

放射能と温泉



堀内 公子*

1. はじめに

水素を主体とした宇宙に漂う物質が60億年以上に亘って核融合反応や重イオン反応を繰り返し、次第に太陽系のような星のグループを作り、こうして地球が誕生したと考えられている。従って地球はいろいろな核反応によって生成した塵から成り立っており、誕生以来46億年たった現在でも地球には多種類の放射性元素が存在している。

温泉現象が火山活動と密接な関係にあることは一般によく知られている。環太平洋造山帯では古い地質時代から繰り返し造山作用がおこり、それに伴って生じた断層や大きな地質構造線にそって火山が噴出し、火山帯をつくっている。我が国はそうした火山帯の中にあり、温泉の多い国として知られている。温泉こそ我が国にとって世界に誇れる唯一の天然資源と言える。地球内部に育まれた熱源によって温められ、地表に湧出して来た温かい泉こそ温泉である。

2. 温泉の熱源としての放射能

地球内部は高温を示し、地表へ向かって熱の流れがある。その熱源の主なものとしては、①岩石中に含まれる ^{238}U 、 ^{235}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 等の長寿命放射性元素の原子核崩壊に伴って発生するエネルギー、②微惑星が集積して地球が成長する段階で内部に分配された運動（重力）エネルギー、③集積するときには分散していた金属鉄が中心に集まるとき開放される重力エネルギー等があげられている。

一方地球内部からの熱の流出は①火山活動、

②温泉・地熱、③地震波動、④地下から地表を通過して上昇する熱（地殻熱流量）等によっている。よって温泉の熱源の一部は地球の創成期から地殻に含まれる天然放射性元素に由来している。地球誕生以来地球内部で岩石の中に貯えられたウランやカリウム等放射性元素の崩壊熱エネルギーは地殻熱流量 $4 \times 10^{13}\text{W}$ の少なくとも60%にはなるだろうと見積もられている。

3. 温泉探査の手段としての放射能

3.1 ラドン

地層の開口割れ目では揚水能が一般の透水層の10倍以上にもなり、また反復揚水による水みちの発達で降水や表層部からの水の浸入量は漸増する。従ってまずは温度の十分な開口割れ目を見出すことが温泉探査の目的となる。開口割れ目を通してラドンが上昇することは早くから知られていて、地表面にあけた小孔径の孔の中の気体の放射能測定から埋没断層の位置を求める方法は数多く検討されて来た。

3.2 γ 線

1950年代の末にNaI(Tl)検出器による γ 線スペクトロメトリーが可能になると、ラドンを直接測定せずにラドンと同一行動をしている崩壊生成物の ^{214}Bi の γ 線1.76MeVの計測が行なわれるようになった。放射能による温泉探査は正確な結果が得られるとして信頼度が高く、次第に地表から迅速に検出し、分析が容易なエネルギーの高い自然 γ 線 ^{208}Tl (2.61MeV)、 ^{214}Bi (1.76MeV)、 ^{40}K (1.46MeV)等の3核種を指標とした表層地質の解析が始まった。

次いでこの3核種の一次ガンマ線量は表層

* Kimiko HORIUCHI 理学博士(東京都立大学)／東京慈恵会医科大学 アイソトープ実験研究施設訪問研究員
NPO法人放射線教育フォーラム 理事／日本温泉科学会 評議員／榎ヘルシービープル 相談役

の核種の含有量に比例し、その含有量は地層毎に固有値を持つという現象が見出されると、アメリカ、カナダ、ヨーロッパ等の広い平坦な地域では検出器をヘリコプターに乗せて高度30mをゆっくり飛ぶいわゆるエアボーン（ヘリボーン）により、表層地質の解析が行われるようになった。しかし地形の起伏が激しく、地層が細かに変わる我が国では自動車や携帯計測器を用いたカーボーンやマンボーンでの精密な探査が有効である。

3.3 3核比法

次にこれら3核種の値の比をとり、 $^{214}\text{Bi}/^{208}\text{Tl}$ と $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$ の2つのパラメーターに直すとその値は建物、橋、水路、トンネル、水田等地表の幾何学的条件には関係なく地層毎に一定となり、また異なる地層間の差も著しく小さくなることがわかった。3核比法の開発である。NaI(Tl)検出器12個を自動車に乗せて時速4km、測定時間30秒単位で計測する。この方法は短時間測定でも母集団の測定誤差を少なく出来る時系列ミルキング法、即ち $^{214}\text{Bi}/^{208}\text{Tl}$ 、 $^{214}\text{Bi}/^{40}\text{K}$ 、 $^{40}\text{K}/^{208}\text{Tl}$ の値をそれ以前のn個の平均値で除した変動百分率表示法をとっている。進行方向と逆方向の二方向から得られた値の差によって求めた変動率Rは温泉探査の解析指標となる。

4. 温泉水中の放射能

4.1 ラジウム

ラジウムが発見されて約120年経つが我が国のラジウム測定の歴史は古く、1915年バナム万国平和博覧会を契機に刊行された「The Mineral Springs of Japan」に我が国初の温泉のラジウム測定値が記載されている。全国477ヶ所の温・鉱泉と15の石油及び天然ガス地域に於ける試料水のラジウム測定データが1940年に発表された。これはラジウム測定データとして最もまとまったものであり、学術的には評価されるが我が国の工業用ラジウム資源を鉱泉に求めるのは無理であることが分かった。

4.2 ラドン

温泉水の中には主としてラドン(Rn： ^{222}Rn)とその同位体トロン(Tn： ^{220}Rn)が存在するが、半減期が56秒と短いトロンのフィールドでの検出はなかなか困難であり、データはあまり多

くない。

鉱泉水等環境試料中のラドンの存在は1903年に確認され、同時にラドンによる鉱泉水の治療効果の可能性も示唆されている。世界最初の鉱泉中のラドン測定器はエングラ・ジーベキング泉効計で、我が国でもこの泉効計により本邦最初の温泉の放射能値が報告された。よって、我が国の環境放射能の研究は温泉水中のラドン濃度の測定から始まった。

温泉水中のラドンは温泉分析項目の一つであり、温泉水中のラドン発見以来研究と利用との二つの面から測定され今日に至っている。ラドンは、放射性のガス成分であり、温泉水中ほとんど他の溶存化学成分との相関はなく単独に存在している。

5. 鉱泉の定義

現在我が国の温泉は環境省自然環境局の所管行政で、国民の保健休養と同時に自然環境の保護も目的としている。温泉は温泉法によって保護され利用の適正化と公共の福祉の増進が図られており、泉質は昭和26年制定され、平成26年改定された鉱泉分析法指針により分析すべき項目と分析方法が定められている。

指針によれば、放射能による鉱泉の定義は
ラドン (Rn) $20 \times 10^{-10}\text{Ci} = 74\text{Bq}$ 以上、
(5.5マッヘ単位以上)

ラジウム塩 (Raとして) $1 \times 10^{-8}\text{mg}$ 以上
療養泉の定義

ラドン (Rn) $30 \times 10^{-10}\text{Ci} = 111\text{Bq}$ 以上、
(8.25マッヘ単位以上)

である。しかし療養泉(放射能泉)は温泉法の対象ではなく、温泉医学に於ける臨床経験から医療効果の期待出来る温泉と言う考え方である。

我が国の鉱泉の基準は常水と区別する鉱水の限界値を定めたドイツのナウハイム決議(1911年)に準じているが、ラドン濃度についてはナウハイム決議が3.5マッヘ(47Bq)であるのに比しその1.57倍の5.5マッヘ(74Bq)が与えられている。その根拠は不明であるが飲泉中心の欧州と、入浴を主体とする我が国との温泉治療における基本的な利用方法の違いに起因しているとされる。

従来我が国では温泉の放射能表示は

H. Macheにより提案されたマッヘ単位 (1マッヘM.E.=水1ℓに含まれるラドンによる飽和電離電流が 10^{-3} e.s.u.のとき) が用いられて来た。それ以来キュリー表示を経て現在では国際単位のベクレル表示へと移行した (1 Bq=27pCi, 0.074M.E.)。しかし、現場には今でもマッヘ単位が根強く残っている。

6. 温泉水中の放射能測定法

6.1 ラドンの定量

鉱泉分析法指針には①IM泉効計法と②液体シンチレーションカウンター (以下LSC) 計測法の二つの定量法が記載されている。IM泉効計は理化学研究所の飯盛里安博士により1931年に開発された持ち運び出来る測定器である。開発されて以来IM泉効計は我が国では最も普及した温泉水中のラドン濃度測定器として一世を風靡して来たが、1950年代に開発されたLSCが普及して来ると、次第にLSCにその席を譲って来た。

現在水中のラドン濃度の測定はLSCによる抽出法、直接法が主に行われているが、操作も簡単である。この方法はラドンが有機溶媒によく溶けることを利用して開発されたもので、絶対測定が可能である。

6.2 ラジウムの定量

指針には温泉の基準としてラジウム塩濃度も定義されている。しかし、我が国ではラジウムの濃度で鉱泉基準を超える温泉は少ない。温泉水を液体シンチレーター (以下LS) と共に30日以上密閉系で放置するとラドンとほぼ放射平衡に達する。LSを分離しLSCにて測定し、ラドンと平衡にあるラジウムの量を算出する。

7. 温・鉱泉分布図による、我が国の放射能泉の特徴

我が国は世界で最も泉質の種類に富んでいる。先年まとめられた温・鉱泉分布図によると、我が国の放射能泉は全体の7.73% (泉質の明記されているもの：総数3,659) にあたり、全国の放射能泉の数を都道府県別に集計すると特徴

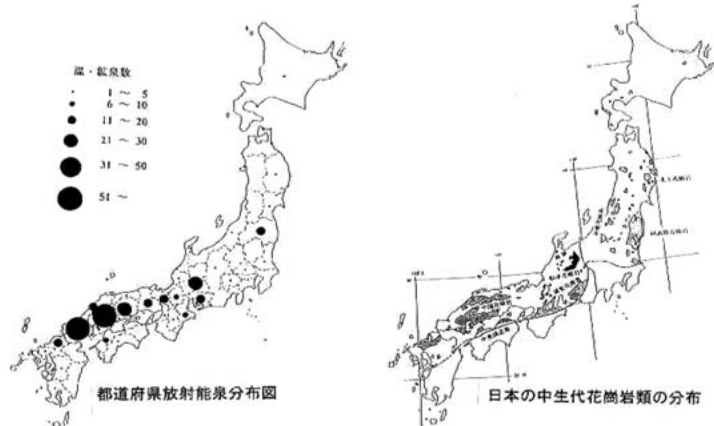


図1 都道府県別放射能泉数と中生代花崗岩類分布図

的に西日本に多く分布し、我が国の花崗岩分布地帯と一致している (図1)。

また泉温については25℃以下の冷鉱泉が多く全体の86.5%をしめている。中でも15~20℃が最も多く、地下水の温度領域に近い。液性は弱いアルカリ性が最も多い。

以上の事から我が国の放射能泉はそれ以外の泉質の温泉に比べて湧出量は1/2~1/3と少なく、液性は中性から弱いアルカリ性を示し、ラドン以外ほとんど他の溶存化学成分を含まない単純冷鉱泉が主体である。

8. 放射能泉の成因

我が国の放射能泉は火山性、非火山性温泉といった造山活動に由来する温泉ではない。温泉水中のラドンは湧出母岩である花崗岩類に由来する。そのため、我が国の放射能泉は花崗岩地帯に広く分布し、特に風化の進んでいる西日本に多く存在する。ラドン濃度は花崗岩の種類、風化の度合いによって異なり、放射能泉の主体が冷鉱泉であるのは、湧出母岩がすでに花崗岩形成期の温度を失っているためと考えられる。湧出母岩との接触時間 (滞留時間) が長くなるにつれて水のpHは高くなり、温泉はアルカリ性を呈しはじめ、ラドン濃度も高くなる。放射能泉やラドン濃度の高い地下水は岩石と長期の接触を経た水温の低い停滞水・深層水に多いとも言われている。我が国の放射能泉はこうしたいわゆる地下水型の温泉が多い。

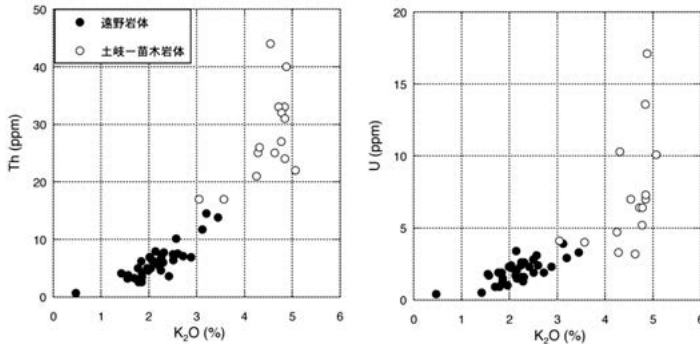


図2 花崗岩マグマ起源の相違に基づく放射性元素量。
遠野岩体は金谷(1974)、土岐-苗木岩体はIshihara and Murakami(2006)ほかによる。

我々が浴びる自然界の放射能は地殻の諸岩石の放射性元素 (K, Th, U) に起因し、地殻物質では広義の花崗岩類が特に重要な放射線源であると、一般に解釈されているが、実際には花崗岩の種類によって大きく異なる。西日本の花崗岩が多く分布する地域、岐阜県東南部や中国地方には、放射能泉（ほとんど単純ラドン泉）がたくさん湧出しているのはこの地域の深層地下帯水層の花崗岩のウラン・トリウム含有量が多いことに起因する。

花崗岩質マグマの起源物質は、初生の玄武岩・斑れい岩から古期花崗岩・変成岩類まで変化に富んでいる。東日本の北上山地を例にとるとこの地域の花崗岩類は海洋底地殻の溶融物と見られるアダカイト (SiO₂、Al₂O₃が多い) を含み苦鉄質岩が溶融したものと考えられる。北上山地の花崗岩類の平均的な性質を持つ遠野地域 (630km²) のK₂O、Th、U含有量は極めて低いものに属する (図2)。これよりさらに低レベルの岩体に、神奈川県の日沢、甲府岩体の芦川型などがある。

一方、西日本側の岐阜県土岐-苗木地方や広島地方に露出する山陽帯の花崗岩類のマグマ起源は大陸地殻内の堆積岩や古期花崗岩類と考えられる。このように対照的に異なる起源を持つ花崗岩類は平均値として下記の放射性元素量を持つと報告されている。

表1 花崗岩中のウラン、トリウム量

花崗岩	ウラン (ppm)	トリウム (ppm)	
遠野岩体	1.98	6.07	(n=37)
土岐-苗木岩体	7.3	27.8	(n=14)

9. 温泉の医療効果

9.1 ラドン温泉

温泉治療に利用されているのは、ほとんどラドン泉である。ラドンが崩壊する際に放出するα線が、水分子をイオン化し、この時生じた過酸化水素などが、身体の細胞や組織に複雑な生化学的作用を及ぼし、各種器管の働きを活発にすると言われている。外国では飲用、吸入、入浴の三通りに利用されているが、我が国では吸入はほとんど行われていない。

ラドンの医療効果は臨床医学的に自律神経の鎮静、内分泌系に適度の刺激を与えることによるホルモンや代謝異常の調整、鎮痛、消炎作用などと言うことが出来る、ラドン濃度を増すと鎮痛効果はあがるが、心血管や植物神経系統に反作用が起きるので、他の温泉成分と同様、適切な利用が大切である。また放射能泉の効果は単に放射能だけによるのではなく他の溶存化学成分や泉温等との相乗効果である。ラドン泉の適応症を表2に示した。更に多くの物理療法や食餌療法、時には薬餌療法等も併用して総合的な医療を行うことが正しい温泉療法であり、温泉療法医等に相談して利用することが望ましいとされている。

表2 ラドン泉の適応症

浴用の適応症	飲用の適応症	吸入の適応症
リウマチ性疾患 痛風及び尿酸素質 動脈硬化症	痛風及び尿酸素質 リウマチ性疾患 慢性消化器疾患	痛風及び尿酸素質 リウマチ性疾患 慢性気管支炎
高血圧症 慢性肝・胆道疾患 外傷後遺症	慢性肝・胆道疾患 糖尿病	気管支喘息

その他の利用方法として ☆うがい療法、☆鉱泥しっぷ療法、等がある。

9.2 α線の鎮痛作用

人体の各器官組織の活動性は酸素消費量である程度知ることが出来る。脳組織にラドンを作用させると酸素消費量が減ることがわかった。ラドン泉に入るとリュウマチ等の痛みが軽減されることから、神経細胞に鎮静作用があるとみられている。

α線とβ・γ線とは拮抗的に作用し、臨床的

にもレントゲン線皮膚障害やラジウム障害としての皮膚潰瘍にはワセリンにラドンを充填したラドン軟膏が使用され、その鎮痛作用が知られている。

9.3 温泉利用の安全性と有効性

外国で入浴療法に使用するラドン濃度は少なくとも50マッヘ (672.5Bq) 以上、通常は100マッヘ (1345Bq) 以上を使用している。一廻り(クール)、大体15~20回で終了するが、再度温泉療法を繰り返す必要がある時は半年~一年間をおいて次のクールを行なうのがよいとされている。温泉療法で身体の調整の効果をあげるためにはある程度の強さが必要である。しかし、効果をあげるだけの強いものを使う時には回数、濃度、期間等に制限が必要になる。

人間の身体は、いろいろな外からの刺激侵襲に対抗するだけの力をもっている。自分の病気に対抗する力、自然治癒力とか、防衛力、抵抗力等を利用して病気を直すのが温泉療法の基本である。

10. 人工温浴泉

従来の人工ラドン泉は主としてウラン、あるいはトリウム鉱石を浴槽中に入れ、その中に含まれているラジウムから発生するラドンやトロンを湯の中に溶かし込んだものだが、その大衆性と安全のためにラドン濃度は1~2Bq程度に低く抑えられている。

近年トリウムを含んだ砂からトロン温浴水を調整し、各種の重篤ながん患者の症状の改善、延命効果をあげている施設が紹介され、従来のヘルスセンター的な人工ラドン泉とちがって期待視されている。科学的な効果のメカニズム解明の研究は途に就いたばかりだが少なくとも症状の改善を体験した人たちは喜びの声をあげている。トロンはラドンに比べ安定の鉛に至るまでの崩壊生成物の半減期が何れも短いため放射線による総影響は少ない。人工的に温浴水を調整することにより常に一定の条件の利用環境を提供できること等もメリットとして挙げられる。

人工ラドン泉はロシアで最も大規模に利用されており、入浴、飲用、吸入の三種類がバラエティーに富んだシステムで活用されている。ロシアの人工ラドン泉は天然温泉に人工的に得ら

れたラドンを添加したり、ラドン浴水にCO₂、H₂S、O₂などを加えて医療用に供している。国家が組織的に人々の健康維持と病気の治療に天然放射能泉と同一のレベルで利用されている。

11. 終りに

以上、放射能と温泉の繋がりを眺めてみると非常に緊密な関係にあることが分かる。我が国は世界で名高い温泉国であると同時に我が国ほど温泉を愛好し、温泉の存在を欲することでも世界一である。あまりに愛好するが故に、掘削ブームが全国規模で起っており、乱掘から既存の温泉にも枯渇現象がみられるところまで出始めている。エネルギー不足から促進が検討されている地熱発電とは熱源の由来が同じであることから競合している。

世界一の長寿国であり、急速に高齢化の進んでいる我が国において、世界に誇りうる数少ない天然のエネルギー資源：温泉は限りある資源でもある。大切に保護し有効に利用していくことは地球の自然環境のより長い存続を願う私たちの大切な責務である。

愛好する温泉にひとりながら「はじめに放射能ありき」この言葉をかみ締めてみようではありませんか。私達日本人が愛好して止まない温泉は放射能と深い関連を持っているのです。

参考文献

- 1) 村上悠紀雄：温泉科学、37 248-267 (1987)
- 2) 木村重彦：特願昭57-053395、特願昭58-056727
- 3) Nakai, T.: Bull. Chem. Soc. Jap. 15 9 333-426 (1940)
- 4) 堀内公子、村上悠紀雄：温泉科学、29 68-75 (1978)
- 5) 金原啓司：日本温泉・鉱泉分布図及び一覧、地質調査所 (1992)
- 6) 大島良雄：温泉科学、31 64-68 (1981)、世界の温泉、日本温泉科学研究所編 (1981)

著者プロフィール

《経歴》

- 1961.3 東京都立大学理学部化学科卒業
東京都立大学理学部化学科助手、助教を経て大妻女子大学社会学部教授
- 1981.11 ロンドン大学医学部付属サイクロトロン研究所留学 (1年半)
- 2003.4 多摩市環境審議会委員
- 2010.4 東京都自然環境審議会委員(温泉部会会長)

《賞歴》

- 2001 環境大臣温泉関係功労者賞
- 2008 日本温泉科学会功労者賞

《趣味》

読書、旅行、ヨガ歴36年