

# 放射線の基礎

# 1. 放射線の基礎

## 1.1 はじめに

原子力防災を効果的に行うには、防災業務に携わる人々が、放射線や放射性物質について十分理解した上で、周辺住民を放射線の影響から如何に守るかを学ぶ必要があります。

このため、本章では、原子力防災を考える上での基本的な事柄である放射線や放射性物質の性質、放射線を被ばくした場合に生じる人体への影響、容認される放射線の量、被ばくを防ぐ方法等、について記述します。

## 1.2 放射線と放射性物質

### 1.2.1 放射線と放射能

原子は物質の構成単位であり、1個の原子核とその周りを回っている電子とから構成されています（図1-1）。

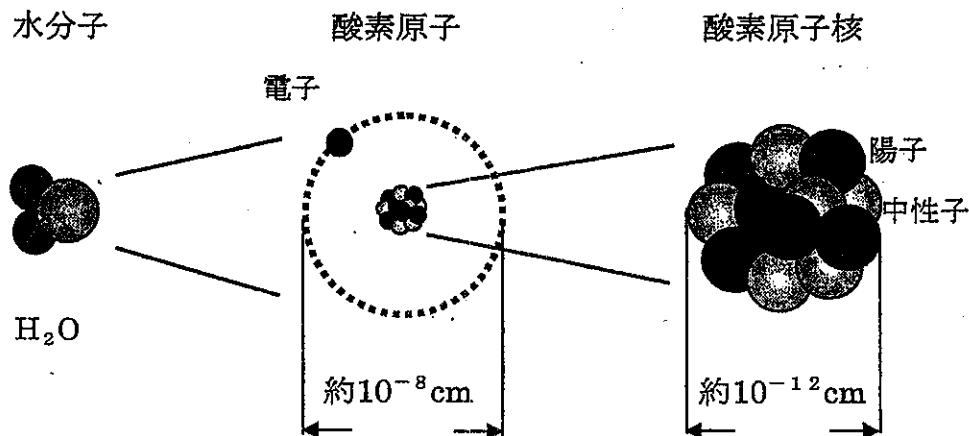


図1-1 分子、原子と原子核の構造

放射線とは、原子核が壊れる（放射性壊変といいます）ときなどに放出される高速の粒子や高いエネルギーをもった電磁波（波長が1億分の1 cm程度以下）のことをいいます。

これに対して、放射能は放射線を出す性質（能力）やその強さを表す言葉です。放射能をもっている原子（核種）を放射性核種といい、放射性核種を含んだ物質を放射性物質といいます。また、個々の核種を限定しない場合は、放射性核種のことを総称して放

放射性物質ということもあります。放射線、放射能及び放射性物質の関係を電灯に例えると、「電灯」が放射性物質に、電灯から出る「光線」が放射線に、そして、電灯の「光を出す性質」と「その強さ（ワット数）」が放射能に対応します（図1-2）。

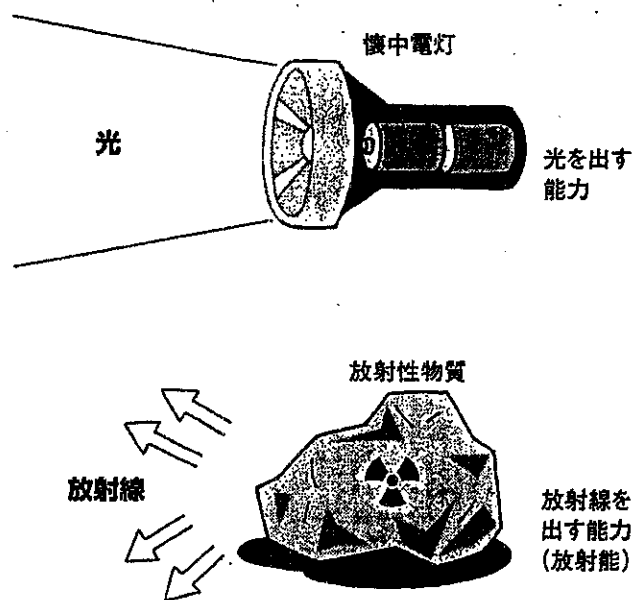


図1-2 放射線と放射能の関係

「放射線」と「放射能」はよく似た言葉であり、混同されやすいので注意する必要があります。例えば、「放射線漏れ」というと、放射性物質を囲う遮へいなどが不十分で外に放射線が漏れていることを意味します。他方、「放射能漏れ」というと、放射性物質が囲いの外に漏れていることを意味します。

## 1.2.2 放射性核種

### (1) 自然放射性核種と人工放射性核種

自然界には約90種類の元素があります。この元素には安定な状態のものと、不安定な状態のものがあり、不安定な状態のものは別の原子核に変化して安定な状態になるうとします。この不安定なものが放射性核種であり、重いものの例としてウラン、トリウム、ラジウムなど、軽いものの例として水素、炭素、カリウムなどがあげられます。

ここで、元素を決めるもとになる原子の種類や、原子核の種類を表すのにいくつかのきまりがあります。まず、原子の中の原子核に含まれる陽子の数を原子番号とって、Zの記号で表します。また、原子核を構成している陽子の数と中性子の数の和を質量数とって、Aで表しています。したがって、原子核の中に含まれる中性子の数をNで表しますと、 $N = A - Z$ となります。原子の特徴として、原子番号が同じであれば原子核の質量数が異なっても、同じ元素として化学的性質は似ていますが、物理的には全く異なる振る舞いをすることがあります。したがって、AとZの組み合わせの異なる原子核を区別するために、通常、原子番号Zに対応する元素記号X（水素であればH、ウランならU）に質量数Aをその左肩に付記します。すなわち、AXという表現を用いて、それ等を核種と呼んでいます。例えば、原子炉の燃料として使われているウランは、天然には質量数が234、235、238の3種類がありますので、それぞれ $^{234}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ のように表します（ウラン-234、235、238、あるいはU-234、235、238と書くこともあります）。

中子と陽子の合計 = 質量数

原子炉の中でも、燃料の $^{235}\text{U}$ の核分裂で、たくさんの種類の核種が人工的に作り出されています。これらを核分裂生成物といいます。これとは別にやはり原子炉の中などで、装置などの材料となっている物質に中性子が当たって、新しい不安定な原子核が作り出されることがあります。この新しく作り出された核種を放射化生成物といいます。これらの核分裂生成物や放射化生成物で不安定なものが放射性核種です。

放射性核種にはこのように天然に存在するもの（自然放射性核種）と人工的に作られるもの（人工放射性核種）があります。

## (2) 放射性核種の半減期

放射性核種が壊れて別の原子核ができるということは、もとの原子の数が段々減っていくことです。したがって、放射能の強さも段々減っていきます。この減少の仕方には、一定の法則がありますが、減少していく速さ（割合）は個々の放射性核種によって異なります。この減少の速さを表す尺度として、半減期という用語が使われ、これは放射能の強さが半分になるまでの時間を表したものです。図1-3は、この半減期を説明したものです。

放射性核種の半減期は、何十億年以上の長いものから1秒より短いものまでいろいろあります。表1-1は代表的な放射性核種について、自然に存在する放射性核種と人工的に作り出された放射性核種に分けて例を示したものです。

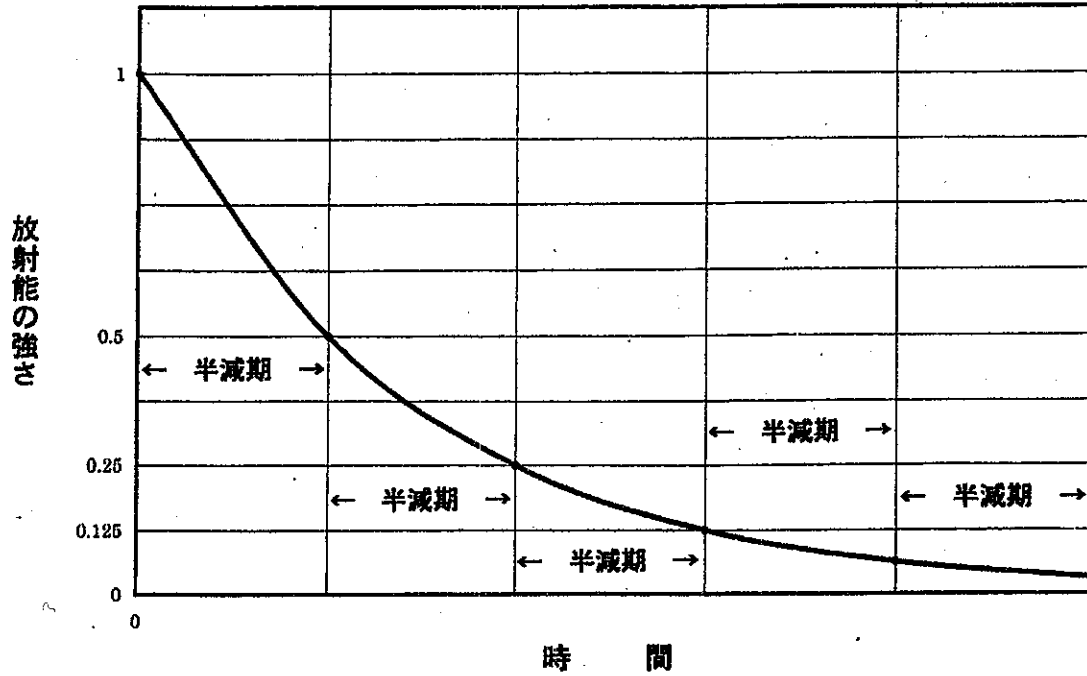


図 1-3 放射能の減り方

表 1-1 放射性核種の例

自然に存在する放射性核種		人工の放射性核種	
核種名	半減期	核種名	半減期
炭素-14	5,730年	トリチウム (水素-3)	12年
カリウム-40	13億年	コバルト-60	5.3年
ラドン-222	3.8日	クリプトン-85	10.73年
ラジウム-226	1,600年	ストロンチウム-90	28年
トリウム-232	140億年	ヨウ素-131	8.06日
ウラン-235	7億年	キセノン-133	5.29日
ウラン-238	45億年	セシウム-137	30年
		プルトニウム-239	2.4万年

注) トリチウムは自然界でも宇宙線によって生成されます。

半減期

α, β 放射

γ 放射

↓  
α, β 放射

### 1.3 放射線の種類と性質

私達が一口に放射線と呼んでいるものには、いろいろな種類があります。放射線にはガンマ線 ( $\gamma$ 線)、エックス線 (X線)、アルファ線 ( $\alpha$ 線)、ベータ線 ( $\beta$ 線)、電子線、中性子線などがあります。主な放射線を性質と発生の仕方によって分類すると図1-4のようになります。これらのうち、原子力施設において重要になるのは、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線、中性子線です。

放射性核種の原子核の壊れ方は、大きく分けると二通りあります。その一つは図1-5-(a)のように、元の元素の原子核から、陽子2個と中性子2個が一塊となって放出される現象で、このとき出てくる粒子を $\alpha$ 線 (水素の次に軽いヘリウムの原子核と同じ) といいます。もう一つの壊れ方は図1-5-(b)のように、原子核から電子が放出される現象で、このとき出てくる電子を $\beta$ 線といいます。一般に $\alpha$ 線や $\beta$ 線の放出に伴って $\gamma$ 線が放出されます。

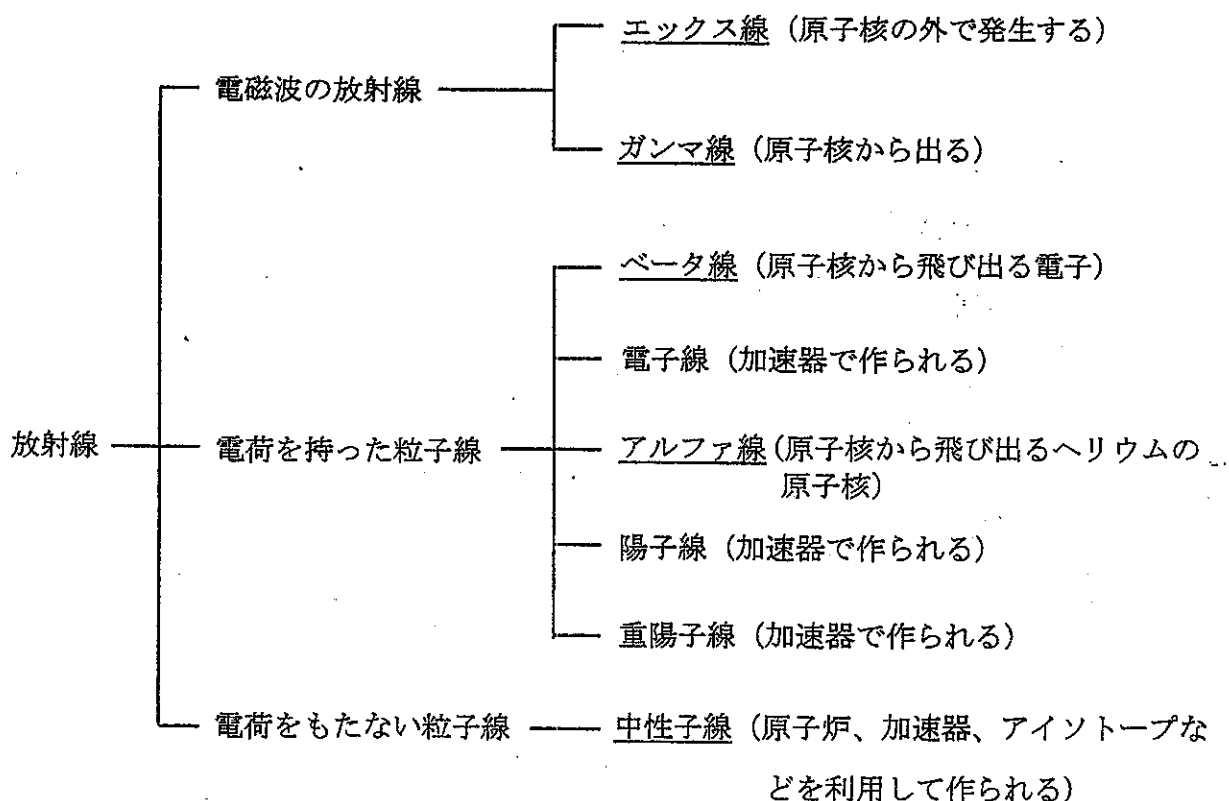


図1-4 主な放射線の種類

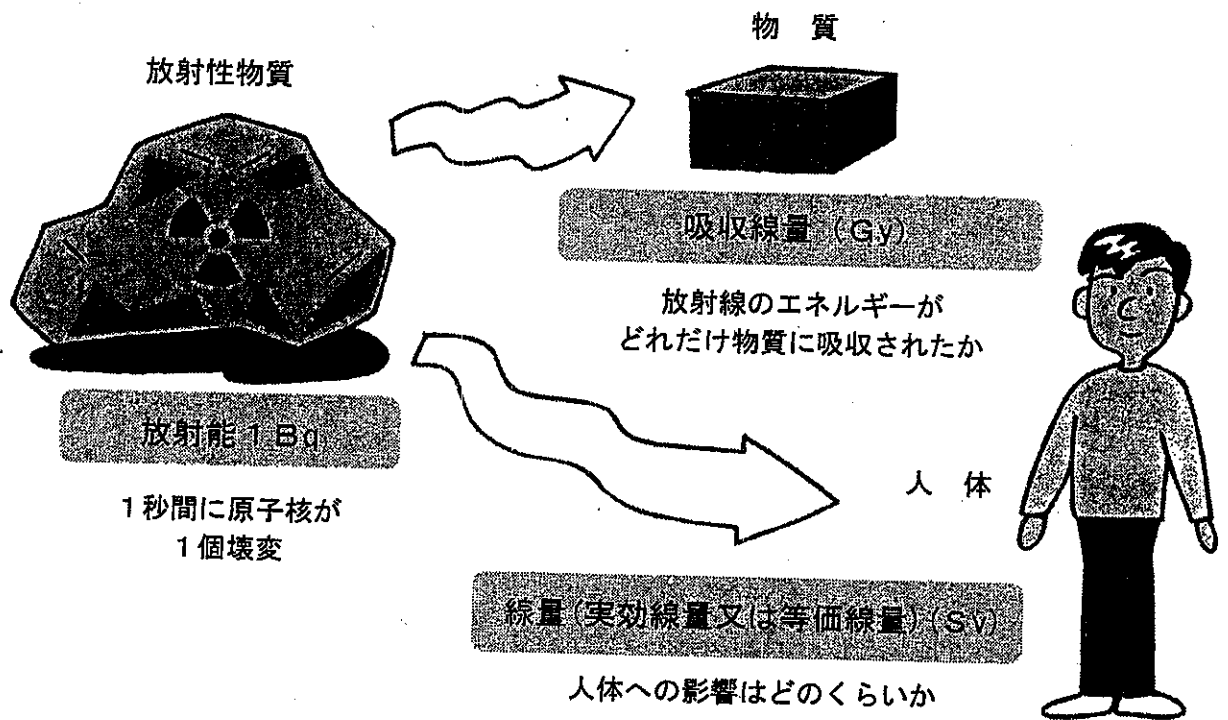


図 1-9 放射能・放射線被ばくに関する単位

表 1-4 放射能・放射線被ばくに関する単位

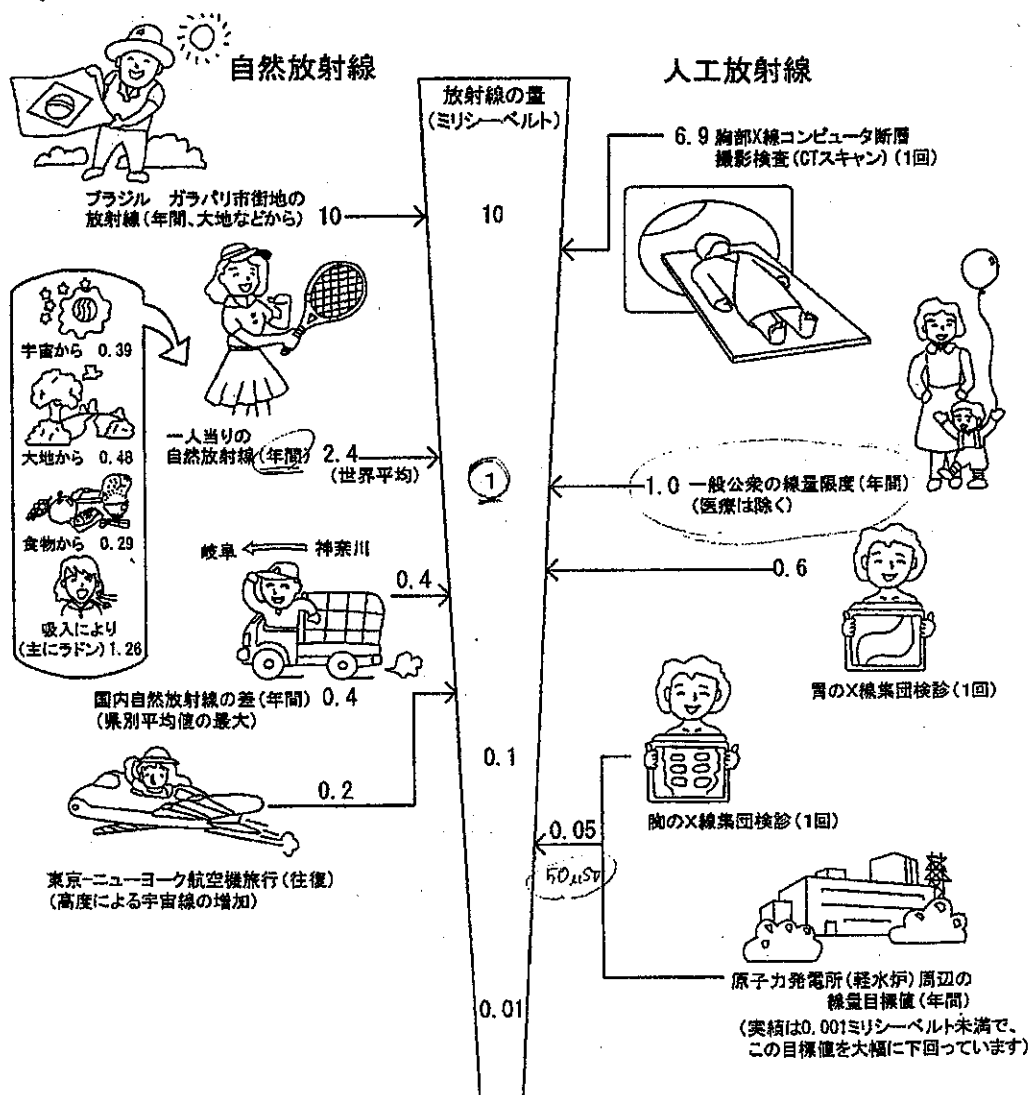
		単 位	定 義
放射能の単位		ベクレル Bq	1秒間に壊変する原子核数
被ばくに関する単位	吸収線量	グレイ Gy	1 kg当たり 1 ジュールのエネルギー吸収があるときの線量
	等価線量	シーベルト	等価線量 = 吸収線量 × 放射線荷重係数
	実効線量	Sv	実効線量 = $\sum$ (各組織の等価線量 × 組織荷重係数)

## 1.6 身の回りの放射線

### (1) 自然放射線

私たちは、日常生活の中でどこにいても宇宙や大地、そして摂取された食物を通じて放射線を受けています。これらは自然放射線と呼ばれます (図1-10)。

自然放射線による被ばく線量は、地域によって差があります。日本国内でも、関東地方や東北地方では0.81~1.06mSv/年、関西地方や中国地方等の花崗岩地帯では1.01~1.19 mSv/年と差があります (図1-11)。外国ではイラン、ブラジル、インド、中国の一部の地域で高いことが知られており、ブラジルのガラパリでは、日本の約10倍の被ばく線量を受けることになります。



出典：2003-2004「原子力」図面集

図1-10 自然放射線と人工放射線



### 1.8.1 放射線防護の基準

ICRPでは、「人類は、自然放射線を受けて生活をしているが、それよりも多くの放射線を受けた場合に何らかの悪い害が現れるかもしれない。」との考えで人が受ける線量を制限することになっています。具体的には、

- ① 急性障害（確定的影響）が確実に起こらないように被ばく線量限度を設定する。
- ② 急性障害（確定的影響）は、防止できても、それよりも低い線量でがん（確率的影響）が発生すると仮定するので、人が受ける線量は実行可能な限り低くする。

と云うことです。

原子力発電所などの放射線取扱施設では、作業に伴う被ばくを避けることができない場合があります。そこで、我が国ではICRPの放射線防護の考え方及びその勧告に基づき、放射線を職業的に扱う人（日本の法令では、放射線業務従事者）に対して、ある程度の線量以上に被ばくしてはならないように定めています。また、放射線業務従事者の放射線被ばく線量を個人線量計などで直接管理する他に、放射線を扱う場所を放射線管理区域として指定し、場所についての線量率も管理するように定められています。一方、施設周辺の一般公衆の被ばく線量は、個人線量計を装着させて管理することはできないので、施設境界の線量を線量限度以下に保つことによって管理しています。

放射線業務従事者及び施設周辺の一般公衆の線量限度を表1-5に示します。

表 1-5 我が国の線量限度

区 分		実効線量限度	等価線量限度
放射線業務従事者	平常時	100 mSv/5年* 50 mSv/年** 女子 5 mSv/3ヶ月 妊娠中の女子（出産までの間の内部被ばく） 1 mSv	水晶体 150 mSv/年 皮膚 500 mSv/年 妊娠中の女子（出産までの間の腹部表面） 2 mSv
	緊急時	100 mSv	水晶体 300 mSv 皮膚 1 Sv
一般公衆	平常時	1 mSv/年	水晶体 15 mSv/年 皮膚 50 mSv/年

\* 平成13年4月1日以降5年ごとに区分した各期間

\*\* 4月1日を始期とする1年間

原子力施設などの緊急時の場合に、防災業務に携わる防災業務関係者の防護指標（実効線量）は、放射線業務従事者の線量限度と同様に1回50mSv、人命救助などの緊急活動の場合100 mSvと防災指針で示されています（表1-6）。

表1-5の線量限度の5年間に100 mSvという数値は、他の一般的な職業で安全と考えられている危険度と同程度と考えられています。

表 1 - 6 防災業務関係者の放射線防護に係る指標

災害応急対策活動等 ・ 眼の水晶体 ・ 皮膚	50mSv(実効線量) 300mSv(等価線量) 1Sv(等価線量)
やむを得ない作業	100mSv(実効線量)

(1回あたり)

## 1.8.2 被ばく防護の方法

### (1) 外部被ばくの防護方法

外部被ばくを防護するには、外部被ばく防護の三原則を用います（図1-16）。

すなわち、

- ① 線源と人との間に放射線を弱めるための遮へい物（コンクリート壁など）を置く。  
放射線を遮へい物によって遮ることにより、人が受ける放射線量を減らすことができます。
- ② 被ばくする時間を短くする。  
作業時間や滞在時間を短くすると、線量＝線量率×時間 の式に示されるように人が受ける線量を減らすことができます。
- ③ 線源からの距離を取る。  
放射線量は距離の二乗に反比例しますので、放射線源との距離を取ることで人が受ける線量を減らすことができます。

表 2-3 国際原子力事象評価尺度

	レベル	基準			評価例
		基準1 所外への影響	基準2 所内への影響	基準3 深層防護の劣化	
事故	7：深刻な事故	放射性物質の重大な外部放出：ヨウ素131等価で数万テラベクレル以上の放射性物質の外部放出			チェルノブイリ原子力発電所事故 1986-旧ソ連
	6：大事故	放射性物質のかなりの外部放出：ヨウ素131等価で数千から数万テラベクレル相当の放射性物質の外部放出			
	5：所外へのリスクを伴う事故	放射性物質の限定的な外部放出：ヨウ素131等価で数百から数千テラベクレル相当の放射性物質の外部放出	原子炉の炉心や放射性物質障壁の重大な損傷		スリーマイル島原子力発電所事故 1979-アメリカ
	4：所外への大きなリスクを伴わない事故	放射性物質の少量の外部放出：法定限度を超える程度(数mSv)の公衆被ばく	原子炉の炉心や放射性物質障壁のかなりの損傷／従業員の致死量被ばく		ウラン加工工場臨界事故 1999-日本
異常な事象	3：重大な異常事象	放射性物質の極めて少量の外部放出：法定限度の10分の1を超える程度(10分の数mSv)の公衆被ばく	所内の重大な放射性物質による汚染／急性の放射線障害を生じる従業員被ばく	深層防護の喪失	旧動燃アスファルト固化処理施設火災爆発事故 1997-日本
	2：異常事象		所内のかなりの放射性物質による汚染／法定の年間線量当量限度を超える従業員被ばく	深層防護のかなりの劣化	美浜発電所2号機伝熱管損傷事故 <sup>(注)</sup> 1991-日本
	1：逸脱			運転制限範囲から逸脱	浜岡発電所1号機配管破断事故(暫定値) 2001-日本
尺度以下	0：尺度以下	安全上重要ではない事象		0+ 安全に影響を与え得る事象 0- 安全に影響を与えない事象	注) ±は国内向けにレベル分類を行っている。
評価対象外		安全性に関係しない事象			

(注) INESの正式運用開始(平成4年8月1日)以前に発生したもので、公式に評価されたものではない。

出典：平成14年版原子力安全白書