

機器分析の進歩と共に



岡 正太郎 編

はじめに

かつて、分析化学の教科書といえば「化学天秤」と「ガラス器具の取り扱い」とでほとんど半分の頁数が占められていたものだ。それが日本分析化学会が誕生する1952（昭和27）年頃には、電子管回路や光学部品を応用した化学分析専用の分析機器が登場し、「物理分析」とか「機器による化学分析」というような呼び名で注目されるようになった。その後の変遷は急速で、以後わずか50年の間に機器分析が分析化学の主流となり、最近の分析機器はコンピュータやIT技術を駆使して、すっかり様変わりしてしまった。

理化学器械を主要製品として1875（明治8）年に創業された島津製作所は、この分析機器の誕生・成長・普及に深くかかわってきた。今、改めて私のまわりを見渡すと、（当然のことではあるのだが）実に多くの先輩・同僚・友人が「分析機器の専門家」である。その中には、ノーベル賞や国家褒章を受章した者もいるし、顕彰の経験はなくても掛替えのない地道な技術をもって仲間への尊敬と信頼を一身に集めている者も少なくはない。

この度、「ぶんせき」編集委員会から「分析化学のあゆみ」の執筆依頼を受けた機会に、拙い私の昔話よりも、これらの技術者の特別な思い出話を収録して綴ったほうが、これから分析化学を志す若い研究者に少しでも興味を持ってもらえるのではないかと考えた。彼等が内に秘めていた機器分析に対するひた向きな努力と情熱に、暫し耳を傾けていただければ幸いである。

1 光分析

1.1 紫外分光光度計 [小澤七兵衛]

1940年代の後半（戦時中といわれる頃）に、島津製作所では紫外部の波長領域をカバーできる水晶分光写真器を開発していて、分光分析の分野で大きな実績を挙げていた。しかし、欧米では既に吸光分析に便利な分光光度計が開発されていて、戦後これらが日本に輸入され、各方面から国産化の要望が高まった。これに応じて私どもは1950（昭和25）年、紫外分光光度計の開発を計画した。

その着手に当たり、最重要部品の分光器は持ち前の技術で自

作できたし、プリズム、波長目盛、スリットなども問題はなかったが、紫外部にも使える光源、試料溶液セル、受光検出器（光電管）には随分困難を伴った。紫外部の光源には水素放電管が必要であった。もちろん、適当な国産品はなく、水銀灯の製造をしていた島津の姉妹会社・日本電池㈱に協力を依頼した。紫外線透過性の良い熔融石英（シリカ）の準備、高純度水素封入に必要な金属パラジウムの入手、試作品の紫外部特性検査などは島津が分担したが、管球本体の設計・製造、ガス封入など、多くの困難な作業を同社水銀灯部門の技術責任者・安達技師にお願いして、輸入品に負けない性能の水素放電管の開発に成功した。また、試料溶液を入れるセルについては、今と違って耐薬品性接着剤の選択に困ったが、これも溶融接着の技術で解決した。さらに、検出器については、欧米の分光光度計では光電管が用いられていたが、すでにRCA社（米国）では高感度の光電子増倍管931Aが製造されているのを知って、これを国産化し世界最初の光電子増倍管を組み込んだ分光光度計を創ろうと計画した。そこで、特殊管球メーカーの浜松テレビ（現在の浜松ホトニクス）に、「RCA社の光電子増倍管931A（見本）と管球材料のシリカの提供、および試作品の性能検査」は、島津が引き受けるということで開発協力をお願いした。同社の星間氏（現社長）はベンチャー精神旺盛で積極的に協力され、見事にRCA社の光電子増倍管931Aに負けない性能の紫外・可視両用光電子増倍管の開発に成功した。

このようにして、紫外・可視分光光度計が完成し、京都大学物理学教室で比較性能試験が行われた結果、波長220 nmまで十分な感度があって「輸入品と較べて遜色はない」との結論に至った。当時、国産製品奨励の国策もあって需要は急激に伸び、わずかながらも我が国の分析化学にお役に立てたと思っている。

これらの仕事に協力していただいた日本電池や浜松テレビに私達は独占権を主張せず自由に販売してもらった。その後、浜松テレビは光電子増倍管の販路を欧米にまで広げ、さらに新しい自社製品を開発して、やがてはカミオカンデのニュートリノ測定用光電子増倍管を開発した。一昨年ダブル受賞となった日本のノーベル賞の研究が、島津自身と、その協力社の貢献とによって生まれたことに、私は深い感銘を覚えている。

1.2 赤外分光光度計 [真壁英樹]

戦後間もない1950（昭和25）年頃から、日本の主要な研究所（東大総合研究所・東京工業試験所など）に、米国製（パーキンエルマー社など）の自記赤外分光光度計が次々と輸入され、各地で赤外分光分析法の勉強会や講習会が開催されていた。また、1955（昭和30）年には第1回赤外ラマンスペクトル討論会が発足した。

私は1951（昭和26）年に島津製作所に入社してすぐ、自記赤外分光光度計の国産化製品開発を命じられ、機械設計と素子（主要部品）の開発を担当した。まず最初に手掛けたのは、波長1~16 μmの赤外線透過する光学素子・NaCl単結晶の開発で、京都大学理学部・内田教授のご指導を得て、大きい岩塩の人工結晶を作製し、高品質のプリズムや結晶板を完成した。つぎに重要な部品は赤外線の高感度検出器であったが、感度・応答速度共にすぐれた米国（リーダー社）製の真空型サーモカッ

ブルを採用して、1956（昭和31）年に島津自記赤外分光光度計AR-275型の第1号機を完成し、丸善石油・下津研究所に納入した。当時、日本の市場では、島津のAR-275型のほかに欧米諸国からの輸入品や日立・応用光研などの競合製品が多くて厳しかったが、AR-275型は顧客の評判もよく順調に売上台数を伸ばしていった。発売当初、検出器サーモカップルの真空度劣化があって、輸入品であることから苦勞をさせられたが、間もなく高性能の自社製検出器を完成しトラブルが激減した。

その後も私は、久しく赤外分光光度計の改良と普及を担当し、その進歩・発展を支えてきた。顧みれば、「岩塩プリズムの潮解性」に対してはヨウ化タリウム単結晶（KRS-5）の窓付きプリズム分光器を設計し、また「岩塩プリズムの屈折率温度依存性」の問題に対しては分散素子に回折格子を採用して解決した。また、2~20 μm という広い波長範囲を二枚の回折格子でカバーするため「スライドミラー方式」を考案して成功した。これらの改良製品（IR-27GおよびIR-400型）は、設置場所や環境条件の制限がなくなり、しかも小型で低価格であったため、日本だけではなく東南アジア諸国や発展途上国などに1万台を納入し、少なからず分析化学の発展に貢献した。さらに1985（昭和60）年には、いち早くコンピュータテクノロジーを導入し、回折格子の代わりに干渉計のパターンをマイクロコンピュータで計算するフーリエ変換赤外分光光度計が完成した。

赤外分光光度計は、これまでに「プリズム」、「回折格子」、「フーリエ変換」というように三度大きく変身した分析機器である。その変身は画期的で、毎年開催されるピッツバーク展、応用スペクトロメトリー東京討論会あるいは分析機器展で大きい話題を提供した。想えば、私が「岩塩の単結晶合成」を手掛けてから「フーリエ変換型」赤外分光光度計の完成に至る50年の日々は、日本における機器分析法発展の日々でもあって、誠に深い感慨を覚える。

1.3 発光分析（カントバック） 〔遠山健次郎〕

昭和20年代、いわゆる戦後と呼ばれた時期に、我が国の鉄鋼産業は世界の注目を集めて目覚ましい発展を遂げ、日本が経済大国に成長する先導役を果たしていた。「歴史の古い鉄鋼産業がこのような急成長を遂げた要因は何か」といろいろ論議されているが、やはり私は、技術革新が主軸にあったと認識している。とくに、炉内で赤熱している溶鋼の化学成分をリアルタイ

ムに分析して、その情報を転炉の運転制御にフィードバックする技術は、鉄鋼製品の品質を飛躍的に改善し、併せて生産性も著しく向上したのである。その溶鋼のリアルタイムな化学分析に私どもの発光分析技術が役立った。

島津製作所では1950（昭和25）年には多数の分光写真器を顧客に納入していて、納入先の顧客と相互技術援助の好ましい関係が醸成されていた。そのおかげで、1951（昭和26）年に着手した光電測光によるカントレコーダーやカントバックの開発過程において、鉄鋼現場の方々の誠意ある協力が得られたし、またその協力があってこそ私どもの技術が鉄鋼産業の隆盛に寄与できたのである。

顧みれば、1959（昭和34）年、日立金属・安来工場にカントレコーダーを納入したとき、特殊鋼に含まれるすべての元素について保証精度を現場で実演提示することを要求された（達成できるまで京都に帰らないことが受注時の条件であった）。40日間も連日連夜の作業をしたのを思い出す。顧客である安来工場の方々の惜しまぬ協力があって、遂にすべての目標を達成することができた。

また1960（昭和35）年には、国産製品を奨励する通産省の指示により、大阪工業奨励館に設置されていた米国のARL社製カントバックと新日鉄・八幡に納入した島津の製品とを用いて、同一試料・同一条件による比較試験が実施された。これは当時としては「外貨節約の政府方針」を秘めた大仕事であったから、私としては大変な事態であった。新日鉄の方々の協力（アルゴンガスの精製装置を急遽自作して提供していただいたのを思い出す）を得て、遂に「両社製品の技術的性能は同等で、とくに輸入の必要はない」という判定が下された。その結果、ARL社は京都・山科に計画していたARL日本工場の建設を断念し、ハスラー社長自ら島津製作所に来社され技術提携交渉が始まったというエピソードが残っている。

このような協力の事例は、日本軽金属、日本特殊鋼、日本冶金、住友金属など数多く、なかでも新日鉄・広畑ではカントバックの発光特性に注目して、非金属介在物を分別して検出するPDA法を共同で開発した。この方法は実用価値が非常に高く、以後のカントバックに全面的に採用された。

新日鉄・広畑との研究成果は大河内記念技術賞（昭和52）の共同受賞に結びつき、1993（平5）年には「当時を偲ぶ催し」（於広畑）に招待された。また、2000（平12）年には、日立金属・安来で「カントレコーダ導入40周年記念式典」があり、

執筆者の紹介

氏名	専攻	島津在籍	学会賞などの受賞歴
小沢七兵衛（工学博士）	分光分析	昭20~平10	紫綬褒章（昭55）
真壁 英樹	分光分析	昭26~平10	科学技術庁長官賞（昭60）・大河内賞（昭57）・紫綬褒章（平1）
遠山健次郎（工学博士）	発光分析	昭22~平09	大河内賞（昭52）・科学技術庁長官賞（昭59）
吉田多見男（工学博士）	質量分析	昭54~現在	日本分析化学会技術功績賞（平15）
田中 耕一	質量分析	昭58~現在	ノーベル賞（平14）・文化勲章（平14）・日本分析化学会技術功績賞（平15）
春木 達郎（工学博士）	クロマト分析	昭22~平10	日本分析化学会技術功績賞（昭60）・ソ連邦化学会 Zewett 賞（昭46）・紫綬褒章（昭50）
佐藤 達夫	クロマト分析	昭35~平15	日本分析化学会技術功績賞（平6）
岡 正太郎（理学博士）	電気化学分析	昭27~平12	日本分析化学会技術功績賞（平1）・科学技術庁長官賞（昭57）・紫綬褒章（平2）
森田 洋造	水質分析	昭30~現在	近畿地方発明表彰（平5および平10）

「カントレコーダ記念」と銘を打ち込んだヤスキハガネの包丁を頂戴した。

想えば、40年も昔の地味な努力が、今日なお忘れられないで鉄鋼産業の第一線で役立っているとは、正に技術者冥利に尽きる思いがする。

2 質量分析

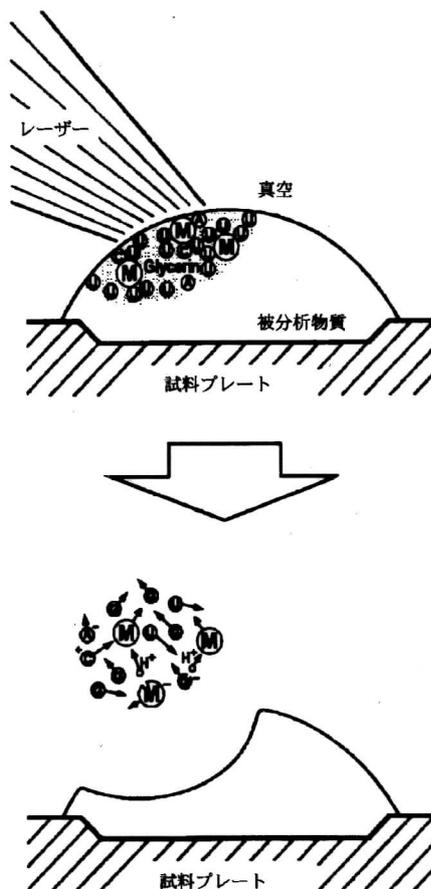
〔吉田多見男〕〔田中耕一〕

1980（昭和55）年当時、質量分析装置の内部構造は磁場型や四重極型であった。これらの構造は分散型と呼ばれ、生成されたイオンを全て検出するのではなく、質量数を掃引して「マススペクトル」を作成するものであった。試料物質をイオンにする方法についても、ガス化できる試料については電子衝撃（EI）や化学イオン化（CI）などの方法が実用されていたが、タンパク質に代表される生体関連物質のように熱的に不安定で難揮発性試料については適当なイオン化法がなく、専門家の関心を集めていた。

島津製作所・中央研究所でも1982（昭和57）年から5人のチームを編成し、固体試料（将来、重要になるであろう生体高分子）の質量分析を目指してレーザーイオン化法の研究に取り組んだ。質量分析装置としては飛行時間型質量分析計（time of flight-mass spectrometer: TOF-MS）を取りあげた。当時、TOF-MSは質量分解能が不十分で実用化に問題があるとされていたが、この方法には「生成されたすべてのイオンを検出することが可能」で、しかも原理的には「測定質量数に制限がない」という特徴があることに注目し、「イオンの生成量が微量である」高分子量の生体試料分析には最適であると考えた。

克服すべき重要な課題が二つあった。第一は質量を測定する装置の性能を向上すること、第二は高分子量の生体試料をイオン化する方法を開発することであった。第一の課題は取りもなおさず質量分解能の向上であって、新しい傾斜電界型イオンリフレクターや遅延イオン引き出し法の創案・改良を繰り返し、さらに高質量イオンの検出感度を増感したイオン-電子コンバーター付き検出器や高速・高精度スペクトル収集回路も自作した。これらの技術の確立には苦労も多かったけれども、現製品には不可欠の技術となって生きていて、装置としては最高レベルの性能になったと自負している。確かに、企業内研究では装置のすべてを自製できるので、研究者の意欲を大いに充実させた。

第二の課題であるイオン化法については、試料分子を急速に加熱するため、金属（コバルト）の微粉末をマトリックスとして用いる方法を考案した。しかし、この方法でも初期のうちは質量数が2000 dalton程度が限界で、目標としていた10000 daltonには程遠いものであった。ここで研究は大きい壁にぶち当たってしまったのだが、我々は種々のマトリックスについて腰を据えて取り組むことにし、種々の条件で手当たり次第に根気よく実験を繰り返していった。その過程で、確か1985（昭和60）年2月だったと記憶しているが、偶然にグリセリン・金属粉末のマトリックスが極めて有効であることを見いだした。そのイオン化法を原理的に図示しておこう。当初は、「ノイズだらけのスペクトルの中から「これが親分子イオンの信号である」と見抜くのは大変であったが、現在は100000 dalton



M: サンプル, U: 金属超微粉末, G: グリセリン, C: 陽イオン, A: 陰イオン

図1 コバルト微粉末・グリセリンマトリックス支援レーザー脱離イオン化法の原理

を超えるタンパク質の計測が可能になっている（それにしても、はじめて親分子のスペクトルが含まれていることを見抜いたのは、執筆者の一人田中耕一で、この研究に対する彼の集中力と信念の賜物であると評価している）。このマトリックスを使うソフトイオン化法が、現在、タンパク質などの分析に不可欠とされている『マトリックス支援レーザー脱離イオン化法』（matrix assisted laser desorption ionization: MALDI）の発展に大きく貢献したと評価されて、田中が2002年ノーベル化学賞を受賞した。

思いがけない偶然を手にする能力を「セレンデピティ」（serendipity）というが、「一つの真理に向けてあらゆる角度から施策や実験を繰り返すうちにセレンデピティは実際におこりうる」という先人の言葉を、今私達は実感として噛みしめている。

参考文献

- 1) 吉田佳一, 田中耕一, 井戸 豊, 秋田智史, 吉田多見男: 質量分析, 36, 49 (1988).
- 2) 吉田多見男, 田中耕一, 井戸 豊, 秋田智史, 吉田佳一: 質量分析, 36, 59 (1988).
- 3) K. Tanaka, H. Waki, Y. Ido, S. Akita, Y. Yoshida, T. Yoshida: *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 2, 151 (1988).

3 クロマト分析

3.1 ガスクロマトグラフィー

〔春木達郎〕

1956 (昭和 31) 年の春、戦後ようやく活気を帯びてきた我が国の石油化学工業をターゲットにして、私達は「精密分溜装置」を新製品として取り上げるか、「ガスクロマトグラフ」を開発するか、極めて重要な選択を迫られる立場にあった。決断のための情報を入手すべく大学や公立研究所のほか、米国製品を使用している丸善石油・下津の研究所 (ポトビルニアク社の精密分溜装置)、大セル・堺製油所 (パーキンエルマー社のガスクロマトグラフ) を訪問するなど東奔西走した。調査結果をまとめて、上司の橋 芳実研究部副部長に報告すると「私も住友化学さんで石油成分の分析にはガスクロマトグラフのほうが良いと聞いたし、島津新一研究部長もガスクロをやるべきだと京大の先生から聞いたと言うておられる。選択は君達に任せるがガスクロが良いのではないか」と言われた。私は即座に「それではガスクロにします」と答えたのであった。このようにして島津のクロマトグラフ開発が決定した。忘れもせぬそれは、1956 (昭和 31) 年 9 月 15 日のことであった。

当時を顧みて強い印象が残っているのは、京都大学化学研究所 (宇治) に竹崎嘉真教授の自作ガスクロマトグラフを見学させていただき、ご指導を賜ったことである。現物を見せてもらったところ、みかん箱の板を使って細長い箱を作り、内側にガラス管と電熱線を這わせて釘で止め、ガラス管の中には当時歯磨きに使っていた珪藻土の粉に固定相液体をコートした充填剤が詰めてあった。移動相の熱伝導度を測る検出器には、外側のガラス球を取り除いた豆電球が使われていた。それでレコーダーにはちゃんとカーブが画かれているのを見て、「これでガスクロができるのなら俺にもできる」と私は勇気百倍であった。

設計に着手するや残業・休出の連続で年末も休まなかった。特別工程で試作を進め、1957 (昭和 32) 年 4 月「第 10 回日本分析化学会・付設展示会」(東大工学部) に展示するため、東京までの運搬用トラックも自分達で手配するなどして、やっと第二日目の展示に間に合わせたのであった。このようにして公開展示された国産第 1 号ガスクロマトグラフ GC-1A 型は、学会に参加していた学者・研究者に大好評で、また価値ある意見や助言は大変温かいものであった。これらの評価をできるだけ取り入れて、第 1 回目の製品 11 台が 1957 (昭和 32) 年 10 月に完成、4 台は社内用に、他は東京大学、徳山曹達、丸善石油、住友化学、三菱レーヨン、出光興産、花王石鹼の諸社に納入された。

その後も顧客ニーズやコメントを取り入れ改良を加え、次々と新型の装置を製品化した。我々の装置が斯界で最も好評を得た最大の理由は、「クロマトグラフのベースラインが安定で分析精度が著しく高い」という点であろう。一般に、昇温ガスクロマトグラフィーをシングルカラムでやるとベースラインが急上昇する。これは固定相の液体の蒸気圧が温度とともにエキスポネンシアルに急上昇するからである。このことに気付いた私は、同種のカラムをパラレルにもう 1 本通して、これをレファレンスにして差をとることにした。この考案によってうまくベースラインの移動を打ち消すことができた。さらに「レファレンス側にも試料室を設けて示差ガスクロができる」とい

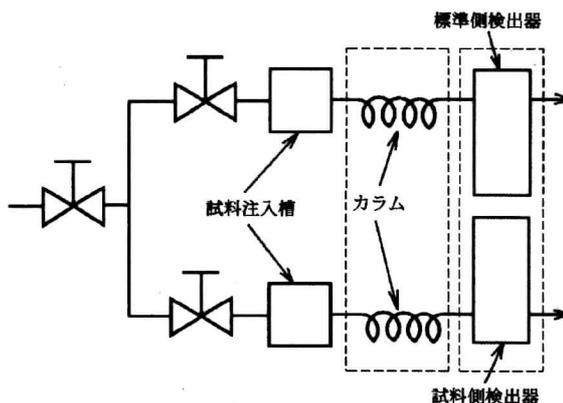


図 2 デュアルカラム流路のガスクロマトグラフ

うアイデアは特許になった。昭和 57 年までに取得したガスクロマトグラフ関係の国内特許は 40 件、実用新案 46 件、海外特許 33 件であった。

クロマトグラフィーに携わった日々を顧みて忘れ得ないのは、その発明者 A. J. P. Martin 博士 (1952 年ノーベル化学賞) との親交である。初めて会ったのは 1970 (昭和 45) 年の国際クロマトグラフィーシンポジウム (ダブリン) であった。帰途にオランダのアイントホーベン工科大学を訪問し、彼が共同でやっていた示差熱電対を検出器とした細管式電気泳動装置を見学した。1972 (昭和 47) 年には、我々の島津三条工場に Martin 博士をお招きする機会があり、示差熱電対の代わりに私の考案した電位勾配検出器を使った細管式電気泳動装置を提示して遅くまで技術論議をしたのを思い出す。細管式電気泳動装置 (愛称イソタコ) は、1979 年のライプツヒッ・メッセ (世界最古の国際見本市) で金賞を授賞した。

その Martin 博士も長い病に伏せて昨年秋に亡くなった。私としては誠に寂寥の情、耐え難いものがある。

3.2 マイコンによるデータ処理

〔佐藤達夫〕

クロマトグラフのデータ処理は、当初、レコーダの記録紙に描かれた曲線 (ピーク) をもとに、手計算でピーク面積を求めていたが、測定精度が悪く、しかも多くの人手と時間を要した。

1960 年代の後半にはデジタルインテグレーターという電気式のピーク面積計算装置が発表されて非常に便利になったが、クロマトグラムにノイズが多かったり、ベースラインの変動が大きかったり、あるいはピークの分離が不十分であったりすると、精度良くピーク面積を求めることは難しく、その対策に苦慮していた。

その頃、米国のインテル社より電卓用の IC を改良した 4004, 8008, 8080 という CPU (中央計算制御装置: マイコンの一部で ROM, RAM と呼ばれるメモリを内蔵していない) が順次発表された。筆者らは、この CPU8080 をクロマトのデータ処理に応用することができないかと考え試作研究に没頭した。その甲斐があって、1974 (昭和 49) 年ようやくクロマトパック C-1A を製品化した。恐らくこれは、分析装置にマイコンを取り入れた世界で最初の製品であったと思っている。さらに、その 1 年余り後には普及型のクロマトパック C-

E1A を製品化し、日本国内だけにとどまらず広く世界中の化学分析実験室で使っていただけるようになった。

現在、あらゆる電力駆動の製品に使用されているマイコンは、1個100円程度の価格であるが、当時のマイクロプロセッサCPU8080は（マイコンの一部の機能しか持っていないにもかかわらず）1個13万円と非常に高価であった。さらに今昔の感を強くするのは、パソコンが販売されていない時代だったから、現在のような市販の開発装置がなく、開発装置を自作してプログラムを機械語で入力したが、せっかく入力したデータも雷で消えてしまうという苦勞もあった。今となれば、懐かしい思い出である。

しかし、マイコンの採用によって、高度なピーク検出アルゴリズムを実行することが可能になり、先に述べたノイズの除去、ベースライン変動の補正、分離不十分ピークの分割計算処理能力が格段に向上し、面積の測定能力もまた、大幅に向上した。加えて、従来のデジタルインテグレーターでは不可能であった定量計算処理が可能になり、画期的に迅速化、省力化、自動化が進んだ。

1978（昭和53）年にはプリンタプロッタを内蔵したクロマトパックC-RIAを発表した。これによってクロマトグラムと計算データとが一枚の記録紙上に印刷されるようになり、データ整理が容易で見やすく、信頼性の高いレポートが作れるようになって、装置の普及に拍車がかかった。そして1981（昭和56）年には新製品のクロマトパックC-R2Aを、1984（昭和59）年にはC-R3Aを続けて市場に送った。

この間にCPUがしたいに価格を下げるとともに、マイコンに必須のメモリ（ROM、RAM）の記憶容量が大幅に増大した。その結果、複数の分析条件の記憶、クロマトグラムの波形記憶と再解析、あるいは種々のプログラムが可能なBASICプログラムなどの多数の機能を盛り込むことができ、「クロマトパックC-R3Aは高性能で低価格な装置」と好評を得、世界のベストセラーとして注目されるに至った。その設計思想は、現在のクロマトパックにも引き継がれて今日に至っている。

4 電気化学分析

〔岡 正太郎〕

1924年、Charles University (Prague) に留学中の志方益三教授（京大農）は、J. Heyrovský 教授（1959年ノーベル化学賞）と協力して、あの「電解電流電圧曲線」を写真印画紙上に自動記録する装置「ポーラログラフ」を創案された。自動記録されたポーラログラムは「左下が起点で右上がりの階段状（波）」になっていて、その波の高さ（電流）は定量分析に、波の位置（電圧）は定性分析に用いられることは、今や広く知られている。

ところで、このポーラログラムをよく見ると計測技術の常識とは、かなり異なっている。すなわち、ポーラログラムの横軸（加電圧）は、右方向がマイナスになっているし（通常、科学技術の書類では右方向がプラス）、縦軸（電流計の指針）は右端がゼロで左方向がプラスになっている（これも左端ゼロで右方向プラスが常識だろう）。いま仮に、計測技術の常識どおりにポーラログラムを設計したとすると、ポーラログラムは「右上起点で左下がりの階段状」になる。

私は1954年（昭和29）に、国産第1号のペン記録式ポーラログラムを設計するように命じられたのだが、当時、ペン記録計はオートメーション機器部門で量産される標準品の中から何台かをポーラログラムに転用するという生産方式であって、同じ会社の社内でも、特殊仕様ものはなかなか製作してもらえなかった。そんな理由から国産第1号のペン記録式ポーラログラムは、心ならずも「右上起点で左下がりのポーラログラム」を自動記録したのであった。この試作機で作動を確認した後、私は二晩も徹夜して、自分で記録計の仕様をポーラログラム用に変更し、やっとのことで1955（昭和30）年7月の当学会近畿支部・第2回機器分析講習会に間に合わせたのであった。

さて、どうしてポーラログラムだけが計測技術の常識と異なった習慣を踏襲してきたのだろうか。私は志方先生の設計構想を想像したり、その頃の要素機器（モーターや検流計など）の性能を調べたり、あるいは写真式自動記録以前の論文では、どのようなプロットであったかを調査したりした。ところが、最近になって私は「ポーラログラムの発明は、計測の常識よりはるかに歴史が古いこと」に気が付いた。すなわち、計測の常識が形成されてくるのは戦後の1950（昭和25）年以降のことで、1924年当時 Heyrovský-志方両教授は、そのような外的条件や習慣に拘束されることなく、ひたすら「電極過程の現象」を見つめて研究に没頭されていたのに違いない。

周知のように、ポーラログラフイーは学問領域を広げ成長し普及した。しかし、不思議なことにこの学問分野に限って、計測の常識をさておいてポーラログラフイーの常識が優先していて、昔どおり「右上がりのポーラログラム」が頑なに踏襲されている。

これは、両教授に対する世界の化学者の畏敬の念の表現のように、私には思えてならない。

引用文献

- 1) 岡 正太郎：ぶんせき、2002（創立50周年記念誌）、107（2002）。

5 環境分析

5.1 大気汚染モニター

〔岡 正太郎〕

環境庁ができたのは1971（昭和46）年の5月。同じ年の8月には島津にも環境機器部が設立され、斯界の需要に対応した。当時、私は工業プロセスに用いる連続分析計を担当していたが、類似した技術が多いとして環境機器の兼務を命じられた。その頃、もっとも騒がれていた大気汚染物質は、光化学スモッグの元凶・窒素酸化物（NO_x）であった。屋外の現場で、数ppmのNO_xを昼夜にわたって無人で自動分析することは、当時としては至難のことであり、適切な分析機器はどこにも見当らなかった。そのため、「工場排ガス中のNO_x総量を「法律によって規制しよう」とする官庁側と、信頼できる分析装置ができるまで「法的規制は不可能である」と主張する産業界側とが敵しく対立した時期があった。1972（昭和47）年頃のことである。

丁度その頃、私は「真空中でオゾン（O₃）が一酸化窒素（NO）と分子衝突して発光する（化学発光）」という現象に関する論文を米国から入手して「これはNO_xの分析に使え

そうだと注目していた。しかし、「新しいアイデアを実用装置にまで昇華させるのは容易なことではない」という躊躇いもあって簡単には研究に着手できなかった。それでも、ニーズは大きく、しかも切迫していたので、1971（昭和46）年の10月になって試作に取り組むことになった。果せるかな、試作機は欠点の続出で、予定を随分超過しても安定した測定結果は得られず、大変な苦勞の毎日であった。遂には研究中止の土壇場に追い込まれたが、継続断念の寸前になって勲鉄鋼協会から研究助成金が与えられるという「助け船」が入った。お陰で私は、計画をもう一度最初から練り直すことができた。

後知恵では「何だ、そうだったのか」ということになるのだが、失敗の原因は、私の「ちょっとした思い込み」にあった。当初から私は「真空中だからこそ発光するのであって、蛍のように常温・常圧で発光させるには、ルシフェラーゼ（luciferase）のような酵素を固定化しなければならない」と思い込んでいた。だから、適切な酵素を選んで固定化に苦勞するよりも、 O_3 の酸化力に耐える真空システムを作成したほうが賢明だと考えたのであった。その結果、真空ポンプやオリフィスに無理が生じ、とても一定の安定した真空圧力を保てなかったのが失敗の最大原因であった。

直ちに、「理屈っぽい思い込み」を全面的に否定し、乱暴を承知の上で O_3 と試料ガス（NO）とを加圧ポンプで反応槽に圧入した。発光の減衰は、発光波長とセンサー感度のマッチングによって補強し、 O_3 はポンプに接触しないように構成することができた。うまくいきましたら早かった。幾多の改良を加え、特許も申請して、1974（昭和49）年末に第1号機を九州の某火力発電所に納入し成功した。

想えば、そんなことがあってから、もう30年もの年月が過ぎた。この製品シリーズは、現在も「常圧一ケミルミ」という愛称で親しまれ、毎年約150台が出荷されていて、現在までの総出荷台数は約1万台を越えるという。

またNOや O_3 に限らず、ルミノールやパーオキシドなどの化学発光法も発展し、微量試料で高感度の分析ができるので化学発光法は医・薬・バイオの分析分野でも広く応用されるようになった。

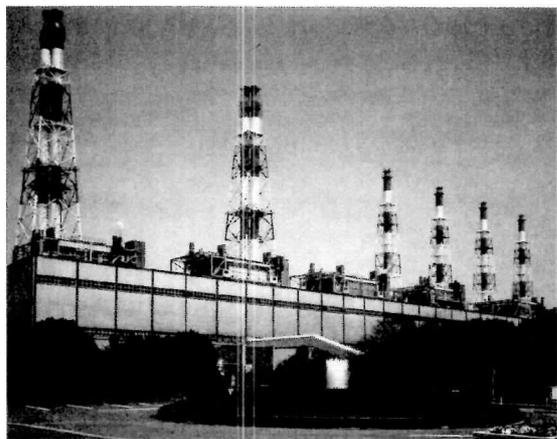


図3 大気汚染モニターを整備した大型煙突のある風景（関西電力・堺火力発電所）

都会を離れて郊外を走ると「赤・白の大きい煙突」が目につく。この煙突の下には必ず大形燃焼設備があり「常圧一ケミルミ」が据え付けられていて、黙々と稼働して大気汚染防止に役立っていると思うといささか感慨無量である。同時に、なかなかうまく作動してくれなかった試作段階でのあの苦勞を苦々しく思い出す。

5.2 水質分析

〔森田洋造〕〔岡 正太郎〕

水の純度は、電気伝導度や光の透過性を測って評価されている。他にもDO（溶存酸素量）、COD（化学的酸素要求量）、BOD（生化学的酸素要求量）、TOD（全酸素要求量）、TOC（全有機炭素量）などの指標があり、それぞれ特徴があって使い分けられている。指標間の換算ができなくて煩雑であるが、その煩雑さは人間と水とのかかわり合いの深さを物語っているようにも思える。

それらの指標の中で、最近、注目されてきたのがTOCであろう。TOC（total organic carbon）は、被検水中の全有機炭素化合物の含有量を測定して、その水の純度を評価しようというわけであるが、当初は湿式酸化薬剤を加えて時間をかけて酸化させ、酸化剤の消費量から有機炭素化合物の全量を決定するという複雑な方法に頼らねばならなかった。1970（昭和45）年頃、私もこれを機器化しようと検討したが、いかにも器械が大掛かりになり、測定時間も長くて製品化には踏み切れなかったのであった。

丁度その頃、私はDow Chemical Co. (U.S.A.) のDr. Van Hallの論文を見つけた。彼の方法は「水も不純物（有機炭素化合物）も一緒に炉で燃焼して瞬間に水蒸気と炭酸ガスにしてしまい、その炭酸ガスだけを赤外線吸収法で測定する」というものであった。この「水を燃やしてしまう」という着想は、機器化には最適で、私は大変感服した。早速、Dow Chemicalに手紙して交渉し、1973（昭和48）年に特許実施権許諾契約を締結した。その後、Dowと島津とはとても良い友好関係を保って交流した。Dowは装置屋ではないからTOC測定の機器化は島津自身の思いきった設計で進めることができた。第1号試作品は通産省名古屋工業試験所砂原広志技官（現広島大学名誉教授）の研究室に持ち込んで共同で性能試験を重ねた。TOCの製品第1号機が出荷されたのは、1973（昭和48）年の暮れであった。その後、性能の向上、用途の拡大あるいは原価の低減のため改善・改良を重ねられた。特筆すべきは、執筆者の一人森田の創案で、燃焼炉の温度を950°C（Dr. Van Hallらの主張）から680°Cに設計変更したことであろう。これは大変難しい設計であったが、この改良で装置の主要な消耗部品の寿命は3~4倍も伸び、保守が著しく簡易化され、ユーザーの信頼が増し、国内需要に加えて欧米およびアジア諸国にも輸出するようになった。調べてみたら、今年までに合計11000台（最近5年間では平均700台/年）のTOC計がいろいろな顧客に納入され、水質汚染防止だけでなく、海洋湖沼や河川水の研究、医薬製品や半導体の洗浄関係で根強い実績を蓄積してきた。

私どもは「水の指標は、いずれTOCになる」という固い信念で地味な努力を重ねてきたが、それが最近になって、日本の水道水の水質管理（市場見込15億円）や中国の排水水質規制

に監視装置として TOC 計を採用することが決定し、にわかには市場は活気づいてきた。

物事には「タイミング」というものがある。製品の開発企画から販売に至るタイミングも例外ではない。顧みれば、私どもが TOC 計の製品化を企画してから既に 30 年の年月が経った。Dr. Van Hall が研究論文を発表したのは、もう 40 年も前のことである。それが、やっと最近になって日本の市場で製品販売の花が咲こうとしている。誰がそのような長期のタイミングを予想しただろう。これもまた、人間と水との深いかかわり合いのためなのかも知れない。

おわりに

初代社長 島津源蔵は舎密局のワグネル博士の指導を得て理化学器械の仕事を始めた。二代目の島津源蔵は三高（現京都大学）の村岡教授と協力して日本で最初のレントゲン写真を撮影した。「産学共同という言葉には語弊がある」として使われなかったが、五代目社長の上西亮二博士は、我々技術者の教育に

とりわけ熱心で、大学や学会との交流を奨励された。ご自身も京都大学工学部講師として毎週講義を引き受けられたこともあったし、ノーベル賞を受賞された直後の湯川博士や江崎博士を会社に招いて、我々若い技術者に直接講演を拝聴するように機会を設けられたことも思い出される。計測技術の振興のため「島津科学技術振興財団」を設立し、「島津賞」と「研究助成制度」を設けられたのは昭和 55 年のことである。この財団は地味ではあるが、学会からは高く評価されて今日に至っている。まさしく、正しい意味での産学共同を実践されたのであった。

本稿の執筆者は、いずれも上西社長の直接の薫陶を受け、そのような産学共同の気風に包まれて、社外の学者・研究者と一緒に仕事をすることができた。この機会に改めてご指導やご援助を賜った社外の諸先生に感謝しお礼を申し上げたい。

それにしても、上西亮二社長が、わずかもう 1 年間ご存命であれば、「田中耕一氏のノーベル賞受賞を喜んでいただけたのに」と思うと誠に残念でならない。

日本分析化学会研究懇談会の御案内

日本分析化学会の研究懇談会に入会御希望の方は下記に照会ください。

- ① ガスクロマトグラフィー研究懇談会
- ② 高分子分析研究懇談会
- ③ X 線分析研究懇談会
- ④ 液体クロマトグラフィー研究懇談会
- ⑤ 有機試薬研究懇談会
- ⑥ 有機微量分析研究懇談会
- ⑦ 非水溶媒研究懇談会
- ⑧ 化学センサー研究懇談会
- ⑨ 電気泳動分析研究懇談会
- ⑩ イオンクロマトグラフィー研究懇談会
- ⑪ フローインジェクション分析研究懇談会
- ⑫ 環境分析研究懇談会

◇照会先

- ①～④：〒141-0031 東京都品川区西五反田 1-26-2 五反田サンハイツ 304 号 社団法人日本分析化学会〔電話：03-3490-3351〕
- ⑤：〒060-0810 札幌市北区北 10 条西 5 丁目 北海道大学院地球環境科学研究科内 中村 博〔電話：011-706-2259〕

- ⑥：〒192-0398 八王子市南大沢 1-1 東京都立大学大学院工学研究科応用化学専攻 内山一美〔電話：0426-77-2829〕
- ⑦：〒152-8551 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学大学院理工学研究科化学専攻 岡田哲男〔電話：03-5734-2612〕
- ⑧：〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院理学系研究科化学専攻分析化学研究室内〔電話：03-5841-4351〕
- ⑨：〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科応用理化学講座内 育田夏樹〔電話：0824-24-7608〕
- ⑩：〒489-0884 瀬戸市西茨町 110 産業技術総合研究所中部センター瀬戸サイト 田中一彦〔電話：0561-82-2141〕
- ⑪：〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1 岡山大学理学部化学教室 大島光子〔電話：086-251-7847〕
- ⑫：〒305-8506 つくば市小野川 16-2 国立環境研究所動態化学研究室 功刀正行〔電話：0298-50-2434〕