

集中連載

放射線発がんリスクの推定（第2回）

甲斐 倫明

4. 1990年勧告におけるリスク評価

1977年以降、リスク評価の主たる基礎情報となっている原爆被爆生存者の追跡期間が延びたことでデータの追加が行われたこと、原爆線量の再評価（DS86）が行われたことが、がん死亡確率評価に影響を与えた。

原爆を中心とした疫学や動物実験データは、高線量・高線量率のデータが多くを占めるために、低線量・低線量率のリスクを推定することが直接はできない。そこで、高線量・高線量率の線量反応関係から低線量・低線量率に外挿するときに用いるべき補正係数を線量・線量率効果係数（DDREF）と定義して、放射線防護に用いるべきリスク（がん死亡確率）を推定することにした。この値を直接、低線量・低線量率のデータから導くには基礎となるデータが十分でないために、線量反応関係として直線2次曲線モデルを適合したときの1次項と2次項の比の推定値を参考にする理論的な方法を基本にして、Pub.60ではDDREF=2を採用した。

1990年勧告で1977年勧告とは数値的に最も大きな影響を与えたのは、リスク予測モデルの扱いである。放射線によって誘発される白血病以外のがんは10年以上の潜伏期が存在し、生涯にわたって発現すると予想された。そのために、原爆被爆者の追跡期間を超えて生涯に生じるがん死亡確率を推定するには、リスク予測モデルを用いる必要がある。このリスク予測モデルとして、相加的リスク予測モデル、相乗的リ

スク予測モデルを利用した。相加的リスク予測モデルは、観察期間で放射線被ばくによって増加したがん死亡確率の年当たりの平均値を生涯継続すると仮定したモデルである。これに対して、相乗的リスク予測モデルは、観察期間で放射線被ばくによって増加したがん死亡率の自然がん死亡率に対する比（相対リスク）が生涯継続すると仮定したモデルである。両者のモデルの根本的な違いは、相乗的リスク予測モデルが自然がん死亡率は年齢とともに増加することを反映して推定するのに対して、相加的リスク予測モデルは放射線誘発がんの年齢変化は自然がん死亡率とは独立に扱うものである。モデルの違いによって、自然がん死亡率の異なる国別の放射線リスク推定が異なってくる。日本人では、全年齢を対象にした計算では、放射線被ばくによって、相乗的リスク予測は相加的リスク予測モデルよりも男性で約2倍、女性で約3倍大きい評価値を与えた。リスク予測モデルが白血病以外のがんの生涯がん死亡確率の推定値に大きな影響を与えたことを表1示す。

5. 名目致死確率係数

Pub.60では、放射線防護の目的のために、男女区別なく、広い範囲の年齢を含んだ集団に一律に適用できる単一の数値を名目致死確率係数（nominal fatality probability coefficients）と定義した。Pub.26まではリスク係数と呼ばれていたものに相当する。名目致死確率係数の評価に

表1 全身1回被ばくに起因する生涯がん死亡確率 (%/Sv)

	相加的リスク 予測モデル		相乗的リスク 予測モデル	
	男性	女性	男性	女性
白血病	1.06	0.65	0.86	0.59
その他のがん	2.39	3.42	7.16	12.9
全がん	3.45	4.07	8.02	13.5

注1) 日本人集団 (0~90歳までの全年齢集団) を対象にした計算値

注2) 低線量・低線量率に適用する DDREF=2 を用いていない計算値

において、原爆被爆生存者データの傾向に近いことから相乗的リスク予測モデルを採用し、年齢分布の異なる作業員集団と一般公衆とを区別して求めた。

名目致死確率係数は、性別、年齢及び国による違いを考慮せず、一律に適用できる単一の数値として定義されるものである。そのため、相乗的リスク予測モデルを適用すると国による自然がん死亡率が放射線リスクの推定に影響する。ICRPは、5つの自然がん死亡率の異なる集団（日本、米国、英国、プエルトリコ、中国）における生涯がん死亡確率を計算し、その平均値を名目致死確率係数とした。全年齢を対象にした一般人の場合 10%/Sv、作業員集団の場合 8%/Sv であるが、DDREF の値 2 を適用して、名目致死確率係数は、作業員で 4%/Sv、一般人で 5%/Sv となった。

6. デトリメント (損害)

ICRPは、致死性でないがん、放射線誘発がんの潜伏期及び遺伝的影響の発生確率を考慮するために、名目致死確率係数を基礎にして、集合的な量としてデトリメント (損害) を定義した。デトリメントは、

- 1) 致死がんの発生確率

- 2) 非致死がんの発生確率
- 3) 重篤な遺伝的影響の発生確率
- 4) 余命損失の相対的な大きさ

の4つの因子を考慮して定量的に求められる。

致死がんの発生確率 F は名目致死確率係数に等しい。がんの致死割合を k とするとき、致死がん及び非致死がんを含めたすべてのがんの発生率は、 F/k で推定できる。非致死がんの発生率は、 $(1-k) \cdot F/k$ となる。デトリメントでは、非致死がんの致死的な発生確率を致死がんの発生確率に加算する。この結果、疫学調査ではがん死亡で評価している致死がんの発生確率 (F) をデトリメントでは、 $(2-k) \cdot F$ として、非致死がんを考慮するために補正した。この結果、致死がんの発生確率が 30% を上回る組織は、結腸 (45%)、乳房 (50%)、甲状腺 (90%)、皮膚 (100%) であった。

余命損失の相対的な大きさは、余命損失年数を l 、すべての致死がんの余命損失年数を \bar{l} (15年) とすると、 (l/\bar{l}) で表される。この数値が 30% を上回るのは潜伏期の短い白血病で 2.06 であった。

デトリメントは、次の式で定義され、計算された。

$$(2-k) \cdot F \cdot (l/\bar{l})$$

Pub.60 で求められた名目致死確率係数及びデトリメントを表 2 に示す。

7. 2007年勧告におけるリスク評価

2007年のICRP新勧告では、2007年に発表された原爆被爆者の最新の疫学データがリスク評価に利用されている (Preston, 2007)。基礎になっている原爆被爆者の疫学データ解析に利用されてきた線量評価 DS86 が DS02 に改訂された。この影響は 10% 程度とされており、大きくない。解析の対象になった原爆被爆生存者

表2 名目確率係数とデトリメント

組織	%/Sv	
	名目確率係数	デトリメント
胃	0.88	0.80
肺	0.68	0.64
結腸	0.68	0.82
赤色骨髄	0.40	0.83
膀胱	0.24	0.24
食道	0.24	0.19
乳房	0.16	0.29
肝臓	0.12	0.13
卵巣	0.08	0.12
甲状腺	0.06	0.12
骨表面	0.04	0.06
皮膚	0.02	0.03
その他	0.40	0.47
合計	4.00	4.74
生殖腺	0.6	0.8
総計		5.6

データは、放射線影響研究所が実施している1958年から1998年までのがん罹患数が対象となっている。従来の評価に比べて、原爆被爆者の追跡調査期間が延長したことで、過剰相対リスクや過剰絶対リスクの解析の対象となるデータ数が増加し、各がんの詳細なモデル解析が可能になった。被ばく時年齢だけでなく、到達年齢の影響を含めたモデル解析が行われるようになった。リスク評価上注目されがちである低線量での線量反応関係やDDREFは変更されていない。

損害に調整して評価された名目リスク係数(全年齢集団)は、がんの場合、1990年勧告が6.0% Sv⁻¹、2007年勧告が5.5% Sv⁻¹と有意な変化ではない。しかし、遺伝的影響の場合、1990年勧告が1.3% Sv⁻¹、2007年勧告が0.2% Sv⁻¹と約6分の1に減少した。人の自然発生

表3 デトリメントで調整された名目リスク係数(%/Sv)

被ばく集団	がん		遺伝的影響		合計	
	Pub.60	Pub.103	Pub.60	Pub.103	Pub.60	Pub.103
全集団	6.0	5.5	1.3	0.2	7.3	5.7
成人	4.8	4.1	0.8	0.1	5.6	4.2

表4 全集団における男女平均した名目リスク係数と損害

	名目リスク係数	致死率	相対余命	損害
	1万人当たり 1Sv当たり			
食道	15	0.93	0.87	13.1
胃	79	0.83	0.88	67.6
結腸	65	0.48	0.97	47.9
肝臓	30	0.95	0.88	26.6
肺	114	0.89	0.80	90.3
骨	7	0.45	1	5.1
皮膚	1000	0.002	1	4.0
乳房	112	0.29	1.29	79.8
卵巣	11	0.57	1.12	9.9
膀胱	43	0.29	0.71	16.7
甲状腺	33	0.07	1.29	12.7
骨髄	42	0.67	1.63	61.5
その他のがん	144	0.49	1.03	113.5
生殖腺	20	0.80	1.32	25.4
合計	1715			574

注) 皮膚にはQOL損害補正が適用されていない

遺伝病頻度とマウスから得られる倍加線量を用いた推定方法に変更はないが、潜在的回復可能性修正係数の導入など遺伝リスクに関する理論的な理解が進んだことで、放射線誘発突然変異の遺伝病発症への寄与は最初の2世代に限定されることに変更されたことが低減への影響をもたらした。この結果、生殖腺の組織加重係数は、0.2から0.08に低下した。

がんの組織加重係数で大きな変更点は、乳房と残りの組織に与えられた係数が大きくなった

主任者 コーナー

ことである（それぞれ 0.05 から 0.12 へ増加）。乳房は、若年齢被ばくの乳がん症例数の増加と共に、被ばく年齢集団全体を記述するモデルが被ばく時年齢モデルではなく、到達年齢モデルになった（被ばく時年齢効果は有意ではない）ことの影響が大きいと考えられる（表 3）。

Pub.103 では、死亡率ベースの解析から罹患率ベースの解析に変わったために、組織 T のデトリメント（損害）の定義が次のように変更になった。

$$D_T = (k_T R_{l,T} + q_T (1 - k_T) R_{l,T}) I_T$$
$$q_T = q_{\min} + k_T (1 - q_{\min})$$

ここで、 k_T 及び $R_{l,T}$ は、それぞれ組織 T の致死割合、罹患率、 I_T は平均余命損失、 q_T は、QOL 損害係数で上記の式で定義される。この式から分かるように、デトリメントは、非致死がんの罹患率を致死がんの罹患率に対して、

QOL 損害係数を乗じて考慮した死亡率相当のリスク量になっている。したがって、肺と胃のように比較的致死率の高いがんは影響を受けにくい、乳房と甲状腺のように非致死ながんは影響を受ける。また、白血病の潜伏期が固形がんに比べて短いことを考慮して同じ死亡率でも平均余命損失の相対値分だけ大きく評価している。このように、デトリメントは放射線防護上、組織加重係数のように組織間のリスクの相対値として使用するときには意味がある。しかし、絶対値としてはほかのリスクと比較する場合には注意する必要がある（表 4）。

（次号以降の掲載内容は次の通りです。）

8. ICRP 以外の国際機関のリスク評価
9. ラドンのリスク評価
10. おわりに

（大分県立看護科学大学）

日本アイソトープ協会 図書のお知らせ

2011 年版 アイソトープ法令集Ⅲ — 労働安全衛生・輸送・その他関係法令 —

定価 3,570 円 会員価格 3,150 円（消費税込）

本法令集は、「労働安全衛生法」・「電離放射線障害防止規則」・「作業環境測定法」・輸送（「放射性同位元素等車両運搬規則」等）関係法令、「人事院規則」（保健及び安全保持、放射線障害の防止）及び関係通達を収載。2011 年 3 月までの改正法令に準拠し、改訂を行いました。

< B5 判 372 頁 2011 年 8 月発行 >

ご購入は JRIA Book Shop にて → <http://www.bookpark.ne.jp/jria>