ICRP 低線量・率における固形がんリスク評価に関する科学的知見・刊行物(案)の問題点（各論編）

放射線防護の民主化フォーラム
ICRP勧告について学び検討する連続Webinar(11)
原子力市民委員会 共催
2025年6月5日　17:00-18:00

- 本日分の資料は下記ページに公開します(URLは、登録メールを参照してください)。
- 開始後はチャットなどからもURLをご案内します。
  - https://sites.google.com/view/democratize-rp/home/icrp webinar?authuser=0
- 開始まで、しばらくお待ちください。

- 注意点)
  - 録画して、後日公開しますので、ご了承ください。
  - 質問がありましたら、Q&Aに記入して下さい。
    - プレゼンテーション後にQ&Aの時間を設けます。
    - こちらからできるものは口頭もしくは書き込みで回答しますが、時間内に回答できないものもあるかもしれません。その点についてはご了承ください。
    - なお、参加者の方で回答可能な方がいらっしゃれば、回答(記入)して下さっても構いません。

本日の内容

- 第10回　ICRP 低線量・率における固形がんリスク評価に関する科学的知見・刊行物(案)の問題点（総論編）
  - 2025年5月15日(木) 17:00-18:00
  - 濱岡豊(慶応大学・教授)
    - 「刊行物(案)の概要と放射線防護における位置づけ」
  - 津田敏秀(岡山大学大学院環境生命科学研究科・特命教授)
    - 「100mSv未満の放射線被ばくによる発がん効果: “100 mSv論”の誕生」
  - Q&A

- 第11回　同（各論編）
  - 2025年6月5日(木) 17:00-18:00
  - 濱岡豊(慶応大学・教授)「刊行物(案)の問題点・各論」
  - 刊行物(案)にコメントのある方々
  - パブコメの書き方
  - Q&A

「刊行物(案)の問題点・各論」

放射線防護の民主化フォーラム
ICRP勧告について学び検討する連続Webinar(11)
ICRP 低線量・率における固形がんリスク評価に関する科学的知見・刊行物(案)の問題点
(各論編)
2025年6月5日 17:00-18:00

濱岡豊
hamaoka@fbc.keio.ac.jp
慶應義塾大学商学部
(原子力規制委員会 福島事故部会メンバー)

本報告は科研費 基盤研究(B) 21H00501「放射線防護体系に関する科学史・科学論的研究から市民的観点による再構築へ」の成果を含む。

内容

- 前回の復習
- 「刊行物(案)の問題点・各論」
- みなさまからのコメント
- Q&A
- パブコメの方法
- 参考文献

前回の復習1　濱岡豊「刊行物(案)の概要と放射線防護における位置づけ」

- 国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告の重要性
- ICRPの起源
  - 1928年国際X線およびラジウム防護委員会(IXRPC)設立
  - 1950年国際放射線防護委員会(ICRP)へと改称(米・英・加)
    - その間、勧告、刊行物を発刊
- 2007年　ICRP Publication 103 ICRPの(2007年基本)勧告
- 2011年3月　東京電力福島原発事故後
  - 設定された20mSv基準などの根拠は、ICRPによる勧告
    - 2007年基本勧告　(Publication 103)に基づく。
      - 緊急時、長期現存被ばく

    - 勧告そのものの問題
      - (パラグラフ36) 年間およそ100 mSvを下回る放射線量において，委員会は，確率的影響の発生の増加は低い確率であり，またバックグラウンド線量を超えた放射線量の増加に比例すると仮定する。委員会は，このいわゆる直線しきい値なし(LNT)のモデルが，放射線被ばくのリスクを管理する最も良い実用的なアプローチであり，“予防原則”(UNESCO，2005)にふさわしいと考える。委員会は，このLNTモデルが，引き続き，低線量・低線量率での放射線防護についての慎重な基礎であると考える(ICRP，2005d)。
      - 参考レベル 「(パラグラフ241) 20 mSvよりも高く100 mSvを超えない3 番目のバンドは，被ばくを低減させるためにとられる対策が混乱を起こしているかもしれないような，異常でしばしば極端な状況に適用される。」

    - 日本政府の勧告にそった(沿っていない)対策における問題

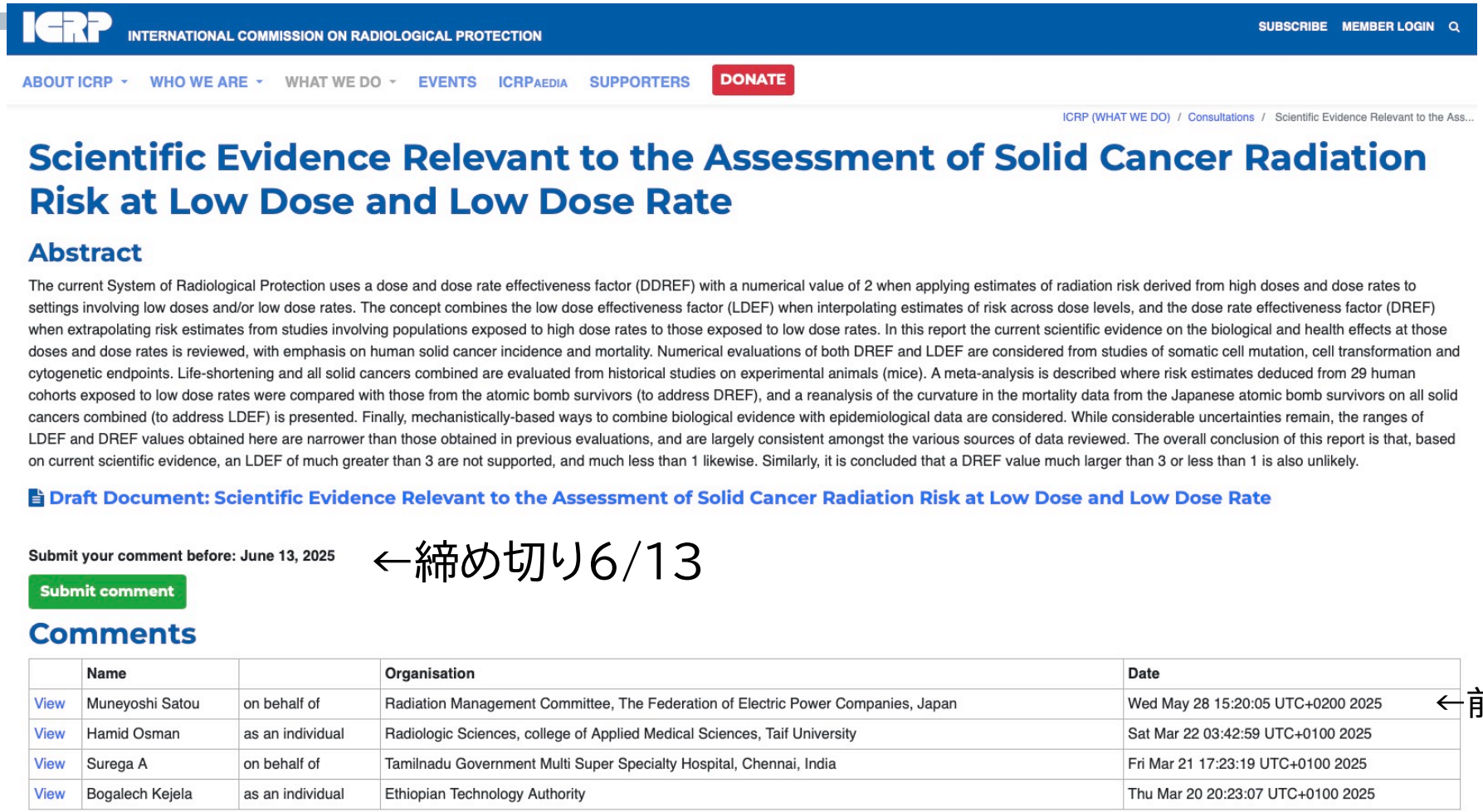
ICRP基本勧告と、その改訂に向けた動き

- ICRPの基本勧告(全般的な勧告。これに基づいて各種の勧告・ガイドラインを発刊)
  - 1956年　作業者の年線量限度50 mSv
  - 1959年 Publication 1
  - 1964年 Publication 6
  - 1966年 Publication 9
  - 1977年 Publication 26
    - 確率的影響のリスクを定量化
    - “線量制限体系”
      - 正当化, 防護の最適化, 及び個人線量の制限
  - 声明(ICRP, 1985b)公衆　年線量限度1 mSv
  - 1990年勧告 Publication 60
    - 放射線被ばくのリスク推定値が上方修正されたため改訂
    - 線量制限体系から“放射線防護体系”
    - “行為”と“介入”の区別
    - 作業者の年線量限度50 mSvから年平均20mSv
    - 公衆　“特殊な事情においては”5年間 にわたって平均する可能性を持った年 1 mSv
- 2007年勧告 Publication 103の特徴
  - 被ばく状況の3分類
  - 参考レベルの導入
    - 計画被ばく状況
      - 線量限度
      - (一般公衆)1mSv/年
      - (職業人)100mSv/5年
      - かつ50mSv/年
    - 緊急被ばく状況
      - 参考レベル
      - 20~100mSv/年の範囲
    - 現存被ばく状況
      - 参考レベル
      - 1~20mSv/年のうち低 線量域、
      - 長期目標は1mSv/年
- 新勧告に向けた動き
  - 202x-203x頃の改訂を目指して改訂作業開始
  - 新勧告に関連した、様々なタスクグループと刊行物
    - 今回　タスクグループ91からの刊行物(案)

- 福島原発事故後の各種施策の根拠

ICRPでの勧告承認年と出版年には1年程度の遅れがあることが多い。ここでは承認年(出版物の表紙に記載)を記載。

ICRP 低線量・率における固形がんリスク評価に関する科学的知見・刊行物 （案）



ICRP INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION

SUBSCRIBE MEMBER LOGIN

ABOUT ICRP | WHO WE ARE | WHAT WE DO | EVENTS | ICRPAEDIA | SUPPORTERS | DONATE

ICRP (WHAT WE DO) / Consultations / Scientific Evidence Relevant to the Ass...

Scientific Evidence Relevant to the Assessment of Solid Cancer Radiation Risk at Low Dose and Low Dose Rate

Abstract

The current System of Radiological Protection uses a dose and dose rate effectiveness factor (DDREF) with a numerical value of 2 when applying estimates of radiation risk derived from high doses and dose rates to settings involving low doses and/or low dose rates. The concept combines the low dose effectiveness factor (LDEF) when interpolating estimates of risk across dose levels, and the dose rate effectiveness factor (DREF) when extrapolating risk estimates from studies involving populations exposed to high dose rates to those exposed to low dose rates. In this report the current scientific evidence on the biological and health effects at those doses and dose rates is reviewed, with emphasis on human solid cancer incidence and mortality. Numerical evaluations of both DREF and LDEF are considered from studies of somatic cell mutation, cell transformation and cytogenetic endpoints. Life-shortening and all solid cancers combined are evaluated from historical studies on experimental animals (mice). A meta-analysis is described where risk estimates deduced from 29 human cohorts exposed to low dose rates were compared with those from the atomic bomb survivors (to address DREF), and a reanalysis of the curvature in the mortality data from the Japanese atomic bomb survivors on all solid cancers combined (to address LDEF) is presented. Finally, mechanistically-based ways to combine biological evidence with epidemiological data are considered. While considerable uncertainties remain, the ranges of LDEF and DREF values obtained here are narrower than those obtained in previous evaluations, and are largely consistent amongst the various sources of data reviewed. The overall conclusion of this report is that, based on current scientific evidence, an LDEF of much greater than 3 are not supported, and much less than 1 likewise. Similarly, it is concluded that a DREF value much larger than 3 or less than 1 is also unlikely.

Draft Document: Scientific Evidence Relevant to the Assessment of Solid Cancer Radiation Risk at Low Dose and Low Dose Rate

Submit your comment before: June 13, 2025 ←締め切り6/13

Submit comment

Comments

	Name		Organisation	Date
View	Muneyoshi Satou	on behalf of	Radiation Management Committee, The Federation of Electric Power Companies, Japan	Wed May 28 15:20:05 UTC+0200 2025 ←前回より追加
View	Hamid Osman	as an individual	Radiologic Sciences, college of Applied Medical Sciences, Taif University	Sat Mar 22 03:42:59 UTC+0100 2025
View	Surega A	on behalf of	Tamilnadu Government Multi Super Specialty Hospital, Chennai, India	Fri Mar 21 17:23:19 UTC+0100 2025
View	Bogalech Kejela	as an individual	Ethiopian Technology Authority	Thu Mar 20 20:23:07 UTC+0100 2025

https://www.icrp.org/consultation.asp?id=AABD4A34-8877-4A67-8F88-0CC192C8AC29

刊行物(案)の目的(概要から)

- 本報告書は、低線量および低線量率の電離放射線による生物学的影響に関する最新の科学的証拠を、低線量効果係数(LDEF)および線量率効果係数(DREF)の観点から評価する。本報告書では、細胞内レベル、細胞レベル、組織および生物レベル、そして集団レベルにおける、あらゆる固形がんのリスクに関連するエンドポイントの結果を概説する。本報告書では、低線量とは100mGy未満の被ばく、低線量率とは、線エネルギー付与(LET)が低い被ばくにおいて、約1時間の平均で0.1mGy/分未満の被ばくを指す。

- DDREF(LDEFとDREFを組み合わせた概念)は、基本的に放射線防護の目的に適用されるアプローチを示すものですが、本報告書の焦点ではありません。特に、このアプローチの根拠や放射線防護システムへの影響については、ここでは議論しません。

- 出所)同刊行物のp.5のGoogleによる翻訳(以下、ICRPドラフト、日本語訳)
  - https://www.icrp.org/consultation.asp?id=AABD4A34-8877-4A67-8F88-0CC192C8AC29

（今回の刊行物の直接の議論対象ではないが）線量・線量率効果係数（DDREF）とは？

- 現在の放射線防護体系では、（原爆被爆者の分析結果のように）高線量および高線量率から得られた放射線リスク推定値を、低線量および／または低線量率の状況に適用する際に、線量・線量率効果係数（DDREF）＝2が用いられています。
- この概念は、（原爆被爆者のように）高線量領域で得られたリスク推定値を、低線量領域に内挿する際につかわれる低線量効果係数（LDEF）と、（原爆被爆者のように）高線量率に被曝した集団に関する研究から得られたリスク推定値を低線量率に被曝した集団に外挿する際に使われる線量率効果係数（DREF）を統合したものです。
  - 同刊行物のアブストラクトのGoogleによる翻訳に（赤字）部分を加筆。

- DDREF（Dose and Dose Rate Effectiveness Factor）:線量・線量率効果因子
  - 下記を複合した指標
    - Low dose effectiveness factor （LDEF）　:100mSv以下
    - Dose rate effectiveness factor （DREF）　:0.1mGy/分以下=6mSv/h以下=52.6Gy/年
  - 放射線による健康影響評価に関しては、原爆被爆者のデータが重要だが、一瞬で高線量を被ばくした状況なので、長期的に被ばくするような状況については工夫が必要である、という考えに基づく。

線量・線量率効果係数(DDREF)＝2の使われ方

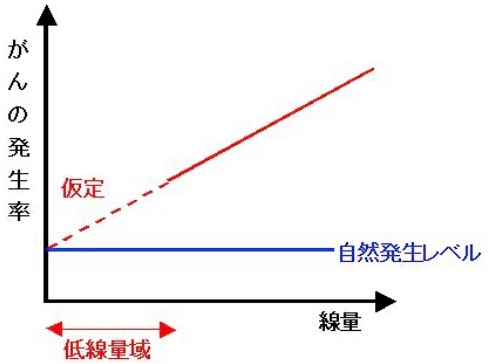
生涯致死リスクの過小評価につながる。

- ICRP　1990年基本勧告
  - (パラグラフ83)高線量・高線量率の低LET 放射線に関する付属書B のデータは, 男女両性で就労年齢の基準集団における生涯致死確率係数が, 全悪性腫瘍の合計について約8X 10^{-2} Sv^{-1} であることを示している。この値をDDREF＝2 と組み合わせて, 作業者に関する名目確率係数は4X10^{-2} Sv^{-1} となる。子供を含む全集団についての対応する値は, 高線量・高線量率の場合約10X10^{-2} Sv^{-1} ,低線量・低線最率の場合5x10^{-2} Sv^{-1} となる(表3 参照)。

- ICRP　2007年基本勧告
  - (パラグラフe)電離放射線の健康影響についての理解が委員会勧告の中心である。電離放射線に起因する健康リスクに関する生物学的及び疫学的情報を検討した結果, 委員会は以下の結論に達した。様々な臓器／組織に対するリスクの分布は, Publication 60 以降, 特に乳がんと遺伝性疾患に関し, 若干変化したと判断される。しかし, 低線量において直線的反応を仮定すると, 過剰のがんと遺伝性影響による複合した損害は引き続き1 Sv 当たり約5 %で, 変更はないままである。この今回の推定値に含めたのは固形がんに対する線量・線量率効果係数(DDREF)の使用で, その値は2 のままで変わらない。

低線量効果係数(LDEF)および線量率効果係数(DREF)についてのイメージ(Rhum2015)

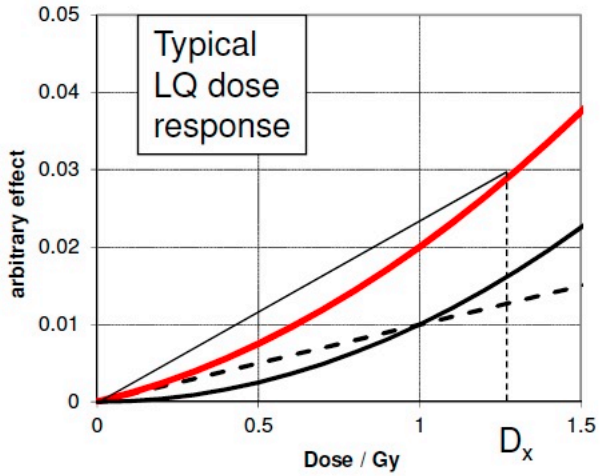
- 前提
  - 低線量:
  - 100mSv未満
  - ではリスクが低下



しきい値なし直線仮説の模式図

https://criepi.denken.or.jp/jp/rsc/study/topics/lnt.html

LDEF – Definition



LDEF(高線量と低線量の傾きの比)
D:被ばく線量

$$L-Model:\alpha' D$$

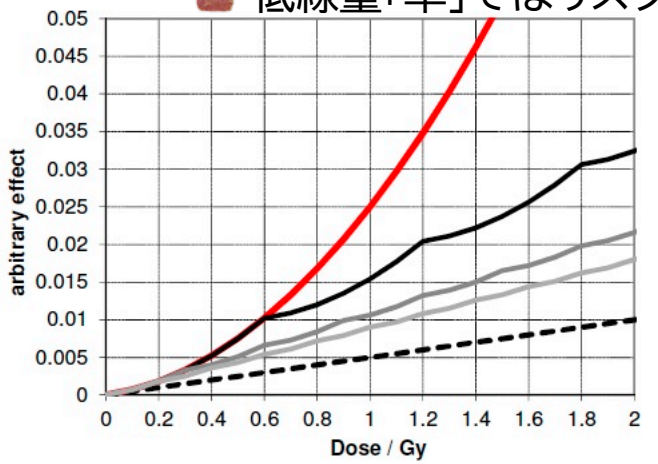
$$LQ-Model:\alpha D+\beta D^2$$

$$\frac{Q}{L}=\frac{\alpha D+\beta D^2}{\alpha' D}\sim 1+\frac{\beta}{\alpha}D^2$$

ただし、$\alpha'\sim\alpha$

DREF – Definition

- 低線量「率」ではリスクが低下



DREF(急性被ばくと慢性被ばくの影響の比)

赤:急性被ばく
黒:3回にわけて被ばく
点線:慢性被ばく

それぞれ直線とすると
急性ひばく ： $\alpha' D$
慢性ひばく ： αD
急性被ばく/慢性ひばく　α'/α →慢性被ばくの方がリスクが低いほど、値が大きくなる、

これらを統合してDDREFを決定 →数式があるわけではなく主観的に決めるらしい。

Ruhm, Werner (2015), "Dose Rate Effects in Radiation Biology and Radiation Protection," in Third International Symposium on the System of Radiological Protection https://www.icrp.org/docs/icrp2015/25%20Werner%20Ruhm%202015.pdf. S
甲斐倫明 (2022), "ICRP 勧告改定に向けての動向," in 2022年6月28日 保健物理学会企画セッション https://www.jhps.or.jp/upimg/files/2020628-ICRP勧告改定動向.pdf.

刊行物(案)の目次

疫学だけでなく生物学、動物実験についても紹介

前回の復習2

- 津田敏秀（岡山大学大学院環境生命科学研究科・特命教授）
- 「100mSv未満の放射線被ばくによる発がん効果: “100 mSv論”の誕生」
  - 「100 mSv未満では明らかながんリスクは発生しない（または『不明』または『統計的に有意な増加はない』）論（『100mSv論』）には科学的根拠はない
    - 科学的根拠は見つからず、非科学的根拠が2つ見つかりました

100mSv論は2つのルートから来た

1. 1.【LSS（原爆被爆者追跡調査データ）からの経路】広島と長崎の被曝集団のコホートデータ分析において、異例の手法（著者ら自身により不適切と指摘する方法）を採用し、
    1. 線量範囲を制限した回帰直線の傾きに統計的に有意差は認められない
    2. または100 mSv以下の線量範囲の上限において発がん率の増加は認められない
    3. または「発がん率の増加は知られていない」
    4. または「発がん率の増加に統計的に有意差は認められない」
    5. または（意図的に）再表現された「発がん率の増加に統計的に有意差は認められない」
2. 【ICRP報告書における経路】ICRP報告書第99号（2005年）からICRP 2007年勧告の付属書Aに至る過程における改ざん手法。10 mGyから始まり、科学的根拠なしに『100-150 mSv』へ段階的に変更された『1つのゼロが追加された』手法。

出所）津田敏秀（2025）「100mSv未満の放射線被ばくによる発がん効果: “100 mSv論”の誕生」（pdf）

IARCの発がん分類のルール

(d) 全体的評価

最後に、ヒトに対する作用因子の発がん性についての全体的評価に到達するため、各々の証拠の流れに含まれる証拠が全体として検討されます。証拠の三つの流れが集約され、作用因子は次のカテゴリーの中の一つに分類され（表 4 参照）、ワーキンググループが以下を確立したことが示されます：

(e) **論拠**

ワーキンググループがその評価に達するために用いた論法が要約され、それによって評価の根拠の透明性が示されます。このセクションは、ヒトにおけるがん、実験動物におけるがん、及びメカニズムの証拠についての研究からの主な知見を統合します。これには、ワーキンググループの討議において現れた主な議論についての簡潔な声明、各々の証拠の流れについての証拠の強さに関するワーキンググループの結論、これらの結論に対して極めて重要な証拠全体の提示、及び、評価を行う上でのワーキンググループの論法の説明が含まれます。

表 4　全体的な分類に到達する上での証拠の流れの統合（*斜体* で示した証拠は全体的な評価の根拠を意味する）

証拠の流れ			証拠の重みに基づく分類
ヒトにおけるがんの証拠[a]	実験動物におけるがんの証拠	メカニズムの証拠	
十分	不要	不要	ヒトに対して発がん性がある（グループ 1）
限定的または不十分	*十分*	*強い γ(b)(1)（ばく露されたヒト）*	
限定的	*十分*	強い(b)(2-3)、限定的、または不十分	ヒトに対しておそらく発がん性がある（グループ 2A）
不十分	*十分*	*強い γ(b)(2)（ヒトの細胞または組織）*	
限定的	十分に満たない	*強い γ(b)(1-3)*	
限定的または不十分	不要	*強い γ(a)（メカニズム的分類）*	
限定的	十分に満たない	限定的または不十分	ヒトに対して発がん性があるかもしれない（グループ 2B）
不十分	*十分*	強い(b)(3)、限定的、または不十分	
不十分	十分に満たない	*強い γ(b)(1-3)*	
限定的	*十分*	*強い γ(c)（ヒトでは働かない）*[b]	
不十分	*十分*	*強い γ(c)（ヒトでは働かない）*[b]	ヒトに対する発がん性を分類できない（グループ 3）
上記以外の全ての状況			

a. 評価が最も高いヒトのがん

b. *実験動物における発がんのメカニズムがヒトにおいては働かないという強い証拠* は、具体的には *実験動物における強い証拠* の分類を支持する腫瘍部位についてのものでなければならない。

出所）津田敏秀（2025）「100mSv未満の放射線被ばくによる発がん効果: “100 mSv論”の誕生」（pdf）

内容

- 前回の復習
- 「刊行物(案)の問題点・各論」
- みなさまからのコメント
- Q&A
- パブコメの方法
- 参考文献

結論の問題

Abstractの結論部分（以下は英語版の行数表示）

108 consistent amongst the various sources of data reviewed. The overall conclusion of this report
109 is that, based on current scientific evidence, an LDEF of much greater than 3 are not supported,
110 and much less than 1 likewise. Similarly, it is concluded that a DREF value much larger than
111 3 or less than 1 is also unlikely.

日本語訳(日本語版の行数表示→英語版とは異なることに注意)

90 レビューされたさまざまなデータソース間で概ね一貫している。本報告書の全体的
91 な結論は、現在の科学的証拠に基づくと、LDEFが3を大幅に上回ることは支持されず
92 、1を大幅に下回ることも同様に支持されないというものである。同様に、DREF値が
93 3を大幅に上回ることも1を下回ることも考えにくいと結論付けられる。

該当箇所　108-111行

細胞・分子レベルの場合LDEF、DREFとも1~4、実験動物の場合LDEF=1,DREF=1~2、ヒトの場合、信頼できる研究に限定するとDREF=0.8-1.3のはずだが、細胞・分子、動物レベルと混在させることによって1~3としている。

→これによってDDREF=2を維持する方向？

総論的コメント

- 細胞、動物実験、低線量率放射線疫学、低線量疫学についての知見をレビューしたことは評価する。
- ただし、放射線防護の第一の目的はヒトの放射線防護であり、ヒトの知見を優先すべきである。分子・細胞レベル、動物実験レベルのDREFやLDEFが高いからといって、人間の被ばく基準を緩和すべきではない。分子・細胞レベル、動物レベルの知見については、削除するか、付録とすべきである。
- 低線量率放射線疫学のメタ分析（5章）に関しては、Mayak従業員研究（Sokolnikov et al. 2015, 2017）の影響が大きいことが示されている（Table 4:これを入れるとDREF＝1.99、これを抜くと0.82）。Mayakについては、プルトニウムからのα線による内部被ばくの可能性が大きく、それなりに分析上の工夫はされているようだが、そもそも今回のレポートの対象である低LET研究ではない。また、他の研究は全固形がんを含んでいるが、このSokolnikov et al. (2015, 2017)は（プルトニウムによる内部被ばくの影響を除外するために？）肺がん、肝臓がん、骨がんを除外している。このような特異な研究は除外すべきである。

メタ分析の対象(一部)
メタ分析:さまざまな研究の結果を統合する方法

3022 表 3. 全固形がん（またはその代理）の低線量および/または低線量率（LDR）研究：LDR リスク推定および LDR 対 LSS リスク比
3023 。

研究識別子[a]	報告された平均外部線量 (mGy)	がんの数	LDR研究リスク: ERR Gy $^{-1}$ (90% または 95% CI) [a]	対応するLSSリスク: ERR Gy $^{-1}$ (90%または95% CI) [a]	LDR/LSS: この研究のLSSに対するリスク比 (90%または95% CI)
職業上の放射線被曝と死亡率					
INWORKS (Richardson 他、2023a) *	20.9 [b1、b6]	28,089 [c1]	0.52 (0.27, 0.77)	0.32 (0.24, 0.4)	1.64 (0.82, 2.68)
米国、原子力労働者（ケリー・ライフ他、 2023a)	26.5 [b3、b6、g]	12,069 [c1]	0.19 (-0.10, 0.52) [日]	0.27 (0.20, 0.35)	0.69 (-0.44, 1.93)
英国、NRRW（ヘイロック他、 2018年)	25.3 [b3]	10,779 [c1]	0.24 (0.01, 0.48)	0.25 (0.18, 0.33)	0.94 (0.02, 2.06)
米国、原子力発電所労働者 (Boice et al. 、 2022a) [e、*]	43.7 [b1]	8,445[セント]	0.1 (-0.3, 0.5) [日]	0.30(0.19, 0.40)	0.34 (-1.07, 1.84)
日本、原子力労働者（古田他、 2022) *	11.0 [b1]	7,929 [c3]	1.22 (0.24, 2.26) [f]	0.24 (0.14, 0.34)	5.03 (0.85, 11.26)
フランス、原子力労働者（ローラン他、 2023年)	23.1 [b3、b6]	5,691 [c1]	0.69 (-0.28, 1.77) [日]	0.25 (0.17, 0.32)	2.8 (-1.38, 7.54)
(Boice et al. 、 2023) *	14.6 [b7]	3,191[セント]	0.7 (-0.1, 1.5) [日]	0.48(0.38, 0.58)	1.47 (-0.21, 3.29)
ロシアのチェルノブイリ事故処理作業員（カシュチェエフ他、2015年) *	132 [b2]	2,442[セント]	0.58 (0.002, 1.25) [d]	0.23 (0.12, 0.34)	2.54 (-0.19, 6.82)
マヤック族の労働者、ロシア(Sokolnikov et al.、2015、2017) *	354 [b1]	1,825 [c4]	0.16 (0.07, 0.26) [d、グラム]	0.42 (0.30, 0.55)	0.38 (0.15, 0.68)
	235 [b1]	593 [c4]		0.42 (0.29, 0.56)	0.45 (0.34, 0.66) [a]

出所)ICRP ドラフト(日本語訳)p.83

メタ分析のまとめ（Mayak労働者研究の影響）

Table 4. Estimates of the Dose Rate Effectiveness Factor (DREF) with 95% CIs for All Solid Cancer from Meta-analyses of Low-Dose and Low-Dose-rate Studies [a]

Mortality Studies Only			
	All Mayak (N=24) [b]	Non-Pu Mayak [c] (N=24)	Mayak Excluded (N=23)
DREF	1.99 (1.36, 3.71)	1.37 (0.91, 2.73)	0.82 (0.55, 1.63)
Incidence Studies Only			
	(N=9)		(N=8)
DREF	1.73 (1.04, 5.06) [d]	--	1.40 (0.92, 2.95) [e]
Combined Mortality and Nonredundant Incidence Studies			
	(N=29)	(N=29)	(N=28)
DREF	1.89 (1.37, 3.04)	1.48 (1.06, 2.46)	1.26 (0.89, 2.16)

Studies with Mean Dose Under 100 mGy (excludes Mayak and Chornobyl cleanup worker studies)		
	Combined Mortality and Nonredundant Incidence Studies (N=27)	Mortality Studies Only (N=22)
DREF	1.30 (0.90, 2.28)	0.86 (0.56, 1.84)

[a] Where the DREF is the inverse of the meta-analysis estimate of the LDR/LSS ratio.
[b] N is the number of studies included.
[c] 'Non-Pu' indicates the exclusion of the plutonium-processing and radiochemical facilities at Mayak in which workers had extensive plutonium exposures and high cumulative doses (Sokolnikov et al., 2017).
[d] Based on a random effects meta-analysis model because of statistically significant heterogeneity in the estimates of the LDR_i/LSS_i risk estimates.

出所）ICRP ドラフト（英語版）p.80

線量および低線量率研究のメタアナリシスによる全固形がんの線量率効果係数（DREF）の推定値（95%信頼区間付き）

死亡率研究のみ			
	オールマヤック（N=24）[b]	非プ・マヤック[c]（N=24）	マヤック除外（N=23）
DREF	1.99（1.36, 3.71）	1.37（0.91, 2.73）	0.82（0.55, 1.63）
発生率調査のみ			
	(N=9)		(N=8)
DREF	1.73（1.04, 5.06）[d]	--	1.40（0.92, 2.95）[e]
死亡率と非重複発生率の複合研究			
	(N=29)	(N=29)	(N=28)
DREF	1.89（1.37, 3.04）	1.48（1.06, 2.46）	1.26（0.89, 2.16）

平均線量100 mGy未満の研究（マヤックおよびチェルノブイリの除染作業員の研究は除く）		
	死亡率と非重複発生率の複合研究（N=27）	死亡率研究のみ（N=22）
DREF	1.30（0.90, 2.28）	0.86（0.56, 1.84）

[a] ここで、DREF は LDR/LSS 比のメタ分析推定値の逆数です。
[b] Nは含まれる研究の数です。
[c] 「非プルトニウム」とは、作業員が広範囲にプルトニウムに曝露され、高い累積線量を被曝したマヤックのプルトニウム処理施設および放射化学施設が除外されていることを意味する（Sokolnikov et al., 2017）。
[d] LDR_i/LSS_i リスク推定値の推定値に統計的に有意な異質性があるため、ランダム効果メタ分析モデルに基づいています。

出所）ICRP ドラフト（日本語訳）p.91

- 低線量疫学についてのレビュー（第6章）では、100mSv以下では放射線の影響が小さくなると想定しているが、同章6.2.2 「6.2.2. 100 mSv以下での放射線関連の癌リスクに関する最近の証拠」にあるオックスフォード小児がん調査（OSCC）は、1950年代から、「10～30 mGyの母体腹部への子宮内被ばくががんリスクと関連していること」を明らかにしている。同節で紹介されているように、INWORKSでも0-50mSvにサンプルを限定しても、有意なリスク係数が得られている（そもそも、このように線量範囲を限定指定推定すること自体が不適切だが）。
- 5章でのメタ分析でも、平均被ばく量100mSv以下の研究に限定した固形がん死のDREF（各研究のERR/LSS14のERR）は0.86であり、原爆被爆者と同様の直線状の傾きであることが示唆されている。
- 100mSv以下では被ばく量と固形がん死には有意な関係がないといった解釈は誤りであり、0mSvから直線状にリスクが増加することを認めるべきである。

- 6章では、原爆被爆者への寿命調査第14報(Ozasa et al. 2012)が、全データを用いると線形モデル、2Gy以下のデータに限定するとLQモデルの方が最良であったことから、2Gy以下のデータのみを用いて、LQモデルを推定している。なぜ2Gy以下に限定するのか、理由が不明であるし、2Gy以上のデータを破棄することは不適切である。
  - データを恣意的に限定して分析することが許容されるならば、直線モデルが成立していたとしても、サンプルサイズを小さくすれば、必ずリスク係数は有意ではなくなる。このような分析を行うことによって、閾値モデルが妥当だと主張することが可能となる。データはすべて用いて分析することが前提である。

参考)原爆被爆者への寿命調査第14報(Ozasa et al. 2012)

なぜ2Gy未満に限定するのか理由が不明。
2Gy以上のデータを無視することは不適切。

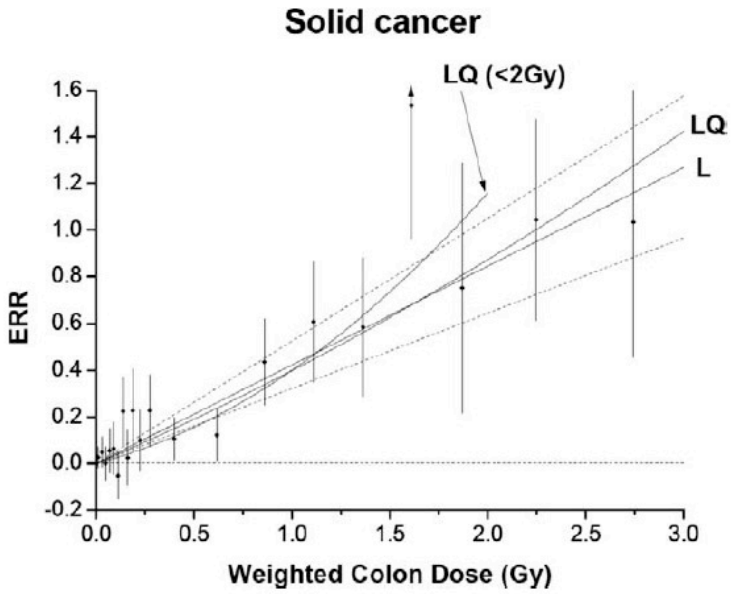


FIG. 4. Excess relative risk (ERR) for all solid cancer in relation to radiation exposure. The black circles represent ERR and 95% CI for the dose categories, together with trend estimates based on linear (L) with 95% CI (dotted lines) and linear-quadratic (LQ) models using the full dose range, and LQ model for the data restricted to dose <2 Gy.

全データを用いた推定結果　　2Gy未満のデータのみを用いた推定結果

TABLE 6
Parameter Estimates of the Dose–Response Models for Excess Relative Risk (ERR) for all Solid Cancer in the Full Dose Range and for the Range of 0–2 Gy

	Full			<2 Gy		
Dose range model[a]	L[c]	LQ	Q	L	LQ	Q
β_1: linear	**0.42**	0.36	–	0.44	**0.22**	–
β_2: quadratic	–	0.038	0.22	–	**0.18**	0.33
Effect modification						
σ: sex (female = 1; male = −1)	**0.34**	0.35	0.40	0.28	**0.29**	0.29
τ: age at exposure (year)	**−0.035**	−0.034	−0.035	−0.033	**−0.034**	−0.035
υ: attained age (log(age/70))	**−0.86**	−0.86	−0.90	−0.84	**−0.89**	−0.97
Deviance	18301.2	18300.4	18324.9	17557.3	17551.6	17557.2
df	53147	53146	53147	49577	49576	49577
Test (vs. LQ model)	$P = 0.36$	–	$P < 0.001$	$P = 0.02$	–	$P = 0.02$

Note. Bulded columns are the selected models.
[a] The ERR model was defined as $\lambda_1(c,s,b,a)\,[1 + p(d) \cdot \exp(\tau e + \upsilon \ln(a)) \cdot (1 + \sigma s)]$, where d is colon dose, s is sex, b is birth year, e is age at exposure, and a is attained age. $p(d)$ was $\beta_1 d$ for the linear model, $\beta_1 d + \beta_2 d^2$ for the linear-quadratic model, and γd^2 for the quadratic model. τ, υ and σ are coefficients for effect modification.
[c] L: linear, LQ: linear-quadratic, Q: quadratic.

Deviance:データとモデルの乖離度
→小さいほどあてはまりが良好。
モデルに含まれているパラメータ数を考慮して検定。
L,LQ,Qモデルのうち最良のモデル。

2Gy以下に限定した分析結果

Table 6. Fit of linear-quadratic model to Japanese LSS solid cancer mortality data of Ozasa et al. (2012), respective organ dose range < 2 Gy. Confidence intervals are based on the profile likelihood unless otherwise indicated.

Cancer type	Linear-quadratic model ERR Gy^{-1} (+95% CI) Linear term	Quadratic/linear term	p-value (linear-quadratic vs linear)
All solid	0.159 (0.025, 0.332)	0.809 (0.080, 8.571)	0.017
Female breast	0.584 (-0.285, 2.150)	0.760 (-0.220, 3.040[a])	0.261
Colon	0.009 (-0.083[a], 0.100[a])	2.594 (-28.705[a], 33.893[a])	0.237
Liver	0.067 (-0.519[a], 0.825)	4.109 (-37.580[a], 0.736)	0.246
Lung	0.324 (-0.034, 0.829)	0.330 (-0.242, 1.553[a])	0.430
Stomach	0.207 (-0.115[a], 0.614)	-0.251 (-0.684[a], 3.027)	0.483

[a] Wald-based CI.

出所)ICRP ドラフト(英語版)p.87

ら（2012）による日本のLSS固形癌死亡率データへの線形二次モデルの適合度（各臓器の線量範囲は2Gy未満）。特に断りのない限り、信頼区間はプロファイル尤度に基づく。

がんの種類	線形二次モデル ERR Gy^{-1} (+95% CI) 線形項	二次/一次項	p値（線形二次 vs 線形）
すべて固体	0.159（0.025, 0.332）	0.809（0.080, 8.571）	0.017
女性の胸	0.584（-0.285, 2.150）	0.760（-0.220, 3.040[a]）	0.261
結腸	0.009（-0.083[a], 0.100[a]）	2.594（-28.705[a], 33.893[a]）	0.237
肝臓	0.067（-0.519[a], 0.825）	4.109（-37.580[a], 0.736）	0.246
肺	0.324（-0.034, 0.829）	0.330（-0.242, 1.553[a]）	0.430
胃	0.207（-0.115[a], 0.614）	-0.251（-0.684[a], 3.027）	0.483

[1つの] Wald ベースの CI。

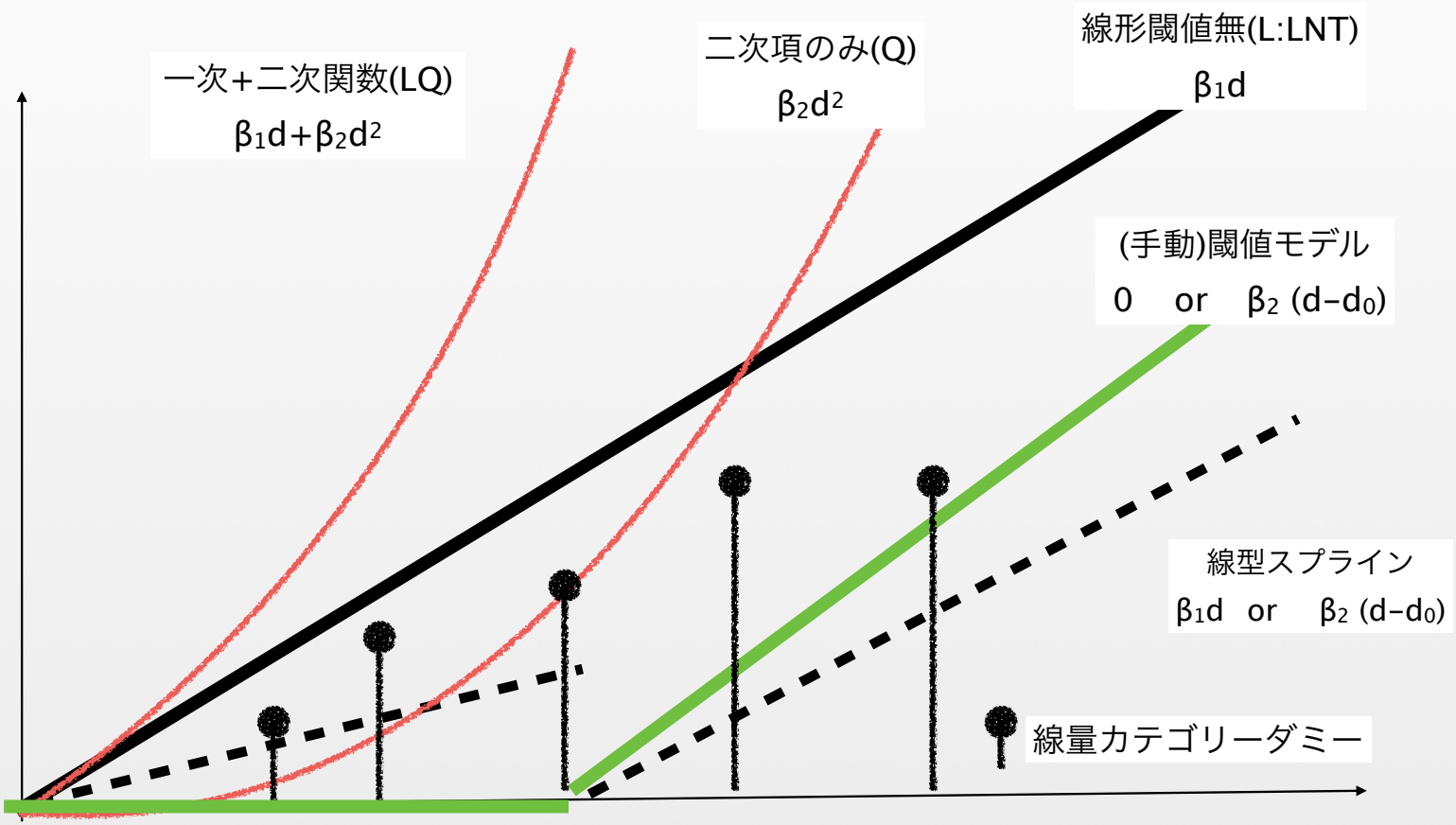
出所)ICRP ドラフト(日本語訳)p.99

- 濱岡(2015)はLSS14の全データを用いて、2GyまではLQモデル、それより上ではL、Q、LQモデルという3つのモデルを推定したが、いずれも全域直線モデルの方がモデルの適合度は良好であった(次ページ以降参照)。
- さらに、LSS14では、様々な線量-応答関数を推定しているが、他のモデルについてはモデルの適合度が示されていないため、どれが最良のモデルなのかがわからなくなっている。
- 濱岡(2015)では、LSS14で推定されたモデルの他、閾値を直接推定するモデルも含めて推定し、それらのデータへのあてはまりを比較した。その結果、線形モデルが最良であることが示された。
- つまり、低線量ではリスクが低下することはない。よって、LDEFも1とすべきである。

- まとめると、ヒトを対象とした放射線疫学の知見から、100mSv以下でも直線状にリスクが増加することが支持されていることがわかった。また、低線量率であってもリスク係数は低下しないことも確認された。よって、LDEF、DREFともに1であると結論づけるべきである。

参考）不完全なモデル選択

LSS14で推定されている様々な線量一応答関数



d_0:閾値もしくは境界値

LSS14 (Ozasa et al. 2012)モデル選択をしていないため、論文の要約の記述も混乱

age. The risk of all causes of death was positively associated with radiation dose. Importantly, for solid cancers the additive radiation risk (i.e., excess cancer cases per 10^4 person-years per Gy) continues to increase throughout life with a linear dose–response relationship. The sex-averaged excess relative risk per Gy was 0.42 [95% confidence interval (CI): 0.32, 0.53] for all solid cancer at age 70 years after exposure at age 30 based on a linear model. The risk increased by about 29% per decade decrease in age at exposure (95% CI: 17%, 41%). The estimated lowest dose range with a significant ERR for all solid cancer was 0 to 0.20 Gy, and a formal dose-threshold analysis indicated no threshold; i.e., zero dose was the best estimate of the threshold. The risk of cancer mortality increased significantly for most major sites, including stomach, lung, liver, colon, breast, gallbladder, esophagus, bladder and ovary, whereas rectum, pancreas, uterus, prostate and kidney parenchyma did not have significantly increased risks. An increased risk of

- 線形モデルの固形癌のERR(30歳で被曝、70歳に到達時。男女平均。)は 0.42 /Gy [95% 信頼区間: 0.32, 0.53]であった。 線形モデルを支持?
- (線形スプライン関数によると) 閾値0.2Gyを示唆?
- ERRが有意になるのは、0 から0.20 Gyまでを用いた場合であった。フォーマルな線量、閾値分析によると閾値ゼロが示された。つまり、閾値ゼロが最良の推定値であった。

線形モデルを支持?

LSS14 (Ozasa et al. 2012)で推定された線量-応答関数とモデル適合度評価法(濱岡2015)

- Model 1　L:線形　$\beta_1 d$
- Model 2　1次+2次(LQ)　$\beta_1 d+\beta_2 d^2$
- Model 3　2次(Q)　$\beta_2 d^2$
  - Model 1-3 は全サンプルだけでなく、2Gy未満に限定して推定。
- Model 4　(Manual search) Threshold (d_0=10,20,30mGy,,)
  - 0　($d<d_0$)
  - $\beta_2 (d-d_0)$　($d \geqq d_0$)
- Model 5 Dose category dummy
  - 15 categories
- Model 6 (Manual search) Linear spline (L_1,L_2)　(d_0=10,20,30mGy,,)
  - $\beta_1 d$　($d<d_0$)
  - $\beta_2 (d-d_0)$　($d \geqq d_0$)

濱岡(2015)で追加

- Model 7 2 Gyで屈曲
  - L1, L1Q1, or Q1　(d< 2Gy)
  - L2, L2Q2, or Q2　(d≧2Gy)
- Model 8　(統計的に) 閾値τ直接推定
  - 0　($d<\tau$)
  - $\beta_2 (d-\tau)$　($d \geqq \tau$)

尤度比検定

Sugiyama et al.(2014)
“皮膚癌発症”

最大尤度AIC

?

最大尤度

本研究
AIC, BIC

濱岡豊 (2015), ”広島･長崎被曝者データの再分析,” 科学 (9月号), 875-88.

参考)モデルの推定結果と適合度の比較(濱岡2015)

値が小さいほどモデルへの適合度が高い。

			推定値と有意水準										適合度		
	モデル		閾値,境界値(mGy)		L1		Q1		LもしくはL2		QもしくはQ2		LL	AIC	BIC
			推定値	有意水準	推定値	有意水準	推定値	有意水準	推定値	有意水準	推定値	有意水準			
1	線形	L			L2と共通				0.413	***			-16618.5	33285.0	33759.8
2	線形+二次	LQ			L2と共通				0.342	***	0.049		-16617.9	33285.8	33780.5
3	二次	Q			L2と共通				0.238	***			-16629.3	33306.7	33781.5
4	(手動)閾値	0+L2	1	f	0				0.399	***			-16636.1	33320.2	33795.1
		0+L2	5	f	0				0.398	***			-16636.1	33320.2	33795.1
		0+L2	10	f	0				0.398	***			-16636.1	33320.3	33795.1
		0+L2	20	f	0				0.401	***			-16636.1	33320.1	33794.9
		0+L2	50	f	0				0.403	***			-16635.4	33318.8	33793.6
		0+L2	100	f	0				0.411	***			-16632.5	33313.0	33787.8
		0+L2	125	f					0.398	***			-16631.9	33311.9	33786.7
		0+L2	200	f					0.422	***			-16622.9	33293.8	33768.7
5	線量カテゴリダミー変数												推定不能		
6	線型スプライン	L1+L2	1	f	19.341				0.416	***			-16618.4	33286.8	33781.5
		L1+L2	5	f									推定不能		
		L1+L2	10	f	-2.252				0.411	***			-16618.4	33286.7	33781.4
		L1+L2	20	f	0.979				0.416	***			-16618.4	33286.9	33781.5
		L1+L2	50	f	0.905	*			0.418	***			-16618.2	33286.4	33781.1
		L1+L2	100	f	0.667	*			0.417	***			-16618.3	33286.6	33781.2
		L1+L2	125	f	0.154				0.412	***			-16618.1	33286.3	33780.9
		L1+L2	200	f	0.548	***			0.417	***			-16618.3	33286.6	33781.2
7	2Gyで屈折	L1+L2	2000	f	0.421	***			0.395	***			-16618.4	33286.8	33781.5
		L1Q1+L2Q2	2000	f	0.194	**	0.207	***	0.622		-0.100		-16615.1	33284.2	33818.4
		L1Q1+L2	2000	f	0.658	*	0.666	*	1.409	*			-16627.1	33306.3	33820.7
		Q1+Q2	2000	f			0.361	***			0.150	***	-16618.0	33286.1	33780.7
8	閾値推定		-23.160						0.417	***			-16618.3	33286.9	33781.6

注)***:1%水準で有意　**:5%水準で有意　*:10%水準で有意　f:固定パラメータ

赤字はAIC、BICがもっとも小さいモデル。

報告書の構成について

- ヒトのデータのみで、低線量、低線量率ともに充分なデータがある。
- レビューの結果、ヒトについてはLDEF、DREFともに1が妥当であった。これに対して、細胞では1-4,動物実験レベルでは1-2とした。報告書はの結論は、これらを混在し、1-3という不適切な結論に至っている。

- IARCの発がん判定は、ヒトレベルで充分なエビデンスが得られていれば、動物レベルの知見の有無は関係しない。
- レビューしたことは評価するが、細胞レベル（3章）、動物実験レベル（4章）、メカニズム研究（5章）の知見は優先度が低いので、報告書からは削除するか、付録とすべきである。

具体的な部分へのコメント（冒頭部分を中心に）

Abstractの結論部分（以下は英語版の行数表示）

108 consistent amongst the various sources of data reviewed. The overall conclusion of this report
109 is that, based on current scientific evidence, an LDEF of much greater than 3 are not supported,
110 and much less than 1 likewise. Similarly, it is concluded that a DREF value much larger than
111 3 or less than 1 is also unlikely.

日本語訳（日本語版の行数表示→英語版とは異なることに注意）

90 レビューされたさまざまなデータソース間で概ね一貫している。本報告書の全体的
91 な結論は、現在の科学的証拠に基づくと、LDEFが3を大幅に上回ることは支持されず
92 、1を大幅に下回ることも同様に支持されないというものである。同様に、DREF値が
93 3を大幅に上回ることも1を下回ることも考えにくいと結論付けられる。

該当箇所　108-111行

体細胞、実験動物についてもレビューしたが、放射線防護の対象である疫学研究の知見を優先すべきである。プルトニウムによる内部被ばくという高LET被ばくの可能性が高いMayak労働者を除くと、24の研究のメタ分析からは、低線量率でもリスク係数は低下しないことが示された（DREF=0.89）。同様に、低線量であっても直線状にリスクが増加すること（LDEF=1）も確認された。

MAIN POINTS（報告書のポイント）

118 • This report evaluates the current scientific evidence on low-dose and low-dose-rate
119 biological effects of ionising radiation, in terms of the low dose effectiveness factor
120 (LDEF) and the dose rate effectiveness factor (DREF). The report reviews results
121 on endpoints related to the risk of all solid cancer, at sub-cellular, cellular, tissue
122 and organism, and population levels. In this report, low doses are those below 100
123 mGy, and low dose rates are those below 0.1 mGy min-1 when averaged over about
124 an hour, for low linear energy transfer (LET) exposures.

99　本報告書は、低線量および低線量率の電離放射線による生物学的影響に関す
100 る最新の科学的証拠を、低線量効果係数（LDEF）および線量率効果係数（DR
101 EF）の観点から評価する。本報告書では、細胞内レベル、細胞レベル、組織
102 および生物レベル、そして集団レベルにおける、あらゆる固形がんのリスク
103 に関連するエンドポイントの結果を概説する。本報告書では、低線量とは100mGy
104未満の被ばく、低線量率とは、線エネルギー付与（LET）が低い被ばく
105 において、約1時間の平均で0.1mGy/分未満の被ばくを指す。

コメント

放射線防護の対象である疫学研究の知見を優先すべきである。

100mGy以下に限定する理由が不明であるし、そもそも100mGyは低線量ではない。

さらに、線量率については、0.1mGy/分=6mGy/h=52.6Gy/年という極めて高い値である。例えばINWORKS（1943–2005）では、Individual mean Annual dose は1.66 mSvとなっている（Hamra et al.2016）。このレベルの被ばくを行わせた動物実験などの結果をヒトにあてはめること自体が非現実的である。

129・For somatic cell mutation, cell transformation and cytogenetic endpoints,
130 numerical evaluations of both DREF and LDEF provide values of around 4 and
131 below.

132・Recent pooled analyses of data from experimental animals mostly suggest an LDEF
133 close to 1 and DREF between 1 and 2 for life-shortening and for all solid cancers
134 combined, with considerable variation depending on tumour type.

110・体細胞変異、細胞形質転換、細胞遺伝学的エンドポイントについては、DREF
111 と LDEF の両方の数値評価で約 4 以下の値が得られます。

112・最近の実験動物のデータの統合分析では、寿命短縮とすべての固形がんを合
113 わせたLDEFは1に近く、DREFは1～2の間であることがほとんどで、腫瘍の種
114 類によってかなりのばらつきがあることが示唆されています。

コメント
- これらはヒトのリスク評価にどう関係するのか方法論すら不明なので、Main Pointではない。削除すべき。

135・Recent meta-analyses of epidemiological data for all solid cancers point toward
136 DREF values between about 1 and 3, taking account of the uncertainties involved
137 in these estimates.

115・すべての固形がんに関する疫学データの最近のメタ分析では、推定値に含ま
116 れる不確実性を考慮すると、DREF 値は約 1 から 3 の間になることが示され
117 ています。

- Mayak作業員研究はプルトニウムという非LET被ばくであり、肝がん、肺がん、骨がんを除いたという点でも、他とは異質な研究である。これはメタ分析から除くべきである。ここでの結論は、これを除いてDREFは1となることが示されたとすべきである。

138 ・Analyses on curvature in the incidence and mortality data from the Japanese
139 atomic bomb survivors find consistent evidence of curvature, so that evaluated
140 population risks per Gy for all solid cancer mortality evaluated at 1 Gy are about
141 twice those evaluated at 0.01 Gy. They tend to support a sex-averaged LDEF value
142 of between 1 and 2 for all solid cancers combined, with some indication of variation
143 between different cancer sites.

118 ・日本の原爆被爆者の発生率と死亡率のデータにおける曲率の分析では、一貫
119 した曲率の証拠が示されており、1グレイで評価した全固形がん死亡率のグ
120 レイあたりの人口リスクは、0.01グレイで評価したリスクの約2倍となる。
121 これらの結果は、全固形がんを合わせた性別平均LDEF値が1～2の範囲にある
122 ことを支持する傾向にあり、がんの部位によって多少のばらつきが見られる
123 。

→2Gy以下までのデータに限定した、不適切な分析に基づく。全データを使うと、線形モデルが最良であり、それにLQモデルをあてはめて推定した結果を使って論じること自体が無意味である。直線モデルが最良なのだから、LDEF=1である。

144 • While considerable uncertainties remain, the ranges of LDEF and DREF values
145 obtained here are narrower than those obtained in previous evaluations. The
146 overall conclusion of this report is that, based on current scientific evidence, LDEF
147 and DREF values much larger than 3 or less than 1 are unlikely. These ranges
148 appear largely consistent for the various sources of data reviewed in this report.

124 • 依然としてかなりの不確実性が残っているものの、ここで得られたLDEFおよ
125 びDREF値の範囲は、以前の評価で得られた範囲よりも狭くなっています。本
126 報告書の全体的な結論は、現在の科学的証拠に基づくと、LDEFおよびDREF値
127 が3を大幅に上回る、または1を下回る可能性は低いということです。これら
128 の範囲は、本報告書で検討された様々なデータソースにおいて概ね一貫して
129 いるようです。

→以前の評価がどのような範囲であったかを明示すべき。
　報告書の全体的な結論は、現在のヒトの疫学についての科学的証拠に基づくと、LDEFおよびDREF値が1よりも異なる可能性は低いということです。

EXECUTIVE SUMMARY

Main Pointと重複が多いのでどちらかに統一すべき。

168 (d) This report describes a systematic review of the current scientific evidence on low-dose
169 and low-dose-rate biological effects of ionising radiation, in terms of the LDEF and DREF
170 factors. Low doses are considered as below 100 mGy, and low dose rates are those below 0.1
171 mGy min-1 when averaged over about an hour, for low linear energy transfer (LET) exposures
172 (UNSCEAR, 2012). Low-LET refers to radiation with LET-values less than 10 keV μm-1
173 (ICRP, 2007).

148 (d) 本報告書は、低線量および低線量率の電離放射線による生物学的影響に関す
149 る最新の科学的証拠を、LDEF係数およびDREF係数の観点から体系的にレビューした
150 ものです。低線量とは100 mGy未満、低線量率とは、線エネルギー付与(LET)が低
151 い被ばくにおいて、約1時間の平均で毎分0.1 mGy未満を指します(UNSCEAR、2012年) 。低LE
152 Tとは、LET値が10 keV未満の放射線を指します。 μm - 1 (ICRP 、 2007年)。

コメント(前出)

放射線防護の対象である疫学研究の知見を優先すべきである。

100mGy以下に限定する理由が不明であるし、そもそも100mGyは低線量ではない。

さらに、線量率については、0.1mGy/分=6mGy/h=52.6Gy/年という極めて高い値である。例えばINWORKS(1943–2005)では、Individual mean Annual dose は1.66 mSvとなっている(Hamra et al.2016)。このレベルの被ばくを行わせた動物実験などの結果をヒトにあてはめること自体が非現実的である。

(追加)

なお、(UNSCEAR, 2012)が引用されているが、これをみると、"The Committee has now agreed low doses be defined as those of 100 mSv or less. This definition is consistent with that used by ICRP [I6] and the BEIR VII report [C6]."と記されている。つまり、ICRP2007年勧告を引用しており、単なる相互引用であり客観性がない。

（細胞、分子レベル）
174 (e) Studies of cellular and molecular processes considered most relevant for the induction
175 of cancer were included in the analysis. Numerical evaluations of both DREF and LDEF are
176 available from studies of somatic cell mutation, cell transformation and cytogenetic endpoints.
177 Values of around 4 based on chromosomal aberration (pooled stable and unstable) studies are
178 towards the higher end of values based on the wider range of endpoints reviewed in this report.
179 However, because much time elapses between induction of the relevant cellular and molecular
180 events and clinical presentation of cancer, many biological processes are likely to modulate
181 this cancer indication after the initial radiation-associated events. Thus, LDEF and DREF
182 values deduced for these processes are unlikely to be fully representative of those values to be
183 applied to stochastic effects among humans. We note that evaluations of LDEF and DREF tend
184 to be higher for the cellular endpoints than those based on experimental animal studies or
185 epidemiological data (see below). This provides evidence that there are processes beyond the
186 direct induction of gene mutations and chromosomal aberrations that modulate carcinogenesis
187 in animals and humans.

153 (e) がん誘発に最も関連があると考えられる細胞および分子プロセスの研究が解
154 析に含まれました。DREF と LDEF の両方の数値評価は、体細胞突然変異、細胞形質
155 転換、細胞遺伝学的エンドポイントの研究から入手できます。染色体異常（安定お
156 よび不安定を統合）研究に基づく約 4 という値は、このレポートでレビューした幅
157 広いエンドポイントに基づく値の中では高めの値です。ただし、関連する細胞およ
158 び分子イベントの誘発とがんの臨床症状の間には長い時間が経過するため、初期の
159 放射線関連イベントの後、多くの生物学的プロセスがこのがんの兆候を調節する可
160 能性があります。したがって、これらのプロセスについて推定された LDEF および
161 DREF 値は、ヒトにおける確率的影響に適用される値を完全に代表する可能性は低い
162 です。LDEF および DREF の評価は、実験動物研究や疫学データに基づくものよりも
163 、細胞エンドポイントに対して高くなる傾向があることに注意してください（以下
164 を参照）。これは、動物や人間の発癌性を調整する遺伝子変異や染色体異常の直接
165 的な誘発を超えたプロセスが存在するという証拠を示しています。

→細胞レベルの記述は削除。付録へ。

（動物実験レベル）

188 (f) For all solid tumours combined, recent pooled analyses of data from historical studies
189 on experimental animals (mice) mostly suggest LDEF and DREF values close to 1, with
190 considerable variation depending on tumour type, while a single study suggests DREF value
191 of about 3 and above. In contrast, for life-shortening pooled analyses suggest DREF values of
192 about 2. Thus, the current evidence from such studies implies that values of LDEF and DREF
193 greater than about 3 and lower than 1 are unlikely.

166 (f) すべての固形腫瘍を合わせると、実験動物（マウス）を用いた過去の研究デ
167 ータの最近の統合解析では、LDEFとDREFの値は腫瘍の種類によってかなりばらつき
168 はあるものの、大部分は1に近いことが示唆されています。一方、DREFの値が約3以
169 上であると示唆する研究が1件あります。一方、寿命短縮に関する統合解析では、DR
170 EFの値が約2であることが示唆されています。したがって、これらの研究から得られ
171 た現在のエビデンスは、LDEFとDREFの値が約3を超え、1未満となる可能性は低いこ
172 とを示唆しています。

→動物実験レベルの記述も削除、もしくは付録へ。
なお、DREF=3とした研究がある1件あるとしているが、他とは分析方法の異なる研究であり、今回のレビューからは除外すべきである。

（低線量率疫学データのメタ分析）
194 (g) Recent meta-analyses of epidemiological data from mortality and non-redundant
195 incidence studies, where solid cancer risk estimates deduced from 29 human cohorts exposed
196 to low dose rates were compared with those from the atomic bomb survivors, reported a central
197 estimate of the DREF value of 1.9, largely driven by the Mayak worker cohort. Exclusion of
198 the Mayak worker cohort or of its portion with plutonium exposure led to DREF values of
199 about 1.3 to 1.5, respectively, while exclusion of any other single cohort did not change the
200 result substantially. Taking account of the appreciable statistical and methodological
201 uncertainties involved in these estimates, the epidemiological evidence points toward DREF
202 values in the range of about 0.9 to 3.0.

173 (g) 死亡率および重複のない罹患率研究から得られた疫学データの最近のメタア
174 ナリシスでは、低線量率に被曝した29のヒトコホートから推定された固形がんリス
175 ク推定値と原爆被爆者の推定値を比較した結果、DREF値の中央推定値は1.9と報告さ
176 れており、これは主にマヤック労働者コホートによるものである。マヤック労働者
177 コホートまたはプルトニウム被曝したコホートを除外した場合、DREF値はそれぞれ
178 約1.3～1.5となったが、他のコホートを除外しても結果に大きな変化はなかった。
179 これらの推定値には相当な統計的および方法論的不確実性が含まれていることを考
180 慮すると、疫学的証拠はDREF値が約0.9～3.0の範囲にあることを示唆している。

L199 1.3 to 1.5,→Mayakを除くと1.37から0.82となったの誤り。
L202 →0.9 to 3.0とあるが、3.0という値はない。
Mayakを除き、信頼性の高い死亡に関する研究に限定して0.82-1.4とすべき。

3081 Table 4. Estimates of the Dose Rate Effectiveness Factor (DREF) with 95% CIs for All Solid
3082 Cancer from Meta-analyses of Low-Dose and Low-Dose-rate Studies [a]

Mortality Studies Only			
	All Mayak (N=24) [b]	Non-Pu Mayak [c] (N=24)	Mayak Excluded (N=23)
DREF	1.99 (1.36, 3.71)	1.37 (0.91, 2.73)	0.82 (0.55, 1.63)
Incidence Studies Only			
	(N=9)		(N=8)
DREF	1.73 (1.04, 5.06) [d]	--	1.40 (0.92, 2.95) [e]
Combined Mortality and Nonredundant Incidence Studies			
	(N=29)	(N=29)	(N=28)
DREF	1.89 (1.37, 3.04)	1.48 (1.06, 2.46)	1.26 (0.89, 2.16)
Studies with Mean Dose Under 100 mGy (excludes Mayak and Chornobyl cleanup worker studies)			
	Combined Mortality and Nonredundant Incidence Studies (N=27)		Mortality Studies Only (N=22)
DREF	1.30 (0.90, 2.28)		0.86 (0.56, 1.84)

3083 [a] Where the DREF is the inverse of the meta-analysis estimate of the LDR/LSS ratio.
3084 [b] N is the number of studies included.
3085 [c] 'Non-Pu' indicates the exclusion of the plutonium-processing and radiochemical facilities at Mayak in which
3086 workers had extensive plutonium exposures and high cumulative doses (Sokolnikov et al., 2017).
3087 [d] Based on a random effects meta-analysis model because of statistically significant heterogeneity in the estimates
3088 of the LDR_i/LSS_i risk estimates.

出所)ICRP ドラフト(英語版)p.80

2Gy未満に限定した分析
203 (h) Reanalysis of the curvature in the mortality data from the Japanese atomic bomb
204 survivors on all solid cancers combined suggest some curvature implying values greater than
205 1 for the LDEF depending on dose range considered. A range of values is, however, observed
206 for individual cancer sites, so that for breast cancer there is less evidence for an LDEF above
207 1. The mortality data for most cancer endpoints suggest upward curvature over the 0-2 Gy
208 range, although only for male solid cancer was this curvature significant. Indications of
209 linearity and curvature reported in some studies should still be interpreted with care. The
210 current scientific evidence on curvature in the incidence and mortality data from the Japanese
211 atomic bomb survivors tends to a sex-averaged LDEF value of between 1 and 2 for all solid
212 cancers combined, with some indication of variation between different cancer sites.

181 (h) 日本の原爆生存者の固形がん全体にわたる死亡率データの曲率を再解析する
182 と、線量範囲によっては LDEF の値が 1 を超えることを示す曲率が示唆される。た
183 だし、がんの部位ごとに値の範囲が見られるため、乳がんについては LDEF が 1 を
184 超える証拠は少ない。がんエンドポイントのほとんどに関する死亡率データは 0～2
185 Gy の範囲で上向きの曲率を示唆しているが、この曲率が有意なのは男性の固形がん
186 の場合のみである。一部の研究で報告されている直線性と曲率の兆候は、やはり慎
187 重に解釈する必要がある。日本の原爆生存者の発生率および死亡率データの曲率に
188 関する現在の科学的証拠は、がんの部位によって多少のばらつきはあるものの、す
189 べての固形がんを合わせた性別平均の LDEF 値が 1～2 になる傾向にある。
前出
→2Gy以下までのデータに限定した、不適切な分析に基づく。全データを使うと、線形モデルが最良であり、それにLQモデルをあてはめて推定した結果を使って論じること自体が無意味である。直線モデルが最良なのだから、LDEF=1である。

（7章　生物学的なメカニズムモデル）
213 (i) Combining biological evidence on the process of carcinogenesis with epidemiological
214 data offers a more mechanistically-based way of extrapolation from high doses and dose rates
215 to low doses and dose rates. Available knowledge on carcinogenesis and the mechanisms
216 responsible is too limited to allow for a plausible quantitative mechanistic account of the
217 process. Current assumptions made in radiological protection including those on low-dose and
218 low-dose-rate effects are not in contradiction to what is presently known about the process of
219 cancer development.

190 (i) 発がん過程に関する生物学的証拠と疫学的データを組み合わせることで、高
191 線量・高線量率から低線量・低線量率への、よりメカニズムに基づいた外挿が可能
192 になります。発がんとそのメカニズムに関する既存の知識はあまりにも限られてい
193 るため、この過程について妥当な定量的メカニズム説明を行うことはできません。
194 低線量・低線量率影響に関するものを含め、放射線防護における現在の仮定は、が
195 ん発生過程に関する現在の知見と矛盾するものではありません。

この章はp.95-99と5ページしかなく、既知のTSCEモデルへの適用などを述べたものであり、結論も下記のようにあいまいである。
Referenceにはあるが引用されていないNCRP(2020)”Approaches for Integrating Information from Radiation Biology and Epidemiology to Enhance Low-Dose Health Risk Assessment”を読めばよい。この章は削除すべき。

3765 (301) このレビューの全体的な結論は、線形閾値なしモデルを含む放射線防護にお
3766 ける現在の仮定は、がんの発症プロセスに関して現在知られていることと矛盾しな
3767 いというものです。

(まとえ的)
220 (j) Taken together, there is currently more scientific evidence from experimental and
221 epidemiological studies on low-dose and low-dose-rate biological effects of ionising radiation
222 than was available in the 1990s when the DDREF concept was developed and applied for the
223 purpose of radiological protection. In particular, continuously growing scientific evidence has
224 become available from epidemiological studies with longer follow-up periods at low-dose
225 exposures (i.e. at doses below about 100 mGy) yielding direct evidence of low-dose risk and
226 of LDEF. Comparison of risks from a number of different radiation exposed groups (exposed
227 at high dose rate and low dose rate) provide information on DREF, although there may be
228 difficulties in inferring DREF via comparison of risks derived from populations with
229 substantially different underlying cancer rates and other characteristics. There are also
230 uncertainties associated with the different radiation energies in the groups being compared,
231 which will impact on the relative carcinogenic effectiveness of the relevant exposures.

196 (j) 総合すると、DDREF の概念が放射線防護の目的で開発され適用された 1990 年
197 代当時よりも現在では、電離放射線の低線量および低線量率の生物学的影響に関す
198 る実験的研究および疫学的研究からの科学的証拠の方が多い。特に、低線量被ばく
199 (すなわち、約 100 mGy 未満の線量)でのより長い追跡期間を伴う疫学的研究から
200 、継続的に増え続ける科学的証拠が得られるようになり、低線量リスクおよび LDEF
201 の直接的な証拠が得られている。多数の異なる放射線被ばく群(高線量率および低
202 線量率で被ばく)のリスクの比較から DREF に関する情報が得られるが、基礎にあ
203 るがん発生率やその他の特性が著しく異なる集団から得られるリスクの比較から DR
204 EF を推論することは困難な場合がある。また、比較対象となる群における異なる放
205 射線エネルギーに関連する不確実性もあり、これが関連する被ばくの相対的な発が
206 ん効果に影響を与える。
→異なる人間集団の比較、統合に困難な面はあるが、細胞、動物と統合する方がよほど問題が大きい。

（結論）
232 (k) While considerable uncertainties remain, the ranges of LDEF and DREF values obtained
233 here are narrower than those obtained in previous evaluations. The overall conclusion of this
234 report is that, based on current scientific evidence, an LDEF of much more than 3 is not
235 supported, and much less than 1 likewise. Similarly, it is concluded that a DREF value much
236 larger than 3 or less than 1 is also unlikely. These ranges appear largely consistent amongst
the
237 various sources of data reviewed in this report.

207 (k) 依然としてかなりの不確実性が残るものの、今回得られたLDEFおよびDREF値
208 の範囲は、以前の評価で得られた範囲よりも狭くなっています。本報告書の全体的
209 な結論は、現在の科学的証拠に基づくと、LDEFが3を大幅に上回る可能性は低く、1
210 を大幅に下回る可能性も同様に低いということです。同様に、DREFが3を大幅に上回
211 る、または1を下回る可能性も低いと結論付けられます。これらの範囲は、本報告書
212 で検討された様々なデータソース間で概ね一貫しているようです。

（前出）
　報告書の全体的な結論は、現在のヒトの疫学についての科学的証拠に基づくと、LDEFおよびDREF値が1よりも異なる可能性は低いということです。

（結論）

238 (l) The present report provides an update of the scientific evidence that was used to derive
239 the DDREF in Publications 60 and 103 (ICRP 1991, 2007). The conclusions of this report
240 represent an important element in the process of review and revision of the System of
241 Radiological Protection launched by ICRP (Clement et al., 2021). Specifically, the results
242 described in this report will be considered in the review of the calculation scheme of radiation
243 detriment.

213 (l) 本報告書は、Publications 60および103 (ICRP 1991、2007)においてDDRE
214 Fを導出するために用いられた科学的証拠の最新情報を提供するものである。本報告
215 書の結論は、ICRP(Clementら、2021)が開始した放射線防護体系の見直しおよび
216 改訂プロセスにおいて重要な要素となる。特に、本報告書に記載された結果は、放
217 射線障害の計算スキームの見直しにおいて考慮される。

→100mSv以下でも放射線による有意なリスクが検出され、LNTが支持されていることを明示すべき。

本文

537 2.1. Definition of LDEF, DREF, and DDREF

中略

551 $p = \alpha D + D^2$ (1)

552 where D is – in this example – the acute dose applied, α the coefficient of the linear component,

553 and β the coefficient of the quadratic component.

二項目にβが抜けている。最も重要な式のはずだが。

$p = \alpha D + \beta D^2$

不適切な引用

6章 Conclusion の一つ前のパラグラフ
3496 acute gamma radiation doses, thought to be 3-5 Gy for healthy adults (Mole, 1984).
3497 (269) There are uncertainties associated with the dose response at low doses in the LSS.
3498 Ozasa et al. (2012) noted that the ‘estimated ERRs under 0.3 Gy were nominally higher than
3499 the best-fitting linear slope or the LQ function for either 0–2 Gy or the full dose range’ and
3500 they further observed that ‘it was particularly notable that the ERR/Gy estimates for linear
3501 functions calculated for various low-dose ranges showed higher values for ranges less than
3502 0.1 Gy compared to estimates obtained from higher dose ranges’. However, these findings of
3503 higher ERRs and ERR Gy-1 were not observed in the later analysis for mortality and incidence
3504 in different periods and models, but the tendency of relatively low ERRs around 0.3-0.7 Gy
3505 still remained (Brenner et al., 2022). Ozasa et al. discussed about the latter finding to be ‘The
3506 apparent upward curvature appears to be related to relatively lower than expected risks in the
3507 dose range 0.3 – 0.7 Gy, a finding without a current explanation.’ and this question is still
3508 unsolved.

3473 (269) LSSにおける低線量域での線量反応には不確実性がある。Ozasaら(2012)は
3474 、「 0.3 Gy未満の推定ERRは、0～2 Gyまたは全線量範囲のいずれにおいても、最も
3475 適合する直線勾配またはLQ関数よりも名目上高かった」と指摘し、さらに「様々な
3476 低線量範囲で計算された直線関数のERR/Gy推定値は、高線量範囲から得られた推定
3477 値と比較して、0.1 Gy未満の範囲で高い値を示したことが特に注目に値する」と指
(Ozasa et al. 2012, p.235の引用)
3478 摘している。しかし、これらの高いERRおよびERRの知見は、その後の異なる期間お
3479 よびモデルにおける死亡率および罹患率の解析では、Gy -1 を超える変化は見られなかったものの、
3480 0.3～0.7 Gy 付近で相対的に低い ERR の傾向は依然として残っていた(Brenner et al. , 2022)。Ozasa et al. は後者
3481 の知見について、「この明らかな上向きの湾曲は、0.3～0.7 Gy の線量範囲におけ
3482 るリスクが予想よりも比較的低いことに関連しているように思われるが、現時点で
3483 は説明がつかない知見である」と論じており、この問題は未だ解決されていない。
(Ozasa et al. 2012, p.238の引用)

Ozasaら(2012)

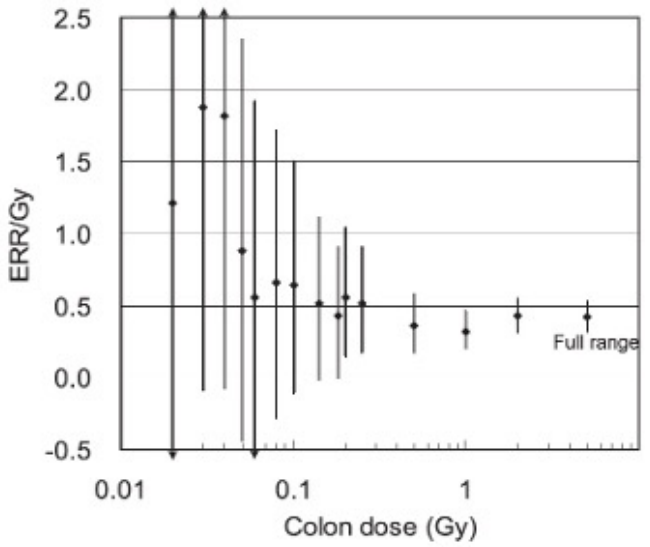


FIG. 5. Excess relative risk per Gy (ERR/Gy) for all solid cancer for selected dose ranges. The figure shows the ERR/Gy and 95% CI for a dose range from zero to a given dose based on the linear model for the full data that allowed for different ERRs below and above the given dose and taking radiation effect modifiers as common to the two dose ranges. The increased ERR/Gy in the low-dose levels less than 0.1 Gy corresponds to the estimates of ERR higher than the expected linear line in Fig. 4.

Ozasaら(2012)

引用されている(Ozasa et al. 2012, p.235)の前後のパラグラフ

線量範囲全体において線形モデルが最もよく適合したが、線量範囲を0～2Gyに限定すると、統計的に有意な上方湾曲が観察された(θ= 0.81、P =0.02)(表6および表7)。0～2Gyの範囲における湾曲は時間の経過とともに強くなり、1950～1985年の期間ではθ= 0.20であったのに対し、1950～2003年には0.81となり、観測期間が長くなるにつれて有意になった(表7)。

しかしながら、0.3 Gy未満の推定ERRは、図4の0～2 Gyおよび全線量範囲のいずれにおいても、最も適合する直線の傾きまたはLQ関数よりも名目上高かった。低線量レベルでより高い推定値を可能にする0.2 Gyに節点を持つ2次スプライン関数は、LQ関数よりも有意に優れた適合性を提供しなかった(P = 0.16)。特に注目すべきは、様々な低線量範囲で計算された直線関数のERR/Gy推定値が、より高い線量範囲から得られた推定値と比較して、0.1 Gy未満の範囲で高い値を示したことである(図5)。

すなわち、低線量範囲の傾きは高線量レベルよりも緩やかではなかった(濱岡補足: ので閾値は存在しそうもない。)。全固形がんにおいて有意なERRを示した最低線量範囲は0～0.20Gyで、推定ERR/Gyは0.56(95%信頼区間:0.15～1.04、P=0.01)であり、74,444人が含まれ、固形がんによる死亡は9,063人でした。0～0.18Gyの範囲では、ERR/Gyは0.43(95%信頼区間:0.0047～0.91、P=0.052)であり、死亡は8,920人でした(図5)。線量閾値の最大尤度推定値は0.0Gy(すなわち閾値なし)であり、逸脱度最小化によって推定された95%信頼区間の上限は0.15Gyであった。

→2Gy未満に限定するとLQモデルのあてはまりが良好となるが、Fig.5 にあるように、線量が低いサンプルに限定しても、リスク係数の値が小さくなることはなく、閾値はなさそうであるという分析結果。この部分を除外して、論文後半での記述を付加することによって、不確実であるという印象を与えている。

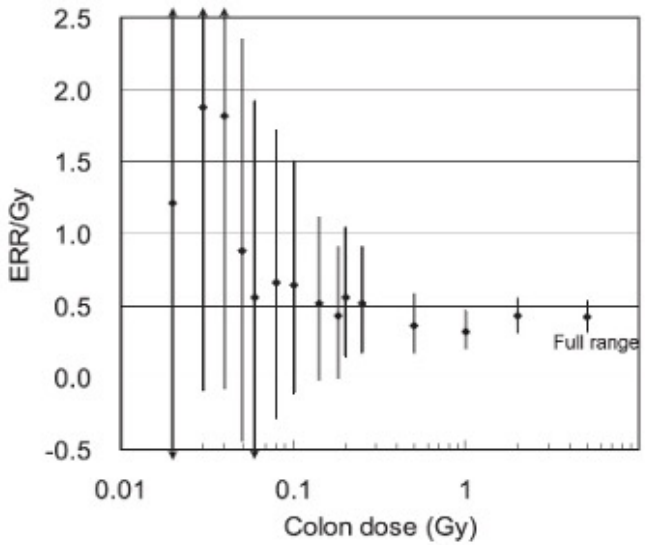


FIG. 5. Excess relative risk per Gy (ERR/Gy) for all solid cancer for selected dose ranges. The figure shows the ERR/Gy and 95% CI for a dose range from zero to a given dose based on the linear model for the full data that allowed for different ERRs below and above the given dose and taking radiation effect modifiers as common to the two dose ranges. The increased ERR/Gy in the low-dose levels less than 0.1 Gy corresponds to the estimates of ERR higher than the expected linear line in Fig. 4.

内容

- 前回の復習
- 「刊行物(案)の問題点・各論」
- みなさまからのパブリックコメント
- Q&A
- パブコメの方法
- 参考文献

内容

- 前回の復習
- 「刊行物(案)の問題点・各論」
- みなさまからのパブリックコメント
- パブコメの方法
- Q&A
- 参考文献

パブコメ関連情報など

- 放射線防護の民主化フォーラムの連続ウエビナーページ
  - https://sites.google.com/view/democratize-rp/home/icrp webinar?authuser=0

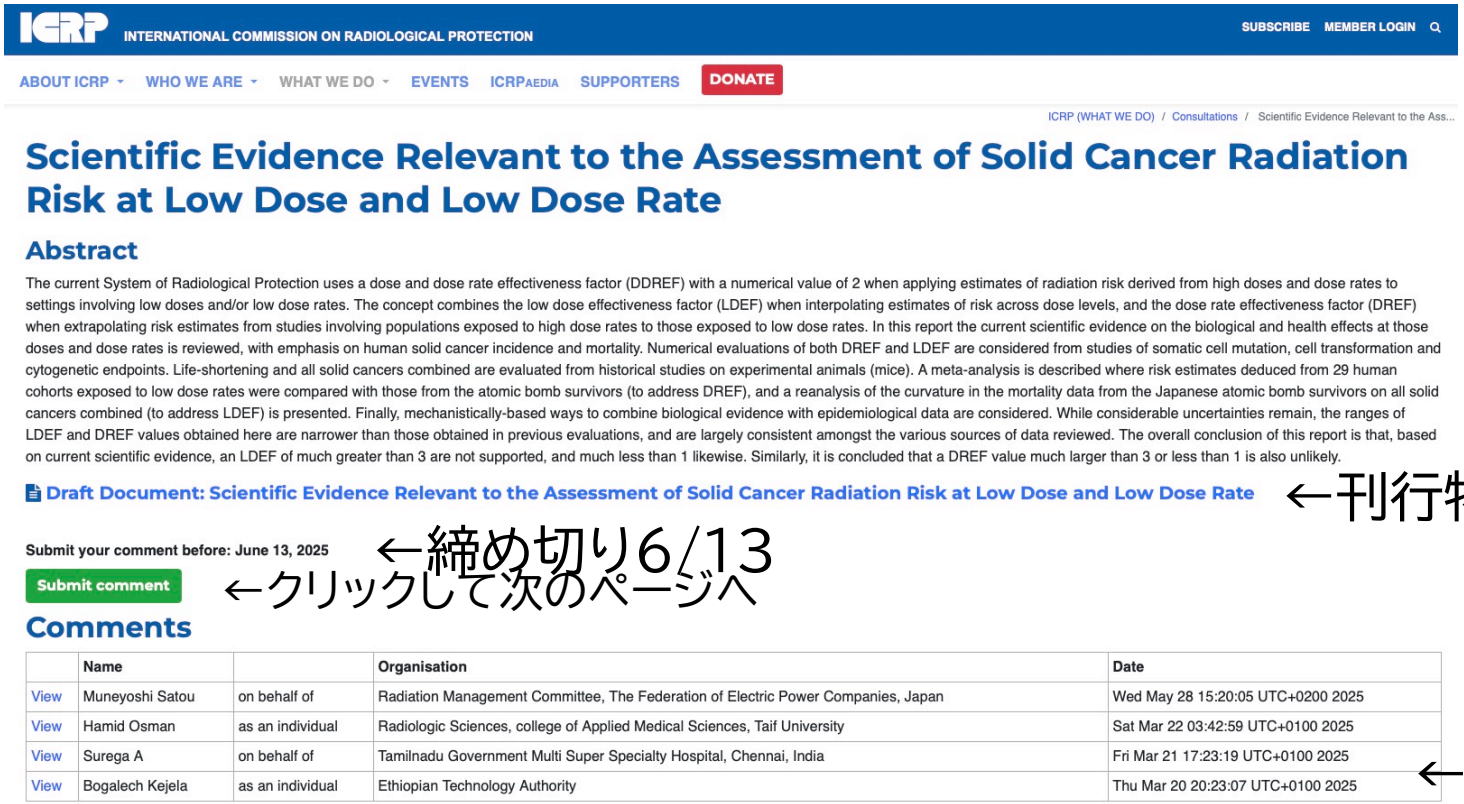
  - 参考
  - ICRPのパブリックコメントの(英語)ページ
    - 当該の刊行物(案 draft)が公開されています。コメントもこちらから投稿できます。
    - 同ドラフトの日本語訳(Google翻訳したもの)。ただしページ抜けなどあり。
  - 原爆被爆者の分析(放射線影響研究所・寿命調査(LSS) 報告書シリーズ)
    - 例えばLSS第14報の要約に「全固形がんについて、線形モデルに基づく男女平均の 1 Gy 当たりの過剰相対危険度は、30 歳で被爆した人が 70 歳になった時点で 0.42(95%信頼区間[CI]:0.32, 0.53)であった。」とあります。
  - INWORKSについての解説 (原子力資料情報室通信「国際核施設労働者調査(INWORKS)の最新報告～低線量率・低線量被曝の健康リスクがさらに明らかに～ [振津かつみさん」)
    - 表2にある「固形がん」のERR/Gyは、0.47もしくは0.52と、上記と類似した値になっています。

  - 参考文書
  - ICRP Publ. 103 国際放射線防護委員会の2007年(基本)勧告

パブリックコメントを投稿するには

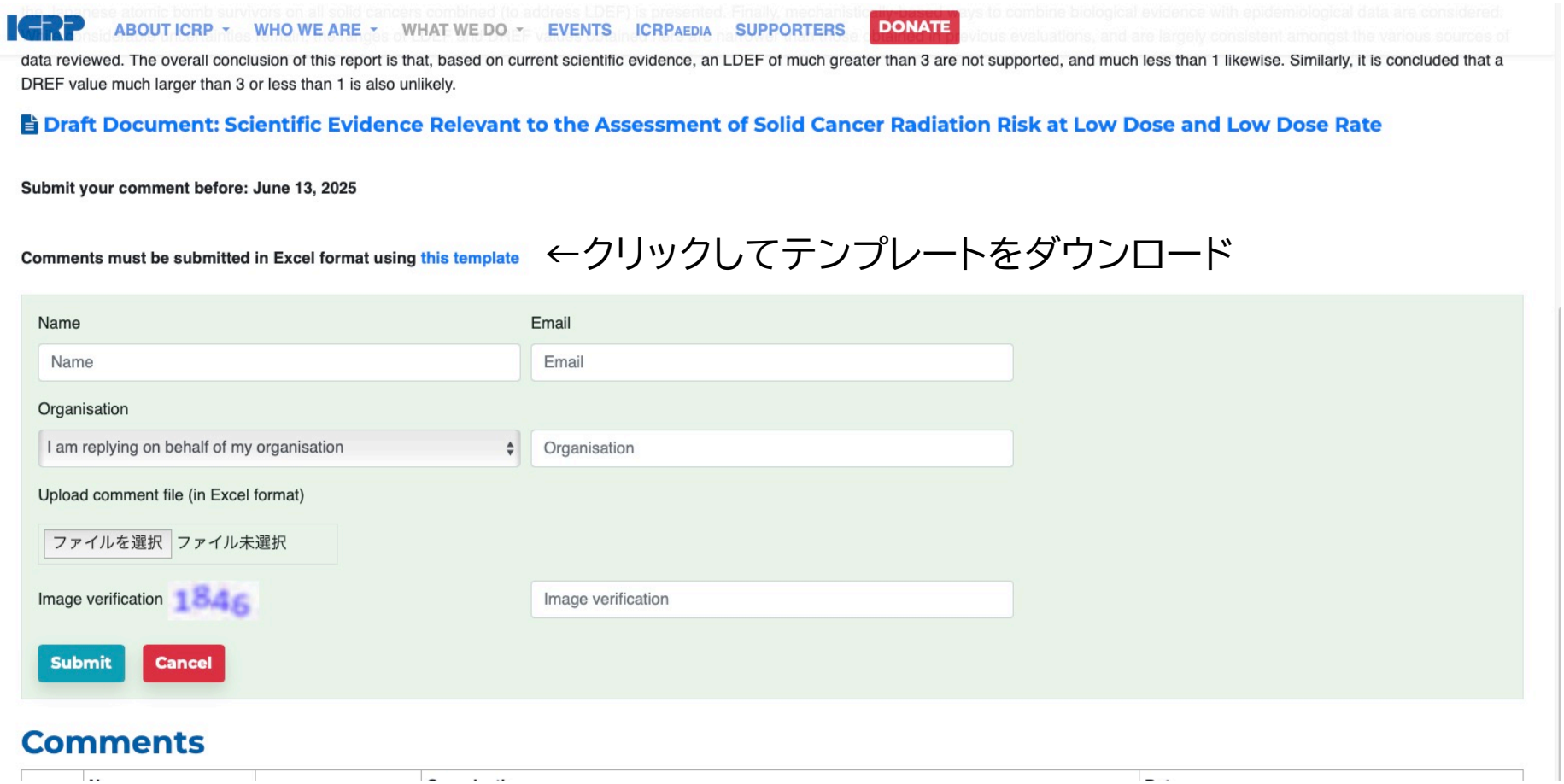
- 下記のページにアクセス

https://www.icrp.org/consultation.asp?id=AABD4A34-8877-4A67-8F88-0CC192C8AC29



↑ Viewをクリックするとダウンロードして、読むことができる。

submitボタンを押すと下記ページ。
templateをダウンロード(エクセルシート)。



テンプレート(エクセル)への入力

- 英語で入力(日本語で作成、翻訳サイトを利用すれば英語化可能)。
  - 例 Google翻訳
  - https://translate.google.co.jp/?hl=ja&sl=en&tl=ja&op=translate
- マイクロソフトエクセルのオンライン版
  - https://www.microsoft.com/ja-jp/microsoft-365/free-office-online-for-the-web

Public Consultation for TG draft report

Document	TG91: Scientific Evidence Relevant to the Assessment of Solid Cancer Radiation Risk at Low Dose and Low Dose Rate

Submitted by

Please check "V" for either 'As an individual' or 'On behalf of'

As an individual		個人で投稿
On behalf of		組織の代表として投稿　　あてはまるほうに"V"

Please enter your name and affiliation.

Name	氏名
Affiliation	所属(あれば)

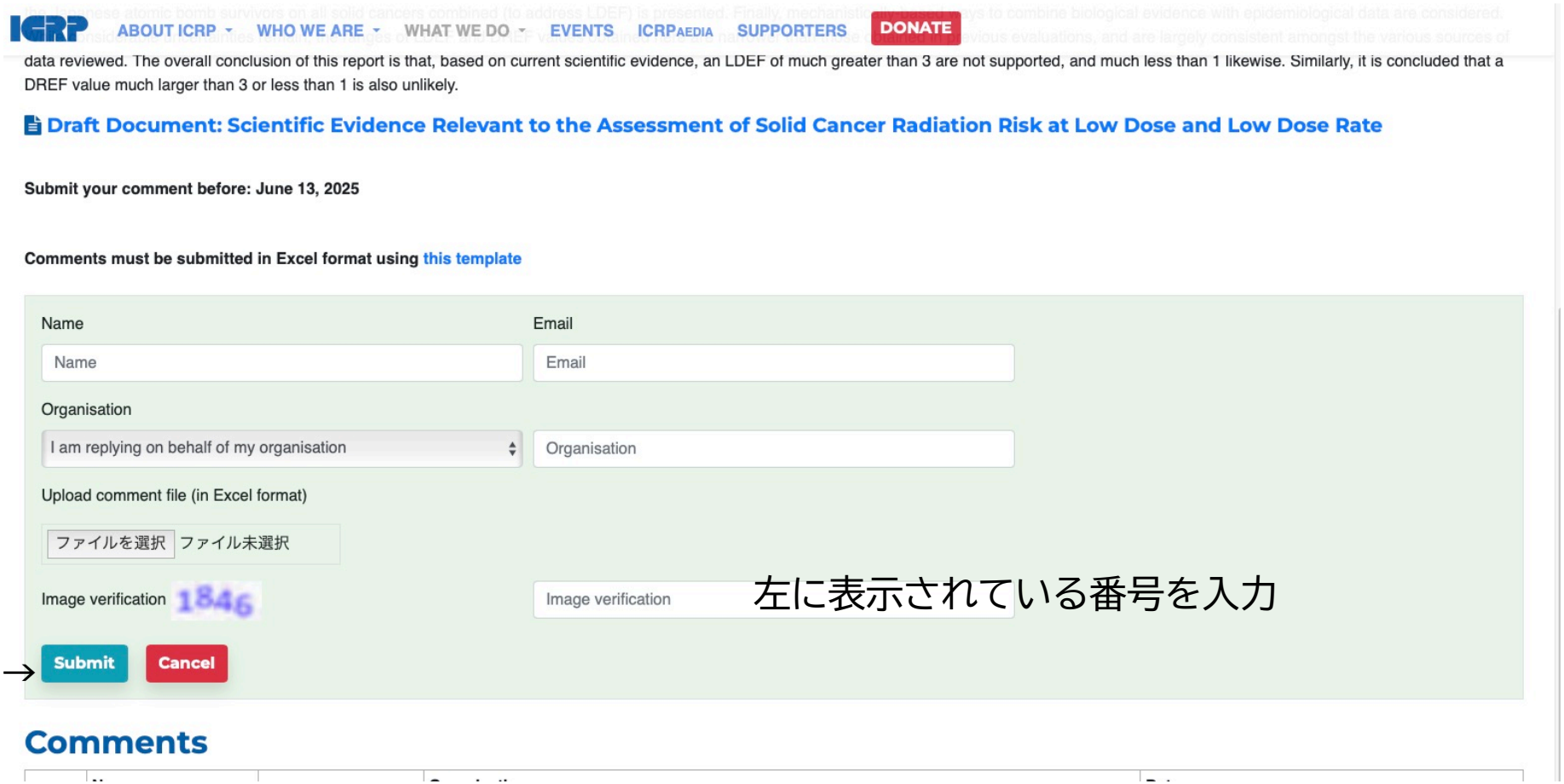
General Comments *(If you have any general comments about the report, please write them down.)*

総論

Specific Comment *(If you have any specific comments, please write them down.)*

Section	Line	Comment
		行数、ページ、節など特定の部分へのコメント

さきほどのページにもどり、必要事項を入力してアップロード。submit



左に表示されている番号を入力

クリックして投稿→

https://www.icrp.org/consultation.asp?id=AABD4A34-8877-4A67-8F88-0CC192C8AC29

2025/6/5 15:00時点での投稿者

Comments

	Name		Organisation
View	Muneyoshi Satou	on behalf of	Radiation Management Committee, The Federation of Electric Power Com
View	Hamid Osman	as an individual	Radiologic Sciences, college of Applied Medical Sciences, Taif University
View	Surega A	on behalf of	Tamilnadu Government Multi Super Specialty Hospital, Chennai, India
View	Bogalech Kejela	as an individual	Ethiopian Technology Authority

https://www.icrp.org/consultation.asp?id=AABD4A34-8877-4A67-8F88-0CC192C8AC29

今後のウエビナー予定(日程未定、内容の候補)

- 福島県での甲状腺検査について
- 市民主導の放射線防護の提言
- UNSCEAR　放射線疫学関連の報告書(がん、循環器系、神経系)
  - 6/16-20　のGeneral assembly で承認?

対面でのイベント

- 7/19　午後　東京(慶応・三田キャンパス)　セシウム・ボール関連　(7/18は郡山)
- 放射線防護の民主化フォーラム　ハイブリッドイベント
  - 10月で日程、会場調整中(郡山近辺?)

主要な参考文献

- Clement et al. (2021) Keeping the ICRP recommendations fit for purpose. J Radiol Prot https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34284364
- Grant, E. J., A. Brenner, H. Sugiyama, R. Sakata, A. Sadakane, M. Utada, E. K. Cahoon, C. M. Milder, M. Soda, H. M. Cullings, D. L. Preston, K. Mabuchi, and K. Ozasa (2017), "Solid Cancer Incidence among the Life Span Study of Atomic Bomb Survivors: 1958-2009," Radiat Res.
- ICRP (1991a), "ICRP Publication 60: 1990 国際放射線防護委員会の1990年勧告recommendations of the International Commission on Radiological Protection," https://www.icrp.org/docs/p60_japanese.pdf.
- ---- (1991b), "ICRP Publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection," Ann. ICRP, 21 (1-3).
- ---- (2005), ICRP Publication 99 放射線関連がんリスクの低線量への外挿. (Publication 99 Low-dose Extrapolation of Radiation-related Cancer Risk.の翻訳): https://www.icrp.org/docs/P99_Japanese.pdf.
- ——(2007), ICRP 103 国際放射線防護委員会の2007年勧告: Keiichi AKAHANE_et_al.(訳) ICRP勧告翻訳検討委員会(監訳)日本アイソトープ協会、2009年(https://www.icrp.org/docs/P103_Japanese.pdf 2024/2/28 access).
- ---- (2025), "Scientific Evidence Relevant to the Assessment of Solid Cancer Radiation Risk at Low Dose and Low Dose Rate."
- NCRP (2018), Commentary No. 27 – Implications of Recent Epidemiologic Studies for the Linear-Nonthreshold Model and Radiation Protection: NCRP.
- Ozasa, Kotaro, Yukiko Shimizu, Akihiko Suyama, Fumiyoshi Kasagi, Midori Soda, Eric J. Grant, Ritsu Sakata, Hiromi Sugiyama, and Kazunori Kodama (2012), "Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1950–2003: An Overview of Cancer and Noncancer Diseases," Radiation Research, 177 (3), 229–43.
- Richardson, D. B., K. Leuraud, D. Laurier, M. Gillies, R. Haylock, K. Kelly-Reif, S. Bertke, R. D. Daniels, I. Thierry-Chef, M. Moissonnier, A. Kesminiene, and M. K. Schubauer-Berigan (2023), "Cancer Mortality after Low Dose Exposure to Ionising Radiation in Workers in France, the United Kingdom, and the United States (Inworks): Cohort Study," BMJ, 382, e074520.
- Ruhm, Werner (2015), "Dose Rate Effects in Radiation Biology and Radiation Protection," in Third International Symposium on the System of Radiological Protection https://www.icrp.org/docs/icrp2015/25%20Werner%20Ruhm%202015.pdf. Seoul, Korea.
- Schonfeld, S. J., L. Y. Krestinina, S. Epifanova, M. O. Degteva, A. V. Akleyev, and D. L. Preston (2013), "Solid Cancer Mortality in the Techa River Cohort (1950-2007)," Radiation Research, 179 (2), 183–89.
- BEIR National Research Low Levels of Ionizing Radiation, and Health Council On Environmental (2006), "Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: Beir Vii Phase 2."
- 甲斐倫明 (2022), "ICRP 勧告改定に向けての動向," in 2022年6月28日 保健物理学会企画セッション https://www.jhps.or.jp/upimg/files/2020628-ICRP勧告改定動向.pdf.