



*Photo H. Fukuda*

## Index

宇宙線研究の今 .....	梶田 隆章	1
放射線防護量の変遷 .....	岩井 敏	6
世界を目指す若い人材が必要 .....	町 末男	11
ユーザーズミーティング		
－ 放射線看護の最前線から － .....		12
～ ガラスバッジ Web サービスへのお誘い 第3回 ～ .....		17
書籍紹介 改訂版 放射線管理実務マニュアル .....		18
[サービス部門からのお知らせ]		
返信用封筒の差出人名等のご記入が不要となりました .....		19

# 宇宙線研究の今



梶田 隆章\*

## 1. はじめに

宇宙線と呼ばれる宇宙から飛来する粒子線の存在が発見されてからほぼ1世紀になろうとしています。この間いろいろな方法を用いて、この宇宙線がどんな種類の粒子なのか、どのようなエネルギースペクトルをもっているかなどがわかってきました。また人工の加速器が発達していなかった時代には、宇宙線を調べることで素粒子のことが調べられた時代もありました。宇宙線実験で、ミュー粒子、パイ中間子、K中間子などの「奇妙な粒子」などが発見されました。ミュー粒子の発見には仁科芳雄先生も深く関わりました。もう50年以上も前のことです。その後加速器の発展とともに、宇宙線研究は宇宙線の起源、つまり、宇宙線はどのような天体で、どのようにして高エネルギーまで加速され、またどのように宇宙空間を伝播してこの地球まで飛来するのかを研究することに興味を中心が移っていきました。実際、宇宙線のエネルギーが人工の加速器ではとうてい到達できない超高エネルギーまで伸びていることは、これらの宇宙線粒子がどこで、またどのようなメカニズムでそのような高エネルギーまで加速されているのだろうと興味をそそられます。本稿では現在の宇宙線研究、特に日本が関係している研究分野のハイライトのいくつかを紹介します。

## 2. 宇宙線の観測

宇宙線のことを理解しようとしたら、まず起きている現象をきちんと調べる必要があります。まずはどのくらいのエネルギーを持った宇宙線

粒子がどのくらいの頻度で地球に飛来しているかを測る必要があります。この研究は長い歴史があり、その結果おおよそ宇宙線のエネルギーと到来頻度は図1のようになっていることがわかっています。宇宙線のもつ運動エネルギーの範囲が下は $10^9$ 電子ボルト（1 GeV）以下から、上は約 $10^{20}$ 電子ボルトにまでおよび、そのエネルギー範囲は11桁以上におよびます。またその到達頻度はエネルギーが高くなると共に急激に下がり、 $10^9$ 電子ボルトの宇宙線の到達頻度と $10^{20}$ 電子ボルトの宇宙線の到達頻度では約30桁も違います。このようなエネルギーや到達頻度の非常に大きな違いから単一の測定器では宇宙線の全エネルギー範囲に渡る測定を行うのが不可能であることがわかります。

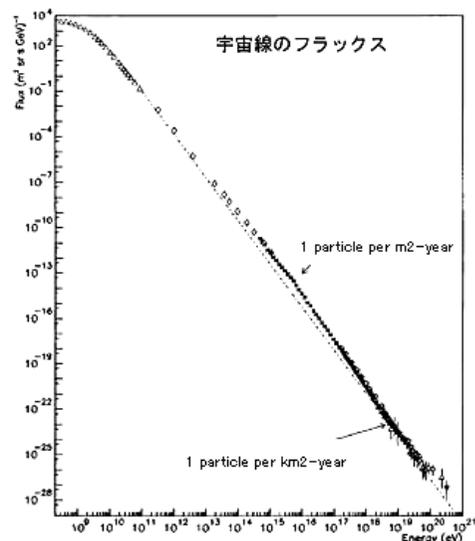


図1：観測された宇宙線のスペクトル

\*Takaaki KAJITA 東京大学宇宙線研究所 所長



図2：中国チベットの標高4300メートルの高原に設置された宇宙線観測装置。約 $10^{16}$ から $10^{17}$ 電子ボルトの宇宙線の研究でいろいろな成果を出している。図中白色の箱のようなものが空気シャワー粒子の測定装置で、シンチレータと光電子増倍管からなっている。(東京大学宇宙線研究所提供)

図1で一番エネルギーの低い $10^9$ 電子ボルトあたりでは宇宙線の頻度が非常に高いので大きい測定器は必要ありません。測定器の大きさは1平方メートルも必要ないでしょう。しかし、これらの低エネルギー宇宙線は地球大気に遮られて地表には到達しません。従って大気の上空、だいたい高度30から40 km程度、に気球を用いて検出器をあげて測定、またはロケットなどを用いて宇宙空間に検出器をあげて測定する必要があります。これらの測定は宇宙線を直接測定しますので、きちんと測定できれば測定は容易に信頼できるものとなります。

さて、もっとエネルギーの高い宇宙線を測定することを考えてみます。たとえば図1をよく見ると $10^{15}$ から $10^{16}$ 電子ボルトのあたりに宇宙線スペクトルの傾き、すなわちエネルギーが一定量あがったときに飛来する宇宙線がどれだけ減少するか、の変化があるのがわかります。この変化は宇宙線の起源が銀河内から銀河外に移行することによるものと考えられています。従って今でもこのエネルギー領域の研究は重要で、いろいろな角度から研究が進められています。ところで、このエネルギー領域で宇宙線が飛来する頻度は1平方メートルに年間1粒子程度です。これだけの頻度ですと測定器の大きさの制限から宇宙空間や大気上空での測定は現実的ではありません。では、どのような方法で測定されるのでしょうか？幸いなことに、このようなエネルギーの高い粒子が地球の大気上空に飛来すると大気の上空で大気中の原子核と相互作用

して、主にパイ中間子などからなる2次粒子群を生成します。これらの2次粒子も十分にエネルギーが高ければ、飛行中に更に大気中の原子核と相互作用して、また粒子群を生成します。このようなことを繰り返すことで大量の粒子群がそのエネルギーに応じて高地にあるいは地表に降り注ぎます。この現象は空気シャワーと呼ばれています。この空気シャワーを測定すれば、大気の上空に飛来した宇宙線の情報を得ることができます。このような原理で宇宙線を測定し、研究を進めている装置の一例を図2に示します。

更にエネルギーの高い宇宙線は銀河系外で生成され、我々の銀河に飛来したと考えられています。我々の銀河はこれらの超高エネルギー宇宙線を加速する十分なスペースがないためです。従ってこれらの宇宙線がどのような天体、あるいは場所でどのように加速されたのか、そして加速の限界エネルギーはどの程度なのであろうかなどには興味があります。それと共に、飛来する宇宙線のエネルギーには原理的な限界があるはずだと信じられています。超高エネルギーで宇宙空間を飛び続ける宇宙線はビッグバンで生成された光(温度2.7Kのマイクロ波)と相互作用します。その確率は宇宙規模の飛行距離では無視できません。そして宇宙線のエネルギーが約 $4 \times 10^{19}$ 電子ボルトを超えると宇宙線粒子と2.7Kの光子が相互作用した際に、パイ中間子を生成します。この際宇宙線粒子はそのエネルギーを失います。その結果、十分遠い宇宙(約1.5億光年以上遠い宇宙)から飛来した宇宙

線はエネルギーの上限が約  $4 \times 10^{19}$  電子ボルトであるはずですが。これは確かめる価値があります。しかし、問題は宇宙線の到来頻度です。このくらいのエネルギーになると、100平方 km に一年に1粒子の到来頻度です。従って、100平方 km をはるかに超える面積を観測する必要があります。ものすごく広い面積ですが、現段階で観測方法にはおおむね2つの方法があります。一つは図2と同様に地表に粒子検出器をある間隔で敷き、地表に到達した空気シャワーを観測する方法です。エネルギーが非常に高いため、粒子検出器の間隔は1 km の格子に1台程度設置すれば観測可能です。しかし、ある程度の観測頻度を得るためにはおおよそ1000平方 km もの表面積を観測する必要があります。すると、必要な検出器の数は約1000台になります。これはかなりの数ですので、他の方法の検討もいろいろ続けられてきました。空気シャワー粒子群が大気中を走る時に窒素分子を励起してその結果シンチレーション光を発します。現在までに実用化された方法はその光を観測するものです。多数の反射望遠鏡で大気を見張り、空気シャワー起源の発光を観測します。図3は現在アメリカユタ州で観測が始まっている最高エネ



図3：最高エネルギー宇宙線を観測する装置の一部。一つの建物の中に多くの望遠鏡が設置してあり、数十 km 先の大気まで観測する。これと同様の建物が合計3箇所あり、一つの空気シャワー発光現象を最大3カ所で別方向から監視できる。それとともに、3台の望遠鏡ステーションで囲まれたところには地表に検出器が1.2km おきに設置してあり、地表に到達した空気シャワーを観測する。(東京大学宇宙線研究所提供)

ルギー宇宙線観測プロジェクトのうち、空気シャワー起源の発光を観測する反射望遠鏡装置です。

### 3. 宇宙線の起源を求めて

2章では、宇宙線の観測を簡単にまとめました。しかし、宇宙線がどのような天体で加速されているかを知る上で、上記の観測には決定的な問題があります。それは銀河系内に磁場があって、荷電粒子である宇宙線は曲げられてしまい、地球に到達した時は、いくら正確に到来方向を測定しても宇宙線の発生した場所はわからないという問題です。(正確には先ほど議論した最高エネルギー宇宙線は銀河内磁場による軌道の曲がりは数度以下と見積もられ、宇宙線の到来方向を測定して宇宙線の加速された場所の情報を得ることは可能です。)そのため、別の方法で宇宙線が加速されている場所を探す必要があります。問題は宇宙線が電荷を持っているということですので、もちろん電荷を持たない粒子を観測できれば、銀河系内での粒子の軌道の曲がりは起こりません。先ほど宇宙線が大気に入射した際の空気シャワー現象について記述しました。宇宙空間でも物質がある場所では宇宙線粒子がまわりの物質と相互作用して2次粒子を生成します。ところで、物質があるといっても宇宙空間の物質密度は小さいです。生成されたパイ中間子などの2次粒子はほとんどの場合崩壊します。さて中性のパイ中間子は崩壊して2本のガンマ線になり、また電荷を持ったパイ中間子はミューオンとミューニュートリノに崩壊します。さらにミューオンは電子とミューニュートリノと電子ニュートリノに崩壊します。従って非常に高エネルギーのガンマ線やニュートリノを観測することができれば宇宙線の加速現場のことがわかります。

宇宙ガンマ線の研究は最近20年程度で飛躍的に進みました。この研究の進展はチェレンコフ望遠鏡と呼ばれる観測方法の発展によります。宇宙から大気上空に飛来したガンマ線は大気中の物質と相互作用して多くの電子、陽電子、ガンマ線からなる電磁シャワーを生成します。電磁シャワー中の高エネルギー電子・陽電子は大

気中でチェレンコフ光を進行方向前方に放出します。チェレンコフ望遠鏡と呼ばれる装置は地表に設置した望遠鏡でこの光のフラッシュを観測します。チェレンコフ光は粒子の進行方向に発せられるので、望遠鏡で光の到来方向を調べれば、宇宙から飛来したガンマ線の方向を決定することになります。このような装置での宇宙ガンマ線の観測は日本グループが中心になって行っているのも含め、現在おおよそ世界で4研究グループがその成果を競っています。例としてそのうちの1つの実験グループが行った TeV ( $10^{12}$ 電子ボルト) エネルギー領域の銀河面の観測結果を図4に示します。いくつものガンマ線源が同定されています。これは銀河宇宙線の発生源の候補として非常に興味深いものです。

しかし、ガンマ線の観測には宇宙線陽子や原子核が本当に加速されているかを決定づけるには1点問題があります。それはもし天体で加速されているのが電子だった場合、高エネルギーまで加速された電子は加速現場付近の電磁場との相互作用で高エネルギーガンマ線を放出します。同時にエネルギーあるいは振動数のずっと小さいシンクロトロン放射も放出します。実際多くの TeV ガンマ線天体のデータは電子起源のガンマ線と考えて矛盾がないようです。では、どのような観測をしたら陽子あるいは原子核が加速されていると疑いようもなく決定できるでしょうか？それがニュートリノです。既に書きましたが、ニュートリノは荷電パイ中間子の崩壊で生成され、一方加速された電子はニュートリノを放出できません。このような考えに基づ



図4：H.E.S.S.グループによる銀河面サーベイのデータ（下図、2005）。赤外（上図）と可視（中央）での観測結果も示してある。  
(<http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/>より)

き、宇宙起源の高エネルギーニュートリノを探す努力がなされています。しかし、ニュートリノは観測するためには、物質と相互作用をしてその結果放出される粒子を観測する必要があります。ニュートリノと物質との相互作用の断面積は非常に小さいので必然的に大きな測定器が必要になります。高エネルギー宇宙ニュートリノを観測するために必要と考えられている測定器の大きさは最低1立方 km 程度です。このような体積を持った測定器をつくることは現実的でなく、何らかの形で自然を利用する必要があります。基本的にはニュートリノ相互作用の結果生成された荷電レプトン、例えばミューオンなどを測定するため、どこであれ測定器体積中を通過したミューオン1粒子を測定する必要があります。この要請に対する1つの回答としては、南極の氷の中に光検出器（光電子増倍管）を格子状に埋めて、ミューオンが氷中を通過する際に発生するチェレンコフ光を観測するものです。この計画は現在建設の終盤です。図5にその装置の概念図を示します。

以上述べてきたような現代の観測技術を用いて、宇宙線の謎は急速に理解されつつあります。そして宇宙線の研究は超高エネルギー天体物理学とでも言うべき新たな分野へと変貌しつつあります。

#### 4. 宇宙を見る新しい目

宇宙線の研究は通常の光学望遠鏡などでは決定的な情報をえることができない、高エネルギー宇宙の姿を知る手段となりつつあります。そして天文学の発展により、宇宙線研究が示したように宇宙を調べるのに光や電波などの伝統的な観測方法だけでは十分ではないという認識が広がってきました。ここでは2つの例を簡単に紹介します。

太陽は核融合で輝いています。しかし光で太陽を観測しているだけでは中心部のエネルギー生成メカニズムを理解することはできません。何か全く別な方法で太陽を観測する必要があります。核融合の際にニュートリノも放出されて

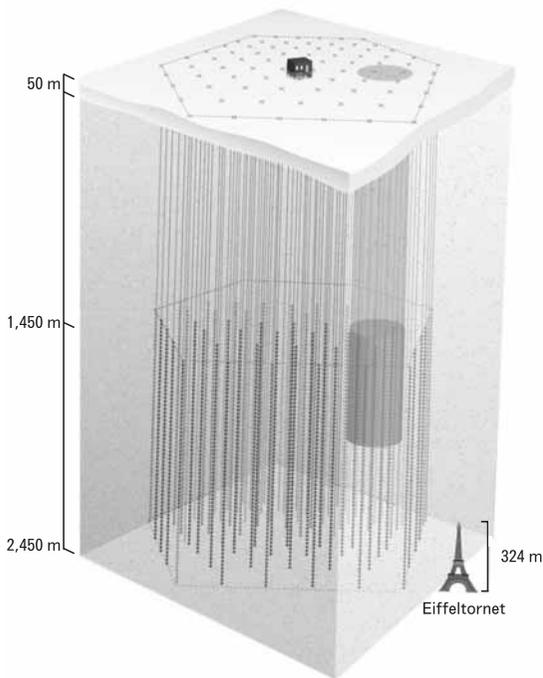


図5：南極点の氷中に設置された高エネルギー宇宙ニュートリノ観測装置。国際共同で推進され、日本のグループも参加している。  
(<http://www.icecube.wisc.edu/info/>より)

いますので、太陽から飛来するニュートリノを観測すれば太陽中の核融合の様子を調べることができます。このような研究は1960年代後半から始まり現在も続いています。ところで太陽ニュートリノは観測開始当初からニュートリノの観測数が予想値より少ないという問題があり、長い間天文学者と素粒子研究者を悩ませてきました。近年ニュートリノが飛行中に別な種類のニュートリノに転移するニュートリノ振動が原因であったことが発見されました。ひとたびニュートリノ振動の効果を補正してデータと理論値を比較すると、現在の太陽モデルが非常に良い精度で太陽ニュートリノ強度を予言していたことがわかりました。つまり我々は太陽のエネルギー生成をよく理解しました。

同じように超新星爆発は重い星の進化の最後の姿です。この時星の内部で起こっていることは、星が一気につぶれて中性子星などとなるこ

とです。しかしこの現象の本質は光で見えてもわかりません。実際このときの爆発のエネルギーの99%はニュートリノが持ち去ります。超新星爆発のニュートリノを1987年にカミオカンデ実験が観測したことは有名です。ところで、このような重い星が関係する現象の観測は重力波の観測も本質的な重要性を持ちます。重力波は重い物体が(激しく)動くときに放出されます。人類が近い将来観測できそうなレベルの重力波は、先ほどの超新星爆発の他に、2つの中性子星が合体してブラックホールになる際に放出されると考えられています。これらの現象はまさに重力が本質的な役割を果たす現象であり、重力波で測定するのがもっとも本質を理解するのに適しています。重力波はまだ直接観測はされていませんが、観測されれば宇宙を見る新しい目を得ることになります。ニュートリノや重力波を含めた広い意味の宇宙線の研究は21世紀の天文学として目が離せません。

## 5. まとめ

ニュートリノや重力波も含めた広い意味の宇宙線研究の現状を書きました。本稿では発見以来100年になろうとする宇宙線の研究が現在宇宙の研究の重要な手段として成長してきていることを紹介させていただきました。

### ✦ プロフィール ✦

昭和56年3月 埼玉大学理学部卒業、昭和61年3月 東京大学大学院理学系研究科物理学専門課程博士課程修了・理学博士。

昭和61年4月 東京大学助手(理学部附属素粒子物理国際センター)、平成4年4月 東京大学助教授(宇宙線研究所)、平成7年4月 東京大学助教授(宇宙線研究所附属神岡宇宙素粒子研究施設)、平成11年9月 東京大学教授(宇宙線研究所附属宇宙ニュートリノ観測情報融合センター)、平成20年4月 東京大学宇宙線研究所長。

専門分野：宇宙線物理学、ニュートリノ物理学。  
受賞：第45回仁科記念賞〔平成11年12月〕、2002年 W.K.H. Panofsky Prize (小柴昌俊氏、戸塚洋二氏との共同受賞)〔平成14年4月〕



岩井 敏\*



# 放射線防護量の変遷

## 1. はじめに

放射線被ばくの指標である線量という概念は、放射線治療、被ばく事故、放射線防護など目的により異なる。放射線防護に用いる線量としては2種類の量がある。ひとつはICRPが定義する「防護量」(protection quantity)であり、もうひとつはICRUが定義する「実用量」(operational quantity)である。防護量は線量当量の概念から始まり、実効線量当量を経て、実効線量へと発展した線量の概念であり、防護のために線量限度と比べる量である。一方、実用量は、最大線量当量(MADE)に始まり、線量当量指標を経て、現在勧告されている周辺線量当量と方向性線量当量および、個人線量当量が用いられる。

防護量である実効線量と等価線量は直接測定できないが、照射条件がわかれば、計算で求めることができる量である。防護量は実際に測定可能な量ではないため、放射線モニタリングには直接使用できない。そのため防護量の評価用として実用量が使用される。実用量はICRP Publ.26で勧告<sup>1)</sup>に応じて開発されたもので、防護量の推定値を提供すること(ICRU Report 39<sup>2)</sup>と43<sup>3)</sup>)と、モニタリングに用いる線量計の校正量として使用するために考案されたものであるとICRP Publ.74<sup>4)</sup>の第15項に記載されている。実用量は場のモニタリング用として、周辺線量当量  $H^*(d)$  と方向性線量当量  $H^*(d, \Omega)$  が使用され、個人モニタリングには個人線量当量  $H_p(d)$  が用いられる。放射線防護に係わる量である防護量と実用量は当然、放射線に関する基本物理量(フルエンス、カーマ、吸収線量など)と換算係数によって関連付けられる。これら3者の量の関係を図1に示す。

その後、2007年のICRP新勧告では、防護量として内部被ばくに係わる預託線

量の概念も明記され、それに対応する初期摂取量評価のための空气中濃度や体内濃度なども実用量に含まれるようになった(ICRP Publ. 103のB58項)<sup>5)</sup>。

ただし、本稿では、放射線防護に係わる人体の被ばく線量の基本的概念である「防護量」の成立の経緯と変遷について解説し、実用量の成立と変遷は本稿の範囲外とする。

## 2. 防護量の初期の概念

米国のMutschellerは放射線作業者が放射線により害を受けることが無いレベルであると判断した線量率レベルを意味する「耐用線量」を提案し、その内容は1925年1月の米国レントゲン線学会誌に掲載された<sup>6)</sup>。同年ロンドンにおいて第1回国際放射線医学会議(International Congress of Radiology)が開かれ、Mutschellerによる「耐用線量」の概念が公式に提案された。この会議で放射線の単位と測定に関する国際的な活動の必要性が議論され、国際放射線

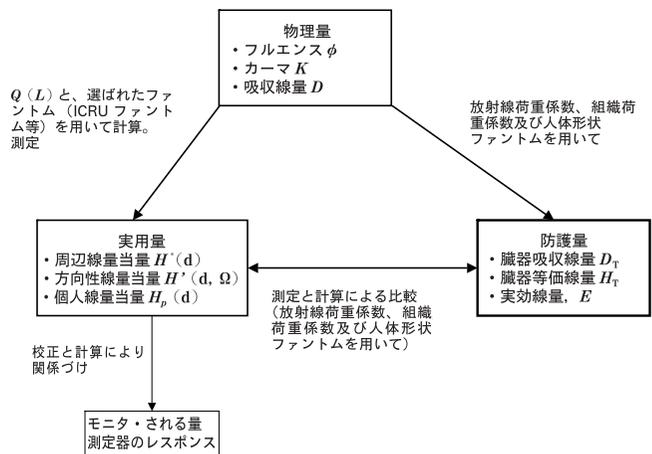


図1 放射線防護に関する諸量の関係(出典:ICRP Publ. 74<sup>4)</sup>)

\*Satoshi IWAI 株式会社三菱総合研究所 科学・安全政策研究本部 主席専門研究員

単位・測定委員会 (International Commission on Radiological Unit and Measurement: ICRU) が設けられた<sup>7)</sup>。

1925年の時点では、放射線防護は線量に相当する定量的な指標ではなく、線源と被ばくを受ける人の間に置かれる鉛遮蔽体の厚さで示されていた<sup>8)</sup>。

1928年にストックホルムで開催された第2回国際放射線医学会議では、放射線防護に係わる委員会の設置が提案、承認されて、国際 X 線ラジウム防護委員会 (International X-ray and Radium Protection Commission: IXRP) という名称が与えられた\*1。この会議では、初めての放射線の単位としてレントゲン (r) が定められ、国際単位として確立された。このときの定義によると「二次電子が完全に利用され、かつ電離箱の壁の影響が無い状態で、0℃、76 cmHg の空気 1 cm<sup>3</sup>あたり、飽和電流のもとで 1 esu の電荷を生じるような X 線の量」として、1 レントゲンを定義している<sup>9)</sup>。その後、1937年のシカゴで開催された国際放射線学会 (International Society of Radiology) の第5回大会でこの定義はラジウムのγ線にも拡大され「1 レントゲンは、空気0.001293g あたりに放出された粒子線 (二次電子の意味) によって作られたイオン対が空気中で正または負 1 esu の電気を運ぶような X 線またはγ線の量」と改定された<sup>10)</sup>。しかし、1953年にコペンハーゲンにおける ICRU の会議<sup>11)</sup> で吸収線量 (単位: rad) が定義されたことに伴い、1956年には吸収線量 (absorbed dose) に対して、レントゲン単位を照射線量 (exposure dose) とした。そして、1962年にはレントゲンは放射線場の強さの指標であることが明示され、線量の概念から外された。そして単位表記も r から R に変更された。

放射線の唯一の単位であるレントゲンは第二次大戦の終わる頃まで使用されたが、この頃から加速器や原子炉利用の発展に伴い X, γ線以外の放射線も利用され始め、利用する放射線エネルギー範囲も拡大し、レントゲン単位では放射線単位は間に合わなくなってきた。1948年に Parker は X, γ線以外の放射線にも利用できる単位である rep (roentgen equivalent physical) を提唱した<sup>12)</sup>。1 rep は「組織に 84erg/cm<sup>3</sup> のエネルギーを吸収させる電離放射線の線量」と定義された。しかし、この84という数値は、1レ

ントゲンの放射線が、人体組織ではなく空気 1 g に吸収されるエネルギー量である。したがって、rep は空気の吸収エネルギーに起源を持つ量であり、人体組織の吸収エネルギーに起源を持つ量でないという印象を与えた。その後、人体組織の単位体積の吸収エネルギーの値 (1 レントゲンあたり 93 erg/g) と整合性をとるため、変更され、84 erg/cm<sup>3</sup> から 93 erg/cm<sup>3</sup> に変更された。しかしその後次第に使用されなくなって行った。しかしこの考え方は、照射された物質の単位質量あたりのエネルギー吸収量を「線量」として定義する「吸収線量」の概念に繋がる第一歩となった。

1948年に Parker により、roentgen-equivalent-man (rem) という最初の線量当量に相当する概念が定義された<sup>12)</sup>。これは 1 レントゲンの X 線またはγ線 (ただし光電吸収は含まない) に曝されたヒト (または哺乳類) の線量と生物的に等価な効果を持つ電離放射線で被ばくしたときの線量を 1 rem としている。rem には異なった種類の放射線に関する生物学的効果比 (relative biological effectiveness) の考え方が含まれている。すなわち、放射線の特性だけでなく、被ばくする方の生物学的効果を含む最初の単位であり、rem と rep は以下の式 (1) の関係にあった。

$$Dose \cdot in \cdot rem = Dose \cdot in \cdot rep \times$$

$$(relative \cdot biological \cdot effectiveness) \quad (1)$$

生物学的効果比 (relative biological effectiveness)\*2 は、生物的に同等の効果を与える異なった種類の放射線の単位組織あたりの吸収エネルギーの逆比のパラメータの概念であるが、この概念も変遷しながら、線質係数および放射線荷重係数に繋がり、防護量の要素として重要な役割を果たすことになった\*3。

### 3. 吸収線量の概念の成立

1953年にコペンハーゲンで ICRU の会議<sup>12)</sup> が開かれ、放射線の単位に関する勧告が出された。この勧告の中で、「吸収線量」(absorbed dose) の概念が以下のように定義された。「吸収線量とは放射線で照射された物質の対象となる場所 (place) の単位質量あたりに付与されるエネルギー量であり、単位は rad で表され、1 rad = 100 erg/g である。」そして、「線量」

\* 1 この名称は1950年の第5回会合で国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological protection (ICRP)) と改称された。

\* 2 ここでは、生物学的効果比 (relative biological effectiveness) という用語で表現したが、当初、Parker らは、生物学的な相対係数 (relative biological factor) と記述していた<sup>13)</sup>。

\* 3 生物学的効果比から線質係数、放射線荷重係数への発展については、引用文献18参照。

という用語の定義に関する合意は成立せず、「吸収線量」のみが詳細な定義を持つ唯一の概念となったことは重要である。

rem は ICRU のコペンハーゲン会議では公式には単位として取り上げられなかった。しかし、ICRP では1954年の勧告<sup>13)</sup>で、X線、γ線とは異なる種類の放射線の被ばくによる線量の加算を考え、式(2)で表されるレム (rem) という単位を勧告した。しかし、レムはあくまでも単位であり、量としては係数の掛かった吸収線量であると記載されている。

$$Dose \cdot in \cdot rem = Dose \cdot in \cdot rad \times R.B.E. \quad (2)$$

ここで、R.B.E.は式(1)の生物学的効果比と同等のものである。

#### 4. 線量当量の概念の成立

1962年に出されたICRU Report 10a<sup>14)</sup>で、線量当量 (dose equivalent) という用語が初めて定義された。前節にも記述したように、種類の異なる放射線の効果を重み付けした線量の概念はすでに存在し、「RBE線量」のような用語で用いられていた。しかし、RBE線量という用語の定義は、ICRUでは公式には認められてはいなかった。ICRU Report 10aでは、放射線防護の目的で被ばく者が受ける照射をすべての種類の放射線について共通の物差しで表現できる量を検討した。そして、吸収線量に掛け合わせるべき、LETに依存する係数には線質係数 (quality factor) QF という名称を勧告して、放射線生物学的な測定値 RBE との分離を図った。その他、分布係数 (distribution factor) DF という係数を勧告し、体内に沈着した放射性物質の不均衡分布による生物効果の修正係数を示した。そして吸収線量と QF、DF などの修正係数との積を線量当量 (dose equivalent) DE と名付け、防護の目的に使用する量とし、単位としてはレム (rem) を使用することを勧告した。

$$DE = D \cdot (QF) \cdot (DF) \dots \quad (3)$$

この線量当量の用語と概念はICRPにも、1962年のPubl. 6<sup>15)</sup>以降に取り入れられた\*<sup>4)</sup>。この時点では、線量当量を定義する空間領域の大きさについては、具体的記述は無かった。しかし、1971年のICRU Report 19<sup>16)</sup>では、線量当量の基本的要素となる吸収線量として、「体積要素に放射線により沈着するエネルギーの平均値を体積要素の質量で割った商」と定義しており、この体積要素の質量は限りなくゼロに近づくとされている。それに対応して、線量当量は点で

定義されている。ICRU Report 19では、線量当量は H という記号で表記され、以下の式(4)のように、吸収線量 D、線質係数 Q およびその他の修正係数 N の積を用いて表現される。

$$H = D \cdot Q \cdot N \quad (4)$$

1977年のICRP Publ.26では第17項で、「放射線防護において、被ばくの重要な影響、とくに晩発性の確率的影響とよりよく結びつく量」として、式(4)に定義された線量当量を示している。そして、組織の一点で定義された線量当量の概念を、組織または器官全体に以下のように拡張している。すなわち第32項では、「確率的影響については、特定の組織または器官の感受性が一様なすべての細胞にわたって平均線量を考えることは正当である。」と記述され、脚注では、「とくに明記しないかぎり、線量当量という用語はある器官全体または組織全体にわたる平均線量をさす。」と記述されている。このことは、発がんなどの確率的影響に関しては線量一効果関係の比例性の仮定から自明に導かれることである。そして防護の実務上、器官または組織中の1点ではなく、器官または組織全体を論じる必要があるために、このような概念の拡張が必要となったと考えられる。この時点で線量当量の概念は、組織または器官の確率的影響の防護を示す量として明確に位置づけられた。そして、レムはSI単位系であるシーベルト (Sv) に変えられた。

#### 5. 実効線量当量の概念の導入

1977年のICRP Publ.26では、防護量に関する画期的な概念の創造が行われた。各組織の荷重係数  $w_T$  (後の組織荷重係数) を組織の線量当量  $H_T$  に荷重して、全身について総和を取った線量当量の概念を初めて定義したことであった。

$$H_E = \sum_T w_T H_T \quad (5)$$

1980年のブライトン声明で、この量は実効線量当量 (Effective dose equivalent)  $H_E$  の名称が与えられ、単位は線量当量と同様のシーベルトとされた。Publ.26の第104項では、「表に示した荷重係数  $w_T$  は、全身が均等に照射されたときに、組織 (T) の確率的影響のリスクのリスク全体に対する割合を示す係数」とある。また、第106項では「性差、年齢によって、被ばくした個人の被ばくに伴うリスクは変動するが、係数の値はどの作業者の防護にも適切なものとして勧告される。」と記述されている。このように、Publ.26では、放射線の線質に加えて、各臓器・組織の感受性の違いを考慮した荷重係数を含む実効線量当量  $H_E$  の概念が初めて導入された。

\* 4 ICRP Publ. 6 の第3章にこの記述がある。

## 6. 実効線量への変遷

1990年のICRP Publ.60<sup>17)</sup>では、臓器・組織にわたって平均化した吸収線量を基本としている。ICRU Report 19では吸収線量は1点で定義され、ICRP Publ.26では線量当量に関する組織内での組織全体にわたる平均化は示されたが、吸収線量の臓器平均線量に関する議論はなく、ICRP Publ.60で初めて示された。この平均化について、第22項で「確率の影響を誘発する確率と線量関係の比例性に基いている。」と説明されている。この平均化した線量は臓器線量 (Organ dose) とも呼ばれ、以下に記す等価線量、実効線量の算出の基本として重要な概念である。通常、臓器 T の臓器線量は、被ばくに寄与した放射線 R を明記して  $D_{T,R}$  と表現する。臓器線量の単位は、物理量の吸収線量と同じグレイ (Gy) で与えられるが、ICRP Publ.74<sup>4)</sup>では、明確に防護量に分類されている。

Publ.60では、放射線の生物学的効果を考慮して荷重する係数は、放射線荷重係数  $w_R$  と定義された。各放射線による臓器・組織の線量に放射線荷重係数を乗じて、被ばくに寄与した全放射線種についての総和を取った量は、等価線量 (Equivalent dose)  $H_T$  と定義された。

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R} \quad (6)$$

この等価線量は、被ばくの経路によらず、内部及び外部被ばくについて合算できる量である。等価線量は、臓器の吸収線量に放射線の生物学的効果を考慮した係数を荷重するという点においては、1977年のICRP Publ.26の線量当量と同様で、単位も同じシーベルトが与えられた。しかし、両者では臓器線量を荷重する係数の算出過程が異なる\*5。上記の(4)式で線量当量は、エネルギー付与に直接寄与した放射線の線質係数を吸収線量に荷重する。一方、(6)式の放射線荷重係数は、①外部被ばくについては入射放射線、②内部被ばくは摂取した核種から放出された放射線 R で一義的に決定される。ここで、臓器線量  $D_{T,R}$  も、放射線荷重係数の定義に従い決定される必要がある。特に、外部被ばくにおいては、筆者が指摘した<sup>18)</sup> ICRP Publ.92に記された両地点性 (bilocality) の問題がある<sup>19)</sup>。人体に入射した放射線が体内組織で荷電粒子を発生した場合、線質係数を用いた線量当量の算出では、その発生した荷電粒子の Q (L) を吸収線量に荷重する。一方、等価線量の算出では、放射線荷重係数  $w_R$  は人体に入射した放射線の線質のみ考慮するため、特に陽子及び中性子で不整合の問題が発生する。例えば、中性子被ば

くの多くの状況では光子が混在するが、臓器が光子による被ばくを受けた場合、①体外から入射した光子、②体内に含まれる水素などの捕獲反応で発生した光子の何れかの可能性がある。等価線量の算出では、①、②についての臓器吸収線量を別に算定して、①には光子、②には中性子の放射線荷重係数を乗じる。このように、等価線量の基本となる臓器線量は、最終的に同じ線質の放射線が寄与した場合でも、放射線荷重係数の定義に従い区別する必要がある。なお、ICRU Report 51では、臓器線量及びこれに基づく等価線量は測定できないとされている<sup>20)</sup>。

放射線荷重係数が新たに導入されたことにより、ICRP Publ.26の荷重係数は組織荷重係数  $w_T$  と名称を変更した。名称の変更に加えて、臓器、組織についての数値が見直された他に、新しく組織荷重係数が割り当てられた臓器、組織もある。この係数の定義については、ICRP Publ.60の第27項で、「全身の均等被ばくを受けた場合に受ける全損害に占める各臓器、組織の損害の相対的寄与」と記されている。一部の組織を除いて、組織荷重係数は両性、全年齢を含む全集団の損害に基づき定義され、放射線防護では一つの係数のセットが両性、全年齢の者に適用される。

等価線量に組織荷重係数  $w_T$  で荷重して、全身について総和を取った量 (結果的に臓器線量を2つの係数で二重に荷重した量) は、実効線量 (Effective dose)  $E$  として定義された。この量は、実効線量当量に置き換わるものであり、単位は同じシーベルトである。

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R \cdot D_{T,R} \quad (7)$$

実効線量も、内部被ばく及び外部被ばくについて加算できる。また、定義の基本となる等価線量と同様に、実効線量も原理的に測定できない量である。

2007年のICRP 勧告 (ICRP Publ.103) は、防護量の概念に関しては1990年勧告からの変化はない。しかし、実効線量を算出するために成人男女の標準モデルの規定や性差の扱い方の明確化、および組織荷重係数および放射線荷重係数の数値の変更がある。

## 7. おわりに

防護量について、成立から2007年のICRP Publ.103までを俯瞰して解説した。現在のように多数のICRP、ICRU、IAEA等の放射線防護に関する文書が存在し、放射線防護体系が複雑化し、かつ新しい概念やモデルが頻繁に示されている状況では、一部の専門家以外は放射線

\* 5 この事例の詳細は文献21を参照。

防護の考え方を理解することが分かりにくくなっていると思われる。したがって過去からの経緯を含めて防護の概念を明確な引用をつけて体系的に解説しておくことは、これから放射線防護を体系的に学ぶ方々にとって重要であると思う。

放射線防護分野において防護量はそれだけで独立したものではなく、実務への展開に係わる実用量と対を成して発展してきた。そして、防護量に対応する線量限度の変遷も重要であるが、実用量と線量限度の変遷は本稿の範疇外とした。なお、防護量の概念を解説する上で、人体への影響と関連付ける線質係数、放射線荷重係数の成立と変遷<sup>18)</sup>もまた重要である。そして実効線量当量という画期的な概念の成立に不可欠な組織荷重係数の根拠と変遷の経緯も明確にしておく必要がある。以上の項目は誌面の制限の都合上省いたが、これらの概念の変遷を把握することにより、防護量の意味がより明確になると思う。

なお、本稿では内部被ばくや集団線量に関する防護量についても優先度の観点から省略した。

本稿を作成するに当たり、高橋史明氏（(独)日本原子力研究開発機構）には、貴重な文献、資料等の情報提供ならびにご協力（とくに第5章、6章は高橋史明著の文献21を参考にさせて頂いた）を頂きましたことを深く感謝します。

#### 引用文献

- 1) International Commission on Radiological Protection, Recommendations of the ICRP, Publication 26, Annals of the ICRP 1, No. 3 (Pergamon Press, New York).
- 2) ICRU, International Commission on Radiation Units and Measurements, Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Source, ICRU Report 39 (1985).
- 3) ICRU, International Commission on Radiation Units and Measurements, Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Source -Part 2, ICRU Report 43 (1988).
- 4) International Commission on Radiological Protection: "Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection against External Radiation", ICRP Publ.74, Pergamon Press, Oxford, (1997).
- 5) The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publ.103, Annals of the ICRP (2007)
- 6) A.Mutscheller: Am.J.Roent.Rad.Ther.13, 65 (1925)
- 7) 江藤秀雄他 放射線の防護 p7 丸善 (1965)
- 8) L.S.Taylor, Health Physics 41, 227-232 (1981)
- 9) F.W.Spiers "Radiation units and theory of ionization dosimetry" p7 in "Radiation Dosimetry (edited by G.J.Hine and G.L.Brownell)" Academic Press, New York (1956)

- 10) 山田勝彦、野原弘基 放射線計測学（診療放射線技術会計一専門技術学系13）p53通商産業研究社（1981）東京
- 11) ICRU, International Commission on Radiation Units and Measurements,1953, Brit.J. Radiol. 27, 243 (1954)
- 12) H.M.Parker: Advances in Biol. and Med. Phys. 1,243 (1948)
- 13) ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Brit. J. Radiol., Supp. No. 6, London. (1955)
- 14) ICRU, Radiation Quantities and Units, ICRU Report 10a, published as National Bureau of Standards Handbook 84 (U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C.). (1962)
- 15) ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (as amended 1959, revised 1962), ICRP Publication 6 (Pergamon Press, New York). (1962)
- 16) ICRU, Radiation Quantities and Units, ICRU report 19 (International Commission on radiation Units and Measurements, Bethesda, Md.). (1971)
- 17) 1990 recommendations of the ICRP. ICRP Publication 60. Ann of the ICRP, 21 (1-3). Pergamon Press, Oxford (1991).
- 18) 岩井敏 保健物理43 (3), 211-225 (2008)
- 19) ICRP, International Commission on Radiological Protection, Relative Biological Effectiveness (RBE), Quality Factor (Q), and Radiation Weighting Factor (wR). ICRP Publication 92. Ann of the ICRP, 33 (4). (Elsevier Science, Oxford) (2003)
- 20) ICRU, International Commission on Radiation Units and Measurements, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, ICRU Report 51 (1993).
- 21) 高橋史明 保健物理43 (3), 226-233 (2008)

#### ✂ プロフィール ✂

1951年（昭和26年）東京都北区生まれ。東京大学工学部で原子力工学を専攻、同大学院に進学し放射線健康管理学（指導教官：吉澤康雄教授）を専攻、修士終了後、三菱原子力工業(株)に入社し、放射線管理課（課長：田島雄三氏）でPWRプラント定検時の放射線管理実務に数年間従事。その後、東大原子核研究所の受託研究員、民間等共同研究員を兼務し、内部被ばくコード開発、中性子スペクトロメータと簡易型中性子標準場の開発などの現場密着型研究テーマに従事。その後、PWR計装設計、FBR遮蔽設計に従事した後、高エネルギー放射線線量換算係数の開発に着手。1995年三菱重工業(株)に移籍し、宇宙飛行士の被ばく管理体制構築、宇宙船搭載中性子測定器開発、MOX燃料保障措置技術開発を行った。2000年から(株)三菱総合研究所に主席専門研究員として勤務。2009年から東京大学大学院非常勤講師（原子力専攻）を兼務し、放射線防護に進む若い人の育成に役立つと考えている。

## 世界を目指す若い人材が必要

前・原子力委員 町 末 男



### アナン元国連事務総長のアピール

6月3日元国連事務総長のコヒー・アナン氏（ガーナ出身）が東大で講演して「貧困撲滅など地球規模課題の解決に貢献できる人材育成が重要」、「世界の出来事はもはや国境に縛られない。才能とエネルギーを使って、世界を改善するのはあなた方だ」と強く訴えた（読売。6月4日）。

「最近、日本の若い人とくに男性が内向きになっている」という意見を聞く。残念ながら、私も同感である。青年協力隊の応募者も減っているという。こんな事でよいとはとても思えない。

### 国際展開が必要な日本の原子力産業

日本の経済は海外に市場を求めなければ成り立たない。原子力産業もその例外ではない。日本の原子力技術を将来とも世界のトップクラスに保つには、プラント輸出を含めた積極的な国際展開が不可欠である。それには、しっかりした専門知識を持ち、世界の国々に理解しあえる人のつながりを持ち、英語で難しい交渉をやりこなせる多くの国際人材が必要で、その育成が急務である。

### 国際機関の日本人が少ない

国際社会での日本の存在感を高めるには、国際機関の日本人を増やす事が大事である。筆者が長く働いていたIAEA（国際原子力機関）を例にとると、日本人の正規職員は専門職800人の中で僅か25人ほどでアメリカの4分の1程度、ドイツの半分に過ぎない。この状態は過去30年も改善されてい

いのである。IAEAの予算の20%（アメリカは25%）近くを分担しているのだから、60人位は居て然るべきであり、IAEAもそう期待している。日本は「金は出すが人は出さない」という状況である。

### 原子力国際人材を育てる

グローバル化が進むいま、広い世界に目を向け、人類の未来のために生きようとする多くの人材が日本にとって必要となっている。

原子力の国際人材を育てる教育が漸く始まっている。東大で国際原子力修士コースを数年前からはじめて、東工大も学生にIAEAでのインターンで経験をさせている。立教学院では国際機関で働く人材を育成する異文化コミュニケーション学部を作ったという。このような場を利用して若い人達が基礎的な力を養い、近い将来、実力のある原子力国際人材が数多く輩出するよう心から期待する。（2009年6月20日記）

国際機関への日本の人的貢献（2000年12月31日現在）

機関名	専門職(人)	邦人数(人)	邦人構成比(%)	財政負担(%) (年)
UN (国連事務局)	4,849	130	2.7	19.52 ('03)
UNDP (国連開発計画)	1,090	44	4.0	14.69 ('00)
UNHCR (国連高等弁務官事務所)	1,049	47	4.5	14.20 ('00)
UNICEF (国連児童基金)	1,534	48	3.1	7.35 ('99)
FAO (国連食糧農業機関)	1,330	31	2.3	20.67 ('00)
UNESCO (国連教育科学文化機関)	1,019	56	5.5	22.00 ('01)
WHO (世界保健機関)	1,518	43	2.8	20.24 ('00)
ICAO (国連民間航空機関)	318	4	1.3	15.33 ('00)
IAEA (国際原子力機関)	846	37	4.4	20.82 ('01)

# ユーザーズミーティング

## — 放射線看護の最前線から —



出席者（敬称略、50音順）

末國 千絵

（国立がんセンター中央病院）

中島 陽子

（群馬大学医学部附属病院 副看護師長）

山下 曜子

（放射線医学総合研究所

重粒子医科学センター病院 看護師長）

横田 隆子

（東海大学医学部付属病院 副主任）

司会：加藤 和明（弊社アドバイザー）

当FBNews誌では、日頃弊社のガラスバッジ・サービスをご利用くださっているお客様の中から、ある業種・職種に着目して、1年に1回ほどのペースで何人かの方にお集まりいただき、放射線利用の現場の状況や放射線防護・管理の実状、FBNews誌や弊社へのご要望等をお聞かせいただくユーザーズミーティングを開催しています。第6回目の今回は、放射線診療の最前線に居て看護師の立場で放射線に向き合っている方々にお集まりいただきました。



**司会** 本日の司会を務めさせていただきます、千代田テクノルのアドバイザーの加藤です。よろしくお祈りします。

放射線・放射能は、非常に身近なところにあります。日本が長寿命国家を誇られているのは、一口に言えば生活のレベルが上がったからですが、中でも医療技術が非常に進歩しました。その医療技術は、今や、放射線の利用無しには成り立たないわけです。

私たちは、医療の他にもさまざまな分野で、文明を進めるために放射線を利用しています。私たちが利用する放射線の他にも、自然界からの放射線もあり、私たちの生活は、必ず放射線の被ばくを伴っています。放射線の被ばくは、その線量によって生物に害を及ぼす場合があります。しかし、被ばくをゼロにすることは実際にはできません。放射線は、被ばくの量と影響を理解して、適切に怖がるのが大事です。

医療の現場は、いろいろな種類の放射線の被ばく、あらゆる被ばくの様態が存在する場です。そのような場に居て一般の人々である患者さんに接している皆さんは、患者さんを通して、一般の人が放射線を適切に怖がるようにすることも大事な役目の一つだと思います。きょうは、皆さんが、日頃そういった一般の人々と接する放射線利用の場に立っていて苦労されていること、放射線に関する安全の確保に力をお貸しすることを使命としている千代田テクノルへの注文など、忌憚のないご意見を伺いたいと思います。

前置きはこのくらいにして、早速、ご出席の皆さんに、自己紹介を含めて、現在どういうことをやられているのか、お聞かせいただきたいと思います。

**山下** 放射線医学総合研究所（放医研）の重粒子医科学センター病院から来ました山下です。現在、外来を担当しています。放医研とは何



放射線医学総合研究所  
重粒子医学センター病院  
山下 曜子 様

をやっている所かと言いますと、小はゲノムから遺伝子レベル、大は宇宙開発まで、放射線という共通のツールを使って、これからの技術革新のための研究に邁進している施設ですが、その中に病院があります。

病院は、現在主として行っている、加速器を用いた、がんの重粒子線治療が始まって十数年になります。臨床試験から始まり、今では先進医療として治療がドンドン行われている段階で、治療成績も良いものを出しています。私たち看護師も、これからは重粒子線治療というものを、一つの系統立ったものにまとめていかなければならないと思っています。

**中島** 群馬大学医学部附属病院から来ました中島です。放射線科の病棟（現在は、重粒子線医学センター）に勤めています。群馬県は県民1人当たりの日本放射線腫瘍学会認定医の数が多くことで有名です。そういうわけで、群馬大学では病棟でも放射線治療に積極的に取り組んでいます。平成21年度からは重粒子線治療が開始されますので、現在、その準備をしています。

**末國** 国立がんセンター中央病院の末國です。5年前から放射線治療外来の専任として勤務しています。院内での教育や、JASTRO（日本放射線腫瘍学会）の看護セミナーの講演など院外の活動もしています。

**横田** 東海大学医学部附属病院の横田です。現在の病院に勤務して、30年近くになります。病棟や外来を経験した後、放射線治療の外来を2年間やり、去年の5月に血管造影室に移って約1年になります。

**司会** ありがとうございます。きょうのミーティングの目的は、「放射線との付き合いを伴う医療の現場でこれまでにご経験されたご苦労や改善のご提案について、読者に紹介することにより、全国の医療放射線施設におけ

る安全管理の向上に役立てていただく」ということです。

いろいろな被ばくの様態が混在している医療の現場では、放射線と付き合うのはなかなか大変です。一般の人も居るし、放射線との関わりの少ない部署の看護師からの質問も受けるだろうし、患者さんからもいろいろな質問を受けるということで、ご苦労が有ることでしょう。そういうことを踏まえて、皆さんの事業所の安全管理体制、苦労していること、困っていること、などをお聞かせください。

**山下** 放医研は医療職以外の医学物理士等、放射線業務従事者も数多く、研究所全体を管理する「放射線安全課」という部署が有ります。年1回実施されている放射線業務従事者定期教育訓練・就業前訓練等の安全教育は、放医研全体を対象として行われています。ガラスバッジの測定結果に、いつもとは違って少し多い線量が出た場合など、放射線安全課が素早く対応してくれます。ただ、放医研で扱っている放射線は、線種や質や量において幅広く、看護師が付き合う放射線と、放射線技師あるいは研究者が扱う放射線とは付き合い方が同じとは言えませんので、看護師用の教育が専門に必要だと思っています。

**司会** 最近は「チーム医療」という言葉がよく使われます。医者であれ、看護師や放射線技師といったメディカルであれ、放射線業務に従事する人の認定はどうしていますか。看護師の中で「あなたは放射線診療従事者」、「あなたは非従事者」といった振り分けをしているのですか？

**山下** 当院は放射線科単科の病院であり、全員が放射線診療に従事するという立場です。センター内のいろんな場所が、入退室のためのIDカードが必要です。そのカードをもらうには放射線安全教育を受けなければならない、パラメディカルの人も含み、全員が放射線安全教育を受けています。

現在の医療では、画像診断は揺るがせないものになっています。そのため、放射線科だけでなく内科や外科などの看護師も、放射線

と接する機会が増えています。ですから、放射線科に限らず、病院全体で看護師の放射線安全教育が必要になってきていると思います。

**中島** 私たちの病院は、放射線科に所属していたり、外来でIVRに付くとか、CT室とか手術室といった特殊な部署に配属になった時に、講習を受けて放射線診療従事者となり、ガラスバッジをもらうかたちです。

私たちの病院が、病棟として特殊なのは、密封・非密封の小線源治療の個室が有ることで、そちらで看護をする時に、特に被ばくのことを意識します。時間・距離・遮蔽という放射線防護の三原則を心掛けてはいても、個室環境で不安になっている患者様が話しかけてくるのにそれを無視して出て行くというのは、看護師としてはできないことです。同一の看護師がそのような特定の患者様の看護に頻繁に当たることがないようにしていますが、現実には、そういったところが一番問題になるというか、看護師自身のストレスになります。キチンとした看護をしたい、でも、被ばくの面を考えるとその対策もキチンと取らなければならない、というところでいつも問題になります。

**末國** 私たちの所は、従事者とそうでない人に分けられています。管理の上では、ガラスバッジを付けて勤務している部署の人だけが、年に1回講習を受けています。ガラスバッジを持たない一般のナースがどれだけ放射線のことを知っているかという、看護師になるための教育の中で放射線の講義は1～2時間あるだけです。ほとんど放射線のことを知らないまま臨床に出て、患者様から放射線に関する不安の訴えがあっても適切な説明ができず、患者様の不安が置き去りにされている場合もあります。看護教育の現場においてカリキュラムの改訂が必要だと思います。

放射線以外の分野ですと、経験年数が長くなれば、医療的な知識は積み重なっていくものですが、放射線に関しては、知らない人が多過ぎて、知識が欠如していることに気付かないまま業務が流れてしまい、結果的に患者

様に不利益が生じているように思います。私の施設ではそういった悪循環を解消するために、数年前より院内教育の中で放射線療法の枠を設けてもらい、知識の伝達

に努めています。1年目、2年目の全員参加の講義に加え、5年目以上の希望者を対象とした教育プログラムもあります。90分の講義が6回（診断・防護、IVR×2、放射線治療×3）で構成され、院内のドクター、ナース、技師が講師をしています。各病棟からナースが参加し、学んだことを病棟スタッフに伝達したりすることで、放射線看護の知識の普及やケアの向上に繋がっていると思います。

**山下** がんセンターは組織が大きくて人材も豊かだから内部でそういう教育ができて、とてもうらやましいです。放医研でも全国の看護師を対象に「放射線看護課程」の研修を毎年5回開いています。北は北海道から南は沖縄まで、全国津々浦々から、毎回30人から40人が集まります。各施設で放射線科単独でのカリキュラムを持つことはなかなか難しい、と実感しています。

**横田** 私も参加しました。放射線診療に従事するには、いろいろな知識を身に付けておかなければいけないと思い、自費で参加しました。

当院は、末國さんのがんセンターに比べれば、放射線の看護教育という点では遅れています。昔に比べれば、放射線の外来に勤務する若い人が増えてきています。長年居る看護師たちも、自分が定年になってからの次の人材のことを考えてやっているといます。ただ、入って来てからの教育という点では、仲間内で教え合っているだけです。カリキュラムに則ってやるという部分は、今後の課題だと思っています。

**司会** 一般的に言って、看護師養成の現場では、おしなべて、放射線の教育が不十分だと思われます。そのため、看護師として仕事に就か



国立がんセンター中央病院  
末國 千絵 様

れてから後の教育が重要となっているようです。放射線診療の現場での教育として、カリキュラムの充実・改善や、講師役のレベルアップとかが今後の課題となってくるでしょう。

中島さんの群馬大学では、看護師に対する放射線教育はどのようなさっていますか？

**中島** 放射線医学総合研究所で行われている放射線看護課程での研修には、主に放射線科に

勤務している看護師がなるべく毎年1～2名は行けるように配慮してもらい、公費で参加させていただいています。研修で刺激を受け、いろいろなことに興味を持って帰って来ますので、それぞれ自分が興味を持った事柄を中心にして、勉強会を開いたりしています。



群馬大学医学部附属病院  
中島 陽子 様

院内の教育としては、新人の、それも本当に職に就いたばかりの頃に放射線技師が話をしますが、その時点の講習だけでは何だかよくわからないまま過ぎてしまいます。そのため、平成20年度から、がん看護の一環として、放射線治療、化学療法、緩和ケアという三本柱で新人教育を始めました。コミュニケーションを含めて、だいたい1日を費やして、1年目の看護師を対象に行っています。がん看護だけに絞っていますので、本当に基礎の基礎といったところですよ。

その他に、小線源を使った治療とか、1年に1回有るか無いかの治療とか、ベテランの看護師が覚えていて教えていかなければならないようなことなど、マニュアルを作ったり、それを毎年見直したりして、手探りでやっている状況です。あとは、医師の協力を仰いで、講義を行ってもらっています。

**山下** 私たちは、放射線の治療はがん看護から入ります。でも、IVRは検査ですし、放射線診療の切り口はがん看護ではありません。看護師に限らず医療者は、放射線一般のことをさまざまな切り口で知っておかなけれ

ばならないのは、もちろんのことです。

看護の世界では、今度、放射線看護の認定看護師制度ができます。この9月から、まず第1期生が京都で集まって6ヶ月間の研修を受け、日本看護協会の認定看護師の資格を持つこととなります。放射線がん看護のスペシャリストです。

いろいろな放射線治療法が確立されてきて、放射線への注目度が高まってきています。千代田テクノルもこのような研修の場に入って来て、「放射線とは何ぞや」という基礎的な部分を、千代田テクノルで持っている豊富なデータを活用して、医療人とはまた違った切り口で示してもらえれば、看護師たちの興味ももっと広がると思います。

今、放射線技師も女性が多くなってきています。彼女たちは妊娠して大きなおなかになっても仕事を続けていますから、彼女たちとも密接なコミュニケーションを持って、リンクしていく必要が有ると思います。被ばくや安全教育の問題は、看護師だけの問題、放射線技師だけの問題ではなくなってきています。

**司会** 看護師の安全管理、安全教育について、いろいろなお話をお聞かせいただきましたが、今度は、患者さんへの対応についてお伺いしたいと思います。患者さんに接しているのご苦労は有りませんか？

**横田** CTの検査に来た人が、「今月、〇回目なんですけど、大丈夫でしょうか？」とか、X線撮影の方でも技師が患者様からよく聞かれるそうです。看護師にも聞いてきますが、そんな場合に、時間が無いため、どう答えれば良いのか、知識や経験が豊富なはずの技師でも困っているようです。



東海大学医学部付属病院  
横田 隆子 様

医療現場で使う医療放射線の安全性について、患者様にアピールできるものが有れば良いのですが、聞かれたら一つ一つ詳しく説明

してあげたくても、次々に患者様の検査をしなければならず、時間が無くて、日常の医療の中で実行できないというジレンマがあります。

**末國** 私は、患者様からよく聴かれる質問や不安に対応するための説明用スライドを作っています。例えば、胸のX線写真を1枚撮ったら0.1ミリシーベルト、年間の自然放射線の量は平均して2.4ミリシーベルト、というように数字で示してあげられるものを1度作っておけば、時間をかけずに具体的な説明を行うことができ、不安の軽減に繋がっていると思います。

また、胸のX線撮影をすごく怖がっている人が、海外旅行には躊躇なく行っているといったように、飛行機に乗ると宇宙線を浴びるということを知らないから宇宙線の被ばくには恐怖心がないものの、医療被ばくに対してだけ過敏に反応している場合もあります。今や医療現場において診断や治療に放射線は不可欠ですが、医療者自身の知識不足や対応の不慣れから怯んでしまって、十分な対応ができていない場合もあると思います。検査や治療におけるメリット、医療被ばくによるリスク、放射線の量などの放射線に関する専門的知識を習得することで、分かりやすい説明や丁寧な対応が可能となり、その結果、患者様の不安の軽減に繋がると思います。放射線科のナースだけではなく、患者様と関わるすべてのナースに、放射線に関する正しい知識が必要であり、看護教育や医療の現場において知識を習得する機会や知識を伝達できる人材の養成が必要だと思えます。

**山下** 患者様が持っている放射線に対する知識は様々で「この間あの病院でCTを撮ったから、それを持って来ます。」とか、インターネットで調べて自ら放射線治療を希望される方も増えています。治療を受ける患者様の中には、「放射線を掛けたので、家に帰ってから孫を抱くことができないんじゃないか」とか、「面会に来た人に私は会ってもいいの?」とか、放射線をよく知らないために、過度な不安を抱かれる方がいます。放射線と関わる

ことがほとんど無い一般の人々に対しても、わかりやすい資料を使ってもっと啓蒙を進めてくれることが望まれます。

**中島** 私たちの病棟では、セシウム針を舌がんの患者様に刺入して、そのまま1週間程度放射線管理区域内の病室に入院している患者様のケアをする場合が有ります。管理区域内の処置室で患者様に麻酔をかけて、その介助に私たち看護師が付きまします。さらに、管理区域での入院中も必要な看護を行わなければならないため、看護師の被ばくもゼロではありません。看護師たちもそのことは意識していますので、なるべくローテーションをさせるようにはしています。

実際、患者様が、治療室の中に1週間留まる状態に適応できなくて部屋から出て来そうになったり、混乱してしまって付き切りの看護が必要になる時があって、そういう時は大変でした。治療前に患者様に試験入室してもらったり、数日かけてオリエンテーションを行ったりしますが、実際の治療の時には、特に高齢の方はせん妄状態になってしまうこともあるため、患者様への説明は本当に難しいと日々感じています。

看護師だけにケアが集中しないように、医師に相談して、交代で見てもらうようにすることもあります。

**司会** 長時間に亘って、放射線診療の看護の現場についていろいろなお話を聞かせていただき、まだまだ伺いたいことはたくさん有るのですが、残念ながら時間が来てしまいました。本日は、お忙しい中でこのユーザーズミーティングにお集まりくださりまして、本当にありがとうございました。今後、看護の現場での放射線安全教育、知識の普及が、もっともっと広く、進められて行くことを期待しながら、ミーティングを終了させていただきます。



弊社アドバイザー  
加藤 和明

## ～ ガラスバッジ Web サービスへのお誘い 第3回 ～

第3回目は**休止**についてご説明します。休止は、モニタのご使用を一時的に停止される処理を言います。休止処理には、一回分のご使用期間のみ停止する方法と、連続したご使用期間を停止する、2種類の方法があります。ここでは後者の方法についてご説明をいたします。なお、すでに報告書をお届けしたご使用期間については休止処理が行えないので、ご注意ください。

<ご使用者サービス内容修正>画面で「**発送計画**」をクリックすると<モニタ使用有無設定>画面が開きます。表示されているモニタコードと装着部位コードの右側に**レ点**が付いていますので、休止処理はこの**レ点**を外すことにより行うことができます。

設定が完了しましたら「**入力完了**」ボタンをクリックしてください。<ご使用者サービス内容修正>画面に戻りますので、この画面で再度「**入力完了**」ボタンをクリックしてください。更新メッセージが表示されましたら終了です。

①ご使用者を検索して**発送計画**ボタンをクリックします。

②ここに表示されているのはご使用者の状況ではなく、ご使用先(お客様コード)での最新の状況になります。(ご使用先の中で一人でも報告書を作成した方がいらした場合は「報告済」になります。)

③ご報告済の期間に対する**休止**処理は行えません。

④**レ点**を外すと**休止**になります。

⑤このメッセージが表示されましたら終了です。

計画使用期間	ご使用先発送状況	モニタ:装着部位	モニタ:装着部位	モニタ:装着部位	モニタ:装着部位	モニタ:装着部位
2008/10/01-2008/10/31	報告済	FS:A	FS:C	JP:J	JP:J	JP:J
2008/11/01-2008/11/30	報告済	FS:A	FS:C	JP:J	JP:J	JP:J
2008/12/01-2008/12/31	報告済	FS:A	FS:C	JP:J	JP:J	JP:J
2009/01/01-2009/01/31	報告済	FS:A	FS:C	JP:J	JP:J	JP:J
2009/02/01-2009/02/28	報告済	FS:A	FS:C	JP:J	JP:J	JP:J
2009/03/01-2009/03/31	報告済	FS:A	FS:C	JP:J	JP:J	JP:J
2009/04/01-2009/04/30	測定中	FS:A	FS:C	JP:J	JP:J	JP:J
2009/05/01-2009/05/31	測定中	FS:A	FS:C	JP:J	JP:J	JP:J
2009/06/01-2009/06/30	発送済	FS:A	FS:C	JP:J	JP:J	JP:J
2009/07/01-2009/07/31	発送準備中	FS:A	FS:C	JP:J	JP:J	JP:J
2009/08/01-2009/08/31	未発送	FS:A	FS:C	JP:J	JP:J	JP:J

## 書籍紹介

## 改訂版 放射線管理実務マニュアル

編集・発行 (社) 日本アイソトープ協会 【2008年11月発行】  
A4判・411頁 定価7,560円 会員割引価格6,825円(消費税込)

放射線管理に必要な記帳・記録の手引書。

本書は、定期確認制度の創設、選任主任者の定期講習の義務化など、国際基本安全基準（BSS）の取入れに伴い、平成16年6月から平成17年7月にかけて大幅に改正された放射線障害防止法及び関連法令に沿って、前版「新版放射線管理実務マニュアル」を見直した改訂版にあたる。

新たに加わった帳簿類は、①下限数量以下の放射性同位元素を扱う場合、②医療分野における小型サイクロトロン・照射装置、及び永久刺入用密封小線源を扱う場合等に作成するものである。そのほか、用語解説、下限数量以下の放射性同位元素等の使用のための変更申請の例、施設検査・定期検査・定期確認の受け方等が加わった。

本書は、分かり易く法令に則った帳簿作成の一助となることを目指している。内容は以下のとおりである。

- 第1章 放射線管理実務マニュアルの概説  
本書の構成及び許可・届出使用者等に関する主な規制の流れを説明している。
- 第2章 使用等に必要の諸手続き  
放射性同位元素等の使用を開始する前、使用中、使用の廃止等の場合に分け、規制内容を区分ごとに整理して必要な手続きを説明している。
- 第3章 記帳・記録  
校正用密封線源、診療用密封線源、非破壊検査用密封線源、非密封放射性同位元素等について、受入れ・保管・使用・払出し・運搬・廃棄などの記録又は帳簿を例示し、記入の方法を説明している。
- 第4章 放射線施設及び放射性同位元素等の使用に係る点検線源等の使用形態ごとに使用施設の点検表を例示している。  
また、放射性同位元素等の取扱いについて、使用等の行為、測定、健康診断等の点検表、記帳・記録の点検表等を例示している。
- 第5章 放射線障害予防規程の作成  
新規に作成する場合や全般的な見直しをする場合の参考になるように、作成上の留意点や利用形態の異なる施設の予防規程を例示している。
- 第6章 使用許可申請書の例  
非密封、密封放射性同位元素及び放射線発生装置の使用許可申請書の様式の記載例を示し、許可使用に係る使用場所の一時的変更届の作成例を説明している。
- 付表・参考資料  
放射線障害防止法以外の法令（電離則、医療法）との関連性や関係法令に係る通知、通達を載せ、必要な時に確認できるようにしている。



サービス部門からのお知らせ

## 返信用封筒の差出人名等のご記入が不要となりました

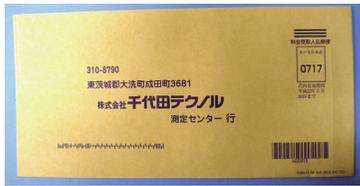
このたび、弊社よりガラスバッジの返却用としてお届けしております返信用封筒の、裏面の表示を変更いたしました。

ガラスバッジご返却の際、今までは、差出人名記入欄にお客様のご住所・事業所名・お名前の明記やゴム印の押印などをお願いしておりました。しかし、ガラスバッジに印字しているQRコードからお客様の情報を特定することができるため、このたび、差出人名記入欄を無くし、お客様の記名や押印の手間を省きました。



QRコード

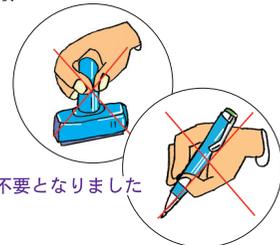
◆返信用封筒（長形3号タイプ）



おもて



裏



不要となりました

差出人名記入欄を無くしました

お詫びと訂正

これまでのFBNewsにおきまして一部誤りがございましたので下記のとおりお詫びして訂正いたします。

- ① No. 390 (2009年6月号) 7ページ19行目(誤): 割合<sup>2)</sup>である。 → (正): 割合である。
- ② No. 390 (2009年6月号) 7ページ21行目(誤): 図1に示す。 → (正): 図1<sup>2)</sup>に示す。
- ③ No. 391 (2009年7月号) 19ページ8～9行目

(誤): 測定結果が出ていない期間に「未測定」と表示 → (正): 返却されていない計画使用期間に「未返却」と表示

## 編集後記

- 今号では、東京大学宇宙線研究所の梶田隆章所長に「宇宙線研究の今」と題して、宇宙の研究にとって欠くことのできない宇宙線研究の最前線について紹介していただきました。地球に飛来する宇宙線は、運動エネルギーの範囲が11桁以上、また、到達頻度はエネルギーが高くなると約30桁も小さく、1,000平方kmの面積を観測する必要があるとか、測定装置の規模の大きさにも驚かされます。超新星爆発のニュートリノの観測に成功した現在、宇宙線の研究から宇宙の謎がさらに解明されることを期待したいと思います。
- 三菱総合研究所の岩井 敏先生に「放射線防護量の変遷」について、解説していただきました。80年前に定義されたレントゲン (r) から、ICRPの2007年勧告の放射線防護量: 実効線量シーベルト (Sv) までの歴史的変遷を文献でたどって、詳しく紹介しています。1977年勧告以降、放射線防護の目的が、放射線障害の防止から仮想的な発がんリスクの低減に移行し、導入された実効線量 (当量) は、組織加重係数の変更などで、

- 現場の放射線管理や公衆の理解に無用な混乱を与えることが懸念されます。
  - 今回のユーザーズミーティングは、「放射線看護の最前線から」をテーマに、本年3月12日、4つの病院に勤務する現役の看護師さんにお集まり願ひ懇談した記録であります。自ら看護師に対して放射線教育を実施する立場におられる方々ばかりなので、看護師養成学校での放射線教育の不十分さ、仕事に就かれてからの教育の重要性を指摘されておられました。放射線を用いた診断、治療のめざましい進歩に伴う多様性に対処しなければならぬ現状を考えると、「豊富なデータをお持ちの千代田テクノルに、現場の研修の場に入ってほしい」と要望されたことは、あながちお世辞とはいえないようです。
  - 中越沖地震のため2年間停止していた柏崎刈羽原子力発電所の7号機が運転を再開しました。6号機以降も早期に復活して、炭酸ガス放出低減に貢献できるよう祈ります。
- (金子正人)

## FBNews No.392

発行日/平成21年8月1日

発行人/細田敏和

編集委員/竹内宣博 福田光道 中村尚司 金子正人 加藤和明 小迫智昭 壽藤紀道

藤崎三郎 安田豊 野呂瀬富也 丸山百合子 窪田和永 亀田周二 高羽百合子

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/株式会社テクノサポートシステム

— 禁無断転載 — 定価400円 (本体381円)