日本原子力学会バックエンド部会
支援事業

<保存用>

21世紀の原子力・放射線問題

―近年のトピックスの中から―

2002年11月

<保存用>

NPO法人放射線教育フォーラム

21世紀の原子力・放射線問題
――近年のトピックスの中から――

目　　次

1．低線量放射線の生物影響　　酒井 一夫・・・・・・ 1

2．放射線業務従事者の疫学調査結果　　金子 正人・・・・・・ 9

3．原爆生存者の疫学的データから導いた線量－反応関係のしきい値の存在について　　松浦 辰男、菅原 努・・・・・ 17

4．中学校地理・公民・理科の教科書におけるエネルギー・放射線関係の記述について　　関本 順子・・・・・27

5．最近の高校教科書（文系）における原子力関係の記述の傾向　　松浦 辰男、高木 伸司、関本 順子・・・・・35

6．高等学校教科書の「放射性廃棄物」に関する記述内容部分の摘出とその内容へのコメント　　福塚 直也・・・・・45

7．一般公衆が容易に認知できる放射線のリスク　　河村 正一・・・・・55

（日本原子力学会バックエンド部会からの支援による印刷物）

低線量放射線の生物影響

（財）電力中央研究所
低線量放射線研究センター
酒井一夫

1．はじめに

近年、低線量放射線の生物影響に多方面からの関心が寄せられている。放射線の生物影響に関する研究には100年を超える歴史があるにもかかわらず、なぜ今低線量の影響が話題になっているのだろうか。本稿では放射線の生物影響の研究の歴史を振り返り、低線量放射線に興味が移ってきている背景を概観する。次いで、低線量放射線の生物影響に関して近年明らかになってきた現象を紹介し、人類と放射線とのかかわりの中で、低線量放射線の生物影響の意義を考える材料を提供したい。

2. 放射線の生物影響研究の歴史－高線量から低線量へ

放射線の生物影響の歴史はレントゲンによって１８９５年にＸ線が発見された直後にまでさかのぼる。Ｘ線の研究に携わっていた研究者たちは、皮膚に発赤が生じたり、毛が抜けたりするなどの症状を早くから認識していた。Ｘ線によって、皮膚を透過して骨を観察することができることは、当時はおそらく奇跡のように思われたに違いない。基礎研究の分野だけではなく、様々の場面でかなり無防備の状態で使用されていたようである。極端な場合には、手の骨の像を「見世物」としていた例もある。

そうこうするうちに、Ｘ線の発見から数年のうちには、発赤や脱毛にとどまらず、潰瘍、皮膚がんといったより重篤な障害も生ずることが見出された。放射線の生体に対する強力な作用に関する情報の蓄積は、一方では1997年に既に有毛性母斑（毛の生えているアザ）の治療、引き続いてがんの治療へと応用され、他方では放射線の無秩序な使用による副作用を防ごうという動きにつながった（各国での対応を取りまとめる形で1928年に国際放射線防護委員会の前身が発足している）。

このような状況の中で、放射線生物影響研究とは、基本的には「放射線がどれほどあたると、どれほどの影響が現れるか」を研究する学問であった。影響の指標としては、人間では、当初から観察されていた皮膚の発赤、脱毛、潰瘍、発がんなどの皮膚に生ずる障害をはじめ、白血球の減少などが、実験動物では急性死や不妊、血液像の変化、骨の発育不全などがＸ線発見から10年もしないうちに報告されている。その後、基礎医学あるいは生物学的な分析手段の進展とともに、染色体異常の誘発や細胞死、突然変異、発がんなどの解析へと展開していった。これらの研究において用いられた線量は、放射線による障害がはっきりと観察されるような線量、すなわち高線量であった。

低線量放射線に目を向けるきっかけは放射線以外の分野からもたらされた。ひとつは「ホルミシス」、もうひとつは「適応応答」である。

「ホルミシス」とは、「刺激する」という意味のギリシア語に由来する。「ホルモン」と語源を一にする言葉であり、大量であれば有害な物質が、微量であれば生体に適度な刺激を与える現象のことを指す。アルコールやカフェインなどがその例として挙げられることが多い。さて、大量であれば有害という点では放射線も同様である。では、微量の放射線はという疑問から、T.D.Luckey が放射線ホルミシスの考え方を導入した。

Luckeyは、微量の放射線には適度な刺激効果があるという観点から、それまでの報告を洗いなおし、「どれほど照射すればどれほどの障害が現れるか」という考え方の中で無視される傾向にあった低線量域での実験結果を掘り起こした。こうしてまとめたのが"Hormesis with Ionizing Radiation"(1980)である。この中での引用文献は 1903 年にまでさかのぼり、その数は 1260 を越える。

もうひとつのきっかけとなった「適応応答」は、予め低濃度のアルキル化剤にさらされたバクテリアがその後の高濃度のアルキル化剤処理に対して抵抗性を示すようになるというのがそもそもの発見であった。アルキル化剤を放射線に置き換えた報告が発表されたのは 1984 年のことである。このときには、トリチウムチミジン(放射性のトリチウム^{3}Hで標識したDNAの前駆体。細胞内ではDNAに取り込まれ、ベータ線の被ばくをもたらす)が用いられた。トリチウムチミジンで前処理しておいた細胞に 1.5Gy の放射線を照射すると、前処理しない場合よりも染色体異常の数が少なかったという報告である。やがて、トリチウムチミジンによる「内部照射」だけでなく、X線やガンマ線による「外部照射」によっても適応応答の誘導されることが示された。

放射線ホルミシスと放射線適応応答に共通しているのは、「生体の放射線に対する応答」という概念であろう。それまでの放射線生物影響の研究の歴史の中では、高線量放射線を対象としていたために、圧倒的な放射線の作用の中に生体の応答が埋もれてしまっていた。低線量の放射線に目を向けてはじめてこのような応答の姿が見えるようになったといえるのではないだろうか(図1)。

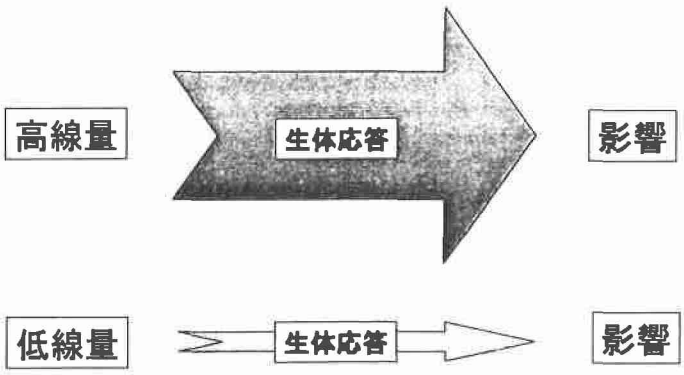


図1　放射線の生物影響における生体応答の寄与の線量による違い——放射線影響研究の中で見落とされていた「生体応答」

3．放射線適応応答

生体が低線量の放射線を刺激として受けとめ、様々な機能の活性化や増強という形で応答していることは、図2に示すような実験方法で解析されている。まず低線量の放射線を照射する(この照射は、前照射あるいは事前照射と呼ばれ、このときに与えられる線量は、応答を引き起こすという意味でPriming Dose、適応させるという意味でAdapting Dose、あるいは、適応のための条件づけをするという意味で Conditioning Dose などと呼ばれている)。その後適当な時間をおいた後に、高線量を照射し種々の指標で影響の解析を行う。ここで与えられる高線量を、生体のもつ防御能力に対して挑戦するという意味でChallenging Dose と呼ぶ。

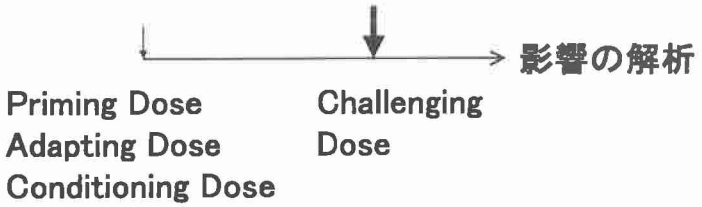


図２　放射線適応応答の解析法

放射線適応応答の典型的な実験例を図3に示す。この例では、放射線によって生じたDNA切断が完全に修復されなかった場合に生ずる「小核(本来の細胞核のほかに観察されるDNAの断片を含む微小な構造)」を指標とした。事前照射(0.1Gyあるいは 0.2Gy)の後 4 時間経過してから3Gyの Challenging Dose を照射した結果である。事前照射することによって、3G

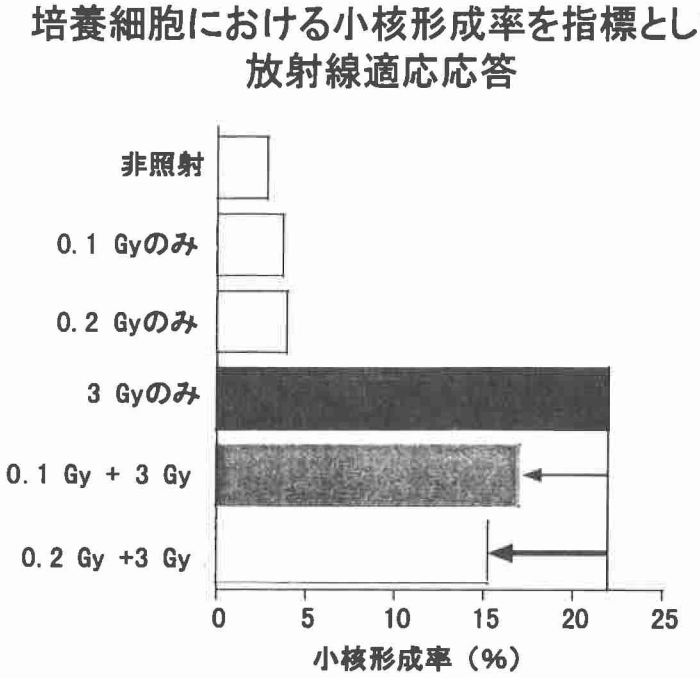


図３：培養細胞における小核形成率を指標とした放射線適応応答

yのみの場合に比べて小核形成率が低下していることが分かる。小核の減少はDNA切断を修復する能力が増強した結果と考えられる。

放射線適応応答は個体レベルでも観察される。マウスに致死線量(7Gy)を照射すると30日後の生存率は約10%だが、7Gyを照射する2週間前に0.5Gyを照射しておくと、致死線量照射30日後の生存率は80%であった(図4:大阪府立大学・米澤ら)。

いずれの場合も、Priming Doseを与えた後、Challenging Doseを照射するまでに時間をあけることが重要である。事前照射によって、細胞あるいはマウスの体内で何らかの反応が起こり、その結果としてDNA損傷あるいは致死効果を指標とした放射線抵抗性がもたらされたものと考えられる。

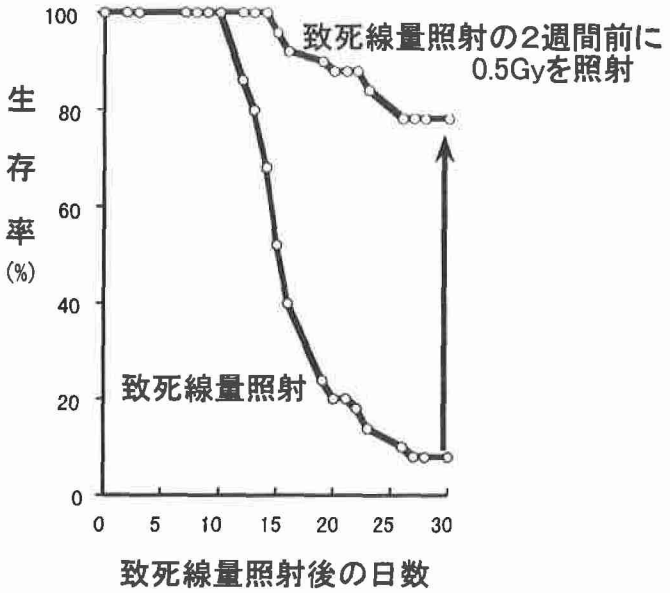


図4:マウス個体における放射線適応応答

4.低線量放射線による生体防御機能の増強

前項で述べたような研究結果が蓄積し、また、細胞や動物個体でどのようなことが起こっているのかを探る中で、低線量放射線を受けた生体の中では様々な防御機能が増強されていることがわかってきた。増強される機能には、抗酸化機能、DNA修復機能、アポトーシス、免疫機能などがある。

(1) 抗酸化機能(図5)

細胞は、様々な内的あるいは外的要因によって発生する活性酸素に常にさらされている。活性酸素は生体膜や遺伝子に損傷を与えてその機能を損なう。これに対し、生体には抗酸化物質と呼ばれる一群の物質があり、これが活性酸素を除去する役目を果たしている(抗酸化機能)。抗酸化機能の担い手には、スーパーオキシドディスムターゼやカタラーゼなどの酵素やグルタチオンなどの抗酸化物質があるが、低線量放射線によってこれらの活性が増強されたり、その量が増加したりすることが知られている。

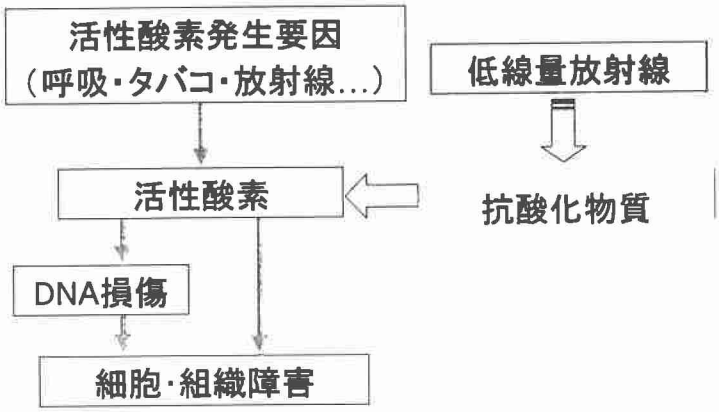


図５：低線量放射線による抗酸化機能の増強とその意義

（２）DNA 修復能（図６）

細胞には本来 DNA に生じた損傷を修復する能力が備わっている。DNA 損傷は修復されずに後に残ると、染色体異常や突然変異を引き起こす原因となり、発がんにつながる可能性がある。残存ＤＮＡ切断の数を反映する染色体異常や小核形成率が、低線量放射線の事前照射によって減ることなどから、ＤＮＡ修復能が低線量放射線によって増強されていることが示されている

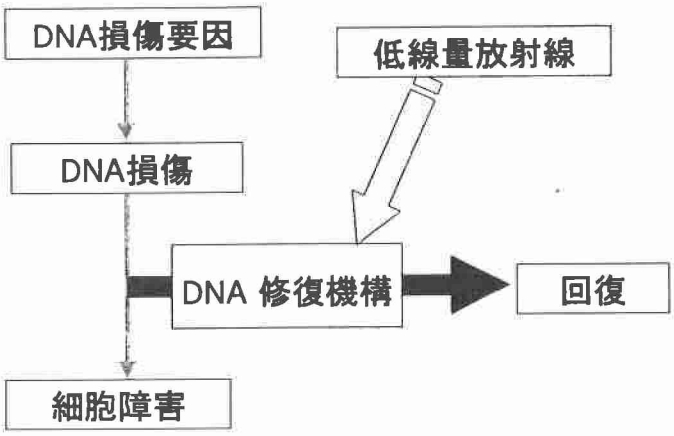


図６：低線量放射線による DNA 修復能の増強とその意義

（３）アポトーシス

生体の発生の過程で、あるいは成熟した後でも多数の細胞が調和して様々な機能を維持するためには、体の中で適切な時期に「不要な」細胞が除去される必要がある。この、不要な細胞が速やかに死に至る過程をアポトーシスと呼ぶ。アポトーシスは、カエルの変態の際にオタマジャクシの尻尾が消失する過程や、免疫系の発達の中で異物を認識できないリンパ球や自己を認識してしまうリンパ球が除かれる過程などで観察される。

アポトーシスは、遺伝子に重篤な傷を負った細胞を除去するという役割も担っている。DNA 修復機構によって治しきれないほどの損傷を負った細胞を除去することによって、個体の中に変異細胞が生ずることを防いでいる（図７）。

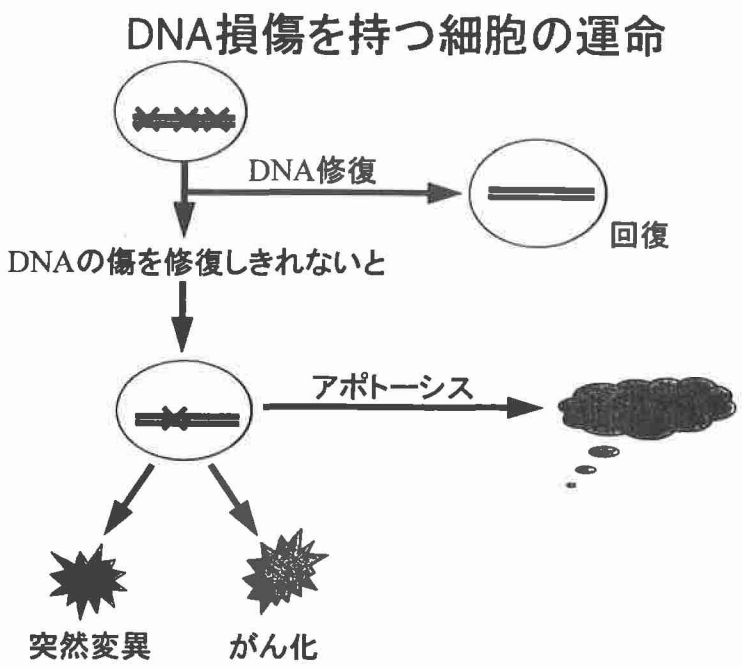


図７：アポトーシスの生物学的意義

（４） 免疫機能

生体には外部から「異物」が進入してきた場合に、これを除去する仕組みとして免疫機構が備わっている。免疫機構は、この同じ防御系は、体の中に生じた異物（がん細胞）に対しても機能している。

免疫機能は、高い線量では損なわれ、急性死の原因となることもあるが、数十ミリグレイから数百ミリグレイの範囲ではかえって増強される場合のあることがマウスを用いた実験で示されている。

5．低線量放射線とがん

低線量放射線の人体におよぼすリスクという観点からは、がんが最も重要な問題である。現在のところ、「放射線はどんなに微量であってもがんを引き起こす可能性があり、これ以下であればがんが生じないという線量（しきい線量）は存在しない」という「しきい値なし直線仮説」（図８）が放射線防護の基本的な考え方の一つとなっている。広島・長崎の原爆被爆者に関する調査研究結果など、高線量で得られている情報を低線量域にまで直線的に外挿して発がんリスクの算定がなされ、線量限度が設定されている。また、この考え方は放射線防護の立場からの仮説であるにもかかわらず、事実として受け取られる場合も多く、一般の人々の放射線に対する恐怖心の一因でもある。

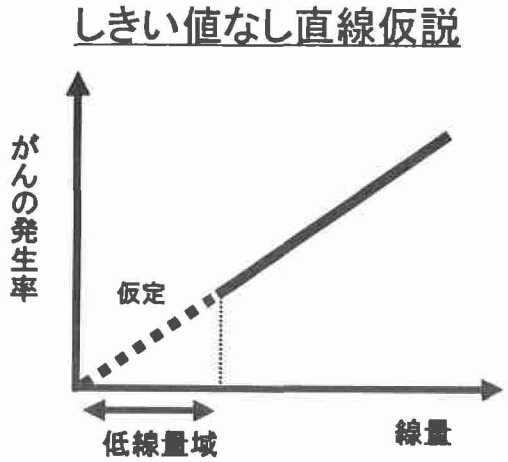


図８：しきい値なし直線仮説

低線量放射線の生体影響に関する情報が蓄積されてきた現在、低線量放射線とがんの発生についてはどう考えたらよいのだろうか。

がんという病気は遺伝子の傷がその発症の引金になっていると考えられている。細胞内の遺伝子は常に損傷を受ける危険性にさらされている。環境変異原と呼ばれる一群の化学物質や紫外線あるいは電離放射線などが、直接にあるいは活性酸素の発生を介して遺伝子の上に損傷を引き起こす。

細胞にはＤＮＡ修復機能が備わっているが、損傷のタイプと数によっては修復が不完全であったり、修復に誤りがあったりする場合も出てくる。もしも、細胞の秩序だった増殖を司る遺伝子に異常をもった細胞が生き残ったとすると、その細胞は正常な増殖の制御を逸脱して、増殖を続けることになる。こうして生ずるのががんという疾患である（図９）。

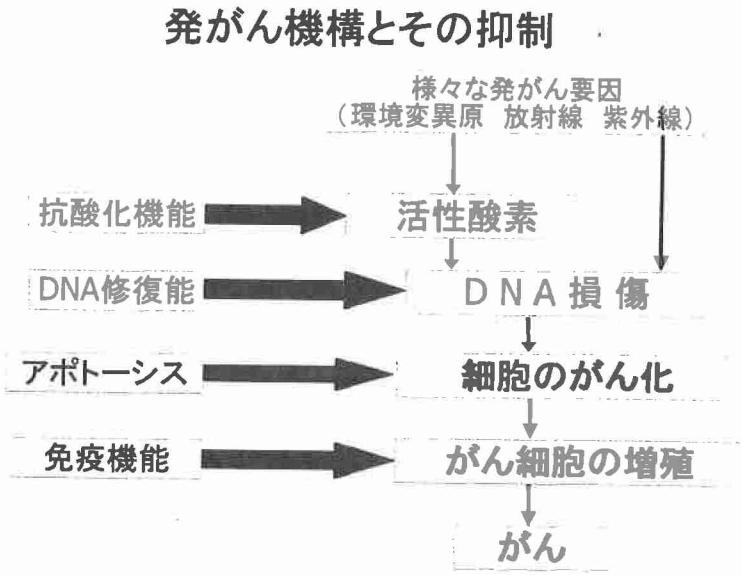


図９：低線量放射線による生体防御機能の増強とそれによる発がんの抑制。図中太い矢印は低線量放射線によって増強され,がんの発症に抑制的にはたらくことを示す。

こうした発がん機構の中では、前項で述べた低線量放射線によって活性化される生体機能が各段階で抑制的にはたらく可能性がある。抗酸化機能が増強されれば活性酸素を介したDNA損傷の量が減り、DNA修復機能の活性化も残存DNA損傷量を減らすのに役立つ。アポトーシス機能が高まれば、残存DNA損傷を持った細胞を死に導くことによって変異細胞の低減に貢献する。さらに、免疫機能の増強は生じたがん細胞を除去する方向に働くと考えられるからである（図9）。

近年、低線量放射線の発がん抑制作用を検証する試みが行なわれている。カナダ・チョークリバー研究所では、高線量の照射によって生ずる白血病が低線量放射線によって抑制されるという結果や、「がん抑制遺伝子」と呼ばれるある種の遺伝子に欠陥があるために、リンパ腫を発症しやすい特殊なマウスに10あるいは100mGyという照射をすることによってリンパ腫の発症が大きく遅れることを示している。

また、われわれも、高線量放射線によって誘発される胸腺リンパ腫や、化学発がん剤による皮膚がんの発症が、低線量率（1mGy/hr程度）のガンマ線で照射し続けることによって、抑制されることを見出している。

発がん抑制の機構解明や、動物実験で得られた情報をどのように人間に適用するかなど残されている課題は少なくない。しかしながら、少なくとも低線量域においては、生体防御機構の存在や低線量放射線による機能増強によって、「しきい値なし直線仮説」から予測されるよりも発がんリスクが低いことを示唆する結果が集まり始めている状況といえよう。

6．おわりに

放射線の生体影響を考える上で低線量放射線が注目されるに至った経緯と、現在までにわかっている生体応答について紹介し、これが発がんのリスクを低減する可能性のあることを解説した。

医学をはじめとする種々の分野での放射線の利用や原子力の平和利用の推進に伴って、人類と低線量放射線の関わりはますます深くなるものと予想される。また、非常に高い高度での飛行機の利用や、自然放射線レベルの高い環境である宇宙空間への人類の進出など新たな局面を迎えつつある。このような状況の中では、低線量放射線の影響を正しく理解することがますます重要となる。低線量放射線の生体影響に関する研究の一層の進展を目指すとともに、ここから得られる成果を広く一般に発信し、正しい知識を普及させていく必要があろう。

放射線業務従事者の疫学調査結果

金子 正人

はじめに

原子力・放射線の利用に伴う放射線のリスクについて国民の理解を得る必要性が指摘され、国民の安心を得るためには、正確な知識の普及が必要だと言われています。現在、放射線防護においては、放射線による発がんのリスクが最も重要だとされ、主に高線量率で放射線に被ばくした広島・長崎の原爆生存者の追跡調査結果をもとに定量的な評価が行われています。

しかし、同じ被ばく線量でも線量率によって影響の度合いが異なることが分かってきており、低線量率で長期間被ばくする放射線業務従事者の疫学的調査によって、低線量の影響について科学的な知見を得る努力がなされています。

ここでは、放射線業務従事者について行われた主な調査とその結果を紹介しますが、現在の線量限度以下の放射線被ばくは、健康に対して検出できるような悪い影響はなく、反対に、低線量の場合には健康に良い影響がある可能性さえ示唆しています。特に、2001年 6 月に英国放射線医学雑誌に掲載された英国の放射線科医の 100 年間にわたる追跡調査は、調査期間の長さ、調査・解析手法の精緻さなどのため、詳しく紹介することといたします。

1．日本の原子力発電施設等で働く放射線業務従事者の調査

（財）放射線影響協会が科学技術庁（現在、文部科学省）からの委託により平成 2 年度から実施してきた原子力発電等放射線業務従事者に係る疫学的調査の平成 12 年（2000 年）12 月に公表された結果では、全悪性新生物の死亡率は、日本人男性一般と比べて増加は認められず、低線量域の放射線が悪性新生物による死亡率に影響を及ぼしているとの明確な証拠は見られない とされています(文献 1)。表 1 に示すように、原子力発電施設等で働く放射線業務従事者の死亡率は、日本人成人男子一般と比較して、**標準化死亡比（SMR）**は、むしろ低い結果となっています。なお、食道がんなど一部の消化器系臓器のがんによる死亡率が累積被ばく線量と有意な相関が認められましたが、合わせて行われた生活習慣などの**交絡因子**の調査により、喫煙、飲酒などの影響が強く示唆されました。

（注）**標準化死亡比（SMR）**：ある集団の観察死亡数と、その集団が標準集団と同じように死亡したと仮定した場合の死亡数（期待死亡数）の比を標準化死亡比（SMR）と言い、以下の式で計算される。

SMR=(観察死亡数)/(期待死亡数)

交絡因子(confounding factor)：今、知りたいと考えている要因（この疫学調査では放射線）と結果（この疫学調査では死亡）との関係をゆがめる第３の因子のことを交絡因子という。

表１　原子力発電施設等で働く放射線業務従事者の標準化死亡比（SMR）

死因	観察死亡数	期待死亡数	SMR	95%信頼区間
全死因	2,934	3,137.7	0.94	0.90 ～ 0.97
全悪性新生物	1,191	1,212.6	0.98	0.93 ～ 1.04
食道がん	63	65.0	0.97	0.74 ～ 1.24
胃がん	230	245.0	0.94	0.82 ～ 1.07
直腸がん	49	58.5	0.84	0.62 ～ 1.11
肺がん	238	230.3	1.03	0.91 ～ 1.17
白血病	28	30.9	0.90	0.60 ～ 1.31

・前向き解析対象集団、潜伏期０の場合

２．米国原子力船修理作業者の疫学調査

米国エネルギー省（DOE）がジョンズ・ホプキンス大学（G.M. Matanoski 教授）に委託して行ったもので、1957 年から 1981 年の間に、原子力艦船のオーバーホールを行った米国の２カ所の民間造船所および６カ所の海軍造船所で働いた約７万人の男性作業者を調査の対象としています（文献２）。

表２に示すように、放射線作業者の死亡率は、5 mSv 以上を受けた高線量グループ、5 mSv 未満の低線量グループとも、同様の作業を行ったが放射線を受けなかった非放射線作業者（死亡率は、標準とした米国人白人男子一般と変わらない）よりも有意に低い結果です。全死因の標準化死亡比（SMR）でみると、高線量グループは低線量グループよりも低く、米国人一般と比較すると、**24%も低い。**

表２　米国原子力船修理作業者の死亡率（全死因）

	高線量グループ（≧5 mSv）	低線量グループ（＜5 mSv）	ゼロ線量グループ（非放射線作業者）
人　数	27,872	10,348	32,510
人・年	356,091	139,746	425,070
死亡数	2,215	973	3,745
死亡率＊（1000 人・年当り）	6.4	7.1	9.0
標準化死亡比＊＊（SMR）	0.76	0.81	1.00
95% 信頼区間	(0.73 ～ 0.79)	(0.76 ～ 0.89)	(0.97 ～ 1.03)

＊ 死亡年月日不詳を除く　　＊＊ 米国白人男性との比較

また、表３より、全がん、白血病、リンパ系および造血系がんの SMR は、非放射線作業者よりも**放射線作業者の方が低い**ことが分かります。アスベスト暴露の指標とされる中皮腫による死亡については、造船所作業者のいずれのグループも米国人一般と比

較して有意に高いが、過去に造船所でアスベストが使われていたため、造船所作業者に対しての診断精度がとりわけ高かったことが考えられます。

表３　米国原子力船修理作業者の標準化死亡比（SMR）

死　因	高線量グループ（≧5 mSv）SMR(95%信頼区間)	低線量グループ（＜5 mSv）SMR(95%信頼区間)	ゼロ線量グループ（非放射線作業者）SMR（95%信頼区間）
全死因	0.76 (0.73, 0.79)	0.81 (0.76, 0.86)	1.00 (0.97, 1.03)
全がん	0.95 (0.88, 1.03)	0.96 (0.84, 1.08)	1.12 (1.06, 1.20)
白血病	0.91 (0.56, 1.39)	0.42 (0.11, 1.07)	0.97 (0.65, 1.39)
ＬＨＣ(*)	0.82 (0.64, 1.08)	0.53 (0.28, 0.91)	1.10 (0.88, 1.37)
中皮腫	5.11 (3.03, 8.08)	5.75 (2.48, 11.33)	2.41 (1.16, 4.43)
肺がん	1.07 (0.94, 1.21)	1.11 (0.90, 1.35)	1.15 (1.02, 1.29)

＊ＬＨＣ:リンパ系および造血系のがん

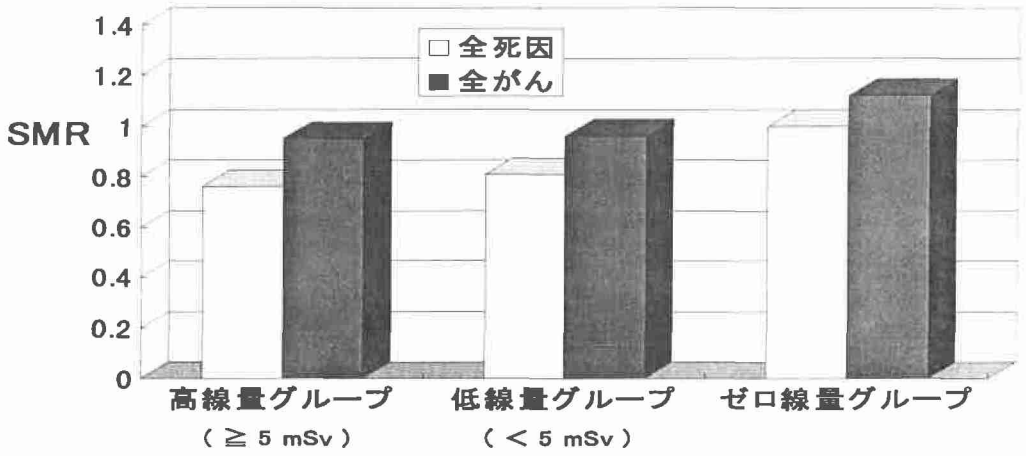


図１　米国原子力船修理作業者の米国人一般に対するSMR

なお、米国放射線防護測定審議会（NCRP）の科学委員会(SC 1-6、Arthur Upton委員長)の報告書（NCRP No. 136）では、「この調査結果がホルミシスを示したと称する解釈は、放射線作業者とするにふさわしいとして選ばれた要因（selection factors）による可能性を無視しており、全死因に差が出て、放射線に敏感なはずのがんでは差がないという事実が、選抜要因が働いたという解釈を支持している」と記されています（文献３）。しかしながら、表３及び図１から明らかなように、全がんについても放射線作業者の方がSMRが小さく、高線量グループでは、米国人一般より５％もがんによる死亡率が低く、その差は統計的に有意であり、選抜要因が働いたという解釈の方が根拠がないように思えます。

３．米国、英国、カナダの原子力従事者の合同解析

国際がん研究機関（IARC）における米国、英国、カナダ３カ国の原子力施設従事者

95,673 人の疫学調査データの合同解析では、全がんによる過剰死亡リスクは認められていない（リスク係数はマイナス）（文献３）。白血病については、線量―応答関係に統計的に有意な傾向を示したとされていますが、化学物質への暴露が考えられる再処理施設で働いた 400 mSv 以上の累積線量を持つ少数例に基づくものでした。

表４　３カ国合同解析における白血病の観察数と期待数

線量区分（mSv）	0～	10～	20～	50～	100～	200～	400～	合計死亡	傾向性（片側 p）
観察数（O）	60	19	14	8	8	4	6	119	1.85 (0.046)
期待数（E）	62.0	17.2	17.4	9.0	6.4	4.7	2.3		

・慢性リンパ性白血病を除く。潜伏期は２年とする。

４．英国放射線科医の疫学調査

英国の放射線科医（男性）の 100 年に及ぶ追跡調査の結果が、2001 年 6 月、英国の放射線医学雑誌(*The British Journal of Radiology*, 74, 507-519)に掲載されました（文献５）。初期の放射線科医のがん死亡率は高いが、放射線防護対策が講じられた 1921 年以降、がん死亡率は低下し、1955 年以降は一般臨床医よりも低くなっています。がん以外の病気による死亡率については、被ばく線量の大きかった初期においても、一般臨床医と比較してもむしろ低いという結果です。調査報告の概要を以下に紹介します。

（１）調査の経緯

英国の著名な疫学者チャード・ドール卿らは、放射線科医のがんによる死亡に着目した調査を 1956 年に開始し、1921 年より前に放射線科医に登録された者は、一般臨床医と比べて 75%もがん死亡率が高いことが報告されておりました。その後、調査対象者が 1979 年までに登録された放射線科医に拡大され、今回、1997 年 1 月時点での生死確認と解析が行われました。

（２）調査の対象

1897 年から 1979 年の間に登録された 2,698 人の男性放射線科医を調査の対象としている。女性の放射線科医は、数（300 人）が少ないため、今回の解析対象には含めていない。

（３）解析の方法

男性放射線科医の死亡率を、英国の男性一般、社会階層１（科学者、医師など）の男性および全男性臨床医の３つの集団と比較し、標準化死亡比（SMR）による解析を行った。

（４）解析結果

１）すべての原因による死亡

1921 年以降に初めて登録された 2698 人の男性放射線科医のうち、1997 年 1 月時点における 85 歳未満での死亡数は 752 人であり、死亡率は、男性一般より有意に低く（SMR=0.72）、社会階層１（科学者、医師など）の男性や男性臨床医と比

較しても有意に低い。登録年度（1921-1935, 1936-1954, 1955-1979）で分類した場合には、この３通りすべての分類年度で放射線科医の死亡率は一般人よりは低いが、社会階層１の男性及び男性臨床医と比較した場合には、1955-1979 年に放射線科医に登録された者についてのみ有意に低い。

２）がんによる死亡

1921 年以降に登録された放射線科医のがん死亡率は、男性一般よりはるかに低く（SMR=0.63）、また社会階層１の男性よりも有意に低かった（SMR=0.82）。しかし、男性臨床医との比較ではわずかに高い（SMR=1.04）。1955 年以後に登録された放射線科医に限れば、男性臨床医のがん死亡率より低い（SMR=0.71）。1920 年以前の登録も含めて、登録年度による分類をした場合、社会階層１の男性および男性臨床医と比較して、がんに対する SMR は年度が進むにつれて有意な低下傾向を示した（図２）。

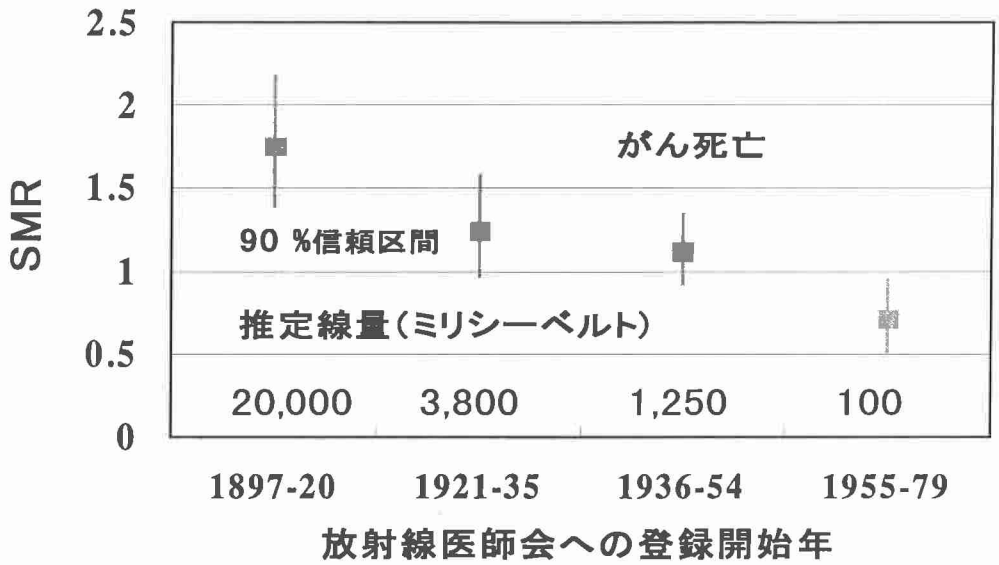


図２　英国放射線科医の一般臨床医との比較による SMR（がん死亡）

３）がん以外の原因による死亡

1897-1979 年に登録された放射線科医のがん以外の死亡は、男性一般（SMR=0.77）や社会階層１の男性（SMR=0.93）、男性臨床医（SMR=0.86）よりかなり低い（図３）。

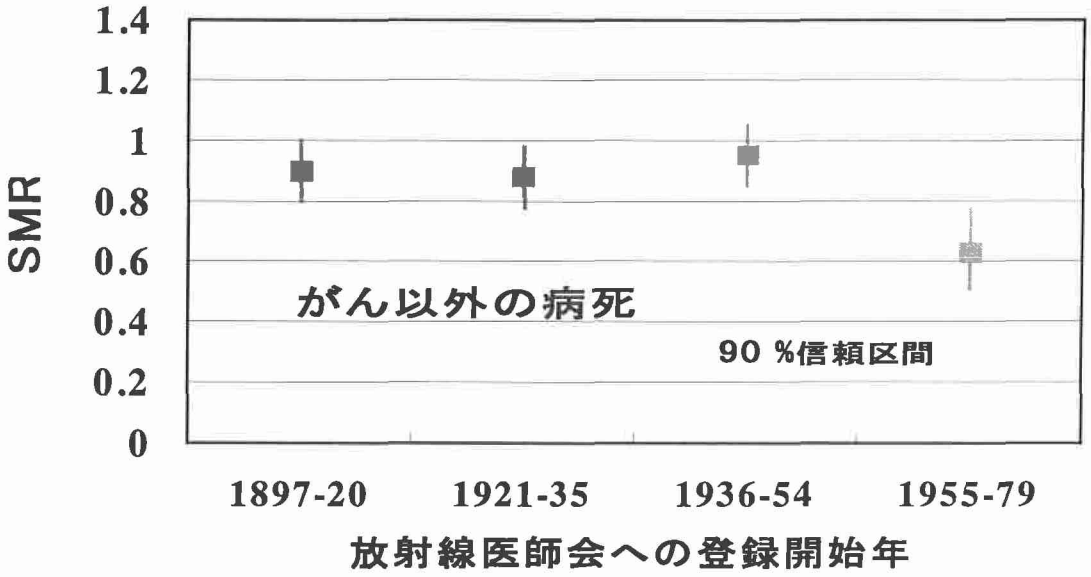


図３　英国放射線科医の一般臨床医との比較による SMR（がん以外の病死）

（５）考察

1921 年以降に登録された放射線科医のすべての原因による死亡率は、男性臨床医と比較して低いが、著者らは、1955-1979 年に登録された群にのみ有意な低下が見られるのは、生死の追跡が他の群ほど十分に長く行われていないため、**健康労働者効果**（注）がまだ残っているせいであろうとしている。

（注）**健康労働者効果**（Healthy worker effect）：病気や障害の重い人は、通常、職に就きにくいために、労働者の全体的な死亡率は一般人口のそれよりも低くなる現象である。

放射線科医の年間被ばく線量については、1920 年代および 1930 年代には年間 100 レントゲン（1000 mSv 相当）程度と推定している報告がある。また、1950 年代より前は年間 100mSv、1950 年代初頭はおそらく 50 mSv という見積もりもある。NRPB（英国放射線防護庁）は平均年線量を、1964 年までには 5 mSv 未満、1993 年までには 0.5mSv まで減少したと推定している。

著者らは、放射線科医の受けた生涯（20 年間）の累積線量を、初期（1897-1920）、中期全半(1921-35)、中期後半(1936-54)、及び後期(1955-79)についてそれぞれ、20 Gy、3,8 Gy、1.25 Gy 及び 0.1 Gy と推定している。これらの線量推定値を用い、原爆生存者のデータをもとにがん及びがん以外の疾病による死亡の SMR を予測すると、表５のようになり、1954 年以前に登録された放射線科医の観察された過剰死亡（観察 SMR-1）は、予測（予測 SMR-1）の２分の１から７分の１に過ぎない。

広島・長崎の原爆生存者において、がん以外の死亡率に明確な線量-応答関係があると最近報告されたため、がん以外の死亡率についても今回初めて詳細に調査された。その結果、原爆生存者のデータでは、がんリスクで 75%の増加を示すような線量では、がん

以外の病気による死亡は35%の増加になっている。しかしながら、1920年以前に登録された放射線科医の結果は、がん以外の病気による死亡は一般臨床医と比較して、逆に10%もの低下を示している。

表5　英国放射線科医の放射線リスク(SMR)
原爆生存者からの予測値と観察値の比較

死因	1897 - 1920年 (20 Sv)		1921 - 1935年 (3.8 Sv)		1936 - 1954年 (1.25 Sv)		1955 - 1979年 (0.1 Sv)	
	観察値	予測値	観察値	予測値	観察値	予測値	観察値	予測値
がん	1.75	6.2	1.24	2.0	1.12	1.3	0.71	1.03
がん以外の疾病	0.90	3.4	0.88	1.5	0.95	1.15	0.63	1.01
循環器疾患	0.79	2.8	0.83	1.3	0.98	1.1	0.59	1.01
呼吸器疾患	0.94	4.6	0.89	1.7	1.34	1.2	1.34	1.02

SMRの観察値：臨床医一般との比較。

SMRの予測値：{過剰相対リスク/Sv (*)} x （平均生涯線量）＋1

*固形がん(被爆時 40 歳) 0.26、がん以外の疾病 0.12、循環器疾患 0.09、呼吸器疾患 0.18

（6）結論

1955年以降に登録された放射線科医の間ではリスクが増加した証拠はない。また、1920年以前に登録された放射線科医を含めて、がん以外の病気による死亡リスクが増加した証拠はなかった。

おわりに

近藤宗平大阪大学名誉教授は、*Isotope News* 誌（2002年8月号）に「放射線は少し浴びたほうが健康によい」と題する著作のなかで、前述の2つの疫学調査を紹介し、「米国の原子力船修理作業者は放射線の適量被ばくで健康が増進した」、また、「適量の放射線被ばくが英国放射線科医の寿命をのばした」と解釈しておられる（文献6）。これらの疫学調査結果のみでは低線量放射線のホルミシス効果を証明したことにはならないとしても、大規模な疫学調査によっても有害な健康影響が認められなかったことは事実であり、20世紀後半の半世紀の間、多くの国々で採用された放射線作業者の線量限度である「50 mSv／年」以下に制限された放射線被ばくは、日常的な用語で、“安全”と言うことができるでしょう。

参考文献

1．科学技術庁委託調査報告書：原子力発電施設等放射線業務従事者に係る疫学的調査（第II期 平成７年度～平成１１年度)、(財）放射線影響協会 (2000)

2．Matanoski, G. M.: Health Effects of Low-Level Radiation in Shipyard Workers, Final Report, *DOE/EV/10095-T2* (National Technical Information Service, Springfield, Virginia) (1991)

3．National Council on Radiation Protection and Measurements: Evaluation of the Linear-Nonthreshold Dose-Response Model for Ionizing Radiation, *NCRP Report No. 136* (2001)

4．Cardis, E., Gilbert, E. S., Carpenter, L., et al.: Effects of low doses and low dose rates of external ionizing radiation: cancer mortality among nuclear industry workers in three countries,
Radiat. Res. **142**, 117-132 (1995)

5．Berrington, A., Darby, S.C., Weiss, H.A. and Doll, R.: 100 years of observation on British radiologists: mortality from cancer and other causes 1897-1997, *British Journal of Radiology*, **74**, 507-519 (2001)

6．近藤宗平：放射線は少し浴びたほうが健康によい、*Isotope News* ,No.580, 2-7(2002)

原爆生存者の疫学的データから導いた線量－反応関係のしきい値の存在について

松浦辰男[*1]・菅原努[*2]
[*1]放射線教育フォーラム・[*2](財)体質研究会

（この論文は 2002 年 10 月 20～24 日に韓国・ソウルで開催の"The First Asian and Oceanic Congress for Radiation Protection (AOCRP-1)で発表されたものを邦訳したものである）

要約

少量の放射線被曝によるがん発生に対して，線量―反応関係にしきい値があるかどうかという問題は、放射線防護と原子力政策決定における最も重要で議論の多い問題の一つである。放射線影響研究所（ＲＥＲＦ）によって，広島・長崎の原爆被爆(以下被爆)生存者に対して寿命調査（ＬＳＳ）が行われているが、そのグループによる疫学的研究が最も信頼のおけるものとされてきた。そのグループは、しきい値なしの直線関係（ＬＮＴ）の仮定を否定する何の証拠もない、との見解をとっている。それに対して筆者達は、生存者の受けた放射線量を慢性的被ばくの影響を考慮に入れて再評価することが必要だと主張してきた。慢性的被ばくは、フォールアウト、誘導放射能、それに市内中央部へ早期に入域したことによって引き起こされた。

筆者達は又、強い慢性的被ばくによってしばしば致命的な傷害を受けたと報告されている”入市被ばく者”の実例が重要であると主張してきた。直接被爆者のかなりの割合が入市被ばく者と同様の行動をとっていることが十分に考えられるからである。最近になって、我々は、放射線による急性障害の症状の発現の割合が、全被ばく線量を推定する上で重要な指標になるということを見出した。

この論文で我々は、直接被ばくした生存者の線量の分布が正規分布をとると仮定し、脱毛などの急性障害症状を起こした症例に対して、於保源作や他のいくつかのグループが調査した統計的データに基づいて、平均的全被ばく線量を推定することが出来た。

すなわち、脱毛の症状の出るしきい値を 0.8 Sv と仮定し、脱毛の発症の割合 8.12%（8 グループ 117,914 被験者中 9,579 例）の数値を用いて正規分布の平均値を求めると 0.50 SV となる。また、脱毛を含む下痢・嘔吐など各種の急性放射線症状の発症の割合のデータ 47.5%（3 グループで 16、289 人中 7、742 症例）をもちい、発症のしきい値を 0.5 Sv と仮定すると全体の平均値は 0.49 Sv となる。これらの値の平均値 0.495 Sv から、放射線影響研究所のデータを使って計算した瞬間的放射線量の寄与 0.123 シーベルトをさしひくと、慢性的被曝の寄与は 0.372 シーベルトであると計算することができる。

こういう訳で、がん発生に対する現在の線量―反応関係は、この量だけ右側に平行移動すべきであり、低放射線レベル領域における癌発生に対するしきい値は、約 0.37 シーベルトであると言える。

キーワード：**原爆生存者，がん発生，線量―反応関係，慢性的被ばく，入市被ばく者，急性障害症状，がん発生のしきい値**

Ⅰ．はじめに

放射線影響研究所（ＲＥＲＦ）によって広島・長崎の原爆生存者に対して行われている疫学的研究は、放射線が人体に及ぼす影響を推定する上での主要なデータ源になっている[1,2]。

第１図の実線で示されているように、RERF 登録生存者のがん死亡に対する寿命調査（ＬＳＳ）のデータで線量―反応関係を見ればわかるように、同研究所は、原爆による被ばく線量に基づくがんによる死亡の確率は、しきい値はなくて被ばく線量と比例関係にある、と述べている[2,3]。

しかし筆者らは、RERF のデータの扱い方は原理的に正しくないことに気がついた。どの点でそうなのかというと、RERF は原爆落下時に瞬間的に受けた放射線量だけを考えているが、実際は被ばく

者はその後にかなりの量の放射線を受けており、その慢性的な被ばく線量の寄与を無視していることにより、線量が過小評価されている点にある。慢性的な被ばくは主に次のものからくる[4,5,6]。
（ａ）フォールアウト（”黒い雨”），（ｂ）誘導放射能、（ｃ）原爆投下後に高い放射能を持つ地域に入ったこと。

慢性的被曝の寄与が重要であるということは、「入市被爆者」の実情を見ることによって、容易に理解することができる。即ち、入市被爆者は、原爆炸裂の時刻に広島や長崎にはいなかった。しかし原爆投下のすぐ後に市内の中心部に入り、かなりの時間のあいだ破壊された土地で親類を探し回ったり、負傷者の救護にあたったりした。彼等は炸裂時の瞬間的な放射線は浴びなかったが、強く汚染された地域での残留放射能にさらされることによって、種々の急性放射線障害症状に苦しむことになった。中には死亡するに至った例がたいへん多い[7]。このような致命的な放射線量は、数シーベルトにも達していたにちがいない。「死の灰」という用語は、ここからきたと考えられている。直接原爆を受けた多くの生存者―特に市の中心部から離れて住んでいた者―は、原爆投下後、これらの入市ひばく者と同じように行動したと推論しても間違いないであろう。

この論文で我々は、於保源作[8]によって報告されているような急性障害症状の発現に関するデータを使うことによって、生存者の平均的な全被ばく線量を推定し、これから慢性的被ばく線量を推定する方法を提唱する。

直接被爆した生存者の全被曝線量分布に対しては、正規分布を仮定する。次に脱毛の発現に対する最小線量を 0.8 シーベルトと仮定し[9]、後に表として示すこの症例の発表された発現率 8.12%を用いることによって、全対象者に対する平均線量を 0.50 シーベルトと推定することができる。

同様に、種々の急性障害症状の報告された全発現率 47.5%を用い、これら急性障害症状のしきい値として 0.5 シーベルトを仮定することによって、全対象者に対する平均的全被曝線量として約 0.49 シーベルトの値を得ることができる。そこで我々は、この二つの平均をとって 0.495 シーベルトを採用した。

次の段階として、直接被爆生存者に対する中性子とγ線の瞬間的被曝線量は、放射線影響研究所から出版されたデータを用いて容易に求めることができる。その値は、0.123 シーベルトである。そこで、全線量 0.495 シーベルトからこの値をさし引くことで、直接被爆生存者に対する平均の慢性被曝線量 0.372 シーベルトが求められる。その結果、がん発生に対する線量‐反応関係曲線において、約 0.37 シーベルトの値を全ての横軸の値に加えなければならない。

即ち、低レベル放射線によるがん発生の出現のしきい値は、0.37 シーベルトということになる。

Ⅱ．慢性的被曝線量と急性障害症状の発現。

Ａ、慢性的被曝線量の諸因子

第１表に生存者の受けた放射線被曝要因の種々の因子を示す。

表１　生存者の受けた線量の分類

急性被爆：Ａ１、γ線　　Ａ２、中性子

慢性被爆：
(外部被爆)　Ｃ１、フォールアウト(黒い雨)
　　Ｃ２、地面の誘導放射能
(内部被爆)　Ｃ３、体内の誘導放射能
　　Ｃ４、放射能物質を吸引またはのみこんだこと。

Ｃ１すなわちフォールアウトに関しては、原爆炸裂の約 20‐30 分後、市内の広い領域にわたって強い放射能を持つ黒色の雨が強く降ったことは良く知られた事実である[10,11,12]。報告によると広島で

は第2図[10,12]に示すように爆心地から北西の方向に向かってかなりの広い地域に及んだとされ、長直径、短直径それぞれ29km, 15kmの楕円形をしていた。長崎では東の方向であった。

日米共同調査の報告によると、長崎のある地区ではフォールアウトによる残留放射能による累積被曝線量は2.7グレイにも達した[13]。

”黒い雨生存者”に対して詳しく調べた種々の急性障害症状の報告がある[14]。それは、対照母集団である16,045人の生存者に対して287症例を調べたものである。

原爆については数多くの公的、私的報告や手記、ドキュメンタリー作品があり、いろいろな面から見た広島・長崎の被爆者の実態が述べられている。それらには、フォールアウトや誘導放射能に関する様々な情報が報告されており、原爆投下時に市内で直接被曝したか否かに関わらず多くの生存者の放射線症例が記されているものがある。

フォールアウトに関する一つの有名な話は、広島気象台に務めていた宇田道隆氏の息子の話である[10,11,12]。その小学生は原爆炸裂時に広島にはいなかった。彼は2ヶ月後に爆心地から2.4km西にある自宅に帰ってきた。自宅に居住している間、放射線傷害の典型的な症状である脱毛を経験した。その理由を理化学研究所の専門家に調査を依頼したところ、原因は、この少年の寝室の雨戸にくっついていた”黒い雨”の残留物による強い放射能のせいであることが判ったのである。

Ｃ２に関しては、当時の空襲被災者の多くの実例が判っている。彼等は、家が空襲によって焼かれた後、元の場所に建てられた一時的に修復された家や粗末なバラックに長年住んでいた。長崎では生存者のおよそ32%がこのような状態で住んでいたと報告されている[13]。

その結果、彼等は、中性子照射が原因でできた土中の誘導放射能からくる高いバックグランド放射線により、余分な慢性的被曝を受けたにちがいない。

ある報告によると、原爆炸裂後100時間以内に爆心地から１ｋｍ以内に立ち入った人が誘導放射能から受けた累積線量は、広島で1.2グレイ、長崎で0.5グレイとされている[14]。

Ｃ３に関しては、既に1945年の秋に故杉山氏による報告がなされている事に注目すべきである。彼は、京大から派遣された調査団の団長であったが、次のように述べている。
「死因の最も重要なものは、中性子によって人体内に作られた放射性原子核からのβ線の効果である。もちろん炸裂時に人体外から照射された中性子や他の放射性物質の影響も重要ではあるが。[15]」

これは、1999年に東海村のＪＣＯ事故で起こったことと同じである。このような訳であるが、著者はＤＳ86や類似のシステムでこの重要な寄与を詳しく考慮に入れたかどうか疑問を抱いている。

Ｂ、原爆生存者の急性放射線障害症状の発現

慢性的被曝線量を推定する我々の方法を説明する次章に入る前に、生存者の急性症状発現について書かれたいくつかの論文を紹介しよう。

オークリッジ国立研究所(ＯＲＮＬ)の山田とジョーンズは、広島で爆心地から1600m以上離れたところで被曝した”フォールアウト生存者”287例を調べた[16]。被験者の初期被曝線量は”黒い雨”を受けたことによるもので0.01～0.2シーベルトであった。山田らは、種々の急性障害症状の出現割合を調べ、フォールアウトを経験しなかった16,045人の対照生存者と比べた。症状としては、軽症として発熱，おう吐、(出血ありあるいはなしの)下痢があり，重症としては口腔咽頭障害(のど，口，歯ぐきの炎症)，紫斑病（歯肉出血など)，非紫斑出血，そして脱毛があった。

彼等はフォールアウトにさらされたグループに対して最も高い出現率68.48%の脱毛を見出したが、これは対照群の5.51%と比べるべきものである。(筆者の見解によれば、対照群が示した値は、フォールアウト以外からの線量、例えば、遠隔地での被爆者の高汚染地域への立ち入りの影響であるように思われる。) 次に多い症状は、フォールアウトにさらされたグループの下痢で、22.04%であった。この報告では脱毛の反応しきい値は種々の症状のうちで最も低いとしている。

ＲＥＲＦの錬石は、臨床医として多くの被爆生存者を診察してきたが、急性障害として脱毛を経験した者は、この急性障害を経験しなかった者に比べて、遅発性疾患におちいりやすい傾向にあること

を見出した[9]。見出された遅発性疾患は、白血病，染色体異常，そして白内障である。見出された頻度の増加は2倍ないし3倍である。これに対して2つの理由が想像される。即ち、放射線に対する感度の違い又は、線量推定の誤差である。

錬石は前者の理由を支持するようであるが、著者らは後者を支持する。報告の中で錬石は脱毛に関するしきい値は0.8シーベルトとしているが、十分それ以下でありうるとしている。ある報告によると、1945年末までに被災者が急性障害症状を示した割合は52%(6,704／13,168)となる。その値は直接被爆した生存者に対しては58%(5,419／9,343)となり、入市生存者に対しては39%(1,158／2,969)、そして救護作業に当たった入市生存者に対しては29%(151／522)である。

Ⅲ．慢性的被曝線量の推定方法

1957年に広島の医師於保源作は、生存者の中で下痢、発熱、脱毛などの急性障害が発現したことについて報告している[8]。彼の報告は、炸裂時に爆心地から色々な距離の所にいた直接被爆生存者を扱っており、次の4種類の情況下でのそれぞれの症状に対するデータを提供している。即ち、(1)屋内で被爆し、その後市の中心部に立ち入ったグループ、(2)同じく屋内で被爆したが、立ち入りのなかったグループ、(3)屋外で被曝し、中心部に立ち入ったグループ、(4)屋外で被曝し、立ち入りのなかったグループ。　ここで”立ち入り”というのは、原爆投下後3ヶ月以内に爆心地から直径1km以内に立ち入った生存者を意味する。

報告によれば、全ての急性障害症状を示した割合として、3,946人の対象者中1,233例(31.5%)を報告しており、その中で脱毛に対しては、3,846対象者中321例(8.1%)である。彼は同時に、入市被爆者で、域内に立ち入った者では525人中230人、立ち入らなかった者は104人中0人というデータも報告している。これらから明らかにわかることは、爆心地近くに立ち入ったことが急性障害を発現する上で明らかに大きな効果を持ったことである。

いくつかの別の報告もある。ある公的な報告[17]によると、1945年末までに急性障害症状を示した割合は広島では52%(13,168対象者中6,704例)であった。その値は直接被爆生存者では58%(5,419／9,343)，入市生存者では39%(1,158／2,969)，救護活動に当たった入市生存者では29%(151／522)であった。日米共同調査で行われたものを含む長崎大学グループの報告[18,19]、RERF[20]の報告などもある。これらのデータは第2表にまとめてある。

第2表　直接被爆生存者に対する急性障害症状発現のまとめ

A.全ての急性症状

報告者	症例	対象者数	割合（%）	場所	参考文献
於保	1,242	3,946	31.5	広島	(8)
広島市	5,414	9,343	58.0	広島	(14)
横田他	1,086	3,000	36.2	長崎	(18)
(合計)	7,742	16,289	47.5		

B.脱毛

於保	321	3,946	31.5	広島	(8)
横田他	320	3,000	10.7	長崎	(18)
米国－日本	910	6,427	14.2	長崎	(18,19)
ＲＥＲＦ	3,957	58,500	6.6	広島	(20)
ＲＥＲＦ	1,349	28,132	4.9	長崎	(20)
東京大学	707	4,406	16.0	広島	(20)
米国－日本	1,104	6,882	16.0	広島	(20)
米国－日本	911	6,621	13.8	広島	(20)

(合計)　　9,579　117,914　　8.12

第 3 表に瞬間的被曝線量の寄与による平均被曝線量を計算する目的でＲＥＲＦのデータが再現してある。

第３表.ＲＥＲＦの調査による寿命調査対象者と推定(瞬間的)放射線被曝線量[2]

大腸線量 (シーベルト)	平均線量 (シーベルト)	寿命調査対象者 広島	長崎	合計	対象者×線量 (人・シーベルト)
＜0.005	0.0025	21,383	15,100	36,483	91.2
0.005 - 0.05	0.0275	18,132	8,167	26,299	723.2
0.05 - 0.1	0.075	5,462	915	6,377	478.3
0.1 - 0.2	0.15	4,787	951	5,738	860.7
0.2 - 0.5	0.35	4,998	1,255	6,253	2,188.6
0.5 - 1.0	0.75	2,171	1,025	3,196	2,397
1.0 - 2.0	1.5	1,071	536	1,607	2,410.5
＞2.0	2.2(仮定)	496	183	679	1,493.8
			(合計)	86,632	10,643.3
			(平均)		0.1228 シーベルト

我々の仮定は、直接被曝者であるか入被爆者であるかに関わらず生存者の受けた全被被曝線量は、第４図に示すように正規分布に従って分布する、ということである。そうすると、何らかの急性障害症状をもたらす最低の放射線レベルを 0.5 シーベルトと仮定するならば、それが直接被爆生存者の47.5％に見られた事を考えると、平均的全被曝線量は 0.49 シーベルトであったと計算できる。

同様に、脱毛に至るしきい値を 0.8 シーベルトと仮定し[9]、全平均割合 8.12%を使うならば、平均的全被曝線量を 0.50 シーベルトと計算できる。

第 4 表に示されている RERF の寿命調査の値から計算された瞬間的被曝による平均線量 0.123 シーベルトをさし引くならば、**直接被爆生存者に対する正味の平均慢性被曝線量は、0.495 - 0.123＝0.372(シーベルト)ということになる。**入市被爆者に関しては、於保の報告によると全 629 人の生存者中 230 人(37.0%)が前節で述べたような急性障害症状を示した。もう 1 つの資料では 34%である。彼等は直接被曝はしていないので、もし上述のように急性障害症状発現のしきい値を 0.5 シーベルトと仮定すると、市外生存者の受けた平均的慢性被曝線量を約 0.43 シーベルトと見積もることができる。

ここで、直接被爆者グループの受けた平均的慢性被曝線量を 0.37 シーベルトと認めるならば、がん発生に対する線量―反応曲線は、図 1 の点線で示されているように、この数値だけ右側に平行移動すべきであり、**少なくとも 0.37 シーベルトのしきい値があることになる。**

Ⅳ．結論

（１）　地球規模における放射線と原子核に関する教育が、今世紀における全社会の持続的発展を保証するために是非とも必要であることは言うまでもないことである。筆者の一人とそのグループは、大部分の人が抱いている”放射線恐怖症”なる感情を緩和するため、1994年に”放射線教育フォーラム”を立ち上げた。しかし、直線しきい値なし(LNT)仮説が今日の恐怖症を作り出している一つの主な原因である。その仮説は、放射線影響研究所(RERF)が被爆生存者について現在とっている見解に基づいて国際放射線防護委員会(Ｉ

ＣＲＰ)が放射線防護政策決定の上で基本的規範として採用し、専門家でないものにはこれが仮説でなく科学的真実と信じられているのである。

（２） 疫学的データから低線量放射線領域でがん発生にしきい値があるかどうかを決定するためには、いろいろな因子に由来する慢性的被曝線量に十分注意して、全ての(直接被曝したもの及び”入市”の)被爆生存者に対する全被曝線量を推定し直すことが必要である。したがって、生存者に対する平均的慢性被曝線量を推定する必要があるが、そのために筆者は、急性障害症状―例えば生存者の脱毛など―の発現の度合が重要な指標を与えることを見出した。

（３） 急性障害症状の発現に関して入手できるデータを使って、筆者は平均的全被曝線量を 0.49 シーベルトと推定することができた。さらに、ＲＥＲＦの出している値を使って計算した 0.12 シーベルトの瞬間的線量をさし引くと、平均的慢性被曝線量は約 0.37 シーベルトということになる。したがって、固形がん発生に対する線量―反応関係のしきい値は大体この値に近い値であろう。いずれにせよ、筆者は低レベル電離放射線のガン発生に対する直線しきい値なし仮説はもはや全くそれを支持するデータを失ったと信じるものである。

謝辞

この論文を作成するに当たり、この問題に興味をお持ち頂き、かつ意義深い議論を提供して下さった財団法人放射線影響協会の金子正人氏と大阪大学宗平名誉教授近藤宗平氏に心より御礼を申し上げる。また文献調査段階で我々に有益な議論を提供して下さった広島大学教授の早川式彦氏、放射線影響研究所顧問の砂屋敷忠博士、放射線教育フォーラムの辻萬亀雄氏にも感謝申し上げる。また英文原稿の言語面の校正を好意的にご担当下さり、有意義なコメントと励ましのお言葉を下さったアルゴンヌ国立研究所の井口道生博士、ドイツの Feinendegen 教授のお二方にも感謝申し上げる次第である。

参考文献

1. UNSCEAR, “Sources and Effects of Ionizing Radiation,” UNSCEAR 1994 Report, United Nations, New York, 1994.
2. RERF, www.rerf.or.jp/eigo/radefx/late/cancrisk.html; A Brief Description, Radiation Effects Research Foundation, December 1999. 58pp. (in Japanese and in English);
3. Y. Shimizu, H. Kato, W. J. Schull, "Studies of the mortality of a-bomb survivors. 9. Mortality, 1950-1985: Part 2. Cancer mortality based on the recently revised doses (DS86), Radiat. Res., **121**, 120-141, 1990; Y. Shimizu, H. Kato, W. J. Schull, K. Mabuchi, “Dose-Response Analysis among Atomic-Bomb Survivors Exposed to Low-Level Radiations”, in “Low Dose Irradiation and Biological Defence Mechanisms”, T. Sugahara et al eds., Elsevier Science Pub., Amsterdam, 1992, pp. 71-74.
4. T. Matsuura, “How to Understand the Radiation Effects of Small Dose—Some Critical Comments on ICRP Recommendations,” Paper read at the Second International Conference on Isotopes (2ICI), 12-16 Oct., 1997, Sydney, Australia.
5. T. Matsuura, “Comment on the Treatment of Dose-Response Relationship for the Epidemiological Data of Atomic Bomb Survivors”, Paper presented at IRPA-10, May 2000, Hiroshima.
6. T. Matsuura, “Atomic Bomb, Study of Radiation Effect, and Radiation Education”, Hoshasenkyouiku （Radiation Education）, Vol. 4 (1), 86-93 (2000). (in Japanese)
7. Gensaku Obo, “A statistical consideration on radiation hazard due to residual radioactivity of atomic bomb”, Nihon Iji Shinpo, No. 1746, p.21-25 (1957) (in Japanese)
8. Akira Ubuki, ed., “Genbakushuki Keisaitosho/Zasshi soumokuroku, 1945-1995”, Nichigai Asoshietsu, 1999. (in Japanese)
9. Nippon Gensuibaku Higaisha-dantai Kyougikai, (ed), “Genbaku Higaisha Chosa, Hiroshima/Nagasaki, Shi to Sei no Shogen (Survey of Atomic Bomb Survivors,” Shin-Nippon Shuppansha, 1994. p.27 (in Japanese)

10. M. Uda, Y. Sugahara, I. Kita, "Report of the Survey on the Damage by Hiroshima Atomic Bomb in Relation to Meteorology," in "Genshibakudan Saigai Chosa Hokokusho (Atomic Bomb Disaster Survey Compiled Reports), Nihon Gakujutsu Kaigi, ed., Nihon Gakujutsu Shinkokai Publisher, Tokyo, 1953, pp. 98-116. (in Japanese)
11. K. Toyoda, "Kuroi Ame (black rain)" and "Shigematsu Nikki (Mr.Shigematsu's Diary)", Hubai-sha, 1990.
12. Kunio Yanagida, "Kuhaku-no-Tenkizu (Blank weather-forecasting map", Shinchosha, 1981, p. 348-381. (in Japanese)
13. S. Okajima, S. Fujita, J. H. Harley, "Radiation Doses from Residual Radioactivity," in "US- Japan Joint Reassessment of Atomic Bomb Radiation Dosimetry in Hiroshima and Nagasaki", Vol. 1, W.C. Roesch, ed., RERF, Chapter 6, p.205. (Japanese translated edition available)
14. "Effects of A-bomb radiation on the human body", Harwood Academic Publishers, 1992. (Japanese Translation Edition,1993, Kobundo)
15. I. Schmitz-Feuerhake, "Dose Revision for A-Bomb Survivors and the Question of Fallout Contribution", Health Physics, 44, (6), 693-695 (1983).
16. "The Reports of the United States Strategic Bombing Survey", translated into Japanese by Nagasaki-shi, 1996
17. N. Shono, S. Iijima, "Kaku-Hoshasen to Genbaku - sho" (Nuclear-radiation and Atomic Bomb Diseases), 1982. (in Japanese)
18. T. Sugahara, "Hiroshima and Nagasaki: From Fear through Science to Risk Assessment, 100 Years of X-rays and Radioactivity (RON-BEC100) D. D. Sood et al, edited, Bhabha Atomic Research Centre, Munbai, India, 1996, pp.367-376.
19. Hiroaki Yamada and T. D. Jones, "An examination of A-Bomb Survivors exposed to fallout rain and a comparison to a similar control population", ORNL-TM-4017 (Dec. 1972)
20. Kazuo Neriishi and Tsutomu Sugahara, "Epilation and the Late Radiation Effects due to A-Bomb Exposure", Environment and Health, Vol.9,No.2, 49-67(1996). (in Japanese)
21. Shoji Sawada et al. eds,: " Hiroshima・Nagasaki no genbaku higai no jissou", Shin-Nippon Shuppansha, 1999. (in Japanese)
22. Ken-ich Yokota, Mariko Mine, Hisayoshi Kondo, Sumihisa Honda, Masuko Tagawa, Masao Tomonaga, "A study of acute effects of Nagasaki bombing by distance", Nagasaki Igakukai Zasshi, Vol. 73, Special Edition, pp.247-250. (in Japanese)
23. Oughterson A.W. , Leroy G.V. , Liebow A. A, et al. , "Medical Effects of Atomic Bombs; The Report of the Joint Commission for the Investigation of the Atomic Bomb in Japan", USAEC, 1951.

付録　記録文学等における「入市被爆者」の放射線障害に関する記述例

(例１)「原爆は直接うけなくとも，二，三日後いや数日後市街に入った救援隊の者もたくさん 死んでいる。」「あの時，県内の１つの村から，20 人くらいの救援隊を広島へ送った　んだ が，今でも残っている人は，１村に一人くらい。」「消防隊で出ていった人たちで，　死の灰の中を探しまわった人たちはみんな死んでしまった。」「帰郷後の保健婦たちは，中には被爆患者と同じうように下痢をしたり，少しは頭髪が抜けたりするようになる者がいた。」(井伏鱒二「黒い雨」)

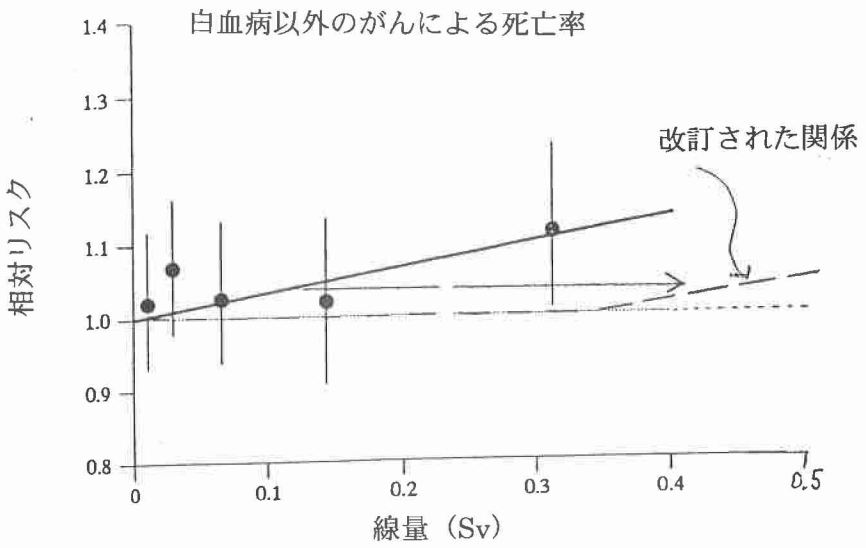
(例２)「9 月になって，私みたいに後から来た人がどんどん死にはじめたんです。鼻血が出始めたと，髪の毛がひと握りくらい抜けたり，それからあのときみたいに血が出たり，足のどこかがコブみたいに脹れ上がったり，斑点ができたりして。」(丸木位里ほか，「鎮魂の道」)

(例３)「親許を離れて疎開していた（気象技師宇田道隆氏の次男の）小学校六年生が，十月になって疎開先から帰って来た。その次男が，広島に帰って間もなく髪の毛が抜ける脱毛症状を起こした。次男が傍に寝床を取っていた雨戸にこびりついていた泥から非常に強い放射能がでていることが発見された。」「初期の降雨量が多かった広島市西部の己斐，高須方面はとくに雨の泥が高い放射能を示し，爆発後三ヶ月にわたって下痢や脱毛を起こす住民が多かった。」(柳田邦男，「空白の天気図」(その他)

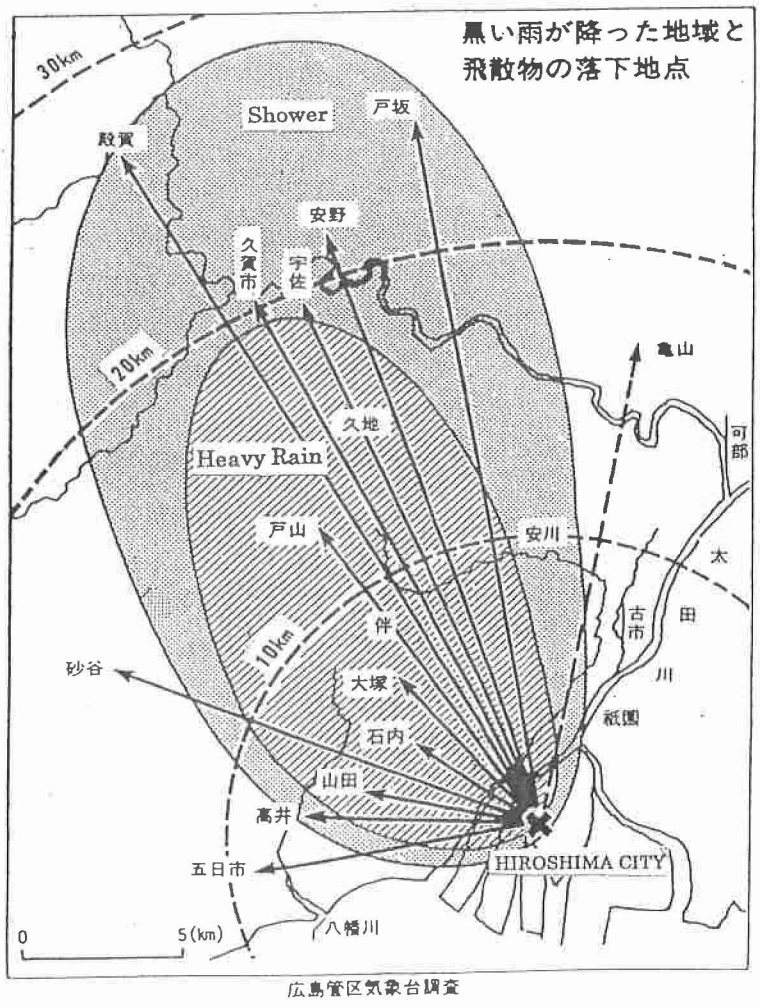
(例４)「後になって入市し，遺骨整理に精勤した兵士や士官の中で，以後一ヶ月間に次々と突然にたおれ，頭髪が抜け落ち，体に紫斑ができ，高熱に冒され，最後は吐血して，その間僅か３，４日で死を迎えるものが多かった。」「自分も入市被爆者であるが，一緒に作業した人はすでに死亡した。」「8 月 6 日午後 9 時に広島に入市，身体がだんだん弱り，頭髪がどんどん抜けた。」「８月７日入市，身体に斑点ができるなどの異常があった。」「落下時広島郊外にいたが，入市して帰宅後原因不明の下痢が一ヶ月続いた。」(以上「きのこぐも――原爆の軌跡」

(例５)「あとから来た他の地区の人達が，広島の市内を救援や肉親探しに歩き回った。そのほとんどの人達が，広島で被曝した人と同じ状態になって，一命を失った犠牲者が続出した。」(文沢隆一，「ヒロシマの歩んだ道」)

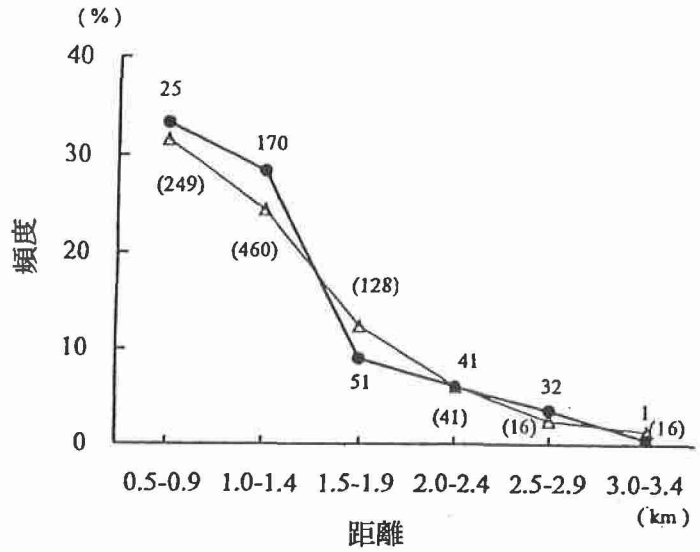
(例６)「後になって広島に出かけた人たちが，間もなく原子爆弾病に侵され，しばしばたおれた。8 月 20 日，市外居住者が広島市へ行き，半日がかりで墓場(焼け跡)を掘り返したが，帰宅後間もなく原子爆弾症に罹った。当時，爆心圏外３キロの地点にいた人が，無傷にも拘らず間もなく死んだ。」(大田洋子，「屍の町」)



第１図　　ＲＥＲＦ（放影研）による線量－反応曲線(実線)としきい値のある改訂された曲線(点線)



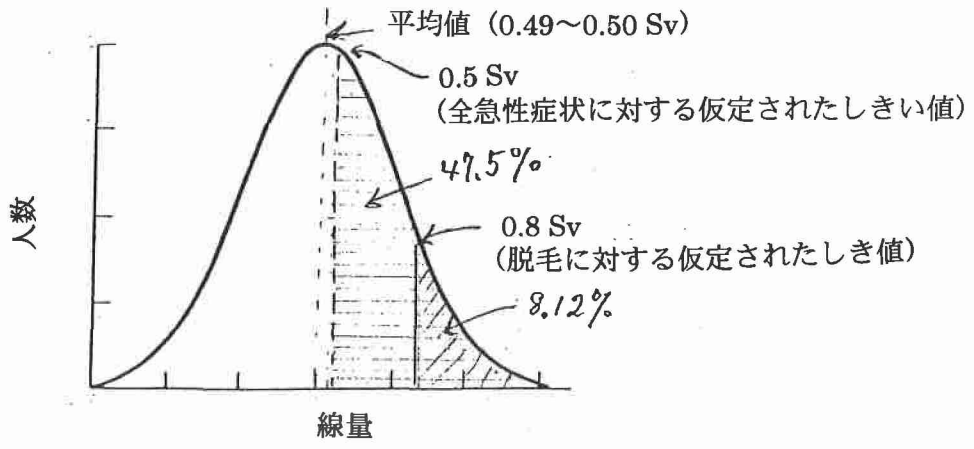
第２図　　”黒い雨”の降った地域



第３図　脱毛の頻度と爆心地からの距離との関係

——●——　横田ら（1998）　（3,000 人の生存者について）

——△——　日米共同調査（1951）（6,427 人の生存者について）



第４図　　正規分布を仮定した直接被爆者の全被ばく線量の見積り

中学校地理・公民・理科の教科書における
エネルギー・放射線関係の記述について

放射線教育フォーラム 関本順子

はじめに

現在中学校で使われている教科書の学習指導要領[1]では、社会科地理的分野の「資源や産業から見た日本の地域的特徴」という項目で、

> 世界的視野から見て、日本はエネルギー資源や鉱物資源に恵まれていない国であること、土地が高度に利用されていること、産業のさかんな国であることといった特色を理解させるとともに、国内では地域の環境条件を生かした多様な産業地域がみられること、環境やエネルギーに関する課題などを抱えていることを大観させる。

とある。社会科公民的分野の「世界平和と人類の福祉の増大」という項目にも、

> 人類の福祉の増大を図り、よりよい社会を築いていくために解決すべき課題として、地球環境、資源・エネルギー問題などについて考えさせる。

とある。理科分野では、「科学技術と人間」の項目で

> エネルギー資源の利用と環境保全との関連や科学技術の利用と人間生活とのかかわりについて認識を深めるとともに、日常生活と関連付けて科学的に考える態度を養う。
> ア　エネルギー資源
> （ァ）人間が利用しているエネルギーには水力、火力、原子力など様々なものがあることを知るとともに、エネルギーの有効な利用が大切であることを認識する。

とある。

平成 14 年度に発行され今年度から使用されている地理、公民と理科の教科書について、上記の内容がどのように記載されているのかを調べてみた。

第１章　地理

現在使われている地理の教科書（平成１４年発行）は、教育出版・帝国書院・大阪書籍・清水書院・東京書籍・日本書籍・日本文教出版の７社から出版されている。

１－１　記述内容の一般的傾向

① 平成 12 年までは原子力関係については半ページから２ページぐらいを使って説明されていたが、平成 14 年では格段に減ってしまった。原子力発電については「エネルギー・資源」の項で取り上げられている。教育出版と日本書籍が日本の原子力についてはやや詳しく書いている。清水書院・大阪書籍のように日本の原子力についての記述はないものもある。

② 六ヶ所村核燃料サイクル施設の記述は平成 12 年までは増えてきていたが、平成 14 年の教科書では日本書籍のみである。

③ チェルノブイリ事故の記述は年々少なくなってきている。平成 14 年は教育出版と日本文教出版に写真と短い１文のみ。

④ 広島の記述も確実に減っている。平成 14 年は広島の原爆ドームの写真が載っているだけである。東京書籍は平成１２年まで広島のことを割合に詳しく載せていたが、平成 14 年は全く書いていない。

---

[1] 文部省　　中学校学習指導要領(平成１０年 12 月) ７～８ｐ

⑤ 平成 14 年の新しい教科書では自然エネルギー（代替エネルギー）の話が目立つ。清水書院は詳しい。
⑥ JCO 事故に関する写真（建物、または検診を受ける庶民の写真、事故を知らせる新聞）が教育出版・大阪書籍・日本書籍に載っている。
⑦ 放射線・放射能・放射性廃棄物という言葉が、その定義も書かれていないのに、使われている。平成 12 年までの教科書には頻繁にこれらの言葉が使われていたが、平成 14 年の教科書ではこれらの言葉は格段に減った。

（詳しくは放射線教育フォーラム２００１年度報告書を参照のこと）

１－２　記述の具体例

平成 14 年の教科書から記述の具体例を示す。

教育出版 p 182～183　　グラフ「主な国の発電のエネルギー源別割合」
「日本の発電量構成の変化」
「日本の原子力発電所」
写真「爆発したチェルノブイリ発電所」
「大分県九重町、地熱発電所」
「茨城県東海村、事故の起きた施設」

日本の電力供給…日本では自然の特色を生かし、利根川・黒部川・大井川などでは水力発電がさかんであった。特に中部地方には多くのダムがあり、首都圏や関西などへの水力発電の供給地域となっている。しかし、エネルギー政策の変化によって、安い原油が利用できるようになると、(1) 発熱の効果が高い大規模な火力発電所の建設が進められた。そのため、1960 年ごろを境にして、日本の電力は、水力中心から火力中心に変わった。燃料は石油にたよっていたが、現在ではそれに加えて、石炭や天然ガスなどの輸入資源にたよって発電が行われている。

日本では 1960 年代から、石油に代わるエネルギー源として、ウランを利用した原子力発電が進められてきた。原子力発電所は、1966 年に茨城県に建設され、その後、福島県や福井県などに建設されていった。二度にわたる石油ショックを経て、省エネルギー政策が進められ、原子力エネルギーが注目されるようになった。そのため、原子力による発電量は大幅に拡大した。

また、近年では、地球の環境保全への関心が高まり、太陽光や風力など自然エネルギーの技術開発も進められ、各地でその設置の動きがみられる。

集中する原子力発電所…福島県の沿岸は、福井県の若狭湾と並んで原子力発電所が集中している地域で、つくられた電力のほとんどは首都圏に送られている。

原子力発電所は、人家が少なく、地盤がしっかりしていて、(2) 蒸気を冷やすための海水が得やすい海岸部に集中している。原子力発電所の建設を受け入れる市町村の多くは、過疎地域である。それによって働く場所が増えたり、国からの補助で道路などが整備されるという期待がある。しかし、これらは発電所の建設にかかわる一時的なものであり、地域の産業を活発にすることにはなかなかいたらなかった。

むしろ、(3) 発電所から出る温度の高い排水が漁業に影響をあたえるおそれや、(4) 危険な放射性廃棄物の処理方法も完全ではなく、不安を感じる住民もいる。また、1986 年に旧ソ連のチェルノブイリで起きた発電所の爆発事故や、1999 年に (5) 茨城県東海村の施設で起きた事故などにより、原子力の安全性について心配する人々も多い。チェルノブイリでは、発電所の周辺だけでなく、広くヨーロッパ各地にまで放射能の汚染をもたらした。土壌や水を通して農作物

が汚染され、それを食べる人間や家畜の健康に害をあたえて、(6) 今でも多くの人々を苦しめている。

下線部１は、わかりにくい表現である。「石油を燃やして発生する豊富な熱量を使って」としたらどうか。
下線部２は、日本の場合である。外国は川沿いに原子力発電所がある国もある。
下線部３は、火力発電所でも温排水がでていることを考慮すると、正しくない。
下線部４は、処理・処分方法としたほうがよい。「完全ではなく」という表現は不安をあおる表現である。
下線部５は、どういう施設か記述したほうがよい。
下線部６は、チェルノブイリの発電所を除く周辺地域の放射能レベルは標準近くまで下がってきていることを考慮すると、正しくない。

１－３　他の教科書の記述

以下では、簡潔に示す。

大阪書籍　平成 14 年　150ｐ「*新しいエネルギーの開発　……いっぽう原子力発電は、商業的に採算がとれる段階にまできましたが、ほかのエネルギー資源と同じように、原料のウランの埋蔵量が限られている上に、発電所や関連施設の安全性と放射性廃棄物の保管などに問題が残されています。*」

関連施設、放射性廃棄物の説明がほしい。放射線廃棄物の保管を、放射性廃棄物の処理・処分としたほうがよい。

東京書籍　平成 14 年　157ｐ「*水資源にめぐまれた日本では、水力発電に多く依存してきましたが、現在では火力発電、原子力発電 (1) なども行われています。石油や石炭を燃料とする火力発電は、原料輸入がしやすく、電力需要の多い工業地域や大都市に近い平野の臨海部に立地しています。また、(2) 原子力発電は、原子炉を冷やすための水が得やすい海岸部に立地しています。(3) 日本などの先進工業国では、快適な生活を楽しむため、大量のエネルギーを消費します。この過程で二酸化炭素を排出することが、地球温暖化のおもな原因として問題になっています。*」

下線部１は、現在では火力発電・原子力発電が主に行われていることを考えると、「*なども*」という表現は正しくない。
下線部２は、日本では原子力発電所は海岸部にあるが、外国では川沿いにある国も多い。
下線部３は、先進工業国だけではなく、発展途上国での大量の排気ガスの排出も、地球温暖化の大きな要因の一つである。

教育出版　平成１４年「*放射能は、あらゆる生物にとって、その生存をおびやかすような影響をあたえる。*」

・自然放射線を考えるとこの表現は正しくない。恐怖をあおる書き方である。

日本書籍　平成１４　157 ページ　「*原子力発電は，少ないウランで大量のエネルギーがえられたり、CO_2が発生しないなどの利点がある。フランスなどは 7 割以上を原子力に依存している。しかし、事故が発生した場合、原子力の宿命である放射線が、人体や*

環境にあたえる影響の大きさを考えると，使用ずみ燃料の処分問題をふくめて、その限界性が指摘されている。」

・「原子力の宿命である放射線」という表現は、恐怖心をあおる表現で適切でない。

帝国書院　平成14年　166ｐ「*原子力発電は、わずかなウラン燃料で大きなエネルギーをとりだすことができる利点がありますが、事故がおこると周辺地域に多大な被害をおよぼす危険性もあります。*」

・原子力発電に限らず、ダムでも、火力発電所でも、事故がおこると周辺地域に多大な被害をおよぼす危険性がある。

第２章　公民

平成１４年４月から使用される公民の教科書は、教育出版・帝国書院・大阪書籍・清水書院・東京書籍・日本書籍・日本文教出版・扶桑社の８社から出版されている。

２－１　記述内容の整理

① 地理の教科書では、たとえば福井県の若狭湾沿岸の地域の特徴として原子力発電所をとりあげ、六ヶ所村の地域の特徴として放射性廃棄物処理施設をとりあげるというふうに、地域と結びつけて原子力やエネルギーの記述がある。公民では、エネルギーを得るための発電方法の一つとして、原子力発電や新エネルギーについて記述してある。社会の教科書であるから当然、内容的にはあまり詳しく記述されていない。

② 平成１４年発行の新しい公民の教科書では、省エネルギーやリサイクルの必要性を説いているものが多い。

③ 広島・長崎は、非核３原則や戦争の放棄の項目で簡単に触れられている教科書が多い。（このレポートではこれらの項目については取り上げていない。）

２－２　記述の具体例

平成14年の教育出版から、記述の具体例を示す。

教育出版　平成14年　182ｐ　「チェルノブイリの写真」

「新しいエネルギーを求めて」の題目でソーラーパネル，地熱発電所，燃料電池による発電装置，風力発電所，波力発電実験装置，の５種の自然エネルギーの利用の写真

「限りある資源を有効に―資源・エネルギー問題――これからの時代のエネルギー――石炭や石油・天然ガスなどの化石燃料を燃やすと二酸化炭素を排出し，地球温暖化の原因となる。そこで，二酸化炭素をほとんど出さない原子力発電が化石燃料に代わるエネルギーとして，開発されてきた。現在わが国では，総発電量にしめる割合が3割をこえている。

しかし，原子力発電は安全性について問題がある。いったん事故が起これば，被害は取り返しのつかない深刻なものとなる。（注 1:1999年に，茨城県東海村のウラン加工施設で事故が起こり、放射線による被爆が問題となった。）事故が起こらなくても，使用済み燃料（放射性廃棄物）の問題もある。廃止を含め慎重な態度をとるべきだとする意見も多い。そこで，安全で環境破壊をともなわない新しい資源・エネルギーの開発と利用を考えなければならない。

今，注目されているのが自然エネルギーの利用である。太陽光・太陽熱・風力・波力・

中小水力，バイオマス（生物資源）などがそれである。また，水素エネルギーや燃料電池も期待されている。…」

次のページにリサイクルと物資の使用量の削減の必要性に、比較的詳しくふれてあるのはよい。

・原子力発電の欠点に強調がみられる。この書き方だと、原子力を廃止してすべて新エネルギーにもっていくようにとれる。それは現状では無理である。
・被爆の文字があやまり。「被ばく」あるいは「被曝」である。

２－３　他の教科書の記述

以下では、簡潔に示す。

大阪書籍　平成 14 年　166ｐ　*「また，今日では，わが国の発電量のうち，(1) 20％以上を原子力発電が占めています。原子力発電は，温暖化の原因となる二酸化炭素は出ませんが，安全性に対する疑問や、放射性廃棄物の処理の問題などが残されています。そのため，(2) 風力発電やごみ発電など、新しいエネルギー源の開発、水素を燃料とする自動車の開発などが進められています。」*

下線部１は、原子力発電の発電量は、２０％以上でなく３０％以上である。
下線部２は、ごみ発電の前に、より一般的な太陽光発電も入れたほうがよい。

帝国書院　平成 14 年　172 - 173ｐ *「現在のエネルギーの中心である石油，石炭などの化石燃料の使用は，酸性雨や地球温暖化の原因の一つとなっています。また，化石燃料は，限りのある資源です。原子力発電は二酸化炭素を直接には排出しませんが，放射能への不安から，根強い反対運動があります。そのため，それらにかわる新しいエネルギーの開発が急がれています…」*

・原子力発電について、簡略すぎる。総電力量の 4 割近くを占める原子力発電については、もっと詳しく記述したほうがよい。
・新エネルギーのことも現在注目されているだけに、もっと詳しく記述すべきである。

東京書籍　平成 14 年　127ｐ　21 世紀のエネルギー問題

「……　その代わりに，ふつうの原子炉で，ウランとプルトニウムをまぜて燃やすプルサーマル計画を進めていましたが，地域住民から安全性についての不安の声もあがり，現在は延期されています。また，再処理の際に出る高レベル放射性廃棄物の最終処分場も，まだ決まっていません。」

・「いました」ではなく、「います」である。

日本書籍　平成 14 年　147ｐ *「日本では，全エネルギーの供給源の 5 割以上を石油がしめている。政府は石油に代わるエネルギーとして，原子力の開発に力をそそぎ，13%（発電量では約 4 割）をしめるまでになっている。*

原子力発電は地球温暖化の防止に貢献しているという意見もあるが、死者も出た 1999 年の茨城県東海村の臨界事故（注：(1) きめられていた量以上のウランを 1 ヶ所に集めたために、分裂反応がおこり，発生した日本で始めての事故）や (2) たび重なる放射能漏れ事故、(3) 核廃棄物処理の問題など，問題も数多くかかえている。

今日では，太陽発電や風力発電、地熱の利用など，環境を汚染しない代替エネルギー

を開発する努力も続けられている。

また，こうした努力とならんで，省エネルギー化の知恵を出し，リサイクルやリユースなど，資源を再利用する努力をすることが，すべての人に求められている。」

下線部１は、核分裂反応の知識がないと理解できない内容である。

下線部２は、放射能と放射線をきちんと区別すると、危険な放射能漏れ事故は日本では起きていない。

下線部３は、核廃棄物という言葉の「核」は、日本の報道では原子爆弾を連想させるので、核廃棄物という言葉は適さない。

扶桑社

原子力についてほとんど触れられていない。

203ｐ「*CO_2を排出しない原子力発電は、すでにエネルギー供給の３５％を占めている。公害防止技術や省エネルギー技術、代替エネルギー開発も、めざましいものがある。だが、それらの技術は環境問題を根本的に解決するものではないし、石炭、石油などの化石燃料からの脱却を可能にするものでもない。科学技術の発達の過程で有害な物質が生み出されてきたことを考えれば、それに過大な期待を寄せることはできない。産業文明の恩恵を受けながら、他方で自然環境の完全な保護を求めるのは不可能である。」*

口絵⑩「環境問題とエネルギー」で，

「経済発展はエネルギーの大量消費をともなう。先進国は，どの国も大量のエネルギーを消費し続けているが，これからの時代は環境問題を考慮せずに経済発展を行うことはできない。ただし、ここでも先進国と途上国，大国と小国など，各国の利害を調整するのは容易ではない。一国だけで問題を解決する時代は終わった。」

・「電力供給の３５％」の間違いである。

全体的に他の教科書では見られない記述であるが、書かれている内容は深く、中学生にはわかりにくいかもしれない。

第３章　　理科

平成１４年４月から使用されている教科書は、東京書籍・啓林館・教育出版・大日本図書・日本書籍の５社から出版されている。

３－１　記述内容の一般的傾向

① 平成１４年度からは水力・火力・原子力発電のしくみの説明と図が、どの教科書にも見られる。

② 平成１４年の教科書には水力・火力・原子力発電の短所は書かれているが、新エネルギー（再生可能エネルギー）の短所はあまり書かれていない。

③ **自然放射線の記述は平成１４年の教科書にはない。**それ以前の３冊には書かれていた。

④ 平成１４年の教科書には、放射線の有益な面＝放射線の利用の記述も、ほとんどない。

⑤ 平成１４年の教科書は省資源・省エネルギーの必要性を書いているものが多い。よい傾向だと思う。

⑥ 酸性雨・地球温暖化の記述は教科書によってまちまちである。

３－２　記述の具体例

次に記述の具体例を示す。平成 14 年の教科書から、教育出版ｐ６８～７４を以下に書き写す。

教育出版　平成14年

原子力発電　原子力発電は、ウランなどの核分裂とよばれる反応で発生する熱により、高温・高圧の水蒸気を発生させ、その力で発電機のタービンを回して発電する方法である。

核分裂では、石油などの燃焼と比べてけたちがいの大きなエネルギーが発生するので、少ない燃料で発電することができる。

しかし、(1) 大きなエネルギーの発生を制御しなくてはならないため、火力発電にない難しさがある。

また、(2) 燃料のウランや核分裂で生じる廃棄物は、有害であるため、燃料の運搬、保管、加工、利用、廃棄のすべてにわたって、慎重な取り扱いが必要である。

日本では発電される電気エネルギーの(3) 大きな割合を占めるものの、解決しなければならない問題が多い。

下線部1は、原子力発電の技術は確立されており難しさがあるとはいえない。火力発電所も、一基で原子力発電所と同じ１００万ｋW級の発電所もあり、火力発電所でも大きなエネルギーを制御している。

下線部2は、どのように有害であるのかの説明を入れたほうがよい。

下線部3は、「大きな割合」という漠然な表現より、数値を示したほうがよい。

全体としてはわかりやすく、よく書かれている。太陽光や風力などの新エネルギーの記述が本文にはなく、別枠の欄に書かれてある。また放射線・放射能という言葉は使われていないが、核分裂という難しい言葉が使われている。

さらに平成14年とそれ以前の教科書の記述を並べることによって、記述の変化も調べてみる。アンダーラインを引いた部分については、考察を述べている。

東京書籍　（平成５、９年）　*「原子力発電は放射線を出す物質を燃料として使っている。この放射線は，医療技術や農作物の改良などにも利用され生活に役立っている反面、からだに大量にあたると危険である。そこで、その利用にあたっては放射線を常に監視して安全を確保しなくてはならない。また、万一事故が起きた場合の(1) 放射線を出す物質による汚染や、使用済み核燃料の安全な処理など、今後研究し解決しなければならない大きな問題がある。*

＊1　(2) 少量でも、長期間にわたって当たると危険な場合がある。

＊2　原子力発電の燃料は、使用したあとも放射線を出すので危険である。

（平成１４年）　*「原子力発電では、燃料として放射線を出す物質が用いられる。放射線は、医療技術や農作物の改良などに利用され、生活に役立っている反面、人体や作物などに大量に当ると危険なので、常に厳しく監視して、安全を確保する必要がある。また、万一事故が起きた場合の(3) 放射能汚染や、使用済み核燃料の安全な処理など、今後さらに研究して解決しなければならない問題が残されている。」*

下線部1は、平成14年には下線部3のように変更されているが、放射線と放射能の違いの明記はない。

下線部2は、自然放射線を考慮すると間違っている。

啓林館　（平成14年）　「水力発電ではダムにためた水を落下させて発電機を回転させ、火力発電では石油や石炭を燃やした時に出る熱で水を高温・高圧の水蒸気に変えて、発電機を回転させる。原子力発電では、ウランなどの原子の核が分裂するとき（＊1）に出るエネルギー（核エネルギー）をまず熱エネルギーとしてとり出して、これを利用して発電機を回転させる。　原子力発電では、人体に有害な放射線や放射線を出す物質が外部にもれないように厳重に管理する必要がある。また、放射性の廃棄物の管理も万全にしなければならない。」

日本の原子力発電はかなり厳重に管理されていることを明記することも、必要である。

大日本図書　平成5年と9年はわかりやすい記述になっている。

（平成5、9年）　「B＝原子力発電　　火力発電では、石油や天然ガスを燃やして高温の水蒸気をつくり、水蒸気が吹き出す勢いで発電機を回転させて発電している。一方、原子力発電ではウラン原子のだすエネルギーで高温の水蒸気をつくって発電機を回転させ、発電する。ウラン原子は膨大なエネルギーを出すので、それを除除にとり出すくふうをして、電気エネルギーに変換している。
C＝原子力の利用　　原子のエネルギーをとり出す装置では放射線が発生する。この放射線は自然にもごくわずか存在している。放射線は一定量以上になると有害であるが、十分に安全な設備の中では農業や医療にも利用することができる。このように、放射線には有益な面と有害な面がある。原子力発電の安全な運転と、そこから出る廃棄物の安全な処理についての研究が望まれている。」

しかし平成１４年の教科書では記述が大きく変わった。

（平成14年）　「C＝原子力の利用と環境　　原子炉では、核分裂してできた有害な放射性物質が核燃料の中にたまる。それが外にもれると、人体や農作物に被害が出るおそれがある。放射性物質には、千年以上も強い放射線を出すものもあるため、使用済みの核燃料は、安全に管理しなければならない。」

下線部は、事故を想定した書き方。原子力発電にかぎらず、平成5、9年のわかりやすくよい書き方が、平成14年では原子力発電に恐怖を感じさせる記述になっている。

まとめ

わが国は、広島・長崎という原爆を体験した唯一の国であり、日本人は放射線の恐怖を他のどの国の人達よりも知っているのに、原子力や放射線のことを知らないのは何故なのだろうか。中学の教科書におけるこのような記述の仕方では、原子力発電や放射線について正しい知識は得られない。高校の物理を選択したら放射線・放射能についてかなり詳しく学習するが、高校での物理は必修ではない。

中学校の教科書では、広島・チェルノブイリ原発事故での放射線の影響の大きさや怖さ、原子力発電所の事故の恐怖、放射性廃棄物の危険性を強調するばかりで、放射線の正しい知識を与えることをしていない。

小・中学校においては、放射線・原子力についてその良い点・悪い点を公平に示し、子供達に考える力を与えるべきである。

地理・公民の社会科系教科書と、理科の教科書と、放射線・放射能・放射性物質・放射性廃棄物といった言葉が共通して出てくる。社会科と理科の教師間の連絡が必要になっている。

最近の高校教科書（文系）における原子力関係の記述の傾向

松浦辰男・高木伸司・関本順子

1.はじめに

放射線教育フォーラムでは、その設立当初より、現在、高校・中学で使用されている教科書における原子力や放射線に関する記述が、理科の教科書においてさえ明らかに科学的に誤りがあり、また理科以外の科目では科学的な不正確さのみならず、種々のエネルギー資源の中でも原子力に対して価値観的に偏った記述をしているものが多いことがわかった。このことが、われわれが 1997 年に文部省へ放射線教育の改善に関する要望書を提出するきっかけとなった。以来、学校で使用されている各出版社の教科書における不正確・不的確な記述の個所を詳しく具体的に指摘し、それらはどのように記述するのがより正確であるかを示すことがわれわれの仕事の一つとなった。幸いに、われわれの努力が徐々に功を奏して、最近の教科書では指摘すべき大きな誤りが少なくなっていると考えている。

（これまでの報告書の主なもの：(1) 松浦辰男・飯利雄一「放射線・原子力教育と教科書」研成社、1998 年 2 月、(2) 松浦辰男・飯利雄一・高木伸司・関本順子「過去２，３年の高等学校における原子力・放射線関係の記述の傾向」日本原子力学会誌第 23 巻第 5 号、487－492（2001 年））

本稿では、できるだけ記述のニュアンスを読者に読み（感じ）取っていただくために、問題とすべき語句だけの抽出はなるべく少なくし、記述の個所をそのままできるだけ引用することとした。なお、今回は主に社会経済生産性本部が収集、原子力学会を通じて 2002 年秋に入手した資料である。平成 14 年 3 月に検定済みの新しい教科書についても一部の資料を入手し、すでに 2002 年 9 月の日本原子力学会秋の体系で口頭発表したが、これについては、より広く資料を入手した後に、稿を改めてご披露することとしたい。なお、本稿のイタリックの部分は原文のままである。アンダーラインの部分については必ずしも原文にあったものでないものもある。

２．「現代社会」教科書について

（１）東京書籍「新訂現代社会」

（p．71～72）「二つの原発事故」・「未来の世代への課題」というという見出しで次の記述がある。

「二つの原発事故」　*1979 年、アメリカのスリーマイル島原子力発電所で事故が発生した。技術者たちは爆発はなんとかくいとめたが、発電所は破損を受け、かなりの量の放射能が大気中に放出された。さらに 1986 年、ソ連のチエルノブイリ原子力発電所では恐れていた爆発までもが起こってしまった。この爆発による放射性降下物の雲は、全ヨーロッパの 75％の地域に広がった。事故で放出された放射能は広島型原発の場合をはるかにこえ、およそ 1 億キュリー以上と予想されている。*

チエルノブイリの事故はヨーロッパ諸国の原発計画に対しても深刻な影響を与えた。オーストリアでは完成したまま封鎖されていた原発の解体が決まり、スウエーデンでも国民投票で原発の全廃を決めた。アメリカでも廃止が決定される原発もあり、新規の原発の発注はほとんどなくなっている。

日本はプルトニウムを原料とする「核燃料サイクル」を原子力政策の基本にし、その施設を青森県などに建設中だが、核兵器の材料となるプルトニウムを利用するため、内外からさまざまな意見が出され、議論が分かれている。

「未来の世代への課題」*石油や石炭、天然ガスなどの化石燃料は資源の枯渇という問題がある。さらに、排気ガスによる環境汚染も大きな課題となる。*

原発はこのような問題がないかわりに、大きな事故の危険性や大量の放射性廃棄物の処分の問題がある。高レベルの廃棄物は使用済みの燃料から化学的に分離し、ガラスで固めて長期間保存する。低レベル廃棄物はドラム缶に詰めて保管される。これらを何百年も安全に管理したり、保存したりすることは、未来の世代の重い課題となる可能性もある。どのようなエネルギー政策を選択すべきなのだろうか。

(p.163) 4.資源とエネルギー 「エネルギーの将来」*(前略)原子力発電は近年、総エネルギー供給に占める割合をしだいに高め、今では 10%をこえるまでになっている。政府は今後この割合をさらに高めていこうと計画しているが、原子力発電のメリットとともにデメリットをも考慮したうえで慎重に計画をねることが望まれる。安全性は地球環境への影響という点では、太陽熱、燃料電池、海洋エネルギー、水素などは好ましいエネルギー源である。*

（2）「現代社会新訂版」 実教出版

(p.56--57)「*原子力利用による放射能汚染*」も公害の一種である。…放射能汚染の問題に直面している国もある」。

(p.63)「宇宙船地球号」「地球の破壊と汚染」「核戦争は、いったんおこれば、人類をはじめ地球上の生物の多くを死滅させるだけでなく、後につづく「**核の冬**」と放射能の影響で地球を生物の住めない星にかえてしまう危険性をもつ。」(欄外に核の冬の説明あり。)

（3）「現代社会」第一学習社

(p.76--77)「エネルギー革命と原子力発電」・「代替エネルギーの開発と省エネルギー」

（欄外に一次エネルギーと二次エネルギーの区別の説明あり）

「エネルギー革命と原子力発電」（前略）*日本は近年、原子力発電への依存が高まってきた。*

現在（2000 年）、日本の原子力による発電量は、アメリカ、フランスに次いで世界第３位で、日本の総発電量の約３４％を占めている。・・・しかし、原子力発電に関しては、事故による放射能もれの問題や、発電で生じる低レベル放射性廃棄物の安全な管理、保管

の問題、さらに、再利用の可能なプルトニウムと残りのウランをとりだす再処理の際に発生する高レベル放射性廃棄物の問題もある。

「代替エネルギーの開発と省エネルギー」（前略）*代替エネルギーとしてすでに実用化されているのは、少量の核燃料で大量のエネルギーが得られる原子力である。しかし、原子力発電にはさまざまな問題が残されており、燃料となるウラン鉱も有限で、その分布は偏っている。*（後略）

（４）「新版現代社会」　　一橋出版

（ｐ.11）**「原子力発電」**（前略）*原子炉の安全性や核分裂により生ずる「死の灰」の処理など、他の代替エネルギーにはない問題点が指摘されている。*

（欄外）放射能の毒性を解決する技術的方法は確立されておらず、周囲に放射能が漏れないような半永久的な管理が必要になる。

日本は欧米諸国より送れてスタートしたにもかかわらず、１９９４年には、アメリカ、フランスに次いで世界第３位の原発大国になっている。そして、こんにち、総発電量の約33%（1995年）を占めるまでになり、石油代替エネルギーとしての比重を増している。

その一方で原発事故も続いており・・・

（p.20~21）**「原子力発電を考える」**　*福井県敦賀市にある高速増殖炉「もんじゅ」が運転間もない 1995 年 12 月、ナトリウム漏れによる火災という大きな事故をおこした。・・・今回の事故で、プルトニウム利用計画の抜本的見直しが迫られている。*

原子力発電をめぐる最大の論点は、もんじゅの事故に見られるように安全性をめぐる問題日本のほとんどの原発（軽水炉型）には、反応が進みすぎると自らそれを抑える自己制御性とよばれる機能が損割っており、また、何重にも防御するシステムがあるとされる。米ソでおこった事故はいずれも、作業員のミスや日本の原発ではありえない構造上の欠陥によるものであり、安全性に問題はないといわれる。

これに対して、原発はもともと核兵器の開発にともなって発達したもので、平和利用の上では技術的にも未完成とする見かたもある。放射性廃棄物処理をめぐる問題もある。原発から出る使用済み核燃料や種々の廃棄物は放射能に汚染されており、そのままどこかに捨てるわけにはいかない。環境に影響がないように地価に埋めて処理されることになっているが、地盤の安定していない日本では、とくに大きな問題になっている。

さらに経済性においても議論がある。石油価格の下落により、相対的に安いといわれてきた原発の発電単価は必ずしもそうでなくなった。この点ｋらも再検討の余地がある。

世論調査では原発に不安をもつ人が多数だが、将来の主力発電はやはり原子力という人が多い。現在だけでなく、遠い子孫にまで大きな影響を与える原発の問題を幅広い視野から考えていこう。

（５）「現代社会」第一学習社

（p.83～84）「原子力発電とその課題」

（前略）近年、原子力発電への依存が高まってきている。現在（1999 年）、日本の原子力発電量は、アメリカ、フランスに次いで世界第３位で、日本の総発電量の約 36%を占めている。原子力発電は、原料のウランの核分裂から得られる熱で水蒸気をつくり、その圧力でタービンを回して発電するもので、石油・石炭などを原料にする火力発電に比べて、ごく少量の原料で大きなエネルギーを生み出す。

しかし課題も山積みしている。一つには、チェルノブイリ原子力発電所事故に代表される発電の過程における放射能漏れなどの問題、二つ目には、発電で生じる低レベル放射性廃棄物の安全な管理・保管の問題がある。さらに、使用済み核燃料のなかでも再利用できるプルトニウムと燃え残りのウランをとりだす再処理の際に発生する高レベル放射性廃棄物の問題もある。

｛著者注：このページの「放射性廃棄物」の注でちょっと不正確な記述があることを指摘せねばならない。それは、「低レベル放射性廃棄物は固体廃棄物の形でドラム缶に入れて地中深く埋設される。」という箇所である。まず、ドラム缶に入れるのは「低レベル放射性固体廃棄物」であって、実際はそれほど「地中深く」ではないはずである。｝

次の「代替エネルギーの開発」の項で、「原子力発電は、少量の核燃料で大量のエネルギーを得られるが、放射性汚染の恐れをぬぐい去ることはできずにいる。」とある。また、ページの下欄のプルトニウムの説明で、「高速増殖炉で生じた使用済み核燃料は放射能が強い」とかかれているがその事実についてもたしかめねばならない。｝

最後のパラグラフには、新エネルギーの開発がこれからの課題であるとされ、「新エネルギーには、太陽光・太陽熱・風力・潮汐・波力・地熱などがあり、その多くは無限エネルギーである。」とかかれているが、これでは新エネルギーに期待を持たせすぎる感じがする。

（６）「現代社会」　　東京学習出版社

(p.12)「石油に代わるエネルギー」

「チェルノブイリ原発事故」（前略）１９９５年に国際連合がまとめた報告書は、事故後の復旧作業にたずさわった約８０万人の人々にガン発症の危険があり、現在も放射能汚染地区に７００万人以上が居住を余儀なくされていて、そのうち約７割の住民が発ガンの恐怖などで精神的障害に悩んでいるとしている。

「原子力発電の得失」チェルノブイリ原発の事故に見られるように、原発事故は、小さなミスが大惨事につながりかねないことや、ひとたび事故が起こると、広範囲かつ長期間にわたって深刻な被害をもたらすことがあるなど、その危険性はきわめて大きい。また、原発事故にともなって出る放射性廃棄物の処理や耐用年数を経過した原子炉の解体などにおいて、十分な安全性が確立されていないとする論議もある。

しかし、原発は少量のウランから莫大なエネルギーが得えられることや、燃料源のウラ

ンがオーストラリアやアメリカなど先進国に多く埋蔵していることから、安定的に供給され、かつ価格が大きく変動しないこと、また、また、大気を汚染する二酸化炭素や窒素酸化物を排出しないなどの利点がある。このため、石油に代わるエネルギー源として、とくに石油危機以降その利用が進み、現在では世界の総発電量の２０％弱を占めるようになっている。

(p.140~141)

「緊密化する世界」――「相互依存の世界」――「ソ連のチェルノブイリ原子力発電所の事故の影響は、ソ連一国内にとどまらず、ヨーロッパ全域にまで及び、なお将来にわたって深刻な事態がつづくと予測されている。」

３．「政治･経済」の教科書について

（１）「政治・経済」　　東京書籍

「資源・エネルギーの将来」

（p.135）近年、原子力発電は総エネルギー供給に占める割合をしだいに高め、今では石油、石炭、天然ガスに次いで、総エネルギー供給の 10%を超えるまでになっている。政府はこの割合を今後さらに高めていこうと計画しているが、旧ソ連のチェルノブイリの事故や日本の高速増殖炉の事故などにみられるように、事故の危険性が皆無とはいえない。

注１．チェルノブイリでは、事故直後に消防士など 31 人が死亡したほか、5000 万キュリーの放射性物質が周辺やヨーロッパ各地を汚染した。

（２）「政治・経済」　第一学習社

「国際政治の諸問題」(p.101）ここでは、チェルノブイリの事故のことがふれられているが、だから原子力がどうというのではなく、このような放射能汚染は、国内の被爆問題だけではなく、地球全体の環境汚染問題である。また、熱帯林の大量の伐採は、生態系を破壊し、世界各地の気候に大きな変化をもたらしている。

「原子力発電は、放射能汚染や廃棄物処理など、解決すべき問題がのこされている、」としている。　べつのページでも、

（p．146）「原子力は、地球温暖化の原因となる炭酸ガスの発生もなく、実用化が進んでいるが、放射性廃棄物の処理方法は確立されておらず、危険な事故が頻発している」。とある。

（３）「政治・経済新訂版」　実教出版

第２章　国際社会の動向と課題　２　人口問題と資源・エネルギー　「原子力エネルギー」の節では、

石油にかわる新しいエネルギー源として実用化がすすめられたのが、原子力である。原子力は、原子核の分裂や融合にさいし莫大なエネルギーを放出する。その力を軍事利用し

たものが核兵器であり、発電に活用したものが原子力発電（原発）である。1955年にソ連ではじまった原子力発電（原発）は、先進国のあいだにひろまり、日本でも総発電量の36%を占めるまでになった。

しかし、スリーマイル島（1979年、アメリカ）やチェルノブイリ（1986年、ソ連）でおきた大規模な事故の例にみるように、原発の安全性は完全なものとはいえない。そのため、各国はそれぞれの国の事情を考慮しながら、原発への対応を検討している。（注）

（注）イタリアやスウェーデンなどでは、住民投票をおこなって国民の意思を問い、原発の縮小にむけてすすみはじめてた。ただし、スウェーデンでは、1991年に原発廃止延期を決定した。ドイツでは、2000年に19基ある原発を稼動32年で全廃することが決められた。これにより、2020年代はじめまでに原発が全廃される見通しとなった。

（4）「新政治経済」　　桐原書店

（p。4）「*核開発競争と冷戦の激化」「大戦末期の1945年8月6日と9日、アメリカが広島と長崎にそれぞれ1個の原子爆弾を投下した結果、両市は一挙に壊滅し、広島では被爆5年以内に推定で20万人、長崎でも推定14万人もの生命がうばわれた。しかも、原爆の放射能による後遺症は、現在にいたるも、韓国・朝鮮人などの外国人をふくむ多くの人びとを苦しめており、原爆症で死ぬ人もあとをたたない。・・・」*

（p。22）「新エネルギーの開発」「*・・・各国は石油にかわる当面の代替エネルギーとして、燃料費の割合が低い原子力発電の開発を進めてきたが、アメリカのペンシルバニア州のスリーマイル島原子力発電所の放射能もれ事故（1979年3月）や、旧ソ連のウクライナ共和国のチェルノブイリ原子力発電所の大事故（1986年4月、放射能被ばくで死者約300人）からもわかるように、放射能漏れの不安がつきまとい、さらに放射性廃棄物などの問題もあるので、日本を含む多くの国で、原発の推進に反対する動きが見られる。日本やフランス・ロシアなどは、原発の推進に積極的であるが、この二つの原発事故の影響や建設費の高騰などから、先進諸国では新たな原発の建設が激減している。事故を起こしたときの影響を重視して、原発を段階的に廃棄することを決定した国もある。*

環境に影響を及ぼさない自然エネルギーの開発が期待されている。太陽光・地熱・風力・波力などの発電がその例で、いずれも燃料費はただで、ほぼ永久的に供給されるエネルギーである。なかでも太陽光・地熱の発電開発が注目されている。」

4．世界史A

(1)実教出版　「世界史A　新訂版」

（p.188—189）　6現代文明と環境問題　　「地球科学・宇宙科学の発展」で、「*進化論により打倒されたはずの天変地異説が、科学的根拠をもってみなおされつつある。たとえば恐竜の絶滅が小惑星の地球への衝突に起因するとされ、突然変異は宇宙線などの高エネルギー放射線が生物の遺伝子を変化させた結果だとする説も有力になった。」*

「原子力平和利用の問題」では、「原子エネルギーの領域で日本は先駆的な役割をはたした国である。」ことが湯川秀樹などの人名いりで紹介されている。

「1954 年 6 月、世界最初の実用原子力発電所がソ連で運転を開始した。1955 年、第一回原子力平和利用国際会議がひらかれたのを契機に、原爆保有国は秘密を公開し、原子炉の輸出を競うようになった。商業用原子炉の開発ではイギリスが先んじたが、アメリカは加圧水型・沸騰水型などの軽水炉を開発し、発電原価を石炭や火力の半分以下に引き下げることに成功した。その後、原子力発電が大気汚染や環境破壊の少ない方式といわれ、各国はこれを採用するようになり、1994 年現在で世界の総発電量の約 17%を原子力発電が占めている。

しかし原子炉の事故、「死の灰」の処理など検討を要する問題が多い。とくに、1986 年にソ連のウクライナ共和国でおこったチェルノブイリ原発事故は、国内と同時に周辺諸国を汚染し、深刻な問題をひきおこした。」

(2) 第一学習社 「改定版 世界史 A」

(p.172) 8 科学技術と現代文明 「技術文明の落とし穴」「科学技術の発達は人間生活を豊かにし、便利にしてきた反面、しばしば人間に危害をあたえたり、人間の尊厳をそこなう危険をもたらしてきた。例えば、原子エネルギーが核兵器として開発されると人類全体が脅威にさらされる。また、今日の科学技術はあまりに巨大かつ複雑なため、多くの労働者は巨大な機構の一部に組み込まれ、人間としての個性を発揮しにくい人間疎外の状態におかれがちである。・・・」(欄外には写真と地図でチェルノブイリ原子力発電所の事故の説明がある。「1986 年、旧ソ連のウクライナで大規模な放射能漏れの事故がおきた。汚染は広い範囲に広がり、人間や家畜・農産物に深刻な被害をあたえ、被曝者は 57 万人をこえるといわれる。」

(3) 山川出版社 「詳説世界史」 B

(p.351)「ソ連の消滅と社会主義国の崩壊」の項で、「86 年 4 月、ウクライナのチェルノブイリ原子力発電所でこれまでで最悪の事故が起こり、管理体制や事故対策・・・」
ソ連の崩壊につながったこと。

(4) 東京書籍 「新選世界史B」

(p.3) 「先進諸国は、工業技術の急速な発展と、生活水準の向上のために、森林や鉱物資源、エネルギー源など、地球の資源をほとんど無制限に利用し、地球上の生活環境を汚染してきた。・・・」

「これからも続発が予想される地域紛争にそなえるためには、国際連合の組織の改革や平和維持のための努力も必要である。原子力発電にともなう危険の除去、遺伝子工学の発展と倫理の問題、・・・など、21 世紀をむかえて人類が英知をかたむけて協力しつつとり

くまなければならない問題がつぎつぎに発生している。」

（5）東京書籍　　「世界史Ｂ」

(p.328)　「・・・*核兵器による人類滅亡の危機が高まった。・・・核兵器の軍拡競争と世界大戦の脅威に対して、原水爆禁止運動など平和を望む国際世論が高まった。・・・*

「いっぽうで、原子力発電の実用化が 1960 年代からはじまっている。しかし同時に、原発事故が世界各地でおこっており、原子力利用の安全性は技術的に解決されたとはいえない状況にある。」

（6）山川出版社　　「高校世界史」Ｂ

(p.322-323)　「*原子物理学の成果は、核兵器開発に使われたが、原子力発電など民需利用もされている。」「科学技術と現代文明にささえられた先進諸国では、産業構造にも変化がおこり、高等教育を受け、個人生活を重視する中間階層を狩猟とする社会に移行しつつある。」「発展途上地域から先進地域への人間の移動は、先進地域の社会構成に大きな影響をあたえている。」「現代文明はエネルギーや各種資源を大量に消費し、また大量の廃棄物をうみだしている。」*

５．日本史

（1）山川出版社　　「詳説日本史」

(p.366)　現代の文化　　（注）「*1957（昭和 32）年 9 月、茨城県東海村の原子力研究所が原子炉の運転を開始した。第二次世界大戦で原子爆弾の唯一の被爆国となった日本は、核兵器について非核三原則を堅持するいっぽう、工業動力としての原子力の平和利用に力を入れ、各地で原子力発電所が建設されている。しかし、原子力利用の安全性については、なお問題が残されている*」。（正確には、「工業動力としての」でなく「エネルギー源としての」である。「*原子力の安全性についてはなお問題が残されている*」という記述については専門家はそのようには思っていない。）

（2）実教出版　　「日本史Ｂ新訂版」

(p.358-359)「*（注）1979 年のアメリカのスリーマイル島原発事故と、空前の被害をまねいた 1986 年のソ連のチェルノブイリ原発事故を契機として、世界的に反原発運動が高まり、そのみなおしが急務となった。*」反原発運動はたしかであるが、原発のみなおしが「急務」といえるかどうか。

次ページ、脚注の「*1994 年に被爆者援護法が定められて、死没者に 10 万円が支給されることになったが、高齢化した被爆者の生活や健康の問題はなお深刻な状態にある。*」被爆者の長年にわたる精神的・肉体的苦痛は十分に推察され、同情されるべきであるが、最近の専門家の調査によれば被爆生存者のほうが一般的な平均よりも統計的に寿命が長いと

いうデータがあり、「健康の問題はなお深刻」 は事実とはいえない。

6．地理

(1) 帝国書院 「新地理A」

(p.116) 「*地球的環境問題の出現*」の項で、「*海洋でのタンカーなどからの原油や廃液の流出事故は、沿岸を広く汚染する。原子力発電所の事故では、放射性物質が風で運ばれ、広い地域に被害を及ぼす。*」との本文を補充して、それぞれ 1997 年の日本海でのロシアの大型タンカー事故で重油が日本海の漁業に被害をおよぼしたこと、1986 年のチェルノブイリ事故で放射性物質が遠く中国や日本にまで到達したことが書かれている。

(2) 帝国書院 「高校生の世界地理A」

(p.114) 「資源の使い方と問題点」で「*・・・先進国では、1970 年代から電力に占める原子力の割合が高まってきた。原子力は、わずかなウラン燃料で大きなエネルギーをとりだすことができる。しかし、1986 年のチェルノブイリ原子力発電所の事故を境に安全性に対する不安が高まり、欧米で建設や計画の中止が進んだ結果、1990 年代以降先進国の発電量は停滞している。また、放射性廃棄物の処理技術が完成されていないことや、最終的にはウランが枯渇するなどの問題もある。*」資源の枯渇はウランに限ったことではないし、この記述は原子力にたいしすくなくとも好意的とはいえない。なお、欄外の注には「*天然ガスは有害物質を出さずクリーンであるとされている。*」とあるが、二酸化炭素の量が相対的に少ないだけのことで正確な記述ではない。

(p.146-149)「新しいエネルギーの開発」の項で、「*チェルノブイリ原子力発電所の事故のように、一度事故がおきるとそこで働く人びとや周辺の住民に対して大きな被害を及ぼしてしまうことがある。*」として、また別のページでは図版とともに「*化石燃料や原子力に替わるエネルギー源の開発が模索されている*」として、太陽光発電、潮力発電の図が示されているが、努力がされていることと現実とは別であり、不可能なことに過大の期待を持たせることは妥当ではない。

(3) 東京書籍 「環境と人間 地理A」

(p.204-205) 「*エネルギー危機と資源主権（？）*」という項で「*化石エネルギー資源が地球上にかたよって分布していることから、資源をめぐって国家間の対立が生じやすい。・・・*

・・第一次・第二次石油危機・・そこで先進国では、自動車の燃費の向上など厳しい省エネルギーを実施したり、石炭や天然ガス、原子力などの代替エネルギーの利用を増やしたり、・・・80 年代には石油需給が緩和・・・産油国内の対立・・・湾岸戦争・・・。

石油危機以降、世界的に原子力発電が重視され、・・・原子力発電では、核燃料サイクルが確立すれば資源の再利用が可能である。また核燃料を前もって長期間確保しておけば、

紛争などによる供給不安を避けられ、二酸化炭素を排出しない、などの理由から、フランス、日本、韓国などでは強力に推進している。他方、アメリカやドイツ、イタリアでは原子力発電を抑制する傾向にある。・・・。」（原子力に関しては、長所とともに短所をもバランスよく記述している。）

（4）帝国書院　　「新詳地理Ｂ」

（p.91-92）「産業廃棄物の処理」の項で、「*1988 年には、ナイジェリアの港でイタリアからもち込まれた高濃度の放射性廃棄物やＰＣＢをふくむ廃液のドラム缶が大量に発見され、国際問題となった。*」と記述されているが、放射性廃棄物に関してそのようなことが本当にあったのかどうか、筆者には初耳である。なお、この記事のすぐ上に「処分場へ運ばれる放射性廃棄物」という見出しの写真があるが、この説明に「*放射性物質は自然には浄化されず、**きわめて有毒なため、処理がむずかしい。***」との説明がある。有毒となるかどうかは量にもよることであり、この記述はすこしオーバーである。

（p.177）「エネルギーのかかえる問題」の項では、「*化石燃料の枯渇の問題、酸性雨や地球の温暖化などの環境問題の原因となるので、省エネルギー対策や代替エネルギーの技術開発が進められた原油価格の暴落とともにその取り組みが停滞した。・・脚光を浴びた原子力エネルギーも、放射性物質もれなどの安全面や核廃棄物の処理・処分などの問題が指摘されている。・・・世界的にエネルギー消費は増大を続けると予想されるので、省エネルギー対策や代替エネルギー開発にいっそう努力しなければならない。*」と結ばれている。

７．おわりに

今回の調査では、文系の科目の教科書でも、論調は以前よりはおだやかにはなっているが、最近の起こったＪＣＯ事故などの関係で、原子力に関してはたしかにメリットとデメリットが併記されて公平に扱われているようには見えるのだが、原子力を危険視する一般的傾向を完全にぬぐい去ることはできない。一般的に原子力に関する記述について改善が希望される点として、

（1）　現在、着実に利用が進んでいるものと、いつ実用化が可能になるかわからないエネルギー源を同一に扱っていることが多いこと、

（2）　「危険な事故が頻発」という表現は、どの程度のレベルで、どの程度の頻度の事故をさしているのか曖昧な割りには、読者の不安をあおる表現となっていること、

（3）　現在消費されているエネルギー全体の中で自然エネルギーが占める数値が示されていないので、自然エネルギーだけですべてを代替できるような錯覚を与えることが多いこと、などがある。

高等学校では平成 15 年度から新たな学習指導要領が実施され、理科では「理科総合Ａ」などの科目が必修となり、この教科書の１例を見ると、内容は理想的と思われるほど良くなっていることを報告したい。　　（2002 年 11 月 13 日）

高等学校教科書の「放射性廃棄物」に関する記述内容部分の摘出とその内容へのコメント

福塚 直也

該当図書及び記述場所	新訂　現代社会　　【東京書籍】 3.　生活と環境　　（P.71の4から14行目）
記述内容	未来の世代への課題 石油や石炭、天然ガスなどの化石燃料は資源の枯渇という問題がある。さらに、排気ガスによる環境汚染の問題も大きな課題となる。 原発はこのような問題がないかわりに、大きな事故の危険性や大量の放射性廃棄物の処分の問題がある。高レベルの廃棄物は使用済みの燃料から化学的に分離し、ガラスで固めて長期間保存する。低レベル廃棄物はドラムかんに詰めて保管される。これらを何百年も安全に管理したり、保存したりすることは，未来の世代の重い課題となる可能性もある。どのようなエネルギー政策を選択すべきなのだろうか。
コメントの要点	①　「大量の放射性廃棄物の処分の問題がある」との表現部分について、放射性廃棄物は産業廃棄物の一種類であり、他の産業廃棄物と比較して量的に見ても特に多いというわけではなく、むしろ徹底した保存管理がなされており安心できる。 ②　「放射性廃棄物を何百年も安全に管理したり、保存したりすることは，未来の世代の重い課題となる可能性もある」との表現部分について、原発から得られるエネルギー量とそのエネルギーがもたらす生産効果及び多様な利用価値のある石油等の節約効果は大きな子孫への貯えをもたらすものであり、負の遺産であるかのような説明は好ましくない。
記述改訂案	未来の世代への課題 石油や石炭、天然ガスなどの化石燃料は資源の枯渇という問題がある。さらに、排気ガスによる環境汚染の問題も大きな課題となる。 原発はこのような問題がないかわりに、大きな事故の危険性や放射性廃棄物の貯蔵管理の問題がある。高レベルの廃棄物は使用済みの燃料から化学的に分離し、ガラスで固めて長期間保存する。低レベル廃棄物はドラムかんに詰めて保管される。現状の技術ではこれらを何百年も安全に管理したり、保存したりする必要があることから、この負担軽減のため更なる技術革新が求められている。

該当図書及び記述場所	新訂　現代社会　　【第一学習社】 1.　環境と私たちの生活 ④　資源・エネルギー問題　　(P.83の15行目～P.84の5行目)
記述内容	原子力発電とその課題 現在（1999年)、日本の原子力発電量は、アメリカ，フランスに次いで世界第3位で、日本の総発電量の約36%を占めている。原子力発電は、原料のウランの核分裂から得られる熱で水蒸気をつくり、その圧力でタービンを回して発電するもので、石油・石炭などを原料にする火力発電に比べて、ごく少量の原料で大きなエネルギーを生み出す。 しかし、課題も山積みしている。一つには，チェルノブイリ原子力発電所事故に代表される発電の過程における放射能漏れなどの問題、二つ目には，発電で生じる低レベル放射性廃棄物●の安全な管理・保管の問題がある。さらに、使用済み核燃料のなかでも再利用できるプルトニウム●と燃え残りのウランをとり出す再処理の際に発生する高レベル放射性廃棄物の問題もある。 ＜補足説明＞ ● 放射性廃棄物　：　原子力施設からでる放射性物質を含む廃棄物。低レベル放射性廃棄物は固体廃棄物の形でドラム缶に入れて地中深く埋設される。再処理工場からでる高レベル放射性廃棄物については、廃液をガラスで固化し、30～50年間冷却のため貯蔵した後、より安定した地層中に埋設処分するという。その処理技術の開発が続けられている。 ● プルトニウム　：　使用済み核燃料の再処理によってとり出される放射能の強い核物質。高速増殖炉の核燃料として用いられ、燃やすとそれ以上のプルトニウムが再び生産されるという性質があり、燃料としてウランよりも資源的価値が高い。しかし、高速増殖炉で生じた使用済み核燃料は放射能が強く、安全性や経済性の面からも問題が多い。なお、プルトニウムは原爆などの核兵器の原料ともなる。
コメントの要点	概ね正しい内容説明がなされているが、誤解を招くのではないかと思われる次の部分について、より正確な理解を得るために表現を一部改めて頂きたい。 (1)　「発電で生じる低レベル放射性廃棄物の安全な管理・保管の問題がある。」の表現では、「低レベル放射性廃棄物の安全な管理・保管」のための技術が確立できていないかのような誤解を招くおそれがある。 (2)　「低レベル放射性廃棄物は固体廃棄物の形でドラム缶に入れて地中深く埋設される。」の表現では、「低レベル放射性廃棄物は地中深く埋設、無管理のまま放置さ

	れ、いずれドラム缶が腐って放射能が人間の生活環境へ漏れでてくる」かの誤解を招くおそれがある。 (3)　「高速増殖炉で生じた使用済み核燃料は放射能が強く、安全性や経済性の面からも問題が多い」の表現では、「高速増殖炉で生じた使用済み核燃料は特に放射能が強い」かの誤解を招くおそれがある。
記述改訂案	原子力発電とその課題 現在（1999 年）、日本の原子力発電量は、アメリカ，フランスに次いで世界第 3 位で、日本の総発電量の約 36%を占めている。原子力発電は、原料のウランの核分裂から得られる熱で水蒸気をつくり、その圧力でタービンを回して発電するもので、石油・石炭などを原料にする火力発電に比べて、ごく少量の原料で大きなエネルギーを生み出す。 しかし、課題も山積みしている。一つには，チェルノブイリ原子力発電所事故に代表される発電の過程における放射能漏れなどの問題、二つ目には，発電で生じる低レベル放射性廃棄物❷の安全な管理・保管がある。さらに、使用済み核燃料のなかでも再利用できるプルトニウム❶と燃え残りのウランをとり出す再処理の際に発生する高レベル放射性廃棄物の問題もある。 ＜補足説明＞ ❷　放射性廃棄物　：　原子力施設からでる放射性物質を含む廃棄物。低レベル放射性廃棄物は固体廃棄物の形でドラム缶に入れて地下のコンクリート製貯蔵庫で保管し、人間の生活環境に影響を与えなくなるまで管理される。再処理工場からでる高レベル放射性廃棄物については、廃液をガラスで固化し、30～50 年間冷却のため貯蔵した後、より安定した地層中に埋設処分するという。その処理技術の開発が続けられている。 ❶　プルトニウム　：　使用済み核燃料の再処理によってとり出される放射能の強い核物質。高速増殖炉の核燃料として用いることにより、燃やすとそれ以上のプルトニウムを再び生産でき、燃料としてウランよりも資源的価値が高い。しかし、高速増殖炉は安全性、経済性の面で国民的合意が得られる技術レベルに至っておらず、原子力エネルギーを最大限に活用するために欠くことのできない高速増殖炉技術確立のための研究開発が進められている。なお、プルトニウムは原爆などの核兵器の原料ともなる。

該当図書及び記述場所	改訂版　新清治経済　　【桐原書店】 第2章　　国際社会の課題 3. 資源エネルギー問題　　(p.22の4行目～19行目)
記述内容	新エネルギーの開発 石油にかわる新しいエネルギー技術の開発も強く求められている。各国は石油にかわる当面の代替エネルギーとして、燃料費の割合が低い原子力発電の開発を進めてきたが、アメリカのペンシルバニア州のスリーマイル島原子力発電所の放射能もれ事故（1979年3月）や、旧ソ連のウクライナ共和国のチェルノブイリ原子力発電所の大事故（1986年4月,放射能被ばくで死者約300人）からもわかるように、放射能もれの不安がつきまとい、さらに放射性廃棄物の処理などの問題もあるので、日本をふくむ多くの国で，原発の推進に反対する動きがみられる。日本やフランス，ロシアなどは、原発の推進に積極的であるが、この二つの原発事故の影響や建設費の高騰などから、先進諸国では新たな原発の建設が激減している。事故をおこしたときの環境への影響を重視して、原発を段階的に廃止することを決定した国もある。 環境に影響をおよぼさない自然エネルギーの開発が期待されている。太陽光・地熱・風力・波力などの発電がその例で、いずれも燃料費はただで、ほぼ永久的に供給されるエネルギーである。なかでも太陽光・地熱の発電開発が注目されている。
コメントの要点	個々の説明内容には大きな誤りはないが、全体的にみて原子力発電所を取り巻く技術問題、社会問題についての説明割合が多いことから「原発の推進は好ましくない」との印象を与える結果となっているように思う。 ＜具体的な問題箇所＞ (1)　「各国は石油にかわる当面の代替エネルギーとして、燃料費の割合が低い原子力発電の開発を進めてきたが、～」との表現では、「大半の人は原子力発電の利用は問題が大きくて早く無くしたいと思っている」ことになる。 放置すれば自然に減少して行くウラニウムを人間の知恵を結集して貴重なエネルギー源材料として利用し、利用価値の高い石油等の化石燃料を少しでも多く子孫に残すことこそ、現代に生きる我々の責務ではないか。 (2)　「～チェルノブイリ原子力発電所の大事故（1986年4月,放射能被ばくで死者約300人）～」の「放射能被ばくで死者約300人」部分は正確ではないことから削除すべきである。 (3)　「～さらに放射性廃棄物の処理などの問題もあるので、～」との表現では、「原子力発電所からでる放射性廃棄物の処理は非常に大きな問題である」かの印象を与え

	る。放射性廃棄物の処理においての未解決問題は、高レベル放射性廃棄物の永久保管技術の確立部分であり、この高レベル放射性廃棄物は他の一般産業廃棄物と比較して量的に見ても特に多いと言うわけではなく、現在技術に置いても確実な保管管理がなされている。今後のさらなる技術革新により、永年保管技術の確立、さらには当該放射性廃棄物の有効利用技術の開発も進められて行くであろう。 (4)　「自然エネルギーの開発」についての説明内容は、良いことのみの記載しかなく原子力発電所と同様に問題点についても併記すべきである。
記述改訂案	新エネルギーの開発 石油にかわる新しいエネルギー技術の開発も強く求められている。各国は石油にかわる代替エネルギーとして、少量の原料で大容量のエネルギーが得られる原子力発電の開発を進めてきたが、アメリカのペンシルバニア州のスリーマイル島原子力発電所の放射能もれ事故（1979 年 3 月）や、旧ソ連のウクライナ共和国のチェルノブイリ原子力発電所の大事故（1986 年 4 月）のような放射能もれの不安がつきまとい、さらに放射性廃棄物の長期保管負担もあることから、日本をふくむ多くの国で原発の推進に反対する動きがみられる。日本やフランス，ロシアなどは、原発の推進に積極的であるが、この二つの原発事故の影響や建設費の高騰などから、先進諸国では新たな原発の建設が激減している。事故をおこしたときの環境への影響を重視して、原発を段階的に廃止することを決定した国もある。 環境に影響をおよぼさない自然エネルギーの開発が期待されている。太陽光・地熱・風力・波力などの発電がその例で、いずれも燃料費はただで、ほぼ永久的に供給されるエネルギーである。しかし、これらのエネルギーはいずれも利用できるエネルギーの容量および安定性，景観保全等の面で問題があり、主要エネルギー源としての利用までにはさらなる研究開発が必要である。

【解説】

1.　原子力発電所から発生する放射性廃棄物は関係法令にもとづき「低レベル放射性廃棄物」と「高レベル放射性廃棄物」に区分して、私たちの生活環境に影響を及ぼさないように次のようにして漏れなく保存管理が行われています。

(1)　低レベル放射性廃棄物

原子力発電所から出る主な「低レベル放射性廃棄物」は、古くなった作業着、交換した機器、液体の廃棄物を濃縮した廃液等です。これらは焼却・圧縮して容積を減らしたり、セメントやアスファルトなどで固めてからドラム缶に密閉します。

その後、ドラム缶は「低レベル放射性廃棄物埋設センター」（青森県六ヶ所村）で地中に埋設処分され、人間の生活環境に影響を与えなくなるまで管理されます。この低レベル放射性廃棄物に含まれる放射性物質のほとんどは、半減期が短く数十年程度も保管しておくと、もとの量の半分以下に減少してしまいます。

低レベル放射性廃棄物の安全な管理・保管技術は既に確立しています。

本欄に次の図を挿入する。
① 電気事業連合会のホームページの「低レベル放射性廃棄物」項の説明図　**（図１）**
② 原子力文化振興財団発行パンフレット「原子力2001」の「6.放射性廃棄物の処分」項に記載されている「放射性物質の半減期」と「原子力発電所に関係する代表的な放射性物質とその性質」の説明図　**（図２、表１）**

(2)　高レベル放射性廃棄物

原子力発電所から出る使用済燃料は、再処理して再利用できるウランとプルトニウムを回収します。この際，後に核分裂生成物を主成分とする廃棄物が残ります。この廃棄物は放射能濃度が高いことから高レベル放射性廃棄物と呼ばれます。

高レベル放射性廃棄物は、低レベル放射性廃棄物に比べその発生量自体は少ないのですが、放射線管理に一層の注意が必要な半減期の長い放射性物質も比較的多く含まれているので，長期間にわたり人間環境から隔離する必要があることから次のように処理・処分することで技術確立が進められています。

本欄に電気事業連合会のホームページの「高レベル放射性廃棄物」項の次の内容部分を挿入する。
① ガラス固化体　**（図３）**
② 高レベル放射性廃棄物管理施設　**（図４）**
③ 最終処分　**（図５）**

2.　原子力発電によって将来に危険をもたらすかも知れない放射性廃棄物を後世に残すことになるので、これは人間の基本的モラルに反するのではないかと、という考え方もあります。

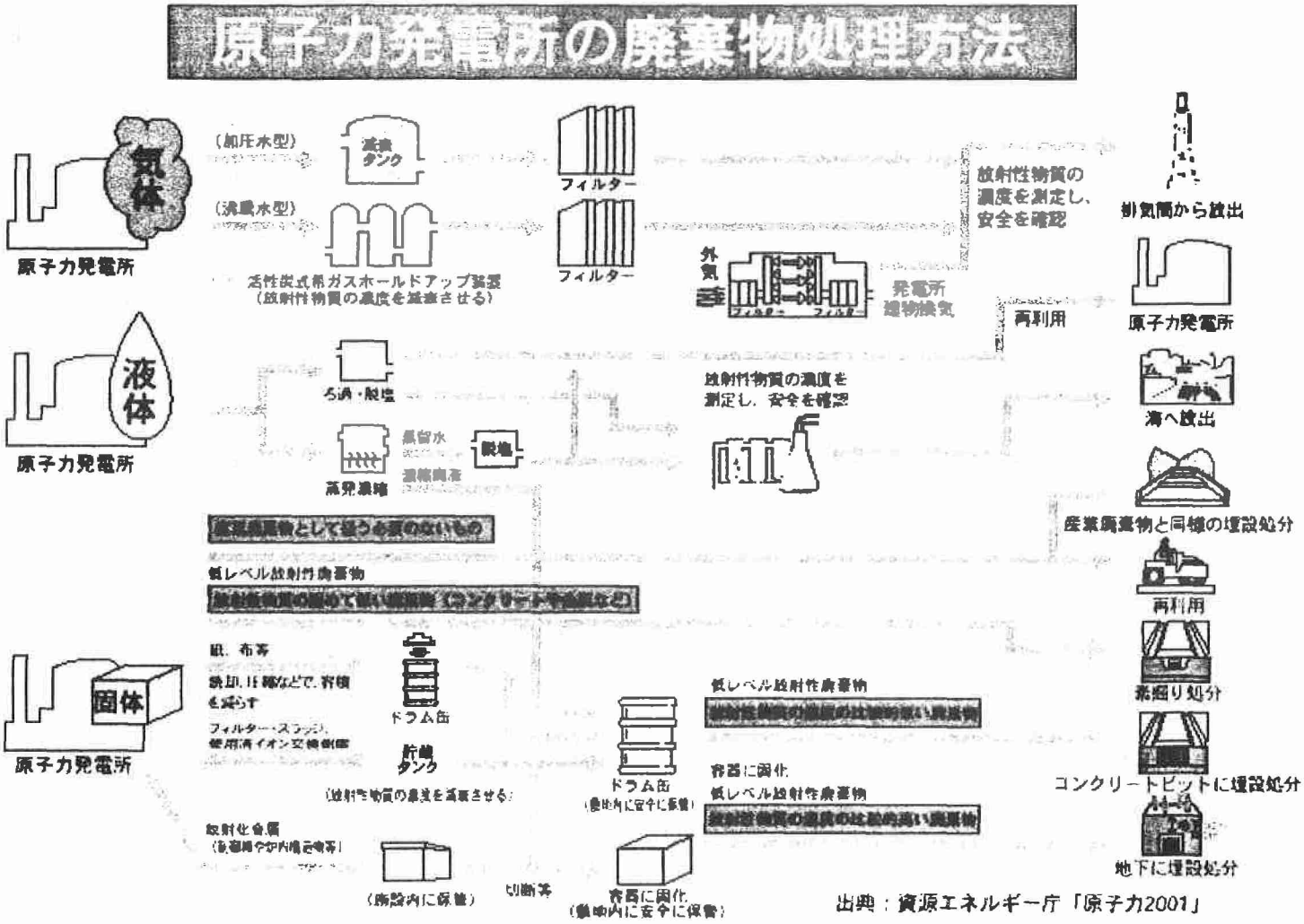
しかしそれならば、現代人はすべての廃棄物を全く後世に迷惑をかけないで処理していると言えるのでしょうか。化石燃料の使用による二酸化炭素の増加しかり、以下に述べる大量の一般廃棄物しかりです。

原子力技術者は放射性廃棄物をどうすれば、後の世代の人達の迷惑が少なくて済むかについても研究を重ねております。そして、これらの全てを廃棄物として扱うのではなく、その一部のセシウム−137 やストロンチウム−90 などは既に医療や工業分野で利用されています。

放射性廃棄物はある特殊な産業廃棄物かも知れませんが、現在大きな社会問題になっている一般産業廃棄物の後追い的な処理問題と異なり、放射線の危険性はその取り扱いの初期段階から把握されたことから、放射線管理の重要性は放射線、原子力利用の当初から認識し、放射性物質及び放射線発生装置の製造から販売，使用、廃棄に至る一連の状況がいつでも確認できる管理システムが確立されています。

放射性廃棄物が他の一般産業廃棄物と違う点は、放射性廃棄物の方は総体積としては比較的少なく、放射能の測定が容易、そして時間の経過につれてその放射能が弱まってゆくので、その扱いを専門としている従事者にとっては、むしろ一般産業廃棄物よりも扱いやすいとも考えられています。

原子力発電所から得られるエネルギー量とそのエネルギーがもたらす生産効果及び多様な利用価値のある石油等の節約効果は、子孫への大きな貯えをもたらすものであり、それに比べ放射性廃棄物の長期管理という負の遺産は無視できるほど小さいものと言える。



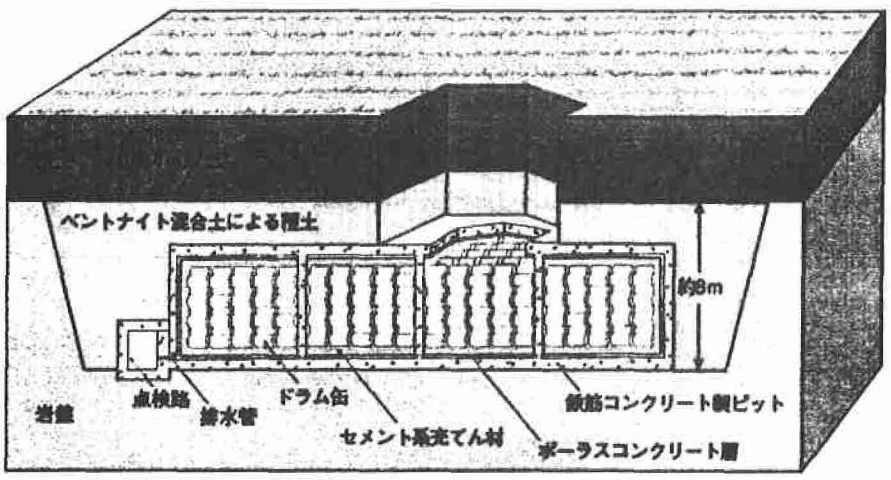


図１：低レベル放射性廃棄物

原子力発電所から出る主な「低レベル放射性廃棄物」は、古くなった作業着、交換した機器、液体の廃棄物を濃縮した廃液などです。これらは焼却・圧縮して容積を減らしたり、セメントやアスファルトなどで固めてからドラム缶に密閉したりします。その後、ドラム缶は青森県六ヶ所村の「低レベル放射性廃棄物埋設センター」で地中に埋設処分され、人間の生活環境に影響を与えなくなるまで管理されます。

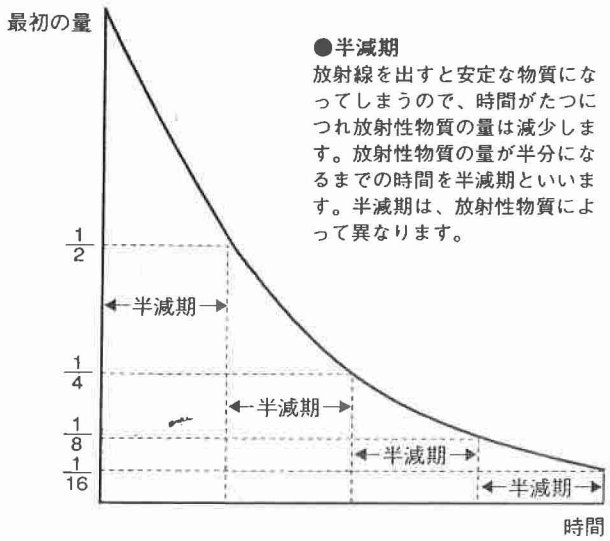


図２：放射性物質の半減期

放射性物質	半減期	主な放射線
コバルト60	約5年	ガンマ線
鉄55	約3年	ベータ線
クロム51	約28日	ガンマ線

表１：原子力発電に関係する代表的な放射性物質とその性質

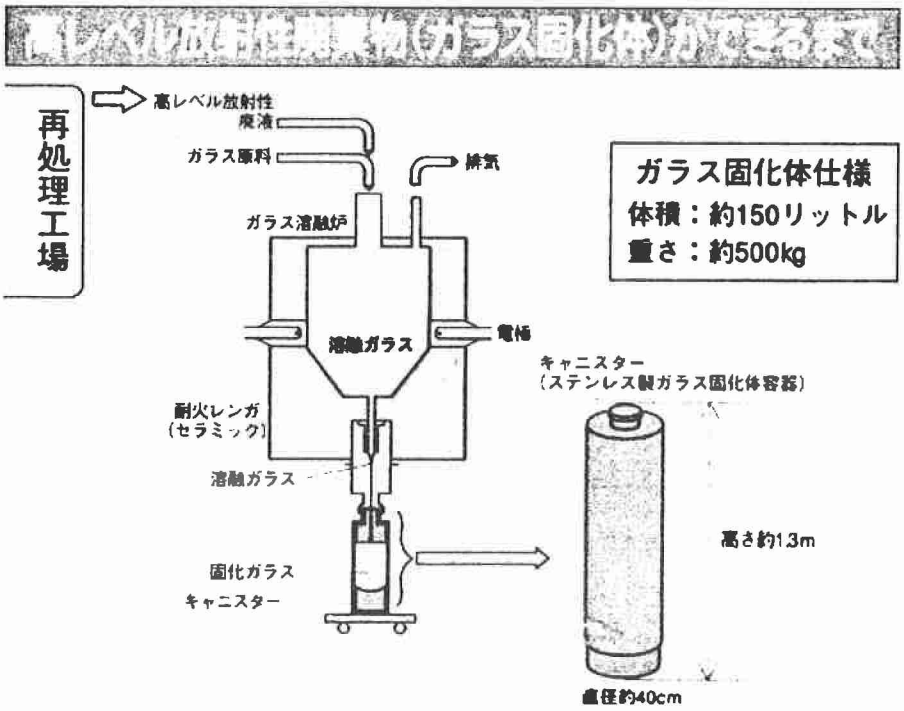


図３：高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）ができるまで

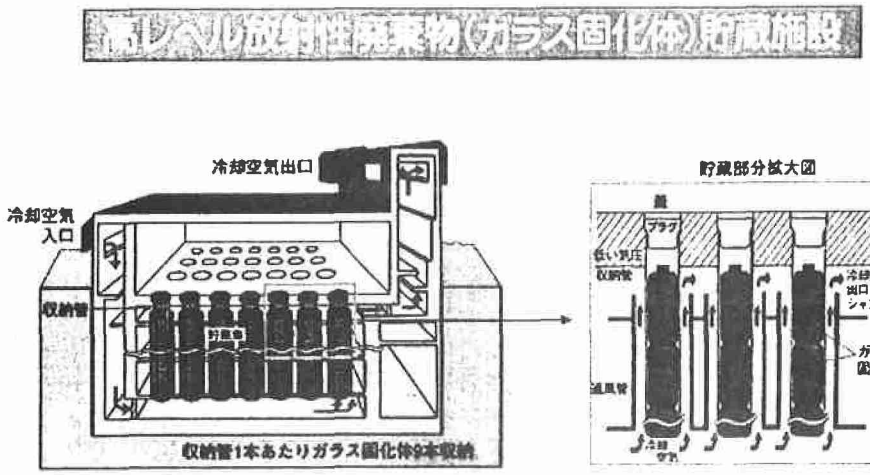


図４：高レベル放射性廃棄物管理施設

「ガラス固化体」は高レベル放射性廃棄物管理施設で、３０～５０年間、冷却のため一時的に貯蔵・管理されます。この施設は、厚さ 1.5～２メートルの鉄筋コンクリートの壁でおおわれ、放射性物質を封じ込めています。現在では、青森県・六ヶ所村の専用の設備に一時貯蔵・管理されています。

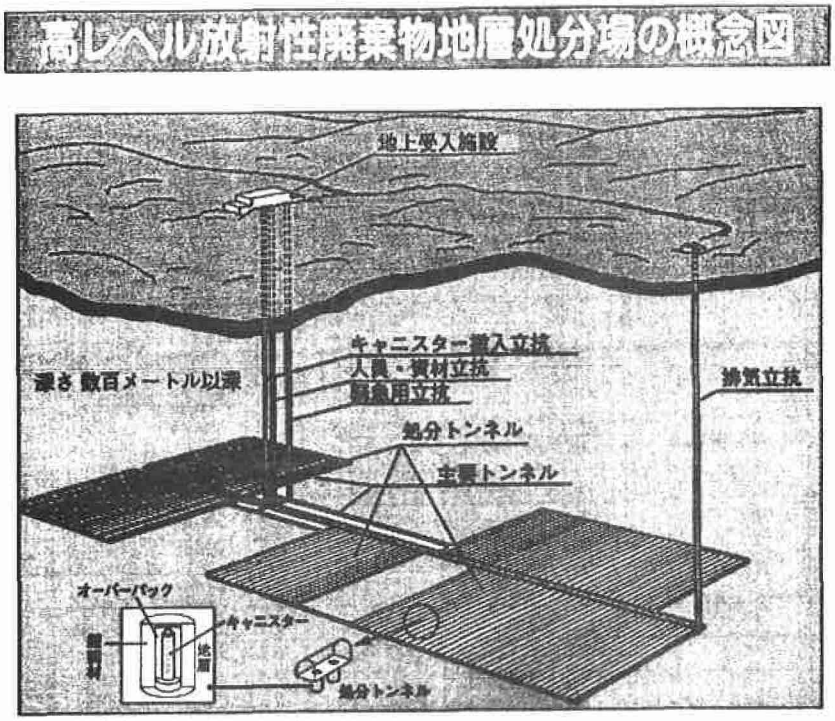


図５：最終処分

最終的には地下３００メートルより深い安定した地層に処分されます。これを「地層処分」といいます。地下深く埋設した高レベル放射性廃棄物が、私たちの生活環境に影響を及ぼさないようにするために、地層処分は「多重バリアシステム（天然バリア＋人工バリア）」により実施されます。

・天然バリア＝放射性廃棄物から放射性物質が漏れ出したとしても、生活環境へ移動させないことが期待できる地層のこと

・人工バリア＝放射性物質が漏れ出すことを防止したり、制御することが期待される人工構造物のこと。ガラス固化体や、ガラス固化体を包むオーバーパック（厚さ約１９センチメートル程度の金属製容器）、オーバーパックを包む緩衝材（粘土）など。

一般公衆が容易に認知できる放射線のリスク

ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム　　河村　正一

１．はじめに

科学技術に関する開発や利用が少人数の専門家の間で取り扱われている間は、研究・開発対象が社会とあまり関係がなくても深刻な問題は起こらない。しかし、その技術が進歩発展して関連する人が多くなると社会に何らかの影響を与えるようになり、大衆の理解が必要であるとされその限界は１０％であるようである。

放射線、放射能、原子力などは、診断、治療などの医学利用、工業、農業、ライフサイエンス、エネルギー源などの分野で、その有用性のために我々の生活に深く浸透して人々に利益を与えており、現在では社会の理解を必要とする限界の１０％を超えて広く利用されている。ここに世間人々の理解と協力を得る必要が生じてくる。

我々は生まれ落ちると同時に地震、津波、噴火、台風などの自然災害に遭遇する機会があり，日常生活では医療、食品、化学物質、交通手段などと関係が生じ，我々の生活を円滑にする職業などからも危険性は生ずる。さらにリクリエーションや通常の家庭生活からでさえも確率は低いが、危険性は存在する。すなわちこの世で生きていている限り、全く危険性を伴わない状態，すなわちゼロリスクはあり得ないという結論に達することができる。

２．リスクの定義

リスクという言葉は、現在，社会、経済、理学、工学、農学、医学など広い分野にわたって使用されている。はじめは経済の分野での使用が多かったが、次第に他の分野に拡がっている。

パソコンで「安全，リスク」をキワードにして調べたところ，たちまち１４万件余りが検索できた。「リスク」という言葉は日常的用語として定着している感じがする。　　リスクの発祥は，遠くは１３世紀末から１５世紀末にかけて起こった全ヨーロッパに波及した芸術上，思想上の革新運動のルネサンスに影響を受けているという。

National Research Council によれば，リスクとは，「被害の重大性と，その重大性が起こる確立の積」であると定義されている。この被害の重大性はハザードとよび，「人や物に対して，傷害を与える可能性がある行為又は現象」と定義されている。リスクとは，ハザードがどのくらい起こるかという期待値でもある。

飛行機の事故で，例えば事故１回あたり何人の死者がでるかというのは，被害の重大さである。飛行機の利用に伴い何回事故が起こるのは「重大性が起こる確率」である。飛行機事故は，事故生起の確率は小さいがひとたび事故を起こすと多数の死者が出るので被害の重大性は大きい。

自動車は飛行機よりも事故が起こる確率は高い，しかし死者がはるかに少ないので被害の重大性は自動車の方が小さい。両者の死者数と事故生起の確率の積を，それぞれ求めると飛行機と自動車のリスクが比較できる。

警察庁「交通統計」によると，平成１２年の道路交通事故の死者数は９０６６人である。およそ２０機に近い大型ジェット機が１年間に墜落したことになる。大変なことのはずなにに，自動車事故は身近に起

こり事故の過程を容易に理解できるのであまり世間の注目はひかない。

3．リスクに関連する事象

リスクの定義は研究者によってかなり幅があるが，おおかたは，「被害の重大性とその生起確率の積」として定義されている。この被害の重大性や生起確率は，関連するデータから推定される場合が多く，変動することもあるものの，妥当なものが選ばれている。このような科学的根拠に基づいて推定されるリスクを「客観的なリスク」とよび「主観的リスク」と区別されている。

草間朋子氏らが大学生を対象にした研究によると，客観的リスクと主観的リスクの差が小さいのは，食品添加物，エスカレータ，自転車であり，主観的リスクが客観的リスクを上回るのは，原子力，鎮痛剤，大気汚染などであるという。

リスクは客観的には重大性とその生起確率の積で表されるが多くの人は，このような考え方でリスクを評価してはいない。これを明らかにしたスロビックの有名な研究がある。

女性が最も危険と考えているのは，原子力であり，次いで自動車，拳銃，喫煙，オートバイという順序である。これに対して専門家が最も危険と考えているものは，自動車，次いで喫煙，アルコール飲料，拳銃，外科手術の順となっている。原子力は２０位でリスクは低い順番である。専門家はリスクの客観的な期待値（被害の重大性と生起確率の積）によって危険の順位（怖いと思っている順位）を考えるのに対して，一般の人々は客観的なリスクの期待値によらないで危険の順位を考えるためにこのような差が生ずると考えられている。

ベネットは，過去の研究から，「怖い」という要素を下記のように分類している。

① よく分からないもの又は新しいものは，よく知っているもののリスクよりも怖いと感じる。飛行機によく乗る人は怖くはない。しかし，たまにしか乗らない人は怖いと感じる。

② 人工的なもののリスクは，自然界に存在するものより怖いと感じる。

③ 何年も経ってから病気になるもの，例えば放射線被ばくによる晩発性効果によって起こる発ガンのようなものは怖いと感じる。

④ 遺伝的影響を後の世代に与えるリスクは，そうでないリスクよりも恐ろしいものとして感じる。

⑤ 科学的に解明されていないリスクはより怖いと感じる。

⑥ 異なる情報源から矛盾した情報が伝えられる。例えば行政機関が安全といい，消費者団体が危険と言う場合である。両者はリスクを認めながらそのリスク評価の程度が異なる場合にも矛盾があるので，よりリスクは高いと認知される。同じ情報原から矛盾した情報が与えられるときには，さらにリスクは高いと感じる，などである。

⑦ 非自発的にさらされるもの。例えば大気汚染のようなリスクは，好むと好まざるとにかかわらず，非自発的にそのリスクにさらされることになる。危険なスポーツや喫煙は，したいと思う人が自ら進んでそのリスクにさらされる。こうした自発的なリスクより大気汚染のような非自発的リスクの方が怖いと感じることが知られている。

⑧ 不公平に分配されているとき。原子力発電のようにその便益を受ける人がいる一方で，リスクにさらされる人々がいる。便益とリスクの不公平を指す。不公平に分配されたリスクの方がこわい

と感じる。

⑨ 個人的な予防行動では避けることができないもの。喫煙による肺ガンのリスクは禁煙で回避できる。これに対して大気汚染による肺ガンのリスクは避けられないのでこちらが怖いと感じる。呼吸はとめることができない。

⑩ 通常とは異なる死に方をするもの。苦しみながら死亡する。というような場合がこれに当てはまる。

⑪ 被害者が分かること。誰か知らない人が被害者になるリスクよりも，身近な人や知っている人が被害を受けるリスクの方が怖いと感じる。

ベネットは多くの評価をまとめて，さらに少数の要素で人々のリスク認知をまとめている。

一方スロビックは，放射性廃棄物，自動車事故，たばこなど８１のリスクの次元を明らかにしている。

その結果，「恐ろしさ」「未知である」「リスクにさらされる人数」の３つが次元として取り出されている。

「恐ろしさ」の次元には制御できない，結果が致命的である、自発的ではない，後の世代にリスクが及ぶ，などの評価が含まれている。

「未知である」の次元には観察できない、結果が出るのに時間がかかる、新しいリスクであるなどの評価が含まれている。

上記２つの次元をもとに，人々のリスク認知は次のとおりといえる。例えば原子炉事故や放射性廃棄物は，恐ろしさも，未知性の認知も、ともに高いリスクである。たばこや自転車、スキーなどは恐ろしさも未知性もともに低いリスクである。恐ろしさの認知が高く，未知性の認知が低いのは，核戦争や炭坑事故などである。恐ろしさの認知が低く，未知性の認知が高いリスクは，水道中の塩素，経口避妊薬，サッカリンなどである。このリスク認知の次元研究によって分かることは，一般の人々がリスクの高いものと認知する背景には，「恐ろしい」とか「未知なものである」という判断が非常に影響していることである。

この研究はリスクを「重大性」と「生起確率」の積として評価する専門家の判断とは異なる情報となることを意味している。一般の人々が「未知なもの」と判断しているリスクについて，専門家がそのリスクの生起確率は低いといっても人々のリスク認知には影響を与えないこともある。

４．リスクコミュニケーション

リスク・コミユニケーションの定義も，リスクの定義と同じ様にいろいろある。

National Research Council の定義とは，「個人，機関，集団間での情報や意見のやりとりの相互作用的過程」とある。

このやりとりには、次の２種類のメッセージがある。１つは，①リスクの性質についてのさまざまなメセージである。もう１つは，②リスク・メッセージ又はリスク管理のための法律や制度の整備に対する関心，意見，反応を表現するメセージである。

①リスク・メッセージには，文章や聴覚，視覚に訴えるものがある。このほか言葉によらない非言語的なコミュニケーションも含まれる。さらにリスクの低減にはどうすればよいか指示することもある。双方向的なリスクコミュニケーション過程にあって送り手から受け手に伝えられる。

②後者のメセージとして，企業や政府の正しいリスク管理を住民が関心を持っていると示すことや，特定のリスクの問題に対して一般の人々が反対したり賛成したりする意見の表明もリスクコミュニケーションに含まれる。

国際放射線防護委員会（ICRP）が示したリスクの定義は、通常望ましくない結果の大きさの数学的期待値、すなわちその事象の確率と結果との積であるという。この表現は日常的に放射線を取り扱う職業人に対しては適切である。関係者はリスクの使用を出来るだけ避けて、より直接的な言葉、例えば「確率」、「結果」、「数学的期待値」の使用がよいとしている。ついでに、リスクとは複数の属性をもつ量とみることも出来るが、量というよりは「概念」という追加の説明が加わり，より明確さを失っている。このような曖昧な表現が、放射線の安全性に対する一般公衆の認知を惑わせる原因の一つかも知れない。

5．リスク・コミュニケーションが取り扱う範囲

リスクコミュニケーションが取り扱う問題はさまざまであるが，①科学技術，②環境問題，③消費生活用製品，④健康・医療，⑤災害に分類できる。科学技術では，原子力発電や遺伝子組み換え食品などが入る。以前は，科学技術のリスク・コミュニケーションは，社会的受容を目的とする説得的のものが多かった。専門家が安全性や利便性を伝えるという方式であった。しかし，このような新しい科学技術に対して懐疑的な見方が多くなり，一般の人々も新しい科学技術に対して否定的な意見をもち，素人として専門家に異議を述べることがあるようになった。

この分野のリスク・コミュニケーションのあり方が，説得から議論へと変わりつつあるといえる。環境問題の分野では，ゴミ焼却場近辺の大気，土壌の汚染問題、フォロンガスによる地球温暖化の問題などがある。これらの環境問題では科学技術のリスク・コミュニケーションの問題と共通するところが多い。

良好な環境を維持するためには多くの人々が不便を我慢することを，個人的にというよりは社会的な合意として守ることが必要となる。

消費生活用品のリスク・コミュニケーションはＰＬ法が実施されたために以前よりも重要になった。この分野では企業と消費者それぞれについて問題が検討されている。企業側は消費者が警告や注意書きをみて理解できるよう表示のあり方が検討されている。消費者の側に対しては，注意書きを必ず読むこと、その指示に従うことが求められる。

医療・健康問題に関するリスク・コミュニケーションでは，医学的な専門知識をいかにして患者や家族に伝えるかについての技法が研究されている。この分野では「インフォームド・コンセント」（説明と同意）が非常に重用視されるようになった。患者自らが納得して自己決定することについて，素人である患者の自己責任をどこまでとするかには議論がある。

災害のリスク・コミュニケーションでは，災害前の予防行動の啓蒙と，実際に災害が発生後のコミュニケーションの問題との２つの問題が検討されている。

後者については，災害警報，災害発生後の流言やデマの研究、避難警報など多くの研究が行われてきた。

なお，自然災害と科学技術の事故とでは，同じ災害でも人々の反応が異なることが知られている。自然災害とは地震や洪水，台風などで，科学技術の事故とは，化学工場の事故や原子力発電所の事故などである。

人々は自然災害のリスクを低く見積もる傾向があるが，科学技術の事故のリスクは高く見積もる傾向がある。したがって自然災害に対しては避難行動が起こりにくく，科学技術の事故に対しては避難行動が過剰になることが知られている。

災害というとパニックが起こると考え勝ちであるが，実際には自然災害では避難しないことによる被害の拡大が問題であり，パニックがおこるとすれば科学技術の事故のときに起こる可能性が高い。

6．リスク・コミュニケーションと説得

社会心理学では，どのような方法を用いれば人々を説得できるか，多くの研究がある。リスク・コミュニケーションは説得ではなく対話が重視されるので，説得の技法を利用して人々の考え方や行動を誘導することは慎まなければならない。リスク・コミュニケーションの受け手はどのような技法があるかを知っていると，ときに悪意の説得があっても，それに誘導されないように注意できる。説得は全く禁じられているわけではない。人々が危険な行動をしないように，リスクを回避できるように，行動を変えることも大切だからである。例えば警告表示や災害時の避難勧告などの個人的選択の事態がそれにあたる。このようなときには，人々が誤った製品の使い方をしないように，又は迅速に危険地域から避難するように効果的な伝達が求められる。このようなとき説得の技法の使用は大切である。

1）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

一面的コミュニケーションとは，誘導しようとする立場に関する賛成論だけを伝えるコミュニケーションである。これに対して両面的コミュニケーションとは，誘導しようとする立場に関する賛成論だけでなく，反対論も併せて伝えるコミュニケーションである。例えば，遺伝子組み換え食品について安全であることを伝えようとする場合，その安全面だけ伝えるのが一面的コミュニケーションであり，リスクがあることを指摘する研究もあるというような反対論も併せて伝えるのが両面的コミュニケーションである。両面的コミュニケーションが賛成論も反対論も併せて伝えるのは公平な立場で接する必要があると考えられるからである。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説得に有利であるとは限らないが，次の場合は効果があることが知られている。

受け手が誘導しようとする立場に反対の場合
受け手の教育程度が高い場合
受け手が説得する話題についての情報や知識を多く持っている場合
受け手が逆宣伝に接する可能性がある場合

2）恐怖喚起コミュニケーション

コミュニケーションの受け手に身体への危険を伝えて，恐怖という感情を引き起こすコミュニケーションである。その内容は危険についての記述とその危険をどのように避けるかという行動の２つの部分からなる。

7．放射線のリスクの難しさ

この世の中で何をしてもリスクを伴うことは上記のように理解されている。それならば、そのリスクを知りたいと考えるのが当然である。 通常望ましくない結果の大きさの数学的期待値、すなわちその事

象の確率と結果との積が知りたい訳である。ICRP の基礎はこの考えである。世の中の人々はこれだけでは理解出来ない。困難ではあるが，容易に理解できるような工夫が必要である。

喫煙やアルコール依存症に対してアメリカ人は敏感であるといわれている。リスクに対する感じ方は，民族，文化，経験などによって異なるといえる。その道の専門家と一般の人々でもリスクの重みに対する感じ方は異なってくる。

このようにリスクに対する感じ方，科学的評価，社会的評価の違いが，リスクの判定結果に違いとなってあらわれ，評価に大きい差をもたらす。この感じ方の差が大切である。適切な指針の設定が必要な所以である。

専門分野が極端に細分化されている現在，自分の狭い専門分野は判断できる。しかし専門以外の分野は，素人と同じ程度であまり分からない。いろいろの事件がひっきりなしに複雑に起こる。報道姿勢の影響も著しい。結果として，多くの人々は誤った印象をもち，適切な判定が困難となる。

世の中，忙しく一つのことに対応できる時間には限界がある。問題の本質が分からないまま，やむなく時間切れとなり生半可な処理のまま，次の問題に移る。このような不完全な処理が重なったままの知見を「物差し」として物事を判断すると公正ではない結論となる。

放射線や放射能は私たちの目にも見えない，匂いもない，触れても手応えがない，味もない，音も聞こえないため，世間の人たちは気味悪がり実際以上に怖がっている。

私たちは，放射線や放射能に関する分野で長期間過ごしてきたが，その間に得られた知識なり経験を伝え，放射線等のありのままの姿をできるだけ多くの人たちにご理解いただけるよう努力したいと考えている。

8．若いときに放射線のリスクを学習する必要性

最近，ポジトロンCT（陽電子放射コンピュータ断層撮像装置），機能的MR（機能的磁気共鳴撮像装置），光トポグラフィなどによって脳を解析して学習と脳機能の関係が明らかになりつつある。

小泉氏は，「学習」と「教育」は，「脳」を育むことと密接な関係があると生物学的な視点から考察している。「脳」は，環境からの刺激によって新たな神経を接続し，環境に適応できるようになるという。

「学習」では，環境に適応した情報処理回路とデータベースを構築するように，脳が刺激に反応して新たな神経回路網をつくるという。

「教育」では，このような脳の情報処理機構の基本的な骨格が構築されるとき，脳への入力刺激を準備し制御することによって，新しい神経回路を生成し刺激する過程であるという。

神経細胞，グリア細胞，脳血管などの脳組織や，大脳，小脳，脳幹などの基本的構造は，遺伝子情報に基づき作られる。しかし，遺伝子で決定される要因以外に基づく発達，すなわち環境からの刺激によって初めて構築される部分も多い。

脳は基本的機能をもつように遺伝的につくられ，適切な環境によって健全に発達する。「教育」とは「脳」の適正な発達と機能を確保するために正しい学習を行い最適な適応を可能にする過程である。

この「教育」が効果的に進行するのは，小，中，高校など若い年代である。雛鳥が羽化し最初に見つけた動きものを母親と認識し，その後について行動するインプリンティング（刷り込み）の動作からも理解

できる。

若いときの適切な指導によって，放射線，放射能の利点，欠点は容易に身につけることができる。総合的な学習の時間では，それぞれの教科を横断するような総合的な学習を，生徒の興味や関心に基づき行うように提案されている。

このとき生徒の自主性に任せすぎると，生徒は単なる知識を中心に本やインターネットから集めるだけで，あまり自分で考えなくなるおそれがある。

基本となる問題点は，予め授業で教え，生徒の興味が湧いてきたところを見計らって，生徒に課題を選ばせることも大切と思われる。この基本となる問題点を集めた本を，NPO 法人放射線フォーラムから発行するために現在検討中である。

9．リスク認知とリスクコミュニケーション

リスクの定義は，研究者によって異なるとよく言われている。しかし中心概念は，危険や障害など望ましくない事象を発生させる「客観的」な確率または「不確実性」である。

これに対して「リスク認知」とは，それら望ましくない事象を発生させる「主観的」な確率または「不確実性」の認知である。

客観的なリスクと主観的リスクの間には，食い違いを生じる。３．で記したように日本の大学生を対象とした研究によると，主観的リスクと客観的リスクの差が少ないのは食品添加物，自転車，エスカレータなどであり，主観的リスクが客観的リスクを上回るのは原子力を筆頭に鎮痛剤の服用，大気汚染などである。逆に主観的リスクが客観的リスクを下廻るのはコーヒー，スキー，電車などである。

人文・社会の科学者はこの分類に異議を唱える人がいる。その理由は，リスクは実体概念ではなく，社会的に構成された概念である。従って個人的・社会的価値からは本質的に自由になれない。

客観的リスクといってもそれは専門家集団で共有されている価値に基づいたものに過ぎない。客観的リスクなるものは本来あり得ないという。この議論は何を対象として望ましくない事象と考えることによって結論が異なる。

喫煙による余命損失を例にとると，喫煙による余命損失は確率的な生物現象で，望ましくない事象の典型だから，そこには価値や主観性は入らないとすれば客観的リスクは存在する。しかし，喫煙による余命損失は，生物現象であると同時に社会現象であり，時には余命損失を上回る大きな生活の質を得ることもある。

したがって，余命損失が不利益かどうかは人によって異なるという立場にたてば，普遍的な客観的リスクは存在しない。

１０．災害に対するリスク・イメージ

スロビックは，８１の事象に対するリスク・イメージを，米国の一般人を対象として測定した。その結果，３．で示したように恐ろしさ因子，未知性因子，災害規模因子の３つが抽出された。このうち前二者の因子が作る直交空間上に８１の事象をプロットしたところ，恐ろしい既知の事象を拳銃，ダイナマイト，核兵器など，恐ろしくない未知の事象を抗がん剤，飲料水のフッ素添加，電子レンジなど，恐ろしくない

既知の事象を自転車，自家用船舶，送電線などと区別できた。

リスクの認知と客観的リスクとの間には，大きなずれや歪を生じることが多い。その理由は，リスクという確率的で不確実性を含んだ概念は，人々が認識し難いところにある。

スロビック（1986）によれば，できごとの記憶しやすさや想像しやすさによって認知は影響を受け，単にリスクの存在を指摘するだけでは反って恐怖を感じるという。また，最初に形成された認知はなかなか変りにくく，同じリスクでも表現法が変ると認知は変化する。

客観的リスクと主観的リスクの差，すなわち認知バイアスには，

① ある範囲内では認知された異常性をなるべく正常な状態で見ようとする正常性バイアス，

② 異常事態なのに，楽観的で明るい側面から見ようとする楽観主義バイアス，

③ 極めて希にしか起こらなくても，起これば大きな被害をもたらす災害を過大視するカタストロフィー・バイアス，

④ 経験が豊富なことから反って生じやすいベテラン・バイアス，

⑤ 未経験のために起きるバージン・バイアスなどがある。

災害の特性に基づく認知バイアスでは，

① 災害へのかかわりが自発的か否か。自発的なかかわりで生じた災害のリスクは過小視される，

② 災害を個人でコントロールできない災害のリスクは過大視される，

③ 災害が誰にでも平等にかかるか，特定の人やグループのみか。不公平なリスクは過大視される，

④ 災害の範囲の広いリスクは過大視される，

⑤ 一度に多くの被害者が出る災害のリスクは過大視される，

⑥ 死につながる災害はそうでない災害より過大視される，

⑦ 滅多に起こらない災害にリスクは，しばしば起こる災害より過大視される，

⑧ 次の世代への影響の可能性がある災害のリスクは，そうでない災害より過大視される。

⑨ 進行過程が見えない災害のリスクは見える災害より過大視される，

⑩ あまり知られない災害のリスクはよく知られた災害より過大視される，

⑪ 人為的災害のリスクは自然発生的なリスクより過大視される，

⑫ 新しい災害のリスクは古くからある災害より過大視される。

ただし，これらの認知バイアスは，互いに独立ではないことに注意する必要がある。先に述べたスロビックの３因子は，この認知バイアスを構造化したものである。

１１．リスクに対する専門家バイアス

専門家は事象のメカニズムをよく知っているので，その専門分野に限って，リスク認知は技術的に正確であり，情緒的な見方をしがちな市民のそれと食い違うことも多い。

一般的に，市民は被害の重大さでリスクを判断しがちであるのに，専門家は，事態の生起確率で判断する。ある研究によると，市民がリスクを過大視する方向で専門家と食い違うのは原子力，警察業務であり，反対に，市民がリスクを過小視する方向で食い違うのは，Ｘ線や食品保存物質である。

ところが，専門家は市民のリスクのとらえ方に冷淡である。その理由は，技術は小さいトラブルを何回も経験して，それを改良し克服する中で発展するので，少々のリスクは必要悪だという技術観をもってい

るからである。

また，専門家は視野が専門分野の技術的側面に偏りがちで，その技術を用いる人間や組織のエラーを反って見落としやすい。かれらは，技術も社会との関わりあいの中ではじめて意味をもつことを忘れがちである。

そしてこれらの価値観は，閉鎖系である専門家集団の中で増幅されて，市民の素朴な不安感を無視することになる。これが市民には，専門家の独善性，閉鎖性として受け取られるのである。

最近，このような専門家バイアスが原因で発生する事故やトラブルが増え，その反省から技術者の倫理とか，組織規範の見直しとかリスクコミュニケーションの必要性が主張されるようになった。

１２．リスクに対する立場の違いと文化的要因

同じ事象に対して，評価する個人の立場によってリスク認知は異なる。例えば原子力関連の事象に対して，同じ原子力関係者が評価するときでも技術者，企業関係者，行政関係者は，リスク／ベネフィットの認知に関して積極的に支持するのに，学者，研究者，評論家，ジャーナリストは，消極的な支持に留まることが多い。同様の結果は，化学物質のリスクに関して認められている。

リスクの認知バイアスは，国や文化の違いを超えて，かなり普遍的な情報処理過程だといわれている。先に述べたスロビックの二次元構造はアメリカだけではなく，ハンガリー，ノルウエー，日本でも同様に確認できた。しかし一方では，それぞれの次元に組み込まれる事態の構成や，二次元の相対的重要度において分化差が認められる。

例えばアメリカでは恐ろしいリスクは，未知性を感じることが多いのに，日本では恐ろしさの低いリスクに未知性を感じるという。因子の基本構造は同じなのに，因子に含まれる構成要素が異なる。

また原子力発電，レントゲン撮影，喫煙，麻薬に対して，日本，中国，アメリカのリスク認知を比較したが，麻薬のリスク認知には分化差がなかったが，原子力発電に関しては，日本が他の２国に比べて著しく高いリスク認知を示すことが分かった。喫煙に関しては，逆に日本は他の２国よりリスク認知は低かった。

１３．反復事故とリスクの心理的許容値

大きい事故が発生したとき，殊に大きい事故が反復して発生すると客観的リスクの値は高くなり，リスク認知も危険性の大きい方にぶれる。スリーマイルやチェルノブイリの原子炉事故の後で，原子力発電所のリスク認知が厳しくなったのはそのためである。

逆に長期にわたって無事故実績をもつ新幹線のリスク認知は，きわめて低いのはそれが最大の原因である。

世の中のあらゆる事象にはリスクがつきものであるから，技術者は製品の開発にあたって，コストとのバランスを考えながらリスクの目標値を設定する。

また，放射線や化学物質は，法令によって一定の許容値が決められている。しかし大事なのは心理的許容値である。

ある調査によると，日本人の場合，ゼロリスクでない科学技術は受け入れないという者が４３％もある。

年間100人以下の死亡者しかださない技術以外は認めないという者も３０％に達する。

もし，これが市民の本心であるとすると，年間１万人の死亡者を出す自動車などは許せない技術ということになる。ゼロリスクを主張する者はアメリカでも４９％と高いが，中国では２１％とかなり低く，文化によって差があることが分かる。この数値の背後には，許容リスクという概念になじみがないこともあるが，人為的な災害死は認めるべきではないという建前からきているのかもしれない。

１４．コンパラティブ・リスクの概要

環境中には種々のリスク源が混在している。ある環境中に存在する種々のリスク源を，人間の健康，生態系，生活の質（QOL）への影響度を指標として包括的に定量・比較し，その重篤度を順位づけたものをコンパラティブ・リスク（comparative risk）という。

リスク低減化を行う際，関連するすべてのリスクに優先度をつけ，優先度の高い順に対策を実施するといった政策決定のための合理的根拠として用いられることが多い。

小林定喜氏らによれば，コンパラティブ・リスク解析はリスク源を総合的に定量・比較し，順位づけを行う解析法であるという。問題となる種々のリスクの中で最も問題となるリスクを明らかにし，リスク低減対策に必要な資材の分配を政府や地方自治体が決定するときに主に用いられている。特に「残存リスク」と呼ばれる現行の法的規制下でまだリスクが残っている場合のリスク評価・管理に有用な手法であるという。

例えば，ある飲料水中に有害物質が多少含まれていて，水の健康へのリスクが大気中の汚染物質による健康リスクよりも小さいとコンパラティブ・リスク解析で分かったとする。その結果，飲料水の有害物質によるリスクの低減を行うよりも，大気汚染によるリスクの低減を行う方がよいという政策の根拠となる。

１５．環境リスクの重篤度の分類

米国環境保護庁（US EPA）科学諮問委員会の報告書「リスクの低減化：環境保護の優先順位と戦略」はその一例である。旧来，米国の環境政策は，大気浄化条例や水道水浄化条例といった媒体ごとの規制をしてきたが，環境問題の殆どが多様な媒体によって生じることに鑑み 1987 年には初のコンパラティブ・リスクプロジェクトが計画され，この具体的実行案としてコンパラティブ・リスク解析を強く環境政策決定に推奨したのがこの報告書である。

この報告書では人間のみならず自然生態系への影響を重視し，環境の負荷の大きさと広さ，媒体の多様性や回復機関といったことを指標として，下記のように環境リスクの重篤度を３段階に順位づけしている。

1．高度の重篤度（自生生物の変化と破壊。種の絶滅と生物学的多様性の喪失。オゾン層の破壊。地球気候変動。）

2．中度の重篤度（農薬。水中の有毒物。大気中の有毒物。）

3．低度の重篤度（石油の漏れ。地下水汚染。放射能。酸性雨。熱汚染。）

この「コンパラティブ・リスク解析による環境保護政策の決定」は環境政策の一貫性と環境対策のための資源配分と効果の問題を提起した点で高く評価されたが，現実には生態学的なリスクも有毒物質も十分対策がされていない段階で優先順位をつけ，「あれかこれか，どちらか」式の対応をしていると批判され

た。特に環境保護団体からの反発は強かった。
環境保護団体等が反発した最大の原因は，公衆にとって身近で最も関心があるリスクほど「低いリスク」に順位づけられ，対策を先送りする結論が導きだされたためと思われる。

１６．主観的コンパラティブ・リスク

そこで今日では，科学的根拠を基に順位づけられたリスク（客観的コンパラティブ・リスク）と個々の人々が感じるリスクの大きさに基づく順位（主観的コンパラティブ・リスク）が大きくかけ離れている場合には，政策決定は主観的コンパラティブ・リスクも考慮する必要があるとされている。

主観的コンパラティブ・リスクについては１９７０年代以降各国で，種々のリスク項目について被験者が感じるリスクの大きい順に順位をつける「リスク順位づけ法」で意識調査が行われてきた。

その結果，対象とする集団の国民性，性別，年齢や職種によって順位が変動することが分かっている。これは年間死亡率，次世代への影響，カタストロフィック性といったリスク特性の何を重視したかにもよる。また調査したときの社会情勢によっても結果は大きく異なる。例えばチェルノブイリ事故以前より以後の方がはるかに高い。

看護学校生に対する健康リスク源の認知リスク順位調査では，HIV/AIDS を主題とするテレビドラマ放送のあった 1998 年が最高位（最も危険）に認知されたが，2000 年には低位になった。

このように時々刻々変化する主観的コンパラティブ・リスクに対応して政策決定するのは合理性に欠けるので，適切なリスクコミュニケーションを行い，客観的コンパラティブ・リスクと主観的コンパラティブ・リスクとの間のずれを少なくする努力が必要である。

１７．現場での対応の難しさ

１）ある地方の行政機関に勤めていた友人が，県内に作る放射線施設の説明に訪れた中央からの担当者の話が不親切で横柄といっていた。

質問に対して，このような簡単なことさえ分からないのかとの態度だけが記憶に残って説明の内容はすっかり忘れたという。

いったい我々地方の人を何と思っているのだという気持ちにもなったという。
その説明のせいばかりではなかろうが，その施設はスムーズに建設できなかったようである。一般社会のご理解をいただくための説明は，難しいものである。世間の情緒的な反対ムードの中ではなおさらである。

専門分野が極端に細分化されている現在，自分の分野は判断できる。しかし，それ以外は，素人同然と考えた方が安全なようである。

しかも世の中にはいろいろのことが同時に複雑に起こる。報道による著しい影響もある。その結果，大衆は誤った印象をもち，適切な判定が困難となる。

世の中，次第に忙しくなり一つのことに対応する時間は短くなってくる。ある問題の本質が分からないまま時間切れでやむなく処理して，次の問題が起こる。

この間の時間が不足する。こうなると詳しく事実を調べないで，五感によって判定するようになる。このとき誠意の伴わない説明を思い出し，判定を左右する影響を与える。

最近の調査によると国民の約６０％は，原子力発電を必要と考えているという。しかし，その約８０％は不安と感じ，できれば自宅に近い立地は好まないという。

交通事故では年間１万人近くの人が，労災事故では年間２千人近くの人が不幸にして亡くなられている。この現状を，どのように考えればよいだろうか。原子力や放射線に対する社会的な受容性は，きわめて困難な側面を含んでいる。

周知のように原子力の問題は，複雑な技術の問題のほかに，社会的な問題もはらんでいる。これに対応するには，原子力，放射線のもつ本当の姿を，有用性と怖さの両面から検討して十分理解した上で説明して国民の判定を仰ぐ以外に道はない。

簡単に安全とか危険とか言い切れない個々の難しさがある。その違いを知っていただくためには，誠心誠意行き届いた説明，対応が必要である。

説明会などで聴衆は，原子力の本質を理解しようと神経を集中して，説明者の挙動を注目している。いい加減な説明は許されない状態にある。

２）　最近，低線量の人体への影響のシンポジウムが開催された。内外の一流の講師を集めての話で，分かりやすかった。さすがによく気配りされ準備されたと感心しながら聴講させていただいた。

筆者は若い頃，国立衛生試験所（現医薬品食品研究所）で長沢佳熊部長の下でビキニの「まぐろ」の放射化学分析を行っていた。薬学者の長沢先生は，低線量で閾値があると信じて，当時，閾値がないとする物理学者の田島英三先生との間で何回か激論を交わされたと直接伺った。あれから四十数年を経ている。「放射線の低線量に関する問題」は，現在でも完全に解決されているとはいえない。この問題の難しさを今更身に沁みながら伺っていた。

その会場には大勢の人がこられたが，一般市民の参加は少ないようであった。このような地道な議論の現場こそ，一般市民の方々に見ていただければと思いながら会場を後にした。

１８．まとめ

リスクの推定には，原理的には自然科学の手法が取り入れられている。しかし現実の対応では社会学や心理学の知識が必要であり，総合的な解析，取扱がが必要であると考えられる。

参考文献

１）小泉英明「脳を育む―学習と教育の科学」　科学 70(10)，878～884　(2000)

２）木下冨雄「リスク認知とリスクコミュニケーション」　リスク学事典，
日本リスク研究学会編 p. 260～265，TBS ブリタニカ　(2000)

３）小林定喜「コンパラティブ・リスク」リスク学事典，
日本リスク研究学会編　p252～253，TBS ブルタニカ　(2000)

４）平石次郎他訳「リスクアセスメント・ハンドブック」　丸善㈱　(1999)

５）宮永一郎訳「科学技術のリスク」　昭和堂　(1997)

６）近藤駿介訳「私はなぜ原子力を選択するか」　ERC 出版　(1994)

７）吉川肇子「リスクとつきあう」　有斐閣　(2000)

本資料は、２００２年度の日本原子力学会バックエンド部会の支援事業（題目は「放射線影響、放射性廃棄物などに関する理解促進」）により、学校における放射線教育に利用していただくために、ＮＰＯ法人放射線教育フォーラムの専門委員会の活動の一部をまとめて作成したものである。本資料の作成にあたっては、当フォーラムの事務局長松浦辰男が中心となり、会員である関本順子、高木伸司の２名が編集の協力をした。事務局としては、興味深いテーマについてわかりやすい原稿を執筆下さった著者のご協力に感謝する。

発行　ＮＰＯ法人放射線教育フォーラム
〒100-0013　東京都千代田区霞ヶ関３－３－１
尚友会館Ｂ１Ｆ
電話：０３－３５９１－５３６６
ＦＡＸ：０３－３５９１－５３６７
Ｅメール：　mt01-ref@kt.rim.or.jp
ホームページ：　http://www.ref.or.jp
発行日　２００２年１１月１５日