



2021年5月に導入したエレクタ製リニアック「Versa HD」。同時に導入した体表面光学式トラッキングシステム「Catalyst HD」と組み合わせて体表面誘導放射線治療（SGRT）を実施している。

COVER STORY
2024
石川県

金沢大学附属病院

多様な個別化医療を実現する高性能リニアックと マーカーレス治療で高精度治療と患者負担軽減を実現。 北陸の放射線治療のレベルを大きく引き上げる

加賀藩彦三種痘所をルーツとして、以降160年以上、北陸の医療の中心的存在であり続ける名門・金沢大学附属病院。能登地方を襲った今年1月の地震、そして9月の水害などにおいてもDMATを派遣するなど地域医療への医療貢献は広く知られる。同院では、3月に第2中央診療棟がオープンし、術中MRI撮影が可能な手術室の稼働を開始するなど診療機能を強化。放射線治療科では、治療精度向上、患者負担軽減を目指したマーカーレス治療が高い評価を挙げている。同院の診療現況や放射線治療の最新事情を、吉崎病院長、放射線治療科の高松科長／准教授らに聞いてみた。

「Interview」
金沢大学附属病院
放射線治療科 診療科長／准教授
高松 繁行 氏に聞く

——放射線治療科の概要並びに現況からお聞かせください。

放射線治療科には常勤医が4名おりますが、内訳は放射線治療専門医が2名、放射線科専門医が1名、放射線科専攻医が1名となっております。ただ、放射線治療専門医1名は現在産休中で、実質3名が治療に当たっています。

2023年度の年間治療患者数は、外部照射が549名、小線源治療が79名、全体で628名です。疾病の内訳は脳腫瘍が33名、頭頸部腫瘍55名、胸部腫瘍102名、乳がん89名、食道がん8名、胃・大腸がん15名、肝胆膵がん38名、泌尿器科領域122名、婦人科領域27名、血液・リンパ38名、骨軟部17名、原発不明2名、良性腫瘍3名と多岐に亘っています。

放射線治療科の特徴のひとつとして、可能な限り多施設共同の医師主導治験や企業主導治験に参加して、新たなエビデンス構築の一助となるようにスタッフ全員がチームを組んで対応していることが挙げられるでしょう。その際の臨床試験では、当該領域の放射線治療のスペシャリストに第三者の評価、つまり外部評価を受けられるので、我々の技術向上のためにも重要であると考えています。

——放射線治療医が少ないという北陸地方での課題と対策をお聞かせください。

確かに北陸地方には放射線治療医が少なく、日本放射線腫瘍学会に登録されている専門医の人数でも石川県10名、富山県11名、福井県14名という状況です。北陸三県の当院関連施設で常勤医師が在籍していない施設には、地域医療支援として非常勤医師を派遣しているのが現状です。

また、黒部市民病院、小松市民病院、富山市民病院には、派遣医による診療支援に加え、放射線治療計画の作成について、現地だけでなく遠隔治療計画システムを活用した支援も行っています。遠隔治療計画システムの構築のためには、各施設、端末・ライセンス購入やネットワーク回線確保といった費用が必要となりますが、人員が少なく中で遠方の放射線治療施設への支援を考えた場合には、極めて有用なシステムと考えています。

——貴院では、外照射全例でマーカーレスでの治療を実施していると伺っています。

旧来、当院では、より再現性の高い位置合わせを目指していたため、体表マーカーを非常に多く、広い範囲に書き込んでいました。ただ、マーカーは油性ペン等で患者さんの皮膚に直接書き込むために不快感を与えますし、治療が終了するまで消えないことから、日常生活においてマーカーが服の上から透けて見えたり、下着が汚れてしまうなどの問題がありました。また、皮膚のかぶれを発する患者さんもいまし

た。患者さんに悩みやストレスを多く与えていたという自覚は医療者側にもあり、直接マーカーする診療放射線技師たちにとっても同様であったと聞いています。

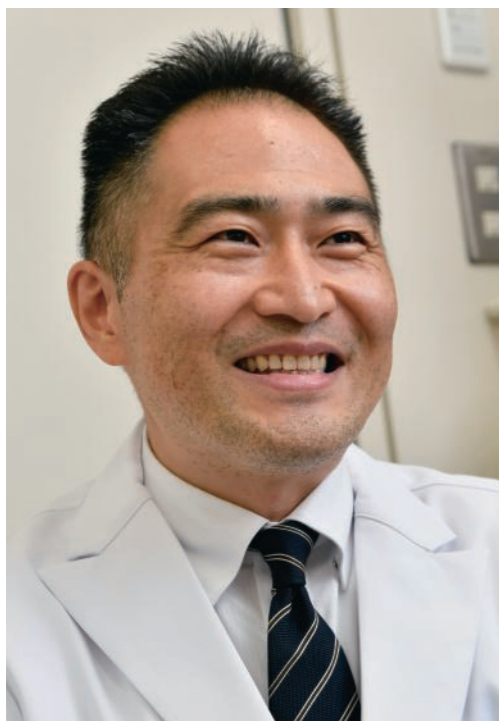
そこで、なんとかマーカーレスでの治療を実施できないか検討していた際、国際医用画像総合展（ITEM）で当施設関係者が体表面誘導放射線治療（SGRT）を知ったのです。SGRTには、マーカーが不要になるだけでなく、乳房などの柔らかく容易に形状が変化する体表臓器へも精度の高い照射が実現可能であるというメリットがありますし、保険点数で体表面の位置情報による画像誘導放射線治療加算が算定されるようになったことも追い風となり、導入を決断しました。

——SGRT導入について、詳しくお聞かせください。

——2018年5月にエレクタ製リニアックの「Infinity」を導入し、既存のリニアック「Synergy」と2台体制にしました。その際、「Infinity」に体表面光学式トラッキングシステム「Catalyst HD（CRAD社）」を、「Synergy」には「Catalyst（同）」を導入し、SGRTを開始したのです。当初は検証の意図もあり、体表マーカーも併用しながらSGRTによる位置合わせを行っていましたが、2019年5月から全例SGRTによるマーカーレスでの治療に切り替えました。

2021年5月には「Synergy」を同じエレクタ製リニアック「Versa HD」に更新し、トラッキングシステムも3台型の「Catalyst HD」に更新した結果、現在、全例において精度の高いSGRTを実施できています。

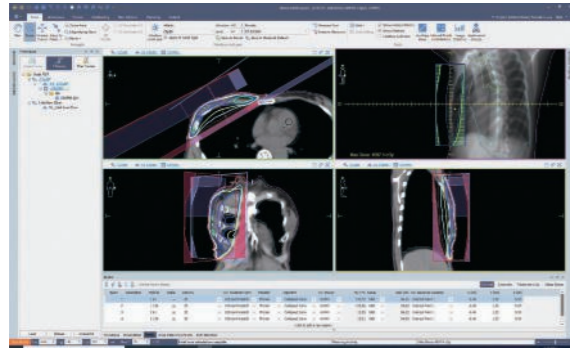
——SGRTの有用性についてお聞かせください。



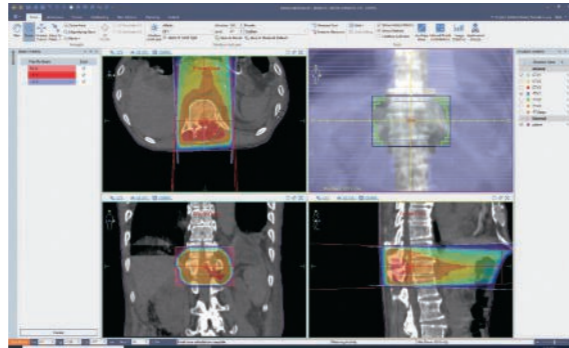
高松 繁行（たかまつ・しげゆき）氏

1976年生まれ、神奈川県出身。2001年金沢大学医学部医学科卒。同年金沢大学放射線科研修医、福井県済生会病院放射線科医員、金沢大学放射線科医員を経て、2011年福井県立病院陽子線がん治療センター医長。2014年金沢大学放射線科助教、2019年同講師、2019年より放射線治療科科長、2022年より金沢大学放射線科准教授、現在に至る。

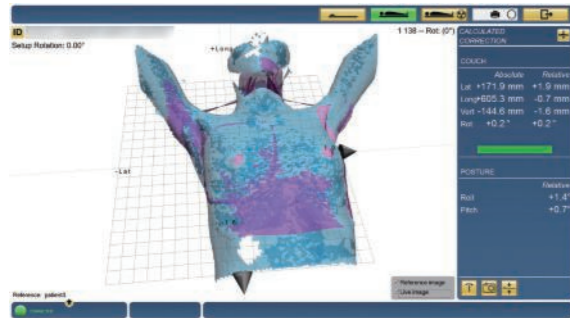
金沢大学附属病院における放射線治療計画関連画像



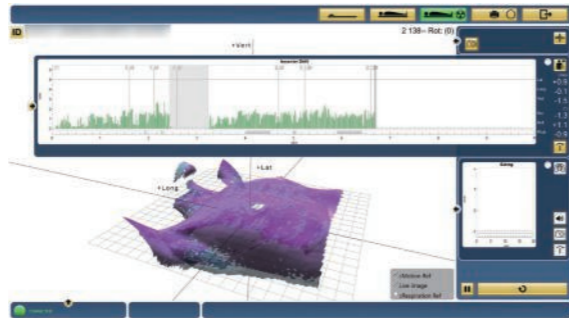
【図1】右乳房温存術後照射の Monaco による放射線治療計画



【図2】胸椎に対する疼痛緩和照射の連携病院 Monaco による遠隔放射線治療計画



【図3】右乳房温存術後照射を施行する患者の Catalyst によるマーカーレスでのポジショニング。エレクタ製リニアックの構造は体表構造のモニタリング性に優れており、観察しやすいメリットがある。



【図4】右乳房温存術後照射を施行する患者の Catalyst によるリアルタイムモニタリング



2018年5月に導入したエレクタ製リニアック「Infinity」。同リニアックでも「Catalyst HD」を組み合わせた SGRT を実施。精度が高く、安全性を担保した放射線治療を実現している。

大きい。SGRTでは、無被ばくの光を患者さんの体表に投影し、コンピューター上で身体の輪郭を認識、評価、確認し、高精度な位置合わせができます。当院の3台型「Catalyst HD」では、頭部方向からも体幹部の体表面を確認できるため、頸部や肩周囲背部側に死角を生じさせずに体表構造を認識し、位置合わせが可能です。マーカーレス治療は、患者さんと医療者双方にメリットがあります。まず、患者さんは前述した様々なストレスから解放されました。マーカー有りでの放射線治療歴のある方に何うと、マーカーレスは大変好評です。

挙げられます。また、SGRTは照射開始時の位置合わせだけでなく、照射中も患者さんを見守ることができ、有用です。呼吸などによる移動量の評価が可能であり、高精度放射線治療に寄与しています。さらに、放射線治療中、咳やくしゃみなどにより突発的に一定量を超えたとれが生じた場合には、安全装置が働き、治療ビームが止まるのも有難いです。そのおかげで位置がずれて照射されてしまうリスクを避けることができ、安心して放射線治療を行えるようになりました。

エレクタのリニアックには、治療寝台周りの空間が広いというメリットがあります。そのことから、治療時の固定具など各種デバイスを用いる際に照射の自由度が高く、長らくエレクタの装置を利用してきています。SGRTにて体表構造を観察する際にもこの空間が生かされており、特にカメラ3台型の「Catalyst HD」は見える範囲が広いことから、安心して位置合わせの確認ができ、エレクタのリニアックとの相性は極めて良いと感じています。



「Versa HD」に設置された「Catalyst HD」(矢印)。正面を含む3台のカメラから光を照射することで、死角なく位置決め、トラッキング、ゲーティングすることができる。

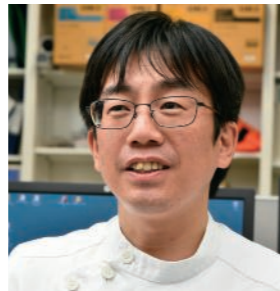
での患者観察時における突発的な体動のずれの確認など、医療安全上の導入効果があります。「Catalyst HD」は、定位放射線治療において高精度な位置確認が可能なSRモードも有しており、その有用性を高く感じています。日々の照射を再現性高く安全に行うSGRTは、無被ばくで高精度かつ安心な放射線治療提供に貢献できると考えています。

「Monaco」も、医学物理士と密に連携しながら使用することで、現実的に照射可能な再現性の高い治療計画を作成できています。同じメーカーの製品なのでリニアックとの相性もよく、実測・検証作業とのずれも少ないのが魅力です。また、地域医療支援の観点からも、関連病院に同じリニアックや「Monaco」があれば、共通のプランテンプレートを活用できることなどにより作業の効率化も成され、治療計画作成者の負担も低減されます。令和6年能登半島地震のような災害で病院が被災し、患者さんが転院を余儀なくされても、AGL対応装置であれば治療を継続できる点も有用です。

放射線治療科の課題として人材不足と先述しましたが、人を増やすには、より良い医療を提供し、学生にその姿を見てもらうことが重要だと考えます。放射線治療の魅力伝えるべく、最先端の治療技術をアピールしていきたいです。その結果、人材増を図り、北陸の放射線治療の底上げができればと考えています。

■金沢大学附属病院 放射線部 高性能リニアックと体表光学式トラッキングシステムでマーカーレスでの治療と個別化医療への対応を実現する

金沢大学附属病院 放射線部 副診療放射線技師長 能登公也氏
主任診療放射線技師 小島礼慎氏に聞く



能登 公也 (のと きみや)氏
1978年生まれ、石川県出身。2002年藤田保健衛生大学衛生学部診療放射線技術学科卒。2004年金沢大学大学院博士前期課程修了、2009年同大学院博士後期課程修了。2004年金沢大学附属病院放射線部入職、2016年同部 主任診療放射線技師、2022年より同部 副診療放射線技師長、現在に至る。

いることから、治療人数が限られてしまっています。一方、「Versa HD」は予約なしでも対応しており、より多くの患者さんに放射線治療を提供できるようにしている点が治療件数の多い理由です」

SGRT① 皮膚マーキングでのストレスを解消 医療安全面でも大きな貢献果たす

放射線部の主任診療放射線技師である小島礼慎氏は、SGRT導入はマーカーレス治療の実現を目指したものと語る。「(前出の)高松先生の説明にもあった患者さんのストレスや負担、マーカー消失によるスタッフのストレスや負担に加え、マーカー消失時には、マーキングを復元させるためとは言え、計画用CTやリニアックのCBCCTを用いて余計な放射線被ばくを患者さんにさせてしまうことも大きな問題でした。これらの問題に対する解決策を模索していた時、SGRTをITEM会場で知ったのです。幸いに「Catalyst」の販売開始と当院の新リニアック導入時期がタイミングよく重なったため、導入にこぎつけることができました」

金沢大学附属病院では、放射線治療を担当する診療放射線技師として放射線部から7名のスタッフが業務に当たっている。このうち、3名が放射線治療に専従し、4名が画像診断部門とローテーションで業務を担当している。専従スタッフはいずれも放射線治療専門技師の資格を有し、そのうち2名は医学物理士と品質管理士の認定を受けている。1日の放射線治療の件数は60件以上。この中で「Versa HD」では約35件、「Infinity」では約25件程度実施している。2台の装置の件数に差がある理由を同部 副診療放射線技師長の能登公也氏は説明する。

「Infinity」では、より複雑で治療時間や前処置に時間がかかる患者さんの治療を行っており、そのために予約制を取って

第2中央診療棟をオープンさせ、診療機能を強化 大学病院として北陸三県の医療の底上げを目指す

金沢大学附属病院
病院長
吉崎 智一氏に聞く

2024年3月に第2中央診療棟をオープンした金沢大学附属病院。同棟開設の狙いや、がん診療への取り組みと放射線治療への期待等について、吉崎智一病院長に話を聞いた。

手術と化学療法、そして放射線治療です。私の専門は頭頸部がんですが、特に根治性を考えた場合、手術と放射線治療は欠かせません。当院では、がん治療について患者さんにエビデンスを示して丁寧な説明をしながら治療を行う点を特徴としており、個々の患者さんに適したがん治療を提供しています。また、2019年に「がんゲノム医療拠点病院」に指定されるなど、がんの個別化医療にも積極的に取り組んでいます。

——今後の展望についてお聞かせください。
新棟の完成によって医療機関としてハード面を整備することはできましたが、今後はそれを使いこなすスタッフの確保と育成が急務です。

当院は教育機関でもあるので、例えば放射線治療で言えば、前述の繰り返しになりますが、放射線治療医や診療放射線技師など、医師及びメディカルスタッフの育成が重要となります。学生や医師らに当大学の魅力をアピールし、優秀な人材を集めたいと考えています。

——6月には病院改革プランを発表しましたが、その狙いをお聞かせください。

当院は大学の附属病院なので、診療だけでなく、最先端治療のガイドライン的なものを作成する他、新技術の開発にチャレンジするなど、新たな知見を発信していくことを目指しています。同時に、当大学は教育機関でもあることから、放射線治療の分野であれば、放射線治療を専門とする医師や診療放射線技師などを育成し、それらの人材を当院の関連病院をはじめ、北陸の各医療機関に輩出するなどして、北陸の医療の底上げに貢献したいと考えています。

——中核を担う病院として、がん診療への対応は如何でしょうか。

新棟でも外来化学療法センターを拡充させましたが、がん治療の3本柱は、やはり



——今年3月に第2中央診療棟が稼働を開始したと伺っています。

新設の第2中央診療棟では、高度先進的な医療を展開するため、最新設備を備えた手術室を設置するなど、診療機能を強化しました。特に手術室は、術中MRI撮影や高解像度血管造影を行うことで手術精度を大幅に向上させるハイブリッド手術室、最新の高精度ロボットを備えた手術室を整備しました。

診療機能強化のポイントとしては、感染症対策に力を入れていることです。新型コロナウイルス感染症の教訓から、患者・医療スタッフの動線を峻別することに加え、感染症対応用の手術室を設置するなどし、新たな感染症にも対応できる施設を整備しました。

もガイドラインが整備されておらず、手探りで治療法を確立しなければなりません。その中で適宜コミッションングを行い、治療精度を担保しながらSGRTのワークフローを構築していったのです」

SGRTによるマーカーレス治療が確立した効果を診療放射線技師の立場から、小島氏は語る。

「皮膚マーキング作業を省略でき、患者さん及びスタッフのストレス・負担を軽減できたことは大きいですね。また、乳房をはじめとする胸部、頭頸部、四肢などのポジショニングについて検討・解析した結果、海外の論文で報告されているようにその精度向上が確認できていることも評価したいです。特に、体のねじれ、顎の位置、腕の上げ方など、アイソセンタ―近傍よりも離れた部位の位置合わせ精度が向上したと実感しています」

能登氏は、さらに放射線治療の安全性向上も挙げる。



小島 礼慎 (こじま ひろのり)氏
1983年生まれ、石川県出身。2006年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卒。2008年同大学大学院医療系研究科医科学専攻修士課程修了、2021年金沢大学大学院医薬保健学総合研究科保健学専攻博士後期課程修了。2008年より金沢大学附属病院放射線部入職、2024年より同部主任診療放射線技師、現在に至る。

「リアルタイムモニタリングにより、患者さんの体動を鋭敏に検知できるようになった点を最大の変化の1つに挙げてよいでしょう。結果として、患者さんの強固なシエ向上も挙げる。

性能が大きく向上したことで精度管理のための項目数もたいへん多く、半自動化によるQAができる点は、現場スタッフの業務負担を軽減できるので助かっています」

患者QAで使用する検証ソフトウェア「EPIbeam (DOSIsoft社)」の有用性については、能登氏はつぎのように述べる。「EPIbeam」はMU検証とは異なり、治療装置の出力を実際に考慮できる検証ソフトです。また、ファントムレスで分布検証ができるため、作業負担を軽減できる点も有用です。本来、患者さんの身体の中の線量や線量分布を確認するのが理想ですが、ARTを実施する際など即時に検証したい場合には、とても有益であると感じています」

個別化医療に向けた取り組み
SGRTをはじめ最新システム活用でARTに囚われない個別化医療に対応

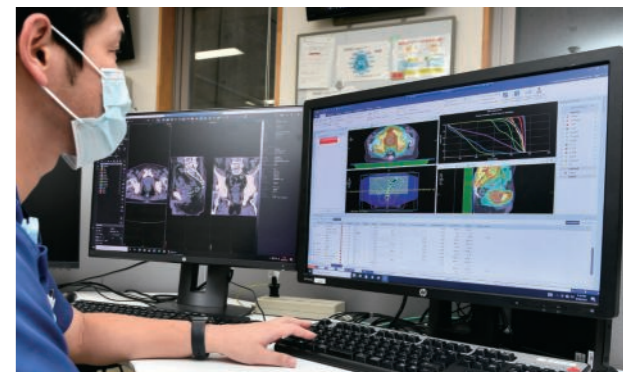
放射線治療における個別化医療の実施について、放射線治療科での現況と課題、

金沢大学附属病院



金沢大学附属病院は北陸地方最多の病床数 830 床を有し、研修医等非常勤医を含む医師 479 人をはじめ、総計 1800 人以上の職員が勤務。令和 5 年度の入院患者数は 22 万 7616 人、外来患者数は 36 万 1489 人を数える。同院では、2024 年 3 月に、手術室の増設、外来化学療法センターの拡充など診療機能を強化した第 2 中央診療棟を開設。同年 6 月には「金沢大学附属病院改革プラン」を策定し、医師の働き方改革の推進と教育・研究・診療機能の維持の両立を図り、病院経営基盤を確立して「地域に愛され世界で輝く金大病院」を目指すとしている。

所在地：石川県金沢市宝町 13-1
病床数：830 床
病院長：吉崎 智一



放射線治療計画を作成中の小島氏。放射線治療計画システム「Monaco」は、線量制約のオプション機能を活用することでダミー輪郭が少なくても質の高い治療計画の作成が可能である。

しては、施設間での技術的な差やベンダーによる違いを均てん化するためにも、本邦においてガイドラインの策定を進めるとともに、SGRTに関する研究会開催や研究成果の報告・発信が重要でしょう」

エレクタ製放射線治療ソリューション AGLによる業務の効率化や 故障時対応など医療安全に貢献

リニアックや放射線治療計画システム等、エレクタ製の放射線治療ソリューションを積極的に採用している点について、能登氏は解説する。

「当院では当初より部屋・装置間のビームデータの違いを排除し、共通ビームで運用したいと考えていました。そのような折、エレクタからAGLモデルの開発・提供がアナウンスされたことを受けて、当院で採用を決めました。AGLモデルにより、コ

ミッションング時間削減・導入までの期間短縮はもちろんQA(品質保証)/QC(品質管理)、故障時の装置変更といった対応など、医療安全の面でも有用です。なお、当院は本邦におけるAGLモデルのバイロットサイトとして採用されています」

同院ではエレクタ製放射線治療計画システム「Monaco」を利用しているが、小島氏はその有用性を説明する。「Monaco」はIMRTやVMATにおける最適化計算の際に、線量制約のオプション機能を活用することでダミー輪郭が少なくても質の高いプランを作成することができます。また、複数のターゲットが存在する際のシングルアイソセンタ―のプランで、ブリッジ線量を軽減できます。さらに、マージン(Target margin)やAvoidance margin)も容易に設定でき、個別化医療にも役立てることができるのが高く評価しています。

また、DCA (dynamic conformal arc) は、呼吸性変動が大きな肺の定位照射において、インタープレイ効果に対応できる良い照射法と言えます。DCAでうまくプランできない際、容易にVMATでのプランニングに切り替えることができるのも良い機能と感じています」

また、同院では、エレクタ製QAソフト「AQUA」も導入し、治療装置QAに活用している。小島氏は同ソフトの有用性を説明する。

「リニアック品質管理の点で「AQUA」の有用性が高いと感じるのは、イメージングQAであるBCCTの品質管理とMLCの品質管理の半自動化です。リニアックは、