

放射線はその通り道の物質にエネルギーを与えていきます。与えられたエネルギーにより、通り道の物質の電子が弾き飛ばされます。これが電離作用です。

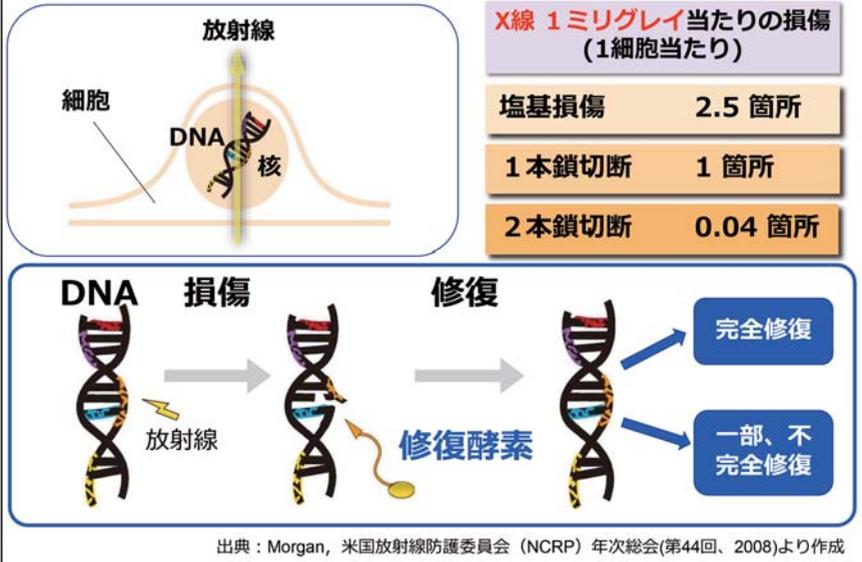
物質にエネルギーを与える密度は、放射線の種類によって異なりますが、 $\beta$ （ベータ）線や $\gamma$ （ガンマ）線に比べ、 $\alpha$ （アルファ）線はごく狭い範囲の物質に集中的にエネルギーを与えます。このような電離作用の密度の違いにより、同じ吸収線量であっても細胞が受ける損傷の大きさが異なります。

（関連ページ：上巻 P18 「放射線の電離作用－電離放射線の性質」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日

## DNAの損傷と修復



細胞は生命の設計図ともいえる DNA を持っています。DNA は糖・リン酸そして 4 種類の塩基を持った 2 本の鎖からできています。塩基の並び方に遺伝情報が組み込まれているので、並び方を保つために塩基は互いの鎖がいがたになるように組み合わせられています。この DNA に放射線が当たると、当たった量に応じて DNA の一部が壊れることがあります。

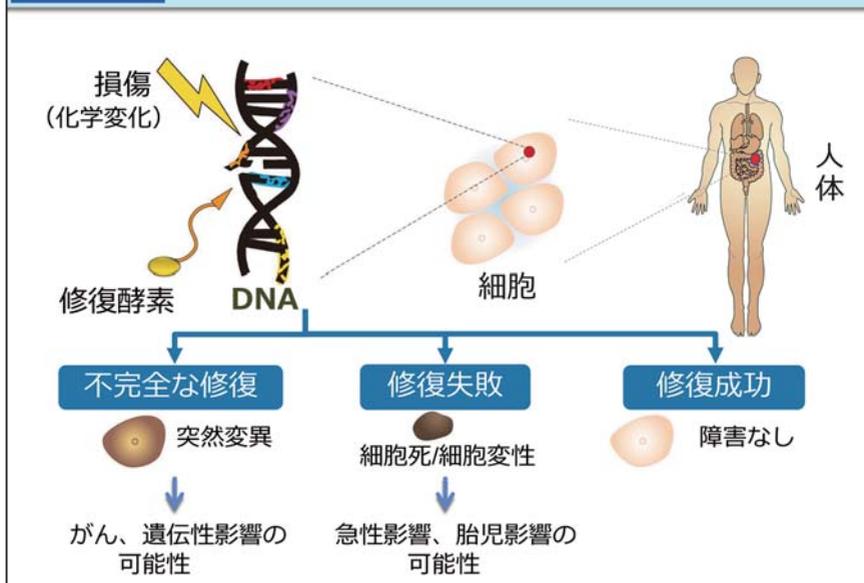
X (エックス) 線 1 ミリグレイ当たり、1 細胞で平均 1 箇所の 1 本鎖切断が起こるといわれています。これは 1 ミリシーベルトに相当します。また 2 本鎖切断の頻度はこれより少なく 0.04 箇所のため、100 細胞が均一に 1 ミリグレイ浴びたら、2 本鎖切断が 4 細胞に起こることになります。

DNA を傷つける原因は、放射線以外にも、食物の中の発がん物質、たばこ、環境中の化学物質、活性酸素等があり、一日 1 細胞当たり、1 万から 100 万箇所の頻度で DNA が損傷を受けているといわれています。

細胞には、DNA 損傷を修復する機能があり、DNA が損傷を受けると、修復酵素が駆けつけて、こうした傷を修復します。修復には、完全に修復される場合と一部が不完全に修復される場合があります (上巻 P89 「DNA → 細胞 → 人体」)。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日



放射線の当たる箇所を細かく見てみると、放射線は細胞に当たり、細胞の中にある遺伝子の本体である DNA に傷をつけることがあります。このついた傷は、体の中に備わっているシステムで修復されます。

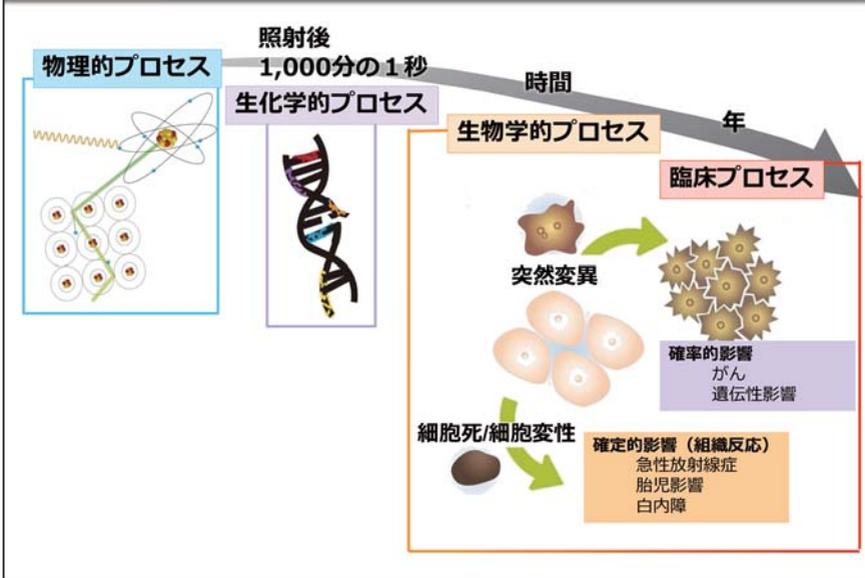
少しの傷であれば修復が成功し、元に戻ります。傷が多ければ修復できずに細胞自体が死んでしまいます。少しの細胞が死んでも、他の細胞が代わりをすれば、その臓器や組織の機能障害は生じません。多くの細胞が死んだり変性したりした場合、脱毛・白内障・皮膚障害といった急性障害や胎児発生障害等の確定的影響（組織反応）が生じる可能性があります（上巻 P90「被ばく後の時間経過と影響」、上巻 P91「細胞死と確定的影響（組織反応）」）。

また、DNA の修復が不完全な細胞が生き長らえた場合には、突然変異を起こし、がんや遺伝性影響等の確率的影響が生じる可能性があります。

DNA を傷つける原因は、放射線以外にも、食物の中の発がん物質、喫煙、環境中の化学物質、活性酸素等があり、1日1細胞当たり、1万から100万箇所の頻度でDNAが損傷を受けているといわれています。低線量放射線によるDNA損傷は、代謝に伴う損傷に比べて圧倒的に少ないのですが、放射線は局所にエネルギーを与えるために、複数のDNA損傷が複合した複雑な損傷を作ります。また、放射線による影響の約85%は放射線により生じる活性酸素等の影響であり、約15%が放射線による直接の損傷によるものです。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2021年3月31日



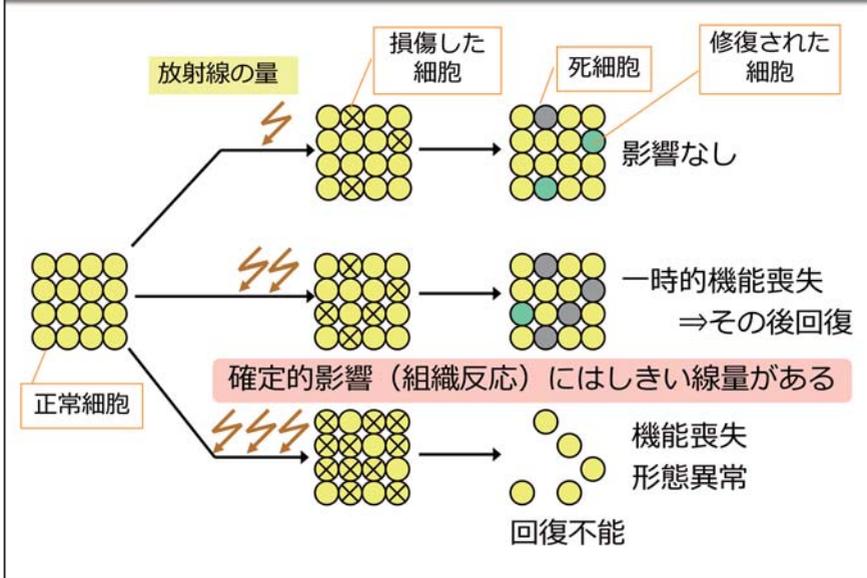
放射線を浴びた後、1,000分の1秒という短い時間にDNA切断や塩基損傷は起こります。1秒後には修復が始まり、修復に失敗した場合には、1時間～1日の間に細胞死や突然変異が起こります。こうした細胞レベルでの反応が生じてから、個体レベルで臨床症状が出るまでにはしばらく時間が掛かります。この時間のことを潜伏期間といいます。

被ばく後、数週間以内に症状が生じるものを急性（早期）影響、比較的長く掛かって生じる影響を晩発影響と呼びます。特にがんが発症するには数年から数十年の時間を要します。

（関連ページ：上巻 P113「発がんの仕組み」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2021年3月31日



放射線が少し当たって、多少細胞が死んでも、残りの細胞だけで十分に組織や臓器が機能すれば、臨床症状は現れません。

放射線の量が増え、死亡する細胞が増加すると、その組織や臓器の機能が一時的に衰え、臨床症状が出ることがあります。しかし、その後、正常の細胞が増殖すれば、症状は回復します。

さらに大量の放射線を浴び、組織や臓器の細胞の損傷が大きい場合には、永久に機能喪失や形態異常が起こる可能性があります。

このように、細胞死によって起こる確定的影響（組織反応）には、これ以上放射線を浴びると症状が現れ、これ未満では症状が現れないという線量が存在します。この線量のことを「しきい線量」と呼びます（上巻 P97「様々な影響のしきい値」）。

（関連ページ：上巻 P86「確定的影響（組織反応）と確率的影響」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2021年3月31日

分裂が盛ん

感受性が高い

造血系：骨髄、リンパ組織（脾臓、胸腺、リンパ節）

生殖器系：精巣、卵巣

消化器系：粘膜、小腸絨毛

表皮、眼：毛嚢、汗腺、皮膚、水晶体

その他：肺、腎臓、肝臓、甲状腺

支持系：血管、筋肉、骨

伝達系：神経

分裂しない

感受性が低い

細胞分裂が盛んで、分化の程度の低い細胞ほど、放射線感受性が高い傾向にあります。例えば、骨髄にある造血幹細胞は盛んに分裂しながら、血中の各種血液細胞に分化する細胞です。幹細胞から分裂（増殖）が進んだ未成熟（未分化）な造血細胞の放射線感受性は極めて高く、分化した細胞よりも少量の放射線で細胞死が起こります。

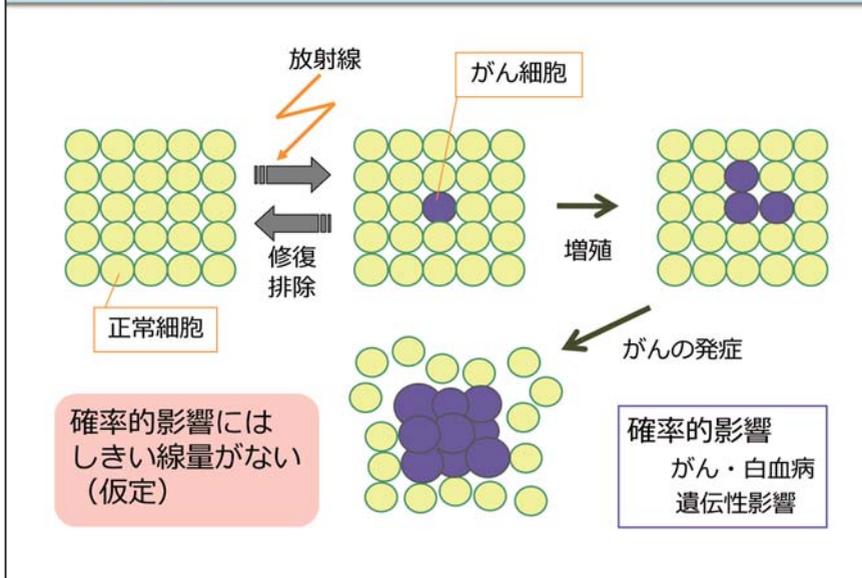
その結果、血液細胞の供給が止まり、血中の各種の細胞の数が減少します。また消化管の上皮も常に新しい細胞に置き換わる新陳代謝が激しい臓器なので、放射線感受性が高くなります。

一方、成体では細胞分裂をしない神経組織や筋組織は放射線に強いことが知られています。

（関連ページ：上巻 P94 「全身被ばくと局所被ばく」、上巻 P97 「様々な影響のしきい値」）

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2022年3月31日



細胞の突然変異で起こる影響は、一つの細胞に突然変異が起こったとしてもそのリスクが増加すると考えられています。

突然変異を起こした細胞は、ほとんどが修復されたり排除されたりしますが、一部の変異細胞が生き残り、その子孫細胞に複数の遺伝子突然変異や遺伝子発現レベルの変化が追加的に起こると、がん細胞が生じる可能性が高まります。がん細胞が増殖すると、臨床的な（身体的症状から、医師が診断する）がんとして発症します。細胞のがん化は、複数の遺伝子に変異が起こり、修復されずに蓄積された結果として生じるため、発がん影響を評価する際には、受けた線量を全て考慮する必要があります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2019年3月31日