

訪問

H O U M O N



写真1 名古屋市立西部医療センター（左）と名古屋陽子線治療センター（右）の外観

名古屋陽子線治療センター

西尾 禎治

Nishio Teiji

1. はじめに

近年、放射線によるがん治療の高精度化が飛躍的に進みつつある。その1つが陽子線治療である。陽子線は物質中で停止する寸前の場所で大きなエネルギーを損失する物理特性を持つため、その領域にブラッグピークと呼ばれる高線量分布を形成する。陽子線治療では、腫瘍部分にそのピーク位置が集中するように陽子線の照射位置及び入射エネルギーを調整することで、腫瘍へ高い線量を投与し、重要臓器への照射線量を低減させた治療が可能である（図1）。陽子線治療は、国内外へ急速に普及している高精度放射線治療である。

4月18日、Isotope News 事務局の方と筆者の2名で、2013年2月から国内で8番目となる陽子線治療を開始した名古屋陽子線治療センターを訪問した。本センターは、名古屋市の市街地である名古屋城の北部に位置した名古屋市立西部医療センターに併設されている（写真1）。名古屋市の中心街から施設までのアクセスが便利であり、通院治療を重視した医療を数多くの患者へ提供可能な国内初の都市型陽子線治療セ

ンターである。名古屋陽子線治療センターは、2006年に“苦しまないがん治療検討委員会（委員長：森田皓三先生（愛知県がんセンター名誉院長））”を中心に検討が行われ、2010年3月から施設の建設が着工された。

今回の訪問では、名古屋陽子線治療センターの医学物理士である歳藤利行先生（写真2）に、陽子線治療システムの詳細な説明を中心に施設

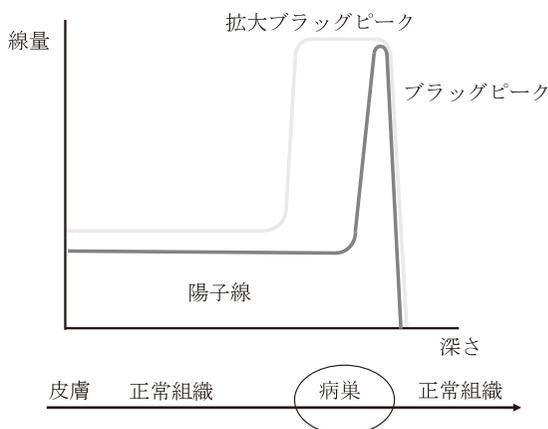


図1 陽子線治療における深部方向の線量分布特性



写真2 名古屋陽子線治療センターの医学物理士である
歳藤利行先生(左)と筆者(右)

内を案内していただいた。

2. 名古屋陽子線治療センターの陽子線治療システム

名古屋陽子線治療センターには(株)日立製作所が提供する陽子線治療システムが導入されている(平成20年4月に入札公告, 同年7月に落札)。国内における日立製の陽子線治療システムの導入は, 名古屋陽子線治療センターが筑波大学陽子線医学利用研究センター, 若狭湾エネルギー研究センターに続いて3番目である。なお, 国内4番目の日立製陽子線治療システムは北海道大学病院陽子線治療センターに導入されている。

これまで, 日立製の陽子線治療システムは導入施設の要望に沿ってカスタマイズしたシステムを開発し提供してきた。名古屋陽子線治療センターの陽子線治療システムは, 国内他施設の日立製の陽子線治療システムとは異なる特徴を持っている。世界トップクラスのがん専門病院として知られる米国テキサス州立大学MDアンダーソンがんセンターへ納めた日立製の陽子線治療システムを, ほぼそのまま導入した。既にMDアンダーソン陽子線治療センターで稼働及び治療の十分な実績があるシステムを導入することで, システムの据え付けから治療開始

に至るまでの期間短縮, 更に治療開始直後からの安定した治療用陽子線の供給により, 敏速, かつ数多くの患者へ陽子線治療の提供が可能である。

名古屋陽子線治療センターの陽子線治療システムは, 治療用陽子線を発生・供給する陽子線シンクロトロン加速器, そして, スポットスキヤニング照射法を採用した回転ガントリー照射治療室, 2重散乱体照射法を採用した回転ガントリー照射治療室及び水平固定照射室の計3つの治療室からなる(写真3, 4)。治療室内の壁は木目を基調とした作りで, 和を感じさせる空間になるように工夫が施されている。少し長い廊下を挟み, 治療室への入室口の向かい側に照射制御コンソールがあり(写真5), 照射制御コンソールにいる放射線技師が治療室へ入る患者を常に目視確認できる仕様となっており, 治療が円滑に実施できる配慮がされている。

陽子線治療では, 患者体内で30 cm 深の腫瘍まで治療照射をできるように, 加速器によって水素核を200 MeV 以上の運動エネルギーまで加速する。加速された陽子線は偏向及び収束電磁石によって各治療室まで運ばれる。治療室へ運ばれた陽子線は照射システムと呼ばれる様々なビーム整形装置や補償フィルター・コリメータを組み合わせて使うことで, 患者の腫瘍ごとの位置及び形状に合うように整形される。陽子線治療においては, 整形された陽子線をミリオーダーの位置精度で腫瘍へ照射することが可能である。

名古屋陽子線治療センターの陽子線治療システムは非常に洗練されたシステムであることのほかにも, 治療技術面において, 国内の他施設にはない技術及び機能を兼ね備えたシステムが備わっている。

その1つ目は, 2重散乱体照射法が採用された回転ガントリー照射治療室及び水平固定照射室におけるレンジモジュレーター方式による拡大ブラックピーク形成法である。図1で示した通り陽子線は深部方向にブラックピークと呼ば

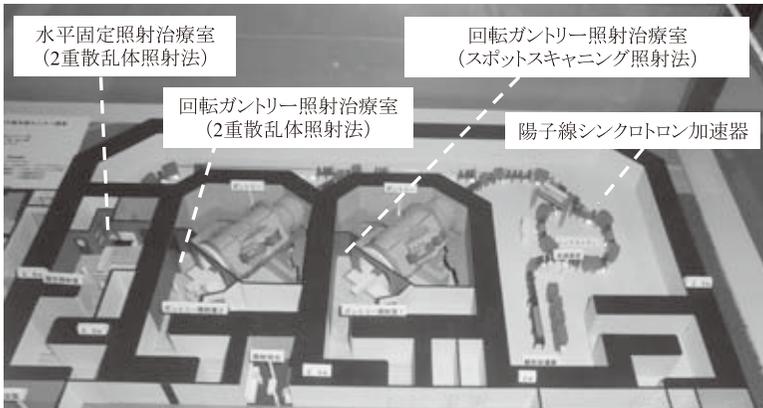


写真3 名古屋陽子線治療センターの陽子線システムの模型



写真4 スポットスキヤニング照射法を採用した回転ガントリー照射治療室（左）、2重散乱体照射法を採用した回転ガントリー照射治療室（中）及び水平固定照射室（右）



写真5 各治療室への入り口（廊下の左側に3つの治療室の入り口がある）及び照射制御コンソール（右側）

れる線量分布を形成するが、陽子線治療においては、このピークの幅をビーム整形装置で患者

の腫瘍形状に合うように拡大して利用する。なお、拡大されたブラックピークは拡大ブラックピーク（SOBP：Spread Out Bragg Peak）と呼ばれる。国内の陽子線施設では、この陽子線のSOBPビームの整形にアルミニウム製の楔形フィルター（リッジフィルター）が利用されている（詳細は割愛）。その一方で、名古屋陽子線治療センターの陽子線治療システムでは、リッジフィルターの代わりにレンジモジュレーションフォイルが利用されている（写真6）。そのフォイルは回転角度方向に厚みが階段状に変化する樹脂及び金属製の回転板でできており、それを毎分400回の高速

回転で陽子線照射を行うことで、SOBPビームを形成している。リッジフィルターと比較して、レンジモジュレーションフォイルの有用性は照射野内の位置に依存せずに対照的で滑らかな線量分布を小さな照射野から大きな照射野まで形成することが可能であり、照射システムのコンパクト化（装置配置の短縮化）も可能である、と筆者自身は考えている。

2つ目はスポットスキヤニング照射法を採用した回転ガントリー照射治療室である。本手法は、陽子線を細いスポット状に収束電磁石を駆使して絞り込み、偏向電磁石によって高速かつ離散的にビームスポットを腫瘍に沿って走査させる手法である。その結果、陽子線のスポットスキヤニング照射法を用いると、2重散乱体照射法と比較して、更に腫瘍に対する線量集中性



写真6 照射条件ごとのレンジモジュレーションフォイル一式 (左) 及び陽子線照射ライン上に設置されたレンジモジュレーションフォイル (右)

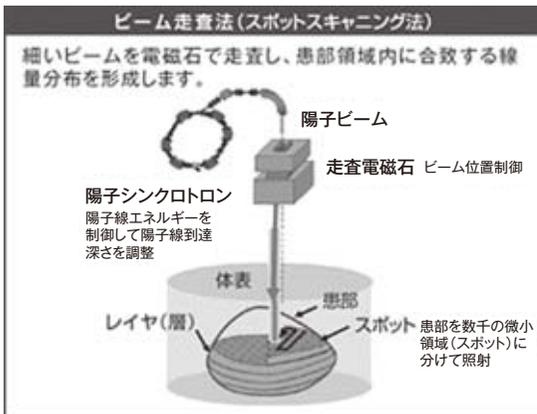


図2 スポットスキニング照射法の概念図
名古屋陽子線治療センターのホームページ (<http://www.nptc.city.nagoya.jp/proton/equipment.html>) より

を向上させ、周辺の重要臓器に対する線量を低減することが可能である。現在、国内の既存の陽子線治療施設でも本照射法による臨床利用の実現を目指しているが、本照射法に要求される装置スペック、また、臨床利用するための受け入れ及びコミッション試験が多岐・複雑なために実現できていない。名古屋陽子線治療センターでは、国内初となる回転ガントリースポットスキニング照射法の臨床利用を実現させた。本手法を非常に素早く実現させることを可

能にさせた大きな理由の1つは、MD アンダーソン陽子線治療センターで本手法を含めた十分に稼働実績がある装置を導入している点であると思う。もちろん、同じ装置をただ導入するだけでは治療利用の実現には至らないので、名古屋陽子線治療センターの多職種のスタッフが一人丸となって多大な努力を積み重ねてきた成果であることは言うまでもない。また、現時点では、昨年度末から北海道大学でも本手法の臨床利用を開始している。なお、北海道大学の陽子

線治療システムは名古屋陽子線治療センターの陽子線治療システムと仕様がやや異なるが、同じ日立製である。

3つ目は、モンテカルロシミュレーションコード：GEANT4を陽子線治療の治療計画の線量分布検証に活用しているところである。陽子線治療では、日立製のVQAと呼ばれる装置によって治療計画が実施されている。しかし、患者体内の照射領域にチタンなどの金属物質が入っている場合など、VQAが実装している一般的な線量計算アルゴリズムでは、線量計算精度が低下する可能性が高くなる。そのような場合においては、より高精度計算が可能なGEANT4を用いた線量分布計算結果と比較検証できるシステムが構築してある。なお、GEANT4は高精度な線量計算が可能であるが、確率的計算手法であるために長い計算時間を要する弱点を持つものの、システムを12コア×9ノード=108コアの並列計算化することで高速計算を実現している。GEANT4を臨床に活用することができた背景には、特に名古屋陽子線治療センターの歳藤先生を含めた医学物理士の先生方が、もともとはGEANT4を用いた基礎物理研究者で、GEANT4のスペシャリストであったことが大きな要因にあるだろう。

3. 名古屋陽子線治療センターでの陽子線治療

名古屋陽子線治療センターでは、2013年2月から陽子線治療を開始し、この約1年間で300名を超える陽子線治療を実施している。

朝の6時30分に陽子線治療システムの立ち上げから、陽子線治療の1日が始まる。朝の8時頃までは、陽子線治療システムのメーカーのオペレーターが、各装置等の動作確認を実施する。続いて、朝の8時以降は、名古屋陽子線治療センターのスタッフによる、ビーム状態や各装置の駆動の確認などの日々のQA (Quality Assurance) 項目を実施することで、安全で高品質の陽子線治療が患者へ提供可能かどうかを確認する。QA項目が問題なくパスした後、8時45分頃から陽子線治療を開始する。通常、昼に1時間の休憩（その時間は治療を実施しない）を挟み、夕方の5時15分まで治療業務を行う。治療後から夜の9時15分までは、名古屋陽子線治療センターのスタッフにより、新患の治療開始に向けた準備を行う。夜の9時15分以降は、メーカー側の作業等の時間に割り当てられている。それらのメーカーの作業が終了すると、陽子線治療システムをシャットダウンし、夜の10時頃に1日の陽子線業務が終了する。

日々の患者の1回の陽子線治療時間は、治療室に患者が入室してから治療照射を終えて退出するまで、15~25分ぐらいである。1人の患者につき陽子線照射をほぼ週5回、2週間~1か月半ほどの治療期間で実施している。3つの治療室において、水平固定照射室は前立腺治療専用で活用されている。2重散乱体照射法を採用した回転ガントリー照射治療室では、様々な部位についての治療照射が行われている。また、2014年1月から治療運用を開始したスポットスキニング照射法を採用した回転ガントリー照射治療室は前立腺治療に利用されている。なお、現在、頭頸部治療におけるスポットスキニング照射法の適応を目指し、様々な検証を実施しているところであった。

これまでの治療実績による部位別治療の割合

は、前立腺が全体の約60%、肝臓が約20%、肺が約15%、その他部位が5%となっている。また、治療を受けた患者の居住地域は、名古屋市で全体の約30%、名古屋市以外の愛知県で約50%、愛知県近隣の岐阜県及び三重県でそれぞれ約10%であり、名古屋市を中心とする近隣からの患者が大多数を占めている。年間の患者治療人数は、既に300名近くの実績を出しているが、現在の陽子線治療スタッフ体制で、年間40~500名の患者治療を目指し、更にスタッフ体制の強化などを行った上で、年間800名の患者治療を目指しているとのことであった。

4. おわりに

訪問当日の夜は歳藤先生をはじめ、その他の名古屋陽子線治療センターの医学物理士及び診療放射線技師のスタッフの方々と、短い時間ではあったが歓談する機会を持てた。そのときに、名古屋陽子線治療センターの医学物理士及び診療放射線技師がそれぞれの職の必要性を理解し、お互いに十分な信頼感を持って、一緒に陽子線治療を支えている体制が構築されていることに気付かされた。恐らく、この強い一体感がなければ、陽子線治療をこれまでスムーズに立ち上げ、その上、国内の他施設が実現できていないことを次々と実現させることは不可能であろうと強く感じた。

今回の施設訪問で、以前、同じように医師や診療放射線技師と協力をしながら地道に陽子線治療を立ち上げてきた筆者自身の初心を思い出すことができ、今後、自分がこの陽子線治療を含む分野でどのように何をすべきかを改めて考える機会を得ることができた。

このような機会を与えてくださった Isotope News 編集委員会の皆様及び名古屋陽子線治療センターのスタッフの皆様に、この場を借りて深く感謝いたします。

(国立がん研究センター東病院
臨床開発センター)