

3. 温泉のレジオネラ問題について

Some Problems of *Legionella* in the Hot Spring Waters

東邦大学医学部 加藤尚之

Naoyuki KATO (School of Medicine, Toho University)

はじめに

1981年に日本で最初にレジオネラによる感染者が発見されたが(Saito *et al.*, 1981), その後は大きな話題になるようなことはなかった。従って、数年前までレジオネラの名前はあまり知られていなかった。しかし最近では温泉に入浴してレジオネラ肺炎に感染し死亡した事例が新聞やテレビ等で報道され大きな社会問題になっていることから、レジオネラは最もホットな細菌として知られるようになった。

レジオネラは土壌や河川、湖沼等の自然環境中に広く生息しているが、もともと地下から湧出する温泉には存在していない。ではなぜ温泉で感染するようになったのか、それは温泉施設が循環ろ過装置を導入したことに原因がある。すなわち循環に用いるろ過装置そのものがレジオネラに適した生育環境となった。

循環風呂によるレジオネラ感染が騒がれ出したのは、今から5年程前の2000年3月に起きた静岡県掛川市の温泉利用入浴施設で23人が感染し2人が死亡した事例である。中でも2002年8月に宮崎県日向市の第3セクター温泉施設で295人が感染し、7人が死亡した事例はレジオネラ感染の特徴である集団感染として我が国では最大の感染事例となった。

ここでは温泉とレジオネラとの関わりについて考えてみた。

循環式ろ過装置について

循環式風呂では、温度を一定に保ちながら、プレフィルタあるいはヘアーキャッチャーで頭髪や人体の皮膚表層から剥がれ落ちる粗大汚濁物を取り除き、次いでよごれの原因となる有機物をろ材を充填したろ過器を通すことで浄化し循環している。一方ろ材に付着した汚れは、ろ材中に存在する微生物にとっての栄養源となる。このろ過装置には物理的に汚れをとる物理ろ過方式と、微生物層を積極的に形成させ、微生物による有機物の分解を利用した生物浄化方式があり、前者には砂や中空糸、後者には多孔性のセラミックボールや麦飯石などのろ材が使われている。現在循環式風呂の約3分の2が物理方式を採用しているが、レジオネラ属菌の汚染しやすいのは生物浄化方式で、多孔性のためにアメーバを含む微生物はその孔の中で繁殖しやすく、レジオネラに汚染される危険性は高いとされている。もちろん物理浄化方式においてもアメーバの繁殖は見られるが、生物浄化方式に比べれば少ないと思われる。

ここで循環ろ過における2つの問題点について述べる。

1. 循環している温泉を浴槽の上部から滝のように浴槽に注ぎ入れている点である。本来循環水は浴槽の中で戻すことになっているが守られていない温泉が多い。
2. レジオネラを殺菌する目的で殺菌剤を使用しているために生物浄化方式を取り入れているろ過槽のろ材では有機物を分解する微生物をも殺してしまい本来の目的である生物浄化がなされていない点である。

殺菌問題

循環に用いるろ過装置そのものがレジオネラに適した生育環境となっていることから、このような温泉施設では何らかの殺菌方法を導入しているのが現状である（必ずしも全ての温泉で殺菌を行っているわけではない）。殺菌方法としては、塩素系薬剤、銀イオン、銅イオン、オゾン、紫外線、光触媒、高温での殺菌方法などがある。厚生労働省は残留性のある塩素殺菌を推奨し、遊離残留塩素濃度を0.2~0.4 ppm に終日保ち、尚かつ1.0 ppm 以上にならないように指示している。しかし塩素殺菌の能力はpHが高くなるとその効果が激減する。従ってpHの高い温泉では必要以上に高濃度の塩素を注入している場合が多く、特にその傾向は露天風呂で多いようである。また薬湯と称している温泉では、加えた塩素と薬湯が反応しその効果が激減したためにろ材からレジオネラが浴槽内に侵入し感染した事例もある。

その他、温泉での塩素殺菌に対して指摘されている問題点としては、

1. 大勢の入浴客による有効塩素濃度の消費
2. 残留塩素濃度の不均一な分布
3. 塩素による有害物質の産生
4. アメーバの生息

などが挙げられる。他に残留性がある殺菌方法として、銀イオンおよび銅イオンがある。銀イオンは浴槽での濃度が0.05 ppm と極微量でもpHに影響されずレジオネラに対して十分な殺菌効果を示し（図1）、実際に銀装置を設置した温泉施設では0.03 ppm の濃度でもレジオネラは検出されていない。問題点としては、多量の H_2S 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} などが存在するとそれらと反応して濃度が低下することや、即効性に欠ける点などである。しかしレジオネラ殺菌に用いる濃度では人体に対し影響を与えず（クリスキー、1987）、かつ臭いが発生しないので浴槽内の消毒に適していると考えられる。

銅イオン殺菌ではpHの影響を強く受けるようである。例えばpH 7では効果が認められているが、pH 9では効果を示さないことが実験的に研究されている（Lin *et.al.*, 2002）。しかし実際に温泉を用いた検討は十分に行われていない。またレジオネラに対するデータも少ないようである。銀イオン同様残留性があることや、臭いも発生しないなどの利点があることからこれからの研究に期

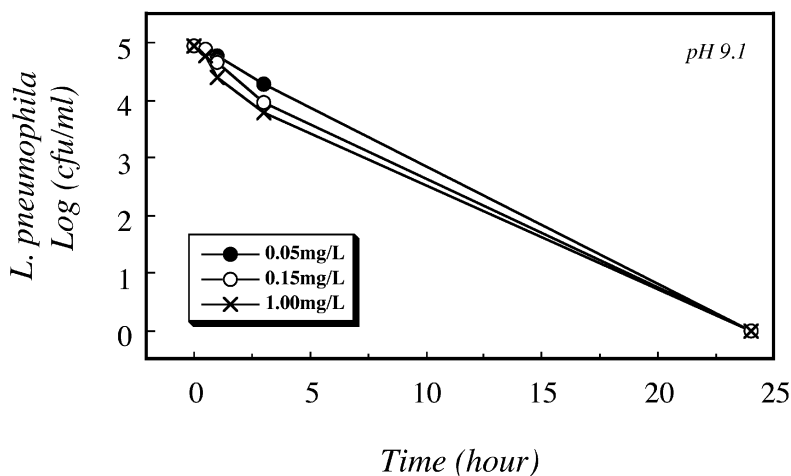


図1 アルカリ性温泉での *L. pneumophila* に対する銀殺菌効果

待したい。

紫外線, オゾン, 光触媒による殺菌に共通していえることは, 残留性がないことである。従って循環式浴槽に使用する場合には残留性のある殺菌剤, 例えば塩素系薬剤との併用が必要である。

高温殺菌はろ材を殺菌する上では最も効果的であると考えられる。70~80°Cの熱湯をろ材に通せば, レジオネラ, アメーバは殺菌される(図2)。問題点としては, 火傷の危険性や, 消費エネルギーが大きいためコストが掛かること, ろ材全体に熱湯が行き渡らない可能性があることなどである。

このようなことから温泉施設の経営者は, 温泉の泉質, 性質を十分理解して温泉に適したレジオネラの殺菌方法を選択することが重要であろう。

また最近では県の条例で掛け流し温泉にも殺菌剤の導入が義務づけられるようになってきた。これは大変重要な問題で, レジオネラの発生を恐れるあまり, 場合によっては折角の掛け流し温泉の泉質を大きく変えてしまう原因になる。

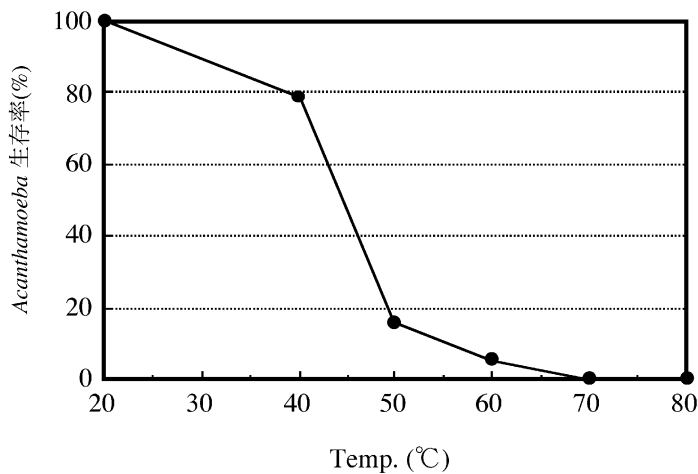


図 2 *Acanthamoeba* に対する温度の影響

レジオネラの VNC 移行性について

自然界の細菌の多くは生きてはいるが培養不能で, ある条件で培養可能に復帰する Viable But Nonculturable (VNC) の状態で存在する (Michael *et al.*, 1997)。これまで温泉においてレジオネラがどのような環境で生息できるかをレジオネラ・ニューモフィラ (*Legionella pneumophila*) を用いて, VNC との関連で研究を行ってきた。これまでに温度 5~45°C, pH 5~9 の間では生息可能であり, 温度 40~45°C, pH 5~8 では VNC 状態へ移行して生息していることが分かった。このように *L. pneumophila* は, 温泉の温度が 45°C か, pH が 5 の状態が, 生息できる限界条件で, できるだけ細胞を死滅させないために“寝たふりをしている”ものと考えられ, 細胞内の生理変化と関連し非常に興味深い結果を示した (Ohno *et al.*, 2003)。

このようなレジオネラが温泉水の中で VNC 状態で生息していると, 仮にその温泉水を採取し培養してもコロニーは形成されない。しかしこの状態のレジオネラが何らかの要因で人の肺に入り, 例えばマクロファージの中で復活のスイッチが入れば培養能を有したレジオネラになり肺炎を引き

起こすことは十分に考えられるであろう。

アメーバの問題について

微生物の中には、細菌を捕食して生活するアメーバも存在する。このような状況の中で、*L. pneumophila* が入り込んだ場合、アメーバに侵入（あるいはアメーバによる捕食）後、アメーバのファゴソーム（食胞）内において大凡 1,000 倍ほどに増殖する。一般的にはアメーバに捕食された細菌は、アメーバ細胞内のファゴソームに閉じ込められ、続いて溶菌酵素が詰まったライソソームが近づき融合してファゴライソゾームになり、菌体は酸と溶菌酵素にさらされ溶菌する。しかし侵入する *L. pneumophila* は運動性や病原性を発現した状態にあり、酸に抵抗し、ライソソームとの融合を阻害する成分を分泌する。さらに侵入後のファゴソーム内では、病原性に関する遺伝子群の発現は停止し、細胞分裂に関連する遺伝子群が転写発現され、レジオネラ細胞は活発に細胞分裂を繰り返す。最終的にはファゴソームを破り、アメーバを破壊して、再び新たなアメーバ細胞をターゲットにする（*L. pneumophila* が、肺胞内マクロファージに侵入したときにも同様のことが起きる）。このとき破壊されたアメーバから放出されたレジオネラは、アメーバの小胞につつまれ、エアロゾルを発生させやすいシャワーやジャグジーなどでエアロゾルとなり感染源となる。エアロゾルは、1~5 μ m 内であれば、菌を含んだまま肺胞内に入ることができると言われているため、循環式浴槽に対するレジオネラの汚染対策の1つとして塩素注入が行われている。アメーバ内に存在する状態のレジオネラ細胞は、アメーバ細胞の中に保護されることによって塩素による殺菌作用（遊離しているレジオネラは 0.2~0.4 mg/l の遊離残留塩素で死滅する）から逃れることができる。また配管の曲がった部分や継ぎ目などには水が停滞しやすいため、そこにはぬめりが生じやすく、そのぬめりにはアメーバを含むさまざまな微生物が含まれ、生物膜（バイオフィーム）を形成している。このようなバイオフィーム内もレジオネラの繁殖の場となると考えられている。実際我々の調査でも十分な量の塩素殺菌を施している露天風呂の周りの石に付着しているぬめり（藻類）を擦って温泉水と一緒に採取したところ、*L. pneumophila* が検出され、またアメーバの存在も確認した。このことから、0.2~0.4 mg/l の塩素濃度では、アメーバが存在しているために、アメーバの中で生存していることが分かった。このアメーバに貧食されたレジオネラが塩素濃度が減少したときにアメーバを食い破って出てくる可能性が示唆された。しかし感染を恐れるあまり規定量以上の大量の塩素を注入した場合、塩素臭により温泉本来の醍醐味を失うばかりでなく、泉質を大幅に変化させ、場合によっては塩素との化学反応によって人体に有害な物質が生成される可能性も指摘されているのが現状である。

温泉におけるこれらの表示について

最近ある温泉で、脱衣場に掲示されている温泉分析表の横に3つの表が並んでいるのを見た。源泉、大浴場、露天風呂に対しそれぞれ加水の有無、加温の有無、掛け流しか循環・ろ過か、入浴剤、消毒の使用状況、消毒している場合にはその方法をチェックし、いずれも有りの場合は理由を記して掲示されていた。これは、環境省から、温泉法施行規則の一部を改正する省令が平成 17 年 2 月 24 日に公布され、5 月 24 日から施行されることに伴い、上記の改正による変更点 4 項目が掲示されるようになっていたためである（環境省、2005）。仮にこの改正がもっと早くに行われていれば昨年の「温泉偽装問題」や温泉での「レジオネラ感染」の問題も未然に防げたかもしれない。いずれにしろこの 4 項目が掲示されるようになり、入浴客がどのような温泉であるか直接自分で判断できるようになったことは良いことである。

ま と め

一見下火になったように感じるレジオネラ問題も実は感染者がでてるのが現状である。温泉場に行くと浴槽の入り口に「レジオネラ不検出」と掲示したところがある。よく見ると一月に一度検査をしているから安心ですと書いてあった。レジオネラの場合は、一度検査をして検出されなかったからといって安心できるものではなく、その後（レジオネラが生存していた場合には、殺菌しても 2 週間ほどで菌数が回復することが知られている）に何らかの要因で浴槽内に入り込み増殖することが考えられる。またいずれの殺菌方法も浴槽での濃度ではアメーバに貪食されているレジオネラを殺菌することはできない。ましてやアメーバを殺菌するとなるとそれなりの濃度の薬剤でろ材、配管を洗浄することが必要である。従って現状では浴槽のこまめな清掃と定期的ろ過装置、配管についても洗浄、消毒を行う必要がある。

一方で貯湯槽からレジオネラが検出されることがある。これは貯湯槽の温度低下により、アメーバの生息、バイオフィルムの形成が原因でレジオネラが増殖していることによる。貯湯槽の温度は 60℃ 以上に保つこととなっているが、70℃ 以上に保つことを推薦する。

日本の温泉の 7 割が循環方式を導入している。湯量が多いにも関わらず施設の大型化に対応するためであり、また湯量が少ないことによる温泉資源保護のためである。循環している以上何らかの殺菌を行うことは必要であろう。しかしこれからは温泉がどのような状況であるか揭示されるようになったことから、利用客が掛け流しか循環式温泉か、さらに殺菌方法も含めて選ぶようになるであろう。

参考文献

- 環境省 (2005), 自然環境・自然公園, 温泉の保護と利用 www.env.go.jp/nature/
- クリスキー, L.A. (1987): 銀イオン水, 第 9 版.
- Lin, Yu-sen E., Radisav D. Vidic., Janet E. Stout. and Victor L. Yu (2002): Negative effect of high pH on biocidal efficacy of copper and silver ions in controlling *Legionella pneumophila*. *Appl Environ Microbiol.*, **68**, 2711-2715.
- Michael, S., Levente, E., Rudolf, A. and Jörg, H. (1997): Resuscitation of Viable but Nonculturable *Legionella Pneumophila* Philadelphia JR32 by *Acanthamoeba castellanii*. *Appl Environ Microbiol.*, **63**, 2047-2053.
- Ohno, A., Kato, N., Yamada, K. and Yamaguchi, K. (2003): Factors influencing of *Legionella pneumophila* serotype 1 in hot spring water and tap water. *Appl Environ Microbiol.*, **69**, 2540-2547.
- Saito, A., Shimada, T., Nagasawa, M., Tanaka, H., Ito, N., Shigeno, Y., Yamaguchi, K., Nakatomi, M. and Hara, K. (1981): The first case of Legionnaires' disease in Japan. *Kansensyogaku Zasshi*, **55**, 124-128.