

【特別セミナー】

重粒子線がん治療について

鎌田 正氏（独立行政法人重粒子医科学センター長）



鎌田正重粒子医科学センター長

放射線医学総合研究所、重粒子医科学センターの鎌田でございます。きょうはこのような機会を与えていただきまして、大変ありがとうございます。放射線医学総合研究所では、1994年からこの重粒子を使ったがん治療を行って

おります。この16年間の間に約5,500名の患者さんを治療をしております。そのうちの約3分の1ぐらいの患者さんが千葉の方であります。ですが、私自身はこういう形で千葉県の中で講演させていただく機会が余りなかった、というちょっと「灯台下暗し」のような状況でございます。千葉県以外のところでは、相当いろいろお話ししたことはあるのですけれど、今日はぜひ、重粒子がどういうものか、最近の私どもの研究の状況についてお話しさせていただければと思います。

重粒子線とその特徴

重粒子とは？

「原子核」や「原子核をつくる粒子」のことをいいます。

原子核

中性子

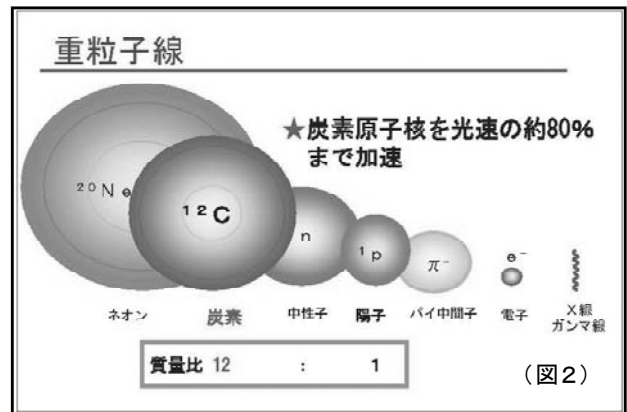
陽子

(図1)

まず、最初に重粒子とはどういうものかということ、ごく簡単にお話したいと思います。物質というのは分子からでき上がっているわけです。その中でも例えば原子核とか、原子核を

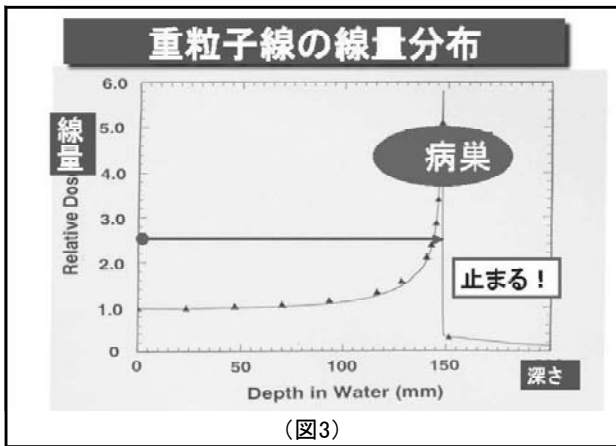
つくる粒子があるわけですが、陽子とか中性子ですね。原子核というちょっと怖い感じがするかもしれませんが、これは自然に存在するもので、ごく普通のものでございます。こういうような原子核を構成する粒子、あるいは原子核そのものを重粒子と呼んでおります。

“重粒子線”というのは、「重粒子を超高速に加速したもの」ということになります。ヘリウム(He)が原子番号が2になりますが、Heの原子核より重いものを加速したものを現在重粒子線と呼んでいます。



これまでがんの治療に使われてきた放射線です(図2)。重粒子線も放射線の一種です。この重粒子線の特徴は、陽子の質量は1で1Pと書いてありますが、それに比べて炭素は(私どものところでは重粒子として、炭素の原子核を光速の約80%まで加速して、がんの治療に使っているわけですが)約12倍重いわけですね。ですから、非常に重い粒子ががんの中に打ち込まれることとなります。陽子やエックス線とかと比べると、非常に重い粒子が直接がんの中にどんどん入ってきますので、非常に強い効果を示してくれるということになるわけです。ただ、こういう重い粒子を、光の速さの8割まで加速するには大変な技術が必要です。そのあたりのことも少し後でお話し致します。

この炭素の原子核を加速した重粒子線には2つ特徴があります。1つは線量を集中できる。横にぶれたりしないで真っすぐ進んでいきます。ただ真っすぐ進んでいくだけではなくて、ある一定の深さのところまでびたっととまって、それより先には進んでいかないのですね。ですから、ちょうどがんのあるところに、その深さで重粒



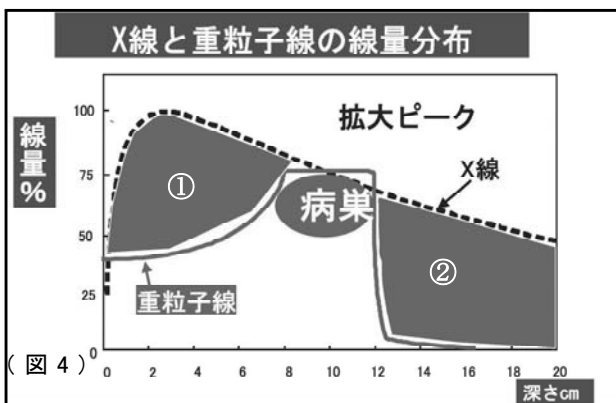
(図3)

子をとめてあげれば、それより奥には行きませんし、実はその手前のところにも余り影響がないのです。真っすぐ進んでいって、余計なところに行かないで、すぐとまってくれる。そういうような特徴があります。

それからもう1つは、その重い粒子がちょうどとまるところで、強い生物効果を出します。いわば、細胞を死滅させる力が非常に強いということになります。さっき申し上げました陽子に比べると、数倍強いというふうに言われています。

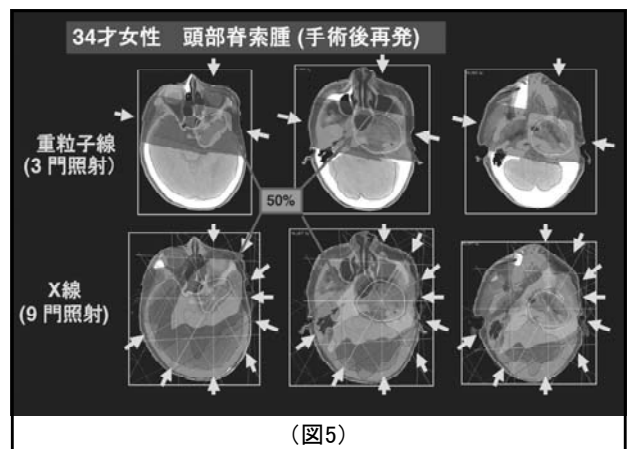
ちょっと専門的になりますが、図3は、水中に打ち込まれた重粒子線の線量の分布を示したものです。横軸は水の中の深さです。150 mmのところに鋭いピークがあります。縦軸は与えられた線量です。0のところから炭素が打ち込まれると、最初に加速されることで持つエネルギーによって、この深さは決まってしまう。ここでぴたっととまってきて、それより先にはほとんど行かない。そこのところで一気に線量を出すという、鋭いピークをつくるわけです。ですから、このところにちょうど病巣を合わせれば、前側にも後ろ側にもこの炭素はほとんど影響を与えないで、ここだけで効果を発揮するわけです。

X線と重粒子線の違いは？



(図4)

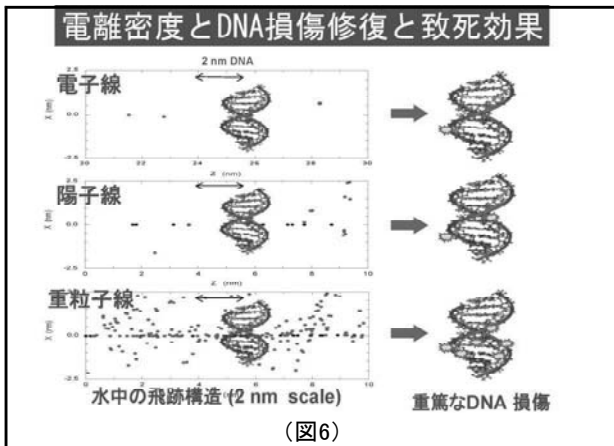
図4は水中でのX線と重粒子線の線量分布を比べたものです。では、普通のX線と何が違うかということ、横軸を深さ方向、縦軸を線量とすると、普通のX線は、浅いところで一番たくさん照射されてしまい、その後徐々に減っていった体を突き抜けていってしまいます。ところが炭素=重粒子の場合にはこのように細いピークですので、重ね合わせて病巣の形に合わせてみると、図4のような線量分布になります。そうしますとこの手前の部分(①)と先の部分(②)でX線では余計に照射されてしまいますが、重粒子ではこの余計に照射される部分を非常に少なくできるわけです。ですからよりたくさんの線量を安全に照射することができるというのが、この重粒子の特徴になります。



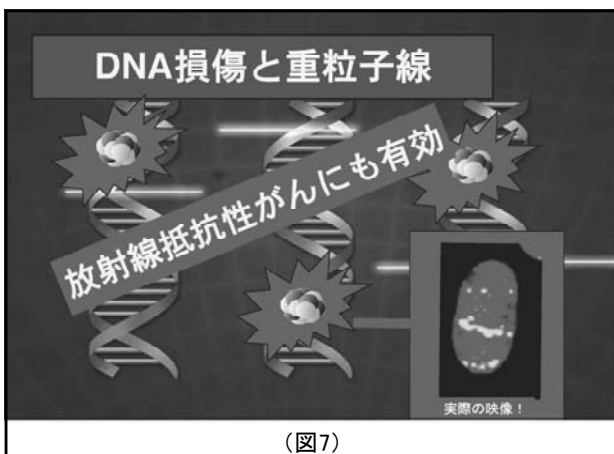
(図5)

例えば目の奥にがんができた患者さん、34歳の女性の方です。手術をしたのですが再発したということで重粒子で治療しました。図5の上の図は重粒子線で、3つの方向から照射しますと、ここの赤いところに、たくさん重粒子が照射されています。下の図はそれと同じようなことをX線で行った場合の図ですが、9つの方向に分けて照射しなければいけない。そうしますと、どうしても線量は少ないのですが、X線の場合には頭部全体に照射されてしまう。それからグリーンのところは半分の量が照射される領域なのですが、そこもX線の方は相当広がってしまいます。目の奥ですので大変大事なものがたくさん含まれている場所ですが、そういうところでも重粒子というのは、方向が3つぐらいでよくて、しかも非常によい線量分布を生み出すことができるというわけです。

もう一つ、強い生物効果というものがあります。ちょうどピークの重粒子線がとまるところの近傍だけに、非常に強い生物効果が出るということが確かめられています。手前のところは普通のX線と余り変わらない生物効果というふうに言われています。



どうして強い生物効果が起きるかという、また非常に専門的になってしましますが、簡単にこの赤い粒が細胞を殺す力とを考えてください (図6)。電子線はX線と同じようなものと考えてください。陽子線は粒子線の一つですが、非常に軽い。重粒子の12分の1。重粒子というのは炭素になりますが、この赤い粒々が非常に多いわけです。この赤い粒々がよく当たる場所が、先ほどのピークの場所です。例えばがん細胞中のDNAにうまくこの粒々が当たると、DNAが非常に大きな傷を受けて修復できなくなるわけです。ところが電子線、あるいはX線、あるいは陽子線のこの赤い粒々の数は少ないものですから、がん細胞のDNAに与える傷が少なくなってしまいます。わずかな傷ならばがん細胞は治してしまうわけですね。X線が効かないわけではないのですが、非常にたちの悪いようなものですと、なかなか治しづらいわけです。

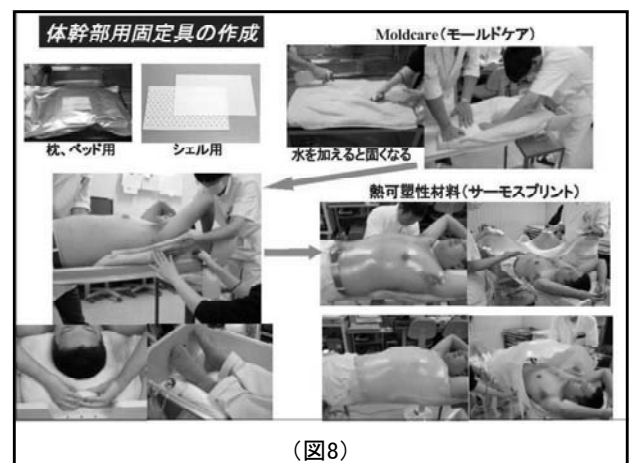


DNAは二重らせんといわれ、絵で書くところというふうになるわけですが(図7)、重粒子がどかん、どかんと入って行って、そこで非常に強い傷害を起こし、修復できない傷ができます。実際に私どもの基礎研究では、この核の中で重粒子が通った道に沿って黄色い線が見えますが、傷が起きると色がつくというような研究を進めていて、目で見て確認できるまでになりました。

実際に核の中にDNAの損傷が起きていて、そのためにがん細胞が死んでいるということが、現在では確かめることも可能になっています。ですから放射線抵抗性のがんにも、重粒子線が有効であるということになるわけです。

コンピューターの発達が重粒子線治療を可能にした

このような線量の集中性と、強い生物効果とがあるわけですが、発見者がブラッグさんという方なので、ブラッグピークと呼んでいます。これをがんのところにきちっと合わせ込む、いわゆる超高精度の治療の実用化が必要になります。そのためには、1つは、がんがどこにあるかをきちんと把握することが必要ですし、あるいは呼吸で動いているようなものを、きちんと動きに合わせて照射するという新しい技術も必要になるわけです。実際このブラッグピークそのものは、今から100年以上も前に見つかったのですが、それをちゃんと患者さんの体の中のがんの位置に合わせて量を調節し、余計なところにかからないような技術ができていなかったのです。ここ数十年、非常にコンピューター技術が進み、そのほかの技術の進歩もあいまって初めてこの治療は可能になったわけです。



例えば(図8)実際の治療では、患者さんの身体が治療中に動かないように、固定用具を一人一人に手づくりしています。これは温めると透明になって柔らかくなるプラスチックです。これはもともと整形外科領域のギプスの材料だったのですが、それを患者さんの体に合わせて作ります。温度が下がると真っ白になって、固くかちかちになります。患者さんはこれをつけてベッドに身体を固定して治療を受けるということになります。コンピューターを使った非常に

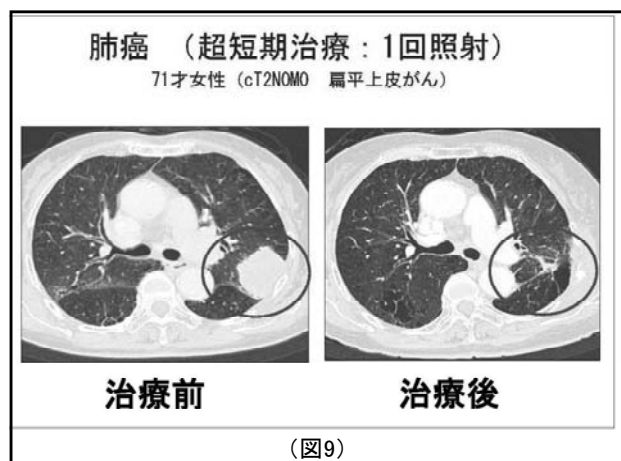
ハイテクな部分と、こういうような手づくりの部分の組み合わせないとこの治療はうまくいきません。実際、こういう技術の開発が非常に重要になっています

例えば最近では超高速に検査を行う四次元のCTで、呼吸で動いているような臓器も実際に見ながら、どこにがんがあるかが一目瞭然でわかるようになりました。そういう情報をうまく利用しながら、実際に動いているものを、動きに合わせて重粒子線をかけるという技術が必要になってきます。

呼吸同期照射で肺がんの治療も可能に

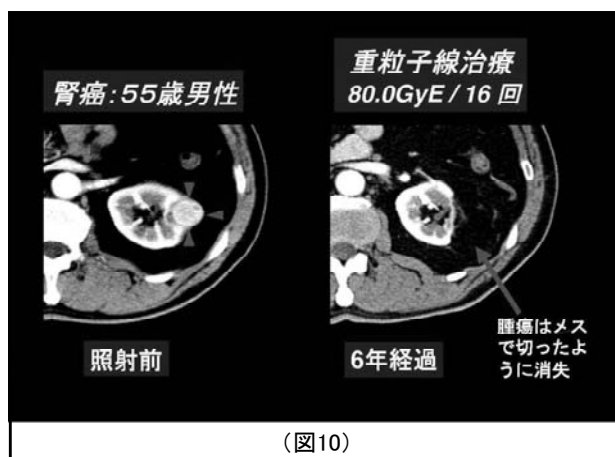
例えば肺がんでは呼吸によってがんは動いています。そこで呼吸による動きにあわせて重粒子線治療を行う技術（呼吸同期照射）を開発しました。通常、人の呼吸は息を吐いたときに一番安定し、動きが少なくなりますので、この技術ではそこだけビームがオンになります。動いたままでかけていますと、がんがその位置にあるときはがんにあたりますが、がんがないときはビームが奥まで入ってしまいます。ところが呼吸同期をかけますと、がんがある時だけ照射しますのでビームが奥まで入らない。ですから、肺の他の部分に余計な線量が照射されなくて、安全に高い線量を照射することが可能になるわけです。

こういう技術を放射線医学総合研究所ではオリジナルで開発して、もう数千人の方にこの治療を行っています。非常に安全に照射することができています。



(図9)

図9は、実際にそのような治療を行った患者さんの画像ですが、○で囲んだところにがんがあります。研究を始めた頃には18回6週間という非常に長い期間照射していたのですが、今は同期照射の技術を開発し経験を積んで、1日



(図10)

1回1時間ちょっとぐらい治療して、がんがだんだん縮んできて、治療後の画像のようになるということです。こういう比較的早期の段階の肺がんですとこのような1日1回で終わりという治療が可能になっています。

図10は腎臓のがんです。この3つの矢印の先、ちょっと丸く見えるのが腎臓のがんです。55歳の男性で、どうしても手術は嫌だということで重粒子を希望されました。腎臓も実は呼吸で動いているのですが、呼吸同期をかけて正確に照射しますと、このようにがんがあったところだけがきれいにすばっと手術で切り取ったように、がんがなくなっているのがおわかりいただけるかと思います。この方も6年以上経過され、再発なく普通に生活されています。手術しませんでしたので痛みもかゆくもありませんし、血も出なければ麻酔もかけなくていい。皆さんが皆さん、こういうことになるわけではありませんけれども、こういうことが可能になっています。

1984年から開始した重粒子線がん治療研究

これまでの重粒子線がん治療の経緯を振り返って見ます。今から25年ぐらい前、中曽根内閣のときに「対がん10カ年総合戦略」の一環ということで、この重粒子線治療装置の建設計画がスタートしています。装置をつくるのに約10年かかっています。非常に大きな装置で、大体サッカー場ぐらいの大きさです。費用は330億円ぐらいかかっており、そのことが後々いろいろな方から御批判をいただくことになってしまいました。今は相当安いものができておりますが、これをつくったから今があるのだと思います。

93年に装置が完成し、94年からこの重粒子線のがん治療の臨床試験を始めております。こ

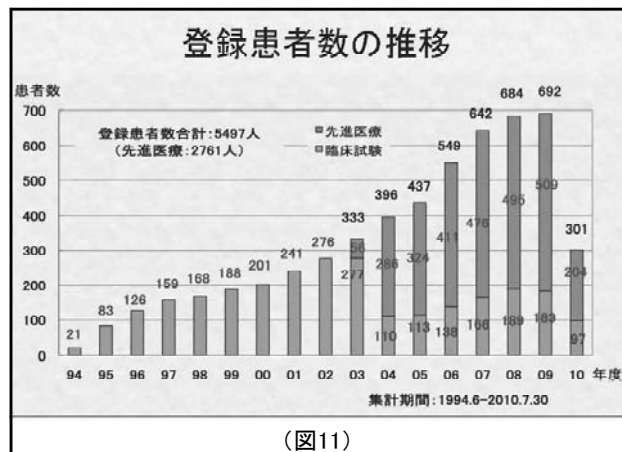
れも約 10 年かかりまして、厚生労働省から、固形がんに対する重粒子線治療ということで、現在大体 7 割から 8 割ぐらいの患者さんが、この先進医療ということで治療を行っています。

300 億円もお金がかかるのでは、どうやっても世の中には広がらないということで、研究を進めていたわけですが、2006 年には大きさが 3 分の 1、費用でも 3 分の 1 ぐらいの装置の開発に成功しました。それを群馬大学で建設しています。2009 年には治療した患者さんの数が 5,000 件を超えまして、一部の疾患では保険収載も考えられているわけですが、さらに 2010 年 3 月、群馬大学でこの新しい装置が動き始めたところです。

これは言ってみると今までの重粒子線治療装置をただ小型化したただけであります。しかし、次にもっとよい治療法を考えるということで、2006 年からもっと新しい装置の研究を開始しております。これについても 1～2 年のうちに、実際の治療を開始できると考えているところです。

治療費の問題は、大変残念ですが現在先進医療としては 314 万円が全額自己負担となります。個人で一般の保険の先進医療特約などに入っておられますと、かなりの部分が支払われるわけですが、残念ながらこういう状況にあります。ただこれは一般へ普及し、すべてのがんとはいいませんが、重粒子でなければ治らないようながんも存在しますので、将来的にはそういうようながんから保険の収載が行われていくのではないかと考えています。

図 11 は患者さんの登録数を見たものですが、最初は年間数十名程度だったものが、幸いなことに右肩上がりです。昨年度は 700 名弱、そのうちの約 500 名ぐらいの方が先進医療で 300 万円払っていらっしゃいます。今年度も大体同じペースで来ております。私ども独立行政法人ですが、仕分けだとか、全部つぶすとか極端なこと



(図11)

も言われているわけですが、何とか仕分けの対象にはならなかったのですが、人件費が制限され人を増やすことができないのです。

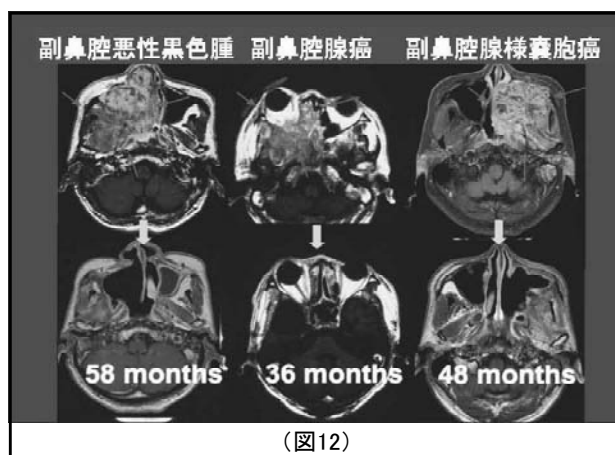
幾ら御要望があっても人を増やすことができない状況では、極端に夜中まで治療するようなことはしないとすると、約 700 人というのが今の私どもの最大治療数ではないかと思われれます。今度の独法の改革でいい方向に行けば、少しこの数を増やすこともできるかもしれません。

実は私どもが幾ら言ってもなかなか国が聞いてくれません。実際に患者さんの声がこれからは非常に重要ではないかと思っているところです。

疾患別に見てみると、実際に行った患者さんでは前立腺がんが一番多く、1,200 名ぐらいの方が前立腺がんで、そのうちの 900 名ぐらいの方が先進医療で治療を行っております。

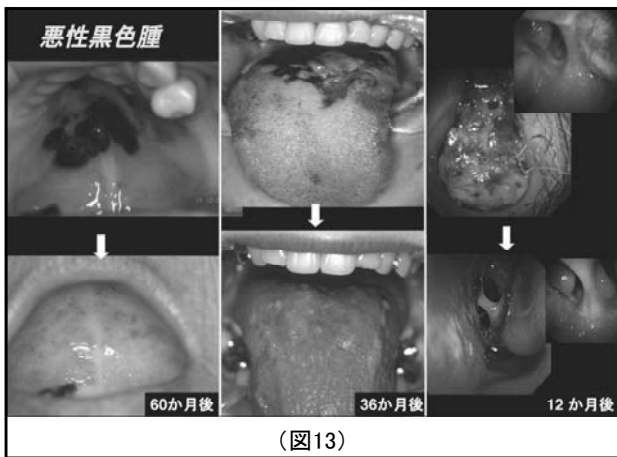
ちょっと特殊な病気ですが、骨や筋肉から出てくる肉腫は普通の放射線は効きづらいのです。ですから手術ができないとなると、かなりの方が全国から、あるいは世界からこちらの方におみえになっています。それから頭頸部のがん、のどの奥とか、鼻の後ろの方とかにできるがんです。あと肺がんとか肝臓がん。それから直腸の手術をした後の再発の方。そういう方が結構当センターにおみえになっています。なかなか治りづらいという病状が大半を占めております。

治療例一頭頸部がん



(図12)

ここから少し実際の治療例をお示しします。図 12 の左側は鼻の奥にがんができて顔半分ぐらいを占めていました。悪性黒色腫です。普通の放射線では効かないといわれているがんですが、重粒子でこのようにきれいになくなっています。真ん中は腺がんですが、目の後ろの方にがんがあるため、目がちょっと前の方に飛び



(図13)

出しています。これも目を残したまま、きれいにがんはなくなっています。右端もある種の腺がんですが、やはりこのようにきれいになくなっているのがおわかりいただけるかと思えます。

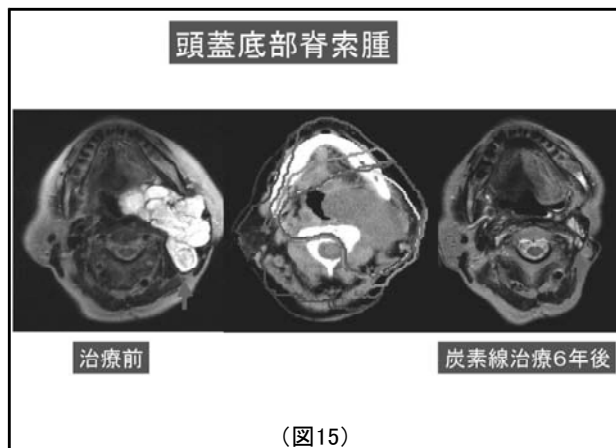
図13は悪性黒色腫の方で、非常に治りづらいがんですが、従来は手術しか治療法がないといわれていました。こういう方は手術すると、口の中が空っぽになってしまうわけです。図13の左側は上あごですね。真ん中は舌にがんができています。右側の方は鼻の穴の中にできていて、鼻から外にがんが飛び出している状況です。重粒子をかけると、このようにきれいにがんがなくなります。

通常の治療との比較でいいますと、唾液腺がんですと、普通の放射線でもそれなりに治るのですが、重粒子線では局所では3割くらい、生存率になると10数%良い結果が出ています。どうしても進行がんを扱っていますので、重粒子をかけたところの成績はいいのだけれども、生存率では転移してしまっていて亡くなるということがあるわけです。腺様嚢胞がんも同様です。やはり進行がんはどうしても長く見ると転移等でうまくいかない方もいらっしゃるということです。

頭頸部癌の治療成績比較				
	例数	治療法	5年局所制御率	5年生存率
唾液腺癌				
フロリダ大学 ¹⁾	64	X線	56%	50%
NIRS	40	炭素線	86	63
腺様嚢胞癌				
フロリダ大学 ²⁾	101	X線	56	57
NIRS	107	炭素線	74	68

1) Cancer. 2005 Jun 15;103(12):2544-50
2) Head Neck. 2004 Feb;26(2):154-62

(図14)



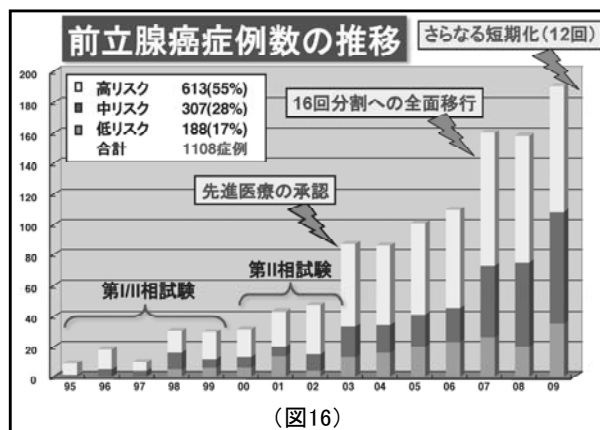
(図15)

図15はまた別の非常に特殊ながんの一つで、脊索腫という病気です。首の横のところに大きながんができていて、黒いところが食事が通るところです。のどがあって背骨があって脊髄があります。ここに重粒子をかけると、このように周囲に大事な臓器があっても、強い副作用を起ささないでがんがなくなるということです。

前立腺がんでは治療期間を短く

前立腺がんは最近非常にふえているがんですが、私どもは積極的に治療を行っております。前立腺がんは現在いろいろな治療が行われていますが、一つの特徴として、できるだけ患者さんにとって負担が少ない治療＝短い治療を目指しています。

一般の放射線治療ですと進行がんの場合には8週間ぐらいかかるわけですが、それが5週間、3分の2の期間で治療を始めました。そうしたら、非常に結果がいいということで、さらに短くして4週間ということにしました。この1週間の差なのですが、実はなかなか時間を短くするには時間がかかりまして、10年ぐらいかかっています。そうしたところ、1週間短くしても全く差がない。副作用を見てみると、16回



(図16)

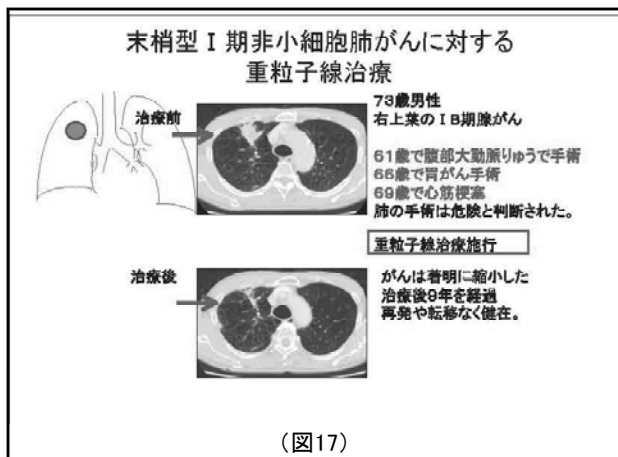
の方がむしろ少ないという数字になっています。

そういう経験を踏んで、さらに現在は進行した前立腺がんを3週間で治す試みを臨床試験として開始したところですが、なぜこれが重要かといいますと、重粒子線治療装置はそう簡単につくれるわけではありませんので、この期間が短ければ短いほど、よりたくさんの患者さんを治療できるわけです。しかも短くしても幸いなことに、副作用等は減るといようなことがわかってきたわけです。

それがどういふふうになっているかといいますと、例えば16回にしましたら、年間に治療する患者さんの数が100名程度だったのが、いきなり160名にふえています。今回、12回照射にするとこれがどこまでいくかという、治療する側の人数は限られていますので、どこでも増やせるというわけではありませんが、例えば16回が12回になるだけでも、その分、同じ負担で30%多くの患者さんを治療できるということになるわけです。

肺がんの治療

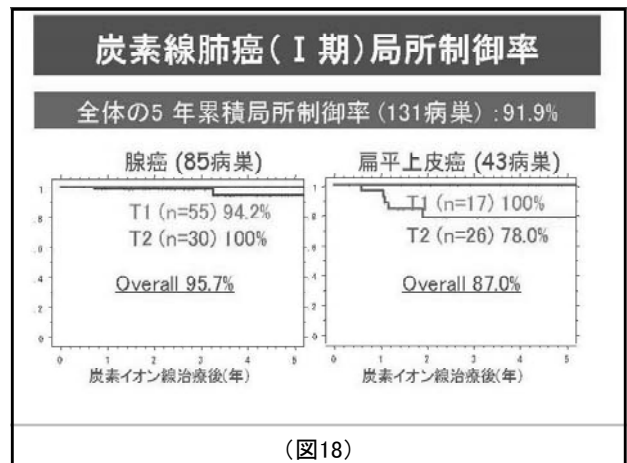
肺がんも年間100名ぐらい治療しております。



(図17)

この方はもう9年ぐらいたったと思うのですが、図17の上の画像の白いところががんです。大動脈瘤・胃がんで手術、心筋梗塞も起こし手術は難しいだろうということで重粒子を照射しています。下の画像ではがんが消えてなくなって、もう9年たったということです。

肺がんも18回6週間という方法から、だんだん短くして現在は1回で治療を行っています。ですが、その前に3週間とか、1週間で治療した方の経過を相当長い期間診ておりますので、その方たちの結果がどうなっているかをお示しします。

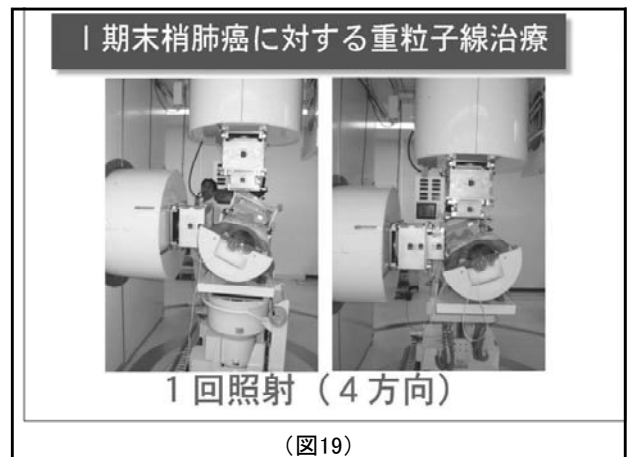


(図18)

局所制御率というのはかけたところがうまくいっている割合ですが、5年後で92%。全部が全部治せるわけではないのですが、この数字は相当よい数字だと思います。

副作用を見てみますと、グレード3や4という副作用が出るとよろしくないわけですが、幸いなことにそのような副作用も、肺とか皮膚とかにも出ていません。

今このグループを、少し乱暴なのですが、手術の成績と比較しますとほとんど変わらないような数字になってきています。手術を受ける方の平均年齢は65歳なのですが、私どもの患者さんは平均年齢が75歳です。しかもその約75%の方が、さっき申し上げたような腹部大動脈瘤があるとか、脳梗塞をしているとか、いろいろな合併症をお持ちの方です。そういうことを考えますと、この成績は手術に相当迫っているのではないかというふうに思っているところです。

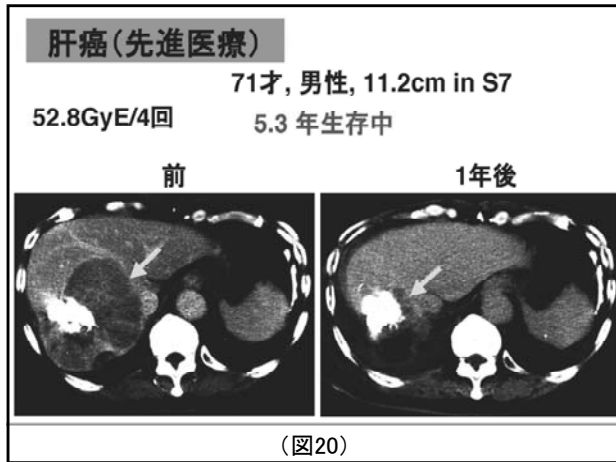


(図19)

図19は1回照射をやっているところですが、患者さんは背中側にがんがあると、上と横方向からしか重粒子は照射できませんので、うつぶせになっていただいて上と横から照射します。そして、患者さんの方向を変えて上と横からもう一遍照射します。この作業に大体1時間から

1 時間半ぐらいかかりますが、すべての治療はこれで終了になります。現在のところ、局所制御率が 8 割から 9 割ぐらいですので、かなりいい成績で推移しています。

肝細胞がんの治療



肝癌(先進医療)
71才, 男性, 11.2cm in S7
52.8GyE/4回 5.3 年生存中

前 1年後

(図20)

肝癌の年生存率の比較 (肝硬変合併例)

	T1	T2
肝切除*	70% (n=103)	48% (n=99)
炭素イオン線	75% (n=30)	50% (n=55)

肝機能を損なわないで、1週間以内の治療が可能

*Jean-Nicolas Vauthey, et al: Simplified Staging for Hepatocellular Ca. JCO 20:1527-1536, 2002.

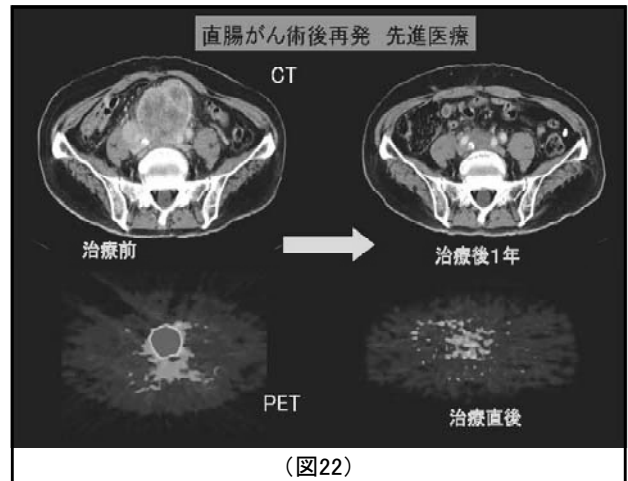
(図21)

肝細胞がんも非常に短期で治療を行っています。現在 2 回照射で行なっておりますが、この方は (図 20) 4 回の治療です。最初、血管の中に塞栓物質を詰める治療が行われたのですが、白いところがそうですが、残念ながらうまく治療できず周りに大きく再発された方です。10 cm を超えるような肝臓がんですが、重粒子を照射することによって消えてなくなって 5 年以上経過しております。

手術との比較をしても (図 21) ほとんど数値的には遜色がありません。

直腸がんの術後局所再発の治療

直腸がんそのものではなくて、手術をした後にどうしても 1 ~ 2 割の方は骨盤内、直腸のすぐ近くに再発することがあります。これは非常に治療に難渋するのですが、例えば図 22 の方



はリンパ腺に大きな再発をしています。そのためちょっとおなかが盛り上がっています。これはすごく痛くて、麻薬を大量に飲んでおられました。重粒子を照射しますと、がんが右のように消えてなくなる。これは PET で見ると真っ赤に集まっているのが、治療後はこれも集積がなくなっています。

これまでは手術できない方には普通の放射線をかけていたのですが、5 年生きる方はほとんどいらっしゃらない。手術ができる方は手術するのですが、これは骨盤内臓全摘出術といって骨盤の中を空っぽにするような相当大きな手術です。そういう手術を受けられる方は限られていますし、手術をしても 5 年生存率は 40 %前後の数字です。重粒子をやる方はこういう手術ができない方が大半ですが、重粒子を照射しますと、40 %くらいの 5 年生存率になっておりますし、痛みをとる効果は非常にすぐれていると聞いています。(図 23)

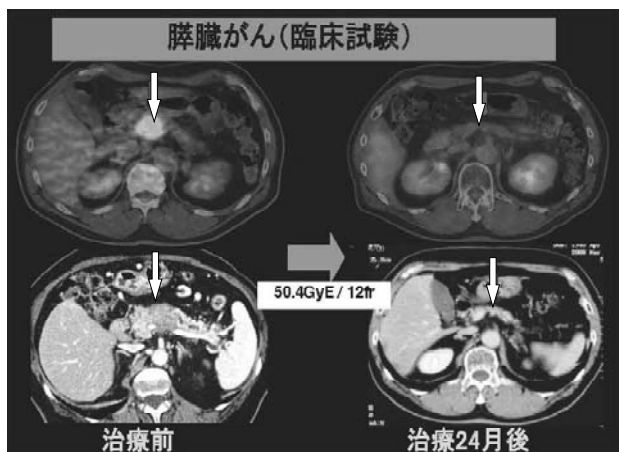
直腸がん骨盤内再発の治療成績
再発部位の治療、除痛効果が大きい

報告者	治療法	No.	1yr	2-yr	5-yr
X線治療成績					
Ohkawa (1989)	X線	84	48%	-	-
Nakama (1990)	X線	41	27%	-	-
KnoHP (1997)	X線	50	-	23%	6%
Murata (1997)	X線	47	33%	-	-
NIRS (2008)	C-ions	90	97%	87%	40%
手術成績					
Kato (1994)	手術	32	93%	82%	46%
Moriya (1994)	手術	34	46%	27%	7%
		18	88%	67%	42%
Wabeo (1998)	手術	53	91%	62%	31%
Sato (1999)	手術	71	88%	75%	31%

(図23)

膵臓がんは臨床試験の段階

すい臓がんはまだ研究としてやっているわけですが、すい臓がんについても局所的には非常



(図24)

によく効いています。

図 24 の上段の画像は PET/CT というものですが、白っぽくなっているところにがんがあります。下段の CT 画像で見ますとちょっと黒くなっている部分です。ここに 3 週間の重粒子線治療を行いますと、このがんが消えてなくなっているのがおわかりいただけるかと思えます。

この方はもう 4 年以上生きておられます。千葉県内の方です。すい臓の場合は、ここが治れば治るというわけではなくて、非常に転移が多いのが問題ですが、少なくとも重粒子を照射した場所については、現在非常によい結果が出つつあるということです。

骨・軟部肉腫の治療

骨・軟部腫瘍は

骨、関節、軟骨骨腫瘍
筋肉、脂肪、血管軟部腫瘍

などから発生する腫瘍の総称

代表的なもの…骨肉腫

NIRS

(図25)

それから、骨や筋肉から出てくる肉腫という病気があります。これは現在先進医療として行っているわけですが、代表的なものとしては骨肉腫があります。

これも重粒子線治療を行う患者さんが非常に増えておりまして、年間に最近では 140 名ぐらい治療しています。少ない病気なのですが、全国からたくさん患者さんがおみえになっています。

大体手術ができない方を治療しますが、手術ができないとなると、ほとんど 5 年生きる方はいなかったのですが、現在はほぼ手術と同じくらいの成績ができています。

最初のころ、どうしても皮膚にたくさん重粒子が照射されますと、潰瘍という重い副作用が起きました。どういう方たちが潰瘍を起こしているかを調べ、いろいろ工夫しまして、最近では全くといっていいぐらいそのような副作用は出なくなっています。

最初から重粒子治療で全部がうまくいっているというわけではなくて、この 10 数年の間にいろいろな技術を開発することによって、副作用を克服しているという状況にあるわけです。

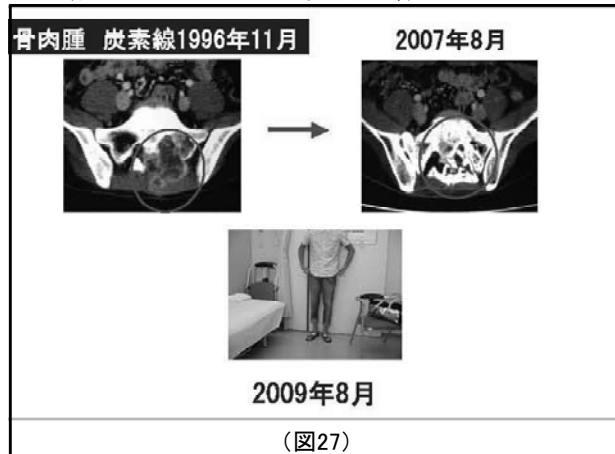
骨軟部腫瘍の治療成績(生存率)			
	1 年	2 年	5 年
切除 ^{1,2)*}	85-80%	75-70%	55-32%
非切除 ^{2)**}	15	-	-
重粒子*	91	80	62 (非切除)

*脊椎、傍脊椎、骨髄原発例spinal, **骨髄原発例
 1) Kawaguchi : Sekitsui Sekizui Journal. 9(2)99-106.1996
 2)Toriyama S et al : Nippon Seikeigeka Gakkai Zasshi. 61(11):1343-56. 1987

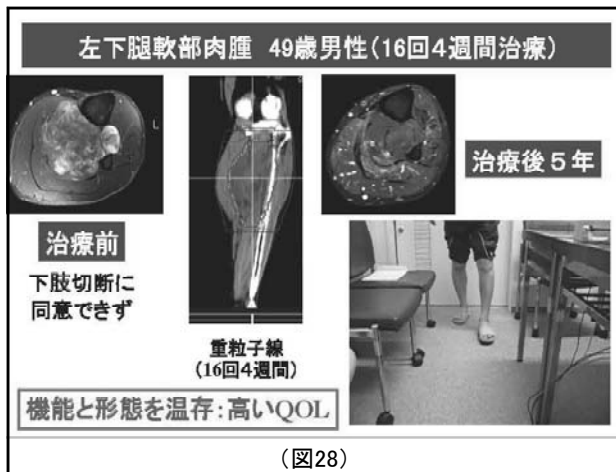
(図26)

図 27 は実際に最初のころの患者さんで、仙骨にできた骨肉腫で手術ができない。手術すると寝たきりになってしまいかねない、15 歳の男の子です。治ったとしても寝たきり、15 歳で一生寝たきりかという話があって、どうしても重粒子をかけて欲しいということで、治療になった方です。現在 27 ~ 28 歳になって都内で小学校の先生をされています。従来であればそのまま「何もできません。ごめんなさい」という方ですけれど、こういうことが重粒子で可能になっているわけです。

手術ができない手足以外の骨肉腫ではほとん



(図27)



(図28)

ど 5 年生きる方はいらっしやらないのですが、約 3 割の方を治すことができるようになっていきます。それでもまだ 7 割の方はうまくいかないという状況です。ですが、0 を 3 割まで何とか持ち上げてきたというところですよ。

それから、図 28 はまた別の患者さんですけれども、左の足の軟部肉腫ですね。切断と言われたのですが、どうしても切断は嫌だということで重粒子センターにお見えになりました。ちょっと足を引きずりますけれども、御本人は大変満足しています。この方も治療後 5 年以上経過されております。

重粒子線の得意分野・不得意分野

簡単にこれまでの重粒子線治療の結果、明らかになったことをまとめますと、ほかの治療では治せないようながんが治る。これは全部とは言いませんが、あえて言うとそういうがんがあるだろうということは言えると思います。それから肺がんや肝臓がんは通常の治療に比べるとかなり短い、前立腺がんにしても、半分ないし 3 分の 1 という期間で非常に安全に治せることがわかってきました。

重粒子線!!!	
医療の段階	
* 頭頸部、頭蓋底のがん	4週間治療
* 肺がん(非小細胞型)	早期のがんは1週間以内で治療
* 肝臓がん	他の治療が無効。1週間以内で治療
* 前立腺がん	4週間の治療、90%以上治る
* 骨や筋肉などのがん(肉腫)	手術ができないもの。4週間治療
* 直腸がん術後骨盤再発	4週間治療
* 眼球悪性黒色腫	1週間程度
研究継続中	
* 脳腫瘍 * 食道がん * 膵臓がん * 子宮がんなど	
現在、研究対象外: 胃がん、乳がん、大腸がん、泌尿器がんなど	

(図29)

ただ、重粒子線は白血病等の血液がんには適しません。胃や腸、これはぜん動運動といって食べ物によって自由におなかの中を動いているので照準をつけられない。次の瞬間どこに腸がいつているかわかりませんので、それは難しいです。しかも非常に壁が薄い臓器ですので、治療でがんがなくなっても、穴があいてしまっただけで結局手術をしなければいけません。それから、普通の放射線がよく治るがんがあります。例えば乳がんが代表されますが、手術と普通の放射線を組み合わせると、うまく見つけられれば大体 9 割は治ってしまう病気ですので、そういうものにあえて重粒子線をやる必要はないでしょう。

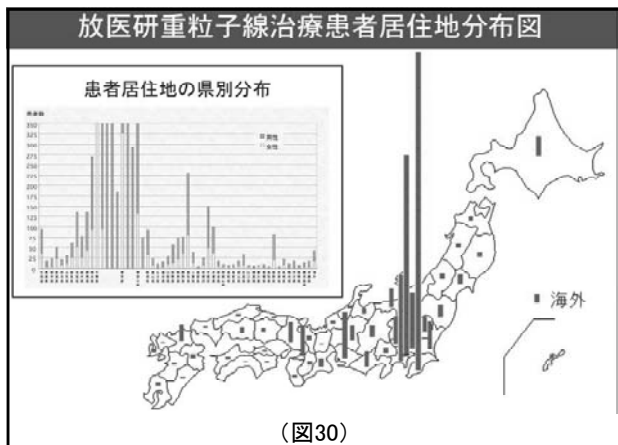
重粒子というのは非常に線量を集中してたくさん量をかけられますので、例えば転移してそこしか病気がない人はいい適応なのですが、転移の場合はなかなか治療に結びつかない場合も多いので、優先順位としては低いだらうと思っています。この治療が広く広がってきて、もっと安く治療できるようになると、そういう転移の治療にも最適なものではないかと思っています。

これをまとめると、重粒子線医療の段階というのは頭頸部のがんとか肺がん、肝臓がん、前立腺がん、肉腫、直腸がんの術後再発、これは珍しい病気ですが目の悪性黒色腫などです。まだ研究継続しているものとしては脳腫瘍や肝臓がんがあります。胃がんとか乳がん、大腸がんなどは現在のところは適用ではないだらうと思っています。

重粒子は理想のがん治療たり得るか

私は理想のがん治療としましてよく治る、すぐに、もとの通りに、痛くも苦しくもなく、と思っているわけですが、重粒子である種のがんについてはこれが実現してきているのではないかと思います。ただ、ここに一つだけ足りないことがあります。それは、「いつでも誰でもどこでも」受けられる訳ではないというのが理想のがん治療としては非常に問題ではないかと思っています。

実際にどの地域の方が治療を受けておられるかを示した図です。圧倒的に千葉の方が多いです。千葉の方は非常にラッキーです。いつでも来ていただければ治療は可能です。もちろん適用にならないと困りますが、千葉県と人口が同じところは、実は北海道です。北海道の方は



今のところ 100 人弱ぐらいこの治療を受けていますが、千葉の方は 2000 人近くやっています。がん患者はどこでも同じように出ているはずで、ですから、日本国内にはこの治療を受けられない方が潜在的に相当いるのではないかと考えているところです。

巨大な装置も小型化の努力が

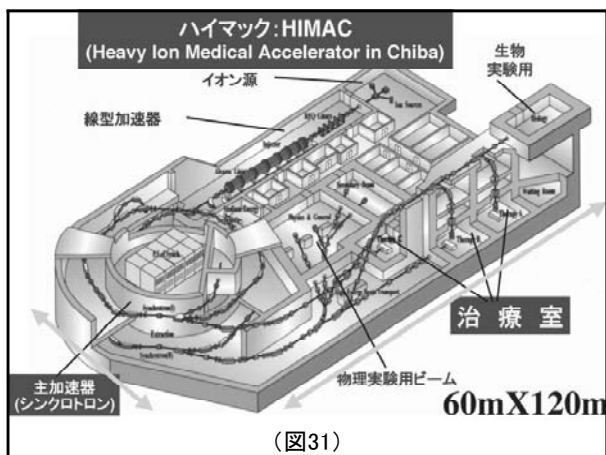


図 31 が私たちが使っている装置ですが、120m × 60m、サッカーコートぐらいの大きさがあって、300 何十億円の建設費がかかります。地下の 3 階部分のところに治療室があります。

これは問題だということで、30m ぐらいあるような線形加速器を 6m と非常に小さくすることに成功しました。これを群馬大学に入れて、この 3 月から稼働し始めました。

今は世界で重粒子線治療装置は 5 か所ぐらい動いているところがあるのですが、そのうちの約 8 割を放医研で治療しています。その結果、世界中で今、重粒子治療装置をつくらうという動きが出ています。ドイツ・オーストリア・イタリア・中国・韓国・マレーシア・サウジアラビア・台湾・アメリカなどです。放医研ではそういうところと研究協力協定を結んで、積極的

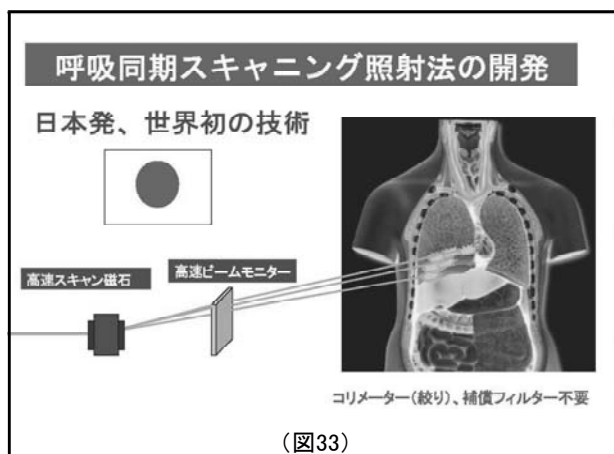


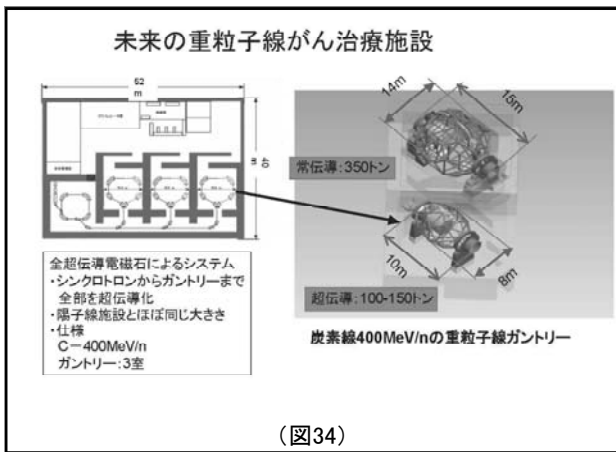
にこの治療を世界中に広める方向で頑張っているところです。

図 32 はドイツの装置です。2009 年から治療を始めています。イタリアでも治療がそろそろ始まりそうです。

さらに新しい重粒子線治療ということで、今の重粒子線治療装置の横に建物を建てました。中はできるだけ自然のものを使うようにと木材を使ってありますし、壁面緑化を取り入れ、今は大分きれいになってきました。そこでは、呼吸で動くものを細いビームでスキャンして治療するという、世界初の技術を駆使した治療をする予定です(図33)。CG で治療の様子を再現してみますと、患者さんはロボットアームの先に固定されて治療する場所へ移動します。そこで照射の位置が決められ、上と横から細いビームが出て、スキャンが行われて治療が終わります。そのあと、またロボットアームに運ばれて、もとの位置に戻っていきます。この治療が、ここ 1 年のうちには開始できるのではないかと考えているところです。

前立腺がんは呼吸で動きませんが、この新しい照射技術でシミュレーションして治療すると、前立腺がんも非常にうまく照射することができ、現在 12 回照射していますが、将来的に 8 回と



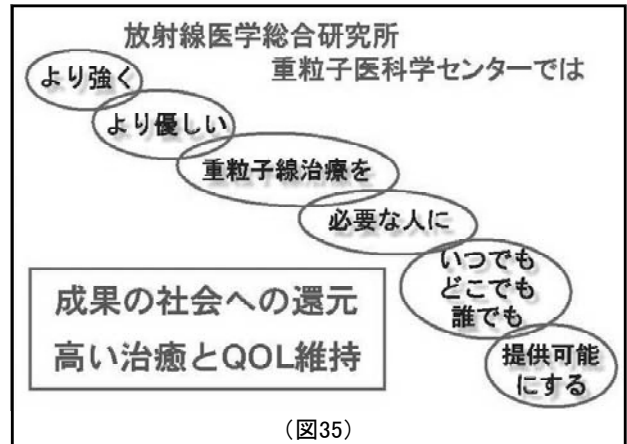


か 4 回とかですむような治療も可能ではないかと思っています。

さらに、現在は固定ビームで、上と横からしかビームがこないのですが、図 34 は超伝導を用いた 360 度回るような装置になります。実は千葉県のある企業が超伝導の技術については世界一の技術を持っていて、私どものところでその超伝導の技術を使わせていただければ、地産地消でいけるのではないかと思います。さらに加速器の主リングは今、周長 120m、直径 40m だったものが、群馬大では直径 20m まで小さくできています。さらにその超伝導を使いますと、大体周長 20m ですから、直径 6m ぐらいまで小さくできるというふうに考えているところです。最終的には未来の重粒子線がん治

療施設としては、このような超伝導を使って 6m の加速器、さらに同じような加速器を使った重量 100 トンのガントリーで、全く今と同じような治療ができるという時代がくるのではないかと思います。

まとめ



最後のまとめになりますけれども、私どもとしましては、より強く、より優しい重粒子線治療を、必要な人にいつでもどこでもだれでも提供可能にするように研究開発を進めていきたいというふうに考えているところです。

私の話は以上です。御清聴どうもありがとうございました。

鎌田 正 (かまだ ただし)

現 職: 独立行政法人放射線医学総合研究所重粒子医科学センター長

専 門: 重粒子線医学

略 歴

- 昭和54年 北海道大学医学部医学科卒業
- 昭和56年 文部教官北海道大学助手 (医学部附属病院放射線科)
- 平成 3年 文部教官北海道大学講師 (医学部附属病院放射線科)
- 平成 6年 科学技術庁放射線医学総合研究所重粒子治療センター治療診断部治療課医長
- 平成13年 独立行政法人放射線医学総合研究所重粒子医科学センター診断課臨床検査室長、千葉大学大学院医学研究院客員准教授併任
- 平成15年 (独) 放射線医学総合研究所重粒子医科学センター病院治療課長、重粒子線がん治療臨床試験プロジェクトリーダー併任
- 平成18年 (独) 放射線医学総合研究所重粒子医科学センター臨床治療高度化研究グループリーダー併任、診断・治療高度化研究グループリーダー併任
- 平成20年 (独) 放射線医学総合研究所重粒子医科学センター長、新潟大学大学院医歯学総合研究科客員教授併任
- 平成21年 千葉大学大学院医学研究院客員教授併任
- 平成22年 山形大学医学部非常勤講師併任、広島大学大学院医歯薬学総合研究科非常勤講師併任 北海道大学大学院医学研究科客員教授併任

