

記 念 講 演

半導体と量子力学 —物理学者が歩んだ50年の道—

ノーベル物理学賞受賞者 江崎 玲於奈

本日、50周年をお迎えになりました東大の生研、50年の輝かしい歴史を持っておられるこの研究所にまずお祝い申し上げたいと思います。

私も、先ほど紹介されましたように、ここは深い縁がございます。東京大学に入ったときは戦時中の1944年、卒業したのは戦後の47年でございますから、生研ができるよりも2年前です。私の大学に入った頃は戦争中ございまして、科学技術によってわが日本はアメリカに負けているのだという考え方が支配的でございます。私は物理学でございますが、普通は物理というのは30人なんです、この年は40人ございました。10人だけ増加いたしました。

それから先ほどの尾上先生のお話、あとのほうだけ聞かせていただきましたが、第二工学部というものを設立して大いにエンジニアをたくさんつくるのですが、戦争には間に合わなかったと思うのです。戦後の復興、日本の経済発展には大変貢献されたと思います。私もそういう変革の時代を過ごしました。

これから私の歴史のようなことを話させていただきたいと思いますが、47年に大学を卒業しまして、私はもともと、長岡半太郎さんの息子さんの嵯峨根遼吉さんの研究室でサイクロトロンなどの研究をやりようと思ったのですが、その当時、とても実験ができる状況でございまして、高エネルギー物理研究をやるのは諦めました。その時には、エレクトロニクスが将来発展するであろう、重要だということは大体わかっておりまして、自分が食っていくということも重要でございましたが、日本の産業復興にも貢献せねばならぬと思いました。今失業率5%、戦後最大だと言っておりますが、あれは統計を取り始めてからでございます。私のときは就職難で5%どころではございません。大体物理というのはその頃はあまり役に立たない学問だと思われておりまして、就職難でございまして、嵯峨根遼吉さんなどを通じて、ようやく神戸工業という会社に勤める

ことができました。

ところが、やがてこの企業が左前になりまして研究ができない状態になりました。それでソニーに、当時は東京通信工業と言っていました、移りました。皆さんの考えるソニーと、その当時の東京通信工業とは大変違っておりまして、東京通信工業は、当時大体500人ぐらいの従業員の会社でしたが、従業員300人以下が中小企業ですが、ソニーは中小企業と大企業のボーダーラインでした。

さて、20世紀を振り返りますと、科学と、その科学に基づく技術が素晴らしい発展を遂げた世紀、更に、その技術に基づく企業が繁栄したわけです。

ノーベル賞が設定されたということは、ランク (rank) 付けをすることが始まり、それが国際競争熱を刺激したというわけです。そしてその発展を一層促進させた。

科学の成果には陰の面もあるわけです。核兵器の存在というのは大変な驚異を全世界に与えておりますが、しかし何としても20世紀の科学文明が生み出した最大の問題は、自然環境に極めて異常と言えるような深刻な影響を及ぼしたわけです。そのことは皆さんご存知のとおりですが、しかしなんと言っても科学技術というのは近代国家にとっては活力でございまして、その振興は広く人類繁栄の基盤だといえるわけです。産業や経済の充実とか、保健・医療の充実、インフラの整備、環境の改善、天災・人災からの防備、そういう生活の向上に大いに貢献してきたことは疑いなくございまして、私がいます筑波研究学園都市を国家がつくったということも、そういうニーズを感じたからです。

サイエンティストにとって最もアピーリングな言葉、魅力のある言葉は二つあると思います。一つはCOSMOS (宇宙) という言葉、もう一つはLIFE (生命) という言葉です。

(OHP)

われわれ宇宙の起源・物質の起源ということに興味をもつ。宇宙という言葉とCOSMOSとはちょっとニュアンスが違っていて、COSMOSとは秩序があるとか調和がある

* (財) 茨城県科学技術振興財団理事長

ということがございます。ユニバースという言葉も統一性があるということの意味ですが、宇宙の宇というのは空間的に、宙というのは時間的に無限だということ。宇宙というのは150億年、地球というのは46億年ぐらい前で、生命というのは40億年ぐらい前にできたことになっている。

学問の分野は大きく二つに分けられる。一つはフィジカル・サイエンス、物理学、化学、宇宙や地球の科学、それからライフサイエンス。これはご存知のように生物学、農学、医学、生理学などですが、大きな時の流れの中では大体フィジカル・サイエンスの分野から研究の重点がライフサイエンスのほうに移っているというのが実情でございます。アメリカでももちろん、わが国もそういう傾向があると思います。

(OHP)

各々の分野で最も重要なもの一つだけ挙げなさいという質問を出したとしますと、まず私が答えられるのはアトムの構造が解明できた。ミクロの立場から物質の理解を格段に高めた量子力学の発展、そういう物質への理解を深めることによって固体エレクトロニクスというものがあらわれたわけです。私なんか、先ほど申しましたように大学を卒業して神戸工業に入ったときはバキューム・エレクトロニクス(真空管)というものが最も重要なエレメントであったわけです。その次にライフサイエンスで重要なことはGene(遺伝子)の構造が説明できた。これはDNAです。ミクロの立場から生命体への理解を格段に高めた分子生物学の発展が挙げられます。

もう一つ、技術の面で申しますと、われわれの知の機能を高めるに役立ったコンピュータ。コンピュータでは何としても今世紀人類がつくったマスターピースであることは疑いなくと思います。先ほど尾上先生がおっしゃったように、コンピュータの発展、通信ネットワークの整備によっていろんな分野がこれを基盤に発展していくというわけです。

(OHP)

それで今世紀のキーワードは、AtomとGeneとMindとなります。では、これほど今世紀が素晴らしい発展をみたのはなぜか。いろんな理由はもちろんございますが、一つは、ミクロの立場からの解析。物質をAtomのレベルで、あるいは生物を最も基本的なGeneレベルで、それを解明することによって全体をながめる。つまり原子の性質がわかれば、原子から成る物体の性質をミクロの立場からすべて解明できる。あるいは遺伝子がわかれば生命体も生命現象も理解できる、こういうふうな考え方。基本的な構成要素に分解して理解する。こういう方法を還元論というわけです。

(OHP)

ところがサイエンスのもう一つの考え方は、基本的要素

に分解するのと正反対に、組織化された全体に意義を認めそれをとらえようとするholismです。かつてのサイエンスの歩み方はそういうことです。

例えばアイザック・ニュートンという人を考えましても、彼はいろんなことを知っているわけです。数学、物理だけではなくに神学も、錬金術みたいなものとか、そういうことを心得ているわけです。

とにかくholismというのは簡単に言いますと、「全体は部分の総和以上である」。音楽のオーケストラというものを考えますと、いろんな楽器を合奏するのですが、それらの楽器を足したも以上の感動を与える。こういうholism的な考え方。例えば環境問題というのは、先ほど申しましたように、そういう問題を扱うにはholism的な考え方が必要になってくる。

(OHP)

リダクショニズム(還元論)の一つの問題は、多くの分野のスペシャリストをたくさんつくる。生研にも先ほど尾上さんがおっしゃったように、50幾つかのいろんな分野があるわけです。これも当然のことですが、そういうスペシャリストをたくさんつくって、その人たちは視野が狭く、陳腐になっても、要請がない分野にもいつまでも固執する人たちがいるというわけです(笑)。

何か新しい革新的な研究成果や、ベンチャーなど新産業は、すべて何か新しいフロンティアというところから生まれる。そういうフロンティア開拓する場合には、あまりスペシャリストが、タコ壺に入っておられるとやりにくいというわけです。わが国には、どうも欧米追従型の研究が多いように思われます。わが国が得意とするところはどんどん発展するのですが、そうでない部分は発展しにくいというわけです。

(OHP)

21世紀も近づいているのですが、これまでわれわれサイエンティストは、サイエンスのルールの解明に努める傍観者(bystanders)であったと思うんです。ところがこれから自然の中のドラマの参加者(participants)になって、自然にはまり込んだ視点から物事を考えなければいけないというように思われます。

それからいろんなこれからの問題は、カオスとか複雑系の問題がある。いろんなものを包括的に考えなければいけない。holismにまで行かなくとも、マルチディスペナリーな考え方が大変重要になってくるように思われます。

(OHP)

全体で申しますと、ノーベル賞受賞者というのは世界で500人ぐらいおるわけです。たぶん半分ぐらいはもう亡くなったのではないかと思います。アメリカには約200人ですが、日本は自然科学で5人しかおらない。学術論文の国別シェアを見ますと、日本は10%、アメリカは35%の

シェアを持っている。その中で被引用回数を考えますと、アメリカは52%ですが、わが国は被引用回数をいいますと世界の8%。R & Dにどれだけ投資しているかということを考えますと、ドル・円の換算率がございますが、アメリカは世界の40% (年間約28兆円) ぐらいを使っております、40%のノーベル賞をもらっているのはいいのですが、わが国はいろんな計算で20% (約14兆円) 近くは研究開発にカネを払っているわけですがノーベル受賞者は自然科学の分野1%しかいない。

研究開発は最近、将来への投資という考え方が導入されてきて、文部省なんかも未来開拓というものにもお金を投資しております。

科学というものは何か新しいものが生まれるプロセスだと思います。

(OHP)

技術というものは、生まれたものを育てる。これは非常に単純化された図式です。横軸には時間で、これはある特定の分野を考えていただかなくてははいけない。例えばレーダーでもいいですし、半導体でもいいかもしれません。モレキュラ・バイオロジーでもいいかもしれません。そういう分野が新しく開発されて、その分野をオープンするような画期的な成果が上がる。そういうもので基礎研究。それが応用研究になり、やがて開発。

もう一つ考えなければいけないのは技術の発展。そういうものの経済効果ということを考えますと、研究の成果を使って何かベンチャー企業が生まれるわけです。

これはいい例かどうかわかりませんが、1947年といえますとトランジスタが発明された年です。トランジスタが発明されたというのは、新しいもののオープニング。それについて、私が先ほどソニーに入ったと言いました。ソニーが1955年にTR 55というトランジスタラジオを出しましたからこの違いというのは約7、8年ぐらい。ものによって違うわけですが、ですからこの辺のオープニングに貢献した人はノーベル賞候補になる。新しいベンチャーに貢献した人は、ビリオナーの億万長者、両方もらうことはできないということをこれは示しております(笑)。

大変重要なのは、この辺の分野はたぶん生産技術研究所の分野でございます。基礎研究の分野、ノーベル賞なんかの分野は、こういうふうなことになるのではないかと。

(OHP)

研究というものを、いったいどんな研究があるのだということを説明させていただきますと、四つぐらいに分類できる。一番上は、高エネルギー物理研究所とか天文台、スバルとか、そういう、これはほとんど何の役にも立たないのですが(笑)、何の役にも立たないといったら高エネルギー物理研究者に叱られるのですが、ほんとに自然を探究して新知識を獲得することを目的とする。これはニール

ス・ボアタイプ。ニールス・ボアさんというのはアトムをちゃんと確かめて量子力学に貢献いたしました。

その次は、新課題への挑戦、あるいは新分野の開拓を目指す。成果の活用や応用を視野に入れた研究。長期というのは約20年位でしょうか。これはパストツールタイプの研究という。

3番目は、新基盤技術の開発を目指す中期の応用研究。4番目は新製品開発を目指す短期の開発研究。実用化が中心で、トーマスエジソンタイプの研究。大体1、2がアカデミックリサーチだと考える。生研などはここへ重点を置かれるのではないかと思います。3、4がインダストリーでやっていることの研究。政府の研究所が、筑波には日本の研究公務員の半分ぐらいおる。その人たちは2と3と担当するという、そんな感じでございます。私は企業にいましたが、いろんなごまかしをやりまして、大体2の分野を中心に研究やった。先ほどのトンネル効果とか、そういう分野です。

これを考えますと、どういうふうに評価するかという評価の軸の一つは、新しい知識を獲得した。どれだけ新知識を獲得したかというのが一つの軸になるわけです。研究の評価をするわけです。もう一つは、どれほどそれが活用したか、役に立ったか、ユースフルだったかということが一つの軸になるわけです。その両方にも役に立たないものは全然しないほうがいいということで、できれば両方に貢献するのが一番いいわけです。パストツールタイプですが、しかしそうでなくても構わない。いずれかに貢献するということが大変重要だということを申し上げたい。

(OHP)

研究というものはどういうふうなガイドラインをするべきか。日本人は温故知新という言葉が大変好きなように思うんです。

温故知新を英語に訳するとどうなるか。私流に英訳しますと、「Visit the past to find guidelines」。そうすると別の言葉もあって、「Visit the future to find guidelines」。これは日本語で何というのは知りませんが、未来への挑戦。こちらのほうが重要なんですが、わが国はどちらかというところ、温故知新が好きです。温故知新が好きだということは、あまりリスクを好まないということもございまして、**facing the history**を大切にする。いろんな研究者、われわれの知的能力には、一つはクリエイティブ・マインドと、もう一つはジュディシヤス・マインド(分別力)と両方あるように思います。学校の教育というのはどちらかというところ、ジュディシヤス・マインドを教育するので、クリエイティブ・マインドはそう簡単にはできない。先ほど尾上先生もちょっとおっしゃいましたけれども、研究というものを通じて教育、そこでクリエイティブ・マインドが教えられる。つまり、企業にしましても、井深さんなどは将来をビジット

したと思うんです。半導体、トランジスタ、これこそ将来のものだという確信を持って、全部をこれに賭けた。そういう意味では Visit the future to find SONY's Guide Lines, を見つけたということだと思います。

(OHP)

話題を世界の論文に移します。アメリカ、ヨーロッパ、アジア、ロシアという四つの分類しますと、アメリカ+カナダ、それからヨーロッパ全部で大体37%、アジアが16%でロシアが4%。ロシアもアジアの一部と入れることにしますと20%です。だけど現在の成長率から言いますとやがて21世紀の中頃になりますと、たぶん3分の1、3分の1ずつぐらいになるのではないかと思います。

(OHP)

先ほど尾上先生がちょっとおっしゃったと思うのですが、ハイテク分野の世界のマーケットシェアみたいなもの、これはアメリカのデータですが、これは30%のラインですが、わが国は一時アメリカを凌駕したことがあるのですが、バブルの崩壊とともに低下の傾向をたどった。この中でドイツは7、8%でコンスタントですが、中国が上昇している。何をもちてハイテクというかと言いますと、通信機械と情報機械、航空機、薬品工業、そんな分野です。

(OHP)

アメリカの研究開発を見ますと、これはインダストリーの研究開発なんです、伝統的な研究開発というのは製造業がするのですが、82年辺りからソフトサービス・インダストリーが研究開発等しました。アメリカの研究開発費の30%ぐらいはサービス産業がやっている。例えばマイクロソフトなんかのものをやっても、わが国は、これが4%ぐらいですが、わが国のこういう分野の研究は弱い。ヨーロッパでは9%です。現在アメリカの繁栄は第三次産業の繁栄でございまして、GDPから見ますと日本の3分の1ぐらいはモノづくりなんです、アメリカではモノづくりはGDPの4分の1ぐらいになっている。

(OHP)

現在日本が失業率が多くなったとって騒いでおりますが、これはアメリカのデータですが、1986年、96年、2006年(推定ですが)、関連産業の就業人口がどういうふうになるか。コンピュータ・事務機械。製造業に関しては47万~36万に少なくなっております。通信機械もまたしかりです。ところが半導体は、それほど変わりませんが、コンピュータ・情報処理サービスになりますと、86年から96年、倍増しております。60万が120万、それがさらに250万になる。ですからサービス産業がアメリカを支えている。

(OHP)

サービス産業が栄えますと、テレコミュニケーション、在宅勤務者も増加し、アメリカの全労働者の10%ぐらいに

もなっています。第三次産業だからそういうことができる。

(OHP)

それから最近、「アメリカの大学の変貌」、変貌といえるかどうか分かりませんが、アメリカの大学を見ますと、企業の研究所のような様相になったように思います。まず特許を取るということが競争になっている。それから、その特許をライセンスして利益を得る。例えばA(カリフォルニア大学)はライセンスによって年間100億円ぐらいの収益を得ているというわけです。Bはスタンフォード、Cはコロンビア大学です。

例えば特許の取る数を見ますと近年非常に多くなっている。いったいどの分野でライセンスするのだということになりますと、バイオメディカルとソフトウェア・テクノロジー、これです。いふアメリカの大学はカネを儲けているということです。

(OHP)

次に、アメリカの大学への政府の研究支援について話しましょう。いろんな部門がアメリカの大学を支援しますが、一番大きなのはNIHです。その次はNSF(ナショナル・サイエンス・ファンデーション)それからDOD、この三つぐらい。あとはNASAとか、諸々のものがございしますが、その状況を見ますと、1971年にはNIHが38.5%、NSFが17.2%、デフェンス(DOD)が12.9%。ところが97年をとりますと、NIHが55%、NSFのパーセンテージはそれほど変わらない。デフェンスは、このごろは研究費が少なくなった。総体的にはNIHが非常に貢献している。これは先ほども申しましたように、ライフサイエンスのほうへカネが流れているということは明らかでございまして。

(OHP)

私自身のことを簡単に申し上げます。

私は人生を四つぐらいに分けて考えますと、一番最初は大学卒業するまで。先ほど申しましたように、大学を1947年に卒業しました。それから青年期。35歳までをユースとしますと、日本で神戸工業とソニー、ソニーで私が発見したトンネルダイオードというのは非常に人気があったということと、アメリカという国をいっぺん見たいということと、あるいは日本が嫌になったのかもしれない、アメリカに60年に出かけまして、ほとんどアメリカに骨をうずめるのではないかと思ったんですが、今から7年ほど前に筑波から電話がかかってまいりまして、あなた学長に当選しましたがお受けになりますかという電話で、大体日本人はノーとは言いませんから、イエスといって、物理の言葉でいいますと、forbidden transitionをやったわけです。セレクションルールに反するようなトランジション。つまりアメリカのインダストリーから日本の国立大学の学長、これは公務員ですから、公務員に変わった。アメリカ

から日本へ。

それで、今度は熟年期といいますか筑波大学に、大変あちらこちら動き回る。何年そこに滞在したかということなんです。モビリティが高いということ、それから結論的になるかもしれませんが、先ほど申しましたように非常に変動の時代でございましたから、極端にいったら頼るものは自分しかないということもあったのかもしれませんが。

私も学長のとき、よく学生に言ったのは、大学では自己発見をすることが重要だと申しました。アメリカという国は個人主義といいますか、自分でやらなければいけない。小さいときから自分を発見さすという教育をやっているわけです。自分がどれほど人と違っている、どういう特徴を持っているかということをするということ。それから、もう一つは、発見するだけではだめで、発見したら、それに適するような職業を見つける、適するような仕事をするということが重要です。

私の幸いだったことは、研究者になった当時、トランジスタを発明されて、半導体の発展とともに私の研究ができたわけです。そういうフロンティアをかけ走るということが大変重要で、言いますと、二流の研究者でも一流の論文が書けるような新しい分野の研究をするということが、二流の人にとっては重要なんです。

(OHP)

実は大阪から京都に参ったのが5歳ぐらいで、これは5歳ぐらいの写真です。バレエダンサーになろうと思っていたのですが、その能力がないということがはっきりわかりました(笑)。

私の一番初めに書いた論文は、「トリエイテッド・タングステン活性化及び蒸発について」これは送信管に使った陰極の研究。これは私がただ一つ日本語で書いた論文として、応用物理でこれを発表したわけです。研究のおもしろさというものはこれでわかる。活性化ということは電子放射が、同じ温度で、1000倍ぐらいに上がるわけです。これに関してはノーベル受賞者ラングミアなどの論文を一生懸命に読んで覚えがございます。

(OHP)

私は関西におりまして、トランジスタというものは新しい分野で、「トランジスタについて」という専門講習会を大阪の中央電気クラブでやった記録がございます。昭和28年ですが、私は昭和の年号と私の年が同じでして、28歳の青年が大先生を前にトランジスタについて話す。それほど新しい分野だったと申し上げたい。

(OHP)

ここでは、真空管というのは非常に発展したのだけれども、真空管というものがもう既に電気通信界の発展を阻害しているのだと。真空管の製作、設計はもう限度にきて、いくら研究しても良くならないのだ。それに対して、それ

に飛躍的なものを与えるのがトランジスタだといって、トランジスタセールスマンとしてはなかなかいいことを、28歳の青年にしては言っていると思うのですが。

(OHP)

ここから学べることは、真空管というのはいくら研究しても改良してもトランジスタは生まれてこないわけです。ですから、ともすれば安定した社会では、将来は現在の延長線上にあると思いがちなんです。しかし変革の時代ではそうではない。だから温故知新という言葉が嫌いになったのは、私はこの頃からこんなものは信用しなかったわけです。真空管からはトランジスタという新しいものは生まれてこないということです。

(OHP)

われわれのマインド(知性)というものは二つの性格を備えている。一つは、先ほど申し上げましたようにクリエイティブ・マインド、もう一つはデュディシヤス・マインド(分別力)。大学というところは分別力を教えることに先生は一生懸命になるわけです。分別力というのはわりあい普遍的で誰にも与えられる。ところが、本当に大事なのはクリエイティブ・マインドだと思うのですが、クリエイティブ・マインドはどうして教えればよいかわからない。クリエイティブ・マインドは非常に個性的で、それこそ先ほど申しましたように未知への挑戦です。

ところが学長というものはクリエイティブ・マインドだけでは務まらないという職業でして、デュディシヤス・マインドが必要だということを実感いたしました。デュディシヤス・マインド、文部省などからいろいろ教え込まれて、デュディシヤス・マインドをこれほど私が付けたとしますと、どうも私のクリエイティブ・マインドは、その同じ量だけ失っているということに感ずきまして(笑)、だからあまり皆さんデュディシヤス・マインドを付け過ぎますとクリエイティブ・マインドの育てるところがなくなる。

(OHP)

研究のほうに移りまして、量子力学というのは斬新であっただけにわれわれ学生にとって大変魅力のあるものでした。これは1925、6年ぐらいにできたわけですが、私の大学で1945年頃に習いました。まだ東大でも量子力学を理解している先生はあまりおらないような時代でした。

量子力学のおもしろいところはドゥ・ブローイーなんか言ってるJANUS的な二元性ということ。

JANUSというのは古代ローマの神様で、入り口とか、物事の始まりを司る神様です。頭は一つなんです。二つの顔を持って、いろんな視点から限無く物事を見るという特性です。JANUSということは、JAPAN & USにもつながる(笑)。

(OHP)

量子力学というのはエレクトロン・トンネリングを予言します。量子力学の一番最初の成功は α deray の説明で、 α パーティクル、ヘリウムの核みたいなものがトンネル効果で出てくるのですが、これは量子力学初期の勝利だと考えられます。

(OHP)

固体物理に当てはめると、Fowler Nordheim のトンネリング、つまり非常に強い外部電圧をかけますとエレクトロンが出てくる。だから私自身も真空管をやったということが、トンネルというものとわりあいに身近な関係で、こういう実験も真空管と一緒にやったわけです。

ところが固体に関する限りは、Creative Failures という、整流の量子理論というものには有名な先生がつくったのですが、初めはうまく説明できるような感じだったのですが、あるとき気がつくと、整流方向を、反対の整流方向を予言するわけです。ですから全然役に立たないということがわかりました。

(OHP)

私の歴史を考えまして、Creative Failures というのはいっぱいあるわけです。日本の公務員になりますと、教育は間違いが起こったら困るという精神がどうもあるのですが、やはり Creative Failures をしないことには進歩しない。ここから何か新しいもの、チャンス、サプライズも生まれるということで、日本の研究とアメリカの研究を比べますと、社会もそうですが、日本の先生は Creative Failures をしないんです。Chance favors the prepared mind, これもおもしろい言葉ですが、“準備したマインドにチャンスが訪れる。”これはパスツールが言った言葉です。

(OHP)

そういうことで、私もいろんな失敗をしましたが、その失敗の中の一つの成功がこのエサキ・トンネルダイオードでございまして、これは東京通信工業。名も知れんところの人間がいくら言っても世の中の大先生は信用してくれるはずがないわけです。ですからフィジカル・レビューという世界で一番信用おけるジャーナルに論文を書きました。日本の研究者の中にはいい仕事をする誰かが認めてくれるだろうと思うのですが、決してそうではないんです。自分で宣伝する、いい論文をいいところに書くということが大変必要です。

(OHP)

それから、私の場合は海外に発表したのが 58 年、今から 41 年前で、ブラッセルの国際会議でトンネルダイオードを発表したわけですが、そういうフィジカルレビューに発表したかきがありまして、キーノートスピーカーの W. Shockley さんが、キーノートスピークの中に、The most beautiful demonstration of the Zener Efect, so far achieved is presented at Symposium by LEO ESAKI. こういう宣伝をし

てくれたものですから、私の会場は満員になりました。(OHP)

これは人間は年とともに変わるんだということを表しておりまして、58 年。ショックレー先生は大先生だと思ったのですが、まだ 48 歳です。ショックレー先生が宣伝してくれたものですから、今日のように、私の講演会にたくさん集まったのですが、たぶん誰にもわからないような英語をしゃべったに違いありませんから、よけい皆さん聞き耳を立てて、誰も眠る人がいなかったという覚えがござい

ます。(OHP)

トランジスタは、3 人の物理学者が発明しまして、これはブラッテン先生で、これはその当時のソニーを訪ねてきてくださったところですよ。その当時は、日本の女の人たちのマニュアル・デキシテリティと、当時はチープ・レイバーが日本の半導体の発展には重要だったのではないかと思います。

(OHP)

これがジョン・バーディーン先生です。真ん中はケルディッシュといまして、ソ連きっての理論屋です。

話を戻しますと、今から 41 年前、58 年にヨーロッパからアメリカに参りまして、トランジスタが発明されたベル研究所を訪ねた。入口のところに、アレキサンダー・グラハム・ベルの像がございまして、その下には彼の言った言葉が書いてございます。

それは、Leave the beaten track occasionally and dive into the woods. You will be certain to find something that you have never seen before

beaten track というのは踏みならされた道。時には踏みならされた道から離れ、森の中に入ってみなさい。そこではきっとあなたがこれまで見たことがない何か新しいものを見いだすにちががありません。つまり beaten track ばかり歩いちゃだめだ。何か新しいものは森の中にあると、なかなかいい言葉だと思います。

アレキサンダー・グラハム・ベルというのは電話機を発明した人です。もともとスコットランド生まれで、発声の先生だったわけです。これを見まして、自分も、ジャパニーズの beaten track を離れて、アメリカのウッドの中に入って何か見つけてやろうとしまして、こういうこともアメリカに出かける一つのきっかけだったと思います。

(OHP)

アメリカでやりましたことは、半導体超格子というものを朱さんと一緒に 69 年提案いたしまして、コントラクトをとるプロポーザルとして書いたわけがございまして、アーミー・リサーチ・オフィスというところからお金をもらったのですが、最近そのオーガニゼーションが 45 周年で、その中で One of the best proposals だったとほめていただき

ました。

(OHP)

トンネルダイオードというのは一つのバリアがあるだけで、バンド・トゥ・バンドのタンネリングなんです。

それからダブル・バリア・タンネリング。これは二つのバリアがあると共鳴現象というのが起こる。これはオプティックスにいますと、皆さんご存じのパプリー・ペェロー・リゾネーター、そのようなものです。要するにエレクトロン・ウエーブを使って共鳴をしよう。それをたくさん並べますとスーパーラティスというのが形成されます。

これが一つの、少し専門的になりますが、magnetic quantization というのは大きな磁場を固体に与えますと、ランダウレベルができる。一方 electric quantization, これは普通は観測できないんです。理論的にはワーニア・ラダーとかブロックオシレーションとかが論じられていますが、この条件は、普通の結晶は、Dの値は小さいですから、よほどEを大きくしないとこの条件が満足されない。Eを大きくしますと、電場を使いますと、ほかのアバランチとか、オージェ現象が起こりまして、かけれない。ところがスーパーラティスでDを大きくしますとこれが見られる。electric quantization を見ることによって、いろいろおもしろいことができる。

昨年日本国際賞を頂きまして、その人たちに超格子とは何かと、あまり物理をおわかりにならない人への説明としまして私のやったことは、モダンアルケミー（現代の錬金術）だと申し上げたわけです。アルケミーというのは現在、魔術や妖術を使って卑金属（ベースメタル）を貴金属（ノーブルメタル）に変えるわけです。私は、量子力学と先端技術を使って通常の半導体をスーパーに変えるのだと、こういう説明をいたしました。

(OHP)

モダンアルケミーになりますと、人工物質というのは自然に存在しない物質、自然のものにはないような新しい性質をもたらすのだと。非常に高いエレクトロン・モビリティ、こういうものが例えば HEMT というものに利用できる。それから非常に大きな、エキストニックのバインディング・エナジーとか、先ほど申しましたように、ワーニア・ラダー、ブロックオシレーション、これはとても普通のものでは見られないような現象をここでは見るというわけです。

(OHP)

これは伝統的なアルケミーです。17世紀に描かれた絵です。

(OHP)

私のやったモダンアルケミーの写真です。

(OHP)

最後に、ノーベル賞をとるために、あるいは創造性を発揮するためにしてはいけない5カ条というものを紹介させていただきます。

まず第1番目には、いままでの行きがかりにとらわれてはいけません。つまりしがらみのようなものにとらわれずと、何かそこに飛躍があっても、それを捉えることでできない、関知することができないというわけです。ノーベル賞受賞ということを考えますと、歴史を考えますと、大体30代の仕事というのが非常に多い。古いものは20代の仕事もかなりあるようですが、量子力学に取り組んだ人たちは全部20代、30代初めの人たちがやる。若いということがしがらみとか歴史に引きずられない澄み切った目で物事を見るということが大事だというわけです。

第2番目は、権威といわれるもの。別の言葉で言いますと大先生。ここには大先生がたくさんいらっしゃって、ちょっと言いにくいのですが、大先生にあまりのめり込んではいかんというわけです。大先生はノーベル賞をとるかもしれないませんが、自分のところまでまわってこない危険もあるわけです（笑）。それよりも、あまり大先生にのめり込みますと、自分というものを失う。自由奔放の若さということが新しいチャレンジには大事だということです。

第3番目は、無用なものは捨てなければいけない。情報化社会というのはいろんな新しい情報が入るわけです。大体われわれの頭脳というのは、それほど昔と変わっていないわけですから、取捨選択が重要だというわけです。ですから私も、学長になりますと名刺の交換というのがいっぱいありまして、たくさん人と会うのですが、頂いた名刺はなるべく早く捨てるようにしております。私は政治家ではありませんから人の名前を覚えなくて、ほかのものを覚えようと努力したということ。

4番目には、戦うことを避けてはいけません。わが国は、うっかりしますと、日本とアメリカと違うことは、向こうはインディビジュアリズム（個人主義）です。日本はどうしてもグループというものを重視します。そうすると、集団というのは、ある意味においては、その中に安易に生活するというはやりやすいことです。例えば外国なんかによく行くと、外国に住んでいる日本人に話すのと、日本人たちに話すのと、外国に住んでいる日本人たちというのは身構えするというか、緊張感がその中に住んでいるわけです。わが国というのは、ある意味においては、集団の中でイージーに住めるかもしれませんが、自分の立場というものが壊される危険があるわけです。私も会社と喧嘩したようなこともございますが、やはり喧嘩をして良かったと思うんです。自分を守ることをしないことにはだめで、喧嘩をすることは私は勧めるわけではありませんけれども。

第5番目は、当然なことですが、初々しい感性のような

ものを失ってはいけない。5つの条件は決して成功への十分条件ではございません。ただ単なる必要条件にすぎないということを申し添えたいと思います。

この研究所も50年、今後大いに発展していただきたい。あまり歴史に引きずられないということが今後の発展に重要ではないかと思われるわけです。

(OHP)

最後に二つほど写真を。これは26年前にいただいたノーベル賞の写真でございまして、右のほうがブライアン・ジョー・セフソンです。真ん中はイーバー・ギェーバで、この人はノルウェー生まれで、アメリカに帰化した人です。

このときはジェネラルエレクトリックに勤めておりました。3人はインディペンデントにジャンクションの問題を取り扱ったわけですが、博士論文が、その後ノーベル賞の受賞対象になったということで共通しております。このときはブライアンが33で、イーバーが44で、私が48歳だったのですが、25年たちますと人間はどういうふうに変わるか。こういうふうに変わるといことです(笑)。

時間がまいりました。ご清聴ありがとうございました。今後の研究所の発展を祈りまして、講演を終わりたいと思います。