

《第6回 医用原子力技術研究振興財団 講演会》

# 原子力(放射線)利用技術の 医療への貢献

～人にやさしい放射線医療～

## 講演要旨集



安芸の宮島

日時/平成21年12月5日(土)

会場/広島県民文化センター 多目的ホール

■主催/(財)医用原子力技術研究振興財団 ■共催/広島大学

<http://www.antm.or.jp/>

■後援/文部科学省 厚生労働省 経済産業省 原子力委員会 NEDO技術開発機構 日本原子力研究開発機構 広島県 広島市 広島県医師会 広島市医師会 日本医師会 日本医学会 日本癌学会 日本癌治療学会 日本医学放射線学会 日本放射線腫瘍学会 日本原子力学会 日本対がん協会 広島県健康福祉センター 国立がんセンター 癌研究会有明病院 がん研究振興財団 放射線医学総合研究所 日本原子力産業協会 日本アイソトープ協会 がん患者団体支援機構 中国地域エネルギーフォーラム NHK広島放送局 ラジオ日本 中国新聞 朝日新聞 読売新聞 毎日新聞 日本経済新聞

■協賛/日本メジフィジックス株式会社 広島ガス株式会社 社団法人広島県医師会 エーザイ株式会社 GEヘルスケア・ジャパン株式会社 第一三共株式会社 社団法人日本アイソトープ協会 日本電子応用株式会社 富国生命保険相互会社 富士フィルムRIファーマ株式会社

■広告協賛/三菱電機株式会社 安藤建設株式会社 住友重機械工業株式会社 株式会社竹中工務店 中国電力株式会社 株式会社千代田テクノロ 戸田建設株式会社 広島支店 株式会社日立製作所 広島ガス株式会社 広島信用金庫 富士電機システムズ株式会社 株式会社フレスタ 三井物産株式会社 三菱重工業株式会社 株式会社サンワ



黄色い葉は痛くない、切らない、簡単な3つを表しています。  
緑の葉はやさしい治療を表しています。  
「Quality of Life」というコピーは、  
放射線治療がQOL（Quality of Life）の向上に大きく寄与し、  
がん治療の新しい時代を切り拓いて行くという決意を表しています。

## 第6回 医用原子力技術研究振興財団講演会 開催趣旨

当財団は、原子炉や加速器等から発生する粒子線等による先端のがん治療をはじめとする、各種放射線による疾病の治療並びに診断等、医用原子力技術の研究を推進するとともに、その普及を図ることにより、科学技術の振興を図り、もって人類の福祉向上に寄与することを目的に設立されました。

当財団では、原子力（放射線）利用技術の医療分野への貢献が国民生活に身近なものであることを内容とした「人にやさしい放射線医療」をテーマとして、放射線画像診断、高度 X 線治療、粒子線がん治療、を平易且つ啓発的に広く一般の方々にも紹介するとともに、併せて、放射線の安全管理について解説することを目的として標記の講演会を企画しました。

放射線の利用技術が診断・治療に応用されることにより、原子力の有用性がエネルギー分野のみならず、医療の分野でも大きく認められつつあります。国民の医療福祉を実質的に向上させることを目的として開催いたします。

# プログラム

## 《第6回 医用原子力技術研究振興財団講演会》 原子力（放射線）利用技術の医療への貢献 ～人にやさしい放射線医療～

日時：平成21年12月5日（土）午後1～5時

会場：広島県民文化センター 多目的ホール

13:00～13:10 開会の挨拶 (財)医用原子力技術研究振興財団 理事長 森 亘

### 第一部 放射線による画像診断の進歩と安全管理

座長：JA尾道総合病院 病院長代行 伊藤 勝陽  
13:10～13:40 画像診断の最前線 滋賀医科大学 放射線医学 教授 村田喜代史  
13:40～14:10 PETでとらえるがんの画像診断 京都大学 画像診断学 講師 中本 裕士  
14:10～14:40 放射線診療と安全管理 大分県立看護科学大学 学長 草間 朋子  
14:40～14:55 休憩（15分）

### 第二部 放射線によるがん治療

座長：京都大学 名誉教授 阿部 光幸  
14:55～15:25 高精度放射線治療の進歩 広島大学 大学院 放射線腫瘍学 教授 永田 靖  
15:25～15:55 陽子線治療について 静岡県立静岡がんセンター 陽子線治療科 部長 村山 重行  
15:55～16:25 重粒子線治療の現状について (独)放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター長 鎌田 正  
16:25～16:30 会場設定（5分中断）

### 第三部 質問コーナー

座長：広島大学 大学院 放射線腫瘍学 教授 永田 靖  
(独)放射線医学総合研究所 名誉研究員 河内 清光  
16:30～16:55 講師、座長全員登壇

16:55～17:00 閉会の挨拶 広島大学 学長 浅原 利正



## ○放射線による画像診断の 進歩と安全管理

### 第一部

### 座長

**伊藤 勝陽 先生**

JA 尾道総合病院 病院長代行

**伊藤 勝陽 (いとう かつひで)**

昭和 21 年 2 月 2 日生

**略 歴：** 昭和 47 年 3 月 広島大学医学部医学科卒業  
 昭和 47 年 7 月 広島大学医学部助手  
 昭和 48 年 4 月～ 50 年 3 月 慶應義塾大学医学部放射線診断部・西岡清春教授  
 昭和 54 年 12 月～ 55 年 2 月 順天堂大学超音波センター・和賀井敏夫教授  
 昭和 55 年 6 月 広島赤十字原爆病院放射線科副部長  
 昭和 58 年 7 月 広島大学医学部附属病院助手  
 昭和 62 年 2 月 広島大学医学部講師  
 昭和 63 年 7 月 広島大学医学部助教授  
 平成元年 5 月 広島大学医学部教授、広島大学医学部附属病院放射線部部長  
 平成 14 年 4 月 広島大学病院副院長（経営担当）、安全管理部長  
 平成 15 年 4 月 広島大学病院医療相談室室長  
 平成 16 年 4 月 広島大学病院院長補佐  
 平成 18 年 4 月 広島大学医学部医師会会長、広島県医師会常任理事  
 平成 21 年 4 月 広島大学名誉教授、JA 尾道総合病院 病院長代行

**学会活動：** 日本医学放射線学会（監事）  
 日本磁気共鳴医学会（評議員）  
 日本肺癌学会（評議員）  
 日本小児放射線学会（代議員）  
 日本画像医学会（監事）  
 日本脈管学会（評議員）  
 日本超音波医学会  
 日本癌治療学会  
 北米放射線学会  
 欧州放射線学会  
 米国超音波学会

## 画像診断の最前線

### — 体の中を画像でみる —

滋賀医科大学 放射線医学 教授  
村田 喜代史 先生

#### 1. 画像診断とは

画像診断とは、CTやMRIといった医用画像を用いて、体の中に生じている病気を見つけたり、また病気がどのような種類で、どこまで広がっているかを診断することをいいます。病気が手術で治療すべきものなのか、いろいろな薬剤で治療すべきなのか、そのような治療方針を決定するために、画像診断で得られる情報は非常に重要になってきています。とくに最近では、コンピュータ技術の発達とともに画像診断技術が飛躍的に進歩して、CTやMRIのように、患者さんに苦痛を与えずに体の断面の画像をみることができるようになりました。最新のCTやMRIでは、まるで人体標本をみるようにミリ単位で形の変化が評価できるようになり、しかも立体的に捉えることができるようになりました。さらに、形の変化が現れるまでに細胞の中で生じている代謝の変化を画像として捉える方法も登場してきました。そこで、この講演では、そのような画像診断の最新情報のいくつかをご紹介します。

#### 2. 病理診断に近づいた画像診断

最新のCTやMR画像では、体の正常構造を詳細に観察することができます。たとえば、脳のMR画像では、脳を形作っている灰白質や白質、基底核といった構造がまるで解剖の教科書のように描出されます。したがって、そのなかに生じた脳梗塞や脳出血、あるいは腫瘍は、ミリ単位の小さなものまで捉えることができるようになりました。また、肺の病気では、高分解能CTという画像を用いると、ミリ単位の小さな肺癌が捉えられるばかりでなく、肺の基本の構造単位である1cmの大きさの二次小葉の中で、病気がどこに生じているかを体の外からわかるようになりました。つまり、病理標本で得られるような情報が画像から得られるようになり、病理診断に近づいた画像診断が可能になったというわけです。

#### 3. 立体的でわかりやすい画像診断

コンピュータ技術の進歩のおかげで、CTやMRIで得られた薄いスライスの連続画像情報から、様々の三次元画像を後から作成できるようになりました。改めて検査する必要はないので、患者さんには負担をかけることはありません。たとえば、画像の中の血管の情報だけを取り出して再構成すると、CT血管造影やMR血管造影といったものができます。最新の画像では、その精密度は直接血管の中に造影剤を入れて撮影する血管造影とほとんど変わらないレベルに到達して

います。これらの画像を用いると、動脈瘤や血管の奇形といった病気をスクリーニング検査で診断できるようになりました。また、消化管や肺の気管支といった管腔臓器では、まるで、内視鏡をみているような三次元画像が作れるようになり、臨床の場で応用が広がっています。さらに三次元画像は誰がみても理解しやすい画像ですので、患者さんへの説明に用いられることも多くなりました。

#### 4. 動きを捉える画像診断

体の中にある臓器には、心臓や肺、あるいは消化管のように動いているものがあり、これらの臓器の異常には、形の変化では捉えられない動きの異常が本質である病気もあります。したがって、このような異常を捉えるのは動きを画像化する必要がありますが、最新のCTやMR技術を用いると、心拍動や呼吸運動、あるいは消化管の蠕動運動といったものを直接観察できるようになりました。どのように機能を診断していくのか、現在も研究が続いている領域です。

#### 5. 体の代謝や機能をみる画像診断

体の代謝をみる方法として現在、最もよく使われているのが、ブドウ糖代謝をみるポジトロンCT検査です。体の中でブドウ糖と同じような動態をするFDGという物質に放射性同位元素を標識したものを注射し、その物質がどこに集まるのかを画像として捉えます。一般に、癌ではブドウ糖代謝が盛んであるので取り込みが高いことから、癌の診断に使われています。もちろん、100%正しいということにはなりません。現在の種々の癌の診療では重要な役割を果たしています。

脳の画像診断でのトピックスは、脳神経線維の走行を画像化する手法です。脳の中に生じている拡散という現象が組織によって、程度や方向が異なるということを利用して、神経線維の走行を画像として捉えるものです。腫瘍との関係を捉えることによって、手術前の評価への応用が期待されています。

#### 6. まとめ

画像診断は現在の医療の中で、病気の検出や拡がり評価で中心的な役割を果たしています。形態評価ばかりでなく、機能や代謝の評価も行われるようになり、また、病気のスクリーニングと精密検査の両方で活用されています。今後の技術的進歩によって、分子レベルの異常を画像として捉えられる時代がくるかもしれません。



## 村田 喜代史 (むらた きよし)

**略歴：**

昭和 47 年 3 月	滋賀県立彦根東高校	卒業
昭和 47 年 4 月	京都大学医学部	入学
昭和 53 年 3 月	同上	卒業
昭和 53 年 6 月	京都大学医学部附属病院	放射線科、核医学科研修医
昭和 53 年 11 月	滋賀医科大学放射線科	助手
昭和 57 年 4 月	京都大学大学院 医学研究科博士課程	入学
昭和 61 年 3 月	同上	修了
昭和 61 年 4 月	京都大学医学部附属病院	放射線部 助手
昭和 61 年 9 月	ニューヨーク州立大学	Long Island Jewish Medical Center Research Fellow
昭和 63 年 6 月	京都大学医学部附属病院	放射線部 助手復職
昭和 63 年 7 月	滋賀医科大学	放射線部 講師
平成 8 年 3 月	滋賀医科大学	放射線部 助教授
平成 11 年 10 月	滋賀医科大学	放射線医学講座 教授

現在に至る

**専門研究領域：**放射線診断学 とくに 胸部放射線診断学

**学術活動：**日本医学放射線学会 代議員、日本肺癌学会 評議員、日本磁気共鳴学会 評議員、  
日本核医学会 評議員、日本胸部放射線研究会 代表幹事、  
NPO 法人 日本胸部放射線医学研究機構 理事長  
Assistant Editor - Am J Roentgenol  
Reviewer - Am J Roentgenol, Eur Radiol, J Thorac Imaging

**社会活動：**

- ・「労働安全衛生法における胸部エックス線検査等のあり方検討会」委員(平成 17 年ー平成 18 年)
- ・「石綿業務に従事した離職者の健康管理についての検討委員会」委員(平成 18 年)
- ・「じん肺健康診断への DR (FPD) の使用に関する検討会」座長(平成 19 年)



## PET でとらえるがんの画像診断

京都大学 画像診断学 講師  
中本 裕士 先生

人体に対する一種の非破壊検査である画像診断は、医用工学のめざましい進歩によりいずれも日進月歩である。コンピュータ断層撮像法 (CT)、磁気共鳴画像法 (MRI)、陽電子断層撮像法 (PET) など、日常臨床の現場では様々な画像診断装置が、悪性腫瘍、いわゆる「がん」の発見や治療効果を評価するために活躍している。ここでは、この 10 年間に大きな変化が見られた PET 検査による腫瘍の診断に焦点をあて、その臨床的意義を解説する。

これまで臨床現場で主として行われてきた画像診断は、形態学的画像診断であった。これは種々の原理を用いて体内のカタチを画像化・可視化し、正常との相違を異常としてとらえ診断に結びつけるものである。これに対し PET 検査は核医学的手法を用いたもので、機能画像あるいは代謝画像と呼ばれる画像が得られる。特に悪性腫瘍に対する PET 検査では、フルオロデオキシグルコース (以下、FDG と略) と名付けられた放射性薬剤を体内に投与し、その集まり具合を画像化する。がんをはじめとする悪性腫瘍では、その本来の性質である無秩序な細胞増殖のため多くのエネルギーを必要としており、大量のブドウ糖をエネルギー源として取り込もうとする性質を持つものが多い。投与された FDG はブドウ糖と似た構造をもち、次々と腫瘍細胞に取り込まれてゆく。FDG が集まった部位から出る放射線を PET カメラでとらえることにより、FDG の分布状況をとらえることができる。こうして腫瘍病巣の同定が可能となる。

PET 検査を従来の画像診断法と比べた場合のメリットは何か？それは、形態では得られない、細胞の代謝状態を知ることができる点にある。すなわち、体内に何かできていても、形のみではどのような性質をもつのか、評価困難なことがある。病変を探す場合でも、正常構造物に紛れてしまい、形態画像だけでは病変を発見しづらいことがある。さらには、抗癌剤などの治療を行った後、形は残っていても細胞自体は死滅し、代謝が低下していることがある。CT をはじめとする形態画像は、昔も今も臨床になくしてはならない中心的な画像診断法であるが、PET 検査は代謝情報を提供することで相補的な役割を果たす。ひところ報道された「小さながんの早期発見」に対しては空間分解能に劣る核医学的手法を用いておりむしろ力不足である。しかし「大きながんの意外な発見」があるため、より適切な治療方針を決定するために、重要な検査のひとつと位置づけられつつある。

PET 装置も日々進歩している。形態情報が提供される CT と代謝情報が得られる PET とを合体できれば、被検者はほぼ同時に 2 種類の画像が得られる。コンピュータの進歩により、得られた画像を重ね合わせることができる。現在の臨床現場では、従来の PET 単独機に置き換わるように複合型 PET/CT 装置が普及しており、形態的な情報と代謝の情報が一度の検査で得られ、精度の高い融合画像が容易に得られるようになった。PET 情報は CT 診断に相補的な役割をもたらすが、

同時に、CT情報があいまいなPET情報の解釈の助けとなることもある。その結果、個々の画像診断法では同定できなかった病変の検出が可能となり、いわゆる相乗効果が生まれる。

では、現在主流となったPET/CTの問題点はなにか。FDGは必ずしも悪性腫瘍のみに集まるわけではなく、良性病変の代表格である活動性の炎症巣にも取り込まれる。逆にFDGの取込みが少ない悪性腫瘍も存在するため、PET/CT検査でもなお偽陰性となることは少なくない。この問題を克服するために、感度あるいは特異度の高い、FDG以外の薬剤に関する基礎的検討、臨床研究が続けられている。アミノ酸代謝の亢進を画像化する炭素-11標識のメチオニン、核酸代謝を画像化するフッ素-18標識のフルオロチミジンなど、他の薬剤をうまく組み合わせることによって、PET検査で得られる情報はさらに増えるものと期待される。

PET検査を含め、今後も様々な医用機器が一層発展していくであろう。しかしながら、機器の進歩だけでは的確な診断に結びつくとは限らない。検査機器は、あくまで確率の支配に基づく情報を提供してくれているに過ぎない。これらの情報を人間がいかにか有機的に結びつけていくかが重要である。さらに、検査を円滑に勧め、得られた画像を適切に解釈し、よりよい治療につなげるためには、チーム医療を前提とする現在、検査・治療に携わるスタッフの連携、すなわちコミュニケーションの重要性に改めて留意する必要がある。



## 中本 裕士 (なかもと ゆうじ)

**略歴：**

平成3年	京都大学医学部卒
平成3-4年	京都大学医学部附属病院 放射線科・核医学科
平成4-7年	北野病院 放射線科
平成7-8年	京都大学医学部附属病院 放射線科・核医学科
平成8-12年	京都大学大学院医学研究科
平成12-14年	ミシガン大・ジョンズホプキンス大 リサーチフェロー
平成14-17年	先端医療センター 映像医療研究部 主任研究員
平成17-19年	京都大学大学院医学研究科 先端領域融合医学研究機構 助手(特任)
平成19-21年	京都大学医学部附属病院放射線診断科 助教
平成21-	京都大学大学院医学研究科放射線医学講座 講師

**所属学会：**日本医学放射線学会

日本核医学会  
日本癌学会  
北米放射線学会  
米国核医学会

**専門医：** 日本医学放射線学会専門医 (2927)  
日本核医学会専門医 (200263)  
日本核医学会 PET 核医学認定医 (P00250)  
肺がん CT 検診認定医 (304)

**受賞歴：** 第45回日本核医学会賞

## 放射線診療と安全管理

大分県立看護科学大学 学長  
草間 朋子 先生

### 1. 何故、放射線が診断や治療に使われるか

人工的な放射線利用は、19世紀後半に医療領域から始まりました。放射線は、身体に傷を付けることなく（切り開かないということから非観血的といいます）身体の中の様子、すなわち、病変などを見つけることができるからです。これが放射線診断です。また、大量の放射線は、がん細胞などを死滅させることができます。放射線のこの特徴を利用したものが放射線治療です。

放射線診断は、日本では国民病といわれ恐れられた結核の早期発見・予防に大きな貢献をしました。現在は、X線を使ったCTや、放射性物質を使った核医学検査など高度な放射線診断が、医療の領域では欠かせない手段になっています。放射線治療の領域では、陽子線・重粒子線治療など高度な治療法が次々と開発されています。

### 2. 何故、安全管理が必要か

人体に放射線が照射されること（被ばくといいます）により、さまざまな健康被害をもたらされることは、人を対象にした調査・研究（疫学調査研究といいます）等によって明らかにされています。放射線の健康影響に関する疫学調査の代表的なものは、広島・長崎の原爆被爆者の方々に協力いただき実施されている調査で、この疫学調査の結果は、放射線の国際的な安全基準等を決定する際に活用されています。疫学調査の結果から、放射線の健康影響は、被ばくした線量（被ばく線量）と関係しており、大量の放射線被ばくは、健康被害をもたらすことが明らかにされています。そこで、放射線利用に伴う健康被害が生じないように厳重に管理しながら利用する必要があります。これが「放射線の安全管理・放射線防護」です。放射線安全管理については、国際的に統一された基準の下で実施する必要があることから、1920年代から国際的な組織（国際放射線防護委員会：ICRP）が設立され、安全に関するさまざまな勧告等が行われ、日本の行政等もこの勧告を尊重しています。

### 3. 放射線を医療に使う場合の基本的な考え方は

大きな利益があると同時に、リスクもある放射線や放射性物質を人体に意図的に照射あるいは投与して、診断や治療を行うときには、次の二つの基本的な考え方が厳守されています。

- ①放射線被ばくによるリスクに比べて、利益が大きいこと
- ②放射線被ばくを伴わない他の診療手段と比較して、効果的であること

#### 4. 医療領域の安全管理はどのように実施されているか

放射線や放射性物質を利用する場所や、利用できる人は、法律で限定されており好き勝手に使うことはできません。放射線は、「管理区域」と呼ばれる、安全管理上の基準を満たした施設でしか、使うことはできません。また、医療の領域で、放射線・放射性物質を取り扱うことができる人は、医師、歯科医師、診療放射線技師に限られています。「診療放射線従事者」と呼ばれる、これらの医療従事者は、最新の知識や技術に基づく放射線の安全管理に関する教育や訓練を定期的に受けています。

医師は、上記3に記載した基本的な考え方に沿って、一人ひとりの患者さんごとに、放射線診断や放射線治療を実施することが適切であるかどうかを決定しています。診療放射線技師は、検査・治療毎の線量を適正にするための努力をしています。放射線診断や治療に伴う被ばく線量を適切にするために、診療機器類などハード面の改善も行われています。

#### 5. 患者さんから、寄せられる質問は

患者さんのさまざまな質問を通して、放射線診療に対して不安やおそれを抱いておられる患者さんや家族が多くおられることを実感します。放射線の特徴や、放射線安全管理の実態を理解していただき、患者さんにとって必要であると判断された検査や治療は安心して受けていただきたいと思えます。

#### 6. 上手な、放射線診療の受け方は

国民のみなさんの健康を保持し、疾病をできるだけ早く発見し、適切な治療を行っていくためには、放射線診断・放射線治療は欠かすことができない手段であり、今後ますます利用の機会は増加していきます。安全で安心な放射線診療を進めていくために、診療放射線従事者は努力を重ねておりますが、患者さん達にも気をつけていただきたいこともあります。

- ① 短期間の間に、同じ放射線診断を繰り返さない
- ② 妊娠する可能性のある女性が、下腹部の放射線診断を受ける場合には、時期を選択する

**草間 朋子 (くさま ともこ)**

昭和 16 年生

本 籍 長野県

**【学歴】**

昭和 36 年 4 月 東京大学医学部衛生看護学科入学  
昭和 40 年 3 月 東京大学医学部衛生看護学科卒業  
昭和 52 年 2 月 医学博士 (東京大学)

**【職歴】**

昭和 40 年 4 月 東京大学医学部助手 (放射線健康管理教室)  
昭和 61 年 6 月 東京大学医学部助教授 (放射線健康管理学教室)  
昭和 62 年 6 月 東京大学大学院助教授 (医学系研究科健康科学・看護学)  
平成 10 年 4 月 大分県立看護科学大学学長  
現在に至る

**【学会及び社会における活動等】**

日本学術会議連携会員  
日本保健物理学会学長  
日本看護科学学会理事  
日本原子力学会理事  
日本放射線影響学会理事  
内閣府原子力安全委員会専門委員  
内閣府原子力委員会専門委員  
文部科学省放射線安全規制検討会委員  
文部科学省国立大学評価委員会  
産業省総合資源エネルギー調査会委員  
日本看護協会副会長 (平成 18 年 6 月～現在) 等



## ○放射線によるがん治療

### 第二部

### 座長

## 阿部 光幸 先生

京都大学 名誉教授

阿部 光幸 (あべ みつゆき)

昭和 7 年 8 月生

本 籍：山形県

学 歴：昭和 34 年 3 月 京都大学医学部 卒業

昭和 37 年 7 月～昭和 36 年 10 月 ドイツフライブルグ大学放射線医学研究所留学

職 歴：昭和 35 年 4 月 京都大学医学部放射線科入局

昭和 37 年 4 月 京都大学医学部助手

昭和 42 年 12 月 京都大学医学部講師

昭和 52 年 11 月 京都大学医学部教授

平成 6 年 4 月 国立京都病院院長

平成 6 年 10 月 京都大学名誉教授

平成 10 年 4 月 兵庫県立成人病センター総長

平成 13 年 4 月 兵庫県立粒子線医療センター名誉院長

平成 18 年 4 月 同医療センター名誉顧問

所属学会：北米放射線学会名誉会員、ヨーロッパ放射線治療学会名誉会員、日本癌治療学会名誉会員、日本医学放射線学会名誉会員、日本放射線腫瘍学会名誉会員、日本ハイパーサーミア学会名誉会員

賞 歴：シーボルト賞（昭和 58 年、ドイツ）、科学技術庁長官賞（昭和 63 年）、高松宮妃癌研究基金学術賞（平成 4 年）、レントゲン記念賞（平成 7 年、ドイツ）、ハンス ランゲンドルフ メダル（平成 8 年、ドイツ）

そ の 他：米国放射線科医会名誉会員、英国王立放射線科医会名誉会員、エッセン大学医学部名誉博士、中国医学科学院腫瘤研究所名誉教授

## 高精度放射線治療の進歩

広島大学 大学院 放射線腫瘍学 教授  
永田 靖 先生

### 1. はじめに

近年の X 線 CT や MRI を初めとする画像診断技術の発達と、コンピュータ技術や機械工学の進歩は、従来の放射線治療に大きな変革をもたらしました。特に CT や MRI 画像がルーチンに放射線治療計画に用いられるようになったため、病変の形状をより正確にとらえられることが可能となりました。また、体内に照射された放射線の正確な線量計算が可能となり、より高精度の放射線治療計画が可能となりました。一方では、機械工学の進歩によりマルチリーフコリメータ (MLC) を用いた原体照射、3次元原体照射などの種々の治療技術が編み出されてきました。本日は、わが国における高精度放射線治療技術の進歩、特に脳腫瘍および体幹部腫瘍に対する定位放射線照射、およびこの数年大きく注目されている強度変調放射線治療や画像誘導放射線治療技術について概説させていただきます。ここでのべる高精度放射線治療とは簡単に言うと、「がんに集中して放射線を照射し正常臓器に照射する放射線をできるだけ減らそうとする」治療法のことです。

### 2. 定位放射線照射 (ていいいしょうしゃ)

定位放射線照射とは、脳腫瘍において開発された照射精度を 1-2mm 以内に保つ高精度照射技術のことです。具体的には、頭蓋骨にリングを固定することによって、病変を正確に固定し、その病変に正確に放射線を集中させることによって、周辺の正常組織への照射を可能な限り減少させ、かつ腫瘍への照射線量の増加を狙う治療法です。治療対象は、脳腫瘍と血管性病変および「てんかん、三叉神経痛」等機能性疾患です。

一方でこの技術が 1990 年代に入って肺癌や肝臓癌といった体幹部腫瘍に応用されるようになってきました。この技術を体幹部定位放射線照射 (いわゆるピンポイント照射) と呼称します。脳腫瘍と異なって体幹部腫瘍に定位放射線照射を行う上で大きな課題となるのは、呼吸性移動や体動による腫瘍の動きです。そのために、体幹部腫瘍に対する定位放射線照射においては、正確な患者固定法および呼吸抑制法と毎回の治療前の照射野照合法との確立が非常に重要となります。

現在までに早期肺癌に対しては 80-96% と高い局所制御率が報告されています。また一部の先進的な施設において十分な照射が行われた手術可能 (拒否) 症例の 5 年生存率は、ほぼ手術した成績と同等に良好でした。そのため、平成 16 年 7 月より、この治療法の有用性を証明するために臨床試験が開始されました。来年にはこの結果が出る予定です。



### 3. IMRT（アイエムアールティー）：強度変調放射線治療

従来の放射線治療は、照射されている範囲内の線量分布を均一とすることが前提でした。しかし、近年の技術革新は、照射範囲内の放射線の強度を10段階に変調することを可能としました。これは、MLCを用いた高度のコンピュータ最適化技術によってはじめて可能となりました。IMRTの定義には明確に定められたものはないのですが標準的には、「同じ照射野内で各分割領域に対するビームの強度を制御して、これを多方向から照射することによって、最終的に三次元的な病変に与える線量分布を最適なものに調整して照射する方法」です。現在までに、IMRTが有用とされている主な領域は、前立腺癌、頭頸部癌、脳腫瘍などであり、平成20年4月より保険適応となりました。いずれも直腸や唾液腺、脳幹部等の重要臓器を温存して照射が可能です。ただ、この治療を保険適応として行うことは、十分な経験と装置と人員のある放射線治療施設のみに限定されています。

### 4. 画像誘導（がぞうゆうどう）放射線治療

現在、新しい画像誘導放射線治療装置（IGRT）の開発が盛んです。IGRT照射装置とは、照射装置の傍らに新たな画像取得装置を導入し、治療前後に取得した画像を実際の照射に反映させる最新装置です。具体的には、照射室内照合装置をリニアックの周囲に配置した最新照射装置、RT-RT照射装置や、サイバーナイフや、トモセラピー、新規国産照射装置等が臨床応用されています。また今後の新しい照射装置の開発によって、将来的には新たな照射法が開発される可能性があります。

### 5. おわりに

近年の放射線治療は、従来の二次元治療から三次元治療に急速に進歩してきました。現在広く用いられている強度変調放射線治療や定位放射線照射は、最先端の高精度放射線治療に位置づけられるものです。そして時代は四次元治療や画像誘導放射線治療に進化しつつあります。今後も高精度放射線治療の更なる発展と臨床応用成果が期待されるところであります。



## 永田 靖 (ながた やすし)

---

### 学歴と職歴

- 昭和 57 年 3 月 京都大学医学部 卒業
- 昭和 57 年 4 月 京都大学医学部附属病院 放射線科 入局
- 平成 2 年 4 月 京都大学医学部 放射線医学教室 助手
- 平成 5 年 8 月 米国ミネソタ大学 放射線腫瘍学教室 Visiting Assistant Professor
- 平成 6 年 9 月 京都大学医学部 放射線医学教室 講師
- 平成 12 年 5 月 京都大学大学院医学研究科 放射線医学教室 腫瘍放射線科学領域 助教授
- 平成 20 年 1 月 広島大学病院 放射線治療部 教授
- 平成 21 年 4 月 広島大学 大学院 医歯薬総合研究科 放射線ゲノム医科学 放射線腫瘍学 教授

### 所属学会

日本臨床腫瘍学会、日本肺癌学会、日本医学放射線学会、日本放射線腫瘍学会、日本癌治療学会、日本乳癌学会、日本癌学会、日本頭頸部癌学会、日本医学物理学会、  
American Society for Therapeutic Radiology & Oncology、  
American Society of Clinical Oncology

### 賞罰

- 平成 8 年 日本放射線腫瘍学会梅垣賞受賞
- 平成 18 年 日本放射線腫瘍学会阿部賞受賞

### 主な研究テーマ

高精度放射線治療システムの開発、肺癌に対する定位放射線照射、放射線診療における精度管理とリスクマネジメント、頭頸部癌に対する強度変調放射線治療

## 陽子線治療について

静岡県立静岡がんセンター 陽子線治療科 部長  
村山 重行 先生

### はじめに

陽子線治療は荷電粒子線による悪性腫瘍（がん・肉腫）に対する放射線療法のひとつです。シンクロトロン加速器や回転ガントリー照射システムなど大規模な装置を利用する先進医療です。陽子線は荷電粒子線に特有なブラッグピークという物理特性をもっています。この特性を利用するとがん病巣に対して限局的かつ均等に高線量を投与することができて治療効果が高まります。

### 陽子線治療の歴史

陽子線治療の研究は、1950年代に米国とスウェーデンではじまりました。日本では、はじめ放医研と筑波大学で照射技術の開発と臨床的検討が行われ、1998年に病院内に設置され回転ガントリーをもつ治療専用装置が国立がんセンター東病院（柏市）に導入されました。

### 陽子線治療施設の現状

現在世界で稼働中の陽子線治療施設は、26カ所あります。治療を受けた患者さんの総数は60,000人をこえます。国内では6カ所（静岡がんセンター・国立がんセンター東病院・筑波大学・兵庫県立粒子線医療センター・若狭湾エネルギーセンター・南東北がん陽子線治療センター）で治療中です。

### 陽子線治療の特徴とその利点

陽子線はX線とほぼ同じ線質をもった放射線ですので、これまで蓄積された放射線治療における線量分割法に対する抗腫瘍効果と正常組織反応の両方についてその経験に基づいた予測が可能です。

陽子線は「飛程」という入射エネルギーに応じた到達深度の調節ができるので、がん病巣を狙った陽子線が腫瘍の位置よりもさら奥にある正常な組織や臓器に余分な影響を与えません。また陽子線が飛程の終端間際の速度が急低下した領域内に、高密度で線量を与えるブラッグピークを形成する性質を利用してがん病巣に均一な線量分布を形成できます。これらの結果、照射の影響を受けないがん病巣周囲の正常組織を拡大できて、安全に投与可能な線量を上げる効果ももちます。

正常組織・器官への低レベルの放射線によっても成長障害などの影響を受けやすい小児や合併症のために手術ができない高齢者にも陽子線治療の大きなメリットがあります。

### 陽子線治療の対象となる疾患（適応）

陽子線治療はがんの根治的局所治療法としての放射線療法の理想形のひとつです。肝臓や肺など機能が並列する臓器では、がん病巣周囲の正常組織の機能が廃絶しても残存臓器による代償が可能です。しかし消化管のような連続構造の臓器では局所の高線量が穿孔など重篤な副作用や機能障害を誘発する危険性が高まります。このような陽子線治療の特性を踏まえて、主な適応疾患は前立腺癌・肝細胞癌・肺癌（小細胞肺癌をのぞく）・頭頸部癌などのうちリンパ節転移・遠隔転移がない早期症例です。

### 静岡がんセンターの陽子線治療の実績

当院の陽子線治療は2006年1月1日には高度先進医療（現：先進医療）の承認を受け、治療患者数の累計は2009年9月末時点で817例になりました。2008年6月末までに当センターで陽子線治療を開始した620例についての集計では、前立腺癌43%、肝細胞癌15%、肺癌12%、頭頸部悪性腫瘍10%、その他20%という内訳であり、小児腫瘍症例は19例（3%）でした。

**【前立腺癌の治療成績】** 前立腺癌症例87例を検討した結果、年齢は54～81才（中央値68才）、観察期間は43～60ヶ月、リスク群分類は低リスク群：11、中リスク群：49、高リスク群：27でした。陽子線の線量は全例74GyE<sup>\*1</sup>／37fr<sup>\*2</sup>。PSA再発を低・中リスク群の3例（5%）、高リスク群の3例（11%）に認めました。

**【肝細胞癌の治療成績】** 肝細胞癌症例91例を検討した結果、年齢は46～90才（平均71才）、観察期間中央値は21ヶ月、臨床病期はI期：79、II～III期：12、手術非適応は58例（64%）でした。陽子線治療は70～78GyE／20～28frで実施され、2年生存率は81%、2年局所無再発率は94%でした。

**【肺癌の治療成績】** 末梢型I期非小細胞肺癌症例24例を検討した結果、年齢は56～87才（中央値75才）、観察期間は3～52ヶ月（中央値30か月）、陽子線治療の線量分割法は80GyE／20fr／27～34dで呼吸同期照射法を使用しました。局所再発を1例に、リンパ節・遠隔転移を6例に認めました。2年生存率は96%、2年局所無再発率は94%、2年無病生存率は79%でした。

**【頭頸部癌の治療成績】** 頭頸部癌42例を検討した結果、年齢は2～84才（中央値58才）、観察期間中央値は20ヶ月、原発部位は鼻副鼻腔：31（篩骨洞：18、鼻腔：6など）、その他：11でした。陽子線治療の開始から3ヶ月以上の経過が観察された37例における局所効果は、CR（完全消失）／PR（部分的縮小）／SD（不変）／PD（増悪）がそれぞれ26／5／3／3でCR率は70%、奏功率は84%でした。

[出典：村山重行，藤浩：静岡がんセンターの陽子線治療，癌と化学療法，36（11），1806-1812，2009]



### 村山 重行（むらやま しげゆき）

昭和33年12月 京都市生まれ  
 昭和56年3月 東京大学理学部卒業  
 昭和60年3月 大阪大学医学部卒業  
 平成2年10月 大阪大学医学部放射線医学教室  
 平成4年10月 科学技術庁放射線医学総合研究所 病院部  
 平成6年4月 大阪大学医学部放射線医学教室  
 平成8年4月 国立がんセンター中央病院 放射線治療部  
 平成14年3月 静岡県立静岡がんセンター陽子線治療科・部長（現職）

専門：放射線腫瘍学

\*1 GyE：グレイエキイバレント=X線・ガンマ線と等価な吸収線量

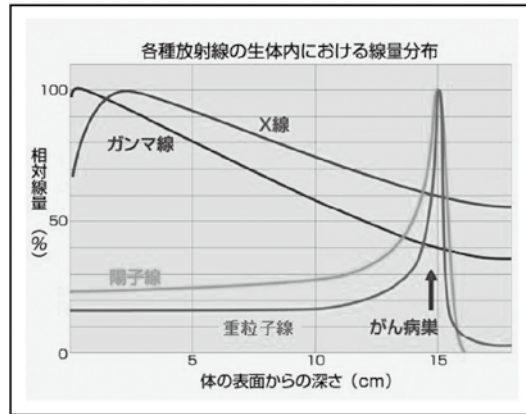
\*2 fr：フラクション=分割して照射する回数=37fr=37回等

## 重粒子線治療の現状について

(独)放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター長  
鎌田 正 先生

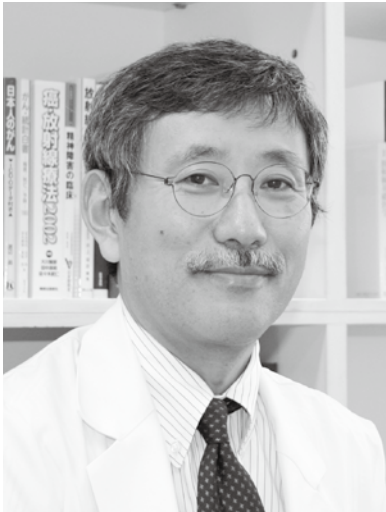
原子核あるいは原子核を構成する粒子を光速近くまで加速したものは粒子線と呼ばれ、照射された物質や細胞にさまざまな変化を与えることが可能となる。粒子線の中でも原子番号が2より大きな原子の原子核を加速したものは重粒子線と呼ばれる。粒子線は加速された速さに応じて一定の深さで大量のエネルギーを一気に放出し停止し、それより先にはほとんど影響を及ぼさない性質がある。それと同時にその停止付近での生物効果は従来の放射線に比べると数倍強いとされている。このような重粒子線の特長を利用すれば体の奥深くにあるがんでも切らずに治すことが期待できる(図1)。(独)放射線医学総合研究所(放医研)では1994年以来、様々ながんにおいて炭素原子核を加速した重粒子線(炭素線)を安全かつ有効に使うための臨床研究を行ってきた。そのために各臓器あるいは疾患毎の専門家グループによる臨床試験プロトコルの作成から結果の評価までを客観的に行うシステムを構築している。このシステムにより炭素線を用いた臨床試験はこれまでに50近くが実施されており、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、およびPETを中心とした新しい画像診断法の治療への応用などが行われて来た。その結果、手術困難な骨軟部肉腫や直腸癌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。これらの研究成果は20を超える英文原著論文として海外の有力雑誌に発表され、炭素線治療の重要なevidenceとなっている。2003年には放医研における炭素線治療は(高度)先進医療として承認され、治療患者数は年を追うごとに増加し、最近では年間700名近くとなっている。放医研における炭素線治療総数は、2009年8月までに5000名に達し、その更なる普及を目的とした炭素線治療装置の小型化研究の結果、サイズ、費用ともに現在の装置の約3分の1が実現され、その実証機が2010年3月の治療開始を目指して群馬大学で最終調整中である。また、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炭素線治療装置が複数建設中で、炭素線治療は安全・確実ながん治療法としての地位を確立しつつある。これは放医研において行われてきた炭素線治療の成果が海外においても認められ、重要ながん治療の一つとして認知されたことを示すものである。現在、さらに放医研では次世代の炭素線照射装置の実現に向けて、呼吸移動に対応したスキャニング照射装置および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。一方、重粒子線治療の実施には専門的知識を持った幅広い人材の確保が不可欠であり、そのための人材育成プログラムが策定され、2008年度より国内の粒子線治療施設が中心となって開始されている。

図 1



重粒子線はそのエネルギーによって人体内に入る深さ（飛程と呼びます）が定まり、その飛程の終端近くでエネルギーを急激に放出して止まります。この現象はブラッグ・ピークと呼ばれています。加速器を用いて粒子のエネルギーを調節し、腫瘍の部分で粒子が止まるようにすれば、この現象を利用して体表面から照射の道筋にある正常な細胞にあまり影響を与えず、腫瘍細胞だけを殺傷することができます。

放射線の種類と体内における線量分布（放射線の強さの変化）をグラフに示すと図1のような特性となります。



**鎌田 正 (かまた ただし)**

現 職：(独)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

- 昭和 54 年 北海道大学医学部医学科卒業
- 平成 6 年 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 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准教授併任
- 平成 15 年 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 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 放射線医学総合研究所重粒子医科学センター長  
診断・治療高度化研究グループリーダー併任  
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

## ○質問コーナー 第三部

### 座長

広島大学 大学院 放射線腫瘍学 教授 **永田 靖 先生**  
(独)放射線医学総合研究所 名誉研究員 **河内 清光 先生**

### 出席の先生

**第一部 座長：**  
JA 尾道総合病院 病院長代行 **伊藤 勝陽 先生**

**第一部 講師：**  
滋賀医科大学 放射線医学 教授 **村田喜代史 先生**

**第一部 講師：**  
京都大学 画像診断学 講師 **中本 裕士 先生**

**第一部 講師：**  
大分県立看護科学大学 学長 **草間 朋子 先生**

**第二部 座長：**  
京都大学 名誉教授 **阿部 光幸 先生**

**第二部 講師：**  
静岡県立静岡がんセンター 陽子線治療科 部長 **村山 重行 先生**

**第二部 講師：**  
(独)放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター長 **鎌田 正 先生**



○質問コーナー

第三部

座長

河内 清光 先生

(独)放射線医学総合研究所 名誉研究員

河内 清光 (かわち きよみつ)

昭和 14 年 5 月生

出身地	鹿児島県枕崎市生 千葉県千葉市在住 東海大学工学部卒
昭和 38 年 4 月	放射線医学総合研究所 入所 研究員
昭和 45 年 6 月	国立がんセンター出向 研究員
昭和 47 年 1 月	シカゴ大学アルゴンヌ癌研究所 研究員
昭和 50 年 4 月	放射線医学総合研究所 物理研究部 主任研究員
平成 5 年 12 月	同 医用重粒子物理・工学研究部長
平成 12 年 3 月	同 研究総務官 定年退職
平成 12 年 6 月	(財)原子力安全技術センター 特任参事
平成 16 年 9 月	同 防災技術センター所長 定年退職
平成 18 年 5 月	財団法人 医用原子力技術研究振興財団 評議員
平成 17 年	鹿児島大学客員教授
受賞：平成 11 年 4 月	研究功績者表彰 科学技術長官賞



メ モ

Handwriting practice lines consisting of 18 horizontal dashed lines.

メ モ

Handwriting practice lines consisting of 18 horizontal dashed lines.



# 財団法人 医用原子力技術研究振興財団 広報誌のご紹介

## 医用原子力だより 掲載内容

### ●第1号 平成16年11月発行

- 巻頭言（森亘理事長）
- ・財団の紹介
- ・事業活動
- ・解説（粒子線がん治療および中性子捕捉療法）
- ・普及型粒子線がん治療装置の紹介
- ・粒子線がん治療の現状・装置導入計画

### ●第2号 平成17年6月発行

- 巻頭言（阿部光幸理事）
- ・事業活動
- ・解説（PET によるがん診断）
- ・中性子捕捉療法
- ・粒子線がん治療の現状・装置導入計画

### ●第3号 平成18年2月発行

- 創立10周年記念号
- ・巻頭言（森亘理事長）
- ・関係各者・機関からのご祝辞
- ・設立当時の思い出
- ・事業活動

### ●第4号 平成18年6月発行

- 巻頭言（垣添忠生理事）
- ・事業活動
- ・解説（画像診断の最先端）
- ・粒子線がん治療
- ・わが癌闘記（宮原哲夫・作詞家）
- ・中性子捕捉療法

### ●第5号 平成18年11月発行

- 巻頭言（佐々木康人理事）
- ・第3回医用原子力技術研究振興財団 講演会
- ・群馬大学の重粒子線がん治療装置
- ・解説（肺がんの重粒子線治療の現状と展望）
- ・前立腺がんの重粒子線治療体験記（野田隆志）
- ・第12回国際中性子捕捉療法学会を主催して
- ・ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)とホウ素薬剤

### ●第6号 平成19年6月発行

- 巻頭言（田畑米穂理事）
- ・群馬大学重粒子線照射施設
- ・解説（ホウ素中性子捕捉療法による頭頸部悪性腫瘍の治療の現状と展望）
- ・JRR-4 医療照射設備のご紹介
- ・京都大学原子炉実験所(KUR)で治療を受けて

### ●第7号 平成20年3月発行

- 巻頭言（米倉義晴理事）
- ・解説（陽子線治療の普及に向けて）
- ・国内の粒子線がん治療の現状
- ・機能温存とがん治療

### ●第8号 平成20年11月発行

- 巻頭言（代谷誠治所長）
- ・解説（悪性神経膠腫治療へのPET アミノ酸イメージングの利用）
- ・群馬大学—公開シンポジウム—  
「重粒子線がん治療 —群馬医療最前線—」  
の開催
- ・第5回日本中性子捕捉療法学会学術大会に出席して
- ・腺様嚢胞癌のほう素中性子捕捉療法体験記

### ●第9号 平成21年8月発行

- 故 安成弘博士 弔辞（森亘理事長）
- ・事業活動
- ・解説（骨軟部肉腫に対する重粒子線（炭素イオン線）治療）
- ・粒子線治療（国内の粒子線施設建設の進捗状況）
- ・中性子捕捉療法国際会議報告（薬化学分野）

## 医用原子力だより 申し込み書

このページに必要事項を記入し、FAX してください。

**FAX番号 03-3504-1390**

- |                              |                                       |
|------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 第1号 | <input type="checkbox"/> 第6号          |
| <input type="checkbox"/> 第2号 | <input type="checkbox"/> 第7号          |
| <input type="checkbox"/> 第3号 | <input type="checkbox"/> 第8号          |
| <input type="checkbox"/> 第4号 | <input type="checkbox"/> 第9号          |
| <input type="checkbox"/> 第5号 | <input type="checkbox"/> 今後継続して送ってほしい |

送付を希望する広報誌にチェック☑を入れてください

〒(郵便番号):

送付先住所:

会社名:

(所属):

氏名:

電話番号:(勤務先・自宅)

メールアドレス:

広報誌申し込みのお問い合わせ先:(財)医用原子力技術研究振興財団 調査部

電話:03-3504-3961 / FAX:03-3504-1390

E-mail:info@antm.or.jp / URL:http://www.antm.or.jp

※個人情報保護:ご記入いただきました個人情報は、財団の広報活動に限り使用させていただきます。



## **(財)医用原子力技術研究振興財団**

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-8-16 第2升本ビル  
TEL:03-3504-3961 FAX:03-3504-1390

<http://www.antm.or.jp>

新しい情報はホームページに掲載いたしますのでご覧ください。