

## 原子力事故に関連して (2)放射線危害と、健康被害に対する安全基準

佐田守弘

### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東関東大震災では、福島第一原子力発電所が被災し、冷却不能に陥った原子炉のメルトダウンが発生した。その結果として放射性物質の空中への多量飛散と、河川および海への流出を引き起こし、周囲の住民は避難を余儀なくされる自体となった。

原子力の安全性は可能な限り担保されていると信じ切っていた日本国民にとって、今回の原子力事故はまさに青天の霹靂であった。放射線は目に見えない。見えない放射線だからこそその危険性に対する懸念が強い。現実の被曝以上に被曝するのではとの懸念の方が強いのが事実である。風評被害を受けている地域の産品の購入運動がある一方で、本当に大丈夫なのかとの懸念を持っているのが事実なのではないだろうか。

#### 1.1. 国民の不安の原因

環境汚染による被曝への心配も強い。既に全国的に設置されていたモニタリングポストの他、独自に放射線両測定を行っている自治体の数が増えて来ている。だがホットスポットと呼ばれている特異的に放射線レベルが高い場所が見つかるなど、放射線被曝に対する心配は以前として強い。だがそれ以上に不安の原因となっているのは、放射線被曝に対する安全基準が明確になっていない点ではないだろうか。

6月22日の朝日新聞に掲載されていた「線量測っても不安基準なく下せぬ評価」は、まさに国民の心配の本質を表しているのではないかと考える次第である。だがその記事の中にもある「現時点で健康に影響を与える数値ではありません」との説明だけでは国民は納得しない

のである。

#### 1.2. 情報の非対称性に対する不安

おそらく国民感情として言えば、昨日まで健康に与える放射線量ではないと行っておきながら、次の日には健康被害のおそれがあるから避難せよと言われるのでは遅いと思っているはずである。そして実際にそのことは原発事故直後にあった。日本政府が出した当初の指示は原発から3km以内からの指示であり、次いで10km圏からの避難、20km圏からの避難と次第にその範囲が拡大され、現時点では30km以内の計画的避難の勧告も出ている。

これに対して海外では原発事故直後から100km圏外への避難や、日本からの退去を指示していた。情報の非対称性であると言わざるを得ない。

現実にはどうであったのか。結果論であるが3月15日頃には大気中の放射線量が著しく高くなったことが東京においても測定され、水道水の放射線レベルが一時的に高くなったことが明らかになっている。日本の予想は甘すぎ、海外での報道の方が正しかったと言わざるを得ない。

だが被災地である東北地方だけでなく、影響は首都圏地域にも及んでいる。狭い日本の中でこれだけの地域の人が避難する場所はない。だからこそ、今の状況が果たして安全なのかを知りたいと思うのが国民感情ではないだろうか。

同記事の末尾には、その地域では「専門の学者らに地域独自の評価を示してもらおう予定だ」と書かれている。だが現実問題として、安全であるか危険であるかを判断できる学者はいない。従って、この様なことを書いても何の慰めにもならないのかも知れないが、自分自身で

放射線の危害とリスクを考える参考として貰うために、放射線とその健康への影響について述べさせて頂くことにする。

## 2. 放射線の生物体への影響

最初に放射線被曝により、生命体はどのような影響を受けるのかについて、一般論を述べる。放射線はそれ自体がエネルギーであるから、強い被曝を受ければ、その熱によって生命が奪われる。これは微生物の加熱殺菌や、アサリやハマグリを活きたまま加熱して調理するのと同じであり、人間が重度のやけどで命を失うのと全く同じである。その場で命を奪われなくても、3週間ほどの間には死に至ると言われている。

熱による生命への影響がない場合であっても、放射線による電離作用によって遺伝子が傷つき、がんの発生や奇形の発生を誘発するおそれがある。

### 2.1. 遺伝子の仕組み

地球上に棲息する生命体は、細菌の様な可撓性物も含めて遺伝子(DNA)を持っている。その遺伝子情報こそが生命の本質であると言っても過言でないかも知れない。自身の遺伝子を複製し、あるいは別の個体の遺伝子との混ぜ合わせによって新たな個体を作り出す。生物はこの様にして自身の種を長らえる能力を持っている。

生物がその生命を維持するために、外から栄養源を取り込んで自身の体を構成するたんぱくを合成している。また生命活動に必要な消化酵素やホルモンなどの物質も作る必要がある。これらの生物が自身で生成する物質に関する情報は、全て遺伝子であるDNAに記述されている。

DNA(デオキシリボ核酸)は、アデニン(A)とグアニン(G)、シトニン(C)とチミン(T)の4つの塩基がつながった長鎖の分子で、相補し合う2組が水素結合で結び合っ、図1に示す二重螺旋構造になっている<sup>2)</sup>。

生物体のたんぱくは、20種類のアミノ酸によ

って構成されている。そのアミノ酸配列が、4種類の塩基配列で記述されている。塩基は4種類あるので、3つ1組とすれば $4^3=64$ 通りの組み合わせができる。この塩基3つをコドンと呼ぶ。

コンピュータが扱うデジタル情報は、1ビットが0か1の2値を取り、8ビットを1バイトとして256種類の情報を表している。これに対してDNA情報は1つの塩基が4値を取り、3塩基1コドンが64種類の情報を表す。

必要なアミノ酸情報は20種類なので、情報に冗長性がある。実際、1つのアミノ酸を表す塩基配列は複数存在する。

これを一例で示す。今、図2のような塩基配列があるとする。先頭の3つの塩基ATGは配列の会誌情報であると共に、メチオニン(Met)を表している。以下、AACはアスパラギン酸(Asp)、CAGはグルタミン酸(Glu)、CGCはアルギニン(Arg)を表し、最後のTAAはアミノ酸配列の終了を表している。

<u>ATG</u>	<u>AAC</u>	<u>CAG</u>	<u>CGC</u>	……	TAA
(開始)Met	Asp	Glu	Arg		(終了)

図2 塩基とアミノ酸配列の対応の例

DNA情報は設計図のような情報である。実際に細胞内でたんぱくなどが作られる時には、DNA情報がm-RNA(メッセンジャー・リボキシ核酸)にコピーされ、リボゾームに持ち込まれてたんぱくが組み立てられる。

### 2.2. 遺伝子の損傷とその影響

細胞が分裂増殖する時には、DNAの転写が行われる。だが時としてその転写ミスが発生する事があり、その確率は $10^{-9}$ であると言われている。DNAの転写ミスによって生まれた時に有していたDNAが短くなり、生体

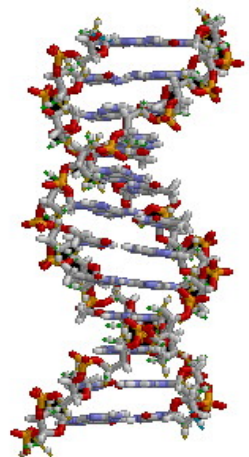


図1 DNAの構造

機能を維持できなくなるために寿命を迎えるのだとも言われている。ただし、その理論寿命よりも実際の寿命の方が短いことも確からしい。

またこれとは別に、外界からの影響で DNA 配列が変化する場合がある。その影響を与えるものに変異源物質と放射線の影響がある。DNA の塩基配列がコドン単位で欠落した場合には、それに対応するアミノ酸が作られなくなる。逆に新たな塩基配列が1個どん挿入された場合には、そのアミノ酸を作る能力を持つ事になる。

1つの塩基が別の塩基に沖か割ってしまった場合には、対応するアミノ酸が別のアミノ酸に変る。

だがコドン単位ではなく、1つないし2つの塩基の欠落や挿入が発生した場合には、コドンの組合せが変化する。これをコドンのフレームシフトと呼ぶ。コンピュータデータを考えれば分かりやすいが、1バイト抜け落ちた時には、対応する1文字が失われる。だが1ビットだけ失われた時には、1バイトの組合せがズレてしまうので、それ以降は無意味な文字情報に変化してしまう。

塩基1つが変化した時に備えて、異なる塩基の組合せでも同じアミノ酸が作られる冗長性を持っている。だがコドンのフレームシフトが発生した場合には、本来作られるべきアミノ酸が作られなくなる可能性が高い。また時として、塩基の組合せが変わって、終了コードを表す TAA が発生する場合がある。終了コードがあると、それ以降は解読されないのので、本来つ喰らえるべきたんぱくが生成されなくなる。

一般にその様な遺伝子の変異が発生された結果は次の通りになる。

- ・本来持つべき機能が失われる
- ・今まで持っていなかった機能を新たに持つ
- ・その細胞が生命を維持することができず、死滅する。

特に生命を維持することができない遺伝子を致死遺伝子と言う。致死遺伝子が発現した場合には、単細胞生物である細菌などは死滅

に至る。しかしながら多彩暴政物である人間は仮に1つの細胞が死滅しても、個体としての人間の生命が失われる訳ではない。ただし、細胞分裂中の胎児の場合には、多くの場合には妊娠途中でそれ以上の生育ができなくなり、流産に至る場合が多い。また誕生しても生後まもなく死亡する例が多い。確率的には低い、通常と異なる体型で生れる場合があり、これを奇形と呼んでいる。

### 2.3. 進化と退化

単細胞生物から始った生命体である生物は、約20億年以上もの年月を掛けて現在の様な生物が誕生して来た。地球の生命史を見れば、単細胞生物の時代が長く続き、その後光合成を行う史あのパクテリアの登場へと続く。種の爆発的な増加が発生したのはカンブリア期の頃であり、その後爬虫類の時代、哺乳類の時代へと続いている。人類の登場は、地球指摘に見れば、ごく最近の事ではない。

一般に生物が新たな機能を持つ事を進化と呼び、逆に今まで持っていた脳を失うことを退化と呼んでいる。進化も退化も、遺伝子の変異によって発生する。その変異源となったものは、宇宙から振り注いでいる宇宙線と呼ばれる放射線と、生物環境に存在した変異源物質なのである。ただし、いつ何が原因で何の進化が発生したのかは、今となっては調べる術はない。

宇宙線の多くは、太陽から放射される高エネルギーの粒子線である。それ以外にも太陽系外から飛んで来るガンマ線なども存在する。粒子線の多くは地球の磁場によって捉えられるのであるが、その一部は地表にも到達する。また大気にこれらの放射線が当たり、様々な放射性同位元素が作られ、これが生物に摂取されているのも事実である。

変異原性物質には、鉍物質の物質よりも、特に植物などの生命体を作り出す物質の方が多いのではないかと推測する。動物も植物も他の生物に補食される目的で右待てて来る訳ではない。それぞれ自身の命を長らえ子孫を残さ

なければ、種を継承できない。他の生物に食べられないように、事故防衛のための物質を身に付けた生命が生き延びたのである。

そして全ての生命は自身と異なる子孫を作り、その中から環境適合性がある種が生き延びた。この結果を進化と呼んでいるのである。

## 2.4. 生体の再生能力とがん

放射線被曝のおそらく最大危害として懸念されているがんは、生命活動と密接な関係にある。

高等生物以外の生物の中には、最性能力が優れた生物も少なからずいる。小学校の理科でも取り上げられていたプラナリアは、その個体を細断しても、それぞれの破片から個体を再生する能力を持っている。ヒトデも同様である。ヒトデを駆除しようとして捕獲して細かく刻み、海に投棄した所、大漁発生してしまったことがあった。

だが人間は体の一部を失ってもそれを再生する能力を持っていない。その違いは何なのか。

人間も受胎直後の生体幹細胞は、様々な基幹に分化する能力を持っている。実際、受精卵は分裂を繰り返して多数の細胞に増殖して行く。そしてある時点でオーガナイザと呼ばれるホルモンが分泌され、それらの細胞は体を構成する各器官に分化し始める。そして分化した後は、その細胞は他の器官を作る機能を失う。

様々な器官に分化し得る生体幹細胞とがん細胞は、オーガナイザの作用を受けずに自己増殖し得る点で見れば、紙一重である。

人間などの高等動物はなぜ最性能力を失ったのか。それはがんのリスクとの評価で決まったのではないかと考えられている。すなわち、生命期間が短い下等生物であれば、最性能力を持った方が有利である。だが長い生命を持つ高等生物は、時間経過と共に増加するがんのリスクの方が大きい。結果として、下等生物は最性能力を保てたが、最性能力を残していた高等生物はがんの発生によって死滅し、その能

力を捨てた個体のみが種を継続できたのではなかろうか。

## 3. 放射線の影響

以上述べて来た通り、生命の歴史から見れば、自然界に存在する宇宙線が遺伝子を変異させて生物の多様ななどの進化を引き起こしたのであり、我々人間が現在存在するのも、その恩恵であると言える。

だが現在活着している人間の価値観で見れば、自分自身の体の DNA にその様な変異が発生する事は、必ずしも好ましいこととは思えない。具体的な危害を言えば、自身の人生に置けるがんの罹患と、これから産む子供の奇形の発生である。

もちろんその危害は確定的に発生するものではなく、確率的に発生する。既に述べて来たことから分かる通り、現在活着している人間の体の一部の細胞に穂斜線 1 つが当たったとしても、それがその細胞の DNA を確実に変異させる訳ではない。また仮に DNA を木津漬けたとしても、多くの場合にはその細胞 1 個が死滅したとしても、個体の生命に影響を及ぼすとは限らない。ただしある確率でその変異の結果が、失われた再生能力とも言える生体幹細胞と同じ能力が蘇り、これががん細胞に変化する可能性は残る。その結果として、おそらく数十年単位の時間を経過した後のがんを発祥することがあり得る。

妊婦についても同様で、特に妊娠初期段階での被曝は、胎児のその後の成長に影響が大きいとされている。また成長期の子供についても細胞分裂が活発であるが故に、遺伝子変異の影響は大きいのではないかと思われる。

### 3.1. 安全領域設定の困難さ

その意味で言えば、DNA を変異させる原因の 1 つである放射線被曝は少なければ少ない程安全であると言える。だが問題はどこまでを安全領域とするかである。それは連続的に変化する値の安全領域をどことするかの問題である。放射線被曝以外にも健康への影響を与える要

因は様々にある。その危害は確定的な危害と確率的な危害に分けられる。

確定的危害とは、医薬品や農薬その他の薬物による急性毒性がこれに相当する。どの様な薬物でも、仮にそれが毒物であったとしても、量が少なければ生体への影響が現れないが、量を増すとその影響が現れ始め、ある量で致命的な影響を表す。これは毒物であってもあるいは食塩などの調味料であっても同じであり、その違いは作用を与える量だけでしかない。この時に生体に影響を与えない最大量を最大無作用量と呼ぶ。これは俗に言う「毒にも薬にもならない」量である。

この様な作用がS型カーブを描く影響要因の場合には、最大無作用量を基準として、充分な余裕を持った安全範囲を定めるのが普通である。実際、食品添加物などは、最大無作用量に対して1/100以下の量が使用基準の根拠となっている。ただし医薬品の場合には最大無作用量を越えて致死用に対して余裕を持った範囲で使用される。なぜなら作用がなければ意味がないからである。

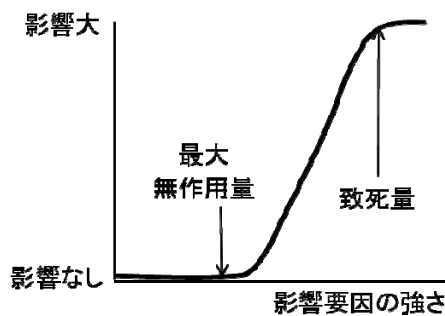


図 3. 確定的危害の影響

これに対して隔離的危険の影響は、影響要因の強さに比例して影響が現れる。例えば交通事故に被災する確率は、車を運転する頻度、通りを歩く頻度に比例する。もちろん確率であるから、どの位車を運転したり、歩いたら事故に合うと確定的に言えるものではない。久しぶりに出かけて災難に遭う人も入れば何十年も無事故の人もいる。

比較的低レベルの放射線被曝によるがんへの影響については、過去における核兵器の被

弾、原子力事故などから、人体に対する影響の長鎖が行われている。多くの毒物の旧姓中毒は動物実験がほとんどであるのに対して、放射線の影響は人体データの方が多い。

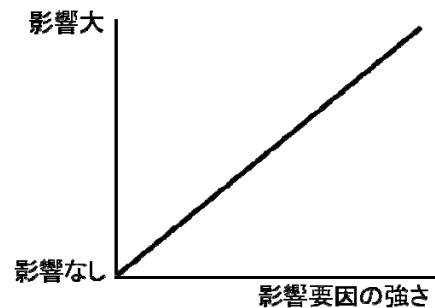


図 4. 確率的危害の影響

30歳で被曝した人が70歳でがんを発病する確率は図5に示す通り、100mSv以上では被曝量に比例している。だが100mSv以下ではそのがんが放射線被曝によるものであるかの判断が付けられていない。100mSv以下の被曝をどの様に判断するのかについては、様々な見解がある。例えば100mSv以下でも100mSvと同等の影響が有ると考えた方が安全との見方もあれば、100mSv以下は影響がないと考えても良いとの見方もある。だが一般的に言えば、この直線を図の点線のように延長するのが自然であろう。

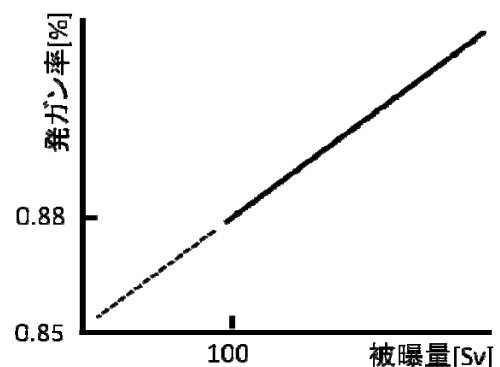


図 5. 被曝量と発ガン率の関係

ここで、100mSv以下は「被曝の影響が分からない」の意味であるが、原子力事故などによる放射線被曝の影響を受けなくても、がんにかかるので、100mSv以下ではそのがんが被曝によ

るものかどうかの判断が付けられないという意味である

### 3.2. 放射線被曝限度の基準

以上のような人体に対する放射線被曝の影響データの蓄積を元にして、国際放射線防護委員会(ICRP)では次のような被曝限度の基準を2007年に勧告している<sup>3)</sup>。

1. 平常時:年間1mSv以下に抑える
2. 緊急事態期:事故による被ばく量が20～100mSvを超えないようにする
3. 事故収束後の復旧期:年間1～20mSvを超えないようにする

実際、原発自己が発生した直後の作業員の被曝量は100mSvを超えないように管理されていた。だがこの基準を守れないとして、緊急的に250mSvまで許容するとの措置が出された。この被曝量は、発ガンリスクが明らかに増える範囲である。

また小学校の工程での被曝限度について、政府は当初年鑑20mSv以内の方針を出そうとした。おそらくこれは自己収束後の復旧期を想定した値に基づくのであろう。だがこれ程の被曝は許容できないとして、平壤時に相当する1mSv以下を国民は求めた。

### 3.3. 自然被曝と医療被曝

では福島原発自己以前の状況で、我々ほどの程度の自然被曝を受けているのであろうか。資源エネルギー庁の「原子力2002」を元に文科省、放射線医学総合研究所などが図示した資料によると、世界平均で年間2.4mSvの自然界での被曝を受けている。この被曝量は、ICRPの平常時の基準である1mSvを超えている。自然被曝は、宇宙線、台地、食物、および空気中の放射性物質であるが、中でも空気に含まれているラドンによる被曝が半分を占めている。

声とは別に医療被曝では、集団検診による胸部X線健診で1回につき0.05mSv、胃の集団検診では0.6mSv、胸部CTスキャンで

は6.9mSvの被曝量である。3

### 3.4 自. 自然界の放射線の原因

自然界で発生する被曝の原因についても述べておく。

#### (1)宇宙線

文字どおり宇宙から降り注いで来る放射線で、年間0.39mSvである。太陽風として地球に照射される各種の粒子線、宇宙の彼方からのガンマ線などがある。電荷を持った粒子線は地球の磁場によって大部分が捕捉されるが、その一部は地表にも到達する。上空ほど強いので、航空機に登場すれば、地上にいるよりも被曝量が増える。

#### (2)大地からの放射線

大地からの放射線量は地域によっても異なるが、平均して年間0.48mSvで、地域によって0.4mSvある。ラジウムなどが存在する地域では大地からの放射線が他の地域よりも強い。また自然に存在する放射性物質の他に、長い間の核実験などによって飛散した放射性物質が世界各地に拡散して蓄積されているものもある。

森林にはその様な放射性物質が蓄積しやすいので、都市に比べて自然豊かな森林は、放射線も豊かなようである。

#### (3)食物

宇宙線が大気および地表に降り注ぐことによって、地球環境の元素を各変異させ、放射性同位元素を作り出す。中でも放射性のカリウム(<sup>40</sup>K)は、全カリウム中に0.01%の比率で存在する。この<sup>40</sup>Kは化学的性質は通常の<sup>39</sup>Kと変わらないので、生体成分として植物にも存在し、これを喫食する人間などの人体にも取り込まれる。この他に、放射性炭素<sup>14</sup>Cも存在し、年代測定などに使われている。

これらの食物からの自然被曝は、年間0.29mSvである。これらが人体に含まれているので、人間は自身が放射性物質であり、成人で6,000Bq程の放射線を放っている。

#### (4)大気

大気中に含まれている放射性物質はラドン( $^{222}\text{Rn}$ )である。 $^{222}\text{Rn}$  はラジウム( $^{226}\text{Ra}$ )のアルファ崩壊によって生じる。 $^{222}\text{Rn}$  は半減期 3.8 日でアルファ崩壊してポロニウムとなる。

ラドンは不活性ガスなので、大気中に拡散し、それを呼吸によって吸い込むことにより内部被曝する。その被曝レベルは年間 1.2mSv である<sup>(注1)</sup>。

### 3.5 その他の発ガンの要因

がんを引き起こす原因は放射線だけではない。喫煙や生活習慣ががんを引き起こすと言われている。たばくや澱粉質などをとある温度で加熱した時に発生するベンツ日連も、発癌性があるとされていた。

だがそれ以上に発ガン確率が高いのは、アフラトキシンなどに代表されるカビ毒(マイコトキシン)、ダイオキシン類ではないであろうか。マイコトキシンは、発癌性の他に、肝臓などの臓器に対する化学毒性を持つ。またダイオキシンは発癌性以外に催奇形性を持つ。

それ以外にも、野菜のような作用植物も含めて、植物は一般に昆虫やその他の動物に対する毒性物質を生産する能力を持っている。これは外敵から逃げるできない植物が持つ防衛本能である。人間は長い歴史の中での取捨選択で食べられそうな植物を選んで栽培し、品種改良などを重ねて農作物を作ってきた。だがその全てが無害であるという保証はない。

## 4. 最後に

以上述べて来たように、人間が生活して行く環境の中で、発癌性、催奇形性の要因となるものは、放射線被曝だけに限らない。いずれも確率的に発癌性や催奇形性を発現する確率的な危害である。

確率的であるからその遭遇確率は下げる方が好ましい。その意味で、原発事故による放射線被曝は可能な限り少なくすべきである。だが現実には、学校の校庭の基準となった年間

1mSv を超える自然被曝を受けている。また 100mSv 以下の被曝でがんを発病するか断定できないとされているのは、他の要因が、100mSv 程度の被曝に匹敵する発ガンリスクを持っているからである。

だからリスクは限りなく下げる方が良く考えるなら、漏洩した放射性物質による被曝は極力少なくする方が良く、だが平常時の被曝基準を超えた自然被曝を受けているし、またそれ以上にリスクが高い要因も少なくない。そのような環境の中で、現在の汚染レベルに過度に心配することにどれだけの意味があるかとの議論もある。

政府などが言う「直ちに健康被害はない」とは、健康に全く影響がないと言う意味ではなく、他のリスクと比べて少ないとの意味である。確率的な危害なので、どこまでが安全であり、どこから先が危険であるかという線引きはできないのである。

実は原発事故の放射線被曝は、そのほとんどが既に終わってしまった。それは原子炉建屋が爆発した後の 3 月 15~16 日であった。日本の基準では影響がないとされた東京から神奈川県、静岡県にも放射性物質が飛来し、この間に大気中放射線濃度が高い状態であった。だがそのことが報じられたのは、事が終わった後からであった。そこには情報の非対称性があった。気が付いていたのは外国の政府関係者だけであり、当事者である被災地の住民にさえ正しい情報が伝えられていなかったのである。だからほとんどの被災者は、多量の被曝を受けてから避難した結果になったのであった。

#### (注1)天然のラドン

天然のラドンが多い場所としては、ラジウム温泉(ラドン温泉)がある。そのラドンの放射線郷土は、地域によっても違うが、多くは  $0.1\sim 0.3\ \mu\text{Sv/hr}$  中には  $1\text{mSv/hr}$  を超える温泉も存在する<sup>3)</sup>。温泉に一年中入っている人はいないであろうが、年間で  $8\text{mSv}$  に相当する被曝量である。

昔からラジウム温泉の放射線は健康に良いと

され、ラジウム温泉の効能も公的に定められている。だがラドンの崩壊は、原発事故で最も懸念されているプルトニウムの内部被曝と同じアルファ線被曝である。同じ核崩壊パターンであり、同じ放射線強度であっても、プルトニウムは危険でラドンは健康に良いのかの理由は、筆者には説明できない。

この点に関して調べたところ、以下の様な説明がされていた<sup>4)</sup>。

「 $\alpha$ 線は紙も通れないほどに透過力が弱いため、体内に取り込んでも体外までエネルギーが出ていきません。そのため、細胞に直接大きなエネルギーを放射して強い刺激を与えることになるのです。ちなみに、体内へ入ったラドンの50%は30分で消え、約2時間もたてばほとんどのラドンが尿などから排出されます。」

書かれている科学的事実に関しては、筆者もその通りだと考える。この中の大きなエネルギーを放射して細胞に強い刺激を与えるとは、本文の中でも書いたことそのものである。そして細胞の中のDNAにある確率で当れば、DNAを変異させる働きをしてくれる。

ラドンは不活性ガスなので、おそらく体内には蓄積されないであろう。だが $^{222}\text{Rn}$ の核崩壊で発生した $^{218}\text{Po}$ は、3.1分の半減期でアルファ崩

壊というようにラジウム崩壊系列をたどる。その途中の $^{210}\text{Pb}$ は半減期が22年とやや長いので、おそらくここまで一気に崩壊するはずである。そして最終的には安定な鉛 $^{206}\text{Pb}$ までたどりついて安定する。

## 5. 参考文献

1)朝日新聞、「線量測っても不安基準なく下せぬ評価」、2011年6月22日号、11面

2)Wikipediacomons,[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ADN\\_animation.gif?uselang=ja](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ADN_animation.gif?uselang=ja)

3)ラジウム温泉の広場,  
<http://kadoyasan.com/radium-world.html>

4)「放射能泉である「ラジウム温泉」はなぜ安全なのか」,

[http://gigazine.net/news/20110317\\_radium\\_hot\\_spring/](http://gigazine.net/news/20110317_radium_hot_spring/)

執筆者:佐田 守弘

一般社団法人日本機械学会代表社員

産業・化学機械と安全部門 食の安全委員会委員長