

原子が奏でる不思議なメロディー

— ぶんせきと放射線 —

金井 豊 (技術部)
Yutaka KANAI

1. はじめに

昨年の4月末にソ連のチェルノブイリ原子力発電所で事故が発生し、世界中に大きな衝撃を与えました。ヨーロッパではヨウ素剤を購入するため薬局の前に長い行列ができたことテレビで伝えられましたし、日本でも予想を上回る早さで放射性降下物が観測されて、連日その放射能レベルが新聞・テレビ等で報道されました。雨に濡れてしまったが健康上問題は無いでしょうか、野菜を食べたり牛乳を飲んだりしても大丈夫でしょうかとか、あるいは一般の人達からの問合せが、放射能関係の機関に数多く寄せられたと聞きます。時の経つのは速いもので、それから1年余り経過し、放射能に対する関心も薄らいだ感があります。

ところで、最近ではエイズの問題が世界中を駆け巡っています。病気に対する体内の免疫性がなくなってしまうのですから、恐ろしい病気です。一時は電車やバスの吊革に触っても大丈夫でしょうかという問合せもあったそうですから、かなり過敏になっているといえそうです。そうした意味で「放射能もエイズと同じだ」という話をよく耳にします。実際以上に大きく騒ぎ立てていることをたどっているのでしょうか。

感覚的アレルギーとでもいうのでしょうか「放射能」「放射線」と聞いただけで嫌悪感を抱き、放射線を悪者にしてしまうのです。しかし、私達の回りを眺めてみますと、放射線のお世話になっている部分が意外とあり、その恩恵に気付かずにいることが多いのです。

例えば、胃や胸部のX線撮影、歯の治療のためにもX線撮影を行います。また、カレーや煮ころがしに入っているジャガ芋についても、発芽防止のためにγ線照射の試みがなされております。このように放射線のお世話になっているが、一方では嫌いな奴だという……ちょっと矛盾していますが、こうした考えは放射線に対する理解が不十分なところから生じている場合が多そうです。

チェルノブイリ原子力発電所の事故から1年余り経過した今、それを振り返り、放射線についての関心を高めることは、いろいろな意味で有意義なことだと思います。こうした機会に、放射線がどのようなもので私達

の回りでどのように使用されているのか、特に分析や地球化学の分野における有効な利用例をいくつか挙げて、研究者が「嫌われっ子」放射線とどのように接しているのか、本小論でご紹介したいと思います。これによって放射線に対する理解を深め、認識を新たにしていただければ、放射能測定に関係する仕事に従事している者のひとりとして、幸いと思います。

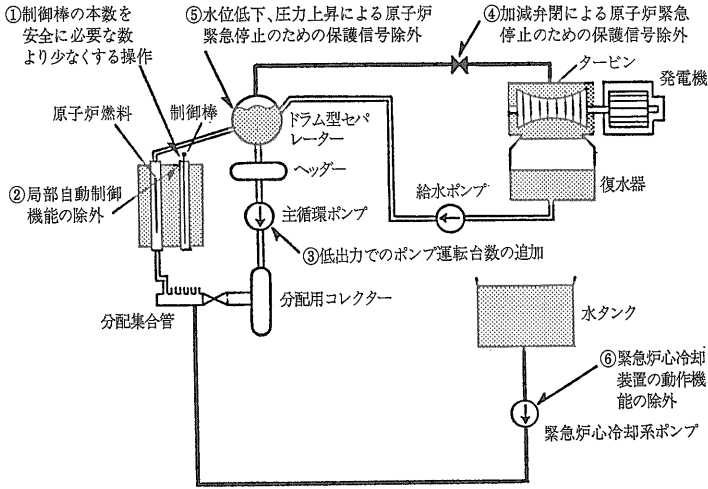
2. チェルノブイリ原子力発電所の事故

まず、チェルノブイリ原子力発電所の事故を振り返ってみましょう。チェルノブイリ原子力発電所は、ソビエト連邦ウクライナ共和国キエフの北方、約130kmのところにあります。事故が起きたのは第4号炉で、スウェーデンで大きな放射能異常が検出されたのが最初でした。事故の詳細については未だ不明な点も多いのですが、いくつかの報告によると次のようになるでしょう。

- ① 「原子炉の出力が低下し、タービンの水蒸気が断たれても、タービンは慣性で回り続けるだろう。その力で別のモーターを回し、炉の緊急時のバックアップシステムとすることができないか」という目的で、低出力実験を行っていた。
- ② 原子炉を緊急停止するために必要な30本の制御棒を7本とし、さらに繰返し実験を行うために、緊急炉心冷却装置 (ECCS) のスイッチも切られていた。
- ③ そうして、1986年4月26日午前1時23分4秒 (日本時間 午前6時23分4秒) 実験が開始された。
- ④ 炉は急激な出力上昇を示し始め、異常事態に気付いた運転員が制御棒を全部炉内に入れて炉を止めようとしたが、時すでに遅く、部分的炉心溶融によって制御不可能となり、原発火災が発生、放射能が環境に放出された。

原子炉の低出力状態というのは、ジャンボジェット機がエンジンの出力を低くおさえずぎて失速するように不安定な状態なのです。チェルノブイリの原子炉もそんな不安定な状態にあったわけです。

第1図は、毎日新聞に報道された事故原因です。これらのミスはすべて人為的なものばかりです。また、日本における原子力発電所に使われている原子炉は、事



第1図
チェルノブイリ原発系統図と事故原因(①～⑥)
(1986年8月25日付 毎日新聞より).

故を起こした予連のものと炉の型が異なっていて 日本では考えられないことだといわれていますが 当然のことながらあってはならないことです。

環境中に放出された放射性物質は スウェーデンの他にもノルウェー デンマーク等でも検出され 5月初めには中部ヨーロッパにも広まりました。日本でも 5月3日～5日の間に ^{131}I や ^{137}Cs 等が検出されました。

第2図には 青山ら(1986)によって報告された 日本各地において検出された5月1日から8日までの間の雨水中の ^{131}I の濃度とその降水量を示しました。

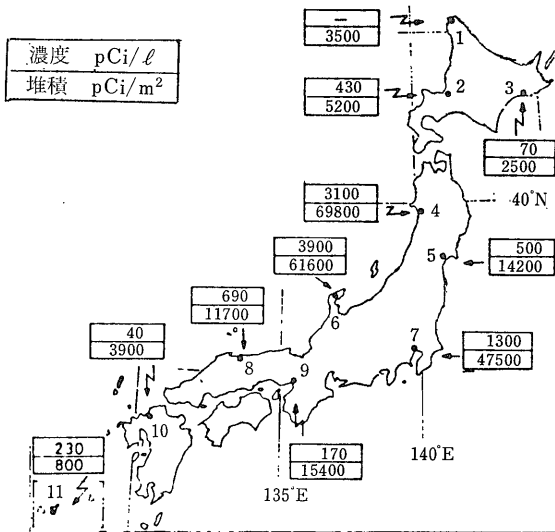
それでは このような放射能 放射線はどのようなものなのでしょうか。

3. 放射線——嫌われっ子の生いたちと素性

“放射能”と“放射線”という言葉は時々混同して使われることもあります。後に述べるように“放射能”は“放射線”に出す能力をいいます。例えば“放射能”を浴びる」というのは“放射線”を浴びる」という表現の方が正しいと思われます。

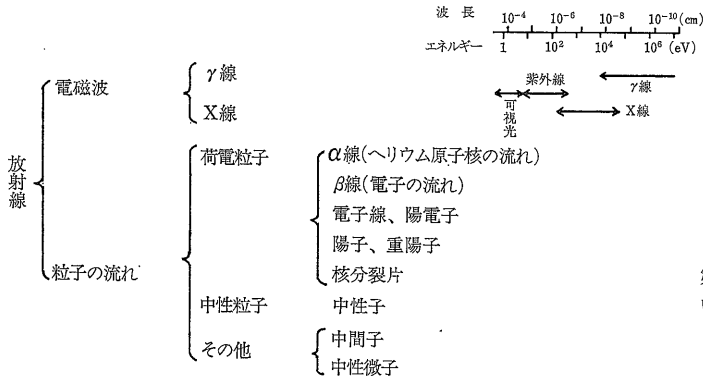
放射線とひとくちに言っても いろいろな兄弟が存在していて 姿がはっきりしているものから地面に足がついていないようなぼんやりとしたものまでいくつかありますが 大別すると粒子の流れと電磁波に分けられます(第3図)。

放射線を最初に発見したのは W. C. Roentgen の X



第2図
1986年5月1日～8日の間に国内11ヶ所において測定された ^{131}I の雨水濃度及び堆積量 (Aoyama, et al., 1986による)。

1. 稚内 2. 札幌 3. 釧路 4. 秋田 5. 仙台
6. 輪島 7. 東京 8. 米子 9. 大阪 10. 福岡
11. 石垣



第3図
いろいろな放射線.

線で 1895年のことです。その後 H. Becquerel や Curie 夫妻等が次々と放射性元素を発見するに至ってそれらに関する研究が急速に進められるようになりました。天然放射能の代表とされるウランの放射能はその翌年 1896年に H. Becquerel によって発見されました。ちなみに 元素としてのウランはそれよりも百年以上も早く 1789年 Martin Heinrich Klaproth がチェコスロバキアのヨハムスタル鉱山で産出されるウランの酸化鉱物であるピッチブレンド (レキ青ウラン鉱) から発見したのが最初です。元素の発見では26番目で 私達に馴染み深いナトリウム カリウム マグネシウム カルシウム等よりも早く見つけられています。一方 ラジウムの発見は遅く キュリー夫妻によって1898年にピッチブレンドの中から見つけられました。そのあたりの苦勞話は伝記に詳しく書かれています。

X線やラジウムの発見とともに これらの医学への応用も進みましたが それと同時にこれらの放射線を扱う放射線技師の間に障害が見られるようになり 国際的な会議でも放射線防護に関するテーマで当初から議論されてきました。すなわち これらの放射線を利用しようとする時には放射線防護を常に意識しておく必要があるのです。現在では 国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection, ICRP) によって 世界的視野に立って防護基準等の勧告がなされています。

(現行の国内法体系は ICRP Publ. 6 (1959年修正 1962年改訂) に基づいていますが1977年 ICRP Publ. 26が新たに勧告されるに従い 勧告内容の国内法への取り入れ作業が現在進められております。)

放射線を科学的に取り扱う上では その単位が重要ですが 一方でまた 誤解を招き易いものでもあります。放射能の強さを表わす単位に Curie 夫妻の名をとったキュリー (Ci) を用いますが 第2図に示しましたように この1兆分の1に当たるピコキュリー (pCi) として

用いることもあります。これが曲物でありまして 例えば東京の ^{131}I が 1,300 ピコキュリーと報告されてもそれが多いのか少ないのか見当がつかない。10円や100円は物としてその大小を他の物と比較して見当をつけることができますが 放射線の場合はなかなかそうはいかない。さらに悪いことに この例の場合の1,300という数字だけが一人歩きしてしまい 1.3ナノキュリー (nC_i, 10億分の1キュリー) とか0.0013マイクロキュリー (μCi, 100万分の1キュリー) と表現したのとは別の感覚を私達に与えてしまうのです。従って 単位の表わす意味を私達が正しく理解するか または私達が感覚的に馴染み易い単位を用いることが特に大切であると思えます。

従来 放射能の強さを表わす単位にキュリー (Ci) 照射線量の単位にレントゲン (R) 吸収線量の単位にラド (rad) 線量当量の単位にレム (rem) が用いられてきましたが 1960年に S I 単位系が種々の物理量の基本単位として用いられるようになったのにに伴い 放射線関係においても新しい単位系を用いるようになってきています。これらに用いられる用語の概念と単位系を第1表に示してあります。現在 新旧両方の単位系の使用が認められておりますが いずれ S I 単位系に統一されるものと思われまふ。これらの単位系では 長さや重さ 時間等の単位と違い なかなかピンとくるものではなさそうですから 単位系の意味を私達が良く理解する意外に放射線と仲良くする近道はなさそうです。

ちなみに 従来の単位の1キュリーは1グラムのラジウムと平衡にあるラドンがもつ放射能 1レントゲンは1立方センチメートル (0.001293グラム) の乾燥空気を電離して1静電単位のイオンをつくる放射線の強さと決められておりました。

ところで 私達が放射線防護で一般的に耳にするのは線量当量 (rem, Sv) で表示された数値が多いのですが この表示と他の吸収線量や照射線量 さらに放射能の

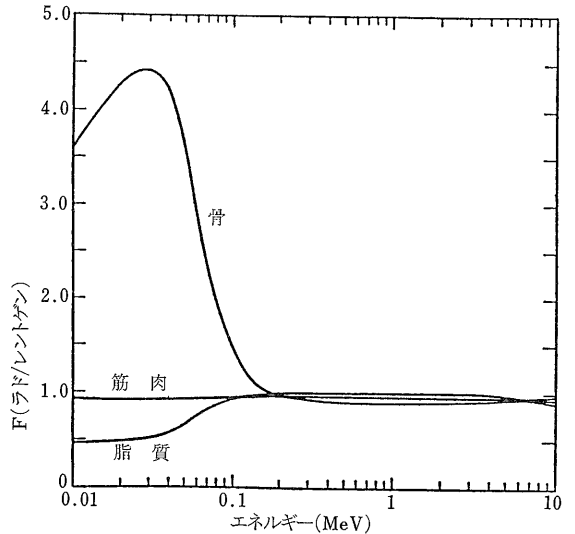
第1表 放射線に関する主な用語と単位

用語	内容	旧単位	SI単位
放射能	壊変して放射線を出す能力 毎秒あたりの壊変数	キュリー (Ci)	ベクレル (Bq)
照射線量	γ , X線において空気を電離させる放射線の強さ	レントゲン (R)	クーロン毎キログラム (C/kg)
吸収線量	放射線によって物質に与えられたエネルギー	ラド (rad)	グレイ (Gy)
線量当量	生物学的効果を考慮した線量	レム (rem)	シーベルト (Sv)

SI 単位系及び旧単位系には次の関係がある

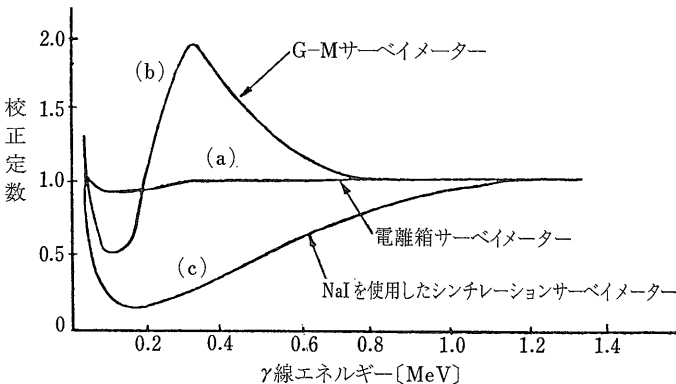
$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}, \quad 1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}, \quad 100 \text{ rad} = 1 \text{ Gy} \quad (1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}), \quad 100 \text{ rem} = 1 \text{ Sv}$$

位や放射線検出器の計数値 (例えばカウント毎分 cpm やカウント毎秒 cps) とはどのような関係にあるのでしょうか。実は線量当量 (H) は吸収線量 (D) と $H = D \cdot Q \cdot N$ という関係にあり Q は線質係数と呼ばれるもの N はその他の係数で現在は 1 です。線質係数 Q の値は放射線の種類及びエネルギーによって変化するのですが平均的には X 線や γ 線及び電子では 1 エネルギー不明の中子や陽子等では 10 エネルギー不明の α 粒子や多重電荷粒子では 20 という値が使われています。次に吸収線量 (D) ですがこれはエネルギーですので実際には発熱量や放射線によって生じたイオン対を求めたりしないと正確には決められないのですが X 線や γ 線の場合には照射線量 (X) との間に $D = F \cdot X$ という関係があります。この F は物質の種類やエネルギーの大きさによって変化します (第4図) がエネルギーが 0.15MeV 以上になりますと物質の種類によらずにほぼ 1 になります。この照射線量は正確には空洞電離箱を用いて測定しますが 実用的には二次線量計として GM 計数管やシンチレーションカウンターを用いることもあります。しかしこれらの計数管の感度は 第5図に例を示したように放射線の種類・エネルギーに依存しているので表示された計数率 (cpm や cps さらに R/h など

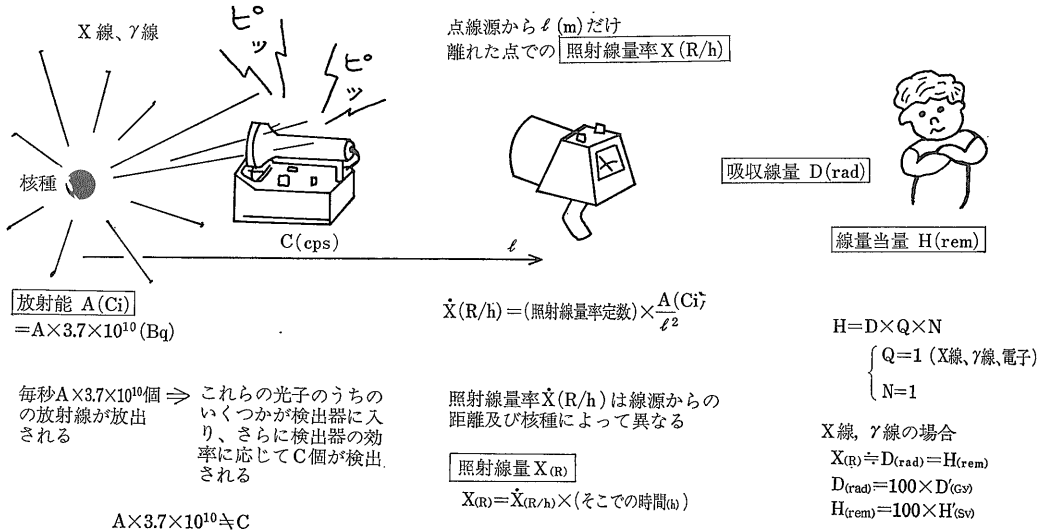


第4図 吸収線量—照射線量換算係数のエネルギー依存性 (越島, 1983による)。

される) は必ずしも常に照射線量率を示すものではなく注意が必要でしょう。以上述べた関係を X 線や γ 線を例にとり 簡略化して第6図に示しました。



第5図 γ 線サーベイメーターのエネルギー特性の一例 (吉川, 1983による)。



第6図 放射線関係の単位系における簡略化した相互の関係 (X線, γ線の例).

4. 放射線を用いる分析法

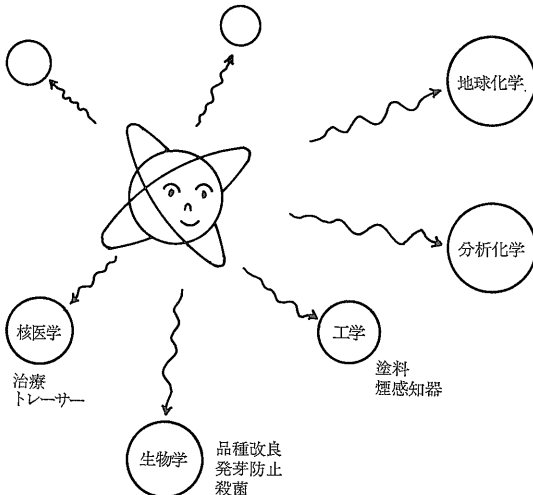
放射線はいろいろな分野での分析に応用されており、それは放射線が核変換によって原子から放出される原子の状態を変える程のエネルギーを持っているという性質があるため、原子核もしくは原子の情報を放射線が私達に伝えてくれるからでしょう。まさしく放射線は原子(核)が奏でるメロディーなのです。

放射線の利用例は多岐にわたっておりその全てを網羅することはできませんが、その中で分析化学的・地球化学的分野において私が日頃関心を持っている応用例をい

くつか述べて放射線がどのように利用されどのような利点を持っているのかご紹介したいと思います(第7図)。

年代測定

放射性核種はそれぞれの核種に特有な壊変定数で定まる速さで放射線を放出しながら壊変していきますがこの壊変定数は外部の温度・圧力等の条件によってほとんど変化することがありません。このため放射性核種は“時計”としての働きがあり特に人類の歴史に残されていない地質学的現象に対する年代決定に重要な手法



第7図 地球化学・分析化学における放射線利用

自然放射線(核壊変)をプローブ

- ・環境測定
- ・年代測定
- ・同位体測定
- 核種・元素分析
- ・放射分析
- ・放射化分析
- ・ケイ光X線分析
- 放射線をプローブ
- ・各種分光分析
- ・表面分析
- ・状態分析
- ・レーザー実験

第2表 年代測定に利用される主な放射性核種 (野津, 1980に加筆)

親核種	半減期(年)	年代の示す内容
天然放射性核種		
¹⁴⁷ Sm	1.06×10^{11}	固化年代 (Sm-Nd 法)
⁸⁷ Rb	4.88×10^{10}	" (Rb-Sr 法)
¹⁸⁷ Re	4.30×10^{10}	" (Re-Os 法), 元素の年代
¹⁷⁶ Lu	3.6×10^{10}	" (Lu-Hf 法)
²³² Th	1.41×10^{10}	" (U, Th-Pb 法), 元素の年代
²³⁸ U	4.47×10^9	" (U, Th-Pb 法), フッショントラック年代
⁴⁰ K	1.28×10^9	" (Ar-Ar 法), 気体保持年代 (K-Ar 法)
²³⁵ U	7.04×10^8	" (U, Th-Pb 法), 元素の年代
¹⁴⁶ Sm	1.03×10^8	消滅核種年代
²⁴⁴ Pu	8.2×10^7	"
¹²⁹ I	1.7×10^7	"
¹⁰⁷ Pd	6.5×10^6	"
¹⁰ Be	1.5×10^6	海底堆積物年代
²⁶ Al	7.2×10^5	消滅核種年代
²³⁰ Th (Io)	8.0×10^4	海底堆積物年代
¹⁴ C	5.73×10^3	考古試料年代
²¹⁰ Pb	2.23×10^1	海底堆積物年代
人工放射性核種		
¹³⁷ Cs	3.02×10^1	海底堆積物年代
³ H	1.23×10^1	滞留時間

となっています。第2表には年代測定に用いられる主な核種を示しました。年代測定法の詳細については専門書や地質ニュース320号(松本英二氏「堆積年代測定法(I):鉛-210法」)337号(柴田賢氏「年代測定法の新分野と将来」)等に譲ることにして多くの放射性核種が年代測定に利用されていることが理解されると思います。

同位体測定

天然には放射線を出して壊変した娘核種がさらに壊変して孫核種となりさらにそれが壊変してひ孫核種というように次々と系列をつくって連続的に壊変する放射性核種があります。これがウラン系列アクチニウム系列トリウム系列と呼ばれているものでそれぞれ²³⁸U ²³⁵U ²³²Thを親核種としています。これらは地質学的な十分長い時間が経った後は親核種とその娘核種との間の放射能が等しい放射平衡と呼ばれる状態になると考えられてきました。しかし実際には種々の理由によって非平衡になることがわかってきてこのような非平衡を利用した地球化学的研究がなされております。詳細は地質ニュース382号(金井「天然における放射平衡と地球化学」)を参照していただければ幸いです。

放射分析

放射性核種を用いその放射能を測定することによって試料中の目的とする元素の量・濃度を求める分析法です。この分析法には放射性同位体でラベルした反応試薬を試料に加えて目的イオンを沈澱させその放射能もしくは母液に残った放射能を測定し試料中目的イオン濃度を求める方法(放射試薬法)や放射能測定によって滴定における終点を決定する放射滴定法さらに放射性同位体を添加してその比放射能(単位重量当たりの放射能)を測定し目的物質を定量する同位体希釈法等があります。非放射性核種と放射性核種は化学的にほとんど同様な挙動を示しますし放射能測定は感度が良く機器分析よりも鋭敏な場合も多いといわれております。

放射化分析

原子に核反応を起こさせて生じた放射性核種の放射能を測定し同定と定量を行う分析法です。放射化する方法には原子炉や中性子発生装置からの中性子による方法(中性子放射化法, NAA)高エネルギーγ線を用いる方法(光核反応法, PAA)陽子・重陽子・トリチウム核等の荷電粒子を用いる方法(荷電粒子放射化法, CPAA)等があります。NAAが一般的ですがCPAAはNAAで分析困難な水素ヘリウム炭素窒素酸素

第3表 放射化分析における検出感度

NAA*		PAA**	
検出感度 (μg)	元 素	検出感度 (μg)	元 素
(1~3)×10 ⁻⁷	Dy	~10 ⁻²	F, Sc, Cu, Ga, Sr, Zr, Pr, Nd, Er, Ta
(4~9)×10 ⁻⁷	Eu	10 ⁻² ~10 ⁻¹	P, Cl, K, Ti, Zn, Rb, Mo, Ru, Ag, In, Sb, Te, Cs, Ba, Sm, Au
(1~3)×10 ⁻⁶	Mn, In, Co	10 ⁻¹ ~1	C, N, O, Cr, Fe, Ni, Ge, As, Se, Br, Nb, Rh, Pd, Cd, Sn, I, Ce, Eu, Gd, Ho, Tm, Lu, Re, Ir, Pt, Hg, Tl, Pb
(1~3)×10 ⁻⁵	Rh, Ir, Lu	1~	Na, Mg, Si, Ca, V, Mn, Co, Y, La, Dy, Yb, Hf, W, Os, Bi
(4~9)×10 ⁻⁵	Br, Sm, Ho, Re, Au		
(1~3)×10 ⁻⁴	Ar, V, Cu, Ga, As, Pb, Ag, I, Pr, W		
(4~9)×10 ⁻⁴	Na, Ge, Sr, Nb, Sb, Cs, La, Er, Yb, U		
(1~3)×10 ⁻³	Al, Cl, K, Sc, Se, Kr, Y, Ru, Gd, Tm, Hg		
(4~9)×10 ⁻³	Si, Ni, Rb, Cd, Te, Ba, Tb, Hf, Ta, Os, Pt, Th		
(1~3)×10 ⁻²	P, Ti, Zn, Mo, Sn, Xe, Ce, Nd		
(4~9)×10 ⁻²	Mg, Ca, Tl, Bi		
(1~3)×10 ⁻¹	F, Cr, Zr		
(4~9)×10 ⁻¹	Ne		
1~3	S, Pb		
4~9	Fe		

* 熱中性子速 10¹³ n/cm²s 照射時間最大1時間 (寺田, 1981による)

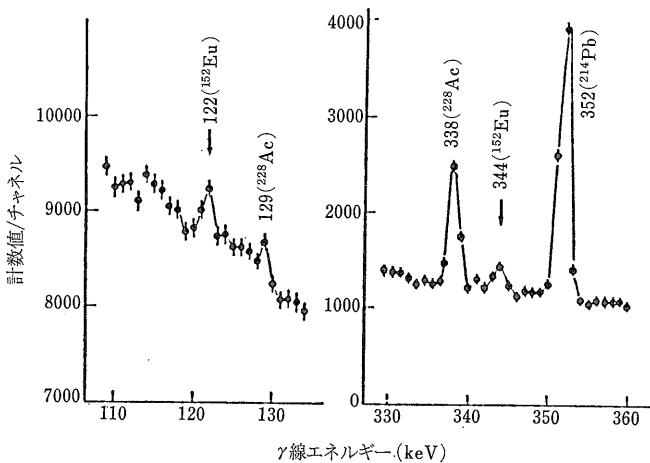
** 20 MeV 制御放射線 9.4×10⁶ R/min 照射時間1時間 (アイソトープ便覧による)

ホウ素 ケイ素等 原子番号の低い元素の分析に有用です。このような放射化分析法は それぞれの核特有の反応ですので 化学的に類似した元素が共存していても妨害にはなりませんし 試料は溶解・分解などせず非破壊で測定することもでき さらに多くの元素が同時に定量できる等の利点を有していますので 少量しかない貴重な試料の分析にはその偉力を発揮します。放射化分析の検出感度は 元素の核反応断面積・生成核種の半

減期 中性子等の照射時間によって決まるために一概にいうことはできません。一例として 第3表にNAAとPAAの場合の検出感度を示しましたが かなり低濃度まで測定できることが分かります。

in situ γ線スペクトロメトリー

従来 γ線測定は実験室内で行うのがほとんどでしたが 装置の小型・軽量化に伴い 野外で直接測定するこ



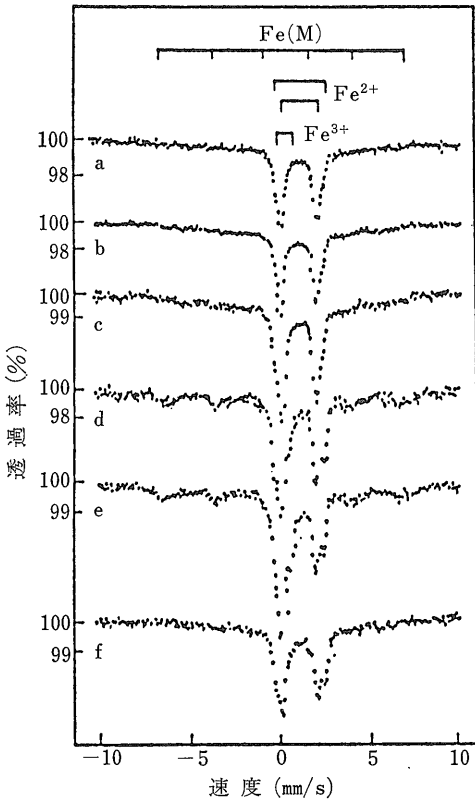
第8図

In situ Ge (Li) 測定による原爆中性子誘導放射性核種の¹⁵²Eu 検出。1976年8月 広島原爆ドーム内で150分測定で得たもの (小林, 1980による)。

第4表 種々の分光分析法 (清宮, 新谷, 1980に加筆)

核現象	プローブ			分光される粒子	分解・表示	方法	特徴
	放出粒子	加速粒子	その他				
α壊変 α, β ⁻ , β ⁺ , EC壊変 IT, 核反応 核分裂 α, β ⁻ , β ⁺ , EC壊変 IT, 核反応 核分裂 α壊変	α線 イオン α線 反跳イオン 分裂片 イオン イオン イオン イオン イオン	イオン	α線	α線	荷電(数)分光 反跳分光 α線分光 ラザフォード後方散乱(RBS) またはイオン散乱分光 α線イオン化質量分析 反跳イオン化質量分析 ²⁵² Cfプラズマ脱離質量分析 二次イオン質量分析(SIMS-IMA)	核現象「直後」の生成原子の荷電状態を知る。また、それが生じた表面の化学状態の影響がみられる 核現象で生じた原子のエネルギーまたは飛程を知る。また、それが生成前にあった位置がわかる。深さ測定、厚さ測定に使える。深さ測定、厚さ測定に使える。界面の層状構造がわかる。 α線トラック内反応がわかる。小型イオン源として好適。同上 イオン化の困難な物質に適する。表面から内部に至る原子組成がわかる。マトリックスの欠陥濃度がわかる。 イオンと原子の挙動の違いを知る。表面から内部に至る原子組成と分布状態と深と方向プロフィールがわかる。	
			後方散乱α線	エネルギー損失			
			後方散乱イオン	エネルギー損失			
			スパッタードイオン	質量数			
			スパッタードイオン	質量数			
			脱離イオン	質量数			
			スパッタードイオン	質量数			
			スパッタードイオン	質量数			
			スパッタード中性粒子	質量数			
			スパッタードイオン	質量数			
β ⁻ 壊変 β ⁺ 壊変 核異性体遷移 EC壊変	β線 電子 電子	電子	2次電子	像	同上 電場イオン化質量分析 電場脱離質量分析 電場イオン顕微鏡(鏡) 電場脱離顕微鏡(鏡) β線イオン化質量分析 電子線イオン化脱離質量分析 電子線イオン化脱離角度分布 β線分光 内部転換電子分光(ICES) 内部転換オージェ電子分光(ECAES) 内部転換電子メスバウアー分光 X線励起光電子分光(XPS) X線励起オージェ電子分光(XAES) 紫外線励起光電子分光(UPS) オージェ電子分光(AES) 電子プローブマイクロ分光(EPMA)またはX線マイクロ分光(XMA) 透過電顕(TEM) 走査電顕(SEM) 走査透過電顕(STEM) 走査オージェ電顕(SAEM) SAEM イオン中和分光 電場電子エネルギー分布	原子番号が変化する核現象のモデルに使える。吸着原子・分子の分析ができる。原子番号が変化する核現象のモデルに使える。吸着原子・分子の位置、配置がわかる。深さ測定、厚さ測定に使える。小型イオン源として好適。吸着原子・分子の分析ができる。吸着原子・分子の配置・電子状態がわかる。深さ測定・厚さ測定に使える。 表面の化学状態 浅い表面の化学状態 表面の原子組成と状態分析 同上 表面の原子組成と分布状態 薄膜の内部構造 表面状態 薄膜の原子組成と分布状態 同上 表面原子と吸着原子・分子との結合状態 原子番号が変化する核現象のモデルに使える。	
			放射イオン	質量数			
			脱離イオン	質量数			
			放射イオン	像			
			脱離イオン	像			
			イオン	質量数			
			脱離イオン	質量数			
			脱離イオン	角度			
			β線	エネルギー			
			陽電子	エネルギー、寿命			
共鳴γ線 X線 X線 紫外線	電子(数百~数kV) 電子(数10kV) 電子 電子(数10kV) 電子 電子(1~10kV) 電子 イオン	電子	内部転換電子	エネルギー	電場電顕 メスバウア分光法 ケイ光X線分析(XRF) 荷電粒子励起X線分析(PIXE)	表面原子の配列、運動状態 原子の電荷 配位の様子 多元素同時定量 状態分析 XRFより低バックグラウンド 極少量試料でよい。	
			オージェ電子	エネルギー			
			内部転換電子	エネルギー			
			光電子	エネルギー			
			オージェ電子	エネルギー			
			光電子	エネルギー			
			オージェ電子	エネルギー			
			2次電子	像			
			X線	波長			
			透過電子	像			
共鳴γ線 X線	イオン	イオン	2次電子, X線	像			
			透過電子	像			
			透過電子	像			
			オージェ電子	エネルギー			
			2次電子	像			
			2次電子	エネルギー			
			放射電子	エネルギー			
			放射電子	像			
			γ線	エネルギー			
			X線	エネルギー			

ふんせきと放射線



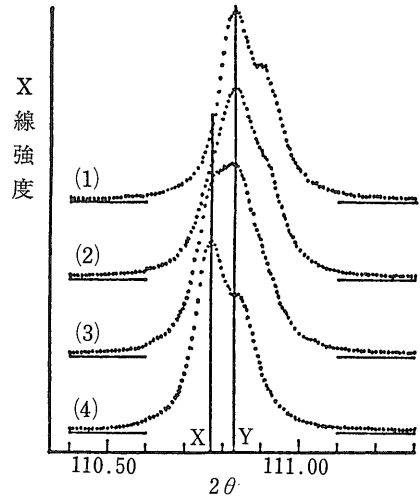
第9図 玄武岩の中心部(a)から外縁部(f)にかける変質を調べたメスバウアースペクトル (富永, 1980による)。

とが可能となりました。第8図に広島原爆ドーム内で原爆中性子誘導放射性核種 ^{152}Eu を検出したスペクトルを示しました。この様な野外での放射能測定は以前からも行われており自動車を用いるカーボン飛行機を用いるエアージェット等がウラン鉱床探査や最近では断層調査にも使われております。現在はハイテク時代といわれ地質学におけるリモートセンシングが重要となってきておりますがカーボンやエアージェットはそのはしりともいえるでしょう。

分光分析

この分野の分析法はプローブ(検出子)とするものと及び分光されるものの分類によって数多くの名称がありその一例を第4表に示しました。この表にはエネルギーの低い電子線を用いる分析法も便宜上含めて示してあります。ここではこの中のメスバウアー分光分析とケイ光X線分析について触れておきます。

メスバウアー分光分析は原子核が γ 線のエネルギーを吸収して励起される現象を利用して原子核の持つ情報を探る分析法であり今までに測定された元素は鉄



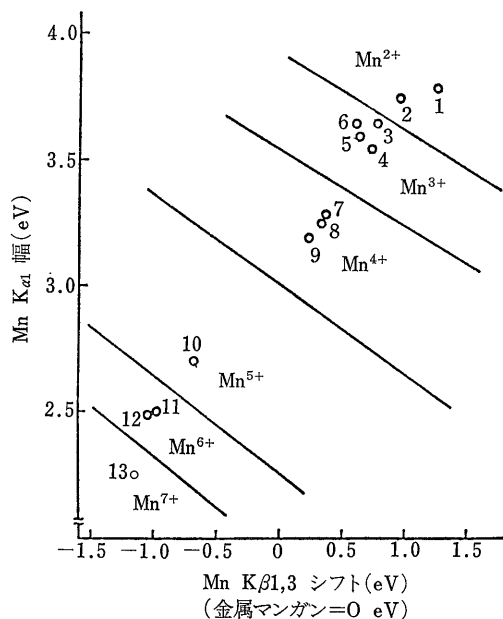
第10図 減圧残油中の硫黄 $K\alpha_{1,2}$ スペクトル (安田, 垣山, 1980による)。
 (1) ジフェニルスルファイド
 (2)(3) 減圧残油試料
 (4) ジフェニルスルホン

スズ 金 ユーロピウム等をはじめとして44元素にもものぼっています。試料を非破壊でしかも特別な前処理も必要とせず原子の周りの配位状態や酸化状態などのいわゆる“状態分析”ができる利点を有しております。第9図は玄武岩の中の変質の度合いを鉄の2価・3価・マグネタイトの様子から調べたものです。外縁に向かって3価の鉄が多くなることが分かります。メスバウアー分光分析にはこのような透過法他に散乱法があって鉄サビのような表面の情報を得ることもできます。

ケイ光X線分析は一次X線(連続した波長スペクトルをもつ)を照射して生ずる特性ケイ光X線(各元素に特有の波長をもつ)を測定して定性・定量を行うものです。岩石試料等の固体試料の化学分析には一般的になってきています。ここでは“状態分析”の例を示します。第10図は酸化減圧残油中の硫黄の $K\alpha$ スペクトルですがピークエネルギー位置が硫黄の酸化とともに次第に移動していくのが分かります。第11図はマンガン酸化状態の変化に伴うスペクトルのシフトの様子を示したものです。このような酸化状態に伴うシフトは価数変化のあるクロムやバナジウムにおいても認められており原子の酸化状態を非破壊で状態分析できることが分かります。最近ではシンクロトロン軌道放射光(SOR)によって強力なX線が得られこうした分野での研究はさらに進むことでしょう。

第5表 地殻及び主な岩石中のウラン・トリウム・カリウム含有量 (TAYLOR, S. R., 1964, MASON, B., 1958, STANLEY, H. W., 1981 による)

分類	ウラン (ppm)		トリウム (ppm)		カリウム (%)	
	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲
全地殻	2		10		2.09	
大陸地殻	2.7		9.6		2.59	
超塩基性岩	0.003		0.005		0.03	
塩基性岩	1.0	0.2—4.0	4.0	0.5—10.0	0.7	0.2—1.6
中性岩	1.8		7.0		2.3	
花こう岩	3.0	1.0—7.0	12.0	1.0—25.0	2.5	1.0—4.8
頁岩	3.7	1.5—5.5	12.0	8.0—18.0	2.2	1.3—3.5
砂岩	0.5	0.2—0.6	1.7	0.7—2.0	1.0	0.6—3.2
炭酸塩岩	2.2	0.1—9.0	1.7	0.1—7.0	0.25	0.0—1.6
蒸発残留岩	0.1		0.4		0.1	
深海粘土	1.3		7		2.50	



第11図 酸化状態を示す図 (GOSHII and OHTSUKA, 1973 による)

- 1: Ba₃(MnTa₂)O₉ 2: MnO 3: Mn₂O₃ 4: ZnMn₂O₄
- 5: γ-MnOOH 6: CoMn₃O₄ 7: MnO₂ 8: BaMnO₃
- 9: Ca₂MnO₄ 10: マンガングリーン 11: K₂MnO₄ 12: BaMnO₄ 13: KMnO₄

以上 放射線を用いる分析法についてその一部の しかも概要程度にしか触れてきませんでした。高感度・迅速・多元素同時という分析化学の要求を満たすばかりでなく より高度な状態分析・キャラクタリゼーションが可能であるという点で 放射線を用いる分析法が今後とも有用であることがおわかりになったと思います。

1987年 8月号

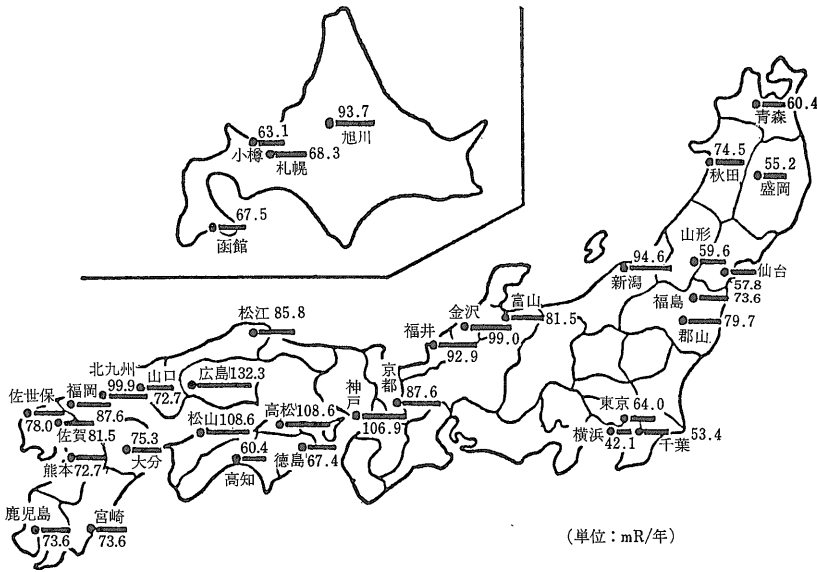
第6表 自然界の放射能 (単位 pCi) (高橋, 1986による)

人 体	80,000/50kg
化 成 肥 料	160,000/kg (窒素, リン酸, カリウム)
土 壌	10,000~20,000/kg
温 泉	300,000/l 増富 (²²⁶ Ra)
野 菜	2,000~4,000/kg
牛 乳	1,000~2,000/l
日 本 酒	1,000/l
ウイスキー	1,200/l
タ バ コ	1,000/50本
海 底 土	10,000~30,000/kg
海 草	5,000~10,000/kg
魚 類	1,000~3,000/kg
貝 類	2,000~3,000/kg
海 水	300/l
放射性降下物	100~15,000/m ² ・月

(1 pCi は1分間に約2個の原子核が壊れて放射線を出す放射能の強さ)

5. 環境における放射線

ところで このような放射線は人間が誕生する以前から存在し もちろん現在でも私達の回りに存在し続けているのです。これは環境放射能と呼ばれていますが主に大地をつくる岩石や宇宙からの放射線です。またその大部分はウラン・トリウム・カリウムからの放射線です。第5表に 地殻や主な岩石中のウラン・トリウム・カリウム含有量を示しました。また 第6表には私達の回りの物質による自然界の放射能を 第12図には日本各地における空間線量率を示しました。このような自然放射能のかなりの部分が大地に由来しているので地質条件次第では特に自然放射能が高い地域も特定の国



第12図
日本の自然放射線の空間線量率
(市川, 1983による)。

(単位: mR/年)

には存在しています。第7表には こうしたいくつかの地域を示しましたが 東京の値のほぼ25倍に相当する年間1,600ミリラドの地域も存在するとは驚きです。高放射能による放射線障害が気になりますが これらの地域の住民の間で白血病を生ずる割合が高いという報告は今のところありません。

放射線と放射線障害に関する研究はいろいろとなされていますが それについては本小論の目的ではないので簡単に触れるにとどめ 第13図に人体への影響の目安を示しました。胸部X線撮影が1回で50から100ミリレム 胃の透視が1回で1,000から3,000ミリレムというぐあいです。ちなみにミリレムの感覚をつかんでいただくためにタバコの発がん性を例にひきますと 1~4ミリレムの放射線がタバコ1本吸うのと同様であるといわれています。

6. おわりに

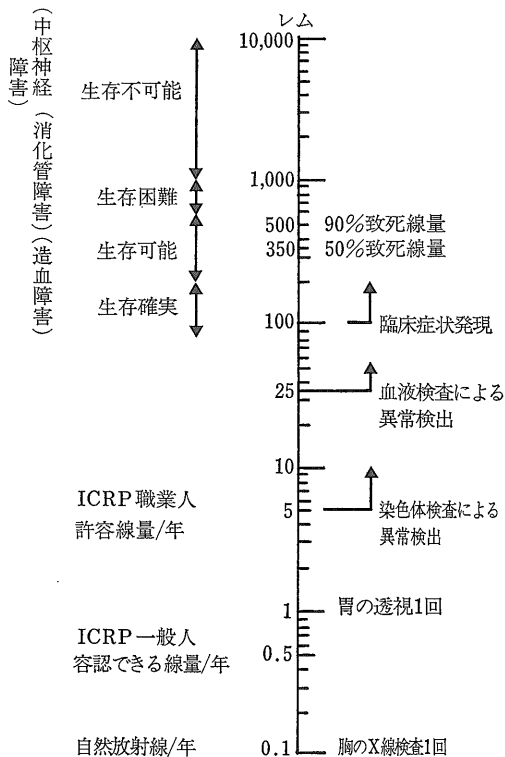
放射線というものの輪郭や放射線を利用した分析技術利用しなければ得られないような貴重な知見などが おおよそ理解されたものと思います。これが本小論の目的でありましたが とすると私達の放射線に対する態度は心理的・宗教的なものに陥り易い危険性があります。これに関して粟冠(1987)は“ミリレムシンドローム”と名付けて興味深い考えを述べています。その定義によると

- (1)線量・効果間直線関係仮定を仮設ととり違える症状
- (2)線量と予測線量とを同一視する症状
- (3)実験データに執着し野外を見ない症状

と難しい表現ですが ミリレムシンドロームは原子力安全と放射線防護から生ずる病気ではなく 放射線恐怖

第7表 空間線量率が特に高い地域 (阿部, 1983による)

地 域	住 民 数	空 間 線 量 率
リオデジャネイロ及びエスピリトサント州のモナズ石分布地域 (ブラジル)	30,000人	平均 500ミリラド/年 ピーク 1,000ミリラド/年
ミナスゲライス及びゴイアス州の鉱化火山貫入岩地域 (ブラジル)	350人	平均 1,600ミリラド/年 ピーク 12,000ミリラド/年
花こう岩起源の結晶片岩及び砂岩地域 (フランス)	7,000,000人 (フランス人口の1/4)	180—350ミリラド/年
ケララ及びマドラス州のモナズ石分布地域 (インド)	100,000人	人口荷重平均 1,300ミリラド/年 及びβ線約 200ミリラド/年



第13図 被曝線量と病状 (平嶋, 1979による)。

(心理学分野) とリスク嫌悪 (社会・経済学分野) から生ずるものと述べています。放射線取扱いの安全な工学的手法が確立し 生物学的影響が明らかとされても 私達の放射線に対する“恐怖心” “嫌悪感” はなかなかぬぐいさることができないというわけです。

現在の一般的な放射線防護の考え方は 放射線を利用して得られる利益がそれに伴う危険性を上回る時のみ放射線が許容されています。この危険性の程度というのは一般の職業人がおかれている危険性と同程度とされており、車の運転を例にしますと 自動車を運転している危険性と 変わらないのです。放射線=恐怖・嫌悪という等式を考える人は 自動車=恐怖・嫌悪という等式も考えるでしょうか。

人間は不安と恐怖を持っています。ある心理学者によると不安は知識を得ることによって また恐怖は体験

することによって克服できるといわれています。自動車はほとんどの人が熟知して運転しますし 身近なものとして慣れてしています。従って 自動車=恐怖・嫌悪と考える人は少ないでしょう。一方 放射線はその密室的な存在のためかあまりオープンにされず 不安に思う人が多いのかも知れません。もっと放射線を知って身近なものとする必要があります。

現在 私達は微妙な状況に置かれております。“いじめられっ子” 放射線は 原子が私達に語りかけてくる声 私達に歌いかけているメロディー そういうふうに放射線をとらえ 今後放射線に対して新たな認識で対処していくことを期待したいと思います。

最後に本小論をまとめるに当たり 放射線医学総合研究所で行われた放射線防護研修は大いに参考となり 関係者の方々に厚く 感謝いたします。また 地質調査所坂巻幸雄氏からはいろいろと御教示を頂き 御礼申し上げます。

参 考 文 献

阿部史朗 (1983) : 第59回放射線防護課程テキスト
 AOYAMA, M., HIROSE, K., SUZUKI, Y., INOUE, H. and SUGIURA, Y. (1986) : Nature, Vol. 321, p. 819-820.
 粟冠正利 (1987) : Isotope News, No. 392, p. 35-39.
 GOHSHI, Y. and OHTSUKA, A. (1973) : Spectrochimica Acta, Vol. 28B, p. 179-188.
 平嶋邦猛 (1979) : 産業医学ジャーナル, Vol. 2, p. 12-20.
 市川龍資 (1983) : 第59回放射線防護課程テキスト
 清宮愁, 荒谷美智 (1980) : 化学総説, No. 29, p. 197-211.
 小村和久 (1980) : 化学総説, No. 29, p. 27-42.
 越島得三郎 (1983) : 第59回放射線防護課程テキスト
 MASON, B. (1958) : Principles of Geochemistry (2nd ed.), John Wiley & Sons Inc., New York, 310p.
 野津憲治 (1980) : 化学総説, No. 29, p. 225-239.
 高橋酉蔵 (1986) : Isotope News, No. 386, p. 34.
 TAYLOR, S. R. (1964) : Geochim. Cosmochim. Acta, Vol. 28, p. 1273-1285.
 寺田喜久雑 (1981) : ぶんせき, 1981, p. 848-855.
 富永 健 (1980) : 化学の領域, Vol. 34, p. 27-34.
 STANLEY, H. W. (1981) : Economic Geology, 75th Ann., p. 840-849.
 安田誠二, 垣山仁夫 (1980) : BUNSEKI KAGAKU, Vol. 29, p. 447-451.
 吉川元之 (1983) : 第59回放射線防護課程テキスト