

●特集● 放射性微粒子による内部被ばくと核兵器廃絶

福島原発事故で放出されたセシウム含有不溶性放射性微粒子による健康リスクについて—市民の広範な認識にするために

福島事故によって放出された放射性セシウムの相当割合が不溶性の微粒子の形状であったことが分かってきている。不溶性セシウムによる内部被ばくは、従前想定されておらず、その健康リスクは未知数である。行政の施策も、市民の防衛も、その認識を前提とするべきであるが、ほとんどの市民は、このことを知らない。この知識を幅広く伝えていくことは、緊急の課題であると考える。



井戸謙一

はじめに

福島原発事故は、被ばく問題の闇を白日の下に晒した。法律が一般公衆の被ばく限度として定めていた年 1 mSv 基準がかなぐり捨てられ、法的根拠もないのに年 20 mSv が学校再開や避難の基準とされ、原発のサイト内では、100 Bq/kg を超える汚染物は法律によって低レベル放射性廃棄物として厳重な管理が求められている（クリアランス制度）のに、人が住むサイト外では、8000 Bq/kg 以下の廃棄物であれば一般廃棄物として扱ってもよいこととされた。20 倍、80 倍というダブルスタンダードが平気でまかり通っているのがこの国である。

甲状腺の初期被ばくは、わずか 1000 人余の子どもしか調べられず、その測定方法について様々な批判があったのに、福島原発事故による住民の被ばく量は小さく、健康被害は

●いど・けんいち●

1954 年生まれ。東京大学教育学部卒業。32 年間の裁判官生活を経て弁護士登録。所属：滋賀弁護士会。

出ないものと決めつけられ、福島県民健康調査では、小児甲状腺の検査しかなされなかった。そして、200 名を大きく超える小児甲状腺がん患者（疑いを含む）が発見されているのに、原因は被ばくではないと決めつけられた。福島県内での病気の多発や体調不良の増加については断片的な情報はあるものの、公的な調査がなされないため、その実相は分からない。

福島原発事故による被ばく問題として取り上げるべき論点は多岐にわたるが、本稿においては、発見当初「セシウムボール」と呼ばれたセシウム含有不溶性放射性微粒子（以下 CsMP¹⁾ と表記する）の問題を取り上げたい。

私は、現在、福島地裁でたたかわれている「子ども脱被ばく裁判」の原告ら代理人を務めている。この裁判は、子どもが福島県内で義務教育を受けるのは健康リスクがあるとして、希望する子どもについて、行政の責任で安全な環境下で義務教育を実施すること等を求めている裁判である。この裁判において専門家の方々（東神戸診療所郷地秀夫医師、元

キーワード：不溶性放射性微粒子 (insoluble radioactive microparticle), セシウムボールCsMP (cesium-rich microparticle), 内部被ばく (internal exposure)
著者連絡先: ke-ni-do@yahoo.co.jp

京都大学技官河野益近氏)のお教えに基づき私が学び得た内容をご報告したい。

1 ICRPの内部被ばくのリスク評価とそれに対する異論

ICRP (国際放射線防護委員会)によれば、内部被ばくの健康リスクは、預託実効線量で評価する。「預託実効線量」とは、その放射性物質を体内に取り込んだことによって生涯にうける被ばく量である。放出する放射線の種類 (α 線, β 線, γ 線), 体内に蓄積する場所, 実効半減期 (体内で放射性物質が半分に減る時間のこと, 放射性核の崩壊による物理学的半減期と代謝・排泄による生物学的半減期によって決まる) によって計算される。

「実効線量」とは、身体が受ける被ばく影響を身体全体で平均化した数値である。ICRPは、外部被ばくも内部被ばくも、実効線量が同じであれば、健康リスクも同じであると考え。この考え方には強い異論がある。体外の放射線源から放射線を受ける外部被ばくの場合、身体の各所は平均的に被ばくする。しかし、体内の放射性物質から受ける内部被ばくの場合、これとは異なる。身体を通り抜ける γ 線はともかく、体内で数10 μm (マイクロメートル)しか飛ばない α 線、数mmしか飛ばない β 線は、止まるまでにすべてのエネルギーを使い果たして周辺細胞のDNAを傷付ける。局所的に極めて高線量の被ばくになって(「不均一被ばく」という)DNAがわずたにされるのに、被ばく線量を全身で平均化するICRPの手法では、内部被ばくのリスクを正当に評価することができない²⁾。

このことが内部被ばくのリスク評価の根本的な問題であり、CsMPによる内部被ばくは、不均一被ばくの最たるものである。

2 CsMPの発見

福島原発事故前、原発事故によって放出される放射性セシウム(主にセシウム134, 137)は、水溶性の化合物を形成し、呼吸等で体内に入れば、イオンとして体液や血液に溶け、体内を巡って排出されると考えられていた。ICRPは、セシウム137の生物学的半減期について、9日~90日としているが³⁾、これは、セシウム137が水溶性であることを前提としている。

ところが、気象庁気象研究所の足立光司氏らが2011年3月15日につくば市の気象庁気象研究所で捕捉したセシウム134, 137は、他の金属元素や放射性元素とともに直径約2 μm の球状の不溶性の合金を形成しており、「セシウムボール」と呼ばれた⁴⁾。1個のセシウムボールに含まれるセシウム134と137は、合計で約6 Bqであった。

その後、多くの研究者によって、放射性セシウムを含む様々な形態の微粒子の存在が明らかにされた。その結果、福島第一原発から放出された放射性セシウムは、水溶性の化合物を形成しているものと、不溶性の微粒子を形成しているものの2種類があることが分かったのである。九州大学理学研究院宇都宮聡氏らのグループは、これらの不溶性微粒子のうち、 10^{11} Bq/g以上の高い放射能を持つ微粒子をCsMPと名付けた。

3 CsMPについて、 現段階で分かっていること

多くの研究者の努力によって、現段階で少なくとも次のことが分かっている⁵⁾。

2011年3月14日の午後遅くから翌日にかけて関東地方に広がったプルーム(放射能雲)中には、セシウム137だけで 6×10^{15} Bq (6000兆Bq)が存在したが、この中には大

量のCsMPが含まれており、東京で観測された総セシウム放射能の80%以上はCsMPによるものであった。

翌3月15日の朝から放出が始まったブルームには、セシウム137だけで 1×10^{14} Bq (100兆Bq)が存在したが、これは福島第一原発から北西方向に向かい、その後中通り地方を南下した。折からの降雨によって、このブルームから大量の放射性セシウムが土壤に沈着した。

同年3月21日まで、大きなブルームが前後9回発生し、これによって大量の放射性セシウムが福島県内外の各地の土壤に沈着したが、そのうち、CsMPが占める割合は、いわき市方面が概ね40%以上、福島市から中通り地方が概ね30%以上であった。

4 水溶性セシウムの挙動

水溶性の放射性セシウムは、土壤に降下すると、陽イオンとして振舞い、マイナス電荷を持つ土壤粒子に引き付けられ、粘土鉱物の隙間に入り込んで固定化され、不溶性になる。

すなわち、土壤中の放射性セシウムは、不溶性であるCsMPと、もともと水溶性であったが粘土鉱物の隙間に入り込んで固定化され不溶性になった放射性セシウムとで大部分が占められることになる。

5 福島の土壤中の放射性セシウムの試験結果

独立行政法人国立環境研究所の資源循環・廃棄物研究センターが福島の土壤中の放射性セシウムの溶出実験をしたところ、溶出率は、わずか1.2%未満であり、98%以上が不溶性であることが分かった⁶⁾。

元京都大学工学部原子核工学教室の河野益近氏は、2018年5月及び同年7月の2回にわたり、子ども脱被ばく裁判の原告であ

る子ども達が通っていた福島県内の16の小中学校の近くの舗装道路脇に堆積していた土壤の微細粒子を採取し、106 μm (篩目開き#140)以下の微細土壤に含まれる放射性セシウムの溶出試験を行った。その結果、溶出した放射性セシウムは、0.02～1.60%以下であり、すべての土壤において、放射性セシウムの98%以上が不溶性であることが分かった。

6 不溶性セシウムの吸入の危険

土壤中のCsMPや放射性セシウムを取り込んだ土壤粒子は、風や自動車の通行、除染工事、建設工事、農作業、山火事等によって空気中に再浮遊する。人は、呼吸の際、空気中のCsMPや放射性セシウムを取り込んだ土壤粒子を吸入する。PM2.5、すなわち大気中の2.5 μm以下の微粒子による健康リスクが問題となったのは、それが、肺の奥深くにまで入り込む大きさだったからだ。CsMPは、多くがそれ以下の大きさであり、放射性セシウムを取り込んだ土壤粒子も粘土やシルトの場合は、それ以下の大きさである。これらは、人が吸入すれば、肺の奥深くに入り込む危険がある。

水溶性の放射性セシウムと異なり、CsMPの場合、体液や血液に溶けないので、付着した場所に長く留まる。九州大学宇都宮聡准教授らのグループの研究によれば、CsMPは、生体内に数10年間留まることが予想されている⁵⁾。また、放射性セシウムを取り込んだ土壤粒子を吸入した場合の放射性セシウムの挙動についても未知数であると思われる。

7 CsMPによる内部被ばく

そうすると、放射性セシウムの生物学的半減期をせいぜい90日として計算していたICRPのリスク計算は、CsMPについては全く通用しないことになる。

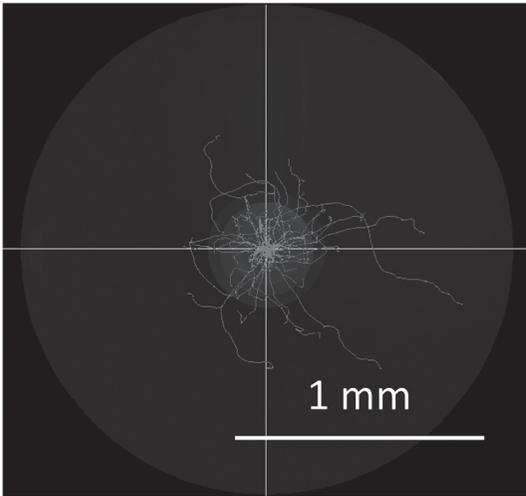


図1 ホット・パーティクルから放出されるβ線の軌跡⁷⁾

CsMP による内部被ばくは、極端な不均一被ばくになる。そのことを分かり易く図示しているのが国立保健医療科学院作成の「保健福祉職員向け原子力災害後の放射線学習サイト」の「ホット・パーティクル」の説明をしている頁である（図1）⁷⁾。

これは、粒径 2 μm、10 Bq のセシウム 137 粒子（足立光司氏が発見したセシウムボールとほぼ同じ）が組織に 1 時間付着した場合の放射線の飛跡図（半径 1 mm の球）であり、国立保健医療科学院は、これに基づいて、β線及びγ線が周辺の組織に与える線量を推計した。その推計結果のうちβ線が与える線量をみると、微粒子から外側 20 μm までの範囲は毎時 1.2 Gy、その外側 100 ~ 200 μm の範囲は毎時 7 mGy、その外側 200 μm ~ 1 mm の範囲は毎時 0.1 mGy と計算されている。

これはとてつもない線量である。人は全身に実効線量 4 Sv（β線による被ばくの場合は 4 Gy）の被ばくをすれば半数が、7 Sv（β線による被ばくの場合は 7 Gy）の被ばくをすれば 99% が死亡すると言われている。10 Bq というのは、毎秒 10 回放射線壊変をする（10 本のβ線と 10 本のγ線が出る）ということ

であるから、1 時間で 3 万 6000 本のβ線と同数のγ線が周囲の細胞に向けて発射され、直近の細胞の吸収線量は、β線だけで 1.2 Gy に及び、そのような状態が徐々に弱まるとはいえ、長期にわたって続くのである。直近の細胞は死亡するだろう。しかし、少し離れた細胞は DNA が傷つけられるが死亡には至らない。多くは修復されるが、修復に失敗すると癌化する。このリスクをどう評価すべきなのか。

8 学者らの対応

かつて、α線を放出する不溶性微粒子は「ホットパーティクル」と呼ばれ、その内部被ばく危険性は 1970 年代から議論されてきた。そして、α線は体内で数 10 μm しか飛ばず、射程内の細胞を死滅させるため癌化のリスクは高くないという結論で決着したかのような扱いになっていた。仮にその結論に依拠しても、α線よりもはるかに射程が長く、体内で数 mm 飛ぶβ線を放出する不溶性微粒子については、α線の場合と同様の考え方を取ることはできない。CsMP の問題は、この分野の学者らにも衝撃を与えている。彼らも CsMP による内部被ばくの健康リスクが未知数であることを認めざるを得ないのである。彼らの発言を具体的にいくつか指摘する。

●日本原子力研究開発機構佐藤達彦氏

従来の被ばくと応答（影響）は異なる可能性が否定できない（後記の「クローズアップ現代+」における発言）。

●日本保健物理学会会長・大分県立看護科学大学甲斐倫明氏

こういう不溶性の粒子が発見されたことによって、内部被ばくの影響は見直していく必要はございます（同上）。

●フランス・ナント SUBATECH 研究所長・日本原子力研究開発機構先端センター界面反

応場化学研究グループ長バーナード・グラムボウ氏

このような観測は…人間に吸入されるセシウム微粒子の吸入線量を評価する方法にも変化をもたらす可能性があります。実際のところ、不溶性のセシウム粒子の生物学的半減期は水溶性のものに比べてより長いと思われ⁸⁾。

●日本原子力研究開発機構真辺健太郎氏，国立放射線科学研究所松本政雄氏

このような粒子が体内に取り込まれると，粒子に含まれる放射性セシウムは，血液や体液に溶けることによって全身に分布するというのではなく，一つのまとまった物質としてふるまう。臓器や組織内での崩壊数を推定するために一般的に使用される方法は，無数の放射性核種の平均的な挙動（すなわち体内での分布）を基にデザインされている。したがって，これまでの方法では，数の少ないセシウムボールの体内摂取には適用できない⁹⁾。

9 CsMP についての社会的認識の広がり

CsMP の問題を伝える報道は乏しい。筆者が把握しているのは次のとおりである。

NHK は，2014 年 12 月 21 日午後 11 時 30 分から E テレの「サイエンス ZERO」シリーズの第 13 回で，「謎の放射性微粒子を追え！」と題する番組を放映し，福島原発事故で大量に放出された放射性セシウムの多くが不溶性の球形粒子として存在していること，従来想定されていた水溶性粒子とは体内や環境中でのふるまいが異なるため，健康影響の推定などにも違う考え方が必要であること等を報道した。

NHK は，2017 年 6 月 6 日の「クローズアップ現代+」で，「原発事故から 6 年 未知の放射性粒子に迫る」と題する番組を放映して，

CsMP の研究結果を紹介し，問題点に迫った。そのポイントは次のとおりである。

- これまで，セシウムは水に溶けて環境の中で次第に薄まっていくと考えられてきたが，水に溶けない不溶性の状態で見付かっている。
- セシウムボールが特定の場所に長期滞在した場合は，通常の内部被ばくよりも局所性は当然高くなる。従来被ばくとは応答（影響）が異なる可能性が否定できない。
- 水溶性の場合と比べ，同じ量のセシウムでも，肺の被ばく量は大人でおよそ 70 倍，影響を受けやすい幼児では，およそ 180 倍になるとされている。
- 粒子の場合，近い部分の線量が局所的に高くなり…放射性物質の量が同じでも，健康影響は変わる可能性がある。

茨城新聞は，2018 年 1 月 14 日，「関東に放射性微粒子飛来」と題する 5 段抜きの記事を掲載した。

雑誌『週刊女性』は，2019 年 7 月，「謎に包まれた『セシウムボール』の脅威，未知の放射性物質と汚染実態が明らかに」と題する記事を掲載した。

雑誌『科学』（岩波書店）は，2020 年 8 月号から，京都大学複合原子力科学研究所五十嵐康人氏による「シリーズ放射性微粒子の研究」の連載を開始した。

おわりに

原発事故によって環境中に放出される放射性セシウムが不溶性微粒子の形態をとることは，福島原発事故前には想定されていなかった。しかし，福島原発事故で環境に放出された放射性セシウムの相当割合が不溶性放射性微粒子の形態であったことが分かり，その多くが気管支から肺胞に入り込む大きさであること，従前健康に与える影響が判然としな

かったβ線を発射する不溶性微粒子であることから、専門家の間では、CsMPによる内部被ばくのリスクが注目されている。しかし、現段階で分かっているのは、ICRPによる放射性セシウムの内部被ばくのリスクモデルは通用しないということだけであり、それに代わるリスクモデルの構築は、これからである。CsMPによる住民の健康被害の調査は全くなされていない。

CsMPの危険性についての報道は乏しく、福島県内外の住民にほとんど知られていない。子ども達は、福島原発事故直後、CsMPを大量に含んだ大気を吸入している。そして、現在も、土壌から再浮遊したCsMPや不溶性の土壌粒子を吸入することを余儀なくされているのに、何の警告も与えられていないのである。

また、全く除染がなされていない山林には、多数のCsMPが存在すると考えられるから、2017年4月に浪江町で発生した山火事では、CsMPの飛散に十分な注意が払われるべきだったと考えるが、周辺住民にそのような警告は全くなされなかった。更に2020年8月、環境省は汚染土を覆土しないで野菜を育てる実証実験を始める方針を定めた。収穫物に含まれる放射性物質の濃度を調査し、その結果によれば汚染土を覆土しないで農地に使うことも検討すると伝えられているが、ここでは、農作業従事者が除染土に含まれるCsMPを吸入してしまうリスクは全く考慮されていない。

放射性物質も新型コロナウイルスも目に見えない。どちらも体内に入れないことが対策の第一である。新型コロナウイルスについては、マスクをしないことが「自粛警察」と呼

ばれる市民からの攻撃対象となっている。ところが、放射性物質については、マスクをすることが「風評被害を招く」として攻撃対象になったのである。この違いはどこから来るのだろうか。新型コロナウイルスによる感染の影響はすぐに現れる。しかし、放射性物質の吸入による健康影響が出るのは数年後、数10年後である。そのとき後悔しても遅いのである。

市民にCsMPの吸入による健康リスクの問題を訴え、これを幅広い認識としていくことは喫緊の課題であると考え。

なお、本稿は、『人権と部落問題』(2020年9月号、部落問題研究所)に「福島原発事故による被ばく問題—CsMPについて—」との題名で掲載された論文の一部を修正したものである。

注および引用文献

- 1) Cs-rich microparticle の略、「セシウムに富む微粒子」の意味。九州大学理学研究院宇都宮聡氏の命名である。
- 2) 北海道がんセンター名誉総長の西尾正道医師は、外部被ばくは外部の炭で暖をとるもの、内部被ばくはその炭を飲み込むものという比喩を使っている。
- 3) 年齢によって異なり、若いほど短い。
- 4) K. Adachi, M. Kajino, Y. Zaizen & Y. Igarashi: Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident, *Scientific Reports*, 3, 2554 (2013).
- 5) R. Ikehara, et al.: Abundance and distribution of radioactive cesium-rich microparticles released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant into the environment, *Chemosphere*, 241, 125019 (2020).
- 6) 国立環境研究所:「放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分(技術資料第三版)」2012(平成24)年12月20日。
- 7) 国立保健医療科学院:「保健福祉職員向け原子力災害後の放射線学習サイト」の用語集「ホット・パーティクル」https://ndrecovery.niph.go.jp/?record_id=937&mode=index
- 8) EurekAlert! *Science News* (2016年6月26日)。
<https://www.eurekaalert.org/>
- 9) K. Manabe, M. Masaki: Modeling of internal dose from an insoluble caesium, *Joint ICRP-JHPS Workshop* (2017年12月2日)。