

核被害まとめ

Agenda

- きのこ雲からの威力推定
- 核爆発の特徴
- 広島
- 長崎
- 残留放射能とフォールアウト
- **7の法則 例:ビキニ環礁核実験**
- 健康被害 例: JCO、チェルノブイリ



7の法則

- 爆発後の時間が7倍経過するごとに、線量率は1/10に減少する。
- 例1: 爆発1時間後の線量率を基準とすると、爆発7時間では1/10、さらに $7 \times 7 = 49$ 時間(約2日)で1/100, $7 \times 7 \times 7 = 343$ 時間(約2週間)後には1/1000に減少する。
- 例2: 7日目(1週間)では、1日目の1/10に減少する。
- しかし実際と理論は一致しないこともあり、常に実測値と比較する必要がある。

爆発後の時間が7倍経過するごとに、線量率は1/10に減少する。

例1: 爆発1時間後の線量率を基準とすると、爆発7時間では1/10、さらに $7 \times 7 = 49$ 時間(約2日)で1/100, $7 \times 7 \times 7 = 343$ 時間(約2週間)後には1/1000に減少する。

例2: 7日目(1週間)では、1日目の1/10に減少する。

しかし実際と理論は一致しないこともあり、常に実測値と比較する必要がある。気象条件の刻々と変化するであろうし、防護なしに被爆するという状況も現実的ではない。また、ビルを含めた遮蔽物の効果も大きいからである。

核分裂生成物の大部分は、その起源の如何にかかわらず、よく知られた軽い元素の放射性原子核(放射性同位元素)である。Bおよび γ 線が放出されることにより、核分裂生成物が形成されたことが判る。

放射性物質の原子核は β 粒子を放出した結果として、時には“崩壊生成物”とよばれる他の元素の原子核に変えられる。この物質も β 粒子および γ 線を放出して順次崩壊を続け、最終的には安定な(非放射性)原子核が作られるまで続く。

核爆発後に作られる混合物は大変複雑であり、多種多様な半減期をもつ放射性同位元素が作られる。そのため、全体としての半減期により減衰を表すことはできない。それにもかかわらず、従来核分裂生成物からの全放射線強度の減少が、かなり簡単な公式によって近似的に計算できることがわかっている。

爆発7時間後における核分裂生成物の放射能は、爆発1時間後における量の10%に減ずることがわかる。ほぼ2日以内に1時間値の1%に減少する。

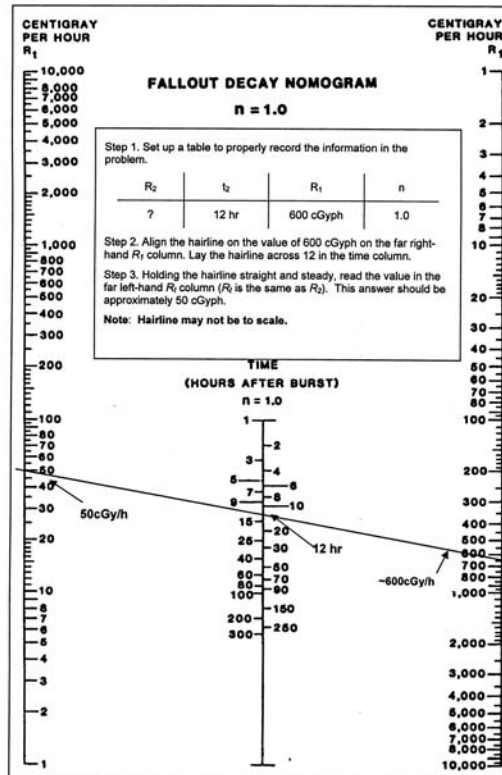


Figure G-35. Determining a Dose Rate at an Arbitrary Time (Example)

核攻撃後の放射能線量率の減衰

Table C-1. Projected Radiation Intensities After a Nuclear Attack (cGy per hour)

1 Hour	5 Hours	25 Hours	50 Hours	100 Hours	300 Hours
1,000	100	21	9	4	1
500	75	11	5	2	<1
250	37	5	6	1	<1
100	15	2	1	<1	<1
50	8	1	<1	<1	<1
10	2	<1	<1	<1	<1

NOTE: This chart shows a normal decay rate (1.2). The actual decay rate may be slower or faster. Refer to ATP-45B for detailed information on decay rates and radiation prediction methods.

7の法則に近似

ほぼ $7 \times 7 = 49$ 時間後には1/100 となっている

7の法則 例1

表-9.19 核爆発後の各経過時間における初期
フォールアウトの相対線量率

時間 (hr)	相対線量率	時間 (hr)	相対線量率
1	1,000	36	15
1½	610	48	10
2	400	72	6.2
3	230	100	4.0
5	130	200	1.7
6	100	400	0.69
10	63	600	0.40
15	40	800	0.31
24	23	1,000	0.24

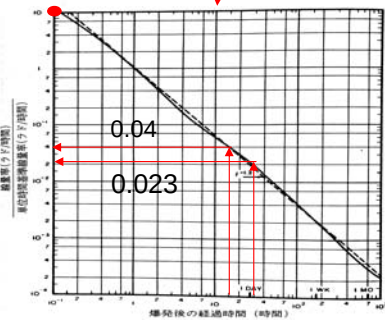


図-9.16 a 初期フォールアウト線量率の爆発後の時間変化

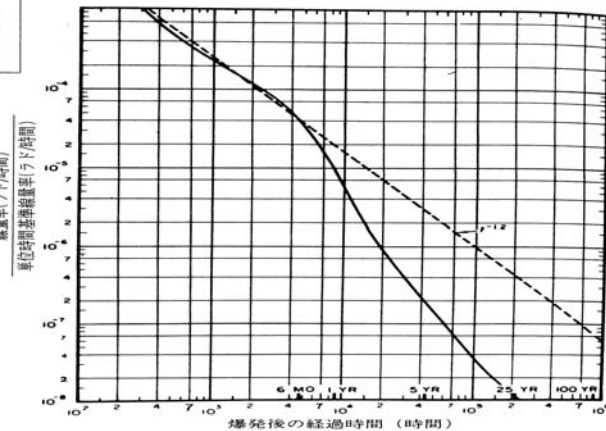


図-9.16 b 初期フォールアウト線量率の爆発後の時間変化

爆発5時間後にフォールアウトの降下が始まったある地点について、降下が終了した15時間後の外部線量率が4.0 rad/hr とする。

表9-19のデータから15時間後の実際の線量率の基準線量率に対する比は $40/1,000 = 0.040$ であることがわかる。したがって、基準線量率は $4.0/0.040 = 100 \text{ rad/hr}$ となる。この基準線量率と図9-16. a, b のグラフと15時間での4.0という実測値から24時間後の線量率は $0.023 (=23/1000) \times 100 (= \text{基準線量率}) = 2.3 \text{ rad/hr}$ と予想される。

爆発5時間後にフォールアウトの降下が始まったある地点について、降下が終了した15時間後の外部線量率が4.0 rad/hr とする。

表9-19のデータから15時間後の実際の線量率の基準線量率に対する比は $40/1,000 = 0.040$ であることがわかる。したがって、基準線量率は $4.0/0.040 = 100 \text{ rad/hr}$ となる。この基準線量率と図9-16. a, b のグラフと15時間での4.0という実測値から24時間後の線量率は $0.023 (=23/1000) \times 100 (= \text{基準線量率}) = 2.3 \text{ rad/hr}$ と予想される。

7の法則 例2

表-9.19 核爆発後の各経過時間における初期
フォールアウトの相対線量率

時間 (hr)	相対線量率	時間 (hr)	相対線量率
1	1,000	36	15
1½	610	48	10
2	400	72	6.2
3	230	100	4.0
5	130	200	1.7
6	100	400	0.69
10	63	600	0.40
15	40	800	0.31
24	23	1,000	0.24

爆発3時間後線量率が50rad/hr
であった場合、24時間後にはど
うなるか？

表では3時間後230であったもの
が24時間後には23にまで減少し
ている。つまり、1/10となっている。
そのため、50rad/hrは24時間後
には、5 rad/hr となっていること
が予想される。

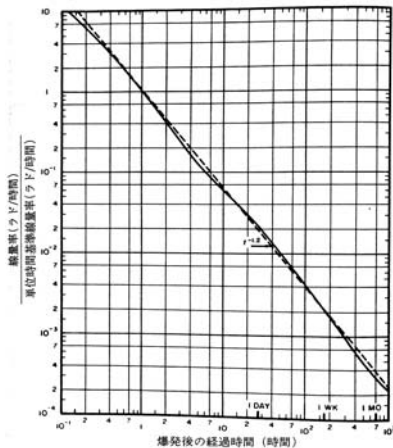


図-9.16 a 初期フォールアウト線量率の爆発後の時間変化

爆発3時間後線量率が50rad/hrであった場合、24時間後にはどうなるか？

表では3時間後230であったものが24時間後には23にまで減少している。つまり、1/10となっている。そのため、50rad/hrは24時間後には、5 rad/hr となっていることが予想される。

7の法則 累積線量

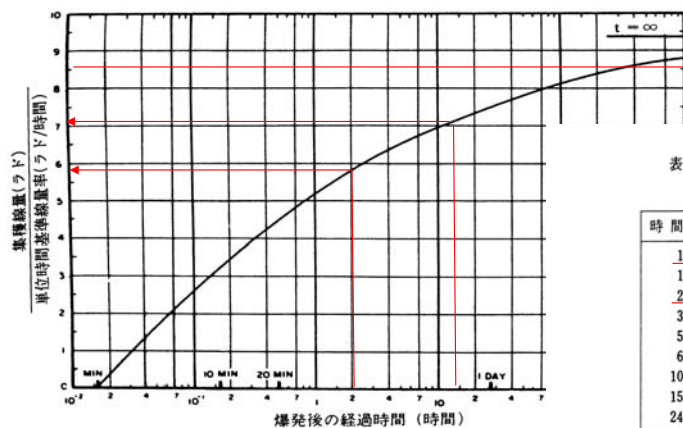


表-9.19 核爆発後の各経過時間における初期
フォールアウトの相対線量率

時 間 (hr)	相対線量率	時 間 (hr)	相対線量率
1	1,000	36	15
1½	610	48	10
2	400	72	6.2
3	230	100	4.0
5	130	200	1.7
6	100	400	0.69
10	63	600	0.40
15	40	800	0.31
24	23	1,000	0.24

図-9.20 初期フォールアウトによる集積線量を爆発後の各時間について
もとめた曲線

例。ある個人が爆発後2時間経ったフォールアウトから被爆することを考える。そして2時間後の線量率が1.5 rad/hr と測定された。この人がこれから12時間で受ける線量、すなわち爆発から14時間までに受ける線量を計算する。
2時間までの線量5.8、14時間までに受ける線量7.1 なので、その差(2時間から14時間までに受ける累積線量)は1.3である。

基準線量率は、 $1.5 / (400 / 1000) = 3.8 \text{ rad/hr}$ で、爆発2時間後から14時間後の12時間で受ける全線量は $3.8 \times 1.3 = 4.9 \text{ rad}$ となる。

ある時間内に受ける全体の放射線量を求めるためには、平均線量率に被爆時間を乗じればよい。しかし、線量率は常に減少するので、これを考慮に入れなくてはならない。

例。ある個人が爆発後2時間経ったフォールアウトから被爆することを考える。そして2時間後の線量率が1.5 rad/hr と測定された。この人がこれから12時間で受ける線量、すなわち爆発から14時間までに受ける線量を計算する。

2時間までに受ける線量5.8、14時間までに受ける線量7.1 なので、その差(2時間から14時間までに受ける累積線量)は1.3である。

基準線量率は、 $1.5 / (400 / 1000) = 3.8 \text{ rad/hr}$ で、爆発2時間後から14時間後の12時間で受ける全線量は $3.8 \times 1.3 = 4.9 \text{ rad}$ となる。

7の法則累積線量のご説明について

図一9. 20に基づく試算をさせていただきます上の段「2時間までに受ける線量5. 8、14時間までに受ける線量7. 1なのでその差は1. 3である。」についてです。後のご説明を読みますと、この文章は、「基準の線量率が1である場合」についてご説明されているという認識でよろしいでしょうか。 **Yes**

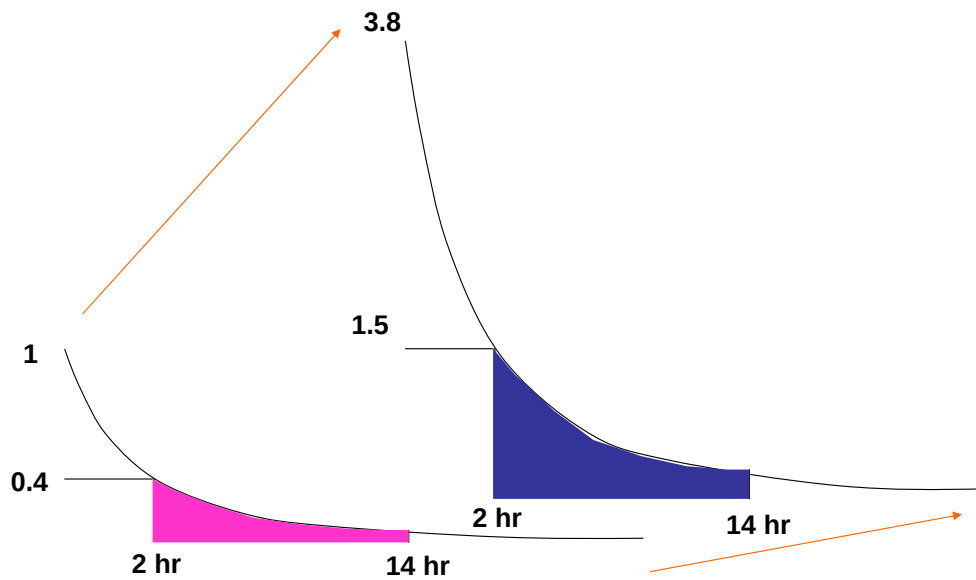


表-9.22 爆発1分後から各時間までの
無限時間残留放射線量百分率

時間 (hr)	無限時間線量 に対する百分比	時間 (hr)	無限時間線量 に対する百分比
1	55	72	86
2	62	100	88
4	68	200	90
6	71	500	93
12	75	1,000	95
24	80	2,000	97
48	83	10,000	99

爆発1分後から各時間までの無限時間残留放射線量百分率を示している。

そこに永遠に住むと仮定すると、最初の1時間で半分以上の放射能を浴びることになる。そして最初の24時間で8割、最初の1ヶ月で95%と考えられる。

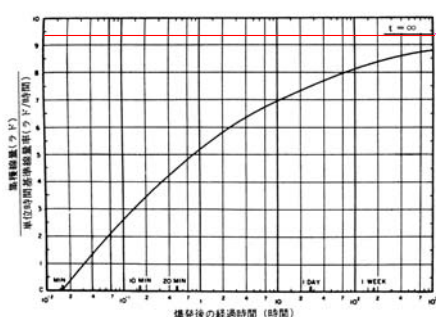


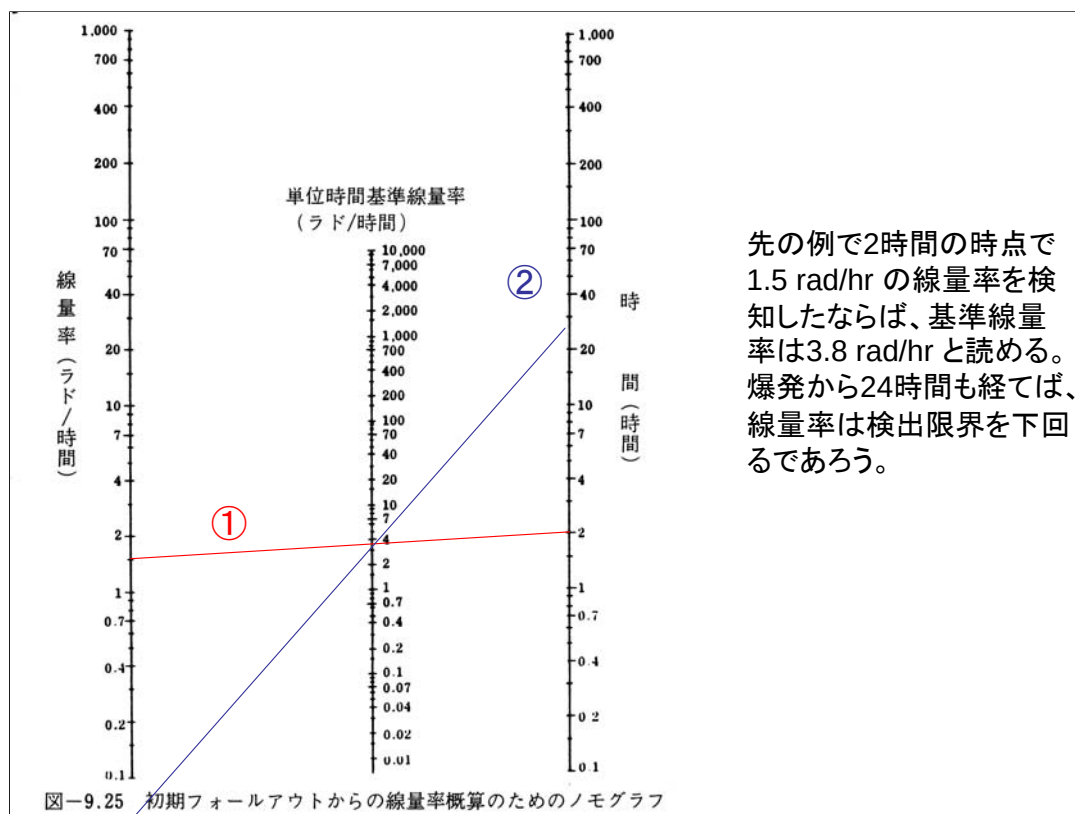
図-9.20 初期フォールアウトによる累積線量を爆発後の各時間でもとめた曲線

また爆発後2時間から14時間までその場に留まったとすると、 $76 - 62 = 14\%$ となる。また無限大時間後の累積放射線量は9.3となる。例えば、基準放射線率が3.8 rad/hrであれば、 $0.14 \times 9.3 \times 3.8 = 4.9$ rad total となる。

爆発1分後から各時間までの無限時間残留放射線量百分率を示している。

そこに永遠に住むと仮定すると、最初の1時間で半分以上の放射能を浴びることになる。そして最初の24時間で8割、最初の1ヶ月で95%と考えられる。

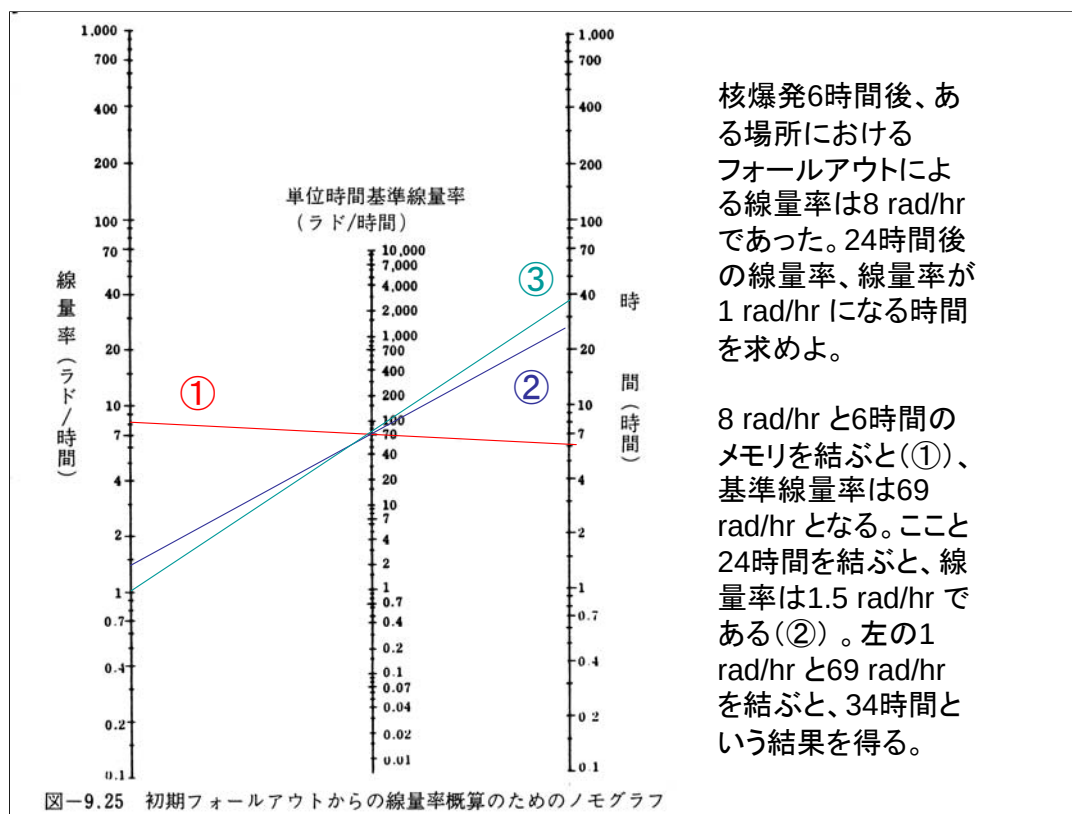
また爆発後2時間から14時間までその場に留まったとすると、 $76 - 62 = 14\%$ となる。また無限大時間後の累積放射線量は9.6となる。例えば、基準放射線率が3.8 rad/hrであれば、 $0.14 \times 9.3 \times 3.8 = 4.9$ となる。



先の例で2時間の時点で1.5 rad/hr の線量率を検知したならば、基準線量率は3.8 rad/hr と読める。爆発から24時間も経てば、線量率は検出限界を下回るであろう。

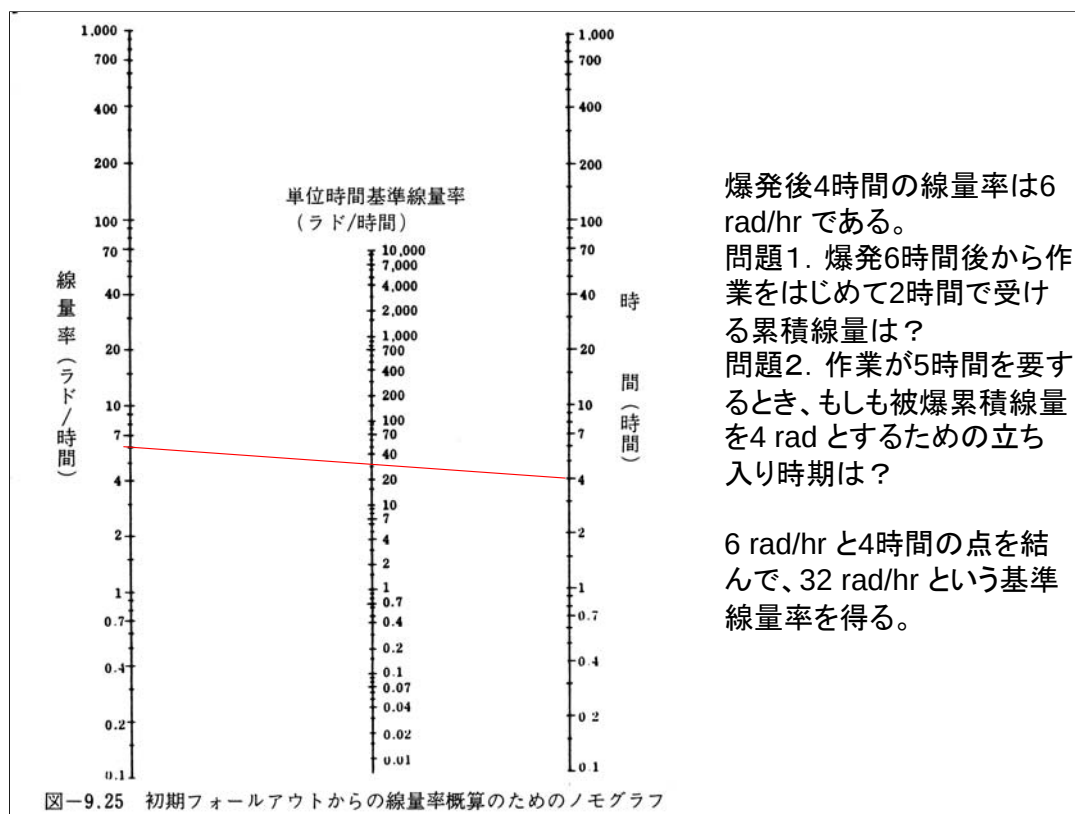
今まで示してきたように、先の図表を用いれば、初期フォールアウトから受ける放射線の線量および全線量に関していろいろな計算をすることができる。しかし、図のような計算盤により簡単に計算できる。

先の例で2時間の時点で1.5 rad/hr の線量率を検知したならば、基準線量率は3.8 rad/hr と読める。爆発から24時間も経てば、線量率は検出限界を下回るであろう。



核爆発後、ある場所におけるフォールアウトによる線量率は8 rad/hr であった。24時間後の線量率、線量率が 1 rad/hr になる時間を求めよ。

8 rad/hr と6時間のメモリを結ぶと(①)、基準線量率は69 rad/hr となる。ここと24時間を結ぶと、線量率は1.5 rad/hr である(②)。左の1 rad/hr と69 rad/hr を結ぶと、34時間という結果を得る。



爆発後4時間の線量率は6 rad/hr である。

問題1. 爆発6時間後から作業をはじめて2時間で受ける累積線量は？

問題2. 作業が5時間を要するとき、もしも被爆累積線量を4 rad とするための立ち入り時期は？

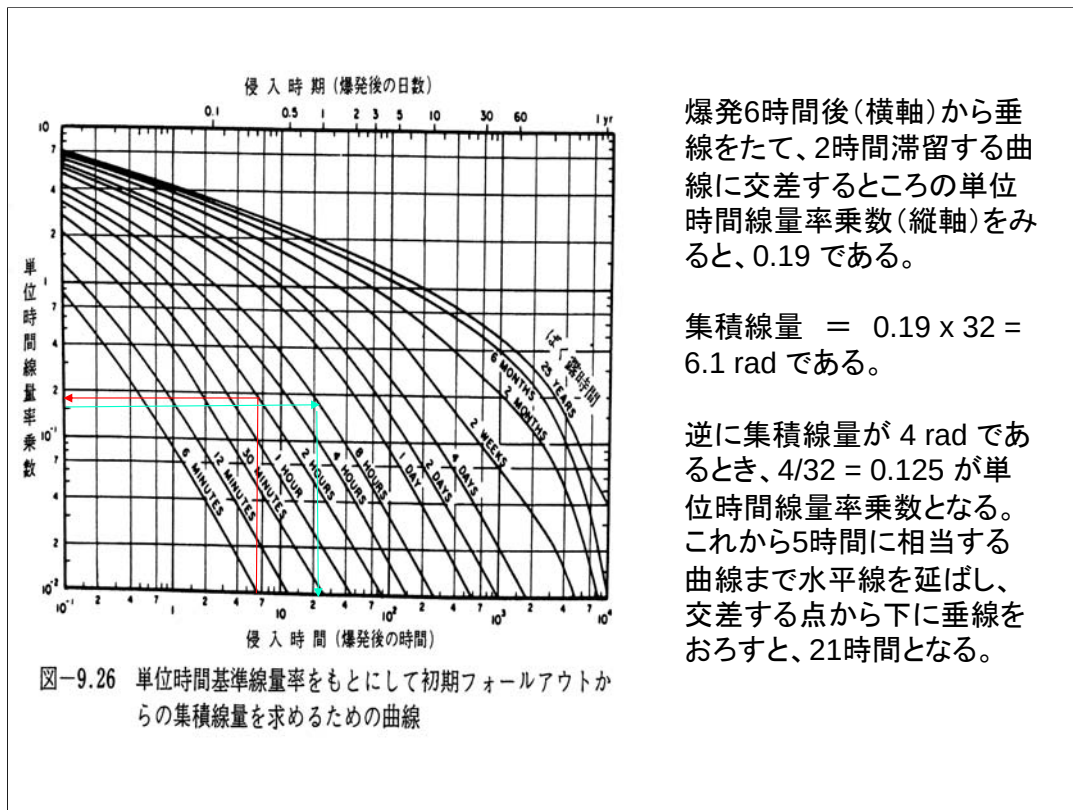
6 rad/hr と4時間の点を結んで、32 rad/hr という基準線量率を得る。

爆発後4時間の線量率は6 rad/hr である。

問題1. 爆発6時間後から作業をはじめて2時間で受ける累積線量は？

問題2. 作業が5時間を要するとき、もしも被爆累積線量を4 rad とするための立ち入り時期は？

6 rad/hr と4時間の点を結んで、32 rad/hr という基準線量率を得る。



爆発6時間後(横軸)から垂線をたて、2時間滞留する曲線に交差するところの単位時間線量率乗数(縦軸)をみると、0.19 である。

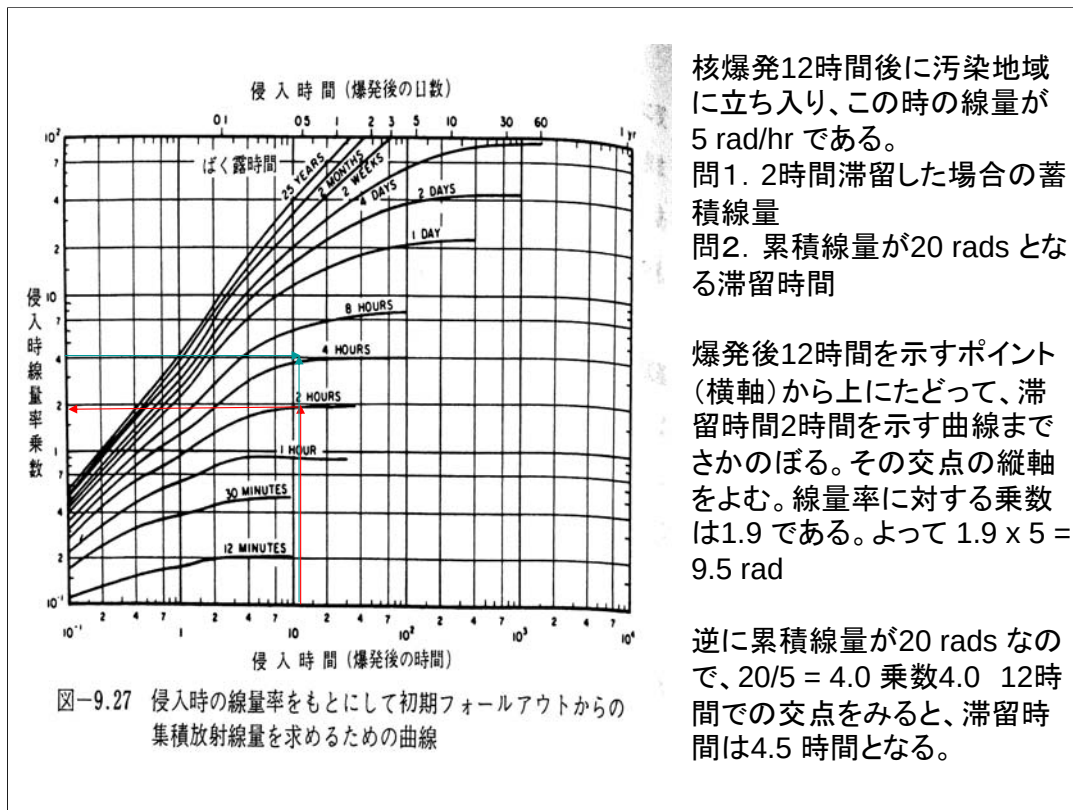
集積線量 = $0.19 \times 32 = 6.1$ rad である。

逆に集積線量が 4 rad であるとき、 $4/32 = 0.125$ が単位時間線量率乗数となる。これから5時間に相当する曲線まで水平線を延ばし、交差する点から下に垂線をおろすと、21時間となる。

爆発6時間後(横軸)から垂線をたて、2時間滞留する曲線に交差するところの単位時間線量率乗数(縦軸)をみると、0.19 である。

集積線量 = $0.19 \times 32 = 6.1$ rad である。

逆に集積線量が 4 rad であるとき、 $4/32 = 0.125$ が単位時間線量率乗数となる。これから5時間に相当する曲線まで水平線を延ばし、交差する点から下に垂線をおろすと、21時間となる。



核爆発12時間後に汚染地域に立ち入り、この時の線量が 5 rad/hr である。

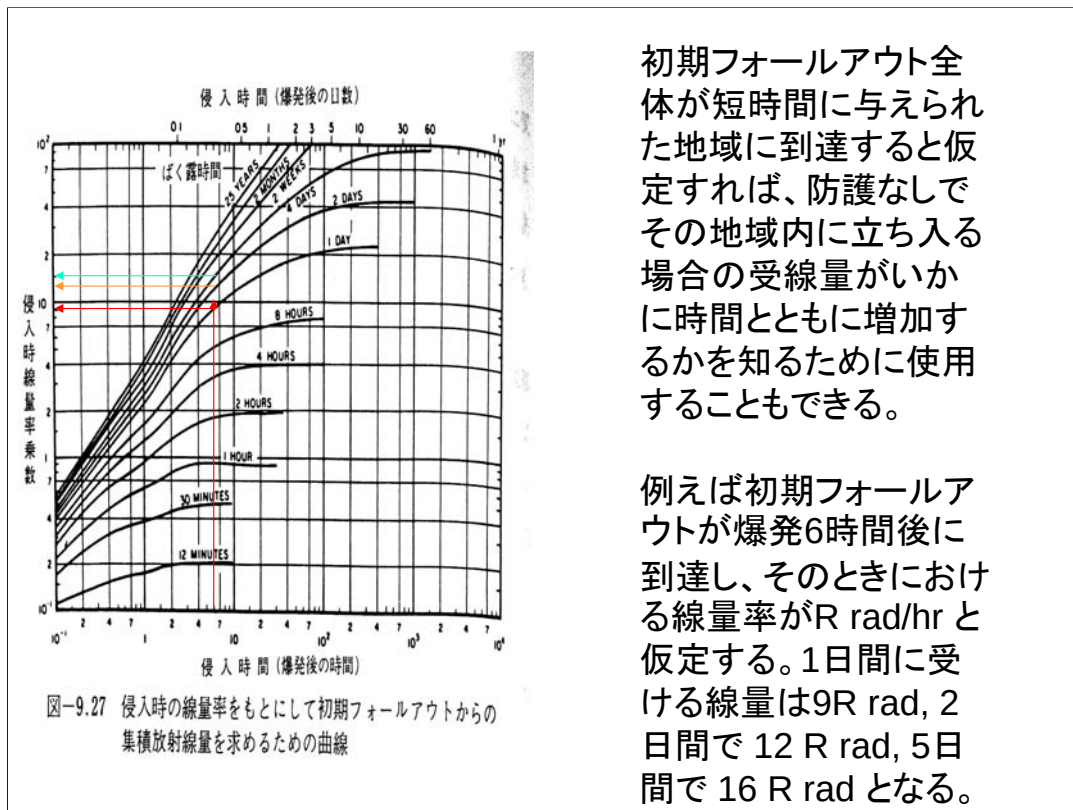
問1. 2時間滞留した場合の蓄積線量

問2. 累積線量が20 rads となる滞留時間

爆発後12時間を示すポイント(横軸)から上にたどって、滞留時間2時間を示す曲線までさかのぼる。その交点の縦軸をよむ。線量率に対する乗数は1.9 である。よって $1.9 \times 5 = 9.5 \text{ rad}$

逆に累積線量が20 rads なので、 $20/5 = 4.0$ 乗数4.0 12時間での交点を見ると、滞留時間は4.5 時間となる。

この図を用いると、単位時間基準線量率を求める必要がないため計算が簡単である。



初期フォールアウト全体が短時間に与えられた地域に到達すると仮定すれば、防護なしでその地域内に立ち入る場合の受線量がいかに時間とともに増加するかを知るために使用することもできる。

例えば初期フォールアウトが爆発6時間後に到達し、そのときにおける線量率が R rad/hrと仮定する。1日間に受ける線量は $9R$ rad, 2日間で $12 R$ rad, 5日間で $16 R$ rad となる。

初期フォールアウト全体が短時間に与えられた地域に到達すると仮定すれば、防護なしでその地域内に立ち入る場合の受線量がいかに時間とともに増加するかを知るために使用することもできる。

例えば初期フォールアウトが爆発6時間後に到達し、そのときにおける線量率が R rad/hrと仮定する。1日間に受ける線量は $9R$ rad, 2日間で $12 R$ rad, 5日間で $16 R$ rad となる。

1954.3.1 ビキニ環礁の核実験

初期フォールアウト分布

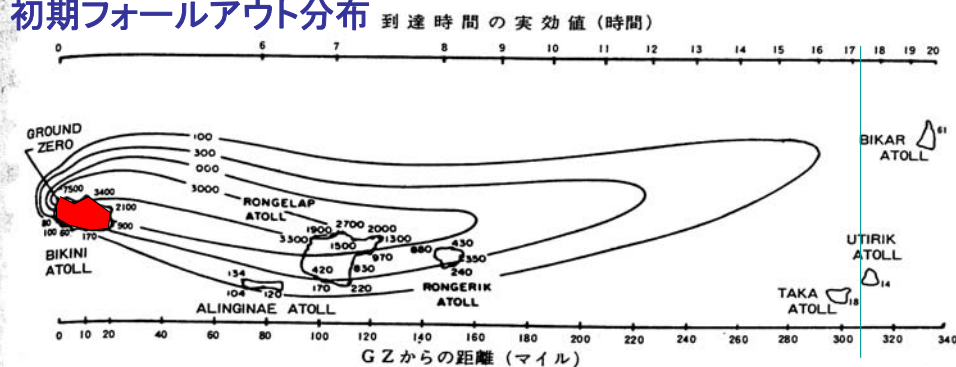


図-9.105 BRAVO爆発実験後96時間までの全（集積）線量の値、単位ラド

15Mt サンゴ礁表面から7フィートの高さに爆発。フォールアウトは風下330マイル、幅は最大60マイルまでの細長い地域を汚染した。この外、爆発地点から風上約20マイル程度まで非常な汚染の地域を形成。

700ラドもの放射線量を96時間で受ければ多くの場合致命的である。したがって1954年3月1日の実験において、なんらの防護手段を講じなければ、少なくとも爆発後96時間は風下約170マイル、幅35マイルにわたるベルト内に居たほとんどの人々の生命に重大な危険を及ぼしえる。逆に300マイル外の人々が致命的となることは考えにくい。

核攻撃の際、爆発全体の威力や分裂による出力、それに爆発高度を正確に予測することができない。そのため、フォールアウトに曝される地域を風向き、風の強さなどから予想することはできても、人の健康被害がどの程度でるかを予測することは困難である。

1954.3.1 ビキニ環礁の核実験

15Mt サンゴ礁表面から7フィートの高さに爆発。フォールアウトは風下330マイル、幅は最大60マイルまでの細長い地域を汚染した。この外、爆発地点から風上約20マイル程度まで非常な汚染の地域を形成。

700ラドもの放射線量を96時間で受ければ多くの場合致命的である。したがって1954年3月1日の実験において、なんらの防護手段を講じなければ、少なくとも爆発後96時間は風下約170マイル、幅35マイルにわたるベルト内に居たほとんどの人々の生命に重大な危険を及ぼしえる。

逆に300マイル外の人々が致命的となることは考えにくい。

核攻撃の際、爆発全体の威力や分裂による出力、それに爆発高度を予測することができない。そのため、フォールアウトに曝される地域を風向き、風の強さなどから予想することはできても、人の健康被害がどの程度でるかを予測することは困難である。

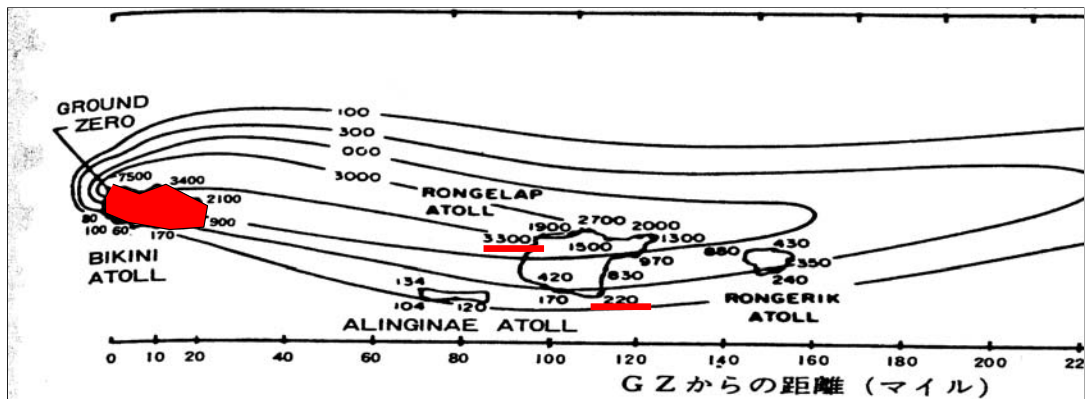
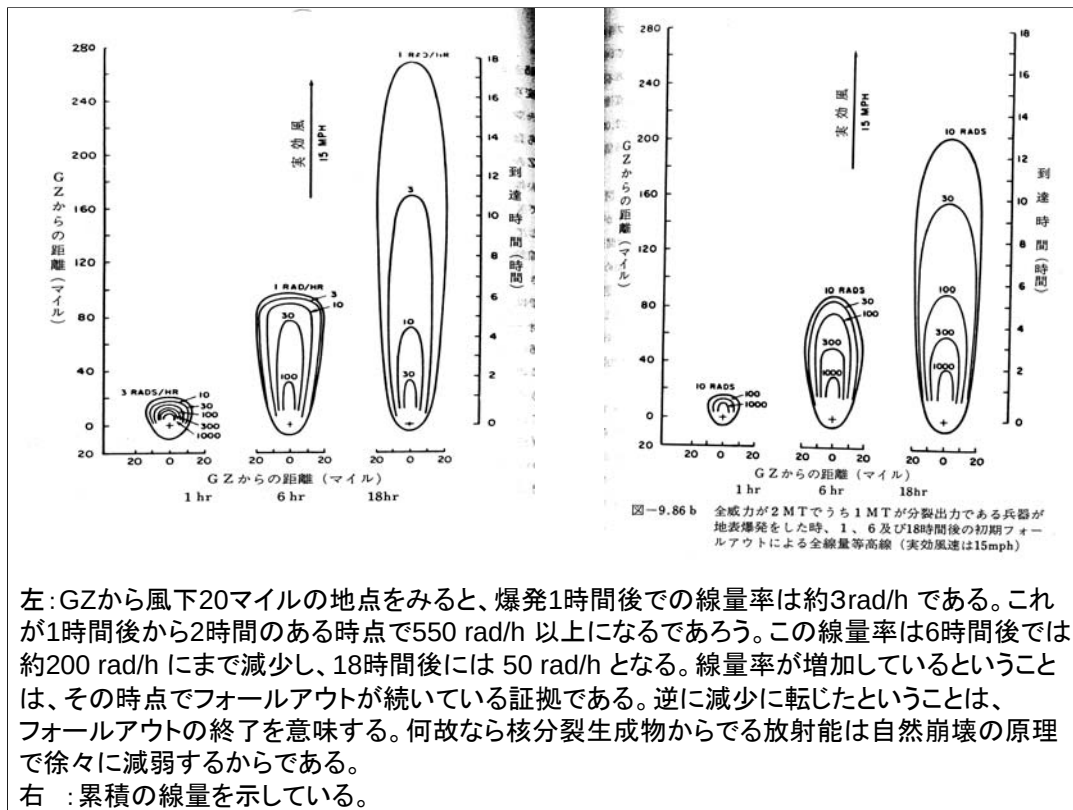


図-9.105 BRAVO爆発実験後96時間ま
値、単位ラド

ロンゲラップ環礁における2つの地点(赤線部分)とも爆発後約4～6時間からフォールアウトが開始し、数時間降り続いた。環礁の北西の先端、爆発地点から100マイルの地点ではフォールアウトが開始して96時間の間に3,300ラド放射能を受けた。この値は同じ距離で記録されたうちで最も多いフォールアウトであり、ホットスポットである。一方、そこから25マイル南でGZから115マイルでは同じ時間までの線量は僅かに220ラドであった。避難していた彼らは、フォールアウト開始後約44時間の間に最高175ラドの放射線を受けた。

ロンゲラップ環礁における2つの地点(赤線部分)とも爆発後約4～6時間からフォールアウトが開始し、数時間降り続いた。環礁の北西の先端、爆発地点から100マイルの地点ではフォールアウトが開始して96時間の間に3,300ラド放射能を受けた。この値は同じ距離で記録されたうちで最も多いフォールアウトであり、ホットスポットである。一方、そこから25マイル南でGZから115マイルでは同じ時間までの線量は僅かに220ラドであった。避難していた彼らは、フォールアウト開始後約44時間の間に最高175ラドの放射線を受けた。



典型的なフォールアウトパターン

細部まで計算するとなると、スーパーコンピュータを用いざるを得ないであろう。しかし、核攻撃を受けた場合、そのような余裕はない。逆に大まかな予想ができれば十分である。

本来であれば地上から爆発雲の上までの風の情報が最初に必要になるが、一定であると仮定する。そうすると、図のように、典型的フォールアウト等高線パターンは葉巻型となる。

左

GZから風下20マイルの地点をみると、爆発1時間後での線量率は約3rad/h である。これが1時間後から2時間のある時点で550 rad/h 以上になるであろう。この線量率は6時間後では約200 rad/h にまで減少し、18時間後には 50 rad/h となる。線量率が増加しているということは、その時点でフォールアウトが続いている証拠である。逆に減少に転じたということは、フォールアウトの終了を意味する。何故なら核分裂生成物から出る放射能は自然崩壊の原理で徐々に減弱するからである。

右

累積の線量を示している。

GZからある地点にフォールアウトが到達するには一定の時間がかかるわけであるが、その時間は、GZからの距離と実効風の速度により決定される。

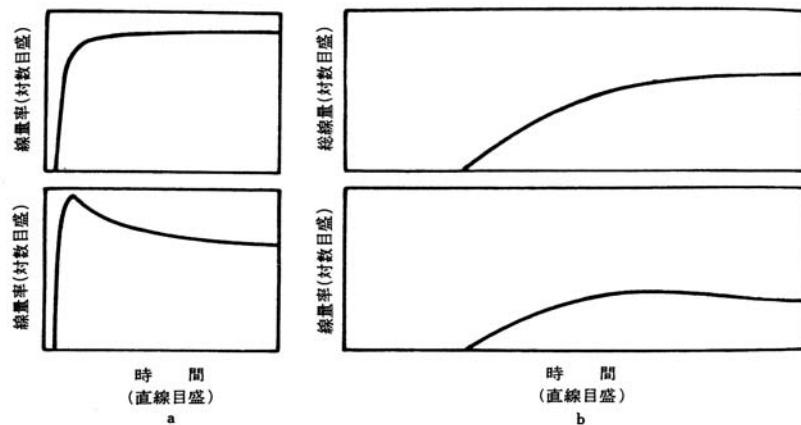
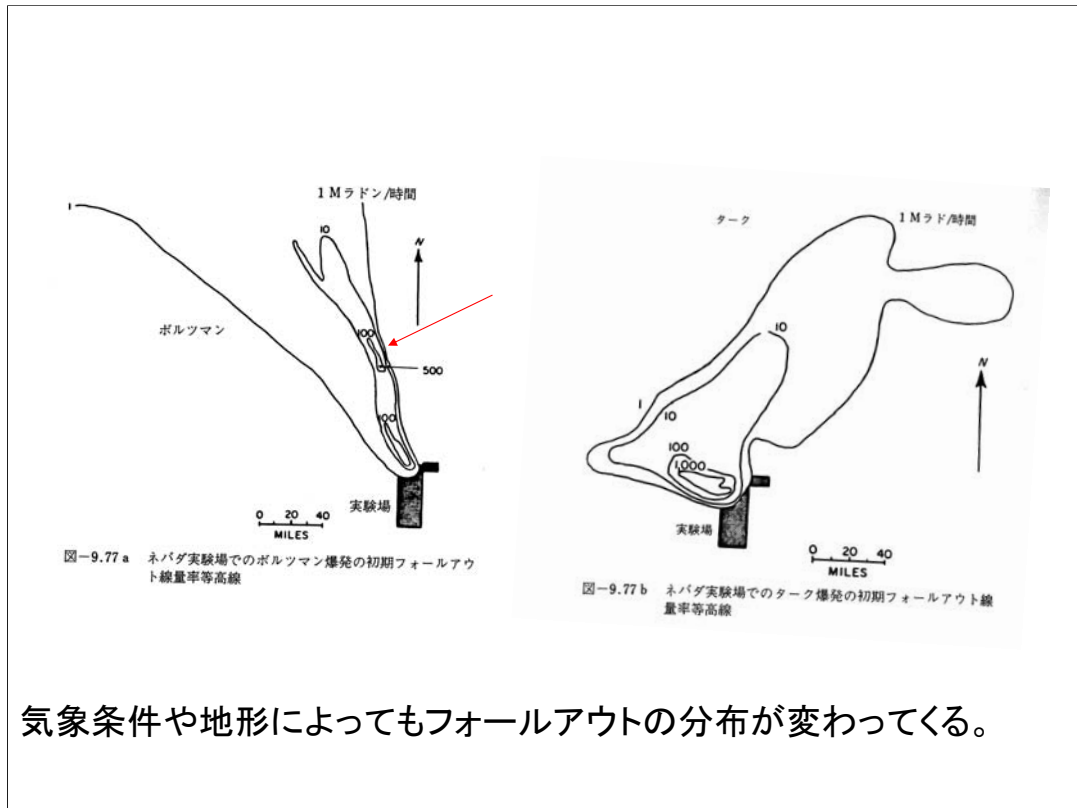


図-9.90 a GZから遠くない風下の点でのフォールアウトによる線量率と集積線量の爆発からの経過時間に対する定性的な関係

図-9.90 b GZから遠く離れた風下の点でのフォールアウトによる線量率と集積線量の爆発からの経過時間に対する定性的な関係

線量率は、爆発後ピークをもち、これを過ぎると減少する。しかし、総線量は増え続ける。フォールアウトがGZからある地点に達するまでの時間は、その地点までの距離から雲の半径を差し引き、実行風速で割ることによって単純に求めることができる。核の威力が小さく、よって雲の半径も小さいときは、これを無視して、GZと地点の距離を風速で割れば近似できる。

線量率は、爆発後ピークをもち、これを過ぎると減少する。しかし、総線量は増え続ける。フォールアウトがGZからある地点に達するまでの時間は、その地点までの距離から雲の半径を差し引き、実行風速で割ることによって単純に求めることができる。核の威力が小さく、よって雲の半径も小さいときは、これを無視して、GZと地点の距離を風速で割れば近似できる。



気象条件や地形によってもフォールアウトの分布が変わってくる。

表-9.109 1954年3月1日のビキニ実験時ロンゲラップ環
環礁の二つの地点におけるフォールアウトに
よる放射線線量の計算値

期 間 中 の 集 積 線 量 (ラド)		
爆 破 後 の 被 ば く 期 間	居 住 地 域	非居住地域
最初の96時間	220	3,300
96時間から1週間	35	530
1週間から1カ月	75	1,080
1カ月から1年	75	1,100
1年間の合計	405	6,010
1年から無限	About 8	About 115

表の計算値は、24時間屋外にいて、防護に関する何の予防策もとられなかった場合である。マーシャル諸島で爆発後25日目に測定した線量率の例では、予測値の約40%であった。第2週目に雨が降り、これが汚染を減少させた。

表の計算値は、24時間屋外にいて、防護に関する何の予防策もとられなかった場合である。マーシャル諸島で爆発後25日目に測定した線量率の例では、予測値の約40%であった。第2週目に雨が降り、これが汚染を減少させた。

- 核分裂出力率 例えばこれが50%であれば、線量率を半分に換算する。
- 平坦な地形 理論値と異なり、 $\times 0.7$ 程度で減弱する。
- 丘のある地形 $\times 0.5\sim 0.6$ が適当

9-93

核分裂出力率 例えばこれが50%であれば、線量率を半分に換算する。

平坦な地形 理論値と異なり、 $\times 0.7$ 程度で減弱する。

丘のある地形 $\times 0.5\sim 0.6$ が適当

まとめ

7の法則を用いて、被爆線量を予想することができる。

より正確に判断するためには実測値を知る必要がある。

算出ソフトを開発する予定

Agenda

- きのこ雲からの威力推定
- 核爆発の特徴
- 広島
- 長崎
- 残留放射能とフォールアウト
- 7の法則 例:ビキニ環礁核実験
- 健康被害 例: JCO、チェルノブイリ



傷害の型

- 爆風
 - 直接
 - 間接: 破片にあたる、身体が飛ばされる
- 熱線
 - 閃光熱傷
 - 火災
- 放射線
 - 早期(放射線傷害だけで即死はない)
 - 晩期

広島 長崎

範囲 (半径)	人口	密度 (/miles ²)	死者 (%)	負傷者 (%)	死傷者 (%)
0 ~ 1 km	31,200	25,800	26,700(86)	3,000(10)	29,700(95)
1 ~ 2.5 km	144,800	22,700	39,600(27)	53,000(37)	92,600(64)
2.5 ~ 5 km	80,300	3,500	1,700(2)	20,000(25)	21,700(27)
合計	256,300	8,500	68,000(27)	76,000(30)	144,000(56)
0 ~ 1 km	30,900	25,500	27,300(88)	1,900(6)	29,200(94)
1 ~ 2.5 km	27,700	4,400	9,500(34)	8,100(29)	17,600(64)
2.5 ~ 5 km	115,200	5,100	1,300(1)	11,000(10)	12,300(11)
合計	173,800	5,800	38,000(22)	21,000(12)	59,000(34)

広島、長崎ともに原爆が投下された地点は、地域で最も人口密度の高い場所であった。そして、半径0.6マイル以内に居た住人は95%程度死傷、85~88%死亡している。しかし、0.6 ~ 1.6 mileでは死亡率が27~34%にまで減少している。逆に負傷者の割合が、0 ~ 0.6 mile で6~10%であったものが、29~37%にまで増大した。ここで注目すべきは、爆心地から一定の距離を越えると急に死者の数が減り、逆に負傷者の数が増える点である。つまり、医療が的確に提供されたならば、爆心地近辺はともかくも、周辺では多くの犠牲者を救命できる可能性があるということである。

広島、長崎ともに原爆が投下された地点は、地域で最も人口密度の高い場所であった。そして、半径0.6マイル以内に居た住人は95%程度死傷、85~88%死亡している。しかし、0.6 ~ 1.6 mileでは死亡率が27~34%にまで減少している。逆に負傷者の割合が、0 ~ 0.6 mile で6~10%であったものが、29~37%にまで増大した。ここで注目すべきは、爆心地から一定の距離を越えると急に死者の数が減り、逆に負傷者の数が増える点である。つまり、医療が的確に提供されたならば、爆心地近辺はともかくも、周辺では多くの犠牲者を救命できる可能性があるということである。

遮蔽

20日間50%が生存し得た爆心地からの距離

	およその距離 (km)	
全体	1.3	
コンクリートビルディング	0.2	x 10
学校 校舎内	0.7	
校庭	2	x 10

屋外と屋内では、距離にして約3倍のリスクがあり、同じ建物でもコンクリート製の場合、木造に比べて約3倍安全である。核爆発による影響は距離の二乗に反比例して減衰するとすれば、屋内屋外のリスク比は10倍、木造とコンクリートのリスク比も10倍と近似されよう。

屋外と屋内では、距離にして約3倍のリスクがあり、同じ建物でもコンクリート製の場合、木造に比べて約3倍安全である。核爆発による影響は距離の二乗に反比例して減衰するとすれば、屋内屋外のリスク比は10倍、木造とコンクリートのリスク比も10倍と近似されよう。

鉄筋コンクリートビルでの建物の損害と死傷者の関係

爆心地より0.5から1.2 kmの間のコンクリート建造物内に
いた1,600人を対象とした調査：同じエリアで建物外にいた人々
の90～100%は死亡している。

建物の損害 の程度	死亡 (%)	重症 (要入院) (%)	非重症 (外来) (%)	傷害報告なし (%)
ひどい	88	11	-	1
中等	14	18	21	47
軽い	8	14	27	51

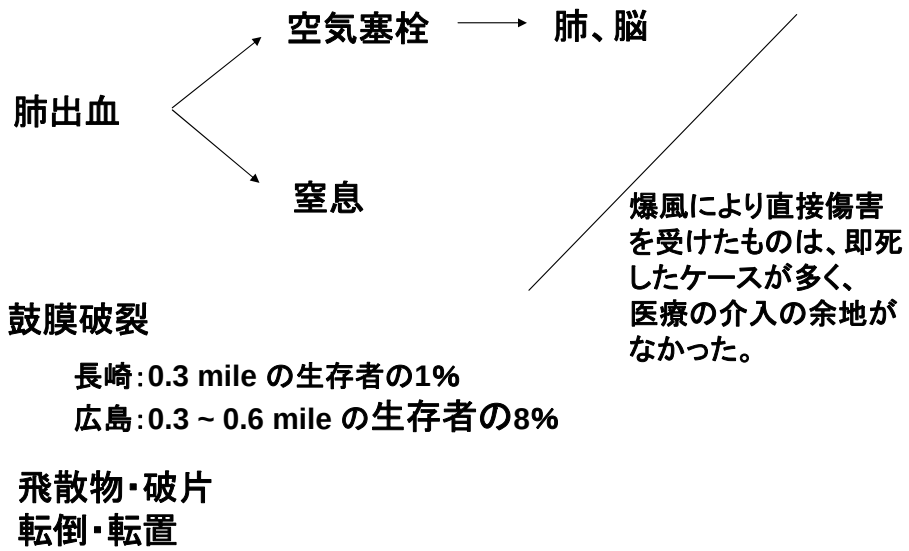
情報の不足から何らの防護行動をとらなくとも建物内の人々はより安全であることがわかる。破片等や二次火災による建物内の死傷者の増大はあるかもしれないが、初期放射線と特に熱線パルスの遮断による死傷者が減少するという利点がある。
建物内の異なった傷害の分布は、人々が爆発の瞬間に何をしていたかに大きく影響される。この表から建物の損害の程度がひどくなれば、死亡率も増加し、傷害程度も重症化することわかる。しかし、これらを規定する条件は、爆発からの距離および高度にもより、また建物内の人間の位置、方向も遮蔽の程度を規定する。そのため、損傷の程度から死傷者数の予測を行うことは困難である。

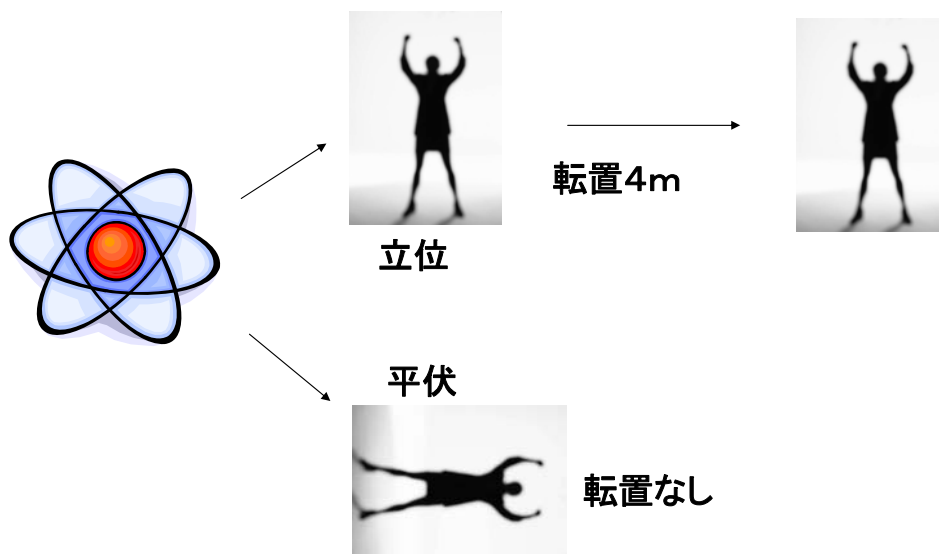
情報の不足から何らの防護行動をとらなくとも建物内の人々はより安全であることがわかる。破片等や二次火災による建物内の死傷者の増大はあるかもしれないが、初期放射線と特に熱線パルスの遮断による死傷者が減少するという利点がある。

建物内の異なった傷害の分布は、人々が爆発の瞬間に何をしていたかに大きく影響される。

この表から建物の損害の程度がひどくなれば、死亡率も増加し、傷害程度も重症化することはわかる。しかし、これらを規定する条件は、爆発からの距離および高度にもより、また建物内の人間の位置、方向も遮蔽の程度を規定する。そのため、損傷の程度から死傷者数の予測を行うことは困難である。

爆風傷害





核爆発があったと直感したら、遮蔽物の陰に伏せることが身を守る

熱線傷害

- 1メガトンが低空10,000フィートで爆発したと仮定すると、10マイルの半径内で全熱パルスを受ける平均人口の18%が2度熱傷、82%が1度熱傷を受けると予想される。これは回避行動をとらないと仮定したときである。
- 閃光火傷：広島長崎の核爆発のもっとも顕著な影響の1つは、熱線によって生じた閃光火傷による数多くの死傷者であった。致命的傷者の20～30%が閃光火傷によって引き起こされたと推定されている。広島だけでも、約4万人のかなり重症な火傷症例が報告された。火傷は1.1マイルまで、またはそれ以上の距離において適当な防護なしに野外にいたほとんどすべての人々にとって、致命的であったと思われる。2.2～2.6マイルでさえも、治療を必要とする重症火傷症例が存在した。
- 閃光火傷の特徴として、露出した肌は顕著で、逆に衣服におおわれていれば防護された。しかし、衣服が皮膚に密着していると、衣服が熱をもつことにより火傷を負った。同じ線量でも黒い衣服では火傷が強く、白い衣服では熱線を反射して火傷を負いにくかった。実際黒い上着が燃えたケースもあったようである。
- 症状としては、軽度の紅斑から炭化まで様々であった。重症のものは感染を合併し、戦時中という特殊な状況下により悪化したと思われる症例も多かった。
- 眼：閃光盲目：通常光の残像により視界の全視覚野を空白にする。短時間でもとに戻る。一方網膜火傷は永久的な目の障害を残す。閉眼や腕での遮蔽により、かなり防げると考えられている。

1メガトンが低空10,000フィートで爆発したと仮定すると、10マイルの半径内で全熱パルスを受ける平均人口の18%が2度熱傷、82%が1度熱傷を受けると予想される。これは回避行動をとらないと仮定したときである。

閃光火傷：広島長崎の核爆発のもっとも顕著な影響の1つは、熱線によって生じた閃光火傷による数多くの死傷者であった。致命的傷者の20～30%が閃光火傷によって引き起こされたと推定されている。広島だけでも、約4万人のかなり重症な火傷症例が報告された。火傷は1.1マイルまで、またはそれ以上の距離において適当な防護なしに野外にいたほとんどすべての人々にとって、致命的であったと思われる。2.2～2.6マイルでさえも、治療を必要とする重症火傷症例が存在した。

閃光火傷の特徴として、露出した肌は顕著で、逆に衣服におおわれていれば防護された。しかし、衣服が皮膚に密着していると、衣服が熱をもつことにより火傷を負った。同じ線量でも黒い衣服では火傷が強く、白い衣服では熱線を反射して火傷を負いにくかった。実際黒い上着が燃えたケースもあったようである。

症状としては、軽度の紅斑から炭化まで様々であった。重症のものは感染を合併し、戦時中という特殊な状況下により悪化したと思われる症例も多かった。

眼：閃光盲目：通常光の残像により視界の全視覚野を空白にする。短時間でもとに戻る。一方網膜火傷は永久的な目の障害を残す。閉眼や腕での遮蔽により、かなり防げると考えられている。

急性放射線の影響

- 嘔気、嘔吐、頭痛、めまい

↓
潜伏期間

- 出血、下痢、脱毛
- 衰弱、発作
- 回復あるいは死亡

REM	0~100	100~200	200~600	600~1K	1K~5K	5K~
嘔吐	なし	希～頻	頻～全	全	全	全
嘔吐開始		3～6時間	30分～6時間	30分以内	30分以内	直ちに
嘔吐持続		1日以内	1～2日	2日以内	1日以内	
潜伏期間		2週間以内	1～4週	5～10日	7日以内	
特異症状 発症 期間		血液 10～14日後 4週間	血液 1～4週後 1～8週間	血液 5～10日後 1～4週間	胃腸 0～10日後 2～10日間	中枢神経 直ちに
症状		中等白血 球減少	重症白血球 減少、紫斑、 出血、感染 脱毛	重症白血球 減少、紫斑、 出血、感染 脱毛	口内炎、 下痢、発熱、 電解質失調	けいれん、 意識障害、 振戦、失調
要観察期間			1～6週間	1～6週間	2～14日	1～48時間
治療		要観察	輸血、抗生 剤	骨髄移植	電解質補正	鎮静
予後	良好	良好	様々	不良	極めて不良	致命的
回復期間		数週間	1～12ヶ月	長期	-	-
死亡率	0	0	0～90	90～100	100	100
死因			出血、感染	出血、感染	循環不全	呼吸不全 脳浮腫

便宜上急性被爆は核爆発から24時間以内のものを指す。例えば600REMを24時間以内に浴びれば重篤となるが、20年間で600REMであれば、症状を呈さないであろう。

原爆の場合、全身を被爆することが多いと思われるが、部分のこともあり得、当然その場合の予後はよくなる。事実癌の放射線治療において局所照射は4k rad (kREM)までしばしば行なわれ、骨髄抑制をほとんど来たさない。一方、骨髄移植の際には1.2 krad (kREM)を3日間6分割して全身照射する(ほぼ骨髄機能は根絶される)。

臓器による感受性の相違

感受性の高い臓器:造血、リンパ系、消化管

感受性が中等度:皮膚、肺、肝臓

Table C-3. Radiation Injuries and Effects of Radiation Exposure to Personnel

RES	Total Dose ¹	Long-Term Health Effects	Medical Note	Medical Actions
0	<0.05 cGy	Normal risk	US baseline 20% lifetime risk of a fatal cancer	Record in exposure record of normally monitored personnel.
1	≤75 cGy	Up to 1% incidence of LI ³		
1A	0.05 to 0.5 cGy	Up to 0.04% increased risk of a lifetime fatal cancer	None (0.1 cGy annual general population exposure limit)	Record individual dose readings. Initiate periodic monitoring (including air and water).
1B	0.5 to 5 cGy	Occupational risk 0.04–0.4% increased risk of lifetime cancer	Reassurance (5 cGy US annual occupational limit)	Record individual dose readings. Continue monitoring. Initiate a radiation survey. Prioritize tasks. Establish radiation control measures.

ヘビー
スモーカー
の肺がん
リスク
1~2%

Table C-3. Radiation Injuries and Effects of Radiation Exposure of Personnel (Continued)

RES	Total Dose ⁴	Long-Term Health Effects	Medical Note	Medical Actions
1C	5 to 10 cGy	0.4–0.8% increased risk of lifetime fatal cancer	Counsel regarding increased long-term risk No live virus vaccines for 3 months	Record individual dose readings. Continue monitoring. Update the radiation survey. Continue radiation control measures. Execute priority tasks ² only.
1D	10 to 25 cGy	0.8–2% increased risk of lifetime fatal cancer	Potential for increased morbidity of other injuries or incidental disease <2% increased lifetime risk of fatal cancer	Record individual dose readings. Continue monitoring. Update the radiation survey. Continue radiation control measures. Execute critical tasks ³ only.
1E	25 to 70 cGy	2–5.6% increased risk of lifetime fatal cancer	Increased morbidity of other injuries or incidental disease <6% increased lifetime risk of fatal cancer	Record individual dose readings. Continue monitoring. Update radiation survey. Continue radiation control measures.

2	>75 to 125 cGy	Up to 5% LI ⁴	See Table C-5, page C-10	See Table C-5, page C-10
3	> 125 cGy	>5% LI	See Table C-5, page C-10	See Table C-5, page C-10

NOTES:

¹Injury or exposure to CB agents may affect response to radiation.

²Examples of critical tasks are those missions to save lives.

³Examples of priority tasks are those missions to avert danger to persons or to prevent damage from spreading.

⁴LI is the casualty criterion defined as the lowest dose at which performance is degraded (i.e., 25–75% capable) within 3 hours and will remain so until death or recovery or become combat ineffective at any time within 6 weeks.

c. Nuclear Risk Criteria. There are three degrees of risk—negligible, moderate, and emergency. Table C-4 provides the risks associated with each respective RES category. Latent ineffectiveness (LI) is the casualty criterion defined as the lowest dose at which performance is degraded (i.e., 25 to 75 percent capable) within 3 hours and will remain so until death or recovery or become combat ineffective at any time within 6 weeks.

- Negligible (1 percent LI). Negligible risk is acceptable when the mission requires units to operate in a contaminated environment. However, it should not be exceeded unless a significant advantage will be gained.

- Moderate (2.5 percent LI). Moderate risk is usually acceptable in close support operations. Moderate risk must not be exceeded if troops are expected to operate at full efficiency.

Table C-4. Nuclear Radiation cGy Exposure Status and Degree of Risk Exposure

Radiation Status Category (A)	Possible Exposure Criteria for a Single Operation not Resulting in Exceeding the Dose Criteria for the Degree of Risk (B)
RES-0 Units (Previously unexposed)	Negligible: ≤ 75 Moderate: ≤ 100 Emergency: ≤ 25
RES-1 Units (Previously exposed >0 to ≤ 75 cGy)	Negligible: $A+B \leq 75$ Moderate: $A+B \leq 100$ Emergency: $A+B \leq 125$
RES-2 Units (Previously exposed ≥ 75 to ≤ 125 cGy)	Any further exposure will exceed negligible risk and could exceed moderate risk. Negligible: > 0 Moderate: $A+B \leq 100$ Emergency: $A+B \leq 125$
RES-3 Units (Previously exposed >125 cGy)	Any further exposure will exceed emergency risk.
NOTES: 1. RES categories are based on previous exposure. Risk levels are graduated within each RES category in order to provide more stringent criteria as the total radiation dose accumulated becomes more serious. 2. Reclassification from one RES category to a less serious one is made by the commander upon advice from medical personnel and after ample observation of the actual state of health of exposed personnel. 3. All exposures to radiation are considered total body and simply additive. No allowance is made for body recovery from radiation injury. 4. Exposure criteria given for RES-1 and RES-2 units should be used only when the numerical value of a unit's total past cumulative dose is unknown. 5. Each of the degrees of risk can be applied to radiation hazards resulting from enemy or friendly weapons or both and from initial nuclear radiation resulting from planned friendly supporting fire.	

放射線障害に閾値はない。しかし、強いて設けるとすれば75 cGy or 0.75 Gy となる。やむを得ない場合、100 cGy, 125 cGy に段階的に引き上げる。

Negligible (LI 1%)

Moderate (LI 2.5%)

Emergency (LI 5%) 大規模災害であり、コマンダーが危険を冒しても作業する価値があると判断する場合。

JCO臨界事故患者の線量推定

A氏:事故後数分で嘔吐、1時間以内に下痢: 8.0 Gy <
被爆当日の発熱:38.5度

B氏:1時間以内に嘔吐 : 6.0 Gy <

C氏:2~3時間後に悪心(嘔吐なし) : < 4.0 Gy

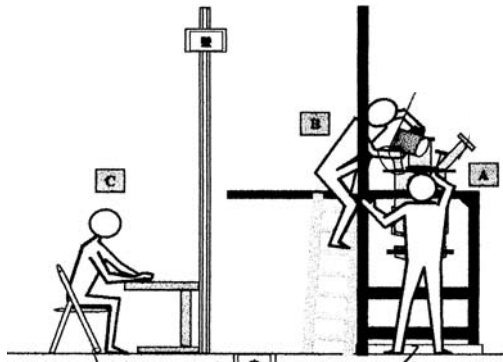


Table C-5. Physiological Effects of Radiation¹

Total Dose Estimate (cGy) ²	Performance Capability	Symptoms	Initial Symptoms Interval ³		Disposition Without Medical Care ⁴	Medical Care Requirement ⁴
			Onset	End		
<0.05	CE	US baseline 20% lifetime risk of fatal cancer				
0.05–0.5	CE	Up to 0.04% increased risk of lifetime fatal cancer				
0.1	CE	Annual general population exposure limit				
5	CE	US occupational annual limit				
5–10	CE	0.4–0.8% increased risk of lifetime fatal cancer				
10–25	CE	0.8–2% increased risk of lifetime fatal cancer				
25–75	CE	2–6% increased risk of lifetime fatal cancer				
35–75	CE	Nausea, mild headache, and vomiting in up to 5% in upper range	6	12	Duty	None
75–125	CE	Transient mild nausea and vomiting in 5–30%	3–5	1 day	Restricted duty ⁵	Restricted duty ⁵
125–300 LD ₅ –LD ₁₀	DT: PD 4 hours until recovery UT: • PD 6–24 hours • 6 weeks recovery	Transient mild to moderate nausea and vomiting in 20–70% of personnel Mild to moderate fatigability and weakness in 25–60% of personnel	2–3	2 days	Restricted duty ⁵	Restricted duty ⁵ Medical care may be needed at 3–5 weeks for 10–50% to attend to infection, bleeding, and fever
300–530 LD ₁₀ –LD ₅₀	DT: PD 3 hours until death or recovery UT: • PD 4 hours–2 days • PD 2 weeks–death or recovery	Transient nausea and vomiting in 50–100% Mild to moderate fatigue in 60–90% 2–5 weeks: 20–60% infection, bleeding, fever, ulceration, loss of appetite, and diarrhea	2	3–4 days	Survivors may be able to return to light duty >5 weeks ⁵ May require evacuation	Restricted duty ⁵ May require evacuation

Table C-5. Physiological Effects of Radiation¹ (Continued)

Total Dose Estimate (cGy) ²	Performance Capability	Symptoms	Initial Symptoms Interval ³		Disposition Without Medical Care ⁵	Medical Care Requirement ⁴
			Onset	End		
530–830 LD ₅₀ –LD ₉₀	DT: • PD 1 hour–3 weeks • CI until death UT: • PD 2 hours–2 days • CE 4–7 days • PD 7 days - 4 weeks • CI 4 weeks until death or recovery	Moderate to severe nausea and vomiting in 50–100% of personnel Moderate to severe fatigue and weakness in 90–100% of personnel 10 days–5 weeks: 50–100% infection, bleeding, fever, loss of appetite, ulceration, diarrhea, nausea, vomiting, fluid and electrolyte imbalance, and hypotension	<1	Days to weeks	Low end⁶ Death may occur in 8 weeks High end⁶ Death may occur in 3–5 weeks	Early evacuation to tertiary medical center before onset of illness
830–3,000+ LD ₉₀ –LD ₁₀₀	DT: • PD 45 minutes–3 hours • CI 3 hours until death UT: • PD 1–7 hours • CI 7–24 hours • PD 1–4 days • CI 4 days until death	Severe nausea, vomiting, fatigability, weakness, dizziness, disorientation, possible high fever, and sudden vascular collapse	<3 min	Death	Death expected	1,000 cGy: Death at 2–3 weeks 3,000 cGy: Death at 5–10 days If assets are available, early evacuation to tertiary medical center; most will not survive
Abbreviation Key CE —Combat Effective = >75% of full capacity PD —Performance Decrement or Partially Degraded = 25%–75% of full capacity CI —Combat Ineffective = <25% of full capacity DT —Demanding Task = Heavy physical work UT —Undemanding Task = Sedentary or cognitive						

Table C-6. First-Responder Exposure Limits

Locations	Exposure Limits	Restrictions
Outer Exclusion Zone	0.02 cGy/hr	This area is limited to designated response personnel only. Members of the general public are excluded.
Incident Command Centers, Staging Areas, etc.	0.10 cGy/hr	Command centers, staging areas, etc., may need to be set up close to the event. Such areas should be established in a location that is below the listed dose rate.
Hot Zone	1.00 cGy/hr	Responders should enter the area only on an as-needed basis in order to accomplish specific tasks.
"Turn Around" Limit	100.00 cGy/hr	Dose rates in these areas represent levels of radiation that require detailed planning to enter. Entry is permitted only with special authorization and to accomplish well-defined tasks.
Justifiable Rescue Limit	1,000.00 cGy/hr	At this dose rate, the likelihood of the successful rescue of victims is outweighed by the dose effects to the responders. This guideline represents the level that rescue operations may <u>not be justified</u> . Enter such areas only after it has been determined that the likelihood of success outweighs the potential harm to the rescuers.

5. Radioactive Materials of Military Significance

放射線の晩発効果

- 白内障: 脱毛を伴った人に多かった(300REM以上の被爆が想定される)。
- 白血病: 1947年から増加しはじめ、1951～1952年がピーク。
- 甲状腺がん
- 肺がん、消化器(胃を除く)癌
- 乳がん
- 死産、乳児死亡率の増加
- 精神発達遅滞、頭囲拡大

マーシャル諸島 内部被爆一甲状腺疾患

- 1954年核爆発
- 1963年甲状腺の異常1名
- ~1966年 18名
- ~1969年 22名
- ~1974年 28名 高度に被爆したものは22名、その中から**3名の悪性**、2名の甲状腺機能低下が認められた。一方、少量被爆群から発生した6名の甲状腺機能異常では、誰も甲状腺がんには至らなかった。
- 大部分の患者は、1954年当時、**10歳以下の子ども**であった。子どもたちの甲状腺に集中した放射性ヨードによる照射線量は810~1,150REMと推定された。

1954年核爆発

1963年甲状腺の異常1名

~1966年 18名

~1969年 22名

~1974年 28名 高度に被爆したものは22名、その中から**3名の悪性**、2名の甲状腺機能低下が認められた。一方、少量被爆群から発生した6名の甲状腺機能異常では、誰も甲状腺がんには至らなかった。

大部分の患者は、1954年当時、**10歳以下の子ども**であった。子どもたちの甲状腺に集中した放射性ヨードによる照射線量は810~1,150REMと推定された。

Chernobyl: 1986 4 26



Figure 1. Chernobyl nuclear power plant, Ukraine. Photograph taken in 1999.

チェルノブイリ原発事故では50名弱が直接被害で死亡した。その多くは救助に当たった人々で、高線量の放射線に被曝したことが原因であった。

その後放射線による晩期障害としてあとから癌の発生が増えるのではないかと心配されたが、小児の甲状腺がんが増えたものの、白血病などは統計学的に有意な増加を示さなかった。

チェルノブイリ原発事故

1986年4月26日(土)夜

1時23分40秒:原子炉の爆発炎上

2時 : 待機医師3人で29人を入院させる
被爆者洗浄(二次被爆を防ぐため)

6時40分 :モスクワから医療チーム到着

12時 : 130人が地域病院に転送
350人が急性放射線症候群と診断される
203人が重症のためモスクワかキエフの病院に転院

放射線被爆量の推定

帰宅基準：嘔気・嘔吐がなく、血液検査で異常がない。

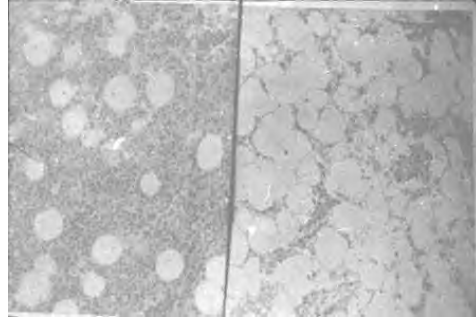
10－20Gy：被爆数時間後紅斑出現

6Gy 前後：被爆後24時間前後紅斑出現

経過観察

粘膜炎、下痢、発熱も重症の基準
頻回の血液検査（血球成分の2－3
日以内の低下は被爆量が多い）

細胞遺伝学的検討



正常骨髓

被爆後骨髓
造血機能低下

被爆者転送先				
群	キエフ	モスクワ	死亡数	被爆量 (Gy)
1	74	31	0 (0%)	1 - 2
2	10	43	1 (2%)	2 - 4
3	2	21	7 (30%)	4 - 6
4	2	20	21 (95%)	6 - 16
total	88	115	29	

他2人は熱傷により5時間以内に死亡

犠牲者の数

2人が即死

29人が3ヶ月以内に死亡

13人(5.6 – 13.4Gy 推定被爆)

骨髄移植

2人(5.6、8.7Gy) 生存(自己血液の回復)

住民避難

半径30km以内の住民(13万5千人)に避難命令(事態については伝えられず)

事故後12時間経っての決断

道にポリマーフィルムがまかれる

風上に向かって避難

半径2-4km以内住人(4万5千人)36時間以内に避難

それ以外の住人(9万人)2週間かけて避難

Chernobyl: 15年後の甲状腺がん

	事故後出生 1987/1/1~ 1989/12/31		事故の年に出生 1986/4/27~ 1986/12/31		事故前に出生 1983/1/1~ 1986/4/26	
	男児	女児	男児	女児	男児	女児
甲状腺がん/ 小児人口	0/4826	0/4646	0/1258	1/1151	7/4810	24/4910
年齢	-	-	-	13	13~17	12~16

Gomel region of Belarus

3歳までに被爆すると10台で甲状腺がんを発症するリスクが上昇する

小児12万人中62人発生

特にGomel region of Belarus に限ると1.9万人中37人の甲状腺がんが発生している。

Lancet 2001; 358: 1965. 長崎大学、広島放射線研究所

3歳までに被爆すると10台で甲状腺がんを発症するリスクが上昇する。

女児の方が多い。

小児の方が、感受性が高いと考えられるが18歳以上の調査が行われておらず比較できないので判らない。

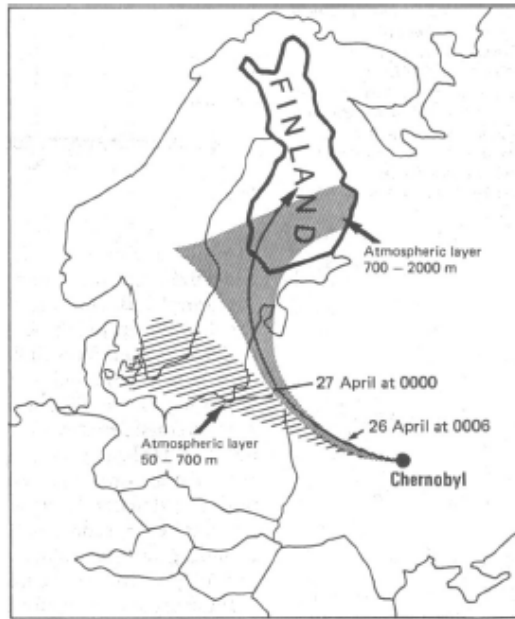
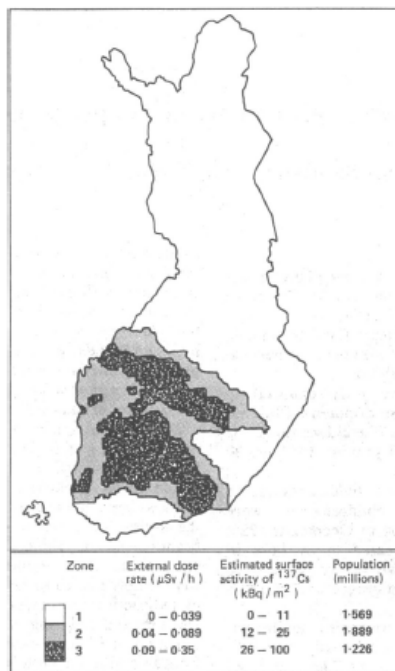


FIG 1—Transport of radioactive substances from Chernobyl during early stages after accident¹¹

チェルノブイリ原発事故から間もなく、放射性物質がフィンランド上空にたどってきた。

チェルノブイリ原発事故から間もなく、放射性物質がフィンランド上空にたどってきた。

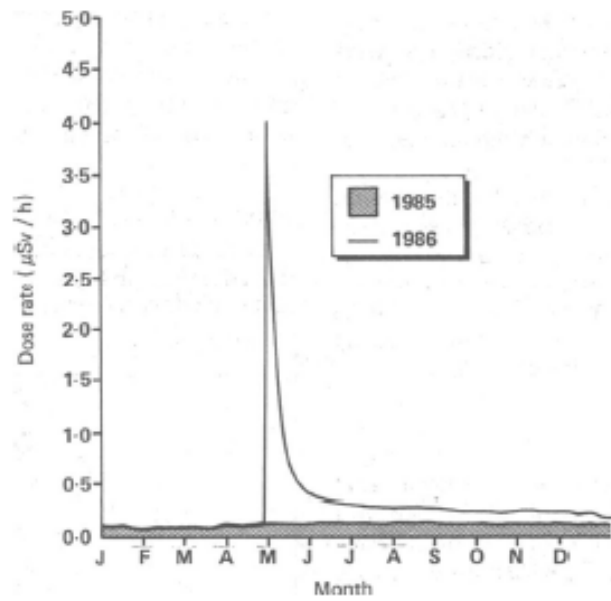
FIG 2—External dose rate in October 1986 and estimated surface activity of ^{137}Cs caused by fallout in Finland after accident at Chernobyl¹⁾



137Csのフォールアウトの状況。

137Csのフォールアウトの状況。

FIG 3—External dose rate caused by fallout at town of Uusikaupunki (21°24' E, 60°48' N) in 1986.¹¹ Most important contribution to initial dose rate (peak) came from short lived iodine-131, iodine-132, and lanthanum-140; after this dose rate was dominated by caesium-134 and caesium-137



5月に観測されたピークは131ヨード、132ヨードによるもの。その後は134, 137セシウムであった。バックグラウンドはグレーで示してある。

5月に観測されたピークは131ヨード、132ヨードによるもの。その後は134, 137セシウムであった。バックグラウンドはグレーで示してある。

まとめ

核爆発により多くの犠牲者がでるのは必至である。しかし、爆心地付近でも助かる人は少数ながら居るわけで、効率的な救済方法はあるはず。

被爆者、救済者も75cGy が判断の基準となるであろう。