

事故から学ぶ放射線管理

野村貴美

東京大学工学系研究科

Radiation control and management studied from some accidents

Kiyoshi Nomura

Graduate School of Engineering, the University of Tokyo

1. はじめに

1895年レントゲン博士がX線を発見して以来、X線装置が普及し、それに伴って皮膚被ばくなどが多く認められてきた。一方では放射線防護も次第に確立されてきた。しかし、1945年以後、原子力エネルギーの平和利用が始まってからも不幸にも起きてしまった被ばく事故がある。国内外の放射線施設において起きた重大事故を含め、放射線を被ばくしたシリアスな事故例のいくつかを紹介する。また、最近、医療機関において過剰照射被ばくの例が報告されている。これらの具体的な事故例は今後の教育用資料として供されることを期待する。

2. 世界の放射線事故例¹⁾

米国オークリッジの放射線緊急時支援センター(Radiation Emergency Assistance Center/Training Site)に登録された、1944年から2000年までのシリアスな放射線事故件数は、417件で、そのうち、これら事故に巻き込まれた人数が約13万人、検査治療等の医療支援を受けた人数が約3千人、死亡者数が127人であった。放射線によるおもな死亡事故例を表1に示した。事故件数の内訳では、原子炉等に関連する事故件数が22件、 γ 線照射装置、X線発生装置、加速器などの放射線発生装置等の事故件数は309件、診断および治療も含む放射性同位元素等による事故件数は86件であった。原子力平和利用が始まった頃、核燃料の臨界事故などにより作業従事者が犠牲になってしまったケースが多い。放射線発生装置や放射性同位元素等による事故では、その利用普及に伴って事故件数が増加し、1970年代から1980年代には100件以上の事故が起きている。2000年以降では、安全装置を装備した機器が普及して、防護処置が徹底されてきたために、事故件数は減少している。

2.1 作業員の知識不足と放射線照射施設のメンテナンスが不十分な例

1989年、中南米エルサルバドル国のサンサルバドル市にある、医療器具等を滅菌処理する ^{60}Co の γ 線照射施設において3名が被ばくし、そのうち1名が6ヵ月後に死亡するという事故が起きた。国際原子力機関(IAEA)の報告²⁾によると、夜勤の一人が線源の位置異常を知らせるブザーが鳴ったのでサーベイメータも持たずに照射室に入り、確認したところ一人では復旧が無理なので他の部門の2人に応援を頼んで、引っかかっていた線源ラックの引き上げ作業に従事してしまったようである。これは、夜勤の人の放射線知識が不足していたこと、安全確認が不十分であったことから起きた事故である。さらに、安全装置のインターロックも故障したままであり、メンテナンスも十分に行われていなかった。

1990年、イスラエルのSoreq原子力研究センター医療用殺菌装置施設において、故障した照射用コンベヤーを修理しようとした作業員が全身に10Gyを被ばくして36日後に死亡する事故が起きた³⁾。制御盤に

は、物品移送システムの停止および線源格納の信号が出ていたがγ線の警報は表示されたままであった。それにもかかわらず制御盤の放射線警報を誤作動と判断して照射室に入ってしまった。1991年、ベラルーシ共和国の放射線滅菌施設において、照射物移送システムの異常の知らせを受けた熟練技術者が、制御盤の線源収納ボタンを押したが、鍵を抜かずに、しかも線量計をつけずに照射室に入ってしまった⁴⁾。制御盤の鍵の位置で線源の出し入れが行われていたが、その後、抜いていない鍵の位置が照射状態になっていることに気がついた。その技術者は、全身で11Gy被ばくし、113日後に死亡した。いずれも熟練技術者が判断ミスを起こし、安全対策を軽視してしまった例である。

表1 主な放射線死亡事故例

年	場所	放射線源	死亡者数	
			作業従事者	一般人
1945	米国、ロスアラモス	臨界集合体	1	
1946	米国、ロスアラモス	臨界集合体	1	
1958	ユーゴスラビア、ビツカ	実験炉	1	
1958	米国、ロスアラモス	臨界集合体	1	
1961	スイス	トリチウム自発光塗料	1	
1962	メキシコ、メキシコシティ	線源紛失		4
1963	中国	育種照射		2
1964	西ドイツ	トリチウム自発光塗料	1	
1964	米国、ロードアイランド	再処理施設	1	
1975	イタリア、プレスミア	育種照射	1	
1978	アルジェリア	線源紛失		1
1981	米国、オクラホマ	工業ラジオグラフィ	1	
1982	ノルウェー	滅菌照射	1	
1983	アルゼンチン、コンスティエンテス	研究炉	1	
1984	モロッコ	線源紛失		8
1986	ソ連、チェルノブイリ	原子力発電所	29	
1987	ブラジル、ゴイアニア	線源盗取		4
1989	エルサルバドル、サンサルバドル	照射施設	1	
1990	中国、上海市	照射施設	2	
1992	中国、山西省忻州市	廃棄線源		3
1999	日本、東海村	臨界集合体	2	
2000	タイ、バンコク	線源解体		3
2001	エジプト、ミートハルファ村	線源拾得		2
		計	45	27

2.2 一般人が犠牲になった、線源による大規模汚染・被ばく事故の例

1987年9月、ブラジルのゴイアニア市で廃院跡地から治療用γ線照射装置が持ち出され、解体されて、被ばく事故が起きた。IAEAの報告⁵⁾によると、若者2人は線源が入っていることを知らずに、病院跡地の小屋に放置されてあった治療用γ線照射装置をリヤカーで自宅に持ち帰り、解体して廃品回収業者に売ってしまったようである。廃品回収業者は、暗いガレージで粉末が光っているのに興味を持ち、物珍しさから家族、親戚などに分けてしまった。この粉末は、β線とγ線を放出する塩化セシウム(¹³⁷CsCl(91g))の粉末である。この粉末により彼らは具合が悪くなったと気づいたのは約2週間後であった。また、自宅に持ち帰った若者2人は、2-3日後に下痢、めまいなどに悩まされ、通院した。彼らを診察した医師は、次第に悪化する症状から放射線障害の疑いをいただき、市や州の当局に連絡したのがそれから約5日後であった。結局、4Gy以上被ばくした、6才の少女、38才の母、22才と18才の若者が犠牲になってしまった。少女は内部被ばくも受けていた。マニキュアの代わりに爪に塗ったりしていたのでパンなどを食べたときに体内に摂取してしまったようである。数Gy以上の被ばくをした人のなかで、2人は助かったが、1人は腕半分を切除した。54人が入院し、うち11人は2ヶ月以上入院して放射能排泄剤(ヘキサシアノ鉄(II)酸鉄(III))

水和物)を投与する治療を受けた。

11 万人以上の市民が汚染検査を受け、250 人に ^{137}Cs による汚染が見つかった。サーベイメータによる汚染検査の結果、街全体が汚染されていることがわかり、線源の総量、約 51 テラベクレル (TBq) のうち 80% 以上 (約 44TBq) が汚染物として回収された。これらは、約 3500 m^3 以上の汚染廃棄物となってドラム缶やコンテナに詰められ、ゴイアニア郊外に一時保管されている。この事故は、汚染除去・復旧までに約半年を要し、何も知らない一般人を多数巻き込んだ、線源による最大の汚染事故と言える。移転した病院は、2 台の治療用 γ 線照射装置のうちあまり使用されなくなった照射装置 1 台を 2 年間もそのまま放置しておいたこと、その街で貴重品が残されているという噂がたったことがこの事故の大きな要因である。この事故は、不要になった線源はできるだけ早く廃棄処分すべきというひとつの教訓を示唆している。

1984 年、モロッコにおいて、非破壊検査に使用された線源 (^{192}Ir) を知らずに拾って持ち帰り、その人の家族 8 人が被ばくし、犠牲になった例もある。1992 年、台湾のアパートの建材に廃棄 ^{60}Co 線源が混入していることが明らかになった。その部屋には人は住んでいないがそのビルはまだ残されている。2000 年、タイ王国において、不要になった遠隔放射線治療器が放射線知識のない人により解体されたために 10 名が被ばくし、3 名が犠牲になった⁶⁾。

このように RI 線源の事故では、犠牲者のなかに一般人を巻き込んでいる場合が多いのが特徴といえる。

2.3 医療機関における患者の過剰照射被ばくの例

2001 年 2 月 27 日、ポーランドの Bialystok 癌センター (BOC) で、乳癌の放射線治療に於いて過剰照射し、5 人の患者が放射線障害を受けてしまった⁷⁾。治療中に直線加速器 "NEPTUN 10P" の電源がストップしたためコントロールをチェックして再スタートしたが、線量モニターが十分機能せず、インターロックシステムの制御も効かず、5 人の患者に過剰照射した事故である。この照射装置は、8MeV の電子ビームで 100Gy/min の吸収線量になるが、3 人の肋骨の EPR による測定では 60-80Gy であった。

2008 年 1 月、カルフォルニア州 Mad River Community 病院で 23 ヶ月の幼児がマルチ CT スキャンにより X 線過剰被ばくしたことがあきらかになった⁸⁾。技師が、完全な写真を撮るため 4 回スキャンボタンを押してしまったため 65 分間にわたって幼児の顔と首のあたりを 151 回 CT スキャンしてしまった。その 90 分後に別の技師が 25 回 CT スキャンした後、記録を見て、すでに CT スキャンされていたことに気づき、イメージング部門の責任者に報告した。頭と頬と首のあたりに放射線障害を負った、幼児が受けた被ばく線量は 2.8Gy から 11Gy と算出され、癌の発生リスクは 39 % と見積もられた。

2008 年 2 月にロサンゼルス市の Cesars-Sinai 医療センターにおいて X 線-CT の新しいプログラムを実装した。その後 2009 年 8 月に脳卒中患者の脱毛が起きたことから過剰照射ミスに気がついた。それまでの間に患者 206 人が 3-4Gy の過剰被ばくを受けた。なお、通常の線量は 0.5-1Gy である⁹⁾。2009 年 10 月、他の病院を調査した結果、ロサンゼルスの Glendale Adventist 医療センターでも過剰照射が 14 例あった。また、聖ヨセフ医療センターから紅斑や脱毛があった患者が 250 人以上いるとの報告があった¹⁰⁾。

3. 国内の事故例

3.1 国内初の放射線死亡重大事故

1999 年 9 月 30 日午前 10 時 35 分、東海村の核燃料加工工場 JCO で臨界事故が起き、3 人が中性子と γ 線により、それぞれ約 20Gy、10Gy、4Gy の高い線量の被ばくを受け、そのうち 2 人の作業員が数ヶ月後に犠牲になってしまった。当時、濃縮度 18.8% の ^{235}U を含む硝酸ウラニル水溶液を攪拌槽にバケツで約 2.4kg ずつ 7 回入れ、計 16.6kg も入れてしまったため、臨界に達して高速中性子がパースト的に発生した¹¹⁾。約 19 時間 45 分後に攪拌槽の冷却水の水抜きするまで中性子の放出が続いた。高濃縮ウランを用いているにもかかわらずそれを知らずにいつもの取扱いをしてしまったことが主な原因である。事故現場から半径 350m 以内の住民約 40 世帯に避難要請が、500m 以内の住民に避難勧告が、10km 以内の住民 10 万世帯 (約 31 万人) に屋内退避/換気装置停止の呼びかけがされた。実際に発生した中性子による環境へ影響については中性子放射化物の測定から評価されている。Cr-51 の放射化から評価した漏洩中性子量は、130m 地点で 36mSv、450m 地点で 1mSv であった¹²⁾。そのほかは死に至った事故は国内では起きていない。

3.2 X線による被ばく事故例

1994年4月28日、研究用X線回折装置(RINT 2500, 出力:18kW, ターゲット: Cu, 印加電圧 50 kV, 電流 200 mA)のシャッターを会社の技術者が分解してしまった。そのとき、右第4,5指の根元が温かく感じたことで、X線が出ていることに気づき、電源を直ちに停止した。この時は、本人は、特に症状もなかったため何の処置も行わず帰宅した。被ばく14日後、皮膚の一部が白色変化し、悪化してきたため、会社に報告し、東大病院放射線科を受診した。約3分間の右手掌被ばくで、推定された皮膚吸収線量は100-200Gyと推定された¹³⁾。このように放射線皮膚障害の特徴は、火傷による反応と違い、発赤・浮腫・水疱・潰瘍・壊死などが即時に現れず、一定の潜伏期を経て、症状が現れることである。

3.3 ラジオアイソトープによる事故・事件

1971年、造船所の構内で拾った非破壊検査用線源を線源とは知らずにズボンのポケットに入れ、持ち帰って臀部などを被ばくした例がある。それ以来、非破壊検査業界では徹底した線源管理がされるようになった。

2004年7月に、原子力安全委員会放射線障害防止基本専門部会がそれまでの放射性物質及び放射線の関係する事故・トラブルについてまとめ、報告¹⁴⁾をしている。

2007年、親会社に出入りしている下請け会社の人が親会社に対する不満から線源の入った非破壊検査機器を盗取し、川にその線源を捨てるという事件が起きた。密封された線源はそのまま回収され、幸い放射線による被ばくの影響はなかった。

4. 国内の医療関係者の被ばく線量分布

医師、技師、看護師などが平成20年度の年間に受けた被ばく線量の分布を図1に参考までに示す。これは、個人線量測定協会のデータ¹⁵⁾をもとに図にしたものである。291544人のうち75.4%が検出限界未満であり、98.8%が5mSv以下であった。0.3%であるが10mSv以上被ばくする人が1000人近くいる。他の業種の分野よりも被ばくする人の割合は比較的多い。特にIVRなどの取扱いで患者に接して従事する医療関係者は完全に被ばくしないようにするのは難しいのかも知れない。

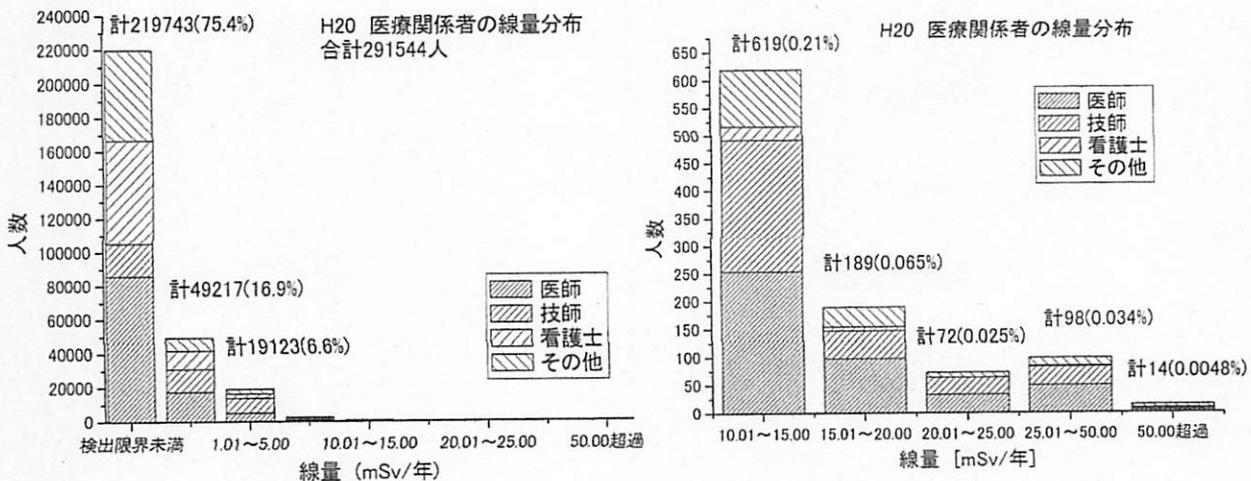


図1 医療関係者の被ばく線量分布(右図は10mSv 超える分布)

5. 線源登録管理制度

テロ対策などのために大きな線源に対して登録管理制度が2011年1月から本格運用されるようになった。この制度の対象となる線源は、IAEAにより分類された次の3つのカテゴリーのうち1と2に属する線源で、リモートアフターローディング照射装置、非破壊検査装置などである。なお、D値は、核種ごとに影響を引き起こす可能性の大きさに基づき設定された放射能の数量である。

表2 放射線源のIAEAによるカテゴリー

カテゴリー 1 (遠隔照射治療装置、γナイフ、血液照射装置、滅菌照射施設のγ線源など)	D×1000 ≤ 放射能		
カテゴリー 2 (非破壊検査装置、リモートアフターローディング照射装置の線源など)	D×10 ≤ 放射能 < D×1000		
カテゴリー 3 (工業用レベル計、照射装置など)	D ≤ 放射能 < D×10		
核種の例(単位:GBq)	カテゴリー 1 : D 値×1000	カテゴリー 2 : D 値×10	カテゴリー 3 : D 値
Co-60	30,000	300	30
Cs-137	100,000	1,000	100
Ir-192	80,000	800	80
Yb-169	300,000	3,000	300

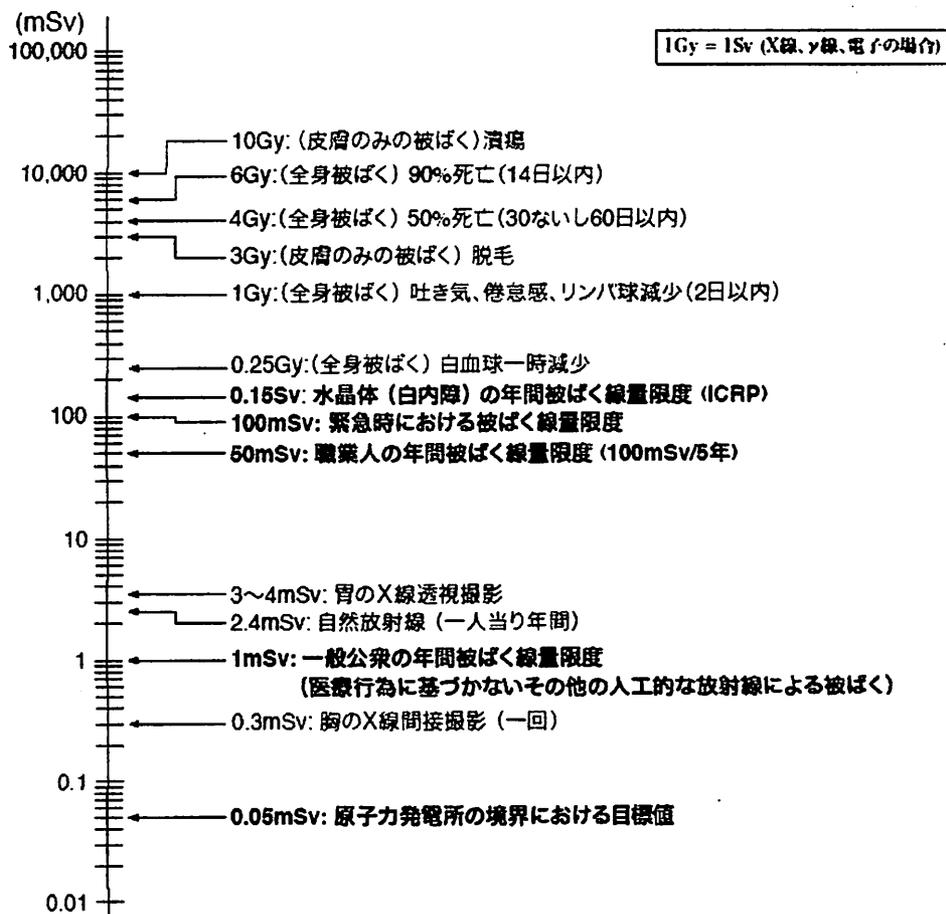


図2 被ばく線量、急性影響および規制値との関係

6. 放射線被ばく線量とその急性影響、法規制のレベルとの関係

急性の被ばく影響が現れるしきい線量と放射線障害防止法で規制される線量の関係を図1に示した。身体の被ばくを表す吸収線量はグレイ[Gy]単位で表す。測定に用いられる線量当量とリスク評価のために用いる実効線量はシーベルト[Sv]単位で表すが、ここでは、同じとして一つの図にまとめてある。

全身被ばくと局所被ばく、および慢性被ばくか急性被ばくかによって人体への影響の現れ方は異なるた

め表の数値はおおよその数値として考えていただきたい。ガンや白血病は、確率的影響と呼ばれるが、放射線防護の上では、普段からできるだけ被ばくしないように工夫することは重要である。これら被ばく数量、その直接的な影響、放射線障害防止法の規制値を十分に把握して、日常の放射線取扱に接することは大切であろう。なお、胸のレントゲン写真による被ばく線量は、最近のデジタル撮影において約 0.1mSv である。これは、写真フィルムでの皮膚表面での線量 1mSv に比べて約 1/10 になっている。

7. おわりに

ここでは、主に身体に現れる影響を伴った、さまざまな事故例を紹介した。医療行為は、放射線を利用することによって患者の利益をもたらすが、事故などがあれば患者ばかりでなく、関係者も不利益を被ることになる。直接、身体に現れない放射線被ばく線量でも、将来ガンなどを誘発するかも知れない。どんな高度の医療機器でも取り扱う者は人間であり、そこにはヒューマンエラーが潜んでいる。医師や技師ならびに患者もできるだけ過剰な被ばくを避けられるように安全な取扱いを重視した診察・治療計画を立て、ミスの再発防止をはかることが重要であろう。

参考文献

- 1) Radiation Emergency Assistance Center/Training Site, (OAK RIDGE Institute) に登録された主な事故。
- 2) The Radiological accident in San Salvador, IAEA, Vienna, 1990.
- 3) The Radiological accident in Soreq IAEA, Vienna, 1993.
- 4) The Radiological accident at the irradiation facility in Nesvizh, IAEA, Vienna, 1996.
- 5) The Radiological accident in Goiania, IAEA, Vienna, 1988.
- 6) The Radiological accident in Samut Prakarn, IAEA, Vienna, 2002.
- 7) Accidental overexposure of radiotherapy patients in Bialystok. IAEA, Vienna, 2004.
- 8) "New Era in CT scanning, Radiation Protection of Patients", IAEA; News in: <http://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/News/new-era-ct-scanning.htm>
- 9) Steve Millburg;" Perfusion CT Scan Overdose Accusations Fly", Radiological Daily, August 4, 2010.
- 10) Health & Wellness, New Details Emerge in CT Scan Radiation Overdose Scandal", Sun, 01 Aug 2010 20:44 CDT, その他 New York Timesの報道。
- 11) JCO ウラン加工施設における臨界事故と環境への影響について, ニュースレター第2報, 科学技術庁, 1999年12月13日.
- 12) Journal of Environmental Radioactivity, 50, No. 1-2, (2000) (JERのJCO特別号)
- 13) 中川恵一ら, RADIOISOTOPES, 44, (1995) 440-445
- 14) 「放射性物質及び放射線の関係する事故・トラブルについて」原子力安全委員会放射線障害防止基本専門部会報告, 平成14年7月. 国内の放射線事故トラブルは毎年原子力安全技術センターから発行される冊子にまとめられる。
- 15) 個人線量測定協会のホームページの職種別の実効線量の分布;<http://www.kosenkyo.jp/siryou/iryoku20.htm>

Appendix

- 1) 吸収線量とは、物質に放射線が吸収されるエネルギーのことで、1グレイ[Gy]=1[J/kg]に相当する。1カロリー[cal]=4.18 ジュール[J]。水の比熱は1。水1gを1℃上げるのに必要な熱量は、1[cal]である。たとえば、4.18Gyの吸収線量は水の温度が1000分の1℃しか上昇しない熱エネルギーに相当する。
- 2) 実効線量(Sv)は、人体の被曝によるリスクを評価するために定められる防護量としての線量である。等価線量(シーベルト: Sv)は、ある組織の吸収線量(Gy)に放射線の種類(放射線荷重係数)やエネルギー(修正係数)を考慮して定められる線量である。等価線量(Sv)= 吸収線量 (Gy) ×放射線荷重係数×修正係数。γ線、X線、電子線に対しては 1Sv=1Gyである。α線では1Gy x20=20Svになる。実効線量(Sv)=Σ組織の等価線量x組織荷重係数。測定では1cm線量当量(全身)や70μm線量当量(皮膚)が用いられる。単位は、いずれもSvである。