

## <概要>

環境中の人工放射線（能）の主な起源として大気圏核実験、原子力発電に伴う核燃料サイクル、放射性同位元素の利用および原子力事故などがある。今までに行われた全ての核実験に起因する集団実効線量は地球全体でみて2230万人・シーベルト（以下、人Svと記す）、核燃料サイクルからの放射能に起因する集団実効線量（過去分を含む）は10万人Sv、チェルノブイリ原子力発電所事故による集団実効線量は60万人Svと推定されている。

## <更新年月>

2004年08月

## <本文>

環境中において人工放射線による被ばく源として主に寄与するものに、大気圏核実験により生成され環境中へ移行した放射能（フォールアウト放射能）、原子力発電に伴う核燃料サイクルの各段階で環境に放出された放射能、放射性同位元素の利用、原子力事故などがある。その他、核兵器製造、地下核実験、アイソトープ電池を使った人工衛星の事故、夜光時計、煙探知器等の微量放射線を放出する一般消費材、また、医療用や研究用の放射線利用施設からの漏洩放射線もある。

世界的規模で線量評価を行った国連科学委員会の報告書「放射線の線源と影響」に基づき、これらの人工放射能からの被ばく線量推定値を示す。表1に、国連科学委員会によって行われた主要な人工放射線源による世界の集団実効線量の推定値を示す。

### 1. 核実験に起因する放射能による被ばく

フォールアウト放射能を生み出す大気中核実験は、1945年から1980年の間に行われた。このうち1954年から1958年、1961年から1962年には大規模な核実験が行われた。

フォールアウト放射能は、空中に浮遊している場合は主として吸入により、地表面に沈着した場合は放出される放射線からの直接の体外照射により、また、食物摂取をとおり体内に取り込まれることにより、人間に被ばくをもたらす。

国連科学委員会の報告書では、主要な核種について、生成量の推定、環境中と体内での移行モデルの作成、上記の被ばく経路毎の線量評価モデルの作成により、人間集団全体が受ける線量を推定している。図1にフォールアウト放射能から全世界の人間集団が受けた平均年集団線量、ならびに、各年に行なわれた核実験に起因する集団線量預託（\*1）を示す。この図から、フォールアウト放射能の人間への影響は、おもに1961年から1962年に行なわれた核爆発によるものであることがわかる。

1963年には核実験に起因する平均年線量は、自然放射線からの線量の約7%に達したが、1966年には2%に減少し、1980年以後には1%以下となった。1980年以後は大気圏内核実験は行われていないため、フォールアウトによる年線量は年々減少している。

フォールアウト放射能から人間が受ける線量には地域差がある。被ばく線量は、核実験が最も頻繁に行なわれた北半球の温暖地域で最も高い。南半球の温暖地域での線量預託は、北半球の温暖地域のその約70%である。また、実験場近辺で局所的に小さな集団に高い線量を与えたこともあった。

線量に寄与する核種は、重要なものから $^{14}\text{C}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{95}\text{Zr}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{144}\text{Ce}$ 、 $^3\text{H}$ の順である。このうち現在残っている核種は、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^3\text{H}$ の4種類である。表2に主なフォールアウト核種からの集団線量当量預託の内訳を示す。半減期の長い $^{14}\text{C}$ の寄与が大きいことが分かる。 $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{240}\text{Pu}$ 、 $^{241}\text{Am}$ 等の長半減期核種からの線量当量預託は全体の0.1%に過ぎない。

今まで行われた核実験全体に起因する1人当たりの平均年間実効線量は、北半球中緯度地帯で3580 $\mu$ Sv、南半球地帯で2720 $\mu$ Sv、世界人口で平均して3.5mSvと見積られている。これは、現在の人口が自然放射能（ラドンを除く）から受ける線量の3年分強に相当する。

## 2. 原子力発電に起因する放射能による被ばく

1989年末には、26ヶ国で426基の原子力発電所が稼働し、設備容量318GW、電気エネルギーは212GW年に達した。原子力発電に伴う核燃料サイクルの各段階で環境中に放出された放射能からの線量評価が、国連科学委員会により行われている。

この線量評価には、採鉱、精練から、再処理、廃棄物処理までの核燃料サイクルのほとんどの過程が考慮されている。ただし、高レベル廃棄物と、中レベル廃棄物の一部はこの評価に含まれない。燃料サイクルの各段階で、現在稼働している施設の典型的モデルを作成し、計算により単位発電量当りの集団線量を推定している。これに世界の総発電量を乗じて加算して、原子力発電全体に起因する集団線量が得られる。被ばく経路は基本的にフォールアウト放射能と同じものを考えている。表3に燃料サイクルの各段階において放出された放射性核種から受ける単位発電量（GW年）当たりの世界平均の集団実効線量（人Sv）を示す。

ほとんどの放射性放出物は、半減期が短かったり、移動しにくい性質をもつため、施設から1000km以内の地域に短期間に影響を与えるだけである。しかし、 $^{14}\text{C}$ 、 $^3\text{H}$ 等、全世界的な規模で拡散し、長期にわたり線量に寄与すると考えられる核種もいくつかある。また、採鉱、精練等により生ずる尾鉱からは、半永久的に気体状の $^{222}\text{Rn}$ が放出される。地域的な被ばくには、採鉱に伴う空気浮遊性排出物と原子炉からの気体放出が主に寄与する。

表3の後段における採鉱と製錬尾鉱からの集団実効線量は、半永久的に放出される $^{222}\text{Rn}$ による線量預託を1万年という長い期間にわたる評価を行っているため大きな値となるが、適当な処置を施して $^{222}\text{Rn}$ の放出を抑えることで大幅に低減できる可能性がある。

原子炉運転が開始されてから1989年までの全期間に原子炉運転に伴って放出された放射性核種による世界全体の集団実効線量を年次別にまとめたものを表4に示す。1989年には275人Svであるが、全期間では3700人Sv近くなっている。

## 3. 原子力事故に伴う公衆の被ばく（表1参照）

放射性核種を環境に放出するような事故はこれまで数件発生している。その中で最大規模の事故はチェルノブイリ原子力発電所（旧ソ連）の事故である。この事故では、爆発と火災を引き起こし、放射性ガスと粒子が環境に放出された。主要な放射性核種は $^{131}\text{I}$ と $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ である。これらによる世界の集団実効線量は約60万人Svと推定された。そのうちの40%は旧ソ連内の住民が受け、57%がヨーロッパで、残り3%が北半球の他の国で受けてものと推定されている。

スリーマイルアイランド原子力発電所（アメリカ）の事故では、環境へ放出された放射性核種は比較的少量で、 $^{133}\text{Xe}$ を主とする希ガス（370PBq）と $^{131}\text{I}$ （550GBq）であった。これらによる集団実効線量は40人Svと推定された。

その他に再評価されたものとして、ウィンズケール原子炉（イギリス）の事故による2000人Sv、キシテム（旧ソ連）の事故による2500人Svなどがある。

## 4. その他の放射線源からの被ばく（表1参照）

核兵器製造や地下核実験に伴う放射性核種の放出についても多少明らかにされており、それらによる集団実効線量が、それぞれ、10000人Sv、200人Svと推定されている。

電源として、アイソトープ電池（プルトニウム238）を搭載した人工衛星の大気圏への再突入に伴う集団実効線量も推定されており、スナップ9A、コスモス954について、それぞれ2100人Sv、20人Svとされている。

さらに、夜光時計や静電防止装置、煙探知器等、一般消費材のなかにも放射線を放出する性質を持つものがある。これらの場合、線源が密閉されているため使用者に対しては外部被ばくのみが問題となが、製造過程では内部被ばくも問題となる。医療や研究の目的で用いられる加速器や原子炉等の放射線利用施設からも、極めて少量の放射線、放射能が漏洩し、施設近傍での被ばくの原因となる。加速器では漏洩放射線による外部被ばくが考えられる。実験用原子炉からは少量の放射能が放出され、発電用原子炉と同様の被ばくを与える。

### 【用語解説】

（\*1）集団線量預託：一つの行為（原子力発電、再処理、核燃料サイクルなど）によって、ある集団に内部被ばくが生じるとき、その集団が将来の幾世代にもわたって受ける線量の、一人当たりの内部被ばく線量である。預託実効線量（一個人が一生の間受ける内部被ばく線量）とは異なる量である。

### <関連タイトル>

[内部被ばく \(09-01-05-02\)](#)

[世界における自然放射線による放射線被ばく \(09-01-05-05\)](#)

[人工放射線による被ばく \(09-01-05-06\)](#)

[人工放射能の発見 \(16-02-01-05\)](#)

[放射線による外部被ばく \(09-01-05-01\)](#)

---

### <参考文献>

(1) 放射線医学総合研究所（監訳）：国連科学委員会報告「放射線の線源と影響」、1993年版、（株）実業公報社（1995）

(2) 原子放射線の影響に関する国連科学委員会（編）、放射線医学総合研究所（監訳）：放射線の線源と影響、原子放射線の影響に関する国連科学委員会の総会に対する2000年報告書、上下巻、実業公報社（2002年3月）

---

表1 放出された放射性核種と人為的環境放射線源からの集団実効線量の推定

線源	放出量(PBq)						集団実効線量(人Sv) <sup>e</sup>	
	<sup>3</sup> H	<sup>14</sup> C	希ガス	<sup>90</sup> Sr	<sup>131</sup> I	<sup>137</sup> Cs	局地および地域	世界
大気圏核実験								
世界								
局地	240000	220		604	650000	910		22300000
セミパラチンスク							4600	
ネバダ							500 <sup>b</sup>	
オーストラリア							700	
太平洋実験サイト							160 <sup>b</sup>	
地下核実験			50		15		200	
核兵器加工								
初期操業								
ハンフォード							8000 <sup>c</sup>	
チェルビンスク							15000 <sup>d</sup>	
その後の操業							1000	10000
							30000 <sup>e</sup>	
原子力発電								
製錬と採鉱							2700	
原子炉運転	140	1.1	3200		0.04		3700	
燃料再処理	57	0.3	1200	6.9	0.004	40	4600	
燃料サイクル							300000 <sup>e</sup>	100000
放射性同位体の製造と利用	2.6	1.0	52		6.0		2000	80000
事故								
スリーマイルアイランド			370		0.0006		40	
チェルノブイル					630	70		600000
キシュチム				5.4		0.04	2500	
ウィンズケール			1.2		0.7	0.02	2000	
パロマレス							3	
ツール							0	
スナップ9A								2100
コスモス954				0.003	0.2	0.003		20
Ciudad Juarez							150	
モハメディア							80	
ゴイアニア						0.05	60	
合計							380000	23100000
全集団実効線量(人Sv)							23500000	

- a 10,000年で打ち切った。      d テチャ河への放射性核種の放出量から  
b 外部被ばく線量のみ            e 尾鉱からのRn-222の放出による長期間集団線量  
c 大気へのI-131から

[出典] 放射線医学総合研究所(監訳):国連科学委員会報告「放射線の線源と影響」、1993年版、(株)実業公報社(1995) p.210

表2 大気圏核実験で生成された放射性核種による実効線量預託

放射性核種	実効線量預託( $\mu\text{Sv}$ )											
	北中緯度地帯( $40^\circ - 50^\circ$ )				南緯度地帯( $40^\circ - 50^\circ$ )				世界人口			
	外部被ばく	経口摂取	吸入	合計	外部被ばく	経口摂取	吸入	合計	外部被ばく	経口摂取	吸入	合計
$^3\text{H}$		48	3.6	51		13	0.95	14		44	3.3	47
$^{14}\text{C}$		2600	0.26	2600		2600	0.26	2600		2600	0.26	2600
$^{54}\text{Mn}$	93		0.21	94	26		0.06	26	57		0.13	57
$^{55}\text{Fe}$		14	0.03	14		3.8	0.01	3.8		8.2	0.02	8.2
$^{89}\text{Sr}$		2.3	3.1	5.5		0.51	0.68	1.2		1.4	1.9	3.3
$^{90}\text{Sr}$		170	15	180		46	4.1	50		102	9.0	111
$^{91}\text{Y}$			4.6	4.6			1.0	1.0			2.8	2.8
$^{95}\text{Zr}$	140		3.1	144	31		0.69	32	85		1.9	87
$^{95}\text{Nb}$	67		1.4	68	15		0.30	15	40		0.82	41
$^{103}\text{Ru}$	20		0.93	21	4.5		0.20	4.7	12		0.56	13
$^{106}\text{Ru}$	70		41	110	20		11	31	44		26	69
$^{125}\text{Sb}$	47		0.13	47	13		0.04	13	27		0.08	28
$^{131}\text{I}$	2.3	79	3.2	85	0.50	17	0.71	19	1.4	48	2.0	51
$^{137}\text{Cs}$	510	280	0.58	790	140	76	0.16	210	300	170	0.35	470
$^{140}\text{Ba}$	25	0.42	0.34	26	5.6	0.09	0.07	5.8	15	0.25	0.21	16
$^{141}\text{Ce}$	1.7		0.71	2.4	0.37		0.16	0.53	1.0		0.43	1.5
$^{144}\text{Ce}$	23		63	86	6.1		17	23	14		38	52
$^{238}\text{Pu}$		0.0009	1.2	1.2		0.0002	0.30	0.30		0.0005	0.72	0.72
$^{239}\text{Pu}$		0.29	29	30		0.08	8.4	8.5		0.18	18	18
$^{241}\text{Pu}$		0.21	19	20		0.05	5.0	5.1		0.13	12	12
$^{241}\text{Pu}$		0.004	8.9	8.9		0.001	2.4	2.4		0.003	5.4	5.4
$^{241}\text{Am}$		1.5	23	24		0.41	6.4	6.8		0.87	14	15
合計(丸めてある)	1000	3190	220	4400	260	2760	60	3100	600	2980	140	3700

[出典] 放射線医学総合研究所(監訳):国連科学委員会報告「放射線の線源と影響」、1993年版、(株)実業公報社(1995) p.135

表3 核燃料サイクルからの排出物中に放出された放射性核種から公衆の構成員への規格化集団実効線量

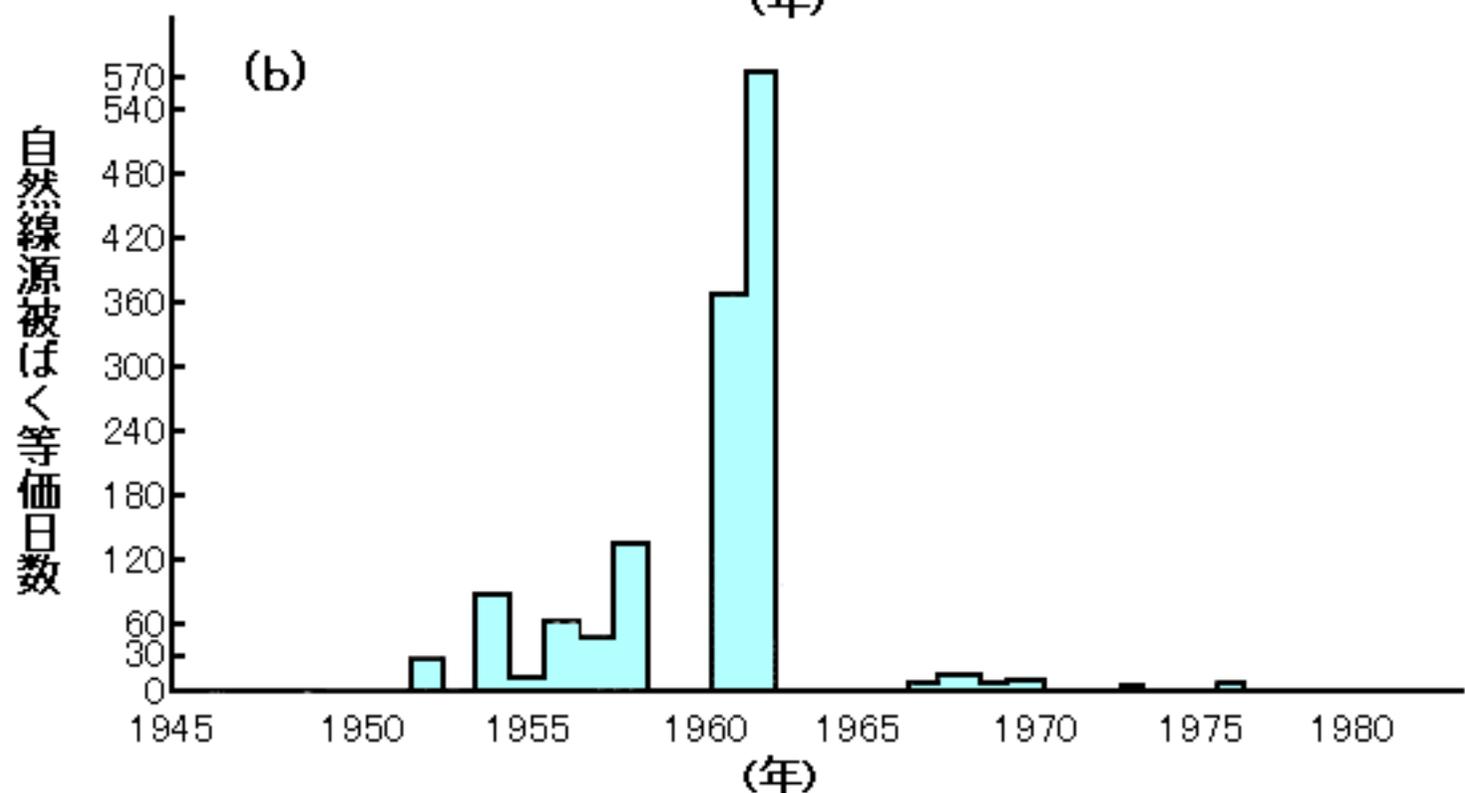
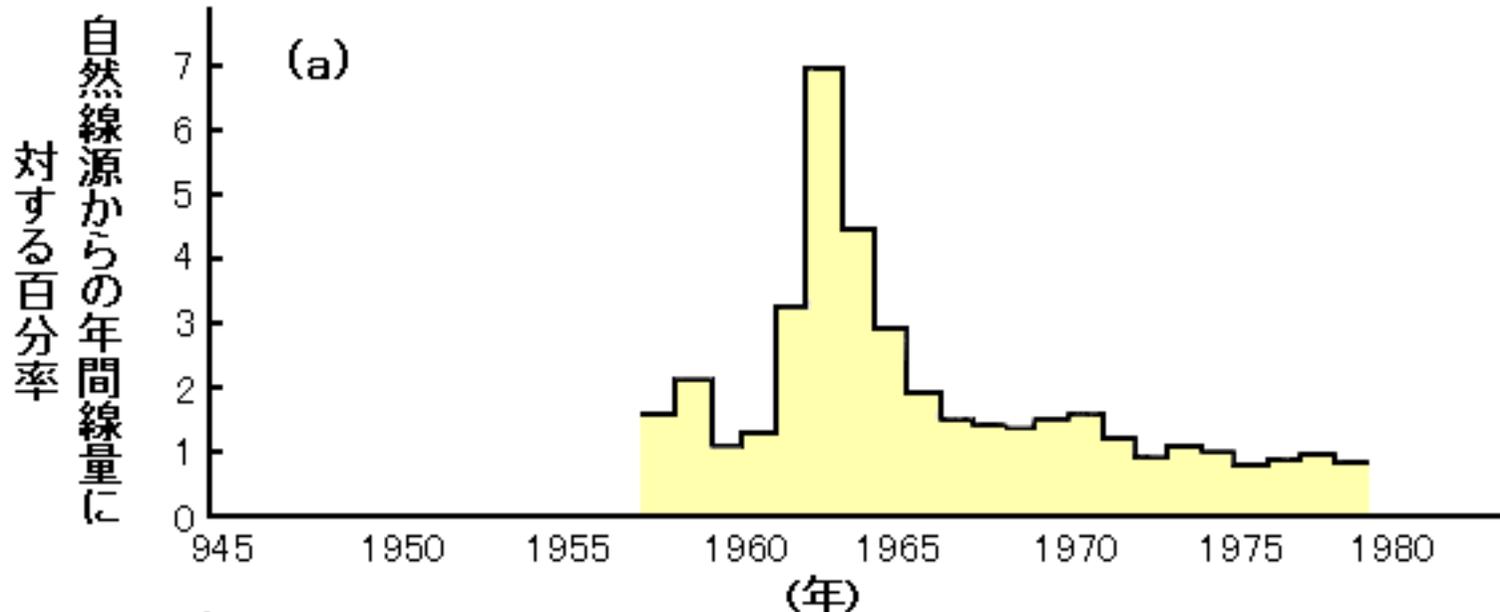
放出源	規格化集団実効線量 [人Sv(GW a) <sup>-1</sup> ]
局地および地域放出要因	
採鉱	1.1
製錬	0.05
採鉱製錬尾鉱(5年以上の放出)	0.3
燃料加工	0.003
原子炉運転	
大気	1.3
水圏	0.04
再処理	
大気	0.05
水圏	0.2
輸送	0.1
合計(丸めている)	3
固体廃棄物処理と世界の構成要因	
採鉱と製錬尾鉱(10000年以上のラドン放出)	150
原子炉運転	
低レベル廃棄物処分	0.00005
中レベル廃棄物処分	0.5
再処理固体廃棄物処分	0.05
地球規模に拡散した放射性核種(10000年で打ち切られた)	50
合計(丸めている)	200

[出典]放射線医学総合研究所(監訳):国連科学委員会報告「放射線の線源と影響」、1993年版、(株)実業公報社(1995) p.207

表4 世界全体の原子力発電所から放出された放射性核種からの集団実効線量

年	集団実効線量(人Sv)							
	希ガス	トリチウム	炭素14	ヨウ素131	粒子状物質	トリチウム(液体)	その他(液体)	総計
1970年以前	38	5.7	19	0.30	1.4	0.28	5.3	70
1970	18	2.0	6.3	0.13	0.61	0.08	1.3	28
1971	41	5.1	13	0.29	1.2	0.16	2.1	63
1972	62	7.4	19	0.44	1.7	0.23	3.0	94
1973	78	15	34	0.57	2.3	0.40	3.3	133
1974	96	17	40	0.70	3.0	0.48	4.0	161
1975	25	15	45	2.3	3.3	1.3	1.6	94
1976	33	18	57	3.0	4.3	1.5	1.8	119
1977	36	21	65	3.2	4.6	1.9	2	133
1978	47	28	85	4.2	6.1	2.3	2.2	175
1979	53	33	99	4.7	6.7	2.5	2.3	201
1980	16	41	107	0.32	6.4	2.5	1.5	176
1981	18	45	123	0.39	7.2	2.8	1.6	198
1982	20	44	127	0.43	7.9	3.0	1.7	205
1983	22	57	155	0.53	8.5	3.6	1.9	249
1984	26	64	177	0.57	10	4.1	2.1	283
1985	6.9	52	156	0.15	3.7	5.3	0.62	225
1986	6.6	59	164	0.14	3.7	5.8	0.62	240
1987	7.5	64	182	0.16	4.1	6.3	0.65	264
1988	7.9	67	192	0.17	4.4	6.8	0.71	279
1989	8.0	65	190	0.17	4.5	6.8	0.72	275
総計	668	724	2055	23	95	58	41	3665

[出典] 放射線医学総合研究所(監訳):国連科学委員会報告「放射線の線源と影響」、1993年版、(株)実業公報社(1995) p.199



(a): 1958～1979年に受けた平均年集団線量

(b): 1945～1980年に行われた爆発による集団線量預託

## 図1 大気圏内核爆発からの集団線量の経時変化

[出典] 放射線医学総合研究所(監訳):国連科学委員会報告「放射線の線源と影響」、1982年版、(株)実業公報社(1984)