

## 放射線被曝は細胞の損傷をもたらす結果、細胞に自然でない老化をもたらす

以上見てきたように、電離放射線は様々な被曝のタイプやパターンを通じて細胞を損傷させるわけですが、それは別な観点に立てば**細胞に『老化』(Aging)**をもたらす、といういい方ができます。細胞は自然にも『老化』していきます。自然状態でも細胞が傷つき損傷し、老化した細胞は死滅するか、あるいは暴走する細胞も現れます。暴走する細胞の典型が『がん』です。(『**白血病**』も一種の**がん**です) つまり『がん』は究極の細胞老化現象です。電離放射線による細胞損傷も、結局『老化』を促進していることとなります。ただし自然の老化ではなく、自然によらない老化なので『**非特異老化**』(Non-Specific Aging)と呼びます。

「**低線量被曝による健康損傷はがんと白血病だけ**」という説明は実にいるんなところでなされますが、これまで見てきた電離放射線による細胞損傷のメカニズムからみて、この説明は全く非科学的です。電離放射線による影響がありとあらゆる細胞損傷(被曝)ならば、その影響による**疾病(エンドポイント)**が、がんと白血病だけの筈がありません。がんや白血病は電離放射線よるもっとも破壊的で暴力的なエンドポイントであるに過ぎません。表 4 及び表 5 はベラルーシのマルコという学者の研究成果の一端です。マルコはベラルーシのプレスト州での放射能による健康損傷の状況を疫学的に研究しました。表 4 は成人及び若者に現れた健康損傷でありとあらゆる疾病を発症しています。『**伝染病・寄生性の病気**』がありますが、これは細胞損傷で体全体の免疫力が低下した結果です。また『**狭心症**』など心臓疾患が明らかに認められますが、これはチェルノプリ事故で大量に放・排出されたセシウム 137 の影響と考えられます。表 5 は**子どもに現れた疾病ですが『先天性奇形』など発育期・成長期特有の疾病が見られる他、全体として子どもには見られない成人病特有の疾病**が見られます。これは電離放射線による被曝が『**非特異老化**』を促進させる結果です。またある種の放射線核種(たとえば**ストロンチウムが核崩壊して生成するイットリウム**)が脳神経細胞に悪影響をおよぼした結果発症する『**精神障害**』なども顕著に認められます。またこの研究には現れ

## 警戒すべきは低線量内部被曝—ウクライナやベラルーシの誤りに学んで本格的な反被曝政策が絶対に必要

前述のごとく、チェルノプリ事故による放射能影響の対応を誤ったベラルーシやウクライナでは死亡の激増や出生の激減に今も苦しんでいます。私の解釈が正しいとすれば、日本でも事故後 2 年にして早くもその徴候が現れています。しかし死亡増や出生減といった目に見える現象は実は氷山の一角に過ぎません。死亡増や出生減の『**水面下**』では、表 4 や表 5 に見られるように実に広汎な疾病が発症し人々を苦しめているのです。日本でもすでにこうした広汎な疾病はすでに広がっていると見なければなりません。問題は**今後こうした放射能による健康影響を、いかに最小化するか**です。1 つにはこれ以上追加の放射能を極力出さないことです。この意味で平常時でも大量の放射能を放・排出する原発を稼働させないことです。さらに現在も放射能を放・排出し続ける福島第一原発の鎮圧(追加放・排放射能をゼロにすること)することです。日本の国力をあげて取り組まなければなりません。

**ウクライナ、ベラルーシでの低線量内部被曝はその 90% 以上が飲食物摂取による内部被曝**でした。当初 IAEA の安全基準や ICRP の防護勧告を取り入れた両国はこうして内部被曝を広汎に拡散させてしまいました。誤りに気がついて**厳しい放射能汚染食品規制を取り始めたのはウクライナでは 1997 年、ベラルーシでは 1999 年**のことでした。今日から見て決して十分な規制とはいえませんが、それでも効果をあげました。人口急減に歯止めがかかったのです。それでも現在でも両国の総人口は減り続けています。日本では 2012 年 4 月に厚労省が『**新汚染食品基準**』を打ち出しそれまでの基準を厳しくしました。しかしこの基準で

### チェルノプリ事故放射能汚染地区(ベラルーシ・プレスト地域)

表 4 成人及び10代の若者10万人あたりの非がん性疾患の指数	非がん疾病	汚染地域	参照地域	P値
<b>総計</b>	<b>62,023</b>	<b>48,479</b>	<b>&lt; 0.0001</b>	
伝染病・寄生性の病気	3,251	2,119	< 0.0001	
内分泌・代謝・免疫性の病気	2,340	1,506	< 0.001	
精神的傷害	2,936	2,604	< 0.01	
慢性耳炎	250	166	< 0.01	
循環器系・高血圧・虚血性疾患	12,060	9,300	< 0.001	
狭心症	1,327	594	< 0.01	
脳血管の病気	1,987	1,363	< 0.001	
呼吸器系の病気	2,670	1,789	< 0.001	
消化器系の病気(例: 瀉瀉・胆石・胆嚢炎)	7,074	5,108	< 0.001	
泌尿・生殖器系の病気(例: 腎炎・ネフローゼ)	3,415	1,995	< 0.001	
女性不妊症	84	56	< 0.01	
皮膚病・皮膚炎・湿疹	3,377	2,065	< 0.001	
筋骨格系疾患・骨関節炎	5,399	4,191	< 0.001	

【資料出典】『欧州放射線リスク委員会 (ECRR) 2010年勧告』(第13章「被曝のリスク: 非がん性リスク」)の表133をもとに作成

### 表 5 子ども10万人あたりの非がん性疾患の指数

非がん疾病	汚染地域	参照地域	P値
<b>総計</b>	<b>68,725</b>	<b>59,974</b>	<b>&lt; 0.01</b>
伝染病・寄生性の病気	7,096	4,010	< 0.01
内分泌・代謝・免疫性の病気	1,752	1,389	< 0.01
精神の病気	2,219	1,109	< 0.01
神経系・感覚器官	4,783	3,173	< 0.01
慢性関節リウマチ	126	87	< 0.01
慢性咽頭炎・副鼻腔炎	117	83	< 0.01
消化器系の病気	3,350	2,355	< 0.01
慢性胃炎	129	40	< 0.01
胆石・胆嚢炎	208	61	< 0.01
アトピー性皮膚炎	1,011	672	< 0.01
筋骨格系・結合組織疾患	733	492	< 0.01
先天性奇形	679	482	< 0.01
奇形(心臓と循環器含む)	306	242	< 0.01

【資料出典】『欧州放射線リスク委員会 (ECRR) 2010年勧告』(第13章「被曝のリスク: 非がん性リスク」)の表14.4をもとに作成

てはませんが、精神障害までいかになくても『IQ 低下』などは幅広く認められています。低線量内部被曝の健康影響は、よくいわれるように『**がんや白血病**』ばかりではないのです。幅広い健康損傷や疾病を含みます。

### 表 6 ドイツ放射線防護協会が推奨する制限値 (未実施)

食品 1 kgあたりセシウム137の制限値	
乳児 (1歳以下)	<b>5.0</b>
幼児 (1歳超から2歳以下)	<b>10.7</b>
こども (2歳超から7歳以下)	<b>11.5</b>
こども (7歳超から12歳以下)	<b>8.3</b>
青少年 (12歳超から17歳以下)	<b>5.7</b>
大人 (17歳超)	<b>7.7</b>

資料出典:「ドイツ・フードウォッチ・レポート」の「5. ドイツ放射線防護令から演繹される制限値」(27p)を参照。  
http://hiroshima-net.org/cat-crew/shiryo/201109\_doitu.html

も全く不十分であるばかりか、経過措置があまりに多く実際に新基準に移行したのは 2013 年になってからです。さらに問題はこの基準に対して強制力はなく罰則規定もなければ、肝心の無料食品検査体制も整備していない、言わばザル法であることです。**このままではウクライナ、ベラルーシの二の舞**を演じることは必定です。せめて表 6 程度の規制限度を設け厳しく実施する『**反被曝政策**』は最低限必要です。また有名無実に終わらせないためには全国に汚染食品検査体制を敷いて、適切に計測・評価のできる検査技師(現在圧倒的に不足しています)を育成・配置することが必要です。同時にすべての食品には『**産地表示**』と『**主要核種ごとの放射能濃度表示**』を義務づけることが最低限必要です。『**経済成長**』『**アベノミクス**』『**東京オリンピック誘致**』など浮かれている場合ではないのです。日本の未来がかかっています。



## 第 63 回広島 2 人デモ

2013 年 8 月 30 日 (金曜日) 18:00 ~ 19:00  
毎週金曜日に歩いています 飛び入り歓迎です



大飯原発再稼働を止めましょう

# フクシマ事故の放射能で加速する出生減・死亡増

放射線被曝に安全量はない  
世界中の科学者によって一致承認されています。

## 黙っていたら “YES” と同じ

広島 2 人デモはいてもたってもいられなくなった仕事仲間の 2 人が 2012 年 6 月 23 日からはじめたデモです。私たちは原発・被曝問題の解決に関し、どの既成政党の支持もしません。期待もアテもしません。マスコミ報道は全く信頼していません。何度も騙されました。また騙されるなら騙されるほうが悪い。私たちは市民ひとりひとりが自ら調べ学び、考えることが、時間がかかっても大切で、唯一の道だと考えています。なぜなら権利も責任も、実行させるかも、変えていくかも、私たち市民ひとりひとりにあるからです。

### 詳しくはチラシ内容をご覧ください

私たちが調べた内容をチラシにしています。使用している資料は全て公開資料です。ほとんどがインターネット検索で入手できます。URL 表示のない参考資料はキーワードを入力すると出てきます。私たちが素人です。ご参考にしていただき、ご自身で**第一次資料に当たって考える材料**にしていただければ幸いです。

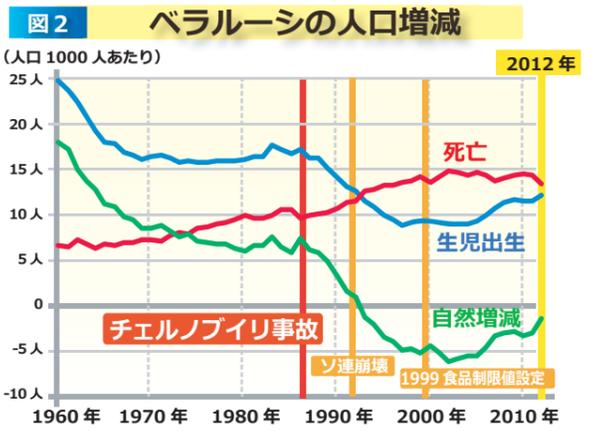
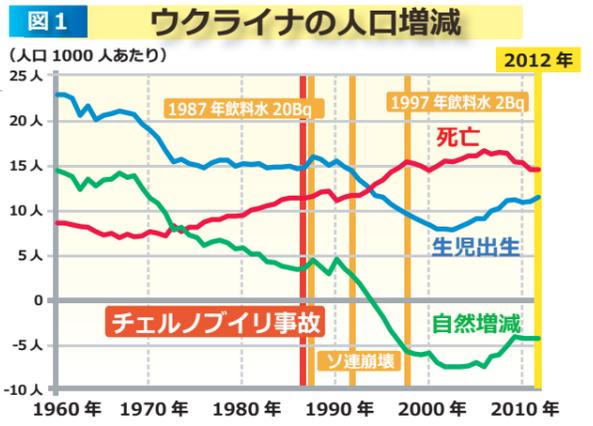
## 本日のトピック

- 2 年連続で 120 万人を超える死亡者数
- 被曝とはいったい何だろうか？ 電離放射線の深刻な影響
- 外部被曝と内部被曝は決定的に異なる
- 内部被曝、細胞損傷 5 つのパターン
- 放射線被曝は細胞の損傷をもたらす結果、自然でない老化をもたらす
- 警戒すべきは低線量内部被曝—ウクライナやベラルーシの誤りに学んで本格的な反被曝政策が絶対に必要

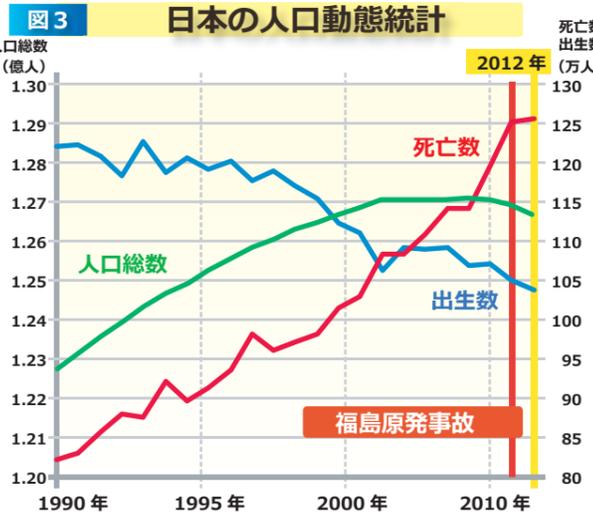
## 2 年連続で 120 万人を超える死亡者数

『**フクシマ大惨事**』から 2 年半が経過します。終息どころか、いつ『**第 2 苛酷事故**』を起こしても不思議ではない東電福島第一原発(以下 F1)も非常に懸念されますが、それと並んで懸念のタネはもうすでに大量に放・排出された、まだ現在も出続けている F1 からの放射能による健康影響です。新聞やテレビなどほぼ政府公報に徹しているメディアばかりに接している人々には意外なことだと思います。というのはこれら報道は「**フクシマ事故の放射能による健康影響は一部甲状腺がんだけで大したことはない**」「**100mSv 以下の被曝は健康に影響はない**」「**厚生労働省が定めた食品基準値(実は危険の許容上限値であり安全値とは一言もいっていないのですが)内ならいくら食べても健康に害がなく、安全である**」「**基準値以下の食品が売れなくなるのは風評被害である**」などといったことからです。ですからこうした報道や宣伝を刷り込まれている人にとって『**フクシマからの放射能による健康影響が懸念される**』といってもピンときません。

しかし**現実**は**冷酷**です。**1986 年チェルノブイリ事故**(当時は旧ソ連。現在はウクライナ共和国)が起こった時も**現在の日本でいわれているのと全く同じいい方がされました**。しかしチェルノブイリ事故が起きた 2 年後から放射能の影響でまず生児出生が急減します。チェルノブイリ原発に隣接したベラルーシでも全く同じ現象がおきました。事故後数年を経ずして死亡が急増します。『**出生急減**』と『**死亡急増**』のダブルパンチを受けた両国は人口の急減に見舞われます。特にウクライナの人口は事故後 6 年後



【資料出典】出典は英語 Wikipedia “Demographics of Ukraine” 及び “Demographics of Belarus”。出生と死亡の自然変化の単位は 1000 人当たり。



【資料出典】総人口は総務省統計局『住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数(平成 24 年 3 月 31 日現在)』(2013 年 8 月 28 日)の『人口及び人口動態』出生数及び死亡数は厚生労働省大臣官房統計情報部『平成 24 年人口動態統計月報年計(概数)の概況』(2013 年 6 月)

1993 年の 5218 万人をピークとして人口が減り続け 2011 年には 4566 万人と**約 20 年間でおよそ 650 万人も減少**しました。(人口動態は様々な要因で決まります。ですから両国でも別な要因があったに違いありません。しかし決定的要因は放射能による健康損傷です。これが両国共通要因です。両国の人口動態グラフは驚くほど相似しています。図 1 及び図 2 参照のこと) 実は『**フクシマ大惨事**』に見舞われた日本も事故後 3 年を経ずしてウクライナやベラルーシによく似た人口減少の徴候が現れているのです。(図 3 参照のこと) ただし日本は事故前の 2005 年をピークにすでに人口減少のモードに突入していたため前両国ほどわかりやすいという特徴もっています。

[＜次ページへ続く＞](#)

<前ページより続き> しかし事故後わずか2年間のデータ（2011年及び2012年）ですが早くも放射能の深刻な影響が死亡者数と出生数、すなわち人口総数に現れています。2009年は出生が大きく減少した年でした。2010年は今度は高齢者を中心に死亡が大きく増加した年でした。このため09年は人口が1万人増加したものの、10年は1万8300人減少しました。2011年は東日本大震災の発生した年です。この年には約1万7000人の震災死亡者が「不慮の事故死」として含まれています。（**行方不明者は含まれません**）また事故の影響もあって出生数も約2万人減少します。**2012年は不思議なことに死亡者数が約5万6000人と2011年よりも増えています**。不思議なことというのは、2012年には「不慮の事故死」数は平年に戻っているからです。さらに調べてみると、2012年は79歳以下の年齢階層ではいずれも死亡が減少しているのに、**80歳以上の階層では死亡が増えている**のです。このため2012年は『日本社会の高齢化率』が一時的に下がったほどでした。**死因も老衰やがんではなく『心疾患』や『呼吸器疾患』が上位**になっています。その結果、2011年と2012年はここ20年間でみると初めて2年連続して死亡者数が120万人の大台を突破しました。様々な解釈が可能でしょう。しかし私は**「フクシマ事故」の放射能が乳児・幼児に次いで『放射線弱者』である高齢者を直撃したと**解釈しています。もし私の解釈が正しいとすれば、2013年以降は死亡増現象が79歳以下の階層に広がってくると思います。2012年は出生もさらに減少しました。このままの情勢でいえば2013年以降出生数は年間100万人の大台を切ることは間違いありません。これが少子化の流れによる減少なのか、それとも「フクシマ事故」の放射能の影響なのかは今のところ判然としません。しかし**「少子化の流れ」を「フクシマ事故」の放射能影響が加速させている**とはいえそうです。2013年以降、さらにははっきりするでしょう。

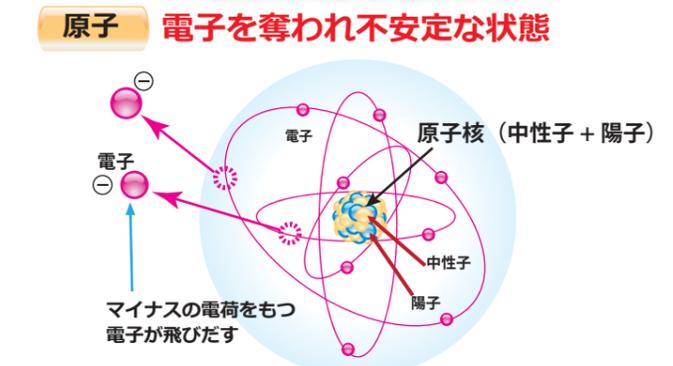
表 1	日本の人口動態統計					
	*総人口は総務省統計局 『住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数（平成24年3月31日現在）』（2013年8月28日）の『人口及び人口動態』					
	*出生数及び死亡数は厚生労働省大臣官房統計情報部 『平成24年人口動態統計月報年計（概数）の概況』（2013年6月）					
	*人口増減は当該年度の総人口を対前年増減数で割り、1000人あたりの増減率を求めたもの。					
	*出生率増減は当該年度の出生数増減を総人口で割り、1000人あたりの出生率増減をもとめたもの					
	*死亡率率増減は当該年度の死亡数増減を総人口で割り、1000人あたりの死亡率増減をもとめたもの					
対象年	総人口（3月末）	前年増減	出生数	前年増減	死亡数	前年増減
1990	122,744,952	409,639	1,221,585	-25,217	820,305	31,711
1991	123,156,678	411,726	1,223,245	1,660	829,797	9,492
1992	123,578,297	421,619	1,208,989	-14,256	856,643	26,846
1993	123,957,458	379,161	1,183,282	-25,707	878,532	21,889
1994	124,322,801	365,343	1,228,328	45,046	875,933	-2,599
1995	124,655,498	332,697	1,187,064	-41,264	922,139	46,206
1996	124,914,373	258,875	1,206,555	19,491	896,211	-25,928
1997	125,257,061	342,688	1,191,665	-14,890	913,402	17,191
1998	125,568,006	310,945	1,203,147	11,482	936,484	23,082
1999	125,860,006	292,000	1,177,669	-25,478	982,031	45,547
2000	126,071,305	211,299	1,190,547	12,878	961,653	-20,378
2001	126,284,805	213,500	1,170,662	-19,885	970,331	8,678
2002	126,478,672	193,867	1,153,855	-16,807	982,379	12,048
2003	126,688,354	209,682	1,123,610	-30,245	1,014,951	32,572
2004	126,824,166	135,812	1,110,721	-12,889	1,028,602	13,651
2005	127,058,530	234,364	1,062,530	-48,191	1,083,796	55,194
2006	127,055,025	-3,505	1,092,674	30,144	1,084,450	654
2007	127,053,471	-1,554	1,089,818	-2,856	1,108,334	23,884
2008	127,066,178	12,707	1,091,156	1,338	1,142,407	34,073
2009	127,076,183	10,005	1,070,035	-21,121	1,141,865	-542
2010	127,057,860	-18,323	1,071,304	1,269	1,197,012	55,147
2011	126,923,410	-134,450	1,050,806	-20,498	1,253,066	56,054
2012	126,659,683	-263,727	1,037,101	-13,705	1,256,254	3,188

## 被曝とはいったい何だろうか？電離放射線の深刻な影響

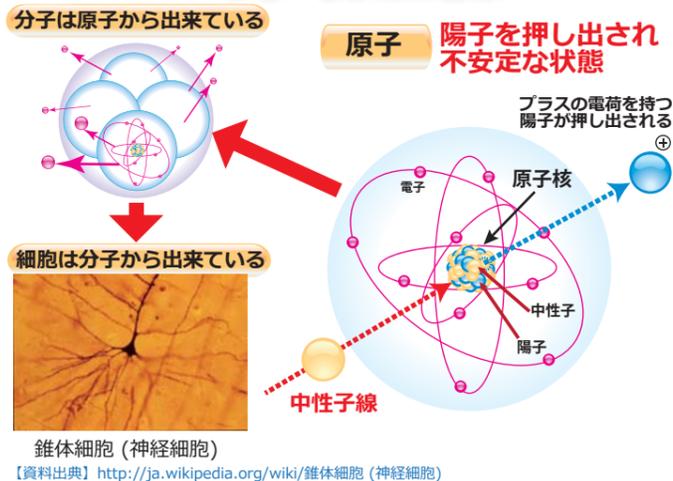
「フクシマ事故」による放射線被曝によってすでに「死亡の増加」と「出生の減少」がはじまっている、永年にわたってウクライナやベラルーシを苦しめている放射線による深刻な健康影響が日本でもはじまっていると考えられますが、そもそも放射線による影響、つまり『被曝影響』とはいったい何でしょうか？

『被曝』とは『電離放射線』によって、私たちの体を構成している細胞（60兆個から100兆個といわれています）が破壊されていく現象です。細胞は分子やさらにそれを形成する原子によってできあがっています。原子や分子が健全でなければ当然のように細胞も健全ではあり得ません。放射性物質から放射される『電離放射線』は原子や分子を破壊するのです。（電離放射線の悪影響をぼやかそうと意図的に非電離放射線と混同させて行われる説明をよく見かけます。文科省の放射線に関する副読本などがそうです。注意してください）電離作用とは原子から電子を奪い取る作用のことです。（図4参照のこと）本来中性であるべき原子はマイナスの電荷をもつ電子を奪われ原子全体はプラスの電荷をもつことになります。（プラスのイオン化）簡単にいってこれが『被曝』です。（中性子線は原子核の中の陽子を押し出す作用をします。この場合は原子はマイナスのイオン化になります。これも被曝です。図5参照のこと）原子で分子ができあがり、分子で細胞ができあがっていますので、こうして**電離作用を受けた細胞は健全ではられません**。体の中の臓器や組織及び器官は細胞からできあがっていますので、当然臓器なども健全ではられません。電離作用を受け安定性を失った原子や分子は、安定を得ようとして他の健全な原子や分子から電子や陽子を奪おうとするので、『イオン化した原子や分子』は、『フリーラジカル』と呼ばれています。（図5参照のこと）フリーラジカルは電離放射線と同様な挙動をします。ですから**フリーラジカルは放射性物質と同様に健康にとっては危険な存在**となります。これが電離放射線による『被曝』ということであり、放射能影響による健康損傷の基本メカニズムです。

### 図 4 放射線による電離作用



### 図 5 フリーラジカルとは



## 外部被曝と内部被曝は決定的に異なる

基本的メカニズムはそうだとしても、実際の被曝影響はさほど単純ではありません。外部被曝と内部被曝の違いをまず理解しておかねばなりません。放射線源（放射性物質）が体の外にある場合が外部被曝、体の中に取り込まれた場合が内部被曝です。（図6参照のこと）外部被曝の場合は放射線源から逃げるができます。しかし**内部被曝の場合は、放射線源が体の外に完全に排泄されるまで被曝を受け続けます。つまり外部被曝では1回切りの『被曝』があり得ますが、内部被曝は常に慢性被曝にならざるを得ません**。標準の放射性物質は1gあたり1秒間に370億回（ $3.7 \times 10^{10}$ 回）の核崩壊をします。そして核崩壊のたびに放射線を照射します。図7は2ミクロンの酸化プルトニウムがブタの肺臓に付着し放射線の照射を受けた写真です。星のように見えるのが放射線照射による飛跡です。そのたび周辺の細胞は電離作用の攻撃を執拗に受け細胞は破壊されていきます。また図8は心筋に付着したわずか50Bqのセシウム137のイメージ図ですが、きわめてわずかな量ですがこうして**慢性被曝によって心筋が徐々に破壊されていき、心疾患の原因となり、最悪の場合は心筋の動きを停止させ心臓を止めます。これが「突然死」「心不全」の理由となることがあります**。「外部被曝のリスクも内部被曝のリスクも全く同じ」と説明されることがありますが、それは1回切りの被曝（ヒット）の場合のみに当てはまることで、実際には内部被曝は慢性被曝にならざるを得ませんから、1回切りの被曝というケースは希です。表2は外部から1回切りのヒット（被曝）のリスクを「1」とした時の、被曝パターン別の『損害係数』表です。「4.内部被曝でヒットが1回切り」というケースでは確かに損害係数は「1」ですが、これはカリウム40を体の中に取り込んだ場合だけで、実際に低線量内部被曝でもカリウム40で健康損傷を起こすということはありません。

しかしその他の放射線核種の内部被曝では同じ濃度（ベクレル値）でも、核種によってあるいは状況によって損害係数は2000になることがあります。ですから内部被曝の場合は極めて危険ということになります。ICRPの実効線量でわずか1μSvの被曝でも2000倍とすれば2mSv相当の健康影響を受けることも決してま

## 内部被曝、細胞損傷5つのパターン

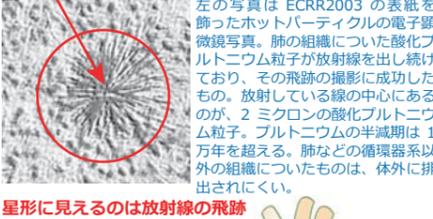
「放射線で染色体が傷ついても細胞には修復機能があるので深刻な影響はない」というのはよくなされる説明で、これ自体は間違っていないですが、ある極めて特殊なケースにのみ当てはまる説明です。これは、表3の『1.DNAなどの重要分子の直接的電離』という損傷パターンで、しかも表2の『外部から1回切りのヒット』というタイプにのみ当てはまる説明です。特に**慢性被曝とならざるを得ないほとんどの内部被曝には全く当てはまらない説明**です。1回ヒットを受けたDNAは直ちに修復過程に入ります。修復には約18時間かかりますが、その修復中にもう1回ヒットを受けるとその損害係数は10倍から150倍に及びます。（表2の『3』のタイプを参照のこと。これは一般成人のケースで胎児や乳児の場合は約1000倍）つまり**立て続けにヒットを受けると細胞修復は正常に行われず異常な修復を行ってしまう**のです。さらに細胞損傷パターンはこれだけではありません。電離放射線の照射を受けなくても体の中のフリーラジカルが電離作用を及ぼせば電離放射線の損傷を受けたのと同じ事になります。（表3の『2.』のパターン参照のこと）また**光電子効果による細胞損傷パターン**もあります。劣化ウラン弾の被害に苦しむたとえばイラクでの健康損傷が、このパターンの典型例です。（表3の『3.』）さらに**重要元素の元素転換**による**損傷パターン**もあります。これはトリチウムが典型的な例です。水素は細胞を形成する重要原子で体の中に取り込んで細胞を形成します。ところが不安定な同位体トリチウムは水素と物理的性質も化学的性質も全く同じです。トリチウムを体の中に取り込みこれを構成原子として細胞を構成した時、トリチウムは時間の経過とともに元素変換しヘリウムに変わってしまいます。

ではありません。ICRPの実効線量で100mSv以下の被曝を「低線量被曝」、とくに**1mSv以下の被曝を「極低線量被曝」**と呼んでいますが、極低線量被曝でも決して健康影響はないのではなく、むしろウクライナやベラルーシで起こっている広汎な**内部被曝による深刻なダメージは、こうした極低線量内部被曝で発生している**と考えられます。

### 図 6 外部と内部被曝の違い



### 図 7 豚の肺臓に付着したプルトニウム



### 図 8 心筋に付着したセシウム137のイメージ図



### 表 2 低線量被曝のタイプと予想される損害係数

被曝の種類別	損害係数	備考
1. 外部から1回ヒット（被曝）	1.0	
2. 外部から24時間以上の間隔で複数回ヒット	1.0	線量率低減はないものとしたとき
3. 外部から24時間以内に2回以上のヒット	10-150	細胞修復が妨害され損害が大きい
4. 内部被曝で核壊変が1回きり	1.0	カリウム-40などが典型的
5. 内部被曝で核壊変が2回以上	20-50	核崩壊系列と放射性物質線量による
6. 原子の内側、電子殻部分での電離作用	1-100	身体の部位と電離エネルギーによる
7. 内部被曝であり不溶性粒子による被曝	20-1000	二酸化プルトニウムなどが典型的
8. 重元素で内部被曝をした細胞がさらに光電子で外部被曝	2-2000	例) 重元素で内部被曝した細胞にX線照射

※被曝のモデルと損害係数は欧州放射線リスク委員会（ECRR）2010年勧告第6章に掲載している表を元にした。

ヘリウムには細胞を構成し正常に機能させる能力はありませんから細胞は徐々に破壊されていきます。これがトリチウムによる細胞損傷（健康損傷）パターンです。「トリチウムは安全」という**宣伝がいまだに行き渡っていますが、電離エネルギーは弱くてもトリチウムは危険な放射線核種**です。また21世紀に入って急速に発達した分子生物学（細胞に関する生化学）の結果、ダイナミックな細胞間応答の挙動が明らかになってきています。そうした中で被曝ヒットを受けた細胞には表面全く異常がないのにその隣の細胞が異常を起こすケースがあることがわかってきました。（バイスタンダー効果。表3の『5.』）

内部被曝の健康損傷は実は1つのパターンだけではなく、様々なパターンがあり、極低線量被曝でも状況によっては深刻な問題に発展することがわかってきています。さらに細胞に関する研究が進まれば、これ以外の健康損傷パターンが分類できるようになると考えられています。

### 表 3 放射線内部被曝による細胞損傷パターン

1. DNAなどの重要分子の直接的電離
2. フリーラジカルなどによるDNA重要分子の間接的破壊
3. 光電子効果による細胞損傷増幅
4. 細胞の化学結合を担当する重要元素の元素転換
5. 細胞間信号処理過程の間違いによる遺伝子変質（バイスタンダー効果など）