

放射線科学

屋内ラドンとその健康影響

飯田 孝夫

ラドンというと「ラドン温泉」や「怪獣ラドン」あるいは「地震予知」を思いうかべる人も多いと思う。ラドンはウラン (^{238}U) の娘核種ラジウム (^{226}Ra) が崩壊した時に生成されるラドン (^{222}Rn) をいうことが多い。そのラドンは半減期が 3.8 日の希ガス元素で、われわれの生活空間のどこにでも存在している。その他にトリウム (^{232}Th) 系列のラドン (^{220}Rn : 通称トロン) も大気中に存在している。

チェコのウラン鉱山労働者の間で肺がん、特に気管支がんの発生率が高いことが知られていた。これは労働環境中の高濃度ラドンに被曝してきたことに原因があることが次第に明らかにされた。最近の調査では、ウラン鉱山だけでなく、他の鉄、錫、螢石等の鉱山労働者の間でも、肺がんの発生率が作業労働中のラドン曝露量に比例して増加していることがわかってきた。現在ではこれらの疫学データをもとに、ラドンの曝露量に対する肺がんの発生リスクが評価されている。

屋内ラドン問題の重要性が認識されるようになってきたのは、1970年代後半から行われてきた欧米での大規模な屋内ラドン濃度調査の結果によっている。生活環境中の平均的なラドン濃度レベルを調査するには、長期間積分測定が可能で、小型、安価、取り扱いが容易なパッシブ型（静置型）ラドン濃度測定器が適している。各国の研究者がその国情に合ったパッシブ型測定器を開発または採用し、その国の屋内ラドン濃度調査を進めてきた。実際にはこれらの調査に使用されたパッシブ法にはデータの信頼性に疑問が残る測定器も含まれていた。それでもこれらの調査を通して、欧米では屋内のラドン濃度が非常に高い家屋が実際に存在していることがわかり、社会問題化してきた。アメリカの環境保護庁（EPA）は肺がんの 20%はラドンの被曝に起因すると警告した。屋内ラドン被曝は常に肺がんに関連づけて議論されてきた。しかし、このような議論には、実際には不明である低線量被曝でも肺がんのリスクは同じであるとの直線仮定を採用している点で疑問が残っている。

一般公衆が 1 年間に自然放射能・放射線から受ける被曝線量の世界平均は

2.4mSv と見積もられている。このうち、ラドン及びトロンとその娘核種を吸入する事によって受ける肺の内部被曝線量は全被曝線量の約 $1.3\text{mSv}\cdot\text{y}^{-1}$ と報告されている。ヨーロッパのEU内の屋内ラドン濃度は国毎に精力的に行われ、各国の平均屋内ラドン濃度値が報告されている。イギリスとオランダがラドン濃度の低い地域、フィンランド、スウェーデン、フランス、スペイン、ポルトガルがラドン濃度の高い地域である。ラドンによる被曝を含めたヨーロッパ各国の自然放射線源からの国毎の被曝線量を見ると、フィンランドとスウェーデンは約 $6\sim 7\text{mSv}\cdot\text{y}^{-1}$ と世界平均値の3倍程度高い。アメリカでは特に北東部の各州で、 $150\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ を超える家屋が50%以上を占めている。

我々は屋外のラドン濃度も測れる装置の開発を行い、1985年8月から1988年1月の期間東海3県を中心に屋内・外のラドン濃度調査を行った。屋外ラドン濃度の平均値として $6.4\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 、屋内ラドン濃度の平均値として $14.7\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ を得た。さらに、1980年代末から1990年代にかけて、中国や韓国の研究者と協力して小規模な屋内外のラドン濃度調査を行った。中国の値は屋外ラドン濃度が $8.7\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 、屋内ラドン濃度が $21.5\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ であった。一方、韓国の屋外ラドン濃度は $9.0\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 、屋内ラドン濃度は $26.1\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ であった。この小規模の調査からは、東アジアの国々の屋内ラドン濃度は欧米に比べて低い傾向にあるといえる。屋外のラドン濃度が韓国や中国で高いのは大地の放射能が日本に比べて高いのが主な理由である。

日本でも1980年代中頃に屋内ラドン濃度の全国調査が開始された。実行の段階で2本建てになってしまった。日本放射線医学研究所の1グループは、名古屋大学で開発した静電式積分型ラドンモニタを用いて、日本全国を調査した。この結果から、木造家屋内のラドン濃度を $10\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 、屋外を約 $5\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ と評価した。日本におけるこの小規模な調査では家屋内の平均ラドン濃度は屋外ラドン濃度の2~3倍とそれほど高くない。これは日本が温帯にあり、日本の家屋構造を考慮すると納得できる値である。放医研のもう一つのグループは1980年代後半に、ドイツのカールスルーエのラドンモニタを使用して、屋内ラドン濃度を7,000軒で行った。彼らは幾何平均値で $28\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ と高い結果を得て、日本もヨーロッパと同じ屋内ラドン濃度レベルであると主張した。いろいろな議論の結果、カールスルーエのモニタはラドンだけでなくトロンにも感度を有し、バックグラウンドの評価も不正確であることが明らかになった。このような状況から、日本分析センターで1992年から全国の屋内ラドン濃度を再調査することになった。測定器は放医研で開発されたトロンの影響を受けないモニタが用いられた。1992年~1995年に、日本全国の都道府県で各県毎に20軒ずつ940

軒調査された。全家屋の算術平均値は $15.5\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ であった。この値は、欧米の約 $1/3$ である。940軒の調査で $200\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ を超える家は1軒見つかっただけで、その理由も明らかにされている。日本の屋内ラドン濃度レベルは高くないので、欧米のように大きな社会問題となっていない。日本人のラドンによる被曝線量は、この算術平均値を用いて評価すると、約 $0.5\text{mSv}\cdot\text{y}^{-1}$ となる。日本人のラドンの被曝線量は世界平均の半分以下である。

欧米での屋内ラドン濃度の問題を背景にして、国際放射線防護委員会 (ICRP：非政府機関) は1990年の報告書 (Publ.60) で、人間活動によって高められた放射線による被曝も防護の対象にすべきであると勧告を行った。この範疇に入る放射線は屋内ラドンや飛行機による移動に伴う宇宙線である。ここでは宇宙線被曝についてはふれない。欧米の国々は、屋内ラドン濃度レベルに対して、既に規制値を決めている。スウェーデンを例にあげると、現在居住している家屋に対しては、平衡等価ラドン濃度で $400\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ を対策レベルとして、この値を超える家屋に対しては改善命令を行っている。新築の家に対しては、平衡等価濃度 $70\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ を上限値として決め、この規制値以下のレベルに保つように法令で定めている。平衡等価ラドン濃度とはラドンとその短寿命娘核種が平衡にあると仮定したときの濃度で、通常の家屋内ではラドン濃度に平衡係数の 0.4 を掛けて求めている。他の国々でも同様の対策レベルや上限値を定めている。スウェーデンの対策レベルの $400\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ を実効線量当量に換算すると $40\text{mSv}\cdot\text{y}^{-1}$ となる。ICRPが勧告している一般公衆に対する人工放射線からの年限度 1mSv に比べて非常に高い値である。このような社会情勢から、欧米では多くのラドン調査会社やラドン対策会社が存在し、既存の家屋や新築の家屋の屋内ラドン濃度調査や家屋の改善を行っている。

ここで、屋内ラドンの起源がどこにあるか簡単な試算を試みる。ウランやラジウムは土壌中に約 $40\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ 存在している。土壌の空隙率、土壌粒子から空隙へのラドンの放出率、土壌の比重などを考慮すると、土壌空気中の平衡ラドン濃度は約 $40,000\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ と非常に高い。この高い濃度の土壌中ラドンが屋内に侵入してくることが、屋内ラドン問題の主な原因である。幸い日本の家屋は湿気対策のために高床式で、床下の空気が直接室内に侵入しない構造になっている。これに対して、欧米の家屋は床と地面が同じレベルにあり、床下空間が閉じているか地下室として利用されている。このために、屋内に土壌中のラドンが侵入しやすい構造になっている。実際に、欧米では屋内ラドンを下げるために、床下の高濃度のラドンを含んだ空気を強制的に排気するような対策が取られている。ラドン研究が世界的に活発に行われるようになったのは屋内ラ

ドン問題によることは確かである。日本の屋内レベルは世界平均に比べ低い。しかし、将来日本でも住環境の変化で高くなる可能性は大きい。

上述したように、低いレベルのラドン被曝も害があるとの仮定の基に、屋内ラドン濃度が調査され、屋内ラドン濃度レベルを下げる努力が世界的に行われている。しかし、実際に生活環境中のラドン濃度レベル程度で肺がんが増加しているのであろうか。このような疫学調査はそれほど多くない。スウェーデンでの肺がんの疫学調査では、ラドン濃度が 400 Bqm^{-3} 以上の家屋に住んでいる人に有意な肺がんの増加が認められるとの報告がある。しかし、これ以下の濃度では有意な結果は出ていない。一方、米国の Cohen は米国の郡 (county) 毎の肺ガン発生率と屋内ラドン濃度には逆相関があると報告している。すなわち、ラドン濃度レベルが高いほど、その家屋に住んでいる人の肺がんによる死亡率が下がるとの疫学結果を報告している。肺がんの主要因が喫煙であるために、その影響を除いてラドンによる影響のみを評価することは難しい。Cohen の主張は現在のところ少数意見であるが、放射線のホルミシス効果である可能性は捨てきれない。

日本でも、鳥取県の三朝地区に住む住民の調査ではがんの発生率が他の地区よりも低いとの報告がある。三朝地区はラドン温泉としてよく知られている。実際に、家屋内のラドン濃度調査を行うと、日本の平均値より、2~3倍高い。しかし、三朝地区内の家屋をラドン濃度の高・低で分けて評価した場合に、両者の間に有意な差は得られていない。このため、現在のところ三朝地区での低がんの発生率はラドンによるものではないと推察されている。

日本の多くの地方にラドン温泉は存在している。短期間に比較的高濃度のラドンを浴びることが健康によいのかどうかは実は分かっていない。しかし、現実に健康が改善されているのは事実である。世界的によく知られているラドン療法を行っている所として、オーストラリアのバドガシュタインがある。1991年にザルツブルグでの国際会議の後にラドン共同校正実験で訪れたことがある。昔の金鉱山あとで、内部は $100,000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 以上のラドン濃度で、高温・高湿度の雰囲気である。アトピー性皮膚炎や喘息等の慢性病が改善されることが知られている。しかし、この治療効果がラドンによるものかどうかは解明されていない。

ラドン被曝を含めて放射線の低線量影響については未解決の領域である。

(名古屋大学大学院工学研究科教授・原子核工学専攻)