

消費財およびその他の線源による米国民の放射線被曝 — ガラス器および陶磁器

NCRP Reports No. 95. Radiation exposure of the U.S. population from consumer products and miscellaneous sources - Glass and Ceramics

National Council on Radiation Protection and Measurements. 39-44, Dec.30, 1987

3.2.7 ガラス器および陶磁器

自然界に存在する放射線物質は、150年以上にわたってガラス器および陶磁器に使用されている [Jensen,1952]

ウラン化合物は、蛍光ガラス器、様々な色の釉薬（上薬）、壁用タイルなどに用いられる。最近では、着色、蛍光を目的として義歯にも使用される。トリウム化合物は、壁用タイル、電気製品に使用される。

3.2.7.1 ガラス器中のウラン

ウラン酸炭酸ナトリウムは、一般に蛍光ガラス、多色ガラスの製造に使用される。特に1940年代まで、ガラスに二色性を賦与するために好んで用いられた。ウラン濃度が高いほど、ガラスは不透明になる。1972年の時点で、燭台、花瓶など非食用目的のガラス製品の着色剤としてウランを使用しているメーカーは2社であった。連邦政府の規制では、ガラス器には10重量%までのウランあるいはトリウムの含有が許容されている。ただし、商業用ガラス煉瓦、ガラス板、陶磁器タイル、その他建設用ガラス・陶磁器については、0.05%とされる [CFR, 1986c]。

3.2.7.2 釉薬中のウラン

ウランの酸化物、ウラン酸ナトリウムは、黒、茶、緑、黄～赤の釉薬に使用されている。釉薬は食器、陶器の着色に1～20重量%含有されている。ガラス器同様、1940年代にウランの利用が制限されたため、製造業者は他の色素を模索せざるを得なかった。この代替物はしばしばウランよりも経済的であったため、近年では釉薬にはウランはそれほど使用されていない。現状では、食器の釉薬にウランを使用している製造業者はない。米国原子力規制委員会 (U.S. Nuclear Regulatory Commission, USNRC) の規制は、食器釉薬中のウラン化合物の最大含有量は20重量%とされている [CFR, 1986c]。食器用陶磁器の許容は、食品薬品局 (Food and Drug Administration, FDA) の食品付加条項に定められており、このような釉薬の使用は特別に認可されない限り禁止されている。今日まで、このようなウラン陶磁器釉薬が認可されたことはない。

ウラン釉薬を使用した様々な食器の β 線、 γ 線のフィルムバッジによる表面線量率計測では、5～200 μ Gy/h (0.5～20 mrad/h) であった [Menczer, 1965]。ウラン含有エナメル表面では、37 μ Gy/h (3.7 mrad/h) が報告されている [USNRC, 1983]。外部被曝に加えて、ウランと鉛は釉薬から10～55 ppmが浸出しうることが知られている [Kendig and Schmidt, 1972]。これは630 mBq/ml (17 pCi/ml)に相当し、飲料水の職業被曝の最大許容値220 mBq/ml (6 pCi/ml)を超える [NCRP, 1959]。この計測濃度では、放射線よりもウランの化学毒性の危険が大きいと考えられる。この結果、米国内で唯一のウラン釉薬製造業者は、製造を中止した。

3.2.7.3 ガラスエナメル中のウラン

ウランは、食器、宝飾品など、様々なエナメル製品の着色にも利用されている。このような製品における問題は、1980年代初期の七宝焼き装飾品の比較的高線量に関する報告でとりあげられている。USNRCのスタッフによる報告でも、同様の線源から表面線量37 μ Gy/h (3.7 mrad/h)の報告がある [USNRC, 1983]。このような宝飾品の多くは輸入品であるが、米国内で非常に人気が高く、体表にじかに接して装用される。そのため、USNRCは1983年、ウラン含有エナメル製品の販売を禁止した [USNRC, 1983, 1984]。既に販売店や消費者の手に渡った製品については、輸送上の問題、および予測される放射線障害が比較的軽度であることから、リコールされなかった。

3.2.7.4 歯科用製品

陶製の義歯、歯冠は、主に長石から作られており、自然界にある ^{40}K を少量(0.001%)含有している。ウラン塩の添加は、少なくとも半世紀前に、これを加えることにより義歯に自然な発色と蛍光が得られることが発見されて以来行われている。義歯を使用する主な理由は、自然な外観が得られることである。その他の物質についても、自然光から人工照明まで幅広い条件下で、このような特性を模倣できることが知られている。ウランの必要濃度は非常に小さく、1960年代の陶製品に規制がかけられたときも除外条項が容易に適用できた。USNRCの規制下では、国産、輸入品とともに歯や

粉末は 0.05 重量%を超えるウランを含有してはならない [CFR, 1986a]. 歯科製品は、自然界の放射線カリウムを含むが、これについては規制がない。

1974 年、イギリスの O'Riordan & Hunt の研究によると、ウラン濃度 0.10% の陶製義歯による口腔粘膜の年間被曝は、 α 線 6 Sv (600 rem), β 線 0.028 Sv (2.8rem) である。この推測値は、ウラン濃度 500ppm の場合年間表面線量当量は約 4 Sv (400 rem) とするギリシアの Papastefanou ら (1987) による最近の研究によく一致する。アメリカの歯科製品の研究では [Thompson, 1976], 最大観測値は 0.044% で、粘膜の年間線量当量は α 線 1.3 Sv (130 rem) であった。しかし、組織内の α 線の最大飛程は 30 μm であることから、エネルギーの大部分は感受性の高い基底層を覆う表層細胞に吸収される。口腔内の唾液、歯周囲菌膜 (ペリクル), 歯石、食物や煙草の残渣により、 α 線はさらに有意の危険がないレベルにまで減弱する。

β 線は、組織内で深さ 200 μm まで透過する。放射線健康局 (Bureau of Radiological Health) の研究では、ウランとカリウム -40 を合わせた β 線による基底層における年間線量当量は、9 mSv (0.9 rem) と計算されている。アメリカの歯科用陶磁器の平均ウラン濃度は 0.02% と推定される。これは、ウランの β 線の年間線量当量約 5 mSv (0.5rem) に相当する。カリウム -40 の寄与は、年間 1.4 ~ 1.9 mSv (0.14 ~ 0.19 rem) である。

1971 年の時点で、米国内で 1,900 万人以上が総義歯を、6,000 万人以上が歯冠を使用していると推測される [DHEW, 1962, 1971]。約 9,000 万人が、少なくとも 1 本の欠失歯があるとされるが、ブリッジや部分義歯の使用者数は不明である。これより新しい推計値は発表されていないが、歯科産業界の消息筋によれば、新しい歯科補綴物の 40% が陶磁器を含んでいるが、国内製造業者による陶磁器にはウランはもはや使用されていないことである [ADA, 1986]。その他の歯科製品もアクリル製で、ウランを含まない。

4,500 万人が歯科補綴物を使用していると推測され、その平均ウラン濃度は 0.02% で、 β 線線量のみを考慮すれば良いので、粘膜の線量当量は 7 mSv (0.7 rem) である。この放射線源による口腔粘膜の平均年間集団線量当量は、1.3 mSv (0.13rem) と推定される。ヒトの皮膚に対する荷重係数を 0.01、粘膜の照射が皮膚の 1% とすれば、粘膜に対する荷重係数は 0.01% (10^{-4}) と推定される。この結果、米国民に対する年間集団実効線量は、31.5 人・Sv (3,150 人・rem) となる。この線量は、ウランを含まない歯科用陶磁器が旧来のウラン含有陶磁器を置き換えてゆくことにより、経時的に減少すると思われる。

3.2.7.5 眼科用ガラスの不純物としてのウランとトリウム

眼科用ガラスは、メガネ、接眼鏡のレンズ製造に使用される。現在、化合物、溶液、合金の 0.05 重量%以下であれば、NRC の規制や免許なしで放射性物質 (ウラン、トリウム、その混合物) を含有できる。さらに稀土類混合物、製品については、0.25% の最大許容限度が定められている [CFR, 1986c]。

Pecora & Munton (1974) は、トリウム塩添加により着色した眼科用レンズが、放射線源となりうることを報告した。彼らは、幾つかのメーカーのバラ色に着色したレンズを試験し、 α 線による角膜上皮に対する線量当量率が 0.1 ~ 0.3 mSv/h (10 ~ 30 mrem/h) とした。深さ 0.2cm における β 線線量当量率は、0.7 ~ 2 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ (0.07 ~ 0.20 mrem/h)、全眼に対する γ 線線量当量率は 0.06 ~ 0.3 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ (0.006 ~ 0.030 mrem/h) であった。また別の研究 [Yaniv, 1974] では、サンプルとした眼科用レンズのトリウム濃度は最大 0.14% で、ガラスによってトリウム、ウラン濃度に大きなばらつきがあったという。

トリウムは、一部の眼科用レンズ製造業者が使用している稀土類酸化物の不純物として存在する [McMillan et al., 1975]。トリウム含有量は、連邦規制 (CFR, 1986a) が定める限度の 10 倍にもなることが見いだされた。このような酸化物と不純物が、一般に眼科用ガラスの主たる放射線源と考えられる。

Tobias & Chattejee (1974) の線量計算によると、平衡状態にある ^{232}Th 0.05 重量%を含む眼鏡を毎日 16 時間装用する場合、決定臓器である角膜 (50 μm) の胚細胞層に対する年間 α 線量は、2mGy (0.2 rad) (精度 2 倍の範囲) であり、 β 線の吸収線量も概ね同程度である。Casaarett ら (1974) によると、角膜 (深度 50 μm) 胚細胞層の線量当量率は、 α 線の線質係数を 20 として、約 40mSv/y (4 rem/y) である。しかし、 β 線の線量当量率は、線質係数が小さいのでこれよりはるかに小さくなる。

Yaniv (1974) によると、眼科用ガラスからの線量率は、稀土類酸化物、ジルコニア酸化物の品質管理により有意に低減できる。この研究で明らかになったもう一つの問題は、親核種—娘核種の平行状態にばらつきがあるため、計測される放射線とガラスに含まれる放射性物質量が直接関係しないことである。実際には、眼科用ガラスの放射線は、主に ^{232}Th , ^{238}U の短半減期核種によるもので、これは親核種を除いてもガラス内に存在する。従って、線源物質を管理するだけでは、ガラス内の放射性物質を除去するには不充分である。Yaniv は、眼科用ガラスについては、親核種の重量%ではなく、放出率に基づく新しい規制を推奨している。光学機器製造業者協会は、USNRC およびその他の当局の支援の下、眼科用ガラスの自主的な放射線喜寿を設

定している [OMA,1975].

1977年時点では、米国内では約96,000,000人が眼鏡を使用している [BOC,1979]. 現在、米国内で使用されているメガネの約半数は、放射性物質を含まないプラスチックレンズである。これは、プラスチック製コンタクトレンズについても同様である [Buckley et al.,1980]. 従って、米国内でガラスレンズのメガネを使用しているのは、約50,000,000人である。角膜(深度50 μm)に対する年間線量当量率40 mSv(4 rem), 組織過重係数 $\leq 10^{-4}$ とすると、米国民の年間集団実効線量当量は200人・Sv(20,000人・rem)以下である^{*}。

^{*}放射線誘発角膜癌の報告はない。従って、実効線量の推定に当たって荷重係数 $\leq 10^{-4}$ とすることは妥当と考えられる。

【参考文献】省略（原文参照）