

Guest Forum

特集寄稿

2006 堀場雅夫賞 審査委員講演

企業・大学・公立研究所での 経験から見た研究



合志 陽一
Yohichi Gohshi

筑波大学 監事
東京大学 名誉教授
工学博士

企業・大学・公立研究所での研究は、大変異なる面とほとんど共通する面がある。著者が企業と大学、公立の研究所で研究生活を送った経験を紹介し、それぞれにどのような問題があったかを振り返る。その中で、共通する基本的な視点を発明・発見の3要素として紹介し、ICPの発明を例に新しい分析法ができあがるまでの10の段階について議論する。

はじめに

2005年の3月に国立環境研究所の任期を終え、今は筑波大学で働いているが、長年企業と大学と公立の研究所で研究生活を送ってきた体験を紹介しながら、新しい分析法ができるまでの段階について話し合い、今後の参考にさせていただければと考える。

大学での卒業研究・鉍中非金属介在物の状態分析法の研究

大学の卒業論文では、スチール中の炭素状態を調べる分析法を作るのがテーマであった。スチールは、高温で急冷すると“焼き入れ”，徐冷すると“焼鈍”といって硬さを変えるが、組成は全く変わらない。どこが違うのかというと、炭素の状態が違うと説明されている。

カーバイド(炭化カルシウム： CaC_2)を酸で溶かすと、結晶中のCCに水素(H)が付いてアセチレン(C_2H_2)が出てくるが、鉄も溶かすと水素(H)が出るので、恩師の平野教授が鉄の中のCCの繋がりがそのまま出てきて状態分析に役立つのではないかと考え、何年か研究テーマとされた。私は最後の1年担当し、結果としてこの研究はうまくいかなかったが、状態分析の重要さと難しさをよく知ることができた。

大切なのは、研究テーマを選ぶ時に簡単に結果が出てくる易しいテーマを選ぶか、解ければ大したものだけれども、難題を選ぶか、どちらを選ぶかということである。私は、“易しい研究は、いくらでもできる”と難しいテーマに食らいついたが、実際に研究が進行するとやはり、結果が着々と出る研究の方が楽しく見え、結果の出ないテーマは辛い。難題も簡単な問題もどちらも大事だが、選択は思案のしどころである。

大学の4年の時にこのような体験をし、“研究というのはそんなに簡単なものではない”と思い知った。

東芝マツダ研究所・核燃料中の不純物分析

最初の就職先は東芝のマツダ研究所であった。民間会社の研究所としては長い歴史があり、また多くの著名な研究者がおり、最も恵まれたところといってよかった。東芝は、原子力から豆球まで、また核燃料 UO_2 の製造も一部行っており、その燃料中の不純物の分析が必要で、私はその公定法を作る仕事に携わった。

UO_2 中のあらゆる不純物の分析法を検討する仕事で、無機物であるから、いろいろな元素の測定法を片っ端からやることになる。つまり、ほとんどの元素の性質や振る舞いについて、あるレベルの知識を蓄積し、経験も積むこ

とができた。これは個人的に大変役に立った。
今でも思い出すことであるが、この研究の際に、 UO_2 、二酸化ウランの溶かし方によって測定値が違って来る体験をした。2つが硝酸を使う方法、2つが塩酸を使う方法で、データを4つ取ったが、片方は測定値が明らかに2つとも高く、片方は明瞭に低いという結果であった。測定値は、2つずつ、高いと低い。これは溶かし方に差があるに違いないと思い、“差がある”と研究報告に書いた。
しかし後から統計的に検定してみると、危険率20~30%をとれば、そうも言えたかもしれないが、危険率1~5%のレベルでは、とても差があるとは言えない結果であった。我々の普通の感覚では、2回続けて片方は高い、2回続けて片方は低いとなると、つい差があると思いがちであるが、そんな簡単なものではないとしみじみと感じさせられたわけである。

速中性子による酸素分析

そのうち、加速器の研究をしていた者が、「何か加速器の使い道はないか?」というので、重水素を200 keVくらいに加速して三重水素と衝突させた時に発生する速中性子で酸素を分析しようということになった。

当時、酸素の非破壊分析、しかもダイレクトに分析できる方法はまだなく、直接に速中性子を酸素に当て、発生する窒素の崩壊に伴う放射線を計測して酸素を測る我々の方法は、独自のものであった。この方法で0.00%という微量レベルまでダイレクトに分析できた。我々の実験結果はすべて初めてというわけで、意気揚々とやっていたが、ある時、分析値がマイナスになってしまった。周りからは「絶対に言うな。」「一生信用されなくなるよ。」とまで言われた。

そこで、随分必死になって考え、あらゆる問題点、可能性をチェックした。使用する不活性ガスの不純物濃度、表面の微量酸素など。しかし、とにかく全部だめで、どう考えてもマイナスの値が出るわけがない。最終的にわかったことは、液体の有機物中の微量酸素を測っていたので、当然容器のブランク値の測定もして差引きしていたが、試料測定時には、容器に速中性子が入射してきた後、試料の中で散乱などにより強度が下がった中性子線、放射線により、後ろ側の容器壁は放射化されることになり、ブランク測定時よりも値が低くなるため、マイナスになってしまうということだった。

この研究には本当に苦勞し、補正方法も見つけたが、この研究での私の最大の収穫は、“微量分析は、ただごとで

はなく注意しないといけない”と痛感したことであった。

メスバウアー効果によるFeの状態分析

ある時、新聞に、“今年のノーベル物理学賞はメスバウアーという人に与えられることになった”と書いてあり、それは原子核の周りの電荷の分布を非常に正確に測り、原子核の大きさ・変化を測れるという内容であった。もしかすると、それを状態分析に使えるのではないかと思ひ、分析してみるとうまくいったのである。

この時の経験から思うのは、新しい研究の手段や思いつきを、どこで手に入れようかという時に、学会に行って一生懸命聞くのでは遅い、新聞が一番早いということである。新聞記事は不正確で役に立たない、全く嘘だ等と言われるが、その中に役に立つこともある。読み方が重要で、ダイレクトに言及していないが、もしかするとこれに使えるのではという目で見ることが大事である。学会発表では相当の話題になってからでないとい一般的にはわからない。そういうところにアクセスできるのは、1~3年たつてからの話となる。新聞なら遅くとも1週間うちに伝わってくる。新聞をあなどってはいけないと思う。

蛍光X線分析法-分析をする側と出す側の立場

その後、蛍光X線分析を業務として日常的に行っていたが、東芝の研究所は種々の材料を開発しており、さまざまなことが持ちこまれる。私の本来の仕事は、持ち込まれてきたサンプルを「はい」と言って分析することであるが、次のような体験をしたことがあった。

ある人が送ってきた何十個かのサンプルを分析したところ、ところどころに全く同じ値のものが見える。これはと確信を持ったので、「同じサンプルをいくつも送るとは何事か。」と依頼者に怒鳴り込むと、相手は大変困った顔をし、「分析の精度をチェックするために、時々同じサンプルを混ぜて出すのは常識である。」と言われた。分析させる側と分析する側の感覚の差、立場で捉え方が違うということをもっと感じた。

高分解能2結晶分光器

原子炉材料としてよく使われているジルカロイ(ジルコニウム合金)中のハフニウムの量は、中性子の吸収が大きいため、ある程度以下でないといけない。そのため、ジル

コニウム中のハフニウム分析は一つのテーマであった。しかしハフニウムはとて分けにくい元素で、スペクトル的に分析するのは難しく、ジルコニウムの2次線とハフニウムの分析線が重なり、うまくいかなかった。2次の反射がなくなるダイヤモンド型の分光結晶を使う方法が提案されたが、やってみると、またうまくいかない。

では、1回反射させてダメなら2回反射させたらどうかと考え、X線分光関係の権威の人に尋ねてみたが、「それはやめとけ。」と言う。分光器を1回通すと、1000分の1くらいに落ちるため、「2回やったら信号なんか出てくるわけがない。」と。これはダメだとは思っていたが、なんとか2回やって、ジルコニウムの妨害がなくなる状況を見てみたいと思ひ、結晶を置いて軸を立てただけの、スキヤニングも手で動かすという全くの手作りのバラックセットでやってみた。そうすると、極めて強いシグナルがパアッと出て、レートメータが振り切れた。その興奮は今でも忘れられない。この後よく検討してみると、1回ブラッグ反射すると、あとは平行ビームになるので、もう1回反射させても原理的には100%の反射となる。複数回しても原理的には強度は落ちない。1回目の反射は、1000分の1、10000分の1、更に落ちる場合がある。しかし、次からは落ちない。それがわかって、分光器として使い物になるということがわかり、いろいろな研究に展開をした。

図1に当時開発した2結晶分光器の断面図を示すが、これを作る時に試作工場の設計者から言われた「修正は図面の内にやれ。その代わり何回でも書き直しますよ。」との言葉は、印象に残っている。おかげで、この図に至るまでに5、6回抜本的に変えている。右上の四角い箱のようなものは比例計数管で、ここに重さがかかると、それを支える部分は精度を保つために、すごく頑丈なものにしなければならない。そうすると、その元も頑丈にしなくてはならなくなるので、全体が巨大化する。このような問題がどんどん出てくるわけだが、それに対してこの程度までこうしてくれと言うのは私の仕事である。例えば5 μm たわんだ場合にどういふ影響が起きるかを解析して、5 μm なら呑めるとか呑めないなどの話はどんどん出していかなければならない。また加工・組立・調整・保守まで考えた設計を叩き込まれた。図1では、下の平らなベースを基準面となるように仕上げ、ベース面から測定するだけでよいようになっている。

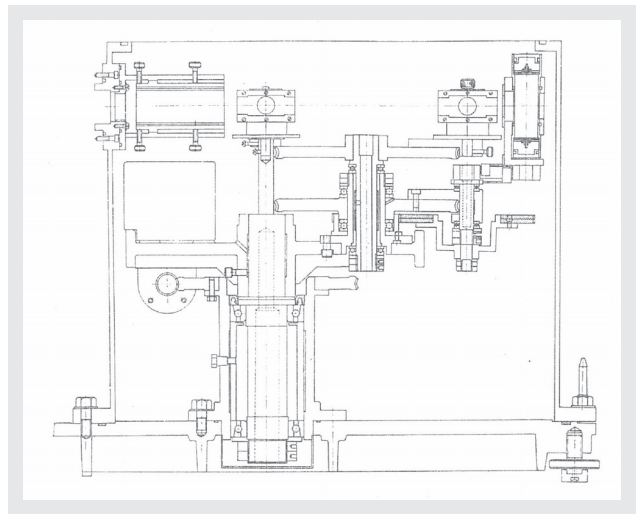


図1 試作分光器断面図^[1]

その後は高速増殖炉の炉化学と安全系、特に水素計、酸素計の開発に携わり、今までの環境と全く異なる場所で抵抗があったが、大プロジェクトの良さと問題点を知ることができた。

そうこうしている時に、大学に戻る話があり、転職をして大学に移ったが、そこでまた新しい2結晶分光器を設計し、X線スペクトルへの高分解能測定を展開した。状態分析への応用と共にX線スペクトルに非常に広く未分離の構造があることがわかり、楽しい展開となった。

全反射X線分析法

全反射X線分析は、非常に平らな基板の上に微量の試料を載せて、X線をすれすれの角度、ほぼ100分の1度2度3度で入射すると全反射するので、いわゆる散乱がなく非常に測定しやすくなり、極微量まで分析できる方法である。当初、微量分析では有望だと言われながら、あるレベルまではいったが、極微量はできなかった。

その時、私どもがビームを単色化してやればと提案した。単色化すると強度が3桁、4桁落ちるため、強力なビームが必要な今までの微量分析では、全く考えられないことであった。しかし全反射をさせる場合、ビームはせいぜい100分の何度という広がり、ほとんど平行なので、一度平行ビームになったものは、反射させても強度はほとんど落ちないはずであり、単色化しても問題ないと考え、実際に行くと、その通り強度は落ちなかった。バックグラウンドは非常に下がったため、極微量の分析が可能となった。単色化ビームを使った全反射蛍光X線分析計

は、シリコンウエハ上の極微量の汚染の分析に有効であるということで、今ではISOにも定められている。大変苦勞があったが、幸いにも日本のメーカ主体で、日本で開発されたことを大いに嬉しく感じている。

国立環境研究所

その後、国立環境研究所に移り、もっぱらマネジメントの仕事で直接の研究から離れたが、多くの同僚と議論をしながら、研究の方向性についていろいろと考えることができた。ある物質や現象が環境的に問題があることを発見する研究は世の中に受け入れられやすい。しかし問題がないことを示していく研究も、環境を守るという立場で見ると、同じような価値がある。現在はまだ見えないけれども将来浮かび上がってくる、水面下の環境問題を考える上での重要な視点として、“見逃さない”、“放置しない”、“慌てない”の3つのポイントを指摘することができる。これらは、過去の環境破壊や公害病の事例から得られた教訓である^[2]。

新しい発展に必要な3つの要素

これまで、研究生活の中で印象に残っていることを紹介してきたが、さまざまな仕事をする上で感じたことをまとめた格好で表現すると、新しい発展には、①科学技術、②考えること、③情報の3つの要素が必要だと思う(図2)。

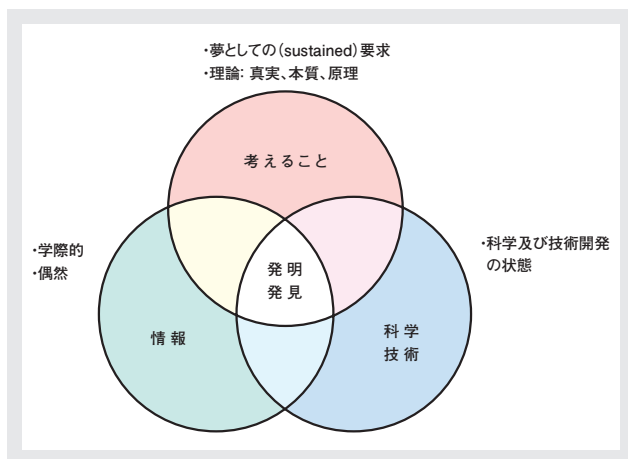


図2 新しい発展に必要な3つの要素

①科学技術

その時の技術なり科学なりが発展していることが一番大切で、それが反映される必要がある。

②考えること

考えることには2つの側面があり、ひとつは夢としての(sustained)要求で、これをやらなくてはならない、これがやりたいということが明白に意識されている必要がある。これが考えるための原動力となる。

もうひとつは理論で、理論的な問題は明確にする必要があるが、それは本質的でなければならないということである。例えば、ここに天秤があり、バランスがとれている。では、左右の皿に載っている質量は同じだと言ってよいか? 普通は、もちろん言ってよいのだが、トランジスタの発明者として有名なショックレーは、左右の皿がある場所の重力加速度が同じという条件が必要であると言う。バランスがとれているのは質量ではなく力だときちんと意識しておく必要がある。

③情報

自分の分野だけでなく、他の違う分野の情報をどの程度入れることができるかが、新しいものを考える上で非常に大事である。頭の中に既に持っていることはコントロールできるが、問題は偶然をどう活かすか。別の面から言うと、偶然をいかに創り出すかである。いろいろな学会に顔を出したり、さまざまな人に会い、議論することによって、偶然の情報は手に入ってくると思う。数々の偶然を創り出せる自由な雰囲気は、実は大いに新しいものを開発したり発展させたりするのに必要ではないかと考える。

前述した通り、私は最初企業からその後大学に移ったが、大学に移って研究の環境が良くなったとは思わなかった。それは、大学には周囲に同じような分野の人しかいないことに大きな原因があった。前の職場は、上の階に行くと通信の人がいる、下の階に行くと電気の人がいる、別の建屋に行くと機械の人がいるなど、あらゆる分野の人と日常的に接触ができた。それは非常に研究の上で役に立っていたが、大学に来てそのチャンスが失われたということである。意図的にそれを補うために、私は学会に20くらい入った。

新しい分析方法が生まれるまでの10の段階

最後に、ICP-OES、ICPの発光分光法とICP-MSの発明者であるファッセルについて話す。

彼は、新しい分析法ができあがるまでに10の段階があり、これはほとんどの場合に当てはまると言った。私自身の経験からみても、アラン・ウォルシュという原子吸光の発明者の経験をとってみても、ほとんどファッセルの意見に一致する。

①達成すべき目標、解明すべき問題を、明確に意識する

まず、“達成すべき目標、解明すべき問題を明確に意識すること”が必要である。何かおもしろいことというのでは、なかなか出てこない。例えばファッセルの場合だと、多元素同時分析をやりたいと言っている。ファッセルにとっては、原子吸光というのは関心の外であったが、エミッションとかICP-MSというのは、大変関心の的であった。要するに、達成すべき目標、課題を明確に意識し、何を見てもそれがチラチラするくらいになってないといけないわけである。

②科学的原理に関する先行する基礎あるいは応用研究

科学は積み重ねであり、先行技術があってこそ、更なる研究開発ができるのである。

③アイデアのひらめき

次に、いわゆる“ひらめく”という部分である。世間ではこれが発明の端緒だと言うわけだが、ファッセルは先に上記①②がないとひらめかないと言う。

④原理確認のための実験装置の設計と製作

ひらめいたその次は、テストしてみるということである。ファッセルの場合は、高周波の放電で、どうやって安定なイオンソースにするかということであった。私の場合は、2回反射をさせる時にバラックセットを手で調節したが、後で考えてみると、秒の単位を手で調節している。夢中でやっているからできたようなもので、通常であればできるわけがない。

⑤理想的条件の下での有用・有効性確定のための装置の設計製作

原理的に可能かどうかの確認の次に、理想的条件下で充分意味のあるものであるということを確認する必要がある。

⑥さまざまな測定試料について、現場あるいは実験室での十分な機能を持つか否かの研究

普通、大学の人たちは⑤の段階で、素晴らしい結果が出たのもう終わりということになる。ところが、ファッセルに言わせると、いろいろな測定試料について、現場あるいは実験室で十分な性能が出るかどうか試さなければいけない。実用試験を行うということである。

ここまでくると大学の人たちには、絶対の自信が出てくる。「こんなにいいものなのに、使わないでどうする。」ということである。

⑦分析者の世界で受け入れられること

ところが分析者の世界で受け入れられるかどうか、同業者に「なるほど」と言わせる必要がある。これが実は大変であり、ファッセルもウォルシュもこの段階だけでうっかりすると10年はかかるという。世の中それほど認めてくれない。「なるほど」と言ってはくれない。

⑧実用原型モデルの設計・製作

⑨商用モデルの設計・製作

次は、実用原型モデルの設計製作と商用モデルの設計製作である。この段階は、研究者たちはほとんどピンとこないところがあるが、例えば試料のハンドリング問題などを完全にやらないといけない。

⑩市場開拓と販売

そしていざ市場開拓と販売となる。ここでは、競争する方法との激しいバトルが展開されるわけだが、ここで生存競争を戦い、社会の中で淘汰されてやっと立派な方法に成長する。

おわりに

研究には、いろいろな要素があり、場所によっても随分違って来る。大学はおもしろい研究をやろうということが主となり、企業の場合は、もちろん目的が達成されることが第一である。しかし、公立の研究所は、つまらなかりうがおもしろかりうが、ある種のレベルのことをどうしても世の中に出しておく義務がある。どれも重要なことだといえる。

今後の課題は、将来何が重要になるかについての議論を十分に行うということである。無から有は生じないの

で、適切なインフォメーションと、適切な議論と解析がない限り、産官学にいかにか大金をつぎ込もうとろくな結果は出ない。結論が見えていないので漠然とした話だが、これから人間に対して焦点を絞った計測あるいは測定といったものが、今までの計測科学の世界に更に加わってくるように思う。“人間のアクティビティを保つための研究”などはもっと出てきてよい。今後、より活発な議論がなされることを願ってやまない。

<堀場雅夫賞審査委員講演会(2006年9月26日)より抜粋>

参考文献

- [1] 合志陽一, 堀光平, 深尾良郎, 2結晶X線分光器と蛍光X線分析, X線分析の進歩II, 日本分析化学会・X線工業分析法研究懇談会編, 東京, サイエンスプレス, 57 (1971).
- [2] 合志陽一, 水面下の環境問題をどう考えるか, 学士会会報, 841, 35 (2003).