

特別報告

屋内ラドン対策に関する提言：建築物衛生と疾病予防の観点から

ヤマグチ イチロウ アズマ ケンイチ ゴトウ キョウイチ コバヤシ スミタカ
 山口 一郎* 東 賢一^{2*} 後藤 恭一^{3*} 小林 澄貴^{4*}
 ミチカワ タケヒロ サトウ ユウコ シマ マサユキ
 道川 武紘^{5*} 佐藤 祐子^{6*} 島 正之^{7*}

はじめに 私たちが生活する環境には自然放射線がある。このうち、吸入により被ばくする放射性物質としてラドンがある。日本では商業的にラドン温泉として利用されている。

ラドンの吸入によって肺がんを引き起こす証拠は疫学研究でも示されている。海外では公衆衛生の課題として対策が講じられている。日本では、屋内ラドンは規制対象ではなくガイドラインもないが、第159及び160回放射線審議会総会で取り上げられ、公衆衛生の課題であるとの意見があった。本研究の目的は、公衆衛生分野での屋内ラドン対策に関する現状と課題を整理することである。

方法 国際的な状況、国内の状況、これまでの研究の経緯、ラドンのリスク情報や対策法の提示等について2024年1月から11月にかけて公開情報を調査した。

結果 屋内空気、建材、一般消費財、食品、飲料水と言った環境中の自然放射性物質に対する対策が国際的に講じられる中、温泉を大切にす我が国特有の文化的な背景から、対策としては屋内ラドンに関する情報提供にとどまっていた。ただし、国内の米軍基地では国際的な基準に準拠した対応がなされており、高濃度の居住環境で改善が得られていた。

結論 屋内ラドン対策に関する現状と課題が明らかとなった。とくに換気が不十分な地下において相当時間を費やす場合には、ラドン濃度モニタリングの有用性を伝えることの優先度が高いと考えられた。ただし、日本の特性として原子力事故による被害を矮小化させていると誤解されないようにすることやラドン温泉からの放射線ばく露を好む独特な文化的な背景にも配慮が必要である。

Key words : ラドン, 居住環境, 環境リスク, 放射線

日本公衆衛生雑誌 2025; 72(6): 428-434. doi:10.11236/jph.24-117

I はじめに

日常の生活環境内に自然に存在する放射線からもヒトは被ばくしている。自然放射線には地球の誕生時からある自然放射性物質から放出されるものがあり、土壌にはトリウムやウランがある。これらは壊変系列となっており、それぞれラドンが生成される。ラドンは気体であり、空気中でラドンが壊変し

て生成される放射性核種は、吸入被ばくする放射線源ともなる。

疫学研究の進展によるラドンの肺がんリスク評価の見直しに伴い国外では屋内ラドン対策の取り組みが進められている¹⁾。そこで本報では、公衆衛生分野での屋内ラドン対策に関する現状と課題を整理した。

II 方法

国際的な状況、国内の状況、これまでの研究の経緯、ラドン曝露による肺がんリスク情報や対策法の提示等について、2024年1月から11月にかけて公開情報を調査した。

III 結果

1. 自然放射性物質に関する公衆衛生上の課題

屋内空気²⁾、建材³⁾、一般消費財⁴⁾、食品⁵⁾、飲料水⁶⁾と言った環境中の自然放射性物質に対する対策

* 国立保健医療科学院生活環境研究部
^{2*} 近畿大学医学部
^{3*} 医療創生大学看護学部
^{4*} 独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所
^{5*} 東邦大学医学部
^{6*} 元 神奈川県鎌倉市市民健康課
^{7*} 兵庫医科大学看護学部
 責任著者連絡先：〒351-0197 和光市南2-3-6
 国立保健医療科学院生活環境研究部 山口一郎
 E-mail : yamaguchi.i.aa@niph.go.jp

表1 ラドン被ばくの管理に関する参考レベル

<WHO, IAEA, ICRP が推奨する参考レベル>

WHO 屋内ラドンハンドブック (2009年) における参考レベル	住居	100 Bq/m ³ を勧告
IAEA. GSR Part.3 (2014年) における参考レベル	住居	通常は300 Bq/m ³ を超えない範囲で設定
	作業場	1,000 Bq/m ³ を超えない値に設定
ICRP. Pub.126 (2014年) における参考レベル	住居	上限値として300 Bq/m ³ を勧告 (100-300 Bq/m ³ の中で合理的に達成できる数値を推奨)
	作業場	グレーデッドアプローチを適用

<諸外国のラドン行動計画等における住居の参考レベル>

英国	住居	アクションレベル：200 Bq/m ³ サポートレベル (喫煙者などリスクが高い人向け)：100 Bq/m ³
カナダ	住居	200 Bq/m ³ ~600 Bq/m ³ の家庭：2年以内の対策を推奨 600 Bq/m ³ を超える家庭：1年以内の対策を推奨
オーストラリア	住居	200 Bq/m ³
米国	住居	4 pCi/L (148 Bq/m ³) 以上の場合は修理を推奨 2 pCi/L~4 pCi/L (74 Bq/m ³ ~148 Bq/m ³) の場合は修理を検討することを推奨
韓国	住居	148 Bq/m ³ ：勧告基準

が国際的に講じられる中、我が国特有の文化的な背景もあり屋内ラドンのリスクは情報提供にとどまっていた⁷⁾。

このような背景から放射性物質が一般消費財として意図的に利用される例がみられた^{8,9)}。ただし国内の米軍基地では国際的な基準に準拠した対応がなされている¹⁰⁾。また、ラドン濃度が高いことに気づいて適切な対応が取られた非公開事例がある。

2. 国際的な状況

ラドンが肺がんを引き起こす証拠は疫学研究でも示されており、国際がん研究機関 (IARC) は発がん性グループ 1 に分類している¹¹⁾。世界保健機関 (WHO) は生涯での100分の1の肺がんの発がんの過剰リスクを喫煙者で67 Bq/m³、非喫煙者で1,670 Bq/m³と推定しており、屋内ラドンの参考レベルとして100 Bq/m³を提案している。このレベルは、年間のばく露による預託実効線量として約10 mSvに相当する²⁾。表1にこれらの参考レベルを示す。国際原子力機関 (IAEA) でも関連した取り組みを進め¹²⁾、建材も含めたガイド (The Safety Guide SSG-32) や資料 (The Safety Report Series No. 117) を発行している。また、一般消費財を対象に The Safety Guide SSG-36を発行している。

各国での疫学研究は Yoon らによってもまとめられている。特異的にラドン濃度が高くなる場合としては、気温が高い時期に屋内ラドン濃度が高くなった例に関して周辺環境がもたらす影響や^{13,14)}、湿度との関係が研究されている¹⁵⁾。

ラドンは労働衛生の課題としても取り組まれてきた経緯があり、IAEA から Safety Standards Series として Protection of Workers against Exposure due to Radon が発行されている¹⁶⁾。

3. 国内の状況

1) これまでの研究の経緯

第159回放射線審議会を示されたこれまでの屋内ラドンの実態調査を表2に示す。

我が国の屋内ラドン濃度の実態として100 Bq/m³を超える家屋の割合は0.1%と推定されている¹⁷⁾。ただし、濃度が高い家屋がどの程度あるかは判然としていない。土壌中のラドン濃度は10 kBq/m³のレベルである。従って土壌から散逸しやすく局所的に留まると濃度は高くなり得る。

沖縄での研究では比較的高い濃度も確認されている^{18,19)}。また、特殊な空間でラドン濃度がより高くなることも知られている²⁰⁾。対策による低減例としては、米国の軍事施設で米国環境保護庁のガイドに従ったラドン濃度低減工事例がある²¹⁾。また、千葉の施設においても精緻な測定がなされており、最大で1,256 Bq/m³となっている²²⁾。

日本公衆衛生学会総会では過去には表3で示す発表があった。

ラドン測定に用いる受動型の検出器はα線の飛跡を計測しており、トリウム系列のRn-220が影響を与えることがある²³⁾。

日本建築学会のデータベースには²⁴⁾、各種建築材料について調べた研究も掲載されている²⁵⁾。建材中

表2 我が国における屋内ラドンの大規模調査及び放射線審議会等での検討

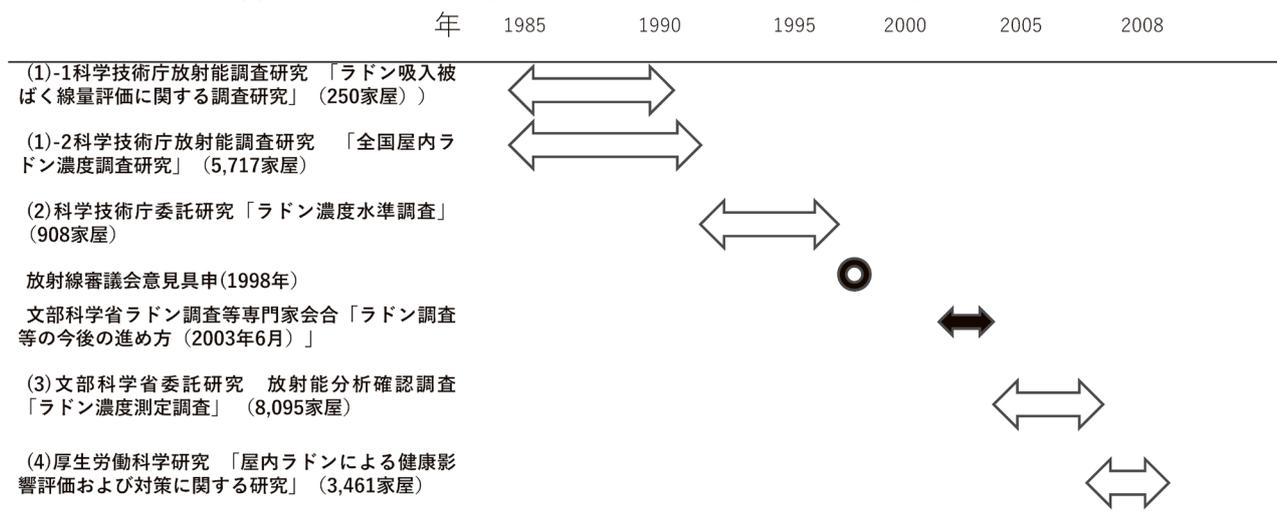


表3 日本公衆衛生学会総会での過去の発表

発表者	演題名と内容	発表回抄録頁
池田 耕一 (国立公衆衛生院), 他	住宅室内におけるラドン濃度実測 千葉県 の 7 軒 の 住 宅 で 測 定 し た 結 果, 最 大 濃 度 は 5.5 Bq/m ³ で あ っ た。	45回 P. 798
池田 耕一 (国立公衆衛生院), 他	実験住宅におけるラドンガスの量的収支の検討 床下構造のないコンクリート住宅で計測したところ窓を閉めると2-3日 で300 Bq/m ³ となり, 開けると半日で検出限界未満となった。	46回 P. 859
池田 耕一 (国立公衆衛生院 建築衛生学部), 吉沢 晋, 小峯 裕巳, 阿部 史朗	パッシブモニターによる住居室内のラドン濃度の実測 2 軒 で 計 測。 地 下 室 は 春 夏 に 上 昇 し 148 Bq/m ³ と な り 室 内 は 9.5 Bq/m ³ で あ っ た。	47回 P. 492
池田 耕一 (国立公衆衛生院 建築衛生学部), 吉沢 晋, 阿部 史朗, 阿部 道子	集合住宅におけるパッシブモニター法によるラドン濃度実測 2 階 以 上 は 濃 度 が 低 い が 地 下 室 は 28 Bq/m ³ で, 一 階 は 26 Bq/m ³ で あ っ た。	48回 II P. 926
太田 庸起子 (国立環境研究所), 市村 国俊, 溝淵 脩彦	屋内ラドン濃度の調査知見について 3 地 域 × 10 家 屋, デ パ ー ト 14 箇 所, ビ ル 101 箇 所 を 計 測 し 11-211 Bq/m ³ で あ っ た。	50回 II P. 997
鈴木 元 (国際医療福祉大学クリニック 健康管理センター), 山口 一郎, 緒方 裕光	全国屋内ラドン調査 100 Bq/m ³ を 超 え る 住 宅 は 沖 縄 県 3.8%, 岩 手 県 3.3% と 推 定。 2003 年 以 降 の 建 築 の 住 宅 で ラ ド ン 濃 度 が 低 く 建 築 基 準 改 正 法 の 影 響 が 示 唆。	69回 P. 561

の放射性物質の濃度が網羅的に調査されておりジルコニウム系の素材への注意が喚起されていた。

2) 屋外ラドンに関する研究

屋内ラドンには屋外のラドンも影響を与えうる。屋外ラドン濃度の季節変動として, 接地逆転層が発達しやすい秋季に地表付近のラドン濃度が高くなることが確認されている²⁶⁾。

また, 中国東北部でラドンの供給を受けた気流が日本に飛来し, 降雪に伴いラドン濃度や空間線量率の上昇をもたらしたとされる例がある²⁷⁾。

3) 放射線審議会での検討の経緯

放射線審議会基本部会の報告書「自然放射性物質の規制免除について」(2003年)²⁸⁾の中で, 「一般住居及び職場に関する調査の展開を待って, 対策レベルを検討することが適切である」としている。

放射線審議会第157回総会(2022年)では, IAEAの屋内ラドンに関する勧告等が紹介された。第158回総会(2023年)において, これまで実施されている全国的な屋内ラドン調査について改めて詳細を確認し, 追加調査の必要性等も含め検討すること, その上で IAEA の国際基本安全基準 (GSR) Part 3²⁹⁾の要求内容等を踏まえ対応方針を議論することが提案された。第159回総会(2023年)では, 我が国で過去に行われた屋内ラドンに関する既存の大規模調査がレビューされ, 我が国における屋内ラドンによる被ばく状況の把握や屋内ラドン濃度が比較的高い家屋の条件に関する検討について議論された。

4) 過去の放射線防護に関するルールの改正例

国際原子力機関による総合規制評価サービス (IRRS) の勧告 3 を受け³⁰⁾, 放射線障害防止の技術

的基準に関する法律が改正され、放射線審議会による意見具申もなされるようになった。その意見具申に基づき、眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会での検討を経て、省令改正がなされた。この改正は労働者の防護を目的としており、航空機乗務員の放射線防護策と同様に本来は労働者側から提案すべきであったと思われるが、放射線防護の専門家の指摘により法令が改正されている。この際、医療者側は患者の安全を確保する観点から労働者側が放射線リスクを取る経過措置対象医師制度の導入を全会一致で求めた。医療安全と労働安全のバランスの課題となるが関係者の意志を重視して調整する必要がある。リスクへの対応ではリスク情報を共有した上で利害関係者間の調整が重要であり地下の施設など労働者防護の対策の優先度が相対的に高いと考えられる。

5) 国内での報道や事例

読売新聞社のヨミダスで国内の報道を確認したところラドンのリスクに関して、1987年には「米のラドン汚染深刻 肺ガンで2万人死亡? 防止法を議会審議」「米10州ラドン汚染調査 2割が安全基準値超す」があり、1988年には「米、ラドン汚染深刻化 全家庭へ調査呼びかけ」、「家屋内ラドン要注意 肺ガン死 年2万人 米政府が警告」があった。2020年以降2023年7月までに、ラドン温泉の記事は21件がある。これらは放射線リスクではなく効能を扱っていた。関連した報道としては、岩盤浴タイルを扱う業者の書類送検事例があった(1985年)。

管理外の線源が発見され、行政の対応が必要となった例がある³¹⁾。温泉施設で使われていたパイプ内での堆積物として自然放射性物質が学校で発見された例もある³²⁾。またテロ対策に伴い一般消費財として使われる人工温泉に関係した線源が発見された例がある³³⁾。学校現場での線源の利用例もある³⁴⁾。

6) 国内での対応

建築基準法の改正(2022年)により、住居での換気環境が改善し、家屋内でのラドン濃度は低下していると考えられる。また、労働者の安全確保の観点でも作業環境管理が充実しており、日本では地質の特性からもラドン曝露リスクは低いと考えられるが、偶発的に対応した事例があった³⁵⁾。

IV 考 察

1. ラドンのリスク情報や対策法の提示

家屋の特性とラドン濃度の関係では、戸建て(木造、軽量鉄骨)、軽量集合、鉄骨(鉄筋)コンクリート造のマンションなど構造によってラドン濃度が異なる可能性があるだろう。これらは、建材の違

い、地面からの放散影響、床下構造による違いであったり、住宅の気密性能と換気による違い、あるいは、マンションに地下駐車場がある場合に由来する可能性がある。

その他の放出源として、自然放射性物質を比較的多く含む設備・什器からの放散も考えられる。100 m³の空間に10 kBqの線源があれば100 Bq/m³の濃度の上昇のインパクトを保ちうる。このため、骨材、石材や陶器類が放散源となりうる。

地域によって地質に特徴があるため、地域特性の観点からも検討が可能である。花崗岩はその生成過程の特徴からウラン・トリウム系列の濃度が高いという特徴がある。また、地表にラドンが散逸しやすいかどうか屋内濃度に影響を与える。住宅の気密性の観点では、北海道では戸建住宅でも気密性能が高く、凍結深度の規定のため床下を深く掘る必要があり、ラドンのリスクを高める要因になる。その一方で、基礎断熱なども行われるのでラドン濃度を下げることがある。一方、沖縄の戸建て住宅はブロックや鉄骨コンクリート造が多く適切な換気を行わないと木造住宅よりも屋内に侵入したラドンが屋内にとどまりやすい。

換気方式による違いもラドン濃度と関係する。第3種(pull)換気は室内側が負圧になりやすく、床下や壁中からラドンを引き寄せることになる。また、換気方式に関係なく、キッチンフードを使う際に十分な給気面積を確保しないと住宅全体が負圧になり、ラドン濃度を増加させる要因となる。

2. 今後の対応の進め方

第159回および第160回の放射線審議会では、ラドン対策を行うかどうかの判断における「正当化」に関して「公衆衛生に関する優先事項」が考慮されるとの議論があった³⁶⁾。環境経済学の立場から岡らは「正当化」とは、対策を講じることで不利益が介入でもたらされる便益を上回ることであったとした上で、この比較検討では視点も重要となると説明している。何故なら、利益と便益のバランスは視点にも依存するからである。ラドン対策で大きな便益をもたらせるのは少数にとどまるために公平性の確保が重要になる。放射線審議会での議論にあるように何らか屋内ラドンによる肺がんリスク低減対策を講じないことの理由として、介入の「正当性」が確保できないとするのであれば、公平性の確保が大前提となる³⁷⁾。

正当化の観点ではWHOのハンドブックでも検討結果が示されており、200 Bq/m³の参考レベルを提示した上で、5%以上の住居が200 Bq/m³となる地域では全ての新築建設物での対策の費用対効果が

優れていることが示されている。放射線審議会の資料でも示されているように国内ではそのレベルの地域はほぼないと考えられる。このため、公共施策の観点からは対策が必要な住居を特定するための測定費用が対策を行うかどうかの鍵となる。

ラドン濃度の増加を空間モニタリングで検出するのは容易ではない。半径5mの範囲で100 Bq/m³の濃度増加があっても、最大の線量率となる箇所でも周辺線量当量 H^{*}(10)として毎時1 nSv程度の増加にとどまる。しかし、国内でも床下ラドン濃度が4万 Bq/m³程度に達することが確認された学校の例がある。また換気と関連した経時的な変化が気づかれることがある。海外での対策が進む中でモニタリングのコストは低減されつつある。国内では地下で長時間滞在する者は極端に少ないと思われるが、たとえ少数であっても、そのような特殊な環境での労働者に対する配慮の優先度を高めるのがよく、そのような環境でのモニタリングの推進が公衆衛生上の施策として取り得るのではないだろうか。そのような観点から、2024年度には、令和6年度放射線対策委託費（我が国の職業上のラドン対応に関する検討のための調査）事業が行われることになった。

いずれにしても、屋内ラドン対策に関する検討は公衆衛生の課題であることから社会的な議論が欠かせず、国民に対するリスク情報の提供が必要である。環境省の放射線による健康影響等に関するポータルサイトでも情報が提供されており、学会からも改善の提案ができる。また、リスクへの対応は大きな心理的な負担をもたらすため、その配慮も欠かすことはできない。住民、業界、関連分野の研究者との協働が必要である³⁸⁾。また、世界保健機関から発行されている国連機関による環境保健に関するガイドラインの概要でもラドンに関する情報が加盟国向けにコンパクトにまとめられている³⁹⁾。

以上をもとに、今後の方向性の検討のために、以下のように整理した。

1) リスク情報の提供

ラドン対策に限らずリスクへの対応では政府機関や学会としての義務を果たす必要がある。ただし、自然放射線に関する情報提供はリスク比較に結びつきやすいので、原子力災害の影響を過小視させようとしていると曲解されないように配慮する必要がある。このため、消費者団体や建設団体とも連携するとよい。また、ラドンの効果は自治体によっては観光資源としているところもあり、患者会とも意見が対立する可能性があるため配慮が必要である。

2) 対策の実効性の確保

屋内ラドン対策の実効性を確保する観点からは、

介入対象となる建物の検知が重要になる。極端にラドン濃度が高いと空間線量率の増加の検出で検知でき、時系列データを把握することで感度を上げることができる。

居住環境は建築基準法により問題が低減しており、従来の日本家屋はラドン濃度が高くなりにくいですが、床下の工法に依存するので、その観点に着目した調査は効率的かもしれない。対策に向けての公的サービスの提供は、民業圧迫とのバランスも考慮する必要がある。換気が不十分であったり、地下からのラドン散逸を誘発しやすい環境で滞在時間が長い場合の優先度が相対的には大きい。

3) 対策の優先度の決定

屋内ラドン対策の効果は、国内各地の米軍基地や別の地域の学校で介入例があり、ともに顕著な濃度低下の達成が確認されていることが関係者から情報を得られており参考にできる。政府としてさらに対策を講じるかどうかは、それぞれの事例の費用効果分析を踏まえ、公衆衛生施策としての優先度が高いどうか（規制影響分析）で国民の判断（政治判断）が求められる。日本の屋内ラドン濃度は相対的に低いことから回避できる肺がんリスクは限られる。しかし、リスクを受ける人々の視点で全体としての合理性だけでなく公平性の確保も基本的な人権の確保上、重要となり、公平性の観点からは濃度が高い空間に長時間滞在する者への対策の優先が検討される。

V 結 論

日本における屋内ラドン対策の今後の方策を以下のように提示する。

- ・換気の活用が屋内ラドン対策においても有用であることから、従来の化学物質対策に関する室内環境のガイドラインの遵守を推奨する。
- ・住民にラドンを含む自然放射性物質のリスクを伝える。
 - ▶ただし、原子力事故による被害を矮小化させていると誤解されないように配慮する。また、伝統的なラドン温泉を背景とした日本人の放射線ばく露を好む独特な文化的な背景にも配慮する。
- ・放射線審議会のこれまでの議論では住民への対応に主眼が置かれているが諸外国では必ずしも住民のみを対策の対象とはしていない。換気がしにくい地下で長時間過ごす場合には、ラドン濃度のモニタリングが可能であることを労働者や居住者に伝える。

本報告に関して開示すべき利益相反状態はありません。

本報告は、日本公衆衛生学会モニタリング委員会環境保健グループの活動に基づく。国立保健医療科学院生活環境研究部の金勲上席主任研究官と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・線量評価部の Janik Mirosław 研究員から技術的な助言を得た。また、(有)大和より、国内でのラドン低減工事について情報を得た。深く感謝いたします。

(受付 2024.12.13
採用 2025. 2. 7
J-STAGE 早期公開 2025. 4.28)

文 献

- 1) Lecomte JF, Solomon S, Takala J, et al. ICRP Publication 126 Radiological protection against radon exposure. *Ann ICRP* 2014; 43: 5–73.
- 2) WHO. 屋内ラドンハンドブック —公衆衛生の観点から—. 2015. <https://repo.qst.go.jp/records/73788> (2024年2月8日アクセス可能).
- 3) IAEA. Safety report on regulatory control of exposure due to radionuclides in building materials and construction materials, RASSC 49. 2020. <https://www-ns.iaea.org/committees/rassc/default.asp?fd=2049&dt=0> (2024年2月8日アクセス可能).
- 4) IAEA-ARN. Radioactivity in goods supplied for public consumption or use: towards an internationally harmonized regulatory framework. 2019. https://www.iaea.org/sites/default/files/19/02/iaea-arn_document_on_consumer_goods.pdf (2024年2月8日アクセス可能).
- 5) IAEA. Now available: harmonized guidance on managing exposures from radioactivity in food in “normal” situations. 2022. <https://www.iaea.org/newscenter/news/now-available-harmonized-guidance-on-managing-exposures-from-radioactivity-in-food-in-normal-situations> (2024年1月18日アクセス可能).
- 6) WHO. Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: WHO. 2022; 232–236.
- 7) 国立保健医療科学院. 屋内ラドン全国調査. 2010. <https://www.niph.go.jp/soshiki/09seikatsu/EMA/radiation/radon/radonindex.html> (2024年1月18日アクセス可能).
- 8) 国民生活センター. 風呂に入れるだけでラドン・ラジウム温泉になるとうたった商品. 2010. https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8560859/www.kokusen.go.jp/news/data/n-20100421_1.html (2024年1月18日アクセス可能).
- 9) 放射線医学総合研究所. トリウム鉱. 2007. <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/1000104/www.nirs.go.jp/db/anzen/db/NORMDB/PDF/2612-20.pdf> (2024年1月18日アクセス可能).
- 10) 沖縄タイムス. 米軍住宅から基準超ラドン 沖縄3基地. 2014. <https://www.okinawatimes.co.jp/articles/-/45409> (2024年1月18日アクセス可能).
- 11) IARC. Chemical agents and related occupations, monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans volume 100D. Lyon: IARC. 2012; 241–250.
- 12) IAEA. What is radon and how are we exposed to it? 2023. <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-radon-and-how-are-we-exposed-to-it> (2024年1月18日アクセス可能).
- 13) Di Carlo C, Ampollini M, Antignani S, et al. Extreme reverse seasonal variations of indoor radon concentration and possible implications on some measurement protocols and remedial strategies. *Environ Pollut* 2023; 327: 121480.
- 14) Tchorz-Trzeciakiewicz DE, Solecki AT. Seasonal variation of radon concentrations in atmospheric air in the Nowa Ruda area (Sudety Mountains) of southwest Poland. *Geochem J* 2011; 45: 455–461.
- 15) e Silva CR, Smoak JM, da Silva-Filho EV. Residential radon exposure and seasonal variation in the countryside of southeastern Brazil. *Environ Monit Assess* 2020; 192: 544.
- 16) IAEA. Protection of Workers Against Exposure Due to Radon, IAEA Safety Standards Series No. SSG-91. Vienna. 2024.
- 17) 放射線審議会. 159-2号: 我が国で実施された屋内ラドンに関する調査を踏まえた屋内ラドンへの対応の在り方について. 2023. <https://www.da.nra.go.jp/detail/NRA005000002> (2024年1月18日アクセス可能).
- 18) Sorimachi A, Kranrod C, Tokonami S, et al. Anomalous high radon concentrations in a dwelling in Okinawa, Japan. *Radioisotopes* 2009; 58: 807–813.
- 19) Furukawa M, Omori Y, Masuda N, et al. High indoor radon concentration observed in Yomitan-son, Okinawa prefecture, southwestern part of Japan. *Radiat Environ Med* 2022; 11: 16–20.
- 20) Tanahara A, Taira H, Takemura M. Radon distribution and the ventilation of a limestone cave on Okinawa. *Geochem J* 1997; 31: 49–56.
- 21) 米国 EPA. ラドン低減に関する消費者ガイド あなたの家を改修する方法. 2006. <https://www.niph.go.jp/soshiki/seikatsu/radon/epaguide.pdf> (2024年1月18日アクセス可能).
- 22) Janik M, Bossew P. Analysis of simultaneous time series

- of indoor, outdoor and soil air radon concentrations, meteorological and seismic data. *Nukleonika* 2016; 61: 295–302.
- 23) Akiba S, Tokonami S, Bochicchio F, et al. Thoron: its metrology, health effects and implications for radon epidemiology: a summary of roundtable discussions. *Radiat Prot Dosimetry* 2010; 141: 477–481.
- 24) 日本建築学会. 大会学術講演・建築デザイン発表梗概集目次. 2024. <https://www.aij.or.jp/scripts/annual/annual.htm> (2024年1月19日アクセス可能).
- 25) 伊藤和男, 浅野賢二. 各種建築材料の放射能含有量. *日本建築学会計画系論文集* 1998; 63: 47–52.
- 26) 土田智宏, 大野峻史, 黒崎裕人. 柏崎刈羽地域と佐渡関押におけるラドン濃度の季節変動要因. *新潟県放射線監視センター年報* 2010; 8: 38–47.
- 27) 土田智宏, 霜鳥達雄, 藤巻広司, 他. 柏崎刈羽地域及び佐渡における大気中ラドン濃度と空間線量率上昇時における大陸由来ラドンについて. 2008. <https://www.pref.niigata.lg.jp/site/houshasen/1268779052839.html> (2024年1月28日アクセス可能).
- 28) 放射線審議会基本部会. 自然放射性物質の規制免除について. 2003. <https://www.nra.go.jp/data/000423762.pdf> (2024年1月28日アクセス可能).
- 29) IAEA, FAO, ILO et al. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. Vienna. 2014; 99–103.
- 30) IAEA. 日本への総合規制評価サービス (IRRS) ミッション報告書. 2016. <https://www.nra.go.jp/activity/kokusai/IRRS20200318.html> (2024年1月28日アクセス可能).
- 31) 山口一郎, 尾本由美子, 原田美江子, 他. 東京都豊島区の公園で線源が発見された事例への公衆衛生的な対応. *日本放射線安全管理学会誌* 2016; 15: 186–192.
- 32) Koike H, Kai M, Iimoto T. Discussion points and issues on radiation protection related to the naturally occurring radioactive deposits inside waste metal pipes. *Jpn J Health Phys* 2022; 57: 140–145.
- 33) 横浜市. 輸出コンテナにおける基準値を超える放射線量の検知について. 2019. <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11727416/www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/kenko-iryō/kenkozukuri/higai/honbu/20140416093613.html> (2024年1月28日アクセス可能).
- 34) 文部科学省. 核原料物質の使用の届出について. 2003. https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/287175/www.mext.go.jp/b_menu/houdou/15/01/030123.htm (2024年1月28日アクセス可能).
- 35) 圓入敦仁. シンチレーション検出器を用いた食品中の放射性セシウム測定におけるラドンの影響と評価法. *産業と環境* 2013; 42: 59–64.
- 36) 第159回および第160回放射線審議会. 2023. <https://www.nra.go.jp/disclosure/committee/houshasen/index.html> (2024年10月8日アクセス可能).
- 37) 岡 敏弘. 厚生経済学的手法の適用可能性. 平成25年度厚生労働科学研究特別事業「リスク・コミュニケーションの手法を活用した地域保健医療福祉分野での原子力災害対策の実践的な活動の展開とその検証に関する研究」. 2014. <https://www.niph.go.jp/soshiki/09seikatsu/EMA/radiation/2013comm/doc/report/oka.pdf> (2024年1月28日アクセス可能).
- 38) 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構. 令和5年度放射線対策委託費(我が国の屋内ラドン対応の在り方検討に関する調査)事業 成果報告書. 2024. <https://www.nra.go.jp/data/000473737.pdf> (2024年10月8日アクセス可能).
- 39) WHO. Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment 2024 update. Geneva: WHO. 2024; 104–105.