



## 日本の温泉の毒性学

Anthony T. Tu (杜祖健)<sup>1)</sup>

(平成 29 年 5 月 10 日受付, 平成 29 年 6 月 12 日受理)

### Toxicology in Hot Spring Area in Japan

Anthony T. Tu<sup>1)</sup>

#### Abstract

Hot spring is the most visiting vacation site for Japanese. In this lecture, the toxic aspect of hot spring water is described. Hot spring has volcano and non-volcano types. But both of them come from the ground therefore they contain various types of minerals. Some of them are harmless but some of them are harmful to humans. Hot spring is not limited in land but it is also found in deep ocean floor but it does not affect human's health because no one goes to deep ocean floor.

Among the toxic fumes, hydrogen sulfide is the most common toxic gas. There are many hot springs in Japan containing hydrogen sulfide and long period of bathing in such places is dangerous.

Another common risk in the hot springs in Japan is legionnaire disease that is due to the bacteria grown in the pipe and other facility commonly used in hot spring inn and hotel. The toxic bacteria is not come from hot spring water itself but from the facility associated with the hot spring inn and hotel.

Drinking of hot spring water is common in Japan. One should know what type of mineral present in the water before drinking. Some hot spring water contains mercury and should not drink such water. Some hot spring has very low pH as low as pH 1.0 and therefore one should avoid drinking such hot spring water.

Water as well as hot spring water has high radiation value. The radiation in water comes from decaying radium and radon. Radon is inert atom therefore it will float in the air. Inhaling such air is dangerous because radon decay inside the body, it is called internal radiation. The degree of radiation varied from different hot spring. The radiation from radon is known to induce lung cancer but in Japan most people are unaware such risk.

温泉は世界中いたるところに有る。しかし温泉は日本人にとって特に馴染みが深く、日本の文化の一部でもある。何事にも明暗があるように、温泉の中には毒性のある物質を含んでいることがあ

<sup>1)</sup>コロラド州立大学名誉教授。 <sup>1)</sup>Anthony T. Tu, Professor Emeritus of Department of Biochemistry and Molecular Biology Colorado State University Fort Collins, Colorado 80523, USA. E-mail atucsu@gmail.com

る。別に恐ろしがる必要はないが、こういう害もありうるのだと知っていれば、温泉をもっと安全に楽しめるのではないかと思う。

温泉には火山性と非火山性がある。日本は火山の国なので温泉というとすぐに火山と関係あるものだと思ってしまう。非火山性の温泉は地中を深く掘ればやはり温泉が出るものである。それで東京にも沖縄にも温泉がある。地面を深く掘り、地球の内部のマグマに近くなると結構熱い水が得られる。アメリカでは今それを利用して家を暖めたり、フローアをいつも暖かな状態にするように実用化されている。日本ではこれを「地中熱利用」と言っている。

温泉というと皆陸上の暖かい水と思いがちであるが、別に陸でなくても深海の底からも温泉がわき出でているのである。深海の底だと温度は極端に低く、水圧もべらぼうに高い。しかし温泉のわき出でる深海の温泉は熱水（約 200℃）である。そんな特殊な環境で育つ細菌、動物、植物もある。

火山性や非火山性の温泉はつまるところ水が地面の中から来ることには変わりがない。地中にはいろいろな物質がある。それで温泉水は当然ながらいろいろな物質を含んでいることにはすぐ了解できる。土地はどの場所も含んでいる成分が同一でない、場所によって含んでるものに大きな差があることもある。こうして見ると温泉の水に差があっても別に不思議ではない。



写真 1 海底から湧き出す温泉

## 硫化水素

温泉地に行くとツーンと軽く鼻を刺激することがある。これは硫化水素 ( $\text{H}_2\text{S}$ ) のにおいである。温泉の湯気には亜硫酸ガス、二酸化硫黄 ( $\text{SO}_2$ ) も硫化水素も含まれている。温泉は高熱で硫黄を含んだ特殊環境ともいえる。しかしその特殊環境で生きている細菌もある。例として硫黄酸化細菌で *Thiobacillus thiooxidans* という菌株がある。これは硫黄を酸化してそのエネルギーで生きてゆくのである。結果として最終化合物硫酸が生成されるので pH がぐっと低くなり pH が 1.0 位にもなる。こういう強い酸の状態では普通の細菌は生存しない。しかし高温でしかも低い pH でも生存する細菌が温泉にはある。これらの細菌を「好熱好酸性菌」と呼び、*Alicyclobacillus* 属を例に挙げることができる。これでもわかるように暖かい温泉は人間だけが好むだけでなく、上述の変わった細菌も温泉を好むのである。

硫化水素は微量でも 0.00040 ppm で異臭を感じるので、温泉の臭いは主に硫化水素による。濃度が濃いと硫化水素は危険で全身的や局所的な毒性を現す。僅か 0.1—0.2% の濃度で人を致死させる。毒性の原因は  $\text{S}^{2-}$  (−2 価) が体内のシトクロム酸化酵素 (シトクロムオキシダーゼ) 系のヘムと結合するので、酸素が結合しなくなるためである。局所の毒作用は目、皮膚粘膜を刺激するので痛みを感じる。全身に対する作用は呼吸困難、頭痛、めまい、肺浮腫、低血圧、不整脈、昏睡、嘔吐 (おうと) などがある。

硫化水素は空気中で徐々に亜硫酸になり最終的には硫酸になるが、ごく少量では健康に害するほどではない。しかし硫化水素を嗅ぎ続けると臭覚がマヒしてしまい、高濃度の硫化水素が来ても気が付かなくなることが起き、硫化水素の多い温泉では要注意である。

治療は亜硫酸塩で、そのメカニズムはヘモグロビンの 2 価の鉄を 3 価に酸化して、硫化物に対し

て3個のヘム鉄と競合させるためである。これはすぐにしないと効かない。酸素被害者を風通しのいいところに寝かせるべきである。

硫化水素は化学的に見て水の構造式と似ている。

SとOは周期表上で同じ族に属しているため、 $\text{H}_2\text{S}$ は $\text{H}_2\text{O}$ と化学構造式(下記)が似ているが、 $\text{H}_2\text{O}$ が常温で液体であるのに対し、 $\text{H}_2\text{S}$ は気体で存在する。

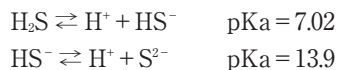


この違いはSとOの電気陰性度の違いによる。水分子の酸素Oの電気陰性度は高い(3.5)ので分子間力が強く、常温で水は液体になる。

一方、 $\text{H}_2\text{S}$ のSは電気陰性度が低い(2.5)ので分子間力が弱く、分子同士で引っ張り合わないため常温では気体なのである。 $\text{H}_2\text{S}$ と $\text{H}_2\text{O}$ のこの分子間力の差は、沸点の違いでもわかる( $\text{H}_2\text{O}$ は $100^\circ\text{C}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ は $-60.7^\circ\text{C}$ )。こういうわけで、 $\text{H}_2\text{S}$ は地球の極寒地でも気体のままである。

$\text{H}_2\text{S}$ は無色の気体で燃焼する。 $\text{H}_2\text{S}$ と空気の混合気体は燃焼して爆発することがあるので危険である。 $\text{H}_2\text{S}$ は空気より重たい(1.19倍)ので、低地の窪地に残ることがある。よく野外の窪地や洞窟の中に入って、人や動物が死亡することがある。これは $\text{H}_2\text{S}$ がそこにたまっていたためである。

$\text{H}_2\text{S}$ は非常に弱い酸である。水溶液では、以下のように二塩基酸として、プロトンを二つ与える。



通常、 $\text{H}_2\text{S}$ の水溶液は無色であるが、長い間経つと濁ってくる、それは $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{HS}^-$ がしだいに酸化されて固体のSとなり沈殿物が水に浮遊するからである。水は液体に対して硫化水素は気体である。その原因はSとOの電気陰性度の違いによる。Sは電気陰性度が低いのでHとSが引き合わないため、常温で硫化水素は気体である。硫化水素のbpは $-61^\circ\text{C}$ であるので、いつでも気体である。

どの温泉も硫化水素が同じような濃度であるわけではなく、場所によって差がある。2016年環境省の調査結果では全国の温泉で33浴槽が国の基準値を超えていたことが判明した。その内訳は北海道が7、青森県が4、山形県が6、青森市が3であった。これは最近調べられた結果であり、実際に硫化水素を発生する浴槽は日本全国で6434か所とみられている。実際に温泉で硫化水素による死亡や意識が不明になった例もあるから、温泉に行ったときはその温泉に特に注意することがあるか知ることが大事である。環境省として今は調査中で、まだ硫化水素に対する規定までには至っていない。要は換気が必要であり、閉め切った浴槽での長い時間での温泉に浸かることは硫化水素のある温泉では禁物である。

私が草津温泉に入ったときに、浴槽のそばにタイマーが置いてあり、お湯に2分以上つかると書いていた。草津の温泉は名湯として有名であるが、浴槽や季節によっては硫化水素の量が多い場合がある。それだからといって、温泉に行かないという心配はいらぬ。注意をしてその場の温泉の特徴を了解すれば結構楽しむことができるのである。私は草津温泉が好きで2回ほど行った。

## レジオネラ肺炎

レジオネラ症は特に温泉の水から来るのではなく、むしろその設備の具合によって起こるものである。それで温泉地だけに起きるといってもいいが、温泉で起こりやすい条件が揃っているためである。まずさきにレジオネラとは何かを先に説明しよう。

1976年フィラデルフィアのホテルで在郷軍人会が開かれ、221人が感染し、34人が死亡した。当時は何が原因かわからず、レジオネラ症と名付けられた。レジオネラというのは在郷軍人という意味である。その後判明したのは別に新しい細菌ではなく、レジオネラ菌は肺炎を起こす一種の細菌である。この病気は病状の進展が早く、死亡率も高い。予防としては塩素を使っての殺菌法があるが、これを使用すると温泉水の泉質が変わり、また塩素の臭いが残り、理想的な殺菌法ではない。温泉水を貯めて使うための貯蔵装置や循環させてお湯を再利用する温泉ではレジオネラ菌が増殖する恐れがある。それで温泉はかけ流しにするところのほうがいいわけである。



写真 2 レジオネラ属菌

レジオネラ属菌は好気性グラム陰性桿菌で土壌や河川、湖沼など広く自然に分布している細菌である。この細菌が殺菌剤に対して抵抗力の強い原因はレジオネラ菌は「通性細胞内寄生性」であるためである。つまりアメーバなど他の生物にくっつきそれに寄生して生存する特殊な菌であるからである(写真2)。

特徴としては対熱性が強いので、50℃の温泉でも生存する。人間への感染ルートは肺からである。レジオネラ菌が浮遊した空気を吸うと病気になる。それで空調設備の冷却塔、加湿器、給湯設備、循環式浴槽などに繁殖するので、それらが感染源となることが多い。日本でも温泉地で感染死亡した例が多くある。2002年に宮崎県の温泉施設でレジオネラ病が発生し、295人の感染したうち7名が死亡した感染事故が起きたことは有名である。それで温泉水を循環して使う浴槽が感染の源泉となることがある。つまり湯気とともにレジオネラ菌が空気中でエアロゾルになり、それを吸うと感染する。レジオネラ症は2-10日間の潜伏期間があり、その後高熱、咳、筋肉の痛みを伴い呼吸困難のなり、胸を圧迫して痛みを伴い、下痢を起こしたりする。死亡率は高く80%ともいわれている。

レジオネラ菌による発病は高齢者や乳幼児や免疫異能の低い人に起こりがちである。人から人への感染は起こらない。日本ではレジオネラ症は浴槽からの件が多いのが特長である。これは日本人は風呂好きでまた温泉好きのためでもある。2001年厚生労働省が調べたところ17%の浴槽の設備からレジオネラ菌が検出された。これでもわかるようにレジオネラ症は温泉の水自身でなくその設備に繁殖したレジオネラ菌が湯気と一緒に浮遊しそれを吸ったための肺炎である。それで温泉に行ったときはその温泉場で過去にレジオネラ症が発生した経歴を知ることが肝要である。又その温泉宿が清潔であるかも重要なポイントでもある。

### 温泉の中に溶け込んでいるミネラル

温泉の水は地面の中を通過して地表に出てきた水なのでいろいろなミネラルを含んでいることは当然である。中には人の体にいいミネラルを含むが、それと同時に人に対して悪いミネラルを含むこともある。例えば水銀はアメリカのイエローストン国立公園の温泉水の中に多く含まれている。イエローストンは地下からぐつぐつと高温の温泉が常時わき出でているので有名である。ここは温泉で有名であるが、温泉につかる人は皆無で主にいたるところからわき出でている高熱の温泉を眺めるのが主な目的である。それで温泉の水が人に直接接触しない、つまり水銀は人と直接くっつかないので、水銀は人に対して害をなさない。しかしイエローストンの温泉は地中から空中に吹き飛ん



写真 3 イエローストン国立公園の間欠泉 (Geiser)

でいるので有名である。それでイエローストンの温泉は水銀による空気汚染の一役を果たしている。この水銀は特に有毒なメチール水銀  $\text{CH}_3\text{HgX}$  (X は Cl など) が多く含まれているので、体の中に入りやすい。イエローストンはまた Geiser で有名で地下から温泉水を空中にと出している (写真 3)。

別府の温泉周りをした人は気が付くであろうが、血のような真っ赤な温泉の池もある。これは鉄分が特に多いためである (写真 4)。

このように温泉によってミネラルを多く含むが、これらが乾燥すると多種のミネラルの沈殿物となり、有用鉱物特に希少金属を採取することができる。ウラジオストクの近郊にある温泉では鉱物採鉱の場所になっている。台湾の北投温泉の地獄谷では温泉の蒸気が乾燥して、黄色い硫黄が露出しているので昔から硫黄を採取されている。

こうしてみると、ミネラルの多い温泉は体に悪いこともあるが、別な用途から見ると人間に役立つこともある。物はなんでも使い道による。



写真 4 別府温泉の血のように赤い温泉水は鉄分を多く含んでいるためである。

### 温泉から出る放射線

温泉の水にも普通の水にもいずれとも放射性物質のラドン Rn を含んでいる。ラドンはどこから来たかというとうラン U が自然崩壊してラジウム Ra となり、そのラジウムが崩壊したものがラドンである。ラドンは放射性物質で  $\alpha$  線を放出する。ラドンは希ガス元素であるが水によく溶けて、地中どこでも見られる。 $\alpha$  線は  $\gamma$  線や  $\beta$  線に比べてエネルギーが高いため生体物質と接触すると害を与える。しかし幸いなことに透過力が極度に弱い。紙 1 枚で差し押さえられる (図 1)。

しかし、ラドンは水に溶けても希ガス元素なので空気中に漂う。それを人が吸うと肺に入りそこで蜜着する。つまり温泉に浸かって水の中にあるラドンが放射されて体に当たっても  $\alpha$  線の透過力が小さいので害はほとんどないと言える。問題は温泉の湯気と一緒に浮遊しているラドンを吸うと、ラドンは体の中で我々の組織を中から放射して害を与えるということである。勿論我々の体は入ってきたラドンを 30 分間の間に約半分を尿として排泄するので、ラドンによる害は思ったより小さい。

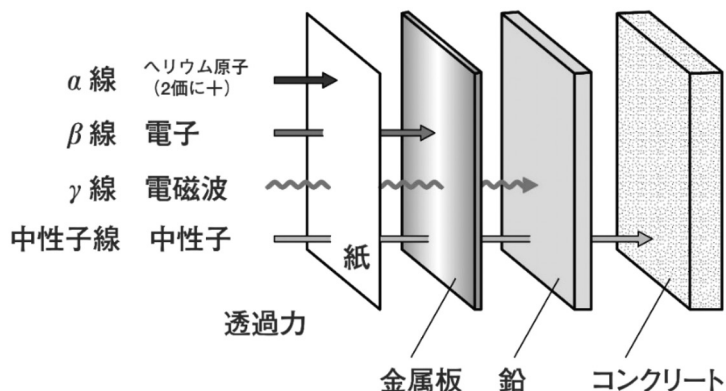


図 1 α, β, γ線と中性子線の透過力の比較

しかし世界保健機構、WHO はラドンによる放射線が肺がんの主な原因であると警告している。よく日本で温泉の広告として「からだにいい放射線の温泉」とか「ラジウムの多い温泉」と堂々と広告しているところもある。これは世界保健機構の主張するところと全く正反対である。我々は年中温泉に浸かるわけでもないから、仮に温泉の放射線に害があっても、短時間の間だけ接触するので害はほとんど無しに近いものと思うのでそんなに神経質にならず、温泉に気持ちよく浸かるのが大事ではないかと思う。ラドンはラジウムから来て、そのラジウムはウランから来た。しかし温泉の中には放射線を出す石があり、特に有名なのが台湾の北投温泉で取れた北投石による。北投石の組成は  $(\text{Ba}, \text{Pb}) \text{SO}_4$  で世界では北投温泉と日本の玉川温泉（秋田県）にあるのみである。

### 温泉の水は飲んでいいのか

温泉に行くときよく温泉水の飲み場のサインが見られる。しかし本当に飲んでいいのか。それで今度は温泉を飲用水の立場から見ていこう。

温泉は弱アルカリ性のもあれば弱酸性のものもある。これなら飲んでも問題はない。しかし多くはないが、温泉の中には強酸性のものもある。日本で一番酸性の強い温泉は玉川温泉で、pH がなんと 1.05 である。これぐらいだと自動車のバッテリーの塩酸がそれぐらいである。そんな強い酸性の温泉は飲んでいけないのはい目瞭然である。飲んでいけないのみならず、これらの温泉で顔を洗っていけないのは当然である。顔をこんな酸性の強い温泉水で洗うと目の中に入り痛めるからである。仮に温泉風呂に入っても長湯は禁物であり、中で体をこすってもいけない。皮膚がただれるからである。だいぶ昔の話であるが、玉川温泉の水を薄めるため、田沢湖に入れた。結果は田沢湖に生息していた多くの魚が死亡した。昔は一時玉川毒水と呼ばれていたこともあった。

温泉は地面の中から来た天然の水なので、多くのミネラルを含んでいる。温泉の中にはある特定の金属や物質を含んでいる。毒性学の基本原理は少量では無害でもたくさんとれば有害であるということである。温泉水に特殊な有害物質がないとわかれば飲んでも構わない。しかし上述したように温泉水はいろいろな物質、有害なものも無害のものも多種含んでいるのが実情である。

仮に温泉宿を訪ねた時に「体にいい温泉水をお飲みください」という札を見ても、すぐに飲まないほうがいい。その温泉水の水質を念頭に置きながら決めると良い。もちろん、温泉施設は事前に保健所による飲泉許可が必要である。

### 引用文献

Anthony T. Tu (1988) : 「身の回りの毒」, 東京化学同人

中沢芳章 (2011) : 「足湯, 露天風呂はこんなにいらぬ—草津の歴史から学ぶ「温泉論」」, リベル  
タス・クレオ

佐々木信行 (2013) : 「温泉の科学」, サイエンス・アイ新書