

セレンディピティーが発揮されるとき — 幸運の女神はどこにやってくるのか —

尾崎 幸洋

(関西学院大学)

誰も幸運がやってくることを願う。研究にも運不運はつきものであるが、幸運にはいくつかの種類がある。一つは「柵から牡丹餅」的な幸運で、確かにこの種の幸運もある。もう一つはセレンディピティーの関した幸運である。セレンディピティーとは思わぬものを偶然に発見する能力のことで、「柵から牡丹餅」的なものでなく、努力を重ねた結果偶然に幸運を掴む能力や才能をいう。本稿ではこのセレンディピティーについて、最初に歴史的に有名な話を、次に、筆者が実際に経験したものをいくつか紹介する。最後に、どのようにすればセレンディピティーを獲得できるのか、また、若者やシニアの研究者のセレンディピティーについても考える。

1. 光学・分光の歴史におけるセレンディピティー

1.1 熱線（赤外線）と化学線（紫外線）の発見

熱線（赤外線）と化学線（紫外線）は、1800年と1801年にそれぞれ F. W. Hershel と J. W. Ritter によって発見された。19世紀の科学は素晴らしい大発見でスタートしたのである。

図1に Hershel の実験を示す。Hershel はなにも、熱線を見ようとしてこの実験を行ったわけではない。彼は、太陽光とプリズム、それから温度計を用いて、可視光域で温度上昇効果を調べていた。そしておそらくティーブレイクにでも行ったのであろう。戻ってくると、何と可視光線の赤の外でも温度が上昇しているではないか！この現象を彼は偶然見つけた。まさにセレンディピティーである。彼はその目に見えない“線”を“熱線”と名付けた。彼はこのときすでに60歳であった。1800年当時の60歳は、今なら80歳ぐらいに相当するであろう。80歳でもセレンディピティーは働くことを彼は証明したのである。

次なるセレンディピティーは、弱冠25歳の Ritter の上に輝いた。彼は、赤の外に何かあれば、紫の外にも何かがあるとすぐに思いついた。彼は、太陽光が窒化銀や塩化銀結

晶の黒変のような光化学反応を引き起こすことを知っていた。そこで、塩化銀で濡らした紙を太陽光のスペクトルの紫より外側に置いてみたところ、何と黒変がいつそう進むではないか。この紫の外の領域を彼は“化学線”と名付けた。まさに2つのセレンディピティーが新しい科学の世界を開いたのである。その後、この熱線と化学線がそれぞれ赤外線と紫外線であることが、A.-M. Ampere によって1835年に明らかになった。

1.2 ラマン効果の発見

ラマン効果はインドの C. V. Raman によって1928年に発見されたが、彼は1921年に初めてイギリスを訪れた際に地中海で美しい青色の乳光を見たのがきっかけで光の散乱に興味をもつようになったといわれている。帰国後の1923年にはすでに、散乱光の中にある入射光の波長と異なる成分を観察している。その後研究を進め、1928年に“A new type of secondary radiation”という論文を発表した。「ラマン散乱」に相当する現象がすでに理論的に指摘されていたことを知っていた Raman は、電報で論文を投稿している。同年にフランスとソ連のグループも「ラマン散乱」の測定に関する論文を発表しているが、タッチの差で Raman が発見したことになり、“ラマン”の名前が歴史に残ったのである。Raman はラマン効果を発見してわずか2年後の1930年にノーベル物理学賞を受賞している。Raman の発見がいかに衝撃的であったかがわかる。

1.3 近赤外分光の応用への道を切り拓く

近赤外分光は1950年代頃から一部の分光学者により水素結合や非調和性の研究のために使われていたが、応用の立場からすると“sleeping giant”の状態であった。この眠れる巨人を叩き起こしたのは、分光学者ではなく、農業技術者の K. Norris であった。Norris はアメリカ農務省のベルツビル農業研究センターで農産物の非破壊分析法の研究を行っていた。彼が近赤外光に初めて注目したのは、穀物の赤外線乾燥に従事していたときであった。加熱効率の高

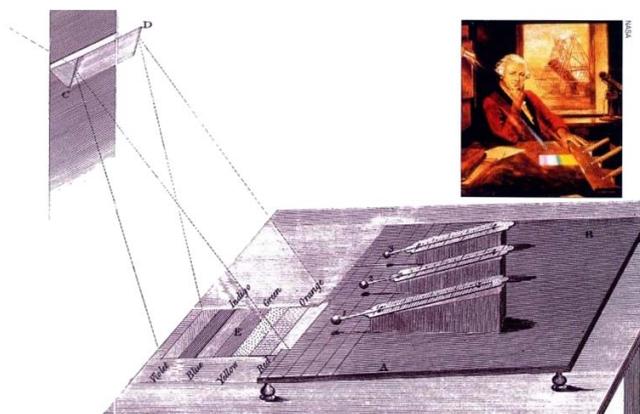


図1 Hershel の実験.

い波長域を探る過程で、彼は穀物が近赤外域に特有の吸収帯をもつことを見いだしたのである。近赤外光は非破壊性に優れ、農産物はそれぞれ特有の吸収を示すが、その吸収は倍音、結合音によるものなので、スペクトルをどのように解析し定量分析に利用するのが難しかった。分光学の伝統的なスペクトル解析法を知らなかった Norris は、統計学を用いるという、当時の分光学者からみれば奇抜なアイデアにたどり着いた。これにより、穀物中の水分の非破壊分析、小麦タンパク質の迅速分析、果実の内部品質評価などが可能になった。固定概念に囚われないことが独創的な発想に結び付いた例といえよう。スペクトル解析に統計学を用いることは今日ではケモメトリックス法として知られ、分光学のみならず、広く化学の分野で用いられている。

上の例を比較してみると、Hershel の例は偶然の発見であるが、それを見逃さなかったのはまさにセレンディピティーである。Ritter の場合は、赤の外に何かがあるならば紫の外にも何かあるだろうという鋭い直観力が働いたといえる。Raman は半ば偶然に地中海で美しい乳光を見て光の散乱に興味をもち、それについて研究することになる。偶然が研究の原点にあるといつてよい。Norris の例はまた異なる。Norris は穀物などの非破壊検査を行うという職務があった。いわば必要に迫られて研究を進めていた中で、穀物が近赤外域に吸収を示すことを偶然に見つけている。さらに、統計学をスペクトル解析に用いるという閃きを得た。「必要は発明の母」的なところから出たセレンディピティーといえる。

次に、筆者自身と、その周りのやや身近なセレンディピティーの例について考えてみよう。

2. 関西学院大学におけるセレンディピティーに関する筆者の経験

筆者は 1989 年に関西学院大に赴任した。その数年後、FT-ラマン分光器が研究室にやってきた。当時は「ラマン屋殺すに刃物は要らぬ、蛍光の一つも出ればいい」といわれていた頃である。FT-ラマン分光器の励起波長は 1064 nm なので、ほとんどの物質の蛍光を避けることができ、それらのラマンスペクトルをおおた蛍光フリーで測定できる。長年蛍光に悩まされてきた私は、がん組織や農産物など蛍光性の非常に強い物質のラマンスペクトル測定を次々と行い、論文にした。それらの中には、現在古典的な論文となっているものもある。次に閃いたのは、FT-ラマン分光器は FT-NIR 分光器としても使えるのではないかということであった。これは、ポストクの Miroslaw Czarnecki との会話の中で出てきたセレンディピティーである。これに気が付いて、結局、FT-NIR が世界中で広まる大きなきっかけを作った。また、1 台の装置が 2 役の装置としてフル稼働することとなった。

当時の近赤外分光の基礎研究は目新しかっただけに、多くのセレンディピティーの発揮につながった。例えば、ケモメトリックスを近赤外スペクトルの定量定性分析に使っているうちに、主成分分析のローディングプロットがバンドの帰属に有効であることに気が付いた。例えば CH_3 によるバンドと CH_2 によるバンドが見事に分離できることもある。また、ケモメトリックスが水素結合など物理化学の研究にも応用できることを見つけた。

2.1 ポストク、助教のセレンディピティー

ポストクや助教のセレンディピティーの例は数限りなくあるが、ここでは 3 つだけ紹介する。

(1) 単一ナノ粒子系を用いた Surface-enhanced Raman Scattering (SERS) のメカニズムの研究

十数年前まで SERS の研究は集団ナノ粒子系を用いて行われてきた。しかし、集団ナノ粒子系の SERS の実験に基づくラマン散乱の増強原理検証の研究では、増強の原因(プラズモン共鳴)が平均化され、増強の結果 (SERS) との関係直接捉えることができない。博士研究員であった伊藤民武君は、単一ナノ粒子系を用いればプラズモン共鳴を平均化することなく増強原理の検証が可能だとの着想を得た。そのため、同一単一のナノ粒子二量体の電子顕微鏡測定、プラズモン共鳴測定、SERS 測定が可能装置を構築し、実験を実施した。次に、実験的に観測されたプラズモン共鳴を電磁解析計算で再現し、ここから電場増強効果を導き、SERS スペクトルを算出した。この算出された SERS スペクトルと実験で得られた SERS スペクトルを比

較することで、電磁増強効果の定量的検証を行った。この研究はその後の SERS の理論研究に非常に大きなインパクトを与えた。

(2) 中国人ポスドクの置き土産

2003 年ごろ、ポスドクだった Jian-Hui Jiang さんが私のところにやってきて、「面白いことに気が付いた。近赤外分光法を高感度化するために、表面プラズモン共鳴を近赤外域に導入するのはどうだろう」と、表面プラズモン共鳴を用いた近赤外吸収分光法 (SPR-NIR) を提案した。私は彼にすぐにそれをやるようにと言ったが、「中国に帰ったらどうしても他のことをやらなくてはならないので、尾崎研の誰かにやってもらってください」ということで、博士研究員の池羽田晶文君にやってもらうことにした。池羽田君はあっという間に SPR-NIR のシステムを完成させた。この自作のシステムには池羽田君のセレンディピティーが詰まっている。この装置で近赤外の吸収強度が 100 倍程度上がった。現在、横河電機の村山君がさらにこの研究を進展させ、吸収強度を 1000 倍程度上げることを目指している。うまくいくと、産学共同で近赤外に革命を起こすかもしれない。

2.2 学生たちのセレンディピティー

学生たちのセレンディピティーは枚挙にいとまがない。私は 29 年間関西学院大に勤め、多くの学生たちに出会い、彼ら彼女らの素晴らしいアイデアに驚かされた。数多くある中からいくつか紹介しよう。

(1) 吉田君の驚異

ある日、院生の吉田健一君は図 2 のような驚くべき実験結果 (ローダミン 6G のストークス、アンチストークス SERS) を観測した¹⁾。アンチストークスラマン散乱の強度が異常に強い。ストークスとアンチストークスのピークの強度比から温度を計算してみると、400°C 以上になる結果も得られた。皆、最初は本当に驚いたが、その驚きは次

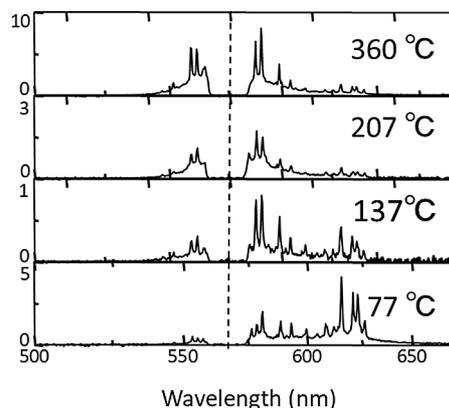


図2 ローダミン 6G のストークス、アンチストークス SERS スペクトル¹⁾。

第に感動に変わった。この実験結果が SERS の二段階増強理論を実証するきっかけとなった。

(2) 立花君の勘違い

博士研究員の森澤勇介君と一緒に遠紫外分光法の実験をやっていた院生の立花慎君は、森澤君の指示を勘違いして、自分のサンプルであるアルカンで温度変化の実験を行った。すると予想もしなかった大きなスペクトル変化が現れ、アルカンが相転移を示すことがわかった。その後森澤君は、その相転移が温度変化によって起こるドラステックな σ 電子の変化であると結論づけた。

(3) 言上君の奇跡

院生の言上隆之君は、フェノール誘導体の水素結合の研究を近赤外分光法を用いて進めていた。フェノールの OH 伸縮振動の基本音から第三倍音までの強度をプロットすると、なんと図 3 に示すような偶奇性が現れた²⁾。偶奇性がフェノールの分子間、分子内水素結合に関係していることがわかったが、この偶奇性の原因については、波動関数の偶奇性が関与していることが明らかになりつつある。

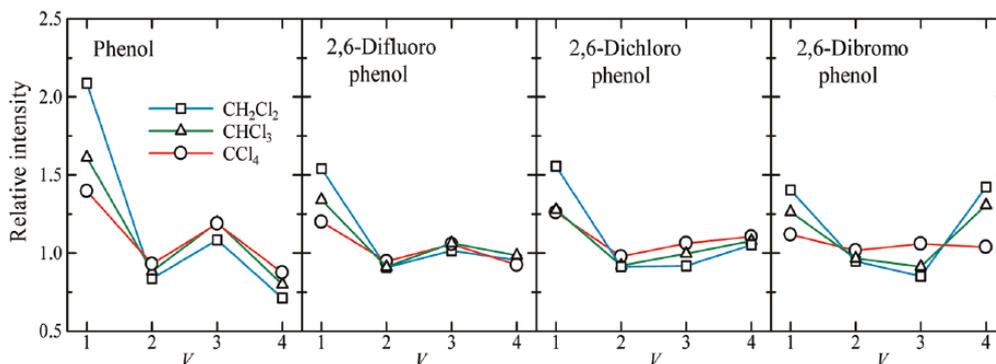


図3 CH_2Cl_2 , CHCl_3 , CCl_4 中の phenol, 2,6-difluorophenol, 2,6-dichlorophenol, 2,6-dibromophenol の OH 伸縮振動の基本音、第一倍音、第二倍音、第三倍音 ($V=1, 2, 3, 4$) の相対強度²⁾。

(4) Yue ちゃんの大発見

もちろん留学生たちも負けてはいない。中国からやってきた Yue ちゃんこと Yue Wang さんは、ある日私のところにやってきて、「不思議なことを見つけたみたいです。どうも SERS でアルコールの光学異性体の識別ができるようです」と言った。一見非常識な話であるが、非常識から生まれた大ヒットである。最初はこの発見を否定する意見もあったが、最近はこの研究が認められつつあり、メカニズムの研究が進んできている。この研究に刺激されたタイからの留学生 Yok さんが TERS でも同じような現象を見つけた。これは1つのセレンディピティーが次のセレンディピティーを生み出す例である。

3. どうすればセレンディピティーをもつことができるのか

では、どうすればセレンディピティーをもつことができるのかを考えてみよう。筆者の経験でいささか恐縮であるが、筆者は31歳から39歳まで慈恵医大に籍を置いていたときにいくつかのセレンディピティーを経験することができた。近赤外分光法を用いて血管中の酸素化ヘモグロビンの動態を非侵襲で測定することも、その例である。実は、この発想は友人の医師との議論の中から生まれた。大方の臨床医は分光学を習ったこともないし、自ら勉強した人も少ない。ただ、何とか患者を治したい、何でもいから新しい非侵襲診断法はないか、と考えている人は非常に多い。慈恵医大在籍中に、多くの臨床医から分光学の応用の提案を受けた。中にはまさにセレンディピティーといえるものもあった。異分野に身を置く、異分野間で一緒に研究するというのは、セレンディピティーが生まれるよい機会である。同じ研究仲間同士でタコ壺の中で生活していると、幸運の女神はなかなかやっこないようである。

関西学院大に移ってからは、研究室をヘテロ集団にすることを目指した。私の研究室は化学の研究室であったが、幸い4人のポスドク、助教をはじめ、数人の物理出身者が加わった。分光学の研究室では物理出身者の存在が欠かせない。そのほか、生命、機械、電子、化学、農業、食品、

薬学、歯学、水産学など、学科のデパートのごとく人が集まってきた。異分野の人たちが集まると、固定概念に囚われない、常識の否定、よそでやっていることを取ってくる、というようなことが当たり前になる。

セレンディピティーを発揮するためのもう一つの訓練は、大発見につながる軌跡を学ぶことである。本稿の最初で取り上げた3つの例もそうである。大発見でなくともよい、周りの優れた研究者の軌跡でもよい。どのようにしてその研究者が優れた発想やアイデアに到達したかを学ぶことが大切である。

セレンディピティーはしばしば会話の中からも出てくる。もう35年くらい前のことである。当時、東京医大の外科の教授であった加藤治文先生は、「尾崎先生、ラマン分光は必ず将来病理学で役に立つよ」とおっしゃった。それを聞いたときは本当にはっとしたが、35年経った今、ようやくその光が見えつつある。

終わりに

最後に、若手研究者とシニアの研究者のセレンディピティーを考えてみよう。セレンディピティーは一般には若い人に働くと考えられているが、確かにそうである。固定概念に囚われない、自由な発想に基づく、これらは若者の特徴である。ただ、私はシニアの研究者に働くセレンディピティーもあると考えている。それは、経験あるいは熟練に基づくものといえるであろう。Hershel の例もそうであるが、Röntgen がX線を発見したのは彼が50歳のときで、1895年当時としてはかなりの高齢であった。もちろん、単に年を重ねるだけでセレンディピティーが働くわけではない。実際に第一線で研究を続けておく必要がある。よく“継続は力なり”というが、持続的な努力は時にセレンディピティーを生む。

文 献

- 1) T. Itoh, K. Yoshida, V. Biju, Y. Kikkawa, M. Ishikawa and Y. Ozaki: *Phys. Rev. B*, **76** (2007) 085405.
- 2) T. Gonjo, Y. Futami, Y. Morisawa, M. J. Wojcik and Y. Ozaki: *J. Phys. Chem., A*, **115** (2011) 9845-9853.