

日本赤十字九州国際看護大学/Japanese Red  
Cross Kyushu International College of  
Nursing

環境保健2：トキシコロジーから放射線管理へ

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-09-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://jrckicn.repo.nii.ac.jp/records/639">https://jrckicn.repo.nii.ac.jp/records/639</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.





# PH15 環境保健 2 トキシコロジーから放射線管理へ

<https://social-med.blogspot.com/2014/11/ph152.html>

皆さん、こんにちは。今回は Toxicology と放射線についてお話しします。

## 1 Toxicology (毒性学、中毒学) の発展

環境汚染の原因はヒトの文明活動と、そこで生み出された化学物質 (重金属も含む) です。水銀、鉛、カドミウムなどの重金属は、もともと土の中にあり、それらを有用資源として採掘し地表に出すことで、ヒトが重金属に曝露される機会が増えました。またヒトの生活を囲むおびただしい数の化学物質は、ヒトが合成したものです。セレンのように生体に必須な物質もありますが、高濃度が体内に入ると毒性を示します。こうした化学物質や医薬品の安全性を解明する学問が Toxicology (トキシコロジー、毒性学、中毒学) です。

毒性のある物質は昔から知られていました。クレオパトラ (古代エジプト) は毒蛇にかまれる死を、ソクラテス (古代ギリシャ) は死刑宣告を受けた際、ドクニンジン (毒芹) を飲む死を、選びました。その後ルネサンス期にヨーロッパで毒物への関心や知識が発展しました。毒物の化学的性質と生物学的影響の間に系統的な関連性を見出した Orfila (1787-1853) は Toxicology の父といわれます。

## 2 Toxicology の基本

### 1) 化学物質の移動

①曝露と曝露量： 生体は環境中の化学物質に曝露され、化学物質は消化管・気道・皮膚から吸収されます。曝露量は生体が曝露される物質の量です。空気を介する曝露量は「吸入した空気中の濃度」に「吸入した時間」と「時間あたりの呼吸量」を掛けて求めます。食べ物や水では経口での摂取量をいいます。

②吸収： 曝露された化学物質の一部が吸収されます。吸収の速度は、物質の物理化学的性質と生体側の生理学的性質によります。吸収率は化学物質の吸収量と曝露量の比です。水溶性或いは脂溶性の物質は吸収率が高値をとります。

③分布： 吸収された化学物質は血中に入り、物質と組織の親和性に応じて、体内臓器に分布します。低分子で蛋白と結合していないものは血液脳関門、血液胎盤関門を通過します。脂溶性の物質は脂質に富んだ臓器に蓄積されやすく、水溶性の物質は尿から排泄されやすい性質を持ちます。

④代謝と排泄： 代謝は酵素の働きで行われます。代謝の能力は肝細胞が最も高く、皮膚・肺・小腸・腎臓の細胞がそれに続きます。代謝された化学物質は胆汁や呼吸、尿、分泌物と共に排泄されます。

### 2) 量-影響関係 dose-effect relationship

化学物質は、体内に入る量が多すぎると中毒を起こします。ある量が体に必須である化学物質は、少なすぎると欠乏を起こします。外部環境から体内に入る量 (dose) が大きくなり、体内の正常な調節機構だけではバランスが保てなくなると、代謝性の調節機構が働き、体全体としてバランスを保ちます。より大きな負荷が内部環境にかかると、生体は恒常性を維持できずに破綻し、機能障害や疾病から死に至ることもあります。横軸に「外から入る有害な化学物質の量 (有害物の負荷量 dose)」を、縦軸に健康・疾病・死など「物質が体に与える影響 (effect)」をとって描くグラフが量-影響関係 (の曲線) です。

### 3) 量-反応関係 dose-response relationship

横軸に「有害物の負荷量 dose」を、縦軸に「反応割合 response : 集団内の何%が反応したか」をとって描くグラフが量-反応関係 (の曲線) です。各個体の反応は、個体の遺伝的要因・環境要因・社会要因の影響を受けます。その結果、集団中、ある割合の個体 (人) は反応し、他の個体は反応しないなど、個体差が現れます。反応を示す個体数は正規分布か対数正規分布をとり、累積すると S 字型の曲線になります。

量-反応関係は、化学物質の効果や毒性を把握するときに用いられ、半数の個体が反応を示す量が「半数影響量 ED50, effective dose 50」、半数の個体が死亡する量が「半数致死量 LD50, lethal dose 50」です。

閾値 : S 字曲線の立ち上がりの値が「閾値 (いき値・しきい値) threshold」です。それ以下の量の負荷では全個体が無反応です。有害物の量が閾値を超える (閾値以上の負荷がある) と、反応を示す個体の割合が徐々に増加します。閾値を数字で示すのは難しく、代わりに「生体へのいかなる影響も検知されない最大量 : 最大無毒性量, 最大無影響量, NOAEL, no observed adverse effect level」や「生体への影響が検知される最小量 : 最小毒性量, 最小影響量, LOAEL, lowest observed adverse effect level」を計算します。

## 3 放射線事故の影響を Toxicology から考える

### 1) 放射線管理区域の考え方

放射線の研究でノーベル賞を 2 回受賞し、放射能という言葉の発案でも知られるマリー・キュリーは放射線障害で亡くなりました。放射線の有用性を活かし、危険性をどう抑え込むかは、放射性物質の管理上、長年の課題でした。

2010 年までの管理の常識に従い、日本の原発は重大事故を起こさないとすれば、主な課題は医療などに用いる必要最小限の放射性物質の管理です。このマークは皆さんも見たことがあるでしょう。「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」による管理区域の考え方の一部を紹介します。

①外部放射線に係る線量 : 実効線量 (外部放射線量) が 3 カ月あたり 1.3mSv (0.59  $\mu$  Sv/h) を超える区域内に立ち入りを制限する。

②  $\alpha$  線を出さない放射性物質で汚染され、表面汚染密度が 4Bq/cm<sup>2</sup> を超えた物 (衣類など) は区域外への持ち出しを禁ずる。

### 2) 福島での原発事故

2011年3月の原発事故まで、放射線管理区域は大学の医学部など特別な場所に設けられていました。ところが原発事故で大量の放射性物質が放出され、福島を中心とする東日本に降り注ぎました。これは群馬大学の早川由紀夫氏による2011年9月時点での放射能汚染地図です。広い地域で放射線量（空間放射線量率）が $0.25\mu\text{Sv/h}$ を超え、 $0.5\mu\text{Sv/h}$ 以上も広く存在します。数十万人もが住む地域の放射線量が放射線管理区域なみになりました。非常事態を受け、国は管理区域の発想の原点、ICRP勧告に立ち返り、新原則を適用しました。

### 3) ICRPの発想と計画被ばく状況

国際放射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection, ICRP）は放射線防護を勧告する国際学術組織で、同勧告は国際原子力機関の安全基準や各国の放射線障害防止に関する法令の基礎になっています。

ICRPの放射線防護は、核戦争や原発事故でなければ起こり得ない重大な放射能汚染から、日常生活での放射線まで、幅広い状況を想定しています。ICRP2007によると被ばく状況は、計画被ばく状況・緊急時被ばく状況・現存被ばく状況、の3つに分かれます。

計画被ばく状況 Planned exposure situations； 事故や緊急事態がない普通の状態での計画された被ばくです。Planned exposure situations are situations involving the deliberate introduction and operation of sources. Planned exposure situations may give rise both to exposures that are anticipated to occur (normal exposures) and to exposures that are not anticipated to occur (potential exposures. 自然放射線が高い地域に住む場合や、放射線を扱う職業にともなう被ばくも含まれます。

職業人（職業被ばく）の被ばく限度は一般人（公衆）に比べて高く、5年間の平均が年間 $20\text{mSv}$ などとなっています。一方、一般人は年間 $1\text{mSv}$ です。これが私たちが普通に生活していたときの線量限度、「放射線の被曝量のやむを得ない場合の上限値」です。2010年以前の普通の生活における、放射線管理区域の考え方に、ほぼ対応します。

### 4) 非常事態と緊急時被ばく状況

2011年3月の非常事態（原発事故）により、「計画被ばく状況」が成り立たなくなり、国は「緊急時被ばく状況」や「現存被ばく状況」への切り替えを進めました。これらの非常事態下では「線量限度」の考え方は適用されず、代わりに国が用いたのが「参考レベル（公衆の防護活動の目安とする線量）」です。

緊急時被ばく状況 Emergency exposure situations： 悪意ある行動（核戦争、テロ）や原発事故で生じる被ばくです。Emergency exposure situations are situations that may occur during the operation of a planned situation, or from a malicious act, or from any other unexpected situation, and require urgent action in order to avoid or reduce undesirable consequences. 避難・個人の除染・屋内退避・呼吸器の防護・安定ヨウ素による甲状腺のブロッキング・汚染された食品の摂取制限など、緊急の防護活動が行われます。年間 $20\sim 100\text{mSv}$ の間で参考レベルを決め、下限の $20\text{mSv}$ に少しでも近づくように防護活動を行います（防護の最適化）。

### 5) 現存被ばく状況 Existing exposure situations

非常事態が収束する過程で、被ばく線量が平常時の公衆の線量限度（1mSv/年）より高い状態が定着し、さらなる線量低減に長期間を要する状態が「現存被ばく状況」です。Existing exposure situations are exposure situations that already exist when a decision on control has to be taken, including prolonged exposure situations after emergencies. 年間 1～20mSv の間で適切と判断される値を参考レベルとして、そこまで被ばくを減らすことをめざし、屋外活動の減少、除染などの防護活動を実施します。防護活動では、対象となる集団のなかで、参考レベルを超える可能性のある人々の被ばくを優先的に軽減する努力をして、集団全体の平均被ばく線量を減らします。そのつど成果を評価し、さらに低い参考レベルを設定してこの活動を繰り返します。集団全員の被ばくが年間 1mSv 以下になれば、平常状態への回復が達成されたことになります。

## 6) 放射線の健康影響

放射線による健康影響の現れ方には、ある線量以上の被曝を受けると、ほぼ確実に発症する「確定的影響」と、被曝線量がゼロでない限り、どんな低線量でも小さい確率ではあるが発症すると考える「確率的影響」の二つがあります。

確定的影響： 低線量域では、確定的影響による症状は、ほとんど現れません。ある一定の限界線量（閾値 threshold）を超える放射線を受けた場合に、皮膚の紅斑／脱毛（毛根細胞の死）／下痢（腸の粘膜細胞の死）／不妊（生殖細胞の死）／貧血（造血細胞の死）／白内障など急性障害が起こります。

確率的影響： 確率的影響は放射線を被曝した人に必ず現れるわけではなく、一部の人にある確率で現れ、受けた放射線の量に比例して発生率が増加します。そのデータの下限は 100mSv、それ以下での発がんはまだ十分な疫学データが無く不明です。しかし発がんのしくみや安全確保の観点から、閾値は存在せず、極めて微量の放射線でもそれに比例したがんの発生確率がある、とされます。

## 7) 除染の現状

2014年現在、緊急時被ばく状況は脱しつつありますが、現存被ばく状況は続いています。事故後一年間の積算線量が 20mSv を超えるおそれがあるとされた「計画的避難区域」と、東京電力福島第一原子力発電所から半径 20km 圏内の「警戒区域」とでは、国が計画的に除染を進めています。

かつては「校庭・園庭で  $3.8 \mu\text{Sv/h}$  未満の空間線量率が測定されたら、校舎・校庭等を平常どおり利用して差し支えない」との国の通達(2011年6月)や「100mSv 以下なら発がんの危険は無い」との見解もありました。その後放射線への慎重な見方が増え、国は年間の追加被ばく線量が 1mSv ( $0.23 \mu\text{Sv/h}$ ) の地域を含む市町村を「汚染状況重点調査地域」に指定し除染を進めました。

原発事故からの時間が経つにつれて、より厳しい基準が適用される事はチェルノブイリでも認められました。しかし問題解決！とは言い難い状況です。年間 1mSv 以下になっても、2010年以前の状態に戻れるわけではありません。ヒトが住む場所の除染は進みましたが、山や森林では進んでいません。生態系が放射能で汚染された状況はいまだに続いています。

## 4 これから

環境科学や Toxicology でエビデンスの考え方は大切です。しかし比較的少量の汚染、量-反応曲線の左端近く

はエビデンスが無く、閾値も定かではありません。このような「それとは定かでない毒性」のことを、かつて Henry A. Schroeder は *recondite toxicity* といいました。この *recondite toxicity* の中で私たちはどのように生きるべきでしょうか。「普段の生活を楽しみ、非常事態には政府の指示に従って動き、安全が回復したと言われたらそれを信じ、嫌なことは忘れ、心配しない（心配がストレスになり、健康に悪影響を及ぼす）」も1つのあり方でしょう。

一方、忘れないで語り考え続けることも大切です。これまでの量-影響関係や量-反応関係では、横軸に有害物の負荷量を、縦軸にエビデンス（学術的に確定した生物学的な影響や反応）をとり、物事を考えてきました。しかしエビデンスが無い状態でも私たちは生きなければなりません。こうした中、主観的な要素を縦軸にとってグラフやマップを作成し、私たち自身がどう感じ考えるかを示すことも、意味ある行為です。化学物質や放射能汚染も含めた地球環境の課題はヒトが引き起こしたもので解決は簡単ではありません。しかし個々人が沈黙するのではなく、感じ考え語り続ける中でこそ、未来が拓けてきます。