分析機器の最新科学解析技術への応用展開

Application of Analytical Equipment to Recent Scientific Fields in Order to Avoid Human Disaster

能美 隆^{a)}・前川麻弥^{*a)}・故波多野博行^{b)}

Takashi NOHMI, Maya MAEKAWA, and (the late) Hiroyuki HATANO

(Received September 28, 1999; Accepted October 19, 1999)

Recently, distribution map of poisonous chemicals from combustion process fires into troposphere has been analyzed. Air and ground pollution is monitored at the area by sampling. The concentration of the contaminated matter is detected and the environmental pollution problems come to the surface. It is necessary to measure the concentration of contaminant continuously, explore the origin of pollution, stop the diffusion of pollution, separate the pollution from residential area and treat the contaminated matter to detoxify. This report introduces Spectro Telescopy, Mass Spectrometry, and Electron Spin Resonance Spectroscopy to monitor the trace contaminated matter in the troposphere.

燃焼により生じる有害物質の大気への飛散状況は、近年になって精度よく計測できるようになってきた。汚染の進んだ場所では、サンプリング計測により、汚染状態が把握され、ゴミ焼却場などでは問題が表面化してきた。今後はこういった汚染物質をリアルタイムに計測し、汚染発生源を突き止め抑制処置を行うとともに、生体に対する影響を見極めて生体から遠ざけたり、無害化などの処理を行うことが必要であろう。本報では、分光分析計、質量分析計、電子スピン共鳴分光法を用いた環境中に存在する微量有害物質の計測の可能性を紹介する。

1. はじめに

1997年10月にインドネシアで起こった森林火災はマレーシアやシンガポールなどの東南アジア一帯に広がった。深刻な煙害は航空機事故をひき起こし、火元から遠く離れた都市部にまで煙害による呼吸困難を訴える人が続出し、大気汚染は重大な問題となった。さらに、森林火災が広範囲に及んだことで、多量のエネルギーと二酸化炭素の排出が地球温暖化に深刻な影響を与えたと考えられる。火災がひき起こす環境汚染が最も端的に現れた例である。

一般的に‘災害’とは、上述のような火災や地震、津波、洪水、台風などを指す。

しかし、災害を広義に解釈して、“生命が存在する空間において生命の存在条件にとって望ましくない環境変化”と

考えるならば、上述の火災は鎮火はされたが、排出された燃焼ガスにより今後の環境への影響（二酸化炭素による温暖化を含む）は深刻であり、今なお災害は進行中であると解釈される。

自然と社会より形成される人類の存在空間の中で、生命の存続条件にとって好ましくない環境変化を事前に察知し、センサ技術と解析手段を駆使してより早く危険因子を検知し、未然に拡散を防ぐことが今後の大きな課題であろう。

2. 地球環境中における防災

人工衛星を使った宇宙規模の情報が得られるようになってきた今日、世界の災害に関する情報が日常的に入手できる。例えば、ペルーを含む中南米諸国ではハリケーンや干ばつなどの被害が深刻化している記事が、日本においてもタイムラグなく大きく報道された¹⁾。原因は、海水温の異常な上昇による「エルニーニョ現象」が今世紀最大規模に発達し、異常気象を生じさせたからである。これは、エネルギーを浪費して二酸化炭素を垂れ流したため、温暖化を止められない人類への地球号からの危険信号のメッセージであるかもしれない。例えば、フロンを冷媒として使用し、安易に大気中へ放出したため、オゾンホールが生じた。このことは地上の紫外線量の増大を招き、人体を含めた生態系への影響が問題視されている。

一方、難燃化材料を作るために、安易に塩素・臭素などのハロゲンを高分子材料（例えば塩化ビニル）や木材に導入した。これは焼却すると安定中間体である有毒なダイオキシン類を生成し、大気や土壌の汚染を招いている。いずれの問題も、人類が長期的視野に立った真の意味の防災を必ずしも考慮してこなかったために生じたものである。今後は地球とともにあらゆる生命が共存できる道を模索し続けなくてはならない。

^{*a)} 能美防災(株)研究所 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿 3-14-4)

NOHMI BOSAI LTD., Research Laboratory (3-14-4 Nishi-shinjuku, Shinjuku, Tokyo 160-0023, Japan)

^{b)} 京都大学名誉教授

Professor of Chemistry Emeritus, Kyoto University

体質研究会国際解析研究所所長

Director, International Institute of Technological Analysis Health Research Foundation

地球大気の大気圏は地上約 10 km であり、地球をリングに例えるならば大気圏の厚さは皮の薄さである。大気は極めて限られた量しか存在しない。この大気中で異常な燃焼や火災など、人間が制御できない酸化反応を起こせば、二酸化炭素とともに、人体に有毒な燃焼中間体が許容値を超えて排出され、火災の鎮火後も長期間にわたり毒物が、近隣の生命体を蝕み続ける。最近、ゴミ焼却場から排出されるダイオキシン類が問題となっているが、火災によって生ずるダイオキシン類も注目に値する。すなわち電線の被覆をはじめ、建築材料として膨大な量の有機塩素系材料が生産され、この有機塩素系材料が燃焼するとダイオキシン類を生成するからである。日本ではまだ警戒感が薄く、対策もたて始められたところで、鎮火後の火災現場の残骸は周辺のゴミ捨て場に一般ゴミとともに捨てられているのが現状である。ヨーロッパでは火災を起こした建物は、鎮火と同時に立ち入りを禁止する。多量のダイオキシン類の発生が予想されるからである²⁾。

阪神大震災では、震災後、火災および倒壊による家屋廃材が野焼きされ、西宮・尼崎・宝塚市で 79,000 ton もの焼却灰が生成。その中に含まれるダイオキシン類量は最も毒性の強い、2,3,7,8-TCDD の量に換算した毒性等価換算濃度値で、PCDDs (塩素化ジベンゾパラジオキシン類) 899 g, PCDFs (塩素化ジベンゾフラン類) 2,460 g, Co-PCB (コプラナー PCB) 251 g と莫大な量に達していると推定される³⁾。

従来、火災を含む燃焼、酸化反応は、木材、石油をはじめとする炭化水素の燃焼により発生する。熱、二酸化炭素、水の中で、特に熱による災害を問題視してきた。しかし、これからは二酸化炭素の排出総量や有毒かつ安定な反応中間体の生成による災害の深刻さが着目されつつある。

NO_x と SO_x の市街地における有害濃度が測定され、規制対象となった。今後は、解析技術の進歩とともに、二酸化炭素による地球温暖化、煤、煙、ダイオキシン類、有機揮発性物質 (VOC)、ディーゼル排ガス中のピレン類などの地球と生命体に与える影響が 21 世紀に向けて検証され続けるであろう。これらの事実を最新の科学的解析技術により収集し、リアルタイムで人々に公表して、二次三次災害を避けることが今後の防災事業のあるべき姿であろう。さらに、汚染された環境が生み出す生体の疾患類は直接的にわれわれの幸福を脅かす災害である。病理学の分野に利用されている手法も使用可能であると考えて言及した。

本論文では筆者らが試行錯誤して開発に努めてきた微量物質の検出技術、煙以外の燃焼中間体解析技術のいくつかを紹介したい。

3. 大気のセンシング技術と解析手段

3.1 分光望遠鏡 (STS: Spectro Telescopy) による広域監視

現在の生活は自動車、エネルギーをはじめとして燃焼現象の上に成り立っている。身の回りからプラスチック類をなくすことが難しいように、生活を支えるための燃焼をな

くすることはできない。しかし、自動車の電池への転換に見られるように、個々の部分では、燃焼が起こらないようにして、発電所などのコントロール下の燃焼に置き換えることで汚染現象を軽減していく試みが進んでいる。

その対極にあるコントロール下でない燃焼現象である火災は有害な物質を無秩序に排出し、最も危険である。そして、火災も「かまどから火が燃え上がって茅葺き屋根の一軒家が消失した」といった目に見える火災から、21 世紀の火災は、不燃材料を使用した高層過密都市火災へと変化する。すなわち、不燃材に覆われた火災の初期は難燃材の高温化が進行し、炎も煙も排出されずにダクトの中や床下でケーブル類を伝わって静かに進行する。高温熱分解で生じた多量の BTX (ベンゼン、トルエン、キシレン) 類がダクト内、床下の密閉空間中に放出され、爆発下限界濃度に達すると一瞬にしてフラッシュオーバーをひき起こし、目に見える炎や煙が生じたときにはフロア全体もしくは建築物全体が炎の海で中にいる人間は避難のしようもない。こういった火災を避けるには、不燃材料の初期燃焼生成物、すなわち容易に燃焼しないものが高温で発する、反応性生成物を早期に感知するセンサが必要となる。

すでに、可視カメラはもとより、赤外線カメラによる熱源検出技術は知られているが、大気や煙中に存在する種々の化学種、特に、不燃化された材料の中から出る多環芳香族炭化水素、異節環状化合物、窒素酸化物、硫酸酸化物、ハロゲン化合物などの濃度を、STS を火の見やぐらに設置することにより観測できる。例えば、工場、空港、京都・奈良などの神社・仏閣の不審火の警戒、燃焼排気の監視、森林火災、廃棄物処理場、廃タイヤ、廃車処理場、一般ビルなどの環境中で行われる燃焼反応監視に STS を利用することは今後の課題であろう。火災などの制御されない燃焼では、火力発電所、自動車などの制御された燃焼と燃焼中間体や煙が異なり、ポリアセチレン、ポリオレフィンなどの二重、三重結合を有する多くの化合物が検出される⁴⁾。また、生成される安定な芳香族系化学種はこれ以上反応することがなく、三次元空間の濃度測定が可能である。

瀬戸内海沿岸の岩国空港、および、近隣港湾付近におい

Fig. 1. Concentration map of NO₂ by Spectro Telescopy around Iwakuni airport.

Fig. 2. Concentration map of SO_2 by Spectro Telescope around Iwakuni airport.

て、この分光望遠技術によって NO_2 , SO_2 を観測した例を Fig. 1, 2 に示す⁵⁾。この技術開発は中断されたままで、その後の進歩は公表されていない。

しかし、最近話題に上る、成層圏におけるオゾン層の破壊とか、大気中の二酸化炭素の増加に伴う気候の変化とか、あるいはゴミ焼却炉からダイオキシンや有毒物質の排出などの解析に利用でき、火災や燃焼に関する広域監視システムとしての応用が望まれる。

3.2 質量分析計

3.2.1 GC-MS, TG-MS (ガスクロマトグラフィー質量分析計, 示差熱天秤質量分析計) 人間が火災発見に至る三つの情報源は、1) 炎や煙が視覚によって発見されたものが54%、2) 焦げ臭いニオイが臭覚によって発見されたものが16%、3) 燃える音が聴覚によって発見されたものが14%である⁶⁾。火災により発生する熱や煙による火災検知は長い歴史をもち、市販されている感知器類の大半は温度を検出する熱感知器と煙による散乱光を検出する煙感知器である。火災検出技術研究の焦点はニオイや音による検出に集中している。一方、木材などによる熱分解物の研究は、古くからガスクロマトグラフィーを用いて行われ、特に、一酸化炭素、二酸化炭素、有毒ガスに関する研究は多い。しかし、ニオイと熱分解生成物の関係、極初期火災、いわゆる燻焼時特有のニオイが何であることを解明する研究は少ない⁷⁾。ここでいうニオイとは、元の高分子構造を残した微量の熱分解生成物を指す。そして、大気中に浮遊するこういった物質を定性・定量するには質量分析計は最適である。すべてに、東京消防庁ではGC-MSや携帯用マイクロガスクロマトグラフィーを使用して、建物内へ入る時の安全性検査を行っている。

その他、質量分析計は現場の物質をサンプリングして原因調査を行う用途には欠かせない分析機器の一つである。例えば出火原因の解明のために、灯油中にガソリンが混入していないか現場で暖房器に残された灯油を分析する。

また、最近は放火が急増している⁸⁾。放火犯人が衣類に出火源にある煤をつけているならば、犯人の衣類に付着した煤の分析は重要な証拠となる。火災原因を最新の解析技術

で測定し、煤の解析データを得る必要が生じてくる⁹⁾。

最近、フラーレンがサッカーボール型の3次元構造を形成していることが明らかになり、種々の3次元構造が見いだされた。かつて煤はグラファイト構造ということで完結していたが、さらに微細な構造体が解明され、燃える前の高分子の種類や状態によって煤の組成、構造が異なっていることが明らかにされつつある。特に、常温から400°C付近の高温で気相に存在する化学種を高性能ガスクロマトグラフィーで分離し、質量分析計に接続したGC-MSで解析する方法により多くの成果が得られている⁷⁾。Fig. 3はゴミの焼却炉から排出される飛沫灰中に存在するダイオキシンとジベンゾフランの異性体を解析した結果の一例である。これに比べてFig. 4に示すように、石炭を燃焼する機関車とかガス工場などから排出される飛沫灰中には猛毒といわれる四塩化物や五塩化物は極めて低い濃度であることがわかった¹⁰⁾。しかしFig. 5に示すように発癌性が強いといわれている多環芳香族炭化水素は極めて多種類の同族体や異性体が排出されている。燃焼や火災のようにいろいろな化学種を多く発生する場合、燃焼場所確定に極めて有効な方法である。

ダイオキシン異性体の組成分析による燃焼源の確定は興味深いテーマである。高分子不燃性材料の熱分解ガス測定では、測定機の試料流路中が均一な温度でないと正確な分

Fig. 3. Totals of the ion current in the SIM analyses of Machida sample #6 and Ontario flyash extracts by GC/MS/EISIM.

Fig. 4. Amount of PCDFs/PCDDs in coal ash from gas plant.

Fig. 5. Contents of PAHs in Chinese coal ash.

析が難しい。例えばコールドポイントがあるとトラップされ、ホットポイントがあると二次熱分解が生じる。ニオイと呼ばれる物質は希薄でかつ分子量が100~300程度なので従来の装置では分析が困難な物質の一つであった。しかし、近年、初期燻焼時に発生するニオイの研究では最新の測定機は、分子量100以上の分子が分析可能になってきた。こういった技術の蓄積を経て、煙感知器に代わる感度・精度の高いセンサとしての質量分析計の応用展開が望まれる。

3.2.2 IMS (気相電気泳動) IMSはイオン化部と分子のセパレーター部とイオンカウンターの三つの構造から構成され、質量分析計に近い構造と機能をもつ。

気相に存在する微量化学種を、放射性ニッケルのβ線を照射してイオン化したキャリアーガス分子イオンとイオン分子反応によって反応させ、生成するイオンを気相で電気泳動させて移動度の差によって分離する技術がIMSである。イオンカウンターとしてエレクトロメータを使用し高感度に検出可能で、脂肪酸や含窒素、含硫黄の異節環状、および鎖状化学種などの多くをフェムト(10^{-15})モル量で分離検出できる。窒素や硫黄を含有する異節環状有機化学種にはニオイを出す物質が多いので、火災発生初期の異臭を良く検知することができ化学センサへの応用も期待される。空港での麻薬検出、軍隊においては毒ガスの検出に使用され、木の香り成分を表面から吸引し成分の差を検出することで木材の種類はおろか産地を判別するなど、空気中の微量な物質の検出に使用実績がある。質量分析計と比較すると真空装置が不要で、コスト面や軽量化にもメリットがあるが、反面、クロマトグラフィーの宿命として、同定を行うには別の手法が必要である。

Fig. 6は米国航空宇宙局の委託により宇宙ロケットに搭載し微量物質の解析を行うために開発された装置で“プラズマクロマトグラフ”と呼ばれた。オウム真理教が使用したサリンガスやVXガスの分析にも最適であり、救援隊も毒ガス検知用にカナリアの籠をもって入るようなかわいそうなことはなくて済むであろう。この装置を用いてコリジン化合物をフェムト(10^{-15})モル量で分離分析した例をブランク(水溶液)の分析例とともにFig. 7に示した。

ガスクロマトグラフや超臨界流体クロマトグラフとこの装置を結合すれば、さらに高感度な測定が可能になる。

Fig. 6. Plasma chromatography.

Fig. 7. The intensity of collidine isomer by IMS. a: 0.5 nL/mL, 1 μL~pmol collidine; b: 0.5 pL/mL, 1 μL~pmol collidine; c: water 1 μL.

Fig. 8に超臨界流体クロマトグラフ・とIMS結合システムによる解析結果を示した。一方、質量分析計と結合すれば、微量分離分析装置としての役割を果たすことができ¹¹⁾、可能性はさらに広がる。

3.2.3 LC-MS (液体クロマトグラフィー質量分析計)/APCI-MS (大気圧化学イオン化質量分析計)/ESI-MS (エレクトロスプレーイオン化質量分析計)^{12), 13)} APCI-MS, ESI-MS法は最新の微量解析法である。特に、電子鼻としてニオイの分析が期待される。木材の初期燻焼時に発生するニオイ分析をした例ではセルロース分解物としてリボグルコサンを嗅ぎ分けた^{14), 15)}。Fig. 9, 10にESI-MSおよびAPCI-MSによるセルロース焦げ臭の分析結果を示す¹⁶⁾。

Fig. 8. Supercritical fluid chromatography of benzoate esters (70°C, 8.0 MPa).

Fig. 9. Mass spectrum of during smoldering cellulose at 350°C. ESI-MS instrument made by Yale Univ.

Fig. 10. Temperature dependency of m/z 163 peak from thermal decomposition product of cellulose (APCI-MS) UG-240.

これらの解析技術はいずれも米国で行われた人間遺伝子解析技術の研究により生みだされたものであり、今後の大気観測の技術として大変有用な方法であるばかりか、小型化、ポータブル化して、将来の火災検出法としての開発が待たれている。

3.3 フリーラジカルの測定

常磁性化学種 (Paramagnetic Species) とは不対電子が存在する化学種のことで、遊離基 (Free Radicals), 不対電子種 (Unpaired Electron Species), あるいはそのままフリーラジカルと呼ばれる。

大規模火災や多量の自動車排気ガスなど燃焼排ガス中には、多くの活性フリーラジカルが存在し¹⁷⁾、生体に害を与える。光化学スモッグが生じ、目が痛くなったり、気管支ぜんそくを生じることなど、フリーラジカルは光化学スモッグや放射線被曝のような災害にとどまらず、種々の病気の原因になっている¹⁸⁾。医療分野では、生体内でフリーラジカルの分布を検出し、フリーラジカルが原因となる病気の進行を防ぐ試みがなされている。しかしながら、生体内で生成するフリーラジカルは寿命が短く、その濃度が極めて低いことから、今までは検出が容易ではなかった。ここでは、フリーラジカルを検出するいくつかの最新解析技術を紹介する。

3.3.1 ESR (電子スピン (常磁性) 共鳴分光法の技術: Electron Spin Resonance Spectroscopy) フリーラジカルは、多くの化学反応の中間体として生成し、不対電子のスピン (旋回) に基づく磁性を示す。電子スピン共鳴分光法はフリーラジカルの観測・検出・測定に有用な解析技術である。Fig. 11 は大気中に浮遊する粉塵中に観測されるフリーラジカルの ESR スペクトルである¹⁹⁾。Fig. 12, 13 は光化学スモッグが発生する直前に ESR スペクトルの吸収強度が異常に増大することを、実際に、東京都板橋付近および大阪市内の光化学スモッグ被害の発生地区において観測解析した例である⁵⁾。この解析技術を利用して常時観測を行い、フリーラジカルの発生を示す ESR スペクト

Fig. 11. The intensity of free radical in the air dust by ESR spectroscopy.

Fig. 12. The intensity of ESR signal during photochemical smog. Signal intensity was increased just before the photochemical smog.

Fig. 13. The intensity of signal during photochemical smog. A: Intensity of ESR, B: Intensity of oxidant, C: Quantity of air dust (①: 7:00~10:00, ②: 10:00~13:00, ③: 13:00~16:00, ④: 16:00~19:00).

るを Fig. 11~14 に示した。フリーラジカル強度が異常に増大した時点で警報を発することができるならば、光化学スモッグ災害の防止技術となりうるであろう¹⁹⁾。

石油中には常磁性金属バナジウムが含有され、燃焼で比較的安定なフリーラジカルとなり、大気中に粉塵として浮遊する。従って Fig. 14 に示したようにバナジウムの ESR

—; PARTICULATE MATTER at -196°C
; VANADIUM

Fig. 14. The intensity of paramagnetic metal vanadium in air dust driven from the combustion of petroleum.

スペクトルをフリーラジカルとして観測し検出することで、石油燃焼を検出できる。

3.3.2 ST-RC/ESR (スピントラップラジカルクロマト電子スピン共鳴分光法の解析技術: Spin-Trap Radical Chromato ESR Spectrometry) 生体内や光化学反応で生成するフリーラジカルは寿命が短く、またその濃度が極めて低いので観測・検出・測定は難しい。筆者らによりスピントラップ法を用いて、不安定なフリーラジカルが生成するや否や直ちにスピントラップ剤でトラップして、安定なスピニアダクトに変え、これを高速液体クロマトグラフィーで分離して ESR で測定するシステムが開発された^{20), 21)}。この方法は液相における短寿命のフリーラジカルの解析に用いられ、水溶液中で放射線の照射により生成するアミノ酸、ペプチド、およびヌクレオチドなどの生体高分子のフリーラジカル、電極面に生成する酸化還元中間体フリーラジカル、超音波照射により生成するフリーラジカル、酵素反応の中間に生成する基質のフリーラジカルなど数多くの短寿命フリーラジカルの解析に成果が得られている²²⁾。しかし、気相ではいまだそれほど多くの成果が上がっていない。光化学スモッグにしても放射線被爆にしても防災の立場から見て重要な技術となりうるものと思われる。

活性酸素に代表されるフリーラジカルと生体の疾病は、癌・老化に密接な関係があるのではないかと議論されている。環境中と生体内のフリーラジカルの関係の解明が待たれる分野である。

3.3.3 ESRI (電子スピン共鳴画像診断技術: Electron Spin Resonance Imaging) 磁気共鳴分光法には原子核とラジオ波(周波数約 1 MHz~1 GHz; 10^{-6} ~ 10^{-9} eV) のエネルギーの共鳴吸収を対象とする NMR (核磁気共鳴分光法: Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy) と、電子とマイクロ波(周波数約 1 MHz~1 GHz; 10^{-3} ~ 10^{-6} eV) のエネルギーの共鳴吸収を対象とする前述の ESR とがある。[EPR (常磁性共鳴分光法: Electron Paramagnetic Resonance Spectroscopy) は ESR と同義に使われる。]

原子核種の画像化は MRI (Magnetic Resonance Imaging) としてすでに臨床診断技術となっているが、ESRI はいまだ診断技術として臨床に用いられるまでに至っていない。

い。

しかしながら、ESRIによりフリーラジカルの生体内での生成が画像化する技術が確立されるならば、炎症や発癌などさまざまな病理過程におけるフリーラジカルの検証が一目で可能となり、病気という大きな災害の早期診断解析技術となりうるものである。

このような最先端技術を導入すれば、大気中のフリーラジカル濃度分布がリアルタイムで検出可能となり、発生源調査が可能となる。フリーラジカル解析技術は21世紀の環境防災技術としての可能性を秘めている。

4. おわりに

本報においては、地球環境を認識することからスタートして、現状の環境災害を通して人類が被るすべての災害を考え直し、防災の本質を見直した結果、リアルタイムな情報収集と最新科学解析技術を駆使した高精度、客観的で理解しやすい情報の提供が人類の存続・発展に欠くことのできない要素であるとの結論に到達した。そして三つの最先端解析技術を紹介した。

これらの技術は、今は亡き波多野博行先生とご一緒にまとめた内容を包括した。波多野先生は1998年の1月25日73歳の若さで逝去された。先生が病床につかれる直前まで21世紀の災害について先生と議論し、クロマトグラフィーの世界と質量分析の世界との橋渡しを模索した。今まで、目で見えなかった事柄が見えるようにと、努力してきた結果を少しでも後世に伝えようと本稿に及んだ。

波多野先生の温かい、そして茶目っ気を含まれた笑顔が偲ばれる。波多野先生は大気環境中の高分子化合物、ゴミ焼却場におけるダイオキシン類の研究にいち早く着目し手掛けられていたが、当時は分析を行うに当たり多くの苦勞が伴ったことと推察される。

分析手法に関する苦勞はもとより、ゴミ焼却場からのサンプリング許可がなかなか得られなかった。また、折角、「排出ガスの状況を把握したい」という真摯な自治体の協力で測定検証を行い、「こんなに低い濃度に低減されている安全な焼却場です」という発表を行っても、「また、出たダイオキシン」などの見出で面白おかしくマスコミを通じて事実と異なる発表をされてしまい、関係者の方々に迷惑をかけてしまった。また、ダイオキシン関連の調査を行うことに対して嫌がらせの数々が相次ぎ、手紙、電話、尾行、最後にはカタギではなさそうな方々からの「娘さんがかわいくないのか」などの電話で発表をあきらめざるをえな

かった。そんな御苦勞の数々を静かな語り口で訥々とお話しいただいた。

環境関連の発表がもてはやされている今日の状態を見ると、隔世の感を覚えるが、こういった先駆者の方々の努力の上に成り立っていることを忘れてはならない。

文 献

- 1) 長山淳哉, “ダイオキシン汚染列島日本への警告”, かんき出版(1997).
- 2) 宮田秀明, フェルマシア, 1, 33 (1997).
- 3) 読売新聞, 1997年10月26日, p. 1, 14版.
- 4) 堀内三郎, “建築火災朝倉建築工学講座10”, 朝倉書店(1972).
- 5) 波多野博行, 環境科学報告書, p. 201 (1979).
- 6) 卯之木十三, 安全工学, 25, 346 (1986).
- 7) M. Maekawa and T. Nohmi, *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.*, 461, 308 (1998).
- 8) 週間防災, 平成9年10月3日, 1422, p. 5 (1997).
- 9) M. Takatsu and T. Yamamoto, *J. Anal. Lett.*, 8, 205 (1975).
- 10) H. Hatano, H. Z. Sum, K. Miyaji, H. Gohda, K. P. Nairkwadi and F. W. Karasek, Environmental Information and Communication ECO-INFORM' 92, #28-Analysis, “New Analysis of Several Techniques for Environmental Analysis; MS of Aromatic and Heterocyclic Compounds; GC-MS of PAHs and PCDDs and PCDFs in Airborne Particulates from Coal-Burners on Photochemical Smogs and Irradiated Biomolecules, Bayreuth, Germany (1992), p. 20.
- 11) T. Nohmi, *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.*, 44, 105 (1996).
- 12) T. Nohmi and J. B. Fenn, *J. Am. Chem. Soc.*, 114, 3241 (1992).
- 13) J. B. Fenn, J. Rosell, T. Nohmi, S. Shen, and F. J. Banks, Jr., ACS Symposium Series 619, American Chemical Society (1995), Chapter. 3, p. 60.
- 14) 岡山義昭, 能美 隆, J. B. Fenn, 火災学会平成4年度研究発表会要旨, A22 (1992).
- 15) 前川麻弥, 能美 隆, 質量分析連合討論会講演要旨集 1-P-01, p. 38 (1994).
- 16) 能美 隆, 前川麻弥, 質量分析連合討論会講演要旨集 3-O-04, p. 192 (1996).
- 17) J. N. Bradley, “Flame and Combustion Phenomena”, 三共出版(1972).
- 18) 波多野博行, 原子力システムニュース, 3, 11 (1992).
- 19) 波多野博行, F. W. Karasek, 大気中の励起活性種の状態予知と環境システムへの導入研究報告, p. 189 (1975).
- 20) S. Rokushika, H. Taniguchi, and H. Hatano, *Anal. Lett.*, 8, 205 (1975).
- 21) 波多野博行, ぶんせき, 358 (1980).
- 22) 波多野博行, 化学の領域, 30, 612 (1976).

Keywords: Environmental, Spectroscopy, ESR, IMS, TG-MS