



Photo T.Tsuda

## Index

「原子力の日」に思う	
一 原子力委員会 — .....	石田 寛人 1
加速器中性子による <sup>99</sup> Mo 等多様 RI の革新的生成法と実用化研究	
.....	永井 泰樹 3
人間の知恵で作り出した原子力エネルギーを人類のために安全に使い続けよう	
.....	町 末男 8
電離性放射線の基本量と単位に関する ICRU レポートの改訂①	多田順一郎 9
東日本大震災 その時、石巻赤十字病院では	鳴田 雅博 13
平成23年度原子力安全技術センター講習スケジュール	..... 17
ご案内 2011年製薬放射線研修会	..... 17
ガラスバッジ Web サービスへのお誘い	
－ご使用者新規登録時の整理番号について－	..... 18
〔サービス部門からのお願い〕	
～GB キャリーをインシュロック・タイで締めてください～	… 19

## ● 「原子力の日」に思う

－ 原子力委員会 －

金沢学院大学名誉学長  
原子力安全技術センター会長

石田 寛人\*



東日本大震災とともに発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故によって、我が国の原子力のあり方が根本から問いかれてきている。今年の10月26日は、毎年巡り来る「原子力の日」とは全く違う、初心に返って原子力に向かい合うべき格別の日となつた。

我が国の原子力は、昭和20年代末から30年代の初めにかけて、制度が整備され、研究開発利用が開始されたが、これには、通常と異なる格別に大きな覚悟と努力が必要であることは、広く認識されていた。それは原子力基本法における平和利用の大原則と民主・自主・公開の3原則の規定に示されている。もちろん、安全性の確保は当然の大前提とされていた。

そんな中、特に原子力の先人達が苦心したのは、原子力平和利用の番人でもあり、安全確保にも大きな役割を果たすべき原子力政策決定機関のあり方だった。原子力基本法では、原子力委員会がそのための組織とされ、原子力の開発利用に関して、企画し、審議し、決定する機関と規定された。我が国の原子力委員会は、当時の米国の原子力委員会(USAEC)と同じような形態の組織のように受け止められがちだったが、実は、世界でも独特の機関であった。

原子力政策決定組織のあり方に関して、外国に派遣された当時の調査団の偽装報告問題が最近取りざたされたが、ともかく、意思決定の責任が明確な独任制機関と、周

知を集めやすく審議過程が明らかになりやすい合議制機関の長所を組み合わせ、それを、国の行政組織の上に適切に位置づけるため、関係者は熟慮を重ねたに相違ない。そして設立されたのが、我が国独自の原子力委員会であった。

その独自性は、まず「原子力委員会」という名称にある。国家行政組織法上の組織には、同法第3条に規定する3条機関と、第8条に規定する8条機関があり、3条機関が行政機関などに対して、8条機関は諮問機関としての審議会などがこれにあたる。

原子力委員会は、その名称から、国家公安委員会、公正取引委員会同様に、3条機関のように見えるが、その実、8条機関であった。しかし、原子力委員会設置法によって、委員長は国務大臣をもって充てることとされ、内閣総理大臣は、原子力委員会の決定に尊重義務があるなど、一般の審議会と異なる位置づけが与えられていた。後に委員長は国務大臣ではなくなり、決定尊重の条文は削除されたが、ともかく、8条機関でありながら、3条機関のような名称が付され、それに近い運用をする組織が創られたのであった。

これまでも、原子力委員会は、結局は諮問機関であるため、行政そのものを行う権限がなく、位置づけが軽いらみがあるので、これを3条機関にして強化すべしという主張が行われてきたことがあったし、今後も、同様の議論が行われよう。しかし、原子力委員会の運営に苦心されてきた先人達の聲咳に接することができた私は、先人達の中には、8条機関の委員会という姿は、次のような理由から、原子力政策の舵取りを行うのに適切な形であるという感覚を持つ向きがあったような気がしてならない。

もし、原子力委員会がごく一般的な諮問

\* Hiroto ISHIIDA

## ●原子力の日に思う

機関であるならば、原子力委員会の意図に反して政府から諮問が行われないこともあれば、その答申や意見が政府によって実行されないこともありえよう。しかし、それでは、原子力の政策決定者、特に平和利用の番人としての役割を果たせない。よって、純粋な審議会という形態は、原子力の政策決定機関として必ずしもふさわしくはない。

他面、純粋行政機関であれば、行政権行使の責任が内閣にある以上、内閣の意思に反して、独自に大胆に行動することは難しい。

そこで、行政機関と諮問機関の中間体としての委員会ならば、内閣が、万々一、原子力基本法の理念に抵触しそうな動きをみせるときは、それに従わず、独自の意思を明らかにして、平和利用大原則や3原則の遵守を高らかに主張することが可能である。しかも、内閣総理大臣にはそれに対する尊重義務がある。かくして、原子力委員会は、政策の舵取りと原子力基本法の番人として機能しうる。

このような考え方が、法律論として正しいかどうか、私は知らない。また、先人たちの胸の内に上述のような思いがあったと断定することも控えなければならない。ただ、言えることは、原子力開発利用の初期に責任ある立場にあった方々は、制度面でも運用面でも、原子力は一般的な仕組みで扱いうるような分野ではないとはっきり認識されていたということである。

安全性のダブルチェックなど安全確保体制の充実のため、後に原子力委員会から分かれた原子力安全委員会も、委員長が国務大臣でないなどの相違はあるが、原子力委員会と同じ位置づけの組織とされた。

しかし、原子力は、長い年月を経し、研究開発と利用の拡大とともに、通常の分野、通常のエネルギー源という位置づけが色濃

くなり、格別な努力を要する分野という意識が希薄になって、それが、今回の事故の背景をなしたように思えてならない。格別な位置づけ、格別な取り扱いが必要とされるような技術は、人間が取り扱い得ない技術であるという見方をされる向きもある。しかし、原子力は、その格別であることの認識を風化させることなく、いつも新鮮で、真摯な取り組みを続ければ、必ず大きな恩恵をもたらす天恵のエネルギーであるという思いを私は捨てることができない。その取り組みは、決して容易なものではなく、人類が必死の思いではあるかな地平に向かって懸命の歩みを続けることによって、初めて成就できるようなものではあろうが。

このようなことを、今、私は考えている。

## ◆◆◆ プロフィール ◆◆◆

昭和16年生まれ。昭和39年、東京大学工学部原子力工学科の第一期生として、同学科卒業。同年科学技術庁入庁。原子力局、計画局を経て、昭和52年長官秘書官事務取扱。昭和57年米大使館参事官。平成3年科学技術庁原子力局長。平成6年科学審議官。平成7年科学技術事務次官。平成11年駐チェコ大使。平成15年帰国。平成16年金沢学院大学学長、金沢学院短期大学学長。平成22年、同学長を辞し、名誉学長。現在、財団法人原子力安全技術センター会長（非常勤）、東京大学生産技術研究所客員教授、公益財団法人本田財团理事長、財団法人石川県学生寮理事長、文部科学省科学技術・学術審議会委員など。趣味は文楽や歌舞伎のホンを書くこと。歌舞伎のホンは何度か子供歌舞伎で上演。父の仕事のため、たまたま東京で生まれたが、郷里は石川県。現在も、東京と金沢・小松を頻繁に往復している。

# 加速器中性子による<sup>99</sup>Mo 等 多様 RI の革新的生成法と実用化研究



永井 泰樹\*

## 1. はじめに

研究、産業、医療等幅広い分野で利用されている RI の多くは輸入に頼っている<sup>[1]</sup>。この事実と輸入に依存するリスクを、国民が認識したのが、我が国の核医学診断で年間90万件使用されている<sup>99m</sup>Tc の親核<sup>99</sup>Mo の輸入停止という緊急事態の発生であった<sup>[2]</sup>。<sup>99m</sup>Tc は、我が国の三大疾患である、がん、心臓疾患、脳疾患の核医学診断等で使用されている。1957年米国ブルックヘブンで、Tucker と Greene により偶然に発見された<sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc ジェネレーターの世界的需要は、今後も、年に数%の割合で増加すると予想されている<sup>[3]</sup>。

このため、<sup>99</sup>Mo の将来にわたる安定確保は、世界中の関心事である。ところが、最近、世界需要の95%以上の<sup>99</sup>Mo を製造している海外の高経年化した5台の原子炉（稼動開始後44～53年経過）の内の2台が、予期せぬ事故で、たびたび長期間にわたり運転が停止した。その結果、<sup>99</sup>Mo が不足し、我が国のみならず世界中で大問題となった。丁度この頃、アイスランドの火山灰により欧州の空港が閉鎖され（2010年4月）、我が国では、<sup>99</sup>Mo を含む RI の輸入が停止、短半減期 RI の輸送に伴うリスクが浮彫になった。一方、5台の原子炉の高濃縮<sup>235</sup>U 使用は、核不拡散の観点から、長年世界の懸念事項である<sup>[4]</sup>。そこで、<sup>99</sup>Mo を、高濃縮<sup>235</sup>U を用いず原子炉や加速器を利用して製造し、将来に亘り安定確保する方策の模索・検討が世界中で進められている<sup>[2]</sup>。我が国でも、原子力委員会の呼びかけ、「モリブデン-99/テクネチウム-99m の安定供給のための官民検討会」が設置されている。

我が国の<sup>99</sup>Mo 使用量は米国に次いで多いが、両国とも国内製造を行っておらず、<sup>99</sup>Mo 不足の中で、両国を見る目は厳しい<sup>[5]</sup>。我が国は、高濃縮<sup>235</sup>U を使用せず世界に受け入れられる<sup>99</sup>Mo 生成方法を開発し、国内製造の道を拓くと共に、世界の<sup>99</sup>Mo の安定確保に貢献していく事は重要である。

<sup>99</sup>Mo や<sup>99m</sup>Tc 生成法として、原子炉を利用する場合は、低濃縮<sup>235</sup>U（濃縮度20%以下）を使用する計画が欧米にあり、オーストラリアは既にこの方法で製造している。又、<sup>98</sup>Mo に中性子を捕獲させて<sup>99</sup>Mo を製造する（n, γ）計画は、我が国では日本原子力研究開発機構で進行中であり<sup>[6]</sup>、又欧米・韓国等にもある。

本稿では、筆者らにより提案され、企業と日本原子力研究開発機構が共同で開発中の加速器中性子を用いて RI 生成を行う方法について、特に<sup>99</sup>Mo に焦点をあて紹介する。

## 2. 加速器を利用した<sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc 生成

加速器で得られる陽子やガンマ線（制動輻射）を用い、直接<sup>99m</sup>Tc 又は<sup>99</sup>Mo を製造する方法の研究は、1970年代から行われ、最近は、新たな<sup>99</sup>Mo 製造方法も提案されている。これら方法について、国際経済協力開発機構（OECD）の分科会である OECD/NEA での検討結果が、The Supply of Medical Radioisotopes (Review of potential <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc production technologies) の表題で2010年11月に公表されているので、参照されたい。

### (1) 加速器中性子を用いた<sup>99</sup>Mo 生成

陽子等の荷電粒子やガンマ線を用いた

\*Yasuki NAGAI 日本原子力研究開発機構 原子力エネルギー基盤連携センター グループリーダー

$^{99}\text{Mo}$  や  $^{99m}\text{Tc}$  生成研究は数多いが、加速器で得られる高速中性子を用いた  $^{99}\text{Mo}$  生成は、従来検討されてこなかった。筆者らは、偶然にも、 $^{100}\text{Mo}$  に加速器からの中性子を照射して  $^{99}\text{Mo}$  を生成する反応  $\{^{100}\text{Mo} (\text{n}, 2\text{n})$   $^{99}\text{Mo}$  : 以後、 $(\text{n}, 2\text{n})$  と略記} が、 $^{99}\text{Mo}$  生成に有力である事を見つけ、新しい  $^{99}\text{Mo}$  生成法として提案した<sup>[7]</sup>。この方法の特徴は、図1に示される  $^{100}\text{Mo}$  に高速中性子を照射して起こる色々の原子核反応についての断面積 (cross section) の中性子エネルギー依存性で見る事ができる。即ち、

- i)  $^{99}\text{Mo}$  を生成する  $(\text{n}, 2\text{n})$  反応断面積は、10MeV から 18MeV 領域で、全ての反応中最大で 1 バーン以上ある。
- ii) 不要な RI を生成する反応の断面積は、 $(\text{n}, 2\text{n})$  の  $1/500$  以下である。そのため、不要 RI に煩わされる事無く、 $^{99}\text{Mo}$  から  $^{99m}\text{Tc}$  を分離抽出できる。又、高濃縮  $^{100}\text{Mo}$  試料の再利用が可能となる。

## (2) $^{99}\text{Mo}$ 生成量について

$(\text{n}, 2\text{n})$  反応による  $^{99}\text{Mo}$  の生成量を、後述の加速器中性子強度を考慮し評価した結果が表1にある<sup>[8]</sup>。照射期間は 2 日間、 $^{100}\text{Mo}$  試料の濃縮度は 100% を仮定している。典型的には、251 g の  $^{100}\text{Mo}$  試料を用いて、照射直後で 7.1 テラベクレル (TBq) の  $^{99}\text{Mo}$  が生成できる ( $d = 2 \text{ cm}$ )。 $^{99m}\text{Tc}$  を Mo から分離抽出する際の損失を考慮

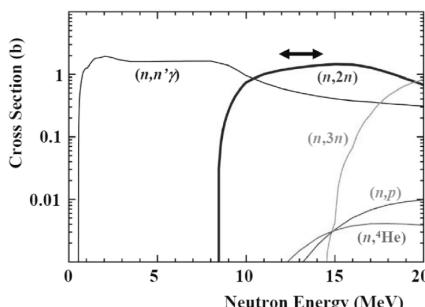


図1  $^{100}\text{Mo}$  に中性子を照射した際に起こる全ての原子核反応の断面積。 $(\text{n}, 2\text{n})$  反応断面積が 10~18MeV で大きな値を持つ。尚、 $(\text{n}, \text{n}' \gamma)$  は非弾性散乱反応で RI は生成しない。 $(\text{n}, 3\text{n})$ 、 $(\text{n}, \text{p})$  及び  $(\text{n}, {^4}\text{He})$  反応では、 $^{99}\text{Mo}$  (安定)、 $^{100}\text{Nb}$  (半減期 3 秒) 及び  $^{97}\text{Zr}$  (半減期 16.9 時間) が生成される。

して、我が国の  $^{99}\text{Mo}$  需要のはば 20% が 1 台の加速器で供給できると予想している。  
(3)  $^{99}\text{Mo}$  の比放射能濃度と放射性製剤  $^{99m}\text{Tc}$  に課せられる放射能濃度

放射性製剤として承認されるには、その放射能濃度が、溶液 1 ミリリットル (ml) 当たり  $0.37 \sim 0.74 \text{ ギガベクレル (GBq)}$  を満たす必要がある。このため、製薬メーカーにおいて溶出時に必要な  $^{99m}\text{Tc}$  溶液の放射能濃度は、 $37 \text{ GBq}/\text{ml}$  以上である。高濃縮  $^{235}\text{U}$  で製造される  $^{99}\text{Mo}$  は、その比放射能濃度が  $\sim 370 \text{ TBq}/(\text{g Mo})$  と高いため、アルミナカラムを用い少量の溶液中に  $^{99m}\text{Tc}$  が抽出でき上記条件は、達成されている。

一方、 $^{235}\text{U}$  の核分裂法以外で製造される  $^{99}\text{Mo}$  の比放射能濃度は、概ね  $\sim 37 \text{ GBq}/(\text{g Mo})$  と低く、 $^{99m}\text{Tc}$  の比放射能を如何に  $37 \text{ GBq}/\text{ml}$  以上にするかが課題である。加速器中性子で生成した  $^{99}\text{Mo}$  について、この課題解決に向けた我々の取組を以下に紹介する。

## 3. 高強度加速器中性子の生成と加速器

### (1) 高強度中性子の生成

多量の  $^{99}\text{Mo}$  を放射能濃度高く生成するには、14MeV 程度の高強度の中性子が必要である。14MeV 中性子は、300keV 程度の重陽子を三重水素に照射して得られる。原子力機構の核融合中性子源施設には、毎秒  $3 \times 10^{12}$  個の世界最高強度の 14MeV 中性子を発生する加速器が 30 年来安定に稼働

Radius (cm)	Thickness (cm)	Sample mass (g)	Act. (TBq)		
			$d = 1 \text{ cm}$	$d = 2 \text{ cm}$	$d = 4 \text{ cm}$
1	2	63	5.9	4.1	2.2
	4	126	7.7	5.5	3.1
2	2	251	8.6	7.1	5.0
	4	503	12.2	10.2	7.2
3	2	565	9.8	8.5	6.7
	4	1130	14.3	12.6	9.9

表1  $^{100}\text{Mo} (\text{n}, 2\text{n})$   $^{99}\text{Mo}$  反応による  $^{99}\text{Mo}$  の生成量  
距離  $d$  : 炭素標的位置と  $^{100}\text{Mo}$  試料の距離。Radius : 重陽子ビームの半径。Thickness :  $^{100}\text{Mo}$  試料の厚さ。sample mass :  $^{100}\text{Mo}$  試料の重さ。Act. (TBq) : 生成される  $^{99}\text{Mo}$  放射能の量 (TBq の単位)。

している。

一方、より高強度の14MeV 中性子を生成する加速器が、フランスのガニール国立研究所で建設中である<sup>[9]</sup>。この研究所では、中性子を天然 U に照射して生成される様々の原子核を用いて、原子核物理研究を展開する予定である。この加速器（超電導線形加速器）では、40MeV で 5 ミリアンペア (mA) の重陽子を用いて、毎秒10<sup>15</sup>個の14 MeV 中性子が得られる。この中性子は、重陽子ビーム方向に集中しているため、RI 生成に有効である。40MeV 5 mA の重陽子は炭素標的に200キロワットの高熱を与える。ガニール国立研究所等のグループは、炭素標的の熱及び応力耐久性テストを踏まえ、200キロワットのパワーに耐えられる炭素標的系を製作中である<sup>[9]</sup>。

#### 4. $^{99m}\text{Tc}$ の $^{99}\text{Mo}$ からの分離抽出

生成される  $^{99}\text{Mo}$  の放射能度が低くても、 $^{99m}\text{Tc}$  を37GBq/ml で抽出できる分離精製法が開発されれば、 $^{99}\text{Mo}$  が低放射能濃度である事自体は問題でない。 $\text{MoO}_3$  と  $\text{TC}_2\text{O}_7$  の昇華温度が、800度と310度と大きく異なる事を利用した昇華法による分離・精製は、これを可能にする一つの優れた方法と考えられている。

放射能濃度の低い  $^{99}\text{Mo}$  から  $^{99m}\text{Tc}$  を昇華法で分離抽出する開発研究は、イタリア人のピエールとセグレによる Tc 元素の発見以来（1937年）、大きく進展している。1980年代には、原子炉で  $^{98}\text{Mo} (\text{n}, \gamma) ^{99}\text{Mo}$  反応で製造された低放射能濃度の  $^{99}\text{Mo}$  から  $^{99m}\text{Tc}$  を分離する市販用の昇華装置がハンガリーで開発された。その後、米国アイダホ大学のグループは、原子炉で生成した放射能濃度が14.8GBq/(g Mo) の  $^{99}\text{Mo}$  を用いて、18.5GBq/ml の  $^{99m}\text{Tc}$  を得る事に成功している<sup>[10]</sup>。加速器中性子による  $^{99}\text{Mo}$  生成研究を後押しする成果である。

#### 5. 企業と共同で展開する加速器中性子を利用した $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ 生成開発研究

原子力研究開発機構には、標記開発研究

を行う上で、貴重な資産がある。施設としては、前述の14MeV 中性子を生成する加速器が稼働中である。研究者には、放射化学の手法を用い、Re や Lu 等の医療用 RI の研究や Tc や超重元素の研究を展開している方がいる。又、旧原研時代には、原子炉で  $^{98}\text{Mo} (\text{n}, \gamma) ^{99}\text{Mo}$  反応で生成した  $^{99}\text{Mo}$  から  $^{99m}\text{Tc}$  を抽出する開発研究が行われていた。当時、その開発に携わり、退職後も RI 生成に関連する活動を継続されている方がいる。そして、我が国には、RI の製造頒布、放射性医薬品の製造頒布そして医療用等の加速器製作に実績と強い関心を持つ企業がある。

加速器中性子による  $^{99}\text{Mo}$  等の多様 RI 生成法は、提案当初から、企業を含め原子力機構内外の方々の関心を呼んだ。その結果、当機構に、「民間と協力して加速器中性子利用による  $^{99}\text{Mo}$  等の多様な RI を生成するための技術開発を行う」特別グループ（加速器中性子利用 RI 生成技術開発グループ）が、千代田テクノル、富士フィルム RI ファーマ、住友重機械工業の3社の参画を得て、2010年7月に発足した。そして、科学技術振興機構（JST）の助成金等を得て、世界初となる加速器中性子による  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  の開発研究を行ってきた。以下、現在に至るまでの研究成果を紹介する。

##### (1) 加速器中性子による $^{99}\text{Mo}$ 生成

$^{100}\text{MoO}_3$  試料に、加速器中性子を照射し生成された  $^{99}\text{Mo}$  を含む RI について、昇華実験前に Ge 検出器で測定したガンマ線スペクトルを図2 a に示す。強く観測されているのは、 $^{99}\text{Mo}$  及び  $^{99m}\text{Tc}$  によるガンマ線で 141、181keV である。一方、不純物放射性物質は、743keV 及び 658keV ガンマ線の観測から  $^{100}\text{Mo}$  の  $(\text{n}, {}^4\text{He})$  反応で生成される  $^{97}\text{Zr}$ （半減期16.9時間）と  $^{97}\text{Zr}$  のベータ崩壊に伴って生成される  $^{97}\text{Nb}$ （半減期1.2時間）である。不純物が、短寿命の  $^{97}\text{Zr}$  と  $^{97}\text{Nb}$  のみである事は、 $^{235}\text{U}$  による核分裂反応の場合と顕著な違いであり、前述した様にこの方法の利点である。

##### (2) 昇華法による $^{99m}\text{Tc}$ の $^{99}\text{Mo}$ からの分離抽出

生成した Mo から  $^{99m}\text{Tc}$  を分離生成するための昇華実験用の電気炉（図3）を作成

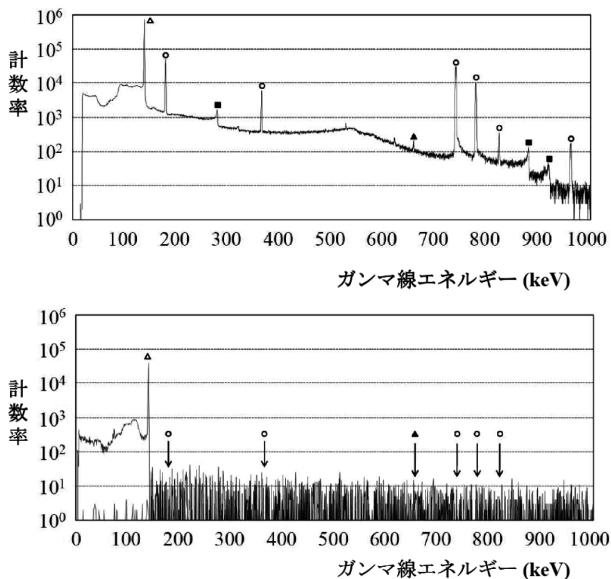


図 2 a) 生成された<sup>99</sup>Mo を含む RI の昇華実験前に測定した gamma 線スペクトル。  
△ : <sup>99m</sup>Tc, ○ : <sup>99</sup>Mo, ▲ : <sup>97</sup>Nb, ■ : サムピーク  
(141+181keV, 141+729keV, 141+778keV の和)  
b) 昇華実験後の gamma 線スペクトル。  
<sup>99m</sup>Tc の 141keV gamma 線のみ観測されている。

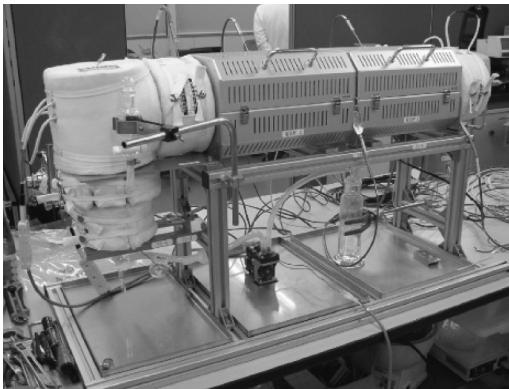


図 3 昇華装置：JST の助成金で製作。2 個の電気炉、3 個のマントルヒーターで構成。

した。電気炉の特性試験は、テクネチウムと化学的性質が同じレニウムを用いたコールド実験、及び、原子力機構の原子炉で<sup>98</sup>Mo (n, γ) <sup>99</sup>Mo 反応で生成した<sup>99</sup>Mo を用いて行った。

これらの結果を踏まえ、加速器中性子で生成した<sup>99</sup>Mo の昇華実験を行った。昇華法で分離抽出した<sup>99m</sup>Tc を含む放射性物質の gamma 線を Ge 検出器で測定した結果を

図 2 b に示す。141keV に <sup>99m</sup>Tc の gamma 線が顕著に見える一方、昇華実験前に観測されていた<sup>99</sup>Mo、<sup>97</sup>Zr 及び<sup>97</sup>Nb の gamma 線は全く見えていない。これら不純物 RI の寄与は、0.01% 以下であり、例えば、米国薬局方で放射性医薬品に課せられる基準を満たしており、昇華法が高品質の<sup>99m</sup>Tc を分離抽出する優れた能力を持つ事を示している。尚、<sup>99m</sup>Tc 及び<sup>100</sup>MoO<sub>3</sub> 試料の回収率は、いずれも 80% 強であるが、今後、更なる回収率の向上と安定化の開発を行う。

### (3)<sup>99m</sup>Tc の標識化実験

昇華法で抽出された<sup>99m</sup>Tc を用いて、骨シンチ診断に利用されているメチレンジホスホン酸薬剤 (MDP) に対する標識化を行った。<sup>99m</sup>Tc-MDP は、<sup>99m</sup>Tc を用いた診断で 50% 以上の利用率がある。標識率は、シリカゲル薄膜クロマトグラフ法で測定したが、99% 以上の標識率が得られ放薬基で要求されている標識率 95% 以上という条件を満たす結果を得た。尚、以上の成果は、論文として公表されている<sup>[11]</sup>。

## 6. 加速器中性子による多様 RI 生成

標識化合物及び精製 RI として教育機関、研究機関及び民間企業へ供給されている非密封 RI の 99% 以上は、海外からの輸入製品である<sup>[1]</sup>。現在、半減期が 50 日以内の RI の入手が困難になっていて、我が国の教育・研究機関や民間の活動にとり望ましい状況ではない。加速器中性子は、<sup>99</sup>Mo 以外の RI 生成にも利用が期待できるのであろうか。

悪性リンパ腫用の RI 治療薬に使用される<sup>90</sup>Y (半減期 2.7 日) は、海外の原子炉の放射性廃棄物中から分離された<sup>90</sup>Sr (半減期 28.8 年) から分離抽出されている。我が国は、この<sup>90</sup>Y を輸入し、薬剤メーカーで製剤化している。しかし、輸入に数日要するため<sup>90</sup>Y の比放射能濃度が低下し、標識製剤化の時に困難を生じる場合があり、新鮮な<sup>90</sup>Y が望まれている。筆者らは、加速器中性子を用いて、<sup>90</sup>Zr (n, p) <sup>90</sup>Y 反応で

十分な量の<sup>90</sup>Y が生成できる事を示した<sup>[12]</sup>。 加速器中性子は、<sup>99</sup>Mo 生成に有効な中性子放出を起こす (n, 2n) 反応のみならず、原子番号50程度以下の試料では、陽子やヘリウムを放出する反応断面積も大きく、多様な RI を有効量生成する能力を有している。又、生成される RI は、化学分離により高い比放射能濃度化が可能であり、様々な分野での利用が見込める。

## 7.まとめと展望

加速器中性子で生成された<sup>99</sup>Mo は、不要な放射性物質含有量が極めて少なく、又昇華法で分離精製された<sup>99m</sup>Tc は、放射性医薬品に要求される核純度を持ち、高い標識率を持つ事が示された。開発研究は、端緒についたばかりであるが、今後に弾みとなる結果を得た。加速器中性子による<sup>99</sup>Mo 生成法が確立すれば、現在、原子力機構で開発中の原子炉による<sup>99</sup>Mo 製造を補完し、<sup>99</sup>Mo の国内供給の安定化に寄与すると期待される。又、<sup>99</sup>Mo の海外の需要増加が見込める中で、原子力を有しない国には、<sup>235</sup>U を使用せず、安定稼働に定評のある加速器利用の本生成方式は受け入れやすく、今後の世界展開が期待される。

研究、産業、医療等で使用される RI は、従来、原子炉中性子と加速器からの陽子等で生成されてきた。加速器中性子を利用した RI 生成法は、多様な RI を生成する革新的な方法であり、今後の様々な分野での展開が期待される。

### 謝辞：

本稿の作成に当たり、前記特別グループの方々の協力に感謝する。本開発研究は科学技術振興機構及び科研費の助成金を得て行われた。

### 【参考文献】

- [1] 我が国における放射性同位元素の安定供給体制について、日本学術会議 7月24日 (2008年)
- [2] 小須田茂：RADIOISOTOPES, Vol.59, No. 5, 329 (2010). 小須田茂：FBNews, No.409, 2, (2011).
- [3] Association of Imaging Producers and

Equipment Suppliers (European Industrial Association for Nuclear Medicine and Molecular Healthcare,) : Report on Molybdenum-99 Production for Nuclear Medicine-2010- 2 -20, November (2008) .

- [4] C. Hansell : Nonproliferation Review 15, 185 (2008).
- [5] J. R. Ballinger : J. Labelled Compd. Radiopharm. 53, 167 (2010).
- [6] A. Kimura, K. Iimura, J. Hosokawa, H. Izumo, N. Hori, T. Nakagawa, M. Kanno, M. Ishihara and H. Kawamura : JAEA-Review 2009-072
- [7] Y. Nagai and Y. Hatsukawa : J. Phys. Soc. Jpn, 78, 033201 (2009).
- [8] F. Minato and Y. Nagai : J. Phys. Soc. Jpn, 79, 093201 (2010).
- [9] M. Fadil, B. Rannou, and the SPIRAL 2 project team : Nucl. Instrum. Method, B 266, 4318 (2008).
- [10] J. D. Christian, D. A. Petti, R. J. Kirkham and R. G. Bennett : Ind. Eng. Chem. Res. 39, 3157 (2000).
- [11] Y. Nagai, O. Iwamoto, N. Iwamoto, T. Kin, M. Segawa, Y. Hatsukawa, and H. Harada : J. Phys. Soc. Jpn, 78, 113201 (2009).
- [12] Y. Nagai, Y. Hatsukawa, T. Kin, K. Hashimoto, S. Motoishi, C. Konno, K. Ochiai, K. Takakura, Y. Sato, Y. Kawachi, N. Sato, A. Ohta, H. Yamabayashi, M. Tanase, S. Fujisaki, T. Teranaka, N. Takeuchi, and T. Igarashi : J. Phys. Soc. Jpn, (2011).

### ❖❖❖ プロフィール ❖❖❖

1971年	東京工業大学理工学研究科博士課程修了 大阪大学理学部助手
1978～1980年	独ユーリッヒ原子核研究所招聘研究员
1985年	東京工業大学理学部助教授
1988年	東京工業大学理学部教授
1999年	大阪大学核物理研究センター教授
2007年	大阪大学名誉教授、東京工業大学名誉教授 日本原子力研究開発機構客員研究员
2010年	日本原子力研究開発機構客員研究员 グループリーダー 現在に至る

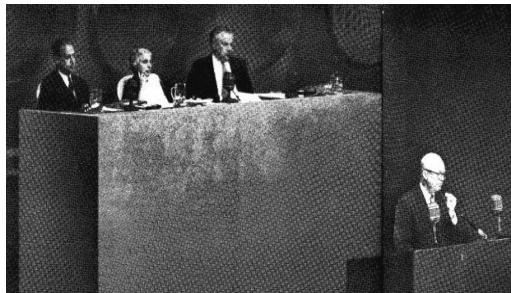
## 人間の知恵で作り出した原子力エネルギーを 人類のために安全に使い続けよう

元・原子力委員 町 末 男



66年前の今日広島に原爆が落とされ多くの命が失はれた。人類の犯した大きな過ちである。

その反省に立って、1954年アイゼンハワー大統領は国連総会で「Atoms for Peace」(平和のための原子力) の演説をおこなった。兵器にもなる巨大なエネルギーを持つ原子力を平和利用のために安全に利用し世界の発展に役立てようとする提案である。



国連総会で原子力の平和利用を提案する  
アイゼンハワー大統領

この提案に基づいて平和利用に限定して人類のために原子力を利用する事を推進するために、国際原子力機関（IAEA）が設立された。核の兵器利用を厳しく監視し、防止するのも IAEA の大事な役割である。

日本は景気後退を防ぐために、  
安全な原子力エネルギーは欠く事が出来ない

今、菅首相の個人的な思いとして「原子力のない社会を目指す－脱原子力」という議論が行われている。

これに先立ち、菅首相は原子力安全委員の意見を聞くことなく、浜岡の原子力発電所の停止を中部電力に勧告し、中部電力はこれを受け入れて全ての原子力発電を止めた。この事が他の県の原子力発電にも波

及し、定期整備を終えたプラントの再開に住民の理解が得難くなっている。このままでいくと、来春には全ての原子力発電が停止することになり、電力の30%が失われる。厳しい省エネが必要になるが、エネルギー経済研究所の試算では15%の省エネはGDPを3.5%引き下げるという。将来全ての原子力発電所を廃止して、太陽光と風力発電で賄うとしたら、電力コストが上昇し、産業界の国際競争力が低下する事が心配だ。

新エネよりコストの安い天然ガス、石炭で原子力を置き換えたなら、排出される地球温暖化ガスは19%増える。鳩山前首相が国際約束した25%削減を2020年までに達成することは全く不可能になる。

再生エネルギー拡大が必要なことは明らかだが、懸念の一つはコストである。経産省の計算では原子力に比べて風力は2~3倍、太陽光は約10倍である。また、現在電力の1%しかない新エネを2020年代早期に20%まで増やす事は広大な面積を必要とする立地点の確保も容易ではない。

### 理性的なベストミックスの議論

昨年6月経産省が決定したエネルギー基本計画では2030年までに発電の53%を原子力再生エネルギーを20%にして低炭素化を目指すとしている。もし、脱原子力によって、その分を低炭素の新エネルギーで置き換えるためには、新エネルギーを70%にする必要があり、それが不可能なことは明らかである。原子力なしのベストミックスは到底考えられない。

今回の福島原子力発電事故から学んだ教訓を活かして安全を徹底的に高めて、原子力発電を今後も利用していく事が日本の未来のために必要である。(2011年8月6日稿)

# 電離性放射線の基本量と単位に関する ICRU レポートの改訂①



多田順一郎\*

## 1. はじめに

この度、国際放射線単位・測定委員会 (ICRU) の「電離性放射線の基本量と単位 (Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation : FQ&U)」が13年振りに改訂され、ICRU レポート 85<sup>1)</sup>として刊行されました。1998年に出版されたレポート 60 の記述に幾つか不備があったことを以前に指摘した縁で、長らく ICRU のエディターを務められ2009年 6月に亡くなられたアルゴンヌ国立研究所の井口道夫先生から、FQ&U のレポート委員会に協力してオトシマエを着けるようお話を戴き、甚だ役不足ながら改定作業に加わることになりました。レポート委員会自体は、筆者が出席した2006年11月の ICRU 年会より数か月前から活動をはじめていたようですが、井口先生から伺った話では、2003年に筆者の指摘が ICRU ニュースに投稿された直後から、FQ&U の改訂の話は出ていたのだそうです。

そもそも筆者が FQ&U の記述に疑問を持ったのは、癌研の物理部長をされていた尾内能夫先生と吸収線量の概念に関して議論をしていたときですから、かれこれ四半世紀以上も前の話になります。熱中性子で<sup>59</sup>Co を照射したときの吸収線量をどう考えるべきかというテーマで、随分長い時間議論していたのを覚えています。その後、放射線物理のテキストを書いているときにも、

いろいろ行間を埋め切れない問題があることに気づき、コメントをまとめて ICRU に送ったところ、思いがけず ICRU ニュースに掲載の運びとなったのは、井口先生の計らいであったと思います。そんな経緯で、井口先生から書いたことの責任を取るように言われると、劣悪な語学力にも拘らずお引き受けせざるを得なかった次第です。

1928年に最初の国際統一エックス線量単位の“レントゲン”を勧告して以来、FQ&U こそが ICRU の活動の原点であるという意味で、FQ&U のレポート委員会は、少し特別な位置付けにあるようです。今回のレポート委員会は、電子の阻止能に関するバーガー=ゼルツァーの論文でお馴染みのステファン・ゼルツァー（米）が主査を務め、英国健康保険局のディヴィット・バートレット、国際度量衡局（仏）のディヴィット・バーンズ、国立物理工学研究所（独）のギュンター・ディーツェ、欧州原子核研究機構（CERN）のハンス・メンツェル、放射線防護研究所（独）のヘルヴィング・パレッケ、およびルーヴァン・カトリック大学（ベルギー）のアンドレ・ワンバシーという、気弱な筆者には気後れする構成でした。

ICRU の年会での議論は、2006年から2008年までありましたが、大部分の議論がメールで交わされましたので、英会話の苦手な筆者には大いに助かりました。しかし、時差の関係でほとんど休む間もなく送り付

\*Junichiro TADA NPO 法人放射線安全フォーラム

けられるメールの山は、議論が白熱して来ると、毎朝 PC を立ち上げるのが憂鬱になる程でした。その間、電総研 OB の崎原勝彦先生、KEK 名誉教授の加藤和明先生、産総研の斎藤則生先生ほか多くの方々に貴重なご意見を戴きましたことに、この場を借りまして厚く御礼申し上げます。

ともかく、レポートの最終ドラフトは昨年脱稿し、今年の 4 月に出版の運びとなりましたが、いま見返してみると、もっと強硬に改善意見を主張すべきだったと反省するところが何か所もあり、せっかくの機会を生かし切れなかったという思いが残ります。ともあれ、以前の FQ&U にあった誤りやあいまいな表現はかなり改善され、一步前進ではあったと思います。

## 2. 主な変更点

レポート 85 は、基本的にレポート 60 の誤りや不完全な点を修正したもので、第4.7節で導入された気体中のイオン生成率 (Y 値) を除いて新規なものは何もありません。しかし、既存の量の定義と解釈には、幾つかの重要な修正がありました。イントロダクションで宣言しているように、レポート 85 は、レポート 60 に置き換わる (supersede) ものなので、以前の定義や解釈は、このレポートの刊行を以て無効になります。しかしながら、ICRU から新旧対照表などは出されませんので、本稿では、それらの修正事項の主なものを順次ご紹介したいと思います。

### 2.1. 電離性放射線 (Ionizing Radiation)

実のところ電離性放射線をどう定義するかは、まじめに考えれば考えるほど、一筋縄では行かない問題です。レポート 60 では、物質を電離できる荷電粒子と非荷電粒子という形式的な定義をしていました。しかし、粒子の電離性をレポート 60 のように運動エネルギーだけで規定しようとす

ると、忽ち  $\pi$ -粒子や  $\mu$ -粒子のような例外に突き当たります。レポート 85 では、「電離性放射線の発生する核反応や素粒子反応を引き起こせる」という帰納法的な条件を追加しましたが、個人的には甚だ歯切れの悪いものを感じています。今更の話ではありますが、電離性放射線をどう定義するかは、もう一度根本から検討し直した方がよいのかも知れません。

### 2.2. 摆らぎをもつ量と期待値

#### (Stochastic Quantities and Mean Quantities)

放射線の作用は、基本的に統計的な揆らぎを伴います。そして、マイクロドシメトリに関する量を除き、その揆らぎの分布はほとんど関心の対象になりません。言い換えれば、FQ&U が扱うほとんどの量は、そうした統計的な揆らぎを伴う量の期待値です。レポート 60 では、このことを自明の事実として扱っていましたが、レポート 85 では、かなりの部分でそのことを明示するようにしました。

期待値として理解することは、放射線場の量 (Radiometric Quantities) の定義で特に重要です。なぜならば、放射線場の量の体系は、自然数またはゼロの値しかとれない粒子数を時間や空間や方位で系統的に微分して構築されますから、粒子数の期待値として定義しないと、いちいち超閏数微分を持ち出さねばならなくなるからです。また、期待値としてのフルエンスを考えないと、“単位フルエンス当たり”などという概念も非常におかしなことになります。ただし、放射線場の量に関して、個々に期待値であることを顕に示すのは流石に煩雑になるとして見送られました。

放射線場の量に関して、筆者は、粒子数 (の期待値) の時間変化 ( $dN/dt$ ) にフラックス (flux) という用語が使われていることに、長い間違和感を持ち続けてきました。なぜならば、フラックスとは、普通ベクトル場の面積分で与えられる量を意味するか

らです。電磁気学の磁束や流体力学の流束は将にそうした量で、「モース＝フェシェバッハなどの標準なテキストにはそう書いてある」としつこく迫ったのですが、何分貧弱な語学力が祟って、受け入れてもらえませんでした。

### 2.3. 断面積 (Cross Section)

パートレットさんが「FQ&U の断面積に関する定義に誤りがある」と言い出したときには、本当にびっくりしました。ICRU が FQ&U に断面積の定義を書いたのは、1980年のレポート 33 以来のことですから、ほぼ30年近くそのことに気付かなかったのは、この分野に係わりを持ってきた者の一人として、どれだけ罵倒されても返す言葉がありません。レポート 33 以来、断面積の定義は、次のようなものでした。

放射線と物質の相互作用に関する反応の断面積  $\sigma$  とは、特定の種類とエネルギーおよびフルエンス  $\Phi$  で入射する荷電または非荷電粒子が、一つの標的に特定の相互作用を引き起こす確率を  $P$  とするとき、以下の比で表される。

$$\sigma = P/\Phi.$$

単位 :  $\text{m}^2$

上のパラグラフをお読みになり予断をもってこの定義をご覧になった方は、直ぐに何が誤りかお気づきだと思います。粒子フルエンスは任意の値をとれますから、この定義文では、断面積の値がゼロでない限り、粒子フルエンス次第で確率が 1 より大きくなるという馬鹿げた結果が生まれます。あのとき、豆腐の角に頭を打ち付けたくなつたのは、筆者だけではなかつたと思います。レポート 85 では、以下の様な表現に改められました。

放射線と物質の相互作用に関する反応の断面積  $\sigma$  とは、特定の種類とエネルギーおよびフルエンス  $\Phi$  で入射する荷電または非荷電粒子が、一つの標的に引き起こす特

定の相互作用の回数の期待値を  $N$  とするとき、以下の比で表される。

$$\sigma = N/\Phi.$$

単位 :  $\text{m}^2$

### 2.4. 質量エネルギー転移係数

(Mass Energy Transfer Coefficient)

質量エネルギー転移係数は、レポート 60 で次のように定義されていました。

ある物質の非荷電粒子線に対する質量エネルギー転移係数  $\mu_{\text{tr}}/\rho$  は、 $dR_{\text{tr}}/R$  と  $\rho dl$  の比で表される：ただし、 $dR_{\text{tr}}$  は入射した非荷電粒子の運動エネルギー  $R$  のうち、密度  $\rho$  の物質を距離  $dl$  だけ横切る間に相互作用によって荷電粒子の運動エネルギーに転化される部分である。

$$\mu_{\text{tr}}/\rho = (1/\rho dl) \cdot (dR_{\text{tr}}/R).$$

単位 :  $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$

たとえば、分かり易い例として、この定義に基づいて熱中性子線が  $^{235}\text{U}$  に作用する場合を考えてみましょう。相互作用によって発生した荷電粒子（核分裂片）の初期運動エネルギーは、熱中性子の運動エネルギー ( $\sim 0.025\text{eV}$ ) の一部でなく、 $^{235}\text{U}$  の捕獲核分裂で解放される静止エネルギー ( $\sim 200\text{MeV}$ ) の一部であることは明らかです。つまり、 $dR_{\text{tr}}/R$  を入射した非荷電粒子の運動エネルギーの一部分とする規定は、核反応や素粒子反応を伴う場合には適切でないことになります。そこで、質量エネルギー転移係数の定義は、レポート 85 で次のように書き改められました。

ある物質の非荷電粒子線に対する質量エネルギー転移係数  $\mu_{\text{tr}}/\rho$  は、 $dR_{\text{tr}}/R$  と  $\rho dl$  の比で表される：ただし、 $dR_{\text{tr}}$  は入射した運動エネルギー  $R$  の非荷電粒子が、密度  $\rho$  の物質を距離  $dl$  だけ横切る間に相互作用によって発生させる荷電粒子の運動エネルギーの総和の期待値である。

$$\mu_{\text{tr}}/\rho = (1/\rho dl) \cdot (dR_{\text{tr}}/R).$$

単位 :  $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$

レポート 60 には、質量エネルギー転移係数の定義の後に「光子に関する計算では、(軌道電子の) 束縛エネルギーは質量エネルギー転移係数の ( $dR_{tr}$  の中に) 含まれているが、中くらいの原子番号の物質に 1 keV 以下のエネルギーの光子が作用する場合にはその計算法が影響してくる」というやゝ曖昧さの残る説明がありました。そのため、レポート 85 では、軌道電子の束縛エネルギーが  $dR_{tr}$  に含まれないことを明記しました。また、光核反応による核励起状態も荷電粒子の放出(陽子や内部転換電子の放出)に寄与することがありますが、通常は質量エネルギー転移係数の評価には含めず、個別の放射線源として評価することに言及しています。

## 2.5. 気体中のイオン生成率: Y 値

### (Ionization Yield in a Gas)

いわゆる G 値(単位エネルギー付与当たりに生成する化学物質の数の期待値: Radiation Chemical Yield)と W 値(気体の電離に費やされる平均エネルギー: Mean Energy Expended in a Gas per Ion Pair)とは、何れも着目した化学物質の放射線による生成能を表す相互作用の係数でありながら、歴史的な経緯のために互いに逆の次元を持つ量として定義されています。現象的には、放射線によってあるエネルギーを物質に与えたときに生成する量の期待値として測定されますから、期待値を分子にもつ G 値の方が、理に適った表現形をしていることになります。そこで、将来は W 値を置き換えることも含みとして、気体中のイオン生成能(Y 値)が導入されました。

気体中のイオン生成能 Y は、荷電粒子が気体中で電離能力を失うまで相互作用したとき生成する何れかの符号の全電荷量の期待値を素電荷量で除した量  $N$  と着目する荷電粒子の初期運動エネルギー  $E$  の比である。

$$Y = N/E.$$

単位:  $\text{J}^{-1}$

## 2.6. 気体の電離に費やされる平均エネルギー: W 値 (Mean Energy Expended in a Gas per Ion Pair)

W 値の定義文は、照射線量の定義を意識して(?)表現を修正していますが、意味する内容に変更はありません。定義文の後にある「制動輻射などの放射過程で放出された光子の再吸収から生じる電離も W 値の評価に含める」という説明に、放射過程が一次荷電粒子だけでなく二次(以降の)電子が引き起こすものも含むことが明記されました。また、軟 X 線による気体の電離の測定では有意な寄与となり得る一次電子(光子の作用で放出された電子)の電荷は、W 値の評価に加えないことが明記されました。

W 値に関連して新しく追加された事項は、レポート 31 で定義されていた微分 W 値( $w$ : differential W)です:

微分 W 値  $w$  は、運動エネルギー  $E$  の荷電粒子が気体の薄層を通過するとき相互作用で失うエネルギーの期待値  $dE$  とその相互作用で発生した二次荷電粒子が気体中で電離能力を失うまで相互作用したとき生成する何れかの符号の電荷の全電荷量の期待値を素電荷量で除した値  $dN$  との比である。

$$w = dE/dN, \quad (4.8.1)$$

W 値と  $w$  との関係は、次の式で与えられる。ただし、 $I$  は気体の最少電離エネルギーである。

$$W(E) = E / \int_I^E \{dE/w(E)\}, \quad (4.8.2)$$

W 値と微分 W 値の関係(4.8.2)を見ても、W 値より Y 値の方が素直に記述できることが分かります。

<sup>1)</sup> International Commission on Radiation Units and Measurements.  
ICRU Report 85 "Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation".  
Journal of the ICRU, volume 11, No.1, April 2011,  
Oxford University Press.

# 東日本大震災 その時、石巻赤十字病院では

嶋田 雅博\*

東北地方太平洋沖地震と津波により発生した東日本大震災に対して、全国の皆様からのあたたかい御支援に感謝いたします。そして、被災された方々に、心からお見舞いを申し上げます。

当院は、人口約22万人を抱える石巻医療圏の中核病院であります。平成18年5月石巻市蛇田地区に移転新築したのに伴い、医用画像ネットワークシステム（PACS）を稼働させ、フィルムレス化によるモニター診断及び読影所見の電子配信システムを構築しました。また、三陸自動車道から直接当院へ降りられる救急車退出路の設置、ヘリポート、洋上救急、新型救命救急センターの開設と救急への取り組みも積極的に行ってています。ここで、施設の概況を説明します。

名 称：石巻赤十字病院

所 在 地：宮城県石巻市蛇田字西道下71番地  
三陸自動車道石巻河南インターから車で5分、JR 石巻駅からタクシーで10分です。宮交バスも通っています。

開設年月日：大正15年10月20日

県内で初めての日本赤十字社宮城支部病院です。

院 長：飯沼 一宇

会津藩白虎隊の子孫でもあります。

病 床 数：402床（一般398床、感染4床）

診 療 科 目：26診療科

内科、神経内科、呼吸器内科、消化器



外来棟側からの病院正面

内科、循環器内科、腫瘍内科、外科、乳腺外科、脳神経外科、呼吸器外科、心臓血管外科、整形外科、形成外科、小児外科、産婦人科、小児科、耳鼻咽喉科、眼科、皮膚科、泌尿器科、リハビリテーション科、麻酔科、緩和医療科、放射線診断科、放射線治療科、救急科

職 員 数：768人

敷 地 面 積：69,815.86m<sup>2</sup>

総駐車場台数900台（一般駐車場540台、職員駐車場320台、タクシープール・救急駐車場17台、サービス駐車場15台、車庫棟8台）

ヘリポートは東日本大震災で大活躍しました。

建物延面積：32,486.82m<sup>2</sup>

地上6階地下1階、免震構造

積層ゴムアイソレーター、積層ゴムアイソレーター一体型U型ダンパー、銅製U型ダンパー、弾性すべり支柱、合計126基を用いた免震構造は強力で、マグニチュード9の地震に耐え、東日本大震災の救護に

\*Masahiro SHIMADA 石巻赤十字病院 放射線技術課 放射線技術第一係長



次々に患者を搬送するヘリコプター

被災者が殺到し、混雑する院内  
(写真：共同通信社)

あたることができました。

医療圏：石巻市、東松島市、女川町  
(人口216,935人)  
三陸自動車道の開通によって広がりつつあります。

東日本大震災で津波被害を免れた当院は、多くの医療機関が診療不能に陥った石巻地域の最後の砦になりました。自衛隊のヘリコプターや救急車は次々に被災者を運び込みました。患者の数は指數関数の様に増加し、3日目には1,200人を超えるました。通常は待合室となる1階ロビー（赤十字プラザ）は患者で溢れ、2階の廊下も避難した人や治療が終わっても帰る手段、帰る家をなくした人で埋まっていました。ドア一枚隔てた裏側の廊下では、全国から駆け付けてくれた医療スタッフや当院職員が仮眠をとるという有様で、まるで野戦病院か戦場の救護所でした。

病院PCに保存されている経過を一部抜粋して記します。多くの職員が泊まり込みで治療と救護にあたりました。

2011／3／11

【雪が降り積もるとても寒い日でした】  
14：46 地震発生。

- 15：25 トリアージエリア設置開始完了。
- 15：32 自家発電。水道、検査、エレベーター不可。放射線、ポータブル、単純Xp、CT、XTV透視のみ、MRIは不可。
- 15：43 医師配置完了。
- 15：45 天王橋橋げた落下。通行不可。
- 16：05 HIS（病院情報システム）PC準備でき次第全員当直救急科として受付可能。紙カルテは災害カルテ使用。
- 16：23 飯野川橋まで津波到達。北上町白浜地区10棟流出。多賀城自衛隊基地内浸水。
- 16：30 津波16時立町到達。橋通り行方不明者多数。原発1号機火災。放射線もれなし。
- 16：50 透析室暖房止まっているため寝具10枚準備。
- 17：00 各エリア患者状況報告。ライフラインの状況不明。
- 17：10 患者待機場所追加。放射線待合。会議室より椅子移動。
- 17：35 鮎川浜 16時、津波で壊滅状態。
- 17：45 正面玄関前に毛布準備。
- 20：00 人員の2／3は翌朝8時まで休む。  
(帰宅する場合は危険が伴うので

注意する)

- 23:17 救護班15班到着する予定（翌朝頃）  
東北地方の地図ないか本部に問い合わせ。
- 00:48 避難所リストをもとに、地図に可視化。
- 03:50 低体温多数来院の可能性有、赤十字プラザのレイアウト変更する。
- 12:00 石巻市内巡回場所視察の自衛隊帰院、救護班へ申し送り。ルートの安全確認できた。準備でき次第出発。

地震後直ちに災害対策本部が立ち上げられ災害レベル3が告げられました。各部署は被害状況、対応可能な検査処置の報告をして災害救急に備えました。玄関前には治療の優先度を判断するトリアージのスペースと、軽傷者を治療する大型のテント【緑エリア】が設けられました。絶え間なく運ばれてくる患者、津波で失った薬をもらいに来る人、親族らの安否確認に来る人たちが殺到しました。1階ロビー【黄エリア】では中等症の患者の処置が行われました。準備した災害用ベッドでは足りず、けがや津波でずぶぬれになった低体温症の患者がマットやブルーシートで毛布にくるまっていました。早急に治療を要する重症患者は、救急センター【赤エリア】に搬送されました。【黒エリア】はリハビリセンターでした。東日本大震災は大震災のわりには多発外傷、圧挫傷症候群などの重症例があまりなく、大津波による甚大な被害が沿岸部に集中し、患者は死亡か軽傷に二極化していました。それでも付き添う家族はなく、身元も分からぬまま息を引き取った人は少なくありませんでした。

全国の赤十字から病院支援スタッフが入り、延べ3,000以上の様々な医療班が病院の支援と避難所の巡回診療にあたりま

した。当院GM（ゼネラルマネージャー）とサポートスタッフの災害医療コーディネート本部は、被災エリアを継続して支援できるように、長期にわたり支援できる医療班とスポットに支援する医療班の調整を行いました。『この大震災で赤十字病院が頑張らなかったら、赤十字病院の存在意義はない』とがんばりました。

私が所属する放射線科部では、検査を速やかに中断終了させ患者の安全をはかりました。そして、24時間体制にするために技師の班編成を行いました。自家発電の容量の関係で使える装置はポータブル、単純撮影、CT、X線TVでした。撮影依頼は紙伝票とし、単純撮影はフィルム出し、CTは装置のモニターで画像参照をしてもらいました。オーダリング環境が整った所からPACSを再開しました。救急センターには技師2人がはり付き、撮影とフィルムの搬送を行いました。災害救急体制は数ヵ月間続きました。

最後に歴史を少し。当院の前身は、明治6年門脇の旧南部藩蔵屋敷跡に誕生した共立社病院石巻分局病院です。近頃、幕末にタイムスリップした医師が活躍するテレビドラマが話題になっていますが、医療技術の貧しさや衛生に関する概念の乏しさのため、疫病の広がりに歯止めをかけられなかつた当時の保健衛生から、石巻地方における近代医療への幕開けがありました。その後、宮城県立病院石巻分院、牡鹿桃生両郡公立病院と改組改称され紆余曲折を経て、大正15年日本赤十字社に譲渡されました。創立以来の施設が北上川西岸旧市街地だったので拡張もままならず、昭和8年石巻町湊地区御所入（現・吉野町）に移転しました。吉野と聞くと、古の都奈良の吉野を思い浮かべるのですが、石巻市湊地区吉野町は一皇子（護良親王）落魄の地と謂われ、

近くに一皇子神社もあります。吉野、御所入、一皇子、そしてアラスカのモーゼと謳われたフランク安田（安田恭輔）の出身地でもあるこのあたりは、何処か歴史のロマンを感じさせる街でもありました。気候が温暖であるということから裏山の斜面にサントリウムが設けられた時代もあった様です。今は石巻赤十字看護専門学校となっているこの湊地区も、今回の津波で大きな被害を受けました。昭和46年に全面改築した病院本館は老朽化が進み敷地も手狭になつたため、平成18年北上川河口から4km程上游の石巻市蛇田地区に移転しました。

今から約3,000年と2,000年前の弥生時代の地層に大津波の徵候がみられるそうです。そして、1,000年前の貞觀地震(869)にも大津波がありました。歴史に学ばねばと再認識した今日この頃です。

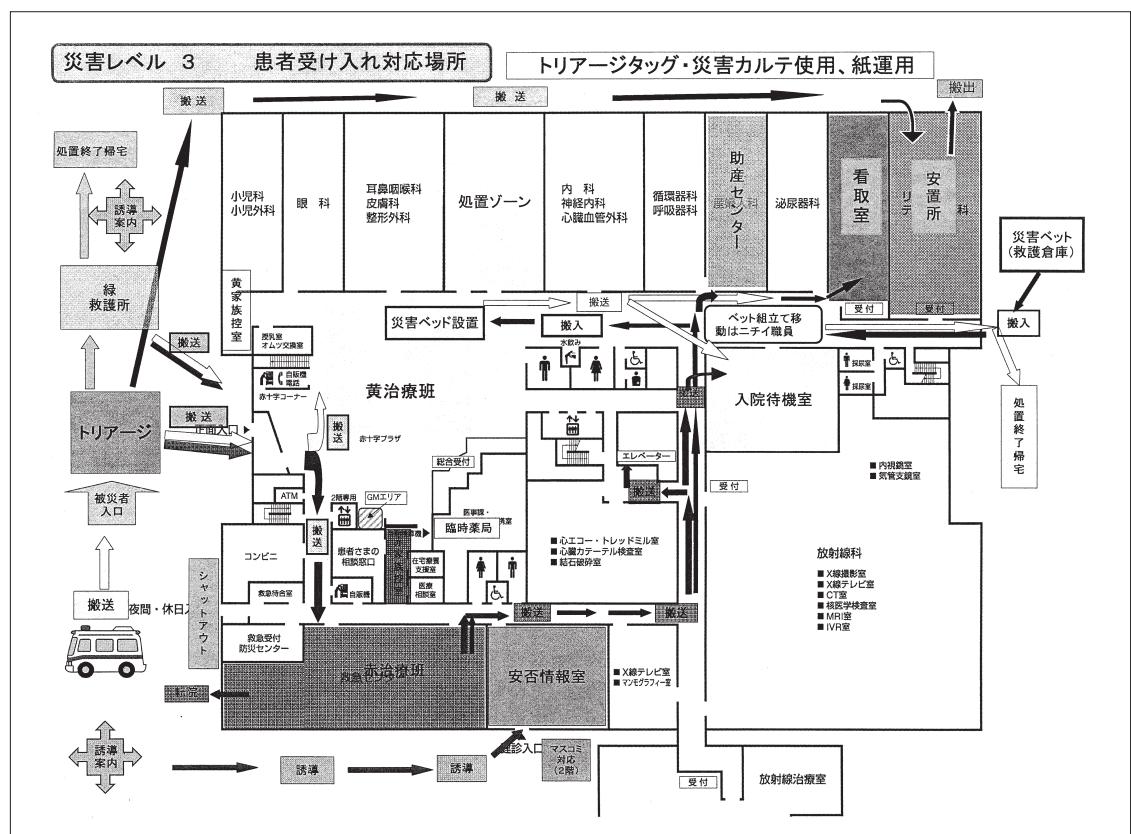


北上川西岸の病院全景、大津波で河口の市街地は一変した

## 基本理念

赤十字精神をもって医療を行います  
地域から信頼される病院をめざします  
皆さまと私たち職員の満足を大切にします

東北一活気のある病院をめざして。



## 平成23年度原子力安全技術センター講習スケジュール

講習名／月	10月	11月	12月
放射線安全管理講習会		21：仙台 25：札幌	7：広島 8：福岡 15：大阪 16：名古屋 19：東京
医療機関のための 放射線安全管理講習会		30：東京	14：岡山
医療放射線従事者のための 放射線障害防止法講習会			△：東京実施予定
登録定期講習	1：大阪（医療） 20：東京	4：大阪 11：東京 16：名古屋 22：仙台 24：札幌	1：福岡 2：広島 9：東京

問合せ：(財)原子力安全技術センター 出版・講習Gr. (TEL 03-3814-5746)  
<http://www.nustec.or.jp/>

### ご案内

## 2011年製薬放射線研修会

会期：平成23年11月9日(水)～11月10日(木)

会場：神戸市ポートアイランド 先端医療振興財団臨床研究情報センター

### ◆1日目 [11月9日(水)] 製薬放射線研修会

「PRC活動報告」

【講演1】「最新の放射線行政の動向について」（仮題）

遠藤 正志氏（文部科学省科学技術・学術政策局原子力安全課放射線規制室）

【講演2】「福島での6日間－緊急被ばく医療チームの初期活動」

松田 尚樹氏（長崎大学）

【講演3】「分子イメージング活用創薬」

渡辺 恭良氏（理化学研究所神戸研究所分子イメージング科学研究所）

### ◆2日目 [11月10日(木)] 見学会

理化学研究所神戸研究所、次世代スーパーコンピュータ「京」、先端医療センター、日本メジフィジックス神戸ラボ等を予定

参加申込：下記製薬放射線コンファレンスホームページ内研修会参加申込フォームからお申込下さい。

[http://www.web-prc.com/soukai\\_request.html](http://www.web-prc.com/soukai_request.html)

主催：製薬放射線コンファレンス

後援：独立行政法人理化学研究所

# ガラスバッジWebサービスへのお誘い

## ～\*～ ご使用者新規登録時の整理番号について ～\*～

ガラスバッジ Web サービス画面にてご使用者の追加登録操作の際に、整理番号の発番方法を指定できるようリニューアルいたしました。お客様の管理状況に合わせて、是非ご利用ください。

### 【ご使用者追加操作手順】

ご登録メニュー>お申込先の確認・登録内容の変更>登録内容の変更>ご使用者新規追加

**TECHNOL ご使用者登録**

お客様コード: 0133171000 株式会社千代田テクノル

使用種別:  個人用  環境用  予備用

整理番号の発番方法:  空き番号を使用する  現在ご使用中の次の番号を使用する  最大の整理番号を使用する

整理番号: [ ]

使用者姓（漢字）: [ ]

使用者名（漢字）: [ ]

使用者姓（フリガナ）: [ ]

使用者名（フリガナ）: [ ]

ラベル名称: [ ]

性別: [ ]

生年月日: 西暦 [ ] 年 [ ] 月 [ ] 日

職種: [ ]

※1, ※2 1月管理有無と3月管理有無について  
個人線量管理の方法を指定する項目です。  
※3 1か月間の累積線量が1.7mSvを超える恐れがある場合に  
指定してください。もし、3月管理の必要がない場合には  
「月管理有無を「しない」に指定してください。」

※4 1月管理有無が「する」の場合、個人線量管理票が毎月作成されます。  
3月管理有無が「しない」の場合、個人線量報告書の実効線量四半期計の  
累積表示が行われません。

標準の場合は次のように設定されます。  
1月管理有無 3月管理有無  
女性 しない する

### 【整理番号の発番方法】

- 「空き番号を使用する」 ..... 現在登録されていない整理番号を、小さい整理番号（001より）順に発番します
- 「現在ご使用中の次の番号を使用する」 ..... 現在登録している一番大きい整理番号の次の番号を発番します
- 「最大の整理番号を使用する」 ..... 中止されている整理番号も含め、現在までに登録されている一番大きい整理番号の次の番号を発番します

お客様の管理状況に合わせて選んで、チェックを付けてください。

指定されない場合（初期値）は、「空き番号を使用する」にチェックが付いています。

連続して追加操作される場合は、チェックされた項目が引き継がれます。



### 【お客様お問い合わせ窓口】

●TEL: 03-3816-5210 ●メールアドレス: garasu-nandemo@c-technol.co.jp

## サービス部門からのお願い

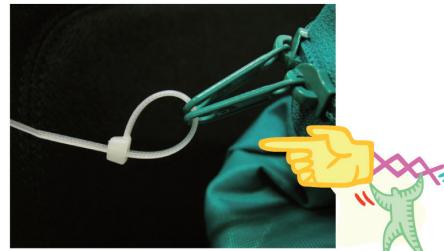
### ～GB キャリーをインシュロック・タイで締めてください～

平素より弊社のモニタリングサービスをご利用くださいまして、誠にありがとうございます。

GB キャリーバッグをご使用のお客様にお願いいたします。GB キャリーバッグの内ポケットにはインシュロック・タイ（結束バンド）を入れております。測定依頼の際には、GB キャリーバッグをインシュロック・タイで必ず締めてご返送ください。

2つのファスナーのツマミの穴を繋ぐように、インシュロック・タイを通して、輪を作るよう締めてください。（右写真参照）

ご理解とご協力をよろしくお願い申しあげます。



## 編集後記

●今年も昨年同様に暑い日が続いています（8月18日現在）。これまでのところ、心配された計画停電には至らずに済んでいます。

本誌が皆様のお手元に届くころには、きっと涼しくなっていることでしょう。

●例年の今月号は「原子力の日に思う」と題して記事を掲載しています。今年は、金沢学院大学名誉学長・原子力安全技術センター会長石田寛人先生に執筆をお願いいたしました。先生は「今年の10月26日は、毎年巡りくる原子力の日とは全く違う、初心に返って原子力に向かい合うべき格別の日となった」と述べておられます。

●日本原子力研究開発機構の永井泰樹先生に「加速器中性子による<sup>99</sup>Mo 等多様 RI の革新的生成法と実用化研究」と題する原稿をお願いいたしました。核医学診断等で使用されている<sup>99m</sup>Tc の親核種である<sup>99</sup>Mo が世界的に不足しているとのことで、原子炉を利用せず加速器で生成させようとする研究です。是非とも成功していただきたいと思います。

●NPO 法人放射線安全フォーラムの多田順一郎先生から「電離性放射線の基本量と単位に関するICRU レポートの改訂」と題して原稿を執筆していただきました。国際放射線単位・測定委員会(ICRU) の「電離性放射線の基本量と単位」が13年振りに改訂され、ICRU レポート 85として刊行されたものを解説していただきました。このレポートは1998年に出版されたレポート 60 の改訂版とのことですですが、編集子には極めて難解で、読むほどに誤解しそうです。

●石巻赤十字病院の嶋田雅博先生には「東日本大震災 その時、石巻赤十字病院では」と題する原稿の執筆をお願いいたしました。石巻市は地震や津波により、大変な被害に遭った地域です。地震直後からの院内の活動がリアルに述べられており、その状況が目に浮かぶようでした。

●これまで順調に進んできたように見えた原子力産業ですが、この辺でじっくりと考えるべき時が来ているようです。  
(K.F)

## FBNews No.418

発行日／平成23年10月1日

発行人／細田敏和

編集委員／竹内宣博 安田豊 中村尚司 金子正人 加藤和明 大登邦充 岡本徹滋  
加藤毅彦 佐藤典仁 寺中朋文 根岸公一郎 野呂瀬富也 福田光道 藤崎三郎 丸山百合子

発行所／株式会社千代田テクノル 線量計測事業本部

所在地／〒113-8681 東京都文京区湯島 1-7-12 千代田御茶の水ビル 4 階

電話／03-3816-5210 FAX／03-5803-4890

<http://www.c-technol.co.jp>

印刷／株式会社テクノルサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円（本体381円）