

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は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。

2) 福島第一原発の状況の推定

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。

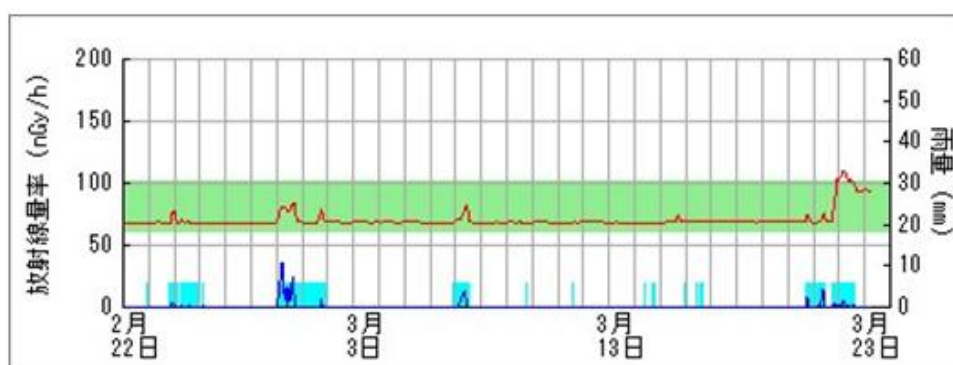
これら 3 種の放射線源を考慮することにより、(福島第一原発の今回の事象の場合、数百 km 離れていても)ある程度放射線量の測定により原発の状況を考察することができる。

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 μ Sv、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

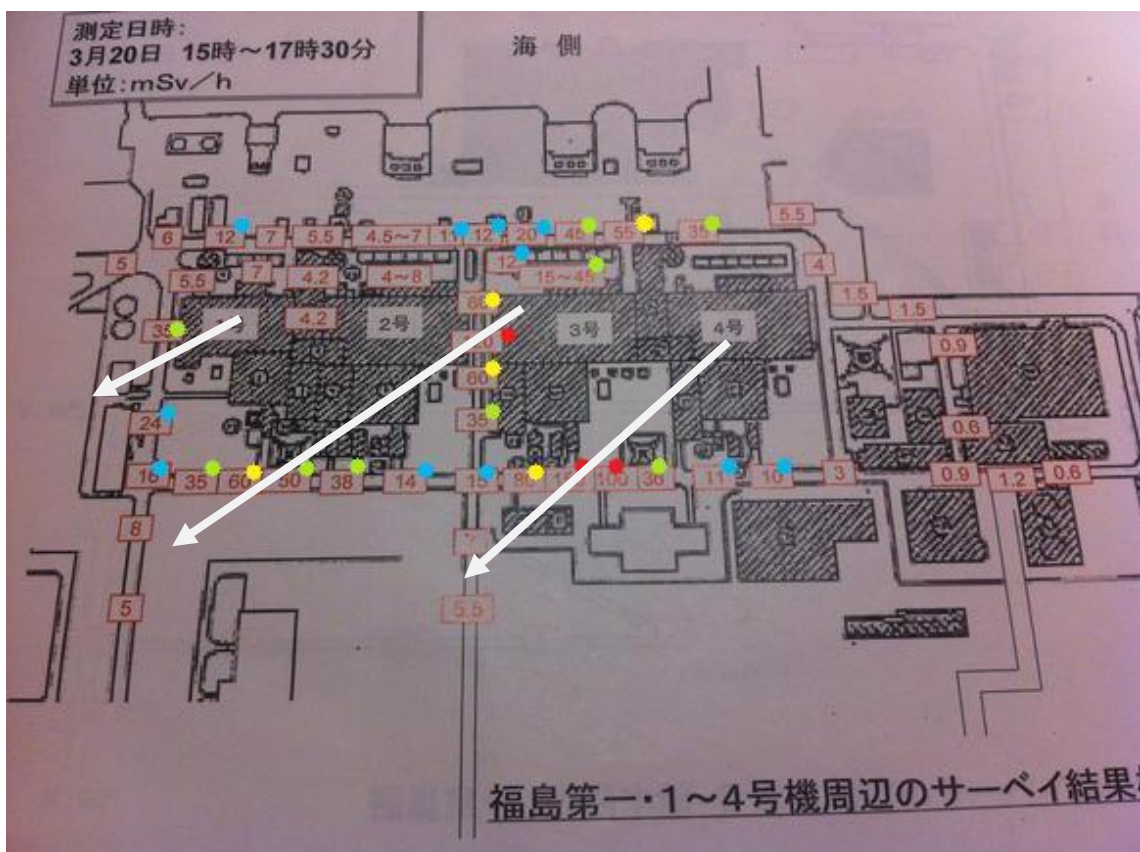
放射線量にピークが見られた後、ベースラインが約 20~24 に徐々に高くなる。風により放射性元素が飛んできた後、日野市周辺に放射性物質が落ちてきたと思われる。また、福島原発の連鎖反応が悪化した可能性がある。

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対策と今後の見通し

残念ながら、福島第一原発の格納容器（のいずれか）は確実に破損していると思われる。このため、格納容器内からの放射線は格納容器が半永久的に出続けると思われる。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。現時点では阻止されているものの、

- ・核燃料の融解->中性子濃度の上昇による制御されていない連鎖反応->放射線量の急上昇もしくは

- ・核燃料の融解->過熱(原子核崩壊はエネルギーを放出し、一部は熱に変換される)による爆発->放射性物質の広範囲にわたる飛散

のシナリオが考えられる。

福島第一原発から、(とても困難であろうが)核燃料となる原子核を除去・隔離しない限り、将来的に上2つのシナリオのいずれかが起きる可能性が常につきまとう。

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、国民に対策をとってもらわなければならない。

3) 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。

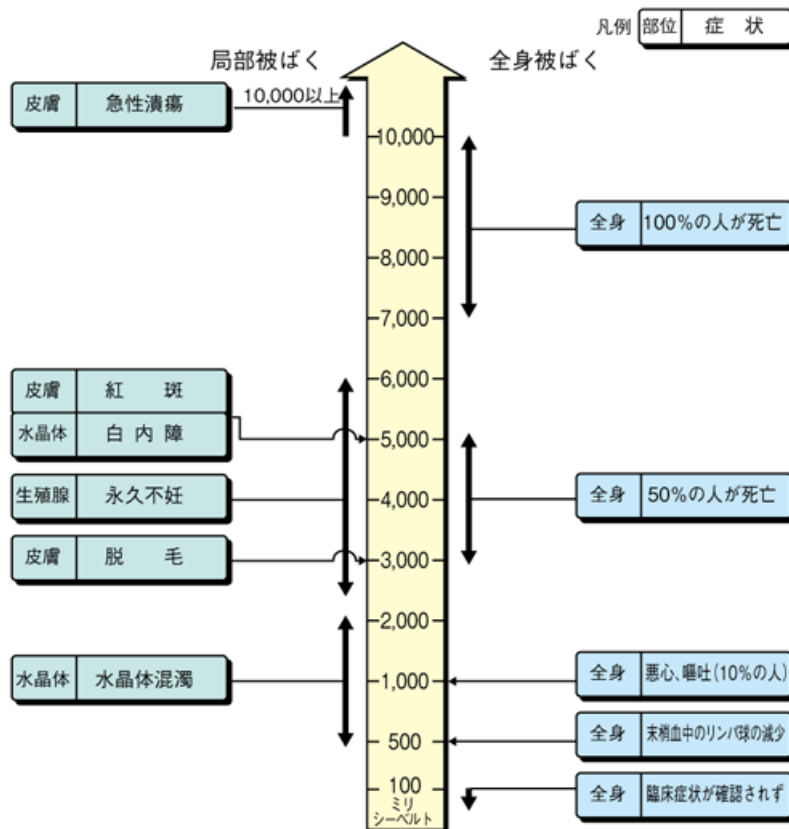
放射線の人体への影響

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

4) 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 μ 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 μ 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 μ 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 μ 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 $0.025 \times 10 \times 10 = 2.5\mu$ Sv/h、10km地点の線量はおおよそ $0.025 \times 25 \times 25 = 16\mu$ 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 μ Sv/hもしくは1 μ Sv/h以上)はさらに広がると思われる。

自分ならば、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。