



◆オーラルヒストリー*

電子線ホログラフィーとそれが拓く量子の世界

外 村 彰**

〈聞き手 (インタビュアー)〉

志水 隆一 大阪大学名誉教授, 国際高等研究所上級研究員

上田 正仁 東京大学 教授

早瀬 潤子 電気通信大学 特任助教

〈担当編集委員〉

浅野 種正 九州大学 教授



とむら ちかあきら (工学・理学博士)

1965年 東京大学理学部物理学科卒業
 1965年 (株)日立製作所 中央研究所入社
 1985年 同社 基礎研究所 主管研究員
 1989年~94年 新技術事業団「位相情報プロジェクト」総括責任者 兼任
 1990年 (株)日立製作所 基礎研究所 主管研究員
 1999年 (株)日立製作所 フェロー
 2001年 (独)理化学研究所兼任
 2003年~05年 (社)日本顕微鏡学会会長
 2005年 (独)沖繩新大学院大学先行的研究事業 代表研究者兼任
 2007年 日本学士院会員

主な表彰と受賞年

山下賞 (日本電子顕微鏡学会) (1969), 光学論文賞 (応用物理学会) (1980), 瀬藤賞 (日本電子顕微鏡学会) (1980), 金属組織写真賞 (日本金属学会) (1981), 仁科記念賞 (仁科記念財団) (1982), 研究功績者表彰 (科学技術庁) (1984), 朝日賞 (朝日新聞社) (1987), 恩賜賞・学士院賞 (日本学士院) (1991), フランクリンメダル (フランクリン・インスティテュート) (1999), 文化功労者顕彰 (文部科学省) (2002), イタリア Camerino 大学名誉博士号 (Camerino 大学) (2005), Fellow of the American Association for the Advancement of Science, USA (2007)

若さで、こんな仕事をした渡辺さんに憧れた。^{あこが}

会社もマネージャーとして期待したのでしょうか。部長になり所長になり副社長にまでなった。その後、日立マクセルの社長を務めて70歳で辞められた。ゴルフを楽しんでいらっしやっただけれど、2007年に79歳で急逝された。

志水：渡辺さんは磁束量子を見たいと、ローレンツ顕微鏡^{††}をやっていたのですね。外村さんの本に書いてあります。遺伝子が外村さんに移ったのかな。

外村：当時、出勤すると、階段の踊り場にヘリウムが入った大きな風船がつないであった。回収するため入社したてのボクたちが、遠くまで運んで行くのです。渡辺さんは試料をヘリウム温度に冷やし、磁束量子を見たいと考えていた。でも当時は見えなかったのです。

磁束量子で電子線が曲げられる角度はごくわずか。照射する電子が完全に平行ではなかったため、ちょっと曲がったくらいでは検出できない。ボクも磁束量子を見たいと思ったが、見えるまで30年かかった。そういう意味でボクは

1. 名馬が名伯楽と出会う ～受け継がれる電子線物理の遺伝子

志水：最近、優秀な人を育てて世に送り出す“名伯楽”がいなくなったのではないかといわれます。そのときにいつも、渡辺宏さんと外村さんは、まさに“名伯楽”と“名馬”だと思うのです。まず、お二人の出会いからうかがいたい。

外村：ボクが日立製作所の電子顕微鏡に入ったのは、渡辺さんがいたから。1枚の電子顕微鏡写真で、世界中で議論になっていた「ボーム・パイプ理論[†]」を実証した。20代の

* (インタビュー実施日：2008年12月10日)

** (株)日立製作所フェロー

ずっと渡辺さんの手のひらの上にはいたような気がしています。

志水：遺伝子とか、伝統とかが、どこかでつながっているのですね。

2. メレンシュテットへの憧れ ～留学で研究のやり方身につける

志水：日立に入社してしばらくしてから、電子線の干渉実験を初めてやった西ドイツ・チュービンゲン大学の G. メレンシュテット教授の下に留学されましたね。

外村：そのころの社費留学はスタンフォードやハーバード、マサチューセッツ工科大学など、みんな米国に行った。日立がフィールドエミッション電子顕微鏡の製品化を始めたこともあり、英語のテストに落ちたボクは、シカゴ大学の A. V. クリュウさんのところなら行かせてあげようといわれた。でもクリュウはすでに花が咲いていた。これ以上は咲かないだろうと断った。

志水：メレンシュテットのところに行くこと決めたきっかけは、

外村：それはボクの憧れです。渡辺さんとも仲がよかったので、知らず知らずのうちにメレンシュテット先生を尊敬していたのだと思います。

志水：外村さんが留学で学ばれた最大のものは何だったのでしょうか。

外村：あっという間の1年間で研究成果はなかった。ドイツはじっくりと本物の研究を狙う。短期間だったので私がやりたい実験はやらせてもらえなかった。でもヨーロッパの著名な研究者に会いに、あちこち訪問した。この1年間は研究のやり方を身につけるうえで、大きな影響を与えてくれた。当時知りあった人は、今でもよい友人です。

3. 電子線干渉、3000本の縞くっきり ～5年がかりでホログラフィー顕微鏡作る

志水：外村さんより少し前にメレンシュテットのところにいたのですが、当時、「電子線干渉」はよく耳にしましたが、「電子線ホログラフィー」は耳にしなかったと記憶しています。ひょっとしたら、渡辺さんや外村さんのほうが電子線干渉のもう一つの向こうのホログラフィーを見ていたのかなという印象をもちました。

外村：渡辺さんのプラズマ振動の実験は1955年。その翌年、今もって“語り草”の電子物理の国際学会がメリーランド大学で開かれた。渡辺さんは上田良二先生と一緒に招かれ、米軍の軍用機で出かけた。J. J. トムソン生誕100年を記念する国際会議で、息子の G. P. トムソンが主役。父が「電子が粒子であること」を見つけ、息子が「波であること」を見つけた。

世界の錚々たる物理学者が集まり、若い渡辺さんは一躍世界の^{ひのき}舞台に躍り出た。「レビュー・オブ・モダンフィジックス」に会議の特集が組まれ、D. パインズの総合報告は、渡辺さんのデータを大きく取りあげた。電子顕微鏡で

こんな物理もできるのだと知って感激したのです。

志水：上田-渡辺-外村という系譜にも興味があります。

外村：上田先生は渡辺さんに期待をかけていた。コースの人たちより早くドクターを与えた。渡辺さんがマネージャーになったとき、どういう訳か本人を叱ったと聞いています。その分の期待が、私に向けられたことは感じていましたが、上田先生は、年に1回は来所されて日立の外部から見守ってくださり、内部では渡辺さんが^ひ庇護してくれていたのだと思います。

志水：ホログラフィーの研究はその後になりますか。

外村：渡辺さんが「電子線ホログラフィーをやろう」とい出したのは1966年。ボクたちは干渉性が悪くてもできるインラインホログラフィーをやった。可能性が示せたので、後は干渉性をよくすればものになると思った。そこで電子顕微鏡の開発を始めた。当時、超高真空が難しく、大きなイオンポンプを上にくっつけた。ポンプが重くて電子顕微鏡が傾くくらい。軸合わせが難しくてね。

ドイツに行くときに「この装置は苦勞して作ったのだから、とっておいてください」と頼んでおいた。ところが帰ってきて探しても、どこにもない。「どこにあるのですか」と聞いて回ったら、「あれはお前が出発した翌日にイオンポンプなど使えそうな部品は、みんなががっさらっていった」といわれました。(笑)

志水：当時はイオンポンプなんか高かったですからね。

外村：そのときには、実は渡辺さんが4000万円取っておいてくれた。そんなことは、ボクには一言もいわなかった。当時の部長から聞いた。そのお金で新しい電子顕微鏡を作った。2回目だというのに、近所に電車が通っても、ちゃんと使えるようになるまでに5年もかかった。そしたら今まで暗くて見えなかった干渉縞がじかに見えるようになった。フィルムにとると、300本しか撮れなかった干渉縞が3000本までふえた。格子像をフィルムに撮るとき20 μm が限界だと思っていたが、このときは7 μm の縞まで記録できていて、びっくりした。

4. AB効果を検証～論文は編集者の裁定で掲載

志水：それで「アハラノフ・ボーム効果*」(AB効果)に向かうわけですね。

外村：新しい電子顕微鏡ができたのが1979年。AB効果なんて、そもそも存在しないという人がいて、論争になっていた。誰もが電子線は磁力線に触れたときにだけ影響を受けると信じていた。ところが、この効果によれば、磁力線に触れなくても影響が及ぶ。つまり磁場よりもっと基本的な“ゲージ場”と呼ばれる物理量が存在し、それによって電子線の干渉縞がずれるというわけです。

「ゲージ場の理論」は、宇宙がどんなふうにして誕生し、進化してきたかをも予測できる「あらゆる物理現象を統一的に説明できる理論」です。ボクたちは1981年からAB効果の実験を始めた。その年の物理学会の夏の講習会は、「ゲージ理論」がテーマで、益川敏英先生はゲージ場の話を

した。難しく、ボクはゲージ理論と AB 効果の関係を教えてもらおうと、控え室に行き、そのときに初めて益川さんに会った。

その直前、C. N. ヤン先生に、「AB 効果の存在を検証する実験をやろうと思うが、やる価値があるのでしょうか」という手紙を書いた。1 カ月後、東大の物理から「ヤン先生がお話したい」と電話がかかってきて驚いた。ヤン先生が東大の宮沢弘成先生のところに来ていたのですね。

中研に来てくれるという。ヤン先生といたら神様だから、ボクは緊張して約束の 1 時間前にお茶の水のホテルに迎えに行った。中研で「こういう実験はどうだろう」と尋ねると、「定量的にやらなくてはいけない」などと具体的な議論してくれた。実験がわかる人なのです。最初エンリコ・フェルミのもとで実験をやっていたから。

志水：フェルミといたら実験の天才といわれた人ですよ、ね。

外村：ヤン先生は本質をついたことをやさしい言葉で話してくれる。フェルミの影響のようだ。ヤン先生が「ぜひともやれ」といつてくれたので、本格的に始めた。翌 1982 年には AB 効果の存在を確認できたが、それにも文句がついた。

上田：最初の論文のとき、私は学生だったのですが、東大の有名な先生ですら「AB 効果はあるかないかわからない」とおっしゃっていた記憶がある。外村先生がこの論文を出されて、すんなりと通ったのでしょうか。

外村：当時、物理の重要な発見は「ネイチャー」や「サイエンス」よりも「フィジカルレビューレター」に出たので、ここに出した。レフリーのうち中立の二人は「見事な実験だ」と喜んだが、一人が「これは AB 効果ではない」と主張。電子線の一部が磁力線に触れているので、ローレンツ力で強制的にずらされたといつて、「絶対に掲載してはいけない」と強硬でした。

志水：エディターが最後のディシジョンをするのですよね。

外村：そうです。結局、エディターが掲載しようということになってね。論文が出たばかりの 1982 年に仁科記念賞をもらって、びっくりした。久保亮五先生が推薦してくれたようだ。ボクの論文が出て間もなく、レフリーの反対意見がイタリアの学会誌に載った。どうしようかと悩んだが、反対の人が提案している実験にも挑戦してみようと思った。ヤン先生もそのときに「磁石を超伝導体でくるむと、磁束量子化が見えるので面白い話になる」といつてくれた。

5. 何十万個の超伝導リング作製 ～AB 効果完膚なきまでに実証

志水：ニオブの超伝導リングを使うというのは見事なアイデアですね。アイデアも見事だけれど、よくリングを作ろうと思われたですね。

外村：リング状の磁場を使えば、漏れ磁場がなくなるというアイデアは、今いったようにヤン先生などが出された。漏れ磁場の量を電子線ホログラフィーで定量的に観測して、十分に小さくなるという条件下で、文句のつけられな

い実験を考えた。これなら試料の外には、あるとしたらベクトル・ポテンシャル（ゲージ場）だけ。問題は、小さなこんなサンプルをいかに実現するかでした。

ボクたちの技術で作れるわけではないから、ジョセフソン素子を研究していた研究者に頼んだが、「とても無理」といつ。だけど「ヤン先生がやれといつのだし」などと、1 年頼み続けて、やっと腰を上げてくれて、試料作りを始めた。そのころには、AB 効果の議論が盛り上がりつてきて、中研をあげて応援してくれた。

上田：磁石は目に見えるが、磁場は見えない。さらにその背後のゲージ場があるかないか、真剣に議論したのは当然だと思つ。実験のどの段階で学界のコミュニティが、受け入れるようになったのですか。やはり超伝導の実験ですか。

外村：そうですね。ちょうどそのころ、いろいろな分野での新技術によつて、量子力学の基礎が検証できるようになってきた。仁科記念財団の支援で国際会議 (ISQM) もスタートし、その会議で超伝導リングの実験が発表できたわけですよ。

志水：あの写真、見事だった。1 枚の写真で完膚なきまでに実証できた。上田先生が著書で、デヴィッスンとジャーマーの電子線回折が 20 世紀前半の実験物理の“白眉”と書いている。後半の白眉は外村さんの AB 効果ですね。デヴィッスンとジャーマーの実験は今の最高の装置を使つて追いかけても、当時と同じデータしか取れない。おそらく外村さんの仕事もできないと思つ。

外村：世界中で議論になっていたので、中研をあげて決着をつけようと、みんなが張り切つた。C. J. デヴィッスンと J. H. ジャーマーの実験と状況が似ている。彼らのときは、ベル研究所では、研究者全員が興奮していたといつます。

志水：外村さんの実験は、まずエミッターがフィールドエミッションでしょう。それに極低温、それから電子線リソグラフィーによる微細加工など現在でも最先端技術を結集した試料作製といえますね。

外村：リソグラフィーが大変だった。またニオブとニオブの間に薄い酸化膜ができ、ジョセフソン接合になってしまつ、そこをきれいにする工夫など、何度作り直したか、何回冷却実験をしたか、わからない。

志水：普通なら、一つの超伝導リングだけでも気が遠くなるような仕事なのに、確か五つ作製されましたね。あれで“だめ押し”をされた。

外村：あれは、ノイズのない例を示しただけですよ。おっしゃるとおり超伝導リングの実験ではたくさんの試料を作つた。リソグラフィーのお陰で失敗も含めて何十万個というリングを作りました。

志水：それで疑いようがなくなった。

外村：存在に関してはね。だけどまだ解釈の議論はあるのです。

上田：外村さんの実験はゲージ理論の検証といつ物理の基礎的な研究です。たぶん今でも大学ではできないと思つ。興味深いのは、そんな実験を民間企業がどうしてそこまで



左から志水，上田，早瀬の各氏

サポートしてくれたのかということです。

外村：渡辺さんをはじめ、物理の好きな研究者がいたからでしょう。渡辺さんは、そのときは中研にいなかったけれど、まだ本社にいて影響力があった。

6. 磁束量子の動きを見た ～超伝導研究者が大きな反応

志水：それから磁束量子を見ようという渡辺さんの夢を実現したということになりますね。

外村：1997年、350 kV の電子顕微鏡を作って、ようやく見えるようになった。最近では、1 MV 電子顕微鏡で、高温超伝導体の中を扁平な形で層間を突き抜ける磁束量子も見えるようになった。層状なので、磁場を面内方向にかけると、層と層の間を通りぬける。ジョセフソン・ボルテックスと呼ばれる。

上田：渦と反渦がリアルタイムで動いて消滅するという、あの写真はショッキングでした。実験はどのような着想で始められたのでしょうか。

外村：渦は量子化していて、磁束量子と呼ばれ、超伝導の中ではこれ以上分割できない素粒子。渦と反渦の対消滅が見えれば面白いというのが動機。その前に、渦と反渦の対生成の名残りをとらえたことがある。加速器実験ではいつもやっていることだし、その様子が見えれば面白いと思ってやってみたら、いろいろな場面で起こっていた。磁束量子の動きは、研究者の頭の中で考えてはいたが、動きがじかに観察できるとは思っていなかった。超伝導研究者の反応は非常に大きく、1989年に初めて国際会議で動きを見せたときには、拍手が鳴り止まなくて、きまりが悪かった。

上田：渦と反渦があると、たぶん、マクロには何も磁場がない。ないものをどうして見ようと思われたのですか。

外村：渦と反渦が存在する場合、マクロな磁場は、ゼロになり、何も観測できない。ところがミクロに見ると、渦と反渦の、二つの流れが衝突して先端で対消滅したりしている。また、しっかりとピン止めされているはずの磁束量子が、マクロに見るとピン止めがずれるように見えた。実は、反渦がエッジから入ってきて対消滅をしていたのです。ピン止めも反渦の効果を考えないといけない。

志水：この仕事も技術の粋を集めたとしかいいようがない。最初トロントでの国際学会で発表を聞いて驚き、その後、丸勢先生のお供をして見学させてもらった。2007年に金沢で開催された国際会議で再度発表してもらったら、「こんなすごい超小型装置が電頭の中に入っていたのか」と取差補正で有名なあのローズが感激していた。聞くところによると、その装置を作った人が「二度とこれほどのものは作れない」といったというくらい、すごい。

外村：電子銃、低温ステージ、磁場の印加など肝心なものはすべて自作。でも、必要な技術を自分たちで開発するのは、昔はあたり前のことですよね。今はそういうのが少なくなってしまう。2、3年で成果を求められるから。

上田：もう一つ、外村先生の実験で、大学で教えていてお世話にならないことがないほど有名な「二重スリットの実験」はいつごろの実験ですか。

外村：1979年です。それ以前にも、テレビカメラの感度をすごくよくすると、完全に1個とではいえないけれども、ポツポツが出てきていたんですね。光ではフォトン・カウンティングができるようになってきたので、それを電子に应用した。装置を電子専用に変えて、フォトンでは1%しか検出できないものを、電子では1個1個をほぼ九十数%の確率で検出できるようにした。

7. 音楽界やオペラと同列の「金曜講話」 ～独創的成果生み出す研究者を尊敬する社会に

早瀬：英国王立研究所の金曜講話はどういういきさつでお話されることになったのですか。

外村：1826年にファラデーによって一般向け講演会として創設された金曜講話では、物理の歴史を飾った科学者が話をしている。ファラデーは、「磁力線は見えないけれども、磁石の周りに出てくる」と考え、それをマクスウェルが数式化した。この磁力線こそがゲージ理論へと結びついていく。ボクたちが、「ファラデーの磁力線を電子の波を使って見た」ので、話をさせてやろうと思ったのではないかと。

専門家だけでなく、医者や弁護士など一般の会員の人も来る。わかりやすく、面白く、でも間違いなく話をしなけ

ればならないのです。その日は、みなさん、夕方7時ごろに集まって来る。演奏会をやって同時に図書館で展示もする。講演は9時に始めて10時ごろに終わる。それからクッキーとお茶を飲んで帰る。来る人も大変です。

早瀬：講演を聞く姿勢が違うようですね。

外村：音楽会やオペラと一緒に。男は蝶ネクタイ。おばあさんなんか、200年も前の服を着てきたりしてね。それだけ科学技術を大切に、関心を寄せる国があるということに、自然科学を生みだしてきた土壌を見る思いがした。

早瀬：一般の方も科学技術に対して興味があるのですね。

外村：ファラデーのときはすごかったらしい。毎回、1000人を超える人が集まったと記録にある。前の通りが、聴衆の馬車で混雑し、「世界最初の一方通行」にしたそうです。ファラデーは毎日地下室で実験していた。うまくいくと、2階の金曜講話の会場で実演して見せる。ロンドンっ子を喜ばせて大評判だった。

早瀬：その点どうですか。欧米と日本との文化の違いは、

外村：歴史の違いはあるでしょう。日本でも科学技術振興機構(JST)がやってくれています。伝えるほうの努力も必要だけれど、英国では普通の人が好奇心をもって来ている。面白くなければ来ないですよ。

早瀬：日本では理科離れが叫ばれて久しいのですが、日本の理科教育の問題点や今後の取り組み方について、ご意見をお聞かせください。

外村：英国は独創的な仕事をした人に対する尊敬の念がある。S. W. ホーキングやB. D. ジョセフソンが大切にされている。ボクは教育に携わっていないので具体策はわからないが、教育は最重要。どの分野でも、優れたことを切り開くのは「人」。面白い問題を見だし、やりとげる人がいなければ話になりません。

特に研究では「とびぬけた研究者」が必要で、想像もつかないようなことをやり遂げた人には、高い評価をすべきだ。そして思い切った研究環境や報酬を与え、さらにより成果を出してもらおう。そうしないと、優れた人を、環境の整った外国に引き抜かれてしまう。優れた人を尊敬する社会にならなかつたら、科学離れは、ますます進んでしまう。

上田：電子線顕微鏡は、産学両面で日本が世界に誇れる技術を有しています。外国に追いつき追い越すのに、どのような研究協力体制が敷かれたのですか。そこから、これからの科学技術への教訓があればお聞かせください。

外村：電子顕微鏡は、発明こそドイツだが、日本は戦争で情報が入らない状況で国をあげて開発し、産業、学術の両面でお家芸になった。基本から自分の頭で考えたのが幸いした。今は、昔の研究者には「夢のような」科学技術予算を出してもらっている。でも、お金だけで科学技術が発展する訳ではない。社会が創造性に尊敬の念を抱き、日本に世界の科学者が集まって来るようになってこそ本物になります。

今の日本は、応用研究にはたくさんのお金が出ている。基礎研究は二の次になって、好奇心だけでは話が進まない

状態だ。量子力学の基礎なんか、何の役にも立たないといわれていたが、量子コンピューターの話も出てきた。量子力学は、マクロな領域にも出現し始めてきた。量子力学はあらゆるものの基礎だから、いろいろな分野に広がる。応用だけやっていると、基礎から広がる大きな応用には出遅れてしまう。

8. 「面白いからやってみよう」を大切に ～モノづくりも辞さない覚悟で

上田：外村先生のご研究は時間をかけて装置を開発し、それを使って誰も見ることができなかった物理現象を観測するというスタイルにお見受けします。他方、昨今の風潮は、短期的な成果を重視する風潮で、そうした研究スタイルには逆風が強まっていると思われます。

外村：そのとおり。短期に成果を求めすぎる。基本的な研究は、サボっている訳ではないのに10年かかる。モノづくりも重要だ。新しい実験はモノづくりからやらないとできない。研究で最も肝心なことは「誰もやっていないことを初めてやること」にある。手本がないので、お金になるわけでもノーベル賞がとれるわけでもないけれども、面白いからやってみようじゃないか、という気概がまず必要だ。

お金を与えればよいという訳ではない。本物の研究を進めるには「芽の出そうな土地に適量の水を与える」ことが肝心だ。お金は水と同じで、ありすぎると、かえって研究者をだめにする。装置を買っただけで研究をした気になって、頭を使わなくなる。面白い研究を本当にやりたい人を選び、必要最小限のお金を配分する。雑用もなくして、研究に専心させる。これは評価する側の課題。

独創的研究に対しては、「世の中で誰もやっていない。トレンドにもものっていない。しかし面白い。だから投資しよう」こんな選択基準が必要になる。短期間での評価では、はよりの研究、生産性の高い研究ばかりが採択されがちだ。そもそも研究計画があつて、それに応じた期間やお金を設定する姿勢であるべきです。

志水：かつて日本が誇ったたくましい生命力、マッカーサーが「13歳の少年のような」と評した、真理への憧憬が枯渇しつつあるようにいわれていますが、外村さんはどのようにご覧になっていますか。

外村：心から同意します。子どもたちは、自然への好奇心であふれていて、昔と変わらない。ボクたち大人が、お金もうけなど、かつては軽蔑^{けいべつ}していたものに仕向けている気がする。人間が本来もっている“大切なもの”を育てていないのだと思います。

上田：先生が現在、取り組んでおられるサブオングストロームの分解能をもつ超高压電子顕微鏡の開発についてお聞かせください。

外村：高さ7m、重さ40tの1MV電子顕微鏡を見上げるたびに思う。40年前、好奇心から「電子の波の実験」を始めたとき、こんな巨大な装置を作り、「量子的世界」を目の当たりにするとは夢にも思わなかった。新しい研究をやる

うと思ったら、新しい装置を開発する気持ちがなければならぬ。

日本では長期間を要する装置開発に対する意欲が冷え切ってしまった。今、世界では逆の現象が起こりつつある。「これまで見えなかった小さな原子や分子の世界が、電子顕微鏡で直接観察できるかもしれない」と、世界中が色めき立っているのです。

1998年にドイツで電子顕微鏡の新たな発展の可能性が示されるや、米国が新政策を打ち出した。欧州もEU連合プロジェクトを立ち上げた。これに伴い、欧米は産業面でも技術が急激に向上、日本を追い越す勢いだ。遅ればせながら日本でも2006年夏から要素技術開発プロジェクトがスタートした。だが、このままではナノやバイオをはじめとするわが国の先端技術にも影響が及んでくることは目に見えている。そこで、私も、若い人たちに思い切った挑戦をしてほしいと、サブオングストローム電子顕微鏡**を提案したわけです。電子の波長は原子の百分の1から千分の1。この分解能でマイクロの世界が見えて不思議はない。1オングストロームで止まっているのは、われわれがその努力をサボっているからです。

若い人たちには、夢を持って長い視点で将来を見据え、大きな目標に挑戦して欲しい。われわれ年寄りも50年、100年後に科学技術分野で世界をリードする日本の姿を夢見て、若い人たちの夢をかなえるために必要な予算と研究に没頭できる環境を提供できるように努力すべきであると思います。

上田：最後に今の夢を聞かせてください。

外村：繰り返しになるけれど、日本を「夢を追える国」にしたい。すぐに応用とか、論文にしるとかいうのではなく、面白いことをやってみたいという人が活躍できる場に。ボクは初め、渡辺さんの所で電子線のエネルギー分析をやらせてもらった。それから、「電子が波だ」というから、「それを見てみたい」好奇心でやり始めた。それがゲージ理論と関係があったり、応用が出てきたり、磁束量子が見えたりと発展してきた。

リスクがあっても、たとえこの研究者の時代では稔^{みの}りがなくても、やらせる。電子顕微鏡のボクたちの諸先輩は、そうしてくれたと思う。ノーベル賞に近い業績をあげている飯島澄男、高柳邦夫、藤吉好則さんもその恩恵をこうむっていると思う。そんな状況になれば、日本は世界の中心になるかもしれない。ノーベル賞は大半が米国でしょう。文

明は100年単位で見れば、絶対が変わっていきますよ。

国民に説明しなければならぬから、100%成功するプロジェクトも必要だが、リスクはあっても若い人が挑戦できる道も残しておいてもらいたい。今、大学の先生は、法人化とか、プロジェクトばかりで忙しい。こんなにあくせくしては、じっくりできないですよ。日本をぜひとも、名実ともに「科学技術創造立国」の名にふさわしい状態にしたい、なってほしいと思います。人口も減少し資源のない日本が世界に貢献できる道は、それ以外にないと思う。

† **ボーム・パイプ理論**：D. J. ボームとD. パイプが1951年に提案した固体中の電子の集団運動である“プラズマ振動”を予測した理論。渡辺宏氏は電子線を金属薄膜に入射して、プラズマ振動を励起し、エネルギー損失を起した電子線を検出した。さらに理論で予測されていた分散関係を1枚の写真でとらえ、プラズマ振動の確証を得た。

†† **ローレンツ顕微鏡**：高速電子線を用いて強磁性薄膜の磁区構造を高い分解能で観察する手法。磁束量子は、ローレンツ顕微鏡法の原理限界に近いが、高干渉電子線の開発によって観察可能になった。

* **アハラノフ・ボーム効果**：Y. アハラノフとD. ボームは、1959年に量子力学におけるポテンシャルの重要性を示す電場と磁場の2種類の実験を考案した。後にイニシャルをとってAB効果と呼ばれる。電子は、電場や磁場に触れなくてもポテンシャルに触れただけで、“干渉縞のずれ”という形で物理的影響を受ける。今年2009年は、AB効果が予測されて、50周年になるので、国際会議や特集が組まれている。

** **サブ・オングストローム電子顕微鏡**：電子線を用いた顕微鏡の分解能は、原理的には電子の波長にまで至る。1MVの電子線の波長は0.001 Å。しかし実際には、電子レンズの球面収差と色収差によって1 Å近傍におさえられていた。レンズ収差の補正は1950年代から数多くの研究者が挑戦してきたものの、技術的に困難であるとして、あきらめられていた。1989年にドイツのH. ローズ、M. ハイダー、K. ウルバンらによって収差補正の可能性が示され、新たな進展の道が拓かれた。

外村氏らの考えているサブ・オングストローム電子顕微鏡では、収差補正レンズと電子線ホログラフィーで球面収差を除く。電子線ホログラフィーはレンズ収差を補正する目的で発明されたが、干渉性のよい電子波がなかったために実現されていなかったが、ようやく実用レベルに近づいてきた。色収差のほうは、超高安定の高電圧電源とレンズ電源を用いることによって、電子線の実効的な単色性が向上して、軽減する。さらに超高電圧の電界放出電子線を用いることで、波長を短くして、分解能の限界を上げる。これらの総合技術によって分解能を1けた向上させることをねらう。原子核は原子の千分の一以下だが、分解能が波長による原理限界まで達すれば、原子核近傍の電界分布の観察すら手に届く範囲になる。もちろん、高エネルギーの電子を当てると、物質はダメージを受けるが、心配しているだけでは始まらない。きっと思わぬ物が見える。その他、副次的な技術、例えば試料ステージの安定性、浮遊磁場や機械的振動の影響の軽減などは、当然、分解能以下に抑える必要が出てくるが、これも努力すれば不可能ではない。