

低線量放射線による人体への影響に関する 疫学的調査

2024 (令和6) 年 3月19日

公益財団法人 放射線影響協会
放射線疫学調査センター 三枝 新

当協会の疫学研究は原子力規制委員会原子力規制庁の委託事業として
実施しています。

- I. 低線量放射線による 人体への影響に関する疫学的調査
(J-EPISODE) の概要
(Japanese EPIdemiological Study On low-Dose radiation Effects)
- II. 近年の低線量放射線疫学研究の動向
- III. J-EPISODEの現時点までのまとめ

I. 低線量放射線による 人体への影響に関する 疫学的調査 (J-EPISODE) の概要 (Japanese EPIdemiological Study On low-Dose radiation Effects)

内容

1. 調査目的及びJ-EPISODEの経緯
2. 第V期調査 (2010-2014年度) の概要
3. 第VI期調査 (2015-2019年度) の概要
4. 第VII期調査 (2020-2024年度) の概要

調査目的及びJ-EPISODEの経緯

1. 調査目的

低線量域放射線の慢性被ばくが人体に与える健康影響について科学的知見を得ること

2. J-EPISODEの経緯

<放射線疫学調査の起ち上げ>

- ① 1980年代初頭、英国セラフィールド原子燃料再処理施設付近の小児に白血病が多発しているとの論文や報道をきっかけに、英国電力庁はこの問題について世界的コンセンサスを得ることが重要だとして国際討議を提唱
- ② 英国電力庁のメッセージが日本にも届き、1983(昭和58)年6月にリヨン会議「原子力産業の作業者の発がんリスクに関する国際会議」に代表を送った
- ③ 国内での検討の結果、健康調査や死亡原因調査には法的制約が大きく、国際協力上、国が推進母体になることが適切であるとの結論に達した

J-EPISODEの経緯 (続き)

<本格調査の開始>

- ④ 科学技術庁が国策として推進
- ⑤ 1990 (H2)年11月、放影協に放射線疫学調査センターを設立
- ⑥ 原子力発電所等の放射線業務従事者約20万人^(注)を対象とした放射線疫学調査（放射線と死亡との関係）を実施。5年毎に調査結果を公表
(注) 放影協の放射線従事者中央登録センターに登録されている情報を活用
- ⑦ 世界保健機構(WHO)の外部組織である国際がん研究機関(IARC)が実施していた15カ国合同調査(1943-2000)に本調査から提供したデータも解析に利用された
- ⑧ 2000(H12)年度から本調査事業の所管が文部科学省に変更
- ⑨ 2013 (H25)年度から本調査事業の所管が原子力規制委員会原子力規制庁に変更

I. 低線量放射線による 人体への影響に関する 疫学的調査 (J-EPISODE) の概要 (Japanese EPIdemiological Study On low-Dose radiation Effects)

内容

1. 調査目的及びJ-EPISODEの経緯
2. 第V期調査 (2010-2014年度) の概要
3. 第VI期調査 (2015-2019年度) の概要
4. 第VII期調査 (2020-2024年度) の概要

J-EPISODE フェーズ1
第Ⅴ期調査（2010-2014年度）
の概要

フェーズ1 (I~V期) の調査

	第Ⅰ期	第Ⅱ期	第Ⅲ期	第Ⅳ期	第Ⅴ期
調査期間 (年度)	1990-1994 (H2-6)	1995-1999 (H7-11)	2000-2004 (H12-16)	2005-2009 (H17-21)	2010-2014 (H22-26)
追跡期間	1986-1992	1991-1997	1991-2002	1991-2007	1991-2010
調査対象者 (男性)	約18万 (S63まで)	約24万 (H1-6追加)	約27万 (H7-10追加)	約27万 (追加なし)	約27万 (追加なし)
解析対象者	114,900人	119,484人	200,583人	203,904人	<u>204,103人</u>
死亡者	1,758人	2,934人	7,670人	14,224人	20,519人
総観察人年	53.3万人年	53.9万人年	137.3万人年	222.7万人年	288.9万人年
平均観察人年	4.6年	4.5年	6.8年	10.9年	14.2年
平均線量	13.9mSv	15.3mSv	12.2mSv	13.3mSv	13.8mSv

J-EPIISODE 第V期調査（2010-2014年度）の概要

1. 調査対象者

- 1999年3月末までに中央登録センターに登録された原子力放射線業務従事者 **277,128人（男性：274,560人、女性：2,568人）**
 - 1957年からの原子力放射線業務従事者を含む
 - 原子力研究開発施設、商業用原子力発電施設または原子燃料加工施設等のうち、少なくとも1箇所の事業所において放射線業務に従事した者

原子力施設	原子力研究開発	商業用原子力発電	原子燃料加工
事業所数	11	18	8

2. 生死確認調査

住民票の写し等による追跡調査

- 当該住所地の市区町村長に住民票の写し等の交付を請求し、生存または死亡を判断

3. 死因の調査

- 厚生労働省の人口動態調査死亡票との照合により原死因を決定

4. 解析対象者

2010年12月31日までの観察期間が設定できた20歳以上の**男性204,103人**

	男性	女性	計	除外理由
(1) 調査対象者	274,560	2,568	277,128	
(除外)	35,459	852	36,311	住所情報が得られなかった。
(除外)	28,945	293	29,238	2014年(H26)3月31日までに住民票の写し等が交付されなかった。
(2) 生死確認者	210,156	1,423	211,579	
(除外)	5,465	26	5,491	除票のみであり、住民票の写しを交付されていないため、観察期間を設定できない。
(除外)	565	0	565	住民票を取得したが、その後の生死を確認できていないため観察期間を設定できない。
(除外)	23	1	24	除票に記載されていた異動日が、初回の住民票の写しの交付日より古く、観察期間を設定できない。
(除外)	0	1,396	1,396	女性は対象者数、死亡数が少なく、線量分布は極端に低線量側に偏在しているため、男性とは別に解析することとした。
解析対象者	204,103	0	204,103	

5. 個人線量の調査

1) 被ばく線量データの特徴

- 原子力登録管理制度に保管されているデータを本人の同意を得て活用
- 原子力事業者等が法律に基づく放射線管理に用いている被ばく線量データがあり、測定精度が高く、信頼性が高い
- 1989年度以降に登録管理されている被ばく線量の外部被ばく線量は1cm線量当量 ($H_p(10)$)（放射線管理上の実効線量）
- 1988年以前の線量計指示値 (R) はそのまま線量当量(rem)に読み替えられ、国際単位系SI への変更に伴い、 $100 \text{ rem} = 1 \text{ Sv}$ と換算

6. 生活習慣等調査

1) 背景

- 悪性新生物、循環器系疾患等に関連する要因としては、喫煙、飲酒等の生活習慣等が知られている。
- これらの要因が累積被ばく線量と相関している場合には、放射線と健康との関連に影響を与える交絡因子となり得る。
- 放影協が実施してきた本放射線疫学調査の第Ⅰ期調査報告書（H2－H6年度）の総合評価で「今後交絡因子などの関与を含めた調査が必要である」と述べられている。
- 放射線被ばくによる健康影響を考える上では、交絡する要因の影響を除外する必要がある。

J-EPISODE 第V期調査の概要（続き）

2) 生活習慣等のアンケート調査

① 第1回目調査（第1次生活習慣調査）

実施期間：1997年10月から1999年3月

対象者：調査期間中に原子力発電施設等に従事していた放射線業務従事者

回答者数：48,709人

② 第2回目調査（第2次生活習慣調査）

実施期間：2003年9月から2004年3月

対象者：

- 2003年7月1日時点で40歳以上85歳未満の男性
- 2002年までの累積線量を次のように考慮
 - a. 累積線量が10mSv以上の者
 - b. 累積線量が10mSv未満の者のうち、a) の対象者と年齢・地域分布が等しくなるよう考慮し、40%に相当するよう選択された者

回答者数：45,382人

8. 解析結果

1) 解析対象集団の調査

① 解析対象者：204,103人

生死を確認できた男性210,156人のうち、
2010年12月31日までの観察期間が設定で
きた20歳以上の男性

② 総観察人年： 288.9万人年

③ 一人当たりの平均観察期間：14.2年

8. 解析結果

2) 累積線量群別の人数

5mSv未満の者：65.4%

100mSv以上の者：3.2%

相対的に累積線量の低い側に偏った分布

一人当たりの

平均累積線量：13.8mSv

解析対象集団(男性)の累積線量分布

累積線量群(mSv)	人数	構成割合(%)	平均累積線量(mSv)
<5	133,419	65.4	0.7
5-	17,780	8.7	7.2
10-	18,175	8.9	14.4
20-	18,826	9.2	31.8
50-	9,395	4.6	70.1
100+	6,508	3.2	165.8
計	204,103	100.0	13.8

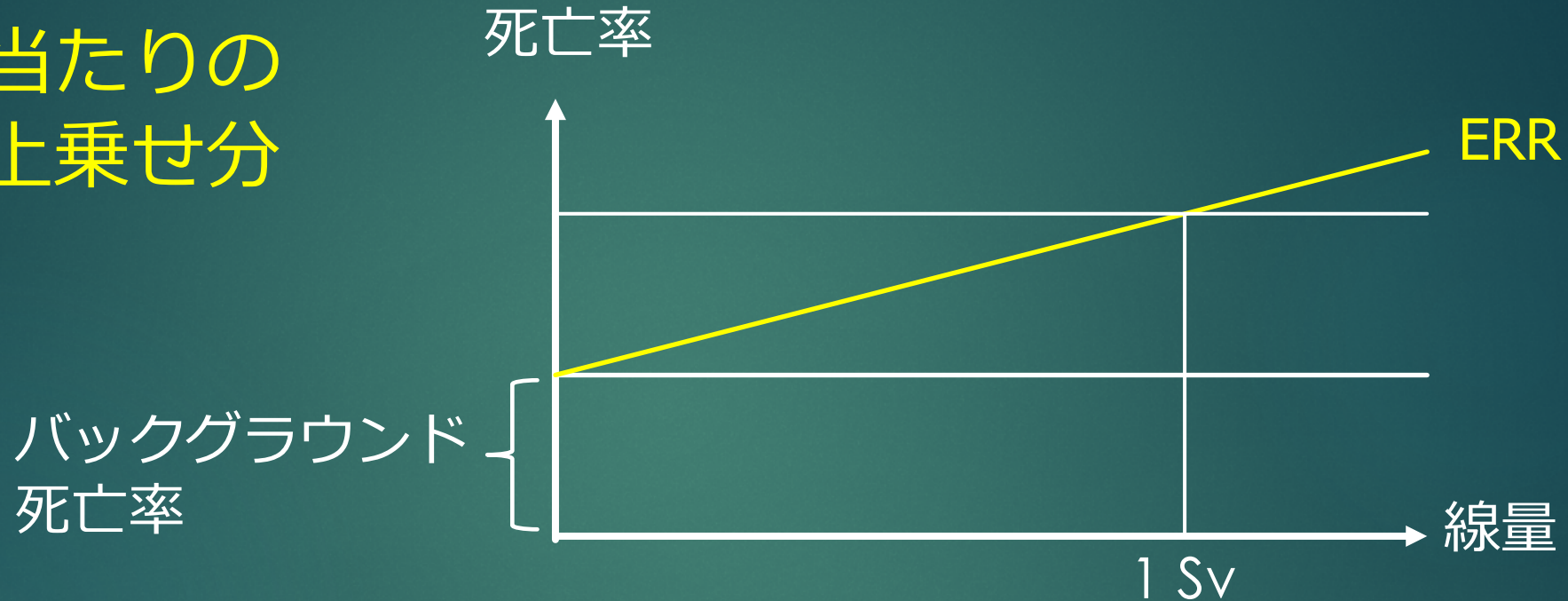
注： 2010年(平成22年)12月31日まで観察した集団。

注： 累積線量は、個人の観察終了日までの線量を累積した値である。

Excess Relative Risk (ERR:過剰相対リスク)

17

単位線量当たりの
死亡率の上乗せ分



ERR/Svが1なら、1Svを被ばくすると被ばく線量がゼロの死亡率（バックグラウンド死亡率）に死亡率が1上乗せされる（=死亡率が2倍となる）。ERRは相対リスク（RR）から1を引いた値、即ち $ERR=RR-1$ である。有意性の判断基準は以下のとおり。信頼区間の下限値が0より大きければ有意に高い。信頼区間の上限値が0より小さければ有意に低い。信頼区間が0を含んでいれば有意差なし。

① 解析対象者204,103人のERR/Sv

死因	ERR / Sv 90%信頼区間	
全死亡	0.29 -0.09 : 0.68	ERRは有意に高くなかった。
白血病 (慢性リンパ性白血病を除く)	-0.27 -4.07 : 3.52	ERRは負であった。
全悪性新生物 (白血病を除く)	1.20 0.43 : 1.96	ERRは有意に高かったが、主たる要因は、肝臓がんと肺がんであった。
食道	3.20 -0.37 : 6.78	ERRは有意に高くなかった。
胃	0.50 -1.23 : 2.23	
結腸	-1.64 -4.02 : 0.73	
肝臓	2.52 0.33 : 4.72	
肺	3.15 1.34 : 4.96	ERRは有意に高かった。
全悪性新生物 (白血病、肺がんを除く)	0.66 -0.18 : 1.50	
全悪性新生物 (白血病、肺、肝臓がんを除く)	0.23 -0.67 : 1.13	

部位別悪性新生物について、特に考察すべきは、肝臓がんと肺がんであるといえる。

① 解析対象者204,103人のERR/Sv（続き）

死因	ERR / Sv 90%信頼区間	
非新生物疾患	0.71 0.02 : 1.39	ERRは有意に高かったが、主たる要因は慢性肝疾患と肝硬変であった。
循環器系疾患	0.51 -0.14 : 1.44	ERRは有意に高くなかった。
呼吸器系疾患	-0.33 -1.77 : 1.10	
消化器系疾患	2.29 -0.04 : 4.63	
慢性肝疾患及び肝硬変	3.43 0.31 : 6.55	
非新生物疾患 (慢性肝疾患及び肝硬変を除く)	0.54 -0.16 : 1.23	慢性肝疾患及び肝硬変を除くと、ERRは有意でなくなった。

非新生物疾患において考察すべき疾患は、慢性肝疾患・肝硬変であると言える。

① 解析対象者204,103人のERR/Sv（続き） 喫煙関連疾患

解析対象集団全体においては、喫煙の情報がないので、喫煙の交絡の有無を調べる観点で、喫煙に関連する疾患と喫煙に関連しない疾患について、死亡率と放射線との関連を検討

死因	ERR / Sv) 90%信頼区間	
喫煙関連がん	1.44 0.54 : 2.34	肺、食道、胃がん等を含む 喫煙関連がんのERRは有意に高かった。
喫煙関連がん (肺がんを除く)	0.71 -0.32 : 1.74	肺がんを除くと、ERRは低下し有意ではなくなった。
非喫煙関連がん	-0.43 -1.86 : 1.00	ERRは負 であり、有意に高くなかった。
喫煙関連 非新生物疾患	0.94 -0.03 : 1.90	非新生物疾患のERRについては、いずれも有意に高くなかったが、 喫煙関連で高く、非喫煙関連では負の値 であった。
非喫煙関連 非新生物疾患	-0.14 -1.28 : 1.00	

死亡率と放射線との関連には、喫煙が交絡していると言える。

② 喫煙調整によるERR / Sv への影響（第1次、第2次調査回答者 75,442人）

死因	調整	ERR / Sv) 90%信頼区間	
全死亡	基本調整のみ	1.05 0.13 : 1.80	喫煙を調整すると、ERRは大きく低下し、有意ではなくなった。
	喫煙調整後	0.45 -0.24 : 1.13	
内因子 (白血病除く)	基本調整のみ	1.46 0.54 : 2.39	
	喫煙調整後	0.84 -0.02 : 1.70	
非新生物疾患	基本調整のみ	1.85 0.45 : 3.25	
	喫煙調整後	1.17 -0.12 : 2.47	
全悪性新生物 (白血病除く)	基本調整のみ	0.92 -0.30 : 2.16	基本調整でも統計的に有意ではなかったが、喫煙を調整するとERRは約60%低下した。
	喫煙調整後	0.36 -0.79 : 1.50	
胃がん	基本調整のみ	0.79 -2.27 : 3.86	喫煙の調整により、ERRは大きく低下した。
	喫煙調整後	0.11 -2.70 : 2.92	
肺がん	基本調整のみ	2.18 -0.51 : 4.88	
	喫煙調整後	1.20 -1.20 : 3.61	
肝がん	基本調整のみ	6.32 0.70 : 11.95	喫煙を調整してもERRは大きく低下しなかった。
	喫煙調整後	5.54 0.21 : 10.86	

肝がん以外は、
喫煙が交絡

8. 解析結果

8) 第V期調査のまとめ

① 解析対象者**204,103人**に対する解析

- 全悪性新生物（白血病を除く）あるいは喫煙関連がんから肺がんを除くと、いずれも累積線量と死亡率の関連はなくなった。
- これは、全悪性新生物（白血病を除く）あるいは喫煙関連がんの死亡率と累積線量との関連に、肺がんが大きな影響を与えていることを示している。

② 生活習慣調査回答者集団**75,442人**に対する解析

- 喫煙を調整することによって全悪性新生物（白血病を除く）や肺がん、胃がんのERRが大きく低下した。
- これは、喫煙が累積線量と死亡との関連に交絡していることを示している。

第V期までの調査の結論：

低線量域の放射線が悪性新生物の死亡率に影響を及ぼしていると結論付けることは出来なかった。

8. 解析結果

9) 第V期調査の課題

① 生活習慣等調査

- 教育年数は交絡因子の一つと考えられる。

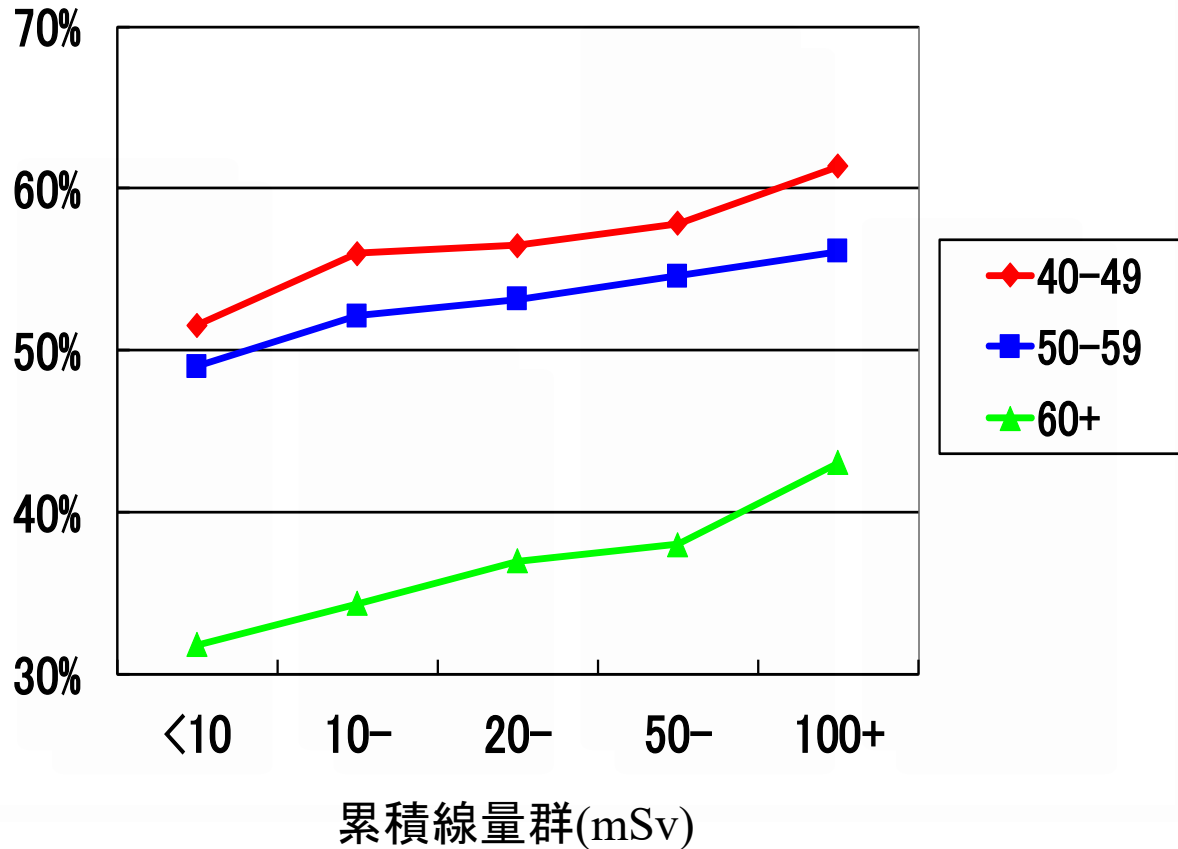
社会経済状況の代替指標である教育年数は、本疫学調査において、線量と関連があり、また死亡率との関連もあることから交絡因子の一つと考えられる。

- 教育年数を調整した場合、喫煙による調整と同程度のERRの低下が認められた。
- 社会経済状態に関する要因も、交絡因子として考慮することの重要性を示すもの
- これらは、生活習慣調査回答者約7.7万人で観察されたこと
- 解析対象者約20.4万人全員では、交絡因子に関わる情報が把握できていない。

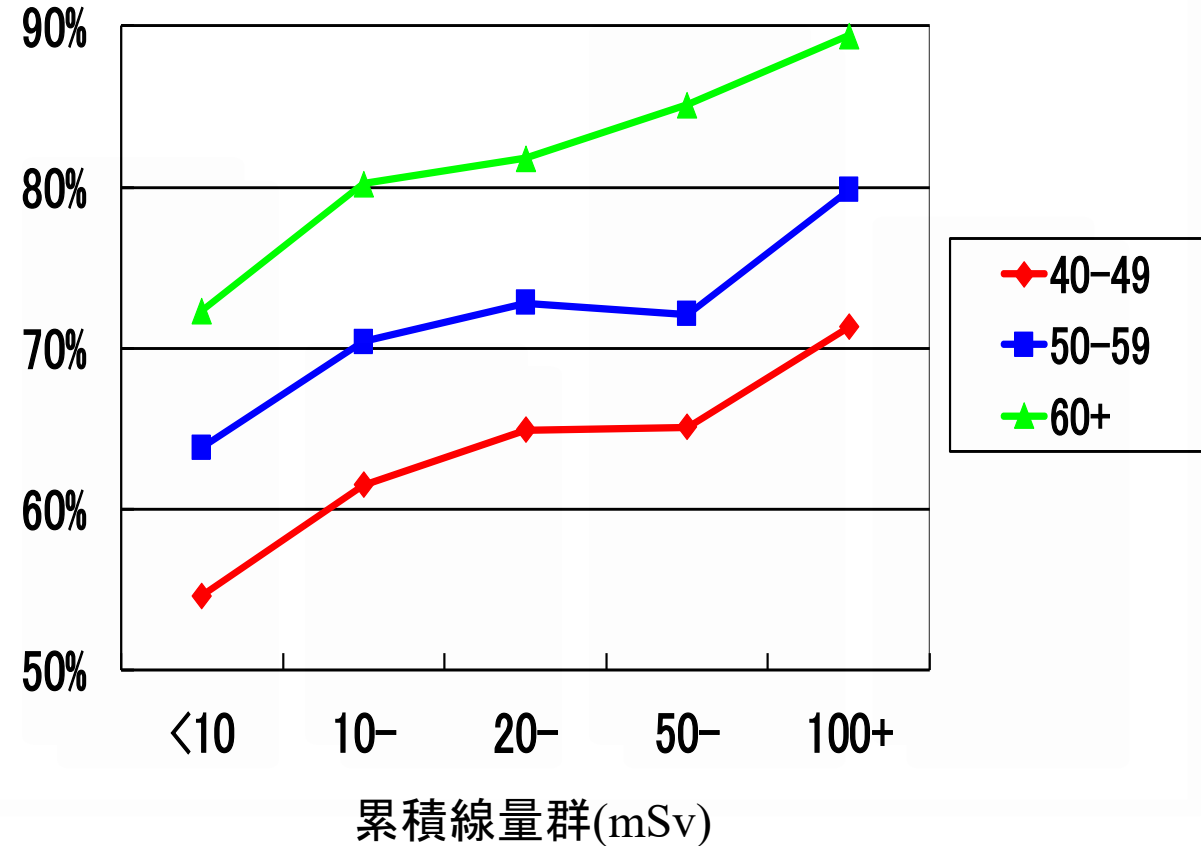


解析対象者全員を対象とした生活習慣等調査が必要

現在喫煙者割合(%)



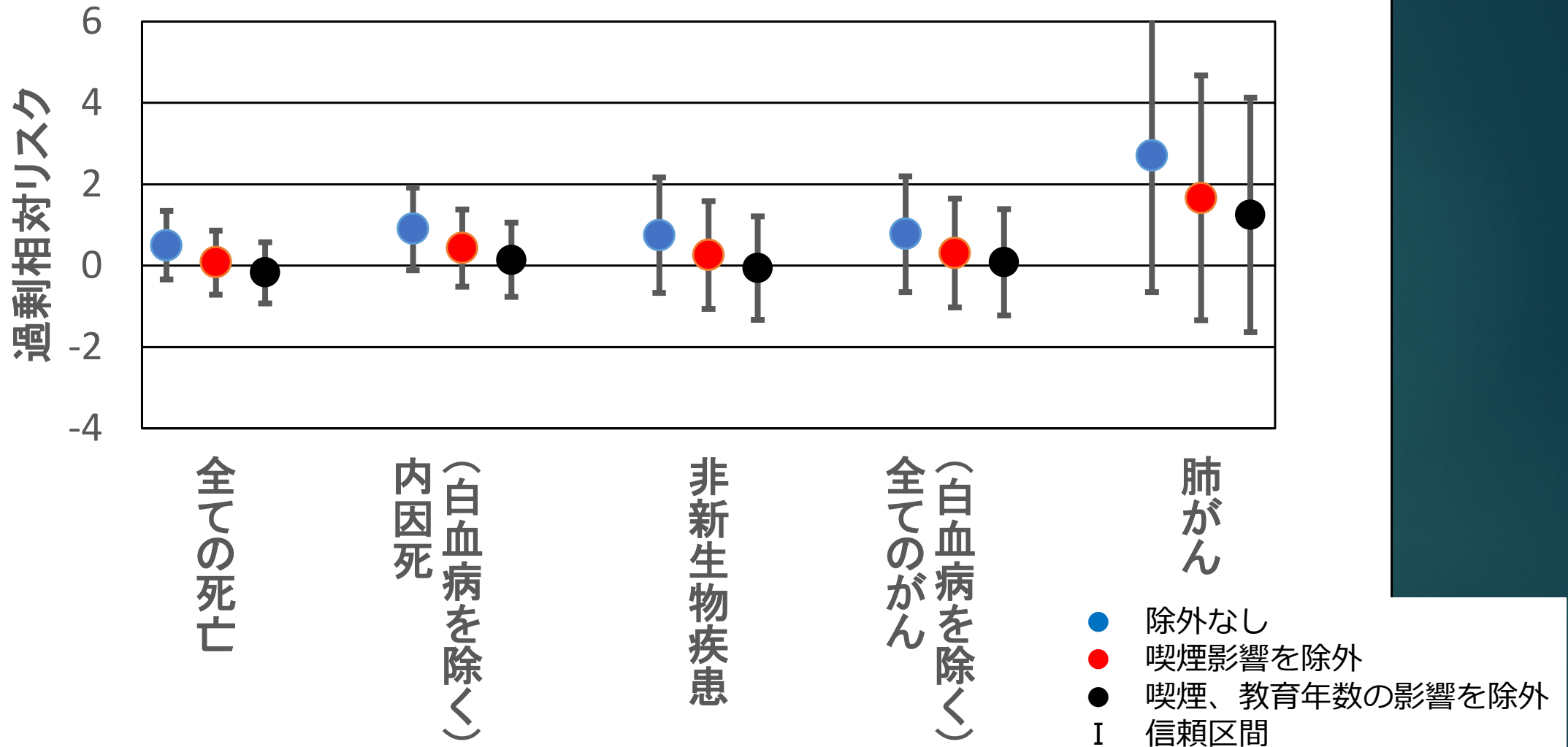
教育年数13年未満の割合(%)



それぞれの割合が累積線量と正の関係にあるので、線量の増加と共に死亡率の増加が見られても、放射線によるものか、喫煙・教育年数の違いによるものかが判らない。

→ 喫煙や教育年数の影響を除外する必要がある。

喫煙、教育年数による影響を除外した場合の 過剰相対リスクの変化



8. 解析結果

9) 第V期調査の課題

② がん罹患情報の活用

- 死亡・死因は健康影響の指標として鋭敏ではない。
 - 第V期調査では、死亡・死因を指標としている。
 - 致死性の低いがんや医療の進展にともなって死亡に至らないがんの把握漏れ等がある。
- がん罹患は信頼性の高い健康指標
 - 診断精度の高い信頼性のある健康指標が把握できる。
 - 2016年から「がん登録等の推進に関する法律」に基づく全国がん登録データベースが利用可能
 - 死亡数と比べて罹患数は多い。より信頼性の高い調査となる。



本人同意を得たがん罹患情報の活用が必要

I. 低線量放射線による 人体への影響に関する 疫学的調査 (J-EPISODE) の概要 (Japanese EPIdemiological Study On low-Dose radiation Effects)

内容

1. 調査目的及びJ-EPISODEの経緯
2. 第V期調査 (2010-2014年度) の概要
3. 第VI期調査 (2015-2019年度) の概要
4. 第VII期調査 (2020-2024年度) の概要

J-EPISODE フェーズ2
第VI期調査（2015-2019年度）
の概要

J-EPISODE 第VI期調査の概要

29

中登センターに登録された放射線業務従事者約 21.3 万人を対象に、新疫学調査への参加の意思確認調査と生活習慣調査を実施し、同意者全員から成る調査対象集団を設定

第VI期調査の新たな方策

1. Opt-inによる意思確認調査
2. 対象者全員に対する生活習慣等調査
3. がん罹患情報の活用
4. 臓器線量の適用

J-EPIISODE 第VI期調査の概要（続き）

1. 意思確認調査

Opt-inによる意思確認

2. 生活習慣等調査

新たなコホート研究におけるベースライン調査として
対象者全員に生活習慣等調査を 2015 年度から意思
確認調査とともに実施

主な調査項目：喫煙、飲酒、教育年数、業務

3. がん罹患情報の活用

全国がん登録制度の概要

➤ 「全国がん登録」

日本でがんと診断された全ての人のデータを、国で1つにまとめて集計・分析・管理する新しい仕組み

➤ 2016年1月に登録制度が開始

➤ 2016年のがん罹患情報は2019年1月から利用可能

（放影協は、全国がん登録情報を提供できる者のひとつとして厚生労働省令*で定められた）

*）「がん登録等の推進に関する法律施行規則（平成二十七年厚生労働省令第百三十七号）第19条1」

J-EPIISODE 第VI期調査の概要（続き）

4. 臓器吸収線量の適用

1) 背景

- ① ICRP Pub 103で、「実効線量は疫学調査のために使用すべきでない。リスク評価には臓器線量を考慮する必要がある。」と述べている。
- ② 国際的な放射線疫学調査では、がんによる罹患・死亡の評価には臓器吸収線量(Gy)が用いられている。

2)

- ① 主要 12 臓器別に線量計指示値（記録線量）から臓器吸収線量への換算係数を構築。

I. 低線量放射線による 人体への影響に関する 疫学的調査 (J-EPISODE) の概要 (Japanese EPIdemiological Study On low-Dose radiation Effects)

内容

1. 調査目的及びJ-EPISODEの経緯
2. 第V期調査 (2010-2014年度) の概要
3. 第VI期調査 (2015-2019年度) の概要
4. 第VII期調査 (2020-2024年度) の概要

J-EPIISODE
第Ⅶ期調査（2020-2024年度）
の概要

第Ⅶ期調査（2020（令和2）年度～2024年度）

35

第Ⅴ期解析と第Ⅶ期解析の比較

項目	第Ⅴ期解析	第Ⅶ期解析
人数	75,442人	77,993人
線量	記録線量	記録線量、臓器線量（12臓器）
外部比較*1	死亡のみ	死亡、がん罹患
内部比較*2	死亡のみ	死亡、がん罹患
調整変数	到達年齢、暦年、地域、喫煙、 飲酒、職種、職位、教育年数	左記に加えて、食習慣、雇用企 業、企業規模、既往歴等

*1：従事者と日本人全体との死亡率の比較

*2：単位線量当たりの放射線関連死亡（罹患）リスク推定値の算出

Ⅱ. 近年の低線量放射線疫学研究の動向

36

- ▶ W. Rühm (ICRP主委員会委員長), D. Laurier (第1専門委員会委員長), R. Wakeford (第1専門委員会メンバー) らは Cancer risk following low doses of ionizing radiation – Current epidemiological evidence and implications for radiological protection, Mutation Res. Gen. Tox. Environ. Mutag. 873:503436, 2022 において

- 原爆被爆者における放射線関連がんリスクに関する知見

- 原爆被爆者の寿命調査 (LSS) による、がん罹患に関する最新論文 (2017)、がん死亡に関する最新論文 (2015)、他

- 合同解析による放射線関連がんリスクに関する知見

- INWORKS論文 (2015、英米仏の原子力作業従事者コホートの合同解析)、他

- 合同解析後 (主に2017年以降) に公表された放射線関連がんリスクに関する追加研究からの知見

- 米国国立がん研究所論文 (2020)、他

についてレビューを行った。

▶ Rühm らの結論

“In summary, substantial evidence was found from epidemiological studies of exposed groups of humans that ionizing radiation causes cancer at acute and protracted doses above 100 mGy, and growing evidence for doses below 100 mGy.”

Ⅲ. J-EPISODEの現時点までのまとめ

J-EPIISODE フェーズ1 調査 (第I期～第V期) の結論

低線量域の放射線が悪性新生物の死亡率に影響を及ぼしているとは結論付けることはできない。

各国で行われた、原子力発電施設等の放射線業務従事者コホートの疫学調査における、白血病を除く全がん、または固形がんにおける ERR/Sv (ERR/Gy) の結果

有意に高い	有意差なし
英国 (軍事関連施設等従事者コホート) ロシア (核兵器製造施設従事者コホート) INWORKS (英米仏3か国コホート合同解析)	J-EPIISODE (日本の放射線業務従事者コホート) 米国 (原子力発電施設等従事者コホート、防衛産業従事者コホート) フランス (再処理施設等従事者コホート) カナダ (研究機関等従事者コホート) 韓国 (原子力発電施設等従事者コホート)

原子力規制委員会原子力規制庁委託調査報告書、低線量放射線による人体への影響に関する疫学的調査 (第VI期調査)、平成27年度～平成31年度 (令和元年度)、令和2年3月、公益財団法人放射線影響協会. Howe GR, et al. Radiat. Res. 162: 517–526, 2004. Schubauer-Berigan MK, et al. Radiat. Res. 183: 620–631, 2015. Leuraud K, et al. Radioprotection 52: 199–210, 2017. Zablotska LB, et al. Br. J. Cancer 110: 214–223, 2014. Ahn YS, et al. J. Occup. Environ. Med. 50: 791–803, 2008. Jeong M, et al. Radiat. Environ. Biophys. 49: 47–55, 2010. Haylock RGE, et al. Br. J. Cancer. 119: 631–637, 2018. Stram DO, et al. Radiat. Res. 195: 334–346, 2021. Richardson DB, et al. BMJ. H5359, 2015.

J-EPISODE フェーズ2 調査（第Ⅵ期～） の特徴・優位性

J-EPISODEは、臓器線量の使用、喫煙等生活習慣の調整、罹患解析の3つを可能とする世界初の調査となり、放射線リスクの検討に際して精度、**妥当性**の高い結果を得ることが期待される。

海外の主な放射線業務従事者疫学研究との比較

	日本	15か国解析	INWORKS	英国NRRW
臓器線量	○	○	○	×
喫煙等生活習慣の調整	○	×	×	×
罹患解析	○	×	×	○

原子力規制委員会原子力規制庁委託調査報告書、低線量放射線による人体への影響に関する疫学的調査（第Ⅵ期調査）、平成27年度～平成31年度（令和元年度）、令和2年3月、公益財団法人放射線影響協会。

Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, et al.: The 15-country collaborative study of cancer risk among radiation workers in the nuclear industry: estimates of radiation-related cancer risks. *Radiat. Res.* 167: 396–416, 2007.

Richardson DB, Cardis E, Daniels RD, et al.: Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS). *BMJ.* H5359, 2015.

Haylock RGE, Gillies M, Hunter N, et al.: Cancer mortality and incidence following external occupational radiation exposure: an update of the 3rd analysis of the UK national registry for radiation workers. *Br. J. Cancer.* 119: 631–637, 2018.

ご清聴ありがとうございました