

大涌谷噴気地帯における過熱蒸気 — その歴史と消滅の理由

萬年一剛*

Overheated steams in Owakidani fumarolic area; history and cause of extinction

by

Kazutaka Mannen

Abstract

Owakidani (Owakudani) is the largest fumarolic area in Hakone volcano. It is also one of the volcano's most famous sightseeing spot. Although numerous fumaroles are active in this area, the overheated steam, temperature of which is higher than boiling point at the altitude, has never been observed in these decades. Based on old literatures, however, the author found that overheated steams have been emitted from the natural fumaroles at least 1872 to 1933. Here descriptions in the literatures on steaming locations and temperatures are compiled and cause of its extinction is discussed. The literatures show that the overheated steams existed in the western part of Owakidani and Darumaiwa (a place-name no longer used and its location now forgotten). Based on the literatures, Darumaiwa is located on the eastern bank of Owakidani valley, where no intensive steaming activity is found present. Timing of the cessation of the overheated steams could not be constrained with accuracy. However, drillings of steam wells (several tens to a few hundred meters in depth) that started in the valley from 1954 may have depress heat flux in the natural fumaroles. The quantitative measurements of heat flux of Owakidani valley show no significant change between 1966-67 and 2008. This observation supports the hypothesis that the wane in natural fumaroles was caused by drillings, rather than natural decrease of heat flux from the source in depth. This paper also proposes that the two forgotten intensive fumarolic areas described in early twentieth century as Darumaiwa and Chinoikezawa, are still hot under ground since a number of steam wells are concentrated in the supposed areas.

1. はじめに

大涌谷噴気地域は箱根中央火口丘北部に位置する箱根火山最大の噴気地帯であるが、観光地として整備されているほか、造成温泉の主要な生産地であり、自然環境的にもまた経済的にも箱根地域の重要な観光資源となっている。一方で、この地域は1910（明治43）年に死者6名を出す土石流災害が発生したのをはじめとして、近年に至るまで大小多数の地すべり性の崩壊を引き起こしているほか、12-13世紀頃には水蒸気爆発が発生するなど、箱根火山の火山災害を考える上で重要な地域でもある。大涌谷では、古くから様々な調査が試みられてきているが、これまでに著された論文は、年代的にもまたテーマ的にも散発的であり、総括的なレビューはされていない。

筆者は、こうした散発的な過去の論文から記述を拾い、噴気地帯の温度や噴気箇所の移動について復元を試みようとしているが、これまでに、複数の観察者が大涌谷地

域で沸点を超える、過熱蒸気の使用を記載していることがわかった。

噴気地帯はどこでも、地下深部のマグマから放出される火山ガスや蒸気、熱水などの地熱流体が程度の差はあれ何らかの影響をしていると考えるべきであるが、水の気化熱は非常に大きいので、地下深部の地熱流体が地表近くの低温の地下水と接触した場合、地熱流体のもつ熱エネルギーは地下水を気化させるのに使われてしまう。従って、地下深部からの地熱流体に比べ、地下水が優勢な場合は、噴気は過熱蒸気にならず、沸点かそれ以下の温度になる。過熱蒸気の使用は、地下深部の地熱流体が、地表近くの水とあまり接触しないで上昇してきたと言うことを示唆する。

当地に於いては現在、過熱蒸気の使用はなく、こうした記述は大涌谷地域の地熱流体活動の長期的な変遷を考える上で重要な資料であると見られる。そこで、本報告

* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586
論文, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第41巻, 23-32, 2009.

では、これらの文献を紹介するとともに、過熱蒸気が消滅した原因について考察を試みる。

なお、本論文内で引用する文献には旧字体、カタカナ表記のものが少なからずあるが、これらに関しては、新字体を用いたひらがな表記に改めている。

2. 大涌谷噴気地帯における過去の温度測定

2.1. 1872年

大涌谷噴気地帯について、記述が多少なりとも科学的な文献で、著者が知りうる限りもっとも古いものは、フランス人のお雇い外国人技術者であったヴィダル (Jean Paul Ishidor Vidal; 1830-1878) のものである。ヴィダルは新潟病院や富岡製糸場、横須賀造船所などの産業施設に勤務しながら、1878 (明治11) 年まで日本にいたが1872 (明治5) 年10月に箱根温泉を訪ねて泉質などの調査をしており、その時の旅行記の一つでフランスの学

会で発表された「小旅行—横浜周辺の温泉 (日本)」が訳出されている (須長, 2003)。以下の訳文は、須長 (2003) による。

大涌谷に関してヴィダル一行が辿ったルートは次のとおりである。まず、彼らは姥子から森を通り「通過するのに何の不安もない空き地に導かれた」のち、「我々がすすんできた峡谷の反対斜面に位置する (中略) 芦之湯の上で見たのと同じような光景が存在する」噴気地帯に出た。現在でも、いわゆる大涌谷噴気地帯は大涌沢の谷を中心とする噴気地帯と、その西の玉子茶屋や自然観察路のある高台、更にもその西のやや不活発な噴気地帯からなり、高台が大涌沢と姥子側に流れる沢の、分水嶺となっている (図1)。従って、ヴィダルのこの記述は、「何の不安もない空き地」が西側の噴気 (図1のa)、「峡谷の反対斜面」の噴気地帯が、大涌沢の噴気地帯 (図1のb) にあたるものと見られる。

ヴィダルによれば「何の不安もない空き地」は「地面



図1 大涌谷周辺の全景。a 大涌谷の西の噴気地帯；b 大涌沢の谷の噴気地帯；c 玉子茶屋付近の噴気。1 および 2 は蒸気井が集中する地域 (湯原, 1986)。

Fig. 1 Overview of Owakidani fumarolic area, Hakone volcano. A, western part of Owakidani fumarolic area; b, Owakidani valley; c, fumarolic area around the Tamago chaya.

は焼き焦がされて」はいるものの、「硫黄の臭いがまったく感じられなかった」が、「割れ目においた温度計」は 103℃を指したという。

大涌沢の谷と見られる反対斜面の方は、「山の内部の多くの解放によって逃がされた蒸気の音が驚くようなとどろきで、地下からは白い蒸気の柱が息苦しい硫黄のにおいを取り除かれて、空中に非常に高さまで立ち上っていた。荒涼としたこの場所の性格は全てが言葉に尽くせない荘厳な恐怖と一致していた」とあり、噴気が非常に優勢であったことが示唆される。ヴィダルは噴気に近づくのが危険であったため、温度測定やサンプルの採取が出来なかったとしている。なお、ヴィダルはこのとき、「宮ノ下や底倉の源泉」（著者注・記述から見て、小涌谷）と芦之湯の上の噴気地帯（著者注・同じく、硫黄山か湯ノ花沢）を訪れ、沸騰する温泉湯口の温度を測定しているが、前者が 107～100℃、後者が 100℃であるとしている。

ヴィダルの記述で気になるのは、ガスに関する記述である。ヴィダルは、小涌谷で「これらの湯は、無味無臭で、地面にはどんな塩分沈殿物も残していなかった」、芦之湯の上の噴気地帯では「硫黄の強い臭い」、を記述している一方、大涌谷では「硫黄の臭い」について記述していないことである。むしろ大涌谷の噴気については先に引用したとおり「まったく感じなかった」あるいは「息苦しい臭いを取り除かれて」とあるように、硫黄の臭いがしなかったように取れる記述を残している。これについてはどういうことなのか、よくわからず今後の課題である。

2.2. 1917 年

次に古い文献は 1917（大正 6）年まで時代を下ることになる。この年の 1 月、箱根火山では近代に入って初めての群発地震を経験するが、噴気地帯の温度測定は群発地震に対応して行われた野外調査の一環である。中央気象台の朝倉慶吉は大涌谷の閻魔台（えんまだい）というところで、正確な時刻はわからないものの、3 月 31 日の夜に噴泥があり、孔の縁辺に 2～3 寸（6-9cm）、30～40 間（54～72 m）の範囲に泥水が飛んでいたこと、またこの孔の煮えたぎる音が風向きによっては姥子まで聞こえたということ、達磨煮（神奈川県測候所（1935）によれば「ダルマニエ」と読むらしい）という所の温度は 141 度だったようである、という伝聞情報を報告している。

この伝聞情報にある温度測定を実施したのは、大森房吉らしい。大森（1917）によれば、大正 6 年 2 月 2 日、

2 月 13 日、3 月 8 日に測定された。測定されたのは「血池沢の少しく北方に分岐せる小沢」の「ダルマ岩」付近で、その「主要噴気」は各々の日に、111、131.2、141℃だったという。噴気の勢いは変化があったらしく、2 月 2 日は「竿の先端より糸にて寒暖計を吊して（中略）垂下せんとすれば激しく吹き飛ばしてくると回転せしむ、よりて竿の端に寒暖計を確と結びつくるを要したり」とある一方で、2 月 13 日は「寒暖計を吹き上げ支ふるも竿頭に回転せしむる程には至らず」、3 月 8 日は 2 月 13 日と「大差なきがごとし」とある。噴気の温度が低いほど、勢いはおおきかったようである。大森はこれら噴気の温度と勢いの変化について、地下の熱源の変化ではなく水蒸気量が影響しているのだと考えている。

なお、大森（1917）では、この当時までの噴気地帯の変遷について述べている。この変遷は、伝聞情報を大森が編集したものらしい。その要点は以下の通りである。

- (1) 大涌谷では約 20 年前までは大地獄地域中の血池沢の頭部よりさかんに噴出していたらしいが、その後次第に減衰して現在ではかすかに蒸気を出すだけになった。
- (2) また、（著者注・同じく 20 年前までは？）冠ヶ岳麓にある無間平と称する箇所より噴煙して、勢力は強くなかったが、量は（著者注・血の池沢頭部より？）多かった。
- (3) 明治 43 年（1910 年）の山津波で、この地域が大きく崩壊した結果噴煙は弱くなったが、噴煙の中心は次第に血池沢から少し北方に分岐する小沢である「ダルマ岩」に移った。これが、現在の噴気している場所である。この場所の標高は約 1040m で、約二尺の地区に口径五寸程度の孔が数個あって「ドウ ...」と音を出して煙を吹き出しているのが小規模ながらややさかんである。

2.3. 1920-1921 年

1920（大正 9）年にも箱根では群発地震があったが、震災予防会は加藤常次郎を派遣して、調査にあたらせた。その復命書（加藤，1921）によれば、大涌谷の噴気は 1920（大正 9）年 3 月 20 日の測定では、106℃であったが、1921 年（大正 10）年 1 月 5 日には噴気の場所は変わらないものの、温度は 97℃であったという。なお、加藤（1921）には、1920 年群発地震のクライマックス翌日にあたる 12 月 28 日に現地を見に行った人の話として、大涌谷の蒸気の噴出量は地震前に比べて「甚だ盛ん」で「泥水を数尺の高さに吹き上げ路傍に溢流し、また付近所々に極小なる地割れ」を生じたという証言を載せている。

2.4. 1925 年

仙石原地域の開拓を行い、現在の箱根温泉供給株式会社設立の基礎を築いた耕牧舎に關係する渋沢、三井、益田の3家は1925(大正14)年、徳田貞一に依頼して、大涌谷から姥子にかけての調査を行わせたが、その報告書が箱根温泉供給株式会社(1982)に再録してある(図2)。これによれば、姥子よりの噴気地帯(E、F、G)では噴気の温度が98℃から64℃であったという。残念ながら、大涌谷周辺の噴気については噴気温度の具体的な記述がないが、「峠の頂上の極楽茶屋のすぐ前に」あるDでは、「グタグタあるいはクラクラと芋を煮る如く泥水中の中より吹き上がりつつ」ある噴気であると記されている。ちなみに、Dは「もとは小噴蒸を利用し卵を燻でて(著者注・茹でてということか?)茶屋の名物とせし位なりしが、大正6年頃より暴風雨ごとに次第に盛

んとなり一時は3尺以上も泥湯を吹き上げたりという。現在も盛大のところなり」とある。Dが台地上にあること、徳田のスケッチ、1917(大正6)年の大森による記述を合わせて考えると、これは中央气象台(1917)にある「閻魔台の噴気」に対応する噴気ではないかと考えられる。

その他、Dの東の谷の斜面や谷の中にあるA、B、Cの噴気はDと合わせて「強大なる噴出力のもの」とされている。A、B、Cは「汽罐車の釜の煮ゆる如くシューと強き音を立て且つ夥しき硫黄の昇華を見る」という。以上の記述を総合すると、A、B、Cは噴気孔、Dは坊主地獄のようであったと思われる。

ところで、この報告を執筆した徳田貞一は、箱根温泉供給株式会社に残されている報告書原本の署名や、三井

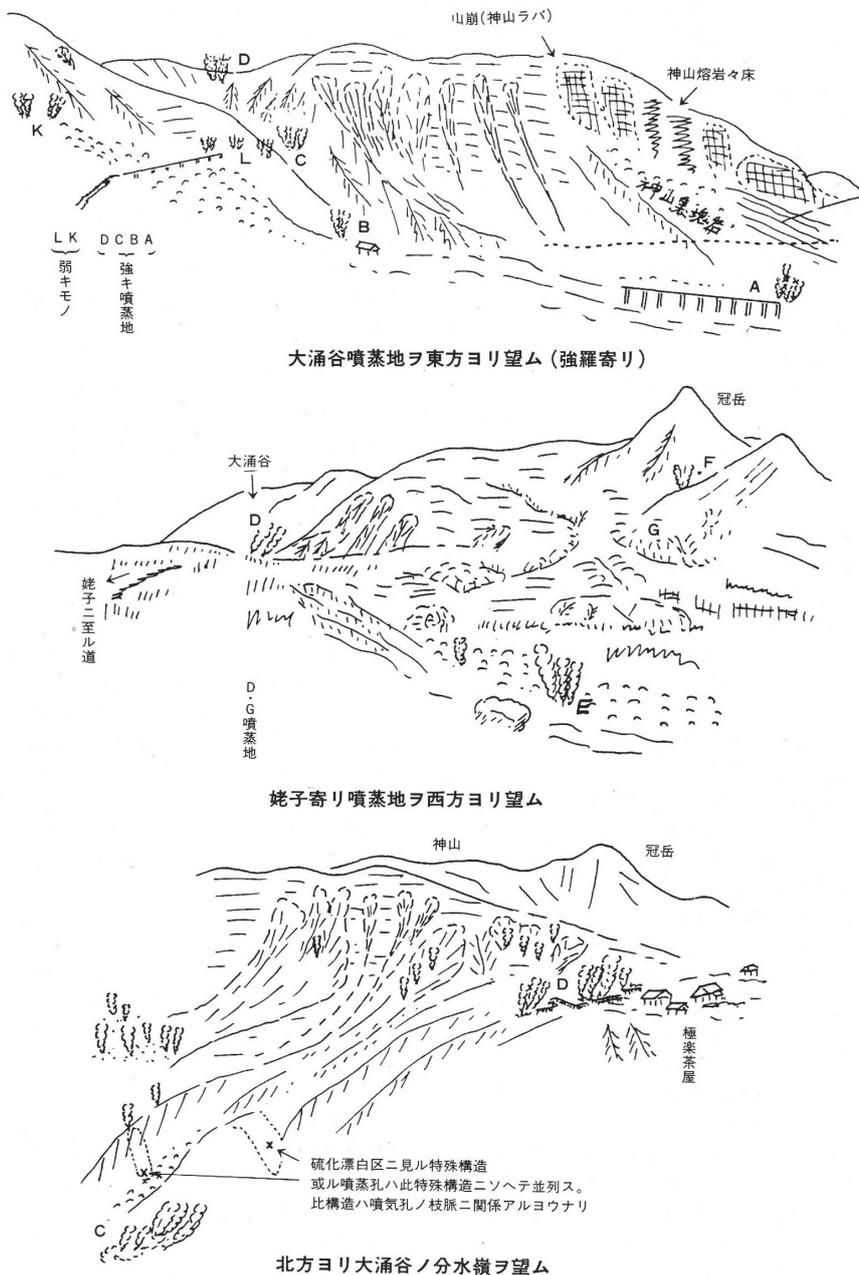


図2 徳田貞一による大涌谷噴気地帯のスケッチ(箱根温泉供給株式会社、1982)。

Fig.2 Sketch of Owakidani fumarolic area in 1925 by Sadakazu Tokuda (Hakone Onsen Kyoukyu Co. Ltd., 1982).

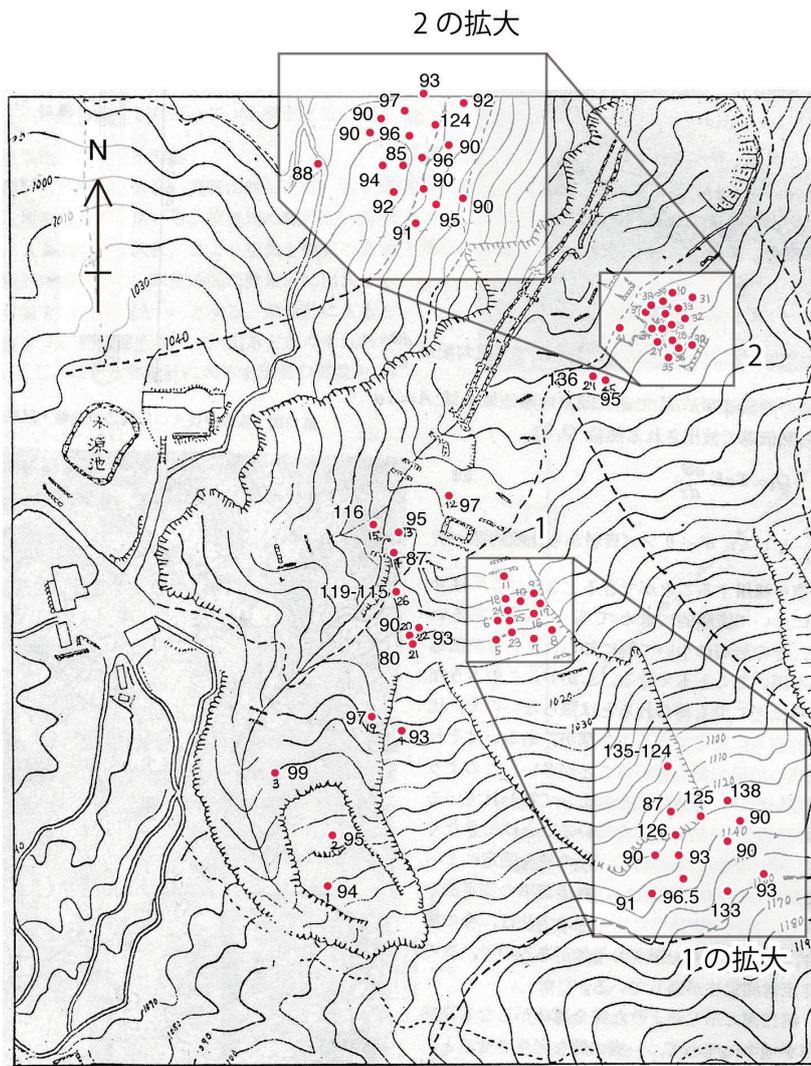


図3 1966-67年の噴気井分布と温度（湯原、1968）。●は噴気井、数字は温度（℃）。噴気密集地1および2は、図1の1および2に対応すると見られる。

Fig.3 Distribution and temperature of the steaming well of Owakidani valley. Solid circles are steaming wells. Figures are temperatures of the steams. Dense zones of steaming well considered to correspond to the same numbers in Fig.1.

家が耕牧舎のメンバーであることを考えると、当時三井鉱山会社で技師をしていた徳田貞一と同一人物であるとみられる。この徳田貞一は島弧の成因が圧縮にあるとするプレートテクトニクスの先駆けとなる研究を行ったことで有名な地質学者である（赤木、2006）。

今回は、温泉供給株式会社（1982）にある再録を利用したが、徳田貞一による報告書原本は、スケッチが詳細であるため噴気地帯の位置についてはより詳しく絞り込むことが可能と思われる。これは今後の課題である。

2.4. 1932-33年

大涌谷の噴気温度に関する戦前最後の記録は椋山・岡田（1934）にみえる。椋山・岡田（1934）は1932（昭和7）年10月から1933（昭和8）年9月にかけて、大涌谷地域で、地下1m深の温度測定を89地点で実施したほか、噴気の温度を測定した。噴気具体的な場所や温度を測定した日時の記録はないが、「噴気の温度は102°位である」（原文ママ）としている。この報告は、日本地理学会の例会講演要旨であるが、この内容が論文になったもの

のは今のところ検出できていない。

ところで、箱根火山は1933年から35年にかけて、様々な熱異常が観察されたが、大涌谷における具体的な温度の測定記録はない（神奈川県測候所、1935）。

2.5. 戦後の測定

1951年から53年にかけて、岩崎岩次らが大涌谷でラドンガスなどの調査を行ったが、このときは過熱蒸気を認めたような記述がない（Iwasaki et al., 1956）。この調査は主に温泉が卓越する坊主地獄を対象に行ったようにもみえるので、過熱蒸気がそもそも無かったか、あっても対象としていなかったかわからず、過熱蒸気の有無を断定することが出来ない。

1966年から67年にかけての大涌谷で大規模な調査を行った湯原（1968）は大涌谷の中（図1のb）では、「一見天然の噴気孔の様に見えるものも、古い噴気井の腐食したものから噴出している場合が多く、真の天然のものからの噴出は少ない」としたうえで、噴気の温度が最大で138℃であることを報告している（図3）。後述するよ

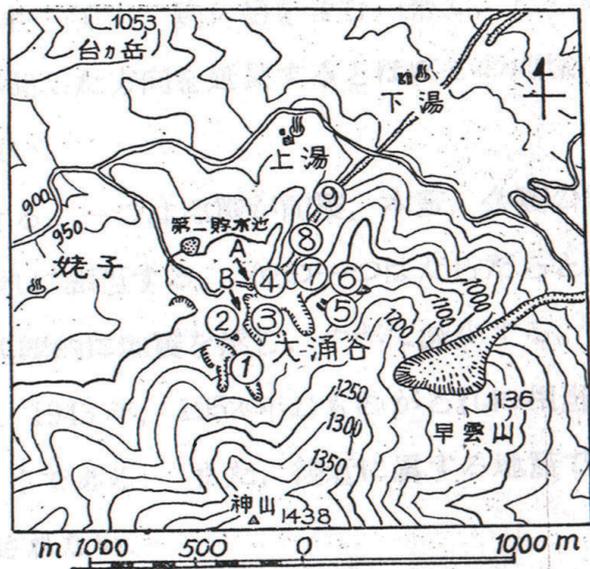


図4 大涌谷の地名 (川瀬ほか、1954)。気象集誌より転載。各地名は以下の通り；1、冠ヶ岳噴気孔；2、昔の噴気孔；3、鉱泉沢噴気孔；4、閻魔台噴気孔；5、みけんの平；6、古くからの噴気孔 (現在も活動)；7、達磨岩；8、仙郷楼源地；9、万岳楼源地。

Fig.4 Place-names of Owakidani area. Reprinted from Kawase (1954). 1, Kanmurigatake fumarole; 2, old fumarole; 3, Kousenzawa fumarole; 4, Enmadai fumarole; 5, Miken-no-taira; 6, long-held fumarole (still active); 7, Darumaiwa; 8, hotspring of Senkyo-rou; 9, hotspring of Mangaku-rou.

うに、大涌谷では1954年から盛んに排気ボーリングが行われるようになった。湯原 (1968) は、冠ヶ岳の麓にあたる地域 (G地区と呼称している；図1のc) でも多数の噴気を測定している。この地域の噴気はすべて自然噴気であり、最高温度は、97℃であった。

その後、温泉地学研究所では1973年以降の数年間、大涌谷で盛んに調査を行ってきたが過熱蒸気をみとめていない (広田ほか、1977；杉山ほか、1986)。

3. 噴気場所の同定

現在では、大涌谷一帯の細かい地名については、一部を除いてこれと言った呼称が無く、上記文献中の地名はいわば忘れ去られた状況にある。従って、これらの地名が具体的にどこを指すのかについては、文献から読み取る必要がある。現時点で唯一参考となるものとしてあげられるのは川瀬ほか (1954) の Fig.2 である (図4)。

しかし、この地図は、詳しい位置を知るには小縮尺な上、現在の地図と完全には重ならず、どこを指すのかに

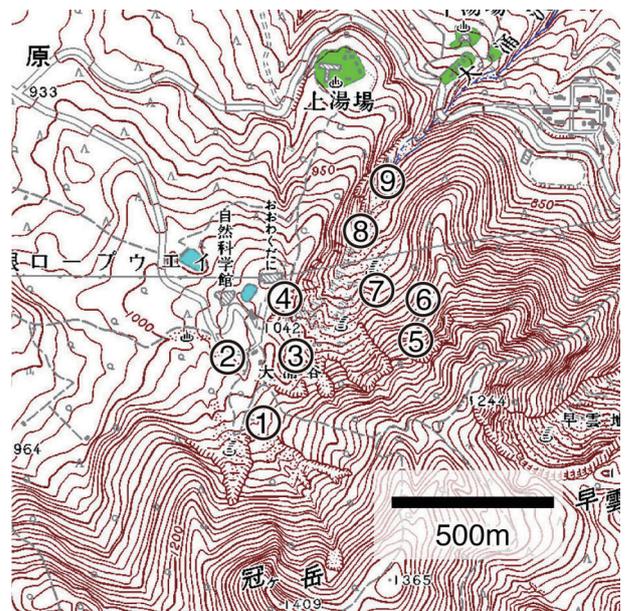


図5 現在の地図上での大涌谷の地名。川瀬ほか (1954) より推定。a から c は、図2のスケッチの推定される視点とその範囲。

Fig.5 Place names of Owakidani area on the present geographical map. Re-located from Fig.3. Supposed view points and sights of Fig. 2 are also shown (a-c).

ついて正確に知るにはやはり多少の推定が必要である。本報告では、川瀬ほか (1954) の地図を、等高線や大涌沢、道路などを目安に現在の地図に合うよう変形させて、各点を現行の地図に落としてみた。その結果が図5である。ここでは、この図を元に、しばしば文献に名前があらわれる閻魔台と、過熱蒸気が出現したとされる達磨岩の位置を特定してみたい。

3.1. 閻魔台とその衰微

閻魔台に関しては、筆者の聞き取りによると現在の県営駐車場付近やそこから玉子茶屋一帯の台地部分一帯を広く指すというような見解がある。しかし、川瀬ほか (1954) では、大涌沢の谷と現在、駐車場や土産物屋で占められている台地の境界部分にプロットされている。台地と谷のどちらを示すのかは判然としないが、「台」の名前が示すとおり、台地の上に当たるのであろう。そうだとするとこれは、先に述べた朝倉のいう閻魔台の記述と調和的であるとともに、徳田のDと近く、同一である可能性が高い。

徳田のDは、当時あった「極楽茶屋」の南側に当たる。箱根温泉供給株式会社の辻内和七郎氏によれば、当時の極楽茶屋は現在同名で営業している土産物屋の20～

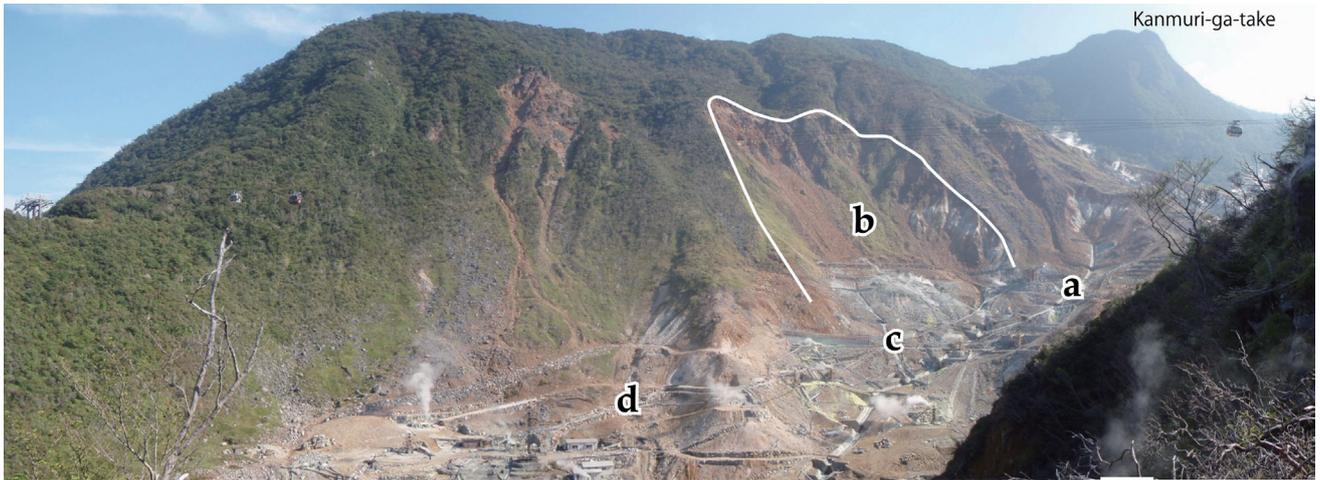


図6 大涌沢右岸の全景。aは大涌沢の本流で最上流部は現在も鉢泉沢と呼ばれており、1948年6月12日に地すべりがあった。bは1910年7月13日の地すべり箇所。この地すべりで影響を受けた地域cが血池沢であるとする、達磨岩はdの沢にあったと考えられる。cおよびdは図1の1と2に対応する。

Fig.6 Overview of the right bank of Owakidani valley. The mainstream of Owakuzawa (a), head cliff of the 1910 landslide (b), supposed location of Chinoikezawa (d) and supposed location of Darumaiwa. c and d are correspond to 1 and 2 in Fig. 1.

30mほど北にあったとされ、現在は大涌谷砂防関係の資材置き場として使用されている空き地となっている。この位置は、川瀬のプロットよりもやや南に寄りすぎのようにもみえるが、先に述べたとおり川瀬の地図はもともと小縮尺であるし、川瀬の時代には現在と同様、閻魔台の噴気そのものはなくなっていた。こうしたことが、現在の証言と川瀬の地図との位置の違いの原因になっている可能性がある。

閻魔台の噴気が衰微した時期については、1939（昭和14）年に、遊歩道沿いの噴煙が次第に少なくなったという新聞記事がある（箱根温泉供給、1982）ので、この頃であると見られる。この記事を読んでも大涌谷のどこを具体的に指すのかがよくわからないが、写真をみるかぎり衰微した噴気地帯と見られる一帯は、大涌谷左岸の現在のロープウェイ大涌谷駅と駐車場を結ぶ鞍部付近とみえる。おそらく閻魔台と言われている場所と同じではないだろうか。

3.2. 達磨岩と血池沢

一方、やはり文献に固有名詞として出てくる優勢な噴気である達磨岩は川瀬ほか（1954）によれば、大涌沢右岸にあたる。神奈川県測候所（1935）は達磨岩が「閻魔台懸崖下」にあると述べている。記述から達磨岩は達磨岩の噴気と同義のようであるが、そうであるとする達磨岩は閻魔台の東の崖を下った所にある、つまり、左岸のようにも取れる。しかし、大森（1917）によれば達磨

岩は「血池沢の少しく北方に分岐せる小沢」にあるとしている。左岸には大涌沢の支沢がなく、やはり右岸にあると考えるべきであろう。

「血池沢」がどの沢を指すかはわからない。しかし、1910（明治43）年の山津波で衰弱したという大森（1917）の記述から、地すべりにより血池沢が埋められるなど直接影響を受けたと想像すれば、血の池沢は地すべり地の沢ということになるだろう。そのように考えて得た達磨岩のある沢の位置（図6）は、川瀬ほか（1954）の場所とおおむね矛盾が無い。従って、大正時代から川瀬ほか（1954）執筆当時まで、達磨岩は大涌沢右岸の同じ位置で認識している可能性が高いと考えられる。

3.3. 過熱蒸気が発生する環境

過熱蒸気が出現していたと見られる達磨岩は、上記の考察によると大涌谷の中の沢沿いに位置する。このような場所は一般的には表流水や地下水に富んでいるため、過熱蒸気が出現するにはいささか奇異な印象を受ける。しかしながら、この周辺は浸食が激しく、地下水を保持するような地層が薄いかほとんど無いとみられる。

また、ヴィダルが過熱蒸気を記載した、「何の不安もない空き地」と見られる地域（図1のa）は、現在も坊主地獄ではなく南北に谷を配する台地となっており、浅層地下水には乏しい環境にあるように思われる。従って、以上の例を見る限り、過熱蒸気が出現した箇所はもともと浅層地下水に乏しかったとみられる。

とはいえ、浅層地下水は過熱蒸気にある程度影響を及ぼしていたであろうことは、これら過熱蒸気の温度が低いことや、大森や加藤の記述にあるとおり、温度は短期間で大きく変化し、時により過熱蒸気でなくなることもあったことからあきらかである。

4. 過熱蒸気消失の原因

4.1. 過熱蒸気の消失時期

現在、大涌谷地域では過熱蒸気の内容は確認されていないが、いつ、どのような理由で過熱蒸気は消失したのであろうか。ここでは、2章で紹介した文献記述を元に過熱蒸気の変遷をまとめてみよう。

本研究で検出した資料によれば、1872年、1917年、1920年、1932-33年には過熱蒸気が存在していた(表1)。1951年から53年には調査が行われたが、自然噴気から放出される過熱蒸気の有無は不明である。1966年から67年の湯原による調査では、噴気孔のほとんどが人工的なボーリングによるものとなっていた。記述からは、天然の噴気孔による過熱蒸気があったかどうかはわからないが、噴気に人為的な影響が大きいことが強調してあることから、無かった可能性の方が高い。その後、1973年に降行されている温泉地学研究所による観測ではこれまで過熱蒸気は確認されていない。

こうした歴史を見る限り、大涌谷における過熱蒸気の消滅には、人工的なボーリング掘削が影響を与えているように思われる。次節では、人工的なボーリング掘削の歴史を振り返るとともに、大涌谷が放出する熱量について検討をする。

4.2. 排気ボーリング

大涌谷地域では1954年から地すべりの原因となる火山ガスによる岩石余土化の防止と地下の火山ガス圧の

低下を目的とし深さ45～90m程度の排気ボーリングが神奈川県により掘削された(遠藤, 1986)。排気ボーリング事業は1971(昭和46)年までに97本掘削したところで終了した(遠藤, 1986; 箱根温泉供給株式会社, 1982)。

箱根温泉供給株式会社は排気ボーリングで得られる蒸気を使って、温泉の造成事業を実施していたが、排気ボーリングはすぐに閉塞するため(例としてあげれば、1981年の段階で、噴気をしていた排気ボーリングは1本を残すだけとなっていた)、1957(昭和32)年に同社ははじめて自前の掘削を行った。同社はその後、1974年までに32本(箱根温泉供給, 1982)、本稿執筆時点までで54本の蒸気井を掘削し、2008年の時点では随時増減があるものの10本前後が稼働している。

2008年の段階で、これらの蒸気井による放熱量は、 5.3×10^5 J/sとみられる(温泉地学研究所未公表資料)。一方、小田原土木事務所は50cm深地中温度分布をほぼ毎年、大涌谷地すべり防止地域(大涌谷の谷地形内におおむね相当する領域)で測定している。50cm深地中温度と放熱量の関係は杉山・他(1985)により定式化がされている。ここでいう放熱量は、50cm深地中温度が90℃以下の場合には熱伝導に、90℃以上の場合には蒸気の輸送によると仮定して求められているものである。この仮定の妥当性は今後検証する必要があるが、これにより推定される噴気地帯の自然放熱量は2008年の調査時では、 2.8×10^5 J/sと計算されている(温泉地学研究所未公表資料)。蒸気井と自然放熱を合わせた大涌谷全体の放熱量は 8.1×10^5 J/sで、内訳としては蒸気井の方が地表からの自然な放熱量より数倍程度大きいことになる。一方、大涌谷地域で1966-67年の調査時に放出されていた蒸気量は、 9.1×10^5 J/sであった(湯原, 1968)。

測定法に多少違いがあるため、厳密な比較には、より詳しい検討の余地があるが、1960年代当時と現在とで

表1 大涌谷噴気地帯における噴気最高温度のまとめ。

Table 1 Summary of the maximum temperatures of fumaroles in Owakidani fumarolic area.

Year	Observer	Maximum temperature (place)	reference/note
1872	J. P. I. Vidal	103 °C (western part of Owakidani)	Sunaga (2003)
1917	F. Omori	141°C (Darumaiwa)	Omori(1917)
1920	T. Kato	106°C (unknown)	Kato (1921)
1921	T. Kato	97°C (unknown)	Kato (1921)
1925	S. Tokuda	98°C(western part of Owakidani)	Hakone Onsen Kyokyu Co. Ltd. (1982)
1932-33	M. Sugiyama & O. Okada	maximum 102°C (unknown)	Sugiyama and Okada (1933)
1951-53	I. Iwasaki and others	86°C (Bozu jigoku; detail unknown)	Iwasaki et al. (1956)
1966-67	K. Yuhara	138°C (Owakidani valley)	Yuhara (1968)
		86°C (western part of Owakidani)	

は、放熱量全体としては大きな変化が無いことがわかる。排気ボーリングが始まる前の放熱量は不明であるが、排気ボーリングや蒸気井による蒸気採取が40年近く続いているにもかかわらず、放熱量に大きな低下が見られないと言うことは、人工的な噴気は地下の熱源にある熱量を減少させているわけではないことも示していると考えられる。つまり、人工的な噴気は地下から地上への熱流量には大きな影響を与えていないと考えられる。だとすると、排気ボーリング以前も、大涌谷における熱流量は現在とほぼ同様であったとみられる。

以上のことから、排気ボーリングや蒸気井が、地下数十メートルから数百メートル付近にある過熱蒸気を、地表にバイパスさせることにより、天然の過熱蒸気を消滅させた可能性が示唆される。

4.3. 噴気場所の移動

大涌谷において、噴気場所はしばしば移動することがこれまでの文献で報告されている（たとえば、Kuno, 1962; 気象庁, 2005）。噴気の移動は他の火山でも知られており、例えば、岩手火山では最近、植生の遷移を利用して、噴気地帯の移動や消長を復元する試みもある（土井・斎藤, 2003）。

先に述べたとおり閻魔台は、1939年頃に衰微したと推定され、現在に至るまで再活動は見られないようである。達磨岩は、それがあったと推定される沢地形の下流域で、1954年以降、多数の排気ボーリングが掘削され（図3）、現在も蒸気井が密集している。1910年の地すべりまで優勢な噴気地帯であったとされる血池沢は、1910年の地すべり地の付近であったと推定されるが、ここも多数の排気ボーリングが掘削され、現在も蒸気井が密集している。したがって、達磨岩と血池沢に関しては場所の同定に間違いがなければ、噴気地帯としてあるいは有力な蒸気生産地として、すくなくもここ100年近く存続してきた地熱地域と言える。

5. 結論

- 1) 箱根火山の大涌谷噴気地帯では現在、沸点を超える温度の蒸気である過熱蒸気が自然噴気に認められないが、確認しうる範囲で1933年まではあったことが文献から明らかになった。
- 2) 過熱蒸気があったことが確認された場所は、大涌谷右岸の達磨岩付近、および大涌谷からやや姥子方面によった噴気地帯である。
- 3) これらの地域はいずれも浅層の地下水が乏しいと見られる地域であり、地下の地熱流体が浅層の地下水とあ

まり接触せずに上昇できたため過熱蒸気になったものと見られる。

- 4) 過熱蒸気が現在見られないのは、1954年から始まった排気ボーリングにより地下の蒸気が採取された結果、自然に地表に達する蒸気が減ったためと見られる。
- 5) 1966-67年の調査と、最近の調査とでは大涌谷の放熱量に大きな違いはなく、蒸気井の掘削は、地下の熱源に大きな影響を与えていない可能性がある。
- 6) 達磨岩および血池沢があったと思われる場所の近くは現在も主要な蒸気生産地となっており、ここ100年近くの間、地熱地帯として存続してきた可能性がある。

5. 謝辞

東京工業大学火山流体研究センターの大場武准教授と寺田暁彦博士には、本論文の草稿を見ていただき数々の示唆を頂いた。鳥取大学名誉教授の赤木三郎先生には、徳田貞一に関する有益な情報を頂き、署名から同一人物であると考えられるとの助言を頂いた。箱根温泉供給株式会社の辻内和七郎氏には、草稿に目を通していただくとともに、極楽茶屋の位置について有益な情報を頂いた。また、同社の井手幸彦氏には、貴重な資料を収蔵庫から取り出していただき、拝見する機会を設けていただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 赤木三郎 (2006) 独創的な実験で日本列島の岩鉾構造を説明した徳田貞一、地球科学、60, 339-343.
- 中央気象台 (1917) 箱根大涌谷噴出状況、気象集誌、36, 334-355.
- 土井宣夫・斎藤徳美 (2006) 植生分布と表層地質から復元される西岩手山の広域噴気活動史、軽石学雑誌、(14), 31-53.
- 遠藤利二 (1986) 箱根の火山性地すべり対策、土木施工、27 (8), 37-42.
- 箱根温泉供給株式会社 (1982) 箱根温泉供給社史、260p.
- 広田茂・栗屋徹・大山正雄・大木靖衛 (1977) 大涌谷— 神山登山道に出現した噴気地帯の調査、温地研報告、8, 27-38.
- Iwasaki, I., Katsura, T., Shimojima, H. and Kamada, M. (1956) Radioactivity of volcanic gases in Japan, Bull. Volcanol., 18, 103-123.
- 神奈川県測候所 (1935) 箱根山の過去及び現状、18p.
- 加藤常次郎 (1921) 箱根山調査の件、東洋学芸雑誌、38, 86-90.

川瀬二郎・竹山一郎・野口憲男（1954）箱根山のひん発地震について、験震時報、19, 24-30.

気象庁（2005）日本活火山総覧（第3版）、635p.

Kuno, K (1962) Hakone, In Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields Part XI edited by the international volcanological association, 70-80.

大木靖衛・荻野喜作・平野富雄・広田茂・大口健志・守矢正則（1968）箱根強羅温泉の温度異常上昇とその水理地質学的考察、温地研報告、1（6）, 1-20.

大森房吉（1917）箱根山の鳴動につきて（承前）、東洋学芸雑誌、34, 203-210.

梶山正英・岡田修（1934）箱根大湧谷の地下温度観測に就て、地理学評論、10, 88.

杉山茂夫・小鷹滋郎・大山正雄・大木靖衛（1985）大湧谷地すべり対策調査（昭和58年度）、温地研報告、16, 1-12.

須長泰一（2003）ヴィタルの箱根温泉郷・熱海温泉紀行 - フランス人医師による明治5年の温泉調査 -, 温泉、71（6）, 4-12.

湯原浩三（1968）地熱地域からの放熱量の測定法および箱根大湧谷・早雲山における実測例とそれより推定した熱水系、地熱、16, 25-43.