ではある²¹、異分野に挑戦する時には、やはり国際会議に行き、そこで公明できる仲間を見つけ、研究の巾を広げることがどうしても大切だと痛感した。

²⁰ 東大工学部の学生から卒論で取り組んでいるので論文がほしいと請求があり、「どうして知ったの?」と聞いたら「うちの先生が教えてくれました」とのこと。以後彼とデータや論文(越・東大教授研究グループ博士論文や修士論文)は、OVM を発展させたものだった。

²¹ 詳しくは、サイエンスポータル参照

第1回「交通流を研究対象に」:

https://scienceportal.jst.go.jp/explore/interview/20090810_01/

第2回「多数の集団は面白い - 最も単純なシステムをとっかかりに」

https://scienceportal.jst.go.jp/explore/interview/20090811_01/index.html

第3回「難産の初論文」(坂東昌子氏 / 愛知大学 名誉教授)

https://scienceportal.jst.go.jp/explore/interview/20090812_01-2/index.html

第4回「国際会議の反応に驚き」

https://scienceportal.jst.go.jp/explore/interview/20090813_01/index.html

第5回「経済物理学へ - 社会の動きへの挑戦」

https://scienceportal.jst.go.jp/explore/interview/20090814_01-2/index.html

4 寺田物理

交通流を物理学的視点から最初に問題提起したのは、寺田寅彦のエッセイ「電車の混雑について」である。これを教えてくださったのも山口昌哉先生だった。正直なところ、それまで「寺田物理」は「盆栽物理」、プロのやることではないといった感覚がなかったわけではない。幼い頃には、茶碗の湯など、有名なエッセイをよんで面白がっていたが、寺田物理は趣味の域をでないので、プロの科学にならないと思いこんでいた。寺田寅彦は自然の森羅万象に対して鋭い目を向けた。山口昌哉は、50歳になって、初めてカオスの世界に飛び込んだ。きっかけは、故富田和久教授（京大理学部物理教室教授）との議論だった。日米安保反対の嵐が大学を駆け巡っていた頃、理学部の教官会議というのが結成され、富田研究室がセンターになっていて、山口数学部長は頻りに訪問されていた。そんな中でも学問の議論は忘れないお2人、わかるような気がする。好奇心に満ちた異分野交流が始まると、そこから何か生まれる！それがカオス、新たな鉅脈に光が見えた時の心の躍動は年齢に関係ない。「50歳のときにカオスと出会って、人生が変わった（山口）」のだ。未開発の領域に飛び込むのは冒険だが、こうして交通流の研究を経験してみると、新分野挑戦には既に多くの先駆者がいることも分かった。破壊の物理、砂山、粉体流から液晶そして生物との境界線を探るソフトマター、アクティブマター・・・寺田物理は今や大きな流れとなっている。私の視野が狭かっただけなのだ。

20世紀の個別科学の進化の時代から、21世紀は、分野横断型の課題に取り組む視野が重要になってきた。そういう時代に我々は生きている。細分化された個別課題に対応した科学組織に慣れ親しんできた科学社会は、未だにそれに応じた研究体制や学会組織を構築しきれていない気がする。物理学はすでに、宇宙や生物などへと対象を広げてきた。宇宙物理は基研の湯川・武谷・早川3人の提案で長期研究会のプロジェクトから始まった。そこに参加した若手の林忠四郎は、宇宙物理の先導者となった。生物物理学に関しては寺本英が生物物理学に飛び込んでいる。このどちらにも湯川が先進的に指導力を発揮した。素粒子から生物学へ転身した福留助手が基研にいた頃、そこでウサギを買うことを許可したという逸話もある。一方、歴史を振り返ると、ほかにも世界には、スケールの大きな物理学者は存在していたようである。ちなみに、社会物理学という概念は、1835年に、ケトレによって提唱された。ケトレといえば、統計学の大御所であるが「社会物理学」という著書がある²²。

基礎となる経常研究費がどんどん少なくなり、競争的資金を獲得しないと、日常研究さえままならない現実の中で、目の前の短期的な研究成果と、研究費申請書類の山をこなす

²² 残念ながらこの本を見つけることはできないので、どなたか見つけることができれば教えてほしい。)

のにあくせくと時間を使わねばならない現実の中で、異分野挑戦が可能なのだろうか。確かに、今「異分野交流」に対して奨励する動きもあり大プロジェクトも動いてはいる。だが、単に異分野の科学者を集めるだけでは、中身がない。今の科学者は忙しすぎる。基研では、湯川所長が、いつもサロンにやってきて、「今どんなことしている？」と声をかけ、一緒に面白がっていたという。そんな中から、基研の研究会の構想も出てきていたのだ。湯川精神が生き続けていくのを切に願っている。

5 経済物理学、気候変動

経済物理への挑戦は、ひよんなことから始まった。きっかけは、文系に分かるテキストを作りたいということから始まった。愛知大学で、微積分を知らない文系の学生に統計を教えるために、教科書を作ろうと呼びかけ、経営学部の教員に加えて非常勤講師の物理屋、谷口正明さんも加わってもらい、「統計グループ」を結成した。結構自信作だったがし、教科書にしないかというお誘いもあったが、教科書にすると高価になるので、生協に頼んで印刷して自主出版で毎年改良を加えてきた。学生たちに評判がよく、統計の勉強を勉強した学生たちは、統計はやさしい教科だと思っていたようだ。300人程度の統計基礎クラスで半分は90点以上とるので評点を5にしたら、教務課は「試験がやさしすぎるのでは」といつてきた。ほんとにできているのだから仕方ないと頑張ったものだ。学生たちは面白くなったらしく、「先生、みんなで合宿して勉強しましたよ」とまで言ってきた。易しくなんかない、誤差の話からt分布検定、仮設検定など結構なレベルまでわかるようにできているのだと自慢したいところである。

さて、このテキストのイントロでグラフの説明の際、経営の先生がわが国の国民総生産(GDP)と景況指数の年変化のグラフの紹介文を提案した。それを見て私は、「この2つどう関係なの？」と聞いたら、「いやあまり関係があるわけでもありません」という返事だった。谷口さんが、「GDP そのものではなく GDP の年ごとの差、 Δ GDP が景況指数と関係しているような気がする」と言ってグラフを作ってくれた。生産量は景況指数がよければ増産に転じるし、悪ければ抑えられる。しかし、少し時間遅れがありそうだ。それって、交通流と似ているなあ、調べてみようということになった。交通模型と一緒にやった中山さんも参加した。中山さんは、スマートで理解力が深い。頼もしい仲間を見つけてこの仕事は加速した。そして、動的景気変動模型が完成した。今度は、論文の投稿先を物理学会のジャーナル「JPSJ」に決めた²³。「経済現象に保存量があるか」という第2弾の論文も手掛けた。また、気候変動も同じイメージで手掛けたが、こちらはデータがあまりに恣意的で信じられないので断念した。気温は測り方によってどうでもなる。IPCCのリーダーたちが、地球の温度上昇がある筈だというメールのやり取りの中で一部のデータを削除したことが発覚して、ウォーターゲートに倣ってクライメートゲート事件と呼ば

²³ 物理学会の仕事をするようになって、JPSJ の存在を知った。PTP しか知らなかったが、こちらは結構広範囲をカバーしている。

れるデータ偽造で大騒ぎになったりもして、やる気を失った。

そうこうしているうちに、ニュートリノ混合の話がカミオカンデで見つかり、柳田さんが夏の学校で興奮して紹介してくれた。それで、そちらの方に移ってしまった。

6 社会の動きへの挑戦²⁴

湯川先生は、核兵器廃絶に一生をささげられたとよく言われる。プリンストンでのアインシュタインとの出会いの中で、原子エネルギーに関わった科学者として、様々な思いを語られたことだろう。ファシズムの嵐が科学者をもまきこんだ時代、「ドイツ国民に告ぐ」という澄明なドイツの科学者たちのメッセージに対して、アインシュタインの思いは愛国心とは違っていた。ニコライ・アインシュタインの「ヨーロッパ人に告ぐ」の基礎になったのは、「戦争の生物学」²⁵「世界連邦」²⁶構想にもつながっている「人類はみな同胞」という深淵だった。アインシュタインは、世界連邦の夢を湯川夫妻に託された。

アインシュタインも湯川も、この問題は科学の延長線上の問題と捉えていたようである。実際、湯川は核兵器の問題をヒトの進化の問題の一環だといっているし、ビキニ事件に端を発するラッセル・アインシュタイン宣言後組織されたパグウォッシュ会議にも朝永らとともに参加して、核兵器開発競争下の「力の均衡」について論じている。力の均衡は、安定な定常状態だといった議論もされている。だが、最終的には、人間の多体系、社会科学は専門外として社会学者に委ねられたようにも思われる。

気象シミュレーションを最初に試みたりチャードソンは、気象学が戦争の道具に利用されている現状を批判して、気象台長を辞任した。そして、戦争の原因についても統計的な分析を行ったという。社会現象をミクロな立場から扱う試み²⁷もある。しかし、未だに動きを決める原理がよくわからない気がする。交通流の研究に続いて、経済変動を動的な考察から導く「景気変動サイクル」の仕事なども手掛けたりもしたが、経済活動だけでなく幅広い現象に応用して、社会のマクロな集団運動が起こる現象が動的に分析もできる日は来るのだろうか。

そうこうしているうちに、私の人生を変えた事件が起こった。3・11 TEPCO 事故だ。そこで初めて、社会的責任というモチベーションで放射線の生体影響の研究に取り組んだ。すでに10年を経て、生物・医学分野の世界に飛び込んで、今もなお葛藤しながら、徐々に生命とは何かという基本的な問題へと近づいている²⁸。専門分野でしっかり鍛

²⁴ https://scienceportal.jst.go.jp/explore/interview/20090814_01-2/index.html

²⁵ ニコライ著『戦争の生物学』は科学の対象としての戦争の分析。

²⁶ 世界連邦の最初の提唱者は、カント「永遠平和のために」である

²⁷ A Micro-Social Theory である(注)。ここでは、経済的現象を取り扱うのだが、取り扱う量は、goods(生産物：G) Interest(持ち株：R)といった量を金額に換算してそれを解析するのである。

²⁸モチベーションなどは：3・11以後の科学に思うなどに別途紹介している。

え、そこで身に着けた基礎力と企画力で、国際的な場でのコミュニケーションの基礎を固めて研究を進める大切さを感じている。まだ、この分野では一定の評価を得るところまではいっていない。年をとっても、いろいろな分野に挑戦してみて、新たな学問の新しい息吹を持ち込みたいもの、この冒険はまたいつかお話しできるか、あるいはそのままあの世にもっていくか、どうなるかなあ、と思いつつ、自分を励ますこのごろである。(完)

謝辞

いつもの癖で殴り書きの中、点検も十分せずに提出したこの原稿を、丁寧に点検していただいた浜中さんをはじめ、編集委員の皆様にはすっかりご迷惑をかけてしまった。浜中さんには、ずいぶんど苦労を掛けてしまった。心から感謝している。何とか、最後まで行きついたが、肝心の放射線の生体影響を始めた冒険話は、進行中のことでもあり、ここでは、省略した。