

劣化ウラン弾による環境影響

—— IAEA と UNEP の報告から ——

ま え が き

日本の自衛隊がイラクのサマワで人道復興支援活動をしているが、イラク戦争で使用された劣化ウラン弾によって隊員が放射線の影響がでるのではないかと話題になった。また、一部では劣化ウラン弾により子供が白血病になったという報道もなされている。白血病は、原爆のような多くの放射線を受けた場合に発症することは知られているが、それよりも自然に発症することのほうが日本でもイラクでもむしろ多く、いまだ原因が不明な病気となっている。

劣化ウランから出る放射線の量は、天然ウランの 100 分の 1 と少ない。また、濃縮ウランや高濃縮ウランなどと比べても低く、いろいろなウランの中でも安全なウランといえるものだ。兵器として利用されているのは、比重が大きいために戦車なども打ち抜くことができ、貫通すると車内で発火して飛散する徹甲焼夷弾のような性質を持ち、そしてコストが安いことが理由として挙げられ、放射線の影響を期待した兵器ではない。

国際原子力機関（IAEA）や国連の環境計画（UNEP）が、湾岸戦争やコソボ紛争で使用された劣化ウラン弾による環境影響の調査を行なっている。

ここでは、調査の結果やウランの毒性についてまとめたので、ご一読頂ければ幸いである。

平成 16 年 6 月
(財)日本原子力文化振興財団

目 次

1. 劣化ウラン弾と汚染状況	1
2. ウランの毒性	4
3. ウランとは何か	6
4. まとめ	8

劣化ウラン含有弾（以下、劣化ウラン弾という）が、湾岸戦争やコソボ紛争、最近ではイラク戦争で使用された。劣化ウラン弾の環境影響については、国際原子力機関（IAEA）や国連環境計画（UNEP）がイラク以外でそれぞれ調査を行ない、報告書^{1) 2) 3)}としてまとめている。それらによると、現状では人などに影響を与えるものではないが、将来、地中に潜った劣化ウランが腐食して地下水に溶け、飲料水に混入するといった、あくまで可能性であるが、リスクがあるので、監視などのモニタリングが必要であるとしている。

一般に、天然ウラン（ウランの他にウランから変化した放射線を出す元素を含む）は、身の回りの生活環境にもあるが安全上問題にならない。劣化ウラン（ほぼウラン元素からできている）は、天然ウランよりも放射線量が弱いうえに、天然ウラン中のウラン成分より安全なものである。また、放射線の測定では、ウランによって障害が現れるような量よりもはるかに低い量を計ることができる。そして、通常的环境放射線を計る方法である、地面から1m離れたところで計るとすれば、調査した地域は環境レベル程度の量だったと推察される。さらに、これまでのウランによる影響の研究からしても、このような状況では、劣化ウランが原因で子供に限らず大人にも、腎臓疾患などが突然多発するとは想定しがたく、ましてや白血病、ガンに結びつく理由はほとんど考えられない。

1. 劣化ウラン弾と汚染状況

1 - 1 劣化ウランの放射線量は天然ウランの 100 分の 1

劣化ウランは、比重が約 19（鉄比重：約 8、鉛比重：約 11）と大きいために貫通力があり、そしてコストが安いことから劣化ウラン弾として使用されている。この他に飛行機やヘリコプターのバランサーとして、また放射線の遮蔽材として使用済燃料の輸送容器などにも利用されている。

放射性物質の中でも天然ウラン自体はそれほど放射線の強いものではないが、劣化ウランは不純物が取り除かれているため、放射線による影響は天然ウランより 100 分の 1 ほどと低く、際立って安全なウランといえる。天然ウランには、ウランから変化した透過力の強い放射線を出すいろいろな元素が含まれているが、劣化ウランは、それらの元素を取り去ったもので、ほとんどが透過力の弱い放射線を出すウランからできている。

金属状の劣化ウランは酸化しやすく、例えば戦車を貫通するとき摩擦で高温になり発火して戦車内に飛散して高熱で相手に被害をもたらすもので、放射線の影響を期待した兵器ではない。また、一部で指摘されているように、ウランが核燃料物質だからといって、核分裂に最も不向きな劣化ウランが核兵器となるはずもない。

このようなことから、劣化ウラン弾を拾って長期間持ち歩いたり、あるいは劣化ウランの

粉末が溜まっている戦車内に入って、舞い上がった粉末を吸い込んで肺にたくさん取り込んだりする場合を除いて、それほど心配のない物質である。

表 1. 劣化ウランの線量を 1 とした場合の影響の比較

被ばく経路	劣化ウラン	天然ウラン	濃縮ウラン(3 ～ 5 %)
外部被ばく	1	100	2.5
吸入摂取	1	26	3.5
経口摂取	1	221	3.1

1 - 2 クウェートやコソボでの調査でも環境に影響はない

劣化ウラン弾は、1990 年のボスニア紛争で 11t、91 年の湾岸戦争で 340t（IAEA の報告では 286t）が使用され、99 年のコソボ紛争や 2003 年のイラク戦争でも使用されている。

ボスニア・ヘルツェゴビナで使用された劣化ウランは、戦車も含め既に除染が相当進んでいる。

コソボ、セルビア、モンテネグロで劣化ウラン弾が使用されてから 1 ～ 2 年後に、UNEP が環境への影響調査を行なった。IAEA は、湾岸戦争で使用されてから 10 年後に、クウェートで調査を実施している。

これらの結論としては、現状で人、動物、環境に影響を与えるような状況にはないとし、将来については、劣化ウラン弾が埋没した土壌の土木作業による空気汚染、地下水を通した飲料水への汚染のリスクはあるとして、モニタリングの継続を勧めている。

また、日本でも劣化ウラン弾が平成 7 年と 8 年に沖縄の鳥島射爆場で使用されたことがある。これは、米軍が劣化ウラン弾を誤って使用したもので、その総重量は約 220kg ほどであった。その後数年間にわたり、現地の鳥島および約 20km 離れた有人島である久米島において、旧科学技術庁が環境調査を実施しており、全く問題がないことを確認している⁴⁾。

1 - 3 劣化ウラン弾は貫通しやすい

劣化ウラン弾は、20mm 口径（劣化ウランの重さ約 0.5kg）から 120mm 口径（劣化ウランの重さ約 5kg）までとさまざまある。

砲弾は、貫通体（ペネトレータ：弾芯）である劣化ウラン金属を先端部のウインドスクリーンおよび周辺部のジャケットあるいはキャリアと呼ばれるもの（通常はアルミニウム製）で覆った弾丸と火薬を詰めたカートリッジケースからなる。

口径はキャリアを含めた値で、例えば鳥島に米軍がウラン弾を誤射した時の劣化ウラン弾の口径 25mm は、直径約 10mm、長さ約 70mm の劣化ウラン弾芯と、それを取り巻く厚さ

約 7.5mm、長さ 99mm のキャリアといった具合である（図 1）。

ちなみに 25mm 弾のカートリッジケースを含めた全長は約 223mm、最大口径 38mm といわれている。

劣化ウラン弾それ自体からの放射線は、ウランから出る放射線の透過力が弱いために、弾芯を覆っているキャリアで遮蔽されほとんど外部に漏れることがない。

発射された劣化ウラン弾が硬い目標物に着弾すると、通常キャリアと弾芯が分離されるが、回収されたキャリアにも劣化ウランがわずかながら付着する。なお、地面に当たった場合には、分離することなくキャリアごと地中に潜りこむ可能性が大きい。

在日米軍の説明などによると、劣化ウラン弾が戦車のような硬い目標物を貫通すると、そのときの摩擦熱で高温になり金属ウランが発火（600 ～ 700 ℃で着火）し微粒子化して、着火温度よりさらに高温になる徹甲焼夷弾の性質を持つという。なお、この微粒子は比重が重いために、外部に漏れたもののうち約 90 %は半径 50m 以内に落下するとされている。

1 - 4 通常の測定方法では環境レベルと同じ

IAEA と UNEP が行なった調査では、劣化ウラン弾のペネトレータ（劣化ウラン弾芯）そのものが地中から回収され、あるいは破壊された戦車の残骸が、劣化ウランに汚染されているものがあつた。付近のウラン濃度の大部分は環境水準であつたが、劣化ウラン弾の見つかった非常に近いところでは、スポット的に通常の環境水準より明らかに高い数値となつて

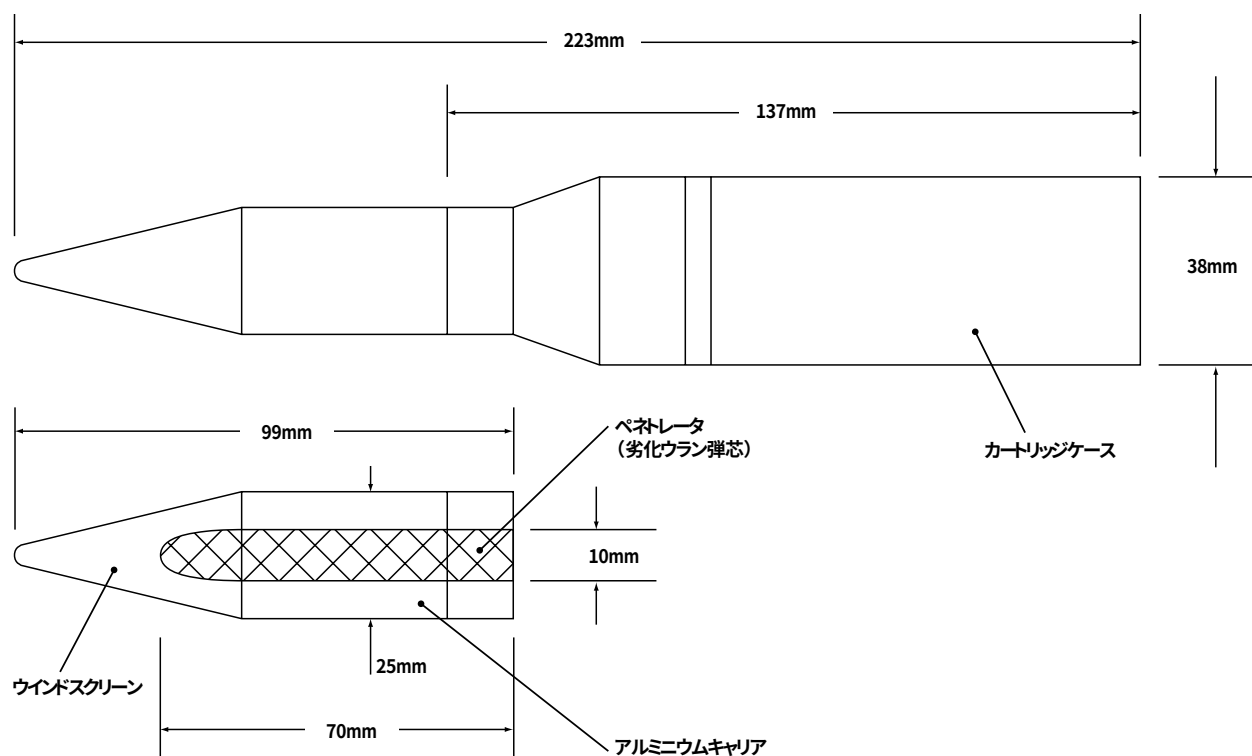


図 1 劣化ウラン弾

いる（ものによっては数千倍の濃度）が、汚染はごく狭い範囲に止まっていた。

また、回収されたペネトレータに近づけて放射線量を測定すれば、周辺の放射線量よりも数千倍レベルになることも想像される。しかし、地面付近の放射線量は、通常 1m 程度離れた位置から測定するが、このような場合には環境レベルとほとんど変わらなかったであろう。これは、劣化ウランの放射線量が少なく、その放射線の透過力が弱いためである。

劣化ウランの重量は 1kg 前後であれば、ウラン鉱石（ウラン鉱石の品位を 0.1 % と見積もって）に換算すると 1t 以上に相当する。ウランからの放射線は弱いとはいえ、ごく近いところではそれ相応の放射線量を示す。

このようなことは身の回りでもあり、例えば石碑などに使われる花崗岩に測定器を近づけて測定すれば、その周辺より 100 倍近く高い測定値が出たりするが、何ら放射線の心配はしていないし、その必要もない。世界には、日本人より 10 倍以上も高い環境放射線量で暮らす人々もいるが、放射線によって白血病などが増えたという事実もない。

また、劣化ウランが破壊された戦車や地中に残留している間は、イラクでのリスクはほかの地域より高いと思われるが、現状で健康に影響を与えるような状況ではないと想像される。ただし、わざわざマスクなどを装着しないで破壊された戦車内に入ったり、劣化ウラン弾の一部を持ち歩いたりして、リスクを高めるようなことは避けたほうが良い。

なお、これらの調査で、植物には劣化ウランの痕跡がほとんど見られなかった。ウランの存在量そのものが少ない大気にさらされている樹上の植物（地衣類、こけの仲間）、樹皮などに劣化ウランの痕跡が見られた。これは、自然界、特に土壌中にウランが普通に存在していることの証しでもある。

2. ウランの毒性

2-1 ウランは化学毒性のほうが重要

ウランは、化学的に活性な重金属であり、アルファ線と弱いガンマ線を出して崩壊する。このためウランには放射線による影響と重金属としての化学毒性がある。なお、これらの放射線は透過力が弱いため、体内に取り込まない限り問題とはならない。体内に取り込まれた時には、アルファ線の影響を考慮しなければならないが、それよりも鉛のような化学毒性の方が重要とされる。

最近の国際放射線防護委員会（ICRP）の見解⁵⁾では、「ウラン化合物の摂取は、放射線の線量よりむしろ化学毒性を考慮することによって制限されるかもしれない」と述べている。

いくつかの機関でもウランの毒性について述べているが、ほぼ同じ見解となっており、いずれも大量のウランと接触した場合に起きるとされている。ただし、ウランの毒性は、大部

分が動物実験による評価で、人から得られたデータは少なく、かつ、体内に摂取された場合でも、そのほとんどが対外に排泄されるので、その影響は小さいと考えられる。

ウラン毒性について、世界保健機構（WHO）⁶⁾ は、ウランによって影響を受けるのは腎臓と肺の2器官であるとして評価している。これらの器官は、通常の重金属と同じくウランが蓄積されて障害を起こす器官となっている。

- ① 腎臓・・・過剰なウランの影響（化学毒性）にさらされた作業者の長期的な研究では、ウランにさらされた量に依存して腎臓の悪化が示されているが、いったん過度のウラン源が取り除かれると、腎臓機能は正常に戻る。
- ② 肺・・・最近の種々のウラン化合物を吸入させる長期的な動物実験では、可溶性および不溶性のいずれについても、肺にいかなる組織学的障害も発現していない。不溶性のウラン（粒径1～10 μm）を吸入すると、肺に継続的に残留し放射線照射による影響を与え、長期間にわたり多量に被ばくすればガンになるかもしれない。

また、米国科学アカデミー・米国研究審議会の電離放射線生物影響委員会（BEIR — IV）では、大量のウランを摂取した場合、将来のリスクとして人に影響を及ぼす可能性があるとしている。呼吸によってウランを含む空気を吸い込み、そのままウランが肺に長期間残留し、多量に被ばくすれば肺がんになる可能性がある。このように大量であっても、肺ガンや腎臓機能障害の可能性は示唆されているが、白血病に結びつく可能性は示されていない。

ウランを含む飲料水や食物を多量に摂取すれば、腎機能に影響を及ぼす可能性があるとして述べられている。もっとも、あくまで「可能性がある」ということであり、最近行なわれた動物実験では、「影響はみられない」という結果も報告されている。

ちなみに、最近の毒性学的データによると、ICRPが1日当たりのウランの摂取制限値（職業人）が2mgとしているが、これは多めに見積もられていると評価されている。前述の通り劣化ウラン弾の調査では、そこに生息している植物に劣化ウランの痕跡がほとんど認められていない。劣化ウランが生活の周辺にあったとしても、日常の食生活をしていれば、毎日これだけの量を摂取するとは考えにくい。

例えば、国連科学委員会の報告書を参考に計算すると、食べ物の中に含まれるウランの量は（測定値に幅があることから）参考値として1kgの中に肉製品に0.16 μg（1000分の0.16mg）、同じく葉菜に1.6 μg（1000分の1.6mg）、魚製品に2.4 μg（1000分の2.4mg）ほど含まれている。

2－2 子供でも大人でも影響は変わらない

次に、ウランの化学毒性の方が放射線の影響より重要ではあるが、国連科学委員会の2000年報告書から、放射線の影響と年齢の関係について簡単に触れておく。

一般に年齢が小さいほど放射線の影響は大きい。同じ量のウランを取り込んだ場合、幼児は大人の3～4倍の線量を受ける計算になる。しかし、大人は呼吸量、食品・飲料水の摂取量は、幼児の3～4倍多いため、結局、受ける線量としては、あまり差のない結果となっている。

表 2 年齢によるウランの影響

経路	年齢区分	摂取比	摂取放射能比 ^{*1)}			実効線量比 ^{*2)}		
			U-238	U-235	U-234	U-238	U-235	U-234
呼吸	大人	1	1	0.05	1	1	0.05	1.2
	小児	0.8	0.8	0.04	0.8	1.0	0.05	1.3
	幼児	0.3	0.3	0.01	0.3	0.9	0.05	1.0
経口	大人	1	1	0.05	1	1	0.05	1.1
	小児	0.7	0.7	0.03	0.7	1.0	0.05	1.1
	幼児	0.3	0.3	0.02	0.3	0.9	0.04	1.0

*1) U-238、U-235、U-234 の大気、飲料水、食品等の放射能濃度比：おおよそ 1 : 0.05 : 1

*2) 実効線量は、摂取したウランから内部被ばくによって臓器または組織が、一生受ける線量の総和。

なお、前述の BEIR - IV 報告では、子供や胎児への影響について触れられている。それによれば、ウランが母乳に濃縮されることもなく、胎盤を通して母胎から胎児に伝わることは非常に少なく、子供や胎児に特定して影響が出ることはないとしている。

3. ウランとは何か

3 - 1 酸化しやすいウラン

ウランとは、原子番号が 92 番で、他の物質と化合していない金属の状態だと空気中で酸化されやすい。粉末状のウランとなると、空気中でも自然発火する。ちなみに、原子力発電所のウラン燃料は、酸化物のウランで、瀬戸物のように焼き固められているので発火しない。

ウランには、3 種類の重さの違うものがあり、一部例外があるがどの場所で採取してもこの存在比は変わらない。その割合は、ウラン 238 が 99.27 %、ウラン 235 が 0.72 %、ウラン 234 が 0.0055 % である。

3 種類のウランは、いずれもアルファ線と弱いガンマ線を出して自然に崩壊して別の元素に変わる。元の量が半分になる半減期は、ウラン 238 が約 45 億年、ウラン 235 が約 7 億年、

ウラン 234 が約 25 万年となっている。

ウラン 238 は、アルファ線を出すとトリウム 234 に変わり、さらにトリウム 234 がベータ線を出してプロトアクチニウムに変わる。さらに、放射線を出しては別の元素に変わるということを繰り返し、最後には鉛 206 で安定する（P 9 の図参照）。

精錬していない天然ウランには、ウランのほかにトリウムなどの放射性物質が 30 種類以上も含まれていることになる。精錬されたウランでは、トリウムなどの他の物質が取り除かれることになり、3 種類のウランだけになる。このウランをそのままにしておくと、時間とともに放射線を出しながら放射性物質の種類が増え、数十万年も経つと放射性物質の種類がそれ以上変わらない状態になる。

3 - 2 自然にもあるウラン

ウランは、土や河川、海水、大気中そして動植物と、どこにでも含まれている。地殻には 3ppm（100 万分の 3）ほど、海水には、陸水にくらべると高く 3ppb（10 億分の 3）ほどある。全海水量を 10^{18}m^3 とすると、約 40 億 t のウランが存在することになる。なお、海水からウランを捕集する技術は日本原子力研究所で成功しているが、コストの面からまだ実用化に至っていない。

表 3 身の回りにあるウラン

	土壌中* 1	大気中* 1	海水中* 2
U-238 濃度	世界平均 16 ~ 110Bq *3 / kg	参考値 1 μ Bq / m ³	約 40 Bq / m ³

* 1 国連科学委員会 2000 年報告

* 2 杉村、Broecker 等による

* 3 Bq : ベクレル。放射能の強さを表す単位で 1 秒間に壊れる原子核の個数。原子核が壊れる度に放射線が何個か出る。

3 - 3 ウラン 235 の濃度で変わる呼び名

わが国で利用されている原子力発電のウラン燃料は、ウラン 235 の割合が 3 % ~ 5 % に濃縮されている。これを低濃縮ウランと呼ぶ。濃縮度が 20 % 以下のものを中濃縮ウランという名称で区別することがある。さらにウラン 235 の割合を高めた高濃縮ウランには、核兵器用などに 90 % 以上に濃縮したものもある。

なお、回収ウランと呼ばれるものもある。これは、使用済燃料を再処理したときに回収されるウランで、ウラン 235 の濃度は 0.8 % から 1.2 % である。

劣化（減損）ウランとは、ウラン 235 を濃縮したあとの残りなので、当然ウラン 235 の割合は、天然ウランより低くなり 0.25 % 程度になる。

「劣化」という言葉は、劣ったものという意味だが、高速増殖炉に利用されるようになると、60 年程度といわれるウラン資源の確認埋蔵量の年数を数十倍に伸ばすことができる貴重なエネルギー資源となる。

4. まとめ

天然ウランは、放射性物質の中でももともと放射線の弱いものである。劣化ウランは、それより 100 分の 1 も放射線の影響が小さいものであり、いろいろな種類のウランの中でも最も安全なウランである。環境の放射線を計る通常の方法で計っていたら、劣化ウランがあっても周辺環境のレベルと同じだったと推察される。国連の機関が、劣化ウラン弾が使用された湾岸戦争やコソボ紛争などの地域で環境調査を行なった。それらの報告では、将来のリスクとしてはあくまで「可能性がある」というものであり、現状で直ちに腎臓障害などの健康問題に結びつく証拠は得られていないというのが結論となっている。なお、巻末に上げた学術の参考文献には、劣化ウランが白血病と関係する可能性を示す記載はなかった。

引用文献

- 1) IAEA, Radiological Conditions in Areas of Kuwait with Residues of Depleted Uranium 2003
- 2) UNEP Depleted Uranium in Kosovo - A Post-Conflict Assessment 2001
- 3) UNEP Depleted Uranium in Serbia and Montenegro 2002
- 4) 科学技術庁原子力安全課 劣化ウラン含有弾の誤使用問題に関する環境調査の結果について 平成 9 年 6 月
- 5) ICRP Publication 78, Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers, Annals of the ICRP, Vol.27 No.3/4 1997
- 6) World Health Organization, Depleted uranium Sources, Exposure and Health Effects, April 2001

その他の参考文献

- 1) United Nation, Source and effects of ionization radiation UNSCEAR 2000 report, 2000
- 2) A. Schmitt-Hanning, et. al radiation protection 68 Study on consumer products containing radioactive substances in the EU Member States EUR 15846 EN ,1995 European Commission
- 3) European Commission radiation protection 122 2001
- 4) ICRP Publication 69, Age-dependent doses to Members of Public from Intake of Radionuclides Part 3, Annals of the ICRP, Vol.25 No.1 1995
- 5) ICRP Publication 71, Age-dependent doses to Members of Public from Intake of Radionuclides :Part 4 Inhalation Dose Coefficient, Annals of the ICRP, Vol.25 No.3/4 1995
- 6) U.S. Department of Health and Human Services, Toxicological Profile for Uranium September 1999 PB.99-163362
- 7) NRPB Exposure Limits and Assessment of Intake for Inhaled Soluble Uranium Compounds, NRPB-M801 1997 年 6 月

原子 元素
番号 記号

92 U
(ウラン)

91 Pa
(プロトアクチ
ニウム)

90 Th
(トリウム)

89 Ac
(アクチニウム)

88 Ra
(ラジウム)

87 Fr
(フランシウム)

86 Rn
(ラドン)

85 At
(アスタチン)

84 Po
(ポロニウム)

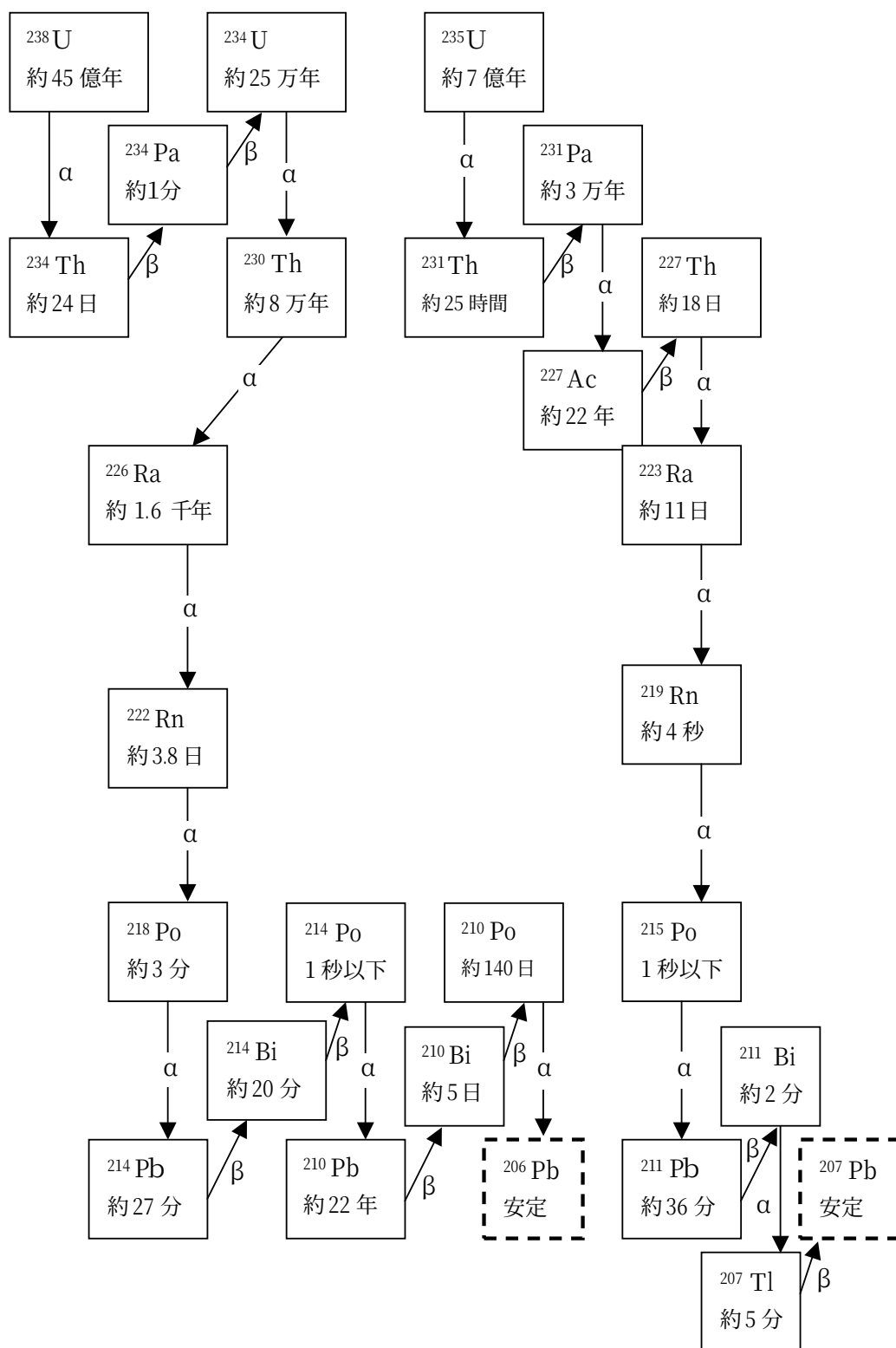
83 Bi
(ビスマス)

82 Pb
(鉛)

81 Tl
(タリウム)

ウラン（主要）系列

アクチニウム（主要）系列



図．ウランの主な壊変系列

プレスリリース No.111

劣化ウラン弾による環境影響
—— IAEA と UNEP の報告から ——

財団法人 日本原子力文化振興財団

発行 平成 16 年 6 月 15 日

お問い合わせ先
〒 103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 2-8-4
日本原子力文化振興財団 企画部

TEL 03-5651-1571

FAX 03-3639-6636