

放射線に関する基礎知識

Akio Kawasaki

Ph. D. Course

Department of Physics

Massachusetts Institute of Technology

2011 年 3 月 14 日

以下の文章は日本時間 3 月 15 日 12 時頃に更新したものである。

1 放射能汚染を受けないためにはどうすればよいか?

大原則は線源から離れる、放射線を浴びる時間を減らす、間に物質を入れて遮蔽するの 3 つである [1]。線源が同じ場所にあるとき、ある場所にそこからやってくる放射線の量は距離の二乗に反比例する。従って離れることは重要。浴びる時間を減らすのは浴びる時間に比例して浴びる量が増えるからである。間に物質を入れて遮蔽するというのは、放射線を間の物質に吸収させて、自分が浴びる前に止めてしまおうという発想である。

先に β 線や γ 線がどのくらいの距離離れれば弱くなるかについて述べた。この計算は間に空気を入れると仮定して行った。空気は物質としては量が少ない。もっとちゃんと遮蔽するには間にもっと大量の物質を挟むのがよい。たとえば、家の壁は厚さは数センチ、比重も少なくとも小数第 1 位を四捨五入すれば 1 になる程度はある(木の場合。コンクリートはもっと重い)。これは間に挟む物質としては手ごろである。そのため、放射線が強くなった場合は屋内退避が勧告されることがある。

尚、いくら間に物質を置いたとしても、風に乗って自分の近くまで放射線源がやってきては意味がない。これを防ぐために、屋内退避の場合は極力外気を遮断することが推奨される。すなわち、窓を閉め、換気扇を止めるなどしてたとえ外に放射性物質があったとしても家中に入ってくるのを防ぐということである。

一番注意すべきなのは放射性物質を体内に取り込むことと体の表面につけてしまうことである。距離がゼロになるので、放射線源が出した放射線をすべて吸収してしまう。体の表面についてしまった場合は微量であれば洗い流せばよい。被曝者が出たという最初のニュースで出ていた 10 万 cpm は僕の言う微量の範疇です。体内に取り込んでしまってからでは遅いので取り込まないようにすることが重要。

2 放射能の人体への影響 [2, 3]

- セシウム 137: 核分裂でできやすい核種の一つ。半減期が 30 年、 β 線、 γ 線を出す。化学的性質が生物にとって不可欠なナトリウムやカリウムに似ているので、体内に吸収されやすい。
- ヨウ素 131: 核分裂でできやすい核種の一つ。半減期は 8 日。要素は人体に取り込まれると甲状腺に集まる性質があり、甲状腺がんの原因となる。あらかじめ安全な形で要素をとっておくと体内に取り込むことを防げる。だからヨウ化カリウムとかが原発の近くに用意してある。
- クリプトン 85: 核分裂でできる核種で、気体。 β 線と γ 線を出し、半減期は 11 年。

3 放射線、放射能、etc

- 放射能: 放射線を出す能力。
- 放射線: 放射能を出す放射。 α 線、 β 線、 γ 線がメジャー。
- 放射性物質: 放射線を出す物質。
- 放射性核種: 放射線を出す原子核
- 核種: 原子核の種類
- 放射線源: 放射線を出しているもの。
- 半減期: 放射能が半分に減るのにかかる時間。

4 単位

- Gy(グレイ): 物質が吸収した放射線の量を与える単位。1kg の物質が放射線によって 1J のエネルギーを吸収したときに 1Gy の放射線を吸収したという。
吸収線量 (Gy) = 物質がもらったエネルギー (J)/物質の質量 (kg)
- Sv (シーベルト):
放射線が人体に与える影響に基づいて物質が吸収した放射線の量を測る単位。自然界にも放射線はいろいろある。1 年間普通に生活をしていれば数 mSv の被曝はある。胸部 X 線は 1 回あたり数百 μ Sv、バリウムを飲んでやる胃の X 線検診が 600 μ Sv[5] である。ちなみに、上空に行くと宇宙から降ってくる放射線の量が増える。(自分と宇宙の間にいる空気が減るから)[5] の「東京・ニューヨーク間の(航空機搭乗での)往復 1 回分が 200 マイクロシーベルトだ」というのはこの宇宙から降ってくるものの増加に伴うものである。
放射線を浴びてまともに影響が出るのは数百 mSv。1Sv まで達しなければすぐに死ぬということはない。福島第一原発の正門前にしばらく立っていたとしてもせいぜい数年分を一度に浴びただけということになる。(注: 放射線を浴びたという観点では健康被害を心配する必要はないが、放射性物質が服についたり体内に入ったりすると継続的に被曝することになるので放射性物質を“身につけない”ことが重要。)
- Sv/h: 1 時間その場所にいると何シーベルトの放射線を浴びますよということ。ニュースではしばしば/h が落とされているように思える。
- cpm(count per min): 放射線が 1 分で何個検出されるかということ。

5 接頭辞

単位が 1 つしかないと大きな値を表すのにゼロが何桁も続いたり、小さな値を表すのに小数点の後にゼロが何個も続くことになる。これを避けるために接頭辞である。

- m(ミリ): 0.001 倍を表す。 $1\text{mSv} = 0.001\text{Sv}$ 。
- μ (マイクロ): 0.000001 倍を表す。 $1\mu\text{Sv} = 0.001\text{mSv} = 0.000001\text{Sv}$
- n: 0.000000001 倍を表す。この話の中で n が出てくるのは nGy。これは 0.000000001Gy ということ。

6 福島第一原子力発電所の状況 (古いです、3月14日21時まで)

6.1 状況

注意: 最新の情報は記載されていません。政府、原子力保安院、東京電力などの発表をご確認ください。以下の情報は日本時間 3 月 14 日 21 時までのものである。

- 地震に伴って運転中の全原子炉、すなわち 1, 2, 3 号機が運転を停止。4, 5, 6 号機は定期点検のため元々止まっていた。[8] 制御棒が降り、核分裂は停止。
- 核分裂の停止後も生成した放射性核種の崩壊に伴う熱が出るので冷却が必要。
- 冷却装置が動かず、格納容器内部の温度が上昇。これに伴って冷却用の水が蒸発。高圧の水蒸気が格納容器内に充满。

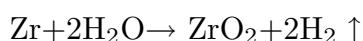
圧力の上昇を止めるため、格納容器の弁を開けて水蒸気を逃がす。=ベント

- どういうわけか、燃料棒が完全に浸っているべき水がなくなり、燃料棒の頭が水面の上に出る。この部分の冷却効率が悪くなり、過熱、融解と推定される。

燃料がこれを取り囲んでいるべき燃料棒の容器から露出。

放射能の検出。(ベントの際に水蒸気に交じってこれらの核種が出てくる。)

- 燃料棒はジルコニウム(またはその合金)で覆われていた。ジルコニウムは高温、1000 前後で水蒸気を還元する。



これによって水素が生成。[2] この水素が何らかの形で格納容器の外、建屋の内側に漏れ、空気中の酸素と反応して爆発。

- 炉心を冷やさないといろいろまずいことが起こる。例えば、冷却水の過熱に伴う蒸発で格納容器内の圧力が容器が耐えられなくなるくらい高くなる、燃料棒の融解が進んでさらなる放射性物質の露出など。

海水を格納容器に注いで冷やす。通常、原子力発電所の冷却水には配管の腐食を防ぐために真水を使う。ここで海水を使っているのはその場にたくさんあるからだと思われる。海水を入れてしまうと長期的には配管が腐食する危険性があるので、格納容器等の破損を回避するために一度海水を入れてしまったら二度と運転はしないという意味での「廃炉の決断だと思われる。

この時にホウ酸を混ぜる。ホウ酸で重要なのはホウ素 10 という核種。この核種は熱中性子と呼ばれるエネルギーの低い中性子を吸収しやすく、かつ吸収後にできる原子核がいずれも安定 (=放射線を出さない) という特徴がある。[4] 核分裂の生成物が中性子を出して崩壊することは十分にあり得るが、この中性子はエネルギーが高く、何もなければ連鎖的な核分裂を引き起こす源とはならない。しかし、周りに水があると水素原子核と衝突して速度が下がり、熱中性子と呼ばれる核分裂を引き起こしやすいエネルギーまで減速されてしまう。この減速された中性子が核燃料に吸収されると再び核分裂を起こしてしまうので、それを防ぐために先にホウ素 10 に吸収させようという考え方。

- 3号機に関しては今朝燃料棒のかなりの部分が露出したという報道があり、その後、真水 + ホウ酸を注入。この後ポンプの不具合によって真水の注入がうまくいかず、海水の投入を決断。当初海水の投入が不安定であったために水位が低下。その後、再び上昇に転じたが、この間燃料棒の露出が続いた。これに伴って水素が発生、建屋内に充満している可能性がある。[5]
- 一時的には $1000\mu\text{Sv}/\text{h}$ を超える線量 (最大 $1557.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ [5]) が観測されているが、平均はまだ数十 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。危険なレベルではない。また、これは原発正門など、原発のごく近くでの値であり、ここから 20km (=避難指示が出ている地域の半径) 離れた地点では大幅に薄まっている。心配する必要はない。

尚、この手の放射性物質から放出される放射線は主に β 線と γ 線である。エネルギーは高々 1MeV 程度 (エネルギーの単位はこちらの参考用なので気にしないでください。) であるが、このエネルギーだと空気中を進んだとしても β 線なら 3m 強で止まる。([6] より計算) γ 線の場合も 500m で約 2 %、1km で 0.03% まで強度が下がる ([7] のデータより計算) ので、避難地域より外にいれば原発から放射線自体が飛んでくることは心配する必要はない。

以下は日本時間 3月 14 日 19 時 40 分-21 時に追記。以降の「状況」は個人のメモ程度のもの。取りこぼしもあるかもしれないし、マスコミの報道のみを確認して東京電力などの original source の確認はしていないものもあります。未整理のものもあります。参考程度に利用してください。

- [10] を見ると、正門の放射線量はそれほど変化はない。MP2 は正門に比べて 2 桁高いが、これは風向きの問題と思われる。値が増えていないということは状況に急激な

変化がないことを意味する。また、昨日の時点で $1000\mu\text{Sv}$ を一時的に正門で観測していたことを風向きなどで説明したことと一部の観測点で数百 μSv が観測されていることは整合する。ただし、このデータは 3 月 14 日午前 4 時までのものである。

- 東海第 2 発電所（茨城県東海村）の使用済み燃料プールから微量の放射能を持つ水が床にあふれた。また、プールを冷やすためのポンプ 1 つが停止していた。（もう 1 つポンプがあり、そちらで冷却中）[13, 14]
- 「11:01 の水素爆発後、原子炉格納容器の圧力が変動したことが確認されたが、その後安定しつつあり、原子炉格納容器の機能は維持しているものと考えている」[9]
- 放射線量の大きな変化はない。[11] これも格納容器の機能は維持されていることの根拠になる。
→ 放射能の大量流出という事態は考えにくい。
- 2 号機でも冷却システム停止。海水を注入するも、燃料棒全体が露出との報道。これはポンプの燃料切れによる。燃料を再投入したところ、水位は上がり始める。[12] やっていることはお粗末かもしれないが、不測の事態によって状況がコントロールできなくなってしまったわけではないという意味に取ることもできる。
- 福島第一原発の北東 160km、原発の風下にいたロナルドレーガンの乗組員 17 人が被曝。環境放射の 1 ヶ月分。[12] これは人体に影響が出る量ではない。
- 2 号機の格納容器内の圧力が 415kPa に達し、設計値の 425kPa に近づく。ベントを準備中。[12]

6.2 チェルノブイリ、スリーマイル島の事故との違い

チェルノブイリとは原子炉の構造も違うが、状況の違いはチェルノブイリの爆発は連鎖的に続く核分裂を制御できなくなって起こった。しかし、福島第一原発では核分裂自体は止まっている。状況はスリーマイル島に近い。スリーマイル島の事故も冷却装置が動いていないがために炉心が過熱ということだし、水素も出ていた。

参考文献

- [1] <http://nucl.phys.s.u-tokyo.ac.jp/hayano/pdf/houshasen2009.pdf>
- [2] 高木仁三郎: 新版 元素の小事典, 岩波書店 (1999)
- [3] <http://pdg.lbl.gov/2010/AtomicNuclearProperties/index.html>
- [4] <http://web.mit.edu/nrl/www/bnct/info/description/description.html>
- [5] <http://sankei.jp.msn.com/politics/news/110313/plc11031318420020-n1.htm>
- [6] <http://www.rs.kagu.tus.ac.jp/phlabex/LabExercise/radiation/index2.html>
- [7] <http://physics.nist.gov/cgi-bin/Xcom/xcom2>

- [8] <http://www.tepco.co.jp/cc/press/11031101-j.html>
- [9] <http://www.meti.go.jp/press/20110314006/20110314006-1.pdf>
- [10] <http://www.meti.go.jp/press/20110314001/20110314001-2.pdf>
- [11] http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11_j/images/110314k.pdf
- [12] <http://www.ustream.tv/channel/tbstv> で報道中のニュース
- [13] <http://mainichi.jp/select/today/news/20110314k0000m040098000c.html>
- [14] <http://www.47news.jp/CN/201103/CN2011031401000032.html>
- [15] <http://twitter.com/hayano>