



Association for Nuclear Technology in Medicine

# 医用原子力だより

第21号



## コロナ禍が炙り出したわが国の課題

(公財) 医用原子力技術研究振興財団 理事長

(公財) 日本対がん協会 会長

垣添 忠生

新型コロナウイルスを含め、これまで人類が遭遇してきたペスト、重症急性呼吸器症候群 (SARS)、中東呼吸器症候群 (MERS)、エイズ、エボラ出血熱など、多くの感染症は動物から人に広がったと考えられている。人類の生活圏が広がったことも一因だろう。今後も人類は未知の新しい感染症に襲われることを覚悟しなければならない。そこで今回の経験から、正、負両面に学び、次の感染症事態に対処するべく、周到的な準備をしておく必要がある。

まず今回の事態で反省すべきは、感染症の専門家集団と政治の関係がスッキリと整理されておらず、記録も曖昧だったこと。とりわけ、わが国には感染症に対処する国の司令塔に相当する専門組織が確立されていなかったことである。感染症対策は国防にも匹敵する重大事であり、国民に様々な面で強烈な影響を与える。揺るぎない司令塔体制を作り、その予算や人員は容易に削減されないようにするべきだ。

コロナ禍に比較的上手に対処してきた台湾や韓国は、過去のSARS エピデミックに対応できなかった反省から、強固な国家組織を作っている。今回は、それが見事に生かされた。

次に浮き彫りになった課題は格差である。コロナはわが国の経済的弱者を直撃した。株価は高止まりする一方で、フリーランス、非正規雇用者、学生等は職やアルバイトを失い困窮した。また、経済的基盤の弱い中小企業や、人々が外で活動しなくなった煽りを受けて、飲食業、観光業、交通業など社会のあらゆる部分に甚大な経済的ダメージが及んだ。もちろん、政府の緊急的財政措置はとられているが、迅速性に欠け、困窮者を網羅していない。

緊急事態宣言が発せられると、可能な人々は在宅勤務、テレワークに移行した。それが難しい中小企業や、いわゆるエッセンシャル・ワーカーは感染の危険を顧みずに働かざるを得ない。感染症は医療だけでなく、社会全体で拡大を防ぎ、対処していくものである。強靱な社会を作るには、格差の是正が欠かせない。

また、テレワークの進展は日本の大都会における平均的家屋の狭隘さから、働く場所の確保、共働きなら男女で働く環境に差が生ずるといった、新しい男女格差も炙り出した。

かねて指摘されていたわが国のデジタル化の遅れも顕わになった。ネットによる給付金手続き

の混乱や、印鑑を押すための出社、PCR 検査報告のアナログな仕組みなど、低次元のトラブルの続出に驚いた人も多いだろう。

教育格差も大きい。学校一斉休暇により、オンライン授業が取り入れられたが、個々の家庭の ICT 環境の違いが教育内容の差に繋がりがねない。小中高校は仲間と触れ合うリアルな授業に移行しつつあるが、大学生は今もオンライン講義が中心だ。講義内容の深化や方法論の確立など、この際、本質的な取り組みがなされるべきだろう。世界的には、MOOC (Massive Open Online Course) によって、インターネット上で誰でも無料で高度の教育を受けることができる時代なのだから。

新型コロナウイルスの蔓延は、高齢で合併症がある健康弱者にも甚大な影響を与えた。がん患者も然りで、特に抗がん剤、放射線治療中の患者は、免疫機能の低下による感染のリスクに怯えた。また、感染のリスクを恐れてがん検診の受診者が激減した。がんの発見が遅れ、進行の速いがんでは生命を落とす患者の出現が想定されている。わが国のがんによる死者は年間 38 万人 (1 日あたり 1040 人) で、コロナによる累計 1500 人余とは比較にならない。

さらに、医療機関はコロナ感染者の受け入れと院内感染症増加の危惧から、手術、外来、入院などの診療制限が進められた。結果として、コロナに対応した病院ほど経営が悪化した。十分に救済されるべきである。また、命がけでコロナ患者の治療に尽力した医療従事者やその家族が、社会の誤解や無理解から差別を受けている事態は看過できない。

感染者に対する匿名の誹謗や中傷、営業を続ける飲食店などに対する自粛警察、コロナ狩りなどといわれる過度の同調圧力も、世の中に暗い影を落としている。

これらの課題を解決していけば、 コロナが改革の端緒となることは間違いなからう。

テレワークの普及で、在宅時間が延びて家族団らんとか子どもとの交流、夫婦の語りなど、本来の家庭生活が取り戻された。これがさらに進めば、自然豊かな地方に住み、時々都会の事務所に向く働き方が定着するかも知れない。それは東京一極集中を是正し、都会が暮らしやすくなる機会ともなろう。パラダイム・シフトの一環とすべきである。

我々はもう少し、他者に対して寛容に生きられないものか? といった根源的な問いも炙り出されてくる。社会の男女格差、性的マイノリティー、障害者に対する差別、大企業における尖った人材に対する抑圧…。これらを乗り越えていければ、日本社会が一步も二歩もダイバーシティーの実現に近づくはずだ。

未知のウィルスは、人類に多くの気付きをもたらした。この経験をうまく生かせば、将来のこの国をもっと住みやすく、豊かな国にできる様に思う。それこそが、アフターコロナ、あるいはウィズコロナの、本当の意味での「新しい生活様式」なのである。

### ◆国際重粒子線がん治療研修コース 2020

当財団は、2020年11月16日から11月29日(JST:日本標準時)まで2週間の日程で International Training Course on Carbon-ion Radiotherapy (国際重粒子線がん治療研修コース、以下、「ITCCIR」という) 2020を開催しました。今年度は、コロナ禍の影響で研修会場での通常実施から Web オンライン開催に変更して実施することになりました。参加料金は、Web オンライン開催ということもあり、1名1万円という参加し易い金額に設定しました。

開催にあたり、住友重機械工業(株)、東芝エネルギーシステムズ(株)、(株)日立製作所、レーザーチ・ジャパン(株)、(株)ビードットメディカルの5社から協賛をいただきました。

ITCCIRは、粒子線治療を行う施設、および建設中・計画中の施設の医師・医学物理士・放射線技師・生物研究者等を対象にした国際的な重粒子線がん治療に関する研修コースであります。

ITCCIRは、当財団をはじめ神奈川県立がんセンター、九州国際重粒子線がん治療センター、群馬大学重粒子線医学研究センター、筑波大学陽子線医学利用研究センター、兵庫県立粒子線医療センター、量子科学技術研究開発機構(以下、量研機構という)、大阪重粒子線センターが共同主催者となり、粒子線がん治療の先進国である我が国の国際貢献の一端を担うことを目的として開催され、当財団は毎年事務局を担っています。

今年度で第8回目になるITCCIRは、Web オンライン開催ですが、韓国、中国、台湾、タイ、インド、ロシア、イタリア、ギリシャ、ドイツ、米国、日本の11カ国・地域、25の研究機関・施設から総勢118名が参加することになりました。

これにより2012年から2020年までの参加者の累計では、472名に達しました。これを国別で見ると、韓国、中国、台湾、タイ、インド、ニュージーランド、マレーシア、ロシア、アラブ首長国連邦、サウジアラビア、オーストリア、ギリシャ、ノルウェー、スウェーデン、フランス、イタリア、スペイン、ドイツ、オランダ、米国、そして日本の21カ国・地

域にわたります。参加者は、粒子線施設建設中、粒子線施設計画・検討中を問わず参加しています。

今年度の研修は、量研機構、群馬大学および関係協力機関の講師による対面講義ではなく、参加者がITCCIRのトレーニングWebサイトにアクセスし、動画ストーリーミング配信による講義を視聴、パワーポイントベースの講義を閲覧するオンデマンド講義でした。講義を視聴、閲覧するためには、参加者は予めITCCIRのホームページから参加登録をして、トレーニングを受けるためのIDとパスワードを取得する必要があります。

トレーニングプログラムは、イントロダクション、生物、物理、臨床、トピックス、ベンダープレゼンテーションおよび粒子線施設紹介(日本)の7カテゴリーに分かれ、参加者はインターネットに接続し、ITCCIRのWebサイトにアクセスすれば、興味のある講義をいつでも、どこからでも、何回でも視聴、閲覧することができます。

トレーニングプログラムは、より現場で行われている内容に近づけ、単に重粒子線だけでなく陽子線や他の治療方法と比較や粒子線施設の立上げ時の課題等も加えるなど参加者が知りたい内容で構成しました。また、ドイツGSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung、米国UT Southwesternの外国人講師による動画による専門的な講義がオンデマンドで視聴できるのも今年度のプログラムの特徴でした。

参加者は、ITCCIRのトレーニングWebサイトにアクセスし講義を視聴、閲覧の後、講義の評価を5段階(Excellent、Very good、Good、Average、Poor)から選択することができ、講義をプログラムメニューの中からカテゴリーに関係なく10講義以上を視聴、閲覧し、トレーニングコース全体の評価をすると参加証明書を申請することができます。申請者には後日、事務局から参加者証明書が送付されます。

11月16日、ITCCIRのトレーニングWebサイトをオープンしました。研修初日、何人がトレーニングWebサイトにアクセスしてくるか心配してい

ましたが、アクセスログを見てみると、ログイン数 270、パワーポイントベースの講義の閲覧数 592、動画による講義の視聴数 512 と多くの参加者がアクセスし、参加者数 117 名が 2 回以上閲覧、視聴したことになります。講義の評価数も 52 となり初日には上出来であったと感じました。

その後、11 月 17 日、18 日とログイン数、パワーポイントベースの講義の閲覧数、動画による講義の視聴数とも大きく伸び、1,000 を超える閲覧数がありました。11 月 19 日から最終日となる 29 日までは、日々のログイン数は 50、講義の閲覧、動画の視聴も 100 を超える結果となりました。

11 月 29 日、2 週間にわたる研修を終えトレーニング Web サイトをクローズすることになりました

が、ログイン数 1,038、講義の閲覧数 4,140、動画視聴数 2,185、講義を評価した数 875 となりました。この結果は、参加者 118 名が 2 週間で 8 回以上トレーニングにログインし、イントロダクション、生物、物理、臨床、トピックス、バンダープレゼンテーション、粒子線施設紹介を含む講義を 50 回以上計算上見たことになります。また、参加者は、専門分野により 50 におよぶプログラムメニューの中から物理、生物、臨床等を選択して講義を閲覧、視聴することになりますが、全ての講義を計算上 1 回以上はみていたということになります。

今年度の研修は、Web オンライン開催という初めての試みでありましたが、今後の展開へ向けた大きな節目となる研修となりました。



ITCCIR 2020 HP



トレーニングメニュー



動画 Welcome message



Dr. Marco Durante 動画講義

## ◆「令和2年度粒子線がん治療等に関する施設研究会」第1回研究会（オンライン講演会）

「令和2年度第1回施設研究会」は、令和2年10月13日（火）オンライン講演会として開催し、建設、設計、メーカー等から54名の参加がありました。

遠藤真広 主査 から挨拶があった後、はじめに国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 量子医学・医療部門 放射線医学総合研究所 物理工学部 部長 白井敏之 氏より「次世代重粒子線治療装置『量子メス』の開発」について、次に国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 量子医学・医療部門 放射線医学総合研究所 分子イメージング診断治療研究部 部長 東 達也 氏より「標的アイソトープ治療研究開発の現状と展開」について、それぞれ講演がありました。

### I. 次世代重粒子線治療装置「量子メス」の開発

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構  
量子医学・医療部門 放射線医学総合研究所  
物理工学部  
部長 白井敏之

#### QST 病院における炭素線がん治療

量子科学技術研究開発機構（以下、量研機構）のQST 病院では、年間約800人の患者さんに炭素線治療を行っており、保険収載の流れを受けて、内約6割を保険診療（約3割先進医療）で行っています。一方、研究病院として積極的に臨床試験も実施しています。そのような中で炭素線治療は、①他の治療法では治療が困難ながんに有効、②一般的ながんに対しては、短期間・少ない有害事象で治療を実施することができる、ということがわかってきました。装置面においても、近年の技術進歩は著しく、様々な装置が開発されました。3次元スキヤニング照射装置の開発は、複雑な形状の腫瘍にも正確に照射可能とし、強度変調型炭素線治療も可能にしました。高速3次元スキヤニング照射装置の開発では、一度の呼気時に一断面を重ね塗りすることで、肺・肝臓・すい臓の治療を可能にしました。また、3次元スキヤニング照射装置とX線透視を用いた呼吸同期装置

を搭載した小型炭素線回転ガントリーが開発され、360度どの角度からも腫瘍を正確に照射することが可能になりました。また、IGRTの実装も進みつつあります。

#### 次世代（第4世代）治療装置

陽子線治療装置の開発製造の例では、以前は大型治療施設の製造が中心であったものが、近年ではシングルガントリーの小型施設が多く作られるようになり、将来的には治療室に入るような小型装置の開発が進められています。炭素線治療装置においても、既存の施設は全て治療室を3～4室備えた大型施設ですが、炭素線治療の普及が進み、より保険収載が進めば、小型治療施設のニーズが出てくるでしょう。

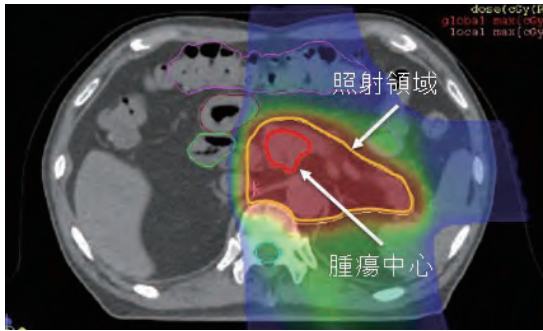
炭素線は陽子線に比べて3倍の運動量があるので3倍の装置サイズが必要となり、治療施設の大型化、建設コストの高騰は避けられないといったデメリットがあります。一方で炭素線の持つ高線量集中性、高生物効果で、現在の照射分割回数は陽子線治療の1/2～1/3程度で収まり、1装置当たりの治療可能患者数は比較的多いといったメリットがあります。大規模病院を除き、一般病院ではシングルガントリー、1治療室の小型施設が向いていると考えています。

量研機構では、2017年より次世代小型高性能重粒子線がん治療装置「量子メス」の開発に着手し、シンクロトロン・回転ガントリーの更なる小型化やLET制御治療（マルチイオン治療）の臨床に向けた研究開発を進めています。

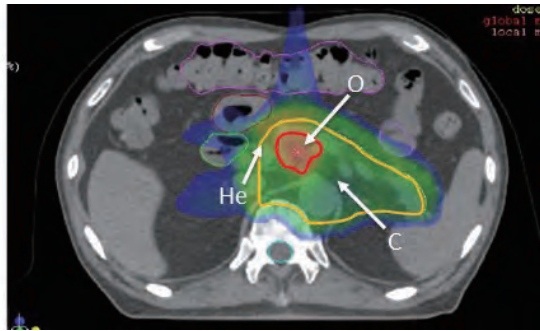
シンクロトロンの小型化には①430MeV/u(3.5T)まで5秒で加速する液体ヘリウムを使用しない医療用超伝導電磁石の開発、②直線部分の短縮化、③高線量率の保持、が大きな課題でした。ビーム光学設計と並行し、超伝導電磁石の開発として磁場設計、超低交流損失超伝導線の開発、構造設計、製作技術の開発を行い、試作製造は今年度終了する予定です。現在4台の90度の超伝導磁石を用いて直径7m、周長28mとなる装置の設計を進めています。

回転ガントリーの小型化には、超伝導技術が用いられています。超伝導状態（<4K）では電気抵抗が消失するため、大電流をロスなく流すことが可能となり、通常の電磁石（1.5T）より、大幅に磁場を

膵臓がん、ヘリウム、炭素、酸素を照射した場合の線量分布



膵臓がん、ヘリウム、炭素、酸素を照射した場合の生物効果 (LET) 分布



T.Inaniwa et al., Physics in Medicine and Biology, 62, p.5180 [2017].

高くすることができます。その結果、治療装置で使われる電磁石の小型化が可能となります。

次世代の炭素線治療装置は、(技術が確立した) 既存の入射器 + (新たに開発した) 超伝導シンクロトロン + (メーカーが供給している) 超伝導回転ガントリーを組み合わせることで、照射装置を含め 35m × 30m、1,000㎡で構成できると考えています。

治療の短期化・高度化に向けた研究開発では、少ない治療室数で多くの患者さんを治療する事が必須アイテムなため力を入れてきました。

放射線治療では、局所制御の向上、治療の短期化のために、1回の照射線量増加が求められます。しかし、それに伴う正常組織線量の増加、副作用の増加が起こるため、IGRT や IMPT 等の照射技術を用いて正常組織線量の低減を図っています。量子メスは、線量を上げるのではなく一定に保ち、1回の照射の生物効果を増加させるというアプローチを考えています。この場合、正常組織線量は一定に保たれるため、副作用は増えにくく、一方で生物効果の向上により、より難治性の低酸素の領域に対する治療効果の向上が期待できます。これに加えて IGRT や IMPT を併用し、さらに正常組織への線量を低減して、制御の向上および治療の短期化の両立を目指しています。

生物効果が高いということは電離密度 (以下 LET) が高いことを表しており X 線、陽子線に比べ高い LET を持つ炭素線は DNA に複雑な切断を与えるがために、低酸素状態の腫瘍に対しても効果的に作用し、高い生物効果が得られます。炭素線は他より低い線量で同じ効果を期待できるということです。

LET 向上が期待できる機能に LET ペインティン

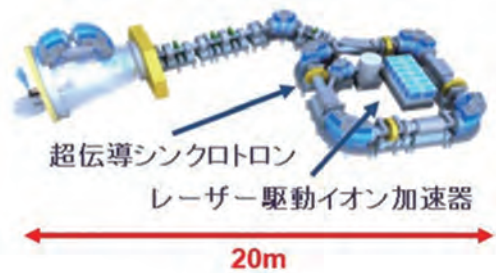
グ (N.Bassler による) があります。量研機構では、この機能を利用して炭素線治療の研究を重ねた結果、有益な結果が得られました。既存の炭素線装置でも利用可能であるため、臨床試験を計画しています。LET ペインティングを更に進めて、イオンをミックスさせて (腫瘍の中心部: 炭素よりも生物効果の高い酸素、腫瘍中心の周辺・浸潤領域: 従来の実績のある炭素、正常組織近傍: 副作用低減のために炭素より生物効果の低いヘリウム) LET 分布を作れば、低酸素特異的に効果を発揮できるのではないかと考えています。複数のイオンを利用したマルチイオン照射は、各施設が所有しているスキャニング装置を利用することで実現可能になることが大きな特徴です。

量研機構では、治療室において、4 イオンビーム (He, C, O, Ne) を用いた細胞照射を実施し、マルチイオン治療計画装置が、細胞の生残率を予測できることを確認しました。2020 年度中に HIMAC マルチイオン対応が完了し 2021 年度からの臨床試験開始を予定しています。

### 次々世代 (第 5 世代) 治療装置

さらに次々世代には in-room シングルガントリーの治療施設が、既存の治療室 2 室分 (1 室に入射機とシンクロトロン、1 室に回転ガントリー治療室) のスペースで建設可能になると考えています。そのためには、①レーザー駆動イオン加速技術による入射器の小型化、②回転ガントリーの更なる小型化、③治療短期化の臨床研究による治療室数の削減、が必要です。

## 量子メス



注：レーザー駆動イオン加速技術の原理

1. 標的薄膜（最大でも数 $\mu\text{m}$ ）に対して高強度レーザーを照射すると高エネルギー電子（MeV級）が加速される。
2. 裏面へ飛び出した高速電子が標的中のイオンとの間で分極電場を生成する。
3. 分極電場がレーザー駆動イオンを加速する。

レーザー駆動イオン加速技術により、放電限界を超えて桁違いに大きな加速電場が発生します。この技術の基となったのは量研機構の超高強度ペタワットレーザー J-KAREN を用いて行われてきた実験で、入射器に必要とされる  $4\text{MeV/u}$  の炭素線を、1回あたり、 $10^8$  個以上加速できています。量研機構では、この実績をもとに、他研究所と共同でレーザー加速技術の開発を進めており、現在、実証機を構築し、 $10\text{Hz}$  でレーザーを標的に照射して加速する試験を進めています。

回転ガントリーの更なる小型化については、既存の病院施設ではフロア高さの制限があるため、回転ガントリー半径の縮小化が重要です。そのため、偏向電磁石の小型化（高磁場化）では不十分で、照射ポートの短尺化が不可欠です。量研機構では、他機関と共同で高温超伝導磁石を開発し高磁場化（ $6\text{T}$ ）を進めるとともに、超伝導スキャンニング磁石による照射ポートの短尺化の基礎研究を進めています。

臨床面では、量子メスと標的アイソトープ治療を含めた薬剤との併用や、免疫制御治療との併用も選択肢に加えることで、より良い治療が実現すると考えています。現在ガンマナイフ等で治療している良性腫瘍や血管性疾患、カテーテルアブレーション等で治療している心室、心房細動不整脈等の非がん疾

患も、量子メスでの治療が可能となるよう、適応疾患の拡大についても研究開発を進めています。

## II. 標的アイソトープ治療研究開発の現状と展開

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

量子医学・医療部門 放射線医学総合研究所

分子イメージング診断治療研究部

部長 東 達也

標的アイソトープ治療（以下 TRT）とは、分子標的を利用して、細胞障害性の高い放射性核種を、がんの特異的に集積させ、がん細胞を消失させる治療法です。1. 投与した薬剤が血液に乗って運ばれ、標的まで到達する。→ 2. 標的細胞に取り込まれる。→ 3. 中で放射線を出す。すなわち、薬剤であるとともに放射線治療であるというのが特徴です。これと同じ原理を利用して、放射性核種を分子標的によりがんの特異的に集積させ、それを光らせることでがんが明瞭になり、診断をする、がんの分子イメージングがあります。個々の患者の病変の位置やその性質を診断し（代謝診断）、それに適した治療かどうか（治療適格性）を判定し、治療を行う「診断と治療の融合（Thera (g) nostics）」が世界的潮流となっており、今後のがん診療の主流となると考えられます。

1. ヨウ化ナトリウム ( $^{131}\text{I}$ ) カプセル「ヨウ化ナトリウムカプセル 30 号」
  - ・ 効能効果：バセドウ病、分化型甲状腺癌の転移巣、甲状腺全摘術後の残存甲状腺破壊（アブレーション）治療。
  - ・ 1942 年から使われている最古の、かつ今でも使われている TRT 治療薬。
  - ・  $^{131}\text{I}$   $\gamma$  線で診断し、 $^{131}\text{I}$   $\beta$  線で治療する。診断、治療の両方に使用。
  - ・  $\gamma$  線が放出されるため入院が必要で、治療ベッド数不足が問題視されていたが、近年では外来治療へ一部シフトし、やや回復傾向にある。
2. 「ゼヴァリン インジウム ( $^{111}\text{In}$ ) 静注用セット」および「ゼヴァリン イットリウム ( $^{90}\text{Y}$ ) 静注用セット」
  - ・ 効能効果：CD20 陽性の再発または難治

<国内で承認されている TRT 製剤 (2020 年 4 月現在) >

	名称 (一般名)	核種	薬効分類名	国内現況
1	ヨウ化ナトリウム ( $^{131}\text{I}$ )	$\beta$ 線	甲状腺疾患治療薬	保険適応: 1960 年
2	ゼヴァリン インジウム ( $^{111}\text{In}$ ) ゼヴァリン イットリウム ( $^{90}\text{Y}$ )	$\beta$ 線	放射標識抗 CD20 モノクローナル抗体	保険適応: 2006 年
3	塩化ストロンチウム ( $^{89}\text{Sr}$ )	$\beta$ 線	骨転移疼痛緩和薬	保険適応: 2007 年 販売中止: 2019 年
4	MIBG ( $^{131}\text{I}$ )	$\beta$ 線		第 II 相企業治験中
5	塩化ラジウム ( $^{223}\text{Ra}$ )	$\alpha$ 線	抗悪性腫瘍薬	保険適応: 2016 年

性の低悪性度 B 細胞性非ホジキンリンパ腫、マントル細胞性リンパ腫

- ・インジウム ( $^{111}\text{In}$ ) で診断し、イットリウム ( $^{90}\text{Y}$ ) で治療する。
- ・抗体にキレート剤 ( $^{90}\text{Y}$  とイブリツモマブを統合する役割を持つ) を介し  $^{90}\text{Y}$  が付き  $\beta$  線を放出する。抗体を利用した新世代治療薬。
- ・マウス型モノクローナル抗体のため、2 回目に過敏反応が起こりえるとして生涯 1 度きりの使用として承認されている。普及は進んでいない。

3. 塩化ストロンチウム ( $^{89}\text{Sr}$ ) 注射液「メタストロン注」

- ・効能効果: 骨転移部位の疼痛緩和
- ・最古の、かつ今でも使われている TRT 治療薬。
- ・骨シンチで診断して塩化ストロンチウム ( $^{89}\text{Sr}$ ) で治療する。
- ・カルシウムの同族体で痛む骨だけに集中して集積する。同部で  $\beta$  線を放出し、疼痛を緩和する。腫瘍細胞そのものに  $^{89}\text{Sr}$  がくっつくわけではないので、直接の抗腫瘍効果はない。
- ・2007 年に国内承認されたが、2019 年に販売中止となった。

4. MIBG

- ・効能効果: 神経内分泌腫瘍に対する  $^{131}\text{I}$ -MIBG 治療
- ・現況、個人輸入製剤で国内自給は出来ていないが、早期の国内承認が期待されている。

5. 塩化ラジウム ( $^{223}\text{Ra}$ ) 注射液「ゾーフィゴ静注」

初めての  $\alpha$  線放出 RI 内用療法薬です。国内では 2016 年に承認され、2017 年には飛躍的に治療数が

増えました。現在は骨転移のある去勢抵抗性前立腺癌のみ対象となっていますが、今後は他のがん種でも適用となる可能性があり、更なる普及拡大が期待されます。

- ・効能効果: 骨転移のある去勢抵抗性前立腺癌
- ・塩化ストロンチウム ( $^{89}\text{Sr}$ ) の効能が疼痛緩和のみであったのに対し、塩化ラジウム ( $^{223}\text{Ra}$ ) は予後の改善が認められる点が有用である。
- ・初めての  $\alpha$  線放出 RI 内用療法薬。
- ・骨シンチで集積する部位に集積し、同部で  $\alpha$  線を放出する。

- ・ $\alpha$  線は遮蔽が容易で治療病室不要。入院不要。

注:  $\alpha$  線を用いた TRT の特徴

- ・ $\alpha$  線は He 原子核そのもの。通常の外照射、TRT ( $\beta$  線) の電子の 7,200 倍重く、飛程が短い。
- ・がん細胞の DNA を強力に切断 (DNA 二本鎖切断) し、修復されにくい。
- ・ $\alpha$  線の飛程はがん細胞数個分。周囲の正常臓器への放射線障害が最小限。

新たな TRT 治療薬 (国内未承認)

1.  $^{177}\text{Lu}$ -PSMA-617

- ・対象疾患: 去勢抵抗性前立腺がん
- ・対象群: 緩和治療群
- ・ガリウムを使用した  $^{68}\text{Ga}$  標識 PSMA-11 による PET でイメージングし、 $\beta$  核種ルテチウム  $^{177}\text{Lu}$  標識 PSMA-617 で治療を行う。
- ・ $^{68}\text{Ga}$  を使用するため、国内導入を困難にしている (後述)。
- ・2021 年米国 Phase III 終了予定。国内治験準備中。早期の海外承認、国内での治験開始が期待されている。



注：PSMA（Prostate-specific membrane antigen）前立腺特異的膜抗原

- ・ 750 のアミノ酸からなる II 型膜糖タンパク。
- ・ 正常前立腺上皮、前立腺癌上皮や非前立腺組織の一部に発現。
- ・ 前立腺癌において、腫瘍の進展と相関。
- ・ ホルモン療法抵抗性および転移性癌で高いレベルで発現。
- ・ PSMA を標的とした免疫治療や抗体治療の研究では、前立腺癌に対する診断・治療の標的として注目されている。

## 2. <sup>225</sup>Ac-PSMA-617

- ・ PSMA 標的 α 線核種を使用した製剤の登場。
- ・ 対象疾患：去勢抵抗性転移性前立腺がん
- ・ 国内、海外未承認製剤
- ・ ガリウムを使用した <sup>68</sup>Ga 標識 PSMA-11 による PET でイメージングし、α 核種アクチニウム <sup>225</sup>Ac 標識 PSMA-617 で治療を行う。
- ・ <sup>68</sup>Ga を使用するため、国内導入を困難にしている（後述）。
- ・ 2016 年、ドイツのハイデルベルク大学からの報告では、去勢抵抗性転移性前立腺癌治療で、かなり進行した前立腺癌が完全奏功 CR（PSA 陰性）を示している。
- ・ 重篤な副作用が少なく、基本的に安全な治療なので世界的な開発競争となっている。

## 3. PRRT: ルテチウムドータオクトレオテート <sup>177</sup>Lu-DOTATATE

- ・ <sup>177</sup>Lu の国内導入
- ・ 対象疾患：神経内分泌腫瘍：PNET, 消化管 NET, 肺の NET などの希少疾患
- ・ <sup>111</sup>In や <sup>68</sup>Ga ソマトスタチン受容体イメージングで診断し、<sup>177</sup>Lu で治療を行う。
- ・ β 線・γ 線放出核種のため、入院が必要であるが、厚生労働省医政局との合意のもと、治療病室ないし特別な措置を満たした一般病室（個室）での 24 時間の入院で治療が可能になり、RI 治療病室不足問題に苦しむ国内 TRT 関係者への朗報となっている。

・ 2018 年欧米承認。2020 年国内製造販売承認申請。

## QST 放医研の挑戦（新規薬剤の開発）

1. <sup>64</sup>Cu-ATSM（新規 β 線 + オージェ電子放出薬剤）
  - ・ 対象疾患：脳膠芽腫、悪性髄膜腫などの脳腫瘍
  - ・ 国産製剤：欧米未承認。2018 年国内 Phase I
  - ・ これまで <sup>62</sup>Cu-ATSM（低酸素 PET 製剤）でイメージング技術として利用していたものを <sup>64</sup>Cu-ATSM（低酸素領域治療薬剤）の β 線が出るものに付け替えることで脳腫瘍の治療に応用。まさに theranostics（診断と治療の融合）の実現といえる。



## 2. <sup>211</sup>At-MABG 新規 α 線放出薬剤

- ・ 対象疾患：悪性褐色細胞腫など



## 3. 新規 α 線放出核種 <sup>211</sup>At の開発研究

量研機構では、世界的にユニークな垂直照射法（マグネットを使用して水平のビームラインを垂直に照射）を使って加速器から <sup>211</sup>At を製造することに成

功し、所内・国内他機関へ供給しています。従来ヨウ素を使った治療薬をアスタチンに付け替えることで、様々な治療への応用が期待されています。

- ・半減期 7.2 時間
- ・平均エネルギー 6.79MeV
- ・飛程 55-70  $\mu$ m、原料が  $^{209}\text{Bi}$  で安価
- ・ $^{209}\text{Bi} (\alpha, 2n) ^{211}\text{At}$  で加速器製造
- ・加速器で国内製造可
- ・100%  $\alpha$  線放出であり、 $\gamma$  線を含まないため、基本的に入院不要。
- ・壊変途中の  $^{211}\text{Po}$  X 線を利用すればイメージングにも応用でき、体内動態を詳細に追うことができる。

#### 4. 次世代 $\alpha$ 核種 $^{225}\text{Ac}$ アクチニウム -225 の開発

前述した、2016 年ドイツのハイデルベルク大学からの報告で高い治療効果が期待できるものですが、原材料が核燃料由来のトリウム  $^{229}\text{Th}$  のため、日本では炉規法により輸出入が困難な状況です。欧米ではジェネレーターで製造した薬を使っていますが、少量供給のみ可能なため、世界的な供給不足となっています。

量研機構では、この不足を補うべく新しい製造方法の開発を進めています。従来は廃棄物として扱われていた、原材料となる  $^{226}\text{Ra}$  を廃棄物から確保して、これにプロトン照射をすることで  $^{225}\text{Ac}$  を作るという技術開発に成功し、国内初の試験製造を行いました。国内での  $^{225}\text{Ac}$  の製造が本格化しています。

#### $^{68}\text{Ga}$ の使用に関する問題

$\alpha$  線核種を含む TRT 製剤の医学医療応用には、Scientific/Medical Innovation である製造技術、安全性、コンパニオン診断、Social Innovation である法規制、普及、標準化、社会認知等、様々な課題があります。その中の一つ、コンパニオン診断問題(診断と治療の組み合わせ)では、今後国内導入が見込まれる未承認製剤の多くが現在国内臨床で使用不可となっているガリウム -68 の PET 診断と対になっていることで、導入にはハードルが高い状況です。

ガリウム -68 は、世界的には広く使用されているにもかかわらず日本では使用できません。これは、ガリウムの製造に使用されるガリウム -68 Ge/Ga ジェネレーターを、「医療機器」または「医薬品」のどちらとして扱うかが長年の懸案で、メーカーが参入できなかったという背景があります。2018 年に「Ge/Ga ジェネレーターを原料とし PSMA 自動合成装置の薬機法承認を目指す」と厚労省で合意できました。しかし、PET4 核種でなく RI 法対象のため外運搬も不可能であることや、GLP に準拠した非臨床安全性試験を行うにも RI 法で  $^{68}\text{Ga}$  使用許可のある試験施設は日本には存在しないこと、およびジェネレーターの需要の増大による価格高騰のため、PSMA に関してはガリウム -68 から  $^{18}\text{F}$  製剤へのシフトの動きがあること等、ガリウム -68 PET の国内導入には依然ハードルが高い状況です。

将来的には、外科手術に代わり得る重粒子線治療と抗がん剤治療に代わり得る  $\alpha$  線治療の組み合わせ

#### <直近に国内導入が予想される薬剤候補 (まとめ) >

薬剤名	対象疾患	現況
$^{131}\text{I}$ -MIBG	悪性褐色細胞腫など	2018 年米国承認 2018 年より国内 Phase II
$^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE	P-NET などの神経内分泌腫瘍	2018 年欧米承認 2020 年国内製造販売承認申請
$^{64}\text{Cu}$ -ASTM	脳膠芽腫、悪性髄膜腫などの脳腫瘍	国産製剤：欧米未承認 2018 年国内 Phase I
$^{177}\text{Lu}$ -PSMA-617	転移性進行去勢抵抗性前立腺がん	2021 年米国 Phase III 終了予定 国内治験準備中
$^{90}\text{Y}$ - 抵 FZD10 抗体	滑膜肉腫	2016 年 Phase I 終了 2020 年米国 Phase I 開始 2019 年国内 Phase I
$^{211}\text{At}$ -NaAt	転移性進行甲状腺がん	2021 年国内 Phase I 開始予定
$^{211}\text{At}$ -MABG	悪性褐色細胞腫など	2021 年国内 Phase I 開始予定

が「切らずに治すがん治療」として注目されていくと考えられます。量研機構では、分子イメージング研究、重粒子線治療臨床・研究など、これまでの成果を生かして、新世代のがん治療・標的アイソトープ治療の臨床応用を目指して参ります。

## ◆計測校正事業

### 1. 治療用線量計校正

当財団が平成16年4月より治療用線量計の照射線量による校正の提供を開始して以来16年が経過しました。

平成24年10月には水吸収線量による校正（以降、水吸収線量校正）の提供を開始し、平成30年7月には電位計と電離箱の各単体での校正（以降、分離校正）の提供を開始いたしました。

また、平成20年11月26日付けで独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）の審査による「計量法校正事業者登録制度（JCSS：Japan Calibration Service System）」への登録を行い、平成21年1月より治療用線量計をJCSS校正とし、「JCSS」標準入りの校正証明書の発行を行っております。

JCSS登録は4年ごとに更新が必要であり、平成24年度は水吸収線量校正を含めた1回目、平成28年度は2回目、平成29年度は分離校正の追加による3回目の更新を行いました。また、平成29年11月にJCSS登録に関するIEC/ISO17025の規定改定があり、4回目の更新を行い、令和2年5月に登録証を受領しました。

### 2. 治療用線量計校正の実施状況

当財団が線量計校正の標準場として使用する、量子科学技術研究開発機構内のコバルト60の線源交換が平成27年1月から約2ヵ月間で実施され、令和2年9月末の時点で、およそ5年半が経過、コバルト60線源は半減期を迎えました。線源交換当初から約3年間は1日当りの実施件数は30件程度でした。

現在は、コバルト60線源の線量の減衰に伴い、電離箱によっては、安定した測定ができるまでの時間が増加することより、1日当たり27件程度と少なくなっていますが、安定した供給を継続して行っ

ています。

また、一体校正と並行して、平成30年7月より分離校正の供給を開始しましたが、令和5年4月より、一体校正の受付を終了し、分離校正へ完全移行いたします。

分離校正における電位計校正では、日本医学物理学会が発行する「放射線治療用線量計に用いられる電位計のガイドライン」に準拠した電位計が校正対象となります。

当財団ホームページに分離校正の対象となる「受け入れ電位計一覧（電位計単体JCSS校正）」が掲載されておりますので、ご確認いただきまして、分離校正への移行にご協力をお願いいたします。

表1. 年間校正数（カッコ内の数値は対前年比。平成30年度以降は一体校正および分離校正の合計）

年度	線量計	電離箱				校正件数
		① 円筒	② 平行平板	合計	①/②	
令1	716 ( 0.740 )	1,521	779	2,300 ( 0.920 )	1,953	3,079 ( 0.923 )
平30	967 ( 0.926 )	1,664	836	2,500 ( 0.993 )	1,990	3,336 ( 0.984 )
平29	1,044 ( 1.005 )	1,647	871	2,518 ( 1.007 )	1,891	3,389 ( 1.01 )
平28	1,039 ( 0.968 )	1,646	854	2,500 ( 0.994 )	1,927	3,354 ( 0.991 )
平27	1,073 ( 1.190 )	1,648	868	2,516 ( 1.200 )	1,899	3,384 ( 1.192 )
平26	902 ( 0.866 )	1,354	742	2,096 ( 0.879 )	1,825	2,838 ( 0.875 )
平25	1,041 ( 1.136 )	1,528	857	2,385 ( 1.134 )	1,783	3,242 ( 1.135 )
平24	916 ( 1.087 )	1,350	753	2,103 ( 1.058 )	1,793	2,856 ( 1.049 )
平23	843 ( 1.050 )	1,253	735	1,988 ( 1.065 )	1,705	2,723 ( 1.069 )
平22	803 ( 0.907 )	1,187	680	1,867 ( 0.901 )	1,746	2,547 ( 0.901 )
平21	885 ( 1.140 )	1,315	756	2,071 ( 1.125 )	1,739	2,827 ( 1.120 )
平20	776 ( 1.064 )	1,159	682	1,841 ( 1.107 )	1,699	2,523 ( 1.103 )
平19	729 ( 0.981 )	1,039	624	1,663 ( 0.967 )	1,665	2,287 ( 0.972 )
平18	743 ( 1.249 )	1,085	634	1,719 ( 1.289 )	1,711	2,353 ( 1.290 )
平17	595 ( 1.055 )	844	490	1,334 ( 1.123 )	1,722	1,824 ( 1.137 )
平16	564 ( - )	772	416	1,188 ( - )	1,856	1,604 ( - )

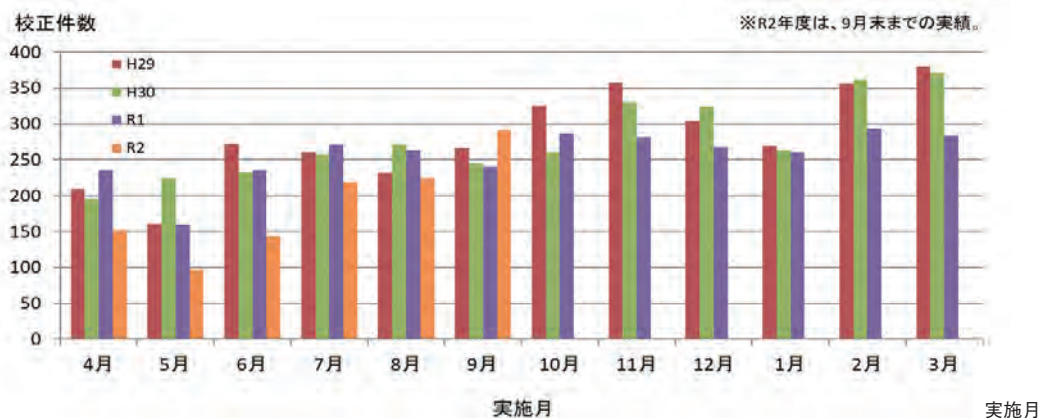


図1. 月別校正実施状況

これまで一体校正では、電位計と電離箱一対での校正申し込みが必要でしたが、分離校正では、電離箱は電位計に依存せずに校正が行えるようになり、また、電位計校正は3年に1回以上の校正が推奨されていることから、令和1年度の年間の電位計および電離箱の申し込み数の減少とともに、校正件数が1割程度減少しました。

令和1年度までの年度別校正数を表1に示します。

また、平成29年度より、特定二次標準器のバックアップ器を常備することで、それまで例年8月から9月にかけて特定二次標準器の定期点検およびjcss校正(産業技術総合研究所における国家標準(一次標準)による校正)を行う期間、校正業務を休止しておりましたが、現在では通常月と同等の校正件数が実施可能となり、年度末へ向けて多少の増減はありますが、年間を通して月ごとの実施件数は、前期および後期ともに平均化しています。

月別の校正実施状況(平成29年度4月から令和2年度9月末まで)を図1に示します。

令和2年度は、新型コロナウイルス感染拡大防止対策への対応により、4月から6月までの実績は、例年の6割程度となっています。

### 3. 分離校正の実施状況

平成30年度7月より提供開始した分離校正は、今年度の6月末で2年を迎えました。

令和1年度の分離による年間の電離箱校正の実施割合は、全体の3割強となり、前年の実績より18%

増となりました。一体校正は7割弱となり、分離校正への移行は順調といえます。一方、分離での電位計校正台数は前年と同等の50台程度となりました。電位計校正台数は、一体校正の申し込みの減少に伴って縮小傾向にあります。最終的には年間150台程度で、当財団が校正頻度の3年間でを行う電位計校正の台数は、450台前後に落ち着くと思われます。

分離校正は電位計と電離箱それぞれの校正に対して校正定数が与えられるため、任意の組み合わせで使用可能です。

現在、電位計製造メーカーでも電位計校正が行われており、その校正後の電位計と組み合わせて使用する電離箱の校正を当財団へ依頼する場合は、組み合わせ対象となる電位計の型式、シリアルNo.、校正実施日をご連絡いただく必要があります。校正を依頼するユーザーが組み合わせる電位計を所有していることを確認の上、電離箱校正の受付を行っています。

なお、治療用線量計校正の申し込み手順などは、当財団ホームページ「放射線治療品質管理」の治療用線量計校正事業を参照ください。

### 4. 出力線量測定の実施状況

平成19年度から出力線量測定の供給を開始し、令和2年度は14年目となります。

供給開始から平成24年度までの実施施設数は毎年50施設前後でしたが、平成25年度には72施設と僅かながら増加しました。平成26年1月には厚生労働省より、がん診療連携拠点病院(以降、拠点

病院)の指定要件に「出力線量測定等の放射線治療の品質管理を行うこと」が盛り込まれ、平成26年度の実実施施設数は150施設前後となりました。

また、平成30年7月末に、前述の指定要件が改定され「第三者機関の出力線量測定を実施し、放射線治療の品質管理を行うこと」および「基準線量の±5%の範囲を維持すること」が盛り込まれ、この厳格化の影響により依頼施設数はさらに増加しました。令和1年度の年間での実施施設数は213施設となりました。

平成28年8月より、TomoTherapyおよびCyberKnifeの1条件のみの出力線量測定の受付を開始しました。他の治療装置の校正条件と組み合わせで申し込む施設もあり、令和1年度の申し込み数は、TomoTherapyは19件、CyberKnifeは7件でした。

また、既存のX線の出力線量測定に加え、令和1年11月より電子線治療装置の出力線量測定の供給を開始しました。申込方法はX線と電子線の混在でもよく、条件数は1条件単位での受付を行えるようになりました。

料金体形も1または2条件の場合は1条件単位での料金、3または4条件の場合はセット料金での申し込みが可能となりました。

出力線量測定の実施頻度は、3年に1度の実施が推奨されており、令和2年度は、平成29年度に2回目の出力線量測定を実施した152施設が3回目サイクルの実施対象となります。

平成29年度から令和1年度までの3年間で実施した施設数およびその内訳を表2および表3に示します。

表2. 平成29年度から令和1年度の3年間の実施施設数

	3年間の合計実施施設数	569	施設
内訳	がん診療連携拠点病院	392 (303)	施設
	一般病院	177 (150)	施設

※ ( )内は複数回実施の施設を1施設とした場合の施設数を示す。

表3. 3年間の実施回数別の内訳

実施回数	がん診療連携拠点病院				一般病院			
	1回	2回	3回	4回	1回	2回	3回	4回
施設数	244	29	28	2	132	11	7	0
合計	303				150			

厚生労働省ホームページ掲載(令和1年7月1日付)のがん診療連携拠点病院の施設数は391施設であり、3年間で当財団での出力線量測定が未実施(もしくは別の第三者機関での評価を実施など)の拠点病院は87施設となります。

令和2年度9月末までの出力線量測定の実施数を表4に示します。

また、平成25年度以降で測定実績はありますが表4にカウントしていない条件別ビーム数、平成28年度より受付開始のTomoTherapy、CyberKnifeの依頼状況を表5および表6に示します。

## 5. 施設名公表について

当財団では、治療用線量計校正および出力線量測定を実施した施設について、施設名公表を行っており、令和2年度は8月下旬に財団ホームページにて公表しました。

治療用線量計校正では、過去2年間の平成30年度および令和1年度に校正を実施した896施設(医療施設854施設、研究・教育施設およびメーカー等42施設)を対象とし、そのうち公表の同意が得られた施設について施設名公表を行いました。

治療用線量計校正実施施設の施設名公表数を図2に示します。

また、各年度別の医療施設および研究・教育機関、メーカー等、全体での医療施設の施設名公表率は、平成30年度では96.9%、令和1年度では97.6%でした。今回の公表対象施設のうち、どちらの年度とも治療用線量計校正を実施した施設数は622施設でした。

出力線量測定では、過去3年間の平成29年度から令和1年度までの対象となる実施施設数453施設(がん診療連携拠点病院303施設、一般病院150施設)の全ての施設に同意いただきました。

また、令和1年度の新規での申し込み施設数は62施設(拠点病院23施設、一般病院40施設)でした。

表4. 出力線量測定の間年実施数（令和2年9月末現在）

		※1 H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	H19-R2 (T)	
施設数		14	43	45	50	46	54	71	145	163	140	152	203	213	71	1410	
拠点病院数		12	32	29	37	35	46	57	113	129	104	103	149	140	39	1025	
X線	エネルギー別 (MV)	4	9	20	29	31	28	28	46	90	100	87	103	115	142	44	872
		6	8	29	25	31	31	54	76	150	173	187	179	263	290	99	1595
		10	13	35	40	45	44	59	92	152	189	183	178	235	267	88	1620
		15	0	3	0	2	1	5	6	8	11	5	11	8	7	4	71
	※2 照射野 条件 (cm <sup>2</sup> )	5×5	-	-	-	55	33	40	63	115	142	117	119	147	137	26	994
		15×15	-	-	-	19	4	15	20	37	50	18	45	36	41	4	289
		20×20	-	-	-	48	34	46	42	128	134	90	93	133	101	25	874
		25×25	-	-	-	4	4	8	17	12	26	16	19	17	26	0	149
	※2 ウェッジ 条件 (角度)	15°	-	-	-	23	20	31	35	57	45	41	34	43	30	10	369
		30°	-	-	-	18	22	22	40	60	54	36	42	31	32	7	364
		45°	-	-	-	8	7	11	18	13	20	17	20	15	11	2	142
		60°	-	-	-	4	9	6	23	15	23	20	33	41	43	3	220
電子線	※6 エネルギー別 (MeV)	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	5
		5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	1
		6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	9	25
		9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	12	24
		10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	1
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	4	12
		15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	4	9
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
		18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	1
		20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0		
Total		30	87	94	288	237	325	478	837	967	817	876	1084	1127	312	7559	
照射 装置数	Elekta	2	2	3	1	7	9	12	28	36	28	39	49	64	24	304	
	MITSUBISHI	6	9	3	4	5	4	6	12	8	3	3	2	5	0	70	
	SIEMENS	5	12	11	10	11	8	12	34	32	23	14	27	21	8	228	
	TOSHIBA	5	8	5	9	2	6	4	13	7	6	6	3	3	0	77	
	Varian	5	18	20	37	28	46	63	95	125	113	118	154	147	49	1018	
	その他	0	2	1	0	0	3	5	8	9	12	22	31	38	14	145	
	Total	23	51	43	61	53	76	102	190	217	185	202	266	278	95	1842	

※1：平成19年度は、11月から3月までの5ヵ月間の実績を示す。

※2：平成22年度より、照射野条件およびウェッジ条件での測定を開始した。

※3：データ解析結果が不適切で再測定実施の場合は、再測定前の分はカウントしていない。

※4：平成25年度以降、実施しているがカウントしていない条件別ビーム数あり。（表5参照）

※5：平成28年度以降、ビーム数に TomoTherapy および CyberKnife の測定カウントを含む。（表6参照）

※6：令和1年11月より、電子線治療装置の出力線量測定を開始した。

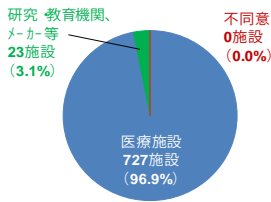
表5. 実施しているが、表4にカウントしていない条件別ビーム数（R2年度は9月末迄）

	ビーム数（校正条件）			照射野条件 8cm × 8cm
	8MV	14MV	18MV	
H25	1	1	1	
H26	2		1	1
H27	1			
H28	9			
H29	6			
H30	7			
R1	9			
R2				
累計	35	1	2	1

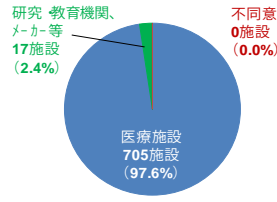
表6. TomoTherapy および CyberKnife での出力線量測定の依頼状況（R2年度は9月末迄）

	TomoTherapy		CyberKnife		Total
	1条件のみ	別条件と同時	1条件のみ	別条件と同時	
H28	3	2	3	1	9
H29	6	10	1	3	20
H30	10	8	1	6	25
R1	11	8	3	4	26
R2	2	5		4	11
累計	32	33	8	18	91

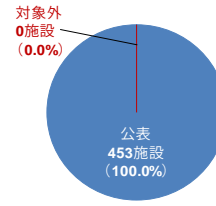
(平成30年度対象施設数：750施設)  
医療施設：727施設、  
研究・教育機関・メーカー等：23施設



(令和1年度対象施設数：722施設)  
医療施設：705施設、  
研究・教育機関・メーカー等：17施設



(平成29年度から令和1年度までの過去3年間の対象施設数：453施設)



公表施設の拠点病院・一般病院の内訳

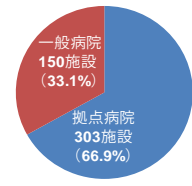


図2. 治療用線量計校正実施施設の施設名公表数

図3. 出力線量測定実施施設の施設名公表数

表7. 当財団における出力線量測定実施施設453施設の都道府県別内訳

(平成29年度～令和1年度の3年間で実施した施設数)

北海道	22	滋賀県	5
青森県	7	京都府	9
岩手県	8	大阪府	37
宮城県	7	兵庫県	21
秋田県	7	奈良県	6
山形県	7	和歌山県	4
福島県	10	鳥取県	4
茨城県	10	島根県	3
栃木県	5	岡山県	6
群馬県	9	広島県	7
埼玉県	16	山口県	3
千葉県	16	徳島県	3
東京都	42	香川県	4
神奈川県	19	愛媛県	5
新潟県	8	高知県	4
富山県	9	福岡県	17
石川県	4	佐賀県	4
福井県	4	長崎県	7
山梨県	3	熊本県	7
長野県	7	大分県	6
岐阜県	8	宮崎県	1
静岡県	13	鹿児島県	9
愛知県	31	沖縄県	2
三重県	7		

出力線量測定実施施設の施設名公表数を図3に、都道府県別内訳を表7に示します。

なお、施設名公表については、当財団ホームページ「放射線治療品質管理」の治療用線量計校正事業または治療用出力線量測定事業の各ページを参照ください。

## 6. 今後の展望

当財団では、令和2年4月よりIMRT（強度変調放射線治療）郵送調査の第三者評価について事業を開始いたしました。お申し込み方法など財団ホームページに掲載しておりますのでご参照ください。

また、ガンマナイフ治療および小線源治療への対応についても検討しています。

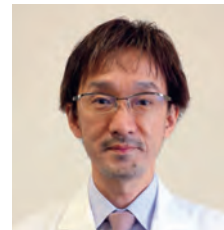
## ◆ お知らせ ◆

令和2年度、開催を予定していた「粒子線がん治療に関する人材育成セミナー（入門・専門コース）」、「放射線医学オープンスクール」、および「公開講演会」は、新型コロナウイルスによる感染症拡大の影響により中止いたしました。

なお、「粒子線がん治療に関する人材育成セミナー 特別編」を令和3年1月にオンライン開催（参加費無料）する予定です。

## 「JASTRO COVID-19 対策アドホック委員会」発足

公益社団法人 日本放射線腫瘍学会専務理事  
千葉大学大学院医学研究院 画像診断・放射線腫瘍学  
教授 宇野 隆



新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）による感染症（COVID-19）の全世界パンデミックは、わが国でもがん放射線治療へ大きな影響を与えることとなりました。政府による特措法第32条第1項の規定に基づく新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言（令和2年4月7日公示）を受け、4月16日、日本放射線腫瘍学会（JASTRO）では、理事会承認のもと「COVID-19対策アドホック委員会（委員長：宇野 隆）」を発足させました。3月には北イタリアや米国ニューヨーク州などから医療崩壊の状況が伝えられていましたが、この時点ではがん医療全般そしてがん放射線治療に関する具体的対応策は、米国放射線腫瘍学会（ASTRO）など欧米の主要組織からの指針が手に入る程度で、日本国内でのCOVID-19対策についての情報は少ない状況でした。一方、COVID-19患者の受入を先行した都市部の感染症指定医療機関と大規模放射線治療施設を中心に、4月15日、関西医科大学 中村聡明先生の呼びかけで「放射線治療の現場より」と題したWebセミナーが開催されました。各施設が独自に取り組んでいたCOVID-19対策が発表され、多くの参加者を集めた放射線治療に関する国内初の情報共有となりました。JASTROでは、COVID-19対策アドホック委員会のもと、COVID-19蔓延下の放射線治療に関する情報収集と情報交換、JASTRO会員並びに一般向け情報提供を目的に、中村先生をリーダーとする若手～中堅医師主体の「コロナ対策実行グループ」を組織することとなりました。

COVID-19対策アドホック委員会およびコロナ対策実行グループによるこれまでの主な活動状況を以

下に記載いたします。

1. 乳癌術後放射線治療歴のある有名女優のCOVID-19肺炎による死亡に関して、その原因として所属事務所による「放射線治療後の免疫能低下による可能性」が報道された（4月23日）ことへの対応

報道翌日の4月24日にJASTRO会員向け「乳癌術後の放射線治療について 一会員の皆様へのご願い」を学会ホームページ（HP）に掲載しました（<https://jastro-covid19.net/news/102>）。引き続き4月25日に一般向け「がんの放射線治療後の免疫力について」をHPに掲載したところ、4月26日午前の報道番組で、『日本放射線腫瘍学会「早期乳がんの手術後の放射線治療が免疫機能の低下きたすことほばない』と画面上に表示されました。乳癌学会の同意を得て、乳癌学会のHPへこれらの声明へのリンクが張られました。

2. HPに「放射線治療に関するCOVID-19特設サイト」を公開（図1、4月27日）

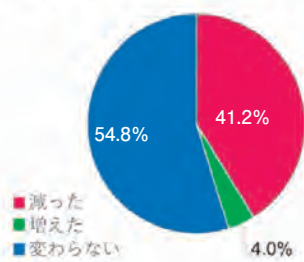


図1. 放射線治療に関するCOVID-19特設サイト  
(<https://jastro-covid19.net/>)

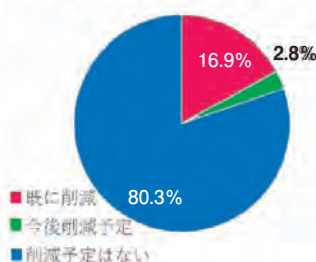


< COVID-19の流行による下記の放射線治療診療への影響は如何でしょうか？>

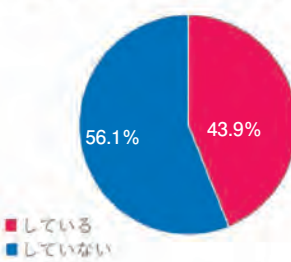
放射線治療患者数の変化



放射線治療開始患者数の削減



治療後経過観察間隔の延長



小分割照射の積極的採用

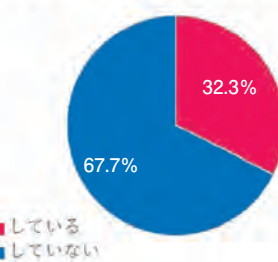


図2. 全国放射線治療部門における実態調査結果報告 ([https://jastro-covid19.net/data/202007survey\\_results.pdf](https://jastro-covid19.net/data/202007survey_results.pdf))

1) 一般の皆様・患者様へ、として「放射線治療を受けられる一般の方へ」および「がん医療および放射線治療に関するFAQ」を掲載しました。5月10日および7月9日に記載内容をアップデートしました (<https://jastro-covid19.net/patient/>)。放射線治療を開始するまでのこと、放射線治療中に気をつけること、放射線治療が終了してからのこと、乳癌の放射線治療後などについて、参考資料、リンクとともに一般向けに丁寧な説明を掲載しました。

2) 放射線治療に携わる医療スタッフ向け「がん医療および放射線治療に関するFAQ」を掲載しました。記載内容は、あらかじめ日本癌学会、日本癌治療学会、日本臨床腫瘍学会による記載との整合性を確認しました。日本における感染状況に対応して7月9日にアップデートを行いました。放射線治療に関係する新型コロナウイルス（COVID-19）全般の情報、感染流行期に放射線治療部門で準備しておくこと、日々の放射線治療の実施・診察、感染流行期に放射線治療を開始する患者、陽性および疑い患者に対する放射線治療、放射線治療後のフォローアップ、シード線源による前立腺永久挿入密封小線源治療後1年以内に新型コロナウイルスにより死亡した場合の対応などについて、参考リンクとともに詳細な情報提供を行いました。

3) 「COVID-19 パンデミックにおける放射線治療のJASTRO提言」を発表しました（5月12日）。ASTRO、ESTRO（欧州放射線腫瘍学会）などの指

針を参考にしつつ、日本の感染状況も踏まえ、代表的ながん種に対する放射線治療の情報をまとめました。緒言に始まり、各論では頭頸部癌、食道癌、肺癌、乳癌、前立腺癌、子宮頸癌など主要な癌に対する放射線治療を取り上げました。一般に、放射線治療の中断（あるいは開始の遅延）は可能なかぎり避けるべきですが、低リスクの前立腺癌や乳癌などでは放射線治療の省略または延期を考慮できる場合があること、放射線治療を行う場合でも5～7回照射などの寡分割照射の選択肢がありうることを、また、術後照射を中心に延期可能な場合があることを、具体的な総線量や分割回数とともに提示しました。さらに、緩和照射、粒子線治療、小線源治療に関する記載、患者および医療従事者の個人用防護具、放射線治療部門内での時間的、空間的区分化、放射線治療部門の医療従事者がSARS-CoV-2に感染した場合の対応等について記載しました。7月9日に改訂版 ver 1.2 を発出しました ([https://jastro-covid19.net/data/jastro\\_covid19\\_proposal\\_1\\_2.pdf](https://jastro-covid19.net/data/jastro_covid19_proposal_1_2.pdf))。

3. COVID-19の流行による放射線治療診療への影響について全国放射線治療部門における実態調査を施行（第1回5月および第2回7月）

1) 永田靖理事、玉利慶介先生（コロナ対策実行グループ、大阪大学）を中心に、全国アンケートを施行しました。施設の概要、放射線治療患者に対する対応状況、スタッフ側の対策、検温の基準値、職員の勤務への影響、放射線治療部門でのCOVID-19対策、放射線治療診療への影響（図2）、放射線治

療スタッフ・患者の COVID-19 発症状況、地域差、学会への要望など多岐にわたる貴重なデータを得ました。7/6「全国放射線治療部門における実態調査結果報告」を JASTROgram 及び HP に掲載 ([https://jastro-covid19.net/data/202007survey\\_results.pdf](https://jastro-covid19.net/data/202007survey_results.pdf) (図 2)) しました。

2) 学会に対する意見、要望、謝辞としては、女優の死亡に関する報道に対しての JASTRO からの声明発表への謝辞、マスコミへの広報継続を希望「特に放射線治療と免疫」、WEB セミナーへの謝辞と継続的な情報提供、放射線治療部門における COVID-19 対策の情報提供、COVID-19 により放射線治療を休止、中止した施設からの情報提供、COVID 感染者が職員、患者に発生した場合の対処法、放射線治療部門における「換気」についての情報、JASTRO 内に会員向け COVID-19 相談窓口の設置希望、COVID 肺炎と放射線肺炎との所見および関連性、寡分割照射に対する JASTRO よりの指針提供、寡分割照射における健保加算要望、国内に

おける地域間較差と施設間較差についての配慮、等が挙げられました。

#### 4. コロナ対策実行グループを中心とする定期的 Web セミナーの開催

4 月 23 日に JASTRO x COVID-19 #001 として Web セミナーを開催し、以後 6/4 まで毎週、6/18 以降は月 2 回程度のペースで開催し、継続中です。主として JASTRO 会員並びに医療従事者向けに COVID-19 感染下の放射線治療に関する各種情報提供を行ってきました。一部の講演者は第 33 回日本放射線腫瘍学会学術集会におけるシンポジウム・要望演題にて指定演者となっています。

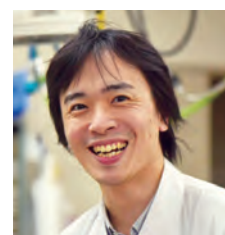
最新の JASTRO 提言および Web セミナーのスライド・動画は、JASTRO ホームページの「放射線治療に関する COVID-19 特設サイト (図 1)」に掲載し、「新型コロナウイルス感染症流行下の放射線治療」の具体的な対策・方法を詳述しています。ぜひ内容をご覧くださいと幸いです。

## トピックス2

放射線医学オープンスクール（旧：放射線医学見学ツアー）事業報告は、毎回、参加者による開催概要報告書を掲載しておりますが、本年はコロナ禍の影響を鑑み開催中止となりました。今回は、平成21年度に当時学生として参加していただいた嶋田裕記氏の、その後のご活躍を掲載いたします。

# 私と放射線医学見学ツアー（現：放射線医学オープンスクール）との関わりとその後の生き方

南相馬市立総合病院 脳神経外科  
嶋田 裕記



### はじめに

2009年放射線医学見学ツアー（現：放射線医学オープンスクール）に運営側として参加させていただいていた嶋田と申します。今は脳神経外科専門医として福島県南相馬市で勤務しております。財団と関わることになったきっかけや現在行っていることなどについてご紹介させていただければと思います。

### 放射線との出会い

私は放射線というものに身近な環境にいた。というのも、父が放射線診断医だったため、自宅で読影をしていることも多かった。卓上のシャウカステンなどが自宅内にあり、それを用いてフィルムを何百枚も読影している姿を今でも覚えている。また、父の研究目的で都内の研究所にある1.5T-MRIで頭部撮影をされたこともあった。そういったこともあり、かなり放射線という言葉自体や放射線という概念そのもの自体が小さい頃から大変身近でだったのだ。この身近さも私が医師としての道を歩むことになったことに大きく影響していると思う。その一方で当財団と関わるまでは近親者にがん患者などいかなかったため、放射線治療という分野に関してあまり身近ではなかった。

### 2009年放射線医学見学ツアー（現：放射線医学オープンスクール）

当財団と関わらせていただいたきっかけとなったのは、2009年の放射線医学見学ツアーでだった。2009年当時大学4年生だった頃に私は「医学生のカリキアパスを考える会」に所属しており、そこで当時国立がん研究センター中央病院病院長であった土屋了介先生からご紹介いただくような形で医学生向けの試みを行わせていく形だった。「医学生のカリキアパスを考える会」は当時医師のカリキアパスが徐々に多様化していく中でどういった生き方というものがあるのか先駆者たる先輩方に教を乞うような形で勉強会などをおこなわせていただいていた。この試みも同様の一貫であったと覚えている。

国立がん研究センター中央病院、国立がん研究センター東病院、癌研有明病院、放射線医学研究所などの諸先生方と調整させていただき、足を運ばせていただくこととなった。初めての試みであったこともあり、私も財団の方々や見学させていただいた先生方やお話をしてくださった物理の先生方にも大変なご迷惑をおかけしながら、30人近くの方に参加していただき、なんとかうまくいき、ほっと胸をなでおろしたのを覚えている。見学ツアー自体の感想としては「百聞は一見に如かず」とはよく言ったもので、実際に見てみることで学べることは多かった



ように思う。例えば放射線の防護の3原則というのは距離、時間、遮蔽物なのだが、小線源治療を行う部屋は分厚い壁で覆われ、しかも部屋の部分に入りづらいような形で曲がりくねった形となっていたことを記憶している。教科書で学ぶことと実際にどのように運用するかは全く違うのである。

### 南相馬市という原発被災地域との出会い

その後の話だが、私は無事卒業して、千葉の柏にある研修病院で初期研修を行った後に福島県の南相馬市で2014年から脳神経外科医として勤務している。福島県の南相馬市は福島第一原子力発電所から北に20kmのところの位置している。福島第一原子力発電所事故の被害が大きかった地域の一つである。2016年になって漸く全地域の避難指示が解除された場所だ。当時から震災後にホールボディカウンター(WBC)を用いて、内部被曝に関する医療支援を坪倉医師らが行っていた。そのような被災地の助けになることができるのではと期待して働かせていただくことになったのだ。

坪倉らにより南相馬市民の内部被曝のデータは2011年から継続的に出されている。数年経ったころから多くの方の内部被曝が健康に全く影響のないレベルとなっている。一部高い線量を記録する方は山にあるキノコやイノシシなどを狩って食べているなどの食習慣を持っている方だけであった。事実上放射線被曝による健康影響というものはかなり前の段階からほぼなくなっていると言える。

放射線被曝というものは消化器症状、造血系の障



害などを早期に起こし、時間経過してからは、がん、白内障などを起こすと言われている。ただ、現状震災後、そういった放射線自体による健康被害は大きな問題となっていない。しかしながら、それ以外の影響というものがはっきりと出てきている。被災した方の高血圧、糖尿病などの生活習慣病を調べてみると特に避難早期に悪化していたのである。避難を行うことにより、従来行うことができていた、畑仕事などができなくなり、食生活なども震災前と変化したことなどが影響していると考えている。9年経った現在でも高血圧などは内服率が上がることで改善傾向であるが、糖尿病などは震災前と比べて悪い状態が続いている。このようにマクロレベルでの悪化以外にもミクロレベルの実臨床で震災後糖尿病などが悪化し、冠動脈疾患や脳梗塞に罹患された方を何人も私は診てきている。そういったこともあり、我々は特に健康影響が大きいだらうと考えられた、仮設住宅に在住の方に向けて当院院長の及川を中心として健康講話を行い、健康に関する啓発活動を行っていた。(写真)

それ以外にも震災後高齢化が進んだ。震災後避難した若年者が帰ってこないのだ。若年者が一旦都市部のいわきや福島、仙台などに避難するとそこで職を見つけ、子どもは学校に通い、短期間で生活の基盤ができてくると中々帰還することは難しくなる。高齢な家族はそういったこともないため、高齢夫婦で帰還されることも多い。しかしながら、そういった方々は軽症の脳梗塞になるだけで、配偶者が老老介護をすることも難しく、施設入所をせざるを得な



い事が多い。施設も運営するためにはマンパワーが必要であるが、若年労働者がいないためベッド数も制限された状態で運用されている。そのため需要に対して供給が全く間に合っていないため、多くの方が宮城県や福島の内陸部の中通りの施設に入所される。車で大体1時間から1時間半の距離にあるような施設だ。上記のようなことの証左として介護費用は震災後避難地域で急上昇する結果となっている。

震災の健康影響としては他にも発災直後の当時の施設入所者や病院入院者の避難が彼らにどのような影響を与えたのかを調べさせていただいたこともあった。施設入所者の避難の際には避難をした入所者の死亡率は避難前より上昇することが野村らによって示された。ただ、施設の間で死亡率の上昇は差異があり、避難中や避難後の環境やケアなどへの配慮が重要ではないかということが示唆される結果となった。その一方、避難指示が出された地域の療養型の病院患者に関しても避難の影響について調べさせていただいた。同じ病院で避難した患者と避難していない患者がいて、その場合は避難しなかった患者の方の死亡率が上昇する結果となった。これは避難しなかった病院のケアの体制を職員が避難することで保つことができなかった可能性なども考えられる。ただ、避難しなかった患者は特に状態が悪く避難に耐えることができないような患者も多く、一概に避難すべきだったという話ではないと考えている。

また、私は脳神経外科医の専門医として現在も南相馬市立総合病院で勤務している。脳神経外科でも

放射線治療というものは欠かせないものであり、多くの種類の脳腫瘍の治療に放射線照射が用いられている。以前、身をもって放射線治療の効果を体験したエピソードがある。当時、Glioblastoma という悪性度の高い脳腫瘍の患者様の治療をしていた。その方は言語機能、高次脳機能といった生活していく上で重要な機能の部位に腫瘍があり、その腫瘍は周囲の正常脳に浸潤する度合いがとても強く、腫瘍として取れる部分を取りきったとしても、放射線治療と化学療法で取ったところ以外の腫瘍に対して治療を行うのが不可欠だ。

そして、放射線治療は数分から数十分の間静止していることを保っていないと正確に身体の中の腫瘍の部分に照射することができないのだが、その方は前述の通り、言語機能、高次脳機能の障害があり、安静を保つことができなかった。そのうちに食事をとることも難しくなっていた。放射線治療はこのような場合は治療の適応がないと判断するという選択肢もあったが、そのときは治療によって改善する可能性があるのではと考えて、鎮静薬で毎日鎮静の上放射線治療を行った。

その方は数週間の治療ののち一旦食事などを取れるようになり、加えて自ら歩行も可能となり自宅退院することができた。この腫瘍は自然に改善することはほぼなく、放射線治療を行っていなければ、当然このような経過にはならず、自宅に帰ることができなかったと考えている。

## 画像診断 AI について

脳神経外科医の分野は多岐に渡る。脳神経外科医が携わる疾患の代表的なものにクモ膜下出血がある。クモ膜下出血は生命に関わる重大な病気である。

多くのクモ膜下出血は脳の血管にできる脳動脈瘤という血管の瘤が破れることによって起こる。数%の人間には脳動脈瘤が認められ、大きなものや形がいびつなものは破裂しやすく、破裂していない段階でも予防的に治療されることがある。

しかしながら、脳動脈瘤があることがわからなければ治療できない。脳動脈瘤は別の理由（例えば頭痛）や脳ドックなどで頭部 MRI を撮影することで、

偶然発見される。しかしながら、脳動脈瘤を全く見逃すことなく、見つけることは難しい。脳動脈瘤は3次元的な投影画像数十枚を確認して発見しなければならず、その中の23枚でしか確認することしかできないこともあるからだ。

そういったこともあり、現在MRI画像から脳動脈瘤を発見するための人工知能の開発が進んでいる。本邦には株式会社エムネスという上記のような人工知能を活用して読影を行っている遠隔読影の会社があり、福島県立医科大学の大学院生として共同で研究させていただいている。そちらでは株式会社エルピクセルが開発した人工知能を使用しながら、脳ドックの読影を行っている。読影医の方々に話をうかがうと、思わぬところに脳動脈瘤があるのを指摘してくれることがあるという評価を受けているが、実際どのように活用するのが適切なのかということがあまりよくわかっていない。例えば、現在の人工知能は脳動脈瘤候補を指摘するので、脳動脈瘤ではないところも指摘するのだ、そのためどのようなときにその脳動脈瘤候補を採用するか否かというのは読影医に任されている。脳動脈瘤でないところ

を指摘すると患者に無用な精神的負担を強いるなどの悪影響が危惧される。偽陽性を減らし、見逃しを最大限防ぐような活用の仕方を模索するのは大きな課題である。現在は手始めとして読影医の診断がどのように変化するのかについてまとめている。まだ未公表ではあるが、かなり興味深い結果が出ており、今後の展開が楽しみである。

## 終わりに

自分の現在取り組ませていただいていることについて紹介させていただいたが、今回紹介させていただいたのは「原発による放射線被曝による影響」「人工知能による放射線読影」「脳神経外科の放射線治療」など大変驚くべきことに何らかの形で「放射線」が関わることだった。元来私が機械などに興味がある性向が成長する上で形づくられ、放射線医学見学ツアー（現：放射線医学オープンスクール）に関わることで「放射線」という方向で強化されたのではないかと今になって思っている。このような文章という形で表現させていただいたことを大変感謝いたします。

# 粒子線治療施設

## ◆各粒子線施設の近況報告（トピックス）

### 湘南鎌倉総合病院附属先端医療センター

徳洲会 湘南鎌倉総合病院  
放射線治療研究センター  
主任部長



富吉 勝美

原子力の研究・開発の平和利用の一分野として医療への応用があります。今回特に粒子線治療技術さらには粒子加速装置を利用した医療について、湘南鎌倉総合病院附属先端医療センターについてご紹介いたします。

#### 1. 湘南鎌倉総合病院附属先端医療センター

湘南鎌倉総合病院は、その名の通り総合病院ですが、2021年4月の完成予定の病院附属先端医療センター（図1）は、がん治療に特化した治療装置やがんの特化した診断装置を備えたセンターです。



図1. 湘南鎌倉総合病院と先端医療センター

先端医療センターは、総合病院のコンセプトである「断わらない医療」の理念に呼応すべく、センターでも「断わらないがん治療」を目指し、がんに対する化学療法や放射線治療などの標準治療のほか、陽子線治療やBNCT中性子捕捉療法など先端的な治療を導入しました。

それら最先端治療装置に対応した建築施設は、地下1階～地上4階からなり、GMP準拠の再生医療診療施設、第1相治験施設、最先端PET撮影装置・サイクロトロンPET薬剤院内合成施設（GMP準拠）を用いた検査や陽子線治療装置、BNCT（中性

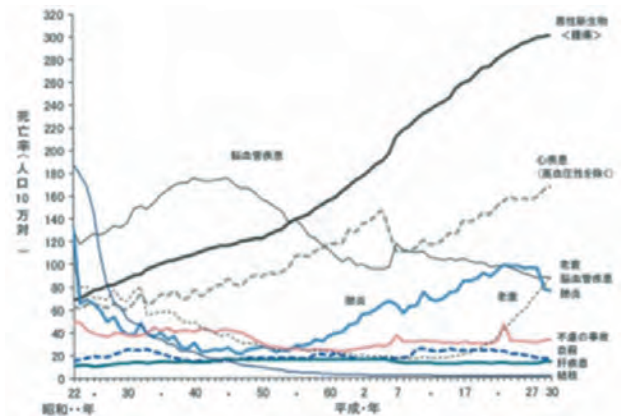


図2. 人工動態統計月報年計概要 厚労省（2018）

子捕捉療法)、アルファ線核種によるRI内用療法施設の先端放射線医療を行う施設や外来化学療法などのハードウェアを有します。

#### 2. 陽子線治療やBNCT中性子捕捉療法など先端的な治療装置について

がん治療の3大治療法として、外科治療法、放射線治療法、化学療法ですが、外科療法は侵襲的で体力が弱い高齢者には適用外で、また化学療法の抗がん剤の多くは重篤な副作用があり、正常組織にも影響がおおくなります。他方放射線療法は低侵襲で人体機能を温存でき身体への負担が少なく、その結果生活の質（QOL）が高く、社会復帰も早いのが特徴です。がん治療においても、身体に優しい非侵襲的な治療法が必要になってきており、それが粒子線治療である陽子線や中性子を用いたがん治療法になります。図2は、本邦における死因の年間推移を示しますが、がん以外の疾患が医療技術の発達で生存率が向上し高齢化し、相対的にがん罹患率が高くなった結果、日本では2人に1人はがんになり、3人に1人はがんで亡くなる時代となりました。これからは、誰でもが最善の医療が受けられる体制づくりや迅速かつ適切な医療を提供する「包括的な治療」の体制づくりが必要です。

以下に先端医療センターの新しい治療装置に限定した陽子線治療装置、ボロン中性子捕捉療法（BNCT）、PET・サイクロトロン創薬施設内RI内用療法について以下述べます。

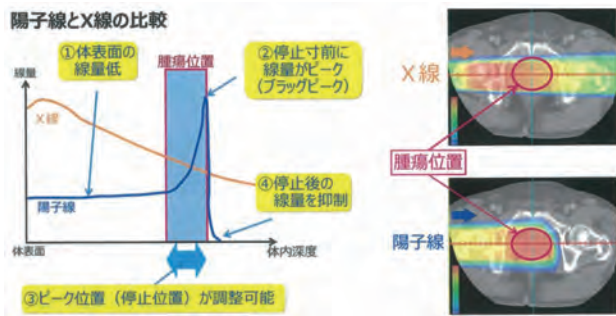


図3. 左図：X線と陽子線のビーム軸方向の線量プロフィール  
右図：線量分布の比較

### 1) 陽子線治療について

陽子線治療の陽子線は水素原子核と同じ粒子ですが、X線と粒子線（陽子線、重粒子線）の大きな相違は、物質との相互作用が異なり、線量分布に大きな違いがあります。X線は体表近くでビルドアップした線量のピーク後、なだらかに減衰していくため、多方面から照射することで病変に線量を集中させる必要があります。他方陽子線は、ある一定の深さで最大の線量ピーク（ブラッグピーク）を持ち、その後急激に線量が減衰します。（図3左図）従って正常組織には線量は少なく深部の腫瘍のみに効果的に照射でき、病変をピンポイントで狙い撃ちできる陽子線や重粒子線でがん組織を破壊することができます。（図3右図）

陽子線治療装置の外観を図4左図に示します。イオン源から前段階加速器リニアックで7 MeVまで加速し、次にシンクロトロンで加速して治療に用いるエネルギー（70～230 MeV）に加速された陽子は、回転ガントリで照射野形成により患者の腫瘍形に合わせ、平均して20～30秒間照射されます（図4右図）。

入室から治療が終了し退出するまで、腫瘍の種類

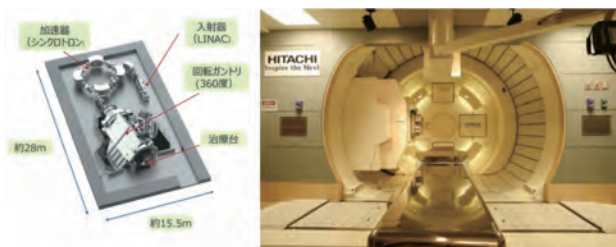


図4. 左図：陽子線治療装置の外観  
右図：回転ガントリによる陽子線治療室

やその位置によって異なりますが、平均して20分から30分で終了します。一般的に照射回数は10回から20回で治療が終了します。

### 2) BNCT ボロン中性子捕捉療法について

ホウ素中性子捕捉療法（BNCT）は、がん細胞を選択的に破壊する特徴を持った粒子線治療で、湘南鎌倉総合病院は、神奈川県では初めて病院設置型BNCTを導入し治療を開始します。これまで原子炉あるいはサイクロトロンを必要とした大型治療装置であったのが、一般医療機関でも加速器を利用したBNCTの普及が見込まれており、同院はその先駆けであり、モデルケースでもあります。この試みは神奈川県の重点政策の一つである「最先端医療・最新技術の追求」に沿った医療技術を目指しています。

BNCTの特徴である $^{10}\text{B}$ は中性子を効率的に吸収し、 $^{10}\text{B}(p, \alpha)^7\text{Li}$ 核反応で、 $\alpha$ 線と $^7\text{Li}$ 核を放出します。そのためにがん細胞に親和性のあるボロン化合物を静脈注射し、がん細胞に集積させて中性子を照射し、がん細胞内で核反応を発生させます。（図5）

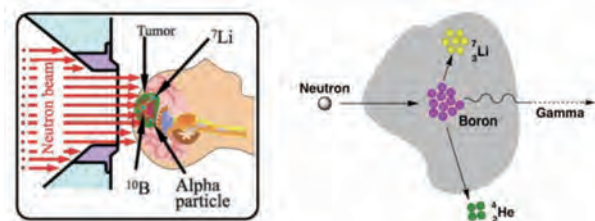


図5. 腫瘍中の $^{10}\text{B}(p, \alpha)^7\text{Li}$ 核反応と $\alpha$ と $^7\text{Li}$ の発生

この反応により2～3 MeVのエネルギーを持つ $\alpha$ 線とLi粒子が発生してがん細胞を破壊します。従ってBNCTは治療回数が1回で、かつがん細胞選択的であるため正常細胞とがん細胞が混在するよ



図6. NTI社製 静電加速器



うな浸潤性ががん組織でも有効な治療装置です。

加速器はNTI社 (Neutron Therapeutics Incorporated) 米国製で、MA Danvers に本部を持つ企業です (図6)。コンパクトな加速器とターゲットを開発することで高い中性子束 ( $1 \times 10^{19}$  n/cm<sup>2</sup>/s) が安定的に得られています。

2.6MeV、30 mA の陽子加速器、中性子発生ターゲット、治療用ベッド、位置決め用CTに付属する画像誘導患者位置制御や治療計画ソフトも独自に開発し治療計画ソフトを含む包括的システムを提供しています。

治療はベッドシステムで治療終了後、治療ベッドが所定の位置に移動し (図7)、遮蔽シャッターが閉じたあとに治療室の扉が開くので、この段階で  $20 \mu\text{Sv/h}$  以下に線量は落ちており、病院スタッフの被ばくはほとんどありません。水冷による回転型ターゲットは安定した中性子を現在まで100時間/月以上出しており、また個体リチウムの交換もロボットで制御されて交換できるので、放射線維持管理がなされ安全な装置です。



図7. ロボットアーム付き治療ベッド

### 3) RI(放射性同位体)内用療法について

RI内用療法は、RIが放射線 ( $\alpha$ 線、 $\beta$ 線) のような粒子線を放射する放射性同位体 (表1) を用いて、がん細胞に選択的に集積する分子 (リガンド) に標識した薬剤を投与し、がん細胞を集中的に攻撃

表1.  $\alpha$ 、 $\beta$ 線核種の半減期とエネルギー

$\alpha$ 線核種		
放射性同位体	エネルギー (MeV)	半減期
<sup>211</sup> At	6.8	7.2h
<sup>225</sup> Ac	5.94	10.0d
<sup>223</sup> Ra	5.98	11.4d
$\beta$ 線核種		
<sup>90</sup> Y	2.28	67.7m
<sup>177</sup> Lu	0.498	6.65d
<sup>186</sup> Re	1.07	3.7d
<sup>64</sup> Cu	0.58	12.7h

する治療法です。がん細胞に集中した薬剤から粒子線 ( $\alpha$ 線あるいは $\beta$ 線) が、がん細胞にだけダメージを与えることができ、また粒子線の飛程距離が短いので正常細胞への影響は抑えられます。RI内用療法の治療薬剤は、がん組織に親和性のある配位子 (リガンド) とRIと結合するキレート剤でその2つを結ぶ結合スペーサーからなります。(図8)

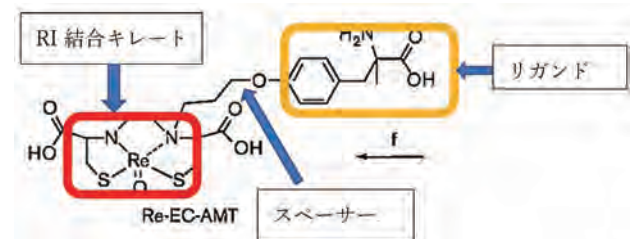


図8. 治療薬剤と治療用放射性核種 (<sup>186</sup>Re ( $\beta$ ), <sup>177</sup>Lu ( $\beta$ ), <sup>211</sup>At ( $\alpha$ ), <sup>225</sup>Ac ( $\alpha$ ))

またRI内用療法は、全身に転移した小さながん細胞にもダメージがありこれから開発が期待されるがん治療法です。

湘南鎌倉総合病院先端医療センターは、がん治療専門施設として患者の立場に立つ「断わらないがん治療」を目指し、がんに対する化学療法や放射線治療などの標準治療のほか、陽子線治療やBNCTなどの先端的治療を行う医療を進めています。

## 重粒子線治療施設、東北に建つ ～山形大学医学部東日本重粒子センター～

山形大学医学部東日本重粒子センター  
副センター長（装置担当）  
山形大学大学院医学系研究科  
先進的医科学専攻重粒子線医学講座 教授  
岩井 岳夫



山形大学医学部東日本重粒子センターは、2021年の稼働開始に向けて総力を挙げて準備を進めています。東北地方では初めての重粒子線治療施設が建設されることになり、地元の期待も大変大きく、春に開始される前立腺癌の患者さんの治療予約が既に入り始めています。本稿では、当センターの設立経緯、特徴、現状と今後の展望について紹介します。

### 1. 設立の経緯

当センター設置プロジェクトは、2004年に嘉山孝正医学部長（当時）が、がん治療を山形大学医学部の研究および診療の柱に据え、重粒子線治療施設を設置することを教授会で決定したところからスタートしました。重粒子線治療施設はまだ放医研と兵庫県立粒子線医療センターの2箇所だけで、今ほど注目を浴びていない時代に敢えて陽子線ではなく重粒子線治療に絞った理由としては、低酸素状態のがん細胞にも効果を発揮すること、細胞周期依存性が小さいこと、幹細胞にも効果が期待できること、が挙げられています。2004年には嘉山医学部長をはじめとする10名が出資した株式会社山形先端医療研究所が設立され、資金調達活動、県内の財界・医療界の合意形成に向けた活動が始まりました。また、医学部内では重粒子線治療を含む放射線治療を担う組織として2006年に放射線腫瘍学講座が設置されて根本建二教授が就任しました。2010年11月には山形市において第7回医用原子力技術研究振興財団講演会を山形大学共催という形で開催し、一般の方への周知活動も開始しました。このように2000年代は将来的な設置を見据えて、嘉山医学部長を中心にして着々と準備を進めていました。

2010年に嘉山医学部長が大学を離れて国立がん研究センター理事長に就任したため、実質的な活動

は約2年間中断していましたが、2012年に結城章夫山形大学学長（当時）が、大学として重粒子線治療設置に取り組むことを「結城プラン」の中で宣言したところから、プロジェクトは実現に向けて再び大きく動き始めました。学長直轄の山形大学重粒子線がん治療施設設置準備室を設置し、国立がん研究センター理事長の任期を終えた嘉山教授が学長特別補佐・準備室長に着任し、大学を挙げて文部科学省や財務省と粘り強い交渉を行いました。その結果、2012年度補正予算で研究開発費10億円が措置され、治療装置メーカーの株式会社東芝および三菱電機株式会社それぞれと山形大学との共同研究が開始されることになりました。

この研究開発費が措置される際に、文部科学省から重粒子線治療施設設置予算措置のための4つの条件が通達されました。4つの条件とは、①装置の研究開発の成果を挙げること ②学内および（独）放射線医学総合研究所等との連携により上記の研究を行う体制を確立すること ③将来の患者確保に向け、東北地方の医療機関とのネットワークを構築すること ④地元自治体、経済団体、企業等による支援体制を構築し、資金面での協力を得ること です。以後約3年間にわたり、上記4つの条件をクリアするための取り組みが精力的に続けられました。

①の装置の研究開発としては、基本的な治療装置のデザインは先行する群馬大学重粒子線医学センターや九州国際重粒子線がん治療センターを踏襲しつつ、当時のモデルが海外受注に繋がっていない点を踏まえ、「総合病院接続型・国際展開モデル」としてパッケージを提案しました。内容として省エネルギー、省スペース、イージーオペレーション、廃棄物ゼロの4つのコンセプトを掲げ、それを実現するための要素技術を各メーカーと共同で開発した形です。②では放射線医学総合研究所と教育・研究・医療協力に関する協定書を締結するとともに、後藤彰教授（当時）を招聘するなど、研究協力体制を確立しました。③については、東北6県の医学部とがん診療拠点病院から成る東北がんネットワーク（2008年設立）の中に「東北粒子線コンソーシアム」を設置し、粒子線治療設備に関する情報交換及び広域的な有効利用を検討し、総合的・専門的観点から

意見交換を行う組織を立ち上げました。ハード面でも広域放射線治療遠隔カンファレンスシステムを東北6県+新潟県、放医研の計60を超える病院に設置し、医師間のコミュニケーションを円滑にできるよう整備しました。④としては山形県内全首長を訪問して支援要請を行い、山形県・山形市町村振興協会・山形市・東根市から計30.5億円の支援が受けられる見通しとなりました。また、県内有力企業からも寄付を募り、企業、個人合わせて数億円にも上る寄付が集まりました。

こうして4つの条件をクリアしたことで、2015年度～2018年度に装置導入のための補助金を文部科学省から受けられることになりました。放医研の協力の下で上記4つのコンセプトを盛り込んだ装置仕様書を作成し、各社から提案を募った結果2015年9月に株式会社東芝が装置を受注しました。建物の設計は株式会社日本設計が担当し、施工は株式会社竹中工務店が受注し2017年4月に着工しました。建設作業と並行して装置の搬入が進められ、2019年5月に建屋が竣工し、現在は治療開始に向けた準備が進められています。

## 2. 山形大学医学部東日本重粒子センターの特徴

### 2.1 全体構成・配置

当センターも群馬大学以降の国内施設と同様、炭素線専用の小型シンクロトロンで $^{12}\text{C}$ ビームを発生させます。治療室としては、水平ビームで治療を実施する固定照射室と、回転ガントリーを備えた回転ガントリー照射室、計2室の構成です。前述の4つのコンセプトの一つ、省スペースを図るため、重粒子線治療施設としては世界で初めて加速器と治療室

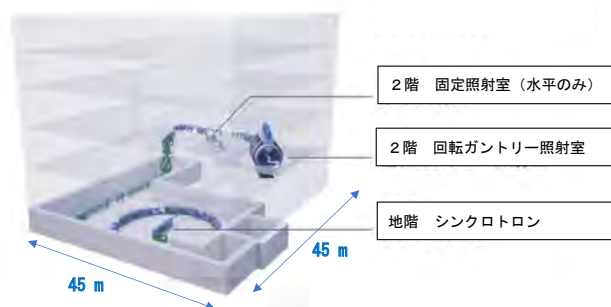


図1. 主要装置の配置図（東芝エネルギーシステムズ様より提供、一部改変）

表1. 山形大学医学部東日本重粒子センターの主な性能

項目	性能
イオン	$^{12}\text{C}^{6+}$
イオンエネルギー	50 to 430 MeV/u (可変) (実力値)
シンクロトロン周長	63 m
ビーム強度	$3 \times 10^7 \sim 1 \times 10^9$ pps (可変)
線量率	> 2 Gy/min for 1 L
最大照射野	200 x 200 mm <sup>2</sup>
繰り返し	< 6 s, フラットトップ長可変 >30s
深さ制御	エネルギースキヤニング (レンジシフター無)
ビーム制御	呼吸同期ペンシルビームスキヤニング
位置決め	2方向斜め X 線
治療室	1 ガントリー, 1 水平 (垂直ポート増設可能)

を上下に並べた立体配置になっています。回転ガントリーもハイデルベルク大学や放医研よりも小型化され、電源装置も含めた全てが45m四方の建屋に収まっています（図1）。装置の主な性能を表1にまとめました。

### 2.2 加速器およびビーム輸送装置

加速器の基本的なデザインは、同じ東芝製の神奈川県立がんセンター重粒子線治療施設 (i-ROCK) に近いものになっています（図2）。周長63mのシンクロトロンの内側に入射器を置いた省スペース配置で、各機器の配置も同じです。治療においては延長フラットトップ運転を基本としていて、放医研やi-ROCKと同様に階段状にエネルギーを下げて飛程を調整します。また、従来機よりも加速時間を長く取って磁場変化率を抑え、加速時の偏向電磁石励磁に要する電力を下げています。入射器の構成は先行施設と同じく 永久磁石型 ECR イオン源 + RFQ + IH-DTL ですが、最下流の DTL 用 500 kW 真空管アンプ以外は真空管アンプから半導体アンプに変更され、メンテナンス性が向上しています。

加速器は地下10mの地下室に設置され、ビームは水平方向に射出されます。ビーム輸送装置でエミッタンスを調整した後、上向きに偏向されます。ビームは2階で再度水平方向に偏向され、2階にある2つの治療室まで輸送されます。ビームコース切り替えに要する時間は60秒以内です。



図2. シンクロトロン加速器



図3. 固定照射室

### 2.3 照射室機器

照射装置としては、拡大ビーム法は用いず、スキャニング照射のみで治療を実施します。これにより補償フィルタや患者コリメータのような患者固有の廃棄物の減量を実現しています。拡大ビーム法用のマルチリーフコリメータ等も必要でないこと、さらに飛程の調整にレンジシフターを用いないことから、照射ノズルが従来よりも小型化されています。

本施設のスキャニング照射装置は、放医研と（株）東芝で共同開発した小型スキャニング照射装置を初めて採用しています。スキャニング電磁石からアイソセンターまでの距離が、照射野サイズを犠牲にすることなく従来の9 m から3.5 m まで大幅に短縮されたことで、建屋の小型化に貢献しています。

照射室には7軸のロボットアーム型寝台と斜め2方向X線透視装置が設置され、これが連動することで高速・高精度な位置決めが可能となっています

(図3)。この透視装置は呼吸同期照射にも使用され、埋め込みマーカーを使用しないマーカーレス内部呼吸同期に対応しています。

### 2.4 回転ガントリー

ハイデルベルク大学、放医研に続く世界3台目の重粒子線用回転ガントリーが設置されました。前述のスキャニング照射装置の小型化が実現したことにより、ガントリーに設置するスキャニング照射装置をアイソセンター直前に配置することが可能になりました。これにより、細いビームのままガントリー上を輸送できる⇒超伝導電磁石のギャップを小さくできる⇒磁場を強くできる⇒偏向電磁石の曲率半径を短くできる という改良が実現し、90°偏向ユニット3つから成るシンプルなビームライン構成の回転ガントリーになっています。超伝導電磁石は放医研同様 NbTi 線材が用いられ、それぞれ独立して励磁



図4. 回転ガントリー本体



図5. 回転ガントリー照射室

可能な二極・四極機能結合型電磁石が採用されています。ガントリー円筒部の長さは9.7 m、エンドリングの直径5.5 mと放医研に比べて一回りコンパクトで、回転範囲は $\pm 180^\circ$ 、回転速度は最大0.5 rpmです(図4)。回転ガントリー照射室も放医研に比べてコンパクトにまとめられており、ノズルとアイソセンター間の間隔を広くして取り回しがしやすいようになっています(図5)。

## 2.5 その他の装置

治療計画用CTは、キヤノンメディカルシステムズ製のAquilion ONEが設置され、320列のディテクターで呼吸性移動する臓器の4D-CT撮影を可能にしています。棟内には3TのPhilips社製MRIも設置されています。重粒子線治療施設の治療計画装置として国内で初めてRayStationを採用し、計算時間の短縮による作業の効率化を図っています。放射線治療情報システムとしては、放医研のTMSや群馬大学のIRISに含まれる重粒子線治療特有の機能を備えたHyperRISを開発し、ワークフローの効率化を狙っています。

## 2.6 建屋

建屋は地下1階地上4階構造になっており、45 m四方で高さが27 mです。将来固定照射室に垂直ビームラインを増設できる構造にするため、屋上部分に高さ約7mのペントハウスを有しており、これを除けば高さは20 m程度です。地盤が軟弱なことから、約50 m長の杭を支持層に打ち込んでいます。遮蔽に必要な壁厚は一般財団法人高度情報科学技術研究機構がモンテカルロシミュレーションコードPHITS[1]を駆使して計算し、必要最小限の壁厚で設計しつつ、図6に示すように必要な箇所には追加の遮蔽を施しています。省エネルギーにも配慮して、春季や秋季には自然換気を取り入れた空調コストの低減が図られています。

建屋の外観は医学部の他の建物と共通の色の組み合わせ(オレンジと緑)で、キャンパス内の調和が図られています。また、内装はヨーロッパ的な鮮やかな色の使い方が特徴的で、サインは近隣の東北芸術工科大学の協力を得て宇宙旅行を意識したデザイ



図6. 東日本重粒子センター外観。矢印は追加遮蔽。

ンが導入されています。

## 3. 準備状況と今後の予定

2019年には全ての必要な装置の設置が完了し、12月にシンクロトロンでビームの周回を確認、翌2020年1月には最大エネルギー430MeV/uでのビームの加速が確認されました。2月に固定照射室、3月には回転ガントリー照射室までビームを導入し、3月25日に原子力安全技術センターによる施設検査を受検し、合格しました。6月から8月まで建屋冷却水設備の増強工事のためビームを用いた準備作業は中断しましたが、9月から再開しています。

11月からアクセプタンス試験およびクリニカルコミッションングを実施し、2021年2月には固定照射室にて前立腺癌の試験照射を開始し、4月から前立腺癌の保険診療を開始する予定です。前立腺癌の治療と並行して回転ガントリー照射室のアクセプタンス試験とクリニカルコミッションングを実施し、2021年夏頃から呼吸性移動の小さい部位の治療を開始し、続いて秋頃には呼吸同期照射を開始し、全ての装置が稼働状態になる予定です。

2020年10月に前立腺癌の保険診療の予約受付を開始し、今のところ順調に患者さんからの申し込みが届いています。県内からだけでなく、隣県からの申し込みもあり、東北地方での期待の大きさがうかがえます。東北地方全体で毎年5000人を超える重粒子線治療適応の新患が発生すると予測していますが、うち600人を治療することを目標としており、この数字がクリアできれば安定的に施設が運営でき

ると考えています。そのための広報活動をこれから更に活発化していきます。

最後に、本プロジェクトがここに至るまで、量子科学研究開発機構および医用原子力技術研究振興財団には様々な面でご協力をいただきました。またプロジェクトを受注した東芝エネルギーシステムズ株式会社、株式会社日本設計、株式会社竹中工務店にはそれぞれの技術力を結集していただきました。他にも関連する業界の方々、寄付をいただいた自治体、企業、個人の方々など、様々なご支援があってこそ

ここまで来たのだと、ただただ感謝するばかりです。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

[1] Tatsuhiko Sato, Yosuke Iwamoto, Shintaro Hashimoto, Tatsuhiko Ogawa, Takuya Furuta, Shin-ichiro Abe, Takeshi Kai, Pi-En Tsai, Norihiro Matsuda, Hiroshi Iwase, Nobuhiro Shigyo, Lembit Sihver and Koji Niita, "Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02", J. Nucl. Sci. Technol. 55(5-6), 684-690 (2018)

# 令和 2 年度京都大学複合原子力科学研究所・専門研究会 「京都大学複合原子力科学研究所における BNCT 研究の 多様化・高度化に関する研究会」の報告

京都大学複合原子力科学研究所・粒子線腫瘍学研究センター  
鈴木 実



本年春に、ホウ素中性子捕捉療法 (Boron Neutron Capture Therapy, 以下 BNCT) の研究に従事してきた研究者にとって、加速器 BNCT による医療機関における切除不能な局所進行又は局所再発の頭頸部癌の保険診療開始という、以下に記します大変な朗報がありました。加速器 BNCT システム (NeuCure)、BNCT 線量計算プログラム (NeuCure ドーズエンジン)、が、2020 年 3 月 11 日付で、厚生労働省より新医療機器としての承認を取得、6 月 1 日付で保険適用になり、BNCT 薬剤 (ステボロニン) が「切除不能な局所進行又は局所再発の頭頸部癌」を効能・効果として、5 月 20 日付けで保険適用されました。

医療機関における加速器 BNCT の診療が開始されたことを受け、2019 年度をもって、京都大学複合原子力科学研究所 (以下、複合研) における研究用原子炉 (Kyoto University Research Reactor, 以下 KUR) を中性子源として世界最多の 580 件以上の BNCT を実施してきた臨床研究は終了となりました。この臨床研究は、KUR を 5 MW 出力で運転する曜日に合わせて実施されてきましたが、臨床研究の終了をうけて、この最大出力の運転日が、全て基礎研究に充てられることになりました。単純計算ですが、1 MW で実験してきた実験を同じ中性子フルエンスで実施するとすると、5 倍の実験を実施することが可能となります。10 月から、KUR での共同利用研究が開始されていますが、5 MW で運転してる木曜日に 5-6 件の動物照射実験を実施し

ております。また、本稿の冒頭に紹介した加速器 BNCT、ホウ素薬剤の承認は、BNCT の基礎研究に従事してきた研究者にとって、橋渡し研究のゴールが明瞭に示されたこともあり、それに刺激された新たな研究者が BNCT 研究に参画されることが期待されます。

本稿で報告する複合研における専門研究会は、複合研、所外の先生を主催責任者として、毎年複数の研究会が、複合研を会場に多くの国内の研究者を集めて開催されています。BNCT に関する専門研究会は、通常 3 年ごとに研究会のテーマを変更して、毎年開催されてきました。本年度の BNCT に関する専門研究会のテーマは、「京都大学複合原子力科学研究所における BNCT 研究の多様化・高度化に関する研究会」です。本年度はこのテーマで開催される初年度となります。本研究会は、本稿の筆者である鈴木と、粒子線医学物理学研究分野の櫻井良憲准教授の 2 名を所内開催責任者、東京工業大学の中村浩之教授を所外開催責任者として開催されました。

本研究所の KUR を BNCT 研究に共同利用として申請する研究グループは、年々増加傾向にあります。上述したように、加速器 BNCT の医療機関での BNCT 開始は、その増加傾向をさらに推し進めることが予想されます。その状況をうけて、今後、さらに多くの BNCT 研究者を受け入れることが予想される複合研における BNCT 研究を、その多様化・高度化の観点から議論することが重要であると

考え、上述の本研究会のテーマを決定いたしました。

コロナ感染拡大予防の観点から、本年度は、リモート形式での開催となりました。リモート開催での情報セキュリティの観点から、本研究会開催責任者3名が、それぞれの専門分野において、BNCTの多様性・高度化のテーマに合致した、すでに論文発表されている研究成果、あるいは、それらサマリーを発表していただける研究者に発表をお願いすることにいたしました。共同利用成果報告については、化学・薬学3件、医学・生物学3件、物理工学3件の発表があり、発表内容の紹介は割愛いたしますが、KURを使用して得られてきた研究成果が紹介され、今後の新たな研究の方向性のヒントになるような発表が数多くあり、大変有意義なセッションとなりました。また、現状、BNCTの特に生物学研究の基礎研究として中性子を提供できるのは複合研KURのみですが、基礎あるいは臨床使用に向けた国内のBNCT加速器研究施設は6施設あり、各研究施設からの現状報告がありました。特に、基礎研究に供することができる加速器BNCT照射装置開発は、中国ですでに複数施設が整備されつつある海外の状況を考えると、複合研の加速器も含めて、今後、大変重要な問題であります。共同利用成果報告、BNCT施設活動状況報告、総合討論等での活発な議論を通じて、BNCTに関わる研究者間のネットワークが強化され、国内のBNCT研究の状況について情報共有がなされたものと思っています。

来年度の専門研究会も同じ研究テーマで実施することになります。開催形式については、今後のコロナ感染拡大の現状から、現時点では不明です。最近の学会のように現地開催とリモート開催を併用とするハイブリッド研究会のような形も想定されます。今年度のリモート開催が最大の参加数となったように、コロナ終息後もリモート開催は、大変多忙な研究者、年々運営交付金が削減されている大学の研究者にとって出張交通費の節約などの観点から、常態となるべきものかもしれません。本研究会を終えての主催者の実感であります。

最後になりますが、本研究会のテーマのBNCT研究の多様性にあるように、BNCT研究の裾野を広げることが、複合研でのKURを利用した共同利

用研究を受け入れる教員の最重要なミッションであると考えています。本年度はコロナ感染拡大を受け来年に延期となりました日本中性子捕捉療法学会の学術大会でも、まだ中性子照射前の段階の研究発表を見つけると、演者の方に共同利用の応募をお願いしております。私は、高校まで静岡県沼津市で過ごし、いつも富士山を見て育ちました。孤立峰である富士山が美しいのは、あの裾野が広がる優美な立ち姿だと思います。現在、臨床研究の分野では間違いなく日本が世界をリードしていますが、基礎研究の分野でも世界を引っ張るには、とにかくマンパワーを集め、研究の裾野を広げる必要があります。多様な観点、異分野融合の観点から、新たなBNCT研究が開拓されます。そのためには、若い研究者の柔軟な発想力が重要です。助教の先生、大学院生の研究については、あらゆることをバックアップいたしますので、BNCT研究に是非ご参画してください。来年度の専門研究会で、リモート開催の画面越しになるかもしれませんが、お会いできることを楽しみにしております。

令和2年度京都大学複合原子力科学研究所専門研究会 「京都大学複合原子力科学研究所におけるBNCT研究の多様化・高度化に関する研究会」		
日 時： 令和2年9月2日（水） 10:30-17:25 オンライン開催		
プログラム		
9月2日（水）		
10:30～10:35 開会の辞【京大複合原研 鈴木 実】		
10:35～11:05 KUR共同利用の現状【進行：京大複合原研 鈴木 実】	KUR 重水設備・E-3導管の現状	京大複合原研 櫻井良彦
	生物実験について	京大複合原研 鈴木 実
	担癌マウス照射実験における線量評価の効率化	京大複合原研 高田卓史
11:15～11:55 共同利用成果報告-物理工学Ⅰ【座長：京大複合原研 櫻井良彦】		
	プロジェクト研究「BNCTに関する総合的線量評価システムの高度化」	京大複合原研 櫻井良彦
	光ファイバ型検出器を用いた中性子検出	名古屋大学 渡辺賢一
12:00～13:00 【休憩】		
13:00～14:00 共同利用成果報告-生物・医学【座長：京大複合原研 鈴木 実】		
	同所性腫瘍移植モデルを用いたBNCTの前臨床研究	神戸学院大学 安藤 徹
	脳腫瘍幹細胞によるBPA取り込みの検討	京大複合原研 近藤夏子
	BNCT治療計画研究	京大複合原研 鈴木 実
14:10～15:10 共同利用成果報告-化学・薬学【座長：東京工業大学 中村浩之】		
	高分子の精密設計に基づくホウ素薬剤送達システムの開発	東京工業大学 西山伸宏
	グルコース輸送体を標的とした新規ホウ素薬剤開発へ向けて	岡山大学 道上宏之
	ホウ素薬剤の細胞内分布とBNCTによる殺細胞効果への影響	大阪府立大学 服部能英
15:20～15:40 共同利用成果報告-物理工学Ⅱ【座長：京大複合原研 櫻井良彦】		
	ETCCを応用したホウ素即発ガン線分布の可視化技術	京都大学 谷森 達
15:45～16:45 BNCT施設の活動紹介【座長：京大複合原研 櫻井良彦】		
	京大複合原研におけるC-BENSの現状	京大複合原研 田中浩基
	関西 BNCT 共同医療センターの活動の現況	大阪医科大学 小野公二
	名古屋大学加速器中性子源の現状	名古屋大学 瓜谷 章
	国立がん研究センターにおける加速器BNCT治療の進捗	国立がん研究センター 井垣 浩
	BNCTに活用可能な中性子標準場の紹介	産業技術総合研究所 増田明彦
	BNCT治療装置の国際標準化について	筑波大学 熊田博明
16:50～17:20 総合討論【進行：京大複合原研 鈴木 実】		
17:20～17:25 閉会の辞【東京工業大学 中村浩之】		



## 放射線影響協会が「放射線の影響がわかる本」の改訂版を公開

放射線影響協会（佐々木康人理事長）は、放射線や健康への影響を解説した「放射線の影響がわかる本」の改訂版を作成・公開いたしました。

放射線影響協会は、昭和 35 年（1960 年）に財団法人として設立され、平成 24 年（2012 年）に公益財団法人に移行し、本年 9 月で設立 60 周年を迎えました。協会は放射線影響等に関する知識の普及や調査研究、放射線業務従事者の被ばく線量登録管理事業や低線量放射線による人体への影響に関する疫学的調査などの活動を行ってきています。今般、設立 60 周年記念事業の一環で改訂版を公開いたしました。

「放射線の影響がわかる本」は平成 8 年（1996 年）に発行されて以降、平成 12 年（2000 年）に増補改定を行いました。平成 23 年（2011 年）3 月に発生した福島第一原子力発電所事故以降、放射線の健康影響への人々の関心が高まり、放射線・放射能に関する解説書が数多く出版されてきました。こうした背景を踏まえ、本書を新たに改訂し、公開したものです。

放射線影響の研究は、近年、細胞や遺伝子の研究の発展に伴って生命の設計図と言われる DNA の研究が進展し、放射線によって傷つけられた DNA の修復や突然変異のメカニズムが徐々に明らかになってきています。また、放射線の影響と「がん」は切り離せない関係にあります。が、「がん」についての研究は、遺伝子解析技術の発展に伴って飛躍的に進歩しています。

今回の改訂では、こうした放射線影響やがんについての最新の研究成果を取り入れて、放射線影響についてこれまでに分かってきたことをできるだけ平易な言葉で紹介することとしました。

本書は、第 1 章と第 2 章で放射線の正体や身の回りの放射線から受けるさまざまな被ばくについて、第 3 章から第 7 章で細胞や人体への放射線の影響、がんとは何か、がんはどのようにしてできるのか、がんや遺伝・妊娠・出産と放射線との関係について紹介し、第 8 章では第 1 章から第 7 章までの内容を要約して放射線影響について科学的に分かっていることをまとめました。第 9 章では放射線の利用と管理の現場における放射線防護の考え方を紹介し、第 10 章では放射線被ばく事故の事例を紹介しています。

今回の改訂では、より多くの方々に読んでいただけるように、協会のホームページ上で公開する形を取りました。

[http://www.rea.or.jp/wakaruhon/kaitei2020/wakaruhon\\_main\\_html](http://www.rea.or.jp/wakaruhon/kaitei2020/wakaruhon_main_html)

本書が放射線の影響について、みなさまの理解をさらに深めていただくことにお役に立てれば幸いです。



## お知らせ

### ◆当財団発行の小冊子・テキスト等のお知らせ

当財団では、粒子線治療（陽子線・重粒子線）に関する以下の小冊子・書籍・テキストを頒布しております。購入希望の方は、メール・電話にて、当財団までお問い合わせ下さい。



#### ・小冊子「体にやさしい粒子線がん治療」(改訂版)

小冊子の前半では、粒子線がん治療に関して、その概要、また公的保険の適用範囲および治療費についてもやさしく解説しています。後半では、Q&A形式で、よくある質問(10問)に対する回答を掲載しており、国内の粒子線施設への問合せ先や問合せ方法についても記載しています。(平成30年7月発行)

A5版カラー 26頁 1冊：特別価格 300円(税込・送料実費)  
発行者：公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団



#### ・書籍「ここまできた重粒子線がん治療」

本書は、重粒子線がん治療について、患者さんや一般の人にわかりやすく、やさしく解説した案内本です。各部位別がんの解説や治療を受けた患者さんの貴重な体験記も多く掲載しており、最新の知見や技術動向も出来得る限り盛り込んでおります。(平成29年5月発行)

A5版カラー 275頁 1冊：2,200円(税込・送料実費)  
著者：辻井博彦、鎌田正 取扱者：公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団

\*内容は、「今や国民病になった、がんという病気」「重粒子は放射線がん治療の大きな武器となる」「患者さんに優しい重粒子線がん治療」「重粒子線は、治療が難しいがんにも立ち向かう」「重粒子線治療を受けて患者さんたちの声」「重粒子線治療は、さらに前へ」で構成しています。



#### ・テキスト「粒子線がん治療に関する人材育成セミナー入門コース」(改訂版)

粒子線がん治療に関わっている初心者、また今後関わっていききたい方々を対象にしたセミナー「入門コース」用のテキストです。(平成26年7月発行)

A4版カラー 64頁 1冊：5,000円(税込・送料実費)  
発行者：公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団

\*内容は、「粒子線治療の基礎」・「粒子線治療装置」・「粒子線治療の流れとQ A」・「粒子線治療の実例」の4章から構成されており、一般の方々、さらに医療機器関連企業担当者、先進医療保険販売担当者、放射線治療分野の初任者、看護師、専門学校生、大学生等向けにわかりやすく説明したテキストです。



#### ・テキスト「粒子線がん治療に関する人材育成セミナー専門コース」(改訂版)

粒子線がん治療に関わる医師、診療放射線技師、医学物理士、関連技術者等の新規育成と定期的なフォローアップ教育を含めた専門性の高い内容を扱う方々を対象にした人材育成セミナー「専門コース」用のテキストです。(平成28年7月発行)

A4版カラー 246頁 1冊：10,000円(税込・送料実費)  
発行者：公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団

\*内容は、「粒子線治療の概要」・「がんの診断と治療」・「粒子線治療物理」・「放射線生物学概要」・「粒子線治療装置」・「粒子線治療の流れとQ A」・「粒子線治療(陽子線・重粒子線)の実例」・「建屋設計と放射線管理」の8章から構成されており、粒子線がん治療に関わっている医師・診療放射線技師・医学物理士等をはじめ医療機器関連企業技術者、建築関連企業設計技師、大学院生・看護師、専門学校生、大学生等向けにわかりやすく説明したテキストです。

当財団では、賛助会員および施設研究会会員の皆様の会費および事業収入によって、事業活動を行っておりますが、今後さらに活動内容の充実・拡大を図るため、法人個人を問わず広く寄付によるご支援を募っております。

ご協力いただきました寄付金は、医用原子力技術の推進および普及のため適切かつ有効に活用させていただきます。

#### 今年度、寄付をいただいた個人・団体・企業様<sup>(50音順)</sup>

令和2年10月現在

住友重機械工業株式会社  
東芝エネルギーシステムズ株式会社  
株式会社日立製作所  
ビードットメディカル  
レイサーチ・ジャパン株式会社

ご協力くださった皆様に感謝申し上げます。

### 「医用原子力だより」 第21号

令和2年12月発行

編集・発行

公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団

〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町7-16  
ニッケイビル5階

電話 (03) 5645-2230 FAX (03) 3660-0200

E-mail : info@antm.or.jp

URL : http://www.antm.or.jp

