解	説
---	---

ICRP Publication 45「統一された害の指標を 作成するための量的基礎」

草 間 朋 子*¹

(1987 年 1 月 8 日受理)

A Brief Introduction of ICRP Publication 45: Quantitative Bases for Developing a Unified Index of Harm

Tomoko KUSAMA*¹

KEY WORDS : index of harm, radiation risk, radiation induced cancer, hereditary effects, fetus effects, occupational injury, industrial disease

1. はじめに

ICRP は、職業上の放射線被曝によって生ずるリスクが、高い安全水準を有すると認められている他の産業のリスクと比較して、これを超えないことが重要であることを Publ. 26 で述べている。放射線によるリスクを、その他の産業のリスクと比較・検討する場合には、両者を比較可能な定量的な尺度で表す必要がある。ICRP は、Publ. 26 では、死亡率を用いているが、Publ. 27「害の指標をつくる時の諸問題」ではリスクを表すより適切な量的尺度、すなわち害の指標として損失される余命の長さあるいは損失される活動期間の長さを提案した。Publ. 27 では、イギリス、アメリカ、日本などごく限られた国のデータをもとに害の指標を求め、放射線被曝を伴う職業のリスクと、それを伴わない職業のリスクとを比較した。Publ. 45「統一された害の指標を作成するための量的基礎」では、さらに多くの国の最新のデータを入手して、Publ. 27 と同様の考え方のもとに定量的な評価を試みている。

害の指標を定量的に定義することにより、一つの職業における異なる複数のリスク、たとえば放射線作業者の

放射線による損害と放射線以外の事故等による損害を加算し、一つの職業に伴うリスクを総合的に評価することが可能となるという利点もある。

Publ. 45 は、職業人の害の指標を中心に言及したものであるが、一般公衆の害の指標についても付録として職業人との違いを中心に述べている。

この報告書は、ICRP の主委員会の名誉委員である E. POCHIN によってまとめられたものである。

2. 害の指標

職業に伴うリスクを表す指標としては、①死亡率、②障害の発生率、③寿命の損失期間あるいは労働日数の損失期間などがある。

異なった産業間のリスクを比較する場合には、③の寿命等の損失期間で表すのがもっとも適切である。

そこで、Publ. 45 では、職業上のすべての障害の結果としての「1,000 作業員 1 年当りの失われる総時間数 (年) (life lost(y)/1,000 worker·y)」を、害の指標とすることとしている。

このような害の指標を、

① 業務上の災害性疾患による損害

② 放射線被曝以外の職業性疾患 (いわゆる職業病) による損害

③ 被放射線被曝による損害
について求めている。

*1 東京大学医学部放射線健康管理学教室; 東京都文京区本郷 7-3-1 (〒113)

Department of Radiological Health, Faculty of Medicine, University of Tokyo; 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo.

3. 業務上の災害性疾病による害の指標

業務上災害は、つぎの三つに区分される。

- ① 事故死（事故直後およびある一定期間後の死亡）
- ② 一時的（あるいは休業期間）な就労不能を伴う負傷
- ③ 永久的な就労不能を伴う負傷
- (1) 事故死による害の指標

業務上の事故死による害の指標は、①事故死の発生率と、②個々の事故によって失われる余命の長さを把握することにより算出することができる。

事故死亡率は、国、産業、企業規模、労働者の年齢構成、職種などによって異なる。

国別では、開発途上国の事故死亡率が、先進国に比べて高い。産業別では、鉱業、漁業、林業などの事故死亡率は高く、全産業の平均事故死亡率の数倍であり、建築業の事故死亡率も全産業の平均よりもやや高い。種々の製造業の事故死亡率は平均より低く、安全な産業の範疇に入る。しかし、製造業と一口にいてもその内容により、事故死の発生率には1桁の違いがある。

ILOの労働統計年報に示された多くの国々の産業別の事故死亡率を第1表に示す。国によっては、労災事故死亡の中に、通勤途上の死亡を含めている場合もあり、これによる死亡が、就業中の死亡の5～10割を占めている国もある。事故死亡率は、経年的に減少傾向を示し、減少率は年あたり数％である。

一つの事故死による平均的な余命の損失時間は、死亡事故が発生する年齢と、その年齢における平均余命とから約35年と見なすことができる。したがって、労働者100万人当り年間100件（ 100×10^{-6} /年）の死亡事故が発生した場合の事故死による害の指標は、3.5（年/1,000作業者・年）となる。

(2) 一時的就労不能を伴う災害による害の指標

一時的就労不能を伴う災害による害の指標は、①休業を必要とする事故の発生数と、②事故1件当りの平均休業日数が記録されている場合には算定できる。しかし、このような労災統計は各国の間で統一されていない場合が多い。害の指標を算定するための労災統計が整備されていない場合には、一時的就労不能を伴う災害による害の指標を事故死の頻度との関係で推定することが可能である。第2表に事故死亡率と、就労不能を伴う災害の損害との関係を示す。これによると、事故による死亡率の増加に伴い、就労不能を伴う災害の相対的な値は減少する。一方、事故発生頻度の異なる産業でも、一つの致命的でない事故当たりの休業日数は、比較的一定しており、16～30日である。

第1表 産業別の事故死亡率（ 10^{-6} /年）

産業	調査した国の数	中央値	平均値
製造業	51	125	75
鉄道関係	30	290	230
建設業	47	350	230
鉱業	34	700	450

第2表 事故死亡当りの就労不能を伴う負傷の損失（人-年）

事故死亡率（ 10^{-6} /年）	負傷による損失（年）*
25～39	100
40～79	70
80～199	40
200～399	28
400	9

* ベルギー、ドイツ、フランス、イギリス、アメリカ、ECの平均

事故死亡率が、労働者100万人当り年間200件以上の産業の場合は、一時的就労不能を伴う災害による損失時間は、事故死のそれよりも小さいが、より安全な産業の場合は、事故死亡による場合の損失時間の2～3倍である。国の産業全体としてみた場合には、一時的就労不能を伴う災害の損失時間の合計は、事故死による損失期間と等しい。

(3) 永久的就労不能を伴う災害による害の指標

永久的就労不能を伴う災害の場合は、重篤度の程度の範囲が広いこと、労働統計記録が不備であることなどが関係し、一時的災害以上に不確かさが伴い、害の指標の評価はむずかしい。永久的災害の発生頻度についても、一時的災害と同様に、事故死の発生頻度との関係で求めることが可能である。

国の産業全体としてみた場合の、永久的就労不能を伴う災害による損失時間は、事故死による損失時間と等しいか数倍大きい。

一時的および永久的就労不能を伴う業務上災害による損失の程度が、事故死によるそれに比べて50%以下あるいは3倍以上ということは考えられない。したがって、放射線被曝を伴う職業のリスクと比較するという視点から、業務上災害（事故死、一時的および永久的就労不能を伴う災害）による損害を求めると、事故死1件当り50～100年の余命の損失となる。したがって、年間100万人当りの100件の事故死亡（事故死亡率： $100 \times$

10^{-6} /年)がある産業の害の指標は、5~10 (年/1,000 作業者・年)となる。

(4) 放射線被曝を伴う職業における放射線以外の害の指標

ウラン鉱山のような場合には、放射線以外の事故死亡率は高く、 $700 \sim 1,400 \times 10^{-6}$ /年である。これに対して、核燃料サイクルに関連した産業における事故死亡率は、 $20 \sim 30 \times 10^{-6}$ /年程度である。

4. 職業性疾病による害の指標

職業上の要因に関連した疾病の発生は、皆無ではないが、記録方法等に伴う不確実性のために害の指標の評価は困難である。職業性の悪性疾患についても因果関係の明らかにされたものもあるが、害の指標に利用できるデータはない。しかし、職業性疾病による損害は、業務上災害による損害の5~10%程度であり、職業上の損害の合計に大きな寄与はしないと考えてよい。

5. 放射線被曝による害の指標

放射線被曝を伴う害の指標を定量評価する際には、次の影響について考慮する必要がある。

① 放射線誘発がん（致死がんおよび非致死がん）の損害

② 遺伝的影響による損害

③ 非確率の影響による損害（非確率の影響は、発生が防止されるよう放射線防護が行われるため除外してよい）

④ 胚および胎児の放射線影響による損害

(1) 放射線誘発がんの害の指標

放射線誘発がんによる損害は、①誘発がんの発生率と、②がんによる寿命の損失期間から求められる。この際に放射線誘発がんは、致死がんと非致死がんの二つに分けられる。

① 放射線誘発致死がんの害の指標

放射線誘発致死がんの発生率は、リスク係数として求められている。

放射線誘発致死がんによる寿命の損失期間は、被曝の平均年齢と、がんの潜伏期間の長さおよび平均余命から求められる。被曝の平均年齢を40歳、がんの平均潜伏期間の長さを23年とすると、放射線誘発がんによる、寿命の平均損失期間は約15年となる。

放射線誘発がんの損失期間の長さ、すなわち、がんの潜伏期間の長さ、および、がんの誘発率は絶対リスクモデルを用いるか、相対リスクモデルを用いるかによって異なる。就労期間中毎年一定の線量率で被曝した場合の、がんの誘発率は相対リスクモデルを用いた場合には絶対リスクモデルの場合の約1.7倍になるが、相対リスクの場合がんの発生年齢が高齢側に偏るので、総寿命損失としてみた場合には、絶対リスクモデルのほうが害としては大きくなる。したがって、致死がんの害の指標を、絶対リスクモデルを用いて算出する。①がん誘発リスク： $1.26 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ （皮膚がんを含む）、②一つのがん当りの平均損失期間：15年、③致死がんの発生から死亡までの期間：1年とすると、放射線誘発致死がんの害の指標は、1 mSv 当り 0.2 (年/1,000 作業者・年)となる。

② 放射線誘発非致死がんの害の指標

治療後15年の生存を治療の目安として、非致死がんの発生率を求めると第3表に示す値となる。非致死がんと致死がんの損失を直接加算するために、治療がんのリスク率にそれぞれのがんの致死率(致死がんのリスク率/致死がんのリスク率+非致死がんのリスク率)で重みづけをすると、非致死がんのリスクは、第3表に示すとおりとなり、致死がんの1/4 (0.29/1.26)となる。

放射線誘発致死および非致死がんによる損失期間およ

第3表 治療がんの重みづけした損害

がんの種類	致死がんのリスク率 (10^{-2} Sv^{-1})	治療がんのリスク率 (10^{-2} Sv^{-1})		重みづけの係数		重みづけ後の治療がんのリスク率 (10^{-2} Sv^{-1})
乳 腺	0.25	0.15	×	0.6	=	0.09
骨 髄	0.20	0.01	×	0.95	=	0.01
肺	0.20	0.01	×	0.95	=	0.01
甲状腺	0.05	1.0	×	0.05	=	0.05
骨	0.05	0.01	×	0.85	=	0.01
皮 膚	0.01	1.0	×	0.01	=	0.01
その他	0.50	0.15	×	0.75	=	0.11
合 計	1.26	2.33				0.29

第 4 表 放射線誘発がん（致死および非致死がん）による損害

女 性		男 性	
生命損失としての損害	害の指標*	生命損失としての損害	害の指標*
0.3 y/Sv	0.3/mSv	0.2 y/Sv	0.2/mSv

* 損失年/1,000 作業年

第 5 表 放射線による遺伝的影響のリスク（1 世代当り 1 Gy 被曝）*

疾病の種類	第一世代 (10 ⁻⁶)	平衡時 (10 ⁻⁶)
優性および X 伴性遺伝病	1500	10000
染色体構造異常	240	400
先天異常, 遅発性異常, 体質的変性疾患	450	4500
合 計	2190	14900

* UNSCEAR 1982 年報告より

び年 1 mSv の被曝線量当りの害の指標を第 4 表に示す。男女を平均した場合の放射線誘発がんによる害の指標は、mSv 当り 0.25 年（致死がん：0.2, 非致死がん：0.05）となる。

(2) 遺伝的影響の害の指標

遺伝的影響については、遺伝的損傷の程度に対する重みづけがむずかしい。そこで、損傷の程度の小さいものから、大きなものまで、損害の程度は同じであると仮定し、害の指標を求める。この際に、75歳の平均寿命を考えた場合、一つの遺伝的欠損によって、①25年間は、正常な生活を送り、②25年間は、遺伝的疾患のために不健康な生活を送り、③20年間は、寿命が損失されると考える。これと第 5 表に示す遺伝的影響の発生率とを考慮して遺伝的影響の損害を求めると、第一世代に現れる遺伝的影響の損害は、遺伝的に有意な被曝の人 1 Gy 当り 0.10 年であり、すべての世代にわたる遺伝的影響は、遺伝的に有意な被曝の人 1 Gy 当り 0.63 年となる。

遺伝的影響は、生殖年齢にある人々のみが影響を受ける。したがって、職業人集団の遺伝的影響の害の指標を評価する場合には、集団中における遺伝的に有意な人々の割合を知る必要がある。子供を受胎する父親の平均年齢は 30.6 歳、母親の年齢は 25.9 歳とし、就労期間中被曝が均等に続くものとする、全労働者の遺伝的に有意な被曝の割合は、男性 28%、女性 18% となる。1 年間の職業人の平均被曝線量を 2 mSv（UNSCEAR 報告によると放射線作業員の平均の被曝線量は 2 mSv/年である）とした場合の遺伝的影響（平衡時）の害の指標は、男性の場合 1,000 作業年当り 0.3 年 ($2 \times 10^{-3} \times 0.28$

$\times 0.63 \times 10^3$)、女性の場合 0.2 年 ($2 \times 10^{-3} \times 0.18 \times 0.63 \times 10^3$) となる。

(3) 非確率的影響の害の指標

非確率的影響のしきい線量と、ICRP の職業人に対する線量当量限度との関係から、放射線作業員の非確率的影響は、発生を防止することができる。したがって、放射線作業員に対する非確率的影響の害の指標は考慮する必要がない。

(4) 妊娠中の被曝による害の指標

妊娠中の被曝により胎児に放射線影響が発生する可能性がある。胎児の放射線影響の観点から、胎児の時期を①着床前期（8 日間、影響としては胎児死亡でリスクは 8×10^{-4} mSv）、②器官形成期（8 週間、影響としては発育障害でリスクは 4×10^{-4} mSv）、および③胎児期（9 カ月、影響としては発がんリスクは 2.3×10^{-5} mSv）に分けて、害の指標を算出する。さらに、胎児被曝による害の指標には遺伝的影響が加えられる。

労働者の被曝線量の平均が、2 mSv/年で、労働者集団の中の妊娠中の女性の割合を 6.5% とした場合の、胎児の害の指標を第 6 表に示す。第 6 表から明らかなように年当り 2 mSv の被曝に伴う損害は、約 1×10^{-3} 年となる。

2 mSv/年の被曝に伴うすべての放射線影響の害の指標を第 7 表にまとめて示す。

6. 放射線被曝を伴う職業と、他の職業の害の指標の比較

放射線作業員の害の指標を求めるためには、作業員集団の被曝線量の推移を把握する必要がある。代表的な放

第6表 年 2 mSv の被曝の場合の妊娠期間中の被曝による損害

被曝時期	影 響	リスク率 (10^{-6} y^{-1})	損失期間 (y)	損害 (10^{-4} 年)
着床前期	着床不全	2.3^{*1}	73	1.7
器官形成期	発育障害	8.0^{*2}	73	5.8
妊娠期間	致死がん	2.2^{*3}	73	1.6
	非致死がん	<1	10	<0.1
	遺伝的影響			0.6^{*4}
合 計				9.8

*¹ $0.065 \times 8/365 \times (8 \times 10^{-4}) \times 2 = 2.3 \times 10^{-6}$

*² $0.065 \times 8/52 \times (4 \times 10^{-4}) \times 2 = 8.0 \times 10^{-6}$

*³ $0.065 \times 9/12 \times (2.3 \times 10^{-5}) \times 2 = 2.2 \times 10^{-6}$

*⁴ $0.065 \times 9/12 \times (6.3 \times 10^{-4}) \times 2 = 0.6 \times 10^{-4}$

第8表 放射線被曝を伴う産業とその他の産業の害の指標

放射線被曝を伴う産業			放射線被曝を伴わない産業	
線量率	事故死亡率	害の指標	事故死亡率	害の指標
2 mSv/ 年	$25 \times 10^{-6}/ \text{年}$	$2.5 \sim 3.75^{*}$	$37.5 \sim 50 \times 10^{-6}/ \text{年}$	$2.5 \sim 3.75$
30 mSv/ 年	$400 \times 10^{-6}/ \text{年}$	$30 \sim 50^{**}$	$500 \sim 600 \times 10^{-6}/ \text{年}$	$30 \sim 50$

* 男女の作業者の比率を1:1とする。 $[(1/2)(0.4+0.3) + (1/2)(0.6+0.2) + (1/2)(1.0) + (1.25 \sim 2.5)] = 2.5 \sim 3.75$

** すべての作業者を男性とする。 $[(6+4.5) + (20 \sim 40)] = 30 \sim 50$

第7表 2 mSv/年の放射線被曝による害の指標
(年/1,000 作業者-年)

影 響	男 性	女 性
が ん	0.4	0.6
遺伝的影響	0.3	0.2
胎児影響	—	1.0

射線作業に伴う被曝線量は、2 mSv/年であり、ウラン鉱山労働者のような特殊な作業の場合には、30 mSv/年である。そこで、年間の被曝線量が2 mSv および 30 mSv の場合の害の指標を、第8表に示す。年間の作業者の平均被曝線量が、2 mSv の場合には、放射線以外の事故死亡率が、 25×10^{-6} と予想され、害の指標は $2.5 \sim 3.75$ (年/1,000 作業者-年) となり、全損害を考慮すると $35 \sim 50 \times 10^{-6}/ \text{年}$ の事故死を伴う放射線被曝を伴わない産業の損害に相当する。また、30 mSv/年の被曝の場合の

損害は、 $500 \sim 600/ \text{年}$ の事故死亡率の産業の損害に相当することになる。

7. おわりに

Publ. 45 では、多くの国々のデータに基づいて、「1,000 作業者-年当りの損失年数」と定義した害の指標を算出している。これにより、一般産業の損害を定量的に表し、放射線作業に伴う損害との比較が可能になった。

今後、職業上の損害をより定量的に表現し、完全なものにするためには、さらに詳細な情報の収集と、データの解析が必要とされる。

また、Publ. 45 で定義された手法以外の手法の開発も必要とされる。

この手法を継続して採用する場合であっても、放射線被曝線量はより低減化の努力がなされ、一般労働安全についても安全にたいする認識が経時的に高まりつつあることを考えると、害の指標の数値を定期的に見直すことが必要とされる。