



Association for Nuclear Technology in Medicine

# 医用原子力だより

第14号



## 医用原子力財団の再起のために

公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団 副理事長  
垣添 忠生

医用原子力技術研究振興財団は、平成8年3月に設立されました。初代理事長に森亘先生をいただき、原子力業界や電力業界を初めとする多くの企業等からの財政支援も豊かにいただき、順風満帆の船出をしたのです。

ときあたかも原子力の医学応用はますます盛んとなり、放射線無くして医療は成立しない時代を迎えていました。また、陽子線治療や重粒子線治療など新しい原子力技術も一層大きな発展を見せ、それらに関連する人材育成や研究の重要性など、当財団に対する世の中の期待も大きく膨らんで参りました。

陽子線治療は、現在日本全国8ヶ所で施行され、重粒子線治療も4ヶ所で実施されています。

特に重粒子線治療は、第一号機が千葉県の放射線医学総合研究所で、サッカー場ほどの広大な地下加速器を使って開始され、第一次対がん十ヶ年総合戦略の、当時の科学技術庁の看板技術として発足したものです。

以来、約30年、すべて臨床研究として次々とプロトコルを改訂しながら、7,000人以上のがん患者に治療が進められました。この研究を通じて、骨・軟部腫瘍、前立腺がん、早期の肝がん、肺がんなどに著効を示すことが明らかとなり、わが国発の巨大医療技術として国際的にも注目されています。

当財団は、こうした放射線医療を下支えする、線量校正事業や、粒子線治療に係る医師、放射線診療技師、医学物理士等医療スタッフの人材育成、研究助成、国民に対する放射線の知識普及などに多大な貢献をしてきたと自負しております。

平成24年度には「公益財団法人」に移行し、ますます多方面からの期待に応える覚悟で準備を進めておりました。ところが、平成23年3月11日の東京電力福島第一原発事故以来、電力業界や原子力関連企業や団体からの支援、寄付等が激減し、現在、当財団はその運営に苦難の時を迎えています。

事務局経費を軽減するために、虎ノ門から小伝馬町に移転し、研究助成や人材育成事業等も縮小せざるを得ませんでした。もちろん、当財団は、新たな支援団体を開拓したり、新たな寄付を求めて、必死の努力を続けています。

わが国は、世界最速で超高齢社会に移行しつつあり、がん、認知症など高齢者に多い疾病の激増が見込まれ、その診断、治療に果す医用原子力技術の重要性は増すばかりです。平成24年4月に「公益財団法人」となった当財団が、非営利・公益的組織として果すべき役割は、必ずや増します。どうぞ当財団のこの窮状を御理解くださり、再起のために各位の御支援を深くお願い申し上げます。

### ◆ International Training Course on Carbon-ion Radiotherapy

#### 国際重粒子線がん治療研修コース 2013

平成 25 年 10 月 7 日 (月) から 12 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、以下 ITCCIR という) 2013 が、放射線医学総合研究所重粒子医科学センター (千葉県千葉市) と群馬大学重粒子線医学研究センター (群馬県前橋市) を研修会場として開催されました。開催にあたり、住友重機械工業(株)、(株)千代田テクノ、(株)東芝、(株)日立製作所、三菱電機(株)からご支援いただき、参加費 80,000 円/1 名 (テキスト代、宿泊費、研修会場間の移動費等を含む) で開催することができました。

ITCCIR は、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、放射線医学総合研究所が主催者となり、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昨年より開講されたものです。当財団は昨年同様、事務局を担当しました。

今回、群馬大学「がんプロフェッショナル養成基盤推進プラン」及び群馬大学「博士課程教育リーディングプログラム」からもこの活動を後援して頂きました。

今年の研修が昨年と異なるところは、研修期間が一日長くなったことや、講師に若手研究者を登用したことがあげられます。これは、研修内容をより治療現場で行われている内容に近づけたいということ、単に重粒子線だけでなく他の治療方法と比べたデータも加えたいということのほか、若手から最新の情報を提供してもらうことなどにより研修内容をより充実させたいという主催者の意図の表れでした。

参加者は、放医研で行われた研修前半だけでも、11 カ国 37 名に群馬大学「がんプロフェッショナル養成基盤推進プラン」及び群馬大学「博士課程教育リーディングプログラム」からの 8 名が加わり 45 名を数えることとなり、去年の参加者を大きく超えて主催者側の期待に十分応える結果となりました。

研修初日、鎌田放医研重粒子医科学センター長の開講挨拶とガイダンスが行われた後、講義が始まりました。参加者は全員始めてこのコースを受講するためか、面持ちは最初堅いように見受けられましたが、講義を受けるごとに段々打ち解けてきた様子で、各講義後半に設けた質疑応答も活発に行われるようになってきました。この日の研修終了後、放医研の食堂にて歓迎会が行われました。米倉放医研理事長が参加者の歓迎と今後の活躍を期待する旨の挨拶をされた後、黒木放医研理事の乾杯で歓迎会が始まり、一同、料理を食べながら歓談、親睦を深めていました。



研修会場 (放射線医学総合研究所)



歓迎会 (放射線医学総合研究所)

研修の前半は、話題性のある講義に加え、参加者自身が所属する機関の紹介や参加目的を発表する場が設けられていた他、加速器製造企業が自社の取り組みを発表する場が設けられていました。また、筆者が特に注目したのは、特別なソフトを導入して、実際の症例を基に PC 上で画像解析する講義でしたが、各プログラムの随所に、参加者の興味をひくような内容やコースの充実を図るため企画が取り入れられていました。



また、放医研新治療研究棟の施設見学では、グッドデザイン賞を受賞した建物の構造や研究棟の模型を参加者一同感じ入った様子で眺めていましたし、普段見ることができない地下のビームラインや照射室の設備をカメラやスマートホンで盛んに写真を撮っていました。

研修後半の11日、全員大型バスに乗りし9時に千葉のホテルを出発、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。

13時より、大学院講堂にて和泉医学部長及び中野重粒子線医学研究センター長の挨拶を頂いた後、講義に入りましたが、長時間の移動や研修5日目のことでもあり、参加者には多少の疲れが見受けられました。然し、「今晚は伊香保の旅館で懇親会が催されます。講師の先生は、講義がすんだら、伊香保で温泉に入りゆっくりできますよ。」などと温かい言葉をかけながら、参加者の集中力を途切れさせることなく講義を進められていました。

懇親会は、海外の方のため畳の上にテーブルとイスというスタイルでしたが、全員が浴衣に着替え、群馬大学田巻先生の司会で和気藹々と進められました。宴もたけなわには、カラオケセットが用意され、講師・参加者が一体となって、歌合戦が遅くまで繰り広げられました。

翌日は最終日、朝8時の予定を若干遅れて旅館を出発しましたが、9時には群馬大学に到着、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コンパクトに設計された重粒子線がん治療装置を使って治療を行っています。随所に放医研とは違った設計のアイデアが盛り込まれており、参



集合写真（群馬大学）

加者も興味深く見学していました。

最後の講義が終わり、田巻先生の司会で修了式が行われました。名前を呼ばれた参加者には、一人一人、放医研フェローの辻井先生より修了証が渡され、全員、満足そうな面持ちで写真に収まっていました。

正午過ぎには群馬大学を出発、帰路につきましたが、参加者のほとんどは成田空港へ向かうため東京駅で降りました。バスはその後放医研を回わり、千葉駅で解散となりました。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。



修了証授与式（群馬大学）

## ◆放射線医学オープンスクール

### — 報告記 —

北里大学 医療衛生学部 医療工学科  
診療放射線技術科学専攻 4年  
寺崎 圭

医師のキャリアパスを考える医学生の会は、公益財団法人医用原子力技術研究振興財団の共催を得て、去る8月22日（木）～23日（金）の2日間にわたり、「平成25年度放射線医学オープンスクール～最先端技術に触れる～」を開催致しました。

本オープンスクールは当初、「放射線医学見学ツアー」として、2008年に始まって以来、昨年度までに計5回開催し、延べ100名以上の医学部生をはじめとする医療系学生が放射線医学に触れ、学ぶことができました。

第6回目となる今年度は、新たに「放射線医学オープンスクール」として名称を変更し、参加対象者を医療系学生だけではなく、理工系学部の学生な

ど放射線に関わるあらゆる業種の学生へと広げました。その結果原子力工学専攻の学生や薬学部、栄養学部、診療放射線技師の学生といった多種多様な学生が、北は青森から南は沖縄まで、計21名が本オープンスクールに参加致しました。

今回は、見学先として、「東芝メディカルシステムズ株式会社並びに東芝電子管デバイス株式会社（栃木県大田原市）」、「群馬大学重粒子線医学研究センター（群馬県前橋市）」および「がん・感染症センター都立駒込病院（東京都文京区）」の主に3箇所をそれぞれ見学させて頂きました。

オープンスクール1日目は、栃木県大田原市にある東芝メディカルシステムズ株式会社および東芝電子管デバイス株式会社の工場見学と画像診断機器開発についての講義を拝聴しました。工場見学では、X線CT装置や超音波画像診断装置、MRI装置などの医療機器の製造ラインを見学しながら、各部門担当者による医療機器製造についての事細かな説明に参加者は興味深く聞いていました。ある参加者の一人は、320列X線CT装置（Aquilion ONE™）の内部構造を実際に見ながらX線管と検出器の一对が0.275秒で一回転する速さを体感し、その技術の高さに驚いていました。工場敷地内には2012年7月にオープンした「東芝&エレクタ放射線治療研修センター」も併設されており、こちらも見学させて頂きました。センター内では、実際の病院の放射線治療室と同じ構造となっており、治療計画装置やリニアックなどの放射線治療装置に触れるなど、普段では経験できないことを体験することができました。工場見学の後は、X線CT装置および超音波画像診



放射線治療研修センターにて

断装置の開発をテーマとした講義を開発担当者から拝聴しました。質疑応答では学生から質問が飛び交い、参加者の医学生からは「装置を開発する上でメーカーとユーザー（医療従事者）との間でどのようなやりとりがあるのか」といった開発秘話を訊こうとした質問も出ていました。

栃木県大田原市から群馬県高崎市への場所を移し、特別講演として、唐澤久美子先生（放射線医学総合研究所重粒子医科学センター）のご講演を拝聴しました。「放射線腫瘍医として27年で学んだこと」と題し、放射線腫瘍医の道を選んだ理由や唐澤先生の学生時代、留学、結婚、そして育児と仕事の両立についてなどこれまでの先生のご経験をお聞きすることができました。講演後の質疑応答では、女子学生を中心に、将来についての具体的な相談に対して、先生からアドバイスをいただくことができた様子で、将来進む分野を考えている高学年の学生にとって、とりわけ女子学生にとって、今後のキャリアを考える上で大きなヒントになったのではないかと私は思います。

1日目最後は、今回お世話になった先生方にお越し頂き、先生と参加学生とで懇親会を行いました。2日目に何う、群馬大学および都立駒込病院からも多くの先生がお越し下さり、参加学生は思い思いに先生へ相談していました。2時間という限られた時間での懇親会でありましたが、放射線医学でご活躍されている著名な先生方との時間は参加者の学生にとって、非常に貴重であり、有意義に過ごすことができました。

2日目は、前橋市にある群馬大学重粒子線医学研究センターにて重粒子線治療についての講義および施設見学をさせて頂きました。講義では、中野隆史先生（重粒子線医学研究センター長）が同施設の概要、重粒子線治療の原理から最新の研究内容まで分かりやすく教えていただきました。X線よりも高いがん殺傷能力（RBE：生物学的効果比）をもつ重粒子線は、放射線が効きにくいとされる一部のがん組織に対しても有用性が高いことを実感しました。切らずに治すがん治療として、正常機能を維持しつつもがんを駆逐することで、患者さんのQOL（生活の質）を低下させることの少ない重粒子線治療は、ま



さにがん治療の最先端技術であると感じました。講義の後は、実際にセンター内の見学を少人数の班に分かれて、回りました。見学当日は、金曜日で多くの患者さんが治療を受けており、スタッフの皆さんが業務の最中、放射線治療計画室や照射室、操作室など見させて顶きました。見ていて感じたことは、治療には医師だけでなく、照射を行う診療放射線技師、治療計画を医師とともに行う医学物理士の他、看護師、医療事務員など様々な職種の方が協働しているのが印象的でした。



重粒子線医学研究センターにて

群馬大学での見学を終え、群馬県前橋市から東京都文京区へ最後の見学先であるがん・感染症センター都立駒込病院へ向かいました。

都立駒込病院の見学では、唐澤克之先生（都立駒込病院放射線診療科部長）をはじめとする多くの先生が、それぞれの見学班を引率していただきながら、TomoTherapy や CyberKnife の他にも、呼吸などで生理的に動くがん組織をリアルタイムに追尾し4次元照射を行う Vero 4DRT といった最先端の



都立駒込病院にて

放射線治療機器を実際に触れながら学ぶ、大変貴重な経験をさせて頂きました。また、都立駒込病院の放射線科の先生方も放射線治療における「チーム医療」に重きを置いているようで実際、唐澤先生は公立病院で初めて医学物理士専用のポストを設置したと伺いました。それゆえに、病院見学の後に催された懇親会では、薬学部の学生や理工学部の学生が積極的に放射線治療におけるそれぞれの職種の立場についてなどを質問していました。

今回の1泊2日のオープンスクールを通じて、東芝の工場では、放射線機器の開発において医学と工学が密接に携わっているということ。群馬大学重粒子線医学研究センターでは、日本が世界に誇る重粒子線治療の現場を見て、放射線医学の最先端技術に触れることができたこと。そして、都立駒込病院では、全国的に普及している X 線・電子線の放射線治療の実際と放射線治療に携わる医療従事者の役割とは何か、ということを多種多様な参加者のそれぞれの立場や視点から注目することができたのではないかと思います。今回の経験が将来の医療現場における放射線医学に対する理解と視野を広げるの一助となったと考えています。

最後に、今回このような貴重な機会を与えて下さった土屋了介先生、辻井博彦先生、中野隆史先生をはじめとする群馬大学重粒子線医学研究センターの先生方、唐澤克之先生をはじめとする都立駒込病院の先生方、ご講演して頂いた唐澤久美子先生、工場見学させて頂いた東芝メディカルシステムズ株式会社および東芝電子管デバイス株式会社の皆様、並びに公益財団法人医用原子力技術研究振興財団の皆様、心よりお礼申し上げます。



先生方と参加者の集合写真

## ◆「粒子線がん治療等に関する施設研究会」 第29回施設見学会の開催

当財団では粒子線がん治療に関する施設等の現状を把握し普及を推進することを目的とした「粒子線がん治療に関する施設研究会」（主査：河内清光、当財団常務理事）を平成12年より実施しており、第29回施設見学会を平成25年5月10日（金）、「九州国際重粒子線がん治療センター（以下、サガハイマツ）」（佐賀県鳥栖市原古賀町415）にて開催致しました。時折小雨の舞う中、建設、設計、メーカー等の粒子線関連業界から24名の参加がございました。

サガハイマツは九州初の重粒子線がん治療施設（国内では4ヵ所目）であり、平成25年5月に開設、11月より先進医療での治療を開始したばかりの新しい施設であり、見学当時は装置導入のアクセプタンス期間中でした。九州新幹線やJR長崎本線が停車する新鳥栖駅前と交通アクセスの良い立地にあり、施設内は患者様に寛ぎや癒しを感じてもらえるような工夫が施されていました。



サガハイマツの概観



治療ホール前の待合スペース

施設見学では、エントランスに設置された模型を使っての説明後に、治療ホール、治療室、加速器、CTシミュレータ室等を一通り案内して頂きました。治療ホールは中庭に面しており、広く開放的で、治療室へ入退室される患者様を把握しやすい作りになっていました。サガハイマツの治療室は間接照明を取り入れたり、機器を出来る限り隠したりと、患者様が落ち着けるような配慮が随所に施されており、洗練された印象を受けました。加速器は群馬大学重粒子線医学研究センターと同タイプの装置をカスタマイズして導入したとの事でした。



サガハイマツの治療室見学の様子

施設見学後の勉強会では、金澤光隆先生（同センター物理室長）よりサガハイマツ概要からこれまでの経緯、建屋や加速器、医療機能連携、今後の予定等の説明及び施設建設の際の苦労話が披露され、質疑応答では装置の搬入や遮蔽、立地上の懸念等の話題が挙がりました。サガハイマツは産学官の共同プロジェクトとして、各界多くの関連機関による連携・協力を得て実現した施設であり、今後のご発展を心よりお祈り致します。



金澤先生による勉強会の様子





第 29 回施設見学会 講師・参加者一同



第 30 回施設見学会・勉強会の様子

### ◆「粒子線がん治療等に関する施設研究会」 第 30 回施設見学会の開催

平成 25 年度 2 回目の施設見学会は 10 月 22 日（火）、北海道大学（北海道札幌市北区 15 条西 7 丁目）にて開催致しました。建設、設計、メーカ等の粒子線関連業界から 26 名の参加がございました。

北海道大学の北大病院陽子線治療センターは最先端研究開発支援プログラム（FIRST プログラム）の一環である「分子追跡放射線治療装置の開発」（中心研究者：北海道大学大学院医学研究科 白土博樹教授、共同提案者：京都大学大学院医学研究科 平岡真寛教授）として、陽子線装置の開発を北海道大学、X 線装置の開発を京都大学が担うプロジェクトです。放射線感受性分布に合わせたテーラーメイド放射線治療計画、呼吸等で動く腫瘍を高精度で狙い撃ちするシステムの実現など持続的発展を見据えて、分子イメージングや動体追跡技術の共同開発が行われています。

白土教授による装置開発の講演では、FIRST プロ



白土教授による、分子追跡陽子線治療装置の説明

ジェクトの概要から動体追跡装置が搭載された陽子線スポットスキニング装置の開発、各症例での線量分布比較、人材育成、国際展開等、多岐にわたる内容をご紹介頂きました。同型機の陽子線装置は既に米国のメイヨー・クリニックやセントジュード小児研究病院での導入工事が進められており、国際的にも本装置への注目が高い事が伺えました。



北大病院陽子線治療センターの建屋



白土教授（左）と梅垣教授（右）



梅垣教授による、模型を用いた装置の説明の様子

北海道大学大学院工学研究院 梅垣教授による装置の説明では、スポットスキニング方式に特化した装置である事、モンテカルロ計算コードPHITSを用いて最適遮蔽設計を行った結果、装置面積を従来の7割程度に縮小した建屋を実現した事など、興味深い内容を伺いました。

北大病院陽子線治療センターは吹き抜けのホールにより明るく開放感のある空間となっており、患者様が寛げる環境への配慮が窺えました。見学時は性能試験中であり、治療開始は2014年3月を予定との事です。日本発の技術が詰まった本プロジェクトの更なるご躍進を心からお祈り致します。

この場を借りて、本研究会にご協力頂きました九州国際重粒子がん治療センター、並びに、北海道大学最先端研究開発事業支援室の皆様へ厚く御礼申し上げます。

## ◆線量計校正事業

### 1. 治療用線量計校正の現状

平成24年度は、医用原子力技術研究振興財団が線量計校正事業を開始してから9年目であり、また、平成21年1月より、独立行政法人製品評価技術基盤機構(NITE)が審査し、計量法に基づく校正事業者を登録する制度のJCSS(Japan Calibration Service System)認定登録事業者としての校正形態に移行して4年目に当たるため、JCSS認定登録の更新を行いました。

その後、平成24年10月1日より、水吸収線量単位による校正(以降、水吸収線量校正)を開始し、平成25年度4月からは水吸収線量校正への完全移

行となりました。

水吸収線量校正の開始当初は、水吸収線量校正の申し込みが予想を上回り、申し込み受付が滞り、大変ご迷惑をお掛けする状況も御座いましたが、当財団の医療放射線監理委員会および医療用線量等校正部会の協力による対策を講じ、平成24年度末には滞りも解消致しました。

現在は1日当たりの校正件数も以前と同等に戻り、申し込み数の増加につきましては、校正を行う時に借用している放射線医学総合研究所内の施設利用状況により校正日を調整して対応しております。

## 2. 年間校正数

当財団にて線量計校正を開始してから平成24年度までの年間校正数を表1に示します。

表1 年間校正数(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24	912 (1.082)	1,343	753	2,096 (1.054)	1.783	2,849 (1.046)
平23	846 (1.054)	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 (1.121)
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 (-)

平成24年度につきましては、先に述べた水吸収線量校正の対応状況から、日数を増やして対応したこと、また、新規電離箱の購入に伴う申し込みの増加などもあり、これまでで最多の校正件数となりました。なお、平成24年度は4月から9月までが照射線量校正のみで件数は1,308件、また、10月以降は水吸収線量校正および照射線量校正の合計で1,541件であり、このうち約1割が照射線量校正となっています。

平成25年度の前半は、昨年度に照射線量校正を行っており、初めて水吸収線量校正を申し込む施設



が多く、校正件数は昨年と同時期と比較すると若干増えています。また、年度末に向けて申し込みが増加することが見込まれ、年間校正数は昨年と同等か、若しくは増えることが予想されます。

### 3. 現在の校正申し込み対応状況

現在、校正の申し込みは、2か月前に校正予定日が決定され、予約を受け付けております。図1に線量計校正のお申し込みから証明書受け取りまでの基本的な流れを示します。

		財団対応	ご依頼者さま
1月日	1週目		①仮予約
	2週目		
	3週目		
	4週目		
2月日	1週目		
	2週目		
	3週目		②お申込み書送付
	4週目	③スケジューリング	④校正機器発送
3月日	1週目	⑤校正実施	
	2週目		⑥校正機器返却
	3週目	⑦証書&請求書発送	
	4週目		

①仮予約  
・電話もしくはメールで校正装置台数と電離箱の種類・本数をお伝えください。  
・混みあっているため2か月前のご連絡をお願いいたします。

②お申込み書送付  
・当財団HPよりダウンロードいただきFAXもしくはメールで2～3週間前までにお送りください。  
・押印をいただいた原本は、校正機器発送時に同封ください。

③スケジューリング  
・届いたお申込みをもとに、校正条件の確認等スケジューリング実施。

④校正機器発送  
・校正日の前日までに当財団指定の場所（放医研コバルト室）へお送りください。

⑤校正実施  
・調整させていただいた週の日程で校正実施させていただきます。

⑥校正機器返却  
・基本的には、校正実施の翌日に当財団より返却発送いたします。（校正の翌日が週末や休日の場合は週明けの平日になります）

⑦証書 & 請求書発送  
・校正実施後の1週間～10日間に当財団より発送いたします。

図1 校正申し込みから証明書受け取りまでの流れ

なお、現在の校正申し込み状況は大変混み合っており、通常、月ごとの校正予定日は2か月前に決定いたしますが、それ以前より校正予約の受付開始をお待ちしている施設もあり、受付開始直後に予約枠の7～8割程度が直ぐに埋まってしまう状況となっております。

混雑を解消するべく対策検討および調整を行って

おりますが、校正日数の制限や作業員の従事状況により対応が出来ない場合もあるため、校正を申し込み頂く皆様にご理解とご協力をお願い申し上げます。

### 4. 線量計校正における施設名公表

毎年7月～9月頃に当財団のホームページにて、過去2年間における線量計校正を実施した施設の施設名公表を行っております。平成25年度は8月下旬に、平成23年度および平成24年度に校正を実施した施設において施設名公表に同意いただいた施設について公表をさせて頂いております。

平成23年度の施設名公表につきましては昨年度に掲載させて頂いた後に、再調査を行った結果を掲載しております。公表状況は図2に示す通り、医療機関においては99.8%、研究・教育機関やメーカーについては93.8%の施設より公表の同意が得られました。

平成24年度の公表状況は図3に示す通り、医療機関においては99.1%、研究・教育機関やメーカーについては91.7%の施設より公表の同意が得られております。

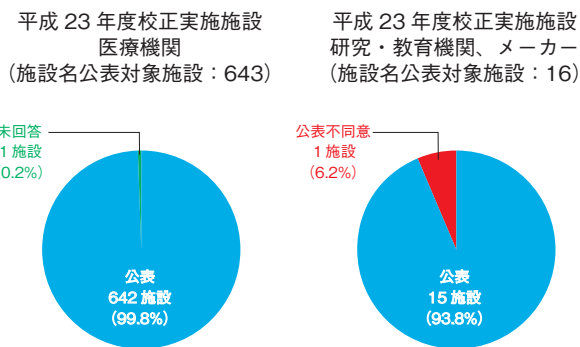


図2 平成23年度校正実施施設の公表状況

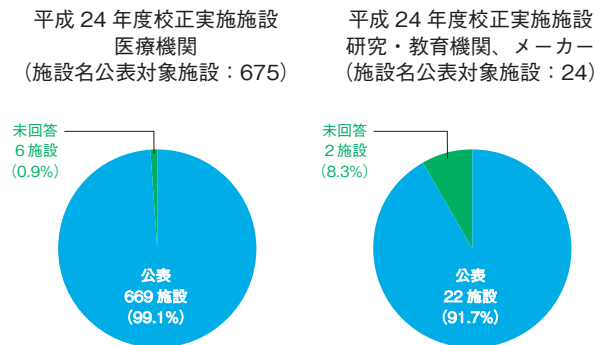


図3 平成24年度校正実施施設の公表状況

## 乳がんの重粒子線治療

放射線医学総合研究所  
重粒子医科学センター病院  
治療課第3治療室長 唐澤 久美子

### 早期乳癌治療の現状について

乳癌は日本人女性が最も多く罹患するがんです。国立がん研究センターがん対策情報センターの資料によれば、2008年の乳癌罹患数は59,389人で、日本人女性の14人に1人が乳癌に罹患しています<sup>1)</sup>。乳癌の5年相対生存率（乳癌と診断された人のうち5年後に生存している人の割合が、日本人全体で5年後に生存している人の割合に比べてどのくらい低い）は89.1%で、予後良好ながんの一つです<sup>1)</sup>。日本乳癌学会の2010年の乳癌統計によれば、臨床病期は0期9.9%、I期39.6%、IIA期22.7%、IIB期8.8%で、IIIからIV期の進行癌は7.6%で、組織型の88.9%は浸潤性乳管癌でした<sup>2)</sup>。0-II期乳癌に対する標準治療は、原発腫瘍を摘出し腋窩リンパ節に対してセンチネル生検後に必要に応じて腋窩郭清を加える乳房温存手術と全乳房照射を組み合わせた局所療法に、全身薬物療法を必要に応じて組み合わせる方法で、2010年乳癌統計では約60%の患者が乳房温存療法で加療されていました<sup>2)</sup>。

### 乳房放射線治療の現状について

早期診断と標準治療が確立し、最も良く治るがんの一つとなったため、今後の課題はより良く負担を少なく治すことになりました。ここで、乳房内再発の90%は切除断端に生じるとの報告<sup>3)</sup>より、乳房全体への照射は過剰治療ではないかとの疑問が生じてきました。これを受け、乳房温存術後の乳癌照射の範囲を、患側全乳房としない乳房部分照射の考え方が復活しました。それが、平均治療期間5日間の加速乳房部分照射（Accelerated Partial Breast Irradiation：APBI）です。1991年に、全乳房照射が標準治療となって以降の最初の加速乳

房部分照射の試みが、通常照射を受けられない事情のある患者さんに対して行われています。全乳房照射が標準治療となる前の乳房部分照射が失敗に終わったのは、適応を限定しなかったことによるという反省から、適切な照射の技法や線量分割を決めることと共に、対象症例の限定が課題となりました。加速乳房部分照射の最適化の課題に対して、4つのランダム化比較試験と50以上の前向き研究が行われ、これらの結果を踏まえて、対照群の相別化が行われ加速乳房部分照射適応患者のガイドラインがつけられました<sup>4)</sup>。これらのガイドラインでは、乳癌のリスク分類での低リスク群のみが加速乳房部分照射の良い適応であり、中間リスク群に対しては、有用性が不確かなので臨床試験に限って行うべきであるとしています。2009年に作られた米国放射線腫瘍学会（ASTRO）の症例選択基準<sup>7)</sup>によれば、年齢60歳以上、BRCA1/2変異陰性、腫瘍径2cm以下（T1）、切除断端は2mm以上陰性、リンパ管進展なし、エストロゲン受容体陽性、単発、病理組織型は浸潤性乳管癌などの予後良好型、純粋な非浸潤癌ではない、広範囲な乳管内進展がない、センチネルリンパ節生検あるいは腋窩郭清でリンパ節転移がないなどの例を加速乳房部分照射推奨群としています。加速乳房部分照射は、治療期間の短縮により患者さんの社会経済的負担が軽減、皮膚などの有害反応の減少による身体的負担の軽減と相まって欧米では日常臨床の一部として取り入れられるまでに普及しています。

加速乳房部分照射の施行方法には、X線外部照射・組織内照射・切除腔の腔内照射・電子線術中照射・粒子線外部照射などがあります。最も一般的に用いられているのは、特別な装備が必要でないX線



外部照射ですが、X線では腫瘍床に局限した良好な線量分布を得ることが難しく、皮膚の有害事象や乳房の変形などの報告があります<sup>8)</sup>。その改善を目指し、陽子線を用いた加速乳房部分照射の報告も散見されています。マサチューセッツ総合病院では、32 Cobalt Gray Equivalent (CGE) を1日2回の4回で照射し、皮膚反応は軽度であったと報告しています<sup>9)</sup>。また、Loma Linda 大学では40Gy/10回/2週間の陽子線治療を行い無病生存率は92%であったと報告しています<sup>10)</sup>。

### 炭素イオン線による乳房照射

陽子線、重粒子線などの粒子線は、線量集中性にすぐれ、生物学的効果からも有利で、高エネルギーX線による定位照射 (SBRT) や強度変調放射線治療 (IMRT) と比較しても、正常組織の有害事象が少なく、高い局所効果が得られる可能性があります。

重粒子線の一つである炭素イオン線は、通常の放射線治療に使われている高エネルギーX線や $\gamma$ 線とは異なる物理学および放射線生物学的な特徴を有しています。X線や $\gamma$ 線は人体を透過してしまうのに対して、炭素イオン線の場合は任意の深さで止めることが可能で、停止直前に線量が最大となるブラッグピーク (Bragg's peak) を形成し、標的より深い部位へはほとんど届きません。放射線医学総合研究所 (放医研) の重粒子線加速器 (Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba : HIMAC) では、標的体積の深さに応じて炭素イオン粒子を最適エネルギーに加速し、深部がん治療に適した線量分布を作ることが可能です。さらに、炭素イオン線の場合はブラッグピーク領域では高LET (linear energy transfer) 放射線としてX線に比べて高い生物効果を有するため、放射線抵抗性腫瘍に対しても有効であると考えられています。このように炭素イオン線では、通常の放射線に比べて標的領域に高線量を集中できると同時に、高い生物効果を有するため、通常の放射線治療では手術と組み合わせないと局所制御率が低い乳癌でも局所制御が期待できると考えました。

放医研は炭素イオン線治療において19年間で7000例以上の施行実績がありますが、いままで乳癌をプロトコル研究として取り上げて来ませんで

した。その理由は、当初は他に有効な治療法がない難治がんを主な対象としていたことと、一般的ながんをより少ない負担で治す目的においても、腫瘍とその周囲のみに照射することで完治可能な乳癌を同定できなかったことなどがあると思います。加えて、乳房温存手術と術後全乳房照射による乳房温存療法の負担が、肺癌や前立腺癌などの手術と比較して少ないと考えていたこともあります。しかし、乳癌患者さんの年齢の中央値は59歳、80歳以上の患者さんは年間2000人以上で、合併症などで手術が行えない、あるいは麻酔が使えない患者さんに対しての低侵襲な局所治療の開発は高齢化社会を迎えて重要と考えます。また、非手術で乳癌を治療したいとの思いが強い患者さんは少なくなく、凍結療法、集束超音波療法、ラジオ波熱凝固療法 (radiofrequency ablation : RFA) といった非切除治療の臨床応用が広がってきています。これらの治療法の臨床データは、いまだ少数かつ短期的観察に基づく報告しかなく、適応、至適手技、効果判定法などの検証も十分でなく、臨床試験として実施すべきレベルと考えます。

放医研では1997年より2012年に浸潤性乳管癌の肺あるいは肝転移の4例に対して炭素イオン線治療を行い、3例で腫瘍消失を得ています。6cmの肝転移例は36GyE (グレイ・イクイバレント : 放射線の影響を示す単位) の1回照射にて腫瘍消失し、5年以上生存中です。13cmの骨軟骨仮性を伴う乳癌の肺転移の患者さんは57.6GyE/16分割で制御できませんでした。4cmと2cmの肺転移の方は60.0GyE/4分割/1週間照射法にて腫瘍消失しており、問題となる有害事象は認められていません。炭素イオン線はX線に比べて高RBE (relative biological effectiveness) と高LETであるため、線量分割効果が少ないことが明らかにされています。乳癌と同じ胸部腫瘍である肺癌を例にとると、1999年から行われた72.0GyE/9分割/3週間照射法の第II相試験では50例、2002年から4分割/1週間照射法の試験では腫瘍サイズによる局所制御線量の相違を想定し、T1腫瘍に対しては52.8GyE、T2腫瘍に対しては60.0GyEの計79例で治療を行いました。これら寡分割照射症例の局所制御率は全体で91.5%、非扁平上皮癌で93.8%、T1で96.3%、T2で84.7%であ

り、早期・晩期有害事象はいずれも軽度でした<sup>11)</sup>。肝細胞癌においては、1997年から4分割／1週間照射法の試験が行われ、52.8GyEで64例69病変が治療され、奏効率は72%でした<sup>11)</sup>。

乳癌転移巣に対する炭素イオン線照射の経験、他のがん腫に対する抗腫瘍効果と安全性を勘案すると、乳癌原発巣に対して炭素イオン線照射の有用性を検討することは意義があると考えました。そこで、炭素イオン線治療の乳癌治療への適応を、臨床的に検討するため、乳癌原発巣に対する根治照射の臨床第Ⅰ／Ⅱ相試験を行い、有用性を検討することとしました。適応は、Ⅰ期で腫瘍の広がりが局所に限局していると考えられる低リスク群、すなわち加速乳房寡分割照射の推奨例の腫瘍背景因子と同様に設定しました<sup>12)</sup>。

### 乳癌に対する重粒子線治療の実際

まず、照射の際の位置合わせ用に、乳腺腫瘍の頭側と尾側に金マーカー（ビジコイル）を超音波検査下に2個経皮的に挿入します（図1）。0.5mm径で5mm長のコイル状のマーカーで、挿入針を2回刺しますが、負担はそれほどありません。その後、照射時の正確な位置再現のために熱可塑性樹脂などにより固定具を作成します（図2）。治療体位は、原則として仰臥位としていますが、最も良好な線量分布と再現性が得られる体位が症例ごとに選択されます。また垂直・水平固定ポートにおいても任意の角



図1 超音波下でのビジコイルの挿入

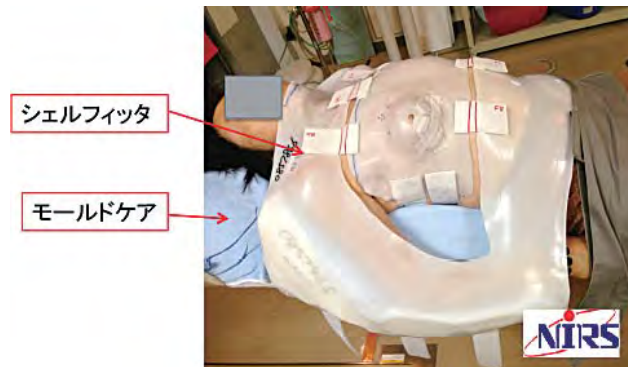


図2 固定具作成と治療体位

まず仰臥位で一定の姿勢となるよう、モールドケアを成形し、次にシェルフィッタを頸腹部と胸部にわけて作成します。胸部では健側乳房が低くなるよう圧迫し、患側乳房が高くなるように乳房を成形して作成します。

度での照射を可能にするため、回転可能な患者固定用ベッドを用いています。

重粒子線を照射する部位は、造影MRIで腫瘍として描出される部位に加えて、潜在的な腫瘍の存在が考えられる腫瘍周囲の造影領域をあわせた範囲です。そこに幾何学的な変動による不正確性を考慮した安全域を約5mm加えています。炭素イオン線の整形は、ボラス・照射系に付属の多葉コリメーターあるいは患者コリメーターにより行なうか、あるいは将来的にはビームスキャンニング照射法による照射を計画しています。

照射位置の確認は、治療室位置決めコンピューターを用いて、照射軸方向とそれに直交して設置されたX線透視（撮影）装置のX線透視画像により、腫瘍辺縁に挿入された2個の金属マーカーを目安に行われます。照射は呼吸同期で、前方・左方・右方からの3門で行っています（図3、4）。

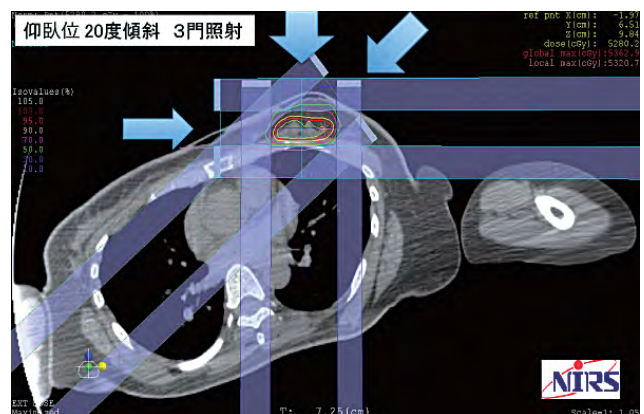


図3 乳房照射の線量分布



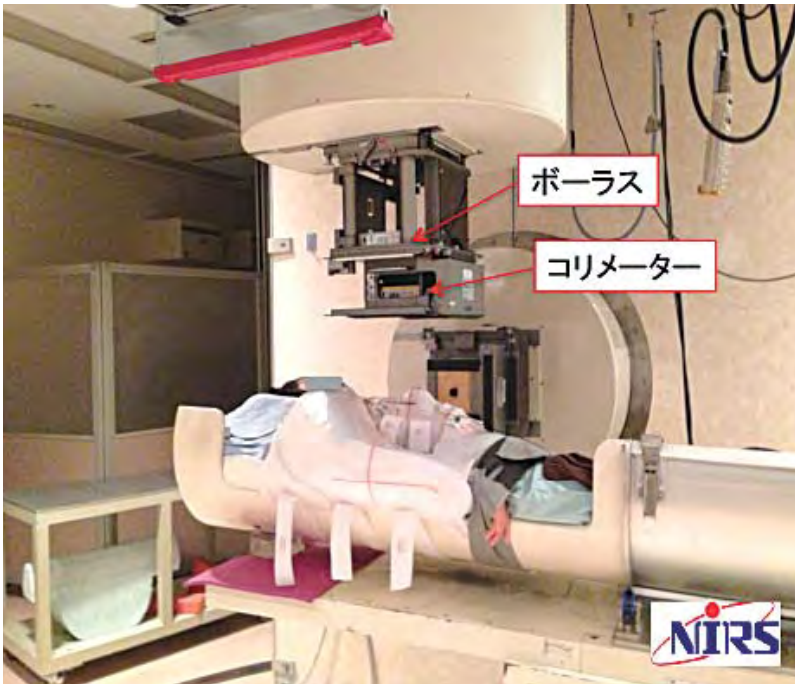


図4 乳房照射の様子  
呼吸同期を用い、ブロードビーム法で左右と垂直の3門照射で行っています。

#### 乳房に対する重粒子線治療の臨床試験<sup>12)</sup>

I期乳癌（低リスク群）の原発腫瘍に対して4分割／1週間照射法による炭素イオン線の局所照射を行い、安全性と有効性を確認することを目的として2013年5月より開始しています。第I相臨床試験では、炭素イオン線治療の最大耐容線量を明らかにし、第II相試験の推奨線量を決定します。第II相臨床試験では第I相試験で確認された推奨線量を用いた治療の有効性と安全性を確認します。症例の適格条件は次の通りです。

- ①生検あるいは組織診で証明された浸潤性乳管癌（通常型）。
- ②MRIで腫瘍の進展範囲が2 cm 以内の単発で、UICCの臨床病期がI期（T1N0M0）。
- ③広範なリンパ管浸潤（LVSI）、広範な乳管内進展（EIC）がなく、エストロゲン受容体（ER）陽性、HER2陰性。
- ④PSは0～2。
- ⑤60歳以上の女性。
- ⑥6ヶ月以上の生存が見込まれる。
- ⑦本人が参加を希望しており、文書による同意が得られている。

また、症例の不適格条件は次の通りです。

- ①治療に耐えられない重篤な合併症（例えば制御困難な心肺疾患、難治性の感染症、制御困難な精神疾患など）を有する。
- ②同側乳癌に対して手術・化学療法・内分泌療法・分子標的薬剤などの治療歴がある。
- ③活動性の重複癌（対側乳癌を含む）に対して全身薬物療法中。
- ④腫瘍の胸壁あるいは皮膚浸潤。
- ⑤MRI画像上で同定できる乳管内進展等を含めた腫瘍辺縁と皮膚との距離が5 mm 以内。
- ⑥当該照射部位に放射線治療の既往。
- ⑦非浸潤癌（Pure DCIS）。
- ⑧医学的、心理学的または他の要因により担当医師が不適當と考える。

第I相臨床試験は線量増加試験で、レベル1では1回12.0GyE、レベル2は1回13.2GyE、レベル3は1回15.0GyEで、火曜から金曜の4回を原則として、それぞれ合計48.0GyE、52.8GyE、60.0GyEの照射を行います。各レベルで3例以上に治療を行い、用量制限毒性（強い放射線皮膚炎や肺炎など）の発現が治療終了後6か月までに1例も認められなかった場合、次のレベルに移行します。第I相では治療終了後90日までは追加治療を行わず経過を観察し、治療終了後90日で画像、組織診などで一次効果判定を行った後、原則として腫瘍切除術により病理学的効果判定を行い、その後は標準治療に則って必要に応じて全身薬物療法（内分泌療法）を行います。病理学的に癌の残存を認めた場合は、標準治療に則り追加切除や乳房照射を行います。用量制限毒性が出現せず、第3症例までの3例で臨床的あるいは病理学的に腫瘍が消失していたレベルを、推奨線量レベルと決定します。

第II相臨床試験では、第I相部分での推奨線量レベルで、第I相部分で登録された症例を含めて計20症例以上を登録して、第I相と同様の方法で照射を行います。照射後の全身薬物療法は標準治療に則って行い、試験の治療の安全性と有効性は、定期的な

画像診断と必要に応じて組織診を行って判定しますが、腫瘍切除等の局所の追加治療は、局所再発や領域転移が確認されるまで行いません。

### 乳癌に対する重粒子線治療の先進医療

上記臨床試験の症例以外に、標準的な治療困難な理由がある患者さん、あるいは手術を拒否している方で、わずかに臨床試験の選択基準から外れるような方に対して、十分な説明と同意の上で、先進医療による乳房への重粒子線治療を行っています。その選択基準を表1に示します。

表1 早期乳癌重粒子線治療の症例選択基準

因子	臨床試験	先進医療	非適応
年齢	60歳以上	50-59歳	50歳未満
閉経	閉経後	閉経期	閉経前
腫瘍径	2.0cm以下	およそ2cm以下	2.5cm以上
皮膚との距離	5mm以上	5mm以上	5mm未満
リンパ節転移	なし	なし	あり
病理組織型	浸潤性乳管癌	浸潤性乳管癌など	浸潤性小葉癌
純粋な非浸潤癌	非浸潤癌ではない	2.0cm以下	2.1cm以上
多発	なし	なし	あり
エストロゲン受容体	陽性	問わない	陰性
Ki-67	低い	境界域	高い
リンパ管進展	なし	限局性	あり
広範囲な乳管内進展	なし	なし	あり
前治療	容認せず	問わない	あり

また、限局性の再発で他の治療法が困難な症例に対しても重粒子線治療を行っています。全身薬物療法が無効であった、あるいは年齢や合併症で行えない胸骨傍リンパ節転移、鎖骨下リンパ節転移、単発性肺転移、単発性肝転移などが主な適応と考えています。

### さいごに

乳癌に対する炭素イオン線照射は、患者の負担が少なく、整容性やQOL保持に優れた治療法であると考えます。現在までの経験では、局所効果は良好で、問題となる有害事象も認められていません。しかし、あくまで局所治療であり、乳癌治療の中で果たす役割についての検証はこれからの課題と考えています。

### 文献

- 1) 国立がん研究センターがん対策情報センター 統計 <http://ganjoho.jp/public/statistics/pub/statistics01.html>
- 2) 日本乳癌学会 2010年乳癌統計 [http://www.crsu.org/breast\\_registration/analyses/2010/Report\\_2010.pdf](http://www.crsu.org/breast_registration/analyses/2010/Report_2010.pdf)
- 3) Vicini FA, Kestin LL, Goldstein NS. Defining the clinical target volume for patients with early-stage breast cancer treated with lumpectomy and accelerated partial breast irradiation: a pathologic analysis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2004 Nov 1;60(3): 722-30.
- 4) American Society of Breast Surgeons. Consensus Statement for Accelerated Partial Breast Irradiation Revised 2011 [https://www.breastsurgeons.org/statements/PDF\\_Statements/APBI.pdf](https://www.breastsurgeons.org/statements/PDF_Statements/APBI.pdf)
- 5) Arthur DW, Vicini FA, Kuske RR, et al.; American Brachytherapy Society. Accelerated partial breast irradiation: an updated report from the American Brachytherapy Society. *Brachytherapy.* 2003;2(2): 124-30.
- 6) Polgár C, Van Limbergen E, Pötter R, et al.; GEC-ESTRO breast cancer working group. Patient selection for accelerated partial-breast irradiation (APBI) after breast-conserving surgery: recommendations of the Groupe Européen de Curiethérapie-European Society for Therapeutic Radiology and Oncology (GEC-ESTRO) breast cancer working group based on clinical evidence (2009). *Radiother Oncol.* 2010 Mar;94(3): 264-73.
- 7) Smith BD, Arthur DW, Buchholz TA, et al. Accelerated partial breast irradiation consensus statement from the American Society for Radiation Oncology (ASTRO). *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2009;74:987-1001
- 8) Hepel JT, Tokita M, MacAusland SG, et al. Toxicity of three-dimensional conformal radiotherapy for accelerated partial breast irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2009 Dec 1;75(5): 1290-6.
- 9) Kozak KR, Smith BL, Adams J, et al. Accelerated partial-breast irradiation using proton beams: initial clinical experience. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2006 Nov 1;66(3): 691-8.
- 10) Bush DA, Slater JD, Garberoglio C, et al. Partial breast irradiation delivered with proton beam: results of a phase II trial. *Clin Breast Cancer.* 2011 Aug;11(4): 241-5.
- 11) 放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター病院 <http://www.nirs.go.jp/hospital/index.shtml>
- 12) [http://www.nirs.go.jp/hospital/conform/conform\\_15c.shtml](http://www.nirs.go.jp/hospital/conform/conform_15c.shtml)



## 食道がんに対する陽子線治療の治療体験談

中根 功  
(入院時 64 歳)



### 治療の経緯

64 才の 2008 年 5 月頃、のどに違和感があり会社の近くの主治医に通い、処方された風邪薬とうがい薬を併用していました。

47 才で上司と興した会社は順調に業績も伸ばしており、社員 4、

5 人から始めた会社は 20 数名まで増えていました。ただ設立以来、深夜までの仕事、お酒のお付き合いに社内のストレスが多かったこともあり、仕事は 65 才で引退し、新たにゴルフ場のメンバーになってゴルフ三昧の生活を送る夢を見ていました。

その年は、お得意様のインテリア専門商社で新しい見本帳が発売される準備で私の業務も多忙を極めており、8 月の夏休みも返上して国内、国外の出張が続いていました。8 月末頃仕事も少しは落ち着きましたが、のどの違和感は治まらず、主治医に相談したところ（その間も投薬はしていました）、総合病院の紹介を受け、耳鼻科にて検査、その結果は異常なく、後日消化器科で内視鏡の検査を受けたところ、即「食道がんです。どうしますか？」と診断結果を受けました。その瞬間はびっくりするとともに、頭が真っ白くなりました。大きく深呼吸して、帰宅途中に家人に「食道がんだったよ。」と話したところ、まずは「冗談でしょう！」との声から妻の驚く顔が浮かび、私自身は「ア一年貢の納め時か！」とネガティブな考えしか思い浮かびませんでした。

長女が放射線医療関連の仕事をしており、「食道がん」の治療方法は①外科手術、②抗がん剤治療、③放射線／陽子線治療があるということ（私は、そ

の時初めて陽子線治療を知りました。）数日の間に知り合いの放射線医 3 名にご意見を聞いてくれました。家人と相談し、長女も同席して再診を受けました。外科の先生からは「手術で治るステージなのに、なぜ放射線治療を受けるのですか？」と聞かれました。私は引退後はゴルフ三昧の生活を夢見ていたので、外科手術は術後の回復具合を考えるとゴルフが当分出来なくなる、美味しい食事も食べられなくなるのでは、との 2 点を思い、陽子線と抗がん剤の併用療法がベストと考えました。

2008 年 10 月 23 日化学陽子線加療を希望し、筑波大学附属病院で初診を受けました。「食道がん (T3N0M0 Stage II) との診断でした。主治医 (櫻井教授) から治療法の説明を受け、「食道がんにたいする抗がん剤併用の陽子線治療はまだ一般的ではないこと、陽子線の方が照射範囲を限定出来るが、そのことによって照射されない部分に転移が出る可能性もあること」などを理解の上、進めて頂くことにしました。



筑波大学附属病院陽子線医学利用研究センター  
大学病院に併設された国内で唯一の陽子線治療施設で、他診療科と連携をとりながら治療できるのが特徴です。

10 月 28 日の入院までの間に、外部の施設での PET 検査で転移がないことを確認しました。また櫻井

教授より外科医の意見も確認する様ご指示あり、セカンド・オピニオンとして国立がんセンター消化器外科部長（当時）<sup>たちもり</sup> 日月先生を訪問しました。家人、長女が同席して40～50分の診察でした。「手術と陽子線治療での成績は同等であること、画像から見ると左右のリンパ節に転移している疑いがあるが照射計画ではリンパ節も含まれていること、万一再発した場合は放射線治療後の手術では合併症のリスクが高くなること」などの説明がありました。お話をうかがって化学陽子線療法を受けることに決めました。その後の大まかな治療の経過は次のとおりです。

#### 10月28日入院

#### 10月29～11月6日

咽頭喉頭に病変がないことの確認。内視鏡で食道にマーキング金属を刺入。陽子線準備のCT撮影、食道造影。消化器内科森脇 Dr より陽子線と併用して5-FU とシスプラチンの投与を2クール行い、さらに抗がん剤だけで2クール追加するという化学陽子線療法の説明を受けました。

#### 11月10日

抗がん剤治療と陽子線治療が開始。陽子線治療は11月10日から12月25日の間に30回行う（2グレイ\*を30回で計60グレイ）。1クルールの抗がん剤投与は11月10日～15日、第2クルールの抗がん剤投与は約一カ月後の12月8日～13日でした。第1クールでは2日目からしゃっくりが出た以外は特に自覚する副作用はなく、食欲も旺盛でした。週末は自宅に帰っていました。帰宅途中にゴルフ練習場に立ち寄り、家人と食事をして、リフレッシュしました。（\*注：陽子線の単位は正式には「GyE（グレイ・イクイバレント）」ですが、簡略化のためグレイと表記します）

#### 11月25日

10回目計20グレイの照射が終了した時点で食道造影を行い、病変が小さくなっていることが確認されました。

#### 12月8日

第2クール目の抗がん剤治療開始。若干気持ちイライラしました。長女のすすめでそういっ

た気持ちの変化も含めて日記のようなメモを付けていました。また病院食のにおいが鼻につき、食欲が落ちましたが、家人の差し入れ（好物のシューマイ弁当）は完食していたと思います。

#### 12月20日～23日

連休は帰宅していました。23日は会社のボーリング大会に参加し優勝しました。疲れは特に感じず、以前と同じように体は動きました。病院に戻り、12月25日に陽子線治療が終了し退院しました。

#### 2009年1月6日～15日

第3クルールの抗がん剤治療の為に入院。治療に先立ち内視鏡検査を行ったところ、先生からは「腫瘍は消失して潰瘍が残っているだけ。治療の効果が得られている。」と説明がありました。リンパ節への転移も認められませんでした。

#### 2009年2月9日～14日

第4クルールの抗がん剤治療の為に入院。薬の影響か、若干イライラがありました。



陽子線治療照射室の様子  
患者さんが動くことなく楽な姿勢で照射ができます。

#### 退院後のフォローアップ検査

3月19日、退院後の初のフォローアップ検査ではCTや内視鏡検査を行って病変の消失が確認されました。6月の時点ではまだ放射線による食道の炎症が残っていましたが、9月には軽快していました。その後も2年間は3カ月おきに検査があり、その後は半年おきですが、いまのところ転移、再発は認められていません。強いて言えば、抗がん剤の影響で腎臓機能が軽度悪化している程度とされています。



## メモ

私の食道がん治療の過程は以上です。治療中落ち込んだりイライラしたことはありましたが、一番つらかったのは、入院してから陽子線治療開始までの13日間です。諸々の検査を行っており、もちろんDrからは説明を受けていましたが、その時の心理状態としては、なぜもっと早く治療を開始してくれないんだ、と無知ではありますが、その間にがんがどんどん進行しているのではないかと不安の日々だったと思います。

病室で「中根さん」と呼ばれ、初めて陽子線の治療室に入り、治療台の上で私の体に合わせた器具（固定枠）に体を納め、数ミリ単位で位置合わせを調整され「これからはじめます」という技師さんの声を聞いたときは「良かった！これで治るんだ！」と心の中で叫んでいた様に思い出されます。治療の最終回の時まで毎回「これで絶対に治るんだ！」と心の中で唱えていました。治療時間は食道の正面と背後からの2ヶ所からの照射で位置合わせ含めて10～15分くらいです。あとは、自由時間。たっぷり時間がありました。病室のロッカーには外出用のシャツ数枚、上着類、チノパン、靴3足を置いていました。治療開始は秋だったので、病院の周辺の紅葉の写真撮影をしたり、散策して外の空気をたっぷり吸いこんで楽しみました。看護師さんに見つかり、「入院患者さんは院外外出するときは必ず許可を得るように」と再三注意されましたが、病院の近くの環境は緑が多く素晴らしい街並みで、一度は住んでみたい所と思わせる場所で、小高い山もありゴルフ場も数ヶ所ありいいところですよ。週末の帰宅時には家人にゴルフクラブを持ってきてもらい、帰路ゴルフ練習場で練習したり、孫を連れて筑波山までドライブしたりしました。

携帯電話も持ち込んでいましたので、会社からの問い合わせ等への対応など業務は普通に行ってもい

ました。陽子線治療が開始したことで精神的にも安定し、「もうこれのがんは治った！」という強い自分勝手な気持ちに癒されていました。

抗がん剤での自覚症状は若干のイライラと、病院食のにおいから来る食欲不振でしたが、我慢できないほどではなく、非常に軽いものであったと思います。看護師さんもよく足を運んでくれ、笑いも多く、入院生活も楽しむようにもなりました。これまでの私はどちらかというと攻撃型人間で穏やかさに欠けせっかち人間でした。

現在の体調は病気の前状態と変わらないと思います。年齢からくる老いはありますが、快調です。いまも毎日出勤しています。自宅から駅まで20分、会社の最寄駅から15分、毎日1万歩を歩くことを目標にしています。ゴルフは以前よりコース回数が増えましたが、スコアも増えました（笑）。食欲も旺盛で、今は血糖値とコレステロールに気をつけています。飲酒は少々、タバコは病気が分かった時から完全に止めました。家人の料理に舌鼓をうち、ストレスのない（時にはイライラ発生しますが）健康生活を送っています。穏やかさが一番！！これからも人生を楽しみたい、ゴルフ、旅行、美味しい食事、少しの仕事！今年の12月25日で退院5年の月日が経過します。

私は陽子線治療を受けて良かったと思います。外科手術を受けていたらどのように生活が変わったか想像もつきません。一人でも多くの方が陽子線治療によってがんが治ることを祈っています。願わくば、もう少し治療費が安くなればよいです。

わがままな私を支えてくれた妻、子供たちにはこの治療に無知な私にアドバイスしてくれ、最良の病院、先生方に出会い、陽子線治療に出会ったことに心から感謝の気持ちでいっぱいです。妻よ、子どもたちよ、お世話になった病院の皆さまありがとうございました。

### 【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。

匿名希望でも結構です。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。

## 食道がんに対する化学療法併用陽子線治療

筑波大学附属病院 放射線腫瘍科  
沼尻 晴子

日本では、毎年約2万人弱が新たに食道がんと診断されており、近年増加しています。この頃は芸能人・文化人の方の中で食道がんにかかったことを公表する方も出てきており、一般の方からの注目も大きいところですが、食道がんが発生する背景には飲酒・喫煙・食道への物理刺激（辛いもの・熱いもの）などがあると考えられていますが、すべての患者さんでそれが原因というわけではありません。また、患者さんは圧倒的に男性が多く、男性は女性の5倍以上となっています。年齢は60歳代～70歳代がピークで、70歳以上の方も3割程度いらっしゃいます。

ごく早期の場合は症状がほとんどないため、食事のつまり感・しみる感じなどを自覚して検査を受け食道がんが判明した場合は比較的進行している場合が多いです。

また、他の臓器のがんと比べて「周囲の臓器（気管、大動脈、心臓、肺）に浸潤しやすい」「比較的早期からリンパ節転移を起こしやすい」という特徴があり、未だに根治の難しいがんのひとつです。

食道がんが疑われた場合、まずは内視鏡検査（胃カメラ）やバリウム検査で食道粘膜の表面の様子について検査し、腫瘍の位置、形、深さなどを診断します。内視鏡検査では直接病変を採取することが可能で、これを生検せいけんといいます。生検でとれた組織を顕微鏡で観察し、がん細胞が確認できれば、食道がんと診断されます。そのほか、造影CTやPET検査でリンパ節転移や他臓器の転移がないかを確認します。これらの検査の結果から、患者さんの病気の状況を確認し、最適な治療方法を提示することになります。

①食道の病変が粘膜だけにとどまり、リンパ節転移もない場合は内視鏡を用いた粘膜切除術

（EMR、ESDなど）が選択されます。

- ②食道の病変が粘膜下層より深いけれども他の臓器にはしみこんでいない場合や、リンパ節転移が疑われる場合は、手術が第一に選択されます。
- ③②の患者さんで高齢や合併症などが理由で手術できない場合や、食道の病変が他の臓器にしみこんでいる可能性があったりして手術が適さない場合は、化学療法+放射線治療（化学放射線療法）が選択されます。

このように、食道がん治療の主役は本来内視鏡や手術ですが、高齢化により体力的に手術が難しい患者さんが増えているのも現状です。また食道癌の手術は侵襲が大きい手術であり、手術の説明を受けた後にご自身の意思で手術を辞退し、手術以外の方法での治療を希望される患者さんもいらっしゃいます。化学放射線療法の成績が向上するとともに、ますます化学放射線療法のニーズは高まっており、さらにより安全な治療を求めるようになってきています。

化学放射線療法の基本は、「プラチナ製剤を中心とした抗がん剤」と「50～60グレイ程度の放射線治療」を同時に行うことです。通常、この「放射線治療」とは、「エックス線治療」のことをいいます。当院では、エックス線治療の代わりに陽子線治療を選択することで、より心臓や肺への副作用を軽減できるのではないかと期待し、2008年から「シスプラチン・5-FUを併用した陽子線治療」を行っています。

最近、有名人の方で食道がんに対して陽子線治療を受けた方がクローズアップされたため、食道がんの患者さんで陽子線治療を希望される方が急増しています。しかしよく誤解されているのが、「普通のやり方で無理な病気でも、陽子線なら治せるのでは」「陽子線なら副作用が全くなく治療できるのでは」といった点です。私たちはこの誤解を解くた



めに長い時間をかけて「エックス線も陽子線も、同じ線量が当たるところは同じ効果であり、同じ副作用が起こりうる」ということを説明しています。この場をお借りして、少し詳しくご説明いたします。

陽子線治療の利点は、線量の集中性が良いことです。この利点を生かして、食道がんの照射では骨髄・心臓・肺といった食道周辺の重要な臓器の線量を低減することができ、それらの臓器の副作用も低減できるのではと考えています。ただし食道そのものへの線量は低減できませんので、治療中の食道炎症状（食べ物がつっかえる、痛む）は避けることができません。また、食道自体が耐えられる線量が決まっておりますので、腫瘍自体に対して普通の放射線治療（エックス線治療）より大幅に多い線量をかける

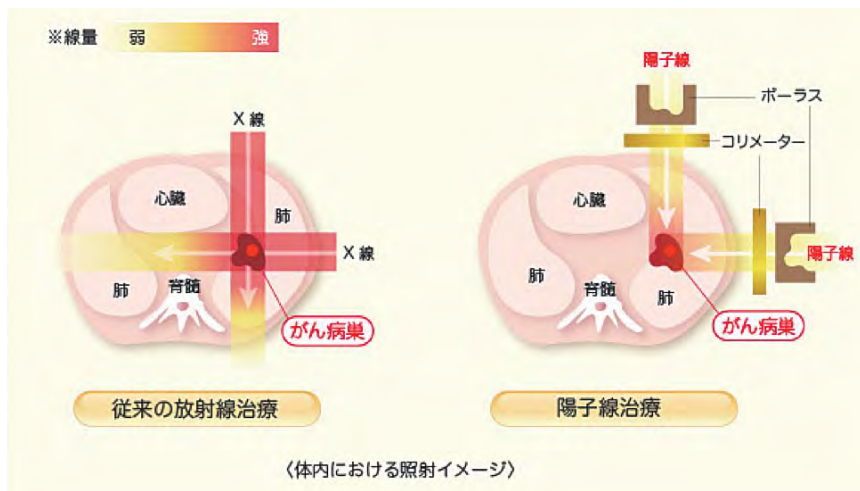
ことはできません。腫瘍に対する線量があまり変わらないということは、効果もあまり変わらないということなのです。

つまり、食道がんに対して陽子線治療を行うメリットは「脊髄・心臓・肺などの周辺臓器の副作用を減らすことができる可能性がある」ということがメインです。治りやすいとか、全く苦しくなく治療できるといったことではありませんのでご注意ください。

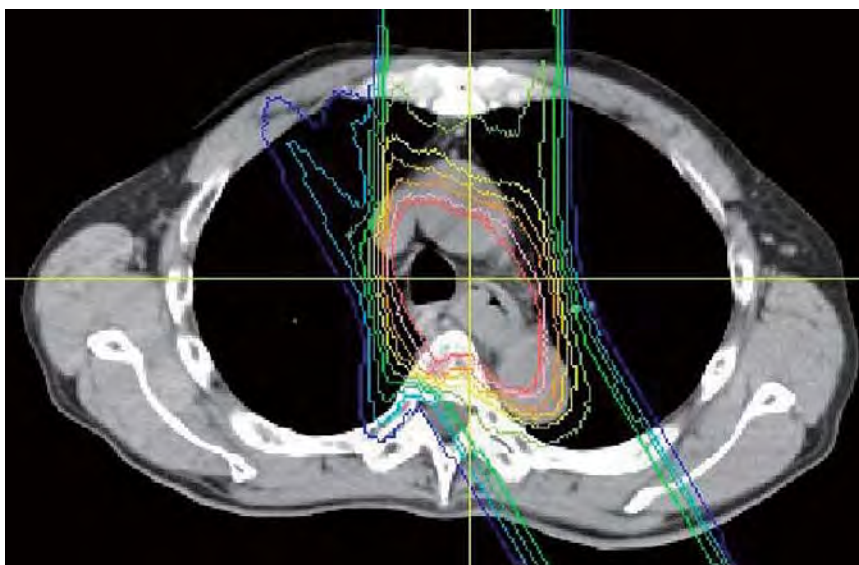
さて体験記をお寄せ頂いた中根さんは、胸部食道に3cmほどの腫瘍があり、その腫瘍は食道の壁深くに根を張って今にも外に顔を出しそうという状態（T3）でした。幸い大きなリンパ節転移は認めませんでしたが、食道の腫瘍がそれほど深い場合はリン

パ節転移の可能性は高いため、目に見えない程度のものであれば決めてかかった治療を行います。このような病状の場合、標準的な治療は手術（食道切除+再建、リンパ節郭清）です。中根さんもそれはご理解の上で、より体の負担の少ない治療を希望されて当院にいらっしゃいました。外来で何度かご説明させていただき、上記のような内容を充分にご理解頂きました。その上で陽子線治療を希望されましたので、治療に入ったわけです。治療の内容は、60GyE/30回の陽子線治療とシスプラチン+5FUの化学療法2コースを併用、その後同様の化学療法だけで2コース追加というものでした。

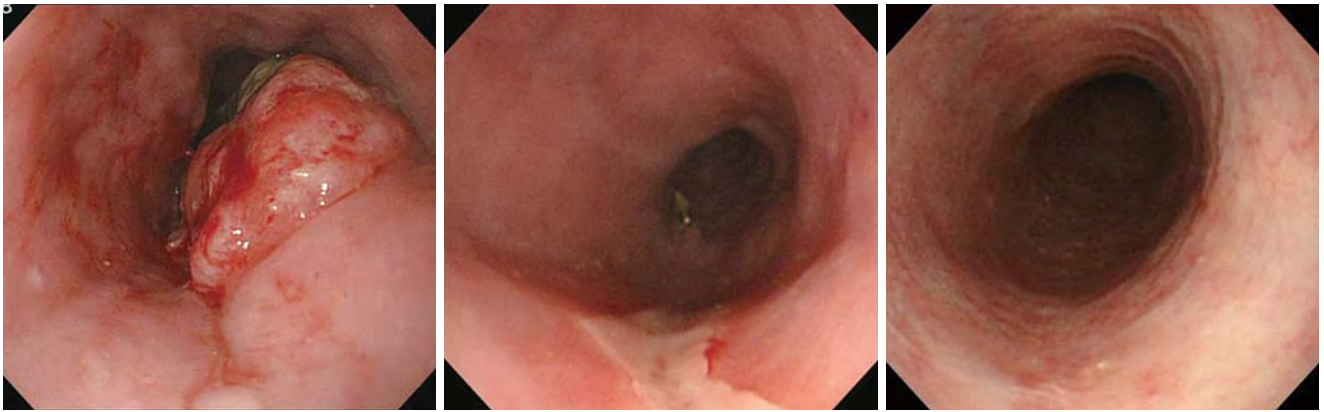
中根さんの体験記にもごさいますように、毎日の照射自体に苦痛を伴うことはありませんでした。治療を開始して2週間ほど経った時点でのバリウム検査で、食道の腫瘍が小さくなり始めたことを確認しています。治療開始から1ヶ月半ごろ（陽子線治療の終盤）には軽度の食道炎症状や皮膚



肺の照射の例。筑波大学陽子線医学利用研究センター HP より



陽子線治療線量分布図



治療前

陽子線治療終了時

陽子線治療終了後2ヶ月

炎が出現し、抗がん剤の副作用（しゃっくり、胃もたれ）も出てきていました。とはいえ症状は軽く、食事もしっかり召し上がっておられました。陽子線治療に伴う食道炎の症状は非常に個人差があり、中根さんとは違って流動食すら飲み込みづらくなる患者さんもいらっしゃいます。

陽子線治療が終了した時点での内視鏡検査では、食道の腫瘍は消えて潰瘍が残っているだけでした。その後2回の化学療法を行い、CTや内視鏡を行って病変が消えたことを確認しました。治療終了後は外来で定期的にCTや内視鏡を行っていますが、現在でも転移や再発は認めていません。

中根さんは治療後もしっかりと職場復帰をされており、外来でお目にかかる度にお仕事や旅行のお

話を伺うことができるので、私たちも大変楽しみにしております。私たちが治療するのは患者様おひとりではありますが、患者様がお元気で過ごされることで、その背後にいらっしゃるご家族・同僚の方などの人生も豊かにできるということが素晴らしいことだとも考えております。

最後になりますが、この体験記を快諾頂きました中根功さんとご家族の皆様には大きな感謝を申し上げます。ありがとうございます。これからもお元気で充実した毎日をお過ごしください。

（筑波大学附属病院 陽子線医学利用研究センターでは、患者様からのお問い合わせにFAXやメールを活用しております。詳しくはホームページ <http://www.pmrc.tsukuba.ac.jp/> をご覧ください）

## 粒子線治療

### ◆国内の粒子線施設（建設中・計画中） 近況報告（平成25年12月初旬現在）

#### ・北海道大学分子追跡陽子線治療装置（仮称）の開発

北海道大学では、大型国家プロジェクト「最先端研究開発支援プログラム」の採択を受け、世界初となる「分子追跡陽子線治療装置」を開発しています。この装置は、今後の陽子線治療の柱となる「スポットスキャン照射技術」と体内で動いているがんを狙い撃ちできる「動体追跡照射技術」を組み合わせたもので、実現すれば従来は困難であった「大型で動きのあるがん」の治療も可能になります。

また、スキャン照射を用いて陽子線の利用率を大幅に向上することで、加速器や回転ガントリーのサイズを小型化すると共に、遮蔽の負担を減らし、施設の敷地面積を従来の約70%程度に縮小することに成功しました。このような技術を確認することで、世界のがん拠点病院が将来的に導入しやすい小型で高性能な次世代陽子線治療装置の実現と普及を目指しています。

現在は、すべての装置の搬入が終了して、各種ビーム試験、コミッションングを実施しています。また、IMRT等、これまでのX線治療計画の実績をもとに、



陽子線治療計画の策定を進めています。治療開始は平成26年4月を予定しています。

平成26年2月24日には札幌で本プロジェクト主催の国際シンポジウムを開催します。プロジェクトの概要や最新情報は下記ホームページに掲載しておりますので、どうぞご覧ください。

(<http://rtpbt.med.hokudai.ac.jp>)



図1 北大病院陽子線治療センター



図2 回転ガントリー内部



図3 陽子線加速器

#### ・神奈川県立がんセンター重粒子線治療施設 (愛称：i-ROCK (アイロック))

神奈川県立がんセンターは、平成25年11月2日に新病院へ移転しました。新病院では最新の光子線リニアック増設を含め4つのリニアック室を整備したところですが、さらに現在建設中の重粒子線治療施設 i-ROCK (治療室4室) の整備と併せて、放射線治療の充実をはかっていきます。またがんセンター内の他科との連携をはかり、それぞれの患者さんに最適な治療法を提供し、安心して治療を受けていただくことを目指しています。

#### ● i-ROCK の整備進捗状況

平成23年12月に治療装置を(株)東芝が受注し、平成24年12月には鹿島建設(株)を中心に建屋工事が始まりました。新病院に隣接して建築工事が進んでおり、現在、地下部分の躯体工事を終え、地上階の工事が急ピッチで進んでいます。また加速器電磁石等の製作はほぼ終わり、現地搬入に向けて工場での試験が進んでいます。



#### ● 今後の整備予定

平成26年春～：加速器等の装置搬入開始

平成26年早秋：建屋竣工

平成27年冬～：ビーム調整、総合試験

平成27年12月：治療開始

# 第10回日本中性子捕捉療法学会学術大会報告

学会事務局 岡山大学  
道上 宏之

平成25年9月7日（土曜日）・8日（日曜日）に岡山大学創立50周年記念館にて、第10回日本中性子捕捉療法学会学術大会が、岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 細胞生理学教授 松井秀樹大会長のもと、開催されました。開催前には、西日本を中心とした豪雨や台風の接近など、天候面で色々危惧しましたが、初日に少し小雨が降った程度で、秋風が吹く爽やかな初秋の岡山を満喫できる、素晴らしい天候のもと学会は行われました。



この学術大会には全国の日本中性子捕捉療法学会に所属する物理学、原子炉工学、化学、薬学、生物学、医学の分野と、医療関係者を含めた200余名の研究者が参加する、我が国最大の中性子捕捉療法の学会です。学術大会では、初めてBNCT版医学物理講習会を学術大会と同時に開催することとなり、今後のBNCTの全国への展開、標準医療への発展を見据えた大会となりました。学術大会大会長の松井秀樹教授は、第10回の節目となる本学会のテーマを「中性子捕捉療法の新時代を切り開く」とし、BNCTの飛躍につながる学術大会とすべく、開式の弁を述べました。

特別講演には、BNCT学会に初登場のDrug Delivery System分野と核薬学分野を代表するお二



人の先生をお迎えし、参加者の方々に非常に大きな感動を与える特別講演を頂戴しました。大会一日目の東京大学大学院工学系研究科／医学系研究科の片岡一則先生はDrug Delivery Systemの世界の第一人者であり、「ナノバイオテクノロジーが拓く未来医療～超分子ナノデバイスによる薬物・遺伝子のピンポイントデリバリー～」と題して御講演を頂きました。片岡先生が実験からデザインした薬剤の多くが、現在臨床治験されており、さらにPhase IIIの治験を推進されているデータ等を提示されると、参加者の多くはBNCTと同様またはそれ以上のスピードで発展されるDrug Delivery Systemを用いた新規薬剤の開発に、驚愕させられました。大会二日目のランチオンセミナーでは、岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 榎本秀一先生に「次世代分子イメージング装置としての複数分子同時イメージング法の確立とオミックスサイエンス研究：マルチレーザー法と新規計測法の開発研究」と題して御講演を頂きました。新しいpositron emission tomographyを用いたイメージング装置の開発や新規のイメージング用核種の開発に至るまで、すべての参加者が食い入るよう見つめる中、数多くのデータを出され、災害復興でも利用されているイメージング技術も紹介されました。





また、シンポジウムのひとつとして日本中性子補足療学会 WG の在り方と今後について、日本中性子捕捉療学会会長の平塚純一先生座長のもと、3つの Working Group (WG) より報告がありました。BNCT 版医学物理士 WG から責任者 丸橋晃先生、治療計画標準化 WG から責任者 熊田博明先生、主治医資格 WG から責任者 宮武伸一先生の発表を頂きました。いずれも、今後の BNCT 標準治療化への発展には必要不可欠な WG であり、議論並びに講習会等の継続が必要であると考えられました。

本大会は、特別講演 2 演題、シンポジウム 5 演題、一般演題 47 演題の合計 54 演題とこれまでの日本中性子捕捉療学会の中で最も多い演題数となりました。学会より、毎年贈られているベストプレゼンテーション賞には、物理学分野から京都大学工学研究科原子核工学専攻 川村徳寛先生、化学・薬学分野から学習院大学理学部 加納大輔先生、臨床医学分野から京都大学原子炉実験所 山本由佳先生が選ばれました。



演題数が非常に多く、タイトなスケジュールでありましたが、座長並びに演者の方のスムーズな発表や参加者の皆様のご協力により、滞りなく学術大会を行うことが出来ました。

懇親会は、学会場より徒歩 5 分の岡山大学ピーチユニオンにて、140 名もの参加を得て開催されました。会中盤では、岡山県に古くから伝わる鬼神「温羅」の伝説を元にした、うらじゃ踊りで大変盛り上がりを見せました。また、BNCT の未来を語る、非常に有意義な場になったと思われまます。

悪性腫瘍に苦しむ患者様の多くが、まだ自由に BNCT を受けられる状況ではありません。病魔に侵され、苦しむ患者様にとっては、いかなる言い訳も出来ないのが現状です。BNCT における世界最先端の日本の技術が、標準治療となり、日本発の世界共通治療となる日が近づいていることを実感できた学術大会でした。今後、さらに BNCT が発展することを願い、第 10 回学術大会の学会報告とさせていただきます。

## 最近の BNCT の話題 — 加速器 BNCT —

公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団  
常務理事 河内 清光

今年は、記念すべき第 10 回日本中性子補足療学会 (JSNCT) 学術大会が開催され、俄にこの学会が注目を集めています。その大きな理由が、従来、原子炉の中性子を利用して行われてきた治療が、加

速器を使って中性子を発生させ、これを利用した中性子補足療法を実用化しようとする機運が高まったことにあると思います。今回は、その話題を取り上げてみたいと思います。

日本では、大きく分けると4通りの加速器 BNCT システムプロジェクトが進行し、開発されています。

第一は、京都大学原子炉実験所、住友重機械工業(株)およびステラファーマ(株)が共同で技術開発を進めてきたもので、2012年10月から脳腫瘍の治療を目的とした治験を開始しています。まず、陽子を30MeVに加速し、ベリリウムのターゲットに当てて発生した中性子を、中性子補捉療法に適したエネルギーに減速して、濃縮したホウ素10を基にして開発されたBNCT用ホウ素薬剤と合わせて、治験を開始しました。この治験は再発悪性神経膠腫(WHO grade III/IV)の患者を対象とし、加速器BNCTの安全性及び忍容性を検討することを目的としています。

また、福島県の一般財団法人脳神経疾患研究所が運営する総合南東北病院が、同一装置を福島県の復興と医療機器産業振興に寄与するとして、福島県から財政支援を受けて導入することとなっています。

第二は、(株)CICS (Cancer Intelligence Care Systems)が開発し普及に取り組んでいるもので、独立行政法人国立がん研究センターと2010年12月に共同研究契約を締結し、2014年に臨床研究を開始する予定で、国立がん研究センターに建設した治療棟に近く設置を予定しているものです。同社は、(株)日立製作所が100%出資している米国のAccSys Technology Inc.と提携し、システムを構成する加速器を供給し、加速器BNCT全体の製品化に向けた技術協力を行うと伝えられています。

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、寄付をいただいた団体・企業様 (50音順)

H25.12現在

エーザイ株式会社/エレクトラ株式会社  
住友重機械工業株式会社/株式会社千代田テクノ  
テクマトリックス株式会社/株式会社東芝  
公益社団法人 日本アイソトープ協会  
日本メジフィジクス株式会社/株式会社日立製作所  
富士フイルムRIファーマ株式会社/三菱電機株式会社

ご協力くださった皆様に感謝申し上げます。

加速器は、AccSysがBNCT用として特別に開発設計したRFQ (Radio Frequency Quadrupoles) ライナックと高出力200MHzのRF電源を組み合わせたもので、陽子を2.5MeVに加速、20mAの電流を供給し、CICSの用意した固形蒸着再生リチウムターゲットを使って中性子を発生するとしています。

また、同装置は、東京の江戸川病院にも導入されることになっています。

第三は、いばらき中性子医療研究センター内に設置されるもので、NEDOの資金を得て筑波大学、高エネルギー加速器研究機構、日本原子力研究開発機構、北海道大学などが連携して開発し、三菱重工業(株)が制作した線形加速器でRFQとDTL (Drift Tube linac) からなり、陽子を8MeVに加速し、10mA (ビームパワー80kW) をベリリウムターゲットに当てて中性子を発生するとしています。本年度中に加速器コミッショニング、来年度は中性子ビームコミッショニング、2015年には臨床試行開始を予定しています。

第四は、住友商事(株)が大阪大学と共同のプロジェクトとして進めているBNCT用加速器中性子源の開発です。静電加速器(ダイナミトロン)で2.5MeVに加速した30mA程度の陽子ビームを引出し、核融合技術を取り入れた液体リチウムターゲットに当てて、 $10^{13}$ n/secの中性子を発生させる計画です。2011年から設計検討を進め、三菱重工メカトロシステムズ(株)の協力を得て、2012年には東北大学で、2013年からはバーミンガム大学でモックアップ試験を実施しているとのこと。2016年には臨床試行(治験)を開始し、早期の実用化を目指したいとしています。

いずれも、加速器の種類や中性子発生法に特徴があり、現段階で何れが最適システムかを議論することは困難ですが、将来、装置の安全性や信頼性、物理的線量測定結果の評価、治験結果等を踏まえて検討されていくことと思います。

#### 「医用原子力だより」第14号

平成26年1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