

# ～人にやさしい放射線医療～

《第8回 医用原子力技術研究振興財団 講演会》

## 講演要旨集



多賀山公園から見た桜島

日時/平成23年12月3日(土)

場所/鹿児島県医師会館 4階 大ホール

■主催/医用原子力技術研究振興財団 ■共催/鹿児島大学

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

■後援/文部科学省 厚生労働省 内閣府原子力委員会 放射線医学総合研究所 国立がん研究センター 鹿児島県 佐賀県 鹿児島市 鳥栖市 日本医学放射線学会 日本放射線腫瘍学会 鹿児島県医師会 鹿児島市医師会 がん研究会 佐賀国際重粒子線がん治療財団 日本アイソトープ協会 日本原子力産業協会 メディボリス医学研究財団 がん患者団体支援機構 がんサポートかごしま エフエム鹿児島 NHK鹿児島放送局 おおすみ半島コミュニティ放送ネットワーク 鹿児島テレビ放送 鹿児島放送 鹿児島読売テレビ 南日本放送 朝日新聞社 西日本新聞社 日本経済新聞社 毎日新聞社 南日本新聞社 読売新聞西部本社



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8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

## 市民公開講演会

### 《第8回 財団法人医用原子力技術研究振興財団講演会》

### ～人にやさしい放射線医療～

開催日時：平成23年12月3日(土)

開催場所：鹿児島県医師会館・4階大ホール

13:00～13:10 開会挨拶 医用原子力技術研究振興財団 理事長 森 亘

#### 第1部 「がん検診とPET診断」

座長：鹿児島大学附属病院放射線科 教授 中條 政敬

13:10～13:45 がん検診のすすめ

(社)鹿児島県医師会 常任理事 (財)鹿児島県民総合保健センター 参与 瀬戸山史郎

13:45～14:20 PET検査の仕組みとPETがん検診

仙台厚生病院 院長補佐 兼先端画像医学センター長 山口慶一郎

#### 第2部 「放射線治療：最近の進歩」

座長：久留米大学医学部放射線医学 教授 早淵 尚文

14:20～14:55 放射線治療の進歩と高精度放射線治療

九州大学大学院医学研究院臨床放射線科学 准教授 中村 和正

14:55～15:30 小線源治療

佐賀大学医学部重粒子線がん治療学講座 教授 徳丸 直郎

15:30～15:45 休憩（15分間）

#### 第3部 「体にやさしい粒子線治療」

座長：九州大学大学院医学研究院 重粒子線がん治療学講座 教授 塩山 善之

15:45～16:20 重粒子線治療の新たな展開

放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター長 鎌田 正

16:20～16:55 陽子線治療：やさしいがん治療

メディボリス医学研究財団 がん粒子線治療研究センター長 菱川 良夫

16:55～17:00 閉会の挨拶 鹿児島大学 学長 吉田 浩己



## ○がん検診とPET診断

### 第1部

#### 座長

中條 政敬 先生

鹿児島大学附属病院放射線科 教授

中條 政敬 (なかじょう まさゆき)

昭和22年12月23日生

- 略 歴：** 昭和47年 3月 鹿児島大学医学部 卒業  
 昭和47年 6月 宮崎県立宮崎病院 臨床研修医  
 昭和48年 4月 鹿児島大学医学部 放射線科 医員  
 昭和49年 5月 鹿児島大学医学部 放射線科 助手  
 昭和49年 10月 大分県立病院 放射線科 医師  
 昭和50年 4月 鹿児島大学医学部附属病院 放射線科 助手  
 昭和55年 4月 国立都城病院 放射線科 医長  
 昭和56年 6月 鹿児島大学医学部附属病院 放射線科 講師  
 昭和56年 9月 米国ミシガン大学医学部 核医学科 客員研究員  
 昭和61年 6月 国立療養所南九州病院 放射線科 医長  
 昭和63年 4月 鹿児島大学医学部附属病院 放射線科 講師  
 平成 元年 12月 鹿児島大学医学部附属病院 放射線部 助教授  
 平成 3年 4月 鹿児島大学医学部 放射線科教授・放射線部長  
 平成 11年 7月 鹿児島大学医学部附属病院 副病院長  
 平成 15年 4月 鹿児島大学大学院医歯学総合研究科 先進治療科学専攻腫瘍学講座  
 放射線診断治療学研究分野 教授 現在に至る
- 資格・称号：** 医学博士 副腎皮質シンチグラフィに関する研究で学位 (昭和58年7月)  
 放射線科専門医 (昭和63年6月)  
 核医学専門医  
 PET 核医学認定医  
 放射線科診断専門医
- 学会活動：** 日本医学放射線学会代議員  
 日本核医学会元理事 (~22年)  
 第46回日本核医学会学術総会会長 (平成18年11月9日-11日)  
 米国核医学会会員  
 日本放射線腫瘍学会会員  
 日本癌学会会員
- 受賞：** 第24回日本核医学会員賞 (第18回マリリンクロット賞) (昭和62年10月)
- 専門分野：** 放射線医学・核医学・内分泌 (副腎・甲状腺)
- 主たる研究業績：** 副腎皮質シンチグラフィに関する研究  
 副腎髄質シンチグラフィに関する研究  
 MIBGに関する基礎的、臨床的研究  
<sup>131</sup>I-Lipiodolの肝癌治療への応用に関する基礎的研究  
<sup>131</sup>I-IMPの肺疾患への応用に関する研究  
 バセドウ病のRI治療に関する研究  
 PET/CTの臨床的研究

## がん検診のすすめ

(社)鹿児島県医師会 常任理事 (財)鹿児島県民総合保健センター 参与  
瀬戸山 史郎 先生

現在、男性の2人に1人、女性の3人に1人はがんに罹ると言われていますが、この数字はあくまで84歳まで生きたと仮定した場合の罹患の可能性を示した数字です。

直近(2005年)のデータではがんの罹患数は全国では男性約40万人、本県では約3,900人、女性ではそれぞれ約29万人、3,000人となっています。

部位別では男性は全国、本県ともに胃がんがトップで次いで大腸がん、肺がん、肝臓がん、前立腺がんの順となっています。女性では乳がんがトップで次いで大腸、胃、肺がんと続いています。当センターの検診で発見されたがんの分析結果では肺がん、胃がん、大腸がん、前立腺がんは加齢とともに増加する傾向にあり、超高齢社会の到来とともに今後益々増加する事が予想されます。これらのがんが加齢とともに増加するのはがん細胞を攻撃して死滅させる働きのあるリンパ球の一種であるナチュラル・キラー細胞(NK細胞)活性が加齢とともに低下する事も原因の一つにあげられています。NK細胞活性は加齢の他にもストレス、高脂肪食、喫煙で低下する事も分かっており、笑うことでストレス解消すればNK細胞活性が増加したという国内外の研究報告も数多くあります。

部位別の罹患率を2005年と30年前の1975年と比べますと男性では肺がんが約2倍、大腸がんが約3倍、前立腺がんは実に6倍も増えています。一方、女性では肺がんが約2倍、大腸がん約2倍、乳がんは約3倍も増えています。肺がんは近年の高齢化つまり加齢の影響によるNK細胞の活性低下も一因と思われますが、大腸がん、乳がん、前立腺がんは食生活の欧米化つまり動物性脂肪の摂取過多が原因ではないかと推測されます。一方、我が国の死因の第1位は昭和56年以来がんがトップを占めています。最近、増加傾向にあるのが罹患数と同様に肺がん、大腸がん、乳がん、前立腺がんです。がんに罹らないためには喫煙・塩分の過多摂取・高脂肪食・ストレスなどの日常の生活習慣を改めて、発がん予防作用のあるβカロチンやビタミンCの豊富な野菜・緑黄色野菜、大腸がん予防作用のある食物繊維等を必要量摂取することならびに日常生活に運動習慣を取り入れるなどのがんに罹らないような生活習慣を身につける一次予防が重要ですが、早期発見・早期治療を目指す二次予防すなわち何ら自覚症状もない時期に検診を受ける事が最も重要です。現在、一定の死亡率減少効果が認められ、一般住民を対象に実施されているがんの集団検診には20歳以上を対象に子宮擦過細胞診を行う子宮頸がん検診、40歳以上を対象にマンモグラフィ(乳房X線撮影)と医師による視触診を組み合わせた乳がん検診、40歳以上を対象に便潜血検査を実施する大腸がん検診、40歳以上を対象の胸部X線検査を実施する肺がん検診、40歳以上を対象に胃X線造影検査を実施する胃がん検診があります。しかしながらいずれの検診も受診率が50%を超えないと死亡率減少効果は目に見える形で現れてこないとされており、子宮頸がんを例にとっても受診率85%の英国、75%の英国、55%の韓国では死亡率は目に見えて減少しつつありますが、受診率僅

かに20%の我が国では死亡率の減少はみられません。そこで国ではがん対策基本法を定め、その中でがんの早期発見・早期治療のためにがん検診受診率の達成目標を定めており、本県でも平成20年4月策定されたがん対策基本計画でがん検診受診率の達成目標を5年後30%、10年後50%と定めております。がん検診受診の個人にとってのメリットとしては早期がんの段階で発見されることで予後（5年生存率）がよい事と医療費が節減出来る事です。例えば乳がんは早期がんで5年生存率は96%に対して進行がんでは28%と雲泥の差があります。また医療費も早期がんでは患部を手術で切除するだけですむので入院期間も短く、平均53万円で済みますが、進行がんでは手術不能のため抗がん剤治療と放射線治療を行い、入院期間も長くなるので276万円と実に早期がんの5倍もかかります。



### 瀬戸山 史郎 (せとやま しろう)

**略歴：**昭和40年3月 鹿児島大学医学部卒業  
 昭和50年4月 鹿児島大学医学博士取得  
 昭和52年7月 鹿児島大学医学部助教授  
 平成5年1月 米国ハーバード大学医学部留学  
 (ジョスリン糖尿病センター)  
 平成9年4月1日～平成20年3月31日  
 県民総合保健センター所長  
 兼鹿児島県民総合保健センター副理事長  
 平成20年4月1日～平成23年3月31日  
 (財)鹿児島県民総合保健センター副理事長  
 平成23年4月1日～  
 (財)鹿児島県民総合保健センター参与

**役職：**鹿児島県 県生活習慣病検診等管理指導協議会  
 胃がん部会長、がん登録部会長  
 大腸・肺・子宮・乳がん各部会委員)  
 県地域・職域・学域連携推進委員会委員長  
 県糖尿病対策推進会議会長他  
 鹿児島市 鹿児島市健康づくり推進市民会議会長  
 県医師会 常任理事  
 市医師会 糖尿病クリニック運営委員会会長

**賞罰：**厚生大臣表彰 平成11年10月21日  
 (社会保険支払基金関係功績者)  
 第57回保健文化賞受賞 平成17年10月5日(保健・医療分野)  
 ※本県では同賞の受賞者は3人目となる。  
 厚生労働大臣表彰 平成18年7月3日  
 (産業保健分野功績賞)



## PET 検査の仕組みと PET がん検診

仙台厚生病院 院長補佐 兼先端画像医学センター長  
山口 慶一郎 先生

### A. FDG/PET とは

一般的に PET と言われているのは、ブドウ糖の擬似糖で、放射性物質である  $^{18}\text{F}$  で標識されたフルオロデオキシグルコース（以下 FDG と略記）を用いた FDG/PET のことをいいます。ブドウ糖は細胞の表面にあるブドウ糖を運ぶ仕組みによって細胞の内に取り込まれ、代謝され、エネルギーが産生されます。FDG はブドウ糖と似ていますが、あくまでブドウ糖とは異なった擬似糖ですので、細胞内に取り込まれますが、代謝の途中の段階でとどまってしまいます。腫瘍細胞では細胞が糖を取り込む過程や代謝する過程での酵素の数が増加しています。このため、ブドウ糖同様取り込まれ、代謝された FDG は正常細胞より腫瘍細胞内に多く存在することになります。これが“腫瘍はブドウ糖が好き”といわれる所以です。このようにして、細胞の活動性の高い腫瘍細胞が陽性に描出されるわけです。

### B. FDG/PET の臨床的役割

FDG/PET の役割としては 1) 良性であるか、悪性であるかを区別すること、2) 悪性病変の場合、どの程度広がっているかを検出すること、3) 治療効果の判定や再発の発見を行うことがあげられます。この中で 1) “病変が良性であるか、悪性であるかを区別すること” に関しては有効性に限界があり、FDG/PET は万能ではありません。また早期の胃がんや肺がんなど、薄く広がっていたり、がんの大きさが小さいと機械性能の限界により、集積がはっきりしない場合があります。一方正常臓器などへの生理的 FDG 集積も重要です。褐色脂肪という特殊な脂肪があります。この脂肪は体温を保つために重要な脂肪です。そのため、寒さに対して敏感であり、鎖骨の上や背骨の脇に集積を認めることがあります。腫瘍との区別が一番難しいのは炎症に対する FDG 集積です。結核など慢性の炎症ではあたかもがん細胞に集積するのと同じように FDG が集まります。PET での陽性描出（赤くなる）が必ずしも腫瘍への集積を意味しないことは知っておいていただきたいと思います。2) の“病変がどの程度広がっているかを検出すること” に関しては、PET の得意とする分野です。全身についての検索を行いますので遠隔転移や、CT では見つけられなかった病変を検出することができます。例えば悪性リンパ腫では約 1/4 の症例で、病気の進行を分ける分類が変わったと報告されています。がんの治療戦略を練る上で PET の役割はますます重要になりつつあります。3) の“治療効果判定や再発の発見” は、今後発展が期待できる分野です。がんの治療では、まずがん細胞の代謝の変化が認められます。つまり、治療効果があれば、FDG の集積は低下することになります。この変化は、治療の早期から認められますので、現在行なっている治療の効果があるかどうか



かを早期に判定することができます。再発の発見も全身の検索が可能である利点を生かすことのできる分野です。たとえば、手術終了後に腫瘍マーカーが増加傾向にあるのに、CTで再発病巣を発見できないケースなどでは、PET検査が依頼されることが多く、意外な場所に転移が見つかることがあります。

### C. PET がん検診

全身検索が行うことができるというPETの利点を生かした検診は、その広まりとともに、有効性が確認されてきました。私どもの施設での行なっているFDG/PETを中心として、内視鏡などを加えたがん検診でのがんの発見率は5%前後を示しています、これは一般住民検診で言われる0.5%のがん発見率と比較しますと約10倍近い発見率を誇っています。私どもの検診は、前の段で述べましたPETの弱点を補うために、内視鏡や腫瘍マーカーなどを加えたもので、PET単独での発見率は約3%前後となります。PET検診の際問題になるのは、最近話題になっている被曝の問題です。放射線の被曝による発がんに関しては、多くの議論があります。少しでも放射線を浴びれば発がんの確率が増すという最近使われている仮説にもとづいて計算しても、PET検診の健康に対する利益は大きいという全国統計結果が発表されています。表にPET検診を受けて浴びる放射線による発がん検診を受けることによってがんを発見され、生存が伸びた場合の利益の比率を示します。これによりますと60歳の男性でその利益は約3倍となり、年齢を重ねるほど、その利益は増しています。集団検診の場合、費用と検出率を考えなくてはなりません。一方PET検査は高価な検査です。このため、費用対効果という点ではまだ問題があります。このため、PET検診は個人検診として、今後も発展すると思われます。

表：PET-CTの被曝と癌発見のリスク・ベネフィット比\*

年齢（歳）	男性	女性
20-29	0.05 ± 0.01	0.13 ± 0.04
30-39	0.17 ± 0.04	0.56 ± 0.08
40-49	0.52 ± 0.13	0.82 ± 0.10
50-59	<b>1.44 ± 0.20</b>	<b>1.31 ± 0.05</b>
60-69	<b>3.36 ± 0.43</b>	<b>1.40 ± 0.08</b>
70-79	<b>8.31 ± 0.68</b>	<b>2.42 ± 0.20</b>
80-89	<b>23.28 ± 3.4</b>	<b>6.71 ± 0.82</b>
90以上	<b>97.32 ± 28.61</b>	<b>37.26 ± 12.46</b>

注：リスク・ベネフィット比では1以上で利益が上回り、60歳男性の場合、利益が3倍超となります。

\*核医学 48;1-13,2011 “FDG-PETがん検診における放射線被曝の実態とリスク・ベネフィット解析”より



## 山口 慶一郎 (やまぐち けいいちろう)

昭和30年10月30日生

**学歴：** 昭和49年3月 私立鹿児島ラサール高等学校卒業  
 昭和50年4月 東北大学医学部進学課程入学  
 昭和57年3月 東北大学医学部専門課程卒業  
 昭和57年4月 東北大学医学部大学院医学研究科内科学系入学  
 昭和57年5月 第73回医師国家試験合格  
 昭和57年5月 医師免許証取得(医籍登録番号 第264609号)  
 昭和61年3月 東北大学医学部大学院内科学系修了  
 昭和61年3月 医学博士の学位授与(東北大学第953号)  
 昭和61年3月 東北大学抗酸菌病研究所放射線医学講座研究生  
 昭和63年3月 同退学

**職歴：** 昭和61年4月1日 財団法人厚生会仙台厚生病院放射線科医師に採用  
 昭和63年3月15日 同上辞職  
 昭和63年3月16日 文部技官(琉球大学助手医学部)に採用、同委嘱講師  
 昭和63年8月16日 琉球大学講師医学部附属病院に昇任  
 平成2年10月16日 琉球大学講師医学部に配置換  
 平成7年4月1日 琉球大学助教授医学部附属病院放射線部副部長に昇任  
 平成9年4月1日 琉球大学助教授医学部に配置換  
 平成10年11月1日 東北大学サイクロトロンセンター助手に異動  
 平成16年8月31日 東北大学サイクロトロンセンター助手辞職  
 平成16年9月1日 財団法人厚生会仙台厚生病院放射線科部長に採用  
 平成18年1月1日 先端画像医学センター部長に就任  
 平成18年7月1日 仙台厚生病院放射線科主任部長に就任  
 平成19年8月26日 「PETサマーセミナー2008 in 裏磐梯」の大会長に就任  
 平成20年9月1日 仙台厚生病院副院長兼先端画像医学センター長兼放射線科主任部長に就任  
 平成23年4月1日 仙台厚生病院院長補佐兼先端画像医学センター長兼放射線科主任部長兼放射線部部長に就任  
 平成2年12月～ 米国ペンシルバニア大学放射線医学教室に文部省在外研究員として研究出張  
 平成3年10月  
 平成8年3月～ デンマークヴィスベルグ病院生理学、核医学教室に文部省在外研究員として研究出張  
 平成8年8月  
 平成9年4月～ デンマークコペンハーゲン大学神経生物学部門およびデンマーク核磁気共鳴研究センター客員研究員として研究出張  
 平成10年10月  
 平成10年10月10日 中国広西医科大学客員教授兼務  
 平成16年1月1日 東北福祉大特任教授兼務  
 平成16年9月1日 東北大学研究教授(サイクロトロンセンター)兼務  
 平成23年4月1日 東北大学臨床教授(医学部)兼務

**所属学会：** 日本医学放射線学会、日本核医学会、日本磁気共鳴学会  
 Society Nuclear Medicine、Society Magnetic Resonance

**資格：** 日本医学放射線学会専門医(第2225号)、核医学専門医(第100495号)  
 内科認定医(第63754号)、放射線取扱主任者1種(第13703号、科学技術庁)

**賞：** 1) 第20回日本磁気共鳴学会大会長賞  
 “胎児脳のMR imaging--- 組織標本との比較”  
 2) ESMRMB98 Silver award (15th annual meeting European society for magnetic resonance in medicine and biology, Geneva, September 17-20, 1998)  
 “Accuracy of volume measurement on MR imaging with interscan intensity inhomogeneities correction”  
 3) 臨放 論文賞  
 “放射性ストロンチウム(89Sr)複数回投与骨転移疼痛緩和療法の初期成績”



## ○放射線治療：最近の進歩

### 第二部

#### 座長

#### 早渕 尚文 先生

久留米大学医学部放射線医学 教授

#### 早渕 尚文 (はやぶち なおふみ)

略 歴：	昭和 22 年	鹿児島県生
	昭和 47 年	九州大学医学部卒業、同年より九州大学病院放射線科で研修開始
	昭和 57 年～昭和 58 年	British Council の奨学生としてロンドンの Royal Marsden 病院に留学
	昭和 63 年	佐賀医科大学放射線科 助教授
	平成 3 年～現在	久留米大学医学部放射線科 教授 この間、平成 7 年から平成 11 年まで久留米大学病院 副院長を兼務

**主な学会活動：**日本医学放射線学会、日本放射線腫瘍学会、日本頭頸部腫瘍学会の 理事、監事、会長を歴任  
医学物理連絡協議会の議長として国立弘前病院過照射事故調査団や、和歌山県立医科大学過照射事故調査団の団長を務める  
放射線治療品質管理機構では平成 16 年の発足時から現在まで理事長  
その他、日本がん治療学会、日本緩和医療学会、日本食道学会などの評議員、代議員

**社会活動など：**福岡県対がん協会の常任理事、九州産業衛生協会、福岡県すこやか健康事業団の理事を務める

**その他：**放射線医学総合研究所重粒子線治療ネットワーク会議評価部会 委員  
放射線医学総合研究所重粒子線がん治療装置等共同利用運営委員会 委員長  
佐賀県粒子線がん治療検討専門家会議 議長、など

## 放射線治療の進歩と高精度放射線治療

九州大学大学院医学研究院臨床放射線科学 准教授  
中村 和正 先生

### はじめに

近年、放射線治療は非常に進歩し、手術、化学療法と並んで、がんに対する主な治療法のひとつとなっています。また、本邦では高齢化社会を迎え、放射線治療を受ける患者数は急増しています。このような状況を後押ししているのが、めざましい照射技術の進歩です。腫瘍組織に放射線を集中し、正常組織の照射線量を減少させる様々な技術が開発されており、近年のコンピュータ技術の発達とともに急速な発展を遂げました。

本講演では、放射線治療の進歩について概説し、現在どのような高精度放射線治療が実施されているかについて述べます。

### 放射線治療の進歩の歴史

X線は1895年にレントゲンによって発見されました。その数年後からX線は腫瘍の治療に用いられていましたが、当時のX線発生装置は透過力が低く、浅いところにしか到達しませんでした。やがて、1950年代になると、コバルト60を用いた外照射装置が普及し、さらに、現在の放射線治療の主流となっているリニアック（直線加速器）が開発され、身体の深部にまで到達させることが可能となりました。しかし、このころは、まだ長方形の形状のビームしか用いることができず、ビームの一部を鉛のブロックで遮蔽していました。

1970年代になると、CTの発明とともに、多分割絞り（multileaf collimator, MLC）が開発され、リニアックの照射口に取り付けられた多分割絞りをコンピュータ制御することにより、ターゲットの形状に合わせた照射野を形成できるようになりました。これにより、余分な部分の被ばくを避けることができるようになりました。さらに、多数の方向からピンポイントに集中して照射する定位放射線治療が実施されるようになり、脳腫瘍や早期肺癌などに威力を発揮しています。

もうひとつの技術革新は、MLCを同一照射野内で動かすことにより、コンピュータで計算された不均一な線量分布を生み出し、総和として最適な線量分布を形成する強度変調放射線治療（intensity-modulated radiation therapy, IMRT）が開発されたことです。この技術は2000年頃にわが国に導入され、現在は広く普及しつつあります。IMRTは米国ではすでに一般的な治療となっており、我が国でも頭頸部腫瘍、前立腺癌などの治療において高線量の安全な投与、有害事象の低減化などへの貢献が期待されています。

外照射の問題点のひとつとして、位置あわせの不確実性があげられます。通常、治療時には、皮膚につけた印に合わせて治療寝台上にセットアップします。しかし、人体は柔らかいため、実際

の腫瘍の位置とは5-10mm程度のずれが生じる可能性があります。この問題点を克服するため、CTやX線透視装置がリニアックと一体化された機器が開発されました。これらの装置では、治療直前に正確な腫瘍の位置をチェックすることができ、位置のずれを補正し、ミリ単位での正確な照射が可能となりました。このような放射線治療は画像誘導放射線治療 (image-guided radiation therapy, IGRT) と呼ばれており、近年急速に普及し、正確な放射線治療の実現に大きく貢献しつつあります。

### まとめ

上述のように、近年のめざましい技術革新を背景に、X線による外部照射は、精度高く、腫瘍に集中して放射線を集中できるようになりました。しかし、陽子線や炭素線といった粒子線治療の導入により、新たな時代を迎えつつあります。歴史的には、低エネルギー X線から、コバルト 60 によるガンマ線、高エネルギー X線と変遷してきました。さらに、高エネルギー X線に代わって、粒子線治療が普及していくかどうかは不明ですが、今後の技術開発に期待したいと思います。



### 中村 和正 (なかむら かつまさ)

昭和 37 年(1962)8 月 26 日生

略歴：	昭和63年(1988) 3月	九州大学医学部卒業
	昭和63年(1988) 6月	九州大学医学部附属病院研修医(放射線科)
	平成 元年(1989)10月	佐賀県立病院好生館臨床研修医(放射線科)
	平成 2年(1990) 4月	九州大学大学院医学系研究科生理系専攻入学
	平成 6年(1994) 3月	同上 修了
	平成 8年(1996) 4月	九州大学医学部附属病院助手(放射線科)
	平成 9年(1997) 3月	カロリンスカ研究所研究員(医学物理学)
	平成 9年(1997) 8月	帰国、九州大学医学部附属病院助手
	平成19年(2007) 4月	福岡大学病院講師(放射線科)
	平成21年(2009) 4月	九州大学病院別府先進医療センター准教授(放射線科)
	平成23年(2011) 4月	九州大学大学院医学研究院准教授(臨床放射線科学分野)

その他：日本放射線腫瘍学会 評議員  
 頭頸部腫瘍学会 評議員  
 重粒子線がん治療臨床研究班泌尿器腫瘍臨床研究班員  
 放射線医学総合研究所重粒子線治療ネットワーク会議計画部会  
 泌尿器分科会委員

免許等：平成 5年(1993) 第1種放射線取扱主任者免状取得  
 平成 6年(1994) 放射線科専門医  
 平成11年(1999) 放射線腫瘍学認定医



## 小線源治療

佐賀大学医学部重粒子線がん治療学講座 教授  
徳丸 直郎 先生

### <小線源と小線源治療>

医療に用いる「小線源」は、放射線を出す物質（放射性同位元素）を金属の小容器に閉じ込めたものを言います。この小線源から $\gamma$ （ガンマ）線など、治療に適した放射線が出てきます。小線源治療とは、この小線源を病変に可能な限り近づけて照射する放射線療法のことを言います。

### <小線源治療の歴史>

1895年のレントゲンによるX線の発見から、放射線医学は始まりましたが、その翌年にはX線による放射線療法が行われています。1898年にキュリー夫妻がラジウムを発見しました。このラジウムからの $\gamma$ （ガンマ）線を用いて、1901年にパリで皮膚疾患に治療が行われ、これが小線源治療の始まりとされています。小線源治療も100年以上の歴史があります。

### <小線源治療の特徴>

リニアックなどによる体外からの放射線療法は、外照射や体外照射と呼ばれます。外照射と比べて小線源治療の利点は、①放射線を病変に集めやすいこと②呼吸など臓器の動きを考えなくてよいことが挙げられます。また外照射と比べて短所として①手術的な操作が必要で、痛みなど体への負担がありうること②治療医に

図1. 小線源治療の一例



3次元的に放射線のあて方を評価・検討できる

技術が必要なことが挙げられます。以前小線源治療では、どのように放射線があたっているかが、ややわかりにくかったのですが、近年では関連する医学や技術の発展により、小線源治療においても高い精度で治療が行えるようになっていきます（図1）。

### <小線源治療を行うがん>

小線源治療は、子宮頸がんなどの婦人科がん、口腔がんなどの頸部・顔面のがん、皮膚がん、前立腺がん、食道がん、気管支がん、胆管がん、軟部組織のがんなどに行われています。これらの中から、実際の治療例を含めご紹介していきます。

### <子宮頸がんなどの婦人科がん>

子宮頸がんに対する小線源治療の歴史は長く、1903年には小線源治療である腔内（くうない）照射が行われています。子宮頸がんには放射線療法を行う場合、外照射と腔内照射を組み合わせることが最も治療効果が高いと考えられています（図2）。子宮頸がんの早期の場合、この外照射と腔内照射による放射線療法を行った場合と、手術を行った場合とで治療効果が変わらないことが、科学的に証明されています（図3）。そのため、早期子宮頸がんでは、放射線療法、手術いずれもが標準治療方法と考えられています。進行した子宮頸がんの場合手術を行うことが難しく、放射線療法や化学放射線療法（化学療法と放射線療法の組み合わせ）を行います。結局子宮頸がんのほとんどの方に、放射線療法がよい治療法となります。

図2. 子宮頸がんの治療例

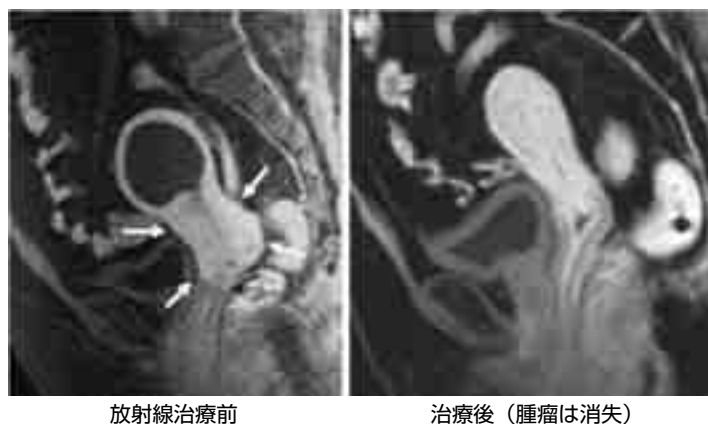
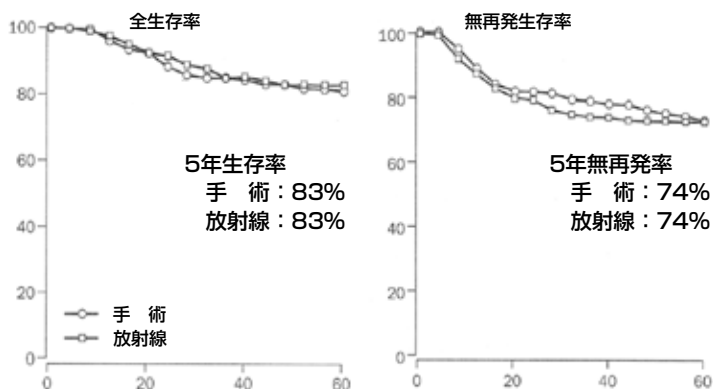


図3. 早期子宮頸がん手術と放射線療法の比較



膣がんでは早期の場合、小線源治療のみや小線源治療と外照射の組み合わせでよくなることがよくあり、放射線療法が標準治療方法とされています。

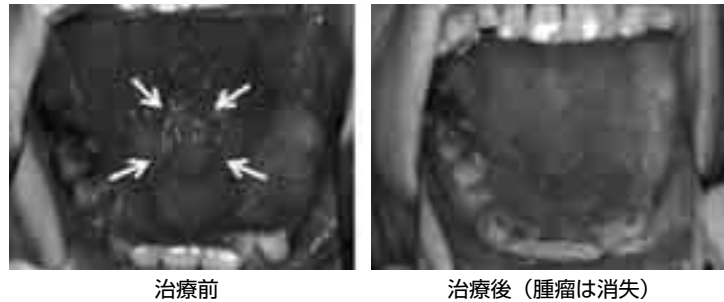
### <頸部・顔面のがん>

頸部・顔面のがんは放射線療法が行われることがよくあります。その理由は2つあり、ひとつは臓器・組織の形や働きをそのまま保つことができる放射線療法の長所が活かされやすい場所であることです。もうひとつは放射線がききやすい種類のがんである扁平上皮がんがとても多く、治療効果が得られやすいからです。例えば早期の舌がん、喉頭がんなどでは、手術と放射線療法との治療成績を比べると差がありません。早期の舌がんでは病変に小線源を直接入れて治療をする組織内照射が行われることがあります。皆さんがよく知っている芸能人のひとりも（会場でお知らせします）早期の舌がんでしたが、この組織内照射を含む放射線療法によりよくなって、長く芸能活動を行うことができました。口腔内のがんや咽頭、鼻のがんにも小線源治療が行われることがあります。口



腔内のがんに小線源治療を行って治療が得られた方を図4に示します。手術を行ってもよくなりましたと思いますが、手術では顔の半分がなくなってしまうことになりました。

図4. 口腔がんの治療例



### <皮膚がん>

皮膚がんは早期では手術されることが多いですが、小線源治療を含む放射線療法により、形を保って治療を行えることがよくあります。頭頂部の皮膚がん等に対して小線源治療によりよくなった方などをご紹介します。

### <前立腺がん>

前立腺にとどまっている早期のがんに対して、小線源治療により手術と同程度の高い治療効果が期待できます。高精度の外照射や粒子線治療でも、やはり同様の治療効果が期待できます。それで欧米では早期の前立腺がんの3分の2の方が小線源治療や外照射による放射線療法で治療されており、我が国でも放射線療法を行うことが増えています。

### <おわりに>

放射線療法のひとつである小線源治療は、とくに早期のがんに対して有効です。子宮頸がんなど婦人科がん、頸部・顔面のがん、前立腺がんなどにこれからも用いられ、高い治療効果を発揮していくでしょう。



### 徳丸 直郎 (とくまる すなお)

略歴:	1993年	佐賀医科大学医学部卒業
	1993年	佐賀医科大学放射線科医員
	1995-96年	白石共立病院放射線科医師
	1998年	佐賀医科大学放射線医学助手
	1998-99年	国立がんセンター東病院放射線部
	2006年	佐賀大学医学部附属病院放射線部診療講師
	2007年	佐賀大学医学部附属病院放射線部診療准教授
	2011年	佐賀大学医学部重粒子線がん治療学講座教授



## ○体にやさしい粒子線治療

### 第3部

#### 座長

### 塩山 善之 先生

九州大学大学院医学研究院  
重粒子線がん治療学講座 教授

塩山 善之 (しおやま よしゆき)

昭和 40 年 4 月 16 日生

- 学 歴：**平成 2 年 3 月 九州大学医学部医学科 卒業  
平成 9 年 3 月 九州大学大学院医学系研究科博士課程入学  
平成 9 年 3 月 九州大学大学院医学系研究科博士課程単位取得後退学  
平成 12 年 5 月 医学博士 (九州大学・甲種)
- 職 歴：**平成 2 年 6 月 九州大学医学部附属病院研修医  
平成 3 年 4 月 山口赤十字病院研修医  
平成 4 年 4 月 唐津赤十字病院医師  
平成 9 年 4 月 九州大学医学部附属病院医員  
平成 12 年 4 月 筑波大学臨床医学系助手 (陽子線医学利用研究センター)  
平成 12 年 12 月 筑波大学臨床医学系講師 (陽子線医学利用研究センター)  
平成 14 年 4 月 九州大学医学部附属病院助手  
平成 18 年 1 月 テキサス大学 MD アンダーソンがんセンター客員研究員  
平成 18 年 10 月 九州大学大学院医学研究院助手  
平成 19 年 4 月 九州大学大学院医学研究院助教  
平成 22 年 8 月 九州大学病院 助教講師  
平成 22 年 3 月 九州大学大学院医学研究院講師 (九州大学病院診療准教授)  
平成 22 年 7 月 九州大学大学院医学研究院・重粒子がん治療学講座・教授

**所属学会等：**日本医学放射線学会、日本放射線腫瘍学会 (評議員)、日本高精度放射線外部照射研究会 (評議員)、日本癌治療学会、日本肺癌学会、日本頭頸部腫瘍学会、日本ハイパーサーミア学会、日本放射線外科学会 (世話人)、九州放射線治療システム研究会 (世話人) 等

**その他役職：**佐賀国際重粒子線がん治療財団 理事  
放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター 客員研究員  
放射線医学総合研究所 重粒子線がん治療臨床研究班肺腫瘍臨床研究班 班員  
同 重粒子線治療ネットワーク会議計画部会胸部分科会委員  
日本臨床腫瘍研究グループ (JCOG) 放射線治療グループメンバー  
日本放射線腫瘍研究グループ (JROSG) 肺・縦隔腫瘍専門委員会 委員  
同 効果安全性評価委員会 委員  
九州肺がん研究機構 (LOGIK) プロトコール委員会 委員  
西日本がん研究機構 (WJOG) 放射線治療委員会 委員  
福岡県すこやか健康財団 肺がん専門部会 委員 など

## 重粒子線治療の新たな展開

放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター  
鎌田 正先生

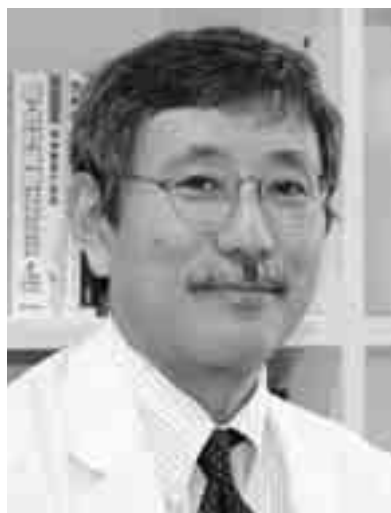
線量集中性（空間的線量分布）に加えて腫瘍に対する効果（殺細胞効果）についても従来の放射線に比べて格段に勝る最先端の放射線治療として日本が世界を先導する重粒子線治療があります。重粒子線の線量の集中性とそこで発揮される強い生物効果により、従来の治療に比べて、より短期間に安全・確実ながん治療が現実のものとなりました。一方、大きな質量を持つ重粒子（炭素の原子核）を人体内の奥深くまで到達させるには非常に高いエネルギー（光速の約80%）まで加速して治療することが必要で、直径42メートルのシンクロトロンリングを持つ重粒子線がん治療装置HIMAC（Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba）の建設費は、実験設備も含めて約330億円でした。重粒子線治療の普及のためには、装置の低コスト化・小型化が最重要課題でしたが、放医研では治療装置としてはHIMACと同等の性能を持ちながら、1/3程度のコストとサイズの小型重粒子線治療装置の開発に成功し、その実証器も2010年3月に群馬大学で稼働しています。現在、全世界で稼働中の重粒子線治療施設は5カ所で、うち3施設は、日本に存在し、施設数としては、日本は世界最多となっています。さらに国内では小型重粒子線治療装置の導入が二カ所（佐賀県及び神奈川県）で決定している他、ドイツ（二カ所建設中）、フランス、イタリア（稼働準備中）、オーストリア、中国、韓国、マレーシア、サウジアラビア、米国メイヨークリニックなど、日本以外でも10を越える計画が進行中です。

これまでに得られた治療結果から重粒子線の優位性が多くのがんであきらかになってきました。しかしながら現在の治療装置は、第一世代ともいえるものであり、各国で装置建設が始まりつつある今、単なる小型化の追求ではなく、さらに第二、第三世代ともいべき次世代の先進的な重粒子線治療装置開発がより重要度を増しつつあります。そのような装置として、重粒子の細かいビームを用いて治療部位を塗りつぶすように照射して治療するスキヤニング照射装置があります。放医研では、2010年4月にスキヤニング照射のための建屋建設を終了しました。この新治療施設ではロボットアームによる治療寝台と水平／垂直の固定ポートによるスキヤニング照射を行う治療室を2室整備することが決定している他、照射方向の制限が少なくより自由度が高く効率的な治療を可能とする回転ガントリーでの治療についても整備計画が進行中です。そのうちの1室のビームライン、照射系の設置を終了し、本年5月から臨床試験を開始しています。

このスキヤニング照射では補償フィルター（ボラス）や患者コリメーターが不要となり、現在の技術では照射が困難な複雑な形状の病巣や病巣の経時的な変化にも対応が容易な照射が可能となります。（intensity modulated and adapted carbon ion radiotherapy）回転ガントリーでは位置確認時間短縮や治療時の患者負担（治療体位の保持等）の軽減が期待されます。例えば肺癌では1回の位置決めで自由な方向から何回でも治療可能となるために現行では4方向照射で1～1.5時間を

要する1回照射も30分程度まで短縮が可能と考えられます。更に治療セットアップの簡素化、治療時間短縮によって高度な重粒子線治療の適応を全身状態が悪い症例等に拡げることも可能となります。結果的にスキヤニング照射あるいは回転ガントリーの導入により、治療成績の改善のみならず飛躍的な治療件数の増加（適応拡大と効率化）が期待できます。装置そのものの建設コストあるいは運用に関わる人件費の問題は残るものの、ボーラスや患者コリメーターが不要となることや治療件数の増加は治療費のコストダウンに直接つながるものと考えられます。

超伝導技術の重粒子線治療装置への応用についても基礎的な検討も開始されており、より小型軽量の次世代装置として更なる発展も期待されています。放医研ではこれまでに培った基礎から臨床応用に至るまでの豊富な重粒子線治療経験と研究成果を基に次世代の重粒子線治療装置の研究開発に取り組み、世界の重粒子線治療を先導するとともに、その運用に必要な人材の育成に努め、日本経済の活性化にも寄与したいと考えています。



**鎌田 正 (かまだ 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  
 千葉大学大学院医学研究院客員教授兼任  
 群馬大学医学部医学科客員教授兼任  
 新潟大学大学院医歯学総合研究科客員教授兼任  
 北海道大学医学部医学科客員教授兼任

**学歴:** 昭和 54 年 北海道大学医学部医学科卒業

**職歴:** 昭和 54 年 北海道大学医学部附属病院放射線科医員  
 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 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  
 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、現在に至る  
 新潟大学大学院医歯学総合研究科客員教授兼任  
 平成 21 年 千葉大学大学院医学研究院客員教授兼任

## 陽子線治療：やさしいがん治療

メディポリス医学研究財団 がん粒子線治療研究センター長  
菱川 良夫 先生

### 1. はじめに

粒子線治療は国内外で35を超える施設で実施されています。医療利用の粒子線は、陽子線と炭素イオン線（重粒子線）の2種です。陽子線治療は、米国の物理学者、ウィルソンによって提唱され、1954年から始まりました。炭素イオン線治療は、日本で始まった粒子線治療で、1994年に放射線医学総合研究所で最初の治療が行われました。以前、院長をしていた、兵庫県立粒子線医療センター（以下、兵庫）は、陽子線と炭素イオン線による治療ができる世界唯一の施設です。また、日本での陽子線治療は、民間施設でも始まっています（2008年 福島県郡山 南東北がん陽子線治療センター、2011年 鹿児島県指宿 メディポリス医学研究財団 がん粒子線治療研究センター（以下、指宿））。

### 2. 基礎的特徴

適応さえ間違えなければ、身体に負担の少ない楽ながん治療となる事は、粒子線のもつ性質で実現します。すなわち、体の内部で放射線の量が最大になり、病巣部の奥の正常組織にまで放射線の影響が及ぶことはありません。粒子線の加速するエネルギーを調節することで、頭頸部などの浅いがんから肺、肝の深いがんまで治療ができます。粒子線は、通常の放射線と比べ、線量分布が良く、正常組織への影響が少なくすみます。生物学的効果が炭素イオン線が強いため、放射線抵抗性腫瘍は、炭素イオン線のみが適応と考えられていましたが、陽子線でも同様の効果が認められています。

### 3. がん治療システム：兵庫と指宿の例

粒子線治療装置の本体はシンクロトロンという加速器です。兵庫の場合、2種の粒子線を出すので大きく直径30mですが、陽子線だけの指宿では7mと小型になっています。粒子線によるがん治療での治療成果をあげるためには、高精度のがん治療システムが必要です。ハードは、装置が中心で、粒子線治療システム、治療計画システムと治療確認システムです。ソフトは、装置の保守管理システムや、診療での、治療基準に従ったクリニカルパスや経過観察システムです。これらのシステムが、融合することで、高精度な治療が安全に効果的に行われることになります。

### 4. 兵庫の治療実績

2010年3月末の実績ですが、兵庫のHP（<http://www.hibmc.shingu.hyogo.jp/>）のニューズレター第30号に詳細に出ています。2003年4月の一般診療開始から2010年3月までの7年間に



3,215名の患者さんに治療を行っています。

## 5. システムとしてのがん治療

他のがん治療では、有害反応のため治療を休まざるを得ない場合もありますが、粒子線治療では、99.8%で予定通りの治療ができます。がんに対して厳しくても、そのがんを持つ患者さんには優しい医療であることが、このことからよく理解できます。99.8%の完遂率は、治療プロセスの安全性をも示しています。治療開始から終了までの、治療プロセスに安全性を担保していない場合、医療事故が生じることが多く、患者さんやその家族にとっては、非常に不満に思う部分となります。粒子線治療はシステム医療であるため、そのシステムが良好に稼働していれば、安全にがん治療ができます。ただ、常に装置、医療のシステムの見直しが必要になり、医療従事者にもそのような心構えが必要になります。

## 6. 指宿でのイノベーション

### 1) リゾート滞在型医療

指宿の特徴は『リゾート地でのがん治療』です。がんは、患者さんだけでなく家族にとってもつらい病気です。専門病院に入院して治療を受ける患者さんは、家族と離れての生活になります。長年連れ添った老夫婦の場合、どちらかが病気になり、離ればなれとなる生活は、2人にとってお互いを心配することが非常にストレスになります。また、最近増えつつあるシングルマザーのお母さんが、がんになった場合、小さなお子さんの世話は大変ですし、また、治療を受けるお母さんは、いつも小さなお子さんのことを気にされるはずで、一緒に滞在することで、離ればなれになり生ずる親子間の心配事は軽減できます。のんびりと豊かな気持ちで家族がリゾートに滞在し、励ましを受けながら治療することで、がんが治癒する可能性も高くなるでしょう。

### 2) 乳がん治療へのチャレンジ

陽子線治療は、ガントリーという装置が使用できます。これは、色々な角度から治療できる装置です。指宿では、一回の治療で複数の方向からの治療が容易にできる装置を開発しました。定位陽子線治療装置です。その目標とするところは、合併症があり手術ができないか、どうしてもメスを入れたくない早期乳がんの患者さんの治療です。4～5年かけて医学研究を行い、一般の医療として提供できるようにします。



### 菱川 良夫 (ひしかわ よしお)

---

- 1974年 神戸大学医学部卒業。
- 2001年 兵庫県立粒子線医療センター院長、神戸大学大学院医学系研究科客員教授。
- 2010年 兵庫県立粒子線医療センター名誉院長、メディポリス医学研究財団・がん粒子線治療研究センター センター長、鹿児島大学医学部客員教授  
専門は放射線治療学。
- 1990年 ヨーロッパ放射線治療学会小線源治療賞。
- 2011年 日本放射線腫瘍学会学術大会長。
- 1994年～ 兵庫県の粒子線治療の計画立案に携わり、粒子線医療センターの立ち上げと、継続できる粒子線治療施設の実現に精力的に取り組む。
- 2010年 兵庫から鹿児島に異動し、リゾート地での粒子線治療の実現と、世界で初めての乳がん治療研究に積極的に取り組んでいる。