

医療用加速器の現状と将来展望

放射線医学総合研究所

曾 我 文 宣

1 HIMAC の現状

臨床試験開始後、8 年経過し、炭素ビームを使用して約 1 5 0 0 人の患者を治療した。固形腫瘍部位は、頭頸部、肺、肝臓、子宮、前立腺など、ほぼ全身に亘る。治療成績は非常に良好で、最新鋭の放射線療法としての実績を確立してきている。

高度先進医療の認定を、平成 16 年までに認可される目標で厚生労働省に申請している。その後、更に実績を積み、治療プロトコルが確立した対象は、一般保険適用に進むつもりでいる。

放医研としては、装置の設立の趣旨から、今後とも医療活動のかなりの部分を、臨床研究におくことになるであろう。今後、腫瘍対象部位の拡大（昨年から、難治がんの代表である、膵臓がんの治療開始）、分割照射回数の減少による治療期間の短縮（肺がんと肝臓がんは既に 1 ～ 2 回照射で治療完了のプロトコルを実施中）そして、近い将来、浅在性腫瘍に対する炭素以外の粒子（Ne や Si ビーム）による治療、等が実施されるであろう。

照射技術では、現在行われているワブラー法の改良となる積層原体照射法の実現、3 次元スポット・スキャニング、また ^{11}C 等の RI ビームの利用、照射治療計画の最適化プログラムの開発、等が進行中である。

HIMAC 施設自体は、個々の装置の経年変化に対する更新、維持、改良を重ねつつ、順調に運転されている。医療用加速器の信頼性、安定性を重視した設計、関係者の非常な努力により、過去に患者の治療スケジュールがズレた事象はわずか 4 回に留まっており、世界の加速器群の中で最高の安定性と評価されている。

2 国内、国外における医用加速器の現状

現在、日本では医療専用として建設された本格的粒子線治療施設（陽子線および炭素線）は、5 カ所あり、併用施設としての 1 カ所を含めると計 6 カ所で、世界的にみても他国より数段進んだ体制となっている。

(1) 国内の粒子線治療

* 筑波大学陽子線医学利用研究センター

高エネルギー研究所のブースターシンクロトロンからのビームを使用することで、医療照射装置を付置し、1983年から国内で初の本格的陽子線治療を開始した。以来、肝臓、食道、などを中心とした深部がんを対象にして、2000年までに計700人を治療した。この実績をもとに、専用の陽子線治療施設を新たに建設し、この施設の運用が2002年の秋から始まっている。(日立製作所)

* 国立ガンセンター東病院(柏市)

厚生労働省での陽子線治療施設で、ベルギーのIBA社のサイクロトロンの設計を導入し、住友重機械が製作、据え付け、調整担当。回転ガントリー2台。1998年より治療開始。

* 兵庫県立粒子線医療センター

重粒子線(但し、放医研の臨床実績をみて、陽子線も可とする為)両者を具有する施設。加速器の構成はHIMACと同じであるが、炭素の最高エネルギーが320MeV/nで全体の規模は約2/3。陽子線用に回転ガントリーが2台ある。2001年陽子線、2002年炭素線による治療を開始。(三菱電機、入射器は住友重機械)

* 若狭湾エネルギー研究センター

地域の産業振興を目的として、静電加速器を据え付け、それにシンクロトロンを付加し治療用にも兼用で、という施設。2003年より患者治療研究を開始した。(日立製作所)

* 静岡県立静岡がんセンター

静岡県のがんセンター開設に伴い、陽子線治療施設を建設、2003年秋から患者治療を開始予定(三菱電機)。2台の回転ガントリーと1台水平照射室。

(2) 外国の粒子線治療

旧来の原子核物理研究用の加速器を使つての陽子線治療施設は数多いが(大部分はエネルギーが低いので、治療患者数の多い施設は欧米人に多い眼球メラノーマ専用が大半である。)治療専用加速器施設として、作られたものは、現在2カ所だけである。ロマ・リンダ大学(カリフォルニア)と北東陽子線治療施設(ボストン)。前者は1990年より稼働(半数が前立腺患者)後者は建設、調整が大幅に遅れ、2002年より稼働。

他に、放医研の実績を参考に、1997年に開始したドイツGSIの炭素線治療の実績(頭頸部症例、年間20~30人)を基礎としてハイデルベルグに欧米初の炭素線治療施設の建設が本年より認められた。

また、最近テキサスのアンダーソン病院で陽子線治療施設の建設が決まった。

以上から解るように、重粒子線治療は日本は少なくとも10年以上世界に水をあけてリードしており、陽子線をふくめた実績はある意味で突出しているのではあるが、重粒子線の治療効果が極めて優秀であることと、がん患者の発生、あるいは死亡数を考えると、こ

の治療法を今後、できるだけ広く普及し、国民の要望に応えていくのが、われわれの使命ではないかと感じている。

3 粒子線加速器の普及にむけて

放医研での経験に則し、今後この装置を全国に普及すべきと考えるのであるが、難点は施設が大規模になることと、必然的に高コストになることである。HIMAC は研究用の色彩が強く、加速イオン種を含め、広い応用範囲をカバーする為に、大型になった。

粒子線治療を普及させる為には、ハード的には装置自体の小型化、コストダウンに向けての技術の研究、また、普及するに際してのソフト体制の整備に向けてここ数年、以下のような努力を継続している。

(1) 小型化への技術開発

経験を積んだ現在、実践的な最適化設計をする必要がある。具体的には以下のような方向性が考えられている。

1. 加速粒子として、炭素線に特化する。(これにより加速器の最大エネルギーを HIMAC の 1 / 2 程度に下げることができる。)
2. 加速器小型化の為の様々な工夫 例、イオン源磁石に永久磁石を採用、アルバレー型線型加速器の代わりに、高効率の IH 型線型加速器の開発、シンクロトロン・ラティスの小型化に向けての最適化、シンクロトロン・の入出射系の検討 等。
3. 照射装置、治療室の合理化、簡素化

現在、昨年度から複数の民間加速器メーカーの協力を得ながら、医用原子力技術研究振興財団を事務局として、「普及用小型医療加速器を用いた粒子線がん治療施設普及方策検討会」を開き、技術的検討を行っている。

このような議論により、建物全体が HIMAC 施設の 1 / 3 ~ 1 / 4 (HIMAC は 120 m × 60 m) 、また建設費についても 1 / 3 程度 (HIMAC は 326 億円) になることが試算されている。

これに先だって、放医研加速器物理工学部では、2001 年度より中期計画の基盤研究課題「重粒子線がん治療装置の小型化開発研究」の中で小型重粒子線治療装置の基本設計と、要素機器の R & D を開始した。また、文科省からの委託研究として、非常に先進的アイデアに基づく「先進小型加速器の要素技術の普及事業」という分散型プロジェクトを、原研、高エネ研、東大、京大、阪大、広大、産総研、放医研および高輝度光科学研究センターで平成 13 年度から推進している。これは、レーザーイオン源、コンパクト・パルス励磁シンクロトロン、FFAG 加速器など、アイデアは既存でも未開発の次世代加速器技術を開発していこう、という趣旨で、進めているものである。

*** 研究開発資金**

このような、研究を推進する為に、加速器関連の研究予算枠を確保して加速器物理工学の発展を期することが望ましい。特に研究開発装置に大きな予算が必要なこと、研究者が大きな施設に偏重している現在、大学などでのこの分野での人材養成の為に、何らかの制度が望ましい。

(2) 人材の養成

粒子線治療施設はまだ少なく、その運営の為に粒子線施設特有の人材を、養成していかなければならない。それらを列举すると、以下のごとくである。

1. 粒子線の特殊性を十分理解している医師、放射線技師の存在。
2. 加速器装置を運転、保守するエンジニア及びテクニシャン。
3. 医学物理士。

治療にとって不可欠の医学物理士を養成する大学は殆ど無い為、今までは大学院を他の専門で終えた（物理や電気、機械）卒業生が、我々のまわりで言えば放医研のポスト・ドクターとなって、初めて医学物理、放射線生物などを勉強、最低限の学習、経験を経て、現場に就職というコースをたどる。今後、社会の要請に対応しつつ粒子線治療施設が各地にできるという事態になれば、いままでにも増して、人材の養成は必須である。

また従来の厚生、病院関係では、このような人達を、それ相応の立場で処遇するポストが殆どなく、医療職（医師、技師、看護師）でなければ行政職しかない、といったところが、大半であり、制度自体を変えて行かなければいけない。筆者のまわりでは、医学に関係した仕事に就きたいという若い物理工学者は漸増しているので、その意欲をいかに伸ばしていくか、また社会が如何に彼等を受容していくかが、一つの課題となっている。

4. 加速器製造あるいは治療システム製造のメーカー。技術の継承をしていく人材。

(3) 体制の確立

粒子線治療施設が、我々の希望どおり各地で展開していくとした時、その施設が有効に機能するためには、以下のような課題を解決してゆかなければならないだろう。

装置の安定性、信頼性はもとより、その保守・維持には特別の配慮が必要だからである。

1. 加速器装置を運転、維持、管理する体制。
2. 故障の際の対応。短時日の問題解決。故障部品の迅速なる補充。
3. 照射室の関連の維持を円滑に実施。
4. 治療の質、線量測定などのいわゆる QC, QA (クオリティー・コントロールとクオリティー・アシュアランス) の保持、改善。
5. 製作会社（加速器メーカー）がその質を保ちながら、世界に伍して日本全体の製造技術と競合力を上げる方向で発展、共存する体制。

(４)各地の治療施設建設の為に、政府からの支援制度

現在、いろいろの機関や自治体で、粒子線治療施設を作りたい希望が多数寄せられてきている。粒子線治療の適応患者数を概算すると、将来の粒子線治療施設を日本で、平均一県一施設として50台を目指すのが、当面の指標となると思われる。

この際、上記のようなさまざまな努力を日常積み重ねるとしても、いざ治療施設を立ち上げる段階では、国としての資金援助が是非必要になるとと思われる。

かつて、平成8年度より13年度まで、科学技術庁では「生活・地域科学技術研究施設整備費補助金」の一つの柱として「粒子線高度がん治療促進研究整備事業」が創設され、自治体対象に、5年間30億円の交付金制度が創設された。この結果、兵庫県と静岡県がこの制度の恩恵をよくして、施設の建設を行った。

その後、文部科学省となって、是非ともこの制度と類似の事業を作る必要がある。重粒子線施設建設のためには、従来額では無理があり、増額が望ましい。