

地震予知研究ノート No.3

佃 為成

(東京大学地震研究所 地震地殻変動観測センター)

2008年9月

目次

		ページ
前兆現象の研究のための観測点	佃 為成	3～11
前兆現象研究観測点の概要（1995年～2008年）	佃 為成	12～38
兵庫県猪名川町井戸水温上昇変化	佃 為成	39～40
東海地方の水温上昇変化	佃 為成	41～42
2004年紀伊半島沖地震（M7.4）の前兆的水温変化と地殻変動	佃 為成	43～49
2008年四川大地震（M8.0）と海潮温泉の水温上昇変化	佃 為成	50～51
温泉の電気伝導度測定	佃 為成	52～53
和歌山観測所地電位観測	佃 為成	54～61
樹木電位観測	佃 為成	62～72
井戸水電位観測	佃 為成	73
亀岡市の井戸水の濁り	佃 為成	74～75
静岡市中島下水浄化センター内地下水観測点設置の手続き	佃 為成	76～81
焼津市大富小学校内地下水観測点設置の手続き	佃 為成	82～87

淡路市ぬるゆ温泉地下水観測点設置の手続き	個 為成	88
重点観測点について	個 為成	89～91
付録：地下水化学分析結果および試料一覧		92～106
付録：水温・水位データグラフ一覧（抜粋）		107～118

前兆現象の研究のための観測点

佃 為成

§ 1. はじめに

地震予知に不可欠な前兆現象を検知するには、種々の観測が必要で、その基盤観測として、地殻変動や微小地震の観測が実施されている。これらの観測に加えて、さらに、もっと詳しい地下の動きをさぐる観測も必要である。既存の観測だけでは、前兆現象把握が困難なことは、多くの研究者のこれまでの経験で明らかなことである。

どのような観測を行うべきかを考える際、大地震が発生したときの現地調査や住民からもたらされる日頃の異常現象に関する情報を参考にする方法が重要である。これまで試みとして行なってきた観測の状況を紹介する。

§ 2. 前兆現象検知

前兆現象とは何か？「大地震の準備過程の進行を示すサインだ」というのが大ざっぱな概念的説明である。我々はそのサインをどのように認識するか？

まず、何かの現象が前兆現象ではないかと思わせるのは、地下からやって来た何かが届いてきた信号（サイン）らしいということと、それが普段とは異なる異常なものであるという2点の条件がそろったときである。後者は、大地震は滅多に発生しないのであるから、そのサイン発生の頻度も稀であるはずという考えに基づく。前者については、いくつかの根拠に基づいて判断する。もちろん完璧な判断ができるわけではない。可能性が否定できなければ当面その見方を支持することにする。

§ 3. 異常現象の発見と観測計画

前兆現象研究のための観測のきっかけには、

- 1) 地震時の聞き込み調査やアンケート調査によるもの、
 - 2) 平時の異常現象情報にもとづくもの、
 - 3) 上の情報やそれを研究する過程で考えた観測計画の実施によるもの
- がある。その他にも、室内の実験にヒントを得たり、理論計算の結果を検証するために観測を計画することもある。

現象が異常なのか、すなわち稀な現象なのかは、長い期間のモニターをした上でないと判断ができないので、観測を始めたなら、長期の観測を目指す。

しかし、最初からたいそうに構えると観測の実施は困難である。最初は、気楽に簡単な観測から始め、少しずつ高度化していけばよい。

以下に、それぞれの観測点の観測のきっかけになった事柄や観測状況の概要を述べる。

§ 4. 地震時の異常現象情報に基づく観測点

きのご園井戸 兵庫県猪名川町柏原

現場は 1995 年兵庫県南部地震の際、聞き込み調査の拠点となったペンションである。ここのボーリング井戸の水が地震時、白濁してあふれ出し、さらに水温が 4℃ほど上昇した。この井戸は自噴井で、その水温はいつも約 14℃を保っている。季節変化はせいぜい 7m℃ p-p。最初は、水温の変化が地震後どのようになっているかを調べてみたいという動機で簡単な観測から始めた。2001 年 4 月からは、1 万分の 1 の分解能で測定できる水晶温度計を用いて精密水温連続観測を実施している。

なぜ水温が上昇したのか、地震前から変化があったのか、地震前のことは調べようがないが地震後の観測によって何かヒントは得られないか。このような単純な疑問や考えが観測の動機になった。

白濁現象も気になっていた。化学分析の必要性を感じ、その後新潟大学との共同研究に発展する。

妬（うわなり）泉源 神戸市北区有馬

有馬温泉は極めて特異な温泉で、NaCl の量は海水の濃度を上回るくらいミネラル成分の濃い温泉である。この温泉水は、水の酸素同位体の分析により、地下深部に起源をもつことが推定されている。

妬泉源では、兵庫県南部地震の際、水温が低下した。高温（60～90℃）かつ、化学成分濃度が高いので、観測が困難である。この条件ではセンサーの耐用期間が 1～2 年となる。

この泉源では 1998 年 10 月頃から大きな変化があった。それまで 70℃前後の水温が 80～90℃に上昇し、電気伝導度も上昇した。2000 年後半からは電気伝導度は当初の 1.5 倍になり、一時は温泉のヘドロが大量に吐き出されることがあった。

さらに、2003 年頃からは炭酸カルシウムの沈殿量が増え、配管が短期間で詰まるため、1 週間に 1 回程度のパイプ交換が行われている。

武田尾（丸木旅館）泉源

武田尾温泉では、元湯旅館や丸木旅館などで温泉水が地震時に白濁した。丸木旅館では、地震直後、湯量が増加した。その後、水温は以前より低下。

丸木旅館の泉源は岩盤亀裂から湧いてくる温泉水を溜める天然の洞窟（コンクリートの覆いがある）である。覆いの広さは2～2.5m x 1.3～1.4mである。水深は70cm ぐらいである。ここからポンプで貯湯タンクに湯をひき、浴場へ配湯する。

水温連続観測により、数年かけて水温は元へ戻ったことを確かめた。その後、2002年ごろから現在にかけて水温が下降しつつある。これは近畿の最近の地殻活動変化に呼応したものと考えている。

上田氏井戸 兵庫県猪名川町原

戦前からある井戸で兵庫県南部地震の前には水が涸れていた。地震直後、水が戻ってきた。地表付近の地下水の性質を確認するため、水位の観測を1997年に開始した。現在では、水位・水温同時観測をおこなっている。最近の近畿地方の地殻活動異常を受けて、重要な観測点の一つになった。

玉川酒店井戸 京都府亀岡市馬路

兵庫県南部地震直後白濁した。1927北丹後地震の前日にこの井戸水が濁ったという言い伝えもある。この井戸も典型的な浅井戸である。地震後数回訪問して水温や電気伝導度を測定していたが、水温変化（季節変化）が大きいことがわかり、1997年に水温連続観測を開始した。最近の近畿地方の地殻活動異常を受けて、重要な観測点の一つになった。現在、長期的な水温上昇が確認されつつある。

中喜屋井戸 新潟県阿賀野市出湯

1995年4月1日の新潟県北部の地震（M5.6）の前々日から水位が上昇した。温泉開発に備えるため川上貞雄氏の指導で3月22日から1日1回の水位測定を実施していたことからデータが得られた（東京大学地震研究所, 1995; 川上, 1995）。

この井戸の水位が地殻の歪変動に呼応していると考え1999年4月から連続観測を開始した。続いて2000年4月から水温観測も並行して実施している。観測当初はこの井戸は温泉に使用していなかったが最近では頻繁に温泉の汲み上げがあり、データの擾乱が大きくなったので、水位の観測を中止することにした。

川上氏井戸 新潟県阿賀野市出湯

この井戸と新潟県北部の地震との関係は不明であるが、中喜屋の井戸との比較のため、水温観測を中喜屋井戸の水位観測と同時に開始した。電気伝導度のマニュアル測定も行っている。2004年新潟県中越地震や2007年新潟県中越沖地震の前の異常変化が記録された（佃, 2008）。

新見千屋温泉 岡山県新見市

2000年鳥取県西部地震の震源断層の南東端にあたる位置にある。地震の影響については、地震後白濁したこと以外には詳しいことは不明である。断層端における地下水の変動がどうなっていくかを監視する目的で貯水タンク内で水温観測を地震直後に開始した。

同じく震源断層に近い鳥取県日南町の奥日野温泉では、井戸の水位が鳥取県西部地震の直前に下降したことが推定されている（佃, 2000）。ここでも貯水タンク内の水温観測をおこなっていたが、1996年に温泉の操業が停止になったので、観測も中止した。

海潮温泉 3号泉井戸 島根県雲南市

鳥取県西部地震の前、3号泉では10/4 22:00頃 - 10/5 14:00頃まで湧出量が激減（20 l/min ぐらい、通常 190 l/min）したが、10/5 14:00頃 130 l/min に回復、地震後、白濁したことが、地震研究所広島地震観測所の三浦勝美氏の聞き込み調査でわかった。それを受けて、2001年4月、精密水温観測を開始した。

2006年4月、新しい4号泉開設に伴い、3号泉のポンプは稼働停止した。そのため、水温が以前の34℃前後から徐々に下降している。現在では27℃程度である。

2008年5月12日の中国四川大地震（M8.0）直後から水温上昇を記録。2,700km離れた地点での“反応”には驚嘆する。鳥取市の湯谷温泉でも同じような四川地震後の水温上昇が記録されている（温泉ネットワーク・ホームページ）。

岩国（堀本氏）井戸 山口県岩国市岩国

2001年芸予地震直後、地震研究所広島地震観測所に岩国から電話が入った。「49℃のお湯が井戸水から出てきた」というものであった。2000年鳥取県西部地震発生直後から高温水が出るようになったとのこと。芸予地震の前にも高温水が出た。

この原因を調べるため、水温の連続観測を行っている。そして、地下深部からの熱水上昇仮説が生まれた（Tsukuda et al., 2005）。

現在でも、パルス的なわずかな水温上昇が度々発生している。

福間（大磯旅館）井戸 福岡県福津市

2005年福岡県西部地震の5ヶ月ほど前、2004年10月ごろ水温が23℃に上昇した。このことが当時、宗像保健所に連絡され、保健所の職員が記憶していて、筆者が地震の調査に訪れたとき、情報を得ることができた。

その原因を追及するため、2005年4月より水温の連続観測を実施している。

§ 5. 平常時異常現象情報に基づく観測点

亀岡（桂商店）井戸 京都府亀岡市塩屋町

2007年10月、井戸の所有者より京大防災研究所地震予知研究センターにメール。井戸に濁り発生のこと。京大から連絡を受け、11月より水温観測。電気伝導度の測定も原則毎日行っている。

同じ亀岡市の高槻市に近い東別院町でも井戸水が濁っている。ここでは、濁りを浄化する装置が設置してあるので、井戸の中に水温計センサーを投入することができない。水温観測は断念し、時々水質調査をおこなうことにした。

沼津（諏訪部氏）井戸 静岡県沼津市

2004年3月に井戸の水温が上昇し湯気が立った。地元で評判になりラジオや地元新聞で紹介された。東海地域に関しては浜松市内の中学教師の上久保廣信氏と共同研究しているが、彼の元上司がそのラジオのニュースをたまたま聞いたのがきっかけで情報が得られた。2004年4月から水温連続観測。

伊勢原（頼住靴店）井戸 神奈川県伊勢原市

2004年夏頃から井戸の水温が高くなった。最高30℃ぐらい。そのことが地震研究所のホームページのメールに投稿された。アウトリーチ担当から筆者に連絡があり、2004年12月に現地を訪問し、直ちに水温連続観測を開始した。

§ 6. 研究計画に基づく観測点

大地震が起こりそうな地域に照準を合わせる。つぎに、それぞれの観測点についても予めねらいを定め計画を立てる。その際、§ 4や§ 5の観測で得られた経験を活かす。

1) 地震研究所特定共同研究「内陸直下地震の予知」

倉下の湯（白馬村）泉源 長野県白馬村

特定研究「内陸直下地震の予知」は、地震研究所改組のとき立ち上げた共同研究の一つで、改組案の段階から筆者が提案していたものである。

共同研究の過程で、白馬ルネッサンスの湯（株）所有で、鉄分などのイオン濃

度が高く、二酸化炭素のガスも含む特異な倉下の湯・泉源を見つけた。信州大学が化学成分の分析、地震研究所が水温観測を担当してきた。水温観測は1998年10月に開始した。

2) 東海地震・東南海地震

東海地震へ向けての地下水観測の参考になったのが、千葉県習志野市在住の藤原 實氏の自費出版物「地震予知スケッチ集」(藤原, 2000)に記載されている深部熱水の話である。具体的な内容について藤原氏から詳しい情報が得られた。その一つが、焼津市や浜松市(旧舞浜町)で1986, 1987年に発生した一連の浅井戸の水の水温上昇事件であった。当時の中日新聞の記事で知ることができる。その現場の一つであった焼津の小学校の浅井戸の調査から始めた。最初に訪れた焼津市立大富小学校では、静岡県所有の深井戸の存在をまず確認した。そこが東海地域の観測点第1号となった。その後、順次観測点を増設していった。

大富小深井戸 静岡県焼津市

大井川地域地下水利用対策協議会が地盤沈下監視のために水位を観測している静岡県所有の井戸を利用して水温観測を実施。水温の異常な上昇を現在観測している。

元焼津 井戸 静岡県焼津市

ここも大井川地域地下水利用対策協議会が地盤沈下監視のために水位を観測している静岡県所有の井戸。2000年頃水位が異常上昇しオーバーフロー。現在は、井戸の筒を嵩上げて使用。この地点の水位上昇は2000年ごろ東海地域のスロースリップが始まったが、その地殻変動と関係があるかもしれない。

中島(静岡市)井戸 地電位

焼津の大富小学校の深井戸の精密水温データから明らかになった水温上昇傾向が、静岡地方ではどうかを調べるために自噴している中島下水浄化センター内の井戸の精密観測を2006年に開始した。元々浄化センター内では、東海地震の際の地鳴りを観測しようと、日東紡音響エンジニアリング(株)との共同研究として1997年8月に音響の観測点を設置した。この観測点は2001年11月に焼津市の寺院・林叟院に移転した。地鳴り観測実施中にたまたま構内に自噴井を見つけた。

焼津市大富小学校・港小学校・南小学校、浜松市舞浜小学校の浅井戸

1986～7年に、異常水温上昇が報じられた井戸の検証。大富小学校では2002年に水温上昇観測。その後、さらに大きな上昇変動があったが、これは散水用水中ポンプによる加熱であった。港小学校でも度々水温の異常上昇が発生したが、そのほとんどが水中ポンプ加熱が原因の可能性が高い。

3) 南海・東南海地震

戦前、今村明恒が指導して南海地震に備えた観測が行われていたが、観測項目の中に温泉の温度の測定も入っていた。そのような観測を復活させるべく、南紀地域の温泉の水温観測を計画した。和歌山地震観測所の故瀬戸憲彦氏と2002年2月に2カ所の温泉（本宮、古座川）で観測を開始した。その後、観測点を少しずつ増やしていった。

本宮（田辺市）泉源

瀬戸憲彦氏の道案内で訪れた南紀地方の最初の温泉。湯筒と呼ばれる自然に湧き出した泉源を観測点にと考えたが、観光スポットのため観測機器を設置するには保守の面で困難であることがわかりあきらめた。その代わりに、いくつかの泉源から引いてきた湯の貯水槽の中で測定することにした。

勝浦（那智勝浦町：内田商店）

2005年1月、那智勝浦町にて防災講演会が開催され、講師として南海地震などについて町民の方々に話をする機会があった。その視聴者の中に内田正年氏がおられた。これがきっかけで内田商店にある温泉の水温観測が始まった。

きよもん（那智勝浦町湯川）泉源

湯川付近の観測点を探していたところ、「きよもん」という温泉を経営している那智勝浦町海のホテルの滝の社長中村絃一郎氏に出会い、観測の承諾を得た。泉源は2カ所ある。国道42号線を挟んで南側の温泉「きよもん」と北側の喫茶「きよもん」である。温度観測している泉源は喫茶「きよもん」の側で、自噴しているがあふれ出さないようにポンプで排出している。排出口にセンサーを取り付けた。2004年月観測開始直後2004年紀伊半島沖地震（M7.4）が発生したが、その1ヶ月前から水温低下が観測された。

古座川（杉生氏）泉源

2002年2月、南紀地方水温観測地点調査に際し、瀬戸憲彦氏の道案内で2番目に訪れた温泉。ボーリング自噴泉である。地殻変動に対応した水温変化を記録している。2004年紀伊半島沖地震（M7.4）が発生したが、その1ヶ月前から水温低下が観測された。

ぼたん荘（古座川町）湯溜

杉生氏の泉源に近いところに宿泊所ぼたん荘の泉源がある。この湯を引いた貯水槽にて水温観測をおこなっている。2004年紀伊半島沖地震（M7.4）が発生したが、その1ヶ月前から水温低下が観測された。

串本温泉

ぼたん荘の支配人から、串本に気圧変化に応じて変色する温泉があるという話を聞いた。その温泉の性質をさぐるため観測を開始した。

潮岬

和歌山県串本町潮岬地区の地域住民による防災ボランティアが立ち上がり、自主的に災害予防の対策や災害直後の緊急活動、災害後の長期支援活動について計画が立案され組織化された。また、地震予知を目指して2004年4月、地下水の井戸の水位の測定が開始された。水位変化が異常ではないかという連絡が入り、詳しく観測することになった（佃, 2005）。

最初、3個所の井戸において水位と水温を観測していたが、そのうち1個所は降雨の影響を大きいことと、アリの被害が大きいことから、現在は2観測点に絞っている。

4) 近畿異常地殻活動

淡路島（ぬるゆ温泉）

2002年頃から近畿地方（京都から大阪・神戸にかけて）の地殻変動に異常が見つかったことを受け、異常地殻活動の南部の監視のため2006年淡路島に観測点を設けた。ぬるゆ温泉は淡路島北部の高地にあり自噴泉である。1995年兵庫県暗部地震の際、湧出量が減少した（涸れた）といわれている。

§ 7. その他の観測点

観測項目の中には井戸水の電位を測定しているところもある（猪名川町・きのこ園など）。猪名川町柏原の中林氏の井戸は井戸水の電位専用の観測点である。地震研究所和歌山地震観測所では、地電位と樹木電位（ヒマラヤスギ）の観測をおこなっている。その他に、樹木の電位と地電位を埼玉県入間市にて観測している。これは、電位の性質を調べる事と観測一般の訓練の目的がある。

地下水温や電位の観測以外に、地表に近い空中のラドン濃度変化の観測、具体的にはガンマ線測定を猪名川町・きのこ園にて年3回ほど実施している。また、繰り返し移動観測（自動車や鉄道を利用）もおこなっている（Tsukuda, 2008）。

参考文献

藤原 實, 地震予知スケッチ集 地震予知システムの開発をめざして, 創栄出版, 2000.

川上貞雄, 1995年新潟県北部地震と温泉・地下水の異常についての報告, 月刊地球, 17, 758-761, 1995.

佃 為成, 2000年鳥取県西部地震と2001年芸予地震の前兆現象, 月刊地球, 号外38, 228-238, 2002.

Tsukuda T., K. Gotoh and O. Sato, Deep groundwater discharge and ground surface phenomena, B.E.R.I., Univ. Tokyo, 80, 105-131, 2005.

佃 為成, 南海・東南海地震に備えて 地域防災ボランティア - 和歌山県潮岬, 地震ジャーナル, 40, 24-25, 2005.

佃 為成, 深部流体上昇仮説とその検証, 月刊地球, 28, 813-822, 2006.

佃 為成, 2004年新潟県中越地震の前兆現象 -地下水の電気伝導度変化と周辺の地震活動 -, 電気学会研究会資料 電磁環境研究会, EMC-08, 31-34, 2008.

東京大学地震研究所, 新潟県北部の地震（1995年4月1日; M6.0）前後の地下水変化, 地震予知連絡会会報, 54, 166-167, 1995.

Tsukuda, T., Radon-gas Monitoring by Gamma-ray Measurements on the Ground for Detecting Crustal Activity Changes - Preliminary Study by Repeat Survey Method - , B.E.R.I., 2008, in press.