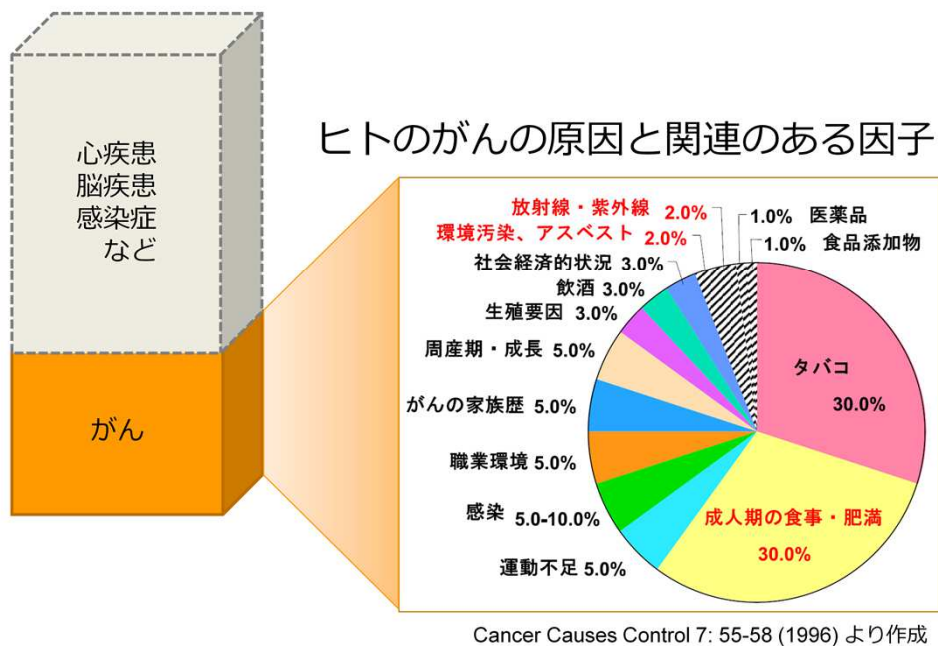


リスク 発がんに関連する因子



私たちは様々ながんの原因に囲まれて暮らしています。図の円グラフはアメリカのデータですが、食物や喫煙が、がん発生に密接に関わっているという知見が得られています。これに放射線によるリスクが上乗せされるので、生物学的な面からだけいえば、放射線を受けないにこしたことはないということになります。

そこで、X線検査をこたわる、飛行機に乗らないようにするといった生活をすることも可能ですが、その代わりに、疾患の早期発見が出来なかったり、生活が不便になったりします。その割には、がんになる危険性が劇的に減るということもありません。なぜなら、放射線以外にもがんになる原因が身の回りにいろいろあるからです。

本資料への収録日：2013年3月31日

リスク がんのリスク（放射線と生活習慣）

放射線の線量 (ミリシーベルト)	生活習慣因子	がんの 相対リスク*
1000 - 2000	喫煙者	1.8
	大量飲酒（毎日3合以上）	1.6
500 - 1000	大量飲酒（毎日2合以上）	1.4
	肥満（BMI \geq 30） やせ（BMI $<$ 19）	1.4
200 - 500	運動不足	1.22
	高塩分食品	1.29
100 - 200	野菜不足	1.19
	受動喫煙（非喫煙女性）	1.15 - 1.19 1.11 - 1.15
100 以下	野菜不足	1.08
	受動喫煙（非喫煙女性）	1.06
100 以下		1.02 - 1.03
100 以下		検出不可能

*放射線の発がんリスクは広島・長崎の原爆による瞬間的な被ばくを分析したデータ(固形がんのみ)であり、長期にわたる被ばくの影響を観察したものではない
国立がん研究センターHP

これは国立がん研究センターが発表した放射線の危険度を他の危険因子と比べた表です。

喫煙や大酒の習慣は放射線を1,000 - 2,000mSv被ばくするのと同程度、肥満、やせ、運動不足、高塩分食品などは、200 - 500mSvの放射線被ばくと同程度の発がんリスクがあると推定されています。

一方、100mSv以下に至っては、発がんリスクを検出するのが極めて難しい状況です。

本資料への収録日:2013年3月31日

- ・ 将来の不確実性
- ・ 住居・住居の安全の不確実性
- ・ 社会の偏見
- ・ 執拗な報道
- ・ 避難先の習慣の違い

- ・ 災害予告ができない
- ・ 被害の範囲の把握が困難
- ・ 長期にわたる健康障害

放射線災害特有

原子力安全委員会 被ばく医療分科会 心のケア及び健康不安対策検討会
第3回会合資料3-2号より

一般的に、被災者のストレスの要因と言うのは、将来の不確実性、住居・住居の安全の不確実性、社会の偏見、執拗な報道、避難先の習慣の違いなどがあると考えられています。これに加えて、放射線災害の場合は、災害予告ができない、被害の範囲の把握が困難、長期にわたる健康障害と言うのが加わります。特に長期にわたる健康障害というのは、いつかがんになるかもしれないと言う不安を長い間抱えるので、大きなストレスになります。

本資料への収録日：2013年3月31日

被害の範囲の把握が困難

緊急被ばく状況

- ◆参考レベル:20-100mSv/年の範囲
Reference level in the 20-100 mSv/year range
- ◆合理的に達成可能な限り低く (ALARA) 被ばくを低減・維持するための防護方を講じる緊急性がある状態
Protection actions to reduce and maintain exposure ALARA are driven by urgency
- ◆放射線状況の分析・把握
Characterization of the radiological situation
- ◆放射線モニタリングの整備、健康調査、食品管理
Setting-up radiation monitoring, health surveillance and foodstuffs management

当局による決定
Decision by authorities

現存被ばく状況

- ◆参考レベル:1-20mSv/年のうちの低線量域。長期目標は1mSv/年。
Reference level in the lower part of the 1-20 mSv/year range with the long term goal of 1 mSv/year
- ◆生活環境の改善のために、合理的に達成可能な限り低く (ALARA) 被ばくを低減・維持するための防護方を講じる必要がある状態
Protection actions to reduce and maintain exposure ALARA are driven by the improvement of living conditions
- ◆自助努力による放射線防護や放射線防護の文化の形成
Development of self-help protection and radiation protection culture

Lochard, J (2012) 第27回原安協シンポジウム資料より

原子力災害の場合、発生直後の放射線状況がわからない「緊急被ばく状況」下では、100mSv以上の被ばくは回避することが優先されます。放射線状況が把握され、線量が大きく動かないことが確認された地域は現存被ばく状況と見なされ、より低い参考レベルが設定され、線量低減が図られます。

福島原子力発電所事故では、自然災害による被害と重なり、避難や除染、救援活動が思うように進まず、被災者に心身ともに大きなストレスを与えました。また緊急被ばく状況下での初期被ばく量の推定が難しいことも、多くの人が放射線影響に強い不安を感じている原因となっています。

本資料への収録日:2013年3月31日

放射線事故が起こったら

- ・「ある程度不安がある」が普通。
- ・特に、親が子どもの健康を心配するのは当然。むしろ子供を愛している証拠。

過剰な不安が長く解消されなければ

- ・メンタルヘルスが悪化する。
- ・母親の不安が子どもの精神状態に影響する可能性も。

不安増大につながる行動例

- ・情報源（根拠）がはっきりしない情報を集める。
- ・科学的に正確ではない情報を集める。

放射線事故が起こった場合、不安を感じる事が普通であり、特に親が子供の健康を心配することは当然のことです。

しかし、あまり過剰な不安が長く続くと、メンタルヘルスが悪化します。母親の不安が子どもの精神状態や成長に影響をおよぼす可能性も指摘されています。

また、災害時には、情報源（根拠）がはっきりしなかったり、科学的に正確ではなかったりする情報も流れます。状況を把握しようとするあまり、このような情報を信じて、不安感が高じることもあるようです。

本資料への収録日：2013年3月31日

- 放射線問題が精神面に与える影響について：
 - ・放射線に対して親が不安になるのは子育てに熱心である証拠
 - ・しかし放射線のことを必要以上に過剰に心配すると、子どもの心身に悪い影響を与えることも。

- チェルノブイリ事故による胎児被ばくと神経心理学的障害：
 - ・事故時に胎児であった子どもへの神経心理学的障害については、研究結果が一致していない。
 - ・事故の影響により情緒障害が合ったとする報告においては、障害発生と保護者の教育状況や不安度との関連性が指摘されている。
 - ・胎児被ばくした子ども達のIQの平均が低いという報告もあるが、甲状腺の被ばく線量とIQの間に相関はなかった。

Kolominsky Y et al., J Child Psychol Psychiatry, 40 (2) :299-305, 1999

チェルノブイリ事故時に妊娠中だった子どもたちのその後のさまざまな影響については調査されていますが、神経心理学的影響についても調査が行われています。必ずしも研究結果は一致していませんが、事故の影響により情緒障害があったとする報告でも、その原因は放射線の直接の影響ではなく、保護者の不安度との関連性が指摘されています。

本資料への収録日：2013年3月31日

ステークホルダの対話からの結論 (ICRPの見解)

- 住民が事故の影響に関する情報を理解、評価でき、また放射線被ばくを減らすために周知された対策が行えるには、放射線防護の文化を醸成することが重要である、とのことが参加者の間で認識された。

Participants recognized the importance of developing radiation protection culture to allow inhabitants to understand and evaluate the information on the consequences of the accident and to take informed actions for reducing radiological exposure.
- 住民自身がどこでいつどのように放射線に被ばくするかを知ることができるように、放射線状況についてのより詳しい把握が必要であることが認識された。

They recognized the need for a more detailed characterisation of the radiological situation to allow people to know where, when and how they are exposed.
- 若い世代の県外避難と農業放棄の加速がもたらす将来の人口動態に対する強い危機意識が、参加者により強調された。

They underlined their concern about the future demographic pattern due to an acceleration in the younger generations leaving the prefecture and abandoning farming activities.
- 参加者は、汚染地域の人々、とりわけ結婚適齢期の人々が結婚し、子供を持つことに対する差別の問題について、強く語った。

They discussed with great emotion the issue of discrimination of people in the affected areas, especially for those of pre-marital age to marry and have children.
- 伝統的でありかつ一般的に行われている山菜の採集は、福島のコミュニティーの絆を維持する上で文化的に重要である、と位置づけられた。

The preservation of the traditional and popular activity of gathering wild vegetables (sansai) was identified as culturally important in maintaining the cohesion of the Fukushima community.

Lochard, J (2012) 第27回原安協シンポジウム資料より

被災者の心理的支援には、現実的な問題の解決を助けたり、対処に役立つ情報を提供することが有効であることが知られています。

原子力災害の場合は、問題となる放射線影響を理解したり、防護方策を考える上で、専門的な知識を必要とします。

チェルノブイリ事故でも、そして福島でも、専門家と地域住民との対話が行われていますが、専門家からのサポートにより、被災者自身が放射線の問題を解決できるようになると、心理的ストレスの低減にも大きな効果があります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2014年3月31日

ステークホルダの対話からの提案 (ICRPの見解)

- 地域コミュニティと住民から提案されている生活環境改善のためのプロジェクトを支援する仕組みを確立する。
Develop a mechanism to support projects proposed by local communities and residents to improve living conditions.
- 復興のための活動を決定するにあたってコミュニティの優先度が考慮されるよう支援し、地域事情に関する彼らの認識を踏まえて、現在と将来の利益をサポートする。
Support community expectations that decisions on recovery actions reflect their priorities, be based on their knowledge of the local context, and support their current and future interests.
- 人々が自ら判断することができるように、個人の内部被ばくと外部被ばくを測定すること、さらにその情報と機器を供与することの努力を継続する。
Continue efforts to monitor individual internal and external exposures, and to provide information and tools in order to help people to make their own judgments.
- 食品問題に関与するすべての関係者（生産者、流通関係者、消費者）の間で対話を恒久的に継続するためのフォーラムを創る。
Create a forum for a permanent dialogue between all concerned parties (producers, distributors and consumers) on the issue of foodstuff.
- 子供たちの中で放射線防護の文化を形成することに対し、父母、祖父母そして教師の関わりを促す。
Promote the involvement of parents, grand-parents and teachers to develop radiation protection culture among children.
- 国内外のステークホルダとの協力関係と対話を強化する。
Strengthen dialogue and cooperation with stakeholders elsewhere in Japan and abroad.

Lochard, J (2012) 第27回原安協シンポジウム資料より

放射線防護の専門家と福島原発事故の被災者との対話の成果として、ICRPから具体的な提案が行われています。その中には、地域社会の優先の反映、被ばく線量に関する情報と機器の提供、食品に関する継続的フォーラムの創生、放射線防護の文化形成などが含まれています。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2014年3月31日

メンタルヘルスへの影響



2006年に原発事故20周年に出された WHOのレポート

- 災者の集団ストレス関連疾患として、うつ状態、PTSDを含む不安、医学的に説明されない身体症状が、対照群に比較して増えている。
- 「チェルノブイリのメンタルヘルスへの衝撃は、この事故で引き起こされたもっとも大きな地域保健の問題である」

World Health Organization: Mental, psychological and central nervous system effects. Health effects of the UN Chernobyl accident and special health care programmes: report of the UN Chernobyl forum expert group "Health"(eds. Bennett B., et al), 93-97, WHO, Geneva 2006.

原子力災害の心理的影響というのはよくあげられる事例に、チェルノブイリ事故による影響があります。

放射線による直接の健康影響よりも心理的影響の方が大きかったと、IAEAやWHOによる取りまとめではなっています。

確かに、チェルノブイリ事故では精神的ストレスから身体不調を訴えた人が多かったのですが、全て放射線の影響を心配してのことではありません。

ソ連崩壊によって社会・経済が不安定化し、大きな精神的ストレスが加わりました。それらが複雑に絡み合った結果であると考えられています。

本資料への収録日: 2013年3月31日

WHO報告書のまとめ



- ① ストレス関連症状
- ② 発生中の放射線の影響についての不安
(胎児影響)
- ③ 脳機能への放射線の影響
(汚染除去作業員への影響)
- ④ 汚染除去作業員の高い自殺率

World Health Organization: Mental, psychological and central nervous system effects. Health effects of the UN Chernobyl accident and special health care programmes: report of the UN Chernobyl forum expert group "Health"(eds. Bennett B., et al), WHO, Geneva 2006.

原子力災害で、ストレスによりどのような精神医学的影響がみられたのか、WHOの報告書では、この4つに要約しています。

1つ目はストレス関連症状です。ある研究者の報告によると、被ばく者集団では、説明できない身体症状や自己評価による健康不良を申告する割合が対象集団の3-4倍に上ります。

2つ目は、事故発生時に妊娠中であった母親たちが、生まれてきた子どもの脳の機能への影響を非常に気にしていることが分かっています。たとえば母親たちに「自分の子供は記憶力に問題を抱えていると思うか」といったアンケートでは、そう思うと答えた母親は、非汚染地区(7%)に比べ、強制避難地区(31%)では4倍になりました。

3つ目と4つ目はそれぞれ、汚染除去作業員に見られた脳機能への影響と高い自殺率です。

ある研究グループからは、最も高い線量に被ばくした汚染除去作業員は認識障害、脳波検査(EEG)の変化、統合失調症、痴呆、器官脳の機能障害の徴候、および磁気共鳴映像法(MRI)による映像の変化等があったという報告があります。また汚染除去作業に参加したエストニア人4,742人について追跡調査を行ったところ、1993年までに、がんの発生率と死亡率の増加は認められなかったが144人の死亡が確認され、その19.4%が自殺であることが分かりました。

本資料への収録日: 2013年3月31日

改訂日: 2014年3月31日

Brometら(2011)によるまとめ



- (1) 事故直後の処理や汚染除去に参加した作業者は事故から20年経過してもまだ彼らの抑うつとPTSDの割合が高い。
- (2) 高汚染地域住民の子どもの精神医学的影響については研究によって結果はさまざま。
- (3) 一般集団についての研究では、自己申告による健康状態の不調、臨床的あるいは前臨床的な抑うつ、不安、および、心的外傷後ストレス障害の割合が高い。
- (4) 子どもたちの母親は、主に家族の健康のことがいつまでも気になっていて、精神医学的な高リスクグループに留まっている。

Bromet EJ, JM Havenaar, LT Guey. A 25 year retrospective review of the psychological consequences of the Chernobyl accident. Clin Oncol 23, 297-305, 2011

チェルノブイリ事故によりどのような精神医学的影響がみられたのか、精神医学と予防医学を専門とする研究グループが最近論文を発表しました。

事故直後に現場で作業した高いレベルの放射線に被ばくした集団は、事故から20年経過してもまだ彼らの抑うつと心的外傷後ストレス障害の割合が高いことが分かっています。

原発事故発生時に、原発周辺に住んでいた、あるいは高汚染地域に住んでいた幼児や胎児への影響については、研究によって結果はさまざまです。例えば、胎内被ばくした子どもたちについて、キエフ、ノルウエーおよびフィンランドで行なわれた研究結果では特異的な精神心理学的および心理学的障害があったことを示唆していますが、他の研究ではそのような健康障害は見つかっていません。

また一般集団についての研究では、自己申告による健康状態の不調、臨床的あるいは前臨床的な抑うつ、不安、および心的外傷後ストレス障害の割合が高いことが分かっています。

そして母親は、主に家族の健康のことがいつまでも気になっていて、精神医学的観点からは、高リスクグループに留まっています。

チェルノブイリ事故の場合は、こうした症状の原因すべてが、放射線への不安に帰するわけではありません。政府への不信、不適切なコミュニケーション、ソ連崩壊、経済問題およびその他の要因が関係していますし、おそらくはそのうちの1つが原因というよりは、いくつか複合的に作用しています。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2014年3月31日

WHO報告書では、不安などのメンタルヘルスが
地域保健上の最大の問題とされている。



これに対し、

- ①WHO報告書の見解よりも、チェルノブイリ事故による身体的影響被害は大きい*
- ②この見解が、汚染地域由来の食品への警戒を弱め、今後の調査研究を妨げる原因になっているという批判もある (Holt, Lancet, 375, 1424 - 1425, 2010)

*根拠となっているのは、ウクライナのRivne州で、神経管欠損の発生率が10 000人出生当たり22.2人と、ヨーロッパで最大となっている点である。(Wertelecki, Pediatrics, 125, e836, 2010)。しかしこの原因については今のところ明らかではない。

WHO報告書等では不安などのメンタルヘルス面が強調されるあまり、身体的影響に関してなおざりになっているのではないかという論旨の報告書もあります。

その大きな根拠になっているのは、ウクライナのRivne州で、神経管欠損が多発したという報告です。

ただし葉酸欠乏や母親の飲酒によっても神経管欠損が起こるため、Rivne州の神経管欠損が、こうした影響なのか、チェルノブイリ事故由来の放射線によるものか、あるいは複合影響なのかはわかりません。

本資料への収録日：2013年3月31日

奇形は増加したか？

- 事故以前からの登録事業（欧州奇形児・双子登録）
 - ・ EUROCAT 9カ国18地域：
事故前後で奇形発生頻度（**変化なし**）
 - ・ フィンランド、ノルウェー、スウェーデン：
事故前後で奇形発生頻度（**変化なし**）
 - ・ ベラルーシ：
汚染地域かどうかに関わらず流産児の**奇形登録増加**。
（報告者バイアスの可能性）
（Stem Cells 15 (supple 2): 255, 1997）
 - ・ ウクライナ： 今世紀にEUROCAT参加
Rivne州のポーランド系住民（森の住人）で**神経管欠損増加**。放射線に加え、葉酸欠乏、アルコール依存症、近親婚などの影響を評価する必要あり
（Pediatrics 125:e836, 2010）

チェルノブイリ原発事故ではストレスから自然流産が増えたとする報告がありますが、先天奇形については様々な報告がなされています。ロブノ州北半分のポリシア郡には、汚染地域で自給自足の生活を送っている人たちがいます。かれらは「ポリシチュクス(森の住人)」と呼ばれるとおり、森で野イチゴやキノコを採り、狩りや漁をして暮らしています。そんな彼らの間で、神経管欠損が増えているという報告があり、放射線によるものかどうかを至急評価する必要があると考えられています。

本資料への収録日：2013年3月31日

チェルノブイリ原発事故の際、
妊娠中だった母親から生まれた子どもに関する調査



対象

- ①胎内被ばくした子ども138人と親
- ②ベラルーシの非汚染地域の子ども122人と親

要因	6-7歳時点		10-11歳時点	
	胎内被ばく群	対照群	胎内被ばく群	対照群
言語障害	18.1%	8.2%	10.1%	3.3%
情緒障害	20.3%	7.4%	18.1%	7.4%
IQ=70-79	15.9%	5.7%	10.1%	3.3%

- 甲状腺への吸収線量と知能指数に相関がない
- 親の極度の不安と子どもの情緒障害の間には相関が見られた

結論 妊娠中の放射線被ばくは、胎児及び成長後の小児の知能指数に直接影響していない。

Kolominsky Y et al., J Child Psychol Psychiatry, 40 (2) :299-305, 1999

ベラルーシの研究者らはチェルノブイリ原発事故の際、妊娠中で原発のそばに住んでいた母親から生まれた子ども138人と、ほとんど被ばくしなかった事故時妊娠中だった母親から生まれた子ども122人を対象に、胎児被ばくがその後の精神発達に及ぼした影響について6～7歳の時点と10～11歳の時点の2回調査しました。

2回の調査とも、言語障害、情緒障害を発生する頻度は、非被ばく児に比べて胎内被ばく児では、統計学的に有意に多いという結果が得られています。

知能指数の平均も、非被ばく児に比べ平均以上の子どもが少なく、正常と精神発達遅滞との境界域の子どもが明らかに多いという結果でした。

しかし、甲状腺への吸収線量と知能指数には相関がなく、妊娠中の放射線被ばくは胎児及び成長後の子どもの知能指数には直接影響している可能性は低いと考えられています。

一方、親に対してのストレス評価指標調査の結果、親の不安症の頻度と子どもの情緒障害の間には明らかな相関が認められました。

本資料への収録日：2013年3月31日

遠隔地での人工流産の増加

- ・ チェルノブイリ事故発生：1986年4月26日
- ・ ギリシャでは、1987年1月の出生率が激減
⇒1986年5月に妊娠初期の胎児の23%が人工流産と推定
- ・ イタリアでは、事故後5ヶ月間は1日当たり約28～52件の不必要な中絶があったと推定
- ・ デンマーク：少しはあった
- ・ スウェーデン、ノルウェー、ハンガリー：なかった

Proceedings of the Symposium on the effects on pregnancy outcome in Europe following the Chernobyl accident. Biomedicine & Pharmacotherapy 45/No 6, 1991

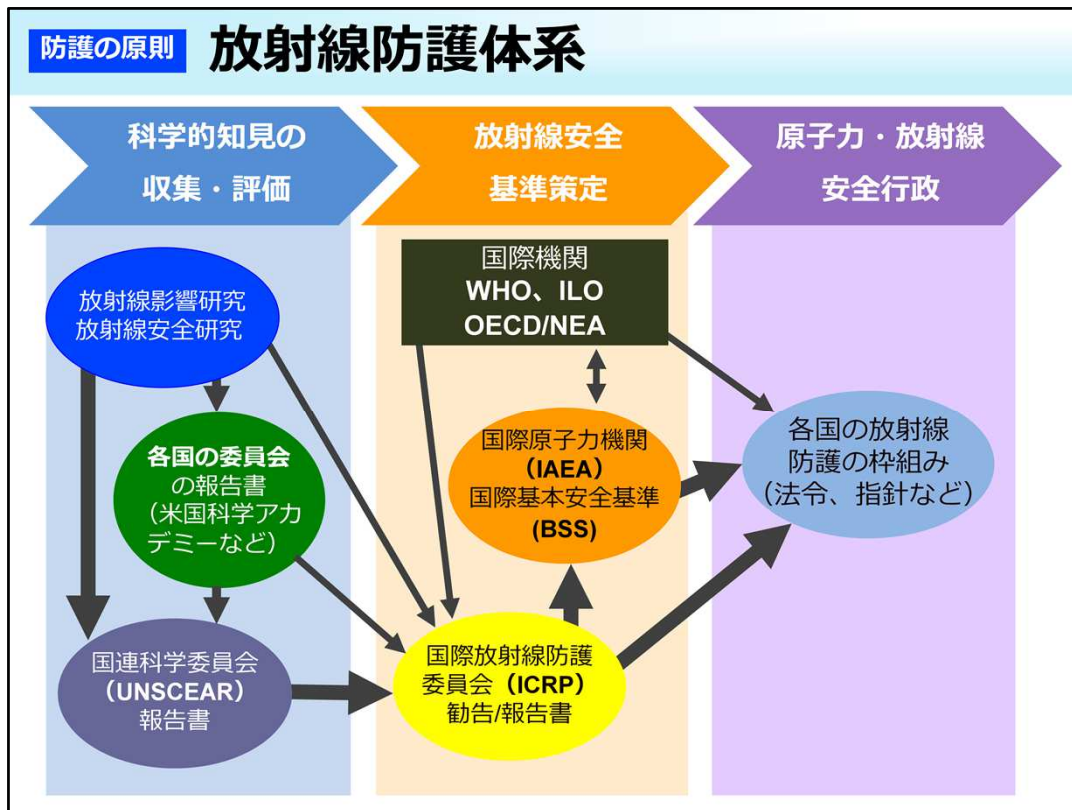
放射線の健康影響への過度な不安は、精神だけでなく、身体に傷をつけることがあります。たとえば自殺やアルコール依存症は体に害を及ぼします。そしてもう一つの例が人工流産です。

チェルノブイリ原発事故発生直後、ヨーロッパで人工流産が増えました。

ギリシャのチェルノブイリ事故の影響は1mSvを超えない程度でしたが、事故が起こった翌月には中絶した妊婦がたくさんいて、次の年の1月の出生児数が激減しました。出生率から計算すると、妊娠初期の23%が中絶したと推定されます。

一方、ハンガリーのように、胎児の被ばく量が100 mSvを越えない限り人工中絶は許されていない地域では、中絶は行われませんでした。

本資料への収録日：2013年3月31日



毎年、世界の研究者から、放射線の線源や影響に関する研究が多数発表されます。そこで、原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; UNSCEAR; アンスケア) は、幅広い研究結果を包括的に評価し、国際的な科学コンセンサスを政治的に中立の立場からまとめ、定期的に報告書の形で見解を発表しています。

国際放射線防護委員会 (ICRP) では、国連科学委員会等の報告を参考にしながら、放射線防護の枠組みに関する勧告を行います。ICRP の勧告や、国際原子力機関 (IAEA) が策定した国際的な合意形成による基本安全基準を参考に、我が国における放射線防護基準が定められています。

本資料への収録日: 2013年3月31日

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。

	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 (公衆)	5mSv/年	1mSv/年	1mSv/年

mSv : ミリシーベルト



1928年、医療従事者を放射線の障害から防ぐために国際X線ラジウム防護委員会が設立されました。1950年には、国際放射線防護委員会(ICRP)に改組され、放射線防護の基本的な枠組みと防護基準を勧告する機関という重要な役割を担っています。近年では1977年、1990年、2007年に勧告を行っています。ICRPが勧告を発表すると、多くの国では放射線防護関係の法令の見直しを行います。

ICRPの勧告の骨格は、原爆被爆者の疫学調査をはじめとする広範な科学的知見を基に、1990年以降、確定的影響と確率的リスクの総合的な推定値は基本的には変わらないとして、2007年勧告では、これまでの防護体系がほぼ踏襲されています。

本資料への収録日: 2013年3月31日

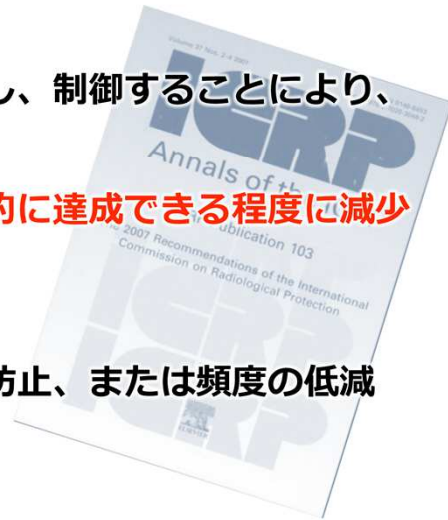
勧告の目的（ICRP 2007年勧告）

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



国際放射線防護委員会の勧告の目的は、「放射線被ばくに関連して望ましい人間の努力および行動を不当に制限せずに、放射線被ばくによる有害な影響から人間と環境を守るための適正な水準の防護に寄与すること」とされています。

この目的達成には、「放射線ばくとその健康影響に関する科学的知見は必要な前提条件ではあるが、防護の社会的・経済的側面にも考慮しなければならず、この点は、危険の管理に関する他の分野と異なるものではない」と、2007年勧告には記載されています。

勧告の主目的は、ヒトの健康の防護にあります。2007年勧告では、新たに環境を防護するという目的が追加されました。

本資料への収録日：2013年3月31日

防護の原則 生物学的側面

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%

国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告の目的のひとつは、確定的影響の発生防止にあります。そこで、しきい値の最小値である100 ミリグレイ(≒100ミリシーベルト)近くまで年間線量が増加した場合は、ほとんどいかなる事情においても防護対策を導入すべきと考えられています。

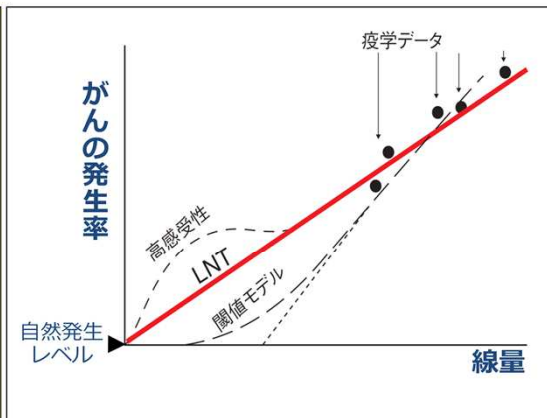
年間およそ100 ミリシーベルトを下回る場合は、確率的影響の発生の増加は低い確率であり、バックグラウンド線量を超えた放射線量の増加に比例すると仮定する「直線しきい値なし(LNT)モデル」が、低線量・低線量率での放射線防護の管理に実用的で、予防原則の観点からもふさわしいと判断しています。

ICRP が科学的根拠としている原爆被爆者のデータは、一回の被ばくです。しかし管理すべき被ばくのほとんどは、長期間の少しずつの被ばくです。そのため、低線量・低線量率による影響軽減分の補正を行っています。動物実験から様々な数値が報告されていますが、防護のためには係数として2を使うと定めています。つまり一回被ばくに比べ、少しずつの被ばくでは、同じ総線量を受けた場合の影響の出方が半分になるということです。

こうした補正を行った結果、がんと遺伝性影響による致死リスクの増加は、低線量や低線量率の場合1シーベルト当たり約5%になります。

本資料への収録日:2013年3月31日

- ◎支持：
米国科学アカデミー（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



⇒ICRPは、放射線防護の目的上、
単純かつ合理的な仮定としてLNTモデルを採用

科学的な議論としては、100 ミリシーベルト以下の確率的影響のリスク評価に直線しきい値なし(LNT)モデルが妥当であるかどうかの決着はついてはいません。例えば、米国の科学アカデミーでは、2006年にLNTモデルは科学的にも妥当との見解を発表しました。100 ミリシーベルト以下でもがんリスク上昇がみられる疫学的証拠があるとされています。

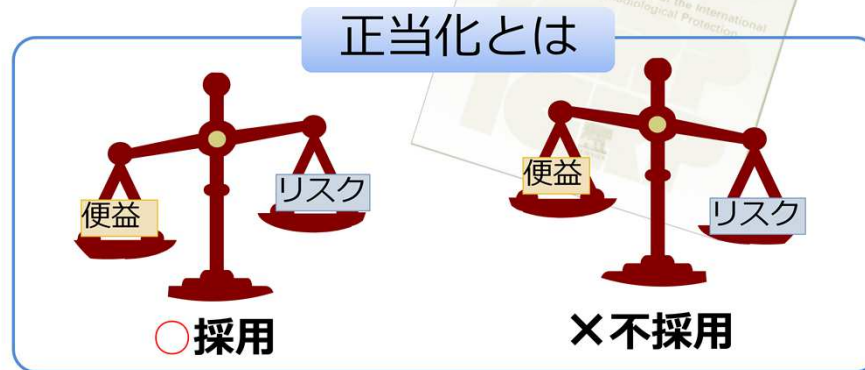
一方、フランスの医学アカデミーと科学アカデミーは共同で、一定の線量より低い被ばくでは、がん、白血病などは実際には生じず、LNTモデルは現実には合わない過大評価、という見解を発表しました(2005年)。ここでは、インドや中国の高自然放射線地域の住民のデータに発がんリスクの増加が見えないこと、低線量放射線に特異的な防御的生物反応が次々と見つかったことが根拠となっています。

ICRPの勧告では、LNTモデルと線量・線量率効果係数の2を用いることで、放射線防護の実用的目的、すなわち、低線量被ばくのリスクの管理に対し慎重な根拠を提供するとしています。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2014年3月31日

- 正当化
- 防護の最適化
- 線量限度の適用



がんや遺伝性影響では、影響の現れ方が確率的です。また現在の放射線防護においては、低線量域でも直線しきい値なし(LNT)モデルを適用しますので、安全と危険を明確に区分することはできません。そこで、どんなに小さくとも有限のリスクがあるものとして、「リスクを容認できる」ことを基準に、防護のレベルが考えられています。これが放射線防護の原則として「正当化」「防護の最適化」「線量限度の適用」が重要であると考えられている基盤となります。

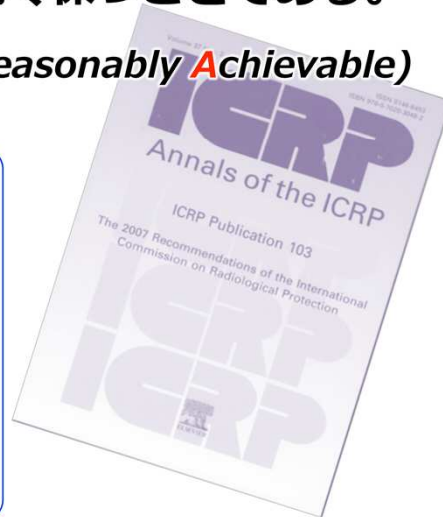
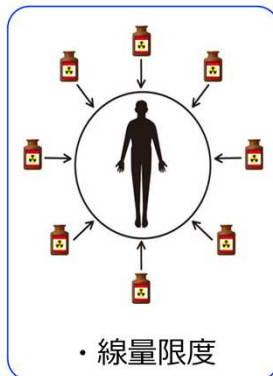
防護の原則の一つ目は正当化です。放射線を使う行為は、もたらされる便益(ベネフィット、メリット)が放射線のリスクを上回る場合のみ認められるという大原則です。

本資料への収録日: 2013年3月31日

防護の原則 防護の最適化

防護の最適化とは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 (As Low As Reasonably Achievable)**アララの原則という

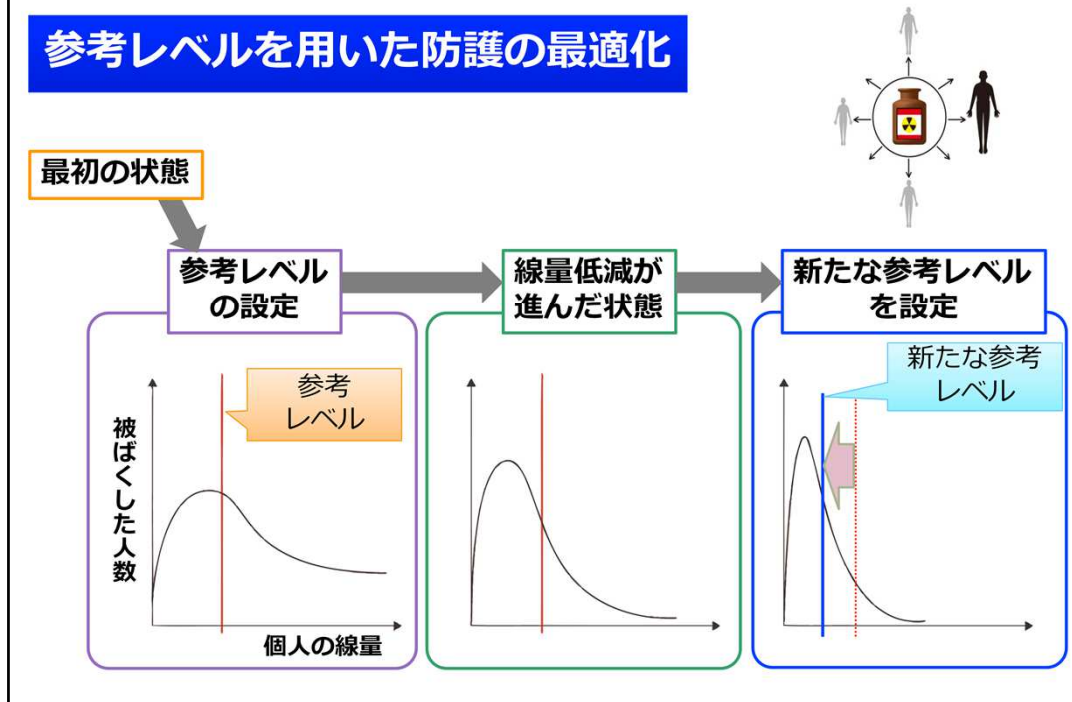


放射線防護の原則の二つ目は防護の最適化です。放射線を伴う行為のメリットが放射線のリスクを上回る場合は、合理的に達成可能な限り被ばく量を減らして、放射線を利用します。この原則は、英語の頭文字から「ALARA(アララ)の原則」と呼ばれています。防護の最適化とは、社会・経済的なバランスも考慮しつつ、できるだけ被ばくを少なくするよう努力するということで、必ずしも被ばくを最小化することではありません。

防護の最適化を進めるために、利用されるのが、線量拘束値や参考レベルです。線量拘束値や参考レベルは特定の線源からの個人に対する線量を制限するために用いられます。一方、線量限度は、規制された線源からの被ばく量の総和を制限するためのものです。

本資料への収録日：2013年3月31日

参考レベルを用いた防護の最適化



東京電力福島第一原子力発電所事故による被ばくを合理的に低減する方策を進めるために、新たな概念である参考レベルが用いられています。参考レベルは線量限度とは異なるものです。

一人ひとりが受ける線量がばらついている状況において、不当に高い被ばくを受ける人がいないようにするのが参考レベルの目的です。全体の防護方策を考える際に、参考レベルを超えて被ばくするおそれのある人がいる場合には、それらの人々に重点的に対策を講じます。その結果、集団内の線量分布が改善し、参考レベルよりも高い線量を受ける人がほとんどいない状況が達成されたら、必要に応じてさらに低い参考レベルを設定して線量低減を進めます。このように、状況に合わせて適切なレベルを設定することで、被ばく低減を効率的に進めることができます。

本資料への収録日：2013年3月31日

防護の原則 線量限度の適用

管理された放射線源に適用

- 作業者（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）患者の医療の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



放射線防護の原則の三つ目は、線量限度の適用です。国際放射線防護委員会の2007年勧告では、放射線作業（緊急時の作業を除く）を行う職業人の実効線量の限度は5年間で100ミリシーベルト、特定の1年間に50ミリシーベルトと定められています。

一般公衆の場合、実効線量限度が年間1ミリシーベルトです。

線量限度は、管理の対象となるあらゆる放射線源からの被ばくの合計が、その値を超えないように管理するための基準値です。線量限度を超えなければそれでよいのではなく、防護の最適化によってさらに被ばくを下げる努力が求められます。ですから、そこまでは被ばくしてよいという値ではなく、安全と危険の境界を示す線量でもありません。

また、患者の医療被ばくには線量限度を適用しません。これは、医療被ばくに線量限度を適用してしまうと、必要な検査や治療を受けられないケースが生じ、患者の便益を損なうおそれがあるからです。

本資料への収録日：2013年3月31日

制限値		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 2007年勧告	放射線障害の防止 に関する法令 平成24年3月時点	国際放射線防護委員会 2007年勧告	放射線障害の防止 に関する法令 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	勧告と同じ	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

我が国の現行法令には、まだ国際放射線防護委員会の2007年勧告の取り入れは行われておりませんが、線量限度については、2007年勧告と1990年勧告に大きな違いはないため、ほとんどが2007年勧告と合致しています。しかし、中には職業人女性の線量限度(5ミリシーベルト/3カ月)のように、わが国特有の線量限度もあります。

本資料への収録日：2013年3月31日

制限値		事故時、復旧時の規準	
		国際放射線防護委員会2007年勧告	東電福島原発事故での対応
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 100 mSv から 250 mSv に引き上げ *平成 23 年 11 月 1 日以降、原則 100 mSv に戻すことが決められた。
	他の緊急救助活動	～500 mSv	
公衆被ばく	緊急被ばく状況	20～100 mSv/年の範囲で決める	例 計画避難地域での避難の規準: 20 mSv/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規準: 1 mSv/年

mSv : ミリシーベルト

国際放射線防護委員会の2007年勧告の国内法令取り入れの審議中に、東京電力福島第一原子力発電所事故が起きました。事故によって被ばく状況が変わり、2007年勧告を参考に、日本の法令にはない参考レベルの考え方を利用するといった対応がとられました、また既に放射線審議会での議論を終えていた緊急時の職業被ばくの線量限度については、100ミリシーベルトから250ミリシーベルトに特例として変更し対応しましたが、原子炉が安定的な冷温停止状態を達成するための工程であるステップ2が完了したことを踏まえて、この特例も廃止されました。

本資料への収録日:2013年3月31日

制限値**食品の暫定規制値と新基準値**

- 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※1の暫定規制値

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※2の新基準値

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

平成24年3月までの「暫定規制値」に適合している食品においても、健康への影響という面では安全は十分に確保されていました。しかし、より一層食品の安全、安心を確保する観点から見直しされて、平成24年4月1日より新しい「基準値」が設定されました。

暫定規制値の設定では、上限濃度に汚染された食物を1年間食べ続けたとした場合でも、そこから受ける追加被ばく線量が年間5ミリシーベルトを超えないことが根拠になっていました。

新たな基準値を設定するに当たっては、上限濃度に汚染された食物を1年間食べ続けたとした場合でも、そこから受ける追加被ばく線量が年間1ミリシーベルトを超えないという考え方になっています。

暫定規制値では5項目に分類されていた食品が新しい基準値では4項目に再分類されました。最も摂取頻度の高い「飲料水」については10 Bq/kgと従前の20分の1という非常に厳しい数値が設定されました。また、乳幼児による摂取量が多い「牛乳」については50 Bq/kgに下げられ、同時に、乳児の安全確保の面から「乳児用食品」という新たな項目が設定され、牛乳と同じレベルの50 Bq/kgとされました。それ以外の「一般食品」すべてについては100 Bq/kgという値が設定されました。

一般食品として全部を一括りにした背景には、個々人の食習慣の違いから来る追加被ばく線量の差を最小限にするという考えがありました。どんな食品を食べても、それらが基準値内であれば安全は確保できるという値として設定されました。

本資料への収録日：2013年3月31日

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 ス委員会	EU(域内の 流通品)	アメリカ	韓国
飲料水	10	1000	1000	1200	370
牛乳	50	1000	1000	1200	370
一般食品	100	1000	1250	1200	370
乳児用食品	50	1000	400	1200	370

単位はベクレル/キログラム

平成24年3月までの「暫定規制値」に適合している食品においても、健康への影響という面では安全は十分に確保されていました。しかし、より一層食品の安全、安心を確保する観点から見直しされて、平成24年4月1日より新たに「基準値」が設定されました。暫定規制値では5項目に分類されていた食品が新しい基準値では4項目に再分類されました。最も摂取頻度の高い「飲料水」については10 Bq/kgと従前の20分の1という非常に厳しい数値が設定されました。また、乳幼児による摂取量が多い「牛乳」については50 Bq/kgに下げられ、同時に、乳児の安全生確保の面から「乳児用食品」という新たな項目が設定され、牛乳と同じレベルの50 Bq/kgとされました。それ以外の「一般食品」すべてについては100 Bq/kgという値が設定されました。一般食品として全部を一括りにした背景には、個々人の食習慣の違いから来る追加被ばく線量の差を最小限にするという考えがありました。どんな食品を食べても、それらが基準値内であれば安全は確保できるという値として設定されました。

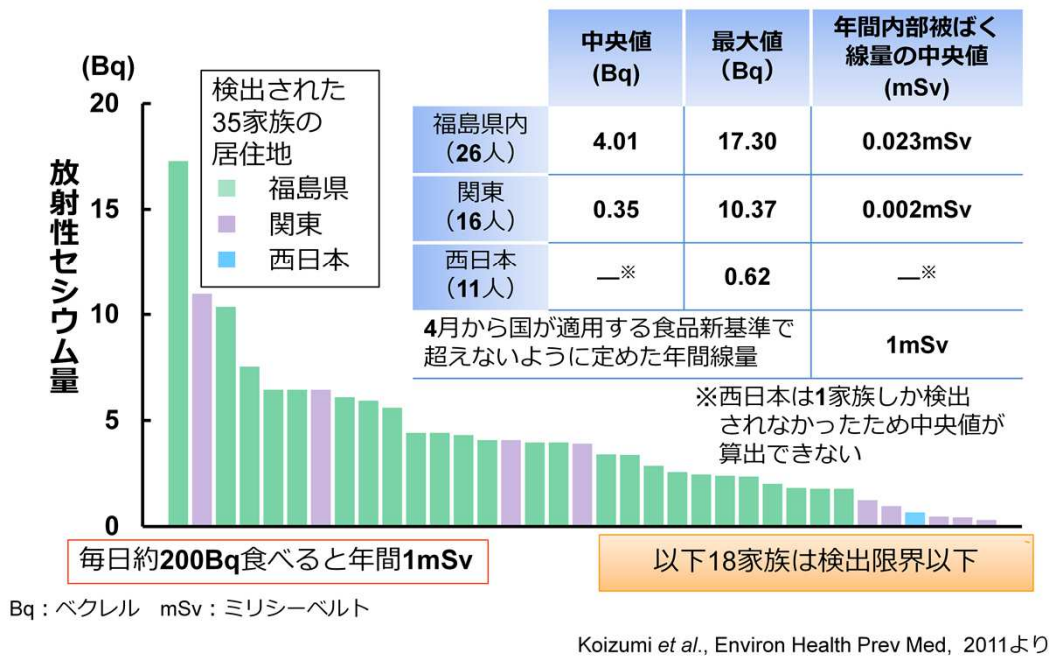
本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2014年3月31日

制限値

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



現在流通している食品を日常的に摂取した場合に、内部被ばく線量はどれ位になるかを調査した結果が示されました。

福島県、関東圏、西日本圏の3地域の一般の家庭で用意される食事について、それぞれに含まれる放射性セシウムの量が調べられました。

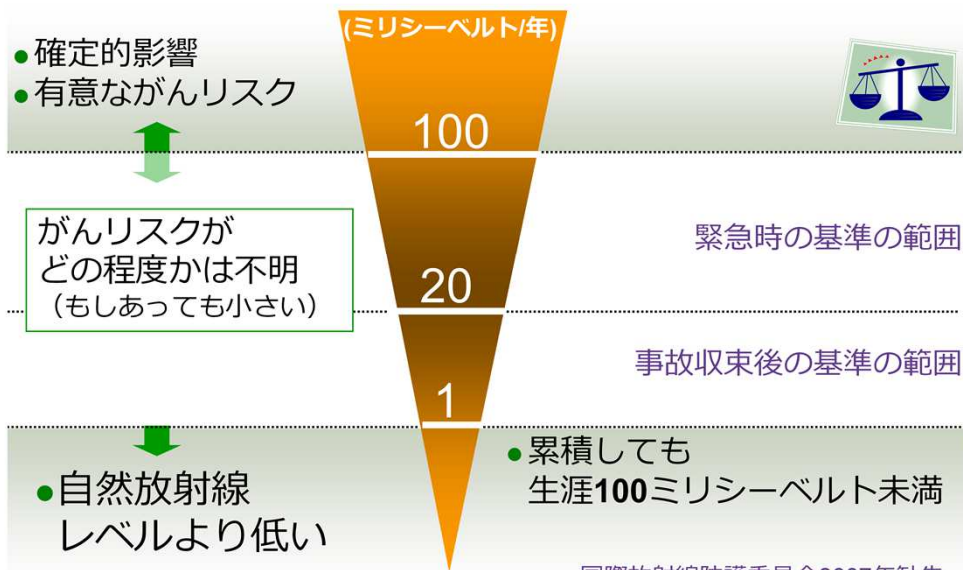
その結果、福島県内の家庭で出される1日分の食事には「約4Bqのセシウム(中央値)」が含まれている事がわかりました。そうした食事を1年間食べ続けた場合でも、セシウムの被ばく線量は年間で「0.023mSv」程度で、年間の許容線量(1mSv)の「43分の1」に収まるとのことです。含有量が多い場合(最大値の17.3Bq)でも「0.099mSv」で許容線量の「10分の1」位です。

関東圏の家族の食生活では「年間でも0.002mSv」程度で、年間許容線量の500分の1程度です。

本資料への収録日: 2013年3月31日

制限値

被ばく線量と健康リスクとの関係

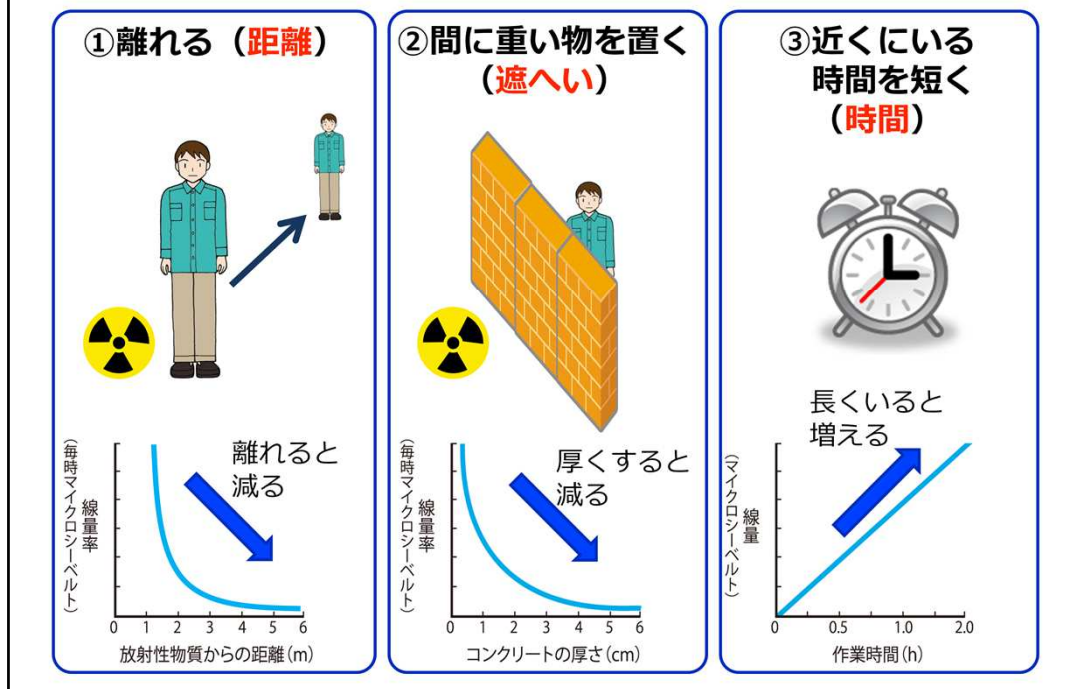


100 ミリシーベルト以上の被ばくでは、確定的影響が生じたり、がんリスクの明確な上昇が起こります。そこで、緊急時においては、まずは重大な身体的障害を防ぐため、100 ミリシーベルト以上の被ばくをしないようにします。事故収束後は、将来起こるかもしれないがんのリスクの増加をできるだけ低く抑えるため、年間1～20 ミリシーベルトの間に参考レベルを定め、それ以上の被ばくをしないようにします。

平常時の基準値としては年間1 ミリシーベルトが用いられます。そのため被ばく量が年間1 ミリシーベルトを超えると危険とか、ここまで被ばくをしてもいいと誤解されている方がいます。これはどちらも誤解で、線量限度は安全と危険の境界線ではありません。しかし、だからといって1 ミリシーベルトまで浴びてもいいわけではなく、合理的に達成可能な限り低く、被ばくを抑えることが原則です。

本資料への収録日：2013年3月31日

外部被ばくの低減三原則



外部被ばくの線量を少なくするためには、3つの方法があります。

一つ目は離れるという方法です。放射性物質で汚染した土を取り除いて、生活の場から離す、というのがこれに当たります。

二つ目は遮蔽です。屋内にいるというのも一つですし、放射性物質で汚染した土と、その下の汚染していない土を入れ替えるというのも、汚染していない土を遮蔽材として用いている方法です。

三つ目は、空間放射線量率が高いところにいる時間を短くするというものです。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2014年3月31日

- 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



内部被ばくについては、呼吸を介した吸入と食品の摂取からの両方を考える必要があります。例えば、子どもたちが空間放射線量が高いところで屋外活動をする場合を想定して線量計算すると、内部被ばくによる線量は2-3%程度であり、被ばくのほとんどは外部からの放射線によるものでした。そこで吸入による被ばくに関してはあまり神経質になることはないのですが、日頃の衛生管理(入浴・散髪・手洗い、掃除、洗濯など)をしっかり行うと一定の効果はあります。

一方食べ物は、野生の食材のように、安全性が確認できないものには注意が必要です。特に、シダ類とキノコ類はセシウムを濃縮する性質があります。

内部被ばくに関しては、空間線量率のように自分で調べるのが難しいので、省庁が発表している数値等を参考にします。食品中の放射性物質濃度は、厚生労働省や水産庁から公表されています。

本資料への収録日:2013年3月31日

調理の過程で放射性物質の低減が可能



野菜／果実／きのこ：洗浄、ゆでる（煮汁は捨てる）

例) 野菜／果実を洗浄：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

国際原子力機関 TRS472

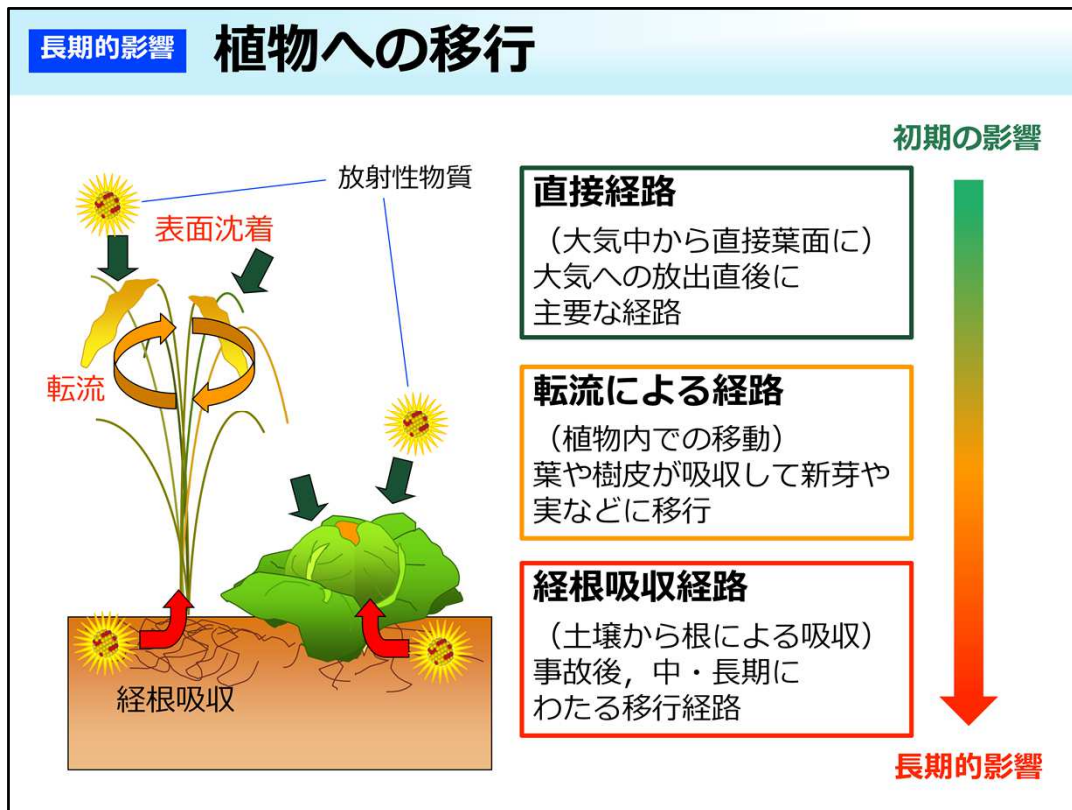
工夫次第では食品中の放射性物質は減らすことができますが、100 パーセント取り除くことはまずできません。

事故の直後は、野菜から検出された放射性物質は表面に付いているだけでしたが、しばらくすると、土壌に落ちた放射性物質が根から吸収され野菜に入るようになります。根から吸収されて野菜の中に入ったセシウムは、洗っても最大で40%、あく抜きをしても60%までしか除去できませんが、土をきれいに洗い落とすという意味では効果があります。

肉や魚も、煮たり焼いたりすると放射性物質の量を半分ぐらいまでには減らすことができます。

また、いろいろな品目、産地のものを食べるなど、リスクを分散させることも大事です。

本資料への収録日：2013年3月31日



セシウム137は、原子力発電所事故による放出量が多く、また半減期が30年と長い
ため、環境への影響が長期化します。

環境中の放射性物質が作物の可食部(食べているところ)に移行する経路は、大きく
3つに分けられます。

一つ目は大気中から直接葉などの可食部の表面などにつくものです。原子力発電所
事故の直後に、野菜から計測された放射性物質は、大気中に放出された放射性物質
が直接葉の表面に付いたものでした。

二つ目は、転流を介した経路です。転流とは、植物体内で、吸収した栄養素や光合
成でできた栄養やその代謝産物を、ある組織から他の組織へ運搬することをいいま
す。放射性物質が葉や樹皮に付着すると、葉や樹皮が放射性物質を吸収し、植物内
で新芽や実の部分に移行することがあります。茶葉やタケノコ、ビワや梅等で比較的
高濃度の放射性物質が見つかったのは、こうした移行経路によるものであると考えら
れています。

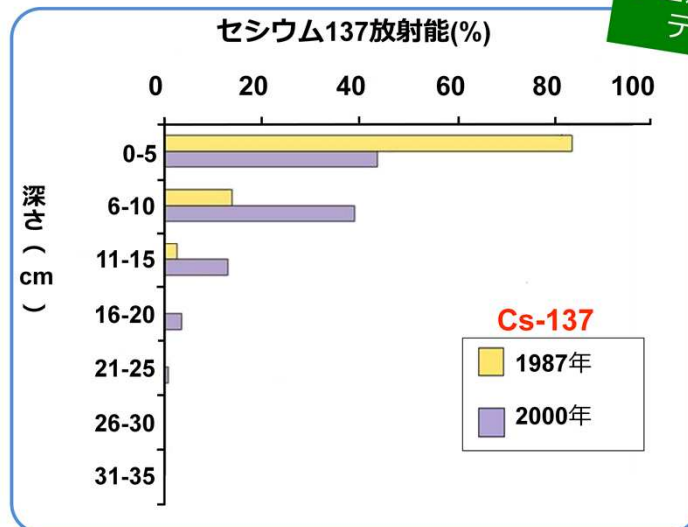
三つ目は、土壌に含まれている放射性物質を根が吸収する経路です。大気中への
放射性物質の放出が終わった後は、農地に降下した放射性物質を根から植物が吸収
する経路が主となります。

本資料への収録日:2013年3月31日

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



Cs-137は土壌に固定されて表層に長期間とどまる→農作物には吸収されにくい

IAEA 国際チェルノブイリフォーラム報告書 (2006年) より作成

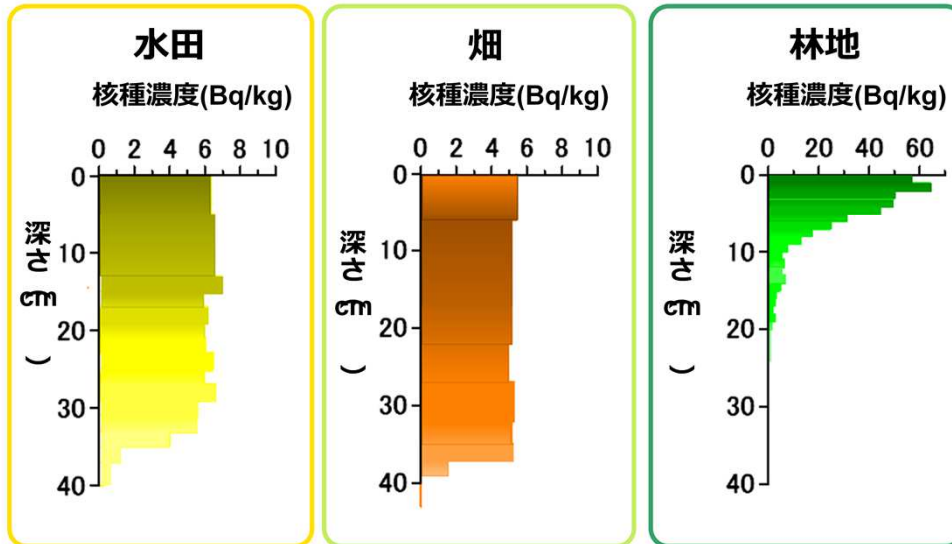
セシウムは土壌の粘土質に強く吸着する性質を持っていますので、水に溶けて植物に吸収されにくく、また水に溶けて地下に運ばれることも少なくなります。そのため、耕さない場合、地表面に降った放射性セシウムは、長い間表層に留まります。1986年に起こったチェルノブイリ事故の影響調査では、事故後14年経過しても、事故により降ったセシウム137の量の約80%が、表面から10cm内の所に留まっていることが分かりました。

セシウムが表層にあることで、地表面よりも深くに根を生やしている植物では、物理的に根とセシウムが隔てられていることとなります。

本資料への収録日: 2013年3月31日

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

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

1950年代後半から1960年代前半をピークに多くの核実験が実施されて、これに起因する放射性降下物が地球全域に降り注ぎました。2011年3月11日以前の日本で検出されている放射性のセシウムやストロンチウム90はこのフォールアウト由来であると考えられます。

2009年に北海道で行われた土壌調査の結果、水田や畑のように耕された土壌では、表面から40cm深くまでセシウム137が検出されましたが、耕されていない林地では、表面から20cm内にセシウムが留まっていた。

セシウムがどれだけ土壌に強く吸着するかは、土壌の性質にもよりますが、日本の土壌でも、セシウムが表層に留まりやすいことが分かります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2014年3月31日

森林中の分布

分布は時間（年）とともに変化する。

大気からの沈着直後：

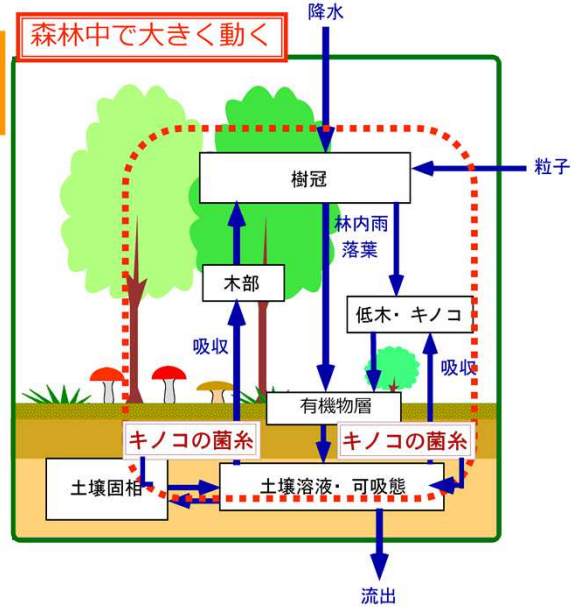
- ・ 樹冠の葉・枝（一部表面吸収&転流）
- ・ 土壌有機物層(腐葉土層等)の表面付近

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



森林中の放射性物質の分布は年単位の時間経過によって大きく変化すると考えられます。

大気に含まれていた放射性セシウムは葉や枝に付着します。葉や枝はやがて枯れて腐葉土のような有機物を含んだ土壌になります。放射性物質の一部は葉や樹皮から吸収され、植物内で新芽や実の部分に移行することもあります。これもいずれ土になります。

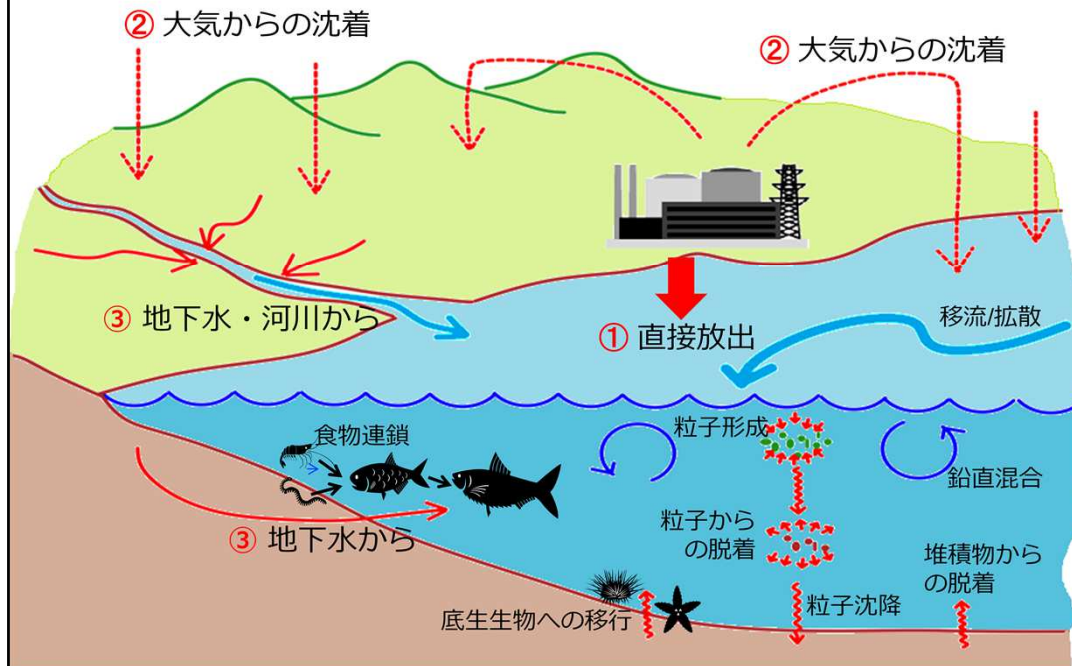
有機物の多い土壌では、セシウムを吸着する粘土質に乏しいので、セシウムが植物に吸収されやすい状態にあります。例えば、キノコに比較的高濃度のセシウムが取り込まれるのは、キノコ自体の性質にもよりますが、キノコの菌糸が生育する環境は有機物が多く、粘土成分が少ないこととも関係しています。またキノコは森林生態系の分解者として物質循環に大きく関わっています。

有機物層にあるセシウムはその下の土壌に徐々に移行し、表層よりも少し深いところに根を張る植物もセシウムを吸収するようになります。

このように、放射性セシウムは植物と土壌との間を循環する過程で土壌の粘土質に固着され、最終的には土壌表層部に蓄積します。

本資料への収録日：2013年3月31日

海洋中の分布



東京電力福島第一原子力発電所事故により放出された放射性物質の海洋中の分布は、時間経過によって大きく変化すると考えられます。放射性物質が海洋に運ばれる経路には、①発電所からの海洋への直接の流入、②風に乗って運ばれた放射性物質の海洋への降下、③陸に降下した放射性物質の河川や地下水を介した海への運搬の3つのルートが考えられます。

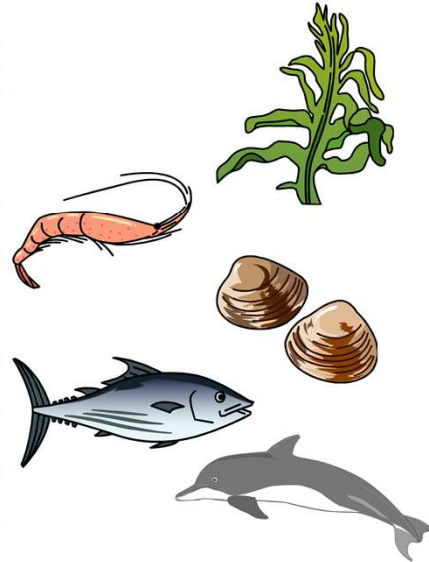
海水中の放射性物質の濃度は、事故直後急激に上昇しましたが、1-2ヶ月のうちに海流に乗って流されたり、拡散したりすることで、海水中の濃度は下がりました。しかし、放射性物質の一部は海底の泥にたまり、また底生生物や魚に移行しました。こうした生物の放射性物質濃度は大変ばらつきが大きく、今後の予測は難しい状況です。

本資料への収録日：2013年3月31日

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



IAEA Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment, 2004

濃縮係数とは、海産生物中の濃度と海水中の濃度の比率を表したもので、放射性物質が海産生物への蓄積の度合いを示しています。
 セシウムの濃縮係数を比べると、プランクトンより魚、魚よりは魚を捕食する大型哺乳類の方が高いことがわかります。
 生物濃縮という用語には、いろいろな定義があり、研究者間でも「ある」「ない」などの科学的論争が続いています。

本資料への収録日：2013年3月31日