

被ばく医療の地域展開に向けて

● 鈴木 元 (放射線医学総合研究所 放射線障害医療部)

被ばく医療は、長らく隠花植物的地位に甘んじてきた。「原発は事故を起こしませんし、汚染患者は出しません」といった建前論を、医学会が無批判に受け入れてきた結果である。過去30年にわたる継続的な原子力事業者の努力により、高度の汚染を伴う事故は、幸い我が国では起こっていない。しかし、一旦、汚染を伴った救急患者が出た場合に、現状の医療体制で患者さんを救えるのか否かは充分検証しておく必要がある。

歴史的に見てみると、原子力発電所の管理区域内で発生した労災事故患者は、事業者の責任で治療する体制が取られてきた。各原発は簡単な医療施設を設け、そこで産業医が一次医療を行う体制を整備している。産業医の手に負えない患者や医師が不在の時には、事業所内で汚染を落としてから一般の医療施設に搬送することになっている。この背景には、周辺の医療機関が汚染患者の受け入れを好まなかったり、地方によっては救急隊が汚染患者の搬送を拒否する現実がある。また、住民が過敏に「汚染事故」に対応する政治的・文化的風土がある。幸い、汚染を伴った救急患者が発生しなかったため、この体制はほころびを見せずに今日まで続いてきた。しかし、汚染を伴った動脈性出血患者や脳血管障害患者が発生した場合、悠長に除染を行っている余裕はない。このような救急患者は、一刻も早く最善の医療が受けられる病院に搬送しなければならない。そのためには、原発周辺の医療機関の協力が不可欠であり、汚染レベルに対する正しい理解が不可欠である。医療機関は、低レベルではあれ不必要な汚染の拡大を防止するための作法に習熟しておく必要がある。

本号では、橋本先生と道家先生に地元病院との連携にむけた活動を報告していただいた。政治的・文化的風土を一朝一夕に改善することは不可能であるが、このような努力の積み重ねによって、被ばく医療が一般医療施設でも行われる状況が作られていくものと期待される。

● 橋本 哲明

(労働衛生コンサルタント
(前)関西電力(株) 美浜発電所 産業医)

はじめに

原子力発電所(発電所)に関係した災害としては「原子力防災」という観点でとらえられる発電所周辺住民をも巻き込んだ発電所事故と、発電所の放射線管理区域(管理区域)内で発生する発電所従業員等の「労働災害」が考えられる。前者については、周辺住民への原子力防災体制として、国、地方自治体が災害対策基本法に基づき責任を持って対応されることになっている。後者について関西電力ではこれまで幸いにして放射性汚染を伴った労働災害発生実績はなく、一般の災害と同様な処置がとられてきた。

福井県医師会では、平成10年12月20日、関西電力株美浜発電所において、放射線汚染を伴った患者に対する医療措置について研修を行った(写真1)。なお、本研修会は日本医師会認定産業医研修会としても位置づけられたものであった。以下に研修会の概要を述べる。

当日は福井県医師会中上会長をはじめ担当理事、災害・救急医療委員会の先生方、関係者約40名が参加された。はじめに、放射線医学総合研究所の鈴木元先生の講義があり、その後、関西電力の産業医、看護婦、放射線管理員等により説明、解説と模擬訓練が行われた。私も発電所側の産業医の立場から参加した。模擬訓練については、時間の関係上、前半部分(負傷者発生～管理区域からの搬出まで)はスライドで解説し、後半部分の発電所内の緊急医療処置室と一般病院での処置に重点を置いて訓練が行われた。また、会場には汚染を確認するサーベイメータを含む諸器材が展示された。

【研修会の内容】

1. 講義

放射能と放射線についての基本的な単位、被ばくの形態及び自然放射線について説明がなされた。

2. 訓練の事前説明

今回は「原子力発電所の管理区域内で労働災害が発生した」との想定での訓練を行うことがまず、説明された。続いて、この研修会では、地域医療機関の医師に緊急時放射線



写真1 福井県医師会研修会
「放射線被ばく医療に関する研修会」

被ばく患者の受け入れについて安心していただけるよう、また、原子力発電所の現状をご理解いただくために時間の許す限り、以下の3項目について詳しく解説を試みた。

(1) 訓練見学の目的

労働災害への対応内容は、放射性物質による汚染の有無、治療の緊急性により判断する。一般的に、汚染のある患者の場合、発電所で除染し、応急処置の後、必要に応じて地域医療機関(病院)等へ搬送、処置を依頼する。ただし、救命処置を最優先に考慮しなければならない場合は、多少の放射性汚染が残っても地域の病院へ依頼するが、可能性として極めて低い。後者の場合、どのような応急処置を講じた患者が搬送されることになるのか、また、発電所側が治療に当たられる病院にどのような支援体制を敷くことが出来るのかを理解していただくことを目的とした。

(2) 発電所での汚染及び負傷の程度

発電所では年1回、発電を停止して実施が義務付けられている定期検査中を中心として管理区域内で多少の放射性汚染を伴う労働災害が発生する可能性はあるが、通常、作業環境の汚染レベルは極めて低く管理されており、人体への影響は少ないものである。幸いに関西電力の発電所で汚染を伴った負傷患者は過去30年間で一例もない。

今回の訓練では、汚染レベルの比較的高い作業場所で、かつ防護衣が破損したという状況下での体表面汚染を伴う労働災害の発生を想定したが、作業場の汚染レベルから見

て、原子炉冷却水等放射性汚染のある水をかぶった場合を除いて、通常の労働災害では体表面汚染が基準値(4Bq/cm²)を超える可能性は極めて小さいのが現状である。私共の30年間の経験を基にして可能性を分類した私案を表1に示した。

(3) 医療機関等における放射線防護

患者は基本的に発電所で可能な限り除染した後で病院へ搬送するが、治療の緊急性との兼ね合いで多少の汚染が残る可能性もあり、負傷者の状況や除染に関して必要な情報、器材は全て発電所より提供することになっている。このため、負傷者同行する発電所の放射線管理員(放管員)の助言を得れば、医療関係者は適切な医療処置が可能である。

表2に発電所から病院に持ち込む器材例を示した。病院で診察・治療等を行うエリアは、先発隊として派遣された放管員が病院側に協力して濾紙シートで覆い、汚染拡大防止措置を行うことになっている。

医療処置実施者の装備は患者の負傷・汚染の程度によって異なるが、一般的には帽子、マスク、ゴム手袋(2枚重ね)、手術用前掛け、靴カバー、フィルムバッジ程度で、必ずしも重装備は必要としない。患者の汚染が診察、治療に当たる医師等の被ばく線源になることはまずあり得ないが、対策は十分なことを考えておくようにしている。

表3に負傷者の体表面汚染レベルと医療処置実施者の防護衣(私案)を示した。実際にはケースバイケースで判断することになる。

〔表2〕 発電所から病院へ持ち込む器材の例

持込器材	数量	用途
濾紙シート	1巻	処置室の養生(汚染拡大防止措置)
粘着テープ	2~3巻	
ホリ袋	20枚程度	除染水(洗浄排水)、廃棄物等回収
紙ウエス	数束	処置室除染、水拭き取り
ホリシート	若干	負傷者の汚染箇所養生
ホリバケツ	2~3個	廃棄物等回収、運搬
靴カバー	10足程度	足養生
滅菌ガウン	数着	手術衣で代用可
紙マスク	数枚	病院のマスクで代用可
アフラック(ビニール製服)	数着	汚染レベルが高いときの身体防護 今回は念のために持ち込む
活性炭マスク	数個	
ゴム長靴	数足	
GM汚染サーベイメータ	2台	汚染検査
警報付デジタル線量計	数台	線量当量測定(即時読みとり可)
フィルムバッジ	数個	線量当量測定
ゴム手袋	20双程度	放射線管理員用
中性洗剤	若干	関係者の手洗い用

実際には事前に協議し、その状況により、必要器材及び数量を持ち込むことになる。

〔表1〕 汚染および負傷の程度の代表的なパターン(私案)

負傷の程度	汚染の程度 (Bq/cm ²)	体表面汚染なし(法令の基準以下)			体表面汚染あり				
		<0.4 (除染時点)	0.4~4.0	内部汚染 を伴う	4.0~40		>40		内部汚染 を伴う
					局部	全身	局部	全身	
軽	かすり傷	突起物との軽い接触等	○	△	×	×	×	×	×
	軽度の局部打撲	転倒、紙所からの転落等	○	△	×	×	×	×	×
	切傷(出血少)	突起物との接触等	○	△	×	△	×	×	×
	軽度の局部火傷	高温箇所との瞬間的接触等	○	△	×	△	×	×	×
	骨折、重度の 局部打撲	転落、重荷物落下、不用意な転倒等	○	○	×	○	△	×	×
	重度の局部火傷	高温箇所との接触、熱水との接触等	○	○	×	○	△	×	×
	切傷(出血大)	回転機器との接触、はさまれ等	○	○	×	○	△	×	×
	頭部を含む打撲	高所からの転落、重荷物落下等	○	○	×	○	△	×	△
重	全身火傷	熱水、蒸気を全身に浴びる等	○	○	×	○	△	×	△
備考			通常の労災で発生する可能性あり		特殊な状況下で発生する可能性あり(*)		発生する可能性は小さい		

○△×は、左欄の労働災害が発生した場合、病院へ搬入する際の汚染レベルの可能性

○：可能性あり △：可能性は小さい ×：可能性は極めて小さい

*：汚染レベルが高い作業場所で、かつ防護衣等が破損するという状況下である

・基本的に発電所で可能な限り汚染を除去した後病院へ搬入するか、治療の緊急性との兼ね合いにより、残留汚染がある場合もあり得る。ただし、作業場所の汚染レベルから見て、原子炉冷却水等、放射性汚染のある水をかぶった場合を除き、通常の労働災害では体表面汚染が法令の基準値を超える可能性は小さい。

・太枠(色枠)は、今回の訓練想定である。

この後、今回の訓練シナリオの説明及び前半部分の訓練の様子がスライドにより解説され、引き続き後半部分の模擬訓練が実施された

3. 模擬訓練

表4に体表面汚染負傷者の除染、医療処置訓練シナリオ

を、表5に関西電力の発電所の管理区域内において傷病者が発生した場合の緊急医療活動のスキームを示した

前半(負傷者発生～管理区域からの搬出まで)

傷病者が発生後、管理区域入口にある出入管理室において作業服の脱衣、全身の汚染検査、汚染除去、産業医による診察・応急手当を実施し、汚染拡大防止処置を行った

〔表3〕 負傷者の体表面汚染レベルと医療処置実施者の防護衣(私案)

処置者の防護衣		負傷者の体表面汚染レベル (Bq/cm ²)	法規制値以下		低汚染		高汚染	
			0.4~4.0		4.0~10		>40	
			局部	全身	局部	全身		
頭	綿、紙帽子	△	○	○	○	○	○	
手	ゴム手袋	○	○	○(2重)	○(2重)	○(2重)	○(2重)	
顔	ガーゼ、紙マスク	×	○	○	○	○	○	
	活性炭マスク、ダストマスク	×	×	△	△	△	○	
	眼鏡、ゴーグル	△	△	△	△	△	○	
体	手術衣	○	○	○	○	○	○	
	ビニール製エプロン(袖あり)	△	△	○	○	○	○	
	ビニール製ズボン	△	△	○	○	○	○	
	ブラック型防護衣	—	—	—	—	—	△	
	鉛エプロン	—	—	—	—	—	△	
足	ビニール製靴カバー	○	○	—	—	—	—	
	ゴム製長靴	△	△	○	○	○	○	

○：必要
△：状況により必要(粉塵の多い場合、気化する汚染のある場合等)
×：不要
その他：ベッドおよび床は連紙付ホリシートで汚染拡大防止措置(養生)をとり
放射線管理員の装備は医療処置実施者の装備に準じて決定する

〔表4〕 体表面汚染負傷者の除染、医療措置訓練シナリオ

ステップ	予定時間	訓練場所	負傷者の対応	備考
I		出入管理室 (PRセンター) で実施	<p>*1 負傷発生 発見者・同僚 → 出入管理室 → 社内関係箇所</p> <p>産業医、看護婦Aは出入管理室へ移動する。 看護婦Bは緊急医療処置室へ移動し、準備をする。</p> <p>汚染検査 作業服の脱衣、全身の放射性汚染の検査(拭離)、放射性汚染の除去(※2)の実施、創傷部に残留汚染あり(*2) (作業の状況から考えて内部汚染のおそれがある) (場合は*2で検出された汚染による測定を実施する。)</p> <p>産業医診察 出入管理室にて診察、今後の措置判断</p>	<p>*1: 負傷時の状況 (1) 負傷場所 3号機ループ室内蒸気発生器マンホール前 (2) 負傷の状況 作業中に転倒し、右上腕部に切り傷を負った (3) 負傷の程度 傷は長さ10cm、深さ0.5cmで骨折の疑いもある (4) 負傷者は同僚(作業責任者等)によって担架で出入管理室まで運ばれる。</p> <p>*2: 創傷部残留汚染密度: 30Bq/cm²(10cm×5cm) ※2は検出された汚染の値(※2)</p> <p>(法令上管理区域外へ持ち出し可能な基準) ・α核種(α線放射線)あり: 0.1Bq/cm² ・β核種(β線放射線)あり: 4.0Bq/cm²</p>
II	14:40 ~15:20	緊急医療 処置室	<p>担架にて搬送</p> <p>緊急医療処置室で 除染・応急処置 除染の実施、応急処置、汚染検査 創傷部に残留汚染あり(*4)</p> <p>緊急車にて搬送(産業医、看護婦A、放射線管理員同行) 別車にて、必要器材を運搬</p>	<p>*3: 右上腕骨折、医療機関にて治療が必要であるが、その前に緊急医療処置室で除染・応急処置を実施する。</p> <p>*4: 創傷部残留汚染密度: 10Bq/cm²(10cm×5cm)</p>
III	15:30 ~16:10	緊急医療 処置室 (搬送待受)	<p>病院で治療 (緊急医療処置室 で模擬)</p> <p>治療室の汚染拡大防止措置 看護婦によるVital signのチェック 負傷者の体表面汚染検査 医師、看護婦による創傷部の除染・治療(模擬) 放射線管理員による体表面、周辺汚染検査(*5)</p>	<p>*5: 汚染残留の場合には被ばく評価を行う (放射線管理員)</p>

後、発電所内にある緊急医療処置室での応急処置のため、管理区域から搬出した

後半(緊急医療処置室への搬入～病院での処置完了まで)緊急医療処置室へ運び込まれた負傷者は汚染検査及び除染を試みられた後、残留汚染がある状態で病院への搬送が決定された(写真2)

病院では負傷者に同行した放管員が汚染拡大防止処置、傷口の汚染検査を行い、産業医から病院医師に再度負傷の程度等、必要な内容の報告を行った(写真3) 病院医師は傷口の除染、デブリッドマン処置を試み、残留汚染はあるが産業医等と相談の上、人体に影響がないことを確認して縫合を行った 医療処置後、放管員は汚染拡大防止処置の片づけ、汚染検査を実施し訓練を終了した

なお、報道関係者が病院へ来るような場合は電力会社の広報関係者を派遣し、対応することとしている



写真2 汚染検査の状況

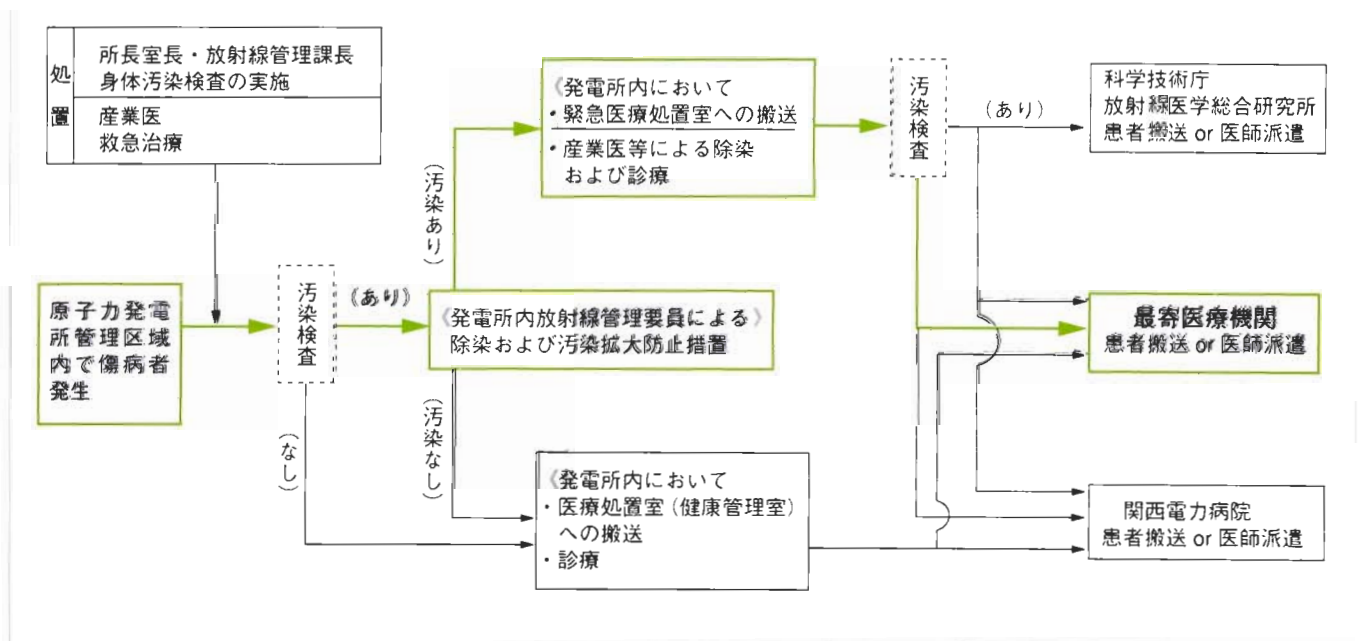


写真3 産業医から病院医師に再度、負傷の程度等の内容を報告

おわりに

訓練は、前記訓練シナリオに従って美浜発電所の緊急医療処置室において、発電所の緊急医療処置室および病院の処置室を想定して行われた 発電所では、日頃から応急処置訓練を実施しているが、地域医療関係者の参加を得て実施し、専門家の講評を受けたのは初めてのことであり、今後スムーズな緊急時被ばく医療対応を行っていく上で貴重な経験を得ることが出来た

(表5) 関西電力(株)原子力発電所管理区域内において傷病者が発生した場合(労働災害)の緊急時医療活動のスキーム



太枠(色枠)は、今回の訓練の流れを示す。

浜岡原子力発電所における緊急被ばく時医療

— 地元病院との連携 —

● ———— 道家 義和 (中部電力(株) 浜岡原子力総合事務所 産業医)

1. はじめに

当発電所は中部電力の保有する唯一の原子力発電所である。沸騰水型の発電所として昭和51年に1号機が運転を開始して以来、次々と号機を増設し現在は4号機、合計360万キロワットの発電能力を備えるまでになった。

さらに5号機増設に向けて土木工事が開始されたところである。この発電所内で働く作業者は約3千人である。そのなかで電力の社員は750名ほどで、残りは関連企業の従業員である。私は中部電力の常勤の産業医として平成5年から勤務している。

2. 浜岡町立病院における

汚染患者の取り扱い訓練

発電所から車で10分ほどのところに町立浜岡総合病院(260床)がある。今年4月13日午後5時半から病院の講堂にて汚染を伴う負傷者の取り扱い訓練を80名以上という多数の参加者を得て実施した。写真はその時のスナップである。

発電所からの負傷者発生時の通報、搬送患者の受け渡し、救急外来室を放射線管理区域に設定する手順、医療スタッフの汚染拡大防止措置、個人線量計の装備、サーベイメーターを用いた汚染部位の同定、創部汚染における除染法、管理区域への出入りのチェック、管理区域の解除等につき2時間ほどの訓練を行った。勤務を終えた夕方という時間帯にもかかわらず、病院職員の方々には最後まで真剣に取り組んでいた様子、嬉しく感じたものである。

3. 国際原子力機関のOSART

浜岡でこのように地元病院を巻き込んだ訓練を行うようになったのは、平成7年2月に国際原子力機関の運転管理調査団(OSART)が浜岡発電所を視察したことがそもそもの始まりである。調査団の一行は発電所の運転上の安全性に関して各部署を細かく調べていったが、衛生関係についても調査の手を緩めなかったためである。発電所内の事故で

作業者が被ばくしたり汚染した場合の医療体制についてイギリス人の調査員から詳しく質問された。発電所内には、かなり大がかりな医療設備もあり人員を配していることを説明したが、調査員はその回答には満足しなかった。近隣にある病院の受け入れ態勢を整えることが必要であるとの示唆を頂くこととなったのである。

4. 放射線被ばくに関する教育

運転管理調査団の提言への対応策として浜岡病院に放射線防護の教育と訓練を申し込むことを考えた。病院は放射線を診断や治療に用いており、その恩恵についてはよく承知しているし、また放射線の障害についても関心がある人達だから、放射線防護のことをもっともよく理解してくれるはずであると、会社側を説得し重い腰を上げさせ平成8年3月に浜岡病院内で研修会を開くまでにこぎつけたのである。研修会では線量当量、確定的影響、確率的影響、健康リスクの疫学調査結果など放射線防護の基本的な知識について話した。さらに同年5月に急性障害や汚染の除去等にテーマを絞って2回日



浜岡町立病院における汚染を伴う負傷者の取り扱い訓練風景

の研修を行った。拙い私の介にもかかわらず熱心に拝聴して頂けたことを感謝している。

5. 放射能汚染に関する訓練

平成8年は座学のみであったので翌9年には模擬患者を使ってのリアルな訓練を行った。3月に病院救急部の医師や看護婦を対象として行ったが、彼らとしても初めての体験であり戸惑いも見られたが、汚染拡大措置について、その根拠と手順を知っていれば通常の医療措置(例えば感染防止措置など)に比べて特別に難しいわけでもないことを理解していただけたものと思う。

実際に訓練を行うと、なんだこれしきのことか、これくらいなら自分達でもできそうだという自信がでてくるようである。

体表面汚染時の測定と皮膚の線量(Ⅱ)

● 山口 武憲 (日本原子力研究所 保健物理部)

1. 被汚染者の体表面汚染と皮膚線量の評価

JAMMRA 1号では体表面汚染時の測定、皮膚線量の評価、介護者や医療要員の受ける外部被ばくについて述べた。今回は、Co-60とI-131を例に、表面汚染密度の算出に用いる換算係数と線量計算について少し詳しく述べる。

体表面汚染の測定では、汚染部位が100cm²でサーベイメータの窓面積を有意に超えるものとし、β線を主に計測(わずかながらγ線も計測)する端面型のGM管式サーベイメータTGS-133型を用いるとして、話を進める。

(1) サーベイメータの換算係数と表面密度

表面汚染の測定に用いられるサーベイメータの校正には通常、U-238線源が用いられている。このβ線最大エネルギーは2.29MeV(放出率98%；U-238の娘核種Pa-234mから放出されるβ線)と高いため、サーベイメータの機器効率は約75%と高い。この機器効率は、線源の表面から放出されるβ線の放出率に対するサーベイメータの正味の計数率であるので、Co-60のようにβ線最大エネルギー(0.318MeV, 100%)が低くなればサーベイメータの入射窓等でのエネルギー吸収、散乱等により機器効率は低下する。また、Co-60の場合、β線の他、1.173MeVと1.333MeVのγ線をそれぞれ100

%放出するため、サーベイメータの計数率にわずかながら寄与することになる。サーベイメータの機器効率にはこのγ線の影響も含んでおり、JAMMRA 1号の表1に示したようにCo-60の機器効率は36.9%となっている。このように、機器効率は、放出されるβ線の最大エネルギーと放出率、さらにγ線の影響によっても変わるものであり、また、サーベイメータの種類が違えば、変わってくる。

次に線源効率であるが、数種類の材質(エポキシ樹脂塗表面、ポリエチレンシート、P-タイル等)の表面を数種類の放射性物質で汚染させ、その表面を測定して線源効率を求めた実験結果では、Pm-147(β線最大エネルギー0.225MeV)に対するエポキシ樹脂線源塗表面の0.45が最も低い値であった。これらのデータを勘案し、JAMMRA 1号の表1に掲げた核種に対して、緊急時には線源効率を0.5として取り扱っても良いであろうと前回述べたが、放射性物質が付着している皮膚表面が平面ではない場合や、皮膚表面が平滑ではなく、β線エネルギーの吸収、散乱が比較的大きい場合には、0.5という線源効率を用いることは線量の過小評価につながる。また、β線最大エネルギーが0.2MeV以下である場合、その線源効率はさらに低くなる。このような場合、皮

6. 原子力はGlobal Standard

このように国際原子力機関・運転管理調査チームの提言に促されて発電所と地元医療機関との間で汚染患者の受け入れに関して合意ができ教育や訓練を通じての連携が始まったのである。

汚染を伴う負傷者の発生は、もしかしたらありえる事象であり、そのための対応措置を備えておくことは、原子力発電所の安全運転上必要不可欠からざることであるというのがIAEAの考えなのであろう。原子力産業は世界標準で安全性を満足しなければ存続を認められないほど厳しい業界なのであるから、日本の発電所も調査団の示した考えの意味を真摯に受け取る必要があるだろう。発電所に働く人々の健康を守り、労働災害を防止し、また負傷が発生した際

には速やかに治療を受けさせるのは発電所の責務であると事業者は心得るべきであろう。

7. 今後の展望

浜岡病院での研修・訓練を通じて判ったことは、病院職員は放射線被ばくや汚染に関する正しい情報を欲していることである。難しい放射線物理や生物の話を詳しく説明する必要はなく、より具体的な知識と実践的な手技を伝達することが、発電所と病院双方にとって多いに利になることであろう。

訓練は繰り返し行うことに意味があり、これからも新しい話題を取り入れながら、病院との友好関係を維持していきたいと考えている。また地元の開業している先生達からも研修会開催の要望があり応じていくつもりである。

膚の吸収線量を過少評価しないようにするには、線源効率を例えばその半分の0.25とすることも一案である

Co-60による皮膚の汚染密度を評価する場合に使用する換算係数は、サーベイメータの正味の値(cpm値：バックグラウンド計数率を差し引いた値)に乗じることにより、サーベイメータの窓面積20cm²当りの放射エネルギー(Bq)を求めることができる。この換算係数は上述の機器効率と線源効率を用いて求める

$$\text{Co-60の換算係数(Bq/20cm}^2\text{/cpm)} = \{1 / (1 \times 0.369 \times 0.5)\} \div 60 = 0.090 \text{ となる}$$

Co-60のように、校正線源を用いてあらかじめ機器効率を求めておけば、換算係数を算出する上で問題はないものの、体表面汚染を引き起こす可能性のある核種全てについて機器効率を得ておくのは現実的ではない。ここでは、I-131を例にして、機器効率と線源効率を推定し、おおよその換算係数を求める。I-131のβ線最大エネルギーは0.606MeVであるので、JAMMRA 1号の表1から機器効率は約57%である。しかし、β線放出率は89%であるので、安全側に評価するためにこれを考慮する。また、β線最大エネルギーが比較的高いので、線源効率を0.5として換算係数を求めると、

$$\text{I-131換算係数(Bq/20cm}^2\text{/cpm)} = \{1 / (0.89 \times 0.57 \times 0.5)\} \div 60 = 0.066 \text{ となる}$$

I-131からはこのβ線の他に、最大エネルギー0.3MeV前後のβ線が計り%放出される。このβ線はサーベイメータの計数率に寄与するため、0.066という換算係数を用いた場合、評価される皮膚の汚染密度(Bq/20cm²)はやや高い値となる

実際の測定では、正味の計数率にこれらの換算係数を乗

じることにより、窓面積20cm²あたりの放射エネルギー(Bq)が得られる。しかし、汚染レベルが高い場合には、バックグラウンドを無視しても線量評価上、問題はない

汚染核種が単一で、核種名や核データが分かっているならば、上記のように換算係数を求めて、より正確な汚染密度を求めることができるが、複合汚染であったり、核種が不明である場合には汚染密度を精度良く求めるのは難しい。現実的には、体表面汚染の発生が考えられる放射線作業を選別し、その作業で取り扱う代表的な2、3の核種を選定しておき、その換算係数を用意しておくことが考えられる

(2) 皮膚線量の評価

皮膚の汚染密度(Bq/20cm²)を20cm²で割り、単位汚染密度(Bq/cm²)を求める。次に、皮膚の吸収線量率((nGy/h) / (Bq/cm²))と被ばく時間(h)を乗じることにより、β線による皮膚の吸収線量が得られる。Co-60の場合、単位汚染密度(Bq/cm²)に対する皮膚の吸収線量率は1.035((nGy/h) / (Bq/cm²))であり、I-131は1.419(いずれもICRU Rep.56のデータ)である

Co-60による皮膚汚染があり、測定の結果、サーベイメータ指示値が22,000cpmであった場合、

$$\text{皮膚の汚染密度} = 22,000(\text{cpm}) \times 0.09(\text{Bq/20cm}^2\text{/cpm}) = 2000(\text{Bq/20cm}^2)$$

$$\begin{aligned} &1 \text{ cm}^2\text{当りの汚染密度は} 100(\text{Bq/cm}^2)\text{であるから、} \\ &\text{皮膚} 1 \text{ cm}^2\text{の} 1 \text{ 時間当りの吸収線量率は、} \\ &100(\text{Bq/cm}^2) \times 1.035((\text{nGy/h}) / (\text{Bq/cm}^2)) = \\ &104(\mu\text{Gy/h}) \text{ となる} \end{aligned}$$

ここで、いくつかのβ線放出核種について、換算係数(K)と皮膚の吸収線量率係数(F)、さらにその積(K×F)の値を下表に示す

核種名	Pm-147	Co-60	Cs-137	Cl-36	Sr-89	p-32	U ₃ O ₈ *
β線 _{max} (MeV)	0.225	0.318	0.512, 1.17	0.709	1.49	1.71	2.29
放出率(%)	100	100	94, 6	98	100	100	98
換算係数(K)**	0.12	0.090	0.059	0.057	0.05	0.05	0.045
吸収線量率係数(F)	588	1035	1537	1648	1695	1745	1744*
K×F	71	93	91	94	85	87	78

* Pa-234mから放出されるβ線最大エネルギーであり、FもPa-234mの値である
**線源効率を0.5としてKを求めた

この表から、 β 線最大エネルギーが0.3MeV~2MeV程度の範囲で100%近い放出率であれば、 $K \times F$ の値は90前後になることがわかる。つまり、サーベイメータの指示値が同じであれば、皮膚の吸収線量率もほぼ同じ値となることを示している。

現在、皮膚の吸収線量率(70 μ m組織吸収線量率)を測定評価できるサーベイメータとして、電離箱ICS-311型、プラスチックシンチレーションTCS-702型、GM型TGS-111型などがある。その一つであるTCS-702型の校正定数(Gy/Sv)は、 β 線の残留最大エネルギー(検出器先端位置における最大エネルギー)が0.4MeV~2MeVの範囲で基準値に対して、 1 ± 0.2 以内であり測定上限値は約10mSvである。また、ICS-311型では、 β 線残留最大エネルギーが0.16~1.94MeVにおいて校正定数が1.7~3.2であり、低エネルギーに対する測定精度は良いものの、測定できる上限値は1~2mSv/hである。

2. 汚染者の介護及び医療措置時に受ける外部被ばく

被汚染者の介護や医療処置を施す際には、 γ (X)線測定用GM型サーベイメータを用いて、被汚染者の周辺の線量率を測定しておき、介護者や医療要員の受ける外部被ばくをおおよそ見積もることができる。しかし、実際に介護や医療措置を施す際には、 γ 線及び β 線を測定できる個人線量計を着用することにより、被ばくを管理していく必要がある。

ここでは、汚染部位から放出される γ 線により、介護者や医療要員がどの程度の被ばくを受けるのか、その場合の皮膚汚染のレベルはどの程度なのかを推定する。

汚染部位と介護者あるいは医療要員の身体幹部(腹部や胸部)との距離を30cmと仮定する。汚染部位を胸部100cm²とすると、1cm線量当量率定数((μ Sv/h)/(MBq))はCo-60で4.1、I-131で0.82である。この数値は計算コード(QAD, G33)を用いて算出した値であり、線源は面線源である。身体表面は曲面であり、線源の幾何学的形状はやや異なるものの、汚染部位との距離が確保されていれば過少評価にはならない。

被汚染者の皮膚の単位汚染密度が100(Bq/cm²)であり、汚染面積が100cm²である場合、全放射線量は0.01MBqとなるから、

0.01MBq \times 4.1(μ Sv/h)/(MBq)=0.041 μ Sv/h となる
逆に、介護者あるいは医療要員の受ける線量(胸部や腹部)が100 μ Sv/hである場合、Co-60による100cm²当りの皮膚の汚染密度は、

$$100(\mu\text{Sv/h}) \div 4.1((\mu\text{Sv/h}) / (\text{MBq})) = 24 \text{MBq} / 100 \text{cm}^2 \text{ となる}$$

この時の1cm²当りの皮膚の吸収線量率は、

$$2.4 \times 10^4 (\text{Bq/cm}^2) \times 1.035 (\text{nGy/h}) / (\text{Bq/cm}^2) = 0.25 \text{Gy/h} \text{ となる}$$

I-131について同様の計算をすると、I-131による皮膚の汚染密度は122MBq/100cm²となる。1cm²当りの汚染密度は1.22 \times 10⁶(Bq/cm²)であるから、皮膚の吸収線量は1.22 \times 10⁶(Bq/cm²) \times 1.419(nGy/h)/(Bq/cm²)=1.7Gy/h となる。

以上の線量計算からもわかるように、 β 線エネルギーの高いI-131の方が皮膚線量は高いので、汚染部位の除染などの医療措置を早期に施す必要がある。また、介護者や医療要員の外部被ばくは、被汚染者との距離をある程度保つことにより、過度の被ばくを避けることができる。

[参考資料]

- 1) JAERI-M92-144, p229-231, JAERI, 1992.
- 2) JAERI-M90-224, p204-207, JAERI, 1990.
- 3) ICRU Report 56, ICRU, 1997
- 4) JAERI-Data/Code 97-013, JAERI, 1997
- 5) 放射性表面汚染の測定・評価マニュアル、原子力安全技術センター、1988
- 6) 放射性表面汚染サーベイメータ, JIS Z 4329, 1993



染色体異常を指標にした線量推定法

●——— 神田 玲子、早田 勇 (放射線医学総合研究所 障害基盤研究部)

緊急時においては、できるだけ早い段階で被ばく線量を個人レベルで推定し、その後の治療の要不要、治療方法の判断に役立つことが最重要である。臨床症状を示す被ばく者についてはもちろんであるが、それ以外の低線量被ばく者や被ばくの疑いのある者についても、被ばくしていないことや被ばく線量が健康影響を心配する必要がない程度であることを証明することは、被災者に無意味な心配をさせないために大変重要である。

線量推定には両ESR法のような物理的推定法もあるが、血球数や皮膚に見られる急性症状を指標とした生物学的推定法もある。中でも末梢血リンパ球に見られる染色体異常は、1)電離放射線に鋭敏に反応して出現する、2)試料である血液の採取が容易、3)全身を循環するリンパ球を用いるため部分被ばくでもその影響が見られる、といった理由から最も有用性の高い線量推定の指標である。特に二動原体、環状染色体、断片などは形態的特徴から核型分析法によらず識別できるため、広く利用されている。

1986年にIAEAが「生物学的線量推定法：線量評価のための染色体異常解析」というテクニカルレポートの中で、放射線誘発染色体異常解析の標準的プロトコルを発表した。そこで示されている線量推定作業は根気のある熟練した技

術者でないと行えず、各プロセスにおいて非常に手間と時間がかかるものである。実験的には二動原体等の異常頻度により低LET放射線で0.02-8Gyの線量推定が可能であるが、実際にはマンパワー不足が原因で、臨床症状を示さない0.25Gy以下の低線量被ばくへの対応は難しいのが現状であった。それから10余年が経過して、各プロセスとも実用的かつ能率的に改良されてきた。中でも自動解析システムと染色体着色法の開発は、作業の実用化、能率化に大きく貢献する研究と思われる。

放射線誘発染色体異常の解析は末梢血リンパ球を培養して染色体標本を作製し行うが、もっとも労を要するのは解析プロセスである。そこで放射線誘発二動原体を自動的に検出するシステムが、ドイツハイデルベルグ大学や英国MRC人類遺伝学研究所および放医研等で開発され、一部のプログラムは市販されてもいる。こうした装置の導入により染色体分析者の労力の約97%を軽減できると見積もられている。また培養ハーベストロボットシステムや染色体標本自動作成装置も放医研や国際医療センターの研究者によって開発された。近い将来、これらの装置がさらに改良され全世界に普及するであろう。

米国ローレンスリバモア研究所のPinkelら(1988)は、ヒ

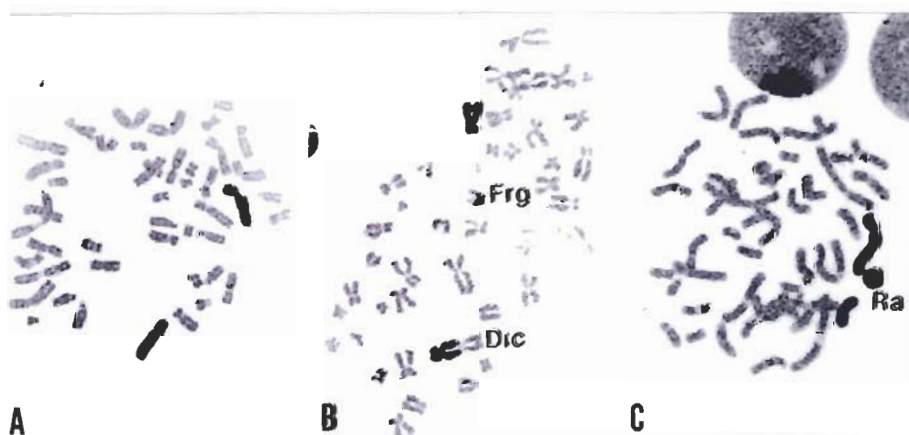


図1 非蛍光法で着色されたヒト4番染色体。Aには正常の染色体、Bには二動原体(Dic)と断片(Frg)、Cには環状断片(Ra)が存在する。

ト23対の染色体のうち、特定の対のみをDNA in situ分子交換法で蛍光染色する染色体着色法を開発した。この方法では蛍光着色した染色体と他の非着色染色体との間で生じた交換型異常は、安定型(相互転座)であれ、不安定型(二動原体)であれ、切断再結合部を境として着色部と非着色部のモザイクパターンを示すことから識別できる。慢性被ばくや被ばく後長期経過した場合の線量推定に有効な安定型異常の検出が容易であるため、染色体着色法は広く普及した。着色法を用いて原爆被爆者やチェルノブイリ被災者に対して週及的線量推定研究がなされ、また職業被ばくや高自然放射線被ばくについての研究も飛躍的に進歩した。しかし染色体着色法は蛍光染色であるため、動原体が確認しにくく、また退色のため見直し観察が困難という欠点を持つ。そこで我々は永久標本が可能なヘルオキシダーゼ/ジアミノベンチジン(DAB)反応を利用した非蛍光染色体着色法を開発した(図1)。このDAB着色は通常のギムザ染色標本と同様に自動解析に適しているといった利点もある。

上記のような研究は染色体分析を能率化した。一方で医学の進歩により従来は推定が困難であった8Gy以上の高線量域を推定できる系も必要になってきた。骨髄障害に対する適切な治療法を持たなかった時代、5Gy以上の線量は致死線量であり、事実上8Gy以上の線量推定を行う必要はなかった。しかしチェルノブイリ事故やサンサルバドル等での事故に於いては5-10Gy以上の被ばく者も骨髄移植やサイトカイン療法等により生存可能であることが立証された。こうした治療法を検討する際、被ばく線量に関する情報は非常に重要である。チェルノブイリ事故の際には、移植を行う12名に対し事前に染色体分析による被ばく線量推

定が行われたが、そのうちの2名については線量推定できなかった。その理由は、5-10Gy以上の高線量を被ばくしたリンパ球はG2ブロックを起こすため、コルセミド処理を行っても十分な数の分裂中期細胞を集積することができないからである。こうした事情もあり、より高線量域にも対応できる線量推定法の必要性が認識され、新たな方法が最近開発された。

Ser/Thrホスファターゼ阻害剤であるオカタ酸でリンパ球を処理すると、核の染色体が凝縮し染色体が見られるようになる。オカタ酸は高線量(~40Gy)照射されたリンパ球においても染色体凝縮を誘発することができるが、この染色体凝縮像をギムザ染色すると、動原体部位の同定が困難なため二動原体や断片の検出は難しい。そのため染色体凝縮像を染色体着色し、交換型異常を検出する方法が高線量域の推定法として報告されている。我々はオカタ酸で強制収縮させた染色体標本をギムザ染色して環状染色体を検出する簡便な高線量域の線量推定法を開発した(図2)。この方法は特殊な器材や技術を必要とせず、緊急時には地域の病院等で簡便かつ迅速に行うことができるという特長を持つ。

以上に述べたように、染色体分析法による線量推定には特殊で膨大な作業を伴う。そのため緊急時対応策として作業の特殊性を軽減する方向で染色体分析法が改良されてきた。それと同時に、米国、英国や仏国等に於いては特殊作業を行う専門技術者や設備を一カ所に配置したセンターを設け、作業の能率化、集中化を図ってきた。今後は日本においても同様の体制作りが望まれる。

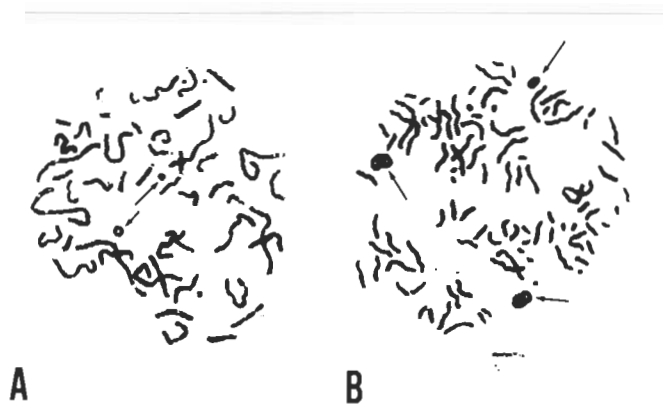


図2 オカタ酸で誘発された染色体凝縮のギムザ染色像。AとBはそれぞれG2/M期およびM期後半の培養リンパ球。Aの細胞には2個の環状染色体、Bには3対の環状染色体が存在する(矢印)

福井県医師会 主催

『放射線被ばく医療に 関する研修会』から



一般病院における汚染拡大防止措置



緊急医療処置室における創傷部の除染準備状況



病院医師は、傷口の除染、デブリドマン処置を試み、残留汚染が人体に影響がないことを確認し、縫合、治療を終了

6 号 目 次

巻 頭 言

被ばく医療の地域展開に向けて
鈴木 元(放医研放射線障害医療部)

—1—

地 域 レ ポ ー ト

福井県医師会主催
「放射線被ばく医療に関する研修会」に参加して
橋本 哲明(労働衛生コンサルタント)

—2~5—

浜岡原子力発電所における緊急被ばく時医療
道家 義和(中部電力株式会社浜岡原子力総合事務所産業医)

—6~7—

事 例 研 究

体表面汚染時の測定と皮膚の線量(II)
山口 武憲(日本原子力研究所保健物理部)

—7~9—

染色体異常を指標にした線量推定法
神田 玲子、早田 勇(放医研障害基盤研究部)

—10~11—

編 集 後 記

—12—

編 集 後 記

石川迪夫先生の著書「原子力の暴走—SI-1からチェルノブイリまで」(1996年、日刊工業新聞社)を読んだ。この本は、原爆と原発の違いを物理学的に解説し、その延長上で反応度事故という「原子力の暴走」を解説している。このように、書くと、取っつきにくい本と思われるかも知れないが、私のような関係の人間にとっても解りやすく、書いてあるので有り難い。チェルノブイリ事故は、原子力の設計上の問題点がベースにあるところに運転員の6重の判断ミス・誤操作が重なり、反応度事故→燃料棒加熱とその破壊→水素爆発→炉心破壊に至った事故である。加えて、爆発後数時間以上経ってから本格化した炉心の黒鉛火災が、放射能汚染を拡大した。燃料棒の破損がその温度に依存して水素爆発に連なったり、単なる破損で終わったりする理屈も、この本は教えてくれる。筆者らは、原子力の安全設計思想の確立のため数多くの計画的原子力暴走実験を積み重ねてきた。その事を初めて知り、軽水炉の安全設計の奥深さを実感した次第である。B6版260ページ程度の本であるから、是非、ご一読されることをお奨めする。(鈴木記)