

**物理学者から見た原子力利用とエネルギー問題**

**放射線防護の立場から**

**日本原子力研究開発機構 J-PARCセンター  
柴田徳思**

- 1. ICRP2007年勧告**
- 2. 原子力安全委員会「原子力施設の防災対策について」**
- 3. これまでにとられた措置**
- 4. 放射線のリスクと他のリスク**

## 1. ICRP2007年勧告

### 被ばく状況の種類

- ・ 計画被ばく状況
- ・ 緊急被ばく状況
- ・ 現存被ばく状況

## 放射線防護の原則

- **正当化**

被ばくの状態を変化させるようなあらゆる決定は、害よりも便益が大となるべき

- **最適化**

被ばくする人の数および個人線量の大きさは、すべての経済的及び社会的要因を考慮に入れながら、合理的に達成できる限り低く保つべき

- **線量限度**

患者の医療被ばく以外の計画被ばく状況における規制された線源からの被ばくは、委員会の限度を超えるべきでない

## 生物学的影響

### 確定的影響の誘発

影響	臓器/組織	発現時期	吸収線量 (Gy) (1%発生率)
一時的な不妊	睾丸	3~9週間	~0.1
永久不妊	睾丸	3週間	~6
永久不妊	卵巣	<1週間	~3
皮膚発赤	皮膚	1~4週間	<3~6
一時的脱毛	皮膚	2~3週間	~4
白内障	眼	数年	~1.5
死亡			
骨髄死 (治療なし)	骨髄	30~60日	~1
骨髄死 (治療あり)	骨髄	30~60日	2~3
胃腸管死 (治療なし)	小腸	6~9日	~6
胃腸管死 (治療あり)	小腸	6~9日	>6

## 胚及び胎児における放射線影響

### 着床前期の致死的影響

100mGy以下ではまれであろう

### 奇形

100mGy以下では発生リスクは期待されない

### 精神遅滞

感受性の高い出生前期8～15週で

しきい値は最低300mGyで、100mGy以下では  
IQへのいかなる影響もない

## 確率的影響の誘発

名目リスク係数 ( $10^{-2}/\text{Sv}$ )

被ばく集団	がん	遺伝性影響	合計
全集団	5.5	0.2	5.7
成人	4.1	0.1	4.2

## 線量

**吸収線量 (D) : 放射線が物質1kgに与える平均エネルギー (Gy)**

**臓器の平均吸収線量 ( $D_T$ )**

**放射線荷重係数 ( $w_R$ )**

光子、電子、ミュー粒子 : 1

陽子と荷電 $\pi$ 中間子 : 2

アルファ粒子、重イオン : 2

中性子 : 図の通り

**臓器の等価線量 ( $H_T$ ) :  $H_T = w_R \cdot D_T$  (Sv)**

**組織荷重係数 ( $w_T$ )**

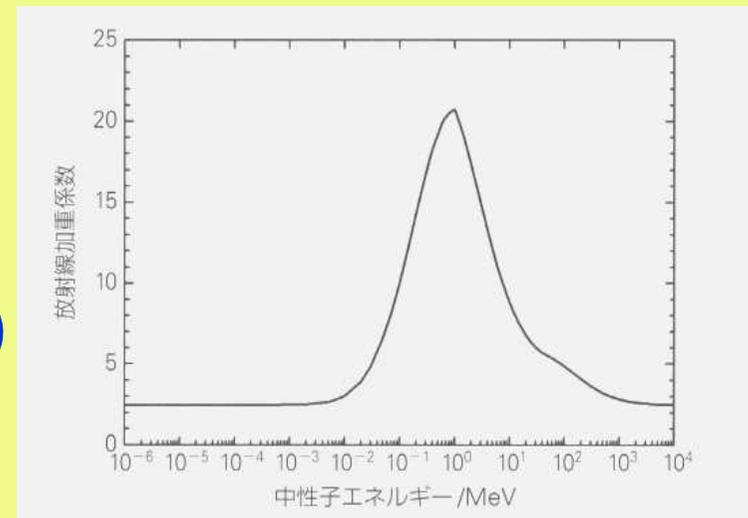
骨髄 (赤色)、結腸、肺、胃、乳房、残りの組織 : 0.12

生殖腺 : 0.08

膀胱、食道、肝臓、甲状腺 : 0.04

骨表面、脳、唾液腺、皮膚 : 0.01

**実効線量 (E) :  $E = \sum w_T \cdot H_T$  (Sv)**



# 放射線防護体系

## 被ばく状況のタイプ

- **計画被ばく状況**  
線源の計画的な導入と操業に伴う状況
- **緊急被ばく状況**  
操業中あるいは悪意ある行動により発生するかもしれない  
注意を要する予期せぬ状況
- **現存被ばく状況**  
管理に関する決定をしなければならい時点ですでに存在  
する被ばく状況

## 被ばくのカテゴリー

- **職業被ばく**  
作業者が自らの仕事の結果として被る被ばく
- **公衆被ばく**  
職業被ばくと医療被ばく以外の被ばく  
妊娠している作業者と胎児の被ばくは公衆被ばく
- **患者の医療被ばく**  
患者の診断・治療で生じる被ばく

## 正当化

- ・放射線防護が前もって計画され、線源に対し必要な対策を取ることが可能な場合で、個人又は社会に十分な便益を生んで損害を相殺しなければならない
- ・被ばく経路を変更することにより被ばくが制御できる場合で、主な例、現存被ばく状況と緊急被ばく状況

## 防護の最適化

- ・被ばく状況の評価
- ・拘束値又は参考レベルの適切な値の設定
- ・考えられる防護選択肢の確認
- ・一般的な事情における最善の選択肢の選定
- ・選定された選択肢の履行

## 防護体系に用いられる線量拘束値と参考レベル

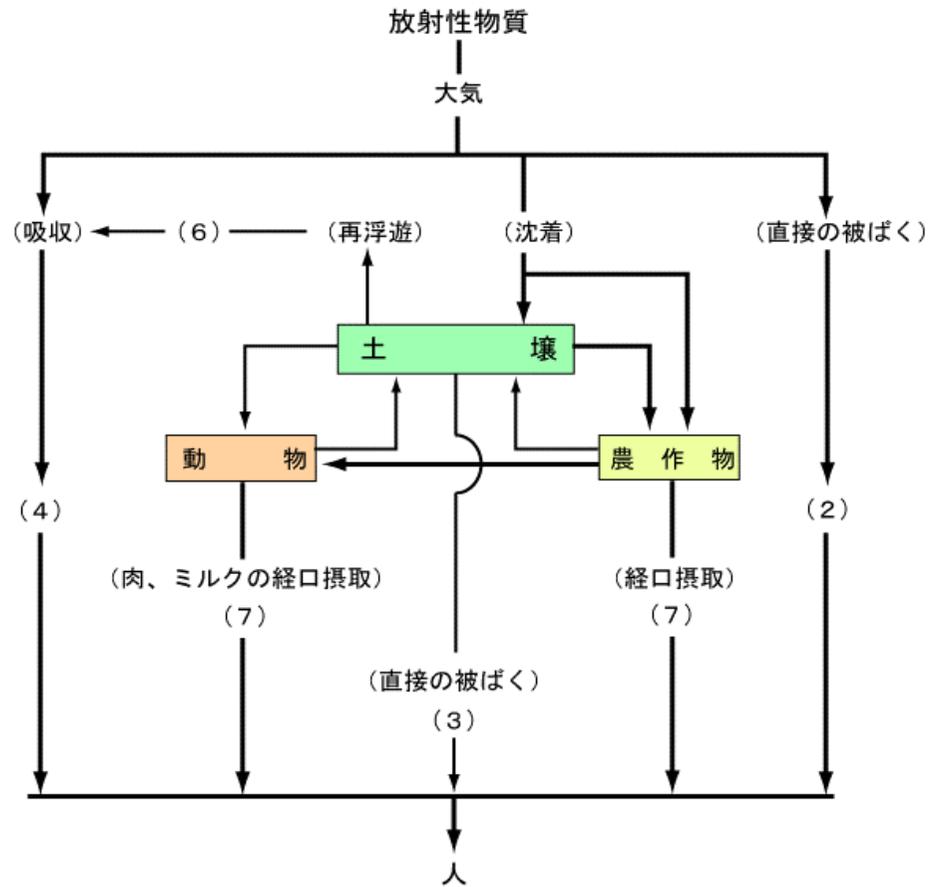
被ばく状況	職業被ばく	公衆被ばく	医療被ばく
計画被ばく	線量限度 線量拘束値	線量限度 線量拘束値	診断参考レベル
緊急時被ばく	参考レベル	参考レベル	該当なし
現存被ばく	a)	参考レベル	該当なし

a) 長期的な改善策や、影響を受けた長期の雇用によって生じる被ばくは計画職業被ばくとして扱うべき

## 線量拘束値と参考レベルの枠組みと、作業者と公衆に対する拘束値の例

拘束値と参考レベルのバンド (mSv)	被ばく状況の特徴	防護の要件	例
20～100	制御できない線源による被ばく	被ばく低減のための対策がなされるべき	緊急事態による最も高い計画残存線量に対して設定されたレベル
1～20	被ばくは、線源もしくは被ばく経路における対策により制御されることがある	個人が線量を低減できるように十分な一般的情報が入手できるべき	職業被ばくに対して設定されたレベル  現存被ばく状況の参考レベル
1以下	個人にとってほとんど便益がなく社会にとって便益のある線源による被ばく	被ばくレベルに関する一般的な情報が利用できるべき	公衆被ばくに対して設定されたレベル

残存線量は、緊急被ばくの結果として予測される線量に対し、防護戦略が履行された場合に結果として生じる線量のこと



(太線は重要な経路、()数字は表1に示した経路)

下記の出典をもとに作成

図4 大気中に放出された放射性物質による被ばくの主要経路

[出典] 国際放射線防護委員会: 公衆の放射線防護のためのモニタリングの原則、  
ICRP Publication 43,p16、日本アイソトープ協会(1986)

## 被ばくの経路

## 線量限度の値

限度のタイプ	職業被ばく	公衆被ばく
実効線量	5年間の平均で年間20mSv	1年につき1mSv
以下の組織における等価線量		
眼の水晶体	150mSv	15mSv
皮膚	500mSv	50mSv
手足	500mSv	—

## 線量限度の根拠（1990年勧告）

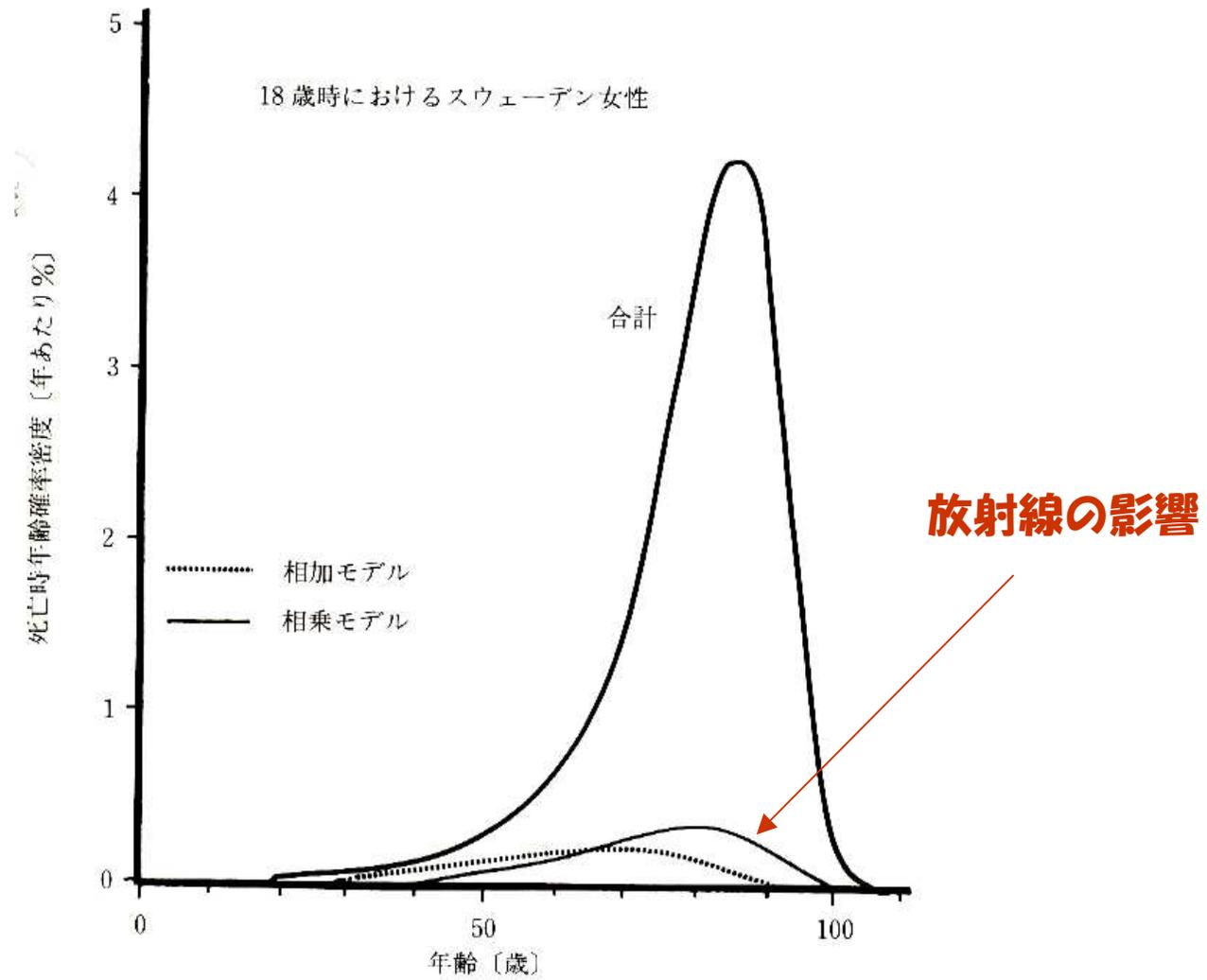
### 職業被ばくの防護の考え方

#### 確率的影響

- ・ 被ばくによる寄与生涯がん死亡確率
- ・ 被ばくによる18歳時における平均余命の損失などを評価して定めた。

#### 確定的影響

しきい値を考慮して定めた。



## 死亡時年齢確率密度

リスクを表す量	年線量 (mSv)				
	3	10	20	30	50
寄与生涯死亡確率	0.55	1.81	3.57	5.28	8.56
18歳時における平均 余命の損失	0.07	0.23	0.46	0.68	1.11

職業被ばくによる死亡の寄与が50mSv/年だと8.6%となり大きすぎる。生涯線量を1Svとして年得平均20mSvがいいところとした。

# 防護基準のまとめ

## 計画被ばく状況

	個人線量限度
職業被ばく 眼の水晶体 皮膚 手と足 妊娠女性	150mSv/年 500mSv/年 500mSv/年 胚/胎児に対し1mSv
公衆被ばく 眼の水晶体 皮膚	年間1mSv 15mSv/年 50mSv/年
	線量拘束値
職業被ばく	$\leq 20\text{mSv}$
公衆被ばく 長期被ばく	1mSv/年以下で選択 $\leq 0.3\text{mSv/年}$
医療被ばく 介助者と介護者	1事例当たり5mSv

## 緊急時被ばく状況

	介入レベル	参考レベル
<b>職業被ばく</b> <b>救命活動</b> <b>緊急救助活動</b> <b>他の救助活動</b>	<b>線量制限なし</b> <b>～500mSv：～5Sv（皮膚）</b>	<b>制限なし</b> <b>1000mSv又は500mSv</b> <b>≤100mSv</b>
<b>公衆被ばく</b> <b>食料</b> <b>安定ヨウ素剤の配布</b> <b>屋内退避</b> <b>一時的な避難</b> <b>移住</b>  <b>防護戦略に統合され</b> <b>たすべての対策</b>	<b>10mSv/年</b> <b>50～500mSv（甲状腺）</b> <b>2日で5～50mSv</b> <b>1週間で50～500mSv</b> <b>初年度に100mSv又は1000mSv</b>	         <b>20mSv/年～100mSv/年</b> <b>の間</b>

## 現存被ばく状況

	対策レベル	参考レベル
ラドン 住居内 作業場内	3~10mSv/年 (200~600Bqm <sup>-3</sup> ) 3~10mSv/年 (500~1500Bqm <sup>-3</sup> )	< 10mSv/年 (< 600Bqm <sup>-3</sup> ) < 10mSv/年 (< 1500Bqm <sup>-3</sup> )
	一般参考レベル	参考レベル
NORM、自然バックグラウンド、居住環境中の放射性残渣 介入 正当化できそうにない 正当化できるかもしれない ほとんど常に正当化できる	< ~10mSv/年 > ~10mSv/年  100mSv/年まで	状況に応じ1mSv/年から 20mSv/年の間

## 汚染管理

### ガイダンスレベル

事項	核種	ガイダンスレベル
大量物資中の核種の規制	134CS、137Cs	100Bq/kg
食品中の核種の規制	134CS、137Cs	1000Bq/kg
飲料水中の核種の規制 (WHO)	134CS、137Cs	10Bq/L*

\*1日当たりの水分摂取量は体重1kgあたり50mlであるので、60kgの人は3L/日=1100L/年、したがって、11000Bq/年。137Csの換算係数は $1.3 \times 10^{-5}$  mSv/Bqを用いて0.14mSv/年と小さい。

### 規制除外レベル

核種	放射能濃度 (Bq/g)
人工アルファ線放出体	0.01
人工ベータ/ガンマ放出体	0.1
系列の先頭の放射能レベル	1.0

## 2. 原子力安全委員会「原子力施設の防災対策について」

### 防護対策

1. 屋内退避
2. コンクリート屋内退避
3. 退避について
4. 安定ヨウ素剤予防服用について
5. 飲食物摂取制限について
6. 立ち入り制限措置について
7. 防災業務関係者の防護措置
8. 核種防護対策の解除

## 屋内退避及び避難等に対する指標

予測線量 (mSv)		防護対策の内容
外部被ばくによる 実効線量	内部被ばくによる 等価線量 放射性ヨウ素による 小児甲状腺の等 価線量	
10～50	100～500	住民は、自宅等の <b>屋内へ退避</b> すること。 その際、窓等を閉め気密性に配慮すること。 ただし、中性子線またはガンマ線の 放出に対しては、指示があれば、コン クリート建屋に退避するか、または避 難すること
50以上	500以上	住民は、指示に従って <b>コンクリート建屋内</b> に退避するか、または <b>避難</b> すること。

## 飲食物摂取制限に関する指標

対 象	放射性ヨウ素
飲料水	300Bq/kg 以上
牛乳・乳製品	300Bq/kg 以上
野菜類（根菜・芋類を除く）	2000Bq/kg 以上

対 象	放射性セシウム
飲料水	200Bq/kg 以上
牛乳・乳製品	200Bq/kg 以上
野菜類	500Bq/kg 以上
穀類	500Bq/kg 以上
肉・卵・魚・その他	500Bq/kg 以上

## 算出の考え方

### 放射性ヨウ素について

甲状腺の等価線量 $50\text{mSv}/\text{年}$ を基礎として、飲料水、牛乳・乳製品、野菜類（根菜、芋類を除く）の3つの食品以外の食品の摂取を $1/3$ とし3つの食品に対して $2/3$ を割り当て、これを3つの食品に均等に割り当てる。

次に、我が国における食品の摂取量を考慮して、摂取制限の指標を算出した。

### 放射性セシウムについて

セシウムの環境への放出は $^{89}\text{Sr}$ 及び $^{90}\text{Sr}$ を伴うことから、セシウムとストロンチウムの寄与の合計の線量を基に算定する。（ $^{137}\text{Cs}$ と $^{90}\text{Sr}$ の放射能比を $0.1$ と仮定）

実効線量 $5\text{mSv}/\text{年}$ を5つの食品に均等に $1/5$ ずつ割り当て、我が国における摂取及びセシウムとストロンチウムの寄与を考慮して摂取制限値を算出した。

### 3. これまでにとられた措置

#### 避難、屋内退避

3月11日20時50分に、半径2km以内の住人に避難指示が出された。

3月12日18時25分に半径20km以内に避難指示が出された。

(避難：50mSvを超える地域)

3月15日11時には半径20kmから30km圏内に屋内退避が指示された。

(屋内退避：10～50mSvの地域)

3月25日、屋内退避を指示されていた半径20kmから30km圏内の住民に、  
枝野官房長官が自主避難を要請した。

4月22日には、半径20km圏内が災害対策基本法に基づく「警戒区域」に  
設定され、立ち入りが禁止された。

飯館村の全域と川俣町の一部、20km圏内を除く浪江町と  
葛尾村の全域が「計画的避難区域」に指定され、約1ヶ月かけて  
避難することになった。(20mSv/年を超える地域)

20kmから30km圏内のうち計画的避難区域でない地域の大半が、  
緊急時に屋内退避や避難ができるよう準備しておくことが求め  
られる「緊急時避難準備区域」に指定され、屋内退避指示は解除された。

## 摂取制限

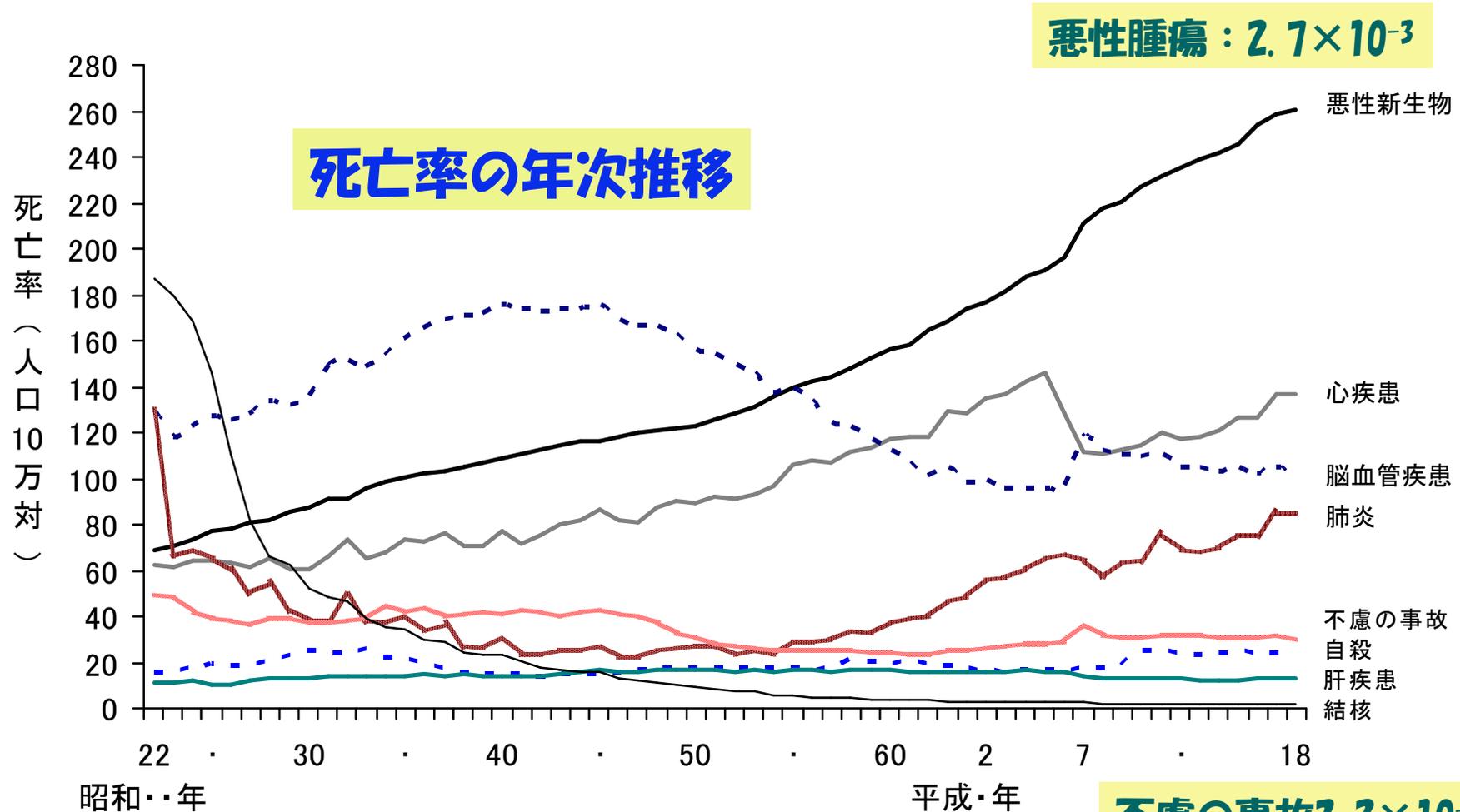
**3月17日**：厚生労働省は原子力安全委員会の示した指標値を食品衛生法上の暫定規制値とし、規制値を上回る食品が販売されないよう対応することとして、各自治体に通知した。

**3月19日から22日**にかけて、農林水産省は福島産の原乳、茨城県、福島県、栃木県、群馬県産のホウレンソウ、カキ十、福島県飯舘村の水道水などから食品衛生上の暫定規制値を超える放射能が検出されたと発表した。

**3月26日**、厚生労働省は、全国の水道事業者に対し、降雨後の取水を一時中断するように通知した。その後放射能の濃度は低下し、**3月29日**には福島県以外での飲用制限がなくなり、**4月15日**までは福島県飯舘村のみ乳児に対する飲用制限が成されていたが、**5月10日**にはそれも解除された。

**3月22日**、東京都葛飾区の金町浄水場で、水道水に210ベクレル/キログラムの放射性ヨウ素131が検出された。この給水範囲である東京都23区、武蔵野市、町田市、多摩市、稲城市、三鷹市では乳児の水道水摂取を控えるように呼びかけた。

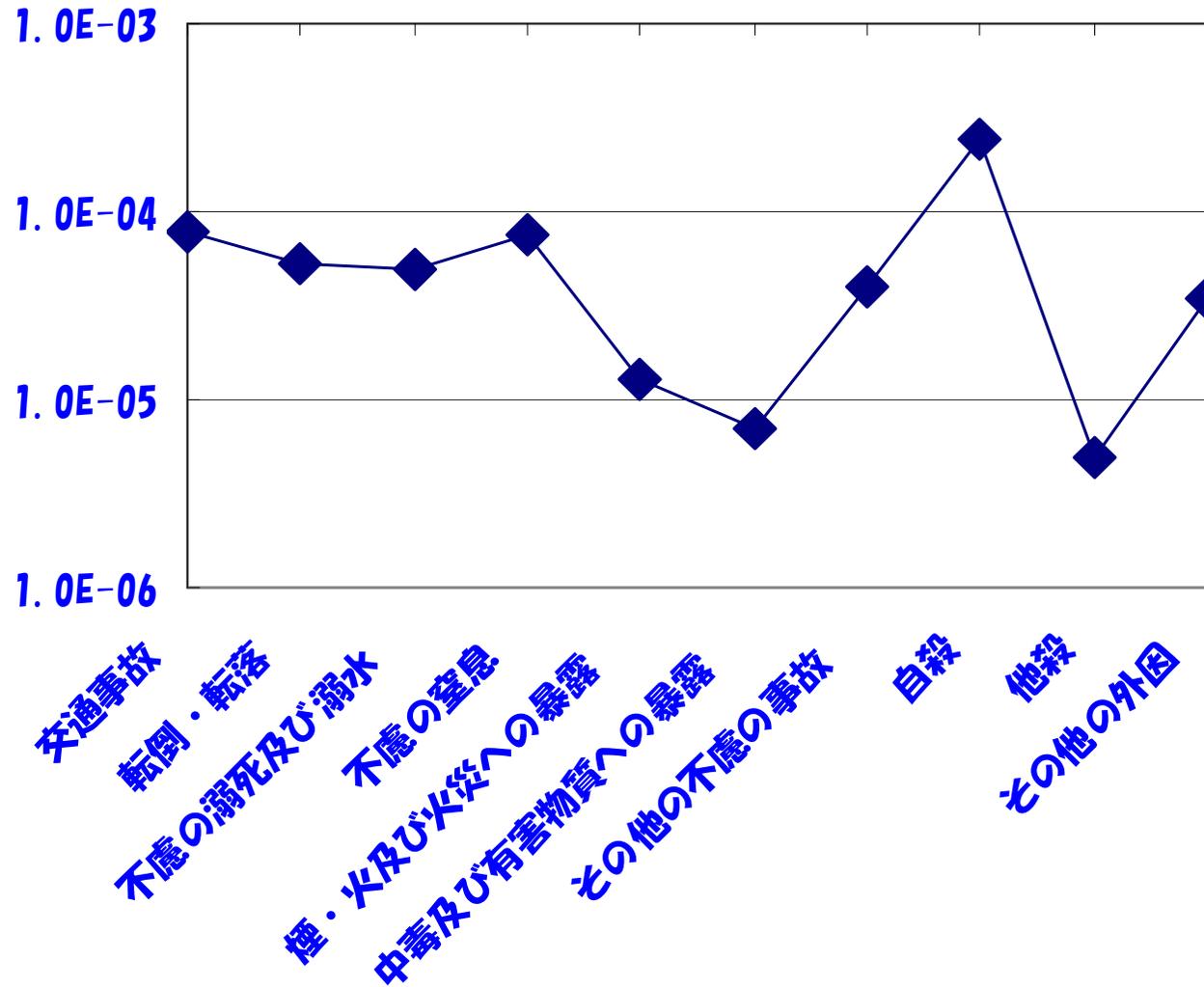
## 4. 放射線のリスクと他のリスク



- 注：1) 平成6・7年の心疾患の低下は、死亡診断書（死体検案書）（平成7年1月1日）において「死亡の原因欄には、疾患の終末期の状態としての心不全、呼吸不全等は書かないでください」という注意書きの施行前からの周知の影響によるものと考えられる。
- 2) 平成7年の脳血管疾患の上昇の主な要因は、ICD-10（平成7年1月適用）による原死因選択ルールの明確化によるものと考えられる。

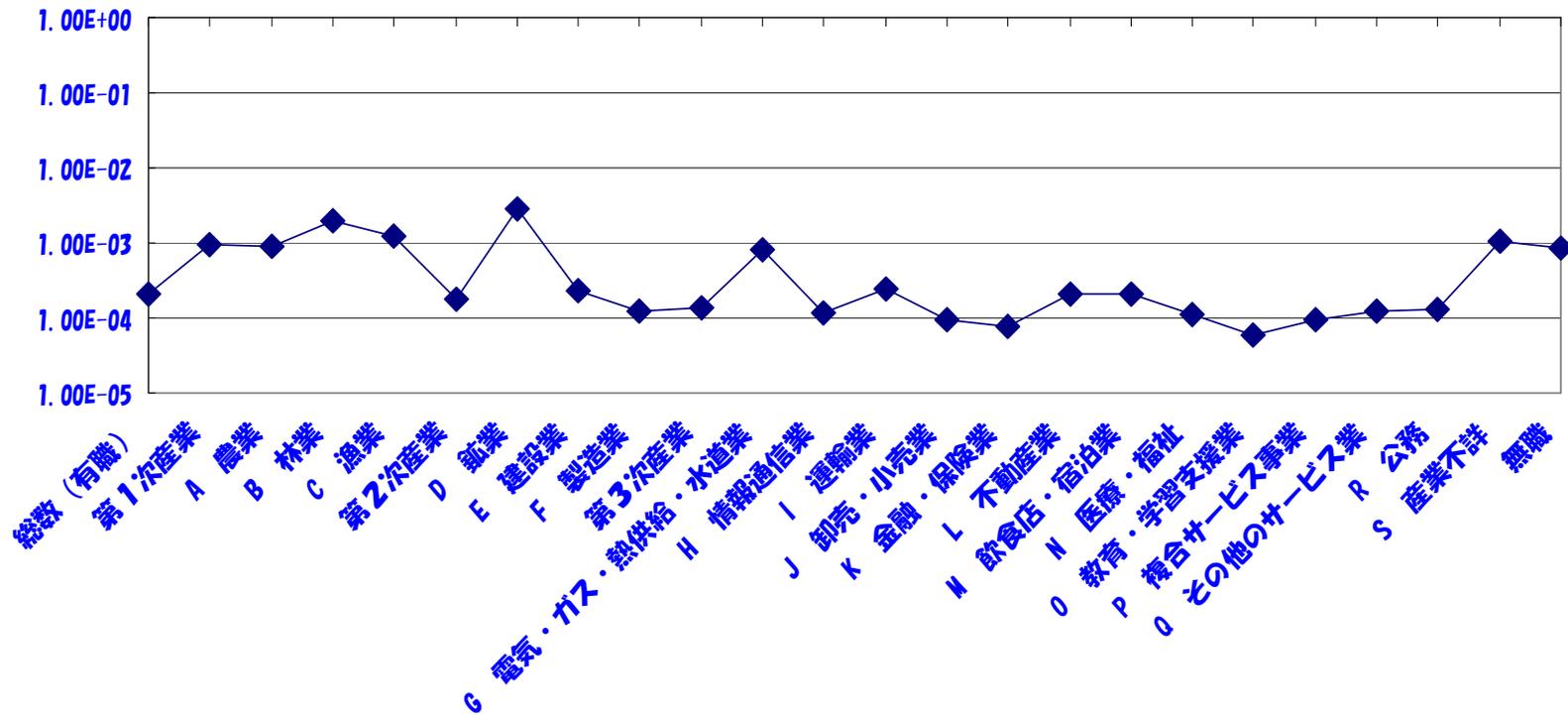
### 事故のリスク（平成17年度）

リスク



## 不慮の事故に対する職業別リスク（15歳以上男）

リスク（年当たり）



職業人（男）

## 一般人の放射線のリスク（年当たり1mSv）

がんになる確率： $5.5 \times 10^{-5}$

遺伝的影響： $2 \times 10^{-6}$

## 死亡率から見たリスク（年当たり）

がん： $2.7 \times 10^{-3}$

心臓病など： $1.4 \times 10^{-3}$

脳梗塞など： $1.1 \times 10^{-3}$

肺炎など： $1.3 \times 10^{-3}$

老衰： $2.1 \times 10^{-4}$

不慮の事故： $3.2 \times 10^{-4}$

交通事故： $7.9 \times 10^{-5}$

転倒・転落： $5.3 \times 10^{-5}$

溺死など： $4.9 \times 10^{-5}$

窒息など： $7.4 \times 10^{-5}$

自殺： $2.4 \times 10^{-4}$

他殺： $5.0 \times 10^{-6}$

一般人に対する放射線のリスクは安全とされる範囲内となっている。

## 放射線のリスクとたばこのリスクの比較

### ガン全体

ガン全体にたいする放射線のリスク：1Svあたり5% ( $5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ )

ガン全体のリスク：10万人当たりの年死亡率257人 ( $2.7 \times 10^{-3}$ )

たばこによる相対危険度～1.6（非喫煙者を1としたときの危険度）

たばこの寄与は0.6となる。

たばこのリスクに対する寄与： $2.7 \times 10^{-3} \times 0.6 = 1.6 \times 10^{-3}$

放射線に換算： $1.6 \times 10^{-3} / (5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}) = 0.032 \text{ Sv} = 32 \text{ mSv/年}$

### 肺がん

肺ガンにたいする放射線のリスク：1Svあたり1% ( $1 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ ) で肺に対する組織荷重係数は0.12なので、1Svのうち0.12Svが肺に寄与すると考えて、リスクは $0.083 \text{ Sv}^{-1}$ となる。

肺ガン全体のリスク（男）：10万人当たりの年死亡率44人 ( $4.4 \times 10^{-4}$ )

たばこによる相対危険度	1-4本	5-14本	15-24本	25-34本
相対危険度	2.5	3.3	5.4	7.1
たばこの寄与	1.5	2.3	4.4	6.1
リスクに対する寄与	$6.6 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-3}$	$1.9 \times 10^{-3}$	$2.7 \times 10^{-3}$
放射線に換算	8mSv/年	12mSv/年	23mSv/年	33mSv/年

放射線：ICRPのデータ、死亡率等は厚労省データ

## 摂取制限値の飲食物を1年間摂取しつづけた時のリスク

$^{137}\text{Cs}$ は筋肉にとどまり、全身に被ばく線量を与えるので、初年度5mSvが摂取制限となる。

摂取制限値の飲食物を1年間摂取しつづけた時のリスクは、1mSv/年で $5.5 \times 10^{-5}$ なので、 $2.8 \times 10^{-4}$ /年である。これは不慮の事故のリスク $3.2 \times 10^{-4}$ /年と同じ程度である。

飲食物に含まれる放射能の摂取限度は、5mSvを制限値にしているなので、この10倍の物を1年間飲食しても、50mSv/年であり、ガンのリスクは0.25%となる。放射線の影響のない場合のガンのリスクが30%程度であることを考えると、それほど大きな影響とは言えない。

## 原子力安全委員会による指針

### 避難

50mSvを超える地域

### 屋内退避

10～50mSvの地域

### 計画的避難区域

これまで事故の場合は一時的に放射線量が高くなっても比較的短時間で収束する場合を考えていた。しかし、今回の福島原発事故では長期にわたる被ばくが問題となっている。

このために、原子力安全委員会はあらたに、20mSv/年を超える地域を避難対象とした。

**20mSv/年が50年続いた場合、積算線量は1Svとなる。  
この時のガンに対するリスクは5.5%、つまり、50年で  
5.5%であれば、年あたり0.11%となる。  
つまり $1.1 \times 10^{-3}$ /年のリスクとなる。これは産業別  
リスクと比較すると、一次産業のリスクと同程度で、  
全員避難という措置がかならずしも適当ではないの  
ではないか。**

**放射線のリスクは、低線量の被ばくでは主にがんになる  
確率が増えることであり、他のリスクと比較して特別に  
危険であるということではない。**

**危険度をリスクとして理解し、個人のリスクの受容度に  
照らして、防護策を選択する方法が望まれる。**

**おしまい**