

# Readout

HORIBA Technical Reports

特集 元素をはかる

July 1992 ■ No.5

---

化学分析の微視化  
— ナノ時代に向かって —

Strategies to Enhance Micro Fine Serendipity  
of Chemical Analysis  
— Aiming at the Nano-Age —

池田重良  
Shigerou IKEDA

(Pages 4-13)

---

株式会社 堀場製作所



## 化学分析の微視化

— ナノ時代に向かって —

Strategies to Enhance Micro Fine Serendipity  
of Chemical Analysis — Aiming at the Nano-Age —

## 1. はじめに

21世紀にあと10年足らずという時代になった。我が国では次世代科学技術とか、先端科学技術とか、あるいは創造科学技術といった言葉が飛びかわされているが、世の中の激しい変動の中で地道な研究活動、技術開発が進められている。20世紀が21世紀に移ったからといって世界が急に変わるわけではないが、20世紀における発展とそれがもたらした歪みを反省しつつ科学の世界では依然として未知なるものへの探検がさらに拍車をかけることであろうし、一方では真の人類の幸福、さらにはこの宇宙のあるべき状態を維持すべく、環境の回復という、逆行にも見える行動を敢えて実行しつつ技術の開発が進展していくことであろう。

自然科学というものは、もともと人類の自然理解の知的欲求によって生まれ、技術はその自然の事物そしてそこから学び取った知識を人類の幸福のために書き換えていくべく発展してきたといわれている。新しく組み立てられた技術はさらに奥深く自然を理解させる手助けとなる。そしてこの自然科学や技術の対象となる事象は常に物質である。物質を意味する英語の matter という言葉はラテン語の母（英語の mother）の同じ語源だそうである。物質はすべての事象の源であると言えよう<sup>1)</sup>。

物質を理解するためにいくつかの道があるが、最も基本的な行動が分ける行為である。

われわれの科学の研究、技術の開発には必ず分ける行為が伴っている。化学分析から始まって構造解析、物性解析、機能分析、いろいろの状態分析、情報解析—いづれも分ける行為である。そしてこれらの情報をもとに判断が行われ設計、変換、構築といった色々なつくるための行動が実行される。この中で化学分析は物質を構成している化学種を分けるという最も基本的な技術であり、分析化学はその方法論を学び究める学問領域である。

この化学種を分ける行為をさらに分けて見ると大きく二つになる。一つは化学種の形や色、性格、反応性などの違いから識別する。いいかえると、人間の五感を通して分けることである。もう一つは化学種を適当な姿でそれぞれ引き離していく、離別である。前者は物質の有しているいろいろの形のエネルギー状態と関係があるのでエネルギー分析（エネルギーというのは中国語でエネルギーという意味があるという）と名付け、後者を質量分離と呼んで区別したい。

分ける行為を物質中の化学種に働きかけるためには反応子が必要である。化学分析ではこれを試薬と呼んでいる。それは物理試薬と化学試薬に大別することが出来る。物理試薬は物質中の化学種と物理反応を起こし、化学試薬は物質と反応して化学種の変換や修飾をする。

物理試薬は多面的性格を持っている。そして多くの場合その性格を適当に選別したり制御したりすることが技術的に可能である。したがって反応によって相手の化



龍谷大学教授

池田 重良

Shigerou Ikeda, Dr. Sci.

理学博士

大阪大学名誉教授

日本学術会議会員

〈略歴〉

1944年：東北帝国大学理学部卒業

1959年：東北大学理学部助教授

1964年：大阪大学理学部教授

1988年：大阪大学名誉教授

：龍谷大学理工学部教授

〈主な要職、授賞〉

日本学術会議化学研究連絡委員(1978~)

日本分析化学会会長(1987)

日本鉄鋼協会渡辺義介記念賞(1965)

日本分析化学会賞(1978)

日本化学会賞(1987)

〈主な著書〉

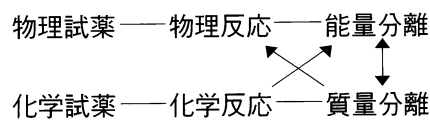
容量分析の応用(共立出版)

炎光・分子吸光分析(共立出版)

光電子分光分析(日刊工業新聞社)

光電子分光およびオージェ電子分光(学会出版センタ)

学種あるいはそれを含む物質に外見上致命的な破壊をもたらすことは多くない。一方、化学試薬は一つ一つが大なり小なり性格が異なる。反応によって自らも、相手も変化する。



化学種分析の手法

これらの試薬の適格な選択とその技術の目的にかなった組立によって物質を構成しその個性・機能を形成する基となっている化学種の固有の性質を抽出し、これによってそれぞれを分ける場合もあるし、また化学種が組み込まれている組織の中の一員としての役割、所謂ホロニックな状態を表現することも出来るようになる。

ここで現代の化学分析に残されている課題そして未来への期待を考えて見たいと思う。多少偏見のあることはお許し願ひ、特に筆者の専門から無機系に偏る点をお許し願ひたい。既に題目自体に微視化という言葉を使わせて頂いたがこれは微量、局小、微細、出来るだけ小さい時間・空間の中でより詳しく物質中の化学種を分ける方向へと言う意味である。

## 2. 微量化について

物質中の微量成分の分析への要求は年を追って厳しくなって来ている。μg から ng へ、ng から pg へ、pg から fg へ、科学・技術が深まれば深まる程、微視化すればする程、物質中の微量成分の働きの重要性が注目されて来ている訳である。化学分析の対象物の微量化については、2つの異なった考え方がある。一つは出来るだけ微量の試料で分析出来るようにすることであり、もう一つは試料中に存在する微量化学種の分析可能含有量下限を出来るだけ下げるということである。いずれにせよ目標の化学種からの信号の増強と個性化—特性化を行うことである。このためいろいろの物理試薬、化学試薬の開発の研究が進められて来ている。

### 2.1 物理試薬反応

まず固体試料中の超微量元素を出来るだけ化学的予備操作なく分析することを考えるのは当然である。例えば、現在の物理試薬の中で注目されているのは、電子は別にして、イオン、レーザーおよびシンクロトロン放射(SOR)ではなかろうか。このうちレーザーとSORは光試薬に属する。電子は古くから利用されているが、

これは単に反応試薬としての役割を務めているばかりでなく、物質内での物理反応、化学反応の実際の行動者-立役者-として幅広く活躍をしている。(筆者は、これらの電子の活動すなわち電子励起(遷移)、電子放射、電子移動、電子散乱等の挙動を通して得られる化学分析方法論を電子分析化学的方法論と分類している。)

イオンを反応試薬として用いる分析法は長い歴史をもっているが、高度に進歩した電子工学や精密機械工作技術を背景にイオン分光学は著しい発展を遂げてきた。各種元素分析においても各種有機分子、特に生体高分子などの分析には質量分析はなくてはならないものとなりつつある。しかし超微量化学種の分析のためには方法論の改善がまだまだ必要とされている。例えば2次イオン質量分析(SIMS)においては入射イオンによって放出される元素のイオン化効率の向上を考えなければならぬ。このためレーザーの利用をもつと多角的に進める等のことが考えられている。レーザー光の発生波長の種類の増加や強度の増大によって蛍光反応やラマン散乱光などは、微量化学種の分析に極めて有効に作用して、ますます利用が増加してきている。そして多光子励起や多光子イオン化の諸反応も化学分析の反応としての地位を着実にのばしている。例えば最近、共鳴イオン化法と原子吸光法における試料加熱法を組み合わせる重金属元素の $10^{10}$ ~ $10^{12}$ 個の原子数という超微量の分析の実用化への研究が試みられている。レーザーアブレーション、レーザー光熱反応、レーザーブレイクダウン反応<sup>3)</sup>など色々な反応が利用されるようになったが、特にレーザーのもたらす非線形効果はこれからも化学分析の反応として注目されていくことであろう。自由に波長選択の可能なレーザー発生源の出現が現実化すればこの方向の反応はまさに21世紀につながる課題の中の一つであろう。

シンクロトロン放射の有効性は今さら説くまでもないが問題はまだまだその利用に時間的にも空間的にも制限があることである。早くこれが開放されればより身近な反応試薬となって蛍光X線分析をはじめいろいろと利用されることは間違いない。特に蛍光X線分析では微小点分析、3次元分析や生体等の試料-in site(その場)分析等、沢山の可能性を含んでいる。蛍光X線分析は非破壊多元素同時分析法としての典型的な分析法であるが、この応用で我が国で生まれた測定法の全反射蛍光X線分析法は平滑試料台表面上におかれた元素の $10^9$ 個までもが定量可能な状態に到っている<sup>3)</sup>。ナノオーダーの多元素の同時分析の新しい可能性が生まれたわけである。この他励起状態からの無放射遷移にもとづく放熱反応など、多様な物理反応、物理試薬の出現の中でこのような従来の方法論の見直しによる微量化へと進む温故知新型の研究開発がこれからの方向の一つのあり方であろう。それは一つは試薬自体の改善、選別法の発達、感知能力の増強など種々の技術の進歩によるためであり、もう一つは方法論自体を発想を変えて見直すことによる。多元素同時分析、固体試料の直接分析、2次元、3次元の非破壊分析等を目指す研究がなされている。この場合多角な物理試薬のもっている可能性のうちどの性格によって目標化学種と反応

させるか、どのような反応を化学種内で起こさせるか、その結果の反応生成物をどう捕らえるか、その serendipity が化学分析の微量化に挑む反応分析化学の立場からの研究課題の一方向である。この点においては物理学や物理化学の分野に負うところが多い。われわれは絶えずそれらの学問からいろいろのことをまなびとり、化学分析という立場から反応を選び出すことを怠るわけにはいかない。

## 2.2 化学試薬反応

化学試薬を用いる反応では分析の対象試料の処理から始まる。したがって試薬からの汚染防止は微量化への前提であることは言うまでもない。地味な、学問以前のことかも知れないが化学分析を行う者にとって何よりも大切なことであろう。

さて、化学反応によって個々の化学種は変換あるいは修飾されることによってそれぞれより性格の異なった状態となり、相互の質量分離の機会を増大したり、物理反応の選択性や反応確率を増大するようになる。これによって極微量化学種の存在を強調するようになる。

化学試薬においても蛍光試薬、吸光試薬、化学発光試薬、触媒反応試薬等合成分析化学の分野でいろいろと新しい反応試薬が研究開発されている。例えばもう古い話になるが芳香族を含むポリアミノカルボン酸はカルシウムイオンの蛍光試薬として画期的な役割を果たしており<sup>4)</sup>、またリチウムの試薬として特異的な反応をするものも合成されている。

シリコンウェハーの表面の元素分析にフッ酸を気化させて反応させて正確な定量分析をする方法や、BaTiO<sub>3</sub> 中の BaTiO<sub>4</sub> の超微量分析を酢酸に対する溶解速度の差から定量する等、物理反応で手の届かないところに化学反応の手は有効に働く。超微量のアルミニウムは臨床医学の立場から非常に重要視されてきているが、現在の物理試薬では ppb 単位のアルミニウムの分析は難しい。アゾ色素系化合物のアルミニウムの錯体のイオン対生成反応を利用して目視法で計測する化学分析法が提案されている。この場合は、人間の目による選別が最適の知能化した分析システムであるという<sup>5)</sup>。このような光吸収反応や蛍光反応の測定には光ファイバー光学系を用いる方法が実用化に入ってきている。これは微量化の他、微小点化にも有効であり、さらにエバネッセント波を利用することによって微視化に進むことが出来る<sup>6)</sup>。

化学試薬の固定化はその化学反応に加えて分子の集合体として、あるいは固体としての物理的活性機能を発想する機会をつくる。各種のセンサは化学試薬のエネルギー分離機能（識別機能）を強化したもので、クロマトグラフィーの充填剤は化学試薬の質量分離機能を集積化したものである。個々の試薬分子の集合体の相加的性質の他に末端官能基の性質が変化したり、固定化によって固体特有の連続体としての物性

機能が発現し、新しい化学試薬の反応場が形成される。いいかえると固定化から化学試薬の変身が期待出来る。筆者は12-モリブドリン酸を固定化して水素イオンセンサーに変身させたことがある。化学試薬の固定化にはたくさんの宝物が隠されている。

### 2.3 生物試薬反応

生体機能は現在の化学種で到達出来ないハイブリッドの集積機能を持っている。いいかえるといくつかの化学種の機能を複合化した形の感受性を有し、またあるものはそれらの協同効果を発揮している。例えばハワイ大学の Rechnitz 教授はハワイ産のカニの髭からアミン化学センサを組み立てている。これによると $10^{-12}$ モル濃度のトリメチルアミノキッドが抽出できるという。この他パイナップルの芯からアルコールや過酸化水素センサーを考案している。

本年度（1992年）のピッツバーグ分析化学会議で糖蛋白やオリゴ糖等糖鎖工業に関連した分析化学的研究が注目されたという。糖蛋白類の生化学的機能解析に関するものや、糖鎖の糖配列様式分析に関するもの等の発表が行われたようである。後者については日米共同の新しい化学反応を利用した方法論が展開されているという。これはむしろ後で述べる微視化と深い関係があることである<sup>7)</sup>。

ng から pg への超微量化を目指す場合、これから化学試薬が活躍するもう一つの場合は濃縮反応場である。液体試料において分析種を収集する場合は勿論の事である。環境分析において水中の有機性炭素の濃縮が分析のネックになっているという。物理反応分析でしばしば経験するのはいわゆるマトリックスの干渉である。それは単に信号が重なるといった相加的な効果ばかりでなく、エネルギーの励起や吸収などの相乗的効果が大きく作用することが考えられる。前濃縮や前質量分離は微量化の道をつくるにどうしても必要となる過程である。水酸化インジウム、ジルコニウム、二酸化マンガン等が共沈用によく用いられたが、界面活性試薬の利用は液の分離濃縮に非常に有効であると東北大学の四ツ柳教授からうかがっている。これによってアルミニウムイオンの $10^{-15}$ モルレベルを濃縮している。固体のマトリックス分離法のもう一つの方法として考えられるのは高濃度の主成分を揮散法で除去する方法であろう。これも温故知新の部に入る話ではあるが。

## 3. 微視化について

最近外国の分析化学専門誌の中に、大気中の炭素成分含有物中で遊離単体炭素を分けて定量し、その構造等に分類すべきであるという提案が出ている。いずれラジ

カル濃度も分析するようになるかも知れない。こうなると携帯用の高性能ラマン分光計や ESR 分析器がもっと有用になることであろう。希土類磁石を用いた ESR 装置などが日常の化学分析の分野にも登場してこよう。

微視化ということはよりきめ細かく、詳しくということであるが、その中味は多種多様である。化学分析の微視化というのは物質中の元素や分子種の種類や量を分析するのに止まらず、それらの存在状態をも明らかにすることではなかろうか。あるいは逆に存在状態の違いによってそれぞれの化学種をさらに詳しく特性づけて分けることではなかろうか。

物質の組成を分析しただけでは不十分で、分子種単位から分子集合体あるいは晶質の違いで分ける努力がなされており、逆に元素も同位体に分けたり化合状態で区別しようとしている。分子種では官能基の種類やその構造的配置、あるいは電子状態などを分析することによって化学種の機能性を特徴づけ、個性を明らかにすることが出来る。単にこのような化学種自身の内部状態(事情)だけでなく、巨視的な実空間の中での占有位置の分析、いかえると、いわゆる局所的分析も状態分析の一つである。そして局所分析の一つが表面分析といわれたり、あるいは微小点分析と呼ばれたりしているものである。

現代の化学分析の特長は、超微量化学種の検知、定量の方向に限りない行進をつづけながらも、他方ですべての点で微視化へのベクトルが向いていっていることであろう。そして、物理試薬や化学試薬の選択も、またそれらによって起こる反応についても、その反応生成物—すなわち信号のとり方にも新しい感覚、意識で動いているのではなかろうか。

核磁気共鳴吸収分析や赤外線吸収分析、ラマン散乱分光、そして各種の X 線分析法や電子分光法は元素や分子種の同定、定量ばかりでなく、さらに電子状態や構造の差異を明らかにし、分離する分析法として活躍している。その物理的反応の試薬を発生する励起起源や反応生成物から出る信号抽出の方法論の選び方の発展によって分析の微視化と微量化が同時に進んでいるのが実状である。微視化には化学分離—質量分離—も当然活躍しており、分離反応の選び方、化学試薬の選び方、さらに反応場の選び方そのものが微視的であるが故に異性体や立体構造の違い、あるいは分子間の弱い相互作用の差で化学種を分離することが出来、これによって分かれた化学種の状態別分離が行われていることになる。

時代は自ら微視的化学分析の時代に移って来ている。

分析の微視化のために新しい現象—反応を求めることも絶えず行われながらも、これからは既存の事象を見直しその中に隠されていたものを新しい技術の導入によって見出し、そこから新しい方法論が生まれてくるのではないだろうか。要はわれわれ自身の意識の微視化である。

不活性ガス融解法による金属中の非金属元素の分析でも連続昇温測定法によって



表面酸化層や、非金属化合物の示差分析を可能にし、化学結合に関する状態の分析が可能となるであろう。これは熱分解ガスクロマトグラフィーや昇温脱離表面分析法と同様に元素あるいは分子種についての微視的分析法として生まれ変わるに違いない。

〈分析種〉	〈微視量単位〉	〈微視対象〉	〈化学分析〉
元素	unit 1	組成 { 種 量	元素分析, 分子分析
分子	mili 10 <sup>-3</sup>		集合体分析
官能基	micro 10 <sup>-6</sup>	状態 { 形, 大きさ 構造, 色	晶形体分析, 構造分析
元素集合体	nano 10 <sup>-9</sup>		電子状態分析 (現場分析)
分子集合体	pico 10 <sup>-12</sup>	占有場 { 空間的 時間的	局所分析 (1次元(点))
	femto 10 <sup>-15</sup>		(2次元(表面))
	etto 10 <sup>-18</sup>		(3次元)
	zepto 10 <sup>-21</sup>		時間分解分析
			反応中間体分析

微視的化学分析の内容

元素や分子種の実験の目的で行った方法論も得られる情報解析の仕方によって、性質の異なる微視的な方法をもったものとなってくる。微視化のために他の学問分野にかかわるような理論的背景が必要になるならば、その理解に努力し、微視的化学分析の立場に立って有用な部分を変換していく能力を備えなければならない。X線は、SORをはじめこの物理試薬の発生を強化する技術の発達もあって、いろいろの化学分析の方法論を生み出しており、古くから利用されているがこれからもいろいろと活躍する分析試薬の一つであろう。

このX線を用いて筆者は溶存金属イオン水和状態の分析を試みたことがある。すなわち金属イオンによるX線吸収の微細構造を解析することによって金属イオンを囲む、最近接水分子の分析を試みた。その結果、いくつかの金属イオンについては明確な解析結果を得ることが出来たが、別な金属イオンでは定量的な知見が得られなかった。物理化学的立場からは水和構造のゆらぎが大きいためと説明がついて済むことかも知れないが、未知の物質の分析をする化学分析をする立場からは理由が分っただけでは不十分で、出来るだけ広く分析が可能となるように新しく修正された方法論を究めていかねばならない。この問題の解決には分析化学を越えた研究が必要であろう。このような場合こそ、学域を越えて解決に努力するのが分析化学者の態度であろう。

表面や界面は物体の相の極限の場の一つである。表面あるいは界面に局在している化学種に関する知識はそれらの極限の場における物体の機能性を知る上で有用である。

表面の分析には古くはエレクトログラフィーやサルファプリントに見られるような化学分析も行われていたが、現代では衆知のように電磁波および荷電粒子をプローブ、すなわち試薬として用いる物理反応が著しく発達している。特に元素分析の方法論は著しく、しかも多様に発展して来た。ここでもこれから微視化が進むことであろう。ペニングイオン化電子分光法は表面第一層の分子を分析しその電子の配向分布を教えてくれる<sup>8)</sup>。そこから表面分子核種の配向も推定される方法である。質量分析法も固体表面分子種の分析への利用がのびている。赤外反射やラマン散乱分析による表面状態分析も装置の改善とあわせて実用化してくるであろう。X線光電子分光も直径 $2\mu\text{m}$ ~ $5\mu\text{m}$ の小面積測定が出来るようになり微視化の方向へ次々に脱皮しているのが現状である<sup>9)</sup>。微視化の極限とも言えるべき走査形トンネル電子顕微鏡や原子間力顕微鏡は、表面原子像の解析に画期的な方法論として出現したが、また他のいろいろの分野に方法論的な面で刺激を与えている。電子トンネル電子電流の解析によって仕事関数やいろいろの因子がより微視的に解明され、さらに新しいトンネル電子分光分析法を生むであろうと期待されている。現に仕事関数分析も微視化分析の新しい手法として登場して来ている。そこで筆者が以前研究した非弾性電子トンネル分光法<sup>10)</sup>との組み合わせで分子振動を得る極微量状態分析の方法論を組み立てることが出来ないかと密かに考えている。

界面における第一層の分子種の状態分析に非線形分光光学が応用されて来ている。この方法には第2高調波分析および和周波数分析といわれるレーザー光を用いる方法がある。強力で波長を連続的に変化出来るレーザー光が得られれば、界面の第一化学層の動的挙動も分析することが出来よう<sup>11)</sup>。その意味において自由電子レーザーは次世代につながる大いに期待することの出来る物理試薬といえよう。

## 4. システム化について

物質を分ける手段として我々はエネルギー分離と質量分離の2つの道があるが、化学反応によって化学修飾したり、化学変換を行った上で物理反応を試みても分けることが不十分あるいは困難な場合には、質量分離によって化学種を任意の単位に分別し孤立化させる。これはまた純粋な化学種単品を手に入れるという自然科学の究極の望みの一つにつながる。ここでの分ける行為は技術的な響が強いが、物と物、化学種と化学種の間にあるいろいろの相互作用を断ちきって分かれさせるにはその相互作用を理解していなければならない。ここでは微量化、微視化で得たいろいろの知識や技術が、そして他の学問分野の知識の相加的、相乗的集積化が行われ、プロセスシステムが組立てられなければならない。ここでは同種の化学種同士の相互作用が同居している他種のものとの相互作用より強くなるような場をつくったり、化学種

の通り道をより魅力的な場を設定して、それぞれの化学種との相互作用に差をつける等の工夫が極めて微視的に行わなければならない。また化学種の一つ一つをもらさず見つけ、これを数えることの出来る能力を持ったエネルギー分離試薬を用意する必要がある。(これから質量分離とエネルギー分離の複合化システムがますます発展していく方向である。)

場の設定には化学種の存在する場の化学環境因子(溶媒相)や通路の化学環境因子(固定化化学相)等に加え、種々の物理環境因子(熱、遠心力、重力、電場、磁場、圧力場等)を選択しこれらの協同効果の新しい様式を発見していき、分析法の複合化を深めていく未来構想を画いても間違いはなかろう。つい、最近クロマトグラフィーの固定化化学相に酸化チタンが登場して活躍し始めている<sup>12)</sup>。蒸着法による無機機能膜の合成が発達しているがエネルギー分離試薬の合成の立場からも注目に値する。既存の分離システムとして臨界状態化学環境場や分子径細孔管場などこれらも微量化、微視化、微細化システムの場合での応用が広がっていくことだろう。

複合化は実分析の場では化学分析の自動化、実験室のロボット化を進め化学計測システムのオンライン化、プロセス化を促進させるようになるであろう。そしてここに微細加工技術の導入・応用によって装置システム自体の微小化が促進されることになるだろう。

## 5. 知能化について

極微量元素分析、分子分析から微視的分析へと分析のナノ秒化は物質のナノ化から情報のナノ化へと進んできている。物質信号の内容をより高度に解析するためにフーリエ変換や相関分析、フラクタル解析などのデータ処理技術が導入され、これによって今まで見捨てられていた信号のもっていた内容が生きかえり、新しい分析の方法論が生みだされた例は少なくない。パターン認識や最大エントロピー法の情報処理は信号をより微視化している。構造解析や電子状態解析は常に理論との対話が必要である。

そしてこれからエネルギー分析、質量分析の結果蓄積されたデータを背景に与えられた分析試料、分析の対象に応じて分析法を設計し、実験条件を組立てるシステム、そして又得られた信号を処理し最終的に判断の機能をもついわゆるエキスパートシステム構築が進むことであろう。

さらにインテリジェントシステム(ニューロコンピューター)のように新しい問題に取り組んで自己回復・自己組織的に全く新しい分析の方法論を、組立てながら解析を行っていくシステムの構築へと化学分析の知能化は次世代へと継承されて次第に土台のしつかりした多機能のものへと成長していくことを望んで止まない。

## 6. おわりに

表題の副題として「ナノ秒時代に向けて」とつけたが、化学分析の分野ではナノレベルの化学種の分析は次第に常識化して来ているので、今さらと思われる方もあ  
るであろう。しかし未だ我々はミリ、マイクロの世界からナノを特別視していないだ  
ろうか、ナノの世界というのは周囲がすべてナノオーダーであって、それが常識一  
普通の世界ということである。そこではナノ $\times 10^{-3}$ ~ $10^{-6}$ といった処への探求が行わ  
れるのではないだろうか、微量化についても、微視化についても。そのときあの“ミ  
クロの決死隊”は“ナノの決死隊”いやそれより小さい名をつけて物質の中を駆け  
めぐるようになることであろう。

### 参考文献

- 1) 菅 宏, “自然のしくみ—化学の眼” 大阪大学理学部化学教室教育研究会編, 化学同人(1987)254
- 2) T.Kitamori et al., Jpn. Appl. Phys., 28, 1195-1198 (1988)
- 3) T.Taniguchi et al., Appl. X-ray Anal. 39th Internatl. Denver Conf. (1990)39
- 4) R.Y. Tsien, Biochem., 19, 2396 (1992)
- 5) E.Kaneko, H. Tanno and T. Yotsuyanagi; Mikrochim. Acta (1988) III, 333-340
- 6) C. Pirand, E. Maranie, G. Wylangrowski, J. Wilkinson, K. ÓDwyer, D.J. Schiffrin, Anal. Chem. 64, 651 (1992)
- 7) Chemical and Engineering News, March 23, 37 (1992)
- 8) 原田義也, 大野公一, 化学の領域, 37, 85 (1983)
- 9) P. Coxon, S. Krizek, M. Humpherson, I.R.M. Wadell; J. Electron Spectr. and Rel. Phen. 52, 821 (1990)
- 10) H. Monjushiro, K. Murata, S. Ikeda, Bull. Chem. Soc. Jpn., 58, 957 (1985)
- 11) 小谷, 表面科学, 10, 901 (1989)
- 12) M. Kawahara, H. Nakamura, T. Nakajima; Anal. Sci. 5, 485 (1989)

---

### Strategies to Enhance Micro Fine Serendipity of Chemical Analysis — Aiming at the Nano-Age —

Modern concept of chemical analysis of materials is described in terms of energy separation and mass separation, under the auspice of various kinds of physical reagents and chemical reagents. And strategies for solving problems of the way to the ultra-micro and fine characteristic chemical analysis are discussed, for the coming age of nano science and technology.

---



