第五分科会報告書

「国民生活に貢献する放射線利用」

平成１２年６月５日

原子力委員会

長期計画策定会議第五分科会

目　次

Ⅰ．　はじめに……1

Ⅱ．　放射線について
１．放射線とは……4
（１）原子と原子核
（２）混同しやすい言葉－放射線、放射能、放射性物質、放射性核種
（３）放射線の種類
（４）自然にも存在する放射線
（５）放射線が物質の中に入ると何が起きるか

２．放射線利用の歴史……１３
（１）放射線の発見
（２）放射線利用のはじまり
（３）放射線に対する意識の変化

３．放射線の活用と管理……１９
（１）利用のプラス面
（２）放射線の危険性と利用にあたっての管理

Ⅲ．　国民生活に貢献する放射線利用の拡がりと将来展望
１．幅広い利用の実態……２１
（１）放射線の利用と特長の例
（２）放射線利用の経済規模

２．よりよい暮らしに役立ち社会に活力を与える放射線利用……２５
（１）国民の健康維持（医学利用）
（２）食品衛生の確保と食料の損失防止（食品照射）
（３）食料の安定供給（農業への利用）
（４）生活の向上と新産業創出・環境保全（工業利用・環境保全）

Ⅳ．　安心につながる安全を確保するために
１．放射線の生体への影響……３９

２．健康リスクと放射線安全の確保……４１
（１）安全の確保
（２）現行の放射線防護規則の背景にある考え方
（３）放射線防護と管理
（４）リスク論と安全の考え方

３．原子力／放射線利用に伴う環境への影響……４５

４．緊急被ばく医療と国際被ばく医療協力……４８

（１）緊急被ばく医療
（２）国際被ばく医療協力

５．法規制とその運用のあり方……５０

Ⅴ．　放射線利用の促進に向けた課題
１．情報公開と共有……５３
（１）わかりやすい情報の提供
（２）放射線教育

２．人材育成……５５

３．研究環境の整備……５６
（１）国の役割
（２）連携のための方策

４．法的規制の合理化……５８

Ⅵ．　国際社会との調和
１．我が国の役割……５９

２．研究開発における国際協力……５９

３．国際的環境との調和……６０

Ⅶ．　提言（むすびにかえて）……６１

Ⅰ　はじめに

（物質の本質の解明と原子核エネルギー）

**　２０世紀前半は、原子核物理学が著しく発展した時代です。物質を形作る基本単位が原子であることが突き止められ、原子の中心には原子核があり、その周りを電子が回っていることが明らかになりました。また、原子核の中には大きなエネルギーが閉じこめられていることがわかりました。原子核が分裂（核分裂）するときには原子核の中の巨大なエネルギーが開放されます。人類は、このエネルギーを利用することを考えついたのです。**

（唯一の被爆国日本）

**　原子核のエネルギー利用が最初に実用化されたのが軍事目的であったことは、歴史の流れとはいえ人類にとって不幸なことでした。核分裂を利用した原子爆弾は強い爆風や熱が発生しますが、同時にエネルギーを放射線として放出させることが特徴です。**

**　我が国は、唯一の原爆被爆国です。爆弾の破壊力とともに、放射線を受けて数十万人の人々が死傷しました。この事実によって被爆者のみならず、日本人すべてが深い心の傷を負い、原子力や放射線に対して強い警戒心を抱くようになりました。**

（原子力利用の光と影）

**　第二次大戦が終了すると、原子力の平和利用が積極的に推進されました。よく知られているものの一つに原子力発電があります。今日、我が国の電力の３７％は原子力でまかなわれており、私たちの生活に不可欠なものです。一方、原子力利用には放射線がついてまわります。万一、原子力施設で事故が起った場合に、放射線被ばくを伴う可能性は否定できません。1986 年のチェルノブイリ原子力発電所事故のように、大きな原子力施設の事故は、放射線障害を伴う影響が長く残ることがあります。我が国でも 1999 年に起きた東海村ウラン加工工場臨界事故（JCO 事故）によって、３人の作業員が大線量の放射線を被ばくし、２人が亡くなられました。今後、このような事故の危険性を防ぐ具体的な方策とその実施が大きな課題です。**

（身近なところで活躍している放射線利用）

**　このように、原子の持つエネルギーは放射線と切り離して考えることはできませんが、実はこの放射線の特性をうまく利用すると、人類の生活に大いに役立てることができます。**

**　私たちが日常生活で使用する多くのものに放射線が利用されていることは意外と知られていません。例えば、自動車のタイヤに使われているゴム素材や台所や風呂場で使われているプラスチック製のすのこは、放射線を照射することによってその性質が改善され、果**

物やコメなどの農作物も、放射線を用いて品種改良されたものが市場に流通しています。さらに、電子機器のほとんどに使われている半導体素子を作るに当たっても放射線が利用されています。特に、医療ではきわめて日常的に放射線が利用されており、病気の診断に用いるＸ線撮影や、ＣＴ（コンピュータ断層撮影）をはじめ、がん治療などにも放射線が使われており、質の高い医療は放射線によって支えられています。このように、放射線は、約１００年前の発見以来、様々な利用法が開発され、生活の向上に役立つ非常に身近な存在であるにもかかわらず、そのことが十分理解されているとは必ずしもいえないのが現状です。

（原子と放射線）

Ｘ線と放射能の発見からはじまる放射線利用の歴史は１００年あまりになりますが、これにより、原子の構造やエネルギーの状態が解明され、原子核物理学の発展を促しました。また、Ｘ線や、アルファ線、ベータ線、ガンマ線などの放射線は、原子の持つ力がもとになって放出されるということがわかりました。

（放射線は両刃の剣）

Ｘ線やガンマ線は、物質を透過しやすい性質や写真乾板を感光する性質があり、これを利用して体内の構造や機能を観察することが可能となりました。一方で、これらは過大に照射するとやけどや潰瘍を作るなど、生体組織に障害を与える力を持つことも知られていましたが、この作用を逆に利用して、病巣の治療が行われています。人類は、両刃の剣である放射線を利用する知恵を持っていました。しかし、人の健康に障害を起こさないように利用する必要があり、そのために、放射線を安全に取り扱う技術や放射線防護の法規制が充実してきたのです。

このように、放射線は、取り扱いを誤れば危険な面がある反面、その危険性を正しく理解した上で、上手にコントロールすれば、安全に取り扱うことができて、非常に応用範囲の広い便利な道具なのです。

（今なぜ放射線利用か）

２０世紀は、利便性のみを追求した大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会であったため、汚染あるいは破壊された環境が人類を脅かすことになりました。この反省を踏まえ、２１世紀には、環境への負荷を極力抑えた省エネルギー・リサイクル社会への移行が求められています。放射線を用いる方法は、化学的方法と比べると、有害な触媒などが不要なので環境への負荷が小さく、クリーンな手段です。また、加熱や冷却などが必ずしも必要ではなく、しかも短時間で処理が可能なためエネルギーの消費も少なくてすみます。このような特長を持つ放射線は２１世紀の社会のニーズに適した技術の一つであるといえます。

（分科会設置の目的）

本分科会は、２１世紀に健康で豊かな国民生活を実現するため、質の高い医療、食料の安定供給、環境保全などに役立つ、「国民生活に貢献する放射線利用」のあり方について検討を行うために、平成１１年７月に設置され、これまで、９回にわたる議論を行ってきました。この中で、様々な分野における放射線利用の実態を紹介するとともに、安心につながる安全を確保するための放射線防護のあり方、放射線の生体影響、健康リスクの考え方などについて議論を深め、情報公開など放射線の正しい理解に向けて国が取るべき役割についても検討を行ってきました。さらに、周辺技術を支える人材の育成や、研究環境の整備、科学的合理性を持った規制のあり方などについても検討を行いました。また、被爆体験を踏まえ、我が国が主体的かつ積極的に訴えるべきこととして、国際医療協力や国際研究協力、国際的な基準策定の動きなどに的確に対応し、国益と国際協力のバランスを取ることの重要性についても指摘しています。

この報告書によって、多くの方の放射線に対する理解が進み、放射線を「むやみに怖がらず正しく理解する」ことにより、原子力利用の一環として今まで以上に放射線の利用が推進され、豊かな国民生活が実現されることを望みます。

II　放射線について

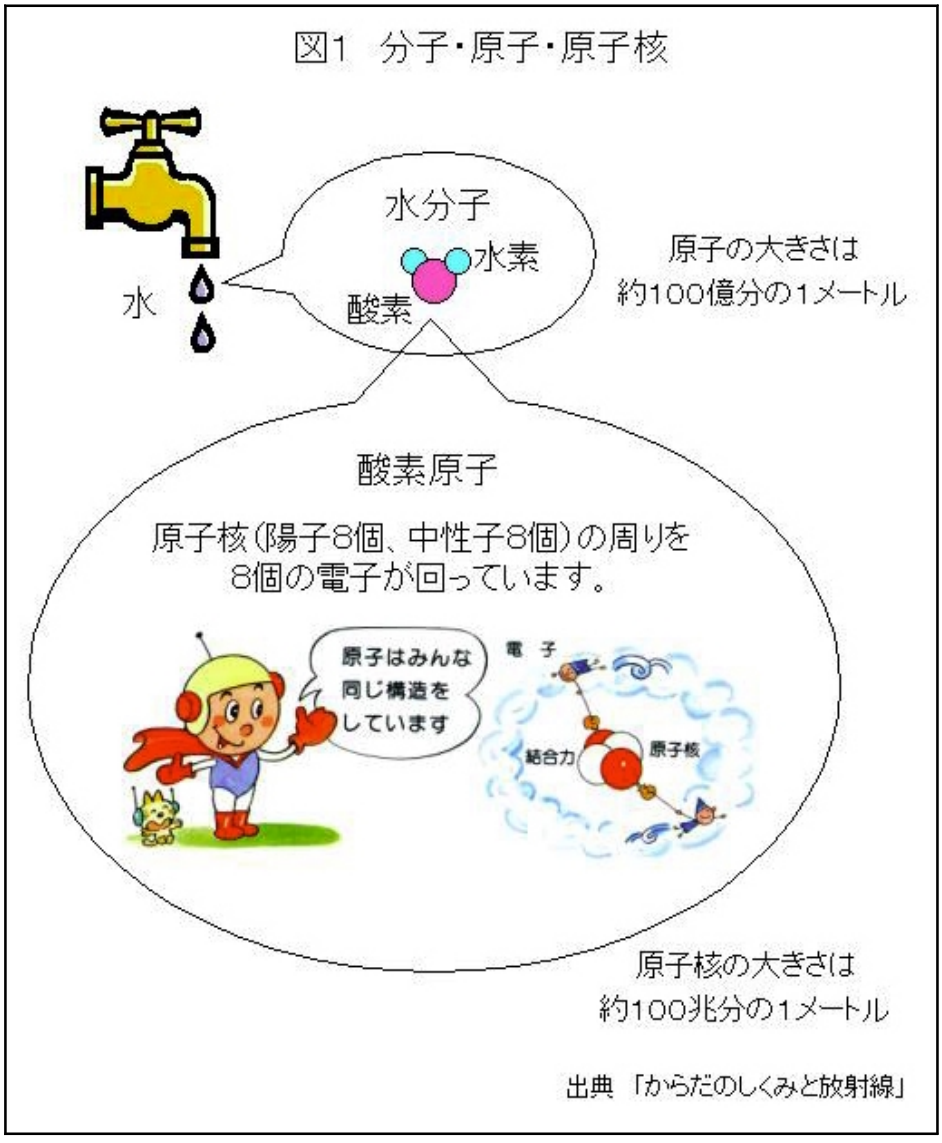
１．放射線とは

（１）原子と原子核

私たちの身のまわりにあるものは、すべて小さな「原子」が集まってできています。例えば、【図１】に示したように、水は水素原子と酸素原子が結びついてできたものです。原子の中をのぞくと、「原子核」のまわりを負の電荷を持った「電子」がぐるぐるまわっています。原子核は、いくつかの正の電荷を持った「陽子」と電気的に中性の「中性子」が集まった固まりです。

原子は陽子と中性子の数の違いで分類することができます。また、それに加えて、エネルギーレベルで分類したものを「核種」と呼んでいます。これまでに知られている核種は約２０００種類、その中で天然に存在する安定な核種は約２８０種類あります。

図1　分子・原子・原子核



出典「からだのしくみと放射線」

（２）混同しやすい言葉－放射線、放射能、放射性物質、放射性核種

これらの言葉は似通っていて、なかなか区別がつきにくいかもしれません。これを【図２】のように光り輝く白熱電球に例えてみると、電球から出される光が「放射線」、光を出す能力あるいは性質が「放射能」、電球全体が「放射性物質」、光を発する源であるフィラメントが「放射性核種」に相当します。放射性核種は、「放射性同位体」、「放射性同位元素」、「ラジオアイソトープ」、「ＲＩ」などとも呼ばれます。

ＲＩは、エネルギーを放出して別の種類の核種に変わり、その際に放射線を放出します。ＲＩの原子数が最初の数の半分になるまでの時間を「半減期」と呼んでいます。半減期の長さは、放射性核種によって異なります。

放射性物質がひとりでに放射線を放出する性質を放射能といい、その単位は【図３および図４】に示しています。放射線発生装置や放射性物質のように放射線を発生させるもとになるものを「放射線源」と呼びます。

図2　放射線、放射能、放射性物質、放射性核種

●放射性核種は、「放射性同位体」、「放射性同位元素」、「ラジオアイソトープ」、「ＲＩ」などとも呼ばれます。

・天然に存在するＲＩ　　：　カリウム－４０、ウラン、トリウムなど

・人工的に生成されたＲＩ　：　コバルト－６０、セシウム－１３７など

図3　放射線に関連した単位　－　放射能とエネルギー　－

出典 「からだのしくみと放射線」

●放射能の単位　ベクレル（Ｂｑ）

・放射性物質に含まれる放射性核種が、１秒間に何個エネルギー（放射線）を放出して変身するかを表します。クリスマスツリーの電飾用豆電球のように、１秒間に１回ピカッと点滅して光（放射線）を放出すると１ベクレルだと考えて下さい。

●放射線のエネルギーの単位　エレクトロンボルト（電子ボルト；ｅＶ）

・真空中で１個の電子を電位差１ボルトの電圧で加速したときの運動エネルギーを１エレクトロンボルトと呼びます。豆電球に例えると、光の強さが放射線のエネルギーに相当します。

※単位とともに用いられる接頭語

・いろんな量を表す際に、数値の桁が多いとわかりにくい場合があります。そんなとき、千倍あるいは千分の１毎に異なる接頭語をつけてわかりやすく表現しています。よく使われる接頭語を次に示します。

倍数	記号	読み
10^{12}	T	テラ
10^{9}	G	ギガ
10^{6}	M	メガ
10^{3}	k	キロ

倍数	記号	読み
10^{-3}	m	ミリ
10^{-6}	μ	マイクロ
10^{-9}	n	ナノ
10^{-12}	p	ピコ

図4　放射線に関連した単位　－　照射線量、吸収線量、線量当量　－

出典「からだのしくみと放射線」

●照射線量の単位　クーロン／キログラム（Ｃ／ｋｇ）

・ガンマ線や胸部レントゲン写真を撮るときのＸ線のエネルギーをどれだけ対象物に当てたかを表す量を照射線量と呼びます。例えば、空から降ってくる雨によって濡れた量と考えることができます。

●吸収線量の単位　グレイ（Ｇｙ）

・照射されたものが、当てられたエネルギーのうち、どれだけ自分のものとして吸収したかを表す量を吸収線量と呼びます。照射されたものの１ｋｇ当たりに１ジュールのエネルギーを吸収する量を１グレイという単位で表しています。雨に降られた際にどれだけ雨水を体の中に吸収したかという量が吸収線量に相当します。

●線量当量の単位　シーベルト（Ｓｖ）

・放射線が体に当たって同じ吸収線量を受けたとしても、当たった場所やその状態、放射線の種類、エネルギーなどによって生物学的に与える影響は異なります。人体に対する放射線安全を考える際には、被ばくの影響をすべての放射線に共通の尺度で評価する方が実用的です。そこで、吸収線量の値に補正を加えた「線量当量」という量を用いて人体への影響の度合いを表しています。線量当量には、シーベルトという単位を用いています。

・放射線の人体への影響の程度を表すためには、組織毎の感受性を考慮した「実効線量当量」という量を用いています。この場合も単位としてシーベルトを用いています。実効線量当量は、各臓器毎の吸収線量に、放射線によるリスクの程度を考慮した荷重係数を掛け、それを放射線を受けたすべての臓器について加え合わせたものです。

（３）放射線の種類

放射線は原子から放出されるエネルギーです。そのエネルギーの担い手が何かによって放射線を区別しています。主な放射線の仲間を【図５】に示しました。大きく分けて、光と性質が似た電磁波と粒子の流れの２つに分類できます。

法律の上では、放射線は【表１】のように定義されています。

放射線は、ＲＩから放出されるもののほか、Ｘ線発生装置や加速器を用いて人工的に作り出すこともできます。

図5 放射線の仲間

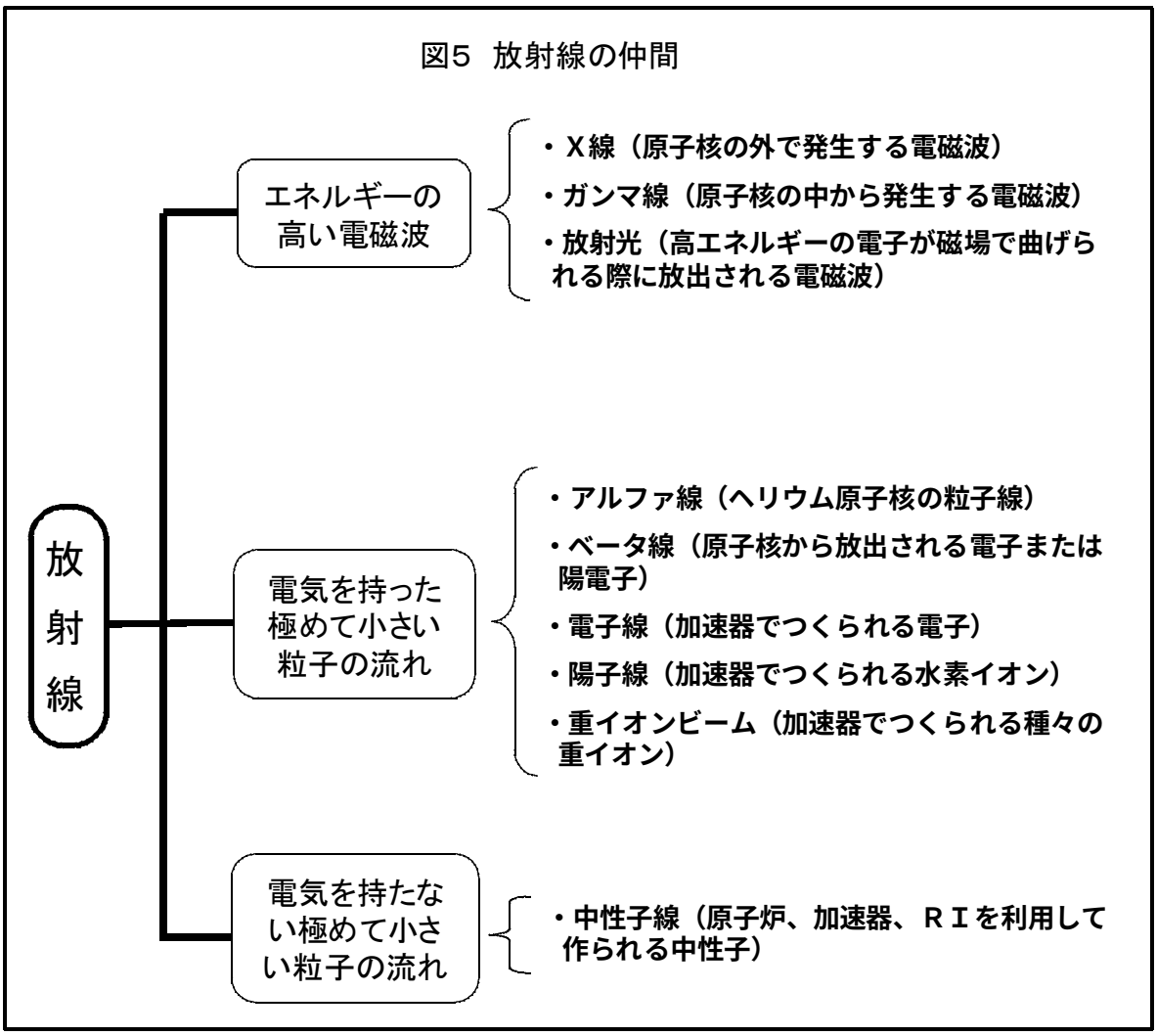


表1　法令上の放射線の定義

●原子力基本法　（昭和３０年１２月１９日法律第１８６号）

第三条（定義）　第５号

「放射線」とは、電磁波又は粒子線のうち、直接又は間接に空気を電離する能力を持つもので、政令で定めるものをいう。

※通常、「直接電離」あるいは「間接電離」の作用を持つものを「電離放射線」、電離作用を持たない低いエネルギーの電磁波や粒子線を「非電離放射線」と呼んで区別しています。

※ここで、放射線自身が直接電離の引き金になった場合には特に「直接電離」と呼び、Ｘ線やガンマ線が原子と衝突して散乱した際に飛び出す電子や中性子が物質中の陽子と衝突して跳ね飛ばされた反跳陽子などの二次的に発生した粒子線が電離を引き起こす場合を「間接電離」と呼んでいます。

●核燃料物質、核原料物質、原子炉及び放射線の定義に関する政令　（昭和３２年１１月２１日政令第３２５号）

第四条

原子力基本法第三条（定義）第５号の放射線は、次に掲げる電磁波又は粒子線とする。

１　アルファ線、重陽子線、陽子線その他の重荷電粒子線及びベータ線

２　中性子線

３　ガンマ線及び特性エックス線（軌道電子捕獲に伴って発生する特性エックス線に限る。）

４　１メガ電子ボルト以上のエネルギーを有する電子線及びエックス線

※放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（放射線障害防止法）（昭和３２年６月１０日法律第１６７号）では、上の定義に従った放射線を対象としていますが、電離放射線障害防止規則（昭和４７年９月３０日労働省令第４１号）や職員の放射線障害の防止（昭和３８年９月２５日号外人事院規則１０－５）の法令では、電子線及びエックス線に関するエネルギーの下限が特に定められていません。

（４）自然にも存在する放射線

一般的に放射線や放射能という言葉は、原爆や原子力関連施設の事故など異常な事態に発生する怖いものというイメージで受け取られていますが、実はわれわれの身の回りにも日常的に放射線はたくさんあります。身の回りにある放射線とその発生源の例を【図６および表２】に紹介します。

図６　私たちの身の回りにある放射線

●私たちが日常生活で１年間に受けている放射線の線量は、約２．４ｍＳｖです。
（国連科学委員会のまとめによる世界平均）

- 大地、宇宙、人体内から約１．１ｍＳｖ
- 呼吸により空気中のラドンから約１．３ｍＳｖ

ただし、日本では木造家屋が多いため、コンクリートなどから放出されるラドンの量が少なく、自然放射線の線量は約１．４ｍＳｖです。

出典　「からだのしくみと放射線」を一部修正

表2　放射線源の種類

●放射性核種（ＲＩ）　（アルファ線、ベータ線、ガンマ線などの放出）

・天然放射性核種

カリウム－４０

食物を通じて人体に摂取され、体内から放射線を放出しています。

ウラン系列核種、トリウム系列核種

ラジウムやトリウムはセメントやコンクリート、石などの建材に含まれているため、室内での被ばくもあります。また、ラジウムやトリウムが壊変して気体のラドンとなり、室内の空気に混じって人体に取り込まれて被ばくすることもあります。ラドンの半減期は、ラドン－２２０が約５６秒、ラドン－２２２が約３.８日と短いため、外部の新鮮な空気のラドン濃度は小さく、換気によって室内のラドン濃度を下げることができます。

・人工放射性核種

コバルト－６０など、たくさんの種類のＲＩがあります。

●宇宙線

・宇宙から直接くるもの

・宇宙から来たものが大気中で核反応を起こし、２次的に発生したもの

●人工的な放射線源

・Ｘ線発生装置　：　Ｘ線

・加速器　：　電子線、イオンビーム、放射光、中性子線など

・原子炉　：　中性子線

（５）放射線が物質の中に入ると何が起きるか

放射線が物質の中に入ると、粒子線は物質の原子と衝突したり、電磁波は原子に吸収されたりして、物質の原子は放射線からエネルギーをもらい、「電離」または「励起」されます。電離と励起の概念を【図７】に示します。

電離する能力を持った放射線を「電離放射線」と呼んでいます。これに対し、レーザーや紫外線、可視光などは電離能力が非常に弱いので「非電離放射線」と呼ばれています。

放射線は、物質の中で電離作用や励起作用を及ぼしながら次第にエネルギーを失い、物質が十分に厚い場合には物質の中で消滅してしまいます。どれだけ物質中を透過できるかは、放射線の種類とエネルギー、物質の種類によって異なります。放射線の透過力の違いを【図８】に示します。物質中での放射線の透過性を十分に理解することによって、放射線の遮へい方法が考えられています。

十分に高いエネルギーの放射線が物質に入ると、ある確率で物質中の原子核と

核反応を起こし、異なる核種に変わることがあります。核反応により放射性核種が生成される現象を「放射化」と呼んでいます。その際生じた放射能は、誘導放射能と呼ばれます。

図7　電離と励起

●電離（イオン化）

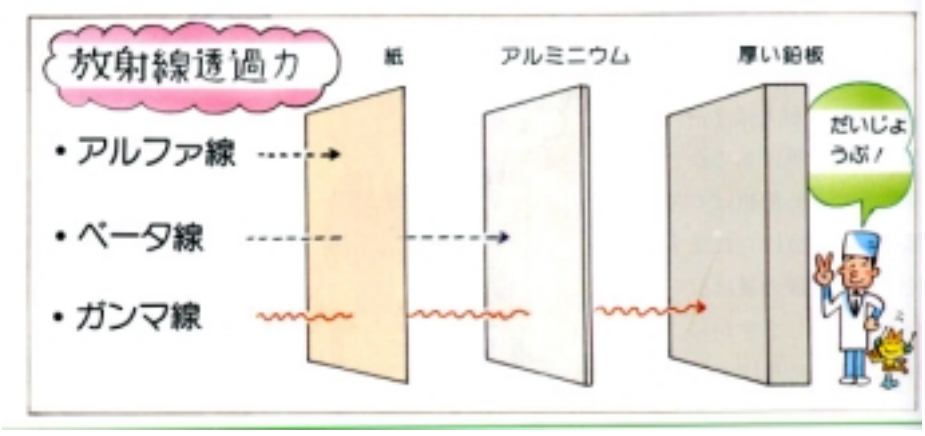
放射線が物質の中に入ると、粒子線の場合、物質の原子と衝突したり、電磁波の場合、原子に吸収されたりして原子は放射線からエネルギーをもらいます。電子が原子から飛び出すのに十分なエネルギーを吸収したときには、原子は電子を失います。この現象を「電離作用」または「イオン化」と呼びます。

●励起

電離するところまではいかなくても、原子核の周りを回っている電子が位置エネルギーの高い外側の軌道にジャンプするのに十分なエネルギーをもらう場合には「励起」と呼ばれます。このとき、外側の軌道にジャンプした電子は瞬時に安定な内側の軌道に移り、その際、電磁波を放出します。

出典 「放射線と産業」No. 75

図8　放射線の透過力



出典 「からだのしくみと放射線」

[およその目安]

・アルファ線は紙一枚で止まってしまいます。

・ベータ線を止めるにはアルミニウムのような金属の板が必要です。

・ガンマ線は同じ金属でも鉛のような重い原子からできているものでないと止めることができません。

・中性子線は金属板より、水やパラフィンのような水素を多く含んだ物質を用いて止めることができます。

２．放射線利用の歴史

（１）放射線の発見

初めて放射線の存在が発見されたのは、今から１００年以上も前の１８９５年のことでした。ドイツの物理学者レントゲンは、陰極線（電子線）を発生させるための放電管から目に見えない何かが発せられ、それが物体を透過して写真乾板を感光させることを見いだし、これを「Ｘ線」と名づけました。この発見を追うように、翌年、フランスのベクレルがウラン鉱石からある種の放射線が出ていることを発見しました。１８９８年にはキュリー夫妻（マリー・キュリーとピエール・キュリー）が放射性核種のラジウムとポロニウムという新しい元素を発見し、この放射線を出す性質を放射能と呼びました。同年には英国のラザフォードがアルファ線とベータ線を、１９００年にヴィラールがガンマ線を発見しました。

その後、原子核物理学の発展に大きく寄与する発見が相次ぎ、これらが契機となって量子力学が発展してきました。１９３４年にイレーヌ・キュリーとフレデリック・ジョリオが初めて人工放射能を発見しました。１９３８年には、ドイツのハーンとシュトラスマンが初めてウランの核分裂を確認し、この発見が原子爆弾の開発に利用されたのです。核分裂に伴って放出されるエネルギーを熱に変換することにより、１９５１年に米国で初めて原子力発電が行われました。第２次世界大戦後の原子力の平和利用の動きは、原子炉で作られたＲＩの民間への供給を可能にして、医療や生物学、化学の進歩を促進しました。放射線利用に関連した歴史を【表３】に示します。

（２）放射線利用のはじまり

人体を透過するＸ線の能力は、すぐに医学・生物学者の目にとまり、透過写真を利用した診断へと応用されていきました。まもなく放射線が生体の細胞を破壊する作用が見つかり、これを病巣の破壊に利用する放射線治療が始まりました。ここに放射線利用の歴史は始まり、以来１００年以上が経過しています。この間に、放射線が持つ性質の様々な利用が試みられ、社会に定着してきました。

医学診断の目的では、単純Ｘ線撮影に加えて、例えば胃の検査に用いられる硫酸バリウムや血管撮影に用いるヨード剤のようなＸ線が透過しにくい物質を造影剤として投与してＸ線撮影・透視検査を行う造影診断が発展し、検査対象に応じてさまざまな造影剤が開発されてきました。過去には放射性物質トリウムを含む造影剤が開発されたこともありましたが、体内に残留したトリウム元素自身の毒性もさることながら、トリウムから放出される放射線の被ばくによる晩発障害が問題となり１９５０年代半ばには使用されなくなりました。

初期の放射線治療では、Ｘ線やＲＩ（ラジウムー２２６）を用いて様々な治療が試みられましたが、病巣に対する治療効果と照射による健康な組織への障害の

バランスを考えて治療の対象が次第に限定されるようになり、現在では、がん治療を中心に使用されています。

医学利用以外でも、放射線を利用しようという試みはいろいろ行われました。例えば、１９２０年頃からはラジウム－２２６が自然発光する蛍光塗料として時計などに使われ始めましたが、アルファ線を放出するため塗布作業者の放射線障害が明らかになって今ではほとんど使用されていません。国内では、１９６０年頃からプロメシウム－１４７が用いられるようになりました。

さまざまな産業で放射線が本格的に利用されるようになったのは１９５０年代に入ってからです。原子炉によるＲＩ製造および電子加速器の技術の進歩を背景に材料創製の手段として研究開発が始まり、１９５２年には原子炉での照射によりポリエチレンの性能を向上できることが発見されました。米国では放射線による滅菌が実用化され、日本ではＲＩの利用が実用化されました。

１９６０年代には日本で照射された電線が実用化されたのをはじめ、熱収縮材や発泡材、自動車のタイヤにも放射線が用いられるようになり、エネルギー利用とともに原子力利用の「車の両輪」として放射線利用は急速に発展してきました。放射線治療では、がん治療として、加速器によるＸ線、陽子線、速中性子線治療、原子炉による中性子捕捉療法が開始されました。

１９７０年代にはいると、医療用Ｘ線ＣＴ（Ｘ線コンピューター断層撮影）が導入されて診断技術が格段に進歩したのをはじめ、病院内に設置された小型サイクロトロンによるＲＩの製造が開始され、ポジトロン断層撮影（ＰＥＴ）が可能となりました。また、環境保全を目指した排煙処理研究が開始されました。１９７４年には日本で初めてジャガイモの発芽抑制にガンマ線が用いられることになりました。

１９９０年代に入ると大型加速器の稼働にともなって高エネルギーイオンビームや放射光などの新しい放射線も利用できるようになり、これまでのＸ線、ガンマ線、電子線、中性子線と合わせて利用の範囲がさらに拡がりました。

（３）放射線に対する意識の変化

Ｘ線は、発見当初より治療効果が見いだされて医学への利用がはじまりましたが、一般には、もっぱら物体を透視できる能力だけに注目が集まり、放射線障害についての認識は広まりませんでした。当時でも、ラジウムによる皮膚障害やＸ線管を研究した物理学者や医学関係者などに被ばくによる障害が確認され、組織障害作用を放射線治療に利用したのは前述したとおりです。安全を確保するための対策を講じるため、国際放射線医学会の中に放射線防護委員会の前身の団体が発足したのは１９２８年のことです。一般市民も放射線に対して怖いという意識はそれほど持っておらず、むしろ自分の手や財布を透視できる不思議な力をおも

しろがり、それを体験する催しが各地で行われるような時代でした。
　一方、原子力の持つ、巨大な潜在力を軍事に利用することも行われてきました。１９４５年には我が国に原子爆弾が投下され、爆風による破壊、熱線による火傷や火災の他に放射線や残留放射能による被ばくが原因で多数の人々が犠牲になってしまいました。当時、広島で３３万人、長崎で２５万人とされる人口のうち、約３分の１の人が６ヶ月以内に亡くなりました。その後の調査では、２８万４千人が被爆したことが判明しました。広島・長崎の悲惨な情景と放射線という言葉が重なって放射線に対する恐怖のイメージが人々の心に強く植えつけられました。その後、核兵器の開発競争が欧米・旧ソ連を中心に激化し、たび重なる核実験やスリーマイル島原子力発電所事故、チェルノブイリ原子力発電所事故、ＪＣＯ事故などは、放射線や放射性物質に対する恐怖心をさらに助長させる結果となりました。

表３　放射線利用の歴史

年代	原子力研究等の主なできごと	医学利用	農業利用	工業・環境保全利用
	1895 レントゲンが初めて放射線（X線）の存在を発見			
	1896 ベクレルがウラン鉱の放射能を発見	1896 咽頭がん患者にX線治療を行い、鎮痛効果を得る		
	1897 トムソンが電子を発見			
	1898 キュリー夫妻（マリー・キュリーとピエール・キュリー）が放射性核種のラジウムとポロニウムを物質から化学的に取り出すことに成功			
	1899 ラザフォードがアルファ線とベータ線を発見			
００	1900 ヴィラールがベータ線と区別できる第三の放射線を発見	1900 X線で皮膚がんの治療に成功		
		1901 皮膚がん等へのラジウム治療が開始		
	1903 それをラザフォードがガンマ線と命名	1903 子宮がんにラジウム腔内照射を行う		
	1904 長岡半太郎が原子核の回りを電子が回っているという土星型の原子模型を発表	1904 ラジウムを用いた組織内治療開始		
１０	1911 ラザフォードが原子の太陽系型の原子核模型の確証を得る			
		1913 微量な鉛を定量するため、ラジウムRIを用いたトレーサ法を開発		
	1919 ラザフォードが窒素原子核にアルファ線をぶつけると陽子が発生することを発見し、人工的な原子核変換に成功			
２０		1923 トレーサ法を生物学に応用（鉛RIを用いて植物中の移動や吸収を研究）		
		1927 核医学の誕生（RIを用いた血液循環時間の測定）	1927 ショウジョウバエ、トウモロコシへの照射による突然変異誘発に成功	
３０	1931 ローレンス等によりサイクロトロンが完成			
	1932 チャドウィックが中性			
	1934 イレーヌ・キュリーとフレデリック・ジョリオが、アルミニウムにアルファ線を当てると陽電子を放出する放射性リンができることを確認し、初めて人工放射能を発見			
	サイクロトロンにより多量のＲＩを生産			
		1936 リン−32やナトリウム−22を用いて白血病の治療		
		米国で中性子捕捉療法の原理を提唱		
			1937 ニップリングが不妊虫放飼法を提唱	
	1938 ドイツのハーンとシュトラスマンがウラン-235に中性子を照射するとバリウム-140ができることを初めて発見	1938 米国で速中性子治療を実施		
４０		1942 甲状腺機能亢進症の治療		
	1945 広島にウラン型原爆、長崎にプルトニウム型原爆が投下			
	1946 米国オークリッジ国立研究所のサイクロトロンで多量のRIを生産	1946 ベータトロン電子線治療始まる		
	1948 ABCC（原爆傷害調査委員会）が国立予防衛生研究所の協力により広島で原爆の人体影響研究を開始	1948 ベータトロンX線治療始まる		
		米国で放射性医薬品の市販		
	1949 湯川秀樹、ノーベル物理学賞受賞			
	国際X線・ラジウム防護委員会が国際放射線防護委員会（ICRP）に名称変更			

年代	原子力研究等の主なできごと	医学利用	農業利用	工業・環境保全利用
５０		**1950** 治療用ライナック完成	**1950** ラセンウジバエの不妊化に成功	
	1951 日本放射性同位元素協会（現日本アイソトープ協会）設立	1951 米国のブルックヘブン国立研究所(BNL)研究炉で中性子捕捉療法の試験治療を実施		
	原子力発電が初めて米国で行われる			
	米国との間でＲＩの民間貿易開始			
	1952 理化学研究所小型サイクロトロン再建	1952 米国ローレンスバークレー研究所(LBL)で陽子線治療開始		1952 ポリエチレンの放射線架橋を発見
	1954 最初の原子力予算が成立			**1954** 日本で高分子照射開始
	1955 原子力３法（原子力基本法、原子力委員会設置法、原子力局設置に関する法律）が成立		**1955** ベネズエラ沖のキュラソー島でラセンウジバエの根絶に成功	
	1956 原子力委員会発足			
	科学技術庁発足			
	特殊法人日本原子力研究所（原研）が発足			
	日本で初めて理研にコバルト−60照射装置が完成			
	1957 日本	1957 米国LBLでヘリウムイオンによる重粒子線治療が初めて行われる		1957 この頃にコバルト−60照射施設等が相次いで完成
	放射線総合医学研究所（放医研）が発足	米国で99Mo−99mTcジェネレータを開発		
	1958 放射線障害防止法施行	1958 米国でガンマカメラ（アンガー型）を発表		
				1959 放射線グラフト重合の特許を欧州より導入
６０	**1960** 農林省放射線育種場設置			1960 日本で電子線を利用したポリエチレン電線・テープの生産開始
				原研で放射線を用いてベンゼンからフェノールの製造に成功
	1961 立教大原子炉		1961 農林省放射線育種場でガンマ線照射開始	1961 民間で放射線によるフェノール生成開始
	1963 武蔵工大原子炉（トリガⅡ型）が臨界	1963 クールがSPECTの原型を発表		
	原研高崎研究所が発足			
	日本で初めて原子力発電に成功			
	1964 京大原子炉実験所研究炉KURが臨界	1964 術中照射を開始		
			1965 コバルト−60ガンマ線照射による初めての品種改良水稲「レイメイ」が登録	1965 原研が放射線を用いて粉末ポリエチレンの製造に成功
			1966 カナダで照射ジャガイモを初出荷	1966 民間で電子線を用いた架橋により発砲ポリエチレンの製造開始
	1967 動力炉・核燃料開発事業団（動燃）が設立		1967 食品照射を原子力特定総合研究に選定し、食品照射研究を開始	
		1968 日本で初めて熱中性子捕捉療法による脳腫瘍の治療を行う		
				1969 原研が放射線によるポリ塩化ビニールの改質に成功
７０		1970 放医研でバンデグラフを用いた速中性子治療開始	1970 オランダで照射キノコを販売	1970 原研と京大が放射線照射により熱に強いプラスチックの開発に成功
		フランスで世界初の心臓RIペースメーカーの 体内移植に成功（プルトニウム−238使用）		
				1971 医療用具の放射線滅菌が認可される
		1972 米国でX線CTを発表	1972 日本が世界に先がけてジャガイモの発芽防止に食品照射を認可	
			沖縄にウリミバエ不妊化施設完成	

年代	原子力研究等の主なできごと	医学利用	農業利用	工業・環境保全利用
７０		1973 放射性医薬品201TlClを心筋血流検査に導入	1973 ジャガイモ照射施設が北海道士幌農協に完成	1973 自動車部品の塗膜硬化開始 民間に医療器具滅菌施設（コバルト－６０）が完成 原研と荏原製作所が排煙処理技術を共同開発
		1974 パイ中間子治療開始	1974 ジャガイモへの食品照射が実用化され、初出荷	
	1975 ABCCを改組し、放射線影響研究所が開所	1975 放医研で中性子線治療開始 米国でPETを発表		
			1976 小笠原にミカンコミバエ不妊化施設が完成	1976 フッ素樹脂ワックス化処理実用化
		1977 武蔵工大炉で医療照射開始		
		1978 放医研で陽子線治療開始	1978 久米島のウリミバエ根絶に成功	1978 電子線リソグラフィの利用開始 工業技術院四国工業試験所が海水中のウラン捕集のための複合吸着剤の開発に成功
	1979 米国スリーマイル島原発			1979 セメント瓦の表面処理の工業化
８０			1980 FAO（国際食糧農業協会）/IAEA（国際原子力機関）/WHO（世界保健機構）による照射食品の健全性に関する合同専門家委員会が、１０ｋＧｙ以下の照射食品の健全性を確認	
			1981 ウリミバエ不妊化施設が奄美大島に完成	1981 石膏タイルの塗膜硬化の工業化
				1982 原研が、放射線グラフト重合によるポリエチレンの耐熱性向上に成功 原研と古河電工が難燃性・耐放射線性電線ケーブルの試作に成功
			1983 小笠原諸島でミカンコミバエの根絶に成功 ウリミバエ不妊化施設が那覇市に完成 FAO/WHO食品規格委員会が照射食品と食品照射に関する規格を策定	1983 放射線重合を利用した電池用隔膜の工業化
			1985 奄美群島喜界島のウリミバエ根絶に成功	1985 タイヤ製造プロセスに放射線照射を導入
	1986 ソ連チェルノブイリ原発			1988 フロッピーディスクの磁性材定着の工業化
９０	1991 原研高崎研にイオンビーム照射施設完成			
	1993 放医		1993 奄美諸島と沖縄県でウリミバエ根絶に成功	
		1994 放医研で炭素イオンによる重粒子線治療が開始	1994 WHOが10kGy以下の照射食品の健全性を再確認	
	1995 「もんじゅ」でナトリウム漏			1995 空気清浄用フィルターの工業化
				1996 純水製造用電解隔膜の実用化
	1997 SPring-8で放射光ファーストビーム		1997 WHOが10kGyを越える照射食品の健全性を確認	1997 中国成都の石炭火力プラントで実証試験プロジェクトが開始
	1998 動燃の改革が行われ、核燃料サイクル開発機構（JNC）として発足			1998 炭化ケイ素繊維の工業化
	1999 ウラン加工工場臨界事故（JCO事故）			

３．放射線の活用と管理

（１）利用のプラス面

物質や生体中での放射線の性質を上手に活用することにより、他の方法では得られない効果が得られる場合があります。しかも、対象によってさまざまな利用の仕方が考えられ、利用の範囲はいろいろな分野に拡がっています。放射線利用のプラス面を次に紹介します。

①医学利用

私たちの生活の中で最も身近な利用例は、医学診断でおなじみのＸ線撮影です。これは、物質中を放射線が透過する能力を活かして、普通の光ではのぞけない体の内部を透視しています。

度を超えて多量の放射線が人体にはいると、生体に対してさまざまな障害をもたらしますが、逆に放射線をがん細胞などに集中させることにより、悪性の細胞を殺して医学的な治癒効果を得ることができます。放射線治療では、体を傷つけることなく局所的な処置ができることから、手術や化学療法に比べて侵襲性（患者に与える苦痛）が低く、ＱＯＬ（クオリティー・オブ・ライフ；生活の質）が高いというプラス面を持っています。また、白血病や再生不良性貧血に対する骨髄移植や造血細胞移植に際しては、移植片を受け入れさせるために免疫機能の抑制が必要です。そのために、１２グレイ程度の放射線全身照射が行われています。

②農業への利用

放射線をジャガイモに照射することにより、発芽を抑制することができます。放射線を食品に照射する場合には、温度上昇が極めて小さいため食品の特性を失わず、冷蔵、冷凍、加熱などの方法と組み合わせて処理することが可能です。包装後の最終製品の状態での処理もできるため、２次汚染を防止することができます。照射による残留毒性もなく、地球環境に影響を及ぼす化学物質（臭化メチルや酸化エチレンなど）を用いる方法の代替法としてプラス面を持っています。

放射線は、植物の遺伝子に突然変異を起こさせて品種改良を行うこともできます。また、在来の品種にはない形質（遺伝的性質）についても突然変異で誘発することが可能です。放射線により雄の害虫の生殖能をなくすことによる害虫駆除も行われています。

③工業利用

放射線が生物に与える影響を逆にうまく活用して殺菌や滅菌を行うことができます。医療用具の滅菌や、実験動物用飼料などの殺菌、殺虫、防虫に利用されています。医療用具の滅菌の場合には、製品として包装された状態で照射でき、同

時に連続的に多量の滅菌処理が可能です。また、現在、滅菌処理に用いられている有害な酸化エチレンガスの代替法としても用いられています。

放射線を材料の加工に用いることもできます。化学処理の場合には、触媒として有害な添加剤を使用して環境を汚す原因になったり、高温で処理するため素材の形状や特性を維持することが困難な場合があります。一方、放射線を用いる方法は、有害な触媒などが不要なので環境への負荷が小さく、クリーンな手段です。その上、加熱や冷却などが必ずしも必要ではなく、しかも短時間で処理が可能なため省エネルギーの点で有利です。また、放射線照射により、室温程度の温度で化学反応が局所的に進むため、原材料の形状や物性の保持が可能といったプラス面を持っています。

実際にどの方法を選ぶかは、材料や製品の品質、設備や製造過程にかかるコストなどを総合的に判断して決めています。放射線利用の場合には、安全を十分に確保するための設備や、法令に基づく許認可にかかわる手続きが不可欠となり、それらのコストなどを考慮する必要があります。

（2）放射線の危険性と利用にあたっての管理

生物が大量に被ばくすると、原爆の例に見られるように、急性障害により死に至ることがあります。また、急性致死に至る線量より低い線量で被ばくした場合でも、被ばく後数年から数十年経た後に、がんなどの健康障害が現れるなど、様々な障害が発生することがあります。

原子力や放射線利用では、取り扱いを誤ったり、事故の際には、放射性物質が環境中に大量に放出される場合があります。放射性物質は、様々な環境を経由して、最終的に食物などを通して、人間の体内に入ってくることもあります。このような場合には、体外から放射線が当たる外部被ばくではなく、身体の内部で被ばくを受けることになります。これは内部被ばくと呼ばれています。例えば、チェルノブイリ原子力発電所事故後には、子供の甲状せんがんが増えたと報告されています。その多くは、事故により大気中に飛散したヨウ素の放射性同位体が甲状せんに取り込まれて起こった内部被ばくによると考えられています。

放射線は、使い方によっては凶器にも利器にもなります。放射線源そのものを適切に管理したり制御して、その危険性を封じ込めてしまうなどの方策を講ずることにより、安全に利用することができます。

これまでの経験や研究を通じて、放射線の性質や人間への影響が理解されてきました。さらに、万が一被ばくした場合の医療措置も検討されています。これらの理解や研究成果は、危険な放射線をどう管理・制御するか、その方法や基準に活かされています。このような放射線防護にかかわる研究や技術の開発を今後一層、充実させることが、放射線の利用を安全で安心できるものにする基本です。

III　国民生活に貢献する放射線利用の拡がりと将来展望

１．幅広い利用の実態

（１）放射線の特長と利用の例

放射線は、以下のような特長を活かし、目に見えないところでいろいろな形で利用され、国民生活に役立っています。これまでに実用化された放射線利用の例を【図９および図１０】に示します。

①ものを透視する

放射線がものを透過する能力を利用してＸ線撮影・透視、Ｘ線造影検査、Ｘ線ＣＴなどの医学診断に利用されています。また、ものを壊さずに構造物などの内部の欠陥を調べるため、ガンマ線ラジオグラフィ（放射線撮影）や中性子ラジオグラフィと呼ばれる非破壊検査にも利用されています。

②ものを壊さずに厚さや密度などを測る

放射線が物質の中で減衰することを応用し、物質の厚さや密度、濃度などの変化を計測するのに用いられています。例えば、製紙や製鉄の製造工程において水に濡れた紙の計量、高温状態の鋼板の厚さ計測による品質管理を行っています。また、トンネルの掘削において、双方から掘ってきたトンネルを接合する際の測量にも利用されています。

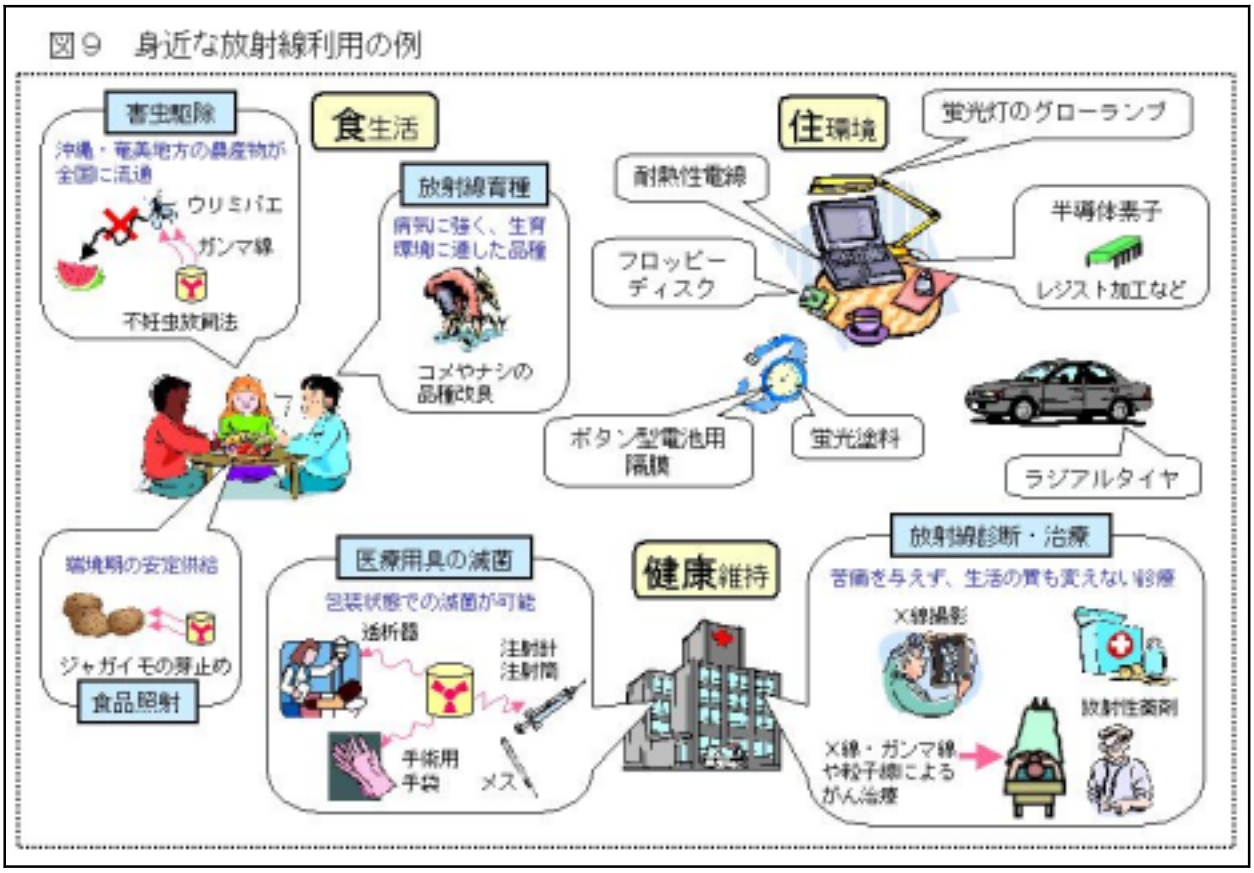
ＲＩを装備した機器として、煙感知器、蛍光灯のグローランプ、ＰＣＢなどの環境汚染物質を微量分析するガスクロマトグラフなどがあります。

③もののふるまいを探る

ＲＩから放出される放射線を高感度で検出する技術を用いることにより、極微量の物質の移動や分布、化学反応過程などを非破壊（ありのままの状態）でリアルタイムに調べることができます。これをトレーサー（追跡子）利用と呼び、例えば、ＲＩを含んだ標識化合物を動物や植物に入れて代謝機能を調べたり、自動車エンジンの潤滑オイルにＲＩを含ませてオイルの消費を調べることに使えます。

④ものの性質を向上させる

放射線はプラスチックやゴムなどの高分子材料の加工処理に最も多く利用されています。高分子材料は糸状の長い分子が凝集したものですが、これに放射線を照射すると分子間で結合が起こり、ちょうど糸がところどころで結ばれた網目状のものになります。これを橋かけ（架橋）反応と呼んでいますが、耐熱性や強度の向上、形状記憶の性質を付与します。これを利用して、テレビやパソコンなど



の電気製品や自動車内部の電線の耐熱化、熱収縮チューブの製造、熱絶縁材料や各種クッション材としての発泡材料の製造が行われています。

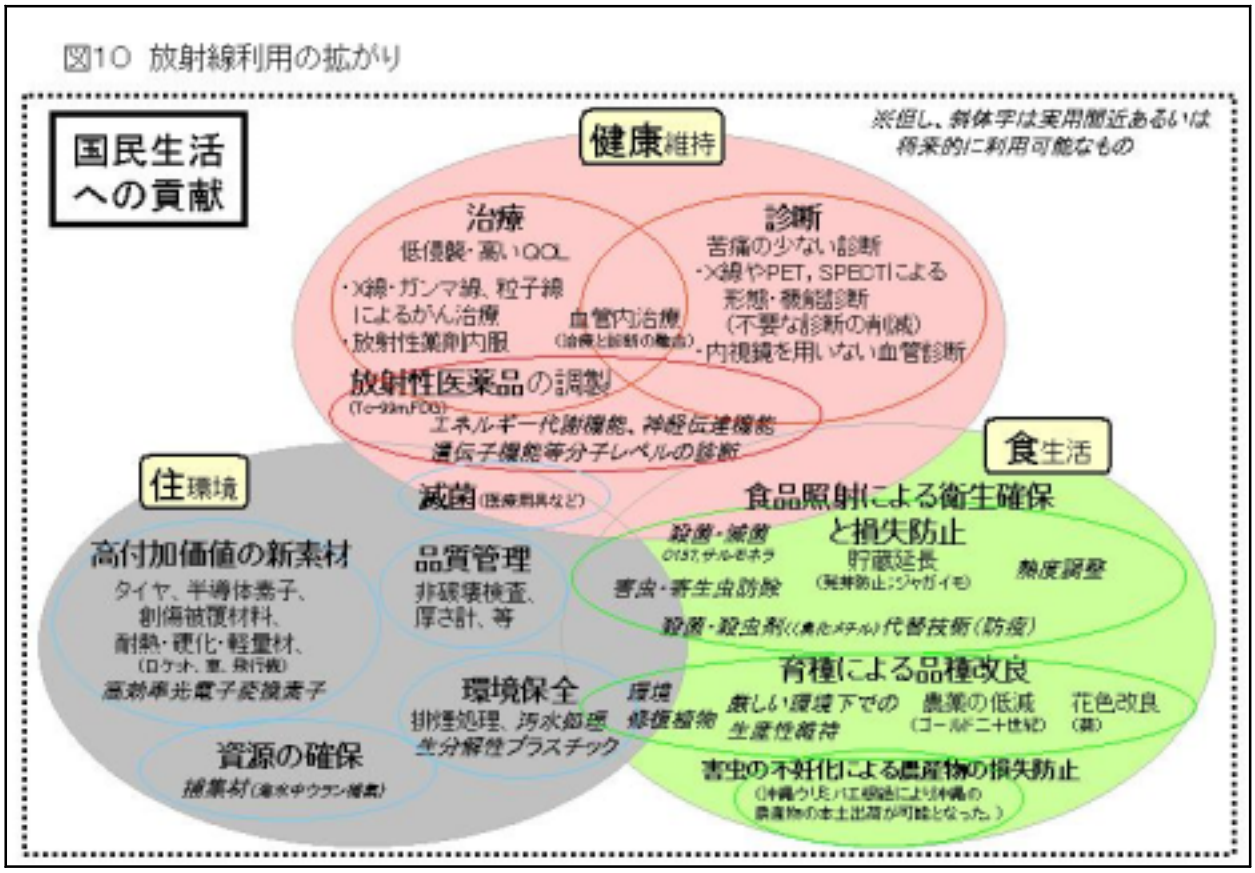
　また、電気伝導性やアンモニアなどを吸着する機能を持った化合物を高分子に結合させることができます。これはグラフト重合（接ぎ木）反応と呼ばれる技術で今後の幅広い応用が期待されています。例えば、ポリエチレンフィルムに電気を通す機能を与えた隔膜はボタン型電池に使われており、小型化と長寿命化の著しい向上が達成されています。

⑤ものを微細に加工する

　高性能の半導体素子（ＬＳＩ）の製造過程において放射線が利用されています。特に、集積回路の各段階の原図は全て電子線を用いた微細な描画で完成され、今後ＬＳＩの集積度をさらに高めるためには、Ｘ線や電子ビームの高度照射技術が必要とされています。また、基本の半導体素子を形成する過程ではイオン加速器で不純物を注入し、あるいは中性子ドーピング法が用いられています。

⑥衛生を確保する

　放射線の微生物殺菌作用を応用して、注射針や点滴のチューブなど各種医療用具の滅菌や実験動物用飼料の殺菌が行われています。



農産物や魚、肉などの一部の食品の放射線照射については、諸外国では普及していますが、日本ではジャガイモの発芽抑制に利用しています。

⑦害虫を駆除する

農薬を使わずに野菜や果物の害虫を駆除する技術として、放射線による不妊虫放飼法が利用されています。雄の害虫に放射線を少量照射し、生殖機能を低下させて野外に放します。この成虫が、天然の成虫と交尾して生まれた卵はふ化しないので、この方法を繰り返し行うことで、害虫を根絶することができます。

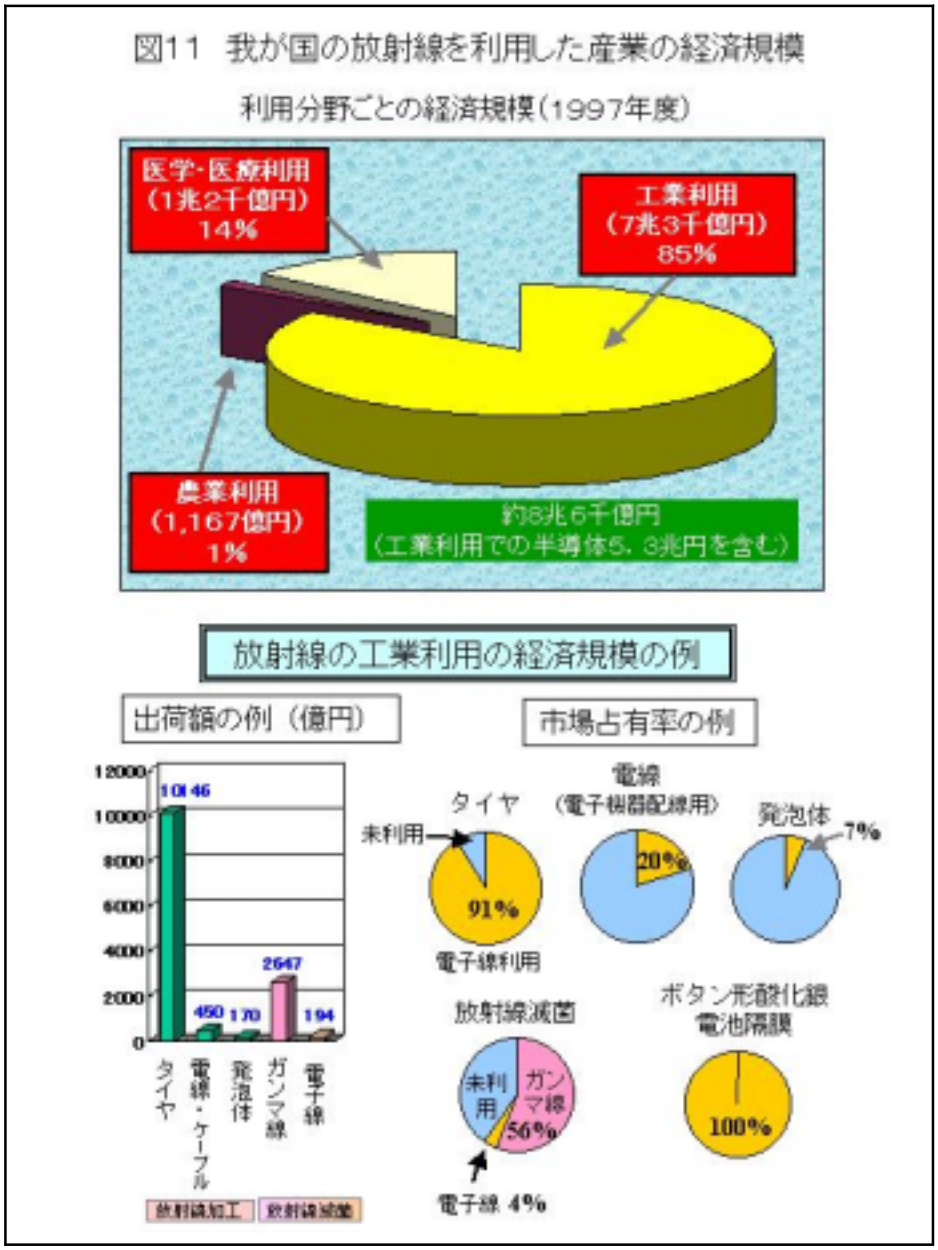
この方法によって、沖縄や奄美諸島にいたウリミバエを根絶させ、スイカやニガウリなどの農産物を県外に出荷することができるようになりました。国際原子力機関（IAEA）はこの技術をアフリカの家畜に寄生する病原体を媒介するツェツェバエの駆除に応用し、成果があがっています。

(2)放射線を利用した産業の経済規模

放射線利用が国民生活に浸透している度合いを示す一つの指標として、１９９７年度の放射線利用にかかわる産業の経済規模を調査した結果によると、放射線利用分野全体の経済規模は約８兆６千億円にものぼることがわかりました。この額は、対ＧＤＰ比で１．７％に相当します。そのうち、工業利用は約７兆３千億

円、農業利用は約１２００億円、医学・医療利用は約１兆２千億円です。この調査では、放射線を利用して製造されたものの工場出荷高・売上高や保険医療費などを積算して算出しています。

　放射線を利用した製品の個別の経済規模をみてみると、例えば、放射線を利用したラジアルタイヤの売上高は約１兆円にのぼります。同様に、電子機器用耐熱電線は売上高４５０億円、市場占有率約２０％、発泡体の売上高は１８０億円、市場占有率は約７％です。ボタン型酸化銀電池用隔膜フィルムのほぼ１００％が放射線を用いたものです。半導体の売上高は約５兆４千億円にものぼっており、放射線利用の中で最も大きな経済規模を持っています。医療用具の滅菌では、放射線を用いたものの売上高は約２８００億円で市場の約６０％を占めています。



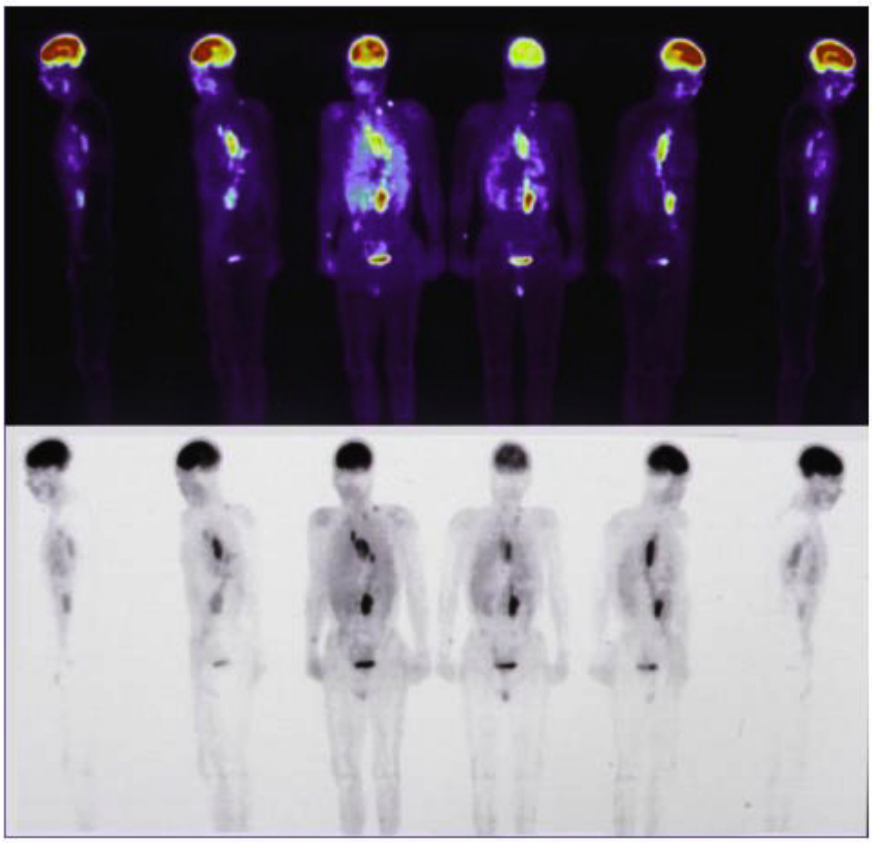
２．よりよい暮らしに役立ち社会に活力を与える放射線利用

（１）国民の健康維持（医学利用）

①意義

放射線は、がんをはじめ心臓病、脳血管疾患、痴ほうなど、様々な疾患の診断やがんなどの治療に使われています。放射線を用いた診断は、Ｘ線撮影を含め広く普及しており、放射線診断なくしては、臨床医学は成り立たないのが現状です。更に、ＲＩを用いた核医学検査やＰＥＴでは、組織や臓器の機能を観察でき、全身のがんの転移巣を検出するなどの診断が可能です。放射線によるがんの治療は手術や化学療法などに比べ、患者に与える苦痛が少なく（侵襲性が低く）、また治療後も治療前と余り変わらない生活ができるなどＱＯＬを高めることのできる方法です。根治治療にも姑息（対症）療法にも用いられ、手術や化学療法などの

図12 FDG－PETの全身像



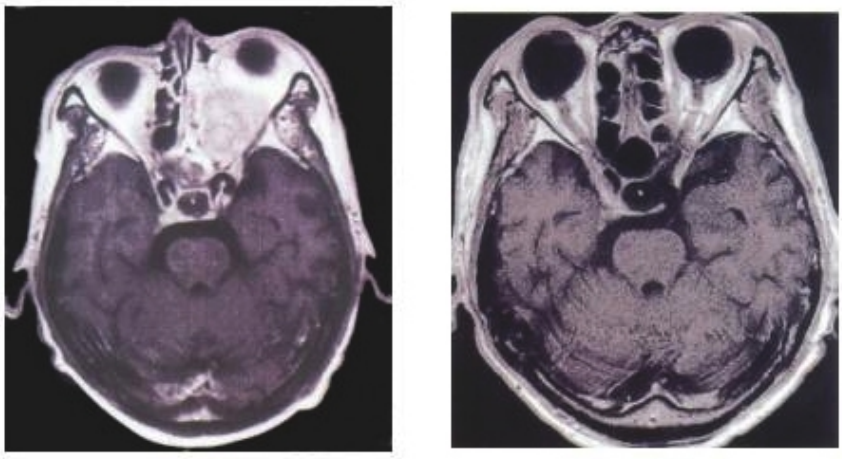
悪性リンパ腫症例で、頸部、縦隔部及び腹腔に強いFDG（フッ素18－フルオロデオキシグルコース）集積が描出されており、それが病巣の場所を示しています。脳と尿路系の集積は生理的集積です。

治療法が制限されている合併症患者や高齢者にも適応できる利点があります。また、放射性医薬品の内用療法が甲状せんがんの全身転移の治療や骨転移疼痛緩和に用いられ、後者の例では、鎮痛効果が長期間持続することにより、患者の療養状態を改善することができます。

②利用の現状

放射線診断や治療は技術革新が急速に進んでいる分野です。放射線診断は、ＣＴなどの形態診断と、ＰＥＴなどの機能診断に分けられますが、例えば、３次元ＣＴの研究開発により、微小がんの検出や、内視鏡を用いない血管内部の診断が実現しつつあります。更に、診断技術を応用した治療であるＩＶＲ（インターベンショナルラジオグラフィ；画像診断的介入治療）は、がんや循環器疾患などに対し非侵襲的治療を可能にし、２１世紀の非侵襲的な治療の一つと期待されています。治療では、従来の放射線治療を一層高度化した定位放射線照射など、がんを殺傷する力が強く、がんの集中性が高い粒子線治療などが開発されています。今後は、分子レベルの診断と治療など、分子生物学、物理工学、情報科学などの技術を学際的に導入することで、放射線医学の飛躍的な進歩が期待されています。

図13 炭素イオンを用いたがん治療の例



治療前　　治療後

高速の炭素イオンを用いて頭頸部の腫瘍の治療を行った例を示します。上の2枚の写真は、治療前後の磁気共鳴映像法(MRI)による断層写真です。左の写真が治療前、右の写真が治療後6ヶ月経過したときの様子を示しています。治療前の右目後ろの腫瘍組織は、治療後の断層像では消失しているのがわかります。

我が国の放射線診療の現場には、放射線治療医、医学物理士や薬剤師などの従

事者が非常に少ないという現状があります。これは診断・治療技術や放射性医薬品の開発、基礎研究などの阻害要因の一つと考えられています。またＲＩ供給の海外依存度が高いことや新規放射線医薬品の開発力が弱いなどのために、ＲＩを用いた診断・治療の技術開発は海外主要国から遅れつつあります。さらに、放射線診療機器の国内メーカーの開発力や国際競争力が弱体化しつつあるということも見過ごせません。

新しい放射性医薬品開発や診断技術、治療法の研究開発、臨床試験などは複雑な法体系の下で規制されており、これにより、現場では複雑な手続きが必要であり、一元化を求める声もあります。最近は、科学技術庁と厚生省を中心に、医療現場の実態に即した合理的な法規制を目指した見直しが進められています。

放射線診断や治療において重要な役割をするＲＩは放射性医薬品として使用されます。短寿命の炭素－１１（Ｃ－１１；半減期２０分）やテクネチウム－９９（Ｔｃ－９９ｍ；半減期６時間）がその代表例です。特に、Ｔｃ－９９ｍは核医学検査の８０％以上に用いられ、原料のモリブデンの多くはカナダから輸入しています。しかし、過去、出荷先の事情で供給停止に陥るなど、不安定な供給体制にあります。また、ＰＥＴ用の短寿命の医薬品は製造装置のある病院などで、主にサイクロトロンを用いて調製（院内調製）されますが、他施設への供給が法規制上できないため、ＰＥＴを実施できる施設が限られています。このような一方通行的な供給体制から、供給体制の複線化や院内製剤の周辺施設への供給など、安定的、効率的供給を目指す必要があります。

一方、ＲＩを利用する場合、廃棄物処理処分の制約があります。短半減期ＲＩは短時間のうちに、事実上放射能は無視できるレベルまで下がるため、短半減期ＲＩに関する廃棄物の規制を検討することが必要です。

我が国では、放射線治療を実際に受けている患者は、全適応症例の１５から２０％で、これは欧米の約５０％に比べかなり少ないという見方があります。この理由の一つには、放射線治療について医療従事者が患者に正しく説明していなかったり、患者も正しく評価していないことが考えられます。このような状況を改めるには、情報公開や医療従事者を含めた国民の教育、啓発が必要です。

③今後の展開

最近、医療は、患者に苦痛を与えない診断・治療法の研究開発を重視しており、放射線治療や診断はその方向に合致します。放射線治療の適応範囲の拡大のためには、下記の事項が重要です。

1)医療用電子線形加速器（リニアック）や医療用線源などの従来技術の次世代化
2)特定組織に集中性の良い放射性医薬品の開発
3)粒子線治療の普及のための大型加速器や原子炉の活用

4)放射光やレーザーなどの非電離放射線の利用によるより非侵襲的診断技術の開発

このような方向に向けて、放射線医学の研究基盤の強化や、生物学や物理・化学、情報科学などを含めた学際的な研究を集中的に行うことで、新たな診断・治療技術の効率的な研究開発を推進する必要があります。また、より多くの国民が、このような先端技術を利用した質の高い診断や治療を受けられるよう施設や設備、診療体制の整備が必要です。

（２）食品衛生の確保と食料の損失防止（食品照射）

①食品照射の意義

世界の食料の約４分の１が収穫後に失われており、衛生的で食中毒の心配のない食品を安定に供給することは我が国のみならず世界共通の願いです。食品の保存や衛生のために様々な殺菌技術や貯蔵技術が開発されてきました。代表的な殺菌方法には加熱やくん蒸、紫外線、食品添加物としての保存料、殺菌剤の使用などが、また、貯蔵方法には冷蔵・冷凍、凍結乾燥などがあります。しかし、加熱法は品質が変化したり、生鮮食料品や冷蔵・冷凍食品の処理には適さないなどの難点があります。くん蒸処理には臭化メチルガスが用いられていますが、臭化メチルはオゾン層破壊物質であるため、植物検疫処理を除いて２００５年から使用禁止になります。

放射線は、照射線量を調節することにより殺菌や滅菌を行ったり、発芽を遅らせたりする能力を持っており、食品の腐敗防止や保存期間延長、安全で衛生的な食品流通の確保などに役立てることができます。食品照射は、温度上昇が極めて小さいため、食品の栄養成分や味・香りなどへの影響が少なく、生鮮食品や冷蔵・冷凍食品の処理にも利用できます。放射線は透過能力があるため、包装後の製品の状態でも殺菌が可能です。

②国内外の食品照射の現状と照射食品の健全性

食品照射は、【表４】に示すように、香辛料、乾燥野菜、生肉などの殺菌、ジャガイモやタマネギなどの発芽防止をはじめとして、殺虫、熟度調整、貯蔵期間延長などのために既に３２カ国で広く実用化されています。特に最近では、Ｏ１５７などの病原微生物による食中毒防止対策として、米国やフランスの一部の施設では食肉の殺菌にも利用しています。また、世界的に最も普及している食品照射は、殺菌を目的として香辛料をはじめとする乾燥食品原材料に対して、既に東南アジア諸国を含め２０カ国以上の国々で実施されています。このような技術が

導入されるに当たっては、当然のことながら健全性（毒性、栄養学的適格性などを含む概念）が問題となります。

表4 世界の食品照射の現状(国別の照射食品の種類)

地域	国名	照射食品														
		スパイス	乾燥食材・食品	タマネギ	ジャガイモ	薬味・調味料	野菜	果物	食肉・冷凍食肉	食肉加工品	ハーブ	ニンニク	米	酵素	冷凍食品	その他
アジア	日本				●											
	バングラディシュ		●	●	●										●	豆類
	中国	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●			穀物、小麦粉
	インド	●		●	●											
	インドネシア	●											●			
	イラン	●	●													ナッツ類
	イスラエル	●	●			●					●					
	大韓民国	●	●	●	●	●	●			●	●	●		●		栗、エビパウダー
	マレーシア	●	●								●					
	タイ	●		●						●				●		
	ベトナム	●									●					
西欧	ベルギー	●	●								●				●	エビ
	デンマーク	●														
	フィンランド	●														
	フランス	●	●			●			●		●				●	エビ
	ドイツ	●														
	ハンガリー	●	●	●										●		ワインコルク
	イタリア	●														
	オランダ	●	●						●						●	卵パウダー
	ノルウェー	●														
	イギリス	●														
東欧	クロアチア	●	●			●	●				●					
	チェコ連邦	●	●													
	ポーランド	●	●													
	ユーゴスラビア	●														
北米	カナダ	●														
	アメリカ	●					●	●	●	●						
中米	キューバ			●	●											豆類
	メキシコ	●	●													
南米	アルゼンチン	●	●				●					●				卵製品など
	ブラジル	●	●				●	●								穀類
	チリ	●	●	●	●	●			●						●	
	ペルー	●				●										食品添加剤、動物用飼料
アフリカ	南アフリカ	●	●				●	●			●	●		●		長期保存可能品など
食品照射実施国の数		31	18	8	7	7	7	4	5	4	8	4	2	4	5	

出典 「国際食品照射諮問グループ(ICGFI)ホームページ 1999年10月18日現在」および「ICGFI Workshop on Trade Opportunities for Irradiated Food, Kona, Hawaii, USA, 22-24 May 2000」

照射食品の健全性を確かめるためには、誘導放射能や毒性を持った有害物質の

生成、栄養価への影響、菌相の変化にともなう病原菌の増殖などについて十分に評価を行う必要があります。１９６０年代から照射食品の健全性を検討する国際的な共同作業が開始され、１９８０年に開催されたＦＡＯ（国連食糧農業機関）、ＩＡＥＡ（国際原子力機関）、WHO（世界保健機関）の合同専門家委員会で１０ｋＧｙ以下の照射食品の健全性が確認されました。１９９４年にはWHOが再評価を行って健全性を再確認し、１９９７年には１０ｋＧｙを越える照射食品についても健全性を確認しました。

一方、我が国では、１９６７年に原子力委員会が食品照射を原子力特定総合研究の第１号に指定し、照射食品の健全性の検討を開始しました。１９７４年にはジャガイモへの食品照射が初めて実用化されました。それ以来、毎年１万５千トン程度の照射が北海道士幌農協で行われており、照射されたジャガイモは春先になっても発芽しないため、端境期の価格安定に重要な役割を果たしています。しかし、照射食品の健全性について一部の消費者に不安感があり、以後、国は食品照射の許可について慎重な対応を取っているのが現状です。また、食品照射については、世界的に見るとガンマ線と電子線の２種類が実用化されています。ただ、我が国においては、ジャガイモの照射に用いられているガンマ線源のみが実用化されているのが現状です。医療用具などの放射線滅菌については、品質保証のための管理技術が確立されており、その技術がそのまま食品照射へも適用できることが期待されます。

③食品照射による生活への貢献

日本で流通している香辛料の９９％は輸入されたものですが、生産国で栽培、収穫、天日乾燥される過程での菌やウイルスの付着は避けられません。香辛料に付着している菌を直接摂取することによる食中毒の可能性は低く、むしろ香辛料を用いた加工食品の製造・流通過程において菌が増殖し腐敗の原因となる可能性があります。

現在、食品衛生法では、加工された食肉製品の成分規格として芽胞菌の規格が定められており、この規格を満たすためには使用する香辛料の芽胞菌量を低減させる必要があります。現在は主に高圧蒸気処理により芽胞菌の低減を図っていますが、香辛料の香味が失われるなど品質上の問題が生じており、これを解決する方法として放射線照射による殺菌法が注目されています。また、付着したウィルスの増殖を抑える効果も期待されています。

また、大腸菌Ｏ１５７によって、米国において何人もの人が亡くなっています。食品を殺菌することができればこのような問題は解決しますが、従来の方法では生の食品の風味を損なうことなく殺菌することは困難です。米国では、１９９７年、食品医薬品局が科学的データの評価を行い、冷蔵・冷凍の生肉などやひき肉、

ハンバーガーなどの大腸菌Ｏ１５７やサルモネラなどの殺菌のために、健全性を損なうことなく放射線の照射を行うための基準を定めました。また、１９９９年には、食肉検査を担当する農務省の食品安全検査局が、上記の食肉類の殺菌のために放射線照射を行うことを許可し、これらの肉類に対しても放射線照射による殺菌ができるようになり、一部の施設で試験的に利用が開始されています。

このように世界で食品照射が利用される結果、照射食品の流通が増えることが予想されます。現在、食品衛生法で禁止されている照射食品の輸入を拒むためには、ＷＴＯ（世界貿易機関）の取り決めによりその有害性を証明する必要があります。

④わかりやすい情報の提供

消費者のアンケートを取ってみると、食生活で安全性に関心を持つ人が多い反面、安定供給への関心は低いことがわかります。しかし、食品の衛生を確保し、食料の損失を防いで安定して供給することが重要なのはいうまでもありません。食品照射に対する様々な意見に共通するキーワードは「安全性」と「情報公開」です。

現在我が国では、照射食品の健全性を示すデータについて見解の相違があり、消費者に不安感を生じさせる原因になっています。また、食品照射が進んでいると見られる米国においても、なお不安感を持つ消費者がいるといわれています。このようなことから、健全性についての情報を提供する公的機関は、一般市民でも理解できるようにデータをわかりやすくかつ科学的に説明すべきです。

また、食品照射が社会に根づいていくためには、照射食品そのものの健全性はもとより食品照射システム全体の健全性に対する理解も必要です。国は、食品照射に対する理解を深めるために必要な啓発を行うとともに、社会ニーズの的確な把握に努めるべきです。その際、食品照射の必要性と便益、他の手法との比較における利点などについてわかりやすい解説と情報提供を行う環境作りが重要です。

⑤今後の課題

国は、食品照射を食品衛生の確保と食料の損失防止の一つの有力な選択肢として位置づけ、今後とも消費者への適切な情報提供に努めるとともに、消費者の利益を確保することを前提として必要な研究開発や実用化のための試験を積極的に行っていく必要があります。とりわけ、食品は体内に直接取り入れられ、人間の健康管理や生活の本質にかかわる重要なものであることから、食品の安全性に関するリスク管理の考え方について、十分な理解がなされることが重要です。また、照射食品の流通の透明性を確保し、消費者による自由な選択を尊重するため、照射食品であることの表示を義務づける必要があります。さらに輸入食品について、

照射食品や照射原料を用いた加工食品を検知する技術の開発にも取り組む必要があります。

また、食品照射の実用化に向けて解決すべき課題の一つに、関係省庁の縦割り的な認識の違いがあります。省庁間の連携を密にし、横断的な協調・協力関係を築くべきです。

（３）食料の安定供給（農業への利用）

①植物育種の必要性

２１世紀にはアジア地域での大幅な人口増加と高い経済成長に伴う食生活の変化が穀物需要の地域的な不均衡の拡大をもたらすことが予想されます。また、先進国では生産調整、農地拡大の制約、環境問題の顕在化などが食糧の安定供給を制約する要因となることも懸念されています。一方、我が国では米の消費減少と輸入穀物の増加が食糧自給率の低下を招いており、麦や大豆などの国内生産を増大し、食料自給率の向上を図る必要があります。

安定した食料供給を確保するためには、植物の生育に適さない環境下でも高い生産性を維持できる作物、病気や害虫に強い作物や果樹などを安全性を確認しつつ育成する必要があります。

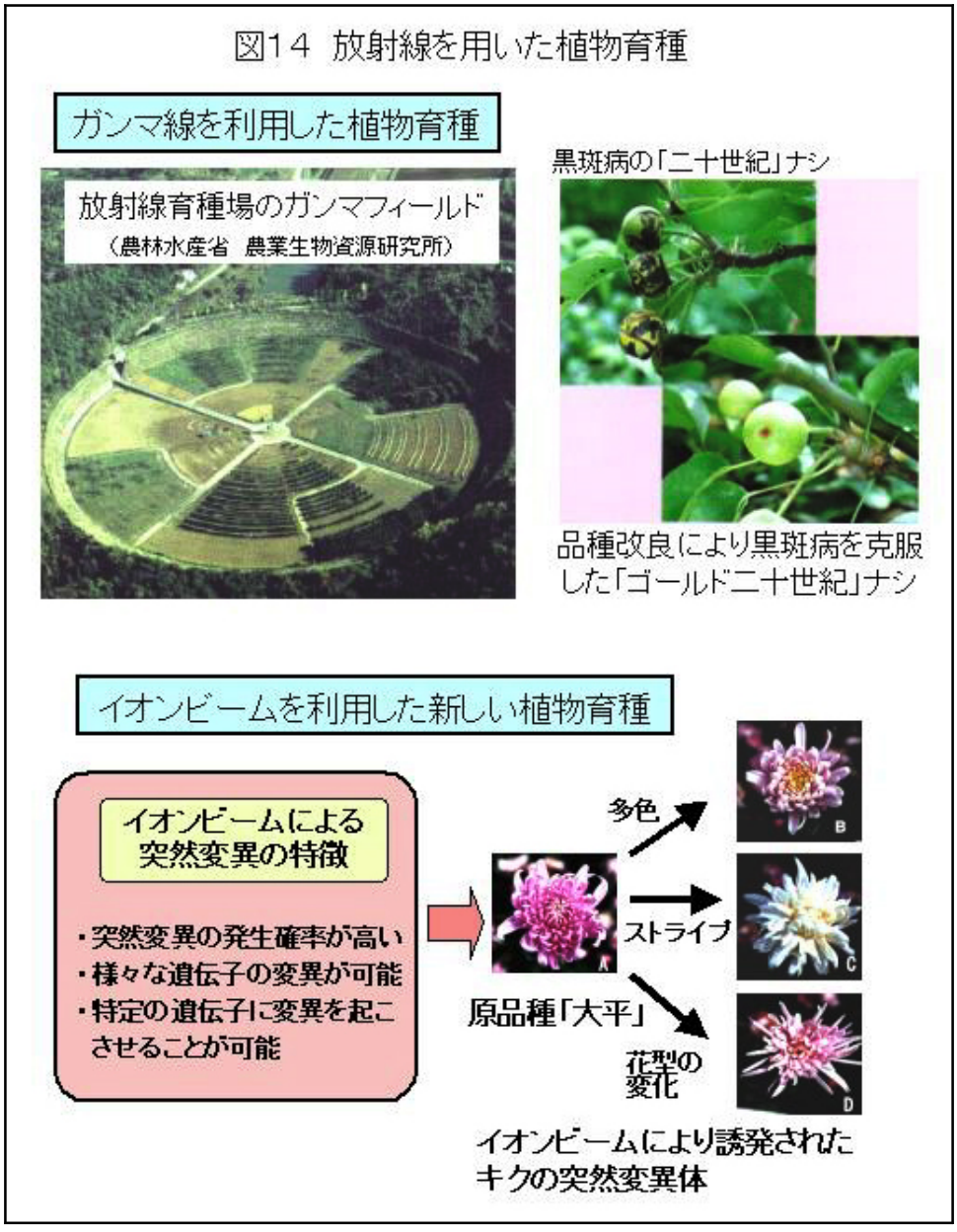
②品種改良への放射線の応用

植物育種（品種改良）は、これまでに食料の増産・安定的生産のための改良、生活を豊かにするための観賞用植物の改良などに貢献してきました。植物育種は従来、いわゆるかけあわせと呼ばれる交配育種が中心で、現在までに多くの品種が育成されてきました。交配による植物育種法では、親品種が持つ形質の特性を組み合わせて新しい品種を育成することには適していますが、化学薬剤法や放射線育種法のような親品種が保有しない形質を付与することには不適当でした。化学薬剤を用いる方法は、薬剤自体に発がん性があるものもあり、最近では利用されなくなりました。放射線は、化学薬剤よりも多くの遺伝的変異を起こすことができることなどから、そのうち有用なものを選択し、品種改良の手段として普及してきました。

放射線育種は、作物に放射線を照射することによって、細胞レベルでの突然変異を起こさせ、その中で人類にとって有用なものを選別する方法です。茎が短く風に強く倒れにくいイネの突然変異種「レイメイ」のように付加価値の高い品種を生み出し、新品種として育てていくことが可能です。すでに世界中で１８００近い品種が放射線を利用して育成されました。我が国でも、農業生物資源研究所放射線育種場が中心となってガンマ線を用いた品種改良を行っており、我が国の突然変異による品種はこれまでに１１０品種に達するなど、我が国の農業に大き

く貢献してきました。ナシの「ゴールド二十世紀」は、黒斑病に弱い「二十世紀」を耐病性品種にしたものです。品種改良により、農薬を約半分に減らすことができました。

　一方、品種改良のほか、農業分野では放射線やＲＩが作物のＤＮＡ解析や代謝機能の解明などの有効な手段として利用されています。放射線育種場では、細胞・組織培養とガンマ線照射を組み合わせることにより、キメラ（同一個体中に遺伝子型の異なる組織が共存するもの）から完全な変異個体を作り出す新しい技術



を開発し、栄養繁殖性作物の放射線育種が効率的に行われるようになりました。これにより、キク、エニシダ、トルコギキョウなど数多くの品種が育成されました。

③今後の植物育種技術の発展に向けて

近年、我が国は、日本原子力研究所高崎研究所と放射線育種場の協力により世界に先駆けてイオンビームを植物育種に適用し、従来のガンマ線とは異なる形質の突然変異を誘発できることを見いだしました。イオンビームは、電子線やガンマ線に比べて、物質中で局所的に密度の高い励起やイオン化が可能であるため、突然変異を生ずる確率がガンマ線に比べて形質によっては１０倍以上も高い場合があります。しかもガンマ線では得にくい突然変異遺伝子を生むことが期待できます。イオンビームを用いた育種により、従来のガンマ線法では作れなかった複色の花のキクや紫外線に強いシロイヌナズナ、病気に強いオオムギなどの新しい植物を育成することができます。

イオンビームは、イオンを打ち込む位置や深さ、ビームのサイズ、イオンの密度などを微細かつ精密に制御することができます。このため、様々な厚さを持つ大きな種子や植物組織、細胞塊への照射が可能となります。これにより、育種の対象は農作物だけでなく、環境汚染物質を浄化する環境浄化植物などの育成に大きく寄与することが期待できます。

④今後の展望

我が国は、世界最大級のガンマ線照射場（ガンマフィールド）を所有するとともに、イオンビームによる新しい育種技術を誕生させました。この分野のフロントランナーとして世界をリードしていくためには、放射線の利用による作物のＤＮＡ解析や代謝機能の解明を推進し、ガンマ線とイオンビームのそれぞれの特長を活かした育種法の開発を図るべきです。これを通じ、環境保全型の植物資源の育種も視野に入れた幅広い研究の展開が望まれます。また、放射線育種を実施している関係機関の研究交流を深め、研究活動強化を図っていくための研究体制づくりを目指す必要があります。

なお、東南アジア、南米、アフリカなどの諸国では放射線育種を目指した新たなガンマ線照射施設の建設の動きがあり、これらの国々との育種技術開発協力を推進することで、世界的な食料難の解決に貢献することが期待されます。

（４）生活の向上と新産業創出・環境保全（工業利用・環境保全）

①利用の意義

２１世紀において国民が健康に暮らせる社会を築いていくためには、これまで以上に環境を保全していかなくてはなりません。そのためには、生活や産業活動にともなう環境への負荷を極力抑えることが重要な課題です。従来の大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会から、省エネルギー・循環型社会への変革が必要です。

また、我が国は２１世紀前半には高齢化が一段と進み、医療や福祉に関連する技術とアメニティ製品などの材料が一層必要になってきます。

放射線には、材料に特殊な機能を与えたり、これまでの技術では得られない特長を持つ新しい材料を創る能力があります。また、例えば化石燃料を使う火力発電所などのボイラーから排出される有害化合物を除去する力、医療用具や食品などを殺菌あるいは滅菌する能力も持っています。

放射線のもう一つの特長は、化学薬剤や加熱を要しないためクリーンで省エネルギーであることです。放射線は、注意して安全に利用すると、環境を保全し、国民の健康を守り、社会を豊かにすることができる技術です。放射線利用はすでに各分野での国民生活に役立っていますが、まだまだ可能性を秘めています。放射線の能力を引き出すことにより、社会のニーズに応える新素材や新しいプロセスをつくりだし、新しい産業を生み出すことができ、ひいては社会を活性化する原動力にもなります。

②利用の現状

放射線を利用して高分子材料を加工したものには、日常生活で使われているものがたくさんあります。例えば、台所や風呂のプラスチック製のすのこは、ポリエチレンに放射線を照射して強度を高めたものです。腕時計やカメラに使われているボタン型電池には放射線で合成した薄い隔膜が用いられており、陽極と陰極を隔てながら電気を通す役割を果たしています。テレビやパソコン、自動車などに使われている電線は全て放射線で耐熱化されています。ロケットエンジンや超高速飛行機に使われる高強度で耐熱性に優れたセラミック材料は、我が国独自の技術により放射線で合成した先進的材料で、その製品は世界中に供給されています。

放射線は工業製品の非破壊検査や工業計測になくてはならない技術であり、この目的で他種類の密封ＲＩを装備した機器が広く使用されています。

医療用具の放射線滅菌は、従来の蒸気やガスを用いた滅菌に比べて技術的にもコストの点でも有利になってきたため、現在では滅菌処理全体の６０％を占めています。当初は主にガンマ線が用いられていましたが、最近では電子線が利用さ

れるようになっています。電子加速器は技術の発展に伴い制御性や安全性に優れており、またガンマ線源のように使用済廃棄物を発生することもないことから、今後は電子線滅菌が普及していくと予想されます。

環境保全への放射線利用では、石油や石炭の燃焼ガスに含まれる硫黄や窒素の酸化物を除去する技術が実証段階に達しています。これには電子線を用いていますが、設備を小型化できる上、有害な廃液を出さず、また、副生品として硫安や硝安を生産できます。このような物質循環型の処理システムも我が国の独自の技術として開発されてきています。

③将来展望

２１世紀に我が国が直面する社会的な課題である環境問題を克服しながら新しい産業を産み出すためには、放射線のクリーンで省エネルギーの特長をさらに活用していくことが重要です。

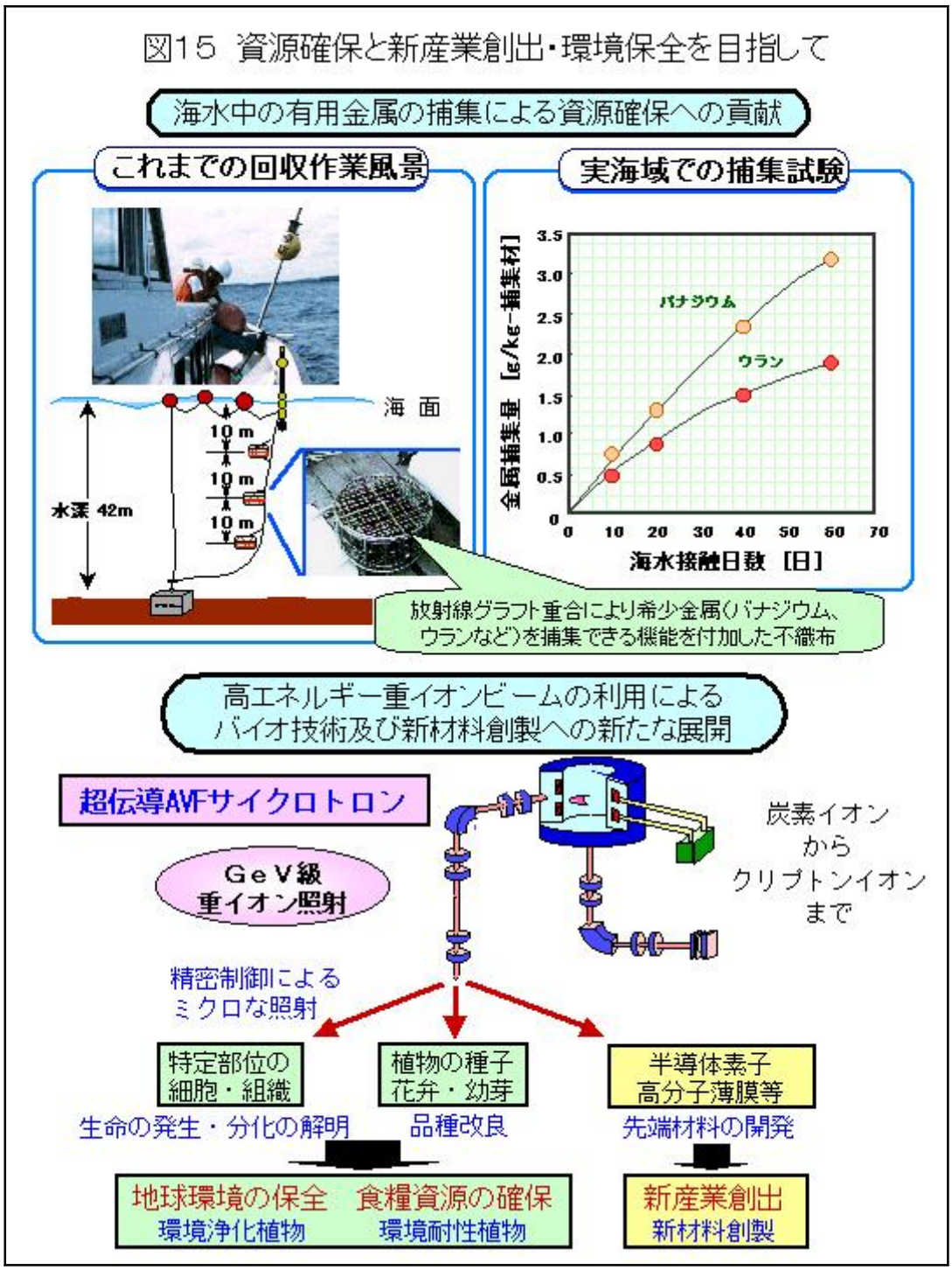
環境保全においては、生活や産業活動によって排出される廃ガスや廃水などに含まれる汚染物質の無害化や有害物質の除去に放射線利用が有効であることが見いだされており、この技術開発を強力に推進していくことが必要です。具体的には、ダイオキシンなどの環境ホルモン物質の分解除去技術、工業廃水に含まれる鉛などの有害金属を捕集する材料の開発、環境汚染源となるプラスチック廃品を減らすために生分解性プラスチックの開発や天然高分子の有効利用を図る技術に放射線を活用することです。

我が国はバナジウムやモリブデンなど工業材料に不可欠な希少金属をすべて海外に依存しており、その備蓄が重要な課題になっています。しかし、これらのほとんどは海水中に溶存しており、これを効率よく捕集する技術を開発すれば、安定供給が可能となります。また、海水に含まれているウランは無尽蔵に近く、日本近海に黒潮が運ぶウランの量は１年間だけで全世界の鉱山などから採掘可能な埋蔵量に匹敵するという試算もあり、海水中のウランを捕集することによりエネルギー資源の安定確保にも役立ちます。すでに、放射線を利用して希少金属を吸着する材料を合成できる技術が見いだされていますので、海水中のウランやバナジウムなどの有用金属を捕集する技術開発を官・民が協力して推進することが必要です。

先進的材料の開発にも放射線は利用できます。次世代の半導体素子・デバイス、光触媒薄膜材料、高耐熱・高強度材料、高耐放射線性材料、セラミック複合材料などの創製に放射線の利用が有効です。

今後の放射線利用においては、従来の電子線やガンマ線に加えて、イオンビームや放射光、中性子、ポジトロン、Ｘ線レーザーなどの新しい放射線の活用を推進する必要があります。高エネルギー重イオンビームやポジトロンビームは、バ

イオ技術や先進的材料の開発に飛躍的な発展をもたらす手段です。また、放射光は、次世代のマイクロマシン技術に必要なＬＩＧＡプロセス（リソグラフィ、メッキ、モールド工程）に欠かせない放射線です。



④新産業創出に向けて

放射線利用技術が新産業創出にむすびつくためには、抜本的な技術革新をもたらし、幅広く産業にインパクトを与えるとともに、国民生活に貢献するものでなければなりません。そのためには、基礎的な技術が確立し、人材が育成され、研究・開発・実用化に向けた長期的な展望が開けている必要があります。また、国内の既存の研究施設の活用と、産・官・学の密接な協力などが必要とされます。このような条件を満たした新産業創出のテーマの実例として、新素材の創製や材料の複合化技術の開発があげられます。

新素材創製では、フライホイール（電力貯蔵装置の部品）の成型、輸送機器の複合軽量素材、通信・情報機器工業での放射光によるＬＳＩ精密加工、航空宇宙工業での耐熱複合材料、医療産業における生体親和性材料の開発などがあります。また、複合化技術の開発では、米国で推進している低コストの航空機の製造を目指した軽量化複合材の研究開発があげられます。

近年の多様化した産業で放射線利用を推進していくためには、産・官・学の密接な連携を目指した産業コミュニティの形成が必要です。すでに工業分野で利用が進みつつある電子線、ガンマ線、Ｘ線などを用いた放射線利用は、民間企業の主導により新産業創出をめざす一方、国は放射線の専門技術を駆使して新産業創出を積極的に支援する必要があります。一方、安心して暮らせる環境を守るためにも、環境保全・浄化技術は重要であり、国が主導的に技術開発を進めるべきです。

利用促進のためには、線量測定器の精度保証に遡及性を持たせる制度（トレーサビリティ制度）を整備することが重要です。例えば、放射線滅菌の際の照射線量を保証するためには、基準となる線量測定器を用いて比較校正を行う必要があり、その基準になるものはさらに高位の基準測定器によって順次校正され、測定精度が正確になっている必要があります。トレーサビリティは、この校正経路が確立されていることを示す言葉で、線量測定の信頼性が利用現場で使用する末端の測定器にまで一定のレベルで保証されることを目的とする考え方です。現在、国際的な制度の整備が進められていますが、我が国はこれまで、外国の標準研究機関に校正を頼っていました。国は国家計量標準にかかわる研究開発や設定・供給などを積極的に進め、国内でのトレーサビリティ制度を確立する必要があります。

Ⅳ．　安心につながる安全を確保するために

１．放射線の生体への影響

①放射線の生体への様々な影響

放射線の人体への影響については、広島・長崎の被爆者や、放射線技師など職業的に被ばくした人などの調査研究から、かなり正確な被ばく線量と影響の関係（線量－効果関係）を確定することができます。国民が日常生活で受ける自然放射線量は、影響が確認されている線量に比べ、極めて微量であり、影響はこれまで検出されていません。しかし、自然界では受けることのないような高い線量の放射線を被ばくしたとき、人体にどのような障害が生じるかは、主に放射線の線量によって決まります。一度に大量（全身に 10Gy 以上）の放射線を被ばくすると傷害された腸粘膜からの出血によって死亡します。現在の医学では治療法はありません。なお、10Gy はほぼ 10,000mSv に相当し、日本人が平均として１年間に受ける自然放射線量 1.43mSv の約 7,000 倍です。全身に４－１０ Gy（4,000 －10,000mSv に相当）の放射線を被ばくすると、特別な治療をしない場合、多くは骨髄の造血機能の障害によって死亡します。現在では骨髄移植や末梢血幹細胞移植によって救命できる可能性があります。チェルノブイリ原子力発電所事故及びＪＣＯ事故では、そのような治療法が試みられました。

４ Gy 以下の放射線では、一般に急性の症状は生じても通常は回復しますが、何年も経ってから生じる白血病やがんなどの晩発障害などが問題となります。これらの障害については、放射線量が少ない場合、すなわち影響が小さい場合についての研究は容易ではありません。現在までのところ広島・長崎の被爆者についての調査が、人体についてのほとんど唯一の研究成果です。

一般に、国民の関心があるのは、低い線量の放射線被ばく（低線量放射線被ばく）の影響ですが、50mSv 以下の低線量放射線の影響は、極めて頻度の低い生物影響を実験的に検出することができないため、学問的には十分に解明されていません。

②低線量放射線被ばくの影響研究の現状

低線量の放射線の影響を論じるには、線量 10mSv 以下の被ばくを目安としますが、そのような小さな線量の放射線による生物影響の研究は従来の方法では実質的には不可能です。なぜなら、予期される効果を生じる頻度が極めて低く、例えばマウスを用いて 10mSv の放射線による遺伝的効果を調べるには９億匹のマウスが必要という試算があります。これまで世界で最大規模で行われたマウスを用いた放射線の遺伝的影響の研究は、約 100 万匹のマウスを用いたメガマウス実

験と呼ばれるものです。この研究での最低線量は 0.36Gy（360mSv 相当）でした。0.05Gy（50mSv 相当）のＸ線によるショウジョウバエの突然変異（遺伝的影響）の実験では、136 万匹のショウジョウバエの背中の毛の長さ（0.2mm の毛が 0.05mm 以下になる）を測定しました。これらの研究は、いずれも放射線の遺伝的影響の発生頻度は放射線量に比例すると見なして矛盾がないことを示していますが、50mSv 以下での実験を行ったことはありません。

③広島・長崎の体験から分かったこと

低線量被ばくの人体への影響の知見は、大部分が広島・長崎での疫学的調査研究のデータに基づいています。1950 年の国勢調査により 28 万 4 千人の日本人被爆生存者が確認され、そのうち約 20 万人が当時広島・長崎いずれかに居住していました。放射線影響研究所とその前身の原爆傷害調査委員会（Atomic Bomb Casualty Commission; ABCC）が、1950 年代後半以降実施した被爆者調査は、すべて「基本群」と呼ばれるこの 20 万人から選ばれた副次集団を対象としてきました。寿命調査の対象者は約 12 万人です。晩発性影響のうち最も重要なのは発がんです。なかでも血液のがんである白血病患者の増加は最も早く気が付かれました。寿命調査集団の中で、5mSv 以上の線量を骨髄に受けたと推定される 51,114 人のうち、1950 － 1990 年の間に 176 人が白血病で死亡されたことが確認されました。このうち原爆放射線に起因すると推定される過剰発生は 87 例です。自然発生と比べ白血病の放射線による過剰発生リスクは線量に直線的に比例せず、下に凸の曲線になります。このため、極めて少ない線量では白血病の増加は見られないとする意見もあります。なお、被爆が原因である白血病の発生は、1970 年代でほぼ終わったと見られています。

白血病以外のがん（固形がん）リスクの増加は被爆の約 10 年後から見られました。過剰発生率は線量に比例して直線的に増加すると見られます。結腸への線量として 5mSv 以上を被爆した 50,113 人の寿命調査集団で、固形がんによる死亡が 4,565 例見いだされ、放射線に起因する過剰発生は 334 例と推定されています。被爆による発がん（白血病を含む）の頻度から見れば、わずかな線量、例えば 0.1Gy（100mSv 相当）かそれ以下の放射線を浴びた人の発がんのリスクはかなり小さいといえます。また、被爆した人の子供（被爆二世）への遺伝的影響はこれまでの調査では検出されていません。

④低線量放射線被ばくに対する生体の適応応答

低線量の放射線に対しては、生体の適応応答の効果をあげる人もいます。つまり、低線量の放射線による生体修復機能の増強（放射線によるＤＮＡの損傷が、細胞によって修復されること）や細胞の免疫機能の活性化等（いわゆるホルミシ

ス効果とよばれるもの）の働きがあるのではないかと、最近学会などで議論されています。例えば、米国のラドンが豊富な地域では肺がんが少ないなど、これを支持するデータはいくつか出ています。しかし、研究成果の数も少なく、極めて僅かな線量での研究であるため、実証がむずかしく、原因と結果の結びつきが現時点で明確にされているわけではありません。

⑤今後の展開

低線量放射線被ばくの健康影響は実験的検証がむずかしく、広島・長崎の疫学的調査研究に基づくデータが現在最も重要な実証的データです。しかし、このデータでは５０ｍＳｖ以下での影響は統計的な信頼度が低いため、それより高い線量による効果を直線的に延長して推定しています。このため、影響はあったとしても、その発生の可能性は小さいことは強調されず、誤解を生むこともあります。今後、高感度に放射線の影響を測定できる実験検出系を開発し、遺伝子レベルの研究、シミュレーション手法による放射線影響のメカニズム研究など様々な研究手段を用いて、これまでより低い線量による放射線影響を定量的に検出することを目指した研究が必要です。低線量領域での放射線の影響を解明し、放射線のより深い理解とそれらの知識を放射線防護や健康維持に活かしていくことは重要な課題です。低線量放射線の生体への影響の解明は、原子力／放射線利用のための安全確保の基本です。今後、より広い視野のもとで低線量放射線の生体影響の研究を総合的に推進すべきです。

２．健康リスクと放射線安全の確保

（１）安全の確保

我々が安心して放射線利用を進め、その成果を享受するためには、放射線の利用に係わる被ばくの影響を最小限に抑え、また、放射線利用による作業環境やその周辺の生活環境の汚染を防ぐなど、十分な安全を確保することが必要です。被ばくや汚染による人への影響を防止するための方法や手段を確立するためには、放射線の性質や人体影響について理解することが基本です。また、現在不明な点を究明するための研究を推進しなければなりません。現在の放射線防護体系では、不明な部分も含めて、より安全側に規制値を定めています。放射線防護の知識に基づき、施設や設備の適切な管理や、放射線作業に従事する人々の線量評価を体系的に実施することにより安全が確保されます。

（２）現行の放射線防護規則の背景にある考え方

①しきい値のない直線仮説

広島・長崎の原爆被爆者の疫学的研究から、固形がんや白血病の発生頻度は被ばく線量に直線的に比例することや、下に凸の曲線に従う傾向を示すことがわかっています。しかし、５０ｍＳｖ以下の領域では、被ばくの影響をはっきり示すデータがないことは前章で述べた通りです。放射線防護の安全基準や規則を考える上では、より安全であるとの観点から、このような低線量での固形がんや白血病等の線量－効果関係は「しきい値のない直線」で表せると仮定されています。こうすることで、影響の起こる確率が非常に低くて検出できない線量であっても、定量的な安全基準を設定することができます。このように、現行の安全基準は安全側に設定されたものです。

②健康リスク

人間の活動の多くは便益をもたらすとともに望ましくない効果を伴います。後者の脅威が危険度（リスク）です。リスクは通常その発生する確率で表します。社会は便益とリスクを秤にかけて、ある程度のリスクは受け入れます。むろんそのリスクを可能な限り減じる努力がなされていることが受け入れる前提です。容認するかしないかの境界線はリスク確率の一定値で明確に示されるわけではないので、この場合「リスク」は確率を含めた広義の概念を示す言葉として使われます。

放射線の生体影響には、一定の線量（しきい値）を越えると発現し、線量増加に伴って重症度の増す影響（確定的影響）と、しきい値がなく、線量に応じて発現頻度がかわる影響（確率的影響）があります。皮膚の障害や白内障などは前者です。確率的影響は発がんと遺伝的影響があります。

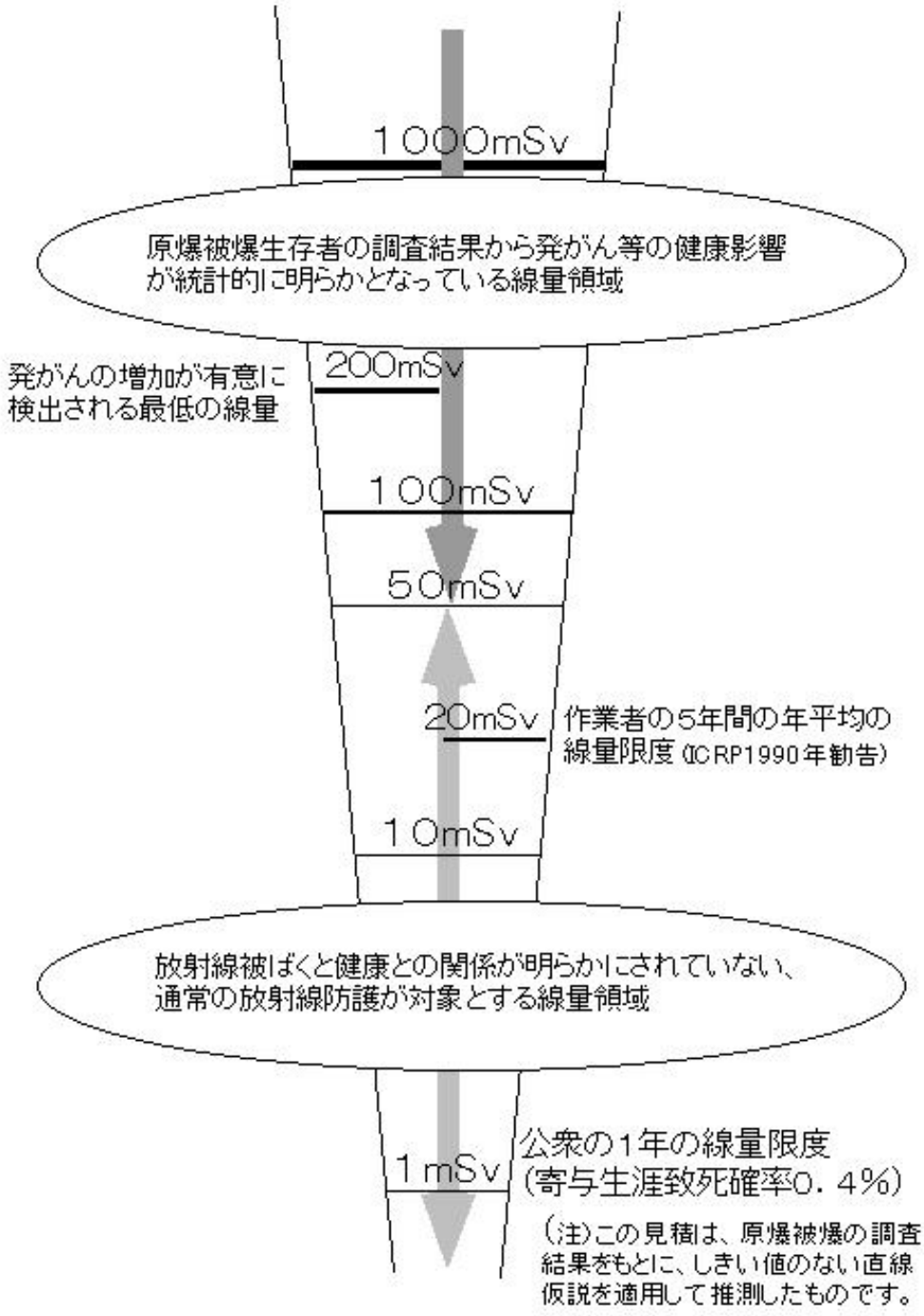
ICRP の 1990 年勧告は、低線量放射線の健康リスク、特に発がんリスクに着目して線量限度を定めています。この場合の「リスク」は前述の広義のリスクを意味します。

放射線作業従事者の線量限度の設定の背後には、職業人として 18 才から 65 才までの間に受ける放射線による発がんの結果がんによる死亡者数が 1,000 人に１人増える（過剰発生）くらいが容認できるかできないかの境界であるという考え方が背後にあります。一般公衆の線量限度（1mSv）は様々な観点を総合して判断されました。生涯にわたる被ばくの結果がんによる死亡者数が１万人に１人くらいなら社会は容認しうるというのもその一つです。また、その確率を 0.4 %に抑えるとしていますが、これは米国の公衆が発がん性化学物質に起因するがんで死亡する確率と同等の値です。このような線量限度は、誰でも安全であることを担保する基準であって、危険と安全の境界を示す値ではありません。【図１６】に、主な被ばく線量と線量限度等を示します。

各国では、このような放射線防護のための勧告を受け、具体的に法令を制定し、

放射線の封じ込め方や、施設や設備の放射線源の取り扱いや管理の方法、ＲＩの取り扱いとその管理等、安全を確保するために様々な規制を行います。我が国の現在の法令は、1977 年の ICRP 勧告に基づいていますが、2001 年度からは、1990 年勧告に基づいた法令に改訂される予定です。

図16　主な被ばく線量と線量限度



③リスク論への批判

健康リスクを抑えるという「リスク論」に対し、検証できないリスクに対して膨大な努力を払うのではなく、実質的なしきい値を考えるべきではないか、また、高線量率被ばくのデータから低線量率被ばくの影響を推定できるのか、動物実験や生物研究のデータが反映されていないのではないかといった批判があります。このような批判が出てきた背景には、従来以上に厳しい１９９０年のＩＣＲＰ勧告に対する根拠を求める動きや、しきい値のない直線仮説が放射線防護の上で安全側に立つという考え方の妥当性に対する疑問等があります。

このような状況の中で、広島・長崎の疫学研究や放射線の生体影響研究の成果を積極的に発信し、より合理性の高い放射線防護基準の策定に活かすことは我が国の責務と考えられます。

（３）放射線防護と管理

放射線から人体を防護するためには、疫学データや放射線生物影響のデータ等を考慮するとともに、放射線計測や線量評価技術、放射線源等の管理技術等、さらに、リスク研究等の広い範囲にわたる研究と検討が必要です。例えば、低レベル放射性廃棄物の処理に伴う微量放射線の計測技術の開発や、中性子の高精度線量測定の研究、新しい放射線の利用に向けた放射線被ばくの防護技術の開発、放射線による内部被ばく及び外部被ばくの研究、放射線被ばく線量の測定と評価技術並びに体内に取り込んだ放射性物質を体外に排泄する技術の開発等について積極的に取り組むことが必要です。このような努力が、国民の安心感と安全への信頼性を固めることにつながります。これらは、より高度な被ばく医療、宇宙開発や高度飛行等の新しい科学技術におけるリスク評価やその低減、低レベル放射性廃棄物の評価にも役立てられます。また、今後、宇宙や地下空間へと益々広がっていく人間の生活空間に応じて、検討すべき放射線防護の範囲を広げていくことも必要です。

（４）リスク論と安全の考え方

世界中の多くの人ががんで亡くなっていますが、その原因の大部分は喫煙や食生活によるものと考えられ、また、特殊な原因として紫外線があげられます。一方、自然界の放射線被ばくが原因でがんになった人は、広島・長崎の被爆者調査から見て、極めて少ないことが明確です。従って、日常的に摂取する発がん性物質等によるがん発生のリスクは、日常的に受ける自然界からの放射線被ばくによるリスクより高いといえます。このようにリスクという考え方は、様々な異なる質の危険度に対して、共通の物差しをもたらしてくれます。

最近、リスクとは価値を伴う社会的に構成された概念であるという考え方が出

てきました。現在の放射線防護上のリスク論では、これくらいの被ばくがあれば将来どういう影響がどの程度現れるかを予測し、この結果に基づいて基準値などを判断しています。しかし、将来の望ましい姿としては、客観的なリスクを見積もるだけでは不十分で、リスクを受ける側を巻き込んだ判断も必要となってくるでしょう。そして、放射線被ばくだけではなく、例えば化学物質など、他のリスク源と積極的に比較することで、社会全体のリスクを最小にするリスクバランスを考えることが、これからの我々の安全を確保する上で重要ではないでしょうか。

３．原子力／放射線利用に伴う環境への影響

①環境と調和した利用を進めるために

原子力／放射線が長期にわたって豊かな国民生活の実現に貢献していくためには、国民の健康確保と環境保全を前提にして、自然環境や社会と調和した形で利用されなければなりません。

原子力関連の事業所では、放射性物質をできるだけ外部に排出しないように努めています。気体や液体の放射性廃棄物は、フィルターなどを用いた処理を行ったりして、自然放射線に比べて極微量であることを確認した上で環境に放出されています。しかし、万一の事故の時には放射性物質が異常に放出される可能性があります。放出された放射性物質の一部は、農作物や魚貝類などの食物を経て人にたどり着きます。

国民の十分な理解を得ながら社会に安心して受容される利用を進めるためには、放射性物質や放射線の環境への影響について深く理解し、原子力／放射線利用に伴って住民への健康影響を生じないようにすることが重要です。

②環境科学への取り組み

環境と健康に与える影響について、原子力関連施設の外にいる住民が抱く不安を解消するためには、環境中の放射性物質がどのように移行し、人々の健康にどのような影響を及ぼすのかを明確にすることが必要です。そのためには、放射性物質が環境中を移行・循環するしくみと健康に与える影響を解明し、それらを予測する方法を開発しなくてはいけません。

自然環境と調和しながら利用を進めるためには、放出された放射性物質の環境や健康への影響を低減することも重要であり、環境を保全し、修復する技術も開発する必要があります。

原子力／放射線利用が人々の理解と同意を得ながら人類文明の永続的な繁栄に貢献していくためには、人文・社会科学的な視点で自然環境と社会に調和した利

用のあり方を検討することも重要です。

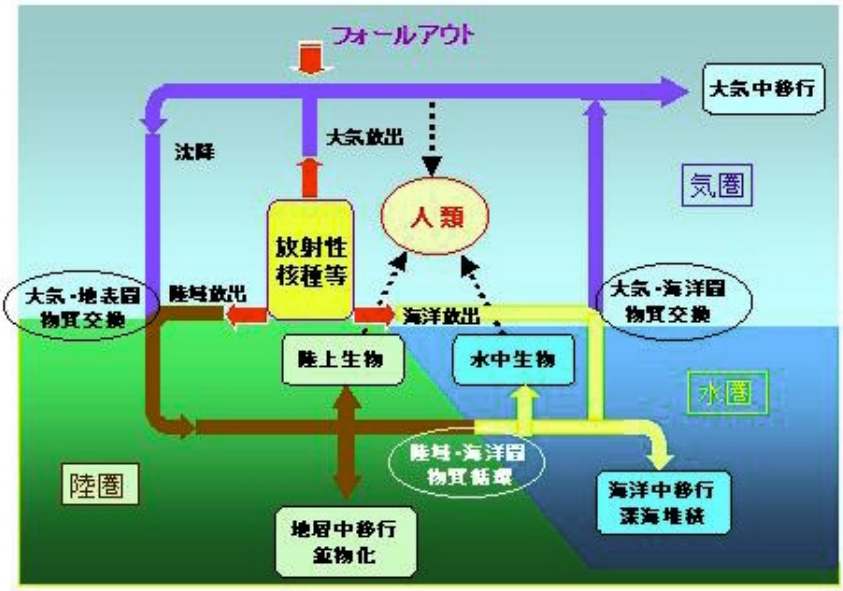
③環境科学の現状

気圏および陸圏の調査研究は、緊急時の汚染予測、大気中に放出された核分裂生成物（フォールアウト）の分析、放射性物質の移行データを基にした被ばく評価、原子力施設の立地についての安全評価などに役立っています。水圏では、放射性物質の海水中の濃度や海底土あるいは海洋生物への蓄積の調査、沿岸域を対象とした海流モデルなどの開発に取り組んでいます。

生態系への影響を解明するため、森林や水田の自然生態系を対象にした微量の放射性核種などの分析や、室内実験によって放射性物質が土壌から植物に移行するしくみの解析が行われています。さらに、放射性物質などの有害物質が個々の生体や生物種および集団に与える影響と評価、シミュレーションによる解析も進められています。

環境科学は、環境中の放射線や放射性物質による人への健康影響を解析し、防護する方策を開発する研究分野です。そして、日常的な環境放射線の変動調査を基にした国民の被ばく線量と健康影響の推定、被ばく低減化などに貢献しています。また、放射性物質が人体に蓄積されるしくみの解明や被ばく線量推定の高精度化などにも寄与しています。

図17　環境中の放射性物質の移行・循環



④今後の展開

放射性物質が環境に放出されたときの挙動は、放射性物質の物理的・化学的状

態と環境の状態により大きく異なります。気圏に放出された放射性物質は、主に呼吸により生物の体内に取り込まれます。この移行挙動の解明には、自然界における放射性物質の移行を利用します。このため、大気中の微量放射性物質を検出・分析する技術の開発が必要とされます。

陸圏に放出された放射性物質は、長い時間をかけて土壌中を移行し、微生物が関与する複雑な過程を経て動植物に蓄積され、人体に取り込まれます。また、水圏に放出された放射性物質はプランクトンや魚介類を経て人体に摂取されます。いずれの環境においても放射性物質が移行する挙動は、その物理的・化学的状態や環境条件に応じて複雑なものになります。例えば、河口付近の複雑な地形、潮の満干、微生物などにより、放射性物質の挙動が大きく影響されることが明らかになっています。従って、環境の様々な条件や変化を十分に考慮し、フォールアウト、自然界の放射性物質、サイクロトロン等の加速器で製造される半減期の短い核種をトレーサーとして利用して放射性物質の挙動を解明する必要があります。また、土壌や水中の極微量の放射性物質を観測し分析する技術や、放射性物質の物理的・化学的状態の分析法の開発も重要です。

放射性物質の挙動は、環境条件に大きく依存することから、日本固有の環境に合ったより合理的なデータが必要とされます。得られたデータと数値実験などを基に、環境中の放射性物質などの挙動を総合的に予測する数値シミュレーションモデルの開発は、緊急時の放射性物質の移行予測に役立ちます。

放射性物質が食物や空気を通じて生体に取り込まれる際の挙動を解明するためには、自然生態系と人工的に作られたモデル実験生態系の比較研究が必要です。また、生態系内に取り込まれた放射性物質が生態系に与える影響を明らかにする必要があります。

健康影響の観点からも、放射性物質の環境影響は重要な問題です。体内に取り込まれた放射性物質の量や被ばく線量と病気の頻度の相関を調べることにより、他の環境汚染との関係を証明することができます。

環境中に存在する自然および人工の放射性物質や放射線の人への健康影響を明らかにするためには、全国的な自然放射線のレベル調査、放射性物質が体内に取り込まれた際の被ばく線量の評価、原子力関連施設周辺などの疫学調査や医療被ばくを対象とした実態調査、放射性物質が環境から生態系に移行するしくみを研究する放射生態学研究、将来の生活環境の拡大に対応するための大深度地下や宇宙環境での影響調査および研究などを進める必要があります。

放射性物質が環境や健康に与える影響を低減するためには、放射性物質の環境への放出を抑える技術、無機物や有機物を利用した環境中の放射性物質を回収する技術、土壌などに含まれるウランなどの放射性物質を安定化する技術の開発が必要です。また、体内にとりこまれた放射性物質の排出を促進する技術の開発も

重要です。

⑤研究推進上の課題

原子力／放射線利用の効果と影響は、一国一地域の利害に止まるものではありません。その推進のためには、長期的かつ国際的視点での社会科学的検討が必要です。このためには、他の分野との協力と国際協力・国際貢献なども重要です。また、中国の砂漠から気圏へ放出されるラドンの影響のように、アジア全域での評価が必要な場合も多く、国内のみならず国際的なスケールで研究することが必要です。

環境科学研究は３０－４０年という長期の観測・測定期間を必要とすることが多くあり、民間、大学、研究機関、国や地方自治体などの相互の協力が不可欠です。また、地方自治体などの調査・研究により、原子力発電所などの周辺の放射性物質や放射線のデータの蓄積が進んでいますが、その分析・評価に当たっては、同様の協力が必要です。さらに、異なる省庁に属する研究機関間の密接な協力が必要であり、省庁間の壁を越えた連携も欠くことができません。そのためには、放射性物質の移行、被ばく線量・リスク評価、食物連鎖、健康影響、データベースなどについて、各研究機関が研究を分担しながら連携を密にしてまとめるような研究総合ネットワークを築く必要があります。

４．緊急被ばく医療と国際被ばく医療協力

（１）緊急被ばく医療

1999 年 9 月 30 日に起こったＪＣＯ事故では３名の方が高線量の被ばくをしました。残念ながら、２名の方が亡くなられましたが、この事故では、全国の医療機関の密接な協力のもとに、効果的な治療が行われました。この背景には、放射線医学総合研究所が 1998 年に設置した「緊急被ばく医療ネットワーク会議」が迅速かつ有効に機能したことが大きな要因として挙げられます。同会議は、平常時から情報交換、研究交流、人的交流を通じて、緊急の被ばく事故などへの対応を検討してきました。

緊急被ばく医療には様々な技術が必要です。適切な治療を行うために被ばく線量を推定すること、その推定にもとづいて以後の経過を予測し、適切な治療計画を立てることや、造血機能回復のための幹細胞移植、様々な症状に対応するための集中治療、無菌室での継続治療など、全診療科を取り込む総合的診療体制が求められます。さらに、低線量被ばく者の精神的な不安に対するケアも忘れてはならない医療の一つです。

緊急被ばく医療の基礎には、広島・長崎の原爆被爆で得られた貴重な医学的デ

ータをはじめとして、その後の数々の研究の成果があります。この貴重なデータを緊急被ばく医療で活用することは、国内はもとより国外での被ばく事故に対しても重要です。ＪＣＯ事故に際しても、各国から医療援助の申し出や情報提供が数多くありました。特に、海外からの実際の事故例に基づく情報提供は貴重でした。今後、原子力施設の建設推進が予想されるアジア地域では、特に、このような国際医療協力は重要性を増すと考えられます。例えば、台湾のＣｏ－６０による汚染事故に対し広島・長崎等県や市が一体となって実施している国際医療協力は、その一つです。医療支援や情報提供、場合によっては患者の受け入れなど援助・支援の方法は、事例毎に検討する必要があるでしょう。

（２）国際被ばく医療協力

①国際被ばく医療協力の現状

我が国は、これまで北米、南米における在外被爆者の定期的な検診活動や、チェルノブイリ原子力発電所事故後の健康影響調査およびセミパラチンスクでの医療支援活動を行ってきました。チェルノブイリでの調査は、1990 年から開始されました。政府、非政府レベルの様々な医療支援活動が展開されていますが、特に放射線感受性が高い事故当時０歳から１０歳の子供たちを対象に甲状せんや血液の病気を対象とした検診活動に対して広く支援や協力が行われています。一般住民の外部被ばく線量は低いものの、放射性降下物による内部被ばくが大きな問題です。正確な被ばく線量評価が困難な現状では、事故前後に産まれた子供たちの甲状せん疾患の比較対照調査や、小児甲状せんがんの症例調査等が継続されています。今後も長期にわたる被ばく住民の晩発性放射線障害のリスクが高いと予想され、国際協力が必要です。現地では、通信手段や交通の便が悪く、かつ医療過疎地であるため、遠隔医療診断支援システムの導入による支援も世界に先駆けて我が国が実施しています。

カザフスタンのセミパラチンスクは、1949 年から 1989 年まで核実験場でした。1962 年までは、大気圏又は地上での核実験が主で、一般住民への影響は放射性降下物によるものでした。現地での医療支援とともに、長崎大学による遠隔医療診断支援が行われています。また、この地域には４０年間で推定積算１Ｓｖ以上被ばくした被ばく者がおり、低線量被ばくの影響を調べる上で、これらの住民を中心にした疫学調査は有効と考えられています。

②被爆国としての我が国の役割

カザフスタン共和国各地での地下爆発の影響以外に、旧ソ連全土での多くの放射能漏れ事故や事件が報告されています。軍事基地や核兵器工場での放射線被ばく問題への国際協力には多くの困難がありますが、唯一の原子爆弾被災国で、原

子力の平和利用に徹している我が国が果たす国際貢献は大きいと考えられています。

現地では、直接の医療支援だけでなく、例えば、結婚できるのか、自分たちの子供やその次の世代は大丈夫かなどといった心理的な不安の解消に努める必要があります。現地の住民は、行政当局やＥＣ、米国など、かつての冷戦相手国に対しても否定的な気持ちが強く、信頼感を持てない状況にあります。その中で、日本からの医師は、被爆国からの医師であり、チェルノブイリなどの被ばく者と同じ立場にあるという安心感を、住民に与えることができます。

上記国際被ばく医療への協力は、放射線も環境因子の一つと考えれば、当然「環境と健康」という観点から持続され発展されるべき国際協力です。一方、緊急被ばく医療は、放射線被ばくなど何かあった場合にどういう対応をするかをあらかじめ先取りして対応していく、いわば、守りの科学といえるでしょう。このようなシステムを実効性のあるものにしていく上で、事故は起こるものであるという意識で、平素から事故を想定したシミュレーションを含め、幅広い対応が必要です。そして、我が国だけでなく海外にも目を向けた緊急被ばく医療体制の構築は、原爆被爆という体験を持つ我が国の責務ともいえます。

５．法規制とその運用のあり方

①安全を確保するための法規制の考え方

放射線安全を考える時、最近は、事故は起こるものであるが、その可能性やリスクをどこまで押さえ込むか、逆にいえば、我々がどの辺りのリスクまで容認できるかという考え方に変わってきています。このように、安全をどう考えるかを ICRP は、その前身の団体を含め、1928 年から 73 年間、国際的な整合性を持った国際基準を念頭に議論をしています。最初は、生体に影響する放射線の被ばく線量にはしきい値があるという前提で議論をしていましたが、色々なデータが出る度にその議論は合理的に変遷し、がんや遺伝的影響に対する放射線被ばく線量にはしきい値がないとするリスク論に変わってきました。それは、放射線影響の基礎的研究と疫学的研究、かつ、社会的判断を組み合わせ、国際整合性を取った安全の議論として、化学物質や放射性廃棄物でない一般の廃棄物の安全性を議論をする時にも参照されます。

我が国の放射線安全に関する基準は、その基礎は、この ICRP の勧告に従っています。その上で、我が国の実状に合わせて、具体化されています。2001 年度からは、1990 年の勧告に基づいた法令改正が予定されています。

我が国の法律は、「できるだけ少ない被ばく」という考え方を大前提とした法体系となっています。例えば、１９９０年の勧告では、女性の職業被ばくは「妊

娠していない女性に対する職業被ばくの管理の基礎は、男性の職業被ばくの場合と同じである」としており、外国もそれに従っているのが一般です。これに対し、電離放射線障害防止規則等では、胎児を守るという観点から、女性にはより厳しい基準が適用されることとなっているなど、場合によっては、放射線利用現場の実状と合っていない、合理的でない、といった面も併せ持ちます。

②安全確保と合理性

ICRP の勧告は、線量制限を強調しているのではなく、放射線防護の様々な方法論の最適化、放射線利用の社会の中でのバランスの良い位置付けと正当化を強調しています。線量制限は、それを実現するための方法論なのです。この主旨に従えば、より柔軟で安全な放射線利用が可能となる限り、自己責任の考え方を、より一層放射線安全の法律に取り入れることも可能、いい換えれば、高度な合理性を追求した規制もあり得ると考えられます。一方では、事故・トラブルが減らない面もあり、これは、放射線利用の現場での、自己責任に基づく安全管理の徹底、及びセーフティカルチャー（安全文化）の醸成等によるより一層の安全実績の積み重ねが必要と思われます。

③複雑化する法規制と整合の取れた運用に向けて

これまで放射線の利用や核燃料の利用が進むに従い、法律は複雑化してきています。例えば、ＲＩの場合は、その使用は科学技術庁の放射線障害防止法、それを扱う労働者の安全は労働省の電離放射線障害防止規則（電離則）、核燃料を扱う場合は原子炉等規制法（核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律）で規制しています。放射線診断や治療、放射性医薬品については医療法や薬事法が適用されます。また、国家公務員に関しては電離則ではなく人事院規則で規制する等、複雑です。このような規制法の分類例を【表５】に示します。また、例えば、ＲＩの輸送については、それが放射性医薬品の場合は厚生省と運輸省が規制し、研究用の場合には科学技術庁と運輸省が規制するなど、それぞれ異なる輸送の規制が適用されています。複雑化した法規制に対して、どういう考えで放射線に対して安全を担保していくか、あるところで整理して考えるとともに、省庁間の連携を密にして必要な部分は一元化するなど整合のとれた法規制が必要です。

表５　放射線障害の防止に関連した規制法の概念的な分類例

<table>
<tr><th rowspan="2">放射線源</th><th rowspan="2">用途</th><th rowspan="2">規制法</th><th colspan="3">運搬に関する規制</th><th rowspan="2">職種</th><th rowspan="2">規制法</th></tr>
<tr><th>陸上輸送</th><th>海上輸送</th><th>航空輸送</th></tr>
<tr><td>ウラン
プルトニウム
トリウム</td><td>核燃料、
廃棄物、
研究</td><td>原子炉等規制法</td><td>原子炉等規制法</td><td rowspan="4">船舶安全法</td><td rowspan="4">航空法</td><td rowspan="2">労働者</td><td rowspan="2">電離放射線障害防止規則</td></tr>
<tr><td rowspan="2">放射性
同位元素
（RI）</td><td>工業利用、
研究等</td><td>障害防止法</td><td>障害防止法</td></tr>
<tr><td rowspan="2">放射性
医薬品</td><td>薬事法</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">国家公務員</td><td rowspan="2">人事院規則</td></tr>
<tr><td>医療法</td></tr>
<tr><td rowspan="2">放射線
発生装置</td><td>工業利用、
研究　等</td><td>障害防止法</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>医療利用</td><td>医療法</td></tr>
</table>

１）原子炉等規制法：核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律
２）障害防止法　　：放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律

Ｖ．　放射線利用の促進に向けた課題

我が国では、昭和３０年に制定された原子力基本法において、「原子力の研究、開発及び利用は、平和の目的に限り、安全の確保を旨として、民主的な運営の下に、自主的にこれを行うものとし、その成果を公開し、進んで国際協力に資するものとする。」とされており、自主、民主、公開の原則がうたわれています。この基本原則の下、我が国における放射線利用は進められていますが、放射線には、原子力のイメージや健康リスクへの懸念から、常に一種の懐疑と警戒心が先行しているのが実状です。このため、放射線の利用を行っている機関が、その成果の受け手である国民の抱く警戒感を払しょくし、安心感をもってもらう努力をこれまで以上に行うことが求められます。特に放射線の健康影響については、積極的な研究成果の公開や基礎的な研究の推進などを行うことが大切です。本章では、今後、引き続き放射線利用を進めていくために、課題として考えられることと、その解決のために必要な方策について、分科会としての検討結果を述べます。

１．情報公開と共有

（１）わかりやすい情報の提供

放射線を利用するに当たっては、その有用性に対する国民の理解を求めつつ進めることが不可欠です。例えば、放射線治療の場合、最初は不安感から拒否する患者さんでも、十分な説明を受け納得できれば治療を受け入れます。放射線を避けようとする最大の原因は、被ばくによる人体影響への不安や未知のものへのおそれなどが考えられます。これは、放射線に関する情報が不足しているため、理解がなかなか進まないことも一因と考えられます

特に昨年発生したＪＣＯ事故においては、周辺地域にまで放射線が到達してしまいました。このため、周辺住民の方々はもとより、多くの国民が低線量の放射線の人体影響に対して不安を抱きました。この事実を厳正に受け止め、行政などの機関においては、この不安解消に向けた取り組みを早急かつ的確に行うことが必要です。

まず、留意しなければならないのは、放射線利用において、一般国民が被ばくするのは医療利用の場合だけであり、その他の利用に際しては直接的、間接的にせよ、適切な管理の下では被ばくは考えられません。また、医療利用において受ける放射線量については、例えば一回の胸部Ｘ線撮影で受ける線量は、直接撮影の場合で平均0.29㎳v、間接撮影で平均0.74㎳v程度の極めて微量な線量であり、これによると見られる影響は検出されていません。

放射線利用について正しい理解が得られない原因の一つは、医療を除き利用の場とその恩恵を受ける人々の生活の場がかけ離れていることがあげられます。消

費者は花の色には興味を示しますが、生産に関する情報には関心があまりなかったり、生産者側が放射線を利用して生産した商品であることを明示しないという、消費者に見えない放射線利用が行われてきたのが現状です。食品の衛生などに関する消費者の関心の高まりから、生産者を明示して台所と生産者を直結させる動きがでてきています。食品の場合には、放射線照射を認められているのはジャガイモの発芽抑制のためのみとなっていますが、他にも様々な利用方法があります。今後放射線利用を推進するためには、行政としてこのような動きにきちんと対応するとともに、生産者側からも正確な情報の提供が求められます。また、行政と生産者がそれぞれ消費者との対話の場をもち、理解を求めていくことも必要です。

国民の理解を求める上では、求められている情報に沿って具体的かつ十分な解説や情報提供をわかりやすく行うことが必要です。例えば、沖縄の農産物が全国に流通している背景に放射線利用によるウリミバエ根絶があったことなど事実と現状を正確に国民に伝えることがその一つです。特に不安を解消するためには、信頼できる情報源からの安全性に関する科学的説明が必要です。現在、いくつかの公的機関から食品照射に関するデータが提供されていますが、このデータは一般の人向けになっておらず、わかりにくいという指摘もあるため、改善が求められます。特に専門用語の使い分けが理解しにくいとの指摘もあり、用語の見直しをするなどわかりやすい言葉で情報を伝えることが必要です。また、現状では情報提供の不足も指摘されているため、データを保有する機関からの積極的な情報発信が必要です。現在、行政や事業者により行われている草の根的な啓発活動や体験学習についても今後充実させることが必要です。

さらに、放射線利用においても廃棄物が発生する場合があるということを理解してもらうことは必要であり、廃棄物処分のための立地に向けた理解を得るために積極的な情報公開を行うことが求められます。

（２）放射線教育

放射線の利用が健全に行われるためには国民の理解が不可欠であり、このためには教育が最重要課題であるといえます。放射性物質や放射線は決して特殊な存在ではなく、自然界の基本的存在として位置づけられるものです。このため、初等中等教育、高等教育とレベルに合わせて段階的に学習することにより、理解を深める場を提供することが必要です。

放射線教育が十分に行われているかどうかは、理科教育が適切に行われているかどうかの指標でもあるといえ、学校教育の推進や、国などの中立的な立場での放射線影響研究の推進と成果の公表により、与えられた情報を的確に理解できる土壌作りが必要です。具体的には、原子力関係者が、自ら教科書や副読本を執筆

するなど、教育現場で取り上げてもらえるような働きかけを行う努力が必要です。

一方、放射線利用に当たっての安全を確実に担保するという意味で、放射線に関する業務に従事する行政官、放射線取扱者や理科教師、教科書や副読本の執筆者などについても一定の間隔で再教育を行うなど、実務者や専門家に対する教育のあり方について検討する必要があります。

なお、原子力／放射線利用の理解増進のために、これまではＰＡ（パブリック・アクセプタンス）という言葉が使われてきましたが、これからは、知識を共有するためのコミュニケーションが重要です。このコミュニケーションをどのように展開していくか、今後検討していくことが重要です。

２．人材育成

医療の分野においては、医学物理士（医用物理、医用画像工学などの技術者）や放射性医薬品を取り扱う薬剤師などの人材が非常に少ないことが基礎研究や放射線診療の質の向上を阻害する要因の一つと考えられます。このため、周辺技術に必要な人材の層の充実が急務の課題です。また、食品照射については、ジャガイモへの照射認可以来、食品照射の時間的な空白があったため、過去の経緯やデータを知る研究者が減少し、今後の国際的な動きへの対応を考えた場合、専門家不足が懸念されます。このように、放射線利用を今後促進するに当たって、様々な分野において人材が不足している現状を踏まえ、これを解消するための早急かつ的確な方策を講ずる必要があります。また、これまでの放射線教育を一層充実させるとともに、確保した人材については不断の研修を義務づけるなど、その技能、能力の維持・向上に努めることが求められます。

さらに、放射線診療の現場では、放射線管理を行う医師、診療放射線技師、薬剤師及び看護婦などが十分な理解と訓練に基づいて業務に従事できるように、放射線利用・管理に特化した教育を基に新たな資格を与える方策も有効であると考えられます。

なお、現在も各省庁などにおいて放射線利用に従事する人材の育成を行うプログラムが設けられていますが、必ずしも整合性をとりながら実施されているとはいえない面があります。今後、人材の育成を効果的に行うには、各機関バラバラでなく連携をとりつつ、効果的なプログラムを整備することが必要です。

３．研究環境の整備

（１）国の役割

①基礎研究等の推進

放射線を利用するに当たっては、利用を支える基礎的な研究、基盤的な研究を充実することが必要です。放射線利用に関する研究予算は現状で決して十分とはいえず、例えば、放射線利用のための新たな競争的資金を創設し、原子力委員会の方針に沿って、省庁間の連携を十分に保ちながら一体的かつバランスの良い研究開発を遂行できるようにすることも重要です。

基礎研究や基盤技術の研究開発など新しい技術の芽を産み出すような課題は、国が中心となって取り組む必要があります。また、技術移転システムを構築することにより、公的機関の研究成果を民間企業が利用しやすい環境を整備することも重要です。さらに、これら成果を活用したベンチャー企業の創設に当たって支援を行うことは、経済活性化の観点からも重要です。

②研究環境の整備（ＲＩの扱いを中心として）

ＲＩ、放射線を用いた研究開発などを推進するには、科学的魅力と社会的ニーズ、人材確保、研究体制、施設設備の維持などが重要であり、計測・管理技術などの関連技術、原料確保、安定供給が必要です。さらに、規制政策、技術政策、廃棄物政策が影響し、最終的に国民の理解を得ることにより利用が進んでいくこととなります。ＲＩの利用を円滑に進めるためには、供給、輸送、処理・処分までの各層の体制を整備することが必要不可欠です。特に処理・処分については発生者責任の原則の下、国が必要に応じ支援を行うことが望まれます。また、ＲＩの供給については、非常時の協力体制、海外ルートの確保なども利用を進めるための重要な要因の一つです。

ＲＩを用いた研究など、放射線の利用を進めると、原子力発電所における核燃料と同様に、廃棄物が発生します。しかしながら、ＲＩ廃棄物は、ごく一部の核種を除けば、半減期が短いため、安全に長期間保管しておけば、その放射能は減衰しほとんどなくなってしまいます。従って、一定レベル以下の放射性物質については、その処理・処分に当たって、放射性廃棄物として考慮する必要はないものと考えられます。一方、原子力安全委員会で、あるレベル以下では放射性物質として考慮する必要のない値として「クリアランスレベル」の設定を行うべく、現在検討がなされています。

ＲＩ利用促進のためには、廃棄物の処理・処分システムの確立が不可欠であり、このクリアランスレベルを踏まえ、核種や放射能レベルに応じた安全かつ合理的なＲＩ廃棄物の処理・処分を実施することが必要です。既に、「ＲＩ・研究所等廃棄物事業推進準備会」が関係機関により発足し、試験研究炉や核燃料使用施設

などから発生した研究所等廃棄物も含めて処分方法、処分費用負担などの諸問題を検討しているところです。また、処分場の立地に当たっては、住民の方々の十分な理解を得ながら対応することが必要となります。なお、放射性廃棄物を安全かつ合理的に処分するためには、利用者だけでなく機器や製品の供給者なども廃棄物発生量の抑制に努めることが不可欠です。

（2）連携のための方策

放射線を用いる技術は多くの分野にわたり活用されています。しかし、多岐にわたる広がりを十分に活かすだけの体制が構築されているとは必ずしもいえません。

従来は、政府主導で新産業創出を進めてきましたが、市場ニーズに関する理解不足、非効率な資金配分、産業界の活力が活かされないといった指摘がなされています。これらの問題点を解決するために、例えば、新産業創出に向けて設定された研究開発テーマに関し、産官学がネットワークを構築して協力することが必要です。

その際、国は、規制の合理化、研究の戦略的推進、集中的な資金投入、大型施設などの開放利用といった役割を果たすことが必要です。大学など基礎的な研究を担う研究機関は、教育機関でありかつ研究機関であるという面や自主性と幅広い人材の結集が容易であるという利点を活かして、新たなシーズの開拓を行うことが期待されます。さらに、将来の放射線利用を担う人材の育成を積極的に行うことが求められます。

産業界は、実利用の場に最も近い位置にいることから、様々な重要な役割が期待されます。例えば、放射線利用の利点について積極的に情報を提供したり、消費者が何を求めているのかを的確に認識し、ニーズに対応した利用法の開発や、新たなニーズの開拓を行うことが必要です。さらに、研究開発活動から得られた成果を活用した新産業創出に向けた技術開発もその重要な役割の一つです。

このような産学官の連携に加え、必要なことは、省庁間の連携です。連携の課題の一つは組織間の壁であり、省庁間の調整がこれまで必ずしもうまくいっていなかった状況を改善する方策を検討する必要があります。具体的には、省庁間に定常的な連絡組織などを設置することも考えられます。また、ニーズに基づいた研究資金の適切な配分と成果の評価、評価の資源の配分への反映などのメカニズムを構築することが必要です。

４．法的規制の合理化

放射性物質や放射線を利用する機器は、その性質や用途により適用される法令が異なり、場合によっては、複数の法令が適用されるものがあります。このようなものについては、一元化できるものについては関係省庁により調整が図られています。利用と規制は車の両輪であり、科学的・技術的整合性を取りながら必要な規制を行いつつ、効率的な利用が可能となるよう、社会情勢の変化も考慮に入れつつ、より高度な科学的合理性に基づいた規制が望まれます。さらに、省庁間のデータベースを整備することなどにより、許認可手続きの簡略化が期待できます。なお、安全基準を策定する際には、議論を公開の場で行うことにより規制の決め方やリスクなどについて国民の理解を深めることが重要です。

Ⅵ．　国際社会との調和

１．我が国の役割

我が国は、被爆体験を踏まえ、二度とこのようなことが起こらないようにという強い思いと、この出来事を過去のものにしてはいけないという決意の下、これまで関係者の真摯な努力の積み重ねにより、原子力の平和利用を基本とした放射線の正しい活用や原子力エネルギーの適切な運用管理に力を注いできました。今後、これまでの体験から学んだ数々の知見をもとに、これまで以上に主体性をもって原子力／放射線の平和利用に関するメッセージを世界に発信していくことは我が国の重要な役割の一つです。

我が国は、放射線の健康影響に関する分野において豊富な研究実績を有するとともに、高い学問的レベルにあります。世界における研究の中核的な拠点になり得ることから、これまでの知見を活かした国際協力をすすめることは重要です。例えば、これまでに保有している情報をデータベースとして整備することも有効であると考えられます。

放射線の健康への影響に関しては、政府関係研究機関、大学などで調査研究が行われており、その研究結果の行政への反映などについては、地方自治体を含む行政レベルで推進しています。特に、放射線影響研究所（放影研）では、広島・長崎の被爆者に関して１２万人の調査対象集団を有しており、寿命調査や遺伝調査を行うことにより、貴重なデータを得ています。これらの貴重な調査研究成果をもとに、現在、関係する各機関によってチェルノブイリ、セミパラチンスク被ばく影響調査での国際医療協力が実施されており、現地ならびに国際社会において高く評価されています。また、広島県や長崎県は、北南米在住の原爆被爆者などに対しても、検診などを実施しています。

近年、アジア地域においても、放射線の利用が盛んになってきており、これに伴い、被ばく事故も発生しています。このような事態に対し、我が国がこれまで蓄積した知見を活かし、国外（特にアジア）での放射線被ばく事故に対しての援助・支援（緊急被ばく医療に関するアドバイス、人の派遣、患者受入など）を積極的に行っていくことが求められています。また、このような国々では、放射線管理制度が整備されていない場合もあるため、必要な技術的支援を行っていくことも重要です。このため、国際的に開かれた放射線関連情報ネットワークの体制を構築することが必要です。

２．研究開発における国際協力

これまでも述べてきたように、我が国は高い放射線利用技術を有しており、こ

の技術を、アジア、東欧などの利用技術の定着が必ずしも進んでいない国に対して普及していくことは非常に有効であると考えられます。このような国際協力においては、地域の特質やニーズを踏まえた技術移転、技術の定着に向けた人材養成、相互補完する協力研究・共同利用が必要です。
地域別に見れば、以下のような協力を行うことが必要です。

・東南アジアとの協力
（放射線の工業および農業利用、医療利用の促進に向けた人材育成、放射性廃棄物の安全確保、放射線安全の考え方の普及、技術指導など）
・ロシア、東欧との協力
（工場などからの排煙処理、被ばく者医療などに対する協力、技術指導など）
・欧米との協力
（新材料創製プロセス研究など、先端的な利用法に関する研究協力）

なお、国際協力においても、省庁間の連携が少なく、協力形態に必ずしも整合性のとれていない現状は問題であり、我が国として一体的に協力して国際的な貢献を行っていくことが求められています。

３．国際的環境との調和

近年、食品照射に関しては、国際規格の制定や地域的な規制調和（ハーモニゼイション・オブ・レギュレーション)の動きがあり、照射食品の国際流通が盛んになってきています。世界的に食品照射の実用化が進む中で、世界でも有数の食糧輸入国である我が国にも将来的に放射線照射食品が入ってくる可能性は否定できないため、検知技術の開発などを進めるとともに、照射の有無の表示法の整合性など、世界の動きに調和した規制を実施することも求められます。

また、世界的に、放射線を利用した製品や放射線の照射された食品が流通している中で、安全かつ安心して利用を行っていくために、我が国から放射線利用に関する成果を発信して国際的な枠組みの整備に貢献していくことも重要な責務であると考えられます。例えば、国際的な防護基準、被ばく測定・評価方法及び計測の品質保証の指針や勧告の構築、改善や合理的な実施への貢献があげられます。

ＩＡＥＡでは、ＩＣＲＰ１９９０年勧告に基づいてＢＳＳ（電離放射線の防護および放射線源の安全のための国際安全基準）で医療に用いる放射線量などのガイドラインを提示しています。例えば、こうしたガイドラインを基に国際的な基準作りに我が国が参加し、すべての人々が安全に放射線を利用できるようにすることは、非常に意義のあることだといえます。

Ⅶ．　提　言（むすびにかえて）

放射線は、約１００年前のＸ線の発見以来、その特長を活かして、医学を中心に利用が進められ、加速器や原子炉の登場により、工業や農業などの様々な分野に広がって国民生活の向上に寄与してきました。また、２０世紀前半に物質の構成単位である原子の構造や性質の解明が急速に発展してきました。その結果、放射線の発生する仕組みがわかり、放射線は原子の力の一部であることが明らかになりました。

一方、人類は原子力の持つ巨大な潜在力を軍事目的に利用する過ちを犯し、原爆がもたらした広島・長崎の惨状は、原子力が生み出す破壊力と放射線がもたらす健康障害の恐ろしさを人々の心に深く植え付けました。我が国は、このような被爆体験を踏まえて原子力の平和利用の重要性を世界に訴えるとともに、主体性を持ってエネルギー利用や放射線利用を積極的に推進してきました。

放射線利用は、多くの科学技術分野を育て、国民生活の向上に役立っていますが、その多くは知られていません。一方、チェルノブイリ原子力発電所事故やウラン加工工場臨界事故（ＪＣＯ事故）などが、放射線に対する人々の恐怖心を助長させ、放射線の利用に対する忌避感には根強いものがあります。このため、放射線についての正しい知識の浸透と放射線利用に対する理解をすすめることが必要です。

放射線は、賢く使えばよりよい暮らしを実現し、社会に活力を与えうる利器として、さらに国民生活に役立てることが可能です。しかし、取り扱いを誤れば健康に影響を及ぼす危険な道具でもあるため、放射線を「むやみに怖がらず正しく理解する」ことにより、両刃の剣を上手に利用することが期待されます。

本分科会は、これまでの放射線利用の歴史を踏まえ、利用の現状とその問題点を認識し、２１世紀に健康で豊かな国民生活を実現するため、質の高い医療、食料の安定供給、環境保全などに貢献しうる放射線利用のあり方及びその推進方策を審議し、将来の放射線利用のあるべき姿を示すことを目的として、以下の提言を取りまとめました。ここであげられている提言が実行に移されることにより、放射線利用に対する国民の理解が進み、放射線の適切な利用による豊かな生活が実現されることを期待します。また、放射線利用は多岐にわたり、担当省庁も複数にのぼることから、省庁横断的な協力や協調を円滑に進めるために、原子力委員会が強力なリーダーシップをとられることを望みます。

１．国民生活への貢献を目指して

（医療分野における応用・利用による生活の質の向上）

・放射線を利用した診断と治療を一層進めるためには、国が、医療、医学研究に携わる人々と連携して、情報公開に加え、医療従事者を含めた国民の教育、啓発を進め、放射線利

用の意義、便益及び安全性に対する理解を深めるよう努力することが必要です。
・今後診断・治療技術を一層高度化するためには、診断・治療における被ばく線量の低減化とともに、新しい医療用線源や放射性医薬品の開発による放射線診療の範囲を広げるための研究開発を総合的、集中的に行うことが必要不可欠であり、そのための環境整備を産学官が協力して進めることが必要です。

（食品照射による食品の衛生化と損失防止）
・食品照射は、衛生的で食中毒の心配のない食品を安定して供給し、腐敗による食料の損失を防ぐ殺菌技術の有力な選択肢の一つです。国民が食品照射を受け入れられるように、国は、食品照射の必要性と便益、他の手法との比較による利点や安全性について正確かつわかりやすい情報提供と解説を行っていくべきです。また、担当省庁間の連携を密にし、横断的な協力関係を構築すべきです。
・食品照射に対して国民が抱く不安感をなくし、衛生的な食生活を求める社会のニーズに沿って食品照射の実用化を図るためには、照射食品の健全性の研究と輸入照射食品の検知技術の開発を進めることが重要です。また、消費者の自由な選択を尊重するために流通・販売の透明性を確保することが必要です。さらに、国際的な整合性をとった環境づくりが必要です。

（放射線育種による食料の安定供給）
・放射線育種に関しては、食料の安定供給を目指した農業利用に加えて、環境保全型の植物資源の育種も視野に入れた幅広い研究の展開が望まれます。そのため、国の研究機関は、新たな育種技術の展開に向けた体制づくりを主導的に進める必要があります。また、途上国に対する育種技術開発の援助を実施することが必要です。

（工業・環境保全への利用による新産業創出）
・環境保全技術、バイオ技術や新材料開発などの先端技術と新しい放射線の活用を推進するための基盤研究、ならびに資源確保、省エネルギーなどの社会的な課題に応えるための技術開発を産学官が協力して推進する必要があります。また、国は積極的に民間への技術移転を図り、新産業創出に貢献していくべきです。

２．安心につながる安全を確保するために
（放射線の生体影響についての研究の推進）
・広島・長崎の被爆などの体験から貴重なデータを保有しています。今後、低線量放射線の人体影響について、関係機関が連携して、疫学研究や高感度の検出技術の開発をはじめ、動物実験やシミュレーション研究、遺伝子レベルの研究など様々な研究手法を用いて、よ

り広い視野のもとで基礎的な研究を総合的に推進することが必要です。

（環境への影響を理解するために）
・原子力／放射線が社会に安心して受け入れられるためには、放射性物質が環境中を移行・循環する仕組みを科学的に解明し、影響を予測する方法と環境を保全・修復する技術を開発することが重要です。また、原子力利用に関し、環境や社会との調和を目指し人文・社会科学的な検討を行う原子力の環境科学研究に関係機関が連携して取り組む必要があります。

（健康リスクの考え方をもとにした安全の確保）
・放射線防護基準の制定は、安全への信頼性を高め、安心をもたらすのに役立っています。現在、正確なデータの得られていないごく低線量の人体への影響については、広島や長崎の貴重なデータなどを基にして、安全を担保するように、より安全側に線量限度が定められています。合理的な防護基準の設定や防護手段の開発に資するために、疫学調査や放射線生物影響研究を推進し、正確なデータを得る努力が必要です。
・今後は、放射線源だけではなく他のリスク源とも積極的に比較するなどして、社会全体のリスクを最小にするというリスクバランスを考慮することが、これからの人々の安全確保には重要です。

３．放射線利用の促進に向けて
（国民に受け入れられる放射線利用を目指して）
・放射線の人体影響に対する国民の不安が増大していることから、国は、この不安解消に向けた取り組みの充実を図ることが必要です。
・国民が、放射線についての正確な知識を持ち、専門家と情報を共有できるように、日頃からのコミュニケーションが重要です。
・放射線の利用に関しては、必要性、安全性及び利用の現状についての情報が、国民に広く正確に知らされることが望まれます。それには、特に工業利用において、製品を利用する消費者が正しい情報を入手し理解できるように、製品をつくっている側（生産者）や国が努力する必要があります。また、このような活動を通じ、生産者と国が、消費者と情報を共有するとともに、対話の場をもち、相互に理解を深めていくことも必要です。
・国民の理解を求める上では、総花的、専門的ではなく、求められている事項について具体的な解説や情報提供を正確かつわかりやすく行うことが必要です。また、国や事業者により行われている草の根的な啓発活動や体験学習についても、これまでの活動を評価し、今後の計画に反映させることにより、活動の質を高めていくことが必要です。
・原子力／放射線が正しく理解されるよう、初等中等教育用教科書にその定義、性質、働

きなどを、正確に記載することが必要です。また、国などの中立的な立場での放射線影響研究の推進と成果の速やかな公表により、与えられた情報を国民が的確に理解できるための土壌作りが必要です。

（利用を支える人材の育成）
・周辺技術に必要な人材の質と層の充実が急務の課題であり、国や関係機関は、早急かつ的確な方策を講ずるべきです。
・人材育成にかかわる諸機関が、連携を取りながら専門家への再教育も含めた整合のとれた効果的なプログラムを整備することが重要です。

（研究環境の整備）
・放射線を利用するに当たっては、競争的研究資金の整備などにより、利用を支える基礎的な研究、基盤的な研究を充実するとともに、技術移転システムの構築などにより、実用化に向けた環境を整備することが重要です。また、これらを産学官のネットワークの下で有機的に連携しながら実行することが必要です。

（法規制のあり方）
・原子力／放射線の利用が進むに従い法律は複雑化し、複数の法体系がかかわる場合があります。今後は、関係省庁が放射線に対して安全を担保するため、共通の理解を図り、合理的・体系的な法規制とすることが必要です。
・合理的な法規制を考える際、より透明性を求める社会情勢の変化、国境を越えて放射性物質や核燃料物質が移動する機会が多くなった世界のグローバル化、ボーダレス化を考慮に入れ、国際的に合意される基準、規制などの取り入れについて、関係の国際機関との連携も必要です。

４．国際貢献
（国際協力と国際的環境との調和を目指して）
・我が国は放射線の健康影響に関する分野において貴重なデータとこれを基盤とした高い学問的レベルをもっており、この分野の研究の世界的な中核的な拠点になりうると考えられます。このため、データベースなどの整備を促進することにより、主体性をもった国際貢献を進めて行くべきです。
・国際的な放射線防護基準などに関して、我が国から放射線防護と利用に関する成果や経験を積極的に発信して国際的な枠組みの整備に貢献していくべきです。
・放射線利用の国際協力に当たっては、関係機関の連携の下、地域の特質やニーズを踏まえた技術移転、技術の定着に向けた人材育成、相互補完する研究協力・共同利用を進める

ことが必要です

（医療における我が国の国際的役割）

・広島・長崎の原爆被爆者の調査で得られた貴重な医学的データや最近のＪＣＯ事故の経験などを緊急被ばく医療対策で活用することは、国内はもとより国外での被ばく事故に対しても重要です。平素から事故を想定したシミュレーションを含め、幅広い対応が必要です。また、今後は、原子力施設の建設推進が予想されるアジア地域における国際医療協力も、その予防的見地や事故対策の技術移転の観点から国が積極的に推進していく必要があります。このため、海外の関係機関とも連携して、国際被ばく医療情報ネットワークを含む協力体制を構築することが必要です。

参　　考

原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画の策定について

平成１１年5月１８日
原 子 力 委 員 会 決 定

１．新たな長期計画策定の趣旨

現行の「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」(以下「長期計画」という。)の策定以来約５年が経過し、この間に、原子力をめぐる国内外の情勢は大きく変化してきている。このため、これまで８回にわたって策定されてきた長期計画が我が国の原子力研究開発利用において果たしてきた役割を踏まえ、21 世紀社会に向けた新たな長期計画について検討を行うことが求められている。

このような状況を踏まえ、２１世紀を見通して我が国がとるべき原子力研究開発利用の基本方針及び推進方策を明らかにするため、新たな長期計画の策定を行うこととする。

２．検討事項

(１) ２１世紀社会に向けた長期計画の在り方
(２) 原子力と国民・社会
(３) エネルギーの安定供給を支える軽水炉発電体系
(４) 高速増殖炉及び関連する核燃料サイクル技術の研究開発
(５) 未来を拓く先端的研究開発
(６) 国民生活に貢献する放射線利用
(７) 新しい視点に立った国際的展開
(８) その他

３．検討の進め方

(１) 長期計画策定会議の設置

新たな長期計画の策定に資するため、原子力委員会に長期計画策定会議(以下「策定会議」という。)を設置する。策定会議の審議事項等は次のとおりとする。

① 審議事項

長期計画の策定に必要な事項の調査審議を行い、新たな長期計画案を作成し、原子力委員会に報告する。

② 構成

(イ) 策定会議の構成員は別紙のとおりとする。

(ロ) 調査審議を円滑に行うため、必要に応じ、策定会議に分科会等を設けることができるものとする。

分科会等の構成員は策定会議の座長が定める。

(ハ) 原子力委員は、策定会議及び分科会等の調査審議に参加する。

③　審議の進め方

(イ) 策定会議及び分科会等の議事は、原則として公開とする。ただし、策定会議又は分科会等が議事を公開しないことが適当であると判断したときは、この限りでない。

(ロ) 長期計画案を取りまとめるに当たり、その内容について、幅広く国民の意見を聴取するための措置を講ずるものとする。

(ハ) 長期計画案について国際的な理解と協力が得られるよう、努力を払うものとする。

(ニ) 策定会議及び分科会等は、相互に十分な連携を図るものとする。

(２) 既設の専門部会等においては、新たな長期計画の取りまとめが円滑に行われるよう運営に配慮する。

長期計画策定会議構成員　　(別紙)

秋元　勇巳	三菱マテリアル(株)社長
秋山　守	(財)エネルギー総合工学研究所理事長
石川　好	(株)社会基盤研究所会長
石橋　忠雄	弁護士
稲盛　和夫	京セラ(株)名誉会長
太田　宏次	電気事業連合会会長
長見　萬里野	(財)日本消費者協会理事
桂　直樹	農業生物資源研究所長
金井　務	(社)日本電機工業会会長
河瀬　一治	敦賀市長
神田　啓治	京都大学原子炉実験所教授
草間　朋子	大分県立看護科学大学学長
熊谷　信昭	大阪大学名誉教授
黒澤　満	大阪大学大学院国際公共政策研究科教授
近藤　駿介	東京大学大学院工学系研究科教授
佐和　隆光	京都大学経済研究所教授
下山　俊次	日本原子力発電(株)最高顧問
鈴木　篤之	東京大学大学院工学系研究科教授
鷲見　禎彦	日本原子力発電(株)社長
澄田　信義	島根県知事
住田　裕子	弁護士
竹内　哲夫	日本原燃(株)社長
千野　境子	産経新聞論説委員
妻木　紀雄	全国電力関連産業労働組合総連合会長
都甲　泰正	核燃料サイクル開発機構理事長
鳥井　弘之	日本経済新聞社論説委員
長瀧　重信	(財)放射線影響研究所理事長
那須　翔	東京電力(株)相談役
西澤　潤一	岩手県立大学長
橋田　壽賀子	脚本家
松浦　祥次郎	前日本原子力研究所理事長（第７回まで）
村上　健一	日本原子力研究所理事長（第８回以降）
森嶌　昭夫	(財)地球環境戦略研究機関理事長
吉岡　斉	九州大学大学院比較社会文化研究院教授

(五十音順)

(平成１２年５月時点)

長期計画策定会議の分科会について

平成１１年７月２日
長期計画策定会議

１．分科会

長期計画策定会議の調査審議を円滑に行うため、同会議に以下の分科会を設ける。

分科会名	検討事項
第一分科会（国民・社会と原子力）	情報公開・提供、意見聴取、教育、立地地域との共生等の国民・社会と原子力に関する事項
第二分科会（エネルギーとしての原子力利用）	新エネルギーとの比較等エネルギー政策の中の原子力利用の在り方、放射性廃棄物処分を含む核燃料サイクル政策の明確化及び原子力産業の在り方に関する事項
第三分科会（高速増殖炉関連技術の将来展開）	高速増殖炉とこれに関連する核燃料サイクル技術の在り方、方向性及び今後の課題に関する事項
第四分科会（未来を拓く先端的研究開発）	加速器、核融合、研究炉、レーザー等の先端的研究開発の推進方策及び我が国全体としての研究開発体制の在り方に関する事項
第五分科会（国民生活に貢献する放射線利用）	質の高い医療の実現、食料の安定供給といった国民に身近な放射線利用の在り方及び推進方策に関する事項
第六分科会（新しい視点に立った国際的展開）	多様な政策手段を活用した、包括的・戦略的な国際協力の在り方及び国際的な核不拡散の強化に向けた原子力平和利用の展開に関する事項

２．合同分科会の開催

分科会は、相互に関係の深い事項を審議するときには、必要に応じて合同分科会を開催することができる。

原子力委員会長期計画策定会議第五分科会委員
[国民生活に貢献する放射線利用]

（座長）	久保寺　昭子	東京理科大学薬学部教授
（座長）	佐々木　康人	放射線医学総合研究所長
	碧海　酉癸	消費生活アドバイザー
	阿部　光幸	兵庫県立成人病センター総長
	石榑　顯吉	埼玉工業大学先端科学研究所教授
	小野田　武	三菱化学（株）顧問
	桂　直樹	農業生物資源研究所長
	加藤　順子	（株）三菱化学安全科学研究所横浜研究所部長研究員
	小佐古　敏荘	東京大学原子力研究総合センター助教授
	須藤　豊	東北電力（株）常務取締役
	高田　稔	（社）日本アイソトープ協会医薬品部長
	武部　啓	近畿大学原子力研究所副所長
	土肥　博雄	広島赤十字・原爆病院副院長
	林　徹	農林水産省農林水産技術会議事務局研究管理官
	前田　充	日本原子力研究所理事
	山下　俊一	長崎大学医学部教授
	渡邉　孝男	原子燃料工業（株）専務取締役

（平成１２年６月現在）

長期計画策定会議第五分科会 審議経過

第１回：平成１１年　９月１０日（金）
　議題（１)国民生活に貢献する放射線利用について
　　（２)放射線利用に関する長期計画の在り方について
　　（３)今後の検討の進め方について
　　（４)その他

第２回：平成１１年１０月２９日（金）
　議題（１)医療全体における放射線利用について
　　（２)その他

第３回：平成１１年１１月　９日（火）
　議題（１)食糧の安定供給の観点からの放射線利用について
　　（２)その他

第４回：平成１２年　１月１７日（月）
　議題（１)環境保全への貢献及び工業分野への応用について
　　（２)その他

第５回：平成１２年　２月２９日（火）
　議題（１)放射線の健康影響について
　　（２)その他

第６回：平成１２年　３月２１日（火）
　議題（１)横断的事項について
　　（２)その他

第７回：平成１２年　４月２０日（木）
　議題（１)第五分科会報告書骨子案について
　　（２)その他

第８回：平成１２年　５月１７日（水）
　議題（１)第五分科会報告書（案）について
　　（２)その他

第９回：平成１２年　５月２６日（金）
　議題（１)第五分科会報告書（案）について
　　（２)その他