

講演1 「重粒子線がん治療成果報告」—5000例の治療成績—

# 1. 重粒子線装置HIMACがん治療 15年の歩み

鎌田 正 (独)放射線医学総合研究所重粒子医学センター

## はじめに

わが国はかつて経験したことのない急速な社会の高齢化を迎え、加齢に伴うがんの増加とその克服は、すべての国民にとって喫緊の課題となっている。最近では、がんの2015年問題とも言われており、現在の「2人に1人」はがんになり、「3人に1人」はがんで亡くなるから、それぞれが「3人に2人」と「2人に1人」と増えると推定されている。一方、近年のがん治療の進歩は目覚ましいが、手術、放射線、化学療法、いずれも完全なものとはなっていない。

放射線医学総合研究所(放医研)で実施されている重粒子線治療は、従来の放射線に比べると格段に優れた線量の集中性と生物効果を持ち、「より強く、より優しい」がん治療として、高齢化社会におけるがん治療法の切り札となると期待されている。

## 粒子線によるがん治療

わが国の粒子線によるがん治療は、1975年の速中性子線治療に始まり、次いで陽子線による治療が行われてきた。しかし、速中性子線および陽子線では、がん病巣に対する線量集中性あるいは生物効果(細胞致死作用)の面でそれぞれ一長一短があり、“がん”の種類によっては、治療成績に大きな差があることが報告されている。そこで放医研では、国内外の臨床的・基礎的研究も合わせて検討した結果、83年に国の第1次対がん10カ年総合戦略の一環として、線量の集中性と生物効果の両者に優れた重粒子線(炭素イオン線)によるがん治療を

行うことを提案した。その結果、放医研に医療用重イオン加速器(HIMAC)の建設が決定され、約10年後の93年にHIMACが完成、94年6月に重粒子線によるがん治療(臨床試験)を開始した。2009年は、HIMACによるがん治療開始15年目となる。

## 重粒子線がん治療と臨床試験

原子核あるいは原子核を構成する粒子を光速近くまで加速したものは粒子線と呼ばれ、照射された物質や細胞にさまざまな変化を与えることが可能となる。粒子線の中でも原子番号が2より大きな原子の原子核を加速したものは重粒子線と呼ばれ、この重粒子線は加速された速さに応じて一定の深さで大量のエネルギーを一気に放出して停止し、それより先にはほとんど影響を及ぼさない性質がある(図1)。また、重粒子線の停止する付近での生物効果は、従来の放射線に比べると数倍強い。このような重粒子線の特長を利用すれば、体の奥深くにあるがんでも切らずに治すことが期待できる。放医研では、炭素の原子核を光速の約80%まで加速し、重粒子線としてがん治療に利用している。

一般に使用されているX線と重粒子線の線量分布を比較したものを図2に示した。重粒子線では、実際に治療を行う際には、がんの大きさに合わせて高線量のピーク部分を重ね合わせて拡大しているが、がんの手前、あるいは通りすぎた後の両方で線量が少なく、重

粒子線の線量集中性が容易に理解できる。

放医研では94年以来、これまでに50近くの重粒子線がん治療臨床試験を実施し、これらを通じて個々の疾患に適した線量分割法の開発や、呼吸同期照射法など照射技術の開発、PETを中心とした新しい画像診断法の治療への応用などを行うことができた。これまでの疾患別の重粒子治療の頻度では、前立腺がんを筆頭に頭頸部、骨軟部、肺、肝臓、直腸がんの術後骨盤再発などを多く治療しており、その他、子宮がん、膵臓がん、脳腫瘍、眼球や頭蓋底部の腫瘍なども対象となっている(図3)。

その結果をまとめると、手術困難な骨軟部肉腫や直腸がんの術後局所再発などの難治性がんを治療に導くことが可能となり、前立腺、頭頸部、肺、肝臓などのがんでは、同じ治すにしても、より短期間で安全に治せることなどが明らかとなっている。これまでの年度別の一人あたり平均照射回数を図4に示した。試験開始当初の平均照射回数は17.18回

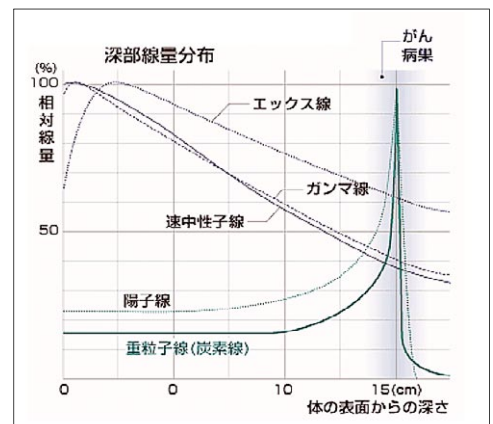


図1 各種放射線の線量分布(炭素イオン線の線量集中性が最も優れている)

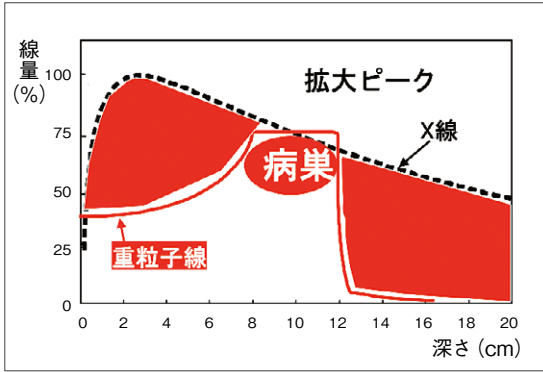


図2 X線と重粒子線の線量分布比較

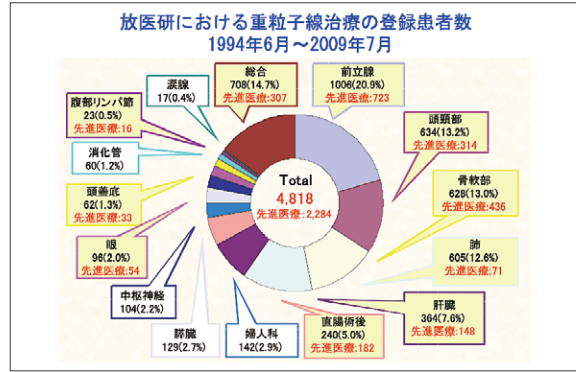


図3 重粒子線治療部位の一覧

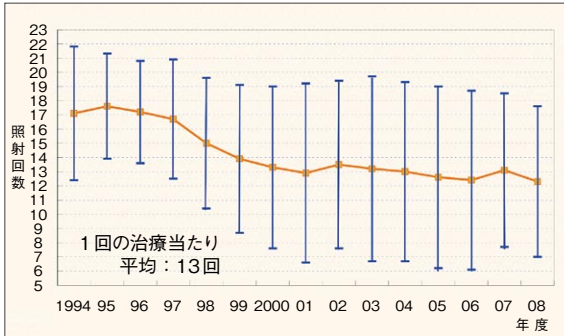


図4 年度別平均照射回数 (一人の治療について)

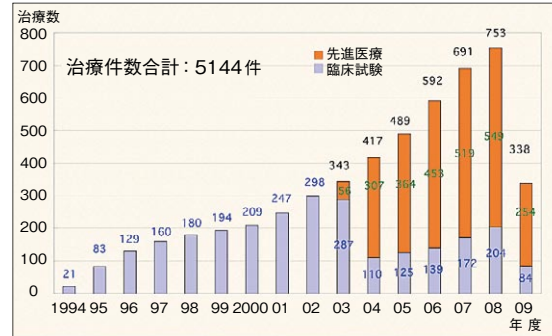


図5 年度別重粒子線治療件数 (1994年6月～2009年7月31日)

で、治療期間は約6週間必要であったが、現在では12、13回で3週間前後まで減少してきている。肺や肝臓では当初、15～18回、5、6週間の治療を行っていたが、現在では1週間以内の治療が可能となっている。また、それ以外の疾患でもほぼ3、4週間での治療が可能であり、このように治療回数を短くできることは重粒子線の大きな特長と考えられている。

これらの研究成果は英文原著論文として海外の有力雑誌に発表され、重粒子線治療の重要なエビデンスとして認められ、2003年には放医研における重粒子線治療は(高度)先進医療として承認されている。一部の疾患では現在も臨床試験を継続して実施中だが、治療件数は年を追うごとに増加し、2008年度には年間700件を大きく超え、2009年8月までの放医研における炭素イオン線治療総数は5000症例に達している(図5)。

### 重粒子線がん治療の普及開発と国際展開

一方、HIMACの建設には高額の建設費が必要で、普及という点で最大の問題であったが、重粒子線治療装置の小型化研究の結果、サイズ、費用とも

にHIMACの約1/3程度の装置の開発に成功し、群馬大学において、その実証第1号機による治療が開始目前となっている。

さらに現在、放医研では次世代の重粒子線照射装置の実現に向けて、世界初となる呼吸移動に対応したスキャニング照射装置の建設と、回転ガントリー照射装置の開発のための要素技術研究が実施されている。これらは、これまでの常識を覆すような低価格化を目指したものとなっている。

また放医研は、これまでに蓄積された基礎、臨床研究成果をもとに、重粒子線治療の国際的な普及を図るとともに、世界的な重粒子線治療ネットワークを構築することにより国際的な研究交流を進め、より高度な研究開発への取り組みを進めている。これらの活動は、国内外の関連機関から高い評価を得ているが、さらなる重粒子線治療の国際的な普及を図ることを目的として、オーストリア・インスブルック大学(2006年2月25、26日)、イタリア・CNAO(2006年11月27、28日)、アメリカ・MDアンダーソンがんセンター(2008年3月21、22日)、フランス・ETOILE(2009年3月16、17日)、

中国蘭州・近代物理研究所(2009年8月14、15日)で5回の国際シンポジウムを開催し、大きな成果を収めている。事実、これまでの放医研における5000例に及ぶ重粒子線治療の実績が基礎となつて、ドイツ、イタリア、フランスなどヨーロッパ先進国を中心に重粒子線治療装置が複数建設中のほか、米国、中東諸国、マレーシア、中国

### おわりに

1994年の重粒子線治療臨床試験開始から15年を経て、5000症例に及ぶ治療経験とその成果が国内外においても認められた結果、重粒子線治療は安全・確実ながん治療法としての地位を確立しつつある。現在、放医研は、重粒子線治療における世界で最も豊富な経験と実績を有し、その生物基礎研究から物理工学研究、装置開発、臨床研究(試験)、人材育成までを一貫して実施できる国内外を通じて唯一の施設である。今後も、重粒子線治療に関する基礎および臨床経験を積み重ね、「より強く、より優しい」がん治療法の開発を目指すとともに、重粒子線治療が必要であれば「いつでも」「どこでも」「誰でも」受けられることを目指して、研究を継続していく予定である。