

☆

5. 講演『放射線医学と物理学～医学物理の世界』

遠藤 真広 氏（放射線医学総合研究所 日本学術会議連携会員）

放射線医学総合研究所の遠藤と申します。前の講演に圧倒されたのでなかなかやりにくいところですが、本日の主題は「物理学に夢とロマンを」ということですが、私としては少し変えて医学物理の夢と現実みたいなこととお話ししたいと思います。それも夢よりも現実が少し大きな割合を占めるかもしれませんが、そのときにはご容赦願いたいと思っています。

まず、少し夢の部分に関わるのですが、放射線を使った医療、放射線医療の始まりは物理学上の発見です。非常に有名ですが、1895年、今から112年前にレントゲンがX線を発見しました。これが放射線医療の側でも非常に大きな割合を占めているX線診断の始まりです。これは、レントゲンが最初にX線を用いて撮影した、非常に有名な写真です（図1）。この中にすでにX線を用いた放射線診断のいろいろな可能性が見えています。スライドに示すように骨や関節が皮膚や筋肉を透かして写っています。それからこれは指輪なのです。金属がこういうかたちで黒い、X線を通さない塊として写っています。

それから放射線医療に結びついた物理学の発見としては、放射能の発見がその2年後にありました。これはベクレルが発見しましたが、この発見により、放射能をトレーサとして使うことが20世紀において非常に発達したわけです。臨床医学においては、放射能の入った物質を身体に投与して、それをトレーサとして使う核医学という放射線医療の一分野を産みだしました。すなわち、核医学の始まりが放射能の発見ということです。

それから、これも非常に有名ですが、ラジウムがキュリー夫妻によって発見されています。ラジウムというのはご存知のように少量で非常に放射能の大きい元素でして、これが放射線治療の始まりになりました。癌に照射して治療できるような放射線源を人間はラジウムの発見により手に入れたということです。

物理の大発見がそのまま放射線医療の開始につながったということで、この3つの発見は重要な意味があります。

物理学の関与は、それだけではありません、こういう最初の段階から100年の間にいろいろな進歩があります。例えば放射線診断の進歩を考えてみますと、これは胸のX線写真です（図2）。昔は結核健診でみんな撮ったわけです。私なども小学生の頃に何回も撮り

ましたが、このような胸部のX線の写真は、平面上に立体を写しこんだものです。これでもいろいろなことがわかるのですが、X線吸収の差が少ないものは、このような平面写真では重なってしまい、わからない。それを解決したのがCTです。CTは1972年、今から35年前に発明され、横断の画像が撮れるようになりました。

この写真は最初に出てきたCTですが、頭部専用でした。このあたりにX線管があって、一回スキャンするとガチャンと一度回って回転していくものです。その後どんどん進歩しまして、身体全体を入れられるような装置になっています。そのようなものを使いますと、これは同じ胸部なのですが横断画像です。ちょっと会場が明るいので見にくいかもしれませんが、このあたりに淡い陰影があるのです。これが肺癌です。このような淡い陰影がある肺癌の像はこうした平面に写しこんだ普通のX線写真ではなかなか見えてこないのですが、こうした横断像ではすぐ見えてくる。CTが登場することによって放射線診断が非常に進歩しました。

それからさらにこういった断面の像を積み重ねれば3次元の立体が撮れるというのは当たり前前のことですが、このような3次元の画像というのは1990年ごろから、コンピュータとCTの装置の進歩によって簡単に得られるようになりました。こうした積み重ねにより情報量が追加されたわけではありませんので、単に病気を見つける診断という意味ではこんなことをしても仕方がないのですが、治療という立場からすると3次元のほうが非常に役に立つのです。特に胸部の手術などをしようとするときには、腫瘍の拡がりとか血管との関係などがよくわかりますので、どのような手術をしたら良いかということが、コンピュータでシミュレーションできるようになってきています。このようなことがあって、さらに3次元から4次元と進んで、4次元というのは立体が動き出すということで、例えば肺は呼吸で運動しておりますし、ここにあるのは心臓ですが、心臓も鼓動をしている。そうした動きをとらえるところまで今行っています。こういう進歩の原動力には、基礎的な研究があります。例えばいわゆる逆問題という応用数学的な分野がCTの導入と同時に盛んに研究されるようになりました。そうした基礎的な手法の進歩に加えて、コンピュータなどの進歩によりCTが進んで来たと思います。

もう1つは核医学ですね(図3)。放射性同位元素がトレーサとして使われる放射線診療ですが、身体の中に放射性物質を投与して、その分布を見る。最初に出てきたのは1950年代の後半に導入されたシンチスキャナーです。これがシンチレーション検出器です。患者さんにI-131を投与している。I-131というのはヨウ素の同位体で、甲状腺のところに

集まる。それを検出器でスキャンして分布を測る。これでは時間がかかるので、2次元をそのまま検出するシンチカメラが開発された。そういう装置を使うとこのような全身の画像が撮れます。この画像はリン酸の化合物の分布ですが、そういうものを使いますと骨に転移した癌は盛んにリン酸が取り込みますので、転移している部位が簡単にわかるということです。

これは先ほどの平面画像であります。断層を撮るためにはPET装置、またはSPECT装置があります。PET装置は陽電子が消滅したガンマ線を測ります。SPECT装置は普通の単一光子に対応するものです。

これは日本最初のPET装置で、当研究所で1979年に造りあげたものです。もう30年近く前になります。私もこの開発に関わっています。そういうことで歳もだいたい分かってしましますが。

この装置は、細かく説明すると長くなるのですが、64個のシンチレーション検出器を使っております。ちょっと出っ張って見えているのがそうなのですが、全部数えても32個しかありません。実は隙間がありまして、奥にあと32個あります。このときは64個だったのですが、今、PET装置は非常に進歩しまして、数万個の検出素子を使うまでになっています。

それからもう1つは、放射線治療です。最初はラジウムが使われたわけですが、これはご存知のように非常に値段が高い放射性同位元素ですので、身体の外から照射するだけ大量に使用することは難しい。1950年代後半になりますとコバルト60が臨床で使われるようになり、これはシールドですけれども、その中に入れてコリメータを通して照射することができるようになりました(図4)。これは日本に最初に入った照射装置で、当時の国立東京第2病院、今の国立病院機構東京医療センターに導入されました。一生懸命にコリメータを病巣に位置合わせをしているところを記録したものです。もっとも、これは本当の患者さんではなくて看護婦さんがモデルとなっております。

ただ、コバルト60ですからエネルギーもやや低いですし、線源は減衰していくと交換する必要があるなど、非常に使いづらいということで、加速器を使うことになりました。

これは最新の電子リニアックです。それからこれはシミュレーションですが、身体の中でどのような線量分布になるかということを示したものです。これは治療計画といい、コンピュータを使って線量の分布を計算し、CTの画像上に重ね書きするものです。こうした放射線治療装置の発展の最たるものは、これも放医研であります。粒子線治療装置と

というのがあります。これは巨大な加速器でして、医療用としては異例に巨大な装置です。こちらの方向は約120メートル、深さが20メートルぐらい、それから幅が60メートルで、サッカー場を地面に埋めたような装置です。当研究所では13年半ぐらい前から癌の治療にこの装置で加速した炭素イオン線を使っております。放医研の研究で粒子線が癌の治療に非常に有効であるということがわかってきましたので、これは大変に金がかかった装置なのですが、コスト削減を行ない新しい普及型の装置を開発しまして、それが日本や世界に配置されつつあるという状況があります。

ということで、多少、夢につながるようなお話をしましたが、これから少し現実的なお話をします。医療で今のように放射線の応用が進んできたわけですが、その基礎として1950年代後半、先ほどの核医学が始まった、放射線治療にコバルトが導入されたころに、医学物理学というものが、医学物理学というのは **Medical Physics** という英語の訳ですが、応用物理学の一分野として誕生したわけであります。

あとは字ばかりですので、明かりを点けていても同じです。医学物理学の領域には放射線計測、絶対線量測定、線量分布測定と計算、および医用放射線機器の開発・改良などがあつた。そういうときに、実際に医療の現場において行なう人たち、すなわち **Medical Physicist** という職業が欧米諸国においては成立しております。

医学物理士とは何かということですが、**Medical Physicist** の訳であり、一言でいうと放射線診療が適切に行なわれるように医療の現場において放射線物理の専門家として関与する医療職です。米国においてはおよそ5000人の医学物理士がいくつかの団体により認定されている。その認定資格は物理・工学系の修士または博士を取得し、臨床研修を3年間行ない、さらに試験に合格することです。このことは後でもう少し詳しくご説明します。

その数の推移であります。これは **American Association of Physicist in Medicine** という医学物理士の団体、実は医学物理士でない人も若干入っているのですが、その団体の会員の推移であります。1969年にできたのですが、40年近くの間には10倍ぐらいに増大しております。

もう少し医学物理のことを具体的に申しますと、これは今のAAPMのホームページに載っている内容を、もとは英語なのですが、日本語に換えてきました。訳はちょっと間違っているかもしれませんが、「医学物理士は患者の放射線安全を保証し、それから画像技術を改良する。さらに放射線診断プロセスの効率化に寄与する。」これは放射線診断の物理であります。それから「医学物理士は放射線治療技術、これは具体的に、例えば前立腺への刺

入療法、定位照射療法などの開発に寄与し、放射線治療医と協力して放射線治療計画を立案し、癌患者が処方された線量を適切な部位に照射されるよう治療装置とプロセスをモニターする。」いくつか具体的な言葉が出てきます。最後の文面は放射線管理であり、日本ではこういう職業領域は確保されていますが、前の2つは日本においては必ずしも職域としては認識されていない。専門領域としては今言った3つの分野に加えてMRIなども医学物理の専門領域として掲げられております。

この先は米国の医学物理士といっても放射線治療に対応する人が大部分ですので、そこに話を限りますと、医学物理士は、90%ぐらいは通常の業務もこなしております。それは臨床業務、直接患者さんに関係する業務であり、治療計画などがあります。それから治療のQA、治療が処方どおり行なわれるようにシステムや装置をクオリティコントロールする仕事であります。それから残りは新技術の受け入れ・開発、ここが一番おもしろい夢の部分ですが、これは5000人の仕事のうちのたぶんトータルとしてみると10%ぐらいです。1人が10%というわけではなくて、ある人は100%やっているし、ある人は1%かもしれないということです。それから医学物理の教育です。

もう一回認定資格をきちんと述べますと、非常に厳しいです。まず、「基礎医学物理と臨床」試験というものに受からなければいけないのですが、受験資格は物理学または応用物理学の学士であり、かつ同じ分野の修士または博士。修士と博士は同じ扱いです。試験に合格しますと、今度は専門医学物理試験があります。その受験資格は、過去7年以内の第1部試験合格と、それからここで臨床研修が出てくるのですが、大学院終了後3年以上の臨床研修。臨床研修の期間については、大学院で医学物理を専攻した人などに多少の優遇措置があります。ここまで受ければ口頭試験はだいたい受かるということです。

このような医学物理士というのは実は日本にはいません。放射線治療の日米比較を行い、対応関係を示すと、米国では博士レベルの医師と医学物理士がいて、医師は患者の診察、治療の処方。医学物理士は治療計画、治療のQA。実はこれ以外に線量測定士という学士レベルの職種が米国にはあります。これは医学物理士の監督の下に治療計画や臨床線量測定を行なう。さらに治療技師は患者さんに照射を行なう。このように分かれています。ところが日本の場合はそうはなっていないくて、治療の現場にいるのは医師と、治療を担当する治療放射線技師でして、ある意味でこの間が抜けてしまっているのですね。日本においては、医学物理士は医療現場にはほとんど存在せず、その役割は医師と技師により分担されていますが、どんなにその人が優秀でもカバーできる範囲というのがありますから、そ

の間が抜けてしまい、広い意味での治療QAが疎かになる。

日本でこうした物理士不在の問題がありますが、最近 10 年間を見ると、放射線治療を巡る環境が大幅に変わっております。様々な放射線治療技術が導入され、患者数が 10 年間で倍増と増大しております。この結果、放射線治療事故が続発しております。また、線形加速器の生産から撤退ということがありまして、日本はこの分野ではぜんぜん太刀打ちできないという状況にあります。

それで患者数の増大を簡単に示しますと、右肩上がりです。しかし、2005 年の調査では予想よりも実際の増加が少ない。これは放射線治療の現場が大変に忙しくなり、また治療QAも必要であるということでパンクしていて、来ても治療ができないというので、やっぱり手術にしてしまうとか、そういうことではないかと私は思っています。

また、強度変調放射線治療や粒子線治療などの新技術がどんどん放射線治療の臨床現場に入ってきたのは、この 10 年ぐらいのことです。

そうするとどうなるかというと、要するにいろいろな事故が起きています。国立弘前病院での事故は最近 4～5 年に起こった放射線治療事故の最大規模のものですが、254 人の人が過剰照射を受けたと報道された。その原因というのは医師と技師の間で認識の相違があるということなのですが、そのために 11 年間にわたって 254 人に対して、最初の報道では 1.1～1.3 倍の過線量といっているのですが、実際には違っていて、人数も違いますし、線量では最大 2 倍の差があったということです。

ごく最近の状況をいうと、こうした事故の続発があり、関係者が大いに努力しまして、ようやく医学物理士というものの必要性が認識されつつあります。特に癌対策の推進が昨年 (2006 年) から進められ、法律が変わって、さらに基本計画というのが決められました。その中で「特に放射線業務については、近年の放射線療法の高高度化に対応するため、放射線治療計画を立てたり、物理的な精度管理を支援したりする人材の確保が望ましい」と規定されております。これはようやく医学物理士の必要性が国のレベルで認められつつあるということを意味しております。

さて、日本の医学物理士なのですが、実は医学物理士はずいぶん昔からいるのですが、20 年前からあるのです。ただ、ここに書いてあるように日本の医療制度などが隘路となり社会的に認知されていない (図 5)。2003 年より数が増え出していますのは、放射線技術系の方々に受験の道を開いたことにより増大してきたわけでありまして。しかし、まだ現時点では医療制度の中では位置づけられていません。しかし、これが変わろうとしていると

いうことを言いました。

日本の認定ですが、これはほとんど米国と同じでして、理工系の博士または修士に対しては、ちょっと違うのは医学経験1年で受験資格を与える(図6)。それで3年の医学経験と、試験の合格、さらに業績点というのが過去2年間で30点以上あれば認定します。これが基本ですが、放射線技術系の大学・大学院ができてきて、5~6年前からこの大学院からも博士が出るようになってきました。こちらのほうにも受験資格を与えたというのが2003年からですが、こちらのほうは1年優遇されております。その理由は臨床実習を学部・大学院時代に行っているんで、その分を算定しているということです。

それから現実には診療放射線技師が医学物理士の業務の一部を担っていることもあり、診療放射線技師からの医学物理士への認定も行っております。その認定条件は図に示すようになっています。

最後に、医学物理士になるにはどうすれば良いかです。これは理工系に話を限りますが、医学経験3年というのがものすごく厳しい壁です。ぜんぜん違う世界ですからね。ではどうするかといいますと、これはポスドクまたは任期制研究員として医学研究機関に在籍する以外にない。そこで研究を主にしながら放射線治療品質管理などの研修を行なう。ただ、受け入れ可能機関が非常に少ない。例えば放医研では受け入れております。現在も確か1人か2人、募集していると思います。ただ、そうしたことができるところは非常に少ない。おそらく日本では常にできる場所はたぶん放医研ぐらいで、他の施設は大きな研究費を獲得できたときぐらいに可能になると思います。ですから奨学金制度の充実などをしていく必要があると思います。

それから試験の合格ですが、これも相当に厳しいです。というのは物理と名が付くのは放射線物理学が主でありまして、放射線生物とか放射線診断学とか放射線治療学とか、あまり聞いたことがないのがある割合で採点される。しかもこれらは記述的な学問なので、物理の人には必ずしも馴染みがよくない。しかも、系統的な学習のできる機会というのはないのです。セミナーや教科書で自習する以外にないのです。ですから系統的な学習のできるコースの設置が必要であります。ただ、この部分は今年(2007年)からというか、実際には学生の教育が始まるのは来年(2008年)からなのですが、「がんプロフェッショナル養成コース」というのが、いくつもの大学で始まります。そうしたところに例えばコースだけ聴きに行くということはできると聞いておりますので、そういうところで勉強する。

業績点であります。これは研究活動として論文を1本出せば何点という点数ですので、

研究活動を獲得できる。

それから進路ですが、先ほど言ったように大学病院の放射線治療部に所属して、これは教員です。それから地域癌センターなど癌治療病院の放射線治療部に所属して、研究員または技術員として業務を行う。このあたりのコースはまだきちんとしていないのですが、そういうところに所属する。

研究としては放射線治療機器システムの開発があります。ここで多少の夢をいうと、ハード的なものだけでなく、今、医学の生物学的な部分というのは非常に進歩が激しくて、例えば再生医療などがどんどん入ってきています。消化管の放射線治療というのはなかなかやりにくいところがあるのですが、こういうところに再生医療を組み合わせることによってできることがあるのではないかと。それからドラッグデリバリーシステム、DDSというのも今非常に進歩している最中ですが、そういうものと放射線治療の組み合わせ、べつに組み合わせなくてもいいのですが、そういうことを治療に導入する。そういうこともあり得る分野であります。

それから進路については、装置メーカーや商社への就職もあります。また、実は日本の医療というのは変な部分がありまして、大病院よりも医療法人、私立とか、そうしたところに最新医療機器が入っているところがあるのです。昔は装置だけ入れればよかったのですが、今は人もついてこなければ使いこなせないということで、こういう医療法人などに就職するというのも現実問題としてはあります。

そういうことで話を終りにいたしますけれども、この絵は何かというと、富士山でして、これは黄昏ではなくて夜明けです。私としては日本の医学物理学もやっと夜明けを迎えたかなという、そういう感慨を持っています。

○司会(小林)：どうもありがとうございました。あとでパネルディスカッションでご意見を聞く機会があるかと思っておりますけれども、ここで1つお聞きしたいということがあれば。

○Q3：放射線担当ということであれば、放射線のお医者さまがいるわけですね。放射線のお医者さまと医学物理学士といったものとの間の関係と伺いますか、それはどうなっているのでしょうか。かなり良好な関係なののでしょうか、それともあるいはただの下働きとか、そういったことがやはり働くときにとっても大切なことだと思うのですが、現実は今どのようなことになっているのでしょうか。

○遠藤：一般論ですと、まだほとんど医学物理士は現場にいないわけですね。医学物理士を現場に置く医師というのは医学物理士というのをよく理解しているし、その協力をま

さに求めています。ですから一般的には良好な関係になると予想できます。むしろ最大の問題は診療放射線技師という現場で業務を行なっている人とどういう関係を持つかです。

これは何とも言えないですね。入っていく医学物理士の人柄にもよりますし、受ける側の技師のスタンスにもよる。またそれぞれの現場における実力というものにも依存します。

○Q3：そういうものはもちろん人によると思うのですが、制度としてはどのようなことなんでしょうか。あるいは権限とか、そういったものに関しての何か整備されたようなものがあるのでしょうか。

○遠藤：今の時点では医療の中に位置づけられていないということですので、制度的なものは何もありません。

○Q3：これからそうしたものを整備していくという段階ですか。わかりました。ありがとうございました。

○司会（小林）：それでは遠藤先生、ありがとうございました。

☆