



Association for Nuclear Technology in Medicine

# 医用原子力だより

第20号



## 実医療化が近づく ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT)

京都大学複合原子力科学研究所 所長  
川端 祐司

ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) は、これまで原子炉を中性子源として治療研究が行われてきた。しかし、原子炉を使う限り、利用は極めて限られたものとなり、社会的にインパクトのある治療法とはなり得ない。そこで、京都大学複合原子力科学研究所 (KURNS、旧原子炉実験所) と住友重機械工業が協力して、病院に附設できる加速器 BNCT 治療システムが開発され、2008 年にサイクロトロンベース熱外中性子源 (C-BENS) として完成された。その後、実医療に向けた治験が開始され、さらに同システムは京都大学だけでなく南東北 BNCT 研究センターにも導入されることとなった。その後は両者の協力の下に治験が進められている。さらに、昨年 6 月には関西 BNCT 共同医療センターも開院し、東西それぞれに治療拠点が整備された。この治験も最終段階となっており、近い将来に薬事承認さらに臨床医療にまで進むものと期待されている。

現在進められている BNCT 治験は悪性脳腫瘍と頭頸部癌のみであるが、さらに広く適用拡大を進め、治療成果を向上させるためには、今後も基礎研究が重要であることは言うまでもない。また、病院附設施設が完成した今後は、人に対する治療及び臨床研究はそのような施設で実施し、KURNS は基礎研究に特化することで両者が相補的な協力を行うことが期待される。

現在進められている治験の終了後には、C-BENS を一般研究用に転用することが検討されている。もし実現すれば、KURNS サイトでは原子炉 (KUR) ばかりでなく加速器中性子源も基礎研究に利用でき、その研究環境は著しく増強される。例えば、動物照射研究において、原子炉では実質的に小型動物だけが対象であったが、加速器施設では環境を整えることにより中型動物の照射も視野に入る。このような新たな展開は BNCT 基礎研究をさらに活性化させると期待されている。

また、現在利用されている本施設の照射ポートは熱外中性子に最適化しているが、サイクロトロンからの陽子ビームを分岐することにより、陽子利用ばかりでなく熱・冷中性子線源を実現することも可能である。この様に広いスペクトルの中性子利用が計画できることから、現在の KUR との相補的利用が期待できる。さらに、将来、KUR が停止せざるを得なくなった際にも代替中性子源として利用できることから、研究所として今後長年にわたり共同利用・共同研究拠点としての役割を果たす環境が整備できつつある。

また、KURNS では、BNCT の研究拠点として基礎研究をさらに活性化させるべく、従来の共同利用研究を充実させるだけでなく、新しい「量子ビーム生体システム解析・応用ユニット」を立ち上げ、研究所を挙げて BNCT 研究を推進する体制を構築した。そこでは、臨床研究だけでなく、新規薬剤開発・放射線生物学・医学物理学等の基礎研究と共に、ホウ素の代わりにガドリニウムを用いた NCT 研究、同伴動物への BNCT 展開、育種等への BNC 反応の応用、RI の医療応用など、多様な関連研究を含む基礎研究を、研究所のバックアップの下に強力に推進する予定である。

今後の BNCT の健全な発展のためには、治療拠点と研究拠点のそれぞれが力強く活動するだけでなく、有機的な協力を行うことによって全体としての調和のとれた進展が必要である。また、BNCT がこれまでにない特徴を持った優れた治療法だと信じる我々としては、世界の患者さんに実治療としての BNCT を届けることが最終目標である。そのためには、企業との協力も必須であり、今まさに新しいステージが開かれようとしている。

さらに、本システムと異なるタイプの加速器中性子源の研究開発も各所にて進められており、それぞれ着実な進展が認められていること、さらにそれらには我々のシステムにない優れた特徴があることから、BNCT の将来には大きな未来あると期待できる。

※川端氏は、平成 30 年 6 月 21 日より公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団 理事

### ◆国際重粒子線がん治療研修コース 2019

当財団は、2019年11月11日（月）から11月16日（土）まで6日間の日程で International Training Course on Carbon-ion Radiotherapy（国際重粒子線がん治療研修コース、略称「ITCCIR」）2019を開催しました。研修会場は、量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所（千葉県千葉市）および群馬大学重粒子線医学研究センター（群馬県前橋市）でした。協賛として、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、レイサーチ・ジャパン（株）、エレクトラ（株）の5社からご協力いただきました。参加料金は、1名13万円で、これには参加費用、テキスト代、宿泊費、研修会場間の交通費、昼食、懇親会費等が含まれています。

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、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（以下、量研機構放医研という）、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わ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当しています。

昨年度は、粒子線治療国際シンポジウム 2018（International Symposium on Ion Therapy 2018）が11月10日から12日まで開催されたためITCCIRは一時的に中断しましたが、今年度から再開することになりました。

今年度で第7回目になるITCCIRは、韓国、中国、台湾、タイ、インド、マレーシア、オーストラリア、ギリシャ、米国、日本の10カ国・地域、24の研究機関・施設から総勢64名が参加し、2012年の

開始以降過去最高の参加者数を更新しました。また、2019年までの参加者の累計は355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、スペイン、ドイツ、オランダ、米国、そして日本の20カ国・地域に渡ります。粒子線施設建設中、粒子線施設計画・検討中を問わず幅広く参加しています。

今年度の研修は、量研機構放医研、群馬大学および関係協力機関の講師に加え、米国のUT Southwesternから外国人講師を招いて、より専門的な研修プログラムが組まれたことに特徴があります。研修プログラムは、研修内容を現場で行われている内容により近づけ、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、毎年改良されてきています。

研修初日11月11日、量研機構放医研 QST 病院長の辻先生の開講挨拶と辻井先生によるガイダンスが行われました。その後、講義、続いて参加者による各施設の自己紹介があり、最後に新治療研究棟の治療室とガントリー、ビームラインの見学とパソコンを使った治療計画の実習が行われました。このソフトウェアは、量研機構放医研が開発したナビゲーションソフトウェアであり、実際の症例をベースにパソコンで治療計画を策定することができます。参加者は、大変興味を持ったようで自らパソコンを操作して実習を行い、不明な点については積極的に質問していました。

この日の研修終了後、量研機構放医研の食堂にて歓迎会が行われました。量研機構放医研の辻井先生が参加者の歓迎と今後の活躍を期待する旨の挨拶をした後、UT SouthwesternのArnold Pompos 准教



研修会場（量研機構放医研）



歓迎会（量研機構放医研）



新治療研究棟見学（量研機構放医研）



集合写真（量研機構放医研）



集合写真  
（群馬大学重粒子線医学研究センター）



研修会場（群馬大学大学院講義室）

授の乾杯で歓迎会が始まり、一同、料理を食べながら歓談、親睦を深めました。

11月12日、13日は、量研機構放医研の講師と外国人講師による講義がありました。講義終了後の質疑応答では、質問者の数も多く予定時間をオーバーする場面が多々ありました。外国人講師による「臨床、物理、生物、管理各部門のニーズを満たす粒子線治療施設の設計するために」の講義では、休憩時間に多くの人が講師の周りを取り囲んで質問をしていたのが印象的でした。

研修後半の11月14日、全員で大型バスに乗り、千葉のホテルを出発し、途中渋滞に巻き込まれることなく群馬大学医学部のキャンパスに到着しました。午後12時40分より、群馬大学重粒子線医学研究センター長の白尾先生の開講挨拶が行われた後、講義が始まりました。講義の中で特に質問が多数あったのは、重粒子線治療と画像誘導放射線治療(IGRT)による肝臓がんと肺がんの事例紹介でした。その後、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、兵庫県立粒子線医療センターの施設紹介があり、この日の講義は終了しました。

長時間の移動や研修4日目ということもあり、参加者には多少の疲れが見受けられましたが、夜には伊香保の旅館で懇親会が予定されています。懇親会は、全員が浴衣に着替え、大野先生の司会で和気あいあいと進められました。宴もたけなわになると各国施設の代表者が挨拶する場面もあり、かなり打ち解けた様子でした。

11月15日、旅館を出発し、9時半過ぎには群馬大学に到着しました。早速、大野先生の司会で群馬大の目玉であるケーススタディの講義が始まりました。この日のケーススタディのテーマは、骨・

軟部腫瘍と肝臓がんでした。ケーススタディは、スクリーンに質問が出され、答えは参加者が該当する回答に挙手することにより進められ、質問の後には解説があり、非常に好評でした。

午後からは、協賛スポンサーである各企業による装置や自社の取り組みに関してプレゼンテーションがありました。参加者からは装置の具体的なスペックや価格について質問があり、各企業のプレゼンターも丁寧に対応していました。

11月16日最終日、前橋のホテルを出発し、9時前に群馬大学に到着し、早速、施設見学に入りました。群馬大学重粒子線医学研究センターは、量研機構放医研のHIMACを半分以下にしたコンパクトな施設で、随所にHIMACとは違った設計のアイデアが盛り込まれており、参加者も興味深く見学をしていました。

最後のフリーディスカッションでは、人材育成、資金調達、集患システム、プロモーション等について活発な議論が展開され、その後、修了式が行われました。参加者は修了証を渡された後、辻井先生と大野先生との記念撮影があり、全員、満足そうな笑みを浮かべていました。

正午には群馬大学を出発、帰路につき東京駅南口で解散となりました。参加者からは大変良かったと我々スタッフに声を掛けていただきました。研修成果とともに親睦も深まった有意義な6日間でした。



懇親会（伊香保森秋旅館）



修了式（群馬大学大学院講義室）

## ◆令和元年 8 月放射線オープンスクール

### ～概要～

医師のキャリアパスを考える医学生の会  
東北大学 医学部医学科 5 年  
林 明澄

令和 1 年 8 月 22 日から 23 日にかけて、医用原子力技術研究振興財団主催、量子科学技術研究開発機構、医学物理若手の会、医師のキャリアパスを考える医学生の会の共催により「放射線医学オープンスクール～未来を拓く 医療×テクノロジーとの出会い～」が開催されました。

本オープンスクールは、放射線医学見学ツアーとして 2008 年に開催されて以来、今年で 12 回目の開催となりました。今年度は、医学生、放射線学科の学生、物理学科の学生など 37 名の学生が参加しました。学部生から大学院博士課程まで多種多様な学生が集まる機会となりました。

今回のオープンスクールでは「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」の放射線医学総合研究所の見学、海堂尊先生による特別講演、放射線に関する講義や実習などが行われました。

1 日目は、まず重粒子線がん治療に関して、物理、医学、生物の 3 つの切り口による解説が行われました。1 つ目の講義では、古川先生が「粒子線がん治療装置の研究開発」と題して、治療装置の原理、構造や構成、今まで取り組んでこられた研究についてご講演いただきました。次に、中嶋先生による「重粒子線でのがん治療」と題した講義を拝聴いたしました。肺がんに対する重粒子線治療の効果や実情などを教えていただきました。最後に、野元先生に「重粒子線治療の生物学」と題して放射線が生体に与える影響について教えていただきました。その後、重粒子線治療に使われているシンクロトロンや回転ガントリー照射室の見学を行いました。実際にイオンを生成し加速する場所や患者さんが重粒子線治療を受ける場所を見学し、治療の裏ではたくさんの機械を使って準備が行われていることを学びました。どの先生も私たちの質問に丁寧に答えてくださり、大変勉強になりました。



施設内見学

1 日目の夕方からは特別講演として、海堂尊先生による「医療にできること・文学にできること」と題したご講演を拝聴しました。海堂尊先生が今まで取り組んでこられた 5 つのプロジェクトや学生へのメッセージをいただきました。

講演後には懇親会が開かれ、学生や医学物理若手の会のスタッフ、放射線医学総合研究所の先生方が参加して下さり楽しく親睦を深めることができました。

2 日目は、放射線医学総合研究所で行われている研究についての講義と放射線実習がありました。

まず、小野田先生に放射線基礎について教えていただきました。その後実験を行い、放射線の安全な取り扱いについて学びました。その後、放射線医学総合研究所の研究について講義をしていただきました。辻先生からは「腫瘍のイメージング診断と治療評価」、樋口先生からは「脳疾患のイメージング診断と標的アイソトープ治療」、町澤先生からは「MRI による脳活動の解析とニューロフィードバックによる操作」というタイトルでご講演いただきました。また、3 班に分かれて実際に実験が行われている研究室を見学し MRI 撮影、脳波測定など実験の一端を体験いたしました。



MRI

放射線医学総合研究所にて放射線の基礎から実際に行われている臨床や研究までたくさんのことを教えていただき、医療における放射線の安全性と重要さを理解することができました。

2日間のオープンスクールを通して、普段なかなかできない経験を通じて、放射線医学について学ぶことができました。また、放射線医学に興味を持つ学生との交流することでたくさんの刺激をもらうことができました。このような場を提供してくださった方々に、この場を借りて御礼申し上げます。



集合写真

## ◆令和元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

「令和元年度第1回施設研究会」は令和元年5月17日（金）いばらき中性子医療研究センターにてホウ素中性子捕捉療法（BNCT）施設の見学会として開催し、建設・設計会社等から10名の参加がありました。

当日は、はじめにBNCT施設を見学させていた

だき、その後筑波大学 医学医療系 生命医科学域（陽子線医学利用研究センター）准教授 熊田博明先生から、つくばグループによるBNCT事業の概要についてご説明がありました。

### <つくば型BNCT装置の概要>

▶ BNCTの実用化に向けた産学官連携プロジェクト。

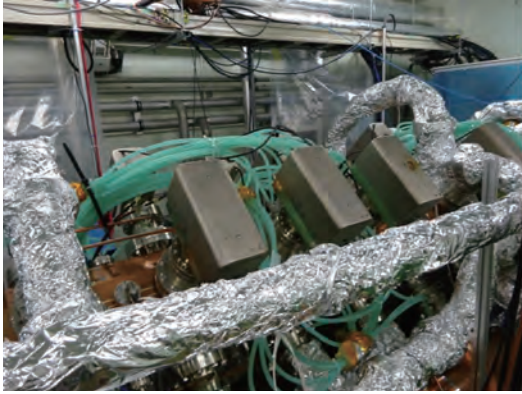
- ・ 筑波大学を筆頭に加速器、放射線に関する研究機関、重工メーカー、民間企業、及び、茨城県との連携による産学官連携プロジェクトを発足。つくば型治療装置・実証機：iBNCT001を開発整備。同装置を「いばらき中性子医療研究センター」（東海村内、茨城県所管の施設）に設置。
- ・ J-PARCの開発実績のある高エネルギー加速器研究機構、日本原子力研究開発機構による加速器中性子源の設計、製作、コミッシュニングを実施。
- ・ 原子炉での臨床研究実績のある筑波大学が医療装置としての装置開発を支援。
- ・ 放射線治療装置の製造実績のある重工メーカー、及び、原子力・放射線の施設管理、運用実績のある茨城県内外の企業等との連携。

▶ つくば型BNCT用治療装置・実証機：iBNCT001の概要。

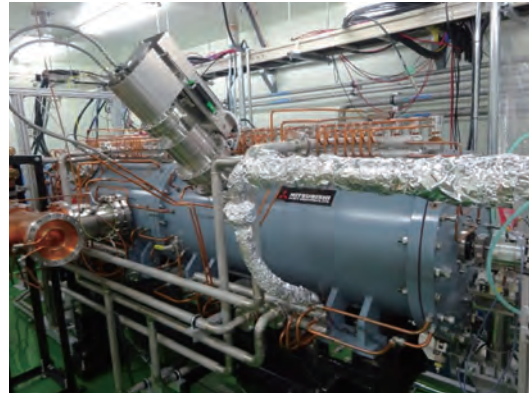
- ・ 最先端の研究用大型加速器施設：J-PARCの技術を基盤に、医療（BNCT）専用加速器として設計。
- ・ RFQ+DTL方式直線型加速器（リニアック）を採用。  
陽子エネルギー：8MeV、陽子の平均電流値：5mA以上（設計値）、標的への入射パワー：40kW（8MeV×5mA）以上、リニアックの長さ：<7m、リニアックの設置面積：<50m<sup>2</sup>
- ・ 中性子発生標的材にはベリリウムを採用。

### <これまでの開発状況>

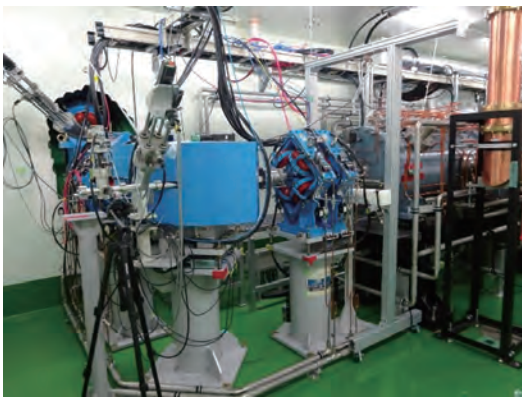
- ▶ 2016年末までに実証機の組み立てを完了し、中性子発生に成功。
- ▶ 2017年から段階的に陽子の平均電流値を増加す



リニアック (RFQ)



リニアック (DTL)



陽子ビーム輸送系 (上層階へ)



中性子発生装置 (右内部へ)

るとともに、安定的、継続的に加速器を稼働させて中性子を発生するための高度化を実施。

- ▶ 平均電流値：1.4mA での長時間連続稼働による繰り返し運転を実施できることを確認。
- ▶ 平均電流値：2.8mA での運転条件下での加速器稼働試験を開始。
- ▶ 同稼働条件下で水ファントムを用いた特性測定実験などを実施し、治療に要求される強度の中性子を発生できていることを確認。
- ▶ 発生する中性子の生体への影響を評価するため、細胞、小動物（マウス）に対する照射実験（予備実験）を実施。
- ▶ 今後は、準備が整い次第非臨床試験を実施し、この結果を踏まえて、速やかに実際の対象患者に対する治療を実施する計画。

### ◆令和元年度粒子線がん治療等に関する施設研究会 第2回研究会

「令和元年度第2回施設研究会」は令和元年10月29日（火）山形大学医学部（山形県山形市）において山形大学医学部東日本重粒子センターの見学会として開催し、建設・設計会社・装置メーカー等から17名の参加がありました。

当日は、はじめに山形大学医学部東日本重粒子センター運営委員長 嘉山孝正先生よりご挨拶があり、副センター長 岩井岳夫先生から山形大学東日本重粒子センターの概要についてご説明の後、同センターを見学させていただきました。

### <施設の特徴>

- 北日本初、国内7番目の重粒子線がん治療施設
- 世界初の総合病院接続型施設により、総合的な

医療を提供

- 世界最小回転ガントリー
- 短尺スキャンニング照射装置
- 高い省エネルギー性能
- 東北6県+新潟県にまたがる広域医療ITネットワークの構築、医療インバウンド推進

#### <施設概要>

設計 : 株式会社日本設計  
施工 : 株式会社竹中工務店  
治療装置 (加速器含む) : 東芝エネルギーシステムズ株式会社  
建築面積 : 2,212㎡  
延床面積 : 7,168㎡  
高さ : 27m  
構造 : 鉄筋コンクリート造、地上4階地下1階建て  
(地下1階:加速器、1階:玄関・電源室・ガントリーピット  
2階:固定照射室・回転ガントリー照射室など、  
3階:スタッフ室・電源室など、4階:空調機械室など)  
治療室 : 2室 (内訳:固定照射室(水平ポート)&回転ガントリー照射室)  
建物特徴 : 世界最小建築面積の重粒子線施設(CUBE型建屋)  
渡り廊下で総合病院と接続(世界初)  
固定照射室に垂直ポート設置可能な設計  
自然空調・オンデマンド運転採用で電力消費量を大幅低減

電気料金<1億円/年

#### <治療装置概要>

イオン源 : ECR イオン源  
入射器 : RFQ + IH DTL (4 MeV/u)  
主加速器 : シンクロトロン エネルギー可変 (50~430 MeV/u) 可変フラットトップ運転によるレンジシフトを用いないフルエネルギースキャンを行う  
照射装置 : 短尺スキャンニング照射装置  
照射方法 : 高速スキャンニング照射 呼吸同期可能  
回転ガントリー : 超伝導電磁石を用いた360°回転ガントリー(世界最小) 全長7.8m/200t  
治療台 : 7軸ロボットアーム型寝台  
位置決めシステム : 斜め2方向X線透視像による位置決め  
治療計画装置 : RayStation  
その他 : 320列CT 1台、3テスラMRI 1台、待合室個室8室

#### <今後の予定>

ビーム調整に関しては、放射線発生装置の使用承認後に開始し、入射器・シンクロトロンの調整および各照射器へのビーム輸送調整を行う。治療開始予定は、まず、2020年8月に固定照射室のみで治療を開始し、回転ガントリー照射室での治療開始は2021年2月を予定している。治療開始に向けて、治療計画に使用するビームデータの測定、CTの阻止能比の検証などの物理測定を行い、安全に治療を開始できるよう準備を進めていく予定である。



回転ガントリー



治療室



## ◆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（以降、照射線量校正）の提供を開始して以来、今年で16年目となります。その後、平成24年10月より水吸収線量による校正（以降、水吸収線量校正）の提供、平成30年7月より電位計と電離箱の各単体での校正（以降、分離校正）の提供へと進展させてきました。

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」シンボルマーク入りの校正証明書の発行を開始しました。

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、現在4回目の更新手続きを行っています。

### 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する、量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所内のコバルト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1年8月末時点で、線源交換から、およそ4年半が経過しました。その間、測定値のばらつきも少なく、1日あたり29件程度の校正件数で安定した供給を継続して行っています。

また、平成30年4月に分離校正の供給開始に伴う校正料金の改定を行いました。

平成30年度の校正依頼数は、例年同様、年度後半に増加し、最終的には過去3年とほぼ同等となりました。平成30年度までの年度別校正数を表1に示します。

また、平成28年度までの各年度では8月から9月上旬にかけて特定二次標準

表1. 年度別校正数（カッコ内の数値は対前年比）

年度	線量計	電離箱				校正件数
		① 円筒	② 平行平板	合計	①/②	
平30	967 (0.926)	1,664	837	2,501 (0.993)	1.988	3,338 (0.985)
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 ( - )

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）を行っており、その間、校正を休止していました。平成29年度より、特定二次標準器のバックアップ器で行うことにより、8月も通常月と同等の校正件数が実施可能となり、年間を通して月ごとの実施件数は、前期および後期で多少の増減はあるが、ほぼ平

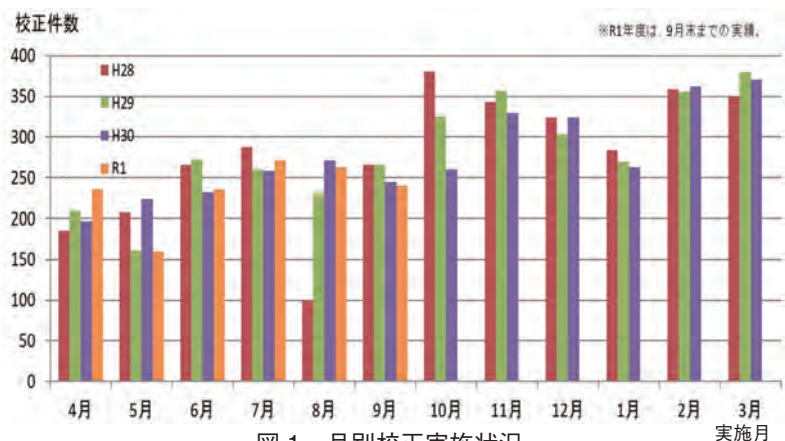


図1. 月別校正実施状況



均化しています。

月別の校正実施状況（平成 28 年度 4 月から令和 1 年度 9 月末まで）を図 1 に示します。

### 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 1 年を迎えました。

1 年間の分離での電離箱校正の実施割合は、全体の 2 割弱であり、一体校正が 8 割強であります。分離校正は開始から 5 年後に完全移行を目標としており、1 年目の実績としては順調といえます。一方、分離での電位計校正台数は予想の半分でありました。その原因は、電位計メーカーによる校正が開始され、当財団への依頼数が減ったためです。今後の傾向に注視して変化に対応していきます。

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、任意の組み合わせで使用可能です。

そのため、電位計メーカーで行う電位計校正について、その電位計と組み合わせて使用する電離箱校正を当財団へ依頼する場合は、組み合わせの対象となる電位計の校正実施日を申し込み時に連絡いただき、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、校正を行っています。

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 1 年度は 13 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 施設前後でありましたが、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。

平成 30 年度の出力線量測定の実施状況は、例年同様 4 月から 6 月は少なく、7 月に増加しました。

また、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、その影響により 9 月以降、依頼施設数はさらに増加し、年間での実施施設数は 203 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て申し込む施設もあり、平成 30 年度の申し込みは、TomoTherapy は 18 件、CyberKnife は 7 件でありました。

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 1 年度は、平成 28 年度にその 1 回目の出力線量測定を実施した約 140 施設が 2 回目サイクルの実施対象となります。

平成 28 年度から平成 30 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 28 年度から平成 30 年度の 3 年間の実施施設数

	3 年間の合計実施施設数	495	施設
内訳	がん診療連携拠点病院	356 (277)	施設
	一般病院	139 (116)	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	227	24	24	2	104	3	9	0
合計	277				116			

厚生労働省ホームページ掲載（平成 31 年 4 月 1 日付）のがん診療連携拠点病院の施設数は 390 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 113 施設となります。

令和 1 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

表4. 出力線量測定の間年実施数 (令和1年9月末現在)

		※1 H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	H19-R1(T)
施設数		14	43	45	50	46	54	71	145	163	140	152	203	57	1183
拠点病院数		12	32	29	37	35	46	57	113	129	104	103	149	32	878
ビーム数	4MV	9	20	29	31	28	28	46	90	100	87	103	115	41	727
	6MV	8	29	25	31	31	34	76	150	173	187	179	263	73	1279
	10MV	13	35	40	45	44	59	92	152	189	183	178	235	69	1334
	15MV	0	3	0	2	1	5	6	8	11	5	11	8	1	61
※2 照射野 条件	5cm × 5cm	-	-	-	55	33	40	63	115	142	117	119	147	35	866
	15cm × 15cm	-	-	-	19	4	15	20	37	50	18	45	36	9	253
	20cm × 20cm	-	-	-	48	34	45	42	128	134	90	93	133	26	774
	25cm × 25cm	-	-	-	4	4	8	17	12	26	16	19	17	6	129
※2 ウェッジ 条件	15°	-	-	-	23	20	31	35	57	45	41	34	43	11	340
	30°	-	-	-	18	22	22	40	60	54	36	42	31	5	330
	45°	-	-	-	8	7	11	18	13	20	17	20	15	1	130
	60°	-	-	-	4	9	6	23	15	23	20	33	41	16	190
Total		30	87	94	288	237	325	478	837	987	817	876	1084	293	6413
照射 装置数	Elekta	2	2	3	1	7	9	12	28	36	28	39	49	18	234
	MITSUBISHI	6	9	3	4	5	4	6	12	8	3	3	2	2	67
	SIEMENS	5	12	11	10	11	8	12	34	32	23	14	27	8	207
	TOSHIBA	5	8	5	9	2	6	4	13	7	6	6	3	0	74
	Varian	5	18	20	37	28	46	63	95	125	113	118	154	36	858
	その他	0	2	1	0	0	3	5	8	9	12	22	31	11	104
	Total	23	51	43	61	53	76	102	190	217	185	202	266	75	1544

※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、再測定前の方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)

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 (R1年度は9月末迄)

	ビーム数 (校正条件)			照射野条件
	8MV	14MV	18MV	8cm × 8cm
H25	1	1	1	
H26	2		1	1
H27	1			
H28	9			
H29	6			
H30	7			
R1	5			

表6. Tomotherapy および CyberKnife での出力線量測定  
の依頼状況 (R1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	5	3	2	2	12
H28-R1(T)	24	23	7	12	

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

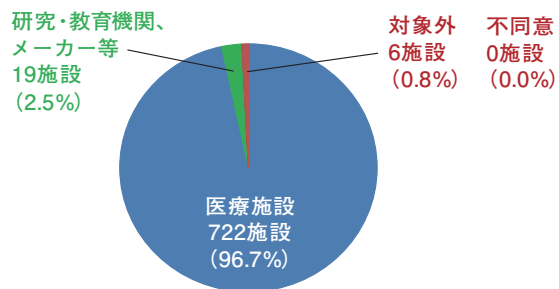
当財団では、治療用線量計校正および出力線量測定を実施した施設について、施設名公表を行っており、本年度は10月上旬に財団ホームページにて公表しました。

治療用線量計校正では、過去2年間の平成29年度および平成30年度に校正を実施した854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、

(平成 29 年度対象施設数： 747 施設)  
医療施設： 724 施設、 研究・教育機関・メーカー等： 23 施設



(平成 30 年度対象施設数： 757 施設)  
医療施設： 727 施設、 研究・教育機関・メーカー等： 30 施設

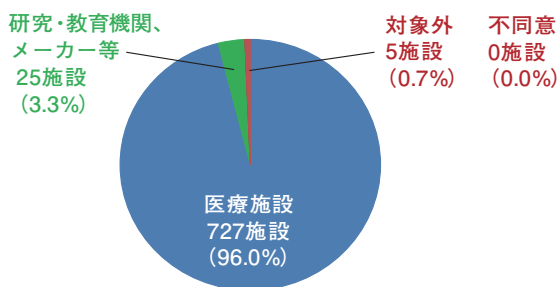
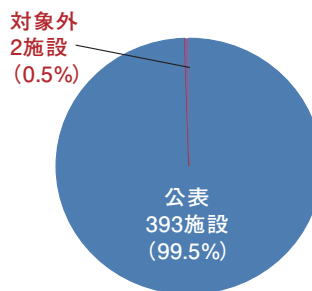


図 2. 治療用線量計校正実施施設の施設名公表数

(平成28年度から平成30年度までの過去3年間の対象施設数： 395 施設)



公表施設の拠点病院・一般病院の内訳

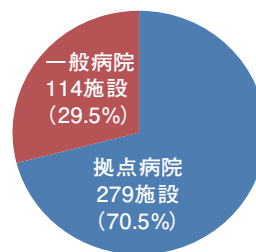


図 3. 出力線量測定実施施設の施設名公表数

表 7. 当財団における出力線量測定実施施設 395 施設の都道府県別内訳

(平成 28 年度～平成 30 年度の 3 年間で実施した施設数)

北海道	23	三重県	5
青森県	5	京都府	10
秋田県	6	奈良県	5
岩手県	4	大阪府	29
山形県	7	兵庫県	16
宮城県	6	和歌山県	4
福島県	8	鳥取県	3
栃木県	6	島根県	3
茨城県	9	岡山県	6
群馬県	8	広島県	7
埼玉県	14	山口県	1
千葉県	16	香川県	2
東京都	37	愛媛県	6
神奈川県	18	徳島県	1
新潟県	7	高知県	3
富山県	8	福岡県	19
長野県	8	佐賀県	4
山梨県	0	長崎県	5
石川県	3	熊本県	7
福井県	3	大分県	5
愛知県	26	宮崎県	1
岐阜県	7	鹿児島県	5
静岡県	13	沖縄県	2
滋賀県	4		

メーカー等、全体での施設名公表率は、平成 29 年度は 96.7%、平成 30 年度は 96.0% でありました。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 640 施設でありました。

出力線量測定では、過去 3 年間の平成 28 年度から平成 30 年度までの対象となる実施施設数 395 施設（がん診療連携拠点病院 280 施設、一般病院 115 施設）のうち施設名公表に同意いただいた 393 施設について公表し、施設名公表率は 99.5% であります。

また、平成 30 年度の新規での申し込み施設数は 62 施設（拠点病院 33 施設、一般病院 29 施設）でありました。

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

### 1) 電子線治療装置の郵送調査

電子線治療における出力線量測定 of 郵送調査を今年度中の開始を目標に準備を進めており、財団ホームページにて供給開始の案内後、受け付けを行う予定であります。

現状ではガラス素子の解析上の運用制限があり、ある程度依頼が集まってからの実施となるため、運用面での対応方法などの改善に努めています。また、ガン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。

### 2) IMRT（強度変調放射線治療）郵送調査

現在、国立がん研究センターが行う IMRT 訪問調査は、がん診療連携拠点病院が対象ですが、実施施設数の増加が見込まれるため、国立がん研究センター研究支援センターが支援する多施設共同臨床研究グループに設置された日本臨床腫瘍研究グループ（以降、JCOG）のワーキンググループ（以降、WG）により、訪問調査から郵送調査への移行が行われています。

今後は一般病院の治療装置も IMRT 郵送調査の対象となるため、国立がん研究センターのみでは対応が難しくなることから、がん診療連携拠点病院の実施については、これまで通り国立がん研究センターが対応する予定ですが、一般病院の実施については、当財団による第三者評価としての対応が求められています。

現在、JCOG\_WG のサポートのもと、当財団が IMRT 郵送調査を実施するために必要な知識および技術の習得を目的として、治療施設にご協力いただき、測定トライアルを行なうとともに、IMRT 郵送調査による第三者評価の事業化に向けて検討しています。

## ◆令和元年度「粒子線がん治療に関する人材育成セミナー（入門コース）」

当財団では、将来にわたって医用原子力技術を担い継承していく人材育成のため、専門的知識・技術を必要とする粒子線治療施設の人材育成事業として、平成 26 年度より粒子線がん治療に関する人材育成セミナー「入門コース」を開催しております。

第 8 回目となる今年度は、粒子線がん治療に関わる初心者、さらに今後関わっていききたい方々、特に医療機器関連企業担当者、先進医療保険販売担当者、または放射線治療分野の初任者、看護師、専門学校生、大学生を対象として、令和元年 7 月 27 日（土）、フクラシア八重洲（東京）にて開催しました。今年度のセミナーの特徴は、プログラムの一部を見直し、より多くの方々に粒子線治療の知識を得ていただく場として提供しました他、近年より看護師の方々からご要望が多かった「粒子線治療の看護」に関する講演を昨年より継続して実施しました。具体的な内容は、「粒子線治療の基礎知識」（講師：遠藤真広 常務理事）・「粒子線治療の流れと Q A」（講師：沼野真澄 先生）・「粒子線治療の看護」（講師：三上恵子 先生）・「放射線治療の基礎知識」（講師：佐々木良平 先生）・「重粒子線治療の実例」（講師：久保亘輝 先生）・「陽子線治療の実例」（講師：村山重行 先生）の 6 セッションから構成し参加者は全体で 33 名、その内訳は、医師・診療放射線技師・医学物理士 9 名、医療事務関連 1 名、看護師 4 名、医療機器関連企業担当者 7 名、大学生・大学院生他 2 名、その他（医療コーディネーター・医療通訳者）10 名でした。

## ここが違う重粒子線治療—その特徴と魅力

量研機構・QST 病院（前・放医研病院）・国際治療研究センター長  
公益財団法人医用原子力技術研究振興財団代表理事・副理事長  
辻井 博彦



放射線治療の原則は、放射線を出せるだけがん病巣に集中させ、かつ周辺正常組織の影響を極力押えることです。1895 年末にエックス線が発見され、その翌年にはがん治療に用いられるようになりました。それ以来、放射線治療は線量分布改善のための歴史が続きましたが、CT が登場した 1970 年代を境に近代放射線治療の幕が開けました。20 世紀後半にはかつてない技術革新があり、定位照射法や強度変調照射法といった革新的な照射法が開発されました。一方、陽子線や重粒子線を用いた粒子線治療の進歩も著しいものがあります。

1990 年代に米国で病院設置型の陽子線装置が開発されてから、急速に身近なものになりました。このなかで重粒子線治療は、病巣の選択的照射が可能なることに加えて、高い生物効果を有していることから、治療成績の改善と適応疾患の拡大に大きく寄与しています。

重粒子線治療は、放射線医学総合研究所・重粒子医科学センター（現在、QST 病院に改称）が世界に先駆けて建設した重粒子加速装置（ハイマック：Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba）から得られる炭素イオン線を用いて、1994 年に開始されました。本装置は、1984 年に始まった「対がん 10 カ年総合戦略」の一環として建設されたもので、医療を目的とした重粒子加速器としては世界で最初のもので、日本で本格的に始まった重粒子線治療は、いまでは世界の十数カ所で行われています。

以下、重粒子線治療の特徴と魅力について紹介しましょう。

### 1. 重粒子線治療の特徴と魅力

重粒子線の特徴は、①体内で高線量域（Bragg peak）を形成する、②生物効果（細胞致死作用）が大きい、③エックス線抵抗性がんに対して有効、④短期治療が可能、⑤相対的な発がんリスクは高くない、⑥免疫能賦活効果が大きい、などです。いずれもがん治療に適した特徴で、これが他の治療にはない魅力になっています。以下、それぞれについて具体的に説明します。

#### 1.1 がん治療に最適な生物学的線量分布

一般のがん治療に用いられている光子線（エックス線やガンマ線）は、物質に入射した直後に最も大きなエネルギーを与え、深くなるほど与えるエネルギーは減少していきます。これに対して、陽子線や重粒子線（炭素イオン線）などの荷電粒子線（プラス電荷を帯びている）は、進行経路にある物質を電離することによってエネルギーを与え速度を落としていきますが、入射後しばらくは与えるエネルギーが小さな平坦部が続き、一定の深さに達して停止す

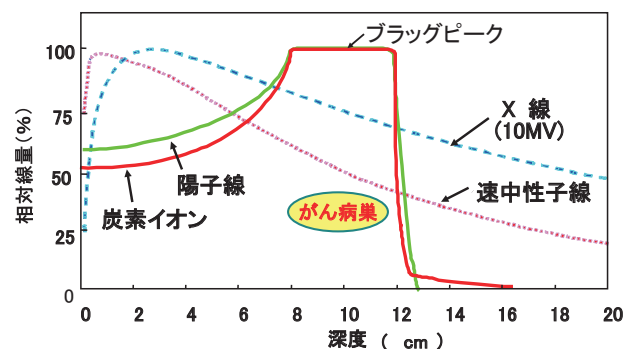
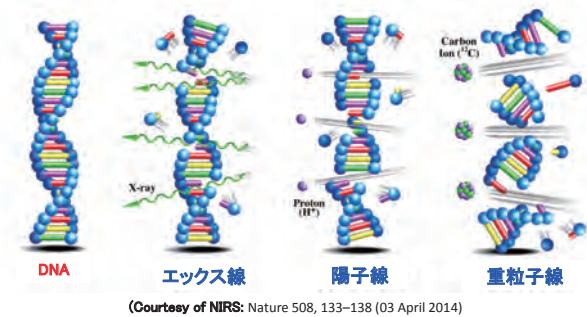


図1. 各種放射線の線量分布。陽子線と炭素イオン線は体内で高線量域（ブラッグピーク）を形成し、病巣の選択的照射が可能。



(Courtesy of NIRS: Nature 508, 133–138 (03 April 2014))

図2. 放射線によるDNA傷害の違い。X線や陽子線は単鎖切断が主であるが、重粒子線では2重鎖切断が多く、その分細胞致死作用（RBE）が高い。

る直前に最大になり、続いて急激に低下します。この最大部分は発見者のウィリアム・ヘンリー・ブラッグに因んでブラッグピーク（Bragg peak）と呼ばれます（図1）。この現象は荷電粒子線に共通の性質で、これがあるため病巣への集中照射が可能なのです。重粒子線の場合は、単にこれだけではありません。

ブラッグピークを作ることは、陽子線も重粒子線も同じですが、水素の原子核である陽子に対して、重粒子線を構成する炭素の原子核の電荷は6倍です。物理学の法則によると同じ速度の原子核が物質を通過するとき物質に与えるエネルギーは、おおよそ電荷の2乗に比例します。したがって、炭素の原子核は陽子に比べて非常に大きなエネルギーを与えることになり、このエネルギーは通過する物質を電離するために用いられます。見方を変えれば、重粒子線は陽子線の数十倍の密度で物質を電離するといえます。

放射線により物質が電離されるとラジカル（反応性の高いイオン）が生じ、このラジカルは（図2）に示すように、細胞核内にあるDNAを切断します。電離密度が小さいときラジカルの密度が小さいため2本のうちの1本を切断する単鎖切断が主であり、単鎖切断に対してDNAは修復されます。修復が困難で細胞死に至る2本鎖切断は稀にしか起こりません。しかし、電離密度が大きくなると2本鎖切断が容易に起こるようになり、同じ吸収線量に対する生物効果（細胞致死作用）は大きくなります。（図3）に示すように平坦部で2倍、ピーク部では3倍に達

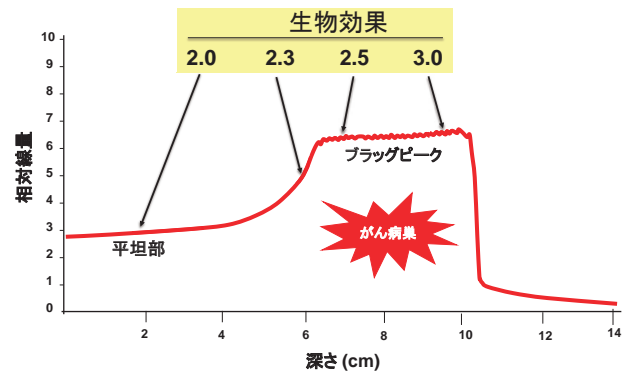


図3. 重粒子線の線量分布。深部になるほど電離密度が大きくなるので生物効果も大きくなる。つまり、がん病巣のあるピーク部分は平坦部よりも物理・生物学的に高い線量で照射されることになる。

します。したがって、重粒子線治療においては、正常組織のある平坦部の生物効果は小さく、ブラッグピークで照射されるがん病巣は生物作用の大きな粒子線で照射されることになるのです。つまり、がん病巣に対しては周辺の正常組織に比べて、「質的により大きな生物効果」を有した放射線を、「量的により高い線量」で照射することが可能というわけです。

なお、重粒子線と陽子線のブラッグピークの形状ですが、全く同じというわけではありません。厳密に比較すると、重粒子線の方がビーム辺縁の半影が小さいので、線量分布はよりシャープになります。これは、重粒子線として質量が陽子の12倍重い炭素核を用いているからで、生体内で散乱と飛程の揺らぎが小さいからです。その差は深くなるほど顕著です。深在性腫瘍に対して病巣に十分な線量を集中し、かつ隣接する正常組織の障害を低減したいとき、重粒子線に有利な線量分布として表現されます。さらに、後述しますが、ビーム経路と生体内で生じる2次中性子線量が比較的少ないのも、重粒子線の特徴の一つです。

## 1.2 臨床からみた重粒子線の魅力

### 1.2.1 放射線抵抗性がんの有効

上述した通り、重粒子線は体内でブラッグピークを形成し、その部分には高密度の電離を生じます。高密度の電離は、生物効果（細胞致死作用）を陽子線やX線より大きくする以外にも重要な効果があります。がんの中には細胞が低酸素の環境にあるなどの理由でX線や陽子線に抵抗性を示す難治がんがあ

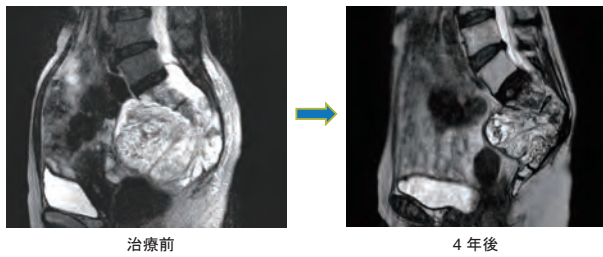


図 4. 仙骨脊索腫の一例

ります。重粒子線は、これらのがんに対しても有効性が期待できます。放射線抵抗性がんの代表は骨軟部腫瘍（図 4）や線がん系腫瘍ですが、わが国では両者ともすでに公的保険の対象となっています。

### 1.2.2 短期小分割照射法が有効

重粒子線治療の特徴は、治療回数を少なくして、治療期間を短縮することが可能なことです。患者にとって治療が短期間で済みますし、施設の有効活用という経営面でも、大きな利点を意味しています。放射線生物学的な観点からは、治療回数を少なくする（つまり、1回当たりの線量を大きくする、あるいは治療期間を短くする）と、生物効果は小さくなってしまいます。これはがん制御の面からはなはだ不都合です。しかし幸いなことに重粒子線を用いた生物実験では、この生物効果は、がん組織よりも正常組織の方が小さくなるという結果が得られています。つまり、治療回数と治療期間を短縮することにより、治療可能比はむしろ向上するというわけです。重粒子線治療においては、こういった生物学的な裏付けとともにブラッグピーク特性により、短期小分割照射が安全に実施可能なのです。

現在、QST 病院では、患者 1 人当たりの照射回数は平均 12 回（3 週間）で、一般の放射線治療の半分以下の短さです。I 期肺がんや肝がんに対してはそれぞれ 1、2 回の照射で済んでいます（図 5）。前立腺がんや膵がんに対しては 3 週間で 12 回照射法が行われ、現在はすべて 12 回・3 週間の治療をスキニング照射法で行っています。

### 1.2.3 治療後の 2 次発がんリスク

放射線治療や化学療法などのがん治療を受けると、治療後に他のがん（2 次がん）になる確率がある程度増加することが知られています。重粒子線治

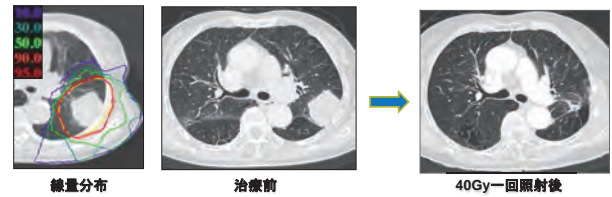


図 5. 肺がんに対する 1 回照射法（71 歳女性）。扁平上皮がん（T2N0M0）に対して 40Gy1 回照射。

療後の 2 次がんリスクについては、長期観察症例がエックス線ほど多くないこともあって、分析に耐えるデータはありませんでした。それが最近の放医研の調査研究により、次のことが明らかになったのです。重粒子線治療を受けた前立腺がん患者および大阪府がん登録のデータを用い、限局性前立腺がんにおける重粒子線治療・光子線治療・外科的治療の 2 次がんリスクを解析した結果、前立腺癌の治療後に 2 次がんが発生する確率は、重粒子線治療で光子線治療よりも有意に少なくなっていました。年齢を合わせて比較した場合でも、前立腺癌を重粒子線治療した後の 2 次がんの発生率は、同年代の一般男性のがん発生率と変わりませんでした。

これには理由があります。放射線治療後の 2 次がん発生に大きく関与するのは、患者が治療中に被ばくする 2 次中性子線によると考えられています。加速器から取り出された一次荷電粒子は、照射野形成装置（主にコリメータ）を經由し人体（患者）内で停止しますが、それぞれの部位で核反応を起こして 2 次中性子が発生します。患者位置における実測結果では、2 次中性子線の発生は、重粒子線の方がエックス線や陽子線より少ないことが確認されました。これが、重粒子線治療後の 2 次がん発生はエックス線よりも低いという、今回の調査結果の有力な根拠と考えられます。なお、最新のスキニング法を用いることで、同じターゲット条件のもとでの中性子線量は拡大ビーム法の 10% 以下になります。

### 1.2.4 免疫機能の増強効果

放射線照射は、腫瘍細胞を免疫療法に対して高感受性にしますが、同時に腫瘍細胞から腫瘍抗原を放出させる作用があります。この腫瘍抗原の刺激により T 細胞が活性化し、放射線照射を受けていない遠隔部位も含めて全身の腫瘍細胞を攻撃するように

なります。このように、放射線が局所では腫瘍を縮小させる一方、全身では免疫応答を誘導するわけで、この現象はアブスコパル効果として知られています。この考え方でいくと、放射線治療後に免疫療法を加えることは、T細胞の活性化が、CTLA-4やPD-1/PD-L1により阻害されるのを抑えることによりアブスコパル効果を維持することにつながるわけです。

放射線を用いて全身の腫瘍細胞を抑えるアブスコパル効果を利用するカギは、放射線照射の分割法にあります。一般に、放射線分割法は、小線量を6～7週間にわたって多数回照射することが多いのですが、これは免疫療法と併用する際には不利です。その理由は、長期間頻回に放射線を照射することで、照射されていない腫瘍の攻撃に向かうであろうT細胞を疲弊させてしまうからです。その点、重粒子線による短期小分割照射法では、少数回の大線量をほんの1、2週間で照射しますので、T細胞に腫瘍攻撃の機会をより多く与えることになり、ひいては免疫療法との併用が有利となるのです。

## 2. 重粒子線治療の適応疾患

重粒子線治療の適応疾患をまとめると、次のようになります（2019年10月時点）。

### 2.1 公的医療保険が適用されているもの

- ①骨・軟部腫瘍：頭蓋底腫瘍、切除非適応の骨軟部腫瘍および頭頸部骨軟部腫瘍
- ②頭頸部がん：非扁平上皮癌と涙腺癌、粘膜・脈絡膜悪性黒色腫、鼻副鼻腔・聴器扁平上皮癌
- ③前立腺がん：局所限局性の腫瘍

### 2.2 先進医療として実施しているもの

- ①肺・縦隔腫瘍：限局性肺癌、局所進行肺癌（非小細胞肺癌）
- ②消化管腫瘍：局所進行食道癌、直腸癌・大腸癌の術後骨盤内再発
- ③肝胆膵腫瘍：肝細胞癌、肝内胆管癌、切除可能膵癌（術前）局所進行膵癌
- ④泌尿器腫瘍：腎癌
- ⑤乳腺・婦人科：局所進行子宮頸癌、局所進行子宮体癌、婦人科領域悪性黒色腫

- ⑥転移性腫瘍：肺転移（3個以内）、肝転移（3個以内）、少数リンパ節転移

### 2.3 先進医療のなかで臨床試験として実施しているもの

先進医療を実施している疾患のなかでも肝細胞癌、I期非小細胞肺癌、局所進行膵癌、および直腸癌術後骨盤内再発、のうち一定の適応基準を満たすものについては、さらなるエビデンスを求めて、先進医療Bの試験を実施しています。

QST病院では他に、局所進行食道がんの術前照射、病期0-I乳がん・腎がん・前立腺がんに対する短期4回照射、及び照射後再発例に対する再照射、などの臨床試験を実施しています。

### 2.4 その他

小児がんは、殆どの症例が組織学的に骨軟部腫瘍ですので、事実上、重粒子線治療の適応疾患に含まれます。すでに述べた通り、重粒子線治療後の発がんリスクは他の放射線治療よりむしろ低いことが示されていますので、小児がんは今後もっと積極的に重粒子線で治療してもいい疾患と思われます。

放射線治療後の再発例も、大血管からの出血とか粘膜・消化管障害などの致命的な副作用のリスクを回避できる病態であれば、適応疾患になります。これについては、さらに経験を積むため放医研で臨床試験を実施しているところです。

転移性腫瘍のうち骨転移だけが先進医療の適応から除外されていますが、組織型とか転移の発生部位、個数など、一定の制限を加えることにより、重粒子線治療の適応となる症例は少なくないと考えられます。

なお、脳腫瘍に関しては、生存予後のQOLの改善などまだ十分なデータが得られていないという認識のもと、積極的な適応疾患と見なしていないのが現状です。

## 3. 治療成績

炭素線による重粒子線治療が世界で初めて日本で開始されてから、すでに25年以上になります。初期の頃は副作用として、主に皮膚や消化管の障害が問題になりました。しかしこれらはいずれも、原因



を突きとめたり、照射法の改善・開発を行うなどして、いまではほぼ認められなくなっています。治療成績の評価は、副作用と共に局所制御率や生存率が大事です。疾患の種類により評価基準が異なりますので、ここでは主な疾患についてのみごく簡単に紹介します。

- ①わが国で保険適応の第一号であった骨軟部腫瘍、主に切除不能症例が対象で、5年生存率は骨肉腫が45%、仙骨脊索腫が83%、頭蓋底脊索腫が88%と大変良好でした。
- ②頭頸部腫瘍は主に非扁平上皮がんが対象で、5年生存率は悪性黒色腫が45%、腺様嚢胞がんが68%と、手術と同等以上の成績でした。
- ③前立腺がんは保険適用になってから急増しています。治療成績は期待に違わず良好で、直腸・尿路系副作用（グレード2以上）はそれぞれ0.8%、4%以下と低く、5年生化学的非再発率は90%以上でした。
- ④I期肺がんと肝細胞がんに対しては照射回数が1回または2回で済む照射法で、肝がんの3年生存率は73%で、I期肺がんの5年生存率は87%と手術とほぼ同等の成績でした。
- ⑤直腸癌の手術後の骨盤内再発も重粒子線治療の適応で、局所制御率90%以上、5年生存率50%と大変良い成績でした（図6）。今後、遠隔転移対策が課題と思われれます。
- ⑥膀胱がんは手術不能例が多い難治性の代表格ですが、重粒子線と抗がん剤併用により2年生存率50～60%と、他の治療法より2倍以上良い成績が得られています。なお、手術切除可能例に対する重粒子線治療も有望な治療法です。

#### 4. まとめ

重粒子線治療は、大変魅力的な特徴を有した治療法で、これまで難治性であった疾患に対して有効であることが示されています。事実、一部の疾患はすでに公的保険の適用になり、他の疾患もそれに続こうとしています。今後、本治療法がさらに普及するためには、装置の小型化とコストダウン、さらには専門家の育成などの課題の解決が求めます。

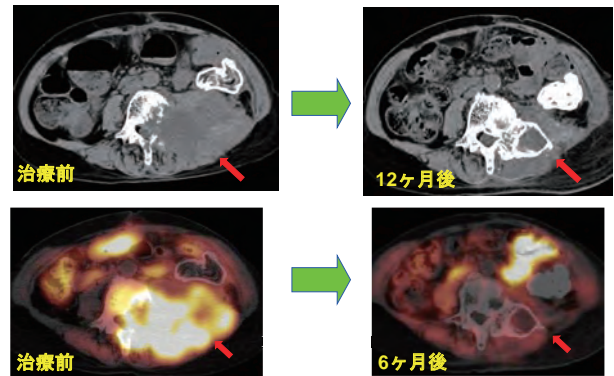


図 6. 直腸がんの手術後再発（69 才女性）

お問い合わせ先：

Q S T 病院（旧放医研病院）

日本人対応（地域医療連携室）：

Tel：043-206-3483

Fax：043-206-3439

海外対応（国際治療研究センター）：

Tel：043-206-3181

Fax：043-206-3188

メールアドレス：kokusaimi@qst.go.jp

ホームページ：https://www.nirs.qst.go.jp/hospital/

粒子線がん相談クリニック

Tel: 03-3239-0556

Fax: 03-3239-0560

メールアドレス：taki@ryushisen.com

ホームページ：https://ryushisen.com



# HIMAC25 周年記念講演会 “重粒子線がん治療”

—がん死ゼロ健康長寿社会を目指し HIMAC から「量子メス：Quantum Scalpel」へ—

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 研究企画部  
研究推進グループリーダー 藤田 敬



国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（以下、QST）は、2019年6月5日（金）、東京国際フォーラム（東京都千代田区）にて、HIMAC 25周年記念講演会「重粒子線がん治療」を開催しました。HIMAC（Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba）は、世界初の医用重粒子線加速器として、1984年に建設に着手、1993年に完成し、1994年6月から炭素イオン線（以下、重粒子線）によるがん治療を開始しました。2019年3月までに約11800名に対して治療を行い、2003年の高度先進医療（現在、先進医療）承認以降、種々の疾患について保険収載に向けた実績の蓄積、それと並行して普及に向けた取組を行い、2016年に骨軟部腫瘍が初めて保険収載されるとともに、国内では現在6か所で重粒子線治療が行われる状況になっています。本講演会では、HIMACの歴史やこれまでの治療を振り返りつつ成果の紹介を行い、今後の開発についても説明するとともに、さまざまな視点から今後の重粒子線治療への期待を込めたご意見をいただきました。



開会挨拶

### 1. 開会挨拶・来賓祝辞

まず、田島保英 QST 理事から開会挨拶があり、参加いただいたことへの御礼と併せ、開催趣旨や機構としての取組について説明がありました。

続いて、文科省より永岡桂子副大臣、厚生労働省より佐々木昌弘課長、日本放射線腫瘍学会より茂松直之理事長の3氏から来賓祝辞をいただきました。いず



永岡桂子  
文部科学副大臣



佐々木昌弘  
厚生労働省健康局  
がん・疾病対策課長



茂松直之  
公益財団法人  
日本放射線腫瘍学会理事長

れも期待のお言葉で、会の進行に弾みがつきました。

## 2. 講演—重粒子線がん治療 25 年のあゆみ—

このセッションでは、QST からこれまでの 25 年を振り返り、そのあゆみを紹介するとともに、更なる開発を含めた今後について講演しました。一番手は平野俊夫 QST 理事長が登壇、「ガン死ゼロ健康長寿社会実現に向けて」と題し、自身のがん闘病体験も踏まえて、機構としての戦略を熱く語りました。放射線医学総合研究所（以下、放医研）と日本原子力研究開発機構の一部が統合されて 2016 年 4 月に QST は誕生し、3 年を経過したところで行われた組織改編にて、2019 年 4 月に QSTver.2 として踏み出しました。その思いも込めて、QST の将来の柱の一つとする「がん死ゼロ健康長寿社会プロジェクト」における究極のがん治療装置、「量子メス：Quantum Scalpel」を理事長自らアピールし、メスのようにシャープに腫瘍を治療できる超小型がん治療装置を会場の皆様に印象づけました。

続いて二番手は、辻井博彦 QST 病院副院長が登壇、「世界の HIMAC25 年のあゆみ」と題し、重粒子線がん治療を長年牽引してきた立場から、粒子線治療の歴史を踏まえた HIMAC 設立の背景、重粒子線がん治療の特徴、対がん政策との協調、臨床試験の体制や治療プロトコルの経過、装置性能の向上と照射技術開発、呼吸同期照射開発などの紹介がありました。広範な内容に加えて思い出深いシーンの数々が登場し、歴史を感じる講演でした。

そして、国内普及のみならず海外に向けた普及活動についても紹介がありました。日本式の重粒子線がん治療の成果が海外からも高い評価を得ており、2018 年春に日本製重粒子線がん治療装置が韓国と台湾に導入されることが報道され、2022 年には治療が開始される予定です。また、海外普及を支える地道な取組として、国際トレーニングコースの開催、



辻井博彦 QST 病院副院長

英文書籍の出版、更には国際オープンラボラトリーの活動も紹介されました。

三番手は辻比呂志 QST 病院院長が登壇、「臨床試験から保険収載まで」と題し、重粒子線の優れた線量分布と高い生物効果を十分に活かし、安全かつ有効な治療法の確立、短期照射の実現、スキヤニング照射及び回転ガントリーの導入による照射技術の高度化、重粒子線治療多施設共同臨床研究組織（J-CROS）によるオールジャパンでの取組、これまでの治患者数の推移と蓄積状況など説明がありました。

症例としては、まず保険診療に移行した切除非適応骨軟部腫瘍（頭蓋底腫瘍を含む）、頭頸部腫瘍、前立腺癌が紹介され、特に前立腺癌では重粒子線治療後の二次がんが増加しにくいことを至近の論文で発表したと説明がありました。また、局所制御率や生存率だけでなく、前立腺癌では特に直腸の副作用が非常に低率であることは、まさしく患者に優しい治療であることが示されていると言えます。先進医療では、高い生存率が得られている局所進行膀胱癌に対する化学療法併用治療、足掛け 18 年に渡る臨床試験で実現した I 期非小細胞肺癌 1 回照射法、同じく 10 年に渡る臨床試験で実現した肝細胞癌 2 回照射法、及び再手術が困難な直腸癌術後骨盤内再発に対する重粒子線治療などの成績や画像が紹介されました。なお、前述の膀胱癌では日本の成果が海外で



平野俊夫 QST 理事長



辻比呂志 QST 病院院長

認められていることを承けて、米国でも重粒子線治療の国際共同臨床試験を検討していることが紹介されました。今後の米国での重粒子線治療普及を期待したいと思います。照射技術の高度化としては、回転ガントリーによる強度変調重粒子線照射や、これまで使用してきた炭素に加え、ヘリウムや酸素も組み合わせ使用したマルチイオン照射が期待されます。そして、平野理事長から紹介された、「量子メス」が今後の開発で実現した時の日本絵図が示され、それに向かって走らねばという思いが関係者を駆け巡ったのではないかと考えています。

### 3. 特別講演

このセッションでは、日本対がん協会の垣添忠生会長が登壇、「高齢化社会をイキイキと生きる」と題して、この25年の国内外の大きな出来事を振り返りつつ、ご自身のがん治療体験も踏まえて講演をいただきました。“イノベーションは人間の希望、幸福、尊厳につながる”と諭され、この25年における日本のイノベーションの一つとして、HIMACを挙げていただけたことは、非常に光栄なことだと感じました。そして、日本は超高齢化社会に突き進んでおり、加齢による変化が種々現れてくるが、食や運動の大切さ、口から物を食べることの意義などを力説されました。ますます懸念されるがんの罹患も、高いQOLが持ち味であるHIMACにより安心な予後が期待できる。そんな高齢化社会の医療への貢献としてHIMACがその一翼を担うのである、次の25年に向かってHIMACの更なる進化、「量子メス」の実現と普及を期待されて講演を結ばれました。



垣添忠生 日本対がん協会会長



パネル討論会

### 4. パネル討論会

このセッションでは、テーマを「がん死ゼロに向けて重粒子線治療に期待するもの」と題して、前放医研病院長で現神奈川県立がんセンター重粒子線治療センター長の鎌田正氏が進行役を務め、重粒子線治療施設を代表して佐賀国際重粒子線がん治療財団理事長の中川原章氏、報道機関の立場より朝日新聞科学コーディネーターの高橋真理子氏、官僚の立場より厚生労働省医務技監の鈴木康裕氏、医療経済の視点より東京大学大学院医学系研究科特任教授の田倉智之氏、患者の立場より東京医科歯科大学特任助教の坂下千瑞子氏が登壇し、貴重な意見交換が行われました。中川原氏は施設の果たすべき役割と運営を意識した率直な意見を、高橋氏は重粒子線治療に関する現状の広報の問題点と今後求められることを、鈴木氏からは保険診療が実現しつつある重粒子線治療の今後の方針に係る助言を、田倉氏からは現在検討課題とされている費用対効果に向けた今後の取組への助言を、坂下氏からは自身の重粒子線がん治療の経験を踏まえて、患者に優しい治療としての有用性と更なる適応拡大を望む声が寄せられ、鎌田氏により今後の期待としてまとめていただきました。各氏よりいただいたご意見、ご指導を励みに機構としての今後展開に反映し、広報を充実しつつ、更なる保険診療の拡大を進め、社会に貢献して行きたいと考えます。

### 5. 閉会挨拶

最後に、野田耕司 QST 理事が閉会の挨拶に立ち、HIMACのこれまでの25年を支えて下さった多くの方々への感謝とともに、今後の更なるご指導・ご鞭撻をお願いし、講演会の幕を閉じました。

当日は600名を超えるご参加をいただきました。皆様、本当にありがとうございました。

## 私のがん体験談

会社員兼「茨城がん体験談スピーカーバンク」代表  
志賀俊彦（治療当時 26 歳）



### 【病気の発覚】

2001 年 9 月 18 日の夜 10 時頃、急にみぞおちに刺されたような激痛が走りました。今まで経験したことのないその痛みは立っていることができないくらいのもの

でした。その時、会社で 1 人で残業をしておりました。当時は今みたいに「働き方改革」など叫ばれていなかったため、労務管理についてはとやかく言われることの無いご時勢で、繁忙期でもあったことから毎晩遅くまで仕事をしておりました。

その日は何とか家に帰り、一晩様子を見ました。翌朝には痛みは治まりましたが、違和感がなんとなくあったことと経験の無い痛みだったことから、地元の病院で診察してもらいました。きっと胃炎とか最悪でも胃潰瘍と診断が下るものと勝手に推測していましたが、医師からは「すぐに入院してください」とだけ告げられました。当時は実家で生活を送っていたので、大慌てで実家に連絡をいれ母親にパジャマや最低限の日用品を持ってきてもらいました。仕事がハードだったこともあり、入院生活もいいのかと気楽に考えていましたが、まだ自分の体が差し迫った状況になっていたことは知りませんでした。10 日ほど入院し、その間は点滴など打ちながら具体的な治療は特に行わず、病院からの説明も「肝臓の具合が良くないので」とだけ告げられ、私自身も深くは考えませんでした。その間に筑波大学病院に行くよう勧められ「病院が病院を勧めるのか」と不思議に思いながらも外来に行きました。消化器外科の教授に見てもらい、すぐに別の医師が呼ばれました。その方が後に私の主治医となる先生でした。

その後まもなく筑波大病院に転院となりました。

私はまったく訳が分からず言われるがままでした。両親からは「変わった症状なので、もっと詳しく診るらしい。でも心配することは無い。」と言われました。

### 【転院～1 回目の治療】

大学病院の病室は地元の病院と違い、薄暗い感じがしました。最上階のフロアでしたが、なんとなく部屋の雰囲気が暗い。部屋の中での患者同士の会話も無く、みな思いつめたような雰囲気を醸し出していました。食事も別の部屋で食べるわけではなく、ベッドの上で食べました。後から分かったのですが俗にいう「重症病棟」といわれ、比較的重篤な患者が多い病棟でした。

転院日翌日から検査・検査の毎日でした。肝臓はもとより胃、大腸、肺まで予定がびっしり詰まっていました。施行後は足をがっちり固定し動けなくなる血管造影。そしてとどめは肝生検。前日から飲食不可だけでなく、緊急で入れてもらったためいつ呼ばれるか分からず、始まってみたら全身麻酔で行い自分が想像していた検査とはまったく違い辛いものでした。

ついに私は腹部エコー検査の際、主治医に自分の病気は何かと尋ねました。主治医は「肝臓の悪性腫瘍です」と答えました。ところが私はこの時まったく医療の知識がありませんでした。「悪性」といわれたものの、腫瘍には「良性」「悪性」「がん」があって「悪性＝がん」ではないと勝手に思っていました。私はついでに「悪性ってがんじゃないですよ。」と聞いてみました。すると主治医は「がんです。」と告げました。すべてが真っ白に見えたことだけは今でも強烈に覚えており、自力で病室に戻りましたが、どのように戻ったか記憶が飛んでおります。

どうやら私の両親はあまりにも病気のインパクトが強すぎたため、最初入院した際、病院側に「本

人には病名を伏せてほしい」と伝えていたらしいです。

病名を知った私はその日一晩は泣き続けました。「まだ25歳なのに。」「やりたいことはたくさん残っているのに。」「親より先に死ぬのか。」激しい怒りと絶望感が頭の中をグルグルと回りました。そして泣きながら「自分はどのようになりたいか」と考え続けました。やがて翌朝には「死にたくない。死なないためにはどのようにすればいいか。」という考えに落ち着き、「肝臓がん」に対する資料をあらゆるところから取り寄せ、情報収集に努めました。今の時代であればスマホで簡単に検索できますが、当時は今ほど情報網が発達していなかっただけでなく、病院内では携帯の電源オフの時代だったので、家族などにお願ひし図書館から本を借りてきてもらい、該当ページのコピーをとるなどして対処しました。また主治医からの説明時には家族だけでなく自分も必ず立ち会い、疑問点などは都度細かく質問をするよう努めました。また、医師たちが忙しいときは、看護師や放射線技師などいろいろな人を捕まえて話すようにしました。結果的にはこういった行動が正しい医療知識の取得につながり、自分の身に起きている状況把握につながったと考えております。

通常「肝臓がん」は肝炎ウイルスが原因となっているケースが多いのですが、私の場合、肝炎ウイルスは持っていませんでした。それどころか肝機能も正常値であり、知れば知るほど病気の謎が深まりました。また日常生活では私はタバコも酒もまったくやらなかったのも、一体何が原因なのか、自分は何か悪いことでもしたのかと怒りを感じたのを覚えています。

治療自体はやはりハードでした。腫瘍の大きさは大人の頭部ほどで重さも最大5kg近くあり背中の方まで回り込み広がっていました。腫瘍マーカーであるAFPも正常値が20ng/mlのところ980,000ng/mlという値であり、手術が出来なければ大変厳しい結果になるという見立てでした。ステージは4。しかし、いきなり手術ではリスクが高すぎるため、数回の抗がん剤や肝動脈塞栓術を用いて腫瘍を小さくしてから手術へと踏み切りました。

術前の面談では手術内容についての詳細な説明がありました。腫瘍の摘出だけでなく、残った肝臓に

散らばっている細かい腫瘍に対するラジオ波焼却など出来る範囲で行うので、手術時間はだいぶ長くなるという説明を受けました。結果的には約12時間で終わり、予想よりだいぶ早く完了したようです。

手術後は術後イレウスを起こし2週間の絶食生活や、イレウス管が鼻腔を傷つけたことによる難聴になったり色々ありましたが、肝臓の術後経過は順調で腫瘍マーカーもぐんぐんと低下していったことから、12月末日には退院することができました。

### 【再発～2回目の治療】

退院後は真冬ということもあり3ヶ月は自宅で静養し、4月から職場に復帰しました。体力的にはだいぶ落ちていることから今までの外回りの営業業務から内勤の業務となり、残業も一切行わないようにしました。体力的にはだいぶ落ち着いていましたが、なぜか翌月には腫瘍マーカーが徐々に上がり始めました。しかしCTなど画像には表れて来ず、経過観察が続きました。10月には腫瘍マーカー(AFP)が5,143ng/mlまで上昇し、翌月にはさらに10,000ng/mlまで上がりました。そしてCTでも肝臓に腫瘍らしきものを確認できたため再入院となりました。またあの辛い治療をするのかと非常に憂鬱な気分になりました。

がんの治療ということよりも、また術後の信じられないほどの体力の低下と様々な想定外の苦痛を想像すると、ため息しか出ませんでした。

主治医は同じ先生でした。しかし1回目と違い「寒い時期ですからバカンス気分でご入院して下さい。」と言われ、さらに「今回は外科手術を考えていません。陽子線治療を考えております。」と言われました。バカンス気分といいながらも腫瘍は2箇所あり、うち1つは門脈を浸潤している可能性もあり、そうすると他への転移の可能性も高いとのこと、あまりいい気分ではありませんでした。主治医には「外科だから切りたいんじゃないの?」といたずらっぽく言いましたが、主治医は陽子線治療に適応できると判断しているのでその方向で考えていること、ただその際は「治験」となるのでよく検討するよう言われました。そして陽子線を担当する放射線腫瘍科の先生を紹介されました。

さて聞いたことない言葉「陽子線」「治験」につ

いて慌てて調べました。どうやら陽子線治療をしている病院は全国的にみてもそんなに無く（当時は国立がんセンター東病院くらい）、陽子線治療は体の負担が外科手術より軽いことや病院内の他の医師からもおすすめできる治療であるという話も聞いたことから、陽子線治療を選択しました。今では高度先進医療として300万弱費用が発生しますが、治験であることから費用負担がゼロだったのがとても大きかったです。（入院費や陽子線治療以外の治療費、投薬費などはもちろん負担します。）

治療前に陽子線担当の先生から治療についての詳しい内容やスケジュール、そして副作用についてなど説明を受けました。治療方針としては照射総量が66GyE、10回照射で治療することにしました。月曜日から金曜日まで治療し、土日は帰宅するスケジュールとしました。通院治療でもいいといわれましたが、治療中に風邪を引いてはいけないうこと、またインフルエンザシーズンでもあったことから、大事をとって入院しました。副作用については吐き気、肝機能の低下、小腸潰瘍、照射箇所の変色などが考えられるとの説明を受け、様々な書類にサインしました。

陽子線の照射自体はすぐに終わり、あっという間でした。時には居眠りすることさえありました。午前中に治療は終わり、午後は暇でした。時々外科の主治医が病室に来てくれて「だからバカンス気分だって言ったでしょ。」などと冗談を飛ばしながら帰っていきました。果たしてこのような治療がどこまで病気に効いているのか疑問を感じながら入院生活を送りました。

治療開始5日目あたりから若干の吐き気が出てきました。照射部の皮膚も徐々に赤黒く変色してきましたが、日常生活に支障はありませんでした。予定の10回の照射終了後に陽子線担当の先生から「結果がでるのに3ヶ月から半年ぐらいかかります」と言われ1回目の入院時と同じく12月末日に退院しました。2回目の入院生活は病気の自覚症状がまったく無いままで、果たして本当に再発しているのだろうかという疑問すら感じていました。

## 【治療後～今まで】

年明けすぐに復職し、定期的に病院で検査は受け

続けました。最初の頃は「また再発しますから。その時は次の手を考えていますから。」と言われておりましたが、2年経ち、3年経ち、「いい意味で不思議ですが順調ですね。」となり5年経ち10年経った頃には外来の中身は自分の近況報告がメインになっていきました。そしてこの冬で陽子線治療後17年を迎えます。1回目の入院の時に教授に怒られていた研修医の先生が立派に外来をしていた時は思わず「偉くなったね」と言ってしまいましたし、当時は講師だった先生が教授になっていたりと、時代の流れを感じてしまうシーンに会うことも出てきました。

がんと診断された時はすべてを諦めなくてはいけないと絶望しましたが、様々な人の支えや医療の発展のおかげで復帰することができました。その後結婚し子どもにも恵まれました。また自分のこの特異な経験を活かす手はないかと考え、会社員として仕事をしながら、地元茨城で「茨城がん体験談スピーカーバンク」という患者会を立ち上げ、学校での「がん教育」や医療者対象の「緩和ケア研修会」などで、自らのがん体験談を話す活動などもしております。がんのおかげで知り合った人もたくさんでき、多くの人とつながることができています。またこの活動をきっかけにテレビやラジオなどにも出させてもらい、きつとがんになったからこそできた経験も多くさせてもらっています。

また治療後は健康維持のため水泳を始めました。今ではチームに所属し、マスターズの大会にも出場しております。腹部には大きい手術痕と照射痕がありますが、そのようなものは気にせず泳いでおります。周りからは傷のことを聞かれますが、正直に自分が経験をしたことを話すようにしています。

今後も医療はますます発展してくると思います。私が病気をした頃は「がん＝死」というのが定説でしたが、今では決してそうとは言えなくなりました。5年生存率も66%を越えてきました。私が経験した治験などがその後の医療に大きく貢献できるならば、こんなに嬉しいことはありません。これからも様々な治療によって、1人でも多くのがん患者が病を克服して社会復帰し、活躍することを願ってやみません。

## 粒子線治療施設

### ◆京都府立医科大学 永守記念最先端がん治療研究センター



(京都府立医科大学永守記念最先端がん治療研究センター)

#### ○陽子線治療プロジェクト概要

京都府内には陽子線治療施設が無かったため、府内で最先端のがん治療が実施できるよう日本電産株式会社会長永守重信氏がオーナーである(株)エヌエヌ興産から、がん治療研究施設及び陽子線治療装置を寄付する旨の申し出を受け、2014年11月17日に永守会長、京都府知事、法人理事長、学長が記者会見し、寄付の受入と京都府立医科大学において、これらの施設設備を活用して最先端のがん治療を提供することを発表しました。

施設の建設は、2015年11月より工事が開始され、2017年11月、附属病院のすぐ北側に地上4階、地下1階建ての施設「永守記念最先端がん治療研究センター」が竣工しました。同施設内には2室の陽子線治療室の他にも高精度放射線治療装置 TomoTherapy System Radixact 1台が導入され、陽子線治療の適応とならない患者さんにも最先端の放射線治療が提供できる環境を整備することができました。また、PET-CT装置や外来化学療法室も設置され、放射線治療のみならず、高度ながん診断・治療を提供できる施設となっています。

陽子線治療機器は、機器搬入後、コミッションング等の調整を経て、2019年2月より先行症例の診察・治療を開始し、同年4月より保険・先進医療での治療を開始することが出来ました。

開設に先立ち、診療スタッフのトレーニングのため医師2名、医学物理士1名が北海道大学、筑波大

学、兵庫県立粒子線医療センター、名古屋陽子線センター、St. Jude Children's Research Hospitalでの長期研修を、また、医学物理士、診療放射線技師、看護師、事務員の研修として、筑波大学、北海道大学、名古屋陽子線治療センター、メディポリス国際陽子線治療センターでの見学を快く受け入れていただきました。この場をお借りして御礼申し上げます。

#### ○当院の陽子線治療装置の特徴

当院に導入された陽子線治療装置 PROBEAT-CR は、日立製作所製のスポットスキニング照射専用の小型装置です。照射ノズルには X 線画像撮影装置が搭載されており、cone beam CT 撮像、X 線透視画像撮影による画像誘導放射線治療および動体追跡照射が可能となっています。照射野は最大 30cm × 40cm と従来の陽子線治療装置と比較して広く、X 線リニアックと同等の照射野設定が可能で、全脳全脊髄照射などの広範囲な照射を含めた多様なニーズに対応可能な装置となっています。

また、京都造形芸術大学の学生らとのコラボレーションにより、陽子線治療室2室のうちの1室を小児がん患児が治療室に行く際の恐怖心を最小限化し、親近感を抱いてもらうために医療器具をモチーフにした「プロトンズ」というキャラクターをデザインしていただきました。

陽子線治療室のテーマは宇宙船病院でコックピットをイメージした内装装飾を施し、オリジナルキャラクターのスタンプを作成して毎回の照射時にスタンプリヤー形式でキャラクタースタンプを押してもらうなど、患児等が安心した環境で治療を受けられ



(治療室)





(加速器室)

るような工夫をしています。

### ○当院の特徴

当院は東に鴨川、西に京都御苑と自然に囲まれた立地ながら、京都市内の繁華街までバスで10分以内、京都駅まで約30分とアクセスも良好です。

京都府立医科大学は1872(明治5)年に設立された、わが国で有数の歴史を有する公立医科大学であり、その設立に至る経緯はユニークです。多くの医科大学・医学部は、まず大学などの教育施設ができ、その研修の場として附属病院が作られてきました。一方、京都府立医科大学では、まず府民への医療を提供する病院が第一に作られ、次にこの病院での医療を担う人材を育成する場として大学が設立されました。このように、現在で言うところの地域医療を先取りするようにして設立され、現在でも「世界トップレベルの医療を地域へ」という附属病院の理念に繋がっています。

大学病院に併設された陽子線治療施設としては、国内で筑波大学、北海道大学について3施設目になります。総合病院の利点を生かして、各診療科にも協力いただき、陽子線治療単独での治療のみならず、近年注目されている化学療法併用陽子線治療にも対応しています。また、研究施設として、陽子線治療のさらなる発展に寄与していきたいと考えています。

さらに、当院は全国で15施設の小児がん拠点病院の一つでもあります。小児がん拠点病院に併設された陽子線治療施設としては、北海道大学、神戸陽子線センター(兵庫県立こども病院に隣接)について3施設目となります。小児がんの治療成績向上に伴い、長期生存者が増加しています。一方で、二次がんなど種々の晩期合併症に悩まされることがあります。陽子線治療は放射線治療後の晩期合併症を減らせる可能性があります。小児がんは他疾患に先駆けて2016年4月より保険診療の適応となるなど、陽子線治療が有効な疾患として特に期待される領域であ

り、当院の役割は大きいと考えます。また、低年齢の小児がん患者などは治療中の安静静止が保てないこともあります。当院では小児科の協力により鎮静下での陽子線治療が可能な体制を整えています。



あつめて! むって!  
「プロトンス図鑑」



(メインキャラクター  
「プロビット」)



(キャラクター ハンコ 35種類)  
1回の治療毎にハンコが押せる

### ○実績

治療開始した2019年3月から9月末までに102名の治療を行っています。疾患内訳は前立腺癌が最多で約7割を占めていますが、頭頸部癌、小児がん、骨軟部腫瘍を含め約9割で保険収載疾患への治療を提供しています。先進医療としても、肝癌、膀胱癌、胆管癌、肺癌、転移性肝腫瘍、転移性リンパ節の治療を実施しています。

今後とも、京都府立医科大学永守記念最先端がん治療研究センターにおいて、最先端のがん治療を提供するとともに、高度ながん予防・診断治療研究を推進し、がん診療における世界トップレベルの医療の提供を目指します。

(陽子線治療スタッフ一同)

## ◆社会医療法人 高清会 陽子線治療センター (社会医療法人 高清会 高井病院について)

社会医療法人 高清会 高井病院 (376床) は1981年、奈良県天理市に開設して以来、救急医療、脳卒中治療、循環器治療、がん治療を中心に地域医療に貢献してきました。CT、MRI、PET、ガンマナイフやリニアックといった先進の医療機器をいち早く導入し、奈良県立医科大学とも密に連携し、実績を重ねてきました。「高清会」という法人名は、当院院長の母が快晴の高い青空のような清い心で全員が医療に従事しようという意味で決めました。

当院における陽子線治療の導入は、当院院長の奈良県初の設置への熱望(他県に送らず地元でという)によるところが大きいかと思えます。企業努力による機器の進歩と配置の工夫により、25x25m程度の狭隘な敷地内に設置することができたこともあります。当院の陽子線システムは、回転ガントリとサイクロトロンとを上下に配置することにより、建物内の放射線診断機器や放射線治療装置との連携性に優れた施設配置と省スペースが実現できたと考えています。

陽子線治療センターを開設した目的は、最先端放射線治療装置によりがん集学的治療の一端を担い、地域のがん治療成績の向上に寄与することであり、さらに奈良県における中核病院としてさらなる発展を目指すための手段でもあります。また、陽子線治療センター開設にあたり、機種選定から稼働に至るまで奈良県立医科大学と密に連携、支援を受け、さ

らに当センター内には、奈良県立医科大学連携大学院・陽子線がん治療研究センターが併設されています。奈良県の陽子線治療を臨床面だけでなく、研究・教育面でも新しい知見を見出し、人材の育成に取り組んでいくのも大きな目的、役割であると考えています。

### (当院の技術的特徴)

当院の装置は住友重機械製の国内4号機(上下配置式としては3号機)としての導入であったため、その利点を生かして各施設への研修や見学を通じて治療の技術的方法や付帯設備の導入に関する情報を得て、陽子線治療における不確かさを減らす方法を考慮した治療方法や付帯設備を決定し、技術的なシステムを構築しました。

#### 1 in-room CTによる高精度の位置合わせ

当院ではin-room CT (canon社製 Aquilion LB)を導入し、コントラスト分解能の高い画像による位置合わせを行っています。特に前立腺では日々変動する前立腺と直腸、膀胱の位置や便やガスの状態を確認した位置合わせが可能になりました。これによりマーカの埋め込みを必要とせず患者様の負担も軽減したと考えています。また、In-room CTは治療計画CTとしても使用可能で backup としても使用できます。

#### 2 6軸自動制御ロボット寝台による治療

in-room CTによる位置合わせのためCTの撮影位置から照射ポジションまで180度回転しながら約



2分で寝台が移動し、この移動に伴う位置精度が重要になります。当院の寝台は位置精度が公称±0.5mm、角度精度が±0.1度で加重ひずみ補正のある6軸寝台による位置移動をおこなうことにより、高い位置精度で治療が可能です。照射を行うエンクロージャー内にはDR装置も備えており寝台移動中の患者様の体動をチェックし、補正することも可能になっています。

### 3 適切な照射法の選択

照射法としては、サイクロトロンから発生するビームを照射ノズルで散乱させて径を広げ、ビーム成形器具（コリメータ、ボーラス）を使用して、標的の形状に合わせて照射する拡大ビーム法（ワブラー法）及び照射ノズル内で細く絞ったビームを標的の形状に合わせて三次元的に塗り潰すように連続的に照射するスキヤニング法の照射が可能です。対象疾患に合わせて照射法を選ぶことができます。拡大ビーム法は照射時間が短いため呼吸同期装置を用いて周期的に動く標的の照射に適しており、スキヤニング法は拡大ビーム法と比較して、より複雑な形状のがんの治療に適し、周囲の正常組織への照射線量を抑えることができます。

### 4 呼吸同期システムによる呼吸制御

肺がん、肝臓がん、膵がんなど動く臓器のがんの照射には呼吸同期システム（安西メディカル社製AZ-733 IV）を用いてゲートを設定した呼吸同期照射や息止め照射を行っています。これによりマージンを縮小し、正常組織への線量を抑えることが可能になっています。

### 5 Dual Energy CTによる治療計画

当院で用いている治療計画CTはDual Energyを搭載した320列CT（canon社製Aqulion ONE）を使用しています。320列によるVolume Scanが可能で呼吸同期システムと組み合わせ、動く臓器の4DCTや最大呼気相の計画用画像の撮影が容易です。さらにDual Energyを用いることによりビームライン上の物質組成を考慮し、単一のCT値だけから算出した阻止能比によるRange（飛程）の不確かさを減らす研究を行っています。

#### （現状と今後）

当センターは2018年3月4日に竣工式を行い、9月13日から陽子線治療を開始しました。同年12月からは陽子線治療の保険診療・先進医療とも可能となり、2019年から保険診療で主に前立腺癌、先進医療で主に肺癌・肝細胞癌に対する陽子線治療を行っています。7月末までに58人の方に陽子線治療を行いました。高井病院の中にあるセンターですので、入院での治療も可能です。

現在の放射線治療部門常勤スタッフは高精度リニアック・ガンマナイフ担当を含めまして医師4名、医学物理士5名、放射線治療担当技師8名（医学物理士との兼務あり）、看護師2名です。陽子線治療の適応とならない場合や、適応となる場合でもより適切な場合は、X線での高精度治療を行うこともあります。また、骨転移のある去勢抵抗性前立腺癌に対する塩化ラジウム（「ゾーフィゴ®」）内用療法も行っていきます。当院は日本医学放射線学会放射線科専門医修練機関であり、日本放射線腫瘍学会の認定



陽子線治療室

施設です。

保険診療の対象疾患が、平成30年4月の診療報酬改定で小児限局性悪性腫瘍に加えて、限局性・局所進行性前立腺癌（転移のないもの）、手術で根治困難な限局性骨軟部腫瘍、頭頸部悪性腫瘍（口腔・咽喉頭の扁平上皮癌を除く）に広がっています。保険点数は、前立腺癌が11万点、それ以外の疾患は18万7500点となっており、一連につき算定です。施設基準を満たして届け出を行っていますので、粒子線治療適応判定加算4万点と粒子線治療医学管理加算1万点を加算しています。高額療養費制度の対象であるため、患者様の負担は実際には少なく済むことが多いかと思えます。

先進医療は混合診療禁止の除外対象で、陽子線治療にかかる部分は自由診療（当院では288万3千円：税込みなので、税率改定に伴い変わる場合があります）で行いますが、それ以外の診療は保険診療で行うことが出来ます。先進医療は日本放射線腫瘍学会の統一治療方針に従って陽子線治療を行うことが要件になっており、疾患ごとに適応・病態・線量・併用療法が細かく定められています。統一治療方針は同学会のホームページ（[https://www.jastro.or.jp/medicalpersonnel/particle\\_beam/2018/03/post-9.html](https://www.jastro.or.jp/medicalpersonnel/particle_beam/2018/03/post-9.html)）で公開されていますので、詳細は参照して頂きたいと思えます。統一治療方針を満たしていれば脳脊髄腫瘍・肺癌・食道癌・肝癌・局所進行性膀胱癌などに加えて、少数個の肺転移・肝転移・リンパ節転移も先進医療の適応となっています。

陽子線治療で効果が期待できる多くの疾患は保険診療か先進医療で行うことが出来るため、自由診療は基本的には外国人の方を対象に考えています。

前立腺癌を例に、当院での陽子線治療の流れを説明しますと、初診の際には紹介状に加えて、CT/MRI/骨シンチなどの画像と生検病理標本を持参して頂きます。初診時に放射線治療医から外照射の概要をIMRTとの違いなども含めて説明し、十分なインフォームドコンセントの上で陽子線治療を希望されるかを判断しています。直腸内容物は少ない方が望ましいため緩下剤を処方の上で、およそ一週間

後に治療計画CT/MRIを行っています。この間に泌尿器科医と臨時カンサボードを行って治療方針が適切であるかを検討しています（月一回の定期カンサボードで再度確認）。前立腺の位置があまりずれないことを確認するため、治療計画CT翌日と治療開始前日にもCTで確認を行っております。治療計画CTからおおよそ二週間後から陽子線治療を行います。治療室の入室前にエコーで膀胱体積を測定し、治療計画時と大きな変わりがなければ入室となります。治療台が移動してIn-room CT撮像なども行うため、患者様は治療台の上でじっとしていれば治療が終わります。入室から退室までは20分程度です。治療回数はリスク分類によって調整しています。当院ではIn-room CTで毎回の位置合わせを行うため、前立腺癌では金属マーカの留置は行わずに低侵襲な治療を行っています。

2020年の診療報酬改定に向けて、日本放射線腫瘍学会を中心に保険診療の適応疾患拡大を目指して頂いており、その結果によっては陽子線治療を受ける患者様が增加すると考えています。様々な疾患の患者様に対応できるように準備を進めている状況です。

今後ともがん治療に貢献できるよう、スタッフ一同精進して参ります。

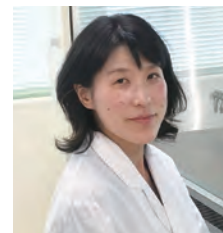
#### （最後に）

機種選定から稼働に至るまで連携支援して頂いた奈良県立医科大学様、スタッフの研修を始め様々な支援助言を頂きました筑波大学附属病院様・国立がん研究センター東病院様・相澤病院様・札幌禎心会病院様、多くの先行施設様のおかげで当センターは順調に陽子線治療を行って来ています。この紙面をお借りして厚く御礼を申し上げます。大変ありがとうございました。今後ともご指導、ご鞭撻の程、宜しくお願い申し上げます。

高清会 陽子線治療センター 副センター長  
井上 和也

# 第 16 回日本中性子捕捉療法学会学術大会の報告

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  
近藤 夏子



2019年9月7日(土)・8日(日)の2日間、京都府宇治市の京都大学キャンパス・宇治おうばくプラザにおきまして、第16回日本中性子捕捉療法学会学術大会を開催させていただきました(大会長・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 教授・鈴木実)。

また、本学術大会2日目の9月8日(日)には、第7回BNCT講習会(日本中性子捕捉療法学会・

人材育成委員会主催、本学術大会後援)が開催されました。残暑厳しい中、2日目の8日には台風15号の接近があり交通機関への影響が懸念されましたが、何とか学会を無事に開催、



大会長 鈴木先生ご挨拶

終わることができました。

さて、学術大会には235名(会員108名、非会員92名、学生35名)の方が参加され、物理学、臨床医学、薬学・化学、生物学の各領域において最新の研究成果発表と活発なご討議を頂き、誠にありがとうございました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)は、これまでの研究用原子炉を利用した、多くの基礎研究・臨床研究の成果をもとに、医療機関併設型の加速器を利用したBNCTに移行しつつあります。その加速器BNCTは日本に続き、諸外国が開発、病院設置実現を進めています。そこで原子炉と加速器の2つの中性子源を有する複合原子力科学研究所が、今後も日本からBNCTを基礎にした学術的研究を世界に発信することを祈念して、「Neutron Capture Radiation(NCR)研究の多様性を考える」を本学術大会のテーマに掲げました。放射線生物学研究、NCRを利用しての中性子捕捉療法の研究、新規薬剤開発の研究、またその研究すべてを支える医学物理研究について、多くの議論がなされました。

演題数は、教育講演2演題、シンポジウム4演題、

9月7日土		9月8日日	
8:00		8:00~9:00	幹事会 (会場:総合研究棟1号棟5階510号室)
9:00	9:00~ 受付開始	9:20~11:00	Session 4 [化学・生物] 4-01~10 座長: 服部 健秀(大阪府立大学) 増水 信一郎(京都大学)
10:00	10:00~ 会長挨拶	11:00~12:00	シンポジウム 国際中性子捕捉療法学会(ISNCT)の 活動状況の報告 座長: 松村 明(京都大学) 演題: 松村 明、野田 博明、鈴木実、中村 浩之
10:05	10:05~11:35 Session 1 [物理①] 1-01~09 座長: 渡辺 賢一(名古屋大学) 村田 貴(大阪大学)	12:05~12:50	教育講演 1 がん免疫療法の放射線治療への応用に向けた 課題と個別化がん免疫療法の展開 座長: 鈴木 実(京都大学) 演題: 鈴木 利富(東京大学)
11:00		12:30~13:15	教育講演 2 液体物質の二次イオン質量分析法を用いた水中における 生物分子の重粒子線損傷に関する基礎研究 座長: 田中 浩彦(京都大学) 演題: 土田 秀次(京都大学)
12:00	12:05~12:50 教育講演 1 がん免疫療法の放射線治療への応用に向けた 課題と個別化がん免疫療法の展開 座長: 鈴木 実(京都大学) 演題: 鈴木 利富(東京大学)	13:15~13:45	総会
13:00	13:00~14:30 Session 2 [臨床] 2-01~09 座長: 宮武 伸一(大阪医科大学) 梶原 輝人(大阪医科大学)	13:45~15:25	Session 5 [物理②] 5-01~10 座長: 石川 正純(北海道大学) 藤田 博明(筑波大学)
14:00		15:25~15:35	表彰式
14:45	14:45~16:05 Session 3 [その他・生物] 3-01~08 座長: 鈴木 実(京都大学) 益谷 美都子(筑波大学)	15:35~15:40	会長挨拶
15:00			
16:00			
16:30	16:30~17:30 (会場:2Fハイブリッドスペース) Poster Session 1 [物理] P1-01~13 座長: 高田 真志(筑波大学)、田中 貴一(広島大学) Poster Session 2 [臨床・化学・生物] P2-01~13 座長: 藤崎 実宜(東京大学)、道上 宏之(南山大学)		
17:00			
18:00	18:00~ 懇親会 (会場:2F レストランきほだ、ハイブリッドスペース)		

本学術大会のタイムスケジュール

一般演題 47 演題、ポスターセッション 23 演題、合計 76 演題をご発表・ご講演をいただきました。

教育講演 1 は鈴木 利宙講師（帝京大学 医療共通教育研究センター）に「がん免疫療法の放射線治療への応用に向けた課題と個別化がん免疫療法の展開」と題してご講演いただきました。マウスにおける放射線治療実験のご経験や国立がん研究センターの化学放射線療法後のがん患者組織の免疫組織学的解析から得られた今後の課題、患者ごとに異なる遺伝子変異に由来するネオアンチゲンをがん抗原とする個別化がん免疫療法（肝胆膵領域）について最新の興味深い内容のご講演をいただきました。

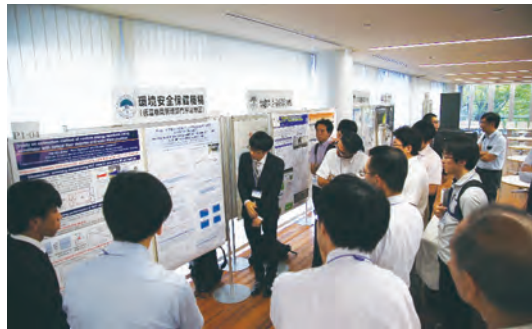
教育講演 2 は土田 秀次准教授（京都大学 工学研究科附属量子理工学教育研究センター）に「液体物質の二次イオン質量分析法を用いた水中における生体分子の重粒子線損傷に関する基礎研究」と題



教育講演 2 の様子

してご講演いただきました。細胞環境を模擬した生体分子含有水溶液に高 LET 放射線である炭素線を照射し生じる反応生成物と生体分子損傷について、粒子線による生物応答を物理学的観点から分析する興味深いご講演でした。

シンポジウムでは、「国際中性子捕捉療法学会 (ISNCT) の活動状況の報告」として 4 名の演者から、①国際中性子捕捉療法学会の現状と課題、②中性子捕捉療法の医学物理分野の WG の活動、③ ISNCT-Medicine (医学) WG の活動方針、④ ISNCT における chemistry 技術部会の方針、のご講演をいただきました。継続して計画的・戦略的運営を行う組織として強化された ISNCT についての説明と、物理、医学、化学それぞれの分野の現状の課題と活動報告、今後の方針についてご紹介いただいた。個々の研究者にとっ



ポスターセッション

て、ISNCT が取り組む現状の BNCT の課題についての包括的な理解を深めることができました。

今回のベストプレゼンテーション賞は、物理分野より京都大学の笹木彬礼君（「BNCT における 3D プリント技術を駆使した患部ファントムを用いた QA に関する研究」）、化学分野より福山大学の白川真先生（「新規薬剤 PEG 化ホウ素化合物 (BAMP) の BNCT 応用に向けた治療効果の評価」）、生物分野より弘前大学の佐藤まり子先生（「BNCT 後の腫瘍細胞の免疫プロファイルの変化に関する検討」）、ベストポスター賞は物理分野より大阪大学の西田卓矢君（「ホウ素シートを用いた BNCT 用低エネルギー中性子スペクトロメータの性能向上」）、化学分野より福山大学の石原和樹君（「生体適合性イオン液体を用いた新規調製法による BPA 製剤の開発」）が受賞されました。本賞は若手研究者を対象としており、今後の益々の発展を期待しております。

懇親会はおうばくプラザのレストラン「きはだ」、ハイブリッドスペースにて 135 名以上の参加者を得て盛況に開催されました。京都・伏見佐々木酒造の大吟醸「古都」が入った樽の鏡開きを行って、皆様に味わっていただきました。

第 17 回日本中性子捕捉療法学会学術大会は国立



懇親会での鏡開き



大盛況の懇親会

がん研究センター中央病院放射線治療科の伊丹純先生のもとで開催されます（会期：2020年7月11日（土）～12日（日）；会場：KKRホテル熱海）。国立がんセンターでは、個体リチウムターゲットによる加速器 BNCT を用いた皮膚悪性黒色腫・血管肉腫の治験開始が予定されています。国内随一のがん拠点病院での BNCT 治験に注目が集まる中、ますます BNCT の臨床応用の議論が深まることが予想されます。来年も多くの皆様の参加によって、活発な議論が交わされ BNCT が普及し、研究がさらに

発展していくことを期待しております。

最後に、本学術大会を開催するにあたり、数々のご協力とご助言をいただきました中村浩之学会長、石川正純前大会長、をはじめ、学会員の皆様、運営実務面において学会事務局の池田順子様、運営事務局の株式会社セカンドの山内清司様、および京都大学複合原子力科学研究所のスタッフの皆様に深く感謝いたします。また、本学術大会の運営に対しまして、14社から広告、企業展示、協賛金としてご援助いただきましたことに心より御礼申し上げます。



学会運営スタッフの記念撮影

## 【粒子線治療を受けた患者さんの体験談募集】

当財団では粒子線治療を受けた患者さんの体験談を募集しています。

匿名でも結構です。投稿希望の方は当財団事務局までご連絡ください。

「医用原子力だより」への掲載分には、当財団の規定により原稿料をお支払いいたします。

## お知らせ

### ◆当財団発行の小冊子・テキスト等のお知らせ

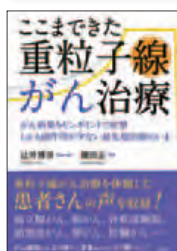
当財団では、粒子線治療（陽子線・重粒子線）に関する以下の小冊子・書籍・テキストを頒布しております。購入希望の方は、メール・電話にて、当財団までお問い合わせ下さい。



#### ・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 (50音順)

令和元年10月現在

エレクタ株式会社  
大阪重粒子線施設管理株式会社  
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  
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20号

令和元年11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

