

# 温泉

2012.02 Vol.80 No.847

特集 ■ 放射能泉は安全です

<http://www.spa.or.jp>



社団法人 日本温泉協会  
JAPAN SPA ASSOCIATION



# 放射能と温泉

堀内 公子  
 (慈恵会医科大学アイソトープ実験研究室)

## 1. はじめに

19世紀の終わりヨーロッパ世界では自然科学の発展は限界にまで達したと考えられていた。そうした状況の中で放射線は発見され、人類は従来の物質観を変えざるを得なくなつた。20世紀にはいつて放射線・放射能(原子力)の分野は大きく発展し、人類の繁栄の一部を担ってきた。

放射線の発見はビツクニュースとして人々に受け入れられ、科学者たちは自然界のあらゆる所で放射線、放射能の発見を試みた。その結果、1910年頃までに主な天然放射能のほとんどが発見された。

## 2. 天然放射能

天然の放射性核種としては、(1)地球上に昔から存在する長寿命の核種とその放射性系列、(2)現在でも天然の核反応により生成し続けている核種、の二つがある。(1)のうち系列をつくらぬものは、カリ

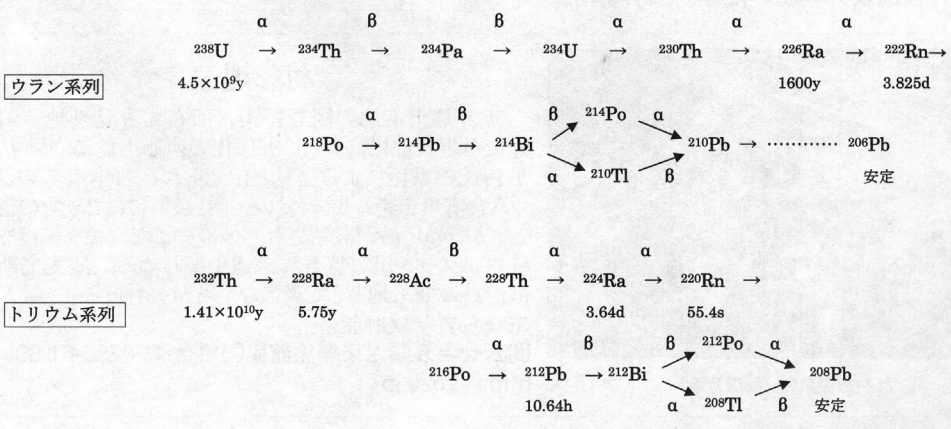
ウム( $^{40}\text{K}$ )、ルビジウム( $^{87}\text{Rb}$ )、サマリウム( $^{147}\text{Sm}$ )など11種が知られている。いずれも10億年以上の半減期である。放射性系列をつくるものは、トリウム( $^{232}\text{Th}$ ) (トリウム系列)、ウラン( $^{238}\text{U}$ ) (ウラン系列)である。これらの系列は、 $\alpha$ 線と $\beta$ 線を何回も出して壊変し、最後は安定な鉛の同位体になる。その間に全部で45の放射性核種が知られている。なお、このほかにネプツニウム系列があるが、天然には存在しない。温泉水中の放射性成分ラドン( $^{222}\text{Rn}$ )、トロンウム系列に属している。

(2)では宇宙線と大気成分(酸素、窒素、アルゴン)との核反応により生成したトリチウム( $^3\text{H}$ )、ベリリウム( $^{10}\text{Be}$ )、炭素( $^{14}\text{C}$ )、塩素( $^{36}\text{Cl}$ )などである。宇宙線そのものは陽子、中性子、中間子などから構成されており、天然放射能の一部と考えることもできる。地球上の天然放射能の

分布をみると、大気中には気体状のラドンとトロンおよびそれらの壊変生成物がある。これらはウランやトリウムを含む岩石や土から拡散してきたものである。岩石、土壤にはウラン、トリウムとその系列の娘核種(放射性核種が壊変して新しく生成された核種)、およびカリウム( $^{40}\text{K}$ )が広く分布している。戸外での天然放射能の強さは地質により異なり、東日本より花崗岩の分布が広がっている西日本のほうが、バックグラウンドが高く、放射能も多分布している。カリウムは生体の必須元素であり、食事等で体内に取り込まれ体重60kgの人で4,000 Bq位のカリウム( $^{40}\text{K}$ )が体内に存在する。

温泉に関係が深い二つの崩壊系列を下に示した。

鉱泉水等環境試料中のラドンの存在は1903年H. S. アレンによつてベースのキングズスプリングで認められ、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た。次いで1904年H. マツヘによつてバドガスタインの諸源泉の測定結果が報告されるなど、各地で温・鉱泉水のラドンの調査・研究がはじまった。わが国でも1909年に熱海・伊豆・湯河原等で微量に存在す



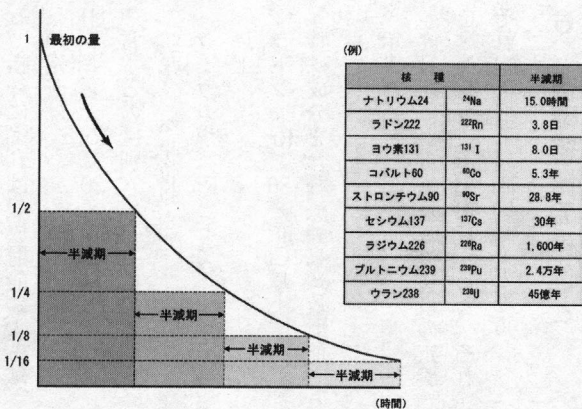
るラドン計測が行われた。これがわが国の自然放射能研究の始まりである。

### 3. 放射線の性質

放射線には味、匂い、実体がなく人間の五感で感知することが出来ない。そのため発見は非常に遅かったが、放射線は地球誕生の昔から地球上には存在していた。

主な放射線である $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線の性質を見ると $\alpha$ 線はヘリウムの原子核で、正電荷をもち、紙一枚でも止めることが出来る。空気中では数cmしか飛ばず、 $\beta$ 線は電子で、負電荷をもち、陽電子を放出する場合もある。 $\beta$ 線は数mmの厚さのアルミニウム箔で吸収される。 $\gamma$ 線は電磁波で透過力が強い。原子核の壊変の際には、それぞれ固有のエネルギーをもつ放射線を放出する。1913年、イギリスのソディとポーランド（のちアメリカ）のフアヤンスは次のような放射性壊変の変位則を発見した。 $\alpha$ 壊変（ $\alpha$ 崩壊）では原子番号が2つ減り質量数が4つ減るが、 $\beta$ 壊変（ $\beta$ 崩壊）の場合は、陰電子放出か陽電子放出かでそれぞれ原子番号のみ1つ増減する。 $\gamma$ 壊変（ $\gamma$ 崩壊）ではそうした変化はな

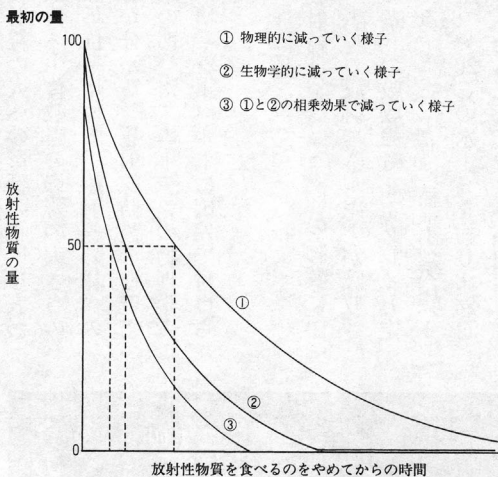
図1 放射能の減り方



### 4. 半減期

放射性核種は、崩壊にとまない一定の割合ずつ（指数関数にしたがって）量が減っていく（図1）。ある放射性核種の量が1/2に減るまでの時間は核種ごとに一定であり、これを物理的半減期という。半減期の長さは、1秒以下から数十億年のものまであり、半減期の10倍の時間たつと、放射能は約1/1000分の1になる。放射能の強さは同じでも、放射性物質の量は半減期の長いほど

図2 体内の放射性物質の減り方は物理的半減期と生物学的半減期の両方に依存します。



- ① 物理的に減っていく様子
- ② 生物学的に減っていく様子
- ③ ①と②の相乗効果で減っていく様子

出典：九州環境管理協会

ウムと放射平衡にある量が1キュリーといわれるようになった。1gのラジウムは毎秒 $3 \cdot 61 \times 10^{10}$ 個の壊変を行うので、現在のキュリー単位では、0.976キュリーとなる。1キュリーは毎秒 $3 \cdot 700 \times 10^{10}$ 個の壊変を示す放射性物質の量を示す。CGS系単位。ベクレル [Bequerel : Bq]

### 5. 放射能の定義と放射エネルギーの表示単位

温泉の放射能（ラドン濃度）量表示単位には三種類があり使用勝手には歴史的流れがある。

① マッヘ [Mache : ME]  
ラドン濃度を表わす単位で、1904～1905年頃 H. Mache により定められた。水1L中に含まれるラドンによる飽和電流が $10^{-8}$  Aであるとき、これを1マッヘとすると定められた。マッヘはドイツの温泉泉に関する文献に用いられ、わが国でも放射能研究当初より温泉の放射能濃度の表示に用いられた。

② キュリー [Curie : Ci]

1gのラジウムと放射平衡にあるラドンの量を1キュリーという。後にこの定義は、ラジウムの崩壊生成物の各核種についても、1gのラジウムと放射平衡にある量が1キュリーといわれるようになった。1gのラジウムは毎秒 $3 \cdot 61 \times 10^{10}$ 個の壊変を行うので、現在のキュリー単位では、0.976キュリーとなる。1キュリーは毎秒 $3 \cdot 700 \times 10^{10}$ 個の壊変を示す放射性物質の量を示す。CGS系単位。ベクレル [Bequerel : Bq]



放射性物質（核種）が単位時間に崩壊する量を示す物理量で、国際単位系の単位。放射性物質から出てくる放射線の種類や量は核種毎に異なっている。1896年にウランの放射能を発見したベクレルにちなんで名付けられた。1ベクレルは原子核が1秒間に1壊変することを意味する。

従来わが国では温・鉱泉の分野では放射能はマツヘ単位が用いられて来たが、1950年代以降字間の広がりにつれて他分野に準じてキュリー単位へと移行した。しかし1977年国際放射線防護委員会(ICRP)による放射能の概念と定義に関する大幅な改定(ICRP Pub.26)に対応し、我が国でも計量法に放射線関係の単位が制定された。放射能濃度の表示単位として国際単位系のベクレル(Bq)を用いることになり現在に至っている。(1ベクレル $\equiv$ 27 pCi、0.074 ME)

現在わ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。温泉は温泉法により管理・監督されており、1978年に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

①ラドン(Rn)  $20 \times 10^{10}$  Ci以上、

常水との区別、鉱泉と認める濃度

(5.5マツヘ単位以上)、

ラジウム塩(Raとして)  $1 \times 10^8$  mg

以上、

②ラドン(Rn)  $30 \times 10^{10}$  Ci以上、

特殊成分を含む療養泉(放射能泉) (8・25マツヘ単位以上)で

示される。

放射能による鉱泉・療養泉の定義をベクレル表示に換算すると、それぞれ74 Bq/l、111 Bq/lとなる。

## 6. 被曝線量の単位と世界の平均値

我々が受ける放射線の影響は、外部被曝と内部被曝に分けられる。外部被曝は生活環境の放射線、すなわち宇宙放射線や環境に存在する放射性物質から出る放射線で、いわゆる身体の外部から受ける放射線による被曝である。内部被曝は飲食物を摂取したり、空気中にあるものを吸い込んだり、ものを手にして体内に取り込まれた放射性物質による被曝である。被曝に関連した単位を次に示した。

シーベルト (Sievart: Sv)

放射線の人への影響の程度を表わす数値。生体被曝の影響の大きさの国際単位系単位で、放射線の体への影響が分かる。放射線防護の研究で功績のあったスエーデンの物理学者 R・M・シーベルトに因んで付けられた。

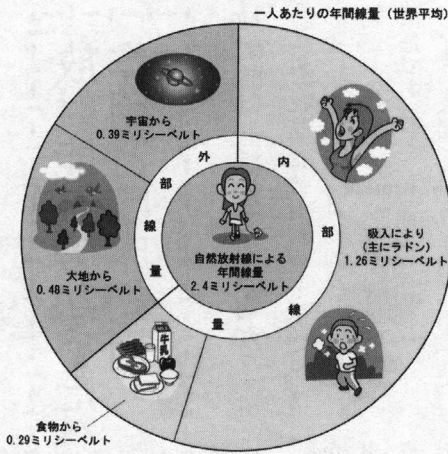
グレイ (Gray: Gy)

放射線によって1kgの物質に1ジュールの放射エネルギーが吸収されたときの吸収線量を1グレイと定義する。1ジュールは標準大気圧(1気圧)で20°Cの水1gを約0・24°C上昇させるエネルギーに相当する。グレイは、1940年に同様の概念の単位を使用した R・H・グレイを記念して1975年に定められた。国際単位系単位。

放射性物質の放射能の強さが人体への影響の程度決めるわけではなく、放射線を人が浴びた場合の影響の程度を示す単位としてシーベルトが用いられる。シーベルトとベクレルの関係は、懐中電灯の光とそれを見る人が感じる明るさに例えることが出来る。懐中電灯の光をすぐ傍で見るととても明るく感じられるが、遠くから見るとけて明るくは感じられない。これと同じように強い放射性物質(ベクレル数大)があっても



図3 自然放射線から受ける線量



「原子力・エネルギー」図面集2009  
 出典:国連科学委員会 (UNSCEAR) 2000報告

遠ざかれば人への影響は弱くなるのでシーベルトの数値は小さくなる。また人体への影響の強さを示すのにグレイという単位が使われることがある。グレイは $\alpha$ 線や $\beta$ 線などの放射線それぞれの強さ(吸収されるエネルギー量)を示すのに使われるが、総合的に人体が受ける影響を示すには放射線それぞれの強さの違いを考慮しなければならない。 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線は1グレイ $\equiv$ 1シーベルトであるがエネルギーの大きい $\alpha$ 線は1グレイ $\equiv$ 20シーベルトで換算される。2001年、国連の科学委員会(UNSCEAR)において、世界人口の自然放射線による平均被曝線量は2.4 mSvで、その1/2即ち、1.2 mSvがラドンおよびその崩壊生成物等の吸入

7. 放射能泉利用客の被曝線量

温泉に含まれる放射能は主としてラドンであるが、放射能泉を利用した場合実際にはどの位放射線を浴びることになるのだろうか。

村杉、増富、湯乃島の三ヶ所の放射能泉地域に一泊二日の滞在をした旅行客の被曝線量と日常生活の中での受けることの多い医療被曝における実行線量との比較例を表1に示した。温泉の被曝線量は便宜上各温泉地域に24時間滞在すると仮定して、客が客室、浴室、食堂等にいるであろう平均的な時間を見積り、その時間に従って①空気中ラドン吸入、②浴槽から空気中へ拡散して来たラドンの吸入、③ラドン水飲用による経口摂取による被曝等を加味して算出された値である。医療被曝の方の胸部X線撮影は学校や職場での年に1回の集団検診、胃部X線撮影も40歳以上の人が受けることが多い集団

による内部被曝であると報告された。(図3)それ以来居住環境、職場環境等の空気中ラドン濃度による被曝線量への関心が益々高まっている。

表1 温泉地一日滞在の被曝線量と医療被曝における実行線量との比較

( $\mu$ Sv)

放射能泉一日滞在*			X線診断の種類(1件当たりの線量)		
村杉温泉	増富温泉	湯乃島温泉	胸部(集団)	胃部(集団)	CT
4.2	7.2	5.0	50	600	8,250

\*放射能泉に一日滞在し、温泉水をコップ1杯飲用(1=1,000ml=1,000,000 $\mu$ )

的であり、この値を一般化することは出来ない。しかし、湯治などで放射能泉に何日か滞在するとき、どの位放射線を浴びるのか、普段の生活とどの位違うのかを考えたときこの比較は一つの目安にはなる。

検診時の値である。その結果、追い込み放射能という言葉から敬遠されがちな強放射能泉地域に一日滞在し、温泉水をコップ1杯飲用した場合であっても、通常義務として気軽に受けている胸部X線撮影の1/12 $\sim$ 1/7程度に過ぎないことがわかる。ラドンは地球上何処にでも存在するがその濃度は常に変化して居り、測定する時間により、季節により、場所により、流動



# 放射能泉のからだへの作用と臨床効用

あぎしゆうこう  
阿岸祐幸  
(健康保養地医学研究所)

## 放射線は低線量でも有害か？

一般に低線量放射線のからだへの影響については、対極的な2つの仮説がある。一つは「放射線はどんな微量であつても有害である」という「しきい(閾)値なし直線仮説」である。しきい値とはある値以上で効果が現れ、それ以下では効果がない境界の値である。

もう一つは低線量の放射能は細胞やからだの機能を活性化する「ホルミシス効果」説である。これは「大量使用すると有害であるが、少量の場合は、逆にからだによい刺激を与えて、生理学的にプラスの効果を与える」という仮説である。詳細は省略するが、低線量の放射能泉の効能や作用メカニズムを解明するのに無視できないものといえよう。

## I. 放射能泉の利用法と生理作用

放射能泉での温泉療法の主なものは、温泉入浴、吸入、飲泉、直接照

射(坑道療法や岩盤浴)がある。

### 1. 温泉入浴

温泉中のラドンは親脂質性で皮膚から良く吸収される。温泉浴での皮膚からの吸収は、浴水温が高いほど、皮膚の血流量が多いほど多くなる。たとえば浴水温が31℃よりも38℃に入浴すると、5倍も多く吸収されるという。

気体のラドンは蒸散し、浴水中に含まれている放射線の約10%は水面上の空气中に拡散する。放射能泉に入浴する時には水面上にあるラドンの吸入も考えて、浴槽の縁を高くするなどの工夫をするとよい。

皮膚を通じて体内に吸収されたラドンは、血液に入り全身を回る。1回20分のラドン泉浴(濃度415Bq/L、浴水温が37~39℃)でラドンの血中濃度が2.8Bq/Lとなったという報告がある。そして出浴後約20分で体内のラドン濃度が最大となり、それから速やかに減少していく。

体内のラドンは肺から約60%、皮膚から40%、腎臓から0.1~1%ほど

が排出される。出浴後20分でラドンはほぼ完全に体内から排出される。ラドンは汗の中にも排出されるので、ラドンとその崩壊産物が皮膚表面に増加して皮膚への作用が強まる可能性はある。これもからだへの刺激になるので、温泉入浴後は原則として皮膚表面をシャワーなどで洗わないようにする。

●ラドン泉は何故からだに効くか

皮膚から吸収されたラドンは、上皮にあるランゲルハンス細胞に作用して免疫反応に関係する。体内では、特に脂肪の多い副腎皮質、脾臓、皮下脂肪、中枢神経系のリポイド、赤血球などに多く集まる。また、脳下垂体、副腎皮質の機能を強める作用がある。

放射能泉療法による関節リウマチ、変形性関節症、筋肉痛、神経痛などでの鎮痛効果は、その一部はラドンが脳下垂体を刺激して副腎皮質ホルモンの分泌を促し、メチオニンエンケファリンやβエンドルフィンなどの脳内ホルモンの分泌を高めたこと、特に脂肪の多い神経の髄鞘への作用による可能性がある。

●ラドン温泉浴の臨床実験例

ラドン温泉入浴による臨床効果が厳密な二重盲検法で検討した成績が



図1 ラドン泉入浴群(▲)と水道水入浴対照群(■)の  
圧痛覚閾値の変化(Pratzel)

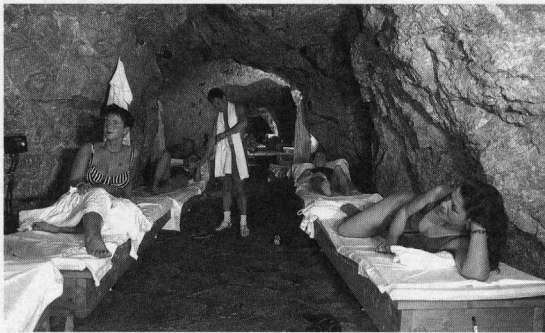
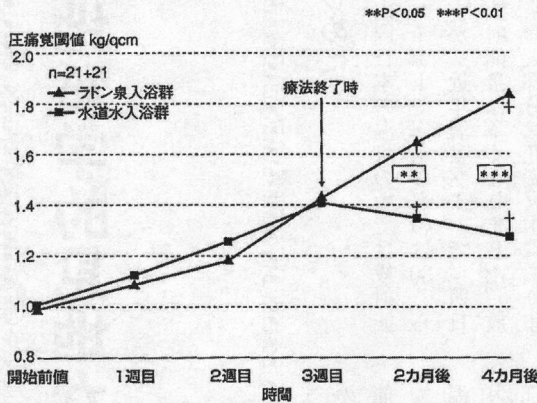


写真1 バード・ガスタインのラドン吸入坑道療法の治療室。  
医師が回診している。

ある。頸や背中に強い痛みのある頸椎脊椎症の患者を無作為に21人ずつの2群に分け、3週間の温泉療法中、すべての患者はマッサージ、リハビリ運動を共通の基礎療法として受けた。2群のうち1群はラドン泉入浴群(浴水中放射能濃度3 kBq/L、37℃の全身浴)、他の対照群は水道水入浴を行った群である。その結果、痛覚の閾値の変化を皮膚の上から筋に加圧して痛みを感じ始める圧で見ると、ラドン泉入浴群では療法が終わった後少なくとも4か月は閾値が高くて、痛みが減少したことが分かる(図1)。

2. 天然ラドン吸入療法とその効果  
ラドンは吸入で気道を通じて体内に吸収される。吸入法にはサウナ療法、洞窟・坑道療法などがある。  
●三朝温泉の「熱気浴」サウナ療法  
三朝医療センターの「熱気浴」は、室温40℃、湿度90%の湿式サウナで、放射線量は毎時8μシーベルトである。膝関節症患者で40分のラドン熱気浴を隔日に約1か月間行くと、関節痛の軽減、炎症の改善が見られた。また、抗酸化機能や損傷したDNA修復能の向上が見られた。  
●健常男性を対象として、天然のラドンサウナ、実験用ラドンサウナ、

治療室は坑道を横に広げて作られた5室である(写真1)。治療室のラドン濃度は140~160 kBq/m<sup>3</sup>で、室温は38~41℃、湿度は70~100%である。それぞれの治療室で温度と湿度が異なり、患者は治療室では裸になって1時間ベッドに横になる。この間、医師と看護師が2回各患者を診てまわる。全体として高温・高

ラドンを含まないサウナで、連続浴を行うと、ラドンを含む2種のサウナ浴群では、濃度に応じて血圧低下、関節痛の軽減、5回目以降で血中イオンスリン濃度の増加などが観察された。  
II. バート・ガスタインの坑道吸入療法  
放射能泉療法で有名なオーストリアのバート・ガスタインBad Gasteinでは、町の南にあるバート・ベックスタインBad Bleibergでラドンガス吸入療法が行われている。患者は坑道入り口にある病院で医師による診察を受けたあと、電車で約2kmの坑道を通って治療室に運ばれる。電車は1日に2回運行し、一度に100人ほどが乗る。

治療室は坑道を横に広げて作られた5室である(写真1)。治療室のラドン濃度は140~160 kBq/m<sup>3</sup>で、室温は38~41℃、湿度は70~100%である。それぞれの治療室で温度と湿度が異なり、患者は治療室では裸になって1時間ベッドに横になる。この間、医師と看護師が2回各患者を診てまわる。全体として高温・高湿の環境下で行われる刺激性の強い療法であり、中核体温(直腸温)は約1℃上がり、発汗による体重減少量は男性で約1.2kg、女性で約1.6kgである。  
この療法期間は3週間で、隔日に坑道療法を受けるので計10~15回、延べ10~15時間ラドンに曝されることになる。主な適応症は強直性脊椎炎、リウマチ性疾患で年間約3,000人の患者が訪れる。病院で普通のリハビリテーションを行った群に比べて、リハビリにラドン坑道療法を加えた群の方がADL(日常生活の基本動作)の改善が明らかに認められている。  
リウマチ性疾患や強直性脊椎炎では、鎮痛効果は3~5週間の療法後、数か月は続く。ある検討例では52人の強直性脊椎炎の患者が坑道療法を少なくとも6回行った結果、関節の痛みが軽くなり可動性が増したが、多くの患者では療養が終わってから1~2か月後に最も明らかであった。また、その後の痛みの軽減は6~9か月続いていた。

このように、ラドン温泉療法は入浴でも吸入でも特に関節・筋・神経などの鎮痛効果が優れていることが見られるといえよう。



# 地質学的見地からみた放射能泉

島津光夫

(新潟大学名誉教授)

## はじめに

火山国日本の温泉の中では放射能泉はマイナーで、主なものは30くらいですが、近年温泉ブームで、西日本の放射能泉は多くなりました。放射能泉の大部分は花崗岩中にありますが地質学的に調べられた所は余りなく三朝、有馬、村杉温泉ぐらいです。主な放射能泉を表に示しました。

## 放射能泉の地質

三朝温泉には、白亜紀の花崗岩が分布し、三徳川に平行した東西方向および北東—南西方向の断層が発達しています。温泉水はそれらの断層に沿って上昇してきたと考えられ、源泉は川のほとり、約15キロメートルの間に80以上分布しています。主な温泉の泉温は摂氏28—86度(平均54度)のナトリウム—炭酸水素塩・塩化物泉です。熱源は明らかであり

ませんが、周辺に出ている新第三紀の火山岩の可能性があります。放射能泉は山田、三朝地域の狭い範囲にでています。池田、湯抱(ゆがかえ)温泉は三瓶山の西側の花崗岩中にあります。柿ノ木温泉は島根県の南西部にあります。

有馬温泉にはいわゆる金泉と銀泉と放射能泉があります。金泉は赤色の含鉄—ナトリウム—塩化物泉で、源泉は17ほどあって、泉温96度、pH6.5です。方鉛鉱、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱などを含み、水や酸素の同位体の研究などから、火山ガスやマグマ水に近いものと考えられ、有馬型温泉という一つの温泉のタイプとなっています。銀泉は20度前後の透明な炭酸泉です。放射能泉は泉温29度の透明な温泉です。

有馬温泉地域の地質は、白亜紀の有馬層群の流紋岩とそれを貫く白亜紀の六甲花崗岩です。北北東—南南

西方向の有馬衝上断層と北東—南西方向の鼓が岡衝上断層があります。金泉は流紋岩中であって、有馬衝上断層の南側の巾400メートル、長さ600メートルの間に分布しています。銀泉も流紋岩中であって、金泉の分布地域の南側で、射場(いば)断層までの間に分布しています。放射能泉は瑞宝寺付近の花崗岩中にありますが、銀泉の分布範囲の中にも出ています。

増富温泉の地質は中生層の小仏層群とそれを貫く白亜紀の甲府花崗岩です。源泉は花崗岩の中であって、大部分含硼酸—ナトリウム—塩化物泉で、泉温は43度です。源泉は本谷川に沿い、ほぼ東西方向に1キロメートルほどの間にでています。強放射能泉は川の北側にでています。

村杉温泉は五頭温泉郷の一つで、透明な単純温泉です。地質は五頭花崗岩とよばれる中国地方の白亜紀花

日本のおもな放射能泉

都道府県	温泉地名	市町村	温度	ラドン (マッヘ)	最高値	泉質	pH	共存する温泉
北海道	二股	長万部町	48	6.7		弱放射能泉	6.6	カルシウム・ナトリウム—塩化物泉
福島県	母畑	石川町	26	8.8		〃	9.5	
新潟県	村杉	阿賀野市	26	66~85	204	放射能泉	7.9	
〃	栃尾又	魚沼市	39	50~62	69	〃	8.4	
山梨県	増富	北杜市	43	355~1500	9230	〃	6.7	ナトリウム—塩化物泉
岐阜県	田瀬	中津川市	19	43.5		弱放射能泉	5.8	
兵庫県	有馬	神戸市	29	46	126	放射能泉	6.7	含鉄—ナトリウム—塩化物泉、炭酸泉
鳥取県	三朝	三朝町	28	50~180	702	〃	6.8	ナトリウム—炭酸水素塩・塩化物泉
島根県	池田	太田市	16	109~670	4330	〃	5.5	
〃	柿ノ木	吉賀町	27	200~240	2120	〃	6.4	
〃	湯抱	美郷町	29	62	63	〃	6.1	ナトリウム—塩化物泉

崗岩に似た花崗閃緑岩とそれを不整合におおう新第三紀層で、それらを崩壊堆積物の砂礫層が覆っています。五頭花崗岩体の西側には北北東—南南西方向の新発田—小出構造線(断層)が通っています。一号井から三号井までの源泉は、泉温26度で、この断層に関連した北東—南西方向の300メートル程続いた割れ目にそって上昇してきたものと考えられます。そして一部は砂礫層の中に入り、放射能を含んだ伏流水となって村杉低地帯に抜がっています。出湯温泉は泉温33度の弱放射能泉です。

北海道の二股温泉は白亜紀花崗岩中にありますが、それを覆う新第三紀の八雲層の泥岩がありますので、化石海水をとりこみ40度のナトリウム—塩化物泉になっていと考えられます。石灰華があります。

福島県の母畑、猫啼温泉は阿武隈山地の白亜紀花崗岩の割れ目に沿ってできたと考えられます。付近は有名なウランやトリウムを含んだ放射性鉱物を伴うペグマタイトの産地ですが、温泉は弱放射能泉です。

秋田県の玉川温泉は高温の強酸性泉で、pHは1.3で、温度は99度です。温泉沈殿物として放射性物質を表面に微量含む北投石がありますが、放射能ではありません。

三朝温泉のある井戸のパイプの中の沈殿物として高い濃度(1億分の3.4グラム)のラジウムが検出されていますが、ほとんどの放射能泉のものはラドンと思われる。地下深くにある火成岩などに含まれるウランが壊変したラジウムから変わったラドンが水に溶けて割れ目にそって上がってきたものと考えられます。放射能泉のラドンの量は変化しやすく、降水量などにも左右されます。表には過去に存在した源泉の最高値も示しましたが現在には存在しません。

増富、三朝、有馬温泉は一般に代表的なラジウム泉といわれていますが、地質学的には放射能泉は上述の温泉を代表するものではなく一部の泉質です。しかし、それらの温泉が優れた温泉であることは変わりありません。

さいごに  
—原発事故に関連して—

福島第一原発事故以来、放射能泉は心配ないのかとの問い合わせがあるとのことです。原発から放出されたセシウム137などの放射線もラドン222がだす自然放射線も放射線という点では変わりありません。問題は放射性元素の種類、半減期と量です。

放射能泉をラジウム泉と強調するのが誤解を招く原因です。ラジウム226は半減期が1622年です。日本で最も放射能の高い池田温泉でもラジウムの量は1リットルあたり100億分の5グラムです。日本の放射能泉にはラジウムはほとんど含まれず、含まれているのはラドンです。ラドンは希ガス元素といわれる不活性元素で、水には溶けやすいが、他の元素とは化合しません。そして半減期は3.8日です。したがって体内に入るとそれなりに細胞に影響を与えますが、内臓などに蓄積することなく短時日の間に排出されますので心配はありません。ただし、ラドンの基準値はわかりませんが、高濃度のラドン水の飲泉を幼児や妊婦は控えた方がよいでしょう。



# 放射能泉とホルミシス効果

## 安保 徹

(新潟大学大学院免疫学教授)

### はじめに

ヨーロッパでも日本でも放射能泉を利用して、健康増進や病気の治療に利用してきました。長い歴史を持っています。しかし、去年の福島原発事故で予期せぬ放射能汚染が東北や関東の地域に広がり、日本人は再び放射能の知識を正確に学ぶ必要に迫られています。これまでは非日常的だった放射能に関して、正しい認識を持つことが日本人に要求されているように思います。

放射能からでる放射線は微量だと「放射線ホルミシス」と呼ばれるように、私達のからだの代謝系や防御系を活性化し健康増進に役立ちます。しかし、大量だと放射線障害が出現してしまいます。原爆による急性死やガン治療による骨髄機能低下作用や免疫抑制作用などです。放射能泉を利用する人も放射能汚染を心

配する人も、放射能や放射線に対する知識を得て暮す時代に突入しました。いっしょに学びましょう。

### 放射線ホルミシス

物理化学的刺激がヒトに作用した時、ホルモン様のプラスの作用をもたらすことがあります。ホルモン様効果ということでこの現象をホルミシスと名付けたのです。ホルミシスは東洋医学の治療によく利用されています。漢方薬は食べるには無用でむしろ危険なものです。少量を口にするることによって毒物を排泄する副交感神経反射が引き起こされます。これによって、消化管の働きを良くし便秘を解消するなどの治療効果を出しています。利尿効果も出ます。

鍼灸も同様です。鍼は小さな傷をつけますが、この傷を修復する生体反応や、物理的刺激を跳ねのけるた

めの血流増進効果を發揮します。灸は熱傷を起こすので、熱の物理的刺激を跳ねのける代謝亢進作用が起ります。微量の放射線がホルミシス効果を表すのも同様の作用です。特に、からだの酸化作用が上昇します。また、DNA損傷からの回復力の上昇をもたらすわけです。

このように人類は多くの物理化学的刺激を利用して健康増進や病気の治療に役立ってきたのです。ラジウム温泉を利用するのも、温泉の温熱効果に加えて低放射線ホルミシス効果を期待したものです。日本や世界各地でラジウム鉱泉が利用されていますが、だいたい自然放射線の100倍くらいの値になっています。私達の自然放射線の被曝量は2.4 mSv/年ですから200 mSv/年前後です。

### 放射線照射とミトコンドリア

私達の細胞内にエネルギー生成のための小器官、ミトコンドリアが存在します。ミトコンドリアはクエン酸回路を回して食べ物（主にピルビン酸など）から水素分子を取り出します（図1）。この水素をプロトンと電子に分離させ電子伝達系に運ぶわけです。ミトコンドリアの内膜の

外にプロトン、内膜の内側に電子をためて電気エネルギーをつくりまします。そして、これを脱分極させてATPをつくっています。この流れの中でミトコンドリアは紫外線や放射線などの電磁波を利用しています。電磁波の力で、水素分子をプロトンと電子に分離させているのです。

電磁波の中で、波長が短くエネルギーが高いのが宇宙線やラジウムやカリウム40から出るガンマ線です。次に、医療用に使用するX線です。さらに、波長が長く多少エネルギーが低くなったのが紫外線です。このため、自然界に存在するガンマ線や紫外線は生命維持にとって必要不可欠の物理的刺激になっています。私達生命体が太陽光無しで生きられないように、自然界に存在する放射線無しには生命は存続できません。自然界からくる1年間の放射線の量(2.4 mSv/年)は、宇宙線・地表・食物1.1・1.1くらいです。

宇宙飛行士の古川さんが戻ってきました。その時の新聞記事に、宇宙では1日で半年分の自然放射線を浴びているというのがありました。過去の38億年前の生命誕生後の長い間、地球には酸素やオゾン層がありませんでしたので、宇宙線も今の200

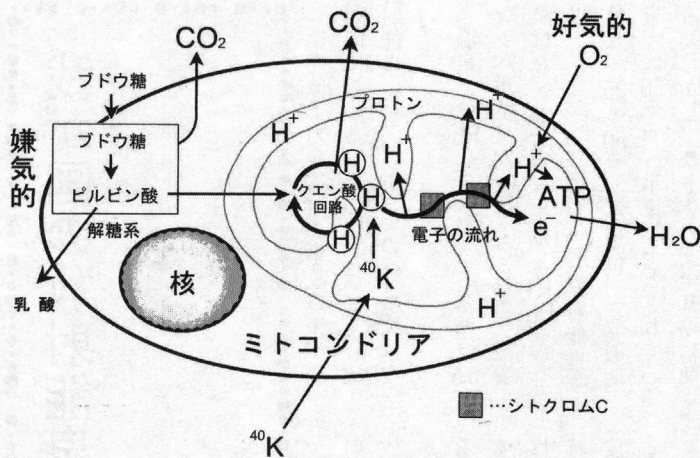


図1 ミトコンドリアの中でエネルギー生成

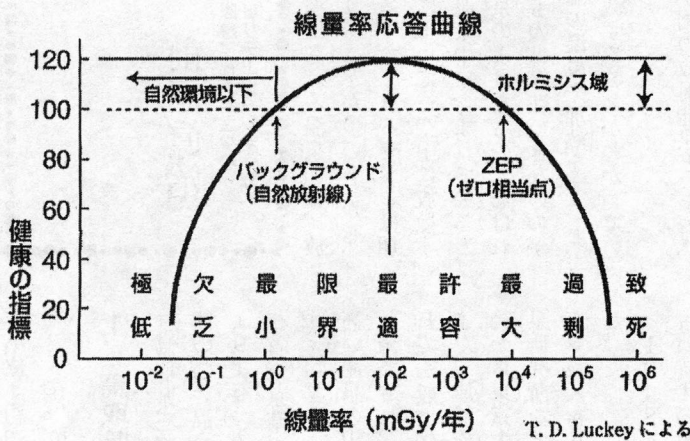


図2 放射線の量と作用

T. D. Luckey による

が多くなつてしまします。厳し過ぎる被曝量を設定し過ぎると人がその土地に容易に住めなくなりまして、十分厳しい値なのに、それでもさらに不安を抱える事になったら別の意味の健康被害が出てしまうでしょう。この論説で正しい判断ができるようになると思つてい

す。1000倍の量で地上に降り注いでいました。また、ウラン(半減期が45億年、ラジウムはウランの崩壊で生じている)やカリウム40(半減期13億年、ふつうのカリウム中に0.012%含まれる)から出て、生命体に当る自然放射線もこれまでの38億年間でそれぞれ約1/2、1/8くらいに減衰しています。今の地球では、むしろ生命体は放射能や放射線不足になっているという状況で

す。  
**放射線は害か健康増進か**  
最少の放射線でもからだにはマイナスという考え方が linear non-threshold theory (LNT 説) です。しかし最近の多くの研究で、放射線には生命体に必要量がありそれ以上になった時に放射線障害が出るという考え方が出て、これは dose-response theory とか hormesis

theory と呼ばれています(図2)。トーマス・D・ラッキー博士の提唱している考え方です。これを見ると100 mGy/年(100 mSv/年に相当)がホルミシス効果を生む最適値になっています。日本人は福島原発事故のために、放射線の害や利益について知らざるを得ない状況に置かれてしまいました。この論説で書いたような内容を知らないで生きるとつらい事ばかり



# 我が国の放射能泉

前田眞治

(国際医療福祉大学大学院  
リハビリテーションシヨン学分野)

福島原子力発電所の事故以来、放射能に対する国民の関心は高く、放射能泉においてもその例外ではない。

温泉ではRn(ラドン)の基準は5.5マツヘ単位(74 Bq/l)以上、療養泉は8・25マツヘ単位(111 Bq/l)以上とされている。「弱放射能泉」は8・25〜50マツヘ単位、「放射能泉」は50マツヘ単位以上とされている。しかし、ラドンの安全基準に関して許容量は決められていない。

日本人のラドンによる被曝線量は約0.5mSv(ミリシーベルト)/年で、これは世界平均の1/2である。日本列島は地質学的に古代岩石層が少ないためラドン濃度が低いとされている。

これは、一般人の線量限度は実効線量で1年に1mSvとされていることから、少ない線量であることがわかる。

地下から湧出される温泉には、放射能が含まれることが多い。しかし、放射能泉に多く含まれるラドンは加熱することによって、空中に放散するため、温泉中に含まれているとすると低温泉のようなものでなければ高濃度のもは存在できないのが特徴で、高温の温泉や加熱をすると、放射能は激減することがわかつている。

さて、我が国の放射能泉としては、鳥取県三朝温泉、山梨県増富温泉などの温泉が代表的なものと思われる。また、秋田県玉川温泉では、ラジウムを含む北投石を産出する。それぞれの放射能泉についてその特徴に触れる。

(なおここに掲げる単位はおなじみのシーベルトなどもあるが、マツヘ単位などの表現、ベクレルなどの記載もある。測定した値なのでそのままの単位で記載している。1マツ

ヘ単位 $\equiv$ 約 $13 \cdot 5$ ベクレル(Bq)  
 $\approx 3 \cdot 64 \times 10^{10}$ キュリー(Ci)

## 1. 鳥取県三朝温泉について

鳥取県三朝温泉も我が国で放射能の強い温泉として知られている。1916(大正5)年に、当時の内務省東京衛生試験所がラドン含量142・14マツヘ単位と報告し、温度の高い温泉の中ではラドン含量が高いと発表され、三朝温泉は放射能泉として一般に知られるようになった。また、放射能の調査が1950年前後から東京大学理学部、岡山大学温泉研究所などで行われ、トロン含量550マツヘ単位と報告し注目を浴びた。

1948〜1952年頃の比較的古い時代の測定値で、当時の最高値は「ひすいの湯」の489・5マツヘ単位である。なお「ひすいの湯」はその後、水底の土砂をさらったことによつて消滅した。なお三朝温泉の化学組成はナトリウムと塩素が主要成分で高温泉が多く、泉質は含放射能ナトリウム塩化物泉である。

三朝温泉のラドン濃度は50マツヘ単位以下の弱放射能泉が圧倒的に多く、また岡山大学温泉研究所および山田共同浴場付近が地域的にラドン

表1 三朝温泉の放射線量

源 泉 名	検査年	ラドン濃度 (ピコキュリー/ℓ)	マツヘ単位 (M.E./ℓ)
岡山研究所分室 (男湯)	1952	0.30	83.33
〃 (地下室源泉)	1949	4.16	114.4
ひすい湯	1952	17.8	489.5
岡山大温研男子浴室 (不老庵)	1978	0.20	
株湯 (浴槽水)	1999	0.57	
岡山大学三朝分院	2001	0.51	14.0
薬師の湯・飲泉場	2006		35.8

濃度が高いといわれているが、55マツヘ単位程度である。2006年のラドン測定値では温泉水は6・06〜35・79マツヘ単位

で、1950年頃のラドン濃度に比較して低い値であった。これは、温泉全体として動力湯湯泉が増加したこと、市街地の整備などで、地下の温泉水の流動状況が大きく変化したことなどが関係していると推定されている。

このように、三朝温泉の温泉水のラドン濃度は全般的に低濃度化の傾向があり、比較的低濃度のものが多い。三船(温泉科学1981)によると「三朝温泉の温泉地の外気、一般家庭の空気中のラドン量から気管支粘膜の年間被曝線量は0.14〜0.27ミリシーベルト(mSv)と推定され、年間最大許容被曝線量の約1/5に相当する。三朝温泉地に多年生活し、温泉入浴、温泉水飲用を行ってきた住民についての疫学検討からラドンによる障害は認められない」としている。

## 2. 山梨県増富温泉について

山梨県増富温泉は強放射能泉として知られている。

この温泉については、1913(大正2)年の、43カ所の湧水で最高823マツヘ単位が報告されている。2005年の調査では、不老閣周辺の飲泉場が最も高く485マツヘ単位、

写真1 岩風呂(温泉)20℃ 浴槽の下から湧き出している。



入浴に繁用されている岩風呂は放射能泉の基準を僅かに下まわる程度の

写真2 岩風呂の横の飲泉場：この場所は狭くて入浴不能。180mlたまるのに20秒程度必要であるような湧出量



6.3〜9.4マツヘ単位であった。不老閣源泉の岩風呂では、最高9・64マツ



### 増富温泉の放射線量

岩風呂棟飲泉場	8.82マイクロシーベルト ( $\mu\text{Sv/h}$ )
岩風呂棟上がり湯出入口	5.67マイクロシーベルト ( $\mu\text{Sv/h}$ )

引湯している温泉、大浴場および周辺の大気中ラドンを測定したがラドンは殆ど含まれていない。また、入浴者の湯治に於ける被曝線量についても、放射線障害防止法での一般人の線量限度(250Sv/3ヵ月)よりも遙かに低く、放射線防護の面では問題なかった。

### 3. 秋田県玉川温泉について

玉川温泉は、我が国で、高温、酸性、湧出量豊富、北投石産出、といった特徴を持つ療養泉として有名である。しかし、源泉(大噴の湯)およびそれを

へ単位であった。泉質は基本的に、ナトリウム、塩素、炭酸水素、鉄などを含む塩類泉である。

空気中のラドン濃度は  $0.41 \sim 26.5$  ピコキュリー( $10^{12}\text{Ci/l}$ ) の範囲であり、玉川や三朝の値に比較するとかなり高い値を示している。

### 4. 放射能泉の加温についての注意

放射能泉は、鉱泉分析法指針によると、鉱水1kg中ラドンを  $30 \times 10^{10}$  Ci含む療養泉と定義されている。ラドンはラジウムの壊変により生じ、半減期は3.8235日である。気体のため簡単に空気中に飛散すると濃度は減少する。そのため、源泉からの揚湯、利用施設までのパイプ輸送、タンクでの貯湯、浴槽での循環濾過等の間に飛散し、特にポイラーなどによる直接加熱を行うとラドンはほとんどなくなる。

通常、放射能泉は低温泉が圧倒的に多く高温泉はまれで、高温になるとラドンが飛散する。また、浴槽での循環濾過は放射能泉で行うと、ほとんどのラドンが飛散してしまうので注意が必要である。

### 5. 我が国の放射能泉の安全性

以上のように三朝温泉、増富温泉、玉川温泉の放射能を調査してみると、三朝温泉および玉川温泉については放射能(ラドン濃度)が増富温泉より低かったため、増富温泉について身体への影響を述べることに

する。

日本放射線科専門医学会で作成した放射線Q&A(1995年)によると、増富温泉での療養に際して水中平均濃度を1700ベクレル( $\text{Bq/l}$ ) ( $0.459$  マイクロキュリー( $1\text{Bq} \parallel 2.7 \times 10^{11}\text{Ci}$ ))として、1時間浴室に居て30分入浴を1日3回1週間繰り返した場合、外部被曝が約12マイクロシーベルト( $\mu\text{Sv}$ )、内部被曝が約15 $\mu\text{Sv}$ 、合計27 $\mu\text{Sv}$ 程度とされる。長寿の湯・内風呂(男)浴槽40分、内風呂休憩室(マッサージ機)時計の場所に1時間、脱衣所に20分利用したとすれば、浴槽で0.25 $\mu\text{Sv}$ 、休憩室で1.44 $\mu\text{Sv}$ 、脱衣所で0.66 $\mu\text{Sv}$ 、合計2.35 $\mu\text{Sv}$ となる。この状態を1年間続けたとして85.848 $\mu\text{Sv}$ (0.85848ミリシーベルト)となる。この数値はICRP(国際放射線防護委員会)の一般人の被曝の線量限度1ミリシーベルト(1mSv  $\parallel$  1000 $\mu\text{Sv}$ )にも達していない。

したがって、3つの温泉の中で最も高い放射線量と考えられる増富温泉における通常の利用でも線量限度を越えないものと考えられることから、日本における放射能泉での被曝量は一般人の被曝限度量よりも低く、安全に入浴できると考えられる。