

放射能健康被害と高レベル放射性廃棄物

豊田 和弘

自然放射能による健康被害

放射能による健康被害については正確を期するために難解な解説も多く、低レベルの被曝の影響については不明なため専門家による意見の相違もあり、リスクの物差しを持つことが難しいといえます。そのために、無視できるようなリスクを避けるために大きなコストや労力をさく一方、大きなリスクがほとんど顧みられていなかったということが起こります。放射能による健康被害について一番信頼できる研究結果は、広島長崎の被爆者 12 万人の追跡疫学調査による結論「1シーベルト被曝すると生涯に癌にかかるリスクが約 1.5 倍になる」ですが、日常生活での 1 年間の被曝量は 0.001-0.002 シーベルト程度とかけ離れていて、実際の健康被害についてイメージしづらいと思いますので、本講義ではざっくりと解説したいと思います。

まずは天然での自然放射能の影響から説明しましょう。事故が起こった場合の影響について理解するのに必要な内容ですから。天然に存在する放射能、すなわち放射性核種には次の 1) から 3) の三種類があります。1) 半減期が何億年以上と長寿命なウラン、トリウム、およびカリウム 40; 2) ラドンやラジウムのような長寿命なウランやトリウムから生じる放射性元素が約 10 種類; 3) 三重水素（トリチウム）や炭素 14 のような、超高層大気中の窒素分子などに高エネルギー宇宙線が衝突してわずかに生じる放射性核種です。

天然放射性核種としてあげた、カリウムは必須元素であるため人体に 0.2%ほど含まれています。このカリウムの 99.99%は安定核種のカリウム 39 とカリウム 41 ですが、残りの 0.012%は放射性元素のカリウム 40 です。カリウム 40 の物理的半減期は 13 億年、このやや不安定な原子核（陽子 19 個と中性子 21 個を含む）はゆっくりと壊変して別の安定な原子核に変貌します。半減期から、カリウム 0.2%を含む体重 60kg の人体中では毎秒約 3800 個のカリウム 40 が壊変していることが計算できます。これを体重 60kg の体内には 3800 ベクレル (Bq) ほどの放射性核種のカリウム 40 が通常含まれているとも表現できます。なお、この壊変する際カリウム 40 の原子核からは人体に有害な高エネルギーな放射線が放出されますが、その放射線（β線とγ線）のエネルギーは放射性セシウムが放出する放射線のそれのおおよそ二倍です。

現在の日本の人口は約 1.3 億人で 1 年間に約 130 万人の方が亡くなっていることから、10 万人あたり毎年約千人が亡くなっている計算になります。十数年ほど前の統計では、その千人のうち、癌を死亡原因とするのが 250 人程度、喫煙を原因とするのが 80 人程度、受動喫煙が 5 人、交通事故が 9 人、浴槽中での事故が 2.6 人、殺人による死亡が 0.5 人というデータがあります。一方、体内のカリウム 40 により生じた癌による死亡は 10 万人あたり毎年 1.5 人という推定値が岡（2011）により報告されています。

カリウム 40 以外の天然に存在する放射性核種の影響はどうでしょうか。ウランやトリウム、ラドンやラジウムの人体中の濃度は地質、生活環境や生活習慣により大きく左右されます。外国では通常カリウム 40 の約 8 倍の被曝量を生じているという報告もありますが、日本の地質は概してウランやトリウムの含有量が低いのです。特に北海道にはウランやトリウムの含有量が高い花崗岩の

分布が少なく、カリウム 40 以外の天然放射性核種からの内部被曝量はカリウム 40 によるその数倍未満といえましょう。また、体内に取り込まれた三重水素や炭素 14 による被曝量はカリウム 40 のその 10 分の 1 程度と推定されています。なお、年間被曝量の単位としてはシーベルト／年があり、体重 60kg の人体中のカリウム 40 による年間被曝量は 0.00015 シーベルト (0.15 mSv/year) という計算があります。合計すると北海道での 1 年間での内部被曝量は 0.001 シーベルト (1 mSv/y) 未満です。

では、体外部からの放射線による被曝はどのくらいでしょうか。地面や建物からの放射線、と空からの宇宙線による被曝とを分けて考えます。地面や建物からの放射線は地質や建物の種類、屋内にいる時間などに左右されますが、北海道ならば年間約 0.0005～0.0006 シーベルト (0.5～0.6 mSv/y) でしょう。花崗岩地帯が多く分布する関西や中国地方住んでいればその 2 倍近くの被曝量が想定されます。一方、宇宙からの放射線による被曝量は住んでいる場所の高度に大きく依存します。海面近くに住んでいる場合の宇宙線による年間被曝量は 0.35 mSv/y で、住んでいる高度が 100m 上がるごとに 0.03 mSv/y を足して計算されます。当然、巡航高度が約 1 万 m の旅客機内での外部被曝は大きくて、札幌東京間を飛行機で往復した場合には 1 往復あたり 0.08 mSv 程度上乘せされます。胸部の X 線写真撮影や胃の検査などで昔は 1 回あたり 0.3-0.4 mSv ほど上乘せされていたのですが、現在では技術の進歩により医療検査での被曝量は大きく変わっているかもしれません。生活様式による違いはありますが、北海道で生活する人の年間外部被曝量はおよそ 1 mSv/y といってもよいでしょう。内部被曝量と合わせて、あなたの年間被曝線量は 1-2 mSv/y だということになります。年間被曝量と癌死亡率の増加との間に単純な相関があると仮定すると、10 万人あたり癌（悪性新生物）を死亡原因として毎年 250 人以上が亡くなっていますが、そのうちの 10-20 人程度は自然放射能に起因すると見積もってもいいのではないのでしょうか。

福島第一原発事故での放射能汚染による健康被害の見積もり

福島産の米は全量全袋検査されており、2015 年以降放射性セシウムは一度も検出されていないにもかかわらず、風評被害のために福島産の米は今でも安値で取引され、ブレンド米や家畜飼料にもなっていると報道されています。2012 年に日本政府は放射性セシウム濃度の安全基準値として食料 1kg 中 100 ベクレルと設定したのにたいして、検査業務での検出限界値はその 10 分の 1 の、米 1kg あたりその 10 ベクレルですから、全く安全ということになります。それでもいまだに風評被害があるのは、恐らく検出限界未満でも放射性セシウムが含まれた食材は健康に有害だと思い込んでいる消費者がいるからでしょう。

そこで、検査業務での検出限界値 (1kg 中 10 ベクレル) の米を毎日 500 グラム (3 合強) 消費して、全て体内に摂取されたと仮定した場合の健康被害、すなわち毎日 5 ベクレル分のセシウム 137 を何年も摂取し続ける場合に誘導される癌死亡率のかさ上げ量を推定してみることにします。摂取を開始してから体内の放射性セシウム濃度は徐々に上昇しますが、その一部は排出され始め、摂取量と排出量が等しくなったところで、体内のセシウム量は一定量になります。成人の放射性セシウムの生物学的な半減期は 100 日ということから、体内の放射性セシウム量が 720 ベクレルになったところで平衡に達する計算になります。なお、セシウム 137 の物理的半減期は 30 年と長いので、壊変による減少量は無視できるとします。このセシウムという元素は、周期表ではカリウムの 2 つ

下に位置する元素で、カリウムと同じアルカリ元素なために化学的な性質や挙動はよく似ており、体内での分布と挙動がほぼ同じだろうと仮定してみます。セシウム 137 が壊変時に放出する放射線のエネルギーはカリウム 40 のその約半分なので、仮に 1 ベクレルあたりの人体への影響も半分と仮定しましょう。体重 60kg の体内には 3800 ベクレルのカリウム 40 が通常含まれ、その放射能に誘導される癌死亡率は 10 万人中 1.5 人だということは以前述べました。720 ベクレルとはその約 5 分の 1 の値ですから一生の間放射性セシウムを検出限界値 (1kg 中 10 ベクレル) 含む米を毎日 3 合強食べ続けることで癌死亡率は 10 万人あたり 0.15 人上乗せされると計算できます。ちなみに、3 年前に豊田が学生実習で福島産米 5 種を検出限界値 1 ベクレル (Bq) /kg で測定してみたところ、1 種類だけ 1 ベクレル (Bq) /kg ほど検出されましたが、他は検出限界未満でした。なお、米よりもさらに風評被害が深刻なのは、福島県の高産水産物です。度重なる汚染水の漏洩などの報道により 2017 年現在も福島県漁業再開のめどは立っていませんが、2015 年度以降のモニタリング検査では基準の 100Bq/kg を超過した検体は一つもないそうです。福島県の魚を食べるとどれだけの健康被害を生じることになるのか見積もることも有用でしょう。

次に、福島第一原発事故発生により、例えば首都圏の住民はどれだけの健康被害を被ったと見積もられているか、見てみましょう。原子炉の発電停止直後には、原子炉内にある主な放射性核種は、ヨウ素 131, セシウム 134, 137, ストロンチウム 89, 90, キセノン 133, クリプトン 85 です。福島第一原発事故で、水素爆発で大気中に放出された放射性核種は揮発性な元素に限られ、地表へ降下したのは、半減期が 8 日ほどのヨウ素 131, 半減期が 2 年と 30 年のセシウム 134, 137 の 3 核種に限られたのは幸いでした。希ガスであるキセノン 133, クリプトン 85 は大気に放出されたら拡散するだけで地表には降下せず、深刻な健康被害をもたらすストロンチウム 90 やプルトニウム 241 はほとんど大気には放出されなかったためです。また、ヨウ素 131, セシウム 134, 137 の放出量はチェルノブイリ事故のそれよりも一桁弱小さいと見積もられています。例えば、福島第一原発よりおよそ 200km 離れた東京新宿区では 8400 Bq/m² の放射性セシウムの降下が事故後には観測されました。この値はチェルノブイリ原発事故当時、原発よりおよそ 2000km 離れたスカンジナビア諸国にて観測された、3000-20000 Bq/m² の放射性セシウムの降下と同様な値です。木下ら (2011) によると、降下したセシウム 134/137 比を 0.9、またそれらが土壌表層に残留すると仮定すると、住民の上乗せ被曝量 (mSv/y) = 0.06 x Cs137 降下量 (kBq/m²) であるとしています。これに従えば、東京における放射性セシウム降下による外部被曝量の増加は 0.2-0.3 mSv/y 程度であると計算されます。これは東京から軽井沢へ引っ越した時の宇宙線被曝量の増大に匹敵するということになります。

一方、ヨウ素 131 (半減期 8 日) による飲料水や野菜を経由した内部被曝は特に幼児にとってはより深刻になる可能性がありました。ヨウ素 131 被曝による甲状腺がん発症の感度は、幼児は成人よりも 2 桁ほど高いという特徴があるからです。2011 年 3 月 23 日、東京都の上水場で、210Bq/kg のヨウ素 131 が検出されたということで、水道水の供給を止めたために、ペットボトルが店から無くなったのは記憶に残っていることと思います。5 月 4 日には検出されなくなり水道水の規制が解除されました。Murakami and Oki (2012) は、福島第一原発事故による東京都民のヨウ素 131 の被曝量は、何も対策を取らなかった場合、大人は 0.4 mSv (ミリシーベルト), 子供は 1.5 mSv, 2.1 mSv と推定しており、またこれによる幼児の発がんリスクは 10 万人あたり毎年 0.2 人と推定しています。この被曝の半分弱は飲料水、残りの半分弱は野菜経由でした。この対策としてよく言われるヨ

ヨウ素剤は、ヨウ素 131 被曝の 6 時間前以降に服用してもまったく効果がなく、ヨウ素剤 100 mg を被曝の 1 日前に服用すれば被曝を 4 分の 3 防止することができ、2 日前に服用すれば 9 割を防止できるという研究結果があります。また服用後 4 日で効果がなくなるので、毎日服用する必要があります。

高レベル放射性廃棄物の地層処分問題

日本には 50 基以上のすでに稼働した商業用原子炉があり、それぞれ原子炉の隣に使用済みの核燃料が水を満たしたプール内で保管されています。使用済みの核燃料には、死の灰と呼ばれる膨大な量の放射能の核分裂物質が含まれており、高レベル放射性廃棄物とも呼ばれる厄介な代物です。停止直後の核燃料棒中に含まれる半減期が 2 年以下の核分裂生成核種の放射能による発熱量が大きいので、数十年間はプールの水につけて冷やし続けなければならない。もし事故で冷却機能が長い時間停止すると、プールの水は沸騰して空炊き状態になると火事となり死の灰が大気中に飛び散りチェルノブイリ事故のような大惨事となると予想されます。次にプールから取り出して空冷可能な程度にまで数十年かけて冷却しても、軽水炉の場合 1 つの燃料棒集合体あたり、半減期がおよそ 30 年であるセシウム 137 とストロンチウム 90 がラジウムにして数十キログラム分の放射能が残っています。これがラジウム 1 グラム分以下の放射能になりには 500 年もかかるわけです。そのような歴史的な時間を保管管理することは不可能なので、人間の生存圏から隔離された地層中に最終廃棄するしか方法がないというのが世界の共通認識です。軽水炉の使用済み核燃料では 1 つの燃料棒集合体中に、半減期が約 500 年のアメリカシウム 241 や半減期が約 2 万 4 千年のプルトニウム 239 がそれぞれラジウム数百グラム分含まれており、他にも長寿命な放射性核種もあるため、生物圏から 10 万年程度は隔離し続けるような地下数百 m の地層の選定が重要になるわけです。

各国の処分予定地の地質は、スウェーデン、フィンランド、カナダは花崗岩のような結晶質岩で、スペイン、ベルギー、フランスなどは粘土層。スイスは結晶質岩から堆積層に変更しました。結晶質岩を選定する利点は、岩が硬く遠い将来に間違っても処分場が掘り出される可能性がないことで、欠点は岩には割れ目があり地盤変化で広がった割れ目を通じて地下水が侵入して廃棄物中の放射性核種が生物圏に運ばれる恐れがあることです。一方、粘土層の利点は地下水の移動速度が小さく、生物圏に到達した時には放射能はすでに減衰していることを予測もできること。欠点は、将来間違っても掘削される可能性があることと、10 万年もの間には氷河期になり気候も大きく変動して地下水の流れや圧力も大きく変動している可能性があることでしょうか。日本では岐阜県の東濃という地域に花崗岩体での高レベル放射性廃棄物の処分地としての適正調査の技術開発をするための研究所があり、北海道の幌延に堆積粘土層での処分地としての適正調査の技術開発をするための研究所があります。しかし、実際の処分地については候補地も決まっていません。一方、スウェーデンやフィンランドでは実際に花崗岩質岩体内での処分地が決定して建設も始まっています。とはいえ、スカンジナビア半島の花崗岩の生成したのは先カンブリア時代と古く非常に硬く密なのをたいして、日本の大部分の花崗岩ができたのは一億年前ぐらい前で比較的柔らかく割れ目も多く、日本で最終処分地として建設するには花崗岩質岩体も課題が多いのです。近い将来、あなたの町が高レベル放射性処分地の候補になる時があるかもしれません。その場合にはどのような点に着目すべきか、講義でお話ししましょう。