

# アモルファスシリコン太陽電池プロジェクト ～初の産官学で欧米をリード～

田中 一宜\* (電子技術総合研究所)

## 要旨

通商産業省工業技術院では、新しい再生可能エネルギー技術の開発を目指して、1974年、サンシャイン計画がスタートした。その1, 2年後、有望な新材料として登場したのがアモルファス半導体のエース、アモルファスシリコンである。火力や水力発電に比較して発電単価が200倍ともいわれた当時の太陽電池の発電単価を、大幅に低減可能、と期待された。

ここでは、1980年、紆余曲折を経て実現した初の産官学連携のアモルファスシリコン太陽電池プロジェクトについて、アモルファス半導体の前史を含め、発進までの経緯と結果、そして背景を詳しく記述する。とくに、以下の三点を明らかにする：

- (1)アモルファス半導体研究は、電試・電総研で何時スタートしたのか、プロジェクト発進前の10年間でどのようにして国際的な拠点を築いていったのか、
- (2)大学の本格参入がなぜ絶対に必要であったのか、また、通産省と文部省の壁をどうやって克服したのか、その過程で果たした電総研の役割は何だったのか、そして、
- (3)ほぼ3年間をかけて実現に持ち込んだ本格的な産学官連携は、国際的な戦略として十分に機能し得たのだろうか。

太平洋戦争で全てを失った日本人にとって、「追いつき、追い越せ」はたとえ口に出さなくても強い共通目標であったし、当然、それは研究者や技術者にとっても例外ではなかった。本稿では、研究をスタートしてから欧米に追いついたと実感するまでの約20年間を、筆者の目を通して見た人と組織のドキュメンタリーとして描写した(敬称はすべて省略)。

なお本稿は、2016年3月出版の拙著「国立研究所外史/ドキュメンタリー国家プロジェクト/真の産官学連携をめざした人々」(静岡学術出版)の二章と三章をベースにして新しく追加補強したものである。

## 1. はじめに/アモルファス半導体の草創期

「アモルファス(無定形な)」とは、物質を構成している原子の配列がランダムで周期性に欠けている状態を言う。ガラスは典型的なアモルファスと考えられるが、周期性の欠如からイオン性でない限り電気的には絶縁体である。ただし、全くランダムというわけではなく、原子周囲の短距離範囲においては、元素固有の化学的性質に起因して結晶と類似の構造秩序度が保たれていて、それが物質によっては半導体の性質を示すことにつながっている[1,2]。

---

\*現在 産総研名誉リサーチャー

事実、古くから使われていた複写機の光電面は、アモルファスセレン(Se)が中心であった。暗抵抗は絶縁体に近いが、光によって伝導度が大きく上がる性質を持ち、応用への期待から 1950 年前後、米国のゼロックス社あるいは RCA 社によって盛んに研究されていた。トランジスタと超伝導理論でノーベル物理学賞を二度受賞したジョン・バーディーン(John Bardeen)も一時期、ゼロックス社の顧問を務めている[1,2]。後に、アモルファスシリコンの画期的な論文を発表するダンディー大学のウォルター・スピーア(Walter E. Spear)も、1955 年頃から、アモルファス・セレンの光電流に関する研究に入っている。

しかしながら、はっきりと「半導体」を意識したアモルファス半導体の精力的な研究は、実はそれ以前に、旧ソ連レニングラード(現セント・ペテルスブルグ)のヨッフエ理工学研究所で始まっていた。リーダーはボリス・コロミエツ(B.T. Kolomiets)。1930 年代に、ホトダイオードの研究から、周期律表 VI 族の S、Se、Te(カルコゲナイド元素)を主として含む多元系のカルコゲナイド物質を体系的に調べた。その膨大なデータは、1964 年に総説としてヨーロッパの学術誌に英文で発表されている[3]。

コロミエツは、アモルファス半導体をガラス半導体(Vitreous Semiconductors)と呼び、半導体として最も重要な技術である「不純物添加による伝導型(n型、p型)の制御」に挑戦したが、残念ながら成功しなかった。また、その後現われたアモルファスシリコンの伝導型制御に対しては終生、「あれはガラスではない」と冷たい態度を取り続けた[2]。事実、筆者が 1981 年、科学アカデミーの招待でヨッフエ研のコロミエツを訪ねた際にも、“I am quite fond of glassy semiconductors”と言い、シリコンの話をしようとはしなかった。

いずれにしても、1948 年のトランジスタ発表以来、基礎研究と応用が理想的なキャッチボールを重ねながら破竹の勢いで成長していた結晶半導体に比較して、草創期のアモルファス半導体は認知されるほどの研究人口もなく、ほとんど取るに足らない存在であった。

やがて、状況を一変させる二つの論文が登場する。

第 2 章(2.)で詳述するが、一つは、1968 年のオブシンスキー論文[4]で、当時、電試田無に在籍した菊池誠はこの論文をきっかけにしてカルコゲナイド系アモルファス半導体の研究に着手した。

もう一つは、1975 年に発表されたアモルファスシリコンに関するスピーア・ルコンバー論文[5]で、この論文成果の衝撃は大きく、世界中が太陽電池への応用を目指して一斉に研究をスタートさせた。NEDO においても 1980 年、電総研材料部に誕生した筆者の研究室(アモルファス材料研究室)を中心に、サンシャインの目玉として産官学のプロジェクトを発進させる。第 3 節(3.)で詳述する。

この二つの論文によって触発された電試・電総研の研究チームは、どう反応し、どのようにして産官学連携のプロジェクトへと推し進めて行ったのだろうか [6]。

## 2. カルコゲナイド系アモルファス半導体／電総研菊池特別研究室

### 2.1. オブシンスキー論文

#### 注目を集めたオブシンスキー論文

1968年11月、Physical Review Letters という有名学術誌に載った短い論文が注目を惹いた。スタンフォード・オブシンスキー (Stanford R Ovshinsky / ECD 社 CEO) という無名の研究者が「アモルファス半導体」という新材料(多元系カルコゲナイドガラス)を使ってトランジスタを凌ぐスイッチ・メモリ素子を作製した、というのである[4]。のちに不規則系固体(つまりアモルファス)の理論でノーベル物理学賞(1977年)を受賞するネービル・モット(Nevill F. Mott / 元 Cambridge 大学 Cavendish Laboratory 所長)や他の著名な学者のコメントつきで、Wall Street Journal にも報道されたので、日本の四大商業紙が第一面で報じた。半導体や素子の研究は先端技術のシンボルであったから、当然、話題になった。

しかしながら、当時、エレクトロニクス産業の急成長を技術面で可能にしていたものは、「アモルファス」ではなく「結晶半導体」であり、学術と技術がお互いの成果をキャッチボールし合いながら無限の応用技術に発展しつつあった。事実、オブシンスキー論文の発表された1968年は、のちに結晶シリコン大規模集積回路(LSI)で中枢の技術を握ることになる米国インテル社が設立された年でもある。そんなにうまい話が続くだろうか？多くの人たちは半信半疑であった。とくに、著者のオブシンスキーについて、その公式経歴が高校卒業で学位も持っていないということが Wall Street Journal に報じられたこともあり、データの信ぴょう性が疑われるという側面があった[7]。

一方、そうは言っても Physical Review Letters は、最高峰の論文誌である。欧米では大学が核となって、不規則系(アモルファス)の固体物理という基礎科学の立場から集中討論を進めるため、直ちに、国際的な研究コミュニティを立ち上げた。正確に言えば、ソ連のコロミエツツらを中心としてソ連・東欧で細々と活動していた「アモルファスおよび液体半導体国際会議(International Conference on Amorphous and Liquid Semiconductors: ICALS)」を世界規模に強化したのである。ケンブリッジ大学のネービル・モット、テッド・デービス(Edward A. Davis)、ハーバード大学のビル・ポール(William Paul)、シカゴ大学のヘルムート・フリツシェ(Hellmut Fritzsche)、IBM 社トーマス・ワトソン研究所のマーク・ブロズキー(Marc Brodsky)、ゼロックス社パロアルト研究所(PARC)のジェリー・ルコフスキー(Gerald Lucovsky)ら強力な布陣で、1969年、第3回 ICALS を英国ケンブリッジ大学で開催した。

このようにして、オブシンスキーが発表した一篇の論文が、それまで支流にあった「アモルファス半導体」という研究をメイン・ストリームに一歩近づけたのである。日本で動いたのは、電試(田無)電子部品部の部品基礎研究室(菊池誠室長)、そして電電公社武蔵野通研の水島特別研究室(水島宣彦室長)ほか、わずかであった。

## 松下電器東京研究所が先行調査

実は、オブシンスキー論文が発表される数年前からアモルファス半導体を調べていた日本企業の研究所があった。(株)松下電器東京研究所(松下東研のちに松下技研)電子装置第一研究室第二係(通称小橋研)である。松下東研は、当時の第一次中央研究所ブームに乗って、松下幸之助が小池勇二郎(東北大学名誉教授)を所長に招へいしてスタートさせた基礎研究所であった。

筆者は、1963年、大学学部を卒業後、川崎市生田の新研究棟が完成したばかりの松下東研に入社、小橋忠雄(1956年東北大卒、のち足利大学教授)の指導のもとで、X線映像変換装置の研究を始めた。小橋は当時、若干30歳であったが、筆者の恩師である菅義夫(東大名誉教授、理研理事、当時、上智大学理工学部長)は「私が委員長を務めている学振125委員会(通称EL委員会)に置いて、小橋君という若い人が光増幅器について実にユニークな研究を発表している」と常々周囲に話していた。事実、小橋は若くしてスタート時の松下東研を支えた研究者である。

小橋と筆者は研究の過程で半導性のガラス材料が必要になり、1966年ころから調べるうちに、自然のなりゆきで、三つの注目すべき研究に出会った。第一の論文は、上述したヨッフエ研のコロミエツツ(B.T. Kolomiets)らによる「“Vitreous Semiconductors”(ガラス半導体)」と題する二部に分かれたカルコゲナイド系ガラスについての総説論文[3]、第二は、オブシンスキーらのアモルファス半導体に関する大量の出願特許(1966年)、そして第三は、電気試験所材料部の宗像元介らの半導性ガラスに関する研究報告書(1963年、後述)である[8]。前二者はカルコゲナイド系アモルファス、後者は遷移金属を含む半導性の酸化物ガラスであった。筆者は、とくに、コロミエツツの二篇の総説論文全文を和訳してノートに筆写、また宗像元介の研究報告書全ページを青焼きコピーしてファイルに綴じこみ、実験の合間にむさぼり読んだ。一方、上述したように、オブシンスキーは無名の研究者であったため、彼の特許に興味を示すものは、まだ世界では少なかったはずである。

広大な未踏領域を含むアモルファス半導体に魅了された筆者は、グループの次期テーマにできないかと小橋に申し入れ、本格的な調査研究を開始、所長の小池勇二郎(前出)の賛同も得た。しかし、1968年の8月、松下本社の大きな方針転換があり、結局は却下された。筆者は、悩んだあげく、9月に入ってから、翌年3月末をもって辞職する旨を小橋に伝えた。オブシンスキー論文が発表されたのは、その2ヶ月後である。大々的に新聞に報道されたことによって多くの大学が研究を始める可能性があり、筆者は「ゆっくりできない」との焦りを感じたことを覚えている[6]。

## 2.2. 電試田無でカルコゲナイド系アモルファス半導体がスタート

### 菊池誠と飯島茂の実験

そのような中、オブシンスキー論文の発表に触発されて直ちにアモルファス半導体の実験を始めた人がいた。当時、電試(田無)の電子部品部部品基礎研究室長であった菊池誠である[6]。菊池が田無の通称「馬小屋」でベル研発表のトランジスタ追試実験に苦闘していたころから20年の月日が流れ、電試は国内では最も設備の整った国立研究所になっていた。菊池は田無のC2庁舎3階に、結晶成長、試料調整、化学処理、暗室光学測定、電気磁気測定、X線回折、など、ほぼ

すべての機能を備えた実験設備を持っていた。菊池は、このテーマを取り上げた理由として、「本物の技術に育ち得るものかどうかについて、国立研のマネジメントとして確かな判断材料を示したい」と明言していた。欧米である程度確立された研究領域にしか手を出さないという傾向が強かった当時のアカデミアに、一石を投じる発言であったろう[6]。

しかし、同時に、菊池誠という人は、新しい物理現象に出会うと「わくわく」と心が躍り、すぐにも実験を始めたいくなる性分でもあった。このことについては、かつての研究グループの仲間たちが異口同音に証言している[9]。

アモルファス半導体の試料表面に二本の針を立て、電圧をかけると電氣的な高抵抗状態から低抵抗にスイッチする、あるいは条件によってそれがメモリ(記憶)される。このような非線形現象は物性物理として興味深く、また、デバイスへの応用可能性を秘めている。しかも実験は非常に簡単だ。菊池は、ほとんど間を置かず、主任研究官の飯島茂(東大物工卒、菅義夫門下、のち部品基礎研究室長)に命じてカルコゲナイド系アモルファス半導体を作らせた。

結晶作りの名人である飯島にとって[10]、アモルファス試料を作るのはたやすいことで、組成元素の秤量、石英管への真空封入、電気炉での熔融攪拌と急冷プロセスを一人でこなし、毎日、組成比の異なる試料を作製、切断研磨して菊池に供給した。

このようにして菊池は直ちにオブシンスキー論文の追試をスタートすることができ、まもなく基本的な結果を確認した。ほどなくその後、あらたに四本の針を使った実験からメモリの「交換現象」を見出し、1969年11月、日本で最初のアモルファス半導体スイッチ・メモリ現象の論文をAppl.Phys.Lett.に発表している[11]。オブシンスキー論文の発表から僅か一年目という早業であった。元々、トランジスタ発明者のショックレイ(William Shockley)やバーディーン(John Bardeen)と親交のあった菊池は、この論文によってアモルファスの分野でも国際的に認知されるようになった。

### 筆者は松下東研から菊池研へ

一方、筆者は、1969年4月、6年間お世話になった松下東研を辞職した[12]。同時に、恩師菅義夫の助言に従い、将来上智大学に講座を持つことを想定して、大学院に籍を置いた。しかし、その数ヶ月前にオブシンスキー論文の発表があつて、直ちに電試の菊池誠研究室がテーマとして取り上げたことが伝わっていたので、もう、ぐずぐずはできない。同年5月、上智大学の田中利雄教授(東大物工卒、菅義夫門下、のちに日本プレジジョン・サーキット社長)に伴われて、田無の菊池研究室を訪ねた。

「明日からでも来なさい」という思いがけない菊池の言葉で、筆者は上智大学に籍を置いたまま、菊池グループに実習生として加わることになった [6]。早速、筆者は飯島からカルコゲナイド系アモルファス半導体の試料作りの特訓を受け、以後、「一日一善」と称して毎日、炉室で組成を変えた三元系(As-Te-Ge)の試料を作り続けた。

当時の日本において、アモルファス半導体はリスクなテーマでしかも未踏領域であったことから、本格的なグループは、国内では菊池研究室および通研の水島(水島宜彦)特別研究室以外に

は見当たらなかった。ちなみに、電総研と通研は 1948 年以前には、通信省の付属試験研究機関「電気試験所」として一体であった[6]。

## 2.3.「電子技術総合研究所(電総研)」に改名

### 菊池特研の誕生

翌 1970 年(昭和 45 年)7 月、電試は「電子技術総合研究所(以下、電総研)」に所名を改称した。当時の所長は、MHD 発電を率いた森英夫(もりふさお)である。この所名変更は、電力中心の試験所業務が、新しい科学に裏打ちされた破竹の勢いのエレクトロニクスや情報技術を包含した研究所業務に重心を移すことを象徴したものである。「電力部」や「機器部」は「エネルギー部」に、「物理部」は「基礎部」に、「電子部品部」は「電子デバイス部」に、改称された。

森英夫は、1943 年、東京帝国大学工学部電気工学科を卒業後、電試に入所、電力部、機器部などに所属した。ちなみに、1950 年代なかば、菊池らを指導してトランジスタやそれらを使った国内初のコンピュータ ETL Mark III を製作した電子部長の和田弘は、森の母方の親戚であり、森と同じ学科の先輩でもある [6]。電総研の誕生前後、森は、時代の要請に応え得る将来を見据えた研究所運営の改革に腐心していた。研究者の「自己主張」を引き出すための契約研究(経常研究費を使った)を所内制度として実施したのは、森の運営改革の具体例である[6]。

電試から電総研へ、物理部から基礎部へと、所名や部名の変更があったが、それに伴い、部品基礎研究室は基礎部に移動、同時に電子基礎特別研究室という新しい研究室が所長直下に生まれた。別名、「菊池特研」と呼ばれた。研究室の構成員は部品基礎研の全員が併任した。これには、当然、背景がある。菊池は、最初、新生電総研の初代基礎部長への就任を所長の森から要請されていたが、固辞したのである[13]。

つまり、菊池は、特別研究室の室長という、いわば独立して裁量権を与えられたプロジェクトチームのリーダーを選んだ。アモルファス半導体は、菊池特研スタート時の主たる課題であり、技術の将来性を判定するに十分な結果を出せるか否か、いわば国立研の見識と力が試されることになった。

### 休日返上の実験

所名変更前後 2 年間(1969~1971 年)の菊池特研は寝食を忘れた研究漬けの毎日であった[14]。1969 年は、菊池、飯島に、新たに杉道夫(1969 年入所/工学/文化人類学/物理学、のち首席研究官)と筆者が加わり、カルコゲナイド系アモルファス半導体のスイッチ・メモリ現象の解明に集中的に取り組んだ。

この現象に熱的な効果が関与しているか否かが本質的な問題であり、その解明には表面に立てた二本の電極間の表面温度を正確に測定する必要があった。それには、当時、三栄測器が開発した赤外線放射温度計がどうしても欲しい。待つてはいられないから菊池は三栄測器に直談判して、東大電気工学科の宇都宮研究室に入ったばかりの放射温度計を一週間だけ借り受けた。

短時間で多くのデータを取らなければならない。ところが実験のセットアップに時間がかかり、土曜日になっても予定した実験は終わらなかった。筆者は折悪しく夏風邪に苦しんでいて杉も風邪気味であったが、菊池から「これは風邪によく効くから」と親切に風邪薬を手渡された。休むわけにはいかない。翌日曜日、8月の暑い日であったが、菊池、飯島、杉、そして筆者の4人は、終日、C2-316室内の暗室にこもって、ひたすらデータを取り続けた。実験は成功し、メモリー動作中の試料表面温度について詳細な二次元等温線図が得られた。しかし、翌日から、菊池、飯島がひどい風邪にやられてしばらく休んだ。おそらく筆者と杉からうつされたものだったろう。文字通り、フィーバーの日常であった。

このときの総合結果は、1969年9月、応用物理学会主催の第一回固体素子コンファレンスにて発表されている[15]。この会議は、その後、固体素子・材料コンファレンス(SSDM)として国際会議に発展し、半世紀近く、応用物理学会の年中行事として現在も続いている。

### 海外研究者らとの直接交流

菊池と飯島は最初の論文が Appl.Phys.Lett. に採択されたため、アモルファス半導体の国際コミュニティに認知され、菊池は海外に何度か呼ばれた。また、国際会議の日本委員を1971年度、1973年度(欠席)と務めている。その過程で、菊池は、国際会議などを通してオブシンスキーやフリッチェと親交を結び、多くの海外研究者を田無のC2庁舎に連れてきた。実験室を案内しながら、筆者や杉に実験の内容を説明させ、そのあとでセミナーを所内に公開して議論を続けた。

これは、かつて、菊池の上司、鳩山道夫がバーディーン(John Bardeen/1956年にトランジスタ発明でノーベル賞を受賞した三人の中の一人)らを田無に呼んできて菊池らを鍛えた手法と同じである[16]。若い研究者の視点は、自然にグローバルになり、トップを走る研究者やグループを目指して、夜を日に継ぐ努力をしたことは言うまでもない。

1970年以降に加わった松田彰久(のちに電総研スーパーラボ長、阪大特任教授、プラズマ材料化学)や、実習生の黒須楯生(のちに東海大学教授)、浜田(峯尾)秋良(のちに化合物半導体のNEC事業部長)ら、みな30歳以下の若さと体力を誇り、菊池の指導の下で躍動していた。

### 電総研内での協力

当時、このチームは電総研内の基礎部の他研究室、材料部の各研究室と交流し、適宜、指導やアシストを受けた。とくに、アモルファス物質を扱う無秩序系の固体物性論は未熟な段階にあり、基礎的な研究を進めるうえで物性に関する広く深い知識が必要であったが、基礎部には二人の強力な理論家が居た。音響物性や半導体の基礎理論について詳しい御子柴宣夫(固体物性研究室長、のち東北大学教授)、そして「近藤効果」として知られる金属電気抵抗極小理論の近藤淳(1973年、学士院賞恩賜賞を受賞)である。折に触れ実験家の疑問を持ち込むと、物性理論家としての適確な示唆が返ってきた。

また、筆者は、それまでの半導体研究にはほとんど縁のなかったガラスの諸性質について、電総研材料部で連綿として続けられていた酸化ガラスやその電氣的性質についての研究蓄積を利

用、先駆的な成果を上げていた宗像元介(元材料部長、当時、職業訓練大学校長)[8]、中島達二(材料部長、のち所長、日本板硝子社長)らの論文を調査、材料物性研究室の並河洋(主任研究官)らに適宜アドバイスを求め、熱分析については、同じく材料部の示差熱量分析器の発明者、小沢丈夫(電子科学研究室長)の指導を受けた。

## 2.4. アモルファスの光物性に関して新しい研究領域を拓く

### スイッチ・メモリ現象の評価に決着／次は何に挑戦？

このようにして学術成果は間違いなく蓄積されたが、同時に、オブシンスキーの電氣的スイッチ・メモリに関しては、本質的に熱的な現象であることを学術的に証明する結果となった。一部に未解決部分を残しながらもシリコン結晶技術に置換し得る条件を満たしていないと判断されるに至り、菊池、飯島、杉、筆者のグループは解散した。

菊池はその後、松田、黒須、浜田らを率いて、Shock Crystallization(アモルファス Ge スパッタ膜の機械的刺激による結晶化)や“Letter-8”現象(極性のある非線形伝導)をグループ研究の短期集中テーマとしてリードした。一方、杉は、かねてから希望していた LB 膜の研究に轉身し、1972 年、電総研を長期休職のうえ、ゲッチンゲンのマックス・プランク(Max Planck)研究所に研究場所を移した。

その前後、電総研の正規職員になっていた筆者は、アモルファスの固体物理としての本質とは何か、について強くこだわるようになっていた。それが明らかでない限り学術的な価値は薄くなる。もう、他人の研究の追試はご免だ。まずは、不規則系物質の基礎的な課題を洗い出そうと考え、菊池特研で高抵抗結晶半導体の輸送現象を研究していた大串秀世(後に ICTS を発明、後述)に相談し、当時、Philosophical Magazine に連載されていたネービル・モット(N.F.Mott:前出)の「不規則系固体における伝導現象」を輪講することになった[17]。渡独前の杉道夫も加わった。この輪講から、杉は後に、LB 膜の膜垂直方向の伝導について、モットが提唱した“Variable-Range Hopping”(変程ホッピング)を二次元に適用する着想を得ている。

### アモルファスに固有の現象を探索

不規則構造が電子や正孔の輸送現象に与える効果を議論したモット論文の輪講は面白かったが、それを実験レベルで証明することの困難さは想像を超えるところがあった。とくに、物性理論としてホットな話題の一つがアンダーソン局在(Anderson Localization)であり、アモルファス固有の物性と言えたが、現実のアモルファス半導体を使った実験でユニークに証明する道筋は見えなかった。

一方、たまたま、菊池の示唆で始めていた光ドーピング現象(Photo-doping)の実験の過程で、古くから知られていた「光黒化現象(Photodarkening)」の背景にこそ、不規則系固体に固有の性質が隠されているのではないかと疑念を抱いた。清水勇(のち東工大教授)らが発見した光ドーピングは、アモルファス三硫化ヒ素(a-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)などのカルコゲナイドガラス表面に銀などの金属を蒸着し、



光照射下で拡散させるものである[18]。応用の可能性を秘めてはいるが、筆者の興味とは異なる。そこで、光ドーピングを早々に終息させ、むしろ、アモルファス三硫化ヒ素(a-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)自身が持つ光黒化現象(Photodarkening)に焦点を絞った[1,2]。菊池はこのわがまを黙認した。

筆者の直観の根拠は単純であった。光を当てると着色する現象は、通常はある波長範囲に光吸収帯が現れることによる。これらは、結晶の局所構造が光に励起誘導されて不可逆的に変化する、あるいは自由キャリアが深い電子準位にトラップされた結果として生じ、イオン結晶のカラーセンターや結晶半導体の欠陥(あるいは不純物)準位はその代表例である。事実、当時、アモルファス三硫化ヒ素を含むカルコゲナイド系ガラスにおける光黒化は、従来の結晶固体に観察されるものと同様の光劣化と考えられていた。しかし、光黒化は、現象が全く異なっている。特定波長域の吸収帯出現というよりは、バンドギャップに相当する光吸収端が低エネルギー側にシフト(レッドシフト)する現象で、あたかもバンドギャップそのものが変化しているように見えた。加熱すると可逆的に復帰した。欠陥というより、骨格全体が変調されていると予想されたのである。

### 光黒化現象に集中

単独での研究に没頭しつつ、1972年の夏ごろ、組成の異なるAs-S系カルコゲナイドガラスの薄膜実験から、光黒化現象についての作業仮説を得て、その年の10月初め、北海道での応用物理学学会で発表した。仮説を証明するための実験はすでに頭にあり、実は、早く田無に帰って実験をやりたいかった。

ところが、筆者の発表を聴いて質問をしてきた男がいた。2年前の1970年、同じ電総研の材料部材料物性研究室に入ってきた荒井和雄である。田無のC2庁舎2階に居室があり、3階の菊池特研とは歩いて百歩も離れていなかった。筆者は、時々、荒井の上司である並河を訪ねたが、同じカルコゲナイドガラスの研究を始めていた荒井とは、なぜか2年近くも口を利いたことがなかった。

荒井の質問は本質を突いたものであり、筆者が予定している実験を見抜いていた。同時に、筆者は、荒井の発表講演から、彼がカルコゲンガラスにおける欠陥構造を微視的に解明しようとしていることを知った。燈台もと暗し。すぐそばに居ながら2年近くも口を利かず、わざわざ北海道で実質的な初対面とは……。この年の秋以降、夜になると筆者は2階の研究室に荒井を訪ねて夜遅くまで議論を重ねた。

予定している低温実験には、準備も含め、測定にかなりの時日が必要であった。そこで、定性的にでも結果が早く知りたくて、液体窒素(77K)にヒ素(As)過剰のAs-S薄膜資料をジャブ漬けにして外から水銀ランプのビームを照射する、という乱暴な予備実験を行った。その結果、常温照射では薄膜の黄色が透明に抜けたが、液体窒素温度では見事に黒化した。仮説を支持するものであり、荒井との議論は熱を帯びるようになる。

その後、筆者は休みなしの本格的な実験に没入した。熱中するあまり、明けて1973年2月、盲腸をこじらせて末期的な腹膜炎になって手術、4月まで入院を余儀なくされた。その入院中、国際会議で米国のライバルたちとface-to-faceの議論がしたいとの思いが募った。その決心を電話で

菊池に伝え、9月にドイツで予定されている第5回アモルファス・液体半導体国際会議(ICALS)に向けて講演アブストラクトを書き、応募した。

### 最初の結果を国際会議で発表／ライバルたちと直接議論

論文は採択された。しかし、当時、30代前半の研究者が官費で海外出張をすることはほとんど不可能だった。私費出張しか方法はない。1ドル360円の時代、ヨーロッパ往復には月給3か月分が必要だ。筆者は妻と相談のうえ、当面2回までを限度として欧米への私費出張を決めた。

旅費の節約のため、東海大学欧州研修旅行に臨時講師として便乗させてもらい、南回りのフライトで何回も途中寄港しながらローマに到着した。その後、東欧などを経由しながら1973年9月2日、東海大学の一行と別れ、翌日から第5回ICALSが開催されるガルミッシュ＝パルテンキルヘン(Garmisch-Partenkirchen)に入った。ここでの5日間(9月3日―8日)は終生忘れがたいものとなった。

何よりも、この国際会議は筆者の初陣であった。そして、光黒化現象で著名な米国研究者二人、Xerox社のバークス(J.S. Berkes)、ECD社のドゥヌフビル(J.P. deNeufville)と初めて対面して個別に十分議論を戦わせることができたのだ。オブシンスキー発表から5年、アモルファスの物理はまだ始まったばかりで、「アモルファスの本質は？」など、連日、どのセッションにおいても議論は白熱していた。ガルミッシュは周囲を山に囲まれた小さな街で、しかも会議中は例外なく快晴だったので、昼となく夜となく、クアパークやレストランのオープンテラス、ブロイハウスで、飲みながら議論は延々と続いた[19]。

この会議には、国際会議組織委員会の日本委員である菊池誠が欠席で、名代としてソニーの鳩山道夫が出席していた。鳩山は菊池のかつての上司であり、ソニー中央研究所長を辞して湘北短大の初代学長に就任する前年であった。また、ケンブリッジ大学キャベンディッシュ研究所(英)に長期滞在していた電総研基礎部の前川稔、ゲッチンゲンのマックスプランク研究所(独)に滞在中の杉道夫も出席していた。思いがけない電試の同窓会の感があった。他に、阪大の浜川圭弘(当時、助教授)、京大基研の米澤富美子(当時、助教授)、金沢大の清水立生(当時、教授)、日立中研の丸山瑛一、らが参加していて、その後、日本における大学や産業界の中心的存在になっていく。

鳩山は菊池の意を受け、国際組織委員会において、要請されていた二年後の第6回ICALS会議の日本開催を辞退した。その結果、二年後1975年の開催に手を挙げていたソ連のレニングラード開催が自動的に決定した。東京開催が実現するのは10年後の1983年(第10回ICALS)であり、その前後に日本委員を務めていたのは筆者である。

## 2.5. 基礎研究の成果で国際アカデミアへの仲間入り

### 光構造変化の発見／菊池はソニー中央研究所へ

ガルミッシュでの議論で明らかになったことは、光黒化現象を構造変化の結果と考えるには、直接証拠が何もなく、米国の二人は筆者の基本モデルに否定的だということだった。ヒ素過剰の As-S 膜での実験は、あくまで傍証に過ぎないから、いよいよ本命の化学量論組成  $As_2S_3$  アモルファス膜で直接的なエビデンスを獲る以外にない。新しい概念を打ち出すためには、直接に実証することがどうしても必要だ。結晶と比較して全ての物性にある種のボケが存在するアモルファス物質においては、外部刺激による信号の変化を検知することはたやすいことではない。しかし、他に道はなかった。

筆者は、当時、それを「くそ実証主義」と称して自らを叱咤した。まず、アモルファスの X 線散漫散乱に目を付けた。回折線の無い X 線散漫散乱パターンを 0.1 度刻みで  $2\theta$  角を固定積算しながら、徹底的に SN 比を上げて測定、光照射(室温、低温)の前後、加熱アニールの前後の、それぞれの X 線散漫散乱パターンを比較した。一つのパターンを得るのに一週間、比較するための最低数の実験を終えるのに 3 カ月、組成を変えたり、再現性のチェックも含め、1 年近くの時日を要した。結果は、「光照射による構造無秩序性の増大(エントロピーの増大)」であり、加熱によって元に戻る「可逆的な光構造変化」と解釈された。これ以後、「可逆的な光構造変化」を堂々と主張することができるようになった。この頃の筆者は生活の 100%を研究だけに打ち込み、連夜の荒井との議論も酒を飲みながら研究の話をしていった。

筆者がこの実験を始めたころの 1974 年、菊池特研室長の菊池誠はソニーの井深大に誘われ、電総研を辞職してソニーへ転出、中央研究所長に就任した。部品基礎研究室の室長は飯島茂が継いだ。2 年の留学から帰国した杉道夫は本格的に LB 膜の研究を始め、大串、松田もそれぞれ独立した研究に進んでいた。室長の飯島にはどこか醒めたところがあり、予算を取ってくることはしなかったし研究者の管理も一切しなかった。しかし研究員の支援要請があれば豊富な実験技術と知識で応えた。筆者も、純然たる基礎研究に没頭する自由度を貰っていた。

「光ドーピング」や「光黒化現象」は、上述したように、光リソグラフィーへの応用可能性を秘めていたこともあって、当時、その視点から、精力的に研究開発を進めていたのが、井郷健夫、前佛栄、吉川昭、宇津木靖を擁していた電電公社通研の水島特別研究室である[20]。筆者にとって、水島宜彦は電気工学科の大先輩でもあったが、応用物理学会では井郷らと激しい論争を繰り返した。当時、この分野の研究に関する限り、明らかに日本の研究陣が世界をリードしていたと言える。水島特研の応用指向の研究は、筆者の基礎研究の免罪符であると勝手に考えていた。

### 米国 AIP(American Institute of Physics)コンファレンスへの招待状

1974 年から 1975 年にかけて、材料部の荒井和雄とは継続して議論を続けていた。その中から、光構造変化に関する局所構造や電子状態の微視的な情報を得るための算段がついた。当時、荒

井は Ge-S ガラスの欠陥構造やその微視的な生成過程を融液にまでさかのぼる野心的な研究に挑戦していたからである。

低温実験は荒井の装置をまるまる拝借し、ラマン散乱では腰塚直己(材料部磁性材料研究室)、ESR では山下幹雄(電波電子部レーザー研究室)の助力を得た。荒井の所内人脈そのものであったが、当時の電総研は、全体としてみれば、大学とは比べ物にならないほど装置や設備が充実していたのである。また、光吸収端の圧力効果については東大物性研教授の箕村茂、大学院生の青木勝敏(のち物質研首席研究員)と共同研究を実施した。

1974 年 9 月、満を持して X 線散漫散乱を中心とするデータの第一報を Solid State Communications に発表[20]、1975 年 3 月には光構造変化の機構について Appl.Phys. Letters に発表した [21]。この二つの論文はその後の筆者の一年間に決定的な影響を与えた。

APL に論文が掲載された同じ 1975 年 3 月、ゼロックス社 PARC のルコフスキー (Gerald Lukovsky、前出、のち NCSU 教授) から、突然、手紙が届いた。翌年 (1976 年) 3 月にウイリアムズバーグ (Williamsburg) で開催予定の AIP (米国物理学協会) 主催の国際会議「アモルファス固体における構造と励起」に国際諮問委員として招待する、というのである。旅費滞在費は全てカバーすると記してあった。一瞬、夢かと思ったが、すぐに APL の論文が評価されたのだと理解した。同時に、これで妻との約束が果たせるとも思った。

## 第 6 回アモルファス・液体半導体国際会議 (ICALS) / レニングラード

米国からの招待状が届いた年 (1975 年) の 11 月、ソ連レニングラードで第 6 回 ICALS が開催され、荒井と筆者は、私費で出席した。到着した翌日、オープニングの直前に「お前は招待されている」とコロミエツ(前出/会議の副議長)に言われ、錚々たる学者が並ぶヒナ壇に座らされた。横には、シカゴ大教授のフリッチェ(前出/のち国際組織員会議長)が居て、初対面の挨拶をした。また、中日の午前のセッション直前に、会議書記長のリュービン (V.M. Lyubin) から、突然「お前が座長だ」と言われ、これもかなり面食らった。必死に座長を務めたが、そのため、パラレルセッションで行われた荒井の Ge-S の講演を聴きそこなった。ソ連研究者の大半はロシア語で講演、同時通訳の英語もひどく、欧米の連中もあきらめてヘッドフォンを首にかけていた。会議の運営は、すべてこの調子であった。

この会議については、ソ連のユダヤ人政策に抗議して参加をボイコットした研究者が多く、また、夏の開催予定が冬に変更になったため、海外からの出席者はかなり少なかった。一方、日本からは菊池誠(ソニー、招待講演の日のみ出席)、有住徹弥(名大教授)、岡崎誠(東大、のち筑波大学教授)、仁田昌二、嶋川晃一(岐阜大、のち教授)ら、10 名近くの出席があった。海外からの参加が少ない中、その分、オブシンスキー(前出)ヤルコフスキー(前出)、アドラー (David Adler, MIT 教授)、ビーネンシュトック (Arthur Bienenstock / スタンフォード大学教授)、シュトウケ (J. Stuke / ガルミッシュ会議の議長)ら著名な研究者とは、ほぼ全員と光構造変化について議論する機会があり、また、会議後にはコロミエツがヨッフエ研に招待してくれた[23]。

ヨッフェ研でのコロミエツとの交流は印象に強く残る。彼のオフィスの真中には、四角い小さなテーブルがあり、まず壁の棚から小ビーカーを数個持ってきてその上に並べた。今度は部屋の隅の大きなオフィス機の抽斗をあけると、そこには何本かのウォッカとアルマニャックが横たわっていた。それを取り出して来てビーカーに注いで主客が一気にあおるのである。議論はそれから始まるのだった。

このようにして筆者の国際人脈は自然に膨らんでいった。また、菊池以来、電総研(ETL)からは質の高い複数の研究論文が継続して国際会議で発表され、ETL は日本の拠点と目されるようになった。

帰国後、休む間もなく12月に入って、翌年3月の米国AIPコンファレンスに向けて査読用アブストラクトを作成、講演申し込みを送った。12月23日、電総研田無の守衛室に米国から筆者あての電報が届いた。「お前の論文は招待講演に選ばれた。講演タイトルを送ってくれ/ジェリー・ルコフスキー」。嬉しかったが、国際諮問委員と招待講演の二役は、筆者に苛酷な3か月を課すことになった。詳細は後述する。

さらにもう一つ、同じ12月のSolid State Communicationsに画期的な論文が発表された[5]。アモルファス半導体で初めてのpn制御が成功したというのである。この論文は、アモルファス半導体を一気に実用化の舞台に近づけるブレイク・スルーを含んでいた。風雲急を告げる数年間はこのときに始まる。

### 3. アモルファスシリコンの登場/NEDO 太陽電池プロジェクトへ

#### 3.1. スピア・ルコンバー論文

##### アモルファスシリコンで初のpn制御に成功(ダンディ大学)

ダンディ(Dundee)大学のウォルター・スピア(Walter E. Spear/教授)とピーター・ルコンバー(P. G. LeComber/助教授、のち教授)が1975年12月に発表したのは、「アモルファスシリコンの置換型ドーピング」と題する論文である[5]。これは、アモルファス半導体においても結晶半導体と同様に、不純物を入れる(ドーピング)ことによって伝導型をp型やn型に変換できる、つまり、pn接合のダイオードやトランジスタといった電子素子を理屈上は作れることを示したものであった。サイエンスとしても実用化の視点からも、画期的な論文であった。

アモルファスシリコンはグロー放電法(プラズマ堆積法)という新しい作製法によって薄膜状に形成されるが、その後まもなく、他のグループによって薄膜中に水素がパーセントオーダーで含まれていることが判明したので、正確には水素化アモルファスシリコン(a-Si:H)と呼ばれるようになる。それまでのアモルファスシリコンは、主に、スパッタ法や蒸着法という方法で作成されていたが、できたシリコン薄膜中には未結合手(結合相手の居ないシリコンの結合手:Dangling Bond)による電子的欠陥(不対電子)が多量に存在し、伝導型の制御(pn制御)が困難であった。未結合手が大幅

に減ったのは、シラン(シリコンに4つの水素がくっついている気体分子)をプラズマで分解する(グロー放電法)ことによって水素が必然的にシリコン膜中に含まれ、この水素が未結合手と結びついて結果的に電子的欠陥(不対電子)を消去したのである[2]。

以上の結論に到達するまでに、実は、数年かかった。研究グループ間の論争が続いたからである。その論争の皮切りになったのが、以下に記すように、筆者が国際諮問委員を務めた米国ウイリアムズバーグでの AIP コンファレンスであった。

### 産業界で一気に高まった関心

国内での反応はどうだったであろうか。応用の立場から眺める水素化アモルファスシリコン(以下、a-Si)は魅力に満ちていた。pn 制御が可能で、薄膜の面積化が容易、となれば限らない応用が広がるだろう。特に面積化が苦手な結晶シリコンに比較して、太陽電池や画像ディスプレイへの応用は有望と思えた。第一次石油ショックでサンシャイン計画もスタートしていた。問題は性能がどれだけ上がるかである。とにかく情報がほしい。しかし、当時の企業の研究所や技術部門では、1975 年 12 月の論文で発表されたばかりの a-Si について、学術的・技術的な基礎知識を全く持ち合わせていなかった。アモルファスの科学や技術は未完の新しい領域だったからである。

年明け早々、数社から個別に技術幹部が筆者にアクセスしてきた。3 月の米国 AIP 会議での会議報告を帰国後に聴かせてくれないかと言うのである。電話での問い合わせもいくつかあり、日々、アカデミアのみならず、産業界での関心が急速に成長しつつあった。

一方、筆者は AIP 会議の国際諮問委員として、日本から出席する研究者を財政支援するようルコフスキーから要請されていた。旅費援助については、組織委員会側から、筆者に対して以外にも、荒井和雄、清水立生(金沢大/前出)、米澤富美子(京大/前出)、野田三喜男(愛知教育大)らに対して段階的な援助が提示されていたが、さらに大学からの参加者を支援するよう自助努力せよということであった。そこで、当時、電子協(日本電子工業振興協会)の委員会を手伝っていたこともあって事務局に相談、アドホックに海外技術調査プロジェクトを立ち上げた。AIP 会議での a-Si 情報に興味を持つ企業(約 20 社)は賛助会員として会費を電子協に収め、集まったお金は臨時技術調査員としての大学研究者の旅費援助に当てた。(帰国後、報告書を作成、報告会を開いて会員企業の方々に詳しい会議速報を提供することができた。このときほど電子協の存在をありがたいと思ったことはない)

筆者の講演は招待講演になったため、荒井の支援を受けつつ低温実験のデータをさらに充実させた。出発前ぎりぎりになって、大変だったのは論文の作成であった。一介の主任研究官には秘書などいない。パソコンの無い時代、プロシーディング用の論文原稿をタイプライターで自らが打ち込み、自らが墨入れて描いた図を縮小して貼り付ける。そのままオフセット印刷するので、失敗すれば、作り直す。おまけに招待講演には、ページ数が 10 ページも与えられていた。日本を発つ前日の夜遅くまで原稿にとらめっこ。ボールヘッド型 IBM タイプライターと格闘する指がブルブルと震えていたことを覚えている。

## AIP コンファレンスでの議論

1976年3月25日—27日、バージニア州ウィリアムズバーグにて「アモルファス固体の構造と励起 (Structure and Excitations of Amorphous Solids)」国際会議が開かれた。筆者は、ワシントンの海軍基礎研究所 (Naval Research Lab) のクレイク・テイラー (P.C. Taylor、のちユタ大学教授) らの要請に応じて NRL で講演をしたのち、Williamsburg に入った。筆者の招待講演には、当時の日本では考えられないほど多くの質問が出た[24]。「カルコゲナイド系ガラスの光構造変化」は、その後、1977年の第7回 ICALS 以降、アモルファス固有の物性として認知され、独立したセッションにて議論されるようになる。

しかし、この会議における主役は、カルコゲナイドではなくシリコンであった。最も強い関心を惹いた招待講演は、先年(1975年)の Solid State Commun. に第一報が出たアモルファス・シリコン (a-Si) の pn 制御の実験結果である[25]。実用上もサイエンスとしても多くの関心が注がれていたため、固体物理学の泰斗、ネービル・モット (N.F.Mott / 前出、当時 68 歳) も会議に出席していた。1976年3月27日、最終日の朝、ダンディー大学のウォルター・スピーア (W.E. Spear) に代わって共著者のピーター・ルコンバー (P.G. LeComber) が招待講演の演壇に立った[25]。論文が誌上発表されて以後、最初の公式の国際会議であり、満席の会場でモットは最前列の真ん中に座っていた。まさにメイン・イベントと言うにふさわしい舞台であった。

この発表には多くの質問が出た[25]。半導体技術は結晶シリコンが主役であるから、アモルファスシリコンでも pn 制御ができないかと考えるのは、ある意味で当然の連想である。日米欧各国に、それぞれ、同様の研究を進めるダンディー大学のライバルグループが存在した。その中で、米国ハーバード大学のビル・ポール (William Paul)、IBM ヨークタウン・ハイツのマーク・ブロズキー (Marc Brodsky)、早くも追試を始めていたゼロックス PARC のジョン・ナイト (John Knights) らは、会場の前の方に陣取ってルコンバーの講演を聴いていた。

中心の論点は、水素がシリコン膜中に含まれているか否かということであった。米国勢は水素の存在を疑ったが、ルコンバーは赤外吸収によって調べたが検知されなかったという主張を崩さなかった[25]。それから1、2年、世界の多くの研究者を巻き込んで追試が行われ、1977年のエディンバラにおける第7回 ICALS にて水素説が勝利を収め、決着する。そこへ到るまでのライバルたちの有名なエピソードを紹介しておこう[6]。

## 発明者とライバル達のエピソード

1960年代後半から70年代前半にかけて、実は多くの研究者がシリコンのアモルファス化に挑戦していた。目標は、カルコゲナイド系アモルファス半導体では困難であった pn 制御を、結晶半導体におけるように、シリコン系で成功させたかったのである。代表的な研究グループとして、(1)ハーバード大学のビル・ポール (William Paul) の研究グループ / 高真空スパッタリングによるアモルファスシリコン作製、(2) IBM ワトソン研究所のマーク・ブロズキー (Marc Brodsky、のち AIP 会長) のグループ / 高真空蒸着法によるアモルファスシリコン作製、そして、(3) スピーアとルコンバーのダンディグループ / グロー放電法による作製、であった[6]。ポールやブロズキーは高価な装置を使用し

ていたが、スピアらは、安価な油回転ポンプを使う手づくりの装置で実験をしていた。日本では、広島大学の廣瀬全孝(のち教授、NEDO 産官学 MIRAI プロジェクトのプロジェクト・リーダー)が早くから蒸着法でゲルマニウムやシリコンに挑戦していた[26]。

結局、成功したのは、上述の理由でグロー放電(低温プラズマ)によってシラン( $\text{SiH}_4$ )を分解する方法を選んだスピアとルコンバーのグループであったが、前述したように、彼らは、最初、電子的欠陥消滅の本質的な理由である水素の存在を認めなかった。数パーセントの水素の含有を証明したのは、ハーバード大学のビル・ポールのグループであり、ゼロックス PARC のジョン・ナイツやシカゴ大学のヘルムート・フリッチェのグループであった。ちなみに、スピアらが水素の存在を公式的に認めたのは、5 年後の 1980 年である。半導体物理学国際会議のサテライトとして開かれた京都 Summer Institute (KSI'80) で、スピアの講演 OHP シートに「水素 5 原子%」と示されていた [27]。

筆者は、1970 年代のアモルファス半導体に関する国際会議には必ず出席し、会議運営に深く関わるようになった。日本は、1979 年の第 8 回 ICALS(アモルファス・液体半導体国際会議)から 6 年ぶりに国際組織委員会に招待され、筆者がその後数年間、プログラム委員も兼ねて日本委員を単独で務めた。このとき以降、私費の海外出張は皆無となった。

アモルファスカルコゲナイドの光構造変化については、その後、法政大学の浜中広見(のち教授)の助力も得て体積変化のデータを充実させ、1979 年、ボストンでの第 8 回 ICALS 招待講演や、1980 年の京都 Summer Institute でのレクチャーに結実させた[28]。一方、アモルファスシリコンを国立研として放置しておくことはできないとの思いは日に日に募った。同時に、単独ではできない仕事であり、その取り上げ方の難しさにも気付いていた。

### 3.2. サンシャイン計画と太陽光発電／内包する深刻な問題

#### 欧米より一年早くスタートしたサンシャイン計画

1976 年、RCA のデイブ・カールソン(David E. Carlson)とクリス・ロンスキー(Christophor R. Wronski)が最初のアモルファスシリコン太陽電池を発表した[29]。スピア・ルコンバー論文の発表で、太陽電池への展開は予想されていたが、わずか 1 年足らずで最初の発表が出るとは誰も予想していなかったであろう。研究初期の変換効率 5.5%は、再生可能エネルギーの旗手と目されていた太陽電池の効率として、その後の進展の可能性を考えれば魅力的であり、当時、エネルギーの供給危機を実感し始めていた世界各国から大きな注目を浴びた。

事実、ローマクラブが「人類の危機レポート」(デニス・メドウ、1972 年)で石油枯渇を予言し、1973 年、最初の石油ショックが起きて以後、世界各国で再生可能エネルギー開発の国家プロジェクトが林立した。欧米各国だけでなく、日本においても、1974 年、工業技術院サンシャイン計画(新エネルギー技術開発計画)が発進している。当時、通商産業省の行政官であった堺屋太一(本名:池口小太郎)の小説「油断」はエネルギー危機という事態をシミュレーションしたものとして話題になったが、堺屋自身もサンシャイン計画総合班の初代研究開発官を務めている[30][31]。



実は、日本のサンシャイン計画は、各国よりも一年早くスタートしている。発端は、電総研エネルギー部の堀米孝(のちエネルギー部長、農工大教授)が名古屋工業試験所(名工試)との共同で提案した太陽熱発電、太陽電池、太陽炉を併せた太陽エネルギーの研究開発であった。範囲が広く基礎研究も巻き込む必要があることから、既存の大型プロジェクトでは対応できないと見て、1973年、工業技術院研究開発官室ではエネルギー全般をまとめる新しい制度の可能性も含めた議論に発展した。その結果、太陽、地熱、石炭ガス化、そして水素を四本柱とする「サンシャイン計画」が工技院の政策プログラムとして仕上がった[31]。その年の秋の予算折衝に臨んだところ、まさにその時に第1次石油ショックが起き、「サンシャイン計画」予算は全額承認されたという経緯である[32]。

日本が各国に先んじたのは、このようなタイミングが背景にあった。しかし、当初は、太陽エネルギーと言っても太陽熱発電が主要な課題として考えられていて、ほぼ全額が熱発電に充当されていた。太陽光発電に重心が移るのは、特殊法人・新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)が設立された1980年以降のことである。

#### 戦略として破たん／大学が連携しない国家プロジェクト

各国よりも素早い動きで国家の新エネルギー計画が発進したものの、グローバル競争における国家戦略という視点からながめると、実は、本質的で致命的な欠陥を抱えていた。日本の行政組織の縦割りに起因する省間の壁である。

太陽電池のように先端科学と新材料開発を巻き込む必要のあるプロジェクトにおいては、たとえ産業化を意識した開発課題であっても、サイエンスという視点の基礎研究が組み込まれていなければ、国際競争に勝つことはできない。つまり、大学が基礎研究人材の宝庫であることを考慮すれば、大学を除外したプロジェクトは戦略上成立し得ないということである。

事実、産業界と大学が組んだ国家プロジェクトは欧米では常識である。だが、日本では、サンシャイン計画を所管する通商産業省と大学を傘下に収める文部省とは、全く独立した役所として存在した。省益こそ最優先であり、当時、共同して実質的な産学官連携プロジェクトを組織するインセンティブなど、まず無かった。

1970年代～1980年代の通商産業省では、大型プロジェクト(1966-1993年)、サンシャイン計画(1974-1993年)、次世代プロジェクト(1981-1993年)など10年という長期計画が保証された産業向けの研究開発プロジェクトがいくつか常に走っていて、予算規模も当時の大学の研究グループに比較すると一桁半ほど大きかった。一方、文部省傘下の大学では、物性や新材料関係になると「重点領域研究」の場合でも研究期間は三年という短期であり、国立研究所と大学の間には明らかに研究環境において大きな隔たりがあったと言える。国全体で見れば、大学に用意された豊かな人材を使うことなく、一部の民間企業と国立研究所に巨額の予算を落としているという構図であり、行政の縦割りが強かったとはいえ、明らかに国の戦略としては破たんしていたのである。

ただし、科学技術庁傘下の特殊法人である新技術開発事業団(現在のJST)が1981年になって立ち上げた通称「ERATO」プロジェクト(創造科学技術推進事業)は、例外的に豊富な予算を用意

し、産学官など出身セクターに関係なくリーダーに全権限を預ける画期的な制度であったが、分野は指定せず、また、大規模な産学官連携による国家プロジェクトの性格とは趣を異にしていた。ちなみに、ERATO 制度を導いた事業団の千葉玄弥(コロンビア大学大学院物理学科卒業、のち JST 理事)は、制度について菊池誠らのアドバイスを受けたと証言している[33]。

### 3.3 アモルファスシリコン太陽電池／産官学連携をどう実現するか

#### アモルファスシリコン開発チーム結成／電総研基礎部

前述のように、1970 年代後半にかけて、太陽電池の開発は世界的関心の高かった研究課題である。特に、彗星のごとく現れた新材料のアモルファスシリコンは、当然、世界的な関心の的であった。素性の知れた結晶シリコンや化合物半導体を使った太陽電池の低コスト化を図るのが先決、といった議論は当然あるし、それは最も手堅く賢明な策かもしれない。しかしながら、当時の太陽電池の発電単価は、火力発電に比較して約 200 倍という高コストであり、全く新しい技術による革新的な低コスト化技術が必要とされていた。生まれたばかりの技術や材料には大化けする可能性があり、捨てるという選択肢は、まず、あり得なかった。

1977 年、エディンバラでの第 7 回 ICALS に出席した筆者は、帰途、キャベンディッシュ研究所に立ち寄って念願のモットと「光構造変化」について議論、帰国後も数回にわたってモットと手紙を交換した。モットがフィル・アンダーソン(P.W. Anderson／ベル研)らとノーベル物理学賞を受賞したのはその 3 か月後である。実は、筆者は、会議前からアモルファスシリコン(a-Si)の研究を始めようと決断し、準備を進めていた。偉大な学者モットとの議論は、その意味で、「光構造変化」の研究に精神的な区切りをつけた記憶に残るイベントであった。

電総研基礎部部品基礎研究室の室長であった飯島の同意を得て、筆者は、直ちにアモルファスシリコンのグループ研究を目指し、企業からの実習生も含めて 6、7 人のチームを作った。エディンバラでの国際会議では、生まれたばかりの a-Si 技術について多くのグループから追試の実験結果が発表されたが、結果は千差万別であった。作製法のわずかな違いによって全く異なる性質が現われ、各研究者が勝手なことを言いあっていた。混乱の原因は、a-Si という材料の標準化ができていないことにあった。この研究を進めるには、グロー放電法による作製技術、諸物性測定など手分けしてパラレルに実験し、常に議論できるチームが不可欠であった。単独では無理だ。

化学出身で鍵の作製技術を担当する松田彰久(前出)に加えて、物性理論、接合理論に強い大串秀世(のちに不純物準位と密度を決定する ICTS／等温容量過渡分光法を発明)をリーダー格にして、その後二年くらいの間に、新人の山崎聡(1979 年入所／のちに光音響分光法による薄膜分光法を確立)が新たなチームメンバーとなり、企業実習生としてはキャノンから平井裕(1977 年 11 月)、中川克己(1978 年 11 月)、旭化成から伊吹忠之(1978 年 2 月)、東亜燃料から松村光雄(1979 年 3 月)らが加わった。なにより人が必要だった。

当時、室長の飯島は、研究者兼アドバイザーとしてチームに参加してくれた。固体物性研究室長の石黒武彦は、筆者らの窮状を見て熟慮の末、自身の研究室に採用予定であった新人の山崎聡を筆者のチームに譲ってくれた。さらに決定的な示唆を筆者に与えたのは、基礎部長の作道恒太郎である。「田中さん、サンシャインに入ることを考えてみないか」。それまで基礎部は大きなプロジェクトに参加した経験がなかったが、作道の一言は、筆者にとっては「目から鱗」の効果が十分であった。一も二もなく同意した。

### 産官学連携の体制で日米に大きな差

基礎を含むアモルファス太陽電池のプロジェクト研究を、真の産官学連携体制で戦略的に進められないだろうか、と真剣に考え始めた。欧米に比較して、サンシャイン計画の体制に強い危機感を覚えていたからである。事実、スタートして数年のサンシャイン計画を米国 ERDA (1975 年設立のエネルギー研究開発局、1977 年に新設の DOE[エネルギー省]に統合)の代替エネルギープロジェクトに比較してみると、①ほぼ同じ数の開発課題メニューをそろえて一けた近く少ない予算を均等配分、②国家プロジェクトでありながら国立大学への予算の実質配分なし、という状況であった。前線に送る兵員の質と量において、あるいは補給のための兵站(ロジスティックス)においてハンデが大きすぎ、戦略の体をなしているとはいえない難かった。

戦略化の構想は単純である。①アモルファスに関する限り、欧米を上回る予算と人材を集中的に投資すること、②学術的に未踏分野であるため、大学の人材を本格的に投入すること、③国際競争に打ち勝つために、基礎研究の成果、材料プロセスの成果、デバイス試作結果をリアルタイムで情報交換し合うこと(つまり、融合と連携)、の三点である。何よりも若い分野だけに、基礎と応用が成果のキャッチボールをしながら進行することが肝要で、産官学体制はプロジェクトが戦略たり得る必要条件であった。そしてその先に、エネルギー新技術として輸出産業に育て上げることを将来構想として胸に描いていた[32][34]。

### 電総研内の部間の壁

しかし、構想は単純であっても、実現に至るプロセスは困難を極め、綱渡りの状態が二年ほど続いた。産官学連携を議論する前に、まず電総研内部におけるオーソライゼーションが難関であった。一言で言えば、エネルギー部、電子デバイス部、基礎部の部間の壁である。当時、サンシャイン関係については、電総研所長や企画室長はほとんど口を出さず、エネルギー部長に実質的な決済権限を与えていた。

1977 年、5 月の連休前、エネルギー部長の等々力達に交渉に行くと、「太陽電池関係は電子デバイス部の駒宮安男部長に任せてある。まず彼の OK を取れ」とのことであった。この段階で、部長の作道に報告すると、「田中さん、君が直接行くと話が壊れそうな気がする。私がやるからおとなしく待っていて下さい」と制止された。数日後、作道部長に呼ばれて行くと「駒宮部長はこう言うのだ。基礎部は最初からサンシャイン計画には関与していなかったのに途中から入るのはおかしいでは

ないか、と。いろいろ話し合ったが取り付く島がないのだ。あきらめてくれないか」と匙を投げられたのである。結局、筆者は、いわゆる「根回し」に失敗したまま、最後の所内ヒヤリングに臨んだ。

驚いたことに、そこに、通常は出席しないはずの部長の駒宮が怖い顔をして座っていた。筆者は、かなりきちんとした説明資料を用意して意を尽くして話し、その上で却下されるのであれば、その「却下された」事実を公式に残しておきたいと考えていた。ところが説明の終了後、駒宮部長は「わかった。一緒にやろうじゃないか」と、一転、ゴーサインを出したのである[6]。

作道に対する駒宮の最初の反応は、中根千枝の「タテ社会の力学」[35] そのものであったが、駒宮は最終判断を下す前に、話の内容を直接聴きに來たのだ。駒宮は、実は、是々非々で判断する柔軟な人であった。また、この間、すでにサンシャイン計画内で結晶シリコン太陽電池研究の最前線に居た電子デバイス部半導体デバイス研究室のリーダー林豊から、筆者は色々と所内事情についてアドバイスを受けていた。

### 3.4 産官学連携のアモルファスシリコン太陽電池プロジェクトが発進

#### 自民党資源エネルギー調査会

第一関門は突破したが、この他にも、通産省工業技術院内の制度的・慣習的な制約や省庁間の壁あるいは圧力が層を成して待ち受けていた。サンシャイン計画光発電プロジェクトへの参加が認められたとは言え、筆者らの実施計画は枝葉程度の研究項目として扱われ、専任研究者を5人もそろえながら、予算は、1978年度(昭和53年度)425万円、1979年度960万円、と貧弱であった。

だからといって予算に合わせた安い装置では、世界と戦えない。何よりも、再現性あるa-Si試料の作製技術を確立するための、実験的な自主設計のグロー放電装置が是非とも必要であった。そこで、作製法のリーダー松田は、真空機器メーカーの日本真空(ULVAC)や日電アネルバにアクセス、「われわれのオリジナル設計を提供する代わりに完成品を原価の4分の1で売ってくれ」と交渉、筆者もそれを応援し、「この装置が日本の標準装置になる」と保証した。さいわい黙認という形で交渉は成立、事実その後、作った電総研モデルはかなり売れたと聞いている。

一方、筆者は、太陽電池の重要性やアモルファスの可能性について、外部から頼まれたら講演や解説記事を極力引き受けた。1978年1月31日には、日経サイエンスの招待で来日したオブシンスキー(S.R. Ovshinsky/前出)の公開講演会(日経ビル)において通訳を務めたし、1979年1月30日から4日間、日経産業新聞に「未来技術」としてアモルファスの解説記事を連載した。とにかく必死だった。

突破口は、当時の自由民主党の資源エネルギー調査会(佐々木義武会長)であった。発端は1979年5月19日、工技院からの一本の電話で始まった。「アモルファス太陽電池を詳しく説明してくれ」との要請で、筆者は、サンシャイン計画推進本部の山中正美審議官と高田利男総括開発官のところに出向いた。要請に沿って作成した資料を元に説明したが、二人は質問することもなく、高田は全く別の話を始めた。「5月23日、自民党の資源エネルギー調査会の朝食会に出席してほ

しい」と言うのである。調査会からの要求は「アモルファスという有望な太陽電池が注目されている  
そうだがその説明をすること、説明者として電総研の田中主任研究官を呼ぶこと」ということであっ  
たらしい。

当時、筆者は ICALS (アモルファスおよび液体半導体国際会議) の国際組織委員会で唯一人の  
日本委員であったし、また、米国のオブシンスキーや他の学者たちとのネットワークができていたか  
ら、何らかの情報が資源エネルギー調査会に入ったものと思われる。また、当時、第2次石油ショッ  
クもあって、新たなビジネスチャンスを探求めて国家プロジェクトをまず動かしたいと考える内外の企  
業があったとしてもおかしくなかった。その類のまことしやかな話は筆者の耳にも入っていたが、経  
緯はとにかく、国という立場で話を聞いて貰える稀有の場ではないか、と感じていた。

### 朝食会でのプレゼンテーション

朝食会で、筆者がアモルファス太陽電池開発についての構想を説明することになったが、サン  
シャイン計画推進本部としては、国家予算の大きな投資対象にするほどアモルファスの見通しに自  
信が持てないでいた。そこで、そのような懸念を払しょくするべく、筆者は、「サンシャイン計画推進  
本部の意向とは関係なく、アモルファスを専門とする一学者の私見、と断った上でプレゼンテーショ  
ンをさせていただく」ことで了承を得た。

当日、5月23日の朝食会には、第2次石油ショックが始まっていた1979年だったこともあって  
数十人の国会議員が集まり、工技院からは、石坂誠一(工技院長)、山中正美(技術審議官)、高  
田利男(総括開発官)、角南平(研究開発官)、電総研から等々力達(エネルギー部長)、そして菊  
池誠(ソニー中央研究所長)が臨席していた。

筆者の論点は、「巨額予算の配算」というより「大学の本格参入」というシステム構築にあった。  
「大学の本格的な参入が無ければ欧米には勝てない」との筆者の説明の後、国会議員の塩川正  
十郎(のち財務大臣)が大声でコメント、与謝野馨(のち通産大臣、財務大臣)を委員長とするアモ  
ルファス小委員会を設置して継続検討することが決まった[6]。その席上、「米国はアモルファスに  
巨額予算を投入し始めていて放置するのは危険」と発言して筆者の主張に支持意見を述べたの  
は、工技院サイドでは、角南一人であった。

帰途、会議では沈黙を通した菊池は、筆者に、「君が何を言い出すのか、ひやひやしながら聞  
いていたよ」と漏らした。

### 与謝野委員会の勧告／大学の本格参入が決定

その後、与謝野委員会は数度開催された。与謝野馨委員長の他、塩川正十郎、後藤田正晴、  
原田昇左右らも委員として出席し、電総研からは等々力達と筆者がオブザーバーとして同席した。  
その時、海外の著名な学者にコメントをしてもらうのが効果的だ、とアドバイスを呉れたのは、当時  
の東亜燃料工業常務であった中原伸之である(のちに日本銀行審議委員)。

そこで6月1日の与謝野委員会では、たまたま日本物理学会の招待で来日していた物性理論  
のシカゴ大学教授モーレル・コーエン(Morrel H. Cohen)を選んでコメントを依頼することとした。そ

の前夜、筆者はコーエンと電話で延々と構想の細部について話し合ったが、当日は、コーエンが大学研究者のプロジェクト参加が重要であることを米国の事情も含めて巧みに説明した。

これをもとに、委員会は、「アモルファス太陽電池開発小委員会報告書(昭和54年6月)」と題する画期的な報告書を作成したのである[36]。そこには、(1)大学のプロジェクト参加を強く勧告する、(2)アモルファス太陽電池開発のプロジェクトは結晶系の太陽電池開発プロジェクトとは独立に設計して走らせるべきである、と明記されていた。

これ以降は、島本実(一橋大学教授)の著書「計画の創発～サンシャイン計画と太陽光発電」(文献[34])264 ページから、直接引用させていただく。「そしてこれこそが、1980年度から開始されるアモルファス太陽電池の産官学体制の原案となったのである。こうしてアモルファス太陽電池研究の予算は飛躍的に増加し、大学が委託研究に本格的に参加するようになった1981年度のサンシャイン予算では、アメリカを上回る13億円にのぼるようになったのである。田中の戦略は功を奏したのであった。」(以上、鍵カッコ内引用部分)[34]。

### 工技院研究所の筑波移転

ちょうど与謝野委員会の報告書が出るころ、電総研は、工技院の9研究所の一つとして筑波移転という大事業の真っ最中であった。従業員が約750人で工技院では最大の規模であったから、移転を終了するまでに約一年近くかかったのではないかと記憶する。筆者らのアモルファスシリコン・チームは、結成以来2年が経過していて、少ない予算ながら、業者らとの交渉でオリジナルのプラズマ堆積装置を数台入れて、扱いを誤ると危険なシランガスやフォスフィンガスを原料とする複数のアモルファスシリコン製膜システムを常時運転していた。従って、移転に際しては、ガスボンベ収納場所、プラズマ装置の設置、配線・配管、ドラフト(チャンバー)工事、試運転など、上下水道やガスラインを含む建物の全インフラとも関わっているため、移転準備室の見積もりでは、半年は実験が無理と言われた。

しかし、当時、実習生はもとより、筆者を含むチーム全員が20代～30代という若さであったため、ち密な計算の下に移転の準備を進め、体力に任せて、わずか3か月で田無から筑波に全機器を搬入して試運転に持ち込む、という離れ業をやったのけた。陣頭指揮を執ったのは松田であった。アモルファスシリコンを何とかものにしようと世界が熾烈な競争をしていた時であったから、半年も休んでいられないという気持ちが全員に強かったと思う。

電総研としては1979年10月に筑波移転が終了した。翌年、産官学連携のアモルファス太陽電池プロジェクトが発進し、いよいよ、つくばが主戦場となった。

### アモルファスシリコン NEDO プロジェクトの陣容

電総研基礎部のアモルファスシリコン開発チームが核となって、1980年10月、筆者を室長とする新しいアモルファス材料研究室が材料部に発足した。その際、従来のメンバーに加えて、さらに、大枝秀俊(変調光電流法)、秦信宏(CARSによるプラズマ診断)、続いて松浦秀治(デバイス研究)

が研究室に配属され、新実習生の中川克己(キャノン中央研究所)、松村光雄(東亜燃料工業新事業開発室、現トーネン)も参入した。

その後、研究室全体が実習生を含め常時 10 名を超えるアモルファスシリコンの総合的な研究プロジェクトチームと化し、NEDO プロジェクトにおける材料研究のプロ集団として産学の強力なリエゾンの役割を果たすようになる。

もっとも苦勞したのは、大学グループの参加の形である。前述したように、国立研と大学の予算規模の違いから、大学には NEDO プロジェクト参加のインセンティブがあったが、通産省と文部省の壁は厚かった。大学事務局を通すと外部(通産省)からの研究費の場合 3 割を文部省がめし上げる、というのである。

このような問題であきらめた大学研究室もあったが、大方は、大学事務局のあずかり知らぬこととして、担当教授の責任で、NEDO と契約に持ち込んだ。事情は大学によってもかなり違っていたようだが、与謝野委員会の報告書中にある「大学参加を強く勧告する」の一文を頼りに、当時の電総研企画室の平野正浩、大学に太い人脈を持つ基礎部長の小川信二らが、短時間のうちにまとめあげたと聞いている。与謝野委員会の報告書は、まさに、水戸のご老公が掲げる葵の御紋の印籠であったが、別の見方をすれば、そのような形でなければ、当時は省を超えた真の産官学連携は実現しなかった。

かようにして、産から 8 グループ、官(電総研)2 グループ(アモルファス材料研究室、半導体デバイス研究室)、学(国立大学5、私立大学1)6 グループがアモルファスシリコン太陽電池という共通のテーマの下に、物性理論、材料科学、デバイス、を横断して議論できる場が意識的に設定された。

松原武生(京都大学基礎物理学研究所)、米沢富美子(慶應義塾大学)、清水立生(金沢大学)、浜川圭弘(大阪大学)、廣瀬全孝(広島大学)、清水勇(東京工業大学)、小長井誠(東京工業大学)、桑野幸徳(三洋電機)、内田喜之(富士電機)、嶋田寿一(日立製作所)、岡庭宏(帝人)ら、優れた人材も集まったことで戦略としての十分条件も整い、1980 年代前半で、日本の研究レベルは欧米に肩を並べるようになり、その後、他の応用分野への広がりも含め、薄膜シリコンテクノロジーにおけるメッカとしての日本の地位が確立されたのである。

### 3.5 1980 年代／日本の研究陣の躍進

#### 日米共同セミナーの開催

エピソードを挙げておこう。1982 年 7 月 20 日から 23 日にかけての 4 日間、パロアルトのリッキーズ・ハイアット・ホテルで、アモルファスシリコンの応用を中心にした日米セミナー(US-Japan Joint Seminar “Technological Applications of Tetrahedral Amorphous Solids)が開催された。文部省学振のプログラムで、当時、阪大教授の浜川圭弘が日本側世話人、米国側はゼロックス・ロチェスター研究センターのモート(Joe. Mort)が世話人となり、世界から数十人が選ばれて出席した。ちなみにモートは、pn 制御を初めて成功させたダンディ大学教授スピアの数十年前の学生である。

日本からは、半導体物理学重鎮の川村肇を筆頭に、浜川圭弘、廣瀬全孝、清水勇、小長井誠らが、企業からは桑野幸徳、内田喜之、白木靖寛(日立中研)らが、そして国研からは筆者が出席していた。この会議前まで、日米は太陽電池の変換効率競争でしのぎを削っていて、発明者である RCA のカールソンがどのような発表をするのかが一つの焦点であった。

まず、初日、カールソンは、講演中にセミナー室に電話がかかってきたので中断して部屋の隅で受話器を取り、30 秒くらいの短いやり取りの末、電話を切った。満面の笑みで出席者を振り返り、「良いニュースだ。RCA は本日、変換効率がついに 10%を超えた。」と報告、とたんに全員から大きな拍手が起きた。巧みな演出に見えたが、日米全員、その成果を喜んだのである。

### バーディーンとフリッチェが認めた日本の実力

さらに、日米すべての出席者にとって最大の興味は、米国の代表の一人として出席していたあのジョン・バーディーン(John Bardeen/前出)が何を話してくれるか、ということであった。実は、日本側代表の浜川は、阪大の助教授時代にバーディーンの誘いで 1965 年～1967 年の二年間、イリノイ大学のハンドラー(P. Handler)教授のグループと共同研究をしていたことがあり、今回のバーディーンの出席はそのような経緯も関係していただろう。バーディーンは、一度だけおずおずと手を挙げかけたが座長が気付かなかったため、結局、3 日目の午前中のセッションが終了するまで全く声を発しなかった。まさに、“Silent John”であった[37]。

その日の午後、バスで、Huddart Park へエクスカーションに出かけた。筆者は、ここで初めて短パン姿のバーディーンと話し込む機会を持った。伝説の物理学者と話す昂揚感の中で、バーディーンが 1952 年にゼロックスの顧問になり、アモルファス・セレンのフェルミ・レベルが動かないことにどう説明をつけるか考え続けていたことを知った。

つまり、当時、バーディーンは、トランジスタ発明直後の半導体表面物理、接合特性、そして超伝導に加えて、アモルファス半導体の本質部分の課題についても、モットやアンダーソンより 20 年以上も前に気づいていたことを意味している。バーディーンは静かにゆっくりと話した。人柄を感じさせるそのさまは、菊池からしよつちゅう聞かされていた通りであったが、筆者は内容の重要さに心底おどろいていた[6]。

バーディーンは、その夜のバンケットで、“US emphasizes science with a notable exception” と言ってカールソンの技術成果の発表を喜び、また、米国の技術が日本に近づいたと感想を漏らした。最終日、フリッチェは逆に、日本の基礎研究の質が非常に高くなったと感想を述べた。日本側で半導体物理の重鎮として出席していた川村は、「多くの日米セミナーに出席したが、今回のように日米が白熱した議論を展開したのは初めてだ」と感慨深げであった。

これ以後、米国 DOE の NREL(国立再生可能エネルギー研究所)におけるアモルファス太陽電池産官学プロジェクト研究報告会、あるいは EPRI(電力研究所)の契約研究発表会には、日本の産官学のいずれかから研究者が呼ばれ、必ず招待講演を依頼されるようになった。NEDO は世界の“big name”になった。



## 応用物理学会の役割／アモルファスセミナー

サンシャイン計画における産官学連携において特筆すべきことは、産官学がそれぞれの独立拠点で研究活動をしてきたにもかかわらず、連携融合はかなり深いレベルにまで達し、年間何回かの合同報告会や、関連の国際会議では、侃々諤々の熱い議論が当たり前になっていたことである。企業では、未踏分野であるだけに基礎研究の助けが絶対に必要である一方、企業化については詳細を開陳できないので、一か所に集結する形ではなく、分散型の産官学連携あるいは融合は、必然的な形であったと考えられる。

産、官、学の三セクター間の融合を助け、かつ集中的な議論を深める場として、大きな貢献をした他の仕組みがある。通称「アモルファスセミナー」と呼ばれる二日間に亘る泊まり込みの研究会であり、応用物理学会の応用電子物性分科会に属していた。

このセミナーは、1974年、まだ日本に研究グループが少ない時代に、広島大学の廣瀬の発案に応じて電総研の筆者や金沢大学の清水(立生)が動き、秋の応用物理学会終了後、10月11日、12日に金沢大学工学部秀峰会館(小立野)で開催された第一回「アモルファス物質の物性と応用セミナー」が発端である[2]。毎年開催され、当初の数年間には電総研が共同事務局を務めた。

このセミナーの特徴は二つ。第一は、異分野融合が不可欠との考えから、10近くの分野の異なる学会や協会の共催で行われたこと(たとえば1987年の第14回セミナーでは日本物理学会、日本化学会、電子通信情報学会、窯業協会など9学協会と協賛)、第二は、空気を読んだり遠慮は無用との考えから、二日目の総合討論はワインを飲みながら進められたこと、である。学術的な議論にアルコールを入れることについては多少の躊躇があったものの、当時は必要悪と割り切っていた。その効果もあって、サンシャイン計画でアモルファス薄膜太陽電池プロジェクトがスタートするころには、アモルファスセミナーを通じ、産学官の実質的で風通しの良いネットワークが形成されていたのである。

## 電総研グループの成果／微結晶シリコン薄膜・先端物性測定法

産と学との間で、電総研のグループは、材料科学に関する多くの未知の問題を取り上げ、厚みのあるデータを蓄積、その都度、産学にリアルタイムでフィードバックした。信頼できる試料(材料)と物性測定データの供給、そして作製法の学術的な研究は、産および学の両方から評価され、1984年のサンシャイン計画10周年記念表彰の際には、筆者が官を代表して研究業績賞を受けた(学からは、濱川圭弘が受賞している)。

特に、松田彰久らはグロー放電法を対象としてプラズマ診断技術を総合的に取り上げ、堆積する薄膜の性質との微視的な相関を詳しく調べた。その過程で発見した微結晶シリコン薄膜は電総研の材料研究の成果であり[38]、その後、太陽電池や液晶画面の駆動用トランジスタ・アレイに広く実用化され、産業界に貢献した。NEDOがアモルファス太陽電池に投入した研究開発費は十分に回収されたはずである。その仕事は、材料設計法の境地に達していたのではなかろうか。その後の研究も含め、松田らの技術成果は、学術論文だけではなく、特許出願45件、取得特許36件(2001年現在)に知財化されている。

測定法についても、大串秀世が創発の等温容量過渡分光法 (ICTS) は、ベル研のデイブ・ラング (David V. Lang) のディープレベル過渡分光法 (DLTS) を凌駕するもので、1990 年に市村学術賞功績賞、2001 年には文部科学大臣賞を受賞、堀場製作所が製品化した[39]。山崎聡は、薄膜の微弱な光吸収係数を測定する光音響分光法 (PAS) を開発し、大串の ICTS と相まって、アモルファスシリコンの局在準位研究に本質的な貢献をした[40]。また、林繁信(化技研)と NMR で共同研究、磯谷順一(図書館情報大学助教授、のち筑波大学教授)には ENDOR の指導を仰ぎつつスピント物性で長期の共同研究を進めた。大串と山崎は、その後、ダイヤモンド研究で協力し合いながら、科学技術振興機構 (JST) の戦略的創造研究推進事業 (CREST) で、独立した二つのプロジェクトの研究代表者を務めている[41]。

このようにして、1980 年代の後半、電総研グループは、ボブ・ストリート (Robert Street) 率いる米国ゼロックス・パロアルト研究センター (PARC) のグループとともに世界的な基礎研究の拠点に成長し、国際会議における基調講演数、招待講演数、口頭発表件数は、ときに PARC を凌駕して世界のトップに立った[42]。キャッチ・アップの時代からようやく欧米と肩を並べたとの感覚があった。

それらの学術的な成果は、当時の研究室メンバーがそれぞれ独立の章を執筆した欧文の単行本にまとめられ、出版されている[43]。

## その後の経過／世代交代そして 21 世紀へ

カルコゲナイド系アモルファス半導体からアモルファスシリコンに切り替えて以後 10 年が過ぎ、1988 年 10 月、筆者は研究室長を退いた。その 10 年の間に研究グループが引き受けた企業実習生は 30 数名、キャノン、セイコー電子、シャープ、三洋電機、住友電工、松下電器、富士電機、東亜燃料、旭化成、積水化学、三井東圧、日産化学、日本真空、浜松光電、など 10 数社に及んだ。彼らの多くは、1, 2 年間、ETL で滞在・実習し、その後の企業活動を支えるキーパーソンとなって活躍した。また、アモルファス材料研究室の研究員全員がこの間の研究成果で学位を取得した。

筆者の後任は、松田が非平衡材料研究室長として更に太陽電池関係の研究活動を拡大し、1997 年にはスーパーラボを設立して産官学から 30 余名を集めて活動した。受け入れた国内実習生は延べ 107 件に達し、海外研究者は 24 名を数える。2003 年には、独立行政法人になった産総研内に国内初の太陽光発電研究センターが誕生、アモルファス研究室、非平衡材料研究室の系譜を引く近藤道雄が初代センター長となって産官学から人を集め、国際的なプレゼンスを維持した。

筆者は、室長を退いたのち材料科学部長に就き、材料科学そのものを見つめる機会があったが、1993 年 1 月に発足した融合研に志願して移動した[6]。後を引き受けてくれたのは、荒井和雄である。筆者が松下東研においてアモルファス半導体の調査を始めた 1966 年頃、青焼きして熟読した ETL 報告書「半導性ガラスの研究」の著者の宗像元介は、当時、電試の材料部長であった。その 20 年後に、筆者が同じポジションに就き、荒井が継いだとは実に奇遇というべきである。

太陽電池全般の普及に関しては、黒川浩助(元電総研、農工大・東工大教授)、濱川圭弘(阪大教授のち立命館大学副学長)、桑野幸徳(のち三洋電機社長)らの尽力により政府が動き、1992

年から日本では電力会社が住宅用太陽光発電の買い取りを開始し、1997 年からは補助金制度がスタートして、2000 年の時点では太陽電池生産量で世界のトップに立った(太陽光発電研究組合のホームページから)。しかし、21 世紀に入ってから、日本の太陽電池産業は大きな試練に立たされる。第 4 章(4.)で議論する。

#### 4. 考察／産官学連携の国家プロジェクトに不可欠のものは

##### オールジャパン体制／貧しい日本の科学技術政策

本稿で記したように、大学が本格的に参加するオールジャパンの産官学プロジェクトを発進させることができれば、世界と戦うことができる。しかし、当時、そこへ行きつくために筆者らは、欧米であれば不必要なプロセスを経っていたので、多大のエネルギーを消費した。1996 年以降、21 世紀に入ってから、大学にも充実した競争的資金が入るようになったし、産業界との連携も確かに自由度が増えてはいる。しかしながら、政府や行政の基本システムは変わらず、省間の壁は相変わらず厚い。行政のマインドは省益であり、国益ではない。

筆者は、第 2 期、第 3 期の総合科学技術会議(CSTP／現在の CSTI)に関わり、また、文科省の科学技術振興機構(JST)研究開発戦略センター(CRDS)に在籍した時代、上席フェローとして、諸外国の政策を詳しく調べた。その上で日本の現状を分析し、結果を拙著(文献[6])で詳述した。一言でいえば、オールジャパンの名の下に、小集団同士が己の利益を確保しようと日々争っているのである[35]。その状況は、内閣府といえども実質的には変わらない。

国という立場での長期的な視点は、個々の小集団のインセンティブや行動原理にはほとんど反映されない。「国益」や「将来」は単なる枕詞として使われるだけである。ときどき改革の声は起きるが決して長続きしない。21 世紀に入って国研や大学が法人化され、以後 10 年以上経つというのに、本質は昔のままである。

一方、米国では、常に科学技術政策は戦略的に構築されてきた。本稿で描いた時代について言えば、1973 年、第 1 次石油ショックの際には、代替エネルギー開発に向けて、1975 年にエネルギー開発局(ERDA)、そして 1977 年にエネルギー省(DOE)を設立し、基礎研究や原子力を含む全米のエネルギー政策を一本化して統括させた。石油ショックからわずか 4 年後という早業である。経産省、文科省、農水省、総務省など、相変わらず個別に計画を立てて予算を取りあっている日本とは、大きな違いだ。また、クリントン政権時代には、21 世紀をまえにして、イノベーション創出のためには複数の分野の融合や既存技術との統合が必須との認識に達し、既存省庁の壁を越えた省横断の「戦略イニシアティブ」が発進した[6]。大統領直下の PCAST が戦略投資の実質的な権限を握り、統括している。米国の科学技術政策は常に進化している。

では、日本はどうすればよいのか。行き詰った現状を打破するには、人であれ、組織であれ、多少は枠を外れてでも、自主的に一歩踏み出すよりほかに方法はないだろう。空気を読み過ぎていては動きが取れない。

## 行政キーマンの存在

まず、極めて現実的な問題から入ろう。アモルファスシリコン太陽電池プロジェクトに関わった当時の工技院サンシャイン推進本部の担当行政官について具体的に考えてみたい。一人は角南平、もう一人は向井保である。両者とも筆者が関わった時は、太陽光発電担当の工技院研究開発官であった。

角南は、3.4 で記したように、アモルファスシリコン太陽電池がプロジェクト化する前の 1979 年 5 月、自民党資源エネルギー調査会の朝食会にて、筆者が大学の参入を主張した際、それを積極的に支持する方向の発言をした行政官である。当時のアモルファスは未知の部分が多く、工技院内では慎重論が強かった。しかし、技術の進展は新しい分野であるだけに日進月歩のスピードで進んでいて、幼児があつという間に青年に成長するという趣があつた。戦略構築の観点からは投資の遅れは致命的になる恐れがあり、待たなしの状況であつたと言える。朝食会における工技院サイドからの積極的な発言は角南一人であつたが、筆者にとっては強力な援護射撃となり、会の終了後には工技院長の石坂の好意的なコメントも引き出した。急激な変化や例外を嫌う役所文化の中で、全体の空気に抗して公式の場で発言し、新しい技術に臨機応変、かつ柔軟に対応した例と思う。

プロジェクト開始後、歴代の研究開発官は、総じて、大学が参入した産官学体制を積極的に支援した。なかでも向井保の決断と実行力は、プロジェクトを超えた影響力を持っていた。

国の一般会計予算が、1980 年代の前半、マイナスシーリングで年々下降する中で、向井が動いて、1986 年度、新エネルギー技術のアモルファスシリコン(国立研分)に初めて電源開発促進対策特別会計(いわゆる電源特会)を導入した。1985 年度までは、特別会計からの予算は企業にのみ充当され、電総研への予算は一般会計に限られていた。しかしアモルファスには基礎研究が重要であり、そこにこそ十分な予算が必要と考えた末の向井の決断である。

一方、特別会計は使用目的に制限が付いているため、それを国立研に導入することの是非については、本来の基礎研究を歪めることになるかと危惧する意見も多く、その意見は正論と言えた。しかし、その後、予算のマイナスシーリングを突破するための窮余の策として避けがたいとの見方が工技院や全所に広がり、以後、1988 年には省エネルギー技術、1989 年には次世代産業基盤技術へと雪崩を打つように特別会計予算を導入した。1990 年度には、電総研の研究関連予算総額 32 億円のうち、実に 3 割に当たる 9 億 5 千万円が特会由来であつた[6][44]。

英国や米国のような判例法国家と異なり、日本のように細かいルールでかためられた実定法国家においては、官僚の全体俯瞰能力、制度に熟知しそれを使いこなす手腕が必須である。しかしそれだけでは不足だ。グローバル経済の世の中、「慎重」の名の下に空気を読んでいると、あつという間に置き去りにされる。前例がなくても一歩踏み出す勇気と見識があつて、初めて国はうまく動く。特会導入に踏み切った向井の決断、当時、それを認めた通産省と工技院は、そのような一例であつた。向井はその後、融合研の設立や集中型産官学連携の大型プロジェクト「アトムテクノロジー」発進の際にも力を発揮している[6]。

## 応用物理学会／連携と融合の場を提供

一つの研究が新しい技術分野や産業にまで成長していくカギは何だろうか。核となるのは、あくまでも独創的でかつ質の高い研究成果である。しかし、核の成長を加速推進するのはコミュニティとしての研究者集団であり、討論の場としての学会であろう。研究者が所属組織を超えてヨコに連携し、それによって産官学をつなぐ場にもなっている。しかも応用物理学会は、特定の既存領域を「正統」とする学会ではなく、関連する領域はどんどん吸収して新しい融合領域を生むインキュベーターの機能を有しているのだ。丸山真男は日本のアカデミアを閉鎖的な「タコツボ」と称したが、応用物理学会に関する限りは当てはまらない。40年ほど前、春秋2回の学術講演会には「新領域」あるいは「Miscellaneous(雑多の)」という講演分科があって、筆者はこのようなアバウトで融通無碍な性格が気に入っていた[45]。

アモルファス半導体の黎明期、発表件数が少ない間は、「非晶質・液体・粉体」(1970年)という混合分科であったが、電総研や通研、大学でも急速に発表が増え、3.5で記したように、1974年に集中議論のできる場として「アモルファスセミナー」が応用電子物性分科会の下に設置された。35歳前後の研究者の発意で始まったこのセミナーには、いわゆるボスが居ない。日進月歩の新しい分野であったので、私費で海外の国際会議に出席してライバルたちと直接コンタクト、新しい結果や情報を帰国後にアモルファスセミナーで徹底的に討論した。応用物理学会の非晶質のセッションは討論の激しさと知られるようになる。ある日、アモルファスの分科を覗きにきた電総研の某部長に「あの大先生に対して態度が不躰だ」と叱責されたこともあった。

アモルファス半導体は、日本物理学会や日本化学会、電子通信学会、電気学会などでも発表されたが、各学会とも領域がかなり専門化されているため、発表件数はあまり増えず、やがて応用物理学会に集中するようになった。特にアモルファスシリコンが登場した1975年以降は、作製法としてのグロー放電法には、原子・分子・イオン・電子の衝突、反応、拡散、堆積、表面反応など、プラズマの化学と物理、薄膜堆積、表面プロセスが含まれていて、成膜された薄膜の物性評価法や不規則系におけるバンドギャップ、電気伝導の物性理論も未完であった。まして太陽電池の設計理論やそれに必要なデバイス物理など存在しなかった。つまり、あらゆる学術分野、工学分野の知識を総動員して、実験の結果を持ち寄り、総合的・融合的に議論できる場は応用物理学会であり、アモルファスセミナーは、唯一、そのようなニーズに応える機能を持っていた[45]。

セミナーで形成されたコミュニティをベースにして、産官学連携は日常的に起こり、1980年、工技院 NEDO の「アモルファスシリコン太陽電池プロジェクト」が発進し、文部省でも同年に科研費補助金の特定研究「アモルファス材料・物性」(代表／桜井良文、増本健、濱川圭弘、鈴木謙爾)が誕生している(のちに学振第147委員会)。通産省工技院の産官学プロジェクトと文部省のプロジェクト(学)が同時にスタートし、しかも、その成果の発信は、アモルファスシリコンに関する限り、主に応用物理学会を通して行われた。その結果、1985年秋の応用物理学会学術講演会では、ついに単独の「非晶質」分科となり、発表件数は約400件にも達した[1][6]。

## 研究者人材と柔軟な組織／一般論

プロジェクトの成否を決める要素は、まず何よりも、素材としての人(研究者)である。個人の能力・発想・自己主張こそが、すべての原点に存在する。そしてそれらは、与えられた環境によって大きく育ち、またしばむこともある。日本のように規律や年功で縛られがちなタテ社会においては、個人のマインドを如何に解放して泳がせるかが重要だし、そのような場を設計できる組織の柔軟なマネジメントが不可欠であろう。基礎研究を巻き込んだプロジェクトにおいては尚更である。産官学連携や異分野融合は、そのような個人の資質と組織のマネジメントが相まって進む。

それでは研究者個人の柔軟さや俯瞰力は、どこで如何にして涵養されるのだろうか。とくに大学においてはどうか。また、研究者集団の組織においてはどのようなマネジメントがおこなわれるべきだろうか。

## リベラル・アーツの効用／欧米と日本の大学事情

産官学連携であれ異分野融合であれ、その原動力となるものは個々人が持つ異文化への興味である。専門領域意外に広く周囲の世界に興味を持ち知識を蓄積しておくことで、将来の可能性が如何に大きく広がることか。思想家のジョン・S・ミル(John Stuart Mill)は、セント・アンドルーズ大学の名誉学長に就任した際、「宗教や芸術まで含めた広い分野の教科を学べ」「原語で学べ」と学生たちに呼びかけた[46]。また、波動方程式で有名な物理学者のエルヴィン・シュレーディンガー(Erwin Schrodinger)は、「学問全体について諸々の事実や理論を総合的に説明したい」との考えから、量子力学だけではなく生命科学にも多大の示唆を残している[47]。

「リベラル・アーツ」あるいは「一般教養過程」の重要性については、古くから多くの賢人たちによって指摘されている。スペインの哲学者オルテガ(Jose Ortega y Gasset)は、「教養」とは「世界と人類に関する諸理念の体系」と説明し、大学の使命として、(1)教養(文化)の伝達、(2)専門職教育、(3)科学研究と若い科学者の養成、を挙げた[48]。東大教養学部を支えた哲学者の大森荘蔵は、学問は専門的であるべきでないという逆説的な姿勢を説き、「教養過程は知識の獲得ではなく、意見の形成や鍛錬を目的とする」とも主張した[49]。欧米では、その観点から、いまだに学部教育はリベラル・アーツに固執している。一方、日本では、1991年、「大学設置基準の大綱化」が打ち出されて以降、各大学から「教養部」が消滅している[50]。今後、柔らかな思考で俯瞰力のある人材の育成に向け、文科省はもとより、大学を中心とするアカデミアの責任は非常に大きい。将来を見据えた教養課程の復活は急を要する。

## 研究者人材と組織／菊池特研とアモ研の場合

電総研の菊池特別研究室(1970-1974)はいろいろな意味できわめて特殊な人材の集団であった。アモルファスに深く関わった研究者について言えば、まず、筆者は電気工学出身で物性物理を目指し、企業研究所を6年経験していた。官尊民卑で主任研究官への昇格は同期20数人中の最後尾であったが、企業に比べて信じられないような研究自由度や予算が保証されていて、何ら不満を感じたことはなかった。杉道夫は、鉱山学科を卒業後、文化人類学修士をおさめ、ついで

生物物理で理学修士を取得後、菊池特研に入所してきた稀有の経歴を持っていた。大串秀世は量子統計物理で修士をおさめて後に半導体物理学に入ってきた正統派で、数学に強くパズルの天才でもあった。松田彰久は、菊池特研唯一人の化学出身の修士で、企業実習生を経験してのち入所した。アモルファスシリコンのように、薄膜堆積のプラズマ化学を構築するうえで不可欠の人材であった。

菊池特研がスタートした頃、室長以外の研究員全員が学位(博士)を持っていなかった。いずれ学位を取るつもりだから、研究に専念するインセンティブは強かっただろう。この集団を引っ張った菊池誠は、研究者であり、教育者であり、文化人でもあった。多くの著書を残し、NHK教育番組の出演は数知れず、毎日出版文化賞、日本エッセイストクラブ賞、放送文化賞などを受賞している[6]。海外の研究者とのネットワークが多く、折に触れ、田無の研究室に連れてきた。このような環境下で、筆者は自然と私費を使ってでも海外で勝負しようと考えたものである。

一方、筆者がNEDOプロジェクトに参加した際、同時に発足したアモルファス材料研究室(通称アモ研・1980-1988)においては、置かれた状況が少々異なっていた。プロジェクトである限り、個別自由研究というわけにはいかない。しかし、当時、学位を取得していたのは筆者だけであり、他6名のテーマには配慮が欠かせないと思った。そこで、個別研究として各人がオリジナル成果を蓄積でき、しかも、研究室全体としてはアモルファスシリコンを太陽電池用材料として追い詰めていくプロジェクトチームになるよう工夫した。アモルファスシリコンを絶対の中心に据えて四方八方から異なる視点・手法で攻めた。およそ10年かけて、アモ研を中心とするETLグループは米国のPARCグループと並ぶ世界の拠点に成長した[42]。この間の研究で全員が学位を取得している。

融合研のATOMテクノロジー研究体(JRCAT)時代に米国モトローラ社基礎研究所を率いた副社長のハーバート・ゴロンキン(Herbert Goronkin)と知り合った。彼は、米国DARPA(Defence Advanced Research Projects Agency)のプロジェクト研究を進めるうえで、リーダーとしての明確な哲学を持っていた。国防省の契約研究であるから、年4回のプログラム・オフィサーによる進捗状況のチェックは非常に厳しかったが、彼はそのプレッシャーは全てマネジャーの責任として自身が受け止め、一切、研究者には降ろさなかった。研究者の好奇心を満足させるようなチーム編成を考え(curiosity-driven)、それらを統合してプロジェクトが成功するように導いたと言う。研究所運営の見本のような考え方である。筆者は、産総研理事時代、彼を米国から招待してマネジメントに関する講演会を開いている。

## 将来に向けて

電試・電総研が大きく貢献してきたNEDOの太陽電池国家プロジェクトは産業界を後押しして、2000年時点では、前述のように太陽電池生産量で世界の頂点に立っていた[51]。日本の産業界がそれを達成した背景には、当時のエレクトロニクス業界が「総合電機メーカー」であったことが大きい、と筆者は考えている。

一つの会社が、基礎研究所、開発研究所、製品工場、営業所を丸抱えにして、多品種の家庭電化製品から大型機器まで、何でも扱う万能企業であった。アモルファスシリコン技術は、たとえ太

陽電池で失敗しても、自社の他の部門(大面積表示装置など)で十分に応用を生かせるキャパシティを持っていた。太陽電池一本で勝負する海外のベンチャー企業とは事情が大きく違っていただろう。

21世紀に入って、その後、気候変動問題をきっかけにして、ドイツを中心とするEU諸国の再生可能エネルギーへの急激な傾斜があり、また、2011年には福島第一原発でのメルトダウン事故もあって太陽電池への需要は急増している。しかしながら、グローバル経済の中で、企業経営の様態が変わってきた。日本企業は独自のビジネスモデルを確立できず、蓄積した独自技術の海外流出のみが目立っている。日本が金をかけて開発した新技術で海外勢が大きく儲けるという図式である。なぜこうなったのか。

明らかに、政府や企業はグローバル戦略において大きく後れを取っている。その原因の一つとして強く関係しているのは、組織も個人も内向きで、コミュニケーション能力においてアジア諸国を含む世界の主要国に引き離されているからだ。たとえば、3年ほど前の統計では、米国の理系大学院に在籍する外国籍学生の数において、日本は、韓国、台湾、シンガポールは言うに及ばず、ネパールよりも少ないのである。若者の内向き傾向は深刻だ。異文化とのコミュニケーションが苦手で、英語能力が低く、そのためインターネットに溢れるグローバル情報にも十分なアクセスができないのではないかと。まして信頼できる海外の友人を持っているだろうか。

半世紀前に世界第二位の経済大国になった自信がグローバル社会に対する警戒心を著しく減じている側面もある。昨年、彼我の文化や歴史に関連させて、筆者は少し詳しい分析を拙著[6]において試みたのでここでは繰り返さないが、ひとことで言えば、組織も個人も俯瞰力が鍛えられていないのである。

企業の立場で言えば、諸外国に出かけ、多くの異分野の企業との直接のコミュニケーションが頻繁になれば、社会のあらゆるニーズの情報が早く集まり、連携のチャンスも生まれ、どこよりも早く新しいヴァリューチェーン(Value chain)を発見・形成できるはずである。異分野に興味を持ち、連携を拡げることのできる人材は、大学における教育に強く影響されて育つ。アップル社(Apple Computer)の伝説の創業者、スティーブ・ジョブス(Steve Jobs)も、「アップルのDNAには、テクノロジーだけでは不十分で、リベラル・アーツや人間性との交わりが必ず含まれている。」と明言している[52]。

本稿での話は半世紀近く前の時代を背景にしていた。当時に比べると、2017年の現在、比較にならない程に社会や価値観が急速に変化している。変化が急過ぎて親の経験が子や孫に通用しないということが起きる。事実、経済発展という点では日本を追い抜いた中国や、科学技術の進展で日本に並びかける韓国においても、例えば、自国の家族文化や社会慣習については日本以上に急速に壊れ始めている。科学技術は我々の生活を便利にしたが、同時に世代間の不協和音も大きくした。

科学技術はどうあるべきか、国立研はどう社会とかかわっていくべきなのか。目先のグローバル経済の中で勝ち抜く努力を怠るわけにはいかないが、もう少し長期的、複眼的に将来を俯瞰する必要があるのではないかと。それには、広い興味を持って世界に出かけ、多くの人とコミュニケーション



ンを繰り返し、そして世界の実態を自らの目で確かめ、体験的・俯瞰的に世界の流れを理解する、そのような経験を持つ若い人材が必要である。その上で、身につけた能力と体験に基づいて自らの知恵で将来を切り拓いて貰いたいものだ。

国立研には、大学以上に、若い研究者にそのような環境と機会とインセンティブを与える自由度はあるはずであるし、むしろ、それを高貴な義務と心得て進めて欲しいものである。

## 謝辞

追いつき追い越せ時代に、諸先輩や同僚から貴重なご指導と励ましを頂戴した。とくに、松下電器東京研究所を辞して以後、菅義夫先生、菊池誠さんは筆者の精神的な支柱であった。恩師のお二人とは研究を超えて終生の交流を頂いた。菊池特別研究室時代の同僚、杉道夫さんは博覧強記の人で、やはり研究を超えて刺激を受けた。カルコゲナイド系ガラスの光構造変化に没頭していた時代、忘れられない経験は材料物性研究室主任研究官の荒井和雄さんとの連日の議論である。日に日に物理イメージと実験構想が膨らんだ。大串秀世、松田彰久、大枝秀俊、山崎聡、秦信宏、松浦秀治の各氏は、アモルファス材料研究室時代の筆者の仲間であり、ともに研究室を築いてきた大事な戦友である。サンシャイン計画のプロジェクトに参加する道を拓いて下さったのは、当時の基礎部長の作道恒太郎さん、電子デバイス部長の駒宮安男さんであった。NEDOプロジェクトがスタートして以降は、エネルギー部長の杉浦賢さん、材料部長の前川稠さんに、不断の激励とサポートを頂いた。以上の方々に心から感謝を申し上げる。

## 参考文献・資料・注釈

- [1] 菊池誠監修・田中一宜編著、「アモルファス半導体の基礎」オーム社 1982年
- [2] 田中一宜、丸山瑛一、島田寿一、岡本博明共著、応用物理学会編（応用物理学シリーズ）、「アモルファスシリコン」オーム社(1993)
- [3] B. T. Kolomiets : Phys. Status. Solidi, **7** (1964) 359
- [4] S. R. Ovshinsky : Phys. Rev. Letters **21** (1968) 1450
- [5] W. E. Spear and P. G. LeComber : Solid State Commun. **17** (1975) 1193
- [6] 田中一宜、「国立研究所外史／ドキュメンタリー国家プロジェクト～真の産官学連携をめざした人々」静岡学術出版 2016年
- [7] 菊池誠:物性 1969年2月号 p.123
- [8] 宗像元介、「半導性ガラスの研究」電気試験所研究報告 1963年
- [9] (注)ある日、菊池が「何か血わき肉おどるようなことはないか」と研究室員に問いかけたら、「いい考えがあります。あそこの200ボルト配電盤の端子に触ったらどうでしょう」との答が返ってきた。傳田精一(のちサンケン電気常務)が飛ばしたジョークと聞いている。

- [10] (注)飯島茂は、CALTEC に留学中、教授の要請を受けて、世界で初めて単斜晶系(モノクリック)セレンの結晶成長に成功した。しかし同僚はいくらトライしてもうまくいかない。秘訣を聴かれた飯島は、「愛情が足りない」と答えている。
- [11] M. Kikuchi and S. Iizima : Appl. Phys. Letters **15**(1969)323
- [12] (注)1969年4月19日が筆者の松下東研における最後の日であったが、小池勇二郎は、辞職の挨拶に出向いた筆者に、「一流の研究者になって外から東研を助けてください」との言葉をかけた。在職6年間、ほとんど何の貢献も無いまま東研を去る筆者は、小池の心の広さに感銘を受けた。この松下東研から、かつて小池が採用した赤崎勇が、2014年、青色発光ダイオードの基礎研究でノーベル物理学賞を受賞している(共同受賞者:天野浩、中村修二)
- [13] (注)1970年の春ころ、田無 C2 庁舎 3 階にある菊池の部屋(316 室)で、菊池誠と作道恒太郎(のち基礎部長、筑波大学教授)が応接テーブルを挟んで堅い表情で向き合っていた。「部長はお断りする」との菊池の大きな声が、同じ部屋の暗室で実験中であった筆者の耳にも聞こえてきた。
- [14] (注)当時の実験は、とにかく時間がかかった。コンピュータが発達していないので、自動測定は極めて限られていて、少し複雑で長い実験の場合、すぐに徹夜実験となった。筆者の 1970 年の日記によれば、年間集計して約 150 日間、C2-317 室の古い折りたたみ式ベッドで寝ていた(当時、筆者は 30 歳)。
- [15] M. Kikuchi, S. Iijima, M. Sugi and K. Tanaka : Proc. of the 1<sup>st</sup> Conference on Solid State Devices, Tokyo, 1989 ( The Japan Society of Appl. Physics ) p. 203
- [16] 鳩山道夫「半導体を支えた人々」誠文堂新光社 1980 年
- [17] N. F. Mott : Philosophical Magazine **19** (1969) 835
- [18] I. Shimizu et al : Photog. Sci. Eng. **16** (1972)291
- [19] 田中一宜 : OHM BULLETIN **18** 夏(1982)9
- [20] S. Zembutsu et al : Appl. Opt **14** (1975)3073
- [21] K. Tanaka : Solid State Commun. **15** (1974)1521
- [22] K. Tanaka : Appl. Phys. Letters **26** (1975)245
- [23] (注)B.T.Kolomiets は、「ガラス半導体の父」と呼ばれながら、ソ連から一步も外に出ていない(社会主義国は別)。ICALS では常に彼を招待し続け、その都度、彼からは受託の返事を貰ったが、政府は最終的に出国許可を出さなかった。会議のバンケットの際、筆者は彼のテーブルに呼ばれて、いろいろと話をした。その際、彼は大きな声で共産党批判を繰り返し、共産党員である会議議長のレーゲル(A.R. Regel/著名な理論家)のテーブルまで筒抜けであった。
- [24] K. Tanaka : AIP Conference Proceedings Number 31 “Structure and Excitations of Amorphous Solids” (Williamsburg, Va., 1976) Ed. by G. Lucovsky and F.L. Galeener, p.148 / (注) AIP Conference のプロシーディングズは、シリーズナンバー付きで発刊される。大きな特徴は、口頭発表の場合、論文の後ろに Discussion and Comments として質疑応答の記録が名前入

りで載っていることだった。プロシーディングズとは本来、「議事録」のことである。その後まもなくこの良き習慣は消滅した。

- [25] P. G. LeComber and W. E. Spear : *ibid* p. 284
- [26] 廣瀬全孝:物性研究所短期研究会「非晶質半導体の構造と物性」(昭和 50 年 7 月 14, 15 日) p.29
- [27] W. E. Spear : Kyoto Summer Institute 1980 (KSI '80), at Research Institute for Fundamental Physics (RIFP), Kyoto Univ. (8-11 September 1980)
- [28] K. Tanaka : "Fundamental Physics of Amorphous Semiconductors" ed. by F. Yonezawa (Springer-Verlag, 1981) p.104
- [29] D.E. Carlson and C.R. Wronski : Appl. Phys. Letters **28** (1976) 671
- [30] 堺屋太一「油断」日経ビジネス人文庫 1975 年
- [31] 「サンシャイン計画 10 年のあゆみ」サンシャイン計画 10 周年記念事業工業技術院実行委員会編、サンシャイン計画 10 周年記念事業推進懇話会発行(1984)
- [32] 田中一宜 : 「アモルファスシリコン—薄膜太陽電池新材料」電子技術総合研究所彙報 47 巻 7 号 (1983) p.30
- [33] 三田出版会編「日本の技術戦略」日経サイエンス社 1984 年
- [34] 島本実「計画の創発～サンシャイン計画と太陽光発電～」有斐閣 2014 年 11 月/(注)本書はサンシャイン計画及び太陽光発電プロジェクトを詳細な資料とインタビューを通して多面的かつ科学的に分析した好著である。
- [35] 中根千枝「タテ社会の力学」講談社学術文庫 2009 年
- [36] (注)与謝野小委員会報告書のコピーほか、当時の関係書類・一次資料などは、筆者の手元に保管・保存中である。
- [37] Nick Holonyak Jr.: Special Issue "John Bardeen", Physics Today, April (1992) p.26
- [38] A.Matsuda : "Formation Kinetics and Control of Microcrystallites in microcrystalline Si:H" JNCS **59&60** (1983) 767
- [39] H. Okushi et al : Jpn J. Appl. Phys. **20** (1981) L549
- [40] S. Yamasaki et al : Jpn J. Appl. Phys. **21** (1982) L539
- [41] (注)大串秀世は「高密度励起子状態を利用したダイヤモンド紫外線ナノデバイスの開発」の研究代表者(2001-2006 年度)、山崎聡は「超低損失パワーデバイス実現のための基盤構築」の研究代表者(2010-2015 年度)を務めた。
- [42] 田中一宜「第 14 回アモルファス半導体国際会議報告」応用物理 61 巻(1992) p.176
- [43] "Glow-Discharge Hydrogenated Amorphous Silicon" ed. by K. Tanaka ~*Advances in Solid State Technology*~ (KTK Scientific Publishers/Tokyo, Kluwer Academic Publishers/Dordrecht,Boston,London, 1989)
- [44] 田村浩一郎ら「研究に関する研究」研究班報告書、工業技術院電子技術総合研究所「研究に関する研究」研究班 1994 年 3 月

- [45] 田中一宜「大型研究プロジェクト～その周辺と学会の役割～」応用物理 78 巻 (2009) p.736
- [46] J. S. Mill(竹内一誠訳)「大学教育について」岩波文庫 2011 年(原題:Inaugural Address delivered to the University of St. Andrews, Feb.1<sup>st</sup>, 1867)
- [47] Erwin Schrodinger(岡小天・鎮目恭夫訳)「生命とは何か／物理的にみた生細胞」岩波文庫 2008 年(原題:WHAT IS LIFE? The Physical Aspects of the Living Cell : the Press of the University of Cambridge, 1944)
- [48] Jose Ortega y Gasset(井上正訳)「大学の使命」玉川大学出版部 1996 年
- [49] 大森荘蔵、記念エッセイ「教養学科の 40 年(1951-1991)」p.69(記念パーティのスピーチ)
- [50] 猪木武徳「大学の反省」NTT 出版 2009 年
- [51] 桑野幸徳著、日本太陽エネルギー学会編 「太陽電池はどのように発明され、成長したのか」オーム社 平成 21 年(2009 年)
- [52] Steve Jobs, “Technology alone is not enough” :The New Yorker, October 7, 2011

\*\*\*\*\*

## 著者略歴

田中一宜(Kazunobu Tanaka)

1940 年 東京生まれ。1963 年 東京大学工学部電気工学科卒、工学博士。(株)松下電器東京研究所を経て、1971 年 工業技術院電子技術総合研究所基礎部菊池特別研究室、1980 年 同所材料部アモルファス材料研究室長、1988 年 材料科学部長。1992 年 産業技術融合領域研究所(融合研)総合研究官、アトムテクノロジー研究体(JRCAT)副プロジェクト・リーダー、1998 年からプロジェクト・リーダー。2000 年 オンゲストロームテクノロジー研究機構(ATP)常務理事兼務。この間、東京大学化学工学科第一講座教授(1984-1988 年)併任、UNIDO Project Advisor(1988-1993)、筑波大学連携大学院教授(1992-2000 年)併任、中国南京大学物理学科教授(1995)兼職、スロバキア工科大学物理学科名誉学術博士(1997 年)。2001 年 (独)産業技術総合研究所理事、フェロー、特別顧問、名誉リサーチャー(2010 年から現在にいたる)。2006 年 (独)科学技術振興機構研究開発戦略センター、上席フェロー(ナノテク・材料)。アジアナノフォーラム(ANF)創設議長(2004 年)。文部科学省事業「ナノテクノロジープラットフォーム」プログラム・ディレクター(PD)(2012-2013)。Mott 賞(国際賞 1995 年)受賞。共編著書／「アモルファス半導体の基礎」(オーム社、1982 年)、「アモルファスシリコン」(応物学会編、オーム社、1993 年)、「グリーン・ニューディール」(JST 研究開発戦略センター編、丸善プラネット、2009 年)、「ドキュメンタリー国家プロジェクト」(静岡学術出版、2016 年)など。応用物理学会(フェロー)、日本物理学会、MRS(米国)、APS(米国)、各会員。

受理日：2017年4月24日