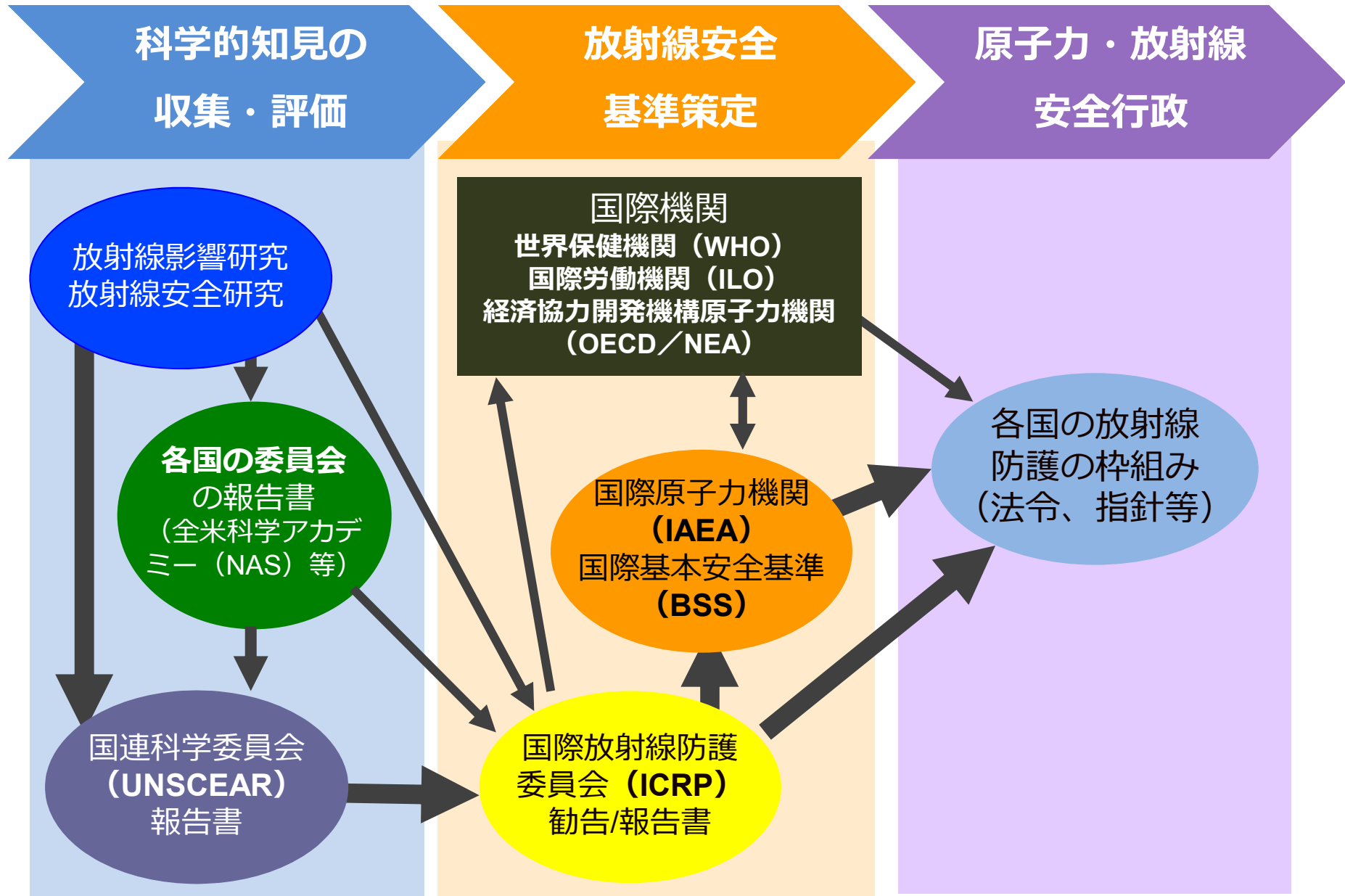


# 放射線防護体系



# 国際放射線防護委員会 (ICRP)

## 国際放射線防護委員会 (ICRP)

放射線防護の基本的な枠組みと防護基準を勧告することを目的とする。主委員会と5つの専門委員会（放射線影響、線量概念、医療被ばくに対する防護、勧告の適用、環境の放射線防護）で構成されている。

(参考) ICRPの勧告より、線量限度について抜粋

	1977年 勧告	1990年 勧告	2007年 勧告
線量限度 (職業人)	50mSv/年	100mSv/5年 かつ 50mSv/年	100mSv/5年 かつ 50mSv/年
線量限度 (一般公衆)	5mSv/年	1mSv/年	1mSv/年

mSv : ミリシーベルト



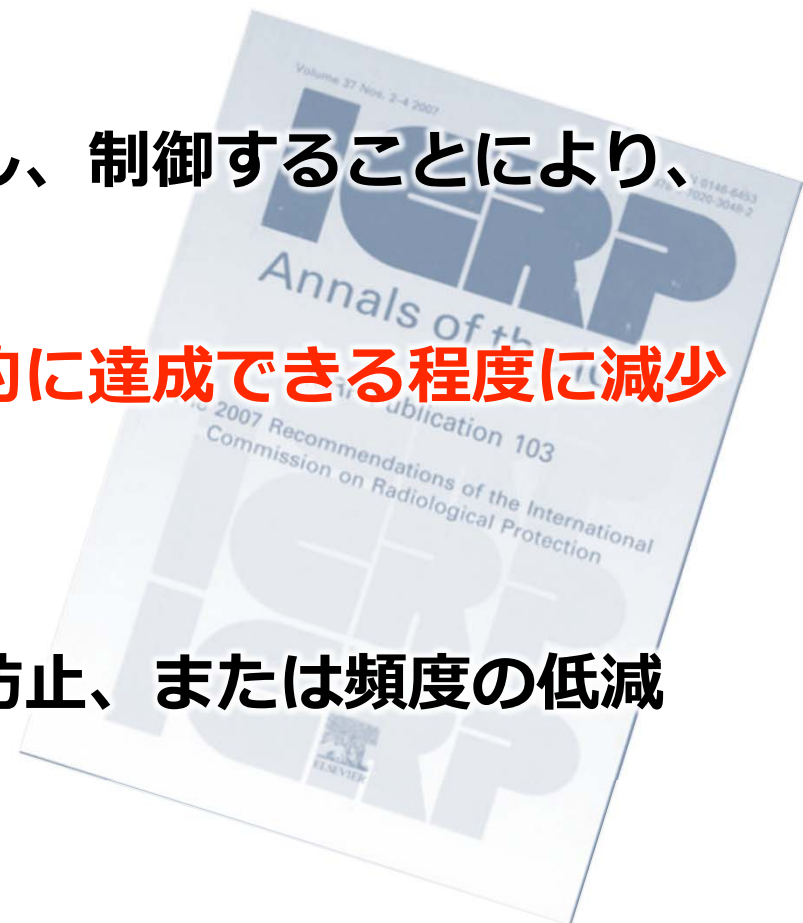
## 勧告の目的（国際放射線防護委員会（ICRP）2007年勧告）

### 1)人の健康を防護する

- ・ 放射線による被ばくを管理し、制御することにより、**確定的影響を防止し、  
確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少  
させる**

### 2)環境を防護する

- ・ 有害な放射線影響の発生の防止、または頻度の低減



# 被ばく状況と防護対策

## 放射線による人の被ばく状況

### 計画被ばく状況

被ばくが生じる前に防護対策を計画でき、被ばくの大きさと範囲を合理的に予測できる状況

#### 線量限度

(一般公衆) 1mSv/年  
(職業人) 100mSv/5年  
かつ50mSv/年

#### 対策

放射性廃棄物処分、長寿命放射性廃棄物処分の管理等

### 現存被ばく状況

管理についての決定がなされる時点ですでに被ばくが発生している状況

#### 参考レベル

1~20mSv/年のうち低線量域、  
長期目標は1mSv/年

#### 対策

自助努力による放射線防護や放射線防護の文化の形成等

### 緊急時被ばく状況

急を要するかつ、長期的な防護対策も要求されるかもしれない不測の状況

#### 参考レベル

20~100mSv/年の範囲

#### 対策

避難、屋外退避、放射線状況の分析・把握、モニタリングの整備、健康調査、食品管理等

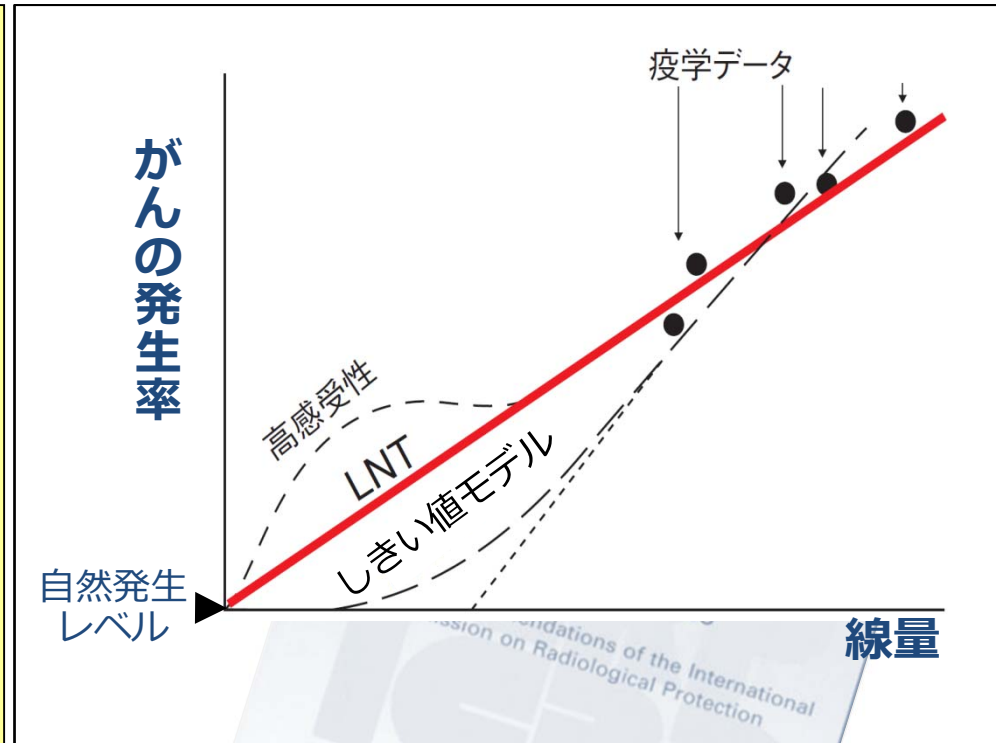
mSv : ミリシーベルト

## 放射線の健康影響には、確定的影響と確率的影響がある

- ・ 約100ミリグレイまでの吸収線量域では、どの組織も臨床的に意味のある機能障害を示すとは判断されない
- ・ 約100ミリシーベルトを下回る線量域では、確率的影響の発生率は臓器や組織の等価線量の増加に比例して増加すると仮定する  
(直線しきい値なしモデル=LNTモデルの採用)
- ・ 固形がんに対する線量・線量率効果係数は「2」
- ・ 低線量において、直線的反応を仮定すると、がんと遺伝性影響による致死リスクは1シーベルト当たり約5%

# LNTモデルをめぐる論争

- ◎ 支持：
  - 全米科学アカデミー（2006）
  - 放射線被ばくには「これ以下なら安全」と言える量はない
- ◎ 批判的：
  - フランス医学・科学アカデミー（2005）
  - 一定の線量より低い放射線被ばくでは、がん、白血病などは実際には生じず、LNTモデルは現実には合わない過大評価



⇒ 国際放射線防護委員会（ICRP）は、放射線防護の目的上、単純かつ合理的な仮定として、直線しきい値なし（LNT）モデルを採用

## 国際放射線防護委員会（ICRP）の防護の三原則

- 正当化
- 防護の最適化
- 線量限度の適用



# 防護の原則 防護の正当化

## 防護の正当化

正当化とは



○採用



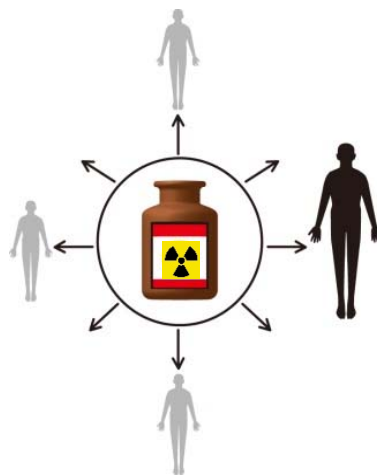
×不採用



## 防護の最適化

個人の被ばく線量や人数を、  
経済的及び社会的要因を考慮に入れたうえ、  
合理的に達成できるかぎり低く保つことである。

この原則を**ALARA** (**A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable)  
アララの原則という



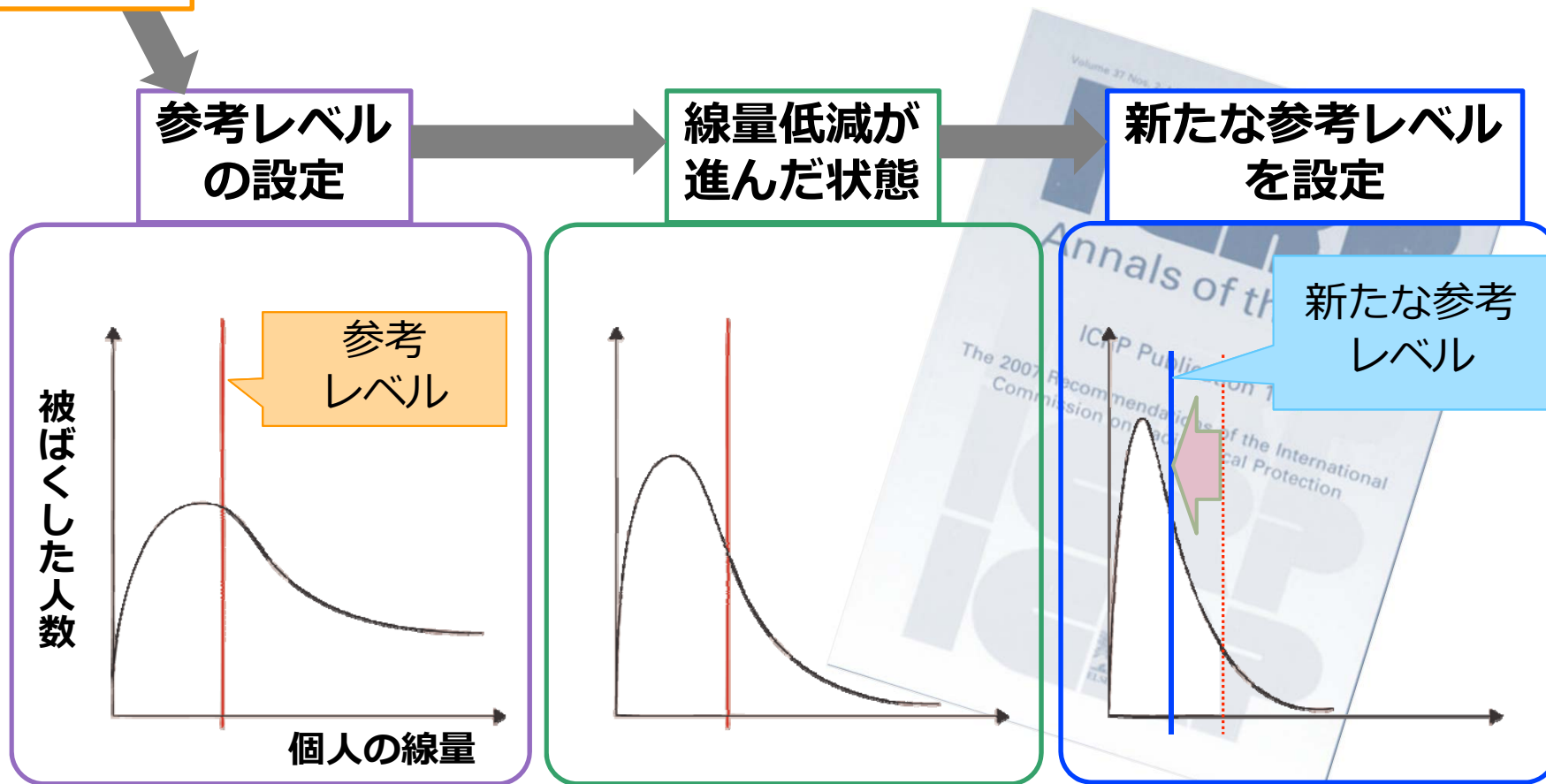
- 線量拘束値
- 参考レベル



# 参考レベルを用いた被ばくの低減

## 参考レベルを用いた防護の最適化

最初の状態



# 線量限度の適用

線量限度は計画被ばく状況に適用される

○職業人（実効線量）

1年間 50 ミリシーベルト かつ

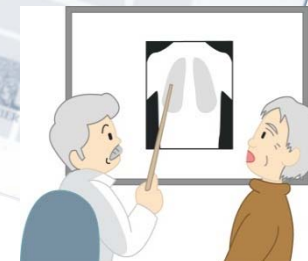
5年間 100 ミリシーベルト

○一般公衆（実効線量）

1年間 1 ミリシーベルト

（例外）医療被ばくには適用しない

- ・ 個々のケースで正当化
- ・ 防護の最適化が重要



## 線量限度

# 国際放射線防護委員会 (ICRP) 勧告と国内法令の比較

		職業被ばく		公衆被ばく	
		国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告	放射線障害の防止に関する法令 (日本) 平成24年3月時点	国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告	放射線障害の防止に関する法令 (日本) 平成24年3月時点
実効線量の線量限度		定められた5年間の平均が20mSv いかなる1年も50mSvを超えるべきでない	勧告に同じ	1mSv/年 (例外的に5年間の平均が年あたり1mSvを超えなければ、単一年に限度を超えることが許される場合がある)	線量限度の規定はない (事業所境界の線量限度、排気排水の基準は1mSv/年を基に設定している)
等価線量限度の	眼水晶体	150mSv/年	150mSv/年	15mSv/年	—
	皮膚	500mSv/年	500mSv/年	50mSv/年	—
	手先、足先	500mSv/年	—	—	—
職業人 (女子の場合) の線量限度		妊娠の申告以降の妊娠期間に胎児の等価線量(子宮内被ばく)が1mSvを越えないようにする	5mSv/3月 妊娠の事実を知った後、出産まで腹部表面の等価線量限度2mSv 内部被ばく1mSv	—	—

mSv : ミリシーベルト

	国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告		福島第一原発事故での対応
職業被ばく	救命活動 (情報を知らされた志願者)	他の者への利益が救命者のリスクを上回る場合は線量制限なし	厚生労働省電離放射線障害防止規則の特例 従来の100mSvから250mSvに引き上げ ※2011年11月1日以降、原則100mSvに戻すことが決められた。
	他の緊急救助活動	～500mSv	
公衆被ばく	緊急被ばく状況	20～100mSv/年の範囲で決める	例 計画避難地域での避難の基準: 20mSv/年
	復旧時 (現存被ばく状況)	1～20mSv/年の範囲で決める	例 土壌の除染のための基準: 1mSv/年

mSv : ミリシーベルト

# 食品の暫定規制値と基準値

- 暫定規制値に適合している食品は、健康への影響はないと一般的に評価され、安全は確保されていたが、  
より一層、食品の安全と安心を確保する観点から、暫定規制値で許容していた年間線量 5 ミリシーベルトから年間 1 ミリシーベルトに基づく基準値に引き下げた。

## ○放射性セシウムの暫定規制値※1

食品	規制値
飲料水	200
牛乳・乳製品	200
野菜類	500
穀類	
肉・卵・魚・その他	

※1 放射性ストロンチウムを含めて規制値を設定

## ○放射性セシウムの基準値※2

食品群	基準値
飲料水	10
牛乳	50
一般食品	100
乳児用食品	50

(単位：ベクレル/kg)

※2 放射性ストロンチウム、プルトニウム等を含めて基準値を設定

# 食品の規制値の比較

## 食品中の放射性セシウム濃度の規制値

	日本 基準値 (2012. 4~)	コーデック 委員会※	EU(域内の 流通品)	アメリカ	韓国
飲料水	10	1,000	1,000	1,200	370
牛乳	50	1,000	1,000	1,200	370
一般食品	100	1,000	1,250	1,200	370
乳児用食品	50	1,000	400	1,200	370

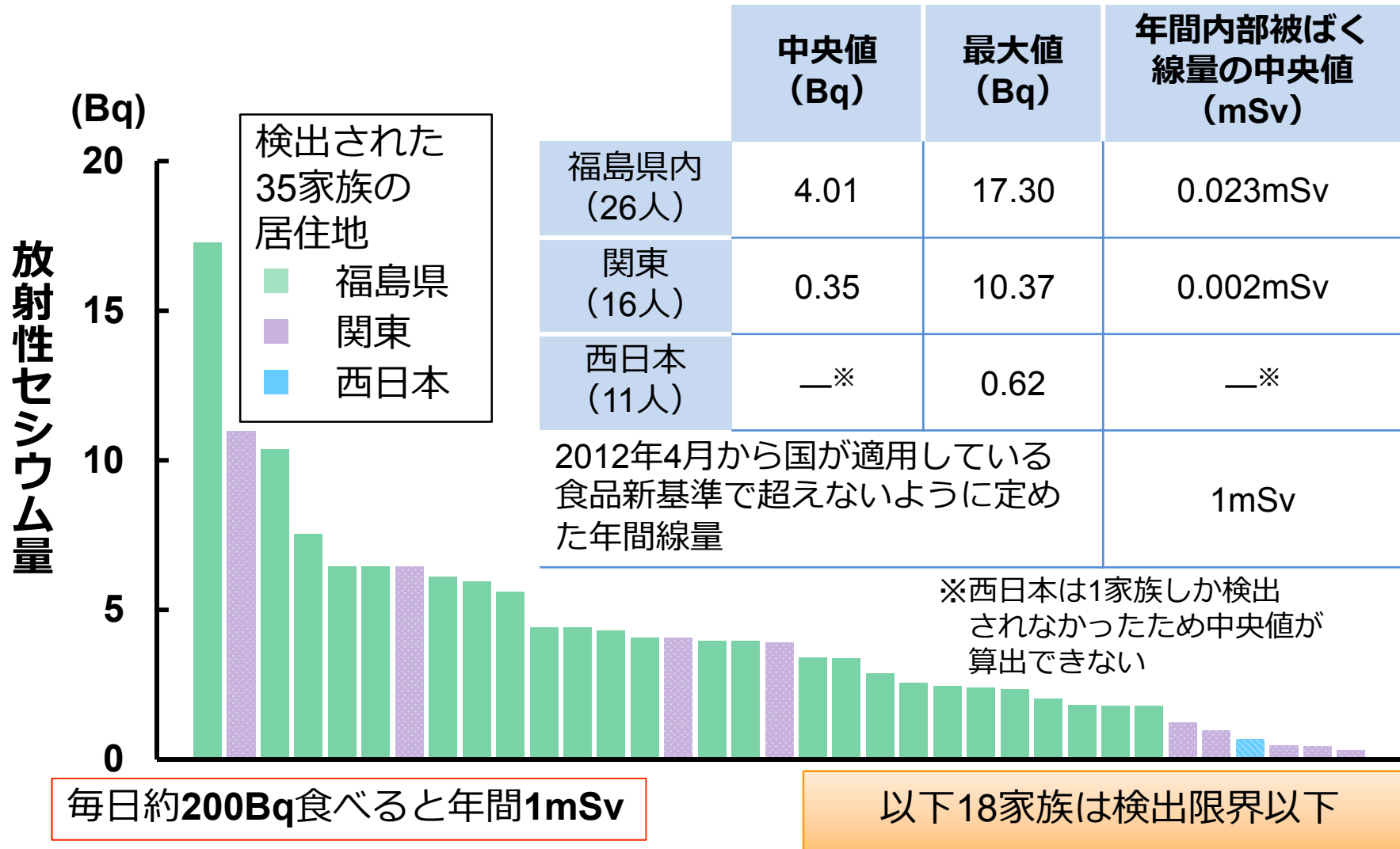
単位はベクレル/kg

※消費者の健康の保護、食品の公正な貿易の確保等を目的として、1963年に国際連合食糧農業機関（FAO）及び世界保健機関（WHO）により設置された国際的な政府間機関であり、国際食品規格の策定等を行っています。

線量限度

# 流通食品の摂取による被ばく線量

家族1人当たりの1日の食事に含まれていた放射性セシウムの量

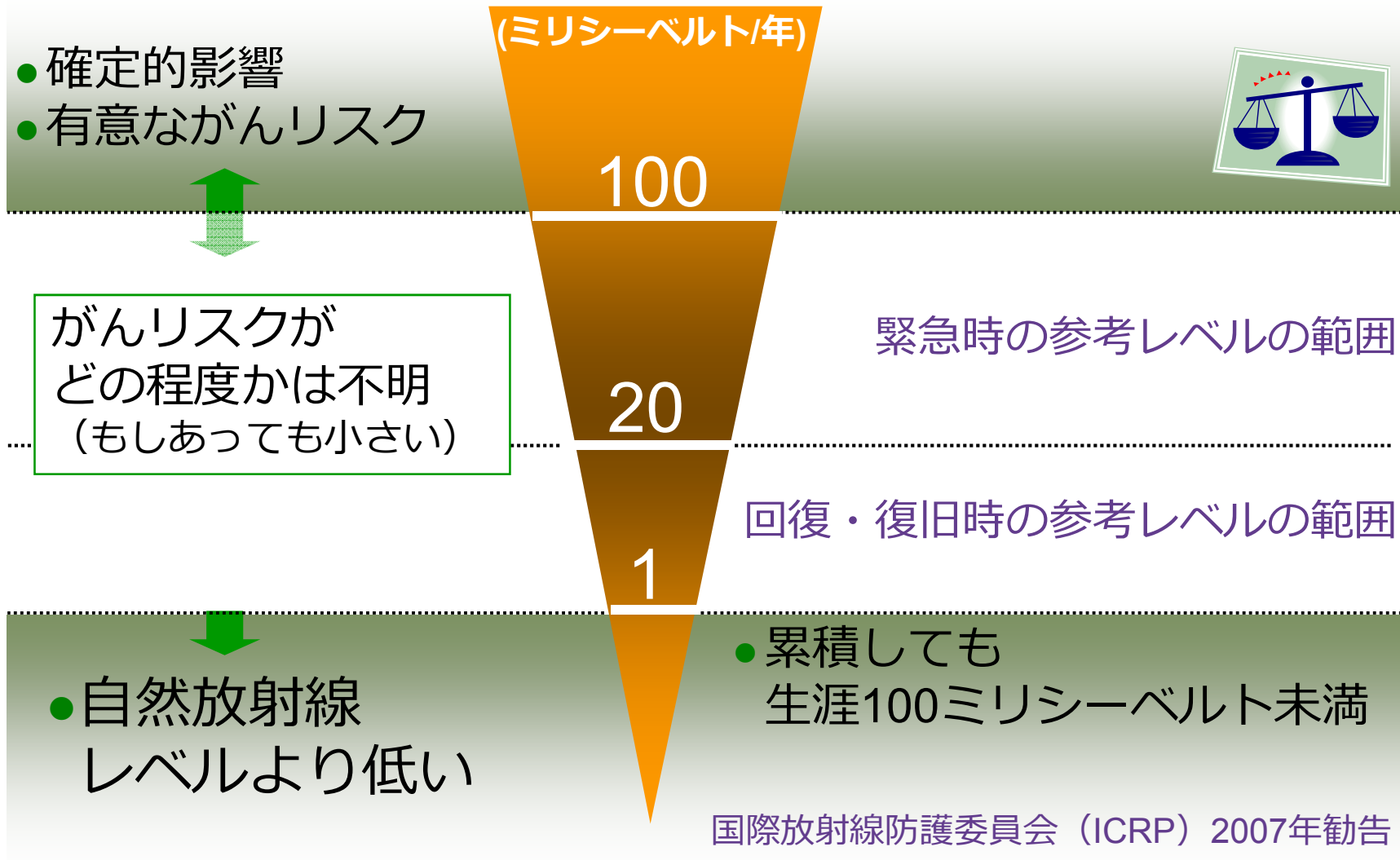


Bq : ベクレル mSv : ミリシーベルト

出典 : Koizumi *et al.*, Environ Health Prev Med, 2011より

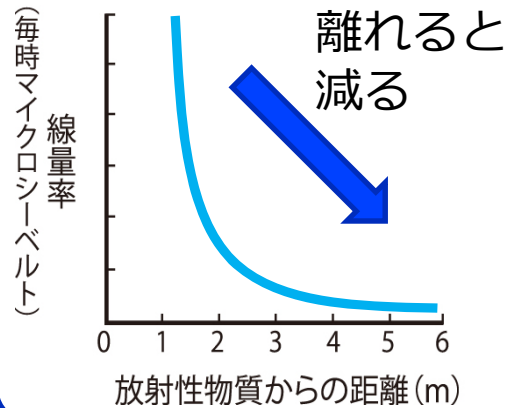
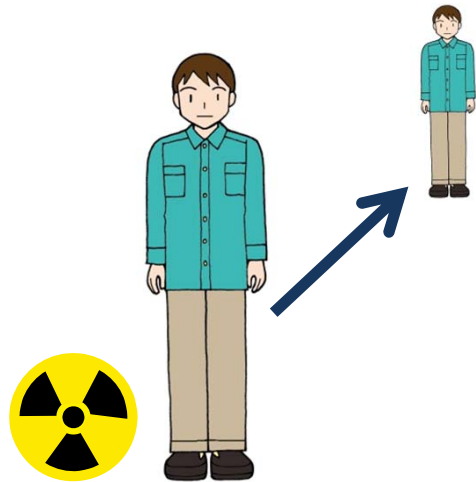


# 被ばく線量と健康リスクとの関係

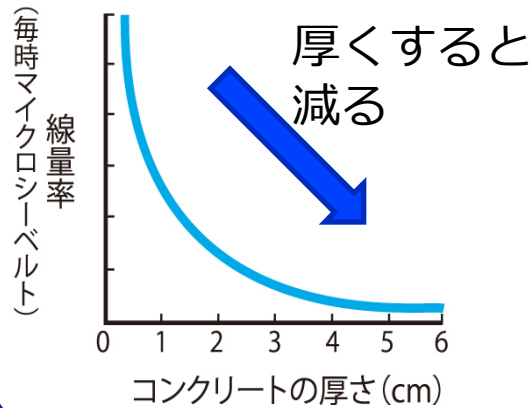
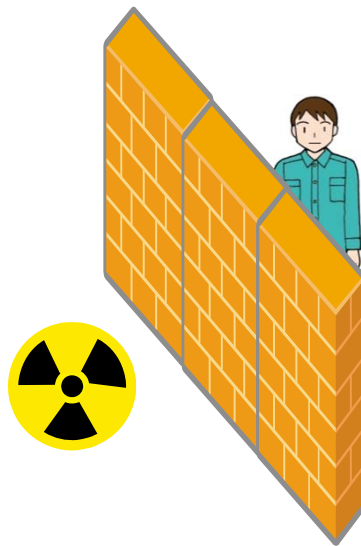


# 外部被ばくの低減三原則

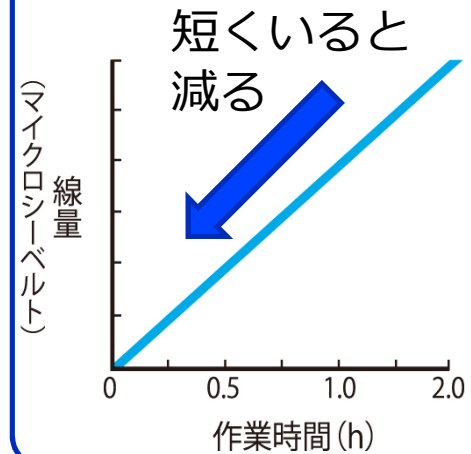
## ① 離れる (距離)



## ② 間に重い物を置く (遮へい)



## ③ 近くにいる時間を短く (時間)



# 内部被ばく—原子力災害直後の対応—

- 原則は口、鼻、傷口から入らないように
- 基準値以下の微量の放射性物質を過剰に心配して、  
食物の栄養バランスを崩さないように
- 放射性物質の放出の情報に気をつける
- 土が身体、靴、服に付けばすぐに洗う



## 調理の過程で放射性物質の低減が可能



野菜／果実／きのこ：洗淨、ゆでる（煮汁は捨てる）

例) 野菜／果実を洗淨：0～40% 除去

野菜／果実をゆでる：10～60% 除去



肉／魚：塩焼き等で肉汁を落とす

例) 肉をゆでる(ゆで汁に移行)：30～80% 除去

肉を焼く(肉汁に移行)：20～50% 除去

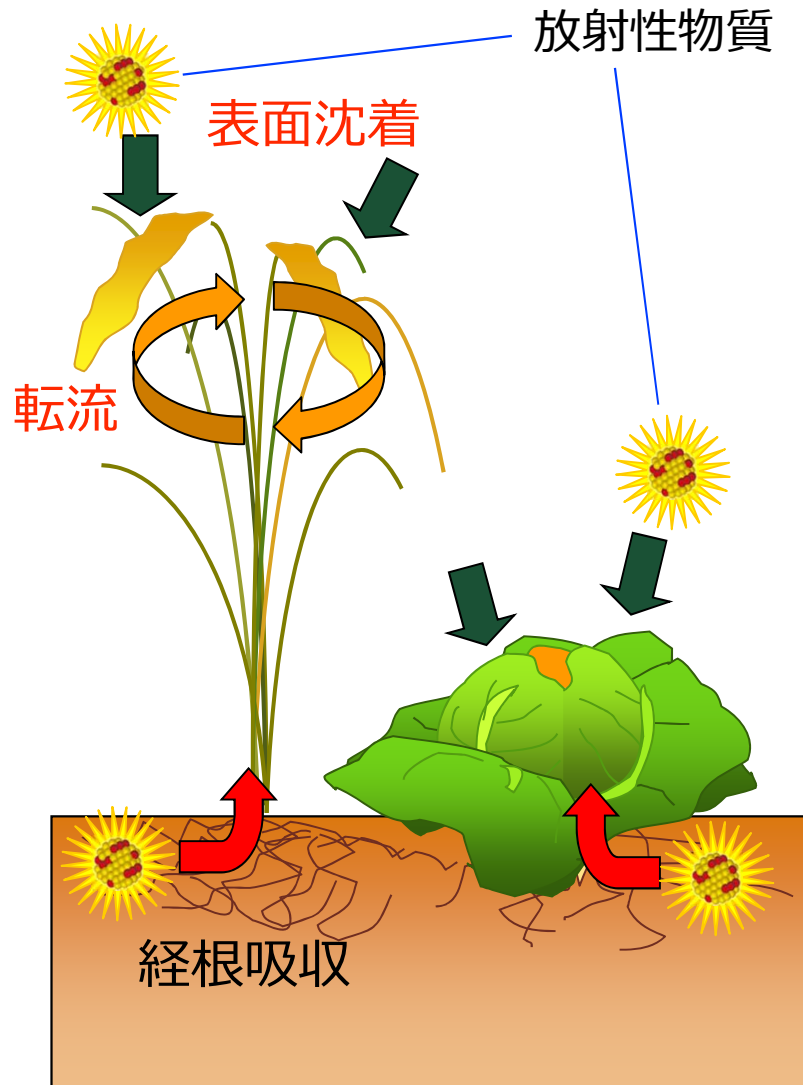
- **野生**のものは大量に食べない
- いろいろな品目、いろいろな産地のものを食べる

栄養の偏りに注意

出典：国際原子力機関（IAEA）TRS472

# 植物への移行

初期の影響



## 直接経路

(大気中から直接葉面に)  
大気への放出直後に  
主要な経路

## 転流による経路

(植物内での移動)  
葉や樹皮が吸収して新芽や  
実などに移行

## 経根吸収経路

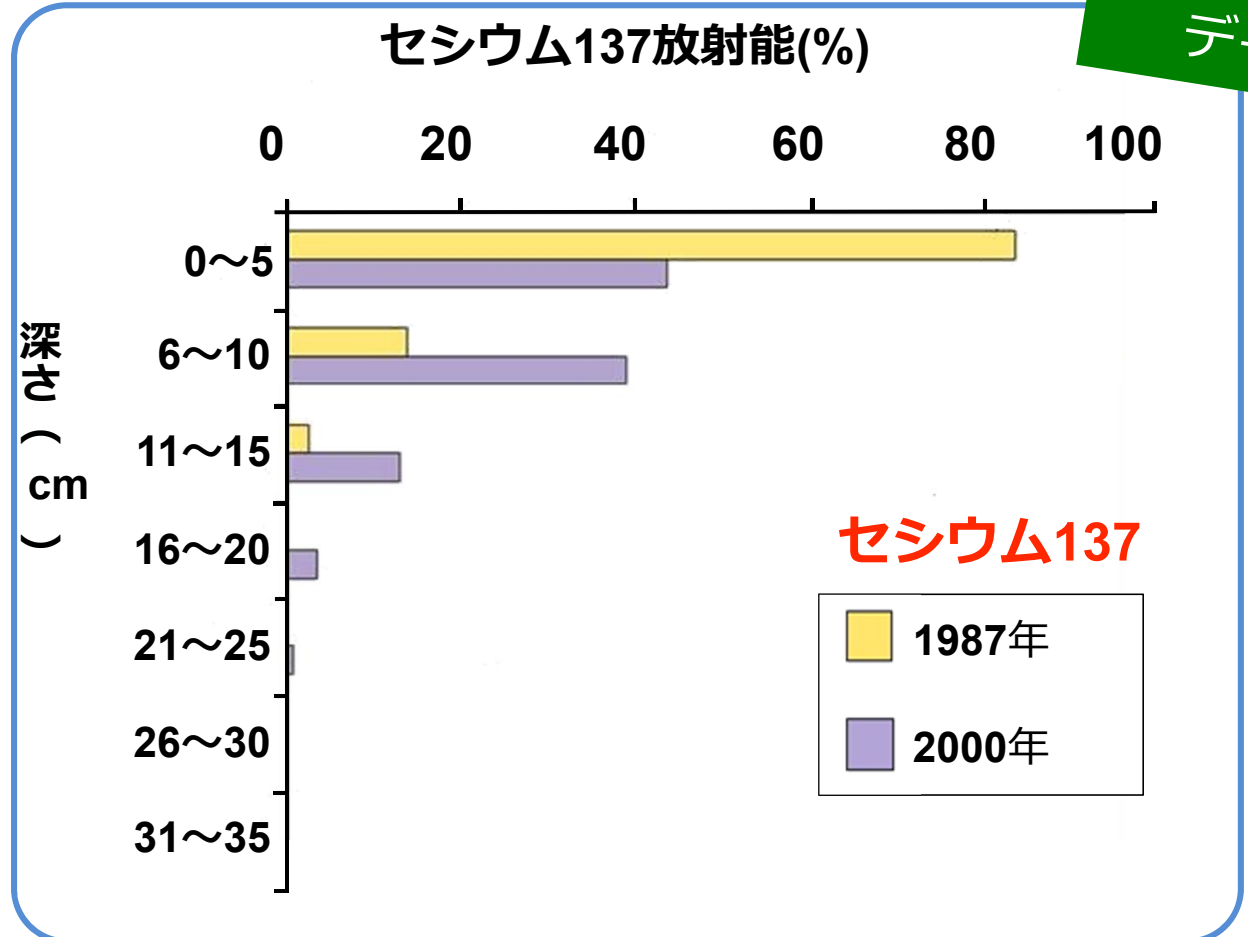
(土壌から根による吸収)  
事故後、中・長期に  
わたる移行経路

長期的影響

# 土壌中の分布

## 土壌中深度分布の経年変化 (全量を100%)

チェルノブイリのデータより

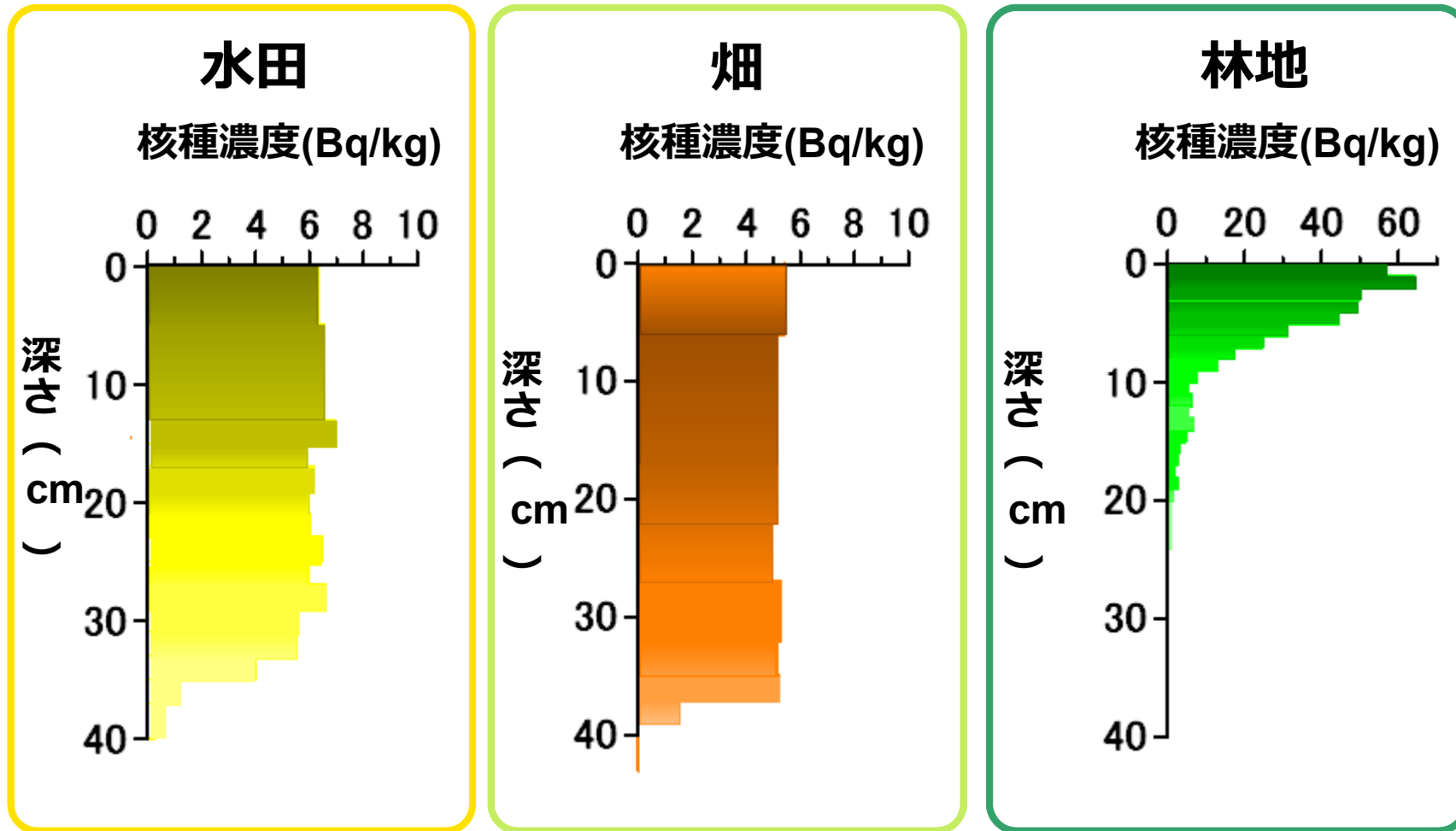


セシウム137は土壌に固定されて表層に長期間留まるため、農作物に吸収されにくい特性があります

出典：国際原子力機関 (IAEA) 国際チェルノブイリフォーラム報告書 (2006年) より作成

# 核実験フォールアウトの影響（日本）

2009年10月に北海道で採取した土壌のセシウム137濃度の深度分布



Bq/kg : ベクレル/キログラム

出典：木方ら、第52回環境放射能調査成果抄録集（2010年）他より作成

# 森林中の分布

分布は時間（年）とともに変化します。

森林中で大きく動く

大気からの沈着直後：

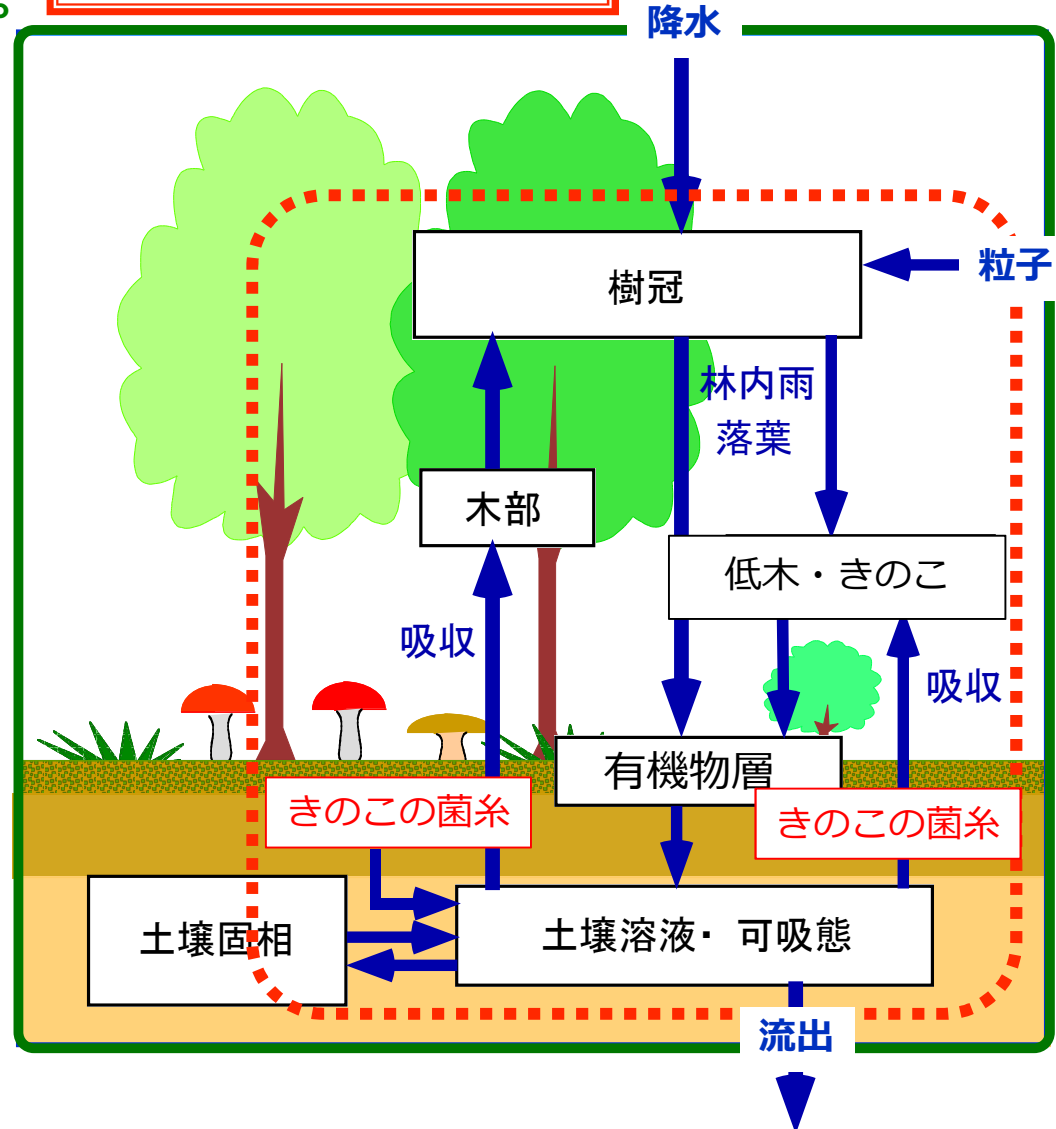
- ・ 樹冠の葉・枝（一部表面吸収&転流）
- ・ 土壌有機物層(腐葉土層等)の表面付近

その後：

- ・ 樹冠から土壌有機物層へ
- ・ 有機物層からその下の土壌へ
- ・ 植物の経根吸収

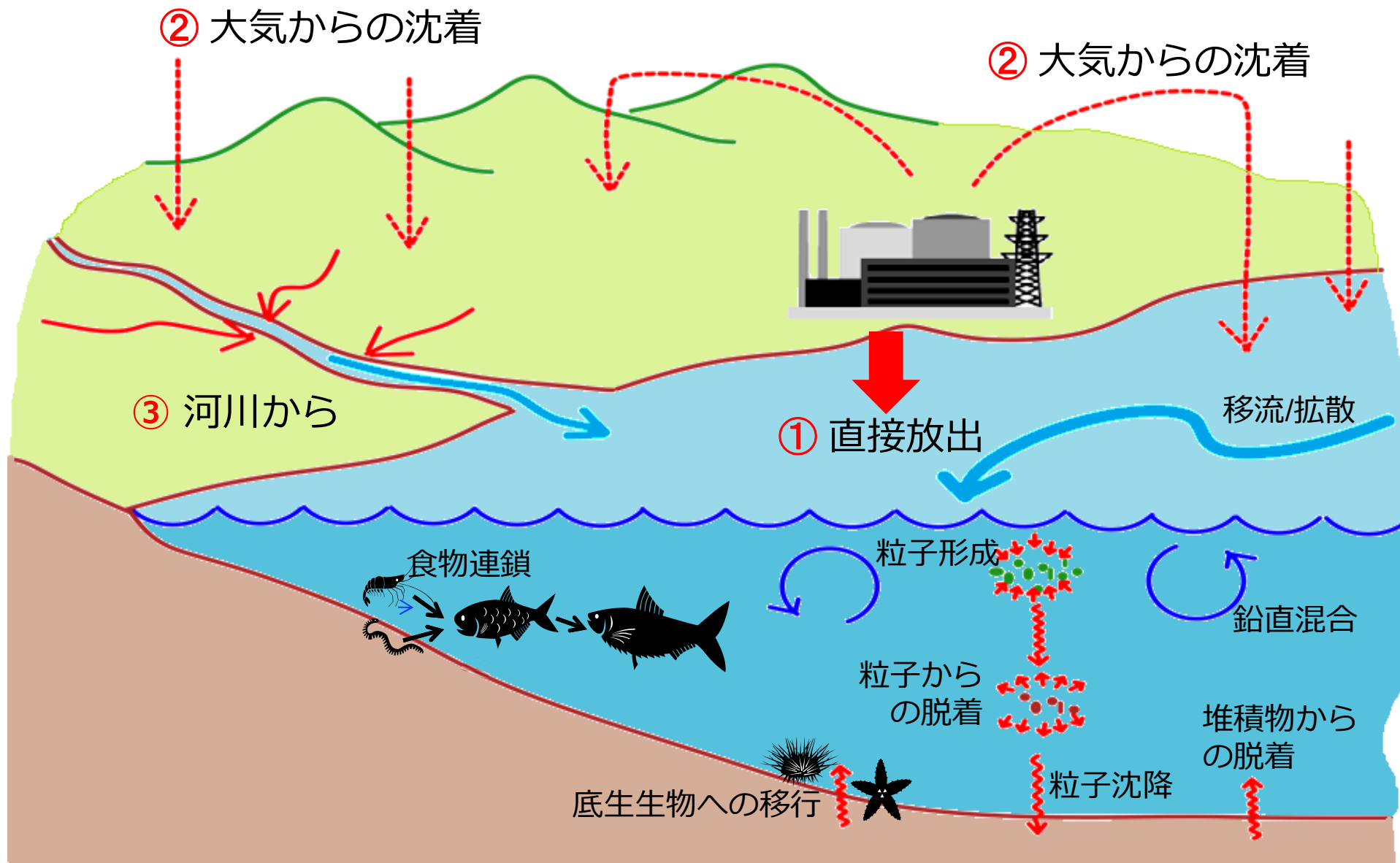
最終的には：

- ・ 大部分が土壌有機物層を含めた土壌表層部に蓄積





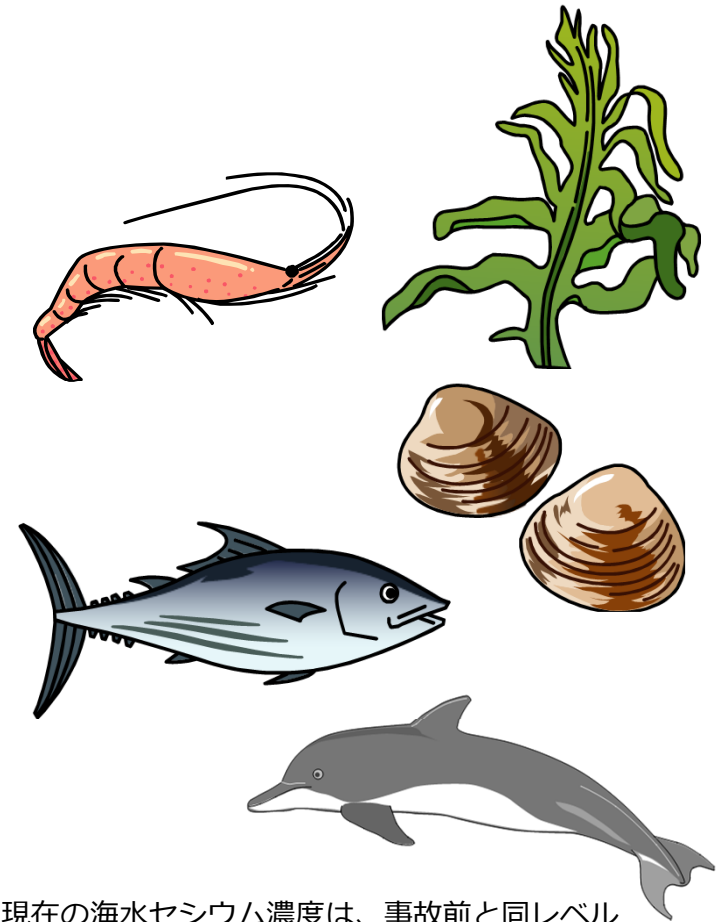
# 海洋中の分布



# 海産生物の濃縮係数

$$\text{濃縮係数} = (\text{海産生物中の濃度}) / (\text{海水中の濃度})$$

生物の種類	濃縮係数※ (セシウム)
イカ・タコ	9
植物プランクトン	20
動物プランクトン	40
藻類	50
エビ・カニ	50
貝類	60
魚	100
イルカ	300
トド	400



現在の海水セシウム濃度は、事故前と同レベル  
(0.001~0.01ベクレル/リットル)である。

※：濃縮係数は、下記IAEA文献による推奨値

出典：国際原子力機関（IAEA）Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment, 2004

	WHO	UNSCEAR
目的	事故後1年間の住民の被ばくによる健康リスクを見積もる（保守的評価）	<ul style="list-style-type: none"> <li>• これまでに得た情報を集約し、評価する</li> <li>• 科学的な知見を提供する（現実的評価）</li> </ul>
内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 被ばく線量推計</li> <li>• 健康リスク評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 原発事故の時系列的展開</li> <li>• 放射性物質の放出と拡散状況</li> <li>• 公衆の被ばく線量</li> <li>• 作業者の被ばく線量</li> <li>• 健康影響</li> <li>• ヒト以外の生物の被ばく線量とリスク評価</li> </ul>
評価時期	事故発生直後 （2011年9月までのデータ） 事故直後は精度の高くない情報も多い	事故からある程度の時間が経過（2012年9月までのデータ） 一部のさらに新しい情報は特に適切であった場合は考慮に入れた。
公表時期	線量評価：2012年5月 健康リスク評価：2013年2月	2014年4月
結論	今回の事故による放射線によって、疾患の罹患の増加が確認される可能性は小さく、福島県のいくつかの地域以外や、日本近隣諸国ではリスク増加は無視できる水準である。	事故により日本人が生涯に受ける被ばく線量は少なく、その結果として今後日本人について放射線による健康影響が確認される可能性は小さい。

	WHO	UNSCEAR
事故後1年間の実効線量推計結果 (単位はミリシーベルト)	20歳 (成人) 1歳 (乳児) ① 福島県 : 1~50 1~50 ② 福島近隣県 : 0.1~10 0.1~10 ③ その他の : 0.1~1 0.1~1 都道府県	20歳 (成人) 1歳 (乳児) ① 予防的避難区域 : 1.1-5.7 1.6-9.3 ② 計画的避難区域 : 4.8-9.3 7.1-13 ③ 避難区域外の福島県 : 1.0-4.3 2.0-7.5 ④ 近隣県 : 0.2-1.4 0.3-2.5 ⑤ その他の都道府県 : 0.1-0.3 0.2-0.5
不確かさ	大きい (評価の迅速性を優先)	WHOの報告書に比べて、現実的な評価を指向しているが、依然として不確かさは残る。
線量評価の不確かさの主な原因	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 地表面沈着の測定値に基づく大気中放射性物質濃度の推定</li> <li>• 放射性物質の放出に関する情報 (ソースターム) と拡散シミュレーション</li> <li>• 放射性核種の組成と化学形</li> <li>• 建物の遮へい効果</li> <li>• 食物摂取による線量推計の仮定</li> <li>• 食習慣による線量係数の変動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 地表に沈着した短半減期放射性核種の測定値</li> <li>• 時間の経過に伴う放射性核種の放出率の推移と放出時の気象情報についての知見</li> <li>• 大気中の粒子状及びガス状I-131の組成</li> <li>• 食品モニタリングにおける試料選定の偏り (汚染の高いものが優先されている)</li> <li>• 日本人のヨウ素代謝 (甲状腺へのヨウ素の取り込み率)</li> </ul>

注 : WHOの推計線量は、UNSCEARに比較すると保守的な (過大な) 評価結果になっている。

用語の説明 :

- ソースタームとは、線量評価に必要とされる放射性物質の種類、化学形、放出量の総称。
- 拡散シミュレーションとは、気象状況や風向きなどのデータとソースタームのデータを合わせて、放射性物質の拡散の傾向を計算すること。

## 「保守的な評価」と「現実的な評価」

### 保守的な評価

- 原子力災害直後の緊急時の対応においては、不確かな情報について過小とはならないような仮定（「保守的な仮定」）をおき、被ばく線量及び健康リスクを高めに見積もる。
- 「保守的な」評価を行うと、実際の被ばく線量よりも高い値が算出される。
- その線量に基づいてリスクを評価すると、健康影響の予測は実際より過大となる。

### 現実的な評価

原子力災害後の回復期では、その時点で得られている情報や測定データをもとに、できるだけ現実に近い仮定をおいて、被ばく及び将来の健康影響の可能性について評価する。

## 目的

- 福島第一原発事故による緊急対応が必要な地域・集団を特定する
- そのために事故後1年間の被ばく線量を推計する
- 線量推計の結果をもとに、日本及び世界の住民の健康リスクを評価する

## 評価方法

- 線量推計には、保守的な条件を設定し被ばく線量を評価
- 外部被ばく及び内部被ばくからの線量を推計
- 年齢別（1歳（乳児）、10歳（小児）、20歳（成人））及び地域別に被ばく線量を推計

## 実効線量推計のポイント

- 外部被ばく及び吸入摂取による内部被ばく線量は、地表面沈着の測定データから算出
- 経口摂取による内部被ばく線量は、食品の測定データから算出
- 20km圏内は推計対象外
- 計画的避難区域は、事故後4か月間滞在と仮定

## 被ばくの経路

全ての主要な被ばく経路を仮定

- グラウンドシャイン※1からの外部被ばく
- クラウドシャイン※2からの外部被ばく
- 吸入摂取による内部被ばく
- 経口摂取による内部被ばく

## 住民の健康リスク評価のまとめ

### リスク評価の前提

- 放射線発がんにはしきい線量がないものとし、固形がんについては直線型、白血病については直線-二次曲線型の線量反応を採用
- 線量・線量率効果係数 (DDREF) は、適用せず

### 結果

- 住民の被ばく線量は、あらゆる確定的影響のしきい値を下回っている
- 被ばく線量が最も高かった地域においても、小児甲状腺がんを含む、がん・白血病のリスクの増加は小さく、自然のばらつきを越える発生は予想されない
- 被ばくによる遺伝性影響のリスクは、がんのリスクよりもはるかに小さい
- 結果として、放射線に関連する疾患の過剰発症を検出できるレベルではない

### まとめ

- 本報告書にあるリスクの数値は、リスクの程度を大まかに把握するためのものであり、将来の健康影響を予測するものではない



- 地表面沈着の測定値に基づく大気中放射性物質濃度の推定に関する不確かさ
- 放射性核種の組成と化学形に関する不確かさ
- 建物の遮へい効果を低く想定したことによる不確かさ
- 食習慣による線量係数の変動に伴う不確かさ
- 放射性物質の放出に関する情報（ソースターム）と拡散シミュレーションの不確かさ
- 食物摂取による線量推計の仮定に伴う不確かさ

## 目的

- 原子力事故がもたらした放射線被ばくのレベル、及びその健康影響とリスク、さらにヒト以外の生物相への影響に関する知見の提示。
- 線量の推定値を提示し、UNSCEARがこれまで行ってきた科学的評価に照らして、日本国内に加え、近隣諸国でのさまざまな集団の健康との関連を含めて議論。
- 将来実施される可能性のある追跡調査や研究のために、どのような知識が不足しているかを挙げる。

## 公衆の被ばく線量評価の概要

1. 評価はできるかぎり測定データに基づいて行った
2. 事故後1年間に公衆が受けた被ばく線量を評価。対象は、20歳（成人）、10歳（小児）、1歳（乳児）
3. 事故後10年間及び80歳までに被ばくする線量を予測
4. 実測値に基づいて状況を客観的に評価するため、できるだけ現実に即したモデルを使用
5. 最初の1年間に講じられた防護措置により回避された線量も推定

## 利用した測定値等

## 1. 外部被ばく及び吸入による内部被ばく

- ① 地上で、及び航空機により測定された放射性物質の地表面の沈着密度
- ② 事故炉から放出された放射性物質の種類と量の推定値と大気中拡散シミュレーションにより推定された大気中および地表面の放射性物質濃度

## 2. 経口摂取による内部被ばく

## ・食品及び飲料水中の放射性物質濃度

- ① 1年目：市場に流通した食品及び飲料水中の放射性核種濃度の測定データ
- ② 2年目以降：土壌汚染濃度データからシミュレーションにより推定した食品中の放射性物質濃度。海産物については福島県沖海域での測定データ及び放射性核種拡散シミュレーションにより推定した海水中の放射性物質濃度。

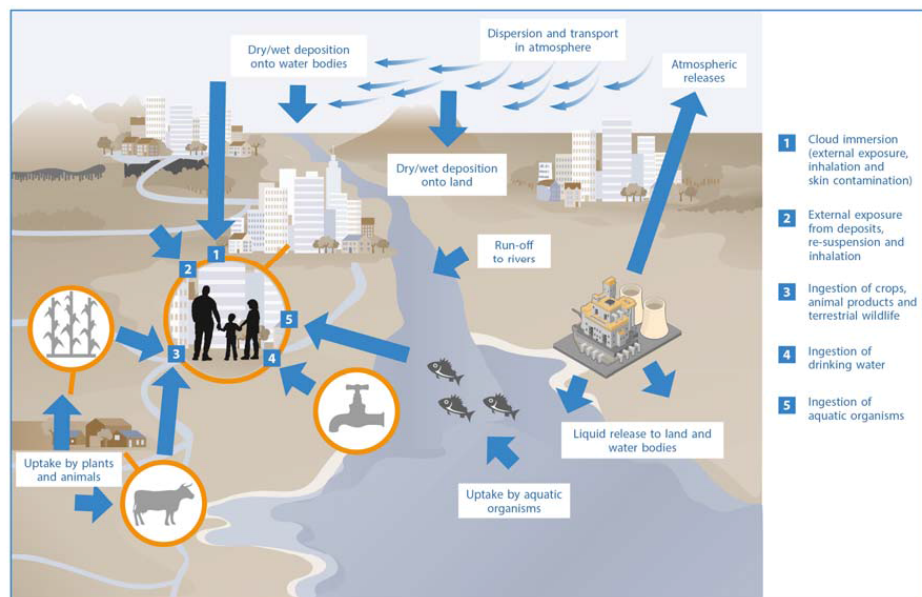
## ・日本人の食品摂取量（国民健康・栄養調査）

## 4グループ毎に公衆の線量を推定

## 線量評価のための地域区分

グループ	地域	公衆の線量評価における空間解像度
1	人々が事故後、数日から数か月の単位で避難した福島県の地区	18の避難シナリオで特定された各地区における典型的な場所を使用
2	避難が行われなかった福島県の行政区画	外部経路及び吸入経路については行政区画レベル（各1km格子点で推定値に基づき行政区画レベルでの平均値を算出） 経口摂取経路については県レベル
3	福島県の隣接県（宮城県、栃木県、群馬県、茨城県）または福島県に近い県（岩手県と千葉県）	外部経路及び吸入経路については行政区画レベル（各1km格子点で推定値に基づき行政区画レベルでの平均値を算出） 岩手県における経口摂取による推定被ばく線量はグループ4と同じ、他の5つの県については、5つの県の平均に基づいた
4	その他の都道府県全て	外部経路及び吸入経路は県レベル 摂取経路についてはその他全ての都道府県平均

Figure V. Exposure pathways from releases of radioactive material to the environment



1. 放射性プルームの大気中移動
  - ✓ 外部被ばく
  - ✓ 内部被ばく (吸入)
2. 地表沈着
  - ✓ 外部被ばく
  - ✓ 内部被ばく (再浮遊、吸入)
3. 地表等沈着
  - ✓ 内部被ばく (飲食物移行)

### 主な評価対象の被ばく経路

- ① プルーム中放射性物質による外部被ばくと吸入による内部被ばく
- ② 地表沈着放射性物質からの外部被ばく及び飲食物移行放射性核種の摂取による内部被ばく
- ③ 海産物へ移行した放射性物質の摂取による内部被ばく

表1. 事故後1年間の地域平均の実効線量及び甲状腺吸収線量の推定値※1

避難をした地区					
グループ		実効線量 (mSv)		甲状腺の吸収線量 (mGy)	
		20歳 (成人) ※2	1歳 (乳児)	20歳 (成人) ※2	1歳 (乳児)
1 <sup>a</sup>	予防的避難区域 <sup>b</sup>	1.1-5.7	1.6-9.3	7.2-34	15-82
	計画的避難区域 <sup>c</sup>	4.8-9.3	7.1-13	16-35	47-83
避難をしていない地域					
2	福島県 (避難区域外)	1.0-4.3	2.0-7.5	7.8-17	33-52
3	近隣県 <sup>d</sup>	0.2-1.4	0.3-2.5	0.6-5.1	2.7-15
4	その他の都道府県	0.1-0.3	0.2-0.5	0.5-0.9	2.6-3.3
<sup>a</sup> 18の避難シナリオを用いて避難者の線量を推計					
<sup>b</sup> 高度の被ばくを防止するための緊急時防護措置として2011年3月12日から2011年3月15日にかけて避難を指示された地区					
<sup>c</sup> 2011年3月末から同年6月にかけて避難を指示された地区					
<sup>d</sup> 岩手県, 宮城県, 茨城県, 栃木県, 群馬県, 千葉県					

※1: 日本の避難地区及び避難区域外の典型的な住民における線量推定 mSv: ミリシーベルト mGy: ミリグレイ

※2: 10歳の推定値は省略

参考: 日本の近隣諸国及び世界の他地域における公衆の線量評価について: UNSCEARは、日本国外に居住する住民の事故直後1年間における事故による平均実効線量を0.01mSvより小さかったと結論した。

- 将来のがん統計において、事故による放射線被ばくに起因し得る有意な変化がみられるとは予測していない。
- 最も高い被ばくを受けたと推定される小児の集団について、甲状腺がんのリスクが理論上増加する可能性がある。そのため、今後、状況を綿密に追跡・評価する必要がある。
- 先天性異常/遺伝的影響はみられない。

出典：国際連合広報誌「UNSCEAR：福島第一原子力発電所事故（情報に基づく意思決定のための放射線に関する科学的情報の評価）」に基づき作成



1. 地表に沈着した短半減期放射性核種の測定レベルと地域による空間的な分布
2. 時間の経過に伴う放射性核種の放出率の推移と放出時の気象情報
3. 放射性ヨウ素の粒子径・化学形
4. 食品中の放射性核種濃度の設定
5. 日本人の甲状腺への放射性ヨウ素の取り込み率

二つの放射性核種の測定情報が、公衆の被ばくを評価するための情報源となった。

- ① 甲状腺、特に小児の甲状腺におけるヨウ素131 (I-131) の測定値
- ② セシウム134 (Cs-134) とセシウム137 (Cs-137) の全身モニタリング結果

1. 国連科学委員会(UNSCEAR)が内部被ばくによる甲状腺の地区平均吸収線量を推定した結果は、同じ対象グループの直接のモニタリングから導き出された甲状腺の地区平均吸収線量より最大で約5倍高かった。
2. 福島県において10万6,000人以上の住民を対象にしたホールボディカウンタ検査結果は、UNSCEARが推定したCs-134とCs-137の吸入と経口摂取による平均的実効線量値よりもかなり低かった。