チェレンコフ光を用いた空気中ラドン濃度測定の新規方法の開発

応用分析技術分野　上松和義

1. 緒言

かつて，鉱山労働者，特にウラン鉱山で働く労働者に肺がんが多発し，それは坑道内に発生しているラドンを吸入したことによる被曝が原因であると指摘された．しかしこれは鉱山で働く者だけの問題ではなく，比較的ラドン濃度の高い欧米の住宅では，室内におけるラドン濃度が一定値以下になるように務められている．

これまでは，日本の家屋は欧米に比べ通気性が高くあまり問題視されてこなかった．しかし近年省エネルギーの観点から気密性の高い住宅が増え，床下あるいは鉱物由来の建築材から発生するラドンが室内に滞留し，その濃度が高くなっていることが指摘されている．また一般に，地下室や鉄筋コンクリートの住宅は木造家屋よりもラドン濃度が高くなっている．ヒトは常に自然の放射線を浴び続けているが，その量は１年間に約 2.4 ミリシーベルトであり，そのうち約半分を空気中のラドンを吸入したことによる被曝が占めていると言われている．

このように健康被害の潜在的危険性を持つ空気中ラドンの濃度を測定する新しい方法を開発したので報告する．

2. ラドンとは

ラドンは原子番号 86 の元素であり，全ての同位体は放射性を示す．また，ヘリウムやアルゴンと同じ希ガス元素であるため他の元素と化合物は形成しにくく，大気中では気体として存在している．水や油には比較的溶解しやすい．

ラドンは本来的に地球に存在しているものではなく，ウランやトリウムを起源としてこれらの壊変過程で生じている．ラドンには主に，ウラン系列のウラン－238 を源とするラドン－222 と，トリウム系列のトリウム－232 を源とするラドン－220 の２種類がある．なお，ラドン－222 をラドンと呼び，ラドン－220 をトロンと呼ぶ呼び方もある．

ウラン系列とトリウム系列の壊変過程を図１に示した[1)]．この両者の系列ともにその壊変系列中において，唯一ラドンのみが常温で気体元素であることがわかる．このことが本研究の着眼点のひとつとなっている．

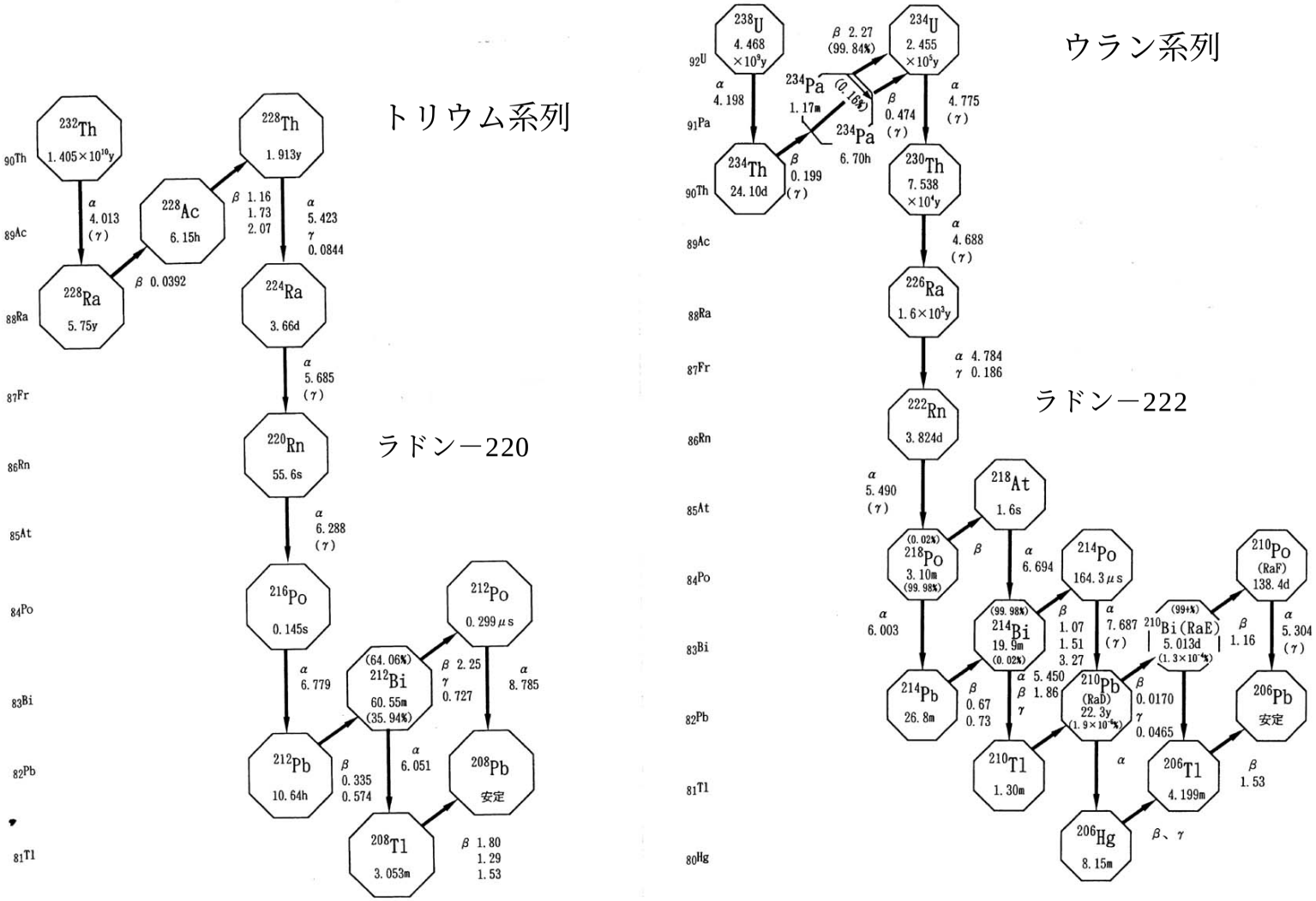

図１　ウランおよびトリウムの崩壊系列

3. チェレンコフ光とは

物質中を荷電粒子が通過する際，その速度 v が物質中の光の速度（c/n，c：真空中の光の速度，n：物質の屈折率）よりも大きい場合，通過する粒子の飛跡に沿って光が発生する．この現象をチェレンコフ効果といい，発生する光をチェレンコフ光という．チェレンコフ光は物質の屈折率が大きいほど，また，荷電粒子（おもにベータ粒子，つまり電子）のエネルギーが大きいほど，発生しやすくなる．

先の図１の壊変図の中で高エネルギーのベータ線を放出するのは，ウラン系列ではラドン－222 の３回の壊変で生成するビスマス－214 であり，トリウム系列ではラドン－220 の３回の壊変で生成するビスマス－212 である．つまり，これらビスマスのチェレンコフ光を定量的に測定が可能であれば，ラドンの濃度を知ることができることになる．

4. チェレンコフ光発生のシミュレーション

ラドン－222 あるいはラドン－220 をその親核種であるラジウムから分離した後のビスマスの生成量，すなわち，ビスマスの放射能のシミュレーションを行った．これはラドン→ポロニウム→鉛→ビスマスに至る過程の平衡関係であり，Bateman の式[2)]を利用した．その結果を図２に示した．ラドン－222 の場合は経過時間とともにビスマス－214 は急激に増加してくるが，約 200 分を頂点にその後は緩やかに減少することがわかる．ラドン－220 の場合はラドン－222 とほぼ同様に約 200 分で最

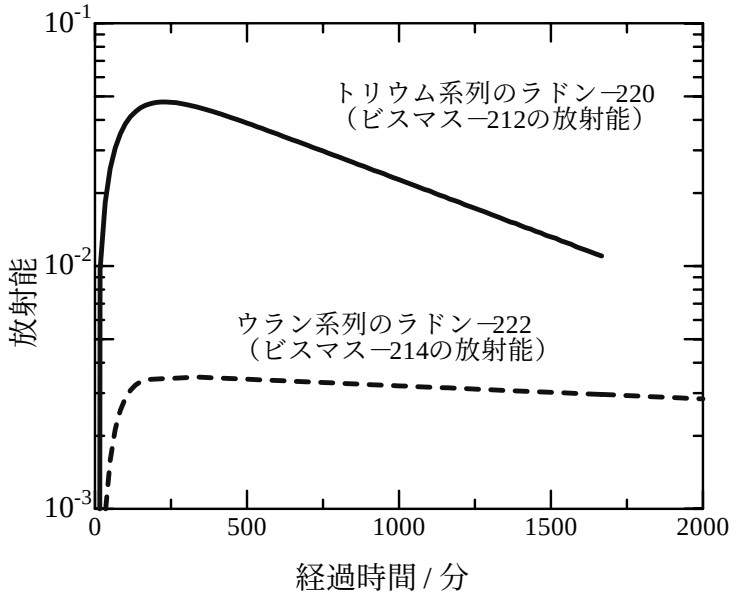

図２ ラドンの壊変過程で発生するチェレンコフ光のシミュレーション

大となるが，その後の減少は急激である．そこで，400 分以降の減衰曲線の傾きから半減期を計算すると，ラドン－222 では 91.8 時間，ラドン－220 では 10.7 時間という結果が得られた．これらの値を図１の壊変図のラドン以降の元素と照らし合わせてみるとラドン－222 の場合はそれ自身の半減期 3.824 日（91.776 時間）が，また，ラドン－220 の場合は鉛－212 の半減期 10.64 時間が律速となっていることがわかる．

5. 実験

チェレンコフ光を発生させる物質には石英質の多孔質ガラスを用いた．石英は可視から紫外領域の光に対し透過性を示し，多孔質化することでその細孔内にラドンガスを吸着させることができ，またその細孔径を制御することも可能である．また，高純度の石英質であるため，カリウムなどのガンマ線放出体を含まないことも好都合である．

容量 20mL のガラス製カウンティングバイアルに 5g の多孔質ガラスを入れ，そこへラドンを含む空気を注射器で注入した．このときのラドン源はトリウムであり，ThO_2 を入れた容器の中の空気を採取して用いた．この実験の概略を図３に示した．ラドンガスを注入したバイアルは直ちに液体シンチレーションカウンター（アロカ㈱製，LSC－700）により，トリチウム測定の場合と同様の条件で測定を行った．

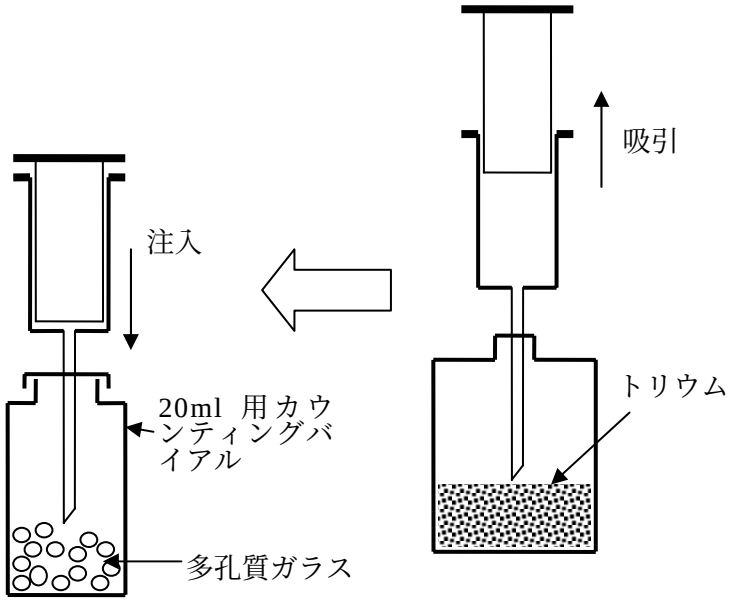

図 3 実験の概略

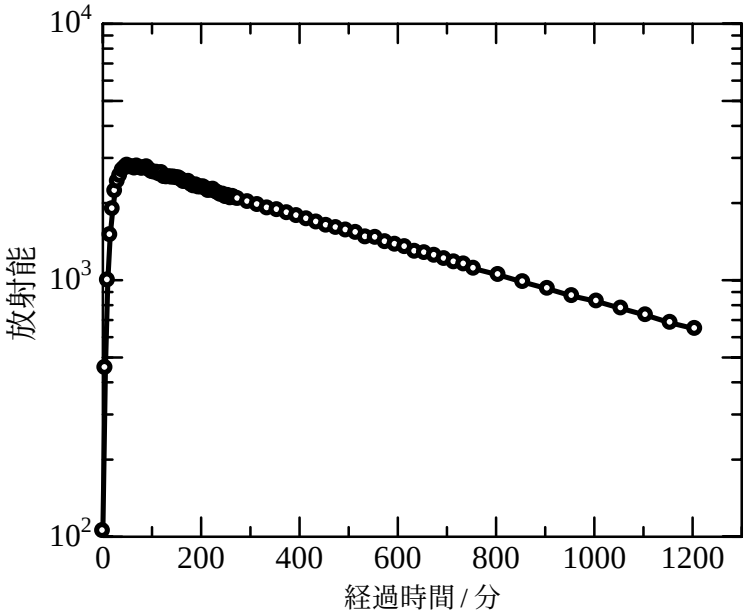

図4 ラドン－220を含む空気を注入した際の
チェレンコフ光の時間変化

6. 結果

図４に，得られたチェレンコフ光の時間変化を示した．図２のラドン－222の場合と同様の曲線を示していることがわかる．この減衰曲線から半減期を求めたところ，9.1 時間であった．この値はシミュレーションの結果得られた 10.7 時間に近い値であり, ラドン－220 の壊変で生成したビスマス－212 を捕らえていることがわかる.

今後はラドンの捕集に適した吸着剤の細孔径の検討，ラドン吸着条件の検討を行った後，実際の環境中のラドン測定を行ってゆきたい.

この研究の一部は平成 17 年度科学研究費補助金，萌芽研究（課題番号：17656304）により行った.

引用文献

1) 日本アイソトープ協会編‘ アイソトープ手帳 10 版‘ 10－20, 丸善, 東京（2001）
2) 日本アイソトープ協会編“ 新ラジオアイソトープ 講義と実習 ”，89－90，丸善，東京（1989）