

【報文】

ブレスレットに含まれる放射性物質とその規制

Radioactive materials included in bracelets and the regulations for them

古田悦子、増田優
お茶の水女子大学 大学院Etsuko FURUTA and Masaru MASUDA
Ochanomizu University Graduate School

要旨：開運、健康目的のためにブレスレットを身につける人が近年急速に増加した。「鉱石」でできているブレスレットには、極微量放射性物質が含まれている場合が多い。一方、意図的に天然放射性物質を添加したものも存在する。ブレスレットやその原材料となる鉱石の一部に含まれる放射能を実測するとともに、それらからの被ばく線量を評価した。その結果を、国内外の規制、特に2007年国際放射線防護委員会勧告等と比較検討した。天然鉱石からなるブレスレットの一部には放射能濃度と被ばく線量が低くはないものが存在した。また、故意に放射性物質を添加したブレスレットの中には、正常使用の場合の全身被ばく線量値が公衆被ばく限度値の年間1mSvより低い場合であっても、身体近傍で長時間使用した場合の皮膚表面の被ばく線量が高くなる場合があった。このことから鉱石を原材料とするブレスレットは注視する必要がある。また、放射線防護の考え方からは、何かに放射性物質を添加することには正当性が必要である。国際的な動向を踏まえて、ブレスレットのような個人装飾品への放射性物質の故意の添加は禁止すべきであり、そのためのNORMガイドラインの改訂が必要であると考えられる。

キーワード：ブレスレット、天然放射性物質添加、2007年国際放射線防護委員会勧告、正当性

Abstract : Recently there are many people wearing bracelets for good luck and/or a healthy effect. In many cases, a bracelet made of "minerals" has included in a trace amount of radioactive material. On the other hand, there are some bracelets which are added naturally occurring radioactive material (NORM) intentionally. Radioactivity included in some bracelets and some parts of the raw materials was measured by using a HPGe detector and a multichannel analyzer. Furthermore, the radiation exposure doses from some of the bracelets were evaluated. The results were deliberated by comparing them to the domestic and/or the foreign regulations, in particular the International Commission on Radiological Protection 2007 Recommendations. Some of the radioactivity and radiation exposure doses of the studied bracelets which were made of minerals were not low. It is necessary for the bracelet to note their raw materials. Even if a radiation exposure dose in a case of the normal use of the bracelet was under 1 mSv per year (external dose limit for public), the skin equivalent doses might be high when it has been used near on the skin for a long time. It is considered that justification for something adding radioactive material is necessary on the radiation protection. The radioactive materials' intentional addition to the personal ornaments such as bracelets should be prohibited by the international current. Also it is considered that the NORM guideline needs to be revised upward.

Keywords: Bracelet, Addition of Naturally Occurring Radioactive material (NORM), The International Commission on Radiological Protection 2007 Recommendations (ICRP2007), Justification

1. はじめに

近年ブレスレットを身につける人が多い。古くからある装飾目的のブレスレット以外に、健康、開運を願ったものまで、種々販売されている。従来のブレスレットは宝石、すなわち見た目に美しい鉱石を用いたものが多く、一部には竹などの天然材料を用いたものや安価なビーズなどを組み合わせたものもあった。近年の傾向としては、パワーストーンと称する丸石をつなげた数珠状のもの、人造セラミックスなどを用いたものや、男性用のステンレススチール製などの重厚なタイプが目立つ。

鉱石には必ず放射性物質が含まれる。しかし、鉱石毎に含まれる放射性物質の量には相当の差がある。通常の装飾品である宝石類を身に着けた場合は、被ばくを議論するには及ばない程度に微量であると考えられる(飯田、2009)。一方、放射性物質を多く含むことで有名な鉱石もあり、モナザイト、ゼノタイム、バストネサイトなど十数種類が有名である。このような放射性鉱石として有名な鉱石類は、日本の場合、2009年6月に策定されたNORMガイドライン(文部科学省が定めた自然起源放射性物質(Naturally Occurring Radioactive material: NORM)の安全確保に関するガイドライン:「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」)において原材料として指定されているものが多い。これらは、量と濃度によっては、使用に際して使用時間制限などの規制を受ける。NORMガイドラインによる規制対象となるか否かはその量と濃度を調べなくてはならず、個人が行うべきものではなく製造者側の責任になっている。その際の使用時間や使用量の考え方は、通常使用状態について考えれば良く、複数個を用いるなどの逸脱した使用形態により被ばく線量が多くなったとしても、それは使用者側の責任となっている。

本稿は、実際に流通しているブレスレット類の放射能を定性定量分析し、その放射線量から被ばく線量の評価を行うとともに、国際機関における規制の動きと考え方を示し、放射性物質を意図して添加したブレスレットのあり方の是非を問う。

2. 実験

2.1 試料

試料は、表1に示す9種類のブレスレットおよび鉱石をカットした10種類の宝石である。その内訳は、ブレスレットは意図して放射性物質を添加した「ホルミシス効果」(Luckey, 1982)すなわち低線量被ばくは健康に良いとする効果を謳った2種類(インターネットを通して1種類(No.1)、通信販売で1種類(No.2))、および宝石店より購入した天然石7種類(No.3-9)である。また、放射能濃度の比較のために宝石店から購入したカット済み宝石(天然石)10種類(No.10-19)である。ブレスレット試料は購入の際、放射線測定器(GMサーベイメータ; アロカTGS-133)の持込を許可していただき、計数が自然放射線(以下BGと記す; およそ60cpm)よりも高めのものを選択した。

2.2 実験方法

GMサーベイメータ(アロカTGS-133)による測定は、口径5cmのGM計数管の中央に試料を集め直接接触させる状態で、タイムコンスタンスは30秒として測定した。

全ての試料の放射能は、HPGe(CANBERRA; Genie2000)を用いて γ 線スペクトルを測定することにより算出した。HPGe検出器の性能は ^{60}Co の γ 線1333 keVに対する相対効率35%、エネルギー分解能1.8 keVである。また、ジオメトリの補正等には定量解析ソフトLabSOCS(CANBERRA)を用いた(Bronson, 2003)。ただし、試料No.1、11-19の比較的放射能が強い試料は粉碎し正確なジオメトリを求めたが、他の試料は宝石の原形を残した状態での測定であり、完璧なジオメトリ補正とはいえ放射能は概算値である。No.1の試料は標準線源と同

一のU8容器にいれ、No. 1以外の試料はポリエチレンの袋に封入し、エンドキャップの上に直接載せた。測定時間は、試料の γ 線強度に応じて1~96時間とした。

2.3 被ばく線量評価方法

ホルミシス効果を謳った2種類のブレスレット (No. 1, 2) および放射能濃度の高いブレスレット1種類 (No. 3) と宝石3種類 (No. 16, 17, 19) について外部被ばく線量評価を行った。皮膚表面に直接着用した場合の組織等価線量 (皮膚表面の被ばくを表す) 評価には、皮膚等価線量率定数を用いた (Furuta et al., 2008)。単位面積 (mm^2) に線源が均一平面状に $70\mu\text{m}$ の距離に存在するものとして、 β 線、 γ 線の和により評価した。さらに、NORMガイドライン (4.1 規制の概要に後述) に記載された「肌に密着して利用する一般消費財に伴う被ばく線量 (実効線量)」に示された下記の式 (NORM, 2009) に従い、同換算係数を用いて実効線量 (全身被ばくを表す) を評価した。着用時間は年間最大 24 時間 365 日の 8,760 時間とし、放射線源が一箇所に存在する点状線源として評価した。

$$Dose(2) (mSv y^{-1}) = DSKIN \times C (Bq g^{-1}) \times M (g) \times T (h y^{-1})$$

ただし $DSKIN=9.6 \times 10^{-9}$ (Th)、 1.3×10^{-8} (U) とする。

ただし、No. 2 の被ばく線量評価は、ブレスレットから鉱石のみを取り出すことが出来ないため、その重量を測定することが不可能であり鉱石のみの重量を 1g とした場合の推定値で示している。また、No. 3 の評価値は、放射能濃度の概算値を用いて算出してある。

3. 結果

GMサーベイメータによる計数は、No. 1 は 1.65 ± 0.05 kcpm と最も高く、ついで No. 3 が常に 100 cpm を超えた。また、No. 4-9 は BG より高い 100 cpm 程度を示した。一方、No. 2 は BG と有意な差はなかった。放射能濃度を表 1 に示す。 ^{232}Th および ^{238}U は、トリウム系列およ

表 1 ブレスレットと天然鉱石中の放射能濃度

	試料		放射能濃度 Bq/g		
	種類	宝石名等	^{232}Th 系列	^{238}U 系列	^{40}K
1	ブレスレット	セラミックス+シトリン	$(8.1 \pm 0.2) \times 10^2$	$(1.4 \pm 0.05) \times 10^2$	5.0 ± 0.8
2		バドガシュタイン	$(2.0 \pm 0.3) \times 10^1$	$(4.1 \pm 0.2) \times 10^1$	$(2.0 \pm 0.3) \times 10^{-1}$
3		チャロナイト	$(6.5 \pm 0.2) \times 10^1$	$(5.4 \pm 0.2) \times 10^1$	$(9.0 \pm 0.3) \times 10^{-1}$
4		火山噴石	$(3.2 \pm 0.2) \times 10^1$	$(5.1 \pm 0.2) \times 10^1$	$(4.0 \pm 0.1) \times 10^{-1}$
5		トルマリン	$(5.7 \pm 0.7) \times 10^{-1}$	$(4.4 \pm 0.6) \times 10^{-1}$	ND
6		石英	ND	$(2.0 \pm 0.8) \times 10^{-1}$	$(1.9 \pm 0.2) \times 10^{-2}$
7		キャッツアイ	$(3.7 \pm 1.0) \times 10^{-1}$	$(6.5 \pm 0.5) \times 10^{-1}$	$(2.0 \pm 0.7) \times 10^{-1}$
8		アメジスト	$(2.3 \pm 1.1) \times 10^{-1}$	$(2.3 \pm 0.4) \times 10^{-1}$	$(3.0 \pm 2.7) \times 10^{-3}$
9		キャッツアイ	$(7.7 \pm 2.0) \times 10^{-1}$	2.1 ± 0.1	$(3.0 \pm 0.1) \times 10^{-1}$
10	天然鉱石 (カット済み 宝石)	ジルコン	$(7.5 \pm 3.3) \times 10^{-1}$	$(3.7 \pm 0.9) \times 10^{-1}$	ND
11		ジルコン	$(1.4 \pm 0.1) \times 10^1$	$(5.7 \pm 0.2) \times 10^1$	$(1.0 \pm 0.8) \times 10^{-1}$
12		ジルコン	$(1.7 \pm 0.1) \times 10^1$	$(7.1 \pm 0.2) \times 10^1$	$(6.0 \pm 5.5) \times 10^{-2}$
13		ジルコン	$(3.3 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	$(3.2 \pm 0.07) \times 10^1$	ND
14		バストネサイト	9.5 ± 1.2	ND	ND
15		バストネサイト	$(4.8 \pm 0.2) \times 10^1$	$(6.7 \pm 4.7) \times 10^{-1}$	$(3.0 \pm 0.6) \times 10^{-1}$
16		バストネサイト	$(5.0 \pm 0.9) \times 10^1$	$(4.2 \pm 2.7) \times 10^{-1}$	ND
17		ゼノタイム	$(6.8 \pm 0.3) \times 10^1$	$(1.8 \pm 0.1) \times 10^1$	$(8.3 \pm 3.0) \times 10^{-2}$
18		ゼノタイム	$(5.0 \pm 0.2) \times 10^1$	$(1.1 \pm 0.03) \times 10^1$	$(2.1 \pm 1.6) \times 10^{-1}$
19	アラナイト	$(6.0 \pm 0.2) \times 10^1$	$(3.0 \pm 0.07) \times 10^2$	$(3.0 \pm 2.0) \times 10^{-1}$	

ND ; 検出限界以下 (自然計数の 3σ 以上に有意な計数がなかった)。

びウラン系列の主な子孫核種の γ 線が全て検出されたことから、放射平衡にあるとして算出した値である。トリウム系列の放射能が最も高かった試料は、No. 1 の「ホルミス効果」等を謳ったブレスレットであった。一方、同様な効果を謳っている試料 No. 2 に含まれる放射能は、他の一般宝石を用いたブレスレット試料 No. 3、4 よりもむしろ低い値を示した。さらに、ウラン系列では試料 No. 19 のカット宝石である「アラナイト」が最も放射能濃度が高かった。天然の放射性核種⁴⁰Kは、トリウムおよびウラン系列が多く含まれる宝石に多い傾向はあったものの、天然の含有量の範囲であった。

被ばく線量評価値を表 2 に示す。1 年 365 日 24 時間、着用した最大値を示している。それぞれを単独で正常使用した場合、例えば、1 日の使用時間が 12 時間程度であればブレスレットの使用に伴う皮膚表面の組織等価線量は一般公衆の年限度値を超すことはあり得ないことを示唆している。一方、カット済み宝石は、同程度の使用時間であっても公衆の年限度値を超える場合があることが示唆された。

表 2 被ばく線量

試料		全身被ばくを表す 実効線量 (mSv/年)	皮膚表面被ばくを表す 組織等価線量 (mSv/年/mm ²)
ブレスレット	1	0.2	70
	2*	0.01<	20<
	3**	0.3	4
カット 済み 宝石	16	0.03	70
	17	0.02	140
	19	0.05	280
公衆被ばく 年限度値		1	50

*; 放射能濃度の概算値を用い、かつ鉱石のみの重量を 1g とした場合の推定値

** ; 放射能濃度の概算値を用いて算出

4. 規制の概要

4.1 日本における考え方

日本における天然の放射性核種であるトリウム系列 (²³²Th 及びその子孫核種) とウラン系列 (²³⁸U 及びその子孫核種) は、「原子炉等規制法」(以下、「炉規法」と記す。) および「NORM ガイドライン」による規制を受ける。「NORM ガイドライン」は天然放射性物質の濃度や数量が炉規法の対象とならない少量の場合であって、一定の数量、濃度以上のものを対象とする。放射性物質を何らかの意図を持って添加したか、偶然含んでいるかを問わず鉱石及びそれら鉱石を原材料とした製品の全てを対象とする。これらの総称を NORM と呼ぶ。すなわち、本研究対象としたブレスレットは NORM 一般消費財とよばれ、NORM ガイドラインの対象となるか否かが検討されなければならない製品である。NORM ガイドラインにおける NORM 一般消費財の定義は、「人体の近傍 (1m 以内) で使用する場合に実質的な使用時間において 1mSv/年を超えないことと、放射能濃度が 8,000Bq/1 個以下であること」とされており、製造者の責任において 1 品目毎に調べなければならない。結果として、本研究対象とした個人装飾品は全て NORM ガイドラインの規制対象外であり、自由に製造 (製造所では多数取り扱う場合は許可が必要になる場合があると考えられる)、販売、使用、廃棄が可能である。

現在の公衆被ばく限度値は 1mSv/年である。また、職業被ばく (放射線を扱うことを許された放射線業務従事者) の皮膚組織等価線量限度値は 500mSv/年であり、この値に近い被ばくがあったとしても健康影響は直接的には出ないとされている。こうした線量値が、1mSv/年以下は問題とする必要はないという一部の研究者や規制担当者の考え方を後押ししていると思われる。

4.2 世界における考え方

ICRP (国際放射線防護委員会)、IAEA (国際原子力機関)、WHO (世界保健機構)、OECD/NEA (経済協力開発機構/原子力機関) などの国際機関は、NORM 一般消費財の存在は

公衆の被ばくの可能性を高めるとして規制の検討を進めている。OECD/NEA による一般消費財（コンシューマプロダクト；CP）に関する専門家グループの会議においては、CP の定義として、「一般公衆に無制限に使用される故意に放射性物質を含有させ、販売後には特別な監視や規制管理されないもの」としている。NORM の存在が問題とされる中で、CP の占める割合は大きくは無く、鉱山労働者の被ばく問題等が大きな割合を占めている。しかし、日本を中心としたアジア圏では、NORM-CP が実際に流通販売されている（Chang, 2010）。EU における「CP は過去の遺物でありアンティーク市場でのみ流通する可能性がある。」とする考え方（Shaw et al., 2007）は、アジア圏に関しては実際的ではない。一方、CP の現在流通量は殆どないと考えられている EU では、放射性物質添加禁止対象 6 品目（食料品、飲料水、飼料、玩具、化粧品、個人装飾品）を指定し、1 品目毎に調査する必要はないとしている。この方針は、ドイツをはじめ 6 カ国に法として取り入れられている（EU, 1996）。これは、これらの 6 品目への放射性物質の添加は正当性が無いとする考え方に立っている。また、IAEA では製品の公衆への供給に関してのみ正当性の分析を行うべきであるとしている（IAEA, 2006）。すなわち、世界的な諸機関の中では、放射性物質を故意に添加した製品の存在そのものの正当性の有無が重要視されている。

5. 考察

5.1 放射能濃度と被ばく線量

試料 No. 2 は、はめ込まれた 2 個の「バドガシュタインの鉱石」が小さく、このため他の一般宝石を 8-12 個用いたブレスレットよりもむしろ低い値を示したと考えられる。宝石から出る放射線に「ホルミシス効果」があるとして、なんら効果を謳っていない一般鉱石からなるブレスレットの方がホルミシス効果を謳って売られている No. 2 より放射能が高かった。放射線をホルミシス効果の源とするのであれば、No. 2 にどの程度のホルミシス効果があるのか不明である。ホルミシス効果に関する研究は多数行われている（電力中央研究所、2006）が、実験動物や細胞ではなく人体に対しても良いのかは解明されていない部分がある。一方、「バイスタンダー効果」（放射線医学総合研究所、2004）（照射された細胞から、何がしかの物質が離れた細胞に伝達され、照射以外の部位において DNA 損傷などを起こす効果）が存在するとした研究もある。人体に対する低線量被ばく影響は未だ不明な部分も多く、不必要な被ばくは避けるべきだと考える。ただし、GMサーベイメータの結果から明らかのように、一般鉱石でできたブレスレットは、その殆どが BG の 1~1.5 倍程度の放射線量であった。これは地域差程度の放射線量であり、低線量被ばくともいえない程度に低い。一般鉱石でできた装飾品類は殆どの場合、なんら規制は不要と考えられるが、アメリカでは照射された宝石原石（gemstone）の国内流入を危惧する声が上がっている（飯田、2009）。日本においても同様な危惧があり、輸入を食い止めるための努力がなされている（北脇、1998）。No. 3 のような若干高めなものも存在することがわかり、今後とも装飾品類には注視が必要と考えられる。

一般消費財の使用は個人にまかされ、複数個を使用する過剰使用や本来の目的以外に使用する誤使用により表 2 と同等かそれ以上の被ばく線量にならないとは言いきれない。また、家庭内や家庭ごみの廃棄物処分場に放射性物質である NORM 一般消費財が存在している事実は、一般公衆の被ばくの機会を増大させるばかりか、環境汚染の原因となる可能性もある。

5.2 NORM ガイドラインの問題点

「正当性」という考え方は ICRP により「放射線防護の 3 原則」として 1997 年に勧告された。ICRP の勧告は主要先進国において「法律」の基礎として取り入れられる場合が多く、日本をは

じめ欧米先進国の法体系のもとになっている。最も新しいICRP「2007年勧告」(ICRP、2007)においても「正当性」の考えは継承されている。しかし、新勧告における「正当性」は「新しい線源の導入」に関してのみ必要とされており、従来のbenefit>riskとする考え方とは違ってきている。また、2007年勧告では「正当性のない被ばく」は避けるべきであるとし、その対象として「食品、飲み物、玩具、化粧品、個人装飾品」を初めて挙げた。EUおよびICRPが挙げた「正当性のない被ばく」の対象は、体内被ばくに繋がるか、身体の近傍で使用しかつ使用実態がつかめないものであると考えられる。すなわち、誰でも近づき、誤使用、過剰使用などが起こり得、その結果推定される被ばく線量に相当な幅ができる可能性のあるものである。

一方日本の場合、2007年のICRP勧告に明記された「放射性物質の使用に正当性のないものからの被ばくは避けるべき」(「Unjustified exposure」)とする勧告を無視した形で2009年に「NORMガイドライン」が策定され、放射線審議会において報告了承されている。その背景には、1mSv/年以下の被ばくは問題するに値しないとされた考え方がある。しかし、CPに数の制限がなく、No.1を5個以上使用すれば1mSvは超す、あるいはNo.1以上の放射能濃度のCPが存在し、購入使用する可能性もある(Chang、2010)。数量と濃度で規制しようとする「NORMガイドライン」では、正当性は守られないと考える。自然放射線に比べ有意に高い放射線量を示している製品(No.1)でホルミシス効果を主張するのであれば、その製品で証明すべきであるとする。これは、放射線に特化した「放射線防護の3原則」(ICRP1997年勧告)から放射線にかかわらずとも製品には正当性が必要であるとするICRP2007年勧告をとりまとめた議長の2002年コメント(Clarke、2002)と同様の考え方である。世界での動きを取り入れた正当性を考慮した「NORMガイドライン」の改訂が望まれる。

5. まとめ

天然放射性物質を含む一般消費財であるブレスレットおよびその原材料に含まれる放射性核種の定性定量分析を行った。対象とした9種類のブレスレットの内、2種類はその効果効能から意図して放射性物質を添加したものと考えられ、他の7種類は天然鉱石であった。NORMガイドラインの範疇にはいる個人装飾品はなく、被ばく線量評価は、正常使用であれば公衆被ばく限度値の1mSv/年を超えることはなかった。天然鉱石のブレスレット類の中には使用制限は必要ないものの、放射線量の高いものが存在した。「鉱石」を原材料とする装飾品には注視が必要である。また、意図して放射性物質を添加した1種類のブレスレットの放射能は、本来の生活環境中にある自然放射能よりも高く、誤使用や過剰使用による被ばく線量の増加も懸念された。2007年のICRP勧告において放射性物質の添加を避けるべきことが明記された個人装飾品は、誤使用や過剰使用が起こりうるため、これらへの放射性物質の添加は、国際的な動向を踏まえて禁止すべきである。そのためには、NORMガイドラインの改訂が必要であるとする。

参考文献：

1. Bronson, F.L.; Validation of the accuracy of the LabSOCS software for mathematical efficiency calibration of Ge detector for typical laboratory samples, *J.Radianal.Nucl. Chem.*,255,137-141(2003).
2. Chang, B-U, ;The current Status of NORM/TENORM industries and Establishment of the Regulatory Frameworks in Korea, AOCR-3, 25/May, 2010.
3. Clarke, R. ; The new ICRP System of Radiological Protection, The 2nd Asia Regional Conference on the Evolution of the System of Radiological

- Protection, 24-25/Oct., 2002.
4. EU; Council Directive 96/29/EURATOM, official Journal of the European Community(L159) p.7 (1996).
 5. Furuta, E. and Nakahara, H. ; Dose estimation of radiation exposure from hormesis cosmetics, *Japan Health Physics*,43,341-348(2008).
 6. IAEA Safety Guide; Justification of Practices, IAEA DS401、2/10/2006.
 7. ICRP Publ.103; Recommendations of the ICRP, *Annals of the ICRP* 37,90,2007.
 8. Luckey, T.D. ; Physiological benefits from low levels of ionizing radiation, *Health Pys.*, 43,771-789 (1982).
 9. Shaw, J., Dunderdale, J. and Paynter, R.A.; A review of consumer products containing radioactive substances in the European Union, *Radiation Protection*, 146, p14 (2007).
 10. 飯田孝一;暮らしと放射線あれこれ, 長瀬ランダウア株式会社 NL だより No. 375-380(2009).
 11. 北脇裕士;放射能を帯びたキャッツアイ, *ISOTOPE NEWS*,530,12-13 (1998).
 12. 電力中央研究所;低線量放射線生体影響の評価;電中研レビュー、53, 2006. 3.
 13. 放射線医学総合研究所;低線量放射線照射による生物影響;放医研ニュース、96、2004. 11.
 14. NORM ガイドライン;「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」文部科学省(2009. 6. 26) <http://www.norm-guideline.mext.go.jp/download.htm>