

放射線と放射性物質（その5）放射線の利用と被ばくの管理

2015/03/03

解説

原子力利用について

二瓶 啓

国際環境経済研究所主席研究員



(前回の解説は、「[放射線と放射性物質（その4） 被ばくを防ぐ](#)」をご覧ください)

9. 放射線・放射性物質の利用

私たちが健康で豊かな生活を送るために、いかに数多くの放射線技術が利用されているかについて簡単に紹介する。健康診断などでおなじみの胸部X線撮影など、主なものは以下の通りである。

わが国の食品衛生法では、ジャガイモの発芽止めを目的とする照射以外の放射線利用は認められていない。海外では 50 カ国以上で香辛料やハーブなど他の食品の殺菌消毒にも放射線照射が利用されているが、わが国ではそれらの照射済食品の輸入も認められていない。

腸管出血性大腸菌 O-157 汚染で起きるユッケやレバ刺しなどの生食による食中毒問題も、放射線照射による殺菌で解決すると言われており、米国ではハンバーグの食中毒事故をきっかけに米国食肉協会の申請を受けて FDA (Food and Drug Administration=アメリカ食品医薬品局) が 97 年に牛肉への放射線照射を認めている。コバルト 60 によるγ線照射量は 2,000~2,500Gy (グレイ) とのことである。牛レバ刺しの生食提供が禁止になったが、厚生労働省は安全に食べられる方法が見つければ規制の見直しを検討するとしており、食品衛生法 11 条の見直しが検討される可能性がある。

医療用	照射の効果	(X線, γ線, 電子線, 陽子線, 中性子線, 重粒子線) 悪性腫瘍治療 輸血用血液リンパ球破壊 医療衛生器具の殺菌・滅菌 X線造影, CTスキャン
	核医学診断	癌骨転移診断 ^{99m} Tc 甲状腺癌診断 ¹²³ I, ¹²⁵ I, ¹³¹ I 心筋, 脳血流診断 ²⁰¹ Tl 腎臓, 肝臓癌診断 ⁶⁷ Ga
農業用	食品照射	⁶⁰ Coγ線 ジャガイモ発芽止め, 香辛料・ハーブなどの殺菌消毒 食品衛生法ではジャガイモ発芽防止以外の食品への照射は禁止
	害虫防除 放射線育種	放射線による不妊化 突然変異による品種改良 耐病性イネ, 花卉の新品種開発
工業用	半導体加工	電子線利用による微細加工リソグラフィ イオンビーム, 中性子ビームによる不純物注入加工
	タイヤ工業	電子線によるゴムの粘性制御
	高分子加工	グラフト重合による耐熱性PE(ポリエチレン) 製造(塩ビの代替) 電池用隔膜製造(ボタン電池)
	非破壊検査 計測機器	設備・機器の探傷 γ線・X線CT 超音波 厚さ計, 密度計, レベル計 PE, PP(ポリプロピレン) 等高分子フィルムの厚さ計測制御
	排煙処理 煙探知器	電子ビームによるSO _x , NO _x 分解, 肥料生産 ダイオキシン等分解 火災報知機に利用 ²⁴¹ Am
	製紙工場	パルプ工程 含水チップ計量装置(¹³⁷ Csγ線 木質率測定) 蒸解釜チップレベル計(⁶⁰ Coγ線) 真空蒸発缶黒液密度計(¹³⁷ Csγ線) 製紙工程 BM計(Basis weight and Moisture sensor, 坪量・水分計) 紙の坪量=面積当たりの重さ(⁸⁵ Krβ線)と水分(赤外線)を測定し制御

10. 被ばく線量制限

1) 法による被ばく制限

放射線や放射性物質が様々な用途で利用される時代になり、不用意な被ばくによる健康被害を起こさないように法律による規制が行われている。放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（昭和 32 年 6 月 10 日法律第 167 号）である。それに基づき、放射線を扱う事業者は放射線に関する専門知識を持ち国家資格を有する者を取扱主任者として選任して管理体制を整備し、一般従業員の被ばくを防ぐとともに作業従事者の被ばくの管理を行う義務がある。

被ばく線量は国際放射線防護委員会（ICRP）の勧告に基づいて限度を定めている。人体の修復機能で健康状態を維持できる範囲では被ばくの影響は出ないとされており、それが ICRP および法による被ばく規制の根拠になっている。

最新の規制値を以下の表に示した。原子力発電所や非破壊検査会社、その他の放射性物質を取り扱う事業所などで、放射線を浴びる可能性のある業務に従事している男性の被ばく線量限度として、年間最大 50mSv、5 年間で 100mSv を超えてはならないこと、また、皮膚や水晶体、妊娠の可能性のある女性、妊娠中の女性の腹部はそれぞれ別に線量限度が決められている。

表 放射線従事者の線量限度

線量限度の対象		線量限度
実効線量*1		100mSv/5年間*3 50mSv/1年間
等価線量	水晶体	150mSv/1年間
	皮膚	500mSv/1年間
	妊娠中の女性の腹部表面	2mSv*2

*1 妊娠可能な女性については、3か月間について 5mSv

*2 妊娠と診断された時から出産まで

*3 放射線障害防止法では、放射線業務従事者の線量限度を5年ごとに区分した各期間につき 100mSv、かつ 4 月 1 日を始期とする 1 年間ににつき 50mSv と定められている。

余談であるが、その 3 で触れた古川聡宇宙飛行士は法による限度を大幅に超えているはずである。日本人宇宙飛行士の被ばくは放射線障害防止法の対象ではなく JAXA（独立行政法人宇宙航空研究開発機構）が別途管理している。

被ばく限度は年齢および性別で異なり、初めて宇宙飛行をする年齢が 27～29 歳の場合には生涯実効線量が 600mSv まで、30 代前半の場合は男性が 900mSv、女性が 800mSv まで、30 代後半は男性 1,000mSv、女性 900mSv、40 歳以上の場合は男性 1,200mSv、女性 1,100mSv となっているそうである。なお一般人の生涯実効線量は平均寿命 80 年として医療被ばくを除き 200mSv 程度である。

福島で事故処理事業をしている企業の役員が、作業員の装着するポケット線量計を鉛のシートで遮蔽し線量記録を少なくしていた問題が発覚しているが、作業員の健康にかかわりかねない重大な違反であり、あってはなら

ないことである。人員不足が原因のひとつかもしれないが、問題の背景に何があるのか他の企業は大丈夫なのか十分に調査をする必要がある。

2) 自然放射線源などから受ける年間線量

人が平常時に自然から受ける放射線量は前述したが、定期健康診断などの医療被ばくでもかなりの放射線を浴びている。自然由来の放射線被ばく量はラドンの被ばくを合わせて年間 1.5~2.5mSv であるが、日本人の X 線 CT (コンピューター断層撮影=Computed Tomography) や、胃がんや大腸がん検診による被ばくは諸外国の 2 倍ほどあり、癌検診のために発癌作用のある X 線を過剰に照射して発癌リスクを高めているのではないかと指摘して、その多さを懸念している医学専門家もいる。

筆者は 07 年の夏に突然体調を崩し緊急入院した。救急搬送先の病院での検査は止むを得ないが、数週間後に転院したりハビリ病院でも頭部と胸部の X 線 CT ほかフルコースの診断を受けた。X 線 CT は照射時間にもよるが 30mSv 程度は被ばくするそうである。今の医療制度の問題なのかもしれないが、短期間に二度も大量の X 線を浴びるのは気持ちの良いものではない。

翌年 2 月に人間ドックの予定であったが、半年以内に三度目の被ばくが気になったのでパスし 6 月受診に変更した。余分な被ばくはしない方がよい。病院間の診断情報の共有化が進めば過剰な照射は減らせるし医療費も減らせるのではなからうか。読者諸氏が万一の場合には診断情報を入手して転院先に持ち込むことを推奨したい。

表 自然放射線および医療被ばくによる1人あたりの年間実効線量 (mSv/年)

	被ばくの種類	世界平均 (国連科学委員会)		日本の参考データ
自然放射線	大地放射線	0.5		0.32
	宇宙線	0.4		0.27
	カリウム(K-40)等の経口摂取	0.3		0.41
	ラドン等の吸入	1.2		0.45
人工放射線	医療被ばく	世界平均	工業国	日本
	医科X線診断・CT	0.4	1.2	2.3
	歯科X線検査	0.002	0.01	0.02
	核医学診断	0.03	0.08	0.03

出典: ナースのための放射線医療(放射線医学総合研究所監修, 朝倉書店, 2002)

3) 国が定めた除染レベルとその意味

ICRP は放射能汚染地域で生活する場合の年間被ばく量が 1~20mSv に収まるようにという目安を示し、長期的に 1mSv を目指すべきと提案しており、それをもとに除染レベルが議論された。当初、除染基準として 5mSv 以上という案が検討されたが、被災地自治体からの批判を受けて環境省は 1mSv 以上に基準を強化した。1mSv/年以上=1,000μSv/年以上であり、これは一日あたりで平均すると 2.74μSv、一時間平均 0.11μSv になる。

家屋自体に遮蔽効果があるので、屋内と屋外のそれぞれの滞在時間を勘案して年間被ばく量を積算する。筆者が除染事業を手伝っている郡山市では屋外活動 1 日 8 時間、屋内滞在 16 時間、建物の遮蔽効果により屋内が屋外の 0.4 倍の線量率になるとして、年間追加被ばく線量を 1 ミリシーベルトにするための屋外の時間当たり線量率を決定、それを除染目標としている。その計算式は、

$$\text{年間 } 1\text{mSv} = (0.19\mu\text{Sv/h} \times 8 \text{ 時間} + 0.19\mu\text{Sv/h} \times 0.4 \times 16 \text{ 時間}) \times 365 \text{ 日}$$

1mSv/年の定義は、事故由来の放射性物質による被ばくで自然放射線に加算する追加被ばくであり、計測上は自然放射線が加わる。そのため屋外の除染目標線量は、計算値の毎時 0.19 μ Sv に大地からの線量毎時 0.04 μ Sv を加えて毎時 0.23 μ Sv ということになっている。07 年 ICRP 勧告の平常時最大許容線量 1mSv/年には冷戦期の核実験で生成した放射性物質で半減期の長いもの ^{137}Cs , ^{90}Sr は含むが、 ^{14}C や ^{40}K など自然放射線による被ばくは含まないはずである。含めてしまうと日本全国を除染するという、とんでもない話になりかねない。

放射線源からの近距離被ばくによる瞬間最大被ばくの線量と、低線量環境での累積被ばく量は区別して判断する必要がある。100mSv 以上の被ばくで癌になる確率が上がると言われ、50mSv では発癌は増加しないと言われているのは瞬間被ばくの場合であり蓄積線量ではない。人体の修復機能の範囲内での微量長時間被ばくのリスクは、他のストレス、喫煙やアルコール摂取、野菜の摂取不足などのリスクと判別が困難であり、これまで持続的な低線量被ばくの影響が科学的に確認された例はない。なお、日本学術会議が「放射線防護の対策を正しく理解するために」^{注1)} という議長談話を 11 年 6 月に発表している。

4) 汚染状況と除染作業の具体例

帰還困難区域・居住制限区域などに指定されていない地域であっても汚染はかなりのものである。郡山市の例を簡単に紹介する。市内のセシウム 137 (^{137}Cs) の沈着量は 5 万~24 万 Bq/m² で、たとえば 10m×10m の屋根には 5 百万~2 千 4 百万 Bq の ^{137}Cs が降っている。事故当初はセシウム 134 (^{134}Cs) もほぼ同量あったので、住宅 1 軒あたり 1 千万~5 千万 Bq の放射性セシウムが沈着した。半減期が 2 年と短い ^{134}Cs は時間の経過とともに急減している。

郡山市内の家屋の除染対象は雨樋と庭であり屋根は対象外である。家屋の雨樋には屋根に降り積もったセシウムのうち吸着されなかった量が集まる。除染作業はこれを集めて住民への影響を少なくする仕事であるが、作業者は放射性物質が濃縮したホコリや泥を扱うことになるので被ばくが懸念される。庭にも同程度の量の放射性セシウムがあり、表面を削って集めれば必ず高線量になる。集めた汚染廃棄物は容器に入れ各戸の庭に埋設して遮蔽し一時的に地中保管している。

このような環境で除染を実施しているので、泥やホコリを体内に入れないように防塵マスクをして、ゴム手袋・ゴム長靴を履き、長袖の作業着を着用する。また、作業場での飲食は禁止しているので夏場は熱中症への注意が必要である。作業終了後は二次汚染を防ぐため身体サーバイを行い、汚染レベルを確認したうえで作業場を離れる。通常数名のグループ作業であるが、郡山市は比較的汚染度の低い地域なので、作業員個人の被ば

く量はグループの一名に始業時からポケット線量計を携帯させて測定、その値をグループ全員の記録として保存、離職時に文書で通知することになっている。

注1) <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-d11.pdf>

除染作業は天気が悪いと仕事にならない。つまり、降雨により土壌が水分を持てば、また積雪があればその遮蔽効果によって線量率が低下するのでモニタリングはできないし、除染作業もやめることになる。雪が積もった場合には雪かきをしてから除染作業が始まる。そのため梅雨期や積雪期は実働日数が減少する。除染作業従事者は日給が高いが、悪天候の日は仕事ができず無給になるので月収は不安定である。

一方、彼らの健康への不安であるが、著者の関わっている事業所での作業従事者の被ばく記録をみると、1日6時間強の作業時間でほとんどが1~2 μ Sv/日である。ピーク時で約250名の作業員が在籍したが、過去2年間で高線量を記録する特殊作業が数度あり5~10 μ Svであった。月間作業日数は天候の影響もあり22日程程度なので20~40 μ Sv/月、これに非就業日の被ばくを1 μ Sv/日として加算、さらに屋内被ばく線量を加えても年に1mSvを超えることはなさそうである。したがって、除染作業に携わっていない一般市民の追加被ばくが年間1mSvを超えることはない。

11. 福島第一原子力発電所の事故以前に起きた主な放射線被ばく事故

広島・長崎の原子爆弾による被ばく、ビキニ環礁での第五福竜丸の被ばく以外にも、ムルロア環礁やロプノール、ニューメキシコ、ノヴァヤゼムリヤなど核実験を実施した地域での被ばく問題が世界的にようやく指摘される時代になっている。ところで、ムルロア環礁は別にして大陸の中央部は降水量が少なく雨水による拡散や土壌への吸着は少ないと思われる。心配したらきりがないが、主に風によって拡散しているはずで、ロプノールから黄砂により飛んで来ている可能性がある。

それらとは別に、事故による放射線被ばくの主なものについて被害状況を記載する。原子力発電所の事故は別にして、放射線源や放射性物質の杜撰な管理が被ばくの原因として共通している。

なお、福島事故の後、全国で線量率の測定が行われるようになり、今回の事故とは直接関係がない高線量率の地域が各地で見つかる。筆者は、皆が放射能汚染に関心を持ち測定を始めると、いろいろと見つかるかもしれないと思ったが予想が当たった。放射線障害防止法が整備される前の遺物と思われるものが出てくる。放射性物質の規制が始まって処分に困り隠したかもしれないラジウムを主成分とする蛍光塗料が入った容器など、まさに「知らぬが仏」で人騒がせな迷惑千万な話である。

(1) 1971.9.18 千葉造船所

イリジウムを紛失し、知らずに拾った従業員が被ばくして、火傷および造血障害をおこした。この例のように、70年代は非破壊検査用線源の管理が不適切で、拾った一般の人々が被ばくしてしまう事故が多発した。

(2) 1976.8.30 ハンフォード (米国)

核燃料再処理施設でイオン交換樹脂に吸着させたアメリシウム ^{241}Am 含有液をガラス容器に入れて抽出する作業中に、組織内でストライキがあったことから作業を中断して長時間放置してしまう事態になった。スト解除になって作業が始まり、抽出作業を再開して硝酸を注入したところ化学反応でガラスのカラムが破裂して、顔面に ^{241}Am を含む硝酸溶液を浴びた。

(3) 1978.3.28 スリーマイル島事故

原子炉の冷却水の水位が低下して炉心上部が露出してしまい、燃料が融解して炉内の温度と圧力が上昇したことから、大気中に放射性物質を含む気体が放出されてしまった。公衆に健康上の問題はなかったが、州知事が半径 5 マイル内の妊婦と乳幼児の避難勧告をしたことがきっかけでパニックが起き、その他の者を含む多くの住民が避難した。様々な情報が錯綜して住民が混乱し、医療機関に殺到する騒動が起きた。

(4) 1986.4.26 チェルノブイリ事故

タービンの慣性による低出力発電の実験中に操作を誤った。短時間で原子炉出力が暴走して定格出力の 100 倍を突破、水蒸気爆発・水素爆発を起こし放射性物質が大量に飛散した。また高熱の黒鉛により火災が発生し、消火作業にあたった消防士や作業員が重大な被ばくを受け 28 名が死亡、さらに後遺症で 20 名以上が亡くなっているという。そして、多くの住民に放射線防護対策が必要になったが、汚染や被ばくのために緊急に入院治療を行った住民はほとんどいなかった。

(5) 1987.9 ゴイアニア (ブラジル)

若者が廃病院に放置されていた癌治療用の放射線源を盗み出し密封容器に穴をあけてスクラップ業者に売却、業者はそれを知らずに ^{137}Cs の粉末を素手で扱い拡散させた。多くの市民が被ばくし 4 名の市民が死亡した。拡散した ^{137}Cs の量は 50.9×10^{12} Bq (50.9 兆ベクレル)であった。

(6) 1990.6.21 ソレク (イスラエル)

照射装置内のコンベヤの故障を修理するために放射線源が開放されていた状態の照射室に入ってしまった。作業員が 1 名 10 Gy 被ばくして 36 日後に死亡した。

(7) 1999.9.30 茨城県東海村 JCO 事故

別々に調整したウラン溶液の濃度を均一にするために溶液を一つにまとめたところ、ウランの量が多くなり過ぎて臨界を起こした。作業員が 2 名死亡し、敷地周辺の住民が 10mSv 程度、臨界を止める作業をした JCO 社員が約 50mSv、消防士が 10mSv 程度被ばくしている。

(8) 2000.2 タイのスクラップ工場

放射線治療のコバルト放射線源が盗難に遭い解体された。重度被ばくが 10 名、うち 3 名が死亡した。

(9) 2001.11 岩手県の高校

物理実験の写真撮影で軟 X 線に 30 秒程度被ばくし、指の皮膚を火傷した。