

- トップコラム／名古屋大学大学院工学研究科 教授 井口 哲夫
- 医療診断と放射線／〔シリーズ4〕X線検査における患者さんの被ばく
- New Horizon of Radiation Therapy／〔その3〕HIMAC施設の紹介
- お願い／コントロールバッジについて
- ご案内／個人別年間被ばく線量明細レポート
- ちょっと知っ得／歌舞伎から生まれた言葉

ト
ッ
プ
コ
ラ
ム
175



井口 哲夫

10万年後の安全

「放射線計測」の研究・教育を生業として早や35年。好奇心の赴くまま「〇〇のための計測技術」の〇〇を取っかえ引っかえした研究課題に節操もなく取り組んだ結果、先輩、同僚の先生方からダボハゼ的研究と揶揄されている。ただ、このダボハゼの研究姿勢は、小職の恩師(故 中澤正治・東大教授)の気質を受け継いだもので、「大学教授は10年先が読めないといけない」という教えに従った帰結と勝手に思っている。その中の研究対象の一つとして、20年ほど前よりバックエンド分野の深みに嵌りつつあり、クリアランス、低レベル放射性廃棄物(LLW)の処理・処分、原子力施設の廃止措置、東電福島第一原発の事故処理などの研究／技術開発の評価や規制の在り方の議論等に否応なく関わっている。

さて、前振りが長くなったが、表題の「10万年後の安全」は、フィンランドのオンカロプロジェクトを題材に、2011年に公開された原発事業の弱点、高レベル放射性廃棄物(HLW)処分への警告映画のタイトルである。この映画を彷彿させる悩ましい最近のトピックスとして、LLWの範疇のうち規制基準等が未整備である炉内等廃棄物の「中深度(旧余裕深度)処分」の規制の考え方の議論があり、ここではあくまでも個人的な感想を中心に、その概要を紹介したい。

炉内等廃棄物に含まれる放射性核種は、いわゆる放射能濃度が低い廃棄物の浅地中処分(埋設深さが50m未満で、埋設事業者が事業を終了した時点で廃棄物の放射能が自然界の放射能レベルまで減衰)の対象と大きく変わらないが、半減期が数百年を超える放射性核種の濃度が浅地中処分の廃棄物に比べて数桁高い。その結果、数万年を超え

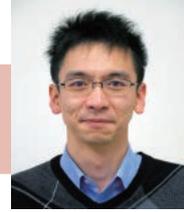
る長期に渡り公衆への影響が生じる可能性があり、いわゆるHLWの地層処分(廃棄物を地下深部に隔離)的な安全性評価や規制基準等を取り込まざるを得ない。ただ、炉内等廃棄物は、HLWに比べると、超長半減期の α 線放射核種を殆ど含まないことや放射能濃度が格段に低いので、埋設する深さを浅地中処分と地層処分の中間(概ね70～300m)にして少し楽をしようというのが「中深度処分」の大雑把な概念である。ここで問題となっているのは、民間の事業者が処分場を数万年も超えて面倒をみるのは無理なので、そのお守り期間を300年くらいを目途に勘弁することにした(途中で事業者がへばらないような仕組みも必要と考えられている)が、それ以降から概ね10万年後くらいまでの安全性をどのように担保すべきかというところで意見が煮詰まっていない。例えば、大地震や火山爆発など滅多に起こらない事象(稀頻度事象)について、10万年程度で影響が消える中深度処分では、処分場の立地をきちんと選ばず考えなくてもよいのではないかと、また、将来の人間が訳も分からず勝手に掘り起こしてしまう危険性(人間侵入事象)について、国がもはや存続せず、無法地帯化あるいは人類の文明が崩壊しているような状況まで心配しなければならないのか等である。これらの検討が必要という考え方は、数千万年先まで影響が消えないHLWの地層処分の安全性評価で、恩恵を受けた現世代の負の遺産を将来世代に残さないというポリシーに則っている。しかしながら、10年先の読みも覚えない身からすると、余りにも遠い将来の不確実性が大きく、その技術進展や文明の進化を見込まない議論に不毛を感じざるを得ない。今から10万年前と言えば、ホモ・サピエンスが徘徊する石器時代なのである。将来世代に迷惑をかけないということは尤もと思うが、現世代より技術的に格段に進化し、利口になった将来世代の知恵を借りるといふ選択肢は十分あり得るのではないかと、例えば2045年に人知を超えと言われて人工知能に聞いてみるなど、10万年後の未来の人類の姿に対し、自分の孫達と遊びながら、やや現実逃避と荒唐無稽な思いに耽っている今日この頃である。

いぐち てつお (名古屋大学大学院工学研究科 教授)

プロフィール●1954年兵庫県生まれ。1979年東大・工・原子力工学専攻博士中退、同大学・原子力工学科助手採用。1985年工学博士学位取得。研究テーマは核融合中性子工学。1988年JET(欧州共同トーラス研究機構)国際共同研究参画後、助教授昇任。1996年名古屋大学・教授へ昇任。核融合中性子計測やレーザー分光を用いた放射線計測等を学術的研究・教育の売りにしつつ、バックエンドや原子力防災等の放射線工学的なコンサルティング業務に従事。

医療診断と放射線

【シリーズ4】 X線検査における患者さんの被ばく



徳島大学大学院 医歯薬学研究部 助教 林 裕晃

今月は、X線検査における患者さんの被ばくに着目します。病院で検診を受けるとき、誰しも“どんな小さな病変も見逃さないでほしい”と願うはずです。その反面、被ばくが頭をよぎり、“被ばくを伴うX線検査は避けたい”という思いもあると想像します。

診断をするためには、画質の高い医用画像が必要です。図1は、適切な画像(右図)と不適切な画像(左図)の比較です。横軸はX線量で、縦軸は画質です。2枚の画像の違いから、診断に適した良い画像(右図)を得るためには、相応のX線量が必要であり、すなわち、ある程度の被ばくは覚悟しなければならないことが分かります。仮に、被ばくを避けるあまり、非常に低線量でX線写真を撮ったとしても(左図)、結局のところ診断ができないので、無駄な被ばくにしかありません。このように、医療現場では診断に適した画質を担保できるように、X線の照射線量(被ばく量)を

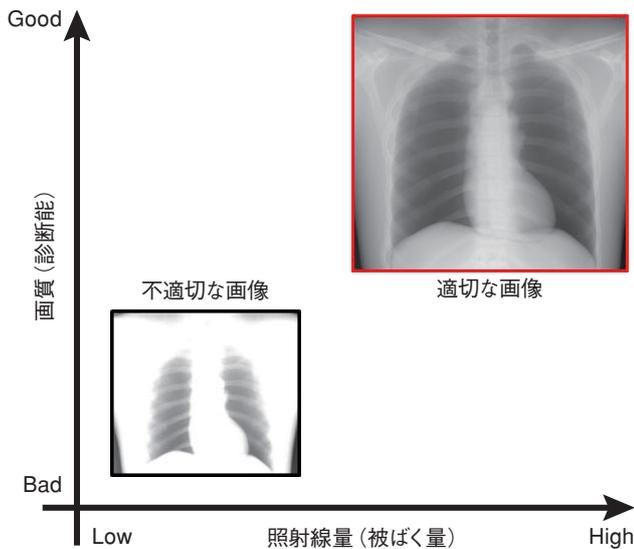


図1 X線量と画質の関係

決めています。X線検査において、被ばくを伴うことはデメリットになりますが、人体の内部を透視し適切な診断ができることのメリットは非常に大きいと思います。患者さん1人1人がこれらのメリット・デメリットを理解して、検査を受けていただけることが理想ですね。

被ばくについてもう少し詳しく説明しましょう。図2は胸部X線撮影の模式図で、患者さんとX線の関係に着目します。X線が患者さんの人体の原子と相互作用(光電効果、コンプトン散乱)をすると、X線のエネルギーが電子に伝わり、エネルギーを持った電子が他の原子を励起するという現象が起こります。このとき、患者さんの被ばく量は吸収

線量(=J/kg=Gy:人体に吸収された全エネルギーを単位質量あたりに換算した量)という物理量で表すことができます。胸部X線撮影における皮膚表面の吸収線量は約 0.2×10^{-3} Gyです。この値は、自然放射線による1年間の被ばく量の約1/10です。本稿は物理学的な観点で説明をしていますが、実際の被ばくはもっと複雑で、化学的および生物学的な視点でも考える必要があります。紙面の関係上、深く解説することはできませんが、皆さんが年1回受診している胸部X線撮影での被ばくが非常に少ないことはご理解いただけたと思います。

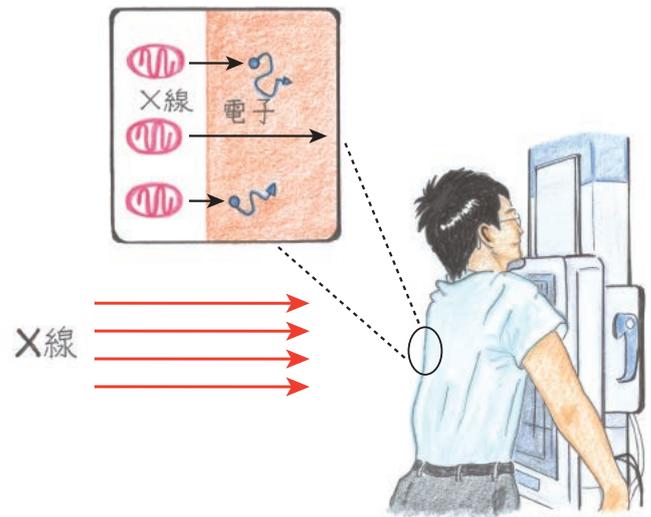


図2 入射X線と相互作用した電子

診断に適したX線写真を撮るためには患者さんの協力も重要です。具体的には、診療放射線技師がセットアップした体位(ポジショニング)を撮影が終わるまで保持するという事です。X線の照射中に患者さんが動いてしまうと、ブレたX線写真となり、診断ができません。この場合は再撮影が必要で、単純に考えて、被ばく量は2倍になってしまいます。もちろん、できるだけブレないように撮影条件が設定されており、例えば、胸部X線撮影の場合は、呼吸によるブレも抑えるために息を吸った状態で呼吸を止めて、0.05秒以下という非常に短い時間にのみX線を照射しています。

このように、患者さんの被ばく量に最も寄与するのはX線撮影装置の設定ですが、適切な診断を行える良い医用画像を得るためには患者さんの協力も深く関係しています。NLだよりの読者である多職種の方々がチーム医療として連携して、患者さんが気持ちよくX線撮影に臨めるような環境を整えていただきたいと思います。私は、最高の医療が受けられる日本という国を誇りに思っています。

New Horizon of Radiation Therapy

〔その3〕 HIMAC施設の紹介



国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所 加速器工学部 丹正 亮平

5月号および6月号では放射線治療、特に重粒子線を使った治療の基礎を紹介してきました。今号は、国内初の重粒子線治療施設であるHIMAC（ハイマック）を例に治療装置の実際を紹介しします。

HIMACという名称は、Heavy Ion Medical Accelerator in Chibaを略したもので、重粒子線を使ったがん治療を主目的とした加速器として、千葉県に所在する放射線医学総合研究所（放医研）に建設されました。HIMACの全体図を以下に示します。HIMACは主にイオン源、線形加速器、シンクロトロン、高エネルギービーム輸送ライン、そして治療室で構成されています。

まずイオン源は、患者さんに照射する重粒子を生成するための装置です。具体的に重粒子とは炭素イオンのことで、イオン源は内封された炭素原子をイオン化し、治療で使う炭素イオンを作り出します。イオン源で生成された重粒子（炭素イオン）を患者さんの体内のがんへ照射し、十分な線量を与えるには、加速器を使って重粒子を加速させ、十分なエネルギーを与える必要があります。そのため、重粒子はまず線形加速器を使って6MeV/uまで加速されます。しかし、線形加速器で与えられるエネルギーは治療に必要なエネルギーに対して全く十分ではなく、主には次のシンクロトロンで加速されます。シンクロトロンは図に示すような円形の加速器で、線形加速器から入射した重粒子線はシンクロトロンを周回します。シンクロトロンの途中には重粒子線を加速するための高周波加速空洞が設置されており、重粒子線はシンクロトロン内を周回するごとに、この加速装置によって徐々に加速されていきます。治療においては最大で430MeV/uまで炭素イオン線を加速し、これによって体表面から約30cm深にあるがんに対しても十分な線量を与えることができます。

放医研では周長約130mのシンクロトロンを2台有しています。炭素イオン線を使った重粒子線治療を行うという目的から見ると放医研のシンクロトロンは十分すぎる大きさですが、これは治療以外の研究目的の利用において、炭素イオンよりも更に重い粒子を加速するためです。治療のみを目的とした病

院設置型の重粒子線治療装置においては、周長60m程度のシンクロトロンが使われており、治療施設普及に向けたシンクロトロンの小型化は現在も研究が進められている重要な課題です。

シンクロトロンで十分に加速された重粒子線は、高エネルギービーム輸送ラインを通して各治療室へ提供されます。現在放医研ではHIMACが設置されている重粒子線棟で3室、隣接する新治療研究棟で2室の治療室が稼働しています。前の3室は放医研で治療が開始された1994年から使用されており、新治療研究棟での治療は2011年から新たに始まりました。重粒子線棟と新治療研究棟の治療室では線量分布の形成法に違いがあります。6月号でも紹介しましたが、重粒子線棟の治療装置は、加速器から輸送された細いビームを電磁石や散乱体を使って拡大させた後に、患者さん固有のがんの形に合わせてビームを整形します（拡大ビーム法）。一方で新治療研究棟の治療装置は、細いビームを拡大させることなく、電磁石を使って走査し、がんを塗りつぶすように照射します（スキャンニング法）。

更に新治療研究棟では現在もう1室の治療室の整備が進められています。こ

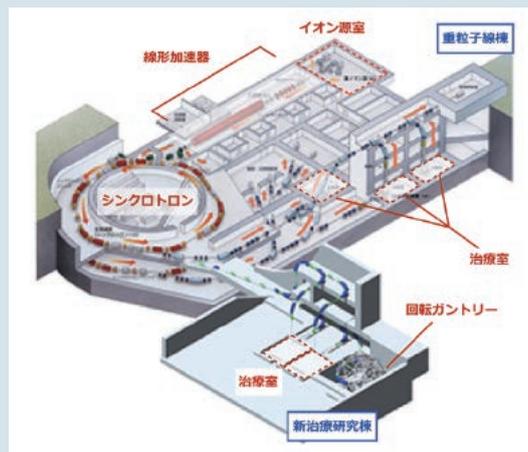


図 HIMACの全体図

の新しい治療室では回転ガントリー照射装置という装置が新たに設置されました。既存の5室では患者さんに対して2つの方向からしか重粒子線を照射できませんでしたが、回転ガントリー照射装置を使うことで360度任意の角度から照射することができます。照射方向の自由度が増えることで、がんに対してより集中性の高い線量分布が設計可能で、患者さんへの負担も減るものと期待されます。

HIMACでは、治療が開始された1994年から現在に至るまで、20年以上に渡って約1万人の患者さんが治療を受けられました。その成果をもとに重粒子線治療施設の普及が進み、現在では国内で5つの施設が稼働しています。重粒子線治療施設は世界でも8施設しか稼働しておらず、この技術で日本は世界を圧倒的にリードしています。今後は国内のみならず、世界的にHIMACでの成果が普及することが期待されます。

