

ベル研の2大遺産を巡る随想 (1) トランジスタ発明までの経緯と 尽きせぬ教訓

中原 紀 諮問委員



はじめに

AT&Tの研究所としてのベル研(BTL)は今ではLucent Technologyという名前で存続しているが、そのWebページ¹⁾を見るとBTLの遺産(Heritage)としてトランジスタとUNIXが記されている。筆者はかねて今日喧伝されている情報技術(IT)はこのベル研の2大遺産に深く負っていると信じているが、まずトランジスタについて、なぜベル研でトランジスタが発明されたかを詳細に記述した“Crystal Fire”と題する書籍を最近再読して、当協会会員にもあるいはご参考になるのではと考えて、随想を寄稿する次第である。

1. 物理学と化学の世紀、その時代背景

20世紀は物理学と化学の時代といわれて久しいが、特に20世紀前半に見られる物理学の革命はホモサピエンスとしての人類が獲得した知識として有史以来の意義を持っている。それは量子力学という新しい自然観の誕生であり、特筆すべきはトランジスタという言葉に象徴される半導体デバイスは正にこの量子力学の所産ということである。なお半導体デバイスには相対性理論の創始者として有名なアルベルトアインシュタインも深く関わっている²⁾ので、先ずこの話からスタートしよう。アインシュタインは“奇跡の年”1905年に発表した論文の一つで、光電管特性として観測される光の波長と電流の関係を説明するために、光子(フォトン)モデルを提起したことは周知である。アインシュタインのこのモデルはその波及効果という点でも大きな貢献をしている。それはこのアインシュタインの光子モデルに触発されたフランスの貴族ド・ブロイが、「それでは荷電粒子と見なせる電子が波動性を示すのではないかと」という仮説を発表したことである。当時このド・ブロイの提案は学会では完全に黙殺されたといわれるが、何とこの電子の波動性を実証したのがベル研に在籍していた実験物理学者ダビッソンとその協力者ジャーマだったのである。この電子の波動性の仮説とそ

の実証によって、ド・ブロイとダビッソンはノーベル物理学賞を受賞したが、その最大の功績は近代物理学としての量子力学の確立に寄与したことである。ちなみにダビッソンはベル研での最初のノーベル物理学賞受賞者となったのであった。

2. ベル研R&Dディレクタの貢献

最近日本ではMOT(Management of Technology)と称するセミナーが盛んであるが、ベル研のR&Dディレクタとしてトランジスタの発明への途を開いた、Malvin Kelly博士の功績を今日想起するのも意義あることと筆者はかねて考えている。ベル研でのトランジスタの発明に至るまでの経緯については、発明者のウイリアム・ショックレーが1976年にアメリカ建国200年祭に因んでIEEEの電子デバイス関連の雑誌に執筆している³⁾が、1997年トランジスタの発明50周年記念に因んで米国で出版された「Crystal Fire」という単行本⁴⁾は、さらに総合的なトランジスタ発明物語として興味が尽きぬ傑作である。このいずれにもKelly博士の話が登場するが、ここではトランジスタ発明までにKelly博士の果たした役割を紹介しよう。Kelly博士はウェールズ・アイルランドの血を引く研究者であったが研究ディレクタとしてはかなり厳しい人であつたらしい。「Crystal Fire」の中ではそのエピソードも紹介されているが、ここではKelly博士の研究ディレクタとしての先見性と功績について述べてみたい。

ベル研は電話の発明者Alexander Graham Bellの名前に因んだ電信・電話に関連する総合的な研究所であったことは周知であるが、Kelly博士は電話交換機の将来像に思いを馳せて真空管に代わる固体デバイスの必要性を予見していた。当時のベル研では“固体真空管”の研究開発には誰も手をつけていなかったが、それは1929年の経済大恐慌の影響で1936年まで研究者の採用を中断していたベル研としては止む

足利工業大学 情報科学センター客員研究員

を得ない事情があった。そこでKelly博士は米国で固体物理学者としてすでに高名を馳せていたMITのJ.スレータ教授の門下生を採用する決心をする。このスレータ教授は、およそ固体に関する物理現象はすべて電子のエネルギー帯構造理論で説明ができるという、強烈な信念の持ち主であったといわれる。量子力学の基礎は20世紀の初期にヨーロッパの研究者がリーダシップを発揮したが、この量子力学の応用という分野では米国がリーダシップを握ったとも言われておりMITのスレータ教授はその典型であった。ベル研のKelly博士による研究者スカウト話で推薦されたのが、後にトランジスタ発明者となるウィリアム・ショックレー博士であった。ショックレーはMITのスレータ教授門下で食塩結晶の電子構造に関連する量子力学的な研究によって博士号を得たばかりであった。こうしてベル研では初めて固体物理学の研究者が採用されたが、不思議なことにショックレーがベル研に就職して最初に配属されたのは先に述べたダビッソンの研究室であった。このような人事配置をKelly博士が了承していたのかどうかは解らないが、ショックレーはここでかねてベル研への就職動機であった固体真空管の研究をやらせてもらいたいと上申し、1938年にはこの研究チームが発足する。リーダはショックレーであったが、その配下には後にトランジスタ発明者として名前を連ねる電子放射の専門家ウォルタ・ブラッテン、また広い研究分野の経験をもつジョン・バーディーンが協力者に加わった。

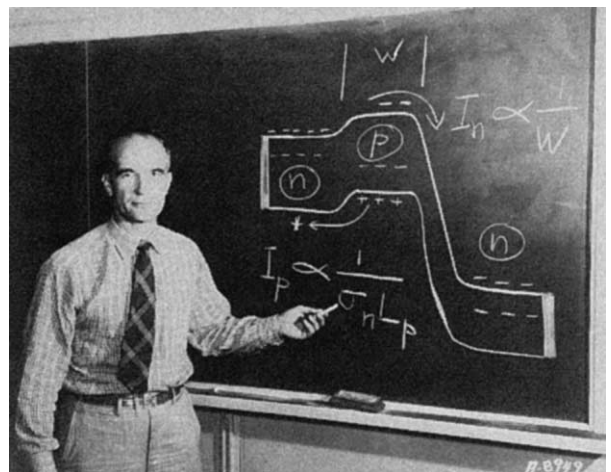
ここで注目されるのは研究ディレクタとしてのKelly博士の指導力である。Kelly博士はショックレーに、電話交換機が“固体真空管”で構成されるビジョンを熱っぽく語って尽きなかったとショックレーは回想している。また固体材料の対象をゲルマニウムとシリコンという単純な半導体材料に限定するという決定をしたのもKelly博士の示唆であった。

こうしてベル研での固体真空管の研究はKelly博士のお膳立てで発足したのであるが、担当者としてのショックレー達は試行錯誤の連続であった。この経過はショックレーが1976年に発表した論文の中に詳しく書かれているが、このような悪戦苦闘の中でショックレーは1939年12月29日の研究日誌に、固体真空管が可能であると今日思いついたという記述も紹介されている。ベル研でのこのような固体真空管の研究チームは、1941年第二次世界大戦の勃発によって軍事研究に動員され、ショックレーはワシント

ンでオペレーションズ・リサーチの仕事に従事した為、ベル研での固体真空管の研究は中断された。

3. トランジスタの発明に至る人間ドラマ

1945年末にはベル研での固体真空管の研究活動は再開されたが、ショックレー達がかねて試みてきた半導体の表面に近接して配置した金属電極に加える電圧によって半導体に流れる電流の変化が、期待通りには観測されないままであった。この原因を調べるためにブラッテンとバーディーンが工夫した、ゲルマニウム結晶の表面に二本の針を立てた構造を用いて様々な実験を繰り返す過程で、彼らは電力の増幅現象を発見したのである。この発見にはショックレーはあまり関与していなかったようであるが、この新現象をベル研として対外発表するために先ず特許申請の手続きを開始していた。ここでショックレーは発明者に自分の名前が入っていないことに不満を表明したが、特許弁理士の説得で事情を了解したものの内心はかなり不満であったに違いない。「1938年以来自分はKelly博士の付託を受けて固体真空管の発明に専念しており、そのような研究活動の一環として、点接触型構造による電力増幅現象が発見されるまでの活動には少なからず関与してきたではないか？」の思いは前述のショックレーの回想記の中にも触れている。ここでショックレーは、指導教授であったスレータ教授の信念でもあった、固体のエネルギー帯構造に立ち返って固体真空管の可能性を一人で考え始めるのである。それは点接触型トランジスタ現象が発見されて約1週間後の、1947年12月24日から1948年1月24日までの1カ月の恐るべき集中力であるが、最後の決め手は1948年1月23日朝の発



npn型トランジスタの動作を説明しているショックレー
1976©IEEE

想であったと言われる。このような経緯を知るときショックレーの恐るべき集中力もさることながら、スレータ教授門下としての固体物理学の素養、特に固体内のエネルギー帯構造に関連する量子力学的な計算という、実際的な研究実績の蓄積が一挙に開花したとも思われるのである。それはブラッテン、バーディンいずれにも期待できない成果であったといえよう。こうして接合型トランジスタの構造についての発明はベル研の研究日誌に記録され、まぎれもなくショックレーの発明として歴史に残ることになったが、それが実物で実証されるのは1950年であるから、この間もショックレーは雌伏の時代を過ごしたのであった。

1956年にショックレー・ブラッテン・バーディンの3人はトランジスタの発明によってノーベル物理学賞を受賞したが、この席でも受賞者3人の中での会話は交わされぬままであったといわれる。「Crystal Fire」によると、3人のトランジスタ発明者はノーベル賞受賞後それぞれの道を辿ったが、この中でショックレーの後半生は“シリコンバレーのモーゼ”として、他の二人の境涯に比較するとはるかに波乱に満ちたものであった。

4. 歴史の教訓を考える

トランジスタの発明、特にショックレーによる接合型トランジスタの発明は、20世紀が物理学と化学の世紀であったといわれる典型的な発明の一つであった。それは20世紀に誕生した新しい物理学としての量子力学の産物であることに改めて注目すべきであろう。ただその発明に至る経緯を顧みると、そこには人間的あまりに人間的なドラマを痛感せずにはいられない。と同時にトランジスタの発明が電話交換機への応用という明確な目的研究の産物であったことも注目に値することである。重要なことは、このような研究チームを発足させ更にショックレーによって接合型トランジスタが発明されてからは、その普及を目的としたシンポジウムを開催するなど、研究ディレクタとしてのKelly博士の貢献は極めて大きいことを忘れてはならないのである。

それにしてもトランジスタの発明は何故ベル研で？という疑問が湧く。何故RCAで、IBMで、あるいはGEで生まれなかったのだろうか？トランジスタが発明されるまでの同時代の記録として「電子の世紀の発明」⁵⁾、あるいはコンピュータの誕生とその後の経緯の記録「パスカルからノイマンまで」⁶⁾で

は、ベル研以外の組織での固体真空管の研究開発にまつわる記述は殆ど見当たらないのである。ショックレーはトランジスタの発明を、「“考える意志”が産み出した“準備された偶然”」とも指摘しているが、これはショックレー自身の実感を示唆しているように思われる。

さてベル研で半導体デバイスの研究開発に従事した多くの人材もベル研の貴重な遺産であるが、その中で特筆したいのは台湾出身のS. M. Sze博士である。Sze博士は台湾大学を卒業してベル研に就職、半導体の研究に従事すると同時に多くの優れた半導体デバイスのテキストの著者としても知られているが、ベル研を退職後台湾に帰国してからは台湾で多くの半導体人材を育成し、台湾の半導体立国にも貢献したのである。Sze博士が2002年に出版したテキスト⁷⁾を読むと、約17年ぶりの改定版でますます充実したその内容には感心させられる。特に序論で1980年から2010年までのGWP (Gross World Product)、エレクトロニクス・自動車・鉄鋼の各産業規模を半導体産業の伸びと対比する中で、半導体産業は最大の伸び率が予測されているのである。半導体産業についてのSze博士のこのような洞察力が台湾の半導体立国に大きく貢献しているに違いない。

紙数の制約から極く限られた内容に終わるが、ベル研でのトランジスタの発明物語を巡っては、汲めども尽きせぬ興味と教訓を改めて痛感するのである。
参考文献

- 1) <http://www.bell-labs.com/history>
- 2) 中原 紀：「アインシュタインと半導体産業をめぐる随想」, 電子材料, 2005年2月号
- 3) W. Shockley : “ The Path to the Conception of the Junction Transistor ”, IEEE Transactions on Electron Devices, July 1976 Volume ED-23 Number7
- 4) Michael Riorden and Lillian Hoddeson : “ Crystal Fire - The Birth of the Information Age - ”, W. W. Norton & Company (1997)
- 5) Alfred D. Chandler Jr. : “ Inventing the Electronic Century ”, The Free Press (2001)
- 6) Herman H. Goldstine : “ The Computer from Pascal to von Neumann ”, Princeton University Press (1972, 1993)
- 7) S. M. Sze : “ Semiconductor Devices Physics and Technology 2nd Edition ”, John Wiley & Sons, Inc (1985, 2002)