

## II. 研究成果の刊行に関する一覧表等

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
Kunugita N, Terada H, Yamaguchi I	Radioactive contamination of foods and drinking water by the nuclear power plant accident in Japan.		Proceedings of 2011 UOEH International Symposium (Journal of UOEH, Vol 34, Supplement)		Kitakyushu	2012	25-27
樺田尚樹, 寺田宙, 山口一郎	飲食物の放射能モニタリング	放射線事故医療研究会	MOOK医療科学 No.5 放射線災害と医療「福島原発事故では何ができて何ができなかったのか」	医療科学社	東京	2012	35-41

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Unno N, Minakami H, Kubo T, Fujimori K, Ishiwata I, Terada H, Shigeru Saito S, Yamaguchi I, Kunugita N, Nakai A, Yoshimura Y	Effect of Fukushima nuclear power plant accident on radioiodine ( <sup>131</sup> I) content in human breast milk.	The Journal of Obstetrics and Gynaecology Research		In Press	2012
K Ono(Ohno)	Fukushima Nuclear Power Station: What Happened? Why All Health Care Professionals Need Radiation Training	Aesth Plast Surg		DOI 10.1007/s00266-011-9852-3	2012
E Vano, K Ohno, C Cousins, O Niwa and J Boice	Radiation risks and radiation protection training for healthcare professionals: ICRP and the Fukushima experience	J. Radiol. Prot.	31	285-287	2011
樺田 尚樹	放射性物質の母乳に及ぼす影響	周産期医学	42(3)	335-338	2012
樺田尚樹	放射線被曝、特に低線量の長期間被曝の健康影響に関して	健康管理	59(2)	3-17	2012
樺田尚樹	低線量放射線の健康影響	杏林医会誌	43(1)	4-8	2012
山口一郎	環境衛生での放射線リスクをどう考えるか	生活と環境	57	31-33	2012

樺田尚樹, 猪狩和之, 寺田宙, 山口一郎	低線量放射線被ばくの 健康影響	保健医療科学	60	286-291	2011
寺田宙, 山口一郎	放射性物質による食品 汚染の概要と課題	保健医療科学	60	300-305	2011
樺田尚樹	身の回りの放射線・放射 性物質	空衛	65	38-46	2011
山口一郎	放射性物質との付き合 い方を考えるー食品か らの曝露の制御.	食品衛生研究	61	7-16	2011
山口一郎	低線量放射線の健康影 響ーチェルノブイリ事故 の疫学調査を中心にし て	公衆衛生	75	830-833	2011
山口一郎	原子力災害後の現存被 曝状況でのリスク・コミ ュニケーション	医学のあゆみ	239	1050-1055	2011
大野和子, 遠藤啓吾	呼吸器検査におけるハ ザード 核医学検査に おける被ばくとその考 え方	胸部臨床	71	132-141	2012
大野和子	放射線防護の概念 (医療 放射線管理・災害時の被 ばく管理)	臨床放射線	5	640-645	2011

### III. 研究成果の刊行物・別刷

特集：東日本大震災特集 放射性物質の健康影響

<総説>

低線量放射線被ばくの健康影響

樺田尚樹 [1], 猪狩和之 [2], 寺田宙 [1], 山口一郎 [1]

[1] 国立保健医療科学院生活環境研究部

[2] 医療法人社団こころとからだの元氣プラザ

Effects of exposure to low-dose ionizing radiation and human health

Naoki KUNUGITA[1], Kazuyuki IGARI[2], Hiroshi TERADA[1], Ichiro YAMAGUCHI[1]

[1] Department of Environmental Health, National Institute of Public Health

[2] Genkiplaza Medical Corporation

抄録

平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災に伴う津波により東京電力福島第一原子力発電所において、環境中への放射性物質の大規模な放出を伴う一連の重大事故が発生した。放射性物質の環境汚染とそれに伴う低線量放射線被ばくによる健康影響が懸念され不安が広がっている。厚生労働省による食品中の放射性物質のサーベイランスでは暫定規制値を超える放射性セシウムやヨウ素が検出されている。さらに福島県および近隣の授乳中の母体の母乳からも低濃度の放射性物質が検出された。国際原子力機関 IAEA を含む幅広い国際機関が大きな関心を示し、日本のサポートを表明している。ここでは、放射線、放射能の基本的な理解、および低線量放射線被ばくの健康影響について解説するとともに、国際放射線防護委員会 ICRP を中心とする放射線防護の考え方について解説する。

キーワード：放射線、確率的影響、国際放射線防護委員会 ICRP、介入における防護の最適化、正当化

Abstract

Environmental pollution with radioactive residue occurred after an accident at the Tokyo Electric Power Company's (TEPCO) Fukushima Daiichi nuclear power plant on 11 March 2011 in Japan. There is naturally a great deal of concern regarding the health effects of radiation and radioactivity. Food monitoring data were reported by the Ministry of Health, Labour and Welfare, and many samples were above the protective action levels for radioactive cesium and/or iodine. In addition, contamination of breast milk was observed in lactating women residing in Fukushima and neighboring prefectures. Many international organizations, including the International Atomic Energy Agency (IAEA), are working together to support Japan now. This paper presents a review of the effects of environmental radioactive residues, effects of low-dose radiation exposure, and regulation of radiation under emergency conditions.

**Keywords:** radiation, stochastic effects, ICRP (International Commission on Radiological Protection), optimization of protection in interventions, justification

連絡先：樺田尚樹

〒 351-0197 埼玉県和光市南 2-3-6

2-3-6, Minami, Wako-shi, Saitama, 351-0197, Japan.

Tel:048-458-6269

Fax:048-458-6270

E-mail: kunugita@niph.go.jp

[平成 23 年 8 月 25 日受理]

## I. はじめに

1895年のレントゲン博士のX線発見の報告後、その利用は瞬く間に世界中に広まり、それに伴い当初の適切でない利用もあったため、翌96年には手の皮膚炎、眼痛、脱毛症、など多くの急性放射線障害も既に報告された。あわせて、ベクレルによる放射能の発見や、98年のキューリー夫妻によるラジウムの発見、など輝かしい発見が続く中で、1902年にはX線による慢性潰瘍からの発がんも報告され、放射線利用における管理の対策も早い段階で系統的に試みられてきた。その成果は、1915年には英国で“X線技術者の防護に関する勧告”が出され、25年には第1回国際放射線会議（ロンドン）の開催、28年の国際X線ラジウム防護委員会の設立と、戦後の56年の国際放射線防護委員会へと続いている。これらの動きは、化学物質などの管理より圧倒的に早くから、生物学的影響と曝露の定量的な評価を導入して実施されてきた。

放射線防護に関する国際的枠組みとして、現在多くの国際機関が放射線の健康影響と防護に係わっている。まずUNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: 原子放射線の影響に関する国連科学委員会)が、加盟各国および各国際機関の専門家が参加し、放射線の「線源と影響」に関する数多くの科学論文をレビューし科学的知見の取りまとめを行っている。これを受けてICRP (International Commission on Radiological Protection: 国際放射線防護委員会)が防護の枠組を定め、各種勧告、ガイダンスを発行している。IAEA (International Atomic Energy Agency: 国際原子力機関)は、国際基本安全基準BSS (Basic Safety Standards)等を策定し国際的な安全基準・指針の作成を行っており各国国内法令の整備に貢献している。また一般公衆向けに放射線の線量やリスクについて分かりやすくQ&A形式で解説公開している(IAEA, Information for Public: Radiation in an essential part of our life. <https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/InformationFor/Patients/information-public/index.htm>). これらに加え、WHO, OECD, ILOなども各々の分野で連携しながら関与してきている。

このように放射線利用にあたってその防護の必要性は早くから認識され、国際的な基準が作られている。最も基本となるものとしてICRPの各種勧告があり、各国はこの勧告をもとに自国の法令を制定し管理にあっている。日本では平成13年4月の法令改正時に、従来のICRP Publication 26 (1977年勧告)からPublication 60 (1990年勧告)を取り入れ現在に至っている。この改正では、作業者の線量限度が従来の年間50mSvから5年間の平均で年当たり20mSv (5年につき100mSv)に変更されたことが大きい点である。ICRPではその後、Publication 103 (2007年勧告)が出され、国内でもこれを取り入れた法令改正が審議中である。

ここでは、平成23年3月11日の東日本大震災に伴う大津波による全停電から引き起こされた東京電力福島第一原

子力発電所事故に関連して、これらのレポートや勧告を参照しながら、放射線・放射能の基礎的知識の整理と生物学的影響について述べる。

## II. 放射線・放射能に関する概説

一般に放射線という場合電離放射線をさし、この中には電磁波の一種であるX線、 $\gamma$ 線と、粒子線である電子線、 $\beta$ 線、陽子線、 $\alpha$ 線、中性子線、重粒子線などがある。また放射能とは、放射性物質がこれらの放射線を出して壊変する性質をいうが、それ以外にも量的なものとして放射能の強さを表すときや放射性物質を表すときにも使用されることがあるので注意する必要がある。

放射線が組織に照射されるとエネルギーを与えるが、単位質量の組織に吸収されるエネルギーを「吸収線量」といい、グレイ[Gy]で現わされる。一方、吸収線量は同じでも、放射線の種類とエネルギーによって生物学効果は異なる。たとえば1GyのX線、 $\gamma$ 線の影響に比べ、1Gyの中性子線や $\alpha$ 線の影響は大きくなる。そこで、すべての放射線の影響を同じ尺度で評価する指標として放射線の線質に応じた放射線加重係数を臓器の平均吸収線量に乗じて「等価線量」を計算しシーベルト[Sv]という単位で現わす。この係数は、X線、 $\gamma$ 線、電子線は1であり、エネルギーにもよるが中性子線なら10、 $\alpha$ 線なら20などとなる。従って同じ1Gyの被ばくであってもX線の場合は1Svであり、 $\alpha$ 線なら20Svとなる。また被ばくした個体の影響は被ばくした臓器・器官の種類によってもその生物学的影響は異なる。そこで放射線のリスクに関連した線量概念として「実効線量」が定義され、各臓器の等価線量にその臓器の組織加重係数を乗じてすべての臓器について合計したものが使用され、単位としてはこれもシーベルト[Sv]が用いられる。この実効線量を用いれば、放射線の種類や被ばく部位に依存せず、発がんなどのリスクの概略を評価することができる。

## III. 身の回りの放射線

日ごろ身近な生活の中でも我々は種々の放射線源によりわずかながら被ばくしている。これらを自然放射線と呼び、1) 大地放射線(地球の大地に含まれる放射性物質からの放射線)、2) 宇宙線、3) 体内に存在する放射性同位体(主に $^{40}\text{K}$ )、4) ラドン及びその娘核種による内部被ばくなどに分類される。ただし大地放射線などは地域差があり、年間の日本全国の平均は1)から3)の合計が約1.14mSv、そのほか4)のラドン分が約0.4mSvと世界の平均よりかなり低いといえる。地球規模でみた場合ブラジル、インド、中国など一部の地域では日本の10倍以上の値を示し1年に10mSv程度の所もある。一方、人工放射線源からの被ばくは1) 医療被ばく(医療における患者、ボランティア等の被ばく)、2) 過去の核実験に伴う放射性降下物、3) 原子力発電に伴う放射線などに分類され、平均被ばく線量としては医療被ばくが大半をしめる。世界各

国での一人当たり一年間の平均は医療水準により大きく異なり 0.5 ~ 2.0mSv 程度であるが, 日本においては医療被ばくはかなり高く 2.2mSv 前後になる [1]. 医療被ばくの問題については, 2004 年 1 月に医学専門誌 Lancet に掲載された論文に記述された内容の一部が「日本人のがんの 3.2% が診断被ばくが原因」, 「診断用 X 線によるがんリスクの増加」といった形でマスメディアにより報道され, 一般の人々の不安を助長する結果となった [2]. さらに, 2007 年 11 月には The New England Journal of Medicine 誌において Brenner らは [3], 近年の CT 撮影の増加に伴う医療被ばくの増加ががんの原因の約 2% を占めると述べ, 一部マスメディアで再び医療被ばくに伴う低線量放射線被ばくと発がんリスクについて報じられた.

#### IV. 被ばくの形式と被ばく線量評価

放射線源が体の外の離れたところに有り被ばくする状態を外部被ばくと呼ぶ. この場合は, 主として透過力の高い  $\gamma$  線, 中性子線の被ばくが問題となる. 一方, 放射性物質が体表面および衣服等に付着した状態を汚染という. これら体表面汚染した放射性物質および空気・飲食物等を通じて経口, 経気道, 経皮的に放射性物質を体内に取り込んだ状態を内部被ばくと呼ぶ. 内部被ばくの場合, 外部被ばくと異なり, むしろ透過力の弱い  $\alpha$  線および  $\beta$  線放出核種の方が生物学的影響は大きくなる.

被ばく線量推定は, 外部被ばくの場合, その場の単位時間あたりの線量率 ( $\mu\text{Sv}/\text{hour}$  等) に滞在時間を掛け合わせることで算出される. 線量率の測定は, 主としてサーベイメータで実施される. また個人の外部被ばく線量は, 上記算出による推定のほか, フィルムバッジ, ガラス線量計, TLD 熱蛍光線量計, 半導体検出器などの個人線量計を用いることで装着期間中の累積被ばく線量を定量評価できる. 半導体検出器以外は, 装着終了後読み取り操作を実施するまで線量が分からないが, 半導体検出器ではリアルタイムに線量が評価可能であり, 高線量率下の作業ではアラーム機能を装備した半導体検出器が利用される.

内部被ばくの評価は, 尿や血液など生体試料を採取し, その試料中の放射性物質量を分析するバイオリジカルモニタリングおよび NaI シンチレーションサーベイメータによる甲状腺サーベイやホールボディーカウンタによる評価が実施される. 生体内に取り込まれた核種が同定されその量が定量出来ると, 各々の核種固有の実効線量換算係数を乗じることで預託実効線量を推定することが出来る. なお, 内部被ばくの場合には, 体内に取り込まれた放射性物質は, 各々固有の物理学的半減期による減衰だけでなく, 生体内での代謝・排泄に伴う生物学的半減期による減衰も考慮して被ばく線量評価が行われる. たとえば, 核分裂生成物として今回の事象でも大きく問題となったセシウム-137 の場合, 物理的な半減期は 30 年であるが, 生物学的半減期は成人で 70 ~ 90 日程度, 代謝の大きい幼小児であれば, 1 歳児で 9 日, 9 歳児で 38 日程度といわれており, 比較的

速く体内から排出される.

#### V. 放射線の生物影響

##### 1. 確定的影響と確率的影響

放射線による人体への影響は, 被ばくした本人に影響が認められる身体的影響 (somatic effects) と, 子供をつくる可能性がある年齢の人が生殖腺に被ばくした場合に, 被ばくした人の子孫に影響が現れる遺伝的影響 (hereditary effects) の 2 つに大きく分けられる. 身体的影響はその発生時期から早期影響 (early effects) と晩発影響 (late effects) に分けられ, さらに妊娠中の胚・胎児の被ばくによる影響が含まれる.

またこれらに含まれるそれぞれの影響については, 放射線防護の観点から ICRP では, 1) 確定的影響と, 2) 確率的影響の二つにわけて考えている [4] (図 1).

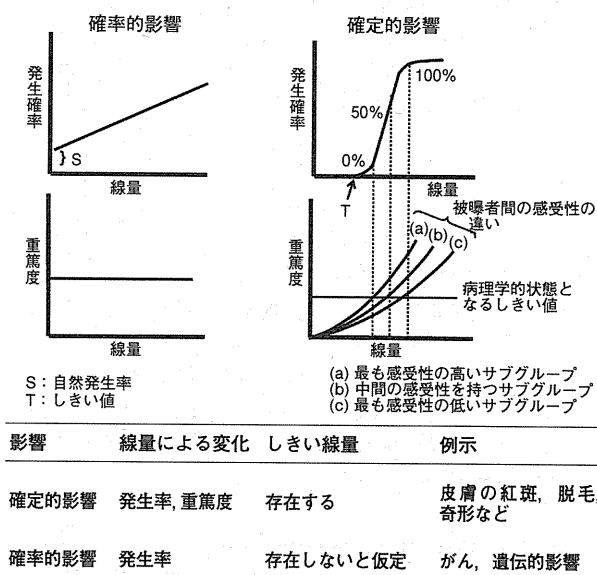


図 1 防護の視点から見た放射線の生物影響の分類

すなわち確定的影響は, 線量・反応関係においてしきい値を持ち, それぞれの症状においてある一定レベルの線量までは影響の発生はないが, しきい線量を越えると発生確率が増加し, 重篤度も高くなる. 従って防護の目的としては放射線利用にあたって線量をしきい値以下に抑え発生を防止することである. 不妊や白血球数の減少, 脱毛, 皮膚の紅斑など放射線による急性症状として認められる身体的影響がここに含まれる.

一方, 確率的影響は, 晩発影響として認められるがんや遺伝的影響が含まれるが, 一つの細胞の DNA との相互作用に起因する現象と考え, しきい値は無いとみなし, 線量に相関して発生頻度の増加が認められると仮定している. またがんも遺伝的影響もともに自然発生があり, 被ばくにより放射線に特異的なものが新たに発生してくるわけではなく, 発生をゼロに抑えることはできない. 従って防護の

目標は発生を抑制することと考えられている。現実にはこれらの影響は主に広島・長崎の被爆者を対象とした疫学的研究によって検討されてきており [5], 発がんに関しては高線量の被ばくによる発生率の増加からいろいろなモデルを用いて低線量域のリスクを外挿することで評価されている。一方、遺伝的影響に関しては、動物実験等では検出されているが、ヒトでは疫学的に検出されていない。

## 2. 高線量被ばくの生体影響 (早期影響)

細胞の放射線感受性は細胞の種類に依存し異なることが知られている。すなわち未分化で、増殖が活発な細胞集団ほど感受性が高い。従って、個体においても細胞再生系といわれる造血器 (骨髄)、消化管、皮膚など幹細胞が常に分裂・分化を行っているような組織において感受性が高い。そのために全身に数 Sv 以上の非常に高線量の放射線を被ばくした際には急性放射線症候群として、被ばく後 2~6 週間をピークに造血障害により感染に対する防御機能が失われるとともに出血傾向を示す。従って、無菌室等にて抗生剤を投与しながら、必要に応じて輸血や、骨髄移植などの造血系幹細胞移植などの治療が行われる。10Sv 以上の被ばくを受けると造血障害による感染、出血傾向に加えて被ばく後 3 日~2 週間をピークに消化管障害の影響が大きくなり下痢・下血などの胃腸症状が強くなる。補液とともに前述のような治療が積極的に行われるが、この線量域になると現在の最先端医療でも救命することはほとんど困難になる。早期影響が観察されるような高線量の被ばくをすることはチェルノブイリ原子力発電所の事故対応にあたった作業員や残念ながら国内で放射線事故として 2 名の死亡者が発生した 1999 年の東海村 JCO 事故の被災作業員、非破壊検査用密封線源による事故被ばく例、あるいは核テロ被災などが想定される。

## 3. 胎児・小児期の放射線影響の特徴

前項の放射線感受性の特徴から子どもの放射線影響、特に胎児に対する放射線の影響については低線量被ばくにおいても懸念する声が強い。広島・長崎の被爆者の調査および動物実験などの結果より、胎内被ばくにより認められる放射線影響としては a) 胚・胎児死亡、b) 奇形およびその他の成長変化と形態変化、c) 精神遅滞、d) 発育遅延、e) がん・遺伝的影響などがある。これら胎内被ばくの特徴として、1) 放射線感受性が高い、2) 発生時期による特異性がある、3) 影響の不可逆性、などがある [6]。すなわち、1) 胎児及び小児期は組織が活発に分化・分裂し成長していることから前項で述べたように放射線に対する感受性が高いと考えられている。また 2) 胎内被ばくの影響は受精からの発生段階のいつ被ばくしたかにより特徴的な影響が見られる。すなわち着床前期における被ばくでは、母体も妊娠に気づかないうちに着床前死亡 (胚死亡) に至るか、生まれた場合は奇形や発育遅延もなく正常である (all or none)。一方、器官形成期に被ばくした場合には、死亡に対しては抵抗性が高くなるが、個々の臓器の原基ができ

がる時期であり、外表奇形、骨格奇形、内臓奇形などの多彩な奇形を引き起こす可能性がある。さらに 3) 胎内被ばくに基づく奇形や精神遅滞などの影響がひとたび発生するとその影響は治癒するものでなく不可逆的であることも特徴である。奇形および重度精神遅滞に対してはしきい線量が存在し、それぞれ 100mSv および 120~200mSv と考えられている [4]。ICRP は「妊娠中絶をするのに 100mSv 未満の胎児線量を理由にしてはいけない」と勧告している [7]。前述の医療の場での被ばくにおいてはこれらの線量より遙かに少ない。チェルノブイリの事故後には、ヨーロッパ諸国において不安から非常に数多くの不必要な墮胎手術が実施されたといわれている。今回の事故においても感受性の高い胎児、小児に対して不必要な被ばくを防ぎ、しかも妊婦に対して不安をなくすためにも適切な情報開示と十分な説明が求められる。

## 4. 低線量の生物影響

今回の事故に伴う一般公衆の放射線被ばくでは、先に述べた確定的影響が起りうるような線量の被ばくは考えられない。問題となるのは、低線量・低線量率被ばくによる影響である。この場合には、確率的影響、すなわちがんの発生が問題となる。低線量の放射線被ばくに伴う個人および集団に対する健康影響の概要を表 1 に示す。その科学的根拠となるデータは、広島・長崎の原爆被爆者の寿命調査データに基づく部分が多い。原爆被爆者の場合、被爆後 2~3 年で白血病の増加が観察されはじめ 6~7 年目をピークにその後発症は減少した。一方、その他の固形がんは、いわゆるがん年齢といわれる世代での増加が現在も観察されている。これらの増加は、高線量では疫学的に明確に証明されているが、100mSv 程度より低い線量域になると疫学的に有意な増加は検出されていない。そのため、低線量域への外挿にあたっては図 2 に示すように、いろいろなモデルが検討されるが、ICRP は防護の観点からは、しきい値なし直線モデル: linear no threshold model, LNT モデルを提唱している。このモデルに基づき、がんの損害リスク係数を  $5.5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$  としている。ただし、「集団

表 1 放射線によって誘発される健康影響の要約 (ICRP Pub96)

線量	個人への影響	被ばくした集団に対する結果
極低線量: およそ 10mSv 以下 (実効線量)	急性影響なし。非常にわずかながんリスクの増加	大きな被ばく集団でさえ、がん罹患率の増加は見られない
低線量: 100mSv まで (実効線量)	急性影響なし。その後、1% 未満のがんリスク増加	被ばく集団が大きい場合 (恐らくおよそ 10 万人以上)、がん罹患率の増加が見られる可能性がある
中程度の線量: 1000mSv まで (急性全身線量)	吐き気、嘔吐の可能性、軽度の骨髄機能低下。その後、およそ 10% のがんリスクの増加	被ばくグループが数百人以上の場合、がん罹患率の増加が恐らく見られる
高線量: 1000mSv 以上 (急性全身線量)	吐き気が確実、骨髄症候群が見られることがある; およそ 4000mSv の急性全身線量を超えると治療しなければ死亡リスクが高い。かなりのがんリスクの増加	がん罹患率の増加が見られる



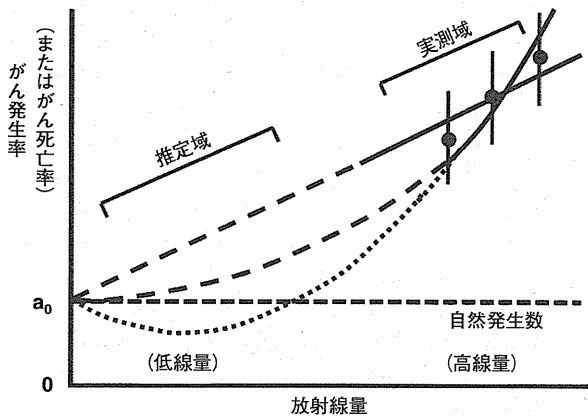


図2 低線量でのがん発生の線量-効果モデル

実効線量は疫学的リスク評価の手段として意図されておらず、これをリスク予測に使用することは不適切である。長期間にわたる非常に低い個人線量を加算することも不適切であり、とくに、ごく微量の個人線量からなる集団実効線量に基づいてがん死亡数を計算することは避けるべきである (Publ. 103, 総括 k.)。また、「LNT モデルが生物学的な真実として受け入れているのではなく、低線量被ばくにおいてどの程度のリスクならば避けるべきかの慎重な判断に使用するためのものである (Publ.103, A178).」とし、「放射線防護の実用的な目的、すなわち低線量放射線被ばくのリスク管理に対する慎重な根拠を提供するものと考えている (Publ.103, 65 項).」と示している [8]。

低線量の生体影響については実験室レベルでもいろいろな知見が得られてきており、生体には、高度な防御機能も備わっていることも見いだされている。我々は、がん抑制遺伝子 p53 ノックアウトマウスを用い、胎児の放射線誘発奇形の発生や、遺伝子突然変異の誘発について実験を行ってきた [9-11]。正常な p53 を有する野生型マウスでは、3Gy の急照射により放射線誘発突然変異が増加するが、おなじ 3Gy を約 70 時間かけて緩照射すると誘発突然変異が全く観察されなかった。一方で、p53 ノックアウトマウスでは、緩照射においても線量率効果に基づく突然変異の減少は認められたものの有意な誘発突然変異の増加を認めた。同時に、免疫組織染色でアポトーシスを観察すると、野生型マウスでは多数のアポトーシスが見受けられるが、ノックアウトマウスでは全く観察されなかった [10]。すなわち「ゲノムの守護神 guardian of the genome」としての p53 を介した p53 依存性アポトーシスによる組織修復モデルを示してきた [9]。このように、通常の生物体には高度な防御機能も備わっており、それが破綻した時に、発がんなどの影響が観察されると考えられる。低線量の放射線影響については、今後も原爆被爆者の疫学データの蓄積と同時に実験室レベルでのメカニズム探索を進めながら解決していくべき問題として残されている。

## VI. 放射線防護の考え方

ICRP は放射線防護体系として、1) 行為の正当化 (放射線被ばくを伴う行為は、それによる損失に比べて便益の方が大きい場合でなければ行ってはならない)、2) 防護の最適化 (経済的および社会的要因を考慮して合理的に達成できるかぎり被ばくを抑える:ALARA (As Low As Reasonably Achievable) の原則)、3) 線量限度 (職業被ばくおよび公衆被ばくにおける個人の線量の制限)、の 3 つを大きく掲げている [4]。しかし医療被ばくにおいては 3) の線量限度が設けられていない。その理由は、a) 放射線被ばくをした人 (患者) にははっきりした利益がある。b) 病態は患者ごとで異なり放射線診療に必要な限度を一律に決められない。c) 医師・歯科医師・放射線技師は、放射線防護・管理について十分な知識を持っており、被ばく線量を軽減するために絶えず努力をしている、という前提にある。今回の事故の報道にあたり、被ばく線量の比較に、胸部 X 線検査や CT 検査などの医療被ばく線量を比較対象とすることが事故当初多かったが、上記のように医療においては正当化と最適化が諮られており、これらと一方的に押しつけられている事故に伴う被ばく線量を比較するのは望ましくない。

現在の状況において、我々はしばらく低濃度の放射性物質、低線量放射線と向き合っていくといけなく、その中において放射線の影響も量次第であり、一般のリスクと同様に受け入れ、放射線を十分に理解し、正当化と最適化を考慮した施策が求められている。私たちがいろいろな情報を Web 上に提供しているので参照いただきたい [12]。

## VII. 謝辞

本研究は平成 23 年度厚生労働科学研究費補助金「東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故による母乳中の放射性物質濃度評価に関する調査研究」(主任研究者 櫻田尚樹) によって実施されたものである。

## 参考文献

- [1] UNSCEAR. 1993 Report; Sources and effects of ionizing radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1993. (日本語訳版: 国連科学委員会 1993 年報告: 放射線の線源と影響, 放射線医学総合研究所監訳, 実業公報社, 1995)
- [2] Berrington de Gonzalez A, Darby S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. Lancet. 2004; 363: 345-51.
- [3] Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. N Engl J Med. 2007; 357: 2277-84.
- [4] ICRP(International Commission on Radiological

- Protection).  
Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. (ICRP Publication 60). Ann ICRP. 1991; 21(1-3). (日本語訳版: 日本アイソトープ協会訳. ICRP Publ.60 国際放射線防護委員会の1990年勧告. 東京: 丸善; 1991)
- [5] Preston DL, Shimizu Y, Pierce DA, Suyama A, Mabuchi K. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. Radiat Res. 2003; 160(4): 381-407.
- [6] 樺田尚樹, 川本俊弘, 法村俊之. 【子どもの健康と生活環境】 物理的障害 放射線. 小児科. 2000; 41 別冊: 33-9.
- [7] ICRP(International Commission on Radiological Protection). Pregnancy and medical radiation. (ICRP Publication 84). Ann ICRP. 2000; 30(1). (日本語訳版: 日本アイソトープ協会訳. ICRP Publ.84 妊娠と医療放射線. 東京: 丸善; 2002)
- [8] ICRP(International Commission on Radiological Protection). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. (ICRP Publication 103). Ann ICRP. 2007; 37(2-4). (日本語訳版: 日本アイソトープ協会訳. ICRP Publ.103 国際放射線防護委員会の2007年勧告. 東京: 丸善; 2009)
- [9] Norimura T, Nomoto S, Katsuki M, Gondo Y, Kondo S. p53-dependent apoptosis suppresses radiation-induced teratogenesis. Nat Med. 1996; 2(5):577-80.
- [10] Kato F, Kakihara H, Kunugita N, Ootsuyama A, Norimura T. Role of p53 gene in apoptotic repair of genotoxic tissue damage in mice. J Radiat Res. 2002; 43 Suppl: S209-12.
- [11] Igari K, Igari Y, Okazaki R, Kato F, Ootsuyama A, Norimura T. The delayed manifestation of T-cell receptor (TCR) variants in X-irradiated mice depends on Trp53 status. Radiat Res. 2006; 166: 55-60.
- [12] 山口一郎. 放射線診療への不安にお答えします. <http://trustrad.sixcore.jp/> (accessed 2011-07-20)

## 特集：東日本大震災特集 放射性物質の健康影響

## &lt;総説&gt;

## 放射性物質による食品汚染の概要と課題

寺田宙, 山口一郎

国立保健医療科学院生活環境研究部

Summary of radioactive contamination of food in Japan  
and related issues

Hiroshi TERADA, Ichiro YAMAGUCHI

Department of Environmental Health, National Institute of Public Health

## 抄録

東京電力福島第一原子力発電所の事故を受けて厚生労働省は2011年3月17日に食品中の放射性物質に関する暫定規制値を設けた。その後に行われた食品中の放射性物質の検査では2011年8月17日現在で全12,850検体中、551検体で暫定規制値を超過した。事故後初期には葉菜類、原乳で規制値を上回る放射性物質が検出されていたが、2011年8月17日時点ではこれらの放射性物質濃度は規制値を十分に下回っている。これに代わって、多くの牛肉から規制値を超える放射性物質が検出されたこと、これらが市場に流通してしまったことが大きな問題となっている。この他、魚介類では規制値を超えたのはイカナゴ稚魚等の小型魚と淡水魚および貝類に限られていたが、6月以降はアイナメ、シロメバル、ヒラメといった魚種でも高い放射性セシウム濃度が検出されるようになった。魚介類はその性質上、放射性物質の低減策を取りづらいため、長期にわたりモニタリングを継続する必要がある。穀類については米の検査が一部の地域で始まったばかりで、これまでの検査結果は麦、ソバが中心である。農林水産省は、米の検査体制について、土壤中の放射性セシウム濃度が比較的高い地域において予備調査、本調査の2段階で実施し、本調査の結果、玄米中の放射性セシウム濃度が暫定規制値を超える米が確認された場合、その地域の米を全て確実に出荷制限の上、廃棄することにより安全性を確保するとしている。食品中の放射性物質に関する暫定規制値の基になった飲食物摂取制限に関する指標は飲食物中の放射性物質が健康に悪影響を及ぼすか否かを示す濃度基準ではなく、防護対策の一つとしての飲食物制限措置を導入する際の目安として設けられた。指標値には飲食物の分類と摂取量、年齢による違い、対象とする放射性物質の他、ストロンチウム90と放射性セシウムの比を仮定してストロンチウム90の影響も考慮されている。食品安全委員会の厚生労働省に対しての食品衛生法上の指標値に関する答申である「食品中に含まれる放射性物質の食品健康影響評価(案)」では健康影響が現れる線量をおおよそ100mSvとし、この値が(自然放射線や医療被ばくなど通常の一般生活において受ける放射線量を除いた)生涯における累積の実効線量の基準とされた。また、小児に関しては甲状腺がんや白血病等、より放射線の影響を受けやすい可能性を指摘し、一定の配慮を求めた。

キーワード：放射性セシウム、放射性ヨウ素、食品、暫定規制値

## Abstract

About 0.6 EBq of radioactive cesium and iodine were released into the air environment after the accident at the Tokyo Electric Power Company (TEPCO) Fukushima Dai-ichi nuclear power plant of associated with the Great Tohoku Earthquake and Tsunami on 11 March 2011. Therefore, the Ministry of Health, Labour, and Welfare has decided to apply the standards indicated by the Nuclear Safety Commission of Japan to restrict the distribution and/or consumption of contaminated food.

連絡先：寺田宙

〒351-0197 埼玉県和光市南2-3-6

2-3-6, Minami, Wako-shi, Saitama, 351-0197, Japan.

Tel:048-458-6263

E-mail: terada@niph.go.jp

[平成23年8月25日受理]

Until August 17, a total of 12850 samples were examined and 551 samples exceeded the provisional regulation values. At the early stage after the accident, many leafy vegetables and raw milk samples showed values above the limits set in the regulations, but the concentrations of radioactive material in these samples were below these levels in August. Instead, the major problem is that beef exceeding these values was circulated into the market. This paper presents the results of monitoring of radioactive materials in foodstuff after the accident, the basic concepts underlying the provisional regulations on radioactive materials in foodstuff, and the results of assessment of the effects of radioactive nuclides in food on health as indicated by the Food Security Committee of Japan.

**Keywords:** radioactive cesium, radioactive iodine, foodstuff, provisional regulation values on radioactive materials in foodstuff

## I. はじめに

東北地方太平洋沖地震に伴い発生した東京電力福島第一原子力発電所の原子力事故では大気環境中に放射性セシウムと放射性ヨウ素が合わせて0.6EBq程度放出され、国際原子力事象評価尺度が暫定値でレベル7に達する事態となった。食品が放射性物質によって汚染される事態が想定されたため、厚生労働省は2011年3月17日に食品衛生法の観点から原子力安全委員会により示された「飲食物摂取制限に関する指標」を食品中の放射性物質に関する当面の暫定規制値とし、これを上回る食品については食品衛生法第6条第2号に当たるものとして食用に供されることがないよう対応することとした。ここではその後の食品中の放射性物質の検査結果と、暫定規制値の基本的な考え方、さらに食品安全委員会の厚生労働省に対する答申である「食品中に含まれる放射性物質の食品健康影響評価(案)」について紹介する。

## II. 食品汚染の概要

以下、厚生労働省が2011年8月17日までに公表した検査結果[1]について述べる。2011年8月17日時点で12,850件の検査結果が公表され、このうち表1の暫定規制値を超過したのは551件と、全検体の4.3%であった。産地別にみると1都11県で暫定規制値を超過しており、超過件数は福島県が361件と最も多く、以下、茨城県61件、宮城県38件、栃木県23件、千葉県20件、神奈川県16件、岩手県11件、静岡県7件、群馬県6件、東京都4件、秋田県2件、山形県2件の順であった。また、食品群別の結果を表2にまとめるとともに、概略を下記に示した。

表1 食品中放射性物質の暫定規制値(食安発0405第1号)

食品群	放射性核種群			
	放射性ヨウ素	放射性Cs	ウラン	Pu及び超ウラン元素のα線放出核種
飲料水				
牛乳・乳製品	300 Bq/kg	200 Bq/kg	20 Bq/kg	1 Bq/kg
野菜類	2000 Bq/kg			
穀類				
肉・卵・魚介類		500 Bq/kg	100 Bq/kg	10 Bq/kg
その他	魚介類に対し 2000 Bq/kg			

表2 食品中放射性物質の検査結果の概要(食品群別)  
\*8月17日厚生労働省公表分までを集計

食品群	検査件数	超過件数
野菜類	6477	291
魚介類	1439	85
牛乳・乳製品	834	23
肉・卵類	3351	94
穀類	332	1
その他	417	57
計	12850	551

### 1. 野菜類

放射性物質は大気中の粉塵とともに降下するなどし、葉の表面に付着すると考えられる。ホウレンソウ、コマツナ、シュンギクといった非結球性葉菜類は葉の表面が上を向いて広がっているため他の野菜に比べ放射性物質が付着しやすい。また、放射性物質の濃度は単位重量当たりの値で表されるので、表面積の大きいこれらの野菜の方が高い濃度として検出される。このため、事故後初期は非結球性葉菜類で放射性ヨウ素、放射性セシウムの規制値を超える検体が多くみられ、福島県、茨城県、栃木県、千葉県、群馬県の5県で出荷制限の措置が取られた。放射性ヨウ素の濃度が最も高かったのはホウレンソウ(茨城県)で54,100 Bq/kg、放射性セシウムではクキタチナ(福島県)の82,000 Bq/kgが最大であった。ただし、2011年5月中旬以降、規制値を超過したものは皆無で、出荷制限措置も東電福島第一原発の半径20km以内の地域を除き解除された。現在では放射性ヨウ素については半減期が約8日と短いことから検出されておらず、放射性セシウムもその濃度レベルは漸減傾向にある。

葉菜類以外の野菜類はその放射性物質の取り込みについては土壌からの吸収が主な経路となる。品目別ではタケノコとウメで放射性セシウム濃度が高く、それぞれ55件、11件で規制値を上回っている。その濃度レベルは3,100 Bq/kg(タケノコ)が最大と、葉菜類ほど高くはない。規制値を超過した検体は全て福島県産で、葉菜類と比較すると地域は限定的であり、土壌中の放射性セシウム濃度が高い地域に限られていると考えられる。また、これら放射性セシウム濃度が高い検体でも放射性ヨウ素は検出されておらず、その移行の程度は小さいことが示された。

野菜類の中でもキノコ類は以前から放射性セシウムを取り込みやすいことがよく知られている。チェルノブイリ原発事故後、ヨーロッパにおいて特にキノコで放射性セシウム濃度が高い傾向にあることが報告された [2-4]。今回の事故後に行われたモニタリングではこれまでに 43 検体が規制値を超過しているが、いずれも福島県産である。最も放射性セシウム濃度が高かったのはシイタケ (露地栽培) で 13,000 Bq/kg であった。また、外部からの放射性物質の付加がないと考えられる施設栽培のシイタケでも、規制値を上回る放射性セシウムが検出されている。著者らのヒラタケを用いた培養実験では、培地濃度に応じて高い放射性セシウム濃度の子実体が形成されることが明らかになっており [5]、シイタケ等の栽培で用いられる原木や、培地に使われているオガ粉の管理が重要であると考えられる。

## 2. 魚介類

今回の事故では海洋中にも大量の放射性物質が放出されたことから魚介類への影響が懸念された。魚介類についてはこれまで 1,439 件の検査が行われ、このうち 85 件で規制値を超過した。規制値を上回ったのはこれまでのところ福島県、茨城県の 2 県に限られている。放射性セシウム濃度が最も高かったのはイカナゴ稚魚 (14,400 Bq/kg) で、他では淡水魚のアユ、ヤマメ等が比較的高い。事故後当初、規制値を超えたのはこれら小型魚と淡水魚および貝類に限られていたが、2011 年 6 月以降はアイナメ、シロメバル、ヒラメといった魚種でも高い放射性セシウム濃度が検出されるようになった。魚介類はその性質上、放射性物質の低減策を取りづらいので、長期にわたってモニタリングを継続する必要がある。

なお、魚介類に対しては当初、放射性ヨウ素に対する規制値はなかったが、2011 年 4 月 4 日にイカナゴ稚魚から高濃度の放射性ヨウ素が検出されたことから、2011 年 4 月 5 日に急遽、魚介類に対する放射性ヨウ素の規制値 2,000 Bq/kg が設けられた (表 1)。放射性ヨウ素の規制値を超過したのはイカナゴ稚魚だけで、他ではムラサキガイが 820 Bq/kg と比較的高い値を示した。2011 年 7 月以降は魚介類から放射性ヨウ素は検出されていない。

## 3. 牛乳・乳製品

農林水産省は牛乳・乳製品から規制値を超える放射性ヨウ素が検出されたことを受けて、2011 年 3 月 19 日に通知「原子力発電所事故を踏まえた家畜の飼養管理」を発出した。この中で、乾牧草を給与する場合は、事故の発生前に刈り取り・保管されたもののみを使用すること、事故の発生時以降も屋内で保管されたものを使用すること、放牧を当面の間行わないこと等、と農家に対して適切な飼養管理を求めた。採取日が 2011 年 3 月 23 日以降の検体では規制値を超過したものはなく、上記の措置に一定の効果があったものと考えられる。また、2011 年 8 月 17 日現在ではそのほとんどで放射性セシウムは検出されておらず、健全な濃度レベルにあるといえる。なお、牛乳・乳製品では放射

性セシウムの規制値を超過したのは 1 検体だけである。

## 4. 肉・卵類

現在、牛肉から暫定規制値を超える放射性セシウムが検出される例が続発し、社会的な問題になっている。ここではその経緯について述べる。

2011 年 7 月 8 日、福島県南相馬市内の緊急時避難準備区域から東京都の食肉市場に搬入された牛 11 頭のうち 1 頭の食肉から、暫定規制値を上回る 2,300 Bq/kg の放射性セシウムが検出された。2011 年 7 月 9 日に行った残り 10 頭の検査結果では、全頭から規制値を超える 1,530-3,200 Bq/kg の放射性セシウムが検出された。汚染の原因について調べたところ、飼料として与えられた稲わらから 75,000 Bq/kg と高濃度の放射性セシウムが検出された。このため、他の農家についても飼養管理の実態について調査を行ったところ、2011 年 7 月 14 日、福島県浪川町の畜産農家において高濃度の放射性セシウムが含まれた稲わらを給与された牛が 2011 年 4 月 8 日から 7 月 6 日までの間に食用として 42 頭出荷されたことが明らかになった。さらに、その後の調査で 16 道県の 222 の農家が高濃度の放射性セシウムに汚染された稲わらを与えていたことが明らかになり、出荷頭数は 4,042 頭に及んだ (2011 年 8 月 17 日現在)。前述の「原子力発電所事故を踏まえた家畜の飼養管理」では稲わらの取り扱いについては触れられておらず、このため多くの農家が放射性セシウムに汚染された稲わらを利用するに至ったと考えられる。また、通常稲わらは秋の収穫時期に干して倉庫に保管するが、昨年の秋は天候が悪く春わらを使わざるを得なかったこと、その春わらが放射性セシウムに汚染されてしまったことも要因として挙げられる。

これらの牛肉が市場に流通したため、大きな社会問題となった。食の安全を確保する上では規制値を超える食品が市場に流通しないことが大前提であり、行政側には適切な対応が求められる。ただし、これらの牛肉を摂食した場合でも大きな健康影響が現れるわけではない。放射性セシウム濃度が最大の牛肉 (4,350 Bq/kg) を 1kg 食べたとしても 預託実効線量としては  $4,350 \times 1 \times 1.9 \times 10^{-5}$  ( $^{134}\text{Cs}$  の線量換算係数) = 0.08 mSv 程度である。

放射性セシウムの牛肉、豚肉、鶏肉、卵への移行係数はそれぞれ 0.022, 0.2, 2.7, 0.4 (d/kg) [6] で、牛肉よりも豚肉、鶏肉、卵の方が飼料から放射性セシウムが移行しやすいが、これまでのところ豚肉、鶏肉、卵では規制値を超える放射性セシウムは検出されていない。稲わら等、高い放射性セシウム濃度の飼料を与えられていないためと推察される。牛肉中の放射性セシウム濃度は 30 日程度で半分になるので、高濃度の放射性セシウムに汚染された稲わらを与えられた牛についても、非汚染飼料を 1 年間与えられ続ければ、その濃度は問題のないレベルになる。今後の飼養管理が重要である。

## 5. 穀類

米の検査は一部の地域で始まったばかりで、穀類の検査

結果は麦、ソバが中心である。これまで規制値を超えたのは332検体中、小麦（福島県）の1件だけで、その濃度は630 Bq/kgであった。

稲の作付については原子力災害対策本部が「稲の作付に対する考え方」（2011年4月8日）で、「生産した米（玄米）が食品衛生法上の暫定規制値を超える可能性が高い地域については、稲の作付制限を行うこと」とした。また、これまでの知見から、水田の土壌から玄米への放射性セシウムの移行の安全側指標を0.1とし、これを前提として、玄米中の放射性セシウム濃度が規制値である500 Bq/kg以下となる土壌中放射性セシウム濃度の上限値を5,000 Bq/kgと定めた。農林水産省は、米の検査体制について、東北、関東等の土壌中の放射性セシウム濃度が1,000 Bq/kg以上の市町村等において、予備調査（収穫前の段階にあらかじめ放射性物質濃度の傾向を把握）、本調査（収穫後の段階の放射性物質濃度を測定し、出荷制限の可否を判断）の2段階で実施するとし、本調査の結果、玄米中の放射性セシウム濃度が暫定規制値（500 Bq/kg）を超える米が確認された場合は、その地域の米を全て確実に出荷制限の上、廃棄することにより安全性を確保するとしている。

## 6. その他

その他の食品に該当するのは茶、菜種の他、加工食品である。このうち規制値を超えたのは茶と菜種（1検体のみ）である。茶については規制値を超えたのが福島県、茨城県、千葉県、栃木県、群馬県、東京都、神奈川県、静岡県と極めて広範囲に及んだのが特徴的で、規制値は上回らなかったものの、愛知県でも360 Bq/kgと比較的高い濃度の放射性セシウムが検出された。その詳細な取り込み機構は明らかになっていないものの、土壌中の放射性セシウム濃度がさほど高くない神奈川県、静岡県からも規制値を超える茶が出たことから、土壌からではなく茶葉の気孔等を介したのではないかと考えられる。

## 7. 食品中の放射性物質の除染について

ここまで食品の放射性物質による汚染状況について述べてきたが、放射性物質は調理によってある程度除染することが可能である。食品中の放射性物質の除染については財団法人原子力環境整備センターによる「食品の調理・加工による放射性核種の除去率」[7]に詳しい。ここではこの中からいくつかの知見を紹介する。

葉菜類のほうレンソウは水洗いにより放射性セシウムが44-89%、煮沸あく抜きにより60-95%が除去される。ブロッコリーも水洗い、煮沸あく抜きによってそれぞれ91%、90-95%が除去される。根菜類のじゃがいもは葉菜類ほどではないが、皮をむくことにより放射性セシウムを36%除去することが可能である。同じく根菜類のにんじんは皮むきにより55%放射性セシウムを除去できる。きのこ類は除染の効果が顕著で、冷水から軽く沸騰させると88-97.5%、乾物を水に戻すだけで80-91%の放射性セシウムが除去される。米は精米により6割以上の放射性セシウ

ムの除去が可能である。米の放射性物質の検査は玄米について行うため、精米された状態の放射性セシウム濃度は検査結果の4割程度ということになる。肉類、魚類は種類によって異なるものの、ボイルによって放射性セシウム濃度を半減させることができる。

## Ⅲ. 暫定規制値について

### ・飲食物摂取制限に関する指標

前述のとおり厚生労働省は原子力安全委員会により示された「飲食物摂取制限に関する指標」を食品中の放射性物質に関する当面の暫定規制値とした。ここでは文献[8]を参考に、「飲食物摂取制限に関する指標」の基本的な考え方について述べる。

原子力安全委員会は米国スリーマイル島原発事故を契機に放射性物質の放出の態様、緊急時環境放射線モニタリング、周辺住民に対する防護対策等の原子力防災対策の技術的、専門的事項について基本的考え方を示した「原子力施設等の防災対策について」（防災指針）を策定した。防災指針はチェルノブイリ原発事故、JCO臨界事故等の経験を踏まえ改定された。「飲食物摂取制限に関する指標」はこれの中で防災対策のための指標として定められている。本指標は飲食物中の放射性物質が健康に悪影響を及ぼすか否かを示す濃度基準ではなく、防護対策の一つとしての飲食物制限措置を導入する際の目安である。

今回の事故のように原子力施設外に大量の放射性物質の放出を伴うような事故が発生した場合は、一般公衆の過度の被ばくを防ぐために適切な被ばく低減策が求められる。その判断の基礎となる線量は介入線量レベルと呼ばれており、「飲食物摂取制限に関する指標」は1年間飲食物を摂取し続けても介入線量レベルを超えないように計算して求められた誘導介入濃度である。線量は

食品の摂取量×食品中の放射性物質濃度×線量換算係数×飲食物の摂取期間

で求められるので、誘導介入濃度の算出に当たっては飲食物の分類と摂取量、年齢による違い、対象とする放射性物質等を考慮する必要がある。なお、放射性物質濃度は物理的な減衰と希釈係数が考慮されている。

### ・飲食物の種類とその摂取量

食品の摂取量は年齢の他、地域によって異なるし、男女の差もあるが、あまり細かく分類すると実用的ではないので、放射性セシウムについては飲料水、牛乳・乳製品、野菜類、穀類、肉・卵・魚介類・その他の5群に分類された。放射性ヨウ素の場合、半減期が短いことから穀類、肉類等への移行の程度は小さいと考えられるため、これらを除き飲料水、牛乳・乳製品、野菜類の3群に分類した。今回の事故後の食品の検査結果でも穀類、肉類の放射性ヨウ素濃度は概して低く、上記の分類は妥当だったといえる。年齢区分別の食品群の摂取量については厚生省国民栄養の現状（成人）、放射線医学総合研究所による東海村周辺の食品実態調査（乳児、幼児）をもとにした。

### ・年齢による違い

環境中に大量の放射性物質の放出されると、あらゆる年齢層が影響を受ける。年齢によって食品の摂取の仕方や、体の大きさ、放射性物質の代謝が異なる。誘導介入濃度の算出に当たっては年齢を乳児、幼児、成人の3つに区分している。食品の摂取は国民栄養の現状、体の大きさと放射性物質の代謝については線量換算係数により年齢による違いを反映させた。

### ・対象とする放射性物質

事故には様々な放射性物質が放出されるが、その放出量、食品への移行、人体への影響は異なる。これらを勘案して<sup>131</sup>I, <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr等が指標を設定すべき放射性物質とされた。なお、<sup>90</sup>Srについては分析のために煩雑な化学分離が必要であり、また、<sup>90</sup>Yの生成に2週間以上要するため、緊急時におけるモニタリングは困難である。このため、チェルノブイリ原発事故における放出量のデータ等から

$^{90}\text{Sr}:^{90}\text{Sr}:\text{}^{134}\text{Cs}:\text{}^{137}\text{Cs} = 0.28732:0.04555:0.54455:0.45545$ と放射性セシウムとの比を仮定し、その影響を加味した上で放射性セシウムの誘導介入濃度を求めている。

### ・放射性ヨウ素の指標値

放射性ヨウ素は甲状腺に集積しやすい性質があるため、実効線量ではなく甲状腺等価線量でその影響を評価する。指標値を算出するに当たってはICRP publication 63等の国際的動向を踏まえ、甲状腺等価線量50mSv/年を基礎とした。飲料水、牛乳・乳製品、野菜類以外の食品からの放射性ヨウ素の摂取も考慮し、これらに1/3、飲料水、牛乳・乳製品、野菜類の3食品群に残りの2/3を均等に割り当てた。すなわち飲料水、牛乳・乳製品、野菜類については

$$50\text{mSv/年} \times 2/3 \times 1/3 = 11.1\text{ mSv/年}$$

を超えないように指標値が設定された。具体的には年齢区分ごとの摂取量、線量換算係数の違いを考慮しながら誘導介入濃度を算出し、年齢間で最小となる誘導介入濃度を丸めて指標値とした。

### ・放射性セシウムの指標値

放射性セシウムについては実効線量5 mSv/年を基準とし、これを飲料水、牛乳・乳製品、野菜類、穀類、肉・卵・魚介類・その他の5つの食品群に均等に割り当てた。すなわち、各食品群とも1 mSv/年を限度とし、年齢区分ごとの摂取量ならびに放射性セシウム・ストロンチウムの寄与を考慮して誘導介入レベルを求めた。なお、誘導介入濃度は<sup>134</sup>Cs濃度と<sup>137</sup>Cs濃度の合計値として表される。放射性セシウムの指標値は年齢間で最小となる誘導介入レベルを丸めたものである。誘導介入レベルと指標値を表3に示した。指標値相当の食品を1年間摂取し続けた場合の被ばく線量は乳児:2.27mSv, 幼児:1.26mSv, 成人:3.22mSvとなり、誘導介入レベルを丸めて設定したので基準とした実効線量5mSv/年を十分に下回る。また、食品群が大まかな括りになっているので、ある特定の食品が高濃度の放射性セシウムで汚染されていても食品群ごとの限度値である1mSv/年を超えることはない。例えば牛肉については、肉・卵・魚介類・その他は成人で1日の摂取量が500gとされ

表3 飲食物摂取制限に関する放射性セシウムの誘導介入濃度と指標値

単位: <sup>134</sup>Cs + <sup>137</sup>CsとしてBq/kg. ただし、飲料水についてはBq/L

食品群	成人	幼児	乳児	指標値
飲料水	201	421	228	200
牛乳・乳製品	1660	843	270	200
野菜類	554	1686	1540	500
穀類	1110	3830	2940	500
肉・卵・魚介類・その他	664	4010	3234	500

ているのに対し、実際の肉の摂取量は1日100g程度に過ぎない。以上のことから、介入線量レベル5mSv/年に対しては現在の暫定規制値は余裕のある値といえる。ただし、放射性ストロンチウムの寄与については放射性セシウムとの比を仮定したため、モニタリングによって仮定を下回っているのかどうか、今後も検証していく必要がある。また、生物中での挙動に配慮し、それ以外の核種も慎重に評価する必要がある。

## IV. 食品に含まれる放射性物質の食品健康影響評価(案)について

食品中の放射性物質に関する暫定規制値については、緊急を要するために食品安全委員会のリスク評価を受けずに設定された。このため、厚生労働省は食品安全委員会に対し食品衛生法上の指標値に関して諮問を行った。これを受けて食品安全委員会は2011年3月29日に「放射性物質に関する緊急とりまとめ」を厚生労働省に通知し、今後リスク管理側において必要に応じた適切な検討がなされるべきであるとした上で、継続して食品健康影響に関する評価を行ってきた。その結果、2011年7月26日に提示されたのが「食品に含まれる放射性物質の食品健康影響評価(案)」[9]である。評価(案)では健康影響が現れる線量をおよそ100 mSvとし、この値が(自然放射線や医療被ばくなど通常の一般生活において受ける放射線量を除いた)生涯における累積の実効線量の基準とされた。また、小児に関しては甲状腺がんや白血病等、より放射線の影響を受けやすい可能性を指摘し、一定の配慮を求めた。なお、外部被ばくについては「評価(案)としては、あくまで食品の健康影響評価として、追加的な被ばくを食品のみから受けたことを前提に、生涯における追加の累積線量(実効線量)として示していますが、結果として、この値については、外部被ばくを含めた線量として捉えることも可能と考えられます。」とその影響を考慮するのかがどう明言されていない[10]。

評価(案)の考えに沿って今年出生した乳児が生涯(80年とする)で100 mSv被ばくする場合を考えると、外部被ばくを含めなくても1年間あたりの線量は1.25 mSvとなり、暫定規制値の基になった介入線量レベル5 mSvと比較すると4分の1になる。米については現行の規制値に

基づいて水田の作付け可能な放射性セシウムの基準を定めたという経緯もあるので、新規制値導入で配慮する必要がある。

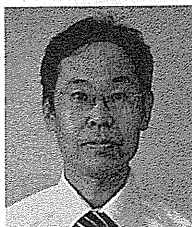
#### 参考文献

- [1] 厚生労働省. 食品中の放射性物質に関する検査結果.  
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001h9fm-att/2r9852000001h9jo.xls>  
 (accessed 2011-08-20)
- [2] Mascanzoni D. Chernobyl's challenge to the environment: A report from Sweden. *Sci Total Environ.* 1987; 67:133-48.
- [3] Battiston G A, Degetto S, Gerbasi R, Sbrignadello T. Radioactivity in mushrooms in Northeast Italy following the Chernobyl accident. *J Environ Radioact.* 1989; 9:53-60.
- [4] Borio R, Chiocchini S, Cicioni R, Esposti P D, Rongoni A, Sabatini P, Scamoli P, Antonini A, Salvaderi P. Uptake of radiocesium by mushrooms. *Sci Total Environ.* 1991; 106:183-90.
- [5] 杉山英男, 寺田宙, 磯村公郎, 塚田祥文, 柴田尚. キノコへの放射性セシウムの移行特性—野生キノコおよび培養キノコ—. *Radioisotopes.* 1993; 42:683-90.
- [6] IAEA (International Atomic Energy Agency). Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. 2010.  
 Available at  
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/trs472\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/trs472_web.pdf) (accessed 2011-08-20)
- [7] 財団法人原子力環境整備センター. 食品の調理・加工による放射性核種の除去率.  
 Available at  
[http://www.rwmc.or.jp/library/other/file/kankyo4\\_1.pdf](http://www.rwmc.or.jp/library/other/file/kankyo4_1.pdf) [http://www.rwmc.or.jp/library/other/file/kankyo4\\_2.pdf](http://www.rwmc.or.jp/library/other/file/kankyo4_2.pdf) [http://www.rwmc.or.jp/library/other/file/kankyo4\\_3.pdf](http://www.rwmc.or.jp/library/other/file/kankyo4_3.pdf) (accessed 2011-08-20)
- [8] 須賀新一, 市川龍. 防災指針における飲食物摂取制限指標の改定について. *保健物理.* 2000;35:449-66.
- [9] 食品安全委員会. 食品中に含まれる放射性物質の食品健康影響評価 (案).  
 Available at  
[http://www.fsc.go.jp/iken-bosyu/pc1\\_risk\\_radio\\_230729.pdf](http://www.fsc.go.jp/iken-bosyu/pc1_risk_radio_230729.pdf) (accessed 2011-08-20)
- [10] 食品安全委員会. 放射性物質を含む食品による健康影響に関する Q&A  
 Available at.  
[http://www.fsc.go.jp/sonota/emerg/radio\\_hyoka\\_qa.pdf](http://www.fsc.go.jp/sonota/emerg/radio_hyoka_qa.pdf) (accessed 2011-08-20)



# 原子力災害後の現存被曝状況での リスク・コミュニケーション

Risk communication for existing exposure situation after the nuclear disaster



山口一郎

Ichiro YAMAGUCHI

国立保健医療科学院生活環境研究部

◎リスクとは、“望ましくないことが起こる確率”などと定義される。リスクの大きさは条件が決まれば推計されうる。推計されたリスク評価を用いてリスク管理がなされるが、リスクの認知は主観性が大きく反映される。また、リスクを低減する対策は何らかの負担や不利益も伴い、トレードオフ構造となる。トレードオフをどう考えるかは、最終的には公衆衛生倫理の課題に帰着し、原理的にはだれもが納得する回答は得られない。このため、リスク管理の方針を決定するには関係者間での合意形成が求められる。合意形成をはかるにはコミュニケーションが欠かせない。放射線に関するリスク・コミュニケーションは放射線を活用する医療従事者にとって避けては通れない課題であったが、原発事故後の世界に暮らす私たちにとっても避けて通れないものとなった。放射線と日頃付き合ひの深い医療関係者は、求められる役割を果たすことが期待される。そのためには放射線に関するリテラシーだけでなく、リスク推計は不確かさを伴うことから、統計学的なもの考え方のリテラシーを身につけることが求められるであろう。



リスク・コミュニケーション, 現存被曝状況, 公衆衛生倫理



## 現存被曝状況での

### リスク・コミュニケーションとは？

原子力事故後などに環境に残存する放射性物質に由来した放射線に曝露する状況を“現存被曝状況”とよぶ。2011年10月15日現在、東京電力福島第一原子力発電所の圧力容器底部温度は1~3号機まで、いずれも100°Cを下まわり、格納容器からの2011年10月17日現在の放射性物質の放出量は暫定値として0.1 GBq/毎時となり(「サイドメモ1」参照)、放出抑制対策により緊急事態を脱しつつあることから、現存被曝状況に移行しつつあると考えられる<sup>1)</sup>。現存被曝状況は通常の放射線管理で想定される計画被曝状況と異なり、これまでの放射線曝露に加えて一定の追加的な線量が避けられない。ただし、自然由来の放射線が高い現存被曝状況とは異なり、事故後の現存被曝状況ではしだいに状況が改善することが期待される。

事故の後の汚染した環境で暮らすという現実を踏まえたうえで、限られた資源を有効に活用して回復のフェーズに合わせて放射線リスクを合理的に低減することが求められる。

現実を受け入れたうえでの対応であるので、本来あるべき理想的な対策とは異なるが、与えられた条件のなかでベストの対策を講じることが求め

サイド  
メモ  
1

Bq(ベクレル)

放射性物質の量は一秒間の崩壊数で示し、1 Bqは毎秒1個のペースでの崩壊を示す。崩壊とは原子核の状態が変化することである。放射性物質が放射線を出すのは崩壊(壊変)するときであるために、放射性物質としての量は原子の数ではなく、単位時間の変化量で示す。

られる。ヨーロッパからの食品の輸入時に適用される暫定基準はチェルノブイリ事故への対応として設けられたものであり、現存被曝でのリスク管理策の一例である。東京電力福島第一原子力発電所の事故はわが国でのより広範な対策を必要としている。このような状況でのリスク・コミュニケーションを考えてみたい。

なお、本稿は吉川肇子先生<sup>2)</sup>と中谷内一也先生<sup>3)</sup>の著作を参考にしている。原子力災害でのリスク・コミュニケーションの原則と課題は佐藤により総説がまとめられている<sup>4)</sup>。また、クライシス・コミュニケーションは厚生労働科学研究に基づく資料が作成されている<sup>5)</sup>。

## ● リスク管理の指針をどのように決定すべきか

リスク管理対策は客観的な妥当性だけでなく、人びとの気持ちに添った対応となることが求められる。リスク管理指針を定めても人びとの納得が得られないとその指針は機能せず、リスク科学的な意志決定分析のみにゆだねることでは問題は解決しないであろう。すなわち、ある対策の妥当性を客観的に示すだけでは、その対策が実行に移されるとは限らない。そもそも何らかの価値判断に基づく意志決定では主観的な価値判断が避けられない。主観的健康度を指標として分析する際には、各個人が人生で求める価値や避けるべき不利益としてなにを優先させるのかを考慮することが求められる。さらに、人びとの価値判断の多様性を考慮し、最適化されたと考えられる分析結果が示されても、人びとがそれに納得するとは限らない。決定の経過が納得されることも必要である。このように、リスク科学的なアプローチで最適化をめざす場合でも、客観的なデータに基づく意志決定だけでなく、人びとの合意が得られるように考えるという社会的な要因の考慮が求められる。すなわち、社会のなかで意志決定をどう進めるかが課題となる。このように、人びとの気持ちに添った対策を考えるうえでも合意形成が重要である。合意形成をはかるにはコミュニケーションが欠かせないと考えられる。

このようなアプローチは廃棄物対策とも共通し

た面をもつであろう。たとえば、最終処分場の建設を考えてみると、法律や政省令などの整備だけでは問題は解決せず、地域ごとに合意を形成し、着工しないと運営がままならない。要は話し合いが重要となる。しかし、リスクにかかわる問題でなかなか説得できない相手をいいくるめてしまう魔法のような説得技法を駆使すれば、問題は解決し、それをリスク・コミュニケーションの活用と考えるとよいであろうか。たしかに、コミュニケーションでは“フレーミング効果”(生存と死亡の確率のどちらを伝えるかで選択のされやすさが異なること)として知られるように、伝える内容だけでなく伝え方が重要であろう。しかし、現存被曝状況での放射線リスクへの対応を考えるために、関係者間でコミュニケーションをとることの目的として、相手の説得のみをめざしてもうまくはいかないのではなかろうか。問題を話し合いで解決するとは、課題解決に向けて関係者がその責任を分担するとも考えられる。現実を受け入れて負担の公平性に留意しつつ、いま考えられる最適の対策を講じるためには、社会での率直な議論が必要ではなかろうか。

## ● 対策は何のために？

どのような対策でも利点と欠点を伴うことが避けられない。検査を受ける立場で検診を考えると、治療可能な疾患を治療可能な時期に発見し、予後を改善することが期待できる場合に検査を受けることは合理的であると思われるが、検診を受けることのデメリットも同時に考えることになるであろう。そのデメリットは検査の侵襲性や検査を受けることで被る機会費用だけでなく、検査が完璧でないこと由来する偽陽性による過剰な精密検査や、心配や偽陰性による誤った保証による疾患の診断の遅れが考えられる。それだけではなく、検査が正しくても本来予後が悪くない疾患では、過剰診断による不利益や治療効果が乏しい疾患では病悩期間の延長も考えられる。このため、アメリカでは、ネバダ州での核実験に由来した放射性ヨウ素による甲状腺への放射線曝露を心配する住民の検診で、検診を受けることの利点と欠点を公平に示し、受診者の意志にゆだねている。こ

のような科学的な根拠に基づく公共施策の展開は、そのベースとなる科学的な知見を理解することが求められる。科学的な知見は統計学的な解析の結果得られるものであることから、統計学的なものの考え方に馴染むことが望まれる。

検診そのものもつ限界だけではなく、検診を行うことの目的が正しく理解されることも望まれるであろう。人びとはコミュニケーションを完成させたいと思うがゆえに、きちんと理解できないところは類推により補完するとされる。疾患が想定以上に増加していないことを確認し、人びとに安心してもらうと意図しても、検査をすることはそこに何らかの無視できないリスクがあると理解されることが考えられる。このような観点ではメッセージ発信時に誤解されないように、語用論的に吟味することが求められる。

### ● 人びとの信頼を高めるための工夫

なぜ、消費者は政府の基準値を信用していないのであろうか。いくつかのレベルでの課題が考えられる。大きく分類すると、①能力が信用できない。試料のサンプリング、測定の本質や評価の能力が十分ではないがために、正しくないのではないかと不信、②態度が信用できない。正直ではなく騙そうとしているのではないかと不信、③価値観が違う。考え方そのものが納得できないと不信、が考えられる。

一般の人びとの判断基準は単純ではなく、何を避けようとするかは多様性がある。一方、判断の軸の観点では専門家はむしろシンプルであると考えられる。専門家は分析しやすいように整理して考える(認知的節約家)が、一般の人びとはよくわからないことに慎重になることが考えられる。この特性を単に非合理的だと切り捨ててはコミュニケーションが成り立たないであろう。

一般の人びとは人智の限界に意識的であり、ヒューマンエラーを重視してリスク認知する傾向があることが知られている。専門家であっても間違えることがあろうし、まだみつかっていない要因があって実際のリスクはもっと大きいのではないかと心配すると考えられる。事故の要素を加味

して考える原子力利用に伴う健康リスクはその代表的なものである。

それに対して専門領域内では専門家どうしの結びつきが強く、“合意性の誤謬”が起こりやすいと考えられている。“合意性の誤謬”とは、自分の判断は一般的で正しく多数意見であるとみなす一方で、違う意見は一般的でなく不適切であるとする考え方である。一般にだれでもこのような傾向をもつが、狭い専門領域内のみで活発にコミュニケーションしている専門家は同様の考え方に囲まれて暮らすことになるので、その分野での“社会的現実”が強化されやすくなると考えられる。

### ● リスク認知の主観性

低線量の放射線曝露での生体影響がよくわかっていないとされるのは、放射線のリスクが線量に比例するという閾値なし直線モデルが低線量でも正しいかどうかよくわからないということであり、リスクが小さすぎて、それが本当にあるのかわからないことを意味する。したがって、放射線管理上必要な情報が不足していることはかならずしも意味しない。また、閾値なし直線モデルは線量が小さいとリスクは小さく、それを無視できるという考え方であり、かならずしもリスクを過大視するものではない。リスクがあつたとしても、どの程度かを疫学研究の結果から推測できる。

しかし、リスクの認知は主観的である。たとえばリスク認知は、そのリスクをよく知っているかどうかや、そのリスクを恐ろしくてどうしても避けたいと思うかどうかによっても左右される。また、日常生活でかかわりをもつことの乏しいものや、自然と人工では人工物のほうがリスクを高いと思いやすいことが知られている。人にはだれでもそれぞれ思い込みがあるが、思い込みであっても共通認識が成り立てば、社会的現実になる。社会的現実はあるコミュニティ内で共有されるリアリティである。天然のラドンは健康に悪影響を及ぼさないが、核燃料に由来したラドンは人工放射性物質なので危険だというのは、そう思う人びとにとってはリアルである。

リスクの認知を考える現実とは客観的な世界で

の現実ではなく、社会的現実ではないであろうか。科学者は客観的事実がすべてと思うかもしれないが、科学者がもっている世界観がすべての人に通じるものではない。

疫学的研究で小さなリスクを検出することには限界がある。限られた研究デザインで差の検出力に限界のある動物実験では、小さなリスクが本当でないことを証明するのは不可能である。その反面、測定にかかわる技術は向上していることから、ごくわずかな曝露であってもそれを見出すことが可能なことがある。ごくわずかにある有害物質が検出されることは、それが考慮すべきリスクであることをかならずしも意味しないが、検出の事実が人びとのリスク認知に影響を与えるのは社会的現実と科学的現実の乖離の例と考えられる(「サイドメモ2」参照)。

### 科学的なリスク評価の先にあるもの

決定論的にすべてが決定できない場合には、注意深い取組み方法(precautionary approach)の適用を考えることになる(「サイドメモ3」参照)。注意深い取組み方法とは、かならずしも確実なリスクの存在を前提にしなくても、つまりリスクの大きさが科学的に確定していなくても、実現可能な対策であればそれを実行しようとする考え方であり、電磁界の健康リスク対策はその代表的なものである。ごくわずかなリスクを扱う際に、科学的な知見に相当の不確かさが避けがたい場合には、このアプローチをどう考えるかが課題となる。どのようなリスクを優先して避けるかは主観的な問題であることから、科学だけでは解決できない。

#### サイド メモ 2

#### Grice(グライス)の会話の原則 (maxims of conversation)

コミュニケーションでの誤解が受け手側の推論によるか、その受け手側の推論は、受け手もコミュニケーションに能動的にかかわっているがゆえに生じると理解する考え方。その観点から誤解を避けるようにメッセージを発信すべきという発想が生まれる。

### 知識の啓発だけで問題は解決できるか

人びとを啓発すれば問題が解決するという啓発アプローチは、欠如モデル(欠陥モデル)に基づいている。欠如モデルとは人びとがリスクを正しく理解せず、望ましい社会合意に至らないのは人びとの理解が適切ではないという考え方である。非専門家を科学技術に関する知識が欠如している状態(=空っぽの容器)ととらえ、彼らに科学知識(=溶液)を注入し知識が増えた状態にすれば問題が解決されるというモデルである。

このモデルは人を教育によって成長させるものととらえているが、限界もある。まず、リスク問題は多数あるので、すべてを勉強するのは事実上不可能である。また、いくつかのリスクがある場合に、どのリスクを重んずるかは主観的であり、優先順位をどのように考えるのが正しいかは公衆衛生倫理に帰着する。公衆衛生倫理に正解はなく立場によって考え方が異なることになる。

### リスクが受け入れられる時

相手の立場に立つことは、リスクが限定的であると考えられる場合に、ある対策を講じることにより得られる状態が安全であるなどと一方的に伝えられないということである。このことは、倫理的な指針として無害原理やパターンリズムをそのまま用いないことを意味する。その代りに合意を形成するために土台を整備することに努力を傾けることになる。そのための方法として知識基盤の存在の共有が肝要であることが指摘されている。安全であると主張することよりも、その対策を講じることの意義がどのようなものか、安全がどのように確保されているか、また、その対策の限界はな

#### サイド メモ 3

#### 注意深い取組み (precautionary approach)

不確実性を伴うリスクを扱う政策のマネジメントツール。不確実であるので、科学的なアセスメントをもとに極端な保護主義に走らないようにみんなで考える方法である。追加データがあれば、そのつど取り入れて考え直す“順応的管理(adaptive management)”を適用させる。