

# アンケート調査によって検出された 地震活動に伴う伊東温泉の変化

地質調査所

佐藤 努・佃 栄吉・野田徹郎

〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-3

(平成10年11月2日受付, 平成10年12月4日受理)

## Anomalous Changes in Ito Hot Springs in Relation to Earthquake Activities Indicated by Questionnaire Surveys

Geological Survey of Japan

Tsutomu SATO, Eikichi TSUKUDA and Tetsuro NODA

### Abstract

Off the east coast of the Izu Peninsula of the central Japan, earthquake swarms have frequently occurred since 1978. Ito City is located on the east coast of the Izu Peninsula and is well known as accompanying hot springs. We started a questionnaire survey about anomalous changes in hot spring in Ito City and the adjacent area during the earthquake swarm activity in 1993. We did the survey 9 times between 1993 and 1998. The integrated survey results show that several kinds of anomalous changes were simultaneously observed on the day when earthquakes with magnitude larger than 4 occurred. The major anomalous change is that in color of hot spring water. The change is thought to be caused by strong shaking of hot spring water pipes and/or by disturbance of hot spring aquifer by earthquakes.

Key words: questionnaire survey, Ito hot spring, earthquake swarm, off the east coast of the Izu Peninsula  
キーワード: アンケート調査, 伊東温泉, 群発地震活動, 伊豆半島東方沖

### 1. はじめに

伊豆半島東方沖では, 1978年から年に1回ほどの割合で群発地震活動が続いている(図1). 特に1989年6月の活動時には手石海丘において海底噴火が起り, 群発地震活動と火山活動との関係が明らかになった. その後も群発地震活動は度々起きており, 1989年6月の活動以降地震回数が5,000回を越えた活動を挙げると, 1993年5月, 1995年9月, 1996年10月, 1997年3月, 1998年4月の5回を数える(表1). 1989年以降は海底噴火に至るほどの激しい活動はないが, マグマが岩脈として地殻に貫入して生じたと考えられる地殻変動が毎回起きており, 伊豆半島東方沖周辺に設置された体積歪計やGPSといった様々な観測網に顕著な変化が観測されている(岡田, 1997).

これらの群発地震活動に関して, 伊豆半島の温泉にも様々な変化が生じている. 海底噴火に至った1989年6月の活動時の変化は顕著で, 伊豆半島の広い範囲や伊豆大島においても, 群発地震活動に伴った温泉や噴気の変化が観測されている(Notsu et al., 1991). 特に伊東市内における温泉変化は

Table1. The number of the earthquakes and the amplitude of the strain changes observed in the period of earthquake swarms off the east coast of the Izu Peninsula.

表1 伊豆半島東方沖群発地震活動における地震および歪変化データ(気象庁(1988)より)

活動開始年月	活動日数	地震回数*1			最大地震	歪変化*2 10 <sup>-6</sup> strain
		総地震	有感地震	震度3以上		
1993年5月	21	9,567	174	14	M4.8	-0.6
1995年9月	30	9,078	153	22	M4.5	-0.8
1996年10月	27	6,005	43	2	M4.0	-0.5
1997年3月	24	9,334	449	40	M5.7	-0.6
1998年4月	44	11,033	211	16	M5.7	-1.0

\* 1 : 気象庁鎌田観測点における地震回数

\* 2 : 気象庁東伊豆観測点における体積歪変化

マスコミに取りあげられるほど大きく、同市街地域では長年使われていなかった源泉から温泉が突然に自噴し(佐藤, 1997), またこれとは逆に同市街地域より4kmほど北に位置する宇佐美地域(図1)では10m以上の水位低下が起きている(黒川, 1990). このような温泉変化に関して, 茂木ほか(1990)は郵便によるアンケート調査を行った. その結果, 広域的な温泉変化の分布が明らかになり, 伊東市街地域と宇佐美地域で起きたこの相反する水位変化をとらえることにも成功している. わずか4kmしか離れていない地域で相反する顕著な水位変化が見られたのは, 岩脈の貫入により生じた開口割目に対する両地域の位置関係の違いにより, 割目の延長上にあった宇佐美地域では水位が下がり, 逆に割目が地殻を押し広げる方向にあった伊東市街地域では温泉の自噴が起きているものと考えられる. このような温泉変化をもたらしたと考えられる地殻変動は, 手石海丘の

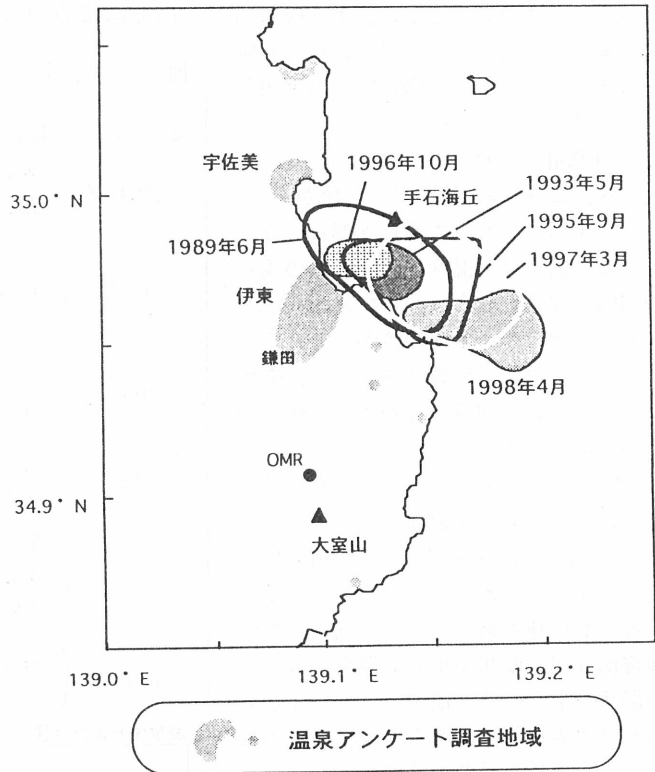


Fig. 1 Target area of the questionnaire survey and epicenter distribution of the earthquake swarms off the east coast of the Izu Peninsula.

図1 温泉アンケートの調査地域と伊豆半島東方沖の群発地震の震源域. 震源域は, 気象庁地震予知情報課(1990; 1994; 1996; 1997a; 1997b; 1998a)による. OMRは地質調査所大室山北観測井を示す.

噴火に至るまでの過程で生じたもので、そういう意味では噴火の前兆であったという見方もできる (Sato et al., 1992). 温泉の突然の自噴や10m以上の水位低下といった変化は、計器による連続観測を行っていなくても肉眼で十分確認できるほど大きな変化である。1989年6月の地震活動は、伊東周辺における温泉アンケート調査の有効性を示した活動でもあった。

1989年6月の活動から4年後の1993年5月、再び地震回数が5,000回を越す群発地震活動が伊豆半島沖で始まった。我々は直ちに伊東市周辺の温泉使用者に温泉アンケートを郵送し、温泉変化の調査を行った (佐藤・野田, 1993)。その結果、100通以上の回答が寄せられ、温泉変化の有無やその分布を広域的に把握することができた。その後、群発地震活動はほぼ毎年1回の割合で起きており、我々は活動毎に同様の調査を行っている。本報では、1993年から1998年までに行ったすべての温泉アンケート調査をまとめ、その結果を報告する。1989年以降は、温泉の突然の自噴や10m以上の水位低下は見られていないが、5年以上にわたる温泉アンケート調査によって、地震活動に伴って温泉に生じる変化の特徴が浮き彫りになってきた。

## 2. 温泉アンケート調査について

### 2.1 調査の概要

アンケート調査については佐藤・野田 (1993) に詳しく記載したため、ここでは概要を簡単に述べる。本調査では、図2の返信用はがきを伊東市周辺の温泉使用者および使用団体に郵送し、温泉についての変化の有無を、また変化があった場合はその種類と変化が見られた日を回答してもらった。変化の種類は、湧出量、水位、温度、色、味、においの6種類で、変化があったものすべてを答えてもらう形式になっている。例えば、温度の変化と色の濁りが同時に起きた場合は、1枚のはがきで両方の変化についての回答が得られる。そのため、後に示す統計において、変化があったという回答のはがき数と変化の数の合計は一致していない。

本調査では、変化が見られなかった場合においても回答をお願いしている。「変化が見られなかった」という情報は、変化が見られた割合を求めるために必要不可欠な情報である。また、同じ程度の地震活動でも変化が生じる温泉と生じない温泉があるため、温泉ごとに変化が見られる限界や特徴を明らかにするためにも、この情報は重要な意味を持つ。

本調査の最大の特徴は、1993年5月の調査を除いたすべての調査において、群発地震活動発生から4日以内にアンケートはがきを発送していることである (図5

あてはまる項目すべてに○を付けてください

何らかの変化が	( <input type="checkbox"/> あった <input type="checkbox"/> なかった )	いつごろ?
変化したのは温泉の		(月/日)
湧出量	( <input type="checkbox"/> 増加した <input type="checkbox"/> 減少した )	<input type="checkbox"/>
水位	( <input type="checkbox"/> 上がった <input type="checkbox"/> 自噴するようになった <input type="checkbox"/> 下がった )	<input type="checkbox"/>
温度	( <input type="checkbox"/> 高くなった (      度くらい) <input type="checkbox"/> 低くなった (      度くらい) )	<input type="checkbox"/>
色	( <input type="checkbox"/> 濁った (      色) <input type="checkbox"/> その他 (      ) )	<input type="checkbox"/>
味	( <input type="checkbox"/> 塩分が濃くなった <input type="checkbox"/> 塩分がうすくなった <input type="checkbox"/> その他 (      ) )	<input type="checkbox"/>
におい	( <input type="checkbox"/> 変なにおいがする <input type="checkbox"/> その他 (      ) )	<input type="checkbox"/>
源泉場所または住所		源泉名または氏名
<input type="text"/>		<input type="text"/>
ご協力ありがとうございました。		

Fig. 2 Questionnaire form in a postcard.

図2 アンケートに用いたはがき。

参照). その理由は, 1989年6月の地震活動の海底噴火前に見られた顕著な温泉変化, つまり温泉の自噴や大きな水位低下の有無を, できるだけ早い時期に把握するためである. また温泉使用者の記憶が薄れないうちに調査を行うことによって, 変化が見られた日付が明らかになるという大きな利点もある.

## 2. 2 調査期間

本調査は, 1993年から1998までの期間に合計9回行った(表2). 第1, 5, 6, 7, 9回の計5回の調査は群発地震活動時に行い, それ以外の4回の調査は平穏時に行った. 群発地震活動時には地震活動に伴う温泉の変化を, 一方平穏時にはアンケートを送付した時期もしくは発送後半年間の温泉の変化を調べた.

平穏時にもアンケートはがきを郵送している理由は, バックグラウンドの温泉変化を把握するためと, 変化が見られた際に直ぐに回答してもらえるようにアンケートはがきを常備するためである. 実際, 伊豆半島周辺で中規模地震が起きた際には, 常備したはがきによって変化があったという回答が送られて来ている. 平穏時の調査が1~2月に多いのは, 毎年この時期に静岡県による検査があり前年のデータとの比較が行われることも多く, 温泉管理者が温泉の変化に最も気付きやすい時期という理由からである. なお第3章では, 第2~4回の調査結果をまとめて1994年2月から1995年9月までの期間の結果として論じている. 第2~4回の調査では調査期間を少しずつ重複させて投函を依頼したところ, その重複する期間に前後の調査の回答はがきが重なって届くことになってしまい, 調査ごとに統計をまとめるのが困難となったからである.

Table2. Outline of the questionnaire surveys in Ito hot springs.

表2 温泉アンケート調査の概要

No.	発送年月	調査対象の温泉変化	発送数	回答数	備考
1	1993年6月	1993年5月の活動時の変化	257	113 (44%)	
2	1994年2月	1994年7月までの変化	86	16 (19%)	
3	1994年7月	1995年1月までの変化	84	24 (29%)	
4	1995年2月	1995年7月までの変化	83	18 (22%)	
5	1995年10月	1995年9月の活動時の変化	83	36 (43%)	2通発送箇所あり
6	1996年10月	1996年10月の活動時の変化	83	24 (29%)	
7	1997年3月	1997年3月の活動時の変化	83	38 (46%)	
8	1998年1月	1998年1月ごろの変化	82	23 (28%)	
9	1998年4月	1998年4月の活動時の変化	81	32 (40%)	2通発送箇所あり

## 2. 3 発送数と回答率

アンケートの発送数は, 第1回の調査を除くと80通ほどでほぼ一定している(表2). この80数ヶ所は, 第1回の調査時に回答いただいた113ヶ所の中から, 使用している源泉が明らかになっていることを基準に選定した. その中で依頼者が所有している源泉は35ヶ所ほどで, その他は共同源泉等からの引湯である. 発送先が一定していることは調査ごとの結果の比較にとって大きな利点である



が、近年の不況のため旅館や保養所の閉鎖によって発送先は年々減っており、新たな発送先の開拓の必要性を感じている。

回答率は平均で33%程度である。しかし群発地震活動時における調査時の平均回答率は40%と高く、平穏時の25%を大きく上回っている。これは、群発地震活動時には温泉使用者の温泉変化に対する関心が高くなるためと考えられる。また地震活動の規模によって回答率が異なっており、マグニチュード4(以後M4と記す)の地震が多数発生した1997年3月の活動時と、M4の地震が1回しか起こらなかった1996年10月の活動時では、回答率(%)は17ポイントも前者の方が高い(表2)。そこで第3章では、変化が見られたはがき数を比較するのではなく、有効回答数に対する変化の割合を用いて結果の考察を行った。なお、群発地震活動の初期や中期の段階で回答がもたらされた場合は、その後の温泉変化が不明になるため再度アンケートはがきを郵送した。実際には、第5回と第9回の調査時がこのやり方による(表2)。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 変化が見られた割合と変化の種類

図3は、有効回答数に対する「変化が見られた」という回答の割合と、その変化の種類について示した図である。本調査における有効回答は、総回答から無効回答(無記入であったり調査時に温泉が使えなかったという回答)を差し引いて求めた。言い換えれば、有効回答は「変化が見られた」回答と「変化が見られなかった」回答の和になっている。なお第2.3章で述べたように、アンケートの発送先はほぼ一定で、1993年6月の調査時に回答をもらった温泉使用者に固定されている。そのため、無効回答は少なく毎回1~2通ほどである。

まずバックグラウンドである平穏時の変化について述べる。図3において「変化が見られた」回答の割合を見てみると、平穏時の割合は群発地震活動時よりも低い。平穏時とした時期において変化が見られた割合は、1994年2月~1995年9月の期間は22%で、1998年1月の調査は9%であった。1994年2月~1995年9月の回答には、「伊豆半島周辺で起きた中規模地震によって伊東周辺で震度3以上の揺れが生じた際に変化が見られた」という記述が多く、実際にはこの期間の変化の大半は地震活動によってもたらされたと考えられる。したがって地震がほとんど無い場合、つまりバックグラウンドの温泉変化の割合は1998年1月の調査に見られた9%程度と考えられ、よって本アンケートで得られた9%以上の変化は、伊豆半島周辺の地震活動によって生じたと考えてよいだろう。

次に群発地震活動時の変化であるが、図3において地震活動ごとに変化がみられたはがきの割合を比較すると、1997年3月の活動時が最も大きく70%となっている。逆に最も小さい活動は、1996年10月の活動で30%を切っている。この傾向は、変化の種類ごとにも見ることができる。図4上段は、佐藤・野田(1993)で提案した温泉変化指数を用いて、変化の種類ごとに各群発地震活動時の変化の様子を表示したものである。温泉変化指数とは、各地震活動時における変化の割合をある時期の変化の割合を基準(100)として変化の種類ごとに比較したものである。今回は1993年5月の活動時の変化の割合を100として計算を行った。1993年5月の活動を基準とした理由は、本アンケート調査の中で最も発送数と回答数が多く、より確からしい結果が得られた調査と考えられるからである。図4を見ると、ほとんどの種類の変化において1997年3月の活動時の変化指数が最も高く、1996年10月の変化指数が低くなっている。

この温泉変化指数を、各群発地震活動時の地震活動指数(図4下段)と比較してみる。地震活動指数とは、各群発地震活動時の地震数や歪変化について、温泉変化指数と同様に基準時(この場合は1993年5月の活動時)のデータを100として計算したものである。図4の上下を比較すると、温泉変化指数のパターンと良く似ているのは、総有感地震数と震度3以上の有感地震数の活動指数であることが分かる。このことから、温泉変化のほとんどは群発地震時の有感地震数に対応して生じた可能

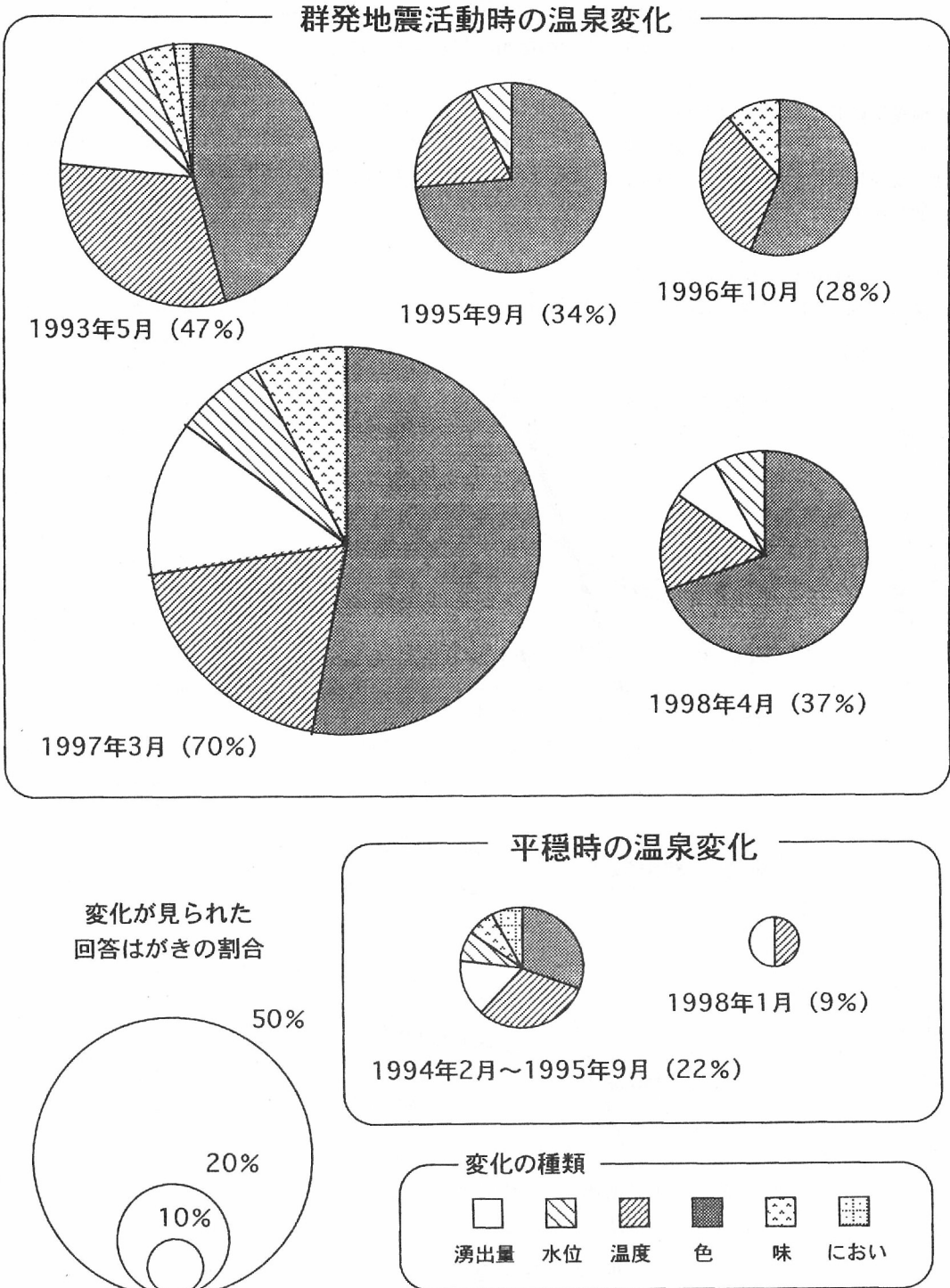


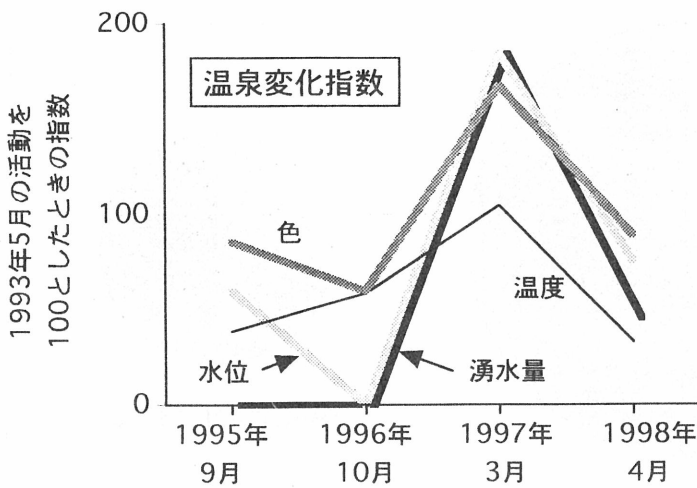
Fig. 3 Proportion of respective anomalous changes detected in Ito hot springs and variety of the changes.  
 図3 温泉の変化が見られた割合とその種類.

性が考えられる。

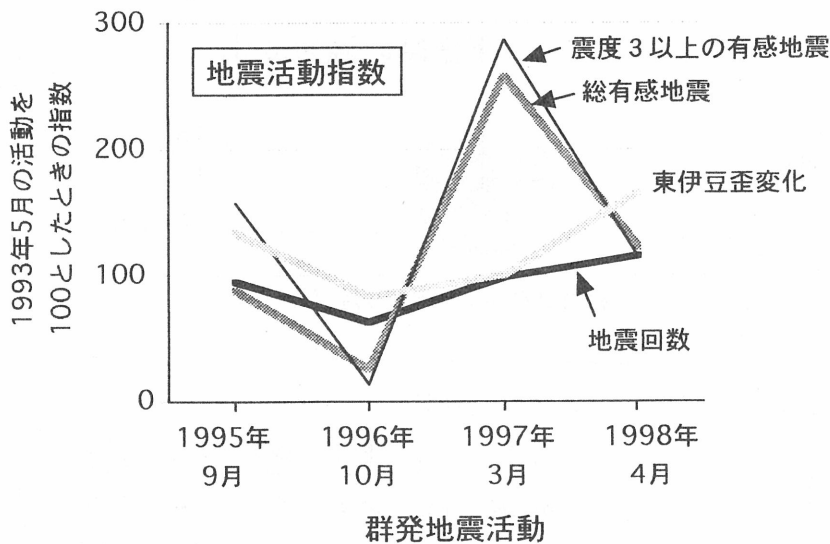
しかし、ここで一つの疑問が生じる。もし温泉変化のすべてが群発地震活動時の有感地震に対応して変化しているのであれば、図3の変化の種類割合はどの活動においても一定のはずである。しかし図3では、変化の種類割合は地震活動によって明らかに異なっている。例えば、1997年3月の地震活動時の色の变化の割合は50%ほどであるが、1995年9月では70%を越えている。この原因として我々は、1)人間の五感によってとらえやすい変化ととらえにくい変化があるので、地震活動の規模によって割合が変わった、2)原因が異なる変化もあるために割合が変わった、の2つの可能性を考えている。

### 3. 2 温泉の色の变化について

図3において群発地震活動時の変化の種類割合を見ると、色の变化の割合が最も多く、ほとん



どの活動において変化の50%以上を占めている。色の变化の回答で最も多いのは「色の濁り」で、濁りの色は白色や茶色や泥色など様々であるが、共通して「震度の大きな地震時に生じた」という回答が得られている。さらに変化が見られた日付も、中規模地震が生じた日が多くなっている(図5)。よって、群発地震活動時の色の变化のほとんどは有感地震によってもたらされたと考えられ、前章の温泉変化指数を用いた考察結果と一致する。



平穏時の変化においても、同様な結果が得られている。前章で述べたように、1994年2月～1995年9月の色の变化のほとんどは

Fig. 4 Index of anomalous changes in Ito hot springs and index of earthquake activities in the period of every earthquake swarm.

図4 群発地震活動ごとの温泉変化指数と地震活動指数。

伊豆半島東方沖付近で生じた中規模の地震によるものである。一方1998年1月にはそのような地震は生じていないためか、色の変化の回答は得られていない。以上のことから、色の変化は有感地震によって引き起こされたことはほぼ間違いないと思われる

### 3. 3 温泉の日別変化

図5は、変化が見られた日付が明らかな温泉変化について、日別変化数の経過を変化の種類ごと

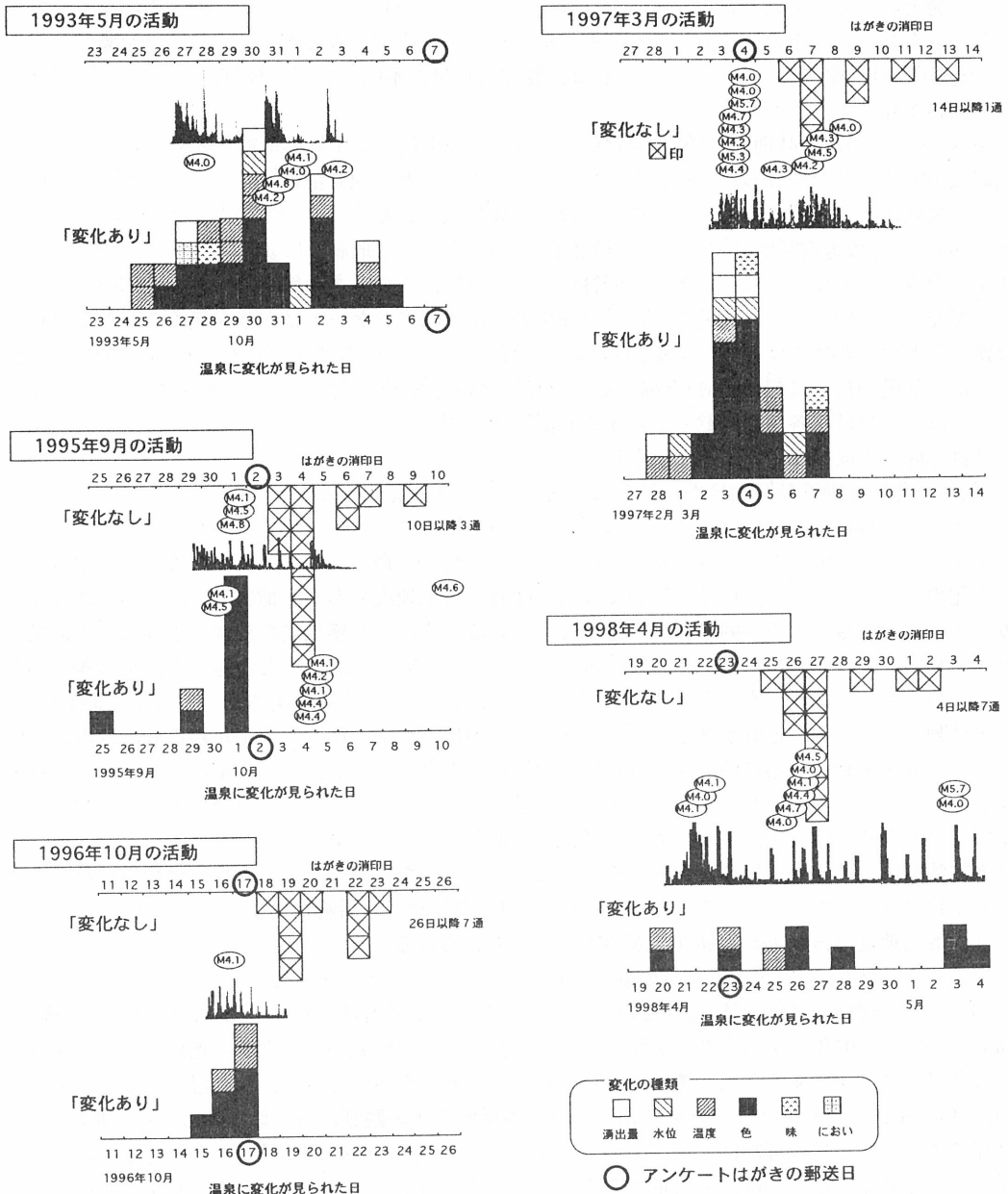


Fig. 5 Daily number of anomalous changes in Ito hot springs in the period of every earthquake swarm.  
 図5 群発地震活動ごとの日別変化数.

に分けて表示したものである。一方、変化が見られなかった回答については、各グラフの上方に×印の四角形(位置は回答はがきの消印日)でその数を日別に表示している。アンケートの発送日は日付に太丸印で示しており、各グラフ中央部のノコギリ歯状のプロファイルは気象庁伊東市鎌田観測点で観測された地震の相対数を示している。ノコギリ歯の左端が群発地震活動の開始日であり、アンケートの発送は1993年5月の活動時は開始日から13日目に、それ以外の活動ではすべて4日以内に行っていることが分かる。そのため、回答時における温泉使用者の温泉変化に関する記憶は新しく、日付に関する確度はかなり高いと思われる。ただし地震活動開始後間もなくの発送であるため、群発地震活動が活発で収まりきれない段階で回答が投函されることもあり、その場合は再度アンケートを郵送してその後の変化の有無の把握を行っている(第2表参照)。なお、図5を集計しても図3の表示とは完全には一致しない。これは、変化の日付が不明な回答や複数日に同じ変化が見られた回答が存在するためである。

図5のすべての活動時期に共通する特徴としては、M4を越える中規模地震が起きた日に温泉の変化が集中することが挙げられる。色の変化に着目すると、どの地震活動においても活動開始とほぼ同時に変化が見られ、さらに活動の前半と後半で変化数を比較すると前半の方が多くなっている。特に1995年9月の地震活動においては、活動前半のM4を越える地震時に変化が見られた一方、活動後半の地震では変化が見られたという回答は一つも無い。このときの調査では2通のアンケートはがきを発送しているため、活動後半に温泉使用者の手元にアンケートはがきが無くして回答が得られなかったというわけではない。実際2通の発送を行ったもう一つの調査である1998年4月の地震活動時には、活動の後半に起きたM4を越える地震時においても変化があったと回答が得られている。ここで以上に挙げた各地震活動に共通する特徴をまとめると、

1) M4を越える地震時に変化が集中する

2) 色の変化は地震活動開始日から見られ、活動前半に多く見られる

の二つが挙げられる。我々は、これらの原因について以下のように考察を進めた。

まず、変化の原因がある程度分かっている「色の変化」を土台にして、考えてみることにする。色の変化の原因については、前章において地震活動時の有感地震であると推論した。その具体的なメカニズムは、佐藤・野田(1993)などで述べられているように、有感地震の地面の揺れによって温泉のパイプ類のスケールのはく離や帯水層に堆積していた細土粒子の流出などが起こり、色の濁りが生じたものと考えられる。もしそうであれば、2)の理由は次のように説明されるだろう。まず群発地震活動が始まり有感地震が発生すると、スケールのはく離や土粒子の流出が起こり温泉の濁りが生じる。地震活動が次第に活発化し有感地震の揺れが大きくなると、より大量のスケールや土粒子が温泉に流れ出る。しかし一度スケールや土粒子が流出すると、それらが再び付着したり堆積するまでにはかなりの時間を要するため、地震活動が進むにつれて次第に色の濁りは生じなくなる。特に地震活動における最大地震が起きた後は、これ以上大きな揺れをもたらす地震は起こらないため色の変化はさらに生じにくくなるだろう。1998年4月の活動時に活動後半まで色の変化が見られたのは、最大地震(M5.7)が活動後半に起きたからと考えられる。

次に1)の理由であるが、その時の変化が色の変化と同じメカニズムで生じているのであれば、M4を越える地震時に変化が見られるのは当然である。まず湧出量や水位の変化について、佐藤・高橋(1997)は1995年兵庫県南部地震後の淡路島の異常湧水の研究から、大きな地面の揺れが起きた際に湧出量や水位の変化と色の濁りが同時に起きる可能性を述べている。次に温度の変化であるが、Mogi et al.(1989)は宇佐美地域における温泉の温度の連続観測から、地震時のスケールのはく離等による温度上昇の可能性を述べている。また吉川・永井(1990)は、帯水層が深くその温度が気温と大きく異なる温泉では、湧出量の変化によって湧出温度が変わることを観測結果の解析から証明している。これらのことから、色以外の変化、特に湧出量・水位・温度などの変化が、色の変化と同じメカニズムによって有感地震時に生じている可能性が考えられ、これがM4を越える地震時

に変化が集中する理由であると考えられる。実際、M4を越える地震の際には伊東市および周辺の温泉の水位・湧出量・温度の連続観測記録に変化が現れており、東京大学(東京大学大学院理学系研究科, 1998など)や地質調査所(小泉ほか, 1998など)によって観測・報告されている。

地震活動が始まる直前に見られた変化もある。1993年5月の活動時の温度の変化, 1995年9月の活動時の色の変化, 1997年3月の活動時の湧出量、水位、温度の変化がこれにあたる(図5)。一方、最近の群発地震活動時の地殻変動観測結果から、地震活動開始の10時間ほど前から地殻変動が起きていることが明らかになっており(石井, 1998; 気象庁地震予知情報課, 1998b; 岡田, 1998), もしかするとこれらの温泉変化も地殻変動によってもたらされたのかもしれない。実際、伊東市内の地下水位の連続観測(図1のOMR)では地震活動より数時間前に起きた水位変化が観測されており、この変化は地殻変動によってもたらされたと考えられている(小泉ほか, 1998)。地震活動開始よりも前に地殻変動が観測されているということは、群発地震活動によって地殻変動が生じているのではなく、地殻変動をもたす別の要因によって地震活動が引き起こされていることを示している。この要因は、1989年6月の活動時の海底噴火で明らかになったように、地下のマグマによる岩脈の貫入が考えられている(岡田, 1998)。本アンケート調査によって、このような地殻変動に伴う変化を地震活動開始前にリアルタイムでとらえることは調査手法の性格上不可能と思われるが、地震活動前に変化が見られる源泉、つまり地殻変動に敏感に反応する源泉を探すには威力を発揮するかもしれない。

#### 4. おわりに

本アンケート調査で得られた温泉変化の中で、色の変化に関してはその原因がほぼ明らかになっている。しかし、湧出量や水位、温度といったその他の変化については、その原因について幾つかの可能性が考えられており、完全には明らかになっていない。第3.3章ではさまざまな変化が有感地震に伴って生じた可能性と、地震活動前の地殻変動に伴って生じた可能性を述べた。この2つの可能性について、温泉に与える影響はそれぞれどれくらいの割合かという問題も残されている。これを解く一番の近道は、やはり自噴量や水位、温度、地震、歪変化を同じ場所で連続観測するしかないであろう。最近、このような集中観測が伊東市内(石井, 1998)や関西地域(佃ほか, 1996)で開始されており、詳しい解析結果が待たれるところである。なお、本アンケート調査では色の変化は必ずとらえられているので、その原因であるスケールのはく離や土粒子の流出が起きている有感地震の時期を特定することができる。逆に、色の変化がほとんど見られないときに湧出量、水位、温度の変化の回答が大量に寄せられた場合、その温泉変化は地殻変動によるものと考えてよいだろう。伊東温泉における本アンケートの目的の一つとして、1989年に見られたような海底噴火に至るまでの過程で生じる大規模な地殻変動に伴う温泉変化をとらえることがまず挙げられるが、本調査がこの目的を果たせる可能性は十分ある。手石海丘の噴火は、1989年6月の地震活動の最終段階で起きた。そして地震活動後半には、有感地震の揺れが温泉に与える影響は次第に小さくなり(第3.3章参照)、それに伴って地殻変動による温泉変化は次第に見分けやすくなると予想される。本論文では、海底噴火に至るような大規模な温泉変化の報告はできなかった。しかし今後も伊豆半島東方沖では群発地震活動が起こるであろうし、それが海底噴火につながる可能性も否定できないことから、その予測のためにも本アンケート調査を継続すべきであると我々は確信している。

本調査における温泉変化の検出器は、主に人間の五感である。本報告ではこの検出器の感度に関する考察はほとんどできなかったが、これから研究を進めるべき分野でもあるだろう。伊東温泉における温泉の変化について、人間の五感による感度が高いものは、色と温度ではないかと思われる。まず色に関しては、伊東周辺の温泉は無色透明なものが多く、色の変化、特に色の濁りについ

てはすぐにとらえることができると思われる。次に温度に関しては、伊東温泉の温度はアンケート調査にとって好都合な温度となっている。伊東温泉の源泉の温度はそのほとんどが40~55℃の範囲に収まり(Sato et al., 1992), 水で薄めたりせずそのまま入浴用に使っている源泉が多い。さらに伊東温泉には共同浴場が多数存在し、住民の多くが毎日のように使用している。このことは、伊東温泉では温泉の管理者以外でも、温泉の温度変化をとらえる機会に恵まれていることを示している。ふだん適温の一定温のお湯に接していれば、0.1℃ほどの温度変化をとらえることができることを筆者は経験している。

インターネットなどを用いた不特定多数からのアンケート調査は、温度の変化をはじめとする温泉変化をとらえるのにより有効であると考えられることから、我々は伊東温泉でのインターネットによるアンケート調査を検討している。

### 謝辞

アンケートに御協力いただいた静岡県伊東市および熱海市の方々に厚く感謝いたします。また本調査に関して、前川竜男、井上正文両氏には大変お世話になりました。ここに記して謝意を表します。

### 文献

- 石井紘(1998)ボアホール地殻活動総合観測装置で観測された伊豆半島東方沖群発地震, 地震予知連絡会会報, 60: 256-261.
- 吉川清志, 永井茂(1990)伊東市赤沢6号温泉井の自噴量・水温変動とその原因—伊豆半島東方沖付近の地震・火山活動との関連, 地震, 43: 243-256.
- 気象庁(1998)主な伊豆半島東方沖群発地震一覧表, 地震・火山月報(防災編), 平成10年5月: p13.
- 気象庁地震予知情報課(1990)伊豆半島およびその周辺の地震活動(1989年5月~10月), 地震予知連絡会会報, 43: 140-156.
- 気象庁地震予知情報課(1994)伊豆半島およびその周辺の地震活動(1993年5月~10月), 地震予知連絡会会報, 51: 292-309.
- 気象庁地震予知情報課(1996)伊豆半島及びその周辺の地震活動(1995年5月~10月), 地震予知連絡会会報, 55: 242-251.
- 気象庁地震予知情報課(1997a)伊豆半島およびその周辺の地震活動, 地震予知連絡会会報, 57: 268-273.
- 気象庁地震予知情報課(1997b)伊豆半島およびその周辺の地震活動, 地震予知連絡会会報, 58: 229-238.
- 気象庁地震予知情報課(1998a)伊豆半島およびその周辺の地震活動(1997年11月~1998年4月), 地震予知連絡会会報, 60: 226-233.
- 気象庁地震予知情報課(1998b)伊豆半島東方沖群発地震に関連した体積歪計の変化(1998年4月~5月), 地震予知連絡会会報, 60: 311-317.
- 小泉尚嗣, 佃栄吉, 松本則夫, 高橋誠, 佐藤努, 上垣内修(1998)伊豆半島東方沖地震活動に関連する地下水変動, 地震予知連絡会会報, 60: 326-333.
- 黒川義男(1990)宇佐美温泉で観測された1989年伊豆東方沖群発地震と海底噴火の前兆, 神奈川県温泉地学研究所報告, 21: 39-46.
- Mogi, K., Mochizuki, H. and Kurokawa, Y. (1989) Temperature change in an artesian spring at Usami in the Izu Peninsula (Japan) and their relation to earthquakes, Tectonophysics, 159: 95-108.



茂木清夫, 望月裕峰, 黒川義男(1990)1989年7月の伊東沖群発地震・海底噴火に伴う温泉の変化, 地震予知連絡会会報, 43:290-299.

Notsu, K., Wakita, H., Igarashi, G. and Sato, T. (1991) Hydrological and geochemical changes related to the 1989 seismic and volcanic activities off the Izu Peninsula, *J. Phys. Earth*, 39: 245-254.

岡田義光(1997)伊豆半島東方沖の群発地震活動と地殻変動, 地震予知連絡会会報, 58:202-219.

岡田義光(1998)伊東沖群発地震活動に前駆する傾斜変動, 地震予知連絡会会報, 60:334-355.

佐藤努(1997)水が突然湧き出す現象—地震活動による地下水変動—, 月刊地球号外, No. 18:17-22.

佐藤努, 野田徹郎(1993)1993年伊豆半島東方沖群発地震活動に伴う温泉の変化—アンケート調査より—, 地質ニュース, No. 471:19-25.

佐藤努, 高橋誠(1997)淡路島の異常湧水の化学組成変化, 地球化学, 31:89-98.

Sato, T., Wakita, H., Notsu, K. and Igarashi, G. (1992) Anomalous hot spring water changes: Possible presursors of the 1989 volcanic eruption off the east coast of the Izu Peninsula, *Geochem. J.*, 26: 73-83.

東京大学大学院理学系研究科(1998)1998年4月～5月伊豆半島東方沖群発地震活動に伴う地下水変化, 地震予知連絡会会報, 60:356-358.

佃栄吉, 高橋誠, 佐藤努, 松本則夫, 伊藤久男(1996)地質調査所における地震予知地下水観測網—近畿地域の地下水観測井の新設—, 地質ニュース, No. 505:11-15.