

## 物理の道しるべ 第11回

# 野蛮人が物理学者になるの記

清水 明

私のような者がこのコーナーに登場するのは気が引けるが、大企業でない会社に勤めた後で、大学で純粋物理をやるようになった人はそんなに多くはないので、読者の参考になる部分もあるかと思ひ、お引き受けした。

また、物理学者の友人達を見ると、自分が研究したいことを、大学の初年時から決めていた人もいるし、遅い人でも、大学院の頃には決めて、基本的にはその延長線上の研究をライフワークにしている人が多い。しかし私は、自分が興味を持てる事が何なのか、自分でもなかなかわからなかった。その点でも私は少数派なので、若い読者の参考（反面教師と言うべきか？）になることがあるかもしれない。

### 1. 工作が大好きでした

小学校の頃、私は動くプラモデルを作るのが大好きだった。今は、プラモデルというと、観賞用が主流になってしまって私にはつまらないのだが、当時は、様々な動きを実現する巧妙な仕組みのプラモデルがたくさんあり、私はそれらに夢中になった。中でも、今井科学のロボットプラモデル「ビッグサンダー」が最高傑作だったと思う。誰か復刻してくれないだろうか…。

プラモデルが完成すると、遊び倒すので1週間ぐらいいで壊れてしまうのだが、捨てるときは、ギアボックスなどの部品を抜き取ってしまっておい

た。だから、押し入れの中には、そういう部品の在庫(?)がいつも大量にあった。私はときどき、それらのガラクタを組み合わせ、様々な機械を作って遊んだ。たとえば、自分の部屋のカーテンを電動にしたり、階段沿いに小さなケーブルカーのような運搬機を敷設してお菓子などが運べるようにしたり、という具合だった。厚手の画用紙とかバルサ材とか滑車を買ってきていろんなものを創作して遊ぶこともよくやった。

電気回路にも興味を持ち、「エレキット」という名の、様々な電子回路を組める玩具で遊んだ。これは、電子部品が板の上に配置してあり、自由に配線が変えられるという玩具で、後に復刻された「電子ブロック」よりも、私はこちらの方が優れていたと思う。電子ブロックでは、配線だけでなく、それをブロックとして組み上げることにも注意を払わねばならないのに対し、エレキットはバネにコードを挟むだけで任意の配線が可能になっていたからだ。エレキットも、是非とも復刻して欲しい商品のひとつである。

中学生の頃は、友人達と（ときには一人で）ロケット遊びもした。市販のロケット花火を大小様々買ってきて、それらを適当に加工して組み合わせて多段ロケットに仕立て上げ、打ち上げるのである。ロケットの最終段には、虫や小さな蛙を「宇宙飛行士」として搭乗させたりした（虫や蛙さん、ごめんなさい）。2段ロケットぐらいまではわりとうまく行くのだが、3段ロケットになると、とき

どき最終段が真下に向かって発射されるなど、今思えばかなり危険な遊びだった。そもそも花火を加工するなど言語道断、たいへん危険なので、読者は決して真似をしないでいただきたい。

しかし、これは本当にワクワクする遊びだった。それなのに読者に勧めるわけにはいかないのが、辛いところである。こういうことをやってしまうのが、まさに科学者の卵なのではないかと思う。それを社会的(?)制約から禁止せざるを得ないご時世では、科学者の卵はなかなか育たない。

他にも、友人達と、フォークギターで弾き語りをしたり、サッカーをしたり、見よう見まねで器械体操をしたりと、遊びのネタには事欠かなかった。ただ、誰も指導者がいないところで鉄棒の大車輪をやったりしていたので、ある日手が滑って、(安全のために設けられた)砂場の外まですっとなでいき、固い地面に背中を強打した。落ちる角度が少し違っていたら、今頃こんな文章を書いてはいられなかっただろう。だから、読者は決して真似をしないでいただきたい(と書かざるをえないのが辛いところである)。

## 2. 野蛮人と文化人

子供の頃に玩具を自作して遊んだか、本を読んで過ごしたかで、科学者になってからの基本的な考え方で大きく変わるように思う。ここでは、前者を「野蛮人」と呼び、後者を「文化人」と呼ぼう。筆者は、野蛮人の物理学者である。

野蛮人と文化人とで、物理の見方がどう違うか?たとえば、生物物理でよく耳にする「生物は機械のように堅い仕組みで動くのか?」という論争は、野蛮人には無意味に思える(生物物理の先生方、ごめんなさい)。私が自作した玩具もロケットも、そこら中がゆるゆるの、いい加減なものである。それでもほぼ期待通りに動く。どの程度の「ゆるゆる」まで許されるかは、動きに要求される精度で決まるのであり、機械ならば最低でもこれくらい堅いなどという普遍的な堅さがあるわけではない。また、たとえ精密な工業製品でも、機械には

いわゆる「あそび」が必須である。機械が堅いモノだというのは、本の中にしかない幻想なのだ。

そういうことは、野蛮人には当たり前すぎて、文化人が何を問題にしているのか理解しがたい。小学校や中学校のとき、理科のテストで、電池や電球やモーターが登場する問題があると、プラモデルの残骸で動く玩具を作って遊んでいた私には、問題文を読むのと並行して答えがわかってしまうので、むしろ何を問われているのか理解できなかった。そのときと似た感触を覚える。

## 3. 田舎の学校

上記のようなことにばかり興味があったので、小学校のときは、宿題すらまったくやらないような子供だった。忘れ物も多かった。教科書もよくなかった。他にもそういう子供がたくさんいたので、通知表はごく普通の成績だったように思う。ただ、中学生になったらなぜか、授業はちゃんと聴こうと決意した。田舎(長野県長野市の端)のことなので、授業をまじめに聴いている学生なんて多くはなかったから、それだけでも成績が上位になった。それで、田舎では進学校とされている高校に合格できた。なお、中学生のときに興味を持った、定番の(?)相対論ネタは、別所<sup>\*1</sup>に書いた。

高校では、宿題の量が多すぎたので、講義だけ聴いて乗り切ろうとした。しかしそれは通用せず、1年生の終わり頃にはビリに近いところまで成績が落ちた。そこで、2年生からは、人並みに参考書などを買い勉強するようになった。といっても、放課後のクラブ活動(空手部)が終わって、さらに1時間かけて電車で帰宅してから勉強するわけだから、たかが知れている(睡眠はしっかり8時間とった)。それでも田舎では十分で、成績が上位になった。それで、小学生の頃から科学や科学者に興味があった私は、東京大学に進学することにした。

だから、3年生になったら、生まれて初めて受

\*1) 清水明, 科学 75 (2005) No.3, 334.

験勉強をした。夏休みには、東京の大手予備校の夏期講習も受講した（でも、なぜか、総武線沿いの駅前でパチンコをしていた記憶もある…父上母上ごめんなさい）。なお、東京の人たちには、「なんで真夏に信州からこのくそ暑い東京に出てくるんだ？」と笑われたが、実は真夏の善光寺平は江戸よりも最高気温が高く、それゆえに美味しい桃が採れるのである。

過去の入試問題を解いてみると、京都大学の入試の数学の問題が、力づくで解くようなものでなくアイデア次第で簡単かつ綺麗に解けるようになってるのが気に入って、「自分は京大向きなのは？」と思いはじめ、一度は京都大学に行こうと決心した。ところが、仲の良い友人が東大の方が良いと固く信じていて、さかんに東大を薦めてきた。田舎者ゆえに、私はそれを鵜呑みにして東大に進学したのだった。いい加減なものである。もちろん、自分にとって京大に行った方がよかったのかどうかは永遠の謎であるが、次節に述べるようなことを考えると、その方がよかったかもしれないと思うこともある。

なお、心配したとおり、入試の数学では、変な立体の体積を力づくで計算するという、京大ではありえない問題が出て、数学の結果は綺麗な数になるはずだと信じていた私は、その問題が解けなかったことを告白しておく。（正解は汚らしい数だった。そんなもん解けるか！）

#### 4. 物理学科へ

東京大学の学生は、学部的前半（1・2年生の間）は駒場の教養学部にも所属し、2年生の秋頃に、どの学科に「進学」するかを決めるようになっている。私はその2年生の秋に、どこに進学するか、大いに迷った。物理学だけでなく、応用物理学も、電子工学も、ロケット工学も興味があったからだ。たしか、物理学科ではない学科を書いた志望届を提出しようと教務課に向かう途中で級友に会い、「え！嘘だろ、おまえは物理学科だろ？」と言われ（当時は物理学科の人気が高かった）、やっぱり自

分は物理学科なのかなと思いついて物理学科に進学したのだった。いい加減なものである。

物理学科の講義は、はっきり言って期待はずれだった。講義の準備をほとんどしてこない先生も少なくなかったし、講義内容そのものも、上質なものは数えるほどしかなかったからだ。それに何よりも、私が一番好きなのは、基礎的・原理的な問題である（と後年わかった）のに、当時の東大理学部物理学科は、そういう研究はしてはいけないし、考えてもいけない、という雰囲気が満ちあふれていたからだ。

たとえば、量子測定理論やベルの不等式について全く無知な「偉い先生」が、そういうものがかいかにくだらないかを講義で力説していた。何も知らないのに批判するというのは、今思えばお粗末きわまりないことなのだが、学生時代は影響されてしまった。統計力学の基礎的問題も考えてはいけないと、別の偉い先生が講義で言っていた。また、今の学生さんには信じられないと思うが、量子論を重力を含むように拡張する研究も、当時の東大理学部物理学科では誰もやってはおらず、御法度ようなものだったのだ。

このように、雰囲気や講義には失望したのだが、嬉しかったのは、級友達がすこぶる優秀だったことである。級友達から学んだことは実に多かった。

そんなわけで、自分が興味を持てる研究分野を見つけることができないまま、私は4年生になった。愚かにも、東大物理学科だけを見て、物理とはこんなものだと思ってしまったのである（馬鹿でごめんなさい）。就職活動もしたが、ある電機系の超大企業を友人と訪問したら、人事部の人に「物理の学部卒なんて、たとえ応用物理でもいらない」と言われる有様だった。ショックだった。

それで（デモシカですみません）、修士課程ぐらいいは出ないといけないと思い、大学院に進学した。もとより、やりたいことが決まっているわけでもなかったのですが、固体物理の講義で、私の質問をととても喜んで下さった、植村泰忠先生の、物性理論の研究室に行くことにした。

ちなみに、その質問のやりとりというのは、熱

伝導のところ、「先生の説明だと、熱が流れたら電流も流れてしまいませんか？」と私が訝しんで質問したら「それこそゼーベック効果です」と、とても嬉しそうに答えてくださったのだ。後で、非平衡統計力学を学んだときに、このように異なる種類の非平衡流が「クロスする」ことが一般に起こることを不思議なことだと習ったが、野蛮人には、上記のようにただちに直感できる自明なことに感じられた\*2)。

植村研究室を選んだのは、上述の質問のやりとりだけではなく、修士課程を出て就職するつもりだったので物性にした、という面もあった(植村先生、申し訳ありません)。しかしながら、修士2年生のときに、就職しようとしたら、植村先生が「清水さんは博士課程に進んだ方がいいですよ」と強く仰り、それで翻意して博士課程に進学した(またまたいい加減ですみません)。

植村先生は、まさしく本物の学者で、とても尊敬できる方だった。一緒に研究室活動をしていた上村洸先生を始め、植村・上村研究室のメンバーも皆紳士的な方々で、その点ではとてもよかったと思っている。

しかしながら、もともと当時の東大物理学科の研究の中に自分の興味がある分野を見いだせなかった私にとっては、研究に身が入らない状況が続いた。それでも、層状物質の超伝導やランダム系を研究した。そして、博士論文のテーマとして、当時の自分が想定しうる範囲内では一番面白いと思った、今風に言えば強相関3次元ランダム系(当時は、そんなもの全く流行ってはいなかったが)を実空間繰り込みで調べるといテーマをひねり出し、なんとか博士号を取得できた。幸いこの仕事は、当時の指導教官の上村先生(植村先生は私がD1のときに定年退官された)も、当時助手だった青木秀夫さんも、植村先生も褒めてくださり、一

応、物理の大学院を出ただけのことはしたと、一安心した。こうして、学部と合わせて9年間も過ごした東京大学と、いったんお別れした。

## 5. 民間企業へ

物理の研究に対する情熱を十分にはもつに至らなかった私は、D3の初夏ぐらいまでには、キヤノン(株)への就職を決めていた。純粋物理ではないが、私が興味を持てるような何か基礎的な研究ができるのではないかと期待してのことだ。

実を言うと、上村先生は、大企業の基礎研究所への就職を勧めてくださっていた。伝統ある大企業で物性理論の研究を続けられるという、破格のお話だった。かたやキヤノンはというと、今でこそ日本を代表する大企業になったが、当時は、年間売上高が5千億円程度の中堅企業に過ぎなかった(ちなみに、今年の売上高は4兆円に達する)。だから「目指せ一兆円企業」という目標が掲げられていたが、社員の多くは懐疑的だった。私が配属された中央研究所も、事務関係の人を合わせても300人程度という、こじんまりとしたものだった。博士号を持っている人も少なかった。

それなのに、なぜキヤノンを選んだか?その理由は3つある。ひとつは、キヤノンは規模が小さいにもかかわらず、米国特許の取得件数で1~3位(年によって変動)にランクされていたこと。しかも、特許料の収支が黒字(特許を買うよりも売る方が多い)というのも、当時の日本の有名大企業ではあり得ないことだった(今は、どうなんだろう?)。ふたつめは、成長が止まった老木(=伝統ある大企業)を維持するよりも、若木を育てる仕事の方がやりがいがあると思ったこと。みつめは、不遜な言い方だが、大企業には研究の知識も経験もある管理職がたくさんいて、私の研究をコントロールしようとするのではないかと怖れたこと。キヤノンであれば、製品開発のエキスパートはいても、研究に関しては知識も経験も浅い管理職しかいないはずだから、そういう心配はないだろう。これらの3点は、自分のアイデアを大切

\*2) 大学院生以上への注: 相反定理には(a)異なる成分がクロスする、(b)輸送係数の異なる成分の値が一致する、という2つの側面がある。後者は、異なる種類の非平衡流を考えるまでもなく、ひとつの非平衡流の輸送係数の異なるテンソル成分についても不思議なことである。一方(a)は、上述のように、さほど不思議ではないのだ。

にしたい私には大きなポイントだったのだ。

私がおのように短絡的に考えているのをごらんになって、上村先生はとても心配してくださった。それでなんと、とてもお忙しいのに、わざわざキヤノン中央研究所まで出向いてくださり、所長（後に社長になったあと急逝された御手洗肇氏）と、私が所属する予定の部の部長に面談をしてくださった。それで、面談が終わった帰り道に、私に「あの所長さんなら大丈夫だ」と言ってくださった。上村先生は、そういう暖かいお人柄の、頼りがいのある方である。私がキヤノンに入社してまもなく、ある大学の助手に誘っていただいて迷いが生じたとき、上村先生にご相談したら「ここではこういう仕事をしましたと胸を張れる仕事を成し遂げるまでは、勤め先は変わってはいけない」と仰り、目が覚めたこともある。このお言葉は、研究者を目指す全ての若者に、上村先生にかわって贈りたい。

入社してみると、（今はどうか知らないが）キヤノンは楽しい会社だった。もちろん、どんな組織でも嫌な面は少なからずあるのだが、私が嬉しかったのは、（今はどうか知らないが）明るく前向きな雰囲気である。「明るい」というのは、納涼祭の写真を見ていただければ一目瞭然だろう。

「前向き」というのは、たとえば研究テーマが採択されるかどうかの判断材料は、本人がどれくらい熱心かが大きなウェイトを占めていたのだ。これは技術的な判断ができる上司が少なかったということもある。しかし、もしも知識と経験がある上司達がよってたかって技術的な判断をしたとすると、どの企業も似たような研究テーマをやることになりがちだ（これは、大企業の研究テーマが金太郎飴になっていることを見れば一目瞭然）。だから、本人のやる気に重きを置いた当時のキヤノン中央研究所のやり方は、案外優れたやり方だったのかもしれない。ただ残念なことに、御手洗肇社長が急逝された後、中央研究所は廃所されてしまったそうである。

## 6. 研究テーマ

企業の研究所員の義務として、私は特許も年に何件か書いた。もともと野蛮人はアイデアを出すのが得意なので、特許のアイデア出しは容易だった。もちろん、アイデアが新しいとか工夫が凝らされているということと、そのアイデアで儲かることとはまるで別物なので、私の特許の大部分は、他社とのクロスライセンスのときに「一山いくら」で交換するぐらいの役にしかたない代物だった。ただ、何件かは、後に事業化に向かって動き出した製品の基本特許のひとつになった。先日、その製品化に携わっているキヤノンの友人に、「試作機を1台くれ」と言ったら、「現状では、1台作るのにフェラーリを買うぐらいのコストがかかるから、まだやれない」と言われてしまった（私だって、同じ値段ならフェラーリを買う）。つまり、まだ製造時の歩留まりが悪くてコストが下がらず、発売されていない…ということは、やっぱり無駄な特許だったか（キヤノンの皆さん、ごめんなさい）。

いくら自分のアイデアを大事にしたいと言っても、私は企業の基礎研究というのは初めてなので、入社して何年間かは、上司が設定したテーマを素直に研究した。それで社内の最優秀論文賞をいただいたりと、それなりに成果は出したのだが、何か中途半端なものを感じた。実験家である上司が設定した理論の研究テーマというのは、「実験に便利な理論」であって、理論家にとっての満足度は高くはなかったのである。

そこで私は、自分で研究テーマを提唱することにした。最初に提唱したのは、波長スイッチングレーザーである。これは、非対称な2重量子井戸の中で、電子・正孔と光の非線形な相互作用を巧みに利用して、発振波長を高速にスイッチする、という全く新しい原理を提唱したものである。これは応用物理学会の会場でふと頭に浮かび、野蛮人らしく、その非線形な動作が一瞬にして予測できてしまったものだ。会社に戻ってからこのレーザーを記述する非線形方程式系も作ったが、その解は直感どおりだった。そこで若い優秀な実験家



図1 筆者が入社した年の、キヤノン中央研究所の納涼祭のひとつ。漏斗を使ってビールの早のみ競争をしている（よい子は真似をしないように）。前列左端が筆者。この頃は、大企業でなかったためか、若い社員が好き放題にやっていて、楽しい会社だった。

が実験してくれることになり、見事に予想通りの動作をした。また、上記の方程式系が、動特性までも正しく記述していることが分かった。野蛮人の本領発揮である。ただ、原理が新しいこととそれが使われるかどうかは全く別なので、このレーザーは欧米の研究機関ではそれなりに注目されているものの、製品には使われていない。

次に、低次元系の非線形光学応答の研究を始めた。普通は、教科書に載っている非線形応答係数の計算公式は認めてしまって、それを具体的なモデルで計算するところから始めるのだろうが、私は原理的なところを理解しないと気が済まない質なので、非線形非平衡統計力学の勉強から始めた。そして、教科書に載っている公式が、限られた状況でしか成り立たないことがわかり、愕然とした。そこで、とりあえず、その限られた状況での低次元系の非線形光学応答を調べることにした。そうして得られた予測も、若い優秀な実験家が実験してくれることになり、ほぼ予想通りの結果が得られた。ただし、定量的には、広いエネルギー範囲の寄与を計算することの困難から、十分には解明できない点も残った。

## 7. 興味がある研究対象の発見

さて、こうして光の物理学をやるようになったら、光の量子性が主役を演じるような物理に興味が出てきた。そして、光は電子系などに比べて高い量子コヒーレンスを保つことができるので、そういう物理では、量子測定理論をきちんと使わないと、実験と矛盾する結果になってしまうことを学んだ。学部生のときに「量子測定理論なんてくだらない」と習ったのに、実際には正反対で、精度が高い実験の結果は、量子測定理論なくしては理解不可能だったのだ！

そのことを骨の髄まで味わったのは、実際にこの方向の研究を始めてからだった。ある日私は、野蛮人の直感で、メゾスコピック電子干渉計をうまく構成すれば、光子数の量子非破壊測定ができそうだと思うついた。ところが、それを理論計算で実証しようとして愕然とした。どうやって計算して良いのか私にはさっぱり分からなかったのだ。しかし、全ての物理系が量子論で記述できるのであれば、測定器だって物理系だから、測定の反作用や測定誤差も、原理的には量子論で計算できな

いとおかしい。それなのにどうやって計算しているかわからないというのは、私の量子論の理解に大きな穴があったということの意味する。

私はそれまで、まわりの物理学者と比べて、量子論の理解において自分が劣っていると感じたことは一度もなかったのに、「おまえは実はわかっていない」という事実を初めて突きつけられたのだ！それまでの私は、「普通の」物理の問題（ハバードモデルとか超伝導とか電気伝導とか励起子）しか扱ってこなかったのだから、その事実気づかなかっただけだったのだ。そこで、量子測定理論を含めて、量子論を一から勉強し直した。後に量子論の教科書を書いたときに、（拙著「新版 量子論の基礎」7.4節などに）量子論の根本原理に関して様々な立場を俯瞰して書くことができたのは、このときの修練が役立っている。

こうして量子論の理解が深まったので、それまでに積み上げた様々な知識や計算技術と合わせて、私が考案した量子非破壊測定器の、測定の反作用や測定誤差を計算し尽くすことができた。またこの測定過程が、それまでに言われていた量子非破壊測定<sup>\*3)</sup>の条件を満たしていないにもかかわらず量子非破壊測定<sup>\*3)</sup>になっているという、量子測定理論としても新しい側面を持っていることも分かった。「世界広しといえども、このような測定器を考案し、全てを計算しつくすことができるのは、自分だけだろう」という密かな誇りと自信も持つことが出来た。

この測定器も、若い優秀な実験者が実験を初めてくださり、見事に干渉計を作るところまでいったが、光を当てる実験を行う前に、私がキヤノンをやめてしまい、実験は中断してしまった。

さて、この測定器の測定誤差の物理的な由来はなんだろうと分析してみると、非平衡状態における、量子干渉電流の揺らぎであることが分かった。そしてそれが、この測定器に限らない、一般の量子干渉デバイスの原理的な性能限界を決めることに気づいた。ちょうど熱力学が熱機関の原理的な性

能限界を決めるように、量子論が量子干渉デバイスの普遍的な性能限界を決めるのだ。そしてこれは、非平衡状態における揺らぎが関与するので<sup>\*4)</sup>、非平衡統計力学の基本的問題にも関わっていた。

この、応用から基礎物理学の広い範囲にわたる壮大な繋がりが見えたとき、私はようやく、自分が興味を持てる研究対象を発見したと感じた。私が興味があるのは、物理学のどの分野なのかとか、純粋物理のテーマなのか応用物理かというような、社会的な(?) ことを一切無視して、原理的・基礎的なことを研究することにあつたのだ。それがわかるまでに、ずいぶんと遠回りをしたものである（馬鹿ですみません）。

## 8. 大学へ

こうして自分が興味を持てる研究対象を発見してしまつたら、民間企業は居づらくなつてきた。（本当はそんなに単純な話ではないのだが、もはや与えられた紙数を超過してしまつたので、ぼつさり省略させていただく。）

そうして悩んでいた頃、東京大学の榊裕之先生から、先生が研究代表者を務めておられた、新技術事業団の榊量子波プロジェクトのグループリーダーをやってくれないか、というお話が来た。私は快諾し、プロジェクトに出向した。このプロジェクトにいた頃は、私は本当に研究に集中でき、研究者としては一番幸せな時期だったと思う。

しかし、時限プロジェクトなので、ずっと居るわけにはいかない。そこで、1年ぐらい経つた頃榊先生に相談し、大学のポストに応募を始めた。そして幸いにして、最初に応募した現所属に拾っていただけなのであつた。

尻切れトンボで申し訳ないが、この前後やその後の話は、また別の機会にしたいと思う。

（しみず・あきら、東京大学大学院総合文化研究科）

\*3) 量子非破壊測定<sup>3)</sup>の定義は人によって微妙に異なるが、ここでは、保存量の第1種測定のこと。

\*4) デバイスは非平衡状態で動作するので、平衡状態におけるゆらぎ（熱雑音）ではなく、非平衡状態における揺らぎが重要なのだ。