

「害の指標」をつくるときの諸問題

社団法人 日本アイソトープ協会

財団法人 仁科記念財団

「害の指標」をつくるときの諸問題

ICRP Publication 27

国際放射線防護委員会のために
作成された報告書

1977年5月に主委員会によって採択されたもの

社団法人 日本アイソトープ協会
財団法人 仁科記念財団

本報告書は国際放射線防護委員会のための基礎資料として作成された一連の報告書のうちの一つである。これらの報告書は、委員会の諸勧告に科学的な基礎を与える目的で委員会が引き続いて行っている資料の検討結果の一部をなすものである。これらの報告書は必ずしも現在実行すべき勧告であることを意図するものではないが、その刊行によって委員会の仕事および放射線防護の基本的諸原則の発展に直接関係する事柄についての討論が盛んに行われることを、委員会は希望する。

本書は“Problems of Developing an Index of Harm”, ICRP Publication 27 (1977) の全訳であり、ICRPの了解のもとに、仁科記念財団と日本アイソトープ協会とが協力して編集し刊行したものである。

翻訳は放射線医学総合研究所の伊沢正実、稲葉次郎、岩崎民子、佐藤文昭、館野之男、丸山隆司の諸氏によって行われたものであるが、編集者において、既刊のICRP Publication で用いてきた用語との調整等、必要な修正を行った。

序文に記されているように、本書は Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26 (1977) との関連で読まれるべきものであるけれども、両者の統一は必ずしもとられていない。たとえば、Publication 26 では、吸収線量と線量当量の単位はそれぞれグレイとシーベルトを使っているが、本書ではラドとレムを使い、Publication 26 のリスク係数 (risk factor) を本書では単にリスク、あるいはリスク率 (risk rate) とよんでいる。なお、原文の明らかな誤りはことわりなく訂正した。

また、被曝の平均年齢 (mean age of exposure) は10項の注に定義されている量をさすものなので、読者は注意されたい。

おわりに、原訳にあたられた各位の労に厚く謝意を表する。

1978年7月

編者

Nishina Memorial Foundation || Japan Radioisotope Association

Japanese Translation Series of ICRP Publications
Publication 27

This translation was undertaken by the following colleagues.

Translated by

Masami IZAWA, Jiro INABA, Tamiko IWASAKI,
Fumiaki SATO, Yukio TATENO, Ryuji MARUYAMA

Editorial Board

The Committee for Japanese Translation of ICRP Publications,
Japan Radioisotope Association

.....
Fumio YAMAZAKI (Chair) Hidehiko TAMAKI (Vice-chair)
Masami IZAWA * Tatsuji HAMADA Eizo TAJIMA
.....

Presumed the founding committee members.

* Former ICRP member.

目 次

	項 頁
序	(1)
緒 論	1 (2)
判断規準としての死亡	4 (3)
職業上の死亡数の年齢分布	6 (4)
放射線で誘発される死亡による寿命の平均損失	9 (6)
職業上の傷害	16 (12)
定義された重篤度をもつ傷害の頻度	17 (12)
事故が原因の損失作業日数の総計	20 (14)
職業病	28 (19)
放射線で誘発される身体的影響	31 (22)
放射線で誘発される遺伝的影響	43 (26)
妊娠中に放射線で誘発される影響	51 (31)
妊娠の頻度	52 (32)
着床前のリスク	53 (33)
胚に対するリスク	55 (34)
胎児に対するリスク	58 (35)

(ii)

妊娠中の照射によって付加されるリスクの総計	60	(35)
年齢および性によるリスク率の変動	65	(37)
害の指標の考えられる表現法	68	(39)
結 論	75	(42)
謝 辞		(43)
文 献		(45)

序

国際放射線防護委員会は1973年4月に、次の問題に関する報告書の作成を Edward Pochin 卿に依頼した。それは、傷害または誘発される疾病の種類およびそれらの重篤度と相対頻度とが職業によってまったく異なるかもしれないということを考慮に入れて、放射線被曝を伴う産業を含む異なる産業の安全性を比較するのに必要な諸問題に関するものである。

この報告書に記されていることの多くは、ICRP Publication 26 として1977年に刊行された委員会の勧告を補足するもので、同勧告と関連させて読まれるべきものである。

(2)

緒 論

(1) いかなる職業上の放射線被曝またはその他の被曝についても、適切な限度を勧告するためには、ある与えられた放射線被曝の結果起こるかもしれない有害な影響の種類と頻度とを推定することが明らかに望ましいことである。そのうえ、そのような被曝を伴うある職業の安全性を評価しそれを他の職業の安全性と比較するには、放射線に被曝した人々およびその人々の子孫に引き起こされるかもしれない害の合計を、他の職業に伴う害の合計、すなわち致死的傷害、ささいな傷害、職業病、あるいは作業環境中の変異原に基づく影響による害の合計と比較することが大切である。

(2) この問題に対する論理的な解決は、どんなものであれ、明らかに不可能である。というのは、放射線のいろいろな悪影響と他の職業の傷害のそれとは種類が相互に異なるばかりでなく、おそらく個人個人によって異なる重要さをもつものと見なされるからである。それでも、異なる種類の労働不能または疾病の相対的重要性については、それらがいかなる論理的な意味でも同じ尺度で測ることはできないものであるにもかかわらず、一致した見解が明らかに存在する。リンゴとナシを足すことは科学者にはできないが、子供ならだれでもできるのである。

(3) したがって、まず最初に必要なのは、異なる種類の害に関して任意の荷重係数の一組を作ることではなくて、異なる種類と重篤度とをもつ有害な影響が異なる職業上の状況下で起こる頻度の調査であり、そうすることによって、害に主として寄与するもの、およびそれら相互間の比較に関し、一層容易に一つの見解をかたちづくることができるようにすることであると思われる。これらのかかなり困難な問題を明白かつ正確に定式化することができなければ、

明白な解答も期待できない。リンゴとナシのどちらを好むかを一般的にいうことはむずかしいかもしれないが、7つのリンゴをとるか2つのナシをとるかをいうことは容易であろう。したがって、以下の記述は、問題に答えることではなく問題を定式化するのに役立つことを意図したものである。

判断規準としての死亡

(4) 異なる産業の相対的な安全性の指標あるいは害の指標として死が通常用いられており⁽¹⁾、職業上の原因に帰することのできる死亡頻度は明らかにある有用性をもっている。こうして、放射線被曝のリスクの推定値が、与えられた被曝によって誘発されるかもしれない致死的ながんの確率に基づいて推定され、この推定死亡率と他の職業で起こる事故死の頻度から得られる死亡率とが比較されてきた。⁽²⁾

(5) この簡単な判断規準は、計算が容易であいまいさがないものではあるけれども、数多くの制約をもっている。まず第一に、この判断規準は多くの職業で非常に頻繁に起こるのであろう死にいたらないすべての傷害、疾病および永久労働不能を考察対象から除外している。しかしながら大部分の職業上の被曝で見られるような低線量では、放射線が死にいたらない傷害をかなりの数引き起こすことはありそうにないと主張され、それゆえ、もし放射線被曝を伴う一つの職業が、誘発される死亡数で比較して他の職業よりも安全であるとすれば、死にいたらない影響で比較すればもっと安全ということになる、と主張されている。

第二の制約は、ある頻度の事故による直後の死と、それと同一頻度であるがいろいろな種類の悪性疾患によるある期間経過したのちの死との間の相違であり、後者の方が大きい不安をもたらし可能性があるということにある。そのうえ前者は、正しいかどうかは別として、この犠牲者の側の熟練の欠如に帰せら

(4)

れることがあるが、後者は、被曝の許容限度内で正しくまた同じように作業するすべての人々のうちある割合の人々がまきこまれる、もっと偶然が支配する危険性と考えられるであろう。

死亡率だけを使うことの第三の欠点は、死による寿命損失の長さの方が死という事実自身よりも重要である、ということにある。それゆえ、死亡数の年齢分布の観察値あるいは予測値についてある程度の考察をする必要がある。

職業上の死亡数の年齢分布

(6) 英国の製造業と建設業における1971年の事故傷害のための死者の年齢、性別および業務内容を確認し、そこで得られたデータをこれら2業種の年齢別被雇用者数と関連づけることによって、作業中の致死事故による死亡時の平均年齢が検討されている。^{*}女性ではわずか6人の死亡が起こっただけであったため、解析は男性のみについてなされている。結果を表1に示してあるが、年齢が確認されているのは製造業で246人、建設業で188人の死亡者であった(表1には含まれていないが年齢不明がそれぞれの業種で4人と13人あった)。製造業では、作業者の平均年齢が40.1歳であったのに対し、事故死亡時の平均年齢は43.3(±0.8標準誤差)歳であった。建設業では、作業者の平均年齢が38.0歳であったのに対し、事故死亡時の平均年齢は40.9(±1.0標準誤差)歳であった。したがって、両方のグループとも事故死亡時の年齢はその危険にさらされた作業者集団の年齢よりもわずかであるが有意に大きい。このことは明らかに死亡率の上昇(被雇用者100万人あたり年あたりの)が製造業では約30歳まで、建設業では約20~25歳まで認められ、以後65歳以上の年齢まで死亡率がほぼ一定のままである(表1)という事実による。14種の製造業を個

^{*} この報告書ではデータの出所となった出版物を適時参考文献として記載してある。しかし多くの点で公表された情報が得られず、そのような未公表のデータの情報源に関しては“謝辞”を参照されたい。

表1 死亡事故, 男性, 英国, 1971年

年齢群	製 造 業			建 設 業		
	被雇用者 数 (1,000人)	事故死 亡数	100万人あ たり年あた りの 事故死亡数 (±標準誤差)	被雇用者 数 (1,000人)	事故死 亡数	100万人あ たり年あた りの 事故死亡数 (±標準誤差)
15-	450	6	13 ± 5	117	7	60 ± 23
20-	1,330	36	27 ± 4	340	45	132 ± 20
30-	1,200	52	43 ± 6	270	46	170 ± 25
40-	1,300	62	48 ± 6	240	26	108 ± 21
50-	1,170	61	52 ± 7	200	43	215 ± 33
60-	460	23	49 ± 10	90	16	180 ± 45
65-	140	6	43 ± 18	26	5	192 ± 86
全年齢群	6,050	246	41 ± 3	1,280	188	147 ± 11
平均年齢(歳)	40.1	43.3		38.0	40.9	

個に調べると、そのうち13種で死亡時の平均年齢が作業者の平均年齢より大きく、その差は平均3.2 (±0.8標準誤差) 歳であったことから、このことはそのような職業に共通な特性と考えられる。

(7) 他の職業についても同様な調査が英国の上記以外の情報⁽⁴⁾を用いて行われた。この調査は多くの職業について作業者の年齢分布と事故死亡者の年齢分布とを示している。死亡事故は、交通事故、家庭での事故、その他の事故として記載されており、この「その他の事故」の大部分は作業中の事故である。「その他の事故」による死亡率が国民全体の平均値を超える7つの職業グループでは、死亡時の平均年齢は42.5歳で、作業者の平均年齢より0.8 (±0.45標準誤差) 歳大きい。事故死亡時の平均年齢は、軍人についての28.8歳という低い値を除けば、記載された26の職業グループ間であまり相違がなかった。

1971年の3か月間において日本の製造業では⁽⁴⁾、185の事故による死亡時の平均年齢は38.1歳であった。1,291万人の作業者の平均年齢は35.1歳であった。

カナダのデータも男性の産業事故による死亡時の平均年齢が男性被雇用者の平均年齢とあまり相違しないことを示している。15歳から64歳までの年齢の男

(6)

性で、「主として産業型の事故」⁽⁶⁾による1970年の死亡者の死亡時の平均年齢は38.1歳であった。一方、この年齢区間のすべての男性の平均年齢は約36.5歳であった。作業者集団の平均年齢は就労時および離職時の平均年齢によるので、36.5歳という値とはいくぶん異なるであろうが、大きく異なることはなさそうである。

(8) 職業上の死亡事故による平均損失寿命が、事故死が起こった年齢での余命から推定されている。イングランドとウェールズに適用しうる推定値⁽⁶⁾を使って、製造業で死亡した人々の平均損失年数は28.6年、建設業では30.2年であり、リスクの高い7つの産業グループでは29.3年であった。異なる業種におけるリスクの種類や程度によってこの値がどのように変動するかをさらにチェックすることは有益であろう。しかしながらいまのところ、職業上の事故死を平均約30年の寿命の損失を伴うものとみなすことは合理的と思われる。

放射線で誘発される死亡による寿命の平均損失

(9) 放射線により誘発される致死的条件のいずれに関しても、これと比較される値が推定できた。ただし、平常レベルの職業上の被曝では多分致死悪性腫瘍の誘発だけをもたらすと考えられる。(遺伝的損傷による死あるいは胎児照射による死はあとで考察する。) そのような推定のためには、次の6点に関する情報が必要である：

- (1) いろいろな種類の職業についている間に受けた放射線被曝の年齢分布；
- (2) 被曝後、被曝により誘発される致死の疾患による死亡までの期間の分布；
- (3) 潜伏期間と該当する被曝が起こったときの年齢との関係があれば、その関係；
- (4) 被曝者集団の年齢構成；
- (5) 自然の原因による死亡時の年齢分布；
- (6) 悪性腫瘍の発生が始まるのに一定の被曝の蓄積が必要かどうかの知識。

(10) 放射線被曝を伴ういろいろな職業に関して、被曝の平均年齢と作業者集団の平均年齢との間の関係を示す情報が得られている(9項の(1)と(4))。*

(a) 1973年に雇用されていた123人の非破壊検査技師では、その年に受けた線量と年齢との間に有意な相関関係はなかった($r=+0.17$)。その集団の平均年齢は33.2歳であり、放射線を受けた平均年齢は32.8歳であった。これに加えて、調査時に記録されていた職業上の被曝の総計からの蓄積線量(D rem)は、作業者の年齢(N 歳)と直線関係をもち、 D の N に対する回帰は $D=0.44(N-17)$ で与えられた。

(b) ある放射化学センターの614人の作業者では、1年間(1973年)の被曝線量 d は年齢 N との間に、 $d=0.18+0.02N$ で与えられる弱い正の相関を示した。この集団の平均年齢は41.1歳であり、被曝の平均年齢は45.3歳であった。

(c) ある総合病院では、年間被曝線量と年齢の間には有意な相関がなかった。診断にたずさわる70人の放射線技師のグループで、 $r=+0.17$ 、治療にたずさわる10人の放射線技師の小グループで、 $r=+0.07$ 、また、10人の放射線科医で $r=-0.17$ であった。放射線技師(女性77人、男性3人)の平均年齢は24.5歳であり、放射線科医(女性1人、男性9人)の平均年齢は33.6歳であった。

* 定義

年齢 A_1 から A_2 までの集団における被曝の平均年齢 \bar{A}_D は

$$\bar{A}_D = \frac{\int_{A_1}^{A_2} N D A dA}{\int_{A_1}^{A_2} N D dA}$$

で与えられる。ここで N はある年齢の作業者数、 D はその年齢で受けた平均線量である。作業者の平均年齢 \bar{A}_N は

$$\bar{A}_N = \frac{\int_{A_1}^{A_2} N A dA}{\int_{A_1}^{A_2} N dA}$$

で与えられる。

(8)

(d) 3つの原子力施設では、作業者の平均年齢は44.3歳、41.3歳および40.4歳であり、平均の蓄積線量を受けたときの年齢はそれぞれ48.0歳、43.4歳および45.2歳であった。そして、モニターされていた7,005人の作業者全員について、平均年齢と被曝の平均年齢との差は平均3.3歳であった。

(e) 英国の8つの原子力発電所における3,587人の男性作業者の平均年間線量は、30~60歳の人が30歳未満あるいは60歳を超えた人に比べてわずかに高かった(表2)。しかし、被曝の平均年齢(41.65歳)は作業者の平均年齢(41.05歳)とほとんどちがいがなかった。

表2

年齢(歳)	18—20	21—30	31—40	41—50	51—60	>60	計
作業者数(%)	2.2	18.7	28.6	29.6	18.0	2.9	100
平均線量(remy ⁻¹)	0.23	0.34	0.42	0.42	0.40	0.33	0.39
標準誤差	0.06	0.10	0.10	0.10	0.10	0.07	

(f) 平均年齢と被曝の平均年齢との間に同様の小さな相違があることはカナダの原子炉施設における作業者の線量記録から示されている。平均線量を受ける時期は、作業の種類によって、平均雇用期間より0~1年遅れている(表3)が、その平均の差はわずかに0.35年であった。

(g) 日本の、放射線被曝を伴う8つの職業における6,500人(男性6,246人、女性254人)の作業者の年齢別年線量分布に関する情報がある。被曝の平均年齢は全作業者集団の平均年齢よりも平均して1.4歳大きかった。個々の職業では、その差は原子力施設の作業者グループのプラス3.2歳および2.5歳から、原子力施設の建設および保守に関連するある会社でのマイナス3.1歳(被曝の平均年齢が作業者の平均年齢より低い)まで変動している。医療、研究と教育、および非破壊検査を含めた工業関係の作業者については、平均値の差は1年未満であった。

したがって、職業上の体外放射線被曝は年齢によって変わらずほぼ一定

表3

作業グループ	作業者数	就業後の年数で表した		差
		平均就業期間	平均線量被曝時 までの平均期間	
原子炉運転作業員	438	5.92	5.97	+0.05
機械保守作業員	270	4.86	5.15	+0.29
コントロール技術者	234	5.29	5.49	+0.20
その他の被曝作業員	1,137	4.60	5.57	+0.97
全被曝作業員	2,079	4.99	5.34	+0.35

の率で起こるようである。上に示したすべてのデータの平均値として、被曝の平均年齢は被曝した作業員の平均年齢より1.9歳大きい。

(11) 体内被曝という一層困難な問題に関してはデータが得られていない。しかしながら、 ^{239}Pu や ^{226}Ra のように長い実効半減期で人体内に滞留する物質の場合には、年線量は年齢とともに増加することが明らかに予想される。18～65歳の各年齢の人が同数いる被曝者集団について、しかも各年齢で同量の長い実効半減期の物質を摂取した場合には、全滞留量、したがって線量率は年齢とともにほぼ直線的に増加することになる。このような状況では、(平均年齢および被曝の平均年齢を定義している積分(10項の注)を計算することにより)被曝の平均年齢は $65 - \frac{1}{2}(65 - 18) = 49.3$ 歳であり、その集団の平均年齢は $\frac{1}{2}(18 + 65) = 41.5$ 歳となる。したがって、これらの状況においてすら、被曝の平均年齢は被曝者集団の平均年齢より約8歳しか大きくないことになる。

(12) 放射線によって誘発される悪性腫瘍による平均の寿命損失の近似的推定値を得るために、次のように仮定することとする：

- (a) すでに議論した産業上被曝する男性集団と同じく、被曝者集団の平均年齢は40歳の付近であること；
- (b) 被曝の平均年齢は、調査した職業によるわずかな差と、長い実効半減期をもつ核種による体内被曝の可能性とがあるが、40歳より少し大きく、たとえば42歳としておく；

(10)

(c) 線量の各成分は、ある潜伏期間の後に死をもたらす悪性腫瘍として現わされるリスクの成分と関連づけられ、そのような悪性腫瘍を引き起こすのに要する蓄積線量にはしきい値がないこと；

(d) この“潜伏期間”の長さも一定の被曝線量に対する悪性腫瘍のリスクも、少なくとも成人期の被曝では、被曝時の年齢によって変わらないこと；

(e) 被曝後、被曝により誘発された悪性腫瘍により死亡するまでの平均期間は20年から25年の間であり、たとえば23年としておく。この値は、平均13年の潜伏期間をもつ白血病による死亡が20%あり、その他の致死悪性腫瘍は平均25年の潜伏期間をもつことと矛盾しない。

(13) このような仮定に基づけば、誘発される悪性腫瘍による死亡時の平均年齢は $42+23=65$ 歳となる。この年齢での平均余命は英国のデータによると約10年である。⁽⁶⁾ そこで、致死悪性腫瘍あたりの平均損失寿命は、職業上の事故死によって失われる寿命を8項で議論したように30年とすれば、その約 $\frac{1}{2}$ ということになる。就労期間の後期での被曝によって誘発される悪性腫瘍による平均の寿命損失は、若年時被曝のそれに比べて短いことを考慮するならば、致死悪性腫瘍1件あたりの損失寿命としては約13年といういくぶん高い推定値が得られる。

(14) 致死悪性腫瘍あたりの損失年数の推定値は、いずれにせよ職業の種類によってかなり異なるであろう。もし、女性放射線技師のある集団において、被曝の平均年齢が25歳、潜伏期の平均値が23年とすれば、悪性腫瘍1件あたりの平均の損失寿命は約30年となり、産業上の事故死のそれと等しいことになる。または、長い実効半減期の放射性核種の連続的取り込みによって体内被曝するある男性集団について、被曝の平均年齢が48歳とすれば潜伏期間が23年であるということは、平均損失がわずか数年であることを意味するであろう。しかし、職業上放射線に被曝する典型的男性集団では、誘発致死悪性腫瘍あたりの平均寿命損失は約10~15年、すなわち致死産業事故によるものの $\frac{1}{2}$ から $\frac{1}{3}$

であるようである。

(15) したがって、もし損失寿命の長さだけに基づいて比較しようとするれば、たとえば年あたり被雇用者100万人あたり60例という致死悪性腫瘍の年間発生率を考えることができる。これは職業上の典型的な平均被曝線量率が 0.6 rem y^{-1} であり、致死のがん発生率の平均値あるいは最大予想値が以下に議論するように $100 \times 10^{-6} \text{ rem}^{-1}$ であることから算出された数値である。致死悪性腫瘍の発生1件あたり10～15年の寿命損失であることから、損失寿命の長さだけでみれば、この数値は死亡1件あたり30年の寿命損失を伴う約 $25 \times 10^{-6} \text{ y}^{-1}$ の死亡事故発生率をもつ産業に相当するであろう。この死亡事故率は英国の最も普通の製造業でみられる事故率とほぼ同じである。つまり、英国では Chief Inspector of Factories が死亡事故率を報告している13種の製造業において1959～1970年の間に $56 \times 10^{-6} \text{ y}^{-1}$ という職業上の死亡率が認められている。⁽⁷⁾ この比較では、放射線で誘発される悪性でない原因による寿命短縮があるとしても、それは悪性な原因による寿命短縮に比べて小さいと仮定しており、このことは多分現在の知見では、ヒトについて真実であると思われる。しかし、この比較は産業上の事故死のみに関係したものであり、職業上の傷害あるいは職業上発生するいろいろな種類の疾病による死亡は考慮されていない。

したがって、このような害の比較は、明らかに、遺伝的傷害、妊娠中の胎児の損傷、死にいたらない悪性腫瘍、および、あとで致死になることがわかっている疾病の罹病期間のような放射線の影響、ならびに致死でない事故と職業病も含めるように拡大する必要がある。

職業上の傷害

(16) 職業上の傷害の影響度を調べるにあたって、2種の情報が利用できる。その第一は、多少とも任意に定義された重篤度をもつ傷害の頻度を調べることであり、これは、ある一つの職業でこの頻度が年齢その他の状況によりどのように変動するか、あるいは、異なる職業での事故死亡率によりどのように変動するかを見るためである。

第二に、たとえば、異なる重篤度の傷害の結果起こる休業期間の長さ、したがって、そのような事故による年あたりの平均損失労働時間を考慮に入れ、すべての傷害の総影響度を算定しようとしてなされる一つの試みである。そうするとこの数値は事故死の頻度と関係づけることができ、異なる職業における事故死一件あたりの、死にいたらない事故により失われる全労働時間の推定値が得られる。

それぞれの方法は、重大でかつ明白な制約をもっているが、どれも職業上の傷害の総影響度を職業上の原因による疾病、または事故死の影響度と比較するのに有効と思われるある関係を明らかにしている。

定義された重篤度をもつ傷害の頻度

(17) 事故傷害の“重篤度”についていろいろな定義が一般的に使われており、それらは特定期間の休業、部分的あるいは全身的な永久労働不能あるいは補償や年金の支払いといったようなものを含んでいる。それぞれの定義は明らかに多くの管理手続上の事項を含み、たとえば、あるきまった事故のために休業する期間は、種々の職業あるいは国における医療制度または証明の交付のしかたによって、作業者の年齢あるいは経済的狀態によって、事故の起こった曜

日によって、年間の時期によって、さらに、疑いもなく他の多くの因子によって、かなり異なるであろう。そのような事柄を保留すれば、ある結論を出すことは可能であろうと思われる。

(18) 異なる職業における事故死の頻度を事故によるあるきまった重篤度の事故傷害の頻度に対してプロットすると、産業上の危険性の一般的レベルが増大するにつれて、死亡率は通常は事故率よりも速く増大するように見える。確かに、図1に示すデータでは“労働不能事故”の発生数 A に対する死亡率 D の比は、この範ちゅうに分類された事故の発生率にはほぼ比例しており、

$$A \propto D^{0.5}$$

の関係にある。

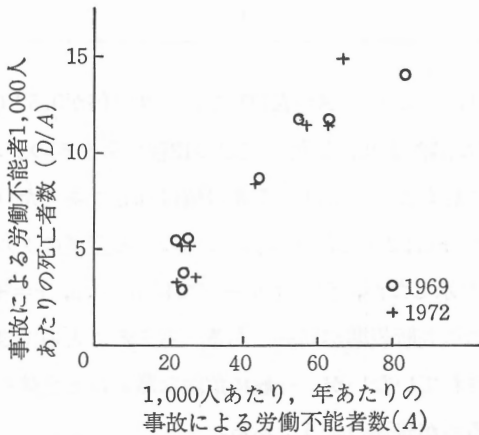


図1 職業上の事故による労働不能者の頻度の関数として表した、事故による労働不能者数と死亡者数との比。1969年と1972年における米国の8種の産業でのデータ(表4)。

表4に示すように、8種の主要職種では事故率はかなり異なっているが、 D/A は A の直線回帰をもち、調査された2か年については $r=+0.95$ および $r=+0.97$ であった。⁽⁸⁾

(19) A に伴う D/A の同様の増加が、調査された他の3種の産業グループ

(14)

表4 米国の種々の職業における事故の頻度と事故死亡者数との関係

職 業	1969			1972		
	D	A	$D/A^2 \times 10^{-7}$	D	A	$D/A^2 \times 10^{-7}$
	事故死亡者 100万人 あたり	事故件数 年あたり		事故死亡者 100万人 あたり	事故件数 年あたり	
商 業	72	23,000	1.4	72	22,000	1.5
製 造 業	93	24,000	1.6	96	27,000	1.3
サービス業	121	22,000	2.5	120	23,000	2.3
行 政	132	24,000	2.3	131	25,000	2.1
運 輸 業	378	44,000	2.0	362	43,000	2.0
農 業	650	55,000	2.1	657	57,000	2.0
建 設 業	736	63,000	1.9	710	63,000	1.8
鉱 業	1,167	83,000	1.7	1,000	67,000	2.2
平 均			1.9			1.9

でも見られており、そこでは $A=KD^n$ の式の n の値が0.5と0.8の間で変動した。リスクのレベルがあまり変わらない英国の13種の製造業のグループ⁽⁷⁾では、この種のべき関数に最もよくあてはまる n の値は0.8であった（この値で $\log A$ と $n \log D$ は $r=+0.92$ で相関した）。日本のある産業のグループ⁽⁴⁾では $n=0.8$, $r=+0.80$ を示したが、別のグループでは $n=0.5$, $r=+0.97$ であった。事故の分類のための判断規準が同一であると考えられることのできる、ごくわずかな場合しか調査されていないが、一般に危険な職業ほど全体の害に占める死亡の割合は増加するのが普通のようなものである。

事故が原因の損失作業日数の総計

(20) しかしながら、必要とされるのは、全体の害の中でどのくらいの部分を致死事故によるとみなすべきかという推定値である。この問題についての

いくらかの見通しは、死にいたらない事故による総休業日数（たとえば、年あたり、作業員100万人あたり）を調べ、これを、同じ期間中の事故死による総休業日数と比較することによって多分得られるであろう。一事故死あたりの死にいたらない事故による暦年数で表した全休業期間（永久労働不能の期間を含む）がいくつかの職業と国において算出されている（図2と表5）。

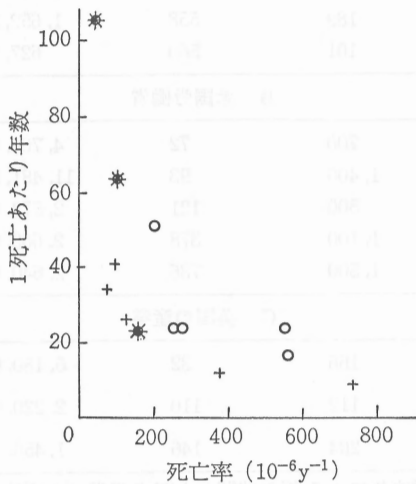


図2 事故死亡率（被雇用者100万人あたり年あたりの死亡数）の関数として表した、職業上の事故による総休業期間（暦年数、訳注：表5の注参照）と死亡数との比。三か国の産業（表5と同じ）についてのデータ。EECの値は○印、米国のそれは+印、英国のそれは*印。

(21) 表5 Aは、1960～1972年の間のヨーロッパの製鉄業に関するEurostat報告書⁽⁹⁾からのデータである。表5 Bは米国労働省が発表した値で、損失作業日数とはパートタイムの期間、兼業、一時的仕事への転職を含めての「記録しうる職業上の傷害と疾病」によるものである（1暦年あたりの労働日数は200日と仮定する）。表5 Cは英国の保健省で発表したデータを、高い死亡率の3種の職業と低い死亡率の14種の職業とをそれぞれ1グループとして示している。⁽¹¹⁾

(22) “一死亡あたりの損失時間”についてのこれらの推定値は、年あたり

表5 作業中の事故による損失日数

A ヨーロッパの製鉄業, 1960~1972

職 業	死 亡 数	100万人あたり年あたり死亡数	事故による損失暦日数	1死亡あたりの暦年数
圧 延 作 業	170	202	3, 172, 463	51
コークス製造業	12	257	104, 114	24
補 助 業 務	339	279	2, 937, 475	24
製 鋼 作 業	189	558	1, 652, 235	24
高 炉 作 業	101	560	627, 957	17

B 米国労働省

商 業	700	72	4, 706, 000	34
製 造 業	1, 400	93	11, 481, 000	41
サ ー ビ ス 業	500	121	2, 573, 000	26
運 輸 業	1, 100	378	2, 663, 000	12
建 設 業	1, 500	736	2, 640, 000	9

C 英国の産業

14種の工場作業	166	32	5, 180, 000	106
金属, れんが製造および造船業	112	110	2, 220, 000	63
建 設 業	204	146	1, 450, 000	23

異なる職業での産業事故による損失時間および各職業での事故による1死亡あたりの平均損失時間(暦年数)。ここで, “暦年数”は, “損失日数”が原データにおいて作業日数で示されているものについては暦上の日数に換算したうえで暦年数として表示した。

100万人あたりの事故死亡数で表した職業の危険性と関係づけてみると, それぞれの調査の中ではデータにかなりの規則性があり, 異なる国での調査の間にもある程度までは規則性がある(図2)。さらに, ヨーロッパの製鉄業の安全性は年々改善され, 事故死亡率は約 $400 \times 10^{-6} \text{y}^{-1}$ から $200 \times 10^{-6} \text{y}^{-1}$ まで1年に3.3%ずつ低下しているが, 一死亡あたりの損失時間の推定値はこれに伴って, 年あたり2.7%の上昇がみられる(表6と図3)。

(23) この調査結果は明らかにもっと広い基礎に立って検討する必要がある。しかしこれは, 本質的には単純に次の2つの観察から導かれるように思わ

表6 ヨーロッパ製鉄業における事故死亡率および1死亡あたりの推定損失時間推定値 (Eurostat 1970)

年	事故死亡率(100万人あたり, 年あたり)	1死亡あたりの損失時間(暦年数)
1960	401	24.0
1961	336	28.6
1962	409	22.5
1963	319	29.7
1964	323	28.7
1965	363	24.5
1966	260	32.4
1967	251	30.9
1968	325	24.4
1969	321	26.7
1970	307	28.6
1971	269	34.1
1972	221	41.2
平均	316	29.0
変化率	-3.3	+2.7
年との相関	-0.73	+0.60

れる。その第一は、すでに記したように、事故死の年間の頻度(D)は危険性の増大とともに事故頻度(A)よりも速く増加すること、第二に、事故あたりの休業期間の長さ(C)は、ある国の中で危険性の異なる種々の職業でおどろくほど一定であること、である。たとえば、62の米国の産業グループ⁽¹²⁾では、平均の休業期間は $14(\pm 3.5$ 標準偏差)日で、事故率との間に $C = 12 + 7 \times 10^{-5} A$ で与えられるごく小さな回帰をもち、そのうちの主要グループは12~16日の範囲内にあった。

同様に、フランスにおける6つの主要職種⁽¹³⁾については $C = 20.7 + 5 \times 10^{-5} A$ で、平均期間は24.9日、その範囲はこの主要グループにおいて23~30日であった。他の調査では、異なる職業での C の値が与えられており、その平均値に対する変動係数は25%程度であった。

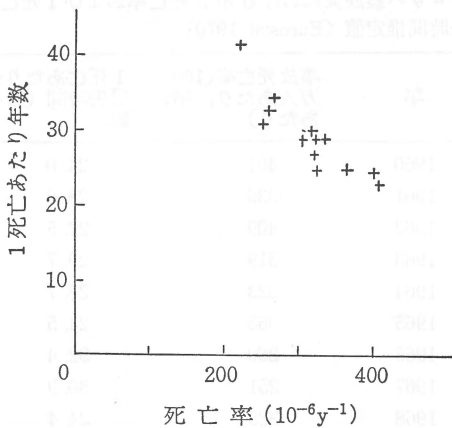


図3 事故死亡率(被雇用者100万人あたり年あたりの死亡数)の関数として表した, 事故による総休業期間(暦年数, 訳注: 表5の注参照)と死亡数との比。1960~1972年の各年のヨーロッパの製鉄業に関するデータ(表6)。

したがって, $A=KD^n$ ならば, 一死亡あたりの損失時間 L は D の関数として近似でき, 次式で与えられるであろう。

$$L=AC/D=CK/D^{1-n}$$

0.5と0.8の間にある n に対して, L は D の増加に伴ってゆっくり減少する。

(24) この種の何らかの一貫した関係が, どの国のいろいろな職業についても, また, 国によって通知手続きに相違があるにもかかわらず国々の間でも成り立つとすれば, 職業上の事故死による害と死にいたらない事故による害とを, 若干試験的ではあるが, 比較することは考慮に値することになる。職業上の原因による1つの事故死からの平均寿命損失は約30年であることをすでに示した。死による損失時間の方が, 事故の結果としての休業による同じ損失時間よりも“もっと悪い”と仮定すると, “一死亡あたりの損失時間”が30年を超える条件では, 害に大部分寄与するのは事故死ということになる(図2)。

(25) もちろん, この仮定は自明のことではない。ときには, その作業者に

とっては長い間続き苦しむ労働不能よりも死の方がましだと思うこともあるかもしれない。その家族にとっても、たびたびくり返される、あるいは長期間の休業期間の不安、看護の問題、および経済的重圧は、しばしば死よりもわるいものであるように見えるかもしれない。しかしながら、一般に、たいていの休業期間は2か月以内の短期間である。すなわち、ある代表的な調査⁽¹¹⁾によれば、すべての休業回数のうち75%は、継続日数が7週間以内のものであり、50%は3.5週間以下であった。

(26) しかし明らかに、永久労働不能を引き起こす事故を、死にいたらない傷害による休業期間を算定するさいに考慮を加える必要があり、その他の事故との相対値としての永久労働不能の頻度は、異なる職業によってかなり異なるようである。日本の広範囲にわたる職業で、永久全部労働不能は産業上の原因による事故死の率のわずかに約5%であるように思われた。同じグループで(年あたり新たに生じる)永久一部労働不能は事故死の約2倍の頻度であった。

(27) 一般に、死による損失年数が、死にいたらない事故による休業のための損失年数と同程度あるいはそれ以上に、しかもおそらくかなりの程度に、重大であると仮定することは合理的であるようである。もしそうならば、約 $200 \times 10^{-4} \text{y}^{-1}$ 以上の死亡率である職業の事故の害の大部分を、職業上の死亡が占めるであろう(図2)。

この種の判断規準に基づいた害に関する考えうる“指標”を考察する前に、職業病の寄与と遺伝的損傷および胎児の損傷の寄与を考える必要がある。

職 業 病

(28) 職業病による害(死亡を含む)を含めることには2つの大きな困難を伴う。第一に、職業上の原因に帰せられる疾病の範囲を包括的に定義すること

(20)

は難しい。ある症状はこれらの原因によって単に悪化するだけかもしれないし、作業環境中の発がん性化学物質に起因する症状のようなものは遅くなつてはじめて認められるようになる。職業以外の原因による死亡なのに、たまたま死亡のとき実際にその職業病があったというだけで、死亡診断書に死因を職業病と記すこともある。さらに、職業病の表と記録とは主として補償に関する管理方式と関連するもので、必ずしも生物学的因果関係に関連しない。

第二の困難は異なる産業間で職業病の寄与が大きく変わることに由来していて、ある場合には主要な寄与をし（たとえば石炭鉱業の場合）、また他の場合にはおそらくわずかの寄与しかない（たとえば多くの機械産業の場合）。

(29) しかしながら原理的には、疾病頻度とその各々に伴う平均休業期間、ならびに死亡頻度と平均死亡時年齢を考慮するという、事故による障害と死亡に対するのと同じ方式の解析を行うことができるであろう。原因の一部分だけがその職業に帰せられる疾病に対しては、何らかの荷重係数を用いて斟酌する必要を生ずることがあるかもしれないが、そのような荷重係数は補償や年金の決定のさいに広く用いられ容認されており、したがってそのような荷重係数を合理的に用いることができるかもしれない。

しかし実際には多くの産業において、少なくとも休業期間に基づくかぎり、職業病の寄与は職業上の傷害の寄与よりずっと小さいと思われる。英国で得られた統計⁽¹¹⁾では、死にいたらない産業事故による1年間の損失作業日数は2,020万日であり、職業病と指定されたものによる日数は70万日すなわち全損失の3.5%であった。

必要とされる病院治療またはその他の治療の種類の解析から、職業上の疾病が産業事故の影響度の数%にすぎないという、これと同じ比率が得られる（表7）。

(30) したがって、もしある害の指標が損失日数に基づいてきめられるとすれば、上記の事実は、職業病の高率発生が見られる職業を除けば、通例この指

表7 休業の頻度(英国, 1969年6月~1970年5月)

休業の種類	産業事故によるもの	職業病によるもの	頻度の比: 職業病 全体
入院治療	50,500	2,720	0.051
外来治療(25日以上)	166,600	9,140	0.052
軽度の労働不能	623,200	15,380	0.024
計	840,300	27,240	0.031

産業上の事故と職業病による1年あたりの休業の頻度⁽¹¹⁾およびそれらの頻度の比。

標に対する職業病の寄与はとるにたらぬものであることを意味する。ドイツ連邦共和国における4つの産業グループの記録⁽¹⁴⁾は、職業病と職業上の事故とによる死亡のほぼ8%弱が職業病によるものであったことを示しており、この百分率の大部分は鉱業における比較的高い発生率によっている(表8)。英国のChief Inspector of Factoriesの記録⁽¹⁵⁾によれば、工場内作業において事故死者数が251人、事故が204,935件であったのにくらべて、同じ職種で中毒(324件)による死亡はわずかに3人、ガス事故(304件)による死亡は10人であった。死亡診断書には鉱業と採石業以外の職業において77例の石綿症、21例の綿工場熱、228例のじん肺症が記録されている。鉱業と採石業では、じん肺症は838人の死亡診断書に見られ、これはその年の鉱山と採石地での致死的事故に

表8 職業上の事故と疾病による死亡数(ドイツ連邦共和国, 1970)

産業グループ	死 亡 数		頻度の比: 職業病によるもの 全体
	職業上の事故	職 業 病	
鉱 業	160	75	0.32
鉄 と 金 属	417	17	0.04
化 学 工 業	90	11	0.11
建 設 業	675	7	0.01
計	1,342	110	0.08

種々の産業における職業上の事故と職業病による死亡数⁽¹⁴⁾ならびにその頻度の比。

(22)

よる 160 人の死亡およびこれらの職業で記録されている約 144,000 件の事故に対応する値である。

したがって、大部分の産業において、また大部分の作業者に対して、産業上の疾病は事故による労働不能の平均期間または寿命損失に基づいた害の推定値をわずか数%だけ増加させるにすぎない。しかし鉱業または採石業ならびに化学工業の若干の部門⁽⁴⁾のようなある種の職業では職業病の発生率が高いので、この成分を考慮することが必要である。

放射線で誘発される身体的影響

(31) 放射線は、被曝した個人に現れる“身体的”影響とその子孫に現れる“遺伝的”影響を引き起こしうる。身体的影響は“非確率的”影響（かなりな大きさのしきい線量を超えた時にのみ現れる）と“確率的”影響とに分類される。後者ではその頻度が線量に関係し——通常しきい値が存在するという証拠がない——職業上うける線量レベルでは、発生過程にある胚の場合を除いて、悪性疾患の誘発が唯一の重要な影響であるようである。

(32) 非確率的影響は現在の許容限度内の被曝からはほとんど起こりそうもないので、職業上の被曝による害に何の寄与もしないはずである。そこでこの節では、成人に誘発される主な身体的影響を構成するものとしての悪性疾患の誘発を扱う。胚または胎児に対する影響の重要性は51～64項に、また遺伝的影響の重要性は43～50項に記す。

(33) 致死的な悪性疾患に対する平均のリスク係数は、ICRP Publication 26 においてすべての年齢と両性についての平均値として約 10^{-4} rem^{-1} とされている。この値はのちに(38項)議論するように、種々の致死のがんの全リスクとしてヒトの疫学的調査から導かれた個々の器官または組織に対する推定値と矛

盾しないようである。このような推定値を導くさいには、その調査の継続期間と、調査期間が過ぎてから被曝者の生涯の間に生じるかもしれない追加の死亡数に対して考慮が払われている。

(34) しかしながら、すべての放射線誘発がんが発現するよりも前に自然の原因による死が起こるので、18歳から65歳の就労期間に一定の平均線量率で被曝した集団では、潜在的に致死的なすべての誘発がんのある部分が発現もしないし死をもたらしこともないであろう。被曝してから被曝により誘発されたがんによって死亡するまでの間の“潜伏期間”の分布の不確かなことが主な理由で、推定されたリスクがどのくらい減少するかについては正確な値は得られないが、この減少の平均が約25%より大きいことはないようである。白血病の平均潜伏期間は10～13年の範囲にあり、この悪性疾患については今日では被曝か

表9 致死悪性腫瘍誘発率の年齢および性による変動

年齢グループ別平均リスク (10^{-6}rem^{-1})	年齢グループ										計
	18-	20-	25-	30-	35-	40-	45-	50-	55-	60-	
男 性											
白 血 病	20	20	20	20	20	20	20	17	14	8	
が ん	80	78	75	70	64	56	45	32	22	10	
計	100	98	95	90	84	76	65	49	36	18	
年齢グループ別百分率	7.1	12.2	10.8	10.1	9.7	10.3	11.0	9.4	10.0	9.4	
積	710	1,200	1,030	910	810	780	720	460	360	170	7,150
											7,150/(100×100)=0.72
女 性											
白 血 病	20	20	20	20	20	20	20	20	17	14	
が ん	130	130	127	122	113	104	91	73	52	35	
計	150	150	147	142	133	124	111	93	69	49	
年齢グループ別百分率	17.2	22.7	10.5	6.3	6.4	7.5	8.9	7.6	8.2	4.7	
積	2,580	3,410	1,540	890	850	930	990	710	570	230	12,700
											12,700/(150×100)=0.85

放射線被曝時の年齢(37項, 38項参照)別の、放射線誘発悪性腫瘍による死のリスク(100万人あたりレムあたり)。作業者集団と同じ年齢分布をもった集団の平均リスクは、すべての誘発がんがすべて現れるとの仮定に基づいた計算値の0.72倍(男性)あるいは0.85倍(女性)である。

(24)

ら死亡までの期間の分布を近似的に推定することができる。⁽¹⁰⁾ がんの平均潜伏期間はこの値の約2倍ぐらいのようであり、がんの潜伏期間の分布は白血病の場合より時間的に2倍に広がっていると仮定する。

(35) 表9は就労期間の間一定の率で被曝した結果発現するであろう悪性腫瘍の数を、前記の根拠に基づいて推定した値を示し、被曝のリスクが全部現れる若年期の被曝によって生ずると思われる数と比較している。自然の原因による死亡の平均年齢を男女それぞれ72.5歳と77.5歳と仮定すると、放射線誘発白血病による死亡のリスクは男性で50歳以後、女性では55歳以後の被曝については最大値 $20 \times 16^{-6} \text{ rem}^{-1}$ ⁽¹⁸⁾ から減少し始める。

(36) その他の放射線誘発悪性腫瘍に対して ICRP Publication 26 は、致死性の肺がんにつき20、骨の細胞につき5、甲状腺につき5、乳房につき25（女性の50と男性の0の平均）、他のすべての器官を一緒にして50というレムあたり100万人あたりの最大リスク率を導いている。白血病以外のすべての悪性腫瘍についての平均最大リスク率はしたがって、 $105 \times 10^{-6} \text{ rem}^{-1}$ となるであろう。

(37) このようなすべてのがんについての潜伏期間（被曝から死亡まで）の分布を白血病のその2倍と仮定した場合、男性で20歳以後、女性で25歳以後の被曝についてリスク率は徐々に減少し始めることを表9は示している。

(38) 表9の作業者集団の年齢分布は、英国のすべての男性作業者と女性作業者（1969年6月から1970年5月の間に被雇用者として登録されていた者⁽¹¹⁾）についての分布と同一と仮定されている。これらの集団については前頁の表に

すべての致死悪性腫瘍のリスク (100万人あたり, レムあたり)			
	すべてが現れる と仮定した時	就労期間中の被 曝によるもの	発現する百 分率
男 性	100	72	72
女 性	150	127	85
平 均	125	99	78

示すように、致死誘発悪性腫瘍の平均リスク率は $100 \times 10^{-6} \text{ rem}^{-1}$ になり、これはすべての誘発悪性腫瘍が完全に発現することを許す年齢における被曝での最大発生率の約80%に相当する。

(39) 就労年齢を通じて被曝した結果現れるリスクの全リスクに対する百分率は作業員集団の年齢分布と男女の分布により大きく異なるであろうから、ここでは明らかにきわめて暫定的な根拠から推定しているのである。しかし同程度の値(男性で71%, 女性で87%)がカナダのある原子力施設の作業員の年齢分布を用いても得られており、全リスクの80%程度が就労年齢での被曝により発現するものと思われる。(これらは年齢で荷重した平均値であることを強調しておく。個人の年齢と性別によるリスクの変動は65—67項と表13において議論する。)

(40) 悪性腫瘍の誘発の害への寄与には以下のような多くの成分が含まれる：

- (a) 前述のように、致死悪性腫瘍による10~15年の寿命の損失(13項参照)；
- (b) 致死悪性腫瘍による死亡までの罹病期間。白血病を含むすべての部位のがんの診断から死亡までの生存期間の中央値は、根治療法が可能であった7,000人の患者については26.4か月、根治療法を受けられなかった21,000人については5.3か月という推定値が得られており、すべての患者については約11か月となる。⁽¹⁷⁾ 生存期間の中央値でなく平均値で表すと、この値はおそらく少し大きくなるであろう；
- (c) 致命的でないがんの場合の、手術を含む罹病期間または労働不能期間、および治療後のがん再発に対する不安。

(41) 致命的でないがんのリスクは致命的ながんのリスクと同程度と思われる、その大部分は皮膚がん、甲状腺がんまたは乳がんである。皮膚の場合には症状の重篤度、手術およびおそらく不安の程度はすべて比較的軽いと思われる。

(26)

る。甲状腺に関しては、大部分の場合症状と手術については皮膚と同様と思われる、重大なまたは長期の臨床的労働不能のリスクはこの部位の致死悪性腫瘍のリスク ($5 \times 10^{-6} \text{rem}^{-1}$) とおそらく同程度である。乳房については、死にいたらないがんの全平均頻度は致死的ながんの頻度 ($25 \times 10^{-6} \text{rem}^{-1}$) とほとんど等しいようであるが、いずれの場合でも治療期間があるし、ある場合にはそれに加えて労働不能の期間があるであろう。

(42) 40項に記した3つの成分に対し正確な重みを与えることは、それがどんなものであれ不可能であるが、近似的なものであれば可能と思われる。第一の成分は10~15年の完全な寿命の損失のリスク 10^{-4}rem^{-1} を伴い、第二の成分は約1年の健康の損失の同じ大きさのリスクをもつ。第三の成分はおそらく数年間の労働不能の $2 \times 10^{-5} \text{rem}^{-1}$ の程度の平均リスクを伴い、さらに、みかけ上成功した治療の後もう少し長く続く不安という、これよりいくぶん高いリスクを伴う。大多数の人々が、末期症状の1年、ずっと機会は少ないがそれより長い期間の一時的な疾病、またある場合には引き続く不安の期間よりも、10~15年の寿命の損失を一層重視して、第一の成分が影響度の点で最も支配的とみなすのは合理的である。もしそうであるならば、このことは、寿命または健康の損失期間に関しては放射線の身体的影響のすべての影響度は $1.5 \times 10^{-3} \text{rem}^{-1}$ の程度であることを示すといえよう。

放射線で誘発される遺伝的影響

(43) 被曝した人々の子孫に現れる放射線の遺伝的影響に帰せられる害は、本質的には見解上の問題である数多くの決定をどう行うかによって極端に変わる。

(a) 放射線に被曝した一人の作業者が体験する害を推定する場合 (集団全体

に寄与するものとは区別して), 考慮の対象とすべきはその子供に現れる遺伝的損傷だけなのか, その孫までの分なのか, あるいは将来の世代全体にわたる損傷なのか? 作業員自身の被曝のせいかもしれないと思われる先天性異常児を作業員自身が生涯中に体験するのは最初の2世代に現れるものに限定されるであろう。作業員と作業員の妻(あるいは夫)の不安もたぶん子孫全体というよりは主としてこれらの世代についてであろう。したがって, 誘発されるであろう害の点から職業上の放射線被曝に関する限度を考えるさいには, 最初の2世代だけに現れる遺伝的害を含めるのが理にかなっているように思われる。もちろん, 職業上の被曝に由来する集団全体に対する害を考えるときには, すべての世代にわたる害全体を含める必要がある。

(b) 自身に害がおよぶ可能性のある職業につくことを多少とも自身で認めている作業員に現れる害ではなく, その作業員の被曝が原因で, またその問題につき自分では選択することなしに, 子供の時代から影響を受けるかもしれない作業員の子孫に現れるであろう害に対し, どのような“重み”を与えたらよいであろうか? 作業員とその妻にとっては, 作業員の子供たちに出生時から現れるような害の可能性の方が, 作業員自身に現れる同じ傷害に適用される重みよりもはるかに大きな重みをもつのは明らかであろう。したがって, 死にいたらない重大な遺伝的欠陥の各々に対し, 作業員自身の致死悪性腫瘍による寿命損失の重みと等しい重みを与えることは, 理由があるように思われる。

(c) 放射線で誘発される遺伝的異常は:

- 重篤な場合には, 受胎胚の発生不能あるいは着床不能を起こすことがある;
- 生存不能な胎児の流産をきたすほど重篤であることがある;
- 胎児は成熟するまで育てて出生児に現れることがある。

これらの可能性に対していかなる相対的重みを与えるべきであろうか？

(44) これら3つのうち最初の2つは三番目のものよりも潜在的な寿命の損失が大きいため、これらに一層大きな重みを与えるべきであるとの意見がありうるかもしれない。同様に、あるいは多分それ以上に、出生児に現れかつ経験される傷害のみを考慮すべきであること、作業員またはその妻にとって、着床しなかったことは1回の月経の消失としてだけ認識されること、また早期の流産は発育できない生命が絶たれたとみなしうるであろうこと、という見方もありうるであろう。

(45) これらの点についての見解の相違に関しては明らかにかなりなばががあり、検討を必要とする。しかし一方では、これら3つの様式のそれぞれあるいはその他の様式で現れるらしい、染色体異常または突然変異の頻度を推定することは重要なことであろう。しかしながらさしあたり、遺伝的傷害が職業上の被曝の害に寄与するのは、本質的には被曝した個人の子孫の最初の2世代の出生児に現れるこのような重大な欠陥であると考えてよいであろう。

(46) このような欠陥のリスクは照射された動物、とくにマウスの子孫で観察された頻度にヒトのゲノムの大きさを斟酌するための補正を加え、あるいは“倍加線量”法では、ヒトの遺伝する欠陥の自然発生頻度を斟酌するための補正を加えて、推定される。マウスについてのリスク率は繁殖可能な動物の照射後に生まれる子孫全体に現れる欠陥に関するものである。ヒトに関して推定されたそれに相当するリスク 10^{-4} rem^{-1} (最初の2世代の間にみられる重篤な遺伝する不健康状態に対して⁽¹⁸⁾)は、したがって、子供を受胎する前に照射された受胎可能な個人の集団に適用されるものである。

(47) 18~65歳の作業員集団では、ほとんどの者はその後の子供期待値が低下しているような年齢で被曝し、一部の者は被曝後子供を受胎するような年齢ではないので、遺伝的影響はない。反対に、被曝後の子供期待値が最大に近い若い年齢の場合には出生児の障害のリスクは 10^{-4} rem^{-1} という値に近くなる。

表10 年間被曝が一定の作業員集団(年齢18~65歳)における遺伝有意成分

年齢グループ	男 性			女 性		
	相対子供期待値*	集団中の百分率	積	相対子供期待値*	集団中の百分率	積
18-	0.984	7.1	7.0	0.931	17.2	16.0
20-	0.866	12.2	10.6	0.730	22.7	16.6
25-	0.584	10.8	6.3	0.401	10.5	4.2
30-	0.293	10.1	3.0	0.155	6.3	1.0
35-	0.121	9.7	1.2	0.046	6.4	0.3
40-	0.044	10.3	0.5	0.008	7.5	0.1
45-	0.015	11.0	0.2	0.001	8.9	—
50-	0.005	9.4	—	—	—	—
55-	0.002	10.0	—	—	—	—
60-	0.001	9.4	—	—	—	—
		100	28.8		100	38.2
遺伝有意の割合			0.29			0.38

* 各年齢グループにおけるその後の平均子供期待値。親になる以前の年齢の値を1とした時の相対値。

したがって、職業上の放射線被曝のうち、平均してどれほどの部分が遺伝的に有意となるかは、問題としている作業員集団の年齢構成と被曝した年齢に決定的に依存する。(個人の年齢による変動は後節で議論する。)

(48) 表10は男女別グループにおけるある年齢以降の平均子供期待値を、はじめて親となる前の年齢での値を1として相対的に示したものである。表には作業員集団(1970年に英国で被雇用者として登録されたすべての人々⁽¹¹⁾)の18歳から65歳までの年齢分布も示してある。この集団における各年齢群の百分率と子供期待値との積の和は、すべての作業員がまだ十分な子供期待値が適用できるような年齢にあると仮定した場合に予想される値と対比すべき遺伝的傷害の平均リスクを表している。ここで調べた年齢構成をもつある集団に関しては、集団の全構成員の子孫の最初の2世代に完全に現れる遺伝的影響に適用される $10^{-4} \text{ rem}^{-1(18)}$ というリスク係数に、男性では0.29、女性では0.38の値を乗

表11 集団の年齢構成によって決まる、平均年間職業被曝のうち遺伝有意な割合

国	職 業	割合	国	職 業	割合
男性			女性		
英 国	全被雇用者	0.29	英 国	全被雇用者	0.38
	発 電 企 業	0.21		放射線技師	0.61
	原子力発電所	0.19	カナダ	原子力発電所	0.24
	再処理工場, 1950	0.32	日 本	医 療 職 員	0.09
	再処理工場, 1974	0.16		研究および教育	0.14
	放射化学施設	0.24	オース トラリ ア	放射線技師	0.48
	非破壊検査技師	0.27		放射線科医助手	0.39
カナダ	発 電 企 業	0.23		看 護 職 員	0.39
	原子力発電所	0.20		核医学職員	0.48
日 本	原子炉運転	0.28			
	燃 料 加 工	0.35			
	原子炉保守	0.42			
	原子炉運転	0.37			
	工 業 利 用	0.26			
	医 療 職 員	0.08			
	研究および教育	0.16			

じたものがそれぞれの平均リスクとなろう。この推定は年齢によって放射線被曝は変わらないと仮定しており、この仮定は多分真実に近いように思われる。もっともすでに論議したように、全作業者の平均年齢よりも被曝の平均年齢の方がいくぶん高いために、職業上の被曝の遺伝的影響はこれより少し小さいであろう。

(49) 職業上の被曝全体のうちどれだけの部分が遺伝的に有意であると考えられるかは、作業集団の年齢構成、とくに18歳から25歳の間の年齢構成で大はばに変わる。そこで、放射線被曝を伴う多くの職業で年齢構成が確かめられているものについて表10と同様な計算を行い、その結果を表11に示した。英国における全国民集団の子供期待値を他の国の職業群に適用しているため、個々の値はごく近似的なものにすぎないが、これらの値は、たとえば放射線技師と医療従事者の間に一般的にみられる年齢構成における相違、あるいは、創設

以来24年の間の核燃料再処理施設の職員の平均年齢の増加に帰することのできるもっともらしい変動はばを示している。遺伝的に有意な割合の値は0.1~0.6の範囲にあるが、ほとんどの場合、すべての職業上の被曝の0.2~0.4倍が遺伝的に有意であろうことを示唆している。この報告書では、作業者集団の最初の2世代における重い遺伝的欠陥の平均リスクは、最大子供期待値をもつ年齢に適用される値 (10^{-4} rem^{-1}) の0.3倍、したがって $3 \times 10^{-6} \text{ rem}^{-1}$ (両親のいずれかに対して) のリスクとしている。

(50) すべての年齢において等しく照射されるような一般集団について、この割合は親になる平均年齢と死亡時の平均年齢とに大はばに依存することを知っておいてよいであろう。この割合は、1973年のイングランドとウェールズにおいては、男性で0.46、女性で0.38であった。⁽¹⁹⁾ 一般集団にもすべての作業者集団の大部分にも適用できる値として、ICRPは0.4という値を採用しており、これは、遺伝的リスク値が $4 \times 10^{-6} \text{ rem}^{-1}$ であることを意味している。⁽¹⁸⁾

妊娠中に放射線で誘発される影響

(51) 作業者集団の中の妊婦胎内の胚または胎児の照射による害が職業上の被曝に起因する害の総計に寄与することは明らかである。この寄与が平均どのくらいになるかの推定値は次の4点に関する情報に左右される。

- (a) 任意の一時点において、妊娠していると思われる女性作業者集団の割合。
- (b) 胚が着床する以前の被曝によるレムあたりの害のリスクとこの時期の長さ。
- (c) 着床した胚が器官形成期にある間の、上記に対応するリスク率とリスクの期間。

(32)

(d) 胎児発育期の残りの期間の、大部分は悪性腫瘍の誘発によるリスク率。

妊娠の頻度

(52) 母親の年齢別の出生児数および出生頻度についてのデータを表12に示す(イングランドおよびウェールズ, 1973年⁽⁴⁹⁾; 死産児を含めれば頻度は約1%高くなると思われる)。雇用されている全女性集団中の各年齢グループの百分率も示してある(イングランドおよびウェールズ, 1970)。

この表の第4欄は、調査された被雇用者集団中の女性100人につき1年あたり約6.4の妊娠が起こるらしいことを示しており、また、ある原子力施設の女性職員にも同じような値(6.7)があてはまると推定された。これらの値は、調査された集団の出生率と平均出産年齢およびこれら被雇用者の年齢構成に依存することは明らかである。しかしながらここでは、女性の労働年あたりの妊娠0.065という値を、ほぼこの頻度で胚または胎児がリスクをもつ可能性がある大体の頻度を示すものとする。この値は、もし雇用されている女性の方がそうでない人々より妊娠が少ないらしいということであれば、それだけ低くなるか

表12 年あたりの出生頻度：年齢18～65歳の被雇用者集団

年齢グループ	年あたり1,000人あたりの出生児数 (A)	年齢グループ別 人数の百分率 (B)	積 (A×B)
18-	79	17.2	1,359
20-	131	22.7	2,974
25-	135	10.5	1,418
30-	64	6.3	403
35-	25	6.4	160
40-	6	7.5	45
45-	0.4	8.9	4
50-65	—	20.5	—
計		100	6,363

女性1人あたり年あたりの平均出生児数, 0.064。

もしれないし、あるいはあるグループ、たとえば全員が20歳から30歳の間の年齢にある放射線技師では2倍になるかもしれない。

着床前のリスク

(53) 受精卵が子宮壁に着床する前の時期では、放射線被曝による主なリスクは着床不能、したがって子宮内死亡のリスクである。この時期においては、それ以後の発育が損なわれるリスクまたは出生児に現れる害のリスクは小さいように思われる。

マウスについて、着床前の受精卵に対する50%致死線量の様々な推定値が得られている。子宮内死亡のリスクが LD_{50} のレベルまで線量とともに次第に増加するという証拠もいくつか得られている。⁽²⁰⁾ もしこの増加を直線的であると考えるなら、 LD_{50} の平均値が60 rad から240 rad くらいであるということは $(2\sim 8)\times 10^{-8} \text{ rem}^{-1}$ のリスクということになろう。ラットではこの時期の子宮内死亡の LD_{50} 値は30~100 rad と見積られており、これは $(5\sim 17)\times 10^{-8} \text{ rem}^{-1}$ のリスクを意味していることになろう。⁽²¹⁾ 25Rの照射後に得られたデータ⁽²²⁾でも、マウスの着床前受精卵が吸収される率は約 $7\times 10^{-8} \text{ rem}^{-1}$ であることが示されている。

(54) ヒトではリスクの推定値を直接得ることはできない。しかしながら、この時期の被曝のリスクを $8\times 10^{-8} \text{ rem}^{-1}$ とすれば、ヒトではこの時期の長さは8日と考えられているので、年あたり1 rem 被曝する女性被雇用者集団での受精卵の着床前損失の平均リスクは

$$0.065 \times \frac{8}{365} \times 8 \times 10^{-8} = 10^{-5} \text{ y}^{-1}$$

である。(年あたり1 rem という平均の被曝率は単に比較のために仮定したもので、その目的は、受精卵に対する種々のかたちの害の頻度を作業員集団における被曝に伴う害の頻度と比較できるようにするためである。)

胚に対するリスク

(55) 胚発生期では、放射線被曝の主なリスクは主要器官形成期中に起こる損傷に起因する奇形のリスクであろう。胚の死は100rad 以上照射されたげっし類で高頻度にかかるが、この程度以下の線量では比較的まれである。そして、低線量被曝後における新生児死亡率または生後の死亡率の増加は認められていない。

(56) ヒトでは主要器官形成期は着床時からほぼ35日間続く。この時期以後は、高線量での主要器官系の損傷およびこれより低い線量でのある種の生化学系あるいは局所器官系の損傷が起こるとはいえ、被曝によって発育が明らかに妨げられることは少ないようである。

ヒトでは、長崎における高線量での、および広島におけるこれより低い線量での妊娠初期の子宮内被曝によって、頭の大きさの減少と精神薄弱の発生の増加が起こることが示されている。両市では知恵おくれの平均リスクはrad kermaあたり約 10^{-8} であった。⁽²³⁾ このことは、広島の中性子線の RBE を10~20と仮定すると、レムあたり約 0.5×10^{-8} の率に相当する。

(57) 広島および長崎において子宮内被曝した子供について他の型の奇形が増加したという報告はなく、また相当大量に被曝したヒトについての他の研究では、奇形の率の増加の推定値もなく、また増加するという証拠も得られていない。したがって、 $0.5 \times 10^{-8} \text{ rem}^{-1}$ という発生率は、高い線量率でかなりの高線量を受けた後に検出されるすべての奇形についての値であり、また妊娠の最初の17週間つまり主要器官形成期と考えられる期間の約4倍の期間被曝したすべての胚を基礎にしたものである。したがってそれは、妊娠8日目ないし12日目に150 rad 照射した後の奇形の増加が30%という、マウスで観察された発生率と大体一致しているように思われる。この推定値は、もし低線量率での低線量照射で起こる奇形にも適用できるものであれば、年あたり1rem 被曝す

る女性集団における平均リスクは

$$0.065 \times \frac{17}{52} \times 0.5 \times 10^{-3} = 10^{-5} \text{ y}^{-1}$$

となることを意味することになる。

胎児に対するリスク

(58) 妊娠のもっと後の時期の胎児被曝は10歳までの小児期に悪性疾患による死亡率を増加させることが示されている。その後の成長の多少の鈍化と高線量被曝後の重大奇形も起こりうるにしても、低線量による害の主なものはおそらく、放射線診断で使われる程度の低線量でも発生する可能性のある致死悪性疾患に起因するものようである。

(59) ラドあたりの誘発率についてはさまざまな推定があるが、成人についての平均の率とその2倍の値との間にはいるようである。国連原子放射線の影響に関する科学委員会では、胎児被曝後の致死悪性腫瘍の率を $2.3 \times 10^{-4} \text{ rad}^{-1}$ と推定した。⁽²⁴⁾ 成人女子での率は——乳がんの誘発を考慮に入れて——およそ $1.5 \times 10^{-4} \text{ rad}^{-1}$ とすべきであろう。⁽¹⁸⁾ このことから、小児期の致死悪性腫瘍誘発の平均リスクは、女性作業員集団中の成人に誘発される致死悪性腫瘍の6%前後であるように思われる。というのは、この様式による悪性腫瘍の誘発に胎児が感受性をもつ期間を平均7か月と仮定し、またその母親が仕事を続けると仮定すると、その率は

$$0.065 \times \frac{2.3 \times 10^{-4}}{1.5 \times 10^{-4}} \times \frac{7}{12} = 0.06$$

となるからである。

妊娠中の照射によって付加されるリスクの総計

(60) この報告書で他の点についても強調したように、あるリスクの重要性

(36)

を数字的に評価することでは適切に記述しえないことを強調しなければならぬ。社会一般と職業上放射線に被曝する人達とでは、働いている間の妊娠中に誘発される奇形と遺伝子突然変異によって後の世代に起こる奇形とに対して、また子宮内被曝児の悪性腫瘍による死と作業員自身のうちの一人に起こる死とに対して、またさらに、受精卵の着床の失敗——これはあるべき月経がないという形でしか現れないらしい——と出生児あるいは成人の死とに対して、異なった意義づけをすることは間違いないであろう。

(61) しかしながら、数値の上だけで見れば、また害に対する寄与の労働社会全体に対する平均値としては、妊娠期間中の照射のため職業上の被曝による害の総計がそれほど増加するとは思われない。着床前の損失にどんな重みをつけようと出生児に現れる害に寄与しないので、この様式による寿命の損失の総計は、女性における致死性的がんによる平均死亡率を $1.5 \times 10^{-4} \text{ rem}^{-1}$ と仮定した場合の女性作業員自身の間で起こる寿命損失の約 7% であるらしい。

(62) 器官形成期に誘発される奇形の数は、同一の作業員集団中に誘発される遺伝起源の奇形と比較できるものであろう。さきに仮定した年齢構成をもつ被雇用女性集団において年あたり 1 rem の被曝があったとすれば、被曝した人数と被曝以後の各年齢グループの子供期待値(表10および11)から推定されるように、この被曝の約 0.3 倍が遺伝的に有意となるであろう。もし、最初の 2 世代における重大な遺伝的欠陥のリスクを、レムあたり 10^{-4} とすると⁽¹⁸⁾、この種の欠陥の発生頻度は、上記集団中で $3 \times 10^{-5} \text{ y}^{-1}$ (あるいは、全世代に対してはこの値の約 2 倍) になるであろう。器官形成期の発生異常の誘発は平均約 10^{-5} y^{-1} の率であるので、この時期の照射はこの型の害を約 $\frac{1}{3}$ 増加させることになるろう。

(63) 妊娠中の被曝による致死悪性腫瘍の増加率はさらにずっと少ないらしく、6%の増加と推定された。しかしながら、子宮内被曝によって誘発される悪性腫瘍は、職業上被曝する成人に発生するものよりずっと大きな寿命の損失

年数を伴うであろうということを考慮に入れるべきである。前に(13項)推定したように、後者による平均損失寿命は10～15年程度であると思われるのに対し、10歳までに死亡するがんでは約65年の平均余命が失われる。したがって、寿命の損失期間で表せば、子宮内被曝による悪性腫瘍によってこの原因による損失寿命も約 $\frac{1}{3}$ (つまり $6\% \times 65 / 12.5$)の増加をきたすものとみなすことができよう。とはいえ、妊娠とわかっている期間の被曝に関して委員会が勧告した制限はこの数値をかなり減少させるであろう。

(64) 妊娠中の職業上の被曝による害の平均的増加は、ある職業での女性作業者の割合、就労期間に妊娠を避けるかどうか、また、妊娠とわかってからの作業制限の程度、したがって平均被曝量の制限の程度に大いに左右されることは明らかである。女性だけしか雇用されていない職業で、妊娠中のいかなる時期にも配置転換が行われない場合、その集団全体のリスクの総計は妊娠時被曝によって約 $\frac{1}{3}$ 増加するであろう。

年齢および性によるリスク率の変動

(65) 身体的影響および遺伝的影響の双方についてリスク率の年齢に伴う変動を議論し、また作業員集団全体についての平均の率を、作業員集団の放射線防護を目的として委員会が採択した限度との関連で考察してきた。

(66) 作業員個人の防護のためには、作業員の年齢と性にかかわらず、過去にこの限度以上の被曝を受けたことのないどのような作業員に対しても十分な防護となるべきレベルに線量限度は定められている。年齢と性に伴うリスク率の変動が極端でないかぎり、すべての作業員に対してただ一つの適切なレベルを用いることができれば、それは、一人一人の作業員を作業員の年齢と性を考えてコントロールする必要がある場合とくらべて、防護の確実性が一層信頼でき

表13 個人の年齢と性によるリスクの変動
(リスクレベル, 10^{-6} rem^{-1})

	年 齢 (歳)					平均	基準値
	20	30	40	50	60		
男 性							
白 血 病	20	20	20	19	11	18	20
が ん	80	72	60	38	16	53	105
遺 伝	97	41	7	1	0	29	40
計	197	133	87	58	27	100	/165=0.61
女 性							
白 血 病	20	20	20	20	16	19	20
が ん	130	125	109	82	44	98	105
遺 伝	89	23	2	0	0	23	40
計	239	168	131	102	60	140	/165=0.85

表9および10の値に基づく被曝時の年齢別のリスクの総計(身体的+遺伝的)。全年齢に対する平均値は、あらゆる年齢の男女両性の防護の目的で採用された基準値の0.61倍(男性)と0.85倍(女性)である。図4参照。

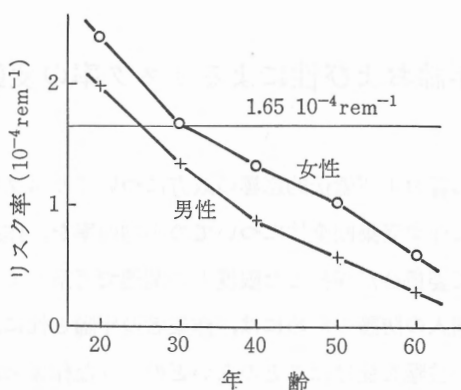


図4 ICRP が放射線防護の目的で採用した $1.65 \times 10^{-4} \text{ rem}^{-1}$ という基準値とくらべた、年齢および性によるリスク(身体的+遺伝的)の変動。ICRPの基準値は、遺伝の $0.4 \times 10^{-4} \text{ rem}^{-1}$ と、発がんのリスクがすべて現れるとしての男性の値($1.0 \times 10^{-4} \text{ rem}^{-1}$)と女性の値($1.5 \times 10^{-4} \text{ rem}^{-1}$)の平均値 $1.25 \times 10^{-4} \text{ rem}^{-1}$ とから成り立っている。

るものになるであろうことが当然期待される。

(67) ある個々の種類のがんを誘発するリスクは被曝者の年齢に応じて変わることについて、いくつかの情報が得られはじめている。しかし、この問題に関しては、変動のこの原因を完全に解析するには不十分なデータしか得られておらず、ICRP Publication 26にあるリスク率は一般に成人集団に対して推定された平均のリスクを扱っている。これらの値ならびに年齢に伴う遺伝有意線量の変動(表10)とがんの発現の変動(表9)を用いると、表13と図4に示すように、リスクの推定値はこの根拠から年齢とともに男性ではICRPの基準値の約1.2倍から0.15倍に、女性では1.5倍から0.35倍に減少する。一定の率で連続して被曝する18歳から65歳までの就労期間の間の平均の値は、男性では基準値の約0.6倍、女性では0.85倍になるであろう。

害の指標の考えられる表現法

(68) どんな指標でも、ただ一つで反論に対して科学的に答え得るような指標はないことを、くり返して述べておかなければならない。必要とされるのは、妥当で学識ある意見と矛盾することのない、定量的な指標である。そのような指標は、寿命の長さと職業上の原因で失われる就労期間の長さを考慮して、今までに論じてきた証拠にてらして示唆することができるであろう。

(69) 放射線被曝は起こらず産業病の頻度が高いことが知られていない産業では、そのような指標に主として寄与するのは事故死であろう。とくに、その頻度 D が約 $200 \times 10^{-6} \text{ y}^{-1}$ を超えたならばそうであろう。しかしこの指標には、死にいたらない事故を斟酌するため、たとえば $D^{0.5}$ に比例する寄与を加えるべきである。こう考えれば、図2に示されているデータから、死にいたらない事故による損失期間の長さは、約 $D = 200 \times 10^{-6} \text{ y}^{-1}$ のとき、事故死によ

(40)

る損失期間と大体等しく30年であることが示唆されるが、死によって失われる期間とくらべて、休業により失われる期間の重要性を低めるためかなりな大きさの荷重係数をあてはめるべきであると、多分感じられるであろう。これに産業病による寄与が加わるが、これは上に得られた指標を数%(たとえば約5%)増すことによってカバーされるであろう。

(70) そこで、たとえば事故死による寿命の損失を1とし、死にいたらない産業事故による休業期間には0.1という荷重係数を与え、おのおのの事故死の平均寿命損失は30年であるとすれば、作業員1,000人あたり年あたりの損失年数で表した指標値 I は、 $D=200 \times 10^{-6} \text{ y}^{-1}$ の職業では次のものから成り立つであろう：

- (a) 事故死による6.0 (=年あたり1,000人あたり 200×10^{-6} の死 \times 1つの死あたり30年)
- (b) 死にいたらない事故からの0.6 (事故死とほぼ同じ年数に荷重係数0.1を乗じて得られる)
- (c) 産業病について、その高率発生がふつう認められている職業を除いて、(a)と(b)の合計の5%、すなわち約0.3

これらの合計は $I=6.9$ となる。

(71) このような根拠からと、さらに18項で述べたように、事故による傷害頻度は事故死の頻度の平方根に比例すると仮定すれば、指標は(被雇用者1,000人あたりの年数で表して)次に示すように3成分の和となり、大体次の値となる。

$$D=300 \times 10^{-6} \text{ y}^{-1} \text{ では} \quad I=9.0+0.7+0.5=10.2$$

$$100 \times \quad \text{''} \quad I=3.0+0.4+0.2=3.6$$

$$30 \times \quad \text{''} \quad I=0.9+0.2+0.05=1.2$$

$$10 \times \quad \text{''} \quad I=0.3+0.1+0.02=0.4$$

(72) したがって、放射線被曝を伴う職業であって事故死亡率が $D=10 \times$

10^{-6} y^{-1} である場合、指標は外傷性事故による 0.4 という成分をもつことになる。もし致死悪性腫瘍が 10^{-4} rem^{-1} の率で誘発されるならば、そして致死悪性腫瘍と死にいたらない悪性腫瘍とによる罹病期間を含めて、1つの致死悪性腫瘍が15年の寿命損失と等価であるとすれば、身体的影響による寿命損失は、平均的な職業上の被曝 1 rem につき、1,000人-年 あたり 1.5人-年 となるであろう。そして、どんな被曝も年あたり 5 rem 以下に制限すると、平均的年被曝は 0.6 rem 付近となるのが普通であることがわかっているから、身体的影響からの指標への寄与は 0.9 となるであろう。

(73) もし遺伝的影響が $3 \times 10^{-6} \text{ rem}^{-1}$ という平均的な率で起こるとし、誘発される遺伝的異常のおおのにおに、たとえば悪性腫瘍による死と同じ重みをもたせるとすれば、指標に 0.25 が加わることになるだろう。そしてもし、作業者集団の半数が女性であるとし、またもし、作業者集団でも一般の人でも同じ率で妊娠が起こり、被曝をその期間中でもとくに制限しないとすれば、妊娠中に誘発される害によって 0.2 が加わることになるだろう (64項で論じたように、これら女性作業者が照射されると害は身体的害と遺伝的害との和の $\frac{1}{2}$ だけ増すため)。そこで、このような集団における害の指標は $0.4 + 0.9 + 0.25 + 0.2 = 1.75$ となるだろう。これは、放射線被曝がなく致死事故率が $D = 45 \times 10^{-6} \text{ y}^{-1}$ の職業の害の指標に等しい (英国における多くの工場作業者の害の指標がこの程度である。15項参照)。あるいは、ウラン採鉱で起こるであろうような事故死と呼吸病によるかなりの寄与を加えるとすれば、指標はそれに対応して大きくなるであろう。

(74) すべての作業者が ICRP の限度、 5 rem y^{-1} で連続して被曝すれば、指標は $0.4 + 7.5 + 2.0 + 1.6 = 11.5$ となり、これは致死事故率が $340 \times 10^{-6} \text{ y}^{-1}$ の職業に相当し、多くの国々での建設業または石炭鉱業の事故による致死率と同程度である。

結 論

(75) この報告書の限界およびここで示唆した害の指標の限界は明らかである。これらは本質的には起こった諸事象による害を扱っているが、これらの諸事象が起こることについての不安——これは職業が異なれば非常に異なるかもしれないものであるが——による害を適切に含めていたわけではない。正しいか否かは別として、作業者が自分の熟練によって避けることができると感じているような事故死のリスクと、平常の作業環境に存在する放射線または化学物質によって引き起こされる悪性腫瘍による同じ値の死のリスクとの間にはその不安の程度に大きな相違がある。作業者またはその家族によるこのような不安は、そのような疾病に関連した事柄の何らかの最近の公表、秘匿、あるいは偶発事件によって変わるであろう。これらの不安は、実際に起こっている疾病や死の害と匹敵するほどの害を含んではいないかもしれないが、このような疾病が起こることは決してない多数の作業者に影響をおよぼすことがあるので、もっと十分に考察することが必要なことは明らかである。

(76) 同様に、ここで述べた事故と疾病との害への寄与は、信頼することのできるごくわずかな調査に基づいて考察したものなので、たとえば産業界による死の重要性や発育中のヒトの胎児に対する損傷の重要性について、さらに調査研究が必要である。そのうえ、遺伝的損傷による害ももっと十分に評価することを要し、それを推定する根拠——最初の2世代の出生児に現れる欠陥だけを考慮するという——も再検討を要する。

(77) しかしながら、同時に、放射線被曝を伴う職業の安全性と他の現存する職業の安全性とを比較するためには、何らかの“害の指標”が是非必要であり、どんな指標であれ、現在の限られた調査の結果だけからも指摘できるいく

つかの点を考慮に加える必要があろう。それらの点とはたとえば：

- (a) 事故死による寿命損失の長さとは放射線誘発悪性腫瘍による寿命損失の長さとは違いがあるらしいこと；
- (b) かなり危険性のある職業において、事故死による寿命損失の長さは休業期間の総計によるものよりも平均的に長いこと；
- (c) 事故死の頻度と事故傷害の頻度との関係は非直線的であること；
- (d) 大多数の産業では、損失期間への職業病の寄与は比較的小さいこと。

(78) これら要因をどんなに大ざっぱであれ定量的に考察に加えるためには、平常の総就労期間から失われる時間という指標（被雇用者1,000人あたり年あたりの人一年で表した）が、可能性のあるやり方の一例であり、考察すべきものとしてこの報告書で示唆した。この指標は、少なくともディメンションのない量であるという利点がある。

謝 辞

作業グループは、多くの問題に関する未発表の知見を提供されたことに対し、また、この知見を入手し翻訳する仕事に多くの同僚が多くの時間をさかれたことに対し、感謝の意を表したいと思う。とくに、次の方々に感謝する：

- 高橋、金子、橋詰、丸山の諸博士——日本の統計データおよび放射線に関するデータ
 - D.W.S. Evans——チョークリバー原子力研究所職員の年齢分布
 - H.B. Newcombe——カナダの人口動態統計
 - D.A. Watson, R. Wilson——オンタリオ水力原子力発電所の作業者の年齢分布と被曝のデータ
 - D.J. Stevens——オーストラリアの職業上被曝した職員の年齢分布
 - H. Jammet——フランスの産業事故のデータ
 - O. Hug——ドイツ連邦共和国の産業事故のデータ
- 英国のデータに関しては
- W.P. Grove, F.R. Newberry——ラジオケミカルセンターの職員の年齢分布と被曝量分布

(44)

S.M.B. Hill——ハーウェル、ウィンフリスおよびダウンレイの原子力公社職員の年齢分布と被曝量分布

J. Bonnell——中央電力庁の被雇用者の年齢分布と被曝量分布

R.A. Winyard——病院の放射線科医と放射線技師の年齢分布と被曝量分布

B.H. Harvey, A.R. Guy——工場作業者と建設作業者の事故死亡時年齢

文 献

1. Pochin, E.E., Occupational and other fatality rates. *Community Health* 6:2-13 (1974).
2. Sowby, F.D., Radiation and other risks. *Health Phys.* 11:879-887 (1965).
3. *Registrar General's Decennial Supplement, England and Wales 1961*. London, H.M.S.O. (1971).
4. Japanese accident facts 1971, from translations of "Actual state of safe administration for various industrial work" (Ministry of Labour), "1971 Employment Status Survey" (Office of the Prime Minister) and "Year Book of Labour Statistics 1971" (Ministry of Labour). 高橋・金子博士のご好意により入手した。
5. Vital Statistics 1970. Statistics Canada.
6. *Registrar General's Statistical Review of England and Wales*. London, H.M.S.O. (1971).
7. *Health and Safety, Industry and Services 1975*. Health and Safety Executive, London, H.M.S.O. (1977).
8. *Accident Facts*. (U.S.) National Safety Council, Chicago (1970;1973).
9. Eurostat Report *Betriebsunfälle—Eisen und Stahl 1960-1972*. Statistical Office of the European Communities, Brussels (1973).
10. U.S. Department of Labor; release 74-200 of May 2, 1974.
11. *Digest of Statistics Analysing Certificates of Incapacity*. June 1969-May 1970. (U.K.) Dept. of Health and Social Security.
12. U.S. Department of Labor; release 74-16 of January 21, 1974.
13. *Statistiques Nationales d'Accidents du Travail (1968-1970)*, Caisse Nationale de l'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés.
14. Übersicht über die Geschäfts und Rechnungsergebnisse der gewerblichen Berufsgenossenschaften im Jahr 1970.
15. *Report of the Chief Inspector of Factories*. London, H.M.S.O. (1971).
16. Beebe, G.W., Kato, H. and Lands, C.E., Studies of the mortality of A-bomb survivors. 8. Mortality experience of A-bomb Survivors 1950-74. RERF Technical Report.
17. Waterhouse, J.A.H., *Cancer Handbook of Epidemiology and Prognosis* (1974).
18. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.

- Adopted January 17, 1977. *ICRP Publication 26*. Pergamon Press, Oxford (1977).
19. *The Registrar General's Statistical Review of England and Wales for the Year 1973*, Part II Tables, Population.
 20. Friedberg, W., Hanneman, G.D., Faulkner, D.N. *et al.*, Prenatal survival of mice irradiated with fission neutrons or 300 kVp X rays during the pronuclear zygote stage: survival curves, effects of dose fractionation. *Int. J. Radiat. Biol.* **24**:549-560 (1973).
 21. Brent, R.L., The effect of irradiation on the mammalian fetus. *Clin. Obstet. Gynecol.* **3**:928-950 (1960).
 22. Ohzu, E. and Makino, S., Some abnormalities produced by low dose X-irradiation in early mouse embryo. *Proc. Jpn. Acad.* **40**:670-673 (1964).
 23. Blot, W.J., Growth and development following prenatal and childhood exposure to atomic radiation. *J. Radiat. Res.* **16** (Supp.) 82-88 (1975).
 24. *Ionizing Radiations: Levels and Effects*—Vol. II: *Effects*. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York, United Nations (1972).

「害の指標」をつくるときの諸問題

¥ 500

昭和53年8月1日 初版第1刷発行

昭和56年8月1日 初版第2刷発行

編 集 社 団 日 本 ア イ ソ ト ー プ 協 会
お よ び 法 人
発 行 財 団 仁 科 記 念 財 団
法 人

113 東京都文京区本駒込二丁目28番45号

電 話 (03) 946-7111

振 替 東京 8-143345

印刷・製本 富士美術印刷KK (803) 1171~9