

「深夜のプルトニウム輸送」はまる裸の恐怖か

●———下 道 国 (放射線医学総合研究所 内部被ばく・防護研究部)

1998年3月19日に、茨城県東海村の日本原子力研究所から千葉市にある放射線医学総合研究所まで7.1gのプルトニウムが輸送された。この輸送に関して、フライデー誌はその4/10号で「深夜のプルトニウム輸送はまる裸の恐怖」という記事で取り上げた。本小論では、第1にプルトニウム輸送に際しての安全対策について述べるとともに、第2に万が一プルトニウムが環境中に放出された場合の放射毒性に関して考証し、プルトニウム輸送が決して「まる裸の恐怖」ではないことを述べたい。

米国の放射能緊急事態支援／訓練センター(REAC/TS)の統計によれば、これまで核燃料の輸送中に車両転覆事故が何度か起きているが、核燃料漏出による被ばく事故は1例も起きていない。今回の我々の輸送においても同様であるが、核燃料の輸送に際しては十分な安全対策が講じられてきた結果である。

今回の輸送量が、生体への安全面から「量」として極めて危険な量なのかを検討する。プルトニウム7.1g(1.6×10^{10} Bq、 α 壊変、エネルギーの低いX線が出る)は、外部被ばくの点からすれば問題にならない量である。プルトニウムを入れたガラス容器(表面で0.5mSv/h)を1mm厚の鉛容器に収納すると、これだけで容器の表面線量は自然放射線レベルとなる。たとえそれを鞆に入れて人が電車で運んだとしても、運搬人はもちろん周囲の公衆に全く害を与えない。しかしながら、自然にあるいは人為的行為によって輸送途中に異常が発生し、洩れ出たプルトニウムを人が吸入するような事態が生じないように、輸送容器は多重に封印され密栓度を高めてある。さらに衝突や落下などの衝撃あるいは火災・爆発に十分耐える構造となっ

ている。そのために、今回は400kgの輸送容器(多重に梱包し、プルトニウム50gまで受容)が使用されたが(図参照)、これは相当に過剰防護の容器で、安全対策上全く問題ない。

万が一、輸送中のプルトニウムが環境中に放出される事態が起きた場合、7.1gのプルトニウムはどの程度危険なのであろうか。フライデー誌は、プルトニウム1gが計算上10万人の致死量に当たると書いている。しかし、それは机上の計算(しかも過大)であって、極めて非現実的である。その理由は次のとおりである。

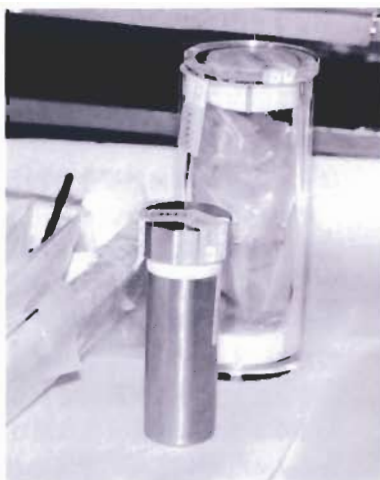
の理由は次のとおりである。

実際にはありそうにないが、最も厳しくなる方向で計算する。火災・爆発等によって酸化プルトニウムが環境中に放出された場合を想定する。酸化プルトニウムは難溶性であり、この場合プルトニウムの摂取経路で可能性の高いのは、口や皮膚からではなく呼吸による吸入経路である。粒子の空気中における滞留時間は粒径が小さいほど長く、また吸入粒子の人体影響は $0.03 \mu\text{m}$ をピークに小さい粒子が大きい。

粒子はかなり幅広く分散した媒質で、その中心的な直径は、施設の工程で発生する固状粒子で直径 $3 \mu\text{m}$ 、また液状粒子で直径 $0.5 \mu\text{m}$ であり、環境に放出されたものではそれぞれ $0.5 \sim 1.2 \mu\text{m}$ 及び $0.2 \sim 0.4 \mu\text{m}$ とされている。ここでは、単分散粒子と仮定して、着目粒子径を $0.2 \mu\text{m}$ (半径 $0.1 \mu\text{m}$)と安全側に振って計算する。このような粒子の質量(放射能)は $\rho (4/3) \pi r^3 = 11.5 \times (4/3) \pi \times (0.1 \times 10^{-10})^3 \text{g} = 48 \times 10^{-6} \text{ng} (0.11 \text{mBq})$ である。ただし $239\text{Pu} : 1 \text{g} = 2.3 \text{GBq} (1 \text{ng} = 2.3 \text{Bq})$ である。したがって、1gからできる微粒子の数は 2×10^{13} 個($= 1 \text{g} / 48 \times 10^{-6} \text{g}$)である。

プルトニウムの健康影響は確率的に発生するがんによる

(2ページ下段に続く)



プルトニウムの入ったガラス容器の輸送手法

手前のステンレススチール製の容器にビニル袋で密封した20mlのガラス容器が入る。ステンレススチール容器はビニル袋に入れられ、緩衝材と共に後のアクリル容器に入れ、密封される。



左のアクリル容器はさらにビニル袋に入れ、緩衝材などと共にこの輸送容器に入れられる。ガラス容器から数えて七重となっている。

コバルト60によるガンマ線照射滅菌工場での被ばく事故

●——小林信義（放射線医学総合研究所 放射線障害医療部）

1989年、エルサルバドル共和国の首都サンサルバドル産業放射線照射施設で、放射線事故が発生した。この事故は、可動線源ラック内の放射性コバルト60より発するガンマ線を用いて包装済みの医療製品を滅菌する施設内で起こり、オペレーターを含めた3人の従業員が高線量の放射線を浴びてしまった。3人の従業員には急性放射線症候群の症状が出現し、サンサルバドルの病院とメキシコシティの専門病院で治療を受けることとなったが、3人のうち2人は下肢の切断が必要となり、このうち1人は事故の6ヶ月後に死亡する結果となった。

この事故は様々な要因が積み重なって、重大な事故へとつながっている。事故が起きた背景と、患者の経過について

てIAEA報告書“THE RADIOLOGICAL ACCIDENT IN SAN SALVADOR.”の内容に従ってご紹介する。

1 事故の発生

1989年2月5日、作業員Aの夜勤帯の午前2時頃、照射装置の故障により、コバルト60を格納する線源ラックが照射位置から下がった状態で止まってしまった。この施設の安全装置は、以前から十分に機能しないような状態にあった上、Aは業務への慣れと照射装置に対する誤った知識により、被ばくの危険性を認識しなかったため、放射線モニターで照射線レベルを確認せずに照射室に入り、大量の放射線を浴びてしまうこととなった。さらにAは線源ラックを

(1ページより続く)

死であるため、他の化学物質などのように致死量をきっちと決めるわけにはいかない。そこで、以下のデータを参考にし、致死量に対応するような量を求める。ある資料には致死量として体重1kg当たり約30 μ Ci(=1100kBq)が、また米国パッチェル研究所によれば同じく200kBqの推定値がある。

他方、放医研内部被ばく・防護研究部のデータから、人の半致死量は50~70kBq(年摂取限度の100倍)と推定される。ここでは、最も厳しい50kBq(20 μ g)(半致死量)を採用する。

以上の数値から、吸入した人の内の半数が発がんするような吸入粒子数は、 4×10^8 個(=20 μ g/48 $\times 10^6$ ng)と見積もられる。したがって、1gのプルトニウムから発生した微粒子を半致死量ずつ全て人に吸入させたとすると、吸入する集団の人数は5万人($2 \times 10^{13} / 4 \times 10^8$)となる。では、5万人の人々がどれぐらいの体積の空間にいる場合、半致死量の微粒子を吸入するチャンスがあるのだろうか。粒子が人のいる空間に散布され、かつ均等に分散してそのまま空气中に滞留し、しかもそこにいる人が1m³/hの呼吸量で1時間滞在した場合を想定する。吸入した人の半数が発がんするエリアの大きさは 5×10^4 m³(2×10^{13} 個/Vm³ $\times 1$ m³/h $\times 1$ h = 4×10^8 からVを求める)である。これは、高さ5m、100m四方の空間に相当する。なお、この25倍の500m四方以上にプルトニウム粒子が散布された場合、発がん率

は2%となって自然発生率内となる。

結局、プルトニウムが放出されるような事故の際に、周辺に100m四方に何人のヒトがいたかにより被害状況が異なる。発がん者2.5万人というのは、いわば東京ドームのグラウンドに5万人入った時にプルトニウムが放出された状況である。しかしながら、このような状況は実際にはあり得ない。空気は絶えず動いており、それによって希釈され(もし濃縮があれば被害者数は減る)、上方への拡散もある。また、人が1時間もそのままの状態にいることも現実的でない。家屋内などで就寝している場合でも、屋内にそのような空気がそのまま入ってくることはありそうにないからである。

なお、飲用水に混ぜた(実際には溶けず静置すれば沈殿する)場合は、消化器官からの吸収率が0.1%以下(注)であるから、半致死量としては20mg以上必要となる。

以上、プルトニウム輸送容器は火災・爆発に十分に耐える安全対策が施されていること、さらに万が一プルトニウム粒子が環境中に放出されたとしても、個人が発がんのプルトニウム粒子を吸入するチャンスは極めて低いことを述べた。

(注)酸化プルトニウムの消化器官からの吸収率は、0.001%である。ここでは、化学型が不明のプルトニウムの吸収率としてICRPが提唱している安全側に振った値0.1%を用いた。

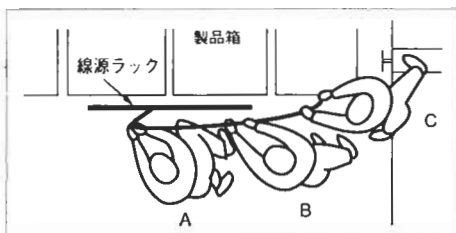


図1 被ばく時の線源ラックとA、B、Cの位置関係

正常な位置に戻すため、同僚のB及びCに応援を頼み、自力でこれを移動したため、非常に近距離にて高線

量の放射線を浴びるとともに、さらに2人の犠牲者を増やす結果となってしまったのである(図1参照)。

2 事故の背景

①エルサルバドルの社会的背景

エルサルバドルではこの時、1979年以降の内戦状態があり、治安・経済が極めて悪化していた。このため、この照射施設のような工場では、経済的標的となることを恐れて、安全性に関する情報は外部に漏らさない秘密主義がとられるようになっていた。

国としての放射線の安全性に対する関心も低く、エルサルバドルには放射線防護に関する管理規則も適切な社会的専門施設も存在していなかった。このため、IAEAは1986年にエルサルバドルに専門家を派遣し、電離放射線線源の管理に関する規則の草案作成を援助していたが、内戦のためこの草案作成は優先的に取り扱われず、事故発生の時点ではまだ検討されている段階であった。

②施設の安全管理体制

1975年のこの施設の運転開始に当たっては、メーカーにより3人のオペレーターが運転と放射線防護についての訓練を受けていた。しかし、施設はすぐに他の所有者に売却されたため、これと同時に3人とも退職してしまい、メーカーが用意していたマニュアルも英語のもののみで現地語のス페인語のものではなく、施設内で一部ス페인語化されていたものも間違いが多く、不完全なものであった。このため、運転に関し熟知する者は施設内になく、簡易的なマニュアルが1頁で伝達されるのみという体制が踏襲されている状態であった。

〔表1〕 GM-CSF投与開始時の患者A、B、Cの血液データ

患者	ヘモグロビン (g/L)	白血球 ($/\mu\text{L}$)	総好中球カウント*	血小板 ($/\mu\text{L}$)
患者A (24日)	60	200	0	20000
患者B (26日)	86	700	56	54000
患者C (33日)	84	2300	437	35000

*総好中球カウントは単位量カウントに推定血液量を乗じて計算。

さらに経済的理由から、安全装置の整備はメーカーの推奨する状態からはほど遠い状態にあった上に、治安の悪化のため、外国企業であるメーカーはエルサルバドル内に入ることが困難で、メーカーによる安全点検、施設の改修が長期にわたり実施されない状態であった。

3 被ばく者の臨床経過と被ばく線量推定

被ばくした3人は、早期から急性放射線障害とみられる嘔吐等の症状がみられている。特に線量の大きかったAは、線源ラック移動作業を終了し、照射室から退室した直後から嘔吐、吐血を訴え、次に線量の大きかったBとともに救急病院で受診したが、初期診療では食中毒と誤診され、自宅に帰された。第3日目になると、全身の紅斑に加え、被ばく量の大きかった下肢に激しい疼痛を伴う発赤と浮腫が出現してきたため、急性放射線症と診断されるに至った。

<Aの経過>

入院と同時に感染症防止目的で隔離室にて治療を受けるが、肺炎と放射線腸炎のために食物摂取が行えず、骨髄障害による血球減少も重なって全身状態が悪化したため、第24日目にメキシコシティの病院に移る。この病院における栄養療法、rhGM-CSFによる治療は奏功し、47日目には隔離を解かれたが、3ヶ月頃より右下肢の壊疽が進行し(図2)、132日目に切断した。その後、急速に病状が回復し、173日目にはサンサルバドルの病院へ帰る



図2 患者Aの下肢と足の熱傷

が、187日目より再び病状が悪化し始め、191日目までに肺炎に陥る。192日目、カテーテル挿入の際に気胸を合併し、197日目に放射線肺炎により死亡した。

<Bの経過>

被ばく直後にAとともに病院で受診した後は、食中毒の診断の下、自宅療養を行い、軽度の足の違和感を感じるのみで、時にはサッカーを楽しんでいた。第7日目より下

〔表2〕 患者A、B、Cの血液回復

患者	GM-CSF投与開始日	総好中球数(TNC)回復後に要した日数		血小板数回復に要した日数		ヘモグロビン量回復に要した日数	
		事故後	GM-CSF開始後	事故後	GM-CSF開始後	事故後	GM-CSF開始後
A	(24日)	44日	20日	132日	108日	—	—
B	(26日)	36日	10日	42日	16日	80日	56日
C	(34日)	43日	9日	41日	7日	48日	14日



図3 患者Bの下肢と足の熱傷

肢の疼痛が出現するようになり、9日目に入院をした。26日目にメキシコシティの病院に移り、A同様に栄養療法、rhGM-CSF治療を受けたが、四肢の熱傷が重度で

(図3)、161日目に左下腿を、202日目に右下肢を切断する事となった。その後は順調に快復している。

<Cの経過>

被ばく線量が比較的少なく症状も軽かったCは直後、2日目、3日目と受診したにも関わらず、入院できたのはようやく8日目になってからであり、この時も11日目には退院させられている。しかし、33日目にやはりメキシコシティの病院に移され、A、B同様の治療を受けた後、55日目に退院した。200日目からは職場復帰も可能になった。

<線量評価>

今回のケースでは、表3 A、Bに示すようにメキシコシティの病院とREAC/TS(米国オークリッジ)によって、32日目に①患者に出現した急性放射線障害の徴候②採取した血液サンプルから染色体の異常を調べる細胞遺伝学的分析法の両面から線量の推定が行われている。

事故後の線量評価には次の2つの大きな目的があり、非常に重要である。

- (1) 予後に対する情報、特に骨髄減少に伴う治療体制への難点が予想されるような資料を提示する。
- (2) 高線量放射線の急性被ばく患者に対する影響に関する知見の向上に役立つデータを提供する。

4 治療の要点

急性放射線障害では、骨髄抑制に伴う感染、貧血、出血に対する対策が治療の中心となる。

<輸血>

表1に示すように、患者は汎血球減少を示していたため、貧血、出血の対策として赤血球輸血・HLA適合血小板濃縮液輸血が行われたが、輸血に伴う急性GVHDを防ぐため、

投与する血液製剤には20Gyの照射を行った

<感染対策>

病室の隔離のほか、全身への抗生物質投与、ナイスタチン・ST合剤による口腔・腸内滅菌も行われた

<GM-CSFの投与>

この3人のケースでは骨髄障害の早期回復の目的で、好中球数1500/ μ Lを目標にrhGM-CSFが240 μ g/m²/dayで投与された。rhGM-CSF投与開始時の血液データ及び投与後の回復状況は表1、表2に示す。

<栄養状態の管理>

急性放射性腸炎による食欲不振と吸収障害のため、患者の栄養状態はかなり悪化していたため、窒素バランスと熱量測定及びカリウム、カルシウム、アルブミン値の測定が毎日行われ、栄養状態の評価がなされた。これら測定に基づき治療食が調整され、経鼻胃管にて投与が行われた。

<下肢の血管状態の評価>

放射線による四肢の障害では血管障害が最も問題となる。今回のケースでも下肢の切断に先立ち、切断位置の決定のための血管状態の評価の目的にて血管造影が行われている。

<メンタルケア>

被ばく患者は皮膚障害部の激しい疼痛に伴う苦痛、隔離及び治療の長期化に伴う不安により鬱病などの精神障害に陥りやすく、精神的サポートは治療上の重要な要素である。医療スタッフ、家族らによる精神的サポート以外にも、精神科医師による診断が行われ、必要に応じ抗鬱剤の投与も行っている。

5 まとめ

このエルサルバドルの事故を含め、世界各国で放射線事故が起きている。我が国でもこれまでビキニ環礁沖での第五福竜丸船員の被ばく事故、千葉県市原市でのイリジウム事故、造影剤トトラストによる被ばくなどを経験している。これらを教訓とし、事故の原因、被ばく患者の治療経過を研究することで、身近に起こりうるが遠くの存在である放射線事故への対策という難しい問題を、具体的に身近なものとして考えることができるはずである。

[表3] A 32日目にREAC/TSにより推定された下肢部及び全身の被ばく線量

	下肢への線量 (Gy)	全身への線量 (Gy)
患者A	100	6-8
患者B	100	6-8
患者C	10	2-4

B メキシコシティの病院とREAC/TSが行った細胞遺伝学的分析の結果

	メキシコシティの病院		REAC/TS	
	推定線量 (Gy)	95%信頼区間 (Gy)	推定線量 (Gy)	95%信頼区間 (Gy)
患者A	8.19	7.62-8.59	7.97	7.29-8.65
患者B	3.58	3.40-3.72	3.77	3.52-3.96
患者C	2.96	2.73-3.17	2.92	2.74-3.10

●————— 衣笠達也 (三菱重工(株)神戸病院)

初回は、汚染を伴った救急患者を医療機関が受け入れるとき、何を前もって準備すべきかを述べた。前回は、汚染を伴った救急患者の外来における処置の原則、手順等の概略を述べた。今回と次回とで、汚染を伴った救急患者を医師が診断と治療を行う場合に必要放射線学的知識や技術を、項目を挙げ紹介する。さらには臨床医には耳なれない、保健物理(Health Physics)についても言及する。その目的は放射性汚染を伴ったり、あるいは被ばくを伴った救急患者を医療機関で受け入れ処置を行う場合、保健物理の専門家達との連携が不可欠であることを知っていただくためである。

1 放射性汚染を伴った救急患者の診断と治療に必要な放射線学的基本知識

汚染を含め放射線が関与した救急患者の診断と治療を行う場合、医師が知っておくべき放射線に関する基礎的な知識を、1)放射線の基本、2)放射線の管理及び防護、3)放射線の生体への影響、4)被ばくの臨床、の4つにわけて列挙し各項目を簡単に説明した。個々の項目について、詳しくは後に示した参考文献で理解していただきたい。

1)放射線の基本

●放射線の種類と性質

放射線は概念的にエネルギーの流れとしてとらえることができる。放射線には α (アルファ)線、 β (ベータ)線、 γ (ガンマ)線、X線、中性子線などの種類があり、それぞれ飛距離域とエネルギーを有している。紙やアルミ等のうすい金属版、鉛などで各々の放射線の流れは阻止される。(図1)

●放射線のエネルギー付与

各々の放射線は物質(空気、水、細胞など)と衝突すると物質の分子、原子レベルで変化を起こさせる。つまり放射線のエネルギーは物質の変化に費やされる

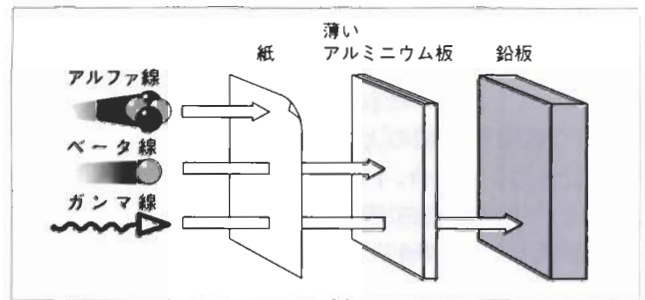


図1 放射線の種類によって透過力は大きい異なる

(エネルギーが付与される)。放射線が生体の細胞内外の分子、原子レベルでの変化(あるときは障害)を起こさせる基本的な概念である。

●原子核の壊変

原子核は自然に壊変したり、人工的に壊変させることができ、原子核の壊変する元素は、放射性核種と呼ばれる。壊変時に α 線や β 線等の各種放射線を出す。放射性汚染は、これら放射性核種の化合物が物質や体表面に付着したり、あるいは空中や水中に存在することである。

●放射線の測定

放射線は臭いも色も形も無く、人間の五感ではとらえられない。そのため放射線を測定することは、放射線の存在を知り、それらの量を評価するための鍵となる。放射線の測定は放射線の種類により飛距離域が異なり、核種により同じ放射線でももっているエネルギー量が異なるため、測定はどの種類の放射線に的を絞ったかにより方法(測定器の種類)が異なる。例えば α 線を測定するのに強い測定器、 γ 線、X線等を測定するのに適した測定器などがある。

●放射線の単位

医療で通常問題となる被ばく線量は、まず放射線のもつエネルギーがどれだけ生体(物質)に吸収されたか(付与されたか)を表わす量(=吸収線量)を考える。つまり放射線によって被ばくする生体の単位質量当たり

に付与されたエネルギーを吸収線量とし単位はGy(グレイ)である。1 Gy=1 J/kg J:ジュール。次に同じ量のエネルギーを生体に付与(生体からみて吸収)しても、細胞への影響を含む生物学的効果は放射線の種類によって異なる。これを放射線の線質という。線質やその他の修正係数を考慮した生体での吸収線量を線量当量(dose equivalent)といい単位はSv(シーベルト)である。

線量当量(dose equivalent)=

吸収線量×線質係数×修正係数

また、放射性核種のように放射線を放出して原子核の壊変を起こす場合、1秒間に原子壊変する数をBq(ベクレル)という単位で表わす。1秒当たり1個の原子核が壊変すれば1 Bqである。参考に1 Ci(キュリー)はラジウム1gの放射線放出量で 3.7×10^{10} Bqである。

2)放射線の管理・防護

●線源、被ばく

放射線を発するものを線源といい、X線発生装置や加速器等の放射線発生装置と、原子核が壊変したり分裂したりするときに放射線を発する放射性核種が主な線源である。線源から生体が放射線をうけることを通常被ばくという。

●被ばくの形式(図2)

被ばくは、線源が生体の外にあるのか、内にあるのかで分けて考えられる。線源が体外にあり、放射線をうける場合を外部被ばく、体内にある場合を内部被ばくという。放射性核種が体表面(衣服も含む)に付着した場合を身体表面汚染という。その中でも特に傷口に付着した場合を創傷汚染と呼ぶ。

●内部被ばくの主な経路(図3)

内部被ばくは体内に放射性核種が入って、臓器等に沈着し、核種からの放射線が臓器を照射することによって起こる。内部被ばくで問題となる放射線は、電離作用(エネルギー付与)が単位空間当たり極めて強い α 線である。放射性核種が体内にとり込まれる経路は、①経口、②経鼻、③創傷部から呼吸器もしくは消化管へ入り、血流・リンパ流中へとり込まれ、臓器に沈着するものが大部分である。まれにはトリチウムのように皮膚表面から直接吸収されるものもある。

●被ばくと汚染の違い(図4)

被ばくは通常外部被ばくを意味することが多く、医

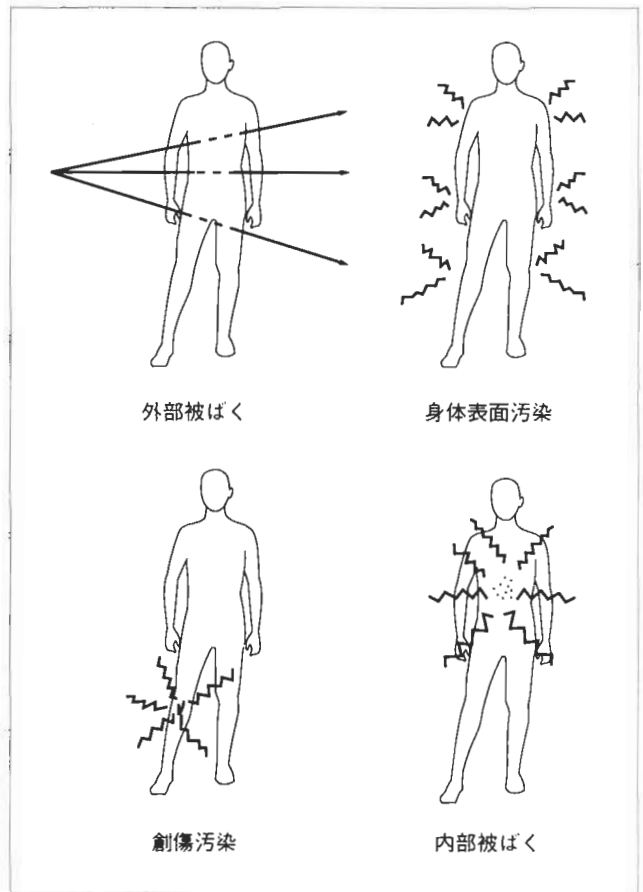


図2 被ばくの形式

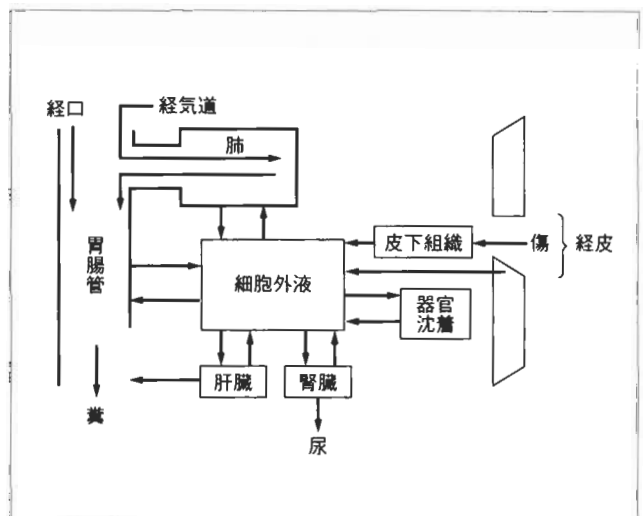


図3 内部被ばくの主な経路

療機関に来るまでに被ばくしてしまっており、問題となるのは被ばく線量と全身に被ばくをうけたか、身体の局所被ばくかという点である。しかし、救急患者が汚染(放射性核種を身体表面や衣服に付着)を伴っていると、まず線源である放射性核種の体表面や衣服からの除去(除染)を行い、被ばく線量の低減を図ることと、体内汚染の機会を減少させる必要がある。さらには、処置室や医療スタッフを含む周辺への汚染拡大を防ぐよう汚染管理をしなければならない。

●放射線防護の原則

放射線防護は、まず被ばくをしないようにすることで、もし被ばくしても、できるだけ少ない被ばく線量ですます工夫である。したがって常に意識すべきは、何が放射線線源でどこにあるのかということである。さらに被ばく線量を減じるためには、①被ばく時間を少なくすること、②線源からできるだけ距離をとる。被ばく線量は距離の2乗分の1で少なくなる。③放射

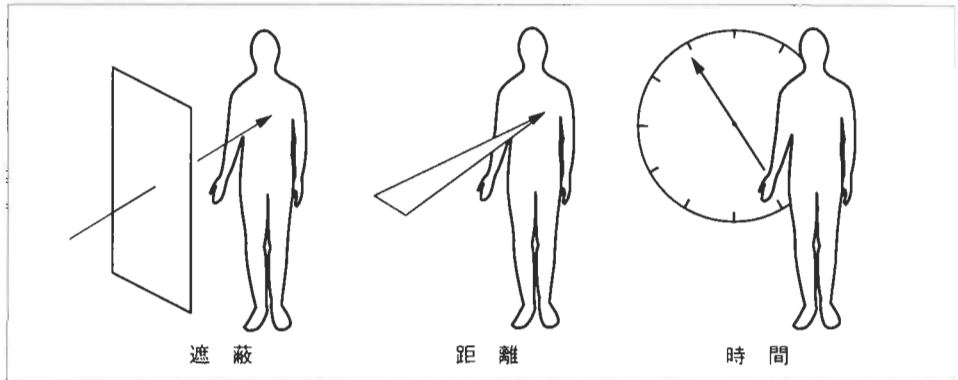


図5 放射線防護の3原則

線を放射線の種類に応じて遮蔽する。という3つの手段があり放射線防護の3原則といわれている。(図5)

●汚染管理の原則

汚染管理の原則は線源である放射性核種の除去(除染)と放射性核種の非拡散化(貯留、封じ込め)である。医療現場での放射性核種の貯留、封じ込めは、①除染に使った洗浄水、②汚染部の処置に使用したガーゼや綿球等の医療資材器機、③患者の衣服や排泄物などが主な対象となり、ポリバケツ、ビニール袋などに入れて保管する。

●被ばく線量の推定

線源が何で、どこにあり、空間線量は？そこでどの位の時間被ばくしたか？線量計をつけていたか？その読みは？もし放射性物質を吸入したりしているときは、体内にどのくらいの量の放射性核種が入ったかが問題になり、鼻腔スメアを採取し、その測定はroughではあるが緊急の推定として役に立つ。詳しくは便中、尿中の放射性核種の量を測定分析する。ただし、これは数日～1週間程の日数を要する。また全身カウンターによる測定も内部被ばくの可能性があるときには利用される。他に全身性の被ばくでは末梢血液中のリンパ球の染色体異常の出現頻度や核小体の出現程度等の検査によっても被ばく線量が推定される。局所被ばくでは皮膚の変化も線量評価には重要である。また全身被ばくでは末梢血の変化が被ばく線量に応じておこり線量推定に役立つ。

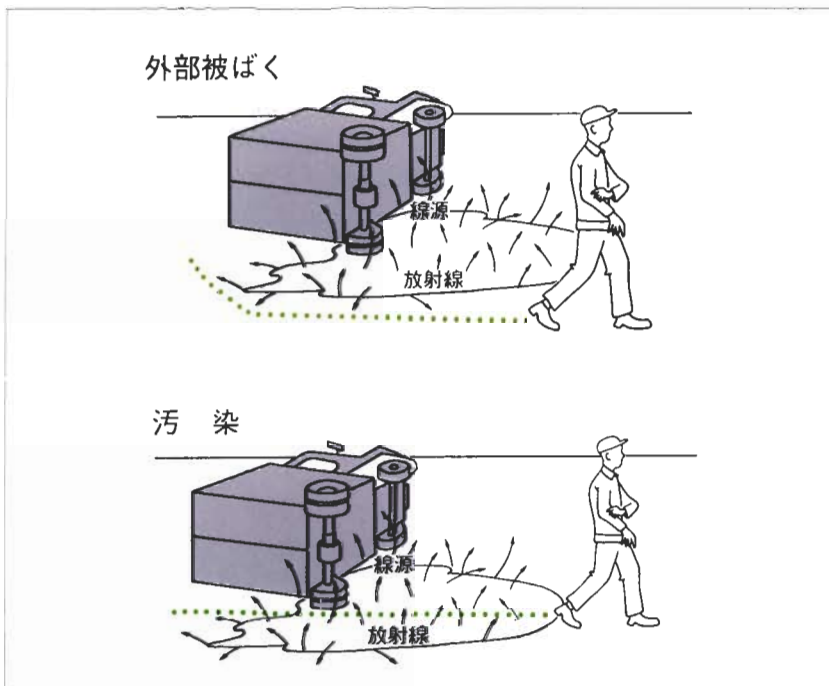


図4 外部被ばくと汚染

内部汚染患者の取り扱い(Ⅲ)

●———鈴木 元 (放射線医学総合研究所 放射線障害医療部)

前号では、「内部汚染患者の取り扱い(Ⅱ)」で代表的な内部汚染核種の治療法を途中まで記載した。この記事は、前号の続きである。

● プルトニウム Pu-239

治療法：2.5ALI(注)を超す内部汚染が疑われたら、30分以内(可能な限り早く)に1g DTPA/250ml 5%ブドウ糖液の点滴投与

肺モニターで10ALIを超す内部汚染の場合には1g DTPA/日の継続投与

尿中プルトニウムの排泄量を測定し、DTPA療法中止時期を決定

吸入事故後、2～3日間マーロックス等の服用

(注)何ALIから医療介入すべきかに関して、全世界的にコンセンサスが成立しているわけではない。ここでは暫定的に、単年度摂取限度50mSvに当たる2.5ALIを提案している。

主に再処理施設での汚染事故で問題となる核種である。α核種であり、放射線学的毒性が高い。再処理の工程に応じてPuの化学型が異なり、溶解度が変わる(MないしSに分類)。内部汚染は、再処理工程途上の化学薬品に溶けた状態のプルトニウム溶液の飛散事故及びそのミストの吸引、最終工程の酸化プルトニウムの粉塵の吸引等で起きる。鼻腔スメアで2.5ALIを超す内部汚染が起きたと判断された場合には、早期(事故後30分以内が望ましい)にDTPAの点滴投与を行う。DTPAにキレートされたプルトニウムは、尿中に排泄される。吸入事故後1～2日間は、気道から消化管へ難溶性の成分が移行する。消化管からの吸収は、Mに分類される硝酸プルトニウムでも0.01%と低いが、マーロックスなどの服用により吸収をさらに低下させることができる。

DTPAの1回日の投与が終わった後(あるいは翌日)肺モニター検査を行い、α核種の汚染量を確定する。肺モニター検査は、30分計測で10ALI未満の汚染を確実に測定できる。10ALIを超す汚染が確認されたなら、継続的にDTPAの投与を行う。CaDTPA及び

ZnDTPAは、放射線医学総合研究所に備蓄されている。DTPA療法を開始したなら、必ず蓄尿し、尿中へのプルトニウム排泄量を測定する。

100ALIを超す酸化プルトニウムが肺へ沈着している場合には、絨毛運動による自然排泄が終わる4～5日目以降に複数回に分けて気管支肺胞洗浄を行う。気管支肺胞洗浄の手技に習熟している施設では、もっと低い沈着量でも気管支肺胞洗浄を行ってもよいであろう。患者の年齢や心肺機能を考慮して、適応を決定する。洗浄の時期が遅れると、酸化プルトニウムはマクロファージに貪食され所属リンパ節に移行するため、洗浄効果が落ちる。動物実験によれば、気管支肺胞洗浄による除去率は約50%と決して高くない。

● アメリシウム Am-241、キュリウム Cm-244

治療法：2.5ALIを超す内部汚染が疑われたら、30分以内(可能な限り早く)に1g DTPA/250ml 5%ブドウ糖液の点滴投与

尿中排泄を測定しながら、1g DTPA/日の継続投与
吸入事故後、2～3日間マーロックス等の服用

主に再処理施設での汚染事故で問題となる。アメリシウムはα線とγ線をだし、キュリウムはα線のみをだす。両者ともプルトニウムに比較して体液に対する溶解度が高い。DTPA点滴をすべきか否か、迅速な判断が求められる。幸い肺モニターによるγ線の測定により、1ALIのアメリシウム汚染は短時間で測定することができる。キュリウムの汚染量は、汚染物質中のアメリシウムとキュリウムの存在比から推定できる。消化管からの吸収を阻害するために、吸入被ばく後2～3日間は下剤やアルミゲル・マーロックスといった吸着剤を服用する。

● 放射性ウラン U-233、U-235、U-238

治療法：7%重炭酸ナトリウム溶液50ml+200ml輸液剤の点滴

天然ウランの採掘・精製工程さらに再処理施設で吸入被ばく事故が起きる可能性がある。また、劣化ウラ

ンをバランサーとして用いている航空機整備工場や航空機事故で内部汚染が問題となる。ウランの内部汚染では、放射性毒性より腎臓に対する重金属毒性の方が問題となる。

ウランは4価と6価のイオン型をとる。生体内では6価のイオンとなり、急速にウラニルイオンに変化する。ウラニルイオンは、腎臓の尿細管に沈着し、腎障害を起こす。ウランの内部汚染がある場合、DTPAは腎臓への沈着を促進するため一般に使用されない。

ウランの内部汚染に対しては、重炭酸ナトリウムを点滴投与して、ウラニルイオン(UO_2^{2+})を安定な錯体($\text{Na}_4(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3$)に変換し、尿中への排泄を促進する。腎機能、重炭酸ナトリウム療法中のアルカローシス、低カリウム血症、急性肺水腫、心不全に注意。

● その他の核種

紙面の都合上、代表的な核種についてのみ治療法を紹介した。紹介した核種あるいはこれ以外の核種の内部汚染の詳しい治療法が必要な場合には、放射線医学総合研究所に連絡して頂きたい。

6. 生物試料の採取とその評価

<鼻腔スミア>

内部汚染の迅速評価のために、鼻腔スミア法が行われている。鼻腔スミア法とは、まず丸めた濾紙で鼻腔の粘膜面を軽く拭い、次に濾紙に付着した放射性物質を目的核種に応じた方法で測定する手技である。鼻腔に放射性物質が沈着していれば、内部汚染を起こしたという有力な状況証拠となる。施設毎に、鼻腔スミアの測定値から体内摂取量を概算する方法が確立されており、事故時には事業所の放射線安全管理者から医師にスミア法にもとづく内部汚染量の推定値が報告されるであろう。しかし、その推定値の精度は高くない。また、1日呼吸をする癖のある人(特にパニック状態では1日呼吸をする人が多い)では、鼻腔スミアによる推定汚染量は低めにでる。また、シャワーを浴びたり、鼻をかんだ後に鼻腔スミアを採取した場合や、時間がたってからスミアを採取した場合にも、推定汚染量は低めにでる。鼻腔スミア法は、 β 線や α 線しか出さない放射性核種の内部汚染の場合に、迅速な医療介入を開始すべきか否かを判断するために用いられる。

<蓄尿・蓄便>

体外計測が難しい β 線放出核種や α 線放出核種による内部汚染では、尿や便へ排泄された放射性物質の測定が汚染量及び内部被ばく線量を推定する上で重要で

ある。また、DTPAなどのキレート剤の効果を判定する場合にも、尿中への放射性物質の排泄量を測定する必要がある。蓄尿・蓄便の試料は、冷蔵あるいは冷凍保存しておき、事務所の放射線安全管理者を通じて測定に回す。 α 線や β 線放出核種が問題となる場合には、尿や便は灰化され、測定に回される。このため、測定結果がでるまでに時間がかかる欠点がある。試料の灰化や測定に関して、放射線医学総合研究所は相談窓口を準備している。1ALIを越しそうな内部汚染が疑われる患者が来院したなら、医師は蓄尿・蓄便を指示する必要がある。

<末梢血のヘパリン採血>

1Gyを超す外部被ばくを受けた可能性がある患者が来院した場合には、無菌的に末梢血をヘパリン採血(10ml程度)し、染色体異常の頻度から被ばく線量を推定するための試料とする。冷蔵保存し、できるだけ早く測定に回す。放射線医学総合研究所や広島放射線影響研究所には、染色体異常から被ばく線量を推定する専門家がいますので、相談するとよい。

7. さいごに

チェルノブイリ事故後に、旅行者やヨーロッパに滞在していた商社マンなどを放医研で診察した経験がある。皆、低バックグラウンドのホールボディカウンターを用いなければ内部汚染が確認できない程度の汚染であった。その中の1人がその後ノイローゼになり社会復帰できなくなったと伝え聞く。あえて低レベルの汚染を決定する必要があったのかどうか、悩ましい。内部汚染に対する医療介入を考えると、私は放射線生物影響のリスクのみが治療方針を決定するとは考えない。「低レベルの内部汚染であっても、副作用の少ないキレート療法ならやるべきである」との意見があるのは承知している。しかし、「副作用の少ないキレート療法」を施行することによる被災者の心理的負担は、それなりに大きい。どの汚染レベルかで、医療介入を決定する必要がある。

医師は被災者に被ばく線量を上手く説明しなければならない。私どもは、自然放射能による被ばくレベルや医療被ばく(胸部X線撮影や胃透視)のレベルと比較して説明するようにしているが、それで納得してもらえているのか心配である。被ばく患者・内部汚染患者の診療においては、常に患者の心理面を配慮する必要がある。しかし、その方法論は未だ確立しているわけではない。

地域医師の現状と福井県立病院の対処

●——— 林 寛之、島田 耕文、寺沢 秀一 (福井県立病院 救命救急センター部)

原子力発電所立地県と言えど、いかに地域の医師が知らないか…

放射線医療事故はその稀さとその複雑さ故に多くの医師からも敬遠されがちである。被ばくと汚染は違う(被ばく患者からは被ばくしない)という基本的なことさえ、忘却の彼方に行っている医師も少なからずいる。福井県は、県面積に対する原子力発電所の数が最も多い県である。原子力発電所は全て県の南部である嶺南地方に立地している。その地域中核病院6ヶ所に問い合わせたところ、一般的な防災マニュアルはあるものの、放射線医療災害に対するきちんとしたマニュアルは存在しない。放射線事故といえばチェルノブイリ事故が記憶に新しいが、その規模の大きさは想像も及ばず、反対に原発立地地域の医師の中には「放射線災害時にはどうせ自分たちも死んでいるであろうから、放射線医療を習熟する必要はないだろう。」などとひと事のように考えている者もいる。それも放射線事故の希有さ故に出てくる発想なのであろう。サーベイメーターやヨウ化カリウムは敦賀と小浜保健所に設置・備蓄してあるが、その存在を知る医師は少なく、除染室が同立敦賀病院駐車場横にあるという事を知る医師も殆どいない。というより私自身もその存在を最近になって初めて知ったのである。(反対に施設を長年使用していないため、どれくらい機能できるかも不安であるが。)

しかし実際の放射線医療事故は、むしろそれ程大規模なものは少なく、むしろ一般的な医療を要する患者が被ばくしないし汚染を伴って受診

する例が多い。生命を脅かす病態に目をつむり、患者をたらい回しにするようなことは絶対にあってはならない。残念ながら、2次放射線災害医療機関である我々福井県立病院も救急医、放射線科医を除いては、放射線医療事故に対する処置法を知る医師は数限られているのが現実である。(JAMMRAの創刊号、第2号に掲載されている衣笠達也先生の「汚染を伴う被災者の救急外来」は非常にうまくまとまっております我々も重宝している。)

福井県立病院の放射線医療事故対策

2次放射線災害医療機関として当院では、患者の受け入れ場所として「剖検室」を利用する予定である。剖検室を利用する利点として、当院剖検室は救急室のすぐ近くにあり、医療物資の搬送がしやすく、かつ入り口が一般救急患者と別にできるため、汚染・被ばくの拡大を防ぐことができる事があげられる。他にステンレスのベッドで患者を除染でき、その排水を集めて別に廃棄可能である。剖検室への入り口の手前に霽安室があり、そこを放射線のサーベイルームとして利用し、入退出者のチェックを行う事も可能である。多くの病院で剖検室は独自の搬出入口を有する事が多く、放射線医療災害発生時には、剖検室利用もひとつのオプションとして考えてもいいと思われる。ただし欠点としては、医療設備が充分でなく、生命を脅かす病態の場合はどうしても剖検室では対処できないこと、そして空調が特別に整備されていないことである。ベッドやその面積にも限りがあり、mass casualtyの発生時には対処不可

能である。当院にもRI室の横に除染室はあるが、独自の患者搬入口がなく、救急室から遠いことから、実際に治療を要する汚染患者には対処できない問題がある。次回設計の段階で再考する必要がある。

救急隊の教育

実際の放射線医療事故発生の場合にまず最初に現場に急行するのは救急隊である。その教育にも力を入れる必要があり、福井県消防学校では、具体的な現場での除染法を含む対処法(生命の最優先、被ばく患者からは自分は被ばくしないこと、手袋の2重の使用、汚染物質の扱い方、ぬるま湯・中性洗剤での除染法、除染後の水の扱い方、汚染患者の搬送法など)を講義している。シミュレーションを含めた救急隊の教育は重要な課題と考える。

今後の課題

放射線医療事故の稀さとその複雑さ故に一般実地医家から敬遠されがちであるのも理解できるが、実際に治療に携わるのは地域の医師であり、その教育が今後の大きな課題である。そのためにも地域その場所における講習会開催が実地医家の参加数を充実させるためにも重要であろう。またJAMMRA第2号で松江赤十字病院の伊田尚志先生が書かれていたように「人的ネットワーク」こそ稀な放射線医療事故の対処として重要であるという点は同感である。そして人的ネットワークのみならず、地域の医師の知識不足を補う日本中毒情報センターのような手軽な放射線医療事故情報のホットラインの早急な確立も切に望まれる。

放射線とは(Ⅲ) — 放射性物質の量と放射線の量

● — 隈元芳 — (放射線医学総合研究所 特別研究員)

これまでに、放射線とは、透過力の大きい電磁波であるX線・ガンマ線と透過力の大きい電気を帯びた粒子であることを述べました。放射線の源としては、人工的なものと放射性物質があります。テレビジョンのブラウン管の中を走った電子が蛍光物質を塗ったガラス面に当たるとX線が発生します。また、電圧を高くし、管の正面を薄くすると電子が空气中に飛び出てきます。このような放射線は実用的には、X線発生装置や加速器で発生させますが、これが人工放射線と呼ばれるものです。我々が対象とする放射線は、放射性物質から出てくるものです。

キュリー夫妻は、ベクレルの発見に基づいて、放射性物質を抽出し、これから出てくる細くしぼった放射線を磁石の間を通してみました。放射線は、右、左、直進と3つの方向に分かれました。これが、アルファ線、ガンマ線、ベータ線発見です。その後、アルファ線はヘリウムの原子核、ベータ線は電子、ガンマ線は電磁波であることが分かりました。

●放射性物質の量

ウラニウム、プルトニウムのうちある重さのものは、2つに分裂し、その2つが高速で走ります。つまりエネルギーを放出します。この分裂片の多くは放射性ですが、ヨウ素131を考えましょう。ヨウ素は常温でも気体になります。ヨウ素131を分離して容器に閉じ込めます。それから出る放射線の量を以下に述べる方法により測定します。時間を置いて測定すると、8日後にはほぼ半分の量になったことが分か

ります。放射性物質の量が半分になる(別の物質と同じだけ増える)時間のことを半減期といいます。この様子を図に示します。放射性物質が1秒間に1回、放射線を出して他の物質が変わるとき放射能は1ベクレルであるといえます。以前は放射能の単位はキュリーでした。1キュリーは370億ベクレルです。放射能は放射性物質の量と半減期によってきまります。つまり、放射性物質の量が同じ1グラムであっても、半減期の短い物質の放射能は大きい

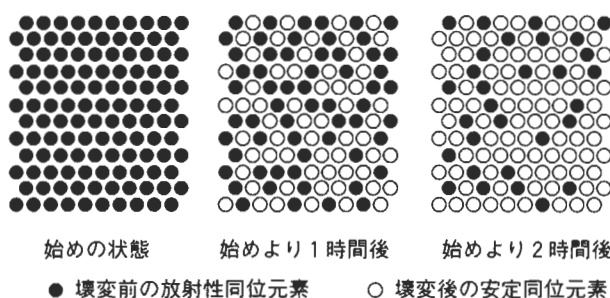


図 放射性同位元素の壊変。半減期は1時間であり、壊変後の元素は安定であるとした。

です。ラジウム226の1グラムの放射能は370億ベクレルです。

放射性物質が体についたら洗い落とさねばならず、体内に取り込まないようにしなくてはなりません。ヨウ素は水にとけるので、ヨウ素131を含む水は飲まないような注意が必要です。半減期が短い放射性物質が飛散したときは、場合によっては閉じ込めて放置するほうが良いことがあります。

●放射線の量

放射性物質から出てきたガンマ線は空気(酸素と窒素)から電子をはじき出します。その電子とアルファ線、ガンマ線はさらに空気から多くの電子をはじき出します。電子をはじき出された

空気はプラスに、電子がくっついた空気はマイナスに帯電します。帯電した粒子はイオンといいます。数ミリメートル離れた電極に電池をつないで電圧を与えると、回路には電流が流れます。このような測定器を電離箱といいます。

放射線の量の測定は、基本的にこの方法によります。放射線をこのような測定器に当て、そのとき流れる電流を電極間の空気の量で割ったものがレントゲンという単位で呼ばれていました。1組のイオンを作るのに必要な平均エネルギーを用いて、単位重量当たり吸収されたエネルギーを測定することができます。1ジュールのエネルギーが1キログラムの物質に吸収されるとき吸収線量は1グレイであるといえます。エネルギーの単位のジュールは分かりにくいですが、1ジュールは1ワットの電灯を1秒間点灯したときに消費されるエネルギーです。また、

1ジュールは0.24カロリーですから、人体が1グレイの放射線を受けたときの温度上昇は約0.00024℃です。

小線量被ばくの場合、放射線の種類を考慮した線量当量というものがありますが、皮膚障害を起こすような大線量被ばくの場合は吸収線量を用います。X線・ガンマ線やベータ線(つまり電子)の場合は、吸収線量と線量当量は数値は同じです。我々が1年間に受ける自然放射線からの線量当量は2から3ミリシーベルトです。一定量の放射性物質から一定の距離にある人体の線量当量率は、アイソトープ協会から出版されているアイソトープ手帳に掲載されています。

お知らせ

第2回放射線事故医療研究会

- 総 会 長：前川和彦(東大・医・救急医学)
- 日 時：平成10年8月8日 9:00~12:30
- 場 所：東京大学山上会館(東京都文京区本郷7-3-1)
- プログラム：
 - ・総会長挨拶
 - 教育講演：「被ばく医療に必要な放射線学(仮題)」
古賀佑彦(藤田保健衛生大・医・放射線医学)
 - ・症例検討ワークショップ「局所被ばく症例治療とその問題点」
明石先生(放医研)、小塚先生(東大)、日本医科大、鹿島労災病院(予定)
 - ・シンポジウム「被ばく医療におけるヨウ素剤投与の医学的問題点」
長滝先生(放影研)、山下先生(長崎大)、石樽先生(放医研)
 - ・総会

第2回被ばく医療フォーラム

- 主 催 者：放射線医学総合研究所、放射線事故医療研究会、原子力安全協会
- 日 時：平成10年8月8日 13:30~16:15
- 場 所：東京大学山上会館(東京都文京区本郷7-3-1)
- プログラム：
 - 1) パネルディスカッション「被ばく医療におけるヨウ素剤投与の社会的問題」
司会：前川和彦(東大・医・救急医学)
基調講演：衣笠達也(三菱神戸病院)、地方行政より(交渉中)
 - 2) パネルディスカッション「被ばく医療における放射線防護」
司会：中尾 愼
基調講演：百瀬琢磨(動燃)、安本 正(東電産業医OB)
 - 3) 懇親会；16:30~18:00

3 号 目 次

巻 頭 言

「深夜のプルトニウム輸送」はまる裸の恐怖か
下 道 国(放医研内部被ばく・防護研究部)

-2-

事 例 研 究

コバルト60によるガンマ線照射滅菌工場での被ばく事故
小 林 信 義(放医研放射線障害医療部)

-2~4-

汚染を伴う被災者の救急外来(Ⅲ)

衣 笠 達 也(三菱重工(株)神戸病院)

-5~7-

内部汚染患者の取り扱い(Ⅲ)

鈴 木 元(放医研放射線障害医療部)

-8~9-

地 域 レ ポ ー ト

地域医師の現状と福井県立病院の対処

林 寛之、島田耕文、寺沢秀一(福井県立病院救命救急センター部)

-10-

基 礎 知 識

放射線とは(Ⅲ)——放射性物質の量と放射線の量

隈 元 芳 一(放医研特別研究員)

-11-

編 集 後 記

-12-

編 集 後 記

先日、日高レポートというTV番組で、エネルギー問題・環境問題との絡みから来世紀の原子力発電所はどうか、フランス・ドイツ・アメリカの対応が取り上げられていた。各国各様ではあっても、原子力発電及び再処理に対する国民的なコンセンサスがかなりできあがっている様子が窺えた。番組の最後に日高氏が「日本においても原子力発電に関する国民的な議論を開始し、コンセンサスを形成する必要がある」と語っていた。将来のエネルギー政策の中で原子力発電がどのような位置に置かれるのか見当がつかないが、是非コンセンサスを形成する方向でイニシアチブが発揮されることを願う。さて、原子力事故が起きた場合の医療に関するコンセンサスは、原子力発電そのものに対するイデオロギー的立場とは関係なく、早急に形成すべきものであろう。原発内で汚染患者がでた場合に、患者がままこ扱いされ、救命できないのでは困る。汚染患者を扱うための技術的な問題を解決する必要があるが、汚染患者も一般の患者と同質の医療サービスを享受できる権利を持っているのだという、当り前のことを再確認したい。