

◆ オーラルヒストリー*

青色発光ダイオードを求めて

赤 崎 勇**

〈聞き手 (インタビュー)〉

榑 裕之 東京大学生産技術研究所 教授
澤木 宣彦 名古屋大学大学院工学研究科 教授
竹田 美和 名古屋大学大学院工学研究科 教授

〈担当編集委員〉

佐川みすず (株) 日立製作所中央研究所
三宅 秀人 三重大学大学院工学研究科 助教授



あか きき いさむ
赤 崎 勇 (工学博士)

1929 年 鹿児島県生まれ
1952 年 京都大学理学部卒業
神戸工業 (後に富士通に合併) 入社
1959 年 名古屋大学工学部電子工学科助手、講師、助教授を経て
1964 年 松下電器産業 (株) 入社
東京研究所基礎第四研究室長、半導体部長などを経て
1981 年 名古屋大学工学部電子工学科教授
1992 年 名古屋大学名誉教授 名城大学理工学部教授
2004 年 名古屋大学特別教授

主な表彰と受賞年

紫綬褒章 (1997), Laudise Prize (結晶成長学国際機構) (1998),
2000 年度朝日賞, 文化功労者顕彰 (2004).

このインタビューは、DVD「青色発光ダイオード開発物語 赤崎勇～その人と仕事～」(JST)を見ながら行われた。青色の文字は、その DVD の内容に基づく。

青色発光ダイオードのランプ。普通、直径は 4 mm ほど。この中で光っているチップは、0.3 mm の正方形。この小さなチップが光る。20 世紀中では実現不可能と考えられていたその高性能青色発光ダイオードの研究にかけてきた日本人の研究者がいる。赤崎勇博士。名古屋大学教授を退官した後、今は名城大学教授。

青色発光ダイオード開発のもつ意味について、名古屋大学の竹田美和教授は次のように語る。「これらの研究開発の大部分が日本人の研究者および企業でなされたということであり、基礎研究から開発・商品化の大部分が日本の研究者・開発者・企業によってなされました。これは世界に誇るべき偉大な成果でありますし、科学技術史における大きな足跡を残すものと考えております」

1. 学徒動員から終戦へ

榑：まず中学や高校のころのことをおうかがいしたいので

* (インタビュー実施日：2006 年 12 月 1 日)

** 名城大学理工学部教授

すが。

赤崎：中学 2 年生の終わりごろから学徒動員になったので、中学校で授業を受けたのは実質 3 年足らずです。

榑：学徒動員では、どんな工場へ行ったのですか。

赤崎：最初は市内の工場など。3 年生になると鹿屋の海軍航空隊で飛行機の掩体壕作り。そして 4 年から佐世保の海軍工廠へ行きました。海軍工廠では、各学校から一人ずつ選ぶ「甲板学徒」に指名されました。それが大変な役なんです。物入れから岩波の文庫本などが見つかったりすると、連帯責任で甲板学徒が下士官からビンタをくらうんです。

1945 年 6 月、陸軍航空士官学校を受けろという命令で、鹿児島に帰りました。その夜大空襲をうけ、鹿児島市はほとんど焼け野原になりました。幸い生き延びたのですが、そのあと無差別銃撃をうけ死にそうな目にありました。焼け野原ですから、人が一人歩いていても飛行機から見えるのでしょ。こちらからもパイロットの顔が見えましたから。

榑：すごく濃密な時代を生きられましたね。

赤崎：大変な時代でした。わずか 50 cm ぐらいのところへ弾を受けたことがあります。

澤木：後に、「一人荒野に行く」とおっしゃっているのは、

その体験と重なっているのですね。

赤崎：状況はまったく違いますが、そうかもしれません。今まで、このことは話したことはありませんが、あのときの情景は脳裏に焼き付いて離れません。1回目は市電の線路に沿って歩いてたとき、飛行機が向こうから来るのが見えました、身の隠し場所がありません。2回目は疎開先に行く途中、近づく爆音に一瞬、路肩に身を伏せました。砂ぼこりがパッと立ちました。

2. 七高から京都大学へ

竹田：終戦の翌年に、旧制七高へ進学されたのですね。

赤崎：入ってみたら、同級生はみんな年上ばかり。外地の旧制高等学校、専門学校や大学予科、それに陸軍士官学校や海軍兵学校から編入した人がたくさんいて、4年から入学したのはクラスに2~3人でしたか。七高は焼けていたので、県北部の出水市にあった航空隊跡に疎開して、そこで開校したのが1946年11月末。翌年には学校復興資金集めのための演劇活動などで休講があり、七高も正味2年余りでしょうか。ですから中学・高校で大事な基礎を学ぶ時間が少なかったですね。

榊：京都大学の理学部、しかも化学科を選ばれたのは、どういう理由ですか。

赤崎：物理か化学か考えていたとき、京大理学部（主として化学専攻）に進学していた七高の先輩に熱心に勧められたことです。西堀栄三郎さんのこと、いろいろな創意工夫の話など、研究室の雰囲気も興味がありました。もう一つは、中学や七高の化学の先生が親しみやすい方でした。

3. 神戸工業時代〜ルミネッセンスとの出会い

竹田：京都大学をご卒業後、神戸工業（現・富士通）でブラウン管の研究を始められたのは何年ですか。

赤崎：1954年です。研究というより開発とか生産技術的なことです。後に蛍光表示管を発明し伊勢電子工業を起こした中村正さんとコンビを組みました。中村さんが電子銃、私は蛍光面を担当しました。そこでルミネッセンスと縁ができたのです。蛍光面はピンホールがないようにするため、



左より竹田、榊の各氏

電子の侵入長に比べて厚く作ります。陰極線発光はその不透明な蛍光体層に吸収されロスします。これをなんとかしよう。そこで蛍光体材料のZnSの小さな単結晶を、フェースプレート内面に薄く敷きつめられないかとブラウン管技術課長の巽武一さんと真面目に話し合ったことがあります。当時はまったくの夢物語ですが、これはずっと私の潜在意識にあったようです。

澤木：そのころから、光る単結晶に注目されたのですね。

赤崎：蛍光体は多結晶の粉末で、再現性がよくなかった。今は環境がよく整備されていてあまり問題はないと思いますが、当時は、温度・湿度のコントロールが十分ではありませんから。私はそのころから、光るもの、そして単結晶をやりたいとずっと思っていました。それが後のIII-V族化合物半導体の単結晶の研究につながったと思います。

4. 1回目の名古屋大学時代〜結晶・物性・デバイス

赤崎氏は名古屋大学で初めて結晶成長の研究に着手する。当時、Geが半導体研究で最も注目を浴びた材料だった。赤崎氏は、これを自力で作るため、GeO₂を輸入し、水素還元してGeインゴットを作り、ゾーン精製や、ゾーンレベリングにより所望の単結晶を作った。その単結晶をスライスして基板とし、その上に気相からGeを一層ずつ積み重ねる、いわゆるエピタキシャル成長法によってGeの単結晶薄膜を成長させた。この研究を通して半導体研究に対する赤崎流の方針を確立した。結晶—高品質の単結晶を自分の手で作ること。物性—その結晶の物性が、成長法や条件でどう違うかを自分で調べること。デバイス—その高品質結晶のデバイス応用を極めること。この三つを不可分・総合的に研究することが、半導体研究の要であるという基本方針であった。

竹田：1959年に、神戸工業の三羽ガラスの一人と言われた有住徹弥先生とともに、名古屋大学へ移られましたね。

赤崎：どうして有住部長は私に声を掛けられたのかわかりません。1958年晩秋の突然の話で、お断りしましたが、有住さんは、いささか強引でした。しかし結果的にはこの名古屋大学時代が私の研究の原点になりました。それまでの不勉強を取り戻すのと一人で実験室を立ち上げるため日曜日もほとんど休みませんでした。この間Geの単結晶薄膜成長にも取り組みました。東京大学の原留さんが、やられたのも同じころではなかったでしょうか。これはたぶん日本で初めてだと思いますが、よくわかりません。

榊：気相成長法が初めてなのですね。

赤崎：はい、そうです。

澤木：エピタキシャル成長法は一般的だったのですか。

赤崎：いいえ、少しそのあたりを。私は構造敏感な半導体の研究には素性のわからない結晶は使わない。結晶は自分で作らないと駄目だと思い、コンゴからGeO₂を輸入しました。きれいな白い粉です。それを還元する炉をはじめ、ゾーン精製装置、ゾーンレベリング装置、種々の加工・処

理機、排気装置等々の配線や立ち上げまで神港精機の人手に手伝ってもらいながら半年がかりで全部やりました。しかし実際に還元やゾーン精製などはどうやったらいいか、誰も教えてくれる人がいません。ベル研から出されていた『Transistor Technology』が唯一の先生でした。

一方、p型基板にヒ素を拡散させて作るp-n接合のn層はアクセプターで補償されています。このように補償されていない、しかも望みの不純物分布をもつ接合や薄膜結晶を作る方法はないかと、ゾーンレベリングのとき、パラフィンを燃やして石英ボートにスーチングしていたので、熱分解や不均等化反応で生成する原子を積んで薄い結晶ができないだろうかと考えました。

澤木：エピタキシャル成長法を独自に開発されたのですね。

赤崎：私がこの実験をしようと考えたのは1960年。ほかの仕事は決してスローダウンしないという条件でやっと有住先生のOKをもらい、61年に表面は平坦ではありませんがGeの単結晶膜を作ることができました。そのころ、大阪大学の菅田栄治先生から「IBMで同じようなことをやっていますよ」とお聞きして、びっくりしました。後日その論文のコピーを入手しましたが、IBMジャーナルを見るのは初めてでした。1961年暮にショートノートを書き、62年から院生になられた西永頌さんと一緒に本格的に始めました。

5. 松下電器東京研究所へ

榊：松下の東京研究所ができたのは1960年ですね。

赤崎：松下幸之助さんが「将来の技術革新に対処するため、エレクトロニクスの基礎研究をより積極的に推進する」東京研究所を設立しました。初代所長は、社内の生え抜きの人。その後、1962年に東北大学から小池勇二郎教授を2代目の所長に迎え、川崎市生田のキャンパスへ移ったのが1963年。私が小池先生からお誘いを受けたのは、1962年だったと思います。

竹田：企業での研究に興味があったのですか。

赤崎：もともと私は名大に残るような器ではない、いずれはよそへという気持ちはありました。たまたま、まだ小池先生が東北大におられたときだったと思いますが、先生が委員長を務めておられた研究会で、エピタキシャル成長の話をしたのが縁で、旧知の有住先生に相談されたのが始まりのようです。名大での仕事が佳境に入っていたのと、名大の事情もあって1年経っても行かなかったのですが、私の心を動かしたのは、原徹さんです。彼は私の研究室に配属が決まっていた新実験室の準備をしていました。室長が着任しないと落ち着かないのは当然で、とうとう名古屋まで来ました。これには参りました。もう行かざるを得ないと。

澤木：当時の東京研究所の雰囲気はいかがでしたか。

赤崎：所長はじめ研究室長はすべて松下の外から大学の助教・教授クラスの人を集めたシンプルな組織で、少し前にできた物性研などとも交流があり、割に自由な雰囲気でした。

した。

6. 松下電器時代～発光デバイスの展開。GaNでは一人荒野に行く

松下電器東京研究所の赤崎研究室がまず取り組んだのはGaAsの高品質単結晶を作り、その物性を調べることだった。Geから始まった半導体の研究は1960年代、その主役をSiへと譲っていた。その一方で、発光デバイスやマイクロ波デバイスの材料としてGaP、GaAsなどの化合物が注目され始めていた。赤崎氏と原氏の高品質GaAsの研究は、モスクワの半導体物理国際会議で発表された。

さらに赤崎氏は、当時としては世界一明るく光る青色発光ダイオードを作った。そのときの苦勞を、室員だった大木芳正氏は次のように語る。

「赤崎先生ご自身で、当時(1973年)やっと世の中に認知され始めてきた分子線エピタキシー(MBE)法で、GaNの単結晶を作ることを、まず一人でお始めになった。その後1975年通産省プロジェクトが始まる時、MBEのほかに実際にある程度結晶ができることわかっている気相成長(HVPE)法を使ってGaNの結晶を作ることを、一方で私が担当して始めました。最初の1回だけはどういうわけか、そこそこきれいな結晶ができたんです。しかし2度目、3度目以降、同じことがまったく再現できません。やがて基板を再使用したときに限って、比較的よい結晶ができる場合があることに気がつきました。成長しなかったサファイア基板の表面をよく眺めてみると、実は表面に少しだけGaNの小さな結晶がついています。それを“種”にして、そこからGaNのきれいな結晶が成長するのではないか、という結論に達しました。そこで今度は意図的に、最初に表面に種になるような小さな結晶を付けて、結晶を成長させることを始めたわけです」

榊：松下電器での研究は、ガン・ダイオードやLEDをターゲットとしていたのですか。

赤崎：そうです。ただガン・ダイオードは、物理的に大変面白いのですが、デバイスとしては“光りもの”により興味がありました。今でも鮮明に覚えていますが入社前に小池さんに会ったとき、突然、「赤崎君、何をやる?」と聞かれ、「III-V族化合物半導体をやります」と即答したら、「よし、それで行け」と。それでテーマが決まりました。最初に取り上げたのはGaAs、2年あとにAlNなども始めました。

1968年モスクワの国際会議に出席し、その帰りにイギリスのボルドックのSERL研究所で高圧引き上げ(LEC)装置の試作機を見て、これでGaPの引き上げをやることにしました。高温の高圧容器の万一の爆発に備えて、厚いコンクリート壁でかこい、はじめはITVによる遠隔操作でB₂O₃液中の種付けをしていましたが、うまくいかず、とうとう有賀弘三君や橋本雅文君が厚いサファイアの二重窓を通して直接観ながら種付けに成功しました。種付けができて

も引き上げがうまくいくとは限りませんが…。こうして日本初の LEC 法による GaP バルク単結晶を作り、それを基板にして GaP の気相および液相エピタキシャル成長や GaInP の気相エピタキシャル成長をやりました。

澤木：GaN を始められたのはいつごろですか。

赤崎：AlN を始めたのが 1966 年、GaN は 1973 年です。同じころから GaN とともに、松下時代の最後までやっていたのは、液相エピタキシャル成長による GaInAsP/GaAs の赤色レーザーです。1979 年 10 月赤色レーザーを発振させました。イリノイ大より少し遅れましたが日本では一番早かった。当時発光素子は、赤や黄緑は光っていましたが、青色は夢でした。LED は青を狙う。レーザーは赤外しかないので可視光を狙う。どちらもできていないデバイスです。

竹田：松下では先生の思いどおりに研究を進めることができたのですか。

赤崎：当初は、私の方針どおりにやれました。しかし 7~8 年経ったころから、状況が変わってきました。研究所は本社から独立した組織でしたが資金は 100%本社からもらっていました。しかし、研究で使う分は、自分で稼ぎなさいという方針が変わりました。東京研究所は、1971 年に松下技研という名称に変わりましたが、室員にとって、なるべく仕事しやすい環境を作ろうとすると、上の要求と相容れない。そのはざまに立っていたことは確かです。GaN を始めたのはそのころです。

この研究を本格的に行うため、また外部資金獲得のため、MBE 法では初めて単結晶を作り、1974 年「GaN による青色発光素子開発に関する研究」で通産省の中核プロジェクトに応募しました。

そして開発した初のフリップチップ構造の GaN MIS 青色 LED がちょっとしたヒットになりました。これはサファイア基板につけたパターン状 SiO₂ 膜上に選択成長する n⁺GaN 柱をカソードとするもので、通常の MIS 型に比



左より佐川、澤木の各氏

べてはるかに作りやすい構造です。外部効率率は~0.1%で、もちろん後の LED には比べものになりませんが、視認性もよく、会社では量産試作し、後年米国・松下技術展で注目をあびました。クラックや歩留まりなどの問題で市販されなかったのですが、私が目指す p-n 接合ではなかったのであまりがっかりはしませんでした。

竹田：そのフリップチップの成果を、1981 年に日本で初めて開かれた化合物半導体の国際会議で発表されたのですね。

赤崎：1978 年のデータをいろんな事情で 1981 年に発表しました。ずいぶん関心を引くだろうと思っていたのですが、まったく反応がなかった。そのころ GaN には誰一人見向きもしなくなっていたんですね。私はつくづく、「ああ、一人なんだな」と思いました。

ところで、1977~78 年ごろ蛍光顕微鏡で結晶を眺めていると、ごくまれにですが、とてもきれいな微小な結晶が含まれているのに気づきました。なんとかしてウエハー全体をこの微結晶のようによくすれば表面はピカピカになるだろう。残留不純物も少なくなっているであろうその結晶に、アクセプターをドーピングすればきっと p 型も実現できると確信しました。問題はこのきれいな部分をいかにウエハー全体に広げるか。

これは結晶成長の問題だ。こうして 1978 年、この研究の原点である“結晶成長”にもう一度立ち返ることにしました。これは GaN 研究の一つの分かれ目だったと思います。ところで半導体単結晶の品質は成長法や条件によって大きく変わります。GaN の成長法として、MBE、HVPE、それに MOVPE の特徴を、それまでの経験に基づいてさまざまな角度から比較検討した結果、1979 年に「MOVPE 法が最適だ」と結論しました。この判断がよかったのはその後の GaN の発展の経過をみるとわかります。しかし、GaN の研究を続けることはかなり難しくなっていました。

実はそのころお話をいただいていた名古屋大学にお世話になって、自分の思ったとおり GaN の研究を続けよう。そう決めました。あのとき、もし名古屋大学からお呼びが掛からず帰ってこなかったら、この研究はそのままになっていたかもしれません。

竹田：窒化物半導体の研究をずっと続けてこられたのは、赤崎先生だけですね。ぼつん、ぼつんと、早い時期にやっている人はいたのですが。

榊：窒化物半導体の研究で、論文数が上がり始める前、1970 から 80 年まではほとんどが赤崎グループの発表ですか。

竹田：いいえ、最初に発表した論文の継続版があるので、ほかのグループもゼロにはならないのです。

赤崎：ルミネッセンスや屈折率を測るなどの研究はありました。日本でも東京大学の青木昌治先生のグループやほかの会社でもやっていて交流がありました。院生の松本俊さん、佐野雅敏さんや蟹江壽さんたちが、結晶成長や物性の仕事を随分されていました。しかし世界中どこでもよい結晶を作るのは難しかった。

榊：私は大学院在籍中の1972～73年ごろ、青木研の佐野さんたちと話をした記憶があります。GaNをクロライド法で成長させると窒素の空孔が多く残るなど、苦労したと聞いています。

7. 2回目の名古屋大学時代～ブレイクスルー

赤崎氏は、名古屋大学着任前から本格的クリーンルームの設計を手がけていた。1981年教授となって名大に戻ると部品を集めて作ったMOVPE装置で早速、実験に取りかかった。その装置の改良型であるMOVPE1号機の立ち上げを行ったのは小出康夫氏（当時、博士課程1年）と天野浩氏（当時、修士課程2年）であった。小出氏は当時の様子を次のように語る。「まだMOVPE法が、それほどポピュラーではなかったころですから、装置は手作りです。部品の一つひとつをリストアップして、配管の部品一つから、反応管、石英管のフランジなども設計して、業者に発注しました」。

こうして試行錯誤をくり返し、効率よく成長できるようになったが、求める鏡面結晶は得られなかった。赤崎氏は「これはGa₂O₃とサファイア基板とで格子定数その他の性質が大きく異なるためだ。したがって基板とエピ層の間に、単結晶のようにガッシリした構造ではない、軟らかくて薄い層をバッファ層として挿入することで解決できるのではないか」と考えた。バッファ層材料としてはなるべくGa₂O₃やサファイアによく似た物性を有する材料が望ましく、ZnO、AlN、Ga₂O₃やSiCなどが頭に浮かんだが、すべてを同時にはやれないので、1966年から馴染みのあったAlNをまず試みることにした。こうして、赤崎氏らはGa₂O₃単結晶の成長直前に、AlNの薄い層をAlN単結晶の成長温度より低い温度で堆積する新技術を開発し、結晶欠陥や残留不純物の格段に少ない高品質結晶の成長に成功した。

最初の実験成功は、1985年のこと。赤崎氏は天野氏の実験結果を見て、結晶学的特性、光学的特性、電気的特性を徹底的に調べるように指示した。その結果を見た赤崎氏はこう語る。「すべての重要な特性が、同時に、どれ一つ欠けることなく、従来のものに比べて飛躍的に向上している。これで未到とされていたGa₂O₃が、半導体としての機能を初めて発現できる。松下時代から長年求めつづけ、また信じてきた、表も中もきれいなGa₂O₃を遂に実現できて、本当にうれしかった」

これが、高光度青色発光ダイオードの開発にとって、決定的なブレイクスルーとなった。赤崎氏らは直ちに次の課題であるp型伝導の実現に向けて実験を開始した。まず高品質Ga₂O₃へのZnドーピングをくり返し行ったがどうしてもp型は得られなかった。1987年、この結晶に電子線を照射するとZnの関与する青色発光の強度が著しく増大する現象を見いだした。一方1988年、MgのほうがZnより活性化しやすいことに気づき、1989年bis-CP₂Mgを輸入しMgドーブに成功した。そしてZnドーブ高品質Ga₂O₃の場合と同様、Mgドーブ高品質Ga₂O₃に電子線照射を行った

ところ、Mgの関与する青色発光の強度が著しく増大するとともに結晶がp型伝導に変わることを発見した。電子線照射によりMgをとりまく電子状態が変化し光学的にも電氣的にも活性化されたのである。この“Ga₂O₃におけるp型伝導の発見”は、Ga₂O₃青色発光素子開発の第2のブレイクスルーとなった。直ちに、赤崎氏らは“初のGa₂O₃p-n接合ダイオード”を実現し、この成果がその後の全世界での窒化物半導体研究の爆発的拡大を招くこととなった。ところで、ここで新たな問題があらわになった。それは低温バッファ層技術により残留ドナーが激減するため結晶が高抵抗化することである。そこで、赤崎氏らは、同年、低温バッファ層技術を用いて結晶を高品質に保ちながら、Siをドーブすることによりn型の伝導度を広範囲にわたって制御することにも成功した。この“n型伝導度の制御”はp型伝導の実現とともに実用上不可欠の技術である。これらによって窒化物半導体の電子・光デバイス応用の基礎が確立された。

榊：大学ですぐに研究室を立ち上げるのは難しいことですね。それをどのように乗り越えられたのですか。

赤崎：丸勢進工学部長をはじめ電気系教室のすべての先生が支持してくださいましたが、最も大きかったのがパートナーである澤木先生のご協力です。

榊：赤崎先生の代表的なお仕事として、AlN低温バッファ層の導入によるGa₂O₃結晶品質の飛躍的な向上と電子線照射によるp型伝導の初の実現がありますね。これが窒化物系半導体素子発展のブレイクスルーとなったことは多くの人が知るところです。ところで先生の使われたMOVPE装置について気になったことがあります。1号機のと時から基板が斜めに置かれていて、そこに原料ガスを高速に吹き付けていますね。この構造では、基板に並行な方向と垂直な方向の流れが合流した形になりますね。

赤崎：そうです。

榊：斜めにした基板に吹き付ける方法は、最初からやっていたのですか。

赤崎：いいえ、最初は基板を水平にして低速で原料を供給していましたが、原料の利用効率があまりにも悪く、そのうえAlGa₂O₃系の成長制御がうまくいかなくて、斜めにした基板に高速で吹き付ける手法にしたのです。

榊：そうだとすると、低温バッファ層を用いた成長法上の工夫の前に、斜めにした基板に原料ガスを吹き付けた工夫をしたことも強調されるべきですね。一つの問題点がそこで解決したわけですから。

榊：基板を水平な状態から初期に斜めにして、問題を解決したことは、どこかに発表したのですか。

赤崎：1985年3月の応用物理学会や、アプライド・フィジックス・レターズの86年2月号に発表しました。原料を反応部の直前で混合し、高速で基板に吹き付けるという窒化物系MOVPE法の原型はこのMOVPE1号機にあります。最初、吹き出し口が2本だったり3本だったりしたの

ですが、1本にして高速に吹き付け、同時に基板を斜めにしたのです。

榊：ツーフロー法と、傾けた基板に吹き付ける方法とは、別ものと考えられてきたようですが、技術の発展の相互関係を淡々と語ることも大事ですね。斜め方向から原料ガスを高速にぶつける、これもブレイクスルーの一つだったのですね。高温になった基板のために対流でガス流が上昇するのをどのように抑制したのか。その工夫にも触れたほうが、発展の経緯がよくわかるのではないのでしょうか。

赤崎：貴重なご指摘、ありがとうございます。

榊：その MOVPE の 1 号機で GaN の結晶成長に初めて成功したとき、すぐに徹底的に物性を調べるように指示されたのですか。

赤崎：私は以前から半導体の単結晶は“文質彬彬”でなければならないと考えていました。中（実質）がよいものは表（外観）もきれいなはず。表をきれいにするには、中がよくなくてはいけません。外観、内容ともによく整っている、という意味でいっています。ある日、天野君が低温バッファ層を介して成長させた表面がピカピカの結晶を興奮して持ってきました。私は松下のころから未到の GaN もなんとかして“文質彬彬”にしたいと思っていましたので、表面がきれいでも、中も本当によいことを確かめるまでは、心底から安心できなかったんです。少なくとも X 線回折の半値幅、電気的性質、何よりもルミネッセンスを測るようと、その場で指示した記憶があります。中もきちんと調べてから発表しようと思ったのです。

8. 産学連携

1987年、当時の新技術開発事業団（現・科学技術振興機構）の事業として、豊田合成と名古屋大学との産学官連携による青色発光ダイオード研究開発プロジェクトが始まる。これは1985年出願の AlN 低温バッファ層を用いた結晶成長法などに関する特許が基となっている。このプロジェクトを遂行しながら、赤崎氏は p-n 接合ダイオード実現のための研究を進めた。

榊：最初は産学連携の話を通ったそうですね。

赤崎：産学連携に消極的だったわけではありません。結晶は飛躍的によくなっていたのですが、まだ p 型伝導は実現していませんし、やりたいことが次々にあってお断りしました。しかし豊田合成さんと事業団の方の熱意にほだされてお受けすることになりました。

プロジェクトが始まると豊田合成の人たちに結晶成長について指導し、ゼミなどを通して半導体の勉強もしてもらいました。一方、私たちは 1 号機での経験を生かして MOVPE 2 号機を作製し、p 型伝導につながるドーピングやその先の実験をしました。MOVPE 1 号機は豊田合成の人の訓練用や、1986 年から始めていた GaInN の研究などに使いました。

9. 研究生生活を振り返って

澤木：まだ窒化物半導体の研究がそれほど進んでいなかった時期に、赤崎先生はライフワークにしようといわれました。窒化物半導体のほとんどのことはやられたと思いますが、やり残されたことはありますか。

赤崎：350 nm より短い波長、520 nm より長い波長では満足できるものはまだできていません。1989年に p-n 接合ができたとき、私は A3 の紙に将来構想として四つの図を書きました。「高効率紫外発光・受光デバイスの実現」「高温・苛酷な環境で動作可能なデバイスの実現」「超高速・高出力電子デバイスの実現」。そして従来の半導体では原理的に実現不可能な新しい領域「フロンティア・エレクトロニクス」を窒化物半導体で開拓すると。現在は、「GaN 系エレクトロニクス」と呼んでいます。これをすべて実現するには、やるべきことがまだまだたくさん残されています。

澤木：先生の場合には、応用が常に頭にあって基礎研究を進めるというやり方でしょうか。

赤崎：そうですね。光デバイスを志向していることが多いですね。しかし途中で何か問題があると一旦基礎に立ち返るということもありました。マジック・クリスタルと言われた GaAs は、レーザーやガン・ダイオードなどを考えていたのですが、GaAsP などの結晶成長や物性の研究に興味が移りました。一方窒化物半導体については、“p-n 接合による青色発光”という夢を追い続けてきました。

私はたびたび職場を変わり、雑多なことをやってきました。窒化物半導体の前は、GaAs 系 III-V 族化合物半導体、その前は Ge をやり、さらにその前は蛍光体やシンチレーターをかじりました。それぞれデバイスが頭にありましたが、あとで考えると、結晶成長に軸足を置いた材料の仕事だったのかなと思います。

榊：先生が所属された組織は、それぞれどのような長所・短所をもっていましたか。

赤崎：神戸工業で私がいたのは明石の大久保製作所ですが、大きさにいえば野武士の集まりです。自分に合ったテーマに当たった人はよかった。しかし経営がまずかったらしく企業としては仕事がやりにくかったのかもしれない。

1 回目の名古屋大学時代が私の研究の原点。そこで初めて目覚めました。野田稲吉先生、上田良二先生、榊米一郎先生、山本賢三先生、早川幸男先生などの大先達をよくお訪ねし、ご専門分野はもとより、ものの見方などを学びました。この 5 年間は、成果をあげたというよりも、これから何が来てもやって行けそうだという自信めいたものがついたことが大事だと思います。松下の研究所で、なんとか先任室長に伍して、自分なりに研究方針を最後まで貫き通せたのは、この名大時代に培われたものに負うところが大きかったと思います。

名大電気系教室の会議室には初代総長の渋澤元治先生が名大の座右銘とされた「以和為貴」が掲げてあります。これが私の名大や電気系教室に対する印象を端的に表してい

ます。退官講義の題は“結晶・光・半導体との40年”としましたが、名城大学でも引き続きこの仕事ができることを有り難く思います。

振り返って、私は“良師益友”に恵まれたと思っています。日ごろ「若くても年長でも先生です」といっているのは澤木先生、竹田先生や西永先生のことです。1959年名大に移るまで道草を食った私が遅ればせながら研究者として立ち上がったのは、若き日の西永先生との切磋琢磨の賜物です。窒化物半導体についてなにがしかやれたのは、私一人の力によるものではなく、私と一緒にこの仕事にのめり込んでくれた松下時代の仲間や天野浩教授をはじめ、名大、名城大の多くの共同研究者、学生諸君の奮闘のお蔭です。また、小、中、高校、大学時代、さらに神戸工業時代を含め今日まで、専門、所属や年齢を問わず内外の多くのよき友人に恵まれたことを幸せに思います。最後に、材料研究は奥深く、一人でも多くの若い人が仲間入りされることを願っています。



後列左より三宅、澤木、榊、竹田、佐川の各氏、前中央は赤崎氏