

温泉と健康サービス

温泉に生きる微生物

長島 秀行

東京理科大学理学部教養学科教授

1. はじめに

昨年（2004年）は、有名温泉に入浴剤を添加して白濁させた事件、水道水を加熱して温泉と称した事件など、いわゆる温泉偽装問題が話題となったが、数年前までは、主に公共温泉施設の循環浴槽におけるレジオネラ属菌による集団発症事件があり、温泉関係者にとってはまことに有難くない話題が続いた。ここでは自然の源泉と人工の温泉施設における様々な微生物の営みと、人間社会との関係について述べてみたい。

2. 微生物とは

微生物とは、顕微鏡で見ることが出来る微小な生物という意味で、細菌類（バクテリア）や単細胞の原生動物（アメーバやゾウリムシなど）、微細藻類（アオコなどの藍藻や緑藻クロレラなど水中の植物プランクトン）、菌類（アオカビなどのカビ類、真菌類ともいう）などを指す。これらのうち、バクテリアや藍藻の細胞には明瞭な核が見られないので原核生物といい、明瞭な核をもった（核膜をもった）他の生物は真核生物という。細胞の大きさは、ふつう、1ミクロン（1mmの千分の1）から数十ミクロンで、単細胞や群体、糸状体のものもある。分布域は空中や水中、土壌中など非常に広く、特にバクテリアには極端な高温や氷点下、高塩濃度、嫌気的狀態（無酸素状態）でも生育できるものもある。生物の進化という観点から見ると、約40億年前に地球上に最初に現れたのは海中のバクテリアで、次に原生動物や藻類、菌類（真菌類）に進化し、陸上に生息するようになったと考えられる。したがって、これら微生物は植物や動物の遠い祖先ということになる。

3. 温泉微生物の特徴と種類

温泉には軟体動物の貝類やユスリカ、オンセンアブなどの昆虫類が分布することが知られているが、比較的低い温度の温泉に限られる。様々な泉質をもつ高温の温泉では、ほとんど微生物しか生息できない。温泉微生物の特徴は、高温ばかりでなく、酸性やアルカリ性、高塩濃度など特殊な環境に良く適応して生育していることがあげられる。生育可能な高温限界は微生物の種類によって異なっている（表1）。中には高温で、しかも酸性環境下で生育するバクテリアや藻類もいる。

表 1 微生物の生育における高温限界*

生物の種類	上限の温度 (°C)
真核微生物	
原生動物	56
藻類	55-60
菌類 (カビ類)	60-62
原核微生物	
藍藻 (シアノバクテリア)	70-73
従属栄養細菌	>90

*T. D. Brock (1978) による。

図 1 に示したのは温泉でよく見られる主なバクテリアと藻類 (藍藻、珪藻、紅藻) である。バクテリアは形態から球菌と桿菌 (かんきん、細長い細胞) に分けられる。温泉には好熱菌 (高温でしか生きられない) のサーマス *Thermus* (属名、学名の一部、以下同じ) やスルフォロブス *Sulfolobus* など見られるが、こうした特殊環境に生育しているものは、特に、古細菌として分類されるものが多い。藍藻は細胞構造がバクテリアに似ていて青緑色 (藍色) をしているののでシアノバクテリアともいう。イデユアイミドリ *Mastigocladus*、フォルミジウム *Phormidium* などがよく見られる。ピンヌラリア *Pinnularia* などの珪藻は黄褐色をしていて線条の模様のある珪酸質の殻を持っている。その他、原生動物のアメーバ *Amoeba* などが見られることがある。

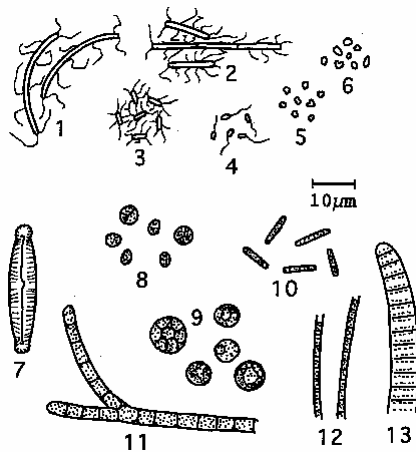


図 1 温泉に生育する微生物 (長島、1997)

1~6: バクテリア、7~13: 藻類。1. チオピブリオ、2. サーマス、3. バチルス、
4. チオバチルス、5. スルフォロブス、6. サーモプラズマ、7. ピンヌラリア (珪藻)、8. イ
デユコゴメ (紅藻)、9. ガルディエリア (紅藻)、10. シネココッカス (藍藻)、
11. イデユアイミドリ (藍藻)、12. フォルミジウム (藍藻)、13. ユレモ (藍藻)。

4. 温泉微生物の分布

では、具体的に温泉に微生物がどのように分布しているであろうか。大きく分けると自然のままの源泉と人工的な温泉設備に分けることができる。

(1) 自然湧出の源泉

群馬県草津温泉の湯畑、西の河原源泉は約50℃で強い酸性（pH2）で、青緑色や褐色に見える所があるが、そこには微細藻類の一種、青緑色の単細胞紅藻イデユコゴメや類似のガルディエリア *Galdieria*、黄褐色の珪藻類ピンヌラリア、それにバチルス *Bacillus* などのバクテリアが分布している（図1、写真1）。北海道の登別温泉には地獄谷や大湯沼など大源泉地帯がある（写真2）。地獄谷の源泉の流れは遠くから見ても青緑色に見えるが、ここでもイデユコゴメ *Cyanidium* などが、強い酸性で50℃の高温環境で生育している（図1、写真2）。大湯沼は60℃近い高温で中性の源泉で、各種のバクテリアが生息している。秋田県の玉川温泉、後生掛け（ごしょがけ）温泉にも規模の大きい源泉地帯があり、いろいろな温度やpH（中性、酸性、アルカリ性）下で様々なバクテリアや藻類などが生育している。その他、大分県別府温泉の別府地獄、長崎県雲仙温泉の雲仙地獄など大規模な源泉地帯にも、それぞれ特有の温泉微生物が観察されている。



写真1 群馬県草津温泉の湯畑（上）と青緑色の藻類イデユコゴメ（下）。
イデユコゴメの大きさは3~5ミクロン。



写真2 北海道登別温泉の地獄谷（上）と青緑色の源泉の流れ（下）。
青緑色の藻類等が生息している。

（2）温泉設備

静岡県の熱川温泉では、源泉のやぐらの周囲に温泉の蒸気が立ち込めているが、付近に白色や黄白色の温泉沈殿物に混じって、緑色や青緑色、褐色の部分が見られることがある。これはバクテリアや微細藻類、特に藍藻が集まり、いわゆるバイオマットを形成している。また、かけ流し温泉の場合、室内の浴槽や露天風呂には白色や黄褐色などの浮遊物が含まれることがあるが、これは温泉成分であるカルシウムや硫黄化合物の沈殿、それにバクテリアなどの微生物が付着して形成されたものである。

（3）人為的な要因による微生物汚染

以上は、本来、天然の温泉に含まれる微生物の話であったが、温泉に入浴すれば、当然、人により微生物が浴槽に持ち込まれる。**大腸菌** *E. coli* は、桿菌の一種で、その名の通り人の腸内に寄生していて、皮膚や髪の毛に付着している一般細菌（バクテリア）とともに、浴槽を汚染する。また、近年、温泉資源の不足から、温泉を循環させて利用する設備が多くなったが、その場合、循環設備、特に貯水タンクやその配管、フィルターにぬめりやバイオフィルムを形成し、そこにレジオネラ属菌

Legionella などが繁殖すると、免疫機能が衰えた老人や子供、病弱な人たちが、菌の混入した温泉飛沫などを吸い込んで感染し、レジオネラ症を発病することがある。レジオネラ属菌は、常在菌といって、温泉に限らず、水冷の冷房装置や公園の噴水などにも含まれるごく普通のバクテリアであるが(写真3 レジオネラ属菌の顕微鏡写真)、アメーバに寄生し、40℃付近でもよく育つので、たまたま温泉に混入したものが循環装置で増殖し、事件が起きたわけである。これらの人為的に汚染された微生物は、貯水タンクや循環装置の定期的な清掃や消毒により除菌するなど、きちんと管理すれば基本的には解決する問題である。

写真3 レジオネラ属菌の顕微鏡写真(東京都健康安全研究センター提供)

<http://www.tokyo-eiken.go.jp/topics/legionel/legionel.html>

5. 温泉微生物と社会

このように、温泉設備に混入した病原性の微生物が社会を騒がせ、微生物のマイナスイメージを広げてしまったが、温泉微生物が社会に貢献していることも少なくない。例えば、バイオの研究に欠かせないDNA増幅装置(PCR)に使われるポリメラーゼという酵素は、最初、アメリカのイエローストーン公園の温泉から単離された好熱性細菌サーマスから精製されたものである。また、古細菌スルフォロブス、藍藻シネココッカス *Synechococcus*、紅藻イデユコゴメなどのように耐熱性の機構や生命の起源や進化の研究に盛んに利用されているものもある。

参 考 文 献

- 長島秀行; 草津温泉の微生物、「草津温泉」白倉卓夫編著、上毛新聞社、1997年
- 「温泉科学の最前線」西村進編著、ナカニシヤ出版、2004年
- 「人に役立つ微生物のはなし」日本農芸化学会編、学会出版センター、2002年