

第43巻 (1993)

温 泉 科 学

第 1 号

平成 5 年 3 月

原 著

温 泉 微 動 の 観 測

関東学院大学工学部地球科学研究室*1, トータルシステム研究所*2, 株式会社興和*3

田 中 康 裕*1, 伊 藤 芳 朗*1, 石 井 栄 一*1,
 斎 藤 輝 夫*2, 南 雲 政 博*3, 柴 田 東*3

(平成 4 年 7 月 25 日 受付, 平成 4 年 10 月 19 日 受理)

A Study of the Characteristic of the Ground Noise, Generated from the Hot Spring

Yasuhiro TANAKA*1, Yoshiro ITO*1, Eiichi ISHII*1,
 Teruo SAITO*2, Masahiro NAGUMO*3, Azuma SHIBATA*3

*1Department of Earth Science, Faculty of Engineering, Kanto Gakuin University

*2Total System Institute

*3Development Division of New Technique Works, Kowa Co. Ltd.

Abstract

The mechanism of the eruption of the bubbling spring, the periodic bubbling spring and the boiling spring are investigated by means of the spectrum analysis of the ground noise which are generated from the spring.

Three kinds of tremors which named the low frequency tremor, the high frequency tremor and the very high frequency tremor are found in the ground noise of the bubbling spring and the periodic bubbling spring. But the high frequency tremor only is found in the case of the boiling spring.

The cause of the low frequency tremor seems the free oscillation of the water, moving up and down in the well of the spring. This movement is generated by the big bubbles which enter the water from the under-ground. On the other hand, the cause of the high frequency tremor and the very high frequency tremor can be attributed to the oscillation of the little bubbles in the well of the spring or the under-ground water.

1. はじめに

温泉や鉱泉の噴出に伴う地下水の流動は微動となって地中を伝わる。この微動を温泉微動と呼ぶことにする¹⁾²⁾。この論説は、泡沸泉、間欠泡沸泉、および沸騰泉から発生する温泉微動を地震計を用いて観測し、各種温泉の噴出機構を研究したものである。

なお、泡沸泉の温泉微動は群馬県の新川原湯源泉で、間欠泡沸泉の温泉微動は栃木県の塩原元湯で、沸騰泉の温泉微動は秋田県の後生掛地熱地帯で観測したものを解析した(Fig.1).

温泉微動は水の振動によって発生するものであるから縦波の性質を持っている. そこで観測には, この波動を記録しやすい上下動地震計を用いることにし, 1 Hzの上下動変換器, 直流増幅器, 4チャンネルのデータレコーダを直結したものとした. また, 温泉の温度を測るため, 熱電対温度計を温泉の噴出口にさし込み, 地震計と同じデータレコーダに記録させた.

2. 観測を行った源泉の状況

2-1 新川原湯源泉の泡沸泉

この源泉はボーリングによって自噴した泡沸泉である. 観測は1990年7月26日に実施した.

噴出口には直径約10cmのパイプが設置してあって, そこから熱湯と気泡を約10cmの高さに連続噴出していた. 観測時の温泉の温度は78.7℃, 温泉水の湧出量は毎分約40リットルであった. 噴出口からは大きな泡が1分間に42回の割りで放出していた. 放出間隔は0.4~2.0秒の範囲にあり, これを平均すると1.2秒に1回の割りになる. また, 気泡を採取して検知管法によりガス分析したところ, CO₂ (2500ppm), H₂S (400ppm), CO (150ppm)などが検出された. SO₂, Cl₂は検知されなかった.

温泉微動の観測は, 噴出口から約2 m離れた地点で実施した.

2-2 塩原元湯の間欠泡沸泉

この地域には2箇所(元泉館およびゑびすやホテル)に間欠泡沸泉がある. 両間欠泡沸泉はボーリングによって自噴したものである. しかし, 1970年頃にはこの近くにもう1箇所間欠泉があったことを鈴木等³⁾は記している. 1箇所はスケールにより1991年に閉塞してしまった⁴⁾.

観測は1989年3月18日, 19日, および1990年6月8日, 9日に実施した.

噴出口には, 直径約10cmのパイプが設置してある. 1989年の観測時には両間欠泡沸泉とも, 平均して約5分間続く噴出活動と, 約6分間続く噴出休止期とを規則正しく繰り返していた. 噴出の際には温泉水を噴出口から約10cmの高さに噴きあげていた. しかし, 1990年の観測時には, ゑびすや間欠泡沸泉は前年とはほぼ同じ状態で噴出活動を繰り返していたが, 元泉館間欠泡沸泉は12時間の連続観測で求めた噴出周期が平均58分, 噴出継続時間は平均10分もあり, 温泉水を2 mくらいの高さに噴き上げることがあった.

温泉の噴出口における温度は両間欠泡沸泉とも55℃で, これは鈴木等³⁾が1970年に測った値(元泉館間欠泡沸泉で46.5℃, ゑびすや間欠泡沸泉で49.5℃)より高かった.

温泉微動の観測は各噴出口から1~5 m離れた地点で実施した.

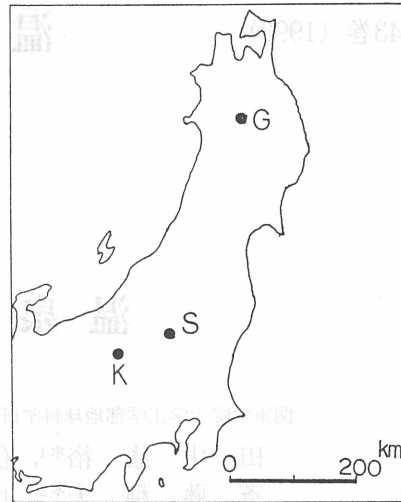


Fig. 1 Location of the hot springs used in this study

- K: Shin-kawarayu Spa.
(bubbling spring)
- S: Shiobara-motoyu Spa.
(periodic bubbling spring)
- G: Goshogake Spa.
(boiling spring)

2-3 後生掛地熱地帯の沸騰泉

この地熱地帯は八幡平火山の麓にあって、南北約600m、東西約600mにわたる広大な地域を占めている。地熱地帯内には、幾つかの沸騰泉、泥火山、坊主地獄などが点在している。

観測は1988年7月27日に実施した。

後生掛地熱地帯の西部にある大湯沼は、直径約150m、短径約50mの熱水をたたえた池である。その池の最西端近くに一つの沸騰泉がある。観測時には直径約1mの湯面から熱水と蒸気を約50cmの高さに連続噴き上げていた。熱水の温度は94~95℃であった。地中ではさらに高温で、水が沸騰し、水蒸気を発生させているものと思われる。この沸騰泉は間欠的に噴出する時もあり、江原等⁵⁾によれば、1982年8月には約20分周期で熱水を約1.5mの高さに噴き上げていた。

温泉微動の観測は、この沸騰泉から約10m離れた池の岸辺で実施した。

3. 温泉微動のスペクトル

3-1 泡沸泉の温泉微動

Fig. 2 は新川原湯源泉における温泉微動とそのスペクトルである。この図からわかるように、スペクトルには5 Hz以下と15~35Hzにパワーの明瞭な極大があり、やや不明瞭だが50Hz以上の所にもパワーの大きな所がある。ただし、図に見られる32Hz付近の顕著な極大は、約30m離れた道路を通る車輛のノイズであることが分かったので、この部分は除外する。

3-2 間欠泡沸泉の温泉微動

Fig. 3 は塩原元湯の間欠泡沸泉で、温泉が噴出を休止している時の温泉微動とそのスペクトルである。また、Fig. 4 は噴出活動期の温泉微動とそのスペクトルである。ここの温泉微動は

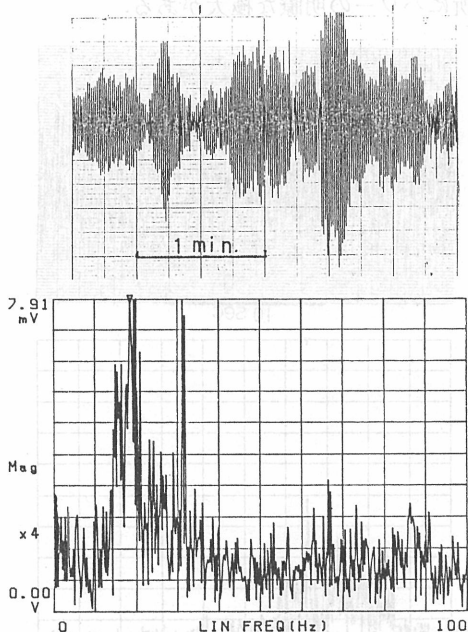


Fig. 2 Ground noise and its spectrum of the water-vibration at the bubbling spring, Shin-kawarayu

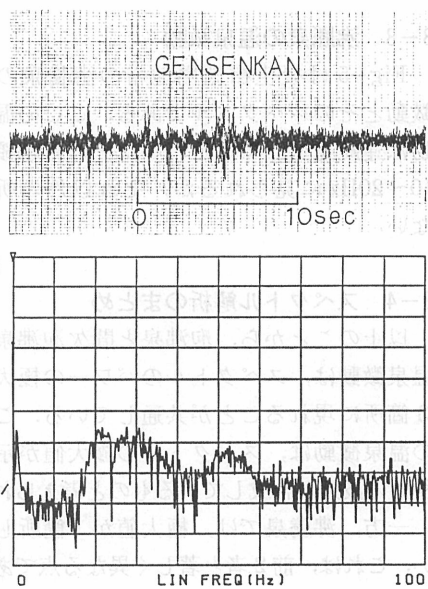


Fig. 3 Ground noise and its spectrum of the water-vibration at the rest time of the periodic bubbling spring, Shiobara-motoyu

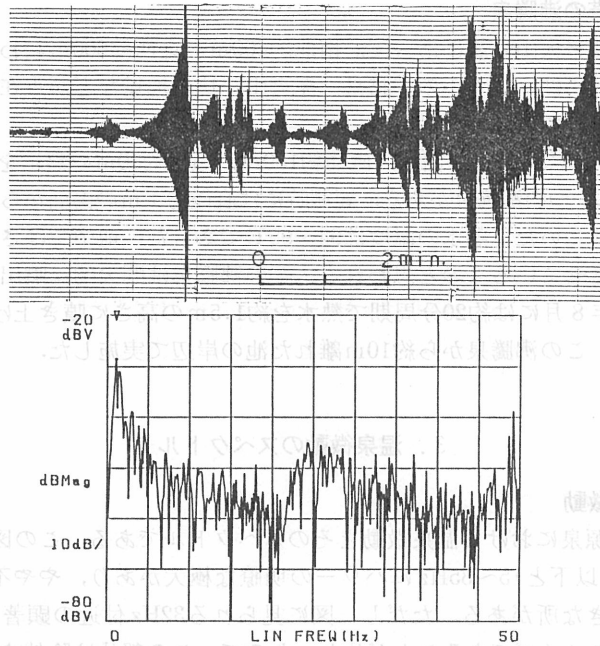


Fig. 4 Ground noise and its spectrum of the water-vibration at the eruption time of the periodic bubbling spring, Shiobara-motoyu

常時連続発生しているが、噴出活動期には顕著に大きくなる。スペクトルは噴出活動期、休止期とも5 Hz以下、20~35Hz、および45Hz以上の3箇所にパワーの明瞭な極大がある。

3-3 沸騰泉の温泉微動

Fig. 5は後生掛地熱地帯の沸騰泉の温泉微動とそのスペクトルである。この温泉微動は連続発生している。パワーの卓越領域は10~20Hzに見られるが、それ以外の所にはない。

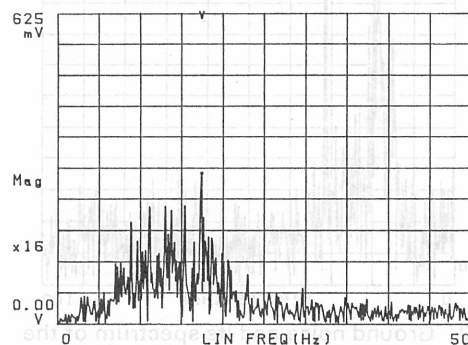
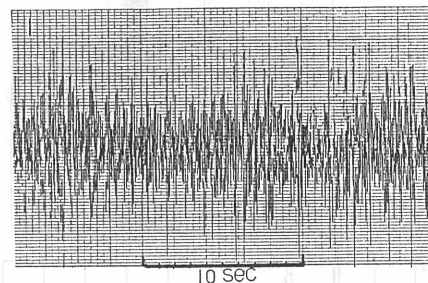


Fig. 5 Ground noise and its spectrum of the water-vibration at the boiling spring, Goshogake

3-4 スペクトル解析のまとめ

以上のことから、泡沸泉と間欠泡沸泉との温泉微動は、スペクトルのパワーの極大値が3箇所に現れることが共通している。これらの温泉微動は、スペクトルの極大値が示す3種類の波動が合成しているものと考えられる。

一方、沸騰泉では、極大値が1箇所しかない。これは、前2者と著しく異なる点である。

これらのことを考慮して、スペクトルのパワーが極大を示す周波数帯の振動部分を次のように呼ぶことにする。

- 1) 低周波温泉微動：5 Hz以下の波動部
- 2) 高周波温泉微動：15~35Hzの波動部
- 3) 超高周波温泉微動：45Hz以上の波動部

それぞれの種類の微動は、観測した温泉微動に10HzのLow Pass Filter, 10~35HzのBand Pass Filter, 45HzのHigh Pass Filterを通すことによって取り出すことにした。

4. 低周波温泉微動と温泉の挙動

4-1 泡沸泉(新川原湯源泉)の場合

Fig. 6は新川原湯源泉の低周波温泉微動(Fig. 2と同じ部分)である。唸り状の振動を頻繁に繰り返している。波動の周期は0.9秒前後に揃っていて、振動が継続する時に見られる自励振動の形をしている。

4-2 間欠泡沸泉(塩原元湯)の場合

元泉館およびあびすや両間欠泡沸泉では、きわめて類似した温泉微動が観測されたので、以下では、いずれか一方の温泉を代表した温泉微動の解析結果を示す。

Fig. 7は温泉が噴出を休止している時の低周波温泉微動である。

また、Fig. 8には1回の噴出活動全期間を通しての低周波温泉微動の挙動を示してある。この図では、噴出が始まる2分程前に大きな低周波温泉微動が見当たる。噴出活動を6回観測した中で、同様な現象が5回も観測されたことから、噴出直前には大きな低周波温泉微動が起こる確率は極めて高いと言える。同図の下段には温泉の温度の変化も記録してある。温度は噴出時に最高になり、噴出休止期に低下するように見えるが、噴出休止期には温泉井の水位が低下するので温度計の感部が空中に露出し、外気の影響を受けて温度が低くなるためである。

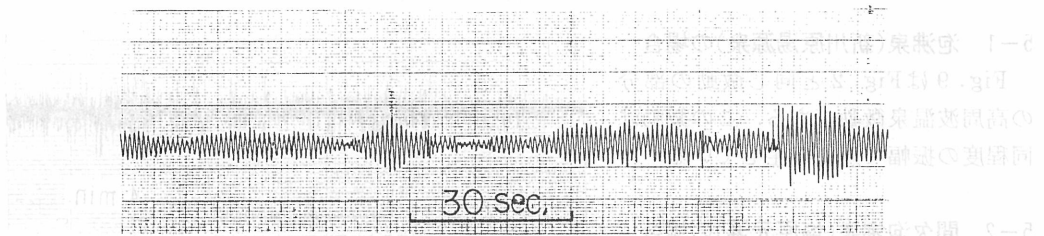


Fig. 6 Low frequency tremor in the ground noise of the bubbling spring at Shin-kawarayu

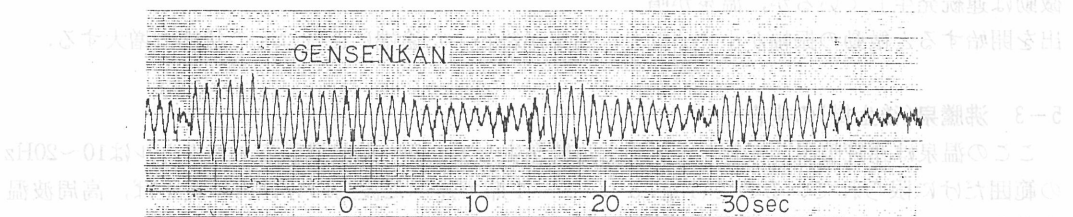


Fig. 7 Low frequency tremor in the ground noise at the rest time of the periodic bubbling spring at Shiobara-motoyu

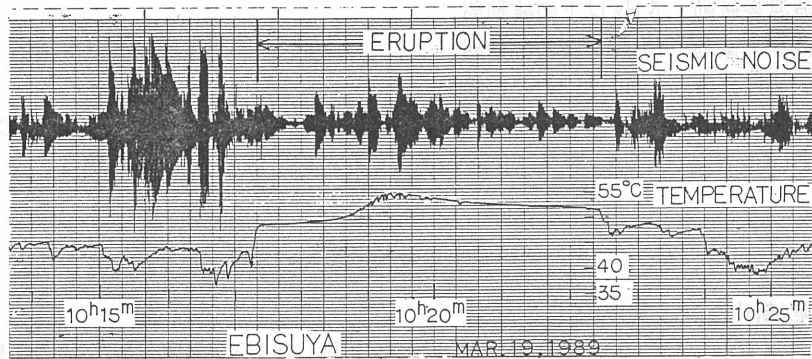


Fig. 8 Low frequency tremor in the ground noise and temperature changes at the outlet of the spring during the eruption time, at the periodic bubbling spring, Shiobara-motoyu

4-3 沸騰泉(後生掛)の場合

この微動は発生していない。

4-4 低周波温泉微動のまとめ

上述のことから、低周波温泉微動には次のような特徴が見出される。

- 1) この微動は泡沸泉, 間欠泡沸泉では常時発生している. しかし, 沸騰泉では発生していない。
- 2) 温泉の噴出期には顕著に群発する。
- 3) 温泉が噴出を始める少し前に大きな低周波温泉微動が起こることが多い。

5. 高周波温泉微動と温泉の挙動

5-1 泡沸泉(新川原湯源泉)の場合

Fig. 9はFig. 2と同じ微動の部分の高周波温泉微動である. この微動は同程度の振幅で連続発生している。

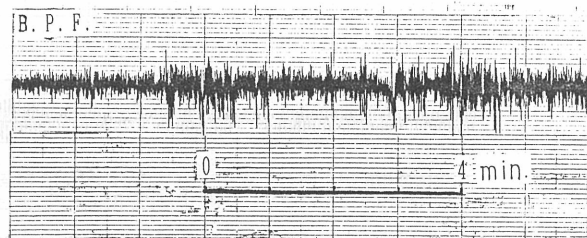


Fig. 9 High frequency tremor in the ground noise at the bubbling spring, Shin-kawarayu

5-2 間欠泡沸泉(塩原元湯)の場合

噴出活動期およびその前後の高周波温泉微動をFig.10に示す. この温泉微動は連続発生しているが, 温泉が噴出を開始すると微動の振幅が小さくなり, 噴出が終わった途端に振幅は元の状態に増大する。

5-3 沸騰泉(後生掛)の場合

ここの温泉は連続噴出しており, 微動も連続発生している. 温泉微動のスペクトルは10~20Hzの範囲だけに限られているので(Fig. 5), 3-4節で述べた波動の分け方に従えば, 高周波温泉微動に含めるのが適当である。

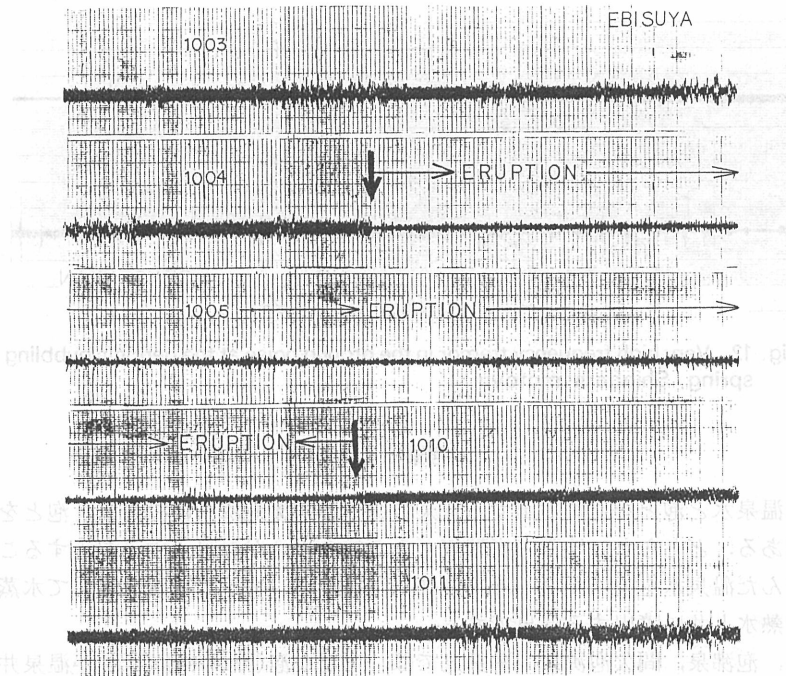


Fig. 10 High frequency tremor in the ground noise at the periodic bubbling spring, Shiobara-motoyu

6. 超高周波温泉微動と温泉の挙動

6-1 泡沸泉(新川原湯源泉)の場合

Fig.11はFig. 2と同じ温泉微動の部分の超高周波温泉微動である。連続発生している、唸り状または衝撃型の振動が頻繁に起こっている。

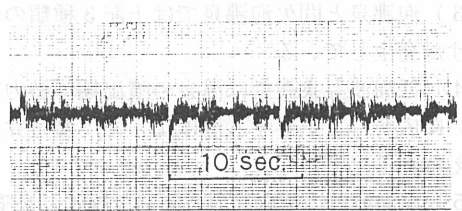


Fig. 11 Very high frequency tremor in the ground noise at the bubbling spring, Shin-kawarayu

6-2 間欠泡沸泉(塩原元湯)の場合

Fig.12は超高周波温泉微動である。この微動は常時発生しており、温泉の噴出中は振幅が小さくなり、噴出休止中には大きくなる。また、この微動には衝撃型の振動が多数含まれていることは上述の新川原湯源泉の微動と似ている。なお、RINEHERT⁶⁾によると、間欠泉では衝撃型の波動もたくさん発生しているので、温泉微動中の衝撃型波動をすべて人工的なノイズだと断言することは出来ない。

6-3 沸騰泉(後生掛)の場合

この微動は発生していない。

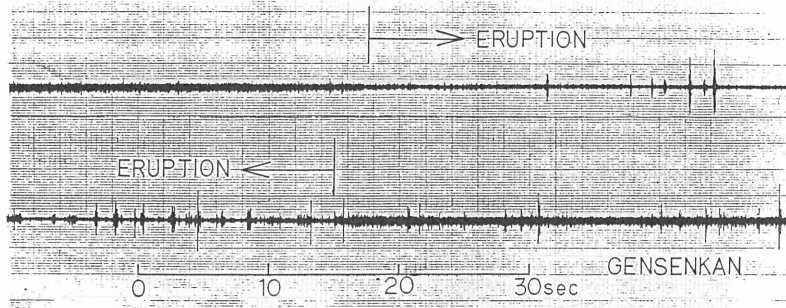


Fig. 12 Very high frequency tremor in the ground noise at the periodic bubbling spring, Shiobara-motoyu

7. 考察とむすび

1) 泡沸泉は温泉水と泡とを連続噴出する温泉である。間欠泡沸泉は温泉水と泡とを間欠的に噴出する温泉である。どちらも、地下で炭酸ガスその他のガスが温泉水中へ混入することにより、泡を多量に含んだ温泉水を噴出する。沸騰泉は高温なため、地下で水が沸騰して水蒸気になり、この水蒸気が熱水と共に噴出する温泉である。

このように、泡沸泉、間欠泡沸泉、沸騰泉では、多量の泡(ガスや水蒸気)が温泉井の水へ入り込むので、その泡によって水はたえず振動している。とくに、温泉の噴出時には噴出口いっぱい膨らんだ泡により、温泉水が大きく上下運動をしながら噴出口からほとぼり出る様子は、しばしば肉眼でも見られる現象である。こうした温泉水の運動は微動となって地中を伝わる。この微動を温泉微動と呼ぶことにした。

2) 温泉微動をスペクトル分析すると、この微動は低周波温泉微動、高周波温泉微動、超高周波温泉微動に分けられる。

3) 泡沸泉と間欠泡沸泉では上記3種類の微動が発生しているが、沸騰泉では高周波温泉微動だけが発生している。

4) 低周波温泉微動は温泉の噴出期に勢力を増す。この発生原因は温泉井のパイプの断面いっばいに広がって上昇する泡によって、温泉井内の水柱が機械的に上下に大きく運動するためだと考えられる。

5) 高周波および超高周波温泉微動は温泉噴出期に振幅が小さくなり、噴出休止期に大きくなる。これは、噴出活動期には大きな泡が増えるので低周波温泉微動は発達するが、代わりに、小さな泡が減るために起こる現象だと考えられる。すなわち、高周波および超高周波温泉微動は温泉井のパイプの断面の大きさに達しない小さな泡が温泉井内で発生、上昇、消滅することによって起こる微動だと考えられる。

6) 間欠泡沸泉では噴出活動を始める少し前に、大きな低周波温泉微動が起こる場合が多い。これは噴出の前兆現象である。

謝 辞

この研究のため、川原湯温泉の資料を提供して下さった群馬県庁、観測の便宜を与えていただいた川原湯のやまきぼし旅館、塩原元湯のゑびすや・元泉館両ホテル、および後生掛温泉に謝意を表します。

