

福島第一原発による放射能汚染の影響

日沼洋陽, Ph.D. yoyo.hinuma@gmail.com

要旨: 福島第一原発の状況は今後悪化することはあっても、基本的に改善することはない。関東・東北地方に居住する 40 歳未満の女性および 18 歳未満の子供は、できれば関東・東北地方を離れてほしい。抜本的な改善策として、福島第一原発を覆うコンクリート等のバリアを張ることがあるが、作業員の健康に重大な影響があるので日本では実施が難しいと思われる。

1) 放射線に関する物理法則

放射線とは？

放射線とは、原子核から高エネルギーで放出される粒子（または光＝光子、これは粒子としても扱うことができる）である。主な放射線として、 α 線、 β 線、 γ 線、中性子線などがあげられる。それぞれ、放射されるのはヘリウム原子核、電子、光、中性子である。

線源は原子なので、基本的に消滅させることができない。（たとえば、鉄の原子は煮ても焼いても鉄の原子のままである。鉄は錆びても、鉄の原子はそのまま鉄の原子である。）

放射線の強度とは？

放射線の強度とは、大まかにいえば一定の面積あたりに一定の時間あたりに飛んでくる粒子の数である。放射線（放出された粒子）は、途中で遮蔽する（止められる）ことがない限り消滅しない。遮蔽されることのない放射線の強度は、線源（放射線がでてくる元）からの距離の 2 乗に反比例する。たとえば、線源から 10 倍離れると、放射線の強度はおよそ 100 分の 1 になる。

放射線はいつ出てくるの？

放射線は、エネルギーが高い、重たい原子核が、エネルギーの低いより軽い原子核に変換・分裂するときに発生する。これに伴い、粒子が放出され、また差分のエネルギーが放出される。（これ以外にも核融合によって放出されるが、これについては省略。）たとえば、ウラン 239 は β 線を出してネプツニウム 239 に変換され、さらに β 線を出してプルトニウム 239 に変換される。また、ウラン 236 は、たとえばヨウ素 139 とイットリウム 95、そして中性子線として放出される中性子 2 つに分裂することが可能である。（元素名の後の数字は、原子核内の陽子と中性子の数の和。分裂前と分裂後で、陽子＋中性子の和は変わらない。また、核分裂パターンは 1 通りとは限らない。）

放射線を出すにはどうすればいいの？

放射線を出すには、1)放射性原子核が崩壊するのを待つ 2)不安定な放射性原子核を、たとえば中性子を吸収させることにより作りだして、すぐ崩壊させる といった方法が考えられる。

放射性原子核は、一定の時間に一定の確率で崩壊（＝放射線を出してより安定な原子核に変換）する。一定量の放射性原子核、たとえば 100 個のヨウ素 131 原子核があれば、約 8 日でヨウ素 131 原子核が 50 個程度に減る。とある放射性原子核種の数が半分になるまでの時間が半減期である。半減期が短い原子核ほど強い放射線を短時間で放出し、長い原子核ほど弱い放射線を長時間かけて放出する。

ウラン 235 (半減期 7 億年)は、中性子を吸収しやすく、また中性子を吸収すると 8 割強の確率で核分裂を起こし、2～3 個の中性子を放出することが知られている。(原子番号の小さい＝陽子が小さい原子核ほど、中性子/陽子の比率が小さい傾向にある。) ある容器の中にウラン 235 を入れると、容器内の中性子濃度に応じて核分裂の頻度が増える。中性子濃度が一定値より高くなると、ウラン 235 の核分裂により生成される容器内の中性子が、容器から逃げる、もしくは容器内の他の原子核に吸収される中性子数を上回り、中性子濃度がどんどん上がっていく、そして核分裂頻度がどんどん上昇する連鎖反応を引き起こす。逆にいえば、中性子濃度を制御することで、核分裂の頻度を制御することができる。

MOX 燃料ってどう作るの？

原子力発電の燃料としてウランを使用するとき、発電に有効な成分（核分裂を起こしやすい成分）はウラン 235 である。しかし、自然界に存在するウラン 235 の量は、ウラン 238 の 140 分の 1 程度である。核分裂を容易にするために、わざわざウラン 235 の濃度を上げた燃料を作る必要がある。

ウラン 238 は、原子炉の中で中性子を吸収してプルトニウム 239 に変化する。プルトニウム 239 は核分裂を起こしやすいため、ウラン 235 の代わりに有効成分として使用できる。実際、ウラン燃料を使用している原子炉内においても、プルトニウム 239 が生成され、消費されている。

ウラン 235 を主に使用していた「使用済み燃料」に含まれるプルトニウム 239 と、ウラン燃料を作る際のゴミであるウラン 238 を組み合わせて、新たに燃料を作ることができる。(ウラン 235 の代わりにプルトニウム 239 を使用していると考えてよい)。この燃料が、MOX 燃料(mixed oxide = ウラン酸化物とプルトニウム酸化物の混合物)と呼ばれている。MOX 燃料の使用により、一定の重さのウランから取り出せるエネルギー量を増加させることができる利点がある。

2) 福島第一原発における状況悪化の危険性

冷却材の喪失（燃料棒の露出）

原子力発電においては、核燃料が放出する熱を冷却材を通して取り出し、冷却材の熱を利用して発電を行う。（原子力発電所で核分裂を人工的に誘発するのは、核分裂時に熱が放出されるからである。）福島第一原発においては、水が冷却材として使用されている。冷却材が何らかの理由で喪失している場合、核燃料に接触している冷却材が何らかの形で格納容器外に漏れているため、少量の放射能漏れが発生している。また、放射能漏れ以外にも、以下の悪影響が発生する。

- ・福島第一原発のように中性子を吸収する性質を持っている水を冷却材として使用している場合、冷却材の喪失は燃料周辺の中性子濃度の上昇を意味する。中性子濃度上昇は、核分裂頻度の上昇を起こす。
- ・核燃料の冷却が行われていないため、核燃料棒の温度が上昇する。

この時点では、燃料棒から出る放射線は、主に格納容器内に封じ込められている。ただし、格納容器は密封されていないため、気体・液体が漏れている。

水素爆発・水蒸気爆発

原子炉において、爆発できる「容器」として、以下の3つが考えられる。

- ・圧力容器
- ・圧力容器を覆う格納容器
- ・格納容器を覆う建屋

また、高いエネルギーを出すことのできる反応は、水素生成・水素爆発反応および（広義の）水蒸気爆発である。

圧力容器：3号機の圧力容器を破壊するために必要なエネルギーを概算する。

3号機の圧力容器の内部の体積は約541m³であり、このうち500m³に気体が充満したとする。破壊時の内部気圧が100気圧(=10MPa)とすると、内部の気体のエネルギーはおおよそ15GJ（水蒸気の場合）、12.5GJ（水素の場合）となる。この値は、水素生成・水素爆発反応により生成されるエネルギーのわずか2%程度である。

(参考資料：<http://www.tepco.co.jp/nu/f1-np/intro/outline/outline-j.html>)

格納容器：3号機の格納容器を破壊するために必要なエネルギーを概算する。

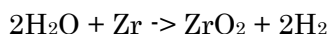
3号機の圧力容器の内部の体積は約5400m³であり、このうち5000m³に気体が充満したとする。破壊時の内部気圧が10気圧(=1MPa)とすると、内部の気体のエネルギーはおおよそ15GJ（水蒸気の場合）、12.5GJ（水素の場合）となる。この値は、圧力容器の破壊に必要なエネルギーとほぼ等しい。

(参考資料：<http://www.tepco.co.jp/nu/f1-np/intro/outline/outline-j.html>)

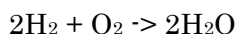
建屋：3号機の建屋の体積は30m x 50m x 高さ50m（Google Maps および東京電力のページ参照）と推計される。建物破壊時の内部気圧が2気圧とすると、内部の気体のエネルギーはおよそ15GJ（水蒸気の場合）、12.5GJ（空気・水素の場合）となる。

以上をまとめると、原発の容器を破壊するのに必要なエネルギーは以下の通りになる。
圧力容器≒格納容器≒建屋

水素生成・水素爆発反応：燃料棒の被覆管として、中性子を吸収しにくいジルコニウムが主に使用されている。ジルコニウムは高温の水蒸気と反応して水素（と酸化ジルコニウム）を生成する。



生成された水素は、酸素と結合して水蒸気を生成する。



2つの反応を組み合わせると、

$\text{Zr} + \text{O}_2 \rightarrow \text{ZrO}_2$ となる。この反応の標準生成エントロピーは -1080 kJ/mol である。

福島第一原発の3号機における、生成可能な水素生成量および解放可能エネルギー量を推計する。

福島第一原発の3号機における燃料棒の数は $548 \times 137 \approx 75,000$ 本である。燃料棒一本あたりの被覆管の体積は、昭和49年の福島第一原発で使用されたものを参考にすると、約 $1.23 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ となる。被覆管全てがジルコニウムでできていると近似すると（実際はジルコニウムを約98%含むジルカロイが使用されている）、3号機内にはジルコニウムが $6.0 \times 10^4 \text{ kg}$ 、すなわち 6.6×10^5 モル存在することになる。このジルコニウムが全て水素を生成する反応に使用されたとすると、水素は 1.32×10^6 モル生成される。このとき、 1.32×10^6 モルの水（ $= 2.38 \times 10^4 \text{ kg} = 23.8 \text{ m}^3$ ）が消費される。

これらの水素が全て酸素と結合して水蒸気になる場合、最終的に放出されるエネルギー（反応 $\text{Zr} + \text{O}_2 \rightarrow \text{ZrO}_2$ により解放されるエネルギー）は720GJ（ギガジュール：1,000,000 キロジュール）である。これは、福島第一原発の3号機のおよそ16分間の出力に相当する。

(参考資料：<http://www.tepco.co.jp/nu/f1-np/intro/outline/outline-j.html>、
<http://www.nsc.go.jp/shinsashishin/pdf/1/ho019.pdf>)

(広義の) 水蒸気爆発：広義の水蒸気爆発は、水が高熱の物体に接触し、大量の水蒸気が一度に生成するときが発生する。(高温の油に水をかけたときに発生する現象である。) 原

発においては、一定量以上の核燃料が融解し（メルトダウン＝炉心溶融）、冷却材の水に接触したときに発生しうる。MOX 燃料の融点はウラン燃料の融点が僅かに低いため、メルトダウンを起こす温度が低い。

福島第一原発の 3 号機における、水蒸気爆発に貢献しうる燃料棒の熱エネルギーを推計する。

3 号機のウラン量は 94t であり、すなわち二酸化ウランが $3.9 \times 10^5 \text{ mol}$ 存在する。ウランの比熱の値として 59 J/mol/K （室温、定圧）を用いると、炉内の二酸化ウランの固体を融点の約 2500°C から 500°C まで冷却することで放出されるエネルギーは 46 GJ と算出できる。

（参考資料：<http://www.kepco.co.jp/plu/28.html>）

この 2 つの反応を比較すると、以下のような考察が得られる。

- ・水素生成・水素爆発反応による生成エネルギーは、水蒸気爆発によるエネルギーより 1 ケタ大きい
- ・しかし、水素爆発反応には酸素が必要であり、圧力容器および格納容器内では起こりにくい
- ・水蒸気爆発のエネルギー放出速度は、化学反応が必要な水素生成反応の放出速度より速い

以上の知見より、圧力容器内の気体発生による爆発について、下記のようなシナリオが考えられる。

- 1) 何らかの理由で、冷却材の喪失が発生。特に冷却材が漏れている場合、そのルートを通して圧力容器から格納容器へ、また格納容器から建屋へ気体が漏れることが可能になった。
- 2) 冷却材の喪失により圧力容器内の温度が上昇。水素生成反応が開始する。
- 3) 生成された軽い水素は、密閉性の高い建屋の上部に溜まる。クリティカルマス（一定量）溜まった時点で、建屋内の酸素を消費して水素爆発を起こす。建屋の上部が吹き飛ぶ。
- 4) 圧力容器内の温度がさらに上昇。水素が生成されるも、建屋外に逃げていく。
- 5) 圧力容器内の温度が、燃料棒（二酸化ウラン）の融点まで上昇。（広義の）水蒸気爆発を起こす。漏れるより速く生成される水蒸気は、圧力容器を破壊する。
- 6) 水蒸気反応により発生した水蒸気は、格納容器も破壊する。
- 7) 水素生成反応により発生していた水素が、大気中の酸素を消費して水素爆発を起こす。

5) および 6) の状態を、狭義の水蒸気爆発と呼ぶ。また、この水蒸気爆発は、水素爆発をも伴っていると思われる。

なお、メルトダウンが発生しても、必ずしも狭義の水蒸気爆発が起こるとは限らない。発生した水蒸気の量が少なかった場合、および格納容器外に水蒸気を逃がすことにより格納容器内の圧力を制御出来た場合は、水蒸気爆発は発生しない。

狭義の水蒸気爆発が発生した時点では、格納容器が破壊されているので、燃料棒から出る放射線の封じ込めが実質的に不可能となる。また、燃料棒の成分が格納容器外に飛び散っている可能性が高い。なお、人体に特に有毒なプルトニウム 239 の飛散は、ウラン燃料の使用時にも発生する。

再臨界

一定量以上の核燃料が高い密度で存在すると、中性子濃度が閾値を越えた時点で、連鎖反応が開始する。これは、JCO のバケツで発生した事象である。原子力発電所では、燃料の溶解（メルトダウン）により容器の底に燃料が溜まった場合などは再臨界が起こりうる。対策としては、中性子濃度を下げるために中性子を吸収する物質（水、ホウ素など）を用いることである。これにより、小規模な再臨界においては連鎖反応を停止することが可能である。

原発で大規模な制御不能の再臨界が発生した場合、放射線量は著しく増加するであろう。特に封じ込めが失敗している場合、再臨界による最悪のシナリオでは、臨界範囲内の全燃料が消費されつくすまで、放射線（主にγ線）が格納容器外に放出されることを見守るしかできない。

3) 福島第一原発の現状の推定

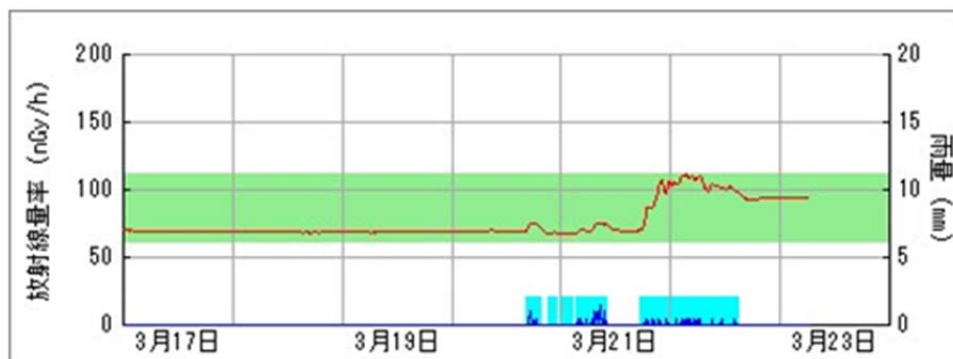
放射線の測定でわかること

放射線の強度は、ガイガーカウンターという装置で計測することができる。身の回りにも放射性物質がわずかながら存在するため、地球上では常にある程度の放射線（自然放射線）を検出することができる。この量をバックグラウンドといい、原則としてほとんど変化しない。放射線量が急激に変化した場合、放射線源が増えたことを意味する。原発事故があった場合、追加の線源として考える主なものは 1) 原発の格納容器(バリア)に穴があき、原発から放出される放射線量が増えた 2) 原発から放出されている放射性粒子が、風によって運ばれてきた 3) 原発から放出されている放射性粒子が近くの地上に落ちた の 3 種類である。

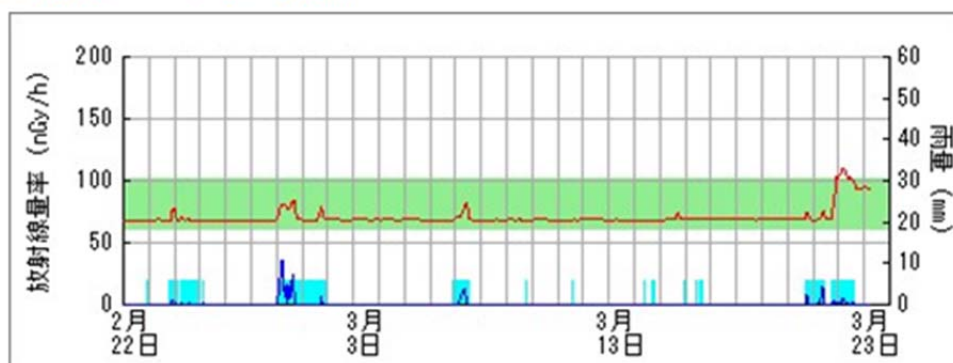
これら 3 種の放射線源を考慮することにより、(福島第一原発の今回の事象の場合、数百 km 離れていても)ある程度放射線量の測定により原発の状況を考察することができる。

一例として、静岡県で測定された放射線量を考察してみる。

■ 過去7日間のデータ(10分値)



■ 過去30日間のデータ(1時間値)



<http://www.hoshasen.pref.shizuoka.jp/rr-condition/st/08.html> 2011/3/23 6:33 に取得

下図を見ると、3月20日までは原則として約70 nGy/hの線量、降雨時には約80 nGy/hの線量を計測している。3月21日に100 nGy/hを越える「異常な」ピーク（グラフが山のようになっている場所）があり、その後線量は90 nGy/hでほぼ一定の値になっている。このピークは、2)一時的に放射性原子核が風によって流れてきた、もしくは1)福島原発からの放射線量が一時的に急激に増えた、のいずれかが原因と推測できる。また、ピークの後に線量が高い水準で一定になっているのは、3)風で運ばれて来た放射性原子核が、例えば雨のせいで近くに落ちてきた、もしくは1)福島第一原発からの放射線量が高い水準で推移している、のいずれかであると推測できる。

1) 福島第一原発からの放射線量については、複数個所の放射線量を観測することで推測することができる。原発からの放射線量の変動した時、原発からの距離の逆2乗に応じた変化が生じる。たとえば、原発から100kmの地点で40 nGy/hの上昇、同時に200kmの地点で10 nGy/hの上昇がみられた場合、逆2乗則(距離が2倍になると線量が1/4倍)を満たしているため、原発からの線量が増加したことが推測できる。この場合、さらに10km地点

では 4,000nGy/h、1km 地点では 400,000nGy/h の上昇があったことが推定できる。なお、この数値に加えて原発周辺では方角によって 2)原子核が風によって流れてくる ことが予想されるため、さらに高い線量増がある箇所があってもおかしくはない。

放射線の測定により推測された福島第一原発の状況

著者は東京都日野市の放射線計測値

http://park30.wakwak.com/~weather/geiger_index.html

を追っており、この数値により福島第一原発の状況および日野市の状況を推測している。記録をつけていないため日時にあやふやな点があることを了承してほしい。

・ 3月15日

日野市の放射線計測値が、バックグラウンドが約 14 (単位は cpm、120cpm ~ 1 μSv、以下この節では単位を略す)であったものの、計測値が約 20 の一定値 (ベースライン) で推移を続ける。原因としては福島第一原発からの放射線と推測。この時点で、格納容器が破損したことを確信した。

・ 3月16~17日

放射線量にピークが見られる。風により放射性元素が飛んできたと思われる。

・ 3月19日

ベースラインが約 17 に変わる。福島第一原発の連鎖反応 (強い放射線を出す原因) が一部停止と思われる。

・ 3月21~23日

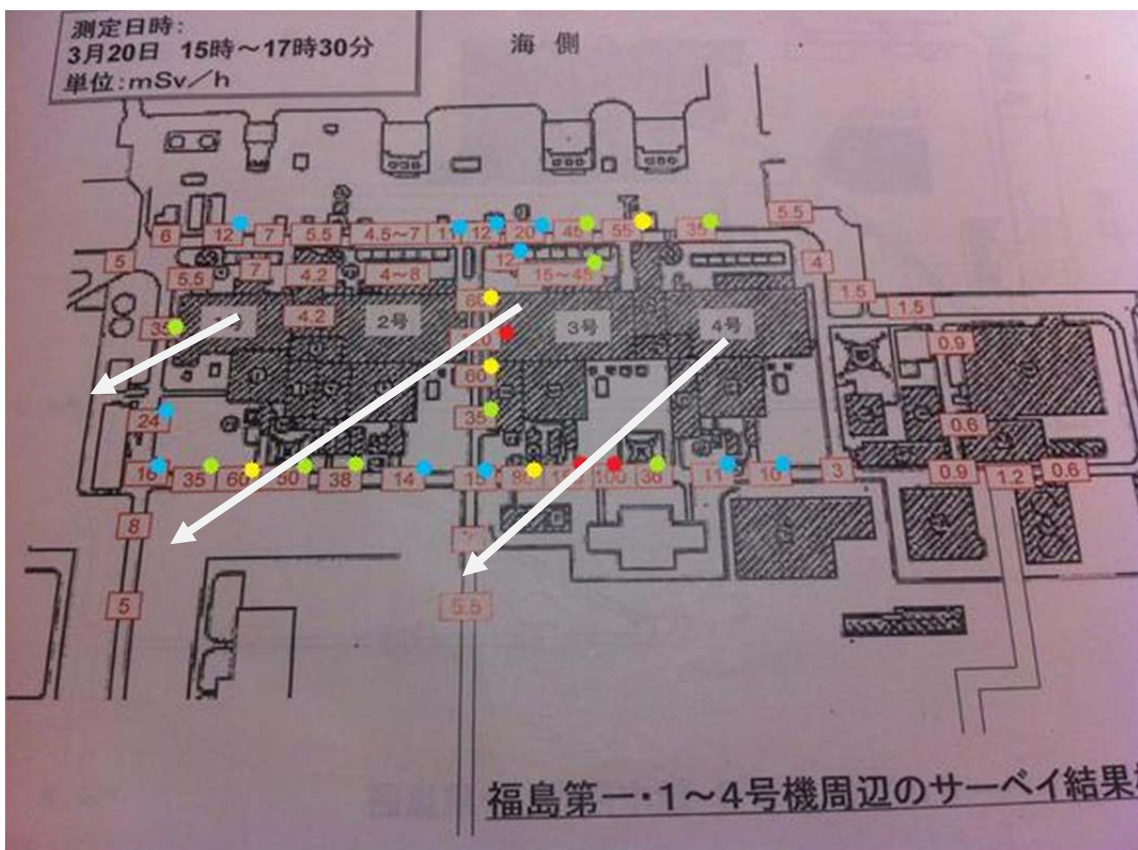
放射線量にピークが見られた後、ベースラインが約 20~24 に徐々に高くなる。風により放射性元素が飛んできた後、日野市周辺に放射性物質が落ちてきたと思われる。また、福島第一原発の連鎖反応が悪化した可能性がある。

参考資料として、首都圏で放射性降下物が増えたとの報道が、3月22日の朝日新聞であった。

<http://www.asahi.com/national/update/0322/TKY201103220536.html>

福島第一原発の放射線源の推測

以下の図が、インターネットに流出していた。



出所不明、色のついた円は著者が追加。赤:100以上、黄:55以上、緑:30以上、青:10以上。
矢印は放射性原子核の流れている向き（著者推測）

放射線は特に3号の周辺で強く、また1号と2号の間も強い。 全般的に図の右上の数値が低く、左下の数値が低いため、風が右上から左下方向に流れ、高い数値は放射性原子核が流されている風下にある、と考えられる。放射性原子核が多く流れている筋が3つあるため、1号から弱いながらも放射線が漏れている、3号および4号から強い放射線が漏れている、と考えるのが妥当と思われる。なお、この考察は上の図のみから導出したものである。

福島第一原発における現状

残念ながら、福島第一原発の格納容器（のいずれか）は、水蒸気爆発により確実に破損していると思われる。また、ベースラインの現象が見られたため、小規模な再臨界が発生したものの収束したと考えられる。

水蒸気爆発のため、破損した格納容器内から放射線が半永久的に出続けると考えられる。対応策としては、チェルノブイリのように新たな格納容器（バリア）を作成することであろうが、作業員の被曝を考えると、ソ連ではともかく日本では困難と思われる。

現在、格納容器内に海水の注入を行っているとの報道がある。原子炉の現状を考えると、海水の注入を冷却目的で行うならば、半永久的に行う必要があると思われる。海水の塩分は約 3.4%である。水は蒸発すれども塩分は（基本的に）蒸発しないため、将来的に塩分のせいで水分の注入が困難になると思われる。よって、著者は海水の注入は一時的な時間稼ぎと考えている。制御不能な再臨界の可能性は、完全に消滅していない。

放射線の測定により福島第一原発の現状が（ある程度の知識をもつ者ならば）容易に推測できるため、情報封鎖は不可能である。日本政府は現状を 1 日でも早く公開し、国民に避難などの対策をとってもらわなければならない。

4) 放射線に関する危険

放射線によるダメージの原理

放射線は通過時に近くの原子にエネルギーを与えてイオン化し（電離作用）、止められたときに大きいエネルギーを放出する（制動放射）。放射線からのエネルギーは人体に影響を与える（細胞にダメージを与える）ため、エネルギーを受け取らないことが望ましい。このため、放射線によるダメージを最小化するには、1) 遮蔽する（自分の体以外のものに止めさせる）2) それが無理なら通過させる（制動放射を避ける）の 2 点が重要となる。裏返せば、体内に放射性原子核が入った時、自分の体で遮蔽する羽目になるのが最悪の状況である。

放射線によるダメージの特徴の一つは、原子核もしくは電子サイズの粒子（ α 線、 β 線、 γ 線）が与える電離作用は、ごく僅かな円柱状の領域に限られることである。極僅かな領域に場違いなエネルギーが伝わるので、その領域にある人体の細胞がピンポイントでダメージを受ける。特に、生涯にわたり再生しない、女性の原始卵胞、卵母細胞（卵子のもとになる細胞）の遺伝情報がダメージを受けた場合は、先天性の異常を引き起こす可能性が高くなる。大量の放射線を一度に浴びた場合、照射を受けた皮膚全体およびその下の内蔵にダメージが入るが（目に見えるほどの火傷のような状態になる）、比較的少ない線量ではダメージを受ける断面積があまりにも小さいので（髪の毛の太さ程度）、見た目には何も起きたように見えない。

余談であるが、癌の放射線治療の目的は、患部で制動放射を起こしてエネルギーを放出させ、熱に変換されたそのエネルギーで癌細胞を焼き殺すことである。もっとも、放射線が患部に到達する前で正常な細胞が電離作用によりダメージを受けたり、癌細胞でないところで制動放射が起きたりする副作用もあるのだが。

放射線ごとの特性

α 線のヘリウム原子核は重い（ β 線の電子の約 8000 倍の重さ）ためか、遮蔽することは簡単である（紙一枚で止まる）。このため、体内に α 線源（有名なのは MOX 燃料に多く含まれるプルトニウム 239）を入れるのはできるだけ避けたいものである。 γ 線は X 線のようなものであり、透過しやすい。遮蔽するのは困難なものの、人体への影響も少ない。 β 線は α 線と γ 線の間のような性質を持つ。中性子線は原子核による遮蔽しやすさが大きく異なり（ジルコニウムは止めにくく、ホウ素は止めやすい、など）、遮蔽時に原子核の中性子数が 1 増えるという特徴がある。そのため、ものによっては放射性原子核を生成する要因となる。

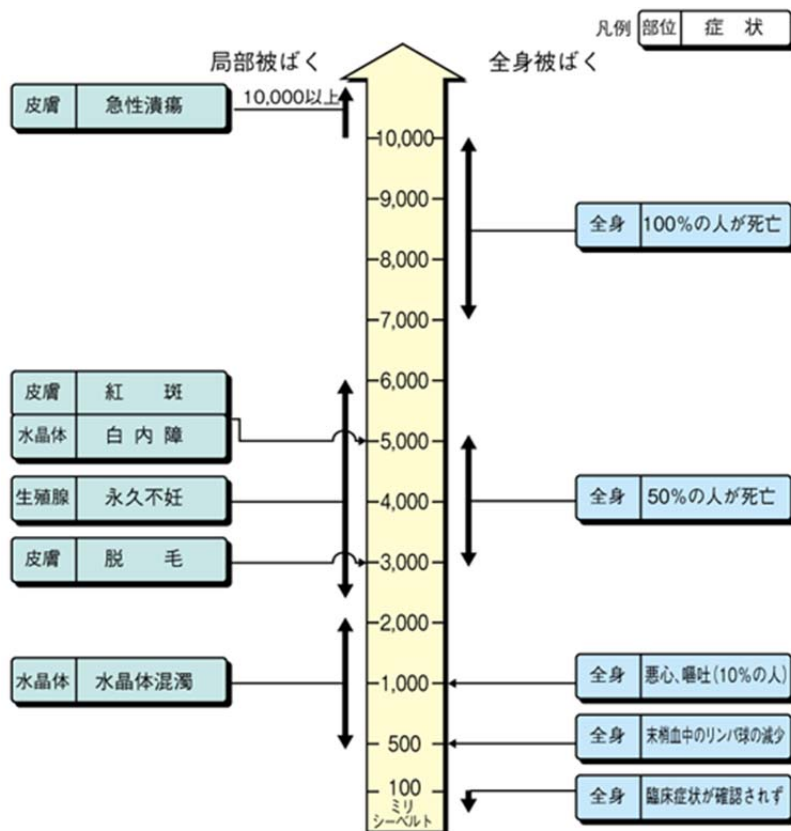
放射線の人体への影響

放射線が人体へ影響を与える経路は、外部被曝と内部被曝の 2 つに分けることができる。内部被曝は体内の放射線源から発せられる放射線による被曝である。具体的には、体内に入れた飲食物に含まれる放射性原子核、吸い込んだ空気中にある放射性原子核、および皮膚を通して吸収される放射性原子核による被曝である。内部被曝の特徴として、人体は体内の線源から発せられた放射線全てからダメージを受ける。これに対し、外部被曝は体外の放射線によるものである。

放射線の強さの単位として Sv(シーベルト)が使用される。下の中部電力の資料によると、100mSv(ミリシーベルト)以上の全身被曝で臨床症状が出てくる可能性がある。仮に、年 100mSv の被曝が許容範囲だとするとき、具体的にどのような被曝により年当たり 100mSv に到達するかを示してみる。なお、妊娠する予定のある女子、胎児および小児に対する許容範囲は、もっと少ないものと考えられる。

・外部被曝

日本における一般的な自然放射線量(外部被曝を受ける線量)は 0.1 μ Sv/h(マイクロシーベルト毎時、1000 マイクロシーベルト=1 ミリシーベルト)である。1 年の間(約 9000 時間)、0.1 μ Sv/h の放射線を浴びた場合、被曝する放射線量は 0.9mSv となる。外部被曝のみで 1 年あたり 100mSv 被曝するためには、約 11 μ Sv/h を 1 年間被曝すればよい。逆にいえば、常に 10 μ Sv/h(自然放射線の約 100 倍)を上回る放射線が出ている場所に住むことは、それだけで放射線による健康被害のリスクが高まることを意味する。10 μ Sv/h という線量は、内部被曝、および風によって短期的に運ばれてくる放射性原子核による被曝は考慮していない(実際には、これらの影響により被曝量が増える)。



出所： http://www.chuden.co.jp/resource/energy/nuch_eikyo_pho_01.gif

・ 内部被曝-経口摂取

1 秒間に自然崩壊して放射線を発する原子核の数を示すのにベクレル(Bq)という単位が使われており、飲食物に含まれる放射線量はベクレルにより示されることが多い。ベクレルとシーベルトの変換係数は放射性原子核の種類により異なるが、およそ $1 \text{ Bq} = 10^{-9} \text{ Sv}$ 程度である。

参考資料： http://www.remnet.jp/lecture/b05_01/4_1.html

100mSv を内部被曝するには、 10^8 Bq 経口摂取すればよい。人が年間に飲食する量を 1000kg (1日当たり、飲み物と食べ物併せて約 3kg) と仮定すると、1kg あたり平均して 10^5 Bq (10万ベクレル) を摂取する必要がある。

外部被曝と経口摂取による内部被曝を考えると、1年当たり 100mSv 被曝するシナリオとして、たとえば以下のような物が考えられる。

- 外部被曝 11 $\mu\text{Sv/h}$ 、経口摂取 1,000 Bq/kg (=1mSv/年)
- 外部被曝 10 $\mu\text{Sv/h}$ 、経口摂取 10,000 Bq/kg (=10mSv/年)

経口摂取による被曝量は、一般的に外部自曝による被曝量を大きく下回る (例外的に、甲状腺に集中して存在する傾向のある放射性ヨウ素は、少ない経口摂取量でも甲状腺に悪影

響を与えることがある)。また、プルトニウム 239 などの α 線を体内に入れることは可能な限り避けたい。

5) 福島第一原発による人体への影響

2011 年 3 月 23 日現在で、飲食物において 10,000Bq/kg を越える汚染は報告されていないので、外部被曝による影響のみを考える。

前節において、 $10\mu\text{Sv/h}$ を外部被曝が許される線量の限界値とおいた。現時点で線量が平均して約 $10\mu\text{Sv/h}$ 以上の場所に住んでいる人は、即時避難しない限り健康に支障が出る恐れがある。許容被曝量が低い人の場合、平均して $1\mu\text{Sv/h}$ 以上の線量の場合、即時避難することが推奨される。

日野市の 3 月 19 日のデータより、日野市（福島第一原発より約 250km）にて自然放射線以外の線量（福島第一原発から直接放射される放射線による線量）は $0.025\mu\text{Sv/h}$ であった。このとき、逆 2 乗則を用いると、原発より 25km 地点の線量はおおよそ $0.025 \times 10 \times 10 = 2.5\mu\text{Sv/h}$ 、10km 地点の線量はおおよそ $0.025 \times 25 \times 25 = 16\mu\text{Sv/h}$ であることが推測される。1km 地点では、 1mSv/h を越える線量が計測されることが予想される。なお、この線量には、風による影響は一切無視されている。放射線量がこの値より小さくなることは考えにくく（日野市において、3 月 15 日以降もっとも少なかったベースライン時点の値である）、またこの値は風の影響、堆積した放射性核種の影響を無視しているため、この時点で原発から 25km 以内の範囲は原則として立ち入り禁止にするのが妥当と考えられる。なお、被曝許容度が低い人に対しては、おおよそ 3 倍の立ち入り禁止範囲（約 75km）を設定するのが望ましいと思われる。

仮に福島原発からの放射線量が 19 日時点の 4 倍になった場合、倍の 50km 範囲内（150km 範囲内）が立ち入り禁止区域として妥当と考えられる。また、特に福島第一原発の風下にあたる地域に対しては、より広い立ち入り禁止区域を設定することが望ましいと思われる。放射性原子核の堆積が起きている地域（3 月 22 日以降の東京など）は、福島第一原発から発する放射線以外にも堆積した放射性原子核による放射線も考慮する必要があるため、今後は推奨される立ち入り禁止区域（ $10\mu\text{Sv/h}$ もしくは $1\mu\text{Sv/h}$ 以上）はさらに広がると思われる。

著者ならば、原発から 100km 以下の距離に生活の拠点を置くことは避けます。また、知り合いの妊娠する予定のある女子、胎児および小児には、原発から 300km 以下の距離にはできるだけ近づかない（東京にもできるだけ来ない）ことを勧めます。特に、40 歳未満の皇

族の方々に対しては、できるだけ速やかに西日本に移住なさる（学校も転校する）ことを勧めます。

断り書き

- ・この文章は、著者（日沼洋陽）の知識および研究者としての良識に基づいて書かれたものであり、いかなる団体からの利益を受けるための情報の偏りなどは一切存在しません。
- ・この文章において、Wikipedia の情報を引用している箇所が複数あります。
- ・この文章は、2011 年 3 月 25 日に発行されました。