

NORM とウランおよびラドン

下 道國

1. はじめに

「NORM (ノームまたはノルム)」とは何か。NORM は、自然放射性物質 (Naturally Occurring Radioactive Materials) のことであるが、自然放射線をも含んで議論されることもあり、やや不明瞭ではあるが、ここでは自然放射線も含んだ意味で使用する。

われわれの身の周りの環境には、地球の誕生以来、放射線・放射性物質が常に存在している。それらには、太陽と銀河宇宙からくる宇宙線があり、その宇宙線によってできた誘導核種があり、地球生誕以来、地殻に含まれている多種類の放射性物質がある。上層大気中では宇宙線誘導核種としてトリチウム (H-3)、炭素 (C-14) のなどが生成されており、大地に存在する主な核種としては、カリウム (K-40)、ウラン (U-238、U-235) 系列核種、トリウム (Th-232) 系列核種などがあり、また対流圏の大気中には大地から散逸してきたラドンとその壊変生成核種 (以下、ラドン等という) が存在している。

これらの放射性物質 (核種) は、多かれ少なかれ植物中に取り込まれ、さらにそれを食している動物の体内にも極微量ではあるが普遍的に存在していると考えられる。

ここでは、NORM について簡略に概要と区分・基準を述べた後、NORM の主要な核種であるラドンとウランに関して、特に廃棄物を考える上での課題について、私見を述べる。

2. NORM

はじめに NORM の核種を表 1 にまとめた。表中の太字で示した核種は、一般にしばしば着目され、あるいは利用されている核種である。

われわれは生活環境中において、このようなさまざまな NORM に囲まれて放射線を受けており、同時に、体内に持っている放射性元素からの放射線を自ら浴びているのである。それらによる被曝量は、「原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (UNSCEAR)」の 2008 年報告書¹によれば、全世界の平均は、

表1 自然放射性核種（太字は身の回りの主な核種）

分類	核種	主な存在場所
系列核種	U-238、U-235、Th-232、および鉛までの壊変核種（Ra-226、Rn-222、Rn-220、Po-218、Po-216、Pb-214、Pb-212、Bi-214、Bi-212、Po-212、Pb-210、Po-210、Tl-208など）	土中、大気中、水中
単独の長寿命核種	K-40、V-50、Rb-87、In-115、Te-123、La-138、Ce-142、Nd-144、Sm-147、Sm-148、Gd-152、Dy-156、Hf-174、Lu-176、Ta-180、Re-187、Pt-190	土中
宇宙線誘導核種	H-3、Be-7、Be-10、 C-14 、Na-22、Na-24、Si-32、P-32、P-33、S-35、Cl-36、S-38、Cl-38、Cl-39	大気中、水中

年2.4mSv と評価されている。その内訳は、宇宙線と宇宙線誘導核種による外部被曝が0.39mSv、大地および建造物、大気からの放射線による外部被曝が0.48mSv、呼吸にともなう大気中ラドン等の吸入による内部被曝が1.26mSv、食物摂取に伴う内部被曝が0.29mSvである。わが国の値は2.1mSv で、内訳は各々0.30、0.33、0.46、0.98mSv である²。ここでは、線量に関する記述は以上に留める。

3. NORM の使用実態

われわれは、生活の営みの中で NORM を使用している。その場合、その属性である放射能を利用している場合もあれば、そうではない場合もある。積極的にウラン、トリウム、ラジウムを原子力・放射線を利用する立場で使用する場合は、法令上、原子炉規制法や放射線障害防止法などの下できちんと管理されている。他方、使用物質中に放射性物質が含まれていても放射性属性の使用でない場合、また放射能属性の使用であっても、古い昔から利用されている形態である場合、あるいは濃縮などといった人工的に手を加えるという操作をしない状態で使用されている場合などでは、現時点ではガイドラインはあるものの特に法令によって拘束されることはなく、原則的に使用は自由である。

実際に、産業界や一般消費財として日常生活の中で使用されている実態を表2³にまとめた。ただし、人工生成核種の使用については、除外した。表2を見れば明らかなように、放射性の性質の利用もあるが、そうではない化学的な性質の利用が目立ち、たまたま放射能を含んでいるといったケースが多い。ま

表2 ウラン、トリウムを含む鉱石の利用実態（文科省ガイドラインから）

指定原材料	工業製品 (副産物)	一般消費財
モナザイト (モナズ石)	粉体混和材	マイナスイオン製品 繊維製品：布団類、肌着、腰巻、靴下、マイナスイオンシート、 装身具：プレスレット、リストバンド 家庭用温泉器、自動車排気マフラー触媒
バストネサイト ¹⁵	分級粉体、研磨剤	紙ヤスリ、磨き粉
ジルコン	耐火煉瓦、鋳物砂、窯業釉薬	電子材料、ガラス
タンタライト	タンタル合金、高耐蝕材	電子部品
リン鉱石	リン安、石膏	肥料、建材
チタン鉱石（ルチル、イルメナイト）	純チタン材、チタン合金材、酸化チタン	チタン金属製品 塗料顔料、印刷インキ、樹脂着色料、ゴム着色料、化学繊維着色料、用紙仕上剤
石炭	クリンカ、フライアッシュ	セメント
精製ウラン	釉薬、ガラス着色剤	七宝焼き装飾品、陶磁器、ガラス製品
精製トリウム		ガス灯マントル、光学レンズ、カメラレンズ、タングステン溶接電極棒、高輝度放電ランプ

た、工業用品から家庭での消耗品まで幅広く利用されていることもわかる。

4. NORMの区分とその対応および線量目安／基準

自然放射性物質を含む物質の分類と対応案の概略について、放射線審議会基本部会報告⁴から一部を省略して表3に示した。なお、部会報告はしかるべき審議を経て、法令またはそれに準じる扱いをされるべきものであるが、現時点では文部科学省のガイドラインとして示されている。

部会報告は、NORMを8区分して、検討する事例や対応方法および対応の線量の目安もしくは基準を述べている。

区分1は、NORM中のNORMとも云うべきもので、まさに手が加えられていない自然物であることから、これには線量の目安・基準も示されていない。

表3 自然放射性物質を含む物質の分類と対応案（基本部会報告から抜粋）

区分	検討を要する事例	法令による規制	対応のための線量の目安または規準
1 自然放射性物質の元来の含有比率を高める処理をしていないもの（区分2～6を除く）	庭石、研究・教育用鉱物サンプル、博物館所有の鉱物サンプル、工事現場や河原などから出た鉱石など	対象外	—
2 過去に廃棄された自然放射性物質を含む残渣	チタン工場等から廃棄された残渣、不法投棄された残渣など	対象外	今後の検討（1～10mSv/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）	石炭灰（フライアッシュを含む）、ガス田・油田の缶石、製鉄での鉱滓など	対象外	今後の検討（1～10mSv/年）
4 産業利用の残渣、現在操業中の鉱山の残土、捨石	モナザイト、バストネサイト（研磨材）、ジルコン、タンタライト、リン鉱石、サマリウム、ウラン鉱石、トリウム鉱石、チタン鉱石、石炭灰（フライアッシュを含む）、その他一般消費財の原料など	対象	1mSv/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）	リウム鉱石、チタン鉱石、石炭灰（フライアッシュを含む）、その他一般消費財の原料など	対象	1mSv/年 （同上）
6 一般消費財（使用）	温泉浴素、健康器具、寝具、衣類、塗料、マントル、自動車用触媒、耐火物、研磨材、肥料、湯の花など	商品ごとに対象とすることを検討	10 μ Sv/年～1mSv/年
7 放射線の性質を利用するも（精製された核燃料物質や放射線源）	核燃料物質（ウラン、トリウム）、ラジウムなど	対象	10 μ Sv/年
8 ラドン	ラジウム線源からのラドン 核原料物質鉱山のラドン 住居、一般職業環境のラドン	対象 鉱山保安法 対象外	— — 今後の検討

チタン工場等から廃棄された残渣のように、過去に廃棄された自然放射性物を含む残渣（区分2）や石炭灰（フライアッシュを含む）、ガス田・油田の缶石、製鉄での鉍滓など、産業で生成される残渣、灰、缶石など（区分3）は、今後対策を講ずべきとされ、講ずべき目安のレベルは1-10mSv/yが示されている。

現在操業中の原材料やその残渣については、区分4、5に分類され、規制もしくは介入されるべきとしていて、その基準は1mSv/yが示されている。

区分6は放射性に着目した利用・非利用にかかわらず、放射性物質を含む一般消費財である。それらはケースバイケースで、0.01-1mSv/yの範囲で免除レベルとしての規制が適当とされている。

区分7は、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で、ウラン・トリウムの核燃料物質とラジウムである。これらは、原子炉規制法や障害防止法の下に規制される。

最後の区分8がラドンである。ラドンは放射線源として使用される半面、一般環境中に常に存在することなどからその規制・介入は一筋縄ではいかないと、対応策は先延ばしされ、今後の検討課題とされている。

5. ウランの問題

今日、ウランの利用と云えば、原子炉の燃料としての利用が主である。しかし、前項で述べたように、様々な原材料にウランは含まれており、また思わぬところで濃縮されて問題となることがある。例えば、現在はほとんど使用されていないが、緑色のガラスや陶磁器に着色剤としての利用がある⁵。あるいは、使用後に出てくる石炭灰や、石油精製過程での配管中の缶石（スケール）中に濃縮された、いわば厄介者としての存在などがある。つまり、ウランは区分1～7のどの区分にも関係しているのであるが、同表に見るように区分によって法的な扱いが違うことで、管理上、また廃棄上で問題が生じる。

もう一点、ウランで悩ましい問題は、ウランとその子孫核種と関係である。つまり、子孫核種と放射平衡にあるウランの利用なのか、子孫核種のない単体としてのウランの利用なのかである。両者の違いは、線量に直接関係してくる。つまり、ウランの線量とは、その子孫核種（ラドン短寿命子孫核種）であるPb-214とBi-214から出るガンマ線に大きく依存しているために、単体の時の線量は大変小さく、放射平衡時に大きくなることから、防護上で違いが発生する。

実際に使用しているときは、計画段階で線量が計算されて、しかるべき対応がとられているために問題とはならないが、それらが廃棄処分された後で問題

が生じる⁶。つまり、線量への寄与が大きいラドン短寿命子孫核種が大きく成長してくるのは廃棄後の10万年以降であるが、そのような遠い将来まで責任を持った対応は極めて難しいが、それができないという状況を免れえないことにある。つまり、責任はとれないが、知らん顔もできないというジレンマである⁷。この点をクリアするには、ウランが地殻のどこにも存在している点に着目することで、自然のレベル程度の濃度で廃棄するというのが、一つの有力な考えとなる。

一方、区分1～6のNORM利用の場合は、ウランは精錬されていないので、子孫核種と放射平衡かあるいはそれに近い状態にあると考えられる。したがって、現状の線量がそのまま遠い将来も続くと考えればよい。NORMの使用量が多量の場合や、石炭灰・缶石のように意図せずに蓄積したものについては、現状での線量が高くなることに配慮しなければならないが、この場合も自然のレベル程度の濃度で廃棄するのが合理的と言えよう。

このような考えに立てば、どの区分についても、同じ処方箋で処分できると思われる。

6. ラドンの問題

ラドンは、表3の区分8で分かるように、3つの状況がある。一つは、ラジウムを放射線源として利用した場合に子孫核種として出てくる場合、あるいはラドン自体の利用（発生源としてラジウムを使用）した場合である。この場合は、線源としての利用であるから、放射線障害防止法に則って管理され、防護される。二つ目は、ウランの資源（核原料、核燃料）としての開発で、この場合は鉱山保安法によって管理される。三つ目が通常的环境におけるラドンの問題である。

ウランは、ウラン鉱山のように地殻中で濃縮されている場合もあるが、前述したように、太古から地殻に広く分散して存在する。その子孫核種であるラジウムも同様に広く存在しており、その平均濃度は共に 0.03Bq/g^1 である。それ故に、常時、地殻中でラドンが発生しており、これらは放射平衡状態（ラドンとラジウムは約30日で放射平衡となる）にある。ラドンは気体であるから、地表面から大気中に拡散してきており、建物の中にも侵入してきている。建物は気密性があり、一方で屋外大気は日中には晴天日では上方向へ拡散しているから、屋内濃度は屋外の3倍程度と高い。その上に、屋内は人が過ごす時間の長いことから人の被曝に注意を払わなければならない状況が、しばしば欧米などで出来している。

欧米を中心とした最新の屋内データの分析によれば、発癌の上昇率は100 Bq/m³当り0.5%（非喫煙者）～12%（喫煙者）⁸と見積もられている。これは、100Bq/m³以上の濃度がそれほど珍しくない欧米では無視できない問題である。幸いにも、わが国の屋内では100Bq/m³以上の濃度はかなり稀であるが、やはり注意を要する問題である。

ラドン問題は、いま述べた自然環境中のラドンの他に、前出の NORM に由来するラドン、放射線利用に伴うラドン、そして、それらを廃棄処分した後に処分場から発生してくるラドンがあるが、それらには出所を示すタグが付いているわけでないから、それらを識別することはできないことにある。ここに、ウラン（ラジウム）を含んだ廃棄物をどのように捉え、扱うべきかの問題が生じてくる。

放射線の生体への影響は、自然放射線であろうと人工放射線であろうと両者に違いはない。また、自然のあるがままの状態と人が手を加えた状態とで、線量が同じであれば、両者に違いはない。これは科学的な理解であるが、社会的には必ずしもそのように思われず、一度手を加えたものはより厳しく管理されるべきであるという考えが、しばしば見受けられる。

社会的、倫理上の問題として捉えた時、簡単に解決する課題ではないが、冷静で合理的な思索を重ねて、科学的な判断に依拠するようにしたいものである。

7. おわりに

NORM とウランおよびラドンについて、その利用形態および放射線量としての問題を述べ、また、それらが不離不足の関係にあり、最終的にラドン問題に帰着することを述べた。ラドン問題は、解決が求められている現在進行中の課題であるが、課題の解決に当たっては、科学的合理性に基づくことを社会全体で共有できるように期待したい。

参考文献

1. 放射線医学総合研究所：「放射線の線源と影響」、UNSCEAR 2008年報告翻訳版、p.4、2011.
2. 原子力安全研究協会：「新版 生活環境放射線」、p.73、平成23年12月.
3. 文部科学省：「ウランまたはトリウムを含む原材料、製品等の安全確保に関するガイドライン」、p.22、平成22年6月26日.
4. 放射線審議会基本部会：「自然放射性物質の規制免除について」、平成16年、p.11、7月22日.

5. 大森潤之助：「日本のウランガラス」、里文出版、2008.
6. 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」、2006.
7. 日本アイソトープ協会：「長寿命放射性固体廃棄物の地層処分における放射線防護」、ICRP Publication 122翻訳版、2017年.
8. ICRP：“Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon”, ICRP Publication 115, p. 32, 2010.

(藤田保健衛生大学客員教授)