

学会賞受賞記念



マイクロ波を選んだ化学者

The chemist who chose microwave

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 杉山順一
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
(AIST),
Jun-ichi Sugiyama
〒305-8565 茨城県つくば市東 1-1-1 中央第 5,
e-mail: sugiyama-j@aist.go.jp

1. はじめに

人生において二番目に勉強したのは大学院生の時だった。もっとも当時の本人は、その時が一番勉強したと思っているのだが。その頃はインターネットもなく、人名反応はメルクインデックスの後のページを見て覚えるような時代だった。図書館でケミアブやバイルスタインを紙で繰って欲しい化合物の合成方法を探していたし、何しろ高分子化学をやったことがなかったから物珍しかった。学会原稿はタイプライターを打ち、ステッドラーで線を引き、透明のシートにコピーした白黒の OHP を投影して発表していた。だから他の人がどんな原稿を書いているのか気になった。そして発表が終わって静かだと耐えられない性分だったから、やたらに質問した気がする。今も同じだ。

それがまさか四十過ぎてから複素積分だのヒルベルト空間だのベクトル演算だのやろうとは。結構頭が固くなっている。何冊も教科書を買った。あれが人生において最も勉強した時だ。脳に皺ができて縮んだ気がする。そのほとんどは現在の仕事に直接関係ない。だが素地にはなっている。

ピート・モンドリアンという画家がいる（いた、が正しい）。特に好きでもない。悪く言うのは大変失礼だが「赤・青・黄のコンポジション」という有名な作品にも共感できない。それは私の見方が間違っているからだ。「結果がこれなの？」工程を見ていないから良さがわからないのだ。素地が何かを知ったなら、その画家がなぜその作品にたどり着いたのかわかり、見方が変わるのだろう。たぶん。

複素積分だのなんだのをやろうと思ったのは、マイクロ波を理解するのに、私には何の素地もなかったからだ。学んだことがなかったから。でも教科書があるということは、世の中にはこれを学んだ人がいるということだ。私より進んでいる人がいる。私はその人より遅れている。なら取り戻そう。

2. これは何？

マイクロ波のエネルギー損失式を示そう。

$$P = \frac{1}{2} \left(\sigma |\mathbf{E}|^2 + \omega \varepsilon'' |\mathbf{E}|^2 + \omega \mu'' |\mathbf{H}|^2 \right)$$

確かにマイクロ波の教科書を見るとこの式が載っている。だが。これは何？

この式の由来を調べてみたのだが、皆まずこの式ありき、だった。まあ、それでもよいだろう。じゃあ、 σ だの ε だの μ だのが何か調べればよいわけね。とりあえず測定してみることにする。使用したのは円筒空洞共振器による摂動法。はて？今度は α とは何？また何か違う半端な数が出てきた。

$$\varepsilon_r' = \frac{V_c}{\alpha_n V_s} \left(\frac{f_c - f_s}{f_c} \right) + 1, \alpha_2 = 4.318530 \dots$$

さてこの式の意味を知るため、特にこの半端な数が何に由来するのかを調べる。先と同じだ、皆まずこの式ありき、だった。そこであるキーワードに出会う。ベッセル関数。その頃にはウィキペディアで調べるとい知恵を着けている。早速。・・・いやいやいや。この記事は何を言っているの？私が知りたいのはそういうことではないのだよ？情報多すぎ。

結局、ベッセル関数の意味が理解できたのは円孔スリットのレーザー回折の項目を読んだ後だった。おそらく工学部出身の方なら1、2年生辺りで終えている実験に違いない。まさか三角関数の中に三角関数が入れ子になっているとは。だがここに至る間にフェーザーだのフーリエ変換だのはわかった。リアルなロールプレイングゲームのような。旅の途中でアイテムを拾っていけば強くなれる。なお私は「火吹山の魔法使い」を社会思想社の教養文庫版で持っている。アナログの昔からレベル上げの無駄作業には慣れているからこんなことでは音を上げない。

そこで改めてマイクロ波のエネルギー損失式を解く。ラプラス変換だあ？確かに学部一般教養の教科書に書いてあったけども。覚えているわけないでしょ。でも教科書捨ててないところが奇跡。要する

に極限值を使えばよいのね。というわけで何とか解けた。複素数は奥が深い。これもたぶん、工学部の方なら研究室に入る前に習うような初歩であり、先輩に聞けばすぐ教えてくれる事柄なのだろうが。今ならチャット GPT は正しく説明してくれるのか？

3. 誘電率

では誘電率を測ることにしよう。有機化合物については測定データを持っている。だがその物質がなぜその値を示すのかの相関がわからない。正しくは、大体の数値はわかるのだが、理論的な根拠を持って予想ができない。とりあえず棚上げしよう。それより、反応に使うのだから実際の反応系について測定してみよう。データを並べて予想するのはメンデレーエフがやった方法だ。化学の原点。

ん？・・・なんで誘電率が負の値になるの？

今では特に珍しい現象ではないが、当時これが議論されていないことが目新しかったように思う。空洞共振器法で誘電率を評価しようとした場合、導電率が高い物質を装荷すると、共振周波数が低周波側ではなく、逆に高周波側にシフトする。もちろんそれを「摂動法の限界」あるいは「摂動法に適さない解析」とみなしてもよい。だが私は逆に「誘電率評価が目的ではなく、加熱が目的だとしたら、どのような条件でこのような現象になるかの理解は必要」と考えた。結果としてそれが導電性材料の加熱技術につながっていった。

4. そろそろ化学をやろう

温度が上がった時の誘電率変化が予想できるようになったことで理解が進んだ。インピーダンス整合の重要性がわかった。しかし。市販装置では弄りようがないのだ。じゃあ装置を創ろう。共振器型なら強電界を与えられる。加熱で共振周波数がずれることも回避できるようになった。

・・・と後から言うのは簡単だ。実際にはその間に難題が沢山あった。要するに、理論的には「行ける」と思っても、材質は均一に反応してくれない。ましてフロー系、大型装置などでは時間的、空間的に均一化させるのはかなり至難の業。立体回路を駆使してもう少し工夫せねば。振り返ればここまでで一体いくつの導波管に穴をあけただろうか。

ん？・・・この仕事、化学者の仕事か？まいっか。

原点に立ち返り分子に思いを馳せる。分子の摩擦ってなによ。電界が上を向く。電界が下を向く。その繰り返しで、分子はどういうエネルギーを受け取るのか？結局それは、先に書いた「マイクロ波のエネルギー損失式」とどう関連しているのだろう。あの式は決して摩擦を表す式ではない。 σ や ε や μ が摩擦係数だとでも言うのか。分子動力学に詳しい方をお願いして計算してもらおう。ほお。虚部でも実部でも、持たされたエネルギーは増える。戻るか戻さ

ないかの違いなのか。

どうやら本質的なところが見えてきた。戻さないのが熱なら、戻すのは非熱。ここで言う「非熱」のエネルギーは場その物のことだ。これは実部の示すエネルギー場だろう。次元の斉一性は取れる。

5. 化学から科学へ

科学は、統一的、かつ整合のある解釈が必要である。一つの現象を説明して他と矛盾することはあってはならない。矛盾点を別の「用語」で片付けるのは先送りにしかならない。説明できる一つの現象が全体にほとんど影響しないほど小さいならそれは全体のふるまいを示す主因ではない。証明の手段が影響を及ぼしすぎては正しい結論を導かない。

ギリギリの前脚に耳があることの証明。ある音を聞かせると必ず前に進む調教をした。脚を切り取ったら進まなくなった。これは耳を失い聞こえなくなったからだ。この証明手法は正しいか？

現象の解釈をしようとした時、「ギリギリの前脚」になっていないか、あるいは極論として敢えてやっているのか、どちらなのかを考えるようにしないと誤った道を進み続ける。誤った道を進めば魔法使いに会えず鉄の一つ目巨人にやられて終わる。選んだ道が誤りなら、引き返そう。そして繰り返し何度でも、あらゆる方向から正しい道を探して進んでいけばよい。ゴールが一つ見つければ、そこにたどり着く道はやがて何本にも増えていくだろう。

6. まとめに代えて

多くの方のご推薦を戴き本賞の拝受に至ったことは大変な栄誉と感じている。この寄稿文を読んで頂いたとしたならわかるかもしれないが、いろいろ手を出しているが故に、これといったものがないのが特徴だ。実はマイクロ波化学をやり始めてからずっと気になっていたことがあり、それに挑んでいる。それが完成したなら、今度は自薦で賞を獲りに行く。あと少しの間は、終わらない。

業績タイトル：「電磁気学との融合に立脚したマイクロ波化学の実践」

“Practice of Microwave Chemistry Based on Integration with Electromagnetics”

付けて戴いた和文タイトルをととても喜ばしく思う。電磁気学は電磁気学、化学は化学、数学は数学、物理学は物理学・・・仕切りを作ったらそこから出られない。融合。学術分野の隙間に、荒野は沢山ある。ただし一般的な業績評価はされ難いけれどね。だって荒野には誰もいないのだから、良い評価をつけてくれる方もいない。私は、それでも選んだ化学者だ。