放射線リスクの容認できるレベルを判断するための手法 としてのリスクの相互比較法に関する考察

草間朋子*¹, 黒田 隆*¹, 吉澤康雄*¹

(1985年1月9日受理)

(1985年3月13日再受理)

Study on Comparison of Radiation Risk with Other Risks for Determining an Acceptable Level of Radiation Exposure of the Public

Tomoko KUSAMA,*¹ Takashi KURODA*¹ and Yasuo YOSHIZAWA*¹

KEY WORDS : radiation risk, risk comparison, acceptance of risk, public risk

I 緒 論

原子力・放射線利用の拡大に伴い、一般公衆の放射線被曝の可能性、機会が増大した。これに伴い、放射線リスクに対する一般公衆の関心もますます高まり、それに対する不安も大きい。

一般公衆が、原子力・放射線利用に伴う放射線被曝とまったく無関係でないことを考えると、原子力・放射線利用の開発、推進に際しては、放射線および放射線リスクに対する一般公衆の理解を得ることは不可欠である。

本論文では、原子力・放射線利用に伴う放射線リスクを受け入れることができるか否かを判断する手法のひとつとして、ICRPにより提案されている、リスクの相互比較法に着目して、放射線被曝に伴う一般公衆のリスクと、日常生活における放射線以外のリスクの定量評価を行い、両者の比較、検討を試みた。

II 放射線リスクが容認されるか否かを判断するための手法

1. 基本的な考え方

低線量の放射線被曝の際に問題となる影響は、発がんと遺伝的影響である。放射線防護の観点から、これらの影響にはしきい線量、すなわち影響が現れるための最低線量がないと仮定されている。この仮定にたてば、どんなに少ない線量の被曝であっても、その線量に応じた潜在的危険、すなわちリスクが存在する。放射線に限らず、すべての事象に対して絶対安全を求める傾向の強い一般公衆に、この仮定にたった放射線のリスクを理解させ、それを受け入れさせることはむずかしい。しかしむずかしいからといって、これを避けることはできない。

放射線リスクが受け入れられるか否かを実際に判断するのは被曝する可能性のある人々自身である。したがって、被曝する可能性のあるすべての人々が納得できる手法で、客観的にその判断が行われることが望ましく、原子力・放射線利用にさいしては、その手法を真剣に検討する必要がある。

2. リスクが容認できるか否かを判断するための手法

リスクが容認できるか否かを判断するための手法の主なものとしては、次の三つがあげられる。

*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 113.

- 1) リスク-ベネフィット法
- 2) リスクの相互比較法
- 3) ゼロリスク法

1) リスク-ベネフィット法

原子力・放射線利用に伴うマイナスの影響, すなわちリスクと, プラスの影響, すなわち便益(ベネフィット)とを相互に比較して, リスクが便益よりも小さければそのリスクを容認しようとする考えかたである。この考えかたは, 原子力・放射線利用によって損をするか, 得をするかでリスクを容認するか否かを判断しようとするもので, 感覚的には理解されやすい。

この手法では, リスクと便益を直接比較するために, 両者を同じ尺度(たとえば金銭評価)で表す必要がある。しかし, これは実際には困難であり, とくに, リスクを受ける集団と便益を受ける集団が異なる場合には評価はむずかしい。また, 便益が大きければ, 容認されるリスクもそれに対応して大きくしてよいことになる。しかし, 実際には, 便益がいくら大きくても, リスクがある程度の大きさになれば社会的に受け入れにくいものになるなどの問題点があり, 適用はむずかしい。

2) リスクの相互比較法

放射線リスクを, 放射線以外の種々のリスクと比較して, 放射線リスクが他のリスクと同程度か, それらよりも小さければ容認しようとする考えかたで, ICRP 1977年勧告¹⁾で, 具体的な定量評価の数値例をあげて提示された考えかたである。これは, 両者のリスクが死亡率, 罹患率などとして定量的に表されるために比較が容易であり, 客観的に評価できる。しかし, リスクを容認するか否かの判断に際しては, それぞれのリスクの大小だけでなく, 実際にはリスクを伴う行為による便益なども関係してくる。したがって, 放射線リスクとの比較対象とするリスクとして何に着目するかを決定する際には, リスクを伴う行為も含めた全体像を考察した上で選択する必要がある。

しかし, この考えかたを生活環境中に存在する数多くの有害要因に適用した場合には, 個々のリスクは容認されたとしても, すべての有害要因のリスクを合計すると容認しえない大きさになる可能性がある。この問題点を解決するために, 将来は, 環境中の有害要因全体に対して容認できるリスクの大きさが認められ, 放射線リスクは, その中のどの程度の割合を占めることが許されるか, という形で考察されなければならないであろう。

3) ゼロリスク法

リスクがゼロでなければ認めない, すなわち潜在的な

危険も認めない, という考えかたである。この考えかたの代表的なものとしては, アメリカのFDAが食品中の発がん物質に対して行っているデラニー条項がある。これは, 絶対安全を求める一般公衆にとっては, もっとも受け入れやすい方法である。しかし, 日常生活のなかで潜在的な危険がまったくないものはありえず, もしゼロリスク法を用いると, 放射線だけでなく, 大部分の行為は容認しえないものになる。放射線被曝による影響は, しきい線量がないことを仮定しているので, ゼロリスク法によれば, 放射線利用は, 容認できないことになる。

以上, 放射線リスクが容認できるか否かを判断する手法として, 現在考えられているいくつかの方法について問題点を述べた。本論文では, ①客観的な評価法として優れていること, ②ICRP 1977年勧告でとりいれられている考えかたであること, などを考慮し, リスクの相互比較法を日本の現状に適用することを試みた。

III リスクの相互比較法について

1. リスクの指標

放射線リスク(放射線影響の確率)が容認できるか否かについて, リスクの相互比較法を用いる際に, リスクの指標として何を用いるか, すなわちリスクをどのような尺度で表すかが重要な課題である。

低線量の放射線防護の場合, 問題となる影響は, がんと遺伝的影響である^{1,2)}。がんのリスクの指標としては, 発がん率(罹患率)と死亡率がある。本論文ではがんのリスクの指標として死亡率を用いることにした。これは, 乳がん, 甲状腺がん等を除き, 罹患率と死亡率との間に大きな差がなく, また, 放射線以外の要因は, 死亡のリスクより, 死に至らないリスク(非致死性の障害のリスク)が大きく, リスク全体に占める死亡のリスクの割合が, 放射線被曝の場合に比べて小さいので, リスクを死亡率で表し, それで比較すれば, 放射線にとって厳しい判断となると考えたからである。

さらに, 本論文では, 放射線影響としての遺伝的影響については考慮しなかった。これは, 放射線以外の有害要因については, 現在のところ, 遺伝的影響のリスクが定量的に評価されていないからである。放射線被曝による遺伝的影響のリスクは, がん死亡のリスクに比べて小さいので, がん死によるリスクが容認されれば, 遺伝的影響も含めた放射線被曝全般のリスクも容認されると考えられる。

2. 放射線リスクとの比較対象とするリスクがもつべき条件

リスクの相互比較法の手法としての適否は, 放射線リ

スクと比較するリスクが適切に選択されているか否かで決まる。リスクが容認できるか否かを選択する際には、たんにリスクの大小だけでなく、そのリスクを伴う行為の社会的、経済的な要因の全般に着目して判断されるのが実態である。このため、社会的、経済的要因、たとえばそれがもつ便益などが放射線利用と大きく異なるものを比較の対象として選択しても実際には意味がない。したがって、放射線リスクとの比較対象とするリスクは、次の五つの条件を備えている必要がある。

(1) 原子力・放射線利用に伴うリスクは、多くの人々が受ける可能性がある。したがって比較対象となる行為のリスクも特定の個人だけでなく、不特定多数の人々が被るリスクであること。

(2) リスクを低減させることを個人の努力で達成することはむずかしく、国の規制などでそれが行われていること。

(3) リスクを被ることによって得る便益が、原子力・放射線利用のそれとほぼ同程度であること。

(4) リスクが定量評価できること。

(5) 一般公衆が、その行為にリスクがあることを認識し、その行為に関心を持っていること。

本論文では、これらの条件を考慮しながら、放射線リスクの比較対象となるリスクとして、以下の六つの行為に伴うリスクを選び、それぞれについて検討した。

- (1) 交通事故
- (2) 飲料水中の有害物質
- (3) 大気中の有害物質
- (4) ガス事故
- (5) 喫煙
- (6) 予防接種

放射線リスクとの比較のために、それぞれの行為のリスクは、1年間の曝露等に対するリスクを求めた。これは、一般公衆の放射線被曝に対する線量当量限度は、1年間の被曝に対して決められており、その放射線防護体系の下での放射線リスクが受け入れられるか否かを判断する必要があるからである。

3. 放射線以外のリスクの定量評価

1) 交通事故によるリスク

交通事故は、その便益に対する一般公衆の認識が放射線利用のそれに比べて大きいこと、個人の注意・不注意でリスクを変えることができることなどの点で、放射線リスクとの比較対象としては問題がある。しかし、ICRP 1977年勧告では、日常生活での容認できるリスクレベルの一例として、公共の交通機関の利用によるリスクがとりあげられているため、日本のデータで同様の検討を試

みた。

交通事故は、自動車事故、鉄軌道事故、船舶事故、および航空機事故の四つに分類される。このうちで、自動車事故は、自動車台数、運転免許保有者数が多いことから、われわれの日常生活でもっとも身近なリスクである。1982年の交通事故による死亡率を人口動態統計等^{3,4)}から求め、第1表に示す。

第1表に示した死亡率は、全人口を母集団として求めた値である。したがって、実際の自動車の所有状況、船舶等への利用状況は考慮せず、すべての日本人がおのの交通事故に遭遇する機会等は等しいとしてリスクを求めた。船舶等の利用者のみを対象としてリスクを求めた場合には、リスクはこれよりも大きな値を示す。

2) 水道水中の有害物質によるリスク

飲料水中に存在する有害物質は、その量が微量であっても、多くの人々が長年にわたって摂取するため、その潜在的危険、すなわちリスクは無視できない。近年、公害などによって飲料水原水の水質が低下したことから、分析技術の進歩によって検出感度が向上したことがあいまって、飲料水中に多数の有害物質が検出され、報告されるようになった。本論文では、飲料水中のトリハロメタン (THM) に着目して、そのリスクを求めた。

THM は、飲料水中に含まれる有機塩素のひとつで、主成分はクロロホルムである。クロロホルムを $1\mu\text{g/l}$ 含んだ水を一生飲みつづけると、 3.7×10^{-7} のがん死亡のリスクがあることが報告されている⁵⁾。現在、日本における THM に対する規制値は $100\mu\text{g/l}$ で、実際の値は $40\sim 50\mu\text{g/l}$ (1978~80 の東京・大阪) である¹¹⁾。

THM のリスクを定量的に評価した報告はないので、THM のリスクは、その主成分であるクロロホルムのリスクと等しいと仮定してリスクを求めた。飲料期間、すなわち人間の一生を 70 年とすると、規制値の水を飲みつづけた場合のがん死のリスクは、 $5.3\times 10^{-7}/\text{年}$ であり、東京・大阪の水道水の場合のリスクは $2.4\times 10^{-7}/\text{年}$ である。

3) 大気中の有害物質によるリスク

大気中に存在する有害物質のリスクも、大気の汚染が日常化した現在では避けることのできないリスクのひとつ

第1表 交通事故による死亡率 (1982年)

自動車事故	$1.0\times 10^{-4}/\text{年}$
船舶事故	$4.0\times 10^{-6}/\text{年}$
鉄軌道事故	$3.6\times 10^{-6}/\text{年}$
航空機事故	$4.4\times 10^{-7}/\text{年}$

つである。

大気中には、数多くの物質が存在しているが、本論文では、二酸化イオウ、および浮遊粒子物質に着目し、そのリスクを求めた。

STARR らは、疫学調査により、大気汚染物質の濃度と、呼吸器疾患による死亡率との間には、以下の関係があることを報告している⁷⁾。

$$(\text{死亡率}) = 4 \times 10^{-5} \times (S \times P \times t)^{1/2}$$

ここで、 S は二酸化イオウの平均濃度 (ppm)、 P は浮遊粒子物質の平均濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)、 t は曝露期間。

1983年の、東京・大阪での大気汚染物質濃度の平均値は、二酸化イオウで 0.012 ppm、浮遊粒子物質で $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった⁶⁾。STARR らの式を用い人間の寿命を 70 年として、大気汚染による一年あたりの東京・大阪での死亡リスクを求めると、

$$\begin{aligned} (\text{死亡リスク}) &= 4 \times 10^{-5} \times (0.012 \times 49 \times 70)^{1/2} / 70 \\ &= 3.7 \times 10^{-6} / \text{年} \end{aligned}$$

となる。

4) ガス事故によるリスク

ガスは、都市ガス、あるいはプロパンガスの形で、日本のほぼ全家庭に普及し、家庭内での簡便な熱源として重要な位置を占めている。その一方で、ガス利用が原因の事故が発生し、毎年死傷者がでている。

ガス事故は、①中毒（ガス中毒、不完全燃焼による CO 中毒）、②爆発・火災の二つからなる。これらのガス事故による死亡リスクは、年度により多少の変動はあるが、1982 年は、 3.6×10^{-6} であった^{3,9)}。

このことから、日常生活でのガス利用によるリスクは、 $3.6 \times 10^{-6} / \text{年}$ となる。

5) 喫煙によるリスク

喫煙が、人間の健康に害があることは、すでに多くの疫学調査等によって認められている。喫煙によるリスクを被るか否かの選択は、各個人の意志によって決められるので、放射線リスクとの比較対象としては必ずしも適切でない。しかし、日本人の成人男子の約 7 割が喫煙者であり、喫煙はもっとも身近なリスクのひとつであるので、放射線リスクを身近なリスクと比較し、一般公衆の理解を容易にする、という観点から対象としてとりあげた。

喫煙による健康への影響に関する有用な情報としては、国立がんセンターの平山の疫学調査結果⁸⁾がある。平山の調査結果では、日本の男性のがん死の約 30%、女性のがん死の約 5% が、喫煙が原因であるとしている。この結果を 1982 年の人口動態統計にあてはめることにより直接喫煙によるがん死亡のリスクは、日本人の

全集団を母集団と考えた場合には、 $2.8 \times 10^{-4} / \text{年}$ となる。

近年、喫煙の害は、直接喫煙者だけではなく、その周辺の人々にもおよぶという、間接喫煙の害が問題にされるようになった。しかし、間接喫煙のリスクを定量的に評価したデータは存在しないので、ここではリスク評価を行わないこととした。

6) 予防接種によるリスク

予防接種は、伝染病の発生と拡大防止のために、法令の規制のもとに実施されている。その一方で、予防接種が原因による健康被害が発生しており、リスクのある行為のひとつである。予防接種のリスクは、その対象が乳幼児であるという点で、放射線リスクとの比較対象としては問題がある。

しかし、法令によって、すべての乳幼児に接種が義務づけられており、日本人としては避けられないリスクであることから、本論文でとりあげることとした。予防接種が原因による健康被害に対する最近の国の認定状況を第 2 表に示す¹⁰⁾。予防接種によるリスクを、以下の点を考慮して求めた。多くの予防接種は 0 歳から 6 歳までの間に行われ、接種事故も抵抗力の弱いこの年齢層で大部分が発生すると考えられる。一人の乳幼児には、0 歳から 6 歳の間に 7 回（混合接種が行われるので、接種するワクチンの数はこれより多い）の予防接種が行われる。第 2 表に示した予防接種事故による、認定された死亡者数と、一年間に接種を受ける乳幼児ののべ数からリスクを求めると、最近 5 年間の平均リスクは、 $1.0 \times 10^{-7} / \text{年}$ となる。

4. 放射線以外のリスクと放射線リスクとの比較

本論文で試算した、日本における環境中の有害要因のリスクの大きさをまとめて第 1 図に示す。日常生活にお

第 2 表 予防接種による健康被害の認定状況

接種 年次	医 療 費 医 療 手 当	死亡一時金 葬 祭 料
1976	6	
1977	18	
1978	29	2
1979	44	2
1980	33	1
1981	25	1
1982	26	1
1983	4	1

資料：厚生省保健医療局感染症対策課資料

第1図 環境中の有害要因のリスク (年当りのリスク)

ける種々の環境要因の年あたりのリスクは、 $10^{-3} \sim 10^{-7}$ の範囲にある。これらの環境要因のリスクをできるだけ下げようとする努力が、国や地方自治体等によってもなされているにもかかわらず、リスクの大きさは、ここ数年変化していないのが実情である。

第1図からも明らかなように、自動車事故と喫煙のリスクは、他のリスクに比べて大きい値を示している。これは、リスクを伴う行為の便益が、各個人にとって身近に感じられること、あるいは、リスクを被る個人が、リスクが大きいことを承知でその行為を行っていることなどが理由として考えられる。とくに車の利用は、危険であることは承知でも、多くの人々にそれに見合う便益をもたらしており、今日では、日常生活には欠かせないもののひとつになっている。この二つを除いた人為的なリスクの大きさは、年あたり 10^{-7} から 10^{-5} の範囲にある。

放射線リスクは、ヒトの疫学調査結果に基づいて求められたリスク係数として、ICRP 1977 勧告で提示されている。これは、がん死のリスクとして、 $1.0 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ ($1.0 \times 10^{-4} \text{ rem}^{-1}$)、遺伝的影響のリスクとして、 $4.0 \times 10^{-3} \text{ Sv}^{-1}$ ($4.0 \times 10^{-5} \text{ rem}^{-1}$) の値が示されている。

原子力・放射線利用に伴う放射線リスクは、被曝線量とこのリスク係数を用いて求めることができる。

すべての人工線源からの一般公衆に対する被曝線量(医療被曝を除く)は、もっとも被曝する個人で、年間 5 mSv (500 mrem) を超えないように国際的に規制されており、日本では、一つの原子力発電所からの被曝は、年間 50 μSv (5 mrem) 以下になるよう定められている。日本人全体が、基準値まで放射線被曝した場合のリスクは、全人工放射線源について、 5×10^{-5} /年、原子力発電所について、 5×10^{-7} /年、(重畳効果は考えない)である。一般公衆に対する線量当量限度、あるいは管理目標値は、最大に被曝する個人に対する規制値であり、国民

全体の平均のリスクは、 5×10^{-5} /年よりはるかに小さく、第1図に示した日常生活のリスクの範囲内である。

リスクを容認するか否かの判断は、実際には、被曝する可能性のある人々によって行われる。この場合、日常生活における放射線以外のリスクが年あたり 10^{-7} から 10^{-5} の範囲内であり、放射線リスクもこの範囲にあるという事実が判断のひとつの材料とされるであろう。

放射線リスクは、環境中の多くのリスクに比べて厳しい判断をされる傾向がある。これは放射線リスクに対する一般公衆の知識が不足しており、特別視される傾向があるからである。

IV リスクの相互比較法の今後の課題

リスクの相互比較法によって、一般公衆が、放射線リスクを容認するか否かの判断を行う際の今後の検討事項として、以下の3点が重要な課題である。

- (1) 公衆にリスクに対する正しい理解をもたせること。
- (2) ゼロリスクがありえないことを認識させること。
- (3) 放射線リスクと比較する、他の有害要因によるリスクの定量評価が十分になされること。

一般公衆にリスクの概念を認識させることはむずかしいという意見が多い。しかし、低線量被曝しか問題にならない現在では、リスクの概念をさまざまな手法を用いて理解させることは、放射線利用・原子力開発にとって不可欠である。一般公衆のゼロリスク指向、すなわち絶対安全への希求は、リスクがあるというだけで、その行為を容易には受け入れようとはしない。しかし、放射線だけでなく、さまざまな環境要因の検出のための検査技術の発達等により、検出感度・精度が向上し、リスクがゼロであるような行為、物質の存在は考えられないのが現実であり、リスクがゼロの行為、物質は存在しない、ということを経験に一般公衆に十分認識させるべきである。

また, リスクの相互比較法を用いて, 放射線リスクが容認できるか否かを検討するためには, 放射線リスクだけではなく, 放射線以外の環境中の有害物質のリスクについても十分検討されなければならない。放射線リスクの特徴を考えると, ①われわれの生活に身近で, ②長期間にわたって微量の曝露をうけ, ③がんのような晩発効果をおこす, などの特徴をもつ環境中の有害物質のリスクが, 放射線リスクの比較の対象としてとくに重要である。このような特徴をもつリスクに関する知見がより多く集積され, これらの知見のもとに, リスクの相互比較法が適用されるのであれば, 一般公衆の理解は, 得やすくなるであろう。

V 結 語

本論文では, リスクの相互比較法に着目し, 日本のデータを用いて環境中の有害要因のリスクについて検討し, 放射線リスクとの比較を試みた。

原子力・放射線利用をすすめるにあたって, 放射線リスクに対する一般公衆の理解と合意を得ることが不可欠であることを考えると, 多くの人が納得できるような評価手法の開発や, そのためのデータの集積が今後積極的に実施される必要がある。

参 考 文 献

- 1) ICRP; ICRP Recommendation of the Inter-

national Commission on Radiological Protection (Adopted Jan. 17, 1977), ICRP Publication 26 (1977), Pergamon Press, London.

- 2) United Nations, UNSCEAR 1982 Report General Assembly; "Ionizing Radiation: Source and Biological Effects," U.N. (1982).
- 3) 厚生統計協会; 昭和57年人口動態統計 (1984).
- 4) 総理府; 交通安全白書, 昭和59年版 (1984).
- 5) He. F. KRAYBILL; Carcinogenesis of synthetic organic chemical in drinking water, *J. AWWA* (July, 1981).
- 6) 環境庁大気保全局大気規制課; 日本の大気汚染状況 (1983).
- 7) C. STARR, M.A. GREENFIELD and D.H. HAUSEKENCHT; A comparison of public health risk nuclear vs oil-fired power plants, *Nuclear News* (October, 1982).
- 8) 平山 雄; 喫煙の臨床的意義, 日本医事新報, No. 2940 (1980).
- 9) 消防庁; 消防白書, 昭和58年版 (1983).
- 10) 西 三郎; 予防接種判決と衛生行政, *ジュリスト*, No. 820 (1984).
- 11) 平凡社; "平凡社世界大百科年鑑", 1982版 (1982).