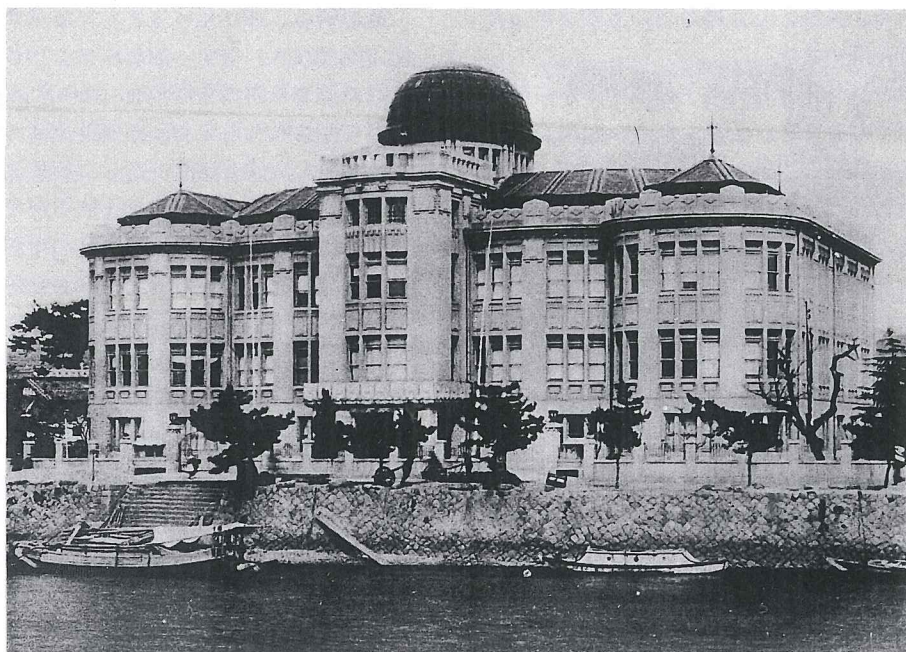


## CONTENTS

1. 原爆放射線の健康への影響：60年目の真実
2. 放射線安全関係法令の改定ポイント ー 貴方の施設での現場対応を中心にー
3. 原爆ドームの残留放射能
4. 編集後記



旧広島県産業奨励館（被爆前の原爆ドーム）：写真提供 広島平和記念資料館



Japan Radioisotope Association

社団法人 日本アイソトープ協会

## 原爆放射線の健康への影響：60年目の真実

(財)放射線影響研究所 遺伝学部

中村 典

はじめに

私は戦後の広島で子供時代をすごしました。広島という土地と関係があると思われる経験のひとつは、母が夏には白いシャツしか着せてくれなかったことです。それは、色のついたシャツは原爆の熱線を吸収しやすいので皮膚にやけどを生じることが知られていたからです。広島原爆資料館には、ゆかたの模様がやけどになった人の写真があります。当時は米ソ冷戦の時代でしたから、漠然とした戦争への不安があったのだらうと思います。

今年、1945年8月の原子爆弾投下から数えて60年目になります。予期しなかった出会いから私は放射線研究の道に入ったのですが、原爆をもっと知りたいという気持ちがあったのかも知れません。そして原爆の影響を調査する研究所に来て20年が経ちました。

本稿では、原爆被爆者における調査結果の概要をお伝えしようと思います。原爆被爆者調査は過去の解明という面だけでなく、私たちの現在と未来にも関わりがあります。それは、国際放射線防護委員会(ICRP)などによる放射線取扱者の被ばく限度の設定に当たって欠くべからざる情報となっているからです。紙面の都合がありますので、もっと詳しくお知りになりたい方はホームページをご覧ください(<http://terf.or.jp>)。

### 原爆の概要

広島原爆はウラン型でTNT火薬に換算して16kt、長崎原爆はプルトニウム型で21ktと推定されています。エネルギーの50%は爆風(約4~5kmまで)、35%は熱線(約3.5~4kmま

で)、そして15%が放射線(約2.5kmまで)として放出されたと考えられています。放出された放射線は主としてガンマ線で、数%の中性子線を含んでいます。爆発は高度約600mで起こったので地面との接触はなく、直後に巨大な火の玉が出来て上昇したため放射性物質による地上汚染は最小限に抑えられました。

### 放射線影響研究所(放影研)の紹介

放影研は、1975年に生まれた日米共同の研究(財団法人)です。放影研は、1947年に設立された原爆傷害調査委員会(ABCC)を引き継ぐ形で生まれたもので、原爆被爆者の疫学調査を主体とした調査研究を行っています。ABCCは本来日本政府が組織すべき研究所であったと思いますが、戦後の貧困と混乱の時期にあって政府には残念ながらそうした余力はありませんでした。

### 放影研における調査集団

放影研における調査集団とその開始時の被爆者数を表1に記します。「寿命調査」は、死亡原因を調査して特定の疾患による死亡が増加しているかどうかを調べるものです。「成人健康調査」は、一部の被爆者についての健康調査です。直接死亡に結びつかない疾病の確認にもなりますし、少量の血液を提供していただいで研究室での調査にも使わせてもらっています(例えば、血液リンパ球における染色体異常頻度を調べて被ばく線量の推定に役立てる)。すでに被爆後半世紀以上が経過したので、現在では約半数の方が追跡調査の対象です。

表1 放影研における調査課題と調査開始時の対象者数

調査課題	対象者数	実施年
寿命調査	120,000	1958～現在
成人健康調査	20,000	1958～現在
遺伝学的調査		
死亡率調査	77,000	1960～現在
染色体異常調査	33,000	1967～1985
血液たんぱく質調査	45,000	1975～1986
DNA調査	1,500	1995～現在
臨床健康調査	10,000	2000～現在

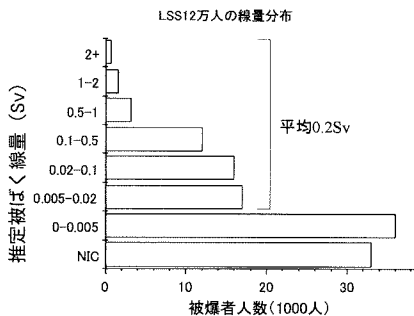
### 被ばく線量の推定

原爆被爆者の疫学調査結果を解析するためには個人被ばく線量が必要です。これは1950年代に行われた個人面接記録に基づく被爆場所と家屋の情報、ネバダ核実験場における日本家屋構築と放射線の家屋透過係数の測定など多岐にわたる情報に基づいてコンピューター計算により求められています。

### 寿命調査集団の個人線量分布

爆心地に近い所で被爆した人の多くは、爆風による家屋崩壊、火災、放射線被ばくにより亡くなっています。他方、被爆距離が遠くなるほど生存率は高くなっています。従って、原爆被爆者の疫学調査というと「高線量における影響調査」という印象がありますが、実は「低線量における影響調査」としても他に例のない大規模調査です。個人線量の分布を図1に示します。

図1 放影研における寿命調査集団の個人線量分布。  
NICは原爆時に広島、長崎に不在であった人。



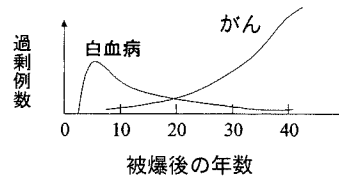
### 疫学情報の収集

疫学調査に必要なのは、生死の情報（戸籍）、もし死亡の場合は死因の情報（死亡票）、死亡票にある死因の確かさに関する情報（剖検：しかし現在ではほとんど行われていない）、がんの罹患情報（腫瘍登録制度）、死亡以外の疾病情報の収集（健康調査）などです。多くの人の共同作業が必要です。

### がん増加の経時的パターン

図2にこれまでの結果を模式的に示しました。白血病発生は被爆後10年以内にピークを迎え、その後は継続して低下しています。現在ではバックグランドの頻度に近くなっています。他方、固形がんは何十年も遅れてその過剰が明らかになったという違いがあります。

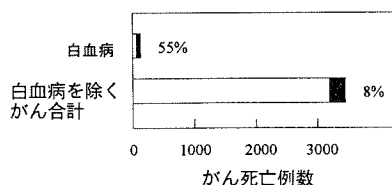
図2 放射線被ばくによる過剰な白血病あるいはがんの出現様式



### 放射線の寄与率

2.5km以内の被爆、被ばく線量5mSv以上の被爆者に限定した場合、放射線の寄与率（放射線被ばくに起因すると思われるものの割合）は白血病約50%、がんは10%未満という違いがあります（図3）。しかし白血病はバックグランドの頻度が低いので、患者の絶対数としては少なく、他方、がんの場合は放射線被ばくによる寄与の割合は小さくても、バックグランドの頻度が高いので、患者の過剰絶対数としては白血病よりもはるかに多くなります。

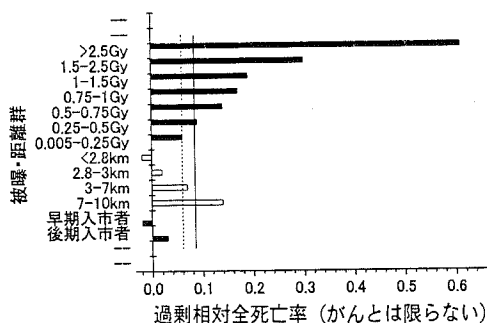
図3 放射線被ばくにより生じたと考えられる白血病あるいはがんによる死亡の割合



少ない線量の影響評価には対照群の選択が重要

例えばがんの全国統計を見ると、県によって最大±20%くらいの差があります。疫学調査で大切なことのひとつは内部対照群の選択です。放影研における調査では、もっぱら被ばく線量が0.005Gy未満の2.8~3km群を市内生活者という意味で対照群として用いています。図4は、この2.8~3km群の平均死亡率を1（過剰相対死亡率を0）とした場合の結果を示したものです。この図から、もしも3~10km群（過剰相対死亡率が0.085の縦実線）を対照群として用いると、0.005~0.25Gyの被ばくにより死亡リスクが減少するのように見えるのが分かります。過剰相対死亡率が0.06の縦の点線は、0.005Gy未満の10km以内被爆者全員の平均値です。

図4 放射線被ばくによる影響（ここでは全死亡率）。対照群の選び方によっては異なった解釈になる可能性を示す。



疫学情報をどう理解するか？

放射線被ばくの影響は、リスクの増加という概念で表されます。リスクは大別して2種類に分けられます。ひとつは「相対リスク」と呼ば

れるもので、同じ年齢と性の被ばくしていない人のリスクを1とした場合のリスクです（「何倍」という表現がなされます）。「過剰」相対リスクとは、相対リスクから1を引いたものです。もうひとつのリスクは「絶対リスク」と呼ばれるもので、これは観察期間中に集団に発生した例数を表します（例えば「10万人・年・グレイ」当たりといった表現）。放射線によるがん死亡の過剰絶対リスクは男女でほとんど違いはありませんが、他方で自然のがんは男性の方が約2倍高いので、過剰相対リスクで見ると女性の方がリスクは約2倍高いというややこしい事になります（表2）。

被爆時の年齢によっても影響が異なります。若年で被爆した場合のほうが相対リスクは高いのですが、幸いにもこのリスクは被爆後の年数（到達年齢）が増えるにつれて低下してきています。被爆時の年齢が20歳未満の人は80%以上生存中なので今後も追跡調査が大切です（表2）。

表2 1 Gy被ばくの場合におけるがん死亡の過剰相対リスク。性別、被爆時年齢の違いによる差を示す。

被爆時年齢	過剰相対リスク	
	男性	女性
10 歳	0.6	1.3
30 歳	0.4	0.8
50 歳	0.3	0.4

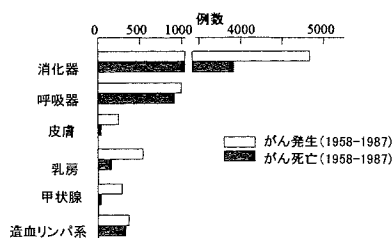
がん死亡の部位別相対リスク

全被爆者についての1グレイ当たりの平均相対リスクは、固形がんでは約1.6、それに対して白血病では約5です。固形がんを部位別に見ると、部位による差があるようには見えません。しかし部位によらず一定という結論には至っていません（部位別に分けると症例数が減るので統計力が低下するため）。

## がん発生とがん死亡の比較

当然の事ながら、絶対リスクではがん発生のほうががん死亡よりも高くなります。治癒率の高いがんは皮膚がん、乳がん、子宮がん、甲状腺がんなどです。しかし相対リスクでは、がん死亡と発生との間に差はありません。放射線によって生じたがんは悪性度が強く治癒率が低いという事実はありません。

図5 がん発症とがん死亡の比較



## がん死亡リスクの線量効果反応

従来から白血病は2次関数的、固形がんは閾値なしの直線でした。しかし、最近ではがんの線量効果関係も2次関数的（ただし若年被曝者で）に変化してきたようです（理由は不明）。

原爆被曝者の場合は急性被ばくですから、ここで得られた線量効果関係を職業被ばく（長期慢性被ばく）にあてはめるには仮定が必要になります（線量率効果係数を2とか3に仮定）。世界には長期慢性被ばくの集団が存在するので、将来はこの係数が実証されるかも知れません（しかし慢性被ばくは被ばく線量の推定が困難な場合が多い）。

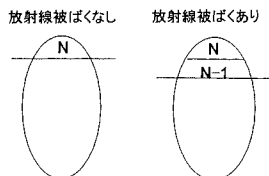
## 放射線発がんの考え方

多くの分子生物学的知見は、がんは遺伝子の病気であり、いくつもの遺伝子に異常を生じる必要があることを示しています。従って、もしも私たちの体にある細胞ががんか正常のどちらか（白か黒か）でしかないならば、放射線によるがんリスクの増加は、放射線が正常細胞にN個の突然変異を生じた結果と考えられます。も

しこの考えが正しければ、放射線はどのがんでも作れることとなります。そして、線量効果関係は線量に対して大きく上に向かって曲がった（N乗に近い）カーブになるでしょう。しかし実際は、放射線発がんの特徴は自然に生じている色々ながんの頻度をほぼ一律に上昇させることであって、自然にはまれにしか生じないようながんを沢山作るようなことはありません。従って、ここではもっと現実的な考えとして、体細胞は白か黒かではなくて、灰色の細胞（すでいくつかのがん化へのステップを経たので正常ではないが、さりとてまだがんでもない）があると仮定することです。例えばもし80歳でがんが見つかったら、60歳の時にすでがんの少し手前の段階にある細胞群が存在していた可能性は高いと思います。従って、放射線はこうしたがんの多段階ステップのひとつに寄与して、段階を一步先に進める役割をすると考えるのが妥当だと思います。この考えは、放射線は自然に生じている色々な臓器のがんの頻度をほぼ一律に上昇させること、そして放射線被ばくによってしか生じないようながんは存在しない事実と合致します。

私が以前から考えていた氷山モデルを図6に示します。ここでは、N個の突然変異により細胞ががんになるとします。放射線は、もし被ばくがなければがんにならないで済んだはずの、N-1個の変異細胞（前がん細胞）を持っていながらがん以外の原因で亡くなった人の一部を、がんグループに押し上げる役割をすると考えます。放射線は多くの場合1個の異常を追加するだけでよいので、放射線発がんリスクが線量に対して1ヒット的であるのは理にかなっています。放射線による細胞がん化は、体の中で自然に生じている現象の助けを借りて初めてその影響を発現すると考えれば、放射線の発がん相対リスクが50倍とか100倍とかいった大きな数値にはならないことも納得がいきます。そして過剰リスクが明らかになるまでに長い年月が必要なことも。

図6 放射線発がんの氷山モデル。水平線より上はがんを持つ人、下はがんになっていないがその手前まで来ている細胞を持つ人と考える。N、N-1は自然に生じた突然変異の細胞当たりの数を示



### がん以外の死亡リスク

がん以外の疾患（主として心臓、血管系の病気）による死亡リスクの増加が最近になって次第に明らかになってきました。しかし、放射線被ばくによる心臓・血管系の病気に関するモデルは存在しません。がんの放射線治療においては、心臓や大動脈を照射野に入ると、後になって問題を生じ易いことが知られていますが、ここでの線量は局所に2Gyを25回あるいは30回という大線量です。従って、全身被ばくとはいえ最大2～3Gy被ばくの原爆被爆者の場合はメカニズムが異なる可能性が高いと思われます。心臓・血管疾患の発症には生活習慣因子が重要ですし、そのほかに細菌やウイルスによる感染が下地にある可能性が示唆されているので免疫機能の質的变化を仲立ちとしている可能性があります。今後の調査研究が必要です。

### 最後に

紙面が尽きてきましたので、放射線の遺伝への影響については結論だけ述べます。ABCCの時代から幾つかの大規模遺伝調査が行われてきましたが、これまで調査されたところでは親の

放射線被ばくによる影響は検出されていません。しかし現在でも継続して調査が行われています（疫学調査、臨床調査、DNA調査）。最近になってようやくヒトゲノムが解読されました。このことは、被爆後50年以上を経て初めてDNA調査のための技術が手に入ったことを意味します。今後の調査が大切です。

まとめです。

- 放射線被ばく後、白血病の発症は早期に始まった（10年以内にピーク）。
- それに対して、固形がんの過剰発生が明らかになるまでには長い年月を必要とした。
- 放射線被ばくによる以外には生じないというがんは存在しない。
- 1グレイ被ばくによる平均相対リスクは、がんでおおよそ1.5倍、白血病で約5倍。
- しかし絶対リスクで見ると固形がんの方がリスクは大きい。
- 被ばく時年齢が若いほうが相対リスクは高い。しかし年数の経過とともにリスクは低下している。
- 放射線の遺伝的影響は、これまでの調査では観察されていない。
- 血液リンパ球を培養して染色体異常頻度を調べて過去における被ばく線量を推定できる。
- 歯エナメル質を用いて電子スピン共鳴法で炭酸ラジカルを測定し、被ばく線量を推定する方法もある。
- 被爆者については、今後20年くらいは追跡調査が必要である。被爆者の子供についてはもっと長い期間の追跡が必要。

# 放射線安全関係法令の改定ポイント

— 貴方の施設での現場対応を中心に —

自治医科大学 R I センター  
主任者部会副部長

菊 地 透

## 1. はじめに

放射線や放射性同位元素 (RI) は、多くの分野で広範に利用されており私達の生活に密接に関係しています。その一方で取扱いを誤ると危険をもたらすこともあり得ます。このため、放射線利用は様々な法令で規制されています。これらの法令は、放射線・RIの使用やRIの保管及び廃棄などを規制することにより、私達の安全を確保することが目的であり、法令を遵守することが求められます。しかし、放射線・RIの利用は多様化しており、各放射線施設の現場の管理でどの様に法令を遵守させるかは難しい課題になることがあります。特に法令が大幅に変更された際には、現場の担当者や従事者が新法令に混乱なく対応し、関係者や国民が放射線利用の安全性への不信を招かないことが重要です。

放射線安全関係法令の中心的な法規制である文部科学省所管の放射線障害防止法および労働安全衛生法に基づく電離放射線障害防止規則及び労働安全衛生規則、人事院規則10-5、医療法に基づく医療法施行規則、薬事法に基づく薬事法施行規則の省令改正が公布され一部の経過措置を除き2005年6月1日に即日施行されました。

そこで、今回は放射線障害防止法の改正の概要と施行後の現場対応のポイントを紹介します。

## 2. 法令改定の概要

放射線障害防止法は、これまでも社会情勢や科学的知見の進歩を取り入れ改正を繰り返してきました。最近では、2000年10月に国際放射線

防護委員会の勧告 (ICRP Pub. 60. 1990) を取入れた改正があります。今回の改正は、国際原子力機関 (IAEA) 等の定めた国際免除レベルの導入と、より一層の安全性を向上するために、いくつかの新しい制度が導入されています。今回の法令改定のもっとも大きな部分は、国際原子力機関 (IAEA) 等が提示した「国際免除 (exemption) レベル」を規制の枠組みとして法令に取り入れ、放射性同位元素の規制対象下限値となる放射能の下限数量と放射能濃度を大幅に改定したことです。また、放射性廃棄物の埋設処分に関する基準が整備されました。放射線障害防止法に係る放射性廃棄物 (RI 廃棄物) の最終処分は、RI 事業所全体の永年の懸案事項であり、埋設処分に関する法的基準が整備されたことは、今後のRI廃棄物の最終処分に明るい見通しが開けるものと期待されます。

## 3. 法令改正の認知度チェック

今回の法令改正の現場対応に関するチェック項目を提示します。まずは選任された主任者の方は、法令改正に対する認知度の自己評価を行って下さい。もしYesの割合が少なければ次項の内容を理解し、講習会やセミナーおよび日本アイソトープ協会の「放射線障害防止法令速報版」(2005年6月27日発行) や、「アイソトープ法令集の2005年版」(近日中発行予定) などで、法令改正の認知度を深めることを薦めます。

- ① 6月1日から法令改正が施行されたことを、関係者に説明しましたか。  Yes  No
- ② 国際標準の規制対象下限値を設定する際の線量基準を知っていますか。  Yes  No

- ③現在保有する3.7MBq以下の密封線源について下限数量を確認しましたか。 Yes No
- ④3.7MBq以下の密封線源の経過措置期間とその対応を理解していますか。 Yes No
- ⑤密封線源の設計認証機器の使用手続きを理解していますか。 Yes No
- ⑥第3種主任者の新設と資格取得方法を知っていますか。 Yes No
- ⑦下限数量以下の非密封線源の管理区域外使用手続きを理解していますか。 Yes No
- ⑧施設検査・定期検査の対象と定期確認の検査項目と時期を理解していますか。 Yes No
- ⑨主任者の選任についての事業対象区分を理解していますか。 Yes No
- ⑩選任された主任者の定期講習とその受講項目、受講間隔を理解していますか。 Yes No
- ⑪放射線発生装置の修理期間中における規制の免除事項を理解していますか。 Yes No
- ⑫予防規程の変更事項について理解していますか。 Yes No
- ⑬RI廃棄物の埋設処分の規定整備を知っていますか。 Yes No

#### 4. 具体的な法令改正と現場対応のポイント

##### 4-1 RIの規制対象の確認

法令上の規制対象となるRIの数量と濃度が大幅に変更されています。国際免除レベルは、IAEAの規制免除の考え方を導入し、密封された線源であってもいったん管理を外れると密封の状態を保証できなくなるとして、密封と非密封の区別が廃止されています。そして、それぞれの核種の下限数量は、科学的なシナリオに基づく公衆の放射線被ばくが、通常の状態では年 $10\mu\text{Sv}$ 以下、事故事象で $1\text{mSv}$ 以下となるような放射能および放射能濃度として定められました。その結果、放射能の下限数量は、765核種について、10区分の最小 $1\text{kBq}$ から最大 $1\text{TBq}$ までになりました。濃度も核種毎に最小 $0.1\text{Bq/g}$ から最大 $100\text{MBq/g}$ までの10区分と細かく区分されました。旧法令では放射能が $3.7\text{MBq}$ 以下の

密封線源は一律に規制免除とされていましたが、新法令では細分化されているので、保有しているすべての線源に対して、核種毎に規制対象下限値の数量と濃度が超えていないかの確認を行って下さい。

##### ◆ 密封線源使用施設

##### 4-2 3.7MBqを基準に対応

旧法令では規制を免除されていた $3.7\text{MBq}$ 以下の密封線源の中には、新法令では規制対象になる場合があります。特に、放射線測定機器の動作確認や校正用等に用いている $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{241}\text{Am}$ は、新法令の下限数量が $10\text{kBq}$ 以下と旧法と比べて $1/370$ と大幅に変更されており、多くの密封線源が規制対象となりました。なお、密封線源は1個または機器1式・1組の放射能が下限数量を超えているかどうかを判断します。また、経過措置として2007年3月末までに製造された $3.7\text{MBq}$ 以下の密封線源は、これまで安全に使用されていることから法令改正による現場の混乱を最小限に抑えるために、新法令では規制を受ける線源でも届出等の手続きを必要せずに継続して使用できます。しかし、線源を廃棄する場合の規制が適用されることになりました。線源廃棄の際は、購入元や製造メーカーに問い合わせして下さい。

現在保有する密封線源で今後使用する予定のない密封線源は、日本アイソトープ協会で引取りを行っていますので、手数料は掛かりますが早々に線源を廃棄することを薦めます。

##### 4-3 設計認証機器

旧法令では法規制の対象ではなかった $3.7\text{MBq}$ 以下の密封線源を含め、新法令の下限数量を超える密封線源を、利用実態に応じた対応として、設計認証制度が新設され、簡便な法的手続きのみで使用できます。密封線源の認証機器を製造するメーカーまたは輸入者は、設計認証を受けるために申請手続きが必要です。このうち、下限数量の1000倍以下の認証機器の申請は登録認証機関が対応します。下限数量が1000倍を超える



認証機器の場合の申請は国が直接対応します。

設計認証を受けた放射線測定器の校正用線源やガスクロマトグラフ用 ECD などの表示付認証機器のみの使用に際しては、放射線取扱主任者の選任や従事者に対する教育訓練は必要ありません。ただし、線源を廃棄する場合は、製造者や販売業者等に確実に引渡すことが重要となります。

#### 4-4 特定設計認証機器

設計認証機器よりも、さらに安全性が高く放射線障害のおそれが極めて少ない認証機器に対しては、使用の届出も必要としない特定設計認証制度が新設されました。そのため、<sup>241</sup>Am等を用いた煙感知器やレーダー受信部切替放電管等、その他機器表面から10cmで線量当量率が1  $\mu$ Sv/h以下のものであって、文部科学大臣が指定するものは、当該認証機器を製造・輸入する業者側が、登録認証機関等の特定設計認証を受けます。なお、廃棄する際は製造者または販売業者等に引渡す必要があります。

#### 4-5 下限数量の1000倍を基準に対応

旧法令では密封線源の使用は1事業所の密封線源の総量が3.7GBq以下であれば届出とし、主任者は第1種または第2種放射線取扱主任者の選任が必要でした。また、総量が3.7GBqを超える場合は許可とし、総量が370GBq以下は第1種または第2種、370GBqを超えた場合は第1種放射線取扱主任者の選任が必要でした。新法令では、密封線源（密封線源を1式又は1組として使用する場合は、1式又は1組で判断）ごとの数量が、下限数量の1000倍以下のみの施設は届出使用者であり、1000倍を超える場合は許可使用者です。なお、下限数量の1000倍以下の届出事業所では第1種、第2種または第3種放射線取扱主任者から主任者を選任します。また、下限数量が1000倍を超え1個の線源または装備機器1台の数量が10TBq以下の許可事業所では、第1種または第2種放射線取扱主任者から主任者を選任します。

#### 4-6 10TBqを超える特定許可使用者

1個の密封線源または装備機器1台の数量が、10TBqを超える事業所は特定許可使用者です。旧法令では密封線源を多数保有する場合は、1個の数量が10TBq以下でも貯蔵能力が37TBqを超える場合は施設検査を実施し、111TBqを超える場合は定期検査が必要でした。新法令では事業所施設の貯蔵能力ではなく、線源1個の数量が基準になりました。

特定許可使用者に対しては、施設基準を検査するために施設検査と施設検査の合格日または定期検査の日から、5年以内に定期検査と定期確認を登録検査機関が実施します。特に定期確認は、放射線安全管理上の行為基準に関する、ソフト面の放射線業務従事者の被ばく管理や教育訓練、放射線の線量率や汚染の状況などの測定記録および記帳などを確認します。また、特定許可使用者の主任者は、第1種放射線取扱主任者から選任します。なお、立入検査は従来通りで全放射線施設を対象に行われます。

#### ◆ 非密封線源使用施設

#### 4-7 規制対象下限数量以下の非密封線源

事業所内で所有する非密封線源の数量と濃度が、規制対象下限数量以下を使用する場合は放射線障害防止法等に関する規制はありません。ここでいう下限数量の内容は、事業所内に存在する全ての放射エネルギーとして、汚染された物も合算した数量です。また複数の核種を使用する場合は、下限数量に対する割合の和で判断します。なお、規制の対象を受けない下限数量以下のRIであっても、正当な目的のみに使用し、合理的で適切な防護を行うなど良識的な使用が重要なことはいうまでもありません。

また、規制対象の非密封線源を使用している許可使用者は、下限数量以下の非密封線源であってもそれを追加して使用する場合には規制の対象になります。ただし、下限数量に対する割合が0.01以下の核種は加算しなくてもよく、また線量計算や濃度計算でも加算しなくてもよいこ

とになっています。また、下限数量以下の数量の非密封線源は管理区域以外の場所でも、一定の手続きと対応を行うことで使用できるようになりました。

#### 4-8 管理区域外の下限数量以下等の使用

新法令では通常使用する非密封線源の下限数量が、 $^3\text{H}$ ：1000MBq、 $^{32}\text{P}$ と $^{35}\text{S}$ ：100MBq、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{45}\text{Ca}$ 、 $^{51}\text{Cr}$ ：10MBqと大幅に緩和されたことで、下限数量以下の法規制を受けない実験や研究が可能です。次の手続きと対応を行うことで使用できます。

- ①管理区域外での下限数量以下の使用に関する変更許可申請を行います。
- ②放射線障害予防規程の変更届を行います。
- ③日常の管理としては、一日につき管理区域外での総使用量が下限数量以下についての所内ルールを明確化して、固体廃棄物は、管理区域内に持ち帰ります。

なお、具体的に管理区域外における数量が下限数量を超えない運用と確認は、第1種放射線取扱主任者を通じて確実に実施する必要があり、主任者の役割が重要となります。

#### 4-9 下限数量を超える許可使用

非密封線源の数量が下限数量を超える事業所は、許可使用者です。この内、新法令の下限数量の10万倍以上の貯蔵能力を有する事業所は特定許可使用者です。なお、これらの許可使用者は、第1種放射線取扱主任者を主任者に選任します。また、特定許可使用者は、設置時施設検査の合格日または前回の定期検査を受けた日から、3年以内に定期検査と定期確認を登録検査機関が実施します。

### ◆ 発生装置使用施設

#### 4-10 修理期間中などの管理区域立入者等の緩和

放射線発生装置を保有する事業所は特定許可使用者です。したがって、密封線源の特定許可使用者と同様な施設検査と定期検査および定期確認が行われます。また、発生装置のみを使用

する放射線管理区域では、放射化などがなく、工事、修理、点検により7日以上運転を停止する場合、または発生装置を区域外に移動している場合は、あらかじめの申請手続により、管理区域に立入る者の健康診断や放射線量の測定が免除されました。また、非破壊検査用の直線加速装置（4MeV未満）と地下検層用のコッククロフト・ワルトン型加速装置（15MeV未満）等は、移動使用の許可を取ることで、その都度使用の場所の変更許可から届出で済ませられるようになりました。なお、移動使用に際しては第1種放射線取扱主任者の指示が必要です。

#### 4-11 主任者の選任時期

最近、放射線発生装置の施設検査前の調整運転時に作業員の被ばく事故が発生したことから、放射線取扱主任者の選任は、発生装置の調整運転に係わらず、放射線を発生する前に行うことが必要になりました。また、同様に事前に、放射線障害予防規程を作成し届出を行い、調整運転段階からの安全確保の責任を明確化することが重要です。

### 5. 放射線取扱主任者制度の対応

#### 5-1 選任主任者の区分と定期講習

放射線障害防止法の適用を受ける放射線施設では、放射線障害を防止する監督者として、少なくとも1名以上の放射線取扱主任者を選任する必要があります。そして、これらの放射線施設の規模及び業務形態によって、第1種と第2種に新設した第3種の主任者から選任します。表1に新しい放射線取扱主任者制度の区分と事業所の形態・規模を示します。また、選任主任者に対して定期講習を受講する義務が追加されました。今後は、定期講習会に参加するための日時（1日間）や経費などの対応が必要です。

定期講習の頻度と内容は、許可使用者や届出使用者と届出販売業者等では異なります。講習の頻度は前者が3年以内、後者は5年以内に受講します。

今後は、既に選任されている主任者は、2005

表1 選任主任者の種類と対象事業所の区分

主任者の種類	規制対象の区分	備 考
第1種放射線取扱主任者から選任する。	1) 特定許可使用者*1 2) 非密封線源の許可使用者 3) 許可廃棄業者	*1: 線源1個、1台の数量が10TBqを超える。非密封線源の貯蔵能力が下限数量の10万倍を超える。放射線発生装置。
第2種(1種)放射線取扱主任者から選任する。	密封線源で下限数量の1000倍を超える許可使用者	非破壊検査装置、厚さ計、たばこ量目計の線源等
第3種(1種・2種)放射線取扱主任者から選任する。	1) 密封線源で下限数量の1000倍以下の届出使用者 2) 届出販売業者・賃貸業者	レベル計、密度計、校正用線源等(表示付認証機器、表示付特定認証機器以外のもの)
主任者の選任は不要	表示付認証機器 表示付特定認証機器	ガスクロ用 ECD 等 イオン化式煙感知器等

年度から2008年度までに最初の定期講習を受講しなければなりません。これらの講習会への参加経費などの対応が必要です。

#### 5-2 第3種主任者の新設

従来規制対象でなかった3.7MBq以下で、新たに下限数量を超えその1000倍以下の密封線源を使用する場合は、届出が必要になりました。また、RIを直接取り扱わない販売や賃貸を行う場合は、許可制から届出制に変更されました。これらの届出使用者、届出販売業者、届出貨貸業者に対しては、第3種主任者制度が新設されました。第3種主任者の資格は講習の修了のみで得られ、旧法令の第2種「特定」主任者免状は第3種主任者免状とみなされます。

#### 6. RI 廃棄物の整備

RI 廃棄物の埋設処分に関する基準が整備されたことは、RI 使用者にとっては重要な改正です。今後は新法令に基づいて、埋設処分に係る RI 廃棄物の具体的な対応が開始されます。

なお、埋設処分を円滑に行うためには、非密封線源の使用者側も新たな分別処理や廃棄物に対する考え方を理解する必要があります。既に、日本アイソトープ協会では、比較的長半減期の<sup>36</sup>Cl、<sup>90</sup>Sr、<sup>99</sup>Tc、<sup>129</sup>Iの4核種の廃棄物については、2005年4月から分別集荷が実施されています。また、埋設するRI廃棄物に、爆発性物質、揮発性物質や腐食性物質等および水銀、カドミウム等の重金属やダイオキシン等の有害物質が混入しないよう廃棄物の発生側の対応が重要です。

#### 7. おわりに

どの様な法令改正が行われても、現場で適切な対応しなければ目的は達成できません。放射線安全管理は、現場で実施されて始めて意義ある活動となります。そして、法令を遵守するのは各放射線現場の関係者の理解と協力が必要です。本稿を読んでいただいて、貴方の放射線施設に係わる放射線安全関係法令について、さらに理解を深める上の好機になればと願っています。

# 原爆ドームの残留放射能

広島大学大学院工学研究科  
静 間 清

## 1. はじめに

本冊子の表紙を飾る写真からわかるように被爆前の原爆ドームはヨーロッパ風でエキゾチックな建物である。この旧広島県産業奨励館は1914年（大正3年）にチェコスロバキアの建築家ヤン・レットルにより物産陳列館として設計された。この美しい建物は原爆により、一瞬にして姿を変え、現在の形が残った。1996年（平成8年）に原爆ドームは宮島とともに、ユネスコの世界遺産に登録された。多くの世界遺産は美しい自然や貴重な遺跡、建造物などであるのに対して、原爆ドームは人類が二度と、戦争を繰返さないため、なかでも人類がはじめて被害を受けた核兵器の廃絶を求める象徴として保存されている。

外国に行って（あるいは国内でも?）、「広島から来た」というと多くの方は広島が原爆の被災地であることを知っていて、そして、広島には今でも放射能が残っているのではないかと、そこに住んでいる人は放射線の影響を受け続けているのではないかと心配する。今日、原爆ドームの周辺には多くの観光客が行き交っているので残留放射能の心配する人はいないと思われる。しかし、本当に影響はないのであろうか。放射線は目に見えず、人の五感にも感じない。放射線の存在を知ろうと思えば、特別の測定器で測定するしかない。現在、広島市の残留放射能は皆無と言ってよい。しかしながら、ドームの鉄材、レンガそして銅片などの被爆材については最新の測定器で測定すれば、中性子により生成された残留放射能を原爆の痕跡として見出すことができる。

原爆ドームについての最初の残留放射能調査

としては1976年に金沢大学の阪上教授ら<sup>1,2)</sup>が可搬型 Ge (Li) 検出器を原爆ドーム内に持ち込み、*in situ* 測定を行った。そのときの  $\gamma$  線スペクトルの解析から原爆中性子により誘導された  $^{152}\text{Eu}$ （半減期13.5年）が見出された。これまで、原爆ドームの補修工事は3回行われているが、我々は第2回（平成2年）と第3回（平成14年）の補修工事の際に被爆試料を収集し、それらの測定を行ってきたのでその研究を紹介する。

## 2. 原爆中性子による誘導放射能

原爆残留放射能には速中性子反応と熱中性子吸収反応で生成されるものがある。速中性子反応としては  $^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$ （半減期14日）があり、山崎文男氏ら<sup>3)</sup>は原爆の初期調査において電柱の電線を支えるガイシの中に含まれたイオウの  $^{32}\text{P}$  を爆心からの距離の関数として測定した。熱中性子による生成放射能としては鉄材中の不純物 Co からできる  $^{60}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$ （半減期5.27年）があり、放射線医学総合研究所の橋詰雅氏らのグループによりコンクリート中の鉄筋、建物屋上の鉄リングなどについて測定された。 $^{152}\text{Eu}$  が見出されたのは1976年頃であり、かなりあとになってからである。 $^{36}\text{Cl}$  も加速器質量分析法 (AMS) で測定された。1994年になって被爆銅の中に速中性子により  $^{63}\text{Cu}(n,p)^{63}\text{Ni}$ （半減期100年）が生成されていることが柴田徳思氏ら<sup>4)</sup>により指摘された。被爆から50年経過していた当時、速中性子の評価が可能になることは画期的であった。柴田氏らは原子核研究所のサイクロトロンに廃棄にあたって銅材の中に生成されている  $^{63}\text{Ni}$  の量を算定した。そのとき、 $^{63}\text{Ni}$

の評価が原爆線量の評価にも使えるのではないかと考えた。以来、柴田氏は広島グループとともにサンプリングにあたり、液体シンチレーション法による測定を続けている。被爆銅材は岩石、鉄材に比べてそれほど多く残っていない。主なものは建物屋上の避雷針の銅線、雨どいなどであり、日銀避雷針（382m）市役所屋上避雷針（1000m）、広大理学部雨どい（1400m）などを採取した。これらの貴重なサンプルは米国・ドイツのグループにも送られ、AMSで測定されている<sup>5)</sup>。ただし、 $^{60}\text{Ni}$ は天然中性子によっても生成されているので遠方になるとバックグラウンドと区別できなくなる。このため原爆による $^{60}\text{Ni}$ が区別できるのは約1000m付近までである。

### 3. 第2回目の保存工事と鉄、花崗岩サンプル

1990年3月から原爆ドームの2度目の補修工事が行われた。当時、原爆ドームは広島市の管理にあったので、広島工科大学と原爆放射線医学研究所の研究グループは広島市長あてに資料採取の許可を申請し、許可を得た。地上21.5mにあった原爆ドームのアーチ型鉄骨の台座部分の鉄板の取り替えで台座4ヶ所から被爆鉄材を入手した。これらのサンプルを写真1に示す。これらの鉄材はさびてボロボロではあったが、貴重な試料であった。また、地上17.2mの窓枠部分には花崗岩が使用されていたので花崗岩コ

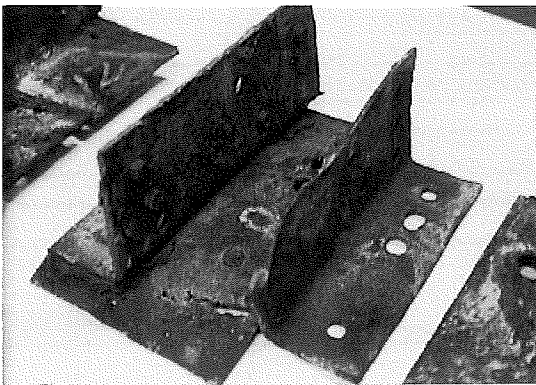


写真1 原爆ドームの被爆鉄材

アを採取した。鉄材の被爆面から小片を切り出し、低バックグラウンドGe検出器で $^{60}\text{Co}$ を測定し、比放射能を決定した<sup>6)</sup>。ドームの鉄材からはまだ十分 $^{60}\text{Co}$ を測定できた。花崗岩についても化学処理なしで $^{152}\text{Eu}$ を測定できた。

### 4. 第3回目の保存工事と銅サンプル

平成14年10月から平成15年3月にかけて3回目の原爆ドームの保存工事が行われた。工事に先立って、平成11年7月に我々は広島市からドーム周辺の放射能測定を行ってほしいとの依頼を受けた。放射能が残っていないことを示さなければ保存工事に取りかかれぬとのことであった。そこで我々は以下の項目について測定を行った<sup>7)</sup>。

- 1) 空間線量測定：原爆ドーム敷地内および周辺を合計72区分しGMサーベイメータを用いて地上80cmの高さで測定した。全データの平均として $0.12 \pm 0.08 \mu\text{Sv/h}$ であった。
- 2) 建物の壁面：壁面24個所について地上80cmでサーベイメータを壁面ぎりぎりに近づけてシンチレーションサーベイメータで測定した。
- 3) 建物壁面のガンマ線核種分析：建物の壁面2ヶ所でポータブルGe検出器を壁に密着させて1時間測定した。 $\gamma$ 線スペクトルからは天然放射性核種以外には見出せなかった。
- 4) 地表面での $\alpha$ 線測定： $\alpha$ サーベイメータを使用して地上3ヶ所で測定した。

いささかおおげさともいえる測定であったが、実際に原爆ドームには有意な残留放射能はないことを示すための測定であった。

平成13年12月に入って、保存工事のための予備調査としてドーム全体に足場が組まれた。このとき我々も事前調査としてドームに昇り、残っている銅片を調べた。その結果、かなり多くの銅片が残っていることがわかった。銅片の一部を写真2に示す。このとき原爆ドームはすでに世界遺産として登録されていたのでサンプルを採取するには広島市の許可だけでなく文化庁の許可が必要であり、容易ではなかった。その手

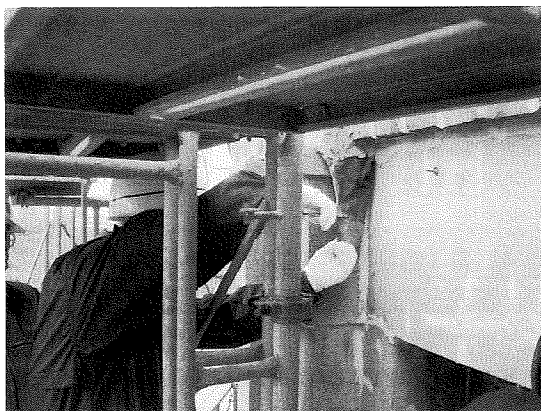


写真2 原爆ドームに残っていた銅片の採取

続きに1年近く要したのち、平成14年10月に許可がおりた。平成14年12月17日、サンプル採取の当日、多くの報道関係者が押し寄せた。足場がせまいので銅板を切り取るしぐさを各社ごとに繰返し、そして、取材が終わった後、実際に市の担当者の立会いのもとに金属ハサミで切り取った。このとき、銅片の半分くらいを切り取り、あとは残されている。このサンプルは3分割し、我々国内のグループの分析と、米国のグループに配布し、残りは保存している。

##### 5. 原爆ドームの銅はどこへいったのか

表紙の写真からわかるように原爆ドームはもともと薄い銅板で被われていて緑青色をしていた。平成11年8月に原爆の炸裂から10秒間の出来事を追ったテレビ番組が放送され、その中で現在のドームの形状が出現する過程のシミュレーションが行われた<sup>8)</sup>。原爆の炸裂から $1\mu\text{s}$ の間に中性子が放出される。このときは、爆弾そのものも、ドームもまだそのままの形をしている。そして、火球が出現し、熱線が地上に届く。このとき地上の温度は $6000^{\circ}\text{C}$ にも達したと予想される。ドームの支柱の鉄は残り、銅は一瞬にしてとける。そのあと衝撃波が到達し、建物の屋根、壁を崩壊させて現在の形が出現する。このとき溶けた銅は火球のなかに飲み込まれ、蒸発して飛散したものと思われた。

平成14年の保存工事において我々がドーム部

分に残った銅片を入手することに努力していたとき、地上では将来の保存工事のために支柱をたてるべく発掘調査が行われていた。そして、広島市から発掘調査に立ち会いますかとの連絡があったが、地上を埋めている瓦礫の発掘には興味がなかったので、私自身は立ち会わなかった。その後、平成15年になって発掘物の中から銅のかけらが出てきたが必要ですかとの問合せがあった。これには驚いた。溶けてなくなっていたと思われていた銅は溶けて地上に落下し、その上から瓦礫が落ちて埋まっていたのであった。そして、その銅を受け取ってさらに驚いた。それはわずかなかけらではなく約70個にもおよぶ溶けた状態の銅の固まりであった。写真3にこれらのサンプルを示す。これらは文化財扱いではなく、ゴミ扱いであったことも幸いであった。

これらの銅サンプルについて現在、 $^{60}\text{Ni}$ の比放射能を決める測定を進めるとともに、金属学を専門とする方々の協力を得て調査を行っている。その結果、SEM-EDAX観察では発掘銅には無数のポイドがあり、銅がとけて固まったことを示していることがわかった。また、TEM観察からドーム部分に残っていた銅片には熱が遮られたために銅板を延ばす時に生じた規則的な転移がみられ、発掘銅では衝撃波によるとみられる力の加わったあとがみられた。高速中性子によるカスケード転移がみられることを期待したが、もしできていても熱によりアニールされた可能性がある。

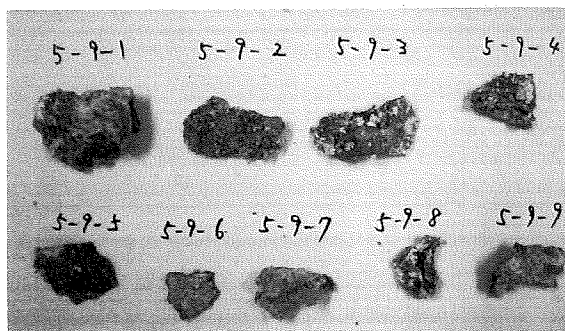


写真3 原爆ドームから発掘された銅片

## 6. まとめ

被爆試料中の残留放射能は爆心から離れるほど測定は難しくなるし、放射能には固有の半減期があるので時間の経過とともに測定は困難になる。しかしながら、新しい分析法が開発されれば過去に考えられていた以上の測定が可能になる。また、新しい科学技術の手法が将来見出される可能性がある。原爆中性子で生成される放射性同位元素は調べ尽くされていたはずであるが、速中性子で $^{60}\text{Ni}$ が生成されていることがわかったのは最近である。これらの研究を推進するには被爆時の場所、条件（物影か、直接か）がわかっている試料が不可欠である。

原爆は戦時下という特殊な状況のもとで最強の兵器を求めて軍産学の共同研究のもとに科学技術の総力をあげて開発された。原子兵器の開発は広島、長崎の原爆投下後も続けられ、今日では何千倍もの威力をもつに至った。原爆の使用を防ぐことは人類の滅亡を防ぐために必要である。このような兵器の廃絶のためには、爆風、熱線の影響を受けた人々や、被爆試料の映像を通して核兵器の悲惨さを見る人の感性に訴えるとともに、目には見えない放射線が人体におよぼした影響と人以外に残した放射線の実態を明らかにし、後世に伝えていく必要がある。

### 【参考文献】

- 1) 阪上正信、小村和久：昭和51年度文部省化学研究費総合研究（A）報告、KURRI-TR-155, (1977) pp. 20-34.
- 2) 小村和久：“可搬型 Ge 検出器による環境放射能の *in situ* 測定”、Isotope News 7月号 (1983) pp. 2-5.
- 3) 山崎文男：“原子爆弾爆発後、広島西方に残った放射能について” 原子爆弾災害調査報告集、第一分冊理工学編（日本学術振興会、1953）pp.25-33. および広島原爆戦災誌、第五巻資料編（広島市、1971）、p.899.
- 4) T. Shibata, M. Imamura, S. Shibata et al., “A Method to Estimate the Fast-Neutron Fluence for the Hiroshima Atomic Bomb” J. Phys. Soc. Jpn. 63, 10 (1994) 3546-3547.
- 5) T. Straume, G. Rugel et al. “Measuring fast neutrons in Hiroshima at distances relevant to atomic-bomb survivors” Nature 424 (2003) 539-541.
- 6) K. Shizuma, K. Iwatani et al. “Specific activities of  $^{60}\text{Co}$  and  $^{152}\text{Eu}$  in samples collected from the Atomic-Bomb Dome in Hiroshima” J. Radiat. Res. 33 (1992) 151-162.
- 7) 広島市教育委員会、広島大学工学部、広島大学原爆放射能医学研究所、広島国際学院大学工学部「原爆ドームの残留放射能調査報告書」（1999）.
- 8) 「原爆投下・10秒の衝撃」（日本放送出版協会、1999）.

## ◇ 編集後記 ◇

放射線取扱主任者部会から、年1回の「主任者ニュース」をお届けします。IT化とインターネットの普及で情報が氾濫し、多種多様なニュースが瞬時に飛び回る時代に、年1回発行の小冊子ですが、今回は平成17年度主任者部会年次大会開催地の広島に関連したホットな話題を掲載しました。

今年は、戦後60年の節目と同時に広島・長崎の原爆被爆60周年に当たります。私たち放射線関係者にとって、原爆による放射線被ばくに伴う健康への影響は、唯一の被爆国からの重要な情報発信です。また、世界遺産の「原爆ドーム」に関する残留放射能も60周年を機に、新しい話題です。表紙の写真は、被爆前の原爆ドーム（旧広島県産業奨励館）です。この世界遺産「原爆ドーム」はインターネットで多くの情報と共に見ることができます。また、美しき在りし日の姿を忠実に再現するCG画像も作成されています。

インターネットと言えば、YAHOO Japan 検索（2005年8月3日現在）で「ニュース」をキーワード検索すると、なんと2,280,000件もあります。ここにもう一つ「放射線」を追加すると2,330件と1/1000程度に減少します。さらに「放射線取扱主任者」で検索すると7件に激減します。また、「放射線取扱主任者」の検

索では、34,700件も有り放射線取扱主任者もインターネットの市民権を得たようです。しかし、「放射線取扱主任者部会」を検索すると107件と激減し、当「主任者ニュース」は唯一件でした。

放射線障害防止法の適用を受ける全国の5,000近い放射線施設には、放射線障害を防止する監督者として、一部の例外を除き少なくとも1名以上の放射線取扱主任者を選任することが必要とされています。放射線取扱主任者は、貴方の放射線施設における放射線安全管理の中心的な役割を担う、放射線安全上の重要な責務を担っています。当放射線取扱主任者部会は1959年に発足して以来、日本アイソトープ協会の部会として、選任された放射線取扱主任者や主任者免状を有する方、および放射線管理業務に携わっている方や放射線安全管理関係者等の多くの方々が参加する、わが国唯一の放射線取扱主任者および放射線安全管理者の職能的な組織として、放射線安全管理の普及に大きく貢献し活発に活動しています。また、放射線取扱主任者部会では、今回の法令改正を含めタイムリーな放射線安全管理に関する話題や情報等を、日本アイソトープ協会の Isotope News 誌「主任者コーナー」（毎月発行）に掲載しています。放射線安全に関するニュースの情報源として「主任者コーナー」も参照頂ければ幸いです。

（菊地 透 広報委員会委員長、自治医科大学）

発行日 平成17年9月1日  
発行 ㈱日本アイソトープ協会  
〒113-8941 東京都文京区本駒込2-28-45  
(連絡先) 学術部学術課  
電話 03-5395-8081 FAX 03-5395-8053  
E-mail:gakujutsu@jrias.or.jp