

長期汚染地域の住民のための放射線防護 の実用的手引き

EC SAGE Project 交付課題

“Strategies and Guidance for establishing a practical radiation protection culture in Europe in case of long-term radioactive contamination after a nuclear accident”

Contract no.: FIKR-CT2002-00205

Project no.: FIS5-2002-000040

著 者

ヴァシリー B. ネステレンコ、アレクセイ V. ネステレンコ
放射線安全研究所ベルラード（ベラルーシ）

A. スダース、A. ザイツェフ、L. ジュコフスカヤ
放射線学研究所ブレスト支所（ベラルーシ）

J. マーサー、A. ニスベット
英国健康保護局

I. フィードラー、G. フォークト
ドイツ放射線環境研究所

J. ローカード、P. クルーアエル、S. ル・ピカール、C. バタイユ
フランス原子力防護評価研究所



謝 辞

本冊子の作成に協力いただいた下記のステークホルダーに感謝申し上げます。

ベラルーシ団体：

Raissa Missura:	Chief paediatrician of the Stolyn regional hospital
Alexandre Kutsy:	Head physician at the Belaoucha village polyclinic
Anna Kutsaya:	Physician at the Belaoucha village polyclinic
Svetlana Sapun:	Physician at the Retchissa village polyclinic
Vassili Kosul:	Dosimetrist at the Terebejov village
Svetlana Pachko:	Dosimetrist at the Belaoucha village
Svetlana Kulik:	Nurse at the Terebejov kindergarten
Praskovja Poluloshko:	Dosimetrist at the Olmany village
Valentina Vaschenko:	Antropogammametrist at the Stolyn regional hospital
Luba Oglachevitch:	Director of the Olmany village kindergarten

英国団体：

Alex Stewart	Specialist Registrar in Public Health, Chester Health Protection Team
Ruth Lockley	Consultant in Communicable Disease Control, Birmingham and Solihull Health Protection Unit
Jill Meara	Deputy Director, Public Health Physician, HPA
Jackie Spiby	Consultant in Environmental Public Health, Health Protection Agency
Anne Nisbet	SAGE project manager, HPA
Margot Nicholls	Specialist Registrar in Public Health (in training), Surrey Health Protection Unit
Sarah Harrison	Consultant in Communicable Disease Control, South & West Devon Health Protection Unit
Mark Temple	Consultant in Communicable Disease Control, National Public Health Service Wales
Gabe Mythen	Senior Lecturer in Communications and Culture, Manchester Metropolitan University

フランス団体：

Mr Jean-Claude Autret	NGO, Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest, ACRO
Mrs Odile Comyn	NGO, Association Consommation, Logement, Cadre de Vie, Grande Synthe, CLCV
Mr Patrick Dahlet	Physician, Service Départemental d'Incendie et de Secours (37)
Mrs Marie-Paule Hocquet-Duval	NGO, Association Consommation, Logement, Cadre de Vie, Grande Synthe, CLCV
Mrs Gladys Ibanez	Student in medicine
Mrs Mylène Josset	NGO, Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest, ACRO
Mrs Anne Lepicard	School Headmistress and teacher
Mr Dominique Maison	DGSNR (Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection)
Mrs Chantal Mandron	NGO, Association Consommation, Logement, Cadre de Vie, Grande Synthe, CLCV
Mr Joël Robert	DDASS (Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales)
Mrs Anita Villers	NGO, Association Environnement et Développement Alternatif, EDA

ドイツ団体：

Dieter Berg	Physicist, Institute for Radiobiology, GSF
Johann Faleschini	Physicist, Central Office for the Surveillance of Environmental Radioactivity, LfU
Volker List	Physician, Regional Centre for Radiation Protection, FZK
Wolfgang Waschkowsky	Physicist, ZWE FRM-II
Harald Jugel	Chemist, Subject Area: Radioactivity, Food control, LGL
Daniela Gehler	Department for Environment, Agriculture, BBV
Heinz Czempel	Physician, Regional Centre for Radiation Protection
Bernhard Kofler	Physician
Dieter Knautz	NGO „Help for Gomel“
Grete Engelmann	Teacher, Deputy Headmistress

訳者序

平成 23 年 3 月 11 日午後 2 時 46 分に東北地方の太平洋側は未曾有の大地震（東日本大震災 M9.0）に襲われた。一説によると 869 年の貞観地震以来の大地震である。貞観地震では、大津波が仙台平野の海岸から 3.5 キロ・メートル離れた地点まで達したとされているが、今回は、それを上回る津波により被害が拡大した。さらに、1100 年前にはなかった近代科学の粋である原子力発電所の事故がこの災害に追い打ちをかけている。東京電力福島第一原子力発電所は、地震の発生とともに揺れを検知してすべて自動停止した。しかし、夜 10 時には 2 号機の原子炉内の水位の異常が顕在化して、半径 3 キロ・メートル以内の住民に「避難」指示が出された。その後、12 日は 1 号機、13 日は 3 号機、そして 15 日には 4 号機までもが建屋内で水素爆発を起こした。これに伴い、避難地域も 10 キロ、20 キロと拡大していた。世界中の人々が固唾を飲んで見守り、多くの国民が何か手助けができないかと真剣に考えたときである。そのような状況で、放射線生物学を専門としてきた訳者は、避難地域を抱える南相馬市の市役所の知人、大谷和夫氏（南相馬市市長公室長）にこの本を紹介する機会があった。その際に、日本語訳を求められたのが、和訳に踏み切った理由である。

この冊子は、チェルノブイリ原子力発電所の事故（1985 年 4 月）後の高濃度汚染地域に住む住民や医療関係者の現実的対応、そしてその他の関係者の教育目的のために作成されたものである。福島原子力発電所事故の汚染の規模はヨード 131 換算でチェルノブイリ原子力発電所事故のおよそ十分の一と見なされているが、この二つの事故は過去の類似の事故に比べて突出している。また、チェルノブイリから 200 キロ・メートル以上離れたモギリョフ周辺が高濃度に汚染されたように、原子力発電所から 40 キロ・メートル離れた飯舘村でも高い放射能が検出されているなどの類似点がある。何よりも、南相馬市、双葉郡や飯舘村を含む地域の 15 万人以上の人々は、少なくとも今後数十年間は常に放射能を気かけながら生活しなければならない。その意味でチェルノブイリ事故をきっかけに作成された本冊子が参考になると思う。しかし、農業国のベラルーシなどの汚染地域と違って、我が国は商品経済が高度に発達しており、地元産の食糧よりもスーパーマーケットで入手する事が多いと思われる。また、ベリー類やイノシシに代わって、野山で取れたワラビなどの山菜や相馬沖の新鮮な魚介類が好まれるかも知れない。本冊子をチェルノブイリ版とすれば、一刻も早く、現地に対応した福島版が作成されることを心から願う。

翻訳に際して、放生研ニュースレターの編集メンバー（小林純也、加藤晃弘、島田幹男）に協力を依頼した。全員が、主旨を理解して、研究の貴重な時間をこのボランティア事業に快く割ってくれた。その結果、放生研ニュースレターの増刊号としてここに発刊できた。また、翻訳の許可をとりついでくれた丹羽太貫・京都大学名誉教授、そして翻訳の許可を無償で与えてくれた J. ローカード博士（フランス原子力防護評価研究所）に感謝申し上げます。また、本冊子の作成には、中村典博士（放射線影響研究所）、田内広教授（茨城大学）、鈴木啓司准教授（長崎大学）および京都大学放射線生物研究センターの協力を頂いた。ここに皆様に深く感謝を申し上げます。

平成 23 年 5 月 31 日

小松賢志（京都大学放射線生物研究センター）

目次

1. はじめに	1
2. 一般的な疑問	2
2.1 環境が汚染されているかどうか？	2
2.2 どのようにして被ばくするのか？	3
2.3 放射線を浴びたかどうかを調べるには？	4
2.4 食品が放射能を帯びているかどうか？	4
2.5 食品が汚染されているかどうかを知るには？	5
2.6 我々はどのようにして汚染されるのか？	5
2.7 自分が汚染されているかどうかを知るには？	6
2.8 誰が放射能汚染状態を説明し、質問に答え、とり得る行動を提案してくれるのか？	6
3. 誰が質問に答えられるか？	7
3.1 医療従事者	7
3.1.1 人々の声に耳を傾け、状況を理解するのを助ける	7
3.1.2 質問に答える	7
3.1.3 特定の状況において、何をすればよいのか提案する	8
3.1.4 できる事を提案する	8
3.2 計測技術者	9
3.2.1 計測結果の迅速な連絡	9
3.2.2 情報公開	9
3.2.3 警告	9
3.2.4 ステークホルダー諮問委員会への情報の移行	10
3.3 ステークホルダー諮問委員会	10
3.3.1 計測データの統計的分析	10
3.3.2 組織が正しく機能するようにする	11
4 状況をモニタリングするには？	12
4.1 外部放射線	12
4.1.1 どのような装置を用いるか？	12
4.1.2 線量計を入手できる場所？	13
4.2 食品の汚染	13
4.2.1 計測装置？	13
4.2.2 計測場所？	14
4.3 人体の汚染	14
4.3.1 計測装置？	14
4.3.2 計測場所？	15

5. 計測結果の読み方？	16
5.1 外部線量率	16
5.1.1 第一段階：外部線量率データの収集	16
5.1.2 第二段階：外部放射線からの線量の計算	16
5.2 食品の汚染	18
5.3 全身の計測	19
5.3.1 第一段階：全身の計測データの収集	19
5.3.2 第二段階：放射性元素摂取の履歴の再現	20
5.3.3 第三段階：食品の計測値との比較	21
5.4 比較の方法	22
5.4.1 標準状態	23
5.4.2 規制上限値	26
5.5 データ管理	27
5.5.1 個人の計測結果の保管と伝達	27
5.5.2 統計的アプローチにおける情報の統合と利用	28
5.5.3 個人手帳と家族パスポート	31
6. 放射能汚染状態を改善するには？	32
6.1 自分の外部被ばくを低減するための対策	32
6.2 家庭での対策	32
6.2.1 家で何ができるか？	32
6.2.2 庭で何ができるか？	33
6.2.3 農園や菜園では何ができるか？	33
6.2.4 汚染廃棄物はどうしたらよいか？	34
6.2.5 郊外や森林から採集（摂取）できるもの？	34
6.3 医療従事者および地元ステークホルダー諮問委員会の対策	36
6.3.1 一般市民へのアドバイス・情報提供・指導	36
6.3.2 計測／モニタリング装置の提供	36
7. 放射線に関する技術シート	37
7.1 説明	37
7.2 単位	37
7.3 体内への摂取	39
7.4 健康上の影響	40
用語解説	43

1. はじめに

訳注1) 行政当局による過度の中央集権化の弊害を避けるために、住民自身が放射線防護に積極的に参加したプロジェクト。EUにより1994年-1998年にベラルーシの汚染濃度185-555kBq/m²の特定地域を選定して行われた。その後、COREプログラムとして引き継がれた。

訳注2) ステークホルダー: stakeholder、利害関係者と訳される事が多いが、ここでは住民や行政、NGO等の関係者を指す。

本書は、放射線防護に関する実用的なハンドブックのための基本的な原則を示すものである。本書では、放射線の計測法および長期汚染環境での対応について一般的なアドバイスを行う。また、放射能に関する情報や被ばく経路についての情報も提供する。本書では、環境中や体内の放射能の計測の仕方について、また各状況に応じた防護策を講じるための計測データの解釈法について解説する。また、放射線モニタリング・防護システムの原則について主要なものを紹介する。このシステムは、ベラルーシのETHOSプロジェクト*¹の枠組みの中で構築されたものから発展したもので、四つのステークホルダー*²団体の質問や懸念に対応して完成されたものである。

放射能事故は様々な状況から起こり、様々なレベルの汚染を引き起こす可能性があるため、汚染期間や汚染拡大範囲は、程度の差はあるにせよ大事である。また、放射能事故は全住民（一般市民、行政当局、専門家、医療従事者）の懸念事項であり、生活の全ての側面に影響を及ぼす可能性もある。

本ハンドブックは、そのような複雑性を取り扱うことを目的としていない。

まず、本ハンドブックは、主に住民や医療従事者向けのものである。しかし、環境が汚染された場合、直接要請を受けることが考えられるその他全ての専門的機関でも、特に教育目的などで利用してもらえるものである。

また、本ハンドブックは網羅的なものではない。本書は主として農村地域に適用されるもので、セシウム137のみについて言及している。これは、本書が、チェルノブイリの事故後のベラルーシの経験に基づいて改訂されてきたものであり、農業国ベラルーシではセシウム137が未だに放射線被ばくの主な原因物質になっているからである。事故後の状況をみると、多くの場合、農村部の人々の生活様式が最も大きな影響を受けやすい。

本書は、放射能に関連した活動や新たな放射能の危険に対する人々の意識を高めることを目的としている。本書で述べられている方法や原則は、様々な原因によるその他の状況にも適用することができる。

前述したように、本書は四つのステークホルダーグループの協力により編集されたものであり、環境中の放射能への曝露、健康への影響、警戒方法に関する質問や懸念に対して、大まかな回答やアドバイスを行うために策定された。

2. 一般的な疑問

放射能事故が起こった場合、全住民が新たな問題や懸念に直面することになる。各個人は放射能や放射能の健康への影響に関する疑問を持つだろう。

- 環境はどのように汚染されるのか。どのように被ばくするのか。特に、どの時点で被ばくするのか。
- 自分は放射能に汚染されているのか。
- 放射能汚染はどこでどのように計測できるのか。

また、全ての人が、この新たな状況にどのように対応すればよいのか、誰が手伝ってくれるのかを知りたがるだろう。

- 自分自身で、あるいは他人の助けを借りて、
 - 自分を防護したり、今後被ばくしたりしないようにするためには、具体的にどうすればよいか。
 - すでに被ばくしている場合、その影響を可能な限り緩和するには、具体的にどうすればよいか。
- 放射能汚染状態を説明してくれたり、自分の疑問に答えてくれたり、状況を改善するためにとり得る行動を提案してくれたり、そのようなかたちで自分を助けてくれるのは誰か。

2.1 環境が汚染されているかどうか

環境とは、個人レベルの視点から言うと、まず私たちが家族と過ごす場所のことを指し、それから、私たちの周りの自然のことを指す。

- 家
- 庭
- 職場
- 学校
- 公共の場
- レジャー活動の場、休暇を過ごす場所

放射性核種¹が環境（家、川、森など）に堆積しそのまま残っていると、そこは汚染される。地面に堆積した放射性核種は地中のさらに奥に潜り込んだり、埃の粒子に固着したり、風や水に運ばれたりする可能性があるため、その結果、植物や動物に入り込む可能性がある。汚染期間は堆積した放射性核種によって異なる。例えばセシウムによる汚染であれば、放射能は300年以上経過してやっと消滅する。

1 放射性元素は放射性核種とも呼ばれる。放射性核種は放射線を放出し、自発的に壊変する元素である。

2.2 どのようにして被ばくするのか

前述の通り、放射能が環境に放出された場合、放射性核種が広く飛散し、恐らく様々な物質の汚染を引き起こすだろう。大気中に放出された放射性核種は、風によりあちこちに運ばれ、地面に堆積する。水圏環境においては、放射性核種は、通常の水の移動や潮流、堆積過程により広がる。その結果、放射性核種は陸圏環境や水圏環境に入り込み、人や食品が放射線照射²される可能性がある。

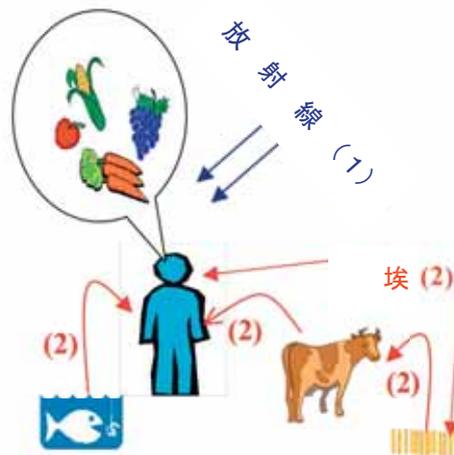
2 放射性元素（環境に堆積したり、食物に含まれている）が放出する放射線は人々に対して有害である。

人間が放射性元素によって被ばくする経路は主に次の二つである。

(1) 汚染からの外部被ばく。環境に堆積した放射性核種からの放射線が人に到達する。

(2) 汚染物質（食品、埃の粒子、水）の経口摂取や吸入摂取を通して。

これらの被ばく経路のいずれが重要かは、放射性核種や堆積物表面の性質、局地的な条件によって異なる。



人間の被ばくに最も寄与するのは、環境内を移動することができる放射性核種である。セシウムでは、外部被ばくおよび（摂取に伴う）内部被ばくのどちらも重要な被ばく経路となり得る。

3 線量は放射線被ばくした生体組織への生物学的損傷の大きさを表す。多く汚染すると、それだけ線量が高くなる。

食品中の放射性核種の摂取は、一個人あるいは一集団が受ける全放射線量³に大きく寄与する。放射能事故において最も憂慮される食品は、時間や放射性核種により異なる。多くの人にとって、放射線量に寄与する主な食品は、放射性核種濃度の最も高いものか、大量に摂取するものか、その両方であろう。例えば、比較的少量しか摂取しない食品であっても、野生のキノコやベリー、淡水魚は、最も放射能（特にセシウム 137）を濃縮しやすいことが知られている。また、放射性核種が牧草地に堆積すると、放射性元素は、子供も大人も日常的に摂取する牛乳に、簡単に移行することができる。その他の重要な食品としては、肉と野菜が挙げられる。食生活や社会的慣習、その他の習慣のために、あ

るグループは他のグループよりも受ける放射線量が多くなることもある。

2.3 放射線を浴びたかどうかを調べるには

私たちの環境に堆積した放射性元素は、（そこから発生した放射線による）外部被ばくの発生源になる可能性がある。放射線は目に見えず、音も立てないので、自分が居る場所の放射線を検出・計測することが確実に身を守る方法である。放射線量は、線量計と呼ばれる小さな検出器で計測される。放射能の清浄度が気になる場所（自宅や庭）でどこでも、線量計を用いて自分で計測できる。自分がいる場所の外部放射線の値は、この線量計に直接表示される [13 頁、4.1.1 節参照]。



線量計による自宅庭の外部線量測定
(ETHOS プロジェクト写真、ベラルーシ)

「事故による」環境の汚染がなくても「バックグラウンド放射線」はどこでも観測される。バックグラウンド放射線は、鉱物や宇宙線に起因する自然放射能と、核実験や原子力産業に起因する人工放射能からなる [23 頁、5.4.1 節参照]。

2.4 食品が放射能を帯びているかどうか

食品中の自然放射能：

地殻中の自然放射性物質は、植物や動物に取り込まれたり、水に溶け込んだりする。したがって、私たちが食べたり飲んだりする物すべてが、わずかに放射能を帯びている。ただし、そこからの放射線量はわずかである [23 頁、5.4.1 節参照]。

放射能事故：

放射能事故が起こると、放射性元素は食品に入り込む。食品は全て汚染される可能性がある。しかし、一部の食品では他よりも放射線が多く蓄積されること

訳注3) 介入レベル：intervention level、事故を含む異常事態において、被ばくを制限したり、被ばくの影響を最小にする処置を必要とする放射能レベル。

が知られている。例えば、キノコ、肉、ベリーは、汚染が顕著である場合が多い。欧州連合では、事故が起こった際に汚染された食品の摂取を避けるため、行政当局が「食品介入レベル」*³を導入することを計画している。

この規制では、市販される食品中に許容される最大放射能濃度（26 頁、5.4.2 節参照）が規定される。この規制により特定食品の流通や設定地域内からの食品の移動・供給・販売が制限されるため、一般市民は汚染されている可能性のある食品から守られる。この規制は、例えば、人や動物用に食品を販売・提供するスーパーや店、市場に適用されることになる。

この規制は、市販される食品に適用されるものである。個人的に栽培・採取したものに関しては、各個人の畑や菜園で栽培した食物あるいは野生の食物の汚染度を測定する必要があることを、一般市民に当局から周知させる必要があるだろう。

2.5 食品が汚染されているかどうかを知るには

食品の汚染度を計測するための機器は、外部放射線を計測する機器よりも複雑である。したがって、計測は訓練を受けた「食品モニタリング技師」[9 頁、3.2 節参照]が行う必要がある。計測に必要な食品の量は約 1 リットルである。計測は約 30 分程度を要する [13 頁、4.2 節参照]。

「バックグラウンド汚染」は、常に、どの食品でも検出され得る。例えばセシウム 137 について言えば、現在のバックグラウンド汚染は主にチェルノブイリおよび過去の核実験からの放射性降下物に起因するものである [23 頁、5.4.1 節]。

2.6 我々はどのようにして汚染されるのか

放射性核種は、吸入や汚染食品の摂取により私たちの体に入り込む。そして、いったん体内に入り込むと、体内で内部被ばくを起こす。

経口摂取した放射能や空気中から吸入した放射能は、対象となる放射性核種の化学特性に従って多かれ少なかれ体内に吸収されることになる。また、放射性核種の特徴にもよるが、放射能は徐々に体内から排出される。その速度は遅く、数ヶ月あるいは数年かかることもある [39 頁参照]。しかし、放射能を含む食品を毎日摂取していると、人体の汚染度は平衡状態レベル（摂取と排出が同量になるレベル）まで継続的に上昇する。最終的には、体内の放射能が常に検出されるようになる。

2.7 自分が汚染されているかどうかを知るには

全身の放射線計測にも高度な装置を使用するため、計測は「ホールボディ・モニタリング技師」と呼ばれる専門家により行われる必要がある [9 頁、3.2 節参照]。全身の汚染の計測が可能な機器には様々な種類がある。計測に要する時間は、使用機器や予測される計測値に対しての感度にもよるが、通常 10 ～ 20 分である [14 頁、4.3 節参照]。

体内から直接検出される放射性核種の種類は限られている。また、体内では「バックグラウンド汚染」が常に計測される。カリウム 40 は、人体に通常 10,000Bq (ベクレル) *4 存在する (体外への排出分が、食品を通じた摂取によりたえず補完され続けられる状態で)。セシウム 137 の残存汚染は、チェルノブイリおよび過去の核実験からの放射性降下物によるものである [23 頁、5.4.1 節参照]。

訳注 4) 日本人の全身のカリウム 40 量は 4,000 ベクレルとされている。

2.8 誰が放射能汚染状態を説明し、質問に答え、とり得る行動を提案してくれるのか

放射能に関する疑問に答えられる人は多い。

医療従事者は、家庭での疑問に対して特に重要な役割を果たす [7 頁、3.1 節参照]。医療従事者は、各個人の状況を評価し、特定の是正措置や補助的な放射線計測を提案することができる。また医療従事者は、被ばくのみかニズム、各参考値、放射線の健康への影響についての地元・地域・国家レベルの統計データを理解しているはずである。

計測の専門家も重要である [9 頁、3.2 節参照]。彼らは、計測結果の意味を説明し、あなたの状況とあなたの村の状況とを比較することもできる。このようにして彼らは危機的状況下で警告を与えることができる。

放射能汚染状態やその人の被ばく状況を推定あるいは理解するための必要情報すべてが示された各個人の手帳や「家族パスポート」が、情報交換する際、または技術者・専門家と円滑に対話する際に重要となる [31 頁、5.5.3 節参照]。

「地元ステークホルダー諮問委員会」と称される地元の情報センターでも様々な疑問に答えてくれる。ここは、全ての専門家 (医療分野および計測関係) からデータを収集する役割を持っている [10 頁、3.3 節参照]。

3. 誰が質問に答えられるか

3.1 医療従事者

医療従事者とは、予防・調査・健康保護における役割を担うすべての関係者をさす。放射能事故や環境の汚染につながる事故が起こった後、彼らの役割は、放射能に関連する質問への回答要請に応じて変化することになる。彼らは、多くの人にとって健康に関する懸念や放射線防護についての最初の問い合わせ先となり、次のような役割を担うことになる。

- 人々が放射能に関する不安を口にするのを促して、それを聞く。
- 質問に答える。
- 危機的状況であれば警告する。
- できる行動を提案したり、アドバイスをしたりする。例えば、家族がどこに行けばいいか、どのように補助的な放射線計測を行うかを助言する。

医療従事者は医師だけに限らず、病院の職員や看護師、薬剤師、心理学者、また校医や産業医も含まれる。

3.1.1 人々の声に耳を傾け、状況を理解するのを助ける

医療従事者は、利用可能な情報に基づいて関係者と対話を行える立場にいないといけない。医療関係者は、個人の手帳や家族パスポートを通して [31 頁、5.5.3 節参照] その人の放射能汚染状態についての情報を知り、その人に次のような行動を促したり手助けしたりする必要がある。

- 放射能データが意味するところを理解し、自分の状況を標準レベルに照らして大局的に見る [22 頁、5.4 節参照]。
- 放射能に関連した問題について、懸念を表したり質問をしたりする。
- その状況に適した医療相談へ申し込む。

3.1.2 質問に答える

次のような質問をはじめ、多くの質問は、医療従事者が各個人ごとの情報に沿って説明を行うことで対処できる。

- 放射能に関する基本知識、環境中での移動メカニズム、人への被ばく経路 [37 頁、7.1 節参照]。

- 放射能と健康の関連。特に、不確定さと予防措置の考え方 [39 頁、7.3 節参照]。
- 種々の計測法と有用性 [12 頁、4 章参照]。
- 計測の結果が意味するところを自分一人で、あるいは専門家の助けを得ながら少しずつ理解するための指導 [16 頁、5 章参照]。

3.1.3 特定の状況において、何をすればよいのか提案する

医療従事者は、危機的状況だと判断するための様々な計測結果の情報を入手する立場に在るべきである。それにより、医療従事者は、次のような場合に警告を与えることができる。

- 特定の場所で異常に環境が汚染されている場合。医療従事者は、それらの場所でその人が過ごした時間を推定し、場合によっては追加的な計測を行うように依頼する [16 頁、5.1 節参照]。しかし、追加的計測による確認作業を行う前に、まずそのような場所での滞在時間を減らすことが先決である。
- 全身の計測で異常に高い値が出た場合。その家族が口にする飲食物について調査する必要がある。
 - 飲食物の放射線計測の結果、異常がなかった場合、その他の汚染ルートについて尋ねる必要がある（例：汚染がより激しい他の休暇滞在先での食品摂取や、非常に汚染度の高い食品の例外的な摂取、等）。
 - 飲食物の放射線計測の結果、高濃度の汚染が確認された場合：これらの食品はより汚染の激しい地域から輸送されてきたものなのかどうか調べる。また、必要な場合はこれらの食品の摂取を可能な限り控えさせながら、追加的計測を行う。

3.1.4 できる事を提案する

医療従事者は、組織制度上の「禁止事項」に触れないようにしながら、特定の状況に応じて、次のような適切な行動を提案する必要がある。

- 関連があると思われる場所の「クリーニング」を提案する。
- 汚染されている場所に滞在する時間を減らす。
- 栄養バランスやし好を考慮した上で、最も汚染の激しい食物を別の食品に代える。
- 調理技術や調理法を提案する [32 頁、6.2.1 節参照]。

また、医療従事者は、それぞれの人々に合った効果的な経過観察のために、最

も「役立つ」放射能汚染の計測法について理解する手助けをしなければならない。

- 特定の放射線計測法を指示する。

3.2 計測技術者

食品や人体の汚染の計測を担当し、地方の生活区域での環境汚染について情報を提供できる技術者である。地方の生活区域や住民がいる地域の周辺においては、彼らの役割は比較的新しく、より一層具体的に規定されなければならない。これらの技術者は、計測サービスや地元住民へのアドバイス、また、ステークホルダー諮問委員会を通じた社会全体へのアドバイスを確実に行う必要がある。

実際には、この専門的分野には二つの異なる役割がある。一つは、人体の汚染を計測する技術者、もう一つは、地元住民や医療従事者の要請に応じて食品中の放射能を計測する技術者である。

またこれら技術者は、環境汚染の計測に関してある程度の指導を行ったり、実際に公共の場所で汚染計測を行ったりする際に、責任を持つことになる。

3.2.1 計測結果の迅速な連絡

食品モニタリング技師やホールボディ・モニタリング技師は、個別の一覧表あるいは個人の放射線防護手帳の記録というかたちで、計測結果を計測後できる限り速やかに当事者に直接伝える責任がある [31 頁、5.5.3 節参照]。

3.2.2 情報公開

計測技術者は、人々に情報を提供する責任がある。情報は、その村の放射能汚染状態を説明する公示やパンフレット、ポスターなどを通して提供できる。例えば、各食品の汚染度の平均値は、最大値・最小値とともに提供される。同様にして、人体の汚染度の平均値も提供が可能であり、その村の汚染状況を示すグラフを描くこともできる。その村で最も汚染が激しい場所を認識するためのマップを描くことも可能であろう。これらのポスターやパンフレットは、市役所、診療所や病院、学校等に表示あるいは設置される。

3.2.3 警告

食品モニタリング技師やホールボディ・モニタリング技師は、計測しに来た人

に危機的状況であることを警告する権利がある。この場合、技師らはその人を医療従事者の元へ送ることがある。

3.2.4 ステークホルダー諮問委員会への情報の移行

放射線計測データは、定期的に（例：毎月）ステークホルダー諮問委員会へと提供されなければならない。食品モニタリング技師やホールボディ・モニタリング技師が、状況をより広い視点で把握するために必要な情報をステークホルダー諮問委員会から得ることも大切である。しかし、技師らが、地元・地域・国家レベルで全体像を描くことのできる情報をもっているとは限らない。技師らは、人々に他の情報源（例：医療従事者やステークホルダー諮問委員会）を教える必要があるかもしれない。

3.3 ステークホルダー諮問委員会

地元のステークホルダー諮問委員会は、地元レベル（村や地区）において幅広い技術分野からの人々により構成される。この委員会は、既存の団体や組織に依存するかたちをとることもできるし、独立する場合も考えられる。委員会の機能として下記が挙げられる。

- 地元の放射能汚染状態についてのデータを照合する。
- 関係団体に、理解しやすく実用的なかたちで情報のフィードバックを行う。
- 放射能計測と医療従事者の活動の協調性を強める。
- 地元の状況について明確で分かりやすい説明を行う。

具体的には、この組織は様々な計測対象（環境の汚染、食品の放射能汚染度、全身の計測）から放射能汚染状態のデータを収集することになる。また、地元レベルでデータの統計的分析を行い、そこから役立つ標準状態を設定し、様々な関係団体がデータを解釈するのを助ける。委員会の活動は純粹に技術的な事柄に限らず、行政（地元・地域・国家政府）や関係専門家との協力も含まれる。委員会には、社会全体の放射能汚染状態について情報交換を行い、全関係団体に向けた方策の拡充を行えるよう、行政からの代表や地元で選出された代表、非政府組織（NGO）の代表らをメンバーに含む必要がある。

3.3.1 計測データの統計的分析

地元のステークホルダー諮問委員会は、以下の事柄を行う必要がある。

- 住民や食品モニタリング技師、ホールボディ・モニタリング技師から、

また場合によっては他の情報源から、入手可能な計測データ（外部線量率、食品や人体の汚染度）を全て収集する。

- それらのデータを分析し、医療従事者（またはその他の関係者）向けに分かりやすく有用な形で統計情報をまとめる。
- ポスターやパンフレットの配布、メディア（ラジオ、新聞、郵便）を通じて、明確で分かりやすい情報を一般に広める。例えば、森の汚染マップや最も汚染の激しい製品の一覧表、正しい対応についてのアドバイスなどを公開する。
- データを写実化する。
- 標準状態を設定する。
- 上記の科学的調査結果を、地元・地域・国家レベルで（定期的に）医療従事者やその他の関係者に提供する。

3.3.2 組織が正しく機能するようにする

ステークホルダー諮問委員会は、計測組織を監督する役割も担っている。委員会は、計測対象物を入手し、その信頼性（品質保証）を確保し、複数の対象の計測を行うようにする（計測を担当する技術者の適切な訓練、計測装置の較正やメンテナンスなどを含む）。また委員会は、計測組織が社会的要請や施行されている法や規制の枠組みに基づいて適用されるようにする。

4. 状況をモニタリングするには

4.1 外部放射線

外部放射線は、「外部線量率計測」を通じて評価が可能である。実際、外部線量率は、放射能汚染状態や時間に伴う進展を表すものである。外部線量率が高いほど、その場所は放射線照射が激しいことになる。

外部線量率の計測は、汚染度が高い（被ばくの危険が高い）場合や正確な結果が必要な場合は、専門技術者によって行われなければならない。そういった場合、特別の計測機器や手順が用いられる。しかし、住民も適切な訓練を受ければ、より単純な機器で計測を行うことができる。このような計測は、屋内（自宅や職場）や屋外（庭やレジャー地域）で、定期的にはまたは疑わしいと思ったときに線量率をチェックすることで実施できる。このようにして、人が過ごす場所や他の場所よりも外部線量率が高い可能性のある場所についての理解を深めることができる。

4.1.1 どのような装置を用いるか

現在、外部線量率の計測は「ポケット型」電子線量計により比較的簡単な方法で実施できる。

外部線量率は、生活場所の「清浄度」の指標である。ある場所に放射能が存在するかどうかは、その場所で高い線量率が計測されるかどうかにより判断できる。



ポケット型電子線量計

薪ストーブの外部線量率を測定している母親
(ETHOSプロジェクト画像から、ベラルーシ)

外部線量率の計測値は、検出器を用いた場合すぐに得られる。表示単位は通常マイクロシーベルト/時である（37 頁、7.2 節の単位を参照）。

4.1.2 線量計を入手できる場所

線量計は住民に提供されるか、住民が自由に使えるように様々な場所、例えば対象者の住む地域の最寄りの放射能測定地点や、医療従事者（医師、薬局）の元などに常備される。

問い合わせ先：西ヨーロッパ諸国では、市役所が適切なようである。

4.2 食品の汚染

食品の汚染の計測は、放射能汚染状態やそれが時間に伴いどのように変化するかについての情報を提供してくれる。計測により、汚染度に基づいて食品を分類することができる。また、人体の計測値の解釈にも役立つ。

4.2.1 計測装置

食品汚染の計測は、計測する食品を入れる容器に内蔵された検出器を用いて行われる。容器は、外部のバックグラウンド放射線の混入を防ぐため、周囲が鉛で遮蔽されている。



ベラルーシの食品検査装置⁴

フランスの車両型装置

4 この装置により土壌汚染を測定できる。装置の内部に土を入れると自分の庭の汚染を知る事が出来る。

計測に必要な食品の量は、半リットル～1リットルである。計測に要する時間は約30分である。これは、計測装置が放射線量を十分正確に「カウントする」のに必要な時間である。

計測の最終的結果は、通常、固体であればキログラム当たりのベクレル（Bq/kg）、液体であればリットル当たりのベクレル（Bq/L）で表示される（37 頁、7.2 節の単位を参照）。

4.2.2 計測場所

これらの計測には、特別の機器と専門技師が必要である。計測は、希望者の住む地域の最寄りの食品モニタリング技師が行うことができる。

問い合わせ先：西ヨーロッパ諸国では、市役所で市民に食品モニタリング実施場所（市役所、薬局、獣医、農産業施設（生協）等）を紹介しているようである。

4.3 人体の汚染

人体の汚染の計測は、放射能汚染状態やそれが時間に伴いどのように変化するかについての情報を提供してくれる。計測により、汚染された地域の住民の健康保護について詳しい追跡調査を行うことができ、また起こり得る健康被害のより正確な検出と改善にも役立つ。

さらに、全身の汚染量はその人が「ごく最近」に経口摂取したり吸入摂取したものを反映する。そのため、例えば人体の計測値を食品の計測値と比較することで、その人が危機的な状況にあることが発見できたり、食物摂取による被ばくを低減するために変更し得る食生活の指導をすることができる。

4.3.1 計測装置

全身の計測は、全身を取り囲むあるいは一部を取り囲むような構造物と一体となったホールボディ・カウンターを用いて行われる。例として、（中に立ったり、中で横になったりする）密閉型キャビネットや、さらに単純なものでは、部屋の中に設置されたり車両に搭載されたりする装置内蔵シートなどが挙げられる。これらの装置の中には、外部バックグラウンド放射線から遮蔽された複数のセンサーが入っている。



直立姿勢で測定する（キャビネット型）ホールボディ・カウンター



フランスの自動車に搭載されたシート型装置

計測に要する時間は最短で約 10 分である。計測結果は通常ベクレルや Bq/kg で表される (37 頁、7.2 節の単位を参照)。

4.3.2 計測場所

全身の計測には、専用の機器と専門技師が必要である。計測は希望者の住む地域の最寄りのホールボディ・モニタリング実施所で実施されなければならない。

問い合わせ先：西ヨーロッパ諸国では、市役所で市民にホールボディ・モニタリング実施所（公立・私立病院や移動ユニット）を紹介しているようである。

放射線モニタリングのための包括的システム

上に示した様々な種類の放射線測定法を全て提供するには、放射線モニタリングの比較的新しいシステム、すなわち包括的システムが必要である。これは、ただ一つの「公式に認可された」施設だけではなく、地元レベルでも主導的に行える能力を持ったネットワークシステムである。またこれには地元住民に役立つような種々の独立した情報源も含まれる。

品質保証のために、独立した情報源の各々に対して国家レベルさらには国際レベルでの認可が必要であろう。この認可には装置の校正や測定の専門家の訓練や測定法の手順が含まれる。後者には測定だけでなく、地元行政者や関係者らにとって分かりやすい形で結果を提示する方法も含まれるであろう。

5. 計測結果の読み方

5.1 外部線量率

外部線量率の計測により、現在の「瞬間的」放射線被ばくに関する情報が得られる。計測時点での計測値から、過去の被ばくについての情報は得られない。継続的に線量計を使用して計測値を逐一報告することができない限り、一定時間にわたる外部放射線からの線量を知る唯一の方法は、線量率が対象期間中一定であったと仮定し、外部線量率（単位：マイクロシーベルト／時、17 頁参照）と対象時間（単位：時）をかけ合わせることで線量を推定する方法である。

5.1.1 第一段階：外部線量率データの収集

外部放射線によるおおよその被ばくを計算するためには、最低限、次のパラメータ値が必要である [12 頁参照]。

- その人が放射線に被ばくしたと考えられる場所における外部線量率の測定結果（単位：マイクロシーベルト／時（ $\mu\text{Sv}/\text{時}$ ））
- その人がその場所で過ごした時間（単位：時間／日）

下の例では、「滞在時間」の情報が外部線量率の結果に加えられた。

名前	住所		
測定日	場所	推定滞在時間 (時間／日)	外部線量率の測定値 ($\mu\text{Sv}/\text{時}$)
2001.12.10	居間	2	0.12
2001.12.10	寝室	9	0.06
2001.12.10	居間（暖炉）	1	0.28
2002.7.15	庭	2	0.18

5.1.2 第二段階：外部放射線からの線量の計算

外部放射線からの線量は、外部線量率（単位： $\mu\text{Sv}/\text{時}$ ）と過ごした時間（単位：時）を掛け合わせることで計算される。その人が複数の場所で被ばくした場合、全線量の結果は各場所からの寄与を累積することで求められる。（年中繰り返し被ばくするなどの）慢性的な被ばくの場合は、全線量を求め、「年相当」の線量として表すと有用かもしれない。これは、例えば一日の線量に被ばく日数

をかけることで求められる。

どのようにして自分の外部被ばくを評価するのか？

外部被ばくは以下の点に依存する。

- ・ 対象となっている場所で測定された線量率（マイクロシーベルト／時間）
- ・ 対象者がその場所に滞在した時間

線量率に滞在時間をかけることで外部被ばくを計算することができる。

例 1

寝室のベッドの上の外部線量率の測定値が $0.08 \mu\text{Sv} / \text{時間}$ である。ある人のそこでの平均滞在時間が $2900 \text{時間} / \text{年}$ である。

このときの外部被ばくは、 $0.08 \mu\text{Sv} / \text{時間} \times 2900 \text{時間} / \text{年} = 232 \mu\text{Sv} / \text{年} = 0.23 \text{mSv} / \text{年}$ である。

例 2

暖炉のそばの肘掛け椅子での外部線量率の測定値が $0.50 \mu\text{Sv} / \text{時間}$ である。ある人のそこでの平均滞在時間が $400 \text{時間} / \text{年}$ である。

このときの外部被ばくは、 $0.50 \mu\text{Sv} / \text{時間} \times 400 \text{時間} / \text{年} = 200 \mu\text{Sv} / \text{年} = 0.2 \text{mSv} / \text{年}$ である。

上に示したどちらの例も、外部線量率と滞在時間の両方を調べるのが重要であるということを示している。例 2 では、外部線量率は例 1 よりもずっと高いが、そこは我々があまり長時間滞在する場所ではない。結果的に外部被ばくはどちらも同じ程度の大きさである。

下の例では、同じ被ばくが毎日、年間（365 日）を通じて起こると仮定して年間線量を計算している。

名前	住所			
測定日	場所	推定滞在時間 (時間/日)	外部線量率の 測定値 ($\mu\text{Sv} / \text{時}$)	線量 ($\mu\text{Sv} / \text{日}$)
2001.12.10	居間	2	0.12	0.24
2001.12.10	寝室	9	0.06	0.54
2001.12.10	居間(暖炉)	1	0.28	0.28
2002.7.15	庭	2	0.18	0.36
				1.42 $\mu\text{Sv} / \text{日}$
総計			年間相当量 = $1.42 \mu\text{Sv} / \text{日} \times 365 \text{日} = 518 \mu\text{Sv} / \text{年}$	(0.52 $\text{mSv} / \text{年}$)

5.2 食品の汚染

体内汚染は、一定期間に経口摂取および吸入摂取した放射能の総量と関係する。
経口摂取の場合、その量は次の値によって決まる。

- 経口摂取された食品中の放射能量 (Bq/L あるいは Bq/kg)
- その人が摂取した食品の量 (kg あるいは L)
- 偶然摂取してしまった可能性のある土や埃

吸入摂取⁵の場合、その量は次の値によって決まる。

- 空気中の放射能量 (Bq/ 空気の体積 m³)
- その人が被ばく時間中に吸入した体積 (呼吸速度の関数、単位：m³/ 秒)

5 事故から数時間あるいは数日では呼吸による内部汚染による寄与が大きい。その後、食物の摂取が内部汚染の主な原因となる。ここでは長期汚染を扱うので、呼吸については以下で触れない。

どのようにして自分の内部被ばくを評価するのか？

内部被ばくは摂取された放射能の量を計算することで求められる。この計算は、飲食物中の放射能量と飲食した量とのかけ算である。

これらの「摂取ベクレル」は、計算によって求めた放射能の量と問題となっている核種（ここではセシウム 137）ごとに決められた特定の係数をかけ合わせることで、放射線量に変換できる。これらの係数は摂取の線量係数と呼ばれ、対象者の年齢によって異なる。摂取の線量係数を、国際放射線防護委員会発行の 1995 年 ICRP 年報 Publication 72「放射性核種の摂取による公衆の年齢別線量」Part 5「経口摂取と吸入摂取の線量係数集」から引用する。

年齢	摂取の線量係数 (Sv/Bq)
5 歳	9.6×10^{-9}
10 歳	1.0×10^{-8}
15 歳	1.3×10^{-8}
成人	1.3×10^{-8}

例 1

ブラックベリー中のセシウム 137 の濃度が 1200 Bq/kg と測定されました。ある人が一度に 200g 食べます。その人の摂取量は $1200 \text{ Bq/kg} \times 0.2 \text{ kg} = 240 \text{ Bq}$ です。
最終的な線量は、 $240 \text{ Bq} \times 1.3 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq} = 3.12 \times 10^{-6} \text{ Sv}$ もしくは $3.12 \text{ } \mu\text{Sv}$ です。

例 2

牛乳に含まれるセシウム 137 の濃度が 30 Bq/L と測定されました。ある人が毎日平均 400 ml 飲みます。その人の平均摂取量は $30 \text{ Bq/L} \times 0.4 \text{ L} = 12 \text{ Bq/日}$ です。
最終的な線量は $12 \text{ Bq} \times 1.3 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq} = 1.56 \times 10^{-7} \text{ Sv/日}$ もしくは $0.16 \text{ } \mu\text{Sv/日}$ すなわち $57 \text{ } \mu\text{Sv/年}$ です。

上にあげた例は、食品の汚染と消費量/頻度の両方を調べることを重要だということを示している。例 1 での一食分のブラックベリーによるセシウム 137 の摂取量は、牛乳を 20 日間飲んだときの摂取量と同じ程度の大きさである。

5.3 全身の計測

全身の汚染の計測により、その人のその時点での「放射能の状態」の情報が得られる。しかし、この計測値は、その人の放射性元素の摂取に関する「放射能の履歴」の反映である。これは、放射性元素が体内に固定し、その後排出されるのに一定の時間を要するからである。

全身の計測は、食生活の履歴や食物中の汚染度の情報と併せて、放射性元素の（経口摂取や吸入摂取による）取り込みの「理論的履歴」を再現するのに用いることができる。

それにより、対象とする人の汚染源となった食品の同定や、改善策をとるべきかの評価が可能となることも多い。

全身の汚染計測で可能なのは、摂取した放射能量の推定値である。実際、計測技師は摂取された放射能量の正しい値が、ある範囲（最小値から最大値まで）内にあるということだけしか言えない。計測間隔が近ければ近いほど、放射能状態をより正確に診断することができる。しかし、計測は非常に費用がかかるため、毎週繰り返し行えるものではなく、妥協策が必要となる。

5.3.1 第一段階：全身の計測データの収集

放射能摂取のおおよその「履歴」を再現するためには、最低限次のパラメータ値が必要である。

- 全身の計測値（単位：Bq または Bq/kg）
- 計測日
- その人の年齢と体重

一度のみの計測では、いつ何をどれだけ摂取したかの情報がなければ、摂取量や被ばく線量の計算には役立たないことに注意されたい。

例。子供が **1997** と **1998** 年に全身の計測を行った結果が、下の表に示されている。測定間の経過を表すために日数が追加された。

年齢:9 歳

(放射性セシウム 137)

測定日	結果 (Bq)	経過日数
1997.10.15	4320	61
1997.12.15	5360	
1998.3.20	3800	95
1998.5.16	6220	

5.3.2 第二段階：放射性元素摂取の履歴の再現

履歴の再現は、計測技術者や医療従事者の協力のもとに行うことができる。履歴再現の目的は、以前の人体計測から次の人体計測の間の期間に、実測値に影響する食品を経由して摂取した放射エネルギーを計算することである。これは、その人の食生活や食品汚染についてのさらに詳しい個人データを提供できれば、さらに正確な再現が可能な、論理的な再現法である。

このような再現の結果は、前述の例では、下表のようになる。

摂取量の再現がおおよそであること示すために、最低—最大範囲が表に加えられた。不確定さのレベル（最低—最大範囲）は測定間隔が長くなれば大きくなる。

年齢:9歳(放射性セシウム137)				
測定日	結果 (Bq)	経過日数	算定平均摂取量 (Bq)	最低—最大範囲 (Bq)
1997.10.15	4320	} 61	-	-
1997.12.15	5360		6100 (すなわち100 Bq/日)	3729 - 11839
1998.3.20	3800	} 95	7600 (すなわち80 Bq/日)	2734 - 12518
1998.5.16	6220		57	6840 (すなわち120 Bq/日)

訳注 5)18 頁の“摂取の線量係数”の年齢別の4グループに対応

全身の計測結果からの摂取量の計算

これらの計算はいくつかの方法で行うことができ、その方法は利用可能なツールによって異なる。簡単に言うと、既存の計算値（表）を使うか単純な計算ソフトを使うかのいずれかである。

どちらの場合でも、求めようとしている値（一日に摂取された¹³⁷Cs量）と、この理論的な値の精度（すなわち不確かさの幅）についての情報の両方を取得することが重要である。そのために、3つの数値を求める。

- 計測と計測の間の期間中ずっと、毎日同じ量を摂取したと仮定して計算される平均値
- 当該計測日の前日（つまり問題としている期間の最終日）に摂取したと仮定して計算される最低値
- 前回の計測日の翌日（つまり問題としている期間の初日）に摂取したと仮定して計算される最大値

上記の値は、計測時の全身の¹³⁷Cs量から計測前の期間に摂取した量の推定を行っており、4つの年齢グループ毎^{*5}に分けられる。その信頼区間（最低-最大範囲）は、全身計測を行う回数 of の最適な頻度、つまり、上記の摂取結果を解釈するとき生じる不確かさを最小にできる頻度、と関連している。

5.3.3 第三段階：食品の計測値との比較

上記で再現された摂取量は、その人が摂取した食品の直接計測値と比較する必要がある。そのような計測値がない場合は、最寄りの計測地点から情報を入手するのが賢明である。

下表は、前述の例にある人物に対応する数種類の食品の汚染についてのデータである。

測定日	食品	結果 (Bq/L 又は Bq/Kg)
1997.8.5	キャベツ	36
1997.8.5	ジャガイモ	<10
1997.8.5	牛乳	230
1998.1.15	牛乳	98
1998.1.15	コケモモ	3223
1998.1.15	イノシシ	8415

ここで、この人物の食生活も考慮して、既に推定された放射能摂取量の主な要因となっている可能性の高い一種類または数種類の食品を同定できる。まず常時（毎日）摂取している食品に目を向け、その「日常的」食品が、その食品単体でどの程度、放射能摂取が再現された「理論値」に寄与しているかを定めることが求められる。

98年3月20日から98年5月16日（57日間）にわたって、再現された計算値が6,840ベクレル（一日平均120ベクレル）であったことを思い出して欲しい。

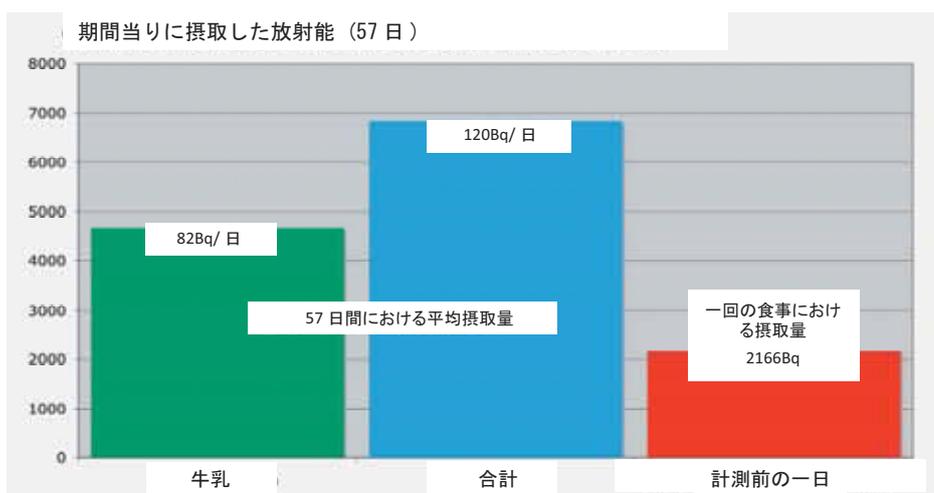
この例では、牛乳が、もし毎日飲まれるなら、摂取した放射能の重要な割合を示すことになる（6,840の70%にあたる4,674ベクレル）。

食品	標準消費量 (kg/日)	測定された汚染量 (Bq/L 又は Bq/Kg)	その食品の摂取による汚染の摂取量
			49 - 115 Bq/日 (平均 82 Bq/日)
牛乳	0.5	98 - 230	すなわち 2793 - 6555 Bq (平均 4674 Bq)

その次に、時折しか摂取していないが、汚染度が比較的高いため、上記の再現された摂取量（6,840ベクレル）に寄与している食品に目を向けてもらいたい。下の例では、イノシシとコケモモの摂取による放射能の合計が計算された。

食品	消費された量 (kg)	測定された汚染量 (Bq/L 又は Bq/Kg)	その食品の摂取による汚染の摂取量 (Bq)
コケモモ	0.150	3223	483
イノシシ	0.200	8415	1683
合計			2166

この計算から、全身の計測前日に摂取した、イノシシとコケモモを含む一度の食事が、毎日摂取している牛乳と併せて、この人物の汚染度を説明できることが分かる。



この例は、この方法が非常に反復的で、その人と医療従事者との対話が必要であることを示している。「野生」の食品は、たとえ汚染度がより高くても、常に人体の汚染に寄与するわけではないようである。まず日常的に摂取している食品に焦点を合わせ、その後、そこまで日常的に摂取しないが、放射能摂取の重要な要素になり得る食品に目を向けることが大事である。

このプロセスから、計測技術者が訓練を積み、専門的知識や放射線防護知識を得ている場合のみ、計測技術者が十分対応できることが分かる。その場合、計測技術者は、一般的な汚染経路を理解していなければならない。

5.4 比較の方法

汚染された環境で放射能のリスク管理において、自分自身の状況进行评估するための次のような比較材料を有することが大事である。

- その他の状況 (すなわち、バックグラウンド放射線なども含む標準状態 * 6)
- 規制上限値

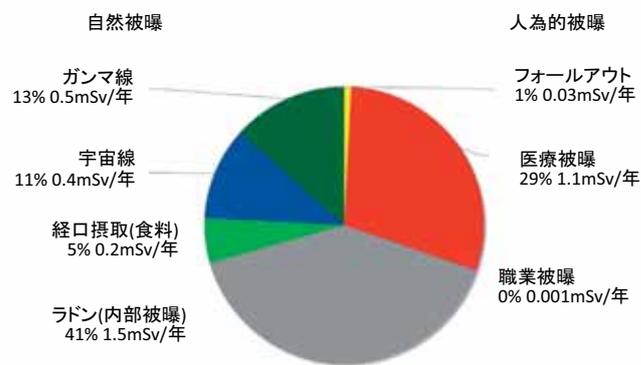
訳注 6) 汚染が起こる
前の放射能の状態

5.4.1 標準状態

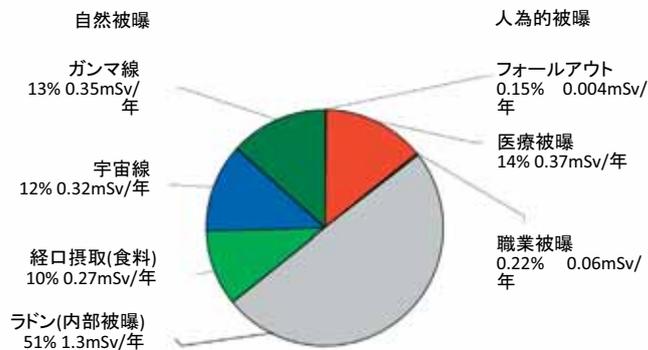
環境汚染につながる事故がなくても、恐らく人間の活動が、外部放射線（外部放射線線量率）あるいは体内汚染（空気や食品からの放射能の吸入摂取および経口摂取）を通じて放射能汚染の原因になるだろう。

全線量

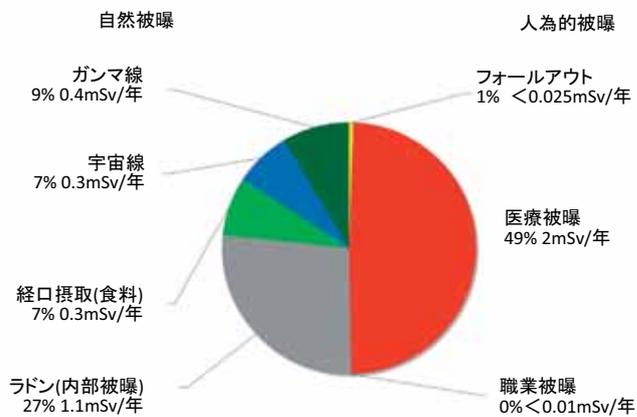
下図はフランス、英国、ドイツの被ばく状況である。



フランスにおける被ばく状況



イギリスにおける被ばく状況



ドイツにおける被ばく状況

その人の全線量を計算するには、様々な要因を足し合わせなければならない。つまり、宇宙線からの被ばくと、地球上の岩石からの放射線被ばく、医療用放射線操作や原子力産業活動などに起因する放射線被ばくを合計する必要がある。その結果得られる合計の被ばく線量は、例えばフランスでは平均3ミリシーベルト/年であると推定されている。

食品汚染

訳注7) セシウム 137 は元もと自然にはなく、環境のすべてのセシウム 137 は人工放射性核種である。

フランスで最近行われた食品中のセシウム 137^{*7}

の測定値評価(2002～2003年)では、牛乳で0.1 Bq/L未満、果物で0.1 Bq/L未満、キノコで10-160 Bq/kgという結果が出ている。(数値は、国土全体にわたり計測されている可能性が高いものの、まばらに分布する「ホットスポット(高濃度地域)」もここでは除外されていない)

ドイツ(バイエルン)における最近の計測値(2003～2004年)が下表に示されている。

生産物	測定数	¹³⁷ Csの汚染量(Bq/LまたはBq/kg)		
		最低値	最高値	平均値
牛乳	139	0.07	2.45	0.31
豚肉	10	0.16	1.43	0.46
牛肉	10	0.11	3.72	0.62
鹿肉	16	0.29	196	29.9
イノシシ	20	1.44	1040	169
根菜類	11	0.14	1.36	0.29
葉菜類	25	0.09	2.36	0.39
コケモモ	3	0.37	6.52	2.5
クランベリー	1	8.24	8.24	8.24
ジャガイモ	26	0.13	0.36	0.21
ニセイロガワリ (ボルチーニ茸)	13	52.7	2300	683
コガネヤマドリ	6	8.97	256	94.8

2003年7月13日～2004年7月13日までのババリアでのバイエルン州環境保護局によるサンプリング

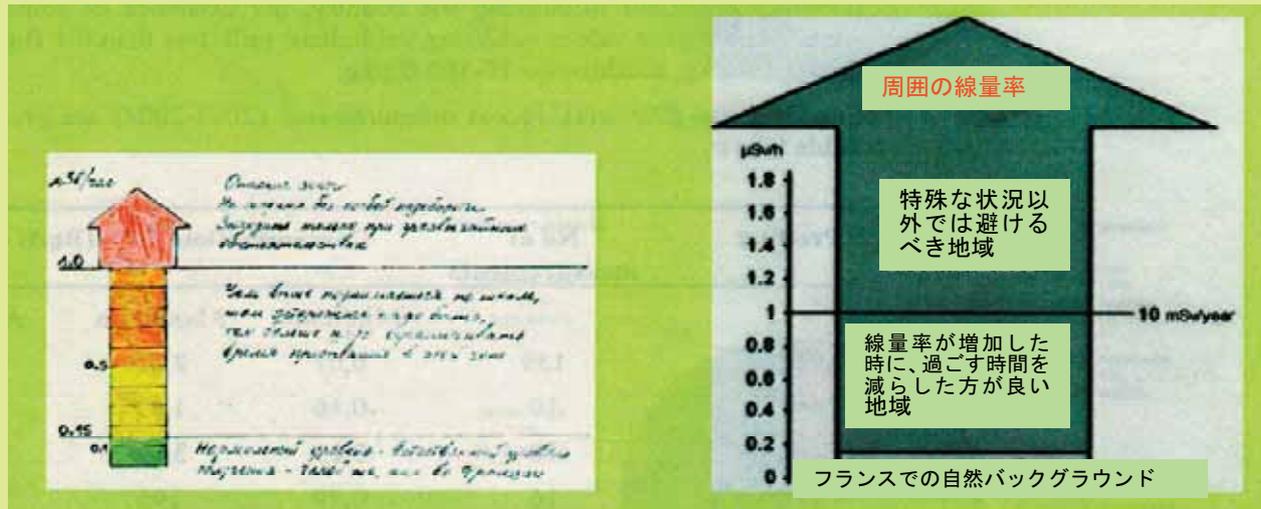
全身の汚染

人体の汚染については、これもまたフランスの例であるが、(職業柄、特に放射能にさらされることがない)一般市民のグループについての継続的調査によると、汚染度は通常50 Bq(全身のセシウム 137として)を超えることはない。この値は、フランス全体で観測される可能性が最も高い数値である。非常に独特な現地食生活に伴い、他より高い数値が、ボージュで1990年台後半に観測されたことがある(一人から数百 Bqのセシウム 137が計測された)。

個別の参考スケール

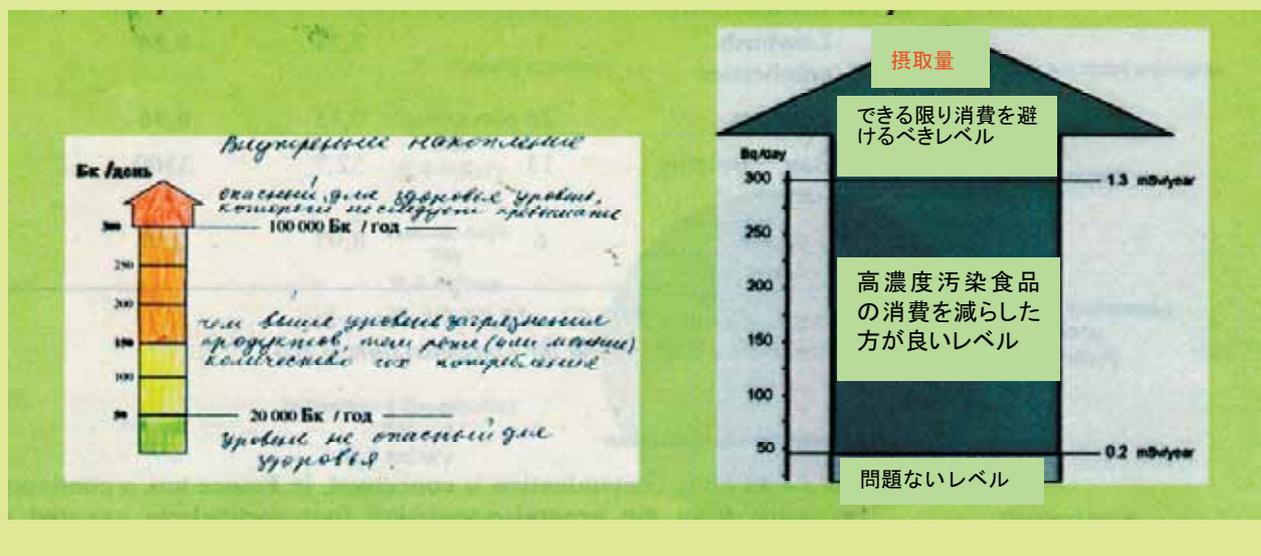
外部照射

下の図は、チェルノブイリ原発事故によって汚染されたベラルーシ国土内で確定した放射線量の参考スケールを表している。このスケールで示されたレベルは、(屋内、庭、自然環境、学校、公衆の場などでの外部線量率の計測による) 地元の状況を考慮して、地元住民と議論して設定したものである。その際、他の標準状態 (例えば、フランスで報告されたレベル) や最終的には国家と国際的なレベルで適用された規制限度も考慮した。



食品摂取を通しての内部汚染

下の図は、チェルノブイリ原発事故によって汚染されたベラルーシ国土内で確定した内部汚染の参考スケールを表している。このスケールで示されたレベルは、(私的あるいは公的に生産された食料品の村単位での汚染の計測による) 地元の状況を考慮して、地元住民と議論して設定したものである。その際、他の標準状態 (例えば、フランスで報告されたレベル) や最終的には保健当局によって国レベルで定められた目標、特に体内のセシウム 137 の総汚染量、を考慮した。



5.4.2 規制上限値

規制上限値は、国家レベルおよび国際レベルで設定されている。これらは公衆（職業柄放射線に被ばくする機会のない人々。職業的被ばくとしては例えば核施設労働者が該当する。）に対する年間の最大許容線量を規定するものである。これらの上限値は、上記のバックグラウンド以外のあらゆる発生源による被ばくに適用される。

現在、規制によって定められている一般市民に対する線量上限値は1ミリシーベルト／年である⁶。

食品に関しては、事故による汚染後の食品消費に関する許容濃度は、欧州理事会指令 87/3954/ ユーラトムで定められている。これらの上限値は、チェルノブイリの事故後に、同じ様な汚染状況に対処することを主な目的として定められた。

五種類の食品群について、四つのグループの放射性核種毎に認められる濃度上限値が下表に示してある。

濃縮された食品や乾燥食品については、それぞれの上限値はすぐに摂取できるような水でもどした状態で適用される。

放射性核種	食品中の放射能濃度限度 (Bq/kg)				
	ベビーフード ^{a)}	乳製品	マイナーフード ^{b)}	その他の食品	液体食品 ^{c)}
ストロンチウム同位体 (⁹⁰ Srを含む)	75	125	7500	750	125
ヨウ素同位体 (¹³¹ Iを含む)	150	500	20000	2000	500
α線放出プルトニウム及び 超プルトニウム元素	1	20	800	80	20
その他の全ての半減期10日 以上の放射性核種 (¹³⁴ Csと ¹³⁷ Csを含む) ^{d)}	400	1000	12500	1250	1000

a) ベビーフードは生後4ヶ月から6ヶ月の乳児に与える食品で、それ自身が乳児の栄養要求を満たすもので、「乳児用食品」というラベルが貼ってありはっきりと特定出来るパッケージに入れられて小売り販売されているものと定義する

b) マイナーフードとは、食品に添加される量が少ないもの、例えばスパイス、ハーブ、ココア、コーヒーなどをさす

c) 液体食品:それぞれの加盟国の決定によると、水道水に適用出来る値

d) ¹⁴C、³H、⁴⁰Kを除く

上の表は、短期的な汚染の場合に有用である。長期的な汚染の場合、公衆衛生機関は、その放射能汚染状態により適した別の制度を実施する必要がある。例えば、チェルノブイリの事故後、ノルウェーでは管理された状況でしかも少量であれば、汚染された食品の摂取を認めるという制度が実施された。事実、ここでは食品の汚染だけでなく、各個人の特定の食品摂取量も参考にしたのである。ベラルーシでもこれと同様に、キノコやベリー類の汚染上限値が住民の摂取量に基づいて設定されている。

6 作業従事者の線量限度（職業柄、放射線に被ばくする機会のある人々）は年間 20mSv である。

5.5 データ管理

放射能計測の結果から、放射線被ばくのリスクや、予防策を講じる必要性について人々に理解させることができる。

したがって、放射能計測はどのような種類の計測（外部線量率、食品汚染、全身の計測）であっても、できる限り速やかに関係者にフィードバックや結果が周知されることが大切である [31 頁、5.5.3 節参照]。また、それらのデータを統計分析のために集計することも大事である。また、それらのデータが、たとえ放射線防護関連分野の専門家でなくても、全てのステークホルダーが理解できるかたちで（その結果としてさらなる取り組みに役立つように）示されることも大事である。

5.5.1 個人の計測結果の保管と伝達

放射能計測（外部線量率、食品汚染、全身の計測）の結果は、その人や家族の放射能汚染状態をいつでも具体的に示すことができる材料である。その人や家族がこういった情報を個人的に保管することが大切である [31 頁、5.5.3 節参照]。特に将来の健康について不安をもつ場合、この情報が恐らく役に立つだろう。

外部線量率

外部線量率の計測はその家の住人が行うので、情報の保管は簡単である。その人は、様々な場所での外部線量率を書き込めるような、自分の環境内（家、庭、作業部屋）の単純なデータ一覧表を持つことができる。

名前	住所	
SMITH J. R.	Garden street 24, Whiteley	
測定日	場所	外部線量率の測定値 ($\mu\text{Sv}/\text{時間}$)
2001.12.10	居間	0.12
2001.12.10	寝室（子供 1）	0.07
2001.12.10	居間（暖炉）	0.28
2002.7.15	庭	0.18

そのデータには、過去に同じ場所か別の比較できる標準状態から得られたバックグラウンド放射線の情報も書かれていることになる。

食品汚染

食品の計測では、食品モニタリング技師が計測を受けた人に個人別の結果用紙を直接返却することが望ましい。用紙には、最新の計測結果を過去の結果とともに記載できる。また、より広範囲の地域の情報との比較結果（例えば、地域で産出・製造される食品中の放射能レベルとの比較）を記載してもよい。

名前	住所	
SMITH J. R.	Garden street 24, Whiteley	
測定日	食品	汚染の測定値 (Bq/L 又は Bq/Kg)
2001.12.10	人参	23
2001.12.10	ジャガイモ	12
2001.12.10	苺（庭でとれた）	<10
2001.12.10	ブラックベリー	234
2002.7.15	豚肉	<10

全身の計測

全身の計測でも、個人毎の結果用紙を計測を受けた人に直接返却することが望ましい。この用紙には、食品の計測の場合と同様に、過去の結果や可能であればさらに広範囲の地域の情報との比較を記載してもよい。

SMITH J. R.	Garden street 24, Whiteley		
測定日	体重 (kg)	年齢	汚染の測定値 (Bq)
1997.10.15	35	8	4320
1997.12.15	36	8	5360
1998.3.20	35	9	3800
1998.5.16	35	9	6220

5.5.2 統計的アプローチにおける情報の統合と利用

前述のような計測結果は、より広い地域の放射能汚染状態を表すのに使用できる。この目的は、科学研究目的のように計測結果の統計的分析を包括的に行うことではない。住民や地域レベル・国家レベルの責任者のため、役立つ情報を分析して表示するための方法を見つけることが目的とされるべきである。ここでは、ベラルーシの ETHOS プロジェクトの結果が役立つだろう。

外部線量率

外部線量率の個人的計測結果は、地元レベル（村や市）で集計したり、環境中

の放射能の性質の全体像を把握するために地域レベルで集計したりすることもできる。これを例えば地図の製作につなげ、全ての家庭が地図上で近隣の状況を参照し、各家庭がそれぞれの状況を把握できるようになる。

食品汚染

同じように、個人レベルにおける食品の汚染度のデータも、地元レベル（村、市）や地域レベルで、例えば、食品を分類別に分けたり、汚染度が多いものから少ないものまでレベル分けしたりすることにより集計が可能である。また、これにより、食品中の放射能の性質の地図のようなものを製作し、この地図により各個人が近隣のデータをもとに自分の状況を把握できるようになる。

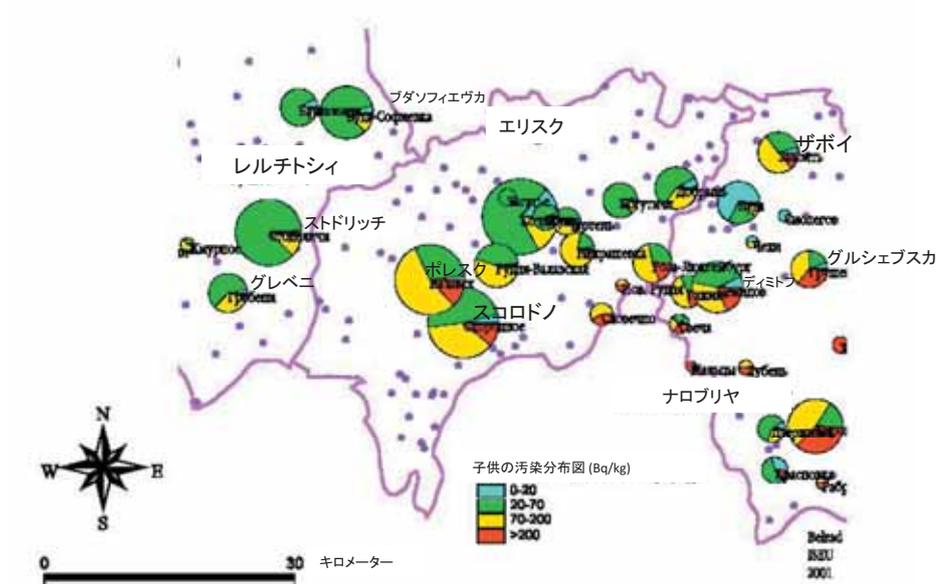
EU では、ほとんどの食物が地元から十分離れた場所から入手されていることに注意されたい。したがって、スーパーで購入した食品と、地元の市場で購入した食品または地元で入手した食品を区別することが大事である。

2000 年から 2001 年までの、村単位での食品毎の放射能

食品	測定数	¹³⁷ Cs の汚染 (Bq/kg)		
		最低値	最高値	平均値
放射能が濃縮されることが分かっているもの				
牛乳	322	0	466	35
乾燥マッシュルーム	4	1800	36222	12016
生鮮マッシュルーム	20	36	1160	411
コケモモ	13	98	375	223
クランベリー	11	30	1617	293
あまり濃縮されないもの				
人参	6	0	37	11
肉	1	56	56	56
ジャガイモ	52	0	43	16

全身の計測

全身の計測については、その村や地域的な規模の統計的アプローチにより、放射能汚染状態の地球規模での全体像を得ることができる。また、住民の健康および疫学的な追跡調査にも役立つ。



統合

統計結果の表示

測定のタイプ	統計学的アプローチから予測される利益		
	個人レベル	コミュニティーレベル	形式
外部線量率	周辺や類似した状況との関係の中で自分の状況を評価できる 時間変化が追跡可能	ある地域の放射性物質の特性を表す指標になる	線量率の地図 時間変化のグラフ
飲食物	周辺や類似した状況との関係の中で自分の状況を評価できる 時間変化が追跡可能	ある地域の放射性物質の特性を表す指標になる	飲食物中の放射性物質の特性を、汚染の濃縮しやすさでまとめて表した地図 時間変化のグラフ
全身	周辺や類似した状況との関係の中で自分の状況を評価できる 時間変化が追跡可能	ある地域の放射性物質の特性を表す指標になる	全人口を対象とした放射性物質の追跡調査 時間変化のグラフ

5.5.3 個人手帳と家族パスポート

各個人はそれぞれ、手帳に自分の放射線計測の結果を記録しておく必要がある。これにより、利用可能な情報の定量的な評価ができる。このような手帳は、時間に伴う放射能汚染状態の進展の評価や、全データ（例えば、全身の計測値と食品計測値）の比較に用いることができる。それぞれが自ら手帳に記録をつけることが大事である。

日付	測定の種類														
	全身 	飲食物									空間線量率				
		市販の食品						自家製または採取した食品			屋内		屋外		
															
Bq	Bq/L	Bq/L	Bq/kg	μSv/h	μSv/h	μSv/h	μSv/h								
2003年10月15日															
2003年10月24日	4320		98			>10				3223			0,12		0,18
2003年12月12日												0,07	0,12		0,18
2004年1月3日	3200					>10	23			234					

6. 放射能汚染状態を改善するには

環境が長期的に汚染された場合は、関係セクターの当局によって直接いくつかの異なる防護策や予防策が実施される。

当局はまた、各個人で実施できる追加的対策を一般市民が自由に実施できるようにするだろう。このような対策の例として、線量計の利用や食品・全身のモニタリングが挙げられる。

また、既に利用されている実用的手段や放射能状態についての知識に基づいて、各個人が「ノウハウ」や「優れた実践法」を考案するであろう。

下記に提案されている改善策は、徹底的なものではない。これらの改善策は、ベラルーシとイギリスの専門家集団の提案に基づいている。

6.1 自分の外部被ばくを低減するための対策

個人の外部被ばくは、次のような方法で低減できる。

- 線量率が高い場所で過ごす時間を減らす。
- 被ばく率そのものを減らす（遮蔽⁷、適切な清掃により汚染除去）。
- 放射線源からの距離を大きくとる。

⁷ 建物は外部放射線を遮蔽する。

6.2 家庭での対策

6.2.1 家で何ができるか

1. 室内の表面を掃除する。
2. 食べ物は摂取する前に加工・保存する。

1) 室内の表面を掃除する

特に汚染の初期、降雨がなく堆積が起こった場合は、室内の汚染度が高い可能性がある。また、のちに、靴底や服に付いて、あるいは大気の流れによって運ばれてきた埃は、室内の汚染源になり得る。一定時間を過ごしたり、人と接触したりする可能性のある場所では、埃を蓄積させないことが大事である。

2) 食べ物は、摂取前に加工・保存する

家庭で育てた食物や採集した野生の食物は、加工したり保存したりすることで、食べられる部位内の放射能濃度を介入値以下に低くできる場合がある。加工・保存法としては、湯通ししたり、漬け込んだり、急速冷凍したり、乾燥させた

り、ジャムやチャツネ、貯蔵食品にしたりする方法が挙げられる。湯通しにより、食物中に取り込まれた放射能の除去が可能である。例えば、湯通しや煮沸により、放射性セシウム汚染の50%が除去できる。肉や魚は、塩水に漬け込むことで、放射性セシウムをそれぞれ最大80%および50%除去できる。

6.2.2 庭で何ができるか

1. 庭を掘る／耕す。
2. 汚染された薪や、燃やした灰の利用は慎重に行う。

1) 庭を掘る／耕す

土中に堆積した放射性セシウムは、土の断面で言えば表面数センチの部分に何年もとどまる（特に粘度や褐色森林土で顕著）。この汚染された層を掘り返しより深い部分へ埋め直すことで、外部放射線に対して顕著な遮蔽効果が得られる。

何をすれば良いか

土の表面を30cm程度掘り、表層の芝土が鉛直方向の底部にくるようにする。庭土は、ガソリン駆動の耕運機で耕したり、鋤（すき）で掘ったりするとよい。土の表面20cm以内の汚染を希釈することで、根からの放射性核種の摂取を低減できる植物もある。

2) 汚染された薪や、燃やした灰の利用は慎重に行う

汚染された木材を家庭のオーブンで頻繁に燃やすと、通常の薪と比べて灰中のセシウム137の濃度が徐々に上昇してしまうことがある。

何をすれば良いか

灰を庭の肥料に用いた場合、灰の汚染がその肥料をまいた土で育つ穀物、果物、野菜に移行することがある。庭には汚染灰を使用せず、他の肥料を選びたい。最善なのは、通常の有機肥料と無機肥料（カリウムやリン酸を含むもの）を混ぜて使用することである。

6.2.3 農園や菜園では何ができるか

土中の汚染は、その土で育つ食物に簡単に移行する。したがって、家庭菜園や農園では表土を鋤で取り除き、例えば花壇など、食物を育てていない部分に移すことができる。場合によっては庭の表土を完全に除去する事もできるが、多量の土壌廃棄物を生み出すことになる。

土の除去や移動は、できる限り早く行う必要がある。地元当局が汚染された表

土を埋め立て地に運ぶこともあるが、量が膨大になるため、一般的ではない。

6.2.4 汚染廃棄物はどうしたらよいか

汚染廃棄物（固体や液体、または両方）は、以下から発生する。

- 農地や家庭菜園（食用に不向きな作物）
- 庭からでるごみ（葉、刈った草）
- 調理により出る台所ごみ（例：むいた皮、外側の葉）

家庭ごみは通常埋め立て地に運ばれるか焼却される。庭から出る有機廃棄物は、しばしば個別に収集され、堆肥場に運ばれる。しかし、他のごみと混合され、埋め立て地に廃棄されたり焼却されたりする可能性もある。

放射能事故が起こった場合、全てのごみ、とりわけ庭からでるごみは、汚染されている可能性がある。このごみの管理は当局により行われ、特別の収集システムが設定される可能性もある。庭からでるごみは、もし家庭ごみと通常分別されていないようであれば、分別するようになるかもしれない。

汚染廃棄物の最も適切な廃棄経路を決定するため、モニタリング計画が策定されることになるだろう。廃棄物はそれでも埋め立て地や焼却施設に運ばれることになるかもしれない。これは廃棄物の汚染度や、それらの施設が汚染廃棄物の受け入れ許可されているかによる。少量の汚染された液体（家畜から得たミルク）は、酪農廃水処理施設や下水処理施設で処分されるだろう。野菜くずは、各家庭で、または業者により堆肥作りのために保存されることになるかもしれない。食品残飯などで水分を多く含み腐敗しやすい性質のものであれば、廃棄物処理が遅れることは許されない。

6.2.5 郊外や森林から採集（摂取）できるもの

通常は自由に食物を採集できる地帯も、立ち入りが制限されることがある。また放射能濃度が減少した場合、狩猟や漁業の時期には、それらは回数制限のもとで許可される可能性がある。

キノコ

セシウム 137 の濃度が 74,000 Bq/m² を上回る地帯では、キノコを採取してはならない。汚染度が低い地域であっても、定期的にキノコの汚染度を確認することを薦める。

汚染を低減するため、キノコはきれいに掃除し、少量の酢かクエン酸とともに塩水中で調理する必要がある。その後、乾燥させることができる。

キノコは、セシウム 137 の保持能力により、四つのグループに大別される。

1. 蓄積型キノコ類 (> 1000 Bq/kg) : ニセイロガワリ (*Xerocomus badius*)、ヒダハタケ (*Paxillus involutus*)、コガネヤマドリ (*Suillus luteus*)、アガリクス・アマラス (*Agaricus amarus*)、シヨウゲンジ (*Rozites caperatus*)
2. 放射性核種の高摂取型キノコ類 (400 ~ 1000 Bq/kg) : サフランミルクカップ (*Lactarius torminosus*)、ベニダケ属、キンメジ (*Tricholoma flavovirens*)、アンズダケ (*Cantharellus cibarius*)
3. 放射性核種の中程度摂取型キノコ類 (65 ~ 350 Bq/kg) : ポルチーニあるいはヤマドリダケ (*Boletus edulis*)、ヤマイグチ (*Leccinum scabrum*)、クロラッパタケ (*Craterellus cornucopioides*)
4. 放射性核種の低摂取型キノコ類 (< 60 Bq/kg) : カラカサタケ (*Lepiota procera*)、ナラタケ (*Armillaria mellea*)、ホコリタケ (*Licoperdon perlatum*)、アミカサダケ族 (*Morchella*)、ササクレヒトヨタケ (*Coprinus comatus*)、栽培キノコ、ヒラタケ類



サフランミルクカップ



アミガサタケ



アンズタケ



ナラタケ



ヤマドリタケ



ササクレヒトヨタケ

キノコの傘は、柄の部分よりも放射能が濃縮されやすいことが知られている。

ベリー

セシウム 137 の濃度が 74,000 Bq/m² を上回る森では、ベリーを採取してはならない。汚染度が 37,000 ~ 74,000 Bq/m² の範囲の森で採取されたベリーは、定

期的に汚染度を確認することを薦める。

汚染度が 37,000 Bq/m² を下回る森では、ブラックベリー、イチゴ、ラズベリーの計測をするのが賢明である。しかし、ブルーベリーやクランベリーは、強制的に計測が行われなければならない。

同じ条件であれば、ブルーベリーに濃縮されるセシウム 137 はイチゴやラズベリーと比べて 2～3 倍高い。

ジャムや砂糖漬けにしても汚染を減少させることはできない。

6.3 医療従事者および地元ステーキホルダー 諮問委員会の対策

6.3.1 一般市民へのアドバイス・情報提供・指導

以下についての一般的なアドバイスや情報の提供、指導を行う。

- 委員会の食品介入レベル上限値。スーパーで購入した市販食品が消費に適しているか、政府規制で定められた基準値以内であるかの再確認。個人で採集した野生の食物（キノコやベリー）、家庭で栽培した食物（果物や野菜）、私設の水道水や貯留した雨水からの放射性核種の摂取を制限する方法。どの食品が制限なく食べることができ、どの食品が時々食べてもよく、どの食品が完全に避けるべきかなどについて、恐らくアドバイスは様々に異なるだろう。
- 家庭向け改善策。その策をいつ実行に移すと「安全」か、いつその取り組みをやめるのが妥当かなどについてのアドバイスも含む。
- 道路や学校、その他の公共の場の汚染除去のため、その他の改善策が当局により実施されることがある。

アドバイスは、メディア（新聞やインターネット）を通して、あるいは特別に発行されたパンフレットにより連絡される。

6.3.2 計測 / モニタリング装置の提供

家庭で栽培したり個人で採集した食品の放射能汚染度を検査するために、一般市民が設備や施設を個人で利用できるようにする。モニタリング設備として、外部線量率を個人的にモニタリングできるように、適切な訓練後にガイガー・カウンターや電子線量計を貸し出したり寄付したりするケースや、独立したモニタリングサービスが利用できるようにする。食品（特に個人が採集したもの）の放射能汚染度の確認や全身のモニタリング用に、地元で計測所を設置し、利用できるようにする必要もある。

7. 放射線に関する技術シート

7.1 説明

全ての物質は、異なる種類の複数の原子により構成されている。それらは、不安定な状態にあるものもある。不安定な状態にあるものは、「放射能がある」と言われる。これは、それらの原子が物理的な自然転移（状態の変化や崩壊）を起こしやすいからであり、その際に放射線や粒子を発生させる。崩壊の速度（率）は様々である。

崩壊後に安定状態に達する原子もある。安定状態に達した原子はもう放射能を持っていない。そうでない場合、崩壊過程で新たな不安定原子が発生する。その結果、発生した新たな原子は再び、新たな崩壊を起こしやすい状態、つまり、さらに放射線や粒子などを放出しやすい状態となる。

放射能減衰

放射性崩壊は、原子の不安定性の度合いに依存して時間とともに起こる。ある原子が素早く崩壊するとき、我々はそれを短寿命放射性核種という。これに対して、原子の崩壊に数百万年かかるとき、我々はそれを長寿命放射性核種という。自然界のすべての状況は恐らくその両者の間に当てはまるだろう。

崩壊過程は時間に伴って起こり、決して加速されない。それは放射性核種の不安定性の度合いに依存する。時間が経過すると放射性核種の数が増え、放射能も減少する。原子の「寿命」はその「半減期」で特徴づけられる。つまり、(崩壊によって) 消失する物質の原子数が半分になるのに必要な期間が「半減期」である。

様々なタイプの放射性放出

崩壊過程で放出する放射線、粒子線は原子の種類によって異なる。

- ・ アルファ放射線 (α) は粒子 (物質)、正確に言うとヘリウム原子核 (2 個の陽子と 2 個の中性子) の放出に相当する。
- ・ 中性子放射線は粒子 (物質) の放出に相当する。
- ・ ベータ放射線 (β) は電荷をもつ粒子 (物質)、正確に言うと電子、の放出に相当する。
- ・ ガンマ放射線 (γ) は電磁波 (可視光や X 線のように) に相当する。

7.2 単位

放射線では、下の単位が用いられる。

- ベクレル (Bq) は、放射能の能力を定量化するための単位である。1 ベクレルは、1 秒あたり一回の崩壊に相当する。次のような幾つかの単位がよく用いられる。
 - キロベクレル (kBq) = 1000 Bq
 - メガベクレル (MBq) = 100 万 Bq (10^6 Bq)

- ギガベクレル (GBq) = 10 億 Bq (10^9 Bq)
- テラベクレル (TBq) = 1 兆 Bq (10^{12} Bq)
- シーベルト (Sv) は、被ばくした人の放射線の生物学的影響を定量化するための単位であり、影響は放射線の性質や被ばくした器官により異なる。これも、幾つかの単位がよく用いられる。
 - ミリシーベルト (mSv) = 0.001 Sv
 - マイクロシーベルト (μ Sv) = 0.001 mSv または 0.000001 Sv

いくつかの放射性核種とその特徴

地球の始まりから存在する放射性核種

自然界には「最初」の元素、約 20 種が現在なお残存する。それらは地球誕生を起源とする不安定な原子で、放射性崩壊がとても長い時間のためそれらの全てがいまだ崩壊し終えていない。

特に、ウラン 238 (^{238}U)、トリウム 232 (^{232}Th)、ウラン 235 (^{235}U) の娘核種とカリウム 40 (^{40}K) がこれにあたる。

放射性核種	半減期
カリウム 40 (^{40}K)	12 億 9 千万年
ウラン 238 (^{238}U)	45 億年
トリウム 232 (^{232}Th)	140 億年
ウラン 235 (^{235}U)	7 億年

これらの放射性核種は土壌、水中、空気中、植物、人も含めた生物の体内に見られる。

宇宙放射線によって継続的に生成する放射性核種

宇宙放射線は空気中や地球の地殻内で継続的に放射性核種を生成する。特に、炭素 14 (^{14}C)、トリチウム (^3H)、塩素 36 (^{36}Cl)、ベリリウム 10 (^{10}Be)、シリコン 32 (^{32}Si) がこれに該当する。

放射性核種	半減期
炭素 14 (^{14}C)	6000 年
トリチウム (^3H)	13 年
ベリリウム 10 (^{10}Be)	270 万年
シリコン 32 (^{32}Si)	650 年
塩素 36 (^{36}Cl)	31 万年

人間の活動に由来する人工放射性核種

様々な人間の活動が、いわゆる“人為的起源”、の放射性核種の生成につながる。20 世紀の初めから短寿命放射性核種は医療用に使われてきた。原子核融合あるいは原子核分裂エネルギーは様々な半減期の多数の放射性核種を発生してきた。20 世紀の後半 50 年間に行われた核爆弾実験は、原子力発電所の事故（キシユテム事故 1957 年、スリーマイル島事故 1979 年、チェルノブイリ事故 1986 年）、病院、研究機関での事故と同様に、環境中に大量の放射性核種をまき散らしてきた。

特に、ヨウ素 131 (^{131}I)、ヨウ素 129 (^{129}I)、セシウム 137 (^{137}Cs)、コバルト 60 (^{60}Co)、ストロンチウム 90 (^{90}Sr)、その他多くの核種がこれにあたる。

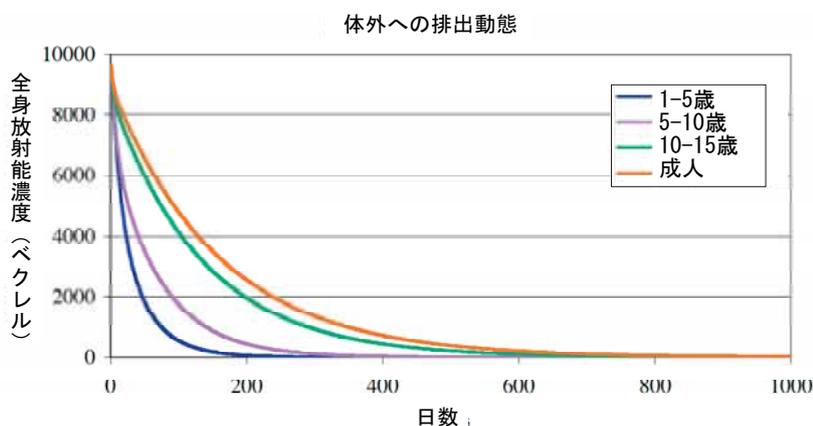
放射性核種	半減期
ヨウ素 129 (^{129}I)	1700 万年
ヨウ素 131 (^{131}I)、	8 日
セシウム 137 (^{137}Cs)	30 年
コバルト 60 (^{60}Co)	5 年
ストロンチウム 90 (^{90}Sr)	28.5 年

これらの放射性核種は土壌、水中、空気中、植物、人も含めた生物の体内に見られる。

7.3 体内への摂取

人体は、肺や腸、皮膚や傷を通じて放射性元素を吸収する。吸収された放射性元素はその後、放射性核種の化学的性質により差があるが、生化学的・物理的プロセスにより排出される。

下図は、1万ベクレルのセシウム137を一回取り込んだ後の人体中の全放射能レベルを、異なる年齢毎に示したものである。図から、年齢により体内に取り込まれたセシウム137の除去速度に差があることがはっきりと見て取れる。5歳未満の子供では、100日経過後、セシウム137は約5%しか残留していないが、大人の場合、体内のセシウム137が同様な量まで減少するのに、4～5倍の期間（1年以上）待つ必要がある。



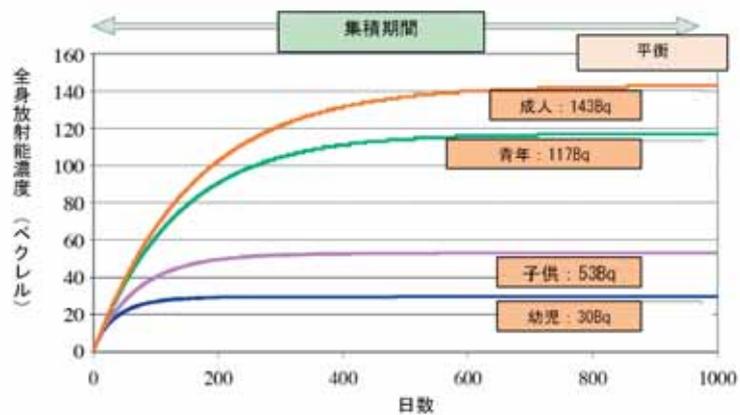
10000 ベクレルのセシウム137を1回摂取したときの全身の放射能の変化

放射能の摂取や吸入が連続的である場合、体内の放射能量は、平衡状態（取り込まれた放射能と排出された放射能が同量となる状態）に達するまで徐々に増加する。

下図は、一日1ベクレルの放射能を継続的に一定速度で取り込んだ場合の、全身の放射能レベルを示している。図から、対象者の年齢によって差があるが、放射能レベルは一定時間後に平衡状態に達することが分かる。関係は直線的、つまり、全身の汚染レベルは摂取速度に直接比例していることに注意されたい。また、代謝や体内のカリウム濃度、体重、筋肉量などにより個人差が観測されることにも注意されたい。下記に示されている数値は、標準人*⁸の数値である。

訳注8) 標準人：

reference persons、ICRP Pub. 23で規定された欧米人の平均的な解剖学および生物学的特性を有している個人。内部被ばく線量を計算するための線量評価モデルに適用される。



セシウム 137 を一日 1 ベクレルで連続的に摂取したときの全身の蓄積量と平衡状態での値。

体内へのセシウムの蓄積

摂取により体内に入ったセシウムは消化管で素早く吸収され、その後、血液を通して標的臓器に向かう。出典：Institut de Protection et de Surete Nucleaire, *Le cesium de l' environnement a l' Homme*, Collection IPSN, EDP Sciences 2000.

体内でのセシウムの移動は詳細な統計的モデルから予測できる。出典：Age-dependent doses to members of public from intake of radionuclides (放射性核種摂取による公衆人の年齢依存的線量)：Part 1, Publication 56, International Commission Radiological Protection, *Annals of the ICRP*, vol. 20, No. 2 (1989)

7.4 健康上の影響

放射線は、人体の生体組織に損傷を与えるおそれがある。人体は損傷を修復しようとするが、損傷が重篤だったり、広範囲になりすぎていたりすることもあり、また、自然修復過程で誤りが起こることもある。

放射線は様々なかたちで人体に影響し、放射線被ばくによる健康への悪影響は何年も現れなかったりする可能性もある。悪影響は、皮膚のやけどなどの軽度のものから、がんや致死のような重度のものまで、人体の吸収放射線量、放射線の種類、被ばく経路および被ばく期間により様々である。非常に深刻な放射線被ばくでは、数日から数ヶ月以内に死亡することもある。低放射線量での被ばくでは、がんの発症や他の健康への悪影響を受ける可能性が高まる。

電離放射線は透過する生体の細胞を傷つけるかもしれない。もし細胞に損傷が起こってそれが適切に修復されなければ、細胞は生き残れなかったり、増殖できなかつたりなどの、正常な機能を失う。あるいは生き残っても、変異した細胞は体細胞であれば癌化し、生殖細胞であれば遺伝病へとつながるかもしれない。

一般的に、電離放射線の健康影響は受けた線量に依存し、確率的影響（子孫での遺伝的リスクや、体細胞影響でいえば癌）と確定的影響に分けられる。

生体組織の反応

高線量急性被ばく（多くは0.1グレイ以上）の影響は“確定的”と呼ばれる。なぜなら、それらは照射に続いて常に起こるからである（数日内であれば前駆症状、消化管障害、中枢神経系障害、数週内では造血系障害、肺障害）。確定的影響のほとんどが被ばく後、長期間後に現れるものでないことに注意されたい。しかし特別な場合として、白内障や甲状腺機能低下症のような確定的影響では、被ばくから数年あるいはそれより長い期間で症状がでる。確定的影響の重篤度は、それ以下では影響がみられないしきい線量（下表参照）よりも上では、受けた線量に依存する。出典：Little M.P., Risks associated with ionizing radiation（電離放射線に付随するリスク）, British Medical Bulletin, n° 68, pp 259-275, 2003.

もし、細胞の損傷が体内機構によって修復できないと、細胞死を誘導し、そうなる組織や臓器レベルの副作用を引き起こす。放射線を受けた組織毎に、例えば皮膚の放射線火傷（1895年の電離放射線が発見された同年に観察された症状）、一過性不妊および中枢神経系、消化器系や白血球発生系への障害といった症状がある。組織が重度の影響を受けなかった場合には、これらの影響は可逆的であり、治癒する。しかし、非常に高線量の場合には、あまりにもたくさんの細胞が壊される結果、組織や被ばくした臓器は完全に破壊される。そのため放射線火傷により、手足を切断しなければならない場合もある。なぜなら、生命維持にかかわる器官への影響は被ばく者の死につながるからである。子宮内で被ばくした胎児のような特殊な場合には、胚の死、さらには奇形が発生する。

以下の数値は成人用である。

症状	臓器	しきい線量（グレイ）
致死的なもの		
骨髄症候群	骨髄	1.5
線維性肺炎	肺	5.5
胃腸症候群	大腸（内部被ばく線量）	23
	小腸（外部被ばく線量）	9.8
胚／胎児死	胎児	
	妊娠 1-18 日	0.12
	妊娠 18-150 日	0.37
	妊娠 150 日以上	1.5
疾病		
前駆的な影響		
- おう吐	消化管	0.49
- 下痢	消化管	0.55
肺線維症	肺	2.7
放射線火傷	皮膚	8.6
甲状腺機能低下	甲状腺	2.3
甲状腺炎	甲状腺	140
白内障	眼レンズ	1.3
排卵低下	子宮	0.85
精子数の低下	精巣	0.46

確率的影響

どのような被ばくレベルでも、被ばく後長期間経過してから影響が現れることがある。体細胞への影響（癌）と遺伝的な影響は、いずれもその重篤度でなく、出現確率が放射線量に依存する：これが“確率的”（あるいは予測不能な）と呼ばれる理由である。放射線量とその影響との関係は、確定的影響のように非直線性かもしれない。しかし、一般的にはほとんどの確率的影響では、確定的影響とは違い、十分に低い線量でも線量-効果関係の傾きが0にならない、つまりしきい値がない、として受け入れられている。

放射線被ばくが少量の損傷を起こす場合には、細胞はその損傷を修復することができる。それゆえ、細胞は生き残って分裂することができる。しかし、遺伝的損傷（DNA 変化）が起これば、細胞が分裂する際にもそれが残るかもしれない。このような損傷は放射線被ばくから数年後に発生する癌や白血病の原因となる。もし生殖細胞（卵子、精子細胞など）が損傷を受ければ、その遺伝的損傷が子孫へと伝わっていく。

電離放射線への被ばく後に確率的影響が発生する可能性を評価する方法が、相互に補い合う研究分野である疫学と放射線生物学により、20世紀初めから研究されてきた。疫学は集団の病気を扱う研究である。被ばく集団と非被ばく集団での疾病率は標準的な統計手段（例えば、原子爆弾で被ばくした広島、長崎での生存者集団は、過去に放射線の確率的影響を決める主要なデータ源であったし、いまだにそうである）を用いて比較できる。一方、研究室での実験的研究を行う放射線生物学は、放射線と生体との相互作用の研究から顕微鏡（細胞）レベルでの生物応答機構を明らかにしている。これら両タイプの研究結果から“線量とリスク”の関係が定義され、ゼロで無いどんなに小さい放射線レベルのリスクも定量化されてきた。

国際放射線防護委員会（ICRP）は Publication 60（1990）で個人のリスクを以下の通り定義している：ある人が癌で死亡する確率は、生涯を通して積算1シーベルト（1 Sv）の被ばく線量を受けると5%増加する。これは「自然」発がんでの死亡率25%（我々西洋社会では）に対する付加的なリスクである。それ故、一生涯（70年）に1 Svの線量を受けた人の癌による死亡確率が25%から30%に増加することを意味する。

同様に、自然放射線とは別に毎年1ミリシーベルト（mSv/年）ずつ被ばくし続けると一生涯（70年）で致命的癌に対する個人のリスクは25%から25.035%に増加することになる。

この“線量とリスク”のしきい値がない直線関係は、電離放射線による確率的影響の予防策の基礎的概念として、1950年代から供されてきた。

用語解説

バックグラウンド放射線

宇宙放射線、ラドンなどの自然放射能由来の放射線、および原子爆弾の核実験から放出され環境中に存在する地球規模のフォールアウトに由来する放射線。個人のバックグラウンド放射線由来の被ばくの平均値は年間 3.6mSv である。

ベクレル (Bq)

放射性崩壊の単位で 1 秒間に壊変する数を表す。37,000,000,000 ベクレルは 1 キュリー (Ci)。

慢性被ばく

動物及び人の生涯を通じて長期間にわたる、あるいは頻回の被ばく。連続的に、又は少量を複数回に分けて被ばくする。

放射能汚染

人、環境及び設備等に害を及ぼす場所での放射性物質の付着。

キュリー (Ci)

サンプル物質の放射能強度を表す単位。1 キュリーが 37000000000 崩壊 / 秒 (ベクレル) であり、これは 1g のラジウムの放射能に相当する。この単位名は 1898 年にラジウムを発見したマリー・キュリーとピエール・キュリーに由来する。

放射能の減衰

原子核からの粒子の自発的な放出 (しばしば放射線を伴う) による放射性物質の経時的な減少。

確定的影響

非確率的影響ともいう。影響は受けた放射線量と直接関係がある。影響は高線量ほど重篤、すなわち線量の増加に従って障害が悪化する。基本的には線量にしきい値 (つまりそれ以下だと影響が現れない線量) がある。放射線被ばくによる皮膚の火傷は確定的影響である。

線量

グレイ (Gy) で表される吸収線量は物質のグラム当たり吸収されるエネルギーである。さらにシーベルト (Sv) で表される生物学的線量すなわち線量等量は、

生体組織への放射線被ばくによる生物学的損傷の大きさを表す。

線量率

単位時間あたりの電離放射線の線量。例：シーベルト／時間 (Sv/hr)

外部被ばく線量

体外にある放射線源からの線量。

内部被ばく線量

体内に滞在あるいは付着した放射性物質からの人体臓器への線量。

被ばく

放射性物質又は放射線に曝露される事。

グレイ (Gy)

吸収線量の国際単位系 (SI)。ある物質に実際に吸収されたエネルギー量であり、全ての物質と放射線が対象となる。1 グレイは物質 1kg 当りに吸収された 1 ジュールのエネルギーに等しい。グレイはあらゆる放射線に対して使用出来るが、放射線の種類が異なった時の生物学的効果を表しているのではない。吸収線量はしばしば 1 グレイの 100 分の 1、すなわちセンチグレイで表記される。

放射線 (電離放射線)

アルファ線、ベータ線、ガンマ線、エックス線、中性子線、高速電子線、高速陽子線、又はイオン化を起こす他の粒子線。これには、ラジオ波やマイクロウェーブ、可視光、赤外線、紫外線等の非電離放射線は含まれない。

放射能

不安定な核種の原子核からの放射線の自発的な放出。単位はベクレル、すなわち 1 秒あたりの壊変数。

放射性核種

自発的に壊変あるいは減衰して放射線を放出する不安定な元素。自然及び人工的核種でおよそ 5000 種類の放射性核種が同定されている。

シーベルト (Sv)

線量等量の国際単位系 (SI)。人体組織への吸収線量と放射線による実際の生物学的損傷とを関係づけている。同じ吸収線量でも、すべての放射線が同じ生

物学的効果を持つわけではない。等価線量はしばしばシーベルトの千分の一、すなわちミリシーベルトと表記される。線量等量 (Sv) は吸収線量 (Gy) にそれぞれの放射線特有の荷重係数 (Q) を乗ずることにより求められる。

確率的影響

線量の大きさに関係なくランダムに起こる影響。確率的影響は基本的には“しきい値”がなく、障害の頻度、すなわち確率、が線量に依存して増加する。発癌は確率的影響である。

ホールボディ・カウンター

人又は動物に取り込まれた放射能を同定し測定する装置。バックグラウンド放射能を除去するための厚い遮蔽体、高感度検出器と電子計測器を装備する。

記者紹介

小松賢志、京都大学放射線生物研究センター・ゲノム動態研究部門・教授

専門分野:昭和 50 年代まで、放射性核種トリチウムの環境動態の研究を行う。米国留学から帰国後に、本格的に放射線損傷の DNA 修復、特に電離放射線感受性遺伝病ナイミーヘン症候群、の研究を行い現在に至る。

小林純也、京都大学放射線生物研究センター・ゲノム動態研究部門・准教授

専門分野:人やマウスの加齢機構をテロメアの短縮を中心に研究を開始する。広島大学在籍中に放射線損傷応答に興味を持ち、細胞レベルからマウスおよび患者までの DNA 修復の制御機構の研究を行う。

加藤晃弘、京都大学放射線生物研究センター・ゲノム動態研究部門・研究員

専門分野:大学院生時代に菌類を用いて DNA 修復蛋白の解析を行う。京都大学に移ってからは、ヒト細胞の DNA 修復の分子機構ならびにマウスを用いた放射線感受性の年齢依存性の研究に従事する。

島田幹男、京都大学放射線生物研究センター・ゲノム動態研究部門・研究員

専門分野:「DNA 修復蛋白による中心体の維持機構」で京都大学から博士号を授与される。放射線による中心体の不安定化とその防御物質、ならびに放射線小頭症の分子機構の研究に従事する。

非売品

平成 23 年 6 月 27 日印刷

連絡先

郵便番号 606-8501 京都市左京区吉田近衛町
京都大学放射線生物研究センター (谷崎)

電話 075-753-7551

WEB < <http://www.rbc.kyoto-u.ac.jp/index.html> >