



劣化ウラニウム：放射線源、曝露、健康影響



要旨

この劣化ウラニウム (depleted uranium、DU) に関する科学評論は、世界保健機関 (WHO) が実施中の生物・物理・化学剤曝露が引き起こしうる健康影響についての評価の一環である。この要旨では、DU弾が使用された紛争地帯の住民への健康影響を考える際に生じる環境衛生に関する多くの重要な疑問に取り組んでいる。

目的と意図

本要旨の主な目的は、DUに曝露されることで生じうる健康危害について検討することである。本要旨は、WHO加盟諸国がDUと人間の健康についての問題点を適切に取り扱うことができるように、有益な情報と提言を提供する手ごろな参照本となるように考えられている。

DUの曝露源、急性あるいは慢性的な摂取が想定される経路、放射線学的・化学的な毒性の観点からの健康危害、また将来の調査の必要性についての情報を提供する。様々に異なる溶解度特性を持つ混合物の数種の摂取経路についても考察する。

ウラニウムは体内でDUと同様の作用を示すため、ウラニウムについての情報を広範囲に用いている。

ウラニウムと劣化ウラニウム (DU)

ウラニウムは、自然発生し遍在する重金属であり、全ての土壌・岩石・海・大洋において様々な化学形態で見られる。また、飲料水や食品中にも存在する。平均すると、通常の水・食品・大気の摂取により、およそ90 μ gのウラニウムが人間の体内に存在する。およそ66%は骨格に存在し、16%が肝臓、8%が腎臓、10%が他の組織に存在する。

天然のウラニウムは、3種類の放射線性同位元素の混合物から成り、質量数により²³⁸U (質量の99.27%)、²³⁵U (0.72%) および²³⁴U (0.0054%) として識別される。

ウラニウムは主として原子力発電所で使用されている。ほとんどの原子炉はウラニウムを必要とし、その中では²³⁵Uの含有量が、0.72%から約3%にまで濃縮されている。濃縮された成分を取り除いた後に残ったウラニウムをDUと呼ぶ。DUは一般的に質量のおよそ99.8%の²³⁸U、0.2%の²³⁵U、0.0006%の²³⁴Uを含む。DUは同じ質量のウラニウムに対しておよそ60%の放射能を持っている。また、DUは原子炉で燃料を再処理した結果としても生じる。このような状況下で、さらに他のウラニウム同位元素である²³⁶Uは、極少量の超ウラニウム元素であるプルトニウム、アメリシウム、ネプツニウムおよび核分裂生成物であるテクネシウム-99とともに存在する。これらの微量な追加元素からもたらされる放射線量の増加は1%

未満である。これは、放射線学的毒性と化学毒性の両方から見て、ほんのわずかな増加に過ぎない。

劣化ウランの使用

DUには多くの平和的利用法がある。すなわち、飛行機の平衡錘や安定器として、放射線療法に使用する医療機器の放射線遮蔽材として、また他の放射性物質を輸送する際の容器としても利用される。

DUは鉛の約2倍という高密度であることや他の物理的特性を有することから、装甲板を突き破るための弾丸として使用される。また、軍事車両や戦車の補強にも使用される。

被曝および被曝経路

天然のウランウムへの通常と同じ被曝経路で、DUに個人が被曝する可能性がある。つまり、吸入・経口摂取・皮膚接触（破片の埋没による外傷を含む）が被曝経路として挙げられる。

吸入：紛争におけるDU弾の使用の最中やそれに引き続いて、または風や他の形態の擾乱によりDUが大気中に懸濁しているような環境で、最も起こりやすい摂取経路である。DUの貯蔵施設の火災、飛行機の墜落、紛争地帯内やその近隣で除染作業をした車両などを介して、偶然に吸入してしまうこともありうる。

経口摂取：飲料水や食物がDUで汚染されている場合、大きな集団で起こりうる。また、小児が誤って土を口にする場合も、想定される重要な被曝経路である。

皮膚接触：DUはほとんど皮膚を通して血中には至らないため、比較的重要ではない被曝形態と考えられている。しかしながら、DUは開放創や体内に埋没したDUの破片を介して体循環に入り込む可能性がある。

体内蓄積

体内に侵入したウランウムのほとんど (>95%) は吸収されず、糞便として排泄される。血中に吸収されたウランウムの約67%は腎臓で濾過され、24時間で尿として排泄される。典型的には、食物と水に含まれていたウランウムの0.2~2%が胃・腸管で吸収される。可溶性ウランウム化合物は、不溶性のものよりも容易に吸収される。

健康影響

おそらくDUは、化学的かつ放射線学的に毒性があり、その標的となりやすい重要な器官は腎臓と肺である。健康影響は、その個人が被曝したDUの物理・化学的な性質、被曝の程

度と期間により異なる。

ウラニウムに曝露される作業者に関する長期的な研究で、被曝の程度に依存した腎機能障害が報告されている。しかしながら、この機能障害は一過性で、腎機能はウラニウムへの過度の曝露源が取り除かれればすぐに回復するという裏付けもある。

吸入された不溶性ウラニウムの粒子は、サイズにして1~10 μ mである。肺の内部にとどまる傾向があり、肺に照射損傷を引き起こす可能性がある。放射線量が多い場合には、長期間経過後に肺癌をも引き起こすことがある。

DU金属の皮膚への直接接触は、数週間にわたったとしても、放射線誘発性の紅斑（皮膚の表在性炎症）や、その他の短期的な影響を引き起こすことはほとんどない。体組織に破片が埋没していた退役軍人の追跡研究によると、尿中からは検知可能な水準のDUが検出されているが、健康上重大な影響は認められていない。装甲車両内の軍関係者の放射線被曝は、自然バックグラウンドレベルのあらゆる線源からの年間平均外部被曝量を超えることはほとんどないと思われる。

化学毒性と放射線量に関するガイダンス

本要旨では、さまざまな異なる被曝形態について、耐容摂取量、つまり一生にわたり有害な健康被害が出現しない程度の物質の推定摂取量を挙げている。

これらの耐容摂取量は長期被曝に適用される。単回かつ短期間の高濃度被曝では、有害な影響が出現せずすむかもしれないが、長期間の耐容摂取量の値が危険性を伴わずに一時的に超過するのはどれほどの量であるのかを評価する数値的情報はほとんどない。

一般市民の場合、可溶性ウラニウム混合物は1日に体重1kg当たり0.5 μ gの耐容摂取量を超えてはならない。不溶性のウラニウム混合物は腎毒性が極めて弱く、1日に体重1kg当たり5 μ gが耐容摂取量となっている。

一般の人々による可溶性または不溶性のDUの混合物の吸入は、呼吸性画分で1 μ g/m³を超えてはならない。この制限は可溶性のウラニウム混合物の腎毒性と、不溶性のウラニウム混合物の放射線被曝に由来するものである。

経口摂取を介してDUに過度に曝露されている作業者は、職業上健康対策が採られている作業所ではほとんど見られない。

可溶性または不溶性のDU混合物への職業被曝は、8時間の平均で、0.05mg/m³を超えてはならない。この制限は化学的影響と放射線被曝の両方に基づく。

放射線量限度

放射線量限度は、バックグラウンドレベル（自然界における通常被曝レベル）を超える被曝に対して規定されている。

職業被曝に関しては、影響のある実効線量が、5年間連続で年間平均20ミリシーベルト（mSv）を超えてはならないか、または単年で50mSvを超えてはならない。同様に局部（手

と足) または皮膚への実効線量は年間500mSvを超えてはならない。

一般市民の被曝に関しては、実効線量が年間1mSvを超えてはならない。特殊な環境での実効線量は、5年間連続で年間平均1mSvを超えないという条件のもと、ある一年に限り5mSvに制限することができる。皮膚への等価線量は年間500mSvを超えてはならない。

摂取の評価と治療

一般集団にとっては、ウラニウムのバックグラウンドレベルを著しく超えて、DUに曝露されることはほとんどない。もし例外的な被曝が起こったことが疑われる十分な理由がある場合、尿中ウラニウム濃度を測定することが最良の確認方法である。

DUの摂取は毎日の尿中への排泄量により判断することが可能である。DU濃度は、感度の良い質量分光学的技術を用いて測定することができる。この技術を用いれば、mSvレベルで線量を評価することが可能なはずである。

被曝直後にサンプルを集めることができれば、糞便のモニタリングから摂取に関する有益な情報を得ることも可能である。

胸部の外部被曝のモニタリングには、特殊な施設が必要であり、線量の評価には被曝直後に測定しなければならないため、適用には限界がある。如何なる至適環境下であっても、最小線量は10mSvの単位でしか評価することができない。

被曝から治療までに数時間が経過すると、高度に被曝を受けた人に対して、全身に存在するDUをかなり減少させるような治療法はない。患者は対症療法を受ける必要がある。

結論：環境

DUの軍事的利用のみが、環境濃度に対して重大な影響を持っていると考えられる。DU弾が使われた現地におけるDUの測定により、地表の汚染は攻撃地点からの数十メートルの範囲に限定されることが示されている。しかしながら、数年経過してから食物や地下水の汚染が現れた例もいくつかあり、かなりの量のDUが食物連鎖に入る可能性があるところでは、監視と適切な対策を行うべきである。WHOの飲料水の品質に関するガイドラインでは、ウラニウムの含有量は1リットルあたり $2\mu\text{g}$ であり、これはDUにも適用される。

紛争の影響を受けた地帯では、相当量の放射性粒子が残存しており、資格のある専門家によりDUの汚染レベルが許容範囲を超えていると判断されれば、可能な除染活動を行うべきである。DUの濃度が非常に高い地域は、除染がすむまでは外部と遮断する必要もありえる。DUは半減期が長い放射性金属であるため、DUの廃棄には規制が必要である。

DUの金属廃棄物が他の金属の廃棄物に加えられ、再生製品に使われる可能性がある。廃棄は放射性物質の使用に関する適切な勧告に従ったものでなければならない。

結論：被曝した人々

可溶性DU混合物の人間の摂取に関する制限は、1日に体重1kg当たり $0.5\mu\text{g}$ の耐容摂取量

に基づいたものでなければならず、不溶性のDUの摂取量は化学的影響と国際基本安全基準（BSS）に記載されている放射量限度の両方に基づいていなければならない。

DUへの曝露については、この要旨の中で述べた可溶性および不溶性溶性DU混合物の放射線学的毒性や化学毒性から防護するのに必要とされる水準にまで管理されていなければならない。

DUが使われた紛争地域の住民に対しては、DUに関連する健康への影響を危惧して一般的な健診や監視を行う必要はない。

DUへの被曝量が過度であったと思われる人は、各々のかかりつけ医に相談し、如何なる症状についても適切な治療と経過観察を受けるべきである。

小児は、紛争地域で遊んでいるときに、手を口に持っていく動作によってDUに汚染された土壌を経口摂取し、DUへ大量に曝露されることが考えられる。こうした被曝形態に関しては監視が必要であり、予防手段を講ずることが必要である。

結論：調査

得られている情報には格差があることから、健康危害へのより良い評価を行うための主要分野におけるさらなる調査が推奨される。特に、程度、可逆性、DUに曝露された人々の腎障害に対する考えられる閾値などについて、われわれの理解を明確にするための研究が必要である。自然にウラニウム濃度が増加した飲料水に曝露された集団に関する研究から重要な情報が得られる可能性がある。