

健康管理検討委員会報告

平成12年3月27日

原子力安全委員会
健康管理検討委員会

U

U

健康管理検討委員会報告 目次

はじめに	1
1. 放射線の基礎と人体への作用	2
1-1. 放射線の基礎	2
1-1-1. 放射線の種類と性質	2
1-1-2. 放射線に関する単位	3
(a) 放射線のエネルギーを表す単位	3
(b) 吸収線量	3
(c) 線量当量	3
(d) 組織線量当量と実効線量当量	4
(e) その他の放射線に関する単位	4
1-2. 放射線の人体への作用	5
1-2-1. 放射線の物理的作用	5
1-2-2. 放射線の化学的・生物学的作用	6
2. 放射線による健康影響	7
2-1. 放射線と健康影響（放射線障害）の知見	7
2-2. 放射線による健康影響の区分	8
2-3. 確定的影響	10
2-4. 確率的影響	14
2-4-1. 確率的影響とは	14
2-4-2. 放射線量とがんの発生確率の関係（線量反応関係）	15
2-4-3. 放射線に起因する過剰がん死亡の大きさ	19
2-4-4. 被ばくによる過剰がんの時間的なパターン、年齢の影響	20
2-5. 胎児への影響	21
2-6. 遺伝的影響	21
3. 今回の事故による線量	23
3-1. 周辺住民等の線量	23
3-1-1. 今回の事故による線量	23
3-1-2. 臨界継続時における中性子線及びガンマ線による	

周辺環境の線量評価	23
3-1-3. 個人の線量評価	24
(a) 実測による評価	24
(b) 推定による評価	25
3-2. JCO従業員等及び防災業務関係者の線量	26
3-2-1. JCO従業員等	26
(a) 実測による評価	26
(b) 推定による評価	29
3-2-2. 防災業務関係者	30
4. 健康管理のあり方	31
4-1. 放射線被ばくの際の健康管理	31
4-1-1. 健康管理の目的	31
4-1-2. 健康管理の対象者	31
4-1-3. 健康診断	32
(a) 早期影響の把握のための健康診断	32
(b) 晩発影響の把握のための健康診断	33
○確定的影響に対する健康診断	33
○確率的影響に対する健康診断	34
4-1-4. 健康診断の記録	34
4-1-5. 健康相談	35
4-2. JCO東海事業所における臨界事故に関する周辺住民等の健康 管理	35
4-2-1. 健康管理の対象範囲	35
4-2-2. 健康診断の方法と内容	36
(a) 方法	36
(b) 内容	36
4-3. 健康診断の記録	37
4-4. 健康相談	37
おわりに	39

付録 参考資料

はじめに

健康管理検討委員会は（株）ジェー・シー・オー（以下 JCO）東海事業所における臨界事故の線量評価の結果を踏まえた健康管理のあり方について検討を行い、行政庁に対し健康管理の方針を提言することを目的として、

- ① 線量評価を踏まえた健康管理の必要性の検討
- ② ①の結果を踏まえた具体的な健康管理の方法の検討

について、平成 11 年 11 月 8 日以降、12 回の精力的な調査審議を重ねてきた。

平成 12 年 1 月 25 日には中間とりまとめを公表し、JCO 臨界事故に関する周辺住民等の方々の健康管理について基本的な方針を示したところであり、併せてこれに対する意見公募を行い、寄せられた意見も踏まえて更に検討を行い、本報告書を作成した。

本報告書においては、理解の参考となるようにまず、放射線の基礎と人体への作用について記し、次いで放射線による健康影響について詳述した。線量評価は科学技術庁事故調査対策本部報告に基づいたものを使用しており、線量評価にあたっては、現行法令を踏まえて実効線量当量を用いている。また、健康管理のあり方については、放射線被ばくの際の健康管理について総論的に検討を加えた上で、今回の事故による周辺住民等の健康不安に対して必要な健康診断や心のケアを含む健康相談に関する具体的な健康管理方策について提言した。

また、付録として、本報告書の理解に資するよう参考資料を作成した。

なお、事業所内の従業員の健康管理については、労働省において「東海村ウラン燃料加工施設事故に係る被ばく労働者の健康管理の在り方に関する検討会」において、健康管理検討委員会の検討と整合性を図りつつ検討が行われている。

1. 放射線の基礎と人体への作用

1-1. 放射線の基礎

1-1-1. 放射線の種類と性質

原子力施設や医療施設で発生する主な放射線は表1に示すとおりで、エックス線、ガンマ線や中性子線のように電荷を持たない放射線と、アルファ線やベータ線のように電荷を持つ放射線に大別される。

表1 放射線の種類

○電荷を持たない放射線	
エックス線	: 制動エックス線、特性エックス線など、原子核外の現象にともなって放出される光の一種
ガンマ線	: 原子核のエネルギー状態の変化に伴って放出される光の一種
中性子線	: 原子炉、加速器、ラジオアイソトープなどでつくられる
○電荷を持つ放射線	
ベータ線	: 原子核から放出される電子
ポジトロン (陽電子)	: 原子核から放出されるプラスの電荷をもつ電子
アルファ線	: 原子核から放出されるヘリウム原子核
陽子線	: 加速器等でつくられる水素原子核
重粒子線	: 種々の重イオン (加速器でつくられる)

自然界にも多くの放射線が存在し、人類が作り出した人工放射線と区別して自然放射線と呼ばれるが、放射線の種類とエネルギーが同じであれば、自然放射線と人工放射線による人体への影響に違いはない。

電荷を持つ放射線は、一般的に物質通過中に急速にエネルギーを失うので物質を透過する力は小さい。一方、電荷を持たない放射線 (ガンマ線や中性子線) は、物質中を通過する際、エネルギーを失う割合が小さいので透過力は大きい。このため、JCOの事故では転換試験棟の壁が薄かったために、中性子線やガンマ線が壁を通過して

敷地の外まで到達し、周辺の住民が放射線を受けた。なお、どんな放射線も十分な厚さの遮へいがあれば止めることができるが、ガンマ線は鉄や鉛のような重い物質で、中性子は水素を含む水やコンクリートのような物質でよく遮へいされる性質がある。

1-1-2. 放射線に関する単位

(a) 放射線のエネルギーを表す単位

放射線のエネルギーを表す単位は、電子ボルト (electron volt, 記号 eV) で表される。これは真空中で電位差1ボルト中を1個の電子が電荷に逆らって横切るために必要なエネルギーで $1\text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19}$ ジュールである。1電子ボルトの千倍、百万倍をそれぞれ1キロ電子ボルト (keV)、1メガ電子ボルト (MeV) と呼ぶ。

(b) 吸収線量

放射線が物質と相互作用を行った結果、その物質の単位質量あたりに吸収されたエネルギーを吸収線量という。吸収線量の単位はグレイ (Gray、記号 Gy) で、1グレイは、物質1kg 中に1ジュールのエネルギー吸収がある時の吸収線量である。

(c) 線量当量

人体に放射線が当たった場合、同じ吸収線量であっても放射線の種類やエネルギーによりその影響の程度は異なる。そこで、放射線の種類やエネルギーに関係なく、放射線による人体への影響を同一尺度で評価する量として線量当量が定義されている (ICRP Publ. 26)。線量当量と吸収線量の関係は次式で表される。

$$\text{線量当量}(H_T) = \text{吸収線量}(D_T) \times \text{線質係数}(Q) \times \text{修正係数}$$

ここで、線質係数Qは放射線の種類とエネルギーにより影響の程度が異なることを考慮するための係数で、ガンマ線については1、中性子線については (エネルギーの分布が不明の場合) 10 が用いられる。修正係数は線量率などの照射条件による相違を考慮するための係数であるが通常は1をとっている。

吸収線量の単位をグレイにとると線量当量はシーベルト (Sievert、記号 Sv) で表される。なお、小さな量の場合はミリシーベルト (mSv、 10^{-3} Sv : 1シーベルトの千分の一)、マイクロシーベルト ($\mu\text{ Sv}$ 、 10^{-6} Sv : 1シーベルトの百万分の一) なども用いられる。

なお、国際放射線防護委員会 (ICRP) は 1990 年の勧告 (ICRP

Publ.60)において、「線量当量」を「等価線量」に変更した。これによると、組織・臓器Tの等価線量 H_T は次式で定義される。

$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$$

ここで W_R は放射線荷重係数とよばれ、従来の線質係数に対応し、 $D_{T,R}$ は組織・臓器Tの放射線Rに起因する平均吸収線量である。

(d) 組織線量当量と実効線量当量

人体のある特定の組織が受けた線量当量を組織線量当量(H_T)という。人体が放射線を受けた場合、その影響の現れ方は人体の組織によって異なる。人体のいろいろな組織への影響を統一的に評価するために、実効線量当量(H_E)とよばれる量が定義されている。これは、組織線量当量にその組織の確率的影響に関する放射線感受性を表す組織荷重係数($w_{T,26}$)を掛けたものを、放射線を受けた組織について加え合わせたもので、単位はシーベルトである。

$$H_E = \sum_T W_{T,26} H_T$$

なお、1990年のICRP勧告において導入された実効線量Eは次式で定義される。

$$E = \sum_T W_{T,60} H_T = \sum_T W_{T,60} \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$$

ここで、 $w_{T,60}$ は組織・臓器Tの組織荷重係数、 H_T は組織・臓器Tの等価線量と呼ばれる。

(e) その他の放射線に関する単位

ガンマ線あるいはエックス線による照射の強さを、空気の電離の程度で評価することができる。照射線量は空気1kg中に電離作用により生ずる正、負どちらかの電荷を全部合計して表され、単位はクーロン毎キログラム(C/kg)である。照射線量はガンマ線あるいはエックス線と空気について定義された量である。

なお、ある核種の「放射能」は単位時間あたりに壊変する原子数、つまり壊変率で示され、その単位はベクレル(Bq)である。ベクレルとは、単位時間として1秒間を取った場合の、ある核種の1秒間当たりの壊変数を示す。

表2 放射線の単位

項目	単位名	記号	定義	備考
照射線量	クーロン毎キログラム	C/kg	空気1kg中に1クーロンのイオンを作るガンマ(イクス)線の量	SI単位
吸収線量	グレイ	Gy	1kgあたり1ジュールのエネルギーの吸収がある時の線量	SI単位
線量当量	シーベルト	Sv	吸収線量(Gy)×線質係数×修正係数	SI単位
放射能	ベクレル	Bq	1秒間に1個の壊変	SI単位
放射線のエネルギー	電子ボルト	eV	電子が1ボルトの電圧で加速されて得る運動エネルギー	1eV=1.60×10 ⁻¹⁹ J

1-2. 放射線の人体への作用

放射線による人体への影響は、物理的、化学的、生物学的過程を経て生じる。

1-2-1. 放射線の物理的作用

電荷を持つ放射線は、生体等を通過する際、その道筋に沿って原子、分子にエネルギーを与え電離や励起を起し、多数の電離状態あるいは励起状態の原子、分子をつくる。一方、電荷を持たない放射線であるガンマ線や中性子線は、生体を構成する水(水素と酸素)等の原子核やその周りの電子と相互作用を起し、電荷をもった陽子や電子を発生させ、結果的に電離状態あるいは励起状態の原子、分子をつくる。

中性子線は電荷を持たない放射線のため、水素や酸素等の生体を構成する原子核に容易に接近し、衝突したり吸収されたりして陽子、電子、ガンマ線などの放射線を二次的に生成してエネルギーを失う。こうして生成された二次放射線は、さらに人体内で電離や励起等の物理的作用によりエネルギーを失い、人体への影響の原因となる。

特に、エネルギーの低い中性子は原子核に吸収されやすく、原子核は中性子を吸収することにより同位体(アイソトープ)になる。この同位体が放射線を放出する場合、これを放射性同位体(ラジオアイソトープ)と呼ぶ。例えば、人体に含まれる²³Naは中性子を吸収すると放射性同位体²⁴Naになる。JCOの事故では、中性子によって体内に

生成された ^{24}Na (半減期^(注) 15 時間) をホールボディ・カウンタで測定することにより被ばく線量の推定に利用された。

(注) 半減期：放射能の強さが半分に減少するまでの時間

1-2-2. 放射線の化学的・生物学的作用

電離により発生したイオンは、細胞内の水などと反応して化学的に反応性の高い活性酸素などのフリーラジカルを産生する。

細胞を構成する種々の物質（たとえば核酸や蛋白質など高分子の物質）は、放射線により発生したフリーラジカルにより化学的な結合が壊され、例えば、デオキシリボ核酸（以下 DNA）の結合が切断されたり、蛋白分子内に架橋が生じたり、細胞膜などが変化したりする（化学的作用）。また、この他粒子状の放射線（アルファ線、重イオン等）が、直接 DNA に作用して結合を切断する場合もある。

一方、生物の体内では、日常的に細胞内で物質の変換をする代謝や生理作用を行う際、多量の活性酸素などのフリーラジカルが生み出されるが、過剰に産生されたフリーラジカルを速やかに消去し、酸化物を還元する物質や機能が備わっている。生体の抗酸化機構とも呼ばれるこの機能は、生体が様々な有害化学物質やストレスにさらされた時にも発動する。細胞の中の遺伝情報を担う核酸など重要物質がフリーラジカルなどで傷害された時は、この傷害を修復する酵素が働いたり、傷害された細胞を除去するアポトーシスや免疫反応などの生体防御機構が作動する。しかし放射線や有害物の量が多く、生体が防御できない場合もあるので、全体としては図 1 に示すような過程で放射線による傷害は進行し、突然変異が修復または除去されない場合は、多段階・長時間を経てがん化することとなる。この過程は生物が放射線に曝露した時のみに発生する特有な現象ではなく、環境中あるいは生体内で派生した様々なストレス要因で起こるので、放射線に由来するがんとその他の原因で生ずるがんとを区別することができない。放射線の影響を考える場合、その人が被ばくする放射線の線量が大きな意味をもつ。すなわち、防御能力を超えるような大きな線量の放射線は早期にヒトに障害をもたらすが、低い線量の放射線がヒトの健康に大きな影響を与えないことは、日常、自然放射線を毎年約 1 ミリシーベルト、医学的診断などの人工放射線を毎年約 2 ミリシーベルト被ばくしながらも健康に生活していることから分かる。

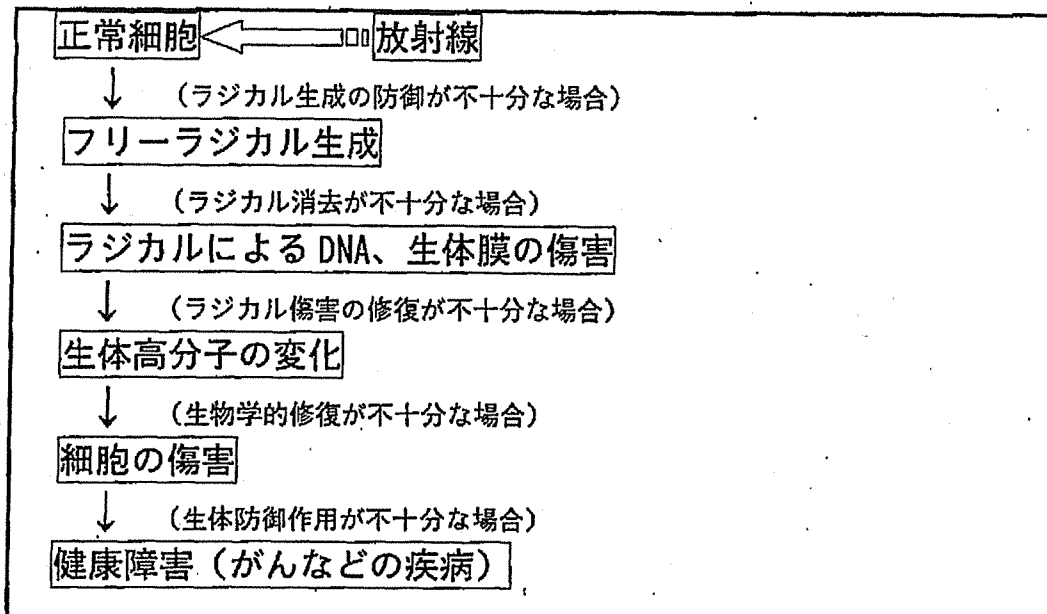


図1 フリーラジカル（活性酸素など）産生による障害と防御機能

2. 放射線による健康影響

2-1. 放射線と健康影響（放射線障害）の知見

放射線の健康影響に関する科学的な情報としては、ヒトの集団を対象にしたもの、実験動植物を対象にしたもの、染色体、遺伝子など細胞・分子生物学的なレベルを対象にしたものなど数多くの研究成果が存在する。特にヒトに関する健康影響の情報（ICRP 各種勧告、UNSCEAR（原子放射線の影響に関する国連科学委員会）報告、BEIR（米国科学アカデミー電離放射線の生物影響委員会）報告）などが比較的豊富であることが放射線の大きな特徴である。

レントゲンによりエックス線が発見され人工的に放射線が利用されるようになった直後から、エックス線による皮膚障害が発生しており、放射線被ばくに伴う様々な健康影響・障害は、利用の早い時期から問題にされてきた。また、エックス線、ラジウムなどが治療の目的で多用され、副作用としての放射線障害も発生しており、これらの情報も放射線の健康影響を理解するための多くの情報を提供している。

放射線誘発がんについて明らかにするためには大きな集団を対象にした調査、すなわち疫学調査が必要とされる。放射線誘発がん

関する疫学調査は、広島・長崎の原爆被爆者、放射線治療患者、放射線作業員等の集団を対象に、現在も世界各地で継続して実施されている。

また、放射線被ばくによる遺伝的影響についても、広島・長崎の原爆被爆者の二世、自然放射線の高い地域の子供などを対象にした疫学調査が実施されている。

放射線については、放射線計測学の進歩により被ばく線量の推定・評価の精度も向上し、ヒトの放射線影響に関する線量反応関係（dose-response relationship）、線量影響関係（dose-effect relationship）などの量的な情報が整っている。

2-2. 放射線による健康影響の区分

放射線の健康影響は、様々な視点に着目して区分される。

まず、影響の区分の一つとして、放射線被ばくをした個体と、影響の出現する個体との関係に着目して、身体的影響と遺伝的影響の2つに区分される。身体的影響は、被ばくした本人に現れる影響で、遺伝的影響は、被ばくした本人ではなく被ばくした本人の子孫の代になって現れる影響である。

放射線の影響は、被ばくから影響が出現するまでに潜伏期間が存在することが特徴である。この潜伏期間の長さに着目して、早期影響と晩発影響に分けられる。

被ばく線量と放射線影響の現れ方に着目して確定的影響と確率的影響に区分される。

それぞれの影響の関係を図2に示す。

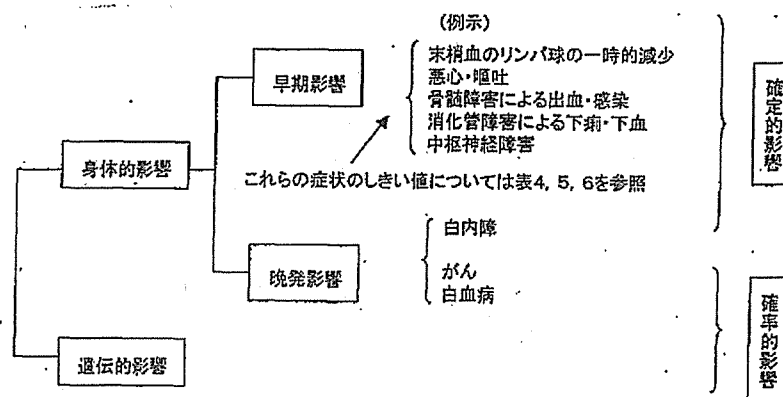


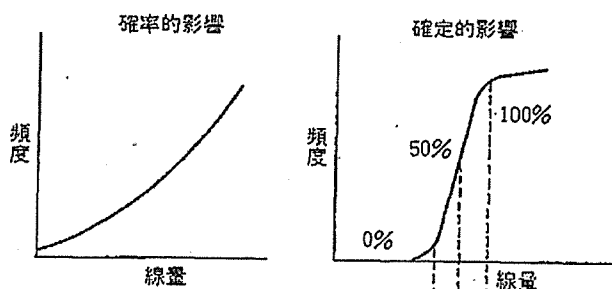
図2 放射線の人体影響

早期影響は、通常被ばく後2、3週間以内に症状が出現する影響で、末梢血液中のリンパ球数の一時的減少、悪心・嘔吐、骨髄障害による出血・感染などの急性放射線症などがある。早期影響は、短時間に比較的大量の線量を受けた場合でないと発生しない。

晩発影響は、被ばく後、数ヶ月以上経過した後に現れる影響で、生殖能力の低下、皮膚損傷（表皮の萎縮、毛細血管の拡張など）、白内障、白血病やその他の悪性腫瘍（固形がん）などがある。特に白血病をはじめとした放射線誘発がんには被ばくから症状出現までの間に、数年から数十年の長い潜伏期間が存在する。

放射線防護の視点から被ばく線量と影響の現れ方に着目して、放射線の影響を図3及び表3に示すように確定的影響と確率的影響の2つに区分する。

〔線量反応関係〕



〔線量影響関係〕

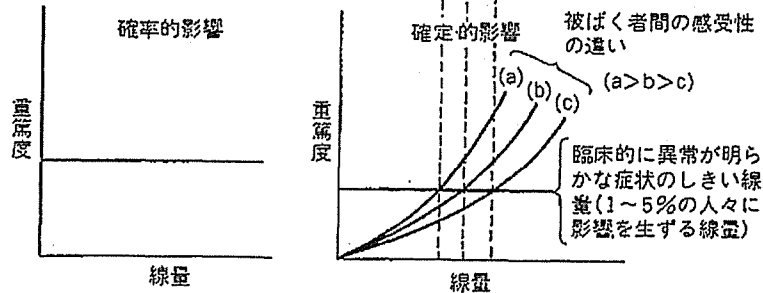


図 3 確定的影響と確率的影響 (ICRP Publ.41 より引用)

表3 確定的影響及び確率的影響の特徴

影響	線量による変化	しきい線量	例示
確定的影響	発生率 重篤度	存在する	皮膚の紅斑、脱毛、奇形など
確率的影響	発生率	存在しないと仮定	がん、遺伝的影響

確定的影響は、臨床的に検出される病的な状態の発生する最小の線量であるしきい線量が存在すると考えられている影響であり、しきい線量を超えて被ばくした場合には、被ばく線量が増加するとともに影響の発生頻度と重篤度（重症度）が増加する。放射線によって誘発されると考えられているがん及び遺伝的影響以外のすべての影響は確定的影響に区分される。しきい線量以下の被ばくでは、影響すなわち臨床的に検出可能な病的状態は発現しない。放射線に対する感受性は臓器・組織によって異なるために、確定的影響のしきい線量の値は、着目する症状や影響によって異なる。

一方、確率的影響は、しきい線量が存在せずに線量の増加とともに影響の発生確率（健康リスク）が増加する、すなわち直線非しきい線量の線量反応関係が仮定されている。確率的影響に区分される影響は、放射線誘発がんと遺伝的影響のみである。

2-3. 確定的影響

確定的影響は、あるしきい線量以下の被ばくでは臨床的な症状や影響が検出されないが、しきい線量を超えて被ばくすると、被ばく線量の増加とともに影響の発生確率が増加し、重篤度（重症度）すなわち症状の程度も重くなる。線量と発生率を示す線量反応関係は図3に示すようにS字状の形を示し、しきい線量を超えると最も感受性の高い集団に属する人々に検出可能な病的状態が発現し始め、線量の増加とともに影響の発生する頻度が増加する。さらに、被ばく線量が集団のすべての人々に影響が出現するような高い線量になると発生頻度は100%に達する。

確定的影響において、しきい線量が存在すると考えられているのは、図4に示すように確定的影響は、組織・臓器を構成する細胞のうちの多数の細胞が細胞死や細胞変性を起こした場合に初めて臨床的に

検出できるからである。しきい線量以下の被ばくでは、放射線により損失する細胞の数が少ないので、組織・臓器の機能が損なわれたことが検出できる程の障害を生じないということになる。しきい線量以上の被ばくでは、線量が高くなるに従って損傷を受ける細胞の数が増加するので、観察される影響の重篤度は線量の増加に伴い重くなる。

分子レベルの損傷 細胞レベルの影響 細胞の種類 臨床的影響 放射線防護上の影響

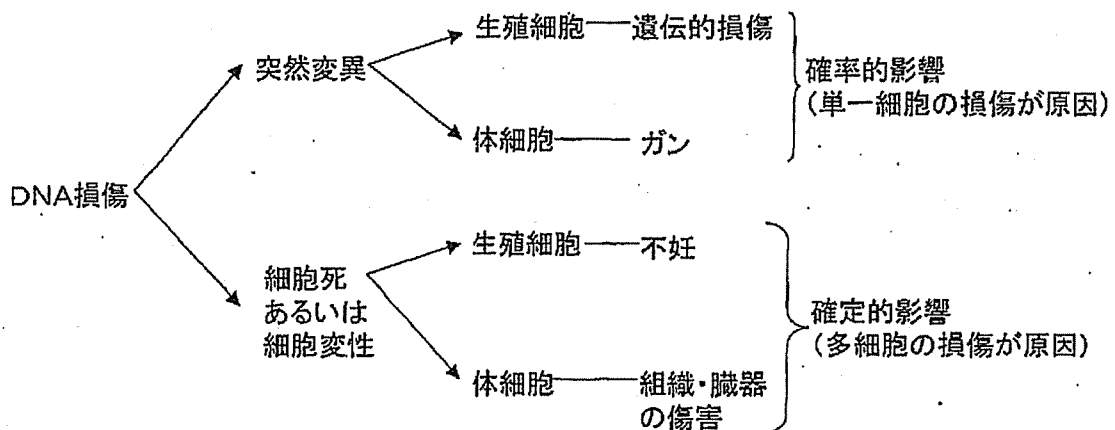


図4 確定的影響および確率的影響と細胞レベルの変化との関係(概念図)
(H.P.Leenhouts : (In)Biological Effects of Low-level Radiation,IAEA(1983)に加筆)

しきい線量の値は、被ばくの形式や、臓器・組織によって異なる。原則として分割照射あるいは遷延照射の場合には、1回照射あるいは急性照射に比べてしきい線量の値が高くなる [1]。また、基本的には、細胞分裂の早い細胞で構成されている臓器・組織（例えば赤色骨髄、皮膚、小腸粘膜など）の放射線に対する感受性が高く、しきい線量の値は低い。

急性の放射線被ばく（急性被ばく）によってヒトに生じる主な確定的影響の症状のしきい線量の値を表4に示す。

各臓器・組織の確定的影響のしきい線量は、放射線治療を受けた患者等の放射線被ばく事例を中心にして求められており、被ばくした人々の1～5%の人々（集団の中で比較的感受性の高い人々）に症状が出現する線量とされている [1]。

表4 精巣、卵巣、水晶体、および骨髄等における確定的影響のしきい値の推定値

組織および影響	しきい値
1回短時間被ばくで受けた線量 (ミリシーベルト)	
骨髄	
造血能低下*	500
悪心・嘔吐*	1000
精巣	
一時的不妊	150
永久不妊	3500-6000
卵巣	
不妊	2500-6000
水晶体	
検知可能の白濁	500-2000
視力障害(白内障)	5000
胎児	
奇形	100
重度精神発達遅滞	120-200

*早期影響

(ICRP Publ. 28,41,60,62)

皮膚の放射線障害については過去の経験が豊富であり、被ばくした身体部位、被ばくした面積などにより着目する皮膚症状の発現のしきい線量が異なることなども明らかにされている。皮膚障害の症状としきい線量の値を表5に示す。

表5

放射線による皮膚障害

皮膚障害	しきい線量(グレイ)	障害の出現時間
初期一時的紅斑	2	数時間
一時的脱毛	3	3週
主紅斑	6	10日
永久脱毛	7	3週
乾性落屑	10	4週
侵襲性線維症	10	
皮膚萎縮	11	14週以降
毛細血管拡張	12	52週以降
湿性落屑	15	4週
晩発性紅斑	15	6~10週
皮膚壊死	18	10週以降
二次性潰瘍	20	6週以降

(ICRP Publ.59)

確定的影響の中でもっとも重篤なものは急性放射線症による死亡である。今までの事例から得られている急性放射線症による死亡に関する線量を表6に示す。なお、再生医学など先端医療の進歩等により急性放射線症患者に対する治療は日進月歩で変化しており、致死線量と生存期間は従来値と変わる可能性もある。

表6 低 LET 線に急性全身均等被ばくをしたヒトの特定の放射線誘発症候群及び放射線死亡に関する線量の範囲と生存期間

全身吸収線量 (グレイ)	死亡をもたらす主な影響	生存期間(日)
3-5	骨髄の損傷 (LD _{50/60})	30-60
5-15	胃腸管及び肺の損傷 ¹⁾	10-20
>15	神経系の損傷	1-5

1) 特に高線量における血管系と細胞膜の損傷が重要である (ICRP Publ.60 より)

確定的影響のしきい線量としては、表4, 5, 6に示す値が国際的に用いられているが、最近の原爆被爆者のデータの解析から、1000ミリシーベルト程度以上の被ばくで心臓病、脳卒中、消化器疾患等についても放射線被ばくに伴う過剰死亡が新たに指摘されている[2]。しかし、現状では解析データが十分でないことや、これらの疾病と放射線との臨床的な因果関係を明らかにできる情報がそろっていない。今後、ICRP等を含めて国際的に、これらの疾患と放射線との関係について検討することが課題とされている。

また、甲状腺疾患及び副甲状腺疾患についても原爆被爆者を対象にした調査が行われており、良性の甲状腺結節、甲状腺機能低下症、副甲状腺機能亢進症の有病率が被爆者で統計的に有意に高いことが認められている [3]。しかし、線量反応関係が明確でないためにしきい線量の値を提示することはできない。

2-4. 確率的影響

2-4-1 確率的影響とは

大量の放射線被ばくによる細胞の喪失（細胞死）や直接的な組織損傷によって引き起こされ、比較的早期に発生する確定的影響とは対照的に、確率的影響の場合は、放射線被ばく後、生き残った体細胞内に誘発された DNA の突然変異のような遺伝子損傷が正しく修復されないまま細胞が分裂し、その数が増加するにつれ、最終的にがんに至る可能性がある。放射線により損傷を受けた細胞の多くは生体防御機構により修復されるし、たとえある遺伝子に突然変異を生じたとしても、それががんの発生に直接関与する確率は極めて小さいと考えられる。しかし、この様な影響は、一個の細胞から始まり得ることから、「確率的」影響と呼ばれる。これまで発がんや反対に発がん制御に関する遺伝子が多数報告されているものの、どの遺伝子の突然変異がどのように発がんに関与するのか、がん発生の機序は未だによく解っていないが、がんの発生には数個からなる一連の遺伝子の突然変異が数年から数十年の期間にわたって起こることが必要と考えられている。この様な突然変異は、自然にも起こるが、放射線被ばくやその他の環境要因（変異原）への曝露の結果としても生ずる。放射線やその他の原因で突然変異を起こした細胞が、その後分裂を繰り返して、多数の突然変異を蓄積してがんになるまでには長い年月を要するので、放射線被ばくに起因する過剰のがんは、被ばく後何年もの期間を経過しないと判明しない。このように、がんは多くの要因と多数の過程を経て生じるものなので、放射線被ばくによって過剰に生じたがんと、自然に生じたがんを区別することはできない。

被ばくした卵子や精子といった生殖細胞に生じた突然変異が、被ばくした個体の子孫に伝わることにより、遺伝的に子孫の細胞や組織、臓器等の損傷をもたらすことがある。このような影響を遺伝的影響

といい、確率的影響に属する。

放射線による確率的影響についての結論を下すのは容易ではないが、種々の国際機関や専門委員会が、動物実験等による基礎生物学的データと、被ばくした人々についての疫学的データに基づく総合的な判断を示している。そのなかでも、UNSCEAR や ICRP は、定期的に疫学的、基礎生物学的な最新の知見をまとめ、その結論や勧告は放射線影響・防護の世界的基準となっている。放射線被ばくによる健康影響の評価では、被ばくした集団の疫学調査から得られたヒトのデータは特に重要で、原爆被爆者集団のみならず、医療目的で放射線治療や診断を受けた集団（がん、良性疾患、小児頭部白癩症、小児胸腺肥大等）、職業被ばくした集団（原子力産業従業員等）、環境汚染等により被ばくした集団（放射線事故、核実験による汚染、高自然放射線地域住民等）の調査について広範に検討し、結果をまとめている。なかでも、対象集団の大きさ（被爆者及び対照者をふくむ約9万人）、観察期間の長さ（50年以上）、被ばく線量データの精度などから広島・長崎の原爆被爆者集団（被爆者平均線量 200 ミリシーベルト）の調査結果が主要な役割を果たしている。遺伝的影響に関しても、広島・長崎の原爆被爆者の子孫における初期の大規模な遺伝的調査や、その後の一連の疫学調査は、基礎生物学的調査とともに放射線の遺伝的影響の評価に重要なものである。

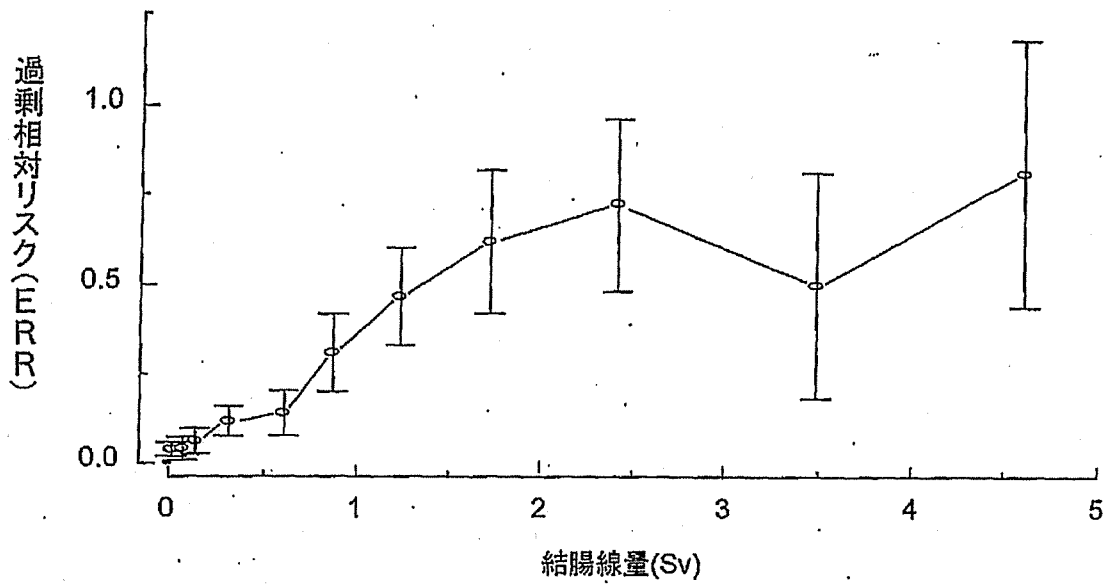
2-4-2. 放射線量とがんの発生確率の関係（線量反応関係）

健康管理の観点から確率的影響、特にがんについて考える場合、最も重要なのは影響の大きさの評価である。今回の事故のように、多くの人々が比較的低いレベルの線量を被ばくした場合には、低線量域でのがんの発生確率（リスク）の大きさ、即ち線量反応関係がどのような形をしているかが重要なポイントとなる。

線量反応関係については、未だ分からないところが多く、特に低線量域では、放射線が寄与する発がんの割合が小さくなるため、他の要因による影響が関与し、疫学的データから線量との関係を正確に推定することが困難となる。

原爆被爆者の疫学調査では、約9万人に及ぶ被爆者の死亡追跡調査が50年近く続けられている。最近の死亡データ（1990年まで）の解析結果から [4]、5ミリシーベルト以上を被ばくした約5万人の被爆者（平均線量 200 ミリシーベルト）のうち、約4,600人が固形がんで亡くなっているが、そのうち約330人（7%）が放射線により過

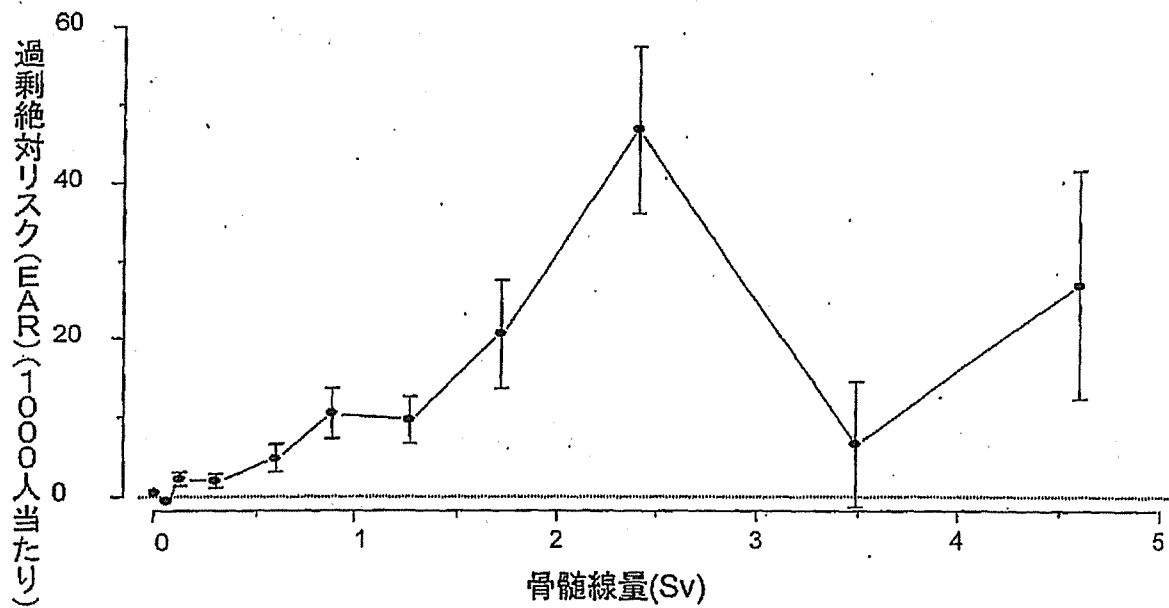
剰に生じたがんにより死亡したと推定されている。また、白血病で180人近くの方々が亡くなっているが、そのうち放射線が寄与したと推定されているのは約90例で、放射線被ばくが寄与する割合（約50%）は大きい、その絶対数は固形がんに比べて小さい。ここで重要なことは、この様な、放射線が寄与する過剰がん・白血病の割合は平均200ミリシーベルトを被ばくした人々の平均値で、その割合は線量に応じて変わり、低線量では、この割合がもっと小さくなることである。原爆被爆者のデータは、固形がんの線量反応関係については、放射線量に応じて直線的に増加し、しきい値の見られない、いわゆる直線非しきい値型、白血病については非直線非しきい値型を示している（図5、図6）。固形がんの死亡率は線量の増加に従って直線的に増加している。過去の解析では95%レベルで統計学的に有意ながんの増加は、約200ミリシーベルト以上の線量でのみみられるが、もっと低い有意レベルなら50ミリシーベルトぐらいの線量で過剰がみられるとされた[5]。その後の死亡追跡データを加え、年齢の影響も考慮し統計学的に改めて検討した結果、50ミリシーベルトの付近で有意の影響が見られた。50ミリシーベルト以下の線量では過剰ながんの発生は更に小さく統計的には検出されていない[4]。原爆被爆者よりはるかに低い平均線量を職業的に被ばくしている集団の疫学調査—約10万人のカナダ、米国、英国の放射線作業員集団（平均線量40ミリシーベルト）—から得られたデータでは、固形がんの発生確率は原爆被爆者のそれよりは低い、白血病のリスクは原爆被爆者のものと同じ程度のものである[6,7]。



Pierce AD, 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より

過剰相対リスク (ERR): 対照群の死亡率(又は発生率)に対する被ばく者集団の死亡率(又は発生率)の増加割合で、ERR=0.5は50%の増加を意味する。

図5 被爆時年齢30歳の男性の固形ガンの線量反応



Pierce AD, 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より

過剰絶対リスク (EAR): 被ばく者集団の死亡率(又は発生率)から対照群の死亡率(又は発生率)を引いた率

図6 白血病の線量反応

このほかにも、甲状腺がんに関しては、イスラエルの小児頭部白癩症治療のため被ばくした集団の調査データは、他の疫学データより高い発生率を示しているが [8,9]、甲状腺の被ばく線量の推定値にはかなりの不確定性があり [8]、もしその線量が推定された値より 15% 高いだけで、他の被ばく集団（原爆被爆者も含め）から推定されるリスク値と異なることになる [9] とされている。

低線量域では、発がんの線量反応関係は直線ではない、あるいはしきい値があるという仮説もあるが、現時点では、直線非しきい値の考えを否定するに足る疫学的、基礎生物学的データは得られていない。損傷を受けた細胞の修復に対する防御機構が、低線量と高線量、あるいは線量率によって異なるかもしれないことを示唆する実験的データもあるが、それを否定するデータもあり、低線量での生体防御機能は完全に効果的であることを結論づける証拠は不十分である。

ICRP は、1990 年の勧告においては、直線非しきい値の線量反応関係を支持しているものの、低線量の低 LET 放射線（ガンマ線やエックス線）を長期にわたって受けた場合、急性で高線量被ばくの影響が強いとされる原爆被爆者等のリスク値よりも低いと考える根拠が十分あるとして、その補正をするため「線量・線量率効果係数—Dose and Dose Rate Effectiveness Factor (DDREF)」を 2 としてリスクの推定に使用している [5]。ただし、この係数は、吸収線量 0.2 グレイ以下、一時間あたり 0.1 グレイ以下の線量率で被ばくした場合を想定している。

以上から、今回の事故に関連する健康影響を考えるにあたって、がんのリスクに関しては、直線非しきい値の線量関係を適用するのが適切である。また、ICRP は、高線量・高線量率の原爆放射線の影響から、低線量・低線量率放射線の危険度を評価するに当たって、動物実験の結果を踏まえて「線量・線量率効果係数 (DDREF)」として 2 を採用している。これは、低線量・低線量率被ばくでは危険度が 1/2 となることを意味する。しかし、原爆被爆者における発がんの危険率は低線量域まで線量との関係が直線的であることから、原爆被爆者のデータそのものからは DDREF=2 という直接的な値が出てこない。従って、本委員会では安全側に立って DDREF=1 を採用した。

2-4-3. 放射線に起因する過剰がん死亡の大きさ

UNSCEAR や ICRP は、原爆被爆者調査から得られた疫学データに基づいて放射線被ばくにより起こる過剰がんのリスクを推定している。原爆被爆者データを用いるのは、男女とも広範な年齢層を含み、長期的な影響が判明していることが大きな理由の一つである。原爆被爆者のデータを日本人の集団のデータに当てはめて、ある線量を被ばくした場合の生涯がんリスクを推定することができるが、そのような推定によると、1 シーベルト (1000 ミリシーベルト) を被ばくすることにより一般の集団で生涯に 10% の固形がんの過剰死亡のリスクが生じると予測される。直線非しきい値のモデルでは、この生涯過剰死亡リスクは被ばく線量に応じて直線的に変動するとすれば、10mSv では 0.1%、50 ミリシーベルトでは 0.5%、100 ミリシーベルトでは 1% の過剰がん死亡が予測されることとなる。

一般に日本人の生涯がんリスクは約 25% (平成 8 年で男性 30%、女性 20%、平成 10 年簡易生命表、厚生省大臣官房統計情報部) とされるので、10 ミリシーベルトを被ばくした人々は、がんの生涯リスクが 25% から 25.1% に、即ち 0.4% の比較的増加をもたらすと推定される。50 ミリシーベルトでは、生涯リスクが 25% から 25.5% へと 2% の比較的増加をもたらすと推定される。この程度の増加は、数万—数十万人に及ぶ集団を長期にわたって綿密に追跡観察しなければ統計的に確認する事ができない。この問題をもっと簡単に理解するには、例えば、10 ミリシーベルトを受けた 1000 人の集団を想定して、これらの人々を生涯にわたって追跡観察すると、自然発生がんの死亡数 250 例が予測されるが、放射線被ばくによりこの数が 251 例になる (1 例増加) にとどまることを考えれば役立つであろう。この様な小さな違いは統計的バラツキで起こり得る範囲内で、この程度の違いを確認するには、如何に多くの対象者を必要とするかがうかがわれよう。

生涯に白血病で死亡する確率は、一般に 0.4% 程度とされている。白血病の線量反応関係は、非線形で、低線量域での単位線量あたりのリスクは高線量域のリスクに比べて小さい (図 6) ことから、1 シーベルト被ばくすると 1% の白血病による過剰死亡が予測されるが、50 ミリシーベルトでは 0.004% 程度であると推定され、低線量域での過剰リスクは固形がんのそれに比べてはるかに小さい。

2-4-4. 被ばくによる過剰がんの時間的なパターン、年齢の影響

多くの疫学調査結果から、放射線被ばくによって過剰に生ずるがんの時間的なパターンがあることが知られている。原爆被爆者データはこの様な時間的なパターンを調べるのに特に適している。一般的に、固形がんの過剰リスクは、被ばく後5-10年を経てから徐々に増加が認められ、現在も増加が続き、今後も持続すると予測されている。過剰白血病の多くは、被ばく後十年以内におもに小児に起こったもので、その後白血病リスクは減少、現在では統計的に検出できないレベルになっている。

この様な時間的なパターンは年齢によっても影響を受ける。若年時期に被ばくした人々は、高年齢で被ばくした人よりも、相対的な過剰リスク（自然に起こるがんの発生率に対する率の割合）が2-3倍高いことが観察されており、ICRP Publ.60ではこれを考慮に入れて生涯リスクの予測をしている。しかし、最近のデータの解析から、若年被ばくした人が高年に達するに従い、相対的な過剰リスクが減少する傾向が見られている。一方、過剰がんの絶対リスクは被ばく年齢によって異なることが判明している[4]。これらは、若年被ばくが高い過剰リスクに必ずしも関連しないことを意味するものであるが、ICRPと同様に、下に示す生涯リスクは、若年者が比較的高い過剰リスクを持っているという想定に基づいたものである。

原爆被爆者データから被ばく年齢別の生涯リスクが予測されている。被ばく時10歳の人での固形がんの生涯リスクは1000ミリシーベルトで約25%、100ミリシーベルトでは2.5%、10ミリシーベルトでは0.25%と推定されている。（上記の時間的なパターンの変動を考慮していないので、これらの値は過大評価の傾向がある）。従って、10歳で10ミリシーベルト被ばくした人々の場合には、がんの自然発生生涯リスクは約23%であるので、被ばくによる過剰がんを含めて生涯に23.25%の固形がんのリスクをもつことになる。白血病の場合は、同様の計算から、10歳で10ミリシーベルトを被ばくすると、自然生涯リスクを0.65%とすると、過剰白血病を含めると0.655%となる。（10ミリシーベルトにつき、0.005%の過剰リスク）。

2-5. 胎児への影響

胎児期の被ばくと小児期の白血病・がん発生に関しては、妊娠時に母親のエックス線診断により被ばくした集団（スチュアート等による）の調査と原爆被爆者集団調査があるが、これらの調査から得られた発生率には大きな差がある。エックス線診断を受けた母親から生まれた子供の白血病・がんの発生率は特に大きな値を示しているのに比べ、約3000人の原爆胎内被爆者集団（平均線量200ミリシーベルト）の追跡調査では、小児期のがんや白血病について増加は見られていない。診断に用いられたエックス線の線量推定を正確に行うのは非常に困難で推定値には大きな誤差があると考えられている。母親の受けた線量は極めて低い（数ミリシーベルト程度）ので、小さなリスクが大きな誤差のある値で割り算され、単位あたり（1シーベルト即ち1000ミリシーベルト）の発生確率に換算すると、人為的に見かけ上極めて大きな値となる可能性がある[8]。しかし、ICRPでは、現時点で胎児被ばくによる発がん率は高いと考える方が賢明としているが、小児がんの発生率は一般集団に比べて、数倍であると考えている[5,10]。最近では、胎内被爆者が、成壮年期に達するにつれて、放射線被ばくによる成人期のがんの有意な増加が認められつつある。がん死亡データの解析結果から、胎内被ばくによるがんのリスクの大きさは、幼児・小児期に被ばくした直接被爆者のそれに同等のものであることが判明している[11]。従って、胎内被ばくによるがんリスクに関しては、既に述べた直接被爆者にみられる年齢別リスクのパターンで、若年層のリスクから予測できるものと考えられる。

2-6. 遺伝的影響

放射線被ばくによって生殖細胞（卵巣、精巣細胞）が突然変異を起こすと、その突然変異が次世代へ受け継がれ、遺伝的障害をおこすことが懸念されている。ヒトでの生殖細胞の突然変異の検出は、特に低線量被ばくの場合は、困難である。動物実験では、高線量での被ばくにより遺伝的な障害が生じることが知られている。しかし、これまでのところ、原爆被爆者の子供（原爆二世）を対象にした調査については、奇形、がん、染色体異常などを含めて、遺伝的影響の増加は検出されていない（表7）。今回の事故で被ばくした父親、母親から将来生まれる子供における遺伝的影響も線量からみて観察されないものと推定される。

表7—原爆被爆者の子供の遺伝学調査

調査	調査対象集団の人数	調査結果
死産	64,740	検出されず
奇形	65,431	検出されず
体重	71,716	検出されず
性比	65,431	検出されず
染色体異常	16,298	検出されず
蛋白質電気泳動	23,661	検出されず
死亡率	88,485	検出されず
DNA 突然変異	1,000 家族 (1,399 人の 子供とその両親)	検出されず

中村典、原爆放射線の遺伝的影響に関する調査：過去・現在・未来、放射線生物研究 34(2):153-169, 1999 に加筆

3. 今回の事故による線量

今回の事故による放射線や放射性物質による周辺住民や JCO 従業員等の線量に関しては、科学技術庁事故調査対策本部（以下、「対策本部」）から、原子力安全委員会「ウラン加工工場臨界事故調査委員会」（以下、「事故調査委員会」という。）に対して、平成 11 年 10 月 8 日の第 1 回事故調査委員会以降、状況が判明する都度、線量評価の状況が報告され、その結果の概要は、平成 11 年 12 月 24 日の事故調査委員会報告にまとめられた。

その後、周辺住民等の個人線量については、周辺環境の線量評価と個人の行動調査に基づいた個人線量の推定や実測値の実効線量当量への換算等が行われた。また、JCO 敷地内の従業員等についても、JCO 自身により実測値の見直しや推定作業が行われた。これらの作業による最終的な線量評価結果が科学技術庁に報告され、それらの結果がまとめて平成 12 年 1 月 31 日に対策本部から、原子力安全委員会に報告された。

3-1. 周辺住民等の線量

3-1-1. 今回の事故による線量

今回の事故による放射線には、次の 3 つがある。

- ① 臨界継続時における転換試験棟からの中性子線及びガンマ線
- ② 臨界終息後の転換試験棟からのガンマ線
- ③ 転換試験棟から大気中に放出された放射性物質からの放射線

このうち、②については沈殿槽から 100m の距離において、追加的な遮へい等がなされなかった場合でも、事故後 1 年間の積算線量当量が 0.1 ミリシーベルト以下と評価され、③については、周辺環境の中で最も大きな線量となる地点の線量当量が 0.1 ミリシーベルト程度と評価され、いずれも十分小さいとされている。このため、周辺環境における線量のほとんどは、①によるものであった。

3-1-2. 臨界継続時における中性子線及びガンマ線による周辺環境の線量評価

周辺環境の線量評価は、対策本部の作業結果が事故調査委員会に諮られ評価された。

周辺環境の線量は、今回の事故の避難要請区域の範囲についてみれば、事故当日（9 月 30 日）、ある人が仮に事故発生時から、避難要

請の後の午後4時まで屋外に滞在し続けたとした場合、沈殿槽から80mのJCO東海事業所敷地境界付近で44ミリシーベルト、同200mの地点で3.7ミリシーベルト、避難要請区域境界の同350mで0.58ミリシーベルトという状況になっている。また、臨界が終息した事故翌日(10月1日)の午前6時15分まで避難要請区域境界に同様に滞在し続けたとしても1.2ミリシーベルトとなる。(表8)

なお、実際には家屋等の遮へいによりこの値は小さくなる。

表8 周辺環境の線量評価
(実効線量当量 単位:ミリシーベルト)

時刻 距離(m)	9/30			10/1	
	11:00	16:00	21:00	2:00	6:15
80	11	44	66	83	92
100	6.1	25	38	48	53
150	2.1	8.6	13	16	18
200	0.91	3.7	5.6	7.1	7.9
300	0.24	1.0	1.5	1.9	2.1
350	0.14	0.58	0.86	1.1	1.2
500	0.033	0.14	0.20	0.26	0.29
1000	0.00075	0.0031	0.0046	0.0058	0.0065
1500	0.000030	0.00013	0.00019	0.00024	0.00026

ウラン加工工場臨界事故調査委員会報告 II-20:原子力安全委員会ウラン加工工場臨界事故調査委員会 平成11年12月24日

3-1-3. 個人の線量評価

(a) 実測による評価

周辺住民の中で、事故時に敷地に隣接する西隣に居合わせ、ホールボディ・カウンタによる実測値が得られている7名については、ホールボディ・カウンタの実測値を基に実効線量当量が算出された。

評価結果は、表9に示すとおりで、6.7~16ミリシーベルトである。なお、この7名の周辺環境での線量データと個人の行動記録に基づく推定線量は、14~26ミリシーベルトとなっている。

表9 周辺住民等の実測による線量

実測による線量（ミリシーベルト）	人 数
0以上5未満	0
5以上10未満	3
10以上15未満	2
15以上20未満	2
計（うち、1以上）	7（7）

- (注) 1. 原子炉等規制法に定める周辺監視区域外の線量当量限度は1ミリシーベルト/年。
 2. 参考までに、この7人の方の実測線量は、6.7～16ミリシーベルトであったが、周辺住民等の個人の推定線量と同じ手法で推定線量を出すと、14～26ミリシーベルトとなった。
 「(株)ジェー・シー・オー東海事業所臨界事故による人への線量の状況と今後の取組みについて」
 : 科学技術庁事故調査対策本部 平成12年1月31日より

(b) 推定による評価

周辺住民等の個人の線量については、対策本部と放射線医学総合研究所が昨年11月末に実施した事故発生当日の9月30日から翌10月1日の間の個人の行動調査の結果と、周辺環境の線量評価データ（表8）を基に、家屋の遮へい効果等も考慮した推定作業が実施され、実効線量当量が算出された。

行動調査を実施した JCO 東海事業所敷地周辺の避難要請の出された概ね350m以内の区域内に居住又は勤務する者265名の中で、事故発生から20時間後までの間に1km以内に留まっていなかった者58名とホールボディ・カウンタの実測により線量が評価されている7名を除いた200名について、行動調査に基づいて線量が推定された。

推定線量の結果は、表10のとおりで、最大で21ミリシーベルト、1ミリシーベルト以上は、112名とされている。

表 10 周辺住民等の個人の推定による線量

推定による線量 (ミリシーベルト)	東海村住民(人数) (周辺事業所勤務者を除く)	那珂町住民(人数)	周辺事業所で勤務 していた者(人数)	計
0以上5未満 (うち、1以上5未満)	78(36)	24(0)	78(56)	180(92)
5以上10未満	7	0	8	15
10以上15未満	4	0	0	4
15以上20未満	0	0	0	0
20以上25未満	1	0	0	1
計(うち、1以上)	90(48)	24(0)	86(64)	200(112)

(注) 1. 原子炉等規制法に定める周辺監視区域外の線量当量限度は1ミリシーベルト/年。

2. 対象者は、事故当日、避難要請の出された概ね 350メートル以内の区域に居住又は勤務していた者。
 「(株)ジェー・シー・オー東海事業所臨界事故による人への線量の状況と今後の取組みについて」
 : 科学技術庁事故調査対策本部 平成12年1月31日より

3-2. JCO 従業員等及び防災業務関係者の線量

3-2-1. JCO 従業員等

(a) 実測による評価

個人線量計(電子線量計、フィルムバッジ等)やホールボディ・カウンタ等で実測されている者については、実測値を基本に中性子やガンマ線のエネルギースペクトルの計算値を利用して実効線量当量が算出された。

なお、フィルムバッジやガンマ線用のポケット線量計からは、中性子についての情報は得られないため、今回の事故による実測値に基づく線量は、中性子とガンマ線の線量の比を、敷地周辺のモニタリング結果等から、10対1として評価されている。

[事故時転換試験棟で作業をしていた3名のJCO従業員]

高線量の被ばくを受けた3名のJCO従業員については、放射線医学総合研究所で血液中のNa-24濃度、末梢リンパ球減少の測定値等から、グレイ・イクイバレントの単位で評価されている。

3名の被ばく線量の評価値は、表11のとおりである。

表 11 事故発生時に作業に従事していた作業者

作 業 者	線 量 (グレイ・イクイバレント)
A	16~20
B	6.0~10
C	1~4.5

(注) グレイは、放射線の種類によらず吸収されたエネルギーを表す単位であり、同じ1グレイでもガンマ線よりも中性子線が2~10倍大きいことになる。このため、グレイ・イクイバレントは、高線量被ばくにおける、早期影響に特有な生物学的効果を考慮して影響の程度を表す単位となっている。臨床的にガンマ線を被ばくした場合のグレイの単位に相当する。

「(株)ジェー・シー・オー東海事業所臨界事故による人への線量の状況と今後の取組みについて」
：科学技術庁事故調査対策本部 平成12年1月31日より

[水抜き等の臨界停止作業の従事した者]

水抜き作業に従事した18名のうちの15名とホウ酸水注入に従事した6名については、緊急作業に当たり各人が着装していた中性子とガンマ線の電子線量計の実測値に基づいて実効線量当量が評価された。また、水抜き作業の残り3名のうち2名についてはホールボディ・カウンタによる実測値、残りの1名についてはフィルムバッジの実測値にもとづいて評価された。

以上の方法で評価された線量評価値は、表12のとおりであり、最大で48ミリシーベルトである。

表 12 水抜き作業とホウ酸水注入に従事した JCO 従業員等の実測による線量

実測による線量 (ミリシーベルト)	人 数
0 以上 5 未満	7
5 以上 10 未満	1
10 以上 15 未満	3
15 以上 20 未満	4
20 以上 25 未満	5
25 以上 30 未満	1
30 以上 35 未満	0
35 以上 40 未満	0
40 以上 45 未満	1
45 以上 50 未満	2
計	24

(注) 1. 原子炉等規制法に定める放射線業務従事者の緊急時作業に係る線量当量限度は 100 ミリシーベルト (なお、24 名中には放射線業務従事者でない 1 名が含まれている。)

2. 線量計及びホールボディ・カウンタによる実測線量については、各人の行動記録から計算により推定した値 (0.2~5.4 ミリシーベルト) を加算した。

「(株) ジェー・シー・オー東海事業所臨界事故による人への線量の状況と今後の取組みについて」
: 科学技術庁事故調査対策本部 平成 12 年 1 月 31 日より

〔事故時に敷地内にいた従業員等〕

事故発生時に作業に従事していた3名と水抜き作業とホウ酸水注入に従事した24名を除く、事故時に敷地内にいたその他のJCO従業員等については、36名がホールボディ・カウンタで、12名がフィルムバッジで、4名がポケット線量計の実測が得られている。この中で、実測が重複する3名を除いた49名については、これらの実測データを用い、線量が評価されている。その線量評価値は、表13のとおりである。

表13 事故時に敷地内にいたその他のJCO従業員等の実測による線量

実測による線量（ミリシーベルト）	人数
0以上5未満	24
5以上10未満	11
10以上15未満	3
15以上20未満	5
20以上25未満	3
25以上30未満	0
30以上35未満	2
35以上40未満	0
40以上45未満	0
45以上50未満	1
計	49

(注) 1. 原子炉等規制法に定める放射線業務従事者の被ばく線量当量限度は50ミリシーベルト/年（なお、49名中には放射線業務従事者でない3名が含まれている。）。

2. ホールボディ・カウンタで検出された36名のうち実測後に臨界終息前に事業所内に戻った10名と線量計の2名については、各人の行動記録から計算により推定した値（0.1～0.8ミリシーベルト）を加算した。なお、ホールボディ・カウンタの10名のうち1名については線量計による実測値を加算した。また、11名についてはフィルムバッジの実測値を用いて評価した。

〔(株)ジェー・シー・オー東海事業所臨界事故による人への線量の状況と今後の取組みについて〕
：科学技術庁事故調査対策本部 平成12年1月31日より

(b) 推定による評価

事故時に敷地内にいた従業員等で、実測値が得られていない者96名については、周辺住民等の個人の線量と同様に、モニタリングの測定値や計算から場所の線量を求めるとともに、各人の行動記録を踏まえて、計算により推定された。その線量評価値は、表14のとおり

りである。

表 14 敷地内にいた JCO 従業員等の推定による線量

推定による線量 (ミリシーベルト)	人 数
0 以上 5 未満	92
5 以上 10 未満	3
10 以上 15 未満	0
15 以上 20 未満	1
計	96

(注) 原子炉等規制法に定める放射線業務従事者の被ばく線量当量限度は 50 ミリシーベルト/年
(なお、96 名中には放射線業務従事者でない 38 名が含まれている。)
「(株) ジェー・シー・オー東海事業所臨界事故による人への線量の状況と今後の取組みについて」
：科学技術庁事故調査対策本部 平成 12 年 1 月 31 日より

3-2-2. 防災業務関係者

JCO の社員 3 名の救急活動に従事した東海村消防署員 3 名については、ホールボディ・カウンタによる実測値が得られており、その最大線量は 9.4 ミリシーベルトである。

また、核燃料サイクル機構の防災業務関係者については熱蛍光線量計 (TLD) により、日本原子力研究所の防災業務関係者についてはフィルムバッジにより、57 名の個人の線量が実測されており、その最大値は 9.2 ミリシーベルトである。

現在までに、確認されている防災業務関係者の線量は、表 15 のとおりである。

表 15 防災業務関係者の実測による線量

実測による線量 (ミリシーベルト)	政府関係機関 職員 (人数)	消防署員 (人数)	計
0 以上 5 未満	53	1	54
5 以上 10 未満	4	2	6
計	57	3	60

(注) 1. 「防災指針 (平成 11. 9 月改訂)」によれば、防災業務関係者 (但し、事故が発生した原子力発電等の放射線業務従事者は除く) の被ばく線量当量限度は 50 ミリシーベルト。
2. 政府関係機関職員とは、日本原子力研究所及び核燃料サイクル開発機構の職員。
「(株) ジェー・シー・オー東海事業所臨界事故による人への線量の状況と今後の取組みについて」
：科学技術庁事故調査対策本部 平成 12 年 1 月 31 日より

4. 健康管理のあり方

4-1. 放射線被ばくの際の健康管理

4-1-1. 健康管理の目的

健康管理の目的は、身体的・精神的・社会的に調和のとれた状態を保つことにある。放射線被ばく後の健康管理は、被ばく線量・被ばく時間・線質・被ばくの状況等を考慮し、放射線被ばくに関する医学的及び放射線生物学的知見に基づいて行う必要がある。

放射線被ばくの際の健康管理にあたっては、確定的影響についてはしきい線量を、確率的影響についてはこれまでの疫学的調査に基づいた発生確率と発症時期等を考慮して行うことが必要である。また、年齢による放射線感受性の違い等についても考慮する必要がある。

また、広島・長崎の原爆、チェルノブイリ事故など過去の放射線被ばく事例が社会に及ぼした影響は大きく、被ばくに対する不安にも繋がっている。特に、晩発影響は長期間の潜伏期を経た後に現れることから、健康影響に関する不安を増強する要因ともなっている。さらに、この不安が、精神的・心理的な負担となって身体に変調をきたすこともある。従って、放射線被ばくに対する正しい知識を得ること、特に線量と放射線影響の関係を理解することが重要となる。また、放射線による影響の検出のみならず、健康不安への対応を目的として、健康診断及び健康相談による健康管理を行うことが重要となる。

4-1-2. 健康管理の対象者

放射線被ばく後の健康管理の対象者は、様々な科学的な知見によって得られた線量評価に基づいて決定されることが重要である。

確定的影響に関しては、影響のしきい線量をもとに、放射線感受性の個体差等も考慮して、健康管理の対象が決定されるべきである。確率的影響に関しては、個体レベルで生じた影響が放射線被ばくにより生じた疾患であることを証明することは困難である。放射線被ばくによる疾患の増加を検出するためには、被ばく線量に基づく発生確率並びに対象集団の規模から障害発生の有意な増加を統計的に検出可能かどうかを、あらかじめ考慮する必要がある。また、発生した影響の分析に際しては、生活習慣、社会的要因等も考慮する必要がある。一方、放射線被ばくによる健康障害に対する不安が大

きい場合は、被ばく線量が低く、障害発生の増加が疫学的に検出されない場合でも、健康不安への対応として健康管理が行われることが望ましい。

4-1-3. 健康診断

放射線被ばくに対する健康診断は、早期影響の把握ために行うべきものと、被ばく後長期間を経て発生してくる晩発影響の発見に対して行うべきものがある。

(a) 早期影響の把握のための健康診断

悪心・嘔吐等の急性期の放射線症状がある場合は、速やかに医師の診察を受けることが必要である。

放射線に感受性の高いリンパ球が一時的に減少するのは500ミリシーベルト程度の全身被ばくである。従って、この線量以上の被ばくでは早期に白血球百分率を含む末梢血検査を行うと同時に、一定期間をおいてこれらの血液の状態が回復したことを確認することが必要である。

急性放射線症が出現するのはおおむね1000ミリシーベルトを超える全身被ばく時である。これ以上の線量では、血球数の減少により生じる感染、出血や貧血なども起こることから白血球百分率を含めた末梢血検査が定期的に必要となる。さらに被ばく線量が多い場合では放射線熱傷と呼ばれる皮膚障害、加えて消化管障害やそれに伴う水や電解質の喪失が起こる。従ってこれら急性症状に対する早急な治療が必要である。

また、局所被ばくの場合には、全身症状は現れないこともあるが、白血球百分率を含めた末梢血検査を行い全身への影響を調べるとともに、被ばく部位に応じた管理、例えば皮膚などの変化を長期にわたり観察することが必要となる。

男性の一時的不妊は150ミリシーベルト程度で現れるが、これまでの医学的知見により自然に回復することが明らかにされており、特別な検査及び治療は必要ない。永久不妊は、男性で3500ミリシーベルト以上、女性で2500ミリシーベルト以上で生じると考えられるため、この線量を超える被ばくがある場合は、医師の診察を受け適切な医療処置を受けることが必要である。

また、染色体検査は被ばく線量を評価するのに有用であるが、被ばく線量の程度、被ばく人数を考慮に入れて検査の範囲を決定する

ことが求められる。

(b) 晩発影響の把握のための健康診断

○ 確定的影響に対する健康診断

確定的影響と考えられる疾病に対しては、しきい線量を超える場合、それぞれの疾患の予防、早期発見・早期治療を行う。しきい線量は、放射線感受性に個人差があることから、1～5%の人に影響が発生する線量とされている。実際に被ばくをした場合にこれらの疾患に対する健康診断を行う基準として、国際的に考えられているしきい線量を目安とすることを提言する。

水晶体に関して、500 ミリシーベルトを超える被ばくでは白濁が現れ、5000 ミリシーベルトでは視力障害が生じるため、500 ミリシーベルトを超える被ばくでは定期的な眼科検診を行うことが望ましい。

胎児が被ばくした場合、ICRP は 100 ミリシーベルト程度で、奇形や重度精神発達遅滞が現れるとしている。妊娠中のこれらに対する感受性が高い時期に 100 ミリシーベルトを超える被ばくがある場合、頻回にわたる医師の診察を受けることが必要である。

原爆被爆者の調査から、がん以外の疾患や機能障害発生の増加が、1000 ミリシーベルト程度以上の高い被ばく線量群で明らかにされているが、その因果関係はまだ証明されていない [2]。これより低い線量の被ばくでは、その検出のために特段の検査項目を追加する必要はない。

副甲状腺機能亢進症や副甲状腺腫瘍は、高カルシウム血症で発見されることが多く、血清カルシウム検査を行うことが重要である。また、副甲状腺機能亢進症は甲状腺疾患と合併することが多いことも明らかにされている [12]。甲状腺機能に関しては、被爆者に機能低下症が報告されており [13]、大量の被ばくをした場合には、検診時に触診・超音波検査、機能検査を行うことが望ましい。

子宮筋腫は婦人科領域の良性腫瘍の中で最も頻度が高く、最近の調査から放射線被ばくとの関連が示されている [14]。その発生機序には不明な点が多いが、大量の被ばくを受けた場合には、検診項目の一つに入れることが望ましい。

最近の調査から、循環器疾患と肝障害などの消化器疾患が被爆者に統計的にその増加が指摘されているので [15]、日常生活習慣に十分配慮が必要である。

○確率的影響に対する健康診断

確率的影響の健康管理を考える場合、悪性腫瘍に対する健康管理が中心となる。

原爆被爆者のデータからは、200 ミリシーベルトあるいは50 ミリシーベルトを超えると、白血病、甲状腺がん、乳がん、肺がん、胃がん、結腸がん、卵巣がん等の有意な過剰発生が明らかにされている。また、食道がん、唾液腺腫瘍、泌尿器がん、皮膚がんの過剰発生が示唆されているが、因果関係に関しては不明な点も多い。白血病の発症のピークは被爆後5から8年頃に見られ、その後減少傾向が見られている。甲状腺がんは被爆後10年頃より、乳がん・肺がんは20年頃より、胃がん・結腸がんは30年頃より増加が見られている。[3]

この様に、悪性腫瘍も臓器により発症する時期が異なることから、被ばく後の確率的影響の管理は、これらを考慮し早期発見・早期治療のための健康診断を行うことが必要である。従って、被ばく後比較的早期から血液検査や触診・超音波検査を含む甲状腺に対して年一回検診を一定期間行い、乳がん・肺がん・胃がん・結腸がん等の固形がんに対しては長期にわたる継続的な検診を一般的な項目に加え行うことが必要である。これらの疾患が疑われるか発見された場合は、さらに精密な検査のために専門医の受診が必要となる。

前述のように、50 ミリシーベルトを超えない被ばくレベルでは、がんの過剰な発生が認められていないので、特定の疾患を考慮した健康診断は考えられず、職域・学校・自治体で実施されている健康診断や任意で受ける健康診断等一般の健康診断による健康管理が可能である。

確率的影響は、しきい線量がないという仮定をしているので、線量に依存する。従って、健康診断時の被ばくも、確率的影響の増加に寄与する。このため、事故被ばくによる疾患リスクと健康診断時の放射線被ばくに伴うリスクも考慮し、適切な健康診断を行うことが重要である。

4-1-4. 健康診断の記録

環境モニタリング・体外計測・症状・臨床検査・染色体検査等により推定された線量とその評価法、被ばくの状況、被ばく時の健康状態、受けた治療等は、今後の健康管理に活用できる様に、それらの結果を一元的に集積しておくことが必要である。なお、その際、

他の目的に使用しないなど個人のプライバシーの保護に十分留意すると同時に、本人の意向を尊重して行うことが必要である。また記録された内容に関しては、当然のことながら本人の求めに応じて提供すべきである。

4-1-5. 健康相談

誰もが精神的にも肉体的にもより健康でありたいと願うが、疾病に罹患したり、突発的な事態に巻き込まれると健康不安をもつようになる。脅威的な危険が迫る突発的な事態に巻き込まれて、強い恐怖感や無力感を覚えることを心的外傷といい、これがストレスとなって精神状態が不安定になったものを「心的外傷後ストレス障害（PTSD）」という。PTSDでは、突発的に不安が増大してパニック状態に陥るフラッシュバックが見られるほか、錯覚や幻覚も出現することがある。

健康相談では、被災時の年齢等を加味した正しい健康情報を提供するとともに、健康不安の解消のために心のケアを行うことが必要である。健康相談は、このようなPTSDの発症を予防するためにも重要であると同時に、放射線影響に関する専門的な相談に応じることで正しい健康管理を行うと言う意味で必要である。

4-2. JCO 東海事業所における臨界事故に関する周辺住民等の健康管理

4-2-1. 健康管理の対象範囲

科学技術庁事故調査対策本部が、関係機関の協力を得て実施した周辺環境の線量評価及び周辺住民等の個人の線量評価の結果が原子力安全委員会に報告されている。これらによると今回の事故の場合、放射線影響については、次のように考えられる。

- ① 確定的影響については、影響が発生する線量レベルではない。
- ② 確率的影響については、放射線が原因となる影響の発生の可能性は極めて小さく、影響を検出することはできない。

従って、周辺住民等に対して、放射線の身体的な影響の有無を確認するための特別な健康診断は考えられないが、周辺住民等の健康に対する不安に適切な対応をとることが必要である。

以上のことから、希望者に対して、将来にわたり日常的に健康的

な生活を過ごすための一般的な助言に資するために独自の健康診断を当分の間行うとともに、幅広く健康相談を行うことが適切である。

健康に関する一般的な助言に資するための健康診断については、公衆の線量当量限度や自然放射線の地域差等を考慮し、評価された線量が1ミリシーベルトを超える者で、かつ健康診断を希望する者を対象とすることが適当である。また評価された線量が1ミリシーベルト以下であっても、避難要請区域内の住民等については、行政的に避難要請が行われたことに鑑み、希望者を対象範囲とすることが望ましい。

上記に該当する者で、他の地域へ移動する際、健康診断及び健康相談の希望があれば、県外においても健康診断等を受けられるようにすることが望ましい。

4-2-2. 健康診断の方法と内容

上述したように、周辺住民については、被ばく線量の大きさからみて放射線の被ばくと健康影響に因果関係を検出することは困難であり、健康に関する一般的な助言に資するという目的から、当分の間、年1回の健康診断を行うことが適当である。

(a)方法

健康不安への適切な対応という観点から独自に健康診断を行うことを原則とする。この健康診断を受けられない場合は、既存の健康診断、すなわち地域保健や学校保健及び産業保健において行われる診断結果をもって代替することができる。健康診断により疾病が発見された場合、適宜医療施設等に紹介されることが望ましい。

(b)内容

まず、過去1年間の健康状態、治療を受けた疾患名等を把握する。健康診断の内容は、被ばく線量からみて成人に対しては表16に示す標準的診断項目及びがん検診とし、就学前乳幼児や学童等の場合は別に定める内容とする(表16)。また、職域・学校・自治体で実施されている健康診断・任意で受けた健康診断等(老人保健法による基本健康診査、労働安全衛生法に基づく健康診断、電離放射線障害防止規則に基づく健康診断、母子保健法に基づく健康診断、がん検診等)の結果を利用する場合には、健康診断の結果を記載もしくはコピーで代替とする。それらの健康診断とは別途にエックス線による健康診断を増やすことは、かえって被ばく線量の増加に繋がる。

4-3. 健康診断の記録

基本的には、4-1-4 に述べたとおりであるが、今後の健康管理に活用できる様に結果を一元的に集積しておくことが必要である。個人のプライバシーの保護に十分留意する。

4-4. 健康相談

推定線量が1ミリシーベルト以下の者も含めて、今後当分の間、月1回健康相談窓口を設けるなどして広く住民一般の希望者を対象に、健康相談を行うことが必要である。健康相談の実施に際して、心のケア面については、より専門的な立場からそれに応じるものとする。従って、茨城県精神保健福祉センターとの連携を図ることが重要であるとともに、放射線医学総合研究所等の専門機関と協力することも必要である。

健康診断を行う際にも、放射線影響の専門家等による健康相談窓口を設けるとともに、放射線の健康影響についての専門家と心のケアに関する専門家による講演会を年1回程度実施すべきである。

表 16 健康診断の項目

標準的診断項目	
問診	
身体計測	(身長、体重)
理学的検査	(視診、聴打診、腹部触診)
胸部エックス線撮影	(40歳以上)
心電図	(40歳以上)
血圧測定	(40歳以上)
貧血検査	(赤血球、ヘモグロビン、ヘマトクリット)
生化学検査	(GOT、GPT、 γ GTP、血清クレアチニン、総コレステロール、HDLコレステロール、中性脂肪、血糖、ヘモグロビン _{A_{1c}})
尿検査	(糖、蛋白質、潜血)
学童期～成人までの健康診断項目	
問診	
身体計測	(身長、体重)
理学検査	(視診、聴打診、腹部触診)
就学前乳幼児の健康診断項目	
問診	
身体計測	(身長、体重)
理学検査	(視診、聴打診、腹部触診)
がん検診	
胃がん検診	(40歳以上)
子宮がん検診	(30歳以上)
肺がん検診	(40歳以上)
乳がん検診	(30歳以上)
大腸がん検診	(40歳以上)

おわりに

健康管理検討委員会は、我が国では前例のない広範囲にわたり事故施設の周辺住民等が放射線を受ける事態を招いたJCO東海事業所臨界事故に際し、事業所外の周辺住民等を対象に、その健康影響についての分析判断及び将来的な健康管理について議論を重ねてきた。議論は常に、原爆被爆者を中心とする放射線の人に対する健康影響の科学的知見及び健康影響の基礎的な科学的知見を根本としたが、低線量放射線の健康影響には科学的限界があり、限界の領域では国際機関による国際的な合意に基づくこととした。しかし本報告の健康管理の方針は委員会としての判断を示したものである。

さらに、本答申は今回のJCO東海事業所臨界事故への対応のみにとどまらず、我が国における一般的な放射線ひばくの際の健康管理の指針となるよう、健康管理を論じるにあたっては、総論的な項を設けて、一般的な健康管理についても議論を行った。我が国ではこれまであまり行われてこなかったこの方面での議論が、今後も多方面の協力を得て、国家的レベルで協力して活発に行われることを期待するものである。

なお、本報告は科学的な見地、国際的な合意を踏まえた健康管理の方針を示したが、放射線による健康影響の不安への対応等による地方自治体の要望に応じて、行政庁の判断で本報告以上の対応を行うことを妨げるものではない。

参考文献

1. ICRP Publication 41(Annals of the ICRP Vol.14 No.3, 1984):
Nonstochastic Effects of Ionizing Radiation
2. Shimizu Y, Pierce DA, Preston DL, Mabuchi K: Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, Part II. Noncancer mortality: 1950-1990. Radiation Research 152, 374-389, 1999.
3. 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
4. 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.
5. ICRP Publication 60(Annals of the ICRP Vol.21 No.1-3, 1992) :
1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection
6. Muirhead CR, Goodill AA, Haylock RGE, Vokes J, Little MP, Jackson DA, O'Hagan JA, Thomas JM, Kendall GM, Silk TJ, Bingham D, Berridge GLC: Occupational radiation exposure and mortality: second analysis of the National Registry for Radiation Workers. J. Radiological Protection 19, 3-26, 1999.
7. Cardis E, Gilbert ES, Carpenter L, Howe G, Kato I, Armstrong BK, Beral V, Cowper G, Douglas A, Fix J, Fry SA, Kaldor J, Lave C, Salmon L, Smith PG, Voelz GL, Wiggs LD: Effects of low dose and low dose rates of external ionizing radiation: cancer mortality among nuclear industry workers in three countries. Radiation Research 142, 117-132, 1995.
8. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Ionizing Radiation): Sources and Effects of Ionizing Radiation. Annex A, 1994.
9. Ron E, Lubin JH, Shore RE, Mabuchi K, Modan B, Pottern LM,

- Schneider AB, Tucker MA, Boice JD Jr : Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. Radiation Research 141, 259-277, 1995
10. ICRP Publication 62(Annals of the ICRP Vol.22 No.3, 1993) : Radiological Protection in Biomedical Research Annals of the ICRP Vol.22 No.1 1992
 11. Delongchamp RR, Mabuchi K, Yoshimoto Y, Preston DL: Cancer mortality among atomic bomb survivors exposed in utero or as young children, October 1950-May 1992. Radiation Research, 147, 385-395,1997
 12. Fujiwara S,Spoto R,Ezaki H,Akiba S,Neriishi K,Kodama K,Hosoda Y,Shimaoka K:Hyperparathyroidism among Atomic Bomb Survivors in Hiroshima. Radiation Research 130,372-378,1992
 13. Nagataki S,Shibata Y,Inoue S,Yokoyama N,Izumi M,Shimaoka K:Thyroid diseases among atomic-bomb survivors in Nagasaki. The Journal of the American Medical Association 272,364-370,1994
 14. Kawamura S,Kasagi F,Kodama K,Fujiwara S,Yamada M,Ohama K,Ito K:Prevalence of uterine myoma detected by ultrasound examination in the atomic bomb survivors. Radiation Research 147,753-758,1997
 15. Kodama K,Fujiwara S,Yamada M,Kasagi F,Shimizu Y,Shigematsu I:Profiles of non-cancer diseases in atomic bomb survivors.World Health Statistic Quarterly 49,7-16,1996

「健康管理検討委員会」の設置について

平成11年11月4日

原子力安全委員会

茨城県東海村のウラン加工工場で発生した臨界事故に関し、今後の健康管理のあり方を検討するため、原子力安全委員会の下に「健康管理検討委員会」を下記の通り設置する。

記

1. 調査審議事項

臨界事故の線量評価の結果をふまえた健康管理のあり方について検討を行い、行政庁に対し健康管理の方針の提言を行うため、以下の事項を調査審議する。

- ①線量評価をふまえた健康管理の必要性の検討
- ②①の結果をふまえた具体的な健康管理の方法の検討

2. 検討委員会の構成員

別紙の通り。

3. 調査審議内容の公開

検討委員会の調査審議は原則として公開とする。なお、個人に係る情報について、慎重に取り扱わざるを得ないものがある場合については、非公開とすることがある。

健康管理検討委員会 構成員

(主査) 長瀧 重信	(財)放射線影響研究所 理事長
明石 真言	放射線医学総合研究所 放射線障害診療・情報室長
鎌田 七男	広島大学原爆放射能医学研究所 教授
吉川 武彦	国立精神・神経センター 精神保健研究所 所長
草間 朋子	大分県立看護科学大学 学長
古賀 佑彦	藤田保健衛生大学医学部 教授
小佐古 敏 荘	東京大学原子力研究総合センター 助教授
(主査代理) 佐々木 正 夫	京都大学放射線生物研究センター 教授
田 中 俊 一	日本原子力研究所 東海研究所 副所長
朝 長 万左男	長崎大学医学部附属原爆後障害医療研究施設 教授
馬 淵 清 彦	(財)放射線影響研究所 疫学部長

健康管理検討委員会調査審議経緯

- 平成11年11月4日 原子力安全委員会において設置を決定
- 平成11年11月8日 第1回会合開催
- 平成11年11月12日 第2回会合開催
- 平成11年11月19日 第3回会合開催
- 平成11年11月26日 第4回会合開催
- 平成11年12月9日 第5回会合開催
- 平成11年12月14日 第6回会合開催
- 平成11年12月27日 第7回会合開催
- 平成11年11月8日 第8回会合開催
- 平成12年1月25日 第9回会合開催（中間とりまとめ）
- 平成12年2月1日 第10回会合開催
- 平成12年3月6日 原子力安全委員会から中間とりまとめに
関する一般からの意見について指示
- 平成12年3月8日 第11回会合開催
- 平成12年3月27日 第12回会合開催

付録 参考資料

(1) 放射線、放射能、放射性物質の違い

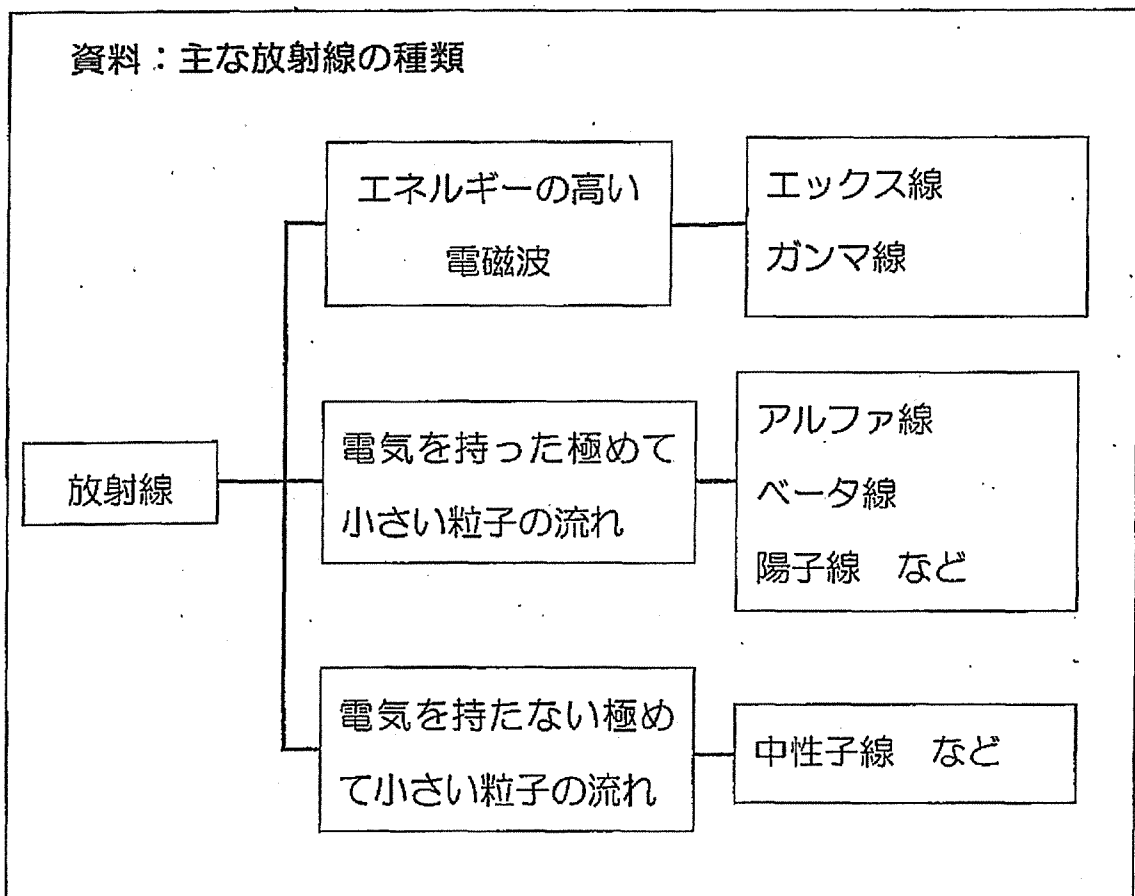
「放射線」はエックス線などエネルギーの高い電磁波、電子や中性子など極めて小さい粒子の流れを言い、「放射能」はこれらを自発的に放出する性質のことを言います。この「放射能」を持った物質を「放射性物質」といいますが、「放射能」は放射性物質の量を表す場合にも使われることがあります。

この関係を炭に例えて言うと、赤く燃えている炭自身が「放射性物質」であり、これから放出される熱線が「放射線」にあたります。燃えている炭が持っている熱線を出す性質が「放射能」にあたります。

(2)

放射線とは

放射線はエックス線などエネルギーの高い電磁波や中性子など極めて小さい粒子の流れを言い、一口に放射線と言っても色々の種類があります。ガンマ線や中性子線は、ものを突き抜ける力が強いのに対して、アルファ線やベータ線は、紙や薄い板でも簡単に止まってしまいます。



(3) 周辺環境に出た放射能・放射線は残らないのか

JCO の事故において環境に放出された放射能は、放射性ヨウ素、気体状で希ガスと呼ばれる放射性のキセノン、クリプトン、ならびにそれらから生成した放射能を帯びたルビジウム、セシウムなどで、一部は土壌や農作物からみつかりました。これらの放射能はもともと量が少ない上、ほとんどが短い時間（半減するのに要する時間；セシウム-138：約 32 分、ヨウ素-131：約 8 日）で消滅する性質を持っているので、現在ではなくなっています。

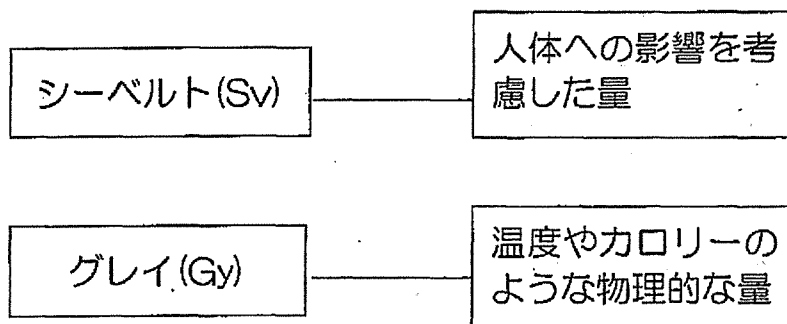
また、中性子線やガンマ線がでましたが、これらは飛んでいったあとは、大気などにエネルギーを与えてしまいあとには何も残りません。

JCO の近くでは、中性子線を受けて土壌や器具などに含まれる原子が放射能をもちましたが（放射化という）、これらは短い時間で消滅する性質を持っているので、現在は残っていません。

(4) シーベルト(Sv)とは何か

シーベルト (Sv) とは、放射線が人体に与える影響の大きさの目安となる線量の単位です。物理的な放射線の線量はグレイ (Gy) であらわしますが、同じグレイの放射線でもガンマ線や中性子線等の種類やエネルギーの違いにより人体への影響が異なります。この人体への影響を考慮した線量の単位がシーベルトです。したがって、シーベルトで表された線量は、放射線の種類やエネルギーによらず人体に対して同じ影響を与えることを意味します。

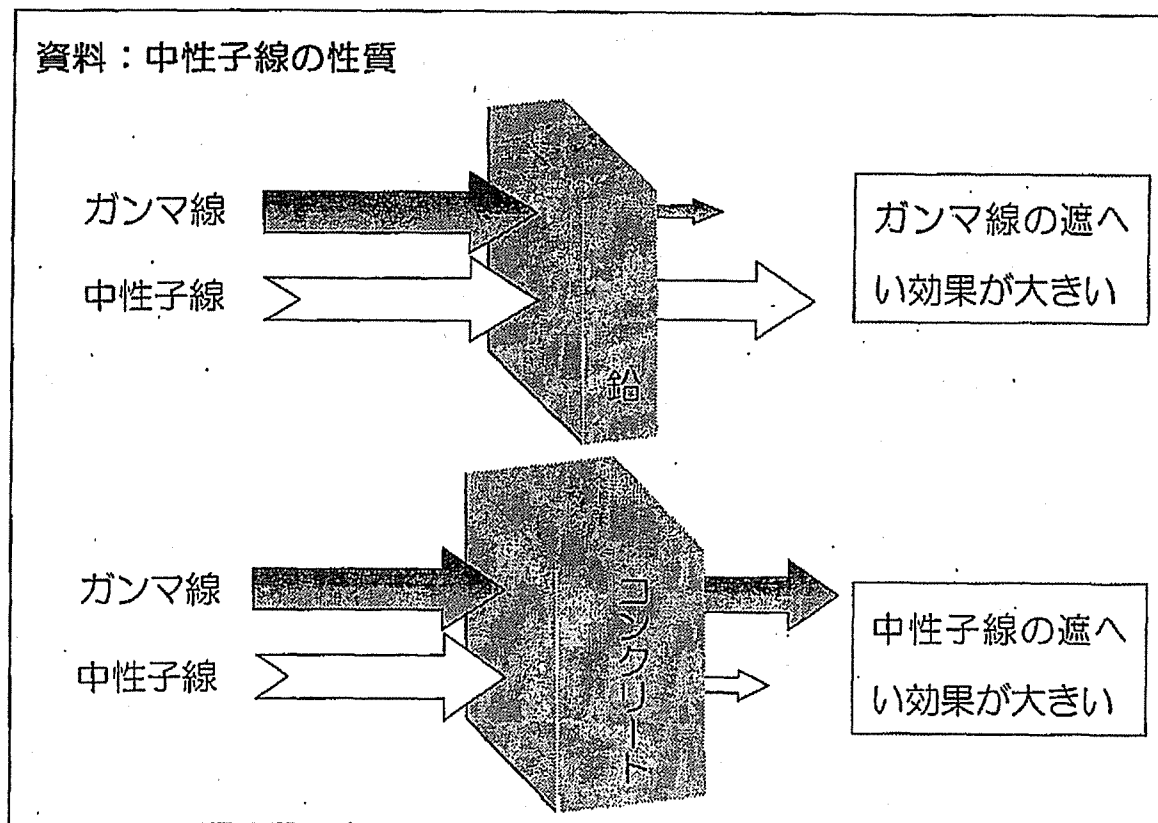
資料：放射線の単位



※1 ミリシーベルトは、1シーベルトの1,000分の1

(5) 中性子線とはどんなものか

中性子線は放射線のひとつです。ウランが核分裂を起こしたときなどに発生します。電荷を持たない粒子のため、まわりの物質の中を通過しやすい性質があります。ガンマ線は鉛や鉄で効果的に遮へいされますが、中性子線の遮へいには、鉛や鉄などよりも、コンクリートや水を用いるのが効果的です。



(6) 中性子線と他の放射線とは影響が異なるのではないか

同じ量の放射線を受けた場合、中性子線はガンマ線やエックス線に比べて人体への影響が大きいことがわかっていますが、放射線の影響の目安として用いられる線量の単位であるシーベルト(Sv)には、この人体への影響の大きさの違いが考慮されています。

従って、シーベルトで表された線量が同じであれば、人体への影響も同じであると考えてさしつかえありません。

(7) 臨界とは

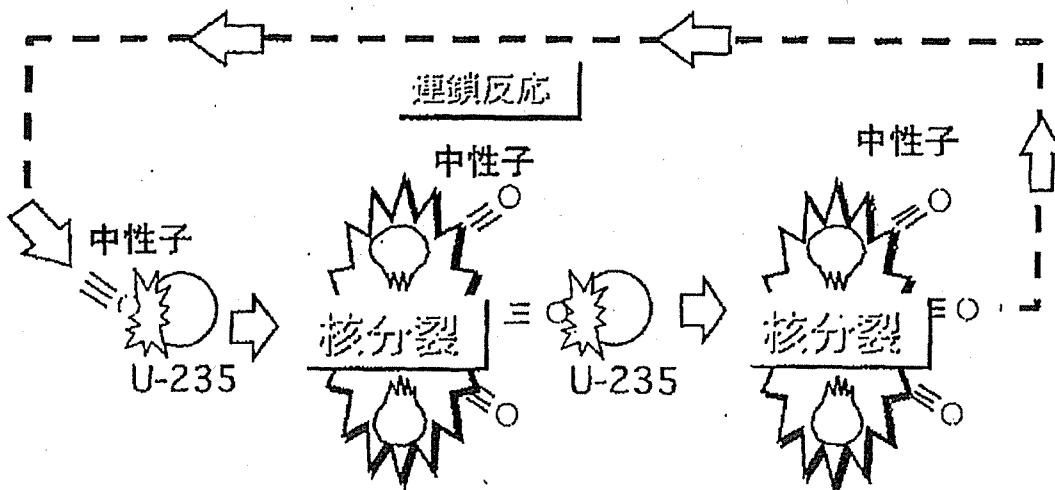
ウランやプルトニウムのような核分裂物質は中性子が当たると核分裂反応を起こして、大きなエネルギーを生み出すとともに、2-3個の新たな中性子を生成します。このため、一定量以上の核分裂物質が、ある条件下で集まると次々と生まれる中性子によって核分裂反応が持続します。この核分裂が持続されている状態を臨界と呼びます。

原子力発電は、臨界の状態を人工的に作りだし、これを制御しながら運転してエネルギーを取り出しています。

JCOの臨界事故は、許可条件を超えて、決められた以上の量のウランを臨界が起こりやすい状態で扱ったために起こりました。

資料: 臨界の様子

ウラン(U-235)に中性子が当たると核分裂反応が起き、エネルギーと数個の中性子が生まれます。生まれた中性子により次の核分裂反応が起きることを連鎖反応と呼びます。連鎖反応が持続して起こる状態が臨界です。

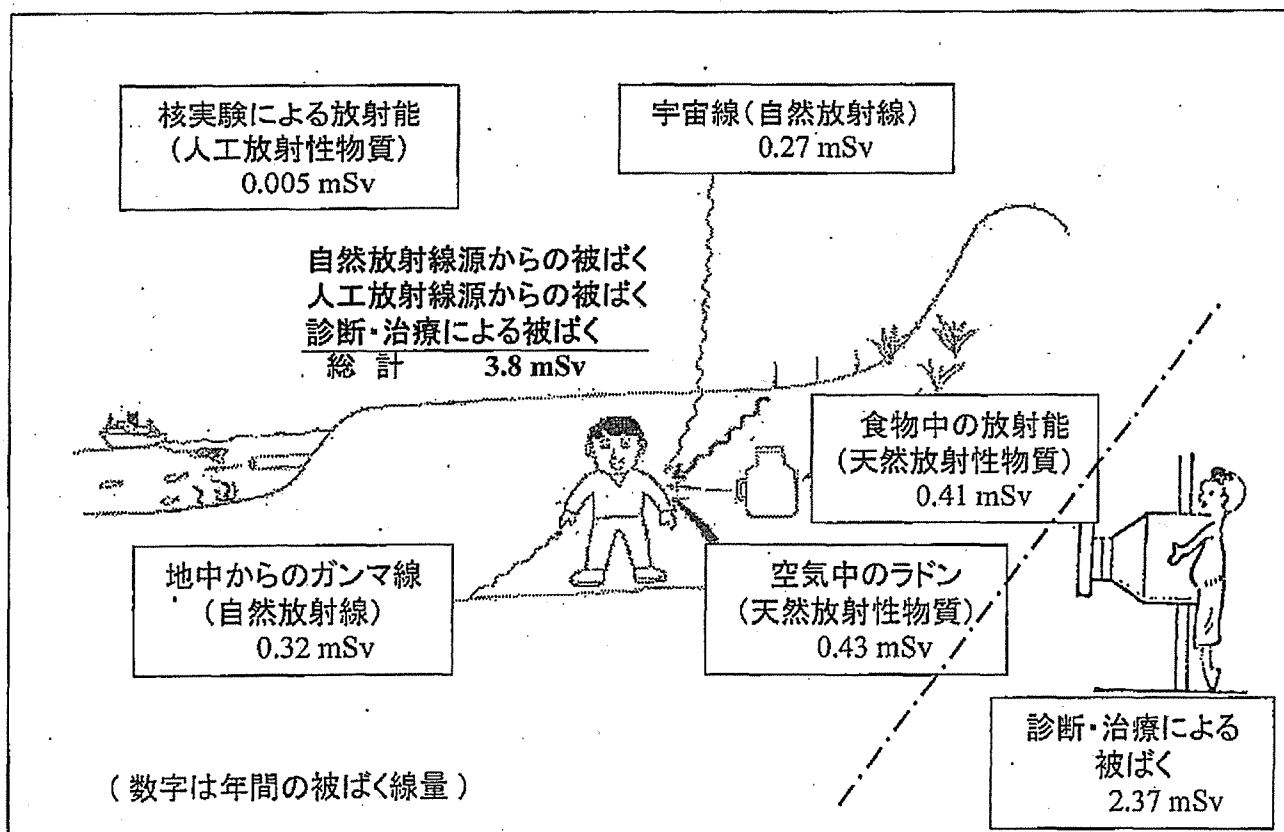


(8) 普段の生活で私たちはどれくらい被ばくしているか

普段の生活の中で、私たちはいろいろな放射線により被ばくしています。これらの放射線は、自然界にもともとある自然放射線と、人間の活動により生み出された人工放射線の2種類がありますが、両者に性質の違いはありません。

自然放射線には宇宙からやってくる宇宙線や、地中の天然放射性物質から出されるガンマ線などがあります。

一方、人工放射線には、過去の核実験により環境にばらまかれた放射性物質からやってくるガンマ線などが含まれます。また、エックス線診断などの医療に用いられる放射線によっても私たちは被ばくをしています。



(生活と放射線:放射線医学総合研究所に加筆・修正)

(9) 医療の엑クス線検査でどれくらい被ばくするか

病気の診断を行うための検査の一つとして、엑クス線等の放射線が利用されています。装置や検査方法によって違いはありますが、最近では、検査1回当たりの被ばく線量は、病院などでの胸部レントゲン写真で0.06ミリシーベルト、CT検査で数ミリシーベルト程度になるとされています。

日本におけるX線検査時の被ばく線量（検査当たりの実効線量当量）

検査の種類		被ばく線量（ミリシーベルト/回）
病院などでの胸部レントゲン写真		0.06
CT検査	胸部	6.9
	腹部	4~7
結核・肺がん等の集団検診		0.05
胃の集団検診		0.6

出典：

T.Maruyama, et al :Radiation Protection Dosimetry, Vol.43 No.1/4 213-216 (1992)

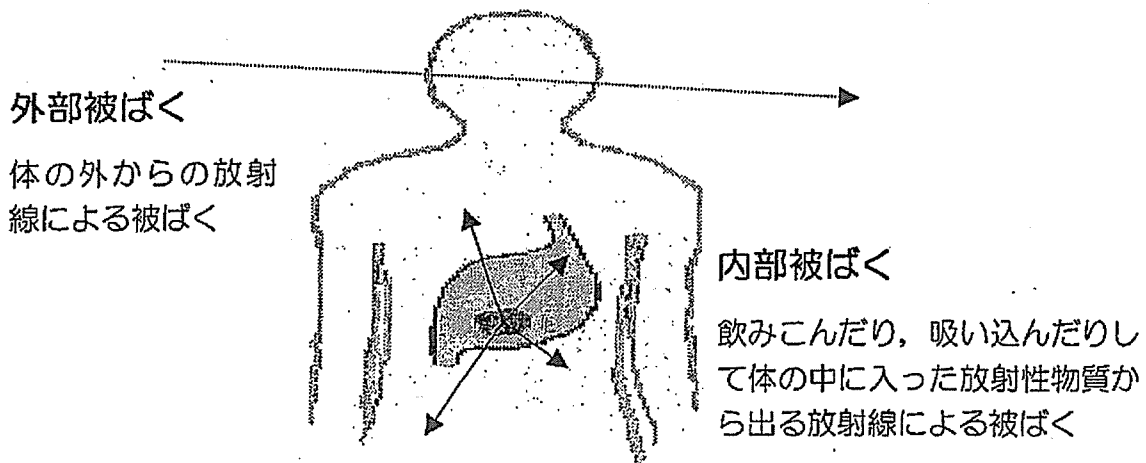
丸山隆司編：生活と放射線、放医研環境セミナー No.22(1995)

(10) 放射線被ばくとは

放射線被ばくとは、人間が放射線を受けることをいいます。

放射線被ばくには二通りあります。一つは、放射線が体の外からやってくる外部被ばく、もう一つは、体の中に入った放射性物質から出される放射線による内部被ばくです。

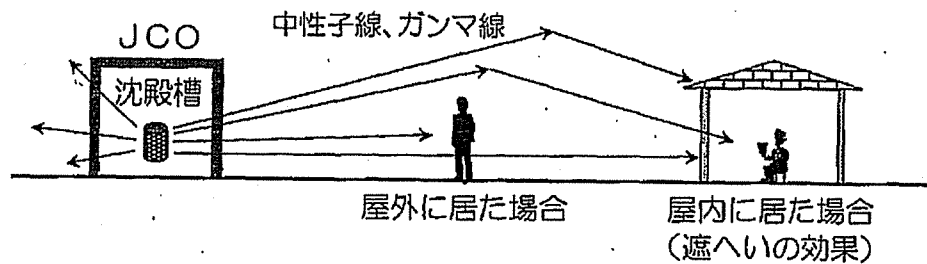
内部被ばくの場合には、体の中に放射性物質が残っていると継続して被ばくします。一方、外部被ばくでは、新たな放射線がやってこなければ、放射線が体を通りすぎてしまった後には再び被ばくする恐れはありません。



(11) 個人の線量はどのようにして推定されたのか

事故の期間中、JCO敷地周辺で中性子線とガンマ線の線量率が測定されています。まず、これらの測定結果を用いて、事故現場からの距離と線量率の関係を求め、線量率の時間変化から、屋外にずっと居続けた時の線量が計算されました。

つぎに、行動調査結果や住宅の放射線遮へい効果を考慮して、一人一人の線量が推定されました。



資料： 屋外に居続けた場合の線量

表中に示された距離の場所に示された時刻までずっと屋外に居続けた場合の線量です。屋内にいた場合の線量は、さらに小さな値となります。

時刻 距離	積算線量 (ミリシーベルト)				
	(9/30) 11:00	16:00	21:00	(10/1) 2:00	6:15
80 m	11	44	66	83	92
100 m	6.1	25	38	48	53
150 m	2.1	8.6	13	16	18
200 m	0.91	3.7	5.6	7.1	7.9
300 m	0.24	1.0	1.5	1.9	2.1
350 m	0.14	0.58	0.86	1.1	1.2
500 m	0.033	0.14	0.20	0.26	0.29
1000 m	0.00075	0.0031	0.0046	0.0058	0.0065

線量の推定は以下のように行われました。

1. 計算方法

個人の行動調査を基に、時間、場所毎に算出された「場の線量」に「滞在時間」と「家屋の遮へい効果」を考慮し、事故発生時から臨界が終息した 20 時間後までの線量を合計して算出されました。

「ある時間の線量」＝「場の線量」×「滞在時間」×「家屋の遮へい効果」
これを 20 時間分について合計する。

○ 場の線量

JCO 転換試験棟内沈殿槽からの距離毎、30 分毎の屋外での積算線量を用いられました。

○ 滞在時間

聞き取り調査による行動調査の結果から 30 分間隔でデータが作成されました。

○ 家屋の遮蔽

建築専門家による家屋分類と行動調査結果をもとに対象家屋を分類し、それぞれに対して中性子線とガンマ線の透過率が割り当てられました。(家屋の中性子線の透過率はガラス窓で 0.94 からコンクリート家屋で 0.14 と家屋の材質によって変化します。)

2. 移動中の評価

移動経路、移動手段、移動時間を考慮して評価されました。

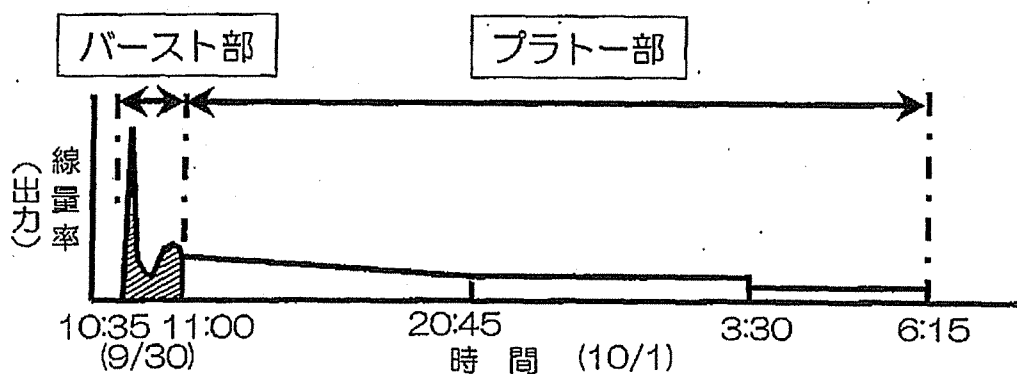
3. 遠方の取り扱い

JCO から 1km 以遠は仮に臨界終息までの 20 時間屋外に居続けたとしても 0.007mSv 以下であり、考慮は行われませんでした。

(12) 周辺環境の線量評価はどのように見直されたのか

今回の事故では、核分裂の状態の変化がはじめの25分間（バースト部）では大きく変化し、その後の約19時間（プラトー部）では緩やかでした。当初、この25分間の状態がよく分からなかったため、不確かさを伴う間接的な計算によってこの部分の線量は過大側に推定されました。その後、事故の発生から終息までの中性子線量を連続して計測していた日本原子力研究所那珂研究所の中性子モニタの記録が詳しく解析されました。その解析結果とプラトー部での実測された線量を直接用いてバースト部の線量が求められました。その結果、当初の値よりもかなり小さくなり、最終的に線量評価値が下がりました。

★ プラトー部に対するバースト部の線量の比率が見直されました



当初:

バースト部の線量 : プラトー部の線量
92 : 100

見直し後:

バースト部の線量 : プラトー部の線量
13 : 100

★ なお、プラトー部の線量値に変更はなく、上の比率はこれを100として表してあります。

(13) 大気の吸入、食物摂取からの被ばくは

JCO事故では、微量ではありましたが施設から周辺環境中に放射性物質が放出されました。大気中へ放出された放射性物質(キセノン、クリプトン等の希ガスやヨウ素)を吸入したり、これらの放射性物質が出す放射線にさらされた場合、被ばくが起きます。その被ばく線量の大きさは、最も大きい地点で、0.1ミリシーベルト程度と推定されています。

なお、一部の農作物から検出された放射性物質はごく微量であり、畜産物や水産物には事故による放射性物質は見つかりませんでした。従って、食物摂取からの被ばくは問題になりません。

(14) 放射線の健康影響にはどのようなものがあるのか

放射線によるヒトへの影響は、誰に影響が現れるかに着目して身体的影響と遺伝的影響に、被ばくしてから症状が出現するまでの期間に着目して早期影響と晩発影響に、そして線量と放射線の影響の現れ方に着目して確定的影響と確率的影響とに分類されます。(図参照)

(1) 身体的影響・遺伝的影響

身体的影響は被ばくした本人に現れる影響です。その現れ方には早期のものと晩発性のものがあります。また、後述の確定的影響と確率的影響もあります。遺伝的影響は被ばくした本人ではなく子孫に現れる影響ですが、ヒトではこれまでに放射線による遺伝的影響の発生は確認されていません。

(2) 早期影響・晩発影響

早期影響とは、被ばく直後、または数日ないし数週以内に現れる影響で、早期影響は全て身体的影響で、被ばくした本人にしか現れません。また、後述するしきい線量以上の線量に被ばくした場合にしか現れません。晩発影響は、被ばく後数ヶ月以上の期間を経て現れる影響です。白

内障や皮膚の萎縮のように被ばく後数ヶ月の後に現れる影響と、数年から十数年以上の期間を経て現れる白血病や肺がん、乳がんなどのがんがあります。

(3) 確定的影響・確率的影響

確定的影響は影響の発生する最小線量（しきい線量）が存在する影響であり、しきい線量を超えて被ばくした時にだけ現れる影響です。

確率的影響はしきい値がなく線量の増加に応じて影響の発生確率が増加する影響であり、がんと遺伝的影響があります。

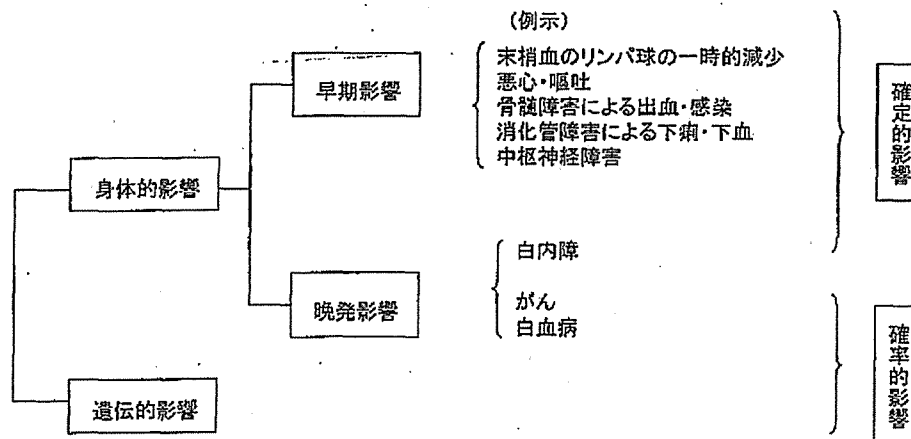


図 放射線の人体影響

(15) 被ばくの量と健康影響の関係は

ある線量(しきい線量)を超えて被ばくすると確定的影響が現れます。現在までの知見でしきい線量の最も低い臓器は(胎児については別途記述)男性の生殖腺で、150ミリシーベルトの放射線を受けると一時的な不妊が生じると言われています。また、全身に500ミリシーベルト以上の放射線を受けると、一時的に末梢血液中のリンパ球の減少が認められます。

今回の事故による住民の推定線量は、これらのしきい線量を下回っておりますので、確定的影響が発生することはありません。

一方、放射線による発がんや白血病は確率的影響と呼ばれ、低い線量から高い線量まで線量が増えるに従い発生確率が増加すると考えられています。しかし、広島・長崎の原爆被爆者(約9万人)における長期間における調査で、50ミリシーベルト以下の線量では過剰な放射線によるがんの発生の確率は極めて小さく、統計的にがんによる過剰死亡は検出されていません。また、がんの原因は一つではなく、多くの

要因（例えばタバコや食事など）が長年にわたって積み重なって起こると考えられており、放射線もそのような要因の一つとして、がんの発生に寄与すると考えられています。従って、多くの場合、がんについてそれが放射線によるものかどうかの識別は困難であり、各個人に発生したがんが放射線によるものかどうかの確認は出来ません。

(16) 今回の事故で急性症状がでることはないのか

大量に被ばくしたときの急性の放射線障害として、血液障害、紅斑や脱毛等の皮膚障害、消化器障害、神経障害などが知られています。これらが原因で早期に死に至ることもあります。しかし、これはいずれも、ある線量以上（例えば500ミリシーベルトで末梢血中のリンパ球が減少しはじめる等）の放射線に被ばくした時に一定期間内に現れるものです。今回の事故では、重篤な被ばくをした3人の作業員にこのような症状がみられ、そのうち一人が死亡されています。しかし、住民の被ばく線量はこのレベルを大幅に下回っており、これらの急性症状が出ることはありません。

(17) 妊娠、分娩に影響はあるのか

広島・長崎の原爆被爆者について調べられており、被ばくした人と被ばくしていない人との間に、妊娠能力の差はありませんでした。また、流産、早産、及び死産についても、差はありませんでした。

(18) おなかの赤ちゃんに影響はないのか

お腹の赤ちゃん（胎児）が被ばくした場合でも、胎児の線量が100 ミリシーベルト以下では生まれてくる赤ちゃんの異常は見つかっておりません。また、出生後の小児がんや白血病の増加や成人した後にがんになる可能性は、おとなが被ばくした場合に比べて2～3倍高いと考えられています。

資料： 胎児が被ばくしたときの影響

胎児への影響としては、ある被ばく線量（しきい線量）以上になると現れる影響（死亡、奇形、精神発達遅滞など）と、被ばく線量に応じて現れやすさかわる症状（がん、遺伝的影響）があります。また、これらの胎児の影響は、放射線を受けた妊娠の時期によって異なります。例えば奇形は妊娠後2～8週の間での被ばくが問題になりますか100ミリシーベルト以上被ばくしなければ現れません。

影響	感受期 (胎齢)	1000 ミリシーベルト あたりの発生率	しきい線量 (ミリグレイ)
奇形	2～8週	—	100
精神発達 遅滞	8～15週	0.4	120～200
	16～26週	0.1	
発がん	2週～	0.10～0.15	—

(草間他 [放射線健康科学] 1997)

(19) 子孫に対して遺伝的影響はないのか

広島・長崎の原爆被爆者の子供達について、遺伝的影響がないかどうか調べられてきましたが、これまで奇形、死産などの異常や、出生男女比、先天性の染色体異常などについての遺伝的影響は見つかっていません。したがって、今回の事故による被ばくでは、遺伝的影響が検出されるとは考えられません。

原爆被爆者の子供の遺伝学調査

調査	調査対象集団の人数	結果
死産	64,740	検出されず
奇形	65,431	検出されず
体重	71,716	検出されず
性比	65,431	検出されず
染色体異常	16,298	検出されず
蛋白質電気泳動	23,661	検出されず
死亡率	88,485	検出されず
DNA 突然変異	1,000 家族 (1,399 人の子供とその両親)	検出されず

中村典、原爆放射線の遺伝的影響に関する調査：過去・現在・未来、放射線生物研究 34(2):153-169, 1999 に加筆

(20) 大人と子供の放射線発がんに対する感受性の違い

さまざまな疫学調査の結果、子供は大人にくらべて放射線発がんに関する感受性が高いことが知られています。

乳がん、甲状腺がん、白血病は被ばく時年齢が低いほど発生率が高くなります。被ばく年齢が10歳以下の場合、生涯にわたるがんの確率は成人に比べて2～3倍高いといわれています。

(21) 遺伝子の傷と修復について

生物の遺伝情報は、デオキシリボ核酸 (DNA) と呼ばれる巨大な分子の中に特別な配列として組み込まれています。人の遺伝子は約10万個あると推定されていますが、これらの遺伝子がDNA全体に占める割合は約5%と言われています。細胞が放射線を受けるとこの遺伝子が切れたり、DNAを作っている塩基と呼ばれる分子が変化したりします。このような切断や塩基の変化が遺伝子の上で起こると遺伝情報を正確に伝えることができなくなります。

しかし、生物は何億年も前に地球上に誕生して以来、自然界に降り注ぐ放射線や紫外線、そして体内に生じる活性酸素の攻撃から大事な遺伝子を守るために、巧妙な遺伝子修復機構をその体の中で進化させてきました。そのため、ヒトを含む生物の細胞には、切断された遺伝子を元通りに直す仕組みや、変化した塩基を切り取って元通りに修復する仕組みなど、精巧な防御機構が何重にも組み込まれており、遺伝子の傷のほとんどが元通り修復されてしまいます。

(22) 広島原爆との相違点について

JCO事故では核分裂は約 20 時間にわたって続き 2.5×10^{18} の核分裂がおこり、それに伴って中性子線やガンマ線による被ばくが生じました。一方、広島原爆では一瞬のうちにJCOよりも数十万倍大きい規模で核分裂が起こり、ガンマ線、中性子線のみならず熱線、爆風が生じ、火災等ともあいまって、大きな被害が出ました。

(23) チェルノブイリ原発事故との違いについて

チェルノブイリ事故では、大型の発電炉が長期にわたって運転されていたため、半減期の長い放射性核種を含む大量の放射性物質が原子炉の中に蓄積されていました。これが、事故時の爆発と火災により原子炉や原子炉建屋が大規模に破壊したため大量の放射能が環境中に放出されました。チェルノブイリ事故では、ヨウ素が 10^{18} ベクレル以上、セシウムが 10^{17} ベクレル以上、全体で約 10^{19} ベクレルの放射性物質が環境に放出されたと推定されています。この結果、これらの放射性物質を吸入、摂取したことにより大きな内部被ばくが生じました。

一方、JCO事故で生成された放射性物質は、チェルノブイリ原発と比べると極めて少量で、沈殿槽や建物等も壊れませんでした。このため、環境に放出された放射性物質は、希ガスが約 10^{14} ベクレルとヨウ素の一部が極微量であり、チェルノブイリ事故のように放射性物質の吸入、摂取による内部被ばくの影響はありませんでした。

また、チェルノブイリ事故では、半減期の長いセシウム等の放射性物質が環境を汚染したため影響が長く続いています。JCO事故では、臨界の終息とともに中性子線等の放出も止まりましたので、被ばくの恐れはすぐにはなくなりました。