

自然環境中のウラン - 環境中ウラン濃度とウランのクリアランス・レベル -

下道國*

ウランの利用とその廃棄にあたっては、ウラン自体の壊変に伴う放射線に常に留意しなければならない。自然環境中における天然ウランの濃度やその放射性特性としての影響の実態、ならびに様々な状況における現行および現在考えられている規制に向けた数値について概略を述べ、ウランに対する理解の一助としたい。

Keywords: ウラン, 自然環境, 濃度, 健康影響, 規制レベル, クリアランスレベル

When we use uranium and dispose of it after use, the attention must be paid always to the radiation with the radioactive decay of uranium itself. The concentration of natural uranium in various environments, the health effect due to the nuclide of uranium series and the present and proposal regulations for uranium on the various situations are described in this paper.

Keywords: uranium, natural environment, concentration, health effect, regulation level, clearance level

1 はじめに

現在、地球上に存在する元素は、そのほとんどが地球の誕生と共につくられた。これら元素の地球上での分布は、地層や地質を反映して地域による偏りはあるものの、地殻中や海水中に普遍的に存在しており、ウランもその例外ではない。ウランには多くの同位元素があるが、原子力の利用にともなって生成されるウランを除くと、いわゆる天然ウランとして、U-238、U-234、および U-235 の3核種が自然環境中に存在する。これらのウランは古くから利用されており、たとえば、神秘的な雰囲気をかもし出す暗緑色のウランガラスや、入れ歯である陶歯の発色材などがある。近年では、重金属としての物理・化学的利用もあるが、最も重要となっているのはその核分裂性に着目した原子炉の燃料である。

ウランの利用に当たっては、ウラン自体の壊変に伴う放射線につねに留意しなければならず、また、その廃棄処分にあたっては同様である。放射線の物理作用は、云うまでもなく人工放射線でも自然放射線でも同じである。その生体への影響も、原子力・放射線利用であれ、医療の利用であれ、環境に存在するものであれ、同じである。したがって、放射線防護においてもそれらを区別するのではなく同等に扱うのが基本と考えられ、また、すでに存在している放射線であっても、これからの利用に伴う放射線であっても同じである。しかし、それによる結果は、放射線強度にも関連するが、受け手側の状況によって益（たとえば、癌細胞の死滅）であったり害（発癌など）であったりする。

この小論では、自然環境中の天然ウランの放射線特性を中心にその濃度や影響の実態ならびに規制について概略を述べ、ウランに対する理解の一助としたい。

2 ウランの諸特性と環境中のウラン

2.1 ウランの諸特性

天然ウランには、ウラン系列に属する U-238 と U-234、およびアクチニウム系列の U-235 の3核種があり、これらの半減期は、それぞれ 44.7 億年、24.6 万年、7.04 億年である。また、その存在比は重量比で 99.3%、0.0053%、0.711% であるが、この存在比の違いは地球の年齢を反映していると理解されている。Table1 には天然ウランの核データを、また Table2 には諸物性を示した。なお、U-234 は、親核種

Table 1 Characteristics of natural uranium (after ref.2)

核種	半減期 (y)	天然存在比 (wt%)	比放射能 (Bq/gU)	放射能割合 (Bq%)
U-234	2.46×10^5	0.0053	1.24×10^4	48.88
U-235	2.46×10^8	0.711	5.74×10^2	2.25
U-238	2.46×10^9	99.2837	1.24×10^4	48.88

Table 2 Physical properties of uranium

項目	記 事
密度	19.050 g/cm ³
融点	1,132.3
沸点	3,800
熱容量	27.8 J/K · mol(298.15K)
熱伝導	27.6 W/mK(300K)
電気抵抗率	30.0×10^{-6} cm
ウラン鉱	センウラン鉱、ニンギョウ石、リンカイウラン石など
ウラン鉱石の化学組成	SiO ₂ 66%, TiO ₂ 0.46%, Al ₂ O ₃ 15%, Fe ₂ O ₃ 5.3%, CaO 1.5%, MgO 0.42%, Na ₂ O 2.4%, K ₂ O 3.4%, U ₃ O ₈ 0.50%
化学毒性	腎臓を侵す (40 mg, 600 Bq 相当、cf 年摂取限度 2,000Bq)

Uranium in natural environment -uranium concentration in environment and its clearance level- by Michikuni Shimo (m_shimo@fujita-hu.ac.jp)

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会第22回夏期セミナーにおける講演内容ならびに原子力学会2006年秋の大会バックエンド部会企画セッションでの報告内容に加筆したものである。

* 藤田保健衛生大学 Fujita Health University
〒919-1141 愛知県豊明市沓掛町田楽ヶ窪 1-98

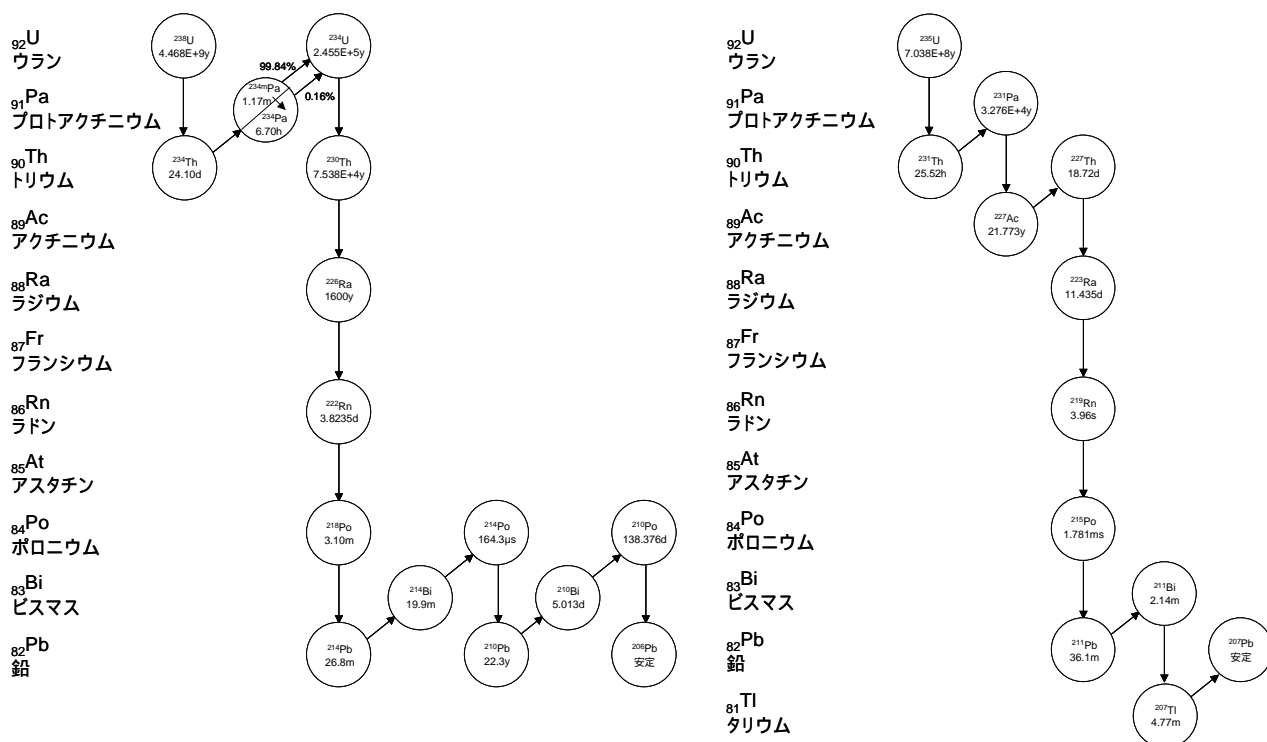


Fig. 1 Decay scheme of U-238 and U-235 series

の U-238 が存在しなければ、その半減期から計算して地球年代的にはきわめて短い時間で消滅してしまい、また逆に、生成されて数十万年にも満たない新しい地層では U-238 の壊変に伴う U-234 の生成量が少なく、両者間で放射平衡に達していないのが普通である。

天然ウランによる人の健康影響を考える場合は、金属毒性と放射性毒性の両方に留意しなければならない。ウランの健康への影響に配慮する体内への摂取限度は、放射性毒性ではなく金属毒性によって決められているが[1]、ここでは放射性毒性を取り上げる。放射性毒性では、主として線と線に留意すればよい。被曝の形態としては、線放出核種は吸入・経口摂取による内部被曝であり、線放出核種では外部被曝が主である。U-238 と U-235 の系列核種を Fig. 1 に示したが、同図から U-238 は、その系列の最終安定核種である Pb-206 に達するまでの間に、壊変を 8 回、壊変を 6 回繰り返す。その中の線放出核種は、U-238, U-234, Th-230, Ra-226, Rn-222, Po-218, Po-214, Po-210 と多いが、とくに留意しなければならない核種は、希ガスとして空気中に出てくる Rn-222 ならびにその短寿命壊変生成核種の Po-218, Po-214 である。一方、線放出核種として配慮しなければならないのも、Rn-222 より先の Pb-214 と Bi-214 である。なお、U-235 の系列核種は U-238 系列核種に比べて微量であるので、ここでは U-238 系列核種を念頭にして述べる。

2.2 環境中のウラン

環境の土壌・地殻中にウランが広く存在するが、概略的

には、花崗岩質に多く含まれる傾向がある。その濃度分布については、ウラン廃棄物の処分及びクリアランスに関する検討書[2]に詳述されているが、概要は以下のとおりである。U-238 についてみれば、土壌中の濃度については、全世界では 0 ~ 0.69 Bq/g (中央値 0.035 Bq/g) であり、わが国では 0.002 ~ 0.059 Bq/g (平均値 0.029 Bq/g) である。岩石中の濃度は、火成岩では 0.00037 ~ 0.059 Bq/g、堆積岩では 0.019 ~ 0.044 Bq/g である。また、コンクリート中の濃度は 0.033 ~ 0.44 Bq/g、その構成材のセメントでは 0.041 Bq/g、さらに砂で 0.011 Bq/g である。また、金属材料中の濃度では、アルミニウムで 0.008 ~ 0.01 Bq/g であるが、他の炭素鋼、ステンレス鋼、銅、鉛などはそれより 2 桁ほど低い値が報告されているが、いずれもその程度の値と認識しておいてよい。これら様々な物質中のウラン濃度を Fig.2 にまとめた。同図の横軸は、ウランを含む物質 1 g 当たりの放射能[Bq]、およびウランを含む物質 1 g 当りのウラン量[g]で表したが、1 Bq/g は 1.2×10^{-4} g/g に相当する。すなわち、わが国のありふれた土壌のウラン濃度は、およそ 0.03 Bq/g であるから、それは、10 トンの土を積載したダンプカーの土にはウランが 40g 弱含まれていることを意味している。

また、ウラン鉱床として世界的に重要とされている岩石は堆積岩に伴うものが多い。わが国にも小規模ながらのウラン鉱床が存在し[3]、岡山・鳥取県境(人形峠)と岐阜県東濃地方は、かつてはわが国の数少ないウラン鉱山であった。この地域以外にもさらに小規模ではあるが、北海道、山形県・新潟県、京都府、山口県、鹿児島県等にも鉱床が

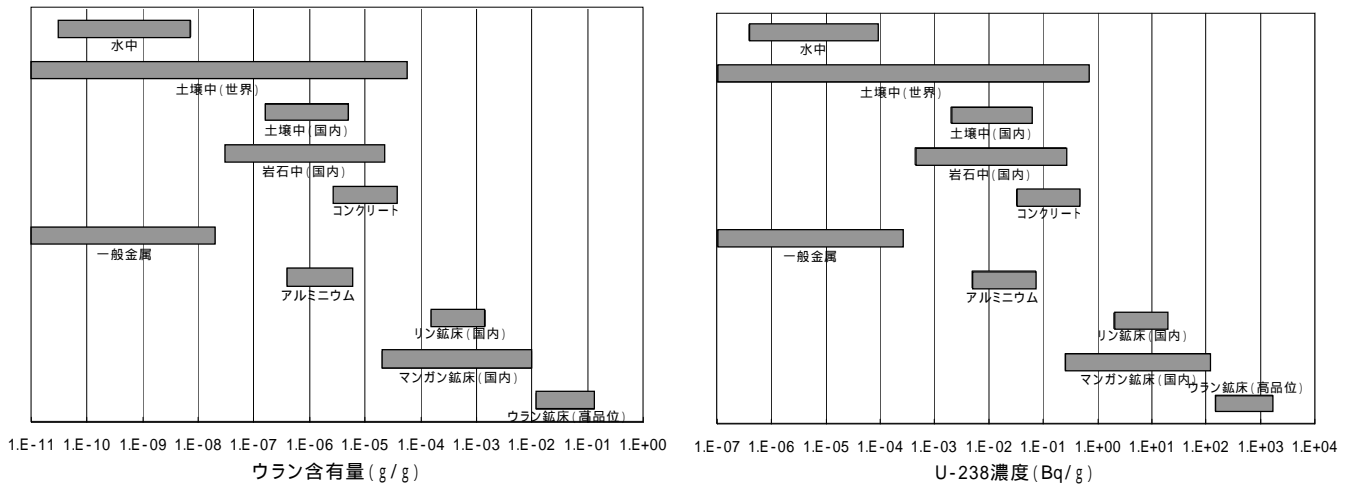


Fig.2 Uranium concentration in various materials.

見られる。これらの鉱床は、いずれも基盤の花崗岩中のウランが溶出後、沈殿濃集して生成されたと考えられていて、含まれるウラン鉱石は、センウラン鉱、人形石、ウラノフェン、コフィン石、燐灰ウラン石、燐パリウムウラン石などである[3]。

3 ウラン系列核種からの線量

われわれが通常の生活で自然放射線から受ける年間の線量は、世界平均で2.4 mSvであるが、わが国ではおよそその2/3である。2.4mSvのうち、1.2mSvが線や宇宙線などによる外部および食品による被曝線量であり、1.2mSvが空気中のラドンの吸入による内部被曝線量である[4]。つまり、ラドンによる寄与が大きいと云われる所以である。

3.1 環境放射線量

はじめに、外部被曝線量のうち大地に由来する成分について述べる。前節で述べたが、ウランの半減期は44.7億年と長いために、純粋のウランは系列の壊変生成核種と放射平衡になるのは数十万年後で、その放射能はほぼ4倍となる。また、主な線放出核種として考慮しなければならないのはPb-214とBi-214であるから、線量を評価する場合はそれらが顕在化する数十万年後に高くなることに留意しなければならない。

ここでは、放射平衡状態にあってどこにでもありふれた国内の土壌(0.01 Bq/g; 10-6 g/g)を想定すると、外部被曝線量0.76 mSv/yのうち土壌に由来する分、すなわち線量率は地上1mの高さでおよそ0.44 mSv/y(50 nGy/h)である[5]。これに寄与する線は、ウラン系列核種とトリウム系列核種およびカリウム(K-40)からであり、そのうちウラン系列核種による分は0.1mSv/y弱である。この大部分は大地に含まれる核種からの寄与で、地下0~20cm以内から放出される線は90%(90 μSv/y)を占める[6]。それより深い20~40cmの土壌からの寄与の割合は9%(9 μSv/y)程度であり、1mより深い土壌からの寄与は

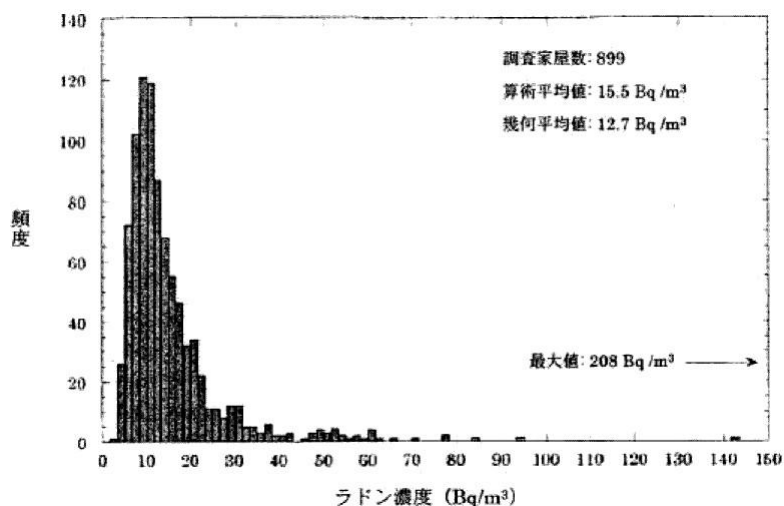
0.001%に過ぎない。なお、大気中にラドンが存在するから、そこで生まれたPb-214とBi-214の線による寄与がある。その量は、場所と時間によってかなりの幅があるものの、平均的な値(ラドン寄与分2.2 nGy/h(6.1 Bq/m³相当)、地表線寄与分50 nGy/h)で見れば1/20程度と見積もられることから、ウランの線寄与分としては地表面近傍からの寄与だけを考慮しておけばよいことがわかる。

3.2 ラドンによる線量

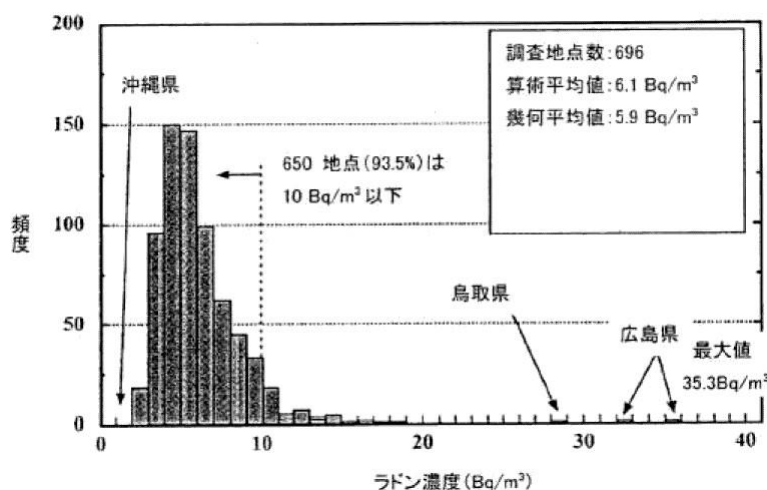
ラドンによる線量とは、厳密には、ラドン(Rn-222)による線量は少なく、ラドン壊変生成核種の寄与が大部分を占め、ラドンのおよそ40倍である。その理由は、Rn-222が希ガスのために吸気されても呼気とともに吐き出されるのに対し、壊変生成核種の方は呼吸気道に沈着して蓄積していき、そこで線を出して気道表皮の基底細胞に障害を与えるからである。この小論では、厳密性に欠けるが、ラドン壊変生成核種による被曝を「ラドンによる被曝」と言う。なお、Rn-222の濃度がわかれば、それに適切なファクター(平衡ファクターという)を乗じることによってラドン壊変生成核種濃度を推定することができ、したがって、これからラドンによる被曝線量が求められる。なお、平衡ファクターが様々な環境や状況でどのような値をとるかは重要であり、かつこれに関する知見は不足しているが、ここではその指摘に留めておく。

日本分析センターにより、一般住宅、屋外環境および職場環境について、全国ラドン濃度調査が実施されている[7]。その中から、住宅および屋外環境での濃度の頻度分布をFig.3(a),(b)に示し、またそれらをまとめてTable3とした。Fig.3およびTable3から、屋内濃度は屋外濃度の約3倍であることがわかる。被曝においては、多くの人の通常生活では、屋内で過ごす時間は全時間の80%以上と見積もられる[8]ことから、ラドンによる被曝の90%以上は屋内濃度に依存する。

屋内濃度が高くなる理由は、建築材に含まれるウラン・ラジウムから発生したラドンが部屋に存在するほか、とく



(a) Indoor Rn concentration



(b) Outdoor Rn concentration

Fig.3 Radon concentration distribution; (1) indoors, (2) outdoors.

Table 3 Radon concentration in Japan (after ref.7)
(unit : Bq/m³)

	屋内	屋外	職場環境			
			事務室	工場	学校	病院
算術平均値	15.5	6.1	22.7	10.1	28.4	19.3
幾何平均値	12.7	5.9	18.5	8.1	22.8	13.2
測定数	899	705	705			

に建物の下の地面で発生したラドンが、床下から直接に、あるいは壁のクラックから屋内に進入してくる割合が多い[4]ことによる。また、地下気がガス管・水道管・排水管などの配管に沿って入ってくることもしばしばある[9]。したがって、一義的には、建物の下の土壌中のラドン濃度、つまりラドン源としてのラジウム、ウラン含有量が着目されるのであるが、実際にはラドンの土中での挙動を支配する土壌の状態や物性が大きく影響する。それらは、地下水

であり、土壌のラドン拡散係数である[10]。

大気中のラドンの源は土壌であり、しかも地表面下 2 m 以内で発生したラドンである[11]。実測あるいは計算により、地下気中の飽和ラドン濃度は大気中濃度のほぼ 1,000 倍であることがわかる。地表からほぼ 3 m 下の土壌ではラドンは飽和に達して、親核種と放射平衡状態にあることがわかっている。つまり、地表面下 3 m 以内で発生したラドンの一部が大気中に出てきて、大気中ラドン濃度を形成しているのである。地下の深度方向に対してラドン発生源に濃度分布がある場合はこれほど単純ではないが、地下のラドン濃度をそのまま反映することはない。

Table 4 には、通常環境におけるラドンによる年間の線量の概略値をウラン系列核種による外部被曝線量とともに示した。これから、外部線量および屋外ラドンによる線量は、屋内ラドンによる線量のそれぞれ 1/5 ~ 1/10 程度であることが分かる。したがって、通常環境でのウランによる被曝を考える場合、おおむね屋内ラドンに着目しておけばよいといえる。

Table4 Effective dose due to natural uranium

被 爆 源		濃 度 (U: Bq/g, Rn: Bq/m ³)	実効線量 (mSv/y)
土中ウランの外部被曝	世界人口加重平均	0.033	0.093*
	日本の平均濃度	0.029	0.082*
屋内ラドンの吸入被曝	世界の算術平均	40	1* ²
	日本の算術平均	15.5	0.4* ²
屋外ラドンの吸入被曝	世界の算術平均	10	0.095* ³
	日本の算術平均	6.1	0.058* ³

$$* \quad D_U = A [\text{Bq/g}] \times (462 \times 10^{-6}) [(\text{mGy/h})/(\text{Bq/g})] \times 8760 [\text{h}] \times 0.7 [\text{Sv/Gy}]$$

$$* \quad 2 \quad D_I = Q [\text{Bq/m}^3] \times 0.4 \times (9 \times 10^{-6}) [(\text{mSv/y})/(\text{Bq/m}^3)] \times (0.8 \times 8760 [\text{h}])$$

$$* \quad 3 \quad D_O = Q [\text{Bq/m}^3] \times 0.6 \times (9 \times 10^{-6}) [(\text{mSv/y})/(\text{Bq/m}^3)] \times (0.2 \times 8760 [\text{h}])$$

4 放射性物質の規制と解除

4.1 除外、免除、クリアランス

放射線からの影響を低減することには誰も異論はないが、被曝の状況や放射線量を考慮して適性に対処されるように、これまで ICRP[12]や IAEA[13]で種々検討されてきて、以下のように扱うことが合意されている。

(1) 除外

われわれは放射線環境の中で生存しているが、体内にある放射性カリウム K-40 と外部から受ける宇宙線は、これらの摂取や被曝を制御する術はないか、たとえできるとしてもその効果に対して技術や経費の面できわめて難しいと言える。そのために、放射線防護を考える上では、はじめからこれらに配慮しないこととして、「除外」することにしている。

(2) 免除

「免除」は、本来、原子力・放射線利用の範囲にあって放射線管理のカテゴリーに入るものであるが、それからの線量が取るに足らないほど低い場合に限って、その制御体系からはずすと言う考えである。したがって、免除されるかどうかは量によって判断される。先年、大幅に改正された放射線障害防止法にこの免除レベルが導入されたことは周知のところである。

(3) クリアランス

「クリアランス」は、免除と同様な考えに基づくが、原子炉のように、解体時に廃棄物として大量にでる微量放射性物質を含んだコンクリートなどに対して適用しようとするもので、免除とは物量の差で仕切られると考えてよい。クリアランスされたものは一般環境に出ることとなり、再利用の対象ともなる。

これらのレベルを決めるのは線量であって、除外につい

ては制限がなく、免除とクリアランスは $10 \mu\text{Sv/y}$ とされている[13]。 $10 \mu\text{Sv/y}$ は、日常的にわれわれが受けている自然放射線による外部被曝線量は世界平均で 1mSv/y 弱であるので、その $1/100$ 程度である。地域差や時間的変動に伴う自然変動が数十%あることを考えると、その変動幅に埋もれてしまうレベルである。

4.2 NORMの規制レベル

NORMとは、自然起源の放射性物質 Naturally Occurring Radioactive Materials の頭文字をとったものである。類似用語に TENORM(Technologically Enhanced NORM)がある。積極的に原子力や放射線を利用するのではなく、発色や着色剤として陶磁器・ガラス製品に古くから利用されている方法、あるいはイオン発生を狙った最近の一般消費財(たとえば、自然放射性物質を織り込んだ繊維など)としての広範な利用、あるいはラドン温泉など、われわれの生活環境に存在する自然起源の放射性物質を NORM と言い、そのうち特に工業利用などで予期せずに自然放射性物質が多量に特定の場所等に存在する場合があるが、これを TENORM と称している。これらには、たとえば、チタン鉱石の残渣や建設資材または肥料の原材料あるいは一般消費財中に含まれるウラン系列核種、トリウム系列核種、カリウム、特殊な例では磁性体に利用されるサマリウムなどの核種がある。

これらに由来する線量は、自然放射線に被曝するレベル程度までの線量であり、またこれらは「原子力・放射線利用」の範疇に入らないために、障害防止法や原子炉規正法等で規制するのは適切ではない。しかし、われわれ一般公衆が被曝していることは事実であり、またその量は原子力・放射線利用による被曝量より多い。そのために、これらを対象とした規制が必要であるか否かが放射線審議会

Table 5 Policy for NORM; classification and correspondence scheme

(放射線審議会報告書「自然放射性物質の規制免除について」より抜粋)

区分	検討を要する事例 ⁸	除外、行為、介入の区別	法令による規制	対応の方法	対応のための線量の目安/規準	
1	鉱物、鉱石等に含まれる自然放射性物質の比率を高める処理をしていないもの(区分2、3、4、5、6を除く)	除外	対象外			
2	過去に廃棄された自然放射性物質を含む残渣	介入	対象外	対策レベル	今後の検討(1~10 mSv/年)	
3	産業で生成される灰、缶石など(原材料として取り扱う物質は免除レベル濃度以下のもの)	介入	対象外	対策レベル	今後の検討(1~10 mSv/年)	
4	産業利用の残渣、現在操業中の鉱山の残土、捨石、	行為/介入 ⁹	対象	・一定濃度を超える可能性のあるものを特定する ・特定物質の利用のうち、作業者または一般公衆が受ける線量に応じ放射線防護上の適切な管理を求める。	1 mSv/年(これを超えたら規制するか、介入するかを検討)	
5	産業用原材料(製造、エネルギー生産)、採掘(区分7を除く)	行為/介入 ⁹	対象	区分4と同様	1 mSv/年(同上)	
6	一般消費財(使用)	行為	商品ごとに対象とするか否かを検討	基本的にBSS免除レベルを適用 型式承認に相当する制度を検討	~10 μSv/年 ~1 mSv/年	
7	放射線を放出する性質を意図して利用するために精製された核燃料物質や放射線源として使用するもの	行為	対象	BSS免除レベルを適用	10 μSv/年	
8	ラドン	規制下にあるラジウム線源から発生するラドン	行為	対象	BSS免除レベルを適用	
		核原料物質鉱山における職業環境のラドン	行為	鉱山保安法の対象		
		住居、一般職業環境におけるラドンで上欄を除く	介入	対象外	対策レベル	今後の検討

⁸: ここにあげた事例は、文献調査及び自然放射性物質が比較的多く含まれていると考えられるものを実態調査したものについて記載したものである。なお、物質や鉱物の産地、種類、物量等により、自然放射性物質の含有量は異なってくることから、一定濃度を超える可能性のあるものを特定し、さらに放射線防護の必要があるものについては、適切な管理を求めることとなる。

⁹: 基本的には行為であるが、行為と介入の両面を持ち、原材料を取り扱う初期過程は、介入の対象の要素が大きい。

¹⁰: 区分7及び区分8は、今回の基本部会において規制免除に関して検討対象としていない。

で審議され、その結果、規制の妥当性と対応への手法が示された[14]。そのまとめを Table 5 に示したが、使用状況により 8 区分してそれぞれ線量を定めていることがわかる。Table 5 からわかるが、自然放射性物質ではあるが、とくに放射性に着目した利用ではなく、随伴的な場合が多くかつ古くから身の回りにおいて、それによる健康影響についても問題になることはない。そのような状況にあるために、「既存」の放射線に対して「介入」という措置が取られるが、発動される介入の下限値として 300 μSv/y が提示されている。

なお、現在、NORM の中でラドンだけは別途にさらに検討すべきであるとして保留された状況にある。その理由は、ラドンは通常の居住環境に存在しており、その濃度は空間的・地域的に、また時間的にも大きく変動していて、制御も容易ではない。かつまた、ラドン温泉などに見られるように古くから保養や療養などにも利用されていて、その規制などは簡単にはいきそうにないからである。

4.3 ウランのクリアランス・レベル

ウランの規制についても、それほど単純ではない。前述したように、生活環境中に広く存在しているが、他方ではウラン鉱山があり、また原子炉の燃料物質でもある。まず、人の手が加えられていない自然物については、原子炉等規正法(炉規法)で濃度が 370 Bq/g 以上でかつ 900 g 以上のものは核原料物質として扱われる。したがって、370

Bq/g 以下であればどれだけであろうが量数に制限はなく、また 900 g 以下であれば濃度は問われることがなく、同法の規制対象とはならない。これ以外のものが核原料物質であり、またこれに一度加工という操作が加われば核燃料物質となり、共に炉規法の規制を受ける。ウランが採掘され、精錬され、加工された後の残渣、また燃料として使用された後に再処理され、最終的にウラン廃棄物として処分された段階においても規制を受け、管理される。この最終段階で、そのままウラン廃棄物とするか、あるいは一般の産業廃棄物に区分けするかの境界がクリアランス・レベルで、先述したように、10 μSv/y である。

わが国内法の基準となっている国際原子力機関の安全シリーズ No.115「電離放射線に対する防護と放射線源の安全のための国際基本安全基準」(BSS)の免除レベルは、10 μSv/年に基づき U-238 について濃度で 10 Bq/g、放射能で 10 kBq、U-238 系列については濃度で 1 Bq/g、放射能で 1 kBq である。一方、ウランのクリアランス・レベルは国際原子力機関の安全指針 BS-G-1.7 において 1 Bq/g とされた[13]。これは、規制除外の概念を適用し、世界規模での土壤中の放射能濃度の上限値に対する考察から決められたとされている。

4.4 規制値のまとめ

規制値について、核原料物質および NORM の規制レベルと対比できるように Table 6 に一覧表として示した。

Table 6 Regulation values

	線量 (mSv/y)	濃度 (Bq/g)	数量 (g)
核原料物質 (ウラン)		370*	300
NORM	(1) 介 入	10	
	(2) 行為 / 介入	1 ~ 10	0 ~ 0.7
	(3) 行 為	0.01	
ウラン系列の免除レベル*2	0.01	1	1000
クリアランス・レベル	0.01	1	

* ただし、固体状物質、*2 U-238 だけの場合はこの 10 倍

10 μ Sv/y の線量としての意味合いは、NORM で考えられている規制線量 1mSv の 1% に相当するということである。また、環境放射線量 2.4 mSv の約 0.4 % であり、かつ 15 % 以上もあるその変動に幅飲み込まれてしまう数値ということでもある。その環境放射線量の半分 (1.2 mSv) は主にウランの壊変生成物であるラドンの吸入による内部被曝であり、残りの 1/3 程度 (約 0.4 mSv) は地面からの線による外部被曝である (2/3 は宇宙線および食物摂取による被曝)。さらにその内の 1/3 弱 (0.1 mSv 弱) が土壌中のラドン壊変生成物 (Pb-214 と Bi-214) からのガンマ線に由来する被曝であると見積もられることから、10 μ Sv/y はこれらに比べて十分に下回った線量といえる。

5 おわりに

ウランは、生活環境中に存在するものから原子炉の燃料まで広い範囲に及ぶが、その中でとくに自然状態でのウランについて、その基礎事項から環境中での濃度、その健康影響、および法的な取り扱いなどの概略を述べた。ウランを扱う上で特に注意しなければならないのは、その放射性特性であるが、放射線の物理作用は、人工放射線でも自然放射線でも同じであり、その生体反応も、原子力・放射線利用であれ、医療での利用であれ、環境に存在するものであれ、云うまでもなく同じである。したがって、放射線防護においても同等に扱うのが基本と考えられ、また、すでに存在している放射線であっても、これからの利用に伴う放射線であっても変わらない。しかし、それによる結果は、放射線強度にも関連するが、受け手側の状況によって益にもなり害にもなる。基準・規制は中正で、かつ科学的整合性が取れていなければならないが、一方で、人が利用するものでかつ制御可能の場合、社会的にはよりシビアに対処することが要望されるのも事実である。同時に、他の産業

の状況やさまざまなリスクなどとも比較したうえで判断することも求められる。このような状況を鑑みると、ウランの利用に当っては、多くの利害関係者が是とする折り合いの付け方が難しいところであるが、科学的知見をベースにしつつ、冷静で統一の取れた総合的な価値判断が求められることは言を待たないであろう。

この小論は、平成 18 年原子力学会秋の大会バックエンド部会での報告ならびに同バックエンド部会のシンポジウムで紹介した内容に加筆し、整理したものである。

参考文献

- [1] 松岡 理：プルトニウム物語 その居城と実像，テレメディア，東京，p.81 (1992)。
- [2] 日本原燃株式会社他：ウラン廃棄物の処分及びクリアランスに関する検討書，pp.1-19 - 1-23 (2006)。
- [3] 地質調査所：日本におけるウランの産状，地質調査所報告第 232 号，pp.3-4 (1969)。
- [4] 国連科学委員会：放射線の線源と影響，原子放射線の影響に関する国連科学委員会の総会に対する 2000 年報告書，科学付属書 A，放射線医学総合研究所監訳，p.16 (2002)。
- [5] Minato, S.: Simple soil mass balance approach to intercept the distribution of global terrestrial gamma ray dose rates in relation to geology, The Science of The Total Environment 298, 229-231 (2002)。
- [6] Kataoka, Y., Ikebe, Y., Shimo, M., Iida, T., Ishida, K., Minato, S.: Influence of Short-Lived Radon-222 Daughters Present in Atmosphere on Natural Environmental Gamma-Radiation Field, J. Nucl. Sci. Technol. 19, 831-836 (1982b)。
- [7] Sanada, Y., Oikawa, S., Kanno, N., Abukawa, J., Higuchi, H.: A nationwide survey of radon concentration in Japan

- indoor, outdoor and workplace , Proceeding of International Symposium on Radioecology and Environmental Dosimetry, 2003 Aomori, Japan, pp.438-443 (2003).
- [8] 下 道国、関 和典、菊地 功：生活様式を考慮したラドンによる線量 特に呼吸率と居住係数に着目して , '91 ラドンシンポジウム「環境ラドン」(下 道国, 辻本 忠編), 電子科学研究所, pp.579-592 (1992)
- [9] 池辺幸正, 飯田孝夫, 下 道国, 関 昭男, 中田 啓, 吉田 守: プルトニウムの モニタ時における疑似計数の発生機構, 保健物理, 17, 157-164 (1982).
- [10] Tanner, A. B.: Radon Migration in the Ground: A Review, Proceedings of the Natural Radiation Environment , U. S, National Technical Information Service, pp.5-56 (1980).
- [11] Kataoka, T., Ikebe, Y.: Measurement of Soil Concentration Profile of Radon-222 and Its Effect on Exposure Rate, J. Nucl. Sci. Technol. 19, 797 (1982).
- [12] ICRP: Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste, Annuals of the ICRP, ICRP Publication 46 (1985).
- [13] IAEA: Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Standards Series No.RS-G-1.7 (2004).
- [14] 放射線審議会基本部会：放射線審議会基本部会報告「自然放射性物質の規制免除について」, (2003)