

# 放射線防護部会誌

Vol.16 No.2 (通巻 43)

●巻頭言 2年目を迎えた我が国の診断参考レベル

放射線防護部会 委員 竹井 泰孝

●第43回放射線防護部会

教育講演

疫学データの解釈に必要な基礎知識

杏林大学 橋本 雄幸

●シンポジウム「日常診療に有用な放射線防護の知識」

放射線生物学—被ばくの理解のために—

北里大学 鍵谷 豪

X線 CT検査での被ばく評価

金沢大学医薬保健研究域 松原 孝祐

核医学検査での被ばく評価

つくば国際大学 津田 啓介

放射線治療における被ばく

筑波大学附属病院 富田 哲也

●教育講座入門編 入門編 1 (放射線防護)

放射線リスクの基本的な考え方

セントメディカル・  
アソシエイツ LLC/  
名古屋医療センター

—デトリメント (被ばくに伴う損害) とは?—

広藤 喜章

●教育講座入門編 専門編 6 (放射線防護)

中性子の防護に必要な基礎知識と有効利用

筑波大学 磯辺 智範

●世界の放射線防護関連論文紹介

Radiation Exposure of Patients Undergoing Whole-Body Dual-  
Modality 18F-FDG PET/CT Examination

筑波大学附属病院 富田 哲也

Measurement and comparison of individual external doses of high-  
school students living in Japan, France, Poland and Belarus—the 'D-  
shuttle' project—

筑波大学附属病院 高橋 英希

●寄稿

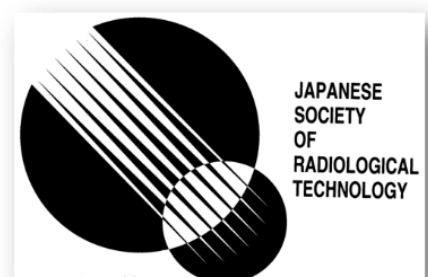
ヨーロッパにおける放射線災害への準備と対応に関する取り組み

福島県立医科大学/  
Barcelona Institute for  
Global Health

大葉 隆

●第8回放射線防護セミナーを受講して

●防護分科会誌インデックス



## 2 年目を迎えた我が国の診断参考レベル

竹井 泰孝  
浜松医科大学医学部附属病院 放射線部

平成 27 年 6 月 7 日 午後 2 時，医療被ばく情報ネットワーク（J-RIME）より待望の我が国の診断参考レベル（Japan DRLs 2015）が公開され，我が国の医療放射線防護にとって大きな節目を迎えました。

これまで我が国では独自の調査に基づいて DRL を提案する論文や医療被ばく線量の目安を示したものの等が公表されていましたが，今回の DRL は国内で実施された最新の実態調査の結果に基づき，J-RIME 構成団体の各専門家による議論や国際機関の専門家の助言も得て，オールジャパンで取り組んだ我が国初の DRL です。

DRL 公開後，多くの学会や研究会で DRL をテーマに取り上げたシンポジウムや講演等が行われたことで DRL の認知度も高まり，医療被ばくに関心が持たれるようになりました。

DRL 公開から 2 年目を迎えた今では，各医療機関で医療被ばく最適化のツールとして活用されるようになり，自施設での活用事例が学会等で報告されるようになってきました。

DRL を活用するためには“標準体型”における自施設の医療被ばくの代表値を把握することが必要となりますが，代表値を把握するための“線量調査”や“標準体型群の抽出”，“サンプルデータ数”，“装置表示線量値の使用”など，現場で直面する問題点も明らかになってきました。

しかし現状の DRL に問題点があるからと言って何も行動を起こさないのは，我々，診療放射線技師の存在を自ら否定することに繋がりがねません。医療被ばくの最適化は診療放射線技師の責務であり，DRL 公開によって我々の真価が問われるようになったと言っても過言ではないからです。

自施設の代表値を把握するための“線量調査”や“標準体型群の抽出”は，非常に煩雑で困難を伴います。しかし世界一と言われている我が国の医療被ばくを最適化するためにも，ぜひとも自施設の線量を把握してください。そして DRL と比較を行って高すぎる線量を用いていないかご確認ください。

DRL は高すぎる線量の目安に過ぎませんので，自施設の代表値が DRL を下回っていたとしても，撮影条件やプロトコルの見直し等による被ばくの最適化が可能かの検討をお願いします。

J-RIME 関係者の多大な努力の下に策定された Japan DRL ですが，策定したことで終わりにはなりません。DRL には定期的な見直しが必要となってきます。現在，様々な学会で DRL 改訂を念頭においた調査研究が準備されておりますが，これらの研究では診療放射線技師の力が大きく求められています。ぜひ多くの診療放射線技師が医療被ばく調査研究に積極的に関わっていただき，DRL 改訂の Evidence となる論文を生み出していただきたいと思います。我が国の医療被ばくの最適化を推進し，より良い放射線診療を提供できるよう共に頑張っていきましょう。

目次

●巻頭言 2年目を迎えた我が国の診断参考レベル

放射線防護部会 委員 竹井 泰孝 . . . 1

●目次 . . . . . 2

●第43回放射線防護部会

日時 2016年10月14日(土) 15:00~18:00 (第5会場)

教育講演

疫学データの解釈に必要な基礎知識

杏林大学 橋本 雄幸 . . . 4

シンポジウム「日常診療に有用な放射線防護の知識」

放射線生物学—被ばくの理解のために—

北里大学 鍵谷 豪 . . . 9

X線CT検査での被ばく評価

金沢大学医薬保健研究域 松原 孝祐 . . . 13

核医学検査での被ばく評価

つくば国際大学 津田 啓介 . . . 16

放射線治療における被ばく

筑波大学附属病院 富田 哲也 . . . 21

●教育講座入門編 入門編1 (放射線防護)

日時 2016年10月13日(木) 9:00~9:50 (第8会場)

放射線リスクの基本的な考え方—ドトリメント(被ばくに伴う損害)とは?

セントメディカル・アソシエイツ LLC/国立病院機構名古屋医療センター 広藤 喜章 . . . 26

●教育講座入門編 専門編6(放射線防護)

日時 2016年10月14日(金) 08:50~09:40 (第5会場)

中性子の防護に必要な基礎知識と有効利用

筑波大学 磯辺 智範 . . . 30

●世界の放射線防護関連論文紹介

1. Radiation Exposure of Patients Undergoing Whole-Body Dual-Modality 18F-FDG PET/CT Examination

筑波大学付属病院 富田 哲也 . . . 36

2. Measurement and comparison of individual external doses of high-school students living in Japan, France, Poland and Belarus—the 'D-shuttle' project—

筑波大学付属病院 高橋 英希 . . . 41

●寄稿

ヨーロッパにおける放射線災害への準備と対応に関する取り組み

福島県立医科大学/Barcelona Institute for Global Health 大葉 隆 . . . 45

●第8回放射線防護セミナーを受講して

日本メドラット株式会社 ラジオロジー事業部	鈴木 貢 . . .	49
●防護分科会誌インデックス	. . . . .	50
・部会内規	. . . . .	60
・編集後記	. . . . .	61
・入会申込書	. . . . .	62
・防護部会委員会名簿	. . . . .	63

## 疫学データの解釈に必要な基礎知識

橋本雄幸

杏林大学保健学部診療放射線技術学科

疫学のデータを解釈するためには、様々な統計の知識を必要とします。その基本となるところを紹介します。2 年前に「統計学が最強の学問である」という書籍が異例のベストセラーとなりましたが、近年のビックデータのブームもあって統計学が注目されていることは言うまでもありません。確かに統計学は、巷にあふれかえっているデータを処理するという観点で最強なのかもしれませんが、万能ではありません。そこに気を付けながら、統計学を用いるにあたっての心構えや基礎的な知識を見ていきます。

統計学に入る前に、物理学の世界に目を移してみましょう。ニュートンの運動法則は皆さんご存知でしょう。運動する物体の多くは、その法則にしたがっていると言ってよいでしょう。その後、より正確な運動法則を追及して出てきたのがアインシュタインの相対論です。これらは古典力学と呼ばれています。マクロな物質の運動をつかさどり、高い精度で同じ結果をもたらします。それに対して、もう一つの力学理論が量子力学です。ミクロな運動を記述しています。結果は一意に求まらず、確率分布で記述されます。例えばスリットを通った光の計測では、光の粒子は計測するたびに異なる場所で検出されます。ただし、数多く計測すると計測される場所が一定の形を持てきます。これを場所ごとに計測される確率であらわすと確率分布になります。

疫学に目を戻してみましょう。病気やその症状は、患者 1 人 1 人に対して全く同じになることはありません。ただし、多くの患者を診たときに関連性は出てきます。量子力学と比べたときに、そのデータ特性が似ていると分かるでしょう。1 つ 1 つのデータにはばらつきがありますが、それをまとめると一定の法則が生じてきます。そういったデータの取り扱いが統計学の世界になります。ここで大切なのはデータの特性になります。では、はじめに疫学で扱われるデータの分類について見てみましょう。

扱われるデータの分類を表 1 に示します<sup>1)</sup>。大きくは質的データと数量データの 2 つに分類されます。質的データは、選択肢のようなカテゴリーに分けて取られたデータのことで、数量データは、数えたり測ったりして数値で表したデータのことで、それぞれのデータに対して処理する手法が異なってくるので、それを見極めることが大切です。それを見極める 6 つのポイントを以下に示します<sup>2)</sup>。

1. 差を見るのか、相関を見るのか
2. 比較データは対応しているのか
3. アウトカムは、連続変数、順序変数、名義変数、2 値変数のいずれに分類できるか
4. アウトカムが連続変数の場合、その分布は正規分布であるか
5. 比較群間で比較を行うとき、比較群の数は 2 つか、3 つ以上か
6. サンプルの総数はいくつ

以上のポイントが分かっているならば、どのような統計手法で計算すればよいのかおのずと決まってきます。それを表2に示します。逆に、疫学で使われた検定が分かれば、そこで使われているデータの種類や性質が分かります。このように、どのようなデータを扱うかを把握することは、疫学を取り扱うときに非常に重要なことと言えます。

表1 データの分類

質的データ	0-1 データ(2 値データ)		計数データ
	カテゴリーが 3 以上	順序なし	
		順序あり	
数量データ	離散データ		計量データ
	連続データ		

表2 統計手法を選択する際の6つのチェックポイント

差／相関	比較データ間の対応性	変数の種類	正規性	比較する群の数	サンプル数	適切な統計手法
差	対応なし	連続変数	正規分布	2	総数30以上	スチューデントのt検定
				> 2	1群15以上	一元配置分散分析
		連続変数／順序変数	非正規分布(連続変数)	2	制限なし	マン・ホイットニーのU検定＊ ウィルコクソンの順位和検定＊
				> 2	制限なし	クラスカル・ウォリス検定＊
		2値変数		2	総数20未満	フィッシャーの正確確率検定＊
				≥ 2	総数20以上	ピアソンのカイ2乗検定
		打ち切り例のある2値変数		≥ 2	イベント総数10以上	ログランク検定
	対応あり	連続変数	正規分布	2	15組以上	対応のあるt検定
				> 2	15組以上	反復検定による分散分析
		連続変数／順序変数	非正規分布(連続変数)	2	制限なし	ウィルコクソンの符号順位検定＊
				> 2	制限なし	フリードマン検定＊
		2値変数		2	制限なし	マクネマー検定
相関(関連性)		連続変数	正規分布		総数20以上	ピアソンの相関係数
		連続変数／順序変数	非正規分布(連続変数)		制限なし	スピアマンの順位相関係数＊
		2値変数			制限なし	ケンドールの順位相関係数＊ カッパの相関係数(一致性)

＊ノンパラメトリック検定，それ以外はパラメトリック検定を示す。

そして、疫学において最も重要なことは、その目的をしっかりとデザインすることです。目的は、ある因果関係を証明することになると思います。因果関係には 1965 年に **Bardford Hill** が提案した 9 つの基準があります<sup>3)</sup>。その基準を以下に示します。

1. 関連の強さ (Strength)
2. 一貫性 (Consistency)
3. 特異性 (Specificity)
4. 時間的關係 (Temporality)
5. 生物学的用量反応勾配 (Biological gradient)
6. 生物学的妥当性 (Plausibility)
7. 整合性 (Coherence)
8. 実験的エビデンス (Experiment)
9. 類似性による推論 (Analogy)

この基準に基づいて因果関係を推定することができます。また、因果関係を評価するための基準もあり、**GRADE** という枠組みで考慮されています<sup>4)</sup>。

研究のデザインで重要なのは、実験の計画です。実験計画には、**R. A. Fisher** によって提唱された 3 原則があります<sup>5)</sup>。その 3 原則を以下に示します。

1. 反復
2. 無作為化
3. 局所管理

1 つ目は反復ですが、測定値に変動が大きければ、反復測定を行います。1 つの処置において少なくとも 2 回以上の反復が必須条件となります。

2 つ目は無作為化です。あるデータに交絡や偏り (バイアス) がある場合、確率的な偶然誤差の中に入れてしまうような操作のことです。この無作為化によって、統計解析の理論的根拠が形成されます。よって、この無作為化を注意深く行わないと、理論的根拠が崩れてしまい、誤った結果を招いてしまいます。無作為化には以下の 5 つの方法が主に用いられています。

1. 単純無作為化  
乱数などを利用して、単純に無作為に割り当てる方法。
2. ブロック無作為化  
局所管理のために設けたブロック内で無作為化を行う方法。
3. 層別無作為化  
重要な予後因子をもとに層として分け、層内で無作為化を行う方法。
4. クラスター無作為化  
地区への割り付けを無作為に行い、割り付けた地区内では全員を調査する方法。

## 5. 最小化法

小さい規模の試験において、あらかじめ規定された予後因子群での偏りを逐次的に最小にする方法。

いずれの方法においても、いかに交絡やバイアスなどの因子を取り除いて無作為化するかが重要になります。

3つ目の局所管理は、実験全体での無作為化をすると誤差が大きくなってしまい評価が困難な場合や全体での無作為化が困難な場合に、いくつかのブロックに分けて無作為化を図る手法です。これによって局所化の条件が含まれますが、結果の精度を上げることが可能になります。

以上のことに注意して研究デザインをしていくわけですが、次に必要になるのは標本の選択と大きさです。標本を選択するには、その基となる母集団を決める必要があります。標本はその母集団に対して代表に近くなるのが理想的です。ただし、比較研究の場合は、多少偏った標本であっても差を取ったときに相殺されることもあります。標本の大きさについては、意味のある効果を出すために誤差率（有意水準  $\alpha$ ）と検出力（ $1-\beta$ ）で証明できる数を計算します。 $\alpha$  は第 1 の過誤と呼ばれ、正しいにもかかわらず違うと判断してしまう確率です。 $\beta$  は第 2 の過誤と呼ばれ、逆に正しくないにもかかわらず正しいと判断してしまう確率です。第 2 の過誤が生じない確率（ $1-\beta$ ）を検出力（パワー）と呼びます。一般に標本数が大きければ検出力も大きくなります。標本数の計算には、ある程度予備的な知識が必要となります。対象となる因果関係はおおむねどの程度の割合で起こるのか、または平均値や標準偏差はどの程度になるのか。これは事前調査や過去の調査などをもとに仮定する必要があります。例えば、「人口 10 万人のある市において 5 人以上で構成された世帯は全人口の約 20%であることが過去の調査から分かっている。このとき信頼水準 95%，許容誤差 2000 人として必要な標本の大きさ（サンプルサイズ）を求めよ。」という例題に対する解答は以下のようになります<sup>9)</sup>。

① 許容誤差  $d$  を求める。

② 比率（約 20%）から分散を推定する。

③ 有意水準  $\alpha$  を 5% とすると信頼水準が 95% となり、標準正規分布で  $z=1.96$  となるので、その値から標本の大きさ  $n$  を求める。

計算方法は、事前に分かっている統計量によって若干変わってきます。いずれにしても分散などのような集団の変動が、事前に推定できる必要があります。

以上のようにして研究デザインを行い、それにしたがって無作為化したデータを取得します。目的となる因果関係の証明には、統計学的検定を用いることができます。統計学的検定は、表 2 に示したように、取得したデータの分類によって用いる手法が決まってきます。そして最終的な判断が可能となります。

すでにある疫学データを読み取るには、以上のことを逆にたどっていくことにより、研究内容を解釈することができると思います。疫学や統計学を利用して研究するためには、しっかりとした計画を立て、データを取得することが重要です。データありきではありませんので、その点は十分注意を払ってくだ



さい。この基礎知識が少しでも皆様のお役に立てれば幸いです。

#### 参考文献

- 1) 宮原英夫, 丹後俊郎 編: 医学統計学ハンドブック. 1995, 朝倉書店.
- 2) 新谷歩: 今日から使える医療統計学講座. 第 2927 号 2011 年 5 月 9 日, 医学書院.  
[http://www.igaku-shoin.co.jp/paperDetail.do?id=PA02927\\_03#bun2](http://www.igaku-shoin.co.jp/paperDetail.do?id=PA02927_03#bun2)
- 3) Bradford Hill A: The Environment and Disease: Association or Causation? Proc R Soc Med. 1965 May;58(5): 295-300.
- 4) 相原守夫: 因果関係のための GRADE アプローチと Bradford Hill 基準. (記 平成 25 年 6 月 25 日)  
[http://www.grade-jpn.com/grade\\_vs\\_bradford\\_hill\\_ma.pdf](http://www.grade-jpn.com/grade_vs_bradford_hill_ma.pdf)
- 5) R. A. Fisher: The Design of Experiments. 1966, Hafner Pub. Co.
- 6) シリウス先生の心理統計学, 標本調査について. (2016/9/8 アクセス)  
[http://daas.world.coocan.jp/toukei\\_hosoku/hyohon.htm](http://daas.world.coocan.jp/toukei_hosoku/hyohon.htm)

## 被ばくへの理解に必要な放射線生物学

鍵谷 豪<sup>1</sup>, 小川良平<sup>2</sup>, 畑下昌範<sup>3</sup>, 田中良和<sup>3</sup>, 宮内洋輔<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北里大学 医療衛生学部, <sup>2</sup>富山大学大学院 医学薬学研究部 (医),

<sup>3</sup>若狭湾エネルギー研究センター

### 1. はじめに

2011 年 3 月 11 日, 太平洋三陸沖を震源としたマグニチュード 9 の東日本大震災が発生した。地震により発生した津波の影響で福島第一原発の非常用ディーゼル発電機はその機能喪失に至り, 結果, 冷却機能を失った原子炉は炉心融解, ベントによる水素爆発を起こし, 大量の放射性物質を大気中に拡散した。その量は, チェルノブイリ原子力発電所事故と比較し約 14%であるが, ウラン換算では広島原爆の 168 個分が漏出しており, これらの放射性物質 (現在は主に  $^{137}\text{Cs}$ ) から発せられる放射線による人体への影響, 特に低線量長期被ばくによる健康への影響については, 多くの人が関心を寄せている。また, わが国の医療被ばくによる 1 人あたりの実効線量は年間 3.9 mSv と世界で最も高く, 発がんや遺伝的影響のリスクが増加する懸念もある。このような背景下, 放射線の専門家である診療放射線技師は被ばくに関する知識も熟知していなければならない。本稿では, DNA, 細胞, 生体への放射線影響を取り上げながら, 被ばくへの理解に必要な放射線生物学の基礎について概説する。これらが放射線防護を考える際の一助となれば幸いである。

### 2. DNA, 細胞への放射線の影響

放射線は, 直接作用や間接作用を介しゲノムに損傷を誘発する。その数は, X 線 1 Gy を細胞へ照射した場合, DNA を構成する塩基の損傷はゲノム中に 1,000~2,000 個, DNA 一本鎖切断は約 1000 個, 二本鎖切断に関しては約 40 個, また DNA とタンパク質の架橋は 150 個程度生成される。これら損傷の中で, 細胞にとって最も重篤なゲノム損傷は DNA 二本鎖切断である。これを修復するため, 細胞には DNA 二本鎖切断に対する 2 つの主な修復機構が存在する。1 つは切断された部位を姉妹染色分体の DNA 配列を鋳型とし修復する相同組換え修復 (HR) であり, もう 1 つは DNA 配列の相同性とは無関係に, 切断された DNA 末端どうしを直接繋ぎ合わせる非相同末端結合 (NHEJ) である。NHEJ による修復は, 細胞周期において姉妹染色分体がない時期においても二本鎖切断修復が可能という利点はあるが, HR と比較し塩基の欠失による点突然変異や転座等の変異が起こりやすく, 修復の正確性は低い。このため, 修復過程で誘発される突然変異が晩発障害の原因になる可能性がある。また, DNA が二本鎖切断を受けるとその部分の染色体も切断された構造となる。切断部位が修復のミスにより再結合すると, 環状染色体や 2 つの動原体を有する二動原体染色体等の不安定型染色体が形成される。DNA 二本鎖切断は紫外線や化学物質等で誘発されにくいゲノム損傷のため, これら不安定型染色体異常は放射線によって特異的に形成される染色体異常と考えられる。

放射線によるゲノム損傷は、DNA 修復酵素により元の DNA 配列（遺伝情報）へと修復されるが、DNA 損傷が多い場合、または修復酵素が機能不全に陥った場合、細胞は細胞死を引き起こす。放射線による細胞死には、アポトーシス、ネクローシス、オートファジー細胞死、細胞老化（Senescence）、分裂期崩壊（Mitotic catastrophe）が知られている。近年、これまでネクローシストと考えられていた受動的な細胞死の中には、特定の分子によって制御される細胞死、ネクロプトーシス、パイロトーシス、フェロトーシス等の存在が明らかになってきた。これらが放射線細胞死に関与しているかも知れない。

### 3. 臓器、生体への放射線の影響

#### （１）確定的影響

放射線による細胞死が、細胞を供給する組織幹細胞で誘発されれば、結果的に供給された細胞の集合体である臓器は機能障害を引き起こす。ICRP は放射線被ばくした 1% の人々に、ある症状が出現する線量をしきい線量とし定義している。しきい線量の中で最も低いものは、男性の一時不妊線量の 150 mGy である。これは精原細胞の中でも比較的分化した B 型精原細胞が放射線に対し最も高感受性であることに起因する。B 型精原細胞より未分化である A 型精原細胞は、B 型と比較し放射線感受性は低い。このため、被ばく線量が少ない場合、B 型精原細胞のみが細胞死を起こし一時不妊を引き起こす。被ばく線量が上がり、より未分化な A 型精原細胞が細胞死を起こせば永久不妊を引き起こす。

この他に、放射線業務従事者として注意しなければならない確定的影響は白内障である。被ばく後 2-3 年で水晶体混濁が出現し、そのしきい線量は 0.5-2.0 Gy と推測されてきた。最新の知見から水晶体のしきい線量は 2.0 Gy ほど高くなく 0.5 Gy と見直され、ICRP は水晶体の等価線量を 5 年間の平均で年 20 mSv、これまでの年間最大 150 mSv を 50 mSv に低減すべきであると勧告している。また、水晶体は確率的影響を無視できるため、組織加重係数が規定されていない。このため、実効線量が小さいからといって水晶体に影響がないとは言い切れない。

#### （２）確率的影響

##### 1) 発がんへの影響について

広島・長崎原爆被爆者を対象とした寿命調査（LSS）から、200 mSv 以上での発がんリスクの増加は明白であるが、それ以下の発がんリスクは不明瞭である。被爆者の発がんリスクを統計学的有意に検出するために必要な対象者数は、被ばく線量の 2 乗の逆数に比例する。被ばく線量が半分になると調査に必要な対象者数は 4 倍となる。被ばく線量 10 mSv で発がんリスクを評価するには、新たに約 62 万人の 10 mSv 被爆対象者が必要であり、低線量での発がんリスクを正確に評価することは難しい。このため、高線量での発がんリスクを直線で外挿し低線量での発がんリスクを推定する LNT モデルや直線-二次関数モデルが、発がんリスク評価モデルとして用いられている。全固形がんの発生リスクは LNT モデルによく一致し、白血病死亡リスクに関しては全固形がんの場合とは異なり、直線-二次関数モデルに一致することがわかっている。LNT 仮説は発がんにしきい線量がないと仮定するが、皮膚がん（黒色腫を除く）においては 1 Sv までは影響がないことから、しきい線量があると考えられている。また、マウスでは胸腺リンパ腫、骨髄性白血病、卵巣腫瘍にしきい線量の存在が確認されている。これらの結果は特殊な例と考え、放射線による発がんとして一般化すべきではないと考えるかは難しい点である。放射線による

発がんを難しくしているのは、これだけではない。現在、最も有力な発がん機構に関する仮説は、ボーゲルシュタインの発がんの多段階突然変異説である。この仮説において、がんは一遺伝子の変異で発生するわけではなく、様々な遺伝子の変異が蓄積することで発生すると考える。放射線による突然変異率は線量依存的に増加するため、高い線量の放射線被ばくにより発がんリスクが増加すると考えられる。これは LNT 仮説の基盤となる考えである。しかし、細胞のがん化頻度と突然変異頻度は相関しない実験データも知られている。また、近年のエピジェネティクス研究の成果より、発がんは遺伝子の変異だけでなく、メチル化に代表される遺伝子への修飾などのエピジェネティックな遺伝子発現調節異常によっても引き起こされることが明らかになってきた。放射線発がんに関しては明らかでない点も多く、さらなる研究が必要とされている。

## 2) 遺伝的影響について

マラーのショウジョウバエを用いた実験、またラッセルらのメガマウスプロジェクト実験より、生殖細胞内に放射線により誘発された突然変異は次世代に遺伝することが確認された。しかし、すべての突然変異が遺伝するわけではなく、生殖細胞のゲノム損傷が重篤な場合はアポトーシスが誘導され、そのゲノム損傷を持った細胞は排除され、突然変異誘発は抑制される。ゲノム損傷が軽度の場合は細胞周期が停止し、DNA 修復がおこなわれ突然変異誘発は抑制される。また、生存に重要な遺伝子が損傷すれば優性致死突然変異により発生過程は中断され胎児は死亡、遺伝的影響は次世代に遺伝しない。ヒトを対象とした疫学研究としては、広島・長崎原爆被爆者の遺伝的影響について調査した研究がある。被爆両親から出生した被爆 2 世群（親の被爆時には受精卵になっていなかった子供）の遺伝子突然変異率、発がん、奇形、生活習慣病発生率（高血圧、高コレステロール血症、糖尿病、狭心症、心筋梗塞、脳卒中）は、非被爆両親から出生した群と比較し統計的有意な差は認められず、親の被爆による次世代影響は確認されていない。胎内被爆児（母親の胎内で原爆放射線に被爆し出生した子供）に関しては、固形がんや小頭症の増加が認められた。体内被爆児、被爆 2 世の遺伝的影響は、原爆被爆した親から生まれるため混同されやすいが全く別であり、胎内被爆児の影響（発がん、小頭症等）は遺伝的影響に含まれない。

## （3）寿命への影響について

放射線による寿命への影響は、マウスを用い明確な結果が得られている。マウスに 400 日間連続して線量率 0.05, 1.1, 21 mGy/day の  $\gamma$  線を照射し（総線量 20, 400, 8000 mGy）、低線量率で長期被ばくしたときの寿命への影響が調べられた[1]。21 mGy/day で照射された群は、非照射群と比較し雌雄共に有意に寿命が短縮した。1.1 mGy/day で照射された群においては、雌のみで非照射群と比較し寿命の短縮が確認された。寿命短縮の原因は、悪性リンパ腫等の腫瘍の発生に起因し、放射線が老化を促進するというわけではない。放射線業務従事者の年平均線量限度である 20 mGy 照射群において寿命短縮、腫瘍発生、染色体異常、DNA 突然変異は観察されていない。これらの結果はマウスを使用して得られたものであり、ヒトへの影響については議論がある。

## 4. おわりに

放射線生物学は、放射線物理学や放射線化学と並び、放射線防護を考える上で基盤となる学問であるとともに情報源である。情報は時代と共に進化し、変化する。常に知識のアップデートを心がけたい。

#### 参考文献

- 1) S. Tanaka et al., No lengthening of life span in mice continuously exposed to gamma rays at very low dose rates. Radiat. Res. 160(3): 376-79.

## X 線 CT 検査での被ばく評価

松原 孝祐

金沢大学 医薬保健研究域 保健学系

## 1. はじめに

X 線 CT は、医療画像診断の中では相対的に患者の被ばく線量が多く、その特殊な X 線照射方法に適した被ばく線量評価法を用いて、被ばく線量を適切に評価することが求められる。そこで本稿では、X 線 CT で現在よく用いられている被ばく評価法について概説する。

## 2. CT 線量指数 (CT dose index: CTDI) による評価

現在、X 線 CT の線量評価において標準的手法となっているのは、電離長 10 cm の CT 用電離箱線量計と 16 および 32 cm 径の亚克力樹脂製円筒型ファントムを用いた CTDI の測定である。CTDI は空気カーマ（空気衝突カーマ）で表すことになっている。実用的な値である CTDI<sub>100</sub> は式(1)で算出することができる。CTDI<sub>100</sub> では、線量の積分範囲を 100 mm としている。

$$CTDI_{100} = \frac{1}{n \cdot T} \int_{-50mm}^{+50mm} D(z) dz \quad (1)$$

ここで、 $n$  は単一のアキシアルスキャンで生成されるスライス数、 $T$  は公称スライス厚 (mm)、 $D(z)$  は体軸方向の位置  $z$  における空気カーマを表す。X 線 CT 検査ではマルチスキャンが基本となるが、 $n \cdot T$  の幅をもつ中心スキャン部分の線量には、他の各スキャンの裾野の線量が加算され、結果的に単一スキャンの線積分線量に等しくなる。すなわち、線積分線量はマルチスキャンにおける  $n \cdot T$  内の積算線量と等価であり、 $n \cdot T$  で除することによって中心スキャン部分における平均線量を表すことができる。

さらに、この CTDI<sub>100</sub> は亚克力樹脂製円筒型ファントムの中心部および周辺部 4 箇所（ファントム表面より 1 cm 内側の 12 時方向、3 時方向、6 時方向、9 時方向）で測定され、式(2)で加重平均を行うことによって、加重平均線量 (weighted CTDI: CTDI<sub>w</sub>) として取り扱われる。

$$CTDI_w = \frac{1}{3} CTDI_{100,c} + \frac{2}{3} CTDI_{100,p} \quad (2)$$

ここで、CTDI<sub>100,c</sub> は中心部で測定された CTDI<sub>100</sub>、CTDI<sub>100,p</sub> は周辺部 4 箇所で測定された CTDI<sub>100</sub> の平均値を表す。

一方、実際のマルチスキャンではオーバーラップやギャップが生じる場合があり、このような場合は CTDI<sub>w</sub> によって中心スキャン部分における加重平均線量を正しく表すことができない。そこで、ヘリカルスキャンの場合は CTDI<sub>w</sub> をピッチファクタで除することによって、ノンヘリカルスキャンの場合は CTDI<sub>w</sub> に “スライス厚 / スキャン間の寝台移動量” を乗じることによって、volume CTDI (CTDI<sub>vol</sub>) と

して中心スキャン部分における加重平均線量を表すことができる。一連のスキャンの開始前には、この  $CTDI_{vol}$  が制御盤上に  $mGy$  単位で表示されることが規定されている[1]。

なお、 $CTDI$  と患者の吸収線量は異なるものであるということを理解しておく必要があるが[2]、 $CTDI_{vol}$  は一連のスキャン開始前に制御盤上に表示され、非常に実用性が高い。その  $CTDI_{vol}$  を有効活用すべく、AAPM Report No.204[3]では、体断面の長径および短径（もしくはそこから求めた実効直径）に対応した換算係数を乗ずることによって、 $CTDI_{vol}$  から患者の吸収線量を推定するという方法が提唱されている（size-specific dose estimates: SSDE）。

### 3. 長さ線量積（dose length product: DLP）

DLP は  $CTDI_{vol}$  及び全てのスキャン長さとの積を特性とする指標として定義されており、 $CTDI_{vol}$  同様、一連のスキャンの開始前には、DLP が制御盤上に  $mGy \cdot cm$  単位で表示されることが規定されている[1]。スキャン範囲が広ければ患者の被ばく線量は増加することになるため、それを表すための指標である。DLP は以下の式(3)～(5)で算出することができる。

アキシアルスキャンの場合

$$DLP = CTDI_{vol} \times \Delta d \times N \quad (3)$$

ヘリカルスキャンの場合

$$DLP = CTDI_{vol} \times L \quad (4)$$

患者指示器の移動がない場合

$$DLP = CTDI_{vol} \times n \times L \quad (5)$$

ここで、 $\Delta d$  はスキャン間の患者支持器の移動量、 $N$  は一連のスキャン数、 $L$  は X 線照射中の患者支持器の移動量、 $n$  は単一のアキシアルスキャンで生成されるスライス数を表す。

全身への影響を考慮した線量値として実効線量があるが、DLP から実効線量への換算係数が示されていることから[4]、DLP は実効線量推定のための線量としても取り扱うことができる。

### 4. 人体ファントムによる測定

次に、標準的な体型の人体ファントムに小型線量計を挿入して吸収線量を実測することにより、その結果から患者の臓器・組織吸収線量を推定するという方法を紹介する。

人体ファントムは、X 線の吸収・散乱に関して人体とほぼ等価に近い組成で作られている（全ての構成物質において人体と等価というわけではない）。人体ファントムは複数スライスに分割されており、各スライスに複数の小型線量計挿入孔が開けられている。小型線量計にはさまざまなものがあるが、X 線 CT で用いる X 線エネルギー領域ではエネルギー依存性を有しているものもあることが報告されており[4-6]、使用の際にはその特性を理解しておくことが求められる。

小型線量計をファントムの線量計挿入孔に挿入した上で、実際に線量を測定したい撮影条件で撮影を行い、得られた線量値に電離箱線量計との計数値比較によって事前に得た校正定数を乗じ、それらを臓器・組織ごとに平均する。この値は空気カーマと同等であるため、さらに空気と当該臓器・組織の質量エネルギー吸収係数比を乗じることによって、各臓器・組織の平均吸収線量を算出する。

## 5. モンテカルロシミュレーションによる方法

臓器・組織の吸収線量や実効線量を推定するためのもう 1 つの手法として、モンテカルロシミュレーションを用いた方法がある。現在、医療用に用いられているモンテカルロシミュレーションコードにはさまざまなものがあり、これらを使用することによって、任意の体系を組んで、任意の放射線の挙動を計算することができる。近年、X 線 CT の撮影条件に応じて患者の被ばく線量を迅速に評価し臓器線量を提供する Web システム（WAZA-ARI）が開発されたが[8]、このシステムにもモンテカルロシミュレーションコードが用いられている。

市販されている線量計算ソフトウェアは、前述のモンテカルロシミュレーションコードとファントムのいずれかを組み合わせることによって、臓器・組織の吸収線量や実効線量を簡便に計算できるものである。これらは特定の CT 装置・特定のスキャンパラメータにおける臓器・組織の吸収線量の基本データセットをあらかじめ持っており、これに計算したい CT 装置やスキャンパラメータを入力することで補正を行い、臓器・組織吸収線量や実効線量などを表示させるという仕組みになっている。近年ではボウタイフィルタ、管電流自動制御機構、ダイナミックコリメーションなどを計算の考慮に入れて、3 次元の線量分布を取得することが可能なソフトウェアもある。

## 6. おわりに

X 線 CT 検査における主な被ばく評価法について紹介した。それぞれの方法の利点・欠点を十分に理解した上で線量評価を実施することが望まれる。

## 参考文献

- 1) JIS Z 4751-2-44: 2012 医用 X 線 CT 装置－基礎安全及び基本性能. 日本規格協会: 東京, 2012
- 2) McCollough CH, Leng S, Yu L, et al.: CT dose index and patient dose: they are not the same thing. *Radiology* 259: 311-316, 2011
- 3) American Association of Physicists in Medicine (AAPM) Report No.204: Size-specific dose estimates (SSDE) in pediatric and adult body CT examinations. AAPM: New York, 2011
- 4) International Commission on Radiological Protection (ICRP) Publication 102: Managing patient dose in multi-detector computed tomography (MDCT). *Ann. ICRP* 37: 1-79, 2007
- 5) Ramani R, Russell S, O'Brien P: Clinical dosimetry using MOSFETS. *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.* 37: 959-964, 1997
- 6) Aoyama T, Koyama S, Kawaura C: An in-phantom dosimetry system using pin silicon photodiode radiation sensors for measuring organ doses in x-ray CT and other diagnostic radiology. *Med. Phys.* 29: 1504-1510, 2002
- 7) Kadoya N, Shimomura K, Kitou S, et al.: Dosimetric properties of radiophotoluminescent glass detector in low-energy photon beams. *Med. Phys.* 39: 5910-5916, 2012
- 8) Ban N, Takahashi F, Sato K, et al.: Development of a web-based CT dose calculator: WAZA-ARI. *Radiat. Prot. Dosimetry* 147: 333-337, 2011



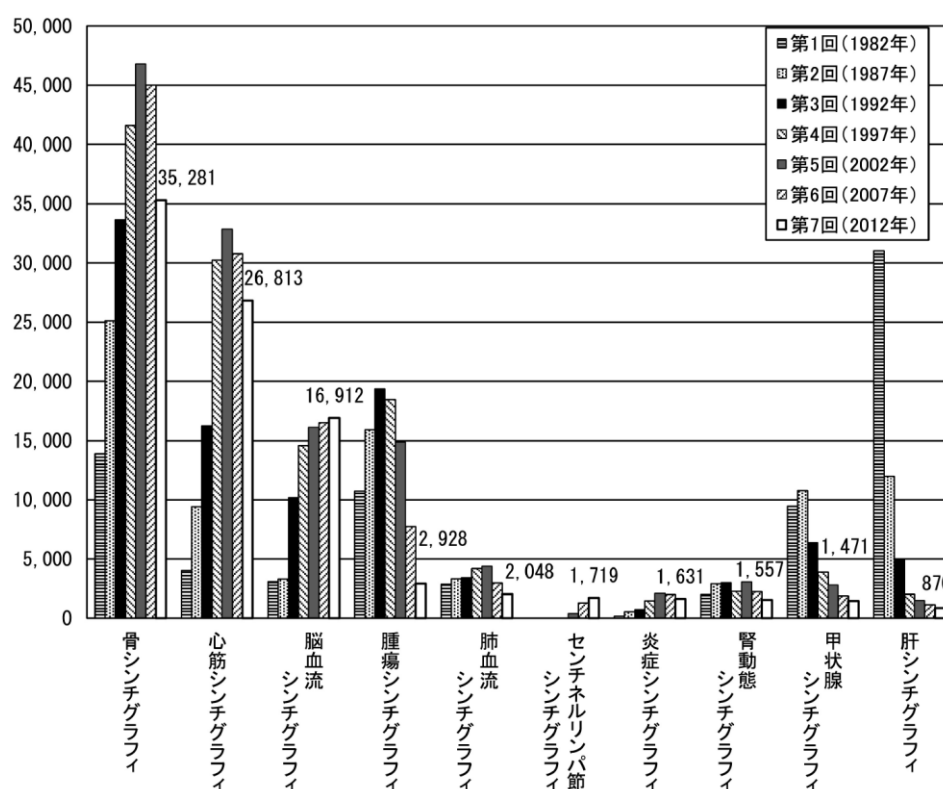
## 核医学検査における被ばく評価

津田 啓介  
つくば国際大学

## 1. はじめに

核医学は、放射性同位元素(Radioisotope: RI)を利用して生体の機能・代謝診断や悪性腫瘍の治療など、非密封の RI を用いて診断および治療を行う医学の専門分野である。生体の機能・代謝診断では、微量の放射線を放出する放射性医薬品を人体に投与して行う *in vivo* 検査と、人体より採取した血液や尿などの試料を用いて行う *in vitro* 検査に大別される。

第 7 回全国核医学診療実態調査報告書<sup>1)</sup>では、*in vivo* 検査を実施している施設(PET 検査のみ実施している施設を除く)は 1,770 施設である。一方、*in vitro* 検査を実施している施設は 15 施設であり、それぞれが特徴のある独自の展開をみせている。主な検査項目の *in vivo* 検査件数では、頻度の多い検査 3 項目は、骨シンチグラフィ、心筋シンチグラフィおよび脳血流シンチグラフィとなっている(図 1)。

図 1 主な検査項目の *in vivo* 検査件数<sup>1)</sup>

## 2. 核医学検査における被ばく評価

核医学検査における被ばく評価では、外部被ばく評価と内部被ばく評価に大別される。外部被ばくは、放射性医薬品の投与時、患者接遇および撮像時のポジショニングなど、線源(放射性医薬品、投与後の患者)と接近したときに受けることは知られているが、これらの中でも診療放射線技師に関してポジショニング時の介助は業務上、回避することができない。患者の状態が良くない場合や小児の場合は、接触時間が長くなり被ばく線量の増加が懸念される。従来の個人被ばく線量の測定では、蛍光ガラス線量計(PLD)、OSL 線量計、熱蛍光線量計およびポケット線量計などが用いられており、体幹部に関してはポケット線量計で常時、線量の確認が可能となっている。施設によっては、患者接遇から放射性医薬品の投与の介助などを診療放射線技師が行っており、また介助を要する患者も多い状況である。このことから手指等の外部被ばくが多いことが予測される。手指の線量計としては、ガラスリングおよびリングバッチが広く普及しているが、図2に示す腕時計型線量計もあり、これを用いることで線源に最も近く手指の被ばく線量を常時確認することが可能となり、線量確認時でも両手を自由に扱えるところが利点である。国際放射線防護委員会(ICRP)の刊行物(ICRP Publication 532), Publication 80<sup>3)</sup>)では、臨床的に用いられている、いくつかの放射性医薬品を人体へ投与したときの、各臓器における投与量(MBq)あたりの吸収線量と実効線量を記載している。これまで、臓器線量を評価する場合、このICRPの線量評価法に基づき、各種検査で用いた投与量に線量換算係数を乗じることで線量評価が行われてきた。医療用医薬品添付文書では、MIRD法により算出された単位投与量あたりの吸収線量が医薬品毎に取り纏められている。また、ICRPの諸勧告やIAEAの国際基本安全基準など国際的な指針においては、診断参考レベル(Diagnostic Reference Level: DRL)が診断領域の医療放射線防護において最適化のツールであるとされている。核医学におけるDRLs 2015では、全国調査データの75パーセンタイルの投与量を基準とし、国内の実情や画質などを考慮し、各検査および放射性薬剤に対してDRL(MBq)が設定されている<sup>4)</sup>。



図2 腕時計型線量計(POLIMASTER 社, PM1208)

### 3. ドーズキャリブレーター

核医学検査において、検査目的に合わせて患者へ投与する放射性医薬品は、医療被ばくを最小限にするためにも放射エネルギーを正確に測定することは必要不可欠である。投与量を正確に測定する目的で使用するドーズキャリブレーターは、核医学検査の精度管理をはじめ、日頃から測定器としての保守点検が重要である。しかし、施設などに設置されたドーズキャリブレーターの定期点検・較正の実施については現状十分であると言う報告は少ない。ドーズキャリブレーターの正しい測定結果を得るためには、正しく使用し、かつ、定期的な保守点検が必要である。

ドーズキャリブレーターに対しては、定期的に点検を実施し、その上で較正を実施することで、装置が正常に稼働していることを確認する必要がある。点検はドーズキャリブレーターの装置に対する専門的な知識が必要となるため、メーカーによる実施が必要である。較正については、メーカーによる実施、或は較正済みの標準線源を使用した施設による実施の何れかが必要となる。また、投与量を正確に測定するためには、ドーズキャリブレーターは、バックグラウンドの放射能が十分少なく、かつ、温度、湿度および振動について考慮された適切な環境の下に設置される必要がある。さらに、ドーズキャリブレーターの周囲が鉛ブロックで遮蔽されていれば、バックグラウンドの放射能の影響を低減することが可能である。

### 4. PET 検査における臓器線量評価

核医学検査では、陽電子を放出する放射性医薬品を用いて、体内に投与された薬剤の集積状態を画像化する PET 検査が広く利用されている。特に、FDG-PET 検査は、腫瘍診断に対する有用性の実証により、臨床 PET として普及している。FDG-PET 検査の患者数は、今後も増加することが予測されるため、患者に対する FDG-PET 線量評価は、国民線量評価上、ますます重要になる。これまでの FDG-PET 線量評価は、前述の通り、投与量に線量換算係数を乗じて算出することにより行われてきた。しかし、ICRP の線量評価法は、平均的な欧米人の体格をもとに線量換算係数が整備されているため、日本人の体格に適した線量評価法になるとは必ずしもいえない。

近年、被ばく線量の評価用ツールとして、CT や MRI などの医用画像データをもとに構築したボクセルファントムが開発されている。これらの多くは、西欧人の体格に基づいて開発<sup>5)</sup>されているが、国内においても日本人の体格に基づいて構築された、世界初のアジア人ボクセルファントム<sup>6)</sup>が開発され、日本人に対するより信頼性の高い被ばく線量評価を可能にした。FDG-PET 検査における高精度臓器線量評価法の開発として、図 3 に示す日本人成人ボクセルファントム<sup>6)</sup>を用いた、体外の線量計測定値から線源臓器の自己吸収線量を評価する換算係数<sup>7)</sup>を述べる。

モンテカルロシミュレーションにより、FDG-PET 検査における頭部表面での PLD の吸収線量と脳内線量の関係を図 4 に示す。頭部表面での PLD の吸収線量から、容易に当人の脳の吸収線量を推定する簡易式が考案され、これにより、FDG-PET 検査における、簡易かつ信頼性の高い脳の線量評価が可能になると思われる。



図3 日本人成人ボクセルファントム<sup>6),7)</sup>

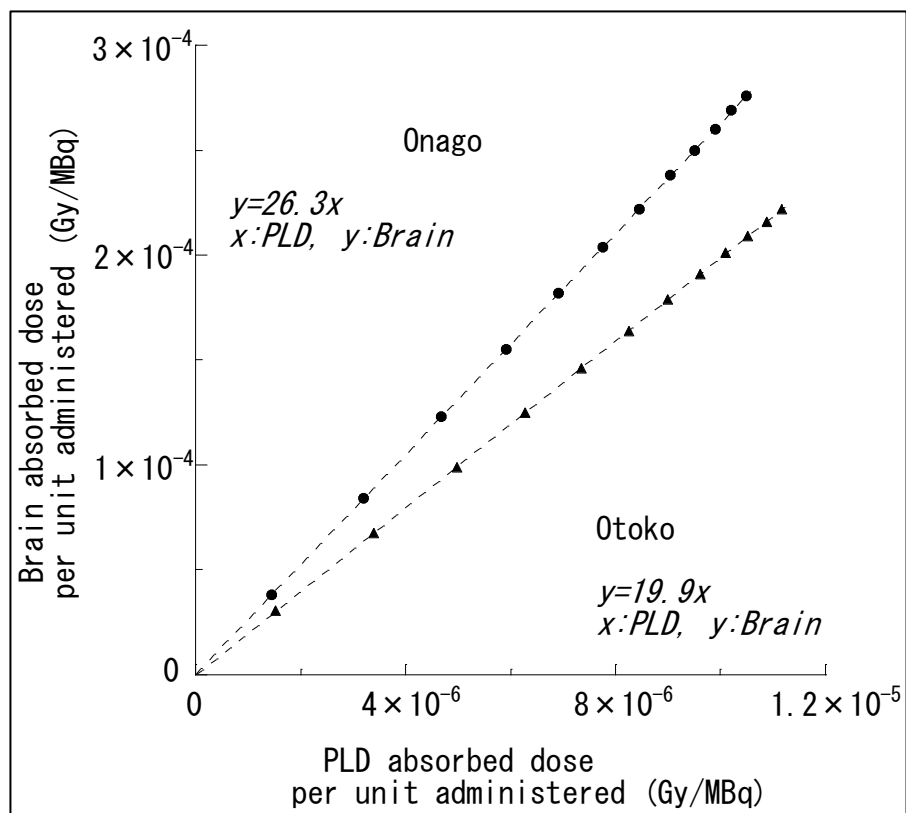


図4 FDG-PET 検査における頭部表面での PLD の吸収線量と脳内線量の関係<sup>7)</sup>

## 5. おわりに

核医学検査は、国内全体で年間に 170 万件以上実施されているが<sup>1)</sup>、放射線障害の事例は発生していない<sup>8)</sup>。しかし、核医学検査を受診する患者は放射性医薬品を投与されるので、少なからず放射線被ばくを受ける。このため、本講演では、核医学検査における被ばく評価、核医学における DRLs 2015 で重要となる投与量の測定に用いるドーズキャリブレーションの保守点検・較正の実施方法および PET 検査における臓器線量評価について概説する。

## 参考文献

- 1) 第 7 回全国核医学診療実態調査報告書: RADIOISOTOPES, 62, 545-608, 2013
- 2) ICRP: Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53: Pergamon Press, Oxford, 1988
- 3) ICRP: Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals Addendum 2 to ICRP Publication 53. ICRP Publication 80: Pergamon Press, Oxford, 1999
- 4) 最新の国内実態調査結果に基づく診断参考レベルの設定: <http://www.radher.jp/J-RIME> (2015)
- 5) S. J. Gibbs, A. Pujol, Jr., T. S. Chen, A. W. Malcolm and A. E. James: Patient risk from interproximal radiography, Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol., 58, 347-354, 1984
- 6) K. Saito, A. Wittmann, S. Koga, Y. Ida, T. Kamei, J. Funabiki and M. Zankl: Construction of a computed tomographic phantom for a Japanese male adult and dose calculation system, Radiat. Environ. Biophys., 40, 69-76, 2001
- 7) 津田啓介, 木名瀬栄, 福士政広, 斎藤公明: FDG-PET 検査における体外計測から臓器線量への換算係数の評価, 保健物理, 42, 349-352, 2007
- 8) 放射性医薬品副作用事例調査報告 第 37 報: 核医学, 53(1), 9-20, 2016

## 放射線治療における被ばく

富田 哲也  
筑波大学附属病院 放射線部

### 1. はじめに

本邦における放射線治療は、1901 年に慣用 X 線を用いて開始された<sup>1)</sup>。それから 100 年以上が経過した現在、放射線治療は、手術療法や化学療法と並び、がん治療の三本柱のひとつとして普及している。100 余年における放射線治療技術の進歩は目覚ましく、近年では 1990 年代に多方向からの照射により腫瘍限局的に高線量を投与する定位放射線治療（stereotactic radiotherapy : SRT）、2000 年に正常組織の線量を抑えながらも腫瘍限局的に高線量を投与する強度変調放射線治療（intensity modulated radiotherapy : IMRT）が臨床応用された。IMRT は、腫瘍とリスク臓器が隣接する場合、その境界で急峻な線量分布を形成するため、治療時の患者セットアップが非常に重要となる。治療時と治療計画 CT（computed tomography）撮影時の患者セットアップにズレが生じると、標的（腫瘍）に投与される線量が不足するだけでなく、周囲の正常臓器（リスク臓器）に高線量が投与されるおそれがある（図 1）。そのため、治療すべき標的（腫瘍）に対し、患者セットアップや体内の生理的変動などを考慮した治療計画が必要となる。

この問題は、画像誘導放射線治療（image guided radiotherapy : IGRT）の導入により著しく改善された。IGRT とは、2 方向以上の二次元照合画像、または三次元照合画像に基づき、治療時の患者位置変位量を三次元的に計測、修正し、治療計画で決定した照射位置を可能な限り再現する照合技術を意味する<sup>2)</sup>。この IGRT を実施することにより、患者セットアップの誤差を加味したマージンを縮小できるため、有害事象の発生を低減できるとして注目されている<sup>3~5)</sup>。しかし、IGRT の画像取得により、放射線治療計画装置（radiation treatment planning system : RTPS）で計画された処方線量以外の被ばくが発生するため、IGRT に伴う被ばくの増加が問題視されている。今回、IGRT に伴う被ばくを、線量分布に及ぼす影響と生物学的反応モデルを用いて算出した正常組織障害発生率（normal tissue complication probability : NTCP）から検討した。

### 2. IGRT に伴う被ばく

位置照合に用いる画像を取得するデバイスには、kV imager, ExacTrac システム, CBCT（cone beam computed tomography）等がある。各デバイスにおいて、骨盤部ランドファントム（RAN-110, ファントムラボラトリー社製）を撮影した際のファントム表面と中心部の線量（mGy）を、ガラス線量計（GD-352M, 旭テクノグラス社製）で測定した（図 2）。その結果、骨盤部では、kV imager（RL 撮影）が 0.65 mGy, ExacTrac システムが 0.83 mGy, CBCT が 49.6 mGy となり、いずれもファントム表面で最大となった。本結果は、過去の IGRT の被ばく線量に関する先行研究<sup>6~8)</sup>と概ね一致した。当院における



前立腺 IMRT は、毎回 CBCT による位置照合を行い、通常 78 Gy を 39 回に分割して投与している。したがって、治療終了までに少なくとも CBCT を 39 回撮影することになり、皮膚表面では 1.93 Gy の被ばくが生じる計算になる。

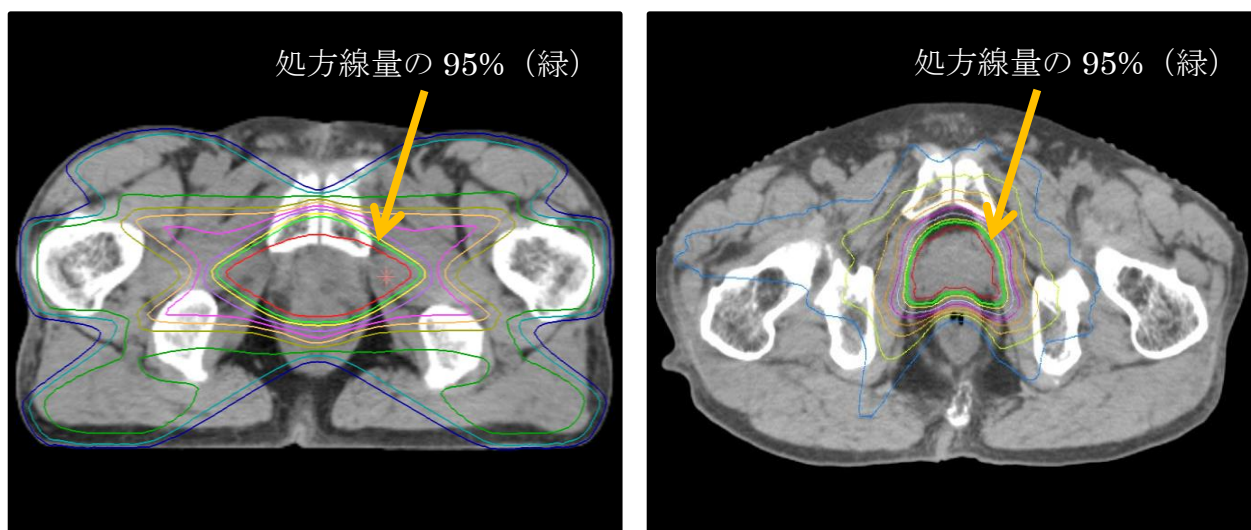


図 1 照射方法による線量分布の違い

6 門照射（左）と IMRT（右）の線量分布図。矢印で示した緑線が処方線量の 95% 線量曲線である。前立腺 IMRT では、リスク臓器（直腸）の線量を抑えながら、前立腺限局的に高線量



図 2 測定配置

ランドファントムの配置（左）と測定位置（右）。kV imager は①，②，⑤， ExacTrac システムは③と⑤，CBCT は①～⑤にガラス線量計を配置して線量測定を行った。

### 3. IGRT に伴う被ばくが線量分布に及ぼす影響

IGRT に伴う被ばくは RTPS では考慮されないため、実際に投与される線量は治療計画よりも増加する。前立腺 IMRT においては、蓄尿量の過剰または不足や直腸ガスの貯留により、CBCT を複数回撮影する必要がある。そこで、前立腺 IMRT のみを照射した場合、前立腺 IMRT と 1 回の CBCT を照射した場合、前立腺 IMRT と 5 回の CBCT を照射した場合の線量分布を取得し、前立腺中心部の平均線量を比較した。測定は radiochromic film (GAFCHROMIC EBT3, ISP 社製) を用い、骨盤部ランドファントム内に挿入して行った。その結果、前立腺付近において、前立腺 IMRT のみを照射した場合に比べ、前立腺 IMRT と 1 回の CBCT を照射した場合は約 4%、前立腺 IMRT と 5 回の CBCT を照射した場合は約 14% の線量増加を認めた (図 3)。

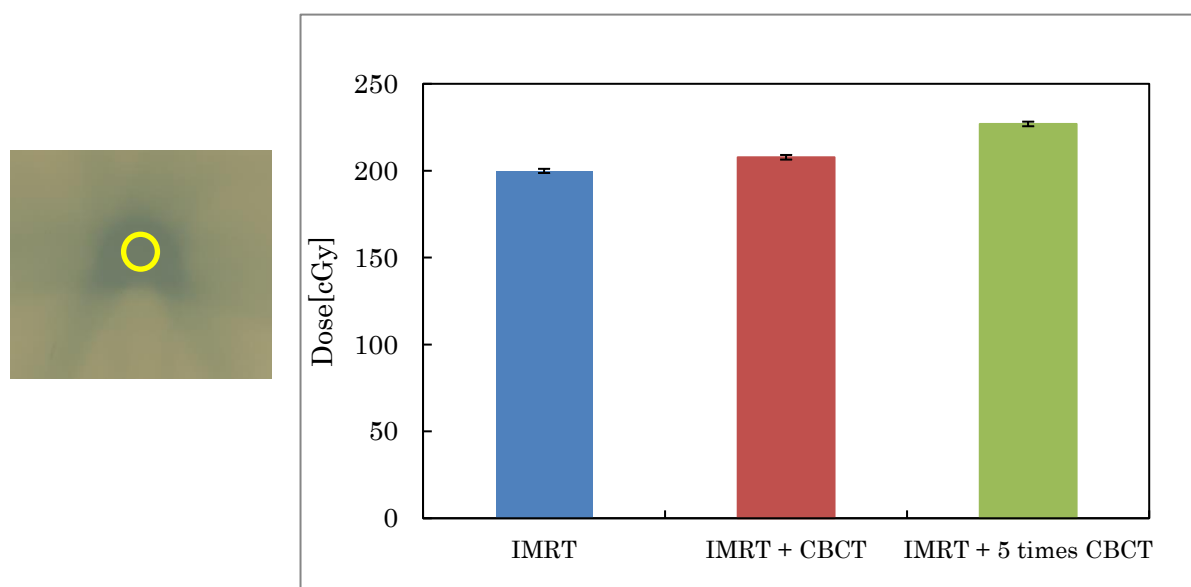


図 3 CBCT 撮影による前立腺線量の変化

照射された radiochromic film (左) と前立腺線量 (右)。前立腺線量は、radiochromic film の黄線で囲まれた範囲 (前立腺中心部) の平均線量である。前立腺 IMRT のみ、前立腺 IMRT と CBCT1 回、前立腺 IMRT と CBCT5 回を照射した場合の前立腺線量の変化は、CBCT1 回で約 3%、CBCT5 回で約 14% の増加を認めた。

### 3. 正常組織障害発生率 (normal tissue complication probability : NTCP)

放射線治療における処方線量は、90%以上の局所制御率が得られ、かつ正常組織の不可逆的な障害を 5 年後に 5%以内に抑える線量 TD5/5 で決定されるのが理想である。しかし、多くの場合が TD5/5 により制約を受ける。ここで、図 4 に TCP と NTCP の概念図を示す。NTCP は、正常組織が放射線により不可逆的な晩期障害を発生する確率であり、B と C のように S 字状曲線で表される。NTCP を算出するた



めの生物学的反応モデルはいくつか考案されているが、現在の主流は LKB (Lyman-Kutcher-Burman) モデルである。このモデルは、組織全体の容積  $V_{ref}$ 、50%の確率で有害事象を発生する線量 TD50、体積効果依存性を表す  $n$  および NTCP 曲線の傾き  $m$  で算出される<sup>9)</sup>。算出に必要なパラメータは Burman らによって提供されているが<sup>10)</sup>、このモデルには臓器毎に様々なパラメータがあり、確定的でないことや臨床データの不足といった問題が多く、臨床には用いられていないのが現状である<sup>11)</sup>。今回測定した CBCT 撮影による線量は、直腸付近において、前立腺 IMRT のみを照射した場合に比べ、前立腺 IMRT と 1 回の CBCT を照射した場合は約 2%、前立腺 IMRT と 5 回の CBCT を照射した場合は約 8% 増加した。この線量変化によって、直腸障害の発生確率が変化するか RTPS (Pinnacle3 ver. 9.10, Philips 社製) に組み込まれている LKB モデルから算出した。その際、RTPS では CBCT 撮影による線量を NTCP の算出に加算できないため、治療ビーム (6 MV-X 線) を骨盤部ファントムの上下左右から 1 MU ずつと 5 MU ずつ処方して、CBCT による被ばくを RTPS 上で再現した。その結果、NTCP に明らかな変化は認められなかった。以上の結果より、IGRT の適切な実施は、確定的影響の発生を上昇させないことが示唆された。しかし、確率的影響である二次発がんについては、毎回 CBCT を撮影することで 3~4% 誘発リスクが上昇するとの報告がある<sup>12)</sup>。IGRT 実施における撮影線量や撮影頻度に関しては、未だ議論の余地があると考ええる。

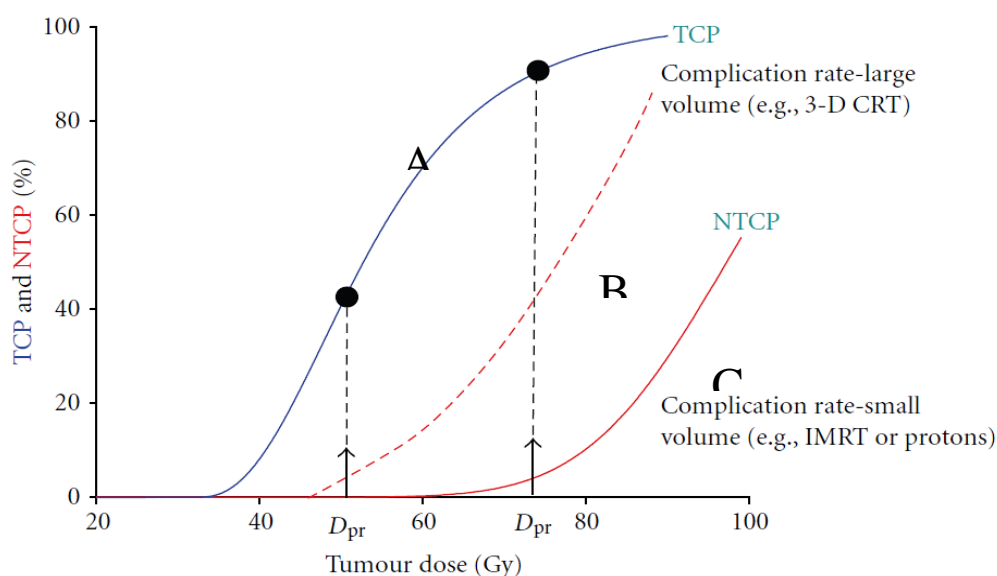


図4 TCP と NTCP<sup>13)</sup>

腫瘍制御確率 (tumor control probability : TCP) (A) と NTCP (B, C). B は 3D-CRT (Three-dimensional conformal radiation therapy), C は IMRT の NTCP を示している。TCP と NTCP が離れているほど、同じ TCP を得る線量を投与した場合の NTCP は低くなり、治療に適している。

## 5. まとめ

高精度放射線治療において、IGRTは欠かすことのできない技術である。しかし、IGRTは治療計画以外の被ばくを伴い、有害事象の発生を助長する可能性がある。今回、IGRTに用いる各デバイスの被ばく線量を測定し、IMRTの線量分布およびNTCPの評価から影響を検討した。その結果、適切なIGRTの実施は有害事象の発生確率の上昇にはつながらないことが示唆された。しかし、確率的影響の発生はこの限りではない。したがって、我々は治療の質を担保しつつ、被ばく低減に努める必要がある。IMRTやSRTの高精度放射線治療が普及してきた昨今、低線量の被ばくが有害事象を引き起こす可能性も指摘されており、IGRTによる被ばくの管理は重要な課題のひとつである。

## 参考文献

- 1) 尾内能夫. 放射線治療の歴史－わが国における物理・技術を中心にして. 日本放射線腫瘍学会誌 1993; 5(4): 229-244.
- 2) 日本医学物理学会 QA/QC 委員会. 画像誘導放射線治療臨床導入のためのガイドライン. 医学物理 2010; 30(2): 49-53.
- 3) Chung HT, Xia P, Chan LW, et al. Does image-guided radiotherapy improve toxicity profile in whole pelvic-treated high-risk prostate cancer? Comparison between IG-IMRT and IMRT. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2009; 73(1): 53-60.
- 4) Bujold A, Craig T, Jaffray D, Dawson LA. Image-guided radiotherapy: has it influenced patient outcomes? Semin Radiat Oncol. 2012; 22(1): 50-61.
- 5) Sveistrup J, af Rosenschöld PM, Deasy JO, et al. Improvement in toxicity in high risk prostate cancer patients treated with image-guided intensity-modulated radiotherapy compared to 3D conformal radiotherapy without daily image guidance. Radiat Oncol. 2014; Feb 4.
- 6) Song WY, Kamath S, Ozawa S, et al. A dose comparison study between XVI and OBI CBCT systems. Med Phys. 2008; 35(2): 480-486.
- 7) Wen N, Guan H, Hammoud R, et al. Dose delivered from Varian's CBCT to patients receiving IMRT for prostate cancer. Phys Med Biol. 2007; 52 (8): 2267-2276.
- 8) Islam MK, Purdie TG, Norrlinger BD, et al. Patient dose from kilovoltage cone beam computed tomography imaging in radiation therapy. Med Phys. 2006; 33(6): 1573-1582.
- 9) 佐方周防. DVH－線量分布の評価－. 放射線医学物理 1994; 14(3): 201-214.
- 10) Burman C, Kutcher GJ, Emami B, Goitein M. Fitting of normal tissue tolerance data to an analytic function. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 1991; 21(1): 123-135.
- 11) Allen Li X, Alber M, Deasy JO, et al. The use and QA of biologically related models for treatment planning: short report of the TG-166 of the therapy physics committee of the AAPM. Med Phys. 2012; 39(3): 1386-1409.
- 12) Kan MW, Leung LH, Wong W, Lam N. Radiation dose from cone beam computed tomography for image-guided radiation therapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2008; 70(1): 272-279.
- 13) Nahum AE, Uzan J. (Radio)biological optimization of external-beam radiotherapy. Comput Math Methods Med. 2012; Nov 6.

# 放射線リスクの基本的な考え方

## ー デトリメント(被ばくに伴う損害)とは? ー

広藤 喜章

セントメディカル・アソシエーツ LLC

国立病院機構名古屋医療センター 臨床研究センター

### 1. はじめに

電離放射線による人体への影響は、X線の発見と同時期より認められている。徐々にではあったが障害や症状のレベルについて報告されるようになり、個別から国、そして国際学会等でまとめられ、統一した見解が見出されるようになった。その後、広島、長崎の原爆被爆者の追跡調査により、放射線被ばくに伴うリスクについて確率的に考えられるようになり、放射線被ばくによって起きる有害な健康影響を定量化するために「損害」という概念で指している。

### 2. ICRPの損害（デトリメント）とは

放射線を受けた患者を対象とした統計的研究より、放射線の被ばくによって白血病が誘発されることが報告された。原爆被爆者を中心とした疫学調査や動物実験データは、主に、高線量・高線量率のデータであるため、低線量・低線量率のリスクを推定することが難しい。そこで、国際放射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection: ICRP）では、高線量反応関係から低線量へ外挿するための補正係数を導き出している。これを「線量・線量率効果係数（DDREF）」と定義し、放射線防護に用いるべきリスク（主に放射線によるがん死亡確率）を推定することにした。しかし、この値を直接、低線量・低線量率のデータから導くには基礎となるデータが十分でないために、線量反応関係として推定値を参考にする理論的な方法を基本にして、Pub.60（1990年勧告）ではDDREFを「2」として採用した。

損害（デトリメント）は、ICRPが放射線被ばくに伴って生じる有害な健康影響を定量化するために導入した概念である。ここでは、がん死亡以外も含めた、致死性でないがん、放射線誘発がんの潜伏期及び遺伝的影響の発生確率を考慮するために、名目致死確率係数を基礎として定義した。損害は、確定的影響が起きるような高い線量では用いられず、低線量・低線量率（低線量全身被ばくで0.2 Gy以下の吸収線量、または、線量率が0.1 Gy/h未満）で用いられる考え方である。また、非致死がんによる健康損失の程度、発現時期による寿命損失、遺伝的影響によって損なわれる期間等の重篤度を考え、それら重篤度に関連させて決めた荷重などの重みづけされた数値的な。それら重みづけによる考え方である。発生確率である損害を合計し全損害も求められており、この全損害は実効線量と関連づけられている。このように損害は、被ばく集団における致死及び非致死がんの発生頻度、寿命損失の期間などの統計量をもとに導かれているので、これも一種の統計量といえる。

損害（デトリメント）は、

- 1) 致死がんの発生確率

- 2) 非致死がんの発生確率
- 3) 重篤な遺伝的影響の発生確率
- 4) 余命損失の相対的な大きさ

の4つの因子を考慮し定量的に求められている。

致死がんの発生確率  $F$  , がんの致死割合を  $k$  とすると, すべてのがんの発生率は,  $F/k$  と推定できる。非致死がんの発生率は,  $(1-k) \cdot F/k$  となる。デトリメントでは, 非致死がんの致死的な発生確率を致死がんの発生確率に加算する。この結果, 致死がんの発生確率 ( $F$ ) は, デトリメントでは,  $(2-k) \cdot F$  として, 非致死がんを考慮するために補正を行っている。また, 余命損失の相対的な大きさは, 余命損失年数を1, すべての致死がんの余命損失年数を とすると,  $(1/\bar{l})$  で表される。以上より, デトリメントは次の式<sup>2)</sup>で定義され, 計算されている。

$$D = (2-k) \cdot F \cdot (1/\bar{l})$$

一方, 男女で平均化された名目リスク係数の計算は, 様々な臓器と組織のリスクの推定, 線量・線量率効果係数 (DDREF), 致死率および QOL (生活の質) に対するリスク調整を行い, 最終的に, 相対的損害に関する部位別の値として導出を伴っている (生殖腺被ばくに伴う遺伝的影響も含む)。これらは最終的に組織加重体形の基礎となる放射線リスクの重要な考え方である<sup>2)</sup>。

### 3. Publication 103 での考え方

これまでの基礎となっている原爆被爆者の疫学データは線量評価 DS86 であったが, 放射線影響研究所が実施している 1958～1998 年までのがん罹患数を対象とした DS02 に改訂されたことをうけ, Pub. 103 (2007 年勧告) では見直しが行われた<sup>3)</sup>。変更に伴う影響は 10%程度とされており, あまり大きくはない。しかし, 原爆被爆者の追跡調査期間が延長したことで, 過剰相対リスクや過剰絶対リスクの解析の対象となるデータ数が増加し, 各がんの詳細なモデル解析が可能になり, 被ばく時年齢だけでなく, 到達年齢の影響を含めたモデル解析が行われるようになった。低線量での線量反応関係や DDREF は変更されてはおらず現在も「2」のまま採用されている。

名目リスク係数 (全年齢集団) は, がんにおいて, Pub. 60 が  $6.0\% \text{ Sv}^{-1}$  に対し, Pub. 103 では  $5.5\% \text{ Sv}^{-1}$  と有意な変化はなかった。一方, 遺伝的影響では, Publ. 60 が  $1.3\% \text{ Sv}^{-1}$  に対し, Pub. 103 では  $0.2\% \text{ Sv}^{-1}$  と 6 分の 1 と大幅に縮小されたが, これは, 放射線誘発による遺伝的影響が非常に小さいことが分かったことや, 遺伝病発症への寄与は最初の 2 世代に限定されることに変更されたことが要因である。この結果, 生殖腺の組織加重係数は, 0.2 から 0.08 へ大幅に低減された。また, がんで大きな変更点は, 乳房と残りの組織の係数が, 0.05 から 0.12 へ大きな値となった。乳房は, 若年齢被ばくの乳がん症例数の増加と共に, 被ばく年齢集団全体を記述するモデルが被ばく時年齢モデルではなく, 到達年齢モデルになったことによる影響が大きい。

また, これまで示した考え方は死亡率ベースの解析であったが, Pub.103 では罹患率ベースの解析に変わった。これに伴い, 組織 T のデトリメントの定義は以下のように変更された<sup>3)</sup>。

$$D_T = (k_T \cdot R_{I,T} + q_T \cdot (1 - k_T) \cdot R_{I,T}) \cdot I_T$$

$$q_T = q_{\min} + k_T \cdot (1 - q_{\min})$$

ここで、 $k_T$  及び  $R_{I,T}$  は、それぞれ組織  $T$  の致死割合、罹患率、 $I_T$  は平均余命損失、 $q_T$  は、QOL 損害係数で上記の式で定義される。この式から分かるように、デトリメントは、非致死がんの罹患率を致死がんの罹患率に対して、QOL 損害係数を乗じて考慮した死亡率相当のリスク量になっている。表 1 に名目リスク係数と損害（デトリメント）の数値<sup>3)</sup>を示す。

デトリメントは放射線防護上、組織加重係数のように組織間のリスクの相対値として使用するときには意味がある。しかし、絶対値として他のリスクと比較する場合には注意が必要である。

表 1 名目リスク係数と損害（デトリメント）<sup>3)</sup>

器官・臓器	名目リスク係数 (1 万人当り 1 Sv 当りの症例数)	致死割合	致死率と QOL を調整した名目リスク	相対的無がん寿命の損失	損害	相対損害
食道	15	0.93	15.1	0.87	<b>13.1</b>	0.023
胃	79	0.83	77.0	0.88	<b>67.7</b>	0.118
結腸	65	0.48	49.4	0.97	<b>47.9</b>	0.083
肝臓	30	0.95	30.2	0.88	<b>26.6</b>	0.046
肺	114	0.89	112.9	0.80	<b>90.3</b>	0.157
骨	7	0.45	5.1	1.00	<b>5.1</b>	0.009
皮膚	1000	0.002	4.0	1.00	<b>4.0</b>	0.007
乳房	112	0.29	61.9	1.29	<b>79.8</b>	0.139
卵巣	11	0.57	8.8	1.12	<b>9.9</b>	0.017
膀胱	43	0.29	23.5	0.71	<b>16.7</b>	0.029
甲状腺	33	0.07	9.8	1.29	<b>12.7</b>	0.022
骨髄	42	0.67	37.7	1.63	<b>61.5</b>	0.107
その他の部位	144	0.49	110.2	1.03	<b>113.5</b>	0.198
生殖腺（遺伝性）	20	0.80	19.3	1.32	<b>25.4</b>	0.044
	<b>1715</b>		<b>565</b>		<b>574</b>	<b>1.00</b>

#### 4. 組織加重係数の誘導

全損害に対する各組織の相対的な寄与は、Pub. 103 (1990 年勧告)の組織加重係数のもととなった。数値を丸めて、4 段階として次のとおり各組織に割当てた。表 2 に Pub.103 の組織加重係数を示す。

表 2 組織加重係数 (Pub. 103) <sup>3)</sup>

組 織	$W_T$
骨髄, 乳房, 結腸, 肺, 胃	<b>0.12</b>
生殖腺	<b>0.08</b>
膀胱, 食道, 肝臓, 甲状腺	<b>0.04</b>
骨表面, 脳, 唾液腺, 皮膚	<b>0.01</b>
-残りの組織- 副腎・胸郭外領域・胆嚢・心臓・腎臓・リンパ節・筋肉・口腔粘膜・脾臓・前立腺・小腸・脾臓・胸腺・子宮/頸部	<b>0.12</b>

## 5. まとめ

これまで述べてきたように、放射線被ばくによって起きる有害な健康影響を考える上で、放射線誘導損害（デトリメント）を理解することは、防護の観点から非常に重要となる。これは、線量制限体系の基礎をなす主要な考え方の一つであり、組織・器官の放射線感受性とは異なる。放射線リスクを計算させるために重要な防護量の一つである実効線量を計算する上での組織加重係数の基礎となるものであり、この考え方を今一度整理しておく必要がある。

### 参考文献

- 1) 1990 Recommendations of the ICRP, ICRP Publication 60, Annals of the ICRP, 21(1-3), Pergamon Press, 1991
- 2) 甲斐倫明, "放射線発がんリスクの推定（第2回）", Isotope News 4月号 No.696, 2012
- 3) The 2007 Recommendations of International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 103, Annals of the ICRP, 37(2-4), Pergamon Press, 2007

# 中性子の防護に必要な基礎知識と有効利用

磯辺智範，森 祐太郎，榮 武二  
筑波大学医学医療系

## 1. はじめに

1932年にChadwick Jに発見された中性子は、質量  $1.6 \times 10^{-27}$  kg（陽子とほぼ同じ）、約 15 分（900 秒）で  $\beta$ -壊変により陽子に変化する、電荷をもたない粒子という特徴を持つ。中性子は、放射線防護において重要なキーワードの 1 つである。その理由を理解するためには、中性子が有する物理学的特徴、生物学的特徴の理解が不可欠である。本稿では、紙面の関係上、中性子の物理学的特徴に焦点を当てて解説する。

## 2. 中性子と物質の相互作用

中性子と物質の相互作用は、3 つに分類され、中性子のエネルギーが高い方から順に非弾性散乱、弾性散乱、中性子捕獲反応の割合が多い。中性子自体の分類もエネルギーにより 3 つの名前に分けるのが原子炉物理工学分野で一般的である。厳密には呼称および区分するエネルギーは分野によって異なるが、本稿では Table 1 のように分類する。核分裂で発生した 100 keV 以上の高いエネルギーを持つ中性子は高速中性子、物質との反応（散乱など）を起こして減速過程にある 0.5 eV 以上の中性子を中速中性子（熱外中性子）、最後には周囲の物質と熱平衡状態となる平均エネルギー 0.025 eV で上限 0.5 eV の中性子を熱中性子と分類する。厳密に考えると適さない場面もあるかもしれないが、反応過程とそのエネルギー区分を理解するには役に立つ分類である。

Table 1 中性子の分類

呼 称	エネルギー
熱中性子	Average: 0.025 eV, $E_n < 0.5$ eV
中速中性子 (熱外中性子)	$0.5 \text{ eV} \leq E_n < 100 \text{ keV}$
高速中性子	$E_n \geq 100 \text{ keV}$

( $E_n$  = 中性子エネルギー)

Table 1 に従って、エネルギーごとに変化していく中性子と物質の相互作用を Fig. 1 に示す。高いエネ

ルギーを持った高速中性子が原子核に衝突すると、原子核にエネルギーを与えることにより原子核を励起し、残りのエネルギーを持って中性子自身は散乱する。この時、励起された原子核は、基底状態になるために余分なエネルギーを $\gamma$ 線として放出する。これが非弾性散乱である。

ある程度エネルギーを落とした中速中性子および熱中性子は、原子核に衝突し、原子核に運動エネルギーを与える弾性散乱を起こす。弾性散乱のイメージはビリヤードである。手玉をぶつけて止めるには、狙った玉と手玉の大きさが同じである必要がある。中性子の弾性散乱も同じで、衝突する原子核の重さは、中性子に近いほど効率よくエネルギーを授受することができる。つまり、中性子とほぼ同等の質量である水素原子核（陽子）にぶつけると、中性子は弾性散乱により効率よく減速される。“中性子の減速材には水が良い”というのはこの原理を利用しているのである。

エネルギーを十分に落とした熱中性子は、最後には原子核に捕獲される。これが中性子捕獲反応であるが、厳密には「中性子捕獲反応」と「荷電粒子放出反応」に分けられる。中性子捕獲反応は、原子核に熱中性子が捕獲され、原子核は励起状態となる。これにより原子核は不安定となり、余分なエネルギーを $\gamma$ 線として放出する。この $\gamma$ 線を捕獲 $\gamma$ 線（即発 $\gamma$ 線）と呼ぶ。荷電粒子放出反応は、原子核に中性子が捕獲・励起されるところまでは同様であるが、原子核が持つ余分なエネルギーを上手く放出できず、原子核が崩壊し、娘核と荷電粒子に分離してしまう反応である。

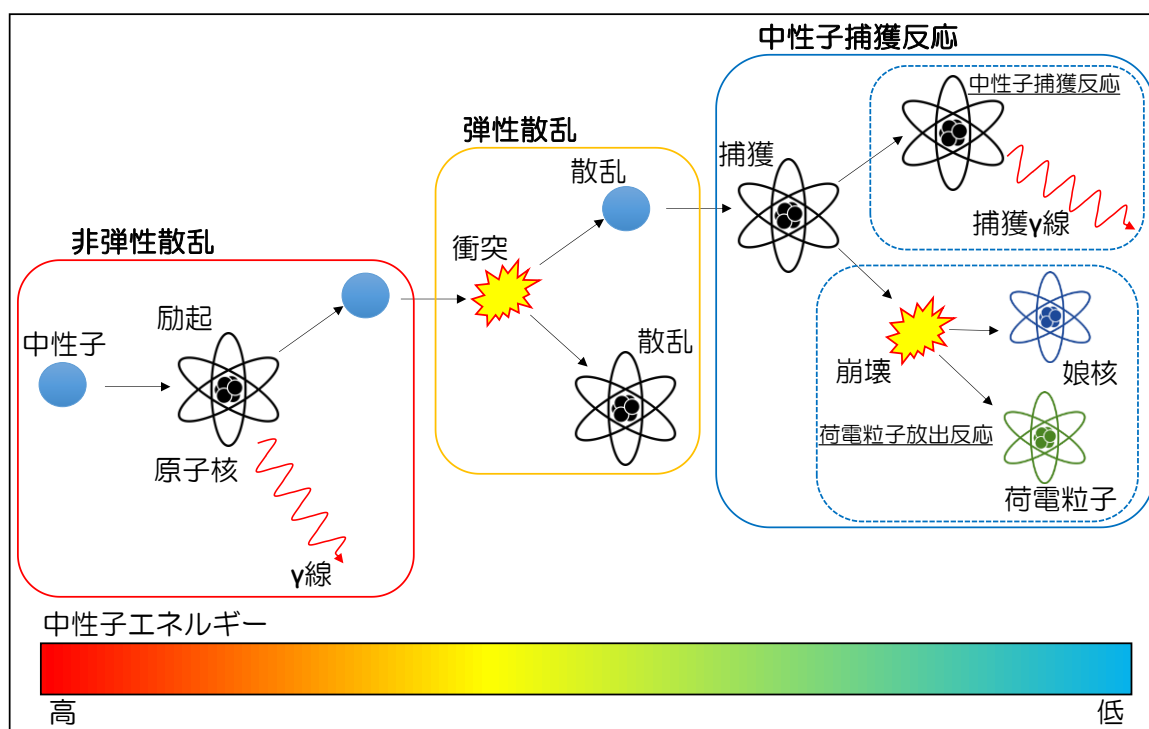


Fig. 1 中性子と物質の相互作用

ここで、1つ皆様に質問をさせていただきたい。弾性散乱について、中性子と原子核が斜めにぶつかるエネルギーはどのように受け渡すのだろうか？この問いについては、Eq. 1 に示す弾性散乱の公式から答えを導くことができる。



$$E = E_0 \frac{4Mm}{(M+m)^2} \cos^2 \theta \quad \text{--- Eq. 1}$$

E は反跳原子核のエネルギー、 $E_0$  は入射中性子のエネルギー、M は反跳原子核の質量、m は中性子の質量、 $\theta$  は中性子の散乱角を示す。ここでは簡略化して考えるため、中性子と陽子の弾性散乱を仮定する (Fig. 2)。  $M \div m$  と近似すると、 $4Mm/(M+m)^2$  は  $4A^2/(A+A)^2$  となり、約分され 1 となる。つまり、反跳陽子のエネルギー E は、 $\cos^2 \theta$  にのみ従う。①正面衝突の場合は、中性子の散乱角  $\theta$  は  $0^\circ$  であるため  $\cos^2 \theta = 1$  となり、反跳陽子のエネルギー E は入射中性子のエネルギー  $E_0$  がそのまま伝わる。②やや逸れて衝突した場合、 $\theta'$  は小さな角度を持つ。そのため  $\cos^2 \theta'$  は 1 より小さくなり、反跳陽子に全てのエネルギーを与えられない ( $E'$ )。つまり、 $E_0 = E > E'$  となる。③かすめるような衝突をした場合、更に  $\theta''$  は大きくなり、結果として  $\cos^2 \theta''$  は 0 に近づく。よって、中性子は反跳陽子にほとんどエネルギーを与えず進んでいく。つまり、この場合の反跳陽子エネルギーを  $E''$  とすると  $E_0 = E > E' > E''$  となる。現実では、教科書に載っているよう正面衝突が起こるのはまれで、色々な角度で弾性散乱が起こる。そして、衝突の具合により反跳原子核の散乱角度は異なり、散乱角度によりエネルギーの伝わり方が異なることをおさえていただきたい。

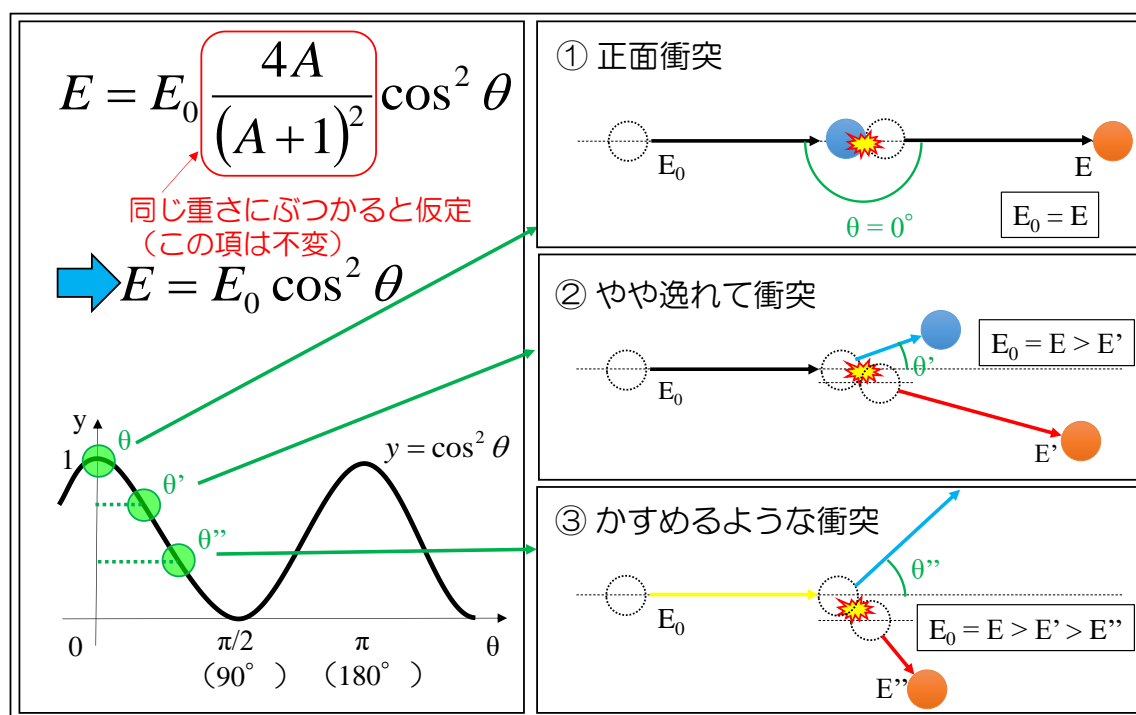


Fig. 2 弾性散乱角度の関係

### 3. 中性子の問題点と有効利用

中性子の基礎を土台として、後半では中性子の問題点と有効利用について考えていきたい。放射線防護の観点で重要となる中性子の問題点は、「遮蔽が困難である」、「放射線治療時のペースメーカー装着患者の中性子による誤作動[1]」、「放射線治療における二次中性子による被ばく[2,3]」、「高エネルギー放射線による放射化[4-6]」、「測定が難しい」等である。しかし、中性子は必ずしも悪者では

なく、近年ではその有効利用についても多くの注目を浴びている。その代表が、「ホウ素中性子捕捉療法（Boron Neutron Capture Therapy: BNCT）[7]」や「中性子イメージング[8]」である。本稿では、問題点と有効利用についていくつかピックアップして解説する。

#### (i) 中性子の問題点：中性子の遮蔽

放射線防護において、中性子の性質で最も気を付けなければならないのはその透過作用である。これが原因として、中性子は遮蔽が困難とされている。そのため、中性子が発生する恐れがある X 線治療および粒子線治療施設では、厚い重コンクリートの遮蔽壁で治療室が覆われている[9,10]。では、相互作用の知識を基礎に、効率の良い遮蔽壁を考えていきたい。Fig. 3 上部に炭素の中性子反応断面積を示した。これより、前述のとおり高速中性子は弾性散乱と非弾性散乱が支配的で、中速中性子、熱中性子は弾性散乱が支配的となる。そして、最終的には捕獲反応により中性子を止めることができる。以上を踏まえた遮蔽壁の例が Fig. 3 下部である。遮蔽壁の上流側では、中性子エネルギーを効率よく低減するために、弾性散乱を狙って水を多く含んだ重コンクリートを用いる。ここで高速中性子は非弾性散乱を起こす可能性もあり、 $\gamma$  線が放出されることにも留意しておく。重コンクリートによりエネルギー低減された熱中性子を効率よく捕獲するために、 $^{10}\text{B}$  や  $^{157}\text{Gd}$  など、中性子捕獲断面積の高い物質の層を用意する。このとき発生する捕獲  $\gamma$  線と、上流側の非弾性散乱由来の  $\gamma$  線により、このままでは下流側に  $\gamma$  線が抜けてしまう可能性がある。そのため、最下流に Fe などの高原子番号物質の層を用意することによりそれらの  $\gamma$  線を遮蔽することが可能となる。

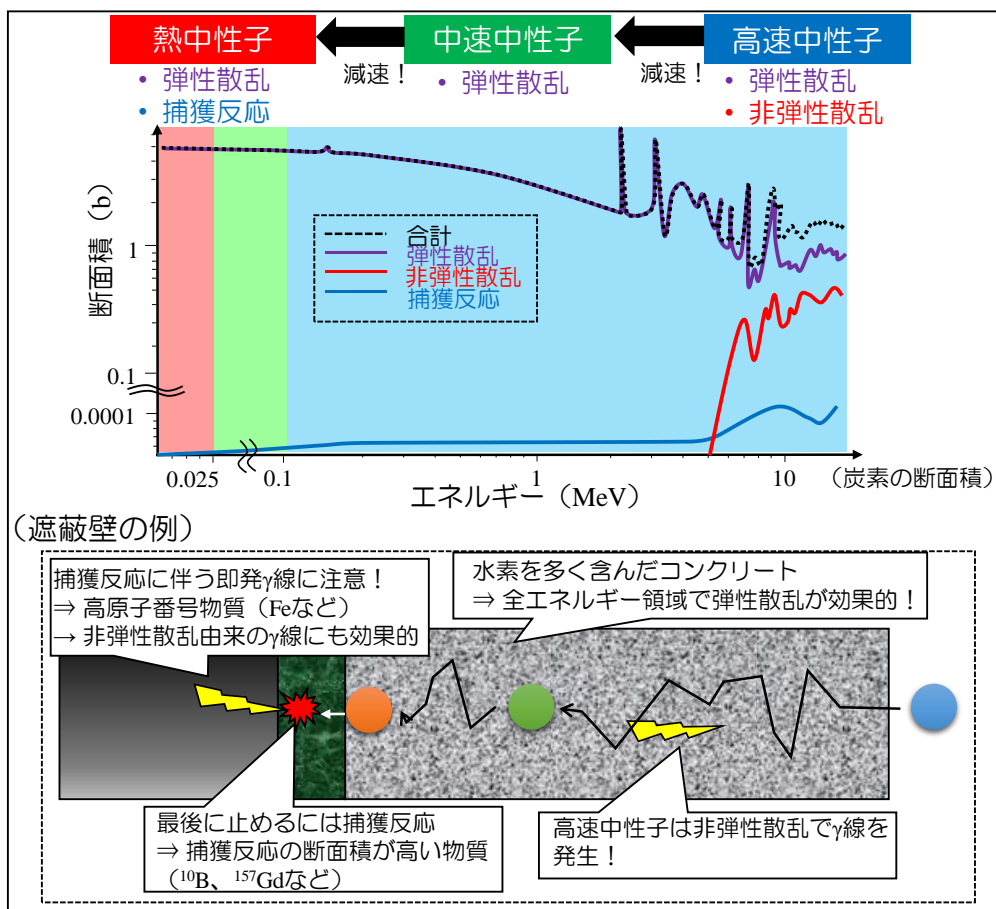


Fig. 3 効率の良い中性子の遮蔽

## (ii) 中性子の有効利用：中性子捕捉療法

中性子の有効利用の1つである中性子捕捉療法を紹介する。中性子捕捉療法は荷電粒子放出反応を利用し、対象原子核として $^{10}\text{B}$ を利用したものがホウ素中性子捕捉療法（BNCT）と呼ばれる。BNCTの治療原理をFig. 4に示す。あらかじめホウ素を化合した薬剤を患者に投与する。投与後、腫瘍に集中して $^{10}\text{B}$ が集積する。ここに中性子原子炉にて中性子を照射すると、「 $^{10}\text{B} + n \rightarrow ^7\text{Li} + ^4\text{He}$ 」という反応が起こり、Li反跳核と $\alpha$ 粒子が生じる。Li反跳核および $\alpha$ 粒子の飛程はそれぞれ、約 $5\text{ }\mu\text{m}$ 、約 $10\text{ }\mu\text{m}$ となっており、この距離はほぼ細胞の直径以下である。そのため、 $^{10}\text{B}$ の入っていない正常細胞は、荷電粒子によりダメージを受けず、 $^{10}\text{B}$ の集積した腫瘍細胞だけダメージを与えることができる。つまり、理論的には細胞選択的な治療が可能となる。また、ポイントとして、Li反跳核と $\alpha$ 粒子はいずれも高LET放射線であるため、細胞殺傷能力が高いのも特徴である。BNCTに用いられる中性子は、主に熱中性子および熱外中性子であり、これらは中性子の中でも比較的エネルギーが低い。生体内では主に水素（ $^1\text{H}$ ）および窒素（ $^{14}\text{N}$ ）と捕獲反応を起こすが、これらの元素の中性子捕獲断面積は $^{10}\text{B}$ に比べ小さい。そのため、 $^1\text{H}$ および $^{14}\text{N}$ からの正常組織への影響は軽微とされる。

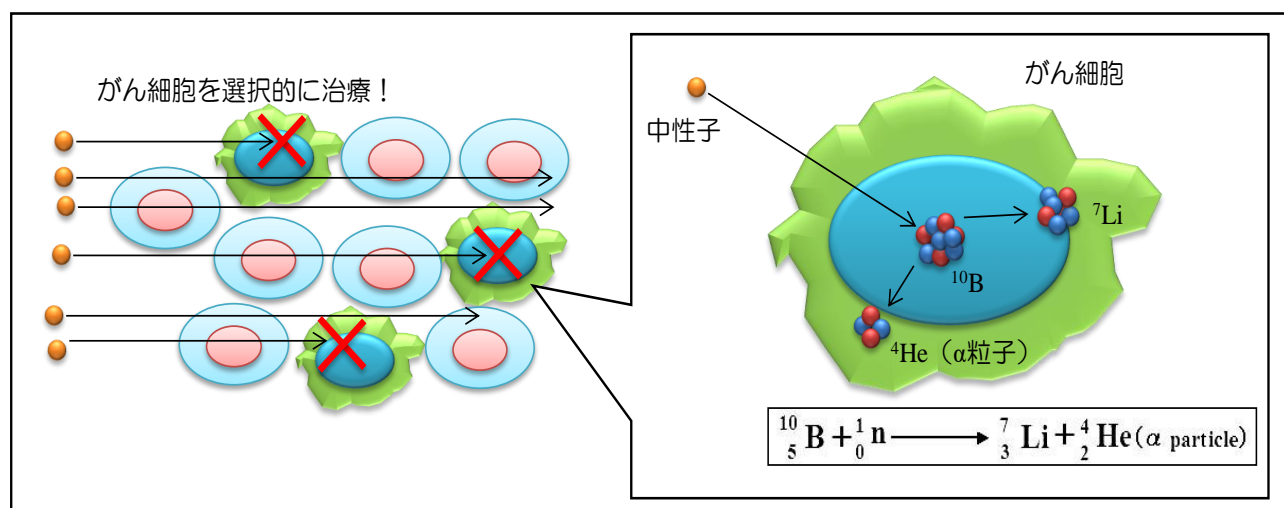


Fig. 4 BNCT の治療原理 ([11]より引用改変)

## 4. おわりに

本稿では、中性子の防護に必要な物理学的基礎知識とその問題点・有効利用を解説した。中性子と物質の相互作用は複雑であり、放射線防護を考える上でこれらの反応過程を知ることが重要である。これらを理解できれば、中性子の効果的な遮蔽壁の設定を可能にし、適切な放射線防護を達成できる。本稿が、皆様にとって中性子の防護を正しく理解するためのきっかけとなれば幸いである。

## 参考文献

- [1] Hashimoto T, Isobe T, Hashii H, et al.: Influence of secondary neutrons induced by proton radiotherapy for cancer patients with implantable cardioverter defibrillators. Radiation Oncology 7, 1-8, 2012.
- [2] IAEA : Radiological Safety Aspects of the Operation of Electron Linear Accelerators. IAEA Technical Report Series No.188, 1979.

- [3] Minohara S.: Treatment system and current status at HIMAC. Japan Journal of Medical Physics 17, 119-130, 1997.
- [4] Ahlgren L, Olsson LE.: Induced activity in a high-energy linear accelerator. Physics in Medicine and Biology 33, 351-354, 1988.
- [5] Brusa A, Cesana A, Stucchi C, et al.: Long term activation in a 15 MeV radiotherapy accelerator. Medical Physics 35, 3049-3053, 2008.
- [6] Konefal A, Polaczek GK, Zipper W.: Undesirable nuclear reactions and induced radioactivity as a result of the use of the high-energy therapeutic beams generated by medical linacs. Radiation Protection and Dosimetry 128, 133-145, 2008.
- [7] R.F. Barth, A.H. Soloway, R.G. Fairchild, et al.: Boron neutron capture therapy for cancer. Realities and prospects. Cancer 70, 995-3007, 1992.
- [8] Kamata M, Esaka T, Fujine S, et al.: Application of NR for research in electrochemical systems. Nucl Instrum Methods A 377, 161-165, 1996.
- [9] Minohara S.: Treatment system and current status at HIMAC. Japan Journal of Medical Physics 17, 119-130, 1997.
- [10] Sakae T, Tsunashima Y, Terunuma T, et al.: Modeling of daily operation in proton radiotherapy by Monte Carlo method. Japan Journal of Medical Physics 23, 147-157, 2003.
- [11] 監修: 榮 武二, 櫻井英幸, 編集: 磯辺智範. 放射線治療 基礎知識図解ノート. 金原出版株式会社, 2016.

# Radiation Exposure of Patients Undergoing Whole-Body Dual-Modality $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT Examinations

(全身  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 検査における患者の放射線被ばく)

第一著者名・掲載雑誌・号・掲載年月

Brix G / Journal of Nuclear Medicine. 4 April 2005

文献の英文表記: 著者名・論文の表題・雑誌名・巻・号・ページ・発行年

Lechel U, Glatting G, Ziegler SI, Münzing W, Müller SP, Beyer T.: Radiation Exposure of Patients Undergoing Whole-Body Dual-Modality  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT Examinations. Journal of Nuclear Medicine 46, 608-613, 2005.

論文紹介著者

富田 哲也 (筑波大学附属病院 放射線部)

論文解説

### はじめに

現在のがん診療において、CT (computed tomography) や MRI (magnetic resonance imaging) などの画像診断は必要不可欠となっている。特に、ブドウ糖の類似体  $^{18}\text{F}$  標識 FDG (fluorodeoxyglucose) を用いた PET (positron emission tomography) 検査は、がんに対する特異性が高く、がん患者の全身検索に多用されている。PET 装置は 1975 年に開発され、2000 年に Townsend らによって、PET と CT が一体化した PET/CT 装置が開発された。PET と CT が一体化することで、CT ベースの減衰補正が可能になり、検査時間の著しい短縮だけでなく、画質も改善された。一方で、PET/CT 検査において患者が受ける被ばく線量の増加が懸念される。そこで今回は、2005 年に報告され、引用数も多い論文「Radiation Exposure of Patients Undergoing Whole-Body Dual-Modality  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT Examinations」を紹介する。

本論文では、PET/CT 検査による全身検索を行った際の患者の被ばく線量を、TLD (thermoluminescent dosimeter) による測定値から求めた実効線量と  $\text{CTDI}_{\text{vol}}$  (volume CT dose index) から算出した実効線量で評価している。以下に、その結果を概説する。

### 方 法

筆者らは、ドイツの 4 つの大学病院において 2003 年 9 月から 2004 年 5 月の間に使用された全身 PET/CT 検査の収集プロトコルを再検討した。Table 1 に使用した PET/CT 装置の概要を示す。本研究では、以下の 2 つの検討項目を行っている。

Table 1 PET/CT 装置の概要

Hospital	PET/CT tomograph		CT system		PET system			
	Manufacturer	Model	Model	$n^*$	Model	Detector material	Acquisition mode	Axial field of view (cm)
H1	General Electric	Discovery LS	Lightspeed Plus	4	Advance Nxi	BGO	2D and 3D	15.2
H2	Philips	Gemini	Mx8000	2	Allegro	GSO	3D	18.0
H3	CPS Innovations	Biograph Emotion Duo	Emotion Duo	2	ECAT EXACT HR <sup>+</sup>	BGO	3D	15.5
H4	CPS Innovations	Biograph Sensation 16	Sensation 16	16	ECAT ACCEL	LSO	3D	16.2

\* $n$  = number of simultaneously acquired slices.  
BGO = bismuth germanate; 2D = 2-dimensional; 3D = 3-dimensional; GSO = germanium oxyorthosilicate; LSO = lutetium oxyorthosilicate.

(論文から引用掲載)

### ① 内部被ばく線量の測定

放射能  $A$  の  $^{18}\text{F}$ -FDG が、静脈内に投与された場合の組織または臓器  $T$  における吸収線量  $D_T$  を  $D_T = A \cdot \Gamma_T^{FDG}$  から算出した。補正係数  $\Gamma_T^{FDG}$  は、国際放射線防護委員会 (international committee radiation protection : ICRP) の publication 80 で提供されており、実効線量は次式で推定される (Eq. 1)。

$$E = \sum_T w_T \cdot D_T = A \cdot \sum_T w_T \cdot \Gamma_T^{FDG} = A \cdot \Gamma_E^{FDG} \cdots \text{Eq. 1}$$

ここで、 $\Gamma_E^{FDG} = 19 \mu\text{Sv} / \text{MBq}$  は ICRP publication 60 で与えられている実効線量に換算するための係数である。

### ② 外部被ばく線量の測定

PET/CT 検査の CT スキャンで受ける被ばく線量の測定は TLD を用いて行った。計 180 個の TLD をランドファントムの内部と表面に均等な間隔で配置した。小さい臓器の線量は、近くに配置した TLD の平均値から求めた。最終的な実効線量は Eq. 1 から求めた。

また、内部被ばく線量の測定と同様に臓器線量は次式で表される。

$$D_T = \Gamma_T^{CT} \cdot CTDI_{vol} \cdots \text{Eq. 2}$$

ここで、 $\Gamma_T^{CT}$  は  $CTDI_{vol}$  から臓器の線量に変換するための臓器固有の係数であり、TLD の測定値とそれに対応する  $CTDI_{vol}$  の値を使用して、Eq. 2 に従って推定した。

## 結 果

4 つの大学病院で、全身  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 検査に使用されるプロトコルの概要と各プロトコルの検査当たりとスキャン当たりの実効線量を Table 2 に示す。病院 H3 では、直近の診断 CT スキャンが存在する場合には、高画質の診断 CT スキャン (D-CT) を造影剤なしの低線量 CT スキャン (LD-CT) に置き換えている。病院 H2 と H4 では、このような場合 (直近の CT がある場合)、高画質な診断 CT スキャンは実行されない。4 つの病院の高画質 PET/CT 収集プロトコルによる実効線量はほぼ同一であった。多くの場合、妊娠初期の胚への被ばく線量を推定するために使用される子宮線量は、20.9 mGy と 23.2 mGy の間であった。

投与した  $^{18}\text{F}$ -FDG の放射能は病院 H2 においては平均 300 MBq、病院 H1, H3, および H4 においては平均 370 MBq であり、実効線量はそれぞれ 5.7 mSv および 7.0 mSv と推定された。CT のスキャン範囲は



恥骨結合を下限として定義したため、精巣は画像化されなかった。それにも関わらず、散乱線の影響で 0.7~7.2 mGy の被ばく線量を受けた。CT スキャン範囲の上側は、すべての場合において甲状腺を含むように設定した。人体内の各臓器における  $^{18}\text{F}$ -FDG PET と CT の線量係数を Table 3 に示す。TLD の測定値から推定した実効線量 (measured effective dose) と線量係数を用いて  $CTDI_{vol}$  から算出した実効線量 (calculated effective dose) をプロットしたものを Fig. 1 に示す。

Table 2 各病院のプロトコルとスキャン毎、検査毎の実効線量

Hospital	Scan		Effective dose (mSv)	
	Type	Abbreviation	Per scan	Per examination
H1	2 Topograms*		0.8	
	Diagnostic CT with CA	H1-D-CT	18.6	
	PET, 370 MBq $^{18}\text{F}$ -FDG	H1-PET	7.0	26.4
H2	Topogram		0.1	
	Low-dose CT	H2-LD-CT	4.5	
	PET, 300 MBq $^{18}\text{F}$ -FDG	H2-PET	5.7	
	Diagnostic CT with CA	H2-D-CT	14.1	24.4
H3	Low-dose protocol			
	Topogram		0.2	
	Low-dose CT	H3-LD-CT	1.3	
	PET, 370 MBq $^{18}\text{F}$ -FDG	H3-PET	7.0	8.5
	High-quality protocol			
	Topogram		0.2	
H4	Diagnostic CT with CA	H3-D-CT	17.6	
	PET, 370 MBq $^{18}\text{F}$ -FDG	H3-PET	7.0	24.8
	Topogram		0.2	
	Low-dose CT	H4-LD-CT	2.4	
H4	PET, 370 MBq $^{18}\text{F}$ -FDG	H4-PET	7.0	
	Diagnostic CT with CA	H4-D-CT	14.1	23.7

\*In anteroposterior and lateral direction; dose indicated represents the dose sum from both topograms.  
CA = Intravenous CT contrast agent administered for most examinations.

(論文から引用掲載)

Table 3 各臓器の組織荷重係数と線量係数 (PET と CT)

Organ $T$	$w_T^*$	$\Gamma_T^{FDG\dagger}$ ( $\mu\text{Gy}/\text{MBq}$ )	$w_T \cdot \Gamma_T^{FDG}$ ( $\mu\text{Sv}/\text{MBq}$ )	$\Gamma_T^{CT\dagger}$	$w_T \cdot \Gamma_T^{CT\dagger}$ ( $\text{mSv}/\text{mGy}$ )
Gonads <sup>§</sup>	0.20	13.5	2.70	$1.41 \pm 0.06$	$0.28 \pm 0.01$
Red bone marrow	0.12	11	1.32	$1.28 \pm 0.04$	$0.153 \pm 0.005$
Colon	0.12	13	1.56	$1.53 \pm 0.05$	$0.184 \pm 0.007$
Lungs	0.12	10	1.20	$1.45 \pm 0.07$	$0.174 \pm 0.009$
Stomach	0.12	11	1.32	$1.45 \pm 0.06$	$0.174 \pm 0.007$
Bladder	0.05	160	8.00	$1.38 \pm 0.07$	$0.069 \pm 0.003$
Breast	0.05	6.8	0.34	$1.44 \pm 0.08$	$0.072 \pm 0.004$
Liver	0.05	11	0.55	$1.58 \pm 0.07$	$0.079 \pm 0.003$
Esophagus	0.05	11	0.55	$1.43 \pm 0.07$	$0.072 \pm 0.003$
Thyroid	0.05	10	0.50	$2.4 \pm 0.1$	$0.123 \pm 0.006$
Skin	0.01	8	0.08	$0.66 \pm 0.03$	$0.007 \pm 0.001$
Bone surfaces	0.01	11	0.11	$0.86 \pm 0.03$	$0.009 \pm 0.001$
Remaining organs	0.05	11	0.55	$1.37 \pm 0.05$	$0.069 \pm 0.002$
Uterus <sup>¶</sup>	—	21	—	$1.11 \pm 0.04$	—
Total	—	—	19	—	$1.47 \pm 0.02$

\*Tissue weighting factors from ICRP Publication 60 (12).

<sup>†</sup>Dose coefficients from ICRP Publication 80 (11).

<sup>‡</sup>Mean  $\pm$  SEM.

<sup>§</sup>Since testes were not in the body region scanned in CT, absorbed doses to gonads were defined as that to ovaries.

<sup>¶</sup>Although the uterus belongs to the remaining organs, dose coefficients are also given for this organ because uterine dose is often used as surrogate for embryonic dose in the early stage of pregnancy.

Dose coefficients for CT were estimated according to Equation 2 from TLD measurements performed on Alderson phantom.

(論文から引用掲載)

## 考 察

この研究に参加した4つの大学病院における、全身 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 検査を受けた患者の実効線量は約 25 mSv であった。実効線量 (23.7~26.4 mSv) は同等の値を示していたものの、本研究で利用した4病院の PET/CT 収集プロトコルには顕著な違いがあった。

病院 H2 および H4 では、造影 CT スキャンに加えて、低線量 CT スキャンを減衰補正のために取得していた。一方、病院 H1 と H3 では、造影 CT スキャンを画像診断と CT ベースの減衰補正の両方に使用していた。CT 画像において強い造影は減衰補正アルゴリズムによって骨とみなされることがあり、造影剤投与後の CT で減衰補正した PET 画像に深刻な影響を及ぼす可能性がある。この場合、減衰補正は過大評価になる。しかし、これらの影響はプロスペクティブに回避することができ、診断の妨げにはならないとの報告がある。

造影 CT スキャンが既に撮影されていたとしても、追加で減衰補正のための低線量 CT スキャンを取得することは一般的に容認される。本研究では、3つの低線量スキャンにおける実効線量は 5 mSv 未満であった (Table 2)。

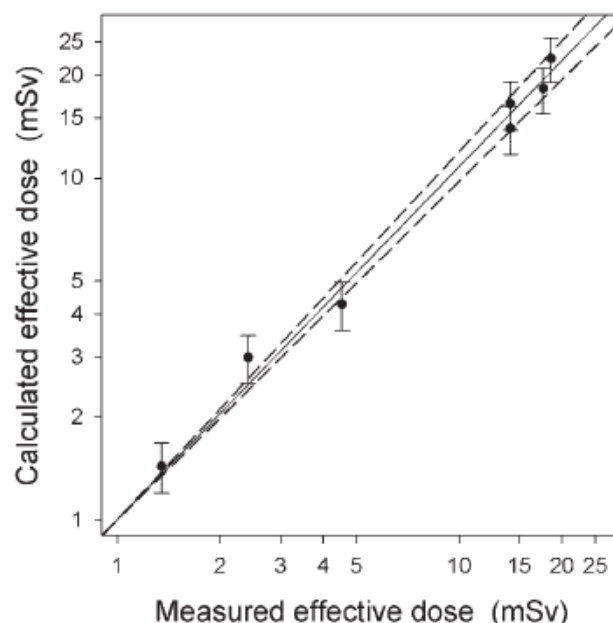
Table 2 に示した4病院の高画質 CT スキャンにおける実効線量は、14.1 mSv と 18.6 mSv の間であった。この値は、本研究で全身スキャン範囲内に甲状腺を含めたことが主な要因であり、CT 検査における最近の調査で推定される線量 (平均 $\pm$ SD) 14.5 $\pm$ 4.9 mSv よりもやや高くなっている。

Table 3 に示した線量係数は、臓器線量と組織荷重係数を用いて全身 PET と CT スキャンに関する実効線量の推定を可能にする。ここで、示したデータはすべて体重約 70 kg の標準体型のものであり、個々の患者の年齢、性別、および体の構造が考慮されていないものの、不均一被ばくに起因する患者への相対的な放射線リスクに関する良好な指標となる。

$CTDI_{vol}$  のほかに、実効線量や累積線量を決定するのはスキャン領域の長さである。しかし、PET システムにおける軸方向の設定は、FOV (field of view) の整数倍にしかできないため、現在の PET/CT システムでは任意のスキャン領域の長さを設定できないという制限がある。この技術的な制限は、例えば PET 測定に連続的な寝台運動を実施することにより、将来的に克服することができる。また、異なる CT スキャンパラメータを変化させながらヘリカルスキャンできるようなソフトウェアが必要である。これにより、体の一部のみに高画質 CT スキャンを行い、残りの範囲は低線量の CT スキャンをすることで、減衰補正のためのスキャンをせずに画像化できる可能性がある。また、自動管電流変調やフィルタなどの画質に影響を及ぼさずに線量低減が可能な対策は、日常の PET/CT 検査で用いられるべきである。

## まとめ

本論文で筆者らは、文献で報告されている撮影手順に基づいた全身 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 検査における平均



(論文から引用掲載)

Fig. 1 実測と  $CTDI_{vol}$  から算出した実効線量



患者実効線量は約 25 mSv であると推定した。CT や PET の単一検査と比較して、PET/CT 検査で患者の被ばく線量が増加したことは問題であり、賢明な医療の正当化がなされなければならない。本研究で得た線量係数は、多様な全身 CT スキャンとプロトコルの最適化において、臓器線量と実効線量を推定するツールになり得る。被ばく線量の低減に向けては、CT 装置における最先端の線量低減対策が PET/CT 装置にも採用されるべきであり、既存の取得ソフトウェアの改良が求められると結論付けている。

# Measurement and comparison of individual external doses of high-school students living in Japan, France, Poland and Belarus—the 'D-shuttle' project—

(日本、フランス、ポーランド、ベラルーシの高校生における外部被ばく線量の測定と比較—D シャトルプロジェクト—)

第一著者名・掲載雑誌・号・掲載年月

N Adachi/Journal of Radiological Protection. 36・2016

文献の英文表記: 著者名・論文の表題・雑誌名・巻・号・ページ・発行年

N Adachi, V Adamovitch, Y Adjovi, K Aida, H Akamatsu, S Akiyama, A Akli, A Ando, T Andrault, H Antonietti, S Anzai et al.: Measurement and comparison of individual external doses of high-school students living in Japan, France, Poland and Belarus—the 'D-shuttle' project—. Journal of Radiological Protection 36, 49-66, 2016.

論文紹介著者

高橋 英希 (筑波大学附属病院 放射線部)

論文解説

### はじめに

2011年の福島第一原子力発電所事故により、福島県および周辺地域は放射性物質による汚染被害を受けた。その汚染範囲を特定し、環境、食品、住民への影響を明らかにするために様々な研究が行われてきた。今回は、2015年11月に報告された論文「Measurement and comparison of individual external doses of high-school students living in Japan, France, Poland and Belarus—the 'D-shuttle' project—」を紹介する。本論文は研究に参加した高校生や教諭、専門家ら計233人の共著であり、福島高校の生徒が日本語で執筆し、東京大学の研究者が英訳したものである。

これまで、福島県では大規模な個人被ばく線量のモニタリングが各市町村により行われてきた。しかし、これらの測定では一定期間（一般的に3ヶ月）の被ばく線量を累積した測定結果のみで、時間と場所について考慮できていなかった。そこで本研究では1時間ごとの線量を記録できるD-シャトル（千代田テクノル社）という個人被ばく線量計を使用し、個人被ばく線量のモニタリングを実施した。2014年に計216人の高校生と教諭を対象に、2週間D-シャトルを身につけて測定を行った。また、実験参加者は期間中において、屋内外の行動内容を記録した。本研究は、福島県と他県および他国における高校生の個人被ばく線量を比較することを目的としている。

### 方 法

日本の12校（福島県6校、他県6校）、フランスの4校、ポーランドの8校、ベラルーシの2校の高

校生、教諭を対象に実施した。福島県では福島、安達、会津、いわき、朝霞、田村の高校で測定を行った。他県では比較的、自然放射線量が高い地域である福山、多治見、恵那と、自然放射線量が低い地域として灘、奈良、神奈川の高校を選定した。フランスとポーランドの高校は特別な選定を行わずボランティアで参加した。ベラルーシでは、チェルノブイリ事故により影響を受けている地域と、立ち入り禁止区域近隣の高校が参加した。



図 1 D-シャトル

D-シャトルは産業総合研究所（AIST）と千代田テクノル社が共同開発した個人被ばく線量計である。図 1 に D-シャトルを示す。軽量（23 g）で小型（H68 mm×W32 mm×D14 mm）であり、 $2.7 \times 2.7 \text{ mm}^2$  の半導体素子を使用している。内部メモリに 1 時間毎の線量を記録でき、コンピュータに接続して読み出しを行うことができる。 $^{137}\text{Cs}$  ガンマ線による 1 cm 線量当量で校正されている。

実験参加者は、就寝時以外は胸元に D-シャトルを着用し測定した。時間毎の個人被ばく線量は、実験参加者が記録した行動内容と合わせて評価した。一人あたりのデータ数は 24 時間×14 日で 336 であり、総データ数は 216 人で 70876 であった。D-シャトルで測定される個人被ばく線量は、自然放射線と事故由来の放射性セシウムが区別されず合算して測定される。両者は分離して評価できないため、地域間の個人被ばく線量を比較する際は自然放射線と放射性セシウムの線量を合した測定線量を使用する。なお、福島県とベラルーシ以外の地域においては、放射性セシウムの線量は無視できる。

## 結 果

時間毎の個人被ばく線量の中央値は福島県内では  $0.07 \sim 0.10 \text{ } \mu\text{Sv/h}$ 、福島県外では  $0.06 \sim 0.09 \text{ } \mu\text{Sv/h}$  であった。フランス、ポーランド、ベラルーシにおいては、 $0.06 \sim 0.11 \text{ } \mu\text{Sv/h}$  であった。また、年間線量は 2 週間にわたって測定した個人被ばく線量に  $365/14$  を乗じて算出した。図 2 に、各地域における年間の個人被ばく線量の結果を示す。推定年間線量の中央値は福島県内では  $0.63 \sim 0.97 \text{ mSv/y}$ 、福島県外では  $0.55 \sim 0.87 \text{ mSv/y}$  となった。フランス、ポーランド、ベラルーシでは、 $0.51 \sim 1.10 \text{ mSv/y}$  であった。福島県内の高校生の個人被ばく線量は他の地域と比較して、ほぼ同程度であった。また、チェルノブイリの事故から 28 年が経過するベラルーシの個人被ばく線量も他の地域と大きな違いは見られなかった。

図 3 に行動記録に基づいた自宅と学校の個人被ばく線量の分析結果を示す。福島高校の学生を対象とした結果であり、グラフの横軸は時間毎の個人被ばく線量、縦軸に頻度をとる。自宅の方が学校よりも線量が高いという結果が得られた。これは対象となった学生の自宅は木造が多く、遮蔽効果がコンクリートの校舎よりも低いことが原因であるとしている。

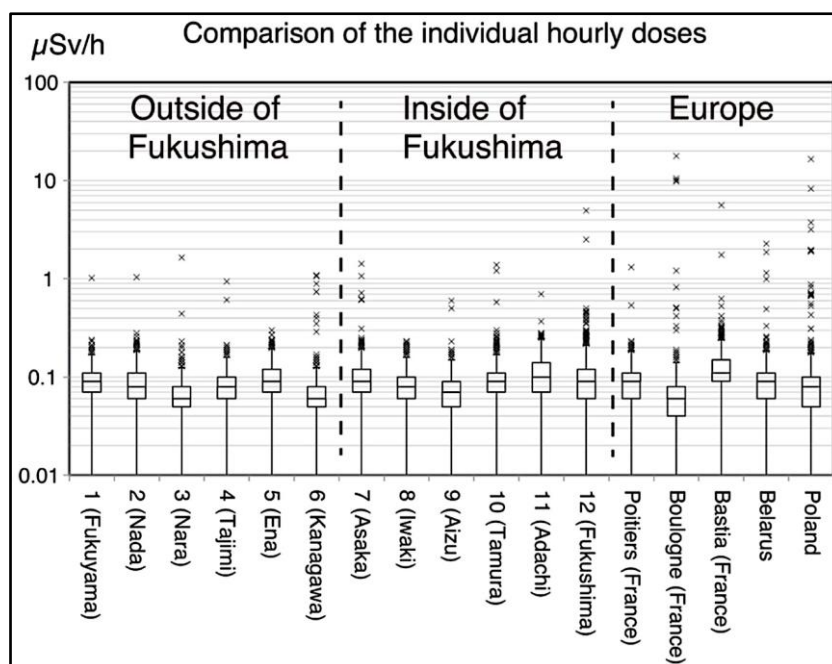


図2 各地域における年間の個人被ばく線量

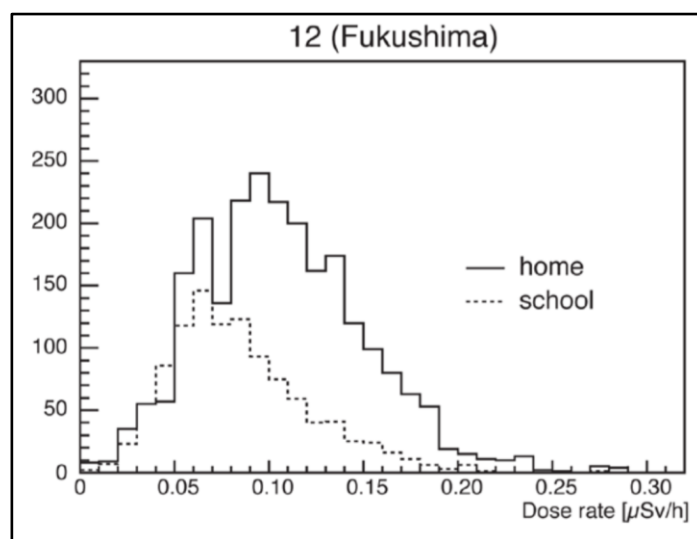


図3 行動記録による自宅と学校における個人被ばく線量

## 考 察

今回、福島県の高校生の個人被ばく線量は、他の地域や国と比較して有意な差が無かった。福島県内での空気モニタリングにより、いまだに放射性セシウムの寄与があることが明らかであるにも関わらず、この結果が得られたのは驚きである。この状況をより詳細に評価するために、土壌調査により日本の12校における空気カーマを推定した。土壌サンプルは各高校から半径5 km 圏内の複数箇所を取得した。空気カーマは次式から推定した。

$$K \text{ (nGy/h)} = 13.0C_K + 5.4C_U + 2.7C_{Th}$$

[ $C_K$ : $^{40}\text{K}$  濃度 (%),  $C_U$ : ウラン濃度 (ppm),  $C_{Th}$ : トリウム濃度 (ppm)]

式から推定した空気カーマと実効線量（D-シャトルで測定した個人被ばく線量）の関係は、人体への照射角度に依存する。人体がほぼ均等に全周囲から環境放射線を受けるとすると、空気カーマあたりの実効線量（Sv /Gy）は約 0.9 となる（ICRP Publication 74 (1996), figure 9）。この値は測定の不確かさの範囲内であり、空気カーマと実効線量の比較は合理性があるものとしている。図 4 に土壌調査から求めた空気カーマと D-シャトルで測定した個人被ばく線量を比較した結果を示す。福島県外では、空気カーマと個人被ばく線量はほぼ同値であった。しかし、福島県内では、個人被ばく線量は空気カーマより大きくなった。これは、福島県内では自然放射線量の寄与が他の地域よりも低いことと、放射性セシウムによる放射線量の増加分は、予想よりも少ないことが原因であると考えられる。よって、福島県内のほとんどの地域で原発事故によって線量率は上昇したものの、福島県内の高校生の外部被ばく線量は、他の地域と大きくは変わらないとしている。

原発事故による汚染被害を受けたベラルーシと同様に福島県内の地域においても、自然放射線量を含む年間の個人被ばく線量は殆どの実験参加者で 1 mSv/y 未満であることが示された。このことから、本論文では ICRP Publication111 で、「過去の経験から事故後の長期に渡る典型的な線量拘束値は 1 mSv/y とする」と言及していることは興味深いことであると述べている。

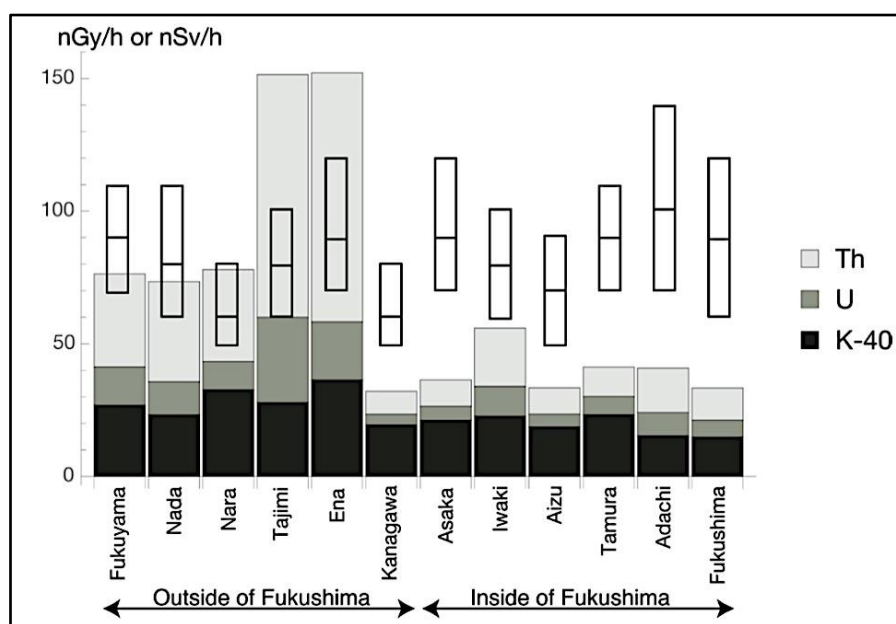


図 4 土壌調査から求めた空気カーマ率と D-シャトルで測定した個人被ばく線量率の比較

## まとめ

原発事故の影響を受けている福島県内とベラルーシの高校生の個人被ばく線量は、他の地域の環境放射線量と同レベルであることが示された。最後に本論文では、行動記録と一緒に個人被ばく線量の測定を行うことは、外部被ばくの要因を解明するための強力なツールとなり、また、汚染地域に住む人々のリスクコミュニケーションにおいても有用であると結論づけている。

# ヨーロッパにおける放射線災害への準備と 対応に関する取り組み

大葉 隆

福島県立医科大学／Barcelona Institute for Global Health

## 1. はじめに

東京電力・福島第一原子力発電所（福島第一原発）事故より5年半近くが経過し、多くの情報や経験が福島から世界へ発信されている。特に、甲状腺に関する小児スクリーニング検査や放射線に関する住民の不安などが日本国内の報道で大々的に取り上げられ、現在も議論が続いている。さらには、福島第一原発事故の教訓を踏まえて、日本国内の原子力発電所事故への準備と対応が原子力規制庁（原子力規制委員会）を核として整備されつつある。

私は2016年3月より、福島県立医科大学より国際共同研究の一環として、スペインのバルセロナ市内に位置する研究所に出向中であり、放射線災害に関わるプロジェクトに参加し、福島第一原発事故の教訓を盛り込む作業を行っている。本誌をお借りして、このプロジェクトの概要についてご紹介する。また、所属する研究機関では、医療放射線被ばくに関する調査も実施しており皆様へ情報共有として加えてご紹介したい。

## 2. SHAMISEN プロジェクト

私は現在、「放射線災害における健康調査と医療体制の改善の提案」というプロジェクトに携わっている。プロジェクト略称の「SHAMISEN」（SHAMISEN (Nuclear Emergency Situation - Improvement of Medical And Health Surveillance の頭文字を逆読み) は、日本の楽器を連想して名づけられている。ちなみにヨーロッパにおける放射線被ばくに関するプロジェクトは、OPERRA (Open Project for European Radiation Research Area) や MELODI (Multidiscrepancy European LOW Dose Initiative) など音楽に関わる名称が多数存在する。SHAMISEN プロジェクトはヨーロッパ諸国、チェルノブイリ原発事故関連諸国と日本の18施設による国際共同研究である。プロジェクトの本部はスペインのバルセロナ市内の私が所属している研究所である。この研究所はポンペウファブラ大学 (Universitat Pompeu Fabra : 1990年創立の公立大学) 敷地内の Barcelona Biomedical Research Park (PRBB) と呼ばれる研究所に属する Barcelona Institute for Global Health (ISGlobal) であり、私もこの職場にて Visiting Fellow (客員研究員) として仕事をしている。本プロジェクトのマネージャーは Prof. Elisabeth Cardis が務めており、現在の私の上司である。

SHAMISEN プロジェクトの目的は、「ヨーロッパにおける今後の放射線災害への準備と対応を模索し、提案すること」である。本研究は研究全体が図1のように4つのサブタスクと複数のアクショングループにより構成されている。下記にサブタスク (ST) とアクショングループ (A@. @) における概要を簡単に紹介する。

## ST1 過去の原発事故の教訓を評価

福島第一原発事故のみならず、チェルノブイリ原発事故、スリーマイルアイランド原発事故やベルギーでの原発周辺住民の健康調査も参考にしている。評価方法は、A1.1 事故時と長期にわたる住民や作業員の被ばく線量管理方法と結果のリストアップ、A1.2 放射線被ばくによる健康影響調査と医療におけるフォローアップにおける実際とその結果、A1.3 放射線被ばく影響の疫学調査の全体的なレビュー、となっている。

## ST2 過去の原発事故より生活の質の改善方法を学ぶ

ここではチェルノブイリ原発事故や福島第一原発事故による現在の状況を把握しまとめることにある。A2.1 チェルノブイリ原発事故により飛散した放射性物質は北欧のノルウェーまで到達している。ノルウェー北部に住むサーミ人は野生トナカイを好んで食べるが、トナカイの餌には放射性セシウムが蓄積しているため、サーミ人はトナカイの摂取から慢性的に内部被ばくを受けている。そこで、サーミ人への内部被ばく低減のための活動から学ぶこと、A2.2 チェルノブイリ原発事故における心理社会的な影響について、作業員の線量や作業内容、もしくは、住民の避難状況や生活状況より評価すること、A2.3 福島第一原発事故による事故 5 年間の住民の放射線との付き合い方、避難状況、生活状況、心理社会的状況を評価すること、を実施している。

## ST3 ヨーロッパにおける今後の放射線災害への準備と対応の提案

過去の原発事故からの教訓よりヨーロッパ諸国でどのように準備して、事故後はどのように対応すべきかを提案することとなっている。そのために、A3.1 事故時と長期にわたる住民や作業員の被ばく線量管理方法の提案、A3.2 住民の効果的な避難方法の模索、A3.3 放射線被ばくによる効果的な健康影響調査と医療におけるフォローアップ方法の提案、A3.4 医療従事者（医師、看護師など）への放射線災害時の教育、A3.5 放射線災害時の効果的な疫学調査のための提案、を準備として必要な項目と災害時に必要な項目に分けて提案することとなっている。

## ST4 放射線災害後の長期にわたる各種要因への準備と対応の提案

A4.1 福島でも経験があったが、ステークホルダー関与とは、放射線防護やその他の専門家、または、地域社会の様々なメンバーとのパートナーシップであり、ステークホルダー関与の機能が放射線災害後の長期にわたる復興におけるポイントとなる。そこでヨーロッパ諸国のステークホルダーに関連する人々への放射線災害における教育支援、A4.2 事故後の専門家による作業員や住民への被ばく線量調査や健康影響調査への倫理的な問題の提起、A4.3 過去の原発事故における住民への被ばく線量調査や健康影響調査への費用対効果費の算出と、放射線災害規模による費用の試算、など、ST3 にリンクして実施される。

上記 ST1 と ST2 は今年の 12 月上旬に結果を報告する予定である。また、ST3 と ST4 は 2017 年 5 月に報告予定である。

現在、ST1 と ST2 について議論している内容としては、

- 放射線被ばくだけでなく生活習慣病を含めた健康調査内容の提案（甲状腺がんや白血病など放射線被ばくによる健康影響にフォーカスが当たりがちだが、住民への放射線災害による副次的健康影響を評



価することを考慮する.)

- 住民の放射線被ばくや作業員における心理社会的要因の早期改善(チェルノブイリ原発事故では小児の甲状腺がんや作業員の白血病などがクローズアップされてきたが、今後は健康調査の項目へ心理社会的な調査内容の組み込むことを考慮する.)

などであり、さらなる議論の促進があるため、今後の結果報告を心まちにしていきたい。

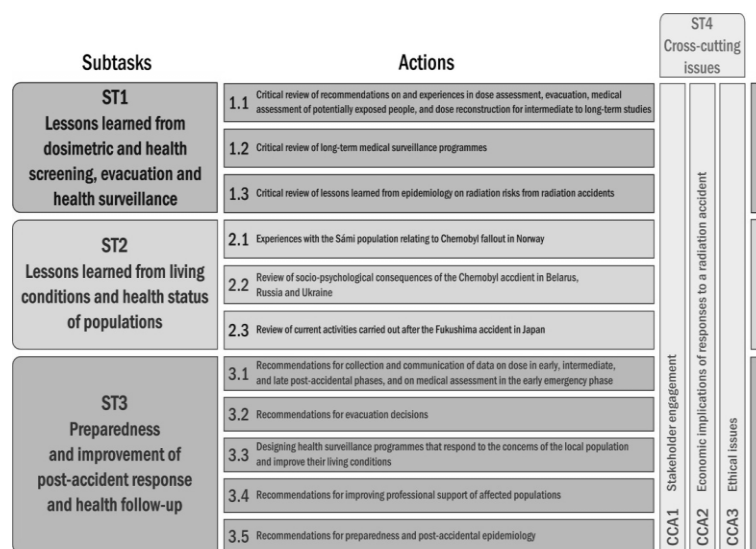


図 1. SHAMISEN プロジェクトの各サブタスクにおける内容の概要

### 3. EPI-CT プロジェクト

私の所属する研究室では、多くの放射線の被ばく影響に関するプロジェクトが進められている。その中、医療被ばくに関する調査プロジェクトとして EPI-CT (EPIdemiological study to quantify risks for pediatric Computerized Tomography and to optimize dose) プロジェクトがある。このプロジェクトは 2011 年に開始され 2017 年末に終了予定であり、SHAMISEN プロジェクト同様に Prof. Elisabeth Cardis がプロジェクトマネジャーを務めている。主な目的は、小児における CT 検査からの医療放射線被ばくの健康影響を推定すること、そして、小児 CT 検査の最適なプロトコルを提案することにある。主に後ろ向き疫学調査（一部の国では前向き）を実施し、西ヨーロッパ諸国の 9 か国の病院施設より 1,100,000 名以上を解析対象としている。CT 検査の情報は DICOM（もしくは、RIS）から対象者の年齢、性別、身長、体重、撮影条件と撮影範囲をリストアップした。また、各施設へアンケートを実施し、CT 装置のメーカーやスペックを細かく調査した。小児の実効線量や各部位の等価線量は NCICT beta version 2.0 により算出した。本検討は、小児が CT 検査を受けた時期が 2005 年前後であり、多くの CT 検査が 4 列 CT 装置での撮影であった。今後、本研究では、小児の CT 検査における実効線量や各部位（赤色骨髄、脳、甲状腺など）の等価線量と白血病や腫瘍との関係が報告される予定である。しかしながら、本調査は CT の画質や診断能に関する撮影線量における考慮をしていない。また、小児のうち CT 検査を受診している対象者の多くが何らかの先天性の疾患を抱えており、本調査においてどのような結果を報告するかお待ち願いたい。



#### 4. さいごに

本稿では研究の内容を中心に記載をした。バルセロナには多くの観光スポットがあり、実際に、これらの案内やおいしい食事に関する情報を記載したいところであるが、本誌とは全く関係のない内容になってしまうため、興味のある方は個人的に連絡をお願いしたい。私の出向期間は2017年春までの予定なので、皆様とさらなる情報共有できることを楽しみにしている。

## 第 8 回放射線防護セミナーを受講して

鈴木 貢

日本メドラッド株式会社 ラジオロジー事業部

いかに我が国の被ばくを伴う検査が多いか、被ばくの実態の可視化がなされていないか、また患者様の不安に向き合うとはどういうことか、について学ぶことが出来ました。特にリスクコミュニケーションの講義と、実際の相談事例を元にしたグループディスカッションと患者対応実技が新鮮で、日々被ばく相談に対応される方々のご苦勞や課題が垣間見られました。各施設での放射線防護の取り組みは、技術的な解決や装置の進歩だけでなく、こうした傾聴や患者対応でのリスクコミュニケーションも大事であると実感しました。

私は現在、企業に勤める医療情報技師として医療情報分野へ貢献するべく研鑽しています。前職は放射線科情報システム（R I S）の開発に関わっていました。古くはモダリティから撮影パラメータをR I Sへ送り、照射情報として管理することが常となっていました。近年カスタマイズのご要望でCTDI<sub>v</sub>やDLP等、被ばく線量に関する情報をR I Sで管理したいというお話をお聞きする機会も増えてきました。そんな頃、現職で扱う線量管理ソリューションと出会い、縁あってその担当として活動することになりましたが、R I Sに携わっていても被ばく線量、ましてや放射線防護については技術学会の大会でシンポジウムを聴講した程度であまり身近に感じていませんでした。

現職でお客様へ説明、製品をご利用いただいて、どう施設にて線量管理を行っていけばよいのか、国内の動向や課題等を学び、線量管理というソリューションを提供する者として、医療者の方々にどうサポートできるか、そんなことを考えながら、セミナーに挑みました。

我々も米国を始めグローバル展開しているソリューションを日本国内でも提供しようと活動していますが、単にシステムを紹介・導入することを目標とせず、日本の医療被ばくの可視化、そして最適化に向けた活動として、今後も日本放射線技術学会そして放射線防護部会にて医療者の方々とディスカッションし自己研鑽に励みたいと思います。

最後になりましたが、当セミナーを企画してくださいました放射線防護部会の皆様、貴重な講演をくださった講師の皆様、そして会場を提供してくださいました北海道科学大学の皆様に感謝いたします。



被ばく相談のロールプレイング実習風景

# 放射線防護分科会誌インデックス

## 第1号(1995.10.20 発行)

放射線防護分科会 発足式並びに研究会

あいさつ 放射線防護分科会の発会を祝して／川上壽昭

放射線防護技術の発展に会員のご協力を／砂屋敷忠

記念講演要旨 医療における放射線の利用と防護

ー放射線防護分科会への期待ー／佐々木康人

討論要旨 テーマ「医療放射線防護を考える」

(1) なぜいま医療放射線防護なのか／森川薫

(2) X線撮影技術の分野から／栗井一夫

(3) 核医学検査技術の立場から／福喜多博義

(4) 放射線治療技術の立場から／遠藤裕二

## 第2号(1996.4.1 発行)

第52回総会学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「ヒトから考える医療放射線防護／赤羽恵一

特別講演要旨「ICRP1990年勧告 その後・古賀佑彦

パネルディスカッション要旨

テーマ「放射線利用における公衆の防護」

(1) 公衆の放射線防護 序論／菊地 透

(2) 病室におけるX線撮影時の室内散乱線量分布／小倉 泉

(3) 放射線医薬品投与後の周囲への安全性と現状／中重富夫

(4) 放射線施設の遮蔽条件／砂屋敷忠

(5) 診療の立場から／飯田恭人

(6) 現在の施設の防護状況報告／木村純一

文献紹介 放射線防護に関連した著書の紹介／西谷源展

最近の海外文献紹介／菊地 透

## 第3号(1996.9.26 発行)

第24回秋季学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「放射線防護と画像評価」／栗井一夫

パネルディスカッション要旨

テーマ「ボランティアの被曝と防護を考える」

(1) ボランティアの放射線被曝とは／菊地透

(2) 新技術・装置開発での問題点／辻岡勝美

(3) 学生教育の立場から／三浦正

(4) 診療現場での事例／平瀬清

教育講演要旨 宮沢賢治百年と放射能100年「医療放

射線の被曝と防護をめぐって」序文／栗冠正利

資料 厚生省「医療放射線管理の充実に関する検討会」

報告書

## 第4号(1997.4.5 発行)

第53回総会学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「21世紀に向けた節目の時代」／菊地透

第4回放射線防護分科会 パネルディスカッション要旨

テーマ「診療用X線検査における患者の被曝線量を知る方法」

(1) 被曝線量の実用測定ー個人線量計を利用する場合／福本善巳

(2) 診療現場の問題ー簡易換算法による被曝線量の推定／山口和也

(3) 診療現場の問題ー自作線量計による患者被曝線量の測定／重谷昇

(4) 診療現場の問題ー線量測定の位置と単位について／鈴木昇一

会員の声 放射線防護に対する認識ーある放送から感じたこと／平瀬清

資料 X線診断による臓器・組織線量、実効線量および集団実効線量 RADIO ISOTOPE 誌転載

## 第5号(1997.10.30 発行)

第25回秋季学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「IAEA ガイダンスレベルと線量評価法の混乱」

／鈴木昇一

第5回放射線防護分科会パネルディスカッション要旨

テーマ「医療放射線被曝とは何か」

(1) 被曝のとらえ方ー医療被曝を中心に／菊地 透

(2) 内部被曝ー線量評価／赤羽恵一

(3) 外部被曝ー計る／前越久

(4) 被曝の混乱ーアンケートにみる原因と対策／森川薫

(5) 討論 司会／砂屋敷忠

会員の質問

(1) 個人被曝線量計の精度

(2) 施設線量の測定法

資料 放射線防護分科会アンケート集計報告

## 第6号(1998.4.9 発行)

第54回総会学術大会 放射線防護分科会特集

第6回研究会プログラム

教育講演要旨

「医用放射線と保健福祉」／森光敬子

「ICRPの国内法令取り入れをめぐって」／菊地 透

会員の声 医療放射線の「リスク論議考」／輪嶋隆博

質問欄 カテーテルアブレーションの被曝低減法／委員会

論文紹介

国際放射線防護委員会 ICRP1997年オックスフォード会議／松平寛通（放射線科学から転載）

## 第7号(1998.10.29 発行)

第26回秋季学術大会 放射線防護分科会特集  
第7回研究会プログラム パネルディスカッション要旨  
テーマ「医療被曝（X線検査）のガイダンスレベルは制定できるか」  
(1) ガイダンスレベルとは何か／菊地透  
(2) 一般撮影での問題点／佐藤斉  
(3) 乳房撮影（歯科も含む）の注目点／加藤二久  
(4) 病室・在宅医療での考え方／加藤英幸  
会員研究発表リスト 1998年 春・秋

## 第8号(1999.4.5 発行)

第55回総会学術大会 放射線防護分科会特集  
放射線防護研究一分科会の活動／砂屋敷忠  
第8回研究会プログラム 教育講演資料  
(1) 放射線防護 過去・未来／館野之男  
(2) 医療法施行規則改正の動き／諸岡健雄  
第26回秋季学術大会分科会報告  
医療被ばく（X線検査）のガイダンスレベルは制定できるか／菊地透  
防護分科会印象記／輪嶋隆博  
学術大会防護関連座長印象記  
X線検査装置－2／江口陽一  
X線質評価／久保直樹  
放射線管理測定技術／大釜昇  
放射線管理－IVR 従事者被曝／水谷宏  
討論室 続 防護エプロン論争／輪嶋隆博

## 第9号(1999.10.28 発行)

第27回秋季学術大会 放射線防護分科会特集  
巻頭言「これからの放射線防護に求められるもの－21世紀の活動」／栗井一夫  
第9回放射線防護分科会  
パネルディスカッション要旨  
テーマ「放射線管理における西暦2000年問題について」  
病院における西暦2000年問題／谷重善  
医療用具製造業者等のコンピュータ西暦2000年問題への対応状況について／田村敦志  
病院における西暦2000年問題への対応について／水谷宏  
西暦2000年問題への対応と現状／泉孝吉  
放射線治療装置における西暦2000年問題／大野英  
第55回総会学術大会防護関連座長印象記  
放射線管理－IVR・乳房撮影／栗井一夫  
放射線管理－スペクトル・フィルタ／大釜昇  
放射線管理－RI管理／菊地透  
X線検査－DR被曝／千田浩一  
放射線管理－測定器／新開英秀  
放射線管理－CT被曝・測定器／鈴木昇一  
ニュース

低線量放射線影響に関する公開シンポジウム／加藤英幸  
放射線防護に関する関係省庁への要請書および要望書の提出について／菊地透  
質問欄 放射線管理のQ&A／菊地透

## 第10号(2000.4.6 発行)

第56回総会学術大会 放射線防護分科会特集  
巻頭言「新たな世紀を迎える前に放射線防護論（防護学）の問題点を考える」／加藤英幸  
第10回放射線防護分科会  
基調講演要旨 「放射線防護関連法令の改正について」／菊地透  
シンポジウム要旨  
テーマ「放射線安全規正法改正と新しい放射線医療技術の対応」  
放射線診療施設・管理区域の対応／鈴木昇一  
個人被曝管理の対応／寿藤紀道  
新しい放射線医療技術の対応／諸澄邦彦  
第27回秋季学術大会防護関連座長印象記  
核医学－被曝／中田茂  
放射線管理－被ばく低減／有賀英司  
放射線管理－IVR・DSA／三宅良和  
X線撮影－血管撮影被曝・その他／阿部勝人  
討論室 ウラン加工工場臨界事故に学ぶ／菊地透  
クラーク論文を読んで／水谷宏  
ニュース 平成11年度公開シンポジウム「医療における放射線被曝と対策」印象記／富樫厚彦

## 第11号(2000.10.20 発行)

第28回秋季学術大会 放射線防護分科会特集  
巻頭言「モラル・ハザードと放射線防護のプロ」／寿藤紀道  
第16回計測、第11回放射線防護合同分科会要旨  
「診断領域における線量標準測定法の確立」－より安全な放射線防護を目指して－  
医療被曝測定の意義／菊地透  
X線診断領域における較正場について／加藤二久  
標準測定法の確立／小山修司  
現場における被曝線量測定／熊谷道朝  
第56回総会学術大会防護関連座長印象記  
CT検査－被曝低減技術／新木操  
マルチスライスCT－被曝低減技術／村松禎久  
小児のための放射線検査1／増田和浩  
放射線管理－患者被曝1／梅酢芳幸  
放射線管理－患者被曝2／加藤英幸  
放射線管理－術者被曝／山口和也  
核医学－RI管理／工藤亮裕  
放射線管理－測定器／小山修司  
討論室 原子力時代のパイオニア 武谷三男氏の死去に際して／富樫厚彦  
ニュース IRPA-10に参加して／有賀英司

国際放射線防護学会 第 10 回国際会議(IRPA-10)参加  
印象記／富樫厚彦

資料 密封小線源の紛失事例分析と防止対策／穴井重  
男

書評 「緊急被ばく医療の基礎知識」／西谷源展

## 第 12 号(2001.4.6 発行)

第 57 回総会学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「これからの放射線防護分科会」／栗井一夫

第 12 回放射線防護分科会要旨

テーマ「法令改正で貴方の施設は大丈夫ですか？」－  
これからでも間に合う現場対応－

基調講演要旨 医療施設の放射線防護関係法令改正の  
要点／菊地透

話題提供要旨 管理区域境界等における測定と評価方  
法について／山口和也

放射線診療従事者の被曝管理について／加藤英幸

診療用 X 線装置等の防護基準の測定について／水谷宏

第 28 回秋季学術大会防護関連座長印象記

放射線管理－被曝線量評価・QC／越田吉郎

放射線管理－乳房撮影／小山修司

放射線管理－法令改正・環境測定／鈴木昇一

資料 平成 12 年度公開シンポジウム 一般公衆から  
の質問と回答-1

医療法施行規則の一部を改正する省令新旧対比表

書評 「被ばく線量の測定・評価マニュアル 2000」と  
「放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル 2000」／  
山野豊次

## 第 13 号(2001.11.10 発行)

第 29 回秋季学術大会 放射線防護分科会特集

教育講演要旨「緊急被曝医療の展望」／青木芳朗

フレッシュャーズセミナー要旨 「低線量の健康影響」

／米井脩治

第 13 回放射線防護分科会要旨

テーマ「どうしてですか、あなたの施設の放射線管理  
－法令改正半年を経て－」

(1) 放射線従事者の管理／水谷宏

(2) 治療施設の管理／穴井重男

(3) 核医学施設の管理／山村浩太郎

(4) 医療現場の対応状況／加藤英幸

第 57 回総会学術大会防護関連座長印象記

放射線管理－教育・危機管理／石田有治

放射線管理－装置管理／吉村浩太郎

放射線管理－IVR 被曝／梅津芳幸

放射線管理－一般撮影、乳房／山口和也

放射線管理－測定器／熊谷道朝

放射線管理－測定評価／小山修司

放射線管理－CT 被曝／五十嵐隆元

放射線管理－被曝管理／千田浩一

学術大会印象記 「放射線安全管理の基礎・放射線管  
理フォーラム」／福田篤志

資料 IVR に伴う放射線皮膚傷害報告症例から放射線  
防護を考える／富樫厚彦

文献紹介 「塩化タリウムの放射線皮膚炎」／防護分  
科会

## 第 14 号(2002.4.4 発行)

第 58 回総会学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「医療現場の放射線安全管理は大丈夫か」／穴  
井重男

教育講演要旨 「IVR における皮膚傷害発生の現状と  
今後の展開」／西谷 弘

第 14 回放射線防護分科会要旨

テーマ「血管撮影領域における放射線皮膚傷害の現状  
と対策」

(1) 皮膚傷害事例とその治療にあたって／大和谷淑子

(2) 循環器科医の立場から／角辻 暁

(3) 被曝の現状と対策／水谷 宏

(4) 放射線防護の対応について／菊地 透

第 29 回秋季学術大会放射線防護管理関連演題後抄録

## 第 15 号(2002.10.17 発行)

第 30 回秋季学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「100mGy の意味するもの」／新井敏子

教育講演要旨 「女性の放射線被曝について」／大野  
和子

第 15 回放射線防護分科会要旨

テーマ「ICRP Publ.84－妊娠と医療放射線－を考える」

(1) ICRP Publ.84 の意図するもの／富樫厚彦

(2) 女性と放射線被曝：医療被曝／安友基勝

(3) 女性と放射線被曝：職業被曝／新井敏子

(4) 女性と放射線被曝：公衆被曝／穴井重男

第 13 回放射線防護分科会(第 29 回周期学術大会)抄録  
集

「どうしてですか、あなたの施設の放射線管理－法令  
改正半年を経て－」

放射線従事者の管理／水谷宏

治療施設の管理／穴井重男

医療現場の対応状況／加藤英幸

座長集約／鈴木昇一

第 59 回総会学術大会放射線防護管理関連演題発表後  
抄録

## 第 16 号(2003.4.11 発行)

第 59 回総会学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「放射線防護分科会の役割」／前越久

第 16 回放射線防護分科会要旨

テーマ「医療従事者への放射線防護教育」

(1) 放射線診療従事者への教育訓練／穴井重男

(2) 医療従事者への教育／富樫厚彦

(3) 技師養成期間における防護教育／鈴木昇一

(4) 患者さんへの対応／新井敏子

岩手高校生被曝事故に関する考察／加藤英幸／鈴木昇

一／富樫厚彦／西谷源展

ニュース 医療放射線防護連絡協議会第 16 回フォーラム印象記／磯辺智子

第 30 回秋季学術大会放射線防護管理関連演題後抄録

## 第 17 号(2003.10.10 発行)

第 31 回秋季学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「よろしくお願ひします」／塚本篤子

教育講演要旨 「医療被曝とその影響」／阿部由直

第 17 回放射線防護分科会要旨

「ディベート：胸部撮影における患者さんの防護衣は必要か」

(1)「必要の立場から」／相模 司

(2)「必要の立場から」／加藤英幸

(3)「不要の立場から」／松下淳一

(4)「不要の立場から」／輪嶋隆博

ニュース IVR に伴う放射線皮膚傷害の防止に関するガイドラインおよび IVR の患者の受ける線量測定マニュアル作成状況報告／放射線防護分科会

フォーラム印象記 第 17 回「医療放射線の完全使用研究会」フォーラム印象記／塚本篤子

第 59 回総会学術大会放射線防護管理関連演題発表後抄録

## 第 18 号(2004.4.9 発行)

第 60 回総会学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「医療放射線防護とリスクコミュニケーション」／松下淳一

第 18 回放射線防護分科会要旨

テーマ「IVR における患者皮膚障害防止」

(1)「IVR に伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドラインの趣旨」／菊地透

(2)「IVR における患者皮膚線量の測定マニュアルの概要」／水谷宏

(3)「心臓領域における IVR の現状」／石綿清雄

ニュース 国政免除レベル等の取り入れに伴う放射線同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（障害防止法）改正について－経緯と現況－／加藤英幸  
トピックス “医療”解剖学～インターネット情報から今の医療を考える～／三上麻里

印象記 “医療における放射線安全・防護についてのパネル討論会”／塚本篤子

放射線免疫学調査講演会「低線量放射線の健康影響」に参加して／加藤英幸

平成 15 年度市民公開シンポジウム（富山市）／伊藤祐典

平成 15 年度医療放射線安全管理講習会に参加して／小林正尚

文献紹介 X 線診断被ばくによる発がんのリスク：英国及び 14 カ国の推計／藤淵俊王

訃報 斉藤岩男氏を偲ぶ

第 31 回秋季学術大会放射線防護管理関連演題後抄録

## 第 19 号 (2004.10.21 発行)

第 32 回秋季学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「今どきの ICRP 報告書」／栗井一夫

第 19 回放射線防護分科会要旨

テーマ「医療における放射線防護関連法令の改正とその運用について」

(1)「加速器使用施設における対応」／松下淳一

(2)「密封線源使用における対応」／石井俊一

(3)「放射線廃棄物への対応」／青木功二

(4)「放射線完全管理規制の課題」／山口一郎

ニュース 分娩前の歯科 X 線撮影と出生時低体重児を読んで／宮田あきこ

資料 CT 検査における線量測定／鈴木昇一

第 60 回総会学術大会放射線防護管理関連演題発表後抄録

## 第 20 号 (2005.4.8 発行)

第 61 回総会学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「公衆と放射線」／三田創吾

第 20 回放射線防護分科会要旨

テーマ「X 線診断領域の被曝でがんは増えるのか」

(1)「放射線影響の立場から」／坂井一夫

(2)「放射線管理の立場から」／菊地透

(3)「放射線被曝に対する市民の不安」／中島久美子

資料 ICRP Publication 86「放射線治療患者に対する事故被曝の予防」の要約／松下淳一

第 32 回秋季学術大会放射線防護管理関連演題後抄録

## 第 21 号 (2005.10.20 発行)

第 33 回秋季学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「分科会長に就任して」／加藤英幸

第 21 回放射線防護分科会要旨

教育講演要旨「医療における Gy と Sv の考え方」／加藤和明

テーマ「医療現場での線量評価を考える」

(1)「胸部撮影における線量評価の現状」／船橋正夫

(2)「乳房撮影における線量評価の現状」／安友基勝

(3)「CTにおける線量評価の現状」／村松禎久

(4)「線量評価ガイドラインの提示」／菊池 透

トピックス放射線関係法令改正対応記／富樫厚彦

第 61 回総会学術大会放射線防護管理関連演題発表後抄録

## 第 22 号 (2006.4.7 発行)

第 62 回総会学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「放射線防護 雑感」／五十嵐隆元

第 22 回放射線防護分科会要旨

教育講演要旨「医療放射線防護と最近の ICRP の動向」／米倉義晴

テーマ「PET 検査における放射線被ばくを考える」

(1)「PET 検査室における被ばく」／五十嵐隆元

(2)「被検者の被ばく線量評価」／赤羽恵一

(3)「法整備の現状と問題点」／渡辺 浩  
トピックス「ICRPの新体制と新勧告の動き」／菊地透  
平成17年度市民公開シンポジウム印象記／小林剛  
第33回秋季学術大会放射線防護管理関連演題後抄録

### 第23号(2006.10.19発行)

第34回秋季学術大会 放射線防護分科会特集  
巻頭言「アララ!小惑星と電離性放射線」／富樫厚彦  
第23回放射線防護分科会要旨  
教育講演要旨「医療をとりまく放射線災害の現状と課題」／高田 純  
テーマ「もしも放射線災害が起きたら…」  
(1)「緊急被ばく医療の実際」／神 裕  
(2)「緊急被ばく医療の病院における放射線管理の実際」／武田浩光  
(3)「医療用放射線源のセキュリティ対策の課題」  
／菊地透  
合同分科会シンポジウム「マンモグラフィの精度管理について」  
学術交流委員会報告プレリリース  
第62回総会学術大会放射線防護管理関連演題発表後抄録

### 第24号(2007.4.13発行)

第63回総会学術大会 放射線防護分科会特集  
巻頭言「防護計測の愚痴、自戒」／鈴木昇一  
第24回放射線防護分科会要旨  
教育講演要旨「放射線安全とヒューマンファクター」／石橋 明  
テーマ「放射線安全教育の現状と課題」  
(1)「学生教育では」／福士政弘  
(2)「医療従事者に対して」／中里 久  
(3)「一般公衆に対して」／西田由博  
技術活用セミナー1「医療被ばくの説明とリスク仮説—LNT仮説を中心に—」／輪嶋隆博  
モーニングセミナー「患者さんの不安に答えた経験から言えること」／大野和子  
「医療被曝相談—この事例にあなたはどうか答えませんか—」／五十嵐隆元  
第23回防護分科会後抄録  
テーマ「もしも放射線災害が起きたら…」  
(1)「緊急被ばく医療の実際」／神 裕  
(2)「緊急被ばく医療の病院における放射線管理の実際」／武田浩光  
(3)「医療用放射線源のセキュリティ対策の課題」  
／菊地透  
トピックス「ICRP-2007新勧告案についての私見」  
／富樫厚彦  
印象記 第3回お茶の水アカデミアシンポジウム「医療被ばくを考える」に参加して／三反崎宏美  
第34回秋季学術大会放射線防護管理関連演題発表後抄録

### 第25号(2007.10.26発行)

第35回秋季学術大会 放射線防護分科会特集  
巻頭言「手と放射線」／水谷 宏  
第25回放射線防護分科会要旨  
教育講演要旨「医療従事者における外部被曝の現状と課題」—個人被曝線量測定サービス機関のデータから／石山 智  
テーマ「手指の被曝を考える」  
(1)「放射線診療従事者の手指被曝の実態調査(アンケート報告)」／塚本篤子  
(2)「Vascular(血管系)IVRでは」／坂本 肇  
(3)「Vascular(血管系)IVRでは」／藤淵俊王  
(4)「CT撮影では」／小林正尚  
合同分科会(画像・放射線撮影・計測・放射線防護・医療情報)シンポジウム  
「X線CT撮影における標準化—GuLACTIC 2007—胸部疾患(びまん性疾患および肺がん)のガイドライン作成にあたって—」  
(1)GuLACTIC 2007 肺がんのガイドラインについて  
／萩原 芳広  
(2)CT画像の画質特性と臨床適応／市川勝弘  
(3)造影理論と臨床応用／山口 功  
(4)CTの線量特性と被曝線量／小山修司  
(5)CT検査の放射線防護の考え方とその評価方法／加藤英幸  
(6)データ保存と画像配信／山本勇一郎  
第24回防護分科会後抄録 パネルディスカッション  
テーマ「放射線安全教育の安全と課題」  
「一般公衆に対して」／西田由博  
印象記 第24回放射線防護分科会「放射線安全教育の安全と課題」を拝聴して／松崎正弘  
第63回総会学術大会放射線防護管理関連演題発表後抄録

### 第26号(2008.4.4発行)

第64回総会学術大会 放射線防護分科会特集  
巻頭言「本年は放射線防護における変革の年となるのか」／広藤 喜章  
第26回放射線防護分科会要旨  
教育講演要旨「医療放射線における放射線防護の最新動向—ICRP新勧告とIAEA国際基本安全基準について—」  
／米原 英典  
テーマ「放射線防護の観点からのデジタル画像」  
(1)ICRP Publ.93(デジタルラジオロジーにおける患者線量の管理)の概要と課題／富樫 厚彦  
(2)医療現場におけるデジタル画像の現状—学術調査研究班調査研究の中間報告から—／鈴木 昇一  
(3)デジタル撮影における放射線防護／小林 剛  
(4)デジタル撮影における画像評価／西原 貞光  
モーニングセミナー「医療放射線防護の常識・非常識—私たちが伝えたかったこと—」／大野和子・栗井一夫

技術活用セミナー「循環器診療における放射線被ばくに関するガイドライン」-技術学会の果たした役割-／栗井 一夫  
第 35 回秋季学術大会放射線防護管理関連演題発表後抄録  
市民公開シンポジウムのお知らせ

## 第 27 号 (2008.10.23 発行)

第 36 回秋季学術大会 放射線防護分科会特集  
巻頭言「科学技術の発達と融合」／藤淵 俊王  
第 27 回放射線防護分科会要旨  
教育講演要旨「医療被曝の国際動向と課題」／菊地 透  
テーマ「患者以外の医療被曝を考える」  
(1)患者以外の医療被曝の住み分け／富樫厚彦  
(2)ボランティア被曝の現状／小寺吉衛  
(3)介護被曝の現状／祖父江由紀子  
部会・分科会合同シンポジウム  
テーマ：「X線診断領域におけるデジタル化と被曝防護を考える」  
(1)X 線診断領域での被曝と防護の考え方／加藤英幸  
(2)我が国での診断領域の患者被曝の現状—X線診断時に患者が受ける線量の調査研究より—  
1. 調査概要／近藤裕二  
2. 一般撮影での傾向／能登公也  
3. マンモ、CTでの傾向／小林謙一  
(3)個人線量計を用いたX線装置の出力測定調査について／塚本篤子  
分科会合同シンポジウム  
テーマ「救急検査のクオリティを考える—救急専門技師に求められるもの—」

(1)救急撮影の基礎（一般撮影）／渡辺啓司  
(2)救急診療におけるCT撮影の在り方／山本浩司  
(3)救急診療におけるMR撮影の在り方／松村善雄  
(4)救急診療における放射線防護の在り方／五十嵐隆元  
(5)救急診療における医療情報の活用／原瀬正敏  
第 26 回防護分科会後抄録  
学術調査研究班調査研究の中間報告から／鈴木昇一  
デジタル撮影における放射線防護／小林 剛  
デジタル撮影における画像評価／西原貞光  
第 64 回総会学術大会放射線防護管理関連演題発表後抄録

## 第 28 号 (2009.4.17 発行)

第 65 回総会学術大会 放射線防護分科会特集  
巻頭言「放射線安全管理と不景気」／鈴木 昇一  
第 28 回放射線防護分科会要旨  
教育講演要旨「胎児、小児期被ばくによる発がん影響」／島田 義也  
テーマ「小児の医療被曝を考える」  
(1)小児放射線検査の現状／宮崎 治  
(2)小児放射線検査の現状調査報告／田邊 智晴  
(3)小児医療被曝の捉え方／五十嵐隆元

フレッシュセミナー  
「放射線防護のいろは」-患者の線量管理-  
／小林 剛  
「放射線防護のいろは」-従事者の線量管理-  
／藤淵 俊王  
技術活用セミナー

「医療用線源のセキュリティ管理」／富樫 厚彦  
「ICRP Publ.102 の概要と課題」／鈴木 昇一

第 36 回秋季学術大会放射線防護管理関連演題発表後抄録

## 第 29 号 (2009.10.22 発行)

第 37 回秋季学術大会 放射線防護分科会特集  
巻頭言「実効線量に関する問題点」／松原 孝祐  
第 29 回放射線防護分科会要旨  
教育講演要旨  
「日本人ボクセルファントムの開発と線量評価について」／斎藤 公明  
ST 講座要旨  
「被ばくによる発がん影響について」／島田 義也  
テーマ「我が国の診断参考レベル (DRL) を考える」  
(1) DRLとは？／五十嵐隆元  
(2) 各モダリティのDRLについて／鈴木 昇一  
(3) 放射線診療における線量低減目標値／笹川 泰弘  
(4) 国際動向について／大場 久照  
第 65 回総会学術大会放射線防護管理関連演題発表後抄録  
市民公開シンポジウムのお知らせ

## 第 30 号 (2010.4.8 発行)

第 66 回総会学術大会 放射線防護分科会特集  
巻頭言「クリアランス制度の法整備と本学会の貢献」／渡辺 浩  
第 30 回放射線防護分科会要旨  
教育講演要旨  
「放射線防護における最近の国際動向」／細野 眞  
ST 講座要旨  
「実効線量を理解しよう」／五十嵐 隆元  
入門講座要旨  
「医療従事者の被ばく管理と低減対策」／藤淵 俊王  
技術活用セミナー  
「放射線防護の国際的な動向」／米原 英典  
テーマ「オールジャパンで考える小児医療」  
(1) オールジャパンとしてどう取り組むか？／赤羽 恵一  
(2) 小児被曝把握の必要性／宮崎 治  
(3) 小児医療被曝の現状と評価／松原 孝祐  
(4) 小児CT撮影のプロトコルを考える／大橋 一也  
第 37 回秋季学術大会放射線防護管理関連演題発表後抄録  
防護分科会誌インデックス



### 第 31 号 (2010.10.14 発行)

第 38 回秋季学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「猛暑日…熱帯夜…太陽からのエネルギー」  
／広藤 喜章

第 31 回放射線防護分科会要旨

教育講演要旨

「研究の倫理を考える」／栗原 千絵子

テーマ「放射線研究の倫理を考える」

(1) ICRPにおける倫理の考え方／赤羽 恵一

(2) 各施設での倫理委員会の現状 —調査報告—

／広藤 喜章

(3) 技術学会編集委員会の現状と事例／土井 司

(4) 放射線技術学分野における研究倫理とその実情／

磯辺 智範

WORLD MEDICAL ASSOCIATION [訳] (

専門講座要旨

「放射線施設の管理と設計」／渡辺 浩

入門講座要旨

「よくわかる関係法令」／笹沼 和智

技術活用セミナー

「放射線防護の国際的な動向」／米原 英典

第 66 回総会学術大会放射線防護管理関連演題発表後  
抄録

防護分科会誌インデックス

### 第 32 号 (2011.4.8 発行)

第 67 回総会学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「オールジャパンでの放射線防護分科会の役  
割」／鈴木昇一

入門講座要旨

「医療法施行規則を理解しよう！」／大場久照

技術活用セミナー

「CT 検査で患者が受ける線量」／鈴木昇一

第 32 回放射線防護分科会要旨

教育講演要旨

「医療被ばく管理の国際的な動向」／赤羽 恵一

テーマ「救急患者の撮影における防護と問題」

(1) 救急専門医が必要とする画像／船曳知弘

(2) 救急撮影認定技師とは／坂下恵治

(3) 救急撮影における放射線防護／五十嵐隆元

(4) 救急撮影で患者、術者等の受ける線量／松原孝祐

専門講座要旨

「疫学データから学ぶ放射線誘発がん」／吉永 信治

専門講座要旨

「ICRP について学ぼう」／山口和也

38 回秋季学術大会放射線防護管理関連演題発表後  
抄録

防護分科会誌インデックス

### 第 33 号 (2011.10.28 発行)

第 39 回秋季学術大会 放射線防護分科会特集

巻頭言「就任の挨拶」／五十嵐 隆元

入門講座要旨「放射線装備機器および放射線発生装  
置の安全取扱い」／磯辺 智範

専門講座要旨「放射線災害時の防護」／武田 浩光

第 33 回放射線防護分科会要旨

教育講演要旨

「福島原発事故における内部被ばくを考える」／下  
道國

テーマ「放射線防護に関連した数値を考える」

(1) 規制値の経緯とその考え方／広藤 喜章

(2) リスクについて／島田 義也

(3) 医療における放射線防護の考え方／松原 孝祐

入門講座要旨「X 線管理学 (X 線の管理・防護・  
測定)」／坂本 肇

専門分科会合同シンポジウム要旨

「デジタル画像を再考する —検像について—」

(1) 単純 X 線撮影領域における検像について／川本  
清澄

(2) 画像情報の確定に関するガイドラインからみた検  
像／坂本 博

(3) 検像における画像品質の確保について／陳 徳  
峰

(4) 核医学領域における検像システムの役割／對間  
博之

(5) 検像における線量指標の活用／有賀 英司

防護分科会関連行事参加報告

防護分科会誌インデックス

### 第 34 号 (2012.4.12 発行)

巻頭言「放射線防護対策チームの結成」／磯辺 智範

専門講座要旨「疫学データから学ぶ放射線誘発がん」

／吉永 信治

技術活用セミナー 要旨「被曝説明の核心に迫る」

／松原 孝祐

入門講座要旨「医療法施行規則を理解しよう」

／浅沼 治

第 34 回放射線防護分科会要旨

教育講演

「原発事故と医療放射線 ～放射線のリスクコミュ  
ニケーションの課題～」／神田 玲子

テーマ:「福島原発事故後の医療におけるリスクコミュ  
ニケーション」

(1) 福島での市民とのやりとりを通じて

／加藤 貴弘

(2) 医療現場におけるリスクコミュニケーション

／竹井 泰孝

(3) マスメディアから見たリスクコミュニケーション

／田村 良彦

専門講座要旨

「ICRP を学ぼう」／山口 和也

第 39 回秋季学術大会放射線防護管理関連演題発表後  
抄録

防護分科会誌インデックス

### 第 35 号 (2012.10.4 発行)

巻頭言「掛け値のない放射線知識を市民へ」

／丹治 一

専門講座要旨「診療放射線技師の役割と義務」

／塚本 篤子

入門講座要旨「放射線影響論」

／竹井 泰孝

専門分科会合同シンポジウム要旨

テーマ：「CT 検査における線量低減技術」

1. 撮影：CT における被ばく低減技術のソリューション／村松 禎久

2. 画像：線量低減技術と画質への影響

／市川 勝弘

3. 計測：線量低減技術の線量測定の注意点

／庄司 友和

4. 防護：線量低減技術による臓器線量からみたリスク評価／広藤 喜章

5. 核医学：SPECT/CT 装置における被ばく線量（X 線）の評価／原 成広

6. 医療情報：線量低減技術と医療情報／栃原 秀一

第 35 回放射線防護分科会要旨

教育講演

「CRP2007 年勧告について ー第 2 専門委員会の取り組みー」／石樽 信人

テーマ：「医療における非がん影響を考える」

(1) ICRP1990 年勧告からの変更点と今後 ー医療被ばくに関してー／赤羽 恵一

(2) 原爆被爆者における放射線と非がん疾患死亡との関連／小笹晃太郎

(3) 頭部 IVR による医師と患者の水晶体被ばく／盛武 敬

(4) 医療従事者の被ばく状況について／大口 裕之  
市民公開講座参加報告

第 68 回総合学術大会放射線防護・管理関連演題発表後抄録

防護分科会誌インデックス

### 第 36 号 (2013.4.11 発行)

巻頭言「福島復興と高橋信次先生」／島田 義也

入門講座要旨「妊娠と放射線」／島田 義也

専門講座要旨「国際機関の取り組みと国際的動向」

／赤羽 恵一

第 36 回放射線防護分科会要旨

教育講演

「海外における医療放射線管理の動向について」

概要および診断装置の立場から／伊藤 友洋

管理システムの立場から／鈴木 真人

テーマ：「線量管理はできるのか？できないのか？」

(1) 精中委施設画像評価における画質と線量の評価／西出 裕子

(2) Exposure Index の有効な使用法と当面の問題について／國友 博史

(3) CT の線量評価：現状と今後の展開／村松 禎久

(4) 血管撮影装置における線量管理／塚本 篤子

第 40 回秋季学術大会放射線防護・管理関連演題発表後抄録

防護分科会誌インデックス

### 第 37 号 (2013.10.17 発行)

巻頭言「みんなの力の結集を！！」／塚本 篤子

入門講座「放射線の人体への影響」／水谷 宏

専門講座「診断領域での患者線量評価と最適化」

／鈴木 昇一

第 37 回放射線防護分科会

教育講演

「国内外の医療施設における放射線防護教育事情」

／松原 孝祐

テーマ：「放射線防護における診療放射線技師の役割とは？」

1. 医療施設における放射線防護教育（医療従事者に対して）／磯辺 智範

2. 被ばく相談にどう向かい合うべきか（患者に対して）／竹井 泰孝

3. 養成施設における防護管理者としての技師教育（学生に対して）／佐藤 斉

4. 福島原発事故に対する診療放射線技師の役割（公衆に対して）／大葉 隆

専門分科会合同シンポジウム：「デジタル化時代の被ばく管理を考える」

1. 線量指標の取扱いと注意点／庄司 友和

2. 医療情報分野からの被ばく線量管理／栃原 秀一

3. 一般撮影領域における被ばくと Exposure Index (EI)／中前 光弘

4. 知っておきたい CT 検査領域における被ばく管理／野村 恵一

5. 核医学検査領域の被ばくとの関係／原 成広

6. 放射線被ばくリスク評価／広藤 喜章

世界の放射線防護関連論文紹介

1. 小児腹部 CT における診断参考レンジ／松原 孝祐

2. 小児から青年期 680,000 人による CT 検査のがんリスク：豪州 1,100 万人の研究データから

／土居 主尚

第 4 回放射線防護セミナー参加報告

／倉本 卓／石橋 徹／井上 真由美

砂屋敷忠先生を偲んで／西谷 源展

防護分科会誌インデックス

### 第 38 号 (2014.4.10 発行)

巻頭言「柔軟な発想とノーベル賞の素」／藤淵 俊王

専門講座 2 要旨「患者への放射線説明 診療放射線技師の役割」／石田 有治

第 38 回放射線防護分科会要旨

教育講演「放射線影響の疫学調査」／鎌石 和男

テーマ：「血管系および非血管系 IVR における術者の水晶体被ばくの現状と管理方法」

1. 従事者の水晶体被曝の現状と管理方法／大口 裕之

2. non-vascular IVR における現状と管理／森 泰成

### 3. vascular IVR における現状と管理／小林 寛

合同企画プログラム要旨

テーマ「医療被ばくの低減と正当化・最適化のバランス」

1. 小児 CT における正当化と最適化／宮寄 治
  2. CT 検査で患者さんが受ける線量の現状と低減化の状況／鈴木 昇一
  3. 低線量放射線の発がんリスクに関するエビデンス／島田 義也
  4. 放射線撮影：知っておきたい CT 検査領域における被ばく管理／赤羽 恵一
- 入門講座要旨「リスクコミュニケーションの考え方 -低線量長期被ばくを見据えて-」／広藤 喜章
- 専門講座要旨「放射線による人体への影響 -急性障害と晩発障害-」／松原 孝祐
- 世界の放射線防護関連論文紹介

1. Dose distribution for dental cone beam CT and its implication for defining a dose index／吉田 豊
  2. Establishment of scatter factors for use in shielding calculations and risk assessment for computed tomography facilities／藤淵 俊王
  3. Ultrasonography survey and thyroid cancer in the Fukushima Prefecture／広藤 喜章
- 防護分科会誌インデックス

## 第 39 号 (2014.4.10 発行)

巻頭言「放射線防護分科会が担うこととは」／加藤 英幸

専門分科会合同シンポジウム要旨「撮影技術の過去から未来への継承～画質と線量の標準化を目指して～」

1. 防護：診断参考レベル (DRLs) 策定のための考察／鈴木 昇一
2. 計測：患者線量の測定および評価／能登 公也
3. 画像：X 線画像における感度と画質／岸本 健治
4. 放射線撮影：画質を理解した撮影条件の決定／中前 光弘
5. 放射線撮影：X 線撮影装置と AEC の管理／三宅 博之
6. 医療情報：デジタル画像時代の検像と標準の活用／坂野 隆明
7. 教育：デジタル化時代における洞察力の必要性／磯辺 智範

学術委員会合同パネルディスカッション要旨「病院における非常時の対応～医療機器対策と緊急時対応～」

〔座長提言〕土井 司／佐藤 幸光

1. 撮影：撮影装置の対応と管理 (X 線 CT を含む)／柏樹 力
2. 撮影：MR 装置の対応と管理 (強磁性体、クエンチなど)／引地 健生
3. 核医学：核医学検査装置と非密封放射性物質・放

射化物の管理／山下 幸孝

4. 放射線治療：放射線治療装置の管理と患者の治療の継続／原 潤
  5. 医療情報：災害時のネットワーク管理 (自施設対応と地域連携)／坂本 博
  6. 放射線防護・計測：安全管理のための計測と再稼働のための確認／源 貴裕
  7. 医療安全対策小委員会：法的規制の立場からの注意点／小高 喜久雄
  8. JIRA：医療機器メーカーが提唱する緊急時対策～医用システムについて～／鈴木 真人
- 入門講座 3 要旨「内部被ばく線量評価と防護」／五十嵐 隆元

専門講座 3 要旨「従事者被ばくの概要と被ばく管理」／加藤 英幸

第 39 回放射線防護分科会【計測分科会 / 放射線防護分科会 / 医療被ばく評価関連情報小委員会 合同分科会】要旨

教育講演「医療放射線防護と診断参考レベル」

／五十嵐隆元

合同シンポジウム テーマ：「診断参考レベル (diagnostic reference level : DRL) を考える」

1. 装置表示線量値の持つ意味とその精度／小山 修司
  2. Dose-SR を利用した医療被ばく管理は出来るのか／奥田 保男
  3. 医療被ばく管理に対する日本医学放射線学会からの提言／石口 恒男
  4. 我が国の画像診断装置、医療情報システムにおける Dose-SR 対応の現状／佐藤 公彦
- 世界の放射線防護関連論文紹介

1. Estimation of mean glandular dose for contrast enhanced digital mammography: factors for use with the UK, European and IAEA breast dosimetry protocols.／五十嵐隆元

2. Reducing radiation exposure to patients from kV-CBCT imaging.／森 祐太郎

第 5 回放射線防護セミナー参加報告

横町 和志／田丸 隆行／甲谷 理温

防護分科会誌インデックス

## 第 40 号 (2015.4.16 発行)

巻頭言「日本の医療放射線防護」／赤羽 恵一

専門講座要旨「水晶体の線量限度引き下げの概要と今後の課題」／松原 孝祐

教育講演要旨「福島第一原子力発電所事故後の現状」／遊佐 烈

第 40 回放射線防護部会要旨

テーマ「知っておきたい中性子の知識 -基礎から応用まで-」

1. 中性子の特徴－物理学的観点から－／磯辺 智範
2. 中性子の人体への影響／米内 俊祐

3. 中性子の把握／黒澤 忠弘
4. 中性子の医学利用／佐藤 英介
5. 医療機関における中性子に関する法令／藤淵 俊王

入門講座要旨「診断参考レベル（DRLs）を理解しよう」／五十嵐 隆元

世界の放射線防護関連論文紹介

1. Secondary neutron doses received by pediatric patients during intracranial proton therapy treatments.／松本 真之介

2. Size-specific, scanner-independent organ dose estimates in contiguous axial and helical head CT examinations／松原 孝祐

3. Radiation Dose and Cataract Surgery Incidence in Atomic Bomb Survivors, 1986-200／広藤 喜章

第 42 回秋季学術大会後抄録 放射線防護分科会/計測分科会/医療被ばく評価関連情報小委員会 合同シンポジウム

・テーマ「診断参考レベル（diagnostic reference level : DRL）を考える」

1. 装置表示線量値の持つ意味とその精度／小山 修司

2. Dose-SR を利用した医療被ばく管理は出来るのか／奥田 保男

3. 医療被ばく管理に対する日本医学放射線学会からの提言／石口 恒男

4. 我が国の画像診断装置，医療情報システムにおける Dose-SR 対応の現状／佐藤 公彦

第 6 回放射線防護セミナーのご案内

防護分科会誌インデックス

#### 第 41 号（2015.10.8 発行）

巻頭言「放射線防護委員会&日本の診断参考レベル元年」／塚本 篤子

第 41 回放射線防護部会要旨（撮影部会，JIRA 共催）  
テーマ「CT 撮影における標準化と最適化～次のステップに向けた取り組み」

教育講演「医療被ばくの放射線防護～正当化および最適化の現状と課題～」／赤羽 恵一

パネルディスカッション「CT における線量最適化の現状と課題」

1. 「X 線 CT 撮影における標準化～GALACTIC～」の改訂／高木 卓

2. DRL 構築のための線量管理「装置から提供される情報」／山崎 敬之

3. DRL 構築のための線量管理「線量情報管理システム」／伊藤 幸雄

4. CT における診断参考レベルの設定について／西丸 英治

5. 小児 CT における撮影条件設定の考え方／坪倉 聡

6. 我が国の小児 CT で患児が受ける線量の実態／竹

井 泰孝

専門講座要旨「日本の診断参考レベルと活用方法」／五十嵐 隆元

入門講座要旨「放射線防護で扱う単位と用語の活用方法」／磯辺 智範

市民公開講座要旨

テーマ「放射線と食の安全 ～日本の食文化を守るために～」

1. ここがポイント！放射線と放射能 ～医療での利用を含めて～／塚本 篤子

2. 食品に含まれる放射性物質～内部被ばくと外部被ばくは違うの？～／広藤 喜章

3. 放射線と食品のリスク ～食の安全を確保するためには～／畝山智香子

世界の放射線防護関連論文紹介

1. Effect of staff training on radiation dose in pediatric CT／西丸 英治

2. Units related to radiation exposure and radioactivity in mass media: the Fukushima case study in Europe and Russia／大葉 隆

第 6 回放射線防護セミナー参加報告

高橋 伸光／角田 和也

防護分科会誌インデックス

#### 第 42 号（2016.4.16 発行）

巻頭言「放射線防護と画質の関係について」／西丸 英治

教育講演要旨「Worldwide Trend in Occupational Radiation Protection in Medicine」／Kwan-Hoong Ng

「The Current Status of Eye Lens Dose Measurement in Interventional Cardiology Personal in Thailand」／Anchali Krisanachind

第 42 回放射線防護部会要旨

テーマ「放射線診療従事者の不均等被ばくを考える」

1. 「1cm 線量当量の定義と意味」／広藤 喜章

2. 「一般撮影での不均等被ばく」／竹井 泰孝

3. 「血管造影・透視での不均等被ばく」／横山 須美

4. X 線 CT での不均等被ばく／宮島 隆一

専門講座要旨「原子力発電所事故における放射線防護」／長谷川 有史

入門講座要旨「CT 検査の被ばくを考える」／西丸 英治

第 7 回放射線防護セミナーを受講して

関口 美雪／廣澤 文香

防護分科会誌インデックス

# 日本放射線技術学会放射線防護部会内規

## 1. 目的

この内規は、専門部会設置規定第1条ならびに専門部会規約第4条に基づき、放射線防護部会の事業を円滑に運営するための細部について定める。

## 2. 適用範囲

この内規は、定款ならびに専門部会設置規定および専門部会規約に定めるもののほか、放射線防護部会ならびに必要により放射線防護部会内に設置された分科会あるいは班の業務遂行にかかわる必要事項について適用する。

## 3. 放射線防護部会の編成と運営の基本

放射線防護部会はもとより、分科会ならびに班の構成、業務運営にかかわるすべては、放射線防護部会長の所管とし責任とする。

## 4. 放射線防護部会委員の構成および任期

- (1) 放射線防護部会の委員構成は、部会長、部会委員、分科会長、班長（分科会、班が設置された場合のみ）とする。
- (2) 放射線防護部会の委員構成には、放射線防護部会が対象とする調査・研究分野に関して、十分な専門知識と研究経験を持つものを含めることとする。
- (3) 分科会の委員ならびに班の班員の構成は、分科会、班の実務内容への対応を考慮した構成を原則とし、経済性を含め必要最低限とする。
- (4) 分科会長ならびに班長は、部会長が任命する。
- (5) 分科会の委員ならびに班の班員の選任は、分科会長、班長の推薦を得て部会長が行う。
- (6) 部会委員および分科会委員の任期は2年とし、再任を妨げない。
- (7) 班員の任期は1年で、再任を妨げない。

## 5. 放射線防護部会の業務

- (1) 放射線防護、放射線安全管理、リスクコミュニケーション等に関する調査・研究の促進。
- (2) 総会および秋季学術大会における放射線防護部会の開催。
- (3) 総会および秋季学術大会における教育講演・シンポジウム・教育のための講座・講習会等の講師の推薦。
- (4) 放射線防護に関連した、研究支援や臨床応用を目的としたセミナーの開催。
- (5) 地方支部主催の講演会、研修会、セミナー等への支援。
- (6) 理事会承認による各委員会からの要請事項の遂行。
- (7) その他、放射線防護部会が担務すべき事項。

## 6. 放射線防護部会の業務運営

放射線防護部会の委員会は、部会業務に合わせて必要回数とし、部会長はそれを事業計画に盛り込む。

## 付 則

1. この内規は、運営企画会議の議決により改訂することができる。
2. この内規は、平成27年度事業より適用する。

早いもので今年も後 2 ヶ月程になってしまいました。今年を振り返ると自分自身何をしたか、何ができたが自問自答しながら年末を迎える時期です。皆様は何かを達成する事が出来たでしょうか？編集作業をしながら来年こそは！と早めの反省をしております。

さて、本年度放射線防護部会は、計測部会と合同で「第 1 回診断参考レベル活用セミナー」を北海道で開催いたしました。このセミナーは Diagnostic Reference Levels: DRLs の理解と実際に装置の線量測定を行う実践を兼ね備えたセミナーとなっております。装置の線量測定をしたことがない、仕方が分からない、難しそうだし、と思っている皆様には最高の内容となっております。次回開催は、11 月 27 日(日)に私の地元広島で開催いたします。既に参加募集も始まっておりますので皆様のご参加をお待ちしております。広島には観光も一つの楽しみとしていただきたいと思います。11 月にはアメリカ大統領のオバマ氏が作成した折鶴が原爆資料館に戻ってくるかもしれません

し(10 月 1 日よりシカゴで開催されるヒロシマ・ナガサキ原爆展に出張中です)、先月には平和公園・原爆ドーム、世界遺産を眼下に望むことができるおりづるタワーが完成しました。地元でも原爆ドームを上方から見る事が出来るのは初めての事ではないかと思います。また、お好み焼き、広島つけめんなど B 級グルメも揃っています。是非、観光そして勉強のため広島においでください。

第 44 回日本放射線技術学会秋季学術大会では、日常診療に有用な放射線防護の知識をテーマとして、教育講演とパネルディスカッションが行われる予定です。教育講演では疫学データの解釈について基礎的なレクチャーもあります。研究者には大変ためになる内容です。多数のご参加を受付にてお待ちしております。

放射線防護部会委員 西丸 英治  
(広島大学病院 診療支援部)

### 放射線防護部会誌 第 43 号

発行日：2016 年 10 月 13 日

発行人：公益社団法人 日本放射線技術学会 放射線防護部会  
部会長 塚本 篤子

発行所：公益社団法人 日本放射線技術学会

〒600-8107 京都市下京区五条通新町東入東屋町 167

ビューフォート五条烏丸 3F

TEL 075-354-8989

FAX 075-352-2556

**日本放射線技術学会  
放射線防護部会入会申込書**

支部名	支部	技術学会会員番号	
フリガナ 氏 名			
性別・生年月日	男・女	大 ・ 昭	年 月 日
所属・機関名			
所在地	〒		
自宅の場合は住所 (任意)	〒		
電話番号 (任意)	(                      )                      ー		
メールアドレス (携帯不可)			
専門分野	放射線防護に関する得意とする分野を学会研究区分コード 番号で御記入下さい。		
※事務所記入欄 (会費受付)			



公益社団法人 日本放射線技術学会 放射線防護部会委員（50 音順）

部 会 長	つかもと あつこ 塚本 篤子	NTT 東日本関東病院 放射線部 tukamoto@kmc.mhc.east.ntt.co.jp
委 員	いがらし たかゆき 五十嵐 隆元	総合病院国保旭中央病院 診療技術部放射線科 igarashi@hospital.asahi.chiba.jp
	いそべ とものり 磯辺 智範	筑波大学大学院 人間総合科学研究科 tiso@md.tsukuba.ac.jp
	たけい やすたか 竹井 泰孝	浜松医科大学医学部附属病院 放射線部 ytakei-ham@umin.net
	ちだ こういち 千田 浩一	東北大学大学院 医学系研究科 chida@med.tohoku.ac.jp
	にしまる えいじ 西丸 英治	広島大学病院 診療支援部 eiji2403@tk9.so-net.ne.jp
	ひろふじ よしあき 広藤 喜章	セントメディカル・アソシエイツ LLC hirofuji@cma-llc.co.jp
	ふじぶち としおう 藤淵 俊王	九州大学大学院 医学研究院保健学部門 fujibuch@hs.med.kyushu-u.ac.jp
	まつばら こうすけ 松原 孝祐	金沢大学 医薬保健研究域保健学系 matsuk@mhs.mp.kanazawa-u.ac.jp

放射線防護部会オリジナルホームページ

<http://www.jsrtrps.umin.jp/>

（日本放射線技術学会 HP の専門部会からでもご覧いただけます）