

# 放射線と放射性物質（その4） 被ばくを防ぐ

2015/02/25

解説

原子力利用について

二瓶 啓

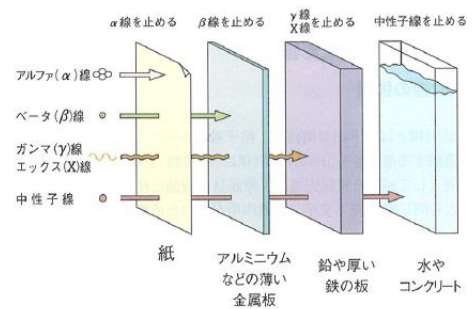
国際環境経済研究所主席研究員



(前回の解説は、「[放射線と放射性物質（その3） 自然放射線と主な放射性物質](#)」をご覧ください)

## 7. 放射線の種類と外部被ばくからの防護

放射線にはいくつか種類がある。太陽から地球に降り注ぐ紫外線や可視光線、赤外線も広い意味で放射線である。人体への影響が少ないので紫外線を別にしてこれらが問題になることは少ない。問題なのは以下に述べる4種類、高エネルギー電磁波であるガンマ線およびX線と、電子や中性子、アルファ線など高エネルギーの粒子線である。それら様々な放射線の遮蔽方法を図に示す。



(出典:「原子力・エネルギー」図面集 2004・2005 財団法人原子力文化振興財団)

### 1) 放射線の種類

#### (1) ガンマ線(γ線)、X線

エネルギーの高い(波長の短い)光線のこと。波長が極めて短く目に見えない。エネルギーが高いほど透過性が強い。電子の状態の遷移によって発生する電磁波がX線、原子核の状態の遷移によって発生するのがγ線である。

遮蔽には鉛や鉄、コンクリートを用いる。下記の(2)以降に示すベータ崩壊、アルファ崩壊および中性子線放出の結果、原子核が励起状態(興奮状態)になるが、そこから基底状態(沈静化)に移る(遷移という)ときにそのエネルギーをγ線として放出する。

また原子核から最も近い軌道を回る電子を取り込んで核が安定化する軌道電子捕獲(エレクトロン・キャプチャ=EC)という現象を起こす放射性原子核があり、その場合に放出する励起エネルギーは上記の定義からγ線ではなくX線である

なお、健康診断や空港の手荷物検査などで用いられているX線発生装置では、高速の電子をある種の金属からなる陽極に衝突させることでX線を発生させる。原子核の周りを回る電子の遷移の結果生じるX線を特性X線といい一定の波長になる。一方、陰極から照射された電子が陽極の原子核の電場により減速、散乱して発生するX線を制動X線といい、その波長は光の波長のように連続で分布する。

#### (2) ベータ崩壊(β線 β<sup>-</sup>=電子線、β<sup>+</sup>=陽電子線、EC=軌道電子捕獲)

β線自体は微粒子であり1~1.5cmの厚さのガラスやプラスチックで十分遮蔽可能である。ただし、β線放出と同時に励起した原子核が安定する過程でγ線やX線を放出する。セシウム137の外部放射線被ばくはこのγ線である。

### (3) アルファ崩壊 (α線は高速度のヘリウム原子核)

α崩壊は原子番号の比較的高い原子核に起きる。核分裂で生成する放射性物質ではほとんどα崩壊は存在しない。α粒子そのものは最大飛距離 数 cm で、直接触ったりしなければ被ばくの心配はない。紙 1 枚で遮蔽可能である。β線と同様にγ線を同時に放出する。

### (4) 中性子線

核分裂を起こす重い元素から放出され、γ線を伴う。遮蔽はγ線防護と同じである。中性子は水素原子と反応して重水素になりやすい。中性子そのものは半減期 14.8 分で水素原子と電子になる。核燃料や原子炉以外の原因で中性子線に被ばくすることはない。

## 2) 放射線外部被ばく防護の三原則

からだを放射線の内部被ばくから防ぐためには、放射性物質を体内に取り込まないようにするしかないが、外部からの被ばくは、距離・遮蔽・時間の三原則で防護する。「光」をイメージすると分かりやすい。

### (1) 線源から距離を置く (光 = 光源が遠くなると暗くなる)

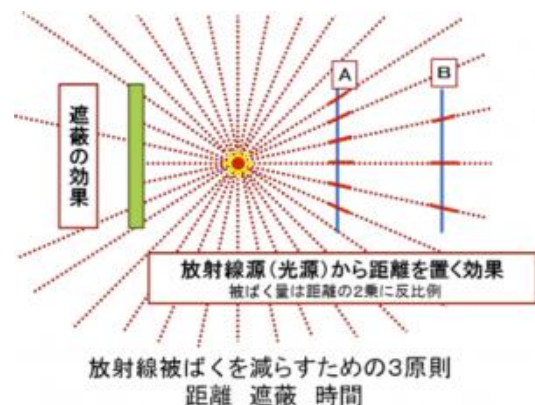
距離の二乗に反比例して被ばく量は減少する。

### (2) 遮蔽による防護 (光 = 遮ると見えなくなる)

α線は紙 1 枚、β線はガラス 1 枚、γ線は鉛のような金属で遮蔽する。

### (3) 被ばく時間を短く (光 = 長時間日光にさらされると日焼けする)

どうしても線源に近づかなければならない場合はできるだけ短時間にする。



## 8. 被ばく対策

### 1) 放射線被ばくにより何が起き、何が危険か

放射線の人体への影響は、遺伝子を含む細胞の構成成分の直接破壊もさることながら、体内細胞の主成分である水（人体の60%は水）が放射線のエネルギーにより分解して水酸基などの遊離基や活性酸素、過酸化水素など、細胞の成分に障害を与える成分を生成させ、細胞を傷つけるためであるとされる。

細胞内の水の分解反応を起こす要因には、喫煙や飲酒、大気汚染、レントゲン、精神的ストレスなど多くの要因があり、放射線もその一部である。

これらの身体への常態的ストレスに対して、生体には修復機能が備わり健康を維持しているが、その機能を上回るストレスに曝されることによって健康に支障を起こす。放射線を大量に被ばくすると表に示すような症状を引き起こし最悪の場合には死亡する。

表 被ばく線量と身体各部の状態

線量	臨床状態	解説
0~1 Gy	一般的に無症状	事故後3~5週間の白血球数は正常又は事故前レベルからわずかに抑制
1~8 Gy	造血器症候群 (骨髄症候群)	主な前駆徴候・症状は、食欲不振、悪心、嘔吐であり、時に皮膚紅斑、発熱、粘膜炎、下痢が認められる。2 Gyを上回る全身被ばく例の臨床検査を行うと、初期には顆粒球増多症、事故後20~30日では明確な汎血球減少症が認められる。造血器系の急性放射線症候群により生じる全身的な影響には、免疫機能不全、感染性合併症の増加、出血傾向、敗血症、貧血、創傷治癒障害などがある。
8~30 Gy	消化管症候群	早期から重度の悪心、嘔吐、水性下痢などの症状が生じ、事故後数時間以内に認められる場合も多い。重症例ではショック、腎不全、心血管虚脱を生じる可能性もある。消化管症候群による死亡は、通常事故後8~14日で生じる。造血器症候群を併発する。
>20 Gy	心血管・中枢神経症候群	被ばく後数分以内の灼熱感、事故後1時間以内の悪心・嘔吐、疲憊、失調・錯乱の神経学的徴候などが認められる。死亡は不可避であり、通常24~48時間で死亡する。

Gyは吸収線量の単位。放射線の種類による修正係数を掛けて線量等量を求める。セシウム、ストロンチウム、ヨウ素はβ線およびγ線を放出しており修正係数は1であるから表の数値をSv(シーベルト)値と読み替えてよい。

### 2) 主な放射性物質の代謝と人体への影響

#### (1) セシウム 134, 137

セシウムは、食塩の主成分ナトリウムおよび生物の必須元素で植物の生育に欠かせないカリウムと似た性質を持つアルカリ金属である。特にカリウムと挙動が類似しており、60%が筋肉に、次いで内臓、脳の順に取り込まれる。生物学的半減期は140日で、体内に取り込まれたセシウムが半分になるのに3か月半かかる。水中ではイオンの形で存在すると考えられ腎臓を経由して排出される。

#### (2) ヨウ素 131 など

ヨウ素は恒温動物の細胞活動を活性化させる甲状腺ホルモンの必須成分であり海藻類に多く含まれ、経口摂取後甲状腺ホルモンを作る組織である甲状腺に蓄積する。生物は安定なヨウ素と放射性ヨウ素を区別することができない。放射性ヨウ素は成人では摂取量の30%、成長期にある幼児の場合には50%が甲状腺に沈着してしまう。海藻など安定なヨウ素を多く含む食事をすると沈着率は著しく減少する。

放射性ヨウ素は半減期が8日と短いので、被ばくが懸念される場合には予防的にヨウ素剤 (KI=ヨウ化カリウム)

ム) を投与して、甲状腺を安定なヨウ素で飽和させておき、取り込まれる放射性ヨウ素を少なくして影響を軽減するが服用は1度で良い(表)。短期間で放射性ヨウ素の影響が軽減することから、新たな臨界による汚染がない限りヨウ素剤を再服用する必要はない。また、必要以上にヨウ素を摂取すると甲状腺機能低下症の発症など健康を害する可能性がある。

表 安定ヨウ素剤の投与時期と効果 (出典: Health Phys., 78, 2000)

安定ヨウ素剤の投与時期	効果
放射性ヨウ素にさらされる24時間前	90%以上の抑制効果
放射性ヨウ素を吸入した8時間後	40%の抑制効果
放射性ヨウ素を吸入した24時間後	7%の抑制効果

古いデータで昔の単位であるが、甲状腺疾患検査で投与された放射性ヨウ素により甲状腺腫瘍が発生した症例として、最小摂取量が大人 15mCi (Bq に換算すると 5 億 6 千万 Bq)、小児 2mCi (7 千万 Bq)であった。また、甲状腺炎や繊維化が発症した摂取量は成人で 1~7mCi (37 百万~2 億 6 千万 Bq) ということである。

### (3) ストロンチウム 90

ストロンチウムは、マグネシウム、カルシウム、バリウムと同族のアルカリ土類金属で挙動が類似しており、ラジウム、プルトニウムなどの重金属系の核種と同様に骨に蓄積する傾向がある。血液の変化、骨腫瘍、白血病の発症の原因になる懸念がある。水中で炭酸塩などの形で不溶化すると考えられ、海に出ると海底の泥に移行する。

セシウムと比べ一旦体内に取り込まれると排出されにくいので警戒が必要である。頻りにシルクロード取材などで中国を訪れていた広島原爆被ばく者でもある平山郁夫画伯や、中国内陸部でテレビドラマの撮影を行った女優が白血病で亡くなっているが、ストロンチウム 90 による体内被ばくが原因の可能性もある。

### (4) 炭素 14、カリウム 40、ラジウム 226、ラドン

自然由来の放射性物質がいくつか存在する。炭素 14 は有機物であればあらゆるものと同じ確率で取りこまれる。肥料の 3 要素のひとつカリウムにも放射性カリウムがあり、前述のように我々は常に自然由来のこれら放射性物質を一定量取り込み被ばくしている。ラドンによる被ばくは自然由来の半分を占める。希ガスと呼ばれる気体であり室内換気により被ばくを減らすことができる。

### (5) 体内への蓄積に注意が必要な放射性物質

以上、セシウムは体内に取り込まれても数ヶ月で排出されるが、ストロンチウムやラジウムは骨に蓄積するので排出に時間がかかる。セシウムよりもストロンチウムに注意を払う必要があるが、文部科学省の発表<sup>注1)</sup>によると、福島事故によるストロンチウム汚染の程度は軽微なようである。

注1) 例えば「[土壌の核種分析結果](#)」

※ 相馬市の 2.4E+3、大熊町の 1.5E+3、高度汚染地区の双葉町に二か所、浪江町に四か所 E+3 があります。E+3 とは、10 の 3 乗、つまり 1,000 ですから、相馬市は 2,400Bq/m<sup>2</sup>。その他の測定値は E+1~E+2 がほとんどなので数 10 から数百 Bq/m<sup>2</sup>、ということです。つまり、ストロンチウムの沈着量は、セシウム 137 の沈着量の 1000 分の 1 程度です。

### 3) 放射性物質の挙動と除去

放射性物質は自然由来のラドン以外は塵埃として飛散しており、いろいろなものに付着している。塵埃なので雨や風で運ばれる。また人間活動、たとえば車のタイヤ、衣服や靴などの汚れにより拡散していく。家屋の雨どいや排水溝、水はけの悪いところに溜まる。森林で樹木の葉に付着したものはいずれ落葉により地面に落ち、落ち葉は昆虫や微生物の働きにより腐朽して放射性物質も土に混じり、溶解したものは根を通じて吸収され、樹木の活動域であり木質を形成している樹皮の部分に移行する。

落葉広葉樹は毎年秋に落葉するのでそれを除去すれば放射性物質の除染効率は上がる。一度除去すれば蓄積線を相当減らすことができる。常緑樹や針葉樹の場合は葉の交替に数年かけ、春と秋に二度落葉する樹木が多い。除染のために丹念に落ち葉を取り除くことになるが、落ち葉を除去してしまうと、樹木の生育に必要な肥料成分も一緒に取り去られることになる。

セシウムの蓄積量が数千～数万 Bq/m<sup>2</sup> で空間線量率の比較的低い地域は、森林保護の意味からも無理に除染をしない方が良い。樹皮から木の芯部に放射性物質が移行することはほとんどないので、樹皮を剥がして利用する木材は放射能汚染を心配する必要はない。被ばくした年に成長した年輪にはある程度含まれる。自然放射線のところで触れた屋久杉の年輪の話がその例である。

米や野菜、果物などに含まれるのは、土から水や養分とともに放射性物質を吸い上げてしまうため農地の汚染が問題になる理由であるが、根が届かないところまで放射性物質を埋めてしまうか、あるいは、土壌表面に付着しているので表面を除去する方法がとられる。水田の場合、森林に近いところや水の入れ替えが十分できないところでは注意が必要である。

カリ肥料を多めに施肥してヨウ素と同じように希釈効果を狙うことも考えられる。ただし、窒素、リン酸、カリウムのバランスが悪いと作物の生育に影響するので限界がある。カリの過剰な施肥は植物のカルシウムやマグネシウムの吸収を阻害するので芽や毛根の成長点の生育に悪影響がある。

事故から4年経ち次第に除染の効率が低下してきている。風雨などにより流出しないで土壌に残っているセシウムは、粘土鉱物などに強固に吸着して取れにくくなっていると思われる。除染作業が始まった2012年末頃でも、コンクリート舗装などは高圧水洗浄のみでは線量率の低下が不十分で、表面を削りながら洗浄する必要があった。一度固着したセシウムを削り取る作業は、特に交通量の多い道路などでは飛散による再汚染やタイヤによる拡散が心配であり、どこまで除染するべきか難しいところである。

放射性物質が屋根や、道路などの表面に吸着してしまい除染効果が低い場合には、セシウムもストロンチウムもアルカリ性であることから、酢酸や塩酸・硫酸を使って洗浄水のpHを下げることにより、アルカリ特有の粘性がなくなって除去効果が上がる可能性がある。製紙会社では木材チップを強アルカリで煮て、できたパルプ中のナトリウム含有成分を洗浄漂白するのに、酸性の漂白薬品とアルカリ性の薬品を交互に用いることによって効果をあげている。

放射性物質を酸で溶かし洗い流すことで除染できるが、下水処理場を経由して浄化された排水は河川を経由して海へ、放射性物質のほとんどは下水汚泥中に濃縮されてしまうことになる。しかしながら、住環境の改善を優先するためには止むを得ない。