

三 電離放射線の生体に 与える影響

講義におけるゴール

エックス線が人体に与える影響を理解し、エックス線作業主任者として安全に業務を行うための基礎知識を身につける

- (1) 電離放射線の性質
- (2) 電離放射線と生体組織・細胞との反応
- (3) 電離放射線による健康被害とその種類
- (4) 労災認定

内容の多くは環境省放射線による健康影響等に関する
統一的な基礎資料（令和6年度版）に依拠する

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03index.html>

(1) 電離放射線の性質

(2) 電離放射線と生体組織・細胞との反応

(3) 電離放射線による健康被害とその種類

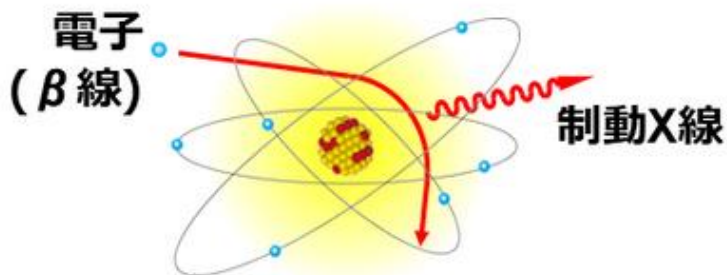
(4) 労災認定

電離放射線：

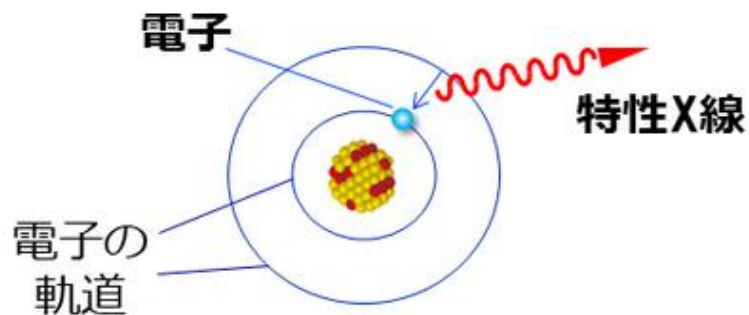
物質に当たると電子を弾き飛ばし、原子を電離させる能力を持つ放射線のこと。



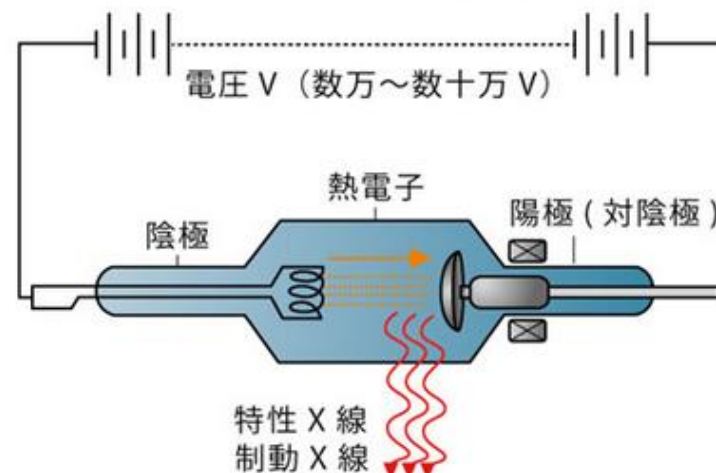
制動X線



特性X線



X線発生装置の構造図



エックス線は、X線管内で高速電子が金属ターゲットに衝突することで発生
管電圧やターゲット材質により、エネルギーや透過力が変化する

電磁波型：X線、 γ 線 → 高い透過力、散乱性あり

粒子線型： α 線、 β 線、陽子線など → 透過力は低い、局所的な影響が大きい

• α 線

- 陽子 2 個 + 中性子 2 個
- ヘリウム (He) の原子核
- 荷電粒子 (2+)

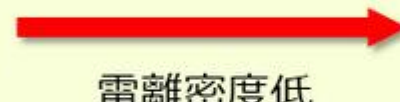


電離密度高

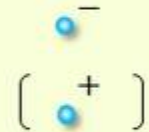


• β 線

- 電子 (あるいは陽電子)
- 荷電粒子 (-あるいは+)



電離密度低



• γ 線・X線

- 電磁波 (光子)



電離密度低・透過力大

• 中性子線

- 中性子
- 非荷電粒子



電離密度高



<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/01-03-07.html>

空気中で飛ぶ距離

数cm



α線
粒子 (ヘリウム原子核)
(1兆分の1cm)



数m

(エネルギーによる)



β線
粒子 (電子)



数十m~
(エネルギーによる)



γ線
X線



体に当たると

数十μm (マイクロメートル)



数mm



数cm~
(エネルギーによる)



<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/01-03-09.html>

- (1) 電離放射線の性質
- (2) 電離放射線と生体組織・細胞との反応**
- (3) 電離放射線による健康被害とその種類
- (4) 労災認定

DNA

細胞の中にある、生命の設計図のようなもの。遺伝情報を記録しており、親から子へと受け継がれる。

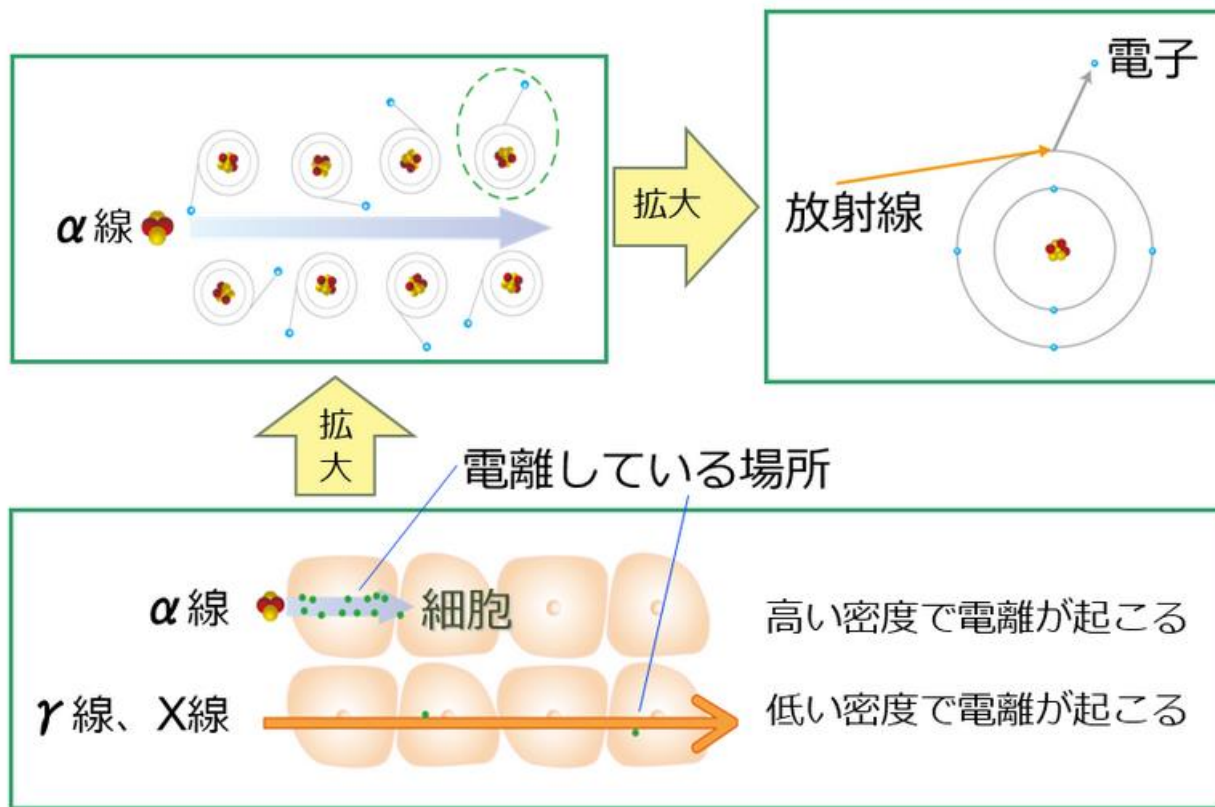
ラジカル

非常に不安定で反応性の高い分子や原子。電子が足りないため、他の物質とすぐに反応する。

電離

放射線などのエネルギーによって、原子や分子から電子が飛び出す現象。これにより、電気を帯びた粒子（イオン）が発生する。

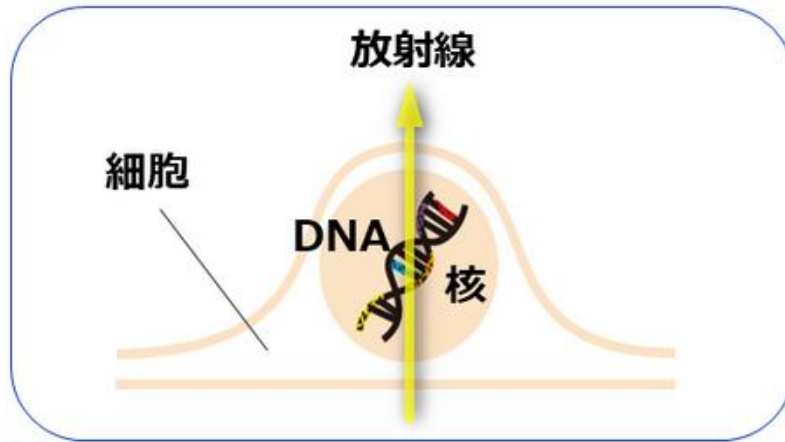
電離放射線は、細胞内の分子にエネルギーを与え、電子を弾き飛ばすことで「電離」を引き起こす。
特にDNAに損傷を与えると、細胞の設計図が壊れ、機能障害や突然変異の原因となる。



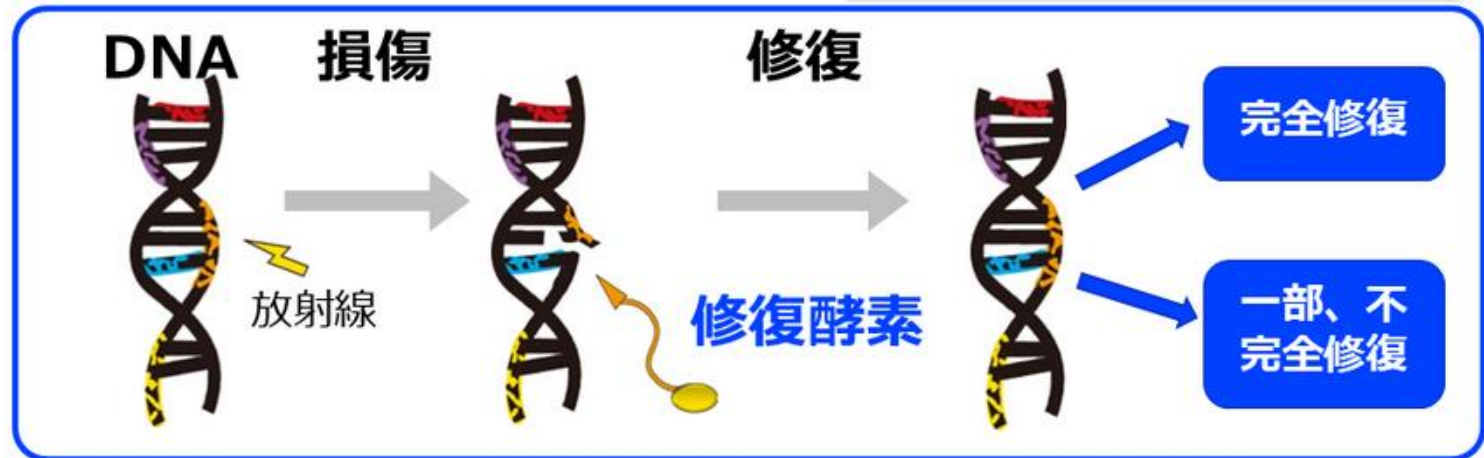
<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-02-01.html>

細胞の修復能力と限界

- 細胞にはDNA損傷を修復するメカニズムが備わっている
(例：ヌクレオチド除去修復、相同組換えなど)
- しかし、修復が間に合わない場合や、誤って修復された場合には問題が生じる



X線 1 ミリグレイ当たりの損傷 (1細胞当たり)	
塩基損傷	2.5 箇所
1本鎖切断	1 箇所
2本鎖切断	0.04 箇所

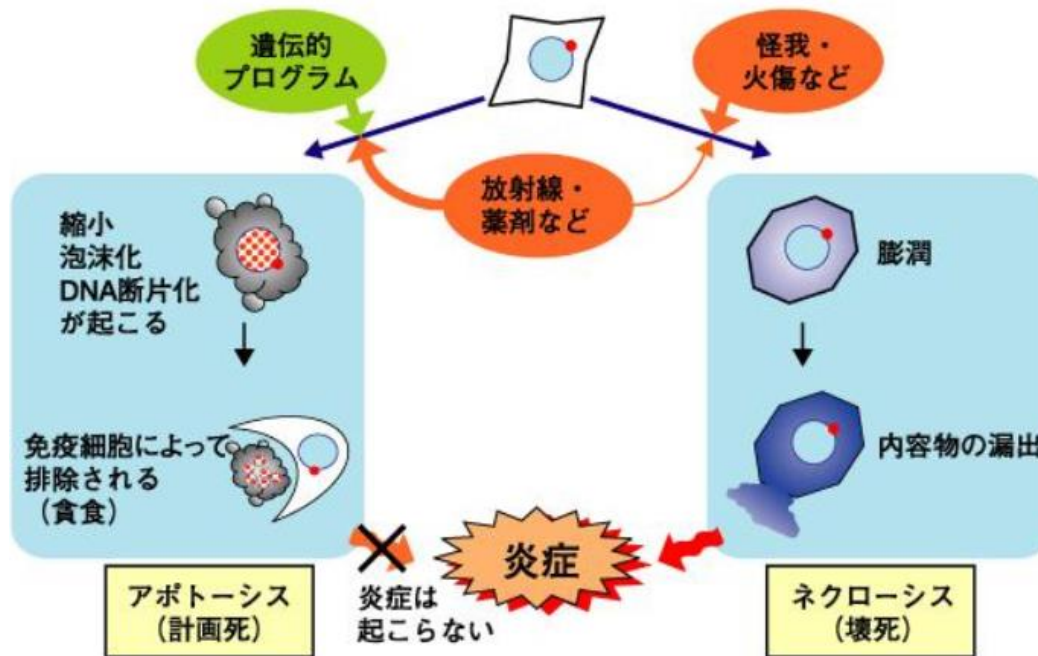


出典：Morgan, 米国放射線防護委員会 (NCRP) 年次総会(第44回、2008)より作成

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-02-02.html>

修復失敗によるリスク（細胞死・変異）

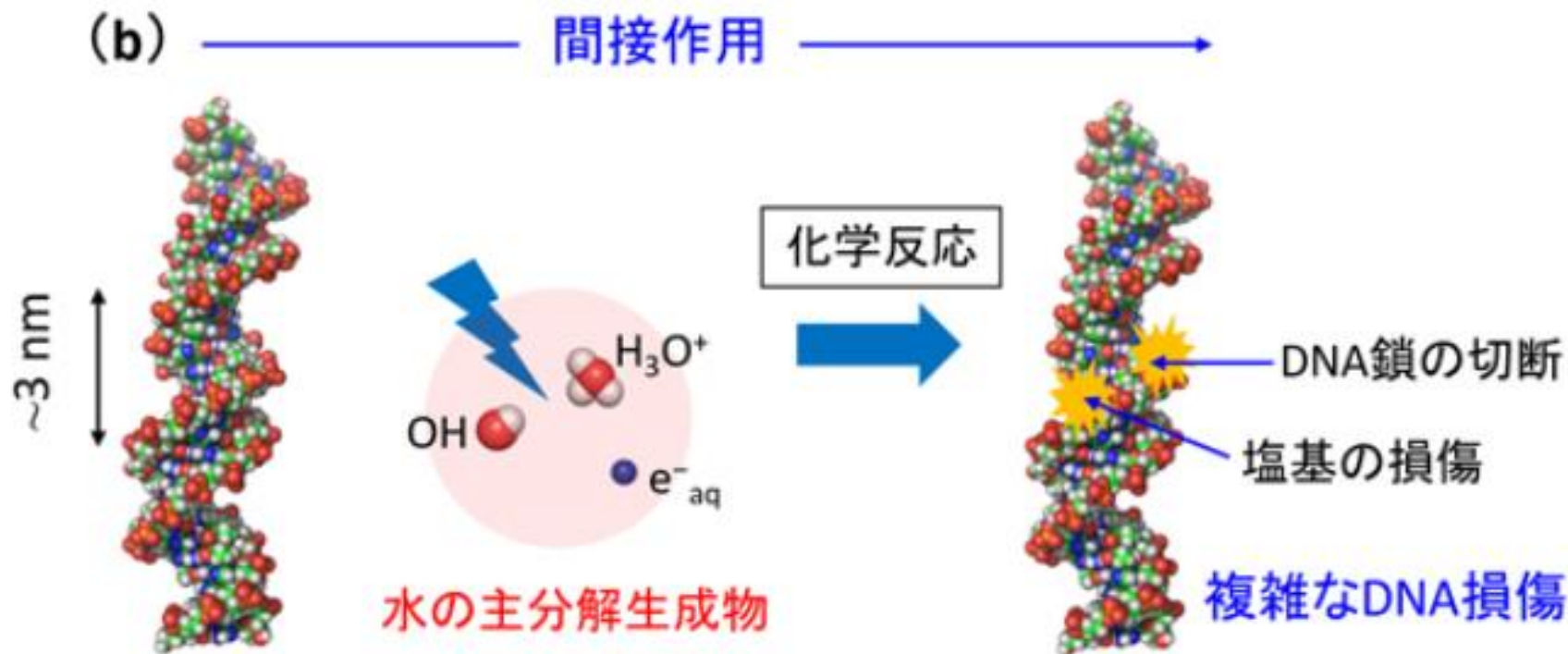
- 修復が間に合わない場合：
 - 細胞はアポトーシス（自然死）を起こす
 - 組織の機能低下につながる
- 誤って修復された場合：
 - DNAに異常が残り、細胞が変異
 - 長期的にがん細胞へと変化する可能性あり



https://www.jsbba.or.jp/manabu/site/08_02.html

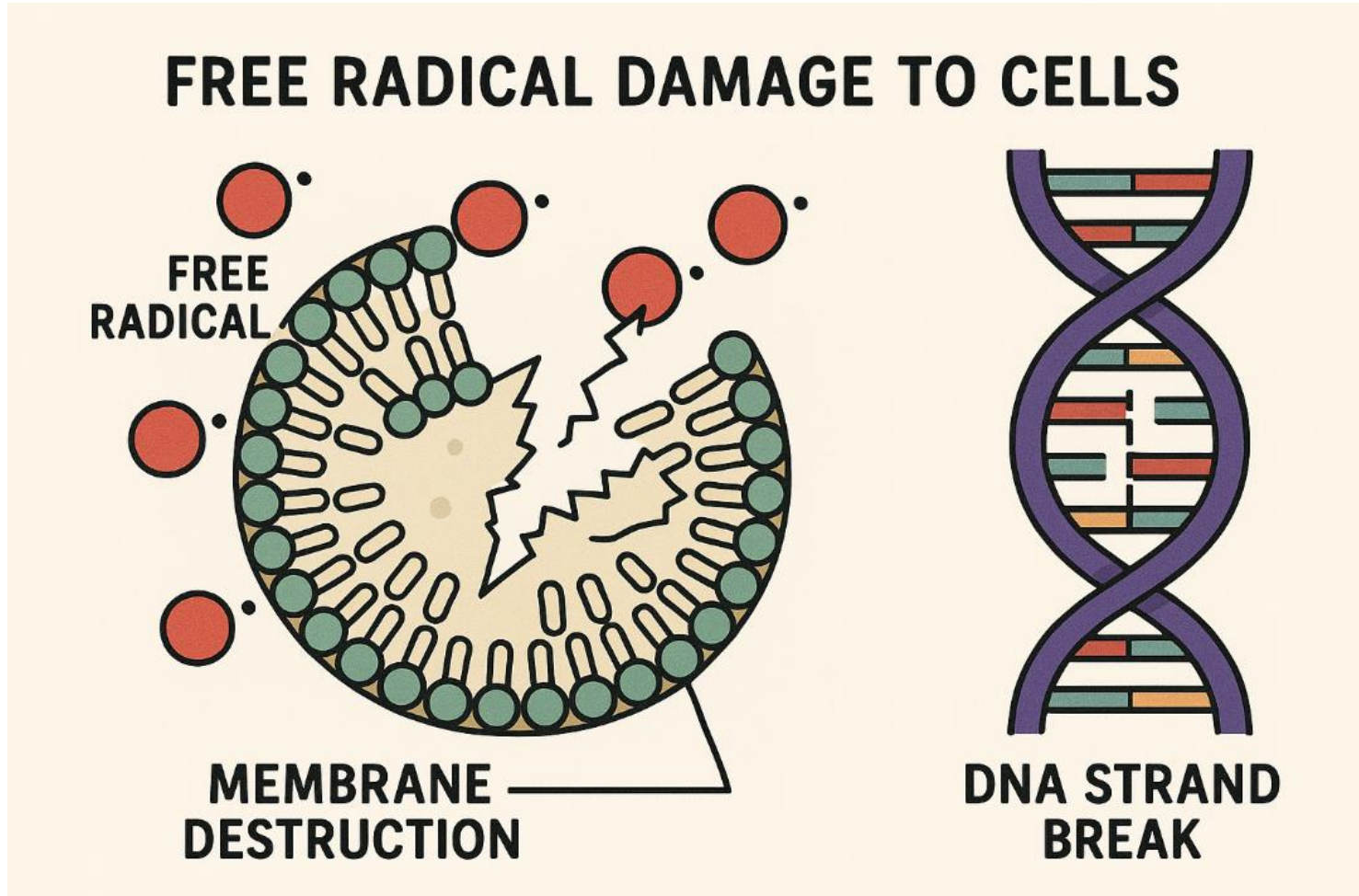
体の約70%は水分で構成されている

放射線が水分子に当たると、電離が起こり「フリーラジカル（遊離基）」が生成される
特にヒドロキシルラジカル（ $\cdot\text{OH}$ ）は、DNAや細胞膜を破壊する強い反応性を持つ

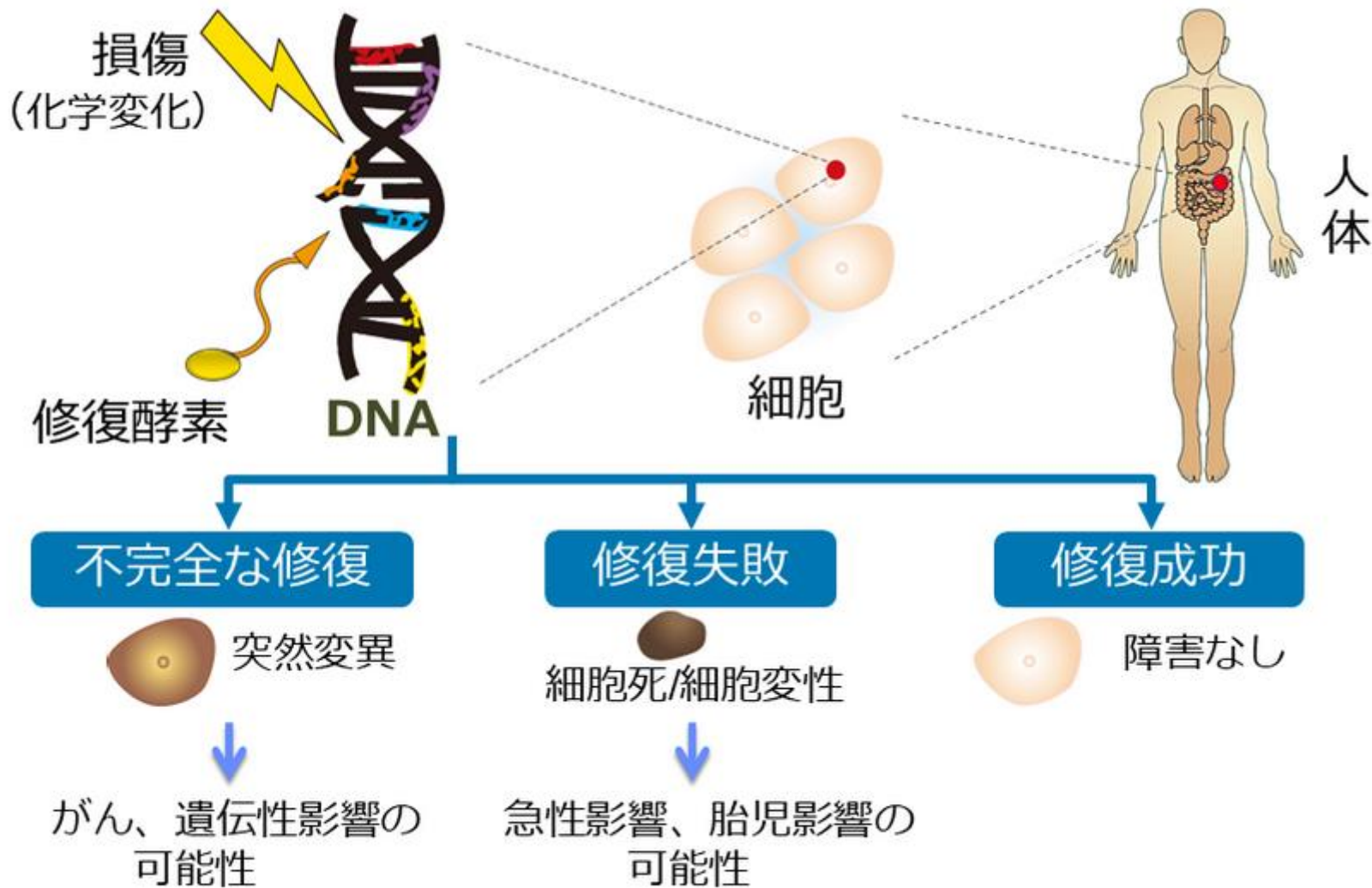


<https://www.jaea.go.jp/02/press2024/p25030702/>

ラジカルは非常に不安定で、周囲の分子と激しく反応する
DNA、タンパク質、脂質などを酸化・切断し、細胞機能を損なう
ラジカルによる損傷は、直接的な電離作用と同等かそれ以上に危険



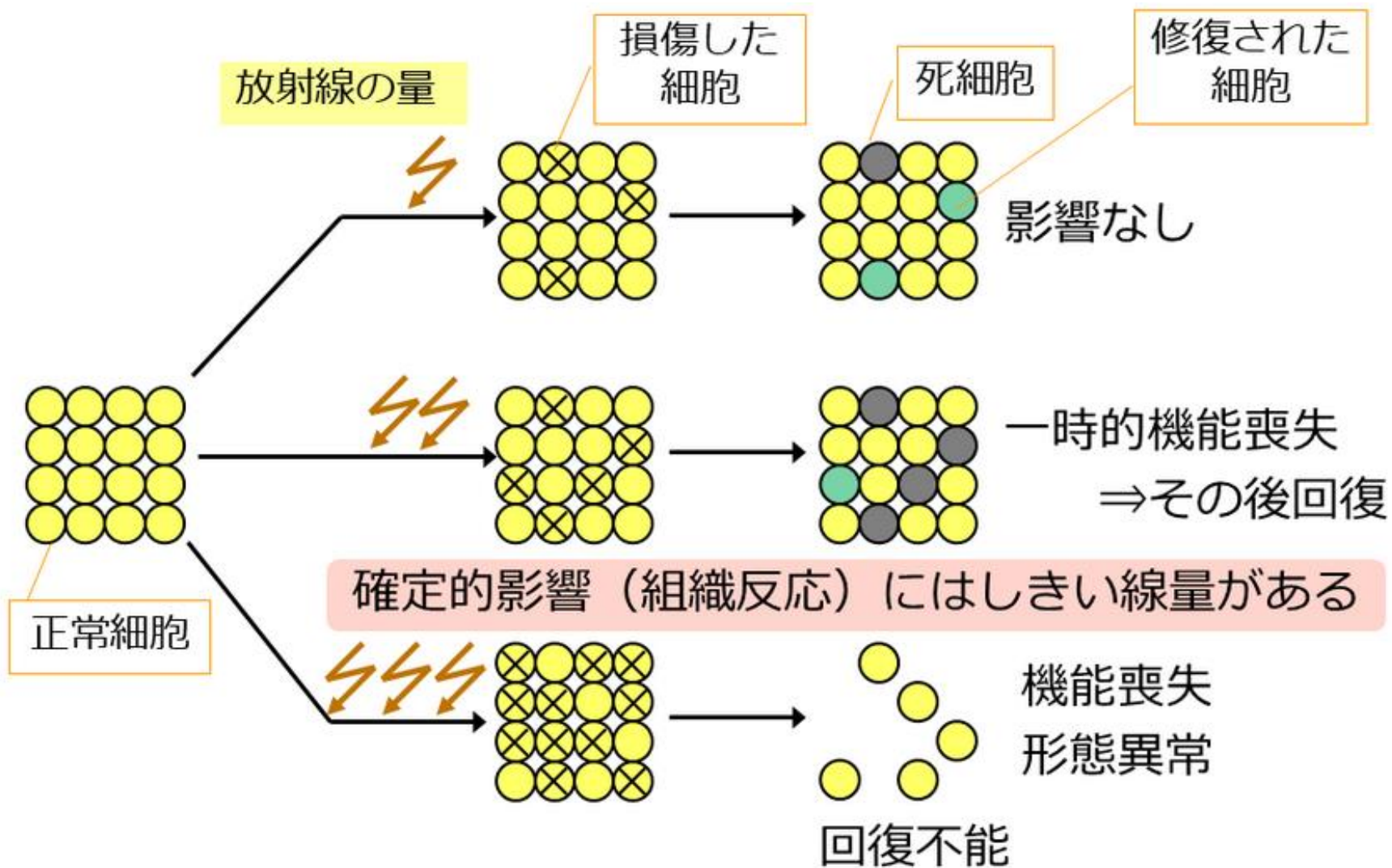
- (1) 電離放射線の性質
- (2) 電離放射線と生体組織・細胞との反応
- (3) 電離放射線による健康被害とその種類**
- (4) 労災認定



<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-02-03.html>

- 電離放射線による健康影響は主に2つに分類される：
 - **組織反応（確定的影響）**：一定以上の線量で必ず発生
 - **確率的影響**：線量に関係なく発生確率が上昇

分類	発生条件	重症度の特徴	予防可能性	代表的な影響例
組織反応（確定的）	しきい線量を超えた場合	線量に比例して重くなる	高い	紅斑、脱毛、白内障
確率的影響	線量に関係なく発生確率が上昇	重症度は線量に比例しない	低い	がん、白血病



<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-02-05.html>





γ（ガンマ）線急性吸収線量のしきい値

障害	臓器／組織	潜伏期	しきい値 (グレイ)※
一時的不妊	精巣	3～9週	約0.1
永久不妊	精巣	3週	約6
	卵巣	1週以内	約3
造血能低下	骨髄	3～7日	約0.5
皮膚発赤	皮膚（広い範囲）	1～4週	3～6以下
皮膚熱傷	皮膚（広い範囲）	2～3週	5～10
一時的脱毛	皮膚	2～3週	約4
白内障（視力低下）	眼	20年以上	約0.5

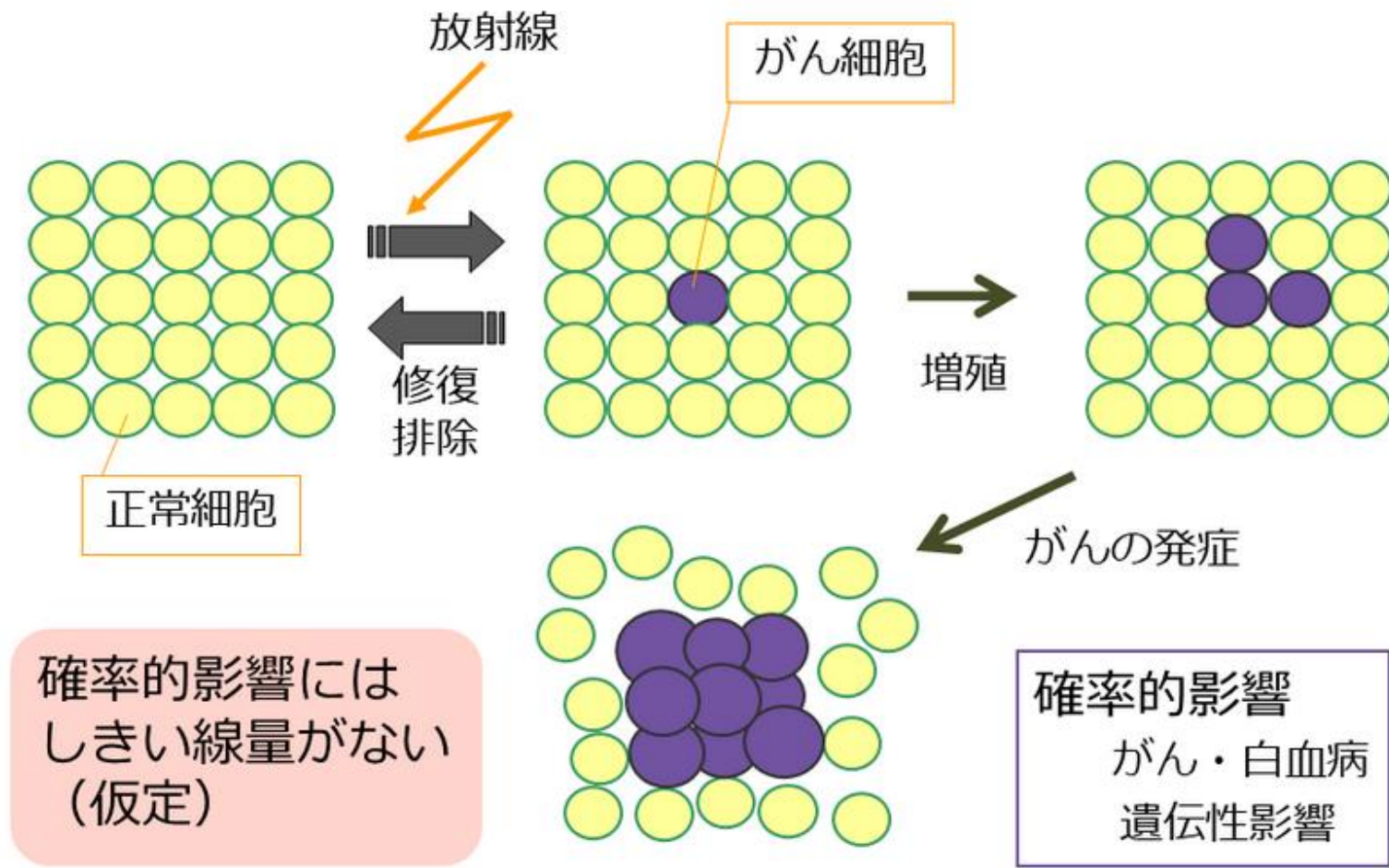
※臨床的な異常が明らかな症状のしきい線量（1%の人々に影響を生じる線量）

出典：国際放射線防護委員会（ICRP）2007年勧告、国際放射線防護委員会報告書118（2012年）より作成

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-03-04.html>

	症状	発生条件等
	皮膚の紅斑・脱毛	局所的な高線量被ばくによる
	白内障	水晶体の濁り、視力低下
	不妊	生殖腺への高線量被ばく
	造血機能障害	骨髄の損傷による免疫力低下
	放射線宿酔	急性放射線症（吐き気、嘔吐、下痢）

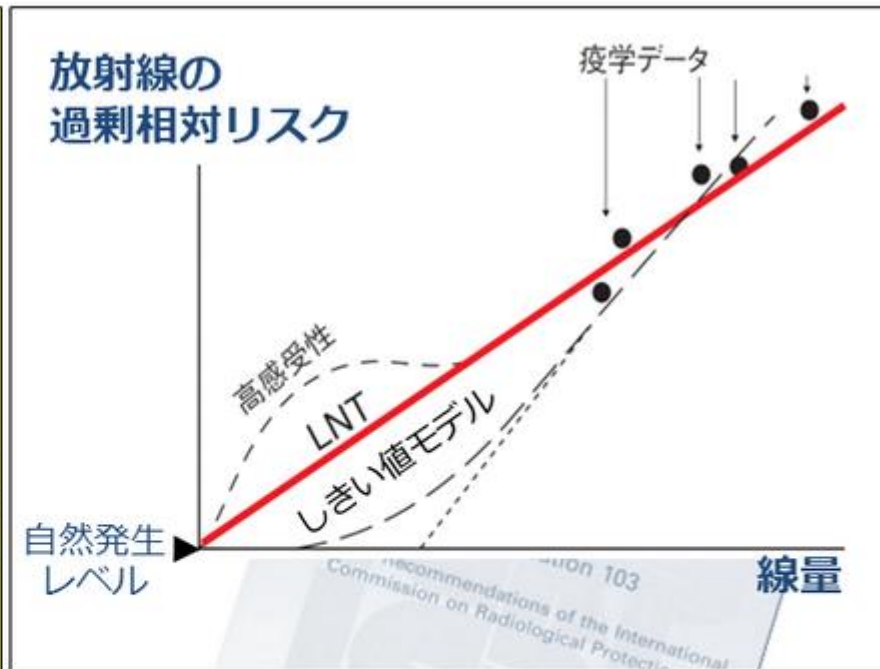
線量に関係なく、発生する「確率」が上昇する影響
症状の重さは線量に比例しない



<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-02-07.html>

LNT仮説（Linear No-Threshold）：
どんなに少ない線量でも、がんの発生確率がわずかに上昇するという考え方

- ◎ 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、白血病等は実際には生じず、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

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/04-01-08.html>

放射線の線量 (ミリシーベルト)	がんの相対リスク※
1,000 ~ 2,000	1.8 【1,000mSv当たり1.5倍と推計】
500 ~ 1,000	1.4
200 ~ 500	1.19
100 ~ 200	1.08
100 未満	検出困難

出典：国立がん研究センターウェブサイトより作成

※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ありません。

※相対リスクとは、ある原因（ここでは被ばく）により、それを受けた個人のリスクが何倍になるかを表す値です。

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-04-05.html>

放射線によるDNA損傷が、次世代に受け継がれる可能性が理論的に考えられている
しかし、ヒトにおいては明確な観察例は報告されていない

■ 放射線による生殖腺（生殖細胞）への影響

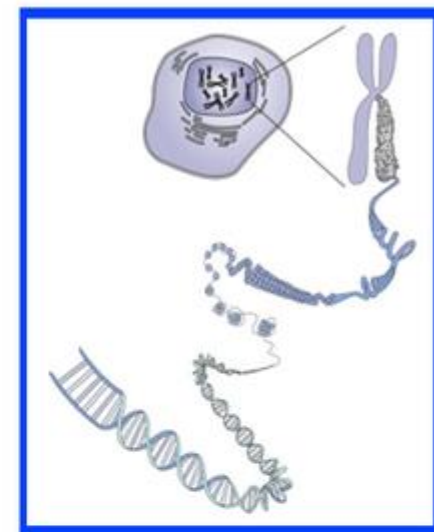
◎ 遺伝子突然変異

DNAの遺伝情報の変化（点突然変異）

◎ 染色体異常

染色体の構造異常

※ヒトでは子孫の遺伝病の増加は証明されていません



■ 遺伝性影響のリスク(子と孫の世代まで)

= 約0.2%/グレイ(1グレイ当たり1,000人中2人)

(国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告)

この値は、以下のデータを用いて間接的に推定されている

- ・ ヒト集団での各遺伝性疾患の自然発生頻度
- ・ 遺伝子の平均自然突然変異率（ヒト）、平均放射線誘発突然変異率（マウス）
- ・ マウスの放射線誘発突然変異からヒト誘発遺伝性疾患の潜在的リスクを外挿する補正係数

■ 生殖腺の組織加重係数（国際放射線防護委員会(ICRP)勧告）

0.25(1977年)→0.20(1990年)→0.08(2007年)

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-06-01.html>

■ 20歳までに発症した悪性腫瘍による死亡

41,066名の追跡調査の結果、親の生殖線量（平均0.435Sv）と死亡との関連はありませんでした。

（出典：Y. Yoshimoto et al.: *Am J Hum Genet* 46: 1041-1052, 1990.より作成）

■ がんの罹患率（1958年—1997年）

40,487名の追跡調査の結果、575件の固形腫瘍、68件の血液腫瘍が発症していましたが、親の線量との関連はありませんでした。（調査継続中）

（出典：S. Izumi et al.: *Br J Cancer* 89: 1709-13, 2003.より作成）

■ がんによる死亡

1946年-2009年の観察期間で、75,327名の追跡調査の結果、1,246件のがんによる死亡が発生していましたが、親の線量との関連はありませんでした。

（出典：E. Grant et al.: *Lancet Oncol* 16: 1316-23, 2015.より作成）

■ 生活習慣病有病率（2002年—2006年）

約12,000名の臨床横断調査の結果、生活習慣病と親の線量との関連はありませんでした。（調査継続中）

（出典：S. Fujiwara et al.: *Radiat Res* 170: 451-7, 2008.より作成）

20歳までに発症した悪性腫瘍の調査、がんの調査、生活習慣病の調査が行われてきたが、放射線の影響は観察されていない

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current/03-06-01.html>

健康影響は以下の3つに分類される：

- ・組織反応（確定的影響）
- ・確率的影響（がん・白血病）
- ・遺伝的影響（理論的リスク）

それぞれの特徴を理解し、適切な防護策を取ることが重要

分類	発生条件	影響	予防策
組織反応 (確定的影響)	一定以上の高線量 被ばくで必ず発生	皮膚障害、白内障、不妊、 造血障害など	線量管理、遮蔽、距離の 確保、被ばく時間の短縮
確率的影響 (がん・白血病)	低線量でも確率的 に発生する可能性 あり	がん、白血病などの発症リ スク増加	不要な被ばくの回避、線量 の最小化
遺伝的影響 (理論的リスク)	生殖細胞の被ばくによ り次世代に影響す る可能性	遺伝的疾患の理論的リスク (現時点で確認困難)	生殖年齢の被ばく回避、長 期的な線量管理

- (1) 電離放射線の性質
- (2) 電離放射線と生体組織・細胞との反応
- (3) 電離放射線による健康被害とその種類
- (4) 労災認定**

- ・我が国初の労災認定事例：
放射線業務従事者の白血病
- ・労災認定には、業務との因果関係、被ばく線量の記録、医学的評価が必要
- ・放射線業務では、記録と線量管理が非常に重要

📅 2023年3月27日 / 最終更新日時：2023年3月28日

情報公開・法令通達・事務連絡・指針

原発被ばくなど放射線被ばくによる疾病（電離放射線障害）の労災認定状況～新たに白血病で認定 2023/3/10福島・富岡労基署～

目次 [非表示]

電離放射線障害の業務上外認定（労災認定）のされかた

最近の業務上外判断についての公表状況（厚生労働省HPより）

2023年03月14日公表 白血病（福島第1原発事故後作業労働者）認定（2023年3月10日付 福島労働局富岡労基署）

<https://joshrc.net/archives/14032>

- 電離放射線は、細胞やDNAに損傷を与える可能性がある
- 健康影響は主に以下の3つに分類される：
 - **組織反応（確定的影響）**：しきい線量を超えると必ず発生
 - **確率的影響**：線量に関係なく発生確率が上昇（がん・白血病など）
 - **遺伝的影響**：理論的には可能性があるが、ヒトでは未確認
- 生体への影響は、線量・照射時間・照射部位・個人差によって異なる
- 適切な防護策（遮蔽・距離・時間・線量管理）を講じることで、リスクを最小限に抑えることができる