

◆ オーラルヒストリー\*

# メーカー、レーザーと物理教育 —光の中を歩んで—

霜 田 光 一

〈聞き手 (インタビュー)〉

清水富士夫 電気通信大学レーザー新世代研究センター  
覧具 博義 東京農工大学 教授

〈担当編集委員〉

松尾由賀利 (独) 理化学研究所  
美濃島 薫 (独) 産業技術総合研究所  
尾松 孝茂 千葉大学 教授



しも だ こう いち  
霜 田 光 一 (理学博士)

1920 年 埼玉県生まれ  
1943 年 9 月東京帝国大学理学部卒業, 同年 10 月大学院特別研究  
生  
1948 年 東京大学理学部助教授, 物理学教室  
1959 年 東京大学理学部教授, 物理学教室  
1960 年 理化学研究所マイクロ波物理研究室主任研究員兼任  
1981 年 東京大学名誉教授, 慶応義塾大学理工学部教授, 理化学研  
究所名誉主任研究員  
1992 年 慶応義塾大学退職  
1993 年 東京都立科学技術大学客員教授  
1994 年 東京都立科学技術大学退職

主な表彰と受賞年

第 14 回東レ科学技術賞(1974), Optical Society of America 第 9 回  
C. E. K. Mees Medal (1979), 第 70 回日本学士院賞(1980),  
勲二等瑞宝章(1990)

## 1. 小学 2 年生の日記につづられた 理科・工作への興味

**清水:** 霜田光一先生の父上は教育者かどうかはわかりませんが、理学系ではないのですね。

**霜田:** 父の履歴を少しお話ししましょう。父、霜田静志は 1890 年の生まれです。埼玉県の浦和中学校を卒業した後、東京美術学校の師範科に入りました。中学校と高等女学校の図画科と手工科の教員免許を取っています。手工という言葉はもう聞かなくなりましたが、工作のことです。卒業後は、中学校や高等女学校で図画と手工の先生をしていました。1933 年からは自宅で絵や手工を教え、専門家を講師に招いて音楽、後には舞踊や書道も教えるようになりました。不定期でしたが、子どもたちを集めて理科の実験をやったりもしていました。1935 年には幼稚園も創立しました。

父は文科系でしたが、工作に対しては強い関心がありました。子供の創造的活動に理解があって、その能力を伸ばすことを大切に考えて教育をし、著書もたくさんあります。

**清水:** 霜田先生は、いつごろから理科に関心をもつようになられたのでしょうか。

**霜田:** 小学校に入る前は断片的な記憶しかないので、そのころに理科に関心があったかどうかはわかりません。はっきり覚えているのは小学 2 年生のころです。昨日、そのころの日記を見つけました。そこには理科に関心をもっていることがはっきり書かれていて、今読んで面白いですね。

私が小学 2 年生だった 1928 年、父は第 6 回の国際美術教育会議に出席するためチェコスロバキアのプラハに行きました。そのときのお土産が、メカノというおもちゃだったと、日記に書いてあります。金属の板や棒などを組み合わせてネジで止め、いろいろなものを作って遊ぶおもちゃです。父がメカノを買ってきたということは、私が当時、工作に関心をもっていたのだと思います。小学 4、5 年生のころにモーターが付いた電車のキットを買ってくれたり、私がものづくりに関心をもっていたことに対して、父は積極的にサポートしてくれました。

小学 2 年生ころには、『面白い理科』を読んでいました。原田三夫さんが主宰する小さな出版社が出していた子供向けの雑誌で、『子供の科学』より少し易しいものです。

\*(インタビュー実施日: 2006 年 12 月 18 日)

## 2. アインシュタイン、インフェルト：『The Evolution of Physics』の衝撃

**清水**：小中学校で影響を受けた先生はいらっしゃいますか。

**霜田**：私は小学部の6年と中学部の5年、合計11年間、明星学園で過ごしました。理科については、中学部で一般理科というコースを教えていた多湖実輝先生の影響が大きかったですね。武蔵高校で地質鉱物を教えていた和田八重造先生が作った『自然科学入門』という教科書を使っていましたが、その副著者ともいえるのが多湖先生でした。

多湖先生から出された夏休みの課題は、独創的研究。私は中学の5年間、蒸気機関車や電気機関車、電車の模型を出品しました。模型といっても、蒸気機関車は蒸気で走りますし、単に説明書どおりに作るものではありません。いろいろな趣向を凝らして、新しい、自分だけのものを作りました。工夫するのが好きというか、得意でした。中学時代は鉄道模型作りに夢中で、学校の勉強よりも時間をかけていましたね。物理や化学、地学、生物といった学校の理科の授業が面白かったという記憶は少しもありませんが、私が中学3年生になった1936年に刊行された寺田寅彦全集を数学の先生の勧めで読みました。教科書にある物理とはまったく違う寺田物理の世界に触れ、物理学や地学など自然科学に対する興味と関心が深まりました。

すぐ下の弟は天文が好きで、小学生のころから望遠鏡をのぞいていました。私も、それに付き合っていました。また、吉祥寺から三鷹の天文台までは比較的近く、明星学園にも天文台に勤めている人の子供がいました。その父兄の紹介で、天文台の見学に行ったこともあります。子供のころから天文や天文台になじみがあったことが、後に原子時計や電波天文を始める伏線になっていると思います。

**清水**：明星学園の中学部を卒業し、武蔵高校に入ったころには、まだ大学では物理に進もうと決めていなかったのですか。

**霜田**：モーターなど電気機械に関心があったので、大学では電気工学科に進むつもりでいました。ラジオにも興味があって、小学生のころには鉱石ラジオ、中学生になると真空管やバリコンを板の上に並べてスピーカーにつなぎ、家族みんなでラジオを聞くことができるようにもしました。

**清水**：それが物理に変わったのは、なぜですか。

**霜田**：1938年、武蔵高校に進んで間もないころ、アルベルト・アインシュタインとレオポルト・インフェルトが書いた『The Evolution of Physics』が、英語とドイツ語で出版されました。日本語版は1939年、石原純さんの訳で『物理学はいかに創られたか』と題し、岩波書店から出版されています。後に東京大学教養学部に移られますが、当時、武蔵高校の化学を担当されていた玉虫文一先生が、そのゼミを開いてくれたのです。希望者だけ10人くらいが参加して、週1回、英語版を数ページずつ読み進めました。本の内容だけでなく、自主ゼミの雰囲気、そして玉虫先生の影

響もあり、物理に興味をもつようになりました。別な言い方をすれば、アインシュタインの影響で物理に興味をもつようになった、ということでしょうか。

中学時代はあまり勉強をしませんでしたが、高校に入って勉強してみると、基礎的なことをやるべきだ、やりたいという気持ちになってきました。時代としては実用的なことが重要視される傾向が強かったのですが、高校3年になったころには、物理に進むことを決めていました。

**清水**：その本のどういうところに感激されたのでしょうか。

**霜田**：中学校や高校で勉強する物理と、自然科学における物理とは違います。あの本を読むまで私は、教科書に出ている物理が物理のすべてだと思っていたのです。もうこれだけわかっているのだから、それをどうこうしても始まらない。物理の知識を使って新しい機械を作ったり、応用していくほうが発展性がある。物理そのものは、極端な言い方をすれば、もう終わりではないか。そう思っていました。

ところがそうではなかった。『The Evolution of Physics』は、物理はもっと奥が深く、これからも新しい世界が開けてくることを示していたのです。物理や科学技術の解説書ではなく、示唆的な内容、あるいは自然科学に対する物の見方が含まれていることが、この本の優れている点であり、私はそれに反応したのだと思います。物理の研究をやられた方は、ある程度わかっていただけだと思いますが。

**松尾**：小・中学生のころ自分で工夫して新しいものを作るのが楽しかったことと、新しい物理を探していくということは、つながりがあるように感じたのですか。

**霜田**：当時そう感じていたわけではありませんが、今から思えば、そういうことだったのでしょね。

## 3. 海軍技術研究所でのレーザー研究

**清水**：大学の卒業研究は、ガイガー・ミュラー計数管の放電機構です。当時の世相と関係があるのでしょうか。

**霜田**：ちょうど原子核物理学が始まったところだったので、原子核実験をやりたいと考えたのです。ジェームス・チャドウィックによって中性子が見つかったのは1932年、湯川秀樹さんの中間子理論が1935年、私が大学に入ったのは1941年です。原子核実験は物理の一番基礎の実験ですし、私はあまり理論が得意ではないので実験のほうがいいと考えていました。熊谷寛夫先生の研究室で、ガイガーカウンター内のイオンの運動やカウンティングの不感時間(デッドタイム)を調べる実験を、小川岩雄君と一緒にやりました。

**清水**：先生の大学時代は第二次世界大戦の最中ですね。

**霜田**：私が大学に入学したのは1941年で、真珠湾攻撃の直前。1943年にはガダルカナル島を撤退しました。1944年にはマリアナ沖海戦で航空母艦3隻が沈められ、サイパンが米軍に占領されてB29の基地を作られてしまいました。そして、本土への爆撃が始まった。そういう時代で、私たちは6カ月早く、1943年9月に卒業になりました。

卒業の直前、研究者を大学に残しておく必要があるということで、兵役を免除する「大学院特別研究生制度」ができました。大学からの推薦で選ばれ、最初の年は全国で20名、ほとんどが理系です。その多くが戦時研究に携わりました。私も大学院特別研究生として卒業後すぐから終戦まで、海軍技術研究所のレーダーの研究に携わりました。

開戦したとき日本海軍は、自分たちが持っているようなマイクロ波レーダーは外国ではまだできていないと、内心自慢に思っていました。ところが、ふたを開けてみると、外国のほうがいいものを持っていた。日本では、マイクロ波を発振させるマグネトロンは、パワーこそ外国のものに比べて少し劣ってはいましたが、結構いいものできていました。しかし、日本の工業力に問題がありエレクトロニクスの性能が劣っていたため、兵器としては使い物になりませんでした。そこで海軍は、大阪大学の菊池正士先生に協力してもらいレーダーを使えるものにしようとしたのです。1943年の春ころのことです。菊池先生の研究室に以前いたことから、熊谷先生にも声がかかりました。朝永振一郎先生や小谷正雄先生、落合麒一郎先生、坂井卓三先生も、軍の研究でマグネトロンや導波管回路の理論を研究していました<sup>1)</sup>。

**覧具**：日本のマイクロ波レーダーがうまくいかない一番の問題は何だったのですか。

**霜田**：受信機です。最初は、回路が比較的簡単なことから超再生方式の受信機を使っていました。しかし、超再生方式は調整が非常に難しく、十分な感度を出すのは神業だといわれていました。1944年の初めころからはオートゲイン方式に変えましたが、十分な感度を出すのはやはり難しかった。電探なんて邪魔だと、軍艦に乗せるのを嫌がられたと聞いています。レーダーのことを電波探信儀と呼んでいたのです。略して「電探」です。ところが、水雷攻撃が思うようにいかないのはアメリカのレーダーの性能がよくて見つかってしまうからだとなり、電探を付けてほしいという声が現場からも出てくるようになったのです。

私が最初に取り組んだのは検波器です。鉱石検波器が省みられていないのでやってほしいと、菊池先生にいわれたのです。波長9.8 cm に対して感度がよい安定な検波器を作ることに没頭しました。いろいろな鉱石を調べた結果、群馬県西牧村の黄鉄鉱が適していることがわかり、かなりいい鉱石検波器ができました。

そして1944年1月、その鉱石検波器を使って逆探知の実験をしました。目標物のエコーを観測するのではなく、向こうが出している電波をとらえることができるか、逆探知を試したのです。その結果、これは使えるぞと、熊谷先生を中心にマイクロ波逆探知装置の開発が始まりました。ドイツでは、メトックス (Metox) と呼ばれる FuMBG (Funkmess Beobachtungs Gerate) など波長1 m の逆探知装置がすでにあり、後に改造して波長50 cm くらいまで観測できるようになって、主に潜水艦で役立っていました。しかし、9.8 cm という短い波長を観測できる逆探知装置は、ドイツ

でも作られていませんでした。

その後、私は鉱石をミクサにしたスーパーヘテロゲイン方式の受信機の実験を行い、従来の受信機より安定で感度も劣らないことを確認しました。鉱石を使ったミクサは感度が悪くてとても使えないと頭ごなしに考えられていましたが、きちんと作ればいいのができるのです。そのレーダーを至急作って軍艦に装備することになりましたが、新しく作るには時間も材料も足りず、従来のオートゲイン方式の受信機を改造することにしました。1944年7月から始めて9月に完成。10月にはレイテ沖の決戦があり、改造レーダーのおかげで助かった例がいくつかあったそうです。そのあたりのことは、中川靖造さんの『海軍技術研究所—エレクトロニクス王国の先駆者たち<sup>2)</sup>』にも書かれています。

#### 4. マイクロ波分光で後追いでない研究を

**清水**：終戦後すぐにマイクロ波分光をやられていますか、自然な流れですか。

**霜田**：大学院特別研究生の任期は1948年9月までの5年なので、1945年に終戦を迎えると大学に戻りました。海軍でレーダーの研究をやる前にやりたかった原子核に戻るのも一つの選択肢でしたが、原子核の研究は禁止されていました。原子核の実験ができないなら、今までやられていない新しいことをやるほうがよいだろうと思い、マイクロ波の発振器を使って物理や化学の実験を始めたのです。事情は、イギリスやアメリカでも同じでした。彼らも軍用に開発したレーダーの発振器を使ってマイクロ波の分光を始め、アンモニアのスペクトルを観測しています。終戦後すぐに論文が出ています。後追いにはなりますが、日本でもやってみようということになりました。

最初は、波長1 cm オーダーでアンモニアのスペクトルを観測しようと計画していました。アンモニアのスペクトルを追認したのが1951年ころ。そして、アンモニアの新しいスペクトルを見つけて、1953年に論文を出しました。

同時に、波長の長いところで面白いテーマはないかと探し、ナトリウムのスペクトルを観測してみることにしました。アメリカ・コロンビア大学の原子線磁気共鳴実験から



左より清水、覧具の各氏

1.7 GHz、波長約 17 cm のスペクトルが報告されていましたが、ガスの状態での吸収スペクトルはまだ観測されていませんでした。単なる後追いではなく、新しいことをやってみようと考えたのが、ナトリウムを選んだ理由の一つです。ナトリウムの論文は 1951 年です<sup>3)</sup>。

**清水**：私が大学院生のころ、研究室にほこりにまみれた大きなガラス管が置いてありましたが、あれがナトリウムのスペクトルを観測した実験装置ですか。

**霜田**：そうです。17 cm のレゾネーターといたら大きいですよ。ガラス管に銅のキャビティを入れてスペクトルを測ります。ガラス管を作るのが大変で、最初のはひずみがあって割れてしまい、二度目によく成功しました。

ナトリウムは吸収係数が  $10^{-9}/\text{cm}$  ですから吸収スペクトルはとても弱く、ロックインでやったから検出できたのです。磁場変調で磁場を変えればスペクトル位置が動くので、その変化分だけをロックインで増幅して計測します。当時はロックインという言葉もなく、位相敏感検波といいました。ロックイン増幅器も市販品はなく、自分で工夫して作りました。子供のころからラジオや鉄道模型を作って腕を磨いていたことが役に立ちました。ほかの人には作れないものも、自分で作って実験をすることができたのです。

外国と同じテーマで競争して優位に立つためには、いかに高い感度を得るかがとても重要になってきます。マイクロ波分光の場合、発振器と試料と検波器があれば、誰がやっても同じ感度が出ると思うでしょう。しかしチューナーの位置、ガスの圧力、パワーレベルなど、調整しなければならぬ場所は何十カ所もあり、調節がうまい人と下手な人では感度が 1 けたくらい違ってきます。高い感度を得ること、新しい方法を使うこと、新しいテーマを見つけること、研究をやるときに大事なことは、この三つです。

**清水**：強磁性共鳴の実験もやられていましたね。

**霜田**：アンモニアとナトリウムの実験をする前の 1948 年に鉄の強磁性共鳴の実験をしていましたが、しばらくすると、理工研に移られた熊谷寛夫先生や、大阪大学の伊藤順吉さんも磁気共鳴の実験を始めました。ほかの人がやるなら同じことをやる必要もないし、ほかの人がやらないことのほうがいいと考え、私はガスの分光をやることにしたのです。研究費を取るためにエネルギーを使うなら、そのエネルギーを実験に使いたいというのも、ガスの分光を選んだ理由の一つです。磁気共鳴の実験をするには電磁石と磁性結晶を使います。結晶を作る装置も必要で、お金がかかる。一方、ガスの分光は安上がりで、試料も自由に選べますから。

そのころ外国では、2~3 cm より長い波長のガスの分光は行われていませんでした。信号が弱く、スペクトルが少ないことも、その理由です。それを私の研究室でできるようにしました。今まで観測されていない物質、今まで実験されていない周波数や波長、パワーレベルでやることによって新しいものを見つけることができます。その一つがホルムアルデヒドで、1955 年に周波数 4.83 GHz のスペク

トルを測りました。後に宇宙空間で、アンモニアに次いで(オルソ)ホルムアルデヒドが見つかり、ちょうどそのスペクトルでしたが、当時は宇宙のことなどまったく考えていませんでした。分子の大きさや形がわかれば、分子の慣性モーメントから 1~2% くらいの誤差でスペクトルが予測できます。そこで、波長の長いスペクトルをもちそうな分子を探して、平川浩正さん、岡武史さんたち大学院生に測ってもらっていたのです。

## 5. 日本の電波天文学はこうして始まった

**清水**：先生が電波天文にかかわられたのは、いつからですか。

**霜田**：1948 年 5 月 9 日に日本で部分日食があり、東京では 30% ほど欠けました。太陽面からはマイクロ波が出ていて、日食で月が太陽を覆っていくにつれてマイクロ波の強度が変わります。それを観測しようと、海軍で使っていた受信機を改造しました。パラボラアンテナには、小幡重一先生が聴音器で音を集める実験で使っていた、木の枠に銅板を張った直径 2 m のものを使いました。当時、三鷹の東京天文台では畑中武夫さんが 2 本の棒を十字に組んで針金を張ったアンテナを使い、太陽をメートル波で観測していました。波長 10 cm はまだ誰も観測していないというので、やってみたのです。月が太陽を覆うことでマイクロ波の放射がある程度変化することが、どうにか観測できました。その実験のグラフは、1982 年の分子研レターズに出ています。

そして 1968 年、アメリカの C. H. タウンズが宇宙空間でアンモニアのスペクトルを観測しました。その 1, 2 年後、やはりアメリカのグループが宇宙空間でホルムアルデヒドのスペクトルを観測しました。そのころ、日本でも畑中さんの流れをくむグループが、センチ波とミリ波の電波観測を始めました。森本雅樹君が一番熱心でした。まず私が日食のとき太陽観測に使ったパラボラを三鷹に持っていき、観測を始めたのです。宇宙電波を観測できることを示し、それを種にして、6 m のミリ波の望遠鏡を作りました。そのとき、日本でも星間分子スペクトルの観測をやろうということになったのです。最初はすでに見つかっている分子の観測でしたが、新しい分子探しを始めようということになり、どの分子を探すかが議論され始めました。

年が前後しますが、1952 年、マイクロ波分光でこれからどんな分子を研究したらいいか考えていると、日本化学会の分子構造討論会で話したところ、島内武彦先生がメチルアミンが面白いだろうとおっしゃいました。メチルアミンは分子内回転があるのでマイクロ波分光で内部回転ポテンシャルがわかると面白い、ということでした。私たちと同じころ、アメリカの D. R. ライドもメチルアミンの研究を始めました。メチルアミンは構造が簡単な分子とはいえ、それまでマイクロ波で測られていた分子よりずいぶん複雑でした。実験は主に西川哲治君、理論は伊藤敬君が担当し、ミリ波のスペクトルを高木光司郎君が測りました。

私たちの実験から周波数がはっきりわかっていて、強度も推定できていたので、電波観測の候補としてメチルアミンを提案したのです。そして、宇宙空間でメチルアミンのスペクトルを日本が世界で初めて観測しました<sup>4)</sup>。「メチルアミンは日本の分子だ」ともいわれました。

**寛具**：宇宙空間でいろいろな星間分子を観測した海部宣男氏と私は、東京大学教養学部基礎科学科の同期です。ちょうど三鷹で6 m ミリ波望遠鏡作りに取り組んでいて、1968年のタウンズの宇宙のアンモニア発見に衝撃を受け、すぐに霜田先生のところうかがったそうです。すると霜田先生は、パラホルムアルデヒドや HCN などの分子を候補として助言してくださり、分厚い NBS (National Bureau of Standards, アメリカ国立標準局) スペクトルデータを貸してくださったとのこと。それを手がかりに観測をして、1972年にまずパラホルムアルデヒドを検出し、ついでおっしゃったメチルアミンに取り組んで1974年ごろに成功したということです。これらの発見があって1978年から45 m の電波望遠鏡を野辺山に作る計画が始まり、1982年に完成したと聞いています。東京天文台をはじめとする日本の電波天文学の発展に、霜田先生のリードされた日本の分光スペクトルの研究が大きな力となったのですね。

**霜田**：私たちは面白そうな新しい分子を探していたのであって、宇宙にそれがあって研究をしたわけではありません。タウンズも初めはそうでした。実験をして、これは宇宙空間にあってもいいと考えるようになったのです。多くの人が見つかるはずないという中で、実際に観測してしまったタウンズは、たいしたものだと思います。

## 6. タウンズに影響を受け、レーザー研究へ

**寛具**：どのような経緯でレーザーの研究を始めたのですか。

**霜田**：私がレーザーを始めたのは、タウンズがきっかけです。私がマイクロ波分光を始めたとき、すでにタウンズがアンモニアのスペクトルを測っていたので、そのころから論文の交換をしていました。直接会ったのは1953年9月、理論物理国際会議のために来日したときで、私の研究室にも来ました。そして次の年の1月、ポスドクとしてコロンビア大学に来て一緒に実験をしないか、という誘いがタウンズからありました。光ポンピングを研究していたフランスの A. カストレルからも声がかかっていて、行くかどうか迷っているときでした。レーザーをやりたいこともあり、タウンズのところに行くことを決めました。そして1954年9月から翌年7月まで、コロンビア大学でレーザーの実験に取り組みました。タウンズは人格も研究に対する考え方も優れた人で、私はその影響を大きく受けています。後から聞くと、分子ビームの専門家の P. クッシュンなどから、レーザーはうまくいかない、無駄だからやめろ、といわれていたそうです。私は、これは面白い、大いにやろうと張り切っていたので、声がかかったのでしょう。

**清水**：タウンズのところに行ったのは、レーザーができる

前ですか。

**霜田**：アンモニアを使ったレーザーは、1954年4月に最初の発振に成功しました。タウンズのところに行くことはその前に決まっていたのですが、実際に行ったのは9月。2台目のレーザーを発振させるところから入りました。

**寛具**：1台目と2台目のレーザーの出力を混合させてビートを観察したのはすごい実験ですね。

**霜田**：波長の違う光を重ね合わせれば、周波数の差に等しいビート、うなりが現れるはずですが、原子や分子などから出る光の位相と振幅はランダムなのでビートはランダムに変動し、きれいな正弦波のビートは出るはずがないというのが常識でした。でも、アンモニアレーザーによって出たのです。面白いと思ったけれど、タウンズはビートの写真を論文に出しませんでした。

**寛具**：レーザーでの成功を踏まえて、レーザーのコヒーレンスの研究をされましたね。

**霜田**：レーザーでもコヒーレント状態ができるはずだと、1962年11月からMITでレーザーでのビートをやり始めたのです。MITに行くとき、共同研究者の A. ジャパンが私に聞いてきました。「レーザーの出力は自然放出された電磁波を狭帯域で増幅した出力と同じものか、イエスかノーか」と。私は、「大部分の人はイエスであると考えているがそうではない」と答え、ジャパンと意見が一致しました。

ヘリウムネオンレーザーの周波数をコントロールしてシングルモードにしてさらに安定化を図れば、ガウス雑音ではなく、正弦波のきれいなビートが出るはずだと考え、実際にそれを観測しました。その音をテープレコーダーにも録音し、1963年にパリで開催された量子エレクトロニクス国際会議の特別講演で聞かせました。レーザーはドリフトするからすぐに音の高さが変わってしまいますが、それでも楽音になっていました。

**寛具**：R. J. グラウバーの光のコヒーレント状態に関する論文が1963年でした。それに先立って、レーザーとレーザーで実証されたわけですね。

**霜田**：グラウバーの論文が出たのも、私がMITにいたときです。MITのゼミでグラウバーの話の話を聞きました。

## 7. レーザー加速器など、応用を次々と提案

**寛具**：そして、レーザー分光に入っていきました。

**霜田**：レーザー分光でもやはり、ほかの研究室でやっていないことを選びました。いろいろやった中で特に成功したのが、シュタルク分光と二重共鳴です。

1960年代のレーザーは、周波数がほとんど変えられませんでした。そこで、レーザーに磁場をかけてゼーマン効果によって周波数を変えるという実験を粕谷敬宏君などがやりました。逆に、発振器は固定周波数でも試料に強い電場をかけると、シュタルク効果によって周波数を大きく変えることができます。それで始めたのがシュタルク分光です<sup>5)</sup>。

シュタルク分光では、電極となる板を2枚平行に並べて電場をかけます。かける電場の強さで周波数のシフトの大きさが決まりますが、ブレイクダウンしてしまうため、あまり強い電場はかけられません。そこで、私と桜井捷海さんのどちらが先に言い出したかわからないのですが、クロムメッキしたガラスを電極にしてギャップを非常に狭くしてしまうのです。普通に考えるとギャップは1cmくらいですが、0.5mmくらいにしてしまう。そんなに狭いとレーザーの光が届かないだろうと思う人も多かったのですが、私たちはそれまでの実験の経験からレーザーの光が届くことを知っていました。これが、私たちがシュタルク分光に成功した一つの理由です。ギャップが狭いほうがブレイクダウン電圧が高くなるので、3万ボルト/cmもの強い電場をかけることができます。その結果、周波数を数GHzも変えることが可能になり、スペクトルがきれいに見えたのです。

ギャップが狭いと分子の衝突によるブロードニングが起きます。マイクロ波の場合、0.5mmのギャップでは線幅が広がって少し不利ですが、赤外線のスเปクトルは元々かなり幅が広いので大丈夫です。私たちは、その辺りの知識をもっているからできたのです。シュタルク分光は私の研究室の専売特許みたいなものでした。

**清水**：新しいこととしては、私の記憶ではガスダイナミックレーザーや熱レーザーがあります。炭酸ガスのダイナミックレーザーが出るより前で、シアン化水素レーザーもケミカルレーザーよりはるかに前でしたね。

**霜田**：アイデアがただでなく、間違ってもいなかったのですが、人手が足らなくて十分にできず、成功に至りませんでした。

もう一つ成功したのが二重共鳴です。これもレーザーでやる前にマイクロ波でやっていました。そのころは、3準位の分光といいました。3準位では、非線形効果など面白い効果が実験できるのです。例えば、低周波のMHzのOCS(硫化カルボニル)のスぺクトルは、直接の吸収ではとても観察できませんが、3準位でやると観察できます。また、4準位でマイクロ波を使いミリ波を発生させることを考えたりしていました。マイクロ波をレーザーに代えると、非線形効果をより起こしやすくなります。今もいろいろな方法が考えられています。

**清水**：世界初のレーザー発振が1960年。霜田先生は、レーザーの応用について、早い時期から書かれていますね。

**霜田**：レーザーができたところに私が書いたものを見ると、化学反応や通信、加工にも使えと、いろいろあげています。レーザー通信などはあちこちでやる人が出てきたので、その人たちに譲りました。レーザーのときには少なかったのですが、レーザーができてからは関心が高まって研究者が増えましたから、ほかの人がやっているならば競争する必要もないし、任せたほうがいい。私は、ほかの人がやれない範囲のことをやろうと考え、テーマを選んでいました。

レーザー加速器は、提案が早すぎた。タウンズのところ

やMITに行ったときにも、レーザー加速器の実験をしないかといわれたんです。でも、今の技術ではとても駄目といって断った。あのときやっていたら、力尽きてしまっていたでしょう。実験ができたとしても、加速したという結果を出せる見込みは、当時はともありませんでした。レーザー加速器の研究が始まったのは、それから10年以上後です。田島・ドウソンのウエークフィールドによる加速理論は1974年。始まりはそのときですが、結果が出たのはここ数年です。

**覧具**：レーザー誘起光化学というアイデアも、1961年の文献にお書きになっていますね。そして、1977年からの特定研究でそれを実際にやられています。

**霜田**：レーザーで考えられる応用、可能性の一つとして考えました。マイクロ波の研究を始めようとしたころのメモには、「インダストリー」と書いてあります。工業にかかわりのあるような仕事、研究もしたいと考えていたのです。狭い物理の範囲にとどまらず、化学、電気、天文、機械工学など、ほかの分野の人たちとの研究も大いに考えるべきだと思っています。メチルアミンを始めたのも化学の島内先生とかかわりがあったからですし、宇宙空間でメチルアミンのスぺクトルが観測できたのも天文台の人たちとかかわりがあったからです。ほかの分野との境界領域、いえ、境界領域という言い方はおかしいですね。それを境界とは考えないで、共同で研究を進めてきました。研究テーマの選び方にも、その点を反映していました。

## 8. 独創性、科学的な思考、サイエンティフィックリテラシー

**覧具**：霜田先生は、理科教育、物理教育に非常に大きく貢献してこられました。1957年に、すでに理工系離れのことについて書いておられます。大変憂えて、どこに問題があるかを、今から見ても非常に的確に指摘されておられることに驚きました。それから50年。理科教育、物理教育、理工系離れの現状についてのお考えを聞かせていただけますか？

**霜田**：理科教育についてもずいぶん前から書いています。1961年ころには「子どもの科学的思考力を伸ばす理科の学習」、それから「理科教育のありかた」は1957年です。今読んでも、こんなことをよく知っているなと思います<sup>6)</sup>。

**覧具**：教育というのは非常に慣性が大きくて、なかなか変わらないということでしょうか。

**霜田**：教育は非常に慣性が大きい、というか保守的ですね。しかし、実際には先見的でなければならない。大部分の先生は、私も含めてですが、自分が教わったとおり、あるいは自分が学んだとおりが一番いい、一番わかりやすいと思っています。教育が保守的になるとそれに固執することになり、どうしても何十年かの慣性が生じてきます。そういうとき、教育を現代化するにはどうしたらいいか、フレキシブルにするには、教育内容をもっとアクティブにするには、発展的にするには、少しずつ変えていくには、と



後列左より尾松，松尾，美濃島の各氏  
前列左より清水，霜田，覧具の各氏

50年前にいろいろ書いています。例は少し古いですが、内容は本当にもっともで、あまり加えることはありません。むしろ、こんなことを考えていたのに、実際には何もできなかったことを恥ずかしく思っています。

しかし、物理教育のあり方や欠点も50年前と今では違います。そのことを深く考えれば、重点の置き所はある程度変わってくると思います。これからどうしたらいいかは、もっと若い人に考えてもらうのがいいでしょう。しかし、年寄りの意見も必要かもしれないので、少しだけいいましょう。独創性、科学的な思考、サイエンティフィックリ

テラシー。その三点を重要視したいと思います。独りよがりの思いつきは独創ではありません。独創性とは、クリエイティビティ、何か新しいものを作り出す能力です。今の教育では、それが希薄になってきた、欠けていると思います。

科学的な思考とは、簡単にいうと、自分で考える力です。確信をもって推論して自分自身が納得し、それを主張する力が、このごろの学生は弱い。一般にいわれていることをそのままいうのではなく、みんなが違うといっても自分が信じたらそれを主張できるのが、科学的な考え方です。そういう思考力が身に付く教育をするべきだと思います。

もちろん、100%の人がそうである必要はありません。それが、最後にあげたサイエンティフィックリテラシーです。一般の人に対する科学的な思考や科学的常識をどうするか、これからの教育の大事な問題です。それをどうしたらいいかは簡単にはいえませんが。

**覧具**：先生が書かれたものを、あらためてもう一度読んでみようと思います。ありがとうございました。

## 文 献

- 1) K. Shimoda : AAPPS Bull. **16** (2), 17 (2006).
- 2) 中川靖造：海軍技術研究所－エレクトロニクス王国の先駆者たち (光文社, 1997).
- 3) K. Shimoda and T. Nishikawa : J. Phys. Soc. Jpn. **6**, 512 (1951).
- 4) N. Kaifu *et al.* : Ap. J. **191**, L135 (1974).
- 5) K. Sakurai *et al.* : J. Phys. Soc. Jpn. **23**, 103 (1967).
- 6) 霜田光一：レーザーと物理教育 (学会誌刊行センター, 1981).