

ラジウムの地球化学

—ラジウムと放射線測定器の1世紀—

金井 豊¹⁾

1. はじめに

1996年は放射能発見100周年で、翌々年1998年はラジウムの発見から丁度100年であった。1899年には原子核構造で有名なラザフォードが放射線に α 線・ β 線というように性質の異なるものがあることを見だし、1902年にはキュリー夫人が純粋なラジウムを分離、続く1903年にはトムソンによってラドンが発見されているので、ここ数年は放射能関係の出来事から丁度1世紀を迎えたことになる。放射能発見の経緯ならびにその話題については、前報(金井,1996)で紹介した。ラジウムは、既によく知られているようにキュリー夫妻(マリー・キュリー、ピエール・キュリー)によって見いだされ、その後医療分野で爆発的な利用がなされると同時に、放射能に関する知識や理解を深める基点ともなった。もう1998年を過ぎてしまったが、今回はこのラジウムの話題について述べたいと思う。

ラジウム「radium」というのは、ラテン語のradius(光線)から、もしくは英仏語のradiation(放射線)から命名されたという。ラジウムが放射性であることは言うまでもなく、いや、放射性であるからこそラジウムが見いだされたともいえるのではないだろうか。放射線は五感で感じ取ることができないため、放射線とその検出器とは切っても切り離せない関係にある。特に、キュリー夫妻がラジウムを発見するに当たっては、夫ピエール・キュリーが発明した測定機器がなければ為し得ない業績であったことを考えると、その重要性は言うまでも無い。

さて、話は少し変わるが、地質調査所は試験研究に使用される様々な研究機器を有しており、2001年からの独立行政法人化に向けてスペースや機器の整理作業を進めている。そうした中で、今では古典的ともいえる真空管式のカウンターの存在

に気がついた。分析機器は時代と共に移り変わり、古いものはほとんど用をなさないのが常で、新しい機器の登場とともに古い機器は製造中止、修理部品もなくなり、そのうちに廃棄となる運命にある。地質学の情報はどんなに古くなってもそれなりの価値を有するが、技術に依存する測定機器というのはつぎつぎと新しい原理によって発展していくので、古い機器の有用性は次第に低下してしまうのが地質学と異なるところである。悲しいかな、これもそうした運命にあるのだろう。しかし、この装置を眺めていると、かつての諸先輩研究者がこの装置を使ってウラン鉱床探査のために日本全国から得た未知試料の放射能を測定していたことや、古き時代に行った実験風景等が思い起こされ、その果たしてきた役割の大きさを思いやることができる。

一方、現在では分析機器のほとんどがブラックボックスと化し、コンピュータと接続され自動化が進み、スイッチを押すだけで、結果として何らかの数字が打ち出されるようになってきている。分析の原理や機器の仕組みを十分に理解しないまま使用していることの多さに、今さらのように驚く。また、数字が一人歩きする危険性に気が付かない恐ろしさもある。こうしたことを考えると、過去の分析機器におけるその役割の重要性を思い知ると同時に、こうした機器の原理と歴史を見直してみることは、あながち無駄ではないであろう。

ここでは、ラジウムについての話題に入る前に、先ず測定装置の簡単な原理と歴史について触れてみたい。こうすることで放射能についての概念が深まることを期待したい。この稿を起こした頃は、まだ1999年秋のウラン燃料加工施設での事故の前であったが、不幸な事故後の社会の対応や新聞報道によると、放射能・放射線に対する関心は高いものの、正しい知識と認識が不足しているとの報道

1) 地質調査所 地殻化学部

キーワード:ラジウム, 放射線, 放射能, 測定機器, 地球化学

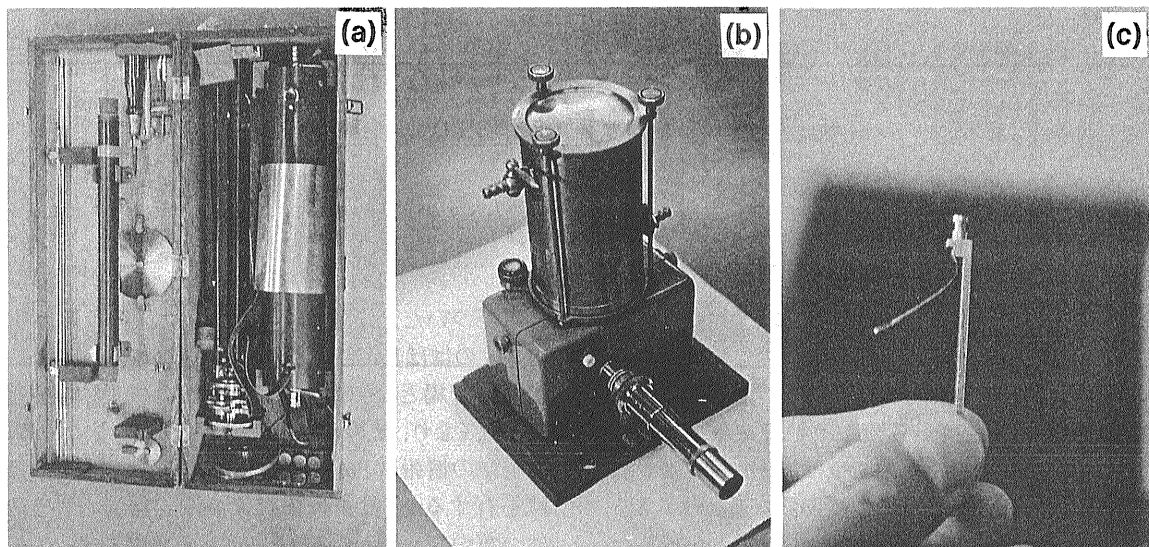


写真1 初期の放射線測定器。ラドンの電離作用で生じたイオンによって箔が放電し、閉じていく。その放電速度(箔の開ける速度)からラドンを定量し、当量のラジウムに換算する。(a) 気体試料用装置全体。(b) 電位計部分。手前の顕微鏡筒を覗いて、箔の動きを測定する。(c) 箔の部分。

がなされている。これも我々科学者の社会に対する広報活動の怠慢が一因かもしれない。正しい知識と認識を持っていただく手助けとなれば幸いと考えている。

2. 初期の放射線測定器

まず、ここで言うておかなければならないことがある。それは昨年のウラン燃料加工施設での事故後の社会の対応や新聞報道によると、「放射能」と「放射線」との区別が理解されていないと指摘されていたことである。知っている人には当然なのだが、とりあえず以下のように解説しておく。

「放射能」—ある不安定な物質(元素)がみずから放射線を放出して他の物質(元素)に変化する性質・能力をいう。派生してその能力を有する物質(元素)を指す場合もあるが、正確には放射性物質(元素)という。

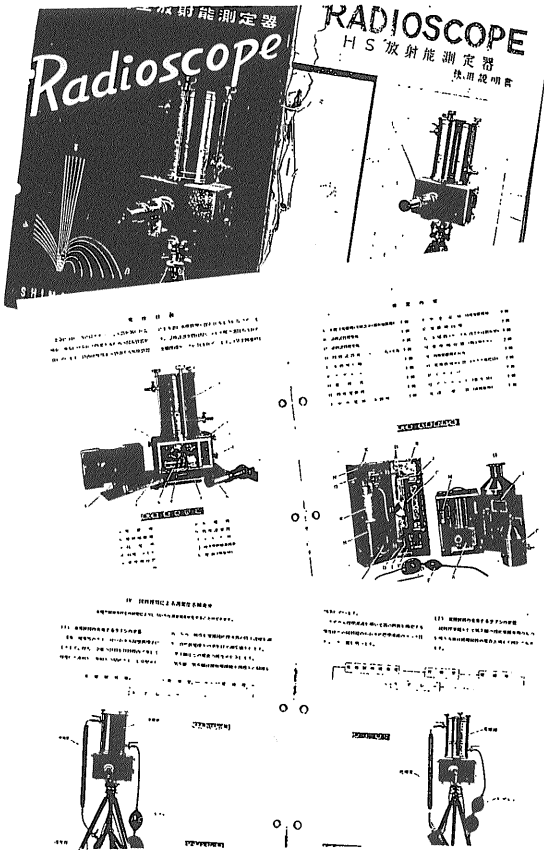
「放射線」—放射性物質から放出されるエネルギーを持った電磁波や高速の粒子の流れをいう。広義には放射性物質の核変換に伴わない電磁波や高速の粒子の流れを含むこともある。

測定に関しては、実際は放射性物質(放射能)の発している放射線を計測することであり、「放射線」

を検出することで「放射能」の有無を知ることになる。この場合は放射線測定でも放射能測定でもどちらでも良いような気がするが、言葉の意味としては上述のように異なることに注意して欲しい。

さて、測定器の話に戻ろう。現在の放射線測定機器には、放射線の作用を電気信号に変換して処理するものが多い。しかし、初期の頃には電気信号ではなくもっと直接的・現象的なものであった。すなわち、その原理は箔検電器であり、放射線の電離作用で生じた電荷を箔の開き具合で定量するものであった。これに類するものは、ローリッツエン検電器、シュミット型泉効計、エングララー・ジーベキング泉効計、IM泉効計等であろう。地質調査所で見つかった測定器並びに解説書を写真1・第1図に示す。残された記録によると、昭和30年3月以前に購入したもので、今から半世紀弱も昔のことである。使用説明書には、箔は外気の動き、呼吸によっても破損するので、箔を調べるときには部屋を閉じマスクをするようにとの指示が記載されている。たいそう微妙な装置であったのだろう。

古くからある装置で今も現役として使われているのが、GM管(ガイガー・ミュラー管)であろう。写真2(a)は、20年位前まで当所で使用されていたもの



第1図 初期の装置の取扱説明書。一部は昔懐かしいガリ版刷りである。



写真2 (a) GM計数管。試料棚の位置が調節できる。
(b) 真空管式の計数器。真空管の中の点灯部が時計のようにクルクルと回転する。

である。その時の計数器が写真2 (b)である。これは真空管式の計数器を使ったもので、信号が入るたびに真空管の中の点灯部が時計のようにクルクルと回転する。この装置では、クルクルと回転する点灯部を見ているだけでも楽しいものだ。しかし、このような計数器は今ではほとんど使われていないのではないだろうか。現在では、ADコンバータを介して直接数字を表示する装置が市販されている(写真3)。

一般的な放射線検出器について、まとめて第1表に示した。放射線的作用に基づいて幾つかに分類したが、複合的な作用によ

第1表 放射線の主な測定装置。

作用・原理	検出装置・測定法	備考
電離作用	(1) 電離イオンを電圧をかけて捕集	
	電離箱	気体としては空気
	比例計数管	気体としてはPRガス、BF ₃ (中性子用) 端窓型やガスフロー型
	GM管	気体としてはQガスなど
	半導体検出器	Ge、Si、Ge(Li)、CdTeなど
	(2) イオン核が飛跡を形成	
	霧箱	イオン核を中心に蒸気が凝結
	泡箱	液相内に生じる気泡で検出
還元作用	原子核乾板	写真乳剤中のハロゲン化銀が還元される
感光作用	フィルム	写真乳剤中のハロゲン化銀が還元される(フィルムパッチ)
放射線損傷	固体飛跡検出器	損傷部を化学エッチングで観察(ポリカーボネート、CR-39など)
	ESR線量計	格子欠陥のフリーラジカル・不対電子
蛍光作用	シンチレーション検出器(蛍光を光電子増倍管で増幅検出)	
		固体シンチレータ(NaI(Tl)、ZnS(Ag)、プラスチックシンチレータなど) 液体シンチレータ(POPOP、PPO/トルエンなど)
	熱ルミネッセンス	LiF、CaF ₂ など
化学反応	化学線量計	
	フリッケ線量計	硫酸第一鉄の酸化反応
	セリウム線量計	硫酸第二セリウムの還元反応

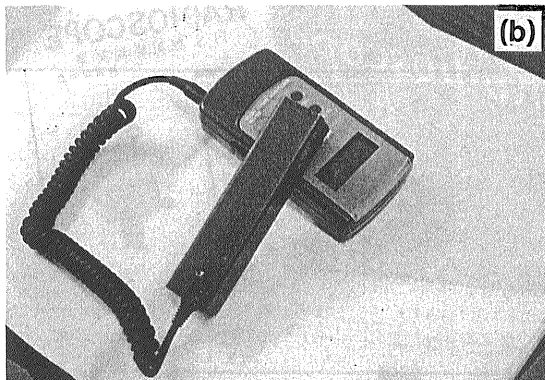
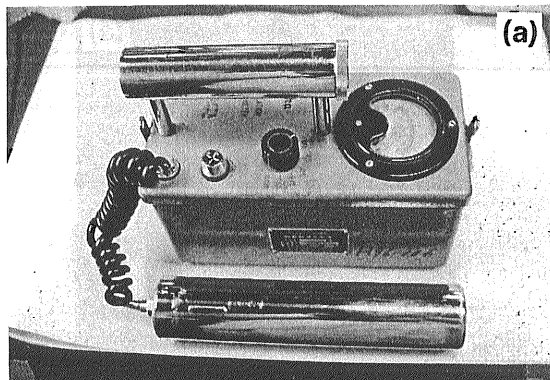


写真3 (a)シンチレーションサーベイメータの一例。(b)デジタル表示されるサーベイメータの一例。(a)よりも小型・軽量。

るものや分類しがたいものもあるので、それほど厳密な分類ではない。

3. ラジウム発見百周年のお祝いとその意義

ラジウムがキュリー夫妻によって発見されてちょうど1世紀が経ったことを記念して、各地で様々な催し物が開催された。祖国ポーランドやフランスはもちろんのこと(菊池, 1997), 日本でも多くの組織・機関で記念行事が行われた。例えば、癌研究

所が中心となって「キュリー夫妻ラジウム発見100周年記念」として写真4のようにビデオ、パンフレットの作成、講演会等、多くの行事がなされた(山下, 1998)。この他にも、多くの原子力関係機関でも独自の行事がなされていたようである。

キュリー夫人については、伝記やその他の記事で皆さんもよくご存じのことと思うので簡単にふれるにとどめる。キュリー夫人は、1867年にワルシャワ(ポーランド)で生まれた。数学・物理の教師である父と学校長をする母との間に生まれ、3人の姉と1人の兄に囲まれて育った。親から学問の血を引いたのだろう、学問が好きでフランスの大学に行って科学の研究をするようになった。当時はレントゲンによるエックス線の発見、ベクレルによるウラン放射能の発見と、放射化学における大きな発見が目白押しだった。そうした中で、彼女が研究テーマに選んだのが放射能の研究だった。キュリー夫人はウラン・トリウムやピッチブレンドの放射能に関する研究を進め、1898年4月にポロニウムを、続いて12月にベモン(Gustave Bemont)と共同でラジウムを見いだした(赤石, 1998)。ラジウムを分離するために8トンものピッチブレンドを化学処理して、0.1gというほんのわずかな量のラジウムを得た話は有名な話となっている。その実験室は今でも記念館として残っており(写真5~9を参照)、当時の実験の様子がうかがわれる。

ラジウムは、一つの放射性元素というだけならばその発見は単にウランなどと同じ新元素発見という出来事に過ぎなかったであろうが、比放射能の大きい(グラムあたりの放射能が大きい)ラジウムは

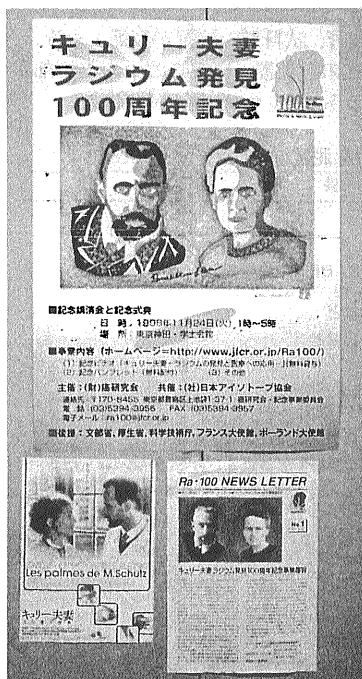


写真4
キュリー夫妻ラジウム発見100周年を記念するポスターや映画ビデオ。

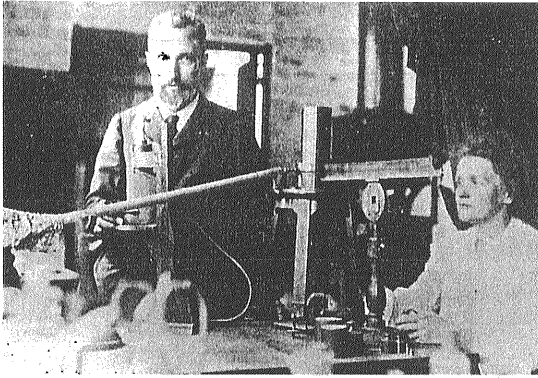


写真5 放射能強度を測定するマリー・キュリーとピエール・キュリーの写った絵はがき。菊池文誠氏(東海大学)の提供による。

大きな応用の可能性を持っていたため、その発見は偉大なものとなった。特に医療面において有用で、ガン患者に大きな恩恵をもたらした。ラジウム治療学という分野を作り、核医学・保健物理学の基礎となった。ラジウムの生物学的効果は初期の段階でピエール・キュリーが腕に色素沈着が起こることを確認していた。また、ひどいやけど状態となることもあったが、フィルターをつけることで実用的使用が可能となった。ラジウム線源はX線装置のような巨大装置が不要なため、超小型治療用具としてガン治療に応用された。線源を固定して皮膚ガン・乳ガンに、ラジウム管と呼ばれる白金の密封容器で子宮ガンに、針状のラジウム針で舌ガンの治療に使用された。ラジウムは治療用の他、夜光塗料の成分、構造検査装置などにも使用されてきた。

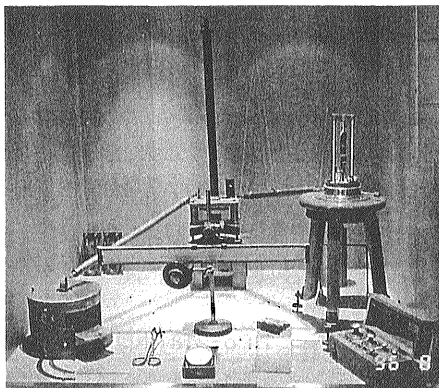


写真7 ラジウム発見に使用されたピエール発明の電位計。写真撮影：菊池文誠氏(東海大学)。



写真6 ラジウム研究所はソルボンヌ大学(パリ大学)の一角に建てられた。物理化学部門と生物部門があり、前者をキュリー実験所といい、マリー・キュリーが初代所長を勤めた。「UNIVERSITE DE PARIS」「LABORATOIRE DE CHIMIE PHYSIQUE」と入口にあり、そうした沿革が偲ばれる。現在はキュリー研究所と名前が変わり、博物館として公開されているという。写真撮影：菊池文誠氏(東海大学)。

しかし、放射線障害についてその実体が明らかになると同時に、種々の人工放射性核種が利用できるようになると、一時は高騰したラジウムの価値も下がり、現在では医療用途にはイリジウム-192やコバルト-60など他の放射性物質が使われ、却ってラジウムは厄介者扱いされてしまった。キュリー



写真8 キュリー博物館の中庭にあるピエール、マリー夫妻の胸像。写真撮影：菊池文誠氏(東海大学)。

第2表 ラジウムの測定法の概要.

概要	測定される放射線	計測器	主な利点	主な欠点
1) エマネーション法	娘核種ラドン気体以下を計測 α線	比例計数管 電離箱 固体シンチレーションセル 精密ラドン計	*分離が容易 *計数効率が高い	*3時間以上経過してから測定 *壊変生成物による汚染によりバックグラウンドが高くなる
2) 液体シンチレーション法	娘核種ラドン以下を液体シンチレータ中で計測 α線・β線	液体シンチレーションカウンター	*計数効率はほぼ100%	*3時間以上経過してから測定 *クエンチング効果あり *バックグラウンドが高い
3) 全アルファ法	試料をマウントして測定 α線	シンチレーションカウンター ガスフロー型比例計数管	*操作が簡便	*自己吸収に注意
4) アルファ線スペクトロメトリー	α線をエネルギー別して核種の分離・同定 α線	Si半導体検出器	*核種分離が容易	*線源作成が煩雑
5) ガンマ線スペクトロメトリー	γ線をエネルギー別して核種の分離・同定 γ線	Ge半導体検出器	*試料調整が容易 *核種分離が容易	*検出感度が低い *3週間程度放置してから測定

夫人が聞いたらきっと悲しむに違いないが、彼女は大局的な見方のできるヒューマンイズムに富んだ人間であったから、ラジウムの盛衰よりは人類の幸福と科学の進展を喜んでいるかも知れない。

このように現在ではその魅力がかすんで見えるラジウムではあるが、これまで人類と科学分野に果たしてきた役割は、決して無視できるものではない。こうした状況は、はじめに書いたような過去の測定機器の盛衰するイメージと重なっていて、何か不思議な感慨に耽ってしまうのは私だけであろうか。

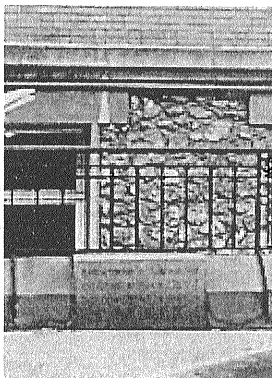


写真9 ラジウム抽出の場所を示す小さな記念碑。雨漏りのする薄暗い施設でラジウム抽出が根気よく続けられた。写真撮影：菊池文誠氏(東海大学)。

4. ラジウムの仲間たち

天然のラジウムには4つの同位体が存在している。それらはウラン系列に属するラジウム-226(半減期：1600年)、トリウム系列に属するラジウム-228(MsTh1；半減期：5.75年)、ラジウム-224(ThX；半減期：3.66日)、そしてアクチニウム系列に属するラジウム-223(AcX；半減期：11.435日)である。消滅しているネプツニウム系列では半減期14.8日のラジウム-225がある。人工の放射性核種では、ラジウム-219、-221、-225、-227、-229、-230等がある。しかし、一般に私たちが「ラジウム」といっているのは、主として半減期の一番長いラジウム-226である。

ウラン系列のラジウム-226は、壊変してラドン-222に、そして次から次へと壊変して系列を作っている。これら系列中の娘核種はそれぞれ異なる元素であるが、俗称としてラジウムA、B、C…と呼ばれることがある。これもラジウムが最初に発見されて重要であり、基準となった証拠でもあろう。なお、それぞれの俗称の核種は、実際には以下の核種である。

- ラジウムA (RaA) : Po-218(ポロニウム-218)
- ラジウムB (RaB) : Pb-214(鉛-14)
- ラジウムC (RaC) : Bi-214(ビスマス-214)
- ラジウムC' (RaC') : Po-214(ポロニウム-214)

ラジウムC" (RaC")	: TI-210 (タリウム-210)
ラジウムD (RaD)	: Pb-210 (鉛-210)
ラジウムE (RaE)	: Bi-214 (ビスマス-214)
ラジウムE" (RaE")	: TI-206 (タリウム-206)
ラジウムF (RaF)	: Po-210 (ポロニウム-210)
ラジウムG (RaG)	: Pb-206 (鉛-206)

226はCaと同様に体内に蓄積する傾向がある。分析化学においては、微量に存在するラジウムは同族のCa, BaやPbを担体として添加し、共沈・分離・濃縮などが行われる。ラジウム原子そのものの数や重さは天然の物質中では非常にわずかなため、分析は原子数よりも放射能に基づいて検出されることが多い。

5. ラジウムの分析法

ラジウムは周期律表第2族のアルカリ土類金属に属し、電子配置は $6s^2 6p^6 7s^2$ である。溶液中では+2の酸化状態をとっている。ラジウムの化合物には難溶性の水酸化物、硫酸ラジウム、クロム酸ラジウム、炭酸ラジウム、ヨウ素酸ラジウム等が知られている。Mg, Ca, Sr, Baと同じ仲間であるので、化学的な性質もそれらに類似しており、半減期の長いRa-

具体的には、Raもしくはその娘核種から発せられる α 線、 β 線、 γ 線等の放射線を計測するのだが、主として α 線計測が多い。その測定法の概要を第2表に示した。エネルギー分別しない測定法の場合には、前処理として化学分離・濃縮等の操作を要することもあるため、多少煩雑となる(詳細は、樋口(1981)を参照)。

地球化学的な挙動を研究する場合には、同位体比を検討することがある。その場合の分析法の一つに、(1)同位体の娘核種を分離して、それぞれを定量する方法がある。例えば、Petrowらはジチゾン-クロロホルムで ^{211}Pb (親核種は ^{223}Ra 、以下同様)、 ^{212}Pb (^{224}Ra)を抽出分離し、 ^{228}Ac (^{228}Ra)をジエチルヘキシルリン酸-ヘプタンで抽出している(Petrow and Allen, 1961; Petrow *et al.*, 1964)。一方、(2)全 α 線計測によって α 放射能の成長・減衰の様子を時間を追って追跡し、それぞれの半減期で解析する方法もある。また、娘核種である ^{214}Bi (^{226}Ra)、 ^{228}Ac (^{228}Ra)、 ^{208}Tl (^{224}Ra)の γ 線を測定する(3)ガンマ線スペクトロメトリーも行われている(Megumi and Mamuro, 1974; Elsinger *et al.*, 1982)。McCurdy and Mellor (1981)は、同時計測回路を用い、 α - γ で ^{224}Ra と ^{226}Ra を、 β - γ で ^{228}Ac (^{228}Ra)をコインシデンススペクトロメトリーで定量している。更にこれらの手法を組み合わせると、 ^{226}Ra は α 計測で、 ^{228}Ra は ^{228}Ra - ^{228}Ac の β 線計測で定量する方法(Koide and Bruland, 1975)や ^{228}Th を初めに除いて一年後に成長した ^{228}Th (^{228}Ra)を α 線測定する方法(Moore, 1969)など、様々な方法が応用されている。

第3表 環境におけるラジウムの存在量。

各種試料	ラジウム-226の含有量		文献	
隕石中	石質	0.10 ~ 1.27 $\times 10^{-12}$ gRa/g	無機化学全書(1953)	
	鉄	0.02 ~ 0.03 $\times 10^{-12}$ gRa/g	無機化学全書(1953)	
火成岩		1.3 $\times 10^{-12}$ gRa/g	Eisenbud and Gesell(1997)	
	酸性	1.37 \pm 0.17 $\times 10^{-12}$ gRa/g	無機化学全書(1953)	
	中性	0.51 \pm 0.05 $\times 10^{-12}$ gRa/g	無機化学全書(1953)	
	塩基性	0.38 \pm 0.03 $\times 10^{-12}$ gRa/g	無機化学全書(1953)	
堆積岩		0.57 \pm 0.08 $\times 10^{-12}$ gRa/g	無機化学全書(1953)	
	砂岩	0.71 $\times 10^{-12}$ gRa/g	Eisenbud and Gesell(1997)	
	頁岩	1.08 $\times 10^{-12}$ gRa/g	Eisenbud and Gesell(1997)	
	石灰岩	0.42 $\times 10^{-12}$ gRa/g	Eisenbud and Gesell(1997)	
飲用水(アメリカ)	0.4	$\times 10^{-12}$ gRa/l	Eisenbud and Gesell(1997)	
地下水(大西洋岸)	酸性岩	1.80 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Eisenbud and Gesell(1997)	
	変成岩	0.37 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Eisenbud and Gesell(1997)	
	砂岩	1.36 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Eisenbud and Gesell(1997)	
	アルコース	2.19 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Eisenbud and Gesell(1997)	
	石英質	0.55 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Eisenbud and Gesell(1997)	
	石灰岩	0.12 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Eisenbud and Gesell(1997)	
	地表水	0.1 ~ 0.5	$\times 10^{-12}$ gRa/l	Eisenbud and Gesell(1997)
河川水	Amazon	0.009 \pm 0.0009 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Ivanovich and Harmon(1982)	
	Mississippi	0.03 \pm 0.003 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Ivanovich and Harmon(1982)	
	Hudson	0.004 ~ 0.03 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Ivanovich and Harmon(1982)	
	St Lawrence	0.002 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Ivanovich and Harmon(1982)	
	Ganges	0.091 \pm 0.013 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Ivanovich and Harmon(1982)	
	Godaveri	0.023 \pm 0.003 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Ivanovich and Harmon(1982)	
	Krishna	0.023 \pm 0.003 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Ivanovich and Harmon(1982)	
	Sabarati	0.041 \pm 0.006 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Ivanovich and Harmon(1982)	
	日本(10)	0.037 ~ 0.138 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Ivanovich and Harmon(1982)	
	Mexico湾に流入する河	0.013 ~ 0.135 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Ivanovich and Harmon(1982)	
	海水	太平洋表層	0.09 0.1 $\times 10^{-12}$ gRa/l	三宅ほか(1975)
		大西洋表層	0.03 0.08 $\times 10^{-12}$ gRa/l	三宅ほか(1975)
大西洋		0.03 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Eisenbud and Gesell(1997)	
地中海表層		0.06 0.08 $\times 10^{-12}$ gRa/l	三宅ほか(1975)	
水深 <370m		0.03 ~ 0.09 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Koide and Bruland(1975)	
水深 3000m		0.17 $\times 10^{-12}$ gRa/l	Koide and Bruland(1975)	

第4表 ニューヨークにおける食品中のラジウム-226含有量(1978年).

食品	Ra-226	
	(mBq/kg)	*注
新鮮野菜	55	1.49 X 10 ⁻¹² gRa/kg
野菜の缶詰	22	0.59 X 10 ⁻¹² gRa/kg
根菜類	15	0.41 X 10 ⁻¹² gRa/kg
ジャガイモ	6.5	0.18 X 10 ⁻¹² gRa/kg
乾燥豆	56	1.51 X 10 ⁻¹² gRa/kg
新鮮果物	46	1.24 X 10 ⁻¹² gRa/kg
果物の缶詰	6.6	0.18 X 10 ⁻¹² gRa/kg
果物ジュース	27	0.73 X 10 ⁻¹² gRa/kg
パン製品	81	2.19 X 10 ⁻¹² gRa/kg
小麦粉	88	2.38 X 10 ⁻¹² gRa/kg
マカロニ	69	1.86 X 10 ⁻¹² gRa/kg
お米	7.3	0.20 X 10 ⁻¹² gRa/kg
肉	2	0.05 X 10 ⁻¹² gRa/kg
卵	85	2.30 X 10 ⁻¹² gRa/kg
新鮮な魚	30	0.81 X 10 ⁻¹² gRa/kg

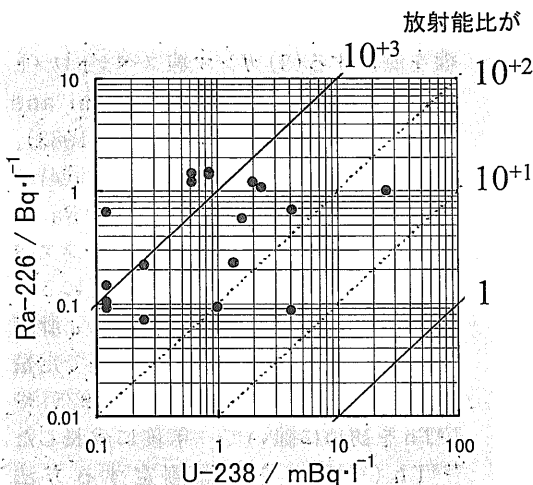
*注: X 10⁻¹² gRa/kg = pCi/kg = 0.037Bq/kg

Eisenbud and Gesell (1997) による.

6. 環境中のラジウム

自然環境中には前述したように4つのラジウム同位体が存在している. しかし, 実質的に私たちが扱える核種は, 主としてウラン系列に属する半減期の長いラジウム-226(半減期: 1600年)であり, 時としてトリウム系列に属するラジウム-228(MsTh1; 半減期: 5.75年)を扱うことがあるに過ぎない.

自然界におけるラジウムの存在量は, 第3表にあるように岩石中で平均数ppt程度(10⁻¹² gRa/g)のオ



第2図 増富温泉におけるウランとラジウムの関係. ラジウムの方がウランよりも数十倍から数千倍も多く溶存している.

第5表 ラジウム含有量の高い温泉の例(岩崎(1968)による).

温泉・鉱泉名	所在地	ラジウム濃度 x 10 ⁻¹² gRa/l
Novyj Groznyj 油田湧出水	ソ連	106000~146000
Grosny 油田湧出水	ソ連	18300
Uchta 油田湧出水	ソ連	7400
Volkenroda 湧出水	ドイツ	5500
Gebra-Lohra 湧出水	ドイツ	2200
heidelberg ラジウム塩鉱泉	ドイツ	1790
Rossleben 湧出水	ドイツ	1430
金華井塩水(四川省梁山県)	中国	1260
Kreuznach 鉱泉	ドイツ	930
白林井(四川省富順県)	中国	726
永濟井(四川省富順県)	中国	688
盛海井(四川省富順県)	中国	673
Starobelsk 鉱泉	ソ連	610
Saratoga 鉱泉	アメリカ	516
派蒸井(四川省富順県)	中国	483
Sollstedt 湧出水	ドイツ	450
有馬新温泉(兵庫県)	日本	382
.....		
有馬カタ越鉱泉(兵庫県) 以下の順位		111
玉造温泉松之湯	兵庫県	97
有馬本温泉	兵庫県	94
増富和田松場鉱泉	山梨県	84
増富日受水	山梨県	76
池田鉱泉第3号泉	島根県	73
増湯沢鉱泉第1号泉	山梨県	72
有馬花の坊の湯	兵庫県	69
増富津金楼第1号泉	山梨県	65
有馬百間樋鉱泉	兵庫県	62
池田鉱泉第8号泉	島根県	59
池田鉱泉第2号泉	島根県	58
池田鉱泉第1号泉	島根県	55
湯畑温泉第2号泉	島根県	49
.....		
.....		

岩崎(1968)による

オーダー)である. 河川水・地下水では環境によってかなり異なっているが, おおよそ岩石中存在量の更に1/1,000のオーダー(10⁻¹² gRa/l)で, 海洋では更にそれよりも1-2桁低い値である. 海水中ではウランは可溶性の炭酸錯イオンを形成して安定であるが, 系列の途中でラジウムの親であるTh-230は不溶性であるため海水から除去されて堆積物に移行してしまうので, 溶存ラジウムは少ない. しかし, 水深が深いほど濃度の高くなる傾向が見られ, 海洋底堆積物中のTh-230に起因すると考えられている.

食品での存在量を, 報告例のあるニューヨークの例で第4表に示した. 食品では, ブラジル産のナッツがバリウムを濃縮するのと同様にラジウムを273~7,100 X 10⁻¹² gRa/kgも濃縮しているという. しかし, これは体内にはほとんどとどまらないという(Eisenbud and Gesell, 1997). 体内においてはラジウムが31pCi程存在しているが, そのうち27pCiは骨格に存在している. 平均して一日当たり2.3pCiが取り込まれているといわれている.

ラジウム(²²⁶Ra)はウランの系列に属しているが,

地球上での挙動はウランと同一の挙動をするとは限らない。例えば、水中のウラン濃度とラジウム濃度をプロットしても、系統的な関係は見いだしがたい。例として、増富温泉における環境水中の関係を第2図に示したが、ラジウム濃度に比しウラン濃度はかなり少なく、放射能比にして数十倍から数千倍ラジウムが高濃度で存在している。このように、特に温泉水中ではウランがほとんどなくてもラジウムが多量にとけ込んでいることがある。いわゆる「ラジウム温泉」といわれているものである。世界におけるラジウム含有量の高い温泉を、第5表に示した。ラジウム温泉では、温泉水を飲用に用いる人もいるが、これは20世紀初期のラジウム・ラドン発見の頃に「ラドン・ドリンク」というのがヨーロッパで流行したのに起因しているのかも知れない。当時は、ラジウム水をアンプルに入れたものが市販されていたというが、ラジウム摂取による放射線障害が明確になってからはそうしたことは行われなくなっている。

日本においても温泉中のラジウムについての研究は盛んに行われ、測定器に「泉効計」という名の付くように温泉での測定が主であったのだろう。多くの測定値が報告されている。(例えば、Nakai, 1940)。また、それに関連する放射能泉の生成機構についての検討も、岩崎(1968, 1969)によってまとめられている。それらによると、温泉中のラジウム・ラドン濃度は時間とともに変動し、変動パターンも時と場所により異なっているという。

「ラジウム温泉」と同様な意味で「ラドン温泉」というのがある。これらは正式には温泉法で以前呼ばれていた「放射能泉」に該当している。また、「トロン温泉」と宣伝する浴場もあるようであるが、これはトリウム系列のラドン同位体のトロン(^{220}Rn)を含むものであろう。温泉法ではラジウムを 1×10^{-8} mgRa/kg以上(約 10×10^{-12} gRa/l以上)、もしくはラドンを 20×10^{-10} Ci/kg含有する場合に鉱泉と見なされ、ラドンを 30×10^{-10} Ci/kg(約111Bq/l)以上含有する場合には療養泉とされる。これは、更に次のように細分される。

単純弱放射能冷鉱泉—泉温が25℃未満でラドンが $(30 \sim 182) \times 10^{-10}$ Ci/kgのもの

単純放射能冷鉱泉—泉温が25℃未満でラドンが 182×10^{-10} Ci/kg以上のもの

第6表 各都道府県における登録された放射能泉の数。

都道府県名	温泉・銭湯 フォーラム	角(1975)		
		放射能泉	全登録数	放射能泉の割合(%)
北海道	2			
秋田県	1			
岩手県		2	52	4
山形県	1	1	92	1
福島県	5	6	97	6
茨城県	2	1	27	4
埼玉県	2			
山梨県	2	2	51	4
新潟県	2			
長野県	1	1	133	1
岐阜県	11	17	69	25
愛知県	4	5	47	11
三重県	4	3	37	8
京都府	2	6	28	21
大阪府	5	2	14	14
滋賀県	4			
兵庫県	2	12	63	19
奈良県		1	13	8
岡山県	5	12	39	31
広島県	16	29	35	83
鳥取県	3	5	14	36
島根県	2	8	54	15
山口県	8	35	59	59
愛媛県		2	37	5
香川県	2			
福岡県	6	4	21	19
佐賀県	2	3	16	19
熊本県	1	2	54	4
宮崎県	1			
鹿児島県	1			

単純弱放射能温泉—泉温が25℃以上でラドンが $(30 \sim 182) \times 10^{-10}$ Ci/kgのもの

単純放射能温泉—泉温が25℃以上でラドンが 182×10^{-10} Ci/kg以上のもの

また、塩類泉の場合には、含弱放射能〇〇泉、含放射能〇〇泉という分類になるという。

日本における放射能泉は、niftyの温泉・銭湯フォーラム(FONSEN)には全国から97カ所登録されており(2000年3月現在)、県別には広島県と岐阜県等が多い(第6表参照)。

放射能泉というと、「放射能」からの連想でいろいろな影響を気にする方がいるかも知れないが、放射能泉として有名な三朝温泉(鳥取)や増富温泉(山梨)などの周辺住民に特に肺癌が多いということは報告されていない。従って、この程度の放射線量であれば取り立てて心配することはなく、温泉としての効果を楽しんだほうがよい。多くの温泉の中には医学的効果があるかどうかよく分からない温泉もあるかも知れないが、プラシーボ効果といって、実際に効果がない薬剤や偽薬を投与しても薬効があると思って飲んでいると本当に効果が現れる現象があるので、いろいろと詮索するより、ゆったりとした気分でリラックスして温泉を楽しむのがよいだろう。

7. ラジウムの地球化学

環境中の存在量は、前節で述べたようにならばつきが大きい。ここで特に触れておきたいのは、ラジウム同位体についてとアメリカやカナダにおけるラジウムの報告である。

まず、ラジウムの同位体について触れておきたい。ラジウムでは比較的半減期の長い ^{226}Ra (半減期: 1600年) と ^{228}Ra (半減期: 5.75年) とが重要である。海洋においては良好なトレーサーとして使用されてきた。両者とも ^{230}Th , ^{232}Th というトリウムから生じており、化学的な挙動も兄弟のように似ていると考えられる。このようなことから Moore らは沿岸域や河口域の海水・堆積物を調査し、ラジウム同位体は湾内の堆積物からの拡散によるものと、湾に流入する河川中の懸濁物粒子からの脱着によるものがあることを明らかにした。幾つかの河口域の調査によると、Chesapeake 湾、Delaware 湾、揚子江域などでは ^{228}Ra には前者のメカニズムが重要で、 ^{226}Ra には後者が重要な働きをしており、Winyah 湾では後者のメカニズムが ^{226}Ra 及び ^{228}Ra に寄与しているという (Moore, 1981; Elsinger and Moore, 1980; 1984)。底質からのラジウムのフラックスについては、 ^{228}Ra は $0.33\text{--}1.2\text{dpm/cm}^2/\text{y}$ 、 ^{226}Ra は 0.3 などの値が報告されているが (Elsinger and Moore, 1984; Li and Chan, 1979; Santschi *et al.*, 1979)、フラックスは海洋底の地域的、堆積物のタイプ、組成に依存して変動している (Chung, 1976)。Yamada and Nozaki (1986) は、西部北太平洋における海水中のラジウム同位体を調査して黒潮中の ^{228}Ra 濃度が高いことを明らかにし、東ア

ジアの大陸棚が起源と推定し、大陸棚から 200km を境にして拡散係数が変化することを報告している。更に河川水による希釈、塩分濃度変化によっても変動しており、Mississippi 川河口域では脱着による ^{226}Ra 濃度が Hudson 川、Pee Dee 川、Amazon 川と比べて同塩分濃度で $2\text{--}5$ 倍高いという (Moore and Scott, 1986)。Paul and Pillai (1986) はインドにおけるモンスーン期と非モンスーン期での変化を報告している。

溶液組成によって同位体組成が変動する例で興味深い研究がある。西オーストラリアの Yilgarn Block にある塩水の小さな泉では、ラジウムの起源と推定される花崗岩の Th/U 放射能比は 1.5 しかないのに、 $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ 放射能比が $3\text{--}10$ 倍もあり (平均 6.1)、 $^{226}\text{Ra}/^{223}\text{Ra}$ 放射能比も天然の存在比では 21.4 であるのにここでは 3.3 しか無いという (Dickson, 1985)。これは風化によりトリウムが残留して ^{228}Ra が多量に溶けたと考えられ、更に硫酸根の存在によって ^{226}Ra と ^{228}Ra の溶出が ^{223}Ra や ^{224}Ra に比べかなり押さえられることを彼は実験で示しており、興味深い結果である。

次に、地下水の話題に移る。カナダの Manitoba 南東にあるカナダ原子力株式会社 (CANDU) の地下実験施設の周辺地下水は、ウランやラジウム濃度が高いという (Gascoyne, 1989)。ラジウム濃度は塩分濃度が高くより深い地下水で高くなり、 38Bq/l ($=1027 \times 10^{-12}\text{gRa/l}$) にもなる。こうした高濃度のラジウムは、接触している固相の陽イオン交換基が飽和してラジウムの吸着を阻害しているためと考えられている (Langmuir and Melchior, 1985; Gascoyne, 1989)。それとは別の話となるが、鉄やマンガン酸化物によってラジウムが固定されていたものが、バクテリアの還元作用で鉄が還元されると鉄が可溶化され、それに伴ってラジウムが放出される可能性が懸念されている (Landa *et al.*, 1991)。ウランなどでは還元的な環境は不溶化にプラスの作用となるが、吸着・共沈による固定の場合には、その母胎が変質すると可溶化されるという意味で複雑な関係となっており、いろいろな面で注意が必要であろう。

一方、アメリカでは1976年に公衆水道の α 放射能や ^{226}Ra ・ ^{228}Ra 濃度に関する飲料水の暫定基準が制定され、1990年の時点で環境保護局 (U.S.EPA)



写真10 台湾産の北投石。

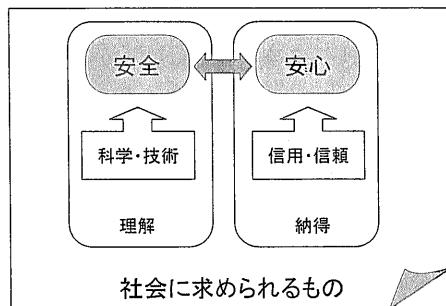
では、ウラン・ラジウム・ラドンに関する最終基準値を検討しているという(Cothern and Rebers, 1990)。これに先立ち、地下水のラジウム濃度調査が全国的になされた。1976年の暫定値は 5pCi/l ($=5 \times 10^{-12}\text{gRa/l}$)で、約60,000の公衆水道の内、約500がこれを越えていると見積もられた。実際は1,000ヶ所をリストアップし、このうち990ヶ所の試料が採取された。最大は約 100pCi/l であり、 ^{226}Ra の平均濃度は 0.4pCi/l 、 ^{228}Ra のそれは 0.7pCi/l であったという。平均では特に問題なからうが、特に突出して濃度の高いものは注意が必要だろう。日本とは地質環境も異なっているため地下水特性も異なっているだろうが、国土の実態把握という意味では我が国が見習うべき点も多いだろう。

8. ラジウムが生んだ北投石^{ほくとうせき}

北投石というのは、台湾の北投温泉で見いだされた放射性鉱物(写真10)で、鉛を含む重晶石、硫酸バリウム-硫酸鉛の固溶体($(\text{Ba,Pb})\text{SO}_4$)として有名である。放射性の元はラジウムである。日本では、秋田県の玉川温泉でも見いだされており、天然記念物に指定されている。

北投石の発見の経緯については、綿抜(1973, 1990)に詳しい。1906年に岡本要八郎によって発見された後存在が不明となっていたが、頼氏(台湾水道局)と大塚氏によって再発見されたという。台湾北投石の化学分析は1909-1912年にかけて日本で行われており、この中で1911年に地質調査所で分析が行われたという(綿抜, 1990)。1世紀近くも昔の先輩所員が北投石試料を分析していたとすると、それなりにやはり感慨深いものがある。こうした試料を始め、代々引き継がれた貴重な標本や資料・試料が今後も行方知れずにならぬよう、置き場所の移動や管理者の引継がなされるときには特に注意しなければならないだろう。

ついでに言うと、北投石に手を染めた研究者には、日本の地球化学・放射化学を支えた大先生方の名前がずらりと並んでいる。綿抜(1990)によると、南英一(分析・合成)、飯盛里安(分析)、斎藤信房(分析)をはじめとして、今でも現役で研究をされておられる先生方が多数関与している。それだけ初期の地球化学、放射化学にとっては魅力



第3図 安全と安心の構図。

的な研究対象であったのだろう。すなわち、北投石が放射性で、また、固溶体であることから、端成分の割合による結晶の格子定数や微量元素の関係が興味深く研究された(例えば、高野, 1959; Sasaki and Minato, 1982)。更に、どうして温泉水から北投石が形成されるのかについても、イオン強度や分配モデル(綿抜, 1963; Ichikuni, 1966)や現象論的方程式を用いる研究(佐々木・綿抜, 1995)などが行われている。

9. 求められる安全と安心

放射性核種を扱う場合、常に「安全」を考慮していなければならない。すなわち、(1)距離をとる、(2)時間を短くする、(3)遮蔽をする、といういわゆる放射線防護の3原則と言われるものである。そして、(4)管理する、も重要な要素である。このような「安全管理」は、様々な科学的根拠に基づき、科学的技術によって達成される。私たちはこれを理解し、体得するよう努めている。これはあくまでトラブルをなくそうとする主体的な行動である。

一方、私たちは「安心」を求めている。「安心」は「安全」とは違い、科学や技術の問題ではない。また、「安心」は「安全」性が高まれば常に達成されるというものでもない。「安心」には人間臭がつきまとい、「信用」や「信頼」によってもたらされるものである(第3図)。こうした「信用」や「信頼」は、心のつながりであり、一朝一夕に得られるものではなく、情報の公開や日頃のコミュニケーションで育まれていくものであろう。

現在の社会を見ていると、科学に対する懐疑的な風潮を感じる。いや、科学者に対する不信感かも知れない。今まで私たちは科学・技術を極めよ

うと熱中するあまり、社会に対する信用や信頼を重大なテーマとしてあまり強く認識してこなかったためではないかと反省すべきかも知れない。また、「信用」「信頼」に関しては、それらを得るには長い年月と地道な努力が必要である一方で、こうした信頼や信用は失う時はいとも簡単に一瞬のうちに失ってしまうものだという事を、様々な不祥事のニュースを耳にし目にするたびに実感している。

今、私たちが社会に対する責任として、この「安全」と「安心」とを車の両輪のように大切なものとして、常に考慮していく必要がある。このため、「信用」「信頼」を得るよう、オープンであることが重要な要素の一つであり、本拙文もその一助となれば幸いである。

10. 終わりに

今回は、ラジウムについての話題と同時に放射能測定器の話題を述べた。新しいものがでると、常に古いものも生じる。それが世の常というものであろう。しかし、私たちは去りゆく古い物から何かを常に学び取って行かなくてはならない。それが何であるかは一人一人異なっているであろうが、この拙文がそのための何らかのエネルギーとなっただけならば幸いである。

最初に一部述べたように、ここ数年の原子力関係機関のトラブルやウラン燃料加工施設での事故によって、科学者の持つ認識・意識と社会における認識・意識との間に大きな隔たりがあることが露呈してきた。世界各国や日本における原子力の方向性が、昭和30年代に目論んでいたことともだいぶ違って来たことも否定できない。原子力を例に挙げたが、原子力関係のみならず地質学・資源・地球物理・地球化学・海洋学など地球科学全般にわたっても、昔とは方向性が変わってきていることだろう。もはや科学のための科学ではあり得ず、社会のための視点が必要となっている。時は20世紀最後、来年からは21世紀に突入する。「社会との接点を保つ」などといわずに(点などと小さな部分ではなく)「社会と太いパイプでつなぐ」ようにして、今後は社会との連携とフィードバック、研究と啓蒙とを両立させていくことが必要であろうと考えている。

最後に、本拙文に目を通し貴重なコメントをくださった地殻化学部前川竜男氏に感謝申し上げます。また、キュリー夫人に関する貴重な写真を快く御提供くださった東海大学の菊池文誠氏に心より厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 赤石 準(1998) : Isotope News, 524, p.22-25; 525, p.28-31.
 Chung, Y.-C. (1976) : Earth Planet. Sci. Lett., 32, p.249-257.
 Cothern, C.R. and Rebers, P.A. (1990) : Radon, Radium and Uranium in drinking water. 286p. Lewis Publishers, Inc., Michigan.
 Dickson, B.L. (1985) : Geochim. Cosmochim. Acta, 49, p.361-368.
 Eisenbud, M. and Gesell, T. (1997) : Environmental radioactivity, 656p. Academic Press, California.
 Elsinger, R.J. and Moore, W.S. (1980) : Earth Planet. Sci. Lett., 48, p.239-249.
 Elsinger, R.J. and Moore, W.S. (1984) : Estuarine, Coastal and Shelf Science, 18, p.601-613.
 Elsinger, R.J., King, P.T. and Moore, W.S. (1982) : Anal. Chim. Acta, 144, p.277-281.
 Gascoyne, M. (1989) : Appl. Geochem., 4, p.577-591.
 樋口英雄(1981) : Radioisotopes, 30, p.618-627.
 Ichikuni, M. (1966) : Bull. Chem. Soc. Japan, 39, p.898-901.
 Ivanovich, M. and Harmon, R.S. (1982) : Uranium series disequilibrium: Application to environmental problems. p.199, Clarendon Press, Oxford.
 岩崎岩次(1968) : 温泉学会誌, 6, p.18-28; p.112-114; p.165-168.
 岩崎岩次(1869) : 温泉学会誌, 7, p.16-24; p.109-114.
 金井 豊(1996) : 地質ニュース, 508, p.48-61.
 菊池文誠(1997) : Isotope News, 517, p.18-21.
 Koide, M. and Bruland, K. W. (1975) : Anal. Chim. Acta, 75, p.1-19.
 Landa, E.R., Phillips, E.J. and Lovley, D.R. (1991) : Appl. Geochem., 6, p.647-652.
 Langmuir, D. and Melchior, D. (1985) : Geochim. Cosmochim. Acta, 49, p.2,423-2,432.
 Li, Y.-H. and Chan, L.-H. (1979) : Earth Planet. Sci. Lett., 43, p.343-350.
 McCurdy, D.E. and Mellor, R.A. (1981) : Anal. Chem., 53, p.2,212-2,216.
 Megumi, K. and Mamuro, T. (1974) : J. Geophys. Res., 79, p.3,357-3,360.
 三宅泰雄・猿渡勝子・杉村行雄(1975) : 海洋における放射性核種。堀部純男編 海洋学講座6 海洋無機化学、東大出版会、東京。
 Moore, W.S. (1969) : Earth Planet. Sci. Lett., 6, p. 437-446.
 Moore, W.S. (1981) : Estuarine, Coastal and Shelf Science, 12, p.713-723.
 Moore, D.G. and Scott, M.R. (1986) : J. Geophys. Res., 91, p.14,317-14,329.
 無機化学全書(1953) : 柴田雄次監修 XVII-1ウラン。丸善、東京。
 Nakai, T. (1940) : Bull. Chem. Soc. Japan, 15 Supplement, p.333-426.
 Paul, A.C. and Pillai, K.C. (1986) : Water, Air, and Soil Pollution, 29, p.261-272.
 Petrow, H.G. and Allen, R.J. (1961) : Anal. Chem., 33, p.1,303-1,305.

Petrow, H.G. Cover, A., Schiessle, W. and Parsons, E. (1964) : Anal. Chem., 36, p.1,600-1,603.
 Santschi, P.H., Li, Y.-H., and Bell, J. (1979) : Earth Planet. Sci. Lett., 45, p.201-213.
 Sasaki, N. and Minato, H. (1982) : Miner. J., 11, p.62-71.
 佐々木信行・綿抜邦彦(1995):天然無機化合物-鉱物の世界-。裳華房, 東京, p.108-129.
 角 清愛(1975):日本 温泉・鉱泉一覽. 134p. 地質調査所.

高野幸雄(1959):鉱物学雑誌, 4, p.255-276.
 綿抜邦彦(1963):温泉科学, 14, 88.
 綿抜邦彦(1973):科学教育, 21, 24.
 綿抜邦彦(1990):地球化学, 24, p.79-83.
 Yamada, M. and Nozaki, Y. (1986) : Mar. Chem., 19, p.379-389.
 山下 孝(1998): Isotope News, 529, p.24-25.

KANAI Yutaka (2000) : Geochemistry of Radium.

< 受付: 2000年4月10日 >

用語解説

放射能・放射線の単位について

放射能・放射線に関しては、なかなか馴染みのない用語や単位が多いので、ここで一つおさらいをしておこう。

放射能・放射線については本文中に述べたように、

「放射能」——ある不安定な物質(元素)が、みずから放射線を放出して他の物質(元素)に変化する性質・能力をいう。派生してその能力を有する物質(元素)を指す場合もあるが、正確には放射性物質という。

「放射線」——放射性物質から放出されるエネルギーを持った電磁波や高速の粒子の流れをいう。広義には放射性物質の核変換に伴わない電磁波や高速の粒子の流れを含むこともある。

ここに放射線を放出するある放射性物質を考える。これを身近にある「電球」にたとえると、放射線は光に、放射性物質は電球となる。放射能の大きさを表す単位は、以前はラジウムを基準としラジウム1gと同等な強さを1キュリー(Ci)とよんでいたが、現在ではSI単位系でベクレル(Bq)という単位を使用している。1ベクレルは1 dps (decay per second)、1壊変毎秒と同じで、キュリー単位とは1キュリー=3.7×10¹⁰ベクレルという関係がある。ここで線源の強さを示すベクレルは、電球でいうワット数の大小に似ている。

放射性物質を化学物質としてみる場合には、元素の重量単位としてグラム(g)、ミリグラム(mg)、マイクログラム(μg)などで表示する。これが混合状態であったり希釈されていたりすると濃度としてppm(parts

per million : mg/kg; μg/g; 10⁶), ppb(parts per billion : μg/kg; 10⁹)などで表す。

物質作用の点から放射線を見ると、線量という概念になる。線量を示す用語には照射線量や吸収線量、線量当量などがある。照射線量はγ線・エックス線の場合に空気を電離させる放射線の強さをいい、その単位は以前はレントゲン(R)であったが、SI単位ではクーロン毎キログラム(C/kg)となっている。吸収線量は物質に与えられたエネルギーで、更に生物学的な影響を考慮した線量が線量当量である。以前の単位はそれぞれラド(rad)、レム(rem)等であったが、SI単位ではグレイ(Gy)、シーベルト(Sv)となっている。

放射線源を電球にたとえると、線量はそこでの光の明るさと似ていて、電球に近いほど明るく離れるほど少ない明るさとなる。長いこと電球に当たっていると、それだけたくさんの光(線量)を浴びることになる。光をたくさん浴びると皮膚が日焼けをして黒くなるが、放射線も同じでたくさん浴びると炎症を起こして赤くなる。同じ明るさでも例えば赤い光と青い光とで感覚が違い、粘膜に当たると足の裏に当たるとでも影響が異なるので、それらを考慮して日焼けの程度を評価したものが線量当量に該当するだろう。

私たちは、1mの長さはいたい幼稚園児の身長ぐらい、1kgは1リットルの牛乳パック程度であることを日常生活の経験からおおよそ実感している。しかし、放射線は長さや重さとは異なり、目で見たり手で触れたりすることができず、日常的になかなか実感できるものではない。火事や地震の時に慌てないように避難訓練をするように、放射能に関しても日頃から放射線に関する事柄に馴染んでおきたいものである。

(金井 豊)