

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

． はじめに	1
． 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	1 3
(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	1 9
(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	
． 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	2 1
(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	2 5
(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)	
． 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	3 9
2 ． 健康リスクと放射線安全の確保	4 1
(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	4 5
4 ． 緊急被ばく医療と国際被ばく医療協力	4 8

(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	5 0
. 放射線利用の促進に向けた課題	
1 . 情報公開と共有	5 3
(1) わかりやすい情報の提供	
(2) 放射線教育	
2 . 人材育成	5 5
3 . 研究環境の整備	5 6
(1) 国の役割	
(2) 連携のための方策	
4 . 法的規制の合理化	5 8
. 国際社会との調和	
1 . 我が国の役割	5 9
2 . 研究開発における国際協力	5 9
3 . 国際的環境との調和	6 0
. 提言 (むすびにかえて)	6 1

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きた場合に、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人が亡くなりました。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徴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出来ます。

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、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の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。

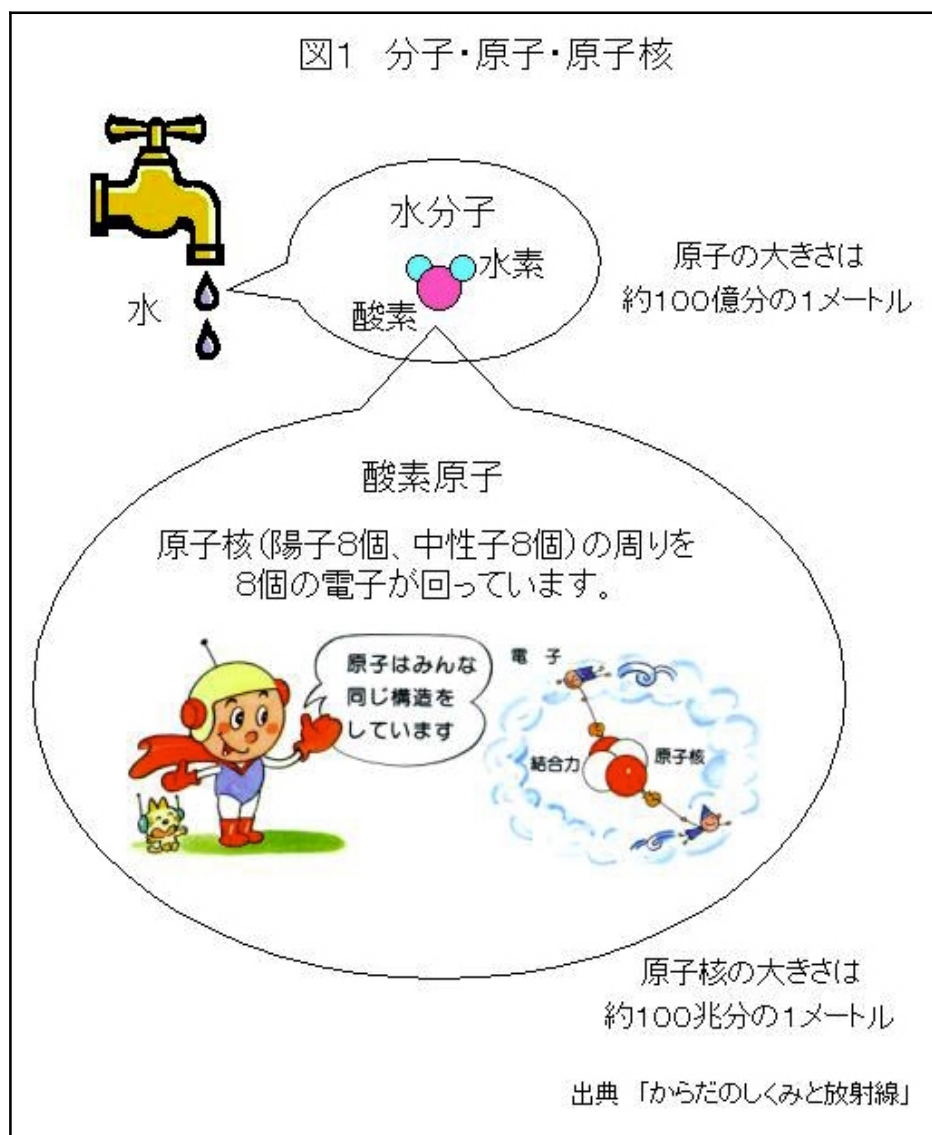
放射線について

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」と電氣的に中性の「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。



(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、なかなか区別が付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」、「R I」などとも呼ばれます。

R I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。R I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。

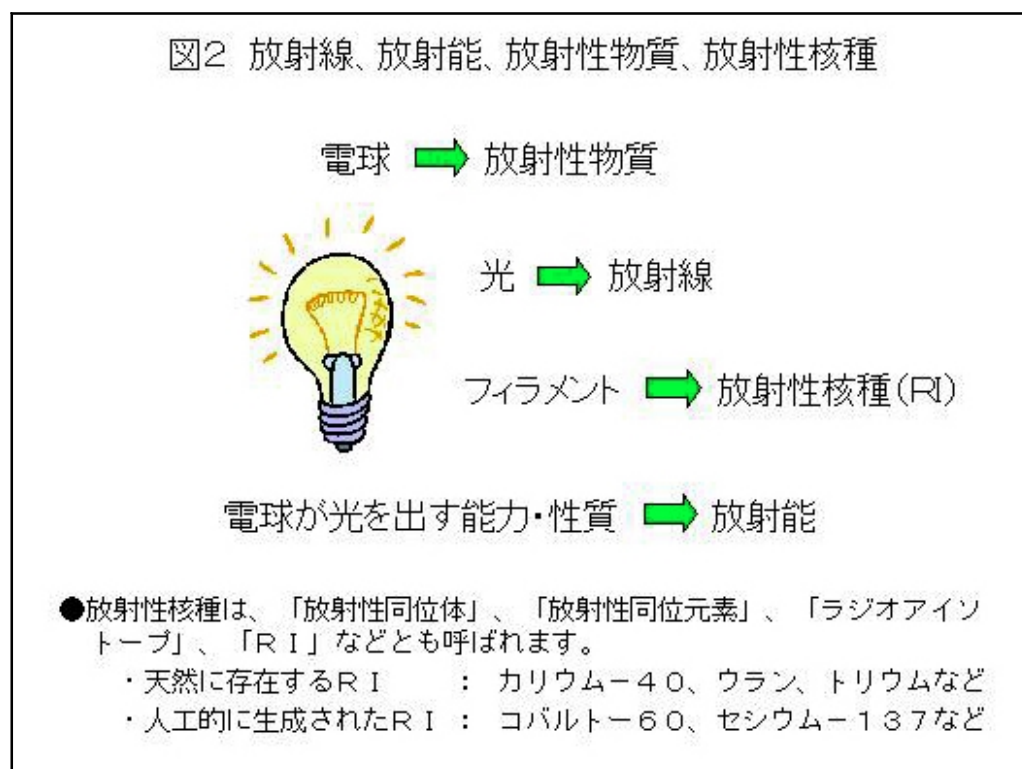


図3 放射線に関連した単位 — 放射能とエネルギー —



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あたりに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、R I 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。

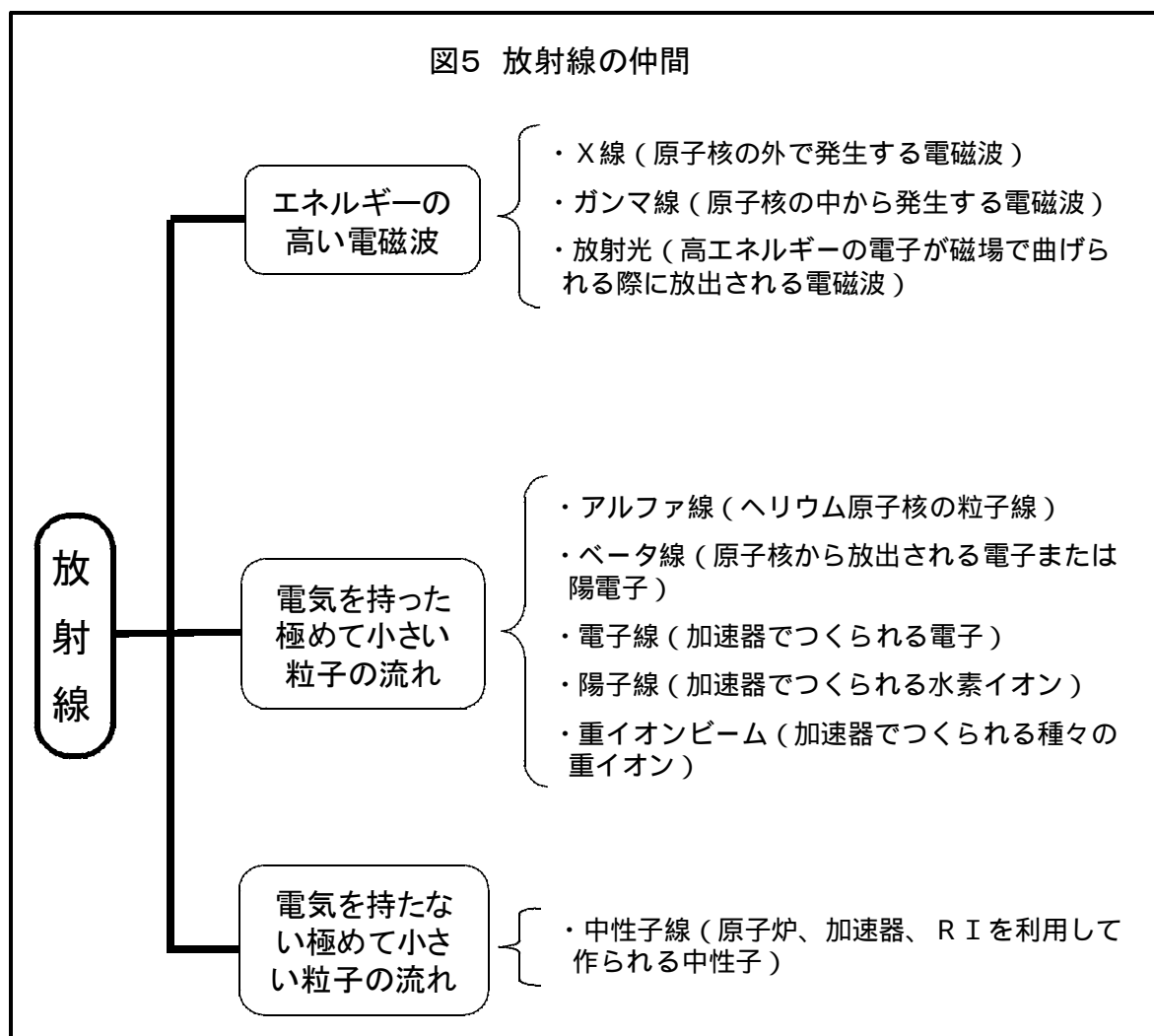


表1 法令上の放射線の定義

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おける放射線

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2.4 mSv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1.1 mSv
- ・呼吸により空気中のラドンから約1.3 mSv

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1.4 mSv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（R I）（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変換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R I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



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

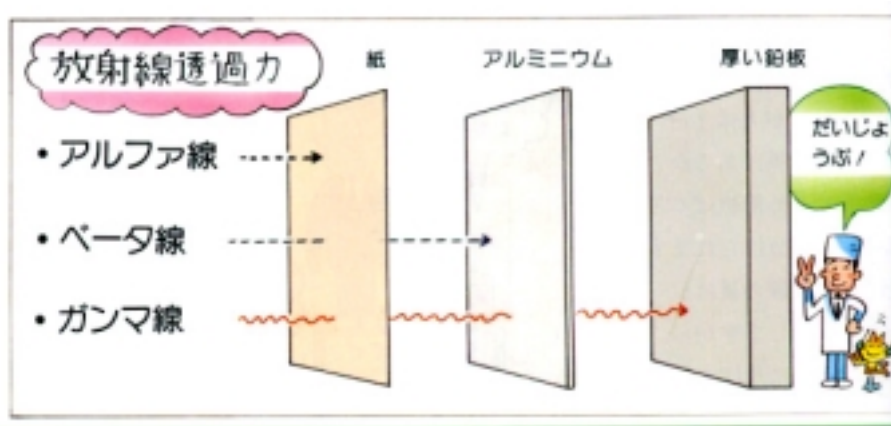


励起

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-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R I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R I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R I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 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	1896 咽頭がん患者にX線治療を行い、鎮痛効果を得る		
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 1903 それをラザフォードがガンマ線と命名 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	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 子宮がんにはラジウム腔内照射を行う 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 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	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		
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 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	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法の原理を提唱 1938 米国で速中性子治療を実施	1937 ニップリングが不妊虫放飼法を提唱	
40	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 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 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	1942 甲状腺機能亢進症の治療 1946 ベータ線電子線治療始まる 1948 ベータ線X線治療始まる 米国で放射性医薬品の市販		

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	<p>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</p> <p>原子力発電が初めて米国で行われる 米国との間でR Iの民間貿易開始</p> <p>1952 理化学研究所小型サイクロトロン再建</p> <p>1954 最初の原子力予算が成立</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>1957 日本</p> <p>放射線総合医学研究所（放医研）が発足</p> <p>1958 放射線障害防止法施行</p>	<p>1950 治療用ライナック完成</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>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 米国で99Mo-99mTcジェネレータを開発</p> <p>1958 米国でガンマカメラ（アンガー型）を発表</p>	<p>1950 ラセンウジバエの不妊化に成功</p> <p>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</p>	<p>1952 ポリエチレンの放射線架橋を発見</p> <p>1954 日本で高分子照射開始</p> <p>1957 この頃にコバルト-60照射施設等が相次いで完成</p> <p>1959 放射線グラフト重合の特許を欧州より導入</p>
60	<p>1960 農林省放射線育種場設置</p> <p>1961 立教大原子炉</p> <p>1963 武蔵工大原子炉（トリガII型）が臨界 原研高崎研究所が発足 日本で初めて原子力発電に成功</p> <p>1964 京大原子炉実験所研究炉KURが臨界</p> <p>1967 動力炉・核燃料開発事業団（動燃）が設立</p>	<p>1963 クールがSPECTの原型を発表</p> <p>1964 術中照射を開始</p> <p>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</p>	<p>1961 農林省放射線育種場でガンマ線照射開始</p> <p>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</p> <p>1966 カナダで照射ジャガイモを初出荷</p> <p>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</p>	<p>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</p> <p>1961 民間で放射線によるフェノール生成開始</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>1969 原研が放射線によるポリ塩化ビニールの改質に成功</p>
70		<p>1970 放医研でバンデグラフを用いた速中性子治療開始</p> <p>フランスで世界初の心臓R Iペースメーカーの体内移植に成功（プルトニウム-238使用）</p> <p>1972 米国でX線CTを発表</p>	<p>1970 オランダで照射キノコを販売</p> <p>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</p>	<p>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</p> <p>1971 医療用具の放射線滅菌が認可される</p>

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	1975 ABCCを改組し、放射線影響研究所が開所 1979 米国スリーマイル島原発	1973 放射性医薬品 ²⁰¹ TiCl ₃ を心筋血流検査に導入 1974 パイ中間子治療開始 1975 放医研で中性子線治療開始 米国でPETを発表 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	1973 ジャガイモ照射施設が北海道士幌農協に完成 1974 ジャガイモへの食品照射が実用化され、初出荷 1976 小笠原にミカンコミバエ不妊化施設が完成 1978 久米島のウリミバエ根絶に成功	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 1976 フッ素樹脂ワックス処理実用化 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中のウラン捕集のための複合吸着剤の開発に成功 1979 セメント瓦の表面処理の工業化
80	1986 ソ連チェルノブイリ原発		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 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 1985 奄美群島喜界島のウリミバエ根絶に成功	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 放射線重合を利用した電池用隔膜の工業化 1985 タイヤ製造プロセスに放射線照射を導入 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 1995 「もんじゅ」でナトリウム漏 1997 SPring-8で放射光ファーストビーム 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 1999 ウラン加工工場臨界事故(JCO事故)	1994 放医研で炭素イオンによる重粒子線治療が開始	1993 奄美諸島と沖縄県でウリミバエ根絶に成功 1994 WHOが10kGy以下の照射食品の健全性を再確認 1997 WHOが10kGyを超える照射食品の健全性を確認	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 中国成都の石炭火カプラントで実証試験プロジェクトが開始 1998 炭化ケイ素繊維の工業化

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広がっています。放射線利用のプラス面を次に紹介します。

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、逆に放射線の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療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の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、様々な環境を經由して、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となります。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、子供の甲状腺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腺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。