

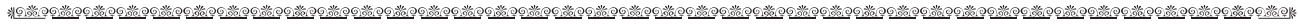


Photo: Hironori Kirano

Index

ベトナムで経験した都市化が環境放射線量に及ぼす影響…井上 一雅	1
医療用サイクロトロン廃止について……………遠藤 正志	6
[コラム] 90th Column	
【安田講堂】……………中川 恵一	11
[コラム] 第5回	
【高線量被ばく健康影響-JCO臨界事故の経験-】 ……佐々木康人	12
汚染土壌の深さ方向の測定ができる	
on site放射線検出器の開発 ……………野村 貴美	17
公益財団法人原子力安全技術センターからのお知らせ……………	18
[サービス部門からのお願い]	
返信用封筒のレイアウト変更について	
～線量計の落下防止にご協力ください～……………	19

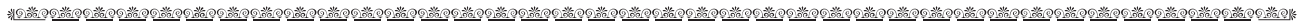
*誌名の「FBNews」は、弊社が行っていた「フィルムバッジ(FB)」による個人線量測定サービスに由来しています。



ベトナムで経験した都市化が 環境放射線量に及ぼす影響



井上 一雅*



1. はじめに

私たちが日常生活の中で受ける放射線被ばくの大部分は、自然放射線に由来する。その中でも、地表の土壌や岩石に含まれる自然放射性核種から放出される γ 線は、屋外外部被ばくの主要な要因の一つであり、「環境放射線」として古くから研究対象となってきた。一般に、環境放射線レベルは地質条件に強く依存し、^{カリウム}K-40、^{ウラン}U-238系列および^{トリウム}Th-232系列核種の放射能濃度分布によって被ばく線量は大きく異なる。

一方、近年の急速な都市化やインフラ整備は自然環境を大きく改変し、人為的に構築された「都市環境 (built-up environment)」を形成している。道路、建築物、橋梁、舗装面などの人工構造物は単なる背景要素ではなく、環境放射線量そのものを変化させる要因となり得る。しかし、従来の多くの環境放射線研究は、地球科学的視点から自然状態の土壌を基準とした評価に主眼が置かれており、保健物理学の視点から都市化が環境放射線量に及ぼす影響は、必ずしも十分に整理されてきたとは言い難い。

そこで、都市化が環境放射線量にどのような変化をもたらすのかについて理論的枠組みを整理した上で、筆者がベトナムで実施した全国調査の結果と他国における事例も踏まえ、都市化に伴う環境放射線量の変化について紹介する。

2. 環境放射線量の変化要因

都市化による環境放射線量の変化は、一方的な増減として単純に捉えることは困難である。実際には、自然地質に由来する放射線場の上に、人工構造物の設置や土地利用の変化が重層的に作用し、その結果は地域の地質条件や都市構造の特性によって大きく異なる¹⁾。都市化の影響を理解するためには、複数の物理的過程が同時に作用していることを前提とする必要がある。

都市環境における放射線場の変化をもたらす要因の一つは、建設材料そのものに含まれる自然放射性核種である。コンクリート、アスファルト、レンガなどの建材には、K-40、U-238系列およびTh-232系列の放射性核種が一定量含まれていることが知られている。これらの材料が都市空間に大量に設置されることで、異なる放射線場が形成される。特に、もともと地質学的に放射能濃度が低い地域では、人工材料由来の寄与が相対的に大きくなり、線量率の上昇として観測される場合がある²⁾。

一方で、都市環境は放射線を発生させるだけでなく、線量率を低減させる要因にもなり得る。建築物が高密度に立ち並ぶ都市部では、地表から放出される γ 線が建物や壁面によって遮蔽されるため、自然状態に比べて屋外空間での線量率が低下することがある。この遮蔽効果は、地質学的に放射能濃度が高い地域

* Kazumasa INOUE 東京都立大学 人間健康科学研究科 放射線科学域 教授

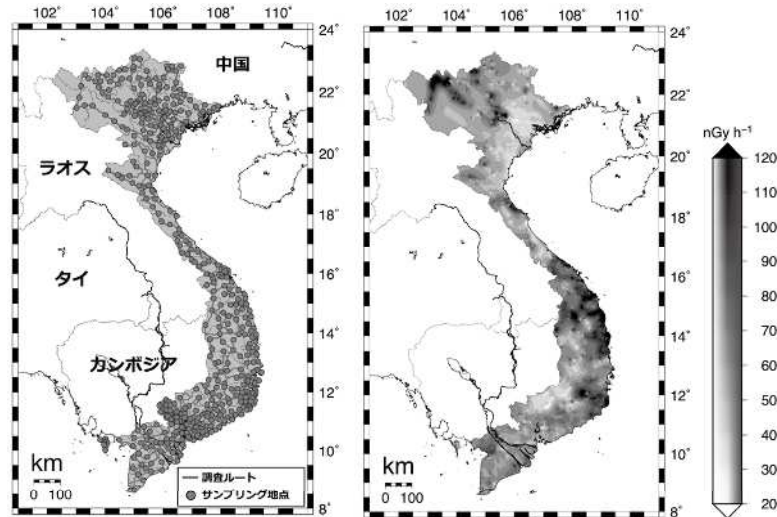


図1 空気吸収線量率分布図

でより顕著となる傾向がある。すなわち、都市化は線源を増やす方向にも、既存の放射線場を弱める方向にも作用する。

さらに、都市化に伴う地表面の改変も放射線場の変化に大きく関与する。舗装、造成、埋め立て、水域の形成などは、地表付近における放射線の発生、散乱、減衰条件を直接的に変化させる。特にアスファルト舗装は、下層に用いられる骨材の種類や厚さによって、 γ 線を遮蔽する場合もあれば、骨材自体が放射線源となる場合もある³⁾。このように、都市域の広範な面積を占める舗装構造は遮蔽体と線源の両方の性質を持つ点に特徴がある。

以上のように、都市化は自然地質に基づく放射線場に対し、人工材料の設置、建築構造による遮蔽、地表条件の改変という複数の作用を同時に及ぼす。その結果、都市化は環境放射線量を低下させる場合もあれば、逆に上昇させる場合もある。重要なのは、都市化を単純な「増加要因」あるいは「低減要因」とみなすのではなく、自然地質と人工環境の相互作用として理解することである。

3. ベトナム全国調査

ベトナムは南北約1,600kmにわたり多様な地質帯を有し、花崗岩体、変成岩帯、堆積岩

帯が広く分布している。加えて、ハノイ、ホーチミン、ダナンなどの都市周辺では急速なインフラ整備と都市拡張が進行している。筆者らは2015年から2020年にかけて、地質的多様性と都市化の進展が重なるベトナム全土を対象に、空気吸収線量率の空間分布および都市化の影響を調査した⁴⁾。

空気吸収線量率の分布調査は、NaI (TI) シンチレーションスペクトロメータを用いた走行サーベイ法（車載型サーベイ）により実施した。主要幹線道路を走行しながら一定の時間間隔で計数率を取得し、GPSにより位置情報を同時に記録した。調査は主要道路網に沿って行い、総走行距離は28,201kmに達した。車内で測定した γ 線計数率は、車体による遮蔽補正、宇宙線寄与の補正および線量換算係数 ($\text{nGy h}^{-1}/\text{cps}$) の適用により、屋外における空気吸収線量率 (nGy/h) へ換算した。図1は80,516地点から得られた空気吸収線量率を空間補間して作成した分布図であり、北部から南部にかけて明瞭な地域差が認められる。ベトナム全土における空気吸収線量率の平均値は75nGy/hであり、世界平均 (59nGy/h) と比較してやや高い傾向を示した。測定データの79%が世界平均を上回り、17%が100nGy/hを超えていた。

さらに、462地点において土壌試料を採取す

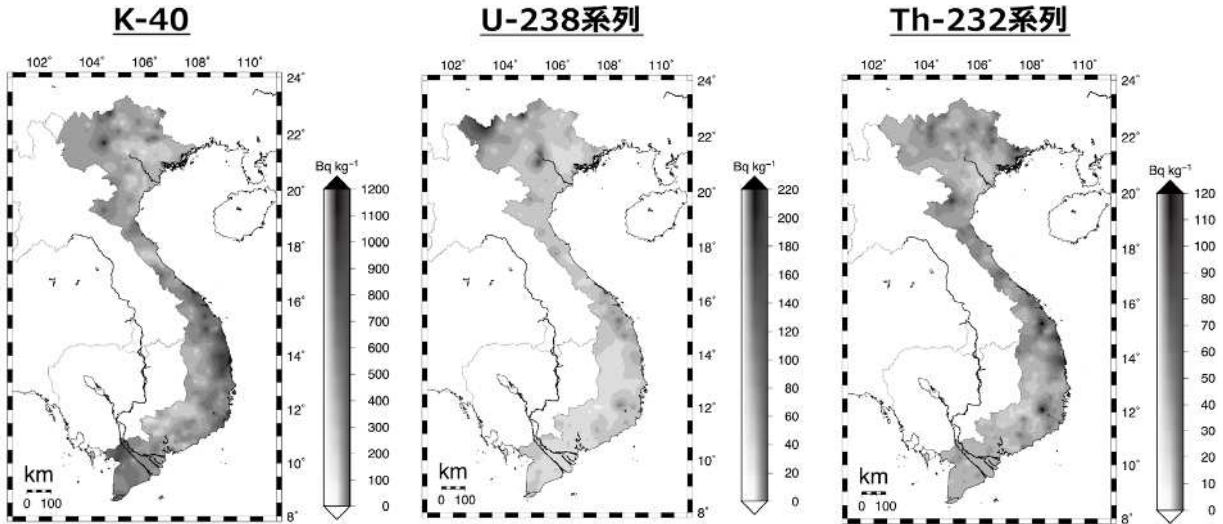


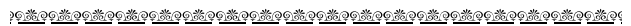
図2 土壌中の放射能濃度分布図

るとともに、NaI (TI) シンチレーションスペクトロメータを地表面から高さ1 mに設置して定点測定を実施した。採取した土壌試料は農林水産大臣の許可を得て日本へ携行輸入し、高純度Ge半導体検出器により放射能濃度を測定した。図2は、測定した土壌中の放射能濃度に基づく分布図である。北部地域ではU-238系列およびTh-232系列の濃度が相対的に高く、南部では低値を示した。平均放射能濃度はK-40で551 Bq/kg、U-238系列で35 Bq/kg、Th-232系列で57 Bq/kgであり、世界平均と比較してK-40は約1.4倍、Th-232系列は約1.9倍高い値であった。

これらの放射性核種の空気吸収線量率への寄与率は、K-40が35%、U-238系列が25%、Th-232系列が40%である。図1の線量率分布と照合すると、空気吸収線量率が低いベトナム南部は、主に玄武岩および沖積堆積物からなる地質であり、U-238およびTh-232の含有量が比較的少ない。そのため、線量率は主としてK-40に依存していると考えられる。一方、北部は花崗岩、トータル岩、塩基性岩、花崗閃緑岩、ミグマタイトなど多様な岩石で構成されている。モナザイト (Th-232)、褐簾石 (Th-232)、ジルコン (U-238およびTh-232) を含む花崗岩質火成岩が分布する地域では、南部より高い線量率を示した。以上の

結果は、空気吸収線量率の空間分布がベトナムの主要地質帯分布と良好に対応していることを示しており、環境放射線場が自然地質条件に強く支配されていることを明確に示している。

4. ベトナム全国調査に基づく都市化の影響



空気吸収線量率に対する都市化の影響を評価するため、462地点で採取した土壌中の放射能濃度から地表1 m高さにおける空気吸収線量率を算出した値（土壌推定値）と、定点測定による直接測定値を比較した。評価は、2025年6月以前の行政区画ごとに土壌推定値に対する直接測定値を算出した。ここでは、都市化修復比（直接測定値／土壌推定値）と定義する。

都市化修復比は0.5～2.1（平均0.9）の範囲に分布し、地域によって大きく異なることが示された。ハノイ市では都市化修復比が0.6となり、直接測定値が土壌推定値を下回った。これは人工構造物による地殻γ線の遮蔽効果が支配的であることを示唆する。一方、南部メコンデルタ地方のアンザン省およびキエンザン省（現在はアンザン省に統合）の都市部では、都市化修復比が1.5となり、直接測定

値が土壌推定値を上回った。これは人工構造物が新たな線源として機能している可能性を示すものである。当該地域では、アスファルト舗装の下に直径10~15cmの花崗岩碎石を路盤材として使用しており、これが空気吸収線量率の上昇に寄与したものと考えられる。

5. 国際事例にみる都市化と環境放射線場の変化

都市化に伴う環境放射線量の変化は、ベトナムに限らず世界各地で報告されている。図3に、UNSCEARレポートに基づいて作成した各国の都市化修復比（直接測定値／土壌推定値）を示す。これらの値は、地質条件、建材の利用形態、都市構造の違いにより大きく異なることが分かる。欧州では、地質図と人口分布を統合した環境放射線マッピング研究が数多く報告されている。例えば、ギリシャ、アルバニア、スペインなどでは、花崗岩質基盤上に立地する都市において、相対的に高い屋外線量率が観測されている。これは、U-238系列およびTh-232系列核種を比較的多く含む花崗岩体の分布と対応しており、地質条件が環境放射線場の基盤を形成しているこ

とを示している。しかし、都市部における屋外線量率は、地質条件のみでは必ずしも説明できない。特に、建材として花崗岩や火成岩由来の骨材が広く使用されている地域では、地質に由来する放射線に加えて、人工材料由来の寄与が重なる場合がある⁵⁾。その結果、土壌中の放射能濃度から理論的に推定される空気吸収線量率を直接測定値が上回る事例が報告されている。一方、都市中心部では建築物の高密度化に伴う遮蔽効果が有意となり、地質学的に高い放射能濃度を示す地域であっても、直接測定値が低下する事例も確認されている。

都市化に伴う環境放射線量の変化より地質が支配的なケースでは、高自然放射線地域を有するインド・ケララ州沿岸部において報告されている。これらの地域では、モナザイトや火成岩体に由来する高濃度のTh-232系列の放射性核種が豊富に存在し、屋外吸収線量率が数百nGy/hに達することもある。このため、都市化や建築構造の影響は存在するものの、地質起源の寄与が圧倒的に支配的である。そのため、都市化による線量変化は相対的に小さく見える。

このような事例は、都市化が単純な線量増

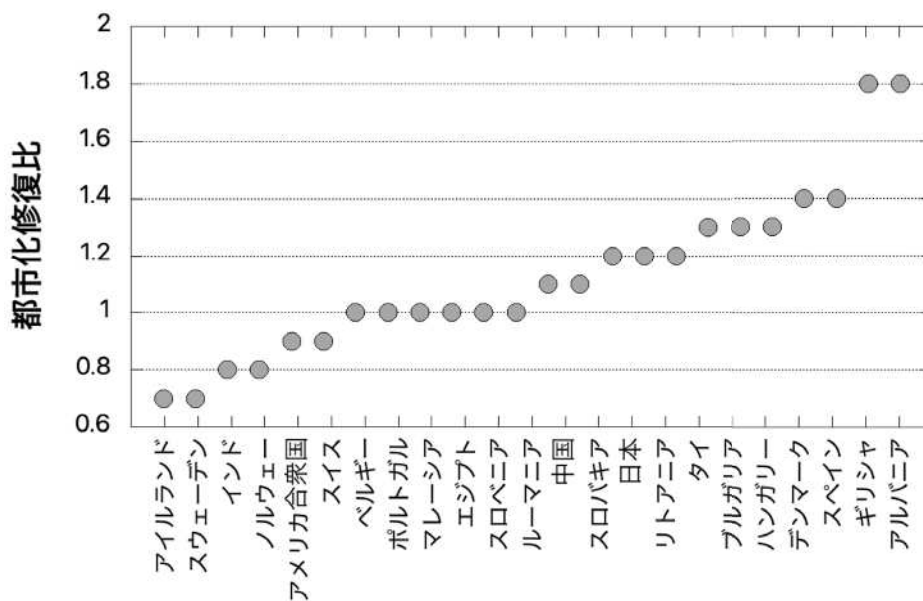


図3 各国の都市化修復比(直接測定値／土壌推定値)

加を意味するものではないことを明確に示しており、ベトナムにおける全国調査の結果と本質的に共通する特徴を有している。環境放射線分布は、基盤となる地質、都市に導入される建材の種類およびそれらに含まれる放射性核種の種類と濃度、さらに建築密度や都市形態に起因する遮蔽効果といった複数の要因が相互に作用することによって形成される。特に注目すべき点は、都市化の影響が地質条件によって異なる形で現れることである。欧州の花崗岩質地域では、比較的高い自然放射線レベルの上に建材由来の寄与や遮蔽効果が重なり、線量分布が複雑に修飾される。一方、ベトナム南部のような低自然放射線レベルの地域では地質起源の寄与が小さいため、舗装や建材といった人工構造物の影響が相対的に顕在化しやすい。この差異は、都市化が環境放射線量に与える影響の「感度」が基盤となる地質条件に強く依存していることを示している。

まとめ



都市化は環境放射線量を一様に増減させる単純な要因ではない。地質、建材の利用形態、都市密度など複数の要素が相互に作用することで、地域ごとに異なる放射線環境を形成するプロセスがあると理解される。都市化は自然地質起源の放射線場を消失させるのではなく、それを修飾・再構成する。建材は「人工地質層」として新たな線源となり得る一方、高密度な都市構造は遮蔽効果をもたらす。その結果、都市化の影響は平均線量の単純な増減としてよりも、空間分布の変化として現れる点に本質的特徴がある。このような都市環境においては、土壌中の放射性核種濃度から線量を推定する従来の評価モデルが必ずしも成立しない。したがって、保健物理学的観点から環境放射線調査を行う際には、地球科学的視点に基づく土壌調査と、放射線測定器を

用いた直接測定を併用した評価体系を構築することが不可欠である。

参考文献

- 1) UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation, Annex A: Exposure from natural radiation sources, UNSCEAR 2000 Report, New York, 2000.
- 2) Markkanen M. Radiation dose assessments for materials with elevated natural radioactivity, Radiation Protection Dosimetry, 60, 199-204, 1995.
- 3) Le VT, et al., Impact on absorbed dose rate in air from asphalt pavement associated with transport infrastructure developments, Radiation and Environmental Medicine, 6, 88-94, 2017.
- 4) Inoue K, et al., Distribution of gamma radiation dose rate related with natural radionuclides and urbanization in Vietnam, Scientific Reports, 10, 11991, 2020.
- 5) Trevisi R, et al., Updated database on natural radioactivity in building materials in Europe, J Environ Radioact, 105, 11-20, 2012.

著者プロフィール

2008年、首都大学東京大学院（現・東京都立大学大学院）保健科学研究科博士後期課程を修了し、博士（保健科学）を取得。国立がんセンター東病院臨床開発センターにて核医学分野（SPECT・PET）の研究に従事した後、2009年から2012年までハーバード大学医学部に研究留学し、近赤外イメージングの研究を行った。帰国後、東京都立大学健康福祉学部放射線学科の助教、准教授を経て、2021年より教授。2019年から2025年まではハーバード大学医学部客員教授を兼任した。専門は核医学および環境放射線計測。近年は、核医学治療における線量評価技術の高度化に取り組むとともに、アジア・アフリカ諸国と連携した環境放射線研究拠点の形成や、原子力人材育成事業の一環として高度放射線防護人材の育成に注力している。

医療用サイクロトロンの廃止について

株式会社千代田テクノロ 営業統括本部 遠藤 正志

1. はじめに

前回、本誌（No.474, 2016年6月号）で医療用サイクロトロンの廃止措置について紹介してから、約10年が経過した。その間に、表1に示すように6台の医療用サイクロトロンの解体および施設廃止に携わってきた。

これまで実施してきた医療用サイクロトロンの廃止を振り返り、作業内容、評価方法、作業上の共通事項などを整理し、今後も続くサイクロロン廃止措置の参考となるよう、ここに記録することとした。

サイクロロンと一口に言っても、製造メーカーや型式、運転条件が異なり、自己遮蔽体の有無や本体室の容積などによって放射線の強さや分布が異なるため、それぞれに応じた撤去作業を行う必要があった。サイクロロンによる違いを簡単に図1～3に示してみた。

2. 放射化物（放射性汚染物）の除去

医療用サイクロロンでは、加速粒子と加速箱内の部品が衝突してビームロスが生じる

表1 サイクロトロンの概要

事業所名	製造メーカー	型式	自己遮蔽体	本体重量t ()内は自己遮蔽体重量	主な加速粒子	使用ポート数	最大エネルギー (MeV)	最大ビーム電流 (μA)	運転期間 (年)	冷却期間 (年)
①A病院	JSW*	BC1710	無	30	H ⁺	1	17	50	26	5
②B事業所	住重**	HM-18	無	25	H ⁻ ・d	8	18	50	25	0.8
③C病院	IBA***	Cyclon10/5	有	13(53)	H ⁻	2	10	80	12	5
④D病院	IBA	Cyclon18/9	無	23	H ⁻	2	18	80	16	0
⑤E病院	住重	HM-12S	有	12(50)	H ⁻	2	12	90	16	2
⑥F病院	住重	HM-18	無	25	H ⁻	2	18	50	14	4

*JSW：(株)日本製鋼所

**住重：住友重機械工業(株)

***IBA：RADIO PHARMA SOLUTIONS (ベルギー)

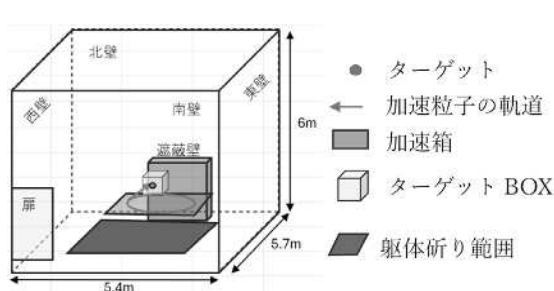


図1 A病院のサイクロロン

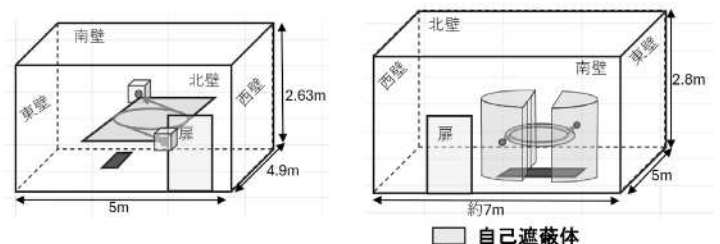


図2 B事業所(左)及びC病院(右)のサイクロロン

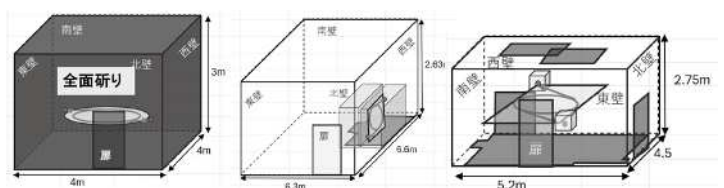


図3 D病院(左)、E病院(中央)及びF病院(右)のサイクロロン

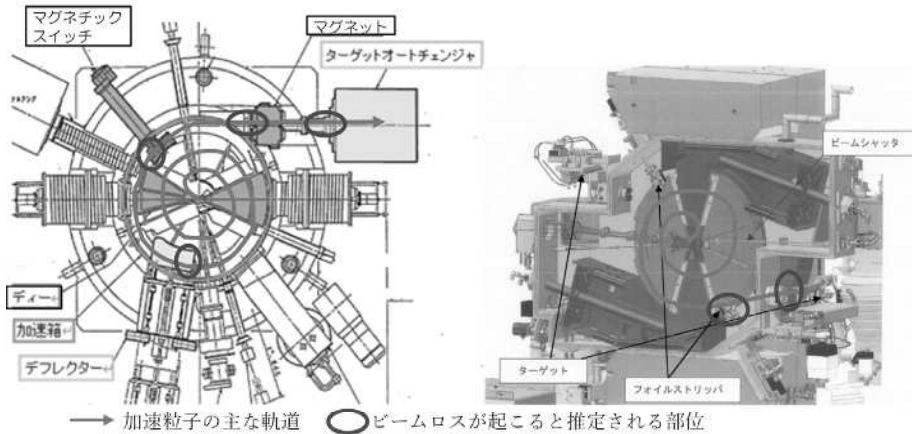


図4 加速粒子の違いによるサイクロトロン構造(左がH⁺、右がH⁻を加速)

と、二次的に発生する中性子によりサイクロトロン本体だけでなく周辺機器、床、壁、天井などの躯体も放射化することになる。

2.1 加速粒子による放射化

医療用サイクロトロンでは、多くの病院でターゲットにH₂¹⁸Oを用い、¹⁸O (p,n) ¹⁸F反応によりPET検査に用いる¹⁸Fを製造している。比較的新しい装置ではH⁻を加速し、ターゲット手前のストリッパで電子を剥ぎ取ってp (プロトン) とし、ターゲットへ照射する方式が採用されている。

一方、古い装置 (例:表1のBC7010) では、H⁺ (プロトン) をそのまま加速してターゲットに照射する方式が用いられている。この違いは加速箱内の構造に影響し、加速粒子が衝突する部位が異なるため、放射化評価の範囲にも影響を及ぼす。

加速箱内ではp, n反応 (原子核に陽子が入射し、中性子が放出される反応) による放射化と、その際に発生する中性子による放射化という2種類の放射化が考えられる。図4に加速粒子の異なるサイクロトロン構造概要を示す。

2.2 本体及び周辺機器の放射化について

サイクロトロン本体内では、加速粒子による放射化と、それに伴い発生する中性子による放射化が起こり、その中性子によって本体周辺の機器類も放射化する。

生成される核種には短半減期のものもあるため、評価を行う時期によって放射能や線量 (計数) 率は変化する。加速粒子がターゲットのみに衝突する場合にはターゲット周辺のみが放射化されるはずだが、実際には他の部

位でも有意な線量 (計数) 率を示す例が多い。

加速箱内の線量 (計数) 率が高く、またサイクロトロン室内全体が放射化しているため、放射化物の分布を測定器で詳細に確認することは労力と時間を要し、極めて困難である。

そのため、これまでの放射化物の除去作業では、サイクロトロン本体および室内の周辺機器については、すべて放射化物と評価し、放射性廃棄物として廃棄してきた。ただし、自己遮蔽体型の装置については、本体および遮蔽体の一部のみを放射性廃棄物として処理した。

2.3 サイクロトロン室躯体の放射化について

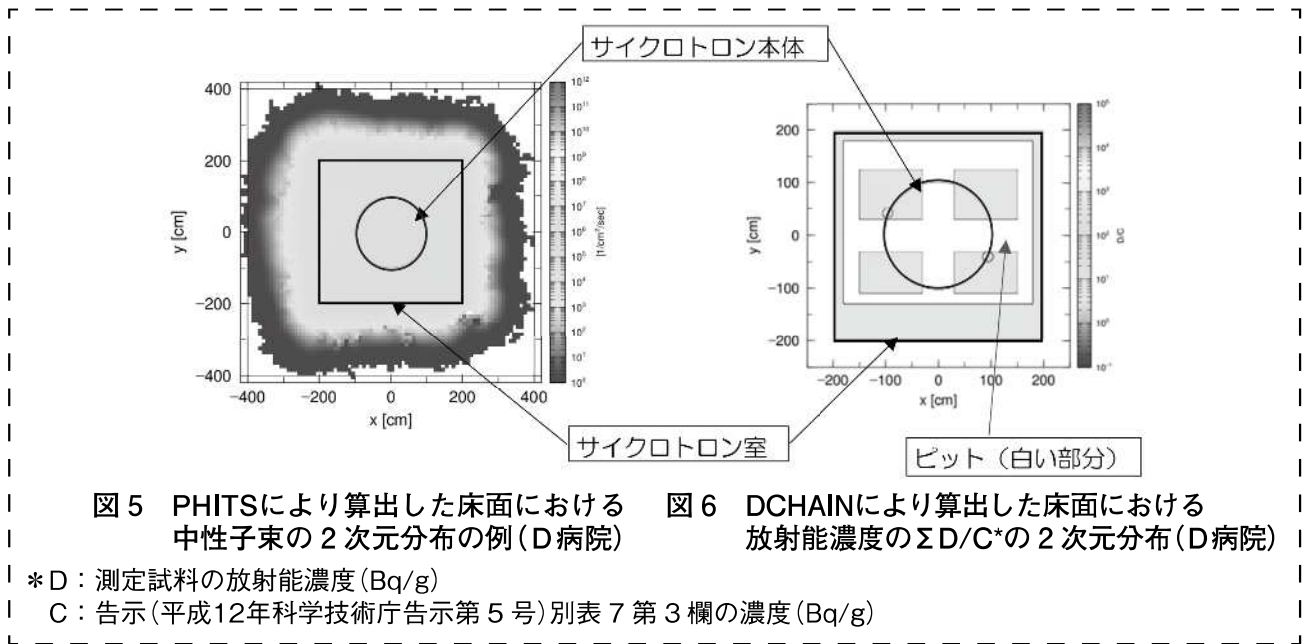
H⁻を加速するタイプでは、ターゲットを中心として床面、壁面、天井面に放射化が認められる。自己遮蔽体型では、床面と遮蔽体の内側に放射化が認められる。

2.3.1 躯体コンクリートの放射化範囲

躯体コンクリートの放射化濃度はサイクロトロンの運転条件だけでなく、停止後から測定試料採取までの期間 (冷却期間) によっても変化する。冷却期間を十分にとった場合、検出核種は主に⁶⁰Coと¹⁵²Euとなるが、運転停止直後 (例: D病院) では⁴⁶Sc、⁵⁹Fe、¹³⁴Csなども検出される。

コンクリートの放射化は表面だけでなく深さ方向にも広がるため、コア試料を採取し、Ge半導体検出器で深さ方向の濃度 (Bq/g) を定量する。コア採取位置は、ターゲット上下 (床・天井)、加速ビーム方向壁面、遮蔽扉、ピット底面など、放射化が起こりやすい部位を選んで決定する。

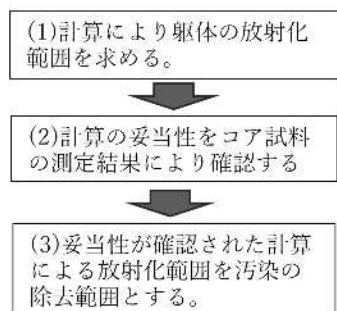
コア試料により特定点での深さ方向濃度は



確認できるが、躯体全体の2次元・3次元の広がりまでは把握できない。

このため、法令改正後、最初にサイクロトロン廃止作業に着手した当時の規制から、(1)計算により躯体全体の放射化範囲を推定し、(2)コア試料によってその妥当性を検証し、(3)得られた放射化範囲に従って汚染の除去範囲を決定する、という手順が提示された。

なお、法令に放射化の明確な定義は存在しない。したがって、放射性汚染物として扱わないことを判断する濃度確認において規定されて



いる告示〔平成12年科学技術庁告示第5号〕別表7第3欄に示される濃度を十分に下回ることを確認し、その範囲の汚染を除去することとした。

2.3.2 計算による放射化範囲

躯体コンクリートの放射化範囲は、計算により算出し、2次元および3次元の分布として可視化した(図5~6)。計算の概要としては、まずサイクロトロンの運転に伴い発生する中性子束スペクトルと、中性子以外の粒子による核種生成率を、3次元モンテカルロ輸送計算コードPHITS(ver. 3.20)を用いて求めた。さらに、放射化計算コードDCHAIN

SP3.25により放射能を算出した。核反応計算に用いたデータライブラリにはTENDL 2014およびJENDL 4.0を採用した。

2.3.3 計算の妥当性の確認

次のような手順で、計算した結果が妥当であることを確認する。

- ①計算により算出される躯体(床、壁、天井)表面における放射能濃度の高い点を選択し、その位置のコア試料を採取する。
- ②採取したコア試料についてGe半導体検出器を用いて放射能濃度を測定する。
- ③各計算点における核種の放射能濃度を、対応するコア試料の測定結果及び各点のD/Cを比較する。
- ④計算結果が測定値を反映している又は安全側に評価していることを確認し、計算結果が妥当であると判断する。なお、検出核種は複数となるため比較には $\Sigma D/C$ を用いる。評価点における測定値と計算値の例を図7~8に示す。

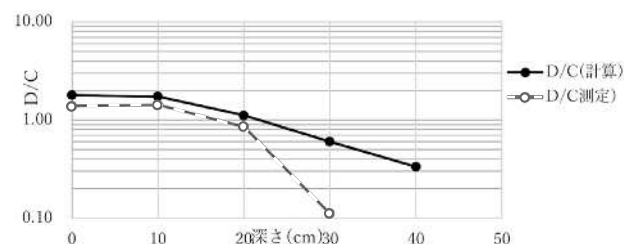


図7 床面のコア試料測定値及び計算値の深さ方向における $\Sigma D/C$ (F病院)

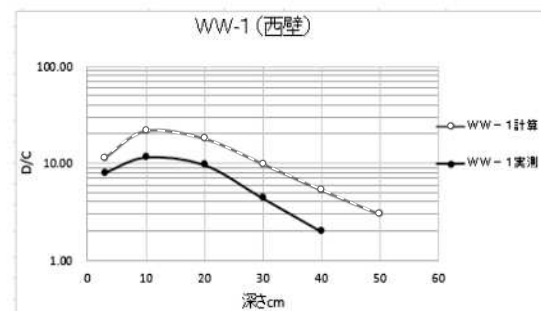
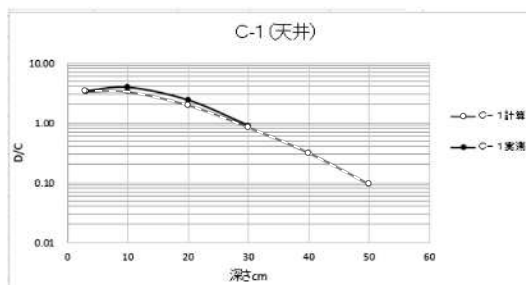
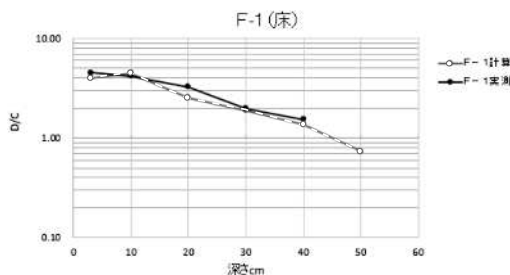
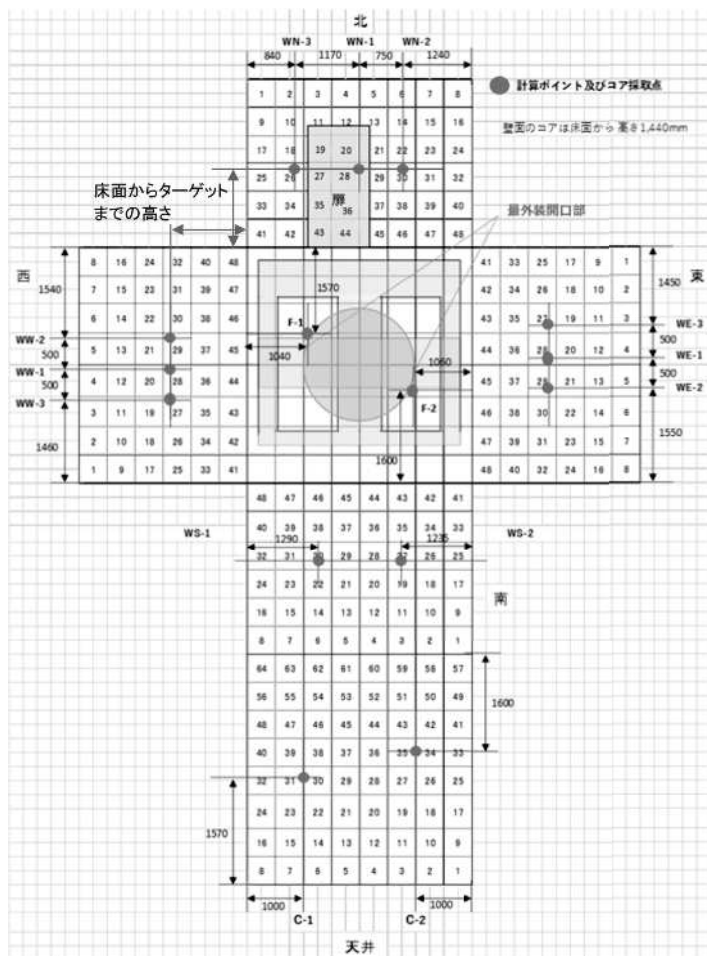


図8 コア試料採取点及び計算値と測定値の比較(D病院)

計算結果の妥当性が認められた場合、 $\Sigma D/C=1$ を十分に下回る2次元方向、3次元方向の範囲で汚染の除去を実施する。

2.3.4 除去した放射性廃棄物

サイクロトロン廃止に伴って発生する放射性廃棄物は、サイクロトロン本体、周辺機器及びサイクロトロン室躯体（自己遮蔽体型の場合は、自己遮蔽体の一部及び本体床面のみ。）であり、各施設による発生量は表2のとおりで

あった。

本体および周辺機器は、すべて放射化物として廃棄するため、1 m³容器の使用本数は本体重量に依存する。周辺機器に関しては、200リットル缶の使用本数が自己遮蔽体型では著しく少ない。これは、遮蔽体外に配置されている機器については放射化しないと判断できるためであり、自己遮蔽体型以外の施設と比較して廃棄物量が大幅に減少することによる。

表2 施設ごとの放射性廃棄物の量 : 自己遮蔽型

	本体 l m ³	本体重量 t	周辺機器等 200 ^{リットル}	躯体等		200 ^{リットル} 換算
				200 ^{リットル}	50 ^{リットル}	
A病院	16	30	15	35	7	131.4
B事業所	15	25	3	1	0	79.0
C病院	6	13	0	7	0	37.0
D病院	11	23	20	296	0	371.0
E病院	7	12	4	37	9	77.8
F病院	13	25	16	59	5	141.0

躯体の放射化は、運転時間、運転条件、冷却期間、本体室の大きさなどの影響を強く受けるため、施設間で廃棄物量に大きな差が生じる。A病院およびB事業所では、研究用途での使用が主であり、病院におけるFDG製造を主目的とする運転と比較して中性子の発生量が少なかったと考えられる。

一方、D病院では冷却期間が確保されていなかったため、他施設では検出されなかった半減期の短い核種 (^{46}Sc 、 ^{54}Mn 、 ^{134}Cs) が検出され、結果としてD/C値が高くなり、除去対象となる躯体範囲が拡大した。

F病院では、サイクロトロン室内側（床を除く）に150～350mm厚の低放射化コンクリートが施工されていたことから、放射化が抑制され廃棄物量が減少した。今回のF病院の廃止措置では、低放射化コンクリートが普通コンクリートと比較してどの程度の効果を有するかを直接評価することはできなかったが、興味あるデータが得られたため紹介する。

当該病院のサイクロトロン室壁及び天井面には、普通コンクリートの内側に、それぞれ350mm及び150mmの低放射化コンクリートが施工されていた。天井面から採取したコア試料の深さ方向におけるD/Cと計算値のD/Cをプロットした結果、**図9**のようなグラフが得られた。

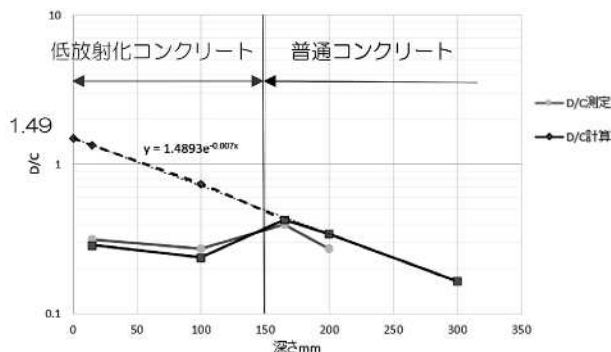


図9 低放射化コンクリート+普通コンクリートのD/Cの変化(F病院)

普通コンクリート部分の計算値D/Cから近似曲線 ($y = 1.4893e^{-0.0007x}$) を求め、 $x = 0$ cmを代入するとD/C=1.49が得られた。これは、すべてが普通コンクリートであった場合には、100～150mm程度、除去する必要があったことを示唆している。

2.3.5 汚染が除去されたことの確認方法

躯体の汚染（放射化物）を除去した後は、適切に除去されたことを確認する必要がある。非密封RI施設における汚染検査では、室内全面をスミアろ紙またはGMサーベイメータで測定し、「検出限界値未満」であれば「汚染なし」と判断している。放射化物についても同様に、適切な測定器を用いて室内全面を測定し、「検出限界値未満」であることを確認することで、汚染が除去されたものとした。

測定器および測定方法の選定にあたっては、上叢氏の報告*を参考にし、NaI (TI) シンチレーションサーベイメータによる直接法を採用した。

なお、現時点では、クリアランス濃度以下の放射化物を直接測定できることを検証した測定器や測定方法に関する論文やガイドラインは、上叢氏の報告以外には存在しない。そのため、今後は、複数の測定器による測定結果が「検出限界値未満」である場合には、クリアランス濃度を下回る放射化物の測定が可能であることを示す検証データの蓄積が求められると考える。

* 上叢義朋「放射化と表面線量率の関連」日本放射線管理学会誌（2013）Vol. 2, No. 1, p36-p40

3. おわりに

医療用サイクロトロンの廃止は現在も継続しており、同一の機種であっても廃止措置における汚染（放射化）の評価方法や除去方法は、それぞれ異なることが多く、そのため、これらの詳細事項を一律にマニュアル化することは困難である。廃止措置を実施する際には、諸条件の状況を十分に把握し、最適な作業手順を選択することが求められる。

また、医療用サイクロトロンの廃止には、高額の経費を要するうえに、大量の放射性廃棄物が発生する。今後の課題としては、廃止作業の効率化や廃棄物発生量の減少などにより事業者への負担軽減を図る取り組みが必要であると考えられる。

最後に、本稿の作成にあたり、サイクロトン廃止に関する情報の引用をご許可いただいた関係各位に深く感謝申し上げます。



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

安田講堂

がんはわずかな知識と行動（がんリテラシー）で運命が変わる病気です。学校でがん教育が始まっている今、「大人のがん教育」の必要性が高まっているからでしょう。

ヘルスリテラシーの国際比較では、オランダがトップ、ドイツが3位でしたが、日本はミャンマーやベトナムより低い最下位に甘んじています。

原因不明の難病の前には、ヘルスリテラシーも無力ですが、がんは知ること、コントロールできる病気です。日本人の低いヘルスリテラシーが、がんによる不幸の大きな要因だと思います。

そんな思いから、3月13日、東京大学の安田講堂で、「大人のためのがんセミナー」を開催しました。千代田テクノルの細田会長にもお越し頂き、千名近い参加者でほぼ満席の盛況となりました。

登壇者は、私の他、恩師で解剖学者の養老孟司先生と、友人で俳優の橋爪淳さん。私自身の膀胱がんを含め、養老先生の肺がん、橋爪さんの大腸がんも私が診断しました。

セミナーでは、まず私が「知っておきたいがんのすべて」を30分でお話ししました。次に、お二人のがんの診断と治療の経緯を短く解説しました。その後、お二人に思いを語っ

て頂きました。

橋爪さんは病院嫌いで、大腸がんと気づきながら、オムツをつけて、大河ドラマの収録を行ったそうです。私が相談を受けた時点ではかなり進行していましたが、手術は成功し、その後も順調です。

養老先生は右肩の痛みがきっかけで、肺がんのなかでもタチの悪い（5年生存率1割程度）小細胞肺がんと診断されました。当初は、「治療はテキトーでいい」と言われた先生ですが、結果的には、抗がん剤も放射線治療も受けています。

昨年、左肺とリンパ節に再発してしまいましたが、免疫チェックポイント阻害剤が著効し、がんは消えています。

橋爪さん同様、医療に否定的だった養老先生ですが、標準治療を受けて、順調な経過です。詳しくは、共著「病気と折り合う芸がいる」（エクスマレッジ）をご覧ください。

最後の鼎談では、病気が生き方をどう変えるか、ヒトだけが持つ長い老後の意味などを語り合いました。

あまり知られていませんが、サケやセミはもちろん、チンパンジーやゴリラなどの類人猿を含めても、子孫を残せなくなっからの長い老後を生きていくのは人間くらいです。

個人の経験をもとにしたアドバイスが進化上有利に作用したのだろうと考えています。ヒトの長い老後には意味があるのです。





Column
佐々木康人

第5回

高線量被ばくへの健康影響 —JCO臨界事故の経験—

1 急性放射線症候群

1 Gy以上の高い放射線量を一瞬または数週間程度の比較的短期間に全身に受けると、吐き気嘔吐、下痢、頭痛、皮膚のやけど様症状や脱毛、発熱、めまいなどの症状が発現する。また、骨髄の造血機能が障害され、末梢血中の白血球、血小板、赤血球が減少する。症状ごとにしきい線量があり、その線量を超える被ばくで症状が出現する。1 Gyを超えると造血障害が、3 Gy以上で脱毛、5 Gyを超えると消化管障害が、30 Gy以上で意識障害やショックなどの中枢神経症状が出現する。この急性放射線症候群 (acute radiation syndrome : ARS) の発現、進行には特徴があり、前駆症状、潜伏期、症状発現期、回復期と進行するが、線量が多い程発症時期が早まる。治療としては、骨髄移植、皮膚移植の他感染症予防、輸血・輸液などの支持療法が実施される。60日以内に被ばく集団の50%が死亡する線量は、治療しない場合3 Gy、集中治療を実施した場合に6 - 8 Gyと教科書には記載されている。

2 JCO臨界事故

1999年9月30日10時30分頃に茨城県東海村にある核燃料加工工場JCO内の転換試験棟で臨界事故が起こり、3人の作業員が高線量の放射線を浴びた。

ウラン²³⁵ (²³⁵U) のような核燃料物質に中性子が当たると、ある確率で原子核が割れ、核分裂が起こる。この時に発生する中性子がさらに核分裂を起こし核反応が持続すること

を連鎖反応と言う。この状態で1秒間に起こる核分裂の数(核分裂率)が一定で中性子の数が増えも減りもしない状態が「臨界」である。この状態を人工的に作っている原子炉の中では、線源と原子炉自体が十分に遮蔽されているので中性子が外に出ることはない。

JCO「転換試験棟」では、通常の発電用軽水炉で用いる3 - 5%濃縮ウランではなく、高速増殖炉の研究炉「常陽」で使うための核燃料(濃縮度18.8%、²³⁵U濃度380 g/L)を作成する特殊作業が行われていた。「バケツ」に入れた硝酸ウラニル溶液を「沈殿槽」と呼ばれる容器に流し込む作業の最中に沈殿槽内の溶液が臨界状態となり大量の中性子が発生した。沈殿槽がいわばむき出しの原子炉状態となった。沈殿槽の前に立って漏斗を支え持っていた作業員A氏(35歳)と梯子の上からバケツに入れた溶液を沈殿槽に流し込んでいた作業員B氏(39歳)が至近距離で被ばくした。A氏は腹部を、B氏は胸部を中心とする全身被ばくであった。壁を隔てて3メートル程離れた隣室の机に座っていた作業員C氏(54歳)はほぼ均等な全身被ばくであった。室内のガンマ線モニターの警報が鳴り、異変に気がついたC氏の指示で3人は直ちに避難を開始した。救急車で運ばれた国立水戸病院で応急処置を受けた後、放射線医学総合研究所(放医研、現量子科学研究開発機構:QST)に搬送された。体表サーベイで放射線検出器が反応したためである。

千葉市消防局のヘリポートから救急車で放医研へ搬送され、緊急被ばく医療棟に入る3人の被災作業員達を筆者は所長室の窓から見守っていた。放医研除染チームは放射線防護

服に身を包んで対応した。静脈血のガンマ線波高分析でナトリウム24 (^{24}Na) が検出されたため、放射能汚染ではなく、中性子線被ばくによる放射化であると判断した。装着していた腕時計と携帯電話が放射線検出器に反応したことも、中性子線による放射化と矛盾せず、おそらく臨界事故であろうとこの時点で推定した。

事故の現場では、東京から駆け付けた住田健二原子力安全委員会委員長代理（当時）の指揮のもと志願したJCO社員が決死の努力で翌朝6時半ごろに臨界を止めた。この間約20時間にわたり中性子線が出続けた。少量であるが、気体の放射性同位元素が環境中に漏れた。原子力研究所のモニターが中性子線を検出したことから、350メートル範囲の160人余りの近隣住人が避難した。避難命令は村上達也東海村村長（当時）が出した（読売新聞社編集局、青い閃光―ドキュメント東海臨界事故、中央公論新社、2000年）。

「JCO臨界事故のことを思い起こす人は少なくなってしまうようだ。」「事故や災害は、リスクを学ぶためのヒントが埋め込まれた貴重な経験でもあるが、そこから教訓が生まれぬまま時間とともに風化してしまうことは大変残念なことである。」（加藤和明、JCO臨界事故から26年が経過して思うこと FBNews No.590, p.18, 2026）。忘れてはならない原子力・放射線事故であった。

3 臨界事故の原因

JCOで臨界事故が起こる可能性は想定されていなかったため、事故調査委員会（吉川弘之委員長）で詳しい原因調査が行われた。

液体の六フッ化ウラン (UF_6) を二酸化ウラン (UO_2) 粉末に再転換する中間工程である硝酸ウラニルの「均等化作業」中に臨界が起こった。主役は球状の「沈殿槽」と「バケツ」

であった。臨界が起こらないように厳重な形状管理と質量管理のもとで作業する正規のマニュアルがあったにも関わらず、作業のし易い「裏マニュアル」が採用されていた。さらにそれからも逸脱した、効率を重視したやり方が現場で採用された。背が高く、内径が狭い「貯塔」と「溶解塔」の代わりに背が低く内径の広い「沈殿槽」と「バケツ」が使用された。「沈殿槽」に「バケツ」7杯、16kgの溶液（質量管理規定では2.4kg未満）が注入された時に「臨界」が起きた。沈殿槽周囲を包む冷却水が中性子の反射材となり「臨界状態」が起こり易くなっていた。臨界状態となった硝酸ウラニル溶液からは透過性の強い中性子線が多量に放射され、事業所の敷地外にまで到達した。

事故調査報告書は「使用目的が異なり、臨界を防ぐ形状になっていない沈殿槽に、制限量を上回るウランを含む溶液を注入したこと」が事故の直接原因であったと断じている。

4 被ばく線量評価

放医研の緊急被ばく医療棟では医師による診療と平行して、被ばく線量評価が各種専門家の手で行われた。緊急被ばく医療では初期の線量推定が治療方針を立てる上で極めて重要である。通常の医療機関ではこれだけの線量評価はできなかったであろう。中性子被ばくを「生物学的ガンマ線相当線量」の吸収線量で表したのがGray Equivalent (GyEq) である。放医研で実施した中性子線治療の経験に基づいて中性子の生物学的効果比relative biological effectiveness : RBE) 1.7 と仮定して計算した。報道関係者には十分理解されず、確率的影響のリスク指標であるシーベルト (Sv) と報道したものが多かった。

高線量被ばく直後から数時間以内に発症する前駆症状（悪心、嘔吐、下痢、発熱）とその発

現時間から、被ばく線量が推定された。A氏は被ばく10分以内に嘔吐し、1時間以内に下痢を見、当日38.5度の発熱があったことから8 GyEq以上の被ばくと推定された。B氏は1時間前後に嘔吐したものの下痢はなく、当日38.5度の高熱があったことから4 - 6 GyEq、C氏は軽度の吐き気があった他は前駆症状を示さなかったことから4 GyEq以下の被ばくと推定された。

末梢血中の白血球（リンパ球と顆粒球）や血小板の減少速度とガンマ線被ばく線量との関係が知られているので、線量評価に用いた。

中性子線を受けた体内では、安定元素が放射性元素（RI）に変わる、放射化である。体内存在量の多いナトリウム（ ^{22}Na ）が放射化されて生成されたRI、 ^{24}Na （物理学的半減期15時間、生物学的半減期10日）のガンマ線の放射能を測定して、中性子の被ばく線量を推定した。

放射線が当たって生じた染色体の異常（2動原体と環状染色体）をリンパ球で調べることで、被ばく線量を推定できる。この方法は生物学的線量推定と呼ばれる。

これらの結果からA氏16 - 20 GyEq、B氏6 - 10 GyEq、C氏1 - 4.5 GyEqを被ばくしたと推定した。

5 緊急被ばく医療ネットワーク会議

高線量被ばくをした3人のJCO作業員の医療に大きな貢献をしたのが「緊急被ばく医療ネットワーク会議」であった。1997年5月に国の防災計画に原子力災害対策編が追加され、放医研が、「外部専門医療機関との緊急被ばく医療に関する協力のためのネットワークを構築し、情報交換、研究協力、人的交流を通じて平常時から緊急医療体制の充実を図る」ことが定められた。放医研は緊急被ばく医療ネットワーク会議（NW会議）を1998年10月

に発足し、第1回会議を同年11月に開催して、前川和彦東京大学（東大）救急医学教授（当時）が委員長に就任した。第2回会議を1999年7月に開催し、放医研緊急被ばく医療棟で実施訓練をした。その2か月後にJCO臨界事故が起こった。前川委員長の要請で事故翌日の10月1日10時から放医研の臨床会議と合同で第1回事業対応臨時拡大NW会議が放医研病院内で開催された。以後適時会議を開催して被ばく作業員の治療方針を検討した。10月2日の会議で被ばく線量の最も高いA氏は本郷の東大医学部附属病院で集中治療と末梢血幹細胞移植を、10月4日にはB氏が東大医科学研究所附属病院で臍帯血幹細胞移植を行う方針を決定した。推定線量の最も低いC氏は放医研病院にとどまり、無菌室で治療を受けた。

6 急性放射線症候群の治療

前駆症状が治まった後に無症状の潜伏期があるのがARSの特徴である。筆者は事故翌日早朝に病院長と一緒に放医研病院に入院した3人を回診した。頸部の軽い発赤がある方が一人いた以外は身体所見が全くみられなかった。すでに得られていた推定線量から一月以内に死者がでると覚悟していたが、この時点ではその後に患者さんと医療チームを待ち受けていた過酷な戦いは想像もつかず、病院長と顔を見合わせて不思議な思いにとらわれた。この朝会議前に回診した前川教授も同じような感想を残しておられる。

前駆期から発症期までの潜伏期は線量が大きいほど短くなる。被ばく2日目の10月1日夕刻にはA氏に症状が発現した。リンパ球減少、動脈血酸素飽和度の低下、腹部膨満などに対応を始めた。10月2日の第2回事業対応臨時拡大NW会議で末梢血幹細胞移植と集中治療の必要性があると判断して、東大病院救急病

棟へ転院が決まり、午後4時30分報道陣が取り巻く中、A氏は東大病院中央病棟に入った。

「よろしくお願いします」と挨拶するA氏の元気な姿に担当看護婦は驚くと共に、「退院」を看護の目標としたことが記録されている。前川和彦救急部長、武谷雄二病院長（産婦人科教授、当時）のリーダーシップのもとに、血液内科、皮膚科、消化器内科、呼吸器内科、感染症科、放射線科等関連診療各科と臨床検査部、放射線部、輸血部などの中央診療部が全面協力して医療が行われた。筆者は適時訪問してカンファランスに出席し、時に回診に立ち合いながら、2年前まで在籍した母校の病院の診療各科部が協力する姿を驚きと感謝の念をもって見守っていた。被ばく後7、8日目に平井久丸教授（当時）のチームにより患者HLA（Human Leukocyte Antigen：ヒト白血球抗原）適合の実妹から末梢血幹細胞移植が行われ17日目に生着が確認された。肺水腫による低酸素血症が進行した10日目に気管内挿管が必要になった。全身の皮膚障害が被ばくの多い部位から発現進行し、全身の真皮が露出し、大量の体液漏出をみるようになった。各種皮膚移植は不成功に終わった。下痢、下血の発症は予測より遅れた。早期より腸管粘膜増殖促進因子（L-グルタミン）の大量静脈内投与など予防処置をしたことが効果を発揮していると思えたが、一部では線量評価が過大なのではないかとの疑問も呈された。しかし、被ばく26日後には大量の下痢、46日後からは下血、50日以後は上部消化管出血も始まり、毎日1万ミリリットルに及ぶ輸液、輸血ときめ細かい体液管理が必要になった。59日目の心停止エピソードをクリアしたものの、さらに腎不全、肝障害も加わり、83日目に突然の心停止で壮絶な死闘の幕が閉じられた。筆者は臨終の場に居合わせ、翌朝の剖検に立ち会った。

NHKスペシャル「被曝治療83日間の記録

～東海村臨界事故～」を作成し、第42回モンテカルロ国際テレビ祭で受賞した岩本裕記者は受賞講演で次のように述べている。「取材を重ねるなかで、この番組を最高のものにしたと考え続けました。その気持ちの源泉となったのは、極秘とされている1枚の写真でした。それはAさんのご遺体が写っている写真でした。体の正面の皮膚がすべてなくなって真っ赤になっているのにもかかわらず、背中側の半分は皮膚が残って真っ白で、はっきりと境界ができていました。これまでにまったく見たことのない遺体でした。」(NHK「東海村臨界事故」取材班著、朽ちていった命－被曝治療83日間の記録－)

10月2日にはB氏の症状が顕在化し、拡大NW会議は臍帯血幹細胞輸血が必要と判断し、東大医科学研究所病院への転院を決めた。輸血は成功し、移植細胞が一時期造血機能を代替した。後に自身の骨髓機能が回復して、移植細胞を駆逐した。後日この治療の必要性が専門家の中で議論になったが、骨髓障害の最悪の期間をしのぐのに移植が役立ったと判断している。皮膚移植も生着した。回復に向かった時期を経て、病状は悪化した。A氏同様気道、腸管粘膜の再生が見られず、多量の輸液が必要となり、救急医療体制の整っている東大病院へ転院して間もなく多臓器不全で逝去した。事故後211日目であった。

放医研病院に残ったC氏は造血障害の時期を無菌室でしのぎ、自己骨髓が次第に回復し、事故後82日目に退院した。(村田啓、明石真言編集、東海村ウラン加工工場臨界事故に関する放医研報告書、放射線医学総合研究所発行、2001年)

高線量被ばくの恐ろしさを体験し、2度と事故の起こらないことを願い、再生医療の進歩により、失われた消化管、気管粘膜の再生がいつの日か可能になることを心から期待した。

7 官民挙げての治療協力

放射線科単科の研究病院である放医研病院の診療能力は極めて限定されており、総合病院の協力が不可欠であった。3人の被ばく作業員が入院した直後に、筆者は千葉大学学長に電話で協力を依頼した。快く引き受けて下さり、千葉大学医学部附属病院の医師が、必要に応じて随時循環器科、眼科、精神科などの診療に当たった。その他無菌室管理を含め血液疾患について日本医科大学内科、歯科・口腔内診療について東京歯科大学の医師が来院して診察し、主治医へ助言した。放医研で不足した医療機器は千葉県がんセンターと帝京大学市原病院（現ちば総合医療センター）から貸与された。

放射能汚染がないことが確認された後、緊急被ばく医療棟から放射線治療病棟に転室して治療することが決まった。A氏とB氏が無菌病室へ、C氏が負圧病室へ転室したことを受けて、病棟看護体制を3交代から2交代制に変更した。集中治療に習熟した看護師、薬剤師が不足するため、管理部長から文部省（当時）と厚生省（当時）へ応援の要請をした。両省は迅速に対応した。調整の結果、10月2日－4日の間に、国立東京災害医療センター3名、日本赤十字社医療センター4名、国立国際医療センター4名、千葉大学4名の看護師と、千葉大学から薬剤師1名が、総理府技官（放医研重粒子治療センター）併任の辞令を受けて着任し、放医研のチームに10月8日まで参加した。また、本来の重粒子線治療目的で入院中の患者の不安動揺を緩和するため、総婦長と治療診断部長が各患者へ状況を説明した。さらに、依頼に応じて千葉県看護協会からボランティアで看護師2人が応援にかけつけ、患者とのコミュニケーションを通じて精神的看護をすると共に、検査を受ける重粒

子線治療患者の所内移送を担当して協力した。

高度放射線被ばくにより生ずる症状の予防と治療のために、様々な治療薬が使用された。医薬品として認可されていないもの、治験中の薬の使用や我が国で入手できない薬を緊急輸入するなど日常診療では不可能な治療も実施した。例えば、放射線肺障害の予防を目的に投与したペントキシフィリン（商品名トレンタール）はこの時点ですでに医薬品としての承認が取り消されており、市場から回収されていた。科学技術庁（当時）、厚生省（当時）の協力を得て、製造販売元であるヘキストジャパンの好意で経口薬の提供を受けて投与した。その後症状の進行により経口摂取が不可能となり、注射薬が必要となった。我が国には在庫がなく、タイの現地法人にあることが分かり、日本航空の協力で輸送し、緊急輸入した担当医師が成田空港で受け取った。科学技術庁を通じて、大蔵省関税局監視課、厚生省医薬品安全局監視指導課及び宇宙開発事業団のバンコク駐在員事務所などの協力を得て極めて迅速に実現することができた。

HLAタイピングや臍帯血バンクネットワークについては日本赤十字社、皮膚移植を含む放射線皮膚障害の治療には杏林大学救急医療部をはじめとする多施設の多大な協力を得た。

国外の緊急被ばく医療専門家からは、多くの助言と文献資料の提供を受けた。10月末には科学技術庁の支援により、9人の医師及び線量評価専門家の来日が実現した。患者を診た医師達は報告書で日本の緊急被ばく医療を高く評価した。

日常の医療でも、日本に専門家や経験者の少ない稀有な疾患や輸入感染症などの治療に当たっては、海外専門家を含む専門分野横断的な多施設の協力体制を組めば患者診療に多大な貢献ができることを実感した。

汚染土壌の深さ方向の測定ができる on site 放射線検出器の開発

東京都立大学 理学研究科 客員准教授 野村 貴美

はじめに

福島第一原子力発電所（1F）の事故より15年経った現在、汚染土壌中の核種は半減期が30年と長いCs-137が主な核種となっている。現在のところ、浪江町、双葉町、大熊町および飯館村の一部の宅地、農地、道路では、除染により線量が70%以上低減されている。しかし、森林や帰還困難区域の線量率は今なお1 μSv/h以上である。我々は4年前から浪江町の帰還困難区域の空間線量を車で移動しながら測定してきた¹⁾が、汚染土壌の評価の必要性を感じるようになった。汚染土壌は表面より0～5 cmの表層に90%以上が集中しているケースが多いと、2011年から2020年までの報告に示されている²⁾。時間が長期的になれば、降雨などの環境影響を受けて、深さ方向の分布も変わってくる可能性がある。特に森林のエリアは、面積が広く、地形が複雑であるため簡単には除染しにくい。空間線量率や土壌中の放射性物質の濃度を定期的に測定する必要があるが、土壌を採取して実験室に持ち帰り、測定しては手間と時間と経費がかかりすぎる。そこで、深さ30 cmくらいでその場で迅速に汚染土壌の深さ方向の測定ができる検出器を開発したので紹介する。

検出器の設計

固体CsI（1 cm³）シンチレータの先端に7 mm厚さの鉛板を置き2 mmのアルミニウム（Al）でカバーした構造で、シンチレータと光電子増倍管（PM）との間にプラスチックライトガイド（PLG；直径8 mm、長さ20 cm）を設置した構造（全体の長さ30 cm）である。

模擬線源による測定

Cs-137の模擬線源（947 kBq）を用いて検出器先端付近（A）から検出器の周囲を本体より2 cm離し

て約30秒ごとにずらしながら測定した結果を図1に示す。170秒（C）と210秒付近（D）は、検出器の先端から10 cm離れたところで、50秒（B）と320秒付近（E）が円周方向側面にPbの遮蔽がない部分である。

図2は、検出する放射線の等高線である。検

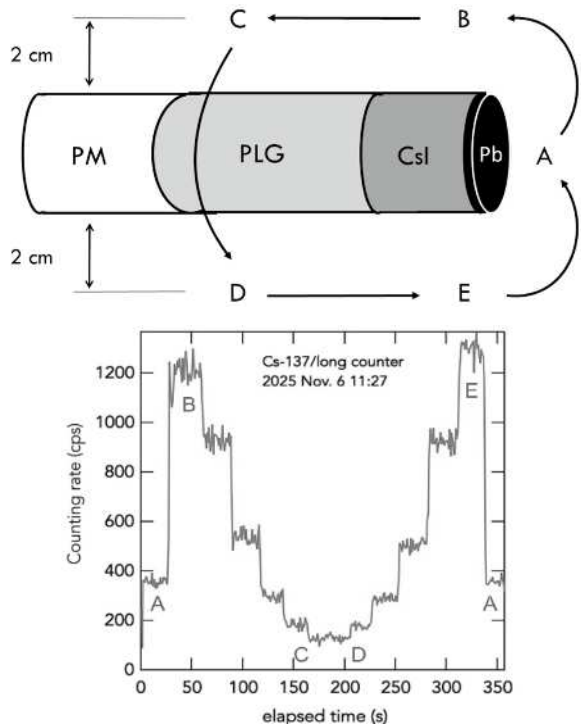


図1 (Pb+CsI+PLG+PM) 検出器（直径2.2 cm）の周囲における検出特性（上の図は測定の順番を示す模式図）

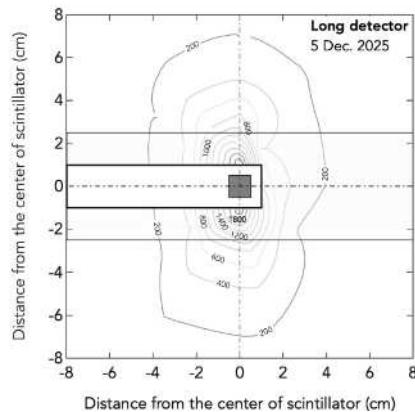


図2 検出器のまわりの模擬線源による放射線の等高線図

出器の軸に垂直方向に線量がより高くなっていることから、垂直方向の成分を主に検出し、穴の断面（直径5 cm）の放射線を反映すると考えられる。

現地での測定例

図3は、浪江町・手七郎地区と飯館・長泥の境の国道399号線の片側斜面の土手で測定した例である。ドリルで長径5 cmおよび深さ30cmの穴を空けて検出器を挿入すると約30秒から40秒（5 cm相当の深さ）で最大値を示し、深さとともに減衰し

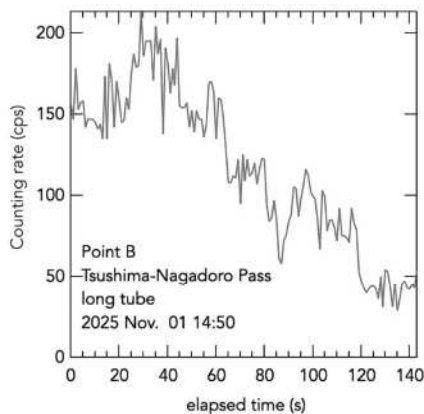


図3 開発した検出器を用いて実測した図

ていることが分かる。これは、イメージングプレート（IP）で測定したものと似ている。

終わりに

あらかじめ当該検出器のcps (counts per second) の値をGe検出器で測定したkBq/kgの値に換算する係数を求めて置けば、その場で濃度の変化が分かる。垂直分布が求まる便利な検出器になるだろう。

謝辞

東邦大学名誉教授 高橋正氏および東京大学RIセンター客員研究員 野川憲夫氏には、多くの協力が得られ、感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 野村貴美, 飯館村長泥地区環境再生事業と中間貯蔵施設の見学会および周辺環境の放射線, FBNews, 555, p.6, 2023.3.1発行
- 2) 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所の研究グループ, 2022年8月2日に, Journal of Environmental Radioactivity誌のオンラインが掲載されている。

公益財団法人原子力安全技術センターからのお知らせ

★講習会について★

講習名/月		6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
放射線取扱主任者定期講習	オンライン講習 (ライブ配信)	○ (使・密)	(使・密) 3 回程度								
	集合講習		(使・密) 2 回程度								
特定放射性同位元素防護管理者定期講習	オンライン講習		eラーニング講習及びライブ配信						4 回程度		
放射線取扱主任者講習 (集合講習)	第1種						○京都	○京都	○京都	○京都	○京都
	第2種						○京都	○東京	○京都	○東京	○東京 ○京都
	第3種					○大阪		○東京	○大阪	○東京	○東京
医療機関の放射線業務従事者のための放射性同位元素等規制法講習会 (オンライン講習 (ライブ配信))		6 / 13			○			○			○
放射線安全管理講習会							○	○			

・最新情報や詳細日程については、当センターのホームページをご確認ください。(○は計画中)

★出版物について★ 出版物のお申込みは、当センターのホームページにて受付しております。

ホームページURL : <https://www.nustec.or.jp/> メールアドレス : kosyu@nustec.or.jp 電話 : 03-3814-5746

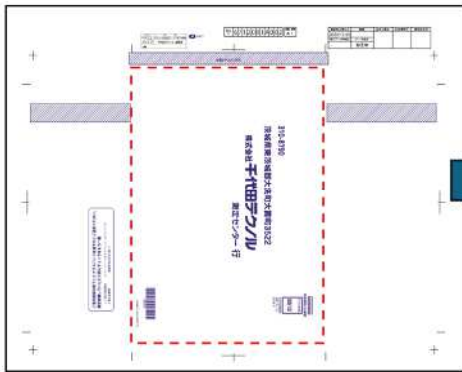


サービス部門からのお願い

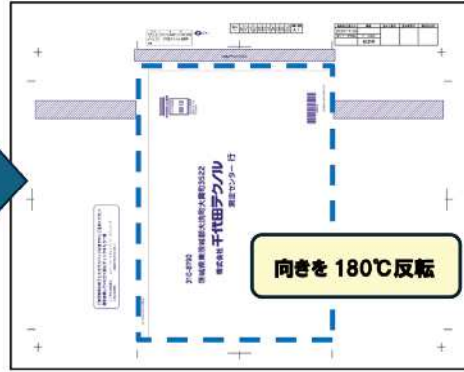
返信用封筒のレイアウト変更について ～線量計の落下防止にご協力ください～

平素より弊社のガラスバッジサービスをご利用くださりまして、誠にありがとうございます。
ご使用後の線量計を入れて投函いただきます返信用封筒につきまして、郵便局での仕分け作業および、測定センターでの開封作業の効率化を図るため、宛名の印字レイアウトを変更いたします。差出有効期間内である封筒の在庫がなくなり次第、順次入替をさせていただきます。変更時期につきましては、**2026年7月使用分**からを予定しております。
ご返却時には、線量計や同封書類の落下を防ぐため、**確実に封がされていることを確認の上**、ご返却いただきますようお願い申し上げます。

〈改善前〉



〈改善後〉変更予定時期：7月使用分より



編集後記

- 梅雨本番。と言っても暦上の話で、よくわかりません。温暖化が進み、南方系の気象が強くなってきましたから。四季のうつろいは、もはやシベリアのものでしょうか、激甚な気象環境に入るのでしょうか。
- 気象は、生活のすべてを支配しています。特に、衣服と食べるものは、完全にそう。ネクタイなど止めて、アロハシャツに短パン。米は、1日1食で、肉、果物・野菜中心。ラーメン、蕎麦、うどんは、贅沢品になるのかも。
- 今月号では、井上一雅先生のベトナムの環境放射線量の話で、都市化の影響が見事に示されています。原水爆実験の影響を気にしていた時代とは異なり、社会の選択の問題かもしれません。
- 医療用サイクロトロン廃止についての当社 遠藤正志社員の報告は、それぞれの機器によって設置場所の放射化が異なるという、当たり前と言えれば当たり前ながら、現実にはきめ細かな対応を迫られるドキュメンタ

- リーとして迫力満点でした。将来的には、孤立（独立）系での使用が標榜されるのでしょうか。
 - 佐々木康人先生のJCO臨界事故の記事は、改めて「被ばく事故を起こしてはならない」ことを訴えられています。めったに起きない事故を、さらに進んで起こしてはならないようにするための措置は、細心の注意以外には思いあたりません。原子力・放射線利用の初期にしか起きていないような事故なので、うまく伝承することは困難ですが、教育の要でもあります。
 - 野村貴美先生が紹介されている「汚染土壌の深さ方向の測定ができるon site放射線検出器の開発」は、実務に役立つ事例として稀な機器の紹介です。
 - 中川恵一先生のコラムは、東京大学安田講堂での「大人のためのがんセミナー」のお話ですが、生きる意味を改めて問われています。
- (青山 伸)

FBNews No.594

発行日／2026年6月1日

発行人／井上任

編集委員／小山重成 小口靖弘 中村尚司 野村貴美 福士政広 青山伸 野島久美恵 藤森昭彦 川端方子
篠崎和佳子 高橋英典 田谷玲子 東元周平 堀口亜由美 松本和樹 丸山百合子 牟田雄一

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／03-3518-5665 FAX／03-3518-5026

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

印刷／株式会社テクノサポートシステム

記事に関するご意見や掲載希望の記事案については、こちらまでお送りください ctc-fbnews@c-technol.co.jp



—禁無断転載— 定価400円(本体364円)