資 料

コスト・ベネフィット比較におけるマン・レムの価値：
文献的検討稲 葉 次 郎^{*1}

(1977 年 1 月 7 日受理)

Estimates of Cost of Man-rem for the Use of
Cost-benefit Analysis: A SurveyJiro INABA^{*1}

As any radiation exposure may involve some degree of risk the International Commission of Radiation Protection recommends that any unnecessary exposure be avoided, and that all doses be kept ALARA, *i.e.*, as low as is readily achievable, economic and social considerations being taken into account. To define the level at which it can be said that a dose is ALARA the use of cost-(or risk-) benefit analysis is required. In making a cost-benefit calculation the most difficult step is the conversion of positive and negative effect into a consistent set of units, *i.e.*, conversion of man-rem into dollars. This paper presents the monetary value of population dose which appeared in the past reports (six papers referred by ICRP Publication 22, BEIR Report and NRC-10CFR50, App. I).

We must be very careful in the application of cost-benefit analysis to decision making of individual cases, but the estimated risk in monetary term may help us at least to check whether we act in a consistent way.

I はじめに

昨年、本学会の専門委員会の1つである ICRP 勧告検討委員会に数回出席する機会があった。昭和 50 年度と同委員会の活動は多方面に向けられたが、ICRP Publication 22 が言及している man-rem に対応する金銭的価値に関する文献的検討も、同委員会の主要な活動の1つであった。ここでは、そこでの話題を中心にして、これまでに文献的に現われた man-rem あたりのコストあるいは集団線量低減の価値の金銭的表現についての紹介を行いたい。

個々の文献紹介に入る前に、“man-rem の金銭的表現”の持つ意味あるいはそれを考える背景について、

ICRP Publication 22¹⁾の中から簡単に述べることにする。

放射線防護に関する ICRP 勧告の基礎となっている原則は、放射線被曝後に誘発される悪性の影響にはしきい線量はないかもしれないこと、およびこれらの悪性の影響の発生確率と線量との関係は直線的であるという可能性があること、という2つの仮定であろう。したがって、当然のことながら、ICRP が勧告した「最大許容線量および線量限度の値は、その線量を与える行為から生ずる利益との関連で正当とされるレベルに線量を保ち、しかもその線量は、容易に達成できるかぎり線量限度よりずっと低いものとするを目的とした、線量制限体系の一部分と考えなければならない」(Publication 22, 8項)こととなる。ICRP は、次に、この線量制限体系を履行するときの要請として次の3点を挙げている。すなわち、第1に最大許容量と線量限度が確実に守られるべ

^{*1} 放射線医学総合研究所；千葉市穴川 4-9-1 (〒280)
National Institute of Radiological Sciences:
9-1, Anagawa 4-chome, Chiba-shi, Chiba-ken.

きであること、第2に不必要な被曝は避けなければならないこと、第3に「a) 経済的社会的考慮を計算に入れたうゑ、線量を容易に (Publication 22, 20 項の結論においては“合理的に”としている) 達成できるかぎり低くすべきであること、b) 線量はこれらの行為の期待される利益によって正当化されるべきであること」(Publication 22, 10 項) の2つの条件を十分に満すほどに線量を低くすべきであること、の3点である。

これらの要請のうち、第1と第2の要請の適用は比較的簡明であるが、第3の要請に関してはその適用にあたって、ある程度の定量的判断が必要となり必ずしも簡明ではない。Publication 22 はこのような第3の要請の適用に関し、費用-利益解析を行って判断すべきであると、次のように述べている。すなわち、a) についてはある線量をもっと低減することの経済的社会的利得が、この低減を達成するための経済的社会的費用と等しいように線量を選ぶことによって、すなわち、いろいろな被曝レベルにおける微分費用と微分利益のみを考慮した限定された費用-利益解析によって決定することができ、b) に関してはそれに関与するすべての要因を考慮したいっそう一般的な費用-利益解析を用いることが必要であるとしている。

ところで、放射線防護にかかわる費用-利益解析の際、man-rem で表わされる集団線量という概念が総損害の尺度として用いられる(なお、人々の間での線量の分布の問題は重大であるが、ここではそれを無視し、集団線量だけを考える)。ただし、実際には、一般的費用-利益解析において、man-rem は費用に属するが、微分費用-利益解析では man-rem の低減分は利益に属することは注意を要する。いずれの解析法においても、man-rem は正しく推定された危険度との関連で意味を持つことはもちろんであるが、それにとどまらず、man-rem を無形の諸因子を含めたりうゑで表わされた損害の推定値に変換することによって、はじめてその有用性を大いに改善することができるわけである。Publication 22 は次のように述べている。すなわち、前記第3の要請を定量的に考えるためには、man-rem で表わすだけでなく、損害あるいは金銭といった社会および経済用語で表現することによって、たとえば集団線量を低減することの利点が、その低減を達成するために必要な損害あるいは費用と直接に比較することができるようになる、としている。

このような考えのもとで、Publication 22 の付録 II では、「1 man-rem の世界人口線量あるいは集団線量に付随すると思われる、損害を避けるための金額の推定値が多数発表されている」とし、その推定値を表に示し

ている。これらの推定値の発表の場は、学会あるいはシンポジウムの講演であったり雑誌上の論文であったりして、推定値の計算根拠は必ずしも多くの人の目にふれやすいものではないこと、および、前述したように、放射線防護にかかわる意思決定に定量性を持たせる際の man-rem の金銭的表現の重要性を考え、各々の man-rem 金額推定値の計算の方法なり根拠なりについて、ここに紹介することとする。なお、各論文あるいは講演は、それぞれ独自の目的をもって書かれたものであり、man-rem の金銭表示だけを直接的に目的としたものではないことは注意しなければならない。

II Publication 22 が引用した man-rem の金額の推定値

1. 英国原子力公社の DUNSTER と McLEAN は、第2回国際放射線防護学会での講演²⁾において、以下のように1 man-rad の低減は3 ポンドあるいは10 ポンドに相当すると述べている。まず、放射線防護基準に関して tolerable dose と justifiable dose とに分けて考えることが重要であるとしている。前者は人間の被曝の上限値を設定するものであり、放射線を除く別のカテゴリーでのリスクとはほぼ等しいものとして社会的要因のもとで決定されるとし、著者らは実際の放射線被曝によるリスクを計算し、これと英国での年齢別死亡統計表との比較から、原則的に ICRP の最大許容線量よりもいく分高くなるとしている。また、集団線量としての tolerable dose にも言及しているが、詳細は省略する。後者の justifiable dose は経済上の要因から決定されるもので、そのような性格上一般論として数値を決定することはできず、ある状況との関連のもとで cost-benefit balance を行うべきであるとしている。考え方の基本としては、total の cost と total の benefit を絶対的に比較するのではなく、線量低減の marginal cost とガン発生確率の低減の benefit との比較という方法を採用する。職業被曝と一般公衆の被曝に分けて考えている。

職業人の被曝線量低減による benefit の算定に関しては、子供は被曝せず1件の justifiable dose 決定に関与する全人数も多くないことから、放射線の遺伝的效果は重要でなく、身体的効果、特に発ガンにのみ注意を払う。放射線による発ガンのリスクは、ICRP Publication 8 および 14 から $10^{-4}/\text{rad}$ であるとし、これに低線量および低線量効果を考慮してその $1/3$ 、すなわち $3 \times 10^{-5}/\text{rad}$ を採用する。これに対し、人間の生命に対応する金額は、英国での裁定補償金、医療や社会サービスの経費および稼得能力などを考慮しながらも、著者らの

arbitrarily に推定した値として 100,000 ポンドとする。
man-rad は両者の積として表わされ、

$$100,000 \times 3 \times 10^{-5} = 3 \text{ ポンド/rad}$$

となる。ただし、この数値を用いて実際の職業被曝を考えると、justifiable dose は tolerable dose よりも高くなる例が多く、この場合には当然のことながら justifiable dose は決定的な意味を持ちえず、tolerable dose がいっそう重要となる。

一般公衆に対する線量低減の benefit 算定には、遺伝的効果に注目している。英国 National Health Service の病院のベッドの 1/3 は、大部分が遺伝的影響を受けているところの精神障害にかかわるものである。さらに、病院での看護治療は受けないが、遺伝的障害のある人に関する社会的あるいは個人的費用なども考慮に入れば、英国における遺伝的障害の総社会費用は、医療サービス総額（年間約 10^9 ポンド）の約半分、すなわち 5×10^8 ポンド/年であると推定するのは不合理ではない、としている。放射線の遺伝的効果の倍加線量は、UNSCEAR が遺伝子突然変異の倍加線量と推定した値の約半分 30 ラドとする。自然放射線被曝は、1 世代約 3 ラドで倍加線量の 1/10 に当る。すなわち、前出 5×10^8 ポンドの 1/10 が自然放射線被曝による遺伝的障害のための社会的費用といえる。人口 5×10^7 人の英国における総国民線量は 5×10^6 man-rad/年であるから、man-rad に対応する費用は

$$(5 \times 10^7) \div (5 \times 10^6) = 10 \text{ ポンド/man-rad}$$

になるとしている。なお、Publication 22 での引用ではこれらをドルに換算し man-rad あたり 10～25 ドルとしている。

これらの適用の一例を紹介しよう。流量 $10^6 \text{ m}^3/\text{日}$ の河川へ 10 Ci/日のトリチウムを放出すると仮定する。この河川水を飲用している人が 10^6 人いるとすれば、各人はこのトリチウムによって年間約 1 mrad の被曝を受け集団線量は 1000 man-rad/年となる。この放出量を 1 Ci/日に低減することによる社会的な benefit は、

$$1000 \text{ man-rad/年} \times 10 \text{ ポンド/man-rad} \\ = 10,000 \text{ ポンド/年}$$

である。したがって、低減が 10,000 ポンド/年以下で行えるのであれば正当であり、さらに 1 Ci/日を 0.1 Ci/日にするのは 1000 ポンド/年以下の社会的 benefit しかもたらさないとしている。

2. スウェーデンの国立放射線防護研究所の HEDGRAN および LINDELL は、次のような考えにより man-rad は 200 ドルに相当するとしている（第 2 回国際放射線防護学会での“PQR-a special way of thinking?”と題す

る講演³⁾）。

まず、一般論として、人間個人あるいは集団の社会での活動における意思決定は、cost と benefit の両者を考慮して行われ、この際 cost には直接的費用と risk などの間接費用とが含まれ、benefit にも実質的 benefit と道徳あるいは倫理上の imaginary benefit が含まれることを述べている。たとえば、どこかに行くとき飛行機で行くか否かの決定の場合、潜在意識的にせよ、

$$\text{総コスト} = \text{飛行機代} + \text{飛行機使用上のリスク}$$

（ここで、リスク＝事故率 $\times Q$ 、 Q は implied dollar equivalent to a human life）を飛行機を使う benefit と比較しているとしている。次に、放射線被曝のリスクに関しては、man-rad の implied dollar equivalent ($\mathcal{Y}$) は発ガンのリスクおよび遺伝的リスクがそれぞれ 1 rad 当たり 1×10^{-4} であることから、

$$\mathcal{Y} = Q \times 2 \times 10^{-4}$$

となる。この際、 Q は前出のドル値であるが、人命にかかわる不確定なリスクを低減するために社会が喜んで支払っているところのものであり、道徳的にそれが良いか悪いかとは一応別の問題であるとしながらも、文献的な経験値として Q は 100,000 ドルから 600,000 ドルが見られており、安全側の推定値として 500,000 ドルを採用すれば、man-rad は 100 ドルに相当すると考ええることができるとしている。さらに、 $\mathcal{Y}$ の推定値は別のいっそう直接的な方法から求めることができるとし、世界中の主要な health physicist（日本人は 2 人）を対象としたアンケート調査という、きわめてユニークな方法による推定値を紹介している。

アンケートの内容は、3 部に大別できる。第 1 は夜光時計に関してで、購入にあたって問題にならないラジウムの量、同様の機能の時計で放射能のない（被曝がないという意味）ものを選ぶとき許容する追加値段等を質問し、前者に対して 0.1 μg 、後者にはラジウム 1 μg あたり 20 ドルという回答を得た。1 μg のラジウムを含む時計を使用すると生殖腺に年間 50 mrad 被曝し、この時計を 10 年間使用すると仮定すれば

$$20 \text{ ドル} \div (0.05 \text{ rad/年} \times 10 \text{ 年}) = 40 \text{ ドル/rad}$$

すなわち、man-rad は 40 ドルに相当することとなる。第 2 の保健物理活動に関しては、アンケート対象者所属事業所での放射線防護活動の費用、そのうちの事故防止費用と線量低減費用との比率、保健物理活動を中止したとき増大する平均年間線量等に関し、回答を解析して（詳細は不明）man-rad は 500 ドルに相当するとしている。第 3 は住居からの放射線被曝に関するもので、家屋購入あるいは住居の決定に際しその決定に影響を与え

る年間被曝線量, および家屋購入あるいは住居の借用の決定に際しその決定に影響を与えない費用の追加金額について質問し, 回答を解析して man-rad あたり 650 ドルに相当するとした (著者らも述べているが, アンケート自体は man-rad のドル値を出すにはきわめて不完全なものである。ただし方法として, man-rad に対応する金額が直接的に出てくること, さらにそこには放射線被曝に対する感覚的な評価も入るという意味で興味深いものである)。これらのアンケートの結果および前述の文献値などを総合的に解釈して, HEDGRAN らは man-rad は 1000 Swedish Crown 約 200 ドルとするのが, 全体を通じて consistent であると感じていると結論している。

なお, 彼らは意思決定あるいは cost-benefit 比較のための放射線被曝によるリスク推定とその金銭的表現を PQR と称し, 標題にも用いている。また, 集団あるいは個人を問わず被曝線量の man-rad にこの 200 ドルを乗じたものを PQR cost と呼び, 逆になんらかの protective action による被曝線量の低減分に 200 ドルを乗じたものを PQR value と称している。

彼らは最後に, 次のような警告を述べている。すなわち, PQR assessment は個々の事例に対する責任ある判断の代用として用いてはならないこと, ただしわれわれが consistent な行動をとっているか否かをチェックするときの助けになるであろう, としている。

3. 1971 年に Los Alamos Scientific Laboratory での “Risk Nersus Benefit Analysis, Solution or Dream?” と題したシンポジウムにおいて, OTWAY は man-rad が 200 ドルに相当すると述べた⁴⁾。

講演は, 最近 technological application の societal acceptability を決定するに, risk (あるいは cost)-benefit assessment が注目を集めるようになってきたと冒頭に述べ, その解析方法ならびに man-rad の金額を計算するための生命の金額に関し広範なレビューを行ない, その中で彼自身の特殊な金額推定法を簡単に紹介している。すなわち, 解析方法に関しその過程を図示解説し, その中で最も困難な step は解析対象となっている活動の positive な effect と negative な effect (ここでは放射線被曝) を意思決定過程に生かすための consistent な単位に換算すること (man-rad の金額計算) であるとした。man-rad の金額計算は次のように, 生命に対応する金額とリスクから求めている。

生命に対応する金額に関しては, ハンムラビ法典に始まる歴史的概観を加えた後, 現在額を以下のように文献的に調査している。直接的方法による生命の価値づけで

は, 生命にかかわる訴訟における陪審判定では 50,000 ~ 500,000 ドルの範囲があり, 幾何平均値は 250,000 ドルとなり, 平均の人間の将来の収入の現在額 (1971年) は 200,000 ドルであるとしている。間接的方法によるものでは, 米空軍パイロット (経験 10 年, 空軍大尉) の hazardous duty pay は年間 2280 ドルであり, その金額を彼が典型的な事故率の軍用機に搭乗することによって増加する年間死亡率の増加分で除すことによって得られる統計的な生命の金額は 980,000 ドルになることを紹介している。もっとも, この空軍大尉が新型のジェット戦闘機に乗務するとすれば, 死亡率はさらに高くなり, その分だけ生命の額は安く (135,000 ドル) なる計算になる。Federal Aviation Agency は, 商業用航空機事故の防止によって救われる人間の生命の価値を計算し, 373,000 ドルに相当するとしている。さらに前述の DUNSTER, HEDGRAN と LINDELL, 後述の LEDERBERG などの推定値などにも言及しながら, 最後に彼自身の経験を次のように述べている。すなわち, 彼は catastrophic accident の回想について多くの人を対象に調査し, ある特定のできごとで死亡者数に対する物的損害の比が 1 人あたり 200,000 ドルを超過しているときは, すべての人が死亡者のことより, むしろ物的損害について強く記憶していたという結果を得た (詳細は不明)。このことは, 生命の価値を無意識に約 200,000 ドルと算定していることを示すものと考えられるとしている。

1 ラドの放射線被曝による mortality probability として, 10^{-3} という conservative な数値を採用した。これと前記 200,000 ドルとの積から, man-rad の金額を 200 ドルとしている。

OTWAY はもう 1 つの困難な問題, すなわち subjective value あるいは aesthetic value の定量化についても述べているが, ここでは省略する。

4. Stanford 大学の遺伝学の教授で 1958 年度ノーベル医学賞授賞者 LEDERBERG は, Squaring an infinite circle という意味深長な題 (副題は radiobiology and the value of life) の論文⁵⁾において, 次のような計算により 1 man-rad は 100 ドルに相当すると述べた。

彼の計算は, 米国における医療費と自然放射線による生物学的効果に根拠を置いている。すなわち, まず放射線被曝のリスクの推定を行い, 低線量ではガンと突然変異だけを考えれば良いとして, ガンに関しては natural background level (0.1 rad/年) でガンの発生率を 1% 増大させている (米国では年間 300,000 人がガンで死に, そのうち 3000 人は自然放射線による) と推定した。突然変異に関しては, ①自然放射線は全突然変異の

10% にかかわりがある, ②ill-health の中で遺伝的要因の占める割合は 20% である, これは一般に serious genetic disease を持つ新生児は全体の約 2% であるが, 病気になりやすいというような素質的なものも考慮に入れた。③人間の遺伝子プールは有害突然変異を約 10 世代保持する, という 3 つの仮定から, natural background radiation が ill-health に寄与する割合は 1/1500/年であるとした。なお, 簡単のために 1 世代 30 年の cost を present value で示せば $1/1500 \times 30$ 年, すなわち自然放射線は ill-health に 0.2% 寄与していると推定した。

米国の人口は約 2×10^8 人, 年間死亡者数は 10^6 人であり, 医療費総額は年間 8×10^{10} ドルである。“最初の投資の方が後の投資よりも効率が良い”ということから, 現在の一般的健康レベルを改善するためには, これまでの 5 倍の投資を必要とすると仮定すれば, すなわち健康レベルを 20% (2×10^5 人/年の生命に対応する) 改善するためには, さらに 8×10^{10} ドル/年の投資が必要であることになる。したがって, 米国における integrated health value は 48×10^{10} ドルであり, 生命の金額は $8 \times 10^{10} \div 2 \times 10^5 = 4 \times 10^5$ ドル

であると考えられる。自然放射線による発ガンは自然発ガン率の 1%, 自然放射線による ill-health への寄与が全死亡数の 0.2% であるから, 米国民 1 人あたりについて自然放射線は発ガンに関して,

$$3000 \text{ 人/年} \times 400,000 \text{ ドル} \div 2 \times 10^8 \text{ 人} = 6 \text{ ドル/年}$$

ill-health への寄与では,

$$2000 \text{ 人/年} \times 400,000 \text{ ドル} \div 2 \times 10^8 \text{ 人} = 4 \text{ ドル/年}$$

計年間 10 ドルの health decremental value をもたらしめていることになり, これから man-rad は 100 ドルに相当するといえるとした。他に米国国民総生産を health に割当てるとすれば, man-rad は 250 ドルになっているが, その計算の根拠は不詳である。

このような計算を行いつつも, LEDERBERG は cost-benefit analysis に対し, あまり楽観的でない。その理由の 1 つに, 人々は定性的な判断を好み, 定量的なことからの判断になれていないことを指摘している。

5. UCRL の COHEN は, 核爆発の平和利用, 特にガス井戸からのガス採取を容易にするために核爆発を利用しようとする Plowshare 計画についての保健物理的側面からの紹介論文⁶⁾の中で, man-rad は 250 ドルであるとした。

論文の中で, 放射線被曝による cost の単位として rem があることから, それをもたらし活動を正当化することのできる benefit の単位として, mer (rem の

逆) という単位を新たに提案している。集団線量の単位 man-rem に対応する集団の利益の単位は merman である。merman の金額としては, 彼自身の独自の計算は行わず, 文献調査の結果から 250 ドルが合理的な値であろうとし, この額なら致死線量の 1000 rem では 250,000 ドルになり, この額は裁定金あるいは生涯稼働能力と矛盾することもないとしている。最後に, 次のような mer の応用例を示している。天然ガス採取に核爆発を利用し, それによって 1 人 1 mrem/年の被曝を受けるとすれば, 1 家族 6 人では 6 mmerman/年以上の benefit を受けるべきである。mer=250 ドルだから,

$$6 \times 0.001 \times 250 \text{ ドル/年} = 1.5 \text{ ドル/年}$$

以上 annual gas cost が安くなれば良い。

6. Science 誌上に発表した SAGAN の論文⁷⁾は, man-rem の金額にふれ, それは 30 ドルに相当するとしている。

彼の論文は, 原子力発電にかかわるウラン採掘から使用済核燃料再処理までの一連の過程のそれぞれにおいて, 職業人および一般公衆が受ける放射線被曝量を man-rem 30 ドルによって, また, 職業人の放射線被曝とは関係ない一般労働災害での事故死に関しては命の値段 300,000 ドルによって, 原子力発電にかかわる全 human-cost を計算したものである。ここで用いた man-rem 30 ドルという値は, 次のように計算される。すなわち, 米国労働省の時間賃金率表によれば, 1971 年の平均賃金は 30~40 ドル/日であり, このことから逆に人間の 1 日の生産力の loss は平均賃金と事業主が負担している年金, 休暇, 病欠, 事務管理費などを総計して 50 ドルに相当することになるとしている。さらに人間の死は, 人間が平均 40 年間働き, その中間で死亡すると仮定すれば 20 年, 6000 日の労働日の損失となり, すなわち, 死は生産力の損失という意味で

$$6000 \text{ 日} \times 50 \text{ ドル/日} = 300,000 \text{ ドル}$$

に相当することになる。なお, 彼も他人の計算した生命の金額を文献的に調査紹介し, 300,000 ドルがそれらと大きく隔っているわけではないと述べている。ただし, その中には数値として出てきたものとしては, 筆者が見た最高値が含まれている。それは, 米空軍の B-58 爆撃機の ejection system の開発維持費としての米空軍の出費は年間 9,000,000 ドルであり, 年間 1~3 人の命がこの system によって救われていることから, 命の値段は 3,000,000~9,000,000 ドルに相当するとしている。放射線の生物学的効果に関しては身体的効果にのみ着目し, ICRP Publication 14 から 1,000,000 man-rem で年間 100 人の発ガンがあると仮定すれば, 前述のように

人命の価値は 300,000 ドルであるから、1 man-rem は 30 ドルとなる。この値は急性被曝致死量が 1000 rem で、長期間被曝ではリスクが 1/10 に減少すると仮定しても、

$$300,000 \div 1000 \div 10 = 30$$

として得られる。

III その他の man-rem 金額の推定値

1. BEIR 報告での推定値

放射線の生物学的効果に関する米国 NAS-NRC 諮問委員会の報告書⁸⁾、いわゆる BEIR 報告では、第 5 章遺伝的効果の中で放射線の経済的費用算定の試みとして、LEDERBERG の算定を紹介している。算定の考え方は前述第 II 章 4 と類似しているが、その実際は若干異なり以下のようなものである。

1970 年の米国における医療費総額は年間 8×10^{10} ドルであり、米国民人口は約 2×10^8 人であるから、国民 1 人あたりの年間医療費は 400 ドルである。ここでは放射線の遺伝的効果を考えて、1 世代の 1 人あたり医療費は

$$400 \text{ドル/年} \times 30 \text{年} = 12,000 \text{ドル}$$

であるといえる。次に、30 年間に 5 rem (0.17 rem/年) の被曝によって、amount of illness が 0.5~5% 増加する（放射線の遺伝的倍加線量は 200~20 レムであることを意味する）と仮定すれば、1 rem の被曝では 0.1~1% の増加となり、

$$12,000 \times 0.1 \sim 1\% = 12 \sim 120 \text{ドル}$$

である。したがって、1 世代 30 年あたり 1 rem の被曝が平衡状態に達するまで何世代も継続すれば、1 人当たり 30 年間で 12 から 120 ドルの cost と等価な amount of illness を加えることとなる。すなわち 1 rem によってなされる危害の量(預託量)は、平衡状態に達しているかいないかにかかわらず、将来の全世代にわたっての積分値として 12~120 ドルの cost に相当する、としている。ただし、ここでもいくつかの注釈がついている。すなわち、この計算には moral を始め多くの要因を計算に入れなかったこと、health cost の全部が ill-health によるものではないこと、現在の health cost が poor health の total cost を表わしているものではないことなどにより、推定値に大きな不確定さの入る余地があることを指摘している。

2. NRC の政策的決定

これまで紹介してきた man-rem の金額に関する推定値とは全く異なった性格を持つ、すなわち暫定的にせよ政策的に決定されたものとして、米国原子力規制委員会(NRC)の man-rem あたり 1000 ドルがある。この内

容は周知のことと思われるが、ここでも一応簡単にふれておこう。

1975 年 4 月に、NRC は、軽水型発電炉からの放射性物質放出に関する ALAP という基準に適合するための設計目標の数値指針と運転の制限条件に関する立法措置(10 CFR 50 の Appendix I)を決定した。その中で、いわゆる 5 ミリレム規制を行い、さらに、軽水型発電炉からの放射性物質による炉から 50 マイル内の集団線量低減の価値が廃棄物処理設備のコストを上回るかぎりこの設備を増強することを求め、この集団線量低減の価値を計算する際は、全身 man-rem あるいは man-thyroid-rem あたり 1000 ドルを使用する、とした。ただし、この 1000 ドルは暫定措置であるとし、この集団線量低減の価値の金額への換算の問題について新しく公聴会を開催して意見の一致を得たいと提案している。暫定的にせよ 1000 ドルと決定した背景については、次のように述べている。環境報告書は man-rem あたりのドル値を文献的に調査し、10 ドルから 980 ドルにわたる値(大部分は 100~600 ドルの範囲、最新のものは 250 ドル)を得た。この中から、①増強機器の価値の評価において慎重側に考え、②きわめて道義的な価値と定量化困難な他の無形のものをしんしゃくして、上限をとり 1000 ドルと決定したとしている。なお、NRC は他の値でもそれを cost-benefit 計算に使用することが適切であると証明できれば、それを使用しても良いとしている。

IV お わ り に

放射線被曝による人間の生命に対するリスクとそれをもたらす活動の利益、あるいはリスクを軽減することによる価値とそのための費用を比較しようとするときの最大の問題点は、これまでに見てきたような、man-rem からドルへという単位の変換であることは、すでに述べたとおりであろう。ここで紹介した文献の著者らも、単位変換の重要性とともにその困難性を十分に認識しているように見える。その結果を反映しているのか、各論文に共通していることは、きわめておび腰の試算となっていることであるように見受けられる。

試算の姿勢はともかく、結果的には ICRP Publication 22 が述べているように、「これら推定値はその理由づけが確かとはいえないにもかかわらず、man-rad あたり 10~250 ドルの間にすべておさまっている」ことは興味深い。さらに、生命に対応づけられた金額は Publication 22 が言及した各著者によって、ほとんど変わらない (Table 1 を参照)。すなわち、man-rem の金額は、論文ごとにその計算方法が異なることはすでに見てきたと

Table 1 Monetary value of man-rem.

Author	Value of life (-saving)	Risk per rem	Dollars/ man-rad*	Ref. No.
DUNSTER	£ 100,000 £ 1×10 ⁹ /year (hospital service cost, U.K.)	somatic 3 10 ⁻⁵ /rad genetic doubling dose 30 rad	10—25	2)
HEDGRAN	questionnaires (about wrist-watches, \$ 40/man-rad)		100—250	3)
OTWAY	\$ 200,000	10 ⁻³ /rad	200	4)
LEDERBERG	(\$ 400,000)	somatic 1% genetic 0.2% (natural radiation)	100—250	5)
COHEN	\$ 250,000	10 ⁻³ /rem	250	6)
SAGAN	\$ 300,000	10 ⁻⁴ /rem	30	7)
LEDERBERG (BEIR)	\$ 8×10 ¹⁰ /year (medical expenses, USA)	20—200 rem genetic doubling dose	12—120**	8)

* referred by ICRP Publication 22. ** not referred by ICRP Publication 22.

おりであるが、LINDELL らのアンケートを除けば、結局のところ直接的あるいは間接的に生命に対応すると社会が考えているドル値を決定し、それと危険度（リスク）との積という形であらわしているといえる。そして各著者が採用したリスクは、最大 10⁻³/rad、最小 3×10⁻⁵/rad であり、変動幅が係数 30 であるのに対し、生命の値段は 200,000 ドルから 400,000 ドルの範囲、すなわち変動の係数は 2 である。主観的・感覚的な評価が入る余地が大きいと思われる生命の金額に変動が小さく、それらが入る余地が小さいと思われるリスクで変動が大きいことをどのように考えたら良いのか、簡単には評価できないが、人命に対するリスクを含めた cost-benefit balance という手法が、社会的意思決定の 1 つの手段として社会に受入れられるか否かに関連して、きわめて興味深いことであると筆者には思われる。

われわれ社会は、どんなにわずかな量でも生命にかかわる悪性の影響の発生確率を増大させると仮定できるような性質のものを社会に受入れるための合理的な手法をいまだ確立していない。最近になって、放射線以外にも放射線と類似の作用を持ち、それに対するに定量的な判断を必要とするものが社会に実際問題として多数あることが認識されるようになってきた。その例のいくつかは、環境変異原の中に見つけることができる。しかし、このような環境変異原のリスクに対しても合理的な評価方法が確立されているとはいえず、放射線のリスク評価 (man-rem の金額への換算も含めた) 法を追随しているとも思われるのが現状である (米国環境変異原学会による「環境変異原による障害」⁹⁾ に要領よくまとめられている)。

このように、金額への換算をも含めたリスク評価において、放射線のそれが先進的位置にある現状、ならびに

人類が有限の世界である地球上にあるかぎり、人類の行うある特定の活動を評価するとき、その利益と代価を定量的に評価することの重要性がますます増大するであろうことを認識すれば、いかに困難が多くとも、man-rem のドル値換算のような定量的リスク評価を進めることは、きわめて有意義であると思われる。ただし、現状において放射線の定量的リスク評価が完全なものであるとはいいがたく、その実際面への適用には細心の注意が必要であることはいうをまたない。

最後に、man-rem の金銭表現に関連した最近の文献を紹介したい。第 1 は米国放射線防護委員会 NCRP 報告 No. 43 であり、それは cost-benefit 比較に使用するという立場に立って放射線のリスク評価のレビューを行っており、その詳細は本誌 11 巻、133～140 (1976) に解説されている。もう 1 つは、国際応用システム分析研究所 (International Institute for Applied Systems Analysis) の出しているいくつかの研究レポートである。たとえば、LINNERTHOOTH の The evaluation of life-saving a survey (1975) は、生命に対応づけた金額の計算の仕方を広範にわたって総説し、特に、将来のための意思決定あるいは政策決定には、どのような考え方から計算した金額を用いるべきかなどについても言及している。なお、IIASA は 1972 年米ソの提唱で始った研究所であり、最近 IAEA との joint research project をいくつか行っている。

冒頭に述べたように、ここに紹介したものは、保健物理学会 ICRP 勧告検討委員会 (伊沢委員長) において各委員により分担紹介されたものである。委員の方々に、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国際放射線防護委員会勧告, 線量は容易に達成できるかぎり低く保つべきであるという委員会勧告の意味合いについて(1975), 日本アイソトープ協会.
- 2) H.J. DUNSTER and A.S. McLEAN; The use of risk estimates in setting and using basic radiation protection standards, *Health Phys.*, **19**, 121 (1970).
- 3) A. HEDGRAN and B. LINDELL; PQR-A special way of thinking?, *Health Phys.*, **19**, 121 (1970). 補 *Acta Radiologica, Suppl.*, **310**, 163—173 (1971).
- 4) H.J. OTWAY, J.B. BURNHAM and R.K. SOHRDING; Economic vs. biological risk as reactor design criteria, Presented at the IEEE Nuclear Science Symposium (1970). 補 H.J. OTWAY; The quantification of social values, LA-4860, 1—13 (1972).
- 5) J. LEDERBERG; Squaring an infinite circle: radiology and the value of life, *Bull. Atomic Sci.*, **27**, No. 7, 43—46 (1971).
- 6) J.J. COHEN; Plowshare: new challenge for the health physicist, *Health Phys.*, **19**, 633—639 (1970).
- 7) L.A. SAGAN; Human costs of nuclear power, *Science*, **177**, 487—493 (1972).
- 8) Report of the advisory committee on the biological effects of ionizing radiations, "The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation," pp. 69—70 (1972), NAS-NRC.
- 9) Environmental mutagenic hazards, *Science*, **187**, 503—514 (1975). 訳: 環境変異原による障害, 放射線科学, **19**, 41~57 (1976).

資料頒布のお知らせ

当会でまとめた下記資料を頒布しております。入手を希望される方は、本会事務局あてにお申し込みください。なお、郵送料は希望者が負担してください。

放射線事故等の原因分析と安全対策上の問題点の提起

A 4 判, 40 頁, 定価 300 円 (郵送料 70 円)