

はじめにー今回の薬学シンポジウムについてー

主催者・中垣 良一（金沢大学 医薬保健研究域 薬学系）

本来、薬学シンポジウムは、当番研究室が研究の最前線における成果を報告することが建前となっております。今回のシンポジウムは恒例とは異なり、環境中の放射能について認識を深めることを目的とし、やや限られた分野であっても、じっくりと考える機会をご提供することにしました。

最初に主催者の私が極めてプライベートな体験をもとにして、1970年代の状況についてふりかえてみます。次に、本学薬学系の学生実習で扱っている天然放射能の問題をご紹介したいと思います。

1970年ころは、私が大学生であった時代です。大学1年から2年にかけて、原子核物理と原子炉の初歩について勉強する機会に恵まれました。これは、全くの偶然ですが、教養部（理学部進学課程）において同級生のお父さんであった豊田利幸先生と出会ったことから、核兵器と原子力発電について大いに啓蒙されました。

私は大学の理学部に入学後ずっと40年以上にわたり、核兵器や原子力の問題に関心をもち、憂慮の念をいだきつつ過ごしてまいりました。その理由は、小学生から中学生にかけて、大気圏核実験を経験してきたことと、キューバ危機のような核戦争が誘発されかねない時代を生きてきたためです。J.F. Kennedy アメリカ大統領の暗殺以後（1963年）、キューバ危機（1962年）の本質を知ることができました。中学生は幼稚であっても、おぼろげながら事態の本質をつかむだけの感性はもっています。1963年の部分的核実験禁止条約（PTBT）や1964年10月16日の中国の核実験などは幼い心に刻まれています。1965年には、米国が押収していた広島と長崎の被害実態の記録が返還されてきました。1965年は、朝永振一郎博士が日本人として二人目のノーベル物理学賞を受賞した年として記憶しています。

私たちの世代（1950年代に生まれた世代）は、核兵器は廃棄すべきもの、原子力は平和的に利用すべきものという風潮のもとで育てられました。英国から輸入したコールダー・ホール改良型の原子炉が稼働を始めることなどが社会科の教科書に記載されていました。1970年の大阪万国博覧会では若狭の原子力発電所から電気が供給されたことなどがマスメディアで報道されています。これ以後、1970年代は米国から輸入された大型の軽水炉が稼働をはじめ、

同時にライセンス契約で国内生産されて日本各地に原子炉が設置されていきました。この問題については、また後で詳しく議論したいと思います。

ここで、1985年当時西ドイツの大統領であったリヒャルト・ヴァイツゼッカーの言葉を引用しておきます。

「過去に目を閉ざす者は、結局のところ現在にも盲目となります。」

出典：「荒れ野の40年」1985年5月8日 岩波ブックレット55（1986）

これは、ナチスの独裁下でどのようなことが行われていたか、全く関知しなかったと言いつける人がいたのか、という問いかけです。

「目を閉じず、耳をふさがずにいた人びと、調べる気のある人たちならば、ユダヤ人を強制的に移送する列車に気づかないはずはありませんでした。」

原子力発電の不健全さに気がつかない人もいましたが、かなりの人は気づいていたはずで、さまざまな思惑やしがらみで明確な発言を避けてきた人々が多いと思われます。私は、20年ほど前、岡崎の国立研究所に勤務していたときに、中部電力の浜岡原子力発電所の問題に出会い、明確に反対の意思を表示してきました。今からちょうど24年前のことです。

天然放射能と人工放射能

(A) 核爆薬に転用可能な物質

ここで、日常生活で用いられている物質（もの）を見ていただきます。

ここにあるリチウム乾電池 CR123A はデジタルカメラのストロボなどに用いられています。一般に、リチウム電池は携帯電話やノートパソコンなどに広く使われています。リチウムは天然存在量が少ないので、レアメタルとして扱われることがあります。リチウムの天然組成比は、質量数6の同位体が7.5%で、質量数7のものが92.5%です。このうち、リチウム-6は水素爆弾に使われます。

これは、ミネラルウォーターのはいったペット・ボトルです。天然水の主成分は、普通の水 H_2O です。ごく一部分が HDO や D_2O という重い水です。D というのは質量数2の水素で、重水素と呼ばれています。元素記号 D は英語名 *deuterium* に由来します。天然には、重水素は1万分の1くらいしか存在しません。このように微量にしか存在しないものであっても、同位体濃縮により同位体存在比をあげて、大量に準備すると核物質になります。

重水素化リチウム-6 (6LiD) は、核爆発によって生じた中性子と核反応を起こして、三重水素とヘリウム-4 を発生させます。生じた三重水素は、高温のもとで重水素と核融合を起こ

して多大なエネルギーを放出します。これが水素爆弾、いわゆる水爆です。

核兵器に転用可能な物質のすべてが厳重に管理されているわけではありません。炭酸リチウムは鬱病の治療に使われることがあります。また、赤い光を発する花火を作成するためにも、炭酸リチウムが使われます。ここで、注意していただきたいことは、リチウム-6 も重水素も安定同位体であって、放射線を出しません。特殊な条件下で中性子を照射すると、核反応と核融合を起こして莫大なエネルギーを放出します。この核融合で電気を発生させる技術は、開発途上です。今世紀中に実用化される見込みは殆どありません。

(B) 天然放射能

ここで自然界に存在する放射性核種について、ご説明します。極めて微量の放射性物質を含むものが商品として売られています。庭石として使われる御影石や家庭菜園で使われるリン酸肥料などは、極めて僅かですがγ(ガンマ)線を出しています。普及型のサーベイメーターを使うと、この種のガンマ線を検出できます。

日本では、放射性物質を取り締まる法律は、2本立てになっています。1つ目は「原子炉等規制法」であり、2つ目は「放射線障害防止法」です。前者は、核燃料として使用可能なもの、天然ウラン、ウラン-235、プルトニウム-239などの取り扱いを規制します。一方、「放射線障害防止法」は放射性物質を扱う実験施設などの環境を規制します。廃液中の放射性物質の濃度や空気中の濃度などを決めています。放射性物質を取り扱う人々の健康を守るために、被曝限度などが決められています。

放射性障害防止法に従うと、天然に存在しても極微量の放射性物質を含むものは、規制の対象外になります。天然放射能のうち、人体に影響を及ぼすものは、大まかに3つに分けられます。(カリウム-40、炭素-14、ウラン-238とその子孫核種) これ以外にも天然放射性核種がありますが、量としては少ないので省略します。

カリウム-40は、半減期が12.7億年で、天然には普通のカリウム(非放射性)の1万分の1くらい存在しています。体重50kgの人の場合、体内に約100gのカリウムが存在していて、そのうちの1万分の1のカリウム-40により被曝しています。体重50kgの人では、1秒間におおよそ3000回ほどカリウム-40が放射壊変を起こしています。「壊変」は、ある核種が壊れて別の核種に変化する現象のことで、1秒につき1回の壊変を1ベクレルと呼びます。

ここで冷蔵庫の脱臭に使われる活性炭に注目していただきます。冷蔵庫用の脱臭剤にはヤシ殻活性炭が100gくらい使われています。この中には、炭素-14という放射性の重い炭素が

ごく微量含まれています。

炭素-14は、宇宙から降ってくる放射線のために絶えず生じています。その一方で、できる分と同じだけ地球上から消滅しているので、地球上に蓄積していくことはありません。放射性炭素 C-14 は、炭酸ガスとなって地表に降りてきます。このガスは光合成により植物の体内に取り込まれます。こうしてできた植物を食べることによって、私たちの体内にも C-14 が入ってきます。C-14 の存在量は、ごく僅かです。大体、自然界にある炭素から 1 兆個の炭素原子を取り出すとその中に C-14 が 1 個あるか、ないかという程度の量です。天然の炭素は、その中に含まれる炭素-14 のために、放射性を帯びています。天然の炭素は、1 g につき 0.25 ベクレルの放射線源です。100 g の活性炭を含む脱臭剤は、25 ベクレルの放射線源です。これくらいの放射線源は、人類の歴史から見ると、大昔から適切に扱っています。人間が原子炉を発明して、放射性物質を人工的に大量に製造するようになって、話が大きく変わりました。

原子炉の発明以前の放射能としては、ラジウム-226 があげられます。ラジウム-226 はウラン-238 の子孫なので、天然にごく微量だけ存在します。20 世紀のはじめころから、ラジウム-226 を濃縮分離して、さまざまな用途に用いるようになりました。ラジウム-226 は、医療や夜光塗料に使われただけでなく、ラドン温泉やラジウム温泉の効用をもっともらしく見せかけるためにも用いられました。当時としては、高価な物質であったので、投資の目的で売買されてこともありました。最近、東京都世田谷区で見つかったラジウムは夜光塗料の原料であったようです。

リン酸肥料、たとえば過リン酸石灰には天然ウランが不純物として含まれます。リン酸肥料から放出される γ 線は、普及型のサーベイメーターで検出できます。リン酸肥料を製造する工場は、薄い濃度ですが、ウランとその子孫核種によって汚染されています。このようなリン酸肥料を施肥しても、重大な影響が現れることはありません。但し、このようなリン酸化合物を動物の飼料に添加した例が報道されています。飼料用のリン酸カルシウムには、1 kg について平均 550 ベクレル、最大 1400 ベクレルの放射能が含まれていたと報道されています。(1997 年 9 月 13 日、朝日新聞) 結論から申し上げますと、ホームセンターやスーパーマーケットで売られているリン酸肥料や活性炭を扱うことによって、健康面で悪い影響が現れることはありません。

御影石（花崗岩）が地表面に露出している地方と神奈川県のように火山灰の堆積により遮蔽がきいている地域とでは、自然放射能の値に有意の差が認められます。このような違いは、悪い病気の発生件数と関係づけられません。測定器の性能がよいので、自然放射能の差が検

出できるだけで、ガンの発生率などと相関関係はありません。東日本と西日本の間には、フォッサマグナという大きな断層（大地溝帯）があります。この大断層の東と西とでは、土の性質に違いがあります。西日本側は陶器の製造に適した土が多く産出します。これに対して、東日本側にはよい陶土が産出しません。天然放射能の値は、西日本において高くなり、東日本で低くなる傾向があります。これは、地質と関係づけられます。

(C) 放射能強度

これから放射能強度についてお話します。日常生活において規制されることなく流通している工業製品などは、まとめて扱っても、たかだか数キロベクレルの放射性物質を含むだけです。キロというのは 1000（1 千）のことです。ヨーロッパの言語では 1000（三桁）を区切りとする接頭語が使われます。100 万をメガ、10 億をギガ、1 兆をテラとといいます。

兆を数字で書くと、1 の次に 0 が 12 個並びます。兆の 1 万倍を京（けい）、京の 1 万倍を垓（土へんに亥を書いて「がい」と読む）と言います。漢字では 4 桁刻みで、数値が大きくなります。これに対して、ヨーロッパ語では 3 桁刻みで大きくなります。つまり、1000（1 千）を何回掛け合わせたかを接頭語で表します。1000 を 4 回かけたものをテラ（T）といい、5 回かけたものをペタ（P）とといいます。6 回かけたものをエクサ（E）とといいます。これらは、テトラ（4）、ペンタ（5）、ヘキサ（6）と関係づけられます。

Tetra → Tera (10^{12})、Penta → Peta (10^{15})、Hexa → Exa (10^{18}) のように、アルファベット 1 文字を省略して接頭語にします。

(D) 放射能強度の減衰

2011 年 4 月 24 日の朝日新聞によれば、福島第一原発の事故により放出された放射性物質は、放射性ヨウ素に換算して、19 万テラベクレルであったとされています。また、12 月 17 日の朝日新聞では、積算放出量は 77 万テラベクレルであったとされています。翌日、12 月 18 日の朝日新聞では、海に放出されたストロンチウム-90 は 462 兆ベクレルであったと報道されています。

人間ひとり（成人）は、カリウム-40 で 3000 ベクレル、炭素-14 で 3000 ベクレルくらいの放射能を体内にもっています。人間ひとりを 6 キロベクレルの放射線源と見なすと、462 兆ベクレルは 700 億人分の放射エネルギーに相当します。700 億 (7×10^{10}) は、7 の後に 0 が 10 個並びます。これだけ桁違いに大きな放射エネルギーは、人間の管理能力を超えています。たとえ、原子炉の外へもれ出る量が 1 万分の 1 であっても、人間の管理能力を超えています。放射性物質（Radioisotope、RI）を扱う実験施設では、メガベクレルかギガベクレル程度の RI なら

ば、多重防護により充分安全に管理できます。

原子炉の事故で最も深刻な環境汚染の原因となる核種は、ストロンチウム-90 とセシウム-137 です。これらの半減期は僅かながら違いますが、大体 30 年と見なすことができます。ここで、福島第一原発で放出された放射性のストロンチウムとセシウムが合わせて 1000 テラベクレルであったと仮定します。1000 では小さすぎますが、便宜的に 1000 テラベクレルとします。半減期の 10 倍が経過すると、放射能強度は 1000 分の 1 にまで低下します。2 を 10 回かけると 1024 になります。(1/2) を 10 回かけると (1/1024) になります。300 年経過したところで、1000 テラベクレルが 1 テラベクレルになるだけで、人間の手に負える量ではありません。

過去の大気圏核実験で放出された放射能量は莫大ですが、広く拡散して分布しているので、食品汚染の放射線源としては、それほど深刻ではありません。ウクライナ共和国のチェルノブイリ事故からわかるように、地表の放射能を取り除くことは簡単ではありません。この問題は、後ほど河田さんに解説していただく予定です。

デモンストレーション（演示実験）

(E) シンチレーション・サーベイ・メーターについて

ここで、本学薬学系の学生実習（物理化学実習）で扱っている天然放射能の問題をご紹介します。と思います。

ここには、簡易型の γ 線検出器があります。これは、すべての γ 線をセシウム-137 の γ 線と見なして、空間線量率を表示しています。1 時間あたりの被曝線量がマイクロシーベルトを単位として示されています。ここでは、マイクロシーベルトよりは 3 桁小さい単位ナノシーベルトを使うと便利です。金沢市では、大体 50–80 ナノシーベルト/時間が平常の値です。このあたりに、 γ 線を検知する部分（素子）があります。この部分を塩化カリウムのビンが並んでいる間に差し込むと平常時の 2 倍くらいの値になります。御影石（花崗岩、Granite）やリン酸肥料の間に差し込んでも同じような現象が認められます。これは、日常生活で扱われるものが放射線を出している代表的な例です。

本学の薬学系では、この現象をもう少し詳しく扱って、学生実習のテーマとしています。これと殆ど同じ内容の実習が、東京大学医学部保健学科でも行われています。

出典：草間朋子・太田勝正・小西美恵子「医療のための放射線防護<改訂版>」真興交易医書出版部（1992）

この他に、単位時間あたりの計測数（計数值）を表示するシンチレーターもあります。1分または10秒の間に、何本の γ 線が検知されたかを表します。このような場合、検出効率を考慮すると、はじめて空間線量率に換算できます。正式には、放射能強度が既知のセシウム-137の標準線源を用いて、シンチレーターの性能を較正する必要があります。実際には、そのような手続きを省略して、使用することも可能です。バックグラウンドと呼ばれるノイズ（宇宙線や建築材料などから放出される放射線）の平常値を知っていれば、異常な事態がどうか判断できます。ノイズ・レベルを1桁以上上回る値が観測され続ければ、真剣にその原因を追究しなくてはなりません。

御影石とリン酸肥料は、この種のシンチレーターで γ 線を検出できます。一方、活性炭中の放射性重炭素（C-14）は β 壊変を起こすだけで、 γ 線を放出しません。また、ストロンチウム-90も γ 線を放出しないので、この種の検出器では確認できません。

(F) ストロンチウム-90 (Sr-90) の検出について

Sr-90は、骨に対する親和性が高いので、注意すべき核種のひとつです。親核種のストロンチウム-90を測るのではなくて、娘核種のイットリウム-90 (Y-90) の放射能強度から親核種の量を求めます。Y-90の半減期は64時間なので、サンプルを採取してから 6×64 時間 = 384時間 = 16日程度放置しておく、つまり娘の半減期の6倍くらいが経過すると、親核種と娘核種の間に永続平衡が成立したとみなせます。このような状態で、娘核種の量を測定して、親核種を定量します。

原子力発電と原子力工学

ここでは、ものごとの本質を大まかに捉えるために、次の3つの側面から、原子力発電について考えます。

(G) 技術（工学）

(H) 経済政策

(I) 外交政策

原子力発電の不健全さは、以下の理由から明らかです。

(1) 核分裂生成物などの放射性廃棄物の最終的な処理・処分が不可能である。特に半減期の長いプルトニウム-239などを人間の生活環境から隔離するための廃棄物容器などを製造できるかどうかは大いに疑問である。

(2) 核兵器に転用可能な物質を用いて発電することは、職業倫理上問題がある。特に、高

速増殖炉「もんじゅ」に用いられるプルトニウム燃料の扱いが困難である。

(3) 原子力発電の熱利用効率が火力発電に比べて低い。言い換えると、経済性において劣っている。

(4) 外国から輸入した原子炉の場合、耐震設計の信頼性については危惧される点が多い。

(1) ~ (4) の問題点は、既に半世紀以上も昔から指摘されています。代表的な文献を以下にあげておきます。

(あ) Jay 原著 (伏見康治他訳)「原子力発電所—コールダーホール物語」岩波新書 274 (1957)

(い) 伏見康治編集「原子炉物理学」共立出版 (1961)

(う) Goodman 原著 (武谷三男、豊田利幸、小川岩雄訳編)「原子炉入門」岩波書店 (1956)

原子力工学または原子核工学は、学部レベルで学習できるほど、単純な問題を扱っていません。技術的または工学的な問題以外にも、当事者となる国の経済政策・外交政策や諸外国のエネルギー政策や国際関係論なども学ぶ必要があります。原子炉事故による放射能汚染が地球規模の環境問題として長期にわたり続くことを考慮し、エネルギー政策や経済政策と核軍縮や安全保障と関わる外交政策も視野に捉えつつ、多角的に学ぶべきです。このような学問領域は、大学院レベルでなければ扱うことはできないでしょう。また、我国にはそのような専門家が少ないことも事実です。結論から申し上げますと、技術的な側面に限定して考えるだけでも、原子力発電は発電手段として選択すべきでないことが明らかです。

おわりに

過去 40 年間に人間は何を学んだのか —1972 年から 2012 年までの技術開発—

過去の 40 年間をふりかえってみると、当初は実用化が難しいと予想されたものでも、既にいくつかは成熟した技術として日常生活の中に定着しています。たとえば、臨床の現場では、核磁気共鳴イメージング (MRI)、や X 線 CT 法が実用化されています。脳梗塞や脳腫瘍などで病変を起こした部位を診断するためには、MRI が用いられています。人体に傷をつけることなく、また国宝の仏像を破壊することなく、その内部構造を調べるために、X 線 CT 法が使われています。これらの技術開発に対しては、ノーベル賞が授与されています。

ここで、日本人がその開発にかかわった技術に注目しましょう。化学者として私は、光触媒と機能性 MRI (f-MRI) を忘れることができません。光触媒として働く酸化チタンを鏡の表面にコーティングしておくと、自分で自分の汚れを除去するミラーがつくれます。衛生陶

器（便器）の表面を酸化チタンでコーティングしておけば、悪臭物質が自動的に除去されま
す。

健康な人の脳の生理機能は f-MRI という手法で調べることができます。脳に学習刺激を
与えたとき、どの部位が活性化するかを画像化する技術の一つとして f-MRI が定着して
います。これは、酸化型ヘモグロビンと還元型ヘモグロビンとは、磁氣的性質が異なっ
ているので、そのことを利用して磁気共鳴画像のコントラストを変えることができます。これ
が f-MRI です。光触媒技術を開発した二人の研究者、本多健一先生、藤嶋昭先生と f-MRI
を開発された小川誠二先生は、日本国際賞を受賞しておられます。

日本語による情報処理を考えると、仮名-漢字変換機能と辞書機能を忘れることができま
せん。仮名-漢字変換機能は、現在日本語ワープロのみならず、携帯電話のメールにも使われ
ています。この変換機能は、その姿を変えて韓国の文字ハングルや中国の簡体字を呼び出す
ためにも使われています。このように日本語ワープロの基礎となった仮名-漢字変換技術は、
東アジア文化圏に共通する知的財産の一つとなっています。この技術を開発した森健一先生
は文化功労者に選ばれています。このように、過去 40 年の間には、日本人の手によって、す
ぐれた技術が開発され、日常生活の質が上がり、生活が豊かになってきました。何かしら成
果が生まれると、それが次の成果を生み出す呼び水になります。一度よい連鎖が始まると、
知識の量が増えて、技術の質的な向上につながっていきます。

40 年の間に成熟を遂げてきた技術と異なり、原子力発電の経済性を保証するはずであった
2 つの柱、「高速増殖炉」と「核燃料の再処理」は現段階においても依然として未熟なまま
です。OECD 加盟国のうち主要先進国（イギリス、フランス、ドイツ）は、技術的な困難さと
経済的な理由から、再処理と高速増殖炉の開発から撤退しました。アメリカとロシア（旧ソ
連）も同様です。我国だけが孤立したまま、「核燃料サイクル」という幻（まぼろし）、また
は幻想にとらわれています。30 年以上もの長期間にわたり、多額の費用を投入しても成熟の
認められない技術（もしくは工学）には、本質的に重大な欠陥があるものと判断されます。
その一方で、過去 40 年（1972 年～2012 年）の間に、人間は複数回にわたり原子炉事故や核
惨事を経験してきました。過去に学ぶことなくして、前進することは望めません。「過去に目
を閉ざさ」ないことを心に刻んで、本シンポジウムの中核となるキー・ワードといたします。

【付記】

本シンポジウムにおいてなされた講演の内容は、演者個人の見解または意見であって、金沢大学の公式見解ではありません。テープに録音された講演内容は、主催者の責任において文字化しました。従って、その編集責任は、すべて主催者にあります。

本シンポジウムの概要については、北陸中日新聞社の松岡等記者により紹介されました。その見出しを書き出しておきます。

[2012年2月21日付の記事] 福島原発事故 金大でシンポ NPO 活動家ら講演

放射能汚染 浄化は 危険は

[2012年2月24日付の記事] 放射能とどう付き合うか 金大でシンポ

河田昌東さん「ナタネ栽培でバイオ燃料も」

渡辺美紀子さん「自治体まかせの検査不十分」

なお、本シンポジウムと深いかかわりをもつ内容が、講演者自身の著書に書かれています。

- ・ 河田昌東「チェルノブイリと福島」緑風出版（2011年）
- ・ 河田昌東・藤井絢子編著「チェルノブイリの菜の花畑から」創森社（2011年）
- ・ 高木仁三郎・渡辺美紀子「食卓にあがった放射能（新装版）」七つ森書館（2011年）
- ・ JCO 臨界事故総合評価会議「JCO 臨界事故と日本の原子力行政」七つ森書館（2000年）
- ・ JCO 臨界事故総合評価会議「青い光の警告 原子力は変わったか」七つ森書館（2005年）