



Photo Chiaki Sawai

Index

移動型管理区域「MCAT」の開発について 永津弘太郎・鈴木 寿・辻 厚至 ……野里 真澄・田口 萌・東 達也	1
ラジオアクティブコンシューマープロダクト ; その歴史と規制……………古田 悦子	6
[コラム] 50th Column 【処理水】……………中川 恵一	11
原子力発電環境整備機構 (NUMO) のご紹介 ~ 地層処分事業の取り組みについて ~ ……衣斐 勝由	12
[放射能・放射線単位の由来] 第1回 ベクレルbecquerel : Bq ……高橋 正	17
[サービス部門からのお願い] ファスナーは固定してご返送ください……………	19

*誌名の「FBNews」は、弊社が行っていた「フィルムバッジ(FB)」による個人線量測定サービスに由来しています。

移動型管理区域「MCAT」の開発について

永津弘太郎*1・鈴木
野里 真澄*4・田口

寿*2・辻
萌*5・東

厚至*3
達也*6

1. はじめに

1.1 がんの標準治療

日本人の2人に1人はがんになる、という現代であるが、医療技術が進歩した今、多くのがんに対して有効性が認められている標準治療技術が3つある。1つ目は外科治療、即ち、手術によるがん組織の物理的な摘出であり、特に転移のない固形がんに対して有効である。2つ目は化学療法と呼ばれ、薬によってがんを治す方法、いわゆる抗がん剤治療である。細胞障害性を持つ物質（薬）によって、生化学的にがん細胞を攻撃する。薬物は血流に乗ってがん組織へ届けられることから、転移がんや微小がん、白血病のような非固形がんに対しても有効である。そして3つ目が、本稿に関連する放射線治療である。

1.2 放射性医薬品を用いたがん治療

放射線を利用したがん治療は、身体の外側から患部へ向かって放射線の照射を行う「外照射治療」と、放射性治療薬を投与し、身体の中からがん組織を照射する「内照射療法」に大別される。前者では、ガンマ線やX線といった光子のほか、陽子線や炭素線（重粒子線）などの粒子線も用いられ、緻密な治療計

画のもと、高度な照射技術によって高い治療効果のみならず副作用の低減も実現している。後者は、身体が自然に持つ働き、即ち、ヨード（ヨウ化物イオン）が甲状腺に取り込まれやすい性質を応用して、¹³¹Iから放出されるベータ線で甲状腺がんを焼灼する例が有名である。本治療法は、カプセル化した放射性ヨード剤（¹³¹I NaI）を内用する（薬を飲む）ことで治療を行えるという特長から、「内用療法」の語源になっている（が、市販される薬もほとんどが内用薬なので、いささか祭り上げられている感は否定できない）。内用した薬物は、腸から吸収されたのち血流に乗って分布するため、摂取・吸収後の作用機序は化学療法にならう。従って、放射性治療薬を用いる内照射療法は、本質的には抗がん剤治療のひとつであるが、ドラッグデザインにおいて化学物質と放射性物質という2つの機能性分子（原子）を同一化合物内に混在できる強みがある。例えば、ある種のがん細胞に対して特異的な選択性を持つ抗体に放射性物質を標識し、静脈から投与する（抗体は胃酸に弱いため、内服できない）。血流に乗った標識抗体は目的とするがん細胞と選択的に結合し、がん細胞を無毒化する。抗体単独でも一定のがん治療効果を示すが、標識抗体では、放射線による物理的な細胞障害性を上乗せす

*1 Kotaro NAGATSU 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 先進核医学基盤研究部 放射性核種製造グループ グループリーダー
*2 Hisashi SUZUKI 先進核医学基盤研究部 放射性核種製造グループ 主任研究員
*3 Atsushi TSUJI 分子イメージング診断治療研究部 核医学基礎研究グループ グループリーダー
*4 Masumi NOZATO 研究企画部研究推進グループ 主査
*5 Moe TAGUCHI 技術安全部放射線安全課 技術員
*6 Tatsuya HIGASHI 分子イメージング診断治療研究部 部長

ることで、効果の増強を期待できる。放射性物質は抗体によって選択的にがん細胞へ運ばれることから、線量の集中的な付与、即ち、効果の増強と、望まない部位の被ばく回避という薬物送達の上で理想的な両挙動を期待できる。また、耐性を獲得したがん細胞に対して放射線の物理的な作用で細胞障害を誘導できる点は、一般の化学療法では得られない放射線治療特有の強みといえる。

以上のように、伝統的かつ便宜的に「内用療法」と呼ばれていた内照射治療は、創薬技術の発展により、「内用」に限定しない有用な薬物・治療法が応用されたことから、近年では「核医学治療」や「標的アイソトープ治療」といった用語で表現されるようになった。特に、従来は生体への危険性に関心が集まっていたアルファ線源のひとつ、 ^{223}Ra を医薬品として利用できることが証明されて以降、アルファ線治療薬に対する期待は非常に高まっている。アルファ線源のなかでも ^{225}Ac 創薬への期待は極めて高く、今後、従来のベータ線源による治療と共に ^{225}Ac 製剤の臨床利用が増加してい

くことは、国内外の研究開発動向から判断しても時間の問題であろう。

1.3 がん治療のための管理区域

一方で、放射線治療を実践する治療室不足は、長らく我が国の臨床核医学において大きな課題になっている。投与量に応じた遮へい空間（管理区域）の準備や運用に多くの経費がかかること、また老朽化等による維持管理の負荷増大は、核医学治療の発展に対する負の作用として働いている。薬物としての期待・魅力とは別に、実社会における場の整備、即ち、我々の全ての活動に制限を及ぼす管理区域の整備計画は、上述した ^{225}Ac 製剤の応用・発展を支配する最重要課題になると考えられる。とある人気漫画で「リバウンドを制するものは試合（ゲーム）を制す」という名言があるが、この例にならえば、「管理区域を制するものは核医学を制す」と言っても過言ではないだろう。

周知の通り、アルファ線源が放射線管理に与える負荷は極めて高く、日々運用されている既存の管理区域に ^{225}Ac の使用許可を追加



図1 トレーラーハウス型管理区域実証機とMCATロゴ

することの難しさは想像に難くない。使用核種・数量・頻度・貯蔵・廃棄など、管理区域のキャパシティを超えた実践計画が成立しないことは、読者諸兄が理解される通りである。キャパシティの増強に対して、規制値の見直しや諸規定の省略に合理性はなく、一般公衆への説明責任も果たせないため、これらは解決への選択肢とならない。関係者の多くが認識するように、この解決にはコストの投入が最大かつ唯一の有効策であり、単純であるが解決が難しい、いわゆる「大人の問題」と表せるかもしれない。

上述する背景に鑑み、アルファ線源を用いる臨床への期待と実現、簡便な管理区域の導入とその維持管理を両立させるべく、我々は移動型の管理区域：MCAT (Mobile Controlled Area for Targeted radionuclide therapy (TRT)) を考案し¹⁾、実証機の開発を行った(図1)。具体的には、トレーラーハウス型の管理区域(放射性薬剤投与施設)を製作し²⁾、上述する社会問題の解決を試みる。本稿では、当該移動型管理区域のコンセプト、技術仕様、並びに今後の展望について語りたい。

2. コンセプト

2.1 作業者の被ばく線量に関わるアルファ線の魅力

¹³¹Iや⁹⁰Yといった治療用ベータ線源は、遮へいの難しい高エネルギーガンマ線が放出されるなどの理由から、厚い遮へいを有する管理区域の設計が求められる。一方で、アルファ線治療薬剤の物理的特長として、アルファ線の短飛程及び付随する光子の少なさ・弱さが挙げられる。一般に、非密封アルファ線源は、他壊変線源との比較において規制遵守への負荷が高まるものの、実際の使用現場におけるアルファ線源由来の被ばく管理は比較的容易である。筆者らが約10年にわたっていくつか

のアルファ線源を扱ってきた経験を述べるならば、遮へいの簡便性と光子放出割合の低さは顕著であり、作業者が受ける実効線量は想像以上に低い。

従前の管理区域は、鉄筋コンクリート製の建築物(建屋)に対して指定されることが通例であり、その他の構造物は存在しなかったようである。しかし、加速器等を利用した線源製造を伴わない、医学利用だけを計画する比較的少量のアルファ線源を扱う管理区域であれば、重厚な建屋及び遮へい体は過剰な仕様と判断できる。これらに加え、使用核種の無揮発性を考慮するとき、我々は使用核種を²²⁵Acに限定することで管理区域構造を簡素化できる検討結果を得た。特に車体総重量に多大な影響を与える遮へい体使用量を極力減らしたい意向と、強力なガンマ線放出がない²²⁵Acの放射線特性は極めて相性が良い。十分な放射線防護要件を満たすと共に、省材料による製造コストの抑制が実現できるならば、トレーラーハウスに管理区域としての新たな可能性を求める理由は十分に説明できるだろう。

2.2 トレーラーハウスの3大特長

トレーラーハウス計画の具体的な利点を述べるとき、まず製造・設置費用の軽減が挙げられる。管理区域に求められる設備等を含めても、従前の建屋型管理区域との比較において、総投資額を約1/10に抑えられる試算を得た。単純な床面積の比較や資材量に鑑みれば、その見積り妥当性と共に、国内の治療用管理区域不足に対する正面突破の解決策を提示できるものと考えられる。

次いで、車体の採用と機動性が挙げられる。中長期的な病院経営において、管理区域の導入・運用・廃止にかかるコストは常に課題となる。周知の通り、高コスト体質が避けられない核医学では、管理区域の導入見送りや廃止に至る例も少なくないと聞く。従って、車体上に管理区域としての機能をパッケージ化し、低コストと

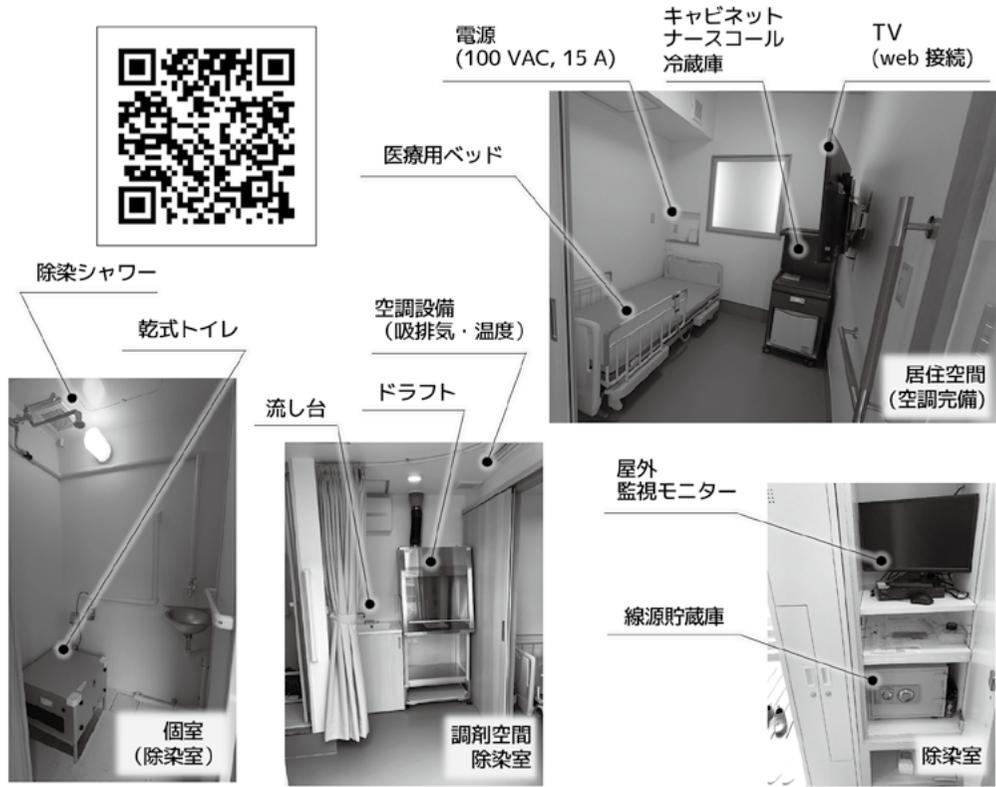


図2 トレーラーハウス内部設備

(QRコードを読み取るとQSTチャンネルへ移行し、トレーラーハウス内部の紹介動画をご覧ください)

容易な導入、維持管理の簡便性などを提供することができれば、経営的な悪材料を軽減できるように思う。機動性の上に成立するこの特徴は、核医学治療に携わる医師の転勤を含め、診療の継続に問題が生じるような場合にも有効であり、一般の自動車同様、診療場所の移設、あるいは廃車に準ずるデコミッションによって、いわゆる負の遺産を長期にわたって抱えるリスクも払拭できるだろう。

さらに、行政の理解と調整を必要とするが、本トレーラーハウス型管理区域には、規制側にもメリットを見出せる可能性がある。即ち、車体上に構成される管理区域は同一仕様によって製作されるため、その性能に個体間の差異はない。従って、市販される自動車同様、いわゆる形式承認を得られる可能性があり、審査の簡素化や許認可に要する期間の短縮を

望むことができるかもしれない。これらの利点を日本全体で享受するため、また複数台のトレーラーハウスを効率的に維持管理するための新たな産業の振興といった、経済活動の賦活剤として働くことも考えられる。国内における放射線治療の維持・発展に対し、本トレーラーハウスが持つ可能性へご理解を頂戴できれば幸いである。

3. 技術仕様

3.1 許可数量

今回我々が製作した実機はRI法に準拠する仕様で設計を行い、従前の建屋型管理区域と機能的な完全互換を再現した(図2)。この結果、2022年6月30日に原子力規制委員会

から認可を受けることができた。使用核種を²²⁵Acに限定したことで実践的な使用量を確保することが可能となり、具体的には10MBq/日、130MBq/3ヶ月、520MBq/年の許可数量を得た。10MBq/日は²²⁵Ac製剤の1回投与量におよそ等しく、本トレーラーハウスを1台導入することにより、週に1名の治療計画を望むことができる。

実機は既存病院等の敷地内に設置される前提で、自家用車3台分の駐車面積の占有と、事業所境界にて $\leq 250 \mu\text{Sv}/3$ ヶ月の実効線量を満たすことが求められる(管理区域内1 mSv/週以下、及び管理区域境界1.3mSv/3ヶ月以下は共に満たしている)。実機に実装される全機能は電力によって稼働する。自家発電の設置も不可能ではないが、給油や周囲への騒音・排気問題を回避するため、引き込み線による受電形式を採用した(単相3線100/200VAC、50A)。

3.2 現地への設置

工場で作成された実機は、けん引車によって公道をけん引運搬されることになるが、放射線治療を実施するような規模の基幹病院周辺では、狭路に起因する運搬上の支障は起こりにくいと考えられる。公道の通行には道交法が適用されるため、車体寸法や車体総重量も同法に準拠する必要があるが、本機は同法とRI法の両立に成功した。

従来の核医学では、本機のような移動概念を持つ前例も需要もなかったことから、現行の規制では管理区域が公道を移動することは認められていない。従って、管理区域の指定は実機が設置された後に限られ、移設に際しても指定解除後の移動が求められる。実際、再設定においては、事業所境界における線量評価($\leq 250 \mu\text{Sv}/3$ ヶ月)が求められることから、個々の施設が持つ条件を申請書に反映させる必要がある。トレーラーハウスの開発意図は、申請を省略するものではなく軽減することに

ある。トレーラーハウスを管理区域として公道輸送したい希望はあるだろうが、その必要性はさほど高いものではなく、この可否が移動型管理区域の価値を左右するとは思わない。管理区域の形はどうであれ、その導入は、申請という明確な放射線の利用宣言から始まる、施設にとっての「一大イベント」であってほしいと思う。

4. 今後の展望

実効線量や漏洩線量などの実測を行い、本移動型管理区域の性能について実証すると共に、機能的過不足に関する評価を行う。次いで、学協会やワーキンググループ、企業等との協同により、医療法に準じた利用方法についての検討を行いながら、核医学治療の発展に資する本トレーラーハウス型管理区域の有効活用法について議論を行いたい。

参考文献

- 1) 特許出願中(特願2020-25584, 令和2年2月18日申請). MCAT及びロゴマークは商標登録中(商願2022-119220, 2022-119221, 令和4年10月18日申請)
- 2) 設計, 堀川成良(株式会社堀川設計舎); 製作, 株式会社カンバーランドジャパン

著者プロフィール



永津弘太郎

1973年神奈川県生まれ。東京理科大学薬学部卒、東京理科大学大学院薬学研究科修了。1998年住友重機械工業株式会社に入社。

自動合成装置開発や新規施設立ち上げ、カスタマーサポートのほか、FDG合成装置の医療機器申請等に従事。2006年独立行政法人放射線医学総合研究所(現・量子科学技術研究開発機構(QST))に入所。2010年東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻修了、博士(工学)取得。2022年現在、QST・先進核医学基盤研究部・放射性核種製造グループリーダー。加速器を利用した医療用放射性核種の製造研究に従事。

ラジオアクティブコンシューマープロダクト ；その歴史と規制



古田 悦子*

はじめに

今回題名としたRadioactive Consumer Products (RCP) とは「自然起源の放射性物質 (NORM ; Naturally Occurring Radioactive Material) を故意に添加した日用品 (中性子放射化宝石を含む)」を指す。私たちの生活環境中には、多種類のRCPが存在する。例えば、筆者の自宅には、ウラン (U) やトリウム (Th) を含む日用品がいくつかある。筆者は、それらの放射能濃度を調べ、そこからUやTh自体が飛散することがないことを確認している。さらに、そこからは放射性気体ラドン (Rn) が放出されるが、元々のU、Thが微量であるため、室内のRn濃度が上昇するようなことは無い。従って、UやThを家の中 (生活圏内) に置いていることに対する不安は無い。こうした話を始めると「自分の生活圏内には存在しない」と主張する方がいるかもしれないが、本当にそうだろうか？ 気が付いていないだけということは無いだろうか？

商品は魅力的なキーワードを謳っている場合が多いが、それが放射性物質の添加である場合に、製作者がその効果を強調するために「放射性物質添加」を謳う商品もあれば、内容物欄に放射性鉱石の名を記載しているにもかかわらず「放射性」であることには一言も触れていない商品や、添加物を記載する必要は無い部類の商品だが添加してあり、それな

りの放射線放出があるなど、いろいろなパターンがある。とにかく、放射性鉱石の添加量は実に様々で、商品中の放射能濃度は相当に異なっている。

RCPは、放射性物質発見当初から作られ、現在に至るまで、今も変わらずに、健康に良いと謳われている場合が圧倒的に多い。

RCPにどのような商品があるか、その謳い文句、キーワードはどんなものなのかにも触れつつ、本稿では歴史的な事例を示しながら、今の国内外の規制について解説した後、RCPおよびその規制に対する私見を述べさせていただく。

歴史的なRCP

時計の文字盤に蛍光塗料として用いたラジウム (Ra-226 ; 半減期1600年) による内部被ばくは、ICRP (国際放射線防護委員会) の前身である「国際X線ラジウム防護委員会」設立の要因となった。Raの粉で時計の文字盤に数字を書く際、小さい字とするために筆の穂先を舐めながら作業を行っていた女工の多くが、内部被ばくにより亡くなった。まだ放射線による被ばく影響がわかっていない時代の話であり、映画にもなった。ただしこの時計は使用者が被ばくするという話ではないためか、Ra文字盤の高級時計は、その放射能が偽物ではない「本物の証拠」となり、今でも高額で取引されている。ちなみに偽物の

* Etsuko FURUTA 東京都立大学 理学部 客員准教授



オークリッジ大学 歴史博物館保健物理収集品。この写真の物以外にも多種類のラジウム水が、特許薬として売られていた。

た飲料を飲み続けた富豪が死亡する事件がある²⁾。1932年には、この事件を契機に放射性物質による健康ブームが終わり、1906年に設立されたFDA（米国食品医薬品局）が、化粧品・医薬品規制を強化するきっかけになった。この飲み物は、今も容器が残っているが、GMカウンターを近づけると、1,000cpm以上を示すという。内容物は、なかなかの高濃度であったと推測できる（7.4万ベクレル/1本という説が有る）。富豪のエーベン・バイヤーズは、自身の骨折をきっかけに、健康目的でこれを日に3本飲み続け、1年後にはやせ始め、下顎の骨が壊死し、その後死亡に至ったという。もちろんこの話は極端な例であるが、当時これを飲んだ人々は当然、健康に良いと信じていた。その思い込みで、内容物の良く分からないものを摂取し続ける「健康志向」が、問題だったわけだ。

Raの単離でノーベル賞を受賞したキュリー夫人も、1900年代前半の被ばく影響に気付く以前には、Raを入れた化粧品を作った。キュリー夫人が研究によく用いたピッチブレンドは、現在のチェコのヨアヒムスタールの銀山でとれた「ウラン鉱」と言われているが、この銀山で

中には、単に外見を似せた非放射性のものや、放射性であることで高額で売ることを目的に、Pm-147（プロメチウム；半減期2.62年と短い）をわざわざ添加したものまでである¹⁾。

日本でも有名なRa文字盤の話以上に、米国に於いて有名な事例に、「Radithor；ラディ

トル」と呼ばれた

働いていた鉱夫の多くが、肺癌で亡くなっている。肺癌（肺炎等も含む）との因果関係が分からぬまま、ここで採れた「ピッチブレンド」の多くは、東欧で流行した「ウランガラス」の素材として使われた。また、ウランガラスの見た目の美しさと同様の考えで生まれたのが、白さを際立たせるための食器類の釉薬（上薬）であり、さらには、歯の表面に塗って「白い歯」を強調することも行われていた時代がある。放射性の上薬から成る食器類や歯への塗布は、後に「溶け出し」が問題となり、新たな製造は中止された。しかし、アンティーク市場では、今も売られているという。

少し時代は後になるが、銀の残渣ピッチブレンドはRaを多く含み、ドイツを中心として、パン、チョコレート、飲料（Ra水）やエナジードリンクなどに混ぜて「健康食品」として、さらには歯磨き粉、石鹸、入浴剤にも添加して売られていた。その多くには「この商品は、無害です」という表記がなされていたという。しかし、種々の健康被害が問題視され、徐々に製造されなくなった。（規制については、後述。）当時1点だけ、健康志向と関連無く、興味深い商品として「児童向け放射線観測キット」があった（ミュンヘン博物館に展示されていた）。磁石、簡易カウンターや霧箱作成セットとRa含有鉱石から成り、ラザフォードの放射線識別実験ができるし、霧箱で飛跡の観察ができる。教育用のこうした商品は、今もあっても良い気がするが、一般には受け入れられないのかもしれない。

一方、日本でのRCPは、初期は少なかったと考えられる。これは、国内ではUやTh鉱石の産出が少ないこともあり、海外からの輸入品が原材料となる場合が多く、放射性物質の使用は、簡単ではなかったためと思われる。

日本の産業の中で、輸出が多かった「高級カメラ」、あるいは「高級眼鏡のレンズ」にThを添加した高屈折率・低分散レンズが使われていた時代が約40年間あった³⁾。この添

加は物体が歪んで見えることを防ぐためであり、かつ「高級顕微鏡のレンズやプリズム」にも焦点に確実に光を集めるために使われていた。これらのレンズは、米国で開発されたものであったが、アメリカがThの使用を不許可としたため、輸出ができなくなり、日本での製造も終了した。RCPの定期調査を既に行っていたイギリス放射線防護庁は、「光学レンズには、UまたはThが30重量%以下添加されていた」と報告していた。さらに、米国放射線防護審議会のレポートによると、「高級顕微鏡」のThを含む接眼レンズでの、目の被ばくが大きかったという。詳細なデータは参考文献³⁾をご覧ください。顕微鏡の使用を仕事にしていた一般労働者（研究者）の職業被ばくは、水晶体の限度値を超えていた可能性がある。一方、高級カメラで趣味の撮影を行っている程度では、安全性に問題はなかったと考えられる。日本国内では、業界主導の使用禁止措置であったが、それによって労働者は守られた。なぜなら、「低屈折率高分散レンズ」を製造していた末端の工場主や労働者は、添加しているThが「放射性」であることすら知らないケースが多く、当然、作業者の被ばく管理は全く行われていなかった。さらに、こうしたレンズは、研磨作業が行われており、微粉末を吸い込んでいた可能性は否定できない。筆者は、組合から突然Thは使用禁止と言われ理由がわからず戸惑ったと、中堅の光学レンズ製造企業の社長から、直接聞いた。なお、古いカメラやメガネ、顕微鏡などの所持は、長時間の使用でなければ、その放射線の強度から被ばく影響はなかったと考えられる。このレンズや陶磁器の上薬が、日本におけるRCPのスタートと考えられる。

RCPに使われるキーワード

~~~~~

日本でのRCPは、欧米に引きずられる形で発展したと言えそうである。欧米では「健康

に良いとする根拠がない」とか「正しい科学ではない」という理由で製造中止になったRCPが多々存在するが、日本を始めとするアジア圏のRCPの中には、その後も生き残るものが多かった。そこには、規制が非常に緩いことと、科学的に聞こえるキーワードに飛びつく日本人の指向があるように（あくまでも筆者個人の考えであるが）感じている。

キーワードとしては「ホルミシス効果」、「マイナスイオン効果」、「遠赤外線効果」、「プラズマ効果」、「森林浴効果」、「岩盤浴効果」などがある（これらの言葉を使う日用品の全てが放射性という意味ではない）。「低線量の被ばく影響」としての「ホルミシス効果」はご存じのことと思うが、この効果を謳った化粧品が多種類存在する。サーベイメータが強く反応するものから、低バック半導体検出器を用いて1週間ガンマ線を測定してもバックグラウンド以外には何も得られないものまで種々売られている。化粧品は成分表示が義務付けられているが、放射性の鉱石名があるものでも、上記の通り未反応のものもある。直接肌に塗るものであるため、高線量のものを使用し続けた場合は、影響が気になる。

「マイナスイオン効果」という語句は、多くの方がご存じだと思うが、プラスマイナスのマイナスイオンではなく、極めて科学的に聞こえるが意味不明の語句である。この言葉を最初に使用した米国では、科学者の抗議により、直ぐに使用されなくなった。米国ですたれる直前になって日本で流行し始め、大手家電メーカーなどがこの効果を謳う製品を売り出し、今でも売られている。最近では「オゾン効果」などと合体したサイトもいくつかあり、種々の効果を謳っている<sup>4)</sup>。ちなみに、大容量のオゾンは有害である。

環境省も使用している「森林浴」では、マイナスイオン効果が期待できるらしく、何かわからないカウンターを持ち出し、こんなにマイナスイオンが多いというテレビCMも

ある。何を測定しているのかは不明だ。

「遠赤外線」は、波長としては放射線ではなく、暖かく感じる波長域であるから暖かい効果は期待して良い。しかし、放射線とは無縁なので、放射性物質を加えたことで遠赤外線を出すという商品は、その効果は疑問である。「プラズマ」も高圧を掛ければ気体がさらにバラバラな電子、原子核になった「プラズマ」状態になることは確かだが、いつまでもバラバラでいてくれるわけではなく、くっついて元に戻ろうとする。これと、放射性の鉱石の効果がどう結びつくのか不明だ。

「岩盤浴効果」に至っては、温めた石（岩やタイル）に水分が触れ、蒸気となり、というサウナ状態が想像できるが、この石が放射性である場合があり、しかも、床タイルに至っては律儀に相当高濃度のモナザイトを添加しているものまである。どこに何があるか分かったものではない。

多々存在するRCPの各商品に含まれる放射能濃度については、QST：国立研究開発法人量子科学研究開発機構HPの「自然放射性物質ノルムについて」から、次の手順で検索してほしい。①専門家向けの情報、②放射能濃度データ、③意図的に放射性核種が加えられた一般消費財、④個々のデータ一覧。④には商品名とU、Thの濃度 (Bq/kg)、IAEA基準値が記載されている。その多くが筆者が調べたデータであり、論文をたどっていただければRCPの写真や放射線画像も掲載してある。興味を持たれた方は、ご覧いただきたい。

## RCPの規制と考え方

私たちの生活圏内にあるRCPは、紙面の関係で細かいデータは今回省略したが、中には「えっ！」という高濃度のものが存在する。では野放し状態かと言うと、決してそうではなく、それぞれの国や地域で規制があり、かつ国際機関も規制すべきとしている。NORM

の添加であっても、存在して良い環境と使い方があるはずである。

ICRP、IAEA（国際原子力機関）、EURATOM（ユーロ憲章；欧州連合圏で守るべき指針）では、鉱工業への鉱石類の利用を規制することなく、労働者および一般人の被ばくの低減を図るために、現状では「放射性物質を添加することに『正当性がない』6品目を、添加禁止対象とすべし」と提言している。禁止対象の6品目とは、食料品、飲料水、飼料、おもちゃ、個人装飾品、化粧品である。

かつてRCPを多く製造販売していたドイツでは、国内法で上記6品目への放射性物質の故意の添加行為、および添加された6品目のドイツ国内への持ち込みを禁止している。

一方、放射性物質を含む鉱石の採掘産業が盛んなカナダとオーストラリアでは、そこに従事する労働者に対して被ばく影響を検討することや、残土の廃棄の際の影響調査は行っているが、RCPに関しては、「放射性物質を日用品に添加するなどあり得ない」として、2017年当時、規制の検討はされていなかった。

米国では、種々の規制が州毎に異なるために、RCPに関しても全国規模の詳細な調査はされていない。一方で、カリフォルニア大社会学教授のL.A.フリーマン氏は、誰でも購入可能なRCPの実態と、規制の在り方を調査していた。日本にはRCPの種類が多く、なぜ米国市場ではなくなったRCPがなくならないのかに興味を持っていて、筆者は聞き取り調査に応じ、資料を渡したことがある。

日本では、自然起源の放射性物質を含む物の利用時の被ばく線量測定および措置に関するガイドライン（ノルムガイドライン）が検討され、2009年度に文部科学省から「ウラン又はトリウムを含む原材料、製品等の安全確保に関するガイドライン」という指針が出された<sup>5)</sup>。このガイドラインの目標は、自然放射性物質を含む物のうち、ウラン又はトリウムを含む原材料、製品等の取扱いの際の無用

な放射線被ばくによる健康上のリスクを低減することとされている。すなわち、「核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律」の規制の対象外のウラン又はトリウム（大雑把にいうと、ウランの量が300グラム以下、トリウムの量が900グラム以下の天然の混合率であるもの）を含む原材料、製品等の安全な取扱いについて、対象事業者による自主管理を求めるものであり、強制は全くしていない。

重要なことは、このガイドラインはあくまでも自主管理であり、そこに記載された濃度以下の鉱石の使用は、法規制による拘束がない。ガイドラインには、各製造業者が、自社製品が規制を受けるか否かを判断するための「チェック用フロー図」が付いている。このフロー図にはチェックが必要な「指定原材料」が記載されている。例えば、鉱石名として「モナザイト、バストネサイト、ジルコン」など9鉱石が挙げられている。しかし、対象となる「指定原材料」以外にも、放射性物質を多く含む有名な鉱石は複数あり、フローのスタート時点で抜けていて、このガイドラインは充分とは言えない。

このガイドラインは、あくまで製造者が守るべき指針を示しているのであって、想定する使い方がきちんと守られて、その場合に1製品（商品）からの被ばく線量が年間1ミリシーベルト以下であれば良しとしている。すなわち、想定外の使い方や、複数の製品を同時に用いる（身の回りに置く）ことは、全く考慮されていない。さらに、製品としての禁止対象品目は、未だにない。すなわち、ICRP等から、故意の添加に正当性がなく、添加禁止対象とすべしと提言されている6品目にも添加することは許されている。ガイドラインを作成したからOKとする日本の規制は、「1製品から、年間1ミリシーベルト以下の被ばく」という基準しかない。世界的に「正当性があるか否か」を問題視しているのに対し、日本の規制側には、正当性の判断基準が全く欠けている。実

は2010年代に、原子力規制庁側が国内外のRCPの実態調査を行った時期があった。すなわち、RCPのあり様を全く気に掛けていないということではなかったのだが、1年間に数回委員会が開かれたが、その後検討している様子はない。

安全なはずの家庭内に、もしかしたら、特定の鉱山などに行かなければ存在しないはずのNORMがあり、一般的な使用では問題ないものの、ある種のを複数使用する、あるいは置くだけで「被ばく影響」が出るかもしれない状況にある。放射性物質の添加に正当性の無い商品（RCP）の製造は、売れるとしても、止めていただきたい。消費者側も、それなりの知識をもって、キーワードに踊らされることなく、安全な商品を選択して欲しい。放射性物質の添加に正当性があるか否かの判断ができる、新たな規制を望んでいる。

#### 参考文献

- 1) ベータ線スペクトロメーター；アンティーク時計への応用, 2017応用物理学会 5a-S43-9
- 2) 世界で一番美しい元素図鑑, 創元社, 2010.10.21発行, Thの項
- 3) 20XX年放射能問題, 古田悦子, 幻冬舎MC, 2018.2.20発行, 第2章
- 4) 一例；マイナスイオン×オゾンのダブル効果 <https://prtimes.jp> 2022.10.10閲覧
- 5) 原子力規制委員会2009年, pdf 2022. 10.10閲覧 <https://www.nra.go.jp> > data

#### 著者プロフィール

現在、東京都立大学理学部客員准教授。名古屋大学大学院博士後期課程修了、博士（理学）。2018年度までお茶の水女子大学教員。放射線取扱主任者を兼務し、「平成21年度文部科学大臣賞（原子力・放射線安全管理功労表彰）」を受賞。主な研究として、種々のRCPからの線量評価、および国産のプラスチックシンチレーター（PS）の開発を主導した。東京インキと共同開発したPSは、世界的に評価の高い既存のPSと同等かそれ以上の質を保つことを実証し、国内供給を容易にした。これにより、PSを使用した測定法に関する複数の特許を取得し、2018年・日本原子力学会 関東・甲越支部 原子力知識・技術の普及貢献賞、2015年・第4回新科学技術研究奨励賞、その他複数の学会賞を受賞し、研究費を得ている。



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

処理水

福島第一原子力発電所では、地下水や雨水などが建屋内の放射性物質に触れることや、燃料デブリを冷却した後の水が建屋に滞留することなどによって、汚染水が発生しています。

汚染水の処理の中心となっているのが「多核種除去設備 (advanced liquid processing system、ALPS)」と呼ばれる除去設備です。ALPSは62種類の放射性物質を取り除くことができますが、トリチウムだけは除去できません。

水素原子の99.9%以上は陽子1個だけの原子核と、電子1個からできています。しかし、ごくわずかですが、陽子1個+中性子2個の原子核からできたトリチウムというめずらしいタイプの水素原子も存在します。

このトリチウムは、宇宙線によって自然に発生しています。天然由来のものよりずっと少ない量ですが、原子力発電所でも発生しています。

トリチウムも水素であることには変わりありません。トリチウムが含まれている「トリチウム水」を私たちは毎日飲んでいることになりまし、体のなかにも存在しています。

トリチウムはごく弱いベータ線を出しながらヘリウムに変化する「放射性同位元素」ですが、この放射性同位元素はがんの放射線治療の現場でも大いに使われています。

コバルト60は原子炉内で人工的に作られ、強いガンマ線を放出します。私が医者になった37年前、これが放射線治療の主役でした。今でも、コバルト60を200個程度、半球状に並べて、細いガンマ線を1点に集中させる「ガンマナイフ」に使われています。

子宮頸がんの放射線治療では、子宮の内部に線源を挿入して照射する「腔内照射」が欠

かせません。東大病院では、イリジウム192線源から出るガンマ線を使っています。

放射性同位元素を注射したり、内服したりする治療も行われます。前立腺がんの骨転移では、「アルファ線」を出すラジウム223を注射します。甲状腺がんでは、ヨード131のカプセルを内服する治療が広く行われています。

さて、トリチウムはもともと天然に存在しますが、原子力発電所でも必ず発生します。

震災前も、全国の原子力発電所から、年間計380兆ベクレル前後に相当するトリチウムが海に放出されていました。

国の放出基準は1リットルあたり6万ベクレル。この濃度の水を生まれてから70歳になるまで毎日2リットル飲み続けた場合でも、1年あたりの被曝量は1<sup>3</sup>シーベルトにもなりません。

WHO (世界保健機関) は、トリチウムの飲料水中の濃度限度を1万ベクレル/リットルとしています。

やっかいなのは、トリチウムの場合、ベクレルとシーベルトの数字に巨大なギャップがある点です。

ご存じの通り、ベクレルは放射能の単位でシーベルトは発がんなど、臓器や体へのダメージの単位です。

トリチウムが出すベータ線の飛程は、平均でわずか0.56ミクロン、最大でも6ミクロン。細胞の大きさは10ミクロン程度ですので、体への影響はほぼありません。

2023年春にも予定されている海洋放出では、放出基準の40分の1まで薄めることにしていますから、環境や人体への影響はほぼないと言えるでしょう。国際原子力機関 (IAEA) も「科学的に妥当で環境影響はない」との見解を示しています。風評被害が広がらないことを願っています。

# 原子力発電環境整備機構(NUMO)のご紹介

## ～ 地層処分事業の取り組みについて ～

衣斐 勝由\*

### 1. はじめに

わが国では、原子力発電で発生した使用済燃料は、資源を有効利用し廃棄物を減容する目的で再処理しています。再処理の過程で発生する再利用できない廃液は、ガラス原料と高温で溶かし合わせ、ステンレス容器内で冷やし固めてガラス固化体にします。以下では、このガラス固化体とこのプロセス等で発生する地層処分（後述）対象の長半減期の低レベル放射性廃棄物を合わせて高レベル放射性廃棄物等と呼びます。これは多量の放射性物質を含み、その放射能が高い、又はその放射能の減衰に長期間を要するので、それを発生させた現代には、その管理負担を将来世代に先送りすることにならないよう、その最終処分を着実に進める責任があります。

その方法としては、廃棄物に多重の人工バリア（放射性物質の移動障壁）を施した上で、人間の生活環境から離れた地下深部に埋設することにより処分する、いわゆる地層処分が最も有望であるというのが国際社会の共通認識であり、すでにその実施に着手している国もあります。

わが国でも核燃料サイクル開発機構（現在の日本原子力研究開発機構 以下、「JAEA」という）による科学的知見の蓄積を踏まえた検討を経て、高レベル放射性廃棄物等の発生者によって原子力発電環境整備機構（NUMO：Nuclear Waste Management Organization of

Japan 以下、「機構」という）が、この処分地の選定調査から建設・操業・閉鎖まで約100年を要する地層処分事業を実施する法人として設立されました。以下では、当機構の主な取り組みについてご紹介します。

### 2. 機構の設立

高レベル放射性廃棄物の処分方法は、わが国で原子力発電の利用が始まる1966年以前から検討が開始され、1976年からは地層処分の研究開発も進められてきました。そして、1999年に至り、専門家や研究機関による20年以上にわたる調査研究を踏まえた報告書「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ－」がJAEAから公表され、わが国においても地層処分を進めるための技術基盤が整備されたことが示されました。これを受け、翌年の2000年には特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律（以下、「最終処分法」という）が制定され、同法に基づき、機構が地層処分事業の実施主体として設立されました。

それ以来、機構は、経営理念に「地域社会と共生する安全な放射性廃棄物の地層処分を実現する」ことを使命として掲げ、必要な技術に磨きをかけ（技術開発）、多くの皆さまと対話を重ねて（対話・広報活動）、事業を一步一步前に進めるべく努力しています。

\* Katsuyoshi IBI 原子力発電環境整備機構 事業計画部企画グループ

### 3. 地層処分について

#### (1) 多重バリアシステム

地下深部は、①地表に比べて自然現象や人間の活動の影響を受けにくい、②地下水の流れが非常に緩やかで物質の移動が遅い、③酸素が極めて少なく金属の腐食が抑えられる、等の特徴・性質を有しています。

地層処分は、こうした地下深部の放射性物質の移動を妨げる等の性質を天然バリアとして利用するために、3層の人工バリアを施した放射性廃棄物(図1)を地下深部の地層に埋設して、放射性物質の閉じ込めを多重バリアシステムにより確実にする最終処分方式です。

人工バリアは、1層目は前述したガラス固化体、2層目はガラス固化体を包む金属製のオーバーパック(少なくとも1,000年間はガラス固化体を地下水から遮断し、放射性物質が地下水によって拡散することを防ぎます)、3層目は緩衝材(地下水を通しにくい性質や放射性物質を吸着する性質を持つ粘土、万が一放射性物質

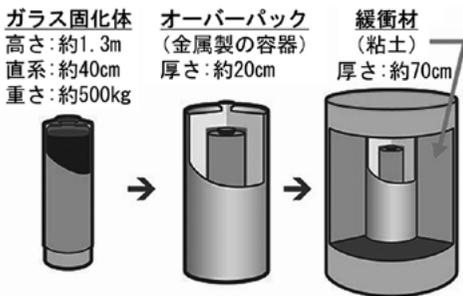


図1 人工バリア

が溶け出したとしても、放射性物質を吸着して拡散を抑えます)という構造になっています。

#### (2) 処分地の選定

地層処分を行う処分地の選定にあたっては、天然バリアの機能が長期間にわたって維持される可能性の高い地質環境を選定することが重要になります。

処分地の選定は、最終処分法に基づき、①文献調査、②概要調査、③精密調査の順で段階的に進めていきます。

最初の文献調査は、市町村から機構へ応募いただくか、国からの申入れを受諾いただくことによって開始されます。

各段階の調査で得られた結果は、地域の皆さまにご説明するとともに、広く一般に向けて公表します。その後、次の段階の調査に進むことについて当該市町村長・都道府県知事のご意見を聴き、反対の意見が示された場合には次の段階に進みません(図2)。

### 4. 技術開発

世界の叡智を結集し、機構の技術力を広く社会から信頼していただくことを目指し、天然バリアと人工バリアからなる多重バリアシステムの機能を確実にするための技術と、廃棄体中の放射性物質を閉じ込める機能を評価する技術の開発を進めています。

地層処分に関する技術開発は、国及びJAEA等の関係研究機関と機構が密接に連携して取



図2 処分地選定プロセス

り組んでいます。国及びJAEA等の関係研究機関は、最終処分の安全規制・安全評価のために必要な研究や深地層の科学的研究等の基盤的な研究開発を進めています。機構はこれらの基盤研究とともに、最終処分事業に求められる処分システムの安全設計ならびに処分の安全性、経済性及び効率性の向上等を目的とする技術開発を実施しています。

現在は、2020年3月に改訂された国の「地層処分研究開発に関する全体計画（平成30年度～令和4年度）」に沿って、地層処分に適した地質環境を選定し、地層処分の安全性・経済性の向上、安全性評価技術の信頼性向上を図る観点から、①地質環境の調査と評価、②処分場の設計と工学技術、③閉鎖後長期の安全性の評価に係る技術開発に継続的に取り組んでいます。

2021年2月に機構は、地層処分の実施主体としてどのようにサイトの調査を進め、どのように安全な処分場の設計・建設・操業・閉鎖を行い、閉鎖後の長期間にわたる安全性を確保しようとしているのかについて、これまでに蓄積された科学的知見や技術を統合して包括的に説明する「包括的技術報告書」を公表しました。この技術報告書では、日本列島の代表的な3つの地質（「新第三紀・先新第三紀深成岩類」、「新第三紀堆積岩類」及び「先新第三紀堆積岩類」）を検討対象とし、そのサイトの特徴を考慮して処分場を設計して安全に建設・操業・閉鎖を行うとともに、閉鎖後の長期間にわたる安全性を評価することにより、安全な地層処分を実現できるという結論を得たものです。いわば、第2次取りまとめ以降の技術開発成果に基づき事業の実現性を示したものと言えます。

この技術報告書は、現在、経済協力開発機構/原子力機関（以下、「OECD/NEA」という）から国際レビューを受けている途中ですが、2022年6月にはレビュー委員会によるワークショップが開催され、レビューの見解（案）が示されました。それによれば、この技術報告書は国際的なセーフティケースの標準に沿っており、現時点の事業フェーズにおいてその役割を十分果たしている、地層処分が日本で実行可

能であることを示している、といったことが示されるとともに、今後の事業の進展に応じて機構がセーフティケースを段階的に発展させていくことに向けての推奨事項などが示されるということです。

また、機構は、OECD/NEA、国際原子力機関（IAEA）、放射性物質環境安全処分国際協会（EDRAM）といった国際機関等の活動への参加や、国際共同研究プロジェクトへの参画、各国の実施主体や関係研究機関等との共同研究も積極的に実施しています。このような国際連携を通じて最新の知識・経験を各国と共有することにより、わが国の地層処分技術の信頼性向上を図るとともに、国際協力の推進及び国際レベルでの地層処分技術の信頼性と地層処分システムの安全性の向上に寄与しています。

今後も、国際協力を一層強化しつつ、日本全体の研究開発が効果的かつ効率的に推進されていくよう取り組みを進めていきます。

## 5. 対話・広報活動

機構は、2001年10月に概要調査地区等の選定手順を公表した上で、2002年12月に全国の市町村を対象に「高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域（応募区域）」の公募を開始し、広聴・広報を基本とする理解活動等に取り組みました。その結果、2007年に高知県東洋町から文献調査へ応募いただいた他、地層処分事業に関心を有する地域が複数出てくる等の成果は見られましたが、設立後10年を経ても文献調査の開始には至りませんでした。

そこで、国は、2015年5月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」を改定し、「国が前面に立って取り組むこと、その取り組みの一つとして科学的により適性が高いと考えられる地域（科学的有望地）を示すこと等を通じ、国民及び関係住民の理解と協力を得ることに努めるものとする。」との方針を示しました。また、この方針を踏まえ、

2017年7月に、地層処分に適さない火山や断層の存在といった考慮すべき科学的特性の有無により日本全国を4色で塗り分けた「科学的特性マップ」(図3)を公表しました。

以来、機構はこの科学的特性マップを活用し、「対話型全国説明会」を国との共催で実施するとともに、多種多様な対話・広報活動に継続的に取り組んでいます。

○全国での対話活動

地層処分の実現には、国民的な理解を醸成していくことが重要であることから、全国での対話・広報活動が欠かせません。そのため国と機構は、地層処分の仕組みや日本の地質環境等について広く国民の皆さまに関心を持っていただけるよう、「対話型説明会」を2022年3月までに全国145会場で開催してきました。文献調査開始後からは、説明内容に文献調査の

実施状況も加えており、今後もこうした工夫や改善を加えながら、継続的に開催していきます。

○学習支援活動

機構は、地層処分事業について「知りたい」「学びたい」という関心をお持ちの皆さまが団体を組織して、講師を招いての意見交換や関係施設の見学等の活動を行う取り組みを支援する「学習支援事業」に取り組んでいます。支援している学習団体の数は年々増加しており、皆さまのご提案を踏まえて、学習団体の関心の深掘りや学習内容の深化を図るとともに、交流学习や全国・ブロック別の交流会等を開催することにも力を入れています。

機構はまた、事業の長期性に鑑みて、次世代層の事業に対する理解と関心を高めることが重要と考え、教育関係者に教育用資料の作成をお願いし、成果物を全国の教育関係者に提供したり、教育現場からの依頼を受けて実習・授業のお手伝いをする教育支援事業・出前授業、そしてこうした取り組みに関心のある全国の教師の研修機会の提供等を行っています。さらに地層処分事業に対する「次世代層からの提言コンテスト」の取り組みも年々充実してきました。

○全国向けの広報活動

全国に向けた広報活動としては、地層処分事業への認知向上や関心喚起を目的として、地方新聞等に広告を出稿する他、Web媒体への動画広告等の出稿、またSNSを活用した情報発信を行っています。

全国各地の商業施設や科学館等に足を運んで実施する広報活動にも取り組んでいます。機構の所有する地層処分展示車「ジオ・ラボ号」は、デジタル映像や壁面の展示から地下深部の地層の特性や処分場のイメージを体感できるようになっており、緩衝材に用いるベントナイトを使った実験の実演との相乗効果により、来場者の地層処分への関心喚起を図っています。

機構は、こうした対話・広報活動を通して、全国の皆さまに地層処分を社会全体で解決すべき課題として認識いただくとともに、理解を深めていただき、できるだけ多くの地域で文献調査を開始することを目指しています。



図3 科学的特性マップ

出典：経済産業省資源エネルギー庁。“科学的特性マップ”科学的特性マップ公表用サイト。2017-07。  
[https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/nuclear/rw/kagakutekitokuseimap/](https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/kagakutekitokuseimap/), (参照2022-12)

## 6. 文献調査

### ○文献調査の開始

2020年10月に北海道寿都町から文献調査への応募をいただきました。また、同年同月に北海道神恵内村に文献調査の実施に関する国からの申し入れを受諾していただきました。これを受け機構は、2020年11月から両町村を対象とする文献調査を実施しています。

文献調査とは、全国各地での対話活動の中で、地域の地質を詳しく知りたい市町村があれば、どの市町村に対しても、地域の地質に関する文献・データを調査分析して情報提供することにより、処分事業について理解を深めていただくためのものであり、いわば対話活動の一環です。以下、文献・データの調査分析(机上調査)と対話活動のそれぞれについて、取り組みを紹介します。

### ○机上調査

文献調査の目的は、第一義的には、文献調査対象自治体やその周辺地域に関する地質図や学術論文等の文献・データを収集・整理し、火山・火成活動、断層活動、隆起・侵食等による地層の著しい変動の有無等、最終処分法に定められた要件に照らして対象地域を評価することですが、あわせて、地層や岩体、断層等の分布といった地質環境等を踏まえた技術的観点からの検討や土地の利用制限等の経済社会的観点からの検討を実施しています。

現在は、これらの地域に関する文献等の収集作業が一段落し、それらから抽出・整理した情報の読み解き(学術的理解)と整理を進めつつ、文献調査段階の評価の考え方を策定しているところです。

### ○文献調査対象地域での対話・交流活動

機構は、両町村の住民の皆さまに地層処分事業に関して賛否に偏らない議論をしていたきたいと考え、2021年4月に、中立な立場のファシリテータの進行のもとで、地層処分の事業内容や地域の将来ビジョン等について意見交換を行う場として20人程度の住民をメンバーとする「対話の場」がそれぞれの自治

体に設置されました。コロナ禍に苦しめられつつですが、2022年10月末までに両町村ともに10回以上開催されています。

機構は、地層処分の技術・安全性を含む事業内容や文献調査の進捗状況の説明の他、「対話の場」における参加者からの意見を踏まえ、関連施設の視察やその地域の方との意見交換など、地域の将来について議論に資する様々な取り組みを実施しています。

また、「対話の場」の様子を、自由闊達な意見交換に配慮した上でライブ配信する他、関係情報を機構のWebサイトに掲載するとともに、開催結果を地域の皆さまへお知らせしています。

機構は、2021年3月に両町村に「NUMO寿都交流センター」と「NUMO神恵内交流センター」を設置しました。両交流センターの職員は、地層処分に関する説明や文献調査の進捗状況に関する情報提供のみならず、地域の交通安全活動や清掃行事等に参加するなど、顔の見えるコミュニケーション活動にも取り組んでいます。

また、学習団体と文献調査対象自治体の住民や学生等との交流機会の創出についても、当該自治体と相談の上で進めることも含め検討していきます。

私ども機構は、こうした「対話の場」などを通じて地域と継続的な対話を進めていき、住民の皆さまによる地域の将来に関する議論がより一層活性化することに貢献していきたいと考えています。

## 7. おわりに

以上、地層処分事業の概要や機構の取り組みについてご紹介させていただきました。地層処分や機構の活動にご興味を持たれましたら、機構のホームページをお訪ねいただければ幸いに存じます。

### ■ 機構ホームページ

<https://www.numo.or.jp/>

### ■ 包括的技術報告書

[https://www.numo.or.jp/technology/technical\\_report/tr180203.html](https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/tr180203.html)

**放射能・放射線**  
**単位の由来**

高橋 正

第 1 回

**ベクレル becquerel : Bq**

放射線に関する分野の大きな功績を称え、その名前が単位等に用いられている科学者がいます。そのような科学者の人物像や功績を紹介するシリーズを企画いたしました。不定期になりますが、単位に名を残すことになった科学者について掲載して参ります。寄稿は高橋 正氏（東邦大学名誉教授）をお願いいたしました。（FBNews編集委員会）

放射科学において放射能は基本的な量であり、現在その単位としてベクレルBqが用いられている。かつてdps (decay per second/disintegration per second)と呼んでいたものが、1975年の国際度量衡委員会で放射能のSI組立単位として採用され、ベクレルという固有の名称が与えられた。

この単位は、放射能を発見したフランスの物理学者アントワヌ・アンリ・ベクレル (Antoine Henri Becquerel : 1852-1908) (以下アンリ) によることはいままでもない。アンリは著名な物理学者の家系に生まれた。祖父のアントワヌ・セザール・ベクレル (Antoine César Becquerel : 1788-1878) はエコール・ポリテクニク (陸軍理工学校) を卒業したエリートで、ナポレオン戦争に従軍したこともある。陸軍を退役後、パリの自然史博物館で物理学の教授となり館長も務めた。リン光や電気化学の研究で業績を残し、科学アカデミーの会員でもあった。父アレクサンドル・エドモン・ベクレル (Alexandre Edmont Becquerel : 1820-1891) は祖父の足跡を辿ったような人生を歩み、自然史博物館の教授や館長を務めた。光起電力の研究や太陽光スペクトルの写真を撮ったことで知られ、蛍光の大家でもあった。リン光計を作って、ウランの蛍光強度と持続時間の研究を行なった。アンリもまたエコール・ポリテクニクに学び、そのあと国立土木学校に進み、政府の土木技師となった。同時に自然史博物館にも籍をもち、父と研究を行ない、1892年に自然史博物館の教授となった。アンリは平面偏光やリン光現象、結晶による光の吸収の研究のほか磁性の研究を行なったが、写真乾板の扱いなど実験も上手だったという。1895年にはエコール・ポリテクニクの教授も兼任し、1888年に科学アカデミーの会員となった。このように、ベクレル家は三代 (息子のジャンを含

めれば四代) にわたって同じ場所で蛍光やリン光の研究に携わってきた家系であり、アンリが放射能を発見する環境ができていた。

1895年11月にレントゲン (Wilhelm Conrad Röntgen) はX線を発見し、その年の暮れにその報告の前刷りを研究仲間に配った。このX線の発見の報を契機に、わずか三ヶ月ほど後にもう一つの大発見がなされた。

ポワンカレ (Henri Poincaré) は物理学にも興味をもつ数学者であったが、前刷りを受け取った一人だった。ポワンカレは1896年1月20日の科学アカデミーの例会で、レントゲンから送られた手のX線写真とともに、排気した放電管から出てくる透過力が強い新発見の放射線、すなわちX線を紹介した。この例会にアンリも参加していた。X線は陰極線が管のガラス壁に衝突して蛍光を発するあたりから出ていることを知り、蛍光物質もX線を出しているのではないだろうかと考え、実験を始めた。結果としてこの仮説は正しくなかったが、科学史に名を残すことになった。

アンリは遮光した写真乾板にリン光や蛍光をあてたとき、X線が発生するか見ることにした。写真乾板を嚴重に黒紙で覆って遮光し、その上にリン光や蛍光を出す物質を置き、光を発するようにするために日光に数時間さらし、乾板が感光するか調べた。ホタル石や閃亜鉛鉱を使った最初の実験はうまく行かなかったが、父エドモンが研究に使ったウラニル塩 (硫酸ウラニルカリウム  $K_2UO_2(SO_4)_2 \cdot nH_2O$ ) を使ってみると、乾板にウラニル塩の影が写っていた。ウラニル塩から黒紙を通り抜ける透過力が強い放射線が出ていることが明らかだった。この結果を早速2月24日の科学アカデミーの例会で報告した。

アンリは26、27日も実験を続けようとしたが、

天気が悪く曇っていたので、乾板の上にウラニル塩を置いたまま、暗い引き出しの中にしまっておいた。3月1日に、ごく薄く影が写っているかもしれないと予想しながら乾板を現像してみると、予想に反して強い影が現れた。放射線の作用は、ウラニル塩を光にさらさなくても起こったのである。アンリは直ぐにこれを追試して確認した。この実験から、ウラン化合物は光を作用させなくても、自発的に透過力が強い放射線を出すことがわかった。放射能が発見されたのだった。ウラニル塩が少し乾板から離れると影が少し薄くなることや、アルミニウム箔をはさむと透過量が少し減ることなども確認した。リン光は直ぐに弱くなるので、この放射線は通常のリン光によるものではないことは明らかであった。むしろこの放射線はX線と酷似していた。以上の結果を翌3月2日の例会で報告した。この報告は*Comptes Rendus* (科学アカデミー報告) に記載されているが、2ページを少し超えるほどの簡潔な報告である。

次の例会は3月9日であったが、この会でアンリはウランから出る放射線が気体をイオン化することを報告した。これにより、金箔検電器を使ってイオン化の度合いを測定できるようになった。

このアンリの発見は偶然がもたらしたものだったが、普通のリン光とは異なり自発的に放射線を出すという想定外の結果を正しく理解した。セレンディピティ (予想外の発見をすること) の例である。これができたのは、アンリは家系もあってリン光や蛍光に対する知識を持ち、結果を見逃さずに考察できたためといえる。

アンリはその後もこの正体がよくわからない放射線の研究を続けた。リン光を発しないウラン化合物でも放射線が出ていること、ウランを含む物質ならば、単体、化合物、水溶液など形態に関係ないこと、金属は蛍光を出さないのにウランを含む物質のなかで一番放射線の強度が強いこと、放射線の強さはウランの量とともに増加すること、磁場によって偏向する放射線とそうでないものがあること、放射線の強度はリン光とは違って1年以上もの長い時間保持され、熱や電場などで変化しないことなどを報告した。アンリはこれらの現象は、ウランという元素に結びついていると考

えていた。しかしエネルギー保存則を満たしていないように見えるこの現象をどう理解すればいいのか、分からなかった。この放射線の正体が明らかになるには、マリ・キュリー (Marie Curie) とピエール・キュリー (Pierre Curie) ならびにアーネスト・ラザフォード (Ernest Rutherford) とフレデリック・ソディー (Frederick Soddy) を待たねばならなかった。

アンリは自分が見つけた放射線のことを、「ウラン線」と呼んだ。また「ベクレル線」と呼ばれることもあった。アンリのウラン線の発見は今日から見ればレントゲンによるX線の発見と同様に重要な発見であったが、当時はそれほど重要とは思われず、X線でみられたような興奮を巻き起こすことはなかった。放射能という語はマリ・キュリーとピエール・キュリーが使い始めたが、それが原子や原子核の理解に重要な役割を果たしたし、医学を始め応用面でも大きな影響を与えた。アンリは放射能の発見によって、1903年に第3回ノーベル物理学賞をピエール・キュリー、マリ・キュリーとともに受けた。

アンリと同じ頃に、ウラン化合物が写真乾板を感光させる放射線を発することを見つけた物理学者がイギリスにいた。シルバヌス・トンプソン (Silvanus Thompson : 1851-1916) である。彼もレントゲンの実験結果を知り、直ぐにX線を放射する物質を探す実験を始め、結果を同じ年の7月に発表した。トンプソンもアンリと同じような結果を得ていた。実はもっと前にも発見者になり損ねた人物がいた。アンリに先立つこと40年前ほど (1857年) の、フランスの写真家アベル・ニエプス・ド・サン・ビクトル (Abel Niépce de Saint Victor : 1805-1870) で、父エドモンの知己でもあった。アンリと同じような実験により、光にさらしたウラン化合物が写真乾板を感光させることを見つけ、見えない光線の存在を報告した。しかし彼に続く研究者がいなかった。

#### 著者プロフィール

##### 高橋 正 (たかはしまさし)

1978年東京理科大学理学部卒、1983年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了、2002年東邦大学理学部教授、2021年定年退職、東京医科大学客員研究員。

サービス部門からのお願い

## ファスナーは固定してご返送ください

平素より弊社のガラスバッジサービスをご利用くださいまして誠にありがとうございます。

測定依頼の際に宅配便をご利用のお客様には、ガラスバッジの紛失を防ぐため、ファスナーを結束バンドで固定していただいたうえで、ご返送のお願いをしております。結束バンドは、各サイズとも**GBキャリアの内側にある黒いポケットに収納してあります**ので、**図**のように固定してご返送ください。ご協力よろしくお願いたします。

### 【宅配便(小)の場合】



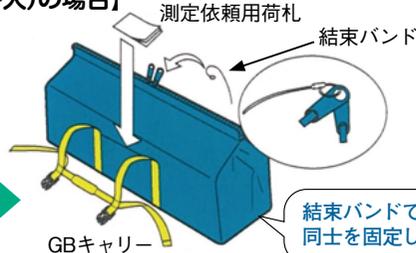
結束バンドでファスナーと付随する金具を固定してください。

GBキャリアのファスナー両端にあるスナップボタンをマチ部分に折り込むように留めてから、左右のファスナーを開めてください。

### 【宅配便(中・大・特大)の場合】



スナップボタン



結束バンドでファスナー同士を固定してください。

## 編集後記

- 2月号はまず巻頭に移動型管理区域「MCAT」の開発について、QST永津弘太郎先生等から寄稿いただきました。放射線治療のうち内用療法は、最近標的アイソトープ治療という用語で表現され、特にアルファ線源を使用した治療薬の期待は非常に高まっているようです。しかしご承知の通りアルファ線源が放射線管理に与える影響は極めて高く、使用許可を追加することは難しいと思います。今回ご紹介いただいた「MCAT」は、そのハードルを越え、本治療の普及に大いに貢献する可能性を秘めていると期待します。
- 東京都立大学客員准教授の古田悦子先生からはラジオアクティブコンシューマープログラクトについて寄稿いただきました。時計の文字盤に使用されたラジウムから始まり、健康飲料、顕微鏡のレンズ、さらにホルミシス効果やマイナスイオン効果などを謳った日用品などをご紹介いただきましたが、EURATOMなどでは禁止されている放射性物質の添加について、日本では実質自主規制のみであることは驚きです。大いに読者の皆様の関心と呼んだのではないのでしょうか。
- 東大病院の中川恵一先生のコラムでは今回福島処理水について言及いただきました。治療で使う放射能とトリチウムの対比も紹介されています。ベクレルという単位の取り扱いには、読者の皆様も日頃苦労されていることもあると思います(核医学分野の投与量)。1リットルあたり6万ベクレルがいかに少ない量なのか、理解いただくことが大切と感じます。
- NUMOの衣斐勝由先生からは、活動のご紹介(地層処分事業の取り組みについて)をいただきました。本事業は政府方針として新たな発電炉の開発に舵を切ったこともあり、注目されることと思います。本事業には改めて対話と理解が必要と感じます。
- 東邦大学名誉教授の高橋正先生からは新規連載物として、放射能・放射線単位の名称の由来についてご紹介いただきました。今回はベクレルさんですが、そのファミリーストーリーや発見の経緯を改めて知ることとなり、非常に感激しております。この連載、これからも是非楽しみにしていただきたいと思います。(T.F)

## FBNews No.554

発行日/2023年2月1日

発行人/井上任

編集委員/新田浩 小口靖弘 中村尚司 野村貴美 古田悦子 青山伸 福田達也

藤森昭彦 篠崎和佳子 高橋英典 廣田盛一 前原風太 山口義樹

発行所/株式会社千代田テクノ

所在地/〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

電話/03-3252-2390 FAX/03-5297-3887

<https://www.c-technol.co.jp/>

印刷/株式会社テクノサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円(本体364円)