



Association for Nuclear Technology in Medicine

医用原子力だより

第24号



私の放射線との関わり

公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団 理事
地方独立行政法人 堺市立病院機構
堺市立総合医療センター 放射線治療科
池田 恢

小生はある時期から放射線腫瘍医・治療医を標榜しているが、中・高校を通じ医学部志望の頃は「人助けをする医師になる」ことが目標で、それ以上の志望は決めていなかった。小生高1（1958年、昭和33年）の時、親父が鼻血を出し、上咽頭がんのため阪大病院で、当時は深部治療と称する200KV-X線による放射線治療を受けた。本人にも病気は知らされず、小生にもことの重大さは判断できなかった。当時、「放射線」を物理参考書で見ても、ごく概念的でしかなく、医療応用の記載はなかった。親父は難色を示したが阪大医学部に進学した。親父の病気は小生専門課程2年の時に局所再発したが、当時のコバルトでの局所再照射で小康を得た。いざ卒業で専門領域への志望を考える段になって、自身の適性や諸事情を考え合わせると、外科医、基礎医学は消去法で消え、内科医にでもなるか、それでも診断技術は習得しておこう、との理由で卒後研修の一環として放射線科を選んだ。親父が放射線治療を受けたから、というのが理由では決してない。

いざ研修を受けてみると、診断のみならず治療にも力を入れ、小線源治療なども実施し、教室全体として非常に充実していた。殊に悪性リンパ腫（当時は細網肉腫）の患者の多くが全治状態で、学生時代の内科講義での「悪性の中でも最も悪性」との印象とかけ離れた状況を眼の当たりにした。多少の曲折の後、助手として阪大に戻る際に放射線治療を専攻することにした。当時の阪大放射線医学教室の特徴の1つは、少ない助手の1枠に医学物理士1名を採用していたことである。その後重松康教授の班会議の際には当番施設に阪大の線量計を持ち込み、物理士主体で線量計測をした。全国的には各施設の線量計の相互比較を施設が自発的に全国計14か所の線量標準センターに持ち込んで行っていたが、全国レベルでは各治療施設の加速器の出力が正確かどうかは判らなかつた時代であった。

世紀の変わり目に医療過誤事故が頻発し、放射線治療でも医療安全が叫ばれた。陽子線治療

を並置する国立がんセンター東病院でも医学物理士は在籍していたので、線量の均質化、出力の平準化を目標にゆくゆくは全国レベルにしようと放医研などとも共同して厚生労働科学研究費補助金を頂き「放射線治療の技術評価及び品質管理による予後改善のための研究（H14-効果（がん）-021）」研究班を立ち上げた。研究期間の終了後は計測校正の2事業を当・医用原子力技術研究振興財団に引継いでもらい、我々は専門家集団として監理委員会で意見を具申する立場となっている。

親父の病気は両頸部リンパ節転移を伴っていた。N2以上、Stage IVA以上であったろう。経過から見ても遠隔転移はなかった模様。発病後、再発を経て約10年後に、小生の国試合格を知って他界した。ごく近年、上咽頭がんの再照射などに関する国際合意が発表されている。もし仮に親父が今、発症したらと考える。手術はやはり考えられず、IMRTを適用したか。その前に局所や頸部の詳細なCT、MRIを実施したであろう。再発がより早く確認されていたかもしれない。確かに技術は格段に進歩し、成績は向上した…が、やはりこの疾患の治療にはなお困難さが伴うようだ。一方で小生は、市井の内科医になっていたのかもしれないが、たまたま居合わせた部署が放射線医学・医療としていずれも非常に恵まれた環境にあった。小生としてはそれを相応に活用できたに過ぎない。また身近に苦痛を持った患者である親父をみたことで、小生のその後の患者対応に多少とも影響を受けたとは思っている。

※ Ng, WT, et al: International recommendations on reirradiation by intensity modulated radiation therapy for locally recurrent nasopharyngeal carcinoma. Internat J Radiat Oncol Biol Phys 2021; 110 (3) : 682-95.

事業活動報告

◆第 19 回共催講演会 「心と体にやさしい重粒子線がん治療」

令和 5 年 9 月 24 日（日）G メッセ群馬（群馬県高崎市）にて、第 19 回公開講演会「テーマ：心と体にやさしい重粒子線がん治療」を国立大学法人群馬大学医学部附属病院との共催で開催しました。

今回の講演会は、令和 4 年度のような Web オンライン併催はせず、対面方式のみでの開催で参加者 257 名となりました。

第一部では、高崎チェンバーミュージックソサエティによる演奏会が行われました。聴きなじみのあ

るクラシックの名曲を中心に 30 分程度、講演会の前に和やかな心温まる演奏でした。

第二部では群馬大学医学部附属病院医師による重粒子線がん治療の講演会が行われました。疾患別に「前立腺がん」「子宮がん」「肺がん」「肝臓がん」に関して、4 人の先生にご講演をいただき治療の現状等についてそれぞれ紹介がありました。

本講演会を通じて、重粒子線がん治療に多くの方が関心をもち、理解を深めていただくことに寄与し、その有用性を情報提供しました。

プログラム

開会挨拶

齋藤 繁 群馬大学医学部附属病院 病院長
辻井 博彦 公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団 副理事長

第一部

高崎チェンバーミュージックソサエティ 演奏会

第二部

講演Ⅰ 「前立腺がん」

河村 英将 群馬大学医学部附属病院 重粒子線医学センター 教授

講演Ⅱ 「子宮がん」

安藤 謙 群馬大学医学部附属病院 重粒子線医学センター 講師

講演Ⅲ 「肺がん」

岡野 奈緒子 群馬大学医学部附属病院 重粒子線医学センター 准教授

講演Ⅳ 「肝臓がん」

渋谷 圭 群馬大学医学部附属病院 重粒子線医学センター 講師

閉会挨拶

大野 達也 群馬大学医学部附属病院 重粒子線医学センター長



齋藤 繁 群馬大学医学部附属病院 病院長 開会挨拶



辻井 博彦 公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団 副理事長 開会挨拶



高崎チェンバーミュージックソサエティ 演奏



大野 達也 群馬大学医学部附属病院
重粒子線医学センター長 閉会挨拶

◆放射線医学オープンスクール～概要～

放射線医学の現場見学により、その面白さ、素晴らしさに触れることを目的として、医学・医療系および理工学系の学生を対象に放射線医学オープンスクールを実施しました。新型コロナウイルスの感染拡大により、2021年～2022年はウェブ・オンラインで開催しましたが、2023年は4年ぶりに対面で開催し、27名の参加がありました。今回は参加者の感想を掲載いたします。

チーム医療によって作り上げる

放射線医学とその発展

群馬大学医学部医学科2年
保田夏野



初めまして、群馬大学医学部医学科2年の保田夏野です。今回、私が放射線医学オープンスクールに参加しようと思ったのは、自分の所属している研究室に案内のメールが来たことがきっかけでした。私は大学二年代から重粒子線医学研究センターという研究室に所属しており、放射線の医学研究、さらに重粒子線の治療についての研究を行いたいと思って日々勉強しております。しかし、私はまだ学部二年生で知識が少ないこともあり、放射線に興味があるものの、はっきりとした自身の研究テーマや、将来専攻する科についての考えが定まっていません

プログラム

—8月24日(木)—

- JR 浜松駅 集合
- 浜松ホトニクス株式会社 豊岡製作所
光電子増倍管の製造工程・ショールーム見学
特別講演
「未来のPETを自ら創る～新しい医工学研究のかたち」
山谷 泰賀 先生
量子科学技術研究開発機構
量子医科学研究所 先進核医学基盤研究部
次長

- ホテルコンコルド浜松
懇親会

—8月25日(金)—

- 浜松医科大学
講義、施設見学
特別講演
「放射線治療の魅力と将来」
中村 和正 先生
浜松医科大学 放射線腫瘍学講座 教授
- JR 浜松駅 解散

した。そこで、今回こちらの放射線医学オープンスクールに参加して、自身の放射線に対する知見を深め、さらに同じように放射線に興味がある方達と交流することで、これから行う研究へのヒントを得たり、放射線への興味関心を深めたりしたいと思い、応募をさせて頂きました。

放射線医学オープンスクールの1日目では、最初

に浜松ホトニクス豊岡製作所へ行き、会社の説明を聞いたり、工場・ショールームの見学に行ったりしました。その後、量子科学技術研究開発機構の山谷先生から、PET についてのご講義を受けました。2 日目は、浜松医科大学にて間賀田先生、小西先生、市川先生のご講義を受けました。その後、浜松医科大学の放射線診断・治療の現場や機械、そして国際マスイメージングセンターを見学させていただきました。その後、オンラインにて荒牧先生からのご講義を受け、最後に浜松医科大学の中村先生から放射線治療についてのご講演を受けました。

この二日間の中での講義・病院見学を通して学んだことは大きく分けて二つあります。一つ目は、放射線医学の将来の発展性、二つ目は、放射線治療における他職種との関わりの重要性です。一つ目の放射線医学の発展について、山谷先生からの講義であった、PET 装置の開発と、今後の展望について学んだり、荒牧先生からの FLASH 治療についての講義を受けたりしたことなどから、まだまだ放射線医学は成長する可能性を秘めていると感じることができました。それと同時に、私自身も放射線医学の発展に関わりたいと思うようになりました。群馬大学には、重粒子線の施設もあり、陽子線に比べて生物効果がより高い放射線を当てることが可能なため、それを活用した研究なども行いたいと考えました。

次に、二つ目の他職種との関わりの重要性についてですが、これは、今回の放射線医学オープンスクールの参加者の中には、私のような医師を目指している人だけでなく、放射線技師を目指している方、工学系、物理系の方など、様々な分野の方が参加されていたことで、感じるすることができました。普段、医学科の中で勉強をしていると、医療行為に様々な職種の人たちが関わっているということを忘れがちであるため、今回改めて、医療は他職種連携で成り立っていること、チーム医療が大切であることを実感することができました。特に、浜松医科大学での放射線治療・診断を見学した際に、放射線治療においては他職種との連携がより強いのでは無いかと感じられました。他の科は、医師が主体となって診察・診断・治療を行なっていくと思います。しかし、放射線科

では、医師が診察・治療方針を決めたら、放射線技師の方が治療を進めていくことが多く、さらに、核医学検査でも、医師だけでなく放射線技師の方が診断を行うということを知りました。それだけでなく、放射線治療の研究、そして装置の開発や発展には、物理や工学からのアプローチも重要になってくると学びました。それぞれの分野の力が合わさって、放射線治療が行われているということ、病院を見学したり、先生のご講義を聞いたりして感じることができ、放射線医学はとても面白い学問であると思ったのと同時に、深い学びを得ることができました。今回のこの経験を、自身の成長の糧として活用できるよう、精進して参ります。

◆国際重粒子線がん治療研修コース 2023

当財団では、通算で 11 回目となる「国際重粒子線がん治療研修コース (International Training Course on Carbon-ion Radiotherapy) 2023」(以下、「ITCCIR」という)を、今年度は 4 年ぶりにオンライン対面式で開催しました。

ITCCIR は、国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 (以下、量研機構という)、群馬大学重粒子線医学研究センター及び当財団の共催として実施し、当財団が事務局を担いました。さらに北海道大学病院陽子線治療センター、山形大学医学部東日本重粒子センター、筑波大学附属病院陽子線医学利用研究センター、神奈川県立がんセンター、大阪重粒子線センター、兵庫県立粒子線医療センター、九州国際重粒子線がん治療センターの 7 機関に後援となっただき、企画運営や講師派遣など大きなご支援・ご協力をいただきました。

また、アルフレッサファーマ(株) (広告)、安西メディカル(株)、Cosylab (株)、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、(株)ビードットメディカル、レイサーチ・ジャパン(株)の 8 社からご協賛・広告によるご支援をいただきました。特にレイサーチ・ジャパン(株)からは、11 月 13 日の歓迎レセプションに特別協賛をいただき、同社提供の樽酒の鏡開きのイベントなども行い、受講者、企業関係者など約 100 名が活発に交流し盛大な催しとなりました。



歓迎レセプション

1. 受講者と環境の変化

計画を立案する今年度当初の企画運営委員会では、「コロナの影響の予測が難しいところ、WEBオンラインとオンサイト対面式での併用開催も検討すべき」とのご意見もありましたが、予算面などの理由からオンサイト対面式を進めることになりました。ただし、2019年の規模への回復は困難と推測して、参加者の目標を45名程度としました。

8月1日に応募を開始したところ、応募数は伸び悩みました。これまで受講者が多かった中国では国内で類似の研修コースが独自に始まり、欧州でもWEB講習が開催されるなど、コロナ禍の3年間に状況が大きく変化したようです。それでも期限の10月末を待たずに受付を終了し、最終的にはアラブ首長国連邦（アブダビ）、オーストラリア、オーストリア、韓国、中国、台湾、米国、日本の14機関からの参加がありました。受講者が多かった国・地域は韓国11名、中国8名、台湾8名、米国4名で、中国からの受講者が大きく減りました。参加者の属性は図1のとおりです。

2. WEB開催とのプログラムの違い

会期は2023年11月13日（月）から18日（土）までの6日間で、前半の3日間を千葉市の量研機構で行い、後半3日間を前橋市の群馬大で行いました。



量研機構・大会議室にて

ITCCIR2023のプログラムは、2020年から2022年までの3年間のWEBオンライン・オンデマンド開催からオンサイト対面式に戻ったことにより、構成が少し変わりました。

ITCCIR2022では、国内外の施設紹介（臨床的内容も含む）など地理上の物理的・時間的な制限に関係なくできましたが、ITCCIR2023ではオンサイト対面式という限られた場所と期間内という物理的・時間的制限があるために、施設紹介を多く実施することはできず、代わりにオンサイト対面式ならではのCase Studyによる双方向の講習プログラムも生まれ、受講者には好評でした。講習数は全体概要2、生物8、物理10、臨床10、診断2、トピックス3、ケーススタディ3、企業紹介8、施設紹介3でした。

さらに量研機構と群馬大における重粒子線施設の見

職業	人数
1. Administrator	2
2. Biologist	0
3. Clinical Educator	0
4. Diagnostic Radiologist	1
5. Medical Dosimetrist	1
6. Medical Oncologist / Surgeon / Urologist	1
7. Medical Physicist	11
8. Medical Physicist Professor	4
9. Nuclear Medicine Physician	0
10. Nurse / Nurse Practitioner	1
11. Patient Advocate / Medical Coordinator	0
12. Physician Assistant (PA)	0
13. Physics Engineer	0
14. Postdoctoral Fellow	0
15. Radiation Oncologist	5
16. Radiation Oncologist Professor	6
17. Radiation Therapist / Technologist / Technician	4
18. Resident / Fellow	0
19. Student / Grad Student	6
20. Others	1
合計	43

図1



群馬大学・重粒子線医学センター前にて

学も、オンサイト対面式ならではのプログラムでした。量研機構の歴史のある重厚な施設と群大の比較的新しいコンパクト化された施設の比較、治療施設の見学ができたことは、既に設備を持っている施設からの受講者、導入を進めていく予定の施設からの受講者それぞれに興味深く、学ぶことが多かったように思われます。

3. アンケート結果について

今回、講習内容ごとのアンケートと事業内容全般に関するアンケートを実施しました。

講習内容に関する評価は、講師へのフィードバック、評価の高かった講師への表彰、今後の講習内容への参考などに生かされます。今回は、全講師（招待講師を除く）を対象にして、講習内容、時間管理、理解しやすさ、講習スタイルの各評価項目について、参加者から頂いた評価点の合計と平均値を用いて、コースディレクターによる協議及び総合評価の上、最終的に次のとおり決定されました。

1. 最優秀賞 Maria Varnava 先生
Dose constraints for HN
2. 優秀賞 篠藤 誠 先生
Pancreas Cancer
久保 亘輝 先生
Lung Cancer with IP
3. 奨励賞 小西 輝昭 先生
Biological Aspect of FLASH Particle
Therapy
武者 篤 先生
HN Cancer

尾池 貴洋 先生

Precision Carbon Ion Radiotherapy

4. コースディレクター賞

小藤 昌志 先生

Head & Neck Cancer

渋谷 圭 先生

Locally advanced Liver Cancer

稲庭 拓 先生

Biological models in CIRT

11月18日（土）の最終日に回収したアンケート結果（事業全般）では、最後まで残った受講者から25枚回収でき、22名が「満足した」という結果でした。全受講者から回答を得ることができたわけではありませんが、全参加者43名の過半数に満足していただいたものと理解しています。

講習コース6日間については、「短い」が予想に反して多い結果となりました。受講料については、期間中の宿泊、朝食・昼食、会場とのバスでの移動手段、テキスト代などを含んで、一人15万円と設定しました。「高い」という評価を懸念していましたが、「適当」が大多数となり、安心しました。受講料収入で全ての経費が賄える訳ではなく、企業の協賛金や当財団からの補填により賄われているということも理解いただいた上で評価とも推察されま

4. 今後の課題

今回のオンサイト対面式によるITCCIR2023の運営によって改めて見えてきた課題は、受講者との意思の疎通、受講者の講習内容の理解に関する課題が1つ挙げられます。日本語でも難しい講習内容を講師の先生は英語でプレゼンし、受講者も当然理解できる人達が受講しているわけですが、ある程度の文字情報による補足が求められています。特に近年、自動翻訳システムが進化し、文字おこしもできるようになってきており、完全な専門用語の自動翻訳は無理だとしても、講師や受講者の発言を多少時間差があっても、ほぼリアルタイムで文字表示できるシステムの導入も検討して良いかもしれません。

また、受講者と事務局との連絡も、日々、Email

で補足的に行う必要性も感じました。世界各国で同じような職種の人達の集まりではありますが、やはり習慣や文化などは様々です。これまで講習会場にWifi環境が十分に整っていなかったため、マニュアルな手法に限定されていましたが、今後はその改善も必要であると感じました。

◆令和5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、専門コース）を開催しています。

令和5年度の入門コースは下記要領にて実施し、26名の方に受講いただきました。3年ぶりに対面形式でのセミナーを再開した4年度（37名参加）に比べると、やや参加者が減りましたが、医療機器関連企業と医療コーディネーターの減少が主な要因でした。

今回、過去の反省から質疑応答の時間を設けたところ、想像以上に積極的な質疑応答がありました。

◇開催概要

開催日：令和5年7月22日（土）

場所：AP東京丸の内（東京都千代田区）

(1) 粒子線治療の基礎知識

遠藤真広 医用原子力技術研究振興財団
常務理事



(2) 粒子線治療の流れとQ A

佐藤弘史 九州国際重粒子線がん治療センター 医療技術部長

(3) 粒子線治療の看護

三上恵子 量子科学技術研究開発機構
人材育成センター教務課

(4) 放射線治療の基礎知識

佐々木良平 神戸大学医学部附属病院
放射線腫瘍科教授

(5) 陽子線治療の実例

村山重行 静岡県立静岡がんセンター
陽子線治療科部長

(6) 重粒子線治療の実例

小林大二郎 群馬大学医学部附属病院
放射線科

◆粒子線がん治療等に関する施設研究会

当財団では、粒子線がん治療施設を主とした放射線医療施設に係る技術的課題・対策の分析・検討に資するとともに、関係組織相互の情報共有化をはかり、専門知識を有する人材育成をはじめ関連産業の育成・発展に寄与することを目的に「粒子線がん治療等に関する施設研究会」を設置しています。本研究会では、国内外における放射線がん治療等に関する医療情報、研究・技術開発動向、ならびに関連法令、技術基準の動向などの現状、将来見通し、課題・対策などに関して、講演会および施設見学会を通じ情報交流を行っています。

— 令和5年3月9日（木）実施

令和4年度第3回研究会（講演会）—

AP東京丸の内（東京都千代田区）において対面形式で開催され、建設、設計、装置メーカー等から22名の参加がありました。

(1) 「マルチイオンを用いたLET最適化重粒子線治療」

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
量子医科学研究所

重粒子線治療研究部 部長 小藤昌志

(2) 「京都府立医科大学の陽子線治療」

京都府立医科大学 放射線診断治療学講座
特任教授 山崎秀哉

— 令和5年5月19日（金）実施

令和5年度第1回研究会（見学会）—

湘南鎌倉総合病院（神奈川県鎌倉市）の先端医療センターにおいて陽子線治療装置、BNCT装置の見学会として開催され、建設、装置メーカー等から18名の参加がありました。

当日は、はじめに予防医学センター長 中島留美先生より「湘南鎌倉総合病院の取り組み」と題して、先端医療センター、外傷・救命救急センター、予防医学センターのご紹介があり、続いて、放射線腫瘍科医学物理室長 後藤紳一先生より「湘南鎌倉総合病院の放射線治療」と題して、陽子線治療、BNCT治療のご説明がありました。その後、2021年4月にオープンした先端医療センター内の陽子線治療装置（稼働中）、及び、現在臨床開始に向けて準備中のBNCT治療装置を見学させていただきました。



陽子線治療室



BNCT治療室

— 令和5年10月13日（金）実施

令和5年度第2回研究会（見学会）—

大阪医科薬科大学（大阪府高槻市）の関西BNCT共同医療センターにおいてBNCT装置の見学会として開催され、建設、設計、装置メーカー等から14名の参加がありました。

当日は、はじめに同センターのBNCT治療室を見学させていただいた後、大阪医科薬科大学放射線腫瘍学教室 助教 武野 慧 先生より「頭頸部BNCTの現在」と題してBNCT治療についてご講義があり、続いて大阪医科薬科大学BNCT共同臨

床研究所 所長 小野公二 先生より「BNCT 総論」のご講義がありました。

◆海外研修助成事業

海外の先進放射線治療施設で短期研修を希望する若手医師、医学物理士、診療放射線技師、看護師等を対象に、渡航費用等の助成を通じて支援することを目的とした海外研修助成事業を、日本放射線腫瘍学会との相互協力のもとで令和5年度より開始しました。以下に第1回目の助成対象者である浜松医科大学附属病院の坂本昌隆氏の研修報告を掲載いたします。

海外研修助成 報告書

浜松医科大学医学部附属病院
坂本 昌隆

現在、私は浜松医科大学医学部附属病院で医学物理士として臨床診療に従事しており、放射線治療装置のQA/QCをはじめとした品質管理業務を担当しております。この度、日本放射線腫瘍学会海外研修助成事業および医用原子力技術研究振興財団の支援を受け、2023年11月に米国カリフォルニア州にあるバリアンメディカルシステムズ本社への訪問と外部放射線治療装置の製造ラインの視察を経験しましたので報告させていただきます。

この研修の目的として、日常診療において利用している外部放射線治療装置の製造工程を知ること、現在実施している品質管理業務への理解を深めること、現在進めているワイドエリア三次元測定器を用いた外部照射装置の幾何学的精度評価に関する研究を含め、リニアック開発および製造に携わる現地エンジニアとの意見交換を行うことです。

訪問先であるバリアンメディカルシステムズ（以下、バリアン社）は、放射線治療分野における治療装置供給では世界的シェアを誇るカリフォルニア州パロアルトを拠点とする医療機器メーカーです。バリアン社には、浜松医科大学解剖学講座の荒牧修平特任助教が特任研究員として在籍していることもあり、今回の訪問もその繋がりから実現しています。

バリアン本社では、Steve Leonard 副社長をはじめとする本社スタッフとの会談に参加しました。会談では、浜松医科大学の紹介と静岡県西部地域における放射線治療の現状に関するプレゼンテーションやバリアン社マーケティング担当者による治療システムの最新情報を共有することができました。高性能コンビーム CT システムを搭載した放射線治療システムによる適応放射線治療、高精度放射線治療計画における新しい最適化計算機能、放射線治療計画のチェック機能を備えた患者情報システム等、今後の放射線治療システムの展望が伝わるものでした。

その後、本社に隣接する工場において、汎用型リニアック（TrueBeam）の製造ラインの見学会へ参加しました。リニアックの心臓部ともいえる加速管の製造は、温度・気圧が管理された気密性の高い部屋で行われており、熟練したエンジニア達が携わっていました。特に驚いたことは、リニアックの組み立て工程の多くが手作業で行われており、ガントリーヘッド部に搭載されている MLC 駆動部も手作業で組み立てが行われていたことです。工場内には組み立て中のリニアックが20から30台程確認でき、工場内の放射線管理区域において、組み上がったリニアックの幾何学的精度や X 線ビームプロファイル等の放射線出力確認・調整が行われていました。このような専用スペースは工場内に10室程あり、各部屋で専属のエンジニア達による精度評価が行われていました。精度評価の方法は、放射線治療システムを導入する際に実施するアクセプタンス（受け入れ試験）やユーザー側で実施している外部放射線治療装置の精度管理と同様の方法が行われており、これらが臨床現場で実施されている精度管理業務のベースとなっていることを良く理解できました。我々の施設ではワイドエリア三次元測定機と呼ばれる放射線治療室内の空間座標を10ミクロン単位で認識できる性能を有する測定ツールを用いて放射線治療システムの幾何学的精度を評価する研究を進めており、この研究によって今日の臨床現場で実施されている外部放射線治療装置の幾何学的 QA/QC の新しい手法を提案できると考えています。見学を通じて、我々の進める研究内容は臨床現場での精度管理業務に留まらず、治療システムの開発・製造現場



バリアン本社前にて撮影

や据え付け時の評価ツールとしても十分に利用できると感じ、今後の評価手法の確立に向けた研究活動へ意欲が湧きました。さらに、一日当たり約3台の外部放射線治療装置が出荷されているということを知り、放射線治療が世界的にも広く普及していることを感じました。

訪問中には、バリアン社のシステム開発を担当するエンジニア達と意見交換する機会もありました。MR 装置を搭載した外部放射線治療システムの臨床利用について、表在性の悪性腫瘍に対する電子線治療の将来について、スリット状 X 線ビームを用いた新しい治療システムの可能性、現在の治療システムにおける課題や医療現場からの要望など、開発担当のエンジニア達との意見交換を通じて、バリアン社がシンプルでサステナブルな治療システムの提供を目指す方向性を持っており、今後どのように放射線治療へ関わろうとしているかが理解できました。

この度の海外研修を通じて、ベンダー側が臨床現場からのフィードバックを強く求めていることを感じました。いかに高性能な治療システムが開発されたとしても、臨床現場のニーズに合っていないければ、その性能が十分に活かされません。我々ユーザー側が臨床現場からの声を研究発表や論文報告という形で発信していくことは、お互いにとって重要なことであると考えます。また、コミュニケーションスキルについても大切です。私自身も英会話のスキルが十分ではないために、国際学会等への参加には「言葉の違いによる壁」を感じています。今後の研究活

動と併せて、コミュニケーションスキルも向上させていきたいと強く感じる有意義な経験をすることができました。

最後にこのような海外研修の機会を与えて頂きました公益社団法人日本放射線腫瘍学会 関係者の皆様、公益財団法人医用原子力技術研究振興財団 関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

◆計測校正事業

1. 治療用線量計校正の実施状況

令和4年度は、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線源の更新直後であり、安定した供給が行われました。依頼状況は前年度の線源更新期間の休止の影響から、例年同時期に校正を行う施設の依頼が年度前半に増加し、実施した施設が同年に校正時期を元に戻すために2回目を実施したことにより、例年より校正実施数が増加しました。令和5年度の依頼状況は、コロナ禍以前の状況に戻り、年度前半は依頼が少な目でしたが、年度の中盤から後半では1日当りの校正件数は増加し、安定して供給を行っています。

平成30年7月より分離校正の提供を開始してから、約5年間を移行期間として一体校正と並行して供給を行ってきましたが、令和5年3月末で一体校正を終了し、令和5年4月より分離校正へ完全移行しました。

また、線量計校正の申し込み方法につきましては、これまで電話およびFAX、電子メールでの受付でしたが、令和5年4月実施分より、ウェブによる申込受付を開始しました。申し込みサイトを開設し、登録を行うことで基本的には受付残数に空きがあれば、随時、申し込みを行うことができるシステムとなっています。お申し込みをいただく際には、注意事項及び受託約款を十分にご確認いただきますようお願いいたします。

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。

当財団ウェブサイト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）」を掲載し、逐次更新されておりますのでご確認ください。

分離校正では、電位計と電離箱は、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。

電位計校正は3年に1回以上の校正実施が推奨されることから、分離校正を開始以来、当財団での年間校正台数は年々減少し、令和6年度の実績は150台前後になる見込みです。一方、電離箱校正は、新規での電離箱の校正依頼が増加しています。

分離校正を開始した平成30年度から令和5年度11月末までの年度別校正数を表1に示します。

月別の校正実施状況（令和2年度4月から令和5年度11月末まで）を図1に示します。

表1. 年間校正数（分離校正開始のH30以降（ ）内の数値は対前年比。H30～R4は一体・分離校正の合計。R5は11月末迄。）

年度	電位計	電離箱				校正件数
		① 円筒	② 平行平板	合計	①/②	
R5	155 (0.340)	1,120	503	1,623 (0.609)	2,227	2,126 (0.604)
R4	456 (1.043)	1,809	856	2,665 (1.407)	2,113	3,521 (1.413)
R3	437 (0.698)	1,296	598	1,894 (0.821)	2,167	2,492 (0.817)
R2	626 (0.874)	1,562	745	2,307 (1.003)	2,097	3,052 (0.991)
R1	716 (0.740)	1,521	779	2,300 (0.920)	1,953	3,079 (0.923)
H30	967 (0.926)	1,664	836	2,500 (0.993)	1,990	3,336 (0.984)

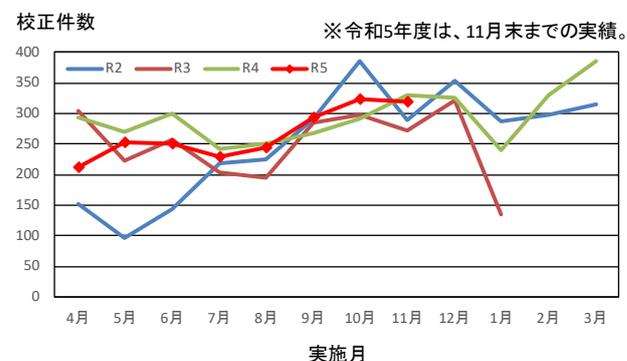


図1. 月別校正実施状況

令和3年度は、コバルト60線源更新による休止の影響を受け、校正件数は減少しましたが、令和4年度は令和3年度の休止による減少分が増加要因となり、安定して供給を行った結果、年度実績は過去最多となりました。令和5年度は、申込み状況がコロナ禍以前に戻り、例年同様、年度前半は少な目であり、年度後半に向けて増加傾向となっています。令和5年度の校正件数の実績は、平成30年度より僅かに少な目となる見込みです。

2. 分離校正の実施状況

令和4年度の実施による電離箱校正の実施割合は全体の80%で、令和3年度との比では19%の増加でした。令和5年度4月より校正受付は分離校正に完全移行となり、これまで一体校正を行っていた施設でも分離校正を実施いただき、順調に移行が行われています。

電位計校正では、令和4年度実績184台に対し、令和5年度11月の時点で155台であり、年度末実績は220台前後と予想しています。

完全移行に伴い、新規で分離校正を実施する施設が増加したのが要因と思われます。令和6年度以降は、年間150台程度の実施を見込んでおり、当財団が行う電位計校正の合計台数は校正頻度の3年間で450台前後になる見込みです。

分離での電位計校正は、電位計製造メーカーでも行われておりますが、当財団以外で校正した電位計と組み合わせて使用する電離箱につきまして、新規で当財団にて校正を受ける場合は、組み合わせ対象となる電位計の型式、シリアルNo.、校正実施日をご確認させていただく場合がございます。校正を申し込まれた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、電離箱校正を受付ることとしています。

なお、治療用線量計校正の申し込み手順などは、当財団ウェブサイト「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。

3. 出力線量測定の実施状況

令和4年度は、コバルト線源更新後、コロナ禍の影響もなく安定した供給が行えたことから、実施施

設数はこれまでの最多となる282施設となりました。

令和5年度は、例年同様であり前年比では少な目となっておりますが、11月末の時点で3年サイクルの対象である令和2年度の同時期と比較して約1.3倍の実績となっております。近年は年々増加傾向にあります。

出力線量測定の実施条件別の申し込み状況は、X線のエネルギー別校正条件と照射野条件、ウエッジ条件、TomoTherapyおよびCyberKnife、電子線条件の各エネルギー別の組み合わせとなっており、令和2年2月より開始した1条件単位、4条件単位および混在での申し込み形態により、1施設当たりの申し込み条件数は、1～24条件と申し込み条件数も多様化しています。

出力線量測定の実施頻度は、3年に1回以上の実施が推奨されており、令和5年度は、令和2年度に実施した184施設が3年サイクルの実施対象となります。

令和2年度から令和4年度までの3年サイクル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. 令和2年度から令和4年度の3年間の実施施設数

	3年間の合計実施施設数(延べ数)	680	施設
内訳	がん診療連携拠点病院	436 (338)	施設
	一般病院	244 (214)	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	272	44	17	5	193	12	8	1
合計	338				214			

厚生労働省ウェブサイト掲載（令和4年4月1日更新）のがん診療連携拠点病院の施設数は406施設でした。令和2年度から4年度までの3年間で拠点病院の当財団での出力線量測定の実施施設数は338施設であり、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68施設の見込みで

表 4. 出力線量測定の間年実施数（令和 3 年度は 11 月末迄。右列年度 Total は平成 19-24 年度を含む。）

		H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5	H19-R3 (Total)
施設数		71	145	163	140	152	203	213	183	212	282	161	2177
拠点病院数		57	113	129	104	103	149	140	124	132	180	1023	1524
ビーム数	4MV	46	90	100	87	103	115	142	111	108	183	99	1331
	6MV	76	150	173	187	179	263	290	261	286	424	237	2704
	10MV	92	152	189	183	178	235	267	230	231	371	199	2563
	15MV	6	8	11	5	11	8	7	8	4	7	2	88
照射野 条件 ^{※2}	5 × 5	63	115	142	117	119	147	137	87	63	121	58	1297
	15 × 15	20	37	50	18	45	36	41	15	15	22	9	346
	20 × 20	42	128	134	90	93	133	101	79	56	102	36	1122
	25 × 25	17	12	26	16	19	17	26	15	6	29	6	205
ウェッジ 条件 ^{※2}	15°	35	57	45	41	34	43	30	21	16	17	13	426
	30°	40	60	54	36	42	31	32	21	18	30	21	447
	45°	18	13	20	17	20	15	11	6	4	11	6	167
	60°	23	15	23	20	33	41	43	19	9	22	13	280
Total		478	837	967	817	876	1084	1127	873	816	1341	699	10976
電子線 エネルギー 条件 ^{※6}	4MeV	-	-	-	-	-	-	3	5	15	13	7	43
	5MeV	-	-	-	-	-	-	1	0	0	1	0	2
	6MeV	-	-	-	-	-	-	16	26	34	65	35	176
	8MeV	-	-	-	-	-	-	0	0	2	1	1	4
	9MeV	-	-	-	-	-	-	12	32	38	49	35	166
	10MeV	-	-	-	-	-	-	1	0	3	1	0	5
	12MeV	-	-	-	-	-	-	8	18	19	26	19	90
	14MeV	-	-	-	-	-	-	0	0	0	1	0	1
	15MeV	-	-	-	-	-	-	5	13	10	11	11	30
	16MeV	-	-	-	-	-	-	0	1	2	3	0	6
	18MeV	-	-	-	-	-	-	1	3	2	8	7	21
	20MeV	-	-	-	-	-	-	0	0	0	3	0	3
22MeV	-	-	-	-	-	-	0	0	0	1	0	1	
Total		0	0	0	0	0	0	47	98	125	183	115	368
照射 装置数	Elekta	12	28	36	28	39	49	64	53	69	81	46	529
	MITSUBISHI	6	12	8	3	3	2	5	1	2	6	0	79
	SIEMENS	12	34	32	23	14	27	21	20	12	14	7	273
	TOSHIBA	4	13	7	6	6	3	3	0	0	0	0	77
	Varian	63	95	125	113	118	154	147	135	138	212	84	1538
	その他	5	8	9	12	22	31	38	41	47	52	39	310
Total		102	190	217	185	202	266	278	250	268	365	176	2806

- ※ 1：平成 19 年度は、11 月から 3 月までの 5 ヶ月間の実績を示す。
- ※ 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 (R5 年度は 11 月末迄)

年度	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	7			
R3	6			
R4	12			
R5	6			
累計	66	1	2	0

表 6. TomoTherapy および CyberKnife での出力線量測定の依頼状況 (R5 年度は 11 月末迄)

年度	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	12	13	2	5	32
R3	15	13	4	7	39
R4	17	13	9	1	40
R5	15	10	1	8	34
累計	89	77	24	35	225

す。

令和5年度11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、表4にカウントしていない条件別ビーム、TomoTherapy、CyberKnifeの依頼状況を表5および表6に示します。

令和5年度の年度末での予想実績は、施設数220施設、条件数は1,000条件前後を見込んでいます。

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。令和4年度までは年間最大10件の実施を計画して行いましたが、令和5年度は年間18件として実施しております。11月末現在で13件を実施し、年度末では予定通り18件の実施を見込んでいます。

IMRT 郵送調査のお申し込み方法などにつきましては、財団ウェブサイトに掲載しておりますのでご参照ください。

4. 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5年度は9月下旬に財団ウェブサイトにて公表しました。

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。

治療用線量計校正の公表は、令和2、3年度のコロナ禍および線源更新に伴う影響を考慮し、公表対象を例年は過去2年間としておりますが、今年度は過去3年間（令和2～4年度）での公表といたしました。

校正を実施した916施設（医療関係864施設、研究・教育施設およびメーカー等52施設）のうち医

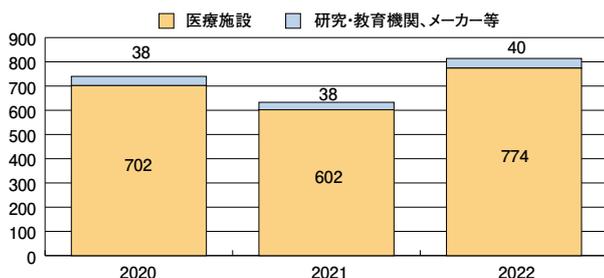


図2. 治療用線量計校正実施施設名公表数

療関係以外の施設を対象外として、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。また、令和2～4年度とも医療関係および研究・教育機関、メーカー等での不同意は無く全施設の公表となりました。

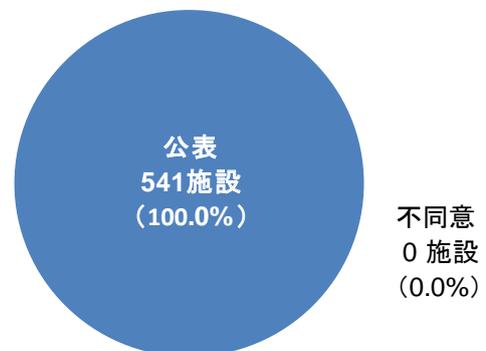
出力線量測定実施施設の施設名公表数を図3に、都道府県別内訳を表7に示します。

出力線量測定公表は、実施サイクルが3年以内に1度実施することが推奨されているため、過去3年間の令和2年度から令和4年度までの対象となる実施施設数541施設（がん診療連携拠点病院332施設、一般病院209施設）の全ての施設に同意いただきました。

また、令和4年度の新規での申し込み施設数は37施設（拠点病院10施設、一般病院27施設）でした。

なお、施設名公表については、当財団ウェブサイト「放射線治療品質管理」の治療用線量計校正事業

令和2年度から令和4年度までの
過去3年間の対象施設数： 541 施設



公表施設の拠点病院・一般病院の内訳

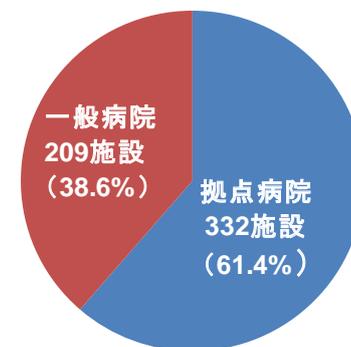


図3. 出力線量測定実施施設名公表数

表7. 対象施設数 541 施設の都道府県別内訳

北海道	25	長野県	8	岡山県	11
青森県	8	富山県	9	広島県	11
岩手県	6	石川県	7	山口県	9
宮城県	8	福井県	5	香川県	5
秋田県	7	愛知県	32	愛媛県	7
山形県	6	岐阜県	9	徳島県	3
福島県	9	静岡県	17	高知県	3
東京都	52	三重県	8	福岡県	22
神奈川県	26	大阪府	48	佐賀県	3
埼玉県	20	兵庫県	23	長崎県	5
千葉県	19	京都府	14	熊本県	9
茨城県	9	滋賀県	6	大分県	5
栃木県	9	奈良県	8	宮崎県	2
群馬県	9	和歌山県	5	鹿児島県	10
山梨県	2	鳥取県	4	沖縄県	5
新潟県	10	島根県	3		

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。

5. 今後の展望

線量計校正のお申し込み方法がウェブ受付システムへ移行したことにより、線量校正センターの業務時間外でもお申し込みが可能となりました。今後、出力線量測定のお申し込みにつきましても、ウェブ受付システムに移行することを検討しております。システム開発には時間が掛かりますため、しばらくは現行のままとなりますが、進捗につきましては、財団ウェブサイトおよびメール配信等にてご案内いたします。

出力線量測定では、電子線条件およびIMRT 郵送調査の依頼増加が見込まれております。当財団では、より円滑な業務を行うため、人員および環境整備に努め、準備を進めております。

さらに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。

放射線治療 AI の研究開発に挑む



アイラト株式会社
代表取締役 角谷 倫之

1. はじめに

弊社のビジョンとして、“放射線治療ですべてのがん患者を救う”、を掲げている。その実現のため、細い放射線ビーム 100-200 ショットを癌に照射することで癌のみにピンポイントで照射できる最先端治療法である強度変調放射線治療（IMRT）の治療効果を最大限発揮させ、さらにその業務フローを DX 化する AI ソリューション開発を進めている。本稿では、弊社の放射線治療 AI の開発方針を概説するとともに、現在開発を進めている AI 技術を紹介する。

2. IMRT の臨床現場での大きな課題

本邦を含む全世界で放射線治療の照射法として IMRT が広く用いられるようになってきている。2019 年時点での日本放射線腫瘍学会（JASTRO）の全国構造調査の結果からは放射線治療が適応とな

る患者の約 17% が IMRT で治療されている（年々増加している）。この IMRT は、従来の照射法である 3 次元原体照射と比較して腫瘍への線量集中性の向上と正常臓器の線量低減が可能となり、例えば国内の high volume center からの頭頸部癌の 5 年局所制御率の報告では、67.7%（従来法）から 95.2%（IMRT）と大幅に治療成績が向上してきている [1]。このような結果からも IMRT を高いレベルで国内に普及させることができればより多くの患者を救うことができると考えられる。一方で IMRT が国内に普及することで現場では大きな二つの課題が生じている。一つ目が、「医療スタッフの経験不足による治療成績の低下」である。臨床経験が豊富な施設よりも経験が乏しい施設では、頭頸部がんに対する IMRT の治療成績が 16% 低かったことが報告され、放射線治療において治療成績を決定する放射線治療計画（どこに、どのように、どのくらい放射線を照



図 1 AI 放射線治療計画支援ソフトウェアの概要

射するか等) による違いが治療成績に影響していたと考えられる。二つ目が「医療スタッフの過重労働が発生する」点である。従来法に比べてIMRTでは治療機を複雑に動かしながら癌に照射することでピンポイントで癌だけに照射できる反面、その治療計画に従来よりも多くの時間を要する。具体的には大きく三つのプロセス、①腫瘍・正常組織の輪郭描出、②照射領域決定、③安全性の検証が必要となり、①で約2時間、②で約3時間、③で約1時間の作業時間が必要となり、1件あたり6時間もかかるという問題を抱えている [2]。

3. AI 放射線治療計画支援ソフトウェア

(RatoGuide (開発コード)) の研究開発状況

そこで2で述べたような課題をAIで解決するAI放射線治療計画支援ソフトウェアを開発している。

具体的には図1のように、三つのAIソリューション(オートコンツールリング、だれでも good plan、ワンクリックで安全性検証)の開発に取り組んでいる。オートコンツールリングは、CT画像一枚一枚で腫瘍や正常臓器を自動描出する技術であり、従来は手動で行われていた臓器輪郭の描出作業をAIによって自動化するべく開発を進めている。だれでも good plan 機能は、描出された腫瘍や正常組織の輪郭情報とCT画像を基に、その患者にとって理想的な線量分布を予測し、予測された線量分布を治療計画装置で再現させ患者に照射する手法である。ワンクリックで安全性検証機能は、従来は治療計画装置で計算されたファントム中の線量分布と半導体検出

器やフィルムを用いて測定された線量分布に基づいて γ パス率を計算し、放射線治療計画の再現性を確認していたが、この技術は治療計画データをAIで解析することにより、 γ パス率を治療計画の安全性の指標として予測する技術である。この3つのアプローチを組み合わせることにより、IMRTワークフローを一貫して支援するソフトウェアの開発を行っている。

3.1. 臓器輪郭の自動描出 AI 技術 (オートコンツールリング機能)

深層学習を用いてCT画像上のリスク臓器を自動的に描出する。RatoGuideに搭載されているAIモデルとして、UNesTを採用している。このモデルは、Transformerを画像からの特徴抽出のためのエンコーダとして用い、CNNベースのデコーダに接続したモデルである。Transformerは、元々自然言語処理タスク向けに開発されたものだが、画像処理タスクなど他分野においても幅広く応用されている。主要な特徴として、アテンション機構を中心に構築されており、モデルへの各入力要素の関連性を計算し、各情報の重要性を学習する。このTransformerアーキテクチャを画像処理に適用したものがVision Transformer (ViT) である。画像を一連のパッチに分割し、これらのパッチをモデルへの入力とする。各パッチの位置情報をエンコードし、アテンション機構を使用してパッチ間の関連性をモデル化することによって、大域的な情報と局所的な情報を適切に統合することができ、細部まで正確なセグメンテーションを実現する。高解像度で複雑な

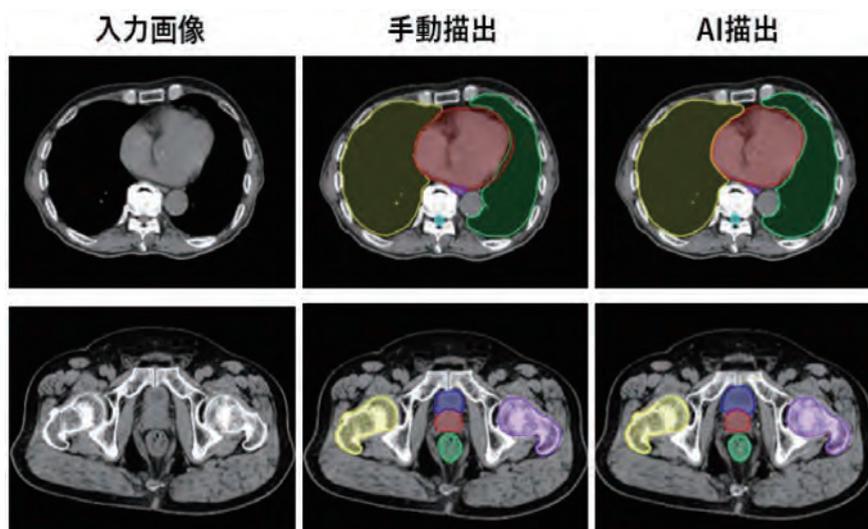


図2 臓器輪郭の自動描出結果の例

構造的な医用画像を対象としたセグメンテーションタスクにおいて、ViTは非常に有用である。

図2にCT画像上で手動で描出した臓器輪郭と、RatoGuideで自動描出された臓器輪郭の例を示す。手動で描出された臓器輪郭と比較しても、自動描出された輪郭は良好な精度を実現しており、ワークフロー効率化に大きく貢献することが期待される。

3.2. 線量分布予測 AI 技術 (だれでも good plan 機能)

深層学習を用いて、CT画像、ターゲットや正常臓器の輪郭を入力として、症例ごとに最適な線量分布を予測する。RatoGuideではDD-UNetをベースとした独自AIモデルを使用しており、U-Netと拡張畳み込み処理を組み合わせたモデルである。拡張畳み込み処理は、受容野拡大させる効果があり、離れたボクセル間の情報を効果的に統合する。また、密な結合構造を有しており、この構造は、各層の出力を後続の層と結合することにより、情報の伝搬と勾配の消失を改善する。RatoGuideに搭載されているAIは、国内のハイボリュームセンターのデータを用いて教師あり学習が行われている。経験豊富な医学物理士、医師が品質をチェックした治療計画の線量分布データを学習に使用しているため、学習されたモデルは、未知の症例に対して症例ごとに理想的な線量分布を生成する。前立腺がん、頭頸部がん2ステップ、SIB、進行肺がん、婦人科骨盤に対するVMATモデル、早期肺がんに対するVMAT-

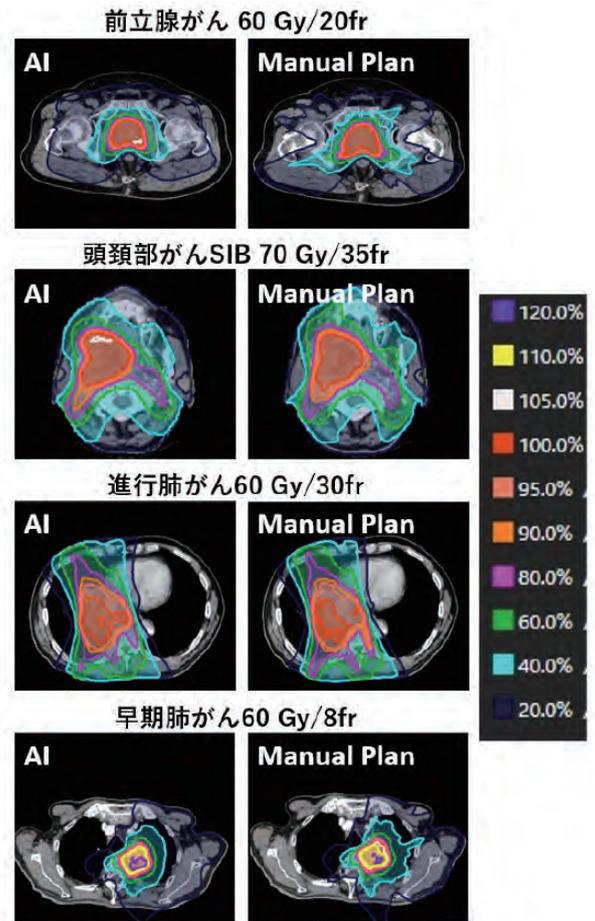


図3 RatoGuide (開発コード) による予測線量分布と臨床治療計画の線量分布の例

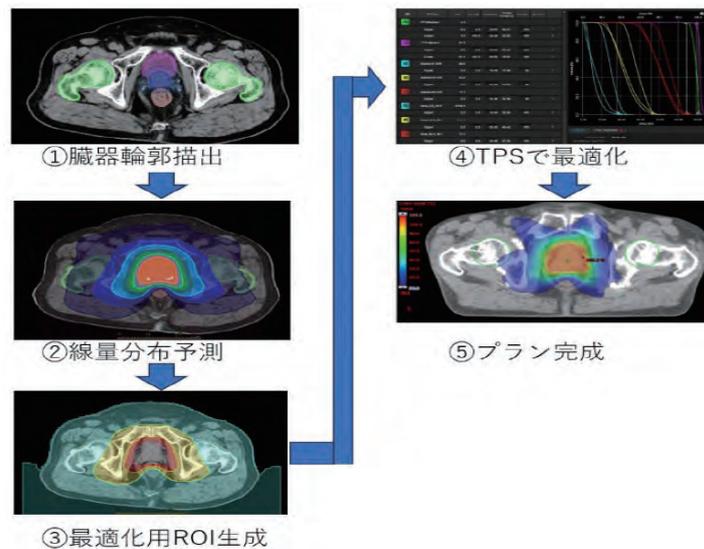


図4 だれでも good plan 機能のフロー

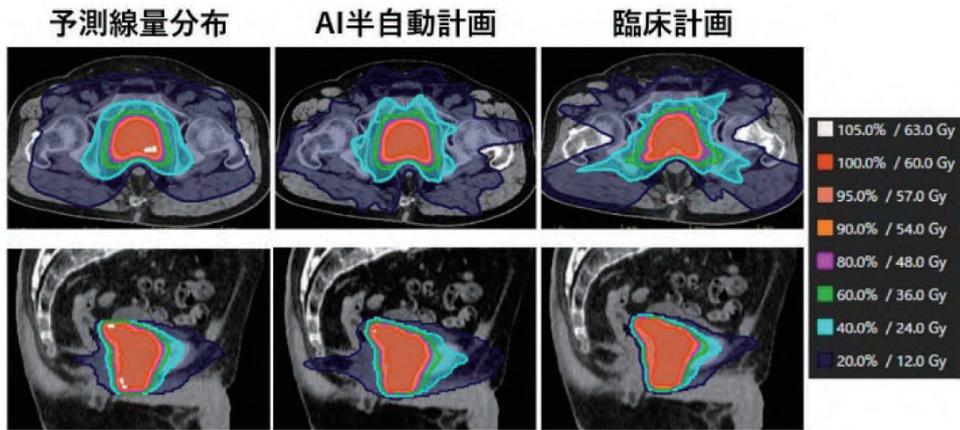


図5 AIによる予測線量分布 (preDose), AI計画による照射可能な線量分布 (deliDose), 臨床計画の線量分布 (cliDose) の比較

SBRTモデルを搭載している。AIによる予測線量分布と臨床治療計画の線量分布例を図3に示す。予測された線量分布は、臨床の治療計画の線量分布を良好に再現している。各リスク臓器の平均線量の予測誤差はおおよそ3%以内であり、標的線量についてはおおよそ2%以内である。

この後、この予測線量分布を活用した、だれでもgood plan機能による一連の流れを図4に示す。

この手法では、予測された線量分布から最適化用の輪郭を生成し、この輪郭を治療計画の作成に利用することでAI治療計画を実現させる。

この手法によって作成された治療計画の品質を評価した結果が報告されている。Kadoyaらは、前立腺がん68症例(70~74 Gy/28~37 fr)のVMAT治療計画データを対象として精度検証を実施した[3]。55症例をAIの学習に使用し、13症例用いてテストを行った。AIベースで半自動計画された線量分布(deliDose)と臨床計画の線量分布(cliDose)を比較し、ターゲットおよびリスク臓器のDVHパ

ラメータの定量評価と、放射線腫瘍医による視覚評価によるブラインド計画スコアの2つの観点で評価された。結果として、AIによる予測線量分布(preDose)、deliDose、cliDoseの一例を図5に示す。ターゲットの絶対平均線量誤差は $1.32 \pm 1.35\%$ であり、リスク臓器では $2.08 \pm 2.79\%$ となり、AI計画と臨床計画の平均誤差は $\pm 3\%$ 以内であった。ブラインド計画スコアは、AI計画、臨床計画でそれぞれ 4.54 ± 0.50 、 5.0 ± 0.0 であり、すべての計画スコアは4以上であった。尚、スコア3以上は臨床的に許容できるレベルであることを意味する。

3.3. 安全性検証結果予測AI技術(ワンクリックで安全性検証機能)

深層学習を用いて、IMRT計画が安全に患者に照射されるかを検証する患者個別検証の結果を予測させて、バーチャルで作成した計画の安全性を検証する機能である。本手法の概要を図6示す[4]。モデルへの入力は、照射パラメータに関する情報と線量

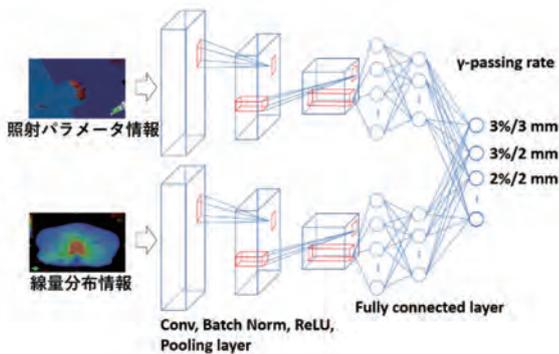


図6 安全性検証結果予測技術概要

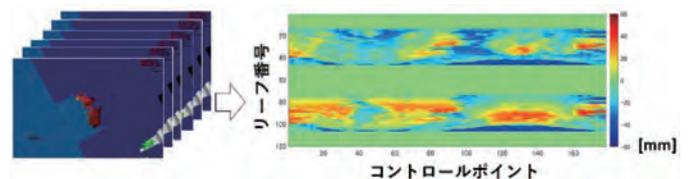


図7 MLCマップの概要

分布の情報とし、出力はγパス率である。モデル学習時は、教師データとして三次元検出器で実測したγパス率が使用されている。照射パラメータに関する情報として、コントロールポイント毎のMLCの位置情報を抽出することにより、照射中のMLCの動きをマップにしてモデルへの入力としている。図7にマップ生成の概要を示す。線量分布情報に関しては、数値ファントム中の検出器面の線量分布や、患者CT上の線量分布を抽出してモデルへの入力とする。深層学習としては、照射パラメータ情報、および線量分布情報を解析するために複数の入力部を備えた典型的なCNNベースのモデルを使用している。

本手法による前立腺 VMAT プランのγパス率の予測精度を 96 症例で検証した結果、3%/3 mm、3%/2 mm、2%/2 mm それぞれにおいて絶対平均誤差 ± SD で 1.25% ± 0.05%、1.57% ± 0.12%、2.32% ± 0.43% であった。

4. 今後の展開

弊社のビジョンとして、“放射線治療ですべてのがん患者を救う”、を掲げている。現在開発中の AI 放射線治療計画ソフトウェアの三つのメイン機能について紹介した。今後はビジョンを実現できるような新たな革新的な機能を追加していき、まさに AI guided radiotherapy を実現できるようなプロダクトを開発していく。弊社は、医学物理士が中心となって起業した東北大学発スタートアップであ

り、臨床現場のペインを正確に捉え、それを現場にフィットした形で高いレベルで解決できる技術開発を行っている。これを継続することで世界で通用する AI 放射線治療プロダクトを開発できると信じ進めている。医学物理士を目指す若者の新たなキャリアとして医学物理研究・開発を第一線でできるようなプラットフォームとして弊社が機能していくことも日本の放射線治療のさらなる発展に寄与できると考え、医療機関、研究施設、大学、企業など様々な場所で活躍する臨床型医学物理士、研究型医学物理士がうまく連携できる医学物理士エコシステムが形成できればとも考えている。

参考文献

- [1] Ma Z, Umezawa R, Yamamoto T, et al. IMRT improves local control in patients with nasopharyngeal carcinoma compared with conventional radiotherapy: propensity score-matched analysis. *Jpn J Clin Oncol.* 2021;51:1444-51.
- [2] Tohyama N, Okamoto H, Shimomura K, et al. A national survey on the medical physics workload of external beam radiotherapy in Japan †. *J Radiat Res.* 2023.
- [3] Kadoya N, Kimura Y, Tozuka R, et al. Evaluation of deep learning-based deliverable VMAT plan generated by prototype software for automated planning for prostate cancer patients. *J Radiat Res.* 2023.
- [4] Tozuka R, Kadoya N, Tomori S, et al. Improvement of deep learning prediction model in patient-specific QA for VMAT with MLC leaf position map and patient's dose distribution. *J Appl Clin Med Phys.* 2023:e14055.

ADVANCING CANCER TREATMENT ～ソフトウェアでがん粒子線治療を次の高みへ～ レイサーチ ラボラトリーズの活動



レイサーチ・ジャパン株式会社
日本支社長 蔵掛 忠一

1. レイサーチ ラボラトリーズ

レイサーチ ラボラトリーズ社（以下「レイサーチ」）は、スウェーデンで誕生したがん放射線治療のソフトウェアを開発、製造、販売、保守する会社です。「がんに打ち克つ世界を目指して」（A World where cancer is conquered）をビジョンに掲げ、ソフトウェアを通じ、がん治療の推進に貢献することをミッションとしています。

この想いは、創業者かつCEOであるヨハン・レフが16歳で母親を肺がんで亡くしたことに、端を発しています。その後、レフCEOがカロリンスカ大学の博士課程時代に発表した論文をもとに、より精度が高くかつ、速い治療計画を行なえるようソフトウェアの開発を始め、2000年に現在のレイサーチ設立に至っています。当初、2名で始めた会社は現在400名規模の人員に拡大し、皆が「がん治療を次の高みへ前進させる（ADVANCING CANCER

TREATMENT）」という使命感を持ち、全ての患者様に、より効果的ながん治療をお届けする支援をしております。

設立より23年経過した現在、世界12か国に設置した現地法人事務所と19の販売代理店を経由し、全世界に製品を販売しております。弊社の主力製品であるがん放射線治療のための治療計画ソフトウェアRayStationは、2023年末現在で、全世界936施設にご採用いただいております。1号機の販売開始の2009年から飛躍的に伸びています。特に、粒子線治療装置向けのRayStationの評価が高く、全世界の粒子線施設121（2023年12月現在PTCOGデータ引用）のうち、RayStationをご使用いただいている施設数は114か所を超え、実に全世界で95%の粒子線治療のご施設で採用されております。

レイサーチのソフトウェアが、独立のソフトウェア専門メーカーである利点を生かして、

IT'S PERSONAL

"My story began in 1986 when I lost my mother to lung cancer. Fueled by the vision of a world where cancer is conquered, I made it my personal mission to do everything within my power and ability to see this vision become a reality.

The RaySearch story began in 2000 when I launched the company based on the scientific knowledge I acquired during my PhD years at the Karolinska Institute. During that time, I developed mathematical models and software for optimizing radiation therapy, thus improving the treatment plan and delivery for the individual cancer patient.

My driving force is to improve the quality of treatment for those affected by cancer. RaySearch's innovative software solutions enable clinics to provide superior treatment options to more patients - in less time.

For me, it's personal. "





- 多くの放射線治療装置との互換性を持っていること、
- 顧客のニーズに真摯に向き合い、治療計画を立てるユーザー様にユーザーインターフェイスを重視し、解決の手段を提供してきたことが、高い評価と納入実績に結び付いています。

日本国内においては、2016年にレイサーチ・ジャパン株式会社を設立し、翌年2017年に製造販売および国内製造の業許可・登録をしました。製造販売業者として、製品の品質安全管理や薬事許可を維持すること、また、レイサーチの子会社として、日本の患者様、御施設、関連企業様とレイサーチの架け橋となることで、皆様のご期待に添えるよう日々活動しております。日本国内では、お陰様で、RayStationは、X線や粒子線の治療を行なっている全国207施設にご採用いただいております、その増加の勢いは衰えることなく続いています。

2. レイサーチの主力製品と特長

(1) RayStation (レイステーション)

レイサーチの現在の主力製品が、放射線治療計画装置のRayStationです。

このRayStationを販売開始する以前、レイサーチは様々な受託開発を行う傍ら、IMRT治療計画最適化のアルゴリズムを他社製の治療計画装置に提供することが主業でした。レイサーチ製の最適化エンジンは処理が高速で、生成される計画の品質も高く、ユーザーの皆様からは高い評価を頂いておりました。そこで2009年に満を持して自社製の治療計画装置としてRayStationの販売を開始いたしました。国内では2016年から主に日立製作所様のお取り扱いで、X線治療装置との組み合わせの国内販売を実施しています。粒子線治療装置に関しまして、東芝様、住友重機械工業様、日立製作所様、IBA様、バリアンメディカル様の装置との組み合わせを実現

しております。

RayStationは、従来からのすぐれたIMRT計画最適化技術をその核とし、洗練された高いデザイン性と操作性を実現しました。RayStationの計算速度の速さ、正確さ、ユーザーインターフェイスの扱いやすさは、他社とは一線を画し、これらをご評価いただいたユーザー様から熱狂的な指示を得ています。

レイサーチは設立以来今に至るまで、研究開発部門の割合が非常に高く、そのためにRayStationを販売開始してからもRayStationは最新の技術と臨床アプリを取り込み、進歩し続けています。

RayStationの強みとはつまるところ、技術屋のCEOをヘッドにしたソフトウェア開発に特化した研究開発部門によるもの、ということが出来ます。

一例として、GPUによる演算処理をその黎明期より大幅に採用することで、競合製品の数十倍の処理速度を実現してきました。(他社製品がGPU計算を多く採用にするようになった現在でも、高速な処理はRayStationの特長の一つです) またもとの専門であったIMRT計画最適化においてもMulti-Criteria Optimizationなどより直観的な最適化の仕組みなども野心的に導入を行ってきました。

放射線治療そのものは急速な進歩の中にあり、計画装置もそれらに遅滞なくキャッチアップすることが常に期待されています。例を挙げれば非剛体レジストレーション、それを応用した適応放射線治療支援、CBCT画像やMR画像を用いた治療計画、まだ研究段階ではありますが陽子線のFLASH等についても治療装置ベンダーや各研究機関と共同研究を行っています。このように他社様や研究機関様との共同研究が多いのもレイサーチの特長です。

治療装置への幅広いサポートもRayStationの長所の一つです。RayStationは一般的な従来のC-Arm型リニアックのみならず、最近一定のシェアを獲得しているOリング型のリニアックもそのほとんどをサポートしています。また陽子線、重粒子線、BNCTにおいてもほとんどのベンダーに対応しています。もしひとつの治療施設にこれらが混在していて、それぞれに別々の計画装置が必要だとしたら、システム管理の面、ユーザーの学習の面、また患者データのやりとりの面など、大変な手間がかかります。これらすべてを単独のプラットフォームで取り扱えることは治療施設様には大きな利便性の向上をもたらすはずで

このように先進の治療計画技術を高速に処理し、



幅広い治療装置で取り扱うことができる、ということで、RayStationはその登場以来、治療計画装置として、お客様からの高評価を保ち続けている、とすることができますと思います。

(2) RayCare (レイケア)

RayStationに続くソフトウェア製品としてレイサーチが世に問うたのがRayCareで、これはいわゆるOncology Information Systemと呼ばれるカテゴリの製品です。

RayCareは治療計画装置から計画データを受け取り、これを治療装置に送って計画を実施します。それに伴い放射線治療のスケジューリングや受付を行なう機能も有します。既に海外で運用されている機能として、技師支援機能（位置決め等の情報を治療室に表示します）、照射録やがん登録などデータを外部に送る機能、またHISや治療RISと連携の上での請求機能、腫瘍内科に関してもTumorBoardを管理する機能なども有しています。

RayCareの利点の一つは、RayCare端末のそれぞれがRayStation端末でもあり、ユーザーはRayCare端末上で患者データを閲覧しながら、RayStationを随時起動して作業ができる、ということです。ユーザーごと、患者様ごとのタスク管理も、各ステップでの承認フローも、RayCareで実現できますから、放射線治療部門として完全ペーパーレスを実現することも可能です。

3. サービス体制

レイサーチ・ジャパン株式会社では、サービス体制として本社であるレイサーチの組織体系に則り、アプリケーション・フィジックスサービス（以下「アプリケーション」）およびサービスIT（以下「IT」）という2部門の各担当者が在籍し、サポートサービスを提供しております。アプリケーション担当者は主に製品の仕様、使用方法の説明や、ビームモデリ

ングなど、病院の医師、技師、医学物理士といった、臨床のプロフェッショナルの方々からのお問い合わせ、ご要望に対応しております。IT担当者は、主に弊社製品の動作に必要な機器の設置、設定及び維持管理に従事しており、主に機器の据え付け設置や、バージョンアップなど日常のメンテナンス、操作に依存しない障害が起きた際の対応などを行っています。アプリケーション、ITは各々主担当として担当範囲を持つものの、実際のお客様サポートの場面においては、担当に関わらず柔軟な対応を心掛けております。

また、サービス担当者は、アジア太平洋地域サービス担当の一員でもあり、他国のご施設様向けのサポートサービスも提供しております。国内薬事未承認の機能や日本国内にはない巨大なシステムでもサポートする場合がありますため、常に新しい技術、知識の習得に努めております。

日本国内では直接保守しているご施設様のほか、代理店にて保守サービスを提供しているご施設様も多数あります。代理店が保守サービスを提供しているご施設様向けには、代理店向けに技術支援やサポート情報の共有を行うなど、間接的なサポートが主になりますが、場合により代理店からのご依頼にて、直接ご施設に出向いて現地対応を行う事もあり、連携してサービス提供にあたっております。

4. 今後の展望

レイサーチでは、ソフトウェアの可能性を最大限に発揮するため、放射線治療計画や院内情報システムの枠に留まることなく、関連する領域に向け、お客様のニーズに合わせ新しいソフトウェア開発を進めております。放射線治療計画ソフトウェアから始まった会社ではありますが、そこから院内情報管理ソフトウェアRayCareを製品化し、更にオンコロジー部門全体の業務効率化を推進すべく、ストックホルム本社では様々な開発が始まっています。これらの開発が、最終的にはRayWorldというシンプルかつ操作性に富んだ世界を構築し、治療に携わる方々の待機時間を極力削減し、最適ながん治療の実現に寄与することが我々の悲願です。Precision Medicineが重要視されているように、患者様一人一人のがんも異なり、それに即した治療を可能な限り速く、精緻にお届けするため、今後もレイサーチは開発の歩みを止めることはありません。日本でもリリースされます新機能もぜひご期待ください。

札幌禎心会病院 陽子線治療センターについて



札幌禎心会病院 陽子線治療センター
センター長 高木 克

1. 自己紹介

はじめまして。札幌禎心会病院 陽子線治療センターの高木克（マサル）と申します。私は2023年時点で46歳、医師22年目になります。2021年から二代目となるセンター長を務めさせていただいており、我々の施設の紹介をさせていただければ幸いに存じます。

2. 札幌禎心会病院の概要

当センターの所属する社会医療法人禎心会は1984年に開設され、北海道の札幌圏と宗谷圏において医療・介護複合体として計25事業を運営しています。もともと「札幌禎心会病院」は脳神経外科・神経内科を中心とする地域密着型の病院でした。平成24年4月より24時間救急受け入れ体制をとる脳卒中センターを立ち上げ、年に2000台近くの救急車を受け入れていました。また本州からも約100名の患者様が難度の高い脳外科手術を受けに来られる病院でした。

開院30年を機とし、がん・脳卒中・心臓病とい

う三大疾患を中心とした診療を目的として、新病院が2015年11月に開設されました。新病院開設の際に、総合病院へと生まれ変わり、消化器外科、腫瘍内科、頭頸部外科、泌尿器科などの多くの科が新設されることになりました。

その新病院にて、がん治療における治療の一角を担う存在として放射線治療科が新設され、陽子線治療センターが設立されました。2015年11月からX線治療を開始し、その1年後から陽子線治療を開始した、非常に新しい放射線治療施設です。

3. 陽子線治療センターの特徴

札幌禎心会病院 陽子線治療センターの外観（図1）および断面図を示します（図2）。当院では住友重機械工業製の陽子線治療装置を採用しております。地下1階のサイクロトロンからのビームラインを縦に配置し、3階の治療室に輸送する構造です（図3）。併せて小型のガントリーを採用することにより、小スペース化に成功。結果として約32m × 16mの敷地に陽子線治療装置一台（治療室



図1：札幌禎心会病院 陽子線治療センター 外観



- X線治療装置
 - ✓ Varian社 True Beam
 - ✓ ノバリスシステム
 - ✓ コーンビームCT

- 陽子線治療
 - ✓ 1ガントリー 1治療室
 - ✓ コーンビームCT（簡易CT装置）
 - ✓ インルームCT（同室CTシステム）

図2：センター断面図と治療機器一覧



図3：サイクロトロンから治療室まで

1室、In-room CT 併設)、高精度 X 線治療装置、治療計画用 CT、診察室 3 室、治療計画室、治療計画用 CT などを配置した、非常にコンパクトな施設となっております。地上 3 階・地下 1 階建ての施設ですが、センター内に放射線治療に必要な設備はすべて含まれており、日々の治療上の導線が非常に短く、日々たいへん助かっております。

当センターは本院とは独立しており、空中廊下にて接続されています。本院は 280 床を持つ総合病院で、脳神経外科を初め、頭頸部外科、腫瘍内科、消化器内科、消化器外科、乳腺外科、泌尿器科、整形外科などの各専門科があり、これらの科から多くの患者様をご紹介いただいております。また、外来化学療法室に始まり、高圧酸素療法室、温熱療法室もあり、併用療法が必要な症例や、強い有害事象が生じた場合の治療も可能な、総合的ながん治療が可能な施設になっています。

当センターには陽子線治療のみならず、北海道内で初めて導入された、2.5mm のマルチリーフコリメータを有する X 線治療装置 (Varian 社 True Beam) を備えており、高精度 X 線治療も可能となっております。残念ながら陽子線治療が出来なくても X 線治療が可能な患者様も多く、これらの症例では X 線を用いて治療を行っています。また陽子線治療後に残念ながら転移が生じてしまった場合でも自院で治療が可能、というのは非常に大きなメリットです。X 線も陽子線も、両方とも勉強しなければいけない、というのが大きな弱点ではあるのですが…。

当センターのスタッフ集合写真を (図 4) に示しています。当センターでは放射線治療専門医 2 名、医学物理士 2 名、放射線技師 9 名、専属の看護師 4



図4：スタッフ集合写真

名、事務員 4 名、住友重機社の運転員 3 名で日々の治療を行っております。この紹介文を読まれた他の粒子線治療の施設の皆様は、「少ない」という印象を持たれるのでは無いかと想像しております。おそらくスタッフの人数的に言えば、世界最小の陽子線治療センターでは無いかと考えています。しかし逆に、小回りが効き、きめ細やかな対応が可能な陽子線治療センターを目指しています。開院から 8 年が経過し、スタッフのみんなの練度もあがり、毎日のように助けて貰っています。

4. 当センターにおける陽子線治療の特徴

札幌禎心会病院における陽子線治療の特徴は 4 つあります。第 1 に、ユニバーサルノズルと呼ばれる照射口を採用しており、Wobbler 法と Scanning 法の 2 種類の陽子線治療が可能となっております (図 5)。呼吸性移動のある腫瘍では Wobbler 法を、呼吸性移動が無いまたはより限局した治療が必要な症例に対しては Scanning 法で治療を行っています。最近では膵臓癌など、呼吸性移動のある症例でも Scanning 法での治療を開始致しました。

第 2 に、陽子線治療室にインルーム CT とコーンビーム CT の二つを設置し、画像誘導陽子線治療を全患者に対して行っています (図 6)。腫瘍の縮小(あるいは増大)、体型の変化や臓器の移動など、実際の治療時における治療計画とのズレを早期に発見することが可能です。結果として、アダプティブ (最適化) 陽子線治療を可能にしています。特に頭頸部癌で動注化学療法併用例や、一部の非常に縮小が早い症例では、インルーム CT 抜きの治療は既に考えられなくなってきております。積極的に Replan も

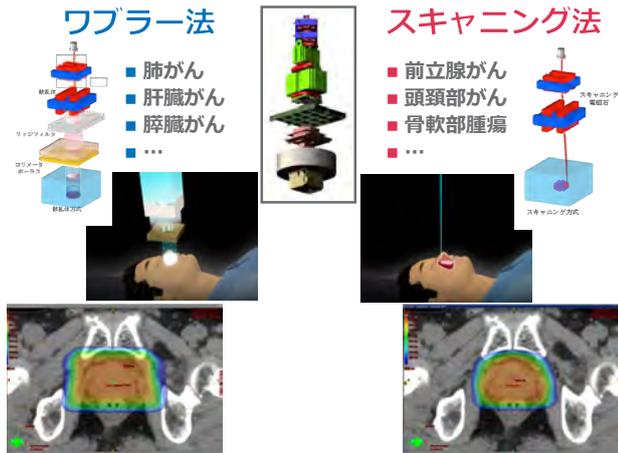


図5：ユニバーサルノズル

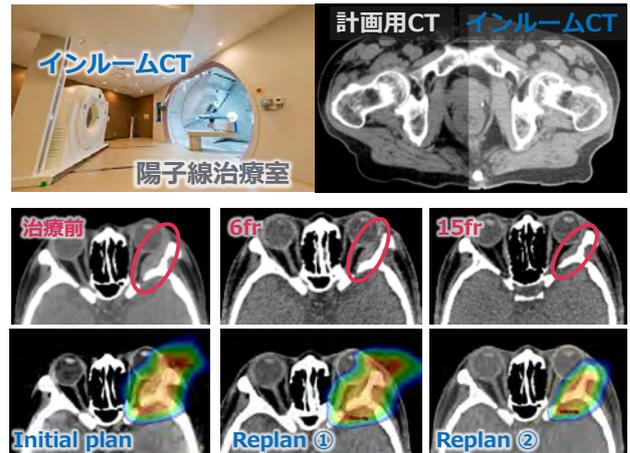


図6：画像誘導陽子線治療

行っており、治療の中断なしでの治療計画変更および照射再開が可能です。図6下段に示しているのは涙腺原発 基底細胞腺癌の一例です。希少疾患であり治療中の反応が予想できませんでしたが、腫瘍の縮小が早く、インルーム CT による画像誘導と、強度変調陽子線治療 (IMRT) を併用することにより、当初は困難であった視神経の線量低減が可能になりました。また当院ではロボット寝台を採用しており、Non-coplanar での治療も日常的に行っております。

第3に、総合病院併設の陽子線センターであるため、入院での治療や抗がん剤治療併用も積極的に行う事が可能になっています。また高圧酸素療法や Hyperthermia、免疫チェックポイント阻害剤併用での治療も可能になっており、「総合的ながん治療の一部としての陽子線治療」という位置づけです。

最後の第4は、当センターは最寄りの地下鉄駅から徒歩5分、札幌駅より15分という好立地にあります(ちなみに千歳空港からもバス1本で来られます)。前述の治療機械の小型化・施設の省スペース化により、札幌の都心部に陽子線治療センターを構えることが可能になりました。陽子線治療はX線治療と比較して有害事象が少なくなるため、可能であれば多くの患者様は外来通院での治療を希望されます。そのため、「通院しやすい」陽子線治療センターであるというのは非常に重要なポイントなのでは無いかと、個人的には考えています。これは特に冬は雪に閉ざされ移動が制限される北海道という地域においては非常に大きな意味を持っています。実際に当院では7割の患者は外来通院で、うち半分は仕事を行いながら治療を受けられています。入院で治療を行っている患者様は遠方の方か、化学療法などの併用が必用な患

者様になっています。

5. 現在までの治療

現在までの治療症例数を年ごとにグラフに示しています(図7)。全体として、年々患者は増加傾向を示しております。2023年は昨年の約20%増で経過しております。

癌種別にみますと、現在までに最も多い疾患は前立腺癌で、約2/3を占めています(図8)。当院では前立腺癌に対しては現在21・22回の寡分割照射での治療を行っています。次が頭頸部癌で、特に鼻腔・副鼻腔の扁平上皮癌に対する動注化学療法併用症例が多いのが特徴です。また耳下腺癌や腺様嚢胞癌などでは積極的に陽子線治療を使った術後照射も行っています。

2022年の診療報酬改定から、特に膵臓癌症例が非常に増えており、2022-2023年では前立腺癌の次に多い疾患になりました。膵臓癌に対する治療をどのように改善していくか、について最近では日々頭を悩ませています。また肝臓癌、大腸癌術後再発も最近増え始めています。膀胱癌に対する動注化学療法を併用した陽子線治療も開院時から行ってきています。その他骨軟部腫瘍、肺がん、転移性腫瘍などまんべんなく治療を行っておりますが、全身麻酔が体制上困難であり、小児症例にあまり治療を行えていないのが、今後の課題の1つと認識しています。

開院当初は新設の放射線治療科ということもあり、治療患者数は少なかったのですが、「丁寧な治療と紹介医に対する迅速なフィードバック」という方針が功を奏してか、徐々に地域でも認知されるようになってきております。最近では複数の臨床試験にも参加できるようになってきました。現在は逆に増

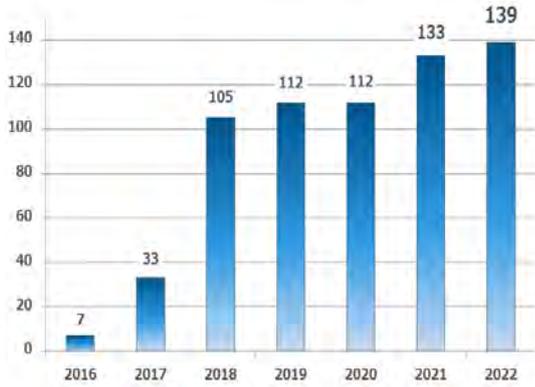


図 7：患者数一覧

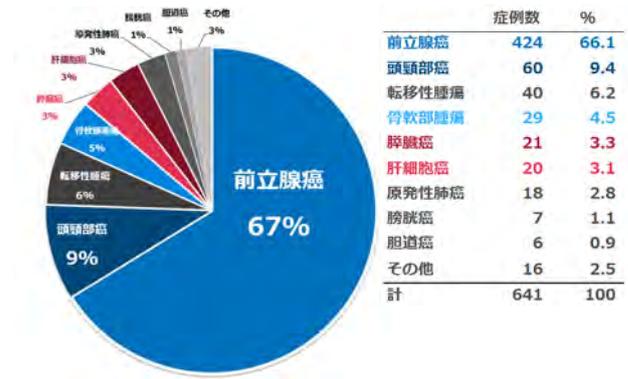


図 8：疾患内訳

大した業務量を、どのように捌いていくのかが大きな課題となりっております。新規に保険適応になる疾患も増える事が予想され、抜本的な見直しが必要な時期になりつつある、というのが当センターの現状です。

6. 晴山先生の思い出と粒子線治療の未来

当センターの初代センター長は、札幌医科大学放射線科 名誉教授 晴山雅人先生でした（図 9）。約 10 年前、晴山先生が教授を退官される時に、こんな事を言われたことをよく覚えています。「高木先生、先生には粒子線治療を勉強してきて欲しい。今はまだ一部の患者しか受けられない治療だけど、将来必ず、各都道府県に 1 つは粒子線治療が可能な施設が出来るようになる。2 台 X 線治療装置を持っている病院は、3 台目は陽子線治療を検討するようになる。」これが我々のセンターの始まり、という事になります。その後晴山先生ご自身は南東北病院へ、私は兵庫県立粒子線治療センターに研修に行き、



図 9：初代センター長 晴山雅人先生

2 つの施設の知識と経験を合わせることで、当院の陽子線治療を作り上げていきました。

… 当時はまだ小児腫瘍ですら保険適応になっておらず、陽子・炭素をあわせた粒子線治療施設も 10 施設程度だったはずでした。正直なことを書かせていただければ、各都道府県に粒子線治療施設というのは「夢物語」にしか聞こえませんでした。しかし、それから 10 年と少しが経過し、日本において粒子線治療施設数は倍増し、当院のような民間の医療法人も陽子線センターを導入するようになりました。加えて、今まで粒子線治療施設が無かった都道府県でもいくつかの計画が進行していると聞き及んでいます。晴山先生の 10 年前の予測は、まだ道半ばではありますが、正確に未来を見据えた言葉であったのだと、現在では考えています。

当院は「小さい」陽子線治療センターですが、逆に言えば「真似をしやすい」というメリットがあるかもしれません。新たに粒子線治療施設を作ると考えた場合に、多くは当院のような一治療室の小さな陽子線センターになると予想しています。いままで無かった都道府県にも陽子線治療施設が出来き、当院と同様に民間の病院も陽子線治療を初めていく。そのような粒子線治療の未来において、新しい施設の「モデル」になれる様な、そんな陽子線センターを目指して、日々の治療を行っています。

7. 連絡先

札幌禎心会病院 陽子線治療センター
〒 065-0033 札幌市東区北 33 条東 1 丁目 3-1
Tel: 011-712-1131
FAX: 011-751-0239

「筑波大学附属病院 BNCT 研究センター」の歩みと近況



筑波大学 医学医療系 准教授
筑波大学附属病院 BNCT 研究センター部長 中井 啓

はじめに

「医用原子力だより」に今回は、筑波大学附属病院 BNCT 研究センターの紹介をさせていただくことになりました。当施設は、医療機関（常設診療所）です。ついに、というかやっと、というか治験の患者さんの登録をお待ちしているところです。原子力に加速器、と医療とは通常やや趣の異なる単語が並んでおりますが、財団の目的を拝見すると、「原子炉や加速器等から発生する粒子線等により先端的癌治療をはじめとする各種放射線による疾病の治療並びに診断等、医用原子力技術の研究を推進するとともに、その普及を図ることにより、科学技術の振興を図り、もって人類の福祉向上に寄与することを目的とする。」とあります。BNCTについては、本誌医用原子力だより第23号に、岡山大学中性子医療研究センターのご紹介とともに原理や経緯が触れられておりますので本稿では省略させていただきます。それではこの目的にそって当施設の紹介に移させていただきます。

全体概要

東海村に位置する AYA'S LABORATORY 量子ビーム研究センター（AQBRC）には、茨城県が設置した J-PARC の産業利用推進のための企業への相談や技術開発をサポートする 1号棟と、当センターが位置する 2号棟があります¹⁾。2号棟は、いばらき中性子医療研究センターと称されており、その内部に、筑波大学陽子線医学利用研究センターの中性子捕捉療法研究開発部門（開発室）²⁾を設置し、筑波大学でホウ素中性子捕捉療法（Boron Neutron Capture Therapy, 以下 BNCT）の加速器の実証実験および臨床試験に向けた非臨床試験などを含む研

究、実験をおこなっておりました。（Figure ① 建屋 二号棟の様子）

さらに、BNCT 治験開始準備のなかで、当施設で医療行為を行うために、今回ご紹介する筑波大学附属病院 BNCT 研究センター（診療所）が 2023 年 12 月に開設する運びとなったわけです。内部には、設計段階から生物実験および治療が可能のように、照射室が設定されていましたが、これを実際に患者治療として利用するために整備が行われました。

設備の概要を示します。

加速器形式は RFQ+DTL 型リニアック、陽子エネルギー 8 MeV, 平均電流は設計上 5mA 程度を想定しております。中性子生成のための標的材はベリリウムです。（Figure ② 加速器：冷却システムに覆われた加速器の一部）

この条件は、治療に必要な中性子線量と、装置の放射化が起きにくい中性子の量のバランスを計算して導き出されたものと聞いております。放射化が少ないことは、非常時に照射室へ早くアクセスでき、患者および医療従事者の被爆を減じることを意味し



Figure ① 建屋

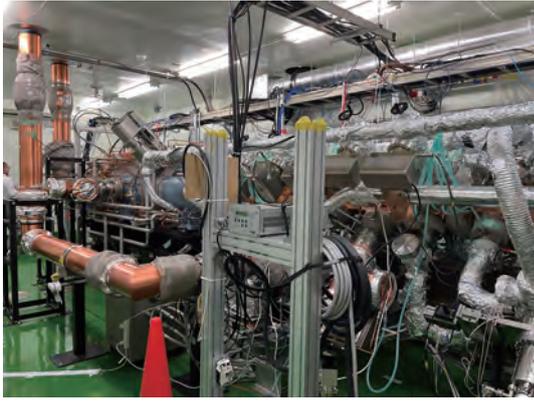


Figure ② 加速器



Figure ③ 照射室

ます。

また合わせて、放射線治療に不可欠な治療計画システム、患者の位置あわせを行う周辺環境を独自に開発整備しております。(Figure ③) 照射室：ほぼ位置あわせシステムの設置の終わった照射室の内部) その殆どは医学物理士、熊田博明先生(筑波大学医学医療系生命医科学域准教授、筑波大学陽子線医学利用研究センター 中性子医学研究開発室長)³⁾の手によるものです。

筑波大学における BNCT への取り組み

筑波大学では、医学医療系脳神経外科学教室で、東海村の日本原子力研究開発機構の研究用原子炉 JRR-4 を用いた BNCT の臨床研究が 1990 年代半ばより行われていました。

新規ホウ素化合物の基礎的な研究や、実際に悪性脳腫瘍の患者を搬送しての臨床研究が行われました。学術活動としては、教室の修士課程や博士課程での実験テーマに多く採用され、細胞実験、また一部は原子力研究開発機構を説き伏せる形で、動物実験を行い、比較的近くにある地の利を活かし、共同利用の仕組みなど利用して、原子力研究開発機構の原子炉照射のマシントimeを得て、実験が行われていました。また、臨床研究として、学内の倫理委員会の審査のうえで、悪性脳腫瘍、特にグリオーマ(神経膠腫)に対する治療が行われました。

初期の治療例では、ホウ素化合物に、現在と異なるホウ素イオンクラスターを用いた borocaptate Sodium (BSH) を使い、少ない熱中性子をなるべく深部まで到達させるため、炉心で患者に全身麻酔を行い、開頭手技を行った状態での照射、いわゆる

術中照射の形をとっていました。中性子線束も少なめであったため、4 時間、5 時間かけての照射が行われていました。2003 年頃に原子炉の改造が完了し、熱中性子よりもややエネルギーが高く、深達が得られる熱外中性子の利用が可能になって、細胞実験を経た上で、臨床研究でも、熱外中性子の利用、さらにホウ素アミノ酸である boronophenylalanine の併用という形で、2005 年頃より、覚醒下、単回治療の非開頭 BNCT へ移行しております。

当時の治療には、分厚い遮蔽壁を持つ原子炉炉心すぐ横の照射室へ患者を設置し、遠隔で全身麻酔をかける長時間照射、しかも開頭術により、脳表が露出した状態での照射であり、遂行には相当の人や手続きが必要だったことを記憶しております。また、中性子線を計測するために、患部に金線を留置、照射途中で引き抜いて放射化分析をするといったことが行われていました。非開頭照射に移行したのちは、中性子線の分布を計測することが困難であったため、医用画像から線量分布図を計算によって求めるシミュレーションソフトウェアを当時日本原子力研究開発機構におられた熊田先生が中心となって開発され、同様に患者の位置あわせの技術も当時のテクニックを継承し治療計画ソフトウェアと合わせてブラッシュアップしている状態です。

臨床研究の結果は、2009 年、山本哲哉先生(現横浜市立大学 脳神経外科教授)によって報告されております⁴⁾。

順調にみえた BNCT 臨床研究ですが、利用する線源が原子炉であることから、日本の規制上、病院併設や医療機器承認は見込めません。そこで原子炉以外での中性子線源の開発が喫緊の課題でした。さ

らに追い打ちとなった東日本大震災によって、研究用原子炉 JRR-4 は最終的に廃炉となることが決定しました。その後、頭頸部腫瘍に対して、BNCT の適応と判断した患者さんを数例、栗飯原輝人先生（現 関西 BNCT 共同医療センター 教授）が筑波大学在任のおり、京都大学の実験原子炉 KUR での治療実施にいたりましたが、臨床研究法の施行とともに、原子炉 BNCT の臨床研究は終了しております。

加速器中性子線源の開発

現在東海村に設置してある加速器中性子線源の開発の詳細については、いつかどこかで語られることがあるでしょう。私個人はその時期、別の部署に異動となったため、関わりが薄く詳細を実体験として把握しておりません。臨床治療を望むものにとっては、「なんでもいいから使える中性子線を早く出してほしい」という点に尽きるのですが、mA 単位というけた外れの陽子線を安定的に出す技術の熟成にはそれ相当の努力、研究とご苦労があったのだと思います。つくば国際総合戦略特区、茨城県などの協力があり、また、当初大企業が開発の中心的役割を果たしていたところ、種々の理由でプロジェクトから中途撤退となり、後を継いだ企業もやがて撤退となり、結局、筑波大学と、高エネルギー加速器研究機構が中心となった、アカデミア主導の開発になったと聞いています。

いざ医師主導治験にむけて

さて私は、加速器中性子線源の開発の終盤、2016 年に筑波大学放射線腫瘍科に再びお世話になることとなり、BNCT の現場に再び足を踏み入れます。治験の準備ですが、当初は企業治験として医療機器の製造販売を担う企業が定まらぬまま時間が過ぎてゆき、非臨床試験（細胞や動物を用いた安全性試験や有効性試験）の遂行のための予算もままなりません。治験、将来の医療機器承認を目指して用いるデータは GLP 基準が要求されます。それなりの企業とそれなりの金額で契約をして遂行する必要があります。また医師主導治験を行う場合にもそれ相当の監査、データ管理、モニタリングなどが必要で資金調達の必要があります。そうこうしているうちに、2020 年、住友重機械工業の NeuCure、ステラファーマ社のステボロニンによる BNCT がさきかけ承認となり保険収載となりました。当初国立がん

センターと国内多施設で治験のプロトコル策定を計画していましたが、当方の機器の調整の遅れなどから、国立がんセンターにおいては皮膚がんでの企業治験が先行して開始されました。そういう国内の状況から、当施設が狙う対象疾患も二転三転し、そのための競争的予算獲得に数年を要しました。結局、非臨床試験は探索的試験として先行して行い、PMDA と打ち合わせを重ねながら、2022 年に、AMED 橋渡し研究プログラム シーズ C から「初発悪性神経膠腫に対する新型高出力中性子線源を用いたホウ素中性子捕捉療法安全性試験」として初発膠芽腫に対する医師主導治験を題目に資金を得ることができました。また、機器の安定稼働の実現と、予算獲得によって医師主導治験の見通しが立ったことから、ステラファーマ社から、治験薬の提供について前向きなお返事をいただくことができました。その結果、プロトコル策定、PMDA 事前面談などに進むことができました。実際のプロジェクトマネジメントは、筑波大学つくば臨床研究開発機構（TCReDO Tsukuba Clinical Research & Development Organization）の先生方、スタッフの皆さんの多大なる貢献があつてここまで進めることができました。

さて、稼働可能となって中性子線源を振り返って眺めると、医療機器としては極めて大型で複雑なシステムです。

治験実施検討、すなわち患者治療の立場で治療を検討する中で出てきた協議事項を振りかえるに、開発初期段階でなぜこうしなかったか、と悔やまれる点が大きく二つあります。

一つは、そもそも病院併設型の線源を目指しているのになぜ遠隔地に設置したのか、という点。大型の機器で放射線設備なのでアカデミアが建屋から新造するわけにもいかず、やむを得なかったところはもちろん理解できますが、いざ臨床の計画を立てる段になって、医師主導治験で決して潤沢ではない資金の範囲で（つまり多施設での治験が難しい状態で、本院単独で）、脳腫瘍術後早期の患者を遠隔地へ照射のために移送、治療して帰院する、というところは、審査会でも十分に説明と対策を尽くす必要があります。その手配は労力のいる作業でした。また、敷地が筑波大学附属病院と離れていることで、医療行為を行うために、改めて研究部門の中に診療所を一から立ち上げるといった難題も生じました。新規に

4件検索完了しました。

登録情報				
臨床研究実施計画番号	研究の名称	対象疾患名	研究の進捗状況	公表日
JRCT2032230554	初発膠芽腫に対する新型高出力中性子線源を用いた加速器BNCT装置iBNCT001及びSPM-011の第I相医師主導試験	初発膠芽腫	募集中	令和6年1月10日
JRCT2031220410	切除不能な血管肉腫を対象としたCICS-1とSPM-011を用いたホウ素中性子捕捉療法（BNCT）の第II相臨床試験	切除不能な血管肉腫	募集中	令和5年11月25日
JRCTs031220371	放射線治療後再発乳がんを対象としたホウ素中性子捕捉療法（BNCT）のパイロット試験	乳がん	募集中	令和5年10月31日
JRCTs051220019	再発悪性神経膠腫に対するホウ素中性子捕捉療法で生じる腫瘍局所の早期反応のPETによる探索	標準治療後の再発悪性神経膠腫	募集中	令和5年10月30日

Figure ④ JRCT 検索結果

人を雇うわけでもなく、保険診療をするわけでもない、治験の専門の診療所ですから、大学組織の中で、これを行うのが簡単ではないことは想像に難くないことと思います。幸い先行する京都大学にも同様のご苦労があり、教唆いただいた内容は大変有用でした。二つ目は、患者導線です。当施設の患者導線には、照射室の入り口のところで1フロア分の段差があり、階段を下りるか、車いすがかろうじて入るリフトで降りるかしかありません。遠隔地患者移送の問題と同様に脳腫瘍患者は片麻痺やけいれん発作のリスクが想定されることから、この部分に要する準備は、緊急立ち入り、応急処置などについてさらに熟慮を要しました。次期の治療装置を開発・設計される皆様ももしこれをご覧になったら、可能な限り、患者アクセスに配慮した実装ができることを期待しています。

こうしたもろもろを経て、ようやく2024年1月、JRCTに治験の登録公開ができました。(Figure ④ 臨床研究一覧 JRCT サイトにおいて、「ホウ素中性子」「募集中」で検索 2024/1/12)

今後の展開

最終的に、今回用いられる中性子線源の医療機器承認、保険診療を目指した取り組みです。ただし、今回の治験は第一相試験、すなわち限られた症例数で、安全性を確かめる段階です。特徴としては、従来の膠芽腫に対する標準治療を下回らないことを念頭にBNCTとエックス線治療を併用するプロトコ

ルを設計しています。膠芽腫の予後の悪さから、再発ではなく、初発患者を対象に治験が認められたことは特筆すべき点であります。最終目的のためには、今後第二相試験と呼ばれる有効性試験、商用機としての設計などのさらなる検討がまだまだ必要です。また、現在の医療機器承認の仕組みでは、疾患ごとに治験手続きが必要ですが、抗がん剤の領域では遺伝子変異を適応にするような薬剤もみられます。BNCTが得意な領域、すなわち浸潤腫瘍もしくは再発再治療で表在性などについて有効性を示すような多施設や多国籍のデータ蓄積が求められるところかと思えます。

日本は世界で初めてBNCTを保険診療とした国です。その発展にさらに尽力することが、本研究にかかわる国内外のすべての立場の人によって最終的に「科学技術の振興を図り、もって人類の福祉向上に寄与する」ための業(宿命)であると思っています。

- 1) <https://www.pref.ibaraki.jp/kikaku/kagaku/chusei/kenkyu-kaihatsu/ryoshi-beam.html>
- 2) <https://www.pmrc.tsukuba.ac.jp/research/>
- 3) <https://www.pmrc.tsukuba.ac.jp/research/next/kumada.html>
- 4) Radiother Oncol, 2009 91 (1) :80-4. Boron neutron capture therapy for newly diagnosed glioblastoma. Tetsuya Yamamoto, Kei Nakai, Teruyoshi Kageji, Hiroaki Kumada, Kiyoshi Endo, Masahide Matsuda, Yasushi Shibata, Akira Matsumura

第 19 回日本中性子捕捉療法学会学術大会の報告



横浜市立大学 脳神経外科教室
主任教授 山本 哲哉

令和 5 年 7 月 14 日（金）・15 日（土）の 2 日間、横浜市の山下公園の前にあります横浜シンポジアにおきまして、第 19 回日本中性子捕捉療法学会を開催させていただきました。新型コロナウイルス感染の拡大で、計画当初から現地開催が感染流行の状況次第ではありましたが、幸いなことに学会開催が近くなるにつれ状況は好転しました。次第に制限が緩和され、多くの学会がオンラインから現地開催の流れになり始めた時期に重なり、無事に横浜の地で現地開催することができました。

2 日間の本日程の前日にあたる 7 月 13 日（木）には、第 11 回 BNCT 講習会（日本中性子捕捉療法学会・教育委員会主催、本学術大会後援）が開催されました。さらに、本学会後の 7 月 16 日（日）には同会場の横浜シンポジアで学会主催の市民公開講座が開かれ、BNCT の普及に向けた啓蒙活動を行いました。公開講座の内容については、日本中性子捕捉療法学会ホームページ（<http://www.jsnct.jp/index.html>）よりオンデマンド配信も行っております。

学会参加者数はコングレスサービスと行った事前の予想を大きく上回り、本学会の歴史で最多を記録しました。国内の研究者に加え、企業関係者、海外からの参加者が盛会の要因でした。最終的に学術大会には総計：282 名（会員：138 名、非会員：94 名、学生：29 名、招待者：21 名）の方が現地参加され、物理学、薬学・化学、臨床医学・技術、生物学、各領域において最新の研究成果発表と活発なご討論をいただきましたことに対しまして、この場を借りまして御礼申し上げます。

さて、従来研究用原子炉で行われてきた中性子捕捉療法 Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) は、加速器中性子源の実用化の時代になって飛躍的

に進歩しました。BNCT は、1960 年代以降に脳腫瘍や皮膚腫瘍を主な対象としてヒトでの治療研究が始まり、研究開発の過程で注目された頭頸部がんを対象とすることで、世界で初めて、2020 年 3 月に医療機器 (NeuCure)・医薬品 (ステボロニン) の製造販売承認という重要な節目を迎えました。本学会では、臨床試験での最新の知見とさらなる適応拡大、新規ホウ素キャリアーや加速器中性子源の開発、測定・モニタリング、ドジメトリー、放射線生物学的理解の深化といった最新の成果が報告されるとともに、少し立ち止まって、一変したがん治療全体の環境変化や患者会にも目を向けることにいたしました。学際領域である BNCT に関連した幅広い分野からの基礎研究の成果、現在 BNCT を行っている施設の診療実績や臨床試験に関する最新情報、新規 BNCT 施設からの報告に加え、医療機器開発の審査側、がん診療全体から見た BNCT、患者側の目線、といった話題についても取り上げました。

演題数は、教育講演 2 演題、ランチョンセミナー 2 演題、アフタヌーンセミナー 6 演題、シンポジウム 8 演者、一般演題 32 演題、ポスターセッション 17 演題の計 67 演題をご発表・ご講演いただきました。各セッションにおいてさまざまな視点での活発な質疑応答が行われ、この学会の熱量の高さを感じました。また、学術的な観点からも質の高い議論が行われ、議論は尽きず、時間の関係上まだまだ議論が必要なところもたくさんあり、今後の BNCT 治療の益々の発展が期待されました。加えて、学会 2 日目には BNCT 施設見学を含むエクスカージョンを企画いたしました (Neutron Therapeutics, LLC が開発した BNCT 用照射装置 (nuBeam®))。エクスカージョンの事前参加登録は満員で、多くの希望があったため、急遽当日参加者にも見学いただ

くこととし、湘南鎌倉総合病院まで多くの方に足を運んでいただき大盛況でした。

今回は第19回日本中性子捕捉療法学会学術大会ポスター賞を選定いたしました。Dosimetryの分野より、京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻、京都大学複合原子力科学研究所粒子線医学物理学研究分野、野尻 摩依先生「ポイントカーネル法とモンテカルロ法を組み合わせた線量計算アルゴリズム開発」、Boron carrierの分野より、東京工業大学 科学技術創成研究院 化学生命科学研究所、三浦 一輝先生「アミノ酸トランスポーター ASCT2を標的とした新規低分子ホウ素薬剤の開発」、その他の分野より、東京大学 大学院工学系研究科 総合研究機構 客員研究員新潟薬科大学健康・自立総合研究機構 特別招聘教授 柳衛 宏宣先生、「青森県量子科学センター加速器中性子捕捉剤 / 四元複合体腫瘍内投与法による腫瘍増殖抑制実験経験」の3演題を選出いたしました。受賞された先生方の今後ますますのご活躍を期待しております。

懇親会は学会会場のレセプションスペースで行い、100名以上の参加者を得て開催されました。会場からは横浜港からみなとみらい、目前の山下公園など横浜をパノラマビューで眺めることができ、当日は天気にも恵まれましたので多くの先生方に横浜の景色を楽しんでいただけたと思います。また、1927年創業の横浜の老舗のホテルであるニューグラントのレストランから異国情緒ある料理を堪能いただきました。ニューグラントの厨房からはドリア、ナポリタン、プリンアラモードなど後に広く知られる料理が生まれている有名なレストランであり、カレーも有名で多くの方に堪能いただきました。コロナ明けの学会でもあり、予想以上に多くの方に参加いただき大変な盛り上がりを見せました。

本学会の横浜での開催では、日本中性子捕捉療法学会の更なる発展に貢献するとともに、若い教室員

7月14日 金		7月15日 土	
学術大会会場	レセプションスペース	学術大会会場	レセプションスペース
8:30~8:40 開会式 8:40~9:50 Session 1 [Biology] 1-1~1-7 座長: 益谷 美都子 川端 信司	8:30~ ポスター 貼付	8:30~9:30 Session 4 [Boron carrier] 4-1~4-6 座長: 中村 浩之 市川 秀喜	
	9:50~10:30 ポスター ビューイング	9:30~10:20 Session 5 [Clinical 2] 5-1~5-5 座長: 中井 啓 中村 大志	
10:30~12:00 Session 2 [Clinical 1] 2-1~2-7 座長: 井垣 浩 廣瀬 勝己		10:30~12:10 シンポジウム BNCT臨床の最前線 S-1~S-8 座長: 影治 照喜 髙岡 昌彦	
12:10~13:10 ランチョンセミナー1 がん治療のなかでのBNCT 座長: 山本 哲哉 演者: 折筋 伸彦 共催: エクステリア株式会社、省立高松病院 医療法人社団新藤外科病棟研究会		12:20~13:20 ランチョンセミナー2 BNCT治療技術の標準ラインは どこにあるか? 座長: 山本 哲哉 演者: 廣瀬 勝己 共催: 住友重機械工業株式会社	
13:20~14:20 教育講演 座長: 松村 明 演者: 櫻井 英幸 木村 俊成		13:20~13:50 総会	13:30~14:00 ポスター撤去
14:20~15:20 アフタヌーンセミナー1 Advancing Accelerator-based BNCT for Cancer Treatment 演者: Rob Hill Rendall Morrison 共催: TAE Life Sciences		13:50~14:50 アフタヌーンセミナー2 座長: 山本 哲哉 演者: E. Reczek, N. Smiek 後藤 紳一, 石川 正純 共催: Neutron Therapeutics, LLC	
15:30~16:40 Session 3 [Dosimetry / Neutron source] 3-1~3-7 座長: 熊田 博明 石川 正純		14:50~15:00 閉会式 エクスカーション 担当: 湘南鎌倉総合病院	
	16:40~18:30 懇親会		

本学術大会プログラム

で運営した学術大会事務局での経験を通して多くの学びを得ることができました。本大会は、先に紹介したように横浜での現地開催と約280人の参加登録者により盛大に開催することができました。学会事務局のメンバーに加えて、横浜市立大学脳神経外科のスタッフ、横浜市立大学の関連病院のスタッフ、大学院生など多くの皆様のご協力により、会場の設置から運営までを円滑に進め、大きなトラブルもなく終了することができました。さらに、多くの協賛企業や後援機関のご支援により、横浜シンポジアという素晴らしい学会場で開催し、魅力的な複数のセッションをプログラムに組み込むことができました。この報告を通じて、関係者の皆様、協賛企業、



横浜市立大学脳神経外科スタッフで記念撮影



学会会場の様子



ポスターセッション



大盛況の懇親会場



懇親会での記念撮影

後援機関、そしてご参加いただいた皆様に心からの謝意を表します。

次回の第20回学術大会は、大阪医科薬科大学の二瓶圭二先生が大会長となって2024年7月26日(金)、27日(土)に、高槻城公園芸術文化劇場で開催される予定です。関西のBNCTの医療拠点で

ある関西BNCT共同医療センターがあり多くの臨床経験や新しい知見に関して次回も多くの議論がなされることと思います。この研究分野に携わっているより多くの方々の健勝と益々のBNCTの発展を願ひまして、本大会の報告を終わらせていただきます。

事務所所在地・アクセス

◆本部

〒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

TEL：03-5645-2230 FAX：03-3660-0200

E-mail：info@antm.or.jp

- 交通：・地下鉄日比谷線「小伝馬町」下車、2番または4番出口から徒歩約2分
・JR 総武線快速「馬喰町」下車、2番出口から徒歩約5分・JR 山手線 / 地下鉄銀座線「神田」下車、東口から徒歩約10分



◆線量校正センター

〒263-0041

千葉県千葉市稲毛区黒砂台 3-9-19

TEL：043-309-4330 FAX：043-309-4331

E-mail：info-kosei@antm.or.jp

- 交通：・JR 総武本線「稲毛駅」下車 東口から徒歩10分



お知らせ

◆当財団発行の小冊子のお知らせ



・小冊子「体によさしい粒子線がん治療」(2023年7月版)

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、国内の粒子線施設の問合せ先や問合せ方法についても記載しています。

A5版カラー 26頁 1冊：300円(税込み、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

◆当財団開催の講演会・セミナー等の年間予定

2024年(令和6年)	5月	粒子線がん治療等に関する施設研究会(見学会)
2024年(令和6年)	7-8月	粒子線がん治療に関する人材育成セミナー・入門コース
2024年(令和6年)	8月	放射線医学オープンスクール(1泊2日)
2024年(令和6年)	10月	粒子線がん治療等に関する施設研究会(見学会)
2024年(令和6年)	11月	国際重粒子線がん治療研修コース(ITCCIR)
2024年(令和6年)	12月	第20回共催講演会「心と体によさしい重粒子線がん治療」
2025年(令和7年)	1-2月	粒子線がん治療に関する人材育成セミナー・専門コース
2025年(令和7年)	2月	粒子線がん治療等に関する施設研究会(講演会)

※実際の開催日は前後する可能性があります。

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金等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・協賛金は、特定の事業に使用するものや医用原子力技術の推進および普及全般のため、適切かつ有効に活用させていただきます。

今年度、協賛金をいただいた団体・企業様^(50音順)

令和6年1月現在

安西メディカル株式会社
Cosylab Japan 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
株式会社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24号

令和6年2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: https://www.antm.or.jp

