

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

櫻田尚樹 [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：櫻田尚樹

〒 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、 γ 線と、粒子線である電子線、 β 線、陽子線、 α 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、 γ 線の影響に比べ、1Gyの中性子線や α 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、 γ 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、 α 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、 α 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}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、中国などの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 γ 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 α 線および β 線放射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

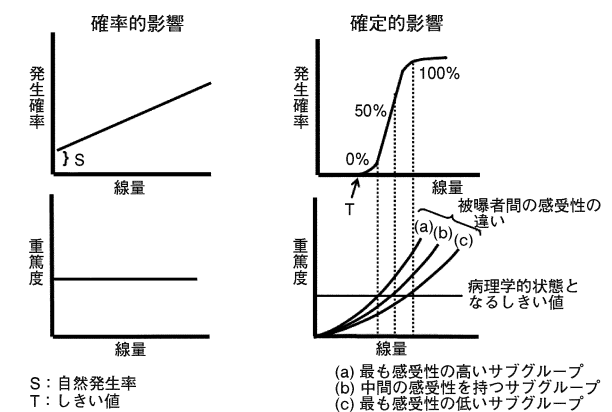
速く体内から排出される.

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).



影響	線量による変化	しきい線量	例示
確定的影響	発生率, 重篤度	存在する	皮膚の紅斑, 脱毛, 奇形など
確率的影響	発生率	存在しないと仮定	がん, 遺伝的影響

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こどもの放射線影響、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あ

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堕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こ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大きい。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、骨髄症候群が現れることがある; 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

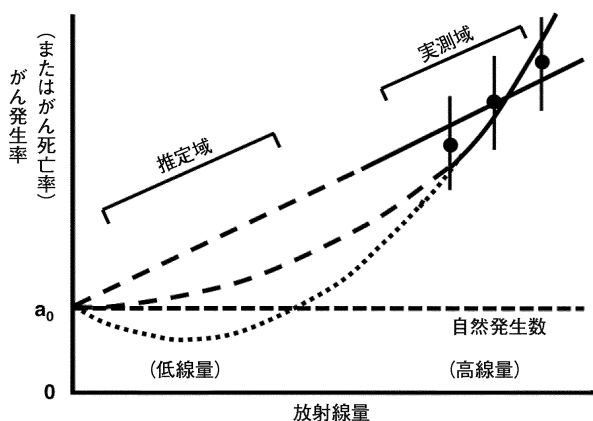


図2 低線量でのがん発生の線量-効果モデル

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ないといけない。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 樺田尚樹) 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)