

NIRS-M-117
ISSN 1343-0769

放医研 図書室



801997015

放医研環境セミナーシリーズ No. 24

放射線被ばくの社会的評価

— チェルノブイリ事故から学ぶ —

内山 正史 編
藤元 憲三

放射線医学総合研究所

放医研環境セミナーシリーズ No. 24

放射線被ばくの社会的評価

— チェルノブイリ事故から学ぶ

内山 正史 編
藤元 憲三

**Evaluation of Effects from Radiation Exposure
on the Society
— Lessons from the Chernobyl Accident —**

**Proceedings of
The Twenty-fourth National Institute of
Radiological Sciences
Seminar on Environmental Research
Chiba, December 5 – 6, 1996**

**Edited by
M. Uchiyama
&
K. Fujimoto**

**March 1997
National Institute of Radiological Sciences
Chiba, Japan**

序に代えて

代替エネルギーが開発されそれらへの依存度が急速に増加するまでは、エネルギー供給源としての原子力依存は今後とも強まる趨勢にある。しかし、10年前に勃発したチェルノブイリ原子力発電所事故は原子力の持つ両刃の負の一面をあらためて知らしめた。さらに昨年末のもんじゅ事故により我が国における原子力エネルギー利用に歯止めがかけられた印象を受ける。放射線の危なさを評価し、これを正しく理解して伝える努力が今後の原子力利用の受容に必要とされる。

放射線医学総合研究所では平成8年度に環境部門の再編成が実施され、放射線被ばくの健康影響に関わる問題を社会的側面をも含めて研究の対象とする人間環境研究部と先端科学に関連する環境負荷と生物影響の認知基準を対象とする第4研究グループ及び那珂湊放射生態学研究センターが発足した。放射線被ばくから生じる心身の健康影響及び物的影響を評価する尺度について、研究の必要性がセミナー実行委員会で共通した認識となり、第24回放医研環境セミナーは「放射線被ばくの社会的評価」ーチェルノブイリ事故に学ぶーのタイトルで、平成8年12月5日、6日に放医研講堂で開催された。第1日目はチェルノブイリ事故の事故影響の実態を理解することに当てられた。事故以後に生じた健康影響、社会的影響、事故初期の医療、介入などの発表や放射線影響の社会的特異性についての考察が述べられた。また、この事故の健康影響として指摘されている精神健康への影響について原爆被ばく者の精神健康状態、リスク認知の2つの特別講演が行われた。第2日目はリスクの社会的影響研究が課題であった。事例について公衆衛生学と社会医学からの発表、放射線被曝と疫学調査、放射線防護におけるリスク評価の問題点が述べられた。一般市民のリスク受容の観点からリスクコミュニケーションのセッションも置いた。事故の社会的影響について航空機事故を例に取り、事故教訓の生かし方、安全文化の考え方について特別講演が行われた。生体リスク評価の諸問題についての特別特別講演では、公衆のリスクの考え方に配慮し、不安をクリアする責任が専門家にあることが説かれた。

リスクを考えるべき範囲について分野によりかなり見解に違いのある現状が明らかになった。この溝を埋める努力をしつつ、この新しい環境部門の研究が健全に進展することを祈念する次第である。

年末を控えご多忙であり、しかも生憎の荒天にも関わらず多数の方のご出席により、総合討論を含めて活発な、示唆に富む発言をいただき充実したセミナーになりました。環境セミナーとしては今回はかなり異色の内容ではありましたが、放射線安全研究に身を置く研究者として避けて通れない問題であるという認識をお持ちの方が多かったものと推察されます。参加者に感謝するとともに、企画と運営に携わったセミナー実行委員と事務局、並びに当日お手伝いいただいた関係者に感謝の意を表します。また当セミナーの共催と講演を快諾された草間朋子日本保健物理学会長、開会の辞をいただいた平尾康男放医研所長、閉会の辞をいただいた稲葉次郎科学研究官にお礼申し上げます。

第24回放医研環境セミナー実行委員会

委員長 内山 正史

目 次

序に代えて	内 山 正 史	
座長一覧		
執筆者一覧		
セッション I チェルノブイリから 10 年		
1. IAEA 国際会議 (1996 年 4 月)		
1-1 概要	内 山 正 史	1
1-2 健康影響-甲状腺障害	長 瀧 重 信	9
2. 社会的影響		
2-1 食品の輸入規制	出 雲 義 朗	14
2-2 ポーランド在留邦人とヨード剤の服用	舘 野 之 男	26
2-3 国際協力 マスクリーニング	星 正 治	35
特別講演 I		
原爆被ばく者の精神健康状態	中 根 充 文	42
セッション II チェルノブイリ事故から学ぶ		
1. 放射線影響の社会的特異性	草 間 朋 子	53
2. 事故初期の医療	赤 沼 篤 夫	60
3. チェルノブイリ事故から学ぶ-介入	保 田 浩 志	70
セッション III 種々のリスクの社会的影響		
1. 放射線被曝の社会的影響と疫学調査	吉 本 泰 彦	78
2. 放射線防護におけるリスク評価の問題点	米 原 英 典	91
3. 環境汚染の社会的影響		
-光化学スモッグ、鉛中毒事件を例として-	荒 記 俊 一	100
4. 大気汚染の社会的影響	村 上 正 孝	108

セッションⅣ リスクコミュニケーション

- 1. リスク認知の学習効果 神 田 玲 子 114
- 2. 社会心理学的観点から 吉 川 肇 子 121

特別講演Ⅲ

- 事故の社会的影響 黒 田 勲 128

特別講演Ⅳ

- 生体のリスク評価の諸問題 松 原 純 子 132

- 総合討論 140

第24回放医研環境セミナー「放射線被ばくの社会的影響の評価

- ～チェルノブイリ事故から学ぶ」プログラム 143

- 第24回放医研環境セミナー実行委員会委員一覧 144

Contents

Editorial Note

List of Chairpersons

List of Contributors

SESSION I International Conference One decade after Chernobyl: Summing up the consequences of the Accident

1. General and thyroid diseases

- 1 – 1 Outline of the IAEA International Conference titled ONE DECADE
AFTER CHERNOBYL M. Uchiyama
- 1 – 2 Health Consequences of the Chernobyl Accident: Thyroid Diseases S. Nagataki

2. Social impact of the Chernobyl accident

- 2 – 1 Radioactivity Monitoring and Import Regulation of the Contaminated Foodstuffs
in Japan following the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident Y. Izumo
- 2 – 2 Administration of Stable Iodine to the Japanese in Poland at the time of
Czernobyl Accident Y. Tateno
- 2 – 3 International cooperation Mass screening M. Hoshi

SPECIAL LECTURE I

- The Mental Health State of Atomic Bomb Survivors Y. Nakane

SESSION II Lessons learned from the Chernobyl accident

1. Current features on risk perception and risk communication of radiation T. Kusama
2. The Initial Medical Activities at the Accident A. Akanuma
3. Learned from Chernobyl Accident–Intervention H. Yasuda

SESSION III Social consequences by differences in risk perceptions

1. Influence of Radiation Exposure on Our Society and Epidemiological Study Y. Yoshimoto
2. Some points of issue on risk assessment for radiation protection H. Yonehara
3. Social Effects of the Tokyo Photochemical Smog and Occupational Lead Poisoning S. Araki
4. Social Impact by Air Pollution M. Murakami

SESSION IV Risk Communication

1. The Influence of Knowledge on Risk Perception R. Kanda
2. Risk Communication — A Social Psychological Perspective T. Kikkawa

SPECIAL LECTURE III

- Social Impact of Accidents I. Kuroda

SPECIAL LECTURE IV

- Estimation of Health Risks and About What we should Discuss Now
..... J. Matsubara

GENERAL DISCUSSION

座 長 一 覧 (担当セッション順、敬称略)

List of Chairpersons

(所属は平成8年12月現在)		
1. セッションI-1	藤 元 憲 三	放射線医学総合研究所
2. セッションI-2	中 村 清	放射線医学総合研究所
3. 特別講演I	中 村 裕 二	放射線医学総合研究所
4. セッションII	篠 原 邦 彦	動力炉・核燃料開発事業団
5. 特別講演II	熊 澤 蕃	日本原子力研究所
6. セッションIII 1, 2	石 樽 信 人	放射線医学総合研究所
7. セッションIII 3, 4	御園生 淳	電力中央研究所
8. セッションIV	隈 元 芳 一	放射線医学総合研究所
9. 特別講演III	小 林 定 喜	放射線医学総合研究所
10. 特別講演IV	藤 高 和 信	放射線医学総合研究所
11. 総合討論	内 山 正 史	放射線医学総合研究所

執筆者一覧

(発表順、敬称略)

List of Contributors

(所属は平成8年12月現在)

内山正史	放射線医学総合研究所	吉本泰彦	放射線医学総合研究所
長瀧重信	長崎大学	米原英典	放射線医学総合研究所
出雲義朗	国立公衆衛生院	荒記俊一	東京大学
館野之男	放射線医学総合研究所	村上正孝	筑波大学
星正治	広島大学	神田玲子	放射線医学総合研究所
中根允文	長崎大学	吉川肇子	筑波大学
草間朋子	東京大学	黒田勲	早稲田大学
赤沼篤夫	放射線医学総合研究所	松原純子	横浜市立大学
保田浩志	放射線医学総合研究所		

1. IAEA 国際会議 (1986年4月)

1-1 概要

内山正史
放射線医学総合研究所

Outline of the IAEA International Conference titled ONE DECADE AFTER
CHERNOBYL : Summing up the Consequences of the Accident

Masafumi Uchiyama
Division of Human Radiation Environment,
National Institute of Radiological Sciences
4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba-shi 263, Japan

ABSTRACT—In April 1996 in Vienna, Austria an international conference organized by the European Commission, the International Atomic Energy and the World Health Organization was held to sum up the consequences of the Chernobyl accident. The following is a overview.

1. There are three significantly important groups to be studied. The first is the 200,000 or so emergency and recovery workers that worked there from 1986 to 1987. The second is the 115,000 evacuees moved from April 27 to the middle of August 1986. The third is 150,000 individuals with thyroid doses confirmed by direct external measurements. Medical follow up studies are necessary to continue monitoring the heavily affected population.

2. 137 emergency workers were diagnosed with acute radiation sickness. There were 28 victims in the first three months. Over 800 children were confirmed to have thyroid cancers. There were 3 victims. No significant increase was observed in the number of cancers including leukemia. Non-specific health effects increased among the recovery workers.

3. In general the implemented countermeasures were effective for mitigating internal dose but less effective for the external dose.

4. The change in demographic composition and the implementation of food controls resulted in serious social effects to the heavily affected areas. The accident had negative effects on social activities through malignant social, economic and political changes. Incomplete and distorted information on the consequences of accident and the mitigation measures made situation more complicated.

5. Psychological effects appeared in the public and caused serious health disorders. Many factors continue to have significant health effects.

6. Negative psychological and economic impact may exceed the net benefit if further countermeasures are taken in many of the affected areas. All political implications should be considered when deciding future countermeasures. The mitigation of psychological impacts must be also studied.

7. Symptoms of anxiety and related mental stress appear to be among the most notable legacies of the accident. 20 May 1996.

I はじめに

世界を震撼させたチェルノブイリ原子力発電所事故が発生してから10年の年月が経過した。この節目にあわせて1995年後半からジュネーブ、ミンクスなどでこの事故から受けた損害や学んだ教訓についての総括がなされてきた。この事故の影響に関しては膨大なデータがあり、信憑性について議論の余地のあるデータも多い。このような状況に鑑みて、国際的にコンセンサスの得られた数値を定めることを目的の一つとして、1996年4月にIAEA, WHO, ECによる国際会議「チェルノブイリ事故10年後の事故影響の総括」がウィーンで開催された。膨大な内容を効率的に検討するために、内容を8領域に分割して各領域ごとに専門家パネルを設定して準備されたバックグラウンドペーパーに基づき議事が進められた。その領域は背景、放射線量、臨床的に観察された影響、甲状腺の影響、長期健康影響、心理的影響、環境への影響、社会、経済的、制度的及び政治的影響、原子力安全と石棺、展望と将来予測であり、69項目にわたり総括されている。この他にポスターセッションがあり事故影響について現在なされている研究への理解を深める助けとなっていた。この会議の詳細はすでに行われた和訳⁽¹⁾や紹介^(2,3)の記事及び発刊されているプロシーディング⁽⁴⁾に譲り、本稿ではウクライナ国、ベラルーシ共和国、ロシア連邦に限定して概要を紹介する。

II 概要

1. 放射能の放出量

放出された放射性物質の全放射能は約 $12 \times 10^{18}\text{Bq}$ 、このうち放射性希ガスが $6 \sim 7 \times 10^{18}\text{Bq}$ であった。放出された放射性物質の全放射能は事故当時の使用済み燃料の約3～4%であったが、希ガスは100%、揮発性核種としては ^{131}I が $2 \times 10^{18}\text{Bq}$ で50～60%、放射性セシウムは、それぞれ20～30%に相当するが ^{134}Cs が $0.6 \times 10^{18}\text{Bq}$ 、 ^{137}Cs が $0.09 \times 10^{18}\text{Bq}$ 環境中に放出された。

2. 嚴重管理地域の範囲

大気中に放出された放射性核種が地表に蓄積した。このうち測定しやすい ^{137}Cs の地表濃度が $185\text{kBq}/\text{m}^2$ 以上の地域を嚴重管理区域に指定している。ウクライナ国、ベラルーシ共和国、ロシア連邦に属する嚴重管理区域の面積は、 $4,600\text{km}^2$ 、 $16,500\text{km}^2$ 、 $8,100\text{km}^2$ となっている。さらに、一般公衆が接近を禁止され、退去が必要とされた地域が $4,300\text{km}^2$ になっている。約11万6千人が1986年4月27日から8月中旬にこの地域から立ち退いている。

3. 放射線障害を追跡すべき重要対象集団と線量

放射線障害を追跡すべき重要対象として次の3集団がある。被ばく線量の状況を添えて示した。

- (1) 1986～1987年に暴走した原子炉の制御、放射能除染作業に従事した約20万人が平均100mSv台の線量を受け、そのうち数%は500mSv以上の線量を受けた。チェルノブイリ事故の影響の除去活動には延べ約60万から80万人が参加した。
- (2) 1986年4月27日から8月中旬にわたり移住させられた公衆約11万6千人がいるが、5%が100mSv以上に被ばくした。
- (3) 甲状腺の放射性ヨウ素量の直接測定が行われた15万人の甲状腺線量は数Svにまで及ぶ例があった。

なお、1986年から2056年まで70年間の預託線量は555～1480kBq/m²の汚染密度の地域に生活する人で約20～50mSv、185～555kBq/m²の地域では5～20mSvと予測されている。

4. 健康影響

- (1) 事故直後に暴走した原子炉の制御や消火に当たり放射線に大量に被ばくした者のうちで237人が急性放射線症と診断された。最初の3ヶ月に28人が死亡した。急性期以後、10年間に14名が死亡したが放射線症の重篤度との関係は不明である。
- (2) 最も汚染された3カ国で事故前に出生した小児や胎内にいた小児の間で甲状腺がんが明らかに増加した。1995年末までに診断時に0～15歳の小児に約800例の小児甲状腺がんが確認され、そのうち約400例がベラルーシ共和国から報告された。事故から6ヶ月以後に出生した小児では発生数が激減して、被ばくしていない集団に期待される罹患率に戻った。甲状腺がんの発生が汚染地域に偏ったことと、発生率の経過は病因がチェルノブイリ事故にあることを示している。今後とも甲状腺がんの発生は続くと考えられている。放射性ヨウ素と病因との関連が示唆された。甲状腺がんの発生増加に関連して、ヨウ素添加塩を使用することで影響を受けた地域に蔓延するヨウ素の欠乏を直すことが勧告された。
- (3) 事故による放射線被ばく起源のその他のがんの発生率に統計的に有意な変動はなかった。特に白血病の発生率には被ばくに帰し得る一貫した増加は検出されていない。
- (4) 放射能除去作業者ががん以外の疾病の頻度が増加した。健康診断の頻度と内容について公衆との間に格差があるために、放射線除去作業者とくにこれら疾病の頻度が高いとは言い切れない。事故で生じたストレスおよび不安と関連して疾病の頻度が増加した可能性が考えられる。

5. 介入

事故初期における食品の濃度規制の効果については若干の問題が残る。農業対策の有効な適用で、食物中へのセシウム移行を著しく減らすことができた。土壌のタイプにより対策の効果に差が生じた。草から牛乳への移行は数百倍も変化した。現在一般に集団農場で生産された食料がWHO/FAO Codex Alimentarius levels（世界保健機関／食糧農業機関 食品水準に関する規約）を越えるものはないが、自家農場産食料にはこの水準を超えるものがある。野生食材は今後数十年間にわたり高い¹³⁷Csレベルを維持すると思われるので将来の重要な内部被ばく源である。実施された対策は外部被ばくの低減には比較的效果がなかったが、内部被ばくを減らすためには非常に効果的な例もあった。立入禁止地帯には放射性物質が埋没されていて、その地域の線量率はかなり高い。また設置された放射性物質の臨時貯蔵所が合理的に管理されないと地下水に放射能による汚染の生じる可能性がある。

放射線医学的状況の解明および社会的圧力の増加と政治的情勢により、1990年から1995年末までの

間にウクライナで約5万3千人、ベラルーシで約10万7千人、ロシアで約5万人が更に移住させられた。新たな土地での生活状態への適応の難しさのために、重大な社会問題が生じた。

6. 社会的影響

30km 圏内が生活圏として完全に回復する見通しはついていない。汚染地域においては労働力と専門職が非汚染地域へ流出することで不足し、出生率の低下もあって人口学的な状況は悪化した。このため生産性が低下し、汚染地域の社会的経済的状況は補助金依存の度を強めている。放射線被ばくを制限するために課せられた規制が農業や工業の妨げになった。また一般住民の態度が、生産物の販売や輸出を難しくしていく生産地住民の減収につながっている。慣習に反して生活態度を規制することは非常生活が正常に営めないような状態に追い込むことになる。社会的影響の一例としてベラルーシ共和国における農業に関する影響を図1に示した。1995年のデータで billion dollars 換算である。農耕不適地に指定されたための損失がきわめて大きい。次いで放射能濃度の規制による減収の痛手が大きい。

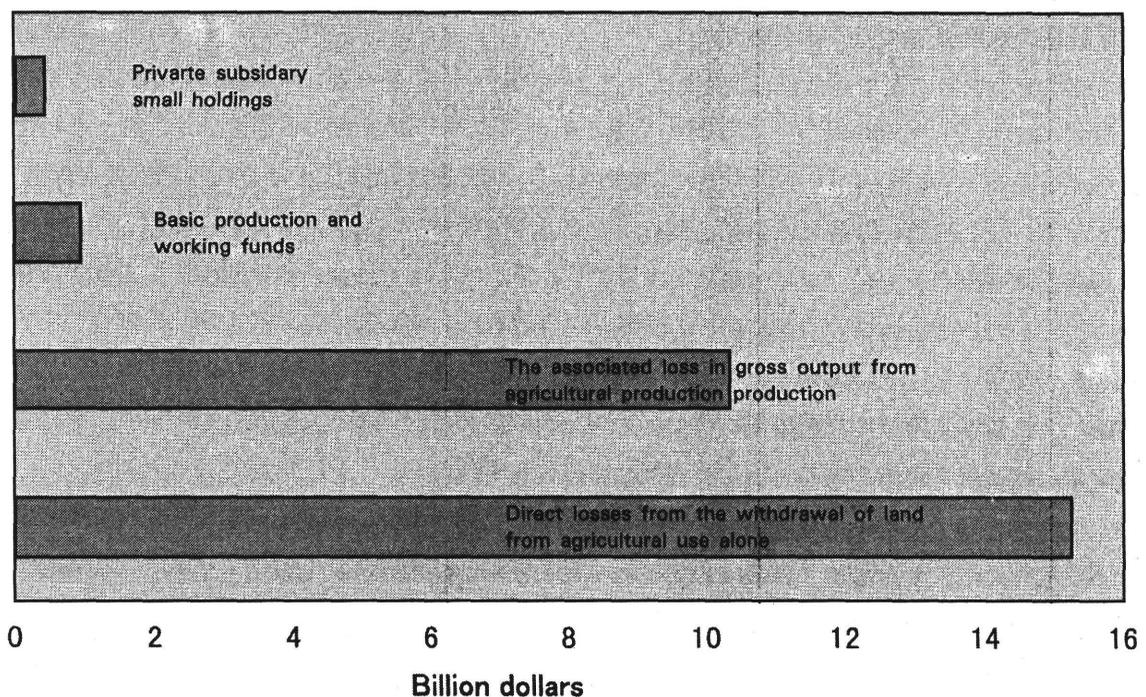


Fig. 1 Effects on agricultural production (Belarus, 1995)

各種の社会復帰方策が試みられてきたが、現在の放射線の状況、食品中の放射能の情報では不足であると多くの住民が感じている。放射生態学的モニタリングの結果に基づいて現在の補償体制を再検討し農業、工業を振興することも望まれる。

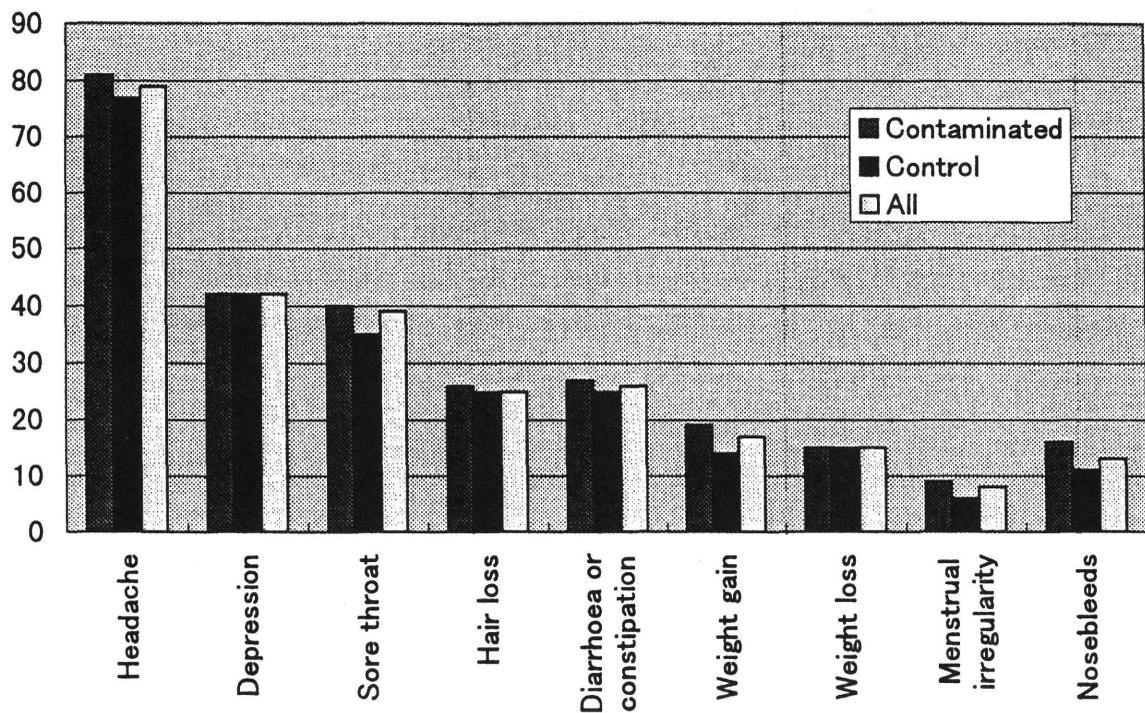
チェルノブイリ事故は政治的、経済的、社会的変化により生活や健康の質が悪化して、社会活動に負の影響をもたらした。事故の影響やそれらを緩和する方法について不完全で歪められた情報が広がり、状況はさらに複雑化した。

7. 心理的影響

事故直後の情報の欠如、強制移住、心の傷、社会的絆の切断、放射線被ばくによる健康損失の可能性が

ら生じる恐怖で放射線影響とは無関心に精神的ストレスのため、住民の間に重篤な健康障害や症状が観察された。

図2は直接の放射線障害とは考えられない疾病について、罹患の意識に対するアンケートの結果を示しているが、疲労、食欲不振、胸痛、甲状腺の病気や甲状腺腫、貧血については罹っていると答えた人は汚染地域に多かった。事故影響について高度に政治的な扱いが、重篤で長く続く心理社会的影響を引き起こしてきた。汚染地域集団の大半は現在の放射線の状況に関する情報や測定された食品中の放射性核種の情報が不十分であると考えている。事故後数年間事実の真相を知らされなかった集団が公式の発表を信用せず、現在増加している疾病のすべてが放射線によるにちがいないと感じることは理解できる。この放射線のリスクについて間違った認識やその結果生じる苦痛が人々を極端に傷つけている。放射線リスクに関わる長く続く論争、必要な対策、一般的な社会政策、および初期の被ばくに帰せられる甲状腺がんの出現も、心理的影響に関与している。放射線とは無関係の過去の事故経験によれば、心理的打撃は長く続く。事実チェルノブイリ事故後10年経って症状の発現は終わっていない。この影響の重要性は年とともに減るであろうことは期待できる。しかし、放射線リスクと対策の論争の続くことが、初期被ばくの影響が現在現れている（例えば1986年に被ばくした子供たちに甲状腺がんが有意に増加した）事実と結びつけられて症状を長引かせることもあろう。これらの事故による心理的影響をソ連の崩壊とそれによる経済的破綻に関連する影響から区別することは非常に難しい。



F1g. 2 Percentage of respondents who replied yes to possible symptom

8. リスク評価／リスク認知／社会的評価の基準

多くの汚染地域で現在の放射線水準を更に減らすための努力を将来も続けることの利益は、低リスクの観点から、公衆に与える負の心理的及び経済的打撃より少ないかもしれない。事故に対応して取られる対策により将来生じることが想定されるあらゆる種類の政治的打撃を、対策を実施するに先立ち考慮するべ

きであろう。加えて心理的打撃を緩和する方法が検討されなければならない。

公衆が危険の印象を持ったことで、困難な社会的・経済的状況、当局が事故の影響を最小にするのに採った対策、ある水準の放射能汚染が継続しているために事故への認識が実際より誇張されてきた感触がある。

人間関係に最大の利益を生み出すために実際の放射線医学リスクとそれによる経済的、社会的、心理的打撃の両方を考慮する方策の開発が重要である。心理的打撃はソ連の崩壊と無関係ではないため、どのような予測であってもウクライナ国、ペラルーシ共和国、ロシア連邦の3カ国の経済的、政治的、社会的環境を考慮すべきである。精神的ストレスに関係する不安のような症状は事故のもっとも重大な負の遺産に入ると思われる。

9. 信頼の回復

生活状況に影響し良い方向に変える個人の能力への信頼を作り出すことが早急に必要である。すなわち地域の状況の良好な発展を目標とする小規模な社会的プロジェクトを奨励すること、社会的問題に関心のある集団の回復を推進する組織を支援すること、放射線や防護行動について公衆の知識を増すこと、そして社会学的並びに心理学的活動領域の地域当局、専門家、研究者を含む現存するネットワークを発展させ、積み重ね、維持することが必要である。

10. 国家医学登録の質の向上

除染作業者については、注意深く設計された解析用プロトコルを一様に適用し、混在する対象外の因子を分別するために、現在の選別よりもさらに詳細に選んだ集団を追跡することで現存の国家登録の質は強化されるはずである。

生存する患者の生活の質を改善できる可能性のある良い兆候がある。少なくとももっとも重篤な放射線障害を受けた患者が、現在別の病気になっており、最新の治療と二次感染の予防とを必要としている。精神健康も影響されるかもしれない。放射線被曝に原因を求められる病像と、その集団に固有の因子によってもたらされる同じ病像を区別することが将来はもっとできるにちがいない。

11. 原子力施設

ダイナミック安全解析手法に従って、国際的に受容される安全レベルに合わない原子力施設についてはすべて適切な性能向上を実施するか、不可能であれば閉鎖すべきである。1991年にIAEA会議「原子力発電の安全性、将来戦略」で古いがなお操業している原子力発電所は現在の客観的な安全性に従ってしかるべきだという合意をした。原子力施設の安全性や原子力エネルギーに対する公衆の信頼を増すために、この目標に対して活発に行動して受容できる安全のレベルを確かにすることが第一に重要である。

12. 原子力安全

チェルノブイリ事故の主因は炉の物理的設計と遮断系の設計の重大な欠陥と手順の無視の重なりであった。事故の前に設計上の欠陥が知られていたにしてもソ連の責任ある組織における安全教育の欠陥のために、そのような設計の脆弱性を補う安全指導を行うことが期待できないような体制になっていた。

このような事故の原因に直接関わる主要点に加えて、RSMK工場の本来の設計がそのほかの欠陥によ

り影響を受けた。特に第一世代の RSMK の基本設計は現在の客観的な安全性に達していない。部分的閉じ込め概念のような欠点が残るので、さらに経過に注意していることが必要である。

現存する RBMK 発電所の原子力安全に必要な救済方策が過去 10 年間にわたり取られてきた。すなわち事故直後に取られた技術的及び組織的方策、事故を大きくした設計の欠陥を取り除くために 1987 年から 1991 年に実施された安全性向上がこれである。この結果、工場管理、要員の訓練、非破壊検査、安全解析のような領域で進歩が得られた。結果として、同じ事故シナリオの繰り返しは今日ではもはや事実上あり得ないと思われる。

安全性のための必要因子の選択と実施計画の存否の検討を急ぐことが国際共同と同じく国家の原子力計画にとり最優先であると認められた。

チェルノブイリ発電所に残っているユニットの閉鎖についてウクライナの決定が注目された。しかしこの決定が閉鎖までに残された操業時間に安全性の必要やバックフィットを無視する結果になってはならない。

13. 石棺の安全性

破壊された炉を覆う石棺は 10 年間後の今も放射性物質を散逸させないように防御する目的にはあっている。しかし今後長期間におよぶ閉鎖中の安定性については疑問である。崩壊により作業員の著しい被ばくを招く放射性塵の放出を招く可能性はあり得ない。照射されたものと未照射とを合わせて現在約 20 トンの核燃料が建材等と混ざり主に塵の形で石棺内にある。長寿命核種が残存しているが、放射能の全量は $700 \times 10^{15} \text{Bq}$ と推定される。最悪の場合でも飛散の影響が 30km 地帯外へ及ぶことはありそうではない。石棺の崩壊により生じるユニット 3 事故のリスクの重大さについては非常に様々な意見があり、更に詳細な調査が必要である。

批判的な見方でも現在石棺は安全であることが分かっている。しかしサイトの従業者への影響を明らかにすることが必要である。サイトに埋没された廃棄物の安全性を含めて、第 2 シェルターの建設が提案されている。費用効果を考慮して、崩壊の進行状況の調査と経済的条件に応じて適切な段階での対応が必要である。第一段階は現存する石棺の安定化であるべきで、これはシェルターの崩壊を著しく減らすことになる。またこの安定化作業は例えば第 2 シェルターの建設を含めて、さらなる方法の注意深い立案に必要な時間を作り出すはずである。石棺問題では適切な設計を開発する研究方法を増やすことや、石棺を生態学的に安全な系に変えるためのプロジェクトの実施が必要である。

14. 展望と将来予測

事故に原因が求められる致死的並びに非致死的がんの推定値は、不確実さを伴うことに注意して説明されるべきである。しかしこの推定値は長期健康影響の大きさについての予測を提供するし、例えば事故処理作業員の白血病と事故時に子供だった人の中での甲状腺がんが現在及び将来、特別に注目する領域であることを特定する助けになる。

事故時に子供であった人に現れている甲状腺がんの数は、甲状腺線量および現在のリスク投影モデルに基づいて予測されるがんの数と大きく矛盾する。この矛盾は標準モデルに型通りには乗らないこの事故に独特のいくつかの因子の結果であるかもしれない。これら因子との因果関係を解明することは甲状腺腫瘍検出計画を継続するのと同様に重要である。甲状腺がんの症例の増加が数十年間続くことはほとんど確かなことであろう。現在のデータに基づいた予測ではないが 1986 年に子供であった人の甲状腺がんの推定

値は数千人の範囲になる。

がんが初期段階で診断され、適切な処置がなされるならば死亡数はこれより遙かに少ないはずである。生涯にわたる綿密な追跡が必要である。

事故後に被ばくしたいろいろな集団を含む一般の人の健康に、経済的困難のような多くの因子が著しい影響を持っている。旧ソ連の罹患率や死亡率は明らかに一般的に上昇したが、これらを見放した被ばく集団の統計検査は観察された傾向が事故によるものであると間違えた説明をすることになり得る。

生態系への長期的遺伝的影響の可能性はなお研究を続行すべきである。

文 献

- 1) 財団法人放射線影響協会 チェルノブイリ事故疫学調査委員会訳：放射線科学、39(8), 81-290 (1996).
- 2) 保田浩志：日本原子力学会誌 38 594-596 (1996)
- 3) 内山正史：放射線科学 39(8) 358-359 (1996)
- 4) Conference Proceedings 'One Decade After Chernobyl: Summing Up the Consequences' Vienna, 8-12 April 1996 IAEA, Vienna.

1 - 2 健康影響 - 甲状腺障害

長瀧 重信、芦澤 潔人

長崎大学医学部第一内科

Health Consequences of the Chernobyl Accident: Thyroid Diseases

Shigenobu Nagataki, Kiyoto Ashizawa

The First Department of Internal Medicine,

Nagasaki University School of Medicine

1-7-1 Sakamoto, Nagasaki, 852 Japan

ABSTRACT - An International Conference entitled "One decade after Chernobyl: Summing up the consequences of the accident" was held at the Vienna from 8 to 12 April 1996. The aim of conference was to seek a common and conclusive understanding of the nature and magnitude of the consequences of the Chernobyl accident. It was concluded that a highly significant increase in the incidence of thyroid cancer among those persons in the affected areas who were children in 1986 is the only clear evidence to date of a public health impact of radiation exposure as a result of the Chernobyl accident and both temporal and geographical distributions clearly indicate a relationship of the increase in incidence to radiation exposure due to the Chernobyl accident.

To clarify the relationship between thyroid cancer and radioactive fallout more clearly, a long term prospective study (case-control/cohort) should be conducted in the highly risk groups and the analysis of accurate estimation of exposure dose to external and/or internal radiation is needed.

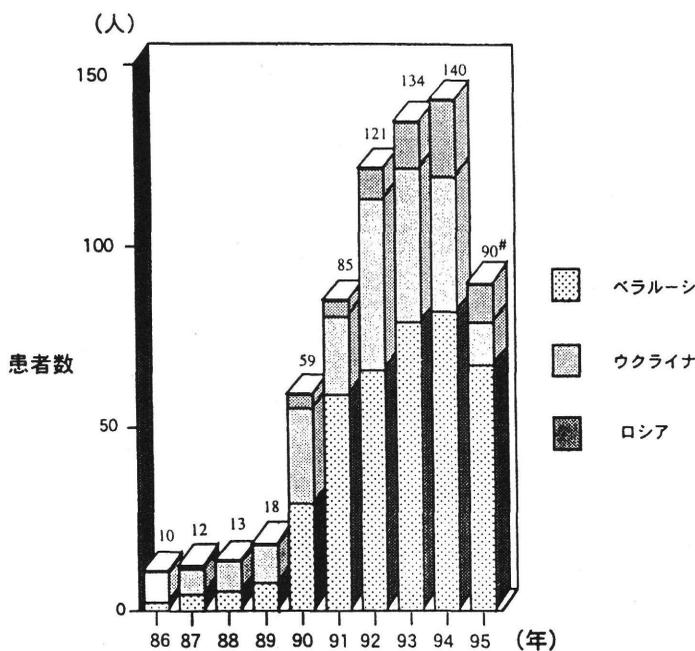
チェルノブイリ原子力発電所事故から10年目の1996年4月には、世界保健機関（WHO）、ヨーロッパ連合（EC）、国際原子力機関（IAEA）の主催により、チェルノブイリ事故による健康影響調査の結果についてのシンポジウムがウィーンで開催され、各分野の専門家が世界各国から集合し活発に議論した。シンポジウムでは、小児甲状腺癌の増加が確認されチェルノブイリ事故の結果として放射線被ばくが健康影響に及ぼした唯一の明白な事実と確認された。我々は、長崎原爆被爆者の健康影響調査の見識、経験をもとに、1990年よりチェルノブイリ事故による健康影響、特に甲状腺疾患に関し、調査を続けてきた¹⁾。本稿では、シンポジウムの結論をもとに、自験例を紹介しながら事故後10年経過した時点での健康影響に関し述べ、事故との関連と今後の課題について述べる。

I. チェルノブイリ周辺地区における小児甲状腺癌

1. 疫学

チェルノブイリ発電所事故後 1990 年頃より小児甲状腺病患者数が急増している^{2)~6)} (図1)。特にベラルーシでは、合計 400 人以上が報告されておりウクライナ、ロシアにおいても小児甲状腺癌患者数が明らかに増加している。1995 年までに 15 才以下の患者数は、旧ソ連 3 ヶ国において合計 800 人以上に及び 1995 年現在未だに減少傾向がみられない。診断に関しては、諸外国の専門家によって手術で得られた標本から組織学的に確認されている。

我々は、1991 年 5 月から、笹川チェルノブイリプロジェクトとして事故当時 10 才以下の小児約 15 万人をチェルノブイリ周辺地区の 5 診断センターにてスクリーニングした^{7)~9)}。全員を超音波にてスクリーニングし異常のある小児は、各診断センターに呼び必要に応じて穿刺吸引細胞診を施行した¹⁰⁾。甲状腺結節の頻度は、地区により差が見られたが、平均 0.51% で、特にゴメリ地区では、1.64% と有意に高頻度であった。結節性病変に対して施行した穿刺吸引細胞診では、約 20% に甲状腺癌(悪性)が確認された。組織学的に甲状腺癌と診断された患者数は、それぞれモギリョフ 3 名、ゴメリ 39 名、キエフ 6 名、コロステン 9 名、クリンシー 8 名で合計 65 名である。それぞれのセンターで約 20,000 人検診したことを考えると、甲状腺癌発症頻度は、欧米、日本(年間 100 万人に 0.2 - 5 人)に比較してはるかに高い。地区によっては、発症頻度が 100 倍以上に増加している地区がある。



(WHO チェルノブイリ事故健康国際会議より集計) #95年は集計途中

図1 チェルノブイリ周辺地区における小児甲状腺癌患者数

2. 臨床的特徴

患者の年齢分布としては、事故前に生まれた小児、事故後 6 ヶ月以内に生まれた小児に増加している。我々のプロジェクトで診断した甲状腺癌症例においても事故当時 0 ~ 3 才の小児に集中している (図2)。

診断時に既に転移している症例がみられる。我々は、小児甲状腺癌の臨床像が、チェルノブイリ周辺地区に特異的かどうかを調べ

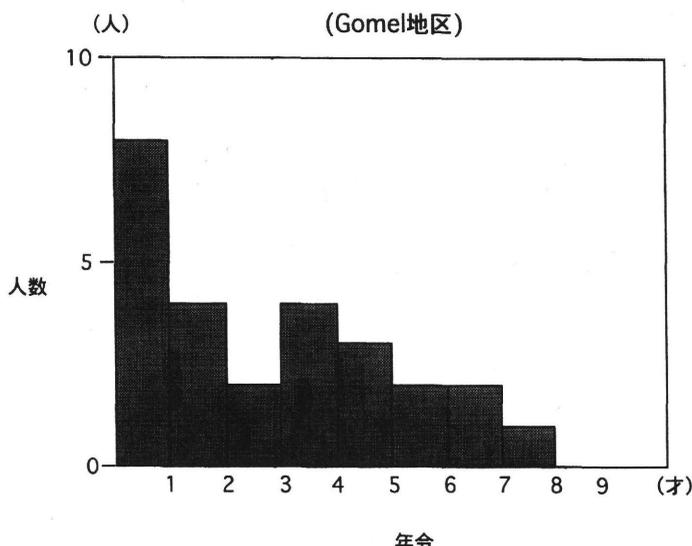


図2 チェルノブイリ事故時年齢

る為に、甲状腺専門病院である伊藤病院（東京）と隅病院（神戸）の症例を検討したが、チェルノブイリ周辺地区と本邦では、明らかな差は、みられなかった。ベラルーシからの発表によると、リンパ節転移(61%)、遠隔転移(4.5%)と報告されている¹¹⁾。

チェルノブイリ周辺地区では、1995年までに小児では、3人が甲状腺癌での死亡したと報告されている。日本の例では、平均129ヶ月(10~283ヶ月)にわたるfollow upで26人中わずか1人が死亡している¹²⁾。この死亡例は、14才の女性、組織型はpapillary carcinoma(乳頭癌)であり、 $T_4bN_1M_0$ 、Stage 1であった。気管への浸潤が強く、腺内に腫瘍が多発していた。手術前に合計21Gyの外照射治療を受け、手術された。しかし、浸潤が強くリンパ節郭清は不能で、手術後もAdjuvant therapyは施行されなかった。手術後132ヶ月に原疾患に死亡した。

小児甲状腺癌の治療に関しては、未だに議論の多いところである¹³⁾。しかし日本の症例を見てもわかるように、適切な治療を受けると、長期生存が十分に期待できる。今後治療に関し、国際的に検討されるべきである。

3. 組織学的特徴

組織学的診断は、チェルノブイリ周辺地区の小児甲状腺癌の95%以上が乳頭癌である。チェルノブイリ周辺地区では、構造上充実性、濾胞状構造の成長パターンが多いのが特徴的であるのに対し¹⁴⁾、本邦、欧米の症例では、乳頭状構造の占める割合が多く、組織学的に明らかに差がみられる。一般にこれらの充実性パターンは、分化度が低いといわれており、今後の予後にも影響するものと考えられる。我々の経験では、乳頭癌以外に甲状腺癌65例中1例髄様癌を経験した。

分子生物学的にも研究が進んでいるが、RET遺伝子の再配列が確認されている¹⁵⁾¹⁶⁾。

II 小児甲状腺癌急増と事故との関係

チェルノブイリ事故のあと1990年から小児甲状腺癌が急速に増加した時間的な経過と、放射性物質によって汚染されたベラルーシ、ウクライナ、ロシア各国で増加したという地理的な分布からチェルノブイリ事故が原因であることは、間違いない。

またチェルノブイリ原発から遠く離れた地区でも小児甲状腺癌が多発していることから放射性降下物その原因と考えられている¹⁷⁾。しかし事故後長年が経過した時点で測定できたセシウム-137線量とは、小児甲状腺癌発症頻度と相関関係がみられない。悪性疾患では、甲状腺癌だけが増加していることが確認されていることから、甲状腺に集積する放射性ヨウ素(I-131)との関係についていくつかの発表がある。しかし他の放射性ヨウ素たとえば、Te-132からのI-132などの短半減期の放射性物質、さらには、外部被ばくの影響など他の可能性も否定できない。

III 今後の課題

上記のように原因物質の解明、小児甲状腺癌治療の確立、甲状腺癌発症の予防、安定型ヨウ素の配布¹⁸⁾など未だに解決すべき問題が山積みしている(表)。今後は、たとえば、事故後に生まれた子供の甲状腺癌発症がどのように変化するかを調べる必要がある。発症頻度が有意に低ければ意味深い。また、case-control studyが有用である。コントロールのとり方が難しいが、うまくとることができれば、もっとはっきりした結果が得られる可能性が大きい。またこれまでにスクリーニングした結果にもとずき

ハイリスク集団におけるコホートスタディーも重要である。

表 今後の課題

1. 原因の追求	2. 小児甲状腺癌の治療
A : 線量	・手術、ヨード-131 治療
・線量再構築	・補充療法 -T4, Vit D, Ca
・生物学的線量測定	
・短半減期	3. 甲状腺癌発症の予防
ヨード-131、ヨード-132、テルル-132、外部照射	A : ヨードの補充
B : 疫学的手法	B : ハイリスク集団
・ヨード-131、	(事故当時3才以下の小児のスクリーニング)
その他短半減期放射性同位元素の可能性	
・スクリーニング	
・発癌を促進する因子	
Cohort, Case-control studies, 事故後に生まれた小児	
C : 甲状腺癌患者の情報登録	
a : 放射線被曝歴	
b : 臨床像	
c : 病理診断	
d : 血液、組織標本の保存	
D : 分子生物学的方法	

IV まとめ

人類史上このような急速な癌の増加は、今までに経験したことはない。甲状腺癌が急増したという不幸な現実、今後我々専門家に残された大きな課題である。国際的レベルでの協力が必要であることは、改めて言うまでもなく、また新たな出発点に立っている。

文献

- 1) K. Ashizawa, S. Yamashita, and S. Nagataki: *Acta Medica Nagasakiensis*, 41 (1-2), 1-7 (1996).
- 2) V. S. Kazakov, E. P. Demidchik, L. N. Astakhova: *Nature*, 359, 21 (1992).
- 3) E. P. Demidchik, I. M. Dorbyshevskaya, E. D. Cherstvoy et al.: In: Karaoglou A, Desmet G, Kelly GN and Menzel HG eds *The radiological consequences of the Chernobyl accident*, Luxembourg, 677-682 (1996).
- 4) N. Tronko, T. Bogdanova, I. Komissarenko et al.: In: Karaoglou A, Desmet G, Kelly GN and Menzel HG eds *The radiological consequences of the Chernobyl accident*, Luxembourg, 683-690 (1996).
- 5) I. A. Likhtarev, N. D. Tronko, V. B. Beral et al. *Nature*, 375, 365 (1995).
- 6) A. F. Tsyb, E. M. Parshkov, V. V. Shakhtarin et al.: In: Karaoglou A, Desmet G, Kelly GN and Menzel HG eds *The radiological consequences of the Chernobyl accident*, Luxembourg, 691-697 (1996).
- 7) S. Yamashita, H. Namba, M. Ito, et al.: In: *Nagasaki symposium on Chernobyl update and future*. Amsterdam, 63-72 (1994).
- 8) S. Nagataki, K. Ashizawa: In: Karaoglou A, Desmet G, Kelly GN and Menzel HG eds *The radiological consequences of the Chernobyl accident*, Luxembourg, 749-754 (1995).
- 9) S. Yamashita, M. Ito, H. Namba et al.: In: Nagataki S, Yamashita S eds *Nagasaki symposium*

Radiation and human health: Proposal from Nagasaki, Tokyo, 103–116 (1996).

- 10) M. Ito, S. Yamashita, K. Ashizawa et al.: *Thyroid*, 5(5), 365–368 (1995).
- 11) G. N. Souchkevitch, A. F. Tsyb eds *Health consequences of the Chernobyl accident*, Geneva, 294 (1996)
- 12) 芦澤潔人・伊東正博・白髭豊他：長崎医学会雑誌、71, 234–236 (1996)
- 13) L. V. Middlesworth: In: J. Robbins eds *Treatment of thyroid cancer in childhood*, DOE / EH–406, 103–108 (1993).
- 14) M. Ito, S. Yamashita, K. Ashizawa et al.: *Int. J. Cancer*, 65, 29–33 (1996).
- 15) B. Dorothy: *The Lancet*, 347, 1176 (1996).
- 16) L. Fugazzola, S. Pilotti, A. Pinchera et al.: *Cancer Res.*, 55, 5617–5620 (1995).
- 17) D. Williams: *Nature*, 371, 556 (1994).
- 18) J. Nauman, J. Wolff: *The American Journal of Medicine*, 94, 524–532 (1993).

2. 社会的影響

2-1 食品の輸入規制

出雲 義朗
国立公衆衛生院

Radioactivity Monitoring and Import Regulation of the Contaminated Foodstuffs
in Japan following the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident

Yoshiro IZUMO

Department of Radiological Health, National Institute of Public Health,
6-1, Shirokanedai 4 chome, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan.

ABSTRACT—Radioactivity monitoring and import regulation of the contaminated foodstuffs executed by Ministry of Health and Welfare following the Chernobyl nuclear plant accident were reviewed as follows; ①. background of socio-psychological effects and environmental radioactivity leading to the regulation (to may 3, 1986); ②. initial intervention for imported foodstuffs in Japan (may 8, '86), and ③. in european countries (to may 31, '86), immediately after the Accident, respectively; ④. determination of the interim driven intervention level for radionuclides in imported foodstuffs ($[^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}]$: 370Bq/Kg) and activation of the monitoring, ⑤. outline of the monitoring with elapsed time, number of foodstuffs monitored, number of foodstuffs exceeded radioactivity of the intervention level and re-exported; ⑥. guideline in international trade of radioactive contaminated foodstuffs adopted by CODEX Alimentarius Commission (FAO/WHO) and the intervention level recommended by ICRP following the Accident; ⑦. discussion for problems and scopes in future based on the results of monitoring.

As the results, a number of imported foodstuffs (about 75,000 samples at present) has been monitored, 55 samples exceeding the interim intervention level were re-exported to each export's country, and socio-psychological doubts for radioactive contamination of imported foodstuffs have been dispersed. In addition, problems for several factors based on calculation of the interim intervention level, radioactivity level of foodstuffs exceeding about 50 Bq/Kg as radiocesiums and necessity of monitoring for the other radionuclides in foods except radiocesiums were also discussed.

はじめに

食品衛生法に基づく我が国の規制当局は述べるまでもなく厚生省であり、標題についても関連各課の方々のほうが筆者よりはるかによく把握しておられる、と考えられる。一方、輸入食品の放射能に対する国民の強い関心に応じて、本題に関連した報告や解説等はこれまでも数多い¹⁻⁸⁾。他方、筆者は、これらの報告等のほかには新鮮な報告や論説等はあまり持ち合わせていないので、本題については、残念ながらこれまでの同報告等を中心に改めて紹介させていただくとともに、関連して若干の感想を述べさせていただくことにする。

本事故に限らず、事故後の対応措置は時間とともにしばしば変化する。とりわけ、事故直後にはその性格上、放射能の汚染や汚染の拡大状況などの事実関係が不明なまま、時間が経過しがちである。一方、本事故のような大規模放射能汚染食品の輸入規制については、我が国のみならず諸外国においても初めての経験であり、事故直後における事実関係の不明確さや事故時への準備不足などもあって、即応体制には戸惑いを感じられた。この事故直後の輸入食品に対する我が国の大きな社会的影響は、主として、高濃度放射能汚染食品の輸入の可能性や、その汚染食品の摂取による公衆の健康への影響の可能性など、不確実性に基づく漠然とした社会心理的懸念（不安）であったように思われる。しかし、その事実関係が判明するにつれ、これまでに培われてきた放射線防護に関する多くの知識や経験が諸施策に順次活かされ、心理的懸念は次第に解消されて行った、といえよう。

食品の輸入規制は、一義的には、当局が定めた規制値を超える違反食品の検査、発見や、その後の法的措置にある。しかし、検査対象の輸出国・地域や品目等の指定は、検査結果判明後の通関までに荷がしばしば滞留してしまうことや、輸出国による検査成績の証明書が予め必要なこと⁹⁾など、検査の対象それ自体事実上の規制にあたるといえる。

事故の性格上、その後の輸入規制は、時間の経過とともに変わって行ったが、規制の基礎になったのは、述べるまでもなく対象食品の放射能の測定検査とその結果である。そこで、時間の経過とともに変わって行った規制を中心に、まず、1. 食品の輸入規制に至る事故直後の背景、について述べた後、2. 事故直後に厚生省がとった食品の規制、3. 事故直後に欧州諸国がとった食品の規制、4. 暫定限度の設定と放射能検査の本格化、5. その後の放射能検査の推移と、検査件数および違反件数の概要、6. 事故後の主な国際的規制、勧告等、などについて改めて顧みたと、7. 検査の結果と今後の課題や感想等、などについて述べてみたい。

1. 食品の輸入規制に至る事故直後の背景－3つの懸念？－

- (1) その最初は、1986年4月29日のマスコミによる「大事故の発生と環境放射能の汚染拡大の可能性」の第一報が⇒「(日本は)大丈夫かな?」、という漠然とした社会心理的懸念(不安)を引き起こしたことであろう。なお、国は放射能対策本部拡大幹事会を開催、32都道府県は放射能の監視を強化^{4,10)}。
- (2) 第2は、欧州における環境放射能の汚染が5月2日には明確になり、⇒(日本への輸入食品は)大丈夫かな?」、いう懸念が生じたことだろう。
- (3) 第3には、翌3日になると、国内における環境の放射能汚染が明確になり^{4,11)}、⇒「(国内の飲食物は)大丈夫かな?」の懸念とともに、輸入食品の規制へ向かう経過を迎ったといえよう。

2. 事故直後（5月8日）に厚生省がとった食品の輸入規制（介入）

5月8日に厚生省がとった最初の措置¹⁻⁷⁾は、

- (1) 輸入者に対する行政指導、すなわち、「高濃度汚染が予想される国や地域からの生鮮食料品の輸入自粛要請（衛検第127号）」であり、一方同時に、
- (2) 旧ソ連、欧州諸国など15カ国から輸入される魚介類、肉類、野菜、及びはちみつの5食品目・群（各100%）を対象に、9検疫所でのGMサーベイメータによる放射能の検査が開始され、これにより“放射能”が検出された食品は「食品衛生法第4条違反」と見なされて、措置されることになったことである。なお、翌日には「食品中の放射能に関する検討会」が設置されている。

3. 事故直後（5月）に欧州諸国がとった食品の規制（介入）

一方、欧州諸国は、事故発生地点に比較的近く、また汚染プルームの拡散方向に添っていたことから、環境の高濃度放射能汚染地域も次第に拡大して行った¹²⁾。このため、汚染食品の摂取や消費、販売、輸入などに関して、¹³¹I や [¹³⁴Cs + ¹³⁷Cs] の放射能濃度を中心に、各種の規制値、すなわち介入レベルがいち早く設定された¹³⁾ (Table 1, 2)。

Table 1. Derived intervention level for radioactivity concentration of ¹³¹I in foodstuffs in international trade recommended by Commission of European Community (CEC) following the Chernobyl nuclear power plant accident¹³⁾.

(Bq/Kg, L)

Date (1986)	Milk, Dairy products	Vegetables	Other foodstuffs
May 6	500	350	350
16	250	175	175
26	125	90	90
			Fresh fruits

Table 2. Drived intervention level for radioactivity concentration of [¹³⁴Cs + ¹³⁷Cs](Bq/Kg,l) in foodstuffs adopted in mainly european countries on may, 1986 following the Chernobyl nuclear power plant accident¹³⁾.

Date	Country	Milk, Dairy products	Vegetables	Meats	Other foodstuffs
May 2	Sweden	1000		100	
15	"	↓ 300		↓ 300	
22	Finland	1000		1000 (Beef, Pork)	1000 (Cereals)
31	Recommendation by CEC ¹⁾	370	600	600	370 (Infant foods)
May	Australia	100	100	100	100
May	Canada	50,100 (processed)	300	300	300 (Fruits)

¹⁾ Countries adopted (except infant foods) : Ireland, Great Britain, Italy, Netherlands, Greece, Spain, Swiss, Denmark, Portugal, Luxembourg, Turkey and Norway(from june 20).

4. 暫定限度の設定と放射能検査の本格化¹⁻⁷⁾

- (1) 欧州諸国に比べればやや遅れた感はあるが、上記「検討会」の答申を受けて厚生省は同年11月1日、

食品中の放射能に関する暫定限度として、 $[^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}]$ の放射能濃度を 370Bq/Kg に設定し (Table 3)、違反食品発見の判断基準を明確にした。

Table 3. Factors based on calculation and re-assessment of interim derived intervention level (IIL) for radioactivity of import foodstuffs in japan following the Chernobyl nuclear power plant accident¹⁻⁷⁾.

Factors	At the time (Nov. 1, '86) of the level determination	At the time (Oct. '87) of the level re-assessment
1. Portion of radiation dose by intake of radioactive contamination foodstuffs	1/3 of dose limit for public (0.5 rem/year).	Consideration of effective dose equivalent limit for public (1mSv/year)
2. Composition of radionuclides in foodstuffs	$^{137}\text{Cs}: ^{134}\text{Cs}: ^{90}\text{Sr}$ = 100: 50: 2.2 (determined for the radioactive fallout samples)	$^{137}\text{Cs}: ^{134}\text{Cs}: ^{90}\text{Sr}: ^{106}\text{Ru}$ = 100: 50: 2: 15 (determined for the actually imported foodstuffs)
3. Contribution rate of dose by intake of radionuclides	① $[^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}]$: 66% ② ^{90}Sr : 33% ③ Other radionuclides: 1%	① $[^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}]$: 90%
4. Dose per unit by intake of $[^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}]$	(Committed dose equivalent) 5.4×10^{-5} mrem/pCi (= 1.46×10^{-5} mSv/Bq)	(Committed effective dose equivalent) 1.33×10^{-5} mSv/Bq
5. Intake of total diet in weight (Kg/day/adult)	1.4	1.4
6. Consumption rate of imported foodstuffs in weight	0.35	0.35
7. Ratio of foods imported in japan from EC countries to total in weight	—	0.039
8. Days a year	365	365

1) Calculation process of the derived IIL for radioactivity of $[^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}]$ in foodstuffs on nov. 1, '86 was as follow : $1.4 \times 0.35 \times \text{IIL} \times 5.4 \times 10^{-5} \times 365 \leq 0.5 \times 1/3 \times 0.66$, $\text{IIL} \leq 11.389$ (pCi/Kg)(≤ 421.4 Bq/Kg)
⇒ 370 Bq/Kg.

(2) 一方、欧州地域からの輸入食品取扱い量が比較的多い成田、東京、横浜、大阪および神戸の5検疫所では、NaI(Tl)検出器による放射能の検出、測定装置を導入するとともに、装置による測定検査(検査率は10%)をただちに開始した。測定によって、汚染の疑いがある場合には、さらに、国立衛生試験所においてGe検出器での γ 線スペクトロメトリーによる分析、検査を行う体制が整備され、検査が本格化した。

なお、検査対象食品は食肉および食肉製品、ナチュラルチーズ、脱脂粉乳、麦芽、でんぷん、野草加工品、野菜および野菜加工品、ホップ、香辛料、ナッツ類、ジャム、マーマレード、ワイン、はちみつ、キャビア、の合計15品目に増加する一方、対象国は上記のほかにトルコが追加されている。

5. その後の放射能検査の推移と、検査件数および違反件数の概要^{1-7,13,14)}

1) 検査の推移^{1-7,13)}

① '87年5月: 厚生大臣指定7検査機関が検査を開始(検査の充実)。

② '87年11月：検査対象食品が20品目以上に増加。ただし、対象国および品目によっては検査率が100%または10%に区分 (Fig. 1)。

③ '88年5月：上記5検疫所で、Ge検出器によるγ線スペクトロメトリ分析、検査を開始 (検査の充実)。検査 (件数) はピークを迎える。

④ '90年1月：対象国および一部食品は検査率が100%から10%へ、または100%から10%の“モニタリング” (通関後に検査) へそれぞれ縮小。検査はピークを越える。

⑤ '93年1月以後現在：大部分の食品は検査が解除。対象食品は、全欧州から輸入される a. 野草及びその加工品 (水煮等を除く、キノコとハーブ類)、並びにトナカイ肉の2品目 (検査率はいずれも100%) と、b. 香辛料、はちみつ、及びビーフエキスの3品目 (モニタリング率はいずれも10%) に限定される¹³⁾。

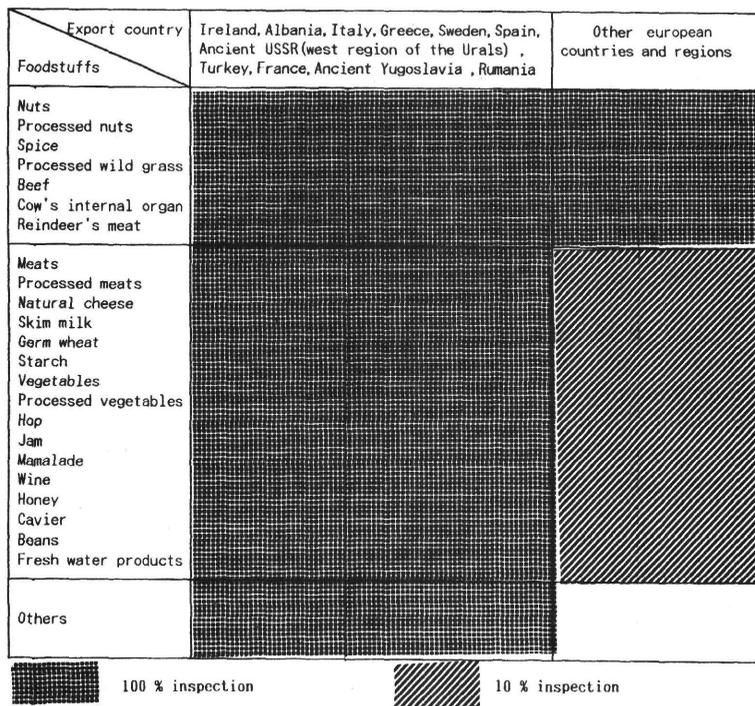


Fig. 1 Radioactivity monitoring for foodstuffs imported from november 1, 1987⁷⁾.

2) 検査の件数と違反の件数の概要

- ① '86年11月に検査が本格化以後、'87年1月には暫定限度を超える初の違反食品 (2件、いずれもトルコ産のヘーゼルナッツ、520Bq/Kg, 980Bq/Kg, 計30トン) が発見され、法に基づき“積戻し”の措置がとられた。
- ② '86年11月以後'89年4月までの2年半の検査は15,049件で、違反は49件である (Table 4)。

Table 4. Result of radioactivity monitoring for foodstuffs imported in japan from november '86 to april '89.⁷⁾

Foodstuffs	Total number	Detection number at each radioactivity (Bq/Kg)				
		~50	~150	~250	~370	>370
Meats (poultry,beasts), dairy products	3,665	3,558	67	19	7	4
Marine products, their processed	1,154	1,144	10	0	0	0
Cereals, beans, their processed	376	374	1	1	0	0
Vegetables, fruits, their processed	3,864	3,769	152	34	12	13
Sugared, tea, spice	1,724	1,534	102	39	21	28
Drinks	1,031	1,021	7	9	0	0
Fats, salted	166	164	2	0	0	0
Others	3,079	2,883	226	25	9	4
Total	15,049	14,257	567	127	49	49
(rate, %)	(100%)	(94.7%)	(3.8%)	(0.8%)	(0.3%)	(0.3%)

⁷⁾ partially modified.

Table 5. Result of radioactivity monitoring for foodstuffs imported in japan from may '89 to april '91⁷⁾.

Foodstuffs	Total number	Detection number at each radioactivity (Bq/Kg)				
		~50	~150	~250	~370	>370
Nuts, their processed	666	660	6			
Spice	1,502	1,441	55	4	1	1
Wild grass, their processed (contained instant tea)	2,859	2,692	122	27	14	4
Condensed · processed fruits	3,858	3,851	7			
Beef (contained internal organs)	851	848	2	1		
Reindeer's meat	5	2		1	2	
Beef extract, seasoning materials	366	347	19			
Meats (except beef, pork, reindeer)	6,370	6,366	3	1		
Processed meats (except beef)	1,769	1,769				
Skim milk contained its process	238	238				
Pasta	3,117	3,116	1			
Processed fruits (except condense)	871	871				
Honey	224	218	5	1		
Beans	54	54				
Cavier	189	186	3			
Marine products	1,198	1,892	5	1		
Pork	1,116	1,116				
Natural cheese	285	285				
Cereals (except pasta)	466	466				
Vegetables, their processed	2,946	2,942	4			
Shirop, sugared fruits	1,249	1,249	1	7		
Others	10,673	10,648	25			
Total (rate, %)	41,572 (100%)	41,249 (99.2%)	258 (0.6%)	43 (0.1%)	17 (0.04%)	5 (0.01%)

⁷⁾ partially modified.

③ 検査がピークを迎えた '89年5月以後、'91年4月までの2年間における検査は41,572件(累計56,621件)で、違反は5件(累計54件)である(Table 5)。

④ その後、'91年5月~'92年8月までの検査は15,544件(累計72,165件)、違反は0件(累計54件)である。

⑤ また、近年の'93~'94年は2,565件(累計74,730件)、違反1件(累計55件)(Table 6)¹⁴⁾であり、これまでの累積違反食品の品目、輸出国、“積戻

Table 6. Result of radioactivity monitoring for foodstuffs imported in japan from '93 to '94¹⁴⁾.

Foodstuffs	Total number	Detection number at each radioactivity (Bq/Kg)				
		~50	~150	~250	~350	~400
Herb			10	1	0	0
Mushroom			5	2	1	0
Reindeer's meat	2,565	2,539	0	0	1	1(>371)
Spice			3	0	0	0
Beef extract			2	0	0	0
Total (rate, %)	2,565 (100%)	2,539 (99.0%)	20 (0.8%)	3 (0.1%)	2 (0.08%)	1 (0.04%)

Table 7. Number of foodstuffs exceeded radioactivity of the intervention level and re-exported in Japan^{7,14)}.

Foodstuffs	Number of foodstuffs exceeded the intervention level and re-exported						Export's country*	Re-export's quantity in weight
	1987	1988	1989	1990	1991	~1994		
Hasel nuts	2						Tur, Ita	110Kg, 30t
Cow's stomach	1						Fin	1.26t
Reindeer's meat	1					1	Swe	0.2t
Thyme	1						Fra	4.02Kg
Heath's flower	1						Fra	8.5Kg
Black currant's puree	1						Fra	1.5t
Almond	1						Ita	37.5Kg
Ice-cream's paste	1						Ita	576Kg
Hasel-nut's paste	3						Ita, Tur	5Kg-4t
Beef extract	1	1					Bra, Ire, Fra	216Kg, 2.6t
Laurel tree's leaf	5	1					Tur, Spa	10Kg-28t
Sage	7	2					Tur, Gre, Yug, Alb, Fra	4Kg-14.5t
Herb	2	4					Fra, Yug	4-98Kg
Fern			2				USSR	158Kg, 180Kg
Herb tea	3	2		2			Spa, Yug, Swi, Rum, Alb	2Kg-2.52t
Mushroom			2		1		Fra, Yug	3-34Kg
Mixed spices					1		Fra	8Kg
Total	30	16	4	2	2	1		

*Tur : Turkey, Fin : Finland, Swe : Sweden, Fra : France, Ita : Italy, Bra : Bragil, Ire : Ireland, Spa : Spain, Gre : Greece, Yug : ancient Yugoslavia, Alb : Albania, USSR : ancient USSR, Rum : Rumania.

し”量は表示 (Table 7) のとおりである。

6. 事故後の主な国際的指針等

1) FAO/WHO 合同食品規格委員会 (Codex Alimentarius Commission) の指針¹⁵⁾

食品中の放射能に関する規制値 (介入レベル) については、上記 (Table 1, 2) でその一部をすでに示したが、そのほか、たとえばフィリピンにおける穀類、果物、ミルク、野菜などでは [¹³⁴Cs + ¹³⁷Cs] の放射能濃度が 6 ~ 22Bq/Kg ときわめて低値である一方、ブラジルのミルクでは 3,700Bq/Kg と比較的高く、国によっては大きな違いが見られる¹⁾。

事故後、欧州共同体委員会 (CEC)^{13), 15), 16)}、FAO/WHO、ICRP などの国際機関から同種の介入レベルや指針等が示されているが、国際的な貿易の混乱回避を目的とする指針としては、標記の指針 (Table 8) が唯一であろう。しかし、合意がなされた時点 ('89年) は事故後すでに3年以上も経過しているにもかかわらず、指針は事故後1年に適用されることが述べられているので、今後の事故発生時の指針という意味合いが強い。また、同指針に

Table 8. Guideline Levels for radionuclides in food following accidental nuclear contamination for use in international trade¹⁵⁾.

Foods	Representative radionuclides	Level (Bq/kg)	Dose per unit of intake factor (Sv/Bq)
Foods destined for general consumption	²⁴¹ Am, ²³⁹ Pu	10	10 ⁻⁶
	⁹⁰ Sr	100	10 ⁻⁷
	¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs	1000	10 ⁻⁸
Milk and infant Foods	²⁴¹ Am, ²³⁹ Pu	1	10 ⁻⁵
	¹³¹ I, ⁹⁰ Sr	100	10 ⁻⁷
	¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs	1000	10 ⁻⁸

は、「国内の状況に応じてレベルを設定することも可能」と追記されていることから、実質的には各国がそれぞれのレベルを設定し得る¹⁷⁾といえよう。なお、この指針では、年あたりの個人の預託実効線量として数 mSv が想定されているものの、実際には 1mSv 以下にとどまるであろう、と推定されている。

2) ICRP 63 報告 (1992 年) における勧告¹⁶⁾

本報告では、大事故発生等の緊急時の場合における措置が述べられているが、代替食品入手の有無による介入レベルの正当化や最適化が論じられている。すなわち、

- ① その入手が可能な場合、預託実効線量が年あたり 10mSv までのレベルは正当化されるであろうとされ、その場合に最適化される食品中の核種ごとの濃度 (大部分の β 、 γ 線放出核種 : $10^3 \sim 10^4$ 、 α 線放出核種 : $10 \sim 10^2$ Bq/Kg) が示されている。
- ② 一方、代替食品の入手が不可能な場合、線量は 10mSv をはるかに超えても正当化されるであろうとされていることから、最適化される食品中の核種濃度もそれに応じてかなり高く設定し得ることになるであろう。

3) 旧ソ連の一部の国々の牛乳および畜肉における放射性セシウムの暫定限度¹⁸⁾

環境の高濃度汚染地域である旧ソ連のベラルーシ、ウクライナ、およびロシアなどでは、代替食品の入手が容易であるとは必ずしも思えないにもかかわらず、食品中の放射性セシウムに関する暫定限度 (1991 年現在、牛乳 : 185 ~ 370 Bq/l, 畜肉 : 600 ~ 740 Bq/Kg) は、上記 ICRP63 の報告値に比べれば比較的 low 設定されているといえよう。

7. 検査の結果と今後の課題や感想

1) 検査の結果

① 社会心理的懸念 (不安) の解消

a. 我が国が消費する食料品のうち、重量にしておよそ 1/3 は輸入に依存しているものの、このうち高濃度汚染地域からの量は数%であり、したがって、全輸入量 (ただし、1992 年の値¹⁹⁾) の概略 1~2% 程度にとどまること、b. もし、これらの食品中の [$^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$] の放射能濃度が全て暫定限度と同水準 (370 Bq/Kg) であって、このような食品を私達が年間を通じて毎日摂取し続けると仮定しても、その際における個人の預託実効線量は概略 0.05mSv 程度 (ただし、上記暫定限度算定時における線換算係数から試算) にとどまること、などのほか、c. とりわけ暫定限度設定後から本格化した輸入食品の検査体制や芒大な件数の検査 (監視) によって、輸入食品の放射能に対する国民の社会心理的懸念 (不安) はほぼ解消された、といえよう。

② 違反食品の“積戻し”による食料供給への影響

これまでの 10 年間に 55 件の違反食品が発見され、いずれも“積戻し”の措置がとられた。しかし、これら食品ごとの重量は年間の各輸入重量 (ただし、1992 年の値¹⁹⁾) に占める割合が概略 0.1%~数%にとどまったことや、その代替食品の供給にも不自由さはあまりはなかったと考えられることから、その輸入量の減少に起因する食料供給への影響は事実上なかったといえよう。

③ 我が国における検査体制の整備、充実への寄与

本事故の発生はまことに不幸な出来事ではあったが、この事故を契機に厚生省、とりわけ主要な検疫

所における放射能の検査体制が整備、充実されたほか、輸入食品の検査には直接関与しないまでも全国各都道府県ごとの放射能の監視体制も整備、充実されたことは、反面的ではあるが事故による結果といえよう。

2) 今後の課題や感想等

① 暫定限度算定の各要因について

- a. 被ばく線量の割り当て：汚染食品の摂取による被ばく線量については、暫定限度算定当初、公衆の線量限度（5mSv/年）の1/3が割り当てられた。今後、この種の大事故の再発はきわめて考えにくい、仮りに改めて設定を行うような場合、ICRP60報告の実効線量（1mSv/年）²⁰⁾に対する割り当てを考慮する必要はないか？。ICRPのパリ声明（1985年）における公衆の実効線量当量限度（1mSv/年）が60報告の実効線量限度（1mSv/年）と異なっているわけではないが、60報告では年あたりの実効線量を生涯被ばくする場合の損害、とりわけ致死がんのリスク（ 4×10^{-3} ）が26報告のそれ（ 1×10^{-3} ）に比べれば4倍高く見積もられており、この点の見積りの違いに基づく割り当ての補正を考慮する必要はないか？
- b. 核種組成の変化と変化にともなう被ばく線量の評価について：現在、輸入食品中における放射性セシウムの放射能濃度は事故直後に比べれば明らかに減少しており、検出されるセシウムとしては事実上¹³⁷Csに限定されるといえよう。また、国内の流通食品²¹⁾のみならず、旧ソ連などの高濃度汚染地域における食品中²²⁾の放射性セシウムも事実上¹³⁷Csに限定されるといえよう。一方、⁹⁰Sr：¹³⁷Csの放射能の存在比は暫定限度設定時に比べれば現在は大きく変化しており²¹⁻²³⁾、たとえば、国内の食品では概略0.1～1.1になっていること（Fig. 2）²¹⁾など、これらの核種組成の変化に基づく線量の評価は従来と異なるものになるのではないか？

② 食品中の放射能濃度と“関心レベル”

最近における輸入食品の検査（Table 6）では、比較的高濃度の放射能の存在が予想される品目を対象にしていることにも原因するが、一部に50Bq/Kgを超える食品や、なかには150Bq/Kgを超える食品もまだ検出されている。このうち、もし、50Bq/Kg濃度水準の全輸入食品を私達が年間を通じて毎日摂取し続けると仮定しても、その摂取による年あたりの個人の預託実効線量は概略0.1mSv程度である。一方、ICRP60報告中の緊急時計画の項においては、食品中の国際貿易において不必要な制限を回避するため「介入レベル以下の食品に対してはどんな制約も人工的障壁と見なすべきである（ただし、上記FAO/WHOの指針は介入レベルとは見なされていない）」旨（第284項）が述べられている。しかし、50Bq/Kgを超えるような食品中の放射能濃度は、我が国の流通食品のそれ（概略0.1～1Bq/Kg程度²¹⁾）（Fig. 3）に比べれば著しく高いので、介入レベルとまではいえなくても、関心を持ち続けるべき、いわば、“関心レベル”とでもいえよう。

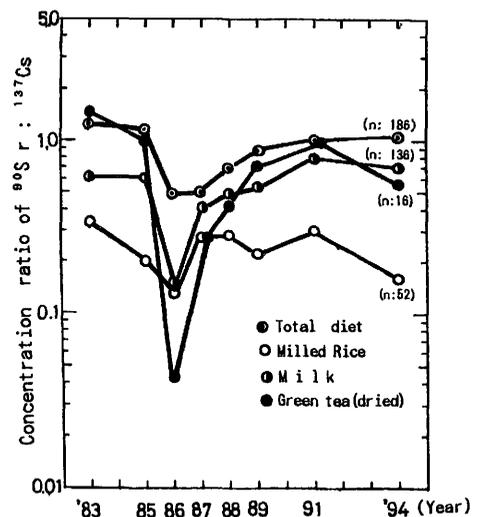


Fig. 2 Radioactive concentration ratio (average) of ⁹⁰Sr : ¹³⁷Cs in Japanese foodstuffs measured from 1983 to 1994²¹⁾.

③ 検査体制縮小による緊急時への即応

上記のとおり、一部食品を除いて検査は現在ほぼ解除されており、解除にともない検査体制も一時期に比べれば著しく縮小されている。今回のような大事故の再発はほとんど考えられず、さらなる検査体制の充実の必要性も現在では薄れてはいるが、緊急時へ備える検査（測定）技術力や、技術者数、測定機器等の維持管理は今後とも必要であろう。

④ 検査対象外の高濃度放射能水準食品輸入の可能性

'90年の測定結果ではあるが、旧ソ連における日常食の放射能（⁹⁰Sr および ¹³⁷Cs）の水準²²⁾ (Table 9) は、日本のそれに比べれば概略 10 ~ 100 倍も高いこと、また、'92年の測定結果ではあるがノールウェイ山中のトナカイ肉やヒツジ肉には 10,000 ~ 20,000Bq/Kg 程度もの高い ¹³⁷Cs の放射能が検出されていること¹⁸⁾、さらには、ロシアによる海洋への大規模な放射性廃棄物の投棄が明らかになったこと²⁴⁾、などの背景のほか、加地⁷⁾が指摘するように、高濃度放射能水準の食品を長期保管後に日本へ輸出する可能性などが考えられ、監視には今後とも留意する必要があるであろう。なお、本投棄に係る安全確認を主目的に筆者らも海産食品等の放射能のモニタリングを実施している²⁵⁾。

⑤ 輸入食品中における放射性セシウム以外の核種の組成や被ばくの寄与について

測定の容易さから、これまでは ¹³⁴Cs や ¹³⁷Cs の放射能につき検査が行われてきた。そのほか、物理学的半減期が比較的長く (> 28.8 年)、少量の摂取により多くの内部被ばく線量をもたらす ⁹⁰Sr、²³⁹Pu、²⁴⁰Pu、²⁴¹Am などの人工放射性核種の放射能については、過去に一部測定例が見られる²⁵⁾ものの、近年はほとんど測定されていない。現状の核種組成とともに、その際の被ばくの寄与を確認する点からも、念のため一度これらの測定を行ってみる必要があるであろう。

⑥ 実際的な放射能汚染食品摂取の場合における真の被ばく線量解明研究の推進

食品は輸入形態そのままを直接的に摂取するのみならず、洗浄、調理、加工等

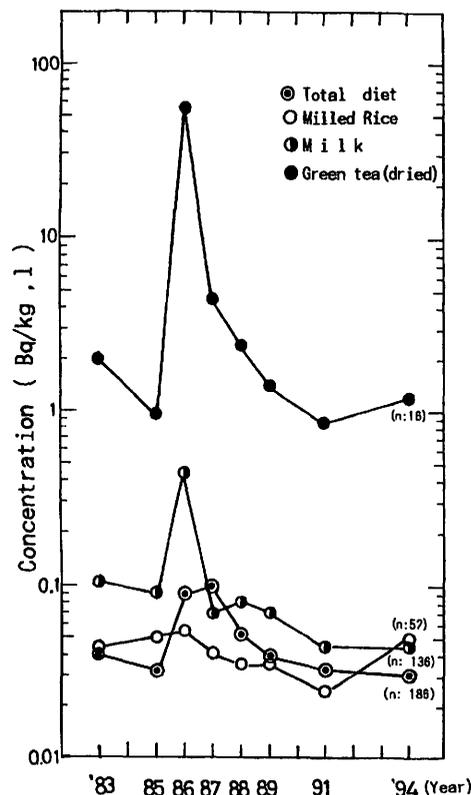


Fig. 3 Radioactive concentration (average) of ¹³⁷Cs in Japanese foodstuffs measured from 1983 to 1994²¹⁾. Estimation of ¹³⁷Cs concentration in total diet is based on its radioactivity (Bq)/dietary intake(1.4kg)/man/day.

Table 9. Radioactivity of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs in total diet samples*¹⁾ collected in regions of the Ancient USSR²²⁾.

Regions	Radioactivity (Bq/Kg dry mass* ²⁾)	
	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
Russia (Novozybkov)		
Stari Bobovici	5.6 (1)	14,1160 (2)
Novozybkov	2.3-5.2 (6)	27- 285 (7)
Stari Vyskov	—	57,3930 (2)
Sv' atsk	—	36, 101 (2)
Belorussia (Bragin)		
Gden	0.95- 4.9 (3)	4-421 (4)
Malozin	1.1 - 3.8 (3)	17- 63 (3)
Mikulici	1.8 -12.5 (3)	35-182 (3)
Bragin	—	14 (1)
Ukraine (Ovruc)		
Daleta	3.8 (1)	1350-6370 (3)
Rakitnoe	4.1 (1)	101-3600 (3)
Korchevka	4.8, 10.8 (2)	60-1010 (3)

(): No. of samples. ²²⁾: partially modified.

*¹⁾: Their collection data is no clear, but probably in 1991 in consideration of the reference.

の処理後にしばしば摂取する。したがって、これらの処理過程で放射性核種の存在量や化学形が変化すること²⁷⁾も考えられる。このため、実際の摂取量はこれらの処理により異なる一方、化学形の変化は被ばく線量評価の基礎になる体内代謝への影響も十分考えられる。本問題の一端は筆者らも検討しており²⁸⁻³³⁾、また、これまでも解明されてはいるが、実際的な食品ごとについては食品がきわめて多様なこともあって十分解明されているとはいいがたい。しかし、真の内部被ばく線量を明らかにするため、これらの問題の解明を一層推進する必要がある。

文 献

- 1) 岩島 清・大久保 隆：輸入食品の放射能規制の考え方、食品衛生研究、37(7), 7-21 (1987).
- 2) 大久保隆・岩島 清：日本における輸入食品の放射能汚染と暫定限度、公衆衛生院研究報告、37(3-4), 169-175 (1988).
- 3) 岩島 清・大久保 隆：日本における輸入食品の放射能汚染に関する暫定限度、保健物理、23, 63-67 (1988).
- 4) 高谷 幸：チェルノブイリ原発事故と輸入食品の放射能汚染について、食品衛生研究、39(10), 15-25 (1989).
- 5) 岩島 清：日本における輸入食品の放射能汚染と暫定限度、公衆衛生学会分科会シンポジウム特集、モダンメディア、35(7), 369-373 (1989).
- 6) 岩島 清：V輸入食品、放射能調査の歴史と展望—食品と放射能—、日本分析センター広報、No.20, 25-30 (1992).
- 7) 加地祥文：輸入食品の放射能検査、Isotope News, No.467, 26-33 (1993).
- 8) 杉山英男：放射線緊急時における飲食物摂取制限に関する国際的指針、公衆衛生研究、43(1), 33-41 (1994).
- 9) 五味堅二：輸入食品の監視体制、医学のあゆみ、154(2), 97-101 (1990).
- 10) 放射線医学総合研究所：チェルノブイリ周辺旅行者帰国者等保健調査報告書 (1986).
- 11) 科学技術庁：チェルノブイリ原子力発電所事故に係る放射能調査、第28回環境放射能調査研究成果論文抄録集、265-439 (1986).
- 12) 国連科学委員会：チェルノブイリ事故からの被曝、放射線の線源、影響及びリスク、1988年報告書、放射線医学総合研究所監訳、実業公報社、東京 (1990).
- 13) 厚生省生活衛生局食品保健課検疫業務管理室長 (通知)：旧ソ連原子力発電所事故に係る輸入食品の監視指導について、平成5年1月11日 (衛生第10号) (1993).
- 14) 厚生省：未発表
- 15) FAO/WHO：Food Standards Program, Codex Alimentarius, General Requirements, Second edition, 183-188 (1991).
- 16) ICRP：Publication 63, 放射線緊急時における公衆の防護のための諸原則、23-25, 日本アイソトープ協会、丸善、東京 (1994).
- 17) 森田邦夫：FAO/WHO 合同食品規格委員会第18回総会に出席して、食品衛生研究、39(10), 7-13 (1989).
- 18) IAEA：Reducing caesium contamination of food products in the Chernobyl area, IAEA Bull., 18-23 (1993).
- 19) 厚生省輸入食品監視員協議会編：輸入食品1993、(社)日本食品衛生協会、大日本法令印刷、東京 (1995).
- 20) ICRP：Publication 60, 国際放射線防護委員会の1990年勧告、日本アイソトープ協会、丸善、東京 (1991).

- 21) 日本分析センター：降下物、陸水、海水、土壌及び各種食品試料の放射能調査、第 26 回～ 37 回環境放射能調査研究成果論文抄録集（科学技術庁）、（1983 年度～ 1994 年度）
- 22) E. L. Cooper, E. Zeiller, A. Ghods-Esphahani, M. Makarewicz, R. Schelenz, O. Frindiki, M. Heileist and W. Kalus: Radioactivity in total diet samples collected in selected settlements in the USSR, *Environ. Radioactivity*, 17, 147-157 (1992).
- 23) K. Mück, S. Streits, F. Steger, K. Mayr and V. Karg : Estimate of the dose due to ^{90}Sr to the Austrian population after the Chernobyl Accident, *Health Phys.*, 58(1), 47-58 (1990).
- 24) 科学技術庁：第 35 回環境放射能調査研究成果論文抄録集、1-20 (1993).
- 25) 杉山英男・寺田 宙・出雲義朗・伊藤澄夫・渡辺芳則・宮田昌弘・前田憲二：海産食品ならびに輸入食品の放射能調査、第 37 回環境放射能調査研究成果論文抄録集、科学技術庁、95-96 (1995).
- 26) H. Sugiyama & K. Iwashima: $^{239,240}\text{Pu}$ concentration in contaminated european foods imported to japan following the Chernobyl Accident, *Radioisotopes*, 40(9), 361-364 (1991).
- 27) (財)原子力環境整備センター：食品の調理加工による放射性核種の除去率、同センター、東京（1994）.
- 28) 出雲義朗・高橋 明：シャコ肉にとりこまれた ^{106}Ru のマウスにおける濃縮、第 24 回環境放射能調査研究成果論文抄録集、科学技術庁、141-142 (1982).
- 29) 出雲義朗・高橋 明：クルマエビの肉にとりこまれた ^{106}Ru のマウスにおける濃縮と排せつ、公衆衛生院研究報告、31(2), 100-110 (1982).
- 30) Y. Izumo et A. Takasé: États biochimiques du ^{106}Ru accumulé dans le muscle et le foie de la crevette, *Penaeus, japonicus, La Mer*, 21(4), 191-197 (1983).
- 31) Y. Izumo et H. Ogata: Étude comparative de l'accumulation et de l'élimination du césium-134 chez des souris nourriées par des aliments préalablement contaminés, et chez des souris nourriées par un mélange inorganique du césium-134, *Rev. Int. Océanogr. Méd.*, 93-94, 77-90 (1989).
- 32) Y. Izumo et H. Ogata: États biochimiques du césium-134 accumulé dans le muscle et le foie de la crevette, *Penaeus japonicus, Rev. Int. Océanogr. Méd.*, 93-94, 91-102 (1989).
- 33) 茂木美砂子・三宅定明・大沢 尚・中澤清明・出雲義朗：ミツバ（葉茎部）による水耕培養液からの ^{137}Cs のとりこみについて、第 55 回日本公衆衛生学会総会抄録集、p850 (1996).

2-2 ポーランド在留邦人とヨード剤の服用

館野之男

放射線医学総合研究所特別研究員

Administration of Stable Iodine to the Japanese in Poland at the time of Czernobyl Accident

Tateno Yukio

National Institute of Radiological Sciences

4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba 263, Japan

I はじめに

チェルノブイリ事故直後、私は日本国政府から「在留邦人にたいして生活上の助言をするように」という任務を与えられてワルシャワとストックホルムに出張した。ストックホルムでは特段のことはなかったが、ワルシャワでは、在留邦人に対する、避難、待避、ヨード剤投与などの対策に関し、助言を求められた。

その後10年を経たこの機会に、当時を批判的に振り返ってみたい。

II 事故後のポーランドの情勢

チェルノブイリ原子力発電所事故が発生したのは1986/4/26午前1時23分（現地時間）の由であるが、ポーランド国営通信がそれに関する第一報を報じたのは4/29（火）である。

後日明らかにされたところによると、ポーランドの北東部で放射能の異常上昇が確認されたのが、4/28朝。核種分析の結果、核攻撃や大気中核実験でなく原発事故であると推定されたのが4/28正午。政府が緊急対策委員会を設置したのは、4/29午前6時。

4/29（火）

同国政府は、ポーランド国営通信を通じて『北東部では長期的に継続すれば人間の健康を損う恐れのある量の放射能が検出された。緑草を食べた牛の牛乳の販売禁止。野菜は洗浄して食べるように。16歳以下の子供にヨード剤を供与。3歳以下の子供に粉ミルクを配給する方針』と発表した。

ヨウ素剤の服用は上記の発表のように、当初、北東部の子供に限定していたが、4/30夜には、全国に広げることにした。実施時の混乱を防ぐためだったという。

4/30（水）

日本の新聞に「チェ」原発事故が報道され、安否を案ずる電話が日本から在留邦人に殺到した。

この日、在ポーランド日本人会は積極的に活動し、日本の種々なところと連絡を取りながら対策を考え、

在留邦人に対し「外出はなるべくしない。窓は閉めた方がよい。乳、乳製品食べない。野菜はよく洗う」等々の注意を喚起した。その日から、在留邦人の多くは、やむを得ないことを除き外出しない缶詰状態が続いた。

在ポーランド日本大使館は、ウイーンからヨウ素剤を取り寄せ、在留邦人に対し『ヨード剤の服用は特に勧めないが、希望者には西側製のヨード剤を配る』旨連絡。

同夜 10 時から大使館事務所において、乳幼児（4 ヶ月 - 6 歳）にびん入り水薬（Solutio Jodi）を茶さじ一杯（3ml）ずつ服用させた。持ち帰り希望者には 6 日分（18ml）を注意書きとともに渡した。（筆者はこれのヨウ素投薬量を確認していない、が、日本の専門家に問い合わせた由なので、常識的な量を使ったものと思う）。

5/1（木）

ポーランドの子供に対するヨウ素投与が北東部だけでなく全国に広げられたことに応じて、在ポーランド日本大使館の対応も拡大され、在留邦人に対し『16 才未満の子供にヨード剤の服用を勧める』と連絡。同日から大使館事務所において、6 歳以上 16 歳未満のものに、ウイーンから取り寄せたカプセル剤（Kalium Jodatum）を 1 日 1 カプセルずつ服用させた。持ち帰り希望者には 6 カプセルを注意書きと共に渡した。16 歳以上に対しては、大使館の手持ち量の関係で、ポーランド当局の方針と同様、配布を中止するが、追加入手しだい、希望者に配布するとした。

5/2（金）

外務省から筆者にたいし「ポーランド及びスウェーデンに出張し、在留邦人に対し、生活上の助言をするように」と要精があった。

筆者がポーランドへ着いてから得た情報であるが、5/2（金）時点での各国のポーランド在留者に対する対応は、次のようになっていた。

牛乳、野菜についての注意は、各国ともポーランド当局と同様
ワルシャワからの避難（妊婦、子供）

あり（官費）：英、カナダ

あり（自費）：仏、西独、オーストリア

なし：米国、日本

ヨード剤服用

なし：米国、仏

あり：英、西独、カナダ、オーストリア、日本

5/3（土）

この日午後 9 時 30 分、筆者は成田を出発した。

この日の深夜（23 時 25 分）、ポーランド政府はつぎの発表をした。

- 1 地上 1 メートルの線量の積算値は、4 月 28 日から 5 月 2 日までの合計で 25m rem。
- 2 ヨウ素 131 の空気汚染は、4 月 28 日から 5 月 1 日早朝までで、0.1 - 200Bq/m³、その後 3 日の午後までの間では 2 - 10Bq/m³。
- 3 牛乳のヨウ素 131 汚染は、北東の高度汚染地域で 200-1720Bq/l。なお、牛乳についてのポーランドの制限基準は 1000Bq/l であるので、これら高汚染地域で生産された牛乳は工業目的に加工した。
その他の地域の牛乳の汚染は 0-600Bq/l

5/4 (日)

この日の正午、筆者はワルシャワ空港に到着した。

Ⅲ 避難、待避、ヨウ素剤投与

私に与えられた任務「生活上の助言」というのは、具体的には「避難、待避、ヨウ素剤投与」をどうするかであり、日常的な飲食物の注意であり、子供の砂遊びや妊娠の授乳についての助言である。

これらに関し妥当な助言を行うには、その根拠とすべきデータが必要である。しかし当時の国際関係からポーランド当局は「汚染調査」については強い嫌悪感を持っていた。そうした背景から、私自身は現地での測定は行わないことにし、データについては、現地で得られるものを批判的に使う決心をして出てきていた。そうした私にとって、判断に一番役に立ったのは、私が機中にいた5月3日深夜にポーランド政府が発表した前述のデータである。

5/4(日)正午ワルシャワ空港に到着した筆者は、午後1時から大使公邸でおこなわれた会議に臨み、次のように発言した。

- 1 避難の必要はない。
- 2 退避（家の中に閉じこもっている）の必要はない。
- 3 ヨウ素剤の服用：必ずしも必要ないが、無駄ではなかった。
- 4 その他。ポーランド政府発表のデータの信頼性については、今後何らかの方法でチェックする。

同日午後5時～8時に開かれた在留邦人に対する説明会でも、同様の説明をした。ポーランド在留邦人は、商社、大学関係、報道関係、外交関係など計166人、うち集まったのは70人。なお、ここの日本人会は、数年前ポーランドの国内情勢が険悪だった頃万一の場合に備えて作った電話連絡網をもっており、また、西ベルリンからの食料の共同購入をするなど、かなりまとまりの良い集団であった。

Ⅳ 避難・退避が必要でないと判断した理由

1. 避難・退避にレベル

私が判断の根拠にした一つは、我が国の防災対策専門部会が示していた基準である。その概略は次の通りである。

外部被曝の場合

妊婦、子供の屋内退避レベル 1-5rem、他所へ避難させるレベル 5rem 以上

大人の屋内退避 5-10rem、退避 10rem 以上

甲状腺被曝の場合

妊婦・子供のときも大人のときも、それぞれ外部被曝の場合の一桁上の値

2. 被曝量の推定

外部被曝で考えると、地上1メートルの高さでの線量の積算値が全身の外部被曝の予測値を示すと考えて良いから、その値 25mrem というのは防災対策専門部会のいう妊婦、子供の屋内退避レベル 1rem の40分の1である。これは、屋内退避のレベルにはほど遠い。まして避難するほどでないのは確かである。

甲状腺被曝については次項でのべるが、これも避難・退避にはあたらぬレベルである。

V ヨウ素剤の服用—必ずしも必要ないが無駄ではないとした理由

1. ヨウ素剤服用の目安

ヨウ素剤服用の目安（妊婦・子供も含めて）として考えていたのは、次のようであった。

- 1) 放射性ヨウ素による甲状腺の被曝が 50rem 以上と予測されるときは必要
- 2) 5rem 以下なら不必要
- 3) その中間は状況に応じて

2. 放射性ヨウ素の摂取とそれによる線量の推定

日本人の場合、ヨウ素 131 は飲んでも、吸っても $1\mu\text{Ci}$ が体内に入るとその約 20 % が甲状腺に集まり、その結果 1.5rem 程度の甲状腺被曝が起きる、と想定した。この想定は、私自身が臨床でヨウ素制限をした何千人という日本人を対象に、甲状腺被曝に直接関係する I-131 甲状腺摂取率、有効半減期、甲状腺重量を測った経験からである。そこから計算すると、50rem になるには $33\mu\text{Ci}$ 、5rem は $33\mu\text{Ci}$ と見積もられた。

3. 放射性ヨウ素の摂取量の推定

放射性ヨウ素は、呼吸から、また、飲食物から入ってくる。

空気の汚染：前述のように、4月28日から5月1日早朝までで $27 \times 10^{-7} \sim 54 \times 10^{-4} \mu\text{Ci} / \text{m}^3$ 、その後3日の午後までの間では $54 \times 10^{-6} \sim 27 \times 10^{-5} \mu\text{Ci} / \text{m}^3$ だったという。一方、人が吸う空気の量は1日 10m^3 位である。だから、汚染最大の $54 \times 10^{-4} \mu\text{Ci} / \text{m}^3$ の空気を5日間吸い続けたとして約 $5\mu\text{Ci}$ となる。

飲食物の汚染：運悪く汚染が最もひどい牛乳を1リットル飲んだとして

$1,720\text{Bq} = 0.04 \mu\text{Ci}$ となる。

しかも空気の汚染は急激に少なくなっている。牛乳、生鮮食料品などについては在留邦人は、前述のように、非常に恵まれた状態にある。

以上のことと、ヨウ素剤服用の目安（5rem 以下なら不必要）を考え合わせると、在留邦人の場合、「不必要」の範疇に入っていたと思われる。

6. ワルシャワの日本人に対するヨウ素剤服用の評価

しかし、これには別の観点も必要である。それは、ヨウ素剤服用がパニック状態の中での人心安定剤としてすばらしい効果をあげていたという事実である。

しかも、比較的少人数が対象で服用時の注意が行き届いていたのであろう。ヨウ素剤服用の副作用は見られなかったという。

結局のところ、ワルシャワの日本人に対するヨウ素剤服用は、パニック状態の中での人心安定剤として効果があったことと、甲状腺被曝を少しでも減らしたことの、二つの意味で有効だったと評価してよいであろう。

VI ポーランドに於けるヨウ素剤服用の追跡調査

ポーランドではヨウ素剤投与の追跡調査を全国規模で行っているが、ここでは *Endokrynologia Polska*, vol, 42(2), 1991 に発表された 15 編の論文の英文抄録（これらの英文抄録は内山正史氏から提供されたものである）からその一部を紹介する。なお、ポーランド語の論文本文は入手を手記しているが、本稿執筆には間に合わなかった。

1. ポーランドにおける甲状腺被曝とヨウ素剤服用の効果

ポーランド各地の住民の甲状腺 H 50 線量については次のように見積もられている (By Krajewski, 文献 1)。

ポーランドで汚染が最もひどかった地域では、1 - 5 歳児および 5 - 10 歳児の平均は 50mSv 弱、最高のグループ (住民の 5%) はこの 4 倍。汚染が中程度であった地域では 10mSv 弱。汚染が最も少なかった地域では 5mSv 弱。

ヨウ素剤服用の効果については、安定ヨウ素の投与日と committed dose の減少に関し、5 compartment model による理論計算がされている (by Johnson)。

1986 / 4 / 28, 44%

1986 / 4 / 29, 40%

1986 / 4 / 30, 26%

1986 / 5 / 1, 12%

2. 全国調査の基本方針 (By Nauman et al. 文献 2)

全国調査は「医科大学区」ごとに、6 グループに分けて行われた。

調査対象者は選挙人名簿を基礎に、ランダムサンプリングで選んだ。具体的には、地域、市町村、通り、家屋番号、フラットナンバーの順にランダムに選び、選ばれたフラットあるいは家屋に、「チェ」事故の期間中住んでいた住民のうち、1974 年 1 月から 1985 年 12 月に生まれたもの (子供) と、1926 年 1 月から 1973 年 12 月に生まれたもの (大人) を“サンプル”とした。

サンプルの調査は、統一した質問票を用い、医学検査、臨床検査発表統一したプロトコルに基づいて行った。血清 TSH, T_4 , T_3 および甲状腺自己抗体の測定は、同一キット、同一の操作法で行った。

3. 北東部 (By Kinalska et al. 文献)

この地方は甲状腺の committed dose がポーランドで一番高かった地域である。

調査対象は、1983 ~ 1985 年分が 6,921 人。1986 ~ 1988 年分が 4,010 人である。

ヨウ素剤の投与は、90% が Lugol 液の一回服用で行われた。飲んだ人の割合は、子供 95%、大人 30% である。飲んだ時期は、4 月中が 53.3% ~ 74%、5 月 1 ~ 5 日が 23.0 ~ 43.4% であった。

剤形については、Lugol 液はヨウ素剤よりも飲みやすかった (better tolerated than other kinds of iodine) と評価されている。

副作用は 241 人 (4.4%) に見られた。主な症状は、嘔吐 (143)、腹痛、下痢、呼吸困難、皮膚発赤である。大部分は軽度であったが、うち 29 人 (12%) が医師の診察を受けた。

調査対象者中には、事故当時妊娠していた人が 200 人いた。うち 177 人は、健康児を満期出産。1 人は人工妊娠中絶をし、7 例は自然流産をした。これらの状況は、ポーランドの平時と変わらない。出産にも、生まれた子供にも、変わったところはなかった。

甲状腺腫の罹患率は、1983～1985 年調査で 35.9 %、1986～1988 年調査で 32.4 %であった。甲状腺腫の大きさは、事故後有意に小さかった。

結節性甲状腺腫については、「Nodular goitre before the catastrophe was noted in 8.1 % persons with goitre, after 1986 the percentage for the general population was significantly enhanced (16.1 %) 」と書いてある。

また、甲状腺機能亢進症、甲状腺機能低下症、Graves disease、甲状腺切除術後と診断された者はきわめて少なかった。

甲状腺疾患の罹患率は、事故後、子供では 3 倍に増えたが、大人では増えなかった。

TSH と甲状腺ホルモンは、正常範囲にあった。

抗甲状腺自家抗体 (ATMA と ATG) は「チェ」事故直後には被検者の約 25 %にみられたが、その後次第に減り、1990 年には 7 %になった。

VII ワルシャワの母子病院における調査 (By Lenartowska, et al, 文献 4)

「チェ」事故直後に生まれた子供の調査がワルシャワの母子病院で行われた。この研究は、ポーランド中央部で日常的に行われている PKU と甲状腺機能低下症の新生児スクリーニングを利用したもので、生後 3～5 日に TSH-spot levels の評価を行っている。

1. 質問票による調査

一般的な健康状態と甲状腺の状態については、親に質問票を送って調べた。約 14,000 通の質問票を送って約 12,000 通の回答が来たが、有為な健康障害は発見できなかった。

2. 内分泌科に呼び出での検査

1989～1990 年に 1912 人の子供 (男 938、女 974) をワルシャワ母子病院内分泌科に呼んで検査した。検査時の年齢は 2.9 から 4.2 歳。全員、新生児スクリーニング TSH-spot test の結果は陰性であった。

一般健康状態は良好。先天奇形は 33 例 (1.7 %)、これはポーランドの一般人集団と同じである。

知能の発育は 1897 例が正常。15 例で IQ 低下。

身体の発育は正常。

理学検査と生化学検査 (total T4 serum level, total T3 serum level, TSH serum level) をした 1904 例は正常。8 例 (0.8 %) に甲状腺腫 (機能は正常)。

結論：1912 名の子供の調査では、甲状腺にも、一般健康状態にも、「チェ」事故に関連づけられるような変化は見られなかった。

VIII 全国調査で得られた最も重要な知見 (By Nauman, 文献 5)

① ポーランドの南東および北東に位置するいくつかの voivodships では、防護策を採らなかったら、幼児の甲状腺は、radioiodine を 60mSv 以上蓄積し、国で決めた干渉レベルを越えたと思われる。

- ② 新生児期に放射性ヨウ素にさらされた児の甲状腺機能は正常だった。また、新生児甲状腺機能低下症の頻度は、「チェ」事故の前と同様だった。
- ③ 新生児に与えたヨウ化カリウムは何人かの新生児で、TSHの一時的上昇（Wolff - Chailcoff 現象）を起こした。したがって、新生児向けに決めた KI 量は多過ぎる可能性がある。
- ④ 年長の子供、ティーンエイジャーおよび大人では、甲状腺に蓄積された放射性ヨウ素は、大多数の例で、50mSv を大幅に下回るものであった。
- ⑤ 非中毒性びまん性甲状腺腫の頻度は、特に昔から地方病性甲状腺腫がある地域で高いことがわかった。しかし、ポーランドの他の地域でも比較的高く、これはヨウ素不足または相対的ヨウ素不足によると思われる。
- ⑥ 他の甲状腺疾患の頻度は、相対的ヨウ素不足の国々で報告されている範囲内にある。
- ⑦ 子供およびティーンエイジャーでは、95 %以上がヨウ化カリを一回服用した（約 10,000,000 人）。
- ⑧ 大人では、約 27 %がヨウ化カリを服用した（約 7,000,000 人）
- ⑨ 北東および南東の 11 の voivodships では、全体の約 75 %は 24 時間以内にヨウ化カリ溶液を服用した。その他の、4 月 30 日午後には防護活動が命じられた地域では、30 日に服用したのは約 25 %、残りは次の 48-72hrs に服用した。
- ⑩ 防護活動が始まる前に、一部の子供に、外用薬として認可されているヨウ素のアルコール溶液を服用させたという事実は、「チェ」事故後第一日にポーランドで見れたパニックを物語っている。
- ⑪ KI 投与後の副作用で甲状腺外のものは約 5 %にみられた。これは大部分が、軽度ないし中等度で、薬を飲まなくても消えた。年少の子供で一番普通に見られた副作用は嘔吐であった。これは、薬の量か化学型のどちらかが適切でなかったことを示している。
- ⑫ KI 投与後の副作用で甲状腺内のものは稀であった。その多くは新生児、非常に幼い子供、過去に甲状腺疾患の既往のある大人に見られた。
- ⑬ 甲状腺に蓄積された放射性ヨウ素は少量でも免疫学的反応を起こし、血漿中に甲状腺抗体が現れる可能性がある。

IX 全国調査で得られた最も重要な結論（By Nauman、文献 5）

- ① ポーランド人の甲状腺に蓄積した放射性ヨウ素の量は、50mSv をかなり下回るものであった。甲状腺の機能および形態に影響はなかった。
- ② この量でも、新生児やごく幼い子供では、他の悪い環境要因が共存すれば、ある程度リスクを発生したかも知れない。したがって、少なくとも既知の要因（ヨウ素不足）の排除が重要で、追跡調査を少なくとも 5 年に一度は行うことが勧告される。
- ③ 全国調査の結果では、ヨウ素不足の地域に地方病的な甲状腺腫があることが分かった。しかしその他の幾つかの地域にも散発的に甲状腺腫があることが明らかになった。これは、おそらくは環境汚染の結果と思われる。
- ④ ポーランドの多くの地方では、ヨウ素を加えた塩を配布する必要がある。
- ⑤ 放射能汚染の中期にヨウ化カリを防護的に投与したが、これは、甲状腺への放射性ヨウ素の蓄積を減らして、50mSv 以下に抑えた。
- ⑥ 子供、ティーンエイジャーおよび大人の約 5 %に副作用が現れた。新生児および非常に幼い子供の甲

状態に見られた副作用は、この年齢層に推奨された投与量とその化学形とについて、因果関係を調査する必要があることを示している。

- ⑦ ヨウ化カリの防護的使用は、甲状腺疾患の既往のある人では (in far field に) 避けるべきである。

X ポーランドの今後の計画

ポーランドでは1996年3月から、「a new project on the same issue, for the long-term effects」が始まっているようである。

XI 10年後の感想

- ① 1986年の「チェ」事故時のワルシャワ在留邦人は、ヨウ素剤服用の目安からいえば「不必要」の範囲にあったという当時の判断は、その後のポーランドの諸データに照らしてみても間違っていなかったと思われる。
- ② しかし、在留邦人のヨウ素剤服用はパニック状態の中での人心安定剤として素晴らしい効果をあげていたことに注目する必要がある。これには、ポーランド政府が、初期に北東部の子供と限っていたヨウ素剤服用を、まもなく全土に、また大人に拡大したのと共通の基盤がある。
- ③ ポーランドの例を見ると、パニック時の心因反応も混じっているのであろうか、ヨウ素剤の副作用として挙げられている「嘔吐」などはかなり頻度であったようである。
- ④ 線量の見当が付いた後での私の主な努力目標は、パニックの鎮静であった。その努力は在留邦人に対する説明会での手応えでも確かめられたと思ったし、次の投書を読み報われた思いがしていた。

(松本けい子氏、1987. 5. 5、朝日新聞投書)

四月三十日には在ポーランド日本人会から「外出はなるべくしない。窓は閉めた方がよい。乳、乳製品食べない。野菜はよく洗う」等々の注意がありました。その日から、やむを得ないことを除き外出しない缶詰状態が続きました。

五月四日、日本から専門家が来られてポーランドの状況を調べ、その報告がありました。ワルシャワの汚染度は低く、それほど心配しなくてもいいとのことで、少しほっと出来たのです。やっと外に出た五月五日はこどもの日、何と世界は素晴らしいのかとつくづく思いました。

参考文献

いずれも Endokrynologia Polska, vol. 42(2), 1991 に発表された論文

1) Pawel Krajewski

Committed dose to the thyroid of polish population after the Chernobyl accident. Effect of administering stable iodine.

2) Janusz Nauman, Hanna Roszkowska

Epidemiological foundation of population studies of MZ-XV II programme.

3) Ida Kinalska, Wieslaw Zarzycki, Anna Zonenberg, Mikolaj Rybaczuk, Piotr Zimnicki, Henryk Holowacz, Anna Gosiewska, Marek Kulikowski, Eugeniusz Dzierzanowski, Aleksander Modzelewski, Teresa Modzelewska, Irina Krawczuk, Maria Gorska, Beata Telejko

The results of study of influence of radiological contamination and iodine prophylaxis after Czernobyl accident on the thyroid morphology and function of the inhabitants of north-east region of Poland.

4) Irena Lenartowska, M. Oltarzewski, Iwona Lisewska, Barbara Staroszczy

The lack of negative outcome of Chernobyl accident in infants born between 26 april and 5 may 1986 in central Poland.

5) Janusz Nauman

Results of studies performed within MZ-XVII programme; most important observations and conclusions of country-wide studies ,

2-3 国際協力 マスクリーニング

— チェルノブイリ近郊住民の Cs-137 体内量の測定 —

星 正 治

広島大学原爆放射能医学研究所

International cooperation Mass screening

— Whole body cesium-137 measurements for the residents in Chernobyl area —

Masaharu Hoshi

International Radiation Information Center, Research Institute for Radiation Biology and
Medicine, Hiroshima University

1-2-3 Kasumi, Minami-ku, Hiroshima, 734 Japan

ABSTRACT—The level of radiation exposure in children in the former Soviet Union area caused by the Chernobyl accident was investigated on the basis of whole body ^{137}Cs count. The subjects were totally 87,430 (42,114 boys and 45,316 girls) in Mogilev and Gomel Belarus, Bryansk Russian Federation and Kiev and Zhitomir Ukraine. They received Chernobyl Sasakawa Health and Medical Cooperation Project health examinations for May 1991 to December 1994 and were 5–16 y old at the time of examination. The median whole body ^{137}Cs count per body weight varied from 20 to 50 Bq kg^{-1} except several cases in Gomel and Bryansk oblast. (The “oblast” is the largest administrative district constituting the country.) Corresponding annual effective dose equivalents were all less than the public dose limit of 1 mSv y^{-1} .

1. はじめに

1986年4月26日チェルノブイリ原子力発電所の事故が発生した。その際放出された放射能は3.6EBq (100MCi)と言われている。このチェルノブイリ原子力発電所の事故より5年後の1991年より5ヵ年の計画で笹川記念保健協力財団による医療協力事業が開始された。検診は避難地域などではなく、事故の前から現在までそのまま住み続けている地域の住民を対象とした。それらの地域の検診を行えば、住み続けることが安全かどうかなどが分かると期待された。

事業はチェルノブイリ近郊に5つのセンターを指定しそこに検診用の器材を提供し日本側が検診活動の援助指導を行うものである。それらの病院はベラルーシ共和国のゴメリ市とモギリョフ市のそれぞれ Gomel Specialized Medical Dispensary、Mogilev Regional Medical Diagnostic Center、及びロシア連邦のクリンシー市の Klincy City Children's Hospital、ウクライナ共和国のキエフ市とコロステン市の

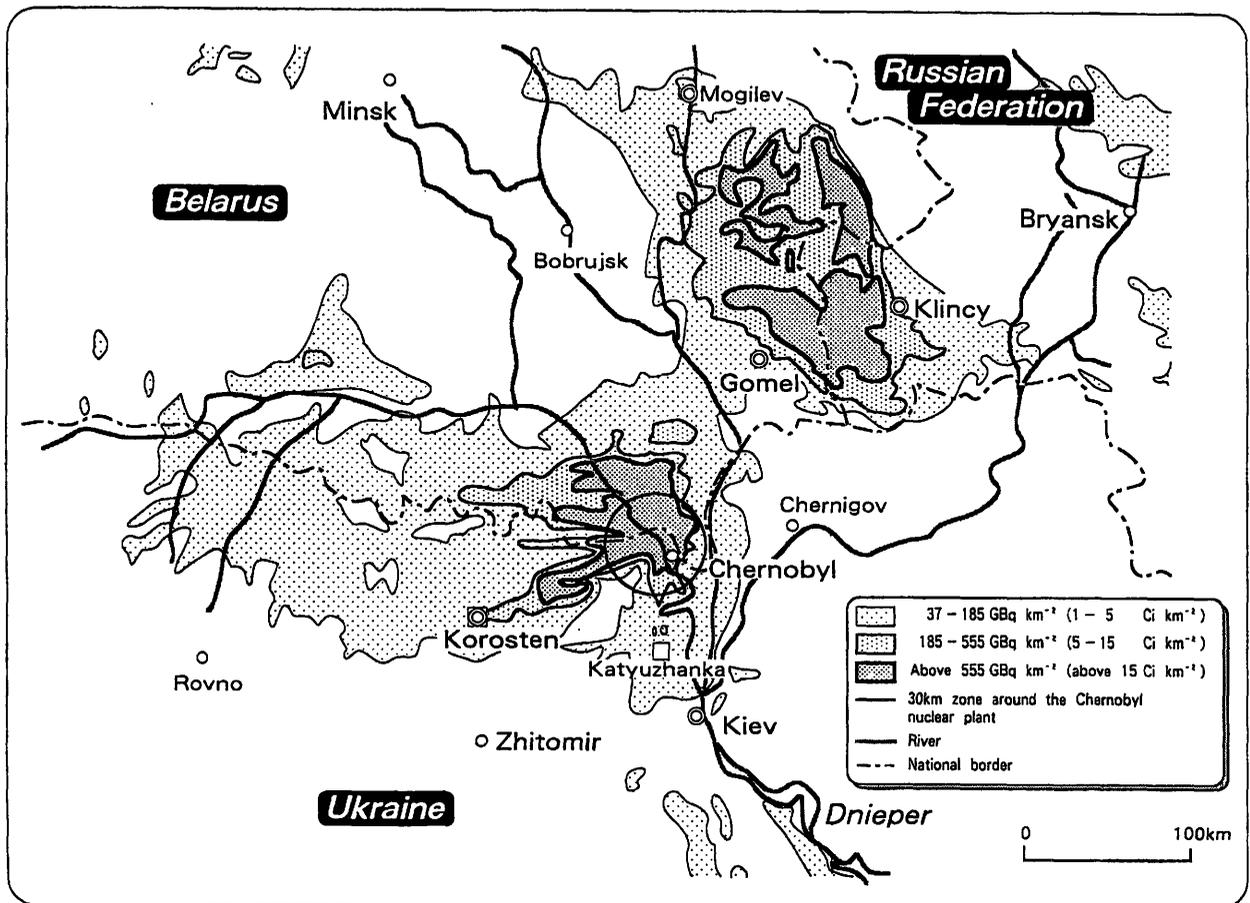


図1 5センターはベラルーシのモギリョフ、ゴメリ市、ロシアのクリンシー市、ウクライナのキエフ、コロステン市にある。地図にこの地域と位置を示す。

それぞれ Kiev Regional Hospital No.2、Kofosten Inter-Area Medical Diagnostic Center である。図1にセンターの位置や検診地域を示す。

検診活動の内容は主に4項目あり、それらは、(1) 甲状腺の検診、(2) 血液学的検診、(3) セシウムの体内量の測定、(4) 以上の疫学統計学的解析である。著者が担当したのは(3)のセシウムの体内量の測定であった。(1)は長崎大学のグループが担当し、(2)は広島大学の血液内科学の分野が担当し、(3)は広島大学と長崎大学の線量評価グループが担当した。そのほか線量評価については汚染の状況の調査も行った。その結果の一部を Hoshi *et al.* (1994a) に発表している。

検診の対象者は事故当時0歳から10歳までの子どもとした。

当初は旧ソ連の崩壊前であったが、開始直後旧ソ連は分裂しチェルノブイリの付近は3ヵ国にまたがることとなった。5つのセンターは今ではベラルーシのゴメリとモギリョフ市とゴメリ市、ロシアのクリンシー市、ウクライナのキエフ市とコロステン市にある。検診地域や検診の対象者ははじめに旧ソ連の保健省が決めその後は各共和国が決めている。ここではセシウムの体内量の測定結果について述べる。

この医療協力事業では以上の検診活動を行うため、各センターにそれぞれ検診用の機材を提供したが、主なものは以下の通りである。

- (1) 甲状腺検査用超音波診断装置、甲状腺機能検査用装置
- (2) 血液検査用自動血球計数装置
- (3) 全身放射線計測装置(セシウム-137を測定する)

これらのほか時間的には後でデータ解析用の計算機システムをモギリョフセンターへ提供している。

はじめの一年は(2)以外をバスに搭載したものを提供した。バスで検診を行う村に出かけそこで検診することとした。ただバスで現地へ赴くには道路事情も悪く、重い装置や精密な装置をバスで移動させることには故障の原因となることなど問題があった。また冬季には日本と違い気温が格段に低くなるのでバスごと暖房のある部屋に入れておかななくては装置が故障する。もちろん冬季においてはこういった室内は別として、現地へ行って測定することはほとんどできないと言ってよい。このように維持には注意が必要であった。

血液試料は低温で保存し各センターに持ち帰りそこで計測した。2年目は同様のセットを病院に据えつけた。新たに移動用のバスも提供し、そのバスで村から検診対象の子どもたちを病院につれてきて検診した。

子どもたちの検診にあたってはあらかじめ質問票を渡しておき、その質問票に名前年齢住所など質問に従って記入してもらっておき、検診の結果を含めて各病院でデータをコンピュータに入れ登録する。これらのデータは後で統計的な解析を行う。

はじめは、我々担当の日本人が現地の病院を訪れ、機械の使用方法を教えた。まえもって各人が日本で研修を受けておいた上でのことである。しかし、実際にはお互いに通訳を通してのコミュニケーションであり非常に不自由な面もあった。また現地の担当者は自分の決められた範囲しか興味がなく意欲にかける担当者も見受けられ、“トレーニング”を進めることについては日本では考えられないトラブルもあった。しかししばらくすると受け入れ側も理解が進んだのか徐々にうまく進むようになった。

ホールボディカウンターを担当の我々は、他の分野に比べて比較的装置の運転や取り扱いに関して問題は少なくスムーズであった。他の分野ではトレーニングや入力 of 正確さなど我々の考える水準にまであげるのは大変であった。セシウム of 体内量の測定に関しては、年に数回各センターを訪れ装置の異常や取り扱いの上での問題をチェックするだけでほぼ正しく検診は行えたと考えている。

よりそのほかの検診結果の詳しい報告は Sasakawa Memorial Health Foundation (1994、1995) に詳しく書かれている。

2. 材料と方法

測定に使用したのはチェア型のカウンターで、アロカ社製 Aloka WBC101 である。検出器本体は直径 7.6cm、長さ 7.6cm の NaI (Tl) シンチレーションカウンターで 5cm 厚さの筒状の鉛でシールドしている。また椅子の背中は 2cm、下のシート側は 1cm の鉛でシールドしている。この検出器からの信号はマルチチャンネルアナライザーでスペクトル分析を行い、デスクトップコンピュータで Cs-137 量を計算する。測定は腹部を測定した。この装置の概念図を図 2 に

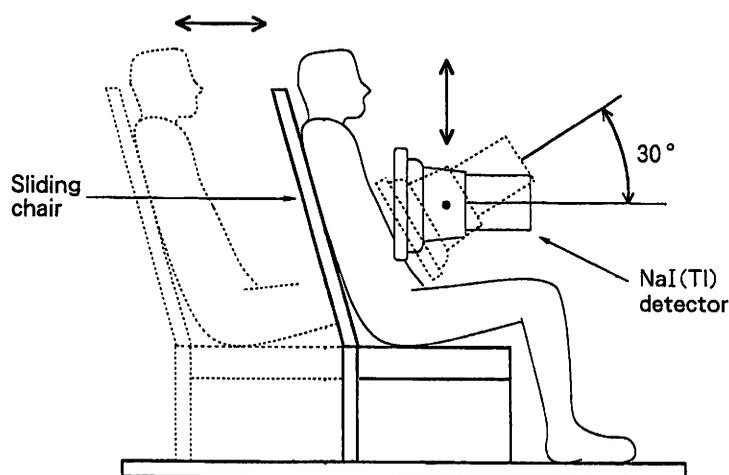


図2 この検診で使用した、チェア型のセシウム 137 の計測装置の概念図。椅子をスライドさせ、また検出器の高さと角度を変えて検診対象者の腹部を測定する。

示す。この装置の検出限界は東京で見積もったところ 270Bq(1 σ)であった。バックグラウンドの状態が変われば検出限界も変わる。

このチェア型カウンターは腹部の部分的測定を行い、あらかじめ求めた換算値から全身量に換算して、全身のセシウム 137 の放射エネルギーを求める。そこで校正を前もって行う必要がある。そのために放射線医学総合研究所の年齢により違う 4 種のファントムで校正した。校正に使ったグラフを図 3 に示す。この図はファントムの体重と、計測したカウント数にける全身量を求めるための計数との関係を示す。子どもの体重をはじめに計り、この図から全身量に換算する計数を内挿し求め、測定結果との積を計算し全身量を求める。結果は体重 1kg 当たりで示す。計算はパーソナルコンピューターでおこなう。

このデータを含め全ての結果はモギリョフのセンターでまとめられていて統計的な解析が行われている。より詳しい方法は Hoshi *et al.* (1994b) に示した。その数は 1991 年 5 月 15 日から 1994 年 12 月 31 日までの間に表 1 の様になり総計 87,430 人となっている。なおこの数字は現在 (1996 年 4 月) では 15 万人を越えている。詳しい解析はまだすんでいないが傾向は同じである。

図 4 の (a)、(b) には一例としてそれぞれベラルーシのゴメリ州 (ゴメリオブラスト) とモギリョフ州の行政区

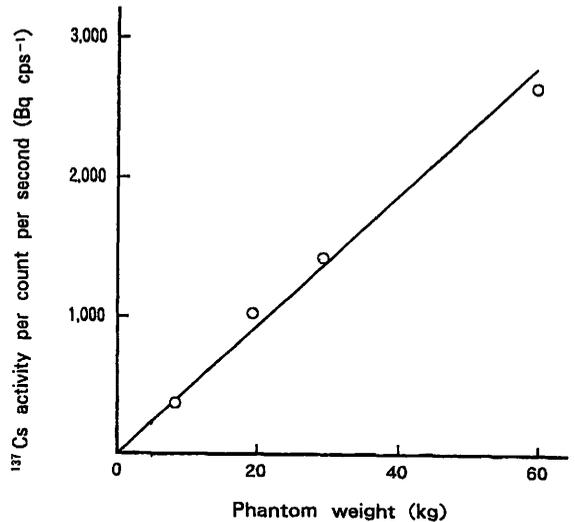


図 3 腹部の計測から全身量に換算するための計数を求めるためのグラフ。本文中に示すように千葉の放射線医学総合研究所の年齢別ファントムを用いた。

表 1 5 センターの検診者数 (1991年5月15日から1994年12月31日までの間の検診者数)

センター	男	女	計
モギリョフ	8,778	9,149	17,927
ゴメリ	6,927	7,469	14,396
クリンシー	8,753	8,714	17,467
キエフ	8,965	9,883	18,848
コロステン	8,691	10,101	18,792
合計	42,114	45,316	87,430

(a) ゴメリ州 (ゴメリセンター)



(b) モギリョフ州 (モギリョフセンター)



図 4 検診を行った地域を地図に示す。大きな区画は日本の県に対応した、行政区画でオブラストという。ここでは州と訳すことにする。またその中の小さい行政区画はライオンという。ここではライオンを村と呼ぶことにする。村(ライオン)の中に示した値は各国が計測したセシウム 137 の土壌汚染 (Ci/km²) である。キエフ州は 1994 年の結果でそれ以外は 1992 年の結果である。その数字が記入されている村 (ライオン) は検診を行った地域に対応している。かっこの中の数値は、数多くの結果のうち 25%、50%、75% の汚染レベルの値を (Ci/km²) で示し、その下の 2 つの数字は同様に最小値と最大値を示す。それぞれ 2 つの州 (オブラスト) ゴメリ、モギリョフについて示す。そのほかの、ブリヤンスク (クリンシーセンターのある州)、キエフ、ジトミール (コロステンセンターのある州) については省略する。

画である村（ライオン）を示している。ここではオブラストを州と訳し、ライオンを村と訳す。検診行った村には図の説明にあるとおり汚染のレベルが数値で示してある。これによればベラルーシではほとんど全地域で検診を行ったことになる。

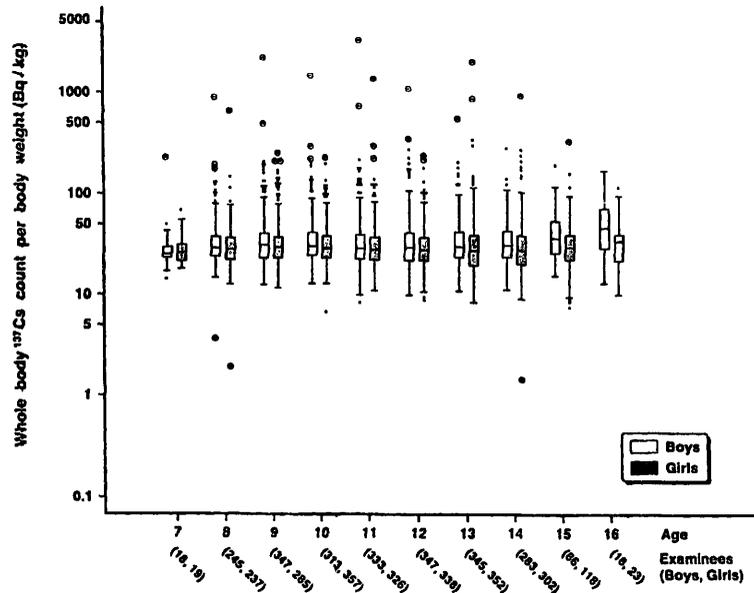
3. 結果と考察

結果は年齢別性別および村別に比較した。そのうち年齢別性別に比較したものを図5に示す。(a), (b)にはそれぞれゴメリセンター、モギリョフセンターの結果を示す。ロシアのクリンシーセンター、ウクライナのキエフセンター、コロステンセンターの結果はモギリョフセンターの場合と同様であるので省略する。年齢別、性別には5センターとも違いは見い出せなかった。特に女性の場合は大人になると脂肪の割合が増え、脂肪にはセシウムは取り込まれにくいとされているのでその違いがでることも考えられたが差は見えていない。すべての結果のメジアン値は体重当たり 50Bq/kg 以下である。

次に村ごとの比較を図6に示す。同様に(a), (b)にはそれぞれゴメリセンターとモギリョフセンターの例を示す。ただし村別に見ると最も汚染のひどいゴメリ州の場合はいくつかの村で体重当たりの放射能の量のメジアン値が 100Bq/kg を超えている。モギリョフセンターの場合はそういった大きな値の例はない。同様な図なので省略したが、ロシアのクリンシーセンターには大きい村もあったが、ウクライナのキエフセンター、コロステンセンターの結果はモギリョフセンターと同様であった。この図からわかる通り、大部分の値については村別に見た場合のメジアン値は 50Bq/kg 以下である。

確かに我々日本人は多くとも数 Bq/kg であるのでこれらの値は比較をすれば大

(a) ゴメリセンター



(b) モギリョフセンター

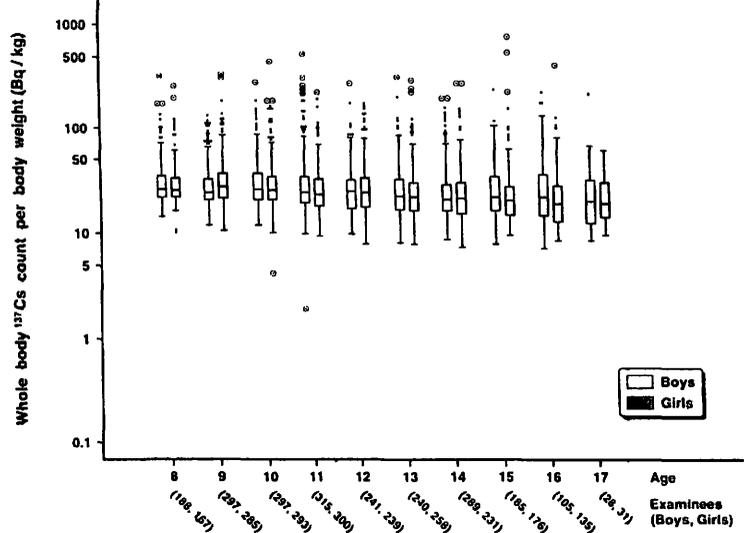


図5 年齢別、性別の体重 1kg 当たりの ^{137}Cs 量 (Bq/kg) を箱髻図で示す。下のかっこで示した二つの数字はそれぞれ検診した少年少女の数である。箱の真ん中の横線はメジアン値を示し、箱の中には 50% の値が含まれる。中心から髻の端までの長さは箱の長さの 1.5 倍になる。日本人の場合は 2Bq/kg 以下ぐらいであるので、それに比べれば結果は大きいといえるが、いずれも 50Bq/kg を越えない。1000Bq/kg が約 0.97mSv であるので被曝線量としては大きくはない。ゴメリ、モギリョフについてのみ示しそのほかは省略する。

きいといえる。しかし 1000Bq/kg の ^{137}Cs を体内に保有する人が生涯に被曝する線量は 0.97mSv である。したがって年間の自然放射線量が 2mSv 位であることを考えればチェルノブイリ近郊住民のセシウムの体内量は 1 年間の自然放射線による被曝の量に比べてずっと少ないといえる。このことは今後の影響という観点から見ると、これらの地域に今後住み続けても問題はないことを示すといえる。

しかしながらセシウムの体内から排出される生物学的半減期は約 100 日とされているので、これらの結果は事故直後の情報は持っていないことになる。また事故直後にはヨードに代表される内部被曝の原因となった核種はほかにも数多くあったはずである。またガンマ線による外部被曝に関してはその大きさの程度を含めてまだ十分にはわかっていない。今後は事故直後からの被曝線量の評価を核種別、内部外部被曝の別に総合的に行い、この地域の放射線の影響を考察する必要がある。

4. 参加者

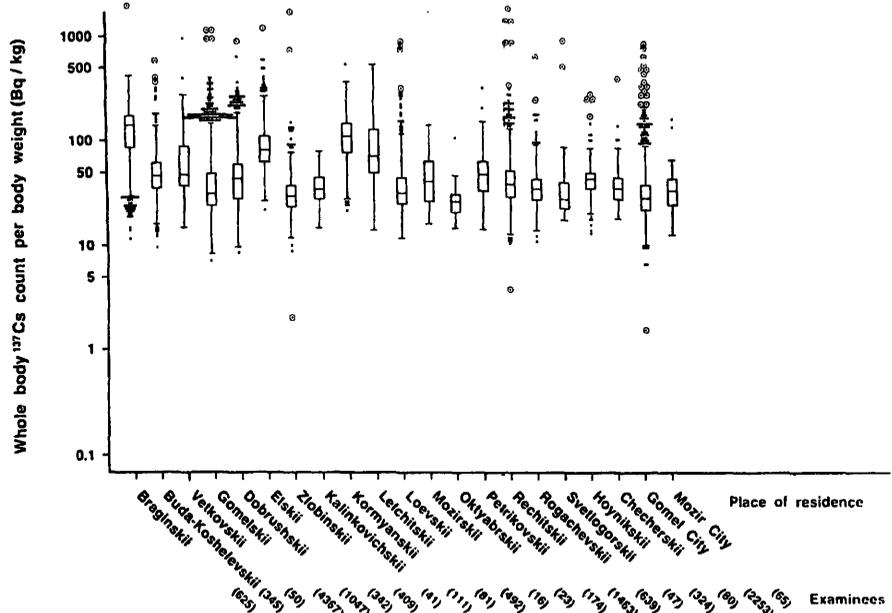
大学、研究所などの関係でこの活動に参加された方々は以下の通りです。

広島大学
長崎大学

藤村欣吾、蔵本 淳、高田 純、遠藤 暁

山下俊一、難波裕幸、伊東正博、芦沢潔人、長瀧重信、高辻俊宏、岡島俊三

(a) ゴメリセンター



(b) モギリョフセンター

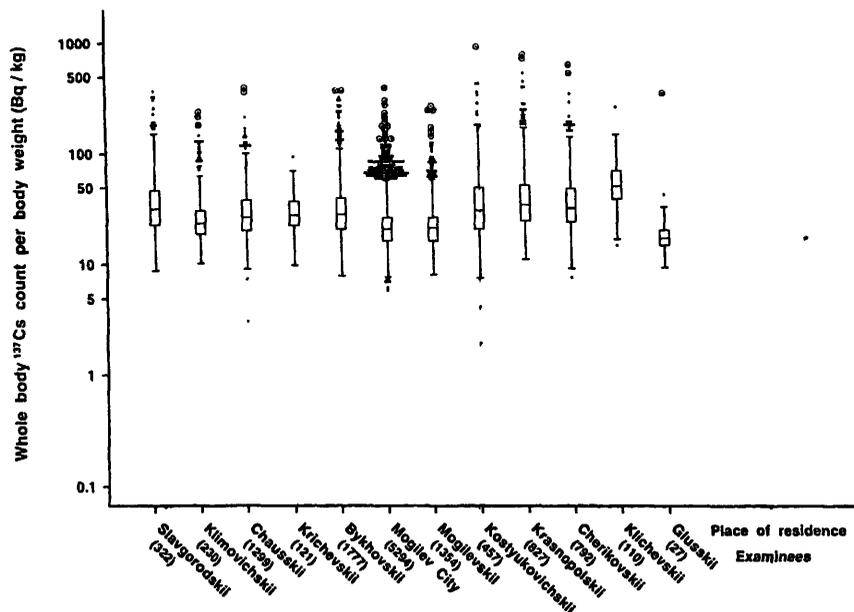


図6 図5と同様に村(ライオン)別に体重1kg当たりの ^{137}Cs 量(Bq/kg)を箱髭図で示す。下のかっこで示す数字はその村で検診した子供の総数である。ゴメリやブリヤンスク州(オブラスト)に100Bq/kgを越える村(ライオン)が存在する。示した図はゴメリとモギリョフについてのみで他は省略する。汚染の高い地域があることと関連している。

茨城県立医療大学 佐藤 齊
放射線影響研究所 柴田義貞、重松逸造
笹川記念保健協力財団 紀伊國献三

現地の病院の関係者は以下の通りです。

Gomel Specialized Medical Dispensary

V. B. Masyakin, W. A. Kalimullin, V. E. Derzhitsky

Mogilev Regional Medical Diagnostic Center

V. F. Sharifov, I. I. Veselkina, I. V. Pilenko, S. V. Kovaleva, N. K. Dolbeshkin, S. A. Danilchik,
T. A. Krupnik Klincy City Children's Hospital A. I. Kovalev, A. A. Averichev

Kiev Regional Hospital No.2

P. M. Shmygun, V. V. Elagin

Korosten Inter-Area Medical Diagnostic Center

I. N. Sokolovskiy, V. V. Danilyuk

謝辞

この研究や検診活動には日本からまた旧ソ連現地で多くの人々が参加している。それらの方々すべてに感謝します。

また笹川記念保健協力財団及び、財団の、楨治子氏、十八公宏子氏ほかこの事業に参加していただきました方々に感謝申し上げます。

文 献

- 1) M. Hoshi, M. Yamamoto, H. Kawamura, K. Shinohara *et al.* Fallout radioactivity in soil and food samples in the Ukraine: Measurements of iodine, plutonium, cesium, and strontium isotopes. *Health Phys.* 67:187-191; 1994a.
- 2) M. Hoshi, Y. Shibata, S. Okajima, T. Takatsuji, *et al.* ^{137}Cs concentration among children in areas contaminated with radioactive fallout from the Chernobyl accident: Mogilev and Gomel oblast, Belarus. *Health Phys.* 67:272-275; 1994b.
- 3) Sasakawa Memorial Health Foundation. A report on the 1994 Chernobyl Sasakawa Project Workshop. May 16-17, 1994 Moscow.
- 4) Sasakawa Memorial Health Foundation. A report on the 1994 Chernobyl Sasakawa Project Workshop. July 7-8, 1995 St. Petersburg.

原爆被ばく者の精神健康状態

中根 允文¹⁾、今村 芳博¹⁾、吉武 和康¹⁾
本田 純久²⁾、三根真理子²⁾、畑田けい子¹⁾
朝長万左男³⁾、田川眞須子⁴⁾

¹⁾ 長崎大学医学部精神神経科学講座、²⁾ 原爆被災学術資料センター、

³⁾ 原爆後障害医療研究施設治療部内科、⁴⁾ 長崎原爆対策協議会

The Mental Health State of Atomic Bomb Survivors

Yoshibumi Nakane¹⁾, Yoshihiro Imamura¹⁾, Kazuyasu Yoshitake¹⁾,
Sumihisa Honda²⁾, Mariko Mine²⁾, Keiko Hatada¹⁾,
Masao Tomonaga³⁾ and Masuko Tagawa⁴⁾

¹⁾ Department of Neuropsychiatry, Nagasaki University School of Medicine

²⁾ Science Data Center for the Atomic Bomb Disaster, Nagasaki University School of Medicine

³⁾ Department of Hematology, Atomic Disease Institute, Nagasaki University School of Medicine

⁴⁾ Nagasaki Atomic Bomb Casualty Council

1-7-1 Sakamoto, Nagasaki, 852 Japan

ABSTRACT—Our department of Neuropsychiatry has clarified the clinical features of several mental disorders and surveyed the causes of those disorders from the psychosocial aspect using the methodology of epidemiological psychiatric approach. Using this previous research experience, we began a long-planned study to examine the mental health state of atomic bomb survivors. Fifty-one years have passed since the atomic bombing, and the survivors must have suffered various psychosocial stresses, other than any direct effect on the central nervous system from exposure to radiation, and it is assumed that victims' mental state has been affected in various ways as a result.

The subjects of the survey were 7,670 people who had regular health examinations for atomic bomb survivors during the study period of three years and who consented to participate in the study. Of the total, 226 subjects were selected for a second phase according to the results of the General Health Questionnaire 12-item Version which was used in the first phase of the survey.

The results were as follows: 1. The distance from the hypocenter was related to the degree of ill health, and the percentage of people with a high score was greater among those exposed to the atomic bomb in proximity to the hypocenter. 2. 14.6% of the subjects were diagnosed as having some kind of mental disorders according to clinical interviews by trained psychiatrists.

These results had not expected prior to the study. On the bases of the study, we will try to establish a mental health support system for atomic bomb survivors.

I. 精神医学における疫学

われわれの研究室の中には、疫学的精神医学を基盤にした社会精神医学の研究グループがある。そこでは、1) 症状群の同定・臨床像と自然史の完成、2) 原因の追求(社会的・生物学的因子の解明)、3) 精神保健サービスへのフィードバック、4) 予防精神医学への寄与、などといった疫学研究の原則に則って、精神疾患の臨床像を完成させ、更に遡ってそうした精神障害の原因を解明しようとしてきた。そして、これらの結果をもとに、予防医学的観点を含めて、行政的な支援プログラムを企画・支援するということを企図してきた。しかし、このようなとき、他の身体医学と違って、精神医学の領域では特有の問題が潜むため、下記のような前提条件⁶⁾が厳しく検討されておくべきといわれる。

1) 事例発見法の確立：如何なる事例を対象とするか

2) 評価・診断における信頼性の確立：

信頼性に関わる要因

- ①対象による分散 Subject Variance
- ②評価機会による分散 Occasion Variance
- ③評価基準による分散 Criterion Variance
- ④情報の質量による分散 Information Variance
- ⑤評価者による分散 Observation Variance

評価様式の信頼性と妥当性の問題

①信頼性 Reliability ; 評価者間信頼性と再テスト再現性

②妥当性 Validity ;

内容関連性 (用途に応じた適切な内容)

概念関連性 (解釈・意味付けの適切さ)

基準関連性 (既知の基準とみなされる調査表と比較して適切)

③感度 (感受性 Sensitivity) と特異性 (Specificity) ;

感度 (真に障害がある者を正しく発見する頻度)

特異性 (障害状態にない者を無いと正しく判断する程度)

3) 前向調査・継続的追跡調査の可能性

上記について若干説明しておきたい。調査対象選択法が明記し確立されておくのは当然であるとしても、精神医学の対象とする精神現象の場合、他の身体医学と違って、情報の数量化、臨床症状の評価や診断の一致に関してなど、解決すべき様々な問題が残っているのも事実である。つまり、ある対象を見て症状や診断の評価が一致する上での信頼性を確立する必要もあるわけであり、上記の様々の分散(詳しくは成書を参照されたい)を解消する努力が試行されつつある。たとえば、最初の2つの分散の解決は臨場的観点

からまず困難であり、それ以下のものが改善の対象となっており、国際的な合意のもとにおける診断基準の確立、あるいは信頼性・妥当性のある評価尺度の開発などが急がれている。そこで、たとえば、特に精神医学的疫学研究に繁用される診断基準や評価尺度の一部を紹介すると以下ようになる。

- 1) 診断基準：国際的に共通する研究用診断分類の開発と確立が望まれ、1986年から国際疾病分類第10改訂版(ICD-10)に関する共同研究がWHOの指導のもと開始され、1993年にそれが出来上がった。従来、国内的にはICD-9を公式採用していたが、1995年1月1日からはICD-10が採用されることになった。本研究では、特に調査研究のために開発された、その研究用診断基準(Diagnostic Criteria for Research, ICD-10DCR)¹⁴⁾が利用された。
- 2) 評価様式：評価記入者が誰であるかによって利用すべき尺度は異なるはずである。

まず、自記式評価表(Structured Self-report Form)は、対象者または被験者が自ら、自己の身体的あるいは精神的状態について主観的に評価するものである。特定の精神症状別にも開発されているが、一般の心理的問題を広く網羅するものとして、英国のGoldbergが開発した「全般健康調査票(General Health Questionnaire, GHQ)」⁰²⁾がある。これは完全版であると60項目からなるが、用途に応じて12項目版(GHQ-12)、28項目版(GHQ-28)、あるいは30項目版(GHQ-30)といった使われ方もある。

次に、(半)構成面接法(Structured or Semi-structured Interview)は、研究者(精神科医)が対象者を面接によって評価しようとするもので、自由面接法であると少なからず情報収集に漏れがあると知られているため、その欠陥を補充するために考案されたのが、所定の質問項目が構成されている面接「構成面接」である。非専門家でも、一定の演習を受け信頼性が確立されたら可能となる「質問項目とその内容および判定法が厳しく設定されたもの(構成面接)」と面接者にある程度の判断の裁量が任された「半構成面接」がある。われわれの研究室にて訳出したものが少なくないが、他の評価尺度と同様に、実地使用の前に、それらの翻訳および逆翻訳が義務づけられている。本研究では、構成面接の一つである「統合国際診断面接(Composite International Diagnostic Interview, CIDI)¹⁵⁾が利用された。

II. 災害精神医学と原爆被曝

1. 災害精神医学研究の現状

わが国は地震や台風、あるいは水害など各種の自然災害にしばしば見舞われ、昭和22年の「災害救助法」、そして昭和36年(1961年)11月には伊勢湾台風の被災を受けて「災害対策基本法」が制定されながらも、その心理面・精神的な側面への影響に関する研究は殆ど無視されたままであった。多くは被災による物理的影響への対応、あるいは身体的被災の状況調査などで、被災地または被災者への経済的支援などが話題になっていた。

一方諸外国では、主に1960年代以降になるとそれぞれの地域で発生した、大火災、タンカー事故、水害、ダム決壊、サイクロン、火山噴火、地震などを中心に、多数の調査研究がなされ、それに伴って支援プログラムなどの開発も発展してきた。更に、各地での戦争体験による戦争神経症の研究、あるいはベトナム戦争後の神経症性障害に関する研究は外傷後ストレス障害(PTSD)研究として注目されるに至った。

そうした経緯を受けて、日本でも後記するような数編の原爆被ばくに関わる研究とともに、その後に発生した十勝沖地震・長崎水害・三宅島噴火災害・雲仙普賢岳噴火災害に関する研究などと、徐々に精神医

学的調査研究に広がりが見られるようになった。そして、1995年1月に起こった阪神淡路震災を契機に、メンタルケアの重要性が喧伝され、関連の研究も著しく多数施行された。同年のその後に東京地下鉄で発生した恐怖の人為災害も、その傾向を加速し、今や災害精神医学という用語は日本でもPTSDとともに流行語とさえなった。

災害が、自然災害と人為災害に分けられるのは一般化しているが、海外諸国の研究をもとに、①社会システムの崩壊により現実の物理的被災以上の困難さが発現すること、②災害の衝撃の緩和変数は、被災者個人における従来からの心理的適応能力、コミュニティーの危機受容力、および社会的支援量によること、③災害文化の発生と、それに伴う一定傾向の反応パターンが発現しうること、などといった特徴を呈することも知られてきた。

2. 災害精神医学的研究における課題

とはいえ、災害精神医学的なアプローチを考えると、疫学精神医学における制約に加えて、更に次のような課題¹¹⁾が生じてくる。

- 1) 被災者という集団の特定
- 2) 対照群の設定
- 3) 評価・測定の方法と実施時期
- 4) 平時の診断基準の適用可能性
- 5) 被災前の健康状態に関する基礎資料
- 6) 被災者の具体的支援に関する研究の必要性
- 7) 反治療的な研究に対する倫理的統制の必要性

まずは、「被災者」の同定が問題である。如何なる災害であっても、直接的な被災者と、二次的に何らかの影響に曝された間接的な被災者がいるはずであり、他にも様々な被災程度が考えられるはずである。被災者の状況を知るには、厳密な意味での比較対照群が必要であるが、誰にどの様に依頼して協力を得るかは困難な課題で、被災状況下で無闇に複雑な調査活動を行うことは不可能であると共に、施行時期によっては貴重な知見が得られないことも有り得る。さらに、たとえ一定の評価所見が得られても、それがふだんの判断基準を適用できるか否かを考えておく必要もある。対照群を設定して被災者の問題を測る方法もあるが、できれば被災者自身の平時の健康状態が基礎資料として得られていれば、これほど災害に伴う変化を明らかにするものはないであろう。ただ、これは現実的には望むべくもないが、偶然に別の目的で一般健康調査を終了した後に災害に見舞われたという報告が全く無いわけではない。

多くの地域研究で心理的な被災状況を明らかにし得たにしても、現実に如何に支援するかといったサポートシステムにまで系統的研究が発展することは少ない。被災者は当然として、行政レベルなどでは、この辺りが最も現実的で重要な要請点であり、今後の研究計画には絶対に含んでおかねばならない課題である。近年災害下、単なる調査のための調査を行う研究者がいたと聞くと、反治療的で非人道的あるいは非倫理的な調査研究は常に統制されるべきであろう。

III. 原爆被ばくの精神的影響に関する研究の実際

1. 災害精神医学の観点に立った被ばく者の精神的影響の研究の経過

災害による心理的影響は通常、急性期から亜急性期に顕著であり、原爆被ばく下においても時間的経過

の視点は重要である。しかし残念ながら、被ばく直後の時期（衝撃期ともいえる）に関する研究は皆無である。これより少し経過した後の時期に至って始めて、下記の奥村ら¹²⁾による研究が報告されている。

奥村らは、現在の国立長崎中央病院（当時の大村病院）に収容されていた 192 人の被ばく者の中から無作為に選んだ 50 人について 3 期に分けた調査を行っている。被ばく直後には様々な精神異常が見られたとの伝聞があったというのが調査時点ではそうした事例に出会うことなく、表 1 のように、被ばくから 2・3 週後の時期に情緒的昏迷を伴う驚愕反応の症例、後期に神経症・精神病に発展した症例などがあったことを報告している。

かなりの時間経過のあと、再適応期（被ばく後 8～11 年経過）に入ると、長崎からは仁志川ら¹⁰⁾、および広島から小沼⁰⁴⁾らによる研究報告があった。仁志川らは表 2 に示すように、1956 年の被ばく者総合検診に受診してきた被ばく者 7,297 名のうち 7.3 % は神経症者であり、被ばく直後にいわゆる原子爆弾症状を示した者（Ⅰ群）と、それらを全く認めなかった者（Ⅱ群）を比較すると、神経症の発現頻度が有意に前者に高率であった。

小沼らは表 3 のように、1953 年 8 月に爆心地より 1.5～2.0km の地点で集団的に被ばくし、直ちに避難はしたものの熱傷を受け更に「黒い雨」を浴び、いわゆる原子爆弾症・放射能症の症状を呈した 530 人に関する調査結果を報告して、被ばく後 8 年を経ても、高頻度に神経症的または心身症的愁訴を認めている。これらの研究は共に、こうした愁訴を有する患者群について、神経症、不適応反応レベルといった異常に留まらず、神経生理学的検討から、間脳などを中心とした中枢神経系の機能異常の可能性も示唆している。

次に、原爆投下時に母親の胎内にあって被ばくし、出生した子どもにおける影響の問題がある。中枢神経

表 1 原爆被ばく者の精神医学的調査成績

症 状	初期	中期	後期	症 状	初期	中期	後期
睡眠障害	10	5	4	下痢	1		
頭痛・頭重	3	14	13	口渇	7		
全身倦怠感	5	15	9	心悸亢進	1	7	7
抑うつ気分		9	4	意識喪失	6	4	
易刺激性		5		耳鳴		3	
記憶障害		5	4	眩暈	2	14	1
思考困難		1		難聴	1	5	
食欲不振	7	2	1	視力低下	3	2	2
悪心・嘔吐	4						

注：初期；被ばくから 2・3 週後（8 月末まで）、中期；9 月始めから 10 月始めまで、後期；10 月中旬から調査時点（1945 年 11 月初旬）まで

表 2 原爆被ばく者についての精神医学的調査

	Ⅰ群(N=4,269)	Ⅱ群(N=3,028)	合計(N=7,297)
神経症性症例	415 (9.7%)	118 (3.9%)	533 (7.3%)
下位分類			
神経衰弱	98.0%	93.2%	93.1%
不安神経症	3.9	0.8	3.2
反応性抑うつ	1.2	0.8	1.1
ヒステリー	1.0	0.8	0.9
強迫神経症	0.5	0.8	0.6
器官神経症	0.5	3.4	1.1
主要症状			
感情刺激性	65.5%	60.2%	64.4%
物忘れ	55.9	48.3	53.7
不眠	52.0	50.0	51.6
根気なし	36.9	31.4	35.6
短気	34.9	24.6	32.6
取り越し苦労	33.2	26.3	31.7
憂うつ	26.5	16.9	24.4
涙もろい	20.5	16.1	19.5
音光に敏感	13.0	5.1	11.3
不安	12.8	7.6	11.6

注：Ⅰ群は被ばく直後に何らかの原爆症を認めていた者であり、Ⅱ群はそれを認めなかった者である。下位分類（当時の伝統的分類）の項には神経症性症例の中の頻度を示し、主要症状は神経症性症例の中の発現頻度を示す

表3 原爆症後遺症性苦訴の様態

苦 訴	男	女	合計	%	苦 訴	男	女	合計	%
循環器性訴え	0	5	5	3.8	出血性傾向	1	5	6	4.6
消化器性訴え	11	21	32	24.0	痛み・痺れ	7	13	20	15.3
泌尿器性訴え	5	0	5	3.8	健忘	17	26	43	32.8
血管運動性訴え	6	11	17	12.9	頭痛・頭重	10	28	38	29.0
代謝性訴え	1	0	1	0.8	眩暈	11	28	39	29.8
皮膚性訴え	4	3	7	5.3	睡眠障害	1	4	5	3.8
体温性訴え	11	20	31	23.5	情動変化	16	23	39	29.8
全身性疲労	27	30	57	43.5	精神作業不堪	19	26	47	35.9
罹患傾向	17	27	44	33.5	精神ショック不堪	2	8	10	7.8
環境不堪性	19	28	47	35.9	その他	15	21	36	27.5

系に対する放射線の影響は、生体の形成に異常をもたらす可能性も示唆される。胎内被ばく児における心身発達遅滞への影響に関して、子宮吸収線量と受胎後の週齢との関連の中で、小頭症や重度の精神遅滞の発現など有害な影響をもたらすことが示され、先天奇形についても同様のデータが報告されている。被ばく児童の知的・運動能力に関する追跡研究が多数報告されており、身体的発達の遅れは一時的に指摘されているものの、知的発育および運動能力の発達の面における顕著で有意な異常所見が得られたとのデータはない。われわれの研究室では、精神科領域でも最も重大な関心と呼ぶ精神分裂病が胎内の神経発達異常に基づく可能性を示唆されつつあることに注目して、胎内被ばく者における同疾患の有病率について調査研究しつつあるが、未だ結論には至っていない。

2. 世界保健機関の「BRAIN DAMAGE IN UTERO」と長崎・ヒバクシャ医療国際協力推進事業

1994年5月から、われわれの研究室では、チェルノブイリ原発事故時に胎内にあって被ばくしたと見なされている児童の出生後の精神発達および行動上の問題の発現に関する長期追跡調査を指導してきた。同研究は、WHO精神保健部が「WHO Project on Brain Damage in Utero」⁰¹⁾と題して行ってきたもので、これまでベラルシュ・ロシア・ウクライナの共同研究という体裁をとり、英国・ロンドンや日本・長崎といった、関連領域において先進的研究を施行中であった研究室が方法論的に支援している。同共同研究では、多数の対照群と比較して、胎内被ばく児の発達を調査しているが、学童期に入るまでの精神発達において様々なレベルの遅滞が確認されつつある。この研究支援を知った上記3国の研究者達が長崎・ヒバクシャ医療国際協力会(NASHIM)などの援助を受けて、われわれの研究室を訪問し、彼らの研究成果をまとめあげている。

表4 胎内被ばく児の心理発達問題(6~7歳の時点)

ICD-10	曝露群 (N=154)	対照群 (N=90)	χ^2	p
何らかのICD診断を付された者	40.9	21.1	9.979	0.0016
F70 軽度精神遅滞	2.0	1.1	0.247	0.5292
F80 会話と言語の特異的発達障害	18.8	7.8	5.518	0.0188
F82 運動機能の特異的発達障害	12.3	4.4	4.145	0.0310
F90 多動性障害	8.4	2.2	3.808	0.0410
F93 小児期特有の情緒障害	20.1	6.7	8.003	0.0082
F94 小児期に特異的に発症する社会的機能の障害	4.5	0	4.212	0.0379
F95 チック障害	6.5	3.3	1.125	0.2260
F98 非器質性遺尿症	20.1	10.0	4.253	0.0392

表4は、1996年1月にわれわれの研究室で作業したベラルシユからの研究者 S. Igumnov⁰³⁾ のデータで、明白な形態的・器質的異常は認めないまでも中枢神経系の機能的な障害に基づく精神的あるいは行動上の異常の発展が示唆される。また表5は、ウクライナの研究者 L. Kryzhanovskaya⁰⁵⁾ によるデータで、放射線汚染地域の洗浄作業に従事した274名を対象に調査したところ、やはり放射線に暴露されたものにおける心理的問題が被ばくから2年後にも高率に認められることを表している。

表5 汚染地域洗浄作業従事者における心身故障の訴えの頻度

76-100%に認めた愁訴	頭痛、眩暈、疲労感、慢性の疲れ、心身の活動における疲労、騒音・明所・高温への過敏さ、記憶障害、発汗、情緒不安定、自律神経失調、焦燥感、骨関節の痛み
51-75%に認めた愁訴	血圧上昇、心悸亢進、易怒性、睡眠障害
26-50%に認めた愁訴	抑うつ、不安、悲哀、希望喪失、落ち着きのなさ、性欲喪失
1-25%に認めた愁訴	失望感、無価値感、意欲喪失、興味の喪失、楽しみの喪失、接触性の欠如、社交性の崩壊、緊張、心気、恐怖、失神、痙攣

Ⅳ. 長崎の原爆被ばく者における精神保健共同研究（1993年～）

災害発生の直後から時間的経過がさほど大きくない場合、それが被災者の精神健康に及ぼす影響を測ることは必ずしも顕著な問題を生じない。しかし、長崎における原爆被ばく者を対象とした調査研究などといったように50年以上もの時間的ズレがある場合には、当初から相当のバイアスが混入することを覚悟しておく必要がある。そうした偏倚に関わる要件のうち推測できるものは次の事項であろう。すなわち、1) 被災者グループの認定（事例性）、2) 一般集団における精神疾患罹患率、3) 加齢現象の影響、4) 身体疾患への罹病性、5) 慢性的負荷水準（心理社会的状況など）、である。各項について詳しく説明するのは省略するが、得られた結果の解釈に当たって留意しておかねばならない。

原爆被ばくが精神保健に如何なる影響を及ぼすかといった問題に関する綿密な研究方法に基づいた系統的研究は、未だ残念ながら見ない。今や原爆投下から50年以上を経過してしまい、被ばく者の高齢化も加わっている。ここで、彼らの精神健康は正当に評価され、適切な対応が行政上からも考慮されるべきであろう。そこで、われわれの研究室では、下記の目的のもと、原爆健康管理センターの協力を得て、原爆被災学術資料センター・原爆後障害医療研究施設治療部門内科との共同研究を開始した。

- 1) 原爆被ばくが精神保健に及ぼす影響の把握
- 2) 被ばく者における精神疾患の頻度と特徴
- 3) 被ばく者の精神保健に関わる背景要因の解析—他の疫学研究との比較—
- 4) 被ばく者にとって必要な精神保健サービスの企画
- 5) 一般住民における精神保健地域研究への展望

①研究方法：

対象は、長崎の原爆健康管理センター（ハートセンター内）にて、被ばく者定期健康診断を受診した者のうち、本研究に協力の同意が得られた者である。調査は、二段階抽出法とし、まず先に説明した全般健康調査票（GHQ-12）を同意した被ばく者全員に記入してもらい（一次調査）、次いで、その中からGHQ-12のスコア別に一定の比率で二次調査の対象を選んだ。その際も協力の同意を改めて確認した。二次調査対象者には、全般健康調査票（GHQ-30）への記入と、対象者背景質問表に基づく簡単な面接、お

よび所定の演習を終了した面接者による CIDI が施行された。更に、同研究の研究者の中で精神科医が精神的臨床面接を行い、ICD-10 に従って臨床診断を付した。

②研究経過

1993 年に「被ばく者の精神衛生向上のための面接調査」と題して、本研究の実施可能性に関するパイロット研究を開始して、具体的には 1994 年より、主研究としての症例収集に入った。

1994 年秋を初年度として、翌 1995 年の二年度、そして 1996 年を三年度として研究は進行し、今や一応の終了時点を迎えた。

③研究結果

地域調査自体は終了したが、現在統計解析の進行中であり、未だ完了していない。そこで、一部は予備的であるが、結果のあらましを紹介する。

まず、一次調査には 7,670 人(男;3,216 人、女;4,454 人) が参加した。表 6 は、一次調査の対象における性・年齢分布である。

一次調査対象の平均年齢(歳)は、男性で 62.34 ± 8.17 、女性 64.09 ± 8.52 、全体で 63.35 ± 8.41 である。これらのうち二次・三次調査に協力されたのは男性が 105 名、女性が 121 名、併せて 226 名であり、平均年齢はそれぞれ 62.11 ± 8.21 、 64.32 ± 8.49 、および 63.28 ± 8.42 となる。一次調査および二次調査における性別分布は、男性の占める割合で見ると、前者が 41.9%、後者が 46.9% で、二次調査でやや男性が多いが有意の差ではない。

そこで、一次調査における GHQ-12 の結果を図 1 に示す。

同調査は、被検者の身体・精神に関する健康状態を主観的に評価して記入するもので 12 項目からなる簡便なアンケートである。各項目は 4 つの選択肢がある

が 0・1 の 2 段階評点であり最高 12 点である。一次調査で、GHQ-12 における低得点者(0~1 点)は 79.4%、中得点者(2~3 点)は 11.3%、そして 4 点以上の高得点者は 9.3% であった。被ばく距離別に GHQ スコアを見ると、図 1 のようになる。2km 以内の近距離被ばく者では、3.1km 以上の遠距離被ばく者に比べて、GHQ スコアの平均点が高く、高得点者の割合も高かった。

二次面接に採用された CIDI については既に別に報告したが⁹⁾、残念ながら対象症例の全てについて解析が終了していないために、ここでは精神科医による面接をもとにした臨床診断の結果を紹介する。全対象 226 名中、何らかの診断が付された者は男性で 39 名(37.1%)、女性が 44 名(36.4%)、併せて 83 名(36.7%) である。GHQ-12 得点分布別に精神科診断の付された人の分布状況を比較したのが表 7 で

表 6 一次調査対象者の性・年齢群別分布

年齢別	男性	女性	計
~49	121 (3.8)	106 (2.4)	227 (3.0)
50~59	1,045 (32.5)	1,272 (28.6)	2,317 (30.2)
60~69	1,568 (48.8)	1,900 (42.7)	3,468 (45.2)
70~79	482 (15.0)	1,176 (26.4)	1,658 (21.6)
合計	3,216	4,454	7,670

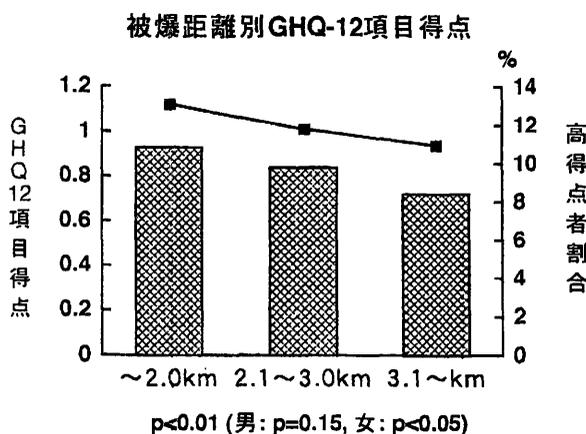


図 1 被ばく距離別 GHQ-12 得点の分布 (p0.01, 男性 : p=0.15, 女性 : p0.05)

ある。当然のことながら、高得点になるほど有病の頻度は上昇している。

この三次面接の対象から得られた頻度を、一次面接の全対象に還元して有病者数を推算すると次の表8のようになる。結局、表8から分かるように、被ばく者の14.6%には何らかの精神科診断が付されたということになる。

日本において、精神障害に関する厳密な疫学調査は未だ行われていないため、この数値がどのような意味を持つものか結論を下すことは困難である。ただ、一般的な印象としてみると、精神疾患の時点有病率としてみたとき、高率であるとの印象は否めない。たとえば、近年の疫学研究として国際的に代表的なものは米国を中心に精神科診断面接法 (Diagnostic Interview

Schedule, DIS) を利用した調査研究¹³⁾である。その結果および同様の方法を採用した諸国のデータの一部を紹介すると表9⁰⁷⁾のようになる。

ただ、上記のデータは、あらゆる精神疾患を網羅して調査すると共に、かつ調査時まで全ての時点をも含んだ調査であるので、われわれが採用した方法といくらか異なっている。従って、その差異を細かく比較することはできないが、おおよその目安としては対比できる。たとえば、韓国や台湾からのデータによると、一般人口集団における何らかの精神疾患の有病率は21.7%~40.3%ということになる。そこから、タバコ依存を除いて同頻度を見ると、16.3~33.0%になるというのである。比較における限界を前提にしても、われわれが得た知見は若干高頻度であると見ることができる。また、殆ど同様の調査方法でわれわれが行った内科外来受診患者における精神疾患の頻度は20%⁰⁸⁾である。彼らは既に何らかの愁訴を持って内科外来を受診しているのであるから、その精神疾患有病率も当然高くなるはずで、その数値と比較して、14.6%はやはり予測より高値である。

次に、精神科診断の内訳を見てみる。発見された精神疾患は気分(感情)障害と神経症圏疾患が大部分である。表10は1995年から国内で採用されることになったICD-10に基づく2桁分類を示している。F3気分障害とは、従来「躁うつ病」と呼称されていたもので、いわゆる双極性の気分障害(狭義の躁うつ病)とうつ病エピソードだけの気分障害が含まれるが、多くは「うつ病」からなっている。神経症圏疾

表7 GHQ-12 得点分布による三次面接対象者と精神科診断の付された人の分布状況

GHQ-12 得点分布	三次面接対象者数	精神科診断の付された人数	有病頻度
低得点群	76 (33.6%)	5	6.6%
中得点群	33 (14.6%)	12	35.4%
高得点群	117 (51.8%)	66	56.4%
計	226 (100.0%)	83	36.7%

表8 GHQ-12 得点分布による全対象者における精神科診断の分布状況

GHQ-12 得点分布	対象者全数	有病頻度	推定した有病者数
低得点群	6,091	6.6%	402.0
中得点群	867	35.4%	315.6
高得点群	712	56.4%	401.6
計	7,670		1,119.2 (14.6%)

表9 DIS/DSM-IIIによる生涯有病率調査 (%)

	何らかの精神疾患を発見された人	その中でタバコ依存除外したとき
米国 ECA 研究 (1988)	32.2	22.1 *
カナダ, Edmonton (1988)	33.8	—
ニュージーランド (1989)	36.6	—
ドイツ, Munich (1992)	32.1	—
韓国, Seoul (1990)	39.8	31.8
郡部 (1990)	41.1	33.0
台湾, 小都市 (1989)	34.9	28.0
郡部 (1992)	30.4	21.5
都心部 (1993)	21.7	16.3

*: 物質乱用 (タバコに限定せず) を除外

表10 全対象における臨床診断 (ICD-10)

ICD カテゴリー	臨床診断		
	男性	女性	合計
F 3 気分(感情)障害	12 (2)	21	33 (2)
F 4 神経症性、ストレス関連性、及び身体表現性の障害	18 (6)	18 (1)	36 (7)
F 5 生理的障害及び身体的要因に関連した行動症候群	6 (2)	4	10 (2)
F 1 精神作用物質使用による精神・行動の障害	4 (1)	0	4 (1)
その他	5 (1)	2	7 (1)
合計	45 (6)	45 (1)	90 (7)

但し、括弧内数字は重複している診断数を示す

患は、詳しくは「F4 神経症性、ストレス関連性、および身体表現性の障害」と呼ぶべきであるが、従来は様々な神経症と見なされていた範疇(例、不安神経症、強迫神経症、あるいはヒステリーなど。ただし、ICD ではこれらの病名は既に利用しないことになっている)や適応反応(従来 of 心因反応が含まれるが、ICD では PTSD が一部を占める)などが含まれる。「F5 生理的障害および身体的要因に関連した行動症候群」には、睡眠障

害(不眠症や傾眠傾向)や摂食障害(拒食症や大食症など)が含まれる。性別で見ると、女性では気分障害が男性より多く、男性ではF 1に分類されるアルコール症が目立っている。

厳密には、これから解析予定である CIDI の結果を待たなければならないが、被ばく者には、身体的愁訴を中心とした身体化障害や心気障害などからなる心身症圏内の疾患(F4)が顕著なようである。これは、かなり以前の1960年初頭に、仁志川らや小沼らが指摘したとほとんど同様の所見を今また得たということになる。つまり原爆被ばく者は、この50年間というものの、ほとんど変わること無く、神経症圏あるいは心身症圏の疾患に悩まされ続けて来たといえるのかも知れない。

V. おわりに

爆心地からの距離に比例して心身の不健康度を表すGHQ得点が高かったこと、あるいは高得点を示すものが多かったことは、全く予想しなかった所見である。更に、全体的に被ばく者におけるこの精神疾患の高い罹患性も予測できなかった。ただ、これらが、原爆被ばくという悲惨な人災に基づく間接的影響の現れであるという可能性は否定できない。災害発生に伴う衝撃的ストレスに引き続いた、復興に関わる財政的負担、他の心理社会的ストレス、および加齢に伴う身体的な老化現象などが複雑に絡んでいるのではなかろうか。原爆被ばくが特異的な精神障害を生むか否かについて考えるには、今や余りに遅すぎるし、否定的でさえある。しかし、その災害の破壊力の大きさは、一般的な破局的ストレスとして、50年を経た今も被災者の心に多大な影響を与えていると考えられよう。

最後に、本研究は、先にもふれたように多数の共同研究者の協力によってなされてきたもので、その全ての方々に感謝すると共に、研究の意図を組んで快く参加された被ばく者の皆様に深謝する。

文献

- 1) Division of Mental Health, World Health Organization WHO Project on Brain Damage in Utero. WHO, Geneva, 1991.
- 2) Goldberg, D. G. The Detection of Psychiatric Illness by Questionnaire. Maudsley Monographs vol 21, Oxford Univ. Press, 1975. (中川 泰彬訳著編 質問紙法による精神・神経症症状の把握の理論と臨床応用、国立精神衛生研究所、千葉、1981)
- 3) Igumnov, S. Psychological development of children exposed to radiation in prenatal period as a result

- of Chernobyl disaster. *Acta Medica Nagasakiensia* 41: 20–25, 1996.
- 4) 小沼十寸穂 原爆症後遺症の間脳症性苦訴並に症候の理解に就て *長崎医学会雑誌* 36: 706–716, 1961.
 - 5) Kryzhanovskaya, L. & Nakane, Y. Mental health of liquidators of the Chernobyl disaster. *Acta Medica Nagasakiensia* 41: 15–19, 1996.
 - 6) 中根允文 精神医学における疫学、現代精神医学大系・年刊版 '87A 精神医学総論・精神症状学・画像診断・治療、懸田克躬・島藺安雄・大熊輝雄・高橋良・保崎秀夫編、中山書店、東京、pp31–57, 1987.
 - 7) 中根允文 ICD–10 と DSM–IV における身体表現性障害と心身症の概念 *心身医学* 37: 21–27, 1997.
 - 8) Nakane, Y. & Michitsuji, S. Results from the Nagasaki centre. In: *Mental Illness in General Health Care*. Üstün, T. B. & Sartorius, N. eds., John Wiley & Sons, Chichester, pp193–209, 1995.
 - 9) Nakane, Y., Honda, S., Mine, M., Tomonaga, M. & Tagawa, M. & Imamura, Y. The mental health of atomic bomb survivors. In: *Nagasaki Symposium Radiation and Human Health*. Nagataki, S. & Yamashita, S. eds., Elsevier, Tokyo, pp239–249, 1996.
 - 10) 仁志川種雄・築城士郎 原子爆弾被災者についての精神医学的調査 *長崎医学会雑誌* 36: 717–722, 1961.
 - 11) 太田保之・荒木憲一・川崎ナヲミ・長岡興樹・中根允文 災害ストレスと心のケア. 医歯薬出版株式会社、東京、1996.
 - 12) 奥村二吉・疋田平三郎 原子爆弾罹災者の精神神経病的調査成績 *九州神経精神医学* 1: 50–52, 1949.
 - 13) Regier, D. J., Boyd, J. H., Burke, Jr. J. D., et al. One-month prevalence of mental disorders in the United States. *Arch Gen Psychiatry* 45: 977–986, 1988.
 - 14) World Health Organization The ICD–10 Chapter V, Diagnostic Criteria for Research. WHO, Geneva, 1993. (中根允文・岡崎祐士・藤原妙子訳 ICD–10 精神および行動の障害 DCR 研究用診断基準、医学書院、東京、1993)
 - 15) World Health Organization Composite International Diagnostic Interview (CIDI) (core version 1.1), Washington, DC, American Psychiatric Press, 1993.

1. 放射線影響の社会的特異性

草間 朋子

東京大学医学部

Current features on risk perception and risk communication of radiation

Tomoko Kusama

Department of Radiological Health

Faculty of Medicine

The University of Tokyo

7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113 Japan

ABSTRACT—Health effects and risks of radiation and radionuclides are being misunderstood by many members of general public. Many peoples have fear and anxieties for radiation. So far, the health effects from radiation at low dose and low dose rate have not been cleared on biological aspects. Then, we have quantitatively estimated health risks of low-dose radiation on the basis of linear dose response relationship without threshold from the viewpoints of radiation protection by using both epidemiological data, such as atomic bomb survivors, and some models and assumptions. It is important for researchers and relevant persons in radiation protection to understand the process of risk estimation of radiation and to communicate an exact knowledge of radiation risks of the public members.

1. はじめに

放射線や放射線影響に対しては、とくに一般の人々の誤解が大きい、1986年に発生したチェルノブイリ原子力発電所の事故を契機に、その誤解はさらに大きくなったように思われる。

大学の原子力や放射線関係の学科や、講座がその名称を変更する動きも、チェルノブイリ原子力発電所の事故で加速されたように思う。放射線や原子力利用は人々に大きな便益をもたらすことを前提で行われているにも拘わらず、チェルノブイリ原子力発電所の事故以降は、放射線のネガティブな面のみが強調され、これにより人々は放射線や原子力に対する負のイメージを膨らませていった。このように放射線や放射線影響に関する社会的な認識はかなり特異的である。原子力、放射線は、医療、研究、工業などあらゆる領域で、従来にも増してその利用が促進されることを考えると、放射線、放射線影響に対する人々の正しい理解と認識を得ることが不可欠である。

放射線や放射線影響に対しての社会的に極めて特異的な認識のされ方がなくなるように放射線影響・放射線防護などの関係者がなお一層の努力をしなければならない時期である。

2. 放射線影響が他のリスクと異なる点について

環境中には、人間、あるいは、環境に負荷をかける数多くの要因が存在している。放射線・放射性物質もその一つである。さまざまな環境要因の中で、放射線・放射性物質は他の負荷要因に比べて次のようなプラスあるいはマイナスの特徴を持っている。

- ① 健康影響に関する人での経験が豊富である
- ② 健康影響に関する医学・生物学的な研究が数多く実施されている
- ③ 科学的に明らかにされていることと、明らかにされていないことの区別が比較的ハッキリしている
(分からないことが何であるかが明確である)
- ④ 個人および集団の暴露量が定量的に明らかにできる(個人の暴露量の測定も可能である)
- ⑤ 防護・安全の基準が人に対する健康影響・リスクに根拠をおいて設定されている
- ⑥ 放射線や放射線影響に関する一般の人々の知識の入手方法が限られている
- ⑦ 放射線・放射性物質そのものが理解され難く、分かり難い存在である

放射線は人工的に利用されはじめてからまだ1世紀しかたっていないにもかかわらず、人の障害事例が数多く存在している。これは、他の環境要因と同様に、利用の初期の段階では安全・防護に対する配慮が足りなかったからである。暴露量(線量)が定量的に算定できることとも関係し、これらの多くの人の障害事例が定量的な視点から評価されている。人の影響としては、確定的影響のみならず、確率的影響(ガンおよび遺伝的影響)についても定量的に検討されている。ガンおよび遺伝的影響に関する疫学調査の主なものとしては、表1および2に示すものがある。さらに、医学・生物学的な基礎研究も多くの研究者により実施され、人への影響を解釈するための数多くの情報を提供している。

表1 放射線誘発ガンに関する主な疫学調査

集 団	人・年	がん(統計的に有意な過剰発生がみとめられているがん)
広島・長崎原爆被爆生存者	2185335	全部位
子宮頸部がん患者(カナダ等)*	1278950	白血病, 直腸など
強直性脊椎炎患者(イギリス)	183749	白血病
頭部白癩症患者(イスラエル)*	686210	甲状腺, 皮膚, 脳, 唾液腺
頭部白癩症患者(アメリカ)*	98881	甲状腺, 皮膚
急性乳腺症患者(アメリカ)*	38784	乳腺
胸腺肥大患者(アメリカ)*	220777	甲状腺, 乳腺
子宮内腺症患者(アメリカ)	109910	白血病, 膀胱, 直腸など
結核患者(X線透視)(アメリカ)	331206	乳腺
結核患者(X線透視)(カナダ)	773400	乳腺
側彎患者(アメリカ)*	21691	乳腺
¹³¹ I治療患者(スウェーデン)*	139018	胃, 腎臓, 脳
トロトラスト注入患者		肝臓, 白血病など
妊娠中X線診断(イギリス)**	(3797/25185)	白血病, リンパ腫, ウィルムス腫瘍
妊娠中X線診断(アメリカ)**	(1506/14130)	白血病
放射線作業員(イギリス)	1218000	
放射線作業員(カナダ)	157101	
ハンフォード作業員	492326	
オークリッジ作業員	130428	
ロッキーフラット作業員	82721	
チェリアビンスク作業員	167790	
ウラン鉱山鉱夫	908983	肺
ラジウムダイアルペインアー		骨など
テチャ川周辺住民*	422000	白血病
中国高バックグラウンド地域住民 住居内のラドン被曝		

* 発生率に着目した調査。
それ以外は死亡率に着目した調査
** ケースコントロール研究

(UNSCEAR 1994. をもとに作成)

これらの影響研究を通して、放射線の影響に関しては、放射線防護上必要とされる線量反応関係、線量影響関係が人のデータをもとにして明らかにされている。環境中に存在する多くの要因の中で、人の影響に基づいて線量反応関係、線量影響関係が明らかにされているものは放射線を除いてないと考えてよい。

放射線や放射性物質については、個人の暴露量を直接測定することができるということが大きな特徴の一つでもある。労働安全衛生法、環境安全基準等で個人の基準が設定されているのは放射線のみである。これも必要に応じ

表2 放射線による遺伝的影響に関する疫学調査

疫学調査集団		着目している影響	集団数*
広島・長崎原爆被爆者の子供		流産、死産、奇形、乳児死亡など 性比 染色体異常 発がん率 遺伝子突然異常(変異タンパク質の検出)	15410/55870 47624 8322/7976 31150/41066 11364/12297
高バックグラウンド地域住民	インド	ダウン症 性比、新生児死亡など	12918/5938 13720
	ブラジル	性比、先天奇形、死産など	15000/30000
放射線医の子供	アメリカ	性比	7768
	ドイツ	性比	1908

* 被曝集団の数/対照集団の数

(UNSCEAR 1994. をもとに作成)

て個人の暴露量が測定可能だからである。

3. 一般の人々の不安の対象になっている放射線影響とその特徴

多くの一般の人々が放射線影響として不安を抱いているものとしては、白血病、白血病以外のガン、遺伝的影響、奇形、不妊をあげることができる。これらの影響の、放射線防護上の特徴等を表3に示す。

表3にあげた影響が、必ずしも、実際に人で発現している訳ではないが、放射線・放射性物質の暴露を受けたと聞いただけで多くの人々はこれらの影響が出現するに違いないと想像している。これは、図1に示すように、一般の人々にとっての放射線や放射性物質に関する知識の情報源がマスコミである場合が多く、マスコミ等では、放射線に関連した記事などはネガティブな事象と結びつけて報道される場合がほとんどだからである³⁾。

4. 放射線影響に対する誤解

放射線の影響については、人に関する情報が豊富であるにも関わらず、多くの人々は誤解を持っている。

表3 一般の人々が心配する放射線の影響とその特徴

不安に思っている影響	特徴
白血病	広島・長崎疫学調査等多くの疫学調査で確認されている他のガンに比べて潜伏期間が短い 200mGyでは統計的な有意な発生は認められていない
白血病以外のガン	多くの疫学調査で確認されている 白血病に比べて潜伏期間が長い
遺伝的影響	疫学調査の結果等では統計的に有意な遺伝的影響の発生は人では認められていない 遺伝的影響に関する研究のツールとして放射線が使われているために実験的な研究が多い
奇形	人の場合の放射線に起因する奇形としては小頭症のみである 胎児/新生児の影響であるために関心が高い
不妊	放射線が不妊のための手段として利用された 定量的な情報が豊富である

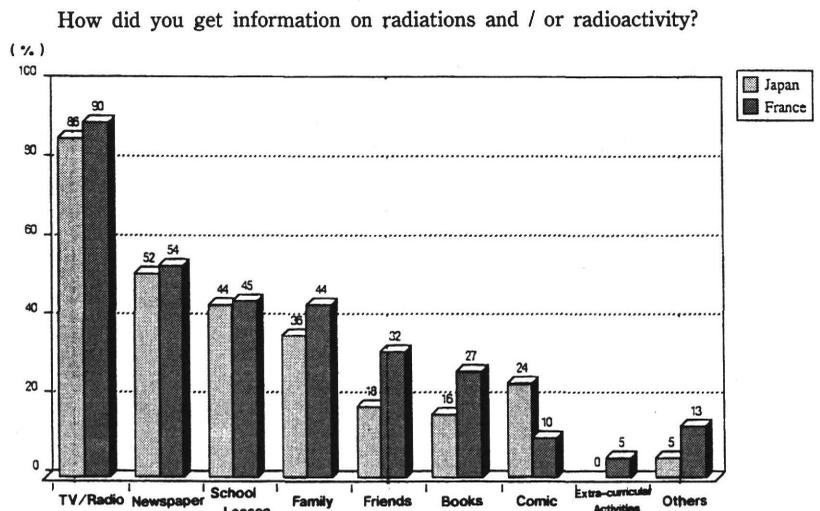


図1 放射線/放射性物質に関する情報の入手先

放射線影響に関する誤解の主なものは以下の通りである。

- ① 線量と影響との関係を見逃している
- ② 被ばく部位と影響との関係を見逃している
- ③ 外部被ばくに比べて、内部被ばくのほうが影響が大きいと考え、不安が大きい
- ④ 放射線の便益に関する知識が乏しい

前述したとおり、放射線の影響については人々の経験が豊富であり、線量反応関係、線量影響関係がハッキリしている。しかし、一般の人々は、放射線の線量に関係なく、表3に示した影響の発生を心配している。このために、放射線に被ばくしたというだけで線量に関係なく白血病を心配したり、胎児の奇形の発生を心配したりする。

また、放射線の影響は、被ばくした部位に対応した影響しか現れない。しかし、人々は身体のどの部位に放射線を受けたかに関係なく白血病や遺伝的影響の発生を心配している。遺伝的影響は、生殖能力がある年齢の人々が生殖腺に被ばくした場合にしか現れないにも拘わらず、頭部（例えば頭部CT検査）や胸部（例えば胸部X線診断）に放射線を受けた場合でも遺伝的影響が発生すると考えている人々が多い。

放射線防護上は、内部被ばくの線量は、預託実効線量、あるいは、臓器の預託等価線量として評価される。預託線量（預託実効線量あるいは預託等価線量）で表わされた内部被ばくの線量と、外部被ばくの線量が、仮に同じ場合には放射線防護上は、外部被ばくの場合も、内部被ばくの場合も影響の程度は同じであると考えることにしている。実際には、内部被ばくのほうが、外部被ばくよりも線量率が小さいので、生物学的影響が小さくなるはずであり、多くの疫学調査や生物学的知見がこれを支持している。それにも拘わらず、多くの人々が内部被ばくは外部被ばくに比べて危険であると考えている。

また、放射線の影響に対する不安を抱いている人々は、放射線利用によって得られる便益についてはまったくと言っていいほど認識していない場合が多い。放射線診断のように個人の便益がはっきり分かる場合でも、一旦、放射線影響に対する不安を持ってしまうと、患者は便益を考える余裕がなくなってしまう。放射線の便益についても正しく理解することが適正な放射線利用にとっては不可欠なことである。

5. 放射線リスクに対する感じ方

放射線に対するリスクをどのように感じているかについての調査は数多く行われている。著者らが行った調査の一例を図2に示

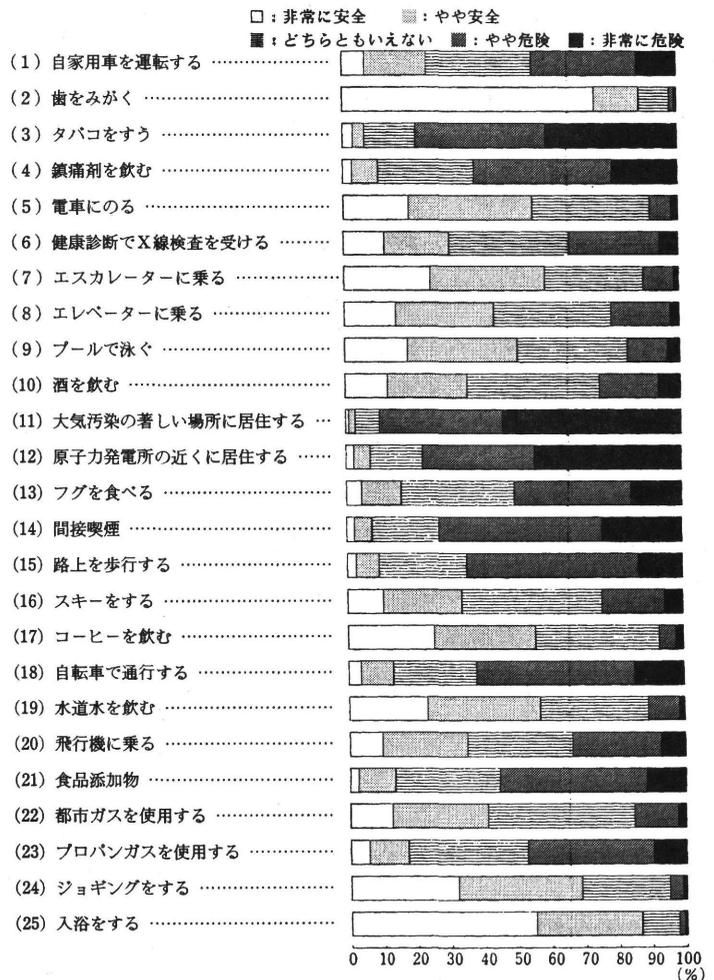


図2 日常生活における各種の行為に対する安全性のとりえ方

す⁴⁾。先行研究と同様に、放射線であっても X 線診断に対するリスクは、リスクが小さい側に判断され、原子力発電所に対するリスクは大きく見積もられている。実際の被ばく線量の比較をすると、X 線診断による被ばく線量のほうが、通常運転時の原子力発電所からの一般公衆の被ばく線量に比べると大きい。これは、チェルノブイル原子力発電所の事故に代表されるように原子力発電に対してはカタストロフィー的なイメージをもち、潜在的なリスクに対する不安が大きく関係しているものと思われる。

表 4 にリスク認知に影響を与える要因をあげる。放射線、放射性物質に対する一般の人々の認識が TMI およびチェルノブイル原子力発電所の事故を契機に変わった理由はこの表からも明らかに想像がつく。

6. 放射線に対する誤解の具体例

放射線・放射性物質に対する誤解の中で、多くの人々が両者の区別をしていないということがしばしば指摘される。著者らが、日本とフランスの中学生を対象に放射線や放射線影響についての知識の程度を把握するために実施した調査の結果の一部を図 3 に示す³⁾。従来から指摘されているように、放射線照射を受けたジャガイモを食べることにより、放射能汚染をすると答えている生徒がかなりの割合でおり、この割合は日本の方が高かった。著者らが大学生を対象に実施した調査では、放射線と放射能とを比べた場合に、放射能に対してのほうが負のイメージをもっている場合が多いことも分かった。この理由は定かではないが、調査に協力いただいた一部の対象者から「放射能はゴジラのイメージがあり、このイメージを払拭するにはかなりインパクトの強いキャラクターが必要である」との声が聞かれた。また、現在の大学生の多くが放射能と最初に聞いた時には「はだしのゲン」をイメージするとのことであった。このように、放射線や放射能から何をイメージするかということが、放射線等に対する誤解のもとになるようである。いずれにしても、放射線や放射能に対してポジティブなイメージを持っている人々は少ない。これも、放射線の便益に対する認識の不足からであろう。日常生活の中で使われている放射線や放射性物質を正しく認識している人々は想像以上に少ない。

また、放射線は身体の中に蓄積すると思っている人々も少なくない。放射線による DNA 損傷の大部分

表 4 リスクの認知に影響を与える要因

カタストロフィー的か否か(障害の時間的および空間的分布)
馴染みがあるか否か
リスクを理解しているか否か
不確かさの程度
自分自身でコントロールできるか否か
自発的な行為か否か
症状の出現の時期(早期か晩発か)
子供への影響があるか否か
将来の影響(遺伝的影響)があるか否か
実際に障害が現れる人を特定できるか否か
恐怖の程度
リスク管理に対する信頼性の程度
メディアの取り上げ方
事故の経験
正当性と公平性(施設の近傍か否かなど)
便益の程度
障害の可逆性
リスクに関する直接的な利害関係
経験の質(人での経験か動物実験による経験か)
人為的なものか自然のものか(人工放射線と自然放射線)

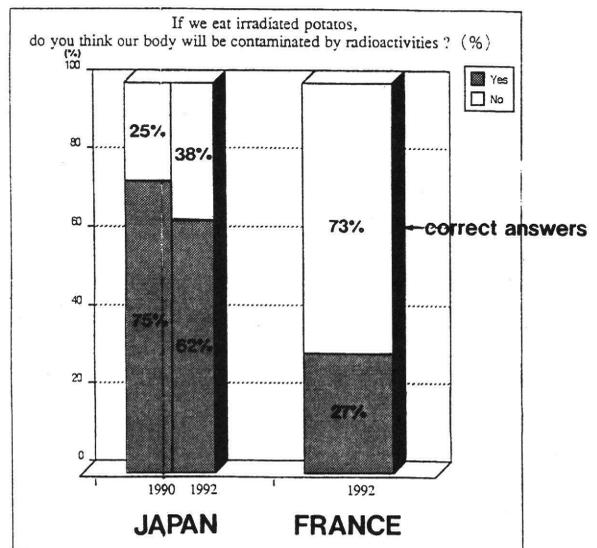


図 3 放射線と放射性物質との違いに対する認識

は照射数時間以内に修復されるが、修復されなかった DNA 損傷は長時間残存し、これが晩発性の障害となる可能性がある。この残存する DNA 損傷は、放射線照射により増加する可能性がある。このことが、放射線は蓄積すると誤解されているようである。

6. 放射線利用に伴い発生する可能性のある影響のリスク

原子力施設などの大型施設の場合も、中小規模の放射線施設の場合も、設計の段階から実際の運転までの過程で法令等のさまざまな基準をクリアしなければならない。したがって、仮に事故が起こったとしても、一般の人々には確定的影響は、発生しないような安全対策が多重に講じられている。したがって、問題になる放射線影響としては、確率的影響だけである。

確率的影響は、ガンおよび遺伝的影響であるが、ガンの場合は、広島・長崎の疫学調査結果でも 50 ~ 200mSv 以上の場合でないと、統計的に有意な発生率の増加は認められていない。また、遺伝的影響については疫学調査の結果では、統計的に有意な影響は認められていない。人々の放射線影響に対する不安に答えるためには、これらの疫学調査の結果、すなわち、人ではあるレベル以下の線量では影響が発生していないという情報は極めて有用である。

一方、放射線防護上のさまざまな諸基準を設定する必要性から、ガンおよび遺伝的影響については、しきい線量の存在しない直線関係が仮定されている。放射線防護の領域で低線量・低線量率の放射線影響についてしきい線量の存在しない直線仮説をとることに対しては、生物学的な実験結果や、ラドンと肺癌との関係についての疫学調査結果などをもとにその妥当性をめぐる議論が行われている。しかし、これに代わる低線量・低線量率被ばくによる発ガンと遺伝的影響を説明できる論理的な仮説は現時点では存在しない。

人のデータを基に確率的影響の発生確率を評価するという前提で、線量反応関係や、生涯リスクの予測モデル、DDREF（線量・線量率効果係数）などを用いて、図 4¹⁾ および 5²⁾ に示す過程を経て健康リスク、すなわち、発生確率が算出され、諸基準の設定に利用されている。このようにして求められた放射線防護に用いる確率係数に対しても、非科学的であるとか、政策的であるとの批判があるが、図からも明らかなように、発ガン、遺伝的影響に関するリスクは、科学的な過程を経て算出されているものである。このことを認識することが、一般の人々に放射線のリスクを説明していくうえでも必要であろう。しかし、生涯リスクの予測モデル、線量反応関係、DDREF などに関してより現実的なモデルおよびパラメータが設定できるように、医学・生物学的検討を積極的に実施していくことは今後も必要である。

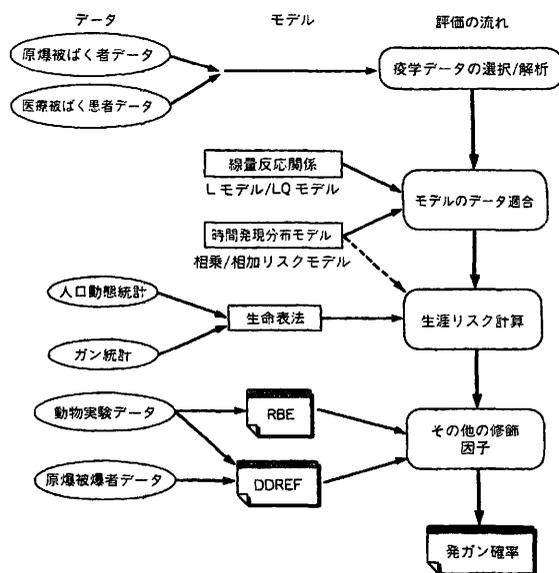


図4 発ガンに対する放射線リスク評価のプロセス

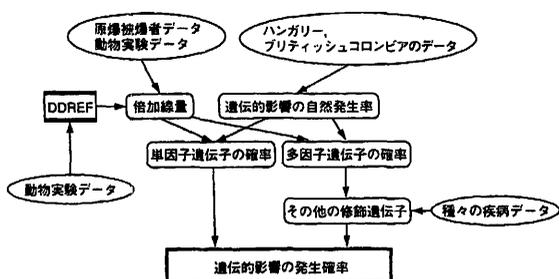


図5 遺伝的影響に関する放射線リスク評価のプロセス

7. 放射線影響を正しく理解するために

上述したように放射線や放射線影響は、それに対する一般の人々の事実の誤認が他の環境要因に比べて大きいという点で、社会的に特異的である。医療、工業、農業などの領域での放射線や放射性物質の利用がますます増大することが予想され、利用に対する潜在的な希望も大きいことを考えると、この社会的な特異性をなくす努力をしなければならない。このためには、分かりにくい、理解しにくいといわれてきた放射線や放射線のリスクについて専門家が分かり易い言葉で、科学的に説明していく努力が必要である。また、義務教育の早い段階から、放射線や原子力に対する教育をしていくことが望まれる。このためには、まず教授する側の教育からはじめなければならない。

また、規制の合理化等により放射線や放射性物質を一般の人々により馴染みのあるものにしていくことも望まれる。

参考文献

- 1) 草間朋子、甲斐倫明、伴信彦：放射線健康科学。杏林書院、東京（1996）
- 2) 草間朋子：あなたと患者のための放射線防護。医療科学社、東京（1997）
- 3) 斎藤節子、草間朋子：日本とフランスにおける放射線リスクに対する認識の差。日本リスク研究学会（1993）
- 4) 草間朋子、板倉周一郎、吉澤康雄：放射線リスクのアクセプタンスについて。保健物理、20、267-273（1985）

2. 事故初期の医療

赤 沼 篤 夫

放射線医学総合研究所

The Initial Medical Activities at the Accident

Atsuo Akanuma

Division of Radiation Health, National Institute of Radiological Sciences

9-1 Anagawa 4-chome, Inage-ku, Chiba-shi 263 JAPAN

ABSTRACT—Medical activities at the initial phase after the accident and following medical cares for the acutely exposed radiation injury patients are reviewed. The medical dispatch team of the central soviet government responded promptly enough to arrive at the accident site in 12 hours. The medical dispatch members were skillful enough to perform the severity diagnosis of acutely exposed radiation injury patients judging from subjective symptoms, which was essential in the initial medical activities. It was feasible to judge the severity of acute radiation syndrome from the minimum lymphocyte count during the first five days. Patients exposed with one Gray or more were treated in hospital and were closely followed. The most important medical procedure was to prevent infections. In this kind of the nuclear disaster acutely exposed patients have both radiation burns and acute radiation syndrome, therefore, when the immune tolerance is strongly decreased in about three weeks after exposures skin burns which are usually beta-burns break up and the skin allows internal infections, which can often develop into bacterial sepsis. Bone marrow transplantation, which have been often discussed for severely exposed patients was not feasible. The most important treatment is the anti-infection treatment.

I はじめに

原子力利用には、それなりに安全が確保できる科学技術レベルが必要であるだけでなく、その技術を受け入れる社会が必要である。有用性が高く、科学技術的に安全性が充分高いだけでは社会に導入されるべきではない。原子力利用を行う社会は、それなりに原子力を理解でき、その有用性とリスクを理解する構成員である必要がある。「リスクを理解する」リスクに対して対処できている社会をも意味する。抵抗がないからと言って、未開社会に原子力を導入するのは適切でない。同様に原子力への理解を拒否する社会でも利用するべきでない。原子力の有用性を利用する事は、同時にそれによる弊害を蓄積しているからで

ある。煽動者に支配されている社会も同様である。原子力利用には社会の良識、人間性が発揮される事が殊更重要である。我が国ではリスクを否定する事により対処をおろそかにしている傾向はないだろうか？為政者に不都合な情報は非公開のまま原子力利用を推進するなら、社会の良識は進むべき道を判断できない。

原子力利用に直接携わる人々の良識と人間性が阻害されない社会である事も大切である。原子炉は建物や鉄道と同様に安全に作られている。予測される異常事態にも対処できる様に作られている。予測できない事態が起きた時にどれだけ安全かが問題である。予測できない事態の一つに人間の非常識がある。いかなる安全装置も人間が設計した物であるから、人間の知恵でそれを乗り越える事はできる。一般社会の良識はその様な事を許さない。特殊な部分社会ではその良識が通らない場合がある。非常識な操作を繰り返して起きたチェルノブイル事故はその実例であろう。良識を外れた行為が実行できる事業所内の体制が問題であったと考えるが、今後の安全研究の課題として、操作従事者の精神心理面、社会心理面を医学的に検討する必要もあるかと考える。

II 事故の発生

2年に1度の定期整備のため、1986年4月25日チェルノブイル原子力発電所4号炉は停止されようとしていた。停止に当たって「停電時に発電機のローターの慣性を利用して必要な電力を得られるか」の実験を行う予定であった。同じ実験は1982年、1984年の定期整備の時にも行われたが、満足する結果は得られていなかった。午後1時出力を低下させ始めていた。午後2時、既に50%出力の160万kWまで低下していたが、電力需要の要請があり、続く9時間は50%のまま運転が続けられた。この時、すでに緊急炉心冷却装置は切り離されていて、そのまま運転が続けられた。この事は直接事故には関係ないが、こんなに長時間切り離されたまま運転されるのは異常である。午後11時10分、出力低下作業は再開された。間もなく自動制御装置も切り離され手動で低下作業は行われていた。実験は70～100万kWの出力に落ちた時に行われる予定であったが、行き過ぎて3万kW以下まで下がってしまった。3万kW以下では運転を継続してはならない規則であった。20万kWまで出力を回復すべく制御棒は抜去された。4月26日午前1時19分出力はおおよそ20万kWに達した。30本以下での操業は禁止されていたにもかかわらず、この時点で制御棒は6～8本程度になっていた。また炉内の水抵抗が下がったので、8台のポンプ全部を用水が注入された。これにより水蒸気分離装置の水位が下がり危険警報が出たので、その電源が切られた。午前1時22分出力が20万kWまで回復したので実験が開始される事となったが、原子炉は大変不安定になっていて、コンピュータが警報を出し続けたが、これも無視された。1時23分、原子炉の出力は急に上昇しはじめ、コンピュータが緊急停止を命令した。制御棒は電動では十分に下降しなかったため、重力で落とされたが、間に合わなかった。1時23分30秒最初の爆発音が聞かれた。実行された規則違反は、

- 1) 規定以下の出力で運転された
- 2) 制御棒を抜去しすぎた
- 3) 規定以上の水を注入した
- 4) 発電機の異常による警告シグナルを止めた
- 5) 水蒸気分離装置の水レベル警告シグナルを停止した
- 6) 緊急炉心冷却システムを止めた

である。急速に臨界点に近づきつつあった原子炉が大量の水蒸気を発生したのが原因で、水蒸気爆発を起こしたのがこの事故である。

チェルノブイル事故発生に関してよく装置の安全性が議論されるが、それ以上に人間の行為の安全性も議論される必要がある。このような規則違反が実行不可能な社会でなければ、原子力利用は大変危険な物となる。原子力の有用性と安全性を正しく理解する社会であると同時に、装置の利用は人間性のある操作が保証される社会である必要がある。原子力利用には科学技術的に合理的な安全レベルである事は当然であるが、それを受け入れる地域社会も安全に対応できる理解力が必要であると同時に、あらたにチェルノブイル事故から学んだ事は、それを直接取り扱う人間集団の構成員が充分人間性を発揮できる社会である必要がある。

医療に関して初期対応は迅速であった。1986年4月26日午前2時23分、事故は発生した。その10分後には施設内の医療室は通報を受け、待機していた。30分以内に29人の被災者が医療室に送り込まれた。40分後には地域の医療チームが到着し、初期医療を開始している。

モスクワの放射線障害医療の専門医に連絡が入ったのは6時間後であり、12時間後にはグスコヴァ博士を団長とする専門医療チームが現地に到着した。この間の初期医療で132人が入院した。モスクワからの専門医療チームは正午過ぎに到着した。入院した患者や一旦帰宅した被ばく者を24時間以内に診療した。事故後36時間以内に診療を受けたのは

350人である。このうち299人が急性放射線症としてモスクワまたはキエフに移送された。さらに事故後72時間までに200人の患者がモスクワとキエフに移送された。この初期活動は表1にまとめてある。

Table-1 Chernobyl Nuclear Accident - Time table of emergency Medical Activity - Nuclear Accident at 1:23 am, April 26, 1986

時期	チーム	緊急時医療活動
10分	施設内医師	●施設内医療室に通報 (10~15分以内)
30分		●医療室に29人の被災者が移送 (30分内)
6時間		●地域医療チーム到着 (30~40分以内)
6時間	地域医療チーム	初期医療活動 — モスクワの放射線障害医療の専門医に報告 (6時間以内) 132人入院
12時間	専門家による緊急時医療活動	モスクワの専門医療チーム到着 (12時間以内)
24時間		350人以上の被ばく者に急性放射線症の検査を行った (24時間以内)
36時間		一旦帰宅した被ばく者の診療 (36時間以内)
48時間		299人の被ばく者を急性放射線症としてモスクワまたはキエフに移送 (72時間以内)
72時間		さらに200人の被ばく者をモスクワまたはキエフに移送

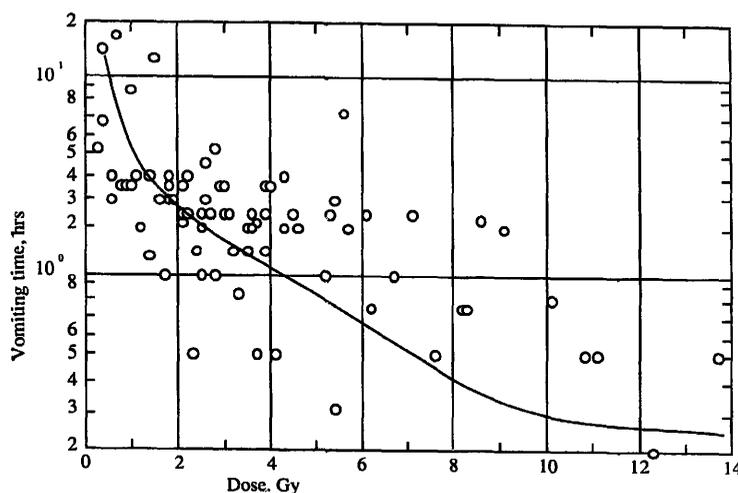


Fig. 1 Exposure dose and initial symptoms. The higher the dose, the sooner the symptoms appear.

Table-2 Relationship between the minimum lymphocyte counts and estimated exposure dose.
Exposure dose reflects severity of lymphocytopenia.

5日目までの最低リンパ球数 ($1 \times 10^9/L^{-1}$)	予後重症度	線量 (Gy)
<100	極めて重症	>6.0
100-200	重症	4-6
200-500	中程度	2-4
500-1000	軽症	1-2
>1000	急性放射線症ではない	<1

的に推定された線量との関係を図1にまとめられた。1Gy以上の線量を被ばくしたと考えられる患者について入院検査が行われた。入院患者の重症度については主にリンパ球検査で判断された(表2)。

III チェルノブイル事故の患者治療

1986年4月26日に発生したチェルノブイル原子力発電所事故による被ばく者、約500人がモスクワとキエフに送られたが、1Gy以上被ばくし、急性放射線症を起こした入院患者は134人である。これらキエフとモスクワの生物物理研究所の病院で治療された患者を重症度に区分けして表3にまとめた。

Table-3 Nuclear of patients with different degree of acute radiation injuries treated in Moscow and Kiev

急性放射線症の重症度	患者数	モスクワで治療された患者数	キエフで治療された患者数	初めの3ヵ月以内に死亡した患者数	1986年の生存者数	1995年の生存者数
I	41	23	18	—	41	39
II	50	44	6	1	49	46
III	22	21	1	7	15	13
IV	21	20	1	20	1	1
Total	134	108	26	28	106	99

最初はキエフとモスクワに入院した患者はそれぞれ122人と115人であった。後にI度の放射線症についてモスクワで治療された7名とキエフで治療された96名は放射線症ではないとされたので表3の様な結果となった。当初は237名の急性放射線症があったとされていたが、1990年6月再評価されて表のような結果となった。そのため、生物物理研究所にて調査の対象となっているのは115名の患者で、事故後1日以内に急性放射線症の症状が出て、末梢血液のリンパ球の培養により調べた染色体異常と骨髄細胞の染色体異常による生物線量が調べられている。

I~IV度の重症度に属する患者は骨髄症状や造血系以外の放射線障害症状を示している。BMS (Bone Marrow Syndrome: 骨髄症状) の治療には抗生物質を中心に、その他の保存的な治療(隔離、腸の除染、成分輸血等)が行われた。骨髄抑制が不可逆と考えられる患者にはアロゲンの骨髄細胞や胎生肝細胞の移植を行った。

BMSのII度以上の患者は消毒設備のある個室に入れた。紫外線ランプで空気も殺菌した。病棟に入るスタッフも入退出に際して規則により厳格に手を洗わされた。白衣、マスク、帽子を着用する義務があり、いずれも使い捨てである。靴も毎回消毒された。患者の着衣も病棟内で直接消毒されて、個個人で別々に使用された。この手段で病棟内の $1m^3$ あたりの細菌数が500以下に抑えられた。食事は通常のもので、生野菜や果物は与えられなかった。保存食も用いられなかった。体内の感染を予防するため、白血球減少の起こる前に抗生剤、催痰剤等を与えられていた。二つの方法が別々に試してみられたものである。

熱が出れば広域スペクトルの抗生物質を2～3種類処方する。アミノグリコシッドから一つ（ゲンタマイシンかアミカシン）、セファロスポリンから一つ（セファキシムかセフトロイド）、抗スーパモナス活性のあるセムペニシリン（カルベニシリンかピブラシル）これらすべて最高量与えた。最初の24～48時間は効果がないからガンマグロブリン（サンドグロブリン）6gを12時間ごとに3～4回与える。

その前にアンフォテリシンBを日に1mg/Kg処方した。Ⅲ～Ⅳ度の急性放射線障害を受けた患者の3分の1は帯状疱疹が出た。このグループの患者にはアキクロヴィルを始めて用いたが顕著な効果があった。疱疹の出た皮膚にはアキクロヴィル軟膏が良かった。

このグループのBMSの患者には新鮮血血小板の予防輸血を行った。血小板は同一人から4回トロンボサイトフォレーシスを行った（平均で200～250mlの血液で 300×10^9 の血小板を得た）。この輸血は血小板が2万以下になったとき、または、最初の出血が起きた時に行われた。投与は1～3日間行われた。

赤血球輸血はかなり被ばくしたグループに早くから始めた。これらの症例では殆ど300万程度になったときに始めた。成分輸血したパックは平均として600～650万の赤血球が入っていた。

輸血は容積として一日0.2～0.8リットルであり、1週間に3～5回行った。このくらいの赤血球輸血で赤血球を200～250万のレベルに保つことができた。プラズマフォレーシスは17名の症例に肝不全とそれに続く脳障害を防ぐ為に用いられた。血小板やその他の血液組成成分は15Gyの放射線照射を行う必要がある。血液供給者からの免疫系に関与する細胞を不活化する為である。リンパ球数や染色体検査から最初の日に6Gy以上被ばくしたと考えられる患者には同種骨髄細胞移植が行われた。この程度の被ばくでは極めて長期間の非可逆的な骨髄抑制が起こると言うのが今までの経験であった。骨髄抑制の症例に骨髄移植が適当でないと言う報告はなかった。

13名に骨髄移植が、6名に肝細胞移植が行われた。後者には幹細胞と極めて少量の免疫賦活細胞がある。これで二次疾患の危険性を減少する期待がある。肝細胞移植を受けた患者は女性患者1名を除いてすべて早い時期に（被ばく後14～18日に）皮膚障害や消化管障害で死亡した。その女性患者は急性放射線症の63歳の患者で8～10Gy被ばくしたが30日生存した。死亡の日（それは肝細胞移植後17日目であるが）にマイトーシスの細胞が多量に現われた。これらは女性の核型であったので本人の骨髄が再生を始めたのであろう。

7名の患者が（全員6Gy以上の被ばくであるが）被ばく後17～25日後（骨髄移植後2～19日）に皮膚障害や消化管障害、肺障害で死亡した。4.5Gy以上10Gy以下の被ばくと推定される4名の患者は被ばく後34～91日目に（骨髄移植後27～79日目に）ヘルペスの感染など急性の二次疾患で死亡した。

2名の患者が今も生存している。線量は5.6Gyと8.7Gyである。被ばく後32～36日後に半同種骨髄移植を行った。その後しばらくはキメラ造血が行われていたが27～28日目に自己造血細胞の活性が回復してきて3～4ヵ月には完全に自己細胞の造血となった。

チェルノブイル事故患者の造血系以外で起きた放射線障害の主なものは次に述べる。

- 1) 広範囲なβ線皮膚障害
- 2) 口腔咽頭症状
- 3) 消化管症状
- 4) 肺炎
- 5) 視力障害

1) チェルノブイル事故患者の治療後の障害として最も困るものの一つが皮膚の放射線障害である。この形式の障害は濡れた着衣に浸み込んで皮膚に付着したβ線の皮膚汚染による。この障害も急性放射線症の原因の一部をなす。生物物理研究所臨床部で治療した患者の内には56名の放射線熱傷の患者があった。すべての症例において骨髄障害の程度と皮膚障害の程度は平行していた。放射線障害から死亡した27例中19例に強い皮膚障害があり、少なくとも13例については放射線熱傷が皮膚の60%以上であり、表4に示すように唯一の死因であるか、主な死因であった。

2) 口腔咽頭症状は口腔と咽頭の粘膜の急性放射線反応で115人中80名に見られた。最も軽いもの(OPS I~II度)は8~9日目と20~25日目に発生する頬部、舌、歯ぐきの粘膜の粘膜脱落と浮腫が特徴である。もっと重症な口腔咽頭症状(III~IV度)は糜爛や潰瘍と急性の痛みが口腔内の粘膜に表れ、大量のゴムの様な粘液が大量に出て咽頭をつまらせ、呼吸困難が起こる。症状は3~4日目に表れ、通常10日目位に最強になる。そして同時に18~20日目に無顆粒球症となるが、そのころ治療する。無顆粒症に伴って口蓋や扁桃、歯ぐきに表れる糜爛や潰瘍に好発部位はない。しかし、多くの症例で細菌やウイルスの二次感染で治療が遅れた。3~4日目に特徴的なヘルペス様な物が口唇や顔の皮膚に現われ多量の痂皮をもたらした。このヘルペスのデータは表5に詳述してある。この患者グループ、特に骨髄症状IV度の患者は初日~4日目くらいまで唾液分泌障害や血中アミラーゼ値上昇を伴った口内炎を呈した。分泌

Table-4 Patients died from acute radiation syndrome. Estimated bone marrow dose, survival days and cause death of 26 deceased cases from radiation. The abbreviations stand for following. ARS - acute radiation syndrome / Inf - infection / HRF - heparo - renal failure / post tr sy - post traumatic syndrome / Th b - thermal burns / SI - skin injury / LI - lung injury / II - intestinal injury / RI - renal insufficiency / GVHD - graft versus host disease

ARS 重症度	症例数	骨髄線量 (Gy)	生存日数	死 因	
II	33	4.1	96	Inf + HRF + SI	
III	5	4.4	34	Inf + post tr sy	
	7	4.7	18	SI + post tr sy	
	24	3.7	23	Th b + SI	
	25	5.7	16	Th b + SI	
	28	6.4	48	Inf + GVHD	
	30	5.5	21	bleeding	
	34	5.8	48	RI + SI	
	IV	1	6.6	25	Toxicity, RI
		2	9.2	15	SI = LI
		3	12.0	17	SI + II
4		11.8	18	SI + II	
6		7.5	86	Inf + GVHD	
8		8.3	30	Toxicity = RI	
9		9.7	23	SI = LI	
10		11.1	14	SI = II	
12		9.3	24	LI + SI	
14		10.9	18	SI + II	
15		10.5	14	SI + II	
16	10.1	91	Inf + GVHD		
17	10.0	18	SI + II		
20	12.4	17	SI + II		
23	13.7	15	SI + II		
26	12.5	20	SI + II		
27	8.3	24	LI		
31	6.7	32	RI + cerbr edema		

Table-5 Exposure dose and herpes simplex, incidence. A correlation between exposure dose incidence rate of herpes simplex was observed.

線量 (Gy)	ヘルペス患者で最初の1週間に発生した割合
0-4.0	0
4.5-5.0	11
5.0-6.0	43
6.0-8.0	66.6
8.0-9.0	77.7
>9.0	100

分泌

腺は特に治療しなくても治癒したが唾液の分泌量はなかなか戻らなかった。

治療は抗菌剤を含む製剤で鼻や口内を処置したり、色素や粘膜治癒を促す物で包帯した。全身的に抗生物質の投与をするとともにこの様な治療を4～6時間おきに行った。粘液は綿球や洗浄で取り除いた。

- 3) 消化管障害は17名の患者に見られた。10名は4～8日目に表れた。これらの患者は9Gy以上の被ばくをしていた。8日目以後に表れた7名は10Gy以下だが7～9Gy被ばくしている。先に述べた感染防止治療の上にデッドリック、ルブネルク両博士により処方された経腸栄養で強力に電解質アルブミン輸液治療が行われた。
- 4) 急性放射線症のⅡ～Ⅳ度の7名の患者に急性肺炎が起こった。特徴は急速に悪化する呼吸障害であり、2～3日のうちに呼吸不全になり、被ばく後14～30日で低酸素コーマに陥り死亡する。間質性肺炎が死亡の数日前に重症な皮膚や消化管障害にともなって発生する。呼吸不全は13名の患者に起きたが、これら7名の患者の呼吸不全が顕著に重症であった。

これらの患者の治療には通常の治療のほかに1.2～1.5気圧の40分～1時間の高圧酸素治療を行った。治療中は血液の酸素分圧が少しは改善したが、はっきりした治療効果は見られなかった。

治療効果のなかった理由は病理解剖的な所見で説明できる。形態学的な変化として死亡した患者では循環の障害、細肺胞管の障害、消化管の浮腫が見られた。これらの患者全てには対症療法を行うと共に脳浮腫や、腎-肝不全、循環不全や低酸素脳不全を示唆する臨床検査所見を注意深く調べた。症候群が2～3個重なったら死亡する。生化学所見は末期に高くなる。

- 5) 表6に示すように重要な目の症状があった。目の治療は眼瞼の糜爛に軟膏を塗ったり、結膜へ20%アルブシッド、ソフラデックス、ビタミンを点眼した。

どの様な症例においても放射線障害の診断と治療は被ばく時の状況や問題の臓器への線量に基づいて行われることは知られている。チェルノブイルから患者を移送された医師はその様な情報は得られなかった。それゆえかなり困難だったといえる。骨髄への線量は遺伝子検査で線量は分かった。 γ 線と β 線の比は1:10か1:20と仮定された。しばらくした後に皮膚熱傷の患者は単一のグループとしては扱えない事が分かった。被ばくの状態から少なくとも4グループに分ける事が考えられた。グループ分けは表7に示してある。

頻度と障害皮膚面積、急性放射線症の重症度には明らかな相関する関係があったのは表8の如くである。熱傷は皮膚の様々な所に発生したが、原則として手、顔、首、足に早く発生し、続いて胸や背中に、その

Table-6 Eye complications from radiation exposure.
Distinct eye changes due to exposure are described in frequency (%)

症 状	急性放射線症の重症度			
	I	II	III	IV
第1次発赤 (1～3日目)	6.1	39.5	100	100
第2次発赤 (10～15日目)	—	20.9	80.9	100*
角膜反射の低下 (1週間目)	—	18.6	100	100*
まつげの脱毛 (15～17日目)	—	16.3	66.7	100*
角膜炎 (35～55日目)	—	4.6	52.4	100*
眼圧低下 (初日)	—	48.8	95.2	100*
眼底血管怒張 (初日)	—	32.6	74.4	100*
網膜浮腫 (初日)	—	4.6	—	100
出血	—	13.9	25.1	100
血漿漏洩	—	4.6	23.5	100

Table-7 Grouping of the beta-burn patients.
According to the condition of exposure the beta-burn patients are classed into four groups.(Adopted from: A. Barabanova and D. Osanov, 1990)

患者群	γ線量 (Gy)	皮膚線量 (Gy)	第2次発赤日	最悪臨床症状	結果
I : 高エネルギーβ	2.0-5.8	8.0-10.0 60.0-90.0	- 25-28	発赤, 10 小ビラン, 35	回復, 皮膚障害
II : 低エネルギーβ	4.0-12.7	100.0 250.0	10-12 35	小ビラン, 20 壊死, 20-30	皮膚障害 60%b. s.- 死亡
III : 放射能雲被ばく (消防士)	9.0-14.0	200.0	5-10	壊死, 12-15	全員死亡
IV : β沈着	2.0-11.5	150.0- -300.0	25-30	潰瘍 及び/又は 壊死, 25-30	種々, 障害位置に よる

Table-8 Severity correlation of bone marrow syndrome and beta-burn.
A correlation was observed between severity of skin burn and that of bone marrow syndrome.

骨髄障害 重症度	症例数	放射熱傷症例数		
		50-100%	10-50% 体表面積の内	1-10%
IV	20	9	10	1
III	21	3	15	3
II	43	1	9	2
I	31	0	1	2
Total	115		56	

Table-9 Cyclic development of skin burns.
According to the severity repeated erythemas were observed.

発赤の始まり		
一次	1-2日	31症例
二次 (重症)	5-8日	22症例
(軽症)	18-21日	34症例
その後	35-40又は49-60日	19症例

後下腿、上腿、臀部に表れた。症例によってはこの通りではなかった。

皮膚障害の臨床経過は総体的に表9に示すが、次の如くである。初日、全体的に発赤（一次発赤）が表れる。3～4日目は消えている。2次発赤は重症な症例では5～8日目に表れるが、多くの症例では8～21日目に表れる。障害の程度により、乾性または湿性皮膚炎（I度）、水泡形成（II度）、糜爛、潰瘍形成（III度）、壊死、潰瘍形成（IV度）となる。障害の進行が止まると、2～3週間は糜爛した表面が上皮化する。6人の患者では皮膚の深い壊死の領域で2ヵ月目に入るまで治癒しなかった。糜爛と潰瘍が長期に存在して感染の危険を起こしていた。強い疼痛がこれらの患者の特長である。この痛みは2ヵ月目の終わりから3ヵ月目に発生する第3次発赤の起こる患者に重かった。第3次発赤が起こる時は以前に上皮化した部分が再び赤くなり、皮下に浮腫が発生し、発熱する。症例によっては糜爛や潰瘍が再発する。

体表の40%以上熱傷を受けた症例は、発熱発作が起こり、その後肝腎不全が起きた。最も重症な症例では肝脳コマーが起こり脳浮腫を伴って死に至った。

このように放射線熱傷は治療しにくく問題が多かった。熱傷治療は第1日目から始まった。皮膚の除染が最初の仕事である。線量を調べながら石鹼または洗剤で2～3回洗った。皮膚の治療には外科医や看護婦の努力が必要であった。色々な抗炎症剤、抗菌剤、再生促進剤が用いられた。リオキサノールエアゾール、これは生物物理研究所の薬学研究室で作った物であるが、大変効果的であった。熱傷用の軟膏は副腎皮質ホルモンと局所用の抗生物質が主な成分であるが糜爛や潰瘍が発生した時に用いた。パリズ液はコラーゲンで覆うものであるが、これも多くの症例に用いられた。各患者について1つの薬剤から次の薬剤

に変えるのは病理的な進行の状態と個人の耐容性によっている。抗菌性の材料を包帯に用いたり、敷物に用いるのは広範囲の熱傷の患者に有効であった。他の感染防止治療は骨髄障害患者と同様である。毎回皮膚の細菌検査を行うのが経過観察中に必要な事である。

皮膚障害の患者には普通に見られる貧血の対処も発熱患者に必要な治療である。これには輸血が一番である。汎発性な血管内凝結も重症皮膚熱傷患者に特徴的であるが注意する必要がある。血漿輸血やヘパリン投与や他の治療が必要である。第3次の紅斑が表れれば障害した組織は浮腫になり、熱がでる。プレドニソロンの投与が状況を改善する。

総体的に言って放射線症の場合と同じく痛みの軽減が困難である。局所沈痛剤が無いのは困る。保存的な治療ばかりでなく、6ヵ月以内に重症ではあるが、局所的な5症例には手術もおこなった。形成手術も数症例を数え、切断術も2症例に行った。続く数年に渡り10症例に数回の手術治療を行っている。マイクロ手術は大変有効であった。

IV 結果

重症急性被ばく障害の治療に関してモスクワの生物物理研究所臨床部門の治療経験をまとめると、以下のようになる。

1. 重症度診断をリンパ球数による判断で行うことができる。この重症度に従い、各症状に対処し、生存の可能性をもたらすべき治療を行う。
2. 広範囲に熱傷があり、多量の軟部組織が侵されている急性放射線症の患者には、赤血球が300万以下になったら、積極的に輸血をするべきである。
3. もし広範囲な組織破壊と重症な内因性の中毒、さらに腎肝不全やそれに続く脳症が起きれば、プラズマフォレーシスを日に1回以上行うべきである。
4. 血小板輸血を行えば2～4週間続く重症な血小板減少症の患者でさえ致命的な出血は抑えられる。また、いずれの患者にも出血の兆候はなかった。
5. チェルノブイル事故での骨髄移植の経験から次のことがいえる。
 - ・ γ -中性子や γ - β 被ばくを不均一に受けた患者への移植は適切ではない。
 - ・ハプロアイデンティカル骨髄移植は重症なGVHD (Graft Versus Host Disease) を起こし、強力な免疫抑制治療が必要であるから急性放射線症を悪化させる。よって避けるべきである。
 - ・HLA アイデンティカルの移植は8～19Gyを均一に被ばくした患者には行うべきである。

V 結論

原子力利用に関してより安全に対応する社会を築くには、万一の場合に必要な医療を備える必要がある。とくに、重症急性被ばく障害の治療に関して備える方針としてチェルノブイル事故から学んだ事は以下のように結論する事ができる。

1. 抗感染対策が最も有効である。
2. 骨髄移植では二次的に起きた急性障害や、重症な皮膚熱傷や放射線消化管炎がなかった患者では、急性放射線症で死亡した症例はない。

文献

- 1) A. V. Barabanova and D. P. Asanov: *Int. J. Radiat. Biol.*, 57, 775–782 (1990).
- 2) A. K. Guskova et al: *UNSCEAR 1988 Report to the General Assembly, with annexes " Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation "*, UN, 613–631 (1988).
- 3) A. K. Guskova and A. E. Baranov: *Berzelius Symposium XV*, 157–165 (1988).
- 4) G. D. Seldovkin and A. E. Baranov: *Actual Problems of Transfusiology*, 94–99 (1990).

3. チェルノブイリ事故から学ぶ—介入

保田浩志
放射線医学総合研究所

Learned from Chernobyl Accident—Intervention

Hiroshi Yasuda

The 3rd Research Group, National Institute of Radiological Sciences
4-9-1 Anagawa, Inage-ku, Chiba 263, Japan

ABSTRACT—It is considered that health and social damage as seen in the Chernobyl accident could be avoided by establishing a clear framework for intervention against contamination. The framework must be easy to understand to be accepted by all the people concerned. This study presented a process of decision-making on countermeasures against a regional-scale soil contamination. This process put an emphasis on 1) Clarification of responsibility and intervention principles, 2) Application of probabilistic techniques into individual dose estimation, 3) Reduction of social burden. Examples of decision-making were also presented for a simulated ground surface contamination.

チェルノブイリ事故から10年を迎え、総括 (summing up) を目的とした種々の会議が世界各地で開催された。それらの報告により、事故後の迅速な情報伝達の重要性や、対応責任の消失・散逸がもたらす社会的影響等、わが国の原子力安全を考える上においても参考となる数多くの知見が提示された¹⁾。当事故が人々の健康にもたらした影響としては、次の2点を深刻なものとして挙げることができる：

- ・汚染浄化にあたった多くの作業員 (liquidator) が相当の被ばくを受け、28人が急性障害で死亡したこと
- ・広範な地域が汚染を理由に放棄され、移住した人々には、回避された健康影響に見合わないような社会精神的ストレスが生じていること

発がんに関しては、現時点では上記の2点に比べると顕著ではなく、被害の程度については今後の調査結果に判断を委ねる状況にある。

このような不幸な事態が生じてしまった理由の一つに、「介入」にかかる意思決定のためのよりどころ (クライテリア) が明確でなかったことが挙げられる。特に、浄化対策の実施を決定・選択するためのプロセスが確立していなかったことは被害を助長させる結果となった。一般に、環境汚染が発生した場合には、あらかじめ定めた環境基準に照らして安全性を判断し、適切な対策を迅速に実施することが要求されるが、既存の「介入」の体系では汚染浄化にかかる意思決定を行う際に若干の混乱が生じる可能性が否定できない。

1. クライテリアについて

汚染浄化にかかる判断に臨んでまず問題となるのは、「行為」と「介入」との区別をどのような根拠で行うか、という点である。ICRP Publ. 60²⁾では、人の活動は、制御可能な「行為」と被ばくを回避する目的の「介入」に2分できるとしている。そして、放射線被ばくをもたらす「行為」に対しては、正当化・最適化・線量限度の3原則を通用すべきと勧告している。一方、「介入」に関しては、正当化と最適化の2つを原則とし、定値の線量限度は過剰な社会経済的悪影響をもたらすので好ましくないとしている。そして、介入の効果は「回避線量」で判断し、回避線量あたりの費用を用いて最適化が可能としている³⁾。しかし、極めて緊急性の高い作業においては、両者を明確に区別して論じるのが困難な場合が予想される。例えば、チェルノブイリ事故直後に行われた事故炉の復旧作業は、線量限度を超えていた点は許容される「行為」ではないが、その作業により汚染の拡大（に伴う公衆の被ばく）が防止できたと解釈すると正当な「介入」ともみなし得る。また、IAEA (BSS) は、汚染場所が委任行為 (authorized practice) の範疇にある場合には、浄化作業を「行為」とみなし、そうでなければ「介入」として対処することを提言している。しかし、ソ連政府が崩壊して対応責任が不明瞭となったチェルノブイリ事故のようなケースでは、「委任行為」の判別自体が難しくなる事態も考えられる。

以上のようなチェルノブイリ事故の教訓から、万が一の広域汚染時に際し、「行為」と「介入」の区別等を必要としない分かりやすい体系を確立しておくことが必要と思われる。そこで、本研究では、汚染浄化にかかる意思決定のための包括的なフレームワークの構築をはかる。具体的には、(1) 誰が介入を行うか、(2) 誰に介入を行うか、(3) 誰がその介入を認めるか、の基本となる3つの要素に注目し、

- (1) 対応責任と介入原則の明確化
- (2) 線量評価への確率論的手法の導入
- (3) 社会的負担の低減

の3点を考慮することにより、広域汚染土壌の浄化にかかる意思決定のフレームワークを示す。

2. 対応責任および介入原則の明確化

非意図的に生じた汚染事故でも、その過失責任は存在する。その責任を明確にせず、各人によって判断の異なる「最適化」のプロセスを優先すると、迅速・的確な判断は困難になるとわれ、できるだけ明確な対応責任の下で、介入対象となるすべての人々を平等に扱うことが望ましい。そのためには、指針となる線量限度値、少なくとも線量限度値を決めるための明確なフレームワークはあらかじめ用意しておく必要があると思われる。すなわち、この段階での原則は、次のように与えられるべきである：

「どの居住者・作業員も線量限度を超えない」

ただし、この場合の線量限度は、ICRP 勧告の年線量限度ではなく、緊急時用に新たに定義されるべきものを意味する。Fig. 1

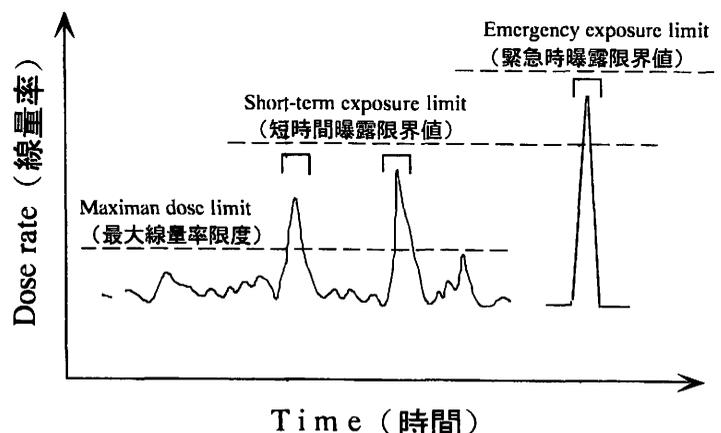


Fig.1 An example of flexible dose limitation system.

に、除染作業者に対する線量限度の設定例を示す⁴⁾。この図では、通常の作業を「最大線量率限度」と作業時間で、緊急性の高い作業を「短時間曝露限界値」で、きわめて重要な任務に対しては、重度の急性障害を生じないよう「緊急時曝露限界値」で対処する方法を示している。このように、状況（汚染の不均一性、汚染レベルの未知性、等）あるいは作業の重要度（緊急性、特殊性、等）に応じた線量限度値を柔軟に設定しておくことにより、汚染の拡大と作業者の過度の被ばくの両方を適切に防ぐことが可能になると考えられる。

浄化作業の安全性を判断するための評価プロセスの一例を示す⁵⁾。浄化作業に確保できる作業員数が一定であると仮定すると、作業員が被曝する線量 D_{worker} [Sv] は、浄化面積、汚染レベル、曝露時間に比例すると考えられるので、その計算式は次のように与えることができる：

$$D_{\text{worker}} = \frac{A}{a_{\text{clean}} \cdot N_{\text{worker}}} \times F'_{\text{conv}} \times C_{\text{soil}} \quad (1)$$

ここで、 A は、汚染された土壌の面積 [m^2]; a_{clean} は作業員一人あたりの浄化作業効率 [$\text{m}^2 \text{man}^{-1} \text{hr}^{-1}$]; N_{worker} は作業員数 [man]; F'_{conv} は土壌中放射能強度から作業員一人あたりが受ける線量当量への変換係数 [$\text{Sv yr}^{-1} \text{per Bq kg}^{-1}$] である。

ここで、 a_{clean} を 10, 50, 100 [$\text{m}^2 \text{man}^{-1} \text{hr}^{-1}$] の 3 レベルとし、 N_{worker} を 10 [man]、 F'_{conv} を居住者における変換係数 (F_{conv}) に等しいと仮定した場合における、土壌中 ^{137}Cs 濃度 (C_{soil}) と D_{worker} との関係を図 2 に示す。放射線作業員に対しては 5 年間で 0.1Sv という線量限度が勧告されている¹⁾ ので、その年平均値である 20mSv を図中に点線で示した。

図より、基準値を超える濃度域は、 a_{clean} の値によって大きく変わることが分かる。すなわち、汚染浄化対策を実施するかどうかの判定には、作業効率の向上が重要な要素になると考えられる。同時に、作業員数や作業時間の調整によって浄化対策費用を最小にすることも、浄化対策が正当化されるためには重要であると考えられる。

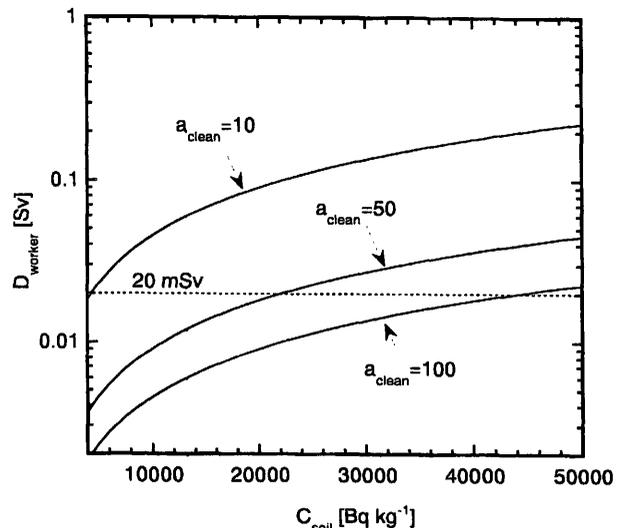


Fig.2 Plots of predicted dose to a worker versus soil contamination level (C_{soil}); the a_{clean} values in the figure are cleanup rates per worker [$\text{m}^2 \text{hr}^{-1} \text{man}^{-1}$].

3. 環境移行予測への確率論的手法の導入

影響評価に用いる環境パラメータの多くは変動性（不確実性）を有しており⁶⁻⁹⁾、その空間的・時間的変動を完全に把握することは事実上不可能である。したがって、現実的なリスクの算定にあたっては、確率論的手法の導入が不可欠であると考えられる^{6,7)}。すなわち、限られたデータから個人線量の分布を定量化することに重点をおき、その分布特性と個人線量の限度値から誘導介入レベルを決定する方法が妥当であると考えられる。以下、パラメータの分布特性を考慮した計算プロセスの一例を示す⁵⁾。

表層土壌中 ^{137}Cs 濃度 (C_{soil}) が時間と共に指数関数的に減少する¹⁰⁾ と考えると、居住者一人あたりが生涯にわたって受ける積算外部被曝線量 (D_{life} [Sv]) の計算式は、次のようになる。

$$D_{\text{life}} = \int_0^{T_{\text{life}}} F_{\text{conv}} \times C_{\text{soil}} \times e^{-\lambda \cdot t} dt \quad (2)$$

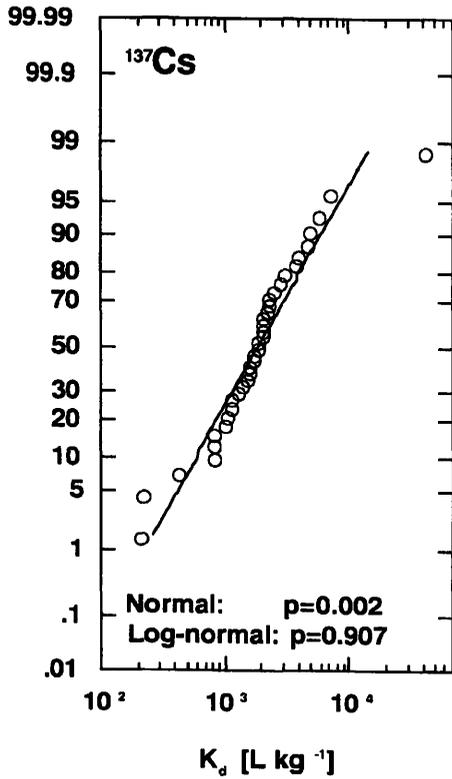


Fig. 3 Probability distribution of cesium K_d s obtained for 36 agricultural soils collected in Japan; p value in the graph means the probability obtained by the Shapiro-Wilk test as to each distribution type.

ここで、 T_{life} は期待される居住年数 [y]; F_{conv} は表層土壌中放射性核種の単位濃度から受ける線量当量 [$Sv\ yr^{-1}\ per\ Bq\ kg^{-1}$]; C_{soil} は $t = 0$ (判断時) における表層土壌中 ^{137}Cs 濃度 [$Bq\ kg^{-1}$]; λ は表層土壌における ^{137}Cs の減衰係数 [y^{-1}] である。表層土壌中の ^{137}Cs が物理的崩壊と下方への浸透によって減衰すると仮定すると、 λ は次のように表される。

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_h} + \frac{v_w}{W_{soil} \times (\theta_1 + K_d)} \quad (3)$$

ここで、 T_h は放射性核種の物理学的半減期 [y]; v_w は土壌水分の有効浸透流速 [$L\ m^{-2}\ y^{-1}$]; W_{soil} は単位面積当たりの表層土壌量 [$kg\ m^{-2}$]; θ_1 は土壌含水比 [$L\ kg^{-1}$]; K_d は土壌固相液相間の分配比 (分配係数) [$L\ kg^{-1}$] である。 K_d は、バッチあるいはカラム実験により、経験的に得られるパラメータで、他のパラメータと比較して変動性が大きいと考えられている。Fig. 3 に、日本各地の農耕地土壌に対してバッチ実験で得られた ^{137}Cs の分配係数 K_d ($C_s - K_d$) の累積確率分布¹¹⁾を示す。図中の p 値は、Shapiro-Wilk の検定法¹²⁾により、(両端のデータを除いて) 正規分布と対数正規分布それぞれの適合性を検定した結果である。これより、 $C_s - K_d$ の分布が正規分布ではなく、対数正規分布で近似できることが分かる。

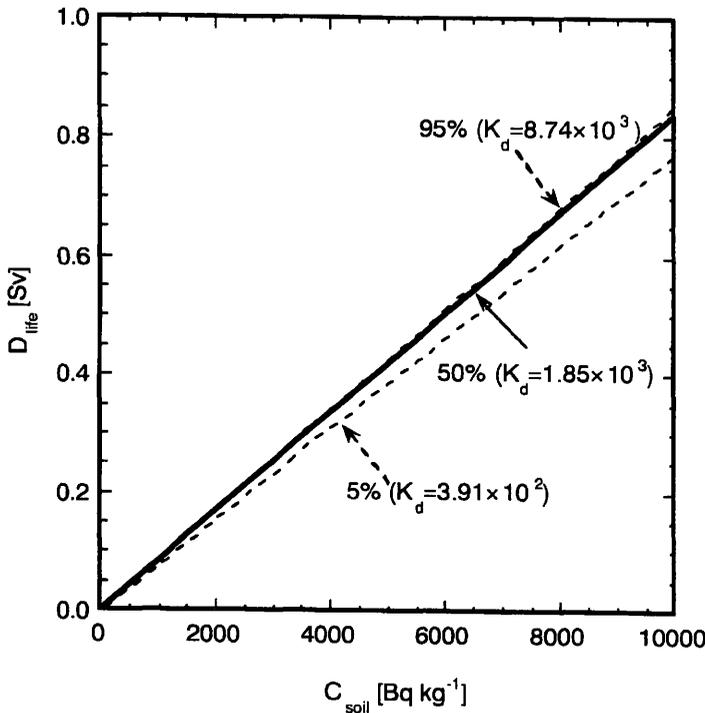


Fig. 4 Predicted life-dose for a resident as a function of C_{soil} ; the resident is assumed to be exposed for 30 years without shielding.

式 (1) および (2) を用いて計算した、居住者一人あたりが受ける予測線量 (D_{life}) と表層土壌中 ^{137}Cs 濃度 (C_{soil}) の関係を Fig. 4 に示す。また、計算に用いたパラメータの値を Table 1¹³⁻¹⁵⁾ に示す。 $C_s - K_d$ は、Fig. 3 に示した分布を待つと仮定し、5、50、95 パーセンタイル値を計算に用いた。この図より、表層土壌中 C_s 濃度と生涯線量は比例関係にあることが分かる。

さて、ここで使用したパラメータすべてが定値であれば、許容曝露量から安全な汚染レベルを逆算できる。しかし、前述したように、環境パラメータの多くは空間的・時間的に大きな変動性 (不確実性) を有しており、広域・長期にわたる移行予測にパラメータ不確かさが伴うことは免れ得ない。したがって、前記した原則 (「どの居住者も線量限度を超えな

い)に基づいて介入レベルを決定するには、評価に用いるパラメータの変動性を定量的に扱う工夫が必要となる。すなわち、パラメータの変動特性に照らして、居住者へのリスクが十分低いと判断されるレベルを明示することが必要である。そこで、基準値を超えると推定される人数 (N_{ex} [man]) を次式のように計算する。

$$N_{ex} = P_{ex} \cdot N_{residents} \quad (4)$$

ここで、 P_{ex} [-] は居住者一人に対して生涯線量が限度値を超えると予測される確率； $N_{resident}$ は居住者の人数 [man] である。 P_{ex} は、パラメータの統計的情報から推定される。ここでは、変動特性を考慮するパラメータとして K_d を対象とし、 K_d の空間的・時間的ばらつきが Fig.3 に示した分布に従うと仮定する。現実には K_d 以外のパラメータ (v_w 、 F_{conv} 、等) の変動も考慮する必要があるが、ここでは無視できるとする。

前記した原則に従うと、誘導介入レベルは、線量限度を超える人数の期待値が 1 となる場合の汚染レベルと定義できる。すなわち、

$$N_{ex} = 1 \quad (5)$$

となる表層土壌中 ^{137}Cs 濃度が誘導介入レベルとなる。居住者は異なる環境条件の場所へも移動すると予想されるので、得られたパラメータの分布が対象地域における空間的・時間的なばらつきを適切に反映しているならば、この値は安全側（現実には基準値を超える人数は 1 未満）になると考えられる。

生涯線量限度値を仮に $350\text{mSv}^{16)}$ とおいた場合における N_{ex} と C_{soil} の関係を Fig.5 に示す。この図から、本条件下では、約 $4.1 \times 10^3 \text{Bq kg}^{-1}$ 以上の汚染レベルに対して何らかの対策を実施する必要がある、と判断される。なお、本手法は、食品移行のパラメータのばらつきを考慮することで、内部被ばくにかかる基準の策定にも応用することが可能である¹⁷⁾。

4. 社会的負担の低減

何らかの介入措置が必要であると判断されたならば、実施すべき対策を具体化しなければならない。この段階では、同じ線量低減効果をもたらす対策が複数存在する場合、社会的負担を低減する観点から最も有利な対策を選択することが重要である。有利さがコストで代表できると仮定すれば、対策を選定する際の原則は、次のように与えられる：

「経済的により有利な対策を選択する」

以下では、例として、補償措置の費用を計算を行う。

浄化に要する費用は汚染面積に比例すると考えられる。一方、住民への補償額は居住者数と補償年数から決まると考えられる。表層土壌中 ^{137}Cs 濃度 (C_{soil}) が指数関数的に減少すると考えれば、補償年数

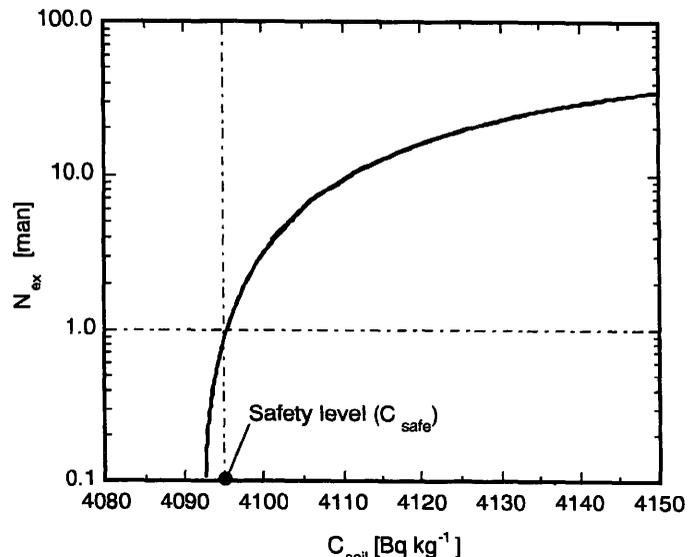


Fig. 5 Predicted number of residents who will get more than 350 mSv in their lives as a function of C_{soil} .

(Y_{comp} [y]) は、次式で計算される。

$$Y_{\text{comp}} = -\frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{C_{\text{safe}}}{C_{\text{soil}}} \right) \quad (6)$$

ここで、 C_{safe} は、前節で導出した、居住に関する安全レベル [Bq kg^{-1}] である。補償総額 (M_{comp} [\$]) は、次式で計算される。

$$M_{\text{comp}} = m_{\text{comp}} \times Y_{\text{comp}} \times N_{\text{resident}} \quad (7)$$

ここで、 m_{comp} は居住者一人あたりの年間補償額 [$\text{\$ man}^{-1} \text{y}^{-1}$] である。 C_{safe} を $4.1 \times 10^3 \text{ Bq kg}^{-1}$ とし、 K_d の期待値および 5、50、95 パーセンタイル値を用いて計算した M_{comp} を、 C_{soil} の関数として Fig. 6 に示す。図に示した補償額の期待値が浄化に要する費用を上回る場合、浄化対策が正当化されると考えられる。なお、補償額の計算モデルに $C_s - K_d$ のような非正規分布型のパラメータが含まれる場合、期待値と中央値が通常一致しないことに注意が必要である。

以上の結果をまとめると、本手法を適用した場合、汚染土壌に対する誘導介入レベルは、環境(土壌)の特性分布や対象となる住民数、各対策のコスト等に応じてフレキシブルに与えられる。例えば、同じ汚染レベルであっても、居住者数が少ない場合には補償が浄化対策よりも有利となる可能性が高くなる。種々の対策と汚染レベルおよび住民数との関係を Fig.7 に模式的に示す。環境特性のばらつきが個人線量のばらつきに反映されると仮定している本手法には、個人線量を判断の基準としながら、集団線量を低減できるという副次的効果もある。

5. まとめ

チェルノブイリ事故がもたらした深刻な健康被害は、介入、特に汚染浄化にかかる意思決定のよりどころ(クライテリア)を明確にしておくことで低減できたとと思われる。そのクライテリアは、社会に容易に受け入れられる明快な体系であることが望ましい。ここでは、その一例として、「行為」と「介入」の区別等を必要としない包括的な意思決定のフレームワークを示した。具体的には、介入者

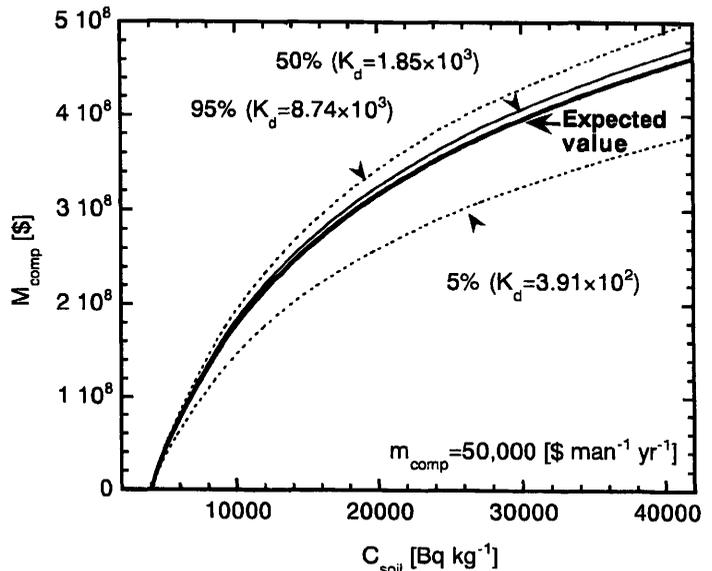


Fig. 6 Estimated total compensation cost as a function of C_{soil} .

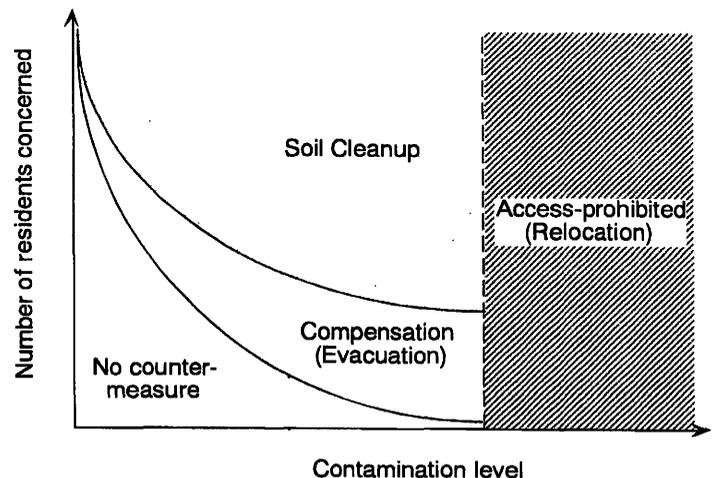


Fig. 7 Schematic diagram of countermeasures related to soil contamination level and number of residents.

(対応責任者), 被介入者 (居住者), 承認者 (非当事者) の3者の視点を考慮し、

- ・対応責任および介入原則の明確化
- ・個人線量評価への確率論的手法の導入
- ・社会的負担の低減

をはかることを提唱し、それらに基づいた種々の基準値の設定例を示した。ただし、あくまでも例示であり、パラメータの統計的取扱いや使用した数学モデルの妥当性等については、適用対象とする地域の状況に応じた吟味¹⁸⁾が重要である。

Table-1 Parameter values used in the decision-making process.

Parameter	definition	value*
T_h	half-life by radioactive decay	30 [y]
v_w	downward water velocity	740 [L m ⁻² y ⁻¹]
W_{soil}	areal surface soil density	240 [kg m ⁻²]
θ_l	soil water content by weight	0.14 [L kg ⁻¹]
T_{life}	individual life expectancy	30 [y]
F_{conv}	conversion coeff. from radionuclide conc. in surface soil to dose equivalent per resident	3.96×10^{-6} [Sv yr ⁻¹ per Bq kg ⁻¹]
$N_{resident}$	number of residents	100 [man]
m_{comp}	annual compensation cost per resident	50,000 [\$ man ⁻¹ y ⁻¹]
A	residential area	10 ⁶ [m ²]
N_{worker}	number of workers involved in cleanup	10 [man]

*The values of the v_w and the θ_l are taken from Hoffman and Baes¹⁰⁾; the w_{soil} USNRC¹³⁾; and the F_{conv} , USDOE¹⁴⁾.

参考文献

- 1) 保田浩志：国際会議「チェルノブイリから10年：事故影響の総括」、日本原子力学会誌、38, 594-596, 1996.
- 2) ICRP: ICRP Publ. 60 (1991).
- 3) ICRP: ICRP Publ. 63 (1991).
- 4) Yasuda, H.: A decision making for radiological protection in a semi-natural radiation environment, Proc, International Symposium on Radiation Safety, pp. 43-50, 1996, 9., Moscow.
- 5) Yasuda, H.: A decision-making process for surface soil cleanup: Determination of derived intervention levels, *Jpn. J. Risk Anal.*, 7, 74-80, 1995.
- 6) Yasuda, H., Uchida, S.: Apparent non-linear relationship of radionuclide concentration in between crop and soil, IAEA-SM-339, 259-267, 1995.
- 7) Yasuda, H., Uchida, S.: Statistical analyses of soil to plant transfer factors: Strontium and cesium. *J. Nucl. Sci. Technol.*, 31, 1308-1313, 1994.
- 8) Yasuda, H., Uchida, S.: Statistical approach for the estimation of strontium distribution coefficient. *Environ. Sci. Technol.*, 27, 2462-2465, 1993.
- 9) Yasuda, H.: Effectiveness of Electric Conductivity for Estimating Distribution Coefficients of Strontium

- and Cesium, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 33, 166–170, 1996.
- 10) Hoffman, F. O.: Baes, C. F. NUREG/CR–1004, ORNL, Oak Ridge (1979)
 - 11) Yasuda, H., Uchida, S., Muramatsu, Y., Yoshida, S.: Sorption of manganese, cobalt, zinc, strontium, and cesium onto agricultural soils: Statistical analysis on effects of soil properties, *Water Air Soil Pollut.*, 83, 85–96, (1995).
 - 12) Shapiro, S. S. and Wilk, M. B.: An analysis of variance test for normality, *Biometrika* 52, 591–611, 1965.
 - 13) U. S. Department of Energy (USDOE). External dose–rate conversion factors for calculation of dose to the public, USDOE, Washington, D. C. (1988). p. 152.
 - 14) U. S. Nuclear Regulatory Commission (USNRC). Regulatory Guide 1. 109, USNRC (1977).
 - 15) IAEA: *Safety Series 81*, IAEA (1986).
 - 16) International Advisory Committee: The International Chernobyl Project; An overview, IAEA (1991).
 - 17) Yasuda, H.: A consideration on internal dose evaluation and intervention based on a surface contamination concept, IAEA–CN–63/9, 1996.
 - 18) Yasuda, H.: Transfer models in a soil–plant system used for environmental impact assessments, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 32, 1272–1283, 1995.

1. 放射線被曝の社会的影響と疫学調査

吉本 泰彦
放射線医学総合研究所

Influence of Radiation Exposure on Our Society and Epidemiological Study

Yasuhiko Yoshimoto

Division of Human Radiation Environment, National Institute of Radiological Sciences
4-9-1, Anagawa, Inage-ku, Chiba 263, Japan

ABSTRACT—A brief epidemiological review of risk assessment of radiation was discussed with respect to two periods; before and after the establishment of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Selected topics were the studies of atomic bomb survivors and people living in the contaminated areas due to Chernobyl nuclear power plant accident. An ethical view to ensure that potential social benefits of epidemiology are maximized was emphasized as well as a scientific view. On the other hand it should be recognized that there are the limitations of epidemiological studies on the basis of the observations on man in which the animal-experimental setting generally cannot be controlled over. Informing people about the professional confidence and caution of radiation exposure is needed to resolve social concern associated with low dose, low dose rate of radiation. Also there are guidelines for the investigation of clusters of adverse health events. In the future an appropriate strategy for decontamination might be expected to unusual radiation exposure as a consequence of a nuclear power plant accident. Justification for the implementations can be determined only through the assessment of the effects both on the environment and health of humans after the accident.

I 疫学と“事件”

簡単に言えば、人間集団の観察結果を基にヒトの健康問題を解決するための科学的法則性を見出すのが疫学研究の目標である。疫学調査は、“健康問題”が社会的に認知されて初めて開始されることがしばしばである。個体レベルでは原因と結果の因果関係の証明が簡単でない事例の方が多い。現代社会は、健康に悪影響を及ぼすリスク因子の環境改善を常に志向するようになってきた。今では、これらリスク因子が健康問題として劇的な影響を社会に与えることはほとんどなく、あるとすれば、予測し難い“事件”によるものである。

1. “自然の実験”

現在の疫学は1893年に英国（イングランド・ウェールズ）の統計局の医学統計の仕事について William Farr の仕事にその源を発していると言われる。同年代の John Snow は、1849年のロンドンのコレラ流行が、ある二つの会社（Lambeth 社と Southwark & Vauxhall 社）が供給する飲料水の水源（テムズ川の取水点が汚染されていた）に関係していたことを立証した。と言うのは、このうち一社（Lambeth 社）が1854年までに取水源を汚染の少ない地点に移したからであった。彼は、汚染水源、汚染の低い水源、両水源から供給を受けていた3地域についてコレラの死亡率を比較した。Robert Koch がコレラ菌を発見したのは約30年後の1883年である（表1）。このような“事件”が結果的に生む条件から仮説を検証することから疫学調査は“自然の実験”としばしば呼ばれ、動物実験と対比される¹⁾。

表1 UNSCEAR 設立前後の主な放射線被曝関連事項

年 度	放 射 線 被 曝 関 連		その他参考事項
	主 な 事 項	“自 然 の 実 験”	
1500年代			
1556		鉱夫の山の病気	仏に喫煙習慣
1883			コレラ菌の発見
1895	X線発見		
1896	ウランから放射能		
1898	ラジウム・ポロニウム発見	放射線皮膚障害	
1915	英国X線学会防護報告書	皮膚がん・白血病	
1920	国際連盟成立		
1921	英国X線・ラジウム防護委員会	放射線奇形	
1922	米国X線学会防護勧告	ラジウム顎	
1925	国際放射線医学会議、ICRU 設立		
1928	ICRP の前身設立		
1938	ウラン核分裂発見	トロトラスト肝血管内皮肉腫	
1945	原爆投下・国際連合成立		[日本]
1954	水爆実験	急性全身照射放射線被曝	
1955	UNSEAR 成立	放射性降下物被曝	水質汚濁顕著化
1956	英国原子力発電所運転開始*		
1958	UNSEAR 総会第一回報告書	線量限度放射線被曝	
			大気汚染顕著化

Note: UNSCEAR= 原子放射線の影響に関する国連科学委員会

ICRU= 国際放射線単位測定委員会、

ICRP= 国際放射線防護委員会

* =コールドーホール原子力発電所

2. 健康問題の科学：疫学

現代の疫学が健康問題の科学とされる由縁は、

- a. 疾患の発生リスクを確率に関する測度として扱うこと、
- b. 疾患の発生と病因の因果関係を推測するための一定の総意が得られた判断基準を採用すること、

にある（例えば Bradford Hill の基準²⁾。放射線誘発がんのように“自然発生”のがんとが容易に区別できなかつたり、放射線誘発がんの発現とそれに先行する放射線被曝との間に数十年に及ぶような時間的遅れがあると、“健康問題”は早期に解決できるほど簡単ではない。健康障害の賠償請求訴訟でも統計学的有意性と生物学的有意性の観点から疫学的因果関係の蓋然性が低いとか高いとか言及されることがある³⁾。

3. 現代社会と放射線防護

放射線防護のための線量限度はその他の環境基準に比べ歴史的にも早くから研究されている。日本では、原爆の経験に加えて、1960年代高度経済成長期の4大公害裁判に代表される深刻な健康被害を経験した(表1)。科学の目標は結局のところ自然現象を説明し予測することにある。しかし、過去の経験から倫理と疫学の問題が議論され、科学的知見の恒常的改善により公衆の健康の向上・防護・回復をはかることが疫学者の職業的義務とさえ言われる⁴⁾。原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）の報告書^{5,6)}や国際放射線防護委員会（ICRP）の勧告⁷⁾もこのような社会的志向と無縁ではない。

II 放射線被曝の社会的影響

1. UNSCEAR 設立以前⁸⁾

当然であるが、放射線被曝による健康影響が認識されはじめたのは19世紀末期にX線や、放射能の概念が見出されてからである。しかし、放射線による“自然の実験”は16世紀からすでに始まっていた—中部ヨーロッパのシュネーベルグ鉱山の鉱夫達に「山の病気」と呼ばれる奇病がしばしば報告されていた。この奇病は肺癌であり、当時の鉱山内は相当高いラドン濃度であったと言われている。

X線、放射性物質、及び放射能の発見まもなく、医療領域での有用性だけでなく、放射線被曝による皮膚障害や皮膚癌のような悪影響も1900年代の初めには認識されるようになった。このような社会的背景から、例えば、ドイツ、イギリス、アメリカなどで放射線防護の動きが芽生えた。1925年の国際放射線単位測定委員会（ICRU）に続き、ICRPの前身である国際エックス線及びラジウム防護委員会は1928年に設立された。同年には血液造影剤トトロラストの使用が始まっている。1928～1950年までは放射線防護の対象は放射線医療従事者だけであり、一般公衆や医療放射線を受けた患者も対象に言及されるのは1954年になってからと言われる。この年、ピキニ環礁水爆実験による一般人被曝事故があった。(表1)

2. UNSCEAR 設立以後

UNSCEAR 設立の社会的背景には、医学や産業におけるX線及び放射性物質の利用の増加に加えて、軍事・商業用原子力開発による、放射性降下物、放射性物質の放出等の環境汚染や放射線障害に対する国際的な懸念があった。評価すべき放射線の健康影響は遺伝的影響も含み多岐にわたるようになった。UNSCEARの国連総会への一連の報告書（1958～1994年）の放射線リスク評価の主なデータ源は、広島・長崎の原爆被爆者のコホート研究である。そこには原爆被爆者の観察結果及び疫学的手法の被爆後50年間の変遷が反映されている。これらの科学的知見を考慮してICRPは、放射線防護に関する新勧告⁷⁾を1990年に作成した。

UNSCEARの設立から約30年後に起きた1986年のチェルノブイリ原子力発電施設事故の経験は、あるレベル以上の放射線放出事故が起きると、事故後施策された緊急対策がどのようなものであれ、その後

の施設周辺地域住民の健康影響をモニタリングするために疫学調査が必要であることを示唆している。

UNSCEAR 1993/1994 年の総会への報告書^{5,6)}では疫学が初めて取りあげられた。

3. 原爆被爆者の疫学調査

1938年にドイツで二人の化学者が原子核分裂を発見してから、一年後にドイツがポーランドに侵攻した。その後の軍事原子力開発の一つの結果、一つの歴史的事件として1945年の広島・長崎の原子爆弾からの急性全身照射による放射線影響を経験した。

広島ではウラニウム、長崎ではプルトニウム各々約1kgが核分裂してTNT火薬約20ktに相当するエネルギーを放出したと言われる。同じ威力のTNT火薬より熱線と爆風の効果において15%劣るが、その劣った威力分は放射線の放出エネルギーである。原爆放射線を被曝した原爆被爆者では放射線の急性症状や、長期にわたる後影響が観察された。

1) 放射線影響研究所⁹⁾

放射線影響研究所(放影研)は妊娠五ヶ月妊婦調査、大規模なコホート研究、及び個人線量推定を実施し原爆被爆者の放射線リスク評価において重要な役割を果たしてきた(疫学の教科書で方法論としてコホート研究がケース・コントロール研究と共に最初に明確に記述されたのは1960年と言われる⁴⁾)。原爆投下後50年を経た今日も原爆被爆者の調査は継続されている(表2)。原爆投下直後の被害状況を把握するため1945年9月に日米合同調査が開始され、その後1947年に米国原子力委員会の資金で米国学士院が設立した原爆傷害調査委員会が放影研の前身である。翌年には厚生省国立予防衛生研究所が同委員会に共同参加することで研究基盤ができた。1975年に同委員会は日米両国政府が同額を分担し、日本の厚生省、米国のエネルギー省から米国学士院を通じて運営資金が交付される財団法人として放影研に再編された。

戦後の食糧配給制度で妊娠五ヶ月の妊婦は妊娠登録をすることで優遇されていた。この制度を利用して約7万人の妊婦の妊娠終結異常の遺伝学調査が1948年に開始されている。直接被爆者、胎内被爆者、被爆者の子供(F₁)のコホート研究では日本独自の戸籍制度による死亡率や、腫瘍登録によるがん発生率が現在でも継続して追跡されている。原爆被爆者の病理解剖も一時期には行われており、成人健康調査集団として1958年から近距離被爆者を含めた約2万人に2年ごとの健康診断が継続されている。

表2 放射線影響研究所による原爆放射線リスク評価の概略と主な関連事項

主な項目	年 度										
	1945	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995
放射線量	測定		T57D	T65D					DS86		
直接被爆者	急性障害		後影響調査								
胎内被爆者	出生・成育影響調査				その他後影響調査						
被爆者の子供(F ₁)	妊婦・出生・成育影響調査				その他遺伝的影響調査						
がん登録	白血病		全部位								
社会的補償制度				原爆二法 (1957年, 1968年)				小頭症手当 (1981年)			原爆援護法 (1994年)

Note: T57D、T65D、DS86 = いずれも原爆被爆者の原爆放射線の個人線量推定を目的とした線量推定方法。

原爆二法 = 1957年原子爆弾被爆者の医療等に関する法律、及び1968年原子爆弾被爆者に対する援護に関する法律。

原爆援護法 = 1994年原子爆弾被爆者に対する援護に関する法律。

胎内被爆者 = 母親が原爆被爆者で出生日が原爆投下日～1946年5月末。

がん登録 = 1958年から広島・長崎両医師会による腫瘍登録でがん発生リスクが把握されている。

副次的研究成果としてニホンサン心臓血管疾患調査ではホノルル、サンフランシスコに住む日系人との生活習慣による比較調査が行われた。生物学的線量推定のいくつかの指標（染色体異常頻度、突然変異細胞頻度）の評価、及び原爆被爆者の子供における突然変異の検索も検診で採血された血液により行われている。

2) 個人線量推定¹⁰⁾

チェルノブイリ原発事故と同様に、原爆被爆者の放射線リスク評価のためには原爆放射線の個人線量推定が不可欠と考えられていた。被曝直後は被曝物件による残留放射線量や線量測定が行われた。この作業だけでは的確な個人線量推定は困難であり、1951年から個々の被爆者について被爆地点や遮蔽状況などの調査が長崎で開始された（広島は1954年から）。その後、T57D、T65D、及びDS86で呼称される方法で個人推定線量の改善が重ねられ、遮蔽状況別空気中組織kerma線量、及び臓器線量が提供されてきた。皮肉なことに1950～1957年の間では長崎型原爆による核実験がネバダの実験場で行われた（1957年には日本家屋を用いた遮蔽実験も行われた）。米国Harry S Truman大統領の大気中の核実験禁止令が出された1958年には研究用原子炉を鉄塔につるして実験（Bare Reactor Experiments at Nevada、BREN）が継続された。BRENを含めた原爆線量推定の研究は「Ichiban」プロジェクトと呼ばれている。なお、1963年には部分的核実験停止条約が調印された。その後、1976年のH.H.Rossiの米国放射線防護審議会への中性子線の線量限度の勧告問題を契機に、広島・長崎の原子爆弾から放出した中性子スペクトルが再計算されて現在のDS86に至っている。

3) 原爆被爆者の社会的補償制度

放影研の原爆放射線リスクの追跡調査は、放射線防護のための正確な情報を提供するだけでなく、原爆被爆者に対する社会的補償制度の変革にも影響を与えている。1957年に「原子爆弾被爆者の医療等に関する法律」が制定され、被爆者の健康管理と放射線に起因する障害の医療給付（医療手当）が開始された。胎内被爆小頭症が認定対象になったのは1967年からと言われる（当初3年ごとの更新制度、1976年から終身認定）。その翌1968年に制定された被爆者の生活救護（介護、健康管理）を内容とする「原子爆弾被爆者に対する特別処置に関する法律」と併せて原爆二法といわれる。1981年から原子爆弾小頭症手当が創設された。原爆投下後50年を迎えるにあたって1994年に改めて制定された「原子爆弾被爆者に対する援護に関する法律」に保健、医療及び福祉にわたる総合的な援護対策が継続されている。結果として社会的補償制度の整備に不必要な長い時間が費やされていたり、例えば社会の核家族化と高齢化の傾向の中で胎内被爆者は50才代に達し、胎内被爆障害者とその家族についての社会的保障は必ずしも十分ではないと思われるなど今後の課題を残した。（表2）

4) いくつかの未解決の科学的研究課題

社会的にも認知され、原爆放射線の典型的な後影響の一つは原爆被爆者（直接被爆者）の白血病とその他成人期のがんのリスクの増加である。放影研のPierce DAら¹¹⁾は原爆被爆者の1950～1990年までのがん死亡率を解析したが、調査対象86,572人（249人は白血病、7,578人は固形癌）の内0.005Sv以上の放射線量被曝群は50,113人である。この被曝群の白血病及び固形がんの死亡数は各々、176例、4,565例であった。この内、原爆放射線で誘発されたがん死亡は、白血病の44%(78人)及び固形

癌の8% (376人) と推定されている。発癌リスクの被曝からの時間的变化は一回の急性被曝による放射線誘発癌の発生機構を反映したものと考えられる。しかし、50年を経た今日でも原爆放射線リスクを端的に述べるのは簡単でなく、むしろより複雑なモデルの記述になりつつある。また、線量推定値のDS86への改訂の契機であった広島・長崎両市別の白血病の量・反応関係の差異は小さくなり、中性子線の生物学的効果比RBEは便宜的にガンマ線1GyでのRBE=10として全部位のがんで採用されている。さらに、発癌リスクの相対リスクが一般に高い20才未満の若年被曝者は1991年に90%もまだ生存されており、相対リスクの経年的な減少傾向が今後も継続するのかは不明である。(表3)

恐らく最も社会的に衝撃を与えた後影響は、母親の胎内で原爆放射線に被曝した胎内被曝者でみられた重度精神遅滞である。放影研で把握された爆心から2km未満で被曝した母親から出生した人は約1,100人である⁹⁾。母親の子宮線量と重度精神遅滞の頻度との量・反応関係は被曝時の妊娠週令が8~15週の胎内被曝者に明瞭であった。一般に受胎後8週までの器官形成期の初期の障害によって起こる奇形と重度精神遅滞のような中枢神経系の発育障害は区別すべきと考えられる。このような奇形もいくつかの胎内被曝小頭症例に記述されているが、十分に解明されていない。妊娠週令は出生記録から逆算したもので早期産による不確実性や、家族のためらいなどによる未報告例による影響も考えられるであろう。例えば、Otake M, Schull WJの報告書¹²⁾では17才までに重度精神遅滞と診断された30例と、

表3 原爆被曝者(直接被曝者)の最近の報告書、Pierce DA et al., Radiation Research 146: 1-27, 1996、の主な結果

対象者数と生存率			解析結果		
被曝時年齢	対象者数 (1950)	生存率 (1991)	がんの部位	主な項目	要約指標モデル及び推定値
0-9才	17,824	94%	白血病	死亡率	$\lambda c,s,a,y + EAR(d,e,s,t)$
10-19才	17,557	86%		自然誘発リスク	$\lambda c,s,a,y$
20-29才	10,882	77%		放射線誘発リスク	$EAR(d,e,s,t) = [d + \theta d^2] f(e,s,t)$
30-39才	12,270	51%		$\geq 0.005 Sv$ 群死亡例	176例
40-49才	13,489	16%		推定過剰死亡率	約78例 = $176 \times 44\%$
≥ 50 才	14,550	1%			
全年齢	86,572	56%	固形がん	死亡率	$\lambda c,s,a,y [1 + ERR(d,e,s,t)]$
				自然誘発リスク	$\lambda c,s,a,y$
				放射線誘発リスク	$\lambda c,s,a,y ERR(d,e,s,t) = \lambda c,s,a,y \beta(s) d g(e)$
				$\geq 0.005 Sv$ 群死亡率	4,565
				推定過剰死亡率	約376例 = $4,565 \times 8\%$

Note: 要約指標モデルの記号 c = city, s = sex, a = age at risk, y = year, d = dose, e = age at exposure, t = time since exposure, EAR = excess absolute risk, ERR = excess relative risk. また、 $\beta(s)$, $f(e,s,t)$, $g(e)$ は関数であるがここでは省略する。

表4 胎内被曝児の頭囲、Otake M, Schull WJ., Int J Radiat Biol 63: 255-70, 1993.

子宮線量 (Gy)	被曝時妊娠週令	平均的头囲	小頭囲	不明	合計
<0.01		993 (6)	17 (2)	1 (1)	1011 (9)
≥ 0.01		418 (5)	45 (13)	3 (3)	466 (21)
	0~7週	69 (0)	12 (0)	0 (0)	81 (0)
	8~15週	101 (2)	26 (12)	3 (3)	130 (17)
	≥ 16 週	248 (3)	7 (1)	0 (0)	255 (4)
合計		1,411 (11)	62 (15)	4 (4)	1477 (30)

Note: () は重度精神遅滞の症例。頭囲は9~19才までの検診時の測定。

9～19才までの検診で頭囲の測定がされた約1,500人の結果では中枢神経系の発達障害と小頭囲では必ずしも妊娠週齢に関して同じ関係がみられていない(表4)。また、胎内被爆者の放射線誘発がんのリスクは、白血病、小児がん、あるいは成人期のがんと区別して言及できるほど現在のところ明瞭ではない。胎内被爆者のがんのリスクは、白血病を含めた全部位のがんは少なくとも被爆時年齢5才未満の被爆者で見られる相対リスクと少なくとも同等であろうと思われる¹³⁾。

現在のところ実態がないが科学的に想定される潜在的な原爆放射線の遺伝的影響がある¹⁴⁾。

4. チェルノブイリ原発事故

1988年のUNSCEAR報告書では、旧ソ連以外の地域ではチェルノブイリ事故による健康影響は重大でないことが放射線線量のモニタリングで示された。例えば、図1のようにチェルノブイリ原発事故1年目の預託実効線量当量(全期間線量預託の約30%)を国別に示した。つまり、自然放射線源からの1年間の実効線量当量2.4mSvよりも小さいということであった。また、自然放射線源は一定であるがチェルノブイリ事故による放射性降下物は減少するのでこれは事故後30年間にうける自然放射線源からの実効線量当量約70mSvと比べればもっとはっきりするというものであった。このように放射線リスクが限りなく小さいと、広い地域の平均的な放射線量の測定でも一見十分説得力があると思われる。しかし、チェルノブイリ原発がある旧ソ連より高い線量を示すヨーロッパの国々があることは広大な地域別の平均線量では現実を適正に反映していないことを如実に示している。

一方、ソ連国内では30km圏内の住民の避難や、新たに30km以遠で汚染地区が判明したことによって社会不安が増加した。1989年のソ連政府の要請を受けて、このような社会不安に答えるべく、チェルノブイリ原発から30km以遠で¹³⁷Csの地表汚染レベルが1Ci/km²を越えている旧ソ連の地域について国際原子力機関(IAEA)を含む6つの国際機関及び25カ国の協力により約200人の科学者による国際チェルノブイリ計画が行われた。この計画は5つの作業グループ(チェルノブイリ事故から現在の状況ま

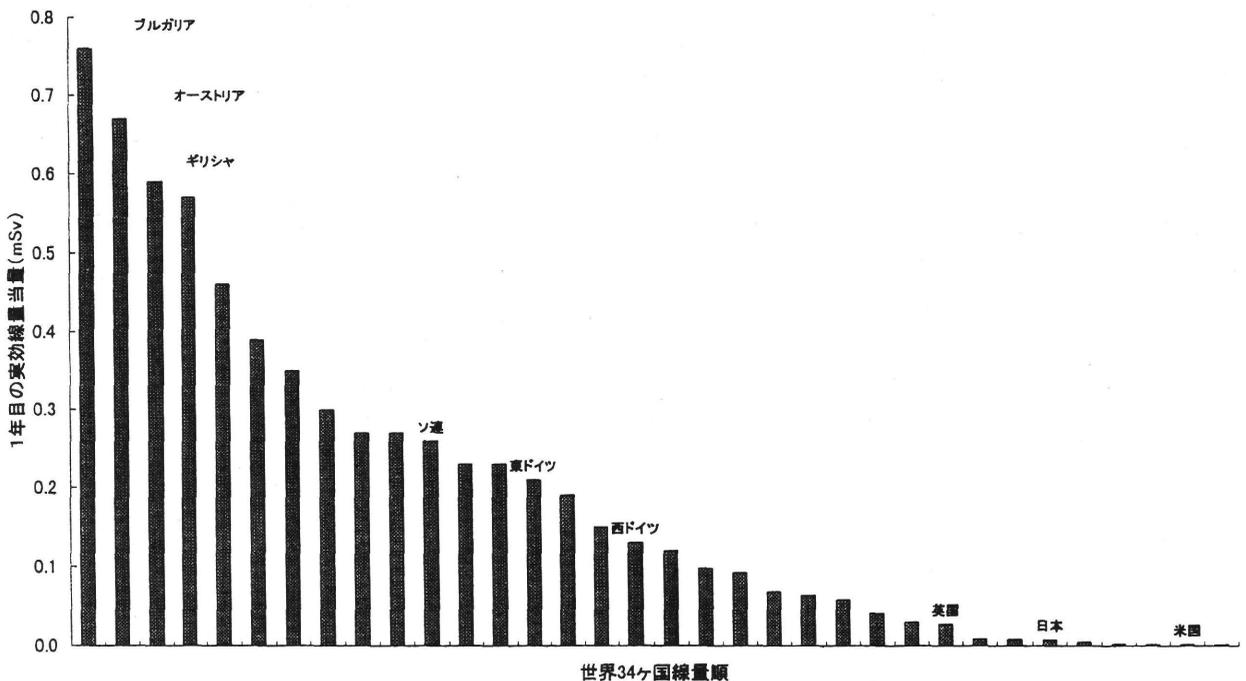


図1 1988年UNSCEARの報告書：チェルノブイリ原発事故

での経緯調査、環境汚染評価、住民の線量評価、健康調査、放射線防護対策の評価)から構成されていた。健康影響作業グループの検査対象者は年齢階層別による標本抽出で、汚染地域 (15Ci/km² 以上7村) の住民 853 人、対照居住地域 (1Ci/km² 以下6町村) の住民 803 人の合計 1,656 人について行われた。この調査では放射線障害と考えられる有意な疾患の増加は認められなかった¹⁵⁾。

しかし、時を同じくして小児甲状腺がんの多発がベラルーシで報告されはじめた。1991年に開始された民間笹川プロジェクトが5年間約50億円の経費で甲状腺及び血液の検診者数約8万8千人(1994年まで)以上について行われ、この社会的危惧が社会的不安や誤診から生まれる誇張や誤解ではなく現実であることが確認された¹⁶⁾。1992年には旧ソ連3カ国とWHOの間で合意文書が作成され「チェルノブイリ事故健康影響国際プログラム(IPHECA)」が開始された。第1期が1994年で終了した。1996年ウィーンで「チェルノブイリから10年:事故の影響の総括」と題したEC/IAEA/WHO合同国際会議が開かれ、この事故による放射線影響では、小児甲状腺がん(1995年末まで約800人その半数がベラルーシ)が多発しているが、白血病やその他の疾患の増加はまだ確認できないとの一致した結論に達したと言われる¹⁷⁾。しかし、小児甲状腺がんリスクの増加はどのような放射性降下物が関連していたのかまだ解明されていない。チェルノブイリ事故の経験によって疫学調査の意義と限界を再確認することになった。

III 疫学調査の意義と限界

科学的仮説は、反証性の高い厳密な条件下で得られた多くの観察が矛盾しないことで科学的真理と認められる。疫学研究で疾患発生リスクとリスク要因との因果関係の一つの指標である相対リスクを例にすれば、表5のように相対リスクがより大きく、より狭い範囲に含まれるような反証性の高い条件下で多くの観察結果から仮説が検証されることが理想である¹⁸⁾。多くの疫学調査の場合、統計的検定の帰無仮説に反証性の小さい相対リスク1が選ばれる。また、因果関係の傍証の一つに量・反応関係を示すことがしばしば力説されるが、この場合でも単位量当たりのリスクの変化(例えば単位線量当たりの過剰相対リスク)の帰無仮説にやはり反証性の低い0が選ばれることが一般的である。

“自然の実験”(I-1を参照)にもとづく疫学調査では、相対リスクを大きく、より狭い範囲に含まれるような条件設定を操作して、しかも数多くの同一条件の観察結果を検証することはほとんど不可能であることが動物実験との大きな違いであり、疫学調査の限界と言える。

前述したように、現在社会に劇的な影響を与える予測し難い“事件”による健康問題は希にしか起こらない。資金と労力を必要とし、地味で目立たない疫学的基礎資料の正確で効率的な収集システムの維持が疫学研究では重要である。これ以外では、通常、疫学研究が扱うのは疾患と日常の環境要因あるいはライフスタイルのような微細な関係を探索することしか残されていない。「疫学はその限界に直面している」

表5 相対リスク(RR, relative risk)の情報量とその反証性、
Maclure M. Am J Epidemiol 121:343-350, 1985.

RRの大きさ	RRの精度			
	反証性大		反証性小	
反証性大	RR = ∞	90 < RR < 110	RR > 100	RR < ∞
	RR = 100	9 < RR < 11	RR > 10	RR ≠ 100
	RR = 10	0.5 < RR < 2.0	RR > 1	RR ≠ 10
反証性小	RR = 1			RR ≠ 1

と題されたのScienceの記事¹⁹⁾の中で1987~1995年の疫学調査で仮説として提起されたがんリスク因子を例示し、次のようなコメントが述べられている。今日の健康リスクについてのニュースは量も、提起される仮説の移り変

わりも早く、気の遠くなりそうな数の潜在的リスク因子・原因物質が例示されている。しかも、そのいくつかは根本的に矛盾している。なにを信じて良いのか分からないと言うものである。また、その著書のインタビュー記事²⁰⁾ではそのような疫学研究は、量・反応関係に欠け、統計的有意性は低い、一方で大変な正確性を必要とすることを主張し、批判にはその場しのぎの弁明をする、と言った症状を持つ“病的”科学とまで酷評されている。

疫学調査は具体的で一般公衆にも理解し易い反面、検証したいリスクが小さいとしばしば矛盾した観察結果に遭遇し、統計的に“有意な”結果のみが公表される傾向にある。このため、誇張や誤解による社会的危惧や経済的資産投資の不適正な増加を回避するよう“振り子”が（“妥当”なところを求めて否定方向に）作用する。例えば、後述するようにヒトの放射線被曝の遺伝的影響を示唆する報告がされると、原爆被爆者の子供の遺伝的研究で観察される否定的結果やその放射線レベルが注目される。

集団としてはリスクは小さくても個人本人にとっては損害補償問題であったり、喫煙問題のように“科学的不確実性”を主張するタバコ産業と個人及び医師会を巻き込むような法的問題²¹⁾に発展することもある。放射線被曝に関連する例として、1983年のテレビドキュメントを契機とした英国セラフィールド（一時ウィンズケールと呼ばれていた）核再処理施設近郊の Non-Hodgkin リンパ腫を含む白血病多発問題がある。もともと同施設は1957年に原子炉が火災を起こすなど周辺住民から同施設の及ぼす影響について社会的危惧が持たれていた。英国政府が設置したブラック卿諮問委員会の勧告に従って行われた疫学調査から、1990年ガードナーらは白血病と同施設の従業員である父親の受胎前放射線被曝との有意な関連性を指摘した。これを根拠に二人の患者が英国原子力燃料会社（BNFL）を相手に損害賠償請求訴訟を起こした。最終的には、原爆被爆者の子供に遺伝的影響がみられないなど他の多くの遺伝学的知見から父親の受胎前放射線被曝が原告の疾患の原因である蓋然性は低いとの被告側の勝訴の判決が1993年に出された²²⁾。

セラフィールド白血病多発問題のように、ある不合理な原因によってある地域やある集団である特定疾患が一見多発しているようにみえることをクラスター問題と呼ぶことがある。希には、公衆の健康の向上・防護の上で避けるべきあるリスク因子が原因で疾患リスクが本当に増加していることもある。例えば、1920年当時米国でダイアル・ペインターに顎骨壊死に至る放射線骨炎が多発した例はラジウム等による放射線障害であった⁸⁾。

1989年米国アトランタの疫学学会で健康事象のクラスター問題が討議されたことを契機に防疫センター（CDC）は「健康事象のクラスターを調査研究する上でのガイドライン」を発表している²³⁾。その概略は、クラスター問題についての意志決定の過程を監督する諮問委員会を設置し、図2のような4段階アプローチをとることである。基本は担当公的機関が認知されたクラスター問題の最初の報告者から、匿名を希望しない限り本人の個人情報、患者情報、を得ると同時に報告者に対して文書による回答の保証をすることにある。多くの場合は、この第一段階で解決され、報告者と諮問委員会に報告書を作成することで終了する。満足に解決できないときは、途中で打ち切り可能な四つの作業段階（文献調査、リスクの予備的評価、症例診断の確認、詳細なリスク評価）からなる第二段階へに移行する。第三段階では実施可能な本格的な調査を行い解決をはかる。さらに必要であれば、想定されるリスク因子への被曝情報も含めた病因調査である第四段階へと進む。第二段階以降でも、終了時には報告者と諮問委員会に報告書を作成する。そして、第四段階以降は多くの疫学的専門家による多角的研究に委ねられるというものである。

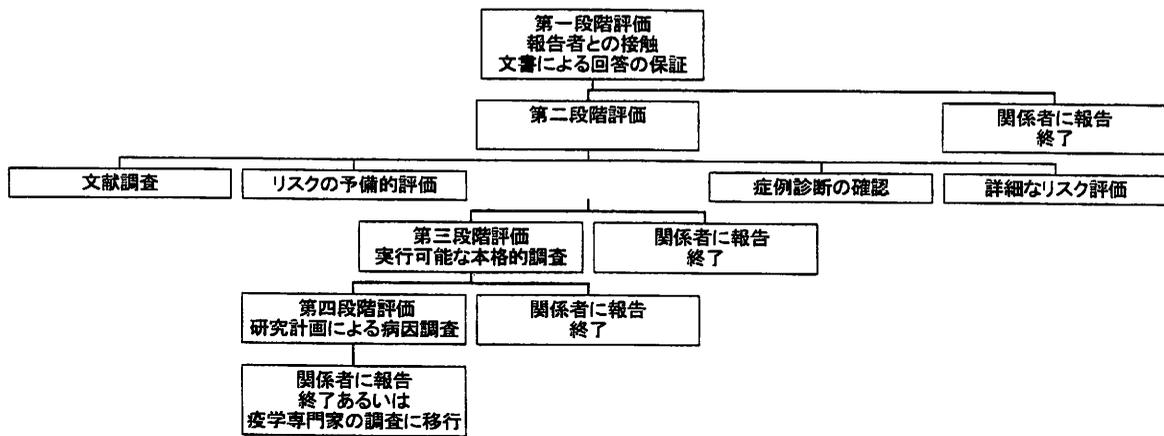


図2 CDCのクラスター問題のガイドライン
CDC. MMWR, 39:23-1990.

IV 放射線疫学調査の将来の展望

日本では健康影響が問題になる自然放射線高線量地域はない。平常時の原子力施設からの放出放射線や診断用放射線のような、低線量・低線率の放射線リスクについては、今後も社会的危惧は継続すると思われる。UNSCEAR 1994年報告書⁶⁾では吸収線量では0.2Gy、等価線量では0.2Svまでを低線量、すべての放射線について0.1Gy/day以下を低線量率とされている。現在までの知見では、ICRP1990年勧告⁷⁾の線量限度までの放射線被曝であれば、放射線量を継続的にモニターすることで間接的に放射線リスクを十分評価できると言える。

最近のメタアナリシスによる原子力産業の放射線作業従事者（イギリス、アメリカ、カナダ、約96,000人）のがん死亡率調査²⁴⁾でも、推定される放射線リスク係数は原爆被爆者から外挿されるリスク範囲内で矛盾がないと報告されている。高線量・高線量率のヒトの観察結果から低線量・低線量率の放射線リスクへの外挿する方法が、モデル上の修正因子の改善はあっても、将来も有用であろうと思われる。

しかし、非被曝群と低線量域だけの放射線リスク評価では、高線量域を含めて推定されるリスク係数より計算上高くなるのが原爆被爆者の固形がんの死亡率データで例示されている¹¹⁾。また、チェルノブイリ原発事故の経験から低線量・低線量率（いくらかの集団では実際はもっと高いかもしれないが）に関する有用で新たなデータが今後提供されると期待されている。小児甲状腺がん多発問題のように、外部被曝と内部被曝の複雑な問題による新たな知見を定常的に警戒し、そのための疫学的情報を蓄積する努力が今後も必要である。

ICRP1990年勧告で放射線防護基準が引き下げられたことに対してフランス科学アカデミーは放射線誘発がんリスクの閾値モデルを根拠に反発する動きをみせている²⁵⁾。これは、誇張や誤解による社会的危惧や経済的資産投資の不適正な増加を回避するための一種の“振り子”が作用した例と言える。ただ、専門知識のない一般公衆が放射線防護基準の決定過程を理解することは容易ではない。具体的で一般公衆にも理解し易い放射線リスク情報を提供することも疫学研究の一つの役割であろう。機会があれば、平常時の原子力施設周辺地域の健康リスクの観察情報の提供し、また疫学調査の意義と限界を理解してもらうことで放射線リスクの適正な共通の社会的認識を培う必要がある。

リスク因子の曝露レベルが小さいこと、特殊な条件下の集団の規模はしばしば小さいこと、あるいはリスク因子が同じ曝露レベルでも誘発されにくい健康指標であること、から“自然の実験”による疫学調査

はしばしば検出力が十分でない。この限界を補完するには、動物実験による腫瘍誘発力や分子生物レベルでの放射線損傷に関するメカニズムとの整合性が将来も検証すべき課題である。例としては、高線量・高線量率のヒトの観察結果や動物実験からヒトの低線量・低線率の放射線リスクへの外挿方法、放射線の胎内被曝及び遺伝的影響の問題である。

放射線の遺伝的影響問題を例にすれば、疫学的観点からは日本国内でも遺伝性疾患の登録制度が期待されるが、遺伝性疾患の患者に対する社会的偏見や経済的救済手段の整備を平行して行う必要性を考えると大変困難な仕事である。従って、放射線の遺伝的影響の問題は、主に動物実験との整合性からのアプローチが期待される。原爆被爆者の子供も、1990年までのがん症例数では20才以上のがんが80%を占めるようになった¹⁴⁾。一般的に癌発生の原因に占める遺伝的因子は網膜芽細胞腫やWilms腫瘍のみられる20才未満では大きい、20才以降の症例では小さいであろう。現在のところ、原爆被爆者の子供にがんリスクの増加は観察されていない。しかし、N5系あるいはICR系のネズミの実験で放射線被曝により経世代で腫瘍が増加する報告が英国セラフィールド訴訟の一つの根拠でもあった。ただ、1995年のBALB/cJ系のネズミでは同じ方法で実験したところ経世代による腫瘍の多発はみられなかった²⁶⁾。

放射線リスクの社会的危惧への対応の仕方はある意味では「がんの告知」と似ている。「がんでないか」と医者を訪れる患者の多くはがんではない。しかし、一旦がんと診断された場合、医者はいくつかのがん治療方法を患者に提示し、患者はがん治療の専門知識はなくても、自分に適切な治療方法を患者の責任で選択する必要がある。放射線リスクの線源として原子力施設を例にすると、平常時の放出放射線による健康リスクについての原子力施設周辺住民の不安の多くは実態として認知されないものである。ただ、チェルノブイリ原発事故のような多量の放射線が放出された時の的確な緊急時被曝低減化対策の提示も将来期待されるであろう。被曝低減化対策の正当性は、放射線事故後の環境生態系への影響及び健康影響の評価によってのみ判断される。特に狭い国土の日本では専門家の確信と警告についての情報提示のもとで国民の責任により将来の原子力政策を選択すべきであろう。

将来の疫学研究像の一つとしては個体レベルでのリスク推定が期待されている²⁷⁾。疫学研究成果の個体レベルへの外挿の正当性は、そのデータベースに用いられた人間集団の特性化の方法に依存する。放射線リスク評価では、個人被曝線量推定、生活習慣、さらには放射線感受性、分子生物学的指標²⁸⁾を応用した人間集団のより細分化された特性化への発展が期待される。例えば、放射線業務従事者への禁煙の勧告や、放射線感受性の高い個人への放射線業務回避の勧告などが考えられる。

最後に疫学研究では、社会的資源は限られているために直面している健康問題で実態のない（生物学的にも統計学的にも“有意”な結果が期待されない）研究課題は打ち切られることもある。例えば、βカロテンのがん予防効果をみる介入試験が1980年代から試みられた。しかし、βカロテン投与の明瞭な予防効果はみられず、逆に肺癌の増加傾向がみられ、1996年米国NICはβカロテン投与介入試験の中止に踏みきっている²⁹⁾。研究の正当性を主張することに腐心すると、本質的に否定的な研究であるのに大変小さなリスクにしがみつくなか、全般的に否定的であるという一つの見解に固執してしまう。低線量・低線量率に関する疫学研究は特定の公的研究機関で継続すべき研究課題であり、公衆が平常時に被曝する放射線レベルの健康影響については一般的には線量のモニタリングだけで十分である。

V 文 献

- 1) MacMahon B, Pugh TF. Epidemiology; Principles and Methods. Little, Brown & Co., 1970.

- 2) Rothman KJ. *Modern Epidemiology*. Little, Brown & Co., 1986.
- 3) Wakeford R, Tawn EJ. Childhood leukemia and Sellafield: the legal cases. *J. Radiol. Prot.* 14: 293–316, 1994.
- 4) Edited by Coughlin SS, Beauchamp TL. *Ethics and Epidemiology*. Oxford University Press, 1996.
- 5) United Nations. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 1993 Reports, United Nations, New York, 1993.
- 6) United Nations. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 1994 Reports, United Nations, New York, 1994.
- 7) International Commission on Radiological Protection. 1990 recommendations of the ICRP. ICRP publication 60., Pergamon Pres, Oxford, 1990.
- 8) 館野之男訳編。原典 放射線障害、1896 - 1944 年の資料から。東京大学出版会、1988.
- 9) 放射線被曝者医療国際協力推進協議会編。原爆放射線の人体影響 1992。文光堂、1992.
- 10) 丸山隆司。原爆線量の再評価。保健物理 22:467–486, 1987.
- 11) Pierce DA, Shimizu Y, Preston DL, Vaeth M, Mabuchi K. Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, part I. Cancer: 1950–1990. *Radiation Research* 146: 1–27, 1996.
- 12) Otake M, Schull WJ. Radiation-related small head sizes among prenatally exposed atomic bomb survivors. *Int J Radiat Biol* 63: 255–70, 1993.
- 13) Yoshimoto Y, DeLongchamp RR, Mabuchi K. In-utero exposed atomic bomb survivors: cancer risk update. *Lancet* 344: 345–346, 1994.
- 14) 吉本泰彦、早田みどり、馬淵清彦。原爆被爆者の子供における死亡率と発癌率調査、1946–1990 年。長崎医学会雑誌。71 巻原爆特集号。299–304, 1996.
- 15) Rep. Int. Advisory Committee. The International Chernobyl Project, an Overview, Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Projective Measures, IAEA, 1992.
- 16) 芦澤潔人ら。チェルノブイリ事故から 10 年、健康影響評価に関わる日本の国際研究協力。III-3 民間提起。日本原子力学会誌 38: 184–204, 1996.
- 17) 放射線影響協会。国際会議、チェルノブイリから 10 年：事故の影響の総括。放射線科学 39: 281–290, 1996.
- 18) Maclure M. Popperian refutation in epidemiology. *Am J Epidemiol* 121: 343–350, 1985.
- 19) RTaubes G. Epidemiology faces its limits. *Science* 269: 164–166, 1995.
- 20) Roger Bernier. *Epidemiology Monitor* 17(6): 1–14, 1996.
- 21) Graham T. The Brown and Williamson documents: the companys response. *JAMA* 274: 254–255, 1995.
- 22) Wakeford R, Tawn EJ. Childhood leukemia and Sellafield: the legal cases. *J Radiol Prot* 14: 293–316, 1994.
- 23) CDC. Guidelines for investing clusters of health events. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 39: 1–23, 1990.
- 24) Cardis E et al. Effects of low doses and low dose rates of external ionizing radiation: cancer mortality among nuclear industry workers in three countries. *Radiation Research* 142: 117–132, 1995.
- 25) Rob Edwards. ‘Hot’ report leaves France out on a limb. *New Scientist*. 147(1993), P. 9., 1995.
- 26) Cattanaach BM et al. Investigation of lung tumour induction in BALB/cJ mice following paternal X-irradiation. *Int. J. Radiat. Biol.* 67: 607–615, 1995.

- 27) Shigematu I. Epidemiology in Japan and future problems. *J Epidemiol* 6: S3-S7, 1996.
- 28) Perera FP. Molecular epidemiology: insights into cancer susceptibility, risk assessment, and prevention. *JNCI* 88: 496-509, 1996.
- 29) Smigel K. Beta carotene fails to prevent cancer in two major studies; CARET Intervention stopped. *JNCI* 88: 145, 1996.

2. 放射線防護におけるリスク評価の問題点

米原 英典
放射線医学総合研究所

Some points of issue on risk assessment for radiation protection

Hidenori Yonehara

Division of Human Radiadon Environment, National Institute of Radiological Sciences
9-1, Anagawa-4-chome, Inage-ku, Chiba 263 Japan

ABSTRACT—It has been reported that not only health effects directly induced by radiation exposure but political, economic and social effects were caused in various ways by the Chernobyl accident. Taking account of significance of these indirect effects of events with radiadon exposure, risk assessment for radiation protection should be performed on the basis of more comprehensive index of detriments. Relative magnitude of miseries which people perceive could be useful for an unified index of harm. Because magnitude of miseries due to different harmful events depends on personal sense of values and perception, it is necessary to use average value of the magnitude which are examined with investigation by questionnaires. There is a large uncertainty in estimating risks from exposure to low level radiation. If a risk from some radiation exposure is possibly over estimated in order to take safety side for radiation protection, a risk from other serious risk sources could be misesteemed. Therefore these uncertainties should be considered appropriately in comparing risk for decision making. For example, effect of indoor radon was estimated to be more serious than other natural radiation sources in spite of large uncertainties in estimating risk. From such points of view, the problems in a risk assessment for radiation protection were discussed.

I はじめに

チェルノブイリ事故では、初期消火作業、除染作業の急性障害や周辺住民の若年者の甲状腺がんの過剰発生などが報告されているが、このような身体影響の他に、放射線恐怖症のような精神的影響、農作物や畜産物の汚染による経済的な打撃や食物不足の影響、住民の移住による諸問題、補償問題など様々な政治的、経済的、社会的影響が生じた。このように放射線による影響は、放射線が直接的な原因となる身体影響又は遺伝的影響のみでなく、個人や社会に対して様々な影響を及ぼすので、放射線防護においてもより包括的な損害（テトリメント）で考慮する必要性がある。また、低線量被ばくのリスク評価には、依

然大きな誤差が含まれているが、そのためにリスク推定値が過剰な影響を予測し、必要以上の不安を住民に与えることにより、社会的影響を増大している可能性もある。屋内ラドンの影響は、自然放射線源のうち最も重大であると推定され、欧米諸国では深刻な社会問題となって、その対策のために莫大な費用が費やされた。しかし実際に屋内ラドンの濃度レベルでラドンが過剰の肺がん発生の原因となっているかはまだ明らかでない。このような種々の観点から放射線防護におけるリスク評価の問題点について述べる。

II 損害の評価における問題点

1. 放射線損害の評価の現状

放射線の直接的な影響は、被ばくした個人に生じる身体的影響 (somatic effect) とその子孫に生じる遺伝的影響 (hereditary effect) のみである。しかし、これらの影響が生じたために、または影響の可能性が生じたために二次的にまたは間接的に政治的、経済的、社会的な影響が生じることがある。国際放射線防護委員会 (ICRP) は、1977年勧告¹⁾において、放射線によって生じる損害の全体を表す尺度として、損害 (detriment) の概念を導入し、損害は起こりうる全てのものを含め、健康上の損害は一部であるとした。放射線防護体系において行為や介入の正当化を最も重要な要件としているが、これによると放射線被ばくを伴うどんな行為や介入も、それが引き起こす放射線損害を相殺するのに十分な便益を生むものでなければ採用すべきでないとしている。この原則に添って、行為や介入の正当化や最適化を実行するには、全ての放射線損害および便益を統一された指標で定量化して比較する必要がある。

ICRPの基本勧告においては、これまで健康リスクのみについて検討しているにとどまっている。1977年勧告²⁾において、実効線量当量概念を導入したが、これにより確率的影響については、損害の確率を総和する必要性が生まれた。しかしこの勧告においては、確率的影響については、がんによる死亡確率および遺伝的影響の確率のみを実効線量当量を算出するための荷重係数に反映させていた。1990年勧告においては、損害は様々な側面を有しているから、一つの量を選択して代表させることは望ましくないとし、多次元的概念という考え方をした。損害の主要成分として、放射線寄与による致死がんの確率、寄与非致死がんの荷重された確率、重篤な遺伝的影響の荷重された確率および障害が生じたときの寿命損失の長さを挙げ、各部位の被ばくの影響について算出し、これらの指標の相対的寄与を算出して、実効線量の組織荷重係数に反映している。つまり全損害に対する各臓器の相対寄与を表す指標を以下のように算出している。

$$I = \text{致死がんの確率} \times \text{相対的寿命損失} \times \text{非致死がん相対寄与} \\ = F \cdot (l / \bar{l}) \cdot (2 - k)$$

ここで、 F : 致死がんの確率

I : 全損害に対する各臓器の相対寄与を表す指標

l : 寿命損失 (年)

\bar{l} : すべてのがんによる寿命損失期待年数を致死がん全体の寿命損失で割った値で、15年となる。

k : 致死率

この式において、非致死がん相対寄与の重みづけについては、 $2 - k$ を乗じている。

これは、以下のように非致死がんについて致死率を乗じることによって重みづけをした全がんの補正された確率 (P) に基づいている。

$$\begin{aligned} P &= \text{致死がんの確率} + \text{致死率} \times \text{非致死がんの確率} \\ &= F + k \cdot (1 - k) \cdot (F / k) \\ &= F \cdot (2 - k) \end{aligned}$$

上式において、非致死がんの重みづけについて単にそのがんの致死率を乗じるという方法を採用しているが、この根拠については、明らかではない。

以上のように、基本勧告では、放射線の損害については、全ての損害を対象にしているにもかかわらず、実際には実効線量のための組織荷重係数に非致死がんの重みづけをしたがんの死亡率と遺伝影響の確率のみを反映しているだけで、実際の行為や介入の際に多様な損害をどのように定量化するかについて具体的な方法論までは言及していない。たとえば原子力施設事故後、周辺住民のリスク低減のための避難や移住など介入を実行する場合、多様な社会的影響による損害や介入により新たに生じる損害を予測して、正当化を行い意思決定を行う必要がある。IAEAの安全シリーズ³⁾では、意思決定支援手法の一つとして多属性効用分析 (multiattribute utility analysis) を推奨しているが、その入力データのうち、便益としては、回避される個人および集団のリスク *、安心感があり、害としては、個人および集団の身体リスク *、費用 *、社会の混乱、個人の混乱、対策による不安、作業者のリスク * を挙げている。このうち * 印がついたものは直接的に定量化できる要因であり、それ以外のは定量化が困難とされ、定性的に取り扱うとしている。各要因の相対的な重要性を判断する必要があるとしているが、具体的な方法は示されていない。このように統一した指標を作成する方法論については、まだ確立されていない。

2. 害の指標についての提案

現在のところ、損害を評価するための害の指標はより客観的に定量化が可能なものとして寿命損失や労働期間損失などが死亡確率よりも優れた指標として考えられている。我が国の大学生の意識調査に基づいた調査研究⁴⁾でも一般公衆の害の指標としては平均寿命の短縮が適当であると結論している。しかし、寿命損失においては、死亡だけを害の対象としており、病気で入院しているなど損害は対象外となる。また労働期間損失についても、入院による損害は対象となるが、死亡と入院がおなじ重みづけで評価される場合があることに問題がある。さらに様々な健康障害や精神的な影響や経済的な打撃なども害として考えなければならない。またこれらの指標の大きさが必ずしも真の害の大きさと直線的に比例するとはいえない。一般的に考えて、子供の養育や職場での重要な役割を担う年齢での死亡はより若年での死亡よりも損害が大きくなる。また、ある個人の死亡は、本人だけではなく、家族や職場、地域など社会に影響を及ぼす。扶養家族の人数、また職場での役割の大きさなど様々な条件によって、家族や社会への影響は大きく変化するはずである。

本来、害というものは、精神的な苦痛を伴うものであり、例えば、死亡することが本人とってもまた家族にとっていかなる精神的苦痛が伴わなければ、害とはならない。健康影響も、経済的影響も最終的には人が精神的苦痛を感じるものであり、その大きさは精神的苦痛の程度 (苦痛度) で表せば、統一された害の指標となりうる。

ある事象に対する社会の影響の大きさを表す指標としては、その事象に対する個人の苦痛度を総和する方法が考えられる。苦痛度をどのように表現するかは問題であるが、ある事象に対する苦痛を基準とした相対数値や補償金額などの指標で調査する方法が考えられる。しかしこの苦痛度は、当然、主観的なものであり、個人の価値観、生活環境、社会情勢によって差異があるはずである。集団の損害を評価する際には、様々な事象に対する対象集団の平均的な苦痛度を求めて、それを損害の相対的な大きさを判断するための基礎データとして用いることが可能であろう。またこのような苦痛度の相対値は、上で述べた ICRP が現在実効線量の組織荷重係数を算出する際に行っている非致死がんの重みづけにも利用できる。

3. 苦痛度アンケート調査

精神的な苦痛度の大きさの感じ方におけるばらつきとその特性を調べるために、予備的に簡単なアンケート調査を行った。放医研の人間環境研究部に属する男性 10 名（全て研究者）、女性 8 名（研究者と非常勤職員）およびインド人研究者 1 名の計 19 名について図 1 に示すような種々の損害の相対的な大きさをアンケート調査を行った。

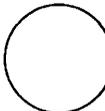
苦痛の相対的な大きさは、父親または母親が全面的に他人の過失で突然交通事故で死亡した場合を想定し、その時の苦痛の大きさを 1

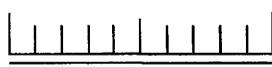
とした場合の相対的な苦痛の大きさと、その苦痛の続く期間および慰謝料の希望額を図 1 に示す B～J の 9 の事象について質問した。苦痛の相対的な大きさについては、円の大きさと線の長さで表現するようにした。損害の相対的な大きさをどのように表現するかは重要な問題であるが、調査結果は図 2、図 3 に示すように円の面積と線の長さで表現すると、面積は長さに対してほぼ自乗した値の関係となり、これは多くの被験者が、まず苦痛の大きさを何倍であるかを決めてから、それを円の半径と直線の長さで示したと考えられる。この点については、質問の仕方に工夫が必要であった。また、基準を親の急死としたが、子供を持つ年齢層では、子供の急死による苦痛度が無限大という回答が得られるなどかなり大

損害の相対的な大きさについてのアンケート

年齢（ ）歳、性別（男・女）、職業（ ）、独身・既婚

あなたの父親または母親が全面的に他人の過失で突然交通事故で亡くなった場合を想定して下さい。精神的な苦痛（ショック）が続く期間を記入して下さい。また当人の将来の収入に対応する補償金以外に慰謝料として要求したい金額を記入して下さい。





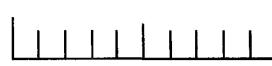
苦痛の続く期間（ ）年

慰謝料希望額（ ）万円

父親または母親が突然交通事故で亡くなった場合の苦痛の大きさを円の大きさや線の長さで表すと上のように表せるとして、それと比較して以下の各々の場合について、苦痛の大きさを円の大きさ（同心円で）、線の長さ（スケールの下に）に示し、苦痛の続く期間、慰謝料希望額も示して下さい。

自分の子どもが急死した場合





苦痛の続く期間（ ）年

慰謝料希望額（ ）万円

設問した事象

A. 親の交通事故による急死（基準）	F. 本人が病気で一年間入院する
B. 子どもの急死	G. 本人が病気で一生入院する
C. 子どもがけがで一生入院する	H. 本人が痛みの伴う病気で一生入院する
D. 配偶者の急死	I. 10 万円盗難に遭う
E. 本人が病気で一週間入院する	J. 1000 万円盗難に遭う

図 1 損害の相対的な大きさを調べるためのアンケート

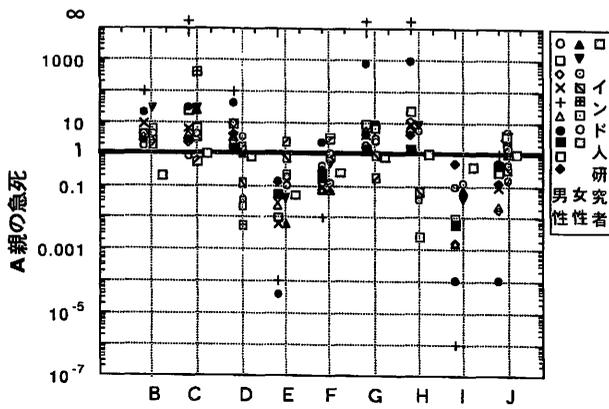


図2 苦痛の大きさ (円の面積)

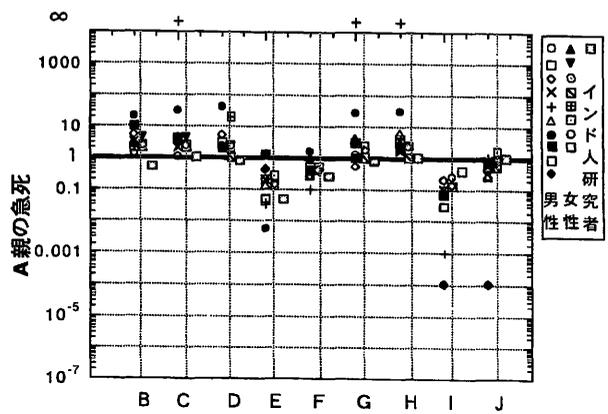


図3 苦痛の大きさ (線の長さ)

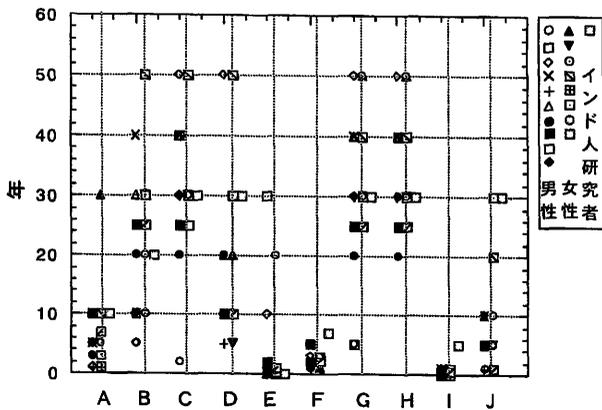


図4 苦痛の続く期間 (年)

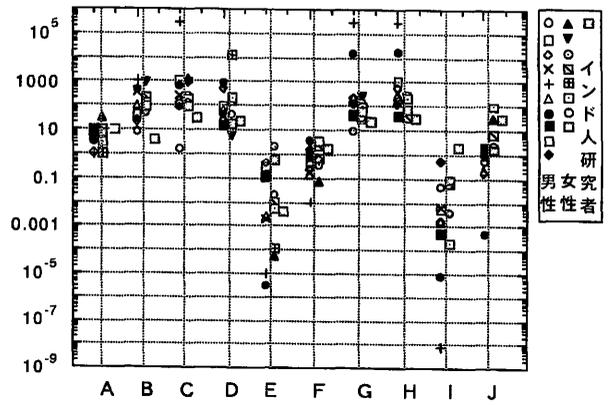


図5 苦痛の大きさ (円面積×期間)

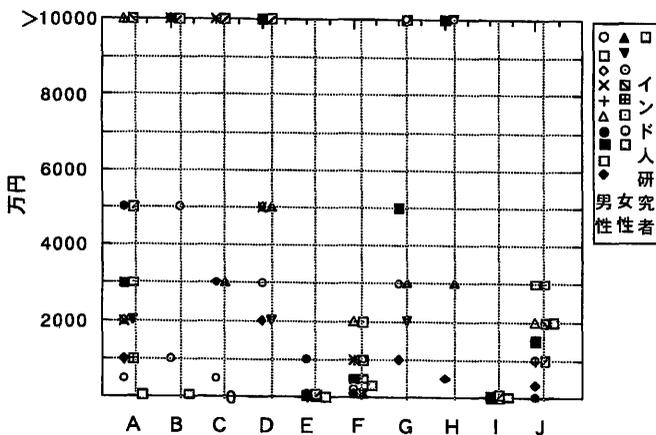


図6 慰謝料希望金額 (万円)

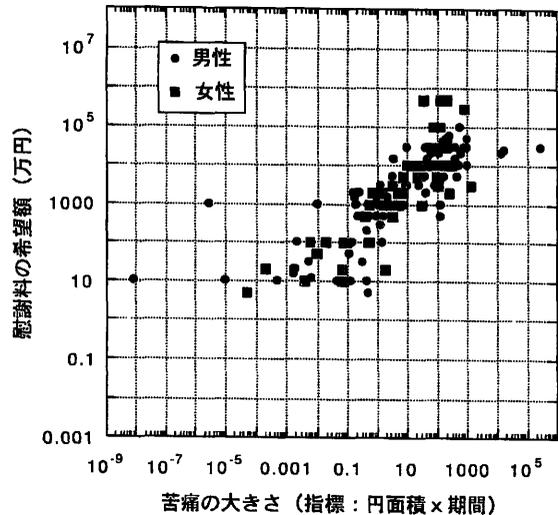


図7 苦痛の大きさの指標と慰謝料希望額の相関

きな値を示す場合があり、表現する場合の定量化に問題があることがわかった。子供がいない年齢層に対しては、実感がないので問題である可能性があるが、子供の急死など大抵の人が最も大きな苦痛を伴う事象を基準に取る必要がある。

損害は、精神的苦痛が継続する期間にも依存するが、その期間についての調査結果を図4に示す。またこの継続期間を考慮すると、苦痛の経時的変化を時間で積分する方法が考えられるが、経時的変化は、事象により多様であると考えられるので、ここでは円の面積に期間を乗じた値について図5に示す。各事象に対する慰謝料希望額について図6に示し、図5で示した円×期間という指標と対応する慰謝料希望額

との相関について、図7に示した。

以上の調査結果は、対象集団のサンプル数が非常に小さくまた社会的、経済的状況が偏った集団におけるものであると考えなければならないが、相対的な苦痛の大きさに対する感じ方は、個人の感じ方によるばらつきが大きく、年齢、性別などによる傾向もそれほど明らかでないことが分かった。しかし、質問や解析の方法をさらに改良することにより、回答する場合の表現における個人のばらつきを減少させることは可能であり、対象集団の損害を定量化するための指標として用いることが可能であると考えられる。ただし、このような苦痛度については、全く個人の主観的な感覚によるものであるから、現在のICRPの基本勧告のように、ある一律の値で損害の事象に重みづけを行うことは、困難である。それぞれの行為や介入について意思決定を行う際に、その対象集団についての平均的な苦痛度をアンケート調査により求めて、その結果を用いて重みづけを行うという方法を採用する必要がある。

Ⅲ 放射線のリスク評価手法とその問題点

1. 害の指標の評価

放射線防護においては、現在のところ定量化が容易である健康リスクのみを扱っているが、種々の被ばく源による被ばくを比較する場合や放射線被ばくと他のリスクとの比較を行うためには、多様な害の指標が必要となる。これまでの放射線リスクの推定は、主にがん死亡確率を中心に行われてきた。リスク予測モデルについては、放射線によるがん死亡が自然発生のがん死亡に単純に追加される相加モデルと放射線によるがん死亡が通常環境で発生するがんに一定の割合で増加する相乗モデルが用いられている。図8に

示すようにこれらのモデルは、がん死亡の発生の経時変化の記述については、単純化されたものであった。これまでの原爆被爆者の疫学調査では、全ての年齢について相対リスクが一定である相乗モデルがより適合するとされてきたが、最近の知見では、相対リスクが全ての到達年齢において一定ではないことが明らかになってきた⁵⁾。また若年での被ばくは、平均の潜伏期が短くなるという知見⁵⁾もあり、これらの疫学の知見を記述出来るリスク予測モデルの構築が必要である。さらに現在がん死亡のモデルが主であるが、がん発生の確率分布を算出するモデルが必要である。また、害の指標として寿命損失や労働期間損失を算出するためには、各部位のがんの平均的な治癒に要する期間や入院期間の情報が必要となる。さらに、上で述べたより包括的な苦痛度の指標を導入するためには、痛みの程度、臓器摘出による精神的苦痛や生活に支障をきたす程度などの広範な情報の収集が必要となる。

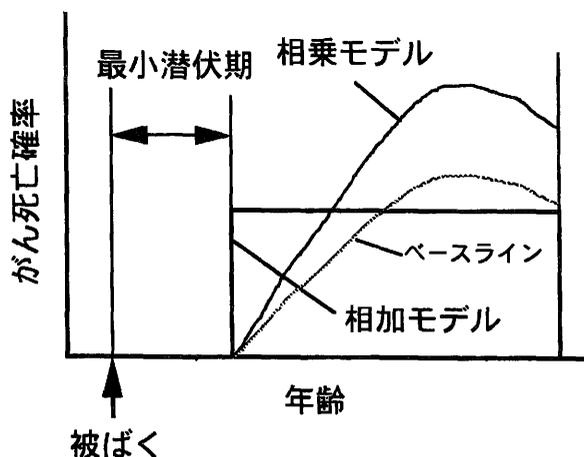


図8 リスク予測モデルにおけるがん死亡確率の年齢的变化

2. 低線量被ばくのリスク評価

放射線防護は、主に低線量の被ばくを対象としているが、実際に低線量での被ばくでの確率的影響を実験的に観察するのは困難である。そこで、リスク評価については、高線量での疫学研究の結果を外挿することにより推定することになる。現在のところ、原爆被爆者における疫学調査の結果によると、線量反応関

係は、直線（Lモデル）か、直線二次（LQモデル）などどのようなモデルが適合するかは明白でない。実験研究においても、確率の非常に低い現象を観察することには限界があるので、現状での低線量被ばくのリスク評価は、生体影響のメカニズムの研究結果を取り入れて、高線量からの外挿を行う方法に頼らざるを得ない。これまで分子レベルから疫学までの低線量被ばくの線量-効果関係解明のための研究が活発に行われているが、閾値が存在することを示唆する研究結果もあるが、直線性を示すものもある。がんは、多段階の過程を経て発症することや種々の修飾因子が関与することが多くの研究で示されている。放射線誘発のがんでも、放射線が単独の原因でない場合が考えられ、特に低線量被ばくでは他の発がん要因との協同効果や相乗効果の影響や修飾因子の影響も大きいと考えられるので、放射線の原因確率（PC: Probability of causation）を正確に評価する必要がある。このように、低線量放射線のリスクを評価する場合は、未知のファクタが多く正確な評価は不可能である。リスク推定における誤差の評価をより正確に示すことにより、ベースライン（通常環境における）発生率の変動や他のリスク源のリスクの大きさとの比較を行い、リスクの有意性を判断するしかない。

3. リスク評価における誤差の問題－屋内ラドンのケース

屋内ラドンの問題は、欧米ではかなり大きな社会的な影響となっている。例えば米国では、EPA（環境保護庁）が、国民に対しラドンの危険性を訴えるための広報活動を行った結果、ラドン濃度が高い家屋の価格が暴落したり、多額の費用をかけてラドン濃度の低減のための装置を購入したり、補修工事を行ったり、転居をするなどかなり大きな社会的影響が生じた。しかし、現在発生している肺がんのうちどの程度が屋内ラドンによるものかは依然不明である。社会的な影響の大きさはリスク評価の結果とその結果を住民がどのように受けとめるかというリスクパーセプションに大きく依存していると考えられる。ラドンのリスク評価は、鉱山の疫学研究から得られたリスク係数（肺がん発生率/WLM）から直接行う方法と分子生物学から疫学までの多分野の研究結果を用いた線量評価や原爆被爆者の疫学調査などから得られたリスク係数（肺がん発生率/Gy）を乗じてリスクを推定する方法との2つのアプローチが採用されてきた。しかし最近では、ICRPPublication65などでも、線量評価からのアプローチにおいては不明な要素が多いためか、疫学データからのアプローチの方を重視するようになってきている。鉱山の疫学データによるリスク係数を直線仮説で一般環境に外挿することの妥当性においても、リスク係数の持つ信頼限界の幅が大きいことや直線仮説の正当性の問題の他に、鉱山での鉱夫の被ばくと家屋における一般人の被ばくにおける被ばくパラメータの差異の問題がある。鉱夫と一般人の差異とは、環境因子や呼吸率の違いによる線量評価の違いや対象集団における年齢や性別の構成の差異、さらに塵埃、種々のガス、精神的ストレスなどの発癌因子や発癌の修飾因子において多くの差異が潜在し、リスク係数の外挿の際に大きな誤差を生じる可能性があることである。一方、線量評価からのアプローチにおいては、まず人間の呼吸器官におけるラドン娘核種の沈着量は実測することが極めて困難であるため呼吸気道モデルによって計算されているが、気管支に沈着したラドン娘核種の気管の繊毛運動や血液吸収によって取り除かれる割合や基底細胞の位置や厚さなどの情報が少ないため、実際の吸収線量の推定誤差はかなり大きいと考えられている。たとえ吸収線量が正確に推定できたとしても、実効線量によるリスク推定やリスクの比較が行われる場合、放射線荷重係数を乗じた値がそのまま影響の大きさを示す線量として用いられているところにも大きな問題がある。表1に示すように、これまでに α 線照射実験による生物学的効果比（RBE）に関して多くの実験研究が行われてきた。 α 線のRBEはいろんな細胞種、影響の指標、線源のエネルギーなどによって大きく

異なる。この表でも明らかなように、RBE の値は、0.68 から 11 程度までの変動幅がある。発がんとも最も関連があると思われるトランスフォーメーション頻度においても、2 から 9 までの大きな変動幅がある。また線量率、線量レベルなど照射条件によっても大きく変化することが明らかにされている。放射線荷重係数は、元来放射線防護において線量限度を設定し、それを用いて放射線管理を行うために定義された。そのため、 α 線の放射線荷重係数として安全側の RBE の値をとって 20 が採用されたと考えるが、この値は、真の値に対し 2 倍から 10 倍大きい値である可能性もある。これまで得られた細胞レベルの RBE 値がそのまま人の発がんにあてはまるかどうかは不明であるが、リスク評価のための線量推定を行う際には、放射線荷重係数をそのまま用いるのではなく、現在得られている知見から、被ばくパラメータの条件を勘案して可能な限り正確な値の RBE を求め、さらに信頼限界がどのくらいを示す必要がある。

以上に述べたようにラドンのリスク評価においては、かなり不明な因子が含まれており、かなり大きな過大評価をしている可能性もある。上で述べたように米国ではラドン政策により大きな社会問題を引き起こしたり、多大な予算を投資したが、リスク評価の誤差が大きいラドンよりも他のリスク源の低減に予算を費やすべきであったかもしれない。このような問題は、他の放射線防護の場面でも起こりうることで、被ばくの最適化のためにリスクの比較を行う際に、それぞれのリスク推定の誤差の大きさの違いをどのように勘案するかは、放射線防護の今後の課題だと考えられる。

表 1 細胞を用いた実験による α 線の生物学的効果比 (RBE)

指 標	放射線源	細胞由来	照射条件	RBE	研究者
細胞死	Po-210	human	in vitro	2.5 - 6.0	Barensen et al. ⁶⁾
	加速 α 線	Chinese hamster	in vitro	3 - 5	Barensen et al. ⁶⁾
	Pu-238	Chinese hamster	in vitro	7 - 10	Barnhart and Cox ⁷⁾
	Pu-238	Chinese hamster	in vitro	3 - 5	Thacker et al. ⁸⁾
突然変異率	Pu-238	Chinese hamster	in vitro	7 - 10	Barnhart and Cox ⁷⁾
	Pu-238	Chinese hamster	in vitro	3.5 - 5.8	Thacker et al. ⁸⁾
トランスフォーメーション頻度	加速 α 線	mouse	in vitro	2	Lloyd et al. ⁹⁾
	Pu-238	mouse	in vitro	7.4 - 10.3	Robertson et al. ¹⁰⁾
	Am-241	mouse	in vitro	2	Hall and Hei ¹¹⁾
	Pu-238	rat	in vitro	2 - 3	Thomassen ¹²⁾
小核 (micronuclei)	加速 α 線	Syrian hamster	in vitro	2.3 - 9	Martin et al. ¹³⁾
	Radon	rat	in vitro	2.4	Brooks et al. ¹⁴⁾
DNA 二重鎖切断	Radon	rat	in vitro	3.6 - 7	Brooks et al. ¹⁴⁾
	Pu-238	Chinese hamster	in vitro	10.9	Jenner et al. ¹⁵⁾

IV まとめ

チェルノブイリ事故の経験から、放射線の社会的影響の評価の必要性が高まりつつあるが、この観点から放射線防護における問題点について考察した。放射線防護のためのリスク評価においては、より包括的な害の指標が必要である。統一的な害の指標として、精神的苦痛の相対的な値を調査することにより、対象集団におけるこの指標の平均的な値で、害に重みづけをして総和することにより損害を評価することも可能である。放射線防護におけるリスク評価法においても、多様な害の指標で算出できるようなモデルの構築が必要である。低線量被ばくのリスク評価については、ベースライン発生の変動と他の発がん因子や修飾因子による影響を考慮して、リスクの有意性を判断する必要がある。屋内ラドンの例のように、放射線防護におけるリスク評価はかなり大きな誤差を含んでいるので、リスク低減策の意思決定等においては、

このような誤差を考慮して、リスクの比較を行う必要がある。

謝辞

本稿で引用したアンケート調査について、放射線医学総合研究所人間環境研究部の方々にご協力を得たことに対し、感謝いたします。また、いろいろと有益な議論をしていただいた内山正史博士に深謝致します。

V 引用文献

- 1) ICRP, Recommendations of the ICRP, ICRP Publ. 26, 1977
- 2) ICRP, Recommendations of the ICRP, ICRP Publ. 60, 1991
- 3) IAEA, Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency IAEA Safety Series No.109, 1994
- 4) 伴信彦, 放射線による一般公衆に対する「害の指標」に関する考察、東京大学大学院修士論文、1988
- 5) Pierce, D. A. et al., Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 12, Part I . Cancer: 1950-1990, Radiat. Res. 146, 1-27, 1996
- 6) Barendsen, G. W. et al., Effects of different ionizing radiations on human cells in tissue culture. III. Experiments with cyclotron-accelerated alpha-particles and deuterons. Radiat. Res. 18: 841-849, 1960
- 7) Barnhart, B. J. and S. H. Cox. Mutagenicity and cytotoxicity of 4.4-MeV α -particles emitted by plutonium-238. Radiat. Res. 80; 542-548, 1979
- 8) Thacker J., Stretch, A., and Goodhead D. T., The mutagenicity of α particles from plutonium-238. Radiat. Res. 92: 343-352, 1982
- 9) Liloyd, E. L., Gemmell, M. A., Henning, C. B., Gemmell, D. S., and Zabransky, B. J., Transformation of mammalian cells by alpha particles. Int. J. Radiat. Biol. 36: 467-478, 1979.
- 10) Robertson et al. Oncogenic transformation of mouse BALB/3T3 cells by plutonium-238 alpha particles. Radiat. Res. 96: 261-274, 1983
- 11) Hall, E. J. and T. K. Hei, Oncogenic transformation in vitro by radiations varying LET. Radiat. Prot. Dosimetry 13: 149-151, 1985
- 12) Thomassen, D. G., Seiler, F. A., Shyr, L.-J., and Griffith, W. C., Alpha-particles induce preneoplastic transformation of rat tracheal epithelial cells in culture, Int. J. Radiat. Biol., 57(2), 395-405, 1990
- 13) Martin S. G., Miller R. C., Geard C. R., and Hall E. J., The biological effectiveness of radon-progeny alpha particles. IV . Morphological transformation of Syrian hamster embryo cells at low doses. Radiat. Res., 142: 70-77, 1995
- 14) Brooks, A. L., Khan, M. A., Duncan, A., Buschbom, R. L., Jostes, R. F., and Cross, F. T., Effectiveness of radon relative to acute ^{60}Co γ -rays for induction of micronuclei in vitro and in vivo, Int. J. Radiat. Biol., 66: 801-808, 1994
- 15) Jenner, T. J., deLara, C. M., O' Neill, P. and Stevens, D. L., Induction and rejoining of DNA double-strand breaks in V79-4 mammalian cells following gamma- and alpha-irradiation. Int. J. Radiat. Biol., 44: 265-273, 1993

3. 環境汚染の社会的影響

—光化学スモッグおよび鉛中毒事件を例として—

荒記 俊一、中尾 陸宏

東京大学医学部公衆衛生学教室

Social Effects of the Tokyo Photochemical Smog and Occupational Lead Poisoning

Shunichi Araki and Mutsuhiro Nakao

Department of Public Health, School of Medicine, University of Tokyo

Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

ABSTRACT—Social effects of the Tokyo photochemical smog and occupational lead poisoning were discussed based on our past studies. A total of 16 junior high school students of the so-called “Photochemical air pollution in Tokyo” were admitted to a hospital on June 1, 1972, because of carpopedal spasm, tingling paresthesias, dyspnea, ocular irritation and anxiety state. Physical and laboratory examinations disclosed tetany and unconsciousness induced by respiratory alkalosis. Otherwise, low-grade fever, mild leucocytosis and transient proteinuria were noted. The atmospheric concentrations of nitric oxide (NO) and nitrous dioxide (NO₂), examined four months later, were extremely high at the school and its environs. Later study also disclosed dysfunction of alveolar-arterial gas exchange in those children. It was concluded that anxiety reaction, precipitated by the physical effects of photochemical oxidants and athletic performance, possibly led to many outbreaks of mass psychogenic systemic illness (hyperventilation syndrome) among school children.

Medical consultation rates were compared between 346 male lead workers and two groups of non-lead workers (317 and 327 males) in a newspaper company where a serious industrial dispute took place over health effects of lead. Maximal blood lead concentrations (PbBs) ranged from 0.1 μmol/kg to 3.6 μmol/kg (74 μg/100g) with an average of 1.3 μmol/kg in the past three years. The consultation rate of lead workers was significantly higher than that of both the non-lead workers, when the number of workers who consulted physicians or dentists once or more for a year per 100 workers (general consultation rate) was compared. Disease-specific consultation rates were also higher in lead workers for seven categories of diseases and injuries such as hypertensive disease and peptic ulcers. When lead workers were divided into three groups by PbB or erythrocytes delta-aminolevulinic acid dehydratase (ALAD) levels, however, no significantly high rate was found in the higher PbB groups nor

lower ALAD groups in terms of general and disease-specific consultation rates. It was concluded that the industrial dispute might have been a major cause of the high consultation rate of lead workers.

It was emphasized that evaluation of environmental and psychosocial factors and of the physical, mental and behavioral effects of those factors together with an epidemiological study are essential for a control of social effects of environmental pollution.

1. はじめに

環境汚染は、ヒトの身体機能、精神活動および社会行動にさまざまな形で影響を及ぼし、時に深刻な社会問題を引き起こす。これらの状況に対して、①問題点の正確な認知 (Recognition)、②因果関係の確定と影響評価 (Evaluation)、および③問題解決 (Control) の3段階の科学的マネジメントが必要となる。

日本における環境汚染事件は、高度経済成長末期の1970年頃にピークに達し、多くの汚染事件が社会問題化した。これに対し、公害対策基本法(1967年)の測定、国立公害研究所(現、環境研究所)の設立等の国レベルの対策により、日本の環境汚染問題は全体としては沈静化している。

本稿では、環境汚染事件が頻発した1970年代に筆者らが経験した光化学スモッグの神経行動影響と鉛汚染の社会行動面への影響を報告する。これらの研究が端緒となり、その後25年間に、筆者らの研究領域が環境保健および産業保健における神経行動学および行動医学へと発展してきたことを付記する。

2. 光化学スモッグによる中高校生の集団の心因性全身疾患 (Mass Psychogenic Systemic Illness)¹⁻³⁾

1970年7月18日に東京杉並の立正高校の校庭で発生した光化学反応による大気汚染によると思われる急性の全身疾患以来、首都圏の中、高校生を中心に同様の症例の集団発生が頻発した²⁾。これらの症例の発生条件と臨床所見は、ロンドン型の大気汚染とも、またロスアンゼルス型の光化学オキシダント汚染

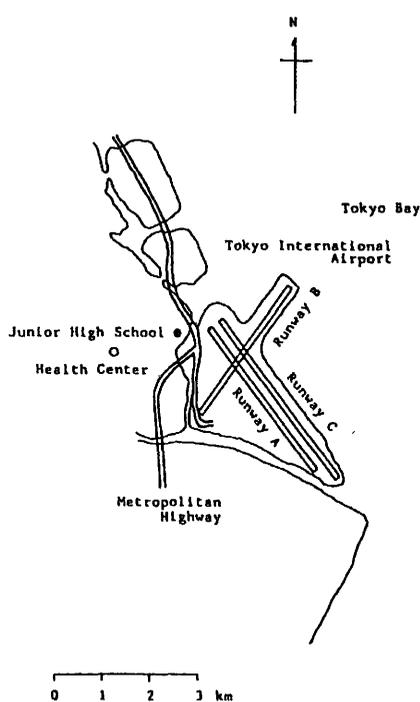


Fig.1 The location of a junior high school and the Tokyo International Airport (Haneda), 1972³⁾

とも異なるために、「東京スモッグ」の名称のもとに東京都を中心に広範な研究が行われた。「東京スモッグ」の疫学的特徴点は次のように要約された。

1) オキシダント濃度が必ずしも高くないのに発症する、2) 局所症状に比べ全身症状が強い、3) 重症例は運動に起因することが多い、4) 全身症状を訴える例では既往に素因を有することがある、5) 全身症状は遷延化の傾向がある、6) 集団発生の場合、精神不安や緊張の影響がみられる。

1972年6月1日、光化学反応による大気汚染によると思われる122人の症例が東京都で発生したと報道された。当日の午前中、東京湾に面し、東京国際空港と首都高速道路に隣接した某中学校 (Figure1)³⁾で運動会の予行演習中の生徒約36人が、頭痛、悪心、眼の刺激症状、胸苦しさを訴えて保健室を訪れ、1人の女生徒が舌、四肢のしびれ感、

Table - 1 Atmospheric concentrations of nitric acid and nitrous dioxide for a week (1972)⁴⁾

atmospheric concentrations (ppm/day)	Nitric oxide (NO)		Nitrous dioxide (NO ₂)	
	mean	range	mean	range
locations				
Junior high school	0.091	0.041-0.160	0.090	0.061-0.134
Air port, adjacent	0.121	0.037-0.188	0.076	0.037-0.112
Kohjia health center, 1.4km apart	0.048	0.025-0.088	0.028	0.025-0.031
Control district (Setagaya)	0.044	0.017-0.068	0.032	0.025-0.043
Control district (Johto)	0.054	0.039-0.085	0.043	0.033-0.064

(Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection, 1973)

全身の脱力感と呼吸困難を訴えて不安興奮状態となり、「光化学スモッグ症」の疑いにて大田区内の病院へ救急車にて担送された。その後、保健室内の生徒が続々と同様の症状を訴え、午後1時より2時までの間に合計16人(男4人、女12人、年齢は12歳～15歳)が同様に担送入院した。その後の調査では、29人の教職員中9人も同様の軽い症状を感じたと訴えている。

同中学校より1.4km風下の保健所の記録では、当日の正午の天候状態は東南の風3.9m、快晴、気温23.9℃、湿度37%で、大気中オキシダント濃度は最高0.05ppm、硫黄酸化物は0.07ppmと平日と変わらない大気状態であった。しかしながら、東京都公害研究所の調査により、同中学校ならびに隣接した東京国際空港の大気中一酸化窒素および二酸化窒素濃度が、同時期の同保健所ならびに都内対照地区の測定値の2～3倍と異常に高いことが示された(Table1)¹⁾。

当時、同病院の内科に勤務していた筆者らは何らかの急性ガス中毒または過換気症候群の存在を疑い、保存的治療と平行して動脈ガス分析を含む臨床医学的な解析を加えた。16人の症例の入院時の臨床症状をTable 2²⁾に示す。多くの生徒が呼吸困難と四肢の疼痛を訴え、呼吸促進、高度の不安興奮状態にあった。咳を訴える者はいなかった。何人かの体位は、上肢が助産婦手位、下肢が伸展位のいわゆるcarpopedal spasmの状態を呈していた。37.0℃以上の発熱が13名に見られた。光化学スモッグ症に対する特別の関心ないし恐怖感は見出せなかった。動脈血ガス分析の結果をTable 3³⁾に示す。動脈血pHと肺泡酸素分圧(PaO₂)の有意な上昇、動脈血炭酸ガス分圧(PaCO₂)と酸素分圧(PaO₂)の有意な低下、および肺泡気-動脈血酸素分圧較差(AaDO₂)の有意な上昇が認められた。

入院後、生徒達はできるだけゆっくりかつ浅く呼吸するよう指導された。一人の女生徒が翌朝再びテタニーを伴う過呼吸発作をおこしたがすぐ回復した。第2～第3病日に全症例とも軽快退院し、第3～第10病日に頭重感と四肢のしびれ感が完治した。発症より1年後の調査では後遺症は1人も認められなかった。

Table - 2 Frequency of Symptoms Noted in Sixteen School Children²⁾

Symptoms	Number
Chest discomfort	13
Headache	13
Tachypnea	12
Excited condition	12
Paresthesia	11
Xerostomia	11
Chill	9
Ocular irritation	7
Lacrimation	7
Dizziness	7
Staggering gait	7
Nausea	7
Paralysis of limbs and trunk	6
Consciousness disturbance	6
Pain in the extremities	6
Abdominal discomfort	6
Coolness in the extremities	6
Muscular rigidity	5
Blurred vision	5
Throat soreness	2
Nasal irritation	2

Table-3 The alveolar-arterial oxygen tension difference (AaDO₂) and alveolar oxygen tension (P_AO₂) calculated from the tensions of oxygen and carbon dioxide in the arterial blood (PaO₂ and PaCO₂) in school children, and comparisons with two control groups³⁾

Children	Sex	Age	PaO ₂ (torr)	PaCO ₂ (torr)	AaDO ₂ (torr)	P _A O ₂ (torr)	pH of arterial blood
1	F	12	80.0	35.0	30.1	110.1	7.425
2	F	12	88.0	39.5	16.9	104.9	7.395
3	F	12	84.0	46.0	13.3	97.3	7.430
4	F	13	88.5	35.0	21.6	110.1	7.415
5	F	13	91.5	33.7	20.1	111.6	7.395
6	F	13	94.0	36.0	14.9	108.9	7.415
7	F	13	95.0	41.0	8.1	103.1	7.445
8	F	13	92.0	33.5	19.8	111.8	7.455
9	F	13	100.0	41.0	3.1	103.1	7.445
10	F	13	88.0	38.0	18.6	106.6	7.390
11	F	14	90.5	33.0	21.9	112.4	7.386
12	F	15	94.0	34.5	16.7	110.7	7.440
13	M	12	76.5	36.0	32.4	108.9	7.410
14	M	12	98.0	30.5	17.3	115.3	7.455
15	M	13	82.0	33.5	29.8	111.8	7.420
16	M	14	86.0	37.5	21.1	107.2	7.410
Mean (standard deviation)			89.3(6.5)	36.5(3.9)	19.1(7.6)	108.4(4.5)	7.421(0.023)
Control group 1 †			97.0***	38.9*	6.2***	—	—
Control group 2 ‡			95.5(3.7)**	37.1(1.6)	9.4(4.8)***	104.9(1.7)**	7.39(0.01)***

† Mean value.

‡ Mean value (standard deviation in parenthesis).

*, **, *** Different from the mean in present group of children at $p < 0.05$, < 0.01 and < 0.001 , respectively (statistical methods as in the text).

1970～72年の日本で主に中、高校生に頻発した光化学スモッグに関連した全身性の神経行動疾患をTable 4²⁾に要約する。1972年の6月1日は、幾つかの観測所で大気中オキシダント濃度が0.1ppm以下であったにもかかわらず、本症例16人を含む122人が「東京スモッグ」の影響を受けたと報告された。東京都公害研究所の調査により同中学校ならびに隣接した東京国際空港の大気中二酸化窒素濃度が高かったことと、同中学校の多数の生徒と教師が眼の刺激感、胸部不快感、頭痛を訴えたことにより、局地的な光化学スモッグ汚染があったと考えられた。さらに肉体運動による換気量の増大による大量の汚染物質の吸入が考えられた。オゾンや二酸化窒素による汚染の場合、重症例では肺浮腫と化学性肺炎を発現するので、今回の重症例の原因がこれらの物質の単独の関与であったことは否定された。

集団の心因性全身疾患 (Mass Psychogenic Systemic Illness) は、学童や若年女性が罹患しやすく、特別な心理的要因がなくても発症する。今回の症例の病態を考察すると、その本体は過換気による呼吸性アルカローシスで、症候論的にも重症例においてはアルカローシスに起因すると思われるテタニーと意識障害が見られた。今回の集団発生の場合、不調を訴えた生徒達が保健室で安静にしている状況の中で一人の女生徒が典型的な過換気症候群を起こしたことがきっかけとなった。彼女の発作を間近で見聞きし、救急車のけたたましいサイレンの音や光によって過換気症候群が集団に広がったと考えられた。

以上より、光化学オキシダントによる局所の身体影響が不安反応を呼び、運動による換気量の増大と重なって多数の生徒に過換気症候群 (Hyperventilation syndrome) が発症したと結論された。

1970年以後、「東京スモッグ」が日本社会で重要な社会問題となったが、我々の論文²⁾が発表されるまでは集団の心因性疾患の関与を正式に報告した論文はなかった。この背景には、専門家がほかの化学物質

Table-4 Major Epidemics of Acute Systemic Neurobehavioral Illness Associated with Photochemical Air Pollution in Groups of School Children during 1970-1972 in Japan²⁾

Date	Time*	Air temperature (°C)	Air oxidant concentration (ppm) †	Circumstances (location)	No. cases (sex; school status) ‡	Principal symptoms and signs
Jul 18, '70 §	Noon	30-32	0.26	Baseball, swimming etc. (Tokyo)	43 (F; S)	Unconsciousness, rigidity of extremities, dyspnea, ocular irritation
Aug 8, '71	11am-6pm	32	0.10	Swimming (Tokyo)	6 (1M, 5F; S)	Paresthesia in extremities
Aug 27, '71	2pm	33	0.18	Baseball (Osaka)	11 (M; J)	Paresthesia in extremities, dyspnea, ocular irritation, sore throat
Aug 27, '71	2:30pm	33	0.18	Baseball (Osaka)	12 (F; S)	Consciousness disturbance, paresthesia, ocular irritation, sore throat
Jun 1, '72	1-2pm	24	(0.05)#	Athletic performance (Tokyo)	16 (4M, 12F; J)	Consciousness disturbance, tetany, dyspnea, ocular irritation, respiratory alkalosis
Jul-Aug, '72	?	31-32	0.11-0.21	Physical exercise (Tokyo)	10 (F; C, S, J)	Consciousness disturbance, convulsion, accoucheur's hand, ocular irritation, sore throat

* The weather was fine in all epidemics.

† The concentration of nitrogen dioxide (NO₂) is not included.

‡ M = male, F = female; J = junior high school, S = senior high school, C = college.

§ Approximately 6,000 citizens in Tokyo voluntarily notified of their suspected illness.

Measured at a 1.4-km-leeward monitoring station; the concentrations of the oxides of nitrogen, when measured 4 months later, were high (0.090 and 0.091 ppm for NO₂ and NO, respectively).

の関与に関心が向かい精神障害の疫学に目を向けなかったこと、および障害を受けた子供達に精神医学的疾患名のラベルを貼ることが社会的タブー、もしくは行政的に好ましくないとする風潮があったことが一因と考えられた。

3. 牛込柳町の鉛汚染事件と鉛作業者の受診率の増加^{4,5)}

自動車のアンチノック剤として使われる四アルキル鉛が排気ガスとして大気中に排出されるグローバルな鉛汚染を起こしていることが、人類の歴史上重要な環境汚染問題としてとりあげられてきた⁶⁾。日本でも、1970年に牛込柳町事件としてセンセーショナルに報道された⁵⁾。この事件に関連して、東京新宿区の牛込柳町の大通りから3 km離れたところに位置するある大新聞社内において、鉛中毒に関する激しい労使紛争が起こり、鉛版・活字鑄造、文選、組版等に従事する鉛作業者の医療機関への受診率が増加した。本研究は、この受診率の増加が労使紛争の直接的な影響の結果であるか、鉛の神経行動機能および個々の疾患への影響であるかを解析したものである。

研究は、1971年に職場の鉛中毒問題が明るみになって以来、3年以上労使紛争が続いていたこの新聞社（東京本社）に勤務する男子の鉛作業者全員（上記の346人、平均年齢35才）と男子の非鉛作業者2群（発送作業者317人、輪転作業者329人、同各34、30才）を対象に行われた。鉛作業者の過去3年間の血中鉛の最大値は2~74 μg/100g、平均27 μg/100gであった。1974年の1年間に1回以上医師または歯科医師を受診した作業者100人当たりの人数が総受診率として計算された（何回受診しても1人と計算）。個々の疾病別の受診率も同様に算出された。

Table 5⁵⁾に鉛作業者と非鉛作業者の総受診率と疾病別の受診率を示す。鉛作業者は非鉛作業者の2グループに比べ、総受診率と糖尿病、眼疾患、高血圧、歯の疾患、消化性潰瘍、皮膚疾患等の傷病別の受診

Table - 5 General and disease-specific consultation rates per 100 workers for a year⁵⁾

General and disease-specific consultations	Lead workers	Non-lead workers	
		Forwarding workers	Printing-machine workers
General consultation	87.0	72.6***	76.9***
Disease-specific consultation ^a			
I. Infective and parasitic diseases (001-039)			
1. Tuberculosis (010-018)	0.9	2.2***	2.7**
2. Tinea pedis and other dermatophytosis (110)	15.6	11.0	17.0
3. Others	1.7	1.0	2.4
II. Neoplasms (140-239)			
4. Malignant neoplasms (140-208, 230-234)	0.0	0.0	0.0
5. Benign neoplasms and others	0.0	0.0	0.9
III. Endocrine, nutritional, metabolic and immunological diseases (240-279)			
6. Diabetes mellitus (250)	5.8	2.8	2.4*
7. Others	0.6	1.3	2.4
IV. Diseases of blood and blood-forming organs (280-289)			
8. Anemias (280-285)	0.3	1.0	0.0
9. Others	0.3	0.3	0.3
V. Mental disorders (290-319)			
10. Mental Disorders (290-319)	1.5	1.0	2.7
VI. Diseases of nervous system and sense organs (320-389)			
11. Diseases of central nervous system except spinal cord (320-334, 337-349)	0.0	0.0	0.0
12. Diseases of spinal cord and peripheral nerves (335, 336, 350-359)	5.2	5.4	4.0
13. Diseases of eye (360-379)	24.3	15.1***	22.2
14. Diseases of ear and mastoid process (380-389)	8.7	4.7	10.3
VII. Diseases of circulatory system (390-459)			
15. Hypertensive disease (401-405)	9.8	4.7*	6.1
16. Ischemic heart disease (410-414)	1.2	0.0	1.2
17. Cerebrovascular disease (430-438)	0.0	0.3	0.6
18. Hemorrhoids (455)	3.2	7.9*	2.4
19. Others	3.5	2.2	2.4
VIII. Diseases of respiratory system (460-519)			
20. Acute respiratory infections (460-466)	55.5	49.8	62.0
21. Pneumonia, bronchitis, emphysema and asthma (480-496)	1.5	5.1	6.7**
22. Others	6.9	6.6	6.7
K. Diseases of digestive system (520-579)			
23. Diseases of teeth and supporting structures (520-525)	37.0	24.9**	31.3
24. Peptic ulcer (531-534)	5.8	4.4	1.2**
25. Other gastroduodenal diseases (535-537)	12.4	12.3	14.9
26. Appendicitis (540-543)	0.0	0.0	1.8*
27. Diseases of liver, gall bladder and pancreas (570-577)	5.2	3.2	4.6
28. Others	13.3	6.3**	14.0
X. Diseases of genito-urinary system (580-629)			
29. Nephritis and nephrosis (580-589)	0.6	0.6	0.3
30. Others	4.1	6.0	2.1

Table - 5 (continued)

General and disease-specific consultations	Lead workers	Non-lead workers	
		For wording workers	Printing-machine workers
XII. Diseases of skin and subcutaneous tissue (680-709)			
31. Diseases of skin and subcutaneous tissue (680-709)	21.7	13.3**	16.4
XIII. Diseases of musculoskeletal system and connective tissue (710-739)			
32. Diseases of musculoskeletal system and connective tissue (710-739)	11.6	12.0	13.9
XIV. Congenital anomalies (740-759)			
33. Congenital anomalies (740-759)	0.0	0.3	0.0
XVI. Symptoms and ill-defined conditions (780-799)			
34. Abdominal pain (789.0)	0.3	0.3	0.3
35. Others	16.2	9.5*	12.2
XVII. Injuries and poisonings (809-999)			
36. Injuries and poisonings (809-999)	24.3	29.3	23.7

a XI. Complications of pregnancy, childbirth puerperium (630-676) and XV. Certain causes of perinatal morbidity and mortality (760-779) are excluded

() Disease number in International Classification of Diseases (WHO)

*, ** and*** The difference from lead workers is significant ($P < 0.05$, 0.01 and 0.001, respectively, in chi-square test with Yates' correction)

Table-6 Lead workers by three levels of blood lead (PbB) or delta-aminolevulinic acid dehydratase activity in erythrocytes (ALAD)⁵⁾

PbB groups	PbB ($\mu\text{mol/kg}$) ^a	No. of workers	Age (yr)	Years employed	Smoking (cigarette/day)	Alcohol (100% l/week)
PbB (1)	0.1-0.9 [0.7]	113	19-55 [34]	1-42 [16]	0-40 [16]	0-1.00 [0.15]
PbB (2)	1.0-1.3 [1.2]	149	20-54 [36]	2-39 [17]	0-55 [16]	0-1.00 [0.20]
PbB (3)	1.4-3.6 [1.9]	91	21-54 [36]	3-38 [17]	0-50 [19]	0-0.81 [0.19]
ALAD groups	ALAD (u.) ^b	No. of workers	Age (yr)	Years employed	Smoking (cigarette/day)	Alcohol (100% l/week)
ALAD (1)	40.0-75.9 [49.7]	143	19-53 [34]	1-36 [15]	0-55 [13]	0-1.00 [0.15]
ALAD (2)	30.0-39.9 [35.1]	109	19-54 [36]	1-39 [17]	0-50 [18]	0-1.00 [0.22]
ALAD (3)	8.3-29.9 [22.9]	94	22-55 [38]	1-42 [19]	0-45 [19]	0-0.80 [0.18]

a Maximal value in the past three years ($1\mu\text{mol/kg} = 21\mu\text{g}/100\text{g}$)

b The value in the year of this study

[] Average value

率が有意に高かった。Table 6⁵⁾に鉛作業者を血中鉛濃度および赤血球中デルタアミノレブリン酸脱水酵素 (ALAD) 活性レベルの高低で3群に分けた結果を記す。鉛作業区内で、血中鉛レベルおよびALAD活性レベル別に分けて比較すると、総受診率および疾病別受診率の全てに有意差が認められなかった (Table7⁵⁾。

受診率に影響を与える主要な因子は、1) 傷病と健康状態、2) 心理社会因子、3) 医師および歯科医師の受診のし易さの3つである。今回の鉛作業者は、労使紛争を通して鉛の健康に与える影響について詳しい知識をもっていた。彼らの鉛の影響に関する高い関心は、特殊健診や一般健診をほとんどの者が受診した

Table - 7 Standardised consultation ratios^a for general and seven disease - specific consultations in lead workers by blood lead (PbB) and erythrocyte delta - aminolevulinic acid dehydratase activity (ALAD) levels⁵¹

General and disease-specific consultations	Ratio of higher PbB group against lower PbB group ^b			Ratio of lower ALAD group against higher ALAD group ^b		
	PbB (3)/ PbB (1)	PbB (3)/ PbB (2)	PbB (2)/ PbB (1)	ALAD (3)/ ALAD (1)	ALAD (3)/ ALAD (2)	ALAD (2)/ ALAD (1)
General consultation	103	104	100	98	106	94
Disease-specific consultation:						
6. Diabetes mellitus	88	175	45	100	75	133
13. Diseases of eye	62	67	98	64	75	87
15. Hypertensive disease	82	113	80	77	100	79
23. Diseases of teeth and supporting structures	87	100	83	86	150	61*
24. Peptic ulcer	86	200	50	86	300	29
31. Diseases of skin and subcutaneous tissue	83	106	80	79	86	89
35. Other symptoms and ill-defined conditions	35*	30*	115	93	78	124

a Standardised consultation ratio = (observed number of consultation/expected number of consultation) × 100

b See Table-1 for groups of PbB (1), PbB (2), PbB (3), ALAD (1), ALAD (2) and ALAD (3)

* P < 0. 05

ことからうかがえる。したがって、鉛作業者が高い受診率を示したのは、労使紛争が起き、鉛の影響に関する関心が高まった自然の結果だったと推定された。鉛作業者が非鉛作業者に比べて高血圧、歯の疾患、消化性潰瘍等の鉛に起因する疾病の受診率が高かったことから、鉛作業者の受診率を上げた原因の一部に鉛の直接の影響が考えられた。心理社会因子が鉛の高暴露群と低暴露群の両者に強い影響を与えたため、見かけ上鉛作業業者内で有意差が認められなくなった可能性も除外できなかった。この新聞社は東京の中心に位置し、近くの大学病院に勤務する何人かの医師や歯科医師が社内の診療所におり、ほとんどの鉛作業業者と非鉛作業業者が東京の中心部の近郊に住んでいたことから、鉛作業業者と非鉛作業業者間で医師および歯科医師への受診し易さに違いがあったとは考えにくかった。

以上により、鉛作業業者が高い受診率を示したのは、鉛の健康への直接的な影響というよりも、労使紛争の社会行動面への影響が主因であったと結論された。

4. おわりに

今後も発生が予想される種々の環境汚染の社会的影響をコントロールするためには、①物理、化学および生物学的環境因子、および心理社会因子 (Psychosocial factor) の解析、②これらの4因子がヒトの身体、精神、行動機能に与える影響の解明、および③疫学研究が不可欠と考えられる。

参考文献

- 1) 荒記俊一、阿万忠之、牛尾耕一、本間徹男：日公衛誌、21、75-80 (1974).
- 2) Araki, S. and Honma, T.: *Arch Environ Health*, 41, 159-162 (1986).
- 3) Araki, S., Aono, H., and Ushio, K.: 日本災害医学会誌、34, 446-451 (1986).
- 4) 荒記俊一：職業医学、サイエンス社、東京 (1981).
- 5) Araki, S., Murata, K., Yanagihara, S., and Ushio K: *Int Arch Occup Environ Health*, 49, 241-250 (1982).
- 6) WHO Task Group: *Inorganic Lead (Environmental Health Criteria Series 165)*, WHO, Geneva (1995).

4. 大気汚染の社会的影響

村上正孝
筑波大学社会医学系

Social Impact by Air Pollution
-Risk Assessment for Human Effects due to Air Pollutants-

Masataka Murakami
Department of Environmental Health
Institute of Community Medicine
University of Tsukuba
Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

ABSTRACT – When The Central Advisory Council revised The Compensation Law in 1986, it recommended that the surveillance system is necessary in order to monitor the relationships between the health status of residents and the air pollution in the residential area for a long time, and to prevent in the future, the city people from air pollution-related diseases. If such a surveillance system is established, policy makers will be able to decide the necessity to set up the further intensive epidemiological studies and the action programme for environmental improvement. Since then, many researchers and officials have made efforts to establish the system.

U. K. established the Environmental Health Surveillance system since 1990. This system has been conducted as the system called by Small Area Health Statistics Unit which is an independent national facility that uses routine sources of data to investigate health effects near industrial sources of environmental pollution.

1. はじめに

増加する人口の生活水準の向上のために人類は環境資源を消費する。その結果生ずる廃棄物の環境への放出は、質的、量的に環境への負荷を増大させ、大気汚染は今や、対流圏から成層圏にまで及ぶ。その負荷の累積は、地球を温暖化し、気象、生態系のシステムに影響を及ぼし、人類の生存の基盤をもゆさぶりつつある。人類の健康に対する懸念も無視できない。その大気に囲まれて人類は日々の生活を営まざるを得ない。そこで何が起きているのか観測し、また何が起ころうとしているのか予測することは、その生存にとって必須な行為である¹⁾。

2. わが国の大気汚染の現状とその影響

さて、大気汚染のエピソードといえば、家庭暖房によるロンドン・スモッグ、ピッツバーグ、八幡などの鉄工業地帯における SO_2 と粉じんによる呼吸器障害の事例があげられる。わが国では、後に公害健康被害補償法の指定対象地域となった四日市市、川崎市、北九州市、東京都、千葉市などの地域の大气汚染濃度レベルと呼吸器症状有症率の量・反応関係にもとづいて、 SO_2 、浮遊粒子状物質 (SPM) の環境基準が設定された。ついでに、 NO_2 の基準も決められた²⁾。しかし、その後 NO_2 については、科学的根拠があいまいだということで基準は引き上げられた経緯がある。現在、 SO_2 は著しく低くなったが、SPM と NO_2 の基準をオーバーする地域が都市域では多数ある³⁾。

現在の大气汚染は、主として自動車による石油燃焼による NO_2 と SPM (その 1/3 は DEP : ジーゼル排ガス由来粒子) である。とくに幹線道路直近の居住者の生活公害と呼吸器症状の高い訴え率が問題であり、道路から離れた地域の住民と比べると 2~3 倍訴え率が高い⁴⁾。また、区部単位と広い地域であるが、交通量の多い、大气汚染レベルの高い地域ほど肺癌による死亡率は高い⁵⁾。

3. 大気汚染物質の測定法の進歩

SO_2 、 NO_2 、 O_3 等のガスを測定するにあたって簡易式の passive sampler による測定、DEP を含む SPM の測定法の進歩、さらに最近、大変問題となっているダイオキシン等の有機塩素化合物の測定技術の進歩は、微量の当該物質を測定することを可能とした。また、数多くの測定点での同時測定は、汚染物質の地理的分布を明示することを可能としている。

4. リスクアセスメント (環境評価手法) の発展

動物実験、人体実験、疫学調査などにより得られた暴露量と影響の発生率のデータに対して数学モデルを当てはめることによって量・反応関係を決定することが可能となった。例えば、7年前、わが環境庁は、DEP 暴露による肺癌の発生にかかわるリスクアセスメントを行い、そのユニットリスクを試算した。量・反応関係の決定には、結核研究所、自動車研究所、外国の大气汚染関連研究所による DEP 暴露ラット実験結果、USA・カナダの国鉄およびロンドン交通局の疫学調査結果を利用した。さらに暴露アセスメントは、国土地理院のデータ (メッシュ法) を用いて、わが国の沿道居住住民数を推定した。沿道での DEP 暴露量を、住民が暴露する最大値とし、その暴露量における肺癌発生リスクを計算した。このようにして現在のわが国における DEP 由来の癌発生数を推定し、DEP による全国民の癌死亡への寄与率 (3.0 - 0.8%) を計算することが出来たわけである⁶⁾。その結果、DEP は肺癌発生に大きな寄与を与えているとはいえないが、決して影響がないわけではなく、行政としては、現在よりも DEP 規制を重要視すべきであるという行政的判断の根拠の一つになったものと筆者は考える。

昨年 4 月、環境庁は有害大気汚染物質 (22 物質) のモニタリングを実施するための大気汚染防止法の改正を行った。その対象物質の一つであるベンゼンが発癌性物質として注目を集めている。そもそもベンゼンは、白血病とくに急性骨髄性白血病の原因とされ、最近 10 年間わが国では、徐々に白血病の死亡は増加傾向がみられ、1994 年には 9910 人で、そのうちの 50% が骨髄性白血病であった。従来知見によりわが国の専門委員会は、最近そのユニットリスクを計算した。一方、大気中のベンゼンの主な発生源はガソリンに含まれるベンゼンであり、全国の平均的ベンゼン濃度は、人口密度等を考慮して、2.43ppb す

なわち $7.84\mu\text{g}/\text{m}^3$ と確定され⁷⁾、従ってわが国の年間の白血病発病リスクの増加は、年間 40 ~ 94 人と計算され、わが国の白血病死亡数の約 0.7 ~ 1.6 % と推定された⁸⁾。

このように、発癌性のある大気汚染物質について、リスクアセスメントを行い、一応の結果が出されている。あとはマネージメントの立場から、このリスクをどう評価し、対策に結びつけていくかという段階である。

5. 環境保健サーベイランスシステム構築の現状

地域における汚染物質の、時間的地理的分布状況が地図上に表示できるならば、その地域に住む人々の汚染物質による影響の発生分布も知りたくなる。情報科学、統計学の進歩の助けを借りて、この環境と健康の情報をつき合わせることによって、前述のリスクアセスメントの結果を検証するとともに、両者の関係の動きを監視することが出来ないものか。このシステムの利点は、汚染物質とその影響の因果関係の存在が強く疑われている場合には、定期的に入手し得る結果を時間的に追跡することによって、その因果関係の強さを確かめることに役立つ。また、因果関係が明確でないものについては、その関係の推移を監視することが可能となる。

6. 上記システムの行政レベルでの取り組み例

英国において SAHSU (Small area health statistics unit) という名称のシステムが現在稼働している。

Lancet (339:845,1992) にロンドン大学衛生・熱帯医学部 Elliott 博士による「イギリスにおける廃油焼却施設周辺地域住民の喉頭癌および肺癌の発生率についての検討」⁹⁾ が掲載されている。筆者は 1988 年公害健康被害補償法¹⁰⁾ が改正された折りに、環境庁がその制度化をめざした環境保健サーベイランス・システムにたいへん関心をよせてきた。その設置の目的は、環境汚染による住民の健康異常を可及的速やかに察知することにあった。

1991 年 6 月、筆者がイギリス環境庁を訪れたさいに、両省の行政官が工業施設周辺地域における疾病の異常発生を監視するためのシステムがまもなく行政レベルで稼働すると誇らしげに語っていた。このシステムを構築する計画の前に Sellafield の核廃棄物再処理施設周辺地域において、小児の白血病が多発しているとの話があり、その調査委員会の報告に基づいて 1987 年検討作業が開始された。厚生、環境、労働の 3 省とスコットランド庁、ウェールズ庁の五者が共同で研究費を拠出し、前述のロンドン大学の疫学グループによって作業が進められ、その第 1 回目の成果が報告された¹¹⁻¹³⁾。

現在、イギリスでは癌登録制度が定着し、癌患者の性・年齢・居住する住所が記録されている。住所は、district, ward, ED (enumeration district) そして post code (PC) まで記載されている。この PC は郵便配達夫の便宜のために 1970 年代に設けられた制度で、1PC 当り全国平均して 14 世帯を含む。この PC が 10 個ほど集まると前述の ED という単位となる。ED は 10 年ごとの国勢調査の対象となる最小調査区単位であり、各 ED に居住する人口の社会経済分類 (Carstairs' index¹⁴⁾ ; 世帯主の貧困階層所属率、男子労働力人口の失業率、自動車非保有率、居室の過密人口率から算出した地域の社会経済指標) がスコア化されて記録されている。ここにおいて、イギリスでは全地図上に、たとえば性、年齢の明らかな肺癌患者発生を特定することが可能となっている。

一方、環境情報としては、廃油焼却場を例にとれば、その所在地および廃油の成分、処理量および煙突からの排煙中の汚染物質濃度などがわかっている。その地理的濃度分布までは詳細には不明である。にも

かわらず、特定の汚染物質についてその地理的濃度分布の大略が推定可能という前提のもとに、疾病たとえば肺癌の発生率との量・反応関係を統計的に検討することが可能になってきたとの前提をおいている。

さて、その解析の方法であるが、汚染点源周辺地域の汚染物質の環境中濃度は詳細には不明だが、かりに汚染点源からの距離に対応して減衰するものとして、疾病の発生分布も距離に応じて減衰するかどうかを検定するということになる¹⁵⁾。一般に疾病の発生は Poisson 分布に従うので調査対象とする発生数を増すために問題となる同種、同規模の汚染源施設の所在する地域を多数調査対象地域として集めて検定することになる。

さて、解析は2段階に分けて進められる。第1段階は、汚染源から3km半径以内の地区の発生率と3～10km半径のドーナツ状の地区のそれとの比較である。第2段階は、第1段階と同一の汚染源から半径10km以内の円の地区において半径0.5, 1, 2, 3, 4.9, 6.3, 7.4, 8.3, 9.2kmの同心円を描き10区分する。その結果0.5km半径の円内、つぎは0.5～1km半径のドーナツ状の地区、1～2km、2～3kmと区分され、3km以上はすなわち3～4.9km以遠はだいたい面積が等しくなるようなドーナツ状の地区とする。そして、この10地区それぞれにおける性・年齢階級、さらに前述の社会経済分類 (Carstairs' index¹⁴⁾)別の疾病、たとえば肺癌の発生率が用意されている。つづいて上述の調査対象地域はいくつかのEDにより構成されているわけで、それぞれのEDは国勢調査のデータから性、年齢階級、社会経済分類別人口数が得られ、加算することにより当該区域全体の人口特性格人口数が求められる。その結果、イギリス全体の疾病、たとえば肺癌の発生秩序に基づいて当該地区における期待発生数(E)が求められ、それと実際の観測発生数(O)との比が求められる。このO/E比について各地域のO/Eは1だとする帰無仮説に対して、問題となっている対象地域とイギリス全体とでは肺癌リスクに差がないということを検定する不均質検定、および汚染源からの距離の増大につれて肺癌のリスクが減少するということを検定する傾向性検定がなされることになる¹⁴⁾。

その例として、博士は10廃油焼却処理施設周辺地域住民の喉頭癌および肺癌の発生率の地理的分布についての検討例を示した。

その結果、第1段階では3km以内地区とその外側地区(3～10km)においてO/E比は有意の差は認められず、第2段階でも半径500m以内地区から最外縁(9.2～10km)の地区に向かってO/E比が有意に減少するような傾向は統計的には認められなかった。このことから、現在の廃油焼却施設から排出される汚染物質による上記の癌発生の恐れは考えられないと評価した。さらに問題となっていた地域 Charnock Richard の焼却施設周辺地域についても同様の方法で検討を加え、有意な差は認められなかった。

しかし最近の報告¹⁶⁾では、イギリス全土72固形廃棄物焼却場周辺住民1400万を対象として、1974年から1987年までに登録された癌のケースについて、このSAHSUのシステムで統計的検討を加えたところ、全癌、胃癌、大腸癌、肝癌、肺癌について、焼却場に近い地域ほど有意に、その発生率が高いという結果を得ている。

さて、このサーベイランス・システムについては、著者らが指摘するような問題点がある。第1は、大気汚染物質濃度の地理的分布の確定があまりにも単純すぎる。これについては排出源である煙突の高さ、山、低地、海岸などの地理的状況、風向きなどを考慮した濃度分布モデルを用意しなければ、真の住民の曝露量を確定するにはあまりに遠い。その方向での検討も当然なされているという。第2の問題は、職業的曝露者をいかに除外するか。第3は、疾病の発病率は環境汚染のみならず社会経済的な生活背景の影響を著しく受けることである。したがって、その地域住民の社会経済的特性を際立たせ、標準化して地域

総体としての発生率を計算することが不可欠となる。この SAHSU のシステムでは、Carstairs' index¹³⁾ を導入して、その困難を一応乗り越えているように見える。

現実には、行政が環境保健に関する業務の一環として、このシステムを導入し、当面する環境問題のリスク評価に踏み切った英断は高く評価されるべきものと考えられる。

7. わが国での取り組み例

わが国では、公害健康被害補償法改正 (1989) にあたり、中央公害対策審議会は、「長期的かつ予見的な観点をもって、地域人口集団の健康状態と大気汚染との関係を定期的に観察するための調査方法およびサーベイランスシステムの確立についての検討が必要である。」と環境庁に答申した。環境庁は大気汚染にかかわる環境保健サーベイランスシステムのあり方に関する検討委員会、研究班を組織し、筆者もその委員として関わってきた。約 10 年にわたって、システムに係わる科学的、技術的な諸問題が研究されてきた。システムの一つの要素である環境モニタリングの構築に比べて、健康モニタリングシステムの構築に難点が多かったが、実施上の問題点も一応クリアーして、平成 8 年度から、大気汚染濃度の異なる全国三十数カ所の保健所を拠点として、その 3 歳児健診時にあわせて、ぜんそく様呼吸器症状を中心においた問診票により健康情報を収集するシステムが構築された。この対象地域は、むしろ広域であり、その地域の平均的大気汚染レベルと 3 歳児の呼吸器症状の有症率の変動の推移を追跡することが可能となったようである。この関係の評価システムが如何なるものか、残念ながら筆者の手元には情報がない。

なおこのシステムによれば、対象者の住所が特定できることから、自動車排ガスによる沿道汚染との関連をみることも可能となるのではないか。どのようなシステムで、平成 8 年度、どのような結果であったのか、そしてどう評価していくのか、その報告が公にされたいところである。英国の SAHSU にも匹敵するシステムと考えるのだが。

東京都も、だいたい環境庁と時を同じくして、委員会、研究班を組織して、システム構築のための検討、研究を実施し今日に至っている。大気環境のモニタリングに、先述の国と同様ほぼ出来上がっているといつてよいが、影響される健康指標の方は、癌を含む呼吸器系の死亡統計、都立病院の患者データ、沿道住民、地域住民または児童を対象にした呼吸器症状・肺機能データなどを、どのようにシステムに組み入れていったらよいか延々議論が繰り返されている。その努力は多とされるが、行政のシステムとして実現させるための意欲が今ひとつ欠けているように思える。今後の展開が期待される。

8. おわりに

ISO9000 の時代。事業者はその生産活動による環境汚染の防止を強く求められている。しかし、全体として環境汚染の方向性は止められまい。環境保健サーベイランスシステムの行政レベルでの実施が強く求められる理由である¹⁷⁾。

文 献

- 1) M. Murakami et al: Physical and Chemical Environment. in R. Detels et al. Eds: Oxford Text book of Public Health. Oxford University Press. (1996)
- 2) 日本化学会編：大気関係—環境の基準（その科学的背景）109-132. (1979)
- 3) 環境庁：環境白書 平成 8 年版

- 4) M. Ono et al: *Environmental Sciences*. 4(1): 13–23. (1996)
- 5) K. Makino: *Environmental Sciences*. 4(1): 25–35. (1996)
- 6) 岩井和朗他：大気汚染学会誌 27(6): 289–303. (1992)
- 7) 三浦卓他：日本リスク研究学会第4回研究発表論文集：1–5. (1991)
- 8) 内山敵雄：日本リスク研究学会第9回研究発表会論文集第9巻 61–66. (1996)
- 9) P. Elliott et al.: *Lancet*. 339: 854–858. (1992)
- 10) 中央公害対策審議会保健部会：大気汚染と健康被害との関係の評価等に関する専門委員会報告 (1986)
- 11) Small Area Health Statistics Unit, London School of Hygiene and Tropical Medicine: An analysis of the incidence of cancer of the larynx and lung near incinerator of waste solvents and oils in Great Britain (final report) (1992)
- 12) P. Elliott et al.: *J. Epidemiol. Community Health*. 46: 345–349. (1992)
- 13) Y. I. Kleinschmidt: *Proc. Geographical Methods in Small Area Health Studies on 22nd June (1990) at London Univ.*, 15–34.
- 14) V. Carstairs: *Health Bull*. 48(4): 162–175. (1990)
- 15) R. A. Stone: *Stat. Med*. 7: 649–660. (1988)
- 16) P. Elliott et al.: *Brit. J. Cancer* 73: 702–710. (1996)
- 17) M. Murakami: *Environmental Sciences*. 4(1): 1–12. (1996)

1. リスク認知の学習効果

神田 玲子、藤元 憲三、小林 定喜
放射線医学総合研究所

The Influence of Knowledge on Risk Perception

Reiko Kanda, Kenzo Fujimoto and Sadayoshi Kobayashi

Division of Human Radiation Environment, National Institute of Radiological Sciences

4-9-1, Anagawa, Inage-ku, Chiba 263, Japan

ABSTRACT—Many researches on risk perception have often been concerned with reaction of the public to modern technology. A major concern is the public fear of such new technology as nuclear power and genetic engineering. When the perceived risk was examined using a risk ranking technique, Japanese school teachers, university students and also NIRS staffs (female clerical staffs and researchers) viewed nuclear power to be much riskier than the objective estimation. Many technical experts have believed that this great fear results from an overestimation of risk by the public due to lack of scientific knowledge. So far, several studies reported the results to examine the correlation of the perception of some risk sources with knowledge about them, although their conclusions are inconsistent. When the perceived risk by trainees on a radiation protection course in NIRS was examined, nuclear power was rated as the second and 14th among 30 risk items by those who majored in life sciences in college and by those in physics, chemistry or technology, respectively. The perceived risk of nuclear power did not change among trainees by training offered fundamental knowledge about radiation during the course. On the other hand, the orders of smoking and alcoholic beverages rose considerably. Our results are consistent with the previous reports, i.e., what people learn initially about risk source has more important role in risk perception than what they learn later, and the increase of perceived risk is more easier than its decrease. Knowledge is now recognized as one of the factors which influence on risk perception. However, a special emphasis is now placed on risk communication in order to make partnership between communicators and receivers in the risk management.

I 緒言

今日、自動車の利用や化学物質を用いた製品の使用など日常生活を含めた経済社会活動全般から様々な

リスクが生じている。我々は何らかの行動をする際には、その行動とリスクを秤にかけて、あるいは、様々な行為のリスクを比較して、為すべきか為さざるべきか判断する。しかしながら、個人個人の感じているリスクの大きさは実際のリスクの大きさと異なることが往々にしてあり、またその異なり具合も人によって様々である。

米国では 1970 年代に一般公衆のリスク認知に関する調査が始まり、リスク評価の専門家が確率的に「安全」と考える事象が必ずしも公衆には「安全」とは感じられていない事実が明らかになった。さらにリスク認知において原子力は特殊であり、一般公衆はリスク度を異常に高く認識していることが明らかになった。

我が国においては、チェルノブイリ事故以後、それまでは原子力について無関心であった都市部若年層や主婦層などが、原子力に対して「疑念・不安」を感じるようになり¹⁾、そのため政府や産業界では、原子力に関する情報の公開や知識の普及活動に力を入れ始めている。

Table 1 Ordering of Perceived Risk for 30 Activities and Technologies

Risk items	Female clerical staffs in NIRS		Researchers in NIRS	
	1983	1992-1993	1983	1992-1993
Handguns	1	2	4	1
Motor vehicles	2	7	1	10
Motorcycles	3	10	2	2
Nuclear power	4	1	28	5
Private aviation	5	11	9	3
Food preservatives	6	3	19	17
Police work	7	12	11	4
Smoking	8	8	5	12
Food coloring	9	6	17	18
Fire fighting	10	17	10	8
Surgery	11	14	6	6
Antibiotics	12	4	20	23
Commercial aviation	13	15	15	15
Hunting	14	18	14	11
Pesticides	15	9	12	14
Large construction	16	13	3	7
Alcoholic beverages	17	21	13	22
X-rays	18	5	22	13
Contraceptives	19	19	23	21
Bicycles	20	24	7	25
Mountain climbing	21	23	8	9
Vaccinations	22	16	21	24
Spray cans	23	20	24	29
Electric power	24	25	26	28
Railroads	25	22	18	27
Swimming	26	30	16	26
Skiing	27	29	25	19
Power mowers	28	26	27	20
Football	29	28	29	16
Home appliances	30	27	30	30

The ordering is based on the geometric mean risk ratings within each group.

II 「原子力」に関するリスク認知の現状

1. リスクランキング法による調査

米国の Slovic らは、30 の技術に関する活動に関して被験者が感じるリスクの大きい順に順位をつけるという方法で、婦人有権者組織、大学生、管理職と専門職、及びリスク評価の専門家を対象にリスク認知調査を行った^{2,3)}。調査結果は対象グループごとに集計し平均的順位を算出した。このリスクランキング法を用いた研究によって、リスク認知が定量化され、対象グループによる差異が明確に表現できるようになった。Slovic らの研究の結果によると、公衆と専門家間で最も判断が大きく分かれたのは「原子力」で、婦人有権者や大学生では 30 項目の中で「原子力」が最も危険度が高いと判断したが、専門家は 20 位と判断した。

2. 放医研でのリスク認知の調査研究

放医研においても上記のリスクランキング法を用いて、1983年(チェルノブイリ事故前)と1992-1993年(事故後)の2回にわたり、いくつかの社会的に性質の異なるグループについてリスク認知調査を行った。その結果、チェルノブイリ事故後、「原子力」や「X線」への危険感が上昇している傾向が、放医研女性職員(事務職及び研究補助員)のみならず、放射線影響を研究する研究者にも見られた。また大学生や中学校教諭を対象に行った調査でも、「原子力」が過剰に恐れられている実態が明らかになった。放射線リスクを研究する専門家グループでは「原子力」や「X線」のリスク認知順位は低いものの、それ以外のリスク項目に関しては他の対象グループとの差異は見られなかった。

3. 年間死亡率による“客観的リスク”の順位とリスク認知順位

上記のリスク項目による日本における年間死亡率を平成2年から6年のデータを基に算出した。事故による損傷死や中毒死については主に警察白書や消防白書、人口動態統計から算出し、「喫煙」や「アルコール」に関してはガン寄与危険度^{4,5)}から、「原子力」や「X線」に関してはICRPの寄与ガン死亡の平均年預託確率⁶⁾から、がんによる死亡率を算出した。得られた年間死亡率の順位とリスク認知順位(1992-1993年)との相関係数を求めた結果(Table 2)、最も相関が低かったのが放医研女性職員で、最も高かったのがリスク評価専門家であった。

米国の調査結果についても相関係数を求め、放医研での調査結果と比較した。米国における年間死亡率はUpton⁷⁾が保険統計から推定した数値を引用した。日本人に比べ、米国人のリスク認知は概して年間死亡率の順位との相関が高く、中でもリスク評価の専門家の場合、その相関係数は実に0.75と高い値だった。

Table 2 Spearman's Coefficient of Rank Correlation between Perceived Risk and Technical Estimate Risk

Subject	Correlation coefficient	Reference
Japanese female secretaries in NIRS (1992-1993)	0.12	The present study
Japanese researchers in NIRS (1992-1993)	0.32 *	The present study
Japanese university students (male)	0.38 *	The present study
Japanese university students (female)	0.33 *	The present study
Japanese school teachers	0.14	The present study
Japanese experts in risk assessment	0.41 *	The present study
American college students	0.30	Slovic et al.3), Upton4)
American members of the League of Women Voters	0.53 *	Slovic et al.3), Upton4)
American business and professional club members	0.64 *	Slovic et al.3), Upton4)
American experts of risk assessment	0.75 *	Slovic et al.3), Upton4)

*Significantly ($p < 0.05$) correlated with the order of technical estimate risk.

4. リスク認知に影響を及ぼす要因

上記のような年間死亡率といった“客観的”リスクの大きさは判断基準の一つである。しかしどの程度重視するかは対象グループによって異なっている。例えば、米国のリスク評価専門家ではリスクをほぼ年間死亡率で判断するが、放医研女性職員や中学校教諭ではそれ以外の様々なリスク特性(例えば、カタストロフィック性や次世代へのリスク)を重く見て判断していると思われる。こうしたリスク認知に影響を及ぼす要因については、Table 3⁸⁾のようにまとめられている。

Slovic (1987)²⁾は、調査対象者に 81 のリスクを 18 尺度で評定させ、このデータについて因子分析を行い、恐ろしさ因子 (Dread risk) と未知因子 (Unknown risk)、危害範囲因子 (Number of people involved) を抽出している。恐ろしさ因子として次の要素を Slovic は挙げている。制御できない、恐ろしい、地球の破滅、致命的な結果、不公平、次世代への高いリスク、削減が難しい、増加しつつあるリスク、受動的などである。未知因子として、観察できない、知ることのできない、晩発性の効果、新しい、科学で知ることのできないなどを挙げている。こうした結果は Slovic 自身を中心とする研究者たちによってアメリカ以外の多くの国で追試され、同様な因子軸の抽出を得たとの報告が為されている^{9,10,11)}。

Slovic の研究³⁾で未知因子度が高いと判断された 9 項目 (原子力、食品着色料、食品保存料、電力、避妊薬、X線、農薬、予防接種、抗生物質) に関して、1992-93 年の放医研での調査結果について検討した。その結果、放医研女性職員と中学校教諭では、これらの 9 項目が比較的上位リスクに、放医研研究者とリスク評価専門家では下位リスクに判断している傾向が見られた。この 2 グループでは他の対象グループよりも未知因子度を重要なリスクの判断材料にしていると思われる。一方、恐ろしさ因子の高い 8 項目 (原子力、農薬、ピストル、警察職務、飛行機、喫煙、電力、消防職務) については、対象グループ間に認知順位の差異が見られなかった。

Ⅲ 知識と学習による影響

1. 原子力に関する知識量とリスク認知

従来のリスク認知研究では、上記のような“客観的リスク”とリスク認知との大きな隔たりは、科学的知識の欠如が原因であると考えてきた。よって、ある科学技術について知識がある人ほどその技術に肯定的であり、リスクコミュニケーション (リスク情報の伝達) を行って人々の科学知識水準をあげると、リスク認知度を下げることができるだろうと考えられていた。そのためリスク源に関する知識レベルとリスクへの態度との相関を調べた研究が数多くなされてきたが、一貫した結果は得られていない。例えば、原発に関する基礎知識があるほど好意的であるという報告¹²⁾がある一方、相関はないという報告¹³⁾もある。また原子力リスクを中程度に評価する者は知識量が少なく、リスク認知が高い者と低い者とが知識量が多いという、U字型の関係とする報告もある¹⁴⁾。

また原子力リスクに関しては、知識量よりも自然保護・環境問題への関心度や科学文明に対する態度といった価値観に大きく左右されるといった報告は数多い^{15,16,17)}。

2. リスクコミュニケーションの効果

リスク研究家の間では、「リスクコミュニケーションを行うことにより、リスク認知度を下げることができるだろう」というやや楽観的な予想がなされていた。しかし社会心理学者間では、伝統的な態度変化理論に照らし合わせて、「人がいったん強く信じ込んだことはなかなか修正できないこと、新たな知識や情報も最初に信じたことと矛盾すれば、信頼できない、誤った、あるいは偏ったものとして無視されるこ

Table 3 Factors involved in public risk perception Adapted from Covello et al.⁸⁾

Catastrophic potential
Familiarity
Understanding
Uncertainty
Controllability
Voluntariness of exposure
Effects on children
Effects on future generations
Victim identity
Dread
Media attention
Accident history
Equity
Benefits
Reversibility
Personal stake
Scientific evidence
Origin

と」が予想されていた。Jenkins-Smith and Bassett (1994)¹⁸⁾は、科学者、実業家、環境保護団体を対象に、放射性廃棄物に関する情報がリスク認知へ与える影響を実際に調べ、社会心理学者の危惧が正しかったことを立証した。彼らの研究の結果、

- (1) 一度リスクに関する態度が固まってしまうと、態度を変化するのは容易でない、
- (2) 新情報によりリスク源をさらに危険と認知することは容易であるが逆は難しい、
- (3) 環境問題や科学文明に対する価値観の異なる対象グループの場合、新情報に対する反応が異なる、ことが明らかになった。

3. 放医研でのリスク認知の調査研究

放医研の放射線防護課程受講者を対象に、受講前後にリスクランキング法による調査を行った結果、Jenkins-Smith and Bassett (1994)¹⁸⁾の結果を裏付ける結果が得られた。対象となった受講生は大学教官、研究者、原子力施設従事者等、放射線に携わる職業に従事している。

受講前の調査では、学部・大学院でライフサイエンス系を専攻したグループは、物理や化学および工学系の専攻者グループよりも「原子力」のリスクを高く認知している結果が得られた (Table 4)。放射線に関する知識内容が、ライフサイエンス系専攻者では生物影響や障害の比重が高いのに対し、物理・化学・工学系専攻者では放射線の物理的性質や利用に重きが置かれていることが影響していると考えられる。

4週間にわたる防護課程では放射線に係わる物理、化学、生物学の基礎知識を学習し、実習を受ける。リスク評価や原発の安全性についての講義等は行われませんが、放射線障害の講義中に「喫煙」や「アルコール」のリスクについては放射線リスクと比較され、数分間程度の講義をうけた。

ライフサイエンス系の場合、課程受講後も「原子力」や「X線」のリスク認知順位はほとんど変化しなかった。30項目のうち受講後に順位が大きく上昇したのは「アルコール」と「喫煙」で、逆に順位が下がったものに「消防

Table 4 Ordering of Perceived Risk for 30 Activities and Technologies among Trainees before receiving training on Radiation Protection Course

Risk	Majors in life sciences	Majors in physics, chemistry or Technology
1	Handguns	Handguns
2	Nuclear power	Private aviation
3	Private aviation	Hunting
4	Motorcycles	Motor vehicles
5	Motor vehicles	Motorcycles
6	Fire fighting	Police work
7	Large construction	Surgery
8	Hunting	Antibiotics
9	Police work	Large construction
10	Surgery	Commercial aviation
11	Smoking	Pesticides
12	Commercial aviation	Contraceptives
13	Pesticides	Smoking
14	X-rays	Nuclear power
15	Mountain climbing	Food coloring
16	Antibiotics	Fire fighting
17	Food preservatives	Food preservatives
18	Contraceptives	Mountain climbing
19	Food coloring	Bicycles
20	Vaccinations	X-rays
21	Power mowers	Power mowers
22	Alcoholic beverages	Alcoholic beverages
23	Skiing	Spray cans
24	Railroads	Railroads
25	Electric power	Electric power
26	Football	Vaccinations
27	Bicycles	Skiing
28	Spray cans	Swimming
29	Swimming	Football
30	Home appliances	Home appliances

職務」があった。物理・化学・工学系でも「原子力」の順位はほとんど変わらなかったが、「X線」「アルコール」や「喫煙」の順位は上がった。一方「警察職務」の順位が下がった。「喫煙」や「アルコール」のようにリスク認知順位を上げる方向には少しの情報でも効果はあるが、下がる方向にはなかなか変化しないこと、「警察職務」や「消防職務」のように自分に無関係の事象のリスク認知は下がるけれど、「原子力」のように関係あることは容易に下がらないことが明らかになった。

IV リスクコミュニケーションの重要性

従来の過度な期待に反して、いくら科学的なリスク情報を提供しても、公衆が種々のリスクを“客観的リスク”の大きさどおりに認知するわけではないことが明らかになりつつある。現在、リスクコミュニケーションの意義は「専門家が非専門家にリスク情報を一方的に供給して、そのリスクに関する“誤解”を正す」というものから、「情報提供による信頼感を媒介として、情報の受け手と送り手の間に合意の可能性を作る」¹⁹⁾ものになり、その重要性は高まる一方である。リスクコミュニケーションの効果についても、従来のように受け手のリスク認知の変化のみを指標にするのではなく、リスクコミュニケーションの送り手や内容に対する信頼性の変化、およびリスク源に関する社会的受容性や効用性の評価の変化等についても考慮すべきであろう¹⁹⁾。

V 文 献

- 1) 原子力委員会：原子力白書 平成2年版
- 2) Slovic, P. (1987): Perception of risk. *Science* 236, 280-285.
- 3) Slovic, P., Fischhoff, B. and Lichtenstein, S. (1981): Perceived risk: Psychological factors and social implications. *Proc. R. Soc. Lond. A* 376, 17-34.
- 4) 厚生省編：喫煙と健康-喫煙と健康問題に関する報告書 第2版-
- 5) 厚生省保健医療局精神保健課監修：我が国のアルコール関連問題の現状-アルコール白書-
- 6) ICRP (1991): Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Adopted by the Commission on November 1990
- 7) Upton, A.C. (1982): The biological effects of low-level ionizing radiation. *Scientific American* 246, 29-37
- 8) Covello, V., McCallum, D., Pavlova, M., Eds. (1989): Effective Risk Communication: The Role and Responsibility of Government and Nongovernment Organizations. pp 3-16. New York
- 9) Englander, T., Farago, K., Slovic, P. and Fischhoff, B. (1986): A comparative analysis of risk perception in Hungary and the United States. *Social Behavior* 1, 55-66.
- 10) Teigen, K.H., Brun, W. and Slovic, P. (1988): Societal risk as seen by a Norwegian public. *Journal of Behavioral Decision Making* 1, 111-130.
- 11) Goszcynska, M., Tyszka, T. and Slovic, P. (1991): Risk perception in Poland. *Journal of Behavioral Decision Making* 4, 179-193.
- 12) Kuklinski, J., Metlay, D. and Kay, W. (1982): Citizen knowledge and choices in the complex issue of nuclear energy. *American Journal of Political Science* 26, 615-642.
- 13) Hensler, D.R. and Hensler, C.P. (1979): Evaluating nuclear power: Voter choice on the California

nuclear energy initiative (Rand, Santa Monica, California)

- 14) 木下富雄、吉川肇子 (1989) : リスクコミュニケーションの効果 (3). 日本リスク研究学会 第二回研究発表会要旨集, 42-46.
- 15) 木下富雄 (1996) : 科学技術・物質のリスク認知と受容の構造. 日本社会心理学会第 37 回大会 発表論文集, 46-47.
- 16) Maharik, M., and Fischhoff, B. (1993): Risk knowledge and risk attitudes regarding nuclear energy sources in space. *Risk Analysis* 13, 345-353.
- 17) 林知己夫、守川伸一 (1995) : 原子力発電に対する態度構造 放医研環境セミナーシリーズ No.22 127-147.
- 18) Jenkins-Smith, H. and Bassett Jr., G. W. (1994): Perceived risk and uncertainty of nuclear waste: Differences among science, business, and environmental group members. *Risk Analysis* 14, 851-856.
- 19) 木下富雄 (1993) : リスク・コミュニケーション. 日本リスク研究学会誌 5 (1), 82-86.

2. リスク・コミュニケーション — 社会心理学的立場から

吉川 肇子
筑波大学社会工学系

Risk Communication – A Social Psychological Perspective

Toshiko Kikkawa

Institute of Policy and Planning Sciences

University of Tsukuba

1-1-1 Tenno-dai, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

In this article, the author tried to examine some problems of risk communication from a social psychological perspective. Firstly, four imperatives of risk communication were discussed. Secondly, cognitive limitations of people when dealing with risk information were examined. Thirdly, the reliability of information sources was discussed. Lastly, the author argued successful risk communication.

1. リスクコミュニケーションにおける問題の整理

リスクコミュニケーションについて、社会心理学的な立場から述べる。まず技術的なリスクコミュニケーションの問題について述べる前に少し、問題の整理をしたいと思う。

リスク・コミュニケーションにおいては、リスクはリスクとして伝えなければならないということが、最近改めて主張され始めている。こうした背景には人々には知る権利があるということが社会的な合意となり、その権利の確立が目指されているという社会的状況がある。

このような考え方の代表的なものとして、Stallen & Coppock(1987)が、リスク・コミュニケーションには以下の「四つの義務(imperative)」があると主張している。

- (1) 実用的義務：危険に直面している人々は、害を避けられるように情報を与えられなければならない。
- (2) 道徳的義務：市民は選択を行うことができるように、情報に対しての権利を持つ。
- (3) 心理的義務：人々は情報を求めている。また、恐怖に対処したり欲求を達成したり、自らの運命をコントロールするのに必要な知識を否定するのは不合理なことである。
- (4) 制度的義務：人々は、政府が産業リスクやその他のリスクを効果的(effective)かつ効率的(efficient)な方法で規制することを期待している。また、この責任が適正に果たされているとの情報を受けることを期待している。

これら4つの義務を果たしてはじめてあるべきリスク・コミュニケーションが実現されるのであるが、現実には上記の義務にかなったリスク・コミュニケーションが行われているとは限らない。

例えば、ある人々がリスクにさらされる可能性があるという場合、たとえその人々がリスクに関する情報を求めていなくてもリスクは伝えなければならないというのがリスク・コミュニケーションの基本的な立場なのである。リスクが小さいから、リスクに関する情報を人々が求めていないから、といって伝えないということが従来はしばしばあったが、このような場合は、少なくともリスク・コミュニケーションの実用的義務が果たされているとはいえないのである。このことに関して、人々がリスクを知っていること (awareness of risk) が重要であるというのが主張されている。

あるべきリスク・コミュニケーションが実現されていないという状況は、その問題のあり方によって、二つに分けることができる。

一つは、もともとリスク・コミュニケーションの送り手に、Stallen & Coppock (1987) のいう四つの義務の全部、または少なくとも一部を果たす意志のない場合である。例えば、先ほど述べたようにリスクにさらされている人がそのリスクについての情報を求めていないから伝えなくていいのだというのはこの場合に当たる。

もう一つは、リスク・コミュニケーションの送り手には四つの義務を果たす意志はあっても、それを阻む問題があるために、目的とするリスク・コミュニケーションが実現されない場合である。社会心理学が対象とするのは、後者の場合である。なぜならば、先に挙げた四つの義務を果たす意志の存在は前提とした上で、どのようにコミュニケーションを行うかという問題にこそ、コミュニケーションを技術として考える社会心理学の立場が生かされるからである。

2. リスク・コミュニケーションを阻む技術的な問題

1) 受け手の認知能力の限界

Slovic(1986) は、効果的なリスク・コミュニケーションを妨げる要因の一つとして、受け手の認知能力にいくつかの限界があることを指摘している。

第一の限界として、人々のリスク認知は、出来事の記憶しやすさや想像しやすさによって影響を受けやすいということが指摘されている。例えば、大災害や大量の報道によってリスク認知が非常に簡単に上ってしまう。このことに関して杉森 (1992) は、航空機事故の死亡者を多くと告げることによって事故のリスク認知が非常に上がる、過大に評価されるということを報告している。

第二の限界は、単にリスクがあることを指摘するだけでは、人々はかえってリスク認知を高めて、必要以上に恐怖を感じることもあるということである。

ここで一つ例をあげる。Epstein & Rouspenian (1970) の研究によれば、電気ショックを5%の確率で与える、と言われた人々と、95%の確率で与える、と言われた人々と50%の確率で与えると言われた人々を比較したところ、最も不安を示したのは5%の確率で電気ショックを与えると言われた人々であったという。彼らはこの結果を以下のように解釈している。すなわち、50%の確率で電気ショックが与えられる、あるいは95%の確率で電気ショックが与えられるという情報を受けた人は、おそらく本人にとっては、ほぼ100%の確率で電気ショックが与えられるであろうというふうに考えて、それに対して精神的な対処をする。これに対して、5%の確率で電気ショックが与えられると予告された人々は低い確率なのでおそらく電気ショックは来ないだろうと思う一方で、もし来たらどうしようというふうに考えて不安

を高めるせいではないかというのである。このように、単にリスクを提示するだけでなく、具体的にどのように、そのリスクに対処していくのかということ、リスク・コミュニケーションの中ではしなければいけないということが考えられる。

第三の限界は、リスク認知の限界というよりも、一般的な認知能力の限界によるものといえる。それは、人々の強固な信念というのは、容易に変え難いということである。リスク・コミュニケーションの分野でこの点が特に問題となるのは、例えば災害の場合の避難命令とか避難情報とかの、いわゆる災害情報である。こうした災害の際の情報について、このような非日常的事態を、人々が、これはそれほど重大な事態でなくおそらく安全であるというように、つまり日常的事態と解釈するために、避難が十分に行われないうような問題が多く指摘されている。

第四の限界は、第三の限界とは逆の認知傾向を指摘するものである。すなわち、リスク提示の仕方を少し変えるだけで、リスク認知を変えることができるということである。

これについては少し具体的に述べる。これはリスク認知に限らずフレーミング効果として知られているものである。フレーミング効果とは、一般にリスクを含む表現は、同じ期待値でリスクを含まない表現に比べ、そのリスクを過大に評価され回避される傾向があるというものである。

これを具体的にリスク・コミュニケーション場面で検討した研究に McNeil et al.(1982)の研究がある。彼らは、被験者に肺ガン患者になったと想定してもらい、2通りの手術方法のどちらかを選択するという状況に対する回答を比較した。具体的には、手術後1年以内の死亡率が32%と提示した場合と、手術後1年以内の生存率が68%と提示した場合では、どちらがより多く選択されるか、を比較したのである。もちろん、死亡率32%と生存率68%は全く同じ事象の裏表である。しかし、実験の結果、32%の死亡率と言われた手術方法の選択率が低くて、68%の生存率と言われた手術方法の選択率が高かったのである。このように同じものであっても生存率で伝えるか死亡率で伝えるかによって死亡率で伝えた方が回避される可能性が高いというのはこのまさにフレーミング効果に適合する現象であるということがわかる。

2) 技術的な問題 — ことに確率表現とリスクの比較について

以上の四つの認知能力の限界があることに加えて、さらにいくつか技術的な面で困難な問題があると考えられる。ここでは、言語確率表現とリスクの比較という、二つの問題について述べる。

その第1は確率情報をどのように提示するかということである。これに対しては、例えば炭鉱事故のリスクを、働いている100人当たりの死亡率で言うのか、あるいは10万人当たりの死亡率で言うのか、採掘量10トン当たりの死亡率で言うのか、いろいろな提示方法が考えられる。このように、確率を述べる際に、単に単位をどうするのかということだけで、リスク認知が変わってしまうということが知られている。

第2の問題は、数字でなく言葉でリスクを表現してみた場合の人々の感じかたの問題である。これを私たち(吉川ら、1994)は、日本語で検討を行ってみた。この研究は、薬の場合と検査の場合と化粧品の場合で、リスクの言語表現から受ける感じを比較したものである。表1に薬の場合の結果を示した。具体的な調査の手続きは、以下のようである。被験者に、ある薬を投与された(または化粧品を使用、検査を受ける、のいずれか)と想像させる。続いて、しばしば発疹が現れますとか、ごくまれに発疹が現れることがありますとか、発疹が現れますとかいうように、いろいろな表現を見せて、10万人いるとすれば何人くらいにこのようなことが起こるかを、推定させた。表1で示すように非常に表現によってばらつきがあるのはもちろんである。たとえば、「ときに発疹が現れます」という表現と、「ときに発疹が現れることが

表1 確率の推定

表 現	推定値 (10万人対)
しばしば発疹が現れます	4266
ごくまれに発疹が現れることがあります	17
発疹が現れます	45709
あまり発疹が現れることはありません	28
ときに発疹が現れます	55
めったに発疹は現れません	229
ほとんど発疹が現れることはありません	6
あまり発疹は現れません	5
まれに発疹が現れることがあります	170
場合によると・発疹が現れることがあります	41
ごくまれに発疹が現れます	10
発疹が現れることはありません	0.3
発疹が現れることがあります	676
ほとんど発疹は現れません	9
場合によると発疹が現れます	257
ときに発疹が現れることがあります	174
発疹は現れません	0.2
よく発疹が現れます	12589
まれに発疹が現れます	79
めったに発疹が現れることはありません	8

あります」(下線は筆者)という2つの表現を比較してみる。これら二つの表現は、文末の表現が違っただけで、頻度の副詞は同じであるのに、このように10万人で比較すると、回答には有意な差が現れる。すなわち、前者で55人程度に発疹が現れると思われているのに対して、後者の表現では、10万人に対して大体174人の割合で発疹が現れると受け取られている。

さらに、同じ言語表現であっても、対象によって、つまり、相手が薬であるか化粧品であるかによって実際に発疹の現れる確率がずいぶん違って受け取られていることもわかった。例えば、同じ「発疹が現れます」という表現であっても、薬なら非常に高い確率で起こるであろうという風に思われているが、化粧品では、薬ほどの高い確率で起こるとは推定されない。

以上に紹介した研究は、確率情報を伝えるときに、数字でだけで伝えるのでは、人々にとっては

理解するのが難しいであろうと考えて、言語的な表現を工夫してみたものである。しかし、このような結果からわかるように、わずかな表現の違いで、リスク認知が変わってしまうこと、また、それが何についての言語表現か、例えば薬であるのかあるいは化粧品であるのか、あるいは検査であるのかによって確率の推定が大きく異なってくること、という2つの難点が明らかになった。結果を検討すればするほど、確率の伝達を、数字でなく言語で行うことは非常に難しいと感じている。

さらに、リスクの提示の仕方でもう1つよく行われているのは比較による提示であるが、このような比較をする際に、内容の違うもの同士の提示はしてはならないといわれている(Mumpower, 1988)。たとえば、原子力発電所のリスクと喫煙のリスクを、死亡率に関して比較するようなことはあってはならないのである。たとえ喫煙を受容しているからといって、それよりも低いリスクの原発のリスクを受容するはずだということにはならないのである。リスクの比較について、このような厳しいとも思える制限をつけるのは、比較対象の選択によっては、意図的に人々のリスク認知を操作することが可能なためである。繰り返すが、リスク・コミュニケーションは、説得ではないので、故意にリスク認知を低めたり、高めたりする方向で、行われることがあってはならないのである。

3) 一面的コミュニケーションと両面的コミュニケーション

ここまでの結果を考えてみると、リスクを確率で提示することも、比較による提示方法も難しいということになる。ただ、従来の社会心理学的研究から、いくつかヒントになるのではないと思われる研究成果があるので、それについて、以下に述べる。

一つは、一面的コミュニケーションと両面的コミュニケーションについての研究である。これら二つのコミュニケーションは、古い説得研究で知られている2つのコミュニケーションの分類である。一面的コ

コミュニケーションというのは、唱導しようとする立場に関する賛成論だけを提示するやり方である。これに対して、両面的コミュニケーションというのは、唱導しようとする立場に関する賛成論だけでなく反対論もあわせて提示するということである。リスク・コミュニケーションというのは説得とは立場が違うが、リスク・コミュニケーションと説得ということと比較してみた場合、対象に関するネガティブな面も伝えるという意味でリスク・コミュニケーションは両面的コミュニケーションに近いということが言えると思う。

両面的コミュニケーションが、一面的コミュニケーションよりも、有効な場合というのが知られている。それは、主として以下の四つの場合である。

- ① 唱導方向の立場と反対の立場の受け手の場合。例えば、原子力発電についてのリスクを伝えることを例にとると、リスクのあることも伝える方が反対の立場の人に対してはより有効であるということ。
- ② 教育程度が一般に高い受け手の場合。
- ③ 説得話題に関する情報や知識を多く持っている受け手。
- ④ 受け手が逆宣伝に接する可能性がある場合。これは「免疫効果」として知られている。すなわち、両面的コミュニケーションで、あらかじめ反論に接していると、のちに反論を受けることがあっても、それに説得されにくくなるという現象を指す。現在は、色々な立場からの情報が流れている状況なので、例えば原子力発電所の問題についても良い面だけを情報として聞くということは少ないだろうと考えられる。受け手が逆宣伝、この場合で言えば、例えば原子力発電所の危険性についての宣伝を受ける可能性があると考えの方が現実的である。であるとすれば、原子力発電についてよい点ばかり伝えるような一面的コミュニケーションは、有効でないことが、容易に推察される。

4) 情報源の信頼性

両面的コミュニケーションが有効であろうということとともに、もう1つ説得の領域からの研究でわかることは、送り手の信頼性を高めることが非常に重要だということである。従来のリスク認知の研究では、リスク・コミュニケーションを行って人々の科学的知識の水準 (scientific literacy) を上げることで、リスク認知の水準を下げることができ、さらには社会的合意を得ることができると考えられていた。つまり科学的な知識を伝達して、人々が持っている、専門家から見れば不当に高いリスク認知を下げ、それによって新しい技術を受容してもらおうというふうに考えてきたわけである。しかし、現実には、急速に進展する科学技術について、一般の人々がリスクに関する情報を十分に理解し、その正当性について判断するために要求される科学的知識の水準は、非常に高いと考えねばならない。こうした水準を達成できると考えるのは非現実的である (Shamos, 1991)。むしろ人々はある限度の科学的知識の中で、信頼しうる情報源を選定し、その情報から認知や行動を決定していると考えた方が妥当であろう。これら信頼できる情報源がなにであるのかを明らかにすることは意義があることといえる。

さて、送り手の信頼性を規定する要因には従来何が知られているかということ、一つは専門性 (Expertise) である。そして、もう1つは誠実性 (Trustworthiness) である。専門性というのは、要するにその問題について十分な知識があって、いわゆるよくいう専門家であるということである。誠実性とは、当該の問題について、送り手は自ら正しいと信じていることを伝えているということである。情報操作の意図がないと受け取られているというふうに言っても良いと思う。

このような立場から主な情報源を見てみる。図1は、これは化学物質のリスクについての情報源を調べたドイツの研究である (Jungermann et al., 1996)。図のうち、Honesty というのが先ほど指摘した誠

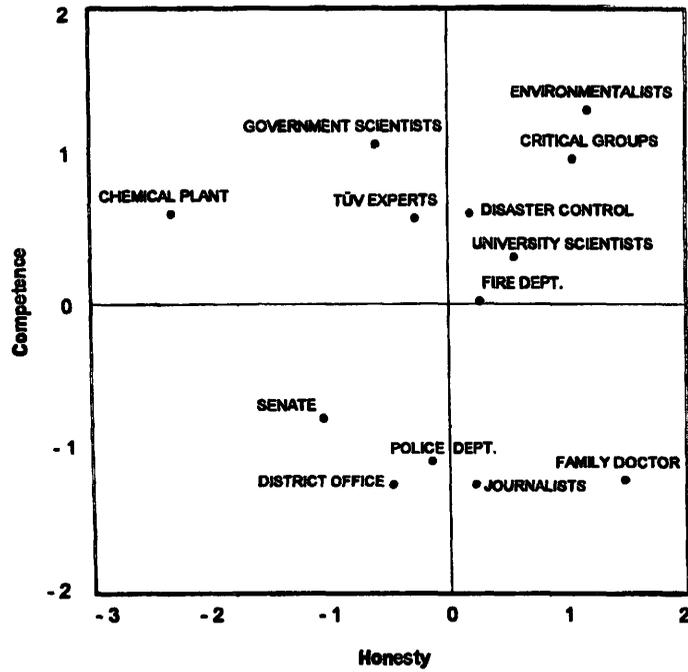


図1 Location of information sources in the two-factor space of trustworthiness. Jungermann et al. (1996)

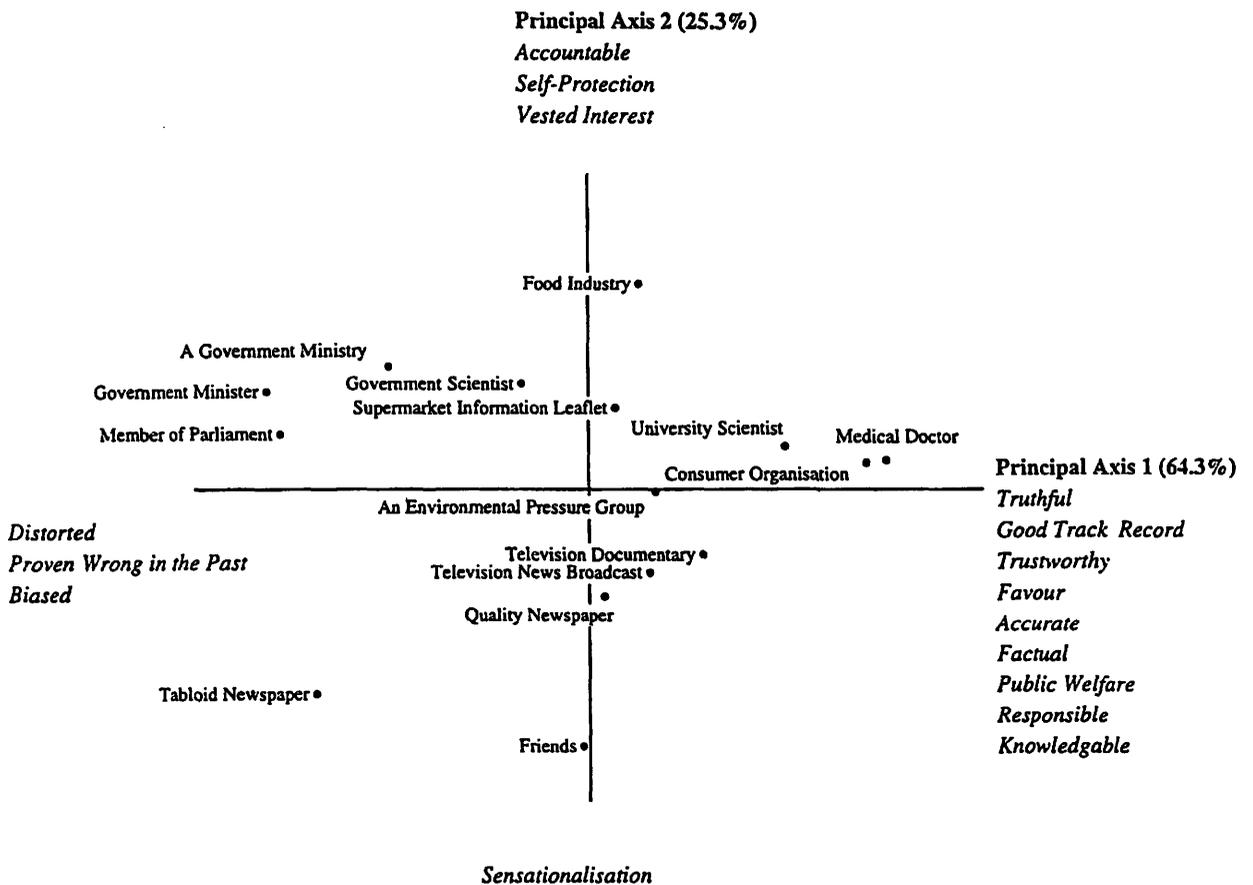


図2 Results from the survey study (study 3). Location of different information sources within the two-component space.

実性にあたる。また、Competence というのが専門性の要因である。誠実に情報を伝えているかどうかと
 ということで考えてみると、例えば、政府関係の機関は誠実性が低いと見られている情報源だということが

わかる。同様の研究がアメリカでも行われているので、それを紹介する (Frewer et al., 1996, 図 2)。これは、食品のリスクについての情報源について、調べたものである。やはりアメリカでも、政府関係の機関は情報の信頼性が低いと見られている。その要因を少し多変量解析的に調べてみると、例えばゆがんだ情報を与えているとか、過去に間違っただけを伝えたということが明らかであるというような、過去に何をしていたかというようなことが非常に信頼性を低めるのに働いているらしい。このような、信頼性の研究については、さらに日本でも、調べる必要があるのではないかと考えている。

3. よりよいリスク・コミュニケーション

最後に、より良いリスク・コミュニケーション (Successful risk communication) がどういうものかということについて少し考えてみたい。よいリスク・コミュニケーションを行った結果であっても、それがより良い決定に結びつくとは限らないといわれている。また、社会的合意や斉一的な個人的行動に達する必要があるともいわれている (National Research Council, 1989)。何よりもまず、リスク・コミュニケーションにおいては、信頼の醸成とか議論ができるような社会的風土を向上させることが、重要であると考えられる。

引用文献

- 1) Epstein, S. & Roupelian, A. (1970) Heart rate and skin conductance during experimentally induced anxiety: The effect of uncertainty about receiving a noxious stimulus. *Journal of Personality and Social Psychology*, 16, 20-28.
- 2) Fewer, L. J., Howard, C., Hedderley, D., & Shepherd, R. (1996) What determines trust in information about food-related risks? Underlying psychological constructs. *Risk Analysis*, 16, 473-486.
- 3) Jungermann, H., Pfister, H. R., & Fischer K. (1996) Credibility, information preferences, and information. *Risk Analysis*, 16, 251-261.
- 4) 吉川肇子・菅原康二・岡本真一郎 (1994) 副作用表現がリスク認知に及ぼす影響 日本リスク研究学会第7回研究発表会論文集, 92-95.
- 5) McNeil, B. J., Pauker, S. G., Sox, H. C., Jr. & Tversky, A. (1982) On the elicitation of preferences for alternative therapies. *New England Journal of Medicine*, 306, 1259-1262.
- 6) Mumpower, J. L. (1988) Lottery games and risky technologies: Communications about low-probability/high-consequence events. *Risk Analysis*, 8, 231-235.
- 7) National Research Council (1989) *Improving risk communication*. Washington, D. C.: National Academy Press.
- 8) Shamos, M. H. (1991) Scientific literacy: Can it decrease public anxiety about science and technology? In D. J. Roy, B. E. Wynne, & R. W. Old (Eds.), *Bioscience ⇄ Society*. Wiley & Sons.
- 9) Slovic, P. (1986) Informing and educating the public about risk. *Risk Analysis*, 6, 403-415.
- 10) Stallen, P. J. & Coppock, R. (1987) About risk communication and risky communication. *Risk Analysis*, 7, 413-414.
- 11) 杉森伸吉 (1992) 航空機事故の規模が主観的リスクに及ぼす影響 日本心理学会第56回大会発表論文集, 538.
- 12) Tversky, A. & Kahneman, D. (1981) The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211, 453-458.

事故の社会的影響

黒田 勲
早稲田大学人間科学部

Social Impact of Accidents

Isao Kuroda

School of Human Sciences, Waseda University
2-579-15 Mikashima, Tokorozawa, Saitama 359, Japan

ABSTRACT—There is the quite big difference between technological risk and social risk feeling. Various biases of social and sensational factors on accidents must be considered to recognize this difference.

“How safe is safe enough” is the perpetual thema concerning with not only technology but also sociology.

The safety goal in aircraft design and how making effort to improve the present safety status in civil jet aircrafts is discussed as an example of social risk allowance.

INSAG under IAEA started to discuss the safety culture after Chernobyl nuclear power plant accident on 1986. Safety culture and risk communication are the most important procedures to relieve the social impact for accidents.

I はじめに

現代社会における企業のリスクは大変多様である。「製造者責任」、「規制違反」、「知的所有権紛争」、「契約紛争、訴訟」、「不良債券」、「犯罪、スキャンダル」、「犯罪被害」、「工場災害」、「不可抗力災害」など多くのリスクが潜在している。

本報において、主として科学技術に関連する事故が社会に与える影響について述べてみたい。

本来、技術的リスクは次の式で表すことが出来る。

$$\text{リスク (R)} = \sum_i \text{発生頻度 } f_i \times \text{損害 } C_i$$

損害としては機材、設備、施設、金額等の物的損害と人命の損害を含んでいる。

しかし、この式は社会的リスク感覚を必ずしも正確には現していない。例えば、1995年の日本における交通事故死者数は、10,679名であり、1996年6月15日には戦後の累積交通事故死者が50万人を超え、負傷者は2,520万人を超える社会的重大な事故である。

一方、1994年4月26日に、名古屋国際空港で発生した中華航空機事故では264名が犠牲となっている。1995年の交通事故の死者は、中華航空機事故が実に40件発生したに相当する人命のリスクであるにもかかわらず、社会的インパクトは同じではない。

社会的リスク感覚を表す式として次の式を提唱している。

$$R = \sum_i f_i C_i^n$$

ここにあげた冪指数 n は社会的影響の係数を示すもので、次のような多くの要因が関連している。「重大損害を生ずる可能性」、「普段から慣れているか」、「理解出来るか」、「自分が制御できるか」、「暴露への自発性」、「子供への影響」、「効果発現までの時間」、「将来の世代への影響」、「影響を受けるものの同定」、「懸念」、「施設、設備への信頼」、「事故の歴史」、「損害の平等性」、「受ける利便」、「可逆性」、「原因（人的か、自然現象か）」などで、それぞれの社会、国、文化、経済状態、時代的要素などによって変動する。

期待される技術リスクが同一の場合には、稀に起こるリスクの受容度は日常的リスク受容度よりも大きいと言う「カタストロフィ・バイアス」がかかり、逆にリスクがある範囲内で、通常化している場合には、なるべく正常の文脈で見ようとする「正常性バイアス」がかかると広瀬は言っている。¹⁾

安全の定義としてローレンスは「許容限度を超えていないと判断される危険性である。」としている。

果していかなる危険性について、その社会的許容限度としての Safety Goal をどこに置くべきか、あるいは“How safe is safe enough”と言うレベルをいかに見出し、いかなる科学的方法で判断するかは、技術的問題であると共に主に社会科学的課題でもある。

II 航空機設計時の安全達成目標と安全性改善の努力

例を航空機にとって見ると、航空機設計時の安全度の達成目標は米国の FAR においても、欧州の JAR においても、1960年代からの安全性の詳細な統計分析から航空機の飛行時間に関して次のようにほぼ同様に規定されている。²⁾

	発生頻度
破局事象（航空機の破壊、多数の死亡者）	10^{-9} 以下
危険事象（安全余裕の大幅低下、乗員が全力で解決、一部の死亡、重症）	10^{-7} 以下
重大事象（安全余裕の相当低下、悪条件で乗員の対応困難、乗客負傷）	10^{-5} 以下
軽微事象（運航上の制約、緊急操作）	10^{-3} 以下
（運航に軽微な障害）	10^{-3} 以上

各段階の発生頻度に関しては、詳細な安全性評価の手順が示されている。

これらの規定の根拠は、まず通常の民間ジェット旅客機の全飛行時間は 5×10^4 時間を耐用命数としており、民間航空会社の保有機数が 200 機の場合、これらの全航空機を使用し終わるまでの時間は 10^7 である。その期間に重大な航空事故を 1 件以下にとどめようとするものである。この程度の安全性ならば、社会的安全許容度に見合うと考えられ、それを目標として設計されている。

しかし、最近の全世界の定期民間航空の航空大事故率は平均 10^{-6} で、目標の約 10 倍発生している。最近の航空事故率は微かに増加傾向をさえ示しており、一方、航空需要は継続して進展しているので、年間の事故件数は増加しつつある。このため安全な輸送手段として航空輸送が社会に受け入れられるためには、今世紀中に事故率を半減させる必要があるとして、全世界の航空安全担当者の努力が重ねられつつある。

航空事故の主原因の約 60 %は、運航乗務員のヒューマンファクターに起因して発生している。さらに全航空事故の約 50 %は離着陸時に集中して発生しており、いわゆる「クリティカル、イレブンミニユツ(死の 11 分)」と呼ばれる飛行フェーズに起きている。これらの事故形態を解明するとともに、ヒューマンファクター、ハードウェア、航空支援環境を含めた広範囲の諸問題について世界的規模の研究、調査や、教育訓練、さらに自動化の問題について精力的なアプローチがなされている。

1985 年の日本航空機 (B - 747) 事故、1988 年のアロハ航空機 (B - 737) 事故、1989 年のユナイテッド航空機 (DC - 10) 事故などは、いずれも航空機の設計目標を超える異常状態が発生した例である。このようなデザイン・ベースを超える異常事象に対するための教育訓練のあり方や、その支援システムのあり方などの研究も実施されている。³⁾

Ⅲ 安全文化とリスク・コミュニケーション

1986 年に発生したチェルノブイル原子力発電所の事故は、国際評価尺度からしてもレベル 7 に相当する深刻な事故であり、近隣諸国に重大な放射能の被害を及ぼし、その影響は現在なお継続している。この事故の影響によってわが国の原子力発電の推進についての国民世論は、1986 年を境に大きく逆転して反対意見が 41 %と、賛成の 34 %を上回った。1995 年 12 月に発生した「もんじゅ」事故においては、事故事象の国際評価尺度からすると、非常に低いにも関わらず、チェルノブイル事故を上回る国民世論の反応が示された。すなわち反対は 44 %となり、賛成の 38 %を上回り、73 %の国民が大事故の不安を表明し、56 %が技術、管理によって安全を確保出来ないとしている。⁴⁾

このことは技術的リスクと、社会的リスク感覚とが大きく食い違っていることを示している。その主要な背後要因として阪神大震災を契機として、安全に関連する科学技術に対する国民の市民意識が大きく変化している時点に発生したことも影響している。高速増殖炉への大きな期待の逆反応、高速増殖炉の安全性に対する原子力関係者、組織の安全の価値感、安全文化のあり方についての不安、不信、国の原子力政策に対する疑念等の存在を考えなければなるまい。

安全の問題は、確かに純技術的問題であるように見えるが、実は科学技術は安全保持のための一つの方法に過ぎず、それをシステム構成に採用するか否かは、組織が持っている社会的な安全責任の表徴としての安全文化にもとづく価値概念である。この価値概念は末端の作業者の発生事象に対する判断基準、操作選択の基準として大きな影響を与えている。

チェルノブイル事故後、IAEA の原子力安全諮問委員会 (INSAG) は数次にわたる検討を重ね、安全に関するポリシーの確立、その目的に向かっての一致協力態勢の確立、責任の明確化、相互のコミュニケーション、的確な手順書の作成と厳守、厳しい内部監査、率直なエラーの報告とそれを受け入れる開かれた組織の姿勢等を挙げている。⁵⁾

科学技術システムが 100 %の安全性を永続して保持出来るというのは幻想であることは、その歴史が示している。そのため科学技術システムを運用するものは、常に安全を阻害する要因を事前に予測し、的確な対策を講じる努力をする必要がある。またそのシステムに潜在するリスクについての社会的理解と許容度に配慮し、リスク・コミュニケーションに努力することが肝要である。これらの長期間の努力と安全の歴史が、はじめて安全を安心に高めて行くことが出来ることを認識する必要がある。

IV 文献

- 1) 広瀬弘忠 : Security, 63, 52-55 (1991)
- 2) E. Lloyd and W. Tye: Systematic Safety, Civil Aviation Authority, London (1982)
- 3) 黒田 勲 : INSS JOURNAL, 1, 227-236 (1994)
- 4) 朝日新聞 : 1996. 2. 25
- 5) IAEA: Safety Series, 75-INSAG-4, 1991

生体リスク評価の諸問題

松原純子

横浜市立大学看護短期大学部

Estimation of Health Risks and About What we should Discuss Now

Junko Matsubara

Yokohama City University College of Nursing

3-9 Fukuura, Kanazawaku, Yokohama 236 Japan

ABSTRACT – Reviewing various trials to estimate risks from environmental factors to human quantitatively, the author summarizes several check points which should be clarified and should be discussed now. Mathematical definitions of hazard and risk are proposed. Since we already have enough evidences about hostdefense in organisms agent against harmful, we should reconsider the linear dose response hypothesis and consider the contribution of life style which effects significantly the potential of the defense power of an individual.

1. はじめに

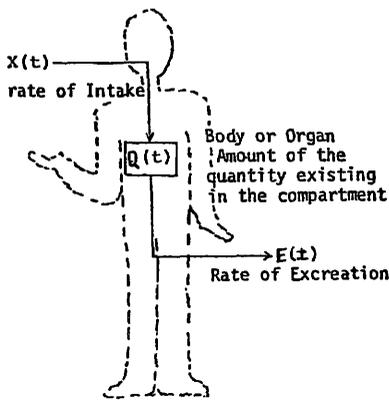
チェルノブイリ原子力発電所事故に象徴されるまでもなく、科学技術の応用は人類に大きな利便性を与えていると同時に、さまざまな新技術のリスクをもたらしている。広島・長崎の原爆の悲劇やチェルノブイリでの災害の経験から、人々によって放射線の恐ろしさが語り伝えられる。そのたびに私は、恐ろしいのは放射線ではなく、それを使う人間であることを思う。人間の在りよう如何によって、両者の災害は未然に防げたはずである。来世紀には、さらに地球人口の増加と資源の減少に対処するため、原子力そのほか新しいエネルギー源の開発が精力的に進められる時代となろう。同時にリスクを伴う技術を安全に操作する人間側の責任はさらに増大する。私はこれまで環境医学や疫学の分野で仕事を進めてきたが、これらとは別に、健康リスク関連の諸問題を対象として、学際的なリスク科学を構築し、用語、方法論、哲学等を共有できる科学の1分野を形成して論議を進めるとともに、為政者、専門家、のみならず公衆への総合的リスク教育を行うことの必要性を主張してきた。教育とは、未来の生命に向けて、過去と現代の精神のトータルを受け渡す行為であると考えれば、子供達が人間の失敗から学ぶことの貴重さにも眼を向けるべきである。地球上のさまざまな有害要因から人々が自身の安全と健康を守る努力の中で、広島長崎の原爆投下、世界的核実験競争、水俣病などの公害問題、TMI やチェルノブイリ原子力発電所事故、近年はいくつかの地球環境問題、狂牛病と牛肉輸出入問題、O157 大腸菌中毒事件、薬害、大気汚染、AIDS 流行などは、人類への危害を防止し、未来の安全哲学を樹立するために典型的な素材を与えていると思われる。

その中で環境医学が形成され、近年は各種環境要因の人への健康リスクの評価¹⁾が課題となっている。

2. 健康リスク評価の現状と問題点

生体へのリスクを評価するには、(1) 環境(外界)に存在するリスク要因を同定し、生体への曝露、摂取、吸収、蓄積の各段階で、量的推定を行い、それらの情報に基づいて健康影響を評価する場合と、(2) 逆に影響をうけた人間集団の疫学調査により外的内的リスク要因を推定し、それらの影響度を非曝露集団の値と比較することにより、リスクの相対的評価をする場合とがある。

いづれにせよ、それらの研究調査により得られるデータは、それぞれにディメンジョンや性質が異なるので、得られた推定値と、われわれが評価しようとする健康リスクとの関係を明らかにし、介在する問題についても検討するべきである。



$$Q(t) = \int_0^t X(t') r(t-t') dt'$$

$r(t)$: retention function
 $D(t)$: dose
 $D(t) \propto \int_0^t Q(t) dt$

放射性物質摂取のT日後に、ある問題臓器での線量当量[†]、**H**シーベルト (Sv)[†]は、

$$H = \frac{1.38e}{m \cdot 10^{10}} \int_0^T f_2 \cdot q_0 \cdot R(t) e^{-\lambda t} dt$$

ただし

- $R(t)$: 放射性物質の全身残留関数
- λ : 放射性物質の崩壊定数
- q_0 : 放射性物質の摂取量 (一回摂取ならば定数だし、連続摂取の時 $q(t)$ となる。単位はベクレル (Bq)¹⁰⁾)
- f_2 : ある問題臓器での残留が全身残留に占める割合
- m : 臓器質量 (グラム、g)
- ϵ : 1崩壊あたりの実行吸収エネルギー
 この場合 $\epsilon = \sum E \cdot F \cdot Q \cdot n$
- E : 放射線のエネルギー
- F : 娘核種の壊変数/親核種の壊変数
- Q : 線質係数 (放射線の種類や質の違いによって定める、吸収線量にかける荷重係数)
- n : 均一に分布しない時の修正係数

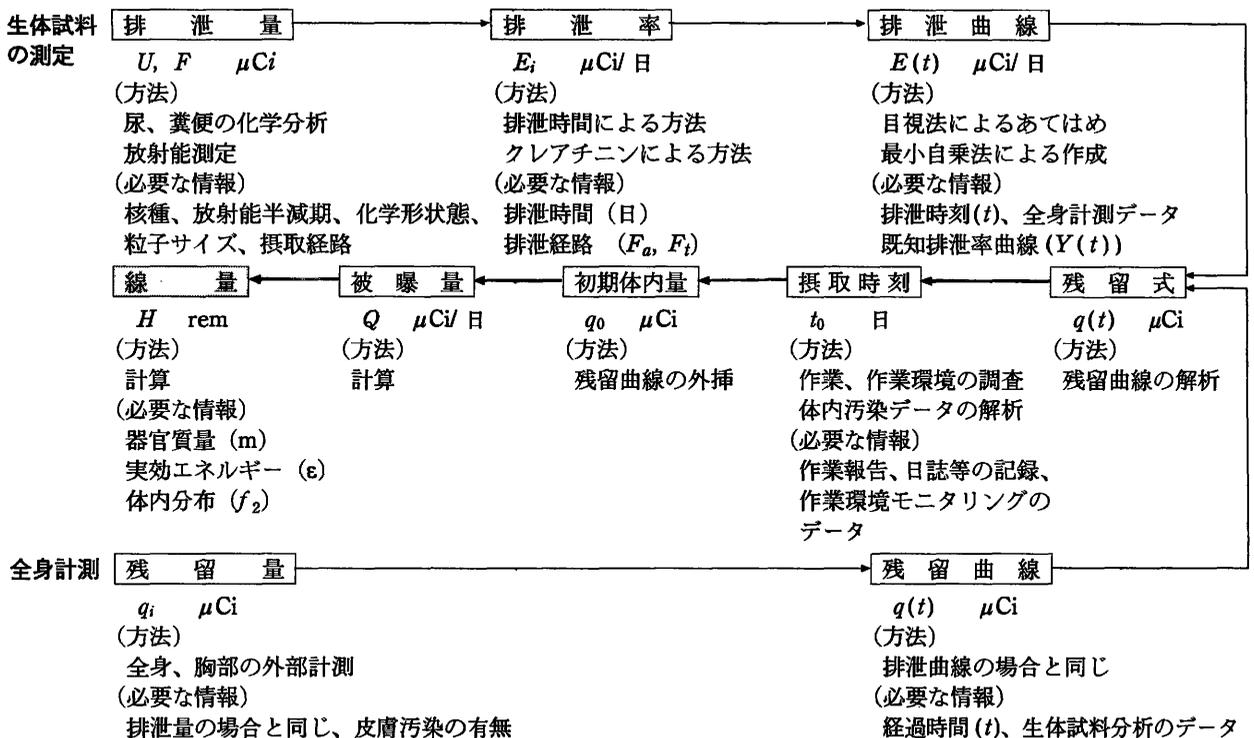


図1 内部被曝線量算出の手順 (松原、1989¹¹⁾)

2. 1 さまざまなリスク推定の場面

- 1 放射線内部被曝 (図1に考え方の概略を示す、以下同様)
- 2 生態系へのカドミウム汚染 (図2 A) (図2 B)
- 3 水系汚染による肝炎リスク定量化 (図3)

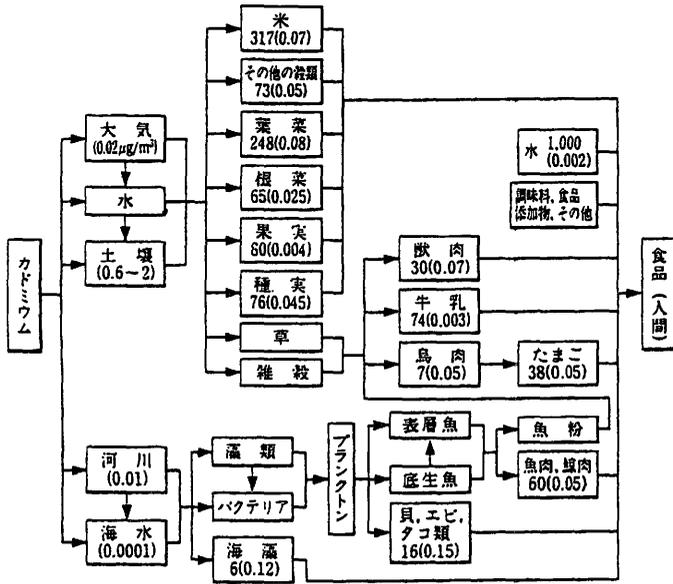


図2 A 人と有害物質 (カドミウム) の食物連鎖の大略

(横橋、鈴木、松原：人間の生存に関わる自然環境に関する基礎的研究、1973より。)

□内の数字は平均1日各食品群摂取量 (g)、() 内は Cd 濃度平均値 (ppm、生重量対) を示す。

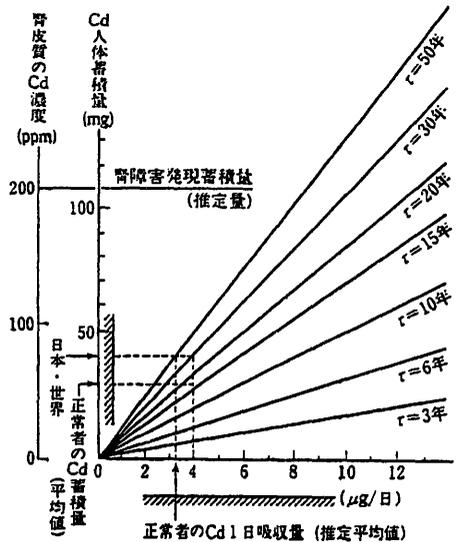


図2 B 生物学的半減期別にみた 50 歳時での人体 Cd 蓄積量および腎皮質濃度と Cd 1 日吸収量の関係 (同左)

1. Hepatitis A の人体影響 (4 週潜伏後発症) ; リスク = $0.5 \times$ 病原性糞便 gram 数 / 0.1gram
ボランティア投与と実験の結果で 0.1gram での発症結果の UCL は 50 %であった。
2. 病原性糞便の量 ; 平均成人の尿尿中、0.3mg / liter
[1966-1967 年、米国発病実績 ; 22-29 人 / 100,000 人、未報告を入れ 50-200 人 / 100,000 人と想定される。発病率 5-20 % とみなせば、潜在患者 1,400-4000 人 / 100,000 人、ゆえに感染率を 1000 人 / 100,000 人 (-1 %)、発病率を 100 人 / 100,000 人 (-0.1 %) とみなす。
平均成人の糞便は 100-200gram (wet) / 日 / 450liter 生活用水 / 日 0.3gram / liter、その 0.1 % (1 / 1000) すなわち、0.3mg / liter 生活用水-下水道水となる] が病原性
3. 水系でのウイルス濃度 ; 1) 下水処理による低減 ; 95 %、すなわち 0.05 残留
2) 水系での希釈 ; 1/10、すなわち 0.1 残留
4. 摂取の可能性とリスク ; 1) 夏期、水泳による水の摂取 ; 10ml / 人・日
摂取病原性糞便量 ; $-0.3 \text{mg} / \text{lit} \times 0.05 \times 0.1 \times 10 \text{ml} / \text{日}$
 $1.5 \times 10^{-8} \text{g} / \text{日}$
発病リスク - $0.5 \times (1.5 \times 10^{-8} / 0.1) - 7.5 \times 10^{-8} / \text{日}$
(日々、水泳者 1 億人中 7-8 人水系水泳で発病)
2) 水道水の飲用による摂取 ; 1.6liter / 人日
浄水処理での低減 ; 99.99 % 不活化、0.0001 残留とみる
摂取病原性糞便量 - $0.3 \text{mg} / \text{lit} \times 0.05 \times 0.1 \times 0.0001 \times 1.6 \text{lit} / \text{日}$
 $-2.4 \times 10^{-10} \text{g} / \text{日}$
発病リスク - $0.5 \times 2.4 \times 10^{-10} / 0.1 - 1.2 \times 10^{-9} / \text{日} - 4.4 \times 10^{-7} \text{人} / \text{年}$
(年々、1 千万人中、4-5 人発病)
人の生涯を 70 年とみれば、 3×10^{-5} の発病リスクとなる。

図3 水系汚染による肝炎リスクの定量例 (N. J.Hutzler and W. C. Boyle, ASCE, EE5, Oct., 1980)

総合討論

放射線被ばくによる社会的影響について

- ① 研究が進んでいない認識がある。どこに問題点があるのか。
- ② 研究評価を含め、放射線被ばくによる社会的影響の研究を進める方法論
- ③ 今後どのように進めるか

を自由討論した。発言要旨は次の通りであった。

・①について

菅原（体質研究会）

この研究の重要性が認識されていなかった。研究者も生物学の知識を教えればよいという基本的認識があった。研究を進めるためには社会的信頼が必要である。情報公開が重要であるが、公開したことにより生じる社会的影響までは考えていないのが現状である。この影響を予知して、進んで研究していくべきである。この研究を放射線医学総合研究所が中心になって進めるべきである。

チェルノブイリ事故影響に関しては、ソ連の社会・文化の背景を考慮すべきであり、事故以前の医療事情や社会背景をいれての研究や考察が必要である。社会的背景をさかのぼって勉強することで正しい認識ができる。

座長

社会的影響にはプラスとマイナスがあるのでこの両側面をあわせて論じる必要がある。

保田（放医研）

リスク研究者は、客観的、技術的リスクを重んじるタイプと主観的、精神的リスクを重んじるタイプの2つに大別できる。リスクを論じるときにはどちらを重視するかを明らかにしておく必要がある。死亡率などの客観的リスクと主観的イメージは通常異なるので、リスクをイメージを含めて捉える方法に関する科学的体系が必要である。

田中（放医研）

チェルノブイリ事故と同じことが日本で起きたらばどうであろうか。ヨードについては問題ない。他国では事情が異なり、ヨード不足で死亡もあり得る。従って、国により個々の危険の認識には差がある。学会により演者の危険を表現する態度に違いが見られる。それがどうかと思う。

・③今後どのような研究方向をめざすか

黒田（早稲田大学）

科学技術例えば原子力では先に科学があって、その理論が正しくて、理解できないのが悪いと言われる印象を持っている。受け手への斟酌が足りない。社会の受け止め、反応自体が事実なのである。これを踏まえて我々は何をなすべきかを考えなくてはならない。不確定性対応の方法論の研究が必要である。

II 学際的研究

このような研究を実施していくには学際的になるが、今の放医研の組織や役割で果たして取り扱えるか疑問である。しかし工夫してやっていきたいと思う。

具体的問題として影響の尺度、社会的影響をどのようにして計れるか。影響の尺度、指標、定量化にファジー理論の適用の提案。これはアナログ解析である。これらがつながって、Public Relations すなわち一般の人たちとの交流を通じて何か方法を開発し展開させていけるかなと考えている。

一般的な影響評価のための尺度とはなにか。

藤元（放医研）

いろいろな場面のいろいろなケースをシステムチックに同じ指標を用いて評価することはかなり難しい。放射線に関しても防護の枠組みの中で考えている。広げると地球全体まで、その先まで話を拡大すると指標が大きくなっていく。枠が広がりすぎると研究が難しくなる。個人的見解として、医学が進みすぎると生命の維持が容易になり、適切でない形質が子孫に伝わる確率が大きくなって、種として弱くなることを懸念する。すべての分野を理解できる人がいなくなっている現在、体制で対処してすべてをカバーできるような指標を拵えていくようなことはますます難しくなっていくが人類は取り組むべきである。

松原（横浜市立大学）

藤元さんと同じような意見を持っている。有害物質の場合、有害な面だけを評価してきた。例えばカドミニウムについては、量により評価が異なり、量が多いと腎疾患等を起こしたり、毒性も強い。しかし少量の摂取であって体が十分に健康であれば、一時的に生体防御機構を活性化するし、亜鉛と同時摂取では害がないのではないかと思う。重金属類は上手に摂取したり注射したりすればかなりのベネフィットもある。そのような意味でリスクだけの総合尺度ではなくて、ベネフィットも加味した、トータル・インデックスができれば一番良いと思う。ディメンションが異なるので難しいかもしれないが、試みとしてできるのではないかと思っている。

（このセッションは座長が要旨を記述した。よって記述の至らぬ点は座長の責任である。）

わかっているものには限りがあり、人間に対してそれがその通りに動くかと言えば、それは全く異なる面があるかもしれない。不確定性のあるものについてやらざるを得ないときにはそれをどうフォローするか、どういうふう近づけていくかというような研究を是非ともしていただきたい。

米原（放医研）

今まで社会的影響を含めた研究をこれまであまりやられなかった原因は、この基準で研究を進めると科学的でなくなるという考え方があるかもしれないからである。放射線の影響は身体的および遺伝的のみであると科学的には認められている。しかし発がんのリスクがあるということで精神的な苦痛が生じ、がんが増えているということがあれば、社会的影響もがんの発生頻度の修飾因子となっているということになり得る。中根先生の研究例は精神的影響が発がんに及ぼす影響も含んでいる可能性を示唆している。したがって、精神的苦痛が発がんの発生頻度の修飾因子となり得るであろう。疫学的データを正しく解釈するためにも、純粋な生物影響だけが科学的であるということではなくて社会的なものを含めて放射線影響の研究を進めていくべきである。

菅原（体質研究会）

放射線以外の方からうかがった問題も大切。原子力だけで閉じた社会的問題とせず、原子力はエネルギー源の一つであり、社会的環境として我々の環境には自然放射線がありその中に我々は住んでいる。社会的影響を原子力のリスクの範囲のみで考えるのではなく、すべてのリスクの中で考える研究の態度が必要である。米国での見聞で低レベルのリスクの暴露は放射線でも化学物質であろうと皆同じで問題があり、リスクが確定されないが、いろいろなリスクが言われている。これを皆で議論し、問題を共有しようという立場がある。そうすることで研究としてもその辺から方法論的に新しいことも得られるだろうし、社会に話をするということにも役立つ。何に priority を置くかということ、専門家と一般とでは大分違い、歴然としている。これを宥和させる必要がある。米国では public panel with technical assistance を州ごとに始めている。環境問題を public の中で議論するが、専門家はデータは提供してよく理解してもらおうように背後で努力する。このようにしていくつかの州でかなり専門家のやっていた研究の priority と一般の priority が近づいた答えが出たという話があった。こういうこともあるので社会的問題をやるときに一般の社会の方がどう受け止めているかを、何とかして、アンケートも良いが一緒になって議論できてやる方法も大変大事であると思う。

小林（放医研）

社会的影響の具体的研究課題を呈示したい。

I 社会的影響研究

1. Psycho-somatic 疾患とそれへの対応 放医研の研究に一番近い。緊急対応。
2. 社会経済的影響 ALARA, Cost-benefit 我々の範疇にはいる。これまでやっていなかったが、そろそろ入れる時期か。
3. 社会生活への影響-文化文明論的 直接やれないが PA の観点から考える問題。
4. 政策・政治影響的 原子力発電、エネルギー方策に対してどうか、我々の研究範疇からはずれているが。

第24回放医研環境セミナープログラム

放射線被ばくの社会的影響の評価

— チェルノブイリ事故から学ぶ —

主 催：放射線医学総合研究所

共 催：日本保健物理学会

開催日：平成8年12月5日(木)・6日(金)

場 所：放射線医学総合研究所 講堂

時 間	セ ッ シ ョ ン ・ 講 演 タ イ ト ル	演 者	座 長
第1日目	-12月5日(木)-		
9:45~10:00	開会の辞 共催学会長挨拶	平尾 泰男(放医研所長) 草間 朋子(日本保健物理学会)	
	セッションI チェルノブイリから10年		
	1. IAEA 国際会議 (1996年4月)		藤元 憲三(放 医 研)
10:00~10:30	1-1 概要	内山 正史(放 医 研)	
10:30~11:00	1-2 健康影響-甲状腺障害	長瀧 重信(長 崎 大)	
	2. 社会的影響		中村 清(放 医 研)
11:00~11:30	2-1 食品の輸入規制	出雲 義朗(公衆衛生院)	
11:30~12:00	2-2 在外邦人とヨード剤	館野 之男(放 医 研)	
12:00~12:30	2-3 国際協力 マスククリーニング	星 正治(広 島 大)	
12:30~13:45	昼 食		
	特別講演I		
13:45~14:45	原爆被ばく者の精神健康状態	中根 充文(長 崎 大)	中村 裕二(放 医 研)
	セッションII チェルノブイリ事故から学ぶ		篠原 邦彦(動 燃)
14:45~15:15	1. 放射線影響の社会的特異性	草間 朋子(東 大)	
15:15~15:45	2. 事故初期の医療	赤沼 篤夫(放 医 研)	
15:45~16:15	3. チェルノブイリ事故から学ぶ-介入	保田 浩志(放 医 研)	
16:15~16:30	コーヒープレーク		
	特別講演II		熊澤 蕃(原 研)
16:30~17:30	リスク認知	岡本 浩一(東英女院大)	
17:30~19:00	懇 親 会		
第2日目	-12月6日(金)-		
	セッションIII 種々のリスクの社会的影響		石樽 信人(放 医 研)
9:30~10:00	1. 放射線被曝の社会的影響と疫学調査	吉本 泰彦(放 医 研)	
10:00~10:30	2. 放射線防護におけるリスク評価の問題点	米原 英典(放 医 研)	
10:30~11:00	3. 環境汚染の神経行動影響 (光化学スモッグ、鉛中毒事件を例として)	荒記 俊一(東 大)	御園生 淳(電 中 研)
11:00~11:30	4. 大気汚染と社会的影響	村上 正孝(筑 波 大)	
	セッションIV リスクコミュニケーション		隈元 芳一(放 医 研)
11:30~12:00	1. リスク認知の学習効果	神田 玲子(放 医 研)	
12:00~13:15	2. 社会心理学的観点から	吉川 肇子(筑 波 大)	
12:30~13:45	昼 食		
	特別講演III		小林 定喜(放 医 研)
13:45~14:45	事故の社会的影響	黒田 勲(早 大)	藤高 和信(放 医 研)
	特別講演IV		
14:45~15:45	生体のリスク評価の諸問題	松原 純子(横浜市大)	
15:45~16:00	コーヒープレイク		
	総合討論		内山 正史(放 医 研)
16:00~16:30	社会的影響評価の問題点		
16:30~16:35	閉会の辞	稲葉 次郎(放医研科学研究所)	

第24回放医研環境セミナー実行委員会委員一覧

(所属は平成8年12月現在)

委員長	内山正史	(人間環境研究部長)
副委員長	藤元憲三	(人間環境研究部)
委員	上島久正	(人材基盤研究部)
〃	隈元芳一	(放射線科学研究部長)
〃	石樽信人	(内部被ばく・防護研究部)
〃	米原英典	(人間環境研究部)
〃	神田玲子	(人間環境研究部)
〃	保田浩志	(第3研究グループ)
〃	吉田 聡	(第4研究グループ)
〃	渡部輝久	(那珂湊放射生態学研究センター)
事務局	小川清一	(広報専門官)
〃	川上利彦	(企画室)

放医研環境セミナーシリーズ No.24

放射線被ばくの社会的評価

— チェルノブイリ事故から学ぶ

平成9年3月発行

編集 内山 正史

編集協力 小川 清一／川上 利彦

放射線医学総合研究所

〒263 千葉県稲毛区穴川4-9-1

電話 043-251-1111