



本当のところを教えて！放射線のリスク  
－ 放射線影響研究者からのメッセージ －

日本放射線影響学会 Q&A 対応グループ 編  
(2014年9月)

(本書の発行にあたって、公益財団法人 ひと・健康・未来研究財団 の支援を受けた)

**本当のところを教えて！放射線のリスク – 放射線影響研究者からのメッセージ**  
**日本放射線影響学会 Q&A 対応グループ編 (2014年9月)**

**目 次**

はじめに	-----	3
第1章 解説編	-----	5
(1) 放射線・放射能の基礎を理解しましょう	-----	5
・放射線・放射能って何ですか？	-----	5
・シーベルトって何の単位ですか？	-----	6
・内部被ばくってどういうこと？	-----	7
・内部被ばくでは放射性物質がたまるのですか？	-----	8
・内部被ばくを知る：内部被ばくを自分で計算しましょう	-----	8
・被ばくゼロはありますか？	-----	9
[コラム] 複数のシーベルト：空間線量率と実効線量があわないのは何故？	-----	10
・食品の放射能・・・「検出限界以下」ってゼロですか？	-----	11
(2) 放射線の生体影響の基礎	-----	12
・放射線にあると細胞に何が起きる？	-----	12
・損傷ができれば終わりなの？	-----	13
・放射線被ばくで起きる影響は？	-----	14
[コラム] 内部被ばくによるがん以外の影響	-----	16
(3) 放射線やその他の要因による発がんについて：生命現象からの説明	-----	16
・放射線は発がんの主要因ですか？	-----	16
・そもそも「がんのリスク」って何ですか？	-----	17
・放射線でがんが治るとも聞きましたが-----（がん治療）	-----	18
(4) 放射線影響が変わる要因	-----	19
・内部被ばくは外部被ばくより影響が大きい？	-----	19
・被ばく線量は同じでも-----	-----	20
(5) 子どもへの被ばく影響を考える-----発がんを中心に	-----	21
・子どもは大人よりがんになりやすい？	-----	21
・子孫への影響はどうでしょうか？	-----	22
(6) 100 ミリシーベルトの被ばくリスクを考える	-----	23
・100 ミリシーベルトのリスクって？	-----	23
【発展】100 ミリシーベルトの発がんリスクを少し詳しく見てみましょう	-----	24
・年間被ばく限度の意味は？	-----	26
・チェルノブイリで甲状腺がんが増えましたが・・・	-----	26
[コラム] 甲状腺ってどんな臓器ですか？	-----	27
[コラム] 甲状腺等価線量とは	-----	28
第2章 放射線影響 Q&A より	-----	29
[資料] 福島事故とチェルノブイリ事故による放射性物質汚染状況の比較	-----	32
第3章 市民と研究者の座談会から	-----	33



## はじめに

この本の表題をご覧になって、「何で今頃になって？」という疑問をお持ちの方は多いかもしれません。確かに、福島第一原子力発電所事故を契機にして、多くの個人や学術・技術団体が放射線の人体影響に関する書籍を出版してきました。事故から3年半を経過した今となつては、情報が最も必要とされていた時期を逸した感は否めないかもしれません。

本書の編集に携わった日本放射線影響学会<sup>注1</sup>のメンバーは、福島第一原発事故発生から間もなく、それぞれの専門の立場で市民の皆さんに情報を伝えるために研究室を飛び出しました。2011年3月18日、「市民の皆さんが自身で納得できる判断をするための科学的な情報を伝えたい」という方向を同じくする有志が集まって、ホームページを通じたメールによるQ&Aを開始しました。事故後に多数寄せられたメールや電話でのやりとりから、私たちは「顔が見える直接対話」の必要性を感じ、同年秋から、複数講師による対話型講演会開催への取り組みを開始し、その後、少人数の市民の皆さんとの膝詰め対話という形で今も活動を継続しています。この3年半あまりの活動で、「自分の頭で理解して判断し、地域を守るために、たとえ小さくてもできることから自立して取り組む」ことを続けている多くの市民の方とお会いしました。この経験は私たちに、ある緊急事態に直面した時、市民の皆さんと共に行動できる、専門的な情報がある程度理解した方が、それぞれの地域に居ることがいかに重要であるかを強く感じさせました。ここでいう「共に行動できる方」とは、具体的には学校の教師であったり、役場の窓口の方であったり、自治会やPTAの役員など、本当に身近で顔が見える方のことです。命に関わる情報は、「誰が発信したか」が受け手の理解と判断に大きく影響し、発信者の理解度は受け手の理解度にも大いに影響します。その一方で、原発事故発生当時はもちろん、今でもなお、地域のリーダーとなる方々が放射線の健康影響に関する科学的な情報を整理し、理解した上で自信を持って発信するのに最適な解説書は不十分であることに気付きました。

放射線の影響を書いた本は多数出版されていますが、私たちが知る限り、これらの書籍の情報量は、非常にわかりやすくするために贅肉を極限まで削ぎ落とした書籍と、ある程度専門知識を持つ人向けに書かれた書籍の2つに大別され、わかりやすさと科学性を両立できる簡潔な書籍がほとんどありません。また、中には科学的な情報に基づいているとは思えない書籍もあり、結果として、「何が本当で、何を元に判断すれば良いのか」が見えてこない状況が続いているように感じています。もちろん、この本の解説が私たちの掲げる要件を十分満たしているとは言えないかもしれませんが、できるだけ簡潔な解説と理解の手助けとなる図や表と組み合わせることを心がけました。本書は、市民と直接対話される自治体職員の方や学校の先生、地域のリーダーとして活動されている方々のために、これからの放射線リスクコミュニケーションに必要なテーマを厳選し、各テーマについて、平易でなおかつ科学性を維持した解説と図説を使ってまとめました。加えて、科学的な情報を伝える上で何が問題であったか、これから何が必要なのかを座談会形式でまとめました。「本当の専門家」が集まる集団として、私たちが「何をして、何を感じ、どう対応してきたか」を市民代表の方とともに語ったメッセージも含めてお読みいただければ、「なぜ今なのか」をご理解いただけるものと考えております。本当の専門家として、私たちが市民の方とともに経験したことが未来につながれば幸いです。

### 編集委員

田内 広（代表）、宇佐美徳子、柿沼志津子、島田義也、鈴木啓司、松本智裕、松本英樹、松本義久、三谷啓志、渡邊正己

---

注1 日本放射線影響学会は、1954年の第五福竜丸事件を契機に、日本人が組織する放射線影響に関する専門家集団志した先人たちによって結成された学術団体で、放射線がヒトや生物・環境に与える影響を研究する専門家が所属している学会です。

# 第1章 解説編

## 1 放射線・放射能の基礎を理解しましょう

### 放射線・放射能って何ですか？

全ての物質は、原子でできています。この原子を構成している電子、陽子、中性子、さらにそれらを構成している素粒子、逆にそれらから構成されている原子核などが、高速で動いている流れも放射線と呼ばれています。また紫外線より波長が短い電磁波は、X線やγ線と呼ばれます。波長に厳密な境目はありませんが通常の光よりも波長が短く、化学結合の変化（場合によっては原子の変化）を生じるほどのエネルギーが高いものを放射線としています。

なぜこのように全く物理学的性質の異なるものが「放射線」としてまとめられるのでしょうか？放射線は原子や分子にそのエネルギーを付与することで物質に変化をもたらします。この変化の中で電離（エネルギーを原子や分子に与え、電子をはじき出す現象）を生じる性質を共通にもつことで放射線として定義されるのです。放射線でも、粒子のスピードや電磁波の波長の違いにより電離の生じ方が異なります。放射線から高いエネルギーを物質が吸収した時には、物質から飛び出した電子が新たな2次放射線として別の原子を電離することもあります。放射線の物質に及ぼす作用は非常に複雑な過程なのです。

同じ元素でも原子核の質量の違うもの（陽子の数は同じだが、中性子の数が違う場合）が存在します。これらには、化学的性質は同じですが、核が不安定なため、電磁波や素粒子の放射線を出しながら他の元素に変わることによって安定な状態に変化するものがあります。このような物質を「放射性同位元素（ラジオアイソトープ）」と呼びます。放射線を放出する現象を壊変といい放射性同位元素から出る放射線の種類と壊変の頻度はどのような条件下でも一定です。原子核の不安定性の程度で時間あたりの放射線を出す頻度が決まっており、温度やその他の物理条件を変化させても壊変は変化しません。そのため元の放射性同位元素の半分が壊変して半分になる時間（半減期）は、放射性同位元素ごとに常に一定となります。また、ある放射性同位元素が1秒間に何回放射線を放出するかは、その時の放射性同位元素量に常に正比例するので、1秒間に1回壊変がおこる放射性同位元素の量を1ベクレル（Bq）と定義します。セシウム-137は、半減期30.17年で、3000ベクレルの重量は約10億分の1gと非常に微量です。安定同位体のセシウム-133は、人体に約6mg存在していますが（出典 URL、2014年4月現在：<http://pub.maruzen.co.jp/index/kokai/genso/270.pdf>）、それよりもはるかに微量である事が分かります。いろいろな放射性同位元素の混合物でも、合計10ベクレルなら、その物質の中では毎秒10回放射線が放出されています。しかし、出てくる放射線の種類や性質は放射性同位元素によって異なるのです。ベクレルで表される量は、放射線がどのぐらいの頻度で出ているか（同じ放射性同位元素なら頻度はその重量に比例します。）であって、出ている放射線の量や性質を表すものではありません。

### 放射能と放射線

放射線を放出するという物質の性質を放射能と呼びます。放射線に共通の性質として電離作用がある事を説明しましたが、電離によって生じたモニター物質の変化を物理化学的に測定することが可能です（表1）。測定器が対応していない放射線を測ろうとすると、モニター物質のケースで放射線が遮蔽されたり、モニター物質を電離することなく通過してしまい検出効率が大きく変化します。

測定器	モニター物質	対象となる放射線	主な利用目的
GM計数管 (ガイガーカウンタ)	ガス (主成分は希ガス)	ベータ線とガンマ線	放射線や放射性物質による汚染を見つける
シンチレーション式	シンチレーター (NaIや有機物など)	ガンマ線	空間線量率やガンマ線の分析
ゲルマニウム 半導体検出器	Ge結晶	ガンマ線	ガンマ線を出す放射性物質の分析
半導体検出器	各種の半導体	主にガンマ線	空間線量率や個人の積算被ばく
電離箱	ガス (主成分は希ガス)	ベータ線、ガンマ線 (アルファ線)	空間線量率

表1 放射線測定機器の種類と測定できる放射線

## シーベルトって何の単位ですか？

前の項目で、放射線とは電磁波と高速の粒子をまとめて電離作用という共通性でまとめたものという説明をしましたが、放射線には表のような種類があります。

- アルファ線（陽子 2 個と中性子 2 個からなる粒子の流れ）  
プラスの電荷をもっており、重いので物質の中を通過しにくい
- ベータ線（電子の流れ）  
マイナスの電荷をもっているが、軽いので物質の中をある程度通過出来る
- ガンマ線（電磁波 光子の流れ） 物質の中を通過しやすい
- 中性子線（原子核を構成する粒子である中性子の流れ）  
核分裂反応で生じる。電荷がないので物質の中を通過しやすい
- 重イオン線（大きな原子のイオンの流れ）  
加速器で人工的につくられる。重いので物質の中を通過しにくい。  
がんの放射線治療で利用される

原子の中心には、原子核があり、その周りに電子が存在しています。重粒子とは、原子核や原子核をつくる粒子のことをいいます。重粒子を電氣的に高速に加速すると、物質を変化させたりエネルギーを与えたりできるようになります。それで、これらを「重粒子線」と呼びます。重粒子線のなかで、原子番号が 2 より重い原子核(イオン)を加速したものは、重イオン線と呼ばれています。

放射線には、粒子が重くて、電氣的に偏っているために物質を透過しにくくて、物質との相互作用として電離を高密度で生じるものや、電磁波（光子）のように透過性が高く、物質との相互作用を起こす密度が疎であるものがあります。

放射線は種類（線種）によって被ばくで生じる電離の頻度と分布が異なるため、人体影響も異なります。放射線測定器のモニター物質に同じ数の電離が生じたから同じ人体影響があると評価することはできません。局所的に電離が生じてその細胞のみに影響がでる場合と、 $\gamma$ 線のように人体を透過し易く、ほぼ均一に電離を生じてどの細胞にも影響が生じる場合を比べると体全体で同じ数の電離が生じても影響は大きく異なります。放射線測定器で測定した電離の値を補正してヒトが被ばくした放射線量の影響を比較評価する方法についての研究が長年行われてきました。

吸収線量とは、単位重量あたりに与えられるエネルギーで表される放射線量です。単位は J/kg（ジュール/キログラム）ですが、通常はグレイ（Gy）と表します。同じ放射線と同じ量あてても物質ごとに吸収するエネルギーは異なります。そのため臓器吸収線量（物質が人体の臓器 水とほぼ等価）と空気吸収線量（物質が空気）がよく用いられています。放射線の種類によって両者はほぼ同じであることも、大きく異なることがあります。臓器吸収線量(臓器が吸収したエネルギーの平均値)が同じ場合でも放射線の種類とエネルギーによって人体に与える影響が異なります。そこで、人体影響（特に低線量では、生じるがんに着目しています）を推定するための放射線量として、吸収線量にさらに補正を加えた実効線量が用いられるようになりました。これは、全身が均等に照射されても不均等に照射されても、また放射線の線質が変わっても、がんが起きる確率を表現できるように補正したものです。線質が異なった放射線の吸収線量には、便宜上それぞれの放射線荷重係数（ガンマ線やベータ線に対してはエネルギーによらず 1 として、アルファ線や重イオン粒子線では 20）を乗じて等価線量とします。単位は、吸収線量と区別するためにシーベルト（Sv）が用いられます。更にこの等価線量に全身に対する臓器・組織ごとの相対的な放射線感受性を表す「組織荷重係数」を重みづけして得た数量を、関連するすべての臓器・組織について合計したものが実効線量です。（単位は同じ Sv を用います）。放射性物質を体内に取り込む内部被ばくの場合は、その物質がどこにどれだけの時間存在するかによって放射線の被ばく量が異なり、がんのリスクも異なります。そのために「預託線量」と言う線量概念が用いられます。これには、取り込んだ放射性物質からその後の 50 年間（子供では 70 歳まで）に被ばくする放射線量の合計を推定したものです。預託等価線量、預託実効線量がともに用いられ、単位は同じシーベルトです。放射線防護の観点からは、放射性物質を取り込んだ時点で預託線量の全量を被ばくしたと考えることにしています。シーベルトは、放射線により生じるがん等のリスクを疫学的なデータと「標準的人体特性」のモデル

をもとに推定する線量で、どのような放射線をどの場所に被ばくしたかによらず、同じシーベルト量なら同じリスクであると予測されることを目指しています。

## 内部被ばくってどういうこと？

ご存知のとおり、内部被ばくとは、身体の内に取り込んだ放射性物質からの被ばくのことを言います。福島原発事故では、内部被ばく、特に食品からの内部被ばくが大きな社会問題となりました。2012年4月に食品中の放射性物質についてはより厳しい基準値が設定されていますし、その基準値を超える放射性物質が検出されている流通食品も今ではほとんどありません。それに関わらず、未だに食品中の放射性物質からの内部被ばくについて不安を感じる方は少なくないようです。

「身体の中に放射性物質を取り込むと、それが排出されるまでの間、細胞が至近距離で放射線を浴び続けるので、内部被ばくはどんなに少量でも危険である」とおっしゃる方がいます。確かに、よく内部被ばくの説明に使われる図は、図1に示すようなものなので、近くにある細胞が放射線を浴び続けるイメージがあります。「1ベクレル」という単位は1秒間に1本放射線を出すことなので、1ベクレルの放射性物質の近くにある細胞は毎秒1回放射線を受け続けるのでは…と考えてしまうかもしれません。



図1 内部被ばくの誤ったイメージ

しかし、これはあまり正しいイメージとは言えません。それでは「体内に1ベクレルの放射性物質がある」という状態はどう考えれば良いのでしょうか。放射性物質として、セシウム-137を例として考えてみましょう。

前の項目で説明したように、3,000ベクレルのセシウム-137は重量で言うと約10億分の1gで、非常に微量のように感じられます。しかしこれは原子数で言うと数兆個にあたり、1ベクレルでも約10億個という非常に大きな数になります。身体の中に1ベクレルのセシウム-137を取り込んだ場合、この10億個のセシウム-137原子が1カ所にとどまることはあり得なく、他の食べ物の成分と一緒に、バラバラになって身体の中を運ばれていきます。この10億個のうちのどれか1個が毎秒壊変して放射線を出す、という状態が「1ベクレル」にあたります。もうひとつ思い出してもらいたいことは、一度壊変したセシウム-137は（もうすでにセシウム-137ではなくてバリウム-137という別な元素になっていますが…）2度と放射線を出すことはない、ということです。絵に描くと図2にしめすような感じになるでしょうか。いかがでしょうか。「細胞が至近距離から放射線を浴び続ける」というイメージからはほど遠いのではないかと思います。

詳しくは後ほど説明しますが、私たちの身体の中にはカリウム-40や炭素14などの天然の放射性物質が7,000ベクレル存在していて、身体のだこか7,000カ所で放射線を出しています。「身体の中に1ベクレルのセシウム-137を取り込んだ」という状態は、これが7,001カ所になったと考えられます。

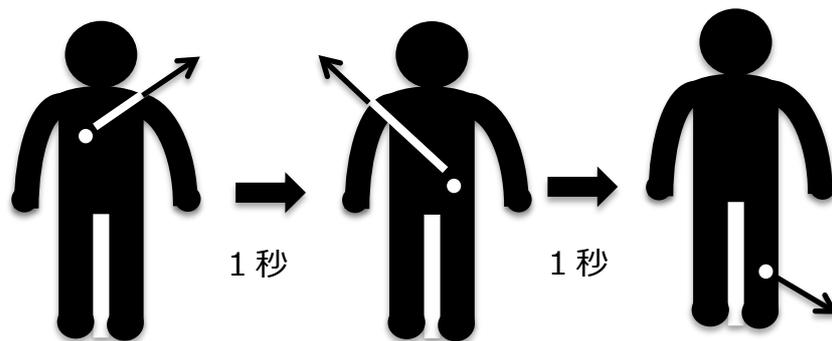


図2 内部被ばくの正しいイメージ（一度、放射線を出した元素は二度と放射線を出さないので、一カ所から放射線が出続けることはない。）

### 内部被ばくでは放射性物質がたまる（生物濃縮が起きる）のですか？

放射性物質を体内に取り込む経路は、経口、吸入、皮膚からの3経路です。詳細は後で説明がありますが、水に不溶（難溶性）の化合物を除き、いずれの場合も血流に入って全身に回り、元素や化合物によって沈着する組織や臓器が異なります。中には特定の臓器にだけ沈着する放射性物質もあり、例えば、放射性ヨウ素は甲状腺に、放射性ストロンチウムは骨に集中して沈着します。一方、放射性セシウムは全身に均等に分布します（組織の割合からすると、筋肉や結合組織が相対的に多くなります）。いずれの摂取経路でも、時間が経てば、放射性物質は次第に体外に排泄されますので、継続的な摂取がなければ体内の放射性物質は時間とともに減少してゆきます。「物理的半減期」が数十年、数百年という放射性物質であっても、体内の量は数日から数ヶ月で半分になる場合が多くあります。ただし、特定の臓器に長く沈着するタイプの放射性物質（特に骨に沈着する放射性ストロンチウムなど）は、体内からなかなか抜けないために、「物理的半減期」に近い時間のスケールで体内に蓄積することになります。このようなタイプの放射性物質では、いわゆる「生物濃縮（食物連鎖によって濃縮され、環境中濃度よりも体内濃度が高くなる）」と言える状況になる可能性があります。一方で、放射性セシウムやトリチウム（三重水素）のような、全身を広く回って、代謝によって速やかに体外へ排出されるタイプの放射性物質では、環境中の濃度よりも体内濃度が高くなることはないため、生物濃縮と言えるようなことは起きないのが普通です。

### 内部被ばくを知る：内部被ばくを自分で計算しましょう

食品中の放射性物質の量Bq/kg（食品1キログラムあたりのベクレル）という単位で表されますが、ベクレルという単位は放射性物質がどのくらいあるか、という単位でしかないので、この量だけでは被ばく量を知ることはできません。放射性物質によって出てくる放射線のエネルギーは違いますし、また体内へのとどまり方も違ってきます。そのため、国際放射線防護委員会(ICRP)では、「内部被ばくに関する線量換算係数」という数値を勧告しています。これは、放射性物質の種類、摂取した人の年齢、摂取のしかた（経口か吸入か…等）など、いろいろな条件で細かく分けた換算係数であり、摂取量（ベクレル）から被ばく量が計算できます。表2は、それぞれの放射性物質を100ベクレル摂取したときの被ばく量です。

ヨウ素は成長ホルモンに含まれる元素なので、大人より乳幼児のほうが影響が大きく、同じ100ベクレル摂取でも、乳幼児の方が換算係数が5～10倍大きくなっています。一方セシウムはそれほど年齢による違いはありません。

100ベクレル摂取した時の被ばく量(マイクロシーベルト)	大人	子供	乳幼児
ヨウ素131(経口)	2.2	10	18
ヨウ素131(吸入)	0.74	3.7	7.2
セシウム134(経口)	1.9	1.3	2.9
セシウム137(経口)	1.3	0.97	2.1

表2 100ベクレルの放射能を摂取した時の内部被ばく量

それでは、放射性物質を含んだ食品を食べてしまった場合の被ばく量を自分で計算してみましょう。一般食品に含まれる放射性セシウムの基準値は100ベクレル/kgですので、この基準値ギリギリ(100ベクレル/kg)のお米を1kg食べてしまったとすると、どのぐらい被ばくをするのでしょうか？上の表から、セシウム-137なら1.3マイクロシーベルト被ばくする、とすぐに計算できますね。でも、ご飯を1日に1kg食べる人はいなくて、せいぜい1合か2合ぐらいかと思います。実際に食べた量を掛けるのを忘れないでください。1合(約150g)なら、被ばく量は  $1.3 \times 0.15 = 0.195$  マイクロシーベルトと計算できます。

ここでは、被ばく量、という言葉を使いましたが、正式に言うと「預託実効線量」と言います。預託実効線量とは、体内に取り込んだ放射性物質からの被ばくをおよそ一生分累積した線量のことです。成人の場合、摂取してから50年間に受ける線量、子供の場合は摂取してから70歳になるまでに受ける線量、と定義されています。この定義を聞くと「…そんなに長い間(50年~70年も)被ばくし続けるの？」と不安になる方もいるかもしれません。でも、今回の原発事故で問題になった放射性ヨウ素や放射性セシウムは、それほど長く身体にとどまる放射性物質ではないので、そんなに被ばくし続けることはありません。例えばヨウ素-131は半減期が約8日と短いので、1ヶ月で預託実効線量の90%以上を被ばくしてしまいます。セシウム-137は半減期が30年と長いのですが、排せつにより体内の量は(大人で)約100日で半分に減るので、最初の1年で預託実効線量の90%以上を被ばくします。したがって、放射性セシウムの場合は、預託実効線量=年間の被ばく線量と見なして良いでしょう。つまり、100ベクレル/kgのお米を1合食べると、年間の被ばく線量が0.195マイクロシーベルト(=約0.0002ミリシーベルト)増える、ということになります。ちなみに、私たちは、食品に含まれる天然の放射性物質から、年間約1ミリシーベルトの内部被ばくをしています。

### 「被ばくゼロ」はありますか？

普段の生活ではほとんど感じることはありませんが、私たちの生活している地球にはもともと放射線が存在しています。その起源には、宇宙線と、天然の放射性物質の2つがあります。宇宙線は、宇宙空間から降ってくる粒子放射線ですが、地表近くに存在する大気にぶつかって、多くの二次粒子が発生し、その中で寿命の長いものが地表に届きます。地表より上空の方が、放射線をさえぎる空気の層が薄いので、宇宙線による線量は増加します。例えば、成田~ニューヨークを往復すると、約0.2ミリシーベルトの被ばくをします。もっと上空の国際宇宙ステーションでは、1日あたり0.5~1ミリシーベルトの被ばくをされると言われています。

天然の放射性物質の多くは、地球誕生(約45億年前)にできた放射性物質で、半減期の長いものがまだ残っています。例えば半減期が約12億年のカリウム-40、約45億年のウラン-238、約7億年のウラン-235、約140億年のトリウム-232(<sup>232</sup>Th)などです。このうち、ウランやトリウムといった原子番号の大きな元素は、1回の壊変では安定な元素にはならず、何度か壊変を繰り返します。この、途中で生じたラジウムやラドンなども放射性物質です。これらの放射性物質は、大地にも含まれていますし、食品にも含まれています。大地に含まれる放射性物質からは外部被ばく、食品に含まれるものからは内部被ばくをします。また、前述したラドンは、気体の放射性物質なので、私たちの呼吸にも含まれていて、呼吸により私たちは内部被ばくをしています。

図3は、私たちが自然放射線から年間どのくらい被ばくしているかを表したものです。宇宙線および大地に含まれる放射性物質からの被ばくは外部被ばく、食品や呼気に含まれる放射性物質からの被ばくは内部被ばくです。世界平均が2.4ミリシーベルト、日本平均が2.1ミリシーベルトですが、その内訳は大きく違うことがわかります。また、日本の自然放射線による被ばくはこれまで年間1.5ミリシーベルトと言われてきましたが、食品中に含まれるポロニウム-210の寄与を加えて計算しなおしたところ、年間2.1ミリシーベルトという値がより確からしいとされています<sup>注2</sup>。

日本で食品からの内部被ばくが大きいのは、新しく寄与に加わったポロニウム-210が魚の内蔵に多く含まれることによります。また、世界平均に比べて大地からの外部被ばくや、呼気からの内部被ばくが少ないのは、地質の違いによります。このように、自然放射線からの被ばくは、その土地の地質や食習慣などによって大きく異なりますが、自然放射線が高い地域にがんや他の病気の発生が多いということはありません。

現在、各地で測定している「空間放射線量」は、宇宙線および大地に含まれる放射性物質からの線量に、原発事故により環境に放出された放射性物質からの放射線量を加えたものです。

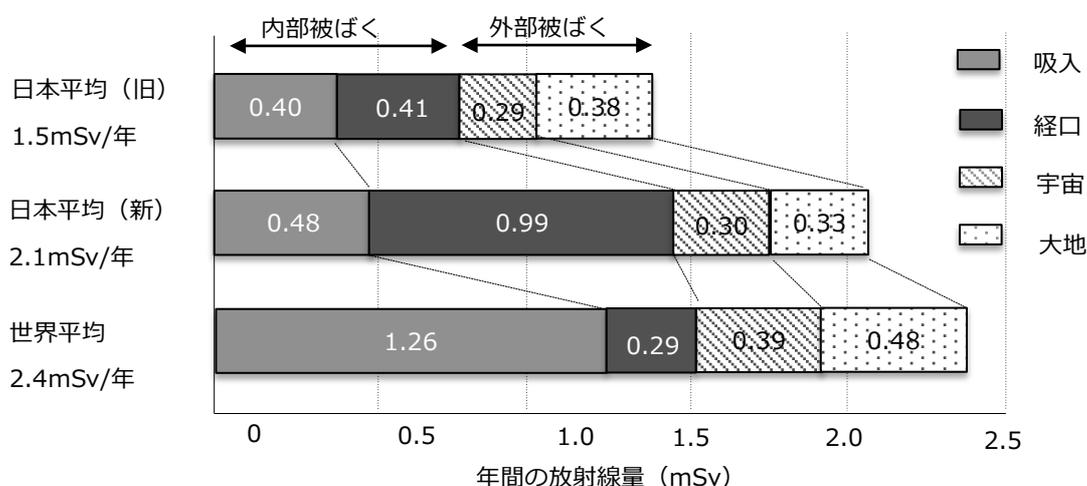


図3 自然放射線による被ばく量

### 【コラム】複数の「シーベルト」：空間線量率と実効線量が合わないのは何故？

現在使われている「シーベルト」という単位は、全てが同じ意味ではありません。どういう被ばく形態であるとか、対象が何であるかによってシーベルトの意味が少し変わってくることも知っておくと良いと思います。新聞報道などで、「空間線量率と滞在時間から計算した被ばく量よりも、実際に測った被ばく量（実効線量）の方が小さくなる」という話をご存知かと思います。この理由には、ヒトの身体の厚みや頻りに動いていることなどもありますが、最も大きな原因は、線量計で測る空間線量率のシーベルトと個人被ばく線量計で測る実効線量としてのシーベルトが少し違うからなのです。

前で説明したように、シーベルトの根底にある考え方は「等価線量」です。これは、放射線の種類や被ばく形態に起因する生物影響の違いを考慮し、組織の吸収線量（グレイ：Gy）を元に「等価線量 = 吸収線量（Gy）×（線質係数）」で求めた値です。これによって、放射線の種類や被ばく形態に関わらず、等価線量と同じなら人体影響はほぼ同じということになりますが、実際のシーベルトには主なものとして下記の4つがあります。

- (1) 組織等価線量（単位は Sv）：身体各組織の吸収線量（Gy）と放射線の種類や被ばく状況を

注2 参考文献：新版「生活放射線（国民線量の算定）」（公財）原子力安全研究協会編 放射線医学総合研究所ホームページ <http://www.nirs.go.jp/information/event/report/2013/0729.shtml>

元に算出した等価線量です。

- (2) 実効線量 (単位は Sv) : 全身への影響度を表す値 (生涯でがんになって死亡するリスクに対応する数値) です。各組織の等価線量 (組織等価線量) に、がん致死の可能性を重み付けして全身分を合計した値です。安全管理の「年間 1 ミリシーベルト」は実効線量で評価します。
- (3) 預託実効線量 (単位は Sv) : 内部被ばくの場合に、その放射性物質から受ける影響をシミュレーションし、身体に取り込んだ当初に 70 歳まで (大人は 50 年間) の被ばくを全て受けたと仮定して計算によって求める値です。基本的には実効線量と同じですが、時間の概念が大きく違ってきます。
- (4) 1cm 線量当量 (単位は Sv) : 組織等価 (密度や元素の構成がヒトの身体と同じ) の球体を想定し、その球体の表面から 1cm 内部に入った所での等価線量を計算した値です。

線量計で測定している空間線量率のシーベルトは「1cm 線量当量」です。ヒトの身体は数十 cm の厚みがありますから、当然ながら多くの臓器が 1cm 以上の遮へいをされていることとなります。その結果として、単純に空間線量率値に時間をかけて求めたシーベルトよりもヒトの身体が実際に受ける「実効線量」の方が小さくなります。放射線の安全管理上は、計算上で大きな値となる方が安全サイドに立っていることとなりますから、一般には「空間線量率×時間」で計算されているのです。

### 食品の放射能・・・「検出限界以下」ってゼロですか？<sup>注3</sup>

みなさんは、食品の放射能測定で「検出限界未満」というのを目にされたことがあると思います。また、「放射能ゼロ」の食品があると思われる方もおられるかもしれませんが、実は、そもそも「放射能ゼロ」の食品は存在しません。どういうことかと言いますと、もともと自然界に放射性物質は存在しており、それらが全く含まれない食品はあり得ないからです。特に放射性カリウム (カリウム-40) はその代表格で、ありとあらゆる生物にとって必須のミネラルであるカリウムの一部ですから、あらゆる食品に含まれています。その量は、食品によって 1kg あたり数十ベクレルから千ベクレル程度まで含まれています。平均的には普通の食事に 1kg あたり 100 ベクレル程度が含まれることとなります。「では何で検出限界未満と表記されるの？」と疑問に思われるかもしれませんが、これは測定対象として人工放射性物質 (特に放射性セシウムと放射性ヨウ素) に限定した結果を言っているからです。では、検出限界とは何でしょうか？

一言で言えば、測定値の統計処理上、「そこにある」と言える下限値のことです。放射性物質は規則正しく放射線を出すのではなく、バラバラに放射線を出しています。そうすると、放射線の数 (ここでは放射能に相当) も常に一定ではなく、ばらつきがでてきます。そのばらつきを考慮しても「確かに差がある」といえる放射能が検出限界ということになります。測定した結果がこの値を超えていれば「確かにある」、超えなければ「あるとはいえない」(でも、「無い」という意味ではありません) ということです。なお、検出限界の値は、測定器の能力、測定時間、他の放射性物質の量、試料の量などによって変わりますから、一定ではありません。

では、検出限界以下でも被ばくするのでしょうか。最初に述べたとおり、そもそも地球上に放射性物質ゼロの食品は存在しませんから、自然の状態ですべて内部被ばくをしています。ということは、問題にするべきなのは「被ばくがある・無い」ではなく、被ばくのレベルということです。

例えば、検出限界が 5 ベクレル/kg でセシウム-137 が「不検出」となった魚を、幼児が 100g 食べたとしましょう。この時、実際には検出限界ぎりぎりの 4.9 ベクレル/kg が含まれていたとして、その生涯 (70 歳まで) の被ばくは下記の式で計算されます。

$$4.9 \times 0.1 \times 0.021 = 0.01 \text{ マイクロシーベルト}$$

実は、通常の生活で、1 日の食品摂取による主な内部被ばくは、平均 1.1 マイクロシーベルト程度ですから (下記文献をもとに算出)、単純に割り算すれば、「 $(0.01 \div 1.1) \times 24 \text{ 時間} = 13 \text{ 分}$ 」となり、この被ばくは 13 分生きた時の内部被ばくが追加されたということになります。13 分長く生活することで、自然被ばくによって突然「がん」が増えるのでしょうか？

注3 参考文献：新版「生活放射線 (国民線量の算定)」 (公財) 原子力安全研究協 (2011 年 12 月刊)

## (2) 放射線の生体影響の基礎

### 放射線にあたると細胞に何が起きる？

#### 細胞とは？

ヒトの身体は、一つの受精卵が親から受け継いだ遺伝子（DNA）の情報をもとに何十回も分裂繰り返すことによってできたおよそ 60 兆個の細胞でできています。細胞は、直径 10 $\mu$ m 程度の小さなサイズですが、その中に生きるために必要なすべてのしくみが詰まっていて、生命現象を営むことができる最少単位です。細胞は、分裂を繰り返してある程度数に達すると、増殖をして細胞数を増やす役割を持った細胞（幹細胞）と増殖を停止して役割を果たす細胞（体細胞）に分かれます。そして、増殖を停止した細胞は、分化して様々な機能を持つ臓器を作り、高度な能力を持つ身体ができあがります。この両者の細胞は、放射線に対して全く違った反応をします。一般的に、細胞増殖が活発な造血組織や生殖組織などの細胞は放射線によって死にやすく、細胞増殖を停止した骨や筋肉組織などの細胞は多量の放射線を被ばくしないと死にません。それは、DNA 合成と細胞分裂の仕組みが放射線の影響を受けやすく、それらは増殖する細胞で活発に働いているからです。

#### 放射線でなにが壊れるのか？

放射線を被ばくすると細胞のなかで最初にどのような反応が起きるかを図 4 に纏めてみました。放射線が細胞にあたるということは、放射線が持つエネルギーがタンパク質、脂質、糖質、核酸（DNA や RNA）など細胞内分子（標的）に吸収されることを意味します。吸収されたエネルギーが原子電離や励起を引き起こし、生じた変化（損傷）により一連の生体反応の変化が始まります。放射線が、標的自体（DNA など）に直接作用し、それを電離したり、励起したりする場合を直接効果といいます。これとは別に、放射線が細胞内の水分子などにあたってラジカルを発生し、それが標的（DNA など）に作用する場合がありますが、これを間接効果といいます。細胞は、その重量の 70~80% が水ですので間接効果の寄与が大きく全体の反応の 70% 以上が間接効果です。放射線があたってからラジカルが生じて、細胞内分子が変化するまでは、10<sup>-5</sup> 秒以内と瞬時の反応ですが、生物的影響が現れるまでには、時間単位から年単位まで幅広い時間がかかります。細胞死の場合のように、被ばく後、時間から日の単位で現れる影響を急性影響といい、発がんのように数十年の時間を経て現れる影響を晩発影響といいます。

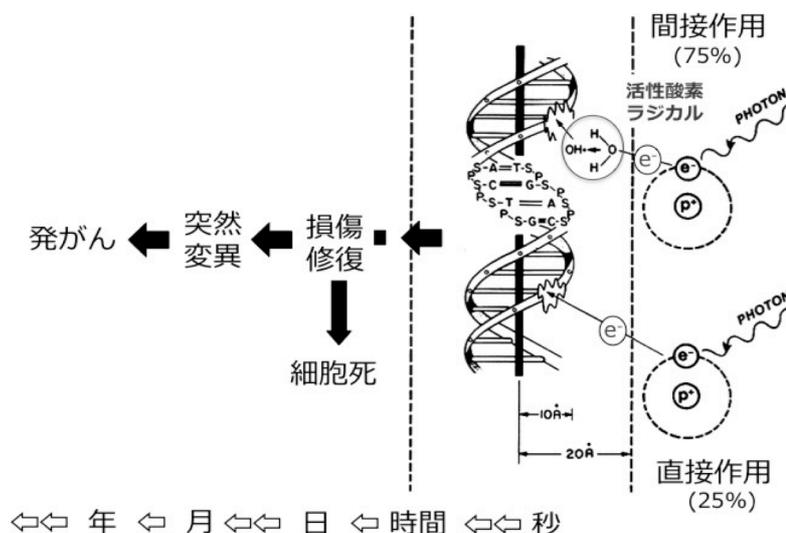


図 4 放射線影響発現の初期過程

## 放射線をあびた細胞で起きる反応

放射線をあびた細胞では、細胞内成分のすべてが影響を受けます。しかし、生物学的影響の原因となる標的は、主に DNA であると考えられています。それは、DNA が生命の設計図であるとともに複雑な生命現象を制御する司令塔としての働きを持っているからです。DNA が壊れると、細胞は、正常に生命現象を営むことができなくなって様々な不調が起こり、重篤な損傷を受けると生き続けることはできません。そのため、細胞には、放射線、紫外線、酸素あるいは化学物質などの様々な要因でできた損傷を修復するたくさんの仕組みが備わっていて、壊れた DNA を元に戻すことができます。DNA 損傷が修復されないと、多くの場合細胞は死にますが、不完全に修復された場合には細胞は死なないものの遺伝子情報が変化し、その影響がその細胞自身あるいは子孫細胞に突然変異や発がんとして現れることがあります (図 5)。

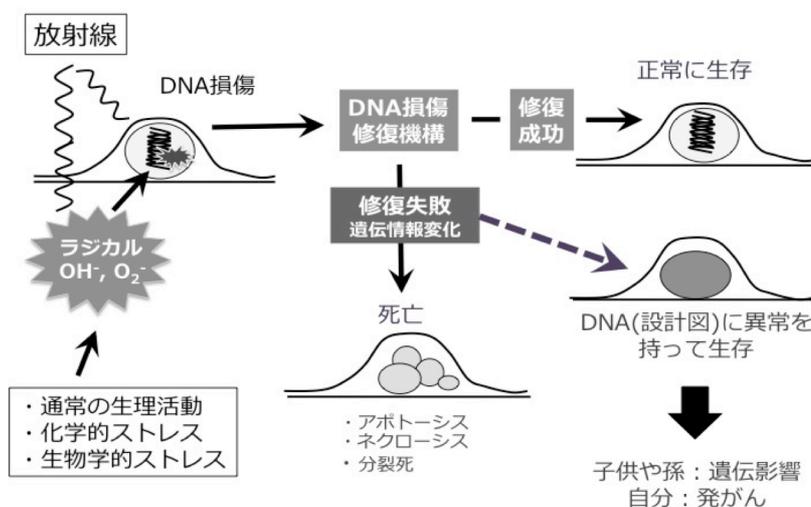


図 5 放射線影響の現れ方

## 損傷ができれば終わりなの？

私たちのからだは約 60 兆個の細胞できていて、赤血球を除く細胞の一つ一つが生命の設計図である遺伝子の本体「DNA」を核の中に持っています。

放射線の主な「標的」は、この細胞核にある DNA です。そして、放射線を被ばくした細胞の DNA には、「遺伝子損傷のデパート」といえるほど様々な化学変化や切断が生じます。なかでも、「DNA 二重鎖切断 (DNA が完全に切断される)」は修復に手間がかかる重大な損傷です。しかし、細胞はそれさえも元通りに直す力を持っています。実は、放射線を浴びなくても、私たちのからだには、活性酸素や紫外線によって、DNA に細胞 1 個あたり、1 時間に何千個、何万个と損傷が生じています (表 3)。それにもかかわらず、私たち人間のみならず多くの生物たちが地球上で平然と暮らしているわけです。つまり、細胞には DNA の傷を修復する力が備わっているのです。そのイメージを図 6 に示しました。DNA の傷を修復するには道具が必要です。DNA を遺伝情報が書き込まれた巻物に例えると、文字が読めなくなったり、巻物が破れたりする事態が DNA の傷に相当します。これに対応するために、細胞には、ペンや消しゴム、糊、ハサミ、果てはコピー機の役割を果たすタンパク質 (酵素) など多種多様な DNA の傷を修復する道具があります。たった一つの傷であっても、そこに沢山の酵素が集まって、確実に修復するという仕組みが備わっているのです。ですから、数少ない DNA の傷であれば細胞に影響が出ることはまずありません。しかしながら、短時間に数多くの DNA の傷が生じて一部は元通りに修復できないという事態になると、それはや

がて誤った遺伝情報をもった細胞が出現し、組織のダメージや「がん」といった様々な影響につながる可能性があります。つまり放射線の生物への影響は「時間あたりの DNA の損傷量」によって大きく変わるということになります。もしも、細胞が DNA の損傷を元通りに修復できなかった場合、その誤った遺伝情報をもった細胞が体内に残り続けて増えることは、身体にとっては都合が悪いこととなります。このような事態を避けるために、異常に気付いた細胞がエネルギーを使って、自ら死んでゆくしくみもあります。このように DNA は何重ものガードによって護られていて、DNA の傷を受けた細胞が万一修復に失敗してもそれがすぐに「がん」などにつながることはありません。不幸にも「がん」を患ってしまうのは、たくさんの悪い変化（生活習慣などに起因する変化）がいくつも積み重なった結果なのです。

表3 細胞が受ける DNA 損傷とその頻度

要因	損傷の種類	生成頻度 (個/細胞・時間)
活性酸素	酸化損傷	1,000
紫外線	チミン二量体	10,000
放射 (1mSv)	DNA 切断	0.0001

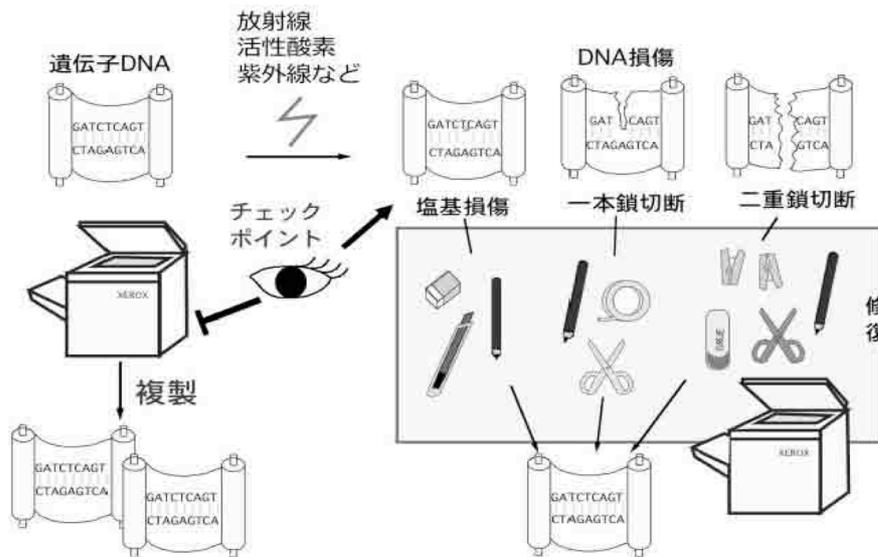


図6 遺伝子 DNA の損傷と対応する酵素の役割

### 放射線被ばくで起きる影響は？

放射線の生体影響には、被ばくしたヒト自身に現れる「身体的影響」と被ばくしたヒトの子どもに現れる「遺伝的影響」があります。身体的影響はさらに二つに分けられ、被ばくしてから数週間以内に影響（症状）が現れてくるものを「早期影響（急性障害）」といい、被ばくしてから長い年月（潜伏期）を経てから影響（症状）が現れてくるものを「晩発影響」といいます。早期影響(急性障害)には、脱毛、卵子および精子の異常（不妊）、皮膚障害、造血障害などがあります。晩発影響には、白内障、がん、白血病などがあります（図7）。脱毛、不妊、皮膚障害、造血障害、白内障は、ある線量以上の被ばくをすると誰にでも必ず症状が現れる影響であり、「確定的影響」といいます。この「ある線量以上」の線量のことを「しきい線量」といいます(図8)。脱毛では 3,000 ミ

リシーベルト、永久不妊では 2,500~6,000 ミリシーベルト、白内障では 5,000 ミリシーベルトがしきい線量です。これらは全てそれぞれの臓器の幹細胞の死滅により発症するものです。一方、がんと白血病は、被ばくした線量に依存して影響(症状)が現れる確率が増加するものであり、「確率的影響」といいます。遺伝的影響は、広島・長崎の原爆被爆者とその子孫の方々の疫学調査から未だ確認されていません。

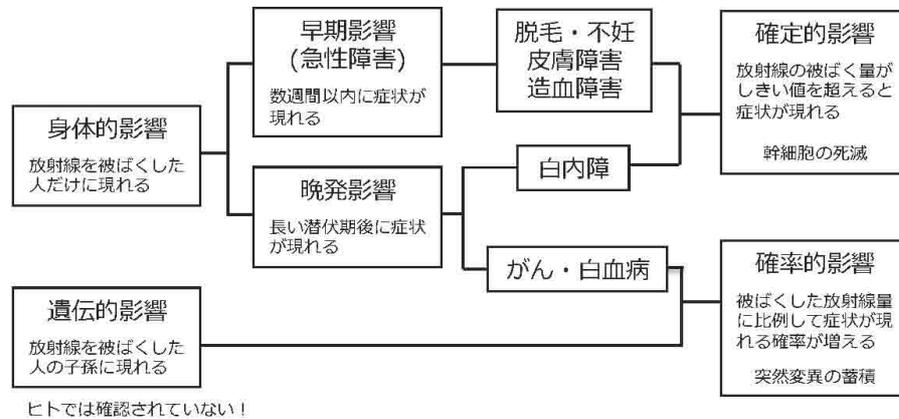


図7 放射線の生体影響

### (1) 確定的影響

- ① 脱 毛：毛髪を形作る角化細胞のもととなる毛包幹細胞が被ばくによって死滅することにより起こります。
- ② 不 妊：女性の場合は卵子の死滅および卵子幹細胞の死滅により、男性の場合は精子幹細胞の死滅により永久不妊となります。
- ③ 白内障：水晶体の胚細胞に異常が生じ、膨化した細胞核を持ったまま水晶体後方の中央部に集まるために水晶体の混濁が起こり、白内障となります。
- ④ 皮膚障害：表皮の一番下層にある基底層の中に表皮幹細胞の死滅により起こります(表4)。
- ⑤ 造血障害：血球(白血球・赤血球)や血小板のもととなる造血幹細胞の死滅により起こります。

臨床症状無し	線量	症 状
血液・骨髄傷害	0.5 Sv	リンパ球減少 (造血幹細胞の死滅)
消化管傷害	0.5 ~ 2 Sv	水晶体混濁 (水晶体細胞の変成)
	2.5 ~ 6 Sv	永久不妊 (生殖幹細胞の死滅)
循環器傷害	3 Sv	脱毛 (毛包幹細胞の死滅)
	3 ~ 5 Sv	半数致死線量
神経系傷害	5 Sv	白内障 (水晶体胚細胞の変成)
	7 ~ 10 Sv	致死線量

線 量	症 状
3 Sv 以上	脱毛(毛包幹細胞の死滅による)
3 ~ 6 Sv	紅斑・色素沈着
7 ~ 8 Sv	水泡形成
10 Sv 以上	潰瘍形成(表皮幹細胞の死滅による)
20 Sv 以上	難治性潰瘍(慢性化・皮膚がん)

表4 皮膚への放射線影響

図8 確定的影響のしきい値

## (2) 確率的影響 –がんと白血病–

被ばくした線量に依存して増加するのは、放射線によりDNAが傷を受け、その傷を治し間違ったこと、治せなかったことが原因となって起こる遺伝子の突然変異です。この遺伝子の突然変異が、多くの遺伝子に蓄積し、多段階的にがんが発生すると考えられています。しかしながら、これまでの広島・長崎での原爆被爆者の疫学調査において、0.2グレイ以下の低線量放射線の被ばくでは放射線による発がんは認められていません。

### 【コラム】内部被ばくによるがん以外の影響

がん、あるいはその他の疾患への放射線治療を受けた患者さんの事例から、心臓への高線量被ばく（2,000 ミリシーベルト以上）を受けると心血管疾患のリスクが増加することが明らかにされています<sup>注4</sup>。一方、2,000 ミリシーベルト以下の被ばくと致死性心血管疾患との関連性が示されているのは原爆被爆者の調査結果のみであり、その調査でも 500 ミリシーベルト以下の被ばくでは直接的な放射線による影響は見出されていません。被ばく線量が低くなればなるほど、心血管疾患の多因子性<sup>注5</sup>や交絡因子<sup>注6</sup>の影響を考慮する必要があり、2,000 ミリシーベルト以下の被ばくと心血管疾患との因果関係を特定することは非常に難しいのが現状です。

なお、これらは全て外部被ばくに関する事例であり、内部被ばくについては大量被ばく事例が無いことからデータがないのが現状です。

## (3) 放射線やその他の要因による発がんについて：生命現象からの説明

### 放射線は発がんの主要因ですか？

人間の身体は、いろんな種類の細胞から出来ています。血液細胞、神経細胞、肝臓や肺もそれぞれ固有の機能を持った細胞で構成されています。臓器や組織を構成する細胞の中には、その臓器を構成する様々な細胞を作り出す細胞があり、幹細胞や前駆細胞と呼ばれます。幹細胞や前駆細胞の分裂は、ホルモンやいろんな増殖因子によって制御されており、臓器の細胞は一定レベルに保たれています。例えば皮膚の細胞は、けがをすれば増殖して傷口をふさぎますが、傷が治れば増殖を停止します。バイ菌が体内に侵入すれば、免疫細胞が一時的に増殖しますが、バイ菌がいなくなれば、元の細胞数に戻ります。

しかし、何らかの理由で体からの命令を無視して、幹細胞が勝手に増えつづけたものが、がん細胞だと考えられています。時には、その臓器から浸潤し、血流にのって、他の臓器まで転移し、身体を弱らせてしまいます。

では、正常な細胞がどのようなメカニズムでがん細胞に変わるのでしょうか？図9にその概要を示しました。細胞の核の中には、私たちの身体的设计図（遺伝子）である DNA があります。遺伝子は、髪の毛の色を決めたり、酸素を運んだり、栄養物を取り込んで分解し、新たな細胞を作り出すなど様々なタンパク質をコード（暗号化）しています。DNA は、呼吸をするたびにできる活性酸素や、たばこなどの突然変異原によって絶えず傷ついて（損傷して）います。傷ついた DNA は修復するタンパク質によってほとんどが元通り治りますが、治らなければ細胞が致死に至ったり、中には、間違っ治したりすることがあります。突然変異が起こるといいます。遺伝子の中には、細胞の分裂を促進するがん遺伝子や、分裂を止める遺伝子（がん抑制遺伝子）がありますが、これらの遺伝子に突然変異が起こると、分裂が止まらなくなります。また、最近、DNA には突然変異は起こっていないけど、がん抑制遺伝子の発現が抑制されるエピジェネティックな異常もがん化にかかわっていることも分かってきました。これが、がんが起こる仕組みです。ただ、悪性のがんになるまでには、普通、2 個から 10 個程度の遺伝子に突然変異が起こることが必要です。時間的には、

注4 最近の放射線治療法では、装置や手法の改善により、心臓の被ばく線量は大幅に減少しています。

注5 多因子性：原因となる因子が一つではなく、多くの因子が原因となること。

注6 交絡因子：食習慣、喫煙、飲酒などの生活習慣や遺伝要因などの因子。

早くて数年、多くのがんでは20年、なかには60年以上かかることもあります。つまり、発がんは、一度に誘発されるわけではなく、長い間に徐々に遺伝子の傷が蓄積していくので「多段階発がん」と言われます。

がんの原因の主な要因は、たばこと食事（肥満）、そして感染であると推測されています（「そもそもがんのリスクって何ですかを参照」）。たばこの成分であるベンツピレンやニトロソ化合物、紫外線は、DNAの暗号を変えて、がん遺伝子を活性化します。また、炎症や肥満は、細胞増殖を刺激するサイトカインや活性酸素の産生を高め、DNA損傷を促進し、また複製時のエラーの確率を高めます。放射線はDNAを切断し、正常ながん抑制遺伝子を欠損させたり、増殖の指令をだすキメラ遺伝子を新たに作ることが知られています。

ヒト集団の中には、がん抑制遺伝子のひとつが遺伝的に欠損しているヒトがいます。つまり、遺伝性のがん家系です。一部の小児がんや乳がん、大腸がんなど約20%のがんに遺伝的要因が関与しているとされています。最近では、がんになりやすい体質の遺伝子検査も始まっています。

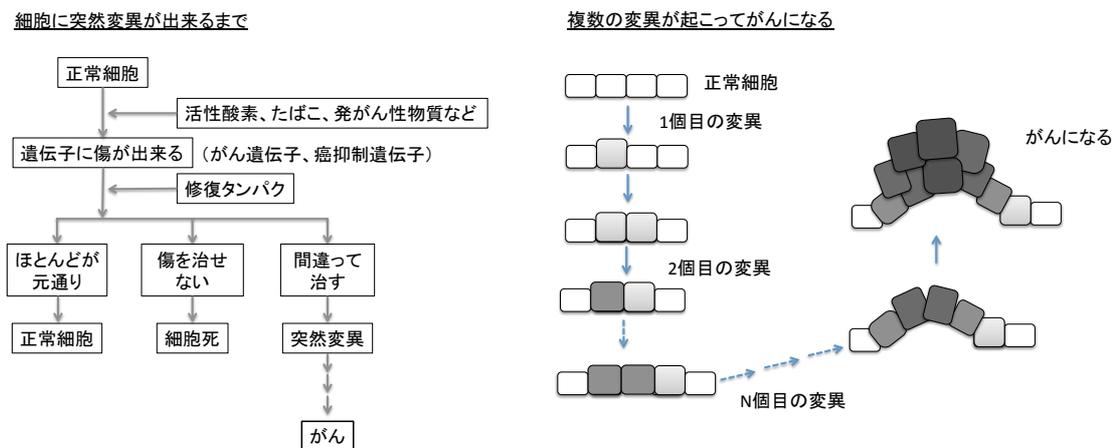


図9 発がんのメカニズム

## そもそも「がんのリスク」って何ですか？

リスク (risk) とは、一般的には、「ある行動をすること（あるいは行動しないこと）によって、危険にあう可能性（確率）や損をする可能性（確率）を意味します。発がんリスクとは、がんになる確率（罹患リスクという）や、がんによって死亡する確率（死亡リスク）のことを指します。ちなみに、現在の統計データからは、日本人の2人に1人は生涯でがんになり、男性で4人に1人、女性で6人に1人はがんで亡くなると推定されています。がんの種類によって治療率が異なるので、罹患リスクと死亡リスクは一致するとは限りません。例えば、女性では、乳がんは肺がんより罹患リスクが高いですが、死亡リスクは小さくなります。これは検診精度や治療成績の違いによりますが、治療成績のよいがんは、甲状腺がんや皮膚がん、悪いがんは膵がんや肝がんがあります。

さて、食中毒の原因にサルモネラ菌やノロウイルス、アレルギーの原因にスギ花粉があるように、がんにも原因があります。喫煙、過剰飲酒、肥満・痩せ、運動不足、偏った食生活(野菜・果物不足、食塩過剰摂取、熱い飲食物)などは、発がんリスクを高くすることが明らかになっています（表5）。自然環境や食べものの中にも、放射線や紫外線、そしてヒ素、カドミウムなどの発がん因子が存在しています。

ところで、放射線による発がんは、浴びればがんになり、浴びなければがんにならないという単純な関係ではありません。広島・長崎の原爆被ばく者を対象とした40年以上に及ぶ追跡調査から、固形がん（白血病など血液のがんを除く）のリスクは浴びた線量に比例して増加し、1000ミリシーベルト(mSv)の外部被ばくにより、約1.5倍増加することが知られています。ただし、100ミリシーベルト以下では、がんの過剰発生割合が小さくて、統計学的には検出できません。ある線量以下（閾値）であれば発がんリスクは高くはないという考え方もありますが、安全を優先して閾値がないものと仮定すると、100ミリシーベルトでは約1.05倍、10ミリシーベルトでは約

1.005 倍リスクが高くなると推計されます。なお、原爆は一瞬の被ばくでしたが、長期間の慢性被ばくの場合には、総量は同じでも急性被ばくの場合より影響が少ない(1/2 あるいは 1/1.5)と考えられています。なお、子どもは大人に比べ、発がんリスクが 2~3 倍高いと報告されています。

がんはある程度予防できる病気です。がんを予防するためには、まず、個人としてコントロール可能な、リスクの大きな発がん因子への暴露を避けることです。社会としては、暴露している人の数を少なくするという対応が大切です。ただし、1つのリスクを回避しても、別のリスクに曝されることもありますので、全体としてリスクを管理することが必要です。放射線や紫外線の暴露を減らすとともに、たばこは吸わない、適度に運動する、塩辛いものや焦げた食品は避け、野菜や果物を積極的に取ることなどが、がんリスクを下げるために効果的です。

要 因	寄与割合 (%)
喫煙	30
成人期の食事・肥満	30
座業の生活様式	5
職業要因	5
がんの家族歴	5
ウイルス・他の生物要因	5
周産期要因・成長	5
生殖要因	3
飲酒	3
社会経済的要因	3
環境汚染	2
電離放射線・紫外線	2
医薬品・医療行為	1
塩蔵品・他の食品添加物・汚染物	1

出典：Harvard Center for Cancer Prevention: Harvard Report on Cancer Prevention, Volume 1: Causes of Human Cancer, Cancer Causes Control 1996 ;7:S3-S59.

表 5 米国人のがんの原因-確立したがんの要因の  
がん死亡への推定寄与割合(%)-

## 放射線でがんが治るとも聞きましたが・・・ (がん放射線治療について)

がんの治療法は、がんがある場所に対して治療を行う手術や放射線治療などの‘局所療法’と、全身に広がったがんに対して治療を行う薬物療法（抗がん剤治療、化学療法）などの‘全身療法’に分けられます。その他に、免疫療法、温熱療法等があります。それぞれの治療法には長所と短所があります（表 6）。放射線治療の長所は、臓器の機能と形態が温存できること、全身への影響が少ないことであり、高齢者も治療を目指した治療が可能であることです。早期がんや放射線感受性の高い腫瘍では、十分に完治が期待できます。切らずに治すことが最大の特徴です。ただし、病変が局所に限局する場合しか適応されません。最近、コンピューターで制御した照射装置（強度変調放射線治療）の開発や、陽子線や炭素線などの粒子線治療の出現によって、周囲の正常細胞への被ばくをさらに減らすことも可能となり、副作用の少ない治療法が実現されつつあります（表 7）。

放射線は、直接的、または活性酸素をつくって間接的にがん細胞の DNA を切断し、細胞の分裂能力をなくしたり、アポトーシスによって細胞を死に至らしめます。放射線はがん細胞だけでなく正常細胞にも同じ作用をしますが、正常細胞はがん細胞に比べ障害に対する修復力が高く、放射線照射前の状態に回復することがほとんどです。

放射線治療の方法には身体の外から放射線を照射する外部照射法と、放射線源を直接身体の組織や、子宮などの腔に挿入して治療する密封小線源治療があります。どちらかひとつの放射線治療をすることもあれば、外部照射法と密封小線源治療を組み合わせる治療することもあります。

放射線治療が標準治療になっている主な疾患には、(1) 頭頸部がん、(2) 肺がん、(3) 乳がん、(4) 子宮頸がん、(5) 前立腺がん、(6) 網膜芽細胞腫、(7) 悪性リンパ腫、(8) 食道がん、(9)

脳腫瘍などがあります。

他の治療法と同様に、放射線治療にも副作用があります。疲れる、食欲がなくなるという全身性の症状もありますが、多くは、照射した部位での副作用です。例えば、発赤、色素沈着などの皮膚の変化です。また、頭頸部の場合は、脱毛、口腔の粘膜炎、胸部の場合は、肺炎が起こることがあります。治療成績がよくなってきたので、治療後、数年経ってからあらわれる副作用もあります。皮膚の潰瘍や肺線維症、白内障等です。また、長期生存に伴い、2次がんの発生が懸念されるようになりました。しかし、放射線でがんを治すメリットは、2次がんのリスクをはるかに上回っているとされています。

表 5 各がん治療法の長所と短所

	外科療法	放射線療法	薬物（化学）療法
適 応	<ul style="list-style-type: none"> <li>・早期がんから中等度進行がん（0～II期）</li> <li>・病変が局所に限定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・早期がん（I期）から手術不能の局所進行がん（III期）まで</li> <li>・病変が局所に限定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主としてIV期の遠隔転移のあるがん及び白血病</li> <li>・病変が全身に進展</li> </ul>
長 所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・根治性が高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機能と形態の欠損が少ない</li> <li>・全身への影響が少ない</li> <li>・早期がんの治療成績は、外科療法に匹敵</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・病状の進行が抑えられたり、延命効果があることもある</li> </ul>
短 所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・時に、機能と形態の欠陥が大きいことあり</li> <li>・部位・患者の条件（年齢や合併症）により適応制限あり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・局所進行がんでは、根治性は外科療法に劣る</li> <li>・時に、局所に副作用を残すことあり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全身への影響が大きい（副作用が強い）</li> <li>・根治性が低い</li> </ul>

表 6 粒子線治療の特徴

	陽子線	重粒子線
線量の集中性	X線に比べ、がん組織への集中性が良い。正常細胞の被ばくが少ない	陽子線と同じか、さらに優れている
細胞の殺傷効果	X線と同じ	X線の2～3倍
低酸素細胞への効果	X線と同じ	X線の2～3倍
分割照射回数（治療期間）	X線治療に比べ、少ない	陽子線より更さらに少ない（肝がん、肺がんなど）

出典：渡利一夫、稲葉次郎（編）放射線と人体 研究社（2000年）

#### （4）放射線影響が変わる要因

##### 内部被ばくは外部被ばくより影響が大きい？

内部被ばくは以下の理由から外部被ばくより危険という話があります。その話では下記が理由としてあげられています。

- 1) 放射線同位元素が体内でどの様に分布しているかを正確に測定することが困難である
- 2) 放射性同位元素が体内にあると除染することが困難である
- 3) 放射線発生源から細胞までの距離が短く遮蔽出来ないため透過力の弱い放射線でも、体内の細胞に放射線がとどく
- 4) 放射性物質の中には骨や甲状腺など特定の臓器に蓄積するものがある。

自然界には、微量の放射性同位体が存在し、ヒトはそれらを取り込んで内部被ばくをしています。最も被ばく線量が多いものはカリウ-40で、全身の細胞にほぼ均一に分布して、全身では約 4,000

ベクレル (0.01g) 程度存在し、年間約 0.18mSv の全身被ばくをもたらすとされています。地殻やコンクリートなどから発生するラドン-222 ( $^{222}\text{Rn}$ ) とその娘核種による内部被ばくも高く、吸入により肺に沈着する娘核種からはアルファ線が放出されるため被ばくは局所的に高くなります。アルファ線は皮膚の角質で遮蔽されるほど透過力が低いので内部被ばくでのみ問題になる放射線です。

福島原発事故で内部被ばく影響が懸念されたのは、放射性ヨウ素と放射性セシウム健康影響でした。甲状腺ホルモンの形成に不可欠であるヨウ素は、甲状腺細胞が積極的に取り込むために、体内のほとんどが甲状腺に集積しています。原発事故で放出された放射性ヨウ素の人体への取り込みを調べる小児甲状腺被ばくスクリーニング (平成 24 年度放医研「事故初期のヨウ素等短半減期核種による内部被ばく線量評価調査」、2014 年 4 月現在の URL は [http://clearinghouse.main.jp/web/env\\_0016.pdf](http://clearinghouse.main.jp/web/env_0016.pdf)) では、校正用のファントム (人体を模した評価用模型) 内の甲状腺型容器にバリウム-133 ( $^{133}\text{Ba}$ ) 溶液を封入して NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメーターで測定を行い、ヨウ素-131 の残留放射能を求めるための校正係数を算出しました。これを用いて、被験者の甲状腺のある頸部にプローブを密着させた測定値から残留放射能を計算して、さらにどの様に吸収したのかのモデルにより甲状腺に対する等価線量を推定します。一方放射性セシウムの内部被ばくについては、体内に均一に分布することからホールボディカウンター (WBC) の測定から線量推定がされています。

放射線影響の程度は、内部被ばくであれ、外部被ばくであれ、人体の細胞がどれだけの線量の放射線にどの様に被ばくしたかで決まります。小児甲状腺癌では、小児放射線治療の甲状腺外部被ばくとチェルノブイリ原子力発電所事故後の牛乳などから取り込んだ放射性ヨウ素による内部被ばくを比較しても線量が同じであれば、外部被ばくでも内部被ばくでもほぼ同レベルか内部被ばくの方が甲状腺がんの発症は低いとする報告があります<sup>注7</sup>。しかし内部被ばくの場合は、どの様な経路で人体に取り込まれたのか、取り込みのあった時期と状況、取り込んだ時の化学的性状についての推定は時間がたつほど不確かになります。個人モニタリングが早期に行われる必要性はここにあります。

### 被ばく線量は同じでも・・・(線量と線量率)

時間あたりの線量を線量率といい、「グレイ毎分(Gy/min)」、「シーベルト毎時(Sv/h)」などで表します。線量が同じであっても、線量率が異なると影響が異なります。

図 11 は、さまざまな線量の放射線をマウスに照射した場合の突然変異の現れ方を表したものです。線量率が低い方が、同じ線量率での突然変異の発生が少ないことが分かります。このように、線量率が低いと放射線の生体への影響が小さくなります。これを「線量率効果」と言っています。これはなぜでしょうか。放射線が細胞に当たると、その量に応じて DNA に傷ができます。線量が同じであれば、できる DNA の傷の数は基本的に同じです。前出の (2) で、細胞には DNA の傷を治す力があることを解説しました。放射線を一瞬で浴びた場合、一瞬で全ての DNA の傷ができてそれを治すことになります。放射線の量が多いと、DNA の修復能力を超えてしまいます。DNA の修復能力を超えた分が、治らなかった傷として残って、細胞の死やがん化につながります。一方、低い線量率でゆっくり時間をかけて浴びた場合、DNA の傷も少しずつできますから、DNA の修復能力を超える部分が小さくなったり、DNA の修復能力の範囲内におさまったりします。そのため、細胞の死やがん化につながる傷が少なくなります。

また、同じ線量を数回に分割して浴びた場合、1回で浴びた場合より影響が小さくなります。このことは、がんの放射線治療にも生かされています。がんの放射線治療では、毎日1回2グレイずつ当てて、数週間で70グレイ程度にするのが一般的です。これは、次の照射までの間に腫瘍の周囲にある正常組織の回復を促すためです。

これは野球の試合に似ています。10本のシングルヒットを打たれると何点取られるでしょうか。10本のヒットを1イニングで打たれたら、7点取られます。これが1回で短時間に浴びた場合です。次に、2つのイニングで5本ずつ打たれたら、4点取られます。1イニングで打たれた場合よ

---

注7 参考文献: Ron, E., Health Physics 93: 502-511 (2007)

り失点が少なくなります。これが分割して浴びた場合です。では、1回から8回まで毎回1本ヒットを打たれ、9回は2本打たれたらどうなるでしょう。これも打たれたヒットは全部で10本ですが、1点も取られないこととなります。これが低い線量率でゆっくり時間をかけて浴びた場合です。放射線の影響を考えると、線量だけでなく、線量率にも注目しましょう。

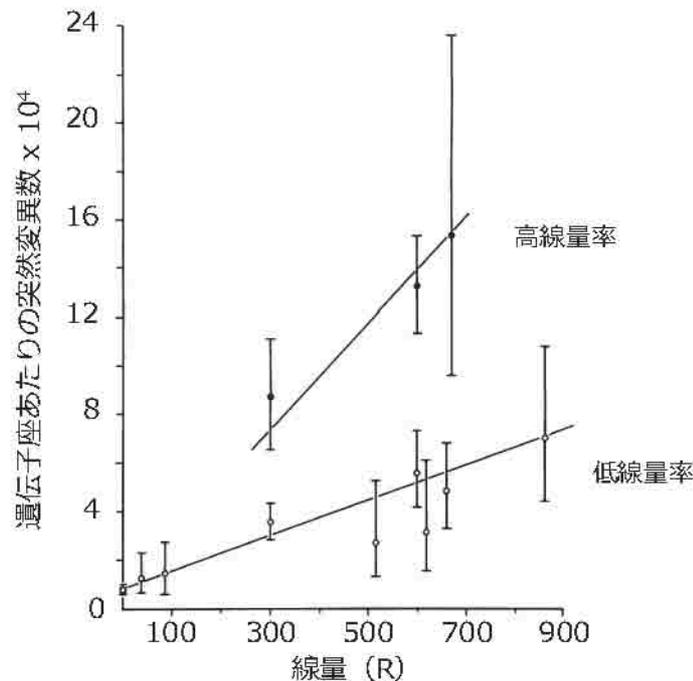


図 11 さまざまな線量の放射線をマウスに照射した場合の突然変異の現れ方  
出典 : Russell and Kelly. Proc. Natl Acad. Sci. USA 79, 542-544, 1982

## (5) 子どもへの被ばく影響を考える（発がんを中心に）

### 子どもは大人よりがんになりやすい？

一般に、放射線に被曝すると子どもは大人よりがんになりやすいと考えられています。放射線の被ばくでは、子どもは大人に比べて2~3倍がんになりやすいといわれますが、本当でしょうか？

前の項目でも話があったように、日本人の2人に1人はがんになります。すなわち、人は特に放射線に被曝しなくともがんになります。放射線の被曝でがんになりやすくなるかどうかを調べるには、放射線を浴びなかった人のグループに比べて、放射線を浴びた人のグループでどのくらい多くのひとががんになったかを調べる必要があります。このような研究を、疫学研究といいます。放射線被ばく後の発がん影響については、広島や長崎の原爆被爆者の長期フォローアップの疫学調査結果が報告されていて参考になりますので、以下に解説します。

人が放射線に被曝するとどのくらいがんになりやすくなるかは、どのくらいの放射線を被曝したかによって異なります。原爆被爆者の被曝時の年齢、被曝線量および男性か女性かについて解析し、放射線被ばくによってどのくらいがんになりやすいかを調べた結果を見てみましょう(表 8)。この数値は、少し難しい表現ですが、被曝なしのグループに対して被曝したグループがどの何倍がんになったかを相対値で示してあります。この表データは、それぞれの年齢で被曝した後、70歳になったとき被ばくしなかった人に比べてどのくらいがんになりやすいかを調べました。数値が1の場合は増加なしで1を越えて数値が大きくなると放射線による発がんリスクが大きい(がんになりや

すい) ことを意味します。はじめに、高い線量 (たくさんの? 線量) (1~4 グレイ) を被曝したグループの数値を見てみると、被ばくした時の年齢が若いほどがんになりやすく、特に子どもは大人にくらべて 2~3 倍がんになりやすいことが分かります。同時に、女性の方が男性よりがんになりやすいことも分かります。一方、低い線量 (0.005~0.5 グレイ) を被曝したグループの数値を見てみると、被曝した時の年齢に関係なく (どの年齢で被曝しても)、がんになりやすさは被曝しなかった人と比べて差が小さく見えなくなります。このことから、低い線量の被ばくの場合は子どもも大人もがんになりやすさの違いが見えにくいことが分かります。ただし、子どもの時の被曝した人のがんになりやすさについては、これからあと 20 年ほど調べていかないと最終的な結論できないと言われてしています。

被ばく時 年齢	男性			女性		
	0.005~0.5 <sup>b</sup>	~ 1	1~4	0.005~0.5	~ 1	1~4
0 ~ 9	0.96	1.1	3.8	1.12	2.87	4.46
10~19	1.14	1.48	2.07	1.01	1.61	2.91
20 ~ 29	0.91	1.57	1.37	1.15	1.32	2.3
30 ~ 39	1	1.14	1.31	1.14	1.21	1.84
40 ~ 49	0.99	1.21	1.2	1.05	1.35	1.56
50 ~	1.08	1.17	1.33	1.18	1.68	2.03

a : 相対リスクは、被ばく線量が 0.005Gy 以下のグループと比較した。

b : 結腸線量 (Gy)

表 7 被ばく時年齢、性別、線量による固形がん発症の相対リスク

出典 : Preston et. al. Radiat. Res. 168, 1-46, 2007

## 子孫への影響はどうでしょうか？

子孫への (放射線) 影響とは、お父さんかお母さんが被ばくしたことにより生まれた子どもへの現れる影響のことをいいます。

放射線は、私たちのからだの設計図である DNA に傷をつけることが知られています。また、親の DNA は子どもに受け継がれることも分かっていますので、親が被ばくした場合は、子どもに影響が出るのではないかという心配が出てきます。私たちの身体には、傷ついた DNA を直す力が備わっていますが、直すことができなかった傷があると、DNA に間違い (突然変異) を起こすことがあります。私たちの身体の中にある細胞は、からだをつくる細胞 (体細胞) と、将来子孫をつくるための細胞 (生殖細胞) があります。身体を作る細胞の DNA に傷 (間違い) が残った場合は、本人の将来のがんのもとになることがあります。しかし、この DNA の間違いは子どもへ受け継がれることはありません。一方、将来子どもをつくる細胞の DNA に傷 (間違い) ができると、次の世代 (子孫) へと間違いが受け継がれる可能性が出てきます。この傷によって、次の世代になにかしらの障害が出てくるのが放射線の子孫への影響と考えられています。実際、動物実験では、高い線量を被ばくすると子孫に障害が現れるという報告がありますが、一方では、その実験は追試できなかったという報告もあり、動物実験でも明らかな結論はできていません (図 12)。

これまでに原爆被爆者とその子どもについて、いくつかの調査が行われ報告されています。被ばくした親から生まれた子どもの出生時の異常、若年期における死亡率やがん罹患率、染色体異常、血清と赤血球中のタンパク質の変化、そしてがんやがん以外の疾病による死亡率の調査が行われました。いずれの調査においても、被ばくした親 (実際には 5 ミリグレイ (mGy) 以上の被ばく) から生まれた子どものグループにおいて、対象として被ばくしていない親 (5 ミリグレイ以下) から生まれた子どものグループにくらべて影響が認められるような結果は得られていません。

また、近年 DNA の解析技術の進歩に伴い、被ばくした親から生まれた子どもの DNA と、被ばくしていない親から生まれた子どもの DNA について、個人差の原因となるミニサテライト遺伝子の解析や、マイクロアレイを用いた比較解析が行われ、被ばくした親から生まれた子どものグループで特有のゲノムの変化が見つかりました。しかしこれは、すでに親が持っていた変異で、放射線被ばくによって生じたと考えられる変異は認められないことがわかりました。すなわち、現在までのところ親の被ばくの子どもへの影響は認められていません。

さらに、被ばくした親から生まれた子どもに関して、高血圧、糖尿病、高コレステロール血症、心筋梗塞、狭心症、脳卒中のいずれかがある場合を「多因子疾患」があるとして父親、母親別の被ばく線量との関係が解析されました。その結果、親の被ばくに関連した子どもの多因子疾患のリスク（発症しやすいこと）は認められませんでした。子どもである男性において父親の線量との負の相関が認められていますが、この結果については注意深い解釈が必要であると言われており、今後の研究が必要と考えられています。

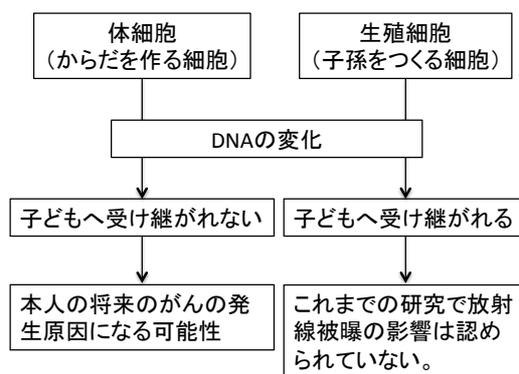


図 12 放射線被ばくをした体細胞と生殖細胞の運命

被ばくした親から生まれた子どもの年齢は、平均 50 歳代でこれからがん罹患率が増加する年齢です。今後もこれまでに差の認められなかった項目も含めて解析を進めていく必要があります。現在も、放射線影響研究所では、被ばくした親から生まれた子どものグループの調査を継続しています。

## (6) 100 ミリシーベルトの被ばくリスクを考える

### 100 ミリシーベルトのリスクって？

『放射線被ばくが発がんのリスクを上昇させる』、この、誰もが知っている事実は、広島・長崎の原爆被爆者、約 12 万人を対象とした長年の疫学調査によって明らかにされてきたものです。さらに、疫学調査結果により、どの程度の放射線被ばくにより、どの程度の発がんリスクの上昇があるかを予測することも可能になりました。その結果、放射線の被ばく線量が、100～200 ミリシーベルトを超えたあたりから、被ばく線量が増えるにつれてがん発症のリスク、あるいはがんで死亡するリスクが増えることがわかってきましたが、それ以下の被ばく線量では、得られた調査結果の統計学的解析から、放射線の被ばくによってリスクが実際に増加しているかどうかは確認できていません。

また、100 ミリシーベルト程度以下の放射線被ばくによる発がんリスクの増加よりも、場合によっては、他の生活要因（たとえば喫煙や飲酒など）による発がんリスクの増加の方が大きいこともあり、低線量放射線被ばくによる発がんリスクの明らかな増加は、証明することは難しいということが国際的な認識となっています。

## 【発展】100 ミリシーベルトの発がんリスクを少し詳しく見てみましょう

よく「100 ミリシーベルト以下の低線量放射線の影響は分かっていない」と言われます。これは、低線量放射線の影響は調べられていなくて、将来大変なことが起こるかも知れないという風に聞こえるかも知れません。しかし、低線量放射線の影響については、たくさんの研究が行われています。がんが増えているかどうか分からないということです。

放射線の影響には確定的影響と確率的影響があります。確定的影響のしきい値はどれも 100 ミリシーベルト以上ですから、100 ミリシーベルト以下で考えられるのは、確率的影響、つまり、がんと遺伝的影響です。遺伝的影響はこれまでヒトで見られたことはありません。

図 13 は、原爆被爆者の固形がん（肺がん、胃がん、乳がんなど、白血病以外の全てのがん）の頻度を表したものです。横軸の重み付けした結腸線量の 1 グレイ (Gy) はおよそ 1,000 ミリシーベルトに相当します<sup>注 8</sup>。縦軸の「過剰相対リスク (ERR)」は、放射線被ばくによってどれだけがんが増えたかを表しています。「1」は原爆の放射線を浴びなかった場合にがんが発生する割合と同じ分だけ増えた、つまり 2 倍になったということです。点は過剰相対リスクを表し、上下に伸びた線はその 95%信頼区間を表します<sup>注 9</sup>。「真の値」と「実際観察された値」は必ずしも一致しません。「ほんとうの値」は私たちには見えません。見えるのは「実際観察された値」です。の点は「実際観察された値」です。95%信頼区間とは、実際観察された値から考えて、真の値が 95%の確率でこの範囲にあると考えられる区間です。

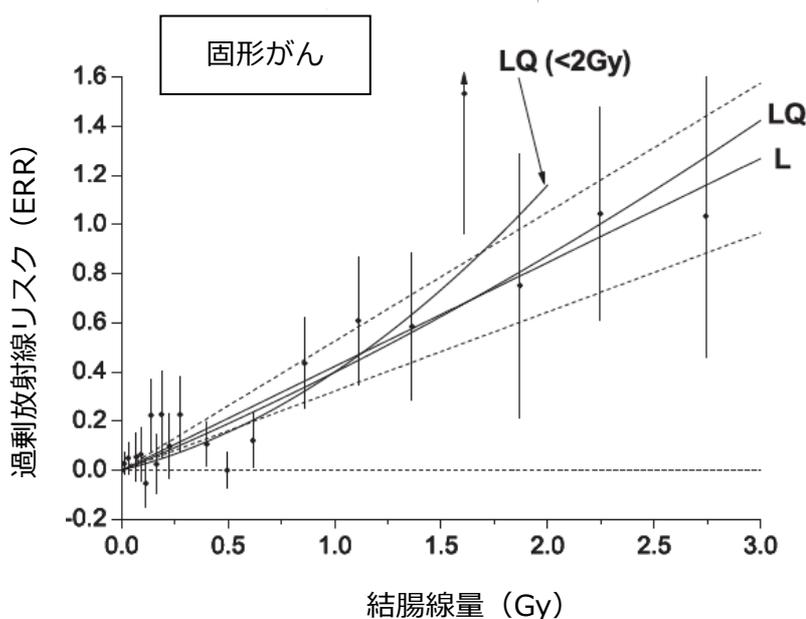


図 13 原爆被ばく者における固形がんの発生頻度

出典 : Ozasa et al., Radiation Research, 177, 229-243 (2012)

全体的に線量に比例してがんが増えている傾向が見られます。しかし、矢印で示した 100 ミリシーベルト以下では、点はゼロ以上のところにあっても、95%信頼区間がゼロを横切っています。そのことから、95%の確実性を持って、がんが増えているとは言えません。これを「100 ミリシーベルト以下でのがんの増加は統計的に有意ではない」と言います。この「統計的に有意」というのは、一般の方々には耳慣れない言葉なので、「100 ミリシーベルト以下でがんが増加しているかどうかは分からない」と言うことがあるわけです。一方で、点がゼロより上にあるのに「がんが増えていない」とか「がんが減っている」と言うこともできません。「増えている」とも「減っている」とも「変わらない」とも言えないので、「分からない」と言うことがあるわけです。

100 ミリシーベルト、つまり 0.1 グレイ以下の線量で、線量とがんを発症する割合との関係は、ほんとうはどうなっているのでしょうか。これが問題です。線量 0 グレイ、過剰相対リスク 0 の位置（原点）から、1 グレイ以上の点の全体のそばを通るように直線を引いてみましょう。これを「直線しきい値なしモデル」と言います。英語の「Linear Non-Threshold」の頭文字をとって、LNT と言います。0.1 グレイ以下の点も含めてほとんどの点の信頼区間がこの線を横切っています。だから、この直線の引き方が観察結果に矛盾するとは言えません。この線の引き方は、がんにはしきい値がないと考えていることになります。しかし、他の線の引き方もできます。例えば、0.1 グレイまで水平にして、そこから 1 グレイ以上の点の全体のそばを通るように直線を引いても、ほとんどの点の信頼区間がこの線を横切るので、やはり観察結果に矛盾するとは言えません。この線の引き方は、0.1 グレイが「がんのしきい値」だと考えていることになります。2つの引き方は、根本になる考え方に、しきい値があるかないかという明らかな違いがあるにも関わらず、どちらが間違いとも言えないので、「がんにはしきい値があるかないか分からない」と言うことになるわけです。

どうして、こんなに研究が進んでも、「実際に増えているかどうか分からない」、「しきい値があるかどうか分からない」のでしょうか。その原因の一つは、これまで述べてきたように、「真の値」と「実際に観察される値」が必ずしも一致しないことです。100 ミリシーベルト以下での放射線量と一般的に、多くの人を調べる程信頼区間は小さくなります<sup>注 10</sup>。第二の理由として、人はそれぞれ体質や生活習慣が異なり、それによってがんの発症しやすさが相当に異なるためです。たとえば、がんが多い家系の人は遺伝的にがんにかかりやすい体質を受け継いでいると考えられます。また、喫煙、野菜不足、運動不足などはがんのリスクを高めます。このようなことから、実際には、がんが線量にしたがって増えていても確認できない可能性を否定できません。一方で、私たちの体には、DNA の傷を修復したり、変異を生じてがんになりかけている細胞を取り除いたりするしくみがあるので、少量の放射線ではほんとうにがんが増えないのだという考え方もあります。

このように、100 ミリシーベルト以下の低線量放射線でがんが少しでも増えるのか、全く増えないのか、あるいは逆に減るのかは現時点で結論することはできませんが、変化があったとしても体質や生活習慣の個人差より小さいことは確かです。

---

注 8：原爆の放射線はガンマ線と中性子線を含んでいます。すでに解説したように、中性子線はガンマ線に比べて大きな影響をおよぼします。ここでは、同じ吸収線量のガンマ線の 10 倍と考えています。ですから、例えば、ある人が 0.1 グレイのガンマ線と中性子線を被ばくした場合、 $0.1 + 0.1 \times 10 = 1.1$ （グレイ）となります。中性子のエネルギーに応じた倍数をかける等価線量とは計算の仕方が少し違いますが、ほとんど同じと考えてよく、1 グレイはおよそ 1 シーベルトに相当することになります。

注 9：たとえば、1,000 人の集団でちょうど 300 人でがんの発症が見られたとします。体質や生活習慣が同じだったとして、他の 1,000 人の集団でまたちょうど 300 人のがんの発症が見られるでしょうか。290 人や 310 人であったとしても不思議ではありません。数学的には、がんの発症が観察される数は、95%の確率で、平均値の上下に、平均値の平方根の大きさでばらつくことが分かっています。3割の人にがんが発症するのであれば、1,000 人の集団で実際にはがんを発症する人は、95%の確率で 283 人から 317 人の間ということになります。ですから、割合としては、28.7%から 31.7%となります。たまたま、真の値より低い値が観察されたり、真の値より高い値が観察されたりすることがあるということです。この関係を使って、観察された数から真の値が 95%の確率で存在する範囲を求めることができます。これが 95%信頼区間です。これはサイコロに似ています。正しく作られたサイコロは 1 の目がでる確率は 6 分の 1 です。では、60 回投げたら必ず 1 の目が 10 回出るでしょうか。実際には、10 回より多いことも少ないこともあります。ほとんどの場合 7 回から 13 回の間になります。回数を増やしていけば、だんだん 6 分の 1 からのずれが小さくなっていきます。

注 10：たとえば、注 9 と同じように、3割の人にがんが発症するのであれば、1,000 人の人を調べた場合、実際にはがんを発症する人の割合は 95%の確率で 28.3%から 31.7%となり、3.4%分の広がりがあります。では、10 万人だとどうなるでしょう。実際に発症する人は 95%の確率で 29,827 人から 30,173 人となり、割合は 29.83%から 30.17%、その広がりも 0.34%となります。人数を 100 倍にすれば、信頼区間は 10 分の 1 になります。

## 年間被ばく限度の意味は？

「一般公衆の年間被ばく限度は年間 1 ミリシーベルト」とよく聞きますが、この 1 ミリシーベルトにはどのような意味があるのでしょうか。私たち日本人は、自然の放射線によって年間おおよそ 2.1 ミリシーベルトの被ばくをしています。世界に目を向ければ、年間の被ばく量にはかなり幅があり、たとえば、年間 10 ミリシーベルトを越えるような地域もあります（そのような場所で昔から暮らしている人々にがんが多いとか、健康に異常が出ているという報告はありません）。このような中で、国際放射線防護委員会（ICRP）が世界各国の政府に勧告した基準値が「一般公衆の被ばく限度」であり、この数値には「自然の被ばくとほとんど変わらないレベルに、放射線や放射性物質の漏えいを抑えなさい」という意味が込められています。

放射線の影響が現れるかどうかの境は、短時間に一気に被ばくした場合でおおよそ 100 ミリシーベルト付近とされますが、線量率が低い、つまり長期間でじわじわ浴びる場合にはさらに影響は小さくなりますから、もっと高い線量のところに影響が出る境があるのかもしれませんが。その意味で、放射線を扱う職業に従事している人たちの被ばく限度である「5年間で 100 ミリシーベルト」も、影響があらわれると考えられる被ばく線量より十分低いところに設定されていると言えます。このように、一般公衆の年間被ばく限度である「年間 1 ミリシーベルト」は、被ばくによる健康影響が現れるかどうかの境界ではなく、事業者のコンプライアンス（社会規範）としての基準値であるといえることができます。

## チェルノブイリで甲状腺がんが増えましたが・・・

1986 年 4 月 26 日の未明にチェルノブイリ原子力発電所の 4 号炉において発生した事故により、おおよそ 10 日間にわたり放射性物質が環境中に放出されました。その結果、周辺地域に住んでいた子どもや若者が、とりわけ放射性ヨウ素を含んだ牛乳を飲んだことによって、甲状腺に内部被ばくを受け、事故発生から 4 年～5 年経って、小児甲状腺がんの増加が報告されるようになりました。1991 年から 2005 年までに、事故当時 18 歳未満の子どもや若者たちに 7,000 例近い甲状腺がんの発症が報告されています。また、事故から 28 年が経とうとする現在でも、当時子どもや若者だった人達に、甲状腺がんの過剰な発症が続いています。甲状腺がんはもともと難治性のがんではありませんので、がんの発症が原因で命を落とすことはほとんどありませんが、通常 100 万人あたり数人しか起こらないとされていた小児甲状腺がんが、事故後明らかに増加したことで、放射性ヨウ素の内部被ばくが引き起こした放射線による発がんであると考えられています。

事故当時の甲状腺の内部被ばく線量を正確に知ることはできませんが、例えばウクライナでは、事故発生より 20 日以上経ってから行われた甲状腺の被ばく放射線量の測定結果に基づいて、甲状腺被ばく線量の推定が行われています。その結果、甲状腺被ばく線量は 20 ミリグレイ以下から 20,000 ミリグレイを超える線量まで、幅広い分布をとることがわかりました。平均の甲状腺被ばく線量は、おおよそ 700 ミリグレイ程度とされていますが、乳幼児では、おおよそ 20%以上が、1,000 ミリグレイを超える被ばくを受けていたと予想されていますし、10 歳未満の子供たちでも、少なくとも 10%を超える子供たちが、1,000 ミリグレイを超える被ばくを受けたと推定されています。同様の調査は、ロシアおよびベラルーシでも行われており、平均の甲状腺被ばく推定線量は、おおよそ 300 ミリグレイ～700 ミリグレイ程度であると報告されています。東京電力福島第一原子力発電所の事故でも、放射性ヨウ素による甲状腺の内部被ばくがありました。1 歳児の甲状腺被ばく線量は、最大でも 30 ミリグレイ程度と推定されています。

チェルノブイリでの事故後に増加した甲状腺がんが、放射性ヨウ素の内部被ばくが原因で引き起こされたと考えられるもう一つの理由が、発がんの相対リスクが、甲状腺の推定被ばく線量の増加にともなって増えていることです。発がんの相対リスクとは、自然に見つかる甲状腺がんの発生頻度を 1 とした時に、放射線被ばくによりその発生頻度がどの程度の割合、相対的に増加したかをあらわすものです。

図 14 は、ウクライナの汚染地区に住んでいた、事故当時 18 歳未満の子供たちの中で、1998 年から 2007 年までに診断された甲状腺がんの発生頻度の相対的な増加を縦軸に、甲状腺の推定被ばく線量を横軸にしてグラフに表したものです。このグラフを見ると、確かに被ばく線量が増加する

につれて、発がんのリスクも上昇していることがわかりますが、矢印で示す 100 ミリシーベルト程度では、発がんのリスクが上昇しているかどうかよくわからないのが実情です。

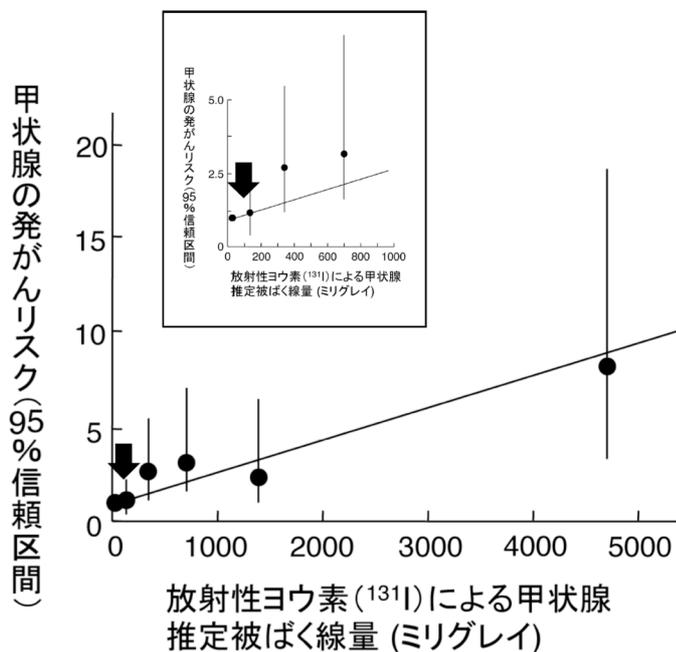


図 14 甲状腺の推定被ばく線量の増加に伴う発がん相対リスクの増加  
出典：Brenner らの論文（2011）<sup>注11</sup>の図をもとに改変

### 【コラム】甲状腺ってどんな臓器ですか？

甲状腺は、のどの下辺りにある代表的な内分泌器官の 1 つで、体の成長に必要な甲状腺ホルモンを分泌しています。甲状腺は、ちょうど蝶が翅を開いたような形をしています（図 15）、その中には、濾胞と呼ばれるブドウの実のような小さな袋が一杯詰まっており、サイログロブリンとよばれる蛋白質を材料にして、甲状腺ホルモンが作られています。甲状腺ホルモンはヨウ素を含む物質ですので、食物をとおして摂取したヨウ素が使われることとなります。

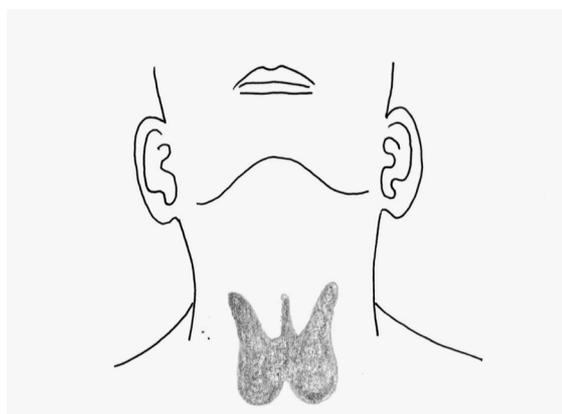


図 15 甲状腺の身体での位置と形

注 11 参考文献：Brenner AV, Tronko MD, Hatch M, et al., *Environmental Health Perspectives*, 119, 933-939 (2011).

## 【コラム】甲状腺等価線量とは？

『2011年3月24日から30日にかけて、いわき市、川俣町、飯舘村において、小児を対象に甲状腺の簡易検査をおこなったところ、調査対象となった1,080人が、毎時0.2マイクロシーベルトを下回っていました。』

このような記事を、新聞などで目にしたことはありませんか。ここでいう簡易調査というのは、甲状腺から出てくる放射線の空間線量率を、放射線測定機器で測定するということですが、甲状腺の被ばく線量は、このようにして得られた測定値から計算により推定された値です。たとえば、毎時0.2マイクロシーベルトは、1歳児の甲状腺等価線量100ミリシーベルトに相当すると見積られています。

甲状腺等価線量は、『私たちは自然に、年間おおよそ2.1ミリシーベルトの放射線を受けている。』という時の線量（これを実効線量と呼んでいます）と区別して使わなければなりません。実効線量は、自然放射線の様に全身に放射線をうける場合に使われる線量ですが、これに対し、等価線量は、特定の臓器や組織が被ばくを受けた時に使う線量で、放射性ヨウ素のように、甲状腺に集まって局所的な被ばくを起こすような場合は、甲状腺等価線量を用いることとなります。

## 第2章 放射線影響 Q&A

### 福島第一原発事故：「私は、家族は、地域は、」大丈夫でしょうか？

最初にお読み下さい。

- (1) 放射線量の単位は、報道等でよく使われるシーベルトで表します。1シーベルトの1,000分の1がミリシーベルト、1ミリシーベルトの1,000分の1がマイクロシーベルト。
- (2) 放射線の強さは、(マイクロシーベルト/時間)というように示されます。従って、(2マイクロシーベルト/時間)の強さの放射線を2時間浴びると、総被ばく線量は(2マイクロシーベルト/時間)×2時間=4マイクロシーベルト)となります。

#### Q ヨウ素剤の服用はどんなときに必要ですか？

安定ヨウ素剤は甲状腺の被ばくを少なくするために用いられますが、かなり高い甲状腺被ばく(100ミリシーベルト以上)が見込まれない限り使用するべきではありません。安定ヨウ素剤には副作用があるため一般家庭には配布されませんでした。どのようなタイミングで安定ヨウ素剤を使用するかは、予測される線量に基づいて、専門家が判断することになっています。今回、安定ヨウ素剤が配られた地域においても服用の指示は出ませんでした。

ヨウ素は微量必須元素であり、甲状腺に集まり身体の成長、知能の発達に必要な甲状腺ホルモンの生成に必須です。従って、ヨウ素が欠乏すると甲状腺ホルモンが欠乏状態となります。そのために子供や妊婦には成人よりも必要とされます。そこで、放射性ヨウ素が体内に入る可能性がある時に、予め安定ヨウ素剤を服用して、甲状腺を安定ヨウ素(放射線を出さないヨウ素)で満たしておけば、放射性ヨウ素が体内に入っても吸収されにくくなります。例えば、放射性ヨウ素による甲状腺の被ばく線量が100ミリシーベルトと予測される場合、放射性ヨウ素の体内摂取前又は直後に安定ヨウ素剤を服用すると、甲状腺への集積を90%以上抑制できるので、甲状腺の被ばく線量を10ミリシーベルト(=1万マイクロシーベルト)以下にすることができます。

甲状腺の放射線影響としては、甲状腺がんが問題になります。しかし、甲状腺がんの発生確率は被ばく時年齢で異なり、乳幼児の被ばくでは増加しますが、40歳以上では増加しません。そのため、安定ヨウ素剤の服用対象は原則40歳以下とされています。原子力安全委員会・原子力施設等防災専門部会は平成14年4月に「原子力災害時における安定ヨウ素剤予防服用の考え方について」を発表し、安定ヨウ素剤予防服用に当たっては、服用対象者を40歳未満とし、全ての対象者に対し、放射性ヨウ素による小児甲状腺等価線量の予測線量を100ミリシーベルトとするとしています。また、市販のうがい薬や消毒薬にヨウ素が含まれることから、これを飲むとよいという誤った情報が流布していましたが、決してそのようなことはしないでください。これらの薬剤に含まれるのはポビドンヨード(1-ビニル-2-ピロリドンの重合体[ポリビニルピロリドン]とヨウ素の複合体)と呼ばれるもので、安定ヨウ素剤として製剤されているヨウ化カリウムやヨウ素酸カリウムとは異なるものであり、効果を期待できないばかりか、そもそも経口薬でなく、外用消毒薬のため、飲み込むと消化管などに対して毒性を発揮する可能性があります。

#### Q 農地が放射性セシウムで汚染されていることがわかりましたが、農業を続けることができるでしょうか？

ヨウ素-131は、半減期が短いので放射性物質が飛来しなくなったあと、数ヶ月後には壊変して影響はなくなります。セシウム-137は、半減期が30年と長いのですが、土壌に強く吸着されます。そして、その結合は、ほとんど離れない強固なものですから、ある程度時間がたてば、セシウムは土壌と結合することで徐々に植物へも移行しにくくなります。したがって、飯館村に限らず、外部被ばくを少なくするとともに、セシウム-137で汚染されたちり・ほこりなどを体内に取り込んで内部被ばくをしないために表層5cm程度を削って土を入れ替えることが安全に農業を続けるために必要です。いずれにしても、削った土を安全に処分する必要がありますので、原発からの放射線の放出が収束した後に、政府は専門家の意見を取り入れて被ばく防護処置を速やかに実施する必要があります。

## Q 今後、福島原発事故で飛散した放射性物質は井戸水や水道水にどのくらい混入するのでしょうか。

雨水が地下に浸透することによって地下水となります。その際、雨水が地下に浸透して地下水面に達するまでに移動する地下空間を通気層<sup>注 12</sup>といい、また、地下水面下で地下水が流れている空間を帯水層と呼びます。従って、雨水中の放射性物質が地下水に混入するまでの時間は、通気層を構成する土壌と放射性物質の相互作用の程度によって決まることになります。放出された放射性物質のうちで水に溶けて陽イオンとなるセシウム-137 は、土壌に強く吸着され地表の土壌に留まりますので地下水に混入することはほとんどありません。一方、水に溶けて陰イオンとなるヨウ素-131 などは、雨水と一緒に土中に染み込みますが、核種が地表から地下水面まで移動するにはかなり時間がかかります。その間に半減期が8日間と短いヨウ素-131 は減衰してしまい地下水に混入する量はごくわずかになります。このように、地下水では土壌への吸着と移動時間の長さが雨水中の放射性物質の低減に作用します。したがって、河川水を原水としている水道水よりも、地下水の方が安全と言えます。また、水道水は、原水が何であるかによって異なりますが、地下水を原水としていれば、前述したように安全ですし、河川水を原水としている場合でも浄水場で一般的に使われている砂ろ過処理が行われていれば、セシウム-137 のような陽イオン核種はほとんど除去されます。ヨウ素-131 のような陰イオンは、砂ろ過では除去されませんので、原水が取水されてから水道水として給水されるまでの時間の長さによって放射性物質量が異なることになります。水を砂ろ過の後、活性炭処理するとヨウ素-131 の 50%程度は除去されます。さらに、心配であれば、市販されている陰イオン交換樹脂を含むフィルターがついた浄水器を通すとほぼ全量が除去できるようです。ただし、陰イオン交換樹脂がヨウ素で飽和してしまえば除去はできなくなりますので注意してください。ゼオライトも効果があります。なお現実には、県あるいは市町村の水道水供給組織によって厳密な放射能モニタリングが行われており、多くの場合その結果も公表されています。

現在は検出下限値に近い値が報告されており、水道水中の放射性物質に関し特段の心配は必要ありません。家庭用の井戸を利用している場合、水道水のモニタリング結果も参考になると考えます。

## Q 汚染水で問題になっているトリチウムって何ですか？その影響はどうですか？

ご存知かと思いますが、ご質問のトリチウム（三重水素）はベータ線を出す放射性物質で、もともと宇宙線の関与などで生成されて自然界に存在しています。自然界の地球環境中の平衡量は  $1.5 \times 10^{18}$  ベクレル程度と見積もられていますが、実は、そこに地上核実験などによって人工的に作られたトリチウムの残存分が、いまだに環境中に  $2 \times 10^{19}$  ベクレル近く追加されているのが現実です。

良いかどうかは別として、これと比べれば、今回の福島原発汚染水で問題になっているトリチウムの総量は桁違いに少ないのも事実です。しかし、濃度が高ければ被ばくが多くなりますから、局所的な濃度には注意が必要です。なお、ご質問にあるとおり、トリチウムのベータ線はエネルギーが弱く透過性が低いので、考えなくてはならないのは内部被ばくです。これまでの研究から、数百ミリシーベルトを越えるような被ばくとなる高濃度のトリチウムを摂取すれば、他の放射性物質と同様にがんや寿命短縮が起きることが知られています。

トリチウムは、通常、環境中で HTO（水の H の一つがトリチウムになっている）となり、一部は生物の体内で有機物分子の水素と置き換わります（これを「有機結合型トリチウム」と言います）。HTO の体内半減期が 1~2 週間（文献により 4~18 日）とされるのに対し、有機結合型の体内半減期は 40 日程度（ごく一部はもっと長い場合がある）とされ、有機結合型の方が体内の半減期が長いのは事実ですが、他の放射性物質と比べて特別に長いわけではありませんし、「同位体置換反応」や代謝があるために、そこにとどまり続けるということもありません。

体内に取り込まれれば、HTO でも有機結合型でも（たとえ 1 分子でも）、トリチウムからのβ線が DNA に損傷を与える可能性はあります。トリチウムが崩壊してヘリウムになったとして、そのまま、存在し続けて生体影響が残るかどうかは、良くわかりません。ただし、「二重の害」という

\*注 12 通気層は地下水面よりも上方に位置する地下空間で空気と土壌水が混在した層ですが、帯水層は土壌や岩盤の空間が地下水で満たされた層です。

主張の「真に科学的な」根拠は聞いたことがありません。

結局のところ、トリチウムでも問題になるのは、他の放射性物質や放射線と同じく摂取量（この場合は濃度）であるという事です。ちなみに、放出濃度限度である「6万ベクレル/L」は、その濃度のトリチウムを含む水を1年間飲み続けた時に1ミリシーベルトの預託実効線量が想定される濃度です。ちなみに、経口で取り込んだ時の実効線量係数は、影響が大きい有機結合型で $4.2 \times 10^{-8}$  (乗) ミリシーベルト/ベクレルで、この値はセシウム-137の $1.3 \times 10^{-5}$  (乗) ミリシーベルト/ベクレルに比べて300分の1以下であり、同じベクレルであればセシウム-137よりも生物影響がはるかに小さいと考えることができます。

## Q 福島原発事故での土壌汚染とチェルノブイリ事故による居住制限地域の土壌汚染は中身が違っていると聞きました。どのように違うのでしょうか

2つの事故では原子炉の破壊具合が異なるため、飛散した放射性物質の種類と量（割合）は大きく違っています。チェルノブイリでは原子炉が完全に破壊され、内容物が爆発的に大気中へ飛散しました。一方、福島では原子炉格納容器そのものは何とか原形を留めましたので、内容物が直接大気に触れることはありませんでした。原子炉内で核分裂によってできる放射性物質は、それぞれ気化する温度が異なりますので、数百℃程度といった比較的低温で気化する物質（ヨウ素やセシウム）はどちらもほぼ同じような割合で大気中に放出されましたが、高温でないと気化しない物質（ストロンチウムやプルトニウムなど）はチェルノブイリの方がはるかに多く放出されています。放射性ストロンチウムやプルトニウムは、内部被ばくの生体影響が大きい放射性物質ですから、その量の違いは被ばく影響に大きな差を生じさせる可能性があり、単純に放射性セシウムによる汚染濃度だけでチェルノブイリと福島が同じだとは言えません。参考までに、チェルノブイリ事故で移住の目安とされた濃度のセシウム-137（1平方メートル当たり185キロボクレル）で汚染された土壌について、他の放射性物質の降下量がどのくらいになるかを試算して比較した結果を次ページにお示しします。

### 【資料】福島事故とチェルノブイリ事故による放射性物質汚染状況の比較

同じ濃度のセシウム-137（ $185 \text{ kBq/m}^2$ ）で汚染された土壌における他の放射性物質の汚染状況の比較（公表データに基づく試算）

本来は公的な研究組織がこのような比較をするべきですが、地下部分の漏出量が不明なこともあって、事故の翌年に土壌分析結果のまとめが報告されて以降、いまだに十分なまとめと説明はなされていないという現状があります。一方で、現実には人が生活している場所の土壌汚染は地上降下量で決まり、その降下量はこれまでに出版された報告から知ることができます。ここでは、国連科学委員会のチェルノブイリ事故調査報告（2008）および文部科学省による土壌分析公表値をもとに、チェルノブイリと福島の土壌汚染について、セシウム-137の濃度を揃えた条件で他の放射性物質（放射性核種）の存在割合を概算して比較しています。

表8は、セシウム-137による土壌汚染 $185 \text{ kBq/m}^2$ （チェルノブイリ事故で移住の目安となった汚染濃度）を想定し、2011年の降下・沈着時点で考えられうる最大の汚染割合から概算したものです。その精度については最終的な公的報告書を待つ必要がありますが、この試算が実際の降下量から何桁もずれることはないはずですが、なお、事故から2年が過ぎて、特に半減期が短い放射性物質は大幅に低下していますので、その点にもご留意下さい。チェルノブイリで汚染濃度が赤になっているのは、福島よりも明らかに汚染が多い核種（放射性物質）です。

表8 福島事故とチェルノブイリ事故による放射性物質汚染状況の比較

核種	物理的半減期	汚染濃度 (Bq/m <sup>2</sup> )		壊変方式
		チェルノブイリ事故	福島原発事故	
I-131	8日	3,800,000	3,200,000	β (γ)
Cs-134	2.1年	102,000	170,000	β (γ)
Cs-136	13日	74,000	24,000	β (γ)
Cs-137	30年	185,000	185,000	β (γ)
Sr-89	50日	250,000	200 (～500)	β→β (γ) :Y-89
Sr-90	28.2年	20,000	75 (～150)	β
Te-129m	33日	520,000	12,000 (～500,000)	β, IT (γ)
Pu-238	87.7年	33	なし (～0.84)	α
Pu-239 + Pu-240	6564年	66	なし (～10)	α
Pu-241 (Am-241)	14.3年	6,200	なし	β (→α)
Ag-110m	250日	不明	690	β, IT (γ)
Cm-244	18.1年	900	なし	α
Ru-103	39日	360,000	微量 (?)	β (γ)
Ru-106	373日	159,000	?	β
Ba-140	12.7年	526,000	微量 (?)	β (γ)

同じ濃度のセシウム-137 (185kBq/m<sup>2</sup>) で汚染された土壌における他の放射性物質の汚染状況比較 (公表データに基づく試算)

### 試算に用いたデータ根拠について

チェルノブイリ：国連科学委員会 (UNSCEAR) 報告書 (2008年) に示された放出割合をそのまま使用しております。実際のチェルノブイリでは、事故の進行状況と風向きとの関係で飛散方向によって濃度比が変わっていますから、平均的な割合とお考え下さい。

福島県：浪江町周辺の土壌分析結果 (文部科学省 2011年3月29日採取分) および文部科学省の報告書 2012年3月13日付 (6月15日修正) の「最高値が検出された箇所での濃度」に基づいて算出しています。そのため、セシウム-137 に対する割合は高めの評価になっています。また、プルトニウム (Pu238、Pu239+Pu240) は、多くの場所で原発事故由来は不検出ですが、ここでは検出された地点の値を使っております (2012年8月21日の文科省の結果公表を受けて修正)。「～」の数値は検出された試料の最大値の場合です。

### 第3章 市民と研究者の座談会から

今回の経験を未来へつなげるために、2014年2月22日、福島県西白河郡西郷村にて、福島第一原発事故を受けて独自にリスクコミュニケーションに関わってきた放射線の生物影響研究者と、福島県内で自立して状況理解と対策に取り組んできた市民代表者との座談会を開催しました。研究室を飛び出した研究者と、市民のリーダーがどう行動したのか、原発事故の当時に何がわからなくて何が問題であったのか、これからのためにできることは何か、をテーマに展開したやりとりを掲載します。

#### 1. 2011年3月の原発事故を受けてどう行動したか

##### (1) 研究室を飛び出した研究者の行動から

**田内 広 (茨城大学) :** 私は福島県の隣の茨城県に住んでいますが、原発事故の映像は震災に伴う停電で見ることができず、ラジオで話を聞いていました。3月15日に大量の放射性物質が茨城県にも来て、まさか水戸でそんなに空間線量率が上がるというのは予想していなかったため、本当に驚きました。この日の朝に大学で実験室の管理に使っている線量計で線量率の上昇に気付き、茨城県のモニタリングをやっている環境放射線監視センターに電話をして、これは本当に上がっているのか？という確認を取りました。実は、朝の段階では茨城県内ではあまり報道されてなかったのです。私自身、子供たちをどうするべきか一瞬迷いましたが、状況をみると決めて、子供たちを学校へ行かせました。

茨城大学の教職員もどうして良いか判らないということで、それなりのアドバイスもしましたし、大学としてどうあるべきかということもいろいろ伝えてきたつもりです。そうこうしているうちに知人を通じてスポーツ団体や生協から、「説明が足りない」、「情報が足りない」という話を聞き、一緒に説明に回ることにしました。生協の方と一緒に回ったことで、生産者と消費者、板挟みになっている生協職員の方など様々な立場の方と対話ができ、私自身、非常に勉強になりました。残念なのは行政の対応です。自治体はそれなりに頑張っていたと思いますが、国のレベルになると全く情報を出せてないし、適切とは思えない対応も沢山あったと思います。国民全体に正確に伝えていくという意識が足りなかったように思います。学術団体が早期に動けなかったというのも個人的には非常に残念に感じていますが、あの状態では私自身や家族が当事者でもあり、とてもそこまで頭が回っていなかったのも事実です。

**松本義久 (東京工業大学) :** 私は原子炉工学研究所にいますので、当初は他の研究者がマスコミ等から要請を受けて解説に出向いているのを見ていました。初期は原発がどうなるかに注目されすぎて、生物影響まで話が行き届いていませんでした。ところが、3月15日に東京でも空間線量率が上昇して、放射線の人体影響についても解説が必要なので出演してほしいという依頼をテレビ朝日から受けました。副所長の承諾のもとに個人として対応を始め、以来、情報の解釈を伝えることに努力してきました。東京でもパニックに近い状況で、放射線の影響そのものよりも、「放射線を恐れるあまりに出てくる影響」というのが非常に大きかったと思います。原発敷地内の線量が報道され、注水も不十分、消防や自衛隊の作業員の被ばくに対する心配が伝えられ、彼らの無事と作業の成功を祈っていました。

被ばくに関する事項をどう伝えるかに苦心しました。100ミリシーベルト未満の影響、その後に出てきた食品の暫定規制値などです。番組スタッフは一般の人達の視点を持っていますから、暫定規制値の放射能を含む食べ物があつたとして、それを食べて内部被ばく線量が100ミリシーベルトになるには、結局膨大な量を食べなければならないというような説明を繰り返していたように思います。

3月17日に南相馬市長と対話し、空間線量率が3マイクロシーベルト毎時だということでトラック運転手が怖がって荷物を運んでくれない(郡山止まりであった)、かといって取りに行くにもガソリンも届かない、「国として運転手の安全レベルを保証して欲しい」という内容を伺って、「科学者個人の立場で保証する」と発言しました。これが「聞かれたことに対して答えるレベル」から「自分から伝えるレベル」への変化でした。これには賛否両論が巻き起こり、大学への苦情も寄せ

られ、大学からテレビ出演をできるだけ控えるようにとも言われました。どういう思いでテレビ出演しているのかを学長に伝え、結局、事前報告という条件付きで出演してもよいということにはなりました。

東京の水道問題（注：3月23日に東京の水道水から基準値超えの放射性ヨウ素が検出されたこと）では、都知事が乳児への摂取停止を勧告し、母親の間に不安が広がりました。もっと適切な説明ができなかったのかと思いつつ、番組で水の説明をした際に、番組の最後に3つの言葉「本当は怖い放射線（原発サイト）」「本当は怖くない放射線（東京など、そのために大事な物を失っている）」「お守り（修復：生命が出会ったあらゆる危機に対応する力、つながり）」を述べました。

このような経験を通じて、原発事故の初期に必要なこと、ある程度時間が経ってから必要なことなど、原発事故からの時間経過に伴って、対策だけでなく一般の方々へ伝えるべきことも変わるということを強く感じました。

**島田義也（放射線医学総合研究所）**：私の所属する放射線医学総合研究所は、現地への緊急被ばく医療チームの派遣、政府・自治体への対応、そして、電話相談の対応をしました。電話対応は3月13日からでした。ところが福島地図が無く、地名を言われても原発との位置関係がわからない。地元の人から「原発はどうなるの？今後どうしたらよいの？」と聞かれても、我々の専門は生物学なので、今後の原発の予測なんてできなくて、現地の線量率とか、飛散した核種とかを十分判らないまま、限られた情報で不十分な説明しかできなかったことを苦々しく思いました。

政府が一丸となっていないように見えまして、研究者・学者の意見も一致していないと感じました。緊急時には一致した科学的なコンセンサスが得られるように、普段からエビデンスを整理して、ある程度ベクトルを合わせて一丸となって対応することが大切だったと感じます。個人個人でなく、学会や学術会議、国際放射線防護委員会（ICRP）の日本人メンバーなどが協力して発信することがあれば、ここまで混乱しなかったと思います。

情報が断片的で、研究所にくる情報も、質問に対する説明としてはデータが足りなかったり、電話対応で提供した後にそれを打ち消す情報、例えば、メルトダウンのようなことが出てきたりして、信頼が一気に崩れてしまったこともありました。また、放射線の関連機関の横の連携も不足していたと思います。

また、関西の某大学の研究所に放射線の健康影響について公開講座の講演を頼まれて、会場へ行ったら街宣デモにあいました。デモについての事前の説明もなかったので面食らってしまいました。その研究所には、説明できる学者が何人もいたので、わざわざ私に講演させるのではなく、学者が自分たちの責任で講演し、市民の方に対応してほしいかと思いました。研究者間の信頼関係を崩すような行動は控えるべきです。

**三谷啓志（東京大学）**：私は千葉県柏市にあるキャンパスでメダカを用いた放射線生物学を研究しながら、放射線取扱主任者としても業務をこなしていました。そのおかげで以前から学内の関係者のつながりもありました。地震に続いてのキャンパス停電に対応し、さらに学生の安否確認にあたりました。岩手県大槌町の東大施設（大気海洋研究所・国際沿岸海洋研究センター）が地震で壊滅的な打撃を受け、その学生をどう受け入れるかとか、卒業式や入学式をどうするか、さらには授業開始時期など、会議で延々と議論をやっていました。14日に、帰宅したところに、大学から「放射性同位元素実験室から出られない」との連絡が来ました。室外からの放射線のために、ハンドフットクローズモニタ（汚染検査装置）のアラームが鳴りロックが解除されないというのです。これで柏にも大量の放射性物質が来ていることを認識しました。その後は、キャンパスで空間線量率を測定する活動を始めましたが、21日に線量率の上昇を確認して公開したところ、「柏でそんなはずはない」という問い合わせが殺到しました。当初は、柏キャンパスで放射線漏えい事故があったのではというデマも出回ったほどです。その後は柏市の相談役としても大学で対応しました。6月にはキャンパス内の保育園が飛び抜けて線量率が高いとの通報が来て急行しました。原因は、洒落た建物で雨樋が無く、雨水を集めて滝のように地面に落とす構造だったためでした。雨水の落ちる地表が20マイクロシーベルト毎時を超えていて、すぐに除染をするとともに、母親からの相談に対応しました。集まったのは十数人でしたが、納得いくまで話をした結果、落ち着きを取り戻したように思います。このことは周囲の市民の状況理解にもつながりました。振り返って今、心残りなのは留学生への対応です。留学生の多くが帰国し、退学者も出ていました。原因のひとつは、彼らに

情報が届いてなかったことです。英語で納得いくまで説明するのは難しいし、ホームページで説明情報を出すこともできず、留学生の不安に対応できませんでした。後になって留学生との相談会もやりましたが、初期に対応できなかったことが心残りです。また、将来のために記録をきちんと残すことができたかが心配です。除染した土などを何処へ移動したかの記録が消えつつあるのではないのでしょうか？

今回の対応を見ていて、研究者としていくつかタイプがあると思いました。1つは、断定できないものを発言しない「サイレントマジョリティー」、2つめは、情報発信に務めるのですが、「市民を守りたい」という気持ちが強く先行するタイプ。私個人としては、科学者として、再現性のあるデータや総合的なデータに基づいて、何がわかるのかという説明を科学的にするのが使命だと思っていたのですが、なかなかこの態度は一般市民に通じなかったのが実感です。また、話し手の肩書き、見た目、感情表現によって聴衆の判断が変わるということを感じました。これにどう対処するかが課題だと思います。

**柿沼志津子（放射線医学総合研究所）：**私は、最初の1か月は休み無しで電話相談に対応しました。皆ボランティアで、普段顔をあわせない研究所員が集まって、互いに教え合いながら対応しました。電話を受けてショックだったのは、「放射線がうつる」と思っている人がすごく多かったことで、これはきちんと説明しなくてはと思いました。「うつる」という話では、福島県南相馬市から避難してきた子供が千葉県船橋市内の公園で遊んでいるときに、その子供が福島から来たことが分かる、地元の子供が「放射線がうつる」と逃げていったという事がありました。子供は、放射線について知らないはずで、家庭での大人の間違った理解に基づく会話などから「うつる」と思ったのでしょう。結局、この家族は、福島市へ再び避難したそうです。10年後には、正しい理解が浸透し、このような事が無いように願っています。また、東京の水道で放射性ヨウ素が高く出た時に、小学生くらいの子供からの「自分はこれで死にますか？」という電話に対応しました。その子は昼間から何度もかけていたようで、いろんな対応者の説明にどうしても納得できなかったようです。夜遅くの電話でしたが、かなり長く話しました。ベクレルの数値が大きい数字になる理由とかもじっくり説明しました。その後電話は来なかったのですが、本人が納得したくてかけてきている印象的な電話でした。

**渡邊正己（京都大学）：**今、柿沼先生の言われた「放射線がうつる」ということに関して私も一つ経験しました。2013年に郡山市の小学校で授業をした時に、「放射線を知っていますか？」と尋ねると、ほぼ全員の子供たちが手を挙げて、「バイ菌とかウイルスのようなもの」と答えました。「なぜそう思うのですか？」と聞くと、「うつるから」というのです。明らかに間違っているので、授業の後で先生に聞いてみると、「そんな指導はしていません」との回答でした。しかし、私はちょっと疑っています。やっぱり教育の現場が重要な意味を持つと思います。

**三谷：**「外から帰ったら手を洗いなさい」という説明をしていると、子供たちはウイルスやバイ菌と同じだと受け取ってしまうのかもしれないね。

**柿沼：**パンデミック対策のスーツと除染のタイベックススーツが同じ服装なので、「うつるもの」という誤解も出るのではと思います。いっそのこと、スーツの色を変えるだけでも良いのではないかと思います。「うつるもの」と「付着するもの」の違いをきちんと説明しないと。

**松本(義)：**3月15日にテレビに出た時に、同じ東工大の先生が「放射性物質は花粉に似ている」と説明をしました。確かにこれならウイルスとは違うことがある程度理解できると思いました。ただ、わかりやすく伝えようとして例える中から誤解が生じることもあります。「例え」である以上、絶対違うところもあって、どこが違うかという補足は非常に重要なのかなと思います。根本には科学的に正しい教え方が必要ですね。

**渡邊：**花粉が放射性物質を持ってくるという話もありましたね。

**松本(義)：**僕は花粉症の方が心配ですね（笑）。

**田内：**ベクレルが1キログラムあたりでの表記ということも混乱を生んだ原因の一つだと思います。1キログラムもの花粉が付着したり、そんな量を吸い込んだりしませんから。

**渡 邊**：だから汚染量のベクレルは、「あったか。無かったか。」になってしまうのですよ。それがどれだけの放射線の量にあたるかという説明をほとんどしないから問題が起きるのです。

**宇佐美德子（高エネルギー加速器研究機構）**：私は茨城県つくば市にある研究所で被災しました。実家は宮城で、福島にも親戚が沢山あり、身内のことが心配で落ち着かない時期を経て、ようやく落ち着きかけた時に、放射線影響学会の Q&A 活動を知ってすぐに参加しました。その頃は、研究所の電力制限のため、2週間ほど出勤できない状況が続いていました。友人や親戚は、私が放射線のことをよく知っていると思っているので、メールや電話で相談を受けていました。ただ、皆さんもそうだと思いますが、専門とはいえ、このような事故の経験は初めてのことです。そこで、まずは線量の情報を得ることに注力しました。私の研究所では、比較的早い段階から空間線量率の測定結果をグラフの形でホームページで公表していたので、動向がわかりやすく助かりました。そういう情報を周りの人に伝え、「一時的に上昇した線量の数値情報だけ見て驚かないように」ということを話すようにしました。

最初は情報が少なかった一方で、その後は、垂れ流しの情報がありすぎて人々が情報を選べない、発信者もバラバラという状況が続いたと思います。受け手にとっては、発信者が信頼できるかどうかひとつの判断基準であり、研究者や医者のような社会的に信頼のある方が不用意な情報を出すことにより問題が大きくなった例もあると思います。また、私の研究所には物理系の人が多いせいか、生物の持つ修復能力をきちんと理解できていない研究者の方もいました。我々は生物と放射線の関係を研究していて、生物の持つ力を実感として理解していましたから、それを組織として伝えることができれば良かったように思います。

ちょっと話が変わりますが、私はかつて、帰省する時に福島第一原発近くの国道を車でよく通っていました。「こんなに原発があるのだから、この辺の自治体には、それなりの知識を持った人がいるはず」と思っていたのですが、蓋を開けてみたらそうではなく驚きました。政府のスポークスマンであった官房長官の「直ちに影響が無い」という発言も、彼は内容を理解して発言していると思っていましたが、実は何も理解していないままに発言していたと聞き、また驚きました。そういう人たちに知識を伝えることを、研究者は怠っていたのかなという点が反省として残っています。

**松本英樹（福井大学）**：私は、1号機爆発のニュースで、神奈川にいる家族を心配しました。それで、すぐに両親にはパスポートをとるように連絡しました。「万一」を意識したのです。一方で、地元の福井県内は冷静でした。原発が全国一多いので、ある程度の教育がされていたように思います。きちんと状況を見ている住民がほとんどで、大学への問い合わせもほとんどありませんでした。敦賀の幹線通りにはゲートがあります。避難した住民はすぐには戻さないで関係者だけで対処する体制など、事故を想定した対応がされているのです。

**松本(義)**：福井県が冷静だったのは、地理的に離れていたこともあるのではないのでしょうか？それと地震の揺れも関東・東北の恐怖に拍車を掛けたように思います。福井では原発とずっと付き合ってきたことによる生活の慣れとしての認識もあったのではと思います。実際に、敦賀で話すことがあったのですが、そんなに知識は高くなかったです。

**松本(英)**：私は、福井県の嶺南地方の方から、原子力事故に対する対応は、個人活動としてではなく、地区単位で情報を共有してあたることになっているという趣旨のことを聞きました。事故対応としてやるべきことだけは理解できていたということですね。知識というよりも。

**柿 沼**：福島県では、大熊町、双葉町は原発事故の避難訓練を定期的に行っていました。放医研からもヘリコプターが参加したりして行われていたと思います。一方で、浪江に住んでいた方は、「今回、事故後に勉強したことが、予め自分達に知らされていたら、もうちょっと違う行動が取れたと思う」と言っておられました。だから、私達が、教育者や科学者として、今後どのように行動するかを考える上で、子ども達をどう教育するか？一般の人にどう伝えるか？これらは、私達が考えていかねばならないすごく大切なことだと思います。

**渡 邊**：最近、南相馬で開かれたあるシンポジウムに出席しましたが、そこで、市長が「事故直後には、市から住民に避難の指示はしなかった。市ができたのは、暫くたってから残った人たちへの対応だけだった」ということでした。多くの市民は、自分たちの判断で飯舘方面へ逃げたというこ

とでした。理由は、中央（国や県）からの情報はいくら待ってもこなかったもので、市はどうすればよいのか判断ができなかったというのです。我国に作り上げられていた、「国⇒県⇒地方自治体⇒一般市民」と動くはずの、広域緊急事態に対応するシステムが全く機能しなかったということです。

茨城県東海村で JCO 事故が起きた時も、中央からの指示がほとんど無くて同じ様な状況だったと聞いています。ところが、その事故の反省のもとに設置されたオフサイトセンターも機能しなかった。つまり緊急対応ができてなかった。緊急時の対応については素人だらけだったということが露呈されました。この問題点はきちんと洗い出しておく必要があると思います。

**松本智裕（京都大学）**：実は、僕は、水疱瘡にかかって事故の前後 1 週間ほど出勤停止になっていて、大学での最初の対応は 3 月末でした。マスコミから食品汚染に関する問い合わせの電話があって、放医研に聞いたらどうですかと言ったのですが、「先方は忙しくてインタビューができない」といわれ、関東エリアが大変なことになっているのを把握しました。その後、留学生の間に帰国・退学の動きが出てきて、関西エリアの留学生を集めて 3 回ほど説明会を開催しました。ヨーロッパの人は、原発事故というとチェルノブイリのイメージを抱いています。また、彼らは牛肉・ミルクの摂取が多いので、「今の日本の基準は外国人を考えていない」との発言がありました。その時は、海外の基準を知らなくて反論できなかったのですが、この段階で欧米よりも厳しい基準だったのですよね。その時に勉強不足だった自分を悔しく思います。また、4 月初めに東京で講演する機会がありました。プログラムは原発事故前にアナウンスされていたもので、そこに人体影響を入れるかどうか迷った挙げ句、研究の話だけにしました。そうしたら聴衆の方たちは意外に冷静かつ論理的に理解していたのです。そこに来た人は知的好奇心の強い人たちですから、「とにかく大変だ」という思いに縛られていた前述の留学生とは対照的です。情報を受け取る側の違いを痛感しました。

**鈴木啓司（長崎大学）**：長崎大学では、震災発生後、翌 3 月 12 日に大学病院の緊急医療チーム（DMAT）を出動させました。さらに 13 日には、水産学部の練習船「長崎丸」を派遣することが提案され、翌 14 日には、被災地に向けて出港しました。この時、放射線の専門家として、派遣チームに向けてのレクチャーをするよう依頼があり、急ぎ準備をしたのを今でも昨日のように覚えています。結局自分は派遣チームからは外れたのですが、緊急時の対応は、普段からの備え（心構え）がないと到底できないという感を強く持ちました。

その後は、時間を問わず掛かってくる電話対応に苦慮しました。既に、教室主任は福島に派遣されていて、大学にかかってくる電話の大半が私にまわってきました。普段、研究者相手に議論している私にとっては、相手の言い分を理解することでさえ、とてつもなく長い時間がかかったように思えました。しかも、原子炉がどうなるかなどの専門外の質問に対して、「知らない」ということの難しさや、放射線の影響を問われた時に「わからないと言う」ことへの申し訳なさは、今後ずっと忘れることはありません。

## （２）状況に正面から向き合った市民の行動から

**七海仁一（郡山市民）**：私は地元の郡山市にいて、食べ物やガソリンが無い一方、家は大丈夫で電気も通っていたので、ニュースをつけっぱなしで毎日見ていました。爆発の映像もフィクションを見ているようでした。インターネットを使って放射性物質やその動き、チェルノブイリでの事例などを夜も寝ないで調べまくりました。

3 月 14 日、3 号機が爆発した夜、まだ放射性物質はあまり来ていなかったと思いますが、親戚の子供をどうするかで親族会議を開き、小さい子供たちを私が足利市の親戚まで送ることにしました。ガソリンが無かったので、足利市がぎりぎりだろうということです。何とかガソリンを調達し、往復 10 時間かけ、子供 12 人とコメ、おむつ、飲料水、布団など、車に積んで親戚にお願いしてきました。そうしたら翌 15 日から放射線量率が上昇し、「間に合った」と思いました。このような行動をとった理由は、野生の勘です（笑）。子供たちを守れて良かったと思えました。

15 日は雨が降っていて、放射性物質が雨水と一緒に降下するという情報をネットで見つけ、ネットで線量計を探し、通常の 5 倍位の価格でしたが購入しました。線量計を見て本当に数字があがっていることを実感しました。それを使っていろいろなところを測りまくり、雨によって線量分布が変わることに気付きました。雨に当たらなければ線量は低いこと、外靴で入っても玄関の線量は

高くないことから、衣類の汚染は大したことがない、つまり放射性物質は空中を飛んでいなくて雨で落ちただけだと感じました。そこで、地表面に落ちたものをどうにかしようと、ブラシで洗ってみたり土を削ってみたりいろいろ実験をして、表土除去に思い至り、郡山市長に提案しました。最初に表土除去をしたのは郡山市だったのですが、それは私の提案がきっかけでした。自分たちの避難は最初から考えていませんでした。小さい子供たちは遠くへ移動しましたし、地元を守りたいという気持ちが強かったからです。某科学者のブログには翻弄されましたが、他の情報から、国や県などの公式情報には大嘘はないだろうと判断し、その説明を信用することにしました。それで、1ミリシーベルトの意味を自分で調べ、1ミリシーベルトとは、放射性物質を取り扱う工場や病院で漏れても良い限度であることと理解しました。だから1ミリシーベルトを超えたからといっても、排気ガスなどを多少吸ったのと同じで、ずっと吸い続けなければ人体に影響は無いのかなというふうに理解し、そんな情報をメールマガジン（会員約100人）に毎日流しました。換気扇を切るとか、エアコンは外気が入らなければ大丈夫といった情報です。こういった情報は知り合いには喜ばれました。自分で理解した分、内容がぶれるマスコミとは違う一貫した発信ができたからだと思います。

**渡 邊**：私が感心するのは、科学者でもきちんと科学的事実を論理的に組み立てて発信できない人が多くいたのに、放射線という意味では一般人の七海さんが自分で判断し行動をされた点です。除染を担当している業者でも、線量計の針が振れるのを見て、いまま原発事故現場から放射性物質が飛散してきていると住民に説明する、線量率の意味が理解できていないなどの例もあるのに、七海さんがやられたようなことは本当に素晴らしいと思います。

**宇佐美**：七海さんのように論理的に考えて行動できる市民の方がもっといてくれればと思います。情報は「情報」でしかなく、それを集めて今の状況を考えるということが大事なのかなと思います。

**柿 沼**：七海さんのメールマガジンは、受け手が顔見知りであることも重要なファクターだと思います。お互いに知っている人同士の情報がすごく大切だと、今改めて思いました。

**馬目与市（伊達市民）**：福島県伊達市に住んでいます。結局大それた行動はできてない気がしますし、何が良かったかは未だにわからないのですが、とにかくできることをやっていたと思います。震災時には県外へ出張中で、何とかレンタカーを調達して、震災翌日（3/12）の夜に福島に戻ることが出来ました。その途中に原発事故をラジオで聞き、急いで車の窓を閉めた記憶があります。

まずは、家族の生活を優先しました。電気も水もなく震災2日後（3/13）には近くの川で水を汲みました。また、中学校のPTA会長をしておりましたので学校に行きました。近くの病院の患者さんたちが学校の体育館へ避難しておりました。幸い先生方も無事でした。翌週（3/14）からは会社の立て直しに取り組みしましたが、社員食堂の運営も滞り、食料不足からしばらく休業することとなりました。水曜日（3/16）に会社の線量計で線量の上昇を確認しましたが、市民の多くの方はその情報もないままで水汲みやスーパーに並んでいました。金曜日（3/18）に娘の高校受験の発表があり、線量が高いとわかりつつも、発表を見て制服を買うために外出して外に並びました。この時は「みんな放射性物質を吸っているのだろうな」と思っていました。

その後、春休みの子供たちを大阪の親戚に送ることにしました。ガソリンをかき集めて車で羽田へ連れて行きました。この道中のサービスエリアでは何となくまわりの車が「福島ナンバー」から離れているような気配を感じました。

4月になって伊達市より線量が公表されました。安全か危険か良くわからない中で、みんな通学を開始しました。それで、何かできることを考え、まわりの学校のPTA会長と一緒に市長を訪問し、表土除去とエアコン設置をお願いしました。「学校を安全に」をモットーにPTAでも除染活動を行い、その後、町内会でも対応しました。

それから、会社の同僚の線量計を借り、地域の線量を測定しマップを作成しました。ただ、危険なのかどうなのか、数値の意味は理解できないまま情報を発信していたのです。その後にQ&Aメンバーに講演会に来てもらうことになって少しずつ理解が進みました。でも、本当の意味を理解している市民は今でも少ないと思います。

**島 田**：伊達市には早くに研究者が入っていったと思うのですが、それは対応にどう影響したのでしょうか？

**馬 目**：そういう人たちが入ってきても市民レベルには届いていません。市長さんの知識にはなっていたと思います。Q&A 相談会のようなものを伊達市に提案したのですが、結局、市の動きはなかったです。

**松本(義)**：放射能汚染マップを作ったということですが、配布は校長の判断なども必要ではないでしょうか？

**馬 目**：はい。校長も積極的に同意しました。学校で印刷して配布しました。新聞に川の線量が高いという記事が出て、通学路でもありますので測ってみたりしました。とにかく通学路を重点的に測ったのです。線量計がなかなか手に入らなかったため、測ったのはちょっと日が経ってからでしたが。

**島 田**：一人で測られたのですか？

**馬 目**：はい。周囲からはあやしい目で見られました。

**渡 邊**：馬目さんの町内では、早くから独自で除染を始められましたよね。除染の鉄則は、そのまま放置しないということですから、自分達が勉強し、判断して、住民の力で実施されたのは感心です。

**島 田**：いわき市でも、郡山での例を紹介したうえで、「行政の指示がないのなら、除染を自分たちでやってはどうか」と提案したら、お父さんたちが立ち上がって行動した例があります。

**渡 邊**：私が到達した結論は、科学者は科学的事実を淡々と伝えることに徹するべきだということです。一方で、行政判断は常に科学的根拠でなされるわけではありませんから、行政に科学専門官を置き、それをわかりやすく伝える体制が必要です。今回は科学専門官にあたる人たちがほとんど発信できていませんでした。規制に関わる行政官と、高所から判断する立場の科学者が重複していたことも機能不全の原因でしょう。結局、国からの責任ある発言は無く、涙の辞任とか、「審議会は出来レース」発言とか、市民に不信感を持たれるゆがんだ発信へつながったのではないかと思います。

**三 谷**：福島で感じたのは、行政への強い不信感です。「行政は嘘しか言わない」という前提で話を聞く人が多いように感じました。

**渡 邊**：いまの福島の住民は、国を全く相手にしていないという空気を強く感じます。そこで、市民の直接の相手は身近の市とか県ということになりますが、その担当者へ一生懸命質問しても、「たらい回し」にされ、部署によって全く違った答えが返ってきて、どうしたらいいか判らなくなってしまっているようです。これがまた不安と不満につながっているようです。

**松本(義)**：先ほど留学生の話が出ましたが、国際的な情報が欠けていたのは事実で問題だと思います。私は、3月17日に外資系企業から説明依頼があり引き受けました。ただ、生物影響のことはうまく話せたのですが、原発自体の内容になると説明できなくて苦労しました。

**渡 邊**：それは国の科学専門官がやることでしょう。誰が責任を持つのが曖昧なままだったのです。我々の Q&A ホームページでも、知り合いに無理に頼んで中国語バージョンは出しましたが、英語やフランス語はできませんでした。ボランティアで参加してくれた大阪大学外国語学部の学生さんは頑張ってくれましたが、結局、放射線に関して基礎知識のある翻訳者が居なくて、毎日刻々と変わる状況変化に対応できませんでした。

**松本(義)**：最初に英語（外国語）情報の蓄えが必要だったと思います。

**松本(英)**：政府の危機管理に外国語発信が欠けていましたね。これは絶対あるべきだと思います。

**渡 邊**：当初、情報発信は文科省に任されていたのではないのでしょうか。事故の直後、文科省からだされていた情報の間違いを指摘するとともに情報の出し方についての意見を持って担当部署を尋ねたことがありましたが、ソファで知り合いの研究者がぐったりしていました。事故後から不眠不休で対応していたということでした。その後、「こういうことは個人でやることではない」と何度も言ったのですが、システムはできていませんね。

## 2. 事故対応：科学として何が問題だったか

**渡 邊**：端的に言うと、日本では放射線に関する教育システムがどんどん消えていったことが今回の混乱の最大の原因ということです。私は 20 年以上前から低線量放射線影響の教育と研究の重要性を訴え続けてきましたが、今回の事故でそのことを再認識しました。私が長崎大に移ったのは、長崎か広島ならそれができると思ったからです。しかし、結局うまくいきませんでした。大学の教授は理想に燃えて何かやるのかといえば、決してそうではないことを知りました。それで、京都大学ならそれができたらと思うて移ったのですが、福島原発事故後に活動しようとしたら研究所からストップがかかるような状況でした。

震災の起こった 3 月 11 日は私の誕生日で、地震と津波で原子炉が無事であるとは思えず、不安に思って原子力安全委員会の委員をしている先生に電話しましたが、どなたにも繋がりませんでした。そうこうしているうちに爆発事故が起きたのです。それで東京に出向いて委員に会い、空間線量測定はどうなっているのですかとお聞きしたのですが、線量については「どこかが測っている」との答えでした。こうした事故時には、事故直後の線量測定が極めて重要なので、メルトダウンしていれば、測定班を組織してでも線量をしっかり定点で計らないといけないのではないかという思いから聞いたのです。その足で文科省にいったのですが、その時、国は、測定値をただ流し、先ほど話したとおり知り合いの研究者がぐったりしている状況でした。それでまた原子力安全委員会の委員に、各分会の専門家を全員集めて対応するべきと提案したのですが、「呼ぶお金がないのでできない」との返答でした。もう危機感が全くない。霞ヶ関はこんな状態でした。一方、日本放射線影響学会も、会長に連絡がつかない学会幹事も動けない状態でしたから、学会の有志で見切り発車したのが Q&A 活動です。事故から 1 週間は毎日数百通の質問メールがきていました（通算で 7,500 通）。この時、考えたことは、学会にはいろんな考えの人がいるべきであり、一枚岩にはなれないということです。結果的に、有志が動いて学会がバックアップするという形になったので、この動きは良かったと思います。当初は、別の学会の先生にも加わってもらって一緒に始めたのですが、その学会の幹部からクレームがついて駄目になりました。未だにその理由と、誰が言ったのかはわからないのですが。

そうこうしているうちに、いろいろな問い合わせが来ました。福島県の教育委員会からは、新学期が始まるにあたって、「国からの指示が何もなし。どうすればよいか」との質問があり、私の意見を述べた上で、「具体的な指示は文科省からもらうべきでしょう。期限を切って返事をもらいなさい。」と回答しました。しかし、結局、学期が始まる日（4 月 6 日だったと思います）までに「文科省から返事は来ませんでした」と聞いています。もっと切なかったのは、横浜の消防の人からの質問です。消防隊長の涙を見た隊員からの問い合わせでした。「私は、あの作業に携わっていたのですが死ぬのですか？」。それから自衛隊員の奥さんから、「今日、帰ってくる主人を家に入れて大丈夫だろうか？」という質問。勿論、どちらも「全く問題はありませぬよ」と答えたのですが、現場で大変な作業をする人達に、正確な情報を与えていない可能性が高いことを強く感じました。

さらには、最近、政府幹部の告白本をいくつか読みましたが、内容は自分の保身ばかりという感じがします。やるべきリーダーがやるべき活動をしなかったのです。

また、科学者が数値の説明をするのはよいのですが、その行政的な理由は、科学報道官が説明するべきです。しかし、日本にはそのシステムはありませんでした。今もありません。我が国に、緊急時のシステムをきちんと構築することが必要というのが私の一番の思いです。

**松本(義)**：政府の説明不足には本当に苦労しました。食品の暫定基準値も、元になる資料が見つかりませんでした。保健物理学会誌の総説を探し当てて、ようやく基準値の意味がわかりました。そもそも基準を出しておきながら、根拠の説明が一切ないのは問題です。

**渡 邊**：「年間 20 ミリシーベルト」も ICRP 勧告に沿って決めており、緊急時にその数値を選んだ理屈があるわけで、それをきちんと説明していれば理解してもらえたはずですが。

**松本(義)**：会見の場に科学的な専門官はいないし、当時の官房長官の枝野さんも腰が引けていましたね。政府の危機管理能力不足を露呈していました。典型的なのは「ただちに影響はない」の一語。放射線の人体影響についての専門知識がないから、正直将来のことは分からないので、自信を持ってはっきりと言いきれない。これを見事に国民に見透かされていたのではないのでしょうか。

**渡 邊**：官房の記者会見に専門家がいますよ。いわゆる科学専門官です。科学的根拠がわからないまま、政治家が怖がって記者会見するようではだめでしょう。

**松本(義)**：根拠を説明しないのは逃げています。ただ数値を伝えることが正義だと思っていたのでは？今回は複合災害で、リスク要因は放射線だけではなかったと思います。でも、その中で放射線だけが定量的である意味わかりやすかったのだと思います。しかし、数値の意味や健康影響との関係が分からないまま、いつもより高い、別の場所より高い、という事実だけが独り歩きしてしまいました。

**渡 邊**：例えば、我が国の法的な防護体系は ICRP の勧告を受けて作られます。ここで ICRP メンバーが国の法律策定にも関わると、自分で作った基準を自分で容認する形になり、妥当性を客観的に判断できません。人材がいらないなら仕方ないが、放射線防護も放射線影響学も人材がたくさん居るわけでしょう。全部同じ人が勤めるのでは、危機管理につながらない。

さらに言えば、今回の事故は、国の専門家をすぐに集めるほどの危機だったはずですよ。ですから、自腹でも原子力安全委員会の部会員を呼び集める必要があったと思います。おそらく多くの委員は首を洗って待っていたはずですよ。招集する立場にいる人達は緊急事態とっておられなかったのでしょうか？

それに、確かに、今回、原子力安全委員会は、期待される働きをできなかったことは、明々白々ですが、なぜ機能しなかったのかを検証せずに、早々と原子力安全委員会を廃止したのか理解できません。その後、いままで原子力規制委員会が立ち上がりましたが、放射線の人体影響に関して原子力安全委員会がおこなっていた様々な活動はどこがやっているのでしょうか？何故廃止にしなくてはいけないのかを検証をしないままに組織を変えても、まともな改善にはならないのではと思います。

**島 田**：必要なのは、科学審議官みたいな人、ヘッドクォーターになるような人ですけど、そうした人は、我が国にいません。もし、今後同じようなことが起きた時にどういう組織が動くべきなのか、未だはつきりしていません。それを担うのは、学会でしょうか？規制庁でしょうか？

**渡 邊**：これを担うのは、恐らく学会ではないと思います。学会は、自由な科学者の集まる場で、偏った活動をするべきでないです。ある方向でまとめるとすれば、学術会議（日本学術会議）なりでしょう。社会に向けた科学的な発言は学術会議がすべきでありながら、それが動いていない。

**島 田**：でもどこかがヘッドクォーターになるべきでは？

**渡 邊**：そうです。しかし、事故後三年を経た今になっても何もできてないということは、そういう組織を作る動きが全く無いということです。さらに数年して、そのうち忘れ去られるのが怖いです。

**三 谷**：今回は原発事故ですが、将来インフルエンザのパンデミックみたいなことが起きても、同じ状況になる可能性が十分ありえますね。

**島 田**：BSE 問題の時にも、目視検査をした女性獣医師が自殺するということがありました。当時も危機管理組織ははつきりしていなかったという印象です。その後、食品安全委員会ができましたが、当時はなかったために担当の職員が個人の責任を感じてしまったのではないかと思います。なにか不条理を感じます。

当時、獣医学会は BSE を市民やマスコミに向けて説明するような動きをしたのでしょうか。結局、全頭検査ということになりましたが、それがほんとに良かったのか。今回の混乱も BSE の時と同じような状況です。次、もし放射線関連で事故が起きた時に、勇気を持って組織として行動することが必要です。やなせたかしさんの言葉を借りれば、「正義を行うのは傷つく」のです。ですから、覚悟を持った組織ができないかと思うのです。私は、やはり学術団体に期待したいですね。

**渡 邊**：今回の経験を振り返ってみると、学会を牽引されてきた方でも一人一人考え方は違って、Q&A 活動で科学的な説明をするということであっても、実施の是非に関する意見は千差万別でした。ただ、一人一人の意見を聞いていると、それぞれにもっともなのです。科学的な活動というもの、研究者の独創性に裏打ちされていますので、それぞれの考えは、たとえ自分の考えと違

ても尊重せねばなりません。個人の科学的考え方を尊重することが、学会存在の最大の根拠ですが、その延長線上でおこなう社会的な活動は、必ずしも、科学的側面だけではありませんからね。従って、学会メンバー（専門家）のボランティア有志が動くのが理想でしょう。その活動が、どの程度実を結ぶかは、私達が政府、業界そして一般人のどの集団からも完全に独立していながら、どの集団にも、尊敬を持って信頼されるかということに尽きるのではないのでしょうか？

**松本(義)：**学会で声明を出すべきという話がありましたが、自分もそれは違うと思いました。理由は、100 ミリシーベルトという線量がシンボリックな数値としてあるのですが、それ以下でもがんが起きていることを示す結果があったり、それを追試した人がいたりするからです。学会として出す声明は、研究の方向を限定してしまう形になるのではないのでしょうか？ただ、こうした議論がされていて、「大多数の研究者がこうした考え方をしている」とか、「こうした発表があるが、それについてこうした指摘がある」といったように情報を出していくのはいいのだと思います。

**島田：**ある医療系の学会が「50 ミリシーベルトの内部被ばくは胎児に自然のリスクを越えるような影響は与えない」という声明をホームページに出した後、しばらくして消したときいたことがあります。おそらく外からの大きな声に対応しきれなかったのかもしれませんが、でもこれでは、声明が間違っていたという誤解を与えることとなります。研究者も医者も一般人から批判されることに慣れてないのです。でも学会がぶれたら科学的にコンセンサスのある事実への信頼が無くなってしまふ。

**渡邊：**ICRP 委員が行政に入っているのは問題でしょう。

**松本(英)：**私もそう思います。監査役が行政にいるようなものです。

**渡邊：**でも、日本ではこういうのって多いですよ。言い換えれば、安全を監督する側と監督される側が同じ委員なのです。そして、それが不都合なことであることにリスク管理担当者が気がついていないのです。なぜそうした構造になっているかと聞いてみると、「国際的な勧告を出す作業をした科学者が、その内容を一番良く知っているから」という返事が戻ってきます。科学という意味では、良く知っている専門家をご意見番に置けばいいのですが、リスクには、科学的事実以外に、実にたくさんのファクターが絡んでいますから、そうしたものを一括して処理できる能力が要求されます。むしろそちらの能力の方が重要かもしれません。

**島田：**そうですね。今回の福島原発事故も、単に放射線のことだけではなく、社会的なこと、工学的なこと、経済的なことなどがいろいろ含まれた複合的な出来事ですから、リーダーシップをとる組織は、やはり学術会議がいいかもしれないですね。

**渡邊：**独立性という意味では、ビキニの第五福竜丸事件を受けて学術会議が提言を出した動きがあります。この時のように、学術会議が「毅然」と動くべきです。自分で活動するという独立した気持ちが無いとだめですね。科学者は、研究をするのが第一の役目であることは確かです。しかし、国の危機に際して、その危機に正面から向き合うことも科学者の責任であると思います。科学者でも、最初のうちは、いい加減な情報を流している人がおられましたね。私は、その人数はそんなに多くはないと思います。

**宇佐美：**でもそのことが大きな影響を生んでしまったのではないのでしょうか。

**柿沼：**市民の皆さんが、ほんの少しだけ放射線の基本を知っていただけでずいぶん違ったはずだと思います。「放射線はうつらない」だけでも知ってくれていれば、もっと落ち着いて行動ができたのではと思います。

**島田：**疫学調査では地域差が報告されています。例えば、100 ミリシーベルトの被ばくで生涯の発がん死亡率が 0.5%増えるとしても、一番がん死亡率の高い青森県と一番低い長野県の間で年間の死亡率ですが 20%近い差があります。100 ミリシーベルトの発がんリスクが問題にされているけれども、どこに住むか、どんな生活習慣なのかによって自然発がん率が 20%近くも大きく変動することを十分に理解したうえで、判断するべきでしょうね。こうしたことを理解した上で、「100 ミリシーベルトで生涯の発がん死亡率が 0.5%の増加」の大きさを捉えることが必要だと思います。

**渡 邊：**1 ミリシーベルト（平常時の年間の追加被ばく限度）の説明も不十分でした。1 ミリシーベルトが危険と安全の境という誤解がある。そのため、「ゼロ放射線」という思いが益々大きくなってしまっています。それが間違いであることをきちんと説明することが大切でしょう。加えて、政府はいろいろな規制にかかる数値を十分に検討して決定していないので、時間が経つと、数値が変わることもあって国民を混乱させていると思いませんか？例えば、除染に関しても、年 1 ミリシーベルトまで下げますよといいながら、優先的除染対象地域を年 5 ミリシーベルト以上の被ばくが予想される場所としています。なぜかを十分に説明していないので、除染が後回しになる地域の人達から不満が出てきています。このように、まともな説明が無いことが国民の信頼を無くしています。1 ミリシーベルトが安全線量という思いひとつで、除染目標も食品規制値もその数値を達成するように様々な規制を作ってきたのですが、それが、科学的には不可能に近いことを説明しないとけません。

### 3. 情報の発信：何がわからなかったか、何が伝わらなかったか？

**七 海：**私が主催した Q&A 相談会の参加者にアンケートを取ってみました。Q&A 相談会は勉強になったとの意見が多かったのですが、参加者が最初に期待していたことは、現状がどうなのかということで、内心、「安全だ」と言って欲しいということでした。でも、講師からはそんな発言はなかったで、なぜそう言えないのかという疑問が出てきました。それから、放射線の基礎といっても難しくわかりにくい。同じ時間ならば現実的なことにもっと力を注いで欲しいという意見がありました。また、若い人は理解が早く、今では友達に説明している人もいますが、その一方で、最初から受け入れない人は未だにそのまま（知ろうとしないし、理解しないまま）になっているという現実もあります。

**馬 目：**Q&A 相談会に参加してわかりやすかったことは、例えば「バナナ 1 本やビール 1 杯が何ベクレル」といった例えをもとにした比較などです。普段のことを知って、事故の上乗せを考えると理解しやすかったです。一方で理解しにくいのは、出される数値の意味、特に根拠です。その説明を聞けば理解はできます。講演に来る人は意識が高いのでなおさらなのですが、聞かない人はまだ理解できていないのが現状だと思います。

**松本(義)：**来ない人は「得るものがない」と思っているように感じます。来ない人をどうするかが課題だと思いますが。馬目さんは、来てくれない人と何らかの接点をお持ちだと思うのですが、その理由はどんなところにあるのでしょうか？

**馬 目：**震災直後にインプットされた情報を引きずっている人が多いですね。ある意味で、行動が刷込みされてしまっている。

**七 海：**肩書きが「御用学者」につながると、どうせ方向は決まっているということになってしまいます。

**松本(義)：**肩書きがプラスにもマイナスにもなるということですね。

**七 海：**はい。それから、結局、集団で動く人が多いことも影響していると思います。最初から彼らのこだわりがあって、自分たちの方向と違う人の説明はどうしても受け入れられない。結局、方向が合う人だけが集まって、講演会を企画するにしても、そこに来る人はその方向に合う科学者やジャーナリストということになる。決してその考えを変えようとはしないのです。グループのリーダーは外の人たちと一緒にあって、限られたネットワークで情報を選択し、多くの情報を流しています、社会運動が絡むと、なお結束は強固です。一人一人はきちんとしたいい人なのに、的外れの理解を一生懸命勉強して、それで固まっている。ただ、それが影響力を持って広がるかということ、そうでもない。

**田 内：**イデオロギーと科学理解が混同されているんですね。科学者（ネットで御用学者のレッテルを貼られるとなおさら）の話を「聞かずもりはない」と拒否する一方で、何故か講演会には来ていたりするのです。おそらく、イデオロギーと一緒にあって、御用学者は拒否したいが、地元にはとどまりたい、心のどこかで「大丈夫と思いたい」という気持は持っているのではと思いま

す。でも「大丈夫」とか、「大したことはない」という意見は、正面からは決して受け入れられない。だから、私は、こうした人達は、本音と建前が心の中ですごく葛藤しているのだろうなと感じるところがあります。

**松本(義) :** そういった人達が、私達の講演会を聴いて得るものが無いと思う理由は、七海さん、馬目さんの話を整理すると三つぐらいになるのですかね。第一に最初の情報の刷り込みがあってそれから逃れられない。第二に、講演者の肩書きから、「御用学者」いう思い込み。第三に集団としての（非科学的）行動などが大きな要因になっているということですね。ところで、地域では参加しない方への対応はされているのでしょうか。

**馬目 :** 来なかった人にも講演内容をプリントして配ったりしました。PTA として実施させていただいた中学校での勉強会の際には、Q&A 集を作成し保護者全員に配布しました。町内会で実施した時も Q&A 集を作成し回覧しました。集まった人はある程度わかっていると思いますが、本質まで理解するのはなかなか難しいとは思いますが。

**松本(義) :** 科学はなぜ伝わらなかったかというテーマの集まりに参加したのですが、飯館村に復興活動の支援に行き地域住民とちゃぶ台を囲んで説明されていた方が、住民に「もう勉強疲れちゃった」と言われた、と話をされました。飯館村ですから、いろんな専門家が入れ替わり立ち代り来て、その住民の方は最初は関心を持っていろいろ聞きにいられたようですが、立場の違う専門家がそれぞれ違った内容の話をし、不安に寄り添うタイプの話もあれば煽るような話もあるし、最後には何を信じていいのか判らなくなってきた、もう疲れたということのようです。そういうのってやっぱりあるのですか？

**七海 :** いろんな話を聞くから余計に不信感が出る。ありますよね。

**松本(智) :** 安全と言って欲しいと言われても、リスクの話なので断言はできませんよね。講演する側は、リスクコミュニケーションは通常の学会発表や講演と根本的に違うということを強く意識したほうがいいのかと思います。どうでしょうか。

**松本(義) :** それは重要なことだと思います。研究者は学会での発表に慣れていても市民に伝える方法には慣れてない。ただ、いろいろなことをいう人はいますが、大筋ではコンセンサスがあって、違いがあっても小さいことだと思うのです。だから、リスクの話をする時に重要なのは、何と比較するかなんですよ。比較であげた要因のリスクと比較して、いま心配している放射線被ばくのリスクの方が小さいと説明するのです。被ばくを避けようと思ったら、生活スタイルを何か変えないといけないわけですが、それに伴うデメリットのほうが、被ばくによる影響よりも絶対に大きい、と説明しました。

**渡邊 :** この活動を始める前に皆さんで決めたことがありますよね。講演では、「安全とか危険」とは言わないでリスクの概念を伝えるということです。私たちはこの方針を貫いてきたと思っています。放射線や原子力はただでさえ理解できないことが多いので、できるだけやさしく、納得してもらえるまで繰り返すをモットーにしてきました。しかし、残念ながら受け入れられない場合もあります。受け入れてくださらない人達は、「お前等は政府の回し者だろう」とか、「こんなカラー刷の資料を準備できるのは、東電からお金をもらっているからだろう」とか、全く違った土俵で不満をぶつけてこられました。それでも、相手が希望すれば、理解してもらえるまで繰り返してやっていかざるを得ません。住民の1割が正しく理解してくれるようになると、あとは自然にそちらのほうに動いていくと思います。なぜなら、正しいことは長く不変ですが、正しくないことはすぐに底が見えるのが道理ですから。

**松本(義) :** 七海さん、馬目さんはうまく伝わった例ですよ。でも県外避難者を対象とした活動（山形県における勉強会など）では、なぜ伝わらなかったかがわからない。このことこそ私たちが議論すべき反省点かと思います。

**渡邊 :** それは大切です。しかし、そういう地域でも活動を続けてきて、変わりつつあったと思います。いつも同じ情報を出す人（人達）が繰り返し来るとも大切なのではないですか。最初はすごく反論していた方も、何回か続けると私達の話している内容を理解してもらえるようになった例

もあります。講演を聴きにくる人は、私が誰かを知らないうちはやっぱり不安なのですよ。素性が判らないと安心して聞くこともできないでしょう。

**松本(義)：**それは続けて来たことで説明者が信頼されたと言うことですよ。一方で、山形県での避難者を対象とした勉強会への参加者が少ないことは、避難者を世話する人たちのサポートがなかったということではないですか。

**柿 沼：**避難者は、放射線が危険と思って避難している方たちで、これに対して避難先の自治体の方は非常に良くサポートされていると思います。自治体の方は、私たちの放射線の勉強会を紹介すると、「もう危険でないのだから早く帰れ」と言っているように避難者から思われるのが心配なのだと感じました。

**渡 邊：**そうですね。直接、世話しているボランティアの人達の場合は、そういった心配をされても仕方ないですが、行政は毅然として「帰れ」という意味ではないことをきちんと説明して情報提供をやるべきでしょう。公務員、教員そして医師は、社会の緊急事態にあっては、特別の責任を持って仕事を行わねばならないことを自覚しなければいけません。行政が避難者に「帰れ」と言うために勉強会をやるわけではないと、住民にしっかりと伝えて理解してもらわないと駄目だと思うのです。要は、我が国では、公務員に対する心得教育が全くできていないのです。

**松本(義)：**ただ、公務員ひとりひとりでは協力するかどうかを判断できないと思います。

**七 海：**情報の流し方が問題だと思います。紙を配るだけでも情報を出したと言えるし、直接コミュニケーションを取れてない例も多いと思います。

**宇佐美：**情報は出せばよいのではなく、どれだけ届くかが重要でしょう。我々が少人数の会にこだわったのは、レスポンスを求めていたからですよ。大きな会場では本当のところは十分伝わらないのではと思います。

**松本(義)：**数百人の会場では、質問しようと思う人はごく少数の強い思いを持つ方ですよ。結局持っていた疑問を聞けないままに帰る人が多い。

**七 海：**そうです。もやもやしているうちに質問の時間が終わっちゃうんですよ。誰かが難しいことを質問すると、「洗濯物干せますか」程度のことはもう聞けなくなってしまいます。

**三 谷：**国際関係を担当している人に聞いてみると、大規模災害の避難者が地域に戻らない現象は何処でもあるそうです。避難して来た地域が元に戻らない上に、避難者を受け入れている地域にも負担になり、社会の摩擦が問題になるようです。今回も、放射線だけに注目するのではなく、大規模災害後の社会的な要因を理解する必要があると思います。現状を理解すれば解決するということでは無く、付随する社会的な問題も理解しなければなりません。

**渡 邊：**そもそも私達は、放射線の健康影響について理解してもらうことを目指していますが、避難先から帰ってもらうことを目的と考えていません。帰られるかどうかは、地域社会の中で考えることだと思います。田舎から都会へ若い人が流れるという現象は、いま、日本の田舎に共通の問題です。私がいま済んでいる和歌山県の地域は、自治体の平均年齢が 75 歳を越え、高齢化率は、90%を越える限界集落です。なんとか若い人に帰ってきて欲しいと思っているいろいろな活動していますが、そういう話は、今回のような自体と全く別の話として区別する必要があると思います。

**松本(智)：**これから先で問題になるのは、原発周辺でがんの例が出るとどうするのかですよ。確率論だから、放射線が原因ではないと断言できないわけです。

**渡 邊：**平成 25 年に発効した原爆被ばく者救済法では、被ばく時に爆心より 3.5 キロメートル以内（推定被ばく量 1 ミリシーベルト）にいた人を救済の対象にするとされています。だから我々はそれに突っ込むのではなく、健診を推奨し、被ばくをきちんと測ることで自身を守ることを伝えるしかないです。今でも「信用できないからといって調査をしないのは不利になりますよ」と伝えていきます。「この程度でがんになることを心配しないでもいいですというなら、私のがんになったら責任を取ってくれるか？」と言われますが、それはできませんよ。

**松本(義) :** 原発の従事者で5ミリシーベルトを被ばくした方の白血病が労災になった例がありますよね。

**渡 邊 :** それは労災として補償するかどうかの判断でしょう。原爆被爆者でも同じであり、科学とは別の問題です。私も、弱者救済としての司法判断は、それなりに評価します。ところが、放射線はどんな量でも絶対に危ないと思い込んでいる裁判官も多く、放射線の影響を科学的に理解しないで判断されている例も多いと思います。科学的見地からすると「放射線の影響があるとはいえない」とするのがいいのではないのでしょうか。

**松本(義) :** 私たちが専門外の社会科学にどう対応するかを明確にしておくべきでは。科学的に答えられる範囲外であることをきちんと伝え、その後は人と人の信頼関係で何とかするのでしょうか。

**三 谷 :** 私たちは少人数の勉強会であればこそ、それを意識して伝えようとしてきました。大きな講演会になると、人工放射線は危険、内部被ばくは危険、線量限界を超えると危険、と言ったような情報について、いまだ質問されてきますが、平行線のまま終わってしまいます。

**渡 邊 :** それは原子力に関する基礎教育をきちんとしないと解決しない。今の文科省が提案している放射線教育は、そうした基礎教育になっていないと思います。

**松本(英) :** 最初の副読本だって、原発の宣伝になっていましたよね。

**柿 沼 :** 理科の授業でなくても、影響のことをきちんと伝える学校教育を目指すことが必要だと思います。「口をふさぐと息ができなくなるから、目に見えないけど空気があることに気がつく」というような理解を、放射線影響にも広げられればと思います。先日、ある大学の養護教員養成課程の大学一年生に講義をしました。彼らは真剣に話を聞いてくれました。すべてが理解できなくても、一度でも聞いたことがあれば、彼らが将来働くであろう、それぞれの学校で情報を広げてくれることを期待しています。また、別の大学の大学院生にはリスコミの話をしました。放射線のことを勉強している学生でしたが、放射線のリスクコミュニケーションの話は初めて聞く学生も結構いました。やはり、チャンスを見つけて学校で教育することが大切だと思いました。

**松本(智) :** 今のような事態を乗り越えるためには、基礎教育が重要だというのは、ほとんど皆さんの共通した意見じゃないですか。でも日本では、放射線の教育はしない方が良いという雰囲気もあるのではないかと思います。教育委員会に行っても、なかなか動かない。こうした状況を変えないといま話題になっている基礎教育なんてできないですよ。

**柿 沼 :** そうですね。福島と千葉の小学生のサイエンスキャンプを企画して、募集案内を千葉のいくつかの小学校の校長先生にお願いしたのですが、先生によって積極的な方もいましたが、そうでは無い方もいることが分かりました。おそらく、学校内に福島から避難してきた子どもがいて気遣っているのかも知れませんが、先生自身の放射線の理解度の問題もあるかも知れません。少し予想外だったので、この様なことを打開するためにも、科学的理解が必要ですね。

**宇佐美 :** 福島で作られた原子力と放射線に関する副読本は、残念ながら科学的とは言えない内容でした。ですから、放射線やその生物影響に関することは、私達、科学者がしっかりと正確に科学として伝えるようにしないといけないと思います。私は、特に、子どもに対する教育現場では、放射線を科学として教えたいと思っています。

**松本(義) :** 七海さんは私たちの勉強会を何回も聞いていただいています。私たちの話の中で、この話題はみんなわかっていないという点はあるですか？

**七 海 :** やはり放射線の基礎のところでしょうか。放射線の種類や透過力なんて、今の状況に関係ないんですよね。自分のまわりに無ければ無い。原子核の話になるとイメージできないです。

**渡 邊 :** でも、その話をする中で、我々のまわりに理解しがたいものがあることが理解できるのではないですか。そうした基礎をしっかりと理解しておかないと、何かちょっと判らないことが生ずると、全体が判らなくなって不安になるのです。だから、教育で一番重要なのは、放射線が危険だとか危険でないということではなくて、放射線とはなにか？を教えることであって、これをしっか

り理解して、論理的に組み立てれば、あとは自ずと判るものなのです。日本人は、そのくらいの能力を持った民族だと思います。

**七 海**：私はきっちりやるべきだと思うし、わかって良かったという人もいます。でも難しいことに変わらないのです。単位の問題も関係が繋がらない。

除染を始めた最初の頃、その場所に近づけて CPM (Count per minute : 1 分間あたりの計数率) を測ってそれで判断する方が早いことに気付きました。この方が除染で劇的に数値が下がってやり甲斐があるんです。高さ 1m で測ってがっかりするのとずいぶん違います。でも行政担当者も除染業者も、そのことを理解してもらおうのが難しいんです。敷地が狭い家では、一生懸命除染しても 2 - 3 割しか下がってないのですが、土の表面を測ってみれば 1/10 になっているんです。だから、GM 測定器を直接おばちゃんとかに見せて、「こんなに下がっているんだよ、すごいでしょ」と言うと納得してくれます。それでも、まだちょっと放射線量が高いときは、放射線源を探して、例えば、前の家に植木があるのを見つければ GM 測定器をそちらに向けてメーターが上がって来るのを確認させて、「あそこから放射線が飛んでいてきているのだよ」と説明します。そうすると、「うちは、綺麗になったのだね」と納得してもらっているんですよ。

**松本(義)**：確かにそうなのです。表面汚染って、結局、ベータ線を測っていますから、汚染部に近づけないと検出できないですよ。空間線量は主にガンマ線を測っているから、遠くから来る放射線も測定しているので、除染の程度の評価に大きな違いが出るのです。ところでもう一つ、人体影響の話をする中で、難解なのはリスクの話だと思います。それについてはどうですか？しきい値とかがんリスクとか。

**七 海**：難しいと言うことはないと思いますよ。皆さん何となくわかっています。リスクは図などで示していただいて、比較対象があると結構わかると思います。

**松本(義)**：リスクは確率を含んでいます。でも確率は数学の中でもわかりにくいといわれますが。

**七 海**：放射線があるという現実を受け止めて、他の原因によるリスクが高いと受け止められた人は理解ができる。でも放射線が許せない人は、「何で増えるの、ゼロにしてよ」という結論になる。理屈では恐らくそんな無理だって判っているのですが、そこが許せないという思いから抜け出せないのです。

**島 田**：許せない理由は、例えていえば、ゴミを散らかした加害者が「これくらいは大したことない」と思っているような態度だからだと思います。まず謝って、それからきちんと散らかしたゴミを片付ける努力をみせるべきです。

**宇佐美**：何度か講演会をしてみて、科学的に一番良くわかってくれたのが中高生。大人になると他の知識が邪魔して理解が進まないように思います。でも続ければいつかは理解が進むのではと思います。先は長いですが。

**七 海**：前出のメルマガで、情報発信するネタを探していて電磁波のことを調べたことがあります。携帯電話と脳腫瘍の関係について書かれた論文を調べて、20センチメートル程度より近くではその電磁波が脳に届くことを突きとめて、メルマガで発信しました。そしたら2人の方から、目覚まし代わりに枕元に置いていた携帯を遠ざけたら頭痛が消えたとのコメントが来ました。

**島 田**：電磁波で問題になるのは小児の脳腫瘍です。一方で、電磁波は発がんには関係ないという論文も出ています。ただどちらにしても、危険な物、心配なものを遠ざければ安心できますよね。

**渡 邊**：そうかも知れないけど、ただ遠ざけるのではなく、その理由を科学的なことをきちんと伝えないと、かえって不安を与えるのではないですか？

**島 田**：そうです。相手の話をきちんと受け止めることが大切だと思います。最初の頃は、学生に講義をするように、「教える」というスタンスでやって失敗しました。次に合意形成を目指す方法に変えたのですが、やっぱりうまくいかない場合が多々ある。その後になって、合意は関係なく、事実や考えをコミュニケーションすることにしたのです。少なくとも「事実 (エビデンス) はこうなのです」ということだけでも、伝えようという姿勢を持つことは、大切だと思うのですよね。そ

それをどのように考えるかは、受け手の気持ちを尊重しながらいっしょに考える。

**宇佐美**：健康影響の話に戻りますが、低線量放射線によって「がん」以外の健康影響を気にする方も多かったです。セシウムが原因となって心筋梗塞が起こるのでは、など。否定してもなかなか信じてもらえないことがありました。

**柿 沼**：心筋にカリウムが多いからセシウムも蓄積しやすいという話ですね。

**松本(英)**：でも、カリウム 40 で被ばくしている分がずっと多いでしょう。

**宇佐美**：セシウムとカリウムは人体に対する影響が違うという情報に凝り固まっていて、セシウムを怖がっているのです。

**島 田**：科学的には被ばくで心臓の病気のリスクはあがるのは事実。でも、しきい値があって、0.5 グレイ以上でないと増加しません。研究者なら、論文にあたれば間違っていることがわかりますが、一般の方は、本になっていれば手軽に読めるので、そこに書かれていることを鵜呑みにするのかもしれない。当初は「いい加減な本を信じちゃ駄目です」と言っていたこともありますが、最近は「誰」が書いたかを教えてもらい、その情報（著者の専門性や参考文献）の信憑性を説明するようにしています。

**松本(英)**：情報を限定して、都合の良いところだけを発信している例ってよくありますよね。

**島 田**：科学的に間違っている報道にはクレームを付けるべきです。放置するとさらに蔓延するから。

**三 谷**：でもそれって相当なエネルギーを使いますよね。

**島 田**：はい、特にイデオロギーが入ったりすると科学の議論ができませんね。そういう人は、わざわざ普通では入手困難な雑誌から論文を無理やり引っ張ってきたりしますから。

**宇佐美**：でも、きちんとした著名な論文を引用しておいて、その内容を曲げて「危ない」という話に持っていつている例もありますよ。

**渡 邊**：そういうのは、我々、専門家が検証して行かなければならないでしょう。

**島 田**：ネットに流れる情報の正確性を調べた研究があります。がんに関する情報です。日本の Google では正しい情報と思われるのが 40%なのに対し、アメリカは第3者のチェックが入って 80%ということでした。でも我々にはどれが正しくて正しくないのかそのような情報は伝わっていません。正確な情報を発信しているサイトなのかをきちんと見ないまま、検索サイトで上位に並ぶ情報（多くはスポンサー付き）を鵜呑みにしてしまう。

**松本(英)**：確かにアメリカの Google では論文の PDF が並んでいきますね。

**渡 邊**：我々はきちんとした論文に基づいて話をするように務めてきました。内容を曲げた情報にエネルギーを割くことはできません。福島若狭の若い医師が、実に懸命になって放射線の影響について講演活動をし、住民が発する疑問に対して明快に説明しています。CT の被ばく量を例に挙げ、「何ミリシーベルト多くなったというけれど、腹部の CT 検査を 1 回やったら、12 ミリシーベルトくらい被ばくしちゃうわけだよ。頭だと 7~8 ミリシーベルトなのだよ。それを知って、放射線が危ないと思って検査しないでおくか、検査して生き残るかどちらがいい？」と聞いてしまう。理解しやすいと思っているのかもしれないのですが、決して我々が使う例えではありません。でも彼は、地元の人とかなりしっかりと信頼関係を築いているから、こんなことができるのだと思います。

## 4. 未来のためにできること

### (1) 市民の立場から

**馬 目：**知識がたりなくて困っていた時に信頼できる人たちを見つけられたと思っています。これからは研究者と住民をつなげる役割ができたらと思っています。

**七 海：**身の回りには放射性セシウムがまだあるので除染にも取り組み、その後もその存在を確認しながら、今まで知らないまま放射線を利用してきたことを再確認していきたいと思います。なにか困ったら市民と研究者との橋渡しをしたいと思っています。

### (2) 研究者の立場から

**渡 邊：**我々自身が希望を持つことだと思います。世の中のためになると信じて。そして、しっかりとした教育をすることです。

**三 谷：**やはり教育をどうするかが重要であると思います。一般市民への知識のアップデートと専門家の養成をどうするかということです。今回の経験から、専門家であるからこそ、最新研究の背景を理解し伝えることで信頼されるのだと思っています。専門家がいなくなることは問題ですから、専門家をどう育て、それを継承して行くかが課題だと思います。

**松本(英)：**放射線に関わる全ての事故を体験した日本であるにも関わらず、学校教育の中に放射線教育がないことが問題だと思います。今後の未来のためには小学生・中学生・高校生への放射線教育が重要でしょう。

**宇佐美：**いろいろ講演等に行ってみて、中高生の理解力に感動しました。小学生には放射線の話はちょっと難しいかもしれないのですが、熱心に聞いてくれます。やはり子供の教育が大事だと思います。科学者としては、研究を社会に伝えることを念頭に置くべきだと思います。自分のやっている研究が社会の中でどういう位置付けにあるかということ、一科学者としてだけでなく一市民として考えていきたいと思っています。

**松本(智)：**科学として面白いことを伝えるのが大事ではないでしょうか。人材育成のために教科書を作ろうとしているのですが、章ごとに執筆したのを合わせると、どうも内容がバラバラで面白くない。だから「放射線」だけを分けるのではなく、自然科学の一部として放射線影響を伝えることで、専門家になりたい人を育てたいと思います。

**柿 沼：**文科省の副読本ができましたが、中身は状況に合っていない。それよりは放射線影響学をきちんと伝えたい。研究所のイベントに来て身体の中に放射線があることを知った小学生が自分の体の中から出てくる放射線を測ることが出来るのではと思って GM 管の前に集まっているのを見ると、その好奇心に訴えて情報を伝え、理解を進めてもらいたいと思います。知らなかったことを知ってすぐ確かめたいと行動する。子供の力は素晴らしいです。

**島 田：**どんなところでも必要とされれば行き、情報を提供する努力は続けたいと思っています。リスクについても、時間と共に内容は変わってゆくことを察知しながら、伝えるべきことは伝えていきたいと思っています。

**松本(義)：**教育の重要性は皆さんのご意見と同じです。放射線に限ったことでなく、「がん」も含めて扱いたいと思います。また、一人の研究者として、まだ答えが見つからない問題が見つかったと思うので、これらをテーマとして明らかにしていきたいと思っています。

**鈴 木：**今後の教育に期待するのは私も全く同じですが、具体的な手立てとなると、なかなか難しいところがあります。子供たちの興味には間違いなく期待できるのですが、これまでの経験の中では、学習指導要領に準拠した学校教育の中で、担当の先生方が、どこまで科学の視点で放射線を教えられるかは、いささか心許ないところがあります。したがって、我々放射線に携わる科学者が、今まで以上に、教育の場で手助けができるよう機会を捉えていかなければならないと実感していま

す。

**田内：**教育を展開する上で気になることですが、残念ながら一般には、放射線影響は「楽しむ」科学ではないような気がします。「サイエンスアゴラ 2013」で我々の企画（福島での活動経験から習うリスクコミュニケーション）が表彰された時、表彰式で何か対照的な印象を持ちました。企画の多くが「楽しむ科学」で、企画側も楽しむことに目を向けていたのに対して、私たちは少し毛色の違う内容だったからです。楽しくなければ簡単には頭に残らないので、学校教育の中に少しでもわかりやすい形で組み込む事が大切だと思います。たとえわずかであっても、正しい理解が頭の片隅にあれば、入ってくる情報を適切に判断できるはずです。問題は、そのための時間が学校教育に確保できていないことです。その時間確保を実現するために、個人ではなく団体として、実現に向けた提言ができないかと思っています。

**渡邊：**私は、放射線の話は「面白く」できると思っています。私が小学生を相手に話をする時によく使う手は、「原子だ、原子核だ」とだけやっては興味がわかない人があるだろうからと思って、「ドラえもん科学と鉄人 28 号の科学」というタイトルを付けています。原子を説明する時には、必ず、それがどうしてできたかが、ある程度判らないと面白くありません、そこで、ビックバンで素粒子ができて、核力で原子核ができるところを説明するために「ドラえもん」に登場してもらって「どこでもドア」の説明をします。その上で、エネルギーを取り出すという今の原子力の話をする時には、力でもって力を制する鉄人 28 号を登場させて漫画を見せながら、量子論の説明をすると、多くの子ども達が食いついてくるのです。これは私の感覚でやっている授業の例ですが、私達が知恵を絞って、放射線のことを学ぶのが面白いと思わせる技術を身につけたらどうでしょうか？

今のままでは、我々がリタイヤすると大学から放射線影響学が消えてしまいます。放射線影響学は、物理・化学・生物を幅広く理解した専門家が育成できないと全体は見渡せません。大学でそれらを見渡す教育がなくなってきている現実の中で、教育・研究拠点を残すことは重要でしょう。

**三谷：**2011 年の 3 月 15 日から、マサチューセッツ工科大学（MIT）原子力工学専攻の学生さんたちが、日本政府や東京電力、各種マスコミから公表されたデータを解説する記事をブログで発信していました（<http://mitnse.com/category/fukushima/>）。リアルタイムに、です。大変な苦勞があったと思いますが、日本も含めて世界中からアクセスがありました。それを知った時、学生の行動力に感心し、その活動を素早くサポートできる MIT の体質が素晴らしいと思いました。日本の大学教育でこれができるかが、これからの大きな課題です。

#### 座談会出席者（五十音順）

宇佐美德子	（高エネルギー加速器研究機構）
柿沼志津子	（放射線医学総合研究所）
島田 義也	（放射線医学総合研究所）
鈴木 啓司	（長崎大学）
田内 広	（茨城大学）
七海 仁一	（福島県郡山市）
松本 智裕	（京都大学）
松本 英樹	（福井大学）
松本 義久	（東京工業大学）
馬目 与市	（福島県伊達市）
三谷 啓志	（東京大学）
渡邊 正己	（京都大学）

本当のところを教えて！放射線のリスク  
－ 放射線影響研究者からのメッセージ －  
発行日：平成 26 年 10 月 1 日 （初版）  
編 集：日本放射線影響学会  
Q&A 対応グループ  
教育・研修委員会

解説執筆者（五十音順）

宇佐美徳子	高エネルギー加速器研究機構
柿沼志津子	放射線医学総合研究所
島田 義也	放射線医学総合研究所
鈴木 啓司	長崎大学 原爆後障害医療研究所
田内 広	茨城大学 理学部
松本 英樹	福井大学 高エネルギー医学研究センター
松本 義久	東京工業大学 原子炉工学研究所
三谷 啓志	東京大学大学院 新領域創成科学研究科
渡邊 正己	京都大学 放射線生物研究センター