

第36回原子力委員会定例会議議事録

1. 日 時 令和元年10月1日（火）13：30～14：48

2. 場 所 中央合同庁舎8号館6階623会議室

3. 出席者 内閣府原子力委員会

岡委員長、佐野委員、中西委員

内閣府原子力政策担当室

十時審議官、竹内参事官、笠谷参事官補佐

量子医学・医療部門

辻病院長、白井部長、内堀部長

4. 議 題

(1) 重粒子線治療について（量子科学技術研究開発機構）

(2) その他

5. 配布資料

(1-1) 重粒子線治療 がん死ゼロ健康長寿社会実現に向けたQSTの取組

(1-2) 重粒子線治療装置の現状と今後

6. 審議事項

(岡委員長) それでは、時間になりましたので、ただいまから、第36回原子力委員会を開催いたします。

本日の議題ですが、1つ目が重粒子線治療について、量子科学技術研究開発機構、2つ目はその他です。

本日の会議は14時30分を目途に進行させていただきます。

それでは、事務局から説明をお願いいたします。

(竹内参事官) 議題1です。放射線の利活用につきましては、これまで原子力委員会でも御報告いただいていたところですが、重量子線治療を含む、医療への活用は原子力委員会が担当している12月に開催されるFNCAアジア原子力協力フォーラムの大臣級会合においても議題となるなど、関心が高まっている分野です。

本日は、重粒子線治療の現況について、御説明させていただきます。

量子科学技術研究開発機構の辻量子医学・医療部門病院長、白井量子医学・医療部門放射線医学総合研究所物理工学部長、内堀量子医学・医療部門研究企画部長にお越しいただいております。それでは、説明の方をよろしくお願いたします。

(辻病院長) それでは、辻の方からまず前半を御説明しまして、その後、白井部長の方から引き続き装置の開発等についての説明をしていただきます。

量研機構QSTと申しますけれども、が目指しているがん死ゼロ健康長寿社会実現に向けての取組としての重粒子線によるがん治療について御紹介させていただきます。

まず、最初に量研機構QSTの組織改変について簡単に御紹介させていただきます。今年4月に従来放射線医学総合研究所であったQST、千葉地区の組織が放医研と高度被ばく医療センター並びにQST病院の3つの組織に分かれました。その目的は、それぞれの役割を明確にして、機能の強化を図るというもので、私の所属するQST病院は国際治療研究センター、経営戦略部などを新たに組織しまして、重粒子線治療を主体とする臨床研究、主にごんを相手とする臨床研究をこれまで以上に強力に推進していくことが求められているというふうに認識しております。

新たに準備したQST病院のホームページの一部を御紹介しますが、主に重粒子線治療について左にありますように適応疾患や、クリックしますとその技術が出てくるような構造になっております。随時情報を更新していく予定ですので、是非一度御覧ください。

それでは、重粒子線によるがん治療のプロジェクトについて、その端緒にさかのぼって御説明いたします。

発端は、昭和56年にがんが死因の第1位になったことに始まります。その3年後、昭和59年に対がん戦略10か年総合戦略で、従来の治療法を超えた新しい治療法の開発として、HIMACの建設案が提案されております。右側に掲げられております目的、これは現在の我々QSTのがん死ゼロ健康長寿社会実現という目的と非常に近い、よく合致した目的となっていると思います。

重粒子線治療というものが各種のがんの治療の中で、どういう位置付けになるのかということをお説明させていただきますけれども、この図は現在行われている、最近の分子標的薬、免疫制御療法とも含めたいろいろな治療法の特徴をこういう項目で評価している図になります。

この中で、いわゆる放射線治療というのは、この領域になりますが、これは全体に、ものによっては手術に匹敵するような高い局所効果が得られる治療法であり、また適用が広い。一方で侵襲が少なく、臓器温存等が可能な場合が多いということで、非常に期待される治療法ということになるかと思ひます。

その中にありまして、重粒子線治療というのは、特にこれから説明しますが、効果が高く、副作用が少ない治療であるということでありまして、また中性子捕捉療法や標的アイソトープ療法と違ひまして、薬物の体内動態にも依存しませんので、より適用の広い治療法であるということもできるかと思ひます。

実際に、重粒子線治療で用いている粒子は何かと申しますと、この図はこれまでに米国での研究等も含めて使われたことのある粒子の種類ですが、現在、重粒子線治療として用いているのは炭素イオン、炭素原子から電子をはぎ取った炭素の原子核を加速した治療になります。

ほかの荷電粒子線、陽子も含めて、それに比べて最も炭素イオン線ががんの治療に適した粒子であるということが我々 Q S T の考え方でありまして、今後はがんの種類や状態に応じて、最適な粒子線治療ができるように炭素以外の粒子も使っていく、そういう研究も推進していく予定となっております。

この重粒子線によるがん治療の提案ということで言いますと、1946年にロバート・ウィルソンが提唱したものが最初ということになります。ブラッグ・カーブを持つ荷電粒子線はそれをうまく利用すればがんの治療に適している、有用であるという提案であります。

既に、そのときに現在荷電粒子線の中では最も普及している陽子線よりも更に重いヘリウム、更には炭素といった粒子の方が散乱が少ないという点で有利であるということも指摘がされているところでございます。

この荷電粒子線、重粒子線を実際の治療に用いるときには、このようにブラッグ・ピークを利用して、病巣の位置、大きさに合わせてそのピークを拡大して、必要な範囲をカバーする形で照射することにより、線量集中性の高い治療を実現することができるということになります。

このブラッグ・ピークを病巣の大きさに合わせて拡大する方法として、従来はフィルター、あるいは散乱体を用いて拡大して、最終的に病巣の形に合わせ込むというような方法が用いられておりましたけれども、最近ではビームのエネルギーを調整して、細いビームを操作する、スキャンする方法でのスキャン照射というものが実現しております。うちの施設を初めとする幾つかの施設で実際にスキャン照射の治療が行われております。

このブラッグ・カーブを利用してがんの治療を行ったときに、どういう利点があるかということを実際の人体の断面図で表しますと、エックス線ではこのようにがんを通り抜けて放射線が当たってしまうということになりますけれども、炭素などの荷電粒子線ではそのエネルギーを調整して当てることによって、深いところには当たらないような治療ができるということになります。

この下の画像は人間の頭部の画像でありまして、この赤い部分、黄色で囲まれている部分にがんの病巣があるということを想定して、エックス線で9方向から治療をして、なるべく集中性を高めた照射をしようということで行われた治療、いわゆる強度変調照射ですとこんな感じになります。

これに対して、重粒子線で治療しますと、三方向での治療でもX線に比べてはるかに集中性の高い治療ができる。緑色の領域を見ていただければかなり狭くできることが分かると思います。

結果的に、この後ろ側にある脳に対して、放射線被ばくが起らないような治療ができますし、あと眼球に対しても領域が狭く線量を低下させることができますので、視力温存の可能性も高まっていくということになるわけでございます。

もう一つの重粒子線の特徴は、生物効果が高いということになります。この図はビームの周辺に生じる電離の密度を模式的に表したもので、ビームが横方向に通ったときに、電子線だとこんな感じ、陽子線だとこんな感じ、重粒子線だとこんな感じで電離が起きますよということを表しています。

炭素イオンのような質量の高い重粒子線が通過することによって、電離が高密度に生じまして、結果的に高い生物効果が得られるということになります。

まとめますと、重粒子線治療、X線などの従来の放射線治療と比較しまして、線量集中性が高いということで、より安全により効果的な治療ができますし、それに加えて、生物効果が高いので、X線や陽子線では効きにくいようなタイプの悪性腫瘍がんにも効果が期待できるということになります。

また、分布がよくて安全でかつ効果が高いので、短期間での治療にも適しているということで、QSTではずっと重粒子線治療のプロジェクトにおいては、治療の短期化ということにも心がけてプロジェクトを進めてまいりました。

このような特徴を持つ重粒子線であればこそ実践できた例の一つをお示しします。

この方は、左の腎臓にできている腎臓がんの患者さんで、3.5センチほどのがんがこのピンク色の矢印で示した部分にできております。これは手術は可能な状態ですがけれども、この方は手術を強く拒否されておまして、となりますと局所治療としては放射線になりますけれども、腎臓がんというのは放射線が効きにくいがんですので、これをX線で治すことは難しい。

加えて、腎臓に広く放射線が当たりますと腎臓自体は放射線感受性の高い臓器ですので、腎臓の機能が損なわれるということになります。そういうがんに対して、重粒子線治療、4週間の治療でこのように重粒子線を当てた治療をしますと、こういう形でがんがスパッときれいに切り取られたように治ってしまして、腎臓の機能も温存されているということで、こういう形での治療というのは重粒子線以外では実現不可能というふうに申し上げていい例かと思えます。

重粒子線治療の歴史に戻りますと、先ほどのロバート・ウィルソンの1946年の提唱の約8年後、1954年に米国のローレンス・バークレー研究所で陽子線の治療が始まっております。陽子線の治療はその後スイス、ロシア、日本、米国でも広く行われるようになっておりますけれども、ローレンス・バークレーでは1975年に、ネオンが最初ですか、重粒子線治療も開始されております。

これは唾液腺がんや一部の肺がんなどでは良好な結果も得られましたけれども、研究を継続するのに十分な成果ということにはならず、1992年に研究が中止となっております。

一方、我が国では、梅垣洋一郎先生が中心となりまして、重粒子線と同様に生物効果の高い速中性子線の臨床研究が現在のQST、当時の放医研で行われておりますが、これは線量集中性が臨床で用いるにはやや問題がありまして、結局副作用が多発するというので、その問題を克服できずに終了しております。

しかし、速中性子線の治療の経験というのは、その後の重粒子線治療の臨床研究の基礎として、大変貴重なものとなったという事実がございます。1979年に平尾泰男先生の提案で、医用重粒子加速器の提案がありまして、梅垣先生、平尾先生の御尽力により原子力委員会においても重粒子線治療の研究推進の必要性が合意されたというふうにお聞きしております。

結果としまして、1994年に、イオン線専用の重粒子線加速器、HIMACが完成したと。この装置はヘリウムからシリコンまでの粒子を治療に利用できるレベルまで加速できる装置ですがけれども、先ほど申し上げましたように、ローレンス・バークレーでの知見、放医研での速中性子線治療の経験等から炭素線が最適の粒子であろうと判断されまして、炭素線を用いた臨床研究を開始したところでございます。

この年表は、その後我が国における重粒子線治療の歩みを示しております。黒字で示しております部分が、QST、放医研における経過になります。青字で示している部分は、QST以外の施設についての記述になります。

QSTですけれども、HIMACでの治療が開始されたのが94年で、最初は臨床試験、運営費交付金で実施される治療研究、臨床試験の研究として始められました。その後、約10年間の臨床試験の成果として、2003年に先進医療、当時は高度先進医療と申しましたけれども、その承認を得ることができまして、そこから先はその先進医療の対象の患者さんからは費用を頂いて治療をするということができるようになりました。

その後も実績を積み重ねてまいりまして、3年前、2016年には骨軟部腫瘍、2018年には頭頸部腫瘍と前立腺がんが保険適用となりました。また、全体から見ると一部のがんではありますけれども、罹患率の高い前立腺がんを含めて、保険適用が認められたということは臨床試験から先進医療を通じて、これまでの研究の大きな成果であるというふうに考えております。

この間に、青字で示した施設が続々と治療を始めたことも当然保険適用となった大きな因子だったことは間違いありません。

このグラフはHIMAC、QSTにおける治療患者さんの患者数の年次推移を示しております。94年の開始から今年3月までに総計1万1,834名の患者さんが重粒子線治療を受けられております。最初は青いバーで示しております臨床試験で、その後、赤い色の先進医療、最近では緑色の保険医療へと推移しているわけでございます。

昨年の実績で申し上げますと、約6割の患者さんが保険医療として重粒子線治療を受けるという時代になりました。

現在、重粒子線治療の適応となっている疾患を適応医療制度別に整理しますと、このようになります。保険医療と対象となっているのが骨軟部腫瘍と頭頸部腫瘍、そして前立腺がん。先進医療として治療を行っているものが、肺がん、食道がん、大腸がんの術後再発、肝臓がん、膵臓がん、腎がん、子宮がんなどになります。

現在は、国内のほかの重粒子線治療施設や学会と協力しまして、これらの疾患も保険適用となるように活動を続けているところでございます。

また、今後の適用拡大を目指して、乳腺腫を初めとして臨床試験も引き続き行っております。

最初に、保険医療の適用となっている疾患について、少し各論を御紹介いたします。

まず、骨軟部腫瘍です。この画像、左上の画像は仙骨という骨盤の骨にできている骨肉腫という腫瘍の患者さん、高校生だった患者さんですけれども、CT画像です。この病気はこの部位にこの大きさでできると、手術が不可能でありますし、X線治療は非常に効きにくいタイプの腫瘍ですので、抗がん剤でできるだけ効果を期待する。治癒がもう困難なので、延命治療を目指すというようなことになってしまいますけれども、重粒子線で治療しまして、このようにきれいに治ったという患者さんであります。

下の表は、骨肉腫における主に手術の治療成績ですけれども、骨盤の骨肉腫が手術できた場合、大体生存率で30から40%、一方、手術ができない場合はほぼ助からないということでしたが、これが重粒子線を使うことによって手術に匹敵する生存率が得られるようになったということで、非常に大きな医療上の進化ということが言えると思います。

一方で、それでも30%ないし40%の生存率ですので、十分とは言えないと感じられるかもしれませんが、その理由は多くが転移でありますので、転移に対する対策が必要であるということを示す臨床的なデータということも言えるかもしれません。

次に、この方は、先ほどの患者さんと同じように仙骨、これは横から見ている画像です。MRIになります。この骨が仙骨になります。仙骨の下の方にできている脊索腫という病気です。この病気X線治療は効きにくい病気ですし、このレベルになりますと手術不可能ではないですが、手術すると非常に強い神経障害を残します。

手術の成績と重粒子線の成績を比べた表ですけれども、生存率、非再発率等で比べても手術に匹敵する結果が得られているということで、重粒子線治療のプロジェクトが始まった初期の段階では手術不能な患者さんだけが紹介されてきていたんですけども、最近では手術よりもその後のQOLが良好ということで、手術ができる患者さんでも重粒子線治療を紹介していただける整形外科の先生が増えてきているという状況にあります。

同様に、これは頭蓋底、頭の下の方ですが、鼻の奥にできた肉腫の患者さんで、脳にも近いですし、重要な臓器が周辺にいろいろある大変治療の難しい、もちろん手術はできませんが、重粒子線で治療をしてきれいに治っています。

この頭頸部領域の肉腫に対する治療成績として5年生存率でございますが、重粒子線ですと60ないし70%ということで、これもやはり手術ができるような患者さんでの生存率に匹敵する。手術ができないと従来はX線治療だったわけですけれども、それですと10%から20%の生存率ということで非常に画期的な成績が出ております。こういう成績が評価されて、切除困難な骨軟部腫瘍については3年前の4月に保険適用が認められております。

次に、前立腺がんについて御紹介します。

この表は、前立腺がんに対する上が治療効果の表になりますけれども、5年目までに再発しない確率について、X線と陽子線と重粒子線を比べた表です。

もともと前立腺がんの場合、低リスク、中リスクとここに書いてあるような患者さんは、非常に再発の可能性の低い患者さんですので、そういう場合はX線や陽子線で治療しても重粒子線の成績と差はありません。しかし、再発のリスクが高い高リスクと言われる患者さんについては、重粒子線で治療した場合に再発が少ないという結果が得られております。

加えて、重粒子線の場合は副作用が非常に少ない。線量集中性が高いということですから、副作用が少ないという結果に結びつくわけですけれども、特に直腸の副作用が非常に少ないということが言えると思います。

さらに、昨年得られた知見としまして、重粒子線治療後は、いわゆる一般的な放射線治療の場合は、治療後に放射線が発がん性を持つということで、二次がんの増加が起こることが言われておりまして、ここに表しているデータでも、赤い線が手術ですけれども、X線ですと緑色の線で示したように、その後10年間で二次がんの発生が優位に増えているという統計が出るんですけども、重粒子線の場合は二次がんの発生が増えないということが結果として出ておりまして、これは前立腺がんの患者さんたちのフォローアップのデータですけれども、この事実は前立腺がんに限らず多くの疾患で同様のことが言えますので、重粒子線ではX線に比べて、二次がんの発生が少ないという大きな特徴を持つということが言えるかと思えます。

もう一つ、頭頸部腫瘍です。これは上顎部にできている腺様嚢胞がんというがんの患者さ

んで、頭頸部腫瘍と言いますと、扁平上皮がんというがんが一番多いですが、これについては抗がん剤とX線治療の併用で昨今かなり良好な成績が出ておりますし、手術も技術が進んで、手術適用も拡大しております、扁平上皮がんの治療成績はよくなっております。

一方で、腺様嚢胞がんや悪性黒色腫などのX線が効きにくいタイプの悪性腫瘍ですといまだに成績が良好とは言えないという状況だったわけですが、これに対して、重粒子線を用いると生存率も高まりますし、副作用のリスクも少なくなるということで、非常に良好な結果が得られております。こうした結果から、前立腺がんと並んで頭頸部腫瘍も昨年4月に保険適用となりました。

次に、緑色の部分、先進医療として治療を行っていて、我々としては近い将来保険医療の適用となることを目指している疾患について幾つか御紹介いたします。

QST放医研では、最も力を入れているがんが膵臓がんであります。膵臓がんは非常に難治がんでありまして、生存率がなかなか伸びてこない疾患であります。多くの膵臓がんはこの方のように、発見された段階で周辺の重要な、主に血管ですが、この方は腹腔動脈に浸潤していて、切除が不能であるということですが、こういう状態で見つかることが多いがんです。

結果的に、生存率が2年でも、こういう患者さんに抗がん剤とX線の治療を併用した場合の成績ですが、2年生存率でよくても30%くらいというような成績だったわけですが、これに対して、重粒子線を用いると約60%の生存率が、2年ですけれども得られるという成績が得られています。

こういう結果から、これを前向きに確認するための先進医療のBという多施設共同臨床試験を現在実施しております、それでこの技術が確認されれば、保険適用に結びつくというふうに考えております。

さらに、QST放医研の大変良好な成績に注目したアメリカのテキサス大学の方から共同の前向き臨床試験のオファーがありまして、その準備をこの2年間ほどかけて実施してまいりました。ようやく試験開始にこぎ着けております。これはまだ症例登録はこれからですが、うまくいけば国内のみならず、重粒子線治療の世界的な普及の端緒になるものと考えて進めております。

膵臓がんにつきましては、今、御紹介しました手術不能の患者さんのみならず、手術ができる患者さんに対して、手術前に重粒子線を照射する、あるいは手術を受けた後に、局所的に再発している患者さんについても試みておりまして、それぞれ大変良好な成績が得られております。

特に、手術前に重粒子線を当てる治療では、5年生存率で5割というのは、非常にもう膵臓がんとしては画期的な成績が出つつありますので、重粒子線を広い適用で治療できるというような形で持っていきたいと考えております。

次に、肺がんです。肺がんについては、最初に申し上げましたように、治療期間を短縮するというのを積極的に進めてきた代表的な疾患でありまして、6週間の治療から現在では、1日1回で治療が終わるような照射を実施しております。

このグラフはその1回で治療した患者さんたちの局所生存率のグラフですが、この成績を手術、あるいはX線、陽子線の治療成績と比べますと3年生存率で手術とほぼ匹敵するような生存率が得られています。X線や陽子線に比べて勝っているということがお分かり

いただけると思います。

また、重度の肺障害がほとんど起きないということも大変注目すべきポイントでありまして、早く保険適用となって多くの患者さんに受けていただけるようになってほしいと思っている疾患でございます。

肝臓がんについても肺がんと同様に短期化を進めてまいりまして、現在では2日間の治療というのを実施しております。この患者さん、ここに大きな8センチぐらいのがんがあった方でして、これを重粒子線の2回、2日間の治療をしてこのようによく治っています。

この周辺の肝臓も萎縮していますが、代償性に別の部分が肥大して肝臓の機能も維持できているという患者さんでございました。

肝臓がんに対しては、陽子線の治療も大変優れた治療でありまして、国立がんセンター東病院や筑波大学で陽子線治療をやっておりますけれども、重粒子線の場合はこれを2日間で実施するということができるという点が、陽子線の現状よりは優れた治療だと。日帰り治療を目指しているわけでございますので、短期間でできるということは大きなメリットというふうに考えております。

もう一つだけ、これは直腸がん、大腸がんの手術後の骨盤内の再発に対する治療であります。この患者さんはここに大きながんのかたまりがありますが、股関節の部分に食い込んでいるがんです。

画像が出ませんが、割愛いたします。

直腸がんの手術後の再発に対する治療成績を表にまとめております。重粒子線の場合ですと、2年生存率が90%、5年でも50%ですので、手術の再手術に比べてもほぼ同等の生存率が期待できるということで、これも大変注目すべき成績だということで早く保険適用になってほしいと思っている疾患の一つでございます。

ということで、現在先進医療で治療を行っているこれらの疾患についても、1日も早く全てが保険適用になってほしいというふうに考えて、学会と協力して活動を進めているところでございます。

こうして、1994年にHIMACで始まった重粒子線治療はその利点を生かした治療法を確立して、臨床試験から先進医療、保険医療へと歩みを進めてまいりました。今後は、治療の更なる高度化と適用の拡大を継続しまして、装置の小型化の進捗による本格的な普及に向けて、この治療の有用性を更に示していきたいというふうに考えております。

装置についてはこの後、白井部長の方からお話がありますけれども、その一部を御紹介します。照射技術の高度化として既に実現されているのが、スキャニング照射と回転ガントリーの導入であります。スキャニング照射というのはこのように細いビームをスキャンすることで、必要な領域を治療するという方法で、従来の方法よりも余分なところに強く当たらない、この辺もまた説明があるかと思っておりますけれども、そういう技術であります。これがもう既に実装されておりまして、これを用いることによって、より集中度が高まる。それから、治療室における余分な被ばくが減るといったメリットがありますし、何と言っても、回転ガントリーをつくるということについては、このスキャニングの導入が不可欠であるということでもあります。

動画については、後ほどまた出てくると思います。

治療装置の変遷については、あとで説明がありますけれども、我々医師の側から見た概念

という言葉でお話ししますと、まずHIMACという非常に大型の装置をつくって現在、我々治療しているわけですが、これよりも小型化の第一歩としまして、2010年に群馬大学に、よりコンパクトな装置が導入されております。

その後、2010年の群馬を皮切りに、少しずつ装置としては進化をしながら、佐賀、神奈川、大阪というふうに施設が導入されまして、現在では放医研もあわせまして6か所で重粒子線治療が実施されております。来年には、山形の方に東日本重粒子センターが開設して7か所ということになる予定でございます。

世界的に見ますと、現在最も施設の多い国というふうに言うことができるんですけども、医療として普及が十分かと言うと、とてもまだまだでございます、もっと小型化をしなければいけないということで、量子メス開発というのを進めております。これは通常の病院に、ちょっと大きめの部屋を用意すれば設置できるようなタイプの重粒子線治療装置をより高度化した形で導入しようということでございまして、これができれば我々のイメージとしてはこういうふうに全国に重粒子線治療が数多くできてくるということになると確信しております。

最初の方で御説明した各種のがん治療でございますけれども、重粒子線治療は緑色で塗っている部分が、その治療が優れている点ですけども、このように数多くの治療効果が高い、副作用が少ないとか良好なQOLを維持できるといったいい点がたくさんありますけれども、骨軟部の患者さんのときにお話ししましたように、転移に対する対策としてはちょっと重粒子線だけでは不十分ということで、今後は、標的アイソトープ療法とか分子標的、免疫制御療法などとの組合せということが必要と考えております。

繰り返しになりますが、我々の課題としましては、既に良好な成果を上げつつある重粒子線治療を更に進化させる一方で、免疫制御療法を初めとする方法で転移を制御して、副作用が少ないような治療とうまく併用して理想的な治療を開発し、「がん死ゼロ」の健康長寿社会の実現に向けて貢献できればと考えているところでございます。

私からは以上です。御清聴ありがとうございました。

(白井部長) それでは、引き続きまして、量研の白井の方から、治療装置の面から重粒子線治療について御報告させていただきます。

資料1-2号を御覧ください。スライドでも映させていただきます。

こちらが今お話しさせていただきました1994年より開始されましたHIMACでございます。非常に大きな装置でございますが、これは世界で初めての重粒子線治療の専用装置でございます、今まで辻病院長が述べましたように、多くの臨床研究が行われてまいりました。

また、夜間や週末を使いまして、国内外の先生方にビームを供給いたしまして、年間100課題を超す、物理・生物の重粒子線の基礎研究を実施しております。これについては、国外でも約100名くらいの研究者の方が参加いただいております。

ただ、この装置の方は120メートルと非常に大きなものでございます。非常に大きなものでございまして、その構成を述べますと、最初に炭素イオンを含みます重イオンをつくるイオン源。それから、約50メートル程度でございます。光のスピードの大体10%くらいまで加速する線型加速器、入射器に相当するものでございます。そして、それを受けて、光のスピードが60から70%まで加速する円形のシンクロトロン加速器、それで加速しまし

て、最終的にはこちらの治療室で治療を行っております。

ですので、治療を行っているエリアというのは非常に狭いものでございまして、大きな加速器が必要になるというところでございます。もちろんこれを病院に設置するということはほぼ不可能でございますので、我々この良好な臨床成績が得られまして、先進医療が始まったころから、治療装置の開発というものを進めてまいりました。それは、2つの面で行っております、一つは小型化、もう一つは高度化ということでございます。

まず、小型化の方でございますが、いかんせん100メートルでは病院に入りませんので、我々放医研では2003年よりまずこの50メートルあります入射器の部分、この部分に対して新しい加速方式、IHと呼ばれております新しい加速方式の導入、開発を行いました。

また、この円形加速器のシンクロトロンの部分に関しましても、以前はシリコンまで治療に用いられるような仕様でございましたが、それではやはり難しいということで、炭素に最適化した加速器というものを開発しまして、以前は直径が40メートル、シンクロトロンは放医研のものがございまして、直径20メートル、直径で半分、面積で4分の1というものを開発いたしました。

それで、最終的には治療室は余り変わりませんので、加速器を小型化したことで、以前の3分の1程度のサイズ、横幅で言うと60メートルという辺りに炭素線治療装置をコンパクト化することが可能となりました。

この成果はそのままメーカーさんに技術移転されまして、群馬大学において初めて実用化されました。これが2010年でございます。2010年より治療が開始されておまして、シンクロトロンや入射器の部分は開発された成果、それから治療室は放医研の実績、技術がそのまま移転されて、治療を行うということができるようになりまして、先ほどお話がありましたJ-CROSの主要メンバーと現在ではなっております。

小型化と並行しまして、我々治療技術の高度化も行っております。これは背景といたしまして、この炭素線治療、重粒子線治療を行ってきた期間にX線治療はコンピューターの進歩に伴って非常に高度化が進みまして、ハードウェアからソフトウェアへと治療技術が移っております。

一方で、炭素線はまず炭素線の素性のよさに頼ってきたという面がございまして、我々もX線の進化にキャッチアップしないとイケないということで、2006年よりいろいろな新しい技術を取り入れて、炭素線に向けて更に高度化するというものを行っております。

そこで、先ほど辻病院長からお話を頂きましたように、高速三次元スキャニング装置、それから超伝導ガントリーといったものを中心とした時代に合わせた高度化というものをこの重粒子線棟の横に、新しい治療棟を建設いたしまして、こちらの方で進めてまいりました。

まず、その一つは、照射方法でございます。以前、HIMACで行ってございましたのは、拡大ビーム照射法というものでございまして、加速器から出ました炭素線を一旦10センチとか15センチまで広げまして、それをコリメーター等でカットすることで患部に当てる。患部の形に切り取るといったイメージでございます。

一方で、同時期、放医研よりも少し後れて、炭素線治療を始めましたドイツのGSI研究所では、三次元スキャニング照射法と申しまして、これは加速器から出てきます4、5ミリの細いビームを三次元的に塗りつぶしていく。昔のテレビのブラウン管のように、あるいは電子で振っていましたが、これは炭素で塗りつぶしていくという技術を彼らは開発し

ておりました。

それぞれ、一長一短がございまして、大きなビームを一気に当てるという方法ですと照射時間が短く、一遍に当てていますので、少々腫瘍が呼吸で動いても照射ができるという特徴がございました。今、病院長が言われたみたいに、肺、肝、膵といったところできたというのは、この照射法を放医研が採用したからでございます。

それはもう裏腹でございまして、G S Iではそういうことができなかつたために、頭頸部の治療成績というのがメインでございました。ところが、これにもデメリットがございまして、切り取って照射していますので、どうしても奥行き方向で正常組織線量が高くなる場所がございますし、患者に線量形成機器をつくらないといけないというデメリットもございました。

それから、X線で採用されていますような強度偏重照射といったものの採用もなかなか難しいというデメリットもございました。それで放医研では、ここにありますように両者の長所を併せ持つ新しい高速三次元スキャニング照射法というものの開発を行ってまいりました。

まず、線量分布については、スキャニング照射法と拡大ビーム照射法、この黄色いところが腫瘍のターゲットでございまして、赤い線が高線量域でございます。見ていただきますと、炭素線の場合はこの側面等は非常に正常組織に当たらず、この黄色い部分に線量が集中しているということは分かりますが、拡大ビーム照射法の場合、ここでもう切り取っているわけですので、どうしてもこの手前のエリアに高線量域が当たってしまうというデメリットもございます。

一方で、スキャニング照射法は先ほどのスライドにありましたように、このように塗りつぶしていきますので、この手前のエリアにおいてもきれいに高線量を腫瘍に集中できるというようなメリットがございます。

一方でドイツで開発されたこの技術のデメリットというのは、呼吸で動く標的でございまして、これはちょっと分かりやすいようにフィルムをわざと呼吸に模擬して、1センチほど動かしまして、それにコンベンショナルなスキャニングをやったときですけれども、こういう四角形を描きたいと思っても、このスキャニングのスキャンのスピードと呼吸の動きが干渉してしましまして、きれいに絵を描けないというようなことが起こります。ドイツではこういう状況でございまして、なので彼らは頭頸部に集中していたということがございます。

それで我々放医研では、これを解決するために、ソフト、ハード両方合わせまして約100倍のスピードを持つ高速なスキャニング装置を開発いたしました。こうすると、何が起きるかと言いますと、速いので、全てのタイミングで撃つ必要がなく、例えば呼気の状態、あるタイミングだけで撃つことができます。

しかもその中で、何度も重ね塗りをします。右側に来たときだけ5、6回ビームを重ねることで、動いてないときと全く同じ線量分布をつくることができるようになりました。これは放医研において、日本の技術を使って開発された技術でして、これは今メーカーさんに技術移転されて、国産治療装置の大きな優位点となっております。

今はこのイメージ技術も更に進歩いたしまして、ビームをこういうふうに制御するだけではなくて、患者さんの方もX線を使って中を見ながら、今、肺の画像を追いかけているんですけども、肺の画像を追いかけて、このオレンジ色の照射範囲に肺の腫瘍が入ったときだけこちらに見えていますように、ビームを重ね塗りするというようなことをして、見ながら、

肺の腫瘍の治療をするというようなことを、先ほどお話にありました1日照射のときはやっております。こういったこともソフトウェアによってできるようになってまいりました。

もう一つは、以前からこの炭素線治療の大きな欠点でございましたのは、例えば一般的に肺を四方向から照射しようとする場合、重ならないように照射するのが一般的なわけなんですけれども、どの放射線治療でも同じなんです、X線や陽子線ではビームの方が回って、この四方向から撃つわけですが、炭素線治療は非常に大きな装置でございまして、加速器の実験施設のように一方向からしかビームが来ない。一方向もしくは二方向からしかビームが来ないというものが一般的でございました。

この場合、これを実現するためには、機械が回らないので、患者さんに回っていただくというようなことをしております。これは非常に患者さんには負担であるとともに、傾いたことによる臓器の動きを医療者側は予測しないといけません。非常に医療者側にスキルが必要な治療でもございました。

放医研はそういうノウハウを蓄積しているわけなんです、これから海外へと普及していくには非常にネックになるということで、炭素線においては当たり前ではなかった放射線の当たり前のことをしましようということで、360度任意の方向から照射できる装置の開発を開始いたしました。

これの先駆けはやはりドイツでございまして、ドイツでは2010年よりこういった開発を先行いたしまして、こういった600トンという非常に大きな装置を開発いたしました。これ自身は動いたんですけれども、さすがに全長25メートル、600トンの装置はなかなか病院に入るものではありませんので、最初のHIMACと一緒に、つくったけれどもそのままではなかなか普及しなかったというものでございます。

一方で、日本では我々はそれと並行しまして、超伝導技術を使った装置の開発を始めました。なぜドイツがこれだけ巨大化したかと言いますと、炭素線を曲げるために大きな磁石を扱う必要がございまして、この1個の磁石だけで100トンあったそうです。つくるのも大変だったと思いますけれども、なかなか運用するのも大変ということがございまして、我々そういうことにならないように、超伝導磁石、ここについているのが超伝導磁石なんですけれども、超伝導化することで、高い磁場を出して小型化するというを行いました。

メーカーさんと放医研と共同で、回転ガントリー搭載可能な液体ヘリウムを使わない磁石を開発することでこういうことができるようになりました。こういった技術というのは日本が持っております超伝導技術と、特にKEKと共同研究を行いまして、そういう高エネルギー技術、核融合もこういう技術を使っておりますけれども、そういったものがこういうところに技術移転されて生かされているというものでございます。

これは、先ほど病院長が見せかけた絵ですけれども、2.9テスラで励磁したままで回転させても、超伝導MRIと同じような磁場ですけれども、励磁した状態で回転させても全く超伝導状態が破れることはないというものでございます。こういったものであらゆる方向から患者さんに照射するということが実現できるようになりました。

これは放医研では今お見せしたようなものなんですけれども、その後、東芝さんと放医研との共同研究で照射装置の小型化も行いまして、今、東芝さんが各病院さんに供給しているものは更に小型化が進んでいると聞いております。9メートルぐらいになっていると。

放医研時代はこういうてっぺんに三次元の振るためのスキャニング装置があったんですが、

それがこちらの方に移ってきて、この部分のサイズが節約されてぐっとコンパクトになっているというふうに聞いています。原理としては非常に近いものなのですが、メーカーさんの改良というものも進んでおります。

我々こういったものを放医研時代に開発しておりまして、今、その技術移転の状況を御報告いたしますと、これは日立さんが去年から治療を開始した大阪の重粒子センターでございまして、これはガントリーの開発よりも前からスタートしたプロジェクトですので、ガントリーは入ってないですが、先ほど申し上げました高速スキャン装置というものが設置されておりました、各治療室はそれが設置されております。

3室ございまして、ビームが縦横、水平垂直が2室とあとは45度からビームを供給する部屋というのが1室ございます。これと同じものが今台湾にも建設が進んでおります。

それから、東芝さんでございまして、放医研と一緒にガントリーをつくっていたという経緯もございまして、今、ガントリー中心に施設を提供しておりまして、これは韓国ソウルにあります延世大学病院、2020年に治療開始ということで、今、建設が進んでおりますが、これは垂直のビームラインはなしで、2室の回転ガントリーと固定の1室という3室で治療を行います。照射装置はスキャン装置となっております。

現状でございまして、世界では、12施設が炭素線治療を行っておりまして、建設中が5施設ございます。昔は、放医研を初め自主開発という、病院が炭素線治療機を自主開発するということもありましたが、最近、ここ4、5年で見ますと、東芝、日立、中国のIMP（近代物理学研究所）のこの3者が治療施設を供給するという時代になっております。中国はどうしても国産志向というのがありまして、今、2室はIPMが提供しておりますが、それ以外のところ、ソウル、台北も含めまして、国内メーカーが供給しております。

今は、いろいろなところで、導入の動きがございまして、主に日本のメーカー2者がそういう問い合わせを受けているというところでございます。

放医研の方に話を戻します。あと少しだけ御説明させていただきます。

我々技術移転が終わりまして、今、メーカーさんによる普及が始まったところでございますので、我々も次のステップに向けて次世代の装置を考えましょうということで進めております。こちらにも小型化と高度化という2面がございます。

まず、小型化でございまして、ようやく炭素センターの普及が始まったところでございまして、世界の中の放射線治療で見ますと、X線、γ線というのは1万台以上のインストールベースがございます。陽子線はようやく立ち上がったところですが、陽子線でもまだ100台程度、1%です。炭素にいたると更にその一桁下というのが現状でございまして。

今、いろいろな国のナショナルセンターにこの炭素線治療というものが、群馬大学に更に治療装置がモディファイされたバージョンが入っているわけでございますが、このナショナルセンターへは恐らくこの大きなものでも入ると思いますが、ナショナルセンターが次の中規模病院へと展開していく中では、国内、国外共にやはり一段と小型化が進んだという、少なくともこういうコンパクトな陽子線レベルのものがないと、中規模病院への導入は進まないであろうと考えております。より小型化することで大きくて高いというようなことを解決していこうというふうに考えているところでございます。

それで、具体的などころでございまして、これが先ほどの群馬大学の60メートルの病院施設でございまして、放医研ではこれを最終的には我々量子メスと呼んでおりますが、治療

室2室分で収めようということを検討しております。つまり1室に加速器を入れて、1室に回転ガントリーの治療室を入れる。この程度まで小さくなると中規模病院には入るようになるのではないかと考えております。

そのために、いろいろな技術開発を行っております。一つは量研機構ではこういうレーザーを使ったイオン加速という技術を持っておりますので、これを生かしましてレーザーを薄膜照射して、そこから出てくる炭素をそこで加速して、シンクロトロンの入射器にするという開発を行っております。

ここから出てきたレベルでは数 MeV から 10 MeV くらいですので、それを超伝導の加速器、シンクロトロンで加速して、光のスピードの 60 から 70 % まで近づけるといような展開を考えております。ガントリーも同じように小型化といったことで、超伝導技術、レーザー技術といった量研が持っている技術を使いまして、こういった小型化という研究を現在進めているところでございます。これは量研だけでなく、研究所等とも共同で、外部資金等を使いまして、ここにも J S T の 1 例を書いてありますけれども、進めているところでございます。

また、医療の面でも、10年前からの研究で、X線が使っている IMRT ですか、そういった技術を取り入れまして、物理線量の改良というのはある意味できることは全部やってしまったというところがございます。もはやメーカーさんで改良する部分はいろいろありますけれども、本質的なところはなかなか、物理的なことに手がないというところで、今は生物的なところに目を向けております。

つまり今、炭素線が持っている特徴でございます生物効果を使いまして、例えばこれは膵臓がんですけれども、非常に難治性のものでございます。こういった中心部は非常に低酸素領域のところ広がっていると言われております。低酸素領域のところだと炭素がいくら効果があると言ってもまだ足りないという可能性が基礎生物からは指摘されておまして、そういった炭素の部分、悪性度の高い低酸素領域は炭素より、より重い、例えば酸素ですか、そういったものを照射する。

一方で、それ以外の部分は実績があります炭素、それから正常組織に近い部分、正常組織は周りの十二指腸とかいろいろな小腸等の正常組織に近い部分は炭素よりもより生物効果が低いX線に近いヘリウムを照射するというふうにイオンを混ぜて線量分布をつくり、ただし生物効果は中心部で高く周りで低い、といったような線量分布がつかれるのではないかと考えまして、こういった物理線量分布の制御だけではなく、生物効果の制御というものを行うのが次世代の考え方ではないかというふうに考えております。

今は我々だけではなく生物効果を制御するというのが一つのトレンドになっておまして、いろいろな方法が提案をされて、今は競っているというところでございます。

最後に、これは量子メスのロードマップでございますが、先ほどの超伝導のシンクロトロンやマルチイオンの部分は比較的早期の実現を目指しておまして、レーザー、よりアドバンストな超伝導システムといったものはもう少し先、10年くらいをかけて開発していった、メーカーさんに技術移転していきたいというふうに考えているところでございます。

最後でございますが、炭素線治療装置でございますが、HIMAC 稼働のこの 25 年間で放医研では HIMAC を小型化した炭素線加速器と三次元スキャン装置、超伝導ガントリーを中心とする新しい治療技術を開発してまいりました。

現在、これらの技術移転を受けて、国内メーカー、東芝さんと日立さんでございまして、非常に国際競争力がある、重粒子を入れるとなるとこの2者しかないと海外でも思われておりますので、国内外への医療施設への提供が本格化しているところでございます。

量研では10年後を目標に、より小規模、中規模の病院で導入可能な装置の研究開発を実施しているところでございます。

以上でございます。

ありがとうございました。

(岡委員長) ありがとうございました。

それでは、質疑を行います。

佐野委員からお願いします。

(佐野委員) 大変御丁寧な説明を頂きましてありがとうございます。

画期的ながん治療技術であり、がん患者に、希望を与え、将来ポテンシャルの高い治療方法であることがよく分かりました。技術的には小型化と高度化、これが普及の鍵になるわけですが、それもかなりの中規模病院にまで実装できるような段階になっているということで、非常に希望を与えるような研究、皆さんの御努力の成果だと思えます。

お話をお伺いすると「ドイツ」という国名が何回も出てきて、ドイツとの間に技術協力、あるいは競争というのがあると思えますけれども、ドイツとの間でMOUとか何か協力協定の様なものは結んでいるのですか。

(白井部長) ドイツはG S Iという原子核研究所が行っておりまして、日本の理研に相当するところでございます。国立の研究所です。

我々HIMACが放医研で行っていたのと同じように、最初の臨床研究は国立研究所で行ってまいりました。その後、我々と同じような道をたどっていきまして、シーメンスに技術移転を行いまして、シーメンスが実際ドイツの技術移転を受けた技術で施設に供給するという体制をとってまいりました。先ほどお見せした中でも、シーメンスのものが入ったのが、ハイデルベルク大学、マールブルク大学、それから中国の上海、3施設入っております。

この後、シーメンスが会社の方針ということで撤退してしましまして、今、ヨーロッパでは停滞しておりますのはシーメンスが撤退したことで、研究をする方はいらっしゃるんですけども、そういうG S Iを初め、それを実際届けるメーカーさんが不在になってしまったというところがございます。

(佐野委員) 東芝と日立だけという感じなんですか。

(白井部長) 今は、シーメンスが撤退したので、放医研が技術提供した東芝と日立はそのまま残っているんですけども、ヨーロッパ側で技術提供を受けたシーメンスの方は撤退してしまうという、シーメンスは炭素線から撤退したというよりは放射線治療から撤退してしまいました。診断に特化するという形に、治療ではなくて、そのあおりを受けたという感じですけども、そういうことがあって、今、東芝さんと日立さんが主に提供しているという状況でございます。

中国は近代物理学研究所というところ、これも日本の理研のような、サイクロトロン研究所なんですけれども、そういうところが臨床研究と開発をやっておりまして、今そこがつくっているベンチャー企業のようなところが、中国国内に2施設に提供しているというところがございます。

(佐野委員) 先ほど重粒子の利点の中で、転移制御に若干不利だという御指摘があって、そのほかの標的アイソトープとか化学療法、免疫制御との組合せが今後の課題だと理解しましたけれども、実際にこの組合せ治療は行っているんですか。

(辻病院長) 現在、いわゆる治療として併用療法をやっているのは、前立腺がんなどにおけるホルモン療法とあとは膀胱がん、頭頸部腫瘍の一部で行っている、いわゆる抗がん剤との併用をやっております。今申し上げたような免疫制御治療でやるとか、分子標的薬等の併用というのはできておりません。これからいわゆる治験といいましょうか、臨床研究をやろうということで、製薬メーカーさん等とも議論は始めているところでございます。

今年度中はちょっと難しいかもしれませんが、来年度かその次の年には臨床試験が開始できるのではないかと考えています。

(佐野委員) それから最後に保険適用、この問題は何でしょうか、時間の問題なのか。例えば、直腸がんには適用されてないとおっしゃっていましたが。

(辻病院長) 一つは、高額な費用を要する治療法であるという認識が多分強くあって、これが急激に普及すると、医療費の中で大きな負担になるということが。

(佐野委員) 財政負担ですね。

(辻病院長) ということで、段階的に少しずつ適用拡大していこうというような対応を厚生労働省の方でされています。そこが一番のポイントでしょうか。実際には医療費の中で言いますと、薬物療法等とかで、がんの治療の中でももっと高額なものがいろいろ出てきておりますので、我々からすればもうこの治療は十分保険医療として普及していくべき状況になっていると考えておりますけれども、そういう財政的なことが一つ大きなネックで、いきなり全てをということにはなかなかできなかったということかと思えます。

(岡委員長) 中西委員、いかがでしょうか。

(中西委員) 丁寧な御説明、ありがとうございました。

これはものすごく効果も高いことですし、日本の海外に機器が売れているというのは素晴らしいことだと思います。一番の問題点といいますか、課題はどれくらいこの治療が汎用化するかということだと思います。どれくらい小型化できるか、あとどれくらい安くなるか、その2つがあるかと思えますけれども、小型化というところには時間的にはいろいろ小さくなっていくというような技術開発もされているようですけれども、大体時間的スパンというと、10年後にはものすごく小さいものができるとか、何か見通しとかはございますでしょうか。

(白井部長) 我々もステップバイステップでやっております、今実際に、メーカーさんと共同研究で進めておりますのは、治療室に入るようなものというのは、10年くらいかけて、基礎研究から進めていく必要があると思っておりますが、その一つ手前で今ある陽子線施設並みの施設、陽子線施設というのは、2、30メートルぐらい、小さな建屋で、そういうところはメーカーさんと一緒に5年ぐらいのスパンでできればやりたいと。

逆に、そうでないとメーカーさんというのと一緒にやってくださらないものですから、そこは産学協同でやりたいというところで今進めているところでございます。

(中西委員) あともう一つ、これは単につくるだけではなくて、運転していくには技術者といえますか、きちんとオペレートできる、何かあったら改良もできるというような人材育成が必要だと思いますが、そこら辺はどんなふうに取り組まれていますか。

(白井部長) 運転というお話でございますが、運転はかなり今は簡略化されておりまして、加速器といっても、物理用の実験加速器とは違いますので、例えば神奈川とか群馬大学の様子を見ておきますと、メーカーさんが派遣した運転員が大体毎日、2、3人くらいで全部回っています。もちろん休まないといけないので、全体としては5、6人いますが、5、6人くらいで毎日回しているという状況でございます。そういった方々は逆にメーカーさんが供給しますので、余り考える必要はないと言ったらあれですけども、それほど支障はない。

それより問題なのは、それを実際に使う炭素線の特性を生かして使う医療者の方の人材育成でございます。

(辻病院長) 医療者については、これまで既に国内で重粒子線治療を始めている各施設で、その立ち上げのときには必ず数名の医師が、うちの病院の方に研修に来て一定期間の修練を積んで経験を持って帰って治療に従事しています。海外からも韓国とかいろいろなところから研修に来られています。そういう形でどんどん我々も続けていかなければいけないと思っています。

一方で、装置としてなるべく、誰が使っても、一定のレベルの治療ができるような、我々の方のノウハウもソフト化していくとか、そういうことも多分我々に課せられていることかと思っております。

(白井部長) 今、言われたように、病院長に振りましたが、医療の方だけではなくて、我々医学物理士という職種がございます、それは要はメーカーさんが派遣するオペレーターというのは動かしているだけですので、患者さんに過照射していても動かしているだけなんです。きちんとした治療が行われているか、それから行う状態にあるかということをやはりチェックする人が必要で、そこは今の高度X線治療でも同じですが、やはりそういう方はより必要とされるということがございまして、国内でもなかなか人材不足なところがございまして、国内の大学の理学部関係、それから放射線関係、それから病院の医学物理部門と連携いたしまして、放医研でもそういうトレーニングを行っておりまして、そういった人材、クオリティを担保するための人材育成というものが非常に重要になっております。

(中西委員) 最後に、ちょっと、全然関係ない質問ですけども、重粒子線というと化学的な感じから言うと、ものすごく重い粒子、元素というふうに感じますが実際は炭素です。これは何か最初に、ネーミングするときに意味があったか。

(辻病院長) 物理学の本来の定義から言うと、炭素というと恐らく中ぐらいかむしろ軽いぐらいのイメージだと思いますけれども、多分陽子線の研究というのがやや先行して行われて、それとの差別化ということでそれより重いものを使っていますということを表すために、ヘビーという言葉を使ったと。

(中西委員) どうもありがとうございました。

(岡委員長) HIMACのときから着実に発展した、いろいろながんの治療ができて、本当に素晴らしいと思います。

人材のことは伺おうと思っていたので、今おっしゃったのでそういう医学物理士というか、それが重要であるというふうにお考えだということでしょうか。

量子メス、これができていくといろいろな病院に普及して、普及の速度も広がると期待しております。

先ほどの図で、米国とかカナダとかフランス、イギリスがないのは、こういう放医研のよ

うな大きな機関、あるいは加速器のそういうところが余りこれをやってないということでしょうか。

(辻病院長) 米国に関しましては、最初の歴史の中で、のローレンス・バークレー研究所というところが荷電粒子線治療の皮切りだったわけですが、そこで中性子の研究等も時代としては同時に行われていて、結果的にいわゆる生物効果の高いLETの高い放射線を使った治療の場合に、副作用の問題というのが非常に深刻なものが出たということがありまして、米国に関してはそのことがかなりトラウマとなって、重い粒子を使う治療というのがかなり警戒された時代があると思っております。そのために陽子線の方がX線で得られたノウハウをそのまま使える治療として先に普及の道をたどった。

何よりものローレンス・バークレー研究所で十分な成果が上がらなかったのも、研究が継続できなかったということが直接的な原因かもしれませんが、そういうことでちょっと重い粒子での治療についての警戒感というのは、米国に関しては強かった印象を持っております。ヨーロッパ等はそういうことは必ずしもなくて、時間がかかっておりますけれども、ドイツでの研究が進んできておりますし、今はドイツ以外にもイタリア、オーストリア等にも施設が導入されて治療を、オーストリアも始めたんですね。

(白井部長) オーストリアも治療が始まって、自主開発です。スイスにありますセルンがバックアップする形で、加速器部分をバックアップする形で自主開発として、加速器はセルン、医療装置はオーストリアのウィーン工科大学のバックアップのもとで進んでおります。

(辻病院長) あと申し添えますと、米国でもそういう警戒があったものの、現在では幾つかの施設で、施設導入の計画は提案されていまして、先ほど膵臓がんについてQSTと共同研究をやっている大学もその施設導入を前提として臨床試験をまず日本とやりたいというのが希望でございます。

(白井部長) アメリカの病院等は、日本のメーカーさんとも話を進めておりまして、実際に導入の動き、やはりアメリカの場合は保険制度がございまして、炭素線を保険会社が認めてくれないとなかなかビジネスが成り立たないというところがございますので、そういった交渉がまとまれば、という前提のもとで、メーカーさんともお話を進めているようでございます。

(岡委員長) アジアを中心に展開していますが、量子メスになってくると、アメリカ初めいろいろなところ展開していくと思いますが、放医研さんの開発とそれからメーカーの開発がうまく組み合わせられた非常にいい成功例だと思います。是非、アジアだけに限らず、アジアを含めた世界展開を何か作戦を立てていただけると、大変有り難いと思います。

私は、原子炉の専門なんですけれども、原子炉はそういうチャンスはないわけではなかったんですけど、90年代に必ずしもないわけではなかったんですけど、今まだかなり苦労している段階ですので、加速器の方について、治療について発展が図られると大変有り難いと思っております。

ちょっと細かいんですけども、分子標的というのがよく分からないんですが、分子を直接攻撃するのでしょうか。

(辻病院長) 選択的にある種の物質に対して、作用するような薬剤、薬物を使ってというような意味で、分子レベルでという意味で、分子標的薬となっています。

(岡委員長) 何か具体的にはそういう薬のようなもののイメージですか。

(辻病院長) そうです。

(佐野委員) 追加質問です。19ページの地図、アジアですと韓国、中国、台湾ということですけれども、そのほかのアジア諸国で関心を示している国は、例えばシンガポールとか、インドネシアとかはどうでしょう。

(内堀部長) マレーシアとシンガポール、タイ、あとインドが。

(佐野委員) インドは入っていましたか。

(竹内参事官) インドは、文部科学省の方が、アジアに外遊したときに向こうのハイレベルとバイ会談のときに売り込んだという経験があって、それをきっかけに関心をもって、トレーニングに来たりとか、そういうふうな話になっています。

(佐野委員) もう一つ、IAEAがいわゆるがん治療に対して、特に天野事務局長の時代にかなり重点的にやってきたと思いますけれども、彼らは関心を示してないですか。

(辻病院長) お持ちですね。先日、IAEAの会合に出ていて、先方の先生から国際協力で臨床試験をやりたいので協力してくれというオファーがあったと。

(佐野委員) 進む可能性があるということですね。

ありがとうございます。

(岡委員長) そのほかございますでしょうか。

加速器関連技術もいろいろ進んできておりますが、治療の方と合わせてどんどん進歩して、更にそれが世界に広まっていくことを期待しております。

どうも今日はありがとうございました。

議題1は以上です。議題2について、事務局から説明をお願いします。

(竹内参事官) それでは、今後の会議予定です。次回第37回原子力委員会の開催につきましては、日時、10月8日、13時半から、開催場所は6階623会議室、議題は調整中で、後日原子力委員会ホームページ等の開催案内をもってお知らせいたします。

(岡委員長) ありがとうございます。

そのほか、委員から何か御発言ございますでしょうか。

それでは、御発言ないようですので、これで本日の委員会は終わります。

ありがとうございました。