

日本温泉科学会第 62 回大会

会長講演

温泉科学の展望

大山正雄<sup>1)</sup>

Review of Hot Spring Science

Masao OYAMA<sup>1)</sup>

1. はじめに

日本温泉科学会は来年 2010 年に創立 70 周年を迎える。1900 年代の明治時代後半から昭和時代初期にかけて温泉利用が高まり、旅館や観光関係者による日本温泉協会 (1929 年創立)、温泉医学関係者による日本温泉気候物理学会 (1935 年創立)、大学の温泉病院の設立、温泉関連の法律の整備が進み、温泉の研究は医学、薬学、化学のみならず、地球物理学、地質学、建築学、気象学、海洋学、地理学、法学など広い分野に渡って行われるようになった。各分野は相互の連携もなく活動していたが、次第に一同に会することを互いに望む気運が高まった。1939 (昭和 14) 年に温泉の同好者が集まり、会合を重ねて翌 1940 (昭和 15) 年 11 月に学会の設立と学会誌の発行を決めた (日本温泉科学会, 1943)。その後、旅館、観光、掘削、施設などの温泉関係者も参加し、各分野は交流を深め、それぞれを糧としながら発展させ、今日に至っている。

1960 年代に確立するプレートテクトニクス論はそれまで独立に展開してきた火山学、地震学、地形学、地質学、海洋学を相互に密接な関連のある統一的学問へと発展させた。温泉はプレートテクトニクスの発展により 20 世紀末頃から地球科学の重要な位置にあることが明らかになってきた。また、温泉の浴用としての利用は急速に拡がり、社会的問題が多く出てきた。しかしこれも温泉は地球の賜であるから自然科学の発展と切り離すことはできない。すなわち、温泉科学は新時代に入り、当学会初代会長中村清二 (1941) の「学会に於ける一重鎮たらしめたいものである。」という学会創立時の理念の発展と新たな役割、新たな展望に向かっていることを意味している。

2. 温泉と観光

交通公社の統計によると、国民が旅行で最も行ってみたい筆頭は温泉地であり、これまで旅行で行った筆頭は温泉地である (林, 2003; 小林, 2009)。この状況は最近 10 年以上続いている。確か

<sup>1)</sup> 昭和女子大学 〒154-8533 東京都世田谷区太子堂 1-7-57. <sup>1)</sup> Showa Women's University, 1-7, Taishido, Setagaya-ku Tokyo, 154-8533, Japan.

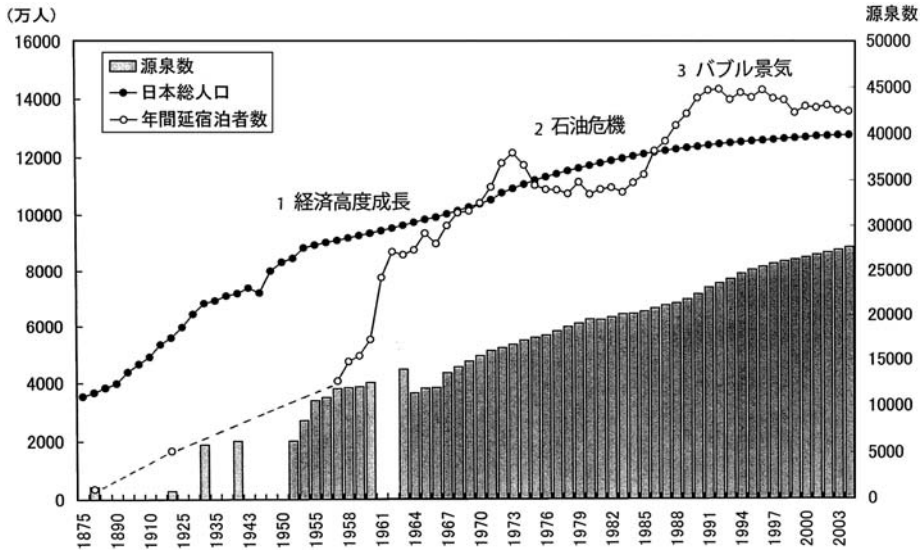


図 1 日本の温泉利用の経年変化 (大山, 2007)

に、温泉地での年間宿泊総数が 1970 年代に 1 億人に達し、経済の動向を反映させながらも 1990 年代後半から 1 億 3 千万人を前後し、総人口 1 億 2 千万余を超えている (大山, 2007)。また、ほとんどの書店に温泉関係の書籍コーナーが設けられており、テレビ番組は毎日のように温泉地や温泉旅行を放映していることから国民の温泉への嗜好が裏付けられる。

21 世紀は観光の世紀ともいわれている。国も観光行政に力を入れ、昨年 (2008) 10 月に観光庁を設立した。日本人の最も訪れる観光地は温泉地である。訪日外国人観光客も日本の温泉に興味をもち、多くが訪れて、楽しんでいる (永家ら 2008)。したがって、観光に関する日本の 21 世紀は温泉の世紀とも言える。

これまで日本で温泉のブームが度々起きている。温泉ブームになると温泉開発が活発になり、温泉の争奪と涸渇が問題となっている (大山, 2000)。1980 年代後半から始まった温泉ブームは今も衰えることなく (図 1)、むしろそれが定常状態になっている観がある。定常化とは一般化である。温泉開発はこれまで山間地のような場所から人口の集中する都市部でも行われ、多くの人が気楽に温泉を享受できるようになってきた。この背景には温泉開発や利用施設の技術と経済的な発展もある。一方、以前には想像もしていない問題も出てきている。その一つは温泉開発におけるメタンガス、いわゆる温泉付随ガスによる爆発と火災事故であり、温泉再利用の循環施設によるレジオネラ属菌による汚染である。国は温泉法を 1948 年施行以来 60 年ぶりに、初めて大きな改正を 2 年続けて 2 回も行わざるをえなかった。

温泉は自然の賜であり、特異な自然現象である。温泉の資源と成因の調査研究、温泉の定義の再検討、そして温泉科学の社会的に果たすべき役割が一層強まり、期待されている。

### 3. 温泉と火山

一言、温泉と言っても様々である。それらは温度や溶存している成分などによって分けられる。そこで本当の温泉とは何かという質問が度々出てくる。この質問に応えるのは難しいが、温泉が

“温かい泉”と文字通りに解釈し、それを詰めてゆくと火山活動に関係した温泉に行き着く。日本で高温の温泉を大量に湧出している温泉地の多くは火山地域に分布している(湯原, 1973)。このことから、火山地域の温泉は火山活動によって形成されていると一般的に考えられ、火山性温泉とも呼んでいる(酒井・大木, 1978)。では火山はどのようなメカニズムで形成されているのであろうか。

火山学によると、日本のような島弧の火山は次のような過程で生じている(図2)と考えられている。中央海嶺で誕生した海洋プレートは島弧沖合の海溝で大陸地殻の下のマントル内に沈み込んでいる。海洋プレートは沈み込みに伴う温度・圧力の上昇によって次第に脱水分解反応を起こして水を放出し、水を多量に含む鉱物から少ししか含まない重い含水鉱物、そしてさらに重い無水鉱物へと変化していく。沈み込む海洋プレート(スラブ)が上部マントルウェッジ(スラブと大陸地殻との間に挟まれた上部マントル)が1400°Cとなる深さ110 km くらいに達すると、スラブから脱水した水はマントルウェッジの融点を下げて部分熔融(河村, 2003)を誘発し、玄武岩質マグマを形成している(巽, 1995)。それが上昇して地表に姿を現した地形が火山である。マグマ誕生に関わった水は低温の純粋な水ではなく、Cl, S, Na, Si, Ca, K など様々な元素を含んだ高温の熱水である(White, 1957)。それが地表に出れば温泉である。

火山周辺の温泉の多くは浅層地下水が火山活動によって形成されているにしても、火山の源そのものが水に依存している。また、マグマ中の水は重量比で多くても数%であるが、マグマの比重を軽くして浮力を与え、噴火に到る上昇の機動力となっている(鎌田, 2004)。従って、スラブが初めから無水状態であるならば沈み込み帯には火山が生まれなかったことになる。これは島弧の火山のみならず中央海嶺やホットスポットの火山も水なくしては形成されないと考えられている(大山,

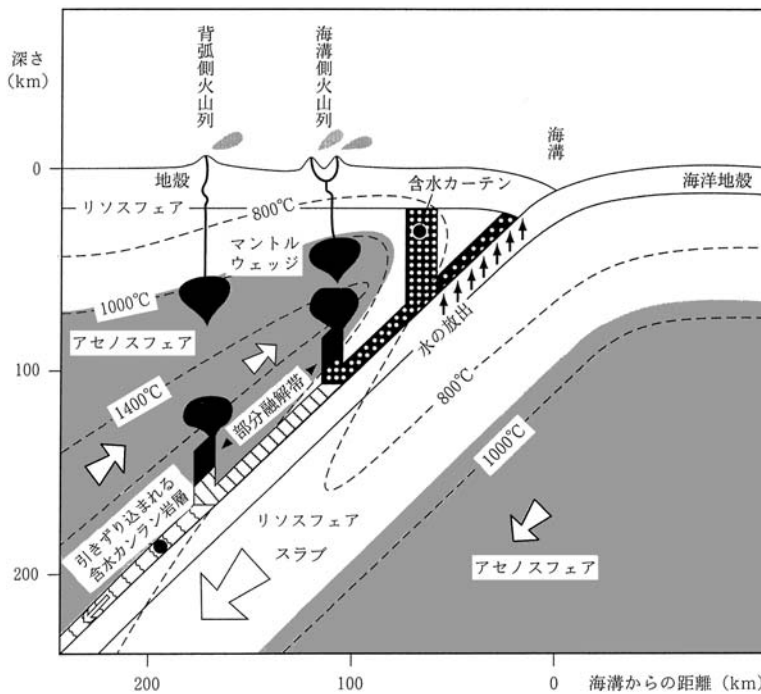


図 2 沈み込み帯での H<sub>2</sub>O とマグマの発生モデル (巽, 1995)  
 沈み込むプレート(スラブ)に引きずり込まれる上部の含水カンラン岩層は高い圧力によって脱水分解反応を行う。この反応で放出された H<sub>2</sub>O はカンラン岩の融解温度を下げてカンラン岩の部分融解を起こし、マグマを発生させる。

2001). これまで火山学では温泉は対象外の観があった. しかし, これからの火山の解析には温泉の研究が重要な課題の一つになると考えられる.

#### 4. 温泉と地震

地震は断層面での急激なすべり運動が起きた時に発生する. 断層面に大きな圧力が作用すれば高い摩擦抵抗が働き, 動きにくくなる. しかし, 断層面のクラック(割れ目)に水が加わると断層面はすべりに対する抵抗力を低下させるので動きやすくなる. 例えば, 深さ 10 km では水のない場合, 断層運動を起こすには約 300 MPa の応力が必要だが, 実際にはこれの 1/10 以下の応力で断層運動が起きている. このことは断層面付近に水が存在して断層のすべり運動への抵抗力を下げているため(唐戸, 2000)と解釈されている.

1995年兵庫県南部地震は神戸を中心として過去50年間の日本で最も大きな被害をもたらした. この地震では有馬-高槻構造線の南部に走向する野島断層が右横ズレに動いた. 震源は深度 18 km である. 多くの研究者が様々な手法を用いて精力的に研究調査を行ってきた中で得られた大きな成果の一つは, 地殻中の水が兵庫県南部地震に重要な役割をしていたことを初めて明らかにした(趙, 2003)ことである.

地殻内の水は, 地殻内の鉱物の脱水, 間隙水, 地表付近の地下水や海水の浸透などがある. 地震のトリガーとなる水はもう一つの水, マントルに沈み込んだスラブからの脱水による水の可能性が考えられている(長谷川, 2002).

深度 10~20 km では少なくとも地温で 300~600°C 以上, 静水圧で 100~200 MPa 以上になる. 水は温度 374.1°C 以上, 圧力 21.6 MPa 以上に達すると, 液体とも気体ともつかない超臨界状態の流体になる. 超臨界状態の水は比重が小さい(国立天文台編, 2002)ことから強い上昇力をもつので地表付近の水の深部への浸透を困難にする. そこで, 深度 10~20 km の地殻で地震を引き起こす水の供給源としては深部からの水が考えられる.

有馬温泉は非火山地域にあるにもかかわらず 98°C の沸騰泉を湧出している. 温泉地は有馬-高槻構造線の延長部に当たり, 破碎帯が発達している. 有馬温泉の泉質の特徴は高塩化物である. こ

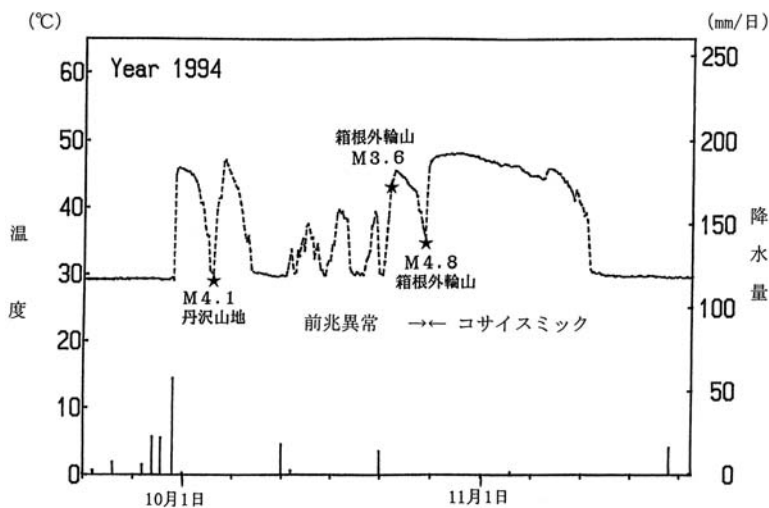


図 3 箱根の自然湧出温泉の温度変化と箱根と周辺での地震 (大山, 2004)

の塩化物の供給源としては海溝から沈み込んだ海洋プレート (スラブ) からの脱水とも考えられている (西村, 2006).

以上のことから, 内陸浅部の地震の解明にはスラブから脱水し, そして上昇してきた水が大きな課題の一つになると考えられる. このスラブからの水は数百°Cの熱水で, 地表に出れば温泉となる水である. 温泉水は地震発生のトリガーとなるが, 地表に湧出することによって地下に蓄積する熱エネルギーを解放し, 地震の発生を緩和している (大山・大矢, 2004). これまで温泉は地震の前後に変化することが知られている (図 3). したがって, 温泉は地表での温度, 湧出量, 泉質の変化などの現象によって地殻変動に伴う地震発生の前兆をもたらす有力な情報源でもある.

## 5. 温泉と生命

中央海嶺は活発な火山地帯なので, 温泉があるはずとの考えから 1970 年中頃から中央海嶺での温泉の発見が試みられた (酒井, 1987). 1979 年に有人潜水艇は水深 2600 m の東太平洋海嶺で 350°C を越える熱水が激しく噴出している現場を初めて目撃した. そこには鉄, 銅, 亜鉛などの硫化鉱物の盛り上がり (mound) があった (鹿園, 1997). そして何よりも研究者を驚かせたのは熱水噴出孔周辺に二枚貝, エビ, カニ, チューブワーム (和名: ハオリムシ) などの生物がコロニーを作って群生し, 噴出する硫化水素やメタンのガスや熱水の成分をエサにしていたことである. 暗黒の深海底で人類の眼から隠されていたこれらの発見は 20 世紀の地球科学における最大の発見の一つに数えられている.

地球は 45.5 億年前に, 海水と地殻は 43 億年前に形成され, 生命は 40 億年前頃に宇宙からの強烈な紫外線を遮断する深海底の熱水噴出孔周辺で誕生したと考えられている (丸山・磯崎, 1998). 熱水は無機物から有機物への転換, すなわち生命誕生に必要とする水とエネルギー (熱) の両方を備えているからである. 温泉の泉源付近には最も原始的な生物であるシアノバクテリアという好熱性細菌が見ついている. 地球上の生物はすべて同じ種類の L 型アミノ酸でつくられている (大島, 1995). 原始的細菌もヒトも兄弟というわけである. 生物は 27 億年前に酸素を発生する光合成シアノバクテリアの登場 (写真 1) によって陸上に進出できるようになった. 好熱細菌の研究は地球の生命の起源, ヒトの起源にたどり着くかも知れないとの期待がある.

当学会の創立に参画した生物学者は温泉に生息している生物の研究者である (江本・米田, 1941). この温泉生物の研究はプレートテクトニクス論の誕生により生命起源の解明への道を拓いている.

話は変わるが, 温泉には「子宝の湯」というのがあり, 入浴すると気持ちよく, 病や精神的ストレスを癒してくれる. これは温泉が生命の源であり, 入浴はそれに包まれているからと考えさせられる.

## 6. ま と め

温泉の研究はこれまで山間僻地で頭に手ぬぐいをつけて, 「あぁいい湯だな」の好者の対



写真 1 シアノバクテリアのコロニーによるストロマトライト  
(西オーストラリア・シャーク湾のハメルンプール, 大山 2006 年 10 月撮影)

象と地球科学者に見られ、舞台裏にいるようなところもあった。しかし、温泉は地球科学の根源的な問題に関わっていることが明らかになってきた。21世紀の温泉科学は自然科学の表舞台に出るだけでなく、プリマ・ドンナの役割を演じるかもしれないと展望（妄想）している。その場合の演題は、「地球と生命は温泉がつくった」である。

### 引用文献

- 趙 大鵬 (2003) : 内陸の地震での水の関与, 『地震発生と水』, 263-280, 東京大学出版会, 東京.
- 江本義数, 米田勇一 (1941) : 奈良県下二温泉の細菌及び藻類 (1), 温泉科学, **1**, 8-16.
- 長谷川昭 (2002) : 地震波で東北日本の下を見る, 科学, **72** (2), 194-203.
- 林 清編 (2003) : 『旅行者動向 2003』, 102 頁, 日本交通公社, 東京.
- 鎌田浩毅 (2004) : 『地球は火山がつくった』, 196 頁, 岩波ジュニア新書, 東京.
- 唐戸俊一郎 (2000) : 『レオロジーと地球科学』, 251 頁, 東京大学出版会, 東京.
- 河村雄行 (2003) : 水と水溶液の化学的特異性, 『地震発生と水』, pp. 80-97, 東京大学出版会, 東京.
- 国立天文台編 (2002) : 『理科年表 2002』, p. 416, 丸善, 東京.
- 小林英俊編 (2009) : 『旅行者動向 2009』, 101 頁, 日本交通公社, 東京.
- 丸山茂徳, 磯崎行雄 (1998) : 『生命と地球の歴史』, 275 頁, 岩波新書, 東京.
- 永家一孝, 若林 宏, 菅野由一, 白井 徹 (2008) : 外国人が行きたい観光地ランキング, 日経消費マイニング, 14-27.
- 中村清二 (1941) : 温泉科学発刊の辞, 温泉科学, **1**, 1.
- 日本温泉科学会 (1943) : 温泉科学, **1**, No. 1, 42.
- 西村 進 (2006) : 有馬温泉の地質構造, 温泉科学, **56**, 3-15.
- 大島泰郎 (1995) : 『生命は熱水から始まった』, 144 頁, 東京化学同人, 東京.
- 大山正雄 (2000) : 箱根湯本・塔の沢の温泉, 『箱根湯本・塔の沢の温泉の歴史と文化』, 箱根湯本温泉旅館組合, 19-62.
- 大山正雄 (2001) : 中央海嶺の温泉, 温泉の話 (9), 金属, **71** (10), 270.
- 大山正雄 (2004) : 温泉と地震, 温泉工学会誌, **29** (2/3), 113-132.
- 大山正雄 (2007) : 温泉資源, 『温泉—歴史と未来—』, pp. 14-25, 日本温泉協会, 東京.
- 大山正雄, 大矢雅彦 (2004) : 『自然地理学 下巻』, pp. 229-256, 古今書院, 東京.
- 酒井 均, 大木靖衛 (1978) : 日本の温泉, 科学, **48** (1), 41-52
- 酒井 均 (1987) : 海底火山のブルーム, 科学, **57** (9), 570-575.
- 鹿園直建 (1997) : 堆積物・堆積岩・鉱床, 『岩波講座・地球惑星科学 9』, 89-140.
- 巽 好幸 (1995) : 『沈み込み帯のマグマ学』, 186 頁, 東京大学出版会, 東京.
- 湯原浩三 (1973) : 地殻流量におよぼす熱水系の影響, 火山, **8** (3), 129-141.
- White, D.E. (1957) : Thermal waters of volcanic origin. Geol. Soc. Amer. Bull., **68**, 1637-1658.