

## しきい値のない直線仮説って何？

放射線が人体に与える影響については、様々な調査研究が行われ、これまでに、原子爆弾や、線源取り扱い上の過誤による事故等によって高線量の放射線を受けた人に影響が現れることが明らかになっています。受けた放射線の量と発生した影響との関係について調べられた結果、皮膚の紅斑、脱毛や白血球の減少、白内障は、それぞれある一定の線量以上の放射線を受けた場合に発生することが分かりました。この一定の線量の値を、しきい値（閾値）といい、それ以上の線量を受けるとほぼ確実に影響が発生するので確定的影響といいます。一方、放射線を受けてからある程度長い期間をおいて発生する白血病やがんの場合には、このようなしきい値は明確ではありませんが、受けた放射線の量とがんの発生頻度との間には限られた線量域で正の相関があることが明らかになっています。ただし影響が発生したりしなかったりと確率的であることから、確率的影響といいます。

しかし、以上の話は200～5,000ミリシーベルトという線量域の放射線の影響に関するものであり、それより低い低線量放射線が人体に与える影響については、世界中の専門家や研究者が熱心に研究し活発な議論がなされています。低線量放射線とがんの発生するリスクとの関係を推定する考え方として、「しきい値のない直線（Linear No-Thresholdの頭文字をとってLNT）仮説」というものがあります。このLNT仮説とはいったいどのようなものなのでしょうか。

### LNT 仮説とは

上述のように、限られた線量域では受けた放射線の量とがんなど確率的影響のリスクに正の相関があることは明らかになっています。しかし、低線量域では自然放射線量の高い地域の住民などを対象とした疫学調査も行われています

が、その相関の有無は科学的に明らかにはなっていません。一方、原子力や医療等の分野で放射線や放射性物質を実際に取扱う作業員から一般市民まで、人体の安全を確保するという放射線防護の観点からみた場合、線量とリスクとの関係をなるべく安全側に評価する必要があります。この評価をするための考え方として、LNT仮説が登場するのです。国際放射線防護委員会では、放射線の人体への影響は線量や線量率（単位時間あたりの線量）の高低によらず同じようなメカニズムで起きるとの仮定にもとづき、主に原爆被爆者のがん発生率のデータから高線量域で明らかになった正の相関を低線量域側にも外挿してリスクを評価することが適当であるとしています（図1）。つまり放射線の確率的影響について、一定の線量値を「しきい値」とせず、それ以下の低線量放射線でも正の相関があると仮定して放射線防護に関する勧告を行い、世界各国の放射線防護と管理に関する法律や指針の根拠となっているのです。この考え方が「しきい値のない直線仮説」と呼ばれているものなのです。

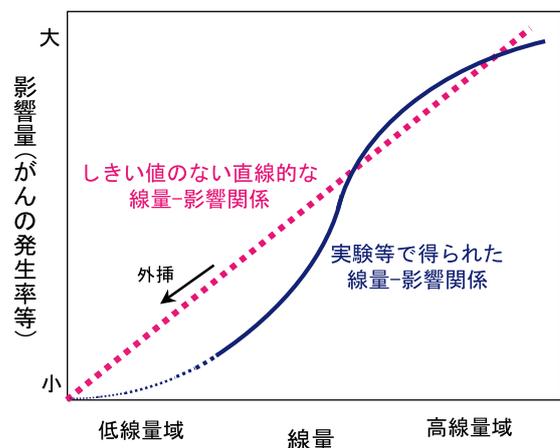


図1 放射線の確率的影響と線量の関係（概念図）

（米国科学アカデミー報告2006より改変）

原爆被爆者の調査や実験から、放射線の確率的影響と線量との関係は図のような曲線（青線）で表せると考えられている。その高線量域での影響量から、直線で低線量域に外挿したもの（赤線）がLNTである。

## 低線量放射線では LNT 仮説は成り立つのか

LNT 仮説は、放射線防護あるいは管理の観点からは非常に有用な仮説ですが、低線量放射線では、科学的に実証されているわけではありません。現在の低線量放射線の生体影響に関する知見には以下のようなものがあります。

例えば核兵器工場や原子力施設関連従事者を対象とした疫学調査や動物実験などから得られたがん発生率等のデータでは、通常のがん発生率との間に有意な差は見いだされていません。これはある一定の「しきい値」線量域がある可能性を示しています。

また、予め低線量照射しておくのと高線量照射による影響が減少する適応応答、低線量放射線を細胞に照射したとき、照射されていない近傍の細胞にも影響が現れるバイスタンダー効果や、次世代の細胞で突然変異を起こしやすいゲノム不安定性などの現象が明らかにされてきており、低線量放射線に対する生体の応答は、高線量放射線に対する応答とは異なることが次第にわかってきました。

このような低線量放射線影響の新しい知見にもとづき、フランス科学・医学アカデミーは、①放射線の影響は、細胞死による損傷細胞の除去、DNA 損傷の修復機構の活性化によって影響が違ってくこと、②細胞間相互作用や免疫細胞によるがん化細胞排除などの機構が存在すること、③免疫監視機構が働いて発がんが抑えられる、といった研究成果を示し、結果として低線量放射線の影響は少なくなり、数 10 ミリシーベルト以下のしきい値も示唆されることなどから、低線量放射線では生体の防御機能が働くため、数 10 ミリシーベルトより低い線量の範囲で LNT 仮説を適用することは過大評価につながるとし疑問を呈しています。

一方で、米国科学アカデミーの「電離放射線の生物影響」報告では、複雑なメカニズムの全体を理解するにはまだ不十分で、100 ミリシーベルト以下の低線量域でもしきい値は存在しないと考えるのが妥当であるとし、LNT 仮説によるリスク推定の有効性が述べられています。

このように LNT 仮説は放射線防護のための実用的な考え方ですが、さらに細胞や分子レベルでの最新の知見もふまえて低線量域でも適用することが妥当かどうか、議論が続けられています。

## マウスを用いた実験が理解の糸口

低線量放射線の人体への影響を科学的に明らかにすることは非常に重要なことです。なぜなら、一般社会で高線量放射線を受けることは極めて稀であり、日常生活で受ける低線量放射線のリスクを正しく評価することは社会的にも大きな意義があります。しかし当然のことながら人体で直接実験を行うことは不可能であり、実験動物を使用した実験が必要となるのです。

マウスは遺伝子や細胞の機能が最もよく調べられている実験動物であり、マウスを使った実験では低線量率・低線量放射線を長期間連続照射したマウスでは寿命やがん等の発生は照射していないマウスと変わらないこと、低線量率放射線でも長期にわたって高線量照射した場合には、がん死等により寿命が短縮することがわかっています。更にこの実験結果の背景にある、がん等の発生に関わる遺伝子変異や生体防御機能の変化などが、線量率や線量の違いにより異なるのかどうか、マウスを使って研究が進められています。このように細胞や遺伝子、タンパク質などの分子レベルでの研究が進むことで、LNT 仮説を含めた低線量放射線の影響についての理解がより深まると考えられます。

## 参考文献

1. ICRP (2005) Annals of the ICRP. ICRP Publication 99
2. France Academy of Sciences & National Academy of Medicine (2005) Report on dose-effect relationships and estimation of the carcinogenic effects of low doses of ionizing radiation.
3. National Research Council of the National Academies (2006) Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. BEIR VII Phase 2.

(小木曾 洋一)

このミニ百科は、文部科学省の委託を受けて環境科学技術研究所が発行しているものです。

財団法人 環境科学技術研究所 広報・研究情報室

〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駈字家ノ前1-7 電話0175-71-1200

平成19年11月5日 発行