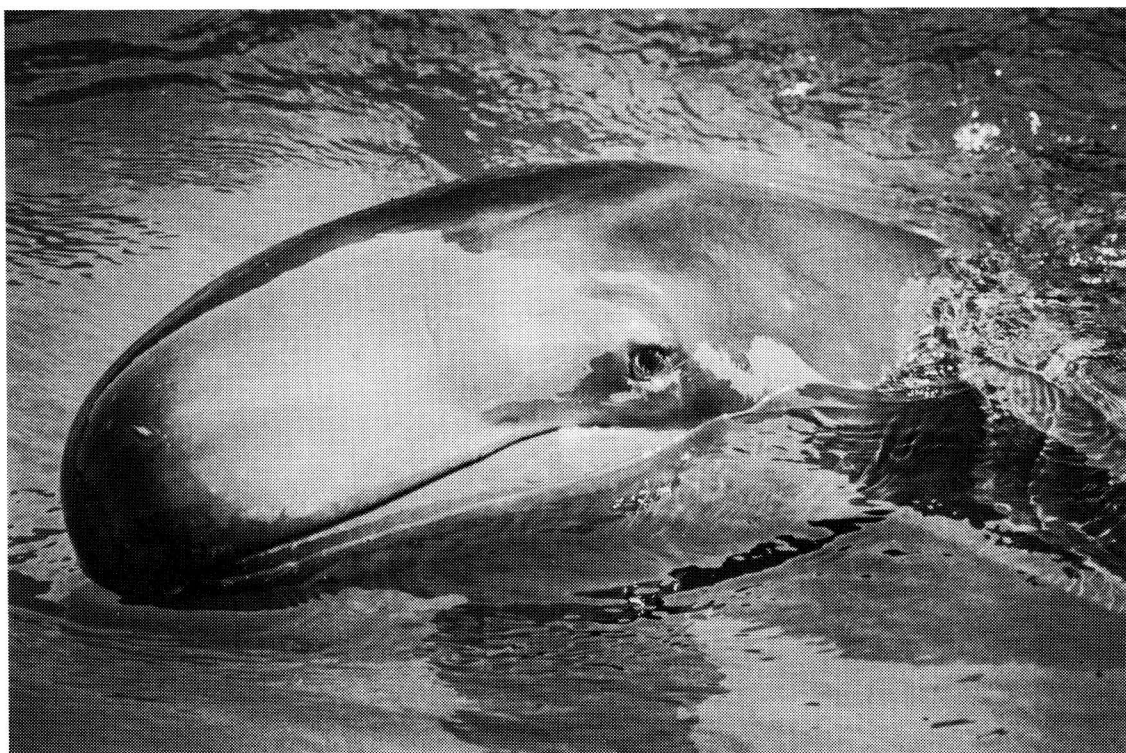


我々をめぐる環境

“地球はどうか？”



当研究所と国際純正応用化学連合、日本化学会、日本分析化学会の共催および（財）日産科学振興財団の後援により、京都で開かれた「環境分析と新センサー」国際シンポジウムのポストシンポジウムとして、1986年11月14日（金）東京第一生命ホールにて標題のパネルディスカッションが行なわれた。その内容の抄録をここに記載する。

開会の挨拶

奈良教育大学学長

藤永太一郎 氏

皆様、本日は、この“地球はどうなる”と題しましたパネルディスカッションにお集まりいただきありがとうございます。地球はどうなると申しましても、もちろん政治・経済の問題ではございませんで、科学の領域のシンポジウムでございます。しかし、環境の問題と言いますのは、単純に自然科学やその応用技術だけの問題ではございません。

御存知の様に、マルクス・エンゲルスは、100年以上も前に、この自由主義経済は行き詰まるであろうと予言いたしました。その時の唯物史的な論旨は、資本の収奪があり、貧富の差が拡大し、そして資源が枯渇するということによって、次第に社会主義化の世の中へ移ると言う事であったと思います。しかし、実は、科学者あるいは技術者が、大変な努力をいたしました結果、その様な徴候は、予言ほどには早く起こりませんで、我々は少なくとも、ある意味で豊かな自由主義経済を楽しんでいる訳でございます。

ところが一方、科学者がもたらしました福祉が、逆に自然を破壊し環境の悪化を顕在化させることになってまいりましたので、現在では、むしろ、政治・経済体制の如何を問わず、直接人類が生存の危機に直面している事態となつてまいりました。

その顕在化は、最初は皆様まだ御記憶にあります様に、水俣病とかイタイタイ病の様に、ローカルに現れておりました。この様な公害は現在で

もつい先日、スイスのバーゼルの製薬会社のミスによりライン川が汚染されました様に、まだ、残ってはおりますが、しかしむしろ、今我々が関心を持たなければならない問題は、グローバルなものではないかと思ひます。つまり、SO_xとかNO_xとかがもたらします酸性雨であるとか、あるいは、今日お話がありますカーボン粒子が、太陽から来るエネルギー量を変える問題、一方では、チェルノブイリの原発事故により放射能が、単にヨーロッパだけではなく、世界中に影響を与えております。

この様なグローバルな環境汚染が、いつの時点で、どの様な深刻な問題を起こすかにつきまして、ただぼんやり知覚だけに頼っている様ではいけないと言う時代になつてまいりましたので、その様な問題につきまして、それぞれの専門家から最新の知識を伺いたく企画いたしました訳でございます。

この講演会に先立ちまして、京都で3日間、学術的な議論を十分にいたしました。その時に代表的なお話をいただきました先生方に、本日ここでその集約したお話をしていただきたいと存じております。

本シンポジウムを開くにあたりまして、国際純正化学連合(IUPAC)、日本化学会(CS J)、日本分析化学会(JSAC)、朝日新聞社そして特に、日産科学財団の御協力を得まして実現したものでございます。一言、御礼を申し上げます。本日の御挨拶に変えさせていただきますと存じます。どうも、ありがとうございました。

パネリスト講演

「カーボン粒子 —新しい環境汚染物質—」

米国カリフォルニア大学
 スクリプス海洋研究所教授

E. D. Goldberg 氏

本日は、皆様に燃焼の歴史についてお話したいと存じます。

燃焼過程で生じる汚染物質は、現在我々にとって最も重要な環境問題の一つであります。

酸性雨の問題、炭酸ガスなどによる気温の上昇と気候変化の問題などは、すべてこの“燃焼過程”が原因となっているものであります。




燃焼は、御承知の様に、植物（野焼き）森林（山火事）石炭・石油など、自然界でも、すべての産業活動でも生じるものであります。

この様なすべての燃焼過程で生じるカーボン粒子の性質や濃度の変化を、海底や湖底の堆積物中で調べる事により、現在までの燃焼の歴史を解明することが可能です。

化学・物質的性質

カーボン粒子は、1) 石炭 2) 石油 3) 植

MICROSCOPIC SURFACE TEXTURE

	SMOOTH	ROUGH, IRREGULAR, PITTED or CELLULAR	ETCHED, CONVOLUTED, LAYERED
			
POROUS SPHERES	COAL	COAL	OIL
ELONGATE PRISMATIC	COAL WOOD	WOOD COAL	—
IRREGULAR FRAGMENTS	COAL WOOD	COAL WOOD	OIL

SHAPE

Fig. 1. Classification of black carbon particles according to their shapes and surface texture.

The shapes (vertical axis) are viewed under 1,000 x magnification and the surface textures (horizontal axis) are observed under 5,000 x magnification.

物などの燃焼過程で発生し、天然ガスの燃焼ではほとんど発生しません。また、自動車排ガス（特にディーゼル車）中には、多くのカーボン粒子が含まれています。その表面状態や形状は、発生過程によって異なっており、粒径20ミクロン以上のカーボン粒子では、大きく分けて、図1の様な表面状態と形状が知られています。

これに対し、粒径0.02~0.03ミクロンの微小なカーボン粒子は、アセチレンガスなどガス状炭化水素の燃焼過程で発生するもので、図2に示す様に“ブドウの房”の様な形状をしています。

この様な、カーボン粒子は、アセチレンガスの燃焼過程では、通常1000℃~2000℃の高温で発生すると考えられており、その粒子の表面は、数百万個の炭素原子が集合したポリマー状になっています。

糸状のカーボン粒子は、一酸化炭素や炭化水素

ガスが、金属表面で分解する際に発生するもので、カーボン粒子を吸収する性質を持つ金属粒子表面で、上記ガスが吸着分解し、粒子内へ拡散する過程で生じます。

図3に、n-ヘキサンを燃焼させた時に発生するカーボン粒子表面をフーリエ赤外分光法にて測定し、構造を推定した例です。これは、元素状炭素の骨格で作られた孔に各種の有機化合物が入り込んでいる様な構造をしており、孔の中の溶出有機成分（多環芳香族、含酸素多環芳香族、脂肪族など）は、全体重量の32.9%でありました。

E S R測定結果によれば柱状試料中のカーボン粒子は、その生成年代が古いほど多くの自由スピンの持った電子を有しており、その濃度は最大で 32×10^{18} スピン/grでありました。この様なカーボン粒子の粒径分布を調べてみれば、粒径1ミクロン以下に、燃焼過程から直接発生凝縮したと考

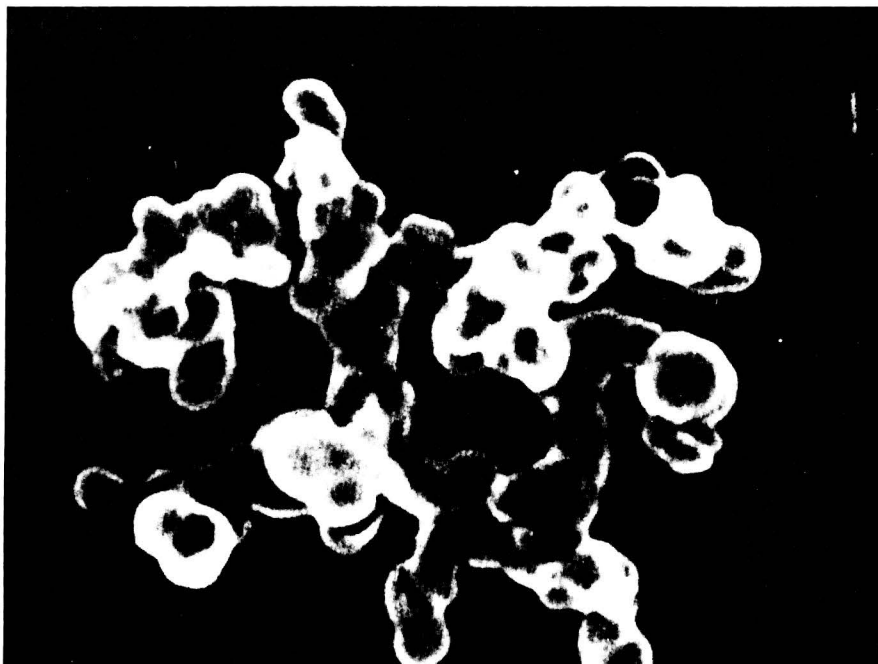


Fig. 2. A small black carbon particle as seen under the transmission electron microscope.

Bar = 0.05 microns.

えられるピークがあり、2ミクロン以下の粗大粒子の中にも、発生したカーボン粒子が他の粗大粒子などとも凝縮し生成したと考えられるピークがしばしば見られます。一般に、カーボン粒子の粒径は、その大気中での滞留時間とともに増大します。また、長距離輸送により、微小粒径のカーボン粒子が遠く南極圏でも検出されますが、その60%以上は、粒径0.1ミクロン以下のものであり、冬期において北半球で発生したカーボン粒子が飛来しているものと推定されます。

燃焼過程で発生するカーボン粒子の形状

カーボン粒子の表面状態や構造およびその形態は、燃焼過程をよく反映しています。石油燃焼において、噴霧燃焼させた場合には、球状のカーボン粒子が出来ます。石油の不完全燃焼過程では、多孔質球状のものや球の断片の様なものまで各種のカーボン粒子が発生し、この様な形態や粒子粒径は、その燃焼過程で異なりますが、石油燃焼で

発生する多くのカーボン粒子は、球状もしくは“球の断片の様な”形態をしています。

これに対し、石炭燃焼過程では、球状のものもあるが、石油の時に比べ“長細く”なった様なものも多く発生します。樹木などの燃焼過程で発生するものの中には、その細胞の構造を反映したものも見られます。

この様な高温燃焼過程で発生するフライアッシュ中のカーボン粒子の中には鉄分と混ざり合っており、表面に磁性を持った粒子もありますし、また、アルミやシリカと混ざり合ったものもあります。この様な形態による考察は、その起源を知る上での一つの方法ではありますが、形態は各種の条件によって影響を受け易いものであるということに充分注意しなければなりません。

カーボン粒子の環境中での分解

地球表面でのカーボン粒子の分解過程があると推定されます。この事は、地球上でのカーボン粒

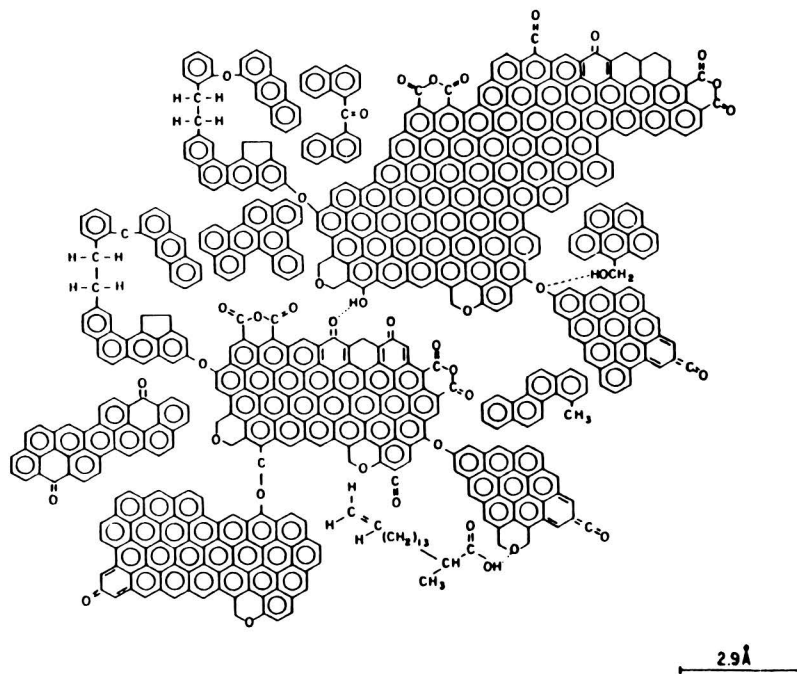


Fig. 3. Fourier transform infrared spectrum of hexane soot.

子の発生量が年間 0.1×10^{15} gr (1億トン) 程度であるため、もし、分解過程がないとすれば、10万年以内に地表面が石炭でおおわれることから想像できます。

分解過程としては、光化学酸化、および生物分解が考えられますが、それが起っているという証拠はありません。現状での実験結果からは、それを証明し得る結果はでていません。

おそらく、酸素分子が、カーボン粒子表面で反応し、二酸化炭素となって分解するのでしょうかよく分っていません。

環境中のカーボン粒子

カーボン粒子は、地球上に広く存在しており、火成岩、変成岩、堆積岩の中にも見られます。燃焼により発生し、大気中に放出されたカーボン粒子は、雨の核となり、降雨とともに地表面へ降りそそぎます。湖底や海底、そして、極地域での氷柱の中のカーボン粒子は、歴史的な降雨の化石とも言えるものです。自然発生したグラファイトは、カーボン粒子や、その気候のサイクルと密接に関係しています。また、カーボン粒子は“浮遊粒子状物質”として、呼吸に伴って人体の肺に沈着します。

大気中でのカーボン粒子は、亜硫酸ガスや窒素酸化物の酸化触媒となります。また、人体に入り、発ガン作用を持ったりもします。

いずれにしても、カーボン粒子は、燃焼過程で発生し、大気中に微量成分として放出され反応します。

大気中でのカーボン粒子の濃度を測定すれば、以下の様な値となり、産業活動の活潑な都市域で高い値となっています。

地域	カーボン粒子濃度 (ng/m ³)
成層圏 (>10km)	0-10
海洋上の対流圏上層 (5-10km)	4-15
海洋上の大気境界層 (0-1km)	3-30
大陸上の対流圏 (1-10km) バックグラウンド	100-2,000
都市大気 (0-1km)	1,000-20,000

カーボン粒子の大気中での滞留時間は、その粒径分布、濃度、降雨等による除去頻度、除去効率に関係します。各種のモデル計算によれば、降雨の多い場合、その滞留時間は、ほぼ40時間程度ありますが、降雨のない場合、一週間以上、大気中に滞留します。したがって、高気圧が長く続く様な気象条件では、長距離輸送が起こると推定されます。

都市大気中のカーボン粒子は、そのほとんどがサブミクロンレベルの微小粒子で、その濃度は、有機エアロゾル濃度よりも多くなっています。米国都市大気中のカーボン粒子の全炭素粒子(炭酸塩は除く。有機エアロゾル+カーボン粒子の意)に示める割合は、ニューヨーク; 97%、パークレイ; 73%、コロラド; 59%であります。

海底泥のコアサンプル(柱状試料)は、歴史的な堆積物が層状に重っており、その層の深さから年代を推定できるため、カーボン粒子の過去から現在までの変遷を知る上で重要な試料であります。例えば、太平洋海底のコアサンプルの分布結果を緯度別にプロットしたものを図4に示します。(まん中のグラフがカーボン粒子濃度である。)また、上の図は、熱帯林の分布度合を、下の図は非熱帯地域の針葉樹林(斜線部分)広葉樹林(白ぬき部分)亜熱帯林(黒色部分)の分布度合を示したものです。この図から明らかな様に、カーボン粒子量は、非熱帯地域の針葉樹林の分布とよく対応していません。寒帯地帯における針葉樹林のベルト地帯(北緯 60° ~70°)は、スカンジナビア半島からソ連、

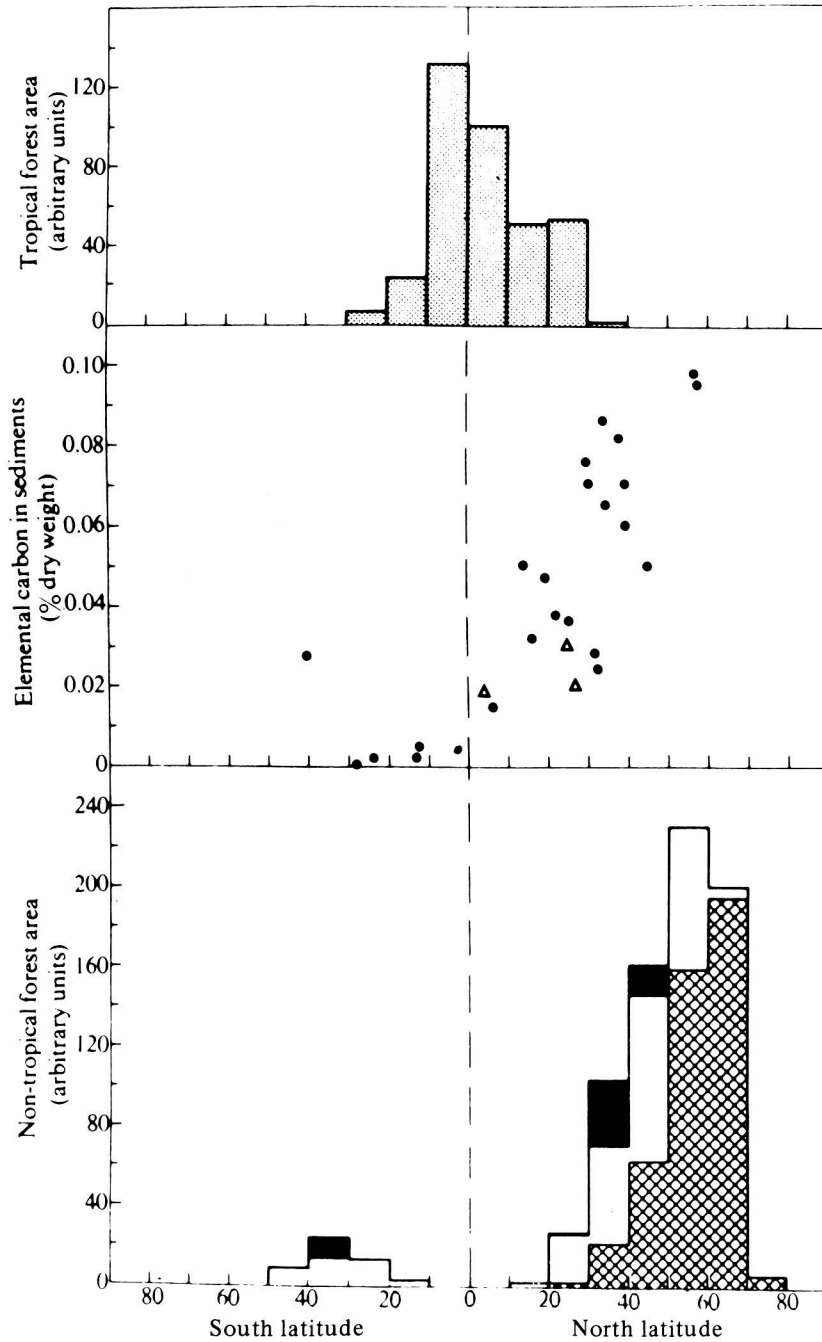


Fig. 4. Black carbon concentrations in Pacific deep-sea sediments as a function of latitude (middle).

The area extents of tropical forests (upper) and non-tropical forests (lower) are given. In the lower histogram, the hatched areas represent coniferous forests, unshaded areas non-coniferous forests, and the black areas the Mediterranean forests.

シベリアを通り北カナダと続いています。

この針葉樹林ベルトは、トウヒ、マツ、モミ、ベイツガ、ヒマラヤスギなどで構成されています。また、この南の地帯（北緯 50° ~60°）では針葉樹と広葉樹の混ざった地域となり、合衆国東部から英国、中央ヨーロッパを経て、東アジアへと続いています。この様な森林地帯では、低湿度のため枯れ木が腐敗・分解されずに、そのまま残っている事が多く、落雷などが引き金となって大規模な山火事を起こすことがよくあります。したがって、北緯50° から70° に到る地域での山火事が、カーボン粒子の発生原因であると言えるでしょう。

アマゾン川流域から西部・中央アフリカ・東南アジアに到る熱帯地域の森林では、湿度も高く降雨も多いため、枯れ木は、そのまま残らずに腐敗・分解してしまいます。一方、同緯度地域のサバナ地帯や砂漠では樹木がほとんどないため、カーボン粒子の発生源とはなりません。しかし、この地域においても、野焼きの様な人為的な高温燃焼

が起これば、カーボン粒子の発生が起きます。

山火事などにより大陸で発生したカーボン粒子は、風によって海洋へ運ばれます。熱帯地域では、東風によって、温帯・寒帯地域では偏西風によって、極地域では、弱く変動が多いですが、大むね東風によって、カーボン粒子の長距離輸送が起きます。

化石燃料の燃焼の歴史

図5にミシガン湖の湖底コアサンプル中のカーボン粒子の深度別濃度を示します。このコアサンプル中のカーボン粒子濃度分布は、米国の中西部における自然火災および人為的な産業活動に伴う化石燃料の燃焼量の歴史をよく示しています。コアサンプル中の各層の堆積物の年代決定には、鉛210法を用いました。カーボン粒子の濃度は、1830年から1900年までは低く、1900年代に入り急激に増加し、1960年頃をピークとして若干減少しています。

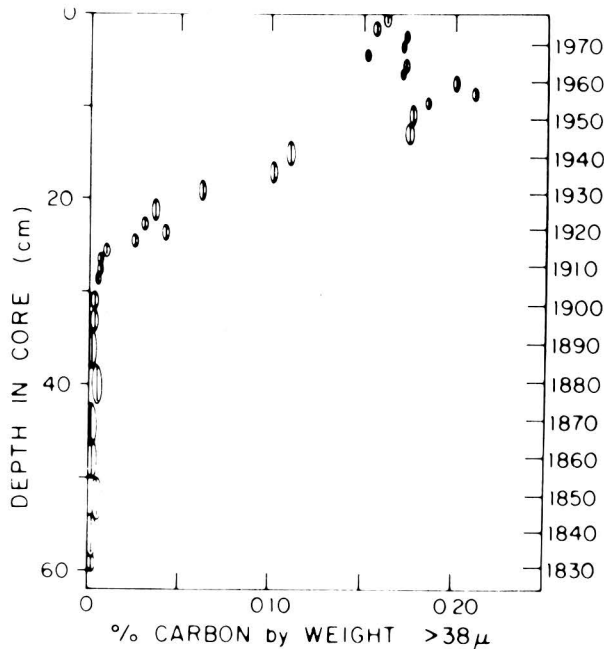


Fig. 5. Black carbon concentrations as a function of depth (time) in a Lake Michigan sediment.

1900年以前のカーボン粒子は、その形態分析結果から樹木の燃焼過程で発生したものであると推定され、山火事もしくは人間が木を燃やした事が発生源であると思われます。

図6に、粒径別に分析したコアサンプル中のカーボン粒子の濃度分布を示します。

1900年以前のカーボン粒子は、粒径1ミクロン以下のものが多く、この結果からも樹木などの燃焼によるものであることが推定されます。1900年代に入って、石油や石炭の燃焼の結果発生したと考えられる大粒径 ($>38\mu$)のものが急激に増加しています。これは湖のまわりにある発電所から発生したカーボン粒子であると推定されます。1900年以前のカーボン粒子は、その粒径が小さいことから、より広い地域から拡散してきたものでし

う。この様に、コアサンプル中のカーボン粒子の分析結果は、我々に過去の産業活動の変遷を知らせてくれるものとなります。

1960年以降、カーボン粒子濃度が減少しているのは、恐らく除じん装置を取り付けたためであり、この事によって煙突から放出されるフライアッシュの量が大きく減少したためでしょう。

同様の結果がコアサンプル中のスズ(Sn)、クロム(Cr)、ニッケル(Ni)、鉛(Pb)、銅(Cu)、カドミウム(Cd)、コバルト(Co)、亜鉛(Zn)、鉄(Fe)の濃度分布からも得られますが、これらの金属のピークは、カーボン粒子に比べ若干遅れており、1968年頃となっています。上記の9元素は、明らかに火力発電所などでの化石燃料の燃焼過程で発生するものです。(図7)

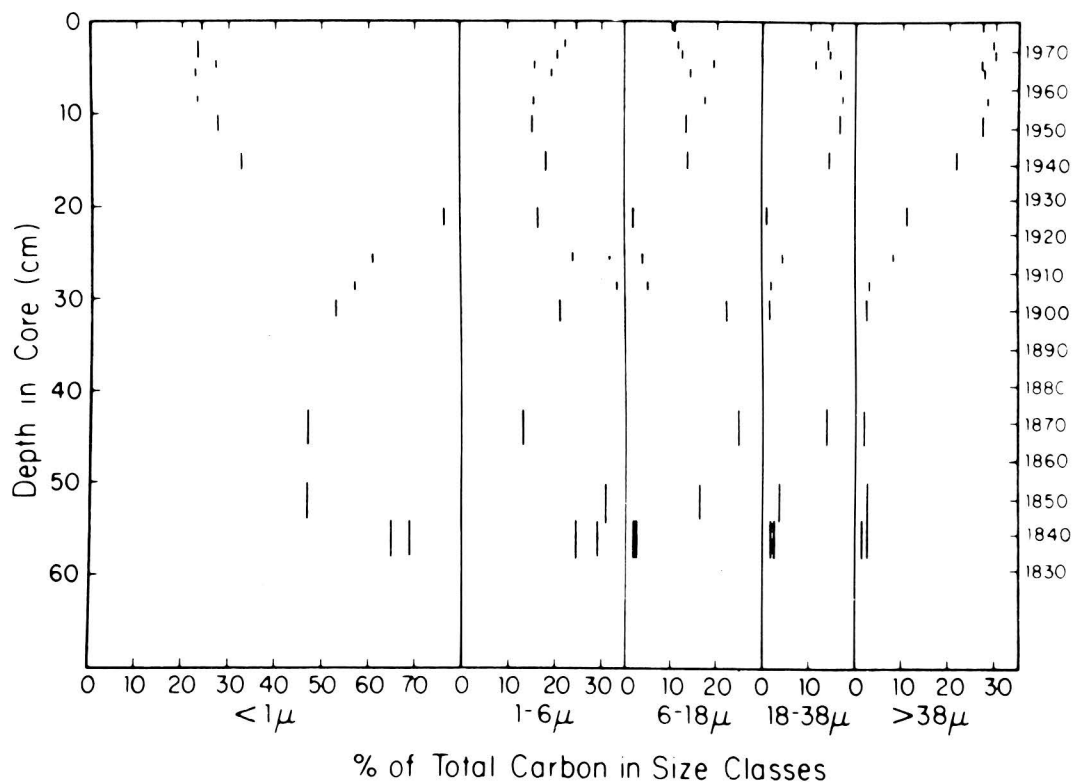


Fig. 6. Percentage of total carbon in size fractions of a Lake Michigan sediment as a function of depth and the age of the strata.

一方、マンガン、アルミニウムについては、その濃度が過去20年間で急激に増加しており、またバナジウムに関しては、1940年以降、徐々に増加しているといったカーボン粒子とは異なった挙動を示しています。

1900年以降、ミシガン湖底泥コアサンプル中には、石炭燃焼の結果発生したと推定されるカーボン粒子や磁性鉄などの著しい増加が見られます。1900年以前では、マグネタイトやヘマタイトのかけらの様な、磁性化された粒子が多く見られます。このような粒子は堆積中に押しつぶされてきたものでしょう。また、1900年以前のカーボン粒子は、樹木の燃焼によるものと推定される形状のものも発見されます。

海底泥から見た燃焼の歴史

海底泥のコアサンプル中のカーボン粒子の最近の分析結果から、白亜紀後期（約7000万年前）から現在に到る地球規模の燃焼の歴史についての知見が得られるようになってきました。この分析結果は、新生代（約7000万年前から現代）における風のパターンによって、陸上から輸送されたカーボン粒子量をよく反映しています。電子顕微鏡写真によれば、これらのカーボン粒子は、植物の燃焼過程で発生したと考えられる形状を有しており、また、その粒径も新生代を通じて変化していません。もし、分解過程があるとすれば、比表面積の大きい小さい粒径の粒子が減少するはずで

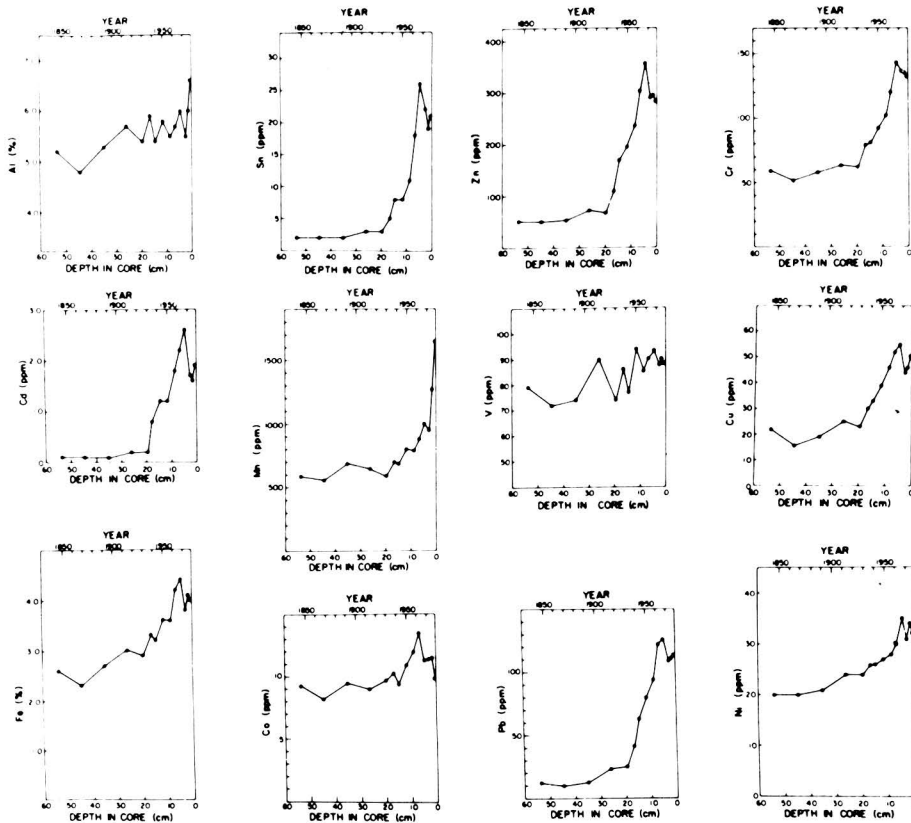


Fig. 7. Metal concentrations as a function of time and depth in a Lake Michigan sediment.

が、少なくとも新生代においては、その様な事は起きていません。

図8に、北西太平洋海底 (North west Pacific Site 192. Emperor Seamount Chain)で採取したコアサンプル中のカーボン粒子の 1 cm^2 当りの年間堆積量と年代との関係を示します。

大陸で発生したカーボン粒子は、偏西風に乗って海洋上へ運ばれます。図8から、過去へ逆かのぼるとともに、カーボン量が $5\ \mu\text{g C}/\text{cm}^2/\text{year}$ から $0.02\ \mu\text{g C}/\text{cm}^2/\text{year}$ まで減少しているのが分ります。この傾向は、北太平洋の他の地点でも同様です。このカーボン粒子の増大は、樹林の燃焼の増大、もしくは、北太平洋への偏西風による輸送量の増大と考えることができます。この事は、新生代第三紀(7000万年前から2000万年前)に、植物が増大したと言う古生物学や古気候学の見解と矛盾しない結果を与えています。

環境影響

大気中および地表面でのカーボン粒子の蓄積量の増大が、気候や大気中のガス成分の酸化反応に影響を与える恐れは充分にあります。

気候への影響としましては、大気中でのカーボン粒子が太陽光を吸収もしくは散乱させ、大気中での熱バランスをくずす可能性、降雪地域においてカーボン粒子の含有量が増えることにより、雪が溶け易くなる可能性などが言われています。熱バランスがくずれ、気候変動の原因となる可能性につきましては、カーボン粒子の光反射率によって“寒くなるか”、“暑くなるか”で違ってきます。大気中の多くのエアロゾルでは、その反射率が0.9程度であるのに対し、カーボン粒子は0.5程度であります。

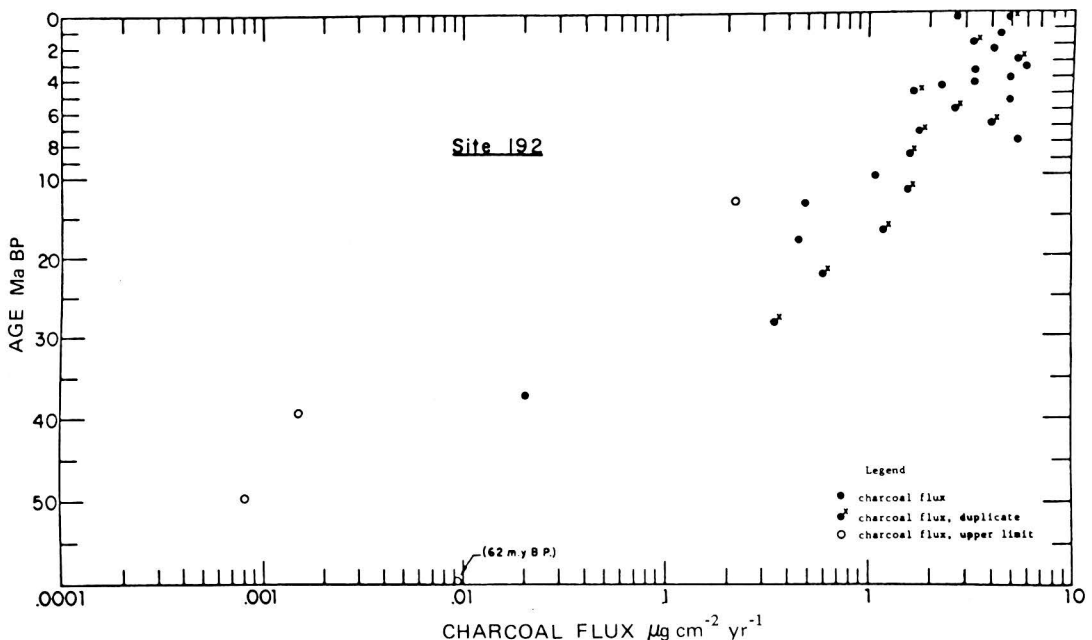


Fig. 8. The black carbon flux to a Pacific Ocean sediment as a function of time.

The ages were determined paleontologically.

また、熱バランスについてはカーボン粒子の濃度も大きな要因であり、カーボン粒子を多く含んだ都市大気では、気温が上昇すると推定されています。

地球規模の気候変動については、大気および地表面のカーボン粒子を総合的に評価し、その熱バランスについて検討しなければならないでしょう。

対流圏でのエアロゾルについて言えば、もし、その平均反射率が大体0.85以上であれば、地表面は寒くなると思われ、それ以下であれば暑くなると推定されます。この観測について色々と試みられていますが、大気中のエアロゾルがかなり複雑な組成であるため、実際に“寒くなるのか”、“暑くなるのか”については結論づけるまで到っていません。もし、大気中のエアロゾル中に20%–50%カーボン粒子が含まれているならば、“暑くなる”のではないかと推定されます。

氷河地域の変化も気候には影響を与える可能性があります。雪や水の融ける量は、その表面の光反射率によって異なります。きれいな雪の表面反射率は、0.8程度であるが、きたない雪では、その反射率が0.5~0.6程度となります。カーボン粒子を含んだ雪では、その反射率が低下し、溶け易くなることも十分に考えられます。各種のモデル計算によれば、雪の中のカーボン粒子のほうが、大気中にある場合よりも、より太陽光を吸収し易くなると言われています。

カーボン粒子の影響としては、気候変動以外に、その表面活性により、大気中の化学反応を促進させると言った可能性があります。これについては多くの研究がなされており、いまだ確たる証拠は得られていないが、大きな可能性として残されています。

表面に吸着した物質やカーボン粒子それ自身が、電子授受反応や加水分解に関与することは十分に考えられます。

大気中では、よく知られています様に、汚染物質である亜硫酸ガスや窒素酸化物が、光化学反応により硫酸や硝酸に変換されます。この反応には、水滴が大きな役割を示している様ですが、カーボン粒子表面に多環芳香族を吸着させた実験においても、10ppmのNO_x濃度で、表面の酸化が起っていることが確認されています。

また、フーリエ赤外分光法による分析結果では、亜硫酸ガスがカーボン粒子表面で硫酸基に変換されているとの報告もあります。この実験では、高濃度（約4%）高温（400℃）の亜硫酸ガスをカーボン粒子表面に吹き付けた場合、その表面のC–H基および、カルボニル基（C=O）がこわれることも確認されています。

窒素酸化物については、表面でニトロ基（–NO₂）が形成される様です。さらに、カーボン粒子を含む大気にさらされた、大理石の表面が変質するという報告がありますが、これは、カーボン粒子表面に吸着した硫黄分が、硫酸に酸化され被害を与えるためではないかと推察されています。

このようなカーボン粒子表面での酸化反応は、酸性雨の原因物質の生成を促進するものであります。

カーボン粒子を調べることは、地球上での燃焼の歴史と、燃焼がもたらす将来の環境問題を予測する上で、大変有効な方法であると言えるでしょう。

『大気中の炭酸ガス、酸性雨、
そして重金属汚染の歴史の変遷』

名古屋大学名誉教授

北野康 氏

ゴールドバーグ先生のお話を大変興味深く伺いました。先生のお話を聞いておりました思い出したのは、20年程前に先生が日本へいらっしゃった時、このカーボン粒子のお話を初めて私は聞いたことでございます。先生の長年にわたる成果を今日は伺えて、うれしく思っております。

燃焼の歴史をひもとくことは、将来の環境を予測する上で、大変重要なことだと思っております。その時間スケールでの変化のトレンドが、我々の将来に警告を与えているのではないかと思います。燃焼の歴史の様な、生物の生存環境をも含めた自

然界のサインを正確に受け止めなければ、環境の破壊を我々は知らず知らずのうちに見落とすのではないかという気がいたします。

さて、ゴールドバーグ先生のお話の中でも、少し重金属元素に対するデータが出てまいりましたが、まず、この話から私もはじめたいと思います。

重金属汚染と言いますと、我々は、すぐに水俣病を思い出す訳ですが、重金属が海洋を汚染する場合、工場などの廃水が川へ流れ、川を通して海へ入って来る課程を今まで考えておりました。

しかし、ローカルな汚染ではなく、地球規模の重金属汚染を考えます際には、川を通して運ばれるものと、もう一つ、雨により海洋表面へ降りそそぐ課程を考えることが重要であります。

例えば、水銀の量を例にとりますと、川を通して海に入る総量を1といたしますと、雨を通して入ります量は、地球規模で見れば、少なくとも100以上はあると推定されます。

ですから、地球的な規模での微量重金属元素のサイクルを考えます場合には、雨が重要な役割を果

全地球で一年間に河川水と海上の降水を通して海に運びこまれる重金属元素の量 (ton)

(北野 康, 1978)

	河川水による供給量	海洋上の降水による供給量
Cd	$(0.7 \sim 3) \times 10^3$	$(3 \sim 6) \times 10^3$
Cu	5×10^4	5×10^4
Fe	7×10^6	4×10^5
Hg	1×10^2	2×10^4
Mn	$(0.4 \sim 1) \times 10^6$	3×10^4
Pb	4×10^4	2×10^4
Zn	2×10^5	1×10^5

たしていると考えなければなりません。

そこで、その様な大量の重金属が、どのようにして雨に含まれ、海洋へ供給されるのか、その発生のメカニズムが重要な問題になってくる訳です。私の友人であります、ハワイ大学の科学者が、この発生源の量的関係について調べました。重金属を採掘・精製します鉱業から出てくる量、石油・石炭の燃焼とともに出てくる量、それから、例えば水銀などの様に気化し易い直接ガス化して出てくる量など、考えられる陸上から大気への供給量を足し合わせましたが、雨の分析結果から雨を通して地球表面に輸送されていると推定されます量の半分程度にしかならない。つまり、現在、考えられている自然発生源、人為発生源のすべてを考慮に入れますと、実際に供給されている量よりもかなり少ないという結果が得られたわけです。このギャップについて、海洋自身が大気中へ重金属を供給しているのではないかという説が有力ですが、いずれにしても、地球規模の環境汚染を考える場合には、まだまだ科学は不明確な要素を持っていると思います。

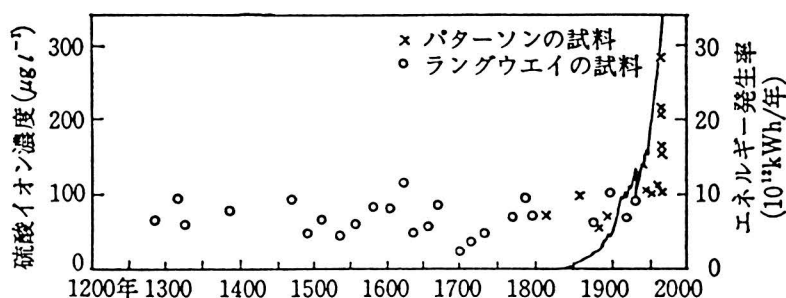
その様な人為的な環境影響を調べる上で、もし過去における物質濃度と比較できれば、産業革命以降の人為的な影響の度合いをよりよく考察できるのではないかと思います。過去の物質濃度の

“化石”とも言えるものの中の濃度の変遷を測定してやればよいということになります。

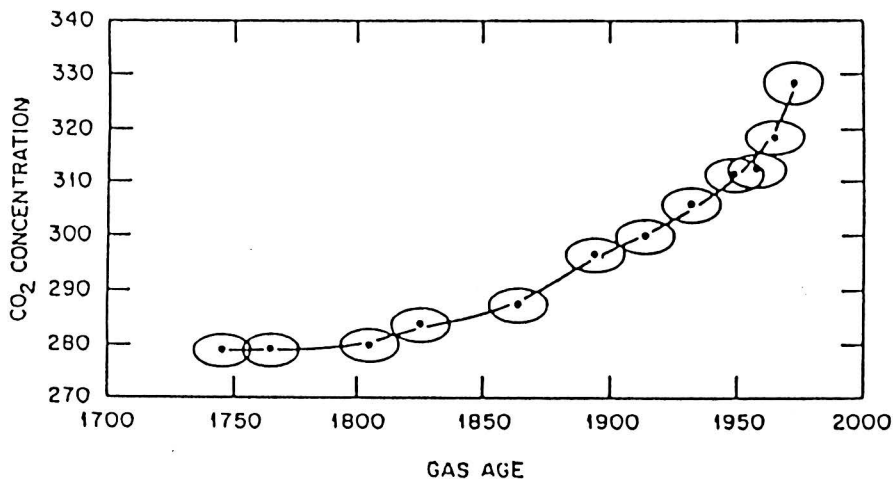
“空気と降水の化石”として我々が今もっとも信頼のおけるものの一つとして考えておりますのが、グリーンランドの氷であります。

雪の比重は、約0.1ですが、それが積りますと自重で押しつぶされ、比重0.8ぐらいで氷になります。雪が氷になりますと、その中の空気は閉じ込められてしまいます。グリーンランドや南極の氷柱の中の空気は、この様にして閉じ込められたものですから、深い氷は、古い時代の“空気や降水の化石”として使えるのではないかと。氷柱を取ってきて、古い方向に層状に切って、その中の空気と氷を分析することで、いままでの大気と降水の化学組成の歴史が分かると期待されます。

さて、この様な方法でグリーンランドの氷を調べますと鉛は1950年頃より高くなっておりまして、やはり産業活動が影響しているのではないかとする結果が得られます。また、降水中の硫酸イオン、これは酸性雨の原因物質であると言われていますが、やはり、これも石油・石炭の消費の増大とともに増加しております。(図1参照)しかし、この硫酸イオンにつきましては、産業革命以前の自然状態下におきまして、かなり高い濃



グリーンランドの氷床コア中に含まれている硫酸イオン濃度の経年変化と地球的規模での熱エネルギー生産量の経年変化 (M. Koide and E.D. Goldbrg, *J. Geophys. Res.*, 76, 6589-6596, 1972)



南極サイプル基地の氷床コア中の気泡の分析から得られた二酸化炭素濃度

度で存在していたことが分かってきました。また、硫酸イオンのピークが、各年代において見られますが、これは、火山の活動とよく一致している様であります。

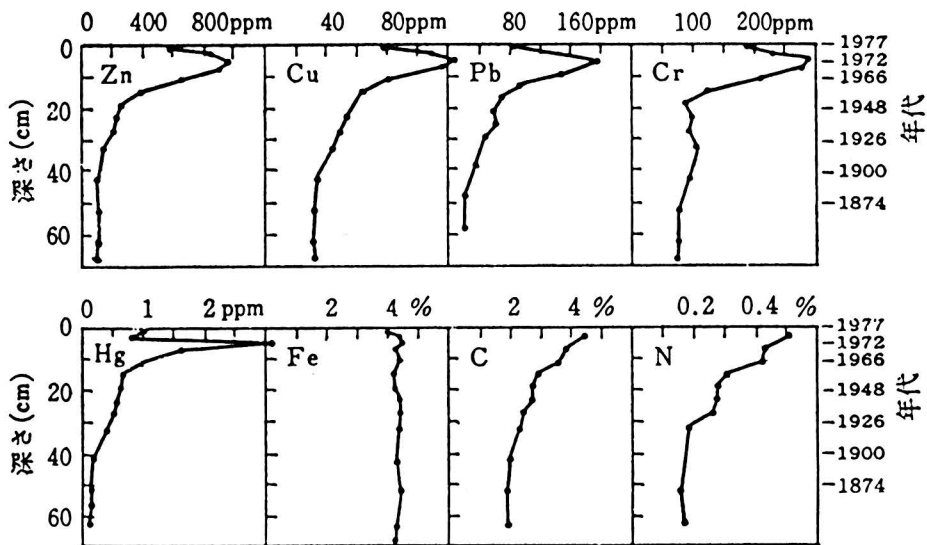
現在の我々の知識では、この産業革命以前の硫酸イオンのかなりの量の起源につきましては、仲々説明が難しいのが現状であります。現在、東京や大阪の酸性雨の原因は硫酸と硝酸であります。産業革命以前のグリーンランドの氷の硝酸イオン含有量がかかなり大きいのですが、この事実の説明もろまくはできません。

さて、グリーンランドや南極の氷中の空気炭酸ガスの濃度変化から、産業革命以前の大気中の炭酸ガス濃度は280 ppmほどであり、そのご徐々に増加して、現在約340 ppmになったと推定されます。(図2参照)炭酸ガスにつきましては、現在1.3 ppm/年の割合で増加しているという大気の測定結果があります。大気中の炭酸ガス濃度は100年以内に今の約2倍になるで

しょう。これによる気温上昇を計算しますと、今から100年以内には、地球大気の濃度は平均して 3 ± 1.5 ℃ぐらい上がるのではないかと予測されます。それにより地球上の降水状態が変わり、今の穀倉地帯が半乾燥地帯になるのではないかと心配されております。

また、東京湾などの河口域におきます堆積物の重金属含有量が1970年までは増加しており、その後、減少しています。(図3参照)これは、重金属の総量規制の効果を大変よく説明しているものであると思われます。河口域の柱状堆積物は過去の河川の汚染の歴史を刻みこんでおります。

いずれにしても、氷柱や堆積物の柱状試料を探って、その年齢を決め、一方分析して汚染物質濃度を知ることによりまして、その汚染の歴史やバックグラウンドと言ったものが明確に分かる訳でありますので、その測定結果から因果関係や発生機構を推定し、将来を予測することが、今後ますます重要になってくるものと思われます。



東京湾奥部の堆積物中の重金属元素および炭素・窒素含有量の鉛直分布. 図の右側の数字は堆積速度から推定した堆積年代を表わす (深さ40cmの1900年頃から汚染が始まった). (松本英二, 横田節哉, 地球化学, 11, 51 (1977))

『自然放射能と

チェルノブイリ原発事故の影響』

西独チューリッヒ核化学研究所教授

B. Sansoni氏

放射能は、自然界における基本的な物理現象であり、宇宙誕生の時代より存在しているものとあります。地球誕生の初期過程では、各種の半減期の比較的短い放射性同位体が、まだ崩壊して安定同位体に変換されていなかったため、恐らく、その放射能は今よりも多かっと思われられます。また、その放射線による突然変異と、それに続く自然淘汰は、生物の進化を促したと推測されます。そして、自然放射能の研究は、人類が核エネルギーを手にする糸口となりました。

歴 史

放射能は、その基本的性質が明らかにされる前に、ワルツブルグの物理学者レントゲン（年）のX線の発見に触発されて行なわれましたパリの物理学者ベックレルのカリウム・ウラン硫酸塩による写真感光実験で、我々の前に姿を現わしました。年、パリに滞在していましたマリー・キュリー、ピエール・キュリー夫妻は、ラジウムとポロニウムを発見し、その放射線を出す性質を放射能と名付けました。この事は、広く自然科学者の興味をひく出来事でありました。人工の放射性同位体が作られましたのは、それより約30年後の1930年代であり、ジュリオ・キュリーによるものであります。当時、人工の放射性同位体は、せいぜい数原子程度しか作ることができませんでしたが、1983年ベルリンでハーン、メルトナー、ストラスマ

ン等による、ウラン235の核分裂反応の発見以来、大量の放射性同位体が人間の手によって作られる様になりました。

その後、この核分裂反応は、ウラン235以外にもプルトニウム240や他の超ウラン元素でも起こることが分かりました。しかし、不幸にも、この核分裂反応による莫大なエネルギーは、最初に核兵器として応用され、1944年米国ロスアラモスにおいて、最初の原爆実験が行なわれ、1945年8月、広島、長崎に投下されました。また、1955年には、太平洋ビキニ環礁において、核実験が行なわれた事は有名であります。この核兵器による恐るべき被害により、一般に放射能はきわめて危険なものであるとの認識を与えました。

原子力発電所などの核の平和利用のもたらす恩恵では、この放射能に対する恐怖感をぬぐい去ることは不可能でありました。それ故に、今日でも、放射能に対する一般の人々の反応は、特に最近のチェルノブイリ原発事故の際の対応は、科学的な危険性の議論以上に、日常生活、政治、道徳、心理面に大きな影響を与えたものとなっています。チェルノブイリ事故の後に、社会心理的な側面だけでも、多くの動揺が起った事はよく御存知の通りです。

放射性核種による被曝は、人体にとって有害であることは、まぎれもない事実で、そのため、放射線防護の方法がきわめて重要な問題となります。

西独における放射線防護の研究は、1930年代に、ボリス・ラジェウスキーとその一門や、ランゲドルフ、ワックスマン等によって始められました。また、日本では西脇、河合らによって指摘され大きな社会問題となった“第5福龍丸事件”以来であります。

放射線防護についての重要な点は、自然放射性核種と人工放射性核種との分析によって、放射性核種の環境中での調査を行うことです。もし、色々

な環境構成物質による放射性核種の濃度が分れば、それによる人間や生態系への影響を推測することが出来るからです。

定 義

放射能とは、次の様に定義されます。

(a) 主として、原子番号(タリウム、Tl)以上の比較的重い原子で、不安定な原子核を持つもので、

(b) その不安定な原子核が、同位体タイプや、元素タイプを変換される現象を伴って、安定なものに変わり、

(c) その際に放射線(α 線、 β 線、 γ 線)発生を伴う現象

放射線としましては、ヘリウム4の原子核の場合、 α 線と言ひ、電子の場合は、 β 線、電磁波の場合、 γ 線もしくはX線と呼んでいます。

放射性崩壊系列内では、不安定核種は壊変をくり返し、最後に、鉛206や208の様な安定な核種に到達します。

自然界における放射性核種

自然放射性核種

環境中の放射性核種は、太陽や地球、そして恐らくは宇宙誕生の時より我々の環境中に存在していたものです。半減期が100万年以上の放射性核種は、K-40, Rb-87, Th-232, U-238 などがあります。例えば、Th-232系列の崩壊生成物は、Ra-228, Ac-228, Th-228, Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Po-212, Tl-208, Pb-208 である。またU-238系列ではTh-234, Pa-234, U-234, Th-230, Ra-226, Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-210, Bi-210, Po-210, Pb-206 であります。

大気圏外から地球へ降りそそぐ宇宙線が、大気中で反応して生成する放射性核種としては、H-

3, Be-7, C-14, Na-22, Na-24 などがあります。

自然放射性核種は、石炭火力発電所の灰や工業生産に用いられているリン酸、天然ガス中(ラドン, Rn)、コンクリート(ラドン)および、いくつかの消費製品に含まれています。宇宙線からの被曝は、宇宙飛行の間に著しく増大します。

原子番号82上のもので構成されます U-238およびTh-232の崩壊系列は、もっとも“重い”自然放射性核種であり、その系列で生成する放射性核種の多くは、 α 線を放出します。

人工放射性核種

U-235 や超ウラン元素による核分裂反応は、数百種の人工放射性核種を生成しますが、その多くは半減期の短い不安定なものであります。それらは、表2に示す様に、崩壊してより安定なものへと変換します。それらの核種の原子質量は、大体、ウランやプルトニウム同位体の半分程度です。これらの人工放射性核種は、主として γ 線を放出し、(若干の β 線もある。例えばSr-90) α 線は放出しません。

この様な核分裂生成物は、原子力発電所やそれに関連する工場での生成物、核爆発、原子力衛星の地上への落下、原発事故などが発生源であります。

チェルノブイリ原発事故

1986年4月26日に起こった1.24時間にわたるチェルノブイリ第4原子炉の事故は、大気中に多くの人工放射性核種を放出しました。気体状のものとしては、H-3, C-14, Kr-83m, Kr-85m, Kr-87, Kr-88, Xe-133, Xe-133m, Xe-135, Xe-135m, Xe-137, Xe-138であり、揮発性のものとしましては、I-131, I-132, Te-132, Cs-134, Cs-136, Cs-137, Ru-103, Ru-106, でありました。また、核燃料中の代表的な生成物としまして

は、Nb-9, Zr-95, Mo-99, Tc-99m, Ru-103, Ru-105, Ru-106, Rh-106, (Sb-125), I-131, Cs-134, La-140, Ba-140, I-132, Te-132, Cs-137, Ce-141, Ce-141, Sr-89, Sr-90, Y-91, Np-239および核燃料であるウラニウム、プルトニウム (238, 239, 240) でありました。

この事故により放出された放射性核種の量は、原子炉中の核燃料全体の約3-4%程度であり、放射線強度として最大約50メガキュリー程度でありました。

以下にチェルノブイリ原発事故の影響とされます環境中の人工放射性核種に関する要約を示します。

西ドイツにおける放射能汚染

チェルノブイリ事故による放射性核種は、1986年4月29日、ベルリンおよび南ババリア地方ではじめて検出されました。

チェルノブイリ事故の西ドイツへの影響を推察するため、放射性核種の調査が、Neuheiberg-MunichにあるCSFおよびチェーリッヒ核研究所によって行なわれました。この報告はFichtelgebirge Fur Strahlenschutz eV(1986年10月)に基づいている。

以下に述べます部分は、Fichtelgebirge (北東ババリア地方の山岳地帯)における自然放射能およびチェルノブイリ事故による人工放射能の調査の概要で、自然放射能と人工放射能についての比較を行ったものです。

Fichtelgebirge

における自然放射能

Fichtelgebirge は、西ドイツ北西ババリア地方の山岳地帯にある町で、ここは自然放射能が最も高い地域として知られています。この地域は、ま

わりを山岳に囲まれており、その中に、馬蹄形をした平地がある、海拔約600m程度の地形となっています。まわりの山岳地帯は、海拔約1000m程度で、エゾマツと広葉樹の複合した樹林となっています。この山岳地帯により、東部からくる雨雲を仕切っています。

実験

1975年から81年にかけて γ 線の調査が行なわれました。また1981年、1983年に岩石及び土砂中の高分解能低レベル γ 線スペクトルスコピーにより測定しました。

結果

1220ヶ所で主として花コウ岩から発生する γ 線線量率を測定したところ、平均値は $18 \mu R/h$ (毎時 18×10^6 レントゲン)であり、 $4-70 \mu R/h$ の範囲でありました。(a) アスファルト道路上では、約 $6-7 \mu R/h$ 程度、(b) 花コウ岩の石切場では、 $14-45 \mu R/h$ 程度、(c) 山頂の観光地では $14-26 \mu R/h$ 、(d) 花コウ岩洞窟中では、 $30-50 \mu R/h$ 、(e) 沼地では $7-11 \mu R/h$ 、(f) 花コウ岩で舗装された道路では $64 \mu R/h$ 、(g) ウラニウム鉱床の近くでは、表面で $80-100 \mu R/h$ 、土中60cmで約 $1500 \mu R/h$ 、また他のウラニウム鉱床では約 $500 \mu R/h$ でありました。

花コウ岩地域6ヶ所においては採取した砂の総 γ 線量は、それぞれ、1620, 2220, 2510, 2870, 2990, 3890 Bq/kg (ベクレル/Kg)であり最も高い線量を示した砂は、ウラニウム鉱床近くで採集したものでした。カリウム40による自然放射能は、 $580-1240 Bq/kg$ で、前述したウラン、トリウム系列の崩壊による自然放射能は、ウラニウム鉱床近辺の測定結果を除けば、 $580-1240 Bq/kg$ でありました。

Fichtelgebirgeにおける

チェルノブイリ原発事故の影響

Fichtelgebirg 地方では、チェルノブイリ原発事故で放出された人工放射性核種の拡散・沈殿の影響による放射能のピークが1986年5月4日に現れました。この放射能の地域分布は、不均一なものであり、その放射能レベルは、南ババリア地方に比べて、それ程高いものではありませんでした。

実験

草、土砂、茸など各種の物質中に含まれるチェルノブイリ原発事故の影響を、5月中旬から9月末日まで、Landkresis地方全体について、Landrateamt Wansiedalの協力のもとに測定しました。ガンマ崩壊核種の測定から、相対的な放射線量を計算により求めました。全期間に渡り、草：25サンプル，土砂；51サンプル，赤葡萄；10サンプル，茸；7サンプル，ナナカマド；10サンプル，野イチゴ；3サンプルを測定しました。

結果

草のサンプルの分析結果では、チェルノブイリからの影響と思われる放射線量は、192-1850Bq/kg でありました。また、土砂のサンプルでは、1-44Bq/kg，赤葡萄では11-219Bq/kg (K-40による自然放射能は、103-143Bq/kg)，茸では、32-350Bq/kg (K-40；152-201Bq/kg) でした。サンプル中のセシウム134,137の測定結果から、茸中にセシウムがより多く蓄積されていることが分かりました。

考察

チェルノブイリから飛散した人工放射性核種を含んだエアロゾルについての大気中の測定結果は

ありませんが、草の上の放射性核種のパターンは、相対的に原発により作られたもののパターンによく一致します。草のサンプルの分析結果では、

(a) ルテニウム-103の濃度が予想以上に高い値を示しており、この核種が最も高い放射線量を与えていました。(b) 核実験で発生する人工放射性核種に比べ、セシウム-137の濃度が高くなっていました。(c) 放射能は不均一に分布しています。

5月4日に高濃度を示した地域では、雨が降っており、曇り又は雨のレインアウト、ウォッシュアウトにより放射性核種を含んだエアロゾルが地上へ降り注いだと推察されます。(d) このように、地域により大きな濃度差が有るため、平均による議論は困難であると思われます。

放射性核種個々の比については、(a) 草のサンプル； $2.23\text{Ru}-103/1.96\text{Cs}-137/1.10\text{I}-131/1.00\text{Cs}-134/0.94\text{Ba}-140/0.89\text{La}-140/0.21\text{Ce}-141/0.19\text{Ru}-105/0.17\text{Ce}-144/0.10\text{Nb}-95/0.11\text{Zr}-95/0.02\text{Sb}-125$ であった。

(b) 土砂、 $2.33\text{Cs}-137/1.47\text{Ru}-103/1.00\text{Cs}-134/0.96\text{Rh}-106/0.13\text{La}-140/0.12\text{Ba}-140/0.11\text{Nb}-95/0.11\text{I}-131/0.10\text{Ce}-141/0.09\text{Ce}-144/0.07\text{Ru}-105/0.05\text{Zr}-95/0.04\text{Sb}-125$

(c) 赤葡萄、 $2.13\text{Cs}-137/1.00\text{Cs}-134/0.37\text{Ru}-103/0.13\text{Rh}-106/0.04\text{Nb}-95/0.02\text{Ce}-144/0.01\text{Zr}-95/0.01\text{Sb}-125, <0.01\text{Ce}-141$ (d) 茸、 $2.51\text{Cs}-137/1.00\text{Cs}-104$

過去の核実験による影響で増加した人工放射能の割合を、土砂中のCs-137/Cs-134の比により、単純な仮定をおいて計算すれば、その寄与率は2-37.4%となり、平均値は $16.8 \pm 9.5\%$ (N=47) になりました。土砂中の測定結果から自然放射能と今回のチェルノブイリによるものを比較すれば2つの山頂(花コウ岩質)における、自然 γ 線量

が、1650Bq/Kg(K-40, 1020, U・Th;630)対して、チェルノブイリによるものは全体の約22%でした。また、セシウム比から単純計算した過去の核実験によるこの地域への影響は、約14%でありました。

以上の結果より、今回のチェルノブイリ原発事故のこの地域に与える影響は、決して低いものではありませんが、自然放射能と比べれば、短期的なもので、それほど危険なものではなかったと考えられます。

『汚染のない環境はあり得るか?』

米国アリゾナ大学教授

H. Freiser 氏

“完全にきれいな環境”は、我々すべての希望であります。しかしこの問題はそう簡単ではありません。一般の人に“どの程度の汚染なら我慢できますか?”と尋ねればおそらく、“汚染物質の濃度をゼロにするべきだ”と言う答えが返ってくるでしょう。我々科学者、政治家、そしてすべての市民は、“ゼロにする”と言うことは、非現実的な不可能なゴールであることを知らなければなりません。純粋数学の分野を除いて、特に汚染物質の濃度を測定する分析化学者は、ゼロ濃度には、測定上の許容範囲があることを知っています。例えば、世界的に有名な分析化学者である、西ドイツ、クロマトグラフィー研究所のカイザー博士は、1 p p t レベル、10億分の1パーセントのことですが、その濃度であれば、我々が吸っている大気中に、少なくとも10万以上の物質が含まれていると指摘しています。我々が日頃飲んでいる水の中にも同様に含まれています。

時が経つにつれて、社会的な要求もあって、環境汚染物質の測定法は、より高い選択性と感度を持つように進歩して来ました。

おもしろい事に、私が生まれた頃でも、微量成分の濃度を表わす単位として、“p p t”と言う単位を使っていました。もっとも、昔は10分の1パーセントの事でしたが。この様に、ここ数10年間で、測定感度は、1億倍にも向上した訳です。科学技術の進歩に伴って、我々は、より複雑

な系での因果関係を調べることが出来るようになりました。例えば、現代社会における最大の病気の一つであるガンの発生についても、ほんのわずかな発ガン性物質に何年間もさらされるだけで、発生すると言ったことが分かるようになってきました。人体への許容限度などを決めるとき、我々は、動物実験などによって、数多くの科学物質を短期間で調査し、その結果から推測して低濃度での許容限度を決めると言った方法がとられています。一旦、許容限度が決まれば、分析化学者は、実際環境中で、困難とも言える低濃度の汚染物質の測定を行なわなければなりません。

この様な、ますます重要かつ困難になる低濃度の汚染物質濃度の測定法について、意味のある信頼のおける測定値を提供するための必要条件を、ここでは考えてみたいと思います。

測定対象の吟味

まず必要なことは、測定を要求されている事象について十分に吟味することです。

正確な試験手順の開発

次に正確な試験手順の開発が重要です。

実際に分析機器などを用いて濃度を測定する場合、まず測定対象となる物質、(例えば排水や魚など)、を採取したり(サンプリング)、前処理を行なったり、機器の校正を行なったりと言った種々のプロセスが必要であり、そのプロセスの一つ一つが正確であることが重要な要件であります。この様なプロセスは、その測定目的に応じて異なりますが、一般的な注意事項として、次の様な点に留意する必要があります。

まず、測定目的に最適であるように、事前に十分な検討をし、研究手順を作成しなければなりません。こう言った手順を作成することにより、研

究目的がより一層明確になりますし、その目的を達成するための道すじが明らかになります。

サンプリング

サンプリングについて言えば、得られた結果から確かな推察を行い得るのに適したサンプリングをする必要があります。特に環境におけるサンプリングについては、検出された微量成分について、どのような要因で増加したのかを考察できるようなプログラムを立てることが重要です。つまり、サンプリング中で、発生源以外の他の要因により、目的とする微量成分濃度が、増加していないかどうかをチェックする必要があります。この様なエラーを防ぐために、発生源からの汚染がないと考えられるサンプルを同時に採取し、それと比較すると言ったことが重要です。

目的成分の分離

次に目的成分の分離についてですが、正確にサンプリングした試料から目的成分を分離することが必要となってきます。

本来、分析装置自身は、現在、大変高感度になっており、例えば、質量分析装置では、 $1 \times 10 \text{ g r}$ (1 p g) 目的物質があれば測定することができます。しかし、実際の環境試料中には、きわめて多種類の成分が含まれており、その中から目的とする物質を分離濃縮してやるのが是非とも必要です。この様な分離・濃縮手段としては、溶媒抽出法、液体クロマトグラフィー法、ガスクロマトグラフィー法などが一般に用いられています。

測定

現在、環境試料のもっとも高感度な測定法の1つとして先にも述べました質量分析装置があります。この方法は、物質の質量差によって分離し高感度に検出できるものです。最近の高分解能の質

量分析装置では、原子質量単位で、 0.0001 a t u (水素原子を1とする)の分解能で、物質を分離・検出することが可能です。この様な高分解能になりますと、質量がほぼ同じで化学構造の違う様な物質の分離・検出が可能となります。この技術は、前述しましたガスクロマトグラフィー法などで分離不可能な物質を分離・検出する時に威力を発揮します。しかし、この様にすぐれた方法でも、実際に測定してみますと、ランダムに信号が変化する現象が観測されます。これを“ノイズ”と呼んでおり、ノイズが発生する原因については、環境中にある他の成分の妨害、(先程も述べましたように、環境中には数万種の成分が混ざっている訳ですから、それらを“完全に分離する”ことは不可能です)、によるものが主であると考えられます。

測定結果の解釈

さて、測定結果を解釈するに当たって、まず、目的とする物質の濃度が、検出できる濃度かどうかを検討しなければなりません。もし、その濃度を示す信号が、ノイズレベルに近いものであれば、検出できないと言うことになります。

この問題について、1973年12月13日に米国の環境保護庁で開かれたシンポジウムでは、測定信号が、少なくともノイズレベルの2.5倍以上なければ、“検出不可能”とし、また、10倍以上なければ、再度測定すると言う様に決められました。

測定結果の信頼性評価

測定法自体に十分な感度があれば、次は、サンプリングから検出までの、一連の測定手順についての、総合的なチェックが必要となります。これには、大きく分けて“測定法自身が正確に目的物質を測定しているかどうかの実証試験”と、“測

定値のバラツキは許容範囲であるかどうかのチェック”とがあります。

できれば、この様な測定手順については、数カ所の研究機関で、各種の測定濃度について、“標準添加試験”の様なものを、統計的に有為な数で行なうことが重要です。また、その様な実証試験を実施することによって、測定手順自身の真値からの偏りなどの原因を推測することも可能となります。

以上のような実証試験の他に、各測定者により“バラツキ”の試験を、濃度未知の標準試料により行なわなければなりません。また、実証試験とバラツキ試験とを合わせた試験計画を立てることにより、分析者の先入観なしに正しく測定法を評価できると思われれます。この様な試験の結果、測定法自体の問題点が浮き彫りにされてきます。

以上述べたような問題点以上に、実際の環境測定の評価や解釈は、複雑な問題を含んでいます。目的物質の濃度は地点により異なりますし、時々刻々と変化する可能性もある訳ですから、サンプリングについては、その地点、時刻などが適切かどうかの吟味が不可欠です。

ここで、もう一度強調しておきたい事は、測定装置の分析精度のみで、つまり、測定信号がノイズの2.5倍以上あるからと言って、その測定値に信頼がおけると考えるのは誤りです。例えば、これは私見ですが、現在大きな問題となっている、テトラクロロジベンゾイルダイオキシン（TCDD）の測定を考えた場合、（TCDDは、先述したガスクロマトグラフィーで分離し質量分析装置で分離・検出する測定法がよく用いられています）、この分析法では、環境中の他のダイオキシンの妨害があるため、測定信号がノイズの2.5から10倍程度では、全く信頼のおけない結果であると判断すべきであります。

このTCDDの分析手法についての経過は、今

まで述べたような問題点をかなり含んでいます。おもしろい事に、すでに、ある政府機関では、TCDDの測定を 1×10^{-15} （10兆分の1）の濃度レベルで行なうよう要求しています。そしてさらに、その測定濃度レベルを 1×10^{-18} まで、下げようともくろんでいます。ここにお集まりの皆さん、この様な低濃度レベルの化学物質が、環境中に何百万あるか想像してみてください。上の値が、いかにばかげたものであるかを。

「化学物質と元素普存説」

国立公害研究所副所長

不破敬一郎 氏

今日、ここで私は、人類が人工的に合成いたしました化学物質による汚染の問題について、少しお話ししたいと思います。

よく御存知の方もいらっしゃると思いますが、

レイチェル・カーソンという米国の生物学者が、1962年に“沈黙の春”という本を出版いたしました。この本は、DDTなどの農薬のために、森林の鳥が死んでしまい沈黙の春が訪れたという、いわゆる化学が食料などの増産のためによかれと思って合成した化学物質が、結果として環境を破壊してしまい、取り返しのつかない事となったと言う。我々に環境問題の重要性を示唆した原典とも言うべき本であります。

このレイチェル・カーソンの予言は、ほぼ四半世紀を経た今となって再評価しましても、大体において正しい事であった様に思われます。(表1参照)

表1 環境問題関連事項

1962	国際的関心の始まり、R. カーソン著“沈黙の春”(R. Carson, "Silent Spring")
1964	国際生物学事業計画 (IBP/ICSU) 開始
1965	米国美化運動 (Mrs. L. Johnson, "Keep America Beautiful" 運動)
1967	公害対策基本法
1968	水俣病、イタイイタイ病の認定; 大気汚染防止法
1969	国際学術会議・環境問題委員会設置 (SCOPE/ICSU ; モニタリング・アセスメント研究センター、MARC Chelsea)
1970	科研特別研究“人間生存”開始; 米国環境保護局設置 (EPA/USA); 水質汚濁防止法
1971	「人間と生物圏」事業計画発足 (MAB/UNESCO) 環境庁設置; PCB対策国会決議
1972	国連ストックホルム環境会議; 国連環境問題部局 (UNEP)、地球監視 (Earth Watch)、 地球規模環境モニタリング組織 (GEMS) 設置
1973	化学物質関係法案並びに審議会
1974	国立公害研究所 (NIES) 設置; 米国エネルギー省設置 (ERDA/USA)
1975	人間環境国際会議 (HESC/SCOPE、UNEP)
1977	MAB/UNESCO・科研特別研究“環境科学”開始
1981	人間・生態系国際シンポジウム (ISMIED/MAB)
1984	沿岸河口域国際シンポジウム (MICE/MAB)
1985	スコープ総会
1986	化審法改正

DDTやPCBに代表される様な人工的な化学物質の種類は、先程までお話しにありました様な重金属などに比べ大変多く、約600～700万種類も存在いたします。また、その中にはフライザー先生のお話しにありました史上最毒物質とされていますダイオキシン（2、3、7、8-テトラクロロジベンゾイルダイオキシン）なども含まれる訳ですが、この様なものが、地球規模で拡散し、非常に重要な環境汚染物質となっております。（表2，図1参照）

例えば、冷蔵庫やヘアースプレーなどに使われておりますフロンガスは、成層圏にあって、太陽からの有害な紫外線を防いでいるオゾン層を化学反応によって破壊すると危惧されています。

最後に、一言申し上げたいと思いますが、19

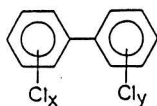
36年にドイツのノダックという化学者が唱えました“元素普存説”と言うのがあります。この説はつまり、地球上のすべての物質は、すべての元素を含んでいるというものであります。これは、先程出ておりました、サンソニー先生の自然放射能の問題や、フライザー先生の言われました“汚染がゼロであることはない”という問題とも関連すると思いますが、不純物が入っていない物質はあり得ないと言うことでありまして、私の申し上げておりますDDTやPCBなどの化学物質は、非常に安定でありまして、今や全地球上に漫延しており、“その汚染のない”環境はあり得ないという“汚染普存の時代”に直面している、この事が、今後の環境を考える上で重要なポイントではないかと思える訳であります。

表2 諸外国における有害化学物質による環境汚染問題例

事 件	物 質	国	時
セベソ化学工場爆発	ダイオキシン	イタリア	1976年 7月
ラブキャナル汚染事件	ダイオキシン	米国	1940年代産業廃棄物処分
ボパール	メチルイソシアネート	インド	1984年12月
シリコンバレー	トリクレン	米国	1980年代
リヨン郊外トランス火災	PCB	フランス	1986年 6月

特定化学物質（7種）

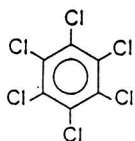
PCB



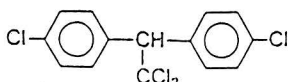
PCN



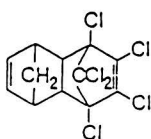
HCB



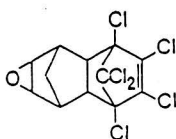
DDT



Aldrin



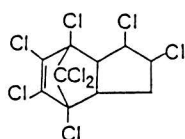
Dieldrin



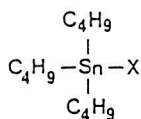
Endrin : Dieldrin の立体異性体

話題になっている化学物質

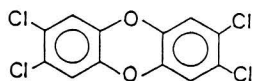
Chlordane



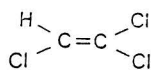
トリブチル錫化合物



ダイオキシン



トリクレン



コメント

東京大学名誉教授

藤原鎮男 氏

このパネルディスカッションを企画するにあたりまして、まず考えました事は、“科学はいかに正確なデータを与えているかどうか”それから、“我々は環境に対する正確な認識を持って行かなければならない”と言う事でありました。

以上の事に対しまして、本日お集まりの先生方にお話を伺い、その目的を達することが出来た様に思います。

しかし、それでは“地球はいったいどうなるんであろう”という疑問が湧いて来る訳でございますが、その点につきまして、2点ほどコメントいたしたいと思えます。

一つは、自然界のバックグラウンドが非常に微量であっても体内などへの蓄積が起こる事、あるいは、個々には微量であっても何種類も集まって影響するといった複合効果がある。そういうものが、地球の将来に対しまして大きな影響を及ぼすのではなからうかと言う事でありませう。

それから、我々が予期せぬ様な大きな事故が起こり、地球が汚染されるのではないかと言う危惧であります。

この2点につきまして、“地球がどうなる”と言うことに密接に関係していると思われまますので、今後の課題として検討を要するものではないかと考えております。

図1 各種の化学物質

本講演会は以上の講演の後、参加者全員によるパネルディスカッションが、評論家五代利矢子氏の司会により行われました。以下に五代氏の挨拶を収録します。

話をいただきたいと存じます。ゴールドバーグ先生よろしくお願い申し上げます。

コーディネーター挨拶

評論家

五代利矢子 氏

ただいま紹介にあずかりました、五代でございます。コーディネーターと言いますと大変な仕事でございますが、本日、このパネルディスカッションに参加させていただきしたのは、コーディネーターと言いますよりは、“地球はどうなる”と言う、私達の身近で重要な問題に、一人の市民として参加させていただく所存で参りました。本日は、それぞれの専門の先生方のお話をお伺いして、それを、私達のレベルで捉えたいと言う気持ちから参加させていただいている訳でございます。

本日、お集まりいただきました皆様の中には、かなり御専門の方々もいらっしゃる訳ですが、今日は、ごく一般の皆様にも分かり易いお話と言うことで進行させていただきたいと思っております。

本日は、まずそれぞれの先生方から、約15分間の解説をいただきまして、それを基本ベースにいたしまして、ディスカッションを行いたいと思っております。ディスカッションでは、初めに、私から素朴な質問を、素人の立場からさせていただきますが、後には、皆様、会場からどしどし御質問いただきます様お願い申し上げます。特に、一般の方々からの御質問を歓迎すると言うのが、今回の主旨でございますので、よろしくお含み置きいただきたいと存じます。

それでは、最初にゴールドバーグ先生より、お

講演者のプロフィール

1) 藤 永 太一郎

奈良教育大学学長。(財)海洋化学研究所理事長。京都大学名誉教授。分析化学、水圏地球化学の分野において、特に新しい方法論の創造を主として、常に先駆的な研究に取り組んでこられ、この分野での世界の第一人者の一人である。著書として、「基礎分析化学」(朝倉書店)「琵琶湖の環境化学」(学振)など多数出版されておられる。

2) E. D. Goldberg

米国 California 大学 San Diego 校 Scripps Institute of Oceanography 教授。自然水、たい積物の地球化学的研究、たい積過程及びたい積層の年代決定への放射化学的手法の適用、大気・海洋汚染の環境化学的研究を精力的に続けられている。現在は環境中の白金属元素の動態、氷河を利用した地球表面の地質学、自然あるいは人工的な燃焼によって生じたすす成分の拡散などを研究テーマとされている。また、Geochemical Journal, Marine Pollution Bulletin, Oceanus 各誌の編集委員を務め、“Health of the Ocean”, “Black Carbon in the Environment”などの著書がある。海洋の汚染に関する国際会議を米国内ばかりでなく、イギリス、台湾などでも多数主催されている。

3) 北 野 康

名古屋大学名誉教授。元水圏科学研究所所長。大気と海の地球化学、炭酸塩の地球化学的研究を通して、“大気と海はどのようにしてできたか”と

いうロマンに満ちたテーマについて取り組んでおられる。著書として、「水の科学」(日本放送出版協会)「水と地球の歴史」(日本放送出版協会)「地球と環境の化学」(岩波書店)「地球環境の化学」(裳華防)「Geochemistry of Water」(Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.)など多数。出版されておられる。

4) B. Sansoni

西ドイツ Julich 核研究所中央化学分析部教授。Bjerrum 教授(デンマーク)のもとで錯体の溶液化学の研究、エール大学でイオン交換樹脂の研究の後、現研究所の指導的立場に就かれた。近年は、放射化学分析法による岩石や大気圏微粒子中の多元素の同時分析に関する基礎的研究、及び標準物質と装置の開発を行っておられる。また、原子吸光分析における Resin Beads 法の適用性に関する研究、ICP 発光分析法による環境試料分析法の開発も精力的に進められている。更に、background放射能の高い花こう岩地域での天然放射能の測定に関する研究報告も多い。最近、“Instrumentelle Multielementalanalyse”を編集、出版された。

5) H. Freiser

米国 Arizona 大学化学科教授。同 Strategic Metals Recovery Research Facility 所長。無機化学・分析化学を専攻。環境の分野における微量化学物質の分析手法の開発、資源として重要な“希少金属(レアメタル)”の回収方法の開発などに精力的に取り組んでおられる。著書として、「イオン平衡」(化学同人)など多数出版されておられる。

れておられる。

6) 不 破 敬一郎

環境庁国立公害研究所副所長。東大名誉教授。無機化学・分析化学・地球化学の分野において、特に、最新の分析手法を開発し、環境における微量化学成分・重金属のキャラクタリゼーションについて、精力的な研究を行っておられる。著書として、「原子吸光分析」(広川書店)、「生体と重金属」(講談社サイエンティフィック)等多数出版されておられる。

7) 藤 原 鎮 男

神奈川大学教授。東京大学名誉教授。分析化学、無機化学の分野において、数々の業績を揚げておられる。特に核磁気共鳴法などの業績は、内外に高い評価を得ている。現在も、情報化学などの新しい分野の研究に意欲的に取り組んでおられる。著書として「化学の基礎」(大日本図書)、「生物分析化学」(学会出版センター)など多数出版されておられる。

8) 五 代 利矢子(評論家)

東京女子大文学部卒業後、アメリカ大使館ラジオ・テレビ部に勤務、フリーのルポライター、TVインタビューを経て、昭和38~39年 渡米。昭和41年 NHK「こんにちは奥さん」の初代司会者となる。その後、TBS「教育相談」「暮らしの法律相談」、NHK「カメラレポート」、「親子談話室」等の司会。現在は、ラジオ短波「ニューズトゥデイ」、TVK「700万人のひろば」、NHK「早起き鳥」で各ニュースキャスター、司会、インタビュー、として出演。各地にて講演。各種シンポジウムのパネラー或いはコーディネーター。ユーザーの視点からの評論を各紙に寄稿さ