

令和4年度原子力施設等防災対策等委託費
(低線量放射線による人体への影響に関する疫学的調査) 事業

(原子力規制委員会原子力規制庁委託業務成果報告書)

令和5年3月

公益財団法人 放射線影響協会

本報告書は、原子力規制庁の委託業務として、
（公財）放射線影響協会が実施した「令和4年度
原子力施設等防災対策等委託費（低線量放射線に
よる人体への影響に関する疫学的調査）事業」の
成果を取り纏めたものです。

目次

I. 概 要	2
1. 調査対象者に関する情報の更新等業務	2
1. 1 調査対象者の被ばく線量に関する情報の更新	2
1. 2 調査対象者の生死等に関する情報の更新	2
1. 3 調査対象者の死因情報の継続使用に関する手続き	2
2. がん罹患情報の取得	2
3. 委員会活動	3
4. 本事業の理解促進活動	3
4. 1 ホームページによる放射線疫学調査関連情報の周知	3
4. 2 国内外の論文投稿・学会発表	3
II. 事業内容	4
1. 調査対象者に関する情報の更新等業務	4
1. 1 調査対象者の被ばく線量に関する情報の更新	4
1. 2 調査対象者の生死等に関する情報の更新	4
1. 3 調査対象者の死因情報の継続使用に関する手続き	9
2. がん罹患情報の取得	10
2. 1 全国がん登録情報の更新	11
2. 2 臓器線量の再構築等の活用方策について	11
3. 委員会活動	15
3. 1 放射線疫学調査 調査研究評価委員会（第1回）	15
3. 2 放射線疫学調査 調査研究評価委員会（第2回）	16
3. 3 放射線疫学調査 あり方検討会フォローアップ委員会（第1回）	17
3. 4 放射線疫学調査 あり方検討会フォローアップ委員会（第2回）	18
3. 5 放射線疫学調査 倫理審査・個人情報保護委員会（第1回）	19
3. 6 放射線疫学調査 倫理審査・個人情報保護委員会（第2回）	19
4. 本事業の理解促進活動	21
4. 1 ホームページ、放影協ニュースによる放射線疫学調査関連情報の周知	21
4. 2 国内外の論文投稿・学会発表による発信	22
(巻末参考資料)	24

I. 概 要

令和 4 年度は、平成 27 年度に策定した健康影響評価計画に基づき、調査対象者の生死等情報の把握を行うとともに、令和元年度から利用が可能になったがん罹患情報を利用するため「がん登録等の推進に関する法律」に基づく手続きを行い、国立がん研究センターからリンケージデータを取得した。また、調査対象者に関する情報（被ばく線量、生死、死因等）の更新等を行った。なお、これらの個人情報の取得は、平成 27 年度から令和元年度までに実施した意思確認調査において、調査対象者の同意を得たうえで実施した。さらに、本事業の理解促進活動として、これまでに取得したデータをもとに解析した結果について学会発表、論文投稿等を行うとともに、ホームページ等により本疫学調査について情報発信した。

1. 調査対象者に関する情報の更新等業務

1. 1 調査対象者の被ばく線量に関する情報の更新

当協会放射線従事者中央登録センター（以下「中央登録センター」という。）から令和 3 年度までの被ばく線量情報等の提供を受け、放射線疫学調査ファイル（以下「疫学 DB」という。）に反映した。また、入手した記録線量を臓器線量に換算した。

1. 2 調査対象者の生死等に関する情報の更新

本年度は、30,050 人の調査対象者について生死追跡調査を行い、1,390 市区町村に対し住民票の写し等の交付を請求し、全ての市区町村から計 30,050 人の調査対象者について住民票の写し等の交付を受け、その情報を疫学 DB に反映した。

1. 3 調査対象者の死因情報の継続使用に関する手続き

統計法（平成 19 年法律第 53 号）第 33 条規定に基づき、人口動態調査死亡票の調査票情報の継続保有の申請を行い、厚生労働大臣から承認を受けた。承認を受けた後、調査票情報に基づいた追加解析等を行った。

2. がん罹患情報の取得

本事業では、第VI期を開始した平成 27 年度から、放射線被ばくによる健康影響、特にがん発生に及ぼす影響を評価する際、その評価指標として死亡に加え、がん罹患も用いることとしている。令和 4 年度は、厚生労働大臣から許諾された診断年 2016～2019 年全国がん登録情報について、国立がん研究センターの全国がん登録データベースとのリンケージにより調査対象者のがん罹患情報を取得し、疫学 DB と合わせて利用するがん罹患情報のデータベース（以下「がん罹患情報 DB」という。）を更新した。また、更新したがん罹患情報を用いて罹患リスク解析等を行った。さらに、診断年 2016～2020 年全国がん登録情報についても利用申請の手続きを実施した。

3. 委員会活動

本事業の的確かつ円滑な実行を目的として、個人情報の取扱い及び疫学研究に係る倫理的事項について審査を行う「倫理審査・個人情報保護委員会」並びに調査研究計画、調査の実施方法及びがん罹患情報の活用方策について審査を行う「調査研究評価委員会」を設置した。また、「平成 28 年度放射線疫学調査あり方検討会」が策定した報告書を踏まえ、「放射線疫学調査あり方検討会フォローアップ委員会」を設置し、令和 5 年度以降の事業方針について審査を受けた。

4. 本事業の理解促進活動

4. 1 ホームページによる放射線疫学調査関連情報の周知

調査結果等について広く周知し、事業対象者の協力を得るために当協会ホームページ、放影協ニュース等による情報発信を行った。

4. 2 国内外の論文投稿・学会発表

国内外の機関に積極的に引用される調査として専門家に認知されることを目的に、論文投稿を行い、4 編が公表された。また、12 演題の学会発表を行った。

II. 事業内容

1. 調査対象者に関する情報の更新等業務

1. 1 調査対象者の被ばく線量に関する情報の更新

第VI期調査（平成 27 年度～令和元年度）において設定した約 8 万人のコホートについて、中央登録センターから令和 3 年度までの被ばく線量情報等の提供を受け、疫学 DB に反映した。また、入手した記録線量を臓器線量に換算した。

1. 2 調査対象者の生死等に関する情報の更新

調査対象者の死因情報及びがん罹患情報の取得等を確実に実施するために、調査対象者の住所地及び生死の情報を可能な限り最新の状態に保つ必要がある。調査対象者の住所地及び生死の確認（以下「生死追跡調査」という。）は、個人情報保護に留意しつつ、全国の市区町村（特別区及び政令市の行政区を含む。以下、同様。）から住民票の写し等を取得することにより行い、その結果の集計及び疫学 DB の更新を行った。

（1）生死追跡調査

平成 30 年度までは、住民基本台帳法において消除された住民票（以下「除票」と言う。）の保存期間は 5 年間と定められていたことから、1 人の調査対象者について少なくとも 4 年に 1 度の頻度で生死追跡調査を行ってきた。令和元年に同法が改正され、除票の保存期間が従来の 5 年間から 150 年間に延長されたが、がん罹患情報を取得するに当たり、調査対象者の最新の住所情報を必要とすることから、引き続き同じ頻度で生死追跡調査を行うこととしている。本年度は平成 27 年度から令和元年度に実施した意思確認調査において、本疫学調査の対象者となることに同意した 81,527 人より令和 4 年 3 月 31 日までに同意を撤回した 23 名を除いた 81,504 人のうち 30,050 人について生死追跡調査を行った。

以下に、本年度の生死追跡調査の結果を報告する。

1) 住民票の写し等の交付請求及び取得

i) 住民票の写し等の交付請求

本年度は、(a)本年度中に当該調査対象者についての直近の生死追跡調査から 4 年が経過する者（平成 30 年度の生死追跡調査で住民票の写しを取得した者のうち、令和 3 年度に交付請求を行わなかった者）及び 3 年が経過する者（令和元年度に住民票の写しを取得した者）のうち一部の者、(b)前年度（令和 3 年度）の生死追跡調査において住民票の写し等の交付請求先の市区町村から他の市区町村への転出が判明した者並びに(c)前年度（令和 3 年度）の生死追跡調査において「該当者なし」等の理由で住民票の写し等を交付されなかった者のうち、再調査を行うこととした者、計 30,050 人の調査対象者について、1,390 市区町村に対し住民票の写し等の交付を請求した。

本年度、住民票の写し等を請求した調査対象者の内訳は表 1. 1 の通りである。

ii) 住民票の写し等の取得

i) の住民票の写し等の交付請求により住民票の写し等を取得した者及び取得できなかった者は、その内容により以下の通りの区分に分類し、整理している。

- ① 住民票の写しを取得した者（氏名、住所等が変更されていないもの）
- ② 住民票の写しを取得した者（氏名、住所等が変更されているもの）
- ③ 除票の写しを取得した者（死亡による消除）
- ④ 除票の写しを取得した者（転出（海外への転出を含む。）による消除）
- ⑤ 住民票を確認できなかった者（「該当者なし」（調査対象者が当該の市区町村の住民ではなく、当該調査対象者の住民票が作成されていないことによる）のため）
- ⑥ 住民票を確認できなかった者（住民票の消除後 5 年（保存期限）以上経過のため）
- ⑦ 除票の写しを取得した者（不在住等の事由による市区町村長の職権による消除）
- ⑧ その他

本年度は、住民票の写し等の交付を請求した 1,390 市区町村の全ての市区町村から、計 30,050 人の調査対象者について、住民票の写し等の交付等による回答を得た。本年度に住民票の写し等の交付を請求した調査対象者のうち住民票の写し等を取得した者及び取得できなかった者の内訳は表 1. 2 の通りである。区分①②④に該当する 29,015 人は生存を示す。【巻末参考資料 26 頁 表 1. 1 参照】

表 1.1 本年度に住民票の写し等の交付を請求した調査対象者の内訳

請求の内訳	人数
(a) 前回住民票の写しを取得した者 ^{注-1}	28,276
(b) 前回転出除票の写しを取得した者 ^{注-2}	1,773
(c) 前回「該当者なし」等の回答を得た者 ^{注-3}	1
合計	30,050

注-1 直近の生死追跡調査から4年が経過する者（平成30年度の生死追跡調査において住民票の写しを取得した者のうち令和3年度に交付請求を行わなかった者）及び3年が経過する者（令和元年度に住民票の写しを取得した者）のうち一部の者の調査

注-2 前年度（令和3年度）の生死追跡調査において他の市区町村への転出が判明した者の調査

注-3 前年度（令和3年度）の生死追跡調査において、「該当者なし」等の回答を得た者のうち一部の者の再調査

表 1.2 本年度に住民票の写し等を取得した者及び取得できなかった者の内訳

（令和5年1月現在）

区分	人数
住民票の写しを取得した者 ①②	27,178
除票の写し（転出）を取得した者 ④	1,837
内、国内の他市区町村への転出	1,820
内、海外への転出	17
除票の写し（死亡）を取得した者 ③	1,030
該当者なし等の回答を得た者 ⑤⑥⑦	5
その他（不交付） ⑧	0
合計	30,050

2) 平成 27 年度以降の生死追跡調査の状況（累計）

第Ⅵ期調査（平成 27 年度～令和元年度）に実施した意思確認調査及び生死確認調査において、本疫学調査の調査対象者となることに同意した 81,527 人が第Ⅶ期調査（令和 2 年度～令和 6 年度）以降の生死追跡調査の対象となる。本年度の生死追跡調査の結果を反映し、平成 27 年度以降の調査対象者の生死追跡状況を集計した。

令和 5 年 1 月現在で次のとおりとなった。(1) 生存者は 77,675 人(男性 76,840 人、女性 835 人)、(2) 死亡者は 3,393 人（男性 3,387 人、女性 6 人）、(3)調査の結果追跡できなくなった者は 435 人（男性 427 人、女性 8 人）、(4)同意を撤回した者は 24 人（男性 24 人、女性 0 人）となった。

詳細は表 1. 3 の通りである。【巻末参考資料 27 頁 表 1. 2 参照】

3) 平成 3 年度以降の生死追跡調査の状況（年度推移）

全国の市区町村から住民票の写し等を取得することによる生死追跡調査を開始して 32 年が経過した。その間の生死追跡調査の状況（年度推移）を図 1. 1 に示す。

4) 生死追跡調査における「脱落」等の発生

i) 追跡先住所不明

住民票の写し等の取得による生死追跡調査において、市区町村から「該当者なし」の回答を受けた調査対象者のうち、前年度までの調査において住民票の写しを取得した者については、当該住民票の写しのコピーを当該市区町村に提示し、再度、住民票の写し等の交付請求を行うこととしており、再度請求しても取得できない場合は「脱落」となる。

また、「該当者なし」と回答された調査対象者のうち、前年度までの調査で転出除票を取得したが、転出予定先に転入していなかった者については、転出元の住所地の市区町村に、次年度、住民票の写し等の交付請求を行うこととしており、そこで住民票の写し等が取得できなければ「脱落」となる。この様に、調査対象者が転出先の市区町村で転入の手続きをしないこと等により、調査対象者の住所が不明となることがあるため、「脱落」が発生する。

その他、職権消除のため除票の写しを取得した者については「脱落」として扱うこととしている。

本年度は 5 人（本年度の調査対象人数の 0.02%に相当）の「脱落」があった。特に該当者が少ない累積被ばく線量 50mSv 以上の調査対象者（以下「50mSv 以上群」という。）の「脱落」はなかった。

ii) 海外転出

海外への転出が判明した調査対象者については、以降の追跡が困難であるため、生死追跡調査を継続しないこととしている。

本年度は 17 人（本年度の調査対象人数の 0.06%に相当）の海外転出があった。

50mSv 以上群からの「海外転出」はなかった。

iii) 住民票の写し等の不交付

住民基本台帳法が平成 19 年に一部改正（平成 20 年 5 月 1 日施行）されたことに伴い住民基本台帳事務処理要領も併せて改正され、第三者による住民票の写しの交付請求がより厳格化された。以降、市区町村の判断によっては住民票の写し等が、本人の同意書が無い場合は交付されない事例が生じた。住民票の写し等の請求先となった市区町村に対しては、本疫学調査の意義を説明すること等により、市区町村の理解及び協力を得ることに努めているが、それでも住民票の写し等が交付されない場合は、意思確認調査において受領した当該の調査対象者の同意書を添付して交付請求を行うこととしている。本年度は 127 市区町村に住所を持つ調査対象者については、同意書を添えて住民票の写し等の交付請求を行った。

前述のとおり、不交付はなかった。

iv) 同意撤回

平成 27 年度から令和元年度に実施した意思確認調査において、本疫学調査の調査対象者となることに同意した者は 81,527 人であったが、同意撤回の申請をした者が令和 4 年度末までに合計 24 名となった。

令和 2 年度	20 名
令和 3 年度	3 名
令和 4 年度	1 名

表 1.3 令和 2 年度以降の生死追跡状況（累計）

（令和 5 年 1 月現在）

追跡結果	人数（男 女）
(1) 生存	77,675 (76,840 835)
(2) 死亡	3,393 (3,387 6)
(3) 脱落	459 (451 8)
（脱落の内訳）	
住所不明等 ^{注-1}	435 (427 8)
不交付 ^{注-2}	0 (0 0)
同意撤回 ^{注-3}	24 (24 0)
合計	81,527 (80,678 849)

注-1 調査対象者本人から入手した住所情報に基づいて行う住民票の写し等の請求において、該当者なしの回答を得た、又は除票の保存期間経過、職権消除、海外転出等の理由で、住民票の写し等を取得できずに脱落した調査対象者の数

注-2 市区町村の協力を得られなかったことにより、住民票の写し等を取得できなかった調査対象者の数

注-3 同意後、撤回を申し出た調査対象者の数

住民票の写し等を交付請求した件数（万件）

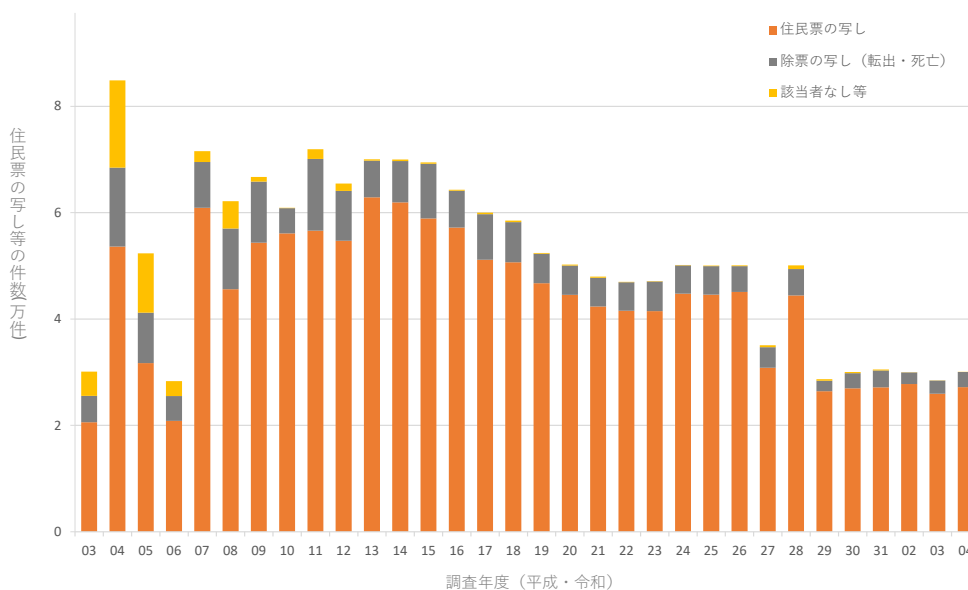


図 1.1 平成 3 年度以降の生死追跡調査の状況（年度推移）

（2）疫学 DB の管理等

本疫学調査の実施に当たっては、平成 11 年 3 月までに放射線業務従事者として登録した者のうち調査対象者となった 277,128 人についての情報を収めた疫学 DB を、インターネット及び当協会の計算機ネットワークから独立した計算機上に構築している。このデータベースの管理のために開発した「放射線疫学調査に係る情報処理システム」（以下「情報処理システム」という。）により、年度毎に行う生死追跡調査の対象者の抽出、市区町村長に提出するための住民票の写し等の請求書類の作成、交付を受けた住民票の写し等の記載事項等の計算機への入力並びに疫学 DB に登録された情報の更新及び修正を行ってきた。現在は、平成 27 年度から令和元年度にかけて実施した意思確認調査により本疫学調査の調査対象者となることに同意した約 8 万人の調査対象者について疫学 DB を更新することとしている。一方、意思確認調査により不同意の意思を表明した者については、疫学 DB の個人情報を匿名化した。

本年度は生死追跡調査において新たに入手した住民票の写し等の情報に基づき、疫学 DB を更新した。そのうち、転居（同じ市区町村での引越し）による住所の変更又は氏名の変更があった者は 1,358 人、転出による住所変更があった者は 1,837 人、死亡した者は 1,030 人、該当者なし等により追跡できなかった者は 5 人であった。

また、疫学 DB 及び情報処理システムについては、定期的に保守点検を行うことにより、その正常維持を図るとともに、データのバックアップを定期的に行い、データを適正に保管している。

1. 3 調査対象者の死因情報の継続使用に関する手続き

統計法（平成 19 年法律第 53 号）第 33 条規定に基づき、人口動態調査死亡票の調査票情報の継続使用の申請を厚生労働省に対して行い、令和 4 年 4 月 4 日に承認を受けた。承認を

受けた後、調査票情報に基づいて、放射線と生活習慣、社会経済情報とのリスク比較【巻末参考資料 43 頁 3. 2 (1)、59 頁 3. 3 (1) 及び 60 頁 3. 3 (2) 参照】、潜伏期の変更による放射線リスク推定値への影響の検討【巻末参考資料 62 頁 3. 3 (4) 参照】、喫煙調整による放射線リスク推定値への影響の検討【巻末参考資料 58 頁 3. 2 (4) 及び 65 頁 3. 3 (7) 参照】についての論文投稿、学会発表を行った。

2. がん罹患情報の取得

平成 26 年度までの本疫学調査では、主に被ばく線量とがん死亡との関係を解析することで、低線量放射線の健康影響を評価してきたが、医療技術の進展等に伴いがんの致死率（致命率）が低下している現状を考慮し、健康指標として死亡だけでなく、がん罹患も調査することにより、より精度の高い健康影響の評価を行うことが必要となった。がん罹患情報に関しては、かつて一部の都道府県で地域がん登録制度があるのみであったが、平成 28 年 1 月に全国がん登録制度が発足し、居住地域に関わらず全国のがん罹患者の情報が全国がん登録データベースで一元管理されることとなった。これらの状況に鑑み、平成 27 年度の調査研究評価委員会において、放射線被ばくによる健康影響、特にがんの発生に及ぼす影響を評価する際、その評価指標としてがん罹患を新たに加えることを決定した。また、同委員会において、がん罹患情報を利用するために必要となる法的根拠、申請手続、全国がん登録データベース届出項目を確認するとともに、利用可能時期、疫学調査解析での利用法等について審議した。特に、がん罹患情報管理システムを開発するための要件定義として、全国がん登録データベースから提供を受ける項目を確認した。

平成 28 年度には、調査研究評価委員会において、国における全国がん登録データベース整備の進捗状況、利用手続マニュアル等の整備状況等を報告するとともに、がん罹患リスクの評価に用いる臓器線量構築について検討を行った【「2. 2 臓器線量の再構築等の活用方策について」参照】。

平成 29 年度には、調査研究評価委員会において、全国がん登録データベースの利用申請方法等について検討を行った。

平成 30 年度には、調査研究評価委員会において、公開された診断年 2016 年全国がん登録情報の概要を報告し、利用方針についてより具体的に検討を行った。

令和元年度には、提供が開始された診断年 2016 年全国がん登録情報について、法第 17 条第 1 項第 3 号の規定に基づき「非匿名化情報」の利用申請を行い、承認後に疫学 DB とのリンクージュを行った。調査研究評価委員会及びあり方検討会フォローアップ委員会では、公表された診断年 2016 年全国がん登録情報の精度、疫学 DB と全国がん登録データベースとのリンクージュ結果データの集計方法等について検討を行った。

令和 2 年度には、診断年 2016～2017 年全国がん登録情報について、利用申請を行い、承認後に疫学 DB とのリンクージュを行った。調査研究評価委員会等において、リンクージュ結果データの集計方法及び集計結果等について検討を行った。

令和 3 年度には、診断年 2016～2018 年全国がん登録情報について、利用申請を行い、承認

後に疫学 DB とのリンケージを行った【巻末参考資料 28 頁 図 1. 3. 1 参照】。リンケージ結果データに基づき部位別第一原発がん罹患数の集計を行った【巻末参考資料 28 頁 図 1. 3. 2 及び 29 頁 表 1. 3. 3 参照】。

2. 1 全国がん登録情報の更新

診断年 2016～2019 年全国がん登録情報について、当協会理事長から厚生労働大臣に対して行った利用申請に対し、6 月に全国がん登録情報の利用と提供に関する審査委員会、8 月にがん登録部会が開催され、9 月に応諾の通知を厚生労働大臣から受け取った。その後、疫学 DB と全国がん登録データベースをリンケージするために、リンケージ用外部照合データ約 27 万件を作成し、国立がん研究センターに送付した。リンケージの結果、がん罹患情報を付加したリンケージ結果データが令和 5 年 1 月に提供された。リンケージ結果データに基づき、がん罹患情報 DB を更新し、更新したがん罹患情報を用いて罹患リスク解析等を行った。さらに、診断年 2016～2020 年全国がん登録情報についても利用申請の手続きを実施した。

2. 2 臓器線量の再構築等の活用方策について

平成 27 年度以降の本疫学調査では、評価指標として従来の死亡に加え、平成 28 年に始まった全国がん登録制度のがん罹患情報を利用することとなった。これに伴い、線量については、従来、線量計等の記録線量である個人線量当量をそのままリスク推定に用いていたが、放射線リスク評価の国際比較可能性を高めるために、海外の放射線疫学調査で用いられている組織・臓器吸収線量を用いることとして、平成 29 年度及び平成 30 年度に臓器線量構築検討会を設置し、検討を行った。

平成 30 年度には、線量計レスポンスの試験の実施、日本人成人男性モデルの臓器線量換算係数の推計並びに日本の原子力発電所における光子エネルギー及びジオメトリ分布に関する先行研究の調査を経て、記録線量から組織・臓器吸収線量への換算係数を構築し、同検討会報告書にとりまとめた。

令和元年度には、同検討会報告書の換算係数に基づき、第 V 期（平成 22 年度～平成 26 年度）解析対象者について、1957～2010 年の記録線量から組織・臓器吸収線量への試算を行った。

令和 2 年度には、試算した組織・臓器吸収線量を用いて第 V 期解析対象者について再解析を行い、従来の記録線量を用いた解析結果と同様に喫煙調整により放射線リスク推定値が下がる傾向を示すことを確認した。また、今後は記録線量以外に臓器吸収線量を用いたリスク解析を行うことから、解析システムにおいて、臓器線量構築検討会報告書で取りまとめた臓器線量換算係数を用いて、調査対象者の 14 組織・臓器（結腸、赤色骨髄、食道、胃、肝臓、胆嚢、脾臓、肺、膵臓、前立腺、膀胱、腎臓、脳、心臓）別の吸収線量を計算し、リスク解析に用いる線量を容易に選択できる機能を追加した。

令和 3 年度には、令和 2 年度に計算した組織・臓器吸収線量を用いて、第 V 期解析対象者について部位別がん死亡リスクの再解析を行い、第 66 回 Health Physics Society 年次総会

で学会発表を行い、また、**Journal of Radiological Protection** 誌に論文発表を行った。再解析結果は、臓器吸収線量を用いても先行研究（工藤他 2018 年）と同様のリスク推定結果が得られることを示し、このことは臓器吸収線量を用いたとしても、喫煙交絡は J-EPISODE にとってバイアス要因であることを示唆している。

また、福島第一原子力発電所緊急作業者が緊急作業に従事した際の記録線量（以下「緊急作業線量」という。）についても通常作業線量に含めて分析する方針が令和 2 年度調査研究評価委員会及びあり方検討会フォローアップ委員会において承認されたことから、緊急作業線量を臓器吸収線量に換算する前提として、中央登録センターにおいて実効線量として記録されている緊急作業線量を、指定解除記録【巻末参考資料 29 頁 1. 3. 4 参照】を用いて外部・内部被ばく線量に分割する方法を検討し、日本放射線影響学会第 64 回大会において学会発表を行った。これによって、指定解除記録を利用する方法は有効であるとともに、指定解除記録がまだ中央登録センターにない者がいるという課題が判明した。また空気中 I-131/Cs-137 濃度比【巻末参考資料 30 頁 1. 3. 5 参照】を用いて内部被ばく線量（預託実効線量）から I-131/Cs-137 別預託実効線量を推計する方法について検討し、第 3 回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会において学会発表を行った。これによって、I-131 及び Cs-137 による組織・臓器吸収線量（例えば、結腸吸収線量）換算係数が得られるが、推定値の不確かさが課題であることが判明した。

これらの検討を踏まえ、緊急作業線量から臓器吸収線量を構築する手法の確立を目的として、次の外部専門家 4 人で構成される「緊急作業線量の臓器線量構築に関する検討会」を設置し、令和 3 年度内に 2 回開催した。

緊急作業線量の臓器線量構築に関する検討会 委員構成（五十音順、○：座長）

○甲斐 倫明 学校法人文理学園 日本文理大学 新学部設置準備室 教授

栗原 治 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
計測・線量評価部長

佐藤 薫 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター
放射線挙動解析研究グループ 研究主幹

辻村 憲雄 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所
放射線管理部 研究主席

本検討会では、当協会から、緊急作業における被ばくの状況、利用可能なデータ、年度別臓器吸収線量構築に当たっての検討課題について説明を行い、以下の議論を行った。また、今後引き続き検討を進めることが確認された。

- 本疫学調査（J-EPISODE）で利用可能なデータの入手経路及び利用する際の制約を明確にすること。内部被ばく線量について、利用可能なデータが評価結果である預託実効線量のみである場合は、その評価プロセスを可能な限り明確にすること。
- 協会の説明では預託実効線量を被ばくに寄与する核種ごとに分割する方法（以下「核

種分割」という。)に関して、その対象を I-131 と Cs-137 のみとしているように見えるが、Cs-134 を追加するとともに、Cs-137 と Cs-134 の存在比が同程度であったことを明記すること。

- 核種分割に作業環境の空气中濃度比を用いる場合、それを利用することによる不確かさを評価すること。
- 実測データが存在しない短半減期核種について、考慮しなくてもよいと判断するための先行研究等の根拠について情報収集すること。
- 核種分割に作業環境の空气中濃度比を用いる場合、個人別に摂取日を考慮する必要がある。その際、指定日【巻末参考資料 29 頁 1. 3. 4 参照】を摂取日と仮定する場合、指定日と実際の摂取日との違いが、どの程度臓器吸収線量に影響するのかを評価しておくこと。
- 臓器吸収線量の不確かさの評価について、複数の摂取シナリオ（例えば、I-131 が支配的な時期、I-131 と Cs (Cs-134 及び Cs-137) が同程度になった時期、I-131 の影響がなくなった時期等) を用いた感度分析的アプローチ等を別途検討すること。
- 外部被ばくでは、Cs-134、Cs-137、短半減期核種等の光子エネルギーに留意すること。また、使用された個人線量計タイプを確認すること。

令和 4 年度は、令和 3 年度の検討会でおおむね了承された緊急作業線量から臓器線量への変換方法を踏まえ、臓器線量変換の不確かさを更に検討した。

先行研究等のみではデータの不足、不明確のため、臓器線量構築の不確かさの要因となっていた以下の点に関連して、東京電力ホールディングスから情報を取得した。

- ①指定年月日の取り扱いのルール
- ②使用した個人線量計の種類
- ③代表者運用の実際
- ④滞在中線量及び移動中線量のモデル線量
- ⑤未指定解除者の外部・内部線量データの提供

この結果、指定年月日は緊急作業従事開始日であり、急性被ばくシナリオの下では、摂取年月日と同じであることが確認できた。

また、緊急作業線量から臓器線量への変換方法及びその不確かさについては、第 67 回 Health Physics Society 年次総会及び放射線影響学会で口頭発表を行い、また、The 6th European Radiation Protection Week (ERPW 2022) でポスター発表を行った。

緊急作業による I-131 摂取に基づく甲状腺吸収線量に関心を集めていることから、それと合算して甲状腺がん罹患リスク解析に用いるため、光子外部被ばく線量指示値から甲状腺吸収線量への換算係数を作成した。

これらを踏まえて、検討会を令和 5 年 3 月 27 日に開催(web)し、進捗状況の報告と報告書案の審議を行い、以下の議論を行った。その結果、検討会は「緊急作業線量の臓器線量構築に関する検討会報告書」をとりまとめた。今後は、報告書に基づいて、緊急作業線量の組織・臓器、年度別吸

収線量を再構築する予定である。

- 外部被ばく線量分布に偏りがある要因として、モデル線量が影響している可能性に留意する必要がある。
- 代表者線量については、代表者運用を行った作業グループの数、その際の線量等の具体的情報が明らかではなく、特段の進展はないこと、今後も情報が得られる可能性は少ないことは理解できた。
- 臓器線量の推計は不確かさを伴うが、計算の過程を明示してあれば、特段の問題はない。疫学のリスク推定に臓器線量を用いる際には、不確かさを考慮する必要がある。
- Te-132 による被ばくの取扱いに係る仮定など、不確かさの要因となる事項については、NEWS（(独法)労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所による福島第一原子力発電所緊急作業従事者を対象とした放射線業務従事者の健康影響に関する疫学調査）における研究の動向に関する情報収集や、NEWS との連携を続けるようにとの指示を受けた。

3. 委員会活動

Web 会議は Zoom Meeting で実施し、hybrid 会議は現地参加と Zoom Meeting を併用した。いずれの場合も事務局及び現地参加者は放射線影響協会 大会議室より出席した。

3. 1 放射線疫学調査 調査研究評価委員会（第 1 回）

(1) 開催日：令和 4 年 11 月 17 日 14 時 00 分～16 時 10 分（web 会議）

(2) 委員構成（五十音順、○：委員長）

飯本 武志 国立大学法人 東京大学 環境安全本部 教授（欠席）

岩崎 利泰 一般財団法人 電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部 研究統括室
原子力(放射線安全)分野統括

兒玉 和紀 公益財団法人 放射線影響研究所 業務執行理事

○祖父江友孝 国立大学法人 大阪大学大学院 医学系研究科 教授

高田 千恵 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所
放射線管理部次長

椿 広計 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所 所長

西本 寛 J A 長野厚生連佐久総合病院 総合医療情報センター長

吉永 信治 国立大学法人 広島大学 原爆放射線医科学研究所 教授

(3) 議題

1) 報告事項

- ・今年度事業の進捗状況
- ・がん罹患情報の取得

2) 審議事項

- ・人口動態統計のマイクロデータの利用について
- ・緊急作業線量の構築について
- ・第Ⅶ期調査解析案

(4) 議事概要（主なもの）

1) 報告事項

今年度事業の進捗状況（生死追跡調査の進捗状況、線量情報の取得、死因情報及び罹患情報の取得、論文投稿及び学会発表）並びにがん罹患情報の利用状況（令和 4 年度の利用申請、データリンケージの進捗、利用者マニュアルの改訂）について事務局より報告した。

委員からは、全国がん登録情報の取得・利用に関して安全管理措置の基準が厳しくなっているなか、協会は他の利用機関と比べて問題なく申請手続きが実施出来ているとの講評を受けた。

2) 審議事項

個人情報を扱うためのセキュリティが確保された施設として総務省の承認を受け大学や行政機関に設置が認められたオンサイト拠点の利用については、本事業の仕様で求め

られる放射線疫学調査ファイルの更新が出来ないなどメリットがなく、現時点ではオンラインサイト施設の利用は見送ることとした。緊急作業線量の臓器線量構築については、今後、東京電力ホールディングスからの情報提供を受けた上で、緊急作業線量の臓器線量構築に関する検討会でその取り扱いを判断することとした。第Ⅶ期調査解析案については、解析対象として甲状腺がん(がん罹患のみ)、そして心血管疾患についてはサブタイプについても考慮するなどの指示を受け、次回委員会において最終案を作成することとした。

3. 2 放射線疫学調査 調査研究評価委員会 (第2回)

(1) 開催日：令和5年3月2日 10時00分～12時00分 (hybrid 会議)

(2) 委員構成 (五十音順、○：委員長)

飯本 武志 国立大学法人 東京大学 環境安全本部 教授

岩崎 利泰 一般財団法人 電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部 研究統括室
原子力(放射線安全)分野統括

兒玉 和紀 公益財団法人 放射線影響研究所 業務執行理事

○祖父江友孝 国立大学法人 大阪大学大学院 医学系研究科 教授

高田 千恵 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所
放射線管理部次長

椿 広計 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所 所長
(欠席)

西本 寛 J A長野厚生連佐久総合病院 総合医療情報センター長

吉永 信治 国立大学法人 広島大学 原爆放射線医科学研究所 教授

(3) 議題

1) 報告事項

- ・今年度事業の進捗状況
- ・大腸がん罹患の概要
- ・観察期間の延長のシミュレーション

2) 審議事項

- ・第Ⅶ期調査解析の予備解析

(4) 議事概要 (主なもの)

1) 報告事項

今年度事業の進捗状況のうち前回報告以降の進捗、本調査の解析対象集団の2016年～2018年におけるがん罹患件数と生活習慣調査で得た健康診断受診歴等の健康意識指標との関連、及び第Ⅶ期調査において設定したコホートの推定過剰相対リスクが今後どのように変化するか等のシミュレーション結果について、事務局より報告した。

委員からは、上皮内がんをがんに含まれるかについて、当面は大腸がんに限定して検討を進めればよいとの指示を受けた。また、手続き的に可能であれば学会における発表内容の概要の本委員会メンバーへの共有、調査の進捗について電力会社等に出向いて分かりやすく伝えるといった活動の実施について検討してはどうかとの指示を受けた。

2) 審議事項

第Ⅶ期調査の解析スケジュールに関して、コホート全員に対する死因照合については今年（令和 5 年）中に人口動態統計データの提供を受け、来年度（令和 5 年度）中に解析に着手すること、がん罹患については来年度に罹患データの提供を受け解析を始めるため来年度中の解析終了は難しいとの説明が事務局よりあった。また、委員からは、前回委員会で検討された第Ⅶ期調査解析案の最新版を次回委員会で提出するようにとの指示を受けた。

3. 3 放射線疫学調査 あり方検討会フォローアップ委員会（第 1 回）

(1) 開催日：令和 4 年 12 月 14 日 10 時 00 分～12 時 00 分（web 会議）

(2) 委員構成（五十音順、○：委員長）

岡村 智教 学校法人慶應義塾 慶應義塾大学 医学部 衛生学公衆衛生学 教授
甲斐 倫明 学校法人文理学園 日本文理大学 新学部設置準備室 教授
祖父江友孝 国立大学法人 大阪大学大学院 医学系研究科 教授
玉腰 暁子 国立大学法人 北海道大学大学院 医学研究科 教授
椿 広計 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所 所長
土居 主尚 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
主任研究員

○吉村 健清 学校法人 産業医科大学 名誉教授

(3) 議題

1) 報告事項

- ・今年度事業の進捗状況
- ・がん罹患情報の取得

2) 審議事項

- ・人口動態統計のマイクロデータの利用について
- ・緊急作業線量の臓器線量構築について
- ・第Ⅶ期調査解析案

(4) 議事概要（主なもの）

1) 報告事項

今年度事業の進捗状況（生死追跡調査の進捗状況、線量情報の取得、死因情報及び罹患情報の取得、論文投稿及び学会発表）並びにがん罹患情報の利用状況（令和 4 年度の利用申請、データリンケージの進捗、利用者マニュアルの改訂）について事務局より報告した。

委員からは、本疫学調査の有用な特徴である生活習慣情報を今後も随時更新していくことが可能か検討を行うよう指示を受けた。

2) 審議事項

人口動態統計のマイクロデータの利用については、現時点では協会がオンサイト拠点と

なる必要性はなく時期尚早であることが承認された。緊急作業線量の臓器線量構築については、将来的に NEWS との結果の対照が必要になることから、線量分布などの集計結果を NEWS 側と突き合わせる機会をもつべきとの指示があった。2016年に公表した「放射線疫学調査のあり方に関する報告書」について、全体集団の解析を主解析とするとして令和2年度の本委員会の決定を踏まえた補遺案を作成し、次回委員会までに委員の意見を集約するようにとの指示を受けた。

3. 4 放射線疫学調査 あり方検討会フォローアップ委員会（第2回）

(1) 開催日：令和5年3月8日 10時00分～12時00分（hybrid会議）

(2) 委員構成（五十音順、○：委員長）

岡村 智教 学校法人慶應義塾 慶應義塾大学 医学部 衛生学公衆衛生学 教授

甲斐 倫明 学校法人文理学園 日本文理大学 新学部設置準備室 教授（欠席）

祖父江友孝 国立大学法人 大阪大学大学院 医学系研究科 教授（欠席）

玉腰 暁子 国立大学法人 北海道大学大学院 医学研究科 教授

椿 広計 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所 所長

土居 主尚 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所
主任研究員

○吉村 健清 学校法人 産業医科大学 名誉教授

(3) 議題

1) 報告事項

- ・今年度事業の進捗状況
- ・大腸がん罹患の概要
- ・観察期間の延長のシミュレーション
- ・放射線疫学調査のあり方に関する報告書（2016）の補遺について

2) 審議事項

- ・第VII期調査解析の予備解析

(4) 議事概要（主なもの）

1) 報告事項

今年度事業の進捗状況のうち前回報告以降の進捗、本調査の解析対象集団の2016年～2018年におけるがん罹患件数と生活習慣調査で得た健康診断受診歴等の健康意識指標との関連、及び第VII期調査において設定したコホートの推定過剰相対リスクが今後どのように変化するかシミュレーション結果について、それぞれ事務局より報告した。また前回委員会で指示のあった「放射線疫学調査のあり方に関する報告書」の補遺について、委員の意見を反映し本委員会で配付した版を最終版とし、協会ホームページに公開することが承認された。【巻末参考資料 31頁参照】

2) 審議事項

第VII期調査解析の予備解析の結果について、今後の解析において既往歴のある調査対象者を除外すること、及び観察開始初期の人年、死亡、罹患を除外することについて、

また年齢によるリスクの違いについて、それぞれ検討するようこの指示を受けた。

3. 5 放射線疫学調査 倫理審査・個人情報保護委員会（第1回）

(1) 開催日：令和4年12月22日 14時30分～16時30分（web会議）

(2) 委員構成（五十音順、○：委員長）

- 浦川道太郎 学校法人 早稲田大学 名誉教授・弁護士
- 栗原千絵子 学校法人 神奈川歯科大学 特任教授
- 佐々木秀智 学校法人 明治大学 法学部 教授
- 広田すみれ 学校法人 東京都市大学 社会メディア学科 教授
- 宮島 康高 株式会社日立製作所 原子力ビジネスユニット原子力事業統括本部
放射線管理センター長
- 吉永 信治 国立大学法人 広島大学 原爆放射線医科学研究所 教授

(3) 議題

1) 報告事項

- ・今年度事業の進捗状況
- ・韓国の個人情報保護法の動向
- ・公的統計のオンライン利用について

2) 審議事項

- ・第Ⅶ期調査解析案

(4) 議事概要（主なもの）

1) 報告事項

韓国における個人情報保護法改正後の動向について、公開された文献に基づいて取り纏め報告を行った。

委員からは、引き続き韓国における最新動向、及び日本疫学会における韓国側の発表内容について発表者の確認・許可を得て次回委員会において報告を行うこと、またヨーロッパなど諸外国における個人情報保護の動向とそれを反映して放射線疫学調査がどう行われているかについて、引き続き調査を行い定期的な報告を行うよう指示を受けた。

2) 審議事項

第Ⅶ期調査解析案については、解析手法の説明に関する表現について修正の指示を受け、承認を得た。また学術研究の除外規定の協会への適用可能性について引き続き調査を行うよう指示を受けた。

3. 6 放射線疫学調査 倫理審査・個人情報保護委員会（第2回）

(1) 開催日：令和5年3月17日 10時00分～11時30分（web会議）

(2) 委員構成（五十音順、○：委員長）

- 浦川道太郎 学校法人 早稲田大学 名誉教授・弁護士
- 栗原千絵子 学校法人 神奈川歯科大学 特任教授
- 佐々木秀智 学校法人 明治大学 法学部 教授

広田すみれ 学校法人 東京都市大学 社会メディア学科 教授

宮島 康高 株式会社日立製作所 原子力ビジネスユニット原子力事業統括本部
放射線管理センター長

吉永 信治 国立大学法人 広島大学 原爆放射線医科学研究所 教授

(3) 議題

1) 報告事項

- ・今年度事業の進捗状況
- ・韓国の個人情報保護法の動向
- ・学術研究の除外規定の協会への適用可能性について

2) 審議事項

- ・第Ⅶ期調査解析の予備解析

(4) 議事概要（主なもの）

1) 報告事項

今年度事業の進捗状況のうち前回報告以降の進捗、韓国における個人情報保護法改正と放射線疫学調査の動向に関連した日本疫学会学術総会における韓国側専門家の発表概要及び学術研究の除外規定の協会への適用可能性に関する前回報告以降の調査の進捗について、それぞれ事務局より報告した。

委員からは、韓国における個人情報保護制度に関して、対象者との同意を必要とせず二次データとのリンケージが認められる特例が示された法律の原文を韓国側から提供を受け、記載内容を確認するよう指示を受けた。また、学術研究の除外規定の協会への適用可能性に関する今後の方針として、あらかじめガイドライン等について十分把握したうえで、関連省庁及び個人情報保護委員会への確認並びに本委員会での継続的な議論を行うようにとの指示を受けた。

4. 本事業の理解促進活動

本事業の理解促進活動として、以下の学会発表、論文投稿等を行った。

4. 1 ホームページ、放影協ニュースによる放射線疫学調査関連情報の周知

(1) ホームページ

令和4年度は以下の更新を行った。

更新日	更新内容
6/16	日本産業衛生学会の発表要旨の掲載
8/17	Health Physics Society の発表要旨の掲載
9/27	日本放射線影響学会の発表要旨の掲載
9/27	Health Physics への論文掲載の告知
11/8	European Radiation Protection Week の発表要旨の掲載
11/8	Radiation Research Society の発表要旨の掲載
12/16	日本保健物理学会の発表要旨の掲載
2/20	日本疫学会の発表要旨の掲載

(2) 放影協ニュース

(巻末参考資料 35～42 頁参照)

放射線影響協会の広報誌である放影協ニュースにおいて、以下の学会参加報告を行った。

- ① 日本疫学会第 32 回学術総会 (Web 開催) への参加報告 (2022 年 4 月号)
- ② 第 95 回日本産業衛生学会に参加して (2022 年 7 月号)
- ③ 日本放射線影響学会第 65 回大会 (現地開催) に参加して (2022 年 10 月号)
- ④ Health Physics 2022 に参加して (2022 年 10 月号)
- ⑤ 第 4 回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会に参加して (2023 年 1 月号)
- ⑥ ERPW 2022 に参加して (2023 年 1 月号)

- ⑦ Radiation Research Society's 68th Annual Meeting に現地参加して (2023 年 1 月号)

4. 2 国内外の論文投稿・学会発表による発信

国内外の機関に積極的に引用される調査として専門家に認知されることを目的に、本疫学調査 J-EPISODE の概要 (学会発表⑩、論文④)、記録線量から臓器線量への変換に関する検討 (学会発表③⑤⑥)、全国がん罹患情報との照合に関する検討 (学会発表⑪)、第 V 期 (平成 22 年度～平成 26 年度) 調査対象者の疫学 DB を使用した最新の解析結果 (学会発表①②④⑦、論文①)、新コホートを対象とした解析計画と特性の検討 (学会発表⑧⑨⑫)、及び放射線疫学調査の総説 (論文②③) について、計 4 編の論文が公表され、12 演題の学会発表を行った。

(1) 論文

(巻末参考資料 43～58 頁参照)

- ① A Risk Comparison of Non-cancer Mortality between Lifestyle, Socioeconomic Status, and Radiation among Japanese Nuclear Workers (J-EPISODE). Health Phys. 123, 464-475, 2022.
- ② 放射線科医・放射線技師を対象とした疫学研究結果のレビュー. 日本診療放射線技師会誌 2022 年 11 月号
- ③ 原子力施設従事者を対象とした疫学研究結果のレビュー. 日本診療放射線技師会誌 2023 年 1 月号
- ④ 日本における放射線疫学調査 J-EPISODE の概要. 日本診療放射線技師会誌 2023 年 3 月号

(2) 学会発表

(巻末参考資料 59～70 頁参照)

- ① 放射線業務従事者における生活習慣・社会経済状態・放射線による非新生物疾患死亡リスク. 第 95 回日本産業衛生学会、高知、2022.5.26
- ② A Risk Comparison between Lifestyle, Socioeconomic Status, and Radiation among Japanese Nuclear Workers (J-EPISODE). Health Physics Society 2022、Spokane, US、2022.7.18.
- ③ Reconstruction of Organ Dose from Emergency Work Dose at Fukushima: J-EPISODE. Health Physics Society 2022、Spokane, US、2022.7.18.
- ④ 潜伏期の仮定はそれ自体が放射線リスク推定値を上昇させる. 日本放射線影響学会第 65 回大会、大阪、2022.9.16.
- ⑤ 福島原発事故の預託実効線量から臓器線量への変換における不確かさ: 原子力施設作業員コホート研究 J-EPISODE. 日本放射線影響学会第 65 回大会、大阪、2022.9.16.
- ⑥ Uncertainties in organ dose reconstruction from Fukushima accident emergency work dose in J-EPISODE cohort study. Estoril, Portugal、2022.10.13.
- ⑦ Two topics from the epidemiological studies of Japanese nuclear workers.

Radiation Research Society's 68th Annual Meeting、Hawaii, US、2022.10.16.

- ⑧ J-EPISODE における新コホートの特性と予想される結果. 第 4 回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会、福岡、2022.11.25.
- ⑨ 放射線業務従事者コホート J-EPISODE の第Ⅶ期解析計画. 第 4 回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会、福岡、2022.11.25.
- ⑩ Radiation Epidemiological Study of Nuclear Workers in Japan: progress of J-EPISODE since study period VI. 第 33 回日本疫学会学術総会、浜松、2023.2.15
- ⑪ 原子力施設作業員コホートと全国がん登録のリンケージ: 放射線大腸がん罹患リスクと検診受診行動の交絡. 第 33 回日本疫学会学術総会、浜松、2023.2.3.
- ⑫ 放射線業務従事者における従事経験事業所数による特性の検討. 第 33 回日本疫学会学術総会、浜松、2023.2.3.

令和4年度原子力施設等防災対策等委託費
(低線量放射線による人体への影響に関する疫学的調査) 事業

(原子力規制委員会原子力規制庁委託業務成果報告書)

(巻末参考資料)

目 次

1. 調査活動	26
1. 1 令和4年度 住民票の写し等の交付請求及び交付の状況（都道府県別）	26
1. 2 同意者の生死追跡状況の詳細	27
1. 3 がん罹患情報の取得	28
2. 委員会活動	31
2. 1 放射線疫学調査のあり方に関する報告書補遺	31
3. 国内外への情報発信	35
3. 1 放影協ニュース	35
3. 2 論文発表	43
3. 3 学会発表	59

1. 調査活動

1. 1 令和4年度 住民票の写し等の交付請求及び交付の状況（都道府県別）

表1. 1 令和4年度 住民票の写し等の交付請求及び交付の状況（都道府県別）

都道府県名	申 請		回 答				取得率 ②+③+④ /①%
	市区町村数	①件数	②住民票写し	③除票写し (転出)	④除票写し (死亡)	⑤該当者なし	
北海道	87	1,065	910	130	25	0	100.0
青森	31	954	839	100	15	0	100.0
岩手	19	73	70	2	1	0	100.0
宮城	33	908	797	88	23	0	100.0
秋田	14	78	75	0	3	0	100.0
山形	18	63	57	5	1	0	100.0
福島	36	2,309	2,070	131	107	1	100.0
茨城	43	3,238	2,978	115	145	0	100.0
栃木	18	134	122	4	8	0	100.0
群馬	25	120	106	7	7	0	100.0
埼玉	61	726	660	39	27	0	100.0
千葉	53	1,075	970	52	53	0	100.0
東京	53	1,581	1,360	155	65	1	99.9
神奈川	54	2,440	2,255	83	102	0	100.0
新潟	35	1,280	1,203	48	29	0	100.0
富山	14	186	175	7	4	0	100.0
石川	18	254	222	29	3	0	100.0
福井	16	1,864	1,664	156	44	0	100.0
山梨	13	31	31	0	0	0	100.0
長野	28	94	84	6	4	0	100.0
岐阜	28	110	102	6	2	0	100.0
静岡	39	1,458	1,271	166	21	0	100.0
愛知	64	649	589	39	21	0	100.0
三重	22	192	180	4	8	0	100.0
滋賀	18	131	122	4	5	0	100.0
京都	32	485	444	16	25	0	100.0
大阪	69	1,070	978	49	43	0	100.0
兵庫	49	1,886	1,746	60	80	0	100.0
奈良	24	134	122	9	3	0	100.0
和歌山	14	65	61	2	2	0	100.0
鳥取	14	106	99	3	4	0	100.0
島根	13	425	399	16	9	1	99.8
岡山	25	286	265	8	13	0	100.0
広島	29	669	626	21	22	0	100.0
山口	17	278	257	8	13	0	100.0
徳島	14	41	38	1	2	0	100.0
香川	16	202	183	17	2	0	100.0
愛媛	18	522	482	21	19	0	100.0
高知	15	44	40	2	1	1	97.7
福岡	66	988	894	68	25	1	99.9
佐賀	15	687	608	72	7	0	100.0
長崎	17	303	273	14	16	0	100.0
熊本	34	117	106	9	2	0	100.0
大分	15	113	102	5	6	0	100.0
宮崎	10	68	59	6	3	0	100.0
鹿児島	23	471	411	53	7	0	100.0
沖縄	21	77	73	1	3	0	100.0
合 計	1,390	30,050	27,178	1,837	1,030	5	100.0

(本文 5頁参照)

1. 2 同意者の生死追跡状況の詳細

表 1. 2 同意者の生死追跡状況の詳細

令和5年 1月18日現在

群 ^{注-1}	登録時期 ^{注-2}	人数（総数） （男 女）		生死追跡状況の内訳		
				追跡結果	総数（男 女）	
A-1	昭和63年度以前	36,929 (36,928 1)	生存	34,637	(34,636	1)
			死亡	2,280	(2,280	0)
			脱落	12	(12	0)
A-2	昭和63年度以前	3,365 (3,364 1)	生存	3,186	(3,185	1)
			死亡	171	(171	0)
			脱落	8	(8	0)
B	昭和63年度以前	1,184 (1,184 0)	生存	1,123	(1,123	0)
			死亡	59	(59	0)
			脱落	2	(2	0)
E	昭和63年度以前 (燃料加工事業所のみの従事者および女子)	739 (580 159)	生存	709	(554	155)
			死亡	29	(25	4)
			脱落	1	(1	0)
C	平成1~6年度	15,205 (15,035 170)	生存	14,650	(14,480	170)
			死亡	537	(537	0)
			脱落	18	(18	0)
D	平成7~10年度	9,216 (9,043 173)	生存	8,988	(8,817	171)
			死亡	208	(206	2)
			脱落	20	(20	0)
F	平成27~30年度	14,865 (14,520 345)	生存	14,382	(14,045	337)
			死亡	109	(109	0)
			脱落	374	(366	8)
合計		81,527 (80,678 849)	生存	77,675	(76,840	835)
			死亡	3,393	(3,387	6)
			脱落	459	(451	8)
			(脱落の内訳)			
			住所不明等 ^{注-3}	435	(427	8)
不交付 ^{注-4}	0	(0	0)			
同意撤回者	24	(24	0)			

- 注-1 第Ⅰ期放射線疫学調査対象者の一部： A-1
 第Ⅱ期放射線疫学調査対象者の一部： A-1、A-2、B、E、及びC
 第Ⅲ期、Ⅳ期及び第Ⅴ期放射線疫学調査対象者の一部： A-1、A-2、B、E、C、及びD
 第Ⅵ期及びⅦ期放射線疫学調査対象者： A-1、A-2、B、E、C、D及びF
- 注-2 放射線業務従事者として登録された時期
- 注-3 一旦、住民票写し等を取得した後の再調査において、該当者なし、除票の保存期間経過、職権削除、海外転出等の理由により脱落した調査対象者の数
- 注-4 市区町村の協力を得られなかったこと等により、住民票の写し等を取得できなかった調査対象者の数

1. 3 がん罹患情報の取得

1. 3. 1 がん罹患情報のリンケージ

照合作業はNCCで行われる

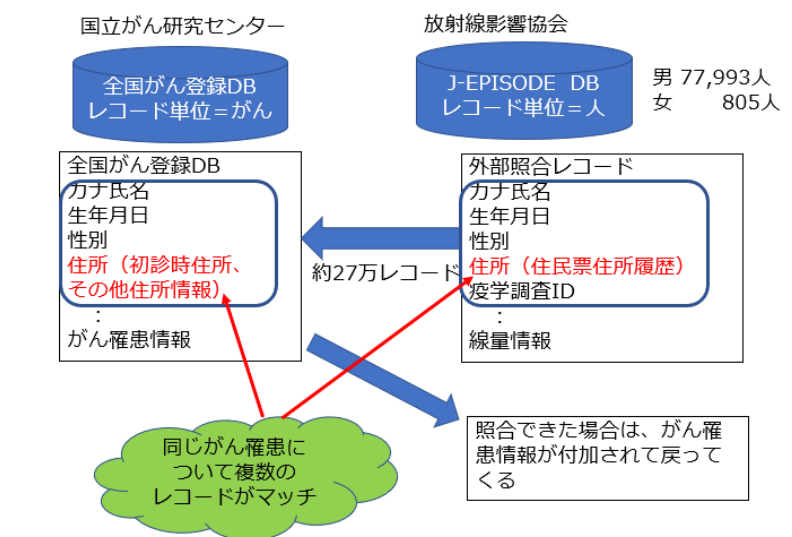


図 1. 3. 1 全国がん登録 DB のレコードと J-EPISODE DB のレコードのリンケージ

1. 3. 2 がん罹患情報のリンケージ（照合）結果

照合結果(2016-18年)

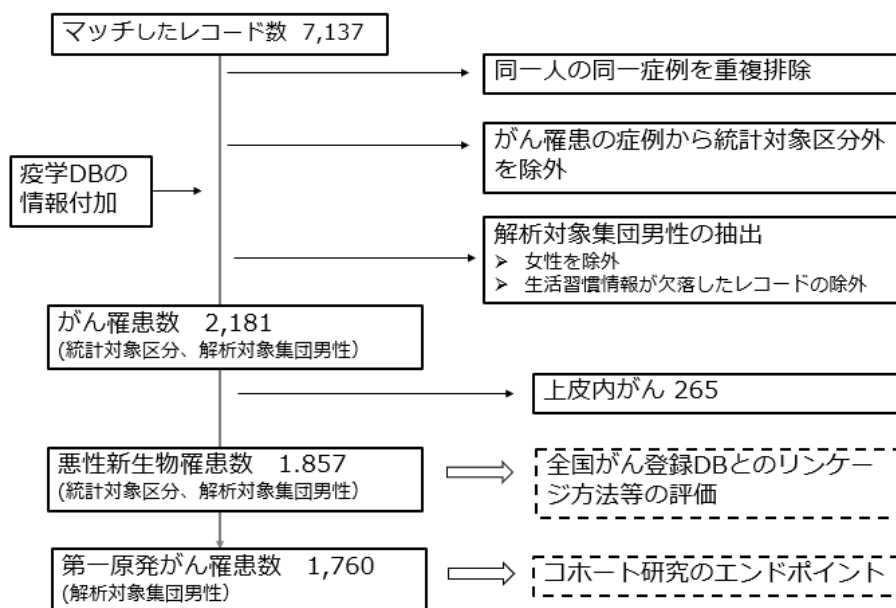


図 1. 3. 2 リンケージの結果 (2016~2018 年)

(注)上記の数値は、全国がん登録法に基づき非匿名化情報の提供を受け、独自に

作成・加工したものである。

1. 3. 3 がん罹患情報の集計結果

表 1. 3. 3 部位、初診年齢、累積線量別第一原発がん罹患数
(診断年 2016-2018 年計、解析対象集団男性 77,993 人)

部位	罹患数	初診年齢 (歳)					2015 年 3 月末累積線量(mSv)				
		-64	65-69	70-74	75-79	80+	<5	5-	10-	20-	50+
C16 胃	311	103	81	51	19	57	198	24	28	30	31
C18 結腸	163	60	37	27	15	24	103	17	17	16	10
C19-C20 直腸	111	48	29	*	*	18	69	*	12	11	*
C33-C34 肺	195	60	37	51	11	36	127	13	17	19	19
C61 前立腺	404	86	114	98	41	65	274	32	33	42	23
全部位合計	1760	590	418	326	125	301	1140	152	152	177	139

(注) * : 10 未満のため非表示。

1. 3. 4 放射線業務従事者の指定解除記録について

原子力事業者が中央登録センターに提出する線量データには 2 種類ある。1 つは、毎年度の個人別実効線量に関する定期線量報告データであり、これには外部・内部被ばく線量の内訳はない。もう 1 つは、当該原子力事業者における指定解除記録である。指定解除記録には、当該個人の指定年度前歴線量、当該原子力事業者における指定期間中の年度別、種類 (外部、内部、皮膚、水晶体等) 別線量等が記録されており、中央登録センターにマイクロフィルムの形式で保管されている。また、当該記録には、緊急作業線量についても、外部被ばく・内部被ばく別の線量が含まれている。したがって、全ての緊急作業員について指定解除記録の写しを取得することによって、緊急作業線量を外部被ばく線量と内部被

ばく線量に分割した。なお、福島第一原子力発電所の緊急作業に従事してから現在までに従事者指定解除を行っていない者（従事者指定が継続している者）については、中央登録センターが東京電力ホールディングスから、前もって、緊急作業線量データを取得した。

1. 3. 5 作業場の空气中 I-131/Cs-137 濃度比について

預託実効線量を組織・臓器別吸収線量に変換する際には、まず核種別預託実効線量を推計する必要がある。例えば、I-131 は大部分が甲状腺に集積し、実効半減期が成人で約 7 日と短い。一方、Cs-137 は体内に均一に分布し、実効半減期が 30 歳で約 70 日、50 歳で約 90 日と長い。このように放射性核種によって摂取後の体内動態の相違から組織・臓器別吸収線量に及ぼす影響が異なるので、核種別の摂取量及び預託実効線量を推計する必要がある。令和 3 年度は、手法の検討として、主な放射性核種である I-131 と Cs-137 の吸入による摂取量の比率が作業場の空气中 I-131/Cs-137 濃度比に等しいとの仮定の下で、東京電力が測定した福島第一原子力発電所のダスト核種分析結果データ（東京電力平成 25 年 7 月 5 日プレスリリース）を利用して、I-131 と Cs-137 の核種別預託実効線量を試算した。

2. 委員会活動

2. 1 放射線疫学調査のあり方に関する報告書補遺

放射線疫学調査のあり方に関する報告書補遺

平成 28 年度放射線疫学調査あり方検討会「放射線疫学調査のあり方に関する報告書」（平成 28 年 12 月）では、今後の疫学調査のあり方として「部分集団の設定」を提言した。これは疫学調査の対象者となることに同意した集団から、放射線以外の要因をマッチさせた部分集団を設定し、この集団を対象として偏りの少ない放射線リスクを推定することを目的としたものである。

しかしながら令和 2 年 1 月 21 日に開催された放射線疫学調査調査研究評価委員会において、「部分集団を設定するより、全体集団を対象としてマッチングに用いる変数を調整変数とした多変量解析を行う方が望ましいのではないか」との意見が委員より出された。検討の結果、全体集団を用いても偏りの少ない放射線リスクの推定が可能と考えられ、部分集団で想定していたよりも高い検出力が期待されるため、令和 3 年 1 月 25 日に開催された放射線疫学調査調査研究評価委員会、および令和 3 年 2 月 5 日に開催された疫学調査あり方検討会フォローアップ委員会において、全体集団を用いたモデルによる解析を主解析とし、マッチングによる解析は副次的解析と位置付けることが決定された。

本疫学調査では事業継続指標（メルクマール）として、部分集団設定時や中間評価時の節目ごとに、チェックポイントを確認し、事業継続の是非について検討することとしている。全体集団を用いた場合であっても、偏りの少ない放射線リスクの推定が可能であり、部分集団で想定した検出力も担保されることから、全体集団を用いた解析を主解析と位置付けても、平成 28 年報告書で設定したメルクマールは依然として事業継続の判断指標として有効である。したがって、このメルクマールは変更することなく、都度事業継続について判断することとする。

以上のとおり、平成 28 年報告書について、分析方針に関して大きな変更を行ったので、この点を明らかにするため、本文書を同報告書の補遺として追加することとした。

令和 5 年 3 月 8 日

放射線疫学調査あり方検討会フォローアップ委員会

委員長 吉村 健清

委員 岡村 智教

甲斐 倫明

祖父江友孝

玉腰 暁子

椿 広計

土居 主尚

1 解析対象集団の変更について

平成 28 年度に開催された放射線疫学調査あり方検討会では、平成 22～26 年度に実施された第 V 期放射線疫学調査（以下、第 V 期調査）の課題を克服するための調査デザインや調査項目について検討を行った。第 V 期調査における白血病を除く全がんの ERR/Sv は 1.21（90%信頼区間：0.43, 1.96）と有意に高く、諸外国の結果と比較しても高いため、交絡により推定値に偏りを含んでいる可能性が考えられた。これに対して出生年、業務開始年度、業務開始年齢、雇用機関で調整した場合、ERR/Sv は 1.31～1.81 と有意に高いままであったが、それらの変数を用いたマッチングにより形成された部分集団では ERR/Sv が -0.13～0.31 と下がり、有意ではなくなった。このことからマッチングは放射線以外の要因による交絡や大きなリスクに影響されずに、小さな放射線リスクを探索できる科学的妥当性を有していると判断された。また、この部分集団を 2035 年まで追跡した場合、ERR/Sv=0.35 の仮定の下で、放射線リスクの推定精度 SE が 0.2 を下回り、検出力は 50%を上回ることが予想された。これらのことから放射線疫学調査のあり方に関する報告書（平成 28 年 12 月）において、今後の調査においては 1)放射線リスクの探索はマッチングによる部分集団を用いること、2)放射線と他の要因とのリスクの比較は集団全体を用いること、が同検討会から提言された。

しかしながら令和 2 年 1 月 21 日に開催された放射線疫学調査 調査研究評価委員会において、「マッチングにより全体集団を縮小した部分集団を設定した場合、検出力が減少する。全体集団を対象としてマッチングに用いる変数を調整変数とした多変量解析を行う方が望ましいのではないか」との意見が委員より出された。検討の結果、マッチングに用いた変数（出生年、業務開始年度、業務開始年齢、雇用機関）は強いリスク因子とは考えられないため、調整効果が弱かったのではないかと考えられた。また、調整効果が強いと考えられる喫煙は現コホートにおいて累積線量との正の相関を、教育年数は負の相関を形成しており、十分な調整効果が得られると期待された。元々部分集団を設定した目的は、偏りのない放射線リスクの推定であったが、全体集団に対してこの喫煙、教育年数等で調整を行うことにより、偏りのない放射線リスクの推定が可能と考えられ、また検出力も部分集団で想定されたものよりは高くなることが期待される。これらのことから令和 3 年 1 月 25 日に開催された放射線疫学調査 調査研究評価委員会、および令和 3 年 2 月 5 日に開催された疫学調査あり方検討会フォローアップ委員会において、全体集団を用いたモデルによる解析を主解析とし、マッチングは副次的解析と位置付けることが決定された。

2 チェックポイントと事業継続指標（メルクマール）について

「平成 28 年 12 月放射線疫学調査のあり方に関する報告書」（前回報告書）では、委託官庁の要請により、3.2「事業継続の是非に関する考え方」に述べるように、目標年次を待つことなく、中間時点においてもチェックポイントを設け、コホートの追跡状況を評価し、成果が得られる蓋然性が高いのかを確認することが求められた。具体的なチェックポイントと事業継続指標（メルクマール）は同(2)に表形式でまとめられている。「調査協力者の登録時（平成 29 年度末）」と「部分集団設定時（平成 30 年度）」の事業継続指標は既に達成されていることを本あり方検討会フォローアップ委員会として確認した。

同(3)「事業継続指標が達成できない場合」で述べるように、本委員会が現行の調査計画で目標達成が困難と判断した場合は、原則的に調査の中止を検討すべきとしている点が大きな特色であった。なお、その場合でも、本調査が国際的にユニークな分析を可能とする調査であることから、目標達成のための追加策や新たな分析手法の導入など、継続的に努力し、その実施の見通しが立つ場合は、継続もあり得るとしている。

本調査の目標は、急性被ばくの原因被爆者コホート研究 LSS の放射線リスク $ERR=0.35$ に比べ、慢性被ばくのリスクは、互いに信頼区間の範囲内にある程度の差なのか、あるいは、有意に低いのか等を目標年次に判定することである。そこで、前回報告書では、「過剰相対リスク ERR 推定の標準誤差 (SE) シミュレーション」の結果に基づき、検出力 50% に対応するリスク推定値の SE が、目標年次において 0.18 以下となることを設定した。すなわち、リスク推定値の標準誤差以上のリスク推定値は有意差として検出できるようにした。

前回報告書では、部分集団を用いて放射線リスク推定値を評価することとしていたので、メルクマールは、実際に収集されたデータに基づく部分集団のリスク推定値の SE で評価することとしていた。ところが、1 で述べたように、補遺では、目標年次の放射線リスク推定を、全体集団を用いたモデルに変更したことに伴い、メルクマールの取り扱いをステークホルダーに対して、明確にしておく必要がある。

前回報告書の目標についての基本的考え方は、本調査のリスク推定値と LSS のリスク推定値との有意差を検証するのではなく、むしろ SE の範囲での比較可能性に重点を置いていることを考慮すると、メルクマールは主解析のリスク推定値の SE とすることが引き続き妥当と考えられる。主解析で用いると想定され

る複数のモデルを特定し、明確化した上で、チェックポイント時点までに累積したデータを用いて実際にリスク推定を行い、リスク推定値の SE を評価する。

この際、評価のポイントは、追跡を継続したことによって、前回チェックポイント時点に比べ、SE が減少していること、及び、減少の程度である。これは、全体集団を用いたリスク推定値の SE でも、部分集団を用いたリスク推定値の SE でも、同様の傾向を示すと考えられるので、チェックポイントの対象が部分集団から全体集団に変更されたことに伴う実質的な差異はない。したがって、表は以下のように読み替えることとする。

時点	指標	考え方
初回 の 中間 評価 時 (第Ⅶ期調査 の最終年度)	追跡開始してから実際に観察される情報に基づいて、放射線リスクの推定精度 SE や検出力 50% を算定していた仮定 ERR=0.35 の妥当性を確認すること	ERR=0.35 の仮定の下で、放射線リスクの推定精度 SE=0.18 や検出力 50%を算出していたが、実際に観測される情報は ERR=0.35 の仮定を支持するかどうかを確認する必要がある。
2 回目以降の 中間評価時 (第Ⅷ期調査 及び第Ⅸ期の 最終年度)	同上 また、前回チェックポイント時点に比べ、SE が減少し、目標年次に SE=0.18 となる蓋然性を確認すること	ERR=0.35 の仮定が、実際の情報とは乖離していないかどうか再評価する必要がある。 もし、ERR=0.35 の仮定が実際に観測される情報と乖離しているならば、設定した全体集団では想定される成果の項で述べた意義が達成できないことが想定される。

初回中間評価時である第Ⅶ期最終年度におけるリスク推定値の SE は、未だ累積人年及び観察死亡数、観察罹患数が少ないので、不確かさが大きいことを考慮して、メルクマールの判定を行う必要がある。

以 上

3. 国内外への情報発信

3. 1 放影協ニュース

(1) 日本疫学会第32回学術総会（Web開催）への参加報告（2022年4月号）

日本疫学会第32回学術総会（Web開催）への参加報告

公益財団法人放射線影響協会
古田 裕繁

日本疫学会第32回学術総会（本年1月26～28日、Web開催）に参加しましたので報告します。本総会は、新型コロナウイルスの第5波が収まっていた昨年秋の時期に演題登録、参加登録が行われました。会場は当初千葉県舞浜にある東京ディズニーランド横のホテルで、現地参加とweb参加を併用したHybrid開催を予定していました。現地参加希望が多いことを予想して、現地参加人数を制限し、超えた場合は抽選を行うとしていたほどでした。ところが12月後半オミクロン株の日本への侵入が話題になると、雲行きが怪しくなってきました。1月6日学会HPで、現地参加で申し込んだ人は全員現地参加できますとお知らせが流れたものの、翌7日には現地開催中止、全面Web開催と変更になりました。総会事務局の混乱が伺えるとともに、東京都や千葉県に21日からのまん延防止措置が決定される2週間前に決断をされたのは、その後の感染者数の爆発的拡大を鑑みると、さすがに感染症を専門分野に含む学会の慧眼だと感服しました。

当協会の古田は、事前録画をし、オンデマンド配信の形で、「原子力施設作業員コホートと診断年2016-17年全国がん登録情報とのリンケージ結果」のタイトルで発表しました。Q/AはWeb掲示板を通して行われ、この発表には「コホート調査でがん罹患の分析を行う場合、生涯で初めてがんと診断された『第一原発がん』を評価指標に使うのが通例ですが、全国がん登録制度は2016年発足なので、どう対処するのか」という趣旨の質問がありました。これに対しては、全国がん登録制度発足以前の地域がん登録時代のデータは地域別のデータの有無、質の問題からJ-EPISODEの解析には使えず、全国がん登録制度発足の2016年以降に初めてがんと診断されたものを第一

原発がんと定義すると回答しました。

また、当協会の工藤がプレセミナー「いま改めて『欠測データ』の解析について考える」と「(論文)査読のいろは」に参加し、解析業務を行う上での有益な知識・情報を修得することができました。

疫学の中にも様々に細分された専門分野がありますが、本総会では「社会と疫学」のテーマで社会疫学が大きく取り上げられました。J-EPISODEなどのコホート調査は長期の観察を通して、放射線を含む危険有害物質等へのばく露と疾病の関連を解明することを目指していますが、社会疫学は、社会環境（性別、学歴、収入、職業、生活習慣等々）と疾病の関連を調査し、社会格差との関連が見られれば、「介入」（例えば、タバコは身体に有害だとのPR等）を通して、社会格差の解消を目指す立場です。ところが課題として、介入をしたときに、行動変容するのは、社会的に豊かな階層で、そのために社会的な格差はむしろ拡大する傾向があると言われていました。

新型コロナウイルス関連では、酒類提供店、カラオケ店等に対して実施された対策の裏にある分析の紹介がありました（京大西浦先生）。また、コロナ対策の調査研究立案には自治体の日々の感染状況に関する個人情報が必要ですが、現行の個人情報保護法制では名簿業者と学術研究が同列に扱われている現状について、怒りを込めて紹介がありました（東大武藤先生）。J-EPISODEでも生死確認のために全国の自治体から住民票写しを取得しており、同じ悩みを抱える者として、非常に共感できる発表でした。

次回は2023年1月に浜松でHybrid形式により開催予定です。今度こそ、現地で、対面で議論ができることを期待しています。

(2) 第95回日本産業衛生学会に参加して (2022年7月号)

第95回日本産業衛生学会に参加して

放射線影響協会 放射線疫学調査センター 工藤 伸一

第95回日本産業衛生学会がメインテーマを「あたらしい時代の働き方と産業保健、持続可能な社会を目指して」として5月25日から28日にかけて高知県高知市で開催され、当協会からは筆者が現地に赴いて参加しました。コロナ禍以来、感染防止の観点から学会は長らくweb開催を余儀なくされてきましたが、最近では感染防止に留意しつつ、現地で開催する方向に舵が切られたと感じています。個人的には2019年11月に京都で開催された日本放射線影響学会以来、2年半ぶりの学会現地参加となりました。

今回の学会では現地での発表に加えてライブ配信も行われ、質疑応答は現地とweb経由で行われました。一般演題のほか基調講演、教育講演、特別講演、シンポジウム等と、盛りだくさんの内容でした。

筆者は「物理的因子と健康」のセッションにおいて、「放射線業務従事者における生活習慣・社会経済状態・放射線による非新生物疾患死亡リスク」の演題で口頭発表を行いました。本年1月に放射線によるがん死亡リスクを喫煙等の生活習慣や教育年数等の社会経済状態と比較した論文がHealth Physics誌に掲載されましたが、この発表は同一のコホートと手法を用いて非がん死亡リスクを比較したものです。発表後にコホートの線量等に関する質疑応答を行いました。セッション終了後に追加での質疑応答や名刺交換を行いました。これらは現地開催ならではの強みと感じました。

昨年同様、新型コロナウイルスに関連した多くの発表がありました。テーマは副反応、ワクチンの職域接種、ウイルスの性質やワクチン等の情報源、換気対策、在宅勤務と健康

24

放影協ニュース

2022. 7, No.111

影響等、多岐にわたり、この分野は産業衛生、疫学の1つのフィールドとして確立された感があります。

今回の学会は現地開催に加えて、6月16日から30日にオンデマンド配信が予定されています。自分の発表や現地で聴講したセッションと重なったために参加できなかったセッションの発表を聴講できるのは大変有用地です。今後の学会は現地開催に加えて、ライブ配信やオンデマンド配信の併用が定着するのではないのでしょうか。次回は2023年5月に宇都宮で開催予定です。



(3) 日本放射線影響学会第 65 回大会（現地開催）に参加して（2022 年 10 月号）

日本放射線影響学会第65回大会(現地開催)に参加して

放射線影響協会 放射線疫学調査センター 古田 裕繁

日本放射線影響学会第 65 回大会が 9 月 15 日～17 日に「未来社会に貢献する放射線研究」をテーマに掲げて大阪で現地開催され、当協会からは古田と工藤が参加しました。コロナ禍により 2 回 web 開催を余儀なくされ、3 年振りの現地開催でした。

古田は「放射線疫学・被曝影響」のセッションで、『福島原発事故の預託実効線量から臓器線量への変換における不確かさ：原子力施設作業員コホート研究 J-EPISODE』のタイトルで、緊急作業線量から臓器線量構築に係る課題について口頭発表を行いました。工藤は『潜伏期の仮定はそれ自身が放射線リスク推定値を上昇させる』のタイトルで、白血病で 2 年、その他のがんの解析で 10 年の被ばく線量のラグ設定が行われることに関連したポスター発表を行いました。久々に生で参加者の反応に触れることができ、触発されることが多かったです。

本学会は、DNA・細胞レベルから、マウスの動物実験も含み対象が幅広いですが、放射線影響のメカニズムを考えるうえで、参考になる口頭発表・ポスター発表を視聴する機会がありました。ヒトを対象とした疫学について、「LSS（原爆被爆者寿命調査）の最近の結果」、「原爆被爆者における前立腺がんの放射線リスク推定に対する PSA 検査の影響」、「広島の入市被爆者におけるがん死亡」、「長崎原爆における急性症状発現の後期影響」としてのがん死亡との関連」などの原爆関連だけでなく、福島原発事故関連では、「福島

県甲状腺検査データの分析」、「福島原発作業員に対する放射線不安と教育のアンケート調査」、「緊急作業時に作業者が空気中放射性ヨウ素からのβ線によって受けた水晶体線量の推定」などの発表がありました。ちょっと気になることを、手軽に質問できたのも対面ならではのメリットでした。

マウス実験でも、「低線量・低線量率放射線照射後のマウスの肺がんリスク」や「終生飼育マウス実験及び LSS コホートにおける放射線誘発がん死亡早期化の多段階発がん数理モデルによる解析」など、ヒトとの関連を考慮した研究が行われているのが、興味深かったです。

疫学は超長期の研究であるため、資料・データの保存と活用が課題で、バイオレポジトリをテーマとしたワークショップがありました。原爆被爆者の健康診断時の血液・尿の冷凍保存や、がん組織の収集、また原爆投下直後の犠牲者の組織や臓器のスライドグラス標本のデジタル化など多くのプロジェクトが進行し、多くは共同研究に供されています。同様の取り組みがマウス実験の生体試料の保存・共有として行われています。

会場となった大阪公立大は本年 4 月に大阪府立大と大阪市立大が合併しました。杉本キャンパスは大阪市最南部に位置し、堺市に接しています。世界遺産登録された前方後円墳の仁徳天皇陵がすぐ近くにありました。来年は 11 月に東京で開催予定です。

(4) Health Physics 2022 に参加して (2022 年 10 月号)

Health Physics 2022 に現地参加して

放射線影響協会 放射線疫学調査センター 工藤 伸一

米国保健物理学会 Health Physics Society の年次総会が 2022 年 7 月 17 日から 21 日にかけて米国ワシントン州スポーケンで開催されました。スポーケンはシアトルから東に飛行機で 1 時間の内陸にあり、この時期は最低気温が 15 度以下、最高気温は 35 度弱という、かなりの寒暖差がある地域です。当協会からは古田が web 参加、筆者が現地参加を行いました。筆者にとっては 2019 年 11 月にスウェーデン、ストックホルムで開催された ERPW2019 以来 2 年 9 か月ぶりの海外出張となりました。

筆者は A Risk Comparison of Non-cancer Mortality between Lifestyle, Socioeconomic Status, and Radiation among Japanese Nuclear Workers (J-EPISODE) のタイトルでポスター発表を行いました。これは喫煙等の生活習慣、教育年数等の社会経済状態と放射線とのがん死亡リスクの比較を行ったものです。同内容の論文が今年に入って Health Physics 誌に掲載されたばかりだったので、タイムリーな発表になりました。ポスター発表における対面での質疑応答は久しぶりで、内容は発表に関するもの以外に米英仏の合同解析 INWORKS との違い等、多岐にわたりました。

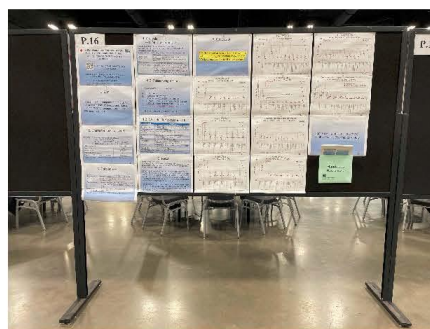
古田は Reconstruction of organ dose from emergency work dose at Fukushima: J-EPISODE の内容で口頭発表を行いました。これは福島第一原子力発電所の事故対応における緊急作

業線量を臓器吸収線量に変換する手法を検討したものです。日本時間では深夜 2 時 15 分からの発表となり、それを現地ですべて見ているのは若干不思議な気がしました。

ある程度予測はしていたのですが、マスクをしている人は少数派で、全体の 5% 未満というところでした。5 月に高知で開催された産業衛生学会で全員がマスクを着用していたのは対照的で、いろいろな意味で国際学会に参加していることを実感しました。

久しぶりに国際学会に現地参加し、移動や時差はやはり大変でした。今回はそれに加えワクチン接種証明や現地での PCR 検査等、これまでない煩雑さがありましたが、疫学調査の成果を海外の人に直接アピールできる利点はやはり大きく、さらに新たな成果を発信したいと感じました。

今回は 2023 年 7 月にメリーランド州ナショナル・ハーバーで開催予定です。



発表ポスター

(5) 第4回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会に参加して (2023年1月号)

第4回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会 合同大会に参加して

放射線影響協会 放射線疫学調査センター 工藤 伸一

第4回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会が11月24日から26日にかけて福岡県福岡市の九州大学伊都キャンパスで開催され、当協会からは古田と筆者が現地に赴いて参加しました。昨年開催された前回の合同大会はコロナ禍のためオンライン開催でしたが、今回は合同大会としては初の現地とオンラインを併用するハイブリッド開催となりました。今回の学会では一般演題のほか招待講演、特別講演、企画セッション等が開催されました。

筆者は「放射線影響1」のセッションにおいて、「J-EPISODEにおける新コホートの特性と予想される結果」の演題で口頭発表を行いました。これは2019年度まで実施した第VI期において設定した新しいコホートの特性を線量群別に調査し、解析時の交絡因子による調整効果を検討したものです。発表後に喫煙と教育年数との関連等に関する質疑応答を行いました。古田は「放射線影響2」のセッションにおいて、「放射線業務従事者コホート J-EPISODE の第VII期解析計画」の演題で口頭発表を行いました。これは我々が1990年から実施してきた J-EPISODE の概要と2024年度に解析・取りまとめを予定している第VII期解析における従来との相違点、例えば記録線量を臓器線量に変換して解析に使

用することや、死亡解析に加えてがん罹患解析を実施すること等を紹介したものです。発表後に住民票による生死確認と人口動態調査死亡票を用いた死因照合との関連等に関する質疑応答を行いました。

保健物理学会が現地で開催されるのは2019年以来となります。セッション終了後に追加での質疑応答や名刺交換ができるのは現地開催ならではの利点と感じました。また、事故対応訓練等の報告は放射線安全管理学会との合同大会であるからこそ聴講可能であり、さらなる継続が有用と考えられました。今後も継続参加により放射線疫学調査の広報に努める所存です。



会場となった九州大学伊都キャンパス椎木講堂

(6) ERPW 2022 に参加して (2023 年 1 月号)

ERPW2022に現地参加して

放射線影響協会 放射線疫学調査センター 古田 裕繁

ERPW (European Radiation Protection Week、欧州放射線防護週間) 2022 の学会が 10 月 9 日～14 日にポルトガルのエストリルで開催され、当協会から筆者が参加しました (図 1)。参加者約 300 人でした。筆者にとって 3 年振りの海外出張でした。



全体会議では、放射線防護体系の将来が大きなテーマで、ICRP、EC、IAEA、WHO から各々の見通しの発表がありました。また、MELODI、EURADOS、EURAMED、NERIS、ALIENCE、SHARE など各プロジェクト、プラットフォームの活動報告とともに、数多くなったそれらを統合する仕組みに関して PIANOFORTE、MEENAS、SNETP から発表がありました。時節柄、欧州にとって身近な問題であるウクライナ特別セッションが開かれたことも特徴でした。

筆者は、“Uncertainties in organ dose reconstruction from Fukushima accident emergency work dose in J-EPISODE cohort study” (J-EPISODE における福島事故の緊急作業線量から臓器線量を再構築する際の不確かさ) のタイトルでポスター発表を行いました (図 2)。同意者約 8 万人から構成される J-EPISODE に約 4 千人の緊急作業者が含まれますが、それと労働安全衛生総合研究所が



図 1 ERPW2022 の会議場



図 2 ポスター発表会場の様子

実施する「東電福島第一原発緊急作業従事者に対する疫学的研究」(NEWS) との関係が、外国の方には理解しづらいように感じました。

口頭発表、ポスター発表で、私の医療従事者コホートの初の分析結果、また、同原子力作業員コホートの非がん疾患のリスク分析において認知症で有意な結果が出たことなどを始めとして、興味のある発表がありました。ポスター発表会場は密な感じもしましたが、その場で質問できるのは対面開催ならではのメリットでした。ウラン鉱山労働者のプール

解析 PUMA において、直接担当者と被ばく時年齢、到達年齢、線量率などの修飾効果の分析方法の議論が出来たのは大きな収穫でした。

開催地エストリルは、首都リスボンから約 20km 西の、大西洋に面した海岸線に位置するリゾート地です。学会場隣にはカジノがあり、その前には広大な芝生と海が広がった風光明媚な街です(図 3)。隣町のカスカイシュには王族の別荘もあり、欧州の人には人気の観光地のようです。

ユーラシア大陸最西端のロカ岬も近く、学会の交流プログラムで、バス 6 台を連ねて見学に出かけました(図 4)。

かつてスペインと世界を 2 分した大航海時代の「発見のモニュメント」が築かれています。世界史で習ったヴァスコ・ダ・ガマやマゼランのほか、日本に馴染みのフランシスコ・ザビエルの像もありました。ポルトガルの日本発見は 1541 年と記されており、1543 年鉄砲の種子島伝来より早いのは筆者にとっての発見でした(図 5)。豊後の臼杵に漂着したようです。

ポルトガルは、カステラなど多くの食文化を日本に伝えましたが、お菓子だけでなく、ワインや海鮮料理など日本人の口に合う食べ物が多くありました。タコやイカも好物のようです。

オミクロン株感染が下火になった現地では、学会場や電車の中で、マスク着用率は目測で約 5% でした。若者はノーマスクで、マスク着用者は高齢者が多いように感じました。

今回は来年秋にアイルランドのダブリンで開催予定です。



図 3 エストリルの庭園・海の風景



図 4 ユーラシア大陸最西端のロカ岬



図 5 ポルトガルの日本発見 1541 年

(7) Radiation Research Society's 68th Annual Meeting に現地参加して (2023 年 1 月号)

Radiation Research Society's
68th Annual Meeting に現地参加して

放射線影響協会 放射線疫学調査センター 工藤 伸一

米国放射線影響学会 Radiation Research Society の年次総会が 2022 年 10 月 16 日から 19 日にかけて米国ハワイ州ワイコロアで開催されました。ワイコロアはワイキキから東に飛行機で 45 分のハワイ島にあり、この時期は最高気温が 30 度前後という、かなり温かい気候でした。当協会からは筆者が現地参加しました。



筆者は Symposium 10: Environmental Effects Fukushima のセッションにおいて Two topics from the epidemiological studies of Japanese nuclear workers のタイトルで口頭発表を行いました。内容は喫煙等の生活習慣、教育年数等の社会経済状態と放射線とのがん死亡リスクの比較、及び放射線リスク推定時における喫煙調整効果からなるものです。発表後に潜伏期、罹患率解析、LSS との違い、放射線と喫煙との交互作用等についての質疑応答を行いました。



主催者によると参加者は 650 名とのことでした。その他には米国の Million Worker (Person) Study、ベラルーシや韓国の疫学調査の報告もあり、日本からは原爆被爆者の調査結果も報告されていました。



会場となったホテル内の景色

次回はケベック州、モンリオールで 2023 年 8 月 27 日から 30 日に開催予定です。

3. 2 論文発表

- (1) A Risk Comparison of Non-cancer Mortality between Lifestyle, Socioeconomic Status, and Radiation among Japanese Nuclear Workers (J-EPISODE). *Health Phys.* 123, 464-475, 2022.

OPEN

Paper

A Risk Comparison of Non-cancer Mortality between Lifestyle, Socioeconomic Status, and Radiation among Japanese Nuclear Workers (J-EPISODE)

Shin'ichi Kudo,¹ Yoshie Miwa,¹ Hiroshige Furuta,¹ and Shin Saigusa¹

Abstract—Many epidemiological studies have been conducted to investigate the health effects of low-dose radiation. Most of these investigations have focused on cancer, and fewer studies have examined non-cancer topics than cancer subjects. The purpose of this study is to compare the relative risks of non-cancer mortality from low-dose radiation with lifestyle factors (such as smoking habits) and socioeconomic status (such as years of education). The cohort consisted of 43,692 males who responded to a lifestyle questionnaire survey conducted from 2003 to 2004 among nuclear workers in Japan. Missing questionnaire data were imputed by multiple imputation, each variable was categorized, and the relative risks for the reference group were calculated using Poisson regression. The total number of observed person-years was 300,000, and the mean age and dose were 55.2 y and 24.5 mSv (10-y lagged dose), respectively. For many of the causes of death in this analysis, significantly high risks existed for lifestyle differences, such as smoking, alcohol consumption, frequency of medical examination, breakfast intake, sleep, and BMI, but few for socioeconomic status. Radiation showed no significantly high risks. Taken together, the risk of non-cancer mortality from low-dose radiation is likely smaller than that from lifestyle factors. *Health Phys.* 123(6):464–475; 2022

Key words: cancer; epidemiology; radiation, low-level; risk estimates

INTRODUCTION

STUDIES OF atomic bomb survivors have found an increase in cancer risks due to radiation (Preston et al. 2003; Ozasa et al. 2012). Although those results were based on relatively high-dose,

high-dose-rate exposures, several other studies have found increased cancer risks in cohorts exposed to low-dose, low-dose-rate radiation (Haylock et al. 2018; Shilnikova et al. 2003; Richardson et al. 2015). This increase in cancer from radiation is thought to be caused by damage to DNA (UNSCEAR 2000), and although the pathogenesis of radiation effects on non-cancer is currently unclear, studies on atomic bomb survivors and others have reported increased non-cancer risks from radiation (Preston et al. 2003; Yamada et al. 2004; Muirhead et al. 2009; Shimizu et al. 2010; Ozasa et al. 2012; Gillies et al. 2017; Takahashi et al. 2017; Hinksman et al. 2022; Azizova et al. 2022). These studies that targeted the risks of cancer and non-cancer effects quantified radiation risk in terms of how much mortality was added to 1 Gy exposure. However, studies comparing radiation risks with other factors are limited, especially for non-cancer effects.

Since 1990, the Radiation Effects Association (REA) has been conducting epidemiological studies on cohorts of nuclear power plant workers in Japan. As part of a survey, data on lifestyle habits and socioeconomic status were obtained for each nuclear worker. Using this information, a previous paper comparing the risks of cancer mortality from radiation and other factors showed that the health effects of low-dose radiation, if any, were smaller than those of smoking and some other lifestyle factors (Kudo et al. 2022).

Using the same cohort and methods (multiple imputation and Poisson regression) as in the previous paper, we focused on non-cancer mortality and compared the risks of death. The purpose of this paper is to compare the relative risks of non-cancer deaths due to lifestyle factors, such as smoking, socioeconomic status (including years of education), and radiation exposure among nuclear workers in Japan.

MATERIALS AND METHODS

Ethical approval

This study protocol was based on the Ethical Guidelines for Medical and Health Research Involving Human

www.health-physics.com

¹Institute of Radiation Epidemiology, Radiation Effects Association. The authors declare no conflicts of interest.

For correspondence contact: Shin'ichi Kudo, 1-9-16 Kajicho, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-0044, Japan, or email at s_kudo@rea.or.jp. (Manuscript accepted 2 July 2022)

Supplemental digital content is available in the HTML and PDF versions of this article on the journal's website www.health-physics.com. 0017-9078/22/0

Copyright © 2022 The Author(s). Published by Wolters Kluwer Health, Inc. on behalf of the Health Physics Society. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial-No Derivatives License 4.0 (CCBY-NC-ND), where it is permissible to download and share the work provided it is properly cited. The work cannot be changed in any way or used commercially without permission from the journal.

DOI: 10.1097/HP0000000000001613

Subjects by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology, and Ministry of Health, Labour, and Welfare (MHLW).

Cohort definition and vital status follow-up

The radiation doses of workers at nuclear power facilities in Japan are registered at the Radiation Dose Registry Center (RADREC) in REA. The study cohort consisted of those who met all of the following conditions: (1) those who were registered with RADREC by the end of March 1999 and had been engaged in nuclear power generation, and (2) those with valid responses to the questionnaire on lifestyle.

Vital statuses were confirmed by requesting copies of the residence registration cards (RRCs) from the local government. Certificates of RRCs were issued for survivors, and deleted RRCs were issued for deceased workers. For those who moved away, deleted RRCs were also issued, and in these cases, new requests for issuance were made based on the new addresses.

For those with confirmed deaths, the causes of death were ascertained by linking the death records provided by the MHLW. The matching keys for linkage were date of birth, date of death, sex, and address code at the time of death (Iwasaki et al. 2000). The cause of death was determined for 99.5% of the deaths. The underlying causes of death were coded according to the International Classification of Diseases (ICD), 10th revision.

Dosimetry

The doses provided by RADREC were annual individual effective doses expressed in mSv, including photon, neutron, and internal doses. The photon and neutron doses were the external exposure of equivalent doses at a tissue depth of 10 mm [$H_p(10)$]. When neutron and internal doses were positively detected, they were evaluated by employers and added to the photon doses, but such cases were rare in Japan under normal operations involving periodic inspections and maintenance. Doses below the detectable level were set at 0 mSv. In Japan, the use of nuclear energy began in 1957, and the censor date of the observation period was set in 2010. Therefore, the dose records used in the analysis were from 1957 to 2010.

Lifestyle questionnaire survey

To obtain information on lifestyle and socioeconomic status, a lifestyle survey was conducted from September 2003 to March 2004. The subjects included those who were 40 y of age or older as of 1 July 2003. Those whose cumulative dose was 10 mSv or more as of 31 March 2002, were included, and 40% of those whose cumulative dose was less than 10 mSv were sampled after matching age and region with those of the 10 mSv or more group. The questionnaire was self-administered, and it included questions about lifestyle (e.g., smoking, alcohol consumption) and socioeconomic status (e.g., job category, years of education). It was sent by post to male workers only because the number of female subjects was small for evaluation of radiation risk. Thus, the questionnaires were distributed to 78,064 male workers.

Variables used for estimation of relative risks

In this study, relative risks (RRs) were calculated for each variable: smoking (pack-y), alcohol consumption (ethanol in grams per day), health consciousness, frequency of medical examination, breakfast intake, sleep, body mass index (BMI), job category, job position, years of education, and cumulative radiation dose. Smoking was quantified as the total amount of smoking in pack-y for current smokers. Pack-y were defined as follows: the number of cigarettes per day \times (1 pack/20 cigarettes) \times the number of years between smoking start date and age on the survey date. The RRs of current smokers were estimated by pack-y and defined against those who had never smoked (never smokers; 0 pack-y). For former smokers, the mortality rate differed depending on the years since cessation.

To simplify the model, the RRs for former smokers were not estimated by pack-y but estimated as a former-smoker group against never smokers. Smoking (pack-y) was defined as follows: 0 [never smoker, reference (hereafter simply ref)]; former smoker, >0 (current smoker); 20- (current smoker); 40- (current smoker); or 60+ (current smoker). Alcohol consumption was quantified as ethanol in grams per day for current drinkers, calculated by the type of alcoholic beverage and frequency of drinking. The RRs for current drinkers were estimated by ethanol in grams per day against never drinkers (0 grams of ethanol per day). The RRs for former drinkers were estimated as the former-drinker group against never drinkers. Alcohol consumption (ethanol in grams per day) was defined as follows: 0 (never drinker, ref) former drinker; >0 (current drinker); 20- (current drinker); 40- (current drinker); or 60+ (current drinker). Health consciousness was defined as follows: good (ref), average, or poor. Frequency of medical examination was defined as follows: every year (ref), sometimes, or almost never. Breakfast intake was defined as follows: every day (ref), sometimes, or almost never. Sleep was defined as follows: well (ref), sometimes not well, or not well. BMI was defined as an individual's weight (kg) divided by the square of height (m) and was defined as follows: <18.5, 18.5- (ref), 25-, or 30+. Job category was defined as follows: design and research (ref), radiological management, operation and investigation, or maintenance. Job position was defined as follows: management (ref), technical advisor, group leader, or staff. Years of education was defined as follows: 13+ (ref), 10-12, or <10. Radiation dose was defined as follows: <5 (ref), 5-, 10-, 20-, 50-, or 100+.

Multiple imputation

To improve precision of risk estimates, missing values from the lifestyle questionnaire were imputed by multiple imputation (Rubin 1987; Rubin and Schenker 1991). First, this method creates a regression model with no missing data (i.e., making the Missing At Random assumption that missing

can be explained by other variables) and then uses the missing data estimates and information on variance to randomly generate imputed value to create a pseudo-complete data set (hereafter PCD). In the estimation of imputed values, in order to exclude the influence of initial values, the estimation is performed multiple times. The first part is discarded, and subsequent values are adopted. This discarded portion is called “burn-in.” If there is only one PCD, the uncertainty of missing data completion cannot be taken into account. Therefore, multiple PCDs are generated, and the statistics obtained from each PCD are integrated. This is an overview of the multiple imputation method. A fully conditional specification was used for the imputation algorithm. This method is based on the assumption that the conditional distributions of each variable can be specified by the remaining variables, and it builds an imputation model for each missing variable and iterates the imputation values for each variable (SAS 2014). Smoking status, alcohol consumption, job category, and job position, which were nominal variables, were imputed by discriminant function. Health consciousness, frequency of medical examination, breakfast intake, sleep, and years of education, which were ordinal variables, were imputed by ordinal logistic regression. BMI, pack-y, and ethanol in grams per day, which were continuous variables, were imputed by linear regression. Radiation doses had no missing data. The variables with no missing data were included in the imputation model as auxiliary variables to make the assumption of missing at random more plausible (age at the time of the survey, number of sites where a worker had been engaged, latest prefecture code that verified a worker’s survival status, year of first exposure to radiation, and year of latest exposure to radiation). The indicators of death from all cancers were also added to the auxiliary variables as an endpoint. The number of burn-in was 100, and the number of PCDs created was 30 in this analysis. The MI procedure of SAS was used for imputation (SAS 2014; SAS 2016). The details of multiple imputation were described in a previous paper (Kudo et al. 2022).

Causes of death

The causes of death for which RRs were estimated included all non-cancers (ICD10: A00–B99, D50–R99), circulatory diseases (I00–I99), cardiovascular diseases (I00–I52, I71), cerebrovascular diseases (I60–I69), respiratory diseases (J00–J99), and digestive diseases (K00–K93).

Analysis

The entry date for person-year calculations was set as the date of the questionnaire response. The exit date of the person-years calculation was set as the earliest of the following: (a) date of the latest confirmation of vital status, (b) date of death, or (c) 31 December 2010. Therefore, the individual workers’ observation periods differed, but they were within 2003 to 2010. In the previous paper (Kudo et al. 2022), the

entry date for person-year calculations was set as 2 y after the date of the questionnaire response to exclude the effect of health status at the time of the survey (Goodman et al. 1995). However, in the present paper, the response date was used as the entry date for person-year calculations because the effect was not considered to be large. For comparison with the previous paper (Kudo et al. 2022), we also performed the same analysis with the observation start date being 2 y after the response date, which was conducted as a supplementary analysis.

Poisson regression was also used to quantify the RRs of lifestyle, socioeconomic status, and radiation. The model to estimate RRs was a log linear model, which was used in the previous analysis (Kudo et al. 2022). Further, the model to estimate dose response of radiation (excess relative risk per sievert: hereafter ERR Sv^{-1}) as follows. The former is referred to below as eqn (1) and the latter as eqn (2):

$$\lambda = \lambda_0(a, r) \exp(\beta_1 z_1 + \dots + \beta_{11} z_{11}) \quad (1)$$

and

$$\lambda = \lambda_0(a, r) \exp(\beta_1 z_1 + \dots + \beta_{10} z_{10})(1 + \beta z_{11}), \quad (2)$$

where λ is the death rate and λ_0 is the background death rate [stratified by a : 5-y attained age categories (20–, 25–, ... and 100+)]; r = residence, which is divided into eight regional categories within Japan (Kudo et al. 2018a and 2018b, 2022); and z_1 – z_{11} represent the variables used to estimate RRs. More specifically, z_1 was smoking (pack-y), z_2 was alcohol consumption (ethanol in grams per day), z_3 was health consciousness, z_4 was frequency of medical examination, z_5 was breakfast intake, z_6 was sleep, z_7 was BMI, z_8 was job category, z_9 was job position, z_{10} was years of education, and z_{11} was the cumulative radiation dose, assuming a 10-y lag. β_1 – β_{11} represent the coefficient, which means RRs against those 11 reference categories; β in Model 2 represents ERR Sv^{-1} . The person-y table was created by DATAB, and the models were fitted by AMFIT. Both were EPICURE modules (EPICURE 2021).

The RR and standard error for each variable were output for the number of data sets (i.e., 30). The integrated point estimates of RR and the 95% confidence intervals (CIs) of each variable and category were integrated using Rubin’s method (Rubin 1987; Rubin and Schenker 1991). These integrated RRs and variances were calculated using the MIANALYZE procedure by SAS (SAS 2014, 2016).

To estimate the degree of bias, a complete case analysis (CCA) was performed on all the above z_1 – z_{11} with no missing data.

To discuss the observed and excess deaths from smoking and radiation by dose category for all non-cancers and circulatory diseases, eqn (3) as shown below was used. It was a linear and multiplicative joint effect of smoking and radiation. The

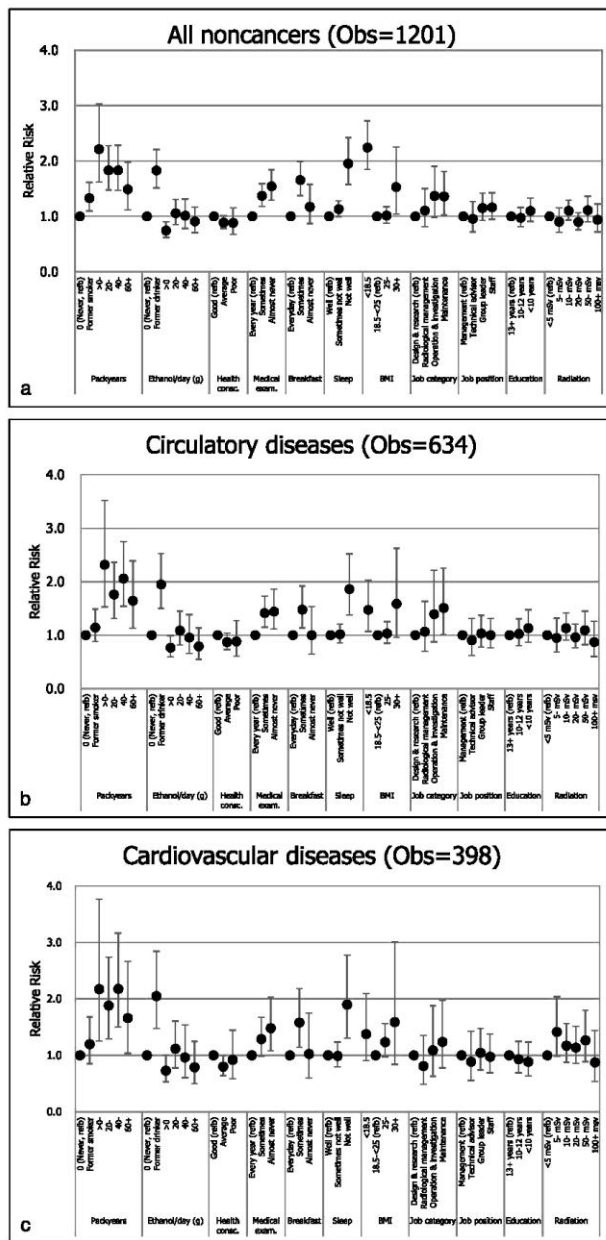


Fig. 1. Continued.

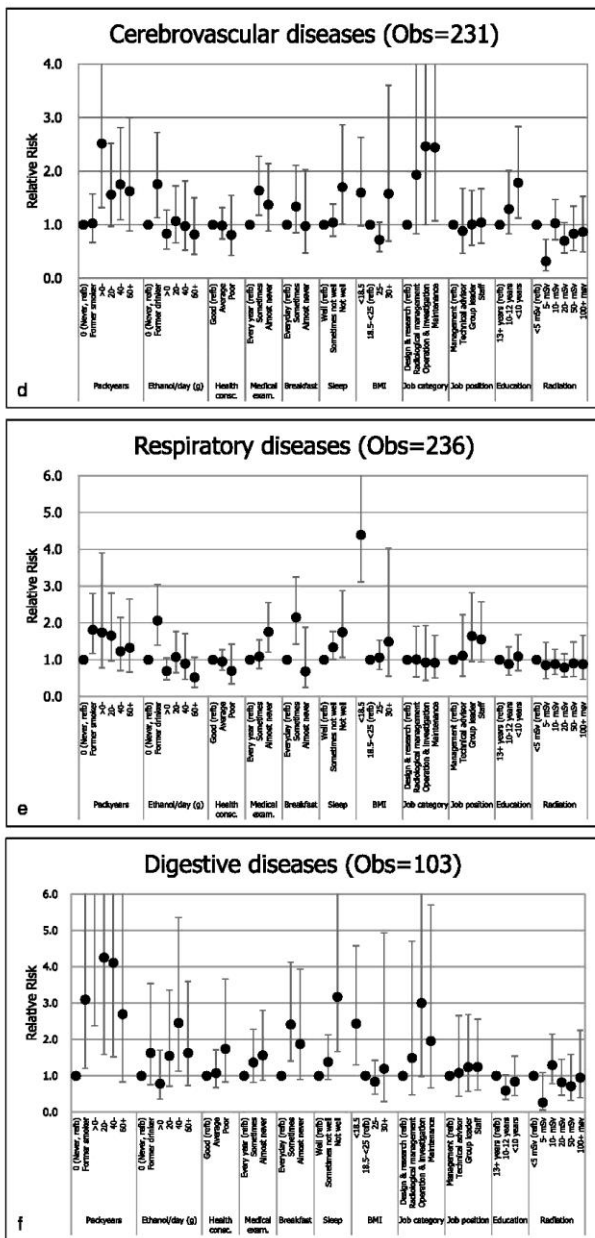


Fig. 1. Relative risks and 95% confidence intervals for lifestyle, socioeconomic status, and radiation of non-cancer mortality among Japanese nuclear workers.

calculation was based on the PCD #1, which was created in imputation stage as stated in multiple imputation:

$$\lambda = \lambda_0 \exp(\alpha_1 a + \alpha_2 r + \alpha_3 q)(1 + \beta_{1i} s_i) \times (1 + \beta_{2i} d_i), \quad (3)$$

where a is an attained age, r is residence, and q is an indicator of a former smoker (1 = former smoker, 0 = current and never smoker). α_1 – α_3 are coefficients of a , r , and q . s_i is the pack-y category for current smoker and never smoker (pack-y = 0). d_i is the radiation dose category. β_{1i} and β_{2i} are the coefficients of s_i and d_i , respectively.

RESULTS

The questionnaire was distributed to 78,064 people, and the cohort consisted of 43,692 subjects. The 34,372 persons not included in the cohort are broken down as follows: 4,522 for unknown destination, 27,637 for no reply, 343 for unable to identify in RADREC, 180 for no answers written in questionnaire, and 1,690 for those who were not followed up after the date of the questionnaire response. The total number of person-years was 300,000 from 2003 to 2010. The mean age and mean 10-y lagged cumulative dose at the date of the survey were 55.2 y and 24.5 mSv, respectively.

Fig. 1 shows the relative risks and 95% CIs by using eqn (1) for each cause of death and category of items (Supplemental Digital Content Table 1, <http://links.lww.com/HP/A231>). For smoking, significantly increasing RRs for all outcomes (all non-cancers, circulatory, cardiovascular, cerebrovascular, respiratory, or digestive diseases) were found (Panels A, B, C, D, E, and F). However, for these causes of death, the dose responses—namely, the RRs of smoking increased as pack-y increased—were unclear. Additionally, for alcohol consumption, significantly increasing RRs of all outcomes were found (Panels A, B, C, D, E, and F). However, all these significantly higher RRs were found in the former-drinker group, with no significantly higher RRs in the current-drinker group without digestive diseases.

The RR of any outcome was not significantly increased for health consciousness. Regarding frequency of medical examination, significantly increasing RRs of all non-cancers, circulatory, cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory diseases were found (Panels A, B, C, D, and E). For breakfast intake, significantly increasing RRs of all non-cancers, circulatory, cardiovascular, respiratory, and digestive diseases were found (Panels A, B, C, E, and F). For sleep, significantly increasing RRs for all outcomes were found (Panel A, B, C, D, E, and F). For BMI, significantly increasing RRs for all non-cancers, circulatory, respiratory, and digestive diseases were found (Panel A, B, E, and F).

For job category, significantly increasing RRs of all non-cancers, circulatory, and cerebrovascular diseases were

found (Panel A, B, and D). RR of any outcome was not significantly increased for job position. For years of education, significantly increasing RR of cerebrovascular diseases was found (Panel D).

The RR of any outcome was not significantly increased for radiation. For radiation, in addition to RR per category by using Model 1, ERR Sv⁻¹ was also calculated by using Model 2, but there were no significantly high ERR/Sv among the causes of death included in the analysis. The ERRs were -0.27 (90% CI: -1.61, 1.07) for all non-cancers; -1.01 (-2.62, 0.60) for circulatory diseases; -0.89 (-2.99, 1.22) for cardiovascular diseases; -1.12 (-3.69, 1.45) for cerebrovascular diseases; -0.63 (-3.65, 2.40) for respiratory diseases; and 0.76 (-4.39, 5.90) for digestive diseases (Supplemental Digital Content Table 1, <http://links.lww.com/HP/A231>). The results from the CCA differed from those that were imputed (Table 1). In comparing the imputed results to the CCA, smoking and BMI showed 5–22% lower RRs, while radiation showed 1–26% lower RRs except in the 100+ mSv category (1% higher). Table 2 provides the information on the observed and excess deaths derived from Model 3 for smoking and radiation by dose category for all non-cancers and circulatory diseases based on the pseudo-complete data set #1. Table 2 also shows the attributable fraction (AF), expressed as the proportion of excess to observed deaths. The AFs of all non-cancers were 20%, 0%, and 0% for smoking only, radiation only, and the smoking-radiation interaction, respectively. The AFs of circulatory diseases were 24%, -1%, and 0% for smoking only, radiation only, and smoking-radiation interaction, respectively. Thus, no excess death occurred due to radiation only or to the interaction of radiation and smoking for either all non-cancers or circulatory diseases.

The results of the supplementary analysis, in which the entry date for person-year calculations was set as 2 y after the date of the questionnaire response, were almost identical to those of the main analysis. However, a significantly higher RR was observed for cerebrovascular disease in the 5-radiation category (Supplemental Digital Content Table 2, <http://links.lww.com/HP/A232>).

DISCUSSION

Principal findings

In this study, we examined direct risk comparisons of non-cancer mortality for lifestyle, socioeconomic status, and radiation. The lifestyle factors of smoking, alcohol consumption, frequency of medical examination, breakfast intake, sleep, BMI, and job category showed significantly increasing RRs. In particular, smoking and BMI showed greater RRs than other factors. Socioeconomic factors showed little evidence of risk compared with the lifestyle factors. Job position showed no risk. Job category showed a significantly high risk

Table 1. Relative risks and 95% CIs for each category of items by imputed and complete case analysis for all non-cancers.

Items	Category	Imputed	Complete case analysis
		RR (95%CI)	RR (95%CI)
Smoking (Pack-y)	0 (Never, ref ^a)	1.00	1.00
	Former smoker	1.33 (1.10–1.61)	1.51 (1.21–1.87)
	>0–	2.21 (1.62–3.03)	2.49 (1.75–3.53)
	20–	1.83 (1.47–2.28)	1.89 (1.47–2.42)
	40–	1.83 (1.47–2.28)	2.01 (1.57–2.58)
	60+	1.49 (1.12–1.98)	1.59 (1.15–2.19)
	Unknown		
Alcohol consumption [Ethanol day ⁻¹ (g)]	0 (Never, ref ^a)	1.00	1.00
	Former drinker	1.83 (1.52–2.21)	2.11 (1.71–2.62)
	>0	0.74 (0.62–0.90)	0.77 (0.63–0.94)
	20–	1.06 (0.85–1.31)	0.99 (0.78–1.25)
	40–	1.01 (0.78–1.31)	1.02 (0.76–1.36)
	60+	0.91 (0.71–1.17)	0.96 (0.74–1.26)
	Unknown		
Health consciousness	Good (ref ^a)	1.00	1.00
	Medium	0.89 (0.78–1.008)	0.89 (0.77–1.03)
	Bad	0.88 (0.68–1.15)	0.82 (0.60–1.13)
	Unknown		
Frequency of medical examination	Every year (ref ^a)	1.00	1.00
	Sometimes	1.37 (1.18–1.59)	1.50 (1.26–1.78)
	Almost never	1.54 (1.29–1.84)	1.53 (1.24–1.88)
Breakfast intake	Unknown		
	Everyday (ref ^a)	1.00	1.00
	Sometimes	1.66 (1.37–1.99)	1.94 (1.58–2.39)
	Almost never	1.17 (0.87–1.58)	1.42 (1.04–1.94)
Sleep	Unknown		
	Well (ref ^a)	1.00	1.00
	Sometimes not well	1.13 (1.00–1.28)	1.09 (0.95–1.26)
	Not well	1.95 (1.58–2.42)	2.39 (1.87–3.04)
BMI	Unknown		
	<18.5	2.24 (1.85–2.72)	2.86 (2.30–3.55)
	18.5– < 25 (ref ^a)	1.00	1.00
	25–	1.02 (0.88–1.18)	1.07 (0.91–1.27)
	30+	1.53 (1.04–2.25)	1.83 (1.18–2.84)
Job category	Unknown		
	Design and research (ref ^a)	1.00	1.00
	Radiological management	1.11 (0.82–1.50)	1.17 (0.86–1.58)
	Operation and investigation	1.37 (0.98–1.90)	1.41 (1.01–1.96)
	Maintenance	1.36 (1.02–1.81)	1.39 (1.04–1.86)
Job Position	Unknown		
	Management (ref ^a)	1.00	1.00
	Technical advisor	0.96 (0.72–1.27)	0.81 (0.61–1.08)
	Group leader	1.15 (0.93–1.42)	1.21 (0.97–1.49)
	Staff	1.16 (0.95–1.43)	1.08 (0.88–1.33)
Years of education	Unknown		
	13+ y (ref ^a)	1.00	1.00
	10–12 y	0.97 (0.82–1.16)	0.99 (0.83–1.18)
	<10 y	1.10 (0.91–1.33)	0.98 (0.80–1.20)
	Unknown		

Continued next page

Table 1. (Continued)

Items	Category	Imputed	Complete case analysis
		RR (95%CI)	RR (95%CI)
Radiation (Cumulative dose)	<5 mSv (ref ^a)	1.00	1.00
	5– mSv	0.91 (0.71–1.16)	1.23 (0.94–1.62)
	10– mSv	1.10 (0.94–1.29)	1.16 (0.96–1.40)
	20– mSv	0.90 (0.76–1.07)	1.06 (0.87–1.28)
	50– mSv	1.11 (0.90–1.36)	1.21 (0.95–1.53)
	100+ msv	0.94 (0.72–1.23)	0.93 (0.68–1.27)

^aReference category.

of all non-cancers, circulatory, and cerebrovascular diseases, and years of education showed a significantly high risk of cerebrovascular diseases.

The results from the CCA were different from the imputed results to some extent. Smoking and radiation showed lower imputed RRs than CCA. These results likely reflect that the multiple imputation, which included auxiliary variables, made the assumption of “missing at random” more plausible and improved the precision of analysis, which was thought to be less biased than the CCA (Rubin 1987; SAS 2014).

Comparisons with previous studies regarding factors other than radiation

Mortality in a Japanese cohort by several risk factors was also evaluated in the Japan Collaborative Cohort Study for Evaluation on Cancer (JACC) and the Japan Public Health Center-based prospective study on cancer and cardiovascular diseases (JPHC study). Below, we compare

our results with the findings of these studies. The RRs of the 60+ category of pack-y in both the JPHC and the present analysis were 1.41 (95% CI: 0.95, 2.12) and 1.64 (95% CI: 1.13, 2.39), respectively, for circulatory diseases (Hara et al. 2002). The RRs for the same smoking category were 2.16 (1.47, 3.17) for ischemic heart disease (IHD) in the JACC and 1.66 (1.03, 2.66) for cardiovascular diseases in the present analysis (Ozasa 2007a). The RR of ethanol in grams per day for the 81+ category in the JACC was 0.94 (0.66, 1.36) for IHD; for the 60+ category in the present analysis, it was 0.79 (0.50, 1.25) for cardiovascular diseases (Ozasa 2007b).

When examining frequency of medical examination, IHD in the JACC showed no significantly higher RR, but the present analysis showed significantly higher RR of 1.48 (1.08, 2.03) for cardiovascular diseases. For cerebrovascular diseases, both JACC and the present analysis showed significant RR differences depending on the frequency of medical examinations. In the JACC, the RR for “yes,” with

Table 2. Observed and excess death of smoking and radiation by dose category for all non-cancers and circulatory diseases based on pseudo complete data set #1.

Dose category (mSv)	Observed deaths	Background	Smoking only	AF smoking	Radiation only	AF radiation	Smoking—radiation interaction	AF smoking—radiation
All non-cancers								
<5	541	457.1	105.2259	19%	0.0	0%	0.0	0%
5–	76	63.4	16.94231	22%	0.0	0%	0.0	0%
10–	217	149.9	38.20374	18%	–0.1	0%	0.0	0%
20–	188	158.5	41.99211	22%	–0.2	0%	–0.1	0%
50–	116	81.7	21.3714	18%	–0.2	0%	–0.1	0%
100+	63	51.3	16.47673	26%	–0.3	–1%	–0.1	0%
Total	1201	961.9	240.2	20%	–0.9	0%	–0.2	0%
Circulatory diseases								
<5	280	233.3	67.1218	24%	–0.1	0%	0.0	0%
5–	42	32.5	10.80767	26%	–0.2	0%	–0.1	0%
10–	114	75.6	23.94088	21%	–0.7	–1%	–0.2	0%
20–	105	80.8	26.55251	25%	–1.7	–2%	–0.5	–1%
50–	61	42.1	13.72379	22%	–1.9	–3%	–0.6	–1%
100+	32	26.9	10.65398	33%	–2.8	–9%	–1.1	–4%
Total	634	491.1	152.8	24%	–7.3	–1%	–2.6	0%

the no-screening group as the reference group, was 0.64 (0.46, 0.89), and in the present analysis, the RR for “sometimes,” with every year as the reference group, was 1.64 (1.17, 2.28) (Suzuki 2007). Both studies found that mortality differed significantly by breakfast intake status. The RR of IHD for the skip-breakfast group in JACC was 1.90 (1.13, 3.19), and the RR of cardiovascular diseases for the sometimes group vs. the everyday group in the present analysis was 1.58 (1.14, 2.18) (Iso and Kubota 2007).

In terms of sleep in cardiovascular diseases, the JACC reported no significant difference, while the present analysis showed a significantly higher RR of 1.90 (1.30, 2.77) in the “not-well” group relative to the “sleeps-well” group (Suzuki 2007). Regarding sleep in cerebrovascular diseases, the JACC reported a significantly higher RR of 1.49 (1.30, 1.70) in the group with 9 h or more, relative to the 7–8 h group, and the present analysis showed a significantly higher RR of 1.70 (1.01, 2.87).

For BMI, the RR of the 30+ group relative to the reference group (18.5–25) was 2.27 (1.25, 4.15) for IHD in the JACC and 1.59 (0.96, 2.63) for circulatory diseases in the present analysis. The RR of 30+ for cerebrovascular diseases was 1.34 (1.11, 1.63) in the JACC and 1.58 (0.69, 3.60) in the present analysis (Fujino 2007a).

Differences in RR by job category were not found in the JACC (Fujino 2007b), but the present analysis showed significantly higher RRs of staff to management, 1.36 (1.02, 1.81) for all non-cancers, 1.51 (1.01, 2.25) for circulatory diseases, and 2.44 (1.07, 5.55) for cerebrovascular diseases. When considering job position, no significantly higher RRs were found in the present analysis, and we could not find any comparable data related to job position. Differences in the RRs of cerebrovascular diseases by years of education were found in both the JACC and the current study. For the JACC, the RR was 0.76 (0.62, 0.92) for 19+ y, with 15 y or less as the reference group—in the present analysis, the RR was 1.78 (1.12, 2.83) for <10 y, with 13+ y as the reference group (Fujino 2007a).

The results of our study and those of previous studies are in good agreement, with overlapping CIs even when significance differs. The risk of non-cancer mortality from lifestyle and socioeconomic status seen in our study is consistent with other studies.

Comparisons with previous studies regarding radiation

The point estimates of ERR Sv⁻¹ derived by Model 2 in this study were distributed from -1.12 to 0.76 (Supplemental Digital Content Table 1, <http://links.lww.com/HP/A231>). In INWORKS, the ERR Sv⁻¹ were 0.19 (90% CI: 0.07, 0.30) for all non-cancers and 0.22 (0.08, 0.37) for circulatory diseases (Gillies et al. 2017). In NRRW, the ERR Sv⁻¹ was 0.251 (90% CI: 0.03, 0.49) for circulatory diseases (Muirhead et al. 2009). Furthermore, in the study on atomic bomb survi-

vors, the ERR Gy⁻¹ was 0.11 (95% CI: 0.05, 0.17) for circulatory diseases (Ozasa et al. 2012). Therefore, the ERR Sv⁻¹ derived from the present analysis could be regarded as comparable with these studies.

For each dose category of our study, there was no clear dose response for all non-cancers and cardiovascular diseases. Cardiovascular disease rose in the 5 to <10 mSv category, followed by a plateau, and the RR was below 1 in the 100+ mSv category. The NRRW analysis showed a similar trend for cerebrovascular disease in the larger dose range, with an increase in risk in the very low dose range, followed by a plateau and then a slight decrease at 200 mSv or higher (Hinksman et al. 2022). The authors suggest that the trend toward lower risk in the high-dose group (200+) may be healthy worker survivor effect. In INWORKS, the risk of cerebrovascular disease also tends to increase in the low-dose range and plateau at doses above 200 mSv (Gillies et al. 2017). Our results showed no such trend for cerebrovascular disease but rather significantly lower estimates in the 5 to <10 mSv category. Mayak shows a significantly higher risk of ischemic stroke among male residents, ERR Gy⁻¹ = 0.43 (95%CI: 0.08, 0.99), but this is with adjustment for alpha radiation; without this adjustment, ERR Gy⁻¹ falls to 0.17 (95%CI: -0.05, 0.52), and becomes insignificant (Azizova et al. 2022). However, the authors mention the uncertainty of the alpha dose estimation as a limitation of the study. ERR Sv⁻¹ for cerebrovascular disease in our study was also not significant at -1.12 (95%CI: -3.69, 1.45).

The difference between NRRW, Mayak, and our results in cerebrovascular disease may be due to the difference in the number of observed deaths: 3,219 in NRRW and 1,168 in the Mayak no resident subcohorts compared to 231 in our study, less than one-tenth of NRRW and one-fifth of Mayak. Cardiovascular and cerebrovascular diseases in our study showed high or low RRs in the 5 to <10 mSv category, with a trend toward an RR approaching 1 in the higher dose groups, but this trend is biologically unlikely and difficult to explain from the current data. Fig. 2 shows the percentages for each dose group for at-risk current smokers and those with <13 y of education, but there were no specific differences in the 5 to <10 mSv category for both current smokers and those with <13 y of education. The RR in the 5 to <10 mSv category for circulatory diseases was almost one [0.95 (0.68, 1.32)] and was not significant, including both cardiovascular and cerebrovascular diseases. These findings suggest that the higher RR observed at 5 to <10 mSv for cardiovascular diseases and significantly lower RR observed at 5 to <10 mSv for cerebrovascular diseases could be considered to have happened by chance.

Respiratory disease showed a gradual negative decreasing trend. Digestive diseases showed no clear dose response and, like cerebrovascular diseases, showed a fairly low point estimate of 0.26 (0.06, 1.09) in the 5 to <10 mSv category,

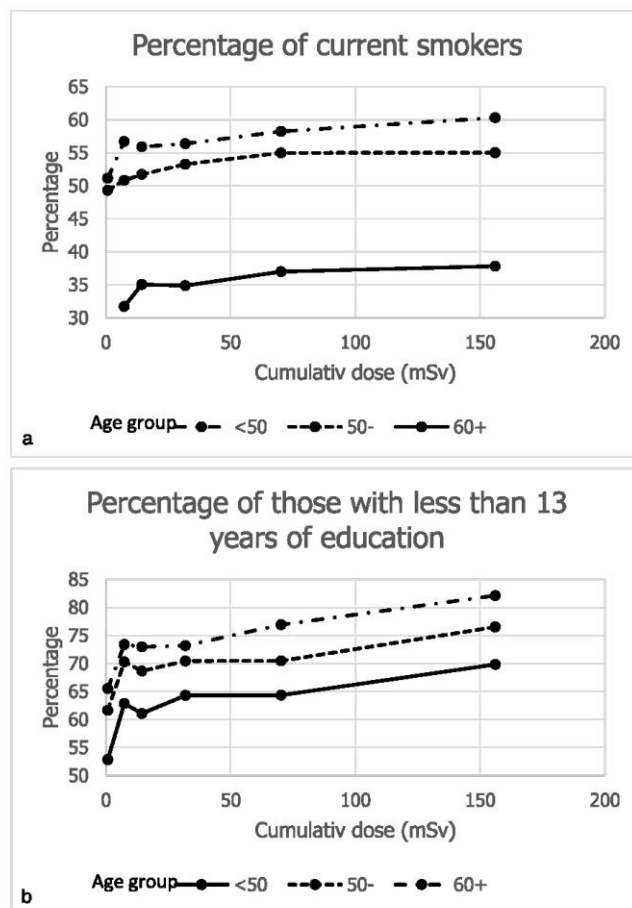


Fig. 2. Percentage of current smokers and those with less than 13 years of education by dose and age group.

although not significant. Because of the small number of observed deaths (103), the confidence intervals for the RRs are wide for both variables.

In the LSS, a significantly higher ERR Gy⁻¹ [0.96 (95% CI: 0.28, 1.92)] was found in rheumatic VHD, with a large contribution from the early observation period from 1950 to 1968, which the authors attributed to the more severe destruction caused by the atomic bombs in the proximity of the survivors (i.e., higher dose survivors) (Takahashi et al. 2017). The authors suggest that this may be due to a higher incidence of rheumatic fever after streptococcal infection due to poor sanitary conditions among those exposed in close proximity (i.e., high-dose survivors), where

the destruction caused by the atomic bombs was more severe, indicating a possible confounding between radiation and rheumatic fever.

The biological effects of radiation on deaths from non-cancer diseases are not clear. Biological studies report that ionizing radiation causes cellular senescence (Lowe and Raj 2014), while others suggest that radiation is associated with an inhibitory rather than an accelerating effect on atherosclerosis (Roedel et al. 2002; Mitchel et al. 2011). It has also been suggested that acute doses (>1 Gy) are considered to have an inflammatory effect, while low doses (<0.5 Gy) may potentially have an anti-inflammatory effect and slow the progression of cardiovascular disease (Rodel et al.

2007; Stewart et al. 2013), and the ICRP report also classifies radiation-induced cardiovascular disease as a tissue response effect (ICRP 2012). The ICRP report classifies radiation-induced cardiovascular disease as a tissue response effect, with a threshold of 0.5 Gy for such effects.

The lack of a significantly higher radiation risk in either eqn (1) or eqn (2) in this study may be the result of the low mean dose of 24.8 mSv, as well as adjustment for factors other than radiation.

Limitations

The greatest limitation is deficient statistical power from the small cohort size and short observation period. The total number of person-years was 300,000, and the number of observed deaths for all non-cancers was 1,201. This short observation period and small number of observed deaths, which were divided into categories for each variable, resulted in wider confidence intervals for the RRs. Significantly higher RRs were found for many causes of death and lifestyle factors, such as smoking and alcohol consumption, but few were found for job category, job position, and years of education. This could mean that differences in socioeconomic status may not affect mortality as much as lifestyle, but it could also mean that these factors did not appear as significant risks because of the lack of power to detect them.

As noted above, questionnaires were distributed to 78,064 people, but only about half (43,692) were included in the cohort for this analysis. To examine selection bias, the ages and cumulative doses of the 43,692 in the cohort were compared with those of the remaining 34,372, whose ages at the time of the survey were nearly equal—55.2 and 53.3 years, respectively. The cumulative doses were 24.5 mSv and 21.1 mSv, respectively, with the cohort having the highest cumulative dose in the category. This difference is due to the selective inclusion of the high-dose group in the cohort, but it is unlikely that a definite bias exists between the two groups.

CONCLUSION

The non-cancer mortality risks of lifestyle, socioeconomic status, and radiation identified in this study were comparable to those reported in previous studies. Despite the limitations of cohort size and observation period, significantly high RRs of smoking, alcohol consumption, frequency of medical examination, breakfast intake, sleep, BMI, job category, and years of education were found. These estimates are comparable with those from previous studies. Radiation showed no significantly high risks, and these estimates were also comparable with previous studies. Taken together, the risk of non-cancer mortality from low-dose radiation is likely smaller than the risk from lifestyle differences.

Acknowledgments—This study was fully funded by the Nuclear Regulation Authority of Japan. The funder had no role in the study's design, data analysis, data interpretation, or in writing this report.

REFERENCES

- Azizova TV, Bannikova MV, Grigoryeva ES, Briks KV, Hamada N. Mortality from various diseases of the circulatory system in the Russian Mayak nuclear worker cohort: 1948–2018. *J Radiol Protect* 42:021511; 2022.
- EPICURE. Version 2.00.03. Ottawa: Risk Sciences International; 2021.
- Fujino Y. Anthropometry, development history and mortality in the Japan Collaborative Cohort Study for Evaluation of Cancer (JACC). *Asian Pacific J Cancer Prev* 8(Suppl):105–112; 2007a.
- Fujino Y. Occupational factors and mortality in the Japan Collaborative Cohort Study for Evaluation of Cancer (JACC). *Asian Pacific J Cancer Prev* 8(Suppl):97–104; 2007b.
- Gillies M, Richardson DB, Cardis E, Daniels RD, O'Hagan JA, Haylock R, Laurier D, Leuraud K, Moissonnier M, Schubauer-Berigan MK, Kesminiene Thierry-Chef I. Mortality from circulatory diseases and other non-cancer outcomes among nuclear workers in France, the United Kingdom and the United States (INWORKS). *Radiat Res* 188:276–290; 2017.
- Goodman MT, Moriwaki H, Vaeth M, Akiba S, Hayabuchi H, Mabuchi K. Prospective cohort study of risk factors for primary liver cancer in Hiroshima and Nagasaki, Japan. *Epidemiol* 6:36–41; 1995.
- Hara M, Sobue T, Sasaki S, Tsugane S. Smoking and risk of premature death among middle-aged Japanese: ten-year follow-up of the Japan Public Health Center-based prospective study on cancer and cardiovascular diseases (JPHC Study) Cohort I. *Jpn J Cancer Res* 93:6–14; 2002.
- Haylock RGE, Gillies M, Hunter N, Zhang W, Phillipson M. 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.
- Hinksman CA, Haylock RGE, Gillies M. Cerebrovascular disease mortality after occupational radiation exposure among the UK national registry for radiation workers cohort. *Radiat Res* 197:459–470; 2022.
- International Commission on Radiological Protection. ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs—threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. Oxford: Pergamon Press; ICRP Publication 118; 41: 1–322; 2012.
- Iso H, Kubota Y. Nutrition and disease in the Japan Collaborative Cohort Study for Evaluation of Cancer (JACC). *Asian Pacific J Cancer Prev* 8(Suppl):35–80; 2007.
- Iwasaki T, Miyake T, Ohshima S, Kudo S, Yoshimura T. A method for identifying underlying causes of death in epidemiological study. *J Epidemiol* 10:362–365; 2000.
- Kudo S, Ishida J, Yoshimoto K, Mizuno S, Ohshima S, Furuta H, Kasagi F. Direct adjustment for confounding by smoking reduces radiation-related cancer risk estimates of mortality among male nuclear workers in Japan, 1999–2010. *J Radiol Protect* 38:357–371; 2018a.
- Kudo S, Yoshimoto K, Furuta H, Inoue K, Fukushi M, Kasagi F. Occupational radiation exposure and leukemia mortality among nuclear workers in Japan: J-EPIISODE, 1991–2010. *Jpn J Health Phys* 53:146–153; 2018b.
- Kudo S, Nishide A, Furuta H, Ishizawa N, Saigusa S. Risk comparison between lifestyle, socioeconomic status, and radiation: a cohort study of cancer mortality among Japanese nuclear workers (J-EPIISODE). *Health Phys* 122:469–479; 2022.
- Lowe D, Raj K. Pre-mature ageing induced by radiation exhibits pro-atherosclerotic effects mediated by epigenetic activation of CD44 expression. *Ageing Cell* 13:900–910; 2014.

- Mitchel RE, Hasu M, Bugden M, Wyatt H, Little MP, Gola A, Hildebrandt G, Priest ND, Whitman SC. Low-dose radiation exposure and atherosclerosis in ApoE7 mice. *Radiat Res* 175: 665–676; 2011.
- Muirhead CR, O'Hagan JA, Haylock RGE, Phillipson MA, Willcock T, Berridge GLC, Zhang W. Third analysis of the National Registry for Radiation Workers: occupational exposure to ionising radiation in relation to mortality and cancer incidence. Didcot, UK: Health Protect Agency; HPA-RPD-062 2009.
- Ozasa K. Smoking and mortality in the Japan Collaborative Cohort Study for Evaluation of Cancer (JACC). *Asian Pacific J Cancer Prev* 8(Suppl):89–96; 2007a.
- Ozasa K. Alcohol use and mortality in the Japan Collaborative Cohort Study for Evaluation of Cancer (JACC). *Asian Pacific J Cancer Prev* 8(Suppl):81–88; 2007b.
- Ozasa K, Shimizu Y, Suyama A, Kasagi F, Soda M, Grant EJ, Sakata R, Sugiyama H, Kodama K. Studies of the mortality of atomic bomb survivors, Report 14, 1950–2003: an overview of cancer and non-cancer diseases. *Radiat Res* 177:229–243; 2012.
- Preston DL, Shimizu Y, Pierce DA, Suyama A, Mabuchi K. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: solid cancer and non-cancer disease mortality: 1950–1997. *Radiat Res* 160:381–407; 2003.
- Richardson DB, Cardis E, Daniels RD, Gillies M, O'Hagan JA, Hamra GB, Haylock R, Laurier D, Leuraud K, Moissonnier M, Schubauer-Berigan MK, Thierry-Chef I, Kesminiene A. 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.
- Rodel F, Keilholz L, Herrmann M, Sauer R, Hildebrandt G. Radiobiological mechanisms in inflammatory diseases of low-dose radiation therapy. *Int J Radiat Biol* 83:357–366; 2007.
- Roedel F, Kley N, Beuscher HU, Hildebrandt G, Keilholz L, Kern P, Voll R, Herrmann M, Sauer R. Anti-inflammatory effect of low-dose x-irradiation and the involvement of a TGF-beta1-induced down-regulation of leukocyte/endothelial cell adhesion. *Int J Radiat Biol* 78:711–719; 2002.
- Rubin DB. Multiple imputation for nonresponse in surveys. New York: John Wiley & Sons Inc; 1987.
- Rubin DB, Schenker N. Multiple imputation in health-care databases: an overview and some applications. *Stat Med* 10:585–598; 1991.
- SAS Institute Inc. Multiple imputation of missing data using SAS. North Carolina: SAS Institute Inc; 2014.
- SAS Institute Inc. SAS Version 9.4. North Carolina: SAS Institute Inc; 2016.
- Shilnikova NS, Preston DL, Ron E, Gilbert ES, Vassilenko EK, Romanov SA, Kuznetsova IS, Sokolnikov ME, Okatenko PV, Kreslov VV, Koshurnikova NA. Cancer mortality risk among workers at the Mayak Nuclear Complex. *Radiat Res* 159: 787–798; 2003.
- Shimizu Y, Kodama K, Nishi N, Kasagi F, Suyama A, Soda M, Grant EJ, Sugiyama H, Sakata R, Moriwaki H, Hayashi M, Konda M, Shore RE. Radiation exposure and circulatory disease risk: Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivor data, 1950–2003. *BMJ* 340:b5349; 2010.
- Stewart FA, Seemann I, Hoving S, Russell NS. Understanding radiation-induced cardiovascular damage and strategies for intervention. *Clin Oncol* 25:617–624; 2013.
- Suzuki K. Health conditions and mortality in the Japan Collaborative Cohort Study for Evaluation of Cancer (JACC). *Asian Pacific J Cancer Prev* 8(Suppl):25–34; 2007.
- Takahashi I, Shimizu Y, Grant EJ, Cologne J, Ozasa K, Kodama K. Heart disease mortality in the life span study, 1950–2008. *Radiat Res* 187:319–332; 2017.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000 Report, Volume II. United Nations: New York; 2000.
- Yamada M, Wong F, Fujiwara S, Akahoshi M, Suzuki G. Non-cancer disease incidence in atomic bomb survivors, 1958–1998. *Radiat Res* 161:622–632; 2004.



(2) 放射線科医・放射線技師を対象とした疫学研究結果のレビュー。日本診療放射線技師会誌 2022 年 11 月号 (非オープンアクセスにつき抄録のみ)



本連載の背景、目的

放射線には、物を通り抜ける、物質の性質を変えるなどの作用がある¹⁾。これらの性質を基に、放射線は食品の保存、害虫駆除、溶接された金属の接合部の検査など、さまざまな分野で利用されている。とりわけ診療・医療などの医学分野における利用は、健康に直結したものであるとして現代社会では重要な位置を占めている。このように、有用な放射線ではあるが、高線量・高線量率の被ばく、すなわち一度に大量の放射線を被ばくした場合には重篤な健康障害が生じることがあり、このことは原爆被爆者を対象とした研究²⁾、JCO事故³⁾などから明らかにされている。一方、低線量・低線量率の放射線による健康影響についてはさまざまな研究が実施されているが、いまだ明確なコンセンサスは得られていない。原子力発電施設などの従事者を対象とした研究における、白血病を除く全癌(または全癌、固形癌)のリスク推定値を見た場合、有意に高い値を示した研究⁴⁻⁷⁾がある一方で、有意ではなかった研究⁸⁻¹⁵⁾もある。研究によって解析対象者への包含基準・観察期間・解析手法などが異なることも結果の

解釈を困難にしている¹⁶⁾。

このような背景があるため、低線量放射線による健康影響への理解促進を目的として、解説記事を連載することとした。連載は4回を予定しており、連載初回は本誌の主な読者層と思われる診療放射線技師(Radiological technologist)を対象とした疫学研究のレビューとした。以下、2回目も疫学研究のレビューであるが、こちらは対象者を原子力発電施設等従事者(Nuclear worker)とした研究を取り上げる。3回目は筆者が所属する放射線影響協会が実施している、原子力発電施設等従事者を対象とした疫学研究J-EPISODE(Japanese epidemiological study on low dose radiation effects)を題材として、疫学研究の実務であるデータ収集方法・解析手法・解析結果などを紹介する。最終回は、現在、原子力発電施設等従事者を対象とした疫学研究の中で最も注目されているであろう英米仏の合同解析INWORKS(International nuclear workers study)を取り上げる。本連載により、低線量放射線による健康影響への理解促進となれば幸いである。

放射線科医・診療放射線技師を対象とした疫学研究結果のレビュー

本稿では、放射線科医(Radiologist)、診療放射線技師(Radiological technologist)を対象とした疫学研究をレビューした。

要 約

- 個人ごとの被ばく線量が実際に測定された研究は少ない。
- 推定された被ばく線量は年代によって大きく異なる。

り、放射線科医では1920年代と比べると2000年以降における被ばく線量は約1万分の1に、放射線技師では1939年以前に比べると1977-1984年では約50分の1となっている。

- 個人ごとの線量データの代替として、解析対象集団を出生年、従事開始年などの暦年で区分し、その集団間の死亡(罹患)率を比較している研究が多い。
- 過去(おおむね1950年以前)に従事した者は、白血病、皮膚癌、女性の乳癌などの過剰症例が見ら

れ、これは当時の被ばく線量が高かったことに起因する可能性が考えられた。

- 近年の従事者では過剰症例の増加は見られていない。

(3) 原子力施設従事者を対象とした疫学研究結果のレビュー. 日本診療放射線技師会誌
2023年1月号 (非オープンアクセスにつき抄録のみ)



原子力施設従事者を対象とした疫学研究結果のレビュー

本連載は4回を予定している。初回(2022年11月号)は放射線科医(Radiologist)、診療放射線技師(Radiological technologist)を対象とした疫学研究をレビューした。第2回に当たる今回は、原子力施設従事者(Nuclear worker)を対象とした疫学研究をレビューする。第3回は日本の原子力発電施設等従事者を対象とした疫学研究J-EPISODE(Japanese epidemiological study on low-dose radiation effects)の紹介、第4回は英米仏の合同解析INWORKS(International nuclear workers study)を取り上げる予定としている。

- この原因は前述の交絡によるかく乱、被ばく線量が低いことによる検出力の不足などが考えられる。さらに研究間で解析対象者の構成、解析手法が異なることにも留意する必要がある。

要約

- 一部の研究では部分的に推定線量が用いられているが、ほとんどの研究において線量は線量計による測定値、またはそこから臓器別に変換された線量が用いられている。
- 原爆被爆者のデータでは被爆後2年で白血病、10年で固形癌の過剰症例が報告されている。これに倣い、原子力施設従事者を対象とした多くの研究では白血病で2年、固形癌で10年の潜伏期が仮定されている。
- 放射線科医、診療放射線技師は国家資格であるため、総じて高学歴で健康意識も高い、すなわち高い社会経済状態にある比較的均一な集団と考えられる。これに対して原子力施設従事者の集団は、さまざまな組織・職種の方が混在し、被ばく線量の高低により喫煙などの生活習慣が異なるといういわゆる交絡が存在する可能性がある。
- 原子力施設従事者の解析結果は一貫していない。放射線による健康影響が見られたという報告がある一方、見られなかったという報告もある。

(4) 日本における放射線疫学調査 J-EPISODE の概要, 日本診療放射線技師会誌 2023 年 3 月号 (非オープンアクセスにつき抄録のみ)

誌上講座 ●
低線量放射線による健康影響 ③

lecture
in
the
magazine

執筆者：
工藤 伸一
公益財団法人放射線影響協会

01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
11
12
13
14
15

日本における放射線疫学調査 J-EPISODE の概要

本連載は4回を予定している。第1回は放射線科医 (Radiologist), 診療放射線技師 (Radiological technologist) を対象とした疫学研究をレビューし, 第2回では原子力施設従事者 (Nuclear worker) を対象とした疫学研究をレビューした。第3回に当たる今回は, 日本の原子力発電施設等従事者を対象とした疫学研究 J-EPISODE (Japanese epidemiological study on low dose radiation effects) を紹介する。第4回は, 英米仏の合同解析 INWORKS (International nuclear workers study) を取り上げる予定としている。

誌上講座 ◆ 1 (000)

3. 3 学会発表

(1) 放射線業務従事者における生活習慣・社会経済状態・放射線による非新生物疾患死亡リスク. 第95回日本産業衛生学会、高知、2022.5.26

O21-4

放射線業務従事者の生活習慣・社会経済状態・放射線による非新生物疾患死亡リスク

工藤 伸一、古田 裕繁、三枝 新

公益財団法人放射線影響協会 放射線疫学調査センター

【背景・目的】放射線影響協会では、原子力発電施設等の放射線業務従事者をコホートとして、低線量放射線の健康影響について知見を得るための疫学調査を行っている。調査の一環として行った生活習慣等アンケート調査により、喫煙等の生活習慣、教育年数等の社会経済状態の情報を取得し、これとは別に取得した被ばく線量情報と併せて非新生物疾患の死亡リスクを検討した結果を報告する。

【方法】1999年3月末日までに放射線業務に従事した日本人のうち、2003年7月1日時点で40歳以上85歳未満の男性を抽出した。さらに2002年3月末までの累積線量が10mSv以上の場合は全員を、10mSv未満の場合は40%を抽出し、生活習慣等に関する自記式アンケート票を郵送により73,542人に配付した。生死の確認は地方自治体への住民票の写しの交付申請により行い、死亡が確認された者については、厚生労働省より提供を受けた人口動態調査死亡票との照合により死因を把握した。放射線については、放射線影響協会放射線従事者中央登録センターより提供を受けた実効線量の累積被ばく線量を解析に用いた。ポアソン回帰モデルを用いて年齢、地域を層別調整し、喫煙(pack-year)、飲酒(一日当たりのエタノール量)、健康意識、検診受診頻度、朝食接種状況、睡眠状況、Body Mass Index (BMI)、職種、職位、教育年数、放射線を同時に考慮して死亡率の説明変数とした。放射線以外の変数における欠損は、多重代入法で補完した(放射線については欠損はない)。変数毎の死亡リスクは基準群に対するカテゴリ別の相対リスク危険(RR)で表した。

【結果】アンケート調査回答者のうち、調査適合条件を満たさない者を除外した41,742人(配布者に対して57%)を解析対象者とした。アンケート回答時の平均年齢は54.9歳(±9.6歳)、潜伏期10年を仮定した平均累積線量は24.8mSvであった。非新生物疾患全体を対象死因とした場合、喫煙は有意に高いリスク(RR=1.29~2.20)を示したが、用量反応は明確ではなかった。飲酒は少量飲酒群で有意に低いリスク(RR=0.75)が見られた一方、過去飲酒群では有意に高いリスク(RR=1.79)が見られた。その他、検診受診頻度が低い群、朝食接種が時々群において、有意に高いリスクが見られた(RR=1.40~1.56)。睡眠状況が眠れないと回答した群、及びBMIが18.5未満、30以上の群では喫煙に匹敵する有意に高いリスクが見られた(RR=1.84~2.11)。放射線は有意差が見られなかった(RR=0.92~1.17)。

【結論】放射線業務に従事する職業集団において、非新生物疾患全体の死亡に影響する要因を生活習慣、社会経済状態、放射線別に検討した。考慮した要因の中で喫煙、BMI、睡眠状況の影響は大きく、その他に飲酒、検診受診頻度、朝食接種による影響もみられた。低線量放射線によるリスクは有意ではなく、あったとしても生活習慣、社会経済状態によるリスクより小さいと思われる。なお、循環器系疾患、呼吸器系疾患等の詳細な解析結果は学会において報告する。

※ 本調査は原子力規制委員会原子力規制庁の委託業務として実施した。

- (2) A Risk Comparison between Lifestyle, Socioeconomic Status, and Radiation among Japanese Nuclear Workers (J-EPISODE). Health Physics Society 2022, Spokane, US, 2022.7.18.

A Risk Comparison between Lifestyle, Socioeconomic Status, and Radiation among Japanese Nuclear Workers (J-EPISODE)

Shin'ichi Kudo, Hiroshige Furuta, and Shin Saigusa
Radiation Effects Association, Japan

The Radiation Effects Association of Japan (REA) has been conducting epidemiological studies to investigate on the health effects of low-dose radiation using a cohort of nuclear workers since 1990. The aim of this study is to conduct a comparison of the cancer risk of mortality between lifestyle habits such as smoking, and socioeconomic status such as years of education, and radiation among Japanese nuclear workers.

The cohort was consisted by male nuclear workers in Japan who answered a lifestyle questionnaire survey conducted during 2003–2004. Workers' vital statuses were ascertained by workers' residence registration cards issued by local government offices. Causes of death were identified by data linkage with death records approved for use and provided by the Ministry of Health, Labor and Welfare. The dose records were supplied by Radiation Dose Registry Center within the REA. Personal dose equivalent $H_p(10)$, which is the operational quantity of effective dose obtained from dosimeter readings, was used in the analysis. To exclude systematic errors caused by missing values of questionnaire (from 1 to 12% by questions), multiple imputation was used to impute the missing values. Poisson regression was used to estimate relative risks and confidence intervals for smoking (pack-years), alcohol consumption (ethanol/day), health consciousness, frequency of medical examination, breakfast intake, sleep, body mass index, job category, position, years of education, and cumulative radiation dose.

The number of cohort member was 41,742. The mean age and 10-year-lagged cumulative dose were 54.9 y and 24.8 mSv, respectively. Significantly high relative risks were determined for smoking, alcohol consumption, frequency of medical examination, breakfast intake, sleep, and body mass index. Significantly high relative risks of radiation were not shown except for lung cancer and smoking related cancers of 5- and 50- mSv categories. Their point estimates were smaller than the RR for smoking—especially significantly lower than that for the 40 pack-year and over. The comparison of radiation and smoking risk is unit-dependent, but these results suggest that the low dose radiation risk, if any, is less than smoking and probably less than other lifestyle factors. This study was funded by Nuclear Regulation Authority, Japan.

(3) Reconstruction of Organ Dose from Emergency Work Dose at Fukushima: J-EPISODE. Health Physics Society 2022, Spokane, US, 2022.7.18.

Title: **Reconstruction of Organ Dose from Emergency Work Dose at Fukushima: J-EPISODE**

Authors: Hiroshige Furuta, Shin'ichi Kudo and Shin Saigusa
Radiation Effects Association, Japan

Abstract:

J-EPISODE, a Japanese nuclear worker cohort study, has developed organ dose conversion coefficients from dosimeter readings for normal work dose, following the established methods adopted by International Agency for Research on Cancer 15-Country Collaborative Study. Emergency work doses derived from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident occurred in March 2011 were provided as the sum of external and internal emergency doses by fiscal year (FY; April to March) and worker. Challenges for reconstructing organ dose for risk analysis were as follows; 1) partitioning into external and internal doses, 2) disaggregation of internal doses evaluated in committed doses into doses derived from intake of I-131 and Cs-137, and 3) conversion from committed doses to annual internal doses. Partitioning was conducted using sample of ad-hoc lifting designation records, which included detailed dose history, but were not available for those keeping to work. ICRP CD1, Database of dose coefficient, was used for conversion from committed doses to annual internal doses. To compliment lack of information, several assumptions were employed; 1) for external exposure, the photon energy and geometry distribution was the same as those of normal work, 2) intake of I-131 and Cs-137 was conducted at the first day of emergency work based on the conservative acute exposure scenario by the Ministry of Health, Labour and Welfare; on 12 March 2011 for committed doses in FY 2010 and on the first April 2011 for those in FY2011, and 3) the amount of intake of I-131 and Cs-137 were proportional to those concentration in the air. As a result, emergency work external dose was halved from 19 mSv in FY2010 to 11 mSv in FY2011, and the internal dose was reduced by about one-tenth, from 10 mSv to 0.7 mSv. The internal dose in March 2011 was mostly derived from I-131, and since most of it was accumulated in the thyroid gland after inhalation, the effect on other tissues/organs doses was smaller than the effective dose coefficient by two orders of magnitude. Except for the thyroid gland, the contribution of emergency work doses on the specific cumulative organ-absorbed doses was limited. J-EPISODE will use organ-absorbed doses including both normal and emergency work doses for the coming risk analysis. This study was funded by Nuclear Regulation Authority, Japan.

- (4) 潜伏期の仮定はそれ自体が放射線リスク推定値を上昇させる。日本放射線影響学会第65回大会、大阪、2022.9.16.

PS3-58

A lag period assumption itself increases the radiation risk estimate

潜伏期の仮定はそれ自体が放射線リスク推定値を上昇させる

○ Shin'ichi KUDO, Yoshie MIWA, Hiroshige FURUTA, Shin SAIGUSA
Radiation Effects Association

○ 工藤 伸一、三輪 祥江、古田 裕繁、三枝 新
公益財団法人放射線影響協会

Since there was a lag of two and 10 years, between the onset of leukemia and solid cancers among A-bomb survivors, a similar lag is assumed in the analysis of radiation risk to low-dose radiation among nuclear workers.

In order to reflect this lag in the calculation of radiation risk, the cumulative dose is applied to the cumulative dose at a time point that is as old as the lag. In Poisson regression, stratified data consisting of person-years observed, number of deaths observed, and average cumulative dose for each covariate are used to estimate excess relative risk per Sievert (ERR/Sv).

As a result of the lag period assumption, the mean doses in the lowest and highest dose categories are reduced compared to the case without lag. In addition, the mortality decreases in the lowest dose category and increases in the other categories. Assuming a 10-year lag for the 204,103 Japanese nuclear worker cohort, the mean dose (mSv) for the lowest dose category decreased from 0.7 to 0.6 and for the highest dose category from 159.3 to 149.3. The crude mortality per 10,000 decreased from 26.9 to 25.0 for the lowest dose category and increased from 29.5 to 38.9 for the highest dose category. Since ERR/Sv is estimated to be zero when the dose is zero, the assumption of a lag results in an increase in ERR/Sv, and this tendency increases as the lag period increases.

This study was funded by the Nuclear Regulation Authority.

- (5) 福島原発事故の預託実効線量から臓器線量への変換における不確かさ：原子力施設作業員コホート研究 J-EPISODE. 日本放射線影響学会第 65 回大会、大阪、2022.9.16.

OS7-3

Uncertainties in organ dose reconstruction from committed effective dose in Fukushima accident: The nuclear worker cohort study J-EPISODE

福島原発事故の預託実効線量から臓器線量への変換における不確かさ：原子力施設作業員コホート研究 J-EPISODE

○ Hiroshige FURUTA, Shint'ichi KUDO, Shin SAIGUSA

Radiation Effects Association

○ 古田 裕繁、工藤 伸一、三枝 新

(公財) 放射線影響協会

Introduction:

The nuclear worker cohort study J-EPISODE includes 4,000 emergency workers from the Fukushima nuclear accident, many of whom were internally exposed. Due to the lack of available information, the reconstruction of organ dose from the committed effective dose assessed by employers needed to assume the followings: the intake of radionuclides took place on the day designated for emergency work, and the intake of radionuclides was proportional to the air concentration.

Methods:

The above assumptions introduced uncertainties in the estimation of organ dose conversion factors. These uncertainties were evaluated based on simulations of acute or chronic intake scenarios and cases involving short-lived Te-132.

Results:

Internal dose in March 2011 was dominated by I-131 accumulated in the thyroid gland, whose effect on colon dose was two orders of magnitude smaller than the effective dose coefficient, and the acute intake scenario was overestimated by 30-40% compared to the chronic one; Te-132 affected colon dose 10 times more than I-131 but the contribution of I-131 to organ doses was found to be limited, even after taking into account uncertainties such as the gap between the designated date and the first workday and missing air concentration data in the first week after the accident. After June 2011, the mean internal doses rapidly decreased and the intake of I-131 became negligible. Cesium-dominated internal dose contributed more to the colon conversion factor than in March, but the smaller internal dose magnitude offset this effect.

The Nuclear Regulation Authority funded this study.

- (6) Uncertainties in organ dose reconstruction from Fukushima accident emergency work dose in J-EPISODE cohort study. Estoril, Portugal, 2022.10.13.

Emergency preparedness, response and recovery

P3.2

Uncertainties in organ dose reconstruction from Fukushima accident emergency work dose in J-EPISODE cohort study

Hiroshige Furuta, Shin'ichi Kudo and Shin Saigusa

furuta@rea.or.jp

Radiation Effects Association, 1-9-16, Kaji-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-0044, Japan

Introduction

Of the 20,000 emergency workers from the 2011 Fukushima nuclear accident, 4,000 were included in the nuclear worker cohort study J-EPISODE, which included 78,000 men; the previous risk analyses with observation period through 2010 used the recorded dose in $H_p(10)$ before the accident, but recently, organ doses during normal work have been reconstructed according to established methods. However, the reconstruction of organ doses during emergency work had to assume many matters due to the lack of available information: 1) the intake of radionuclides took place on the first emergency work day, and 2) the intake of I-131, Cs-134 and Cs-137 was proportional to their air concentration.

Methods

The above assumptions led to uncertainties in the estimates of conversion factors for internal exposure, such as 1) acute and chronic intake scenarios, 2) missing data on actual working days, and 3) missing short-lived radionuclides. These uncertainties were evaluated based on literature review, simulation of intake scenarios using dose calculation software, sensitivity analysis and simulation of the case involving Te-132.

Results

The internal dose in March, the first month of the accident, was dominated by I-131 accumulated in the thyroid gland, and its effect on the colon dose was two orders of magnitude smaller than the effective dose coefficient. Te-132 affected colon dose coefficient ten times larger than I-131. After June 2011, the mean internal dose decreased rapidly and the intake of I-131 became negligible; the internal dose in June—dominated by Cesium—contributed more to the colon conversion coefficient than in March, but the effect on the colon dose was offset by the lower internal dose.

Conclusions

The contribution of emergency work dose to colon absorbed dose was limited even after accounting for uncertainties, and J-EPISODE plans to use organ absorbed dose in future risk analyses. This study was funded by the Nuclear Regulation Authority of Japan.

(7) Two topics from the epidemiological studies of Japanese nuclear workers. Radiation Research Society' s 68th Annual Meeting, Hawaii, US, 2022.10.16.

(S10-01) Two topics from the epidemiological studies of Japanese nuclear workers

Shin-Ichi Kudo, PhD. Institute of Radiation Epidemiology Radiation Effects Association, Tokyo, Japan

Since 1990, we Radiation Effects Association has been conducting J-EPISODE (Japanese epidemiological study on low-dose radiation effects), an epidemiological study of a cohort of radiation workers in Japan. We introduce two topics from the results of this analysis. The first is a comparison of the risk of cancer or non-cancer mortality from low-dose radiation with the risk of lifestyle and socioeconomic status. As part of our study, we conducted a lifestyle questionnaire. We compared relative risks of death from lifestyle habits (smoking, alcohol consumption, etc.), socioeconomic status (years of education, etc.), and radiation among these respondents. We found that the risk of cancer or noncancer mortality from low-dose radiation (mean dose was 24.8 mSv) is probably smaller than the lifestyle risk. We think that our results are reliable in that we have simultaneously calculated and compared lifestyle, socioeconomic status, and radiation risks in a single cohort. The second is the effect of smoking adjustment when considering radiation risk. As noted above, the risk of low-dose radiation is smaller than that of smoking, so that when smoking is confounding, radiation risk estimates are significantly affected by smoking. We found that smoking adjustment has the effect of reducing radiation risk estimates by less than half, depending on the cause of death. The confounding effect of smoking was thought to reflect differences in socioeconomic status among the dose groups. An epidemiological study of emergency workers in response to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident is currently underway at a different institution. Even though there are different forms of exposure, since both J-EPISODE and studies of FDNPP emergency workers studies of an occupational cohort, findings from our study may also be found in FDNPP emergency workers study.

This study was funded by the Nuclear Regulation Authority of the Government of Japan.

(8) J-EPISODE における新コホートの特性と予想される結果. 第 4 回日本保健物理学
会・日本放射線安全管理学会合同大会、福岡、2022.11.25.

2C1-2

J-EPISODE における新コホートの特性と予想される結果

Characteristics of the new cohort in J-EPISODE and expected results

工藤伸一¹⁾, 三輪祥江¹⁾, 古田裕繁¹⁾, 三枝新¹⁾

Shin'ichi KUDO¹⁾, Yoshie MIWA¹⁾, Hiroshige FURUTA¹⁾, Shin SAIGUSA¹⁾

(公財)放射線影響協会¹⁾

Radiation Effects Association¹⁾

【背景、目的】放射線影響協会（以下、放影協）では低線量放射線による健康影響についての知見を得るための疫学調査を1990年より実施している。2015年度以降は調査のフレームワークを変え、新しいコホートを設定した。この新コホートの特性と予想される解析結果について報告する。

【方法】放射線業務従事者に対して新コホートの対象者となることの意味確認調査を行い、同意者からは書面による同意書を取得した。この際に生活習慣等アンケート調査を実施し、喫煙等の生活習慣情報を取得した。被ばく線量は放影協内にある放射線従事者中央登録センターより $H_p(10)$ を取得した。

累積線量の増加に伴う喫煙等の調査項目の頻度の傾向が年齢群毎に異なるか否かについて、年齢と累積線量との交互作用を検定した。交互作用が有意であれば、累積線量の増加に伴う喫煙等の調査項目の頻度の傾向は年齢群毎に検定した。交互作用が有意でなければ、累積線量の増加に伴う喫煙等の調査項目の頻度の傾向は年齢を調整した上で集団全体に対して検定した。

【結果】解析対象者は78,798人、うち男性は77,993人、女性は805人であった。以下の集計、解析は男性を対象とした。2019年3月31日時点の平均年齢は59.4歳、平均線量は15.4 mSvであった。

喫煙については、年齢と累積線量との交互作用が有意であり、全ての年齢群において、累積線量の増加と共に現在喫煙者割合が増加する傾向が見られた。この傾向は2014年以前に設定した旧コホートにおいても見られており、喫煙調整は放射線リスク推定値を減少させることがわかっている。従って新コホートにおいても喫煙調整により放射線リスク推定値が減少することが予想される。

飲酒については、年齢と累積線量との交互作用が有意ではなく、集団全体において累積線量の増加と共に現在飲酒者割合が増加あるいは減少する傾向は見られなかった（旧コホートと同様）。このため飲酒の調整は放射線リスク推定値にはほとんど影響を与えないと思われる。

教育年数については、年齢と累積線量との交互作用が有意であり、全ての年齢群において、累積線量の増加と共に13年未満の割合が増加する傾向が見られた（旧コホートと同様）。教育年数の調整は放射線リスク推定値を減少させることがわかっているため、新コホートにおいても教育年数の調整により放射線リスク推定値が減少することが予想される。

旧コホートを対象とした解析では肝がんが高い放射線リスクが見られた。肝がんは80%程度が肝炎ウイルスに起因すると言われており、肝炎ウイルスの交絡が考えられたため、アンケート調査に肝炎ウイルス感染歴を含めた。年齢と累積線量との交互作用が有意ではなく、集団全体において累積線量の増加と共に肝炎ウイルス感染経験者の割合が増加あるいは減少する傾向は見られなかった。このため肝炎ウイルス感染歴の調整は放射線リスク推定値にはほとんど影響を与えないと思われる。今後の肝がんの解析結果については注視が必要と考えられた。

利益相反なし。本研究は原子力規制委員会原子力規制庁の委託業務として実施した。

- (9) 放射線業務従事者コホート J-EPISODE の第Ⅶ期解析計画. 第 4 回日本保健物理学会・日本放射線安全管理学会合同大会、福岡、2022.11.25.

2C2-1

放射線業務従事者コホート J-EPISODE の第Ⅶ期解析計画

Analysis Plan for Phase VII of Nuclear Worker Cohort J-EPISODE

古田裕繁¹⁾, 工藤伸一¹⁾, 三輪祥江¹⁾, 三枝新¹⁾

Hiroshige FURUTA¹⁾, Shin'ichi KUDO¹⁾, Yoshie MIWA¹⁾, Shin SAIGUSA¹⁾

(公財)放射線影響協会¹⁾

Radiation Effects Association¹⁾

【背景・目的】

放射線影響協会は、1990 年から放射線業務従事者を対象に、低線量放射線の健康影響調査(J-EPISODE)を行っている。第Ⅵ期調査(2015-2019 年度)で意思確認調査及び生活習慣調査を行い、現在、2019 年度に新たに設定した全員同意者から構成され、ベースライン生活習慣情報をもつ約 8 万人の追跡を行っている。線量は従来の記録線量 $H_p(10)$ の他に、臓器吸収線量を用いる。目標指標は死亡だけでなく、全国がん登録制度に基づくがん罹患も対象とする。第Ⅶ期調査(2020-2024 年度)の最終年度に中間結果を公表する予定である。本研究では第Ⅶ期の放射線リスク解析の計画を報告する。

【方法】

1) 第Ⅶ期解析の観察期間は、死亡は 2015 年から 2021 年末に、がん罹患は 2016 年から 2020 年末に設定する。個人別の追跡開始は意思確認調査同意日からとする。2) 線量は放射線従事者中央登録センターから 1957-2021 年度の記録線量を取得する。通常作業線量には構築済の臓器線量換算係数を適用する。福島第一原発事故緊急作業線量は、外部・内部別に臓器線量換算係数を構築中であり、通常作業+緊急作業の臓器吸収線量をリスク推定に用いる。3) 第Ⅶ期死亡解析のための生死確認は、2023 年度末までに住民票取得により完了し、死亡者と 2015-2021 年人口動態調査死亡票とのマッチングを行い、死因を特定する。これが死亡解析データとなる。4) がん罹患解析は、2016-2020 年分全国がん登録データと、当協会が作成する 2020 年までの住所情報を含む外部照合データとのリンケージの結果、提供されたがん罹患データから、第一原発がんを特定する。これががん罹患解析データとなる。

【結果】

1) 死亡解析の予想観察人年は約 30 万で、信頼区間の幅が広いことが予想される。臓器線量によるリスク推定値 ERR/Gy は記録線量による ERR/Sv を若干上回ることが予想される。2) がん罹患解析の予想観察人年は約 20 万と、死亡解析より少ない。一方、2019 年全国の死亡・罹患(MI)比は 0.38 であり、がん死亡数の倍以上のがん罹患数が期待できる。3) がん死亡とがん罹患の放射線リスク推定値の差は LSS では小さいが、検診技術の進歩で MI 比も低下しているため、両者の差は注視すべき点である。

【結論】

本計画の達成は主要な疫学調査との比較を可能とし、更なる追跡継続によって LSS と比較可能な精度の高い結果が得られることが期待される。

【その他】

利益相反なし。本研究は原子力規制庁の委託事業である。

(10) Radiation Epidemiological Study of Nuclear Workers in Japan: progress of J-EPISODE since study period VI. 第 33 回日本疫学会学術総会、浜松、2023.2.15

OD-S004

Radiation Epidemiological Study of Nuclear Workers in Japan: progress of J-EPISODE since study VI

○Shin Saigusa

Institute of Radiation Epidemiology, Radiation Effects Association

To evaluate the low-dose radiation risk, the Japanese epidemiological study on low-dose radiation effects (J-EPISODE) had started since 1990 and the successive agencies of Japanese government commissioned an epidemiological study of nuclear industry workers in Japan to the Radiation Effects Association (REA). In order to examine the association between cumulative radiation dose and mortality, the follow-up study had been conducted for every five years as one study period. And, until 2014, for a total of five periods, from I to V, 25 years of mortality follow up survey of approximately 204,000 Japanese male radiation workers had been implemented.

From the surveys up to Vth study period (- 2014), confounding factors were observed other than radiation, such as lifestyle habits including smoking and socioeconomic status for example years of education. As a result, it became clear that the adjustment by such a confounding factor is necessary to examine the effects of low-dose radiation. Meanwhile in 2016, the Act on Promotion of Cancer Registration, etc. had been enforced and, in addition to the cancer mortality follow-up survey, it became possible to design a more sensitive cancer morbidity survey.

On year 2015, based on these considerations, the VIth study period have started to construct a new study cohort. Request agreement to become subject of the new epidemiological study, explanatory materials, etc. were sent to approximately 213,000 nuclear workers (both present and retired). Finally, 78,798 workers (77,993 males and 805 females) who responded validly to the lifestyle survey were defined as the respondents to be analyzed.

In this presentation, progress of J-EPISODE study since VIth study period (2015-2019) to the middle of VIIth (2020-) will be introduced.

This study was commissioned by the Nuclear Regulation Authority of the Government of Japan.

- (11) 原子力施設作業員コホートと全国がん登録のリンケージ:放射線大腸がん罹患リスクと検診受診行動の交絡. 第33回日本疫学会学術総会、浜松、2023.2.3.

O-35

原子力施設作業員コホートと全国がん登録のリンケージ:放射線大腸がん罹患リスクと検診受診行動の交絡

○古田 裕繁、三輪 祥江、工藤 伸一、三枝 新

放射線影響協会放射線疫学調査センター

【背景】放射線影響協会は2019年度に全員同意者から構成されベースラインの生活習慣情報をもつ約8万人男性の原子力施設作業員コホートJ-EPISODEを設定し、がん罹患を追跡している。大腸がんは、上皮内がんが発見されると、全国がん登録では悪性新生物でカウントされない。このため放射線のがん罹患リスクを悪性新生物だけで評価すると過小評価の可能性がある。また、上皮内がん発見が、健康意識や社会経済的地位に関連していれば、放射線とがん罹患との関連に交絡している可能性がある。

【目的】J-EPISODEの2016-2018年がん罹患データをクロスセクション分析し、交絡の可能性を検討する。

【方法】全国がん登録2016-2018年データとJ-EPISODEのリンケージを行い、がん罹患データを取得した。CT検査受診歴、X線透視検査受診歴別の大腸上皮内がん初診発見率を計算した。

【結果】1) 2016-2018年の上皮内がん罹患数(265件)は、部位別に大腸(151件)、膀胱(54件)が多かった。一方、悪性新生物罹患数(1857件)は、部位別に前立腺(416件)、胃(333件)、大腸(289件)、肺(204件)などが多かった。大腸がんは、上皮内がんと悪性新生物の比率がほぼ1対2と、上皮内がんの段階で発見される割合が高かった。また、大腸上皮内がんの発見経緯が健診である割合は44%と、他の上皮内がんに比べて高かった。

2) 大腸上皮内がん初診発見率は、CT検査受診有りの方が無しより高かった。X線検査受診歴でも同様であった。

【考察】1) 検診受診行動と累積線量、学歴との関連は既知であったが、本研究では検診受診行動と発見経緯が健診である上皮内がん・悪性新生物との関連が確認できた。

2) 検診受診行動及びその背後にある学歴は大腸上皮内がん発見率と関連し、放射線と大腸がん罹患との関連に交絡している可能性がある。

【結論】大腸がん罹患リスク評価には、検診技術、検診受診行動、上皮内がん発見状況等を考慮する必要がある。

【その他】利益相反なし。本研究は原子力規制庁の委託事業である。がん罹患情報は、がん登録推進法に基づき情報の提供を受け、独自に作成・加工した。

(12) 放射線業務従事者における従事経験事業所数による特性の検討. 第 33 回日本疫学会
学術総会、浜松、2023.2.3.

O-32

放射線業務従事者における従事経験事業所数による特性の検討

○三輪 祥江、工藤 伸一、古田 裕繁、三枝 新

放射線影響協会放射線疫学調査センター

【背景・目的】放射線影響協会は、低線量・低線量率の放射線が、人体に与える健康影響についての科学的知見を得ることを目的として、原子力発電施設等の放射線業務従事者で構成されるコホート研究を、国の委託により1990年より行っている。放射線業務従事者の中には、その職歴において複数の原子力発電施設等での従事経験を有する者がいる。本研究の目的は、職業に関連した要素として従事を経験した事業所数（以下、従事事業所数）による被ばく線量等の特性の違いを検討することである。

【方法】2003年に実施した生活習慣アンケートの回答者41,742名（全て男性）を本研究のコホートとした。このアンケートにより、職種、職位、喫煙、飲酒の情報を取得した。各従事者の従事開始から回答時までの累積被ばく線量、及び従事事業所数は当協会中央登録センターより提供を受けた。喫煙等の項目を総喫煙量（Packyear）等で2群に分類し、従事事業所数と年齢群との交互作用をロジスティック回帰により検定した。交互作用が有意であれば従事事業所数の増加に伴う項目の頻度の増減傾向は年齢群毎にCochran Mantel Haenszel統計量により検定を行った。交互作用が有意でなければ年齢を調整した上で集団全体に対して検定を行った。

【結果】コホートの、回答時の平均年齢は54.9歳、平均被ばく線量は25.6mSvであった。従事事業所数の増加とともに、次の傾向が見られた。1) 職種：工程管理・放射線管理等の割合が増加した。2) 職位：技術指導の割合が増加した。3) 累積線量：10 mSv以上の割合が増加した。4) 総喫煙量：20以上の割合が増加した。5) 1日当たりのアルコール摂取量：1合未満の割合が減少し、1合以上3合未満の割合が増加し、3合以上の割合については増減傾向がみられなかった。

【結論】各従事者の所属する電力会社、下請企業等によって異動可能な事業所数の制約はあるものの、従事事業所数と職種、職位、被ばく線量、喫煙との間には合理的に説明可能な関連が認められた。飲酒の傾向についての解釈は更なる研究を要すると考えられた。

利益相反無し。本研究は原子力規制庁の委託事業である。