



プロトンセラピーセンターにある回転ガンアリー治療室。短時間で高精度な手法が追求される、陽子線治療の最前線である。

special report

MDアンダーソン がんセンター 世界最大級の陽子線治療装置

米国テキサス州にあるMDアンダーソンがんセンターは、「チームオンコロジー」という先進的な医療体制で知られるがん専門の治療施設である。

40以上の施設で構成され、70年に及ぶ歴史の中では、常に世界のがん治療をリードしてきた。

日立グループは、その放射線治療施設の一つである「プロトンセラピーセンター」に、世界最大級となる陽子線治療装置を納入した。

2006年の治療開始以来、高い稼働率を維持し、世界最先端のがん治療を支えている。

低侵襲で、がん周辺の健全な組織への影響を抑えることで注目される陽子線治療。その最前線で日々追求される高精度な照射技術や制御技術が、がん治療の新たな地平を開拓している。

患者自身も加わる医療体制 「チームオンコロジー」

成田から直行便で約12時間、米国テキサス州ヒューストンのテキサスメディカルセンターは、医療施設の一大集積地である。テキサス州立大学やベイラー医科大学の病院とその関連施設、患者用ホテルなどの高層ビルが林立し、大通りを行き交うLRT（軽量軌道交通）がそれらを結ぶ。

この中でひときわ目を引くのが、淡紅色を基調とするテキサス州立大学MDアンダーソンがんセンターのビル群である。1941年に創設された同がんセンターの施設は40を超えていて、建設中の建物も幾つか見かけた。ここに、医師約2,000人を含めてスタッフ約1万8,000人、ボランティア約1,800人が勤め、年間約6万5,000人の外来患者を受け入れている。

ボランティアスタッフによる案内ツアーに参加してみた。まず驚いたのは、主要な建物を結ぶ空中回廊である。とりわけメイン回廊は幅が広く、電動カートが患者やスタッフを乗せて頻繁に行き来していた。特に印象に残ったのは、ホテルのロビーのよ



テキサスメディカルセンター全体の模型展示。
さまざまな大学病院や患者用ホテルが集まるこの一帯は、世界的にも稀な医療施設群である。

うな待合室で寛ぐ患者の表情が一様に明るいことだった。患者用の図書室まであって、がんの専門書をはじめ心理学、栄養学、リハビリ、果ては太極拳の本までがそろい、専属スタッフが患者の要望を受けてインターネットで収集した最新研究論文のファイルも充実していた。しかし、これら難解な専門書や論文を、なぜ患者向けに用意しているのだろうか。

見学後に訪ねたMDアンダーソンがんセンターの放射線治療施設「プロトンセラピーセンター」のジェームズ・コックス教授のお話の中に、その答えがあった。

「MDアンダーソンがんセンターの特色は、30年の歴史がある『チームオンコロジー』と呼ぶチーム医療体制です。メンバーには、内科、外科、放射線、病理などの専門医だけでなく、看護師、薬剤師、セラピスト（診療放射線技師）、栄養士、さらには患者と家族も入っています。患者や家族を交えてチームで治療方針を検討することで、最適な医療をめざしているのです。」

患者自身が必要な知識を積極的に学び、チームの一員として医師たちと同列で自分の病に向き合うことで、治療効果がいっそう高まるのだという。

広々としたエントランスホール、各所に配された待合室など、MDアンダーソンがんセンターの内部は高級ホテルを思わせる設えがそろっている。患者たちは寛ぎながら、安心して治療に専念することができる。





MDアンダーソンがんセンター
前 放射線がん治療局長
プロトンセラピーセンター
初代センター長
ジェームズ・コックス教授

陽子線治療施設としては世界最大規模を誇る「プロトンセラピーセンター」。

現場の声を重視した治療装置

MDアンダーソンがんセンターでは、放射線、外科手術、抗がん剤などを組み合わせて総合的に治療を行っている。特に放射線治療には先駆的に取り組んでおり、1950年代にコバルト60による治療を開始した。現在は、X線やガンマ線を使用する治療装置が30基近くも設置され、がん治療の最前線を担っている。

2006年に開設されたプロトンセラピーセンターは、筑波大学陽子線医学利用研究センターなどでの納入実績を基に、日立グループが2002年から建設を進めてきた世界最大規模の陽子線治療施設である。

「MDアンダーソンがんセンターでは、放射線治療においても、いかに患部に線量を集中し、健全な部分への影響を抑えるかということを最大のテーマにしていますが、陽子線治療装置は、その面でより優れ

た基本性能を持っています。しかし、それまでの装置は臨床研究が主な目的となっていました。われわれが必要とするのは多くの患者を治療するための医療システムであり、医療従事者が使いやすく、信頼性の高い装置であることが条件でした。日立が提案した装置は技術水準も高く、医療現場のさまざまなニーズを理解して求める機能を実現してくれました。」(コックス教授)

陽子線治療装置とはどのようなものなのか。ちょうど休診日ということで、装置を管理する日立アメリカ社の保江佳克サイトディレクターに案内してもらった。

心臓部である巨大なシンクロトロン加速器は、建物の地下に設置されていた。もともと物理学の研究装置として開発された加速器は、一見すると医療装置とは思えず、どこかの研究所に紛れ込んだ気分になる。

「この装置は、超高速の陽子線を発生させて患部に照射するためのものです。最初

建物の地下に設置されたシンクロトロン加速器。ライナック(左)で初速を与えられた陽子は、シンクロトロン(中央)を周回しながら加速し、治療エリアへと送られる(右)。





回転ガントリーを用いることで、身体の全周位から陽子を照射できる。各治療室の裏に配された装置が治療台を回転させる。

に、水素から電子を剥ぎとって陽子（プロトン）をつくります。陽子はプラスの電荷を帯びるので、電磁力で加速することができます。まず、ライナックと呼ばれる直線加速器で十分な初速を与え、直径約7 mのシンクロトロンの中を周回させながら光速の約70%にまで加速してエネルギーを高め（保江）

治療エリアには、身体の全周位から陽子線を照射できるという回転ガントリーが3基と、固定型の照射装置が2基設置されている。ガントリー自体が巨大な装置で、約200 tにもなるそうだ。

「副作用が少ないといっても、特に放射線への感受性が高い健全な細胞へのダメージをできるだけ抑えるために、これらの細胞を避けながら患部を照射します。そこで、角度を変えて照射できるように工夫されたのがガントリーです。加速器も医療用として腫瘍の位置（深さ）などに応じて、陽子線の速度（エネルギー）をきめ細かく安定的に制御できるよう、新たにシステムを開発しました」と保江サイトディレクターは説明する。

稼働率100%をめざす

プロトンセラピーセンターの診療は、午前6時から午後11時半まで実に17時間以上にわたり、1日におよそ120人の治療が行われている。

照射自体は1回当たり1～2分とのことだが、治療計画に基づいて、患者ごとに腫

瘍の位置・形状に合わせたセッティングを慎重に行うために時間を要している。治療にあたっては、あらかじめCT（コンピュータ断層撮影）などを通じて作成した腫瘍の三次元画像を基に、患部だけに照射するための器具（コリメータ、ボラス）を製作する。分厚い金属板に腫瘍の形の孔を開け、この孔を通して陽子線をシャワーのように照射するのである。照射角度を変えると腫瘍の投影外形も変わるため、治療計画によっては何セットかの器具を用意することもある。患部の位置決めも重要で、患者ごとにX線装置などを使って精密に割り出している。そのため、医師のほかに、治療計画をつくるドジメトリスト、照射線量を確認する医学物理士、患者のセッティングを行うセラピストなどのスタッフが治療に参加している。

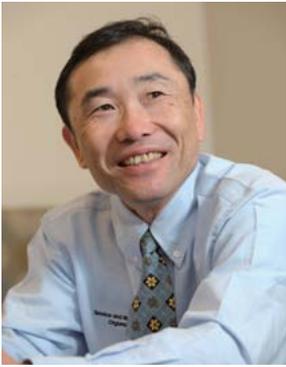
通常、患者は約30日間にわたって照射を受けるが、綿密な計画の下で治療が行われているため、装置に支障が出れば計画全体を見直す必要も出てくる。期間が延長さ

治療の際、患者ごとに製作されるコリメータ(上)とボラス(下)。



綿密な計画に基づき、医師をはじめとする多くのスタッフが参加しながら治療を進める。





日立アメリカ社
サイトディレクター
保江 佳克



日立アメリカ社
サイトマネージャー
加藤 公平

ればその影響は患者に及ぶことになる。

そのため、プロトンセラピーセンターでは、日立アメリカ社の監督の下、9名のテクニカルスタッフが交代制で常時監視を行っている。診療終了後も医療スタッフによる翌日の準備作業があるため、装置のチェックや微調整を行うにしても、午前2時過ぎからの2~3時間に集中して実施しなければならない。

同じく装置の管理にあたる加藤公平サイトマネージャーが語る。

「患者さんが期待する世界最先端の治療を支え続けることが私たちの使命です。プロトンセラピーセンターとの間での稼働率の保証値は95%ですが、現在、98%以上を達成しています。しかし、私たちはそれに満足せず、あくまで100%稼働をめざしています。万一故障した場合にも、どのような状況でも安全側に働くように装置は作られています。日本に比べるとこちらは供給電力がやや不安定なことに加えて、過去にはハリケーンによってメディカルセンター全体のライフラインが止まったこともありました。私たちは、常に装置が治療可能な状態を保てるよう、全員一丸となって確実なメンテナンスに努めています。」

休診日のこの日も、普段はできないチェックをする一方で、テレビ会議システムを使って日本の開発部門を交えたミー

ティングを熱心に行っていた。

進化を続ける陽子線治療

プロトンセラピーセンターは、日立にとっては開発の最前線でもあり、現場での経験が陽子線治療装置の進化につながっている。

新しい照射法「スポットスキヤニング」の導入もその一例である。従来の照射法を「型抜きシャワー」(散乱体法)とすれば、新技術は「一筆描き」と言えるだろう。細かい陽子線ビームを制御し、腫瘍の形状に沿って走査することで、器具なしでも患部だけを照射することができる。日立は、このスポットスキヤニング法を開発し、2008年5月に北米で初めてとなる同方式の実用化に至った。

「スポットスキヤニング法は、患部により大きなエネルギーを集中できる点を高く評価しています。同時に器具作成の費用と交換の手間が省け、患者の負担軽減、治療の効率向上につながっています。腫瘍の状態に応じて散乱体法と使い分けることで、より効果的な治療が可能になりました。」(コックス教授)

現在も、日立の設計開発スタッフが医師や医学物理士、セラピストと共同で取り組んでいる、患者の位置決めをすばやく行うシステムの開発など、高精度な治療を短時



テクニカルスタッフが交代制で設備を常時監視する。日頃の入念なメンテナンスが高い稼働率を実現し、世界最先端のがん治療を支えている。

間で行うためのテーマが数多くある。成果は、プロトンセラピーセンターの装置の高度化とともに、よりコンパクトで使いやすい次世代装置の開発につながる。

がん治療の発展に向けて

プロトンセラピーセンターが治療を開始して間もなく5年、治療した患者は2,000人を超えている。コックス教授は、これまでの成果を次のように振り返る。

「これまでの陽子線治療装置によるがん治療を通じて、前立腺がんなどに対する最適な『プロトコル（治療手順書）』を確立してきました。また、世界的に増加している



プロトンセラピーセンターでは、小児がんに対する陽子線治療も数多く行われている。

陽子線治療を革新するスポットスキャン法

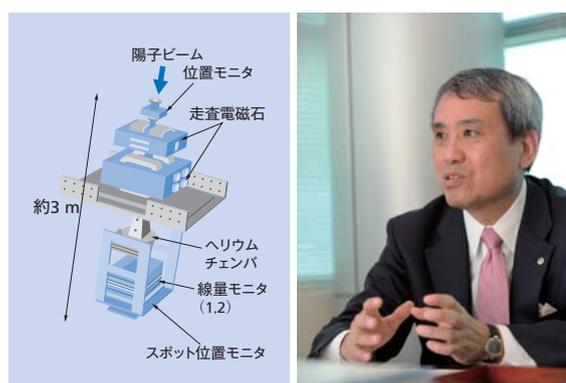
陽子線治療の原理は1940年代に示された。

電磁波であるX線やガンマ線は、体表から患部に届くまでの間に多くのエネルギーを放出するため、健全な部分への影響を抑えることが課題となっている。これに対して、高速粒子の陽子線は途中経路でのエネルギー放出が少なく、出力をコントロールすることにより一定の深さで一挙にエネルギーを放出させることができるため、患部への集中的な治療が可能である。高速で走る自動車が急ブレーキをかけると、運動エネルギーが瞬時に熱エネルギーに変わり、タイヤが発熱するのと似た現象と言える。

しかし、陽子線の加速装置は大規模なため、1980年代までは物理学の研究施設を借りる形で治療研究が行われてきた。日本でも、筑波大学などが高エネルギー物理学研究所の加速装置を使って研究を行ってきた。

1980年代後半に米国で医療専用施設の開発が行われ、日本でも国立がん研究センター東病院、筑波大学陽子線医学利用研究センターなど8施設が完成している。日立は、このうち筑波大学と財団法人若狭湾エネルギー研究センター（陽子線と炭素の原子核を用いる重粒子線の併用）の装置を手がけ、海外ではMDアンダーソンがんセンターのプロトンセラピーセンターに納入してきた。

日立製作所電力システム社放射線治療推進本部放



スキャンング照射装置の構造。「スポットスキャンング法で、複雑な形状のがんへの照射精度が向上する」と西村部長は話す。

放射線治療ソリューション部の西村直哉部長は、現在の取り組みについて次のように説明する。

「日立は、プロトンセラピーセンターに初導入したスポットスキャンング法に力を入れています。それまでも欧州の臨床研究施設で導入事例がありますが、一般の治療施設に適用されたのは初のケースであり、2年近くの間には豊富な治療実績を重ねてきました。コックス教授の評価も高く、日立が建設を進めている日本国内の治療施設にも採用予定で、米国をはじめ世界の有力病院からも多くの引き合いを受けています。」

がん治療の高度化に向けて、陽子線治療装置は確実に広がりつつある。



MDアンダーソンがんセンターでは、多くの研修生を受け入れている。スペシャリストとなってここを巣立ち、世界各地のがん医療の担い手となる。

肺がんは外科手術が困難であり、X線や抗がん剤の治療も副作用が懸念されるため、陽子線による治療が大きな効果をもたらすと考えています。すでに、われわれは肺がん治療に関する画期的な論文をまとめています。」

がんと闘う患者には、小さな子どもたちも少なくない。

「小児がんについても、子どもたちの将来に影響する長期的な副作用の少ない手法として陽子線治療は有力です。世界でも、1歳未満の幼児に対して陽子線治療を行っているのは当センターだけです。こうした治療の効果をさらに高めていくためには、高度なテクノロジーが欠かせません。さらなる日立の提案と協力に期待しています。」(コックス教授)

そう言えば、ぬいぐるみやアニメキャラクターに飾られたガントリーが1基あった。子どもはどうしても動いてしまう。彼らが少しでも安心できるようにとの、現場

スタッフの心づかいが感じられる。

MDアンダーソンがんセンターでは、がん治療の成果の発信とともに、放射線医療の専門家の養成に早くから取り組み、世界中から研修生を受け入れている。実際、案内ツアーに参加したときも、アジア諸国をはじめさまざまな国・地域から集まった医師や医療スタッフ、研修生たちを数多く見かけた。世界最先端のプロトンセラピーセンターを希望する者も多く、数名の枠に150名ほどの研修医、物理のポストドクターが応募してきたという。この日も、陽子線治療装置の計画を進めている日本の医療施設の医師や技師が見学に訪れていた。

「そのような装置を日立が提供できたことを誇りに思います。MDアンダーソンがんセンターは、積極的に最新技術を導入するとともに、70年余にわたって人材開発や患者のケア体制などの医療環境整備を継続してきました。ここから巣立ったスペシャリストががん医療の大きな担い手になると信じています。そうした人々の期待に応え、がん治療の高度化に貢献するために、私たちもいっそう努力したいと思っています」と保江サイトディレクターをはじめとするスタッフたちは力強く語った。

プロトンセラピーセンターの廊下には、治療を終えた患者たちのメッセージボードが並び、ノートには感謝の言葉が綴られていた。MDアンダーソンがんセンターの施設内には、治癒を祝って患者が鳴らすドラやベルが置かれている。これはかつて治療を受けたある船長が、「新たな船出」を記念して寄贈したことからはじまったという。

がん治療の未来を切りひらく挑戦は、これからも続いていく。

がんを克服し、治療を終えた患者たちから感謝の言葉が届く。

