

電離放射線障害の業務上外に関する検討会

第1部 電離放射線にさらされる業務による疾病と放射線被ばくに関する医学的知見について

1 対象疾病

最新の医学的知見について検索を行った疾病及び各疾病の医学的知見の公表時期は以下のとおり。

胃がん（平成24年9月）、食道がん（平成24年9月）、肺がん（平成27年1月）、
膀がん（平成30年6月）、脳腫瘍（令和2年3月）、腎臓がん（令和4年12月）

2 文献の検索

以下条件により、上記疾病と電離放射線に関する文献を検索した。

○検索条件

米国国立医学図書館（National Library of Medicine）が運営する検索システム PubMed を用いて、電離放射線と各疾病について記載された文献について検索を行った。

なお、検索結果については、電離放射線によるリスクを評価していない文献や、小児期を対象としている文献等については、労災補償との関連性が低いため当該資料からは除外している。

疾病名	検索対象期間	検索条件
胃がん	令和6年7月～令和7年6月	①(("neoplasms, radiation induced/epidemiology"[MeSH Terms] OR "neoplasms, radiation induced/secondary"[MeSH Terms]) AND "Stomach Neoplasms"[MeSH Terms]) AND "radiation exposure"[All Fields] AND ("gastric cancer"[All Fields] OR "cancer of the stomach"[All Fields] OR "stomach cancer"[All Fields] OR "gastric carcinoma"[All Fields]) AND "epidemiology"[All Fields] ② ("humans"[MeSH Terms] AND "stomach neoplasms"[MeSH Terms] AND "radiation"[MeSH Terms] AND "epidemiologic studies"[MeSH Terms]) NOT "radiation, nonionizing"[MeSH Terms]
食道がん	令和6年7月～令和7年6月	①(("neoplasms, radiation induced/epidemiology"[MeSH Terms] OR "neoplasms, radiation induced/secondary"[MeSH Terms]) AND ("esophagus Neoplasms"[All Fields] OR "esophageal"[All Fields] OR "esophagus Neoplasms"[All Fields] OR "oesophageal Neoplasms"[All Fields]) ② ("humans"[MeSH Terms] AND "esophageal neoplasms"[MeSH Terms] AND "radiation"[MeSH Terms] AND "epidemiologic studies"[MeSH Terms]) NOT "radiation, nonionizing"[MeSH Terms]
肺がん	令和6年5月～令和7年5月	① (((("neoplasms, radiation induced/epidemiology"[MeSH Terms] OR "neoplasms, radiation induced/secondary"[MeSH Terms]) AND "Lung Neoplasms"[MeSH Terms]) NOT "Radon"[MeSH Terms]) ② "humans"[MeSH Terms] AND "lung neoplasms"[MeSH Terms] AND "radiation"[MeSH Terms] AND "epidemiologic studies"[MeSH Terms]) NOT "radiation, nonionizing"[MeSH Terms]

		studies"[MeSH Terms]) NOT "radiation, nonionizing"[MeSH Terms]
膵がん	令和6年7月～令和7年6月	("humans"[MeSH Terms] AND "pancreatic neoplasms"[MeSH Terms] AND "radiation"[MeSH Terms] AND "epidemiologic studies"[MeSH Terms]) NOT "radiation, nonionizing"[MeSH Terms]
脳腫瘍	令和6年7月～令和7年6月	①("neoplasms, radiation induced/epidemiology"[MeSH Terms] OR "neoplasms, radiation induced/secondary"[MeSH Terms]) AND "brain neoplasms"[MeSH Terms] AND "adult"[MeSH Terms] ② ("humans"[MeSH Terms] AND "central nervous system neoplasms"[MeSH Terms] AND "radiation"[MeSH Terms] AND "epidemiologic studies"[MeSH Terms]) NOT "radiation, nonionizing"[MeSH Terms]
腎臓がん	令和6年7月～令和7年6月	① ("humans"[MeSH Terms] AND "kidney neoplasms"[MeSH Terms] AND "radiation"[MeSH Terms] AND ("epidemiologies"[All Fields] OR "epidemiology"[MeSH Subheading] OR "epidemiology"[All Fields] OR "epidemiology"[MeSH Terms])) NOT "radiation, nonionizing"[MeSH Terms] ② : ("neoplasms, radiation induced/epidemiology"[MeSH Terms] OR "neoplasms, radiation induced/secondary"[MeSH Terms]) AND "kidney neoplasms"[MeSH Terms] AND "adult"[MeSH Terms]

3 文献について

文献の概要は以下のとおり。なお、文献は英語のため、検討会での参考資料として日本語の概要を記載するものである。

○対象疾病ごとの文献一覧

	文献1	文献2	文献3	文献4
胃がん	○	—	—	—
食道がん	○	—	—	—
肺がん	○	○	○	—
膵がん	○	—	—	—
脳腫瘍	○	○	—	○
腎臓がん	○	○	—	—

文献1 低線量放射線被ばく後の部位別がん死亡率の解析：原子力産業従事者のコホート研究（INWORKS）の更新（Richardson ら、2025年）

【共通事項】

- ・ 仏英米 3 カ国の原子力産業従事者のプール解析で、1944～2016 年のデータを追跡した部位別がん解析が行われた。コホートの対象者は 309,932 人、総観察人年は 1,072 万人年であった。個人線量計を用いて外部被ばく線量が推定され、内部被ばく線量も推定された。また、この外部被ばく線量を臓器別線量係数で割ることにより、標的臓器の吸収線量推定値 (Gy) が導出された。中性子被ばくについてはモニタリ

ング状況が確認され、中性子線量が観察された外部被ばくの全放射線量の 10%を超えるかどうかが確認された。

解析は標準的な部位別ポアソン回帰（最尤推定）および階層ポアソン回帰（ベイズ推定）が用いられた。ポアソン回帰モデルにおける最尤推定値は、国、到達年齢（5 歳間隔）、性別、出生年（10 歳間隔）、社会経済的状況、雇用期間または放射線作業従事期間、中性子モニタリング状況での層別化によって得られた。

- ・ 推定値の安定化を目的としたベイズ推定を用いた場合、肺など頻度の高い部位のがんでは影響は少なかったが、頻度の低い部位のがんでは、推定値がより極端ではなくなり、最尤推定よりも信頼区間が狭くなる傾向にあった。また、ベイズ推定ではすべての部位別がんの推定値は正であった。

【胃がん】

固形がんによる死亡は 28,089 例で、胃がんは 1,236 例であった。推定累積線量 >0 mGy の作業者における胃の平均累積線量は 20.8 mGy と推定された。

潜伏期間は 10 年、もしくは 5 年、15 年で解析が行われた。胃がんの場合 10 年よりも 5 年の仮定で行われた解析結果のほうが良好な適合度であった。15 年の仮定で得られた解析結果は、10 年の仮定で得られた解析結果と同等か、それよりもモデルの適合度は良くなかった。

胃がんの 1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 1.00 (90%CI: -0.13, 2.47)、ベイズ推定で 0.72 (90%CrI: 0.01, 1.44) と推定された。

線量範囲を 400 mGy 未満に限定した解析は 1,228 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 1.55 (90%CI: 0.19, 3.27)、ベイズ推定で 1.01 (90%CrI: 0.06, 1.92) と限定しない解析に比べてやや大きく推定された。最尤推定・ベイズ推定とともに、400 mGy 未満の線量範囲に限定した解析のいずれにおいても、正の関連性がみられた。1958 年以降の雇用に限定した解析は 687 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 1.73 (90%CI: -0.23, 4.44)、ベイズ推定で 1.61 (90%CrI: 0.16, 3.14) と推定された。内部被ばくがないまたは内部モニタリングで異常が指摘されていない従事者に限定した解析は 954 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 2.43 (90%CI: 0.43, 5.06)、ベイズ推定で 1.49 (90%CrI: 0.21, 2.88) と推定された。中性子線被ばく歴のない従事者に限定した解析は 1,043 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 0.73 (90%CI: -0.73, 2.64)、ベイズ推定で 0.64 (90%CrI: -0.23, 1.55) と推定された。

【食道がん】

固形がんによる死亡は 28,089 例で、食道がんは 1,112 例であった。食道がんのリスク推定には胃の線量が用いられ、推定累積線量 >0 mGy の作業者における胃の平均累積線量は 20.8 mGy と推定された。

潜伏期間は 10 年、もしくは 5 年、15 年で解析が行われたが、食道がんの場合、5 年もしくは 15 年の仮定で得られた解析結果は、10 年の仮定で得られた解析結果と同等か、

それよりもモデルの適合度は良くなかった。

食道がんの 1 Gyあたりの ERR は最尤推定で-0.16 (90%CI: -1.06, 0.92)、ベイズ推定で 0.34 (90%CrI: -0.38, 1.00) と推定された。線量範囲を 400 mGy 未満に限定した解析は 1,108 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で-0.02 (90%CI: -1.11, 1.37)、ベイズ推定で 0.41 (90%CrI: -0.52, 1.27) であった。いずれも有意ではないものの、最尤推定では、400 mGy 未満の線量範囲に限定しない解析、400 mGy 未満の線量範囲に限定した解析いずれにおいても、負の関連性がみられ、ベイズ推定ではいずれにおいても正の関連性がみられた。1958 年以降の雇用に限定した解析は 699 例で、最尤推定では回帰モデルが収束せず、リスク推定値が得られなかった。ベイズ推定では 1 Gyあたりの ERR は 0.20 (90%CrI: -1.60, 1.84) と推定された。内部被ばくがないまたは内部モニタリングで異常が指摘されていない従事者に限定した解析は 904 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で-0.01 (90%CI: -1.62, 1.83)、ベイズ推定で 0.55 (90%CrI: -0.65, 1.74) と推定された。中性子線被ばく歴のない従事者に限定した解析は 962 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で-0.57 (90%CI: -1.80, 0.86)、ベイズ推定で 0.25 (90%CrI: -0.67, 1.14) と推定された。

【肺がん】

固形がんによる死亡は 28,089 例で、肺がんは 8,266 例であった。推定累積線量 >0 mGy の作業者における肺の平均累積線量は 20.8 mGy と推定された。

潜伏期間は 10 年、もしくは 5 年、15 年で解析が行われたが、5 年もしくは 15 年の仮定で得られた解析結果は、10 年の仮定で得られた解析結果と同等か、それよりもモデルの適合度は良くなかった。

肺がんの 1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 0.67 (90%CI: 0.21, 1.19)、ベイズ推定で 0.65 (90%CrI: 0.24, 1.07) と推定された。線形二次モデルと直線モデルで適合度を比較すると、肺がんでは線形二次モデルのほうが適合し、下向きの曲線のエビデンスが認められた。

線量範囲を 400 mGy 未満に限定した解析は 8,238 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 1.06 (90%CI: 0.50, 1.66)、ベイズ推定で 0.96 (90%CrI: 0.43, 1.45) と限定しない解析に比べてやや大きく推定された。最尤推定・ベイズ推定とともに、400 mGy 未満の線量範囲に限定しない解析、400 mGy 未満の線量範囲に限定した解析いずれにおいても、正の関連性がみられた。1958 年以降の雇用に限定した解析は 4,176 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 1.28 (90%CI: 0.37, 2.32)、ベイズ推定で 1.34 (90%CrI: 0.46, 2.19) と推定された。内部被ばくがないまたは内部モニタリングで異常が指摘されていない従事者に限定した解析は 6,783 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 1.25 (90%CI: 0.53, 2.04)、ベイズ推定で 1.17 (90%CrI: 0.48, 1.83) と推定された。中性子線被ばく歴のない従事者に限定した解析は 7,151 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 0.81 (90%CI: 0.18, 1.49)、ベイズ推定で 0.73 (90%CrI: 0.19, 1.27) と推定された。

【肺がん】

固形がんによる死亡は 28,089 例で、肺がんは 1,641 例であった。推定累積線量 >0 mGy の作業者における肺臓の平均累積線量は 19.2 mGy と推定された。

潜伏期間は 10 年、もしくは 5 年、15 年で解析が行われたが、5 年もしくは 15 年の仮定で得られた解析結果は、10 年の仮定で得られた解析結果と同等か、それよりもモデルの適合度は良くなかった。

肺がんの 1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 0.06 (90%CI: -0.80, 1.22)、ベイズ推定で 0.42 (90%CrI: -0.27, 1.10) と推定された。線量範囲を 400 mGy 未満に限定した解析は 1,632 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で -0.37 (90%CI: -1.40, 0.94)、ベイズ推定で 0.25 (90%CrI: -0.69, 1.13) と推定された。最尤推定では、400 mGy 未満の線量範囲に限定しない解析において正の関連性、400 mGy 未満に限定した線量範囲に限定した解析において負の関連性がみられた。

1958 年以降の雇用に限定した解析は 888 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で -0.42 (90%CI: -1.90, 1.40)、ベイズ推定で 0.55 (90%CrI: -0.90, 1.93) と推定された。内部被ばくがないまたは内部モニタリングで異常が指摘されていない従事者に限定した解析は 1,412 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 0.98 (90%CI: -0.45, 2.87)、ベイズ推定で 0.99 (90%CrI: -0.16, 2.12) と推定された。中性子線被ばく歴のない従事者に限定した解析は 1,397 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で -0.06 (90%CI: -1.47, 1.57)、ベイズ推定で 0.43 (90%CrI: -0.46, 1.31) と推定された。

【脳腫瘍】

固形がんによる死亡は 28,089 例で、脳腫瘍は 923 例であった。推定累積線量 >0 mGy の作業者における脳の平均累積線量は 18.6 mGy と推定された。

潜伏期間は 10 年、もしくは 5 年、15 年で解析が行われたが、5 年もしくは 15 年の仮定で得られた解析結果は、10 年の仮定で得られた解析結果と同等か、それよりもモデルの適合度は良くなかった。

脳腫瘍の 1 Gyあたりの ERR は、最尤推定では収束せず推定値が得られなかつたが、ベイズ推定では 0.26 (90%CrI: -0.65, 1.13) と推定された。

線量範囲を 400 mGy 未満に限定した解析は 922 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で -0.77 (90%CI: -2.18, 1.22)、ベイズ推定で 0.31 (90%CrI: -0.82, 1.34) と限定しない解析に比べてやや大きく推定された。ベイズ推定では、400 mGy 未満の線量範囲に限定しない解析、400 mGy 未満の線量範囲に限定した解析いずれにおいても、有意ではないが正の関連性がみられた。1958 年以降の雇用に限定した解析は 596 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定では回帰モデルで収束できなかつたため推定値が得られず、ベイズ推定で 0.46 (90%CrI: -1.55, 2.35) と推定された。内部被ばくがないまたは内部モニタリングで異常が指摘されていない従事者に限定した解析は 792 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で -0.68 (90%CI: -2.87, 2.05)、ベイズ推定で 0.51 (90%CrI:

-0.99, 1.92) と推定された。中性子線被ばく歴のない従事者に限定した解析は 814 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で-0.55 (90%CI: -2.75, 2.05)、ベイズ推定で 0.43 (90%CrI: -0.58, 1.48) と推定された。

【腎臓がん】

固体がんによる死亡は 28,089 例で、腎臓がんは 803 例であった。腎臓がんのリスク推定には膀胱線量が用いられ、推定累積線量>0 mGy の作業者における膀胱の平均累積線量は 21.3 mGy と推定された。

潜伏期間は 10 年、もしくは 5 年、15 年で解析が行われたが、5 年もしくは 15 年の仮定で得られた解析結果は、10 年の仮定で得られた解析結果と同等か、それよりもモデルの適合度は良くなかった。

腎臓がんの 1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 1.26 (90%CI: -0.10, 3.22)、ベイズ推定で 0.76 (90%CrI: -0.01, 1.51) と推定された。

線量範囲を 400 mGy 未満に限定した解析は 798 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 1.09 (90%CI: -0.58, 3.33)、ベイズ推定で 0.80 (90%CrI: -0.22, 1.82) と推定され、最尤推定では、線量範囲を限定しない解析の方がやや高い推定値が示された。最尤推定・ベイズ推定とともに、400 mGy 未満の線量範囲に限定しない解析、400 mGy 未満の線量範囲に限定した解析いずれにおいても、有意ではないが正の関連性がみられた。1958 年以降の雇用に限定した解析は 450 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 1.91 (90%CI: -0.28, 5.55)、ベイズ推定で 1.68 (90%CrI: 0.00, 3.23) と推定された。内部被ばくがないまたは内部モニタリングで異常が指摘されていない従事者に限定した解析は 680 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で 2.93 (90%CI: 0.27, 6.49)、ベイズ推定で 1.45 (90%CrI: -0.02, 2.94) と推定された。中性子線被ばく歴のない従事者に限定した解析は 699 例で、1 Gyあたりの ERR は最尤推定で-0.65 (90%CI: -2.82, 1.89)、ベイズ推定で 0.41 (90%CrI: -0.64, 1.43) と推定された。

文献2 マリンクロット化学工場のウラン加工作業従事者の第3次死亡率追跡調査、1942-2019年 (Milder ら、2024年)

【共通事項】

1942 年から 1966 年の間にウラン加工を行っていた米国・マリンクロット化学工場において 30 日以上従事した白人男性従事者 2,514 人を対象とし、前回の調査から 7 年延長された追跡によって 111,230 人年が観察された。本調査では放射線による外部・内部被ばく及びシリカ粉塵のばく露に関連するがん・非がんの死亡が解析されている。

臓器・組織特異的な線量評価は、国際放射線防護委員会の定める換算係数 (ICRP Publication 116) を用いて、作業者の放射線源への向きや姿勢、時間等を考慮して、計算が行なわれた。

外部被ばく及び内部被ばくの線量はフィルムバッジ記録 (モニタリング対象 n=2514)、職業上必要な胸部 X 線 (n=2514)、ウランバイオアッセイ (尿) 検査 (n=1868)、ラド

ン呼気測定によるラジウム摂取量 (n=487)、およびラドン周囲測定 (n=1356) が利用され、年間臓器線量が推定された。シリカ粉塵ばく露も推定された (n=1317) が、1952 年以降に雇用された対象者はばく露が無視できるとみなされた。

【肺がん】

ウラン、ラジウム、ラドンの崩壊生成物の摂取に対する線量加重係数 (Dose weighting factor) を 1 とした場合の、外部・内部被ばくによる肺線量の平均値および中央値はそれぞれ 65.6 mGy と 29.9 mGy であった。SMR、コックス比例ハザードモデルによるハザード比 (HR) およびポアソン回帰モデルによる ERR が解析された。潜伏期間は 10 年と仮定された。HR は出生年・給与体系 (時給もしくは月給) による社会経済的状況 (SES) が調整され、ERR では出生年、SES に加え、年齢を用いたベースライン率が調整されており、肺がんでは HR・ERR ともに粉塵ばく露も調整された。これらの交絡については有向非巡回グラフを用いて検証された。

全死亡 2,113 名うち気管支・気管がんを含む肺がんは 162 名が報告され SMR は 0.88 (95%CI: 0.75, 1.03)、月給制の従事者はそのうち 19 名で SMR は 0.49 (95%CI: 0.29, 0.77)、時間給制の従事者は 143 名で SMR は 0.98 (95%CI: 0.83, 1.16) であった。月給制の従事者の死亡率は時間給制の従事者の死亡率と比べて低下していた。

外部・内部被ばくによる肺線量から推定される 100 mGy における肺がんの HR は 0.93 (95%CI: 0.78, 1.11)、100 mGy における ERR は -0.10 (95%CI: -0.16, 0.08) であった。ERR は死者数が少ないので CI が広かったが、コックス回帰分析による HR の値とおおむね一致している。

全体的に肺線量が高かったものの、線量に伴う肺がんリスクの傾向は観察されなかった。しかし、喫煙に関する情報が得られていないため、確定的な結論は得られなかった。

【脳腫瘍】

ウラン、ラジウム、ラドンの崩壊生成物の摂取に対する線量加重係数 (Dose weighting factor) を 1 とした場合の、脳線量の平均値および中央値はそれぞれ 35.0 mGy と 13.8 mGy であった。潜伏期間を 10 年と仮定し、SMR、コックス比例ハザードモデルによるハザード比 (HR) およびポアソン回帰モデルによる ERR が推定された。HR は出生年・給与体系 (時給もしくは月給) による社会経済的状況 (SES) が調整され、ERR では出生年、SES に加え、年齢を用いてベースライン率が調整された。これらの交絡については有向非巡回グラフを用いて検証された。

全死亡 2,113 名の内、脳および中枢神経系 (ICD10 code: C70～72) の腫瘍は 23 症例が報告され SMR は 1.79 (95%CI: 1.14, 2.70)、月給制の従事者では 8 症例で SMR は 3.07 (95%CI: 1.32, 6.06)、時間給制の従事者では 15 症例で SMR は 1.47 (95%CI: 0.82, 2.43) であった。

脳線量を用いて推定された 100 mGy における脳腫瘍および CNS 腫瘍の HR は 0.65

(95%CI: 0.20, 2.13)、100 mGy における ERR は-0.13 (95%CI: <-0.25, 0.87) であった。月給制と時給制の従事者の両方で、脳腫瘍および CNS 腫瘍の SMR の増加が観察されたが、線量反応関係は観察されなかった。

【腎臓がん】

SMR、コックス比例ハザードモデルによるハザード比 (HR) およびポアソン回帰モデルによる ERR が解析された。潜伏期間は 10 年と仮定された。HR は出生年・給与体系 (時給もしくは月給) による社会経済的状況 (SES)、シリカ粉塵ばく露が調整され、ERR では出生年、SES、シリカ粉塵ばく露に加え、年齢を用いたベースライン率が調整された。これらの交絡については有向非巡回グラフを用いて検証された。

全死亡 2,113 名の内、腎臓がんは 16 名が報告され SMR は 1.15 (95%CI: 0.65, 1.87)、時給制の従事者は 12 名で SMR は 1.09 (95%CI: 0.56, 1.92) であった。月給制の従事者は 5 名以下で SMR は解析されていない。

腎臓線量から推定される 100 mGy における腎臓がんの HR は 2.07 (95%CI: 1.12, 3.79)、100 mGyあたりの ERR は 1.60 (95%CI: <-0.39, 27.57) であった。腎臓がんでは統計学的に有意な HR の増加がみられた。しかし、放射線で 100 mGy を超える線量は 3 症例であったため、放射線と腎臓がんの罹患リスクの推定値には不確実性があることも指摘された。また、23.6 mg/m³年以上のシリカ粉塵ばく露と 3.77 mg/m³年未満のシリカ粉塵ばく露の人数は腎臓がんでは 4 名と 11 名、非悪性腎臓病 (nonmalignant kidney disease, NMKD) では 11 名と 20 名であった。腎臓がんで 23.6 mg/m³年以上のシリカ粉塵ばく露の HR は 1.53 (95%CI: 0.27, 8.84) であったが、NMKD の HR は 3.02 (95%CI: 1.12, 8.16)、腎臓がんと NMKD 合計の HR は 2.46 (95%CI: 1.04, 5.81) と増加することも示された。シリカ粉塵ばく露による腎臓がんのリスク増加はみられなかった。

文献 3 1951 年から 1985 年の間にウラン被ばくしたファーナルド原料物質生産施設従業員の死亡追跡調査 (Milder ら、2024 年)

1951 年から 1985 年の間にファーナルド原料物質生産施設において、30 日以上ウラン加工に従事した米国 NL0 社の従業員 6,403 人・268,579 人年分を対象としたコホートで、放射線による外部被ばく・内部被ばく及びラドン被ばくに関連するがんと非がんの死亡が評価された。

外部被ばく線量は個人モニタリングに基づく線量から臓器線量が推定され、内部被ばく線量は、尿サンプルのウラン濃度が陽性と報告された作業員について摂取日から 2017 年までの年間臓器線量推定値が推定された。ラドン被ばくは空気中濃度から推定した作業レベル月 (WLM) を用いて年間肺線量が推定された。累積肺線量の平均値および中央値は、それぞれ 212.6 mGy と 28.0 mGy であった。

標準化死亡比 (SMR)、コックス比例ハザードモデルによるハザード比 (HR) およびポアソン回帰モデルによる過剰相対リスク (ERR) が解析された。潜伏期間は 10 年と

仮定された。性別以外の調整因子は有向非循環グラフ (DAG) により検証され、HR では出生年、給与体系（時給・月給）が調整された。ERR については雇用時の給与体系（時給・月給）、出生年、緊急時の被ばくが調整された。

死因不明を除く 4,134 人のうち、肺がん死亡は 397 名であった。肺がんの 100 mGy における HR は、外部被ばくで 1.45 (95%CI: 1.05, 2.01)、内部被ばくで 1.11 (95%CI: 0.78, 1.58)、累積肺線量で 1.00 (95%CI: 0.98, 1.01) となつた。外部被ばく線量と肺がん死亡について、統計的に有意な線量反応関係が観察されたが、外部被ばく線量と内部被ばく線量の両方が肺気腫と関連しており、喫煙による交絡の残存が示唆された。100 mGyあたりの肺がんの ERR は、0.01 (95%CI: -0.01, 0.03) であった。

文献4 中枢神経系腫瘍と職業性電離放射線被ばく：フランスの医療従事者 ORICAMs コホートにおけるコホート内症例対照研究 (Lopes ら、2024年)

フランスの医療従事者のうち、2002～2012 年に全国職業被ばく線量登録に線量記録のあった 164,015 人からなる Occupational Radiation-Induced Cancer in Medical staff (ORICAMs) コホートを対象に、2002～2013 年 12 月 31 日までの CNS 腫瘍による死亡についてコホート内症例対照研究が行われた。

外部放射線は Hp(10) の軟部組織の線量等量について検出下限 0.05 mSv の線量測定用バッジの測定値から推定され、全身被ばくとして取り扱われた。潜伏期間を 5 年と仮定し、条件付きロジスティック回帰モデルを用いて、被ばく線量と CNS 腫瘍による死亡率のオッズ比 (OR) が評価された。交絡因子について、職業（医師、放射線技師、看護師）での分類と、医師の専門分野（従来の放射線科医とその他、画像下治療心臓医及び放射線科医とそれ以外、そして、核医学とそれ以外）での分類による検証が行われた。潜在的交絡因子（BMI、喫煙の有無、アルコールの有無、既往歴）に関する情報は、症例の 21%、対照の 15% しか職業上の医療記録から収集できなかつたため、この情報を解析に含めることはできなかつた。

CNS 腫瘍による死亡は 33 例が報告された。CNS 腫瘍のうちの 29 例 (88%) は脳の悪性新生物であり、14 例 (12%) は脳及び中枢神経系の性状不詳又は不明の新生物によるものであった。各症例 1 例に対して、性別、出生年、コホート登録日、追跡期間に基づいて、該当症例の死亡時に生存していた対照の 5 例とマッチングされ、全 160 例が対照例として選択された。症例集団の平均年齢 (\pm SD) は 54 \pm 12 歳 (範囲: 24～72 歳)、平均累積全身線量は 5.8 \pm 13.7 mSv (範囲: 0.0～54.3 mSv)、平均の職業被ばく期間は 13 \pm 10 年 (範囲: 0～31 年)、初回被ばく時年齢は 37 \pm 12 歳 (範囲: 22～64 歳) であった。一方、対照集団は、平均年齢は 54 \pm 12 歳 (範囲: 23～73 歳)、平均累積被ばく線量は 4.1 \pm 15.2 mSv (範囲: 0.0～142.2 mSv)、平均の職業被ばく期間は 12 \pm 9 年 (範囲: 0～37 年)、初回被ばく時の年齢は 37 \pm 12 歳 (範囲: 19～67 歳) であった。

CNS 腫瘍による死亡率と、累積全身線量のオッズ比 (OR: 1.00, 95%CI: 0.98, 1.03)、被ばく期間のオッズ比 (OR: 1.03, 95%CI: 0.95, 1.12)、初回被ばく時の年齢のオッズ比 (OR: 0.98, 95%CI: 0.91, 1.06) がそれぞれ推定されたが、統計学的に有意な関

連は認められなかった。

4 ご議論いただきたい事項

収集した文献をもとに、これまでにとりまとめた医学的知見の結論について、変更する必要があるかについて検討をお願いしたい。