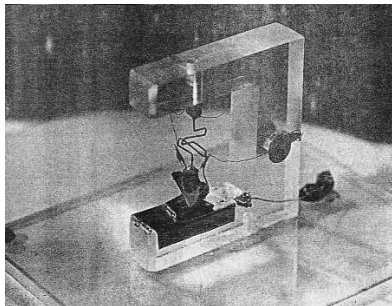


## 半導体研究 思い出の人びと キーパーソンが残した教訓



菊池 誠（東海大学名誉客員教授）

マレーヒルの上のベル研究所で、トランジスタが発明されたのは1947年12月23日。それから60年が経過しているのだが、その黎明期から、私が久しく付き合ってきた優れた欧米の研究者たちの人間像、本当の能力について、感動したいくつかの記憶をエピソードとしてご紹介したい。



ショックレーの家で見つけたトランジスタの  
最初の実験に使われた装置のレプリカ

### トランジスタ誕生のカルチャーショック

1947年当時の状況の理解を促すために、最初に私自身の経験について触れてみよう。

トランジスタの話が日本に入ってきたころ、私たちの研究室は、商工省の電気試験所であった。その後、商工省が通産省になり、電子総合研究所になり、今は産業技術総合研究所となっている。当時の私のボスは、鳩山道夫さんで鳩山一郎さんの甥にあたる。トランジスタについて知ったのは、鳩山さんの口を通じてである。

ある朝「おい、君、こんな話を信用できるかい。アメリカで結晶に針を2本立てて、一方の針から電気信号を入れたら向こうの針に増幅されて出てくるってさ。こんなことを、君、信用する？」と鳩山さんは私に言い「いや、そんなのは絶対にうそだ」と私は答えた。しかし10分もたたないうちに鳩山さんのところに行き「さっきあんなことを言ったけれど、本当を言うと僕は実験をやってみようといひんです」と伝えたことから、実験をしてみようということになった。今のように絶縁材料のいいものはないため、ベークライトを絶縁材

料に使用。ゲルマニウムの代用としては、鳩山さんが調達してきた多結晶の、それはひどいポーラスなごそごそのシリコンを使って、タングステンの針を用いたり、いろいろ工夫しながら実験を開始した。

私が大学を出た年にトランジスタの発表があったことから、私は半導体技術の発展とともに生きる幸運に恵まれたわけで、若いとき「おまえは何に一番強烈に感動を受けたか」と聞かれれば即座にこの経験の話した。技術のカルチャーショックだった。つまり全く新しい時代に入ろうとしていることを痛感する現象を毎日経験したわけだ。例えば、今日、物質の純度は「9」の字を九つか十並べた純度まで上げるのは半導体では当たり前のことである。しかし、日本のわれわれはそういう素養を全く持っていなかった。日本だけではなく、アメリカでも、この領域を切り開いた人以外はそういうカルチャーのバックを持っていなかった。つまり半導体が学問と技術にレボリューションを起こしたということが、骨身に滲みる経験を積んでいるのである。

### 「スピリチュアルファーザー」 マービン・ケリー

最初はマービン・ケリーについて話をしたい。マービン・ケリーのことをアメリカでも「スピリチュアルファーザー」という名前で呼んでいる。トランジスタのスピリチュアルファーザー。つまりケリーは自分で研究したのではないが、ケリーがいなければトランジスタはできなかった。よくも悪くも強烈な個性の持ち主であったといえるだろう。

ケリーは、1935年ごろにベル研究所で電子管研究部長をやっていた。当時、彼は「わが研究所はアメリカ社会のために何をなすべきか」と自問自答し「それはアメリカ全土を覆うクオリティーの高い電話ネットワークである」と即答している。当時はまだ電話ネットワークの程度が非常に低かった。

ケリーはアメリカ全土に2人の人がどこにしようともまるで面と向かっているような会話が交わせるシ

ステムをアメリカ全土に作らなければならない。これは明白であると主張していた。また、その実現のためには「真空管ではだめだ」と電子管研究部長の身でありながら明言している。ケリーは、自分の扱っている電子管部を踏みつぶしてしまわなければ、アメリカの将来はないと答えを出していたわけである。それでは、真空管に代わるものをだれかに作らせなければいけない。彼は物理学に対して非常に強い、英語で「ビリーブ・イン」という言葉があるが、学問に対して信頼感を持っている。次にやるべきことは「それは俺にはできない。俺はマネジャーである。しからば優れた人を捕まえてこななければいけない」と、ショックレーのスカウトへと進んでいく。

ケリーのノートには「固体物理学がそこで重要な役割を果たす。その研究が鍵である」とはっきり書かれてあり「真空管はやがてなくなって、装置は小型になるだろう」とも明示されている。ケリーはケンタッキー大学にいた時にミリカンの油滴実験を手伝っている。この経験がケリー自身に物理学に対し強い肩入れをさせた。ケリーは何度も「物理学をもっと興味を持って追究しなければだめだ」と繰り返した。ショックレーを連れてきた時も、ジョン・バーディーンが来た時もそのことを言っている。若い時に感動を持つことがいかに大きなことを考えさせられる事例だ。

トランジスタの生みの親の1人、ブラッテンも、デビッソン・ガーマーの実験、電子が波動であるという基本実験を手伝っている。若いときの震えるような経験、本当に骨身に滲みる感動を学問に対して持つということは、言葉で教えることのできない推進力を与えることになり得るのだ。

ケリーは、自身の思想をはっきり書き残している。これはバーディーンも引用していたことがある。「物質について本当によくわかるには、その中の電子の振る舞いを正確につかまなければいけない。結晶の中の電子のからくりを間違いなく我々に解らせてくれるのはクワンタムメカニクス（量子力学）である。これをお題目ではなくて貫いてきたのがケリーなのだ。

### ショックレーとの議論

そして、ケリーがスカウトしたのがショックレーである。私はショックレーとは1960年から彼が亡くなるまで交流があった。ショックレーは晩年、彼の信ずるもののために名声を落としたが、頑固さの根底に彼の基本的な性格があるとも言える。

ケリーが、MITにショックレーをスカウトに行ったのは1935年。ショックレーの担当教授はジョン・クラーク・スレイターで、化学物理の大家だった。兄弟子にはフレデリック・サイツがいるが、サイツはアメリカ物理学会の会長を長く務めた物理学の大家だ。サイツはショックレーの能力に感動するが、著作の中では時々閉口させられるショックレーを問題児として扱っている。そういう関係のところ、ケリーはスレイターに相談を持ちかけ、ショックレーを口説いてベル研究所に引っ張ったわけである。

私がショックレーに会い、最初にびっくりしたのは、普通の挨拶をしないことだった。ショックレーは行くと必ず「飯と一緒に食うから、電話しろ」と言う。カリフォルニアに行くと、約束なのでまずショックレーに電話をする。すると決まって「おまえの脳は今日、正常に動いているか」と聞く。私が「ちゃんと動いている」と言うと、「じゃ、一緒に飯を食って議論しよう」というのが、ショックレーの挨拶のパターンであった。

また、彼が変わっているという面白い事例がある。例えば彼は泳ぐのが好きで、泳いで耳に水が入ると、普通はスポイトで水を吸い取ろうとする。ところが彼はスポイトに入っている液体を逆に入れる。その液体はアルコール。耳に水が入ったら、耳にアルコールを入れ、アルコールの蒸発する力と一緒に水を蒸発させようというわけだ。そういうことをずっと続けて平気で、それが当たり前。彼が「変わっている」と言われるのは、彼がでらっているのではなく、自分がいいと思うことをただ実行しているだけなのである。

彼はきつい男であり、しばしば人を試そうとする。彼はいつも自分が研究した色々な文献を私に送ってくる。会って席に着いた途端に「ところで、この間家から送ったのは読んだ？」。僕が「読んだ」と答えると、「では時間を3分あげるから、この間送った分の内容を要約して、それについての意見をテープに3分に入れる」と。そういうことがしょっちゅうあった。かのロバート・ノイスもショックレーにメンタルテストを随分やられていたようである。

そういうショックレーであるが、私は彼からスキムしようとしたこともある。1963年に来日時に、NHKテレビで彼と対談番組があった。私はディレクターに「終わりの5分を自由に使いたい」と申し出て、受理されていた。

私が何をやりたかったかという、ショックレーを公衆の面前でいきなり感わしてみたかったのであ

る。このとき彼は「トランジスタを生むまでの苦勞、人間がクリエイティブな仕事をするということがいかに難しいか。それはものを考えるということをよく考えておかないと解明できない」という話をした。そして最後の5分に入って、私は用意していた2つの質問をした。一つは「アメリカってもっとスマートな国かと思ったら、随分つまらないこともやっていると私は感じた。チップをあげるというカスタムは僕たちにとっては誠に不愉快である。何であんなつまらないカスタムをアメリカという近代国家がいつまでもやるんだろう」と。これはやや効いたらしくてショックレーが「うーん」という顔をしていた。そのとき彼が言った言葉は今でもそのまま覚えている。「それはカスタムである」「ワンス・イット・イズ・セット、イット・イズ・ベリー・マッチ・セット」という表現であった。

もう一つ「あなた方の国は『イエス』と『ノー』で合理的な国だと思っていた。ところが科学論文にメトリックシステムがあるかと思うと、僕たち半導体の資料の厚さを『ミル』で書いてある。『ミル』はインチシステムです。メトリックシステムとインチシステムがごっちゃになっているということは、私たち科学者にとってアメリカをあまり尊敬できない一つの要因である」。刺激するためにわざわざそう言った。すると、彼はすぐ返り討ちをした。「ちょっと聞くけど、俺の研究所から出た論文の一つでもそういうのがあるか」。実にはないのである。「ショックレートランジスタ」から出た有名な科学者も沢山いるが、その人たちの論文は「ミル」は全然使っていない。私がうっかりしていた。

1本取って1本取られた形になったのだが、彼は論理で切り崩そうとする限りは動じない男である。そ



NHKテレビスタジオでの対談

れから頭の回転がすごく速い。それは、議論すると速射砲のように喋ることでわかる。その時、時計を見ると、まだ1分あった。すると彼が攻めてきた。「じゃ、君に一つ聞きたいけど、日本語というシステムの上に、欧米でできて欧米で育った科学技術がうまく乗っかると思うか」と。これは僕の胸の中にずっと続いている問いかけだ。私もこれは大問題だと思っている。現在のことをいえば、インドが今立ち上がろうとしている。この間もMITの教授と議論したが、インド人がどうしてソフトウェアにこんなに強いのか。彼は「言語の問題である」という意見であった。そのように、ショックレーという男はまれに見る鬼才だったのである。

### ショックレーとトランジスタ

もう一つショックレーのことを話す。ショックレーは多くの仕事をしているが、一つは何といってもジャンクショントランジスタである。

ポイント・コンタクト・トランジスタが見つかった途端、1948年6月の公開までの6カ月間外に一切言うなどベル研究所では雇を全部閉めた。公式発表までに特許書類を全部済ませたわけだ。特許の担当と一緒に、ショックレー、バーディーン、ブラッテンを含めてトランジスタの特許の整理をしようとした。当然その時に見つかったポイント・コンタクト・トランジスタはだれも見つけた人がいないので、用意すべき文書がたくさんできるわけだ。

しかし、その時、ショックレーは蚊帳の外に置かれた。彼が寄与をした重要な一つのポイントとして、フィールドエフェクトトランジスタを頭に描いていた。彼は有名な薄膜の実験をやっている。薄膜に縦方向に電場を掛けて、膜に沿っての電流が変化すると思ったら、電流が全然変化しなかった。それをいじるうちにトランジスタ現象を見つける道筋に入ってしまった。偶然が作用したわけである。ところがフィールドエフェクトトランジスタを、特許部は相手にしてくれなかった。ショックレーが問い合わせると、すでに誰かの特許に抵触するとのこと。そこで、ショックレーは蚊帳の外になってしまった。

また、私はある時、レストランで「ジャンクショントランジスタのあのセオリーをあなたはいとも易々と作ったように見える。どうしてああいう洞察力があなたには出てくるんだ」と、彼と議論をしていると、奥さんが「そうじゃないのよ」と言い出した。エミリー夫人が言うには、現象が発見された

1947年12月から翌年1月のほぼ1カ月、夜中に目を覚ますと寝室のベッドにショックレーがいなかったというのだ。別の部屋で電気がついている。彼は何か一生懸命書いていた。

それが後に「ベル・システム・テクニカル・ジャーナル」にフルペーパーで出た。ジャンクショントランジスタのセオリーである。完璧なセオリーができている。彼の洞察力には驚かされる。バンド構造からPN接合から全部あって、「針を立てることはトランジスタにとって本質的なことではない。本当のトランジスタは結晶の中にできる。それをやるには、真ん中のレーヤと外側の二つのレーヤが、電気伝導の性質が違わなければいけない。真ん中のレーヤは約40ミクロンの厚さでなければいけない」、これが彼の処方箋だ。

この処方箋は当時のプロセス技術が足りないからすぐには実現できなかった。GEのロバート・ホールたちのグループが一番先にやったと思うが、初めて本当に結晶だけの、つまり針を立てないジャンクショントランジスタを実験で証明したのは、それから1年半ちょっとたってからである。

できてみたらショックレーが言ったとおりなのである。「たなごころを指す」という言葉があるが、本当に驚かされる。あの寄与はものすごく大きい。ショックレーはそれを評価してもらったことに満足だったようである。

ノーベル賞が3人に出たことを彼は快く思っていなかったようだ。本当のトランジスタを作り出したのは彼のセオリーだからである。ポイント・コンタクト・トランジスタは触媒の役割を果たしたのだ。

私が驚いたのは、この話をしている時、ショックレーが居住まいを直し「俺があんな仕事をやったのはなぜだか解るかい」と私に聞いてきたことだ。私にはその質問の意味がよく解らなかった。ああいう仕事をやるという意味は解るけれど、なぜあんなに夢中になってやったかまでは解らない。私が首をひねっていると、一言「フラストレーション」と答えた。

彼に言わせれば、ケリーに声をかけられてから人生の意義をそこに感じて夢中になって走り出し、ずっとやってきたおかげでトランジスタが生まれしました。「スピリチュアルファザーではないけれど、俺がいたからあそこまで来たんじゃないか。最後になって別のルートで仕事が進んで、ブラッテンとバーディーンばかりに光が当たるのはどういうことなんだ」と心の中が穏やかではなかったのだろう。

そのあとでシャイプの有名な実験がある。トラン

ジスタの現象が見つかった次の年の2月初めに、ベル研究所の中で小さい研究グループの会合があって、ショックレーはその時までその実験をやって、十分増幅するということは実験的にまだ証明されていないけれど、彼のセオリーは正しいということを確認したのである。

彼は「あのセオリーは大したもんだと言うけれども、ちゃんと勉強すれば、おまえだって、あのころの優れた高校生だってできた」という言い方をした。全く新しい概念は特にないと。

しかし、PN接合であるとかインジェクションであるとかバリアーであるとか、そういう概念はそこで全部整理している。こうしてショックレーがジャンクショントランジスタのセオリーを出し、それが実証されて、いよいよトランジスタの歴史に展開していく。こうして作られたのが60年の始まりだったわけだ。

ショックレーとバーディーンは仲が良くはなかったようだ。日本では、みんな一緒にやろうという、仲よしクラブにしようとするが、ベル研究所のあのよき時代というのは、本当に真剣勝負のようで、協力するところはきちんと協力しながら、腹の中で相手全部をいいやつだと思っているわけではない、そういう状況だった。

一例をいうと、まだノーベル賞が出る前、バーディーンは「辞める」と言い出している。当時バーディーンがケリーに書いた手紙を見ると「ショックレーが私の助力を必要とするなら、私は喜んで手助けしたいが、ショックレーに話すと『おまえは要らない』と言っている。だから大学にでも帰ろうと思う」という内容だった。ショックレーにはその時点でセミコンダクター・フィジックスの全貌が、ディテールは見えないけれど、どこをどう攻めるかというストラテジーが頭の中にびしとできていたらしい。それを乱されたくないから、彼は「手助けは要らない」となるのである。

私が、ノーベル賞をもらったハーバート・クロマーと雑談していた時の事だ。クロマーがヘテロジャンクションという話をするので、「おまえはあれの草分けの男だな」と言ったとき、クロマーは「違う。世間ではそういうことを言うけど、草分けはショックレーとポガンスキーだ」と言っていた。アメリカの科学者はだれが最初というのをきちんと言う。そこにもショックレーの名前がちゃんと入るのである。

色々な話がありましたが、半導体の半分隠れたような歴史の一部をエピソードを交えてお話しました。